2. 研究報告

2. 1. 研究課題

本節には、気象研究所が平成 25 年度に実施したすべての研究について、研究区分（または外部資金）ごとに分類し、研究課題名を掲載している。

安全・安心な生活の実現に向け重点的に実施すべき研究（重点研究）

重点研究は、各種防災情報の高度化と一層精度の高い地球環境関連の情報の提供に向けて、台風・集中豪雨等対策、地震・火山・津波対策及び気候変動・地球環境対策の強化に資する実用的な研究で、気象研究所にて重点的に実施すべき研究である。また、特別研究は、重点研究の中でも特に研究体制を整える等の特別な措置を講じて実施する研究である。平成 25 年度は、次の 21 課題を実施した。

(1) 台風・集中豪雨対策等の強化に関する研究

- 次世代非静力学気象予測モデルの開発に関する研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：予報研究部）
- 顕著現象の機構解明に関する解析的・統計的研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：予報研究部）
- メソスケールデータ同化とアンサンブル予報に関する研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：予報研究部）
- 全球大気データ同化の高度化に関する研究（平成 23 年度～27 年度、代表研究部：台風研究部）
- 台風強度に影響する外的要因に関する研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：台風研究部）
- シビア現象の監視及び危険度診断技術の高度化に関する研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：気象衛星・観測システム研究部）

(2) 地震・火山・津波対策の強化に関する研究

- 海溝沿い巨大地震の地震像の即時的把握に関する研究（平成 22 年度～27 年度、代表研究部：地震火山研究部）
- 地殻変動観測による火山活動評価と噴火シナリオの高度化に関する研究（平成 23 年度～27 年度、代表研究部：地震火山研究部）
- 緊急地震速報高度化のための震度等の予測の信頼性向上技術の開発（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：地震火山研究部）
- 東海地震予知技術と南海トラフ沿いの地殻活動監視技術の高度化に関する研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：地震火山研究部）
- 気象観測技術等を活用した火山監視・解析手法の高度化に関する研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：地震火山研究部）
- 沖合・沿岸津波観測等による津波の高精度予測に関する研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：地震火山研究部）

(3) 気候変動・地球環境対策の強化に関する研究

- 気候変動への適応策策定に資するための気候・環境変化予測に関する研究（平成 22 年度～26 年度、代表研究部：気候研究部）
- 全球大気海洋結合モデルを用いた季節予測システムの開発に関する研究（平成 21 年度～25

年度、代表研究部：気候研究部）
- 異常気象・気候変動の実態とその要因解明に関する研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：気候研究部）
- 大気環境の予測・同化技術の開発（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：環境・応用気象研究部）
- 温暖化への対応策検討に資するための日本域の気候変化予測に関する研究（平成 22 年度～25 年度、代表研究部：環境・応用気象研究部）
- 海洋環境の予測技術の開発（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：海洋・地球化学研究部）
- 全球及び日本近海を対象とした海洋データ同化システムの開発（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：海洋・地球化学研究部）
- 大気化学環境変動とそのメカニズムの解明に関する研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：海洋・地球化学研究部）
- 海洋中炭素循環変動の実態把握とメカニズム解明に関する研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：海洋・地球化学研究部）

気象業務の発展に資する基礎的・基盤的研究（基礎的・基盤的研究）

基礎的・基盤的研究は、気象庁が発表する各種情報の高度化等、気象業務への将来の実用化を見据えた世界をリードする基礎的・基盤的研究であり、研究の過程で得られた成果を広く社会に還元することにより、気象業務に関する我が国の研究開発ポテンシャルを高め、気象業務全般の発展に資する研究である。平成 25 年度は、次の 10 課題を実施した。

- 気候モデルによる気候変動メカニズム解明に関する研究（平成 22 年度～25 年度、代表研究部：気候研究部）
- 地上観測による大気要素の放射収支への影響の実態解明に関する研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：気候研究部）
- 意図的・非意図的気象改変に関する研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：予報研究部）
- 大気境界層の乱流構造の統合的研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：環境・応用気象研究部）
- エーロゾルー雪氷相互作用に関する研究（平成 22 年度～25 年度、代表研究部：気候研究部）
- 都市気象モデルの開発（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：環境・応用気象研究部）
- 大気エーロゾル粒子の性状とその変動過程に関する研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：環境・応用気象研究部）
- 衛星データの利用技術に関する研究（平成 21 年度～25 年度、代表研究部：気象衛星・観測システム研究部）
- エーロゾル・雲・微量気体に関するリモートセンシング技術の高度化に関する基礎研究（平成 22 年度～25 年度、代表研究部：気象衛星・観測システム研究部）
- 次世代リモートセンシングに関する研究（平成 22 年度～25 年度、代表研究部：気象衛星・観測システム研究部）

地方共同研究

地方共同研究は、気象業務の現場において取り組むべき研究課題について、気象研究所と気象官署が共同して行う研究である。地方共同研究により、気象業務の現場における潜在的なニーズを的

確にとらえ、気象研究所の研究方針や内容に適宜反映させることによって、気象業務の高度化に貢献する。また、研究活動を通じて気象研究所と気象官署の連携を強化し、気象官署における調査業務の支援を図るとともに、職員の資質向上にも貢献する。平成 25 年度は、次の 4 課題を実施した。

- 東北地方のシビア現象に関する解析的研究（平成 24 年度～25 年度、仙台管区気象台、仙台管内各地方気象台、気象衛星・観測システム研究部）
- 都市域に強雨をもたらす降水系の発生・発達機構と予測に関する研究（平成 24 年度～25 年度、東京管区気象台、名古屋地方気象台、予報研究部、環境・応用気象研究部）
- 集中豪雨・大雨発生の必要条件の妥当性の確認と十分条件の抽出（平成 25 年度～26 年度、大阪管区気象台、彦根、京都、奈良、和歌山、鳥取、松江、岡山、広島、高松、徳島、松山、高知各地方気象台および神戸海洋気象台、予報研究部）
- 地域に密着した詳細な気候変動予測情報提供に関する研究（平成 25 年度～26 年度、札幌管区気象台、東京管区気象台、環境・応用気象研究部）

他省庁予算による研究

他省庁予算による研究は、国土交通省以外の省庁が運用する制度のもとで実施する研究である。平成 25 年度は、次の 9 課題を実施した。

(1) 科学技術戦略推進費による研究（文部科学省）

科学技術戦略推進費は、平成 23 年度より第 4 期科学技術基本計画が始まったことを踏まえ、総合科学技術会議が各府省の施策立案、効果的推進を誘導し、科学技術イノベーション政策の司令塔機能強化のために、科学技術振興調整費に替わり創設された経費である。

- 気候変動に伴う極端気象に強い都市創り（平成 22 年度～26 年度）

(2) 地球環境保全等試験研究費による研究（環境省）

地球環境保全等試験研究費は、地球環境問題のうち、地球温暖化分野を対象として、各府省が中長期的視点から計画的かつ着実に関係研究機関において実施すべき研究に活用される経費である。

- 吸収性エアロゾルが大気・雪氷面放射過程に与える影響のモニタリングに関する研究（平成 21 年度～25 年度）
- 南鳥島における微量温室効果ガス等のモニタリング（平成 23 年度～25 年度）
- 民間航空機によるグローバル観測ネットワークを活用した温室効果ガスの長期変動観測（平成 23 年度～27 年度）

(3) 環境研究総合推進費による研究（環境省）

環境研究総合推進費は、研究活動による科学的知見の集積や科学的側面からの支援等を通じ、オゾン層の破壊や地球温暖化など、数々の地球環境問題を解決に導くための政策に貢献・反映を図ることを目的とした研究に活用される経費である。

- 地球温暖化対策としてのブラックカーボン削減の有効性の評価（平成 23 年度～25 年度）
- 「いぶき」観測データ解析により得られた温室効果ガス濃度の高精度化に関する研究（平成 23 年度～25 年度）
- CMIP5 マルチモデルデータを用いたアジア域気候の将来変化予測に関する研究（平成 24 年度～26 年度）

・ PM2.5 規制に影響する汚染混合型黄砂の組成的特徴と飛来量／降下量に関する研究（平成 24 年度～26 年度）

(4) 放射能調査研究費による研究（環境省）

放射能調査研究費は、放射能・放射線に対する国民の安全を確保し、安心感を醸成するため、環境中の天然放射能、及び核爆発実験、原子力施設、投棄された放射性廃棄物等からの人工放射能の環境放射能レベルに関する調査研究を目的とする研究に活用される経費である。

・ 大気を通じた人工放射性核種の陸圏・水圏への沈着およびその後の移行過程の解明研究（平成 23 年度～26 年度）

共同研究

共同研究は、気象研究所が、その所掌事務と密接に関連する事項について、気象庁以外の者と共同して行う調査及び研究である。平成 25 年度は、次の 50 課題を実施した。

(1) 地球環境変動観測ミッション人工衛星プロジェクトに関する共同研究

・ AMSR2 用のマイクロ波降水リトリーバルアルゴリズムの改良（(独)宇宙航空研究開発機構）
・ GCOM/SGLI による雪氷研究アルゴリズム開発、及び、衛星雪氷プロダクトの地上観測、気候モデルによる相互検証に関する研究（(独）宇宙航空研究開発機構）
・ 高度なリモートセンシングアルゴリズムのためのエアロゾル・氷粒子散乱データベースの構築（(独）宇宙航空研究開発機構）
・ GCOM-C1 エアロゾル検証データ提供のための放射観測システムの高度化（(独）宇宙航空研究開発機構）
・ GCOM-C/SGLI による雪氷アルゴリズム高度化・新規開発及び、地上観測と気候モデルによる検証に関する研究（(独）宇宙航空研究開発機構）

(2) 降水観測ミッションに関する共同研究

・ GMI 用のマイクロ波降水リトリーバルアルゴリズム前方計算の改良（(独）宇宙航空研究開発機構）
・ データ同化システムを活用した降水予測改善に関する研究（(独）宇宙航空研究開発機構）
・ NASA グローバルホークを利用した降水物理量の物理的検証（(独）宇宙航空研究開発機構）

(3) GRENE 北極気候変動研究事業

・ 北極気候再現性検証および北極気候変動・変化のメカニズム解析に基づく全球気候モデルの高度化・精緻化（国立極地研究所）
・ 地球温暖化における北極圏の積雪・氷河・氷床の役割（国立極地研究所）
・ 北極海環境変動研究：海氷減少と海洋生態系の変化（国立極地研究所）
・ 北極海航路の利用可能性評価につながる海氷分布の将来予測（国立極地研究所）

(4) 気候変動リスク情報創生プログラム

・ 気候変動リスク情報の基盤技術開発（筑波大学）

(5) 気候変動適応研究プログラムに関する研究

・ 気候変動に伴う水産資源・海況変動予測技術の革新と実利用化（(独）海洋研究開発機構）

・ 適応策に向けた日本海沿岸における積雪の変化予測（(独) 海洋研究開発機構）

(6) 次世代スーパーコンピュータ戦略プログラムに関する研究

・ 超高精度メソスケール気象予測の研究（(独) 海洋研究開発機構）

(7) 科学技術戦略推進費

・ 多波長観測による雷放電特性とシビア現象との関係に関する研究（電気通信大学）
・ 積乱雲の発生・発達と雷電荷チャージに関する研究（東京学芸大学）

(8) その他

・ 地形が大気境界層における拡散現象に及ぼす影響の研究（龍谷大学）
・ 竜巻等の突風による被害調査に関する研究（(独) 建築研究所、国土技術政策総合研究所、東京工芸大学）
・ 長期 GNSS 観測による都市域における水蒸気変動解析と、都市の影響評価（東京海洋大学）
・ 雲生成チェンバーおよび詳細雲物理モデルを用いたエアロゾルが雲・降水過程に及ぼす影響解明に関する研究（(独) 海洋研究開発機構）
・ 熱帯ブイ網およびアルゴ観測データの同化および予測への有効性に関する共同研究（(独) 海洋研究開発機構）
・ 外洋域と沿岸域の海洋データ同化モデルの相互比較と計算スキームの高度化（(財) 電力中央研究所）
・ ドップラーレーダーを用いた線状降雪帯の構造の解明（防災科学技術研究所）
・ プレート境界の海底地震活動に関する共同研究（東海大学）
・ 気候変動に対応した新たな社会の創出に向けた社会システムの変革プログラム　グリーン社会 ICT ライフインフラ（慶應義塾大学グリーン社会 ICT ライフインフラ研究センター）
・ 東京都水道局人工降雨施設更新に伴う調査研究（東京都水道局）
・ 古気候の形成とその変動に係わる諸過程の研究（京都大学大学院理学研究科）
・ 気象研究所大気・海洋カップル全球モデル MRI-CGCM3 のマルチ RCM によるダウンスケーリング研究（(独) 防災科学技術研究所）
・ 深部低周波地震・微動活動の特徴抽出と微動源決定プログラムの高度化（気象庁地震火山部、(独) 防災科学技術研究所、東京大学地震研究所）
・ 気候システムの形成と変動に係わる諸過程の研究（筑波大学生命環境系）
・ 航空安全運航のための次世代ウィンドプロファイラによる乱気流検出・予測技術の開発（情報通信研究機構、京都大学、気象庁、高層気象台）
・ 局地的シビア現象のための将来型センシング技術および探知・予測に関する研究（大阪大学）
・ 空間生態系－資源動態モデルへ入力する海洋データの検討と中西部太平洋および日本近海におけるカツオ資源に関連する海洋環境要因分析に関する共同研究（水産総合研究センター）
・ 北海道太平洋沖大陸斜面前縁部付近の地殻構造探査（東京大学地震研究所）
・ 衛星雲・降水観測データのデータ同化システムの構築に関する研究（宇宙航空研究開発機構）
・ 黒潮続流－親潮前線間海域における暖水波及の実態把握と大気－海洋相互作用への影響解明（水産総合研究センター東北区水産研究所）
・ 局地的シビア現象のための将来型センシング技術および探知・予測に関する研究（大阪大学）
・ 海洋生態系モデルの社会的利用に向けた海洋生態系同化モデルの開発（北海道大学）
・ 高精度センシング技術を用いた、列車運行判断のための災害気象の監視・予測手法の開発（東日本旅客鉄道株式会社）

- 東海地域における弾性波アクロスを用いた地殻状態変化検出に関する研究（名古屋大学、静岡大学）
- チベットの湖沼地域の熱・水循環に関する研究（海洋研究開発機構）
- 発電量評価技術等の開発・信頼性及び寿命評価技術の開発（産業技術総合研究所）
- 粒子画像解析に基づく乱流計測技術に関する研究（国立環境研究所）
- GNSS データと地震計データを用いた断層すべり推定に関する研究（国土地理院）
- 衛星搭載３次元風観測ドップラーライダ開発・利用に関する研究（宇宙航空研究開発機構、情報通信研究機構）
- 成層圏対流圏結合の力学的化学的予測可能性の研究（京都大学）
- 新しい海水の状態方程式（TEOS-10）の評価（海洋研究開発機構）
- フェーズドアレイ気象レーダーによる顕著現象の探知に関する基礎研究(情報通信研究機構)

公募型共同利用による研究

公募型共同利用による研究は、大学及び研究機関の教官または研究者が研究代表者となり、他の研究機関の研究者とともに、特定の研究課題について当該研究所の施設、設備、データ等を利用して共同で行う研究である。平成 25 年度は、次の 27 課題を実施した。

九州大学　応用力学研究所：一般研究

- 海洋大循環の力学　-- エクマン層から中深層循環まで（平成 25 年度）
- 大気エアロゾル同化システムとリモートセンシングデータを用いたエアロゾルに関する統合的研究（平成 25 年度）

京都大学　防災研究所：一般共同研究

- 高密度強震観測点の地盤増幅特性評価に基づく実時間強震動予測に関する研究（平成 24 年度～25 年度）

京都大学　生存圏研究所：MU レーダー共同利用

- LQ-7 からの直達波情報を利用した地表付近の水蒸気変動の推定（平成 25 年度）

京都大学　生存圏研究所：生存圏ミッション研究

- 精密衛星測位を用いた日本列島における水蒸気場の長期変動解析（平成 25 年度）
- ウィンドプロファイラ観測に基づく航空安全運航のための乱気流検出・予測技術の開発（平成 25 年度）

名古屋大学　太陽地球環境研究所：共同研究

- 日本北部における地上関測データによる GOSAT プロダクトの高度な検証（平成 25 年度）

東京大学　大気海洋研究所：観測船「白鳳丸」共同利用

- 中規模現象に伴う中央モード水の形成・輸送・散逸過程とその物質循環・生物過程への影響（１）（平成 25 年度～27 年度）
- 生態学・生物地球化学の全太平洋 3 次元マッピング（平成 25 年度～27 年度）
- 厳冬期黒潮続流域における大気海洋双方向作用の高分解能観測（平成 25 年度～27 年度）

東京大学　大気海洋研究所：特定共同研究

- 衛星データと数値モデルの複合利用による温室効果気体の解析（分担課題）CO_2 逆解析システムの高度化とその検証（平成 25 年度）
- 気候モデル及び観測データを用いた気候変動とその予測可能性の研究（分担課題）気候予測のためのモデル初期値化の研究（平成 25 年度）
- 世界海洋大循環モデルのパフォーマンスの相互比較（分担課題）AORI/気象研の世界海洋大循環モデルのパフォーマンスの相互比較（平成 25 年度）
- 陸域と大洋間における縁辺海の自然化学的な機能と人間活動への役割（平成 25 年度)

東京大学　地震研究所：特定共同研究
- 地震発生予測のための地震活動評価手法の基盤機構（平成 22 年度～25 年度）
- SAR を用いた地殻変動研究（平成 25 年度）

東京大学　地震研究所：一般共同研究
- 気象予測モデルと 3 次元噴煙ダイナミクスモデルを統合した火山灰輸送モデルの開発に関する研究（平成 25 年度）

千葉大学　環境リモートセンシング研究センター：プログラム研究
- 多波長マイクロ波放射計データを用いた水物質量リトリーバルの研究（平成 25 年度）

北海道大学　低温科学研究所：一般共同研究
- 積雪変質・アルベド過程モデル開発のための積雪物理量及び熱収支に関する観測的研究（平成 25 年度）
- 観測と数値モデルによる雪雲や雨雲の解析（平成 25 年度）
- 積雪重量計を用いた札幌における積雪推移の観測研究（平成 25 年度）

鳥取大学　乾燥地研究センター：一般研究
- 気象庁エーロゾル数値モデルによる全球ダスト分布の再現（平成 25 年度～26 年度）

統計数理研究所：一般研究 1
- 海洋データ同化システムに用いる誤差分散共分散行列の作成に関する研究（平成 25 年度）

国立極地研究所：一般共同研究
- リモートセンシング観測データを用いた極域の雲の動態解析（平成 25 年度）

国立環境研究所：GOSAT 2ndRA
- アンサンブルカルマンフィルタ（LETKF）による GOSAT データの 4 次元同化（平成 24 年度～29 年度）

海洋研究開発機構：観測船「みらい」共同利用
- 北極域における温室効果気体の循環とその気候応答の解明（平成 25 年度）

マリンバイオ共同推進機構（JAMBIO）：共同研究
- 沿岸生態系に対する海洋酸性化の影響評価（平成 25 年度）

科学研究費助成事業による研究

科学研究費助成事業（科研費）は、人文・社会科学から自然科学まであらゆる分野で、独創的・先駆的な研究を発展させることを目的として文部科学省、(独)日本学術振興会により制度化されている研究助成費であり、研究者が計画する学術研究に対して、ピア・レビュー（専門分野の近い複数の研究者による審査）が行われ、重要と認められた計画に助成される「競争的研究資金」である。

なお、科研費は個人としての研究者に交付されるものであるが、研究者が所属する研究機関が、科研費について管理・諸手続を研究者に代わって行うことと定められている。

【研究代表者として実施している研究課題】

新学術領域研究（計画研究）の公募研究

- 放射性物質の大気沈着・拡散過程および陸面相互作用の理解（平成 24 年度～28 年度）

新学術領域研究（公募研究）の公募研究

- 中緯度における台風や大気擾乱の予測可能性と海洋の相互作用に関する研究（平成 25 年度～26 年度）

基盤研究（Ｓ）

- 比較可能性がとれた海水中栄養塩濃度の全球分布及び総量に関する研究（平成 23 年度～25 年度）
- 北極域における積雪汚染及び雪氷微生物が急激な温暖化に及ぼす影響評価に関する研究（平成 23 年度～27 年度）

基盤研究（Ａ）

- 局地豪雨予測のための先端的データ同化と雲解像アンサンブル手法に関する研究（平成 21 年度～25 年度）
- 黄砂バイオエアロゾル及び人為起源のエアロゾルの雲核・氷晶核能に関する研究（平成 23 年度～25 年度）

基盤研究（Ｂ）

- 対流圏オゾンライダーを用いた日本域における対流圏オゾンに関する研究（平成 23 年度～25 年度）
- 津波減衰予測モデルの確立（平成 24 年度～27 年度）
- 放射性核種トレーサーのアンサンブルデータ同化と移流拡散沈着過程の高精度解析（平成 24 年度～27 年度）
- 豪雨の主要因となる海上での下層水蒸気の蓄積メカニズム解明（平成 25 年度～27 年度）
- 実時間地震動予測：実況値を反映させる手法の構築（平成 25 年度～28 年度）

基盤研究（Ｃ）

- 関東平野に突風をもたらすシビアストームの発生機構に関する研究（平成 23 年度～25 年度）
- 能動・受動型測器と数値モデルを複合利用したエアロゾルの大気境界層への影響解明（平成 24 年度～26 年度）
- 三次元雷放電店観測及び偏波レーダーによる高精度落雷発生予測手法の確立（平成 25 年度～27 年度）
- 巨大火山噴火が気候・生態系へ及ぼす影響：地球システムモデルによる解析（平成 25 年度～27 年度）

若手研究（B）

- 全球大気大循環・エアロゾル結合モデルの開発と黒色炭素粒子の気候影響評価（平成 23 年度～25 年度）
- 強い温帯低気圧発生の地球温暖化に伴う変化（平成 23 年度～25 年度）
- 東アジアを対象とした広域大気汚染物質排出量の長期間逆推定（平成 24 年度～25 年度）
- 高解像度日本近海モデルを用いた、沿岸・外洋間の海水交換に関する研究（平成 24 年度～26 年度）
- アジアモンスーンが成層圏－対流圏化学結合に果たす主導的役割の解明（平成 24 年度～26 年度）
- 準結合同化システムのブリーディング法による海洋観測システム評価研究（平成 24 年度～27 年度）
- ナノスケール特性の分析から挑む有機エアロゾルの地球気候への影響（平成 25 年度～26 年度）
- 高時空間分解能気象レーダを用いたマイクロバーストの観測的研究（平成 23 年度～25 年度）

挑戦的萌芽研究

- 大気微量成分の衛星観測を事前評価するシステムの構築（平成 24 年度～26 年度）

研究活動スタート支援

- 台風予測精度向上のための最適観測手法の構築（平成 24 年度～25 年度）

【研究分担者として実施している研究課題】

新学術領域研究

- 黒潮続流循環系の形成・変動のメカニズムと大気・海洋生態系への影響（平成 22 年度～26 年度）
- モンスーン・アジアにおける大気海洋雪氷系の鉛直結合変動（平成 22 年度～26 年度）
- 福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究 : 総括班（平成 24 年度～28 年度）
- 放射性降下物大気輸送モデリングと移行過程の理解（平成 24 年度～28 年度）
- 海洋生元素地理の高精度観測からの新海洋区系（平成 24 年度～28 年度）

基盤研究（S）

- 高時空間分解能レーダネットワークの実用化と展開（平成 22 年度～26 年度）
- アジアのエアロゾル・雲・降水システムの観測・モデルによる統合的研究（平成 23 年度～26 年度）
- 統合型水環境・水資源モデルによる世界の水接続可能性リスクアセスメント（平成 23 年度～26 年度）
- 成層圏 - 対流圏結合系における極端気象変動の現在・過去・未来（平成 24 年度～28 年度）
- 多波長ライダーと化学輸送モデルを統合したエアロゾル 5 次元同化に関する先導的研究（平成 25 年度～29 年度）

基盤研究（A）

- 硝酸の三酸素同位体組成を指標に解析する東アジア域の大気光化学過程の現状と変化（平成

23 年度～25 年度）
- 気候系に影響を及ぼす南大洋の二酸化炭素と揮発性有機分子に関する研究（平成 23 年度～25 年度）
- モンスーンアジアの降水強度の長期変化（平成 23 年度～25 年度）
- 沿岸域における海洋酸性化の進行の特徴と微細藻類への影響（平成 24 年度～27 年度）
- 南極海洋生態系センティネル研究－事前観測－（平成 24 年度～28 年度）
- 全球雲微物理特性解明のための次世代複合型アクティブセンサ解析システムの開発（平成 22 年度～25 年度）

基盤研究（B）
- 積乱雲内電荷構造の変動観測とモデル化（平成 22 年度～25 年度）
- 酸素安定同位体連続観測と群落多層モデルを用いた森林生態系の呼吸･光合成の分離評価（平成 24 年度～26 年度）
- 黒潮続流と中規模渦の変動に伴うモード水の十年規模変動（平成 25 年度～28 年度）

基盤研究（C）
- フィールド観測と風洞実験による里山の大気浄化機構の解明（平成 25 年度～27 年度）
- 震源近傍の水圧擾乱特性を考慮した津波即時予測の高度化（平成 25 年度～27 年度）
- 台風強度に関わる外的要因の診断のための数値的研究（平成 25 年度～27 年度）
- 地上降雪粒子観測を用いた雲解像モデルの降雪過程の改良に関する研究（平成 25 年度～27 年度）

挑戦的萌芽研究
- 海面上の水しぶきの画像計測による海上竜巻の風速・強度推定（平成 22 年度～23 年度）
- 海洋で不規則な渦から秩序ある平均流が発生してくる仕組みの包括的研究（平成 23 年度～25 年度）

2.2. 研究年次報告

本節には、気象研究所が平成 25 年度に実施した研究課題について、課題毎に当該年度の研究計画と研究成果等を掲載した。ただし、平成 25 年度に終了した研究課題（30 課題）については、2.3 節で研究期間全体について報告するので、本節には掲載していない。

２．２．１．重点研究

・ 全球大気データ同化の高度化に関する研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 24
・ 地殻変動観測による火山活動評価と噴火シナリオの高度化に関する研究 ・・・・・・・・・ 31
・ 海溝沿い巨大地震の地震像の即時的把握に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 35

２．２．２．地方共同研究

・ 集中豪雨・大雨発生の必要条件の妥当性の確認と十分条件の抽出・・・・・・・・・・・・・ 37
・ 地域に密着した詳細な気候変動予測情報提供に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・ 39

全球大気データ同化の高度化に関する研究

研 究 年 次：3 年目／5 年計画（平成 23 年度～平成 27 年度）
研究代表者：青梨和正（台風研究部第一研究室長）

研究の目的

近年、衛星観測データは、その種類・量とも急激に増加している。そのため海外の数値予報センターでは研究機関や衛星データ作成機関と密接に連携して開発体制を大幅に拡充している。一方、気象庁においては、全球大気データ同化はこれまで専ら予報部数値予報課で開発が行われ、気象研究所は関与してこなかった。現状では欧米の数値予報センターに比べて、利用している衛星データの種類・量の面で大きく差をつけられていると同時に、様々な新しい観測データを同化するために必要なデータ同化手法自体の高度化も遅れている。

そこで、気象研究所においても数値予報課と連携しながら、数値予報課の全球大気データ同化システムを導入し、台風研究部と気象衛星・観測システム研究部が協力して全球大気データ同化の高度化に関する研究を実施する。研究実施に際しては、数値予報課の開発計画と調整しながら、効率的に進める。これにより、現業数値解析予報において、熱帯気象をはじめとする全球的な環境場の解析精度の向上と、台風予報を含む全球的な予報成績の向上に大きく寄与することができる。

研究の成果の到達目標

（全体の到達目標）

本研究は、現業数値予報の全球大気データ同化システムの改善を目的とする研究課題であり、できるだけ多くの研究成果を現業数値予報システムに業務化して解析・予報精度の向上に寄与することを目標とする。予報精度向上のみならず全球の環境場の精度向上、特に熱帯域の環境場・台風域の解析精度向上に寄与し、気候解析への応用も期待される。

（副課題ごとの到達目標）

副課題１　データ同化手法の高度化に関する研究

- 観測誤差共分散行列・予報誤差共分散行列を最適化することにより、観測データの分布状況や精度に対応したデータ同化を行う。
- ４次元変分法で、より多くのデータを同時に同化するためのデータ同化ウインドウの拡張と、モデルの誤差を考慮した方法（弱い拘束条件）により、精度を向上させる。
- 観測誤差相関を適切に考慮して、既存の観測データの持つ多くの情報を有効に利用する。また、解析精度を向上させるための観測データの利用方法を改善する。
- 雲域・降水域及び陸域の輝度温度データの直接同化に必要な同化システムの拡張を行う。
- 特別観測データや台風ボーガスデータを利用して、そのインパクト試験や感度解析を行い、熱帯擾乱を精度良く解析して予報精度を向上させる。

副課題２　衛星データ同化技術の高度化に関する研究

- 数千チャンネルあるハイパースペクトル赤外サウンダの放射輝度温度の情報を損なわずに効率的に同化するため、主成分分析を用いた同化手法を開発する。
- 現在の現業システムで同化している衛星の放射輝度温度データは、海上の晴天域に存在するデータのみであるため、モデルに与える情報として不十分であり偏りもある。雲域・降水域及び陸域に存在する輝度温度データを同化して、バランスの良い環境場を解析して予報初期値の精度を向上させる。
- 衛星搭載のアクティブセンサー（雲レーダー・降水レーダー）によるデータの同化技術の開発により、海洋上の積雲対流域や強雨域などを正確に把握する。
- 衛星打ち上げ前の模擬データを使用した観測データ同化シミュレーション実験（OSSE:Observing System Simulation Experiment）により、衛星打ち上げ後の速やかな利用を可能とすることを目指す。具体的には、宇宙航空研究開発機構（JAXA）が打ち上げ予定の EarthCARE 衛星や GPM 衛星等を対象とする。

進捗状況

副課題１　データ同化手法の高度化に関する研究

①　データ同化手法の高度化

誤差共分散行列の最適化研究として、3 つのアプローチで研究を進めている、1 つ目は、予報誤差の誤差共分散行列に対する感度解析結果に基づく最適化であり、4 次元変分法全体の随伴演算子を含むスキームを構築し、サイクル試験等を行った。2 つ目は、アンサンブルによる背景誤差共分散行列の表現を行うアンサンブルカルマンフィルタの研究であり、気象庁数値予報課で開発中の局所変換アンサンブルカルマンフィルタ（LETKF）の気象研究所計算機への移植とそれによる研究、及び、より一般的なアンサンブルカルマンスムーザによる同化システムの構築とそれによる研究を行った。3 つ目は、4 次元変分法の同化窓の延長であり、同化窓を現行の 6 時間から 27 時間に延長したシステムを構築して研究を進めた。また、接線形性やモデル誤差を考慮するために、弱拘束複数のサブウィンドウについての研究を開始した。

雲や降水の情報を持った非線形性の強い観測データの同化や背景誤差共分散行列の適切な時間発展のために、基本場更新を 4 次元変分法に導入し、サイクル試験等を行った。

数値予報モデルのバイアスを同化システムで取り扱うために、変分法バイアス補正を拡張したモデルバイアス補正スキームを構築した。

②　観測情報の利用拡充のための研究

観測データの解析場や予報場への線形インパクト評価研究を行った。従来の随伴演算子による手法の他に、前方演算子で計算する新しい手法を構築し評価を行った。

同化システムの解析誤差の推定として、物理法則や観測データとの整合性に課題がある従来の手法を同化理論に基づいて発展させた新しい手法を構築した。

観測システムシミュレーション実験（OSSE: Observing System Simulation Experiment）の手法として知られている 3 つの手法（NR-OSSE, EnDA-OSSE, SOSE-OSSE）を構築し、これらの比較研究を開始した。

水物質に関する情報をもつ非晴天域輝度温度データなどの直接同化に必要な同化システムの拡張、それによる実験を実施。

観測誤差相関をもった観測の同化システムでの取り扱いとして、感度解析に基づいた誤差共分散散行列の最適化スキームによって、予報精度を維持するように観測誤差膨張係数を自動調整する研究を開始した。

③　特別観測データのインパクト試験による性能評価

THORPEX Interactive Grand Global Ensemble (TIGGE)や Year of Tropical Convection (YOTC)のデータを利用して、気象庁全球モデルによる台風進路予報の誤差を解析した。

数値予報課と連携して、TIGGE や YOTC データから疑似観測データを作成して全球 4 次元変分法で同化できるシステムを開発し、気象研究所 NAPEX で実験できる環境を構築した。

気象庁全球モデルによる台風進路予報の誤差解析の結果、北西進する台風に対して北上バイアスがあることが確認された。単純モデル、気象庁非静力学モデルを用いて、力学的、熱力学的観点から北上バイアスの原因を調査した。

台風の初期位置を精度よく解析する手法として、台風位置ずれ補正スキームを開発した。

YOTC の特別観測によるドロップゾンデデータを用いて観測システム実験を行った。

地球観測衛星によって実際に観測された放射輝度温度を用いて、アンサンブル予測で表現される台風の検証を行った。

副課題２　衛星データ同化技術の高度化に関する研究

①　高度な衛星データ同化手法の開発

ハイパースペクトル赤外サウンダの放射輝度温度を効率的に同化するため、輝度温度の主成分を用いた同化手法を開発した。開発した手法を、気象庁全球数値予報システムに組み込んで同化実験を行い、従前の観測チャンネルでの同化手法と比較した。主成分を同化することで効率的な同化が可能であることを確認した。他センサーとの共存でより適切にハイパーサウンダデータを同化するために、最適な観測誤差推定に関する実験を行った。予報誤差低減の解析への感度や観測誤差感度を利用する複数の方法で実験を行い、現業システムとの比較を行った。

②　雲域・降水域及び陸域での放射輝度温度同化技術の開発

赤外サウンダの雲域での輝度温度を同化する手法として、1DVAR を開発した。この 1DVAR で、雲域の判定および雲の上に対する温度・水蒸気のリトリーバル実験を実施した。その結果か

ら、雲域における赤外サウンダデータの利用手法や、期待できる効果について検討を行なった。また、気象研開発の赤外サウンダ用高速放射モデル（MITRAN）を利用して、現業で使われている放射モデル RTTOV(v10.2) RTTOV の改良が可能性を検討した。

静止衛星搭載の赤外イメージャの雲域での輝度温度同化手法で、厚い単層雲域同化を、MTSAT や他衛星の利用に向けた開発・研究を行うとともに、現業的なデータ作成・取得を本庁・衛星センターに協力しながら行なった。また、より一般的な雲（多層雲、薄い雲）を対象とした輝度温度同化を行うために、モデルの再現性や誤差特性の調査を行った。

マイクロ波センサーの雲域・降水域及び陸域での輝度温度を同化するため、海上や陸上の降水域でのマイクロ波放射計データの前方計算値が、観測値からバイアスを持つ問題を研究した。この成果に基づき、マイクロ波放射計データの降水域における前方計算値のバイアス補正法を開発した。

③　アクティブセンサーによるデータの同化技術の開発

衛星搭載風ライダーの OSSE を実施するため、副課題１の②で構築された SOSE-OSSE を用いた環境の構築を行った。環境応用部に依頼して真値代替場と整合したエアロゾル場を作成し、情報通信機構（NICT）と協力して衛星搭載風ライダーの疑似風データを作成した。

アンサンブル同化システム（EnVA）環境で、Joint-simulator などの衛星シミュレーターを実施できるようにした。さらに衛星搭載降水レーダーについて、観測値・モデルシミュレーション値を観測空間で比較した。

これまで得られた成果の概要

（全体）

以下に述べる２つの副課題に沿って研究を推進した。全体として当初の目標に沿った研究を遂行し、一部に遅れは見られるものの概ね期待した成果が得られた。

（副課題ごと）

副課題１　データ同化手法の高度化に関する研究

①　データ同化手法の高度化

誤差共分散行列の最適化の研究として、誤差共分散行列が予報誤差に与える影響を夏冬１か月ずつの期間で評価した。評価結果に基づいて誤差の最適化を行ったシステムで、数事例について解析、予報試験を実施し、実際に予報精度が向上することを確認した。また、感度解析を利用した最適化スキームによる背景及び観測誤差分散について、“静的な最適化“と”動的な最適化“の 2 つの解析、予報サイクル試験を実施し、前者ではサイクルの進行とともに予報精度が劣化する傾向が見られること、後者は前者に比べて劣化の進行が抑制されることがわかった。

数値予報モデルのバイアスを同化システムで取り扱うために、変分法バイアス補正に類似したモデルバイアス補正スキームを開発し、降水フラックス、モデルの各物理過程の加湿、加熱率を説明変数として試験した。降水フラックスを説明変数とすることで、定性的に妥当なバイアス補正の鉛直プロファイルが得られることがわかった。

非線形性の強い観測データや物理過程を同化システムで取り扱うために、基本場更新スキームを導入し、サイクル試験を実施し精度評価を行った。解析、予報精度は、観測データを真とした検証では改善、解析場を真とした検証では予報初期や熱帯で改悪という結果を得た。また、予報初期期間における対初期値検証の妥当性は、線形誤差成長の仮定とモデルバイアスの影響の大きさに依存するため、ゾンデだけでなく、輝度温度観測を真とする検証も行い、整合的な評価を行った。

背景誤差の改善とより多くの観測データを同化するために、27 時間の同化窓のシステム（現システムは 6 時間）を構築し、計算負荷、収束性について初期評価を行った。同化窓を未来方向に拡張した場合について、サイクル実験を実施し、解析、予報精度が顕著に向上することがわかった。この結果は、同化窓拡張による観測情報の増加が接線形仮定の劣化に比べて十分大きく、このようなシステムではモデル誤差を考慮しなくても、解析や予報の精度が向上することを示している。この結果は、再解析や OSSE の真値代替場として応用研究につながるものである。また、弱拘束について見通しの良い解析解を導出した。

同化窓延長について、接線形性の維持やモデル誤差の考慮のために、同化窓を複数のサブウィンドウに分割する手法について、見通しの良い解析解を導出した。

アンサンブル予報から流れに依存した背景誤差情報を作成し利用する同化システムの構築を開始。前段として 4 次元変分法の最小値探査方向を粒子として解析インクメントが再現されること、この粒子によって張られる部分空間は非常に小さいことから、観測情報がその構成には必須であることがわかった。

粒子近似による同化手法の研究について、一般的な形のアンサンブル・カルマンスムーザを構築した。十分に並列化したコーディングを行うことで、Tl319 解像度での計算が 8node でも 25 分程度で実行可能である。また、変分法バイアス補正についても実装している。初期試験として、4DVAR とのインクリメント構造、評価関数のコストの比較、単発の解析、予報実験による精度比較を行った。予報精度では 2 日目以降、南半球を中心に精度向上が見られた。鉛直方向の局所化スキームとして、衛星輝度温度等、非局所的な観測のためのスキームを定式化した。

気象研究所が保有する計算機システムに対して，全球アンサンブル同化システム(EnsNapex)と全球アンサンブル同化システム(GSM-LETKF)の移植を完了した。移植したシステムを用いて、週間アンサンブル計算ルーチンの長期積分を行いアンサンブルスプレッドや相互相関係数についての解析を行った。また、全球アンサンブル同化システムと現業で使われている全球変分法同化システム(Napex)の同化および予報結果を相互比較し、台風予報に与える影響などの調査を行った。

② 観測情報の利用拡充のための研究

解析誤差の推定について、予報誤差の情報をデータ同化理論に基づいて同化する手法を開発してサイクル試験を実施し、観測データや背景場とも整合し、かつ予報誤差を小さくする場が構築されることを示した。

OSSE (Observing System Simulation Experiment)研究については、SOSE (Sensitivity Observing System Experiment)と EnDA (Ensemble Data Assimilation)による OSSE システムを構築し、ゾンデ、輝度温度データの OSSE を実施した。また、TRMM 衛星や極軌道衛星軌道で視線風の鉛直プロファイルを観測した場合等の仮想観測データについて解析、予報精度へのインパクトを評価した。SOSE によって生成した真値代替場は、風ライダーの OSSE（副課題 2 参照）へも提供している。また、ネイチャーラン(Nature Run)を使った OSSE(NR-OSSE)についても、実験システムを構築し、NR と疑似観測の生成を行った。

降水域の輝度温度データの直接同化のために、雲凝結物質を制御変数に加えた同化システムについて、降水フラックスを放射計算で考慮するように拡張した。また、雲凝結物質の背景誤差共分散行列を粒子近似で表現した場合のインクリメント構造を解析した。

各観測データの予報精度への寄与を、夏冬一カ月ずつの期間について、4D-Var 自体の随伴演算子を用いる手法で評価した。この結果、期間平均では概ねすべての観測データ種別が予報精度改善に寄与していること、15 時間と 27 時間予報に対する寄与は類似していること、寄与の確率的な振る舞い、海外数値予報センターと比較すると衛星観測の利用に課題があること、などがわかった。同手法のモジュールや導入手順を説明したイントラページを作成し、気象研究所、数値予報課の開発者に公開した。また、評価結果に基づいて同化するデータを再選択することで、実際に解析、予報精度が向上することをサイクル試験で確認した。これは真値代替場の生成やデータ同化システムの確率的振る舞い等の研究に発展するものである。また、副課題 2 で進められている主成分による赤外超多チャンネルセンサについても評価できるように拡張した。

観測データが解析場や予報場に与える寄与を直接計算する新しい手法を構築した。また、上記の随伴演算子に基づく手法の精度評価や、大気基準振動の各モードへの寄与を評価できるように同手法を拡張した。

観測誤差相関の同化システムでの取り扱いについては、間引き、観測誤差膨張、相関の顕わな考慮の 3 つの手法があるが、観測誤差膨張について、感度解析に基づいた誤差共分散散行列の最適化スキームによって、予報精度を維持するように観測誤差膨張係数が調整できることがわかった。

③ 特別観測データのインパクト試験による性能評価

TIGGE データを用いて台風の進路予測精度の国際比較を行った。2008 年から 2010 年に発生した台風を対象として検証したところ、気象庁とヨーロッパ中期予報センターとの間に、5 日予測においてリードタイムにして 1 日程度の差があることが分かった。台風進路予報誤差の原因を、初期場と数値モデルとに切り分ける試みとして、全球大気データ同化システムを用いて、ECMWF の初期値から予報実験を行った。その結果、初期値を ECMWF の初期値に交換するこ

とで進路予測誤差が大きく減少する事例があった。そのような事例では、水平解像度が T42 程度の総観規模擾乱の表現が重要であることが分かった。これらの知見は、台風進路予報向上のための高度なデータ同化システム構築に向けて重要な情報となると考えられる。

台風進路予測における北上バイアスに関して、力学的な観点からは南北方向に傾斜した渦が台風渦の北上に寄与することが分かった。熱力学的な観点からは、台風のコア領域ではない、渦中心から３００ｋｍ程度離れた非軸対称な熱源が台風渦の北上に寄与することが分かった。特に北上バイアスが顕著であった 2009 年の台風第１７号(PARMA)を対象に、気象庁非静力学モデルを用いて実験を行った結果、水平解像度 10km の実験では、北上バイアスが見られなかったが、降水が台風中心付近に偏り過ぎるという問題点が見つかった。水平解像度 2km の実験では、計算機資源の関係から十分な予報時間を確保できなかったが、降水の分布は TRMM/PR と対応が良かった。これらの知見は、北上バイアスの改善に寄与するものである。

第一推定値の台風中心位置が観測位置とずれている場合、ボーガスデータや特別観測データを同化することで第一推定値の持つ台風の非対称構造が壊れ、進路予報が悪化する事例がある。この問題を解決するために、気象庁全球モデルで採用されているリデュースドガウス格子に対応した波格子、格子波変換ツールを使用して、位置ずれ補正スキームを作成した。この位置ずれ補正スキームを使って、2009 年 8 月～11 月の 4 か月間の予報実験を行った。モデル面で位置ずれ補正を行うため、台風の近くに地形がある場合は地形の位置もずらしてしまう。そこで Hsiao et al. (2010, JAS) を参考に、台風中心から約 500km 以内に 500m より高い地形がある場合は台風位置ずれ補正スキームを適応しない。予報実験の結果、5 日予報で進路予報誤差が 4%程度減少することが分かった。

2010 年に太平洋で行われた台風特別観測、ITOP のドロップゾンデ観測データと全球大気データ同化システムを用い、観測データの台風進路予報へのインパクトを調査した。実験の結果、ドロップゾンデ観測の台風進路予報へのインパクトは小さかった。解析の結果、ドロップゾンデ観測は台風中心付近で行われており、台風進路予報に重要な台風周辺の環境場の改善が得られなったことが分かった。データ同化における観測データの高度利用という観点からは、データ同化に使用するモデルの水平解像度に応じて同化される観測データの量が大きくことなることが分かった。今回のように台風中心付近の観測を活かすためにはメソモデル等水平スケールの細かいモデルでデータ同化することが重要であろう。

副課題２　衛星データ同化技術の高度化に関する研究

①　高度な衛星データ同化手法の開発

AIRS データを対象に開発を行った。一次元変分法によるシミュレーションの結果を踏まえ実際の観測データでも効率的なデータ同化の可能であることが確認できた。ただし、バイアス除去等品質管理が必要で、現業同化システムでの効果を確認するための作業を行っている。

実際の AIRS 観測データを使ってリトリーバルを行い、中上層気温に感度のあるチャンネルを対象とした主成分解析を利用することで、リトリーバル精度の劣化を抑制しながら少ないチャンネル数でリトリーバル可能であることがわかった。観測データを使った 1DVAR の結果を踏まえて、現業システムに準ずる解析予報システムに基づいて、実際の観測データを使った全球 4DVAR 実験を行った。主成分を利用することで少ないチャンネル数で効率的なデータ同化が可能であることは分かったが、十分な解析精度は得られず、予報精度改善への効果も不十分だった。原因のひとつとして考えられるのが各チャンネルの誤差の設定で、予報誤差への寄与や感度などを利用した適切な誤差の設定手法について検討している。

②　雲域・降水域及び陸域での放射輝度温度同化技術の開発

気象研究所で独自に開発した AIRS/IASI 赤外サウンダ解析用高速放射モデル（MITRAN）について、最新の吸収線データベースに対応するバージョンアップを行い、またモデル大気層の 100 層化およびオゾン・水蒸気以外の主要大気分子の吸収線についての前方計算を可能とする改良・整備を実施した。全球同化システムの解析値を初期値とし、MITRAN を用いた晴天海域に対する冬季 40 日間の全球温度・水蒸気プロファイルについての 1DVAR 解析を行なった。

この晴天海域の 1DVAR リトリーバル結果を利用し、雲域の判定および雲の上に対する温度・水蒸気のリトリーバル実験を実施した。気象研全球同化システムによる 2008 年 12 月－2009 年 2 月の 50 日間の解析値と赤外サウンダ AIRS の輝度温度データを用いた温度・水蒸気プロファイルについて全球 1DVAR 解析を実施した。解析する気圧高度を 600hPa より上空に限定するア

ルゴリズムを組み込むことで、陸域および下層雲域の解析が可能となり、解析対象地域は晴天海域のみの場合の約４倍になることがわかった。さらにこの結果を利用して、一部地域に対する詳細な AIRS データ解析を実施した。解析高度範囲を限定することで AIRS データ本来の空間分解能を生かしたリトリーバルが可能となり、これまで衛星観測からでは明瞭でなかった氷雲周辺や鉛直方向の詳細な水蒸気分布や氷過飽和度などの推定が可能であることがわかった。

静止衛星搭載の赤外イメージャの雲域での輝度温度同化手法を開発し、同化実験を行った。雲量８割以上の中上層雲データを選択することにより、小さいながらも予報を改善することを確認した。当初は赤外窓チャンネル（IR1）だけを同化してきたが、水蒸気チャンネル（IR3）を追加した。これにより水蒸気をトレーサーとして利用することにより風情報を取り出すことが期待できる。しかしIR1とIR3は雲の射出率が異なるため、新たにバイアス補正処理などが必要となり、適切な説明変数の検討を行っている。また将来の現業利用に向けて、MTSAT の全天候輝度温度プロダクト（ASR）の開発を気象衛星センターに、Meteosat の ASR データの現業的な取得・デコードを数値予報課に依頼し、必要な情報交換を行っている。より一般的な雲に対しては、モデルの再現性や同化システム対応可能性について、基礎調査を行っている。ECMWF の数値予報システムを用いて詳細に調査した結果、海上では全データの 85%が、観測値とモデル計算値とのズレ（O-B の絶対値）が 10K 以内に納まること、O-B の標準偏差は雲の影響に応じて増大すること、O-B の頻度分布はこの雲に応じた標準偏差で規格化することによって、ガウス分布に極めて近くなることを示した。そして雲の影響を表すパラメータを新たに開発し、これを用いて O-B 標準偏差を推定するテーブルを作成することにより、適切な観測誤差の設定や品質管理へ応用できることを示した。その他、線形推定理論を用いていくつかの典型的な大気分布において雲域輝度温度データがどのような情報量をもつかを推定したり、実際の ECMWF の同化システムにハイパーサウンダデータを１点だけ同化しシステムの応答（O-B の正負によって雲が正しく増減するか）を調べた。

降水域のマイクロ波放射計輝度温度の同化のため、放射伝達モデルの対流性の雨の粒径分布を変えてマイクロ波放射計輝度温度を計算する前方計算実験を行なった。具体的には、雨についての Z-R 関係の係数 a を変更した。また、この前方計算の結果の Look-Up Table (LUT)を使って 1998 年の TRMM Microwave Imager (TMI)の 37 GHz の TB depression から降水強度を推定した(Rain37)。この降水の推定値を PR と比較することで、Z-R 関係の係数 a の「最適値」を探索した。この結果、Rain37 が、陸上では 10 mm/h 以下の降水で約 50 %、10 - 20 mm/h で 30-40% 程度変わることがわかった。平均的にみると陸上の Rain37 が PR に近くなる a の「最適値」は、90-110 程度であった。但し、固体降水の厚さや、降水のタイプによる Rain37 対 PR の変動がみられた。

マイクロ波放射計データの前方計算値のバイアスについて調査するため、TRMM 衛星のマイクロ波放射計とレーダデータと前方計算の輝度温度対降水強度の対応を比較した。その結果、海上では、各チャンネルで上記観測値と前方計算値の間にバイアスがみられたこと、各チャンネル間でバイアスに相関があること、37GHZ のバイアスを使って 19GHz 等のバイアスを補正すると、降水強度のリトリーバル値の弱い降水の過大評価が緩和されることがわかった。陸上では、地上気温の高い（低い）領域で非降水域の輝度温度が前方計算で過小（過大）評価されることがわかった。次に、海上や陸上でのマイクロ波放射計の輝度温度を指標として、マイクロ波放射計データの前方計算値のバイアスを解析した。このマイクロ波放射計の輝度温度を使ったバイアスの補正法を開発し、マイクロ波放射計データからの降水リトリーバルアルゴリズムに導入した。

③　アクティブセンサーによるデータの同化技術の開発

気象研究所に導入した計算機に衛星シミュレーターを導入した。メソ気象モデルの計算結果（水平解像度 2km）に対し、衛星シミュレーターを使って輝度温度、レーダー反射因子、後方散乱係数などを計算し、既存の衛星観測との比較を行った。

TRMM 衛星搭載の降水レーダーPR に対して、気象庁非静力学モデル（5km）結果から衛星シミュレーターを用いて計算したレーダー反射因子と、観測反射因子を比較した。氷粒子からの寄与が大きすぎるという先行結果を裏付ける結果が得られ、これはモデルが過剰に氷粒子を生成しすぎていることを示している。また水粒子による反射因子は、モデル・観測とも降水を予測している領域では、観測とモデル計算値との差がガウス分布を示しており、これは有効に同化できる可能性があることを示唆している。

実装が比較的容易な衛星搭載ドップラー風ライダー（DWL）を対象として、OSSE のシステ

ム構築、評価方法の確立、衛星機関や同化関連機関との連携強化を行っている。副課題１②のSOSE から作成した風や気圧の真値代替場から、情報通信機構（NICT）のライダーシミュレータを用いて、視線方向（LOS）の風を算出した。LOS 風に対する品質管理や観測誤差設定を行う解析前処理を作成し、4 次元変分法で LOS 風を同化するように拡張した。衛星 1 軌道分の LOS 風を同化したところ、概ね真値代替場に近づく結果が得られた。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

副課題１　データ同化手法の高度化に関する研究

①　データ同化手法の高度化

近年のアンサンブルを用いたデータ同化手法の発展状況を鑑み、４次元変分法に加え、アンサンブルカルマンフィルタを用いた全球同化システムを用いた研究計画を追加した。本年度および来年度は同化システムの気象研への移植、基礎研究を行う。全球アンサンブル同化システムを用いることにより、副課題１「同化システムの高度化に関する研究」および、副課題２の「衛星打ち上げ前の模擬データを使用した観測データ同化シミュレーション実験」への貢献が期待できる。また、変分法とアンサンブルを組み合わせた次世代の同化システムの構築を視野に入れた基礎的な研究を目指す。

成果の他の研究への波及状況

副課題１　データ同化手法の高度化に関する研究

①　データ同化手法の高度化

本研究計画のために本庁数値予報課から研究所に移植した「全球大気データ同化実験システム」（MRI-NAPEX）は、本課題以外にも全球モデルの放射過程の改良に向けた研究（気候研究部）等でも利用されている。

②　観測情報の利用拡充のための研究

観測データインパクトの評価結果は、国際風ワークショップ、将来の観測網構築検討、THORPEX 関連の会議での気象庁から発表資料としても提供した。また、数値予報課のシステムでも動作確認されている。

③　特別観測データのインパクト試験による性能評価

台風の初期場の不確実性の調査、さらにその改善点を調査することは世界気象機関及び気象庁が推進する THORPEX 研究に資するものである。また、これらの研究成果は「台風強度に影響する外的要因に関する研究」における最適観測に関する研究にも貢献する。

副課題２　衛星データ同化技術の高度化に関する研究

②　雲域・降水域及び陸域での放射輝度温度同化技術の開発

雲降水域での衛星利用は、数値予報課においても重要課題となっているものの、開発要員の不足によりまだ手がつけられていない。気象研において研究・開発したシステム・情報は、数値予報課での開発・現業化に大いに貢献する。

赤外サウンダの放射計算コードの独自開発を継続して行うことにより、最新の知見や技術を取り入れた研究ができるようになり、また現業利用されている放射コード（RTTOV）の検証や問題点の抽出が可能になる。

③　アクティブセンサーによるデータの同化技術の開発

衛星搭センサーを対象とした OSSE は、JAXA や NICT などの衛星・センサー開発機関が計画している衛星プロジェクトを評価するための重要な判断材料を提供することが可能である。そのため衛星搭載風ライダーは、JAXA・NICT と共同研究を結び、同化・センサシミュレータ・衛星運用情報をお互いに交換しながら、OSSE を実施している。

今後の研究の進め方

本研究課題は、今年度をもって終了する。

H26 年度から開始される気象研究所次期中期計画の「台風の進路予報・強度解析の精度向上に資する研究」サブ課題１：全球及び非静力領域モデルを用いた台風進路予報の精度向上に関する研究の一部として引き継がれる予定である。

地殻変動観測による火山活動評価と噴火シナリオの高度化に関する研究

研 究 年 次：3 年目／5 年計画（平成 23 年度～平成 27 年度）
研究代表者：山本哲也（地震火山研究部第三研究室長）

研究の目的

気象庁の噴火予警報業務に資するために、地殻変動観測による火山活動評価手法および噴火シナリオの高度化を図る。

研究の成果の到達目標

（全体の到達目標）

全国の主な火山を対象に、地殻変動のモデル化によりマグマ等の蓄積状態を把握する。そして、地殻変動による火山監視手法及び定量的な評価手法を開発し、地殻変動データの時間的推移も含めたシナリオを作成する等、既存の噴火シナリオの高度化を行う。

（副課題ごとの到達目標）

副課題１　活動的火山の地殻変動モデリングに関する研究

伊豆大島については、次のような観測・研究により、マグマ蓄積・移動の検出と地殻変動源モデルの高精度化を図り、マグマ供給系の詳細を解明する。

- 既に強化した GPS、光波測距観測等の稠密地殻変動観測網による圧力源の推定を行い、長期的な地殻変動をもたらす圧力源の位置・膨張量のより詳細な推定を行う。
- 高分解能の歪及び傾斜観測データを用いて、膨張期・収縮期の圧力源の位置、特に深さの時間変化を検出する。
- GPS による地殻の上下変動観測データと精密重力観測データを合わせ、マグマ上昇に伴う地下の質量変化を検出する。

伊豆大島以外の火山についても、既存の観測網データの活用や干渉 SAR による地殻変動解析によって地殻変動源の位置や膨張量の推定を行う。

副課題２　噴火シナリオに関する研究

内外の活動的火山における地球物理学的な観測研究等の整理結果をもとに、異常未経験火山も含め、噴火シナリオの定量化を図る。そのうえで、現在の観測網の検知力の検証や監視評価手法等の開発を行う。

そのうち、特に、地殻変動に関しては、火山活動が活発化していくなかで想定される地殻変動を計算してシナリオの定量化を行うとともに、地殻変動データから圧力源の時空間変化をリアルタイムで監視・評価する手法を開発する。

進捗状況

伊豆大島、霧島山などを対象火山として地殻変動データから地下の圧力源をモデル化することでマグマ等の蓄積状態の推定を行った。伊豆大島については、体積ひずみ計の 1980 年代からのデータを再解析し、1 年程度の短期的な収縮・膨張の振幅が 1986 年噴火時には大きかったことを明らかにし、この地殻変動が火山監視における新たな着目点もしくは定量的な活動評価手法となりうることを示した。噴火にむけて発生するこのような現象について記述を加えることで既存の噴火シナリオの高度化を行う。

副課題１　活動的火山の地殻変動モデリングに関する研究

伊豆大島の観測・研究として、本計画の重点的な観測項目と位置づけられるボアホール式多成分ひずみ計による観測を伊豆大島南西部おいて開始した。現在順調にデータ蓄積をしており、今後、高感度・高分解能の地殻変動観測からマグマ供給系の詳細の解明、ひいては火山監視への活用が期待できる。

また、GPS、光波測距による稠密地殻変動観測を引き続き実施し、火山体の長期的膨張や短期的な収縮・膨張イベントについて、球状圧力源を仮定してその位置、膨張量の詳細な推定を行った。その結果、長期的な変動では南北方向よりも東西方向の膨張が卓越する傾向があることが明らかになった。球状圧力源のみでは、観測されている地殻変動が説明しきれないことから、ダイクを組み合わせて地

殻変動源モデルの検討を行った。また、山頂部で観測された隆起量が球状圧力源から期待されるものよりも小さいため、有限要素法を用いて縦長の回転楕円体型の圧力源についての検討を行った。観測された地殻変動をより詳細に説明できる圧力源モデルを構築することと、それによって推定されるマグマ供給系の解明を進めることは引き続き取り組むべき課題となっている。

高分解能なひずみ、傾斜変化を用いた地殻変動解析については、既存の体積ひずみ計について周期3年以下の変動の抽出を行い、GPSなどで観測されている短期的な収縮・膨張イベントが捉えられていることを示し、体積ひずみ計のデータがこの周期帯の現象監視に活用できることを明らかにした。ひずみや傾斜を用いた各短期的イベントについての圧力源の位置や深さの推定を今後進める（H25年度見込）。

マグマ上昇に伴う地下の質量変化の検出を目指して、繰り返し重力観測を各年1回ずつ実施しており、観測データの蓄積を進めた。

伊豆大島以外の火山では、GPS観測データを用いて、霧島山について地殻変動源の解析を行い、浅間山では静穏期の地殻変動を明らかにした。また、衛星SARのデータを用いて、霧島山や伊豆大島をはじめ全国の活火山、アフリカのニヤムラギラ火山、アイスランドのエイヤフィヤトル火山についてSAR干渉解析を行い、地殻変動源の位置や膨張量の推定を行った。

副課題２　噴火シナリオに関する研究

活動的火山における地球物理学的な観測研究等の整理を、伊豆大島を対象として行い、特に体積ひずみ計のデータを1980年代まで遡って再解析した。その結果、1年程度の短期的な収縮・膨張イベントが1986年噴火の時期にも発生していたこと、その振幅が1990年代には小さかったがその後次第に大きくなったこと、近年観測されている振幅よりも1986年噴火時の振幅はさらに大きかったことを明らかにした。これは、このような地殻変動が火山監視の新たな着目点もしくは定量的な活動評価手法となりうることを示している。また、振幅に着目することで噴火シナリオにおける地殻変動の定量化に活用できる。

ひずみ観測の検知力の検証を進めるために、伊豆大島の1986年噴火時の体積ひずみのデータとマグマの噴出量の関係を評価する（H25年度見込）。

地殻変動データから圧力源の時空間変化をリアルタイムで監視・評価する手法の開発として、従来から開発を進めてきた火山用地殻活動解析支援ソフトウェア（MaGCAP-V）の機能強化を行い、リアルタイム監視に有効と考えられるひずみの解析機能を付加した。また、これを活用して噴火シナリオの定量化を進めるために、火山活動が活発化していく中で想定される地殻変動の計算として、ひずみの時空間変化の推定を行う（H25年度見込）。

異常未経験火山に対して既存の噴火シナリオをいかに活用するかについては、新たに課題が明らかになった。2011年霧島山新燃岳噴火の際には、1年ほど前から地殻変動観測によってマグマが蓄積していることは捉えられていたものの、直前に噴火が迫っていることを示すような観測データが地殻変動観測も含めて得られなかった。これは、有珠山や伊豆東部火山群のように噴火に先行した地殻変動が明瞭に生じる火山とは異なった噴火シナリオを想定する必要のあることを示している。このような差異は火道が開放的か閉鎖的かに依存すると推測される。類型的な火山ごとに地殻変動の推移を想定する必要のあることが強く認識された。

これまで得られた成果の概要

伊豆大島で行っているGPSや光波測距、体積ひずみ計データを中心とした観測結果から、全島的な地殻変動を詳細に捉え、長期的な膨張及び短期的な収縮・膨張イベントについて変動源の推定を行った。また、霧島山や樽前山においてもGPSや傾斜計などの地殻変動データから、各々変動源について詳細な考察を行った。浅間山山頂部におけるGPS繰り返し観測により、非活動期における変動として、2011年以降の火口を収縮源とする山体変動を明らかにした。

干渉SARによる地殻変動解析では、霧島山新燃岳をはじめ、アフリカのニヤムラギラ火山やアイスランドのエイヤフィヤトル火山で火山活動に伴う地殻変動を明らかにし変動源の推定を行った。

伊豆大島の体積ひずみ計の1980年代からのデータを再解析することで、1年程度の短期的な収縮・膨張の振幅が1986年噴火時には大きかったことを明らかにし、噴火シナリオの定量化に活用しうることを示した。

火山用地殻活動解析支援ソフトウェアについて、ひずみ計データの解析機能を付加し、圧力源の時空間変化の監視に向けた手法の整備を行った。

副課題１　活動的火山の地殻変動モデリングに関する研究

伊豆大島では、詳細な地殻変動解析により、全島的な長期的膨張と 1～2 年程度の周期の短期的な収縮・膨張が重畳していることが分かり、短期的な収縮・膨張に伴うひずみ分布はカルデラ北部を中心としたほぼ等方的なパターンを示していること、その体積変化量は 10^6m^3 オーダーであるが、積算すると収縮・膨張の繰り返しでほぼ相殺されていることなど、地殻変動源の詳細が明らかになってきた。また、既存の体積ひずみ計のデータを再解析し収縮・膨張の傾向を検討したところ、2～3 年の周期帯まで GPS 観測による変動と良く整合していることが分かった。これは、体積ひずみ計のデータがこの周期帯の現象監視に活用できることを示すと同時に、新たに開始した多成分ひずみ計のデータを用いてこれから進めるマグマ活動評価研究でも重要な意味を持っている。また、副課題２の伊豆大島の噴火シナリオ作成のためにも新たな知見となった。

一方、噴火や貫入現象を伴わず繰り返している収縮及び膨張変動を、マグマだまりからの脱ガスによるものと仮定した場合、地殻変動から推定された体積変化が、すべて二酸化炭素によるものと仮定すると 10^{10}mol、10^6 トンオーダーと見積もられた。これらの試算は今後の短期的収縮・膨張の物理化学過程の考察の基点となる。

さらに、山頂部で観測された隆起量が球状圧力源から期待されるものよりも小さいことは、地形・地下構造を考慮した軸対象の有限要素モデルに基づく地殻変動解析により、縦長の回転楕円体形状の変動源を仮定すると説明できることが分かった。今後伊豆大島火山のマグマ供給系を詳細に推定する上で重要である。

山頂の三原山における局所的な沈降・収縮は全島的な変動によらず継続していることが分かった。これらの収縮及び膨張変動について、カルデラ内の光波測距観測網（機械点 2 点、反射点 16 点）だけを茂木モデルに適用して推定したところ、カルデラ北部の海水準下 2km 程度と従来よりも浅い位置に圧力源が推定できることがわかった。これは、多種目の地殻変動観測を組み合わせた火山体の圧力源推定に向けた成果である。

伊豆大島以外の火山について行った解析として、霧島山では、新燃岳において過去に実施された GPS 繰り返しデータの解析により、山頂部の地殻変動が深部マグマだまりの蓄積に先行していたことを明らかにした。また、将来の地形・不均質構造を取り入れた地殻変動源推定のために、重力データから地下の密度基盤深度分布を推定した。密度基盤の深度が四万十累層群の露出する南に向かって浅くなることを明らかにし、2005 年から 2007 年中頃にかけての新燃岳直下の変動源は浅部表層内に、2009 年 12 月からのマグマ蓄積による変動源は基盤内に位置することを明らかにした。

浅間山山頂部における GPS 繰り返し観測では、2011 年以降火口を収縮源とする山体変動があることを明らかにした。これは非活動期における地殻変動として噴火シナリオの一部ともなりうる。

樽前山では、有限要素法を用い圧力源が山頂直下の極めて浅いところにある場合の山体の地殻変動について検討した。通常は、圧力源が収縮した場合、予想される地殻変動は沈降と山頂下がりの傾斜変化であるが、このケースでは山腹から山麓かけてそれとは逆に隆起や山頂上がりの傾斜変化がみられる領域があることを明らかにした。これは、2009 年 10 月に樽前山の北山腹で火山性微動と同時に観測された山頂上がりの傾斜変動が、圧力源の減圧によって定性的に解釈できることを示している。

干渉 SAR による地殻変動解析では、霧島山、伊豆大島のほか、ニヤムラギラ火山（コンゴ民主共和国）やエイヤフィヤトル火山（アイスランド）などにおいて、火山活動に伴う地殻変動を検出し、球状圧力源やダイクを仮定した変動源の位置や膨張量の推定を行った。また、SAR 強度画像解析や干渉ペアの相関画像解析により、噴火活動に伴う溶岩の蓄積による時間変化や溶岩流の痕跡など地表面の変化を検出した。これらにより、火山の監視や活動評価において SAR 衛星による地殻変動観測が極めて有効であること示した。

副課題２　噴火シナリオに関する研究

伊豆大島の体積ひずみ計のデータを 1980 年代まで遡って再解析した結果、1 年程度の短期的な収縮・膨張イベントが 1986 年噴火の時期にも発生していたこと、その振幅が 1990 年代には小さかったがその後次第に大きくなったこと、近年観測されている振幅よりも 1986 年噴火時の振幅はさらに大きかったことを明らかにした。これは、短期的な収縮・膨張イベントが定量的な活動評価手法となりうること、噴火シナリオの定量化に活用しうることを示している。

伊豆大島について 1986 年山頂噴火の溶岩噴出量及び 1987 年ドレインバックに伴う溶岩後退量と体積ひずみ変化量との比を調べたところ、ともに溶岩質量 1×10^7ton 当たり約-1×10^{-6}strain の変化を

していることが分かった。これは、ひずみ変化量が噴出量（後退量）を反映していることを示唆している。伊豆大島では、少なくとも過去 100 年以上にわたり山頂火口からの噴火を繰り返していることから、今後も山頂噴火が十分想定される活動であり、得られた成果は将来の噴火時の火山活動監視とマグマ噴出量把握のための視点を与えるものである。

火山用地殻活動解析支援ソフトウェア（MaGCAP-V）の機能強化として、ひずみデータに関する解析及び表示機能の組み込みを行い、体積ひずみ計と多成分ひずみ計のデータ解析を可能にした。これにより、気象庁の地震予知分野で導入されている一般的な主ひずみ等のデータ処理に加え、ひずみデータを用いた火山の地殻変動モデルの解析にも活用可能となった。また、既存の SAR 干渉解析結果の解析機能と動的モデル推定機能の改良も行った。これらにより、地殻データによる圧力源の時空間変化の監視に向けた手法の整備が進んだ。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

- SAR のデータを利用する計画であった衛星「だいち」が機能を停止し、運用が 2011 年 5 月で終了した。以後、新しいデータが得られなくなったことから、予定を変更して過去のアーカイブデータを利用した研究を行った。
- 火山の地下の圧力源モデルの推定においては全国の活動的火山を対象としているが、研究期間中に顕著な活動をした火山が特になかったことから、伊豆大島や霧島山新燃岳等の圧力源モデルについての研究を行った。

今後の研究の進め方

伊豆大島の地殻変動解析については、地殻変動をもたらした変動源の深さが従来よりも浅く推定されたが、この差異が有意であるかどうかについては、用いた観測点の違いによる影響、水平成分のみを用いた影響について評価していく必要がある。

伊豆大島について、今後、噴火準備期及び噴火期について、観測事実や 1986 年噴火事例をもとに、マグマの蓄積・移動についての仮説を構築し、これに基づいて、地殻変動データの定量的な推移の把握に着手する。また、GPS 解析データから推定される圧力源とその体積変化量から傾斜変動の時系列を推定し、実際に観測された傾斜データとの比較を行う予定である。

本研究では、2011 年 5 月で運用が終了した「だいち」から提供されるデータを前提として解析を進める計画であったが、当面新しいデータが得られない状況となっている。次期 SAR 搭載衛星の打ち上げが予定されている 2013 年まで期間の SAR データの取得について、改めて検討する必要がある。

火山の地殻変動観測は、火山活動評価の手段として有効なことから、より高度な利用が模索されている。今後はマグマ供給系の詳細を解明するために、地殻変動源の推定、マグマ蓄積量の把握などを進める。また、伊豆大島では、新たに設置したひずみ計や光波測距、GPS などの観測種目を活用した火山活動のリアルタイムモニタリング手法の高度化を目指す。

想定される火山活動の推移に基づいて、MaGCAP-V を使ったひずみ変化の挙動解析を実施し、予想されるひずみの時空間変化を把握する予定である。

異常未経験火山に対して既存の噴火シナリオをいかに活用するかについては、火山の状況に対応した地殻変動をはじめとする火山活動の多様性を踏まえて、新たな戦略を構築する必要がある。特に、開放的火道か閉塞的火道かなど類型的な火山の状態に着目して、類型ごとに地殻変動の推移の想定を進める必要がある。

海溝沿い巨大地震の地震像の即時的把握に関する研究

研 究 年 次：4 年目／6 年計画（平成 22 年度～平成 27 年度）
研究代表者：横田　崇（地震火山研究部長）

研究の目的

気象庁の噴火予警報業務に資するために、地殻変動観測による火山活動評価手法および噴火シナリオの高度化を図る。

研究の成果の到達目標

（全体の到達目標）

地震発生直後における巨大地震の評価や被害をもたらす地震動の情報の精度を高める技術を開発する。

（副課題ごとの到達目標）

副課題１　巨大地震の震源断層の広がりとすべり分布の把握

巨大地震の震源域のおよその広がりを地震発生直後 2～3 分以内に把握できる手法を開発する。

現在の技術において、地震発生後 10～20 分程度で推定を行っている断層のすべりの大きさや方向について、さらに迅速（5～10 分）に、かつ信頼度の高い推定結果を得られる手法を開発する。

震源域の把握の信頼度を確保するため、前述とは独立した手法として、震源域と概ね一致する余震の震源分布を地震（本震）発生後 10～20 分以内で把握するための震源位置決定手法を開発する。

震源断層上の大まかなすべり分布を震発生後 10～20 分で推定する手法を開発する。

副課題２　巨大地震発生直後の地震動の把握

地震観測データと震源断層上のすべり分布推定結果に基づいて、さまざまな周波数帯の地震動分布を地震発生後 10～20 分後に推定する手法を開発する。

平成 25 年度の研究計画

副課題１　巨大地震の震源断層の広がりとすべり分布の把握

- 気象庁からのリアルタイムデータを受ける地震自動処理模擬システムを構築する。
- 地震動振幅分布を用いて、地震の規模及び震源域の広がりを推定する手法の改良と検証を行う。
- GNSS データも取り入れて、w-phase を用いたモーメントテンソル解析手法の解を改良する。
- 地震波動源把握のためのアレイ解析手法を改良する。
- 振幅情報・規模情報を取り入れた、自動地震識別手法を改良する。
- 多数震源候補を仮定した震源決定手法を改良する。
- 自己浮上式海底地震計による南海トラフ沿い域等における海域地震観測を行うとともに、これまでの観測結果の解析を進める。
- GNSS データを用いて推定される断層面解に基づいて、断層すべり分布の推定を行う手法を開発する。

副課題２　巨大地震発生直後の地震動の把握

- 地震波形データの収集を継続する。
- 中～長周期地震動の分布推定法の改良を進める。
- 推定値と観測値との整合化手法を改良する。
- 地震動の時間履歴推定法の検討を行う。

平成 25 年度の研究結果

（成果の概要）

副課題１については、国土地理院との共同研究としても進めている GNSS データを用いた即時的震源パラメータ推定に関する手法開発を行った。また、自動震源決定手法の改良を進めるとともに、その他の規模推定手法の検証を行った。副課題２については地震動分布推定として、観測点補正と地盤情報を組み合わせた速度応答分布推定法を改良するとととともに、その評価検討を行った。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　巨大地震の震源断層の広がりとすべり分布の把握

・気象庁からのリアルタイムデータを受信する環境及びそのデータ利用環境の整備を行い、これまで開発した手法のリアルタイム処理試験環境を整えた。
・震度分布を用いて地震の規模及び震源域の広がりを推定する手法について、震度の補正等の改良を加えた。より多様な条件の地震に対して当手法を用い、それらの地震で当手法が適用可能であることを確認した。
・GNSS データに対して w-phase を用いたモーメントテンソル解析手法を適用し、規模の大きな地震については、他の手法と整合的な解が得られることを確認した。
・自動震源決定について、地震多発時にもおよその震源の推定ができるようエンベロープの最大時刻と振幅に基づく震源推定手法を開発した。
・震源決定精度向上のため、震源決定処理に標高の情報を反映させる手法を開発するとともに、浅い部分の平均的な地震波速度を低下させることにより、より妥当な震源決定が可能であることを示した。
・自己浮上式海底地震計による南海トラフ沿い域等における海域地震観測において、これまで確認されてきたアウターライズの地震活動の活動範囲を調査するための観測を実施し、活動の南限とみられる範囲を確認した。

副課題２　巨大地震発生直後の地震動の把握

・中～長周期を中心とした様々な周期帯の地震動の推定法に関する検討として、各地点の構造情報の対数比と速度応答の最大値の対数比の関係について調査し、単純な補間よりも構造情報を取り入れた場合の方がより適切な推定ができることを示した。
・最大速度応答の推定値に与える影響要因として、観測点直下の地下構造に加えて地震のメカニズム・伝搬経路について検討を加え、それらの影響も無視しがたいことを確認した。
・地震動の時間変化を表わす手法の一つとして継続時間について調査を行い、震央距離依存が強いものの、地盤構造との相関も認められることを確認した。

計画に対する進捗度及び変更点

①　当初計画に対する進捗度
・平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の発生を受けて、巨大地震の規模推定手法の研究を前年度に引き続き集中的に行い、計画を上回る進展があった。
・他の研究項目については、おおむね順調に研究が進んでいる。

②　当初計画から変更した点
・規模推定手法について、補正予算を用いてリアルタイム処理における検討を加速した。
・平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の発生後特に進展した GNSS のリアルタイム地殻変動を反映した規模・すべり分布推定、長時間に及ぶ長周期地震動に対処するため、研究計画を１年延長して実施することとなった。

今後の課題

副課題１　巨大地震の震源断層の広がりとすべり分布の把握

・GNSS データを利用した規模推定・すべり分布推定手法の開発を行う。

副課題２　巨大地震発生直後の地震動の把握

・様々な周期帯の地震波形の時間履歴推定手法の開発を進める。

集中豪雨・大雨発生の必要条件の妥当性の確認と十分条件の抽出

研 究 年 次：1 年目／2 年計画（平成 25 年度～平成 26 年度）
研究代表者：神内弘（大阪管区気象台防災調査課　調査官）

研究の目的

平成 23～24 年度に取り組んだ地方共同研究「集中豪雨発生の必要条件の抽出とその妥当性」で残された課題を解決することが、集中豪雨・大雨の正確な予測につながると考えられる。具体的には、以下のことに取り組む。

① 集中豪雨・大雨事例のサンプル数を増やし、事例解析と統計解析を組み合わせることで、既知の必要条件(500m 高度の相当温位/水蒸気フラックス量、500hPa 高度の気温)の妥当性を確認し、信頼度を向上させる。また、他の必要条件を抽出し、その妥当性についても確認する。
② 集中豪雨・大雨事例を観測データと客観解析データを用いて詳細に解析する。また、気象庁非静力学モデル(JMANHM)による再現・感度実験に取り組む。特に、集中豪雨・大雨の発生タイミングに焦点を当て、発生の十分条件(下層収束の有無、地形の影響など)を詳細に調べ、抽出する。

研究担当者

神内弘、小山内大輔、松下浩則、本田英司、今野暁（大阪管区気象台）、松本覚、石川雅章、亀井雅章、石水尊久（彦根地方気象台）、依岡幸広、原田都奈生、秋山佳明、田中晋（京都地方気象台）神野正樹、松本幸爵、長崎史津、高井瑞穂（神戸地方気象台）、森本徹也、鈴木竜馬、井立田真吾、谷條薫一（奈良地方気象台）、鈴江浩成、枝元勝梧、峰本和也、三宅里香（和歌山地方気象台）山本高男、仲里正、濱田浩一、濱崎博史、齋藤潤（鳥取地方気象台）、久家好夫、海老政徳、足立誠、小林俊彦、水野岳志（松江地方気象台）、小林祥吾、末永和貴、北井英吉、河野誠（岡山地方気象台）大谷修一、山田友幸、風早範彦、仲田直樹、濱岡昭之（広島地方気象台）、細川利之、山崎智也、田中滋司、平野直哉（高松地方気象台）、上田征弘、田中秀和、武田眞治、福永昭史、山本伸二、川田一昭、澤田達也、神野美幸、出宮稔（徳島地方気象台）、大野剛、坂本啓、川村俊博、木村安志、中村慧（松山地方気象台）、平尾龍一、重岡昌嗣、田口雄大、中塚賢治、杠力男、黒田修作（高知地方気象台）、津口裕茂（予報研究部）

研究の目標

・ 既知の集中豪雨・大雨発生の必要条件の妥当性を検証することで、精度を向上させる。
・ 事例解析を通して、集中豪雨・大雨が発生するための十分条件を抽出する。
・ 解析から得られた集中豪雨・大雨が発生するための必要・十分条件を表にまとめる。
・ 事例解析と統計解析の両方を行うことで、集中豪雨・大雨が発生する環境場や降水系の発生・発達メカニズムの理解をより深める。

本年度の計画

① 大阪管区気象台では以下の研究を行う。
・ 過去の集中豪雨・大雨に関する知見を収集・整理する。
・ 解析対象の集中豪雨・大雨事例を抽出・選定する。
・ 集中豪雨・大雨事例のサンプル数を増やし、必要条件について客観解析データを用いて統計解析を行い、その妥当性を確認する。
・ 抽出・選定した事例のいくつかについて、観測データと客観解析データを用いて、環境場や降水系の解析を行う。
・ 必要であれば、非静力学モデルを用いて再現・感度実験を行う。
② 気象研究所では以下の研究を行う。
・ 日本全国を対象に、地域別(北・東・西・南日本)の集中豪雨・大雨発生の必要・十分条件の統計解析を行う。
・ 大阪管区が取り組む調査に対して、適切な指導を行う。

本年度の成果

① 大阪管区気象台内では以下の成果があった。

・各官署とも知見の収集・整理を実施し、中間成果として、集中豪雨・大雨についての必要十分条件案を作成した。

・解析対象を抽出し、官署ごとに進捗状況に違いはあるものの、観測データ・客観解析データを元にした解析や非静力学モデルでの再現実験を行った。

・研究成果の発表については、管内府県気象研究会（１６題)、地区気象研究会（６題）などで実施した。

② 気象研究所では以下の成果があった。

・大阪管区が含まれる西日本域について、集中豪雨・大雨発生の必要・十分条件についての統計解析を行った。

・大阪管区気象台、高松地方気象台、広島地方気象台に出向き、集中豪雨・大雨の調査・研究に関する技術指導を行った。

地域に密着した詳細な気候変動予測情報提供に関する研究

研 究 年 次：1 年目／2 年計画（平成 25 年度～平成 26 年度）
研究代表者：佐々木秀孝（環境・応用気象研究部第三研究室長）

研究の目的

地球温暖化予測情報第 8 巻に用いられた温暖化予測の数値計算結果を基に、地域特有の気候現象がどのように表現されているのか調査する。また、それが地球温暖化により将来的にどのように変動するのかを予測し、それが起こる可能性についても吟味する。これらの成果は「地方版気候変動レポート」執筆に反映される。

研究担当者

安部俊司（札幌管区気象台）、滝沢勝彦、戸川裕樹（東京管区気象台）、佐々木秀孝、村田昭彦、（環境・応用気象研究部）、吉村純（気候研究部）

研究の目標

- 地球温暖化予測情報第 8 巻のデータについて、その特質を良く理解し、地方における地球環境業務に役立てる。
- 日本各地における気候現象について理解を深め、それらの現象の将来変動予測をおこなう。
- 上記各項目の研究を進め、東管版「気候変動レポート」の改訂に反映させる。

本年度の計画

- 管区内の平均的な気候の再現性を検証する。
- 管区内に特有の気候現象を地球温暖化予測の現在気候データから抽出する。
- 管区内に特有の気候現象の現在気候データでの再現性の検証を行う。

本年度の成果

① 札幌管区気象台内では以下の成果があった。

ア） 管区内の平均的な気候の再現性の検証について、札幌管区気象研究会「地域に密着した詳細な気候変動予測情報提供に関する研究について（第 1 報）」にて発表した。

イ） 管区内に特有の気候現象について、モデルでどのように再現されるかを各地方気象台に対し提案した。また、各現象の判定条件に基づき、検証を開始している。

② 東京管区気象台内では以下の成果があった。

ア） 気候情報課提供のツール等の活用により、東管内の平均的な気候の再現性についての検証を行った。また、東管内の平均的な気候変動についても資料の整理を行った。

イ） 東管内に特有の気候現象について、降雪や地形性降水など一部について、現在気候での再現性や将来気候での抽出を行った。

2.3. 研究終了報告

本節には、気象研究所が実施し、平成 25 年度に終了した研究課題のうち気象研究所予算による下記課題について、課題毎に計画と研究成果等を掲載した。

2．3．1．重点研究

・ 次世代非静力学気象予測モデルの開発に関する研究 …… 41
・ 顕著現象の機構解明に関する解析的・統計的研究 …… 62
・ メソスケールデータ同化とアンサンブル予報に関する研究…… 78
・ 台風強度に影響する外的要因に関する研究 …… 109
・ シビア現象の監視及び危険度診断技術の高度化に関する研究 …… 124
・ 緊急地震速報高度化のための震度等の予測の信頼性向上技術の開発 …… 139
・ 東海地震予知技術と南海トラフ沿いの地殻活動監視技術の高度化に関する研究 …… 151
・ 気象観測技術等を活用した火山監視･解析手法の高度化に関する研究 …… 165
・ 沖合･沿岸津波観測等による津波の高精度予測に関する研究 …… 175
・ 気候変動への適応策策定に資するための気候･環境変化予測に関する研究 …… 189
・ 全球大気海洋結合モデルを用いた季節予測システムの開発 …… 206
・ 異常気象･気候変動の実態とその要因解明に関する研究 …… 213
・ 大気環境の予測・同化技術の開発 …… 225
・ 温暖化への対応策検討に資するための日本域の気候変化予測に関する研究 …… 246
・ 海洋環境の予測技術の開発 …… 256
・ 全球及び日本近海を対象とした海洋データ同化システムの開発 …… 270
・ 大気化学環境変動とそのメカニズムの解明に関する研究 …… 290
・ 海洋中炭素循環変動の実態把握とメカニズム解明に関する研究 …… 305

2．3．2．基礎的・基盤的研究

・ 気候モデルによる気候変動メカニズム解明に関する研究 …… 321
・ 地上観測による大気要素の放射収支への影響の実態解明…… 328
・ 意図的・非意図的気象改変に関する研究 …… 344
・ 大気境界層の乱流構造の統合的研究 …… 362
・ エーロゾル―雪氷相互作用に関する研究 …… 372
・ 都市気象モデルの開発 …… 396
・ 大気エーロゾル粒子の性状とその変動過程に関する研究 …… 403
・ 衛星データの利用技術に関する研究 …… 429
・ エーロゾル･雲･微量気体に関するリモートセンシング技術の高度化に関する基礎研究 … 436
・ 次世代リモートセンシングに関する研究 …… 446

2．3．3．地方共同研究

・ 東北地方のシビア現象に関する解析的研究 …… 457
・ 都市域に強雨をもたらす降水系の発生･発達機構と予測に関する研究 …… 462

次世代非静力学気象予測モデルの開発に関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：中村誠臣[1)]（予報研究部第一研究室長）、山田芳則[2)]（予報研究部第一研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１：非静力学モデルの高度化
中村誠臣（研究調整官）、山田芳則、村崎万代[3)]、橋本明弘、林 修吾、南雲伸宏[4)]、斉藤和雄、加藤輝之（予報研究部）、和田章義（台風研究部）碓氷典久（海洋研究部）、永戸久喜、原旅人[3)]、石田純一[5)]（気象庁予報部数値予報課）、高野洋雄（気象庁地球環境・海洋部海洋気象情報室）

副課題２：全球非静力学モデルの開発
吉村裕正、林　修吾（予報研究部）、新藤永樹（気候研究部）

研究の目的

集中豪雨、豪雪等の顕著現象を精度よく再現できる次世代非静力学数値予報モデルを開発し、気象情報における各種量的予測精度を向上させる。また、海洋モデル、波浪モデルと結合させた非静力学数値予報モデルを開発し、台風の強度予測精度を向上させる。

研究の動機・背景

数値予報モデルおよびデータ同化技術の高度化により予測精度は改善されてきているものの、豪雨や豪雪などシビア現象の予測は依然十分ではなく、非静力学モデル（NHM）の更なる性能向上が必要である。現業メソ数値予報モデルは現在 NHM5km 格子で運用されており、次期システムでは 2km 格子の局地モデルの運用も予定されている。しかし、これらの解像度に見合う、モデルの検証や改善に利用できる観測データが不足しており、更なる高解像度・精緻なモデルの開発とその成果に基づく現業モデルの改善が期待されている。モデルはデータ同化の基本ツールであることから、その改善は初期値の改善にもつながる。

台風予測では、進路予想とともに防災の観点から強度の予測が重要である。モデルの高解像度化にともなって強度予測の精度向上が現実的目標となってきた。このためには台風の強度変化に大きな影響を及ぼす大気海洋間の運動量輸送の変化や海洋内の混合の影響をモデルに導入することが不可欠である。台風に伴う風や気圧分布の正確で詳細な予測は、台風に伴う高波や高潮の正確なモデル予測を実行する上でも欠かせない。

研究の成果の到達目標

副課題１　非静力学モデルの高度化
① 高解像度非静力学モデルの開発とその結果を使った現業モデルの改良
② ビン法雲微物理過程の組み込みとその結果を使った現業雲微物理過程の改良
③ リモートセンシングデータを使った雲微物理過程の検証と改良
④ エーロゾルに関わる雲微物理過程の精緻化
⑤ 非静力学大気波浪海洋結合モデルの開発
⑥ 発雷シミュレーションモデルの開発と発雷予測手法改善のための知見の提供
⑦ 様々な状況でのモデル計算に資するための改良

副課題２　全球非静力学モデルの開発
① 全球スペクトルモデルに非静力学のオプションを導入する形で全球非静力学モデルの開発を行う。
② 2 次元分割法の開発

[1)]平成 21 年度、[2)]平成 22 年度～平成 25 年度、[3)]平成 23 年度～平成 25 年度、[4)]平成 25 年度、[5)]平成 21 年度～平成 22 年度

研究結果

（成果の概要）

高解像度非静力学モデルの開発では、現業モデルに有益となるようなものから次世代を見据えた高度なモデルまで、さまざまな開発が進捗した。開発項目はモデルを構成する様々な過程にわたり、現業モデルに関連するものとしては対流や雲微物理、境界層、SiB, 放射などがある。将来に向けた高度なモデル開発には、ビン法に基づく雲微物理モデルやエーロゾルに関わる雲微物理モデルの精緻化がある。後者は、新燃岳の噴火の際、噴煙の移流予測にも用いられている。開発の他にも、複数の空間解像度での比較実験を実施することによって、高解像度化モデルの総合性能評価（検証）も進み、またモデルで改良するべき点も見出された。さらに、非静力学モデルに海洋混合層モデルおよび波浪モデルを組み込んだことによって、台風によって生じる波浪や海面水温低下が台風強度予測に与える影響を評価できるようになった。

非静力学全球モデル開発では、現在の全球モデルに非静力の力学フレームをオプションとして付加し、二重フーリエ化することで効率のよい力学フレームが開発できた。また、効率的な二次元分割法も新規に開発して組み込みが終了している。この力学フレームを用いた全球モデルは、各種の物理過程を含めて現実的な実験ができるようになっている。ただし、当初予定していた雲微物理モデルの組み込みは進捗が相対的に遅れている。

各過程のモデルには不十分な点が存在しているため、今後の高解像度モデルの精度を向上させていくためにモデル開発を継続して行う必要がある。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　非静力学モデルの高度化

①　高解像度非静力学モデルの開発とその結果を使った現業モデルの改良

ア）対流パラメタリゼーション

観測されない海岸線に沿った降水域が、気象庁現業メソスケールモデルで暖候期にしばしば予想される問題を Kain-Fritsch スキームの発動条件を海陸別に与えることで改善できることがわかった。(H21 年度)

イ）降水

2008年夏季の関東域を対象に解像度1kmと5kmのNHMによる降水の日変化の再現性を調べた。その結果、観測で日変化が顕著な地域において、モデルでは、午後の不安定降水および可降水量の増大の表現が不足していること、降水頻度の増大が観測より早い時間で頭打ちになること、一方、可降水量のピークは観測に比べて２、３時間遅れることなどの問題が明らかになった。(H21 年度)

GPS 可降水量が現業メソデータ同化で利用されるようになった、2010 年夏季（7、8 月）関東域での解像度 1 kmの NHM による再現実験について、それ以前の年と同様に不安定降水が過小評価となっていることがわかった。降水が不足している事例について、地表面フラックス、境界層スキーム、実験領域の広さや積分時間の影響を調べたところ、それらによる改善効果は確認できなかった。(H22 年度)

1-kmNHM,5-kmNHM の再現実験結果（2007 年から 3 年間）のうち、梅雨期（九州、四国）と冬期（北陸）の降水量について、強度別頻度、月降水量の観測値との比較をおこなった。梅雨期（九州、四国）において降雨強度別頻度（1 時間 3 時間 24 時間降水量）のアメダスと比較すると、どの値も 5-kmNHM よりも 1-kmNHM のほうが観測値に近く、改善が見られた。時間帯別 3 ミリ以上の雨の頻度の空間分布を比較すると、内陸部の午後の降水頻度が多いという観測から見られる特徴を 1-kmNHM はある程度捉えていることがわかった。問題点としては、全般に降水量、頻度ともに少なく見積もる傾向があり、海上では逆に降水量を過大見積もりする領域があることが挙げられる。この傾向は、親モデルである 5-km NHM から引き継いでおり、1-km NHM で改善傾向にはあるものの、まだ十分ではない。また、冬期北陸地方のランでは月降水量が日本海側の平野部で 20-30%過少見積もり、山岳地帯で 50%以上の過大見積もりとなることがわかった。(H22 年度)

夏季の熱雷をもたらす孤立積乱雲のモデル内での再現性を現業レーダーの3次元反射強度を用いて検証を行った。水平5km解像度に比べて、2km以下の解像度では孤立積乱雲の立ち上がりや地上降水分布は大幅に改善された。しかし融解層から上の雲の再現はレーダーと比べて強度が過剰であった。この傾向は高解像度ほど顕著で、強い上昇流の存在やそれに伴う微物理過程に不十分な点があることが示された。(H24年度)

梅雨期の九州、四国地方の精度検証において、NHMでは全体的に陸上で降水量、降水頻度ともに過小評価、海上では逆に過大評価する領域があることが明らかになった。この傾向は、親モデルである5-kmNHMから引き継いでおり、1-kmNHMで改善傾向にはあるものの、まだ十分ではないことが示された。(H25年度)

夏季の熱雷発生の再現を5km、2km、1km、500m、250m解像度のNHMで実行した。また乱流スキームをMellor-Yamada-Nakanishi-Niino Level3(以後、MYNN3)とDeardroffでも比較した。その結果をレーダーの高度別反射強度を用いて検証し、積乱雲の発生が高解像度になるほど徐々に早い時間になり、観測と整合することを示した。また、乱流スキームの違いは、解像度の違いよりも影響が大きく、不安定性降水のようなグリッドスケールの対流が卓越する場合に、2km以下の高解像度では、Deardroffの方が再現性が良いことを示した。(H25年度)

ウ) 降雪

水平解像度(5km→1km→500m→250m)および鉛直解像度(最下層高度を20m→10m)が降雪予測にどの程度影響するかについて調査を始めた。(H21年度)

水平解像度(5km→1km→500m→250m)および鉛直解像度(最下層高度を20m→10m)が降雪予測にどの程度影響するか2009年12月15-20日の期間、北陸・新潟地方を対象に調査した。5kmではあられの生成はほとんどなく、2kmは1kmの約半分程度であった。MYNN3とDeardroffスキームとの比較では、前者を用いた場合の方が海上で顕熱フラックスが多い反面、降水量が少なく、陸上で逆に降水量が多くなることがわかった。また最下層高度を10mにすると、計算安定性がかなり損なわれることがわかった。(H22年度)

MYNN3では日本海上下層200m以下にみられる絶対不安定成層を強制的に解消させるため、湿潤対流による強い上昇流が現れる高度が高くなり、あられを効率よく形成するための雲水の生成量がDeardroffよりも少なくなっていた。これにより、あられの生成が過小になり、Deardroffに比べて降水量が減少することがわかった。(H23年度)

冬季の北陸地方の日本海側のアメダス地点(平野部)11カ所について、風による補足率の違いを考慮した降水量を求め、NHM5km,1kmの降水量と比較した。NHMは日降水で相関が高く、5kmから1kmにネストすることによる改善が見られた。また、NHMは観測で20mm/dayを超えると過少見積もりをする傾向があることがわかった。特に5kmNHMではそれが顕著に出ていた。(H23年度)

冬季北陸信越東北地方の日本海側のアメダス地点について、風による補足率の違いを考慮した降水量データセットを用い、NHMの降水量、降雪量の精度検証をおこなった。その結果、月平均降雪量バイアスは過大評価する地域(立山から東に連なる山岳地帯)と過小評価する地域(越後山脈の日本海側斜面付近)があることがわかった。さらに予測精度は降雪時に悪くなることが明らかにされた。また、NHMは観測で日降水量20mm/dayを超えると過少見積もりをする傾向があることがわかった。特に5kmNHMではそれが顕著に出ていた。(H25年度)

NHM1kmの降雪分布の予測精度を調査するために、特定の豪雪期間を選び、低仰角での時間平均反射強度データセットを作成し、降雪時の1時間毎の空間パターンについて比較をおこなった。降雪分布は月降水量バイアスの地域特性と同様の過小あるいは過大評価する地域が現れることがわかった。(H25年度)

エ) 雲微物理

2km格子分解能のモデル計算において、雲物理過程での雨の切片とあられ形成過程を変更したところ、不自然な降水強度の出現が抑制されただけでなく、月ごとの降水強度の出現分布がアメダスによるものと近くなった。(H21年度)

NHMのバルク雲微物理モデルで用いられているガンマ関数の計算で、桁落ちせず、かつ高速なプログラムコードを開発した。(H22年度)

drizzle の効果や降水粒子の蒸発凝結に関するより精度のよいモデルコードを作成し、数値予報課に提供した。(H23 年度)

4-ice バルク雲微物理モジュールに、高速なガンマ関数のプログラムコードを導入した。(H23 年度)

雲氷と雪、あられ発生過程について新しいモデルを構築した。雲氷の粒径分布は逆指数分布で表現されると仮定して、粒径の大きな粒子が雪に変換されるモデルとし、autoconversion を排除した。雲氷と雪の併合計算では厳密式を用いている。あられ発生過程では、雲氷や雪と過冷却雲粒との衝突についてビン法的な考えを導入し、さらに雲氷と雨滴との衝突では形成されるあられの数濃度が過剰にならないような方法を導入した。新しいモデルを用いて予備的な実験を行った結果、寒気吹き出し時の冬季の日本海上での降雪量が増加し、風上斜面上での不自然に過剰な予測降雪量が緩和されるといった良好な結果が得られた。(H25 年度)

オ) 境界層

野外実験に基づく、晴天日の陸上での境界層の発達に関する理想実験を行い、境界層上端から浅い対流雲が発生するような状況で、現業境界層スキームが、雲層で過度の混合を起こす傾向があること、一方、積雲対流スキームはエントレインメントが小さ過ぎるために雲頂を高く評価し過ぎ、雲層にあたる層の鉛直プロファイルをうまく表現できないことがわかった。(H21 年度)

水平解像度数 100m～1km の NHM において、日射量、それに伴う地上気温や不安定降水の予測を改善するために、Deardorff サブグリッド乱流スキームと整合性を持った部分雲予測スキームを開発した。(H22 年度)

気象庁非静力学モデル NHM を用い、2011 年の晴天日の関東域を対象に日中の大気境界層過程（熱フラックスと水蒸気フラックス）の解像度依存性を 5km、2km、1km について検証した。境界層過程のパラメタリゼーションには MYNN3 スキームを用いた。その結果、これまでの比較的粗い解像度ではほとんど表現されなかった境界層内の鉛直流が 5km よりも高解像度では部分的に表現され、格子の値でも乱流輸送が表現されることが示された。一方で、それを補償するようにパラメタリゼーションが働いていたため、検証した解像度においては境界層過程の正味の熱フラックスと水蒸気フラックスの解像度依存性は非常に小さいことが明らかになった。(H24 年度)

MYNN3 スキームを用いた 5km-NHM において、発達中の台風の上層中心近傍で不自然な暖気コアが形成される現象が見られること、これは、同スキームで予報変数となっている乱流２次モーメント量が壁雲雲頂付近において増大し、運動量拡散係数が非現実的な大きな値となるためであることがわかった。また、このプロセスが混合距離の値に敏感であることがわかった。(H24 年度)

一般的な環境場における境界層スキームの解像度依存性の検証のために、MYNN3 スキームを用いて、2011 年の夏季の晴天日の関東域を対象に 5km、2km、1km 解像度で数値実験を行った。20km 四方の領域のグリッドとサブグリッドの乱流熱輸送量を見積もり、その総和の鉛直プロファイルを解像度で比較した結果、粗い解像度ではほとんど表現されなかった境界層内の鉛直流が 5km よりも高解像度では部分的に表現されるようになり、格子の値でも乱流輸送が表現されることが示された。一方で、それを補償するようにパラメタリゼーションが働き、境界層過程の乱流熱輸送と水蒸気輸送の解像度依存性は非常に小さいことが明らかになった。(H25 年度)

境界層スキームの厳密な解像度依存性の検証のため、MYNN3 を用い、5km、2km、1km、500m、250m 解像度のドライ設定と格子で凝結する設定で、理想実験を行った。MYNN3 のドライ設定は 2011 年夏季の実事例と異なり、解像度を変えても鉛直流の表現が小さく、ほぼサブグリッドのみで乱流熱輸送が表現されていたことから、解像度依存性はなかった。一方、格子で凝結する設定では解像度 1km から雲の発生に伴う鉛直流・乱流熱輸送が表現された。乱流熱輸送の総和は雲の表現による多少の違いはあるが、格子スケールで熱輸送分をサブグリッドが補償するように働き、2011 年夏季の関東の実事例と同様、乱流熱輸送の解像度依存性が比較的小さいことが示された。(H25 年度)

高解像度の計算で用いられる境界層スキーム Deardroff の解像度依存性の検証のため、ドラ

イ設定のもと上記と同様に理想実験を行った。MYNN3 の結果とは異なり、解像度 1km 以上の高分解能では格子でも鉛直流・乱流熱輸送を部分的に表現出来ていた。2km 以下の低解像度では格子では鉛直流がほとんど表現出来ず、サブグリッドに依存していたが、乱流熱輸送の総和は、解像度によらずほぼ同じ熱輸送で解像度依存性が小さいことが明らかになった。(H25 年度)

境界層スキーム MYNN の予報・診断レベルに応じた解像度依存性を検証するために MYNN レベル 2.5 と 3 をドライ設定のもと上記と同様に計算した。レベル 2.5 は解像度 1km 以上の高分解能では格子でも鉛直流･乱流熱輸送を部分的に表現する点がレベル 3 の結果とは異なっていた。2km 以下の低解像度では格子で鉛直流が表現出来ないが、サブグリッドの寄与のため、乱流熱輸送の総和では、解像度による差が小さく、MYNN は解像度・レベルに依らず乱流熱輸送の分布が同程度で解像度依存性が小さいことが明らかになった。レベル 3 が高解像度でも鉛直流をほとんど表現しない点について、レベル 2.5 が乱流運動エネルギーをサブグリッドで予報する一方、レベル 3 では熱や水蒸気の自己相関・共分散も予報することに起因していた。そして、サブグリッドのみで十分に境界層内の熱の輸送が表現出来る結果として、高解像度にしても鉛直流の値がほとんど表現されないということが明らかになった。(H25 年度)

カ) 気温

2005 年から 2011 年までの 5km-NHM と 1km-NHM による再現実験結果のうち、冬季北陸信越地方での気温予測精度検証をおこなった。検証地点をアメダス 69 地点とし、冬期 539 日間の日最高、最低、平均気温を比較することで気温の再現性について調べた。その結果、両モデルともにバイアスは1 度未満､相関は0.8～0.9となり､精度がよいことが確認された｡また､1km-NHM は 5km-NHM に比べて､全てのスコア(Bias,RMSE,相関係数)で改善されていることがわかった。しかしながら、日最低気温の頻度分布を調べると、アメダス地点では-2℃～0℃に頻度が集中しているのに比べ、1km-NHM では標準偏差が大きく、観測よりもなだらかな分布をしていることがわかった。この気温のエラーは降雪時に気温が NHM では下がりすぎることが原因のひとつであることがわかった。(H24 年度)

冬季北陸信越地方での気温予測精度検証をおこなった。検証地点をアメダス 69 地点とし、冬期 539 日間の日最高、最低、平均気温を比較することで気温の再現性について調べた。その結果、両モデルともにバイアスは 1 度未満、相関は 0.8～0.9 となり、精度がよいことが確認された。また、1km-NHM は 5km-NHM に比べて、全てのスコア(Bias,RMSE,相関係数)で改善されていることがわかった。しかしながら、日最低気温の頻度分布を調べると、アメダス地点では-2℃～0℃に頻度が集中しているのに比べ、1km-NHM では標準偏差が大きく、観測よりもなだらかな分布をしていることがわかった。この気温のエラーは降雪時に気温が NHM では下がりすぎることが原因のひとつであることがわかった。(H25 年度)

キ) 放射

MSM による日射量の予測誤差やその地域的・季節的な特徴を明らかにした。また、予測誤差が大きくなる場合の大気状態を明らかにした。(H24 年度)

気象庁非静力学モデル内の放射過程について、4-stream 近似モデルの開発に着手した。(H24 年度)

気象庁メソスケールモデル(MSM)による日射量の予測誤差の幅を検証した。この予測誤差幅は、より広い範囲で平均化した予測値を用いると「ならし効果」によって小さくなることが示された。(H25 年度)

気象庁メソスケールモデル(MSM)の放射過程について、放射計算で用いる雲の現れ方に影響するパラメーターを変更すると、バイアスや RMSE が大幅に縮減することが夏と冬についてそれぞれ一ヶ月間の実験から明らかになった。(H25 年度)

4-stream 近似の放射計算モデルを単体で開発した。モデルへの組み込みは今後の課題である。(H25 年度)

ク) Sib

水平分解能 5km と 1km の NHM で、SiB を用いた 2005 年度冬季の積雪量予想実験を行い、かなりの精度で積雪量を予想できることがわかった。また、5m を超える積雪は過小評価であり、モデルでは融雪の進行が遅いことも判明した。(H21 年度)

② ビン法雲微物理過程の組み込みとその結果を使った現業雲微物理過程の改良

ア）粒子（水滴・氷粒子）の状態と物理過程を詳細に記述・再現できる多次元ビン法を NHM に組み込み、小規模な計算環境でテストを行い、孤立雲のライフサイクルを再現することができた。(H22 年度)

イ）梅雨期の一事例について、高層気象観測データと実地形データを用いて、現実的な大気条件化でテスト実験を行い、妥当な結果を得た。(H23)

ウ）実地形データを用いた鉛直 2 次元計算領域で、ゾンデ観測にもとづく大気プロファイルを与え、モデルの性能を評価しつつ改良を加えた。大気上層での過剰な氷晶生成を改善することができた。(H24 年度)

エ）ビン法雲物理過程を組み込んだ NHM を用いて現実的な大気条件下での実験を有効に行なうために、プログラムの高速化に取り組んだ。モデルの雲物理過程に、可能な限り計算資源を割り当てるため、２次元大気実験を行い、現業雲微物理過程との比較を行う予定である。(H25 年度)

③ リモートセンシングデータを使った雲微物理過程の検証と改良(H22 年度まで)

NHM の物理過程全般についての開発・改良を継続して行う。また、衛星データや地上レーダー等のリモートセンシング観測データを用いて物理過程モデルの性能や検証を検討する。(H23 年度から)

ア）2008 年 4 月 6 日に低気圧に伴い日本の南に発生した降水系について、TRMM/PR・TMI 観測との比較により、NHM のバルク法雲微物理過程の検証を行った。NHM に従来から実装されていた 3-ice スキームを用いた実験では、これまでにも指摘されたレーダ反射強度や高周波数帯のマイクロ波輝度温度低下の過大評価が見られたが、新たに実装されて開発中の 4-ice スキームによる実験では過大評価が大幅に軽減され、観測に近づく結果となった。これは、4-ice スキームでは 3-ice スキームと比べて固体降水粒子の数濃度が増加したことなどによって、平均粒径が小さく見積もられるようになったためであることがわかった。一方、4-ice スキームでは観測や 3-ice スキームと比べて雨のシグナルが弱い傾向をしめすことも明らかになり、今後の改良や調整が必要なことも示唆された。(H21 年度)

イ）2008 年 4 月 6 日に低気圧に伴い日本の南に発生した降水系について、CloudSat/CPR 観測との比較により、NHM のバルク法雲微物理過程の検証を行った。CPR で観測された受信電力値と衛星搭載レーダシミュレータ（ISOSIM-Radar）を用いて NHM から計算した受信電力値の比較を行った結果、受信電力の鉛直プロファイルから 4-ice スキームが最も観測に近く、従来の 3-ice スキームでは上層で過大評価、下層で過小評価となった。原因としては、3-ice スキームでは上層の雲氷での減衰が大きいために、その下に存在する雪の層がよく見えていないということによると考えられる。4-ice スキームでは、3-ice スキームと比べて数濃度が大きく、平均粒径が小さい結果となった。この点については、今後さらに検討が必要である。(H22 年度)

ウ）2012 年 7 月のグリーンランド全面融解時にグリーンランド上空に発生した降水系について、CloudSat/CPR 観測との比較により、NHM のバルク法雲微物理過程の検証を行った。日本の南岸低気圧事例の場合と異なり、3-ice スキームによる上層の過大評価は認められなかった。つまり、温度・湿度条件によって、衛星観測値の再現性が左右されることが示唆された。(H25 年度)

④ エーロゾルに関わる雲微物理過程の精緻化

ア）NHM に雲核の混合比と数濃度を予報変数として移流・拡散・湿性沈着・核形成過程を導入してテストを行った。雲核特性（粒径・数濃度）に対する地上降水量の依存性を再現できることを確認できた。氷晶核についても同様に移流・拡散・湿性沈着を導入した。核形成過程についても年度末までに導入し、テストを行う予定である。(H21 年度)

イ）エアロゾル（雲核・氷晶核）の乾性沈着過程を新たに組み込み、エアロゾル沈着量と分布に対する乾性沈着と湿性沈着の寄与を切り分けて評価したところ、降水がある際の沈着量分布に対して異なる効果をもつことが分かった。雲核・氷晶核を組み込んだ NHM による降水過程の再現性評価のための重要な知見が得られた。(H22 年度)

ウ）雲核・氷晶核を合計４種類まで取り込めるように改良した。(H23 年度)
エ）ビン法雲物理モデルを用いたパーセル実験結果を用いて、バルク法雲物理過程の改良を行った。雨滴生成のタイミングや雪粒子生成量を改善できた。これらの改善点を NHM に反映させ検証する予定である。(H24 年度)
オ）ビン法雲物理モデルを用いたパーセル実験結果を用いて、バルク法雲物理過程の改良を行った。雨滴生成のタイミングや雪粒子生成量を改善できた。(H24 年度)
カ）火山灰やトレーサ観測との比較を通じて、エーロゾルの移流・拡散や雲・降水との相互作用について検証を行った。移流・拡散については良好な結果を得た。雲・降水との相互作用については、適当な観測事例を選び、さらに検証する必要がある。(H25 年度)

⑤　非静力学大気波浪海洋結合モデルの開発

非静力学モデルに海洋混合層モデルおよび波浪モデルを組み込む。そして、大気・海洋再解析データに基づいて作成した現実的な境界値により台風強度予測実験を実施し、台風によって生じる波浪や海面水温低下が台風強度予測に与える影響について調査する。

ア）古いバージョンの非静力学大気モデル(NHM)に波浪モデル、海洋混合層モデル及び海洋表皮層水温スキームを結合した非静力学大気波浪海洋結合モデルの開発・動作確認・数値実験を実施した。新計算機 SR16000 上での波浪モデルのソースコードの不具合を修正し、周波数の配列入れ替え等のモデル実行高速化に関係する作業を実施した。台風 Hai-Tang(2005) の事例について数値シミュレーションを実施し、水平解像度 2km、72 時間積分（主記憶メモリー 1.5TB）が実行可能であること、主記憶メモリー制限により、16 ノードを利用した計算については、本計算が計算能力の上限となることを確認した。非静力学大気海洋結合モデルを用いた、理想的な台風渦の時間発展に関する数値実験から、局所的な海面水温低下により、スパイラルバンド上のメソ渦が弱まり、結果として台風発達が抑制されることを示した。(H21 年度)
イ）非静力学大気波浪海洋結合モデル内の波浪モデルと海洋層モデルの結合について、波浪による砕波の効果を海洋乱流混合過程に取り込むことにより、2005 年の台風 Hai-Tang の強度予測実験にて、計算された中心気圧が気象庁ベストトラック解析結果と整合し、その上で海洋冷水域上での顕著な海水温低下を良好に再現することが可能となった。 非静力学大気波浪海洋結合モデルを用いた数値実験から､海面における摩擦係数の 10m 風速依存性を調査した。風速と摩擦係数の関係について、高風速時(40 m/s 以上)に摩擦係数の単調増加が抑制されるという結果が得られた。また、交換係数の算出方法の違い（対数則と風速依存式の使用）により、10m 風速が 40m/s を超えた時の摩擦係数が大きく異なり、特に風速依存式を使用した時は、摩擦係数が急激に小さくなった。(H22-23 年度)
ウ）交換係数の算出方法の違い（対数則と風速依存式の使用）により、10m 風速が 40m/s を超えた時の摩擦係数が大きく異なり、特に風速依存式を使用した時は、摩擦係数が急激に小さくなった。(H22-23 年度)
エ）摩擦係数の 10m 風速依存性と大気境界層における混合長の長さを変えた理想実験を非静力学大気海洋結合モデルにより調査した。Kondo(1975)の摩擦係数と Deardorff(1980)の混合長を一部変更することにより、特に中心気圧 960hPa 以下で、理想台風渦の最低気圧と最大風速の関係に違いが生じた。高風速時における摩擦係数の減少及び混合長が長くなると、同じ中心気圧値に対し、最大風速はより大きくなった。(H23 年度)
オ）2010 年台風第 11 号（Fanapi）の発生～発達期(初期時刻 2010 年９月 16 日 0000UTC)について、非静力学大気波浪海洋結合モデルを用いて数値シミュレーションを実施した。海洋粗度長の定式化の違いによる台風強度予測・構造変化について、現在解析を実施している。(H23 年度)
カ）非静力学大気波浪海洋結合モデルを用いて、2009 年の台風 Choi-wan、2010 年の台風 Fanapi の事例について数値シミュレーションを実施した。計算された中心気圧は気象庁ベストトラック解析と比較した結果、Choi-wan はより低い中心気圧となり、一方で Fanapi についてはより高い中心気圧となった。風速と摩擦係数の関係については、どちらも高風速時に摩擦係数の単調増加が抑制されるという結果が得られ、また摩擦係数が最大となる 10m 風速は、台

風のライフステージによって異なることがわかった。(H24 年度)

キ) 非静力学大気海洋結合モデルを用いて、理想的な台風渦の時間発展に関する数値実験を実施し、台風内部コア域内において局所的に海面水温が低下することにより、特に強化過程におけるメソ渦の形成に伴う渦中心へ向かう動径風が弱まり、結果として台風発達が抑制されることを示した。(H25 年度)

ク) 非静力学大気モデル(NHM)に波浪モデル、海洋混合層モデル及び海洋表皮層水温スキームを結合した非静力学大気波浪海洋結合モデルの開発を実施した。特に波浪モデルと海洋層モデルの結合について,波浪による砕波の効果を海洋乱流混合過程に取り込むことにより、台風通過時の海面水温低下及び台風中心気圧の時間変化のシミュレーションが衛星データや気象庁ベストトラックの値と整合するようになった。(H25 年度)

ケ) 海面における摩擦係数の 10m 風速依存性を調査した結果、高風速時において摩擦係数の単調増加が抑制されること、また摩擦係数が最大となる 10m 風速は、台風事例やそのライフステージにより異なることが明らかとなった。海洋粗度長の定式化の違いによる台風強度予測・構造変化について５つの定式を用いて感度実験を行った結果、海洋粗度長の違いによる中心気圧の差は成熟期で～10hPa 程度であり、台風の眼の壁雲及び２次循環で感度が強いことが示された。すなわち波浪の効果は台風の２次循環の強さ及び構造に影響を与えることが明らかとなった。(H25 年度)

⑥　発雷シミュレーションモデルの開発と発雷予測手法改善のための知見の提供

ア) モデルシミュレーション結果と観測結果の比較を行い、高解像度モデルによる霰量と観測された発雷域の対応がよいことがわかった。放電開始点が特定できる新たな雷観測測器の試験が始まったので、これらのデータの処理方法、雷モデルの検証方法の検討を行い、比較検証のためのツール類の整備を開始した。(H21 年度)

イ) 高解像度 NHM により再現された各種物理量(上昇流や雲物理量)と、LIDEN による雷観測の比較を行い、5km モデルは物理量と観測された雷との対応はよくなかったが、1km モデルでは霰混合比が実際の発雷とよく対応していることを示した。この 1km モデルによる結果は既存の発雷メカニズムとも整合的であり、高解像度モデルを用いた発雷予測を進める上での重要な知見である。(H22 年度)

ウ) 雷放電の発生が、豪雨・突風といったシビア現象の発生の指標と成り得るのか統計的な調査を行った。その結果、夏の強雨については同一時間帯または 10 分前の雷発生とやや相関があった。また冬の突風については、降雨(雪)時において雷発生と突風には弱い相関がみられた。引き続き地域・季節に着目しながら、統計的な解析を進める。(H23 年度)

エ) 発雷メカニズムの解明を目指し、電界観測データによる雷雲の電荷分布の推定を行った。さらにマルチパラメータレーダ観測を用いた粒子判別と雷観測から得られるあられ粒子と雷との関係を利用し、モデル内での雷雲ポテンシャルの推定に取り組んでいる。(H24 年度)

オ) 高解像度 NHM の積乱雲の再現結果と LIDEN との比較を行い、モデルの各種物理量やモデルから得られた安定度指数の中で、モデルの鉛直積算霰量が観測された発雷域との対応が最も良いことを示した。ただし水平解像度 5km モデルの結果では霰量の再現は不十分で、水平解像度 1km 以上のモデル結果を利用することで高い予測精度が得られた。(H25 年度)

カ) LIDEN データを用いて、日本全国の対地放電発生状況を、地域別・季節別に調査した。その結果、夏季の関東平野、冬季の日本海側沿岸部、関東東方沖で、対地放電のピークが見られることを明らかにした。さらに、海岸線からの距離で区分けした雷放電数の日変化を調査し、夏季は午後に内陸側から放電が開始し、冬季は日変化は明瞭ではなく、日本海側の海岸線の内陸側 20km のきわめて限られたエリアに雷放電の極大域があらわれることを明らかにした。(H25 年度)

キ) 雷放電の発生が、豪雨・突風といったシビア現象の発生の指標と成り得るのかを AMeDAS の 10 分値と LIDEN データを用いて、地域別・季節別に統計的な調査を行った。その結果、夏の強雨については同一時間帯または 10 分前の雷発生と弱い相関があった。この傾向は北海道を除く全国で見られた。また冬については、強雨・突風とも雷放電との相関は見られなかった。(H25 年度)

⑦ 様々な状況でのモデル計算に資するための改良

ア）新計算機 SR16000 向けに NHM の最適化・高速化と実行テストを行った。新地球シミュレータ計算機向けに NHM の最適化・高速化と実行テストを行った。2009 年 4 月の JNoVA4D-VAR のルーチン化以降のメソ解析を初期値・境界値とした NHM の連続実行ツールを作成した。また、NHM の前処理において SST 可変化に対応させた。極をのぞく地球上の任意の領域で NHM が実行可能になるように改良した。(H21 年度)

イ）気象庁データ提供サーバから RA2 加盟国向けに提供している全球データを用いて、NHM を実行するための環境を整備した。JICA バングラデシュ技術協力に関連して、バングラデシュ側のトレーニング環境構築を手伝った。NHM の出力から予想衛星画像を出力するツール(衛星センター作成)を SR16000 に移植した。熱帯域で行っていた実験結果で見られた気温日較差が過小な問題が、非線形数値拡散の雲氷数濃度へのかかり方が原因であることを明らかにし、これを改善した。(H22 年度)

ウ）2007 年 1 月から 2 月にかけてインドネシアジャカルタ周辺で発生した豪雨のダウンスケール再現実験を、NCEP 全球解析値を初期値境界値に用いた気象庁非静力学モデルによって、積雲対流パラメタリゼーションを含む 20km、5km の解像度と、積雲対流パラメタリゼーションを含まない 4km の解像度で行った。20km モデルを間に挟む 2 重ネストを行わなくても、5km と 4km のモデルにより豪雨の良い再現性を得た。(H22 年度)

エ）本庁計算機 NAPS 更新に伴う、気象研用 NHM 実行環境の整備を行った。(H24)

オ）SGI 社製計算機への移植作業を行った。Intel 社製 CPU 上で実効効率は約 3.2%であった．現在さらに効率向上を目指して作業中である。(H24 年度)

カ）気象庁非静力学モデル用描画ソフトである mplot を web サービスとして利用できるバージョンを作成・公開した。(H24 年度)

キ）気象研の SR16000/L2 向けに NHM の最適化・高速化と実行テストを行った。また気象研 SR 向けに，JNoVA4D-VAR 以降のメソ解析、さらに MSM 領域拡張後のメソ解析からの NHM 実行ツールを整備した。新地球シミュレータ（ES2）向けに NHM の最適化・高速化と実行テストを行った。SGI 社製クラスタマシン(Intel 社製 Sandy-Bridge CPU ベース)向けに NHM の最適化・高速化と実行テストを行った（その際、intel 社製 fortran コンパイラで生じていた複数回の計算結果間の不一致問題を解決した)。(H25 年度)

ク）気象庁データ提供サーバから RA2 加盟国向けに提供している全球データを用いて、NHM を実行するための環境を整備した。JRA-55 の庁内向け nusdas 形式データを用いて NHM を実行できる環境を整備した。(H25 年度)

ケ）JICA バングラデシュ技術協力に関連して、バングラデシュ側のトレーニング環境構築を手伝った。また、熱帯域で行っていた実験結果で見られた気温日較差が過小な問題が、非線形数値拡散の雲氷数濃度へのかかり方が原因であることを明らかにし、これを改善した。(H25 年度)

副課題２　全球非静力学モデルの開発

① 全球スペクトルモデルの非静力学版の開発を行った。更に高速化のためスペクトル法の基底関数として球面調和関数の代わりに二重フーリエ級数を使用するオプションの開発を行った。20km と 120km の解像度では、非静力学モデルと静力学モデルで実行結果がほぼ一致することを確認した。(H22 年度)

② MPI 通信量が少なくて済む２次元分割法の検討を行い、分割法はほぼ固まった。(H22 年度)

③ 20km 格子の全球モデルで、静力と非静力、球面調和関数と二重フーリエ級数、gaussian 格子と等緯度経度格子の実行結果の違いをそれぞれ調査した。

④ 山岳の一部で静力モデルでの強い降水が非静力モデルでは弱まっており、これは非静力の方が山岳域での鉛直流を正しく表現しているからと思われる。それ以外はほとんど違いは見られなかった。(H23 年度)

⑤ 15km 格子の全球モデルで、静力と非静力、球面調和関数と二重フーリエ級数の実行結果と実行速度の違いを調査した。球面調和関数と二重フーリエ級数のモデルで実行結果はほとんど違わ

ず、この解像度では静力学と非静力学でも実行結果がほとんど違わないことを確認した。非静力学のモデルは、静力学のモデルと比べて予報変数・計算量が増えるため実行時間が約 1.4 倍になった。二重フーリエ級数のモデルは、ルジャンドル変換の代わりに高速なフーリエ変換を使用するため、球面調和関数のモデルと比べて実行時間が約 0.7 倍に短縮された。より高解像度では、球面調和関数のモデルと比べて二重フーリエ級数のモデルの実行時間は更に短縮される。(H24 年度)

⑥ 全球スペクトルモデルは、セミインプリシット・セミラグランジュ法の使用により長いタイムステップをとることが可能である。このことにより、15km 格子の二重フーリエ級数スペクトルモデルは、イクスプリシット法を使用する同じ解像度の全球グリッドモデルと比較して実行時間が約 10 分の 1 で済むことが確認された。(H24 年度)

⑦ セミラグランジュ法に伴う MPI 通信の通信量が少なくて済むように、水平２次元領域分割について正方形に近い形に分割するように変更を行い、通信時間が大幅に短縮されることを確認した。(H25 年度)

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

① リモートセンシングデータを使った雲微物理過程の検証と改良

ア）非静力学モデルの物理過程（バルク微物理過程や境界層など）の開発や降雪予測の検証も重要と考え、平成 23 年度からこれらについても課題に含めるようにした。(H23 年度)

イ）職員の異動等により、「リモートセンシングデータを使った雲微物理過程の検証と改良」については、手法の検討を行うように変更した。(H23)

② 非静力学大気波浪海洋結合モデルの開発

ア）当初は CVS により公開されている NHM を利用して非静力学大気波浪海洋結合モデルを構築する計画であったが、台風による海面水温低下の生成機構と台風強度への影響解明のための研究を優先するため、古いバージョンでの NHM による非静力学大気波浪海洋結合モデルの開発及び SR16000 への移植を優先した。(H21 年度)

イ）理想実験の他に、台風事例について数値シミュレーションを実施した。非静力学大気波浪海洋結合モデル内の波浪海洋結合過程及び大気モデルの接地境界層過程を改良することについては、当初計画に含まれていなかった。(H22 年度)

③ 非静力学大気波浪海洋結合モデル関連

非静力学大気波浪海洋結合モデルによる台風数値シミュレーションについては、一部を融合研究「台風強度に影響する外的要因に関する研究」で実施することとした。2011 年の台風第６号、第 12 号、第 15 号及び 2012 年の台風第 15 号の数値シミュレーション結果については、「台風強度に影響する外的要因に関する研究」を参照されたい。(H24 年度)

成果の他の研究への波及状況

① 開発された非静力学モデルは、領域気候モデルとして、革新プログラムでも利用され、地球温暖化の研究に貢献している。

② エーロゾル過程のモデルは、火山灰輸送モデルにも応用され、たとえば平成 23 年 1 月の新燃岳の噴火による火山灰輸送予測等の現業面でも活用されている。

今後の課題

副課題１　高解像度非静力学モデル

① 検証等で明らかにされたモデルの問題点について、その原因の解明と改良を進める。

② 高解像度モデルの開発では、現象に関する観測データがない、あるいは非常に限定されてしまうことが多いので、工夫してモデル開発を行うことが必要になる。

③ 2011 年は台風による自然災害が深刻な年であったことから、非静力学大気波浪海洋モデルによる数値シミュレーションを、2011 年の台風事例について実施し、台風予測に対する海洋の役割を解明するとともに、結合モデルの問題点を抽出する。

④ 今後は asuca（新しい力学コアに基づく非静力学モデル）についても開発や検証を行うことが

必要になると考える。

⑤ 現業出運用されている、あるいは今後予定されている、水平解像度が 1～2km 程度の数値モデル向けに対流現象や大気境界層の適切なモデルへ貢献することも念頭においてモデル開発を進めることが必要である。

副課題２　全球非静力学モデル

① 降水過程（雲物理過程）モデルの開発

② 高解像度での性能試験、及びグリッドモデルとの比較小項目１

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（台風・集中豪雨分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、473 ページを参照。

成果発表一覧

査読論文：17 件

1. Fujiyoshi, Y., K. Osumi, M. Ohi, and Y. Yamada, 2013: Sea ice identification and derivation of its velocity field by X-band Doppler radar. J. Atmos. Oceanic Technol., 30, 1240-1249. DOI: 10.1175/JTECH-D-12-00155.1.
2. Hashimoto, A., T. Shimbori, K. Fukui, 2012: Tephra Fall Simulation for the Eruptions at Mt. Shinmoe-dake during 26-27 January, 2011 with JMANHM, SOLA, 8, 37-40.
3. Kanada, S., M. Nakano, and T. Kato, 2010: Changes in mean atmospheric structures around Japan during July due to global warming in regional climate experiments using a cloud-system resolving model. Hydrological Research Letters, 4, 11-14.
4. Kanada, S., A. Wada, M. Nakano, and T. Kato, 2012: Effect of the PBL schemes on the development of an intense tropical cyclone using a cloud resolving model, J. Geophys. Res., 117, D03107.
5. Kanada, S., A. Wada, M. Sugi, 2013: Future Changes in Structures of Extremely Intense Tropical Cyclones Using a 2-km Mesh Nonhydrostatic Model, J. Climate, accepted.
6. Kuroda, T., K. Saito, M. Kunii and N. Kohno, 2010: Numerical Simulations of Myanmar Cyclone Nargis and the Associated Storm Surge Part 1：Forecast Experiment with NHM and Simulation of Storm Surge. J. Meteor. Soc. Japan, 88, 521-545.
7. Misumi, R, A. Hashimoto, M. Murakami, N. Kuba, N. Orikasa, A. Saito, T. Tajiri, K. Yamashita, J.P. Chen, 2010: Microphysical structure of a developing convective snow cloud simurated by an improved version of the multi-dimensional bin model. Atmospheric Science Letters, 11, 186-191 , doi:10.1002/asl.268.
8. Nakano, M., T. Kato, S. Hayashi, S. Kanada, Y. Yamada, and K. Kurihara 2011: Development of a 5-km-mesh cloud-system resolving regional climate model in the Meteorological Research Institute, J. Meteor. Soc. Japan (submitted 10/4, accepted 予定).
9. Ohtake, H., M. Murakami, N. Orikasa, A. Saito, A. Hashimoto and T. Kato, 2013: Statistical Validation of a Cloud Resolving Model Using Aircraft Observations of Orographic Snow Clouds. J. Meteor. Soc. Japan, Reviewed.
10. Ohtake, H., K. Shimose, J.-G. Fonseca Jr., T. Takashima, T. Oozeki, Y. Yamada, 2012: Accuracy of the solar irradiance forecasts of the Japan Meteorological Agency mesoscale model for the Kanto region, Japan. Solar Energy, (in press).
11. Wada, A., 2009: Idealized numerical experiments associated with the intensity and rapid intensification of stationary tropical cyclone-like vortex and its relation to initial sea-surface temperature and vortex-induced sea-surface cooling. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 114, D18111.
12. Wada, A., H. Niino and H. Nakano, 2009: Roles of Vertical Turbulent Mixing in the Ocean Response to Typhoon Rex (1998). Journal of Oceanography, 65, 373-396.
13. Wada, A. and N. Usui, 2010: Impacts of oceanic preexisting conditions on predictions of typhoon Hai-Tang in 2005. Adv. Meteorol. 2010. 756071. doi:10.1155/2010/756071.

14. Wada, A., N. Kohno and Y. Kawai, 2010: Impact of wave-ocean interaction on typhoon Hai-Tang in 2005. SOLA. 6A. 13-16. doi:10.2151/sola.6A-004.
15. Wada, A., 2012: Numerical study on the effect of the ocean on tropical-cyclone intensity and structural change. Atmospheric Models. I. Yucel Ed. 43-68.
16. Wada, A., M. F. Cronin, A. J. Sutton, Y. Kawai, and M. Ishii, 2013: Numerical simulations of oceanic pCO_2 variations and interactions between Typhoon Choi-wan (0914) and the ocean. J. Geophys. Res. Oceans, 118, 2667-2684.
17. Wada, A., N. Usui, and M. Kunii, 2013: Interactions between Typhoon Choi-wan (2009) and the Kuroshio Extension System. Adv. Meteorol, 2013, 859810.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：36 件

1. Hayashi, S., 2009: MRI scientist visited CMMCS in India. International Research Prevention and Mitigation of Meteorological Disasters in Southeast Asia Newsletter, 5, 2.
2. Hayashi, S., 2010: Statistical verification of short range forecasts by NHM and WRF-ARW over Southeast Asia and Japan areas. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell. 40. 507-508.
3. Kanada, S., and A. Wada, 2012: Effects of atmospheric planetary and surface boundary-layer schemes on simulations of intense tropical cyclones. CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 42, 4.05-4.06.
4. Kato, T., 2011: Dependency of horizontal and vertical resolutions, and turbulence schemes on snowfall forecasts, CAS/JSC Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling, 40, 3.03-3.04.
5. Kato, T., Y. Yamada and M. Nakano, 2010: Improvement of Kain-Fritsch Convection Parameterization Scheme to Suppress its False Predictions of Rainfall Areas along Coastal Lines. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 40, 4.07-4.08.
6. Kato, T., 2012: Dependency of horizontal and vertical resolutions, and turbulence schemes on snowfall forecasts: Part II Differences of vertical profiles, CAS/JSC Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling, 42, 4.09-4.10.
7. Kuroda, T., K. Saito, M. Kunii and N. Kohno, 2009: Numerical Experiments of Myanmar Cyclone Nargis. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 39, 5.11-5.12.
8. Nakamura, M., 2011: Dependence on resolution of the development of shallow cumulus over land. CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modeling. 41, 3.7-3.8
9. Nakamura, M., T. Kato, and S. Hayashi, 2011: Reproducibility of diurnal variation of summertime precipitation by a nonhydrostatic model. CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modeling. 41, 2.9-2.10.
10. Wada, A. 2010: Tropical Cyclone – Ocean Interaction: Numerical Studies. In Advances in Energy Research. Volume 1. Ed. M. J. Acosta. 1-67. ISBN 978-1-61668-994-0.
11. Wada, A., 2011: Drag coefficient under extremely high winds of typhoon Hai-Tang (2005). CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 41, 9.09-9.10.
12. Wada, A., 2011: Impacts of diurnally-varying sea surface temperature and sea states on the evolution of stationary tropical-cyclone-like vortex. CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 41, 9.07-9.08.
13. Wada, A., 2012: Oceanic influences for a large eye of Typhoon Talas in 2011. CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 42, 9.09-9.10.
14. Wada, A., 2012: Rapid intensification of Typhoon Roke in 2011. CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 42, 9.05-9.06.
15. Wada, A., 2012: Spin-down process caused by vortex-induced sea-surface cooling. CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 42, 9.07-9.08.
16. Wada, A., 2013: The impact of oceanic initial conditions on the simulations of Typhoon Ma-on in 2011, CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 43, 9.05-9.06.
17. Wada, A., 2013: Sensitivity of horizontal resolution and sea spray to the simulations of

Typhoon Roke in 2011, CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 43, 9.07-9.08.
18. Wada, A., 2013: Lagged simulations of the oceanic initial condition for Typhoon Choi-wan (2009), CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 43, 9.09-9.10.
19. Wada, A., 2013: Impacts of surface roughness lengths on axisymmetrically mean structure of Typhoon Fanapi (2010), CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 43, 9.11-9.12.
20. Wada, A., 2013: Effect of Talas-induced sea-surface cooling on the generation of a subsequent typhoon, CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 43, 9.13-9.14.
21. Wada, A. and Y. Kawai, 2009: The Development of Diurnally-Varying Sea-Surface Temperature Scheme. Part I. Preliminary numerical experiments. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell. 39. 0907-0908.
22. Wada, A. and Y. Kawai, 2009: The Development of Diurnally-Varying Sea-Surface Temperature Scheme. Part II. Idealized numerical experiments. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell. 39. 0909-0910.
23. Wada, A., Y. Kawai and N. Usui, 2010: Impacts of diurnally-varying sea-surface temperature on the predictions of Typhoon Hai-Tang in 2005. Part I. Intensity prediction. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell. 40. 9.09-9.10.
24. Wada, A., N. Kohno and Y. Kawai, 2010: Formulation of the effect of breaking surface waves on entrainment and its impact on Typhoon Hai-Tang in 2005. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell. 40. 9.15-9.16.
25. Wada, A., N. Kohno and N. Usui, 2009: Numerical predictions for Typhoon Hai-Tang in 2005 by an experimental atmosphere-wave-ocean coupled model. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell. 39. 0911-0912.
26. Wada, A. and N. Usui, 2010: The influence of the variation of oceanic precondition on the prediction of Typhoon Hai-Tang in 2005. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell. 40. 9.13-9.14.
27. Yoshimura, H., 2012: Development of a nonhydrostatic global spectral atmospheric model using double Fourier series. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 42, 3.05-3.06.
28. 岩崎俊樹, 伊藤耕介, 三浦裕亮, 大塚成徳, 馬場雄也, 橋本明弘, 斉藤和雄, 原旅人, 野田　暁, 沢田雅洋, 2013: 第 2 回非静力学数値モデルに関する国際ワークショップの報告. 天気, 60, 209-215.
29. 斎藤和雄, 2013: メソスケール気象予測の数学的問題設定. 日本数学教育学会誌, 95, 第 5 号, 13-20.
30. 橋本明弘, 2009: 新用語解説「ビン法」. 天気, 56, 675-676 .
31. 藤吉康志, 久芳奈遠美, 橋本明弘, 三隅良平, 河本和明, 三井達也, 井口享道, 村上正隆, 斎藤篤思, 田尻拓也, 山下克也, 折笠成宏, 竹見哲也, 尾上万里子, 吉原經太郎, 2009: 第 15 回雲・降水国際学会参加報告. 天気, 56, 223-232 .
32. 村上正隆, 藤部文昭, 折笠成宏, 岩波 越, 田尻拓也, 久芳奈遠美, 橋本明弘, 2012: 第 36 回メソ気象研究会の報告－人工降雨・降雪研究の現状－. 天気, 59, 737-743.
33. 三隅良平, 下瀬健一, 岩崎杉紀, 大東忠保, 佐藤陽祐, 鵜沼昂, 大竹秀明, 古関俊也, 斎藤篤思, 橋本明弘, 山下克也, 田尻拓也, 竹見哲也, 藤吉康志, 村上正隆, 中井専人, 李根玉, 2013: 第 16 回国際雲・降水会議（ICCP2012）の報告. 天気, 60, 177-185.
34. 加藤輝之, 大関崇, 荻本和彦, 長澤亮二, 大竹秀明, 早 宜之, 伊藤純至, 原旅人, 日下博幸, 2012: 第 35 回メソ気象研究会の報告－再生エネルギーとメソ気象との関わり－. 天気, 59, 946-950.
35. 和田章義, 伊藤耕介, 石川裕彦, 2009: 第 1 回北西太平洋における熱帯低気圧海洋相互作用に関する国際ワークショップ報告. 天気, 56, 807-813.
36. 和田章義, 2012: 台風と海洋, 台風研究の最前線（上）, 気象研究ノート, 226, 149-189.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：26 件

1. Hashimoto, A., M. Murakami, 2012: A numerical modelling study for the issues on the planned and inadvertent weather modification in Japan, 16th International conference on clouds and precipitation. 13.1.1, Leipzig.
2. Hashimoto, A., R. Misumi, and M. Murakami, 2012 : Development of bulk microphysics parameterization based on multi-dimensional bin microphysics model, 2nd International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models, 48-49.
3. Hashimoto, A., M. Niwano and T. Aoki, 2013: Numerical simulation of the rainfall event in Greenland during SIGMA-IOP2012. SIGMA Workshop, March 6 – 8 2012, Semboku, Japan.
4. Hayashi, S., 2009: Practical exercise for NWP by using DVD-NHM. The 5th KAGI21 International Summer School. August 2009. Otsu, Japan.
5. Hayashi, S., 2010: Statistical verification of short range forecasts by NHM and WRF-ARW over Southeast Asia and Japan areas. The 3rd International Workshop on Prevention and Mitigation of Meteorological Disasters in Southeast Asia, March, 2010, Beppu, Japan.
6. Kajino, M., M. Deushi, T. Maki, T. Aoyagi, A. Hashimoto, and M. Mikami, 2012: Modeling Air and Precipitation Quality in Japan Using a Chemical Meteorology Model (NHM-Chem). AMS 92nd Annual Meeting, New Orleans, USA.
7. Kato, T., 2010: Dependency of horizontal and vertical resolutions, and turbulence schemes on snowfall forecasts. First International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models. September 2010. Kyoto, Japan.
8. Kubota, T., H. Eito, K. Aonashi, A. Hashimoto, T. Iguchi, H. Hanado, S. Shimizu, N. Yoshida, and R. Oki, 2009: Development of Spaceborne Radar Simulator by NICT and JAXA using JMA Cloud-resolving Model, 2009 AGU Fall Meeting, A12C-08.
9. Kubota, T., H. Eito, K. Aonashi, A. Hashimoto, T. Iguchi, H. Hanado, S. Shimizu, N. Yoshida and R. Oki, 2010: Development of spaceborne radar simulator by NICT and JAXA using JMA cloud-resolving model. 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. TU4.L08.2.
10. Murakami, M., H. Ohtake, K. Koike, A. Hashimoto, N. Orikasa and A. Saito, Validation of MRI NHM with aircraft and ground-based observations of orographic snow clouds, Asia Oceania Geosciences Society 2011 Annual Meeting.
11. Nagumo, N., Y. Yamada, S. Hayashi, T. Kato, and T. Hara, 2012: Verification of the resolution dependence of the atmospheric boundary layer process by NHM. 2nd International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models. Sendai, Japan, 76-77.
12. Nakamura, M., M. Nakano, S. Kanada, S. Hayashi, T. Kato, Y. Honda, K. Kurihara and A., Kito, 2009: Projection of the changes in the future extremes over Japan using a cloud-resolving model. The 3rd International Workshop on Prevention and Mitigation of Meteorological Disasters in Southeast Asia, March, 2010, Beppu, Japan.
13. Ohtake, H, K. Shimose, J.G.S. Fonseca Jr., T. Takashima, T. Oozeki, and Y. Yamada, 2012: Regional Characteristics of the Simulated Insolation by the Japan Meteorological Agency Meso-Scale Numerical Model for the Forecast of the Photovoltaic Power Production. 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (27th EU PVSEC). Frankfurt, Germany, 4107 – 4111.
14. Ohtake. H, K. Shimose, Joao Fonseca, T. Takashima, T. Oozeki and Y. Yamada, 2012: Regional and seasonal characteristics of shortwave radiation by the Japan Meteorological Agency mesoscale model for the forecast of a photovoltaic power production. Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models. Sendai, Japan.
15. Ohtake, H., K. Shimose, J. Fonseca, T. Takashima, T. Oozeki and Y. Yamada, 2013: Characteristics of global horizontal irradiance forecasts by the Japan Meteorological Agency mesoscale model. 2nd International Conference Energy & Meteorology (ICEM 2013). Toulouse, France.
16. Saito, K., 2009: Review of the nonhydrostatic atmospheric model and development of NHM. Seminar at School of Science, Vietnam National University. (6 October, Hanoi,

Vietnam).
17. Shimose, K., H. Ohtake, Y. Yamada, J.G.S. Fonseca Jr., T. Takashima and T. Oozeki, 2012: Validation of Solar Irradiance of the Japan Meteorological Agency Meso-Scale Model: Investigation of Error Cause Around Tokyo, Japan. 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (27th EU PVSEC), Frankfurt, Germany, 4132 – 4135.
18. Trilaksono, N. J., S. Otsuka, S. Yoden, K. Saito, and S. Hayashi, 2011:A Downscale Experiment on the Heavy Precipitation during the Jakarta Flood Event in January-February 2007. International workshop on downscaling 18-20 January 2011, Tsukuba, Japan.
19. Wada, A., N. Usui, N. Kohno, Y. Kawai and K. Sato,2009: The ocean response to Typhoon Hai-Tang in 2005 and its influence. International Workshop on Tropical Cyclone-Ocean Interaction in the Northwest pacific. April, 2009, Jeju, Korea, 4-12.
20. Wada, A., 2012: Numerical simulations on surface roughness lengths and drag coefficients under typhoons. Japan Geoscience Union (JGU) Meeting, Makuhari, Japan, May 20-25, 2012.
21. Wada, A., 2011: Roles of the ocean in tropical cyclone intensity and its intensification. 8th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society.
22. Wada, A., and M. Ishii, 2013: Numerical study on TC-induced oceanic carbon system changes. Japan Geoscience Union (JGU) Meeting, Makuhari, Japan, May 19-24, 2013.
23. Wada, A., Meghan, F. Cronin, Adrienne J. Sutton, Y. Kawai, and M. Ishii, 2012: Numerical simulation on the interactions between Typhoon Choi-wan in 2009 and the mid-latitude Ocean. Asia Oceania Geosciences Society 9th Annual General Meeting & AGU_2012 Western Pacific Geophysics Meeting (AOGS 2012 - AGU WPGM), Singapore, Aug. 13-17.
24. Yamada, Y., 2012: A unique cumulonimbus producing a localized heavy rainfall in Tokyo Metropolitan during TOMACS. 16th International Conference on Clouds and Precipitation. 3.1-3, Leipzig.
25. Yoshimura, H., 2012: Non-hydrostatic global spectral atmospheric model using double Fourier series. Dynamical core seminar, 29 February 2012, Kobe, Japan.
26. Yoshimura, H., 2012: Development of a Nonhydrostatic Global Spectral Atmospheric Model using Double Fourier Series. 2012 KIAPS International Symposium on Global NWP System Modeling, 12-14 November 2012, Seoul, Korea, 59-62.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：71 件

1. 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 田中泰宙, 保坂征宏, 橋本明弘, 本山秀明, 兒玉裕二, 植竹淳, 竹内望, 的場澄人, 杉山慎, 山口悟, 本吉弘岐, 岩田幸良, 杉浦幸之助, 八久保晶弘, 堀雅裕, 谷川朋範, 本谷研, 山崎哲秀, 2012: 「北極域における積雪汚染及び雪氷微生物が急激な温暖化に及ぼす影響評価に関する研究」（SIGMA プロジェクト）の紹介. 日本気象学会 2012 年度秋季大会, D313.
2. 永戸久喜，久保田拓志，青梨和正，橋本明弘，井口俊夫，清水収司，2009：TRMM/PR・TMI 観測データを用いた JMA-NHM 雲微物理過程の検証，第 11 回非静力学モデルに関するワークショップ講演予稿集，D-1.
3. 永戸久喜，久保田拓志，青梨和正，橋本明弘，2009：TRMM/PR・TMI 観測データを用いた JMA-NHM 雲微物理過程の検証，日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, D211.
4. 永戸久喜，久保田拓志，青梨和正，橋本明弘，2009：TRMM/PR・TMI 観測データを用いた JMA-NHM 雲微物理過程の検証，名古屋大学地球水循環研究センター平成 21 年度共同研究集会「衛星による陸上の高精度降水推定技術の開発とその開発途上国の水問題解決への利用の研究企画のための集会」報告書，17-19.
5. 大関崇，高島工，J. Fonseca，大竹秀明，下瀬健一，山田芳則，2013：太陽光発電システムの数時間先の発電予測に関する研究，日本電気学会平成 25 年電力・エネルギー部門大会. 新潟県新潟市.
6. 大竹秀明，下瀬健一，Joao Gari da Silva Fonseca Jr.，高島　工，大関　崇，山田芳則，2012：

太陽光発電量予測に向けた気象庁メソ数値予報モデルの日射量予測の経年・季節変化と地域特性．日本電気学会・平成 24 年電力・エネルギー部門．10.　北海道札幌市.
7. 大竹秀明，下瀬健一，山田芳則, Joao Gari da Silva Fonseca Jr.,高島工，大関崇，太陽光発電量予測グループ, 2012：太陽光発電量予測に向けた気象庁メソ数値予報モデルの日射量予測の地域・季節特性．日本気象学会 2012 年度春季大会、C301.
8. 大竹秀明，下瀬健一, Joao Gari da Silva Fonseca Jr, 高島工，大関崇，山田芳則, 2013：気象庁メソモデルによる日射量予測値の予測実績からみた信頼区間の検討．日本電気学会　平成 25 年電力・エネルギー部門大会．新潟県新潟市.
9. 大竹秀明，下瀬健一, J. Fonseca Jr, 高島工，大関崇，山田芳則、2013：気象庁メソモデルによる日射量予測値の予測実績からみた誤差幅の把握．第 32 回エネルギー・資源学会研究発表会．東京都千代田区.
10. 大竹秀明，下瀬健一, J. Fonseca Jr, 高島工，大関崇，山田芳則、2013：気象庁メソモデルによる日射量予測の実績から解析された誤差幅の特徴．第 10 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム．石川県金沢市.
11. 梶野瑞王，出牛真，眞木貴史，青柳暁典，橋本明弘，三上正男，非静力学気象化学モデル（NHM-Chem）の開発微量気体，日本気象学会 2011 年度秋季大会, D163.
12. 加藤輝之, 2010: 雲解像モデルによる降雪予測，ワークショップ『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究(第８回)』.
13. 加藤輝之，2010: 雲解像モデルによる降雪予測　－ 水平・鉛直解像度、あられと雪の蒸発量抑制に関する感度 －，科振費「渇水対策のための人工降雨・降雪 に関する総合的研究」2009 年度研究発表会.
14. 加藤輝之, 2010: 降雪予想に対する水平・鉛直解像度と乱流過程の依存性，日本気象学会 2010 年度春季大会　A204.
15. 加藤輝之，2011：降雪予想に対する水平・鉛直解像度と乱流過程の依存性，超高精度メソスケール気象予測研究会.
16. 加藤輝之，2011：降雪予想に対する水平・鉛直解像度と乱流過程の依存性－鉛直プロファイルの違い－，第 13 回非静力学モデルに関するワークショップ.
17. 加藤輝之，2011：降雪予想に対する水平・鉛直解像度と乱流過程の依存性その２：鉛直プロファイルの違い，日本気象学会 2011 年度秋季大会, C114.
18. 加藤輝之，大泉三津夫，2009: SiB を用いた 2005 年度冬季の積雪量予想実験，日本気象学会 2009 年度春季大会　B304.
19. 加藤輝之，山田芳則，中野満寿男，2009: Kain-Fritsch スキームの発動条件を 海陸別に改良-1km 雲解像モデルで再現された積乱雲の雲底高度から -，第 11 回 非静力学モデルワークショップ予稿集, G-3.
20. 金田幸恵，和田章義，中野満寿男，加藤輝之，2010: 水平解像度 5km/2km の非静力学モデル JMANHM を用いた非常に強い TC の発達に関する感度実験～特に境界層スキームに着目して．日本気象学会 2010 年度春季大会，C205.
21. 金田幸恵，和田章義，中野満寿男，加藤輝之，2011: 水平解像度 5km/2km の非静力学モデル JMANHM を用いた非常に強い TC の発達に関する感度実験～境界層スキームによる構造と下層フラックスの鉛直輸送．日本気象学会 2011 年度秋季大会，A310.
22. 金田幸恵，和田章義, 2012: 水平解像度 2km の非静力学モデルによる非常に強い TC の構造の将来変化、日本気象学会秋季大会、B356.
23. 金田幸恵，和田章義, 2012: 水平解像度 2km の非静力学モデル JMANHM を用いた非常に強い TC の発達に関する感度実験(3)～境界層構造と海面フラックス、日本気象学会春季大会、D409.
24. 金田幸恵，和田章義，坪木和久，2013: 非常に強い熱帯低気圧の inner-core 構造に対する物理過程の影響～水平解像度 2km の２つの非静力学モデルを用いたダウンスケール実験より．日本気象学会 2013 年度秋季大会 .
25. 久保田拓志，永戸久喜，青梨和正，橋本明弘，井口俊夫，花土弘，清水収司，吉田直文，沖理子，2009: 衛星搭載降水レーダシミュレータによる JMA-NHM 雲微物理過程の検証，日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, D212.
26. 斉藤和雄, 2010: 研究者人生の転機と NHM 開発エピソード. 2010 年度気象若手会夏の学校（招

待講演）.
27. 下瀬健一，大竹秀明，Joao Gari da Silva Fonseca Jr.，高島　工，大関　崇、山田芳則、2012：太陽光発電予測に向けた気象庁メソ数値予報モデルの日射量予測精度検証―つくばでの大外し事例の解析―．日本電気学会・平成 24 年電力・エネルギー部門．182.
28. 下瀬健一，大竹秀明，J. Fonseca，高島工，大関崇，山田芳則、2013：太陽光発電予測に向けた気象庁メソモデルの日射量予測改良　－日射量予測に影響を及ぼす雲量予測手法の改良に関する一検討―．日本電気学会　平成 25 年電力・エネルギー部門大会．新潟県新潟市.
29. 南雲信宏，山田芳則，加藤輝之，原旅人 2013: JMA-NHM の理想実験における境界層過程の解像度依存性の検証．第 15 回非静力学モデルに関するワークショップ講演予稿集，P84-85.
30. 橋本明弘，新堀敏基，福井敬一，2009: 雲過程を考慮した噴煙モデルの開発－Sarychev Peak 2009 年 6 月 12 日噴火事例への適用－．日本火山学会 2009 年度秋季大会, A02.
31. 橋本明弘, 2009: 雲過程を考慮した噴煙モデルの開発 Sarychev Peak 2009 年 6 月 12 日噴火事例への適用，平成 21 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「火山現象の数値計算研究」.
32. 橋本明弘，新堀敏基，福井敬一, 2010: 雲・降水過程を考慮した噴煙－降灰モデルの開発（その２）霧島山新燃岳 2008 年 8 月 22 日噴火事例への適用．平成 22 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「火山現象の数値計算研究」.
33. 橋本明弘，新堀敏基，福井敬一, 2011: 霧島山新燃岳噴火に伴う火山灰輸送の数値実験．日本地球惑星科学連合 2011 年大会, SVC050-08.
34. 橋本明弘，2011: ビン法によるバルク法雲物理過程の改良，超高精度メソスケール気象予測研究会, 2013 年 3 月，神戸.
35. 橋本明弘, 2011，総合的水資源予測モデルを用いた人工降雨・降雪の影響評価，第 36 回メソ気象研究会, 2011 年 11 月，名古屋.
36. 橋本明弘，新堀敏基，福井敬一，2011: 霧島山新燃岳噴火に伴う火山灰輸送の数値実験（その２）．日本火山学会 2011 年度秋季大会, A1-19.
37. 橋本明弘, 2011: 新燃岳 2011 年 1 月 26 日噴火にともなう火山灰輸送の数値実験．平成 23 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「火山現象のダイナミクス・素過程研究.
38. 橋本明弘，2011: 新燃岳 2011 年 1 月 26－27 日の噴火にともなう火山灰輸送の数値実験．第 27 回つくば火山学セミナー「噴煙と火山灰輸送に関する新知見～霧島新燃岳噴火から～」.
39. 橋本明弘，佐藤陽祐，久芳奈遠美，2012: 多次元ビン法ＮHMの開発・改良，第 2 回超高精度メソスケール気象予測研究会, 2012 年 3 月，神戸.
40. 橋本明弘，新堀敏基，福井敬一，2012: 霧島山新燃岳噴火に伴う火山灰輸送の数値実験（その３）．日本火山学会 2012 年度秋季大会, B1-13.
41. 橋本明弘，新堀敏基，福井敬一，2012: 新燃岳 2011 年 1 月 26－27 日噴火にともなう広域火山灰輸送の数値実験．平成 24 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「火山現象のダイナミクス・素過程研究」.
42. 橋本明弘，三隅良平，村上正隆，Richard D. Farley，多次元ビン法微物理モデルを利用したバルク法微物理モデルの開発・改良，日本気象学会 2012 年度秋季大会, D162.
43. 橋本明弘，2013: 多次元ビン法 NHM の開発・改良－物理アンサンブルのための基礎実験－，第 3 回超高精度メソスケール気象予測研究会, 2013 年 3 月，神戸.
44. 橋本明弘，山下克也，村上正隆，伊東克郎，山田誠，山本厚，松尾崇宏，2013: 吸湿性粒子最適シーディング法に関する数値実験．日本気象学会 2013 年度春季大会, A304.
45. 橋本明弘，山下克也，村上正隆，2013: 吸湿性エアロゾル２成分系における雲形成に関する数値実験．第 30 回エアロゾル科学・技術研究討論会, A18.
46. 橋本明弘，新堀敏基，福井敬一, 2012:霧島山新燃岳噴火に伴う火山灰輸送の数値実験（その３），日本火山学会 2012 年度秋季大会，B1-13.
47. 橋本明弘，新堀敏基，福井敬一，2012：新燃岳 2011 年 1 月 26-27 日噴火にともなう広域火山灰輸送の数値実験，平成 24 年度東京大学地震研究所共同利用（研究集会）「火山現象のダイナミクス・素過程研究」，東京都文京区.

48. 橋本明弘, 三隅良平, 村上正隆, Richard D. Farley, 2012 : 多次元ビン法微物理モデルを利用したバルク法微物理モデルの開発・改良．日本気象学会 2012 年度秋季大会，D162.
49. 林修吾，斉藤和雄, 2009: 東南アジア域と日本域における NHM と WRF-ARW による短期予報での日変化の再現性検証　水平解像度 20km モデルに 1way ネストした 5km モデルでの結果．日本気象学会 2009 年度秋季大会予稿集，D167.
50. 林修吾，斉藤和雄, 2009: 東南アジア域および日本域における NHM と WRF-ARW による短期予報の統計的精度検証．「東南アジア地域の気象災害軽減国際共同研究」第三回国内研究集会.
51. 林修吾，2010: 東南アジア域における短期予報の精度検証メソ研．第 34 会メソ気象研究会.
52. 林修吾，2010 : 雲解像モデルの物理量を用いた発雷予測手法の開発．日本気象学会 2010 年度秋季大会，C372.
53. 林修吾, 南雲信宏, 山田芳則, 橋本明弘, 下瀬健一、2012 : 高解像度モデルによる熱雷(夏季不安定性降水)の再現性，日本気象学会 2012 年度春季大会．B403.
54. 前島康光, 橋本明弘, 村上正隆, 2012 : 小河内貯水池の集水域を対象とした暖候期の降水シミュレーション，日本気象学会 2012 年度秋季大会，A208.
55. 三隅良平, 橋本明弘, 村上正隆，折笠成宏，斎藤篤思，田尻拓也，山下克也，久芳奈遠美，J.-P. Chen，2009: 対流性降雪雲の発達期における雲物理構造 ―多次元ビン法シミュレーション―．日本気象学会 2009 年度秋季大会予稿集, D209.
56. 山田芳則，2012 : 東京に大雨をもたらした 2 つの型の積乱雲．日本気象学会 2012 年度春季大会．D162.
57. 山田芳則, 2013 : 2012 年 9 月 4 日に東京に出現した孤立型積乱雲の構造．2013 年度日本気象学会春季大会，A201.
58. 山田芳則, 2013 : 気象庁非静力学モデルのバルク微物理モデルの改良と開発．第 15 回非静力学モデルに関するワークショップ，札幌市，講演予稿集 17-18.
59. 山田芳則, 2013 : 気象学サイドから見た太陽光発電予測の将来の姿（招待講演）．AES 太陽光発電システム研究発表会（第 15 回），東京都目黒区.
60. 山田芳則, 2013 : 気象庁数値予報モデルによる日射量予測と予測日射量の誤差の特徴（招待講演）．第 5 回セミナー「太陽光発電システムの発電出力把握・予測技術」．東京都新宿区.
61. 吉村裕正, 2011: 二重フーリエ級数を使用した非静力全球スペクトル大気モデルの開発．日本気象学会 2011 年度春季大会講演予稿集、B401.
62. 和田章義, 2011: 成熟期の台風強度と海面水温の関係．日本気象学会 2011 年秋季大会講演予稿集, C360.
63. 和田章義, 2012: 2009 年台風 Choi-wan と海洋との相互作用、日本気象学会秋季大会、B358.
64. 和田章義，2012: 2009 年台風 Choi-wan と海洋との相互作用、日本気象学会 2012 年秋季大会講演予稿集、B358.
65. 和田章義，2013: 海洋データ同化による海洋解析場が台風シミュレーションに与える影響，日本気象学会 2012 年春季大会講演予稿集、B406.
66. 和田章義, 川合義美, 碓氷典久, 2009: 海面水温日変化が台風強度予測に与える影響，日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, C162.
67. 和田章義、高野洋雄、碓氷典久、川合義美、2009:台風発達期における台風 Hai-Tang(2005)と海洋との相互作用、日本気象学会 2009 年度春季大会講演予稿集、D406.
68. 和田章義, 川合義美, 碓氷典久, 2009: 海面水温日変化が台風強度予測に与える影響，平成 21 年度京都大学防災研究所共同研究集会「台風研究会：台風災害の歴史と教訓 －伊勢湾台風から 50 年－」, 78-83.
69. 和田章義, 高野洋雄, 川合義美, 碓氷典久, 2010: 台風 Hai-Tang(2005)の強度予測に対する波浪-海洋相互作用の役割．日本気象学会 2010 年度春季大会，C207. 和田章義, 2011: 成熟期の台風強度と海面水温の関係．日本気象学会 2011 年秋季大会講演予稿集, C360.
70. 和田章義，碓氷典久，2012: 台風第 15 号の急発達に関する数値実験，日本気象学会春季大会，A468.
71. 和田章義，碓氷典久，北畠尚子，小山 亮, 2012: 2011 年台風第 12 号の強度変化と海洋の相互作用，日本気象学会春季大会，A467.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：19 件

1. Hashimoto, A., 2010: Development of the microphysical trajectory model to simulate the aerosol/cloud particle evolution in upper troposheric ice cloud. First International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models, Kyoto, Japan.
2. Hashimoto, A., T. Shimbori, K. Fukui and A. Takagi, 2013: Numerical Simulation of Transport and Sedimentation of Volcanic Ash for the Eruptions at Mt. Shinmoe-dake during 26-27 January 2011, International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior 2013 Scientific Assembly, 4F-P11.
3. Hayashi, S. 2011: Predicting of lightning activity in Japan using mesoscale model output statistics. Fifth Conference on the Meteorological Applications of Lightning Data. 91th AMS Annual Meeting.
4. Hayashi, S., 2013: Verification of predictability of summer thunderstorm simulation using radar reflectivity., 2nd International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models, P10, Sendai, Japan.
5. Iguchi, T., T. Nakajima, A. Khain, K. Saito, T. Takemura, H. Okamoto, T. Nishizawa and W. Tao, 2009: Evaluation of cloud microphysics simulated by a meso-scale model coupled with a bin-based scheme using observation data by W-band radar. 2009 AGU Fall Meeting (14–18 December) San Francisco, California, USA.
6. Kato, T., Y. Yamada and M. Nakano, 2009: Improvement of Kain-Fritsch convection parameterization scheme to suppress its produced rainfall areas along coastal lines, Proc. of Conference on MCSs and High-Impact Weather/Climate in East Asia, 404-411.
7. Kubota, T., H. Eito, T. Iguchi, H. Hanado, K. Aonashi, S. Shimizu, N. Yoshida, R. Oki, 2009: Preliminary results of satellite radar simulator using cloud-resolving model by the Japan Meteorological Agency, Proceedings EarthCARE Workshop 2009, 201-206.
8. Murazaki, K., 2012: Evaluation of the Temperature Predictive Accuracy of Winter Hokuriku by JMA-NHM. 2nd International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models. P5, Sendai, Japan.
9. Nakamura, M., M. Nakano, S. Kanada, S. Hayashi, T. Kato, H.Sasaki, K., Aranami, Y. Honda, K. Kurihara and A., Kito, 2009: Projection of the changes in the future extremes over Japan using a cloud-resolving model (JMA-NHM). Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology 8–10 November 2009, Tsukuba, Japan, P-41.
10. Nakamura M., T. Kato and S. Hayashi, 2010: .Validation of Diurnal Variation of Summertime Precipitation in Kanto Region Simulated by a Nonhydrostatic Model (JMA-NHM). Proceedings of the First International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models, 29 Sep.-1 Oct., 2010, Kyoto, 133-134.
11. Ohtake, H., K. Shimose, Y. Yamada, J.G.D.S. Fonceca Jr., T. Takashima, T. Oozeki, 2012: Validation of surface downward shortwave radiation of the Japan Meteorological Agency meso-scale model for the forecast of photovoltaic power production. 16th International Conference on Clouds and Precipitation. P.9-10. Leipzig.
12. Ohtake. H,, K. Shimose, Joao Fonseca, T. Takashima, T. Oozeki and Y. Yamada, 2013: Regional and seasonal characteristics of shortwave radiation by the Japan Meteorological Agency mesoscale model for the forecast of a photovoltaic power production. Fourth Conference on Weather, Climate, and the New Energy Economy. American Meteorological Society. Austin, Texas.
13. Shimose, K., H. Ohtake, Y. Yamada, J.G.D.S. Fonceca Jr., T. Takashima, T. Oozeki, 2012: Investigation of the significant radiation error case of the Japan Meteorological Agency meso-scale model for the forecasting the photovoltaic power production. 16th International Conference on Clouds and Precipitation. P.9-21. Leipzig.
14. Shimose, K., H. Ohtake, Y. Yamada, J. G. D. S. Fonseca Jr., T. Takashima, and T. Oozeki, 2012: Improvement of the Japan Meteorological Agency Meso-Scale Model for the Forecasting the Photovoltaic Power Production: Sensitivity Experiments of Radiation-Related Schemes. Second International Workshop on Nonhydrostatic

Numerical Models.　Sendai, Japan.
15. Shimose, K., H. Ohtake, Y. Yamada, J. G. D. S. Fonseca Jr., T. Takashima, and T. Oozeki, 2013: Improvement of the Japan Meteorological Agency Meso-Scale Model for the Forecasting the Photovoltaic Power Production: Sensitivity Experiments of Radiation-Related Schemes.　Fourth Conference on Weather, Climate, and the New Energy Economy.　American Meteorological Society.　Austin, Texas.
16. Wada, A., N. Kohno, N. Usui and Y. Kawai, 2009: Preliminary numerical experiments for Typhoon Hai-Tang in 2005 by Typhoon-wave-ocean coupled model. Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology 8–10 November 2009, Tsukuba, Japan, 251.
17. Wada, A., and N. Kohno, 2012: Impact of surface roughness length on typhoon simulation. 30th Conference on Hurricanes and tropical Meteorology, Ponte Vedra Beach, Florida, USA, Apr. 15-20.
18. Wada, A., Meghan, F. Cronin, Adrienne J. Sutton, Y. Kawai, and M. Ishii, 2012: Numerical simulations of interactions between Typhoon Choi-wan and the ocean. AGU fall meeting, San Francisco, USA, Dec. 3-7.
19. Wada, A., T. Uehara, and S. Ishizaki, 2013: Daily observations by profiling floats and numerical simulations on typhoons during 2011-2012 typhoon seasons. JpGU, Makuhari, Japan.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：33 件

1. 石井恭介，林修吾，藤部文昭，2010：日本とその沿岸における落雷頻度の統計解析．日本気象学会 2010 年度秋季大会，P398.
2. 石井恭介，林修吾，藤部文昭，2010：日本とその沿岸における落雷頻度の統計解析．第８回環境研究シンポジウム．
3. 大竹秀明, 村上正隆, 折笠成宏, 斎藤篤思, 橋本明弘, 加藤輝之, 2011: 夏季の高知上空における航空機観測と雲解像モデルとの統計的な validation, 日本気象学会 2011 年春季大会, P218.
4. 大竹秀明, 下瀬健一, 山田芳則, J. Fonseca Jr, 高島工, 大関崇, 太陽光発電量予測研究グループ、2013：気象庁メソモデルの日射量予測外れ時における雲のタイプの出現頻度。日本気象学会 2013 年度春季大会 P328.
5. 久保田拓志，永戸久喜，青梨一正，井口俊夫，清水収司，沖理子，2010:JMA-NHM を用いた GPM/DPR 観測の降雨非一様性補正手法の開発．日本気象学会 2010 年度秋季大会，P388.
6. 小池克征, 村上正隆, 橋本明弘, 2010: JMANHM_1km データを用いたダム流域における降雪気象因子の特性に関する研究．日本気象学会 2010 年度春季大会，東京, P321.
7. 小池克征, 村上正隆, 大竹秀明, 橋本明弘, 2011: 山岳性降雪雲を対象とした地上気象観測と JMANHM_1km データとの統計的な Validation．日本気象学会 2011 年度春季大会，P120.
8. 下瀬健一, 大竹秀明, 山田芳則, Joao Gari da Silva Fonseca Jr.,高島工、大関崇、太陽光発電量予測グループ、2012：太陽光発電量予測に向けた気象庁メソ数値予報モデル (MSM) の短波放射量の検証　－つくばでの誤差要因の解析－．日本気象学会 2012 年度春季大会、P119.
9. 下瀬健一，大竹秀明，J. Fonseca，高島工，大関崇，山田芳則、2013：PV 発電 予測に向けた気象庁メソ数値予報モデルの日射予測の改良　－日射予測と雲量予測－。第 10 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム．石川県金沢市.
10. 中野満寿男, 加藤輝之, 村上裕之, 金田幸恵, 中村誠臣, 栗原和夫, 鬼頭昭雄, 2009, 日本に接近する台風の将来変化, 日本気象学会 2009 年度春季大会, P336.
11. 中野満寿男, 加藤輝之, 金田幸恵, 栗原和夫, 2009, 領域気候実験における SBC 法の台風強度予測への影響, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, P391.
12. 中村誠臣，中野満寿男，金田幸恵，加藤輝之，林修吾，栗原和夫，鬼頭昭雄，2009：　関東域での夏季不安定降水の NHM による再現性の評価．日本気象学会 2009 年度春季大会講演予稿集，P209.

13. 中村誠臣，加藤輝之，林修吾，2009: 浅い積雲対流の表現の解像度や境界層スキーム等への依存性についての非静力学モデル（NHM）による比較実験．日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集，P127.
14. 中村誠臣，加藤輝之，林修吾，2010：2008 年 8 月 9 日に甲信地域で発生した不安定降水の NHM による再現実験．日本気象学会 2010 年度春季大会予稿集，P405.
15. 南雲信宏，山田芳則，林修吾，加藤輝之，原旅人 2012: NHM における境界層過程の解像度依存性の検証．日本気象学会 2012 年度春季大会予稿集, P331.
16. 橋本明弘，福井敬一，高木朗充, 2009: 雲・降水過程を考慮した噴煙－降灰モデルの開発．日本地球惑星科学連合 2009 年大会, V159-P026.
17. 橋本明弘，加藤輝之，田尻拓也，斎藤篤思，大竹秀明，村上正隆，2010: 山岳性降雪雲に関する雲解像モデルの予想特性.日本気象学会 2010 年春季大会, P322.
18. 橋本明弘，三隅良平，村上正隆, Richard D. Farley, 2010: 4-ICE バルク法微物理過程の開発．日本気象学会 2010 年秋季大会, P393.
19. 橋本明弘, 2010: 詳細な雲・降水過程に基づく大気エアロゾル沈着モデルの開発．第 27 回エアロゾル科学・技術研究討論会, P14.
20. 橋本明弘，新堀敏基，福井敬一，2010: 雲・降水過程を考慮した噴煙-降灰モデルの開発（その２） 霧島山新燃岳 2008 年 8 月 22 日噴火事例への適用．2010 年度日本火山学会秋季大会, P56.
21. 橋本明弘，村上正隆，2011: 早明浦ダムを対象とする暖候期雲シーディングの模擬的数値実験，日本気象学会 2011 年度秋季大会, P138.
22. 橋本明弘，村上正隆，地上発煙装置による雲シーディングに関する数値実験，日本気象学会 2012 年度春季大会, P348.
23. 橋本明弘，村上正隆, 2012：ヨウ化銀を用いた地上からの雲シーディングに関する数値実験，第 29 回エアロゾル科学・技術研究討論会，2012 年 8 月，P22.
24. 橋本明弘，新堀敏基，福井敬一, 2012: JMANHM を用いた降灰再現実験：2011 年 1 月 26 - 27 日新燃岳噴火．日本気象学会 2012 年度秋季大会, P363.
25. 林修吾，荒波恒平，斉藤和雄, 2009: 東南アジア域および日本域における NHM と WRF-ARW による短期予報の統計的精度検証　水平解像度 20km モデルと 1way ネストした 5km モデルでの結果．日本気象学会 2009 年度春季大会講演予稿集，P210.
26. 林修吾，2011：雷放電数とアメダス 10 分値によるシビア現象との関係．日本気象学会 2011 年度秋季大会，P347.
27. 林修吾, 2012：高解像度モデルによる熱雷(夏季不安定性降水)の再現性(その２)，日本気象学会 2012 年度秋季大会．P125.
28. 村崎万代，山田芳則，加藤輝之,2011: JMANHM による冬季日本海側の降水予測精度の検証，日本気象学会 2011 秋季大会， P156
29. 村崎万代，2012：JMANHM による冬季北陸地方の気温予測精度の検証．日本気象学会 2012 年度秋季大会．P141.
30. 山田芳則，2011: 気象庁非静力学モデルのバルク微物理モデルに組み込んだオプション．日本気象学会 2011 年度秋季大会 P356
31. 山田芳則，藤吉康志，大角光司, 2012：面相関法とドップラー速度データとを組み合わせて海氷の移動速度を算出する試み．日本気象学会 2012 年度春季大会．P341.
32. 山田芳則，八木綾子，藤吉康志，藤原忠誠，神田学, 2012: VIV 法とドップラー速度データとを組み合わせて大気中の風の場を算出する試み．日本気象学会 2012 年度秋季大会．P103.
33. 和田章義，高野洋雄，2010: 台風 Hai-Tang(2005)強度予測に対する地表面過程の影響．　日本気象学会 2010 年度秋季大会，P350.

顕著現象の機構解明に関する解析的・統計的研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：加藤輝之[1)]（予報研究部第三研究室主任研究官）、藤部文昭[2)]（予報研究部第三研究室長）、
加藤輝之[3)]（予報研究部第三研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１：顕著現象の実態把握・機構解明
加藤輝之、清野直子、津口裕茂、益子 渉、村崎万代[4)]、荒木健太郎[3)]（予報研究部）、猪上華子[5)]（気象衛星・観測システム研究部）、永戸久喜（気象庁予報部数値予報課）、廣川康隆[6)]（気象庁予報部予報課）

副課題２：顕著現象の要因に関する解説資料の作成
加藤輝之、清野直子、津口裕茂（予報研究部）、永戸久喜（気象庁予報部数値予報課）、猪上華子[5)]（気象衛星・観測システム研究部）、廣川康隆[6)]（気象庁予報部予報課）

副課題３：都市効果が顕著現象に及ぼす影響の評価（基礎的・基盤的研究）
加藤輝之[1)]、清野直子（予報研究部）、高橋俊二[1)]、藤部文昭、青柳曉典（環境・応用気象研究部）

研究の目的

集中豪雨、豪雪等の顕著現象を精度よく再現できる次世代非静力学数値予報モデルでの再現実験により、これら現象の機構解明に関する研究等に取り組み、過去の顕著現象の要因に関する解説資料を作成する。また、突発性豪雨などの都市域で頻発する顕著現象に対して都市効果が及ぼす影響を評価する。

研究の動機・背景

顕著現象は多大な災害をもたらし、社会的影響は極めて高い。そのため、顕著現象の実態把握・機構解明はその予報精度の向上と災害の軽減を目指すために必要不可欠である。

副課題１　顕著現象の実態把握・機構解明

① 観測データによる顕著現象の実態把握および雲解像モデルによる顕著現象の発生・発達機構の解明
　計算機能力の進歩により、積乱雲が解像できる水平分解能 1km 以下の数値モデル（雲解像モデル）を用いた実際の大気現象の再現実験が可能となった。しかし、 雲解像モデルを用いた顕著現象の機構解明に関する研究数はまだ非常に少ない。

② 顕著現象の発生要因の速やかな究明と一般社会に向けての情報発信
　顕著現象発生後しばらくの間は社会の関心が非常に高い。そのため、顕著現象の発生要因についての速やかな情報発信は、一般社会のニーズに応え社会全般における防災意識の啓発に大いに役立つ。

③ 雲解像モデルを用いた統計的な手法による顕著現象の機構解明
　顕著現象の機構解明は、これまで個々の事例を中心として行われてきた。一方、事例間に見られる特徴の共通性についてはあまり調べられていない。

副課題２　顕著現象の要因に関する解説資料の作成

① 豪雨事例の客観的な抽出法の確立
　豪雨事例の解析は多大な災害をもたらされたものを中心に行われてきており、主観的に選択されている。その一方、客観的に豪雨事例を抽出した研究はない。

---

1)平成 21 年度、2)平成 22 年度～平成 23 年度、3)平成 24 年度～平成 25 年度、4)平成 22 年度～平成 25 年度、5)平成 21 年度～平成 23 年度、6)平成 23 年度～平成 24 年度

② 総観場と豪雨事例との関連性の調査
　豪雨は総観場における大気状態の中で発生するので、総観場の大気状態との関係を調査することは極めて重要である。
③ ②を踏まえた過去の豪雨発生の要因に関する解説資料の作成
　豪雨発生の要因については個々の事例について研究されてきているが、事例数も限られ、総観場の情報も含めた総合的な資料としてまとめられたものはない。

副課題３　都市効果が気象に及ぼす影響の評価
　都市域で発生する顕著現象は多大な災害をもたらし、社会的影響は極めて高い。そのため、顕著現象の発生に対して都市効果が及ぼす影響を評価し、さらにその発生環境および発生機構に関する知見を得ることは、予報精度の向上と災害の軽減を目指すためには必要不可欠である。また、非静力学数値予報モデルには都市効果を表現することができる都市キャノピースキームが導入され、改良が進められている。

研究の成果の到達目標

副課題１　顕著現象の実態把握・機構解明
① 観測データによる顕著現象の実態把握および雲解像モデルによる顕著現象の発生・発達機構の解明
② 顕著現象の発生要因の速やかな究明と一般社会に向けての情報発信
③ 雲解像モデルを用いた統計的な手法による顕著現象の機構解明

副課題２　顕著現象の要因に関する解説資料の作成
① 豪雨事例の客観的な抽出法の確立
② 総観場と豪雨事例との関連性の調査
③ ②を踏まえた過去の豪雨発生の要因に関する解説資料の作成

副課題３　都市効果が気象に及ぼす影響の評価
① 都市域で発生する顕著現象に対して都市効果が及ぼす影響の評価
② 大都市圏での高温・強雨事例の発生環境・発生機構の調査
③ 大都市圏でのメソスケール環境場の特性の調査

研究結果

（成果の概要）
　顕著現象の発生要因の速やかな究明と一般社会に向けての情報発信のための即時的研究を優先的に取り組み、大きな災害をもたらした大雨や竜巻事例について 8 件の報道発表を行った。それらのケースを含め、観測データによる解析や気象庁非静力学モデル（NHM）による再現実験により、顕著現象をもたらした降水系の発生・発達メカニズムや総観場の特徴を明らかにした。特に 2006 年の延岡竜巻や 2012 年のつくば竜巻については、水平解像度 50m の NHM の結果から、その発生機構を明らかにした。また NHM 等による長期計算結果と観測結果との統計的比較により、モデルのバイアスの特徴や SST の空間分解能による結果の違いを示した。
　水平解像度 1km の NHM の結果や客観解析データから下層水蒸気場を代表する場として高度 500m が最適であることを示し、その結果は 2010 年度から気象庁の予報現業で利用されるようになった。また集中豪雨事例を統計的かつ客観的に抽出し、それらの事例について統計的な解析を行い、 降水系の特徴や地域的な違いを見出すとともに、多くの豪雨に共通する総観条件を見出した。
　都市キャノピースキームを導入した NHM を用いて、8 年間の夏季の関東域を対象に首都圏のヒートアイランド現象などが降水に及ぼす影響を調査し、ヒートアイランドの影響により領域最大日降水量が顕著に大きいケースが数例みられた。また都心周辺の約 80km 四方の領域平均で 1 ヶ月あたり数 mm 程度の降水増加が認められた。
　気象大学校や各管区・地方気象台等で、集中豪雨や NHM に関する講演・技術指導を行うとともに、

地方官署が直面する顕著現象の問題点の収集に努めた。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　顕著現象の実態把握・機構解明

①　豪雨・豪雪の発生・発達機構の解明

報道発表事例

ア）平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨（2011 年 7 月 28～30 日）について、過去の事例（1998 年の新潟豪雨、2004 年新潟・福島豪雨）と比較しつつ解析を行った。要因としては大規模場の上昇流にともなう断熱冷却による中層の低温化と連続的に下層に流入していた暖湿流であり、最盛期には上層のショートトラフにともなうメソスケールの高渦位域の流入が影響していたことがわかった。2011 年 8 月 4 日（発生 5 日後）報道発表。

イ）2012 年 4 月 3 日に日本海上で急発達した低気圧の発生要因について解析を行った。この低気圧の急発達には、低気圧と上空の高渦位をともなう気圧の谷との相互作用および南からの水蒸気供給が大きく寄与していることがわかった。東北地方に達した頃には、熱帯低気圧に類似した下層暖気核、軸対称構造を持つようになり、強風をもたらした要因の１つだと考えられる。2012 年 4 月 6 日（発生 3 日後）報道発表。

ウ）平成 24 年 7 月九州北部豪雨（2012 年 7 月 12～14 日）の発生要因について解析を行った。大雨は複数の線状降水帯が停滞することでもたらされ、その発生要因は東シナ海上で大気下層に水蒸気が大量に蓄積され、その水蒸気が強い南西風によって持続的に九州に流入したためであることがわかった。2012 年 7 月 23 日報道発表。

エ）2013 年 7 月 28 日に発生した山口県と島根県での大雨は、梅雨前線の南側約 200km で、バックビルディング形成による積乱雲群によって発生していたことがわかった。下層に流れ込んだ大量の水蒸気に加えて、上空の渦位アノマリ通過後に残っていた寒気のために大気状態が極めて不安定になり、積乱雲中の上昇流が強化されて大雨になった。特に山口県萩市須佐の大雨では、巨大積乱雲（スーパーセル）が発生しやすい条件となっていたことも大雨の発生要因であることがわかった。2013 年 8 月 6 日報道発表。

オ）2013 年 8 月 9 日に発生した秋田県と岩手県の大雨は、２つの線状降水帯が停滞することでもたらされ、それらは山岳が起因するバックビルディング形成による積乱雲群であったことがわかった。大雨の発生要因は、前日に山陰沖に存在していた大気下層の大量の水蒸気が、海面水温が高かったためにその絶対量をほとんど変えずに日本海上を北上し、東北地方に流入したためであることがわかった。2013 年 8 月 28 日報道発表。

カ）2013 年 9 月 16 日に台風 18 号にともなって発生した近畿地方の大雨の発生要因について、気象庁局地解析を用いてトラジェクトリ解析などを行った。その結果、台風と上空の偏西風との相互作用により、台風の北側で上昇流が誘起し、それに起因する層状性降水に加えて、日本付近の平年より高い海面水温のために日本海から湿潤な空気が流入した地域（京都府北部と福井県西部）では対流性降水が加わり大雨になっていたことがわかった。2013 年 10 月 7 日報道発表。

その他

ア）2008 年 7 月 28 日に兵庫県南部で発生した大雨（神戸市灘区の都賀川で鉄砲水が発生して 5 名が亡くなった大雨事例）について、観測データの解析と気象庁非静力学モデル（NHM）による再現実験を行った。その結果、大雨をもたらした降水系の形成や組織化にとって、下層の水蒸気の流入や既存の降水系からの冷気外出流が重要であることがわかった。

イ）2010 年 1 月 13 日に冬季日本海上で発生・発達して北陸地方に暴風雪をもたらしたメソβスケールの渦状擾乱（MBSD）の発達過程を定量的に把握するため、NHM による数値実験を行った。その結果、凝結熱が直接的に MBSD の発達に寄与し、海面からの顕熱フラックスが不安定成層を維持するために間接的に MBSD の発達に寄与していた。また、傾圧性を持つ環境場として、南北勾配を持つ海面水温分布が暴風雪をともなう MBSD の発達過程に重要であることが示された。

ウ）2010 年 10 月 20 日に奄美大島で発生した豪雨の発生要因を調査した結果、奄美大島の東海上

から暖湿気塊が連続的に供給されることで豪雨が発生していたことがわかった。トラジェクトリ解析とNHMによる2次元理想実験から、奄美大島周辺に供給されていた気塊は相対的に冷たく乾燥していた北寄りの気塊が海面からの加湿によって“気団変質”することで形成されたことが示された。また水平分解能1kmのNHMによる感度実験から、降水系を形成する積乱雲の発生には奄美大島の地形は直接には影響してはおらず、降水系の直下に形成された冷気プールが重要であることが示唆された。

エ）2011年9月19～20日に東海地方で発生した大雨についての解析を行い、台風の遠隔で発生する”PRE（Predecessor Rain Event)”という現象に類似していることがわかった。また、客観解析データの解析とNHMによる数値実験から、降水域に流入する下層の暖湿気塊の形成には、海面からの潜熱フラックスが重要であることがわかった。

オ）2012年5月6日に茨城県つくば市に被害をもたらした竜巻の親雲を発生させた主要因である下層水蒸気の蓄積過程について、水平分解能5kmのNHMを用いて調査した。その結果、流入した下層水蒸気は下層トラフにともなって東進し、その水蒸気の蓄積に対し、下層トラフにともなう水平収束による寄与が約2/3で、残りは海面からの潜熱フラックスによるものであった。また下層水蒸気蓄積に黒潮の分布も大きく影響していたことがわかった。

カ）気象大学校での中堅係員研修や予報業務研修で暖候期のメソ対流系擾乱の講義を行うとともに、札幌管区気象台、仙台管区気象台、東京管区気象台、大阪管区気象台、沖縄気象台でNHMに関する技術指導を行った。また、管区気象台（札幌、仙台、東京、大阪、福岡）や地方気象台（福島、新潟、水戸、横浜、名古屋、高松、広島、熊本）および沖縄気象台では集中豪雨の解析等に関する講演・講義を行い、予報現業で直面する顕著現象の問題点の収集に努めた。

② 竜巻の発生・発達機構の解明

報道発表事例

ア）2012年5月6日に茨城県つくば市に被害をもたらした竜巻について、2006年北海道佐呂間町での竜巻事例との比較も行いながら、その発生要因について解析した。竜巻をもたらした親雲の発生については、正午頃につくば周辺に南から流入した大量の水蒸気が重要であることがわかった。水平分解能250mの数値シミュレーション結果からは、竜巻をもたらした積乱雲はスーパーセルだったと推定された。また、水平解像度50mの数値シミュレーションで竜巻の再現実験を行った。再現結果を用いた後方トラジェクトリ解析などにより、竜巻発生にはスーパーセル後方における局所的な下降流の強化が重要であることが明らかになった。中層・下層のメソサイクロンと竜巻に対して、トラジェクトリ解析をもとに循環の計算を行い、渦の起源を定量的に明らかにした。その結果、下層のメソサイクロンに関しては米国の先行研究と違って、環境場の渦の影響もあり、竜巻に関してはストーム自身が作りだした渦が起源となっていることがわかった。2012年5月11日（発生5日後）報道発表。

イ）2013年9月2日に埼玉県越谷市や千葉県野田市等に被害をもたらした竜巻を生んだ親雲について、気象レーダーと気象衛星高頻度観測の結果を用いて解析した。親雲は典型的なスーパーセルの構造を持ち、竜巻の発生約20分前から局所的に南から流入していた水蒸気の供給を受けて急速に発達したことがわかった。竜巻発生前から存在していた局地前線に、この親雲にともなうガストフロントが衝突し、その時間・位置で竜巻が発生していたことから、この衝突によってガストフロント上の渦が強まり、竜巻が発生した可能性が示唆された。2013年10月7日報道発表。

その他

ア）2006年台風13号の接近に伴い宮崎県延岡市で発生した竜巻について､水平分解能50mのNHMによる数値シミュレーションを行った結果、竜巻をもたらした積乱雲はミニスーパーセルの構造を持ち、トラジェクトリ解析や渦度収支解析から、竜巻の発生にはフック状の降水物質に分布に対応した2次的なRear-flank Downdraft（RFD）からの外出流のサージが重要であることがわかった。運動方程式の診断や感度実験から、降水物質の荷重の効果がRFDの振る舞いに大きな影響を与え、それが竜巻発生にとって重要であることが確かめられた。また、竜巻を通る渦線の解析から、多くの渦線が環境場の水平渦を起源としており、竜巻の発生に

は下層の大きな鉛直シアが重要であることが示唆された。

イ）2009 年台風 18 号にともない茨城県土浦市と竜ヶ崎市で発生した竜巻について、水平分解能 50m の数値シミュレーションを行い、関東平野特有の局地前線の影響を受けた非スーパーセル型の竜巻であったことを明らかにした。

ウ）2009 年 7 月 27 日に群馬県館林市で発生した竜巻の親雲について、レーダーデータを中心にした解析結果と水平分解能 250m の NHM での再現結果を比較し、親雲の発生過程や構造について調査した。親雲が典型的なスーパーセルとは異なり、竜巻の形成や維持にガストフロントが重要であったことが示唆された。

エ）2010 年 12 月 3 日低気圧の接近に伴い神奈川県鎌倉市と茨城県牛久市で発生した竜巻について、観測データと数値シミュレーション結果を用いて初期解析を行ったところ、発生地点は下層の冷気の外出流が強まっている地点であることが示された。

オ）2011 年 4 月 25 日に千葉県北西部で発生した複数の竜巻とその親雲の三次元構造や発達過程について、ドップラーレーダーデータと水平解像度 50m の数値シミュレーション結果を用いて解析した。その結果、多数の竜巻は非スーパーセル竜巻の発達過程を持つ Gustnado であり、その他にスーパーセル竜巻の発達過程を持つ竜巻が存在したことが示された。これらの発達過程には、いずれも積乱雲やメソサイクロンに伴う局所的な上昇流による鉛直渦の引き延ばしや立ち上がりが重要であることがわかった。

カ）2011 年 11 月 18 日徳之島に竜巻をもたらした線状降水帯について、水平解像度 250m の数値シミュレーションを行った。シミュレーション結果や地上の詳細な観測データを解析したところ、線状降水帯は複数のスーパーセルによって構成されていたことが明らかになった。

キ）他の地域に比べて竜巻の発生頻度が高い関東平野の特徴を明らかにするために、気象庁竜巻データベースやアメダス、ウィンドプロファイラなどのデータを用いて、1961 年以降に発生した竜巻を対象として統計解析を行った。その結果、関東平野では発生頻度が他の地域の約 2 倍であり、内陸部でも発生頻度が高いなどの特徴が明らかになった。また、関東平野で発生する竜巻は、温度傾度と風向の変化を伴った局地前線が形成されている時に発生しやすいなどの特徴が明らかになった。

ク）米国中西部で発生したスーパーセル竜巻について、水平分解能 70m の数値シミュレーションを行い、スーパーセル竜巻の発生過程について解析を行った。その結果、Rear-flank Downdraft が竜巻発生の重要なトリガーとなっていることを明らかにした。

③　数値モデルの統計的な精度評価

ア）水平分解能 1km の NHM による暖候期 3 年間の数値実験結果に基づき、九州・四国の降水の強度別頻度、月降水量について観測値との比較を行った結果、九州地方では全般に降水量、頻度ともに少なく見積もる傾向があり、海上では逆に降水量を過大に見積もる領域があることがわかった。また 2008 年、2009 年 6 月～9 月の 192 日間について、関東地方の日平均、最高、最低気温の精度評価を行った結果、日平均・最高気温の空間相関や RMSE は NHM の空間分解能を高める（5km から 1km にネストする）ことによって改善することがわかった。日最低気温では 1kmNHM の方が正バイアスが大きく、RMSE や空間相関も若干悪くなっていた。さらに、冬季 2 年間の北陸地方のアメダス 11 カ所について、風による捕捉率の違いを考慮した降水量を求め、NHM の降水量と比較した結果、日降水量の相関は 5km から 1km にネストすることによる改善が見られた。日平均気温の相関や RMSE も同様であった。

イ）水平分解能 1km の NHM の雪による降水予測精度を検証するための準備として、合成レーダーの CAPPI データ（高さ 1km）の反射強度を Z-R 関係を用いて降水強度に変換し、冬季 2 年間の北陸～北海道日本海側を対象にして雨雪別に補正されたアメダス降水量と比較した。その結果、既存の係数では実際より低く見積もられる傾向があるほか、時間平均の長さや係数を変えてもデータのばらつきが大きく、このままモデルの降水検証に使うのは難しいことがわかった。

ウ）顕著現象の長期的傾向をみるため、分解能 20km の地域気候モデルを用いて過去 26 年間の客観解析データのダウンスケーリングを行い、日本域を 7 気候区分に分けて日降水強度とその頻度について調査した。地域気候モデルは日降水 100mm 程度までの雨の頻度については観測

とよい一致を示し、気候区分毎の特色も大まかにはよく表現していたが、日降水 100mm 以上の顕著現象については過少に見積もる傾向があり、水平分解能の限界であることがわかった。

エ）2 種類の SST データ（JRA-25 の分解能 1.125° の SST と気象庁作成の分解能 0.25° の SST）を下部境界条件とし、分解能 20km の地域気候モデルを用いて 2000 年 1 月から 1 年間の長期積分を行い、SST の空間分解能が大気モデルの結果にどのような違いをもたらすかについて調べた。SST の高分解能化によって風、降水量分布に差異が見られ、この差は平均的には小さい（年平均月降水量で 10%程度）が短期的にはもっと大きくなる可能性があることがわかった。

副課題２　顕著現象の要因に関する解説資料の作成

① 暖候期九州・四国地方を対象とした水平解像度 1km の NHM の結果を用いて、発達した積乱雲の雲底高度およびその高度での相当温位について統計的に調査し、発達した積乱雲の雲底高度は海上で 200～300m、陸上で 500m 付近に出現ピークが存在し、7・8 月の雲底高度での相当温位は 355K 以上であることがわかった。また客観解析データから高相当温位の出現頻度を調査し、地域により出現する期間に長短があることがわかった。

② 2010 年暖候期の複数の豪雨事例について、500m 高度の相当温位・500m 高度を基準とした自由対流高度・浮力がなくなる高度、3km と 500m 高度間の鉛直シア、500hPa の温度，345K 等温位面の渦位等について調査し、それぞれがある閾値を満たしていた期間に多くの豪雨が発生していたことがわかった。

③ 2006～2012 年の気象庁メソ解析から、各月の等温位（355K・345K・305K）面上の渦位と高度の平均分布と、2PVU 以上の渦位出現頻度の統計的に調査した。渦位は高緯度ほど大きな値となる一方、高度は温位別・季節別・地理別に異なる分布となる傾向を示した。

④ 南海上からの下層暖湿気の流入と北からの上空寒気や高渦位域（寒冷渦）の流入に着目し、2010 年の梅雨前線帯（東経 130 度，九州西岸付近）の特徴を 2001 年以降のものと比較しながら大雨をもたらした環境場を調査し、多くのケースで上空の寒気の影響は受けておらず、暖域内で大雨が発生していることがわかった。

⑤ 解析雨量データ（期間: 1995～2009 年の 4～11 月）を用いて、地域別の降水の頻度・量の特性に基づく“集中豪雨”の定義を決め、この定義に従って集中豪雨事例を抽出するツールを作成した。

⑥ 客観的に抽出した集中豪雨事例（全 386 事例）について、降水の特性（年・月別の頻度、 分布の地域的な特徴など）や降水系の特徴（形状、 走向など）について統計調査を行った。その結果、集中豪雨の発生が 8、9 月に多いこと、集中豪雨をもたらす降水系の形状としては「線状」のものが多いことがわかった。また集中豪雨をもたらす総観規模擾乱についての統計調査を行った結果、「台風本体」がもっとも多く、次いで「停滞前線」が多いことが分かった。また客観解析データ（JRA-25/JCDAS）を用いて、その環境場（相当温位、水蒸気フラックス量、気温など）を統計的に調査した。集中豪雨発生のための必要条件である”500m 高度の相当温位”について、月別の気候場と集中豪雨発生時の比較を行った結果、両者に有意な差があることがわかった。また、大気の成層状態（相当温位の鉛直プロファイル）について、気候場と集中豪雨発生時を比較したところ、両者とも”対流不安定”となっており、定性的な特徴は同じであったが、不安定度に定量的な差があることが明らかになった。

⑦ 梅雨末期にあたる 7 月の九州地方を対象として、客観的に抽出した集中豪雨事例を用いて前 3 時間積算降水量と環境場との対応関係について統計的な解析を行った。その結果、”500m 高度の水蒸気フラックス量”と”500hPa 面の飽和相当温位と 500m 高度の相当温位の差”の組み合わせが集中豪雨の識別に有効であることがわかった。

⑧ 1980～2011 年の地上天気図をもとに、日本列島付近で急発達した低気圧に関する統計解析を行った。先行研究（Yoshida and Asuma, 2004）と同様、低気圧の経路別に OJ 型（日本海またはオホーツク海で発達）、PO-O 型（大陸で発生し太平洋上で発達）、PO-L 型（海上で発生し太平洋上で発達）に分類した。低気圧が発生・発達しやすい経路は、PO-O 型であることがわかった。

⑨ 温暖化時の竜巻の発生環境場の変化について、革新プロジェクトで実行した水平分解能 20km

の全球大気大循環モデルの結果を用いて調査した。強い竜巻をもたらすスーパーセルの発生しやすい環境場について現在気候と 21 世紀末の予測とを比較すると、米国のトルネードアレーと呼ばれる中部平原で約 30%、春季の西日本で倍増していた。このことは将来強い竜巻が発生しやすいことを示唆している。

副課題３　都市効果が気象に及ぼす影響の評価

① 東京都における 10 年間（2000～2009 年）の高温・強雨 18 事例について発生時の総観場を調べた結果、4 例は日本付近への台風または熱帯低気圧の接近時であり、それ以外のほとんどの例では日本海から東北地方に前線が解析され、 暖気移流の影響が大きかったことがうかがわれた。なお 1977 年～2009 年の顕著な短時間強雨発生日を抽出したところ、うち約半数は 2000 年以降の 38 日に発現し、その半数は台風の上陸・接近時、その他の事例のほとんどは前線に伴い広い範囲で局地的強雨が発現していた事例であった。

② 都市の地表面過程をより現実的に表現する単層都市キャノピースキームを NHM に導入し、首都圏に適用してこのスキームを使わない場合の計算結果と比べた。都市キャノピースキームでは都心部を中心に夜間の気温低下が小さく、都市気象の特徴を表現していた。このスキームで用いるパラメータに異なる設定条件を与えた計算から、都市における熱収支は、建物の密集度や壁面積指数だけでなく、建物の種別（木造・コンクリートなど）に応じて決まる熱物性パラメータにも大きく依存することがわかった。またより現実的なパラメータ設定のため、東京都で整備されている都市計画地理情報システムのデータを調べた結果、大手町や新宿などの都心部では壁面積指数は 10 近くを示すが、それ以外の地域では概ね壁面積指数は 4 程度の値であることが解った。

③ 2010 年 7 月 5 日に東京都で発生した短時間強雨について、前項のモデルによる数値実験を行った。この事例においては、都市キャノピースキームの有無による降水の変化はわずかだった。一方、2007 年 8 月 24～25 日の短時間強雨では、都市キャノピースキームを入れた実験でより現実的な降水系が再現され、都市がメソスケールでの温度分布や風系の変化を介して降水系の発達に影響を与えることが示唆された。

④ 関東の地表面状態に 1976 年版と 2006 年版の国土数値情報データセットをそれぞれ用い、30 年間の土地利用変化が環境場をどう変化させたかについて、2006 年夏季のメソ解析データを初期値・境界値とした完全境界実験を行った。その結果、この間の土地利用の変化がもたらす地上気温の変化量は、観測データから得られた過去 30 年間の気温上昇とほぼ同程度であることが示された。ただし 1976 年にすでに都市化が進んでいた都心部（大手町など）では、人工排熱の増加やビル群の高層化などの影響も考慮しなければ、観測データに見られるような気温の上昇トレンドが再現されないことも判明した。

⑤ 東京周辺の高温化が降水に与える影響を議論するために、基礎的基盤的研究「都市気象モデルの開発」課題で開発された都市キャノピースキームを組み込んだ水平分解能 2km の JMANHM による最近 6 年の 8 月の数値シミュレーションを行った。都市キャノピースキームによりほぼ現状の都市を表現した場合（現状設定）と、建物効果が小さく人工排熱のない都市（おおむね 20～30 年前の状況に相当する過去条件）との比較を行ったところ、都市効果の違いにより、現状設定では過去条件に比べて月平均気温が都心部で 1℃程度高く、都心周辺の約 80km 四方の領域平均で 1 ヶ月あたり数 mm 程度の降水増加が認められた。両実験間の降水量の差は統計的には有意なものだったが、日別の領域平均降水量ヒストグラムの変化は小さく、日降水量自体は都市以外の要因に大きく依存していると考察した。降水域分布としては両実験間で大きく異なる事例も見られたが例数は限られた。また、現状実験において過去条件より日別領域平均降水量が少なかった事例も 4 割程度あった。

⑥ 都市に特有のヒートアイランド現象などが降水に及ぼす影響を調べるため、関東域を対象に 8 年間の夏季（7 月および 8 月）の数値実験を行い、高温偏差が日降水量にどのような違いをもたらすかを調べた。標準実験と都市効果の増大によるに高温偏差が加わった実験（高温実験）で、都心を中心とする領域別の平均日降水量と領域最大日降水量を比較したところ、高温偏差が生じる範囲と概ね同程度（約 100km 四方）の領域内においては、例数は少ないものの高温実

験で領域最大日降水量が顕著に大きいケースがみられた。領域平均日降水量も高温実験でやや大きい傾向があった。また 1mm/day 以上、20mm/day 以上の降水のあった格子点数には明瞭な違いは見られなかった。この比較実験においては、首都圏の高温偏差の強化に応じた日降水量の変化が、比較的局所的な降水量の増加として現れていたといえる。なお個々の事例で見ると、必ずしも高温実験で都心付近の降水が増える事例だけでは無いことに留意する必要がある。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

① 副課題 2 における過去の集中豪雨事例の発生要因の調査には、NHM による気象庁再解析データ（JRA-25）からのダウンスケール実験の結果を用いる計画であったが、上記調査を始める前に、この方法が適当なものであるかを確認するための基礎調査（何事例かの実験）を行うこととした。また現在の解析手法やツールの有効性を確認するため、過去に発生した特に顕著な集中豪雨事例の中で、詳細なメカニズムが未解明なものについて再解析を行うこととした。対象事例は 2000 年の東海豪雨とした。

② 副課題 3 において、当初は水平分解能 1km のモデルによる計算を計画していたが、計算コストと気象庁次期局地モデル（LFM）の水平分解能を考え、主に水平格子間隔 2km でのモデル性能調査を行うこととした。また気象庁における陸面スキームの運用状況から SiB を用いた計算を先送りとし、従来の NHM 陸面スキームと関連研究課題（基礎的・基盤的研究「都市気象モデルの開発」副課題 1：都市全般を表現可能な都市気象モデルの開発）において改良を加えた単層都市キャノピースキームとを組み合わせた計算を行った。

成果の他の研究への波及状況

① 副課題 1 の成果は科学研究費補助金による「豪雨の主要因となる海上での下層水蒸気の蓄積メカニズム解明」（研究種目：基盤研究(B)，研究代表者：加藤輝之，平成 25～27 年度）および科学研究費補助金による「関東平野に突風をもたらすシビアストームの発生機構に関する研究」（研究種目：基盤研究(C)，研究代表者：益子渉，平成 23～25 年度）に反映される。

② 副課題 2 の成果は科学研究費補助金による「豪雨・豪雪をもたらす大気状態の統計的研究」（研究種目：基盤研究(C)，研究代表者：猪上華子，平成 21～23 年度）に反映された。

③ 副課題 3 の成果は科学研究費補助金による「日本の温暖化率の算定に関わる都市バイアスの評価と微気候的影響の解明」（研究種目：基盤研究(B)，研究代表者：藤部文昭，平成 22～24 年度）に反映され，科学技術振興調整費による研究「気候変動にともなう極端気象に強い都市創り」（平成 22～26 年度）の課題 1「稠密観測による極端気象のメカニズム解明」（研究代表者：小司禎教）にも反映されている。

今後の課題

① 顕著現象の発生要因の速やかな究明と一般社会に向けての情報発信を行うための実施体制の維持と拡充。

② 顕著現象の事例解析（特に竜巻事例）の蓄積。

③ 次期研究計画で行うことにしたデータベースの作成手法の検討。

④ 都市域における降水強化プロセスに対する都市効果およびそれ以外の要因の影響についての評価。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（台風・集中豪雨分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、473 ページを参照。

成果発表一覧

査読論文　：15 件

1. Aoyagi, T. and N. Seino, 2011: A square prism urban canopy scheme for the NHM and its evaluation on summer conditions in the Tokyo metropolitan area, Japan, J. Appl.

Meteorol. Climatol., 50, 1476–1496.
2. Aoyagi, T., N. Kayaba and N. Seino, 2012: Numerical simulations on the surface air temperature change caused by increases of urban area, anthropogenic heat, and building aspect ratio in the Kanto-Koshin area, J. Meteorol. Soc. Japan, 90B, 11-31.
3. Eito H., M. Murakami, C. Muroi, T. Kato, S. Hayashi, H. Kuroiwa and M. Yoshizaki, 2010: The structure and formation mechanism of transversal cloud bands associated with the Japan-Sea polar-airmass convergence zone, J. Meteorol. Soc. Japan., 88, 625-648.
4. Hirockawa, Y. and T. Kato, 2012: Kinetic Energy Budget Analysis on the Development of a Meso-ß-scale Vortex Causing Heavy Rainfall, Observed over Aomori Prefecture in Northern Japan on 11 November 2007, J. Meteor. Soc. Japan, 90, 905-921.
5. Kanada, S., M. Nakano, and T. Kato, 2010: Climatological characteristics of daily precipitation over Japan in the Kakushin regional climate experiments using a non-hydrostatic 5-km-mesh model: Comparison with an outer global 20-km-mesh atmospheric climate model, SOLA, 6, 117-120.
6. Kanada, S., M. Nakano and T. Kato, 2010: Changes in mean atmospheric structures around Japan during July due to global warming in regional climate experiments using a cloud-system resolving model, Hydrol. Res. Lett., 4, 11-14.
7. Kanada, S., M. Nakano, and T. Kato, 2012: Projections of Future Changes in Precipitation and the Vertical Structure of the Frontal Zone during the Baiu Season in the Vicinity of Japan Using a 5-km-mesh Regional Climate Model, J. Meteor. Soc. Japan, 90A, 65-86.
8. Mashiko, W., H. Niino and T. Kato, 2009: Numerical simulation of tornadogenesis in an outer-rainband minisupercell of Typhoon Shanshan on 17 September 2006, Mon. Weather Rev., 137, 4238-4260.
9. Murazaki K., K. Kurihara and H. Sasaki, 2010: Dynamical downscaling of JRA-25 precipitation over Japan using the MRI-Regional Climate Model, SOLA, 6, 141-144.
10. Nakano, M., S. Kanada and T. Kato, 2010: Statistical analysis of simulated direct and indirect precipitation associated with typhoons around Japan using a cloud-system resolving model, Hydrol. Res. Lett., 4, 6-10.
11. Nakano, M., S. Kanada, T. Kato, and K. Kurihara, 2011: Monthly maximum number of consecutive dry days in Japan and its reproducibility by a 5-km-mesh cloud-system resolving regional climate model, Hydrol. Res. Lett., 5, 11-15.
12. Tsuguti, H. and T. Kato, 2013: Formation factors of a heavy rainfall event in Amami-Oshima Island on 20 October 2010, (submitted to JMSJ).
13. Yoshizaki, M., T. Kato and K. Yasunaga, 2013: Linear responses of the buoyancy induced by band-shaped precipitation with an end and numerical verifications Part 1. A theoretical study, J. Meteor. Soc. Japan, 91, 527-538.
14. 新堀敏基, 相川百合, 福井敬一, 橋本明弘, 清野直子, 山里　平, 2010: 火山灰移流拡散モデルによる量的降灰予測－2009 年浅間山噴火の事例－, 気象研究所研究報告, 61, 13-29 .
15. 津口裕茂, 加藤輝之, 2013: 集中豪雨事例の客観的な抽出とその特性・特徴に関する統計解析, （天気投稿中）.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）: 28 件

1. Kato, T., 2009: Comparison of simulated diabatic heating profiles between 5km and 1km models in western Japan during the warm season, CAS/JSC Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling, 38, 3.07-3.08.
2. Kato, T., 2011: Heavy Rainfall over the Baiu Frontal Zone around Japan –Relation with Cloud-Top Heights of Cumulonimbi, The Global Monsoon System: Research and

Forecast. World Scientific Press, Second Edition, 339-356.
3. Kato, T., 2013: Effect of warm ocean current on the formation of low-level humid air causing a F3 tornado storm observed in middle Japan on 6 May 2012, CAS/JSC Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling, 41, 5.07-5.08.
4. Tsuguti, H. and T. Kato, 2011: Case study of a heavy rainfall event in Amami Island on 20 October 2010, CAS/JSC Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling, 39, 5.23-5.24.
5. 青柳曉典, 足立幸穂, 伊東瑠衣, 近藤裕昭, 日下博幸, 小田僚子, 大橋唯太, 清野直子, 2013：第 8 回都市気候会議の報告. 天気, 60, 97-104.
6. 石原正仁, 楠木英典, 山岸昌伸, 加藤輝之, 津口裕茂, 坪木和久, 上田博, 篠田太郎, 加藤雅也, 大東忠保, 吉岡真由美, 尾上万里子, 牛山素行, 牧原康隆, 久保田尚之, 村田文絵, 林泰一, 三隅良平, 2012: 平成 23 年台風第 12 号, 第 15 号による豪雨に関する研究会. 天気, 59, 183-189.
7. 石原正仁, 新野宏, 鈴木修, 山内洋, 小司禎教, 足立アホロ, 佐藤英一, 鈴木真一, 前坂剛, 加藤輝之, 津口裕茂, 益子渉, 小林文明, 佐々浩司, 宮城弘守, 喜々津仁密, 櫻井渓太, 2013: 2012 年 5 月 6 日茨城・栃木の竜巻に関する調査研究報告会. 天気, 60, 47-56.
8. 大東忠保, 永戸久喜, 藤吉康志, 岡本宏樹, 柳瀬亘, 楠研一, 2010: 第 33 回メソ気象研究会の報告－冬季のメソ擾乱とそれにともなうストームー, 天気, 57, 707-712.
9. 加藤輝之, 2009: 集中豪雨, 理大科学フォーラム, 296, 9-13.
10. 加藤輝之, 2010: 湿舌, 天気, 57, 917-918.
11. 加藤輝之, 2010: 豪雨監視・予測技術の開発, 平成 22 年度数値予報研修テキスト, 109-115.
12. 加藤輝之, 山田広幸, 上田博, 篠田太郎, 尾上万里子, 耿驃, 津口裕茂, 吉崎正憲, 纐纈丈晴, 中井専人, 猪上華子, 2010: 第 7 回「東アジア域でのメソ対流系とハイインパクトな気象・気候に関する国際会議（ICMCS-Ⅶ)」参加報告, 天気, 57, 143-150.
13. 加藤輝之, 2011: 集中豪雨, 計算工学, 17, 7-10.
14. 加藤輝之, 2011: 大雨発生で着目すべき下層水蒸気場の高度, 平成 23 年度予報技術研修テキスト, 71-88.
15. 加藤輝之, 新野　宏, 吉崎正憲, 石原正仁, 藤吉康志, 斉藤和雄, 坪木和久, 2011: 第 35 回メソ気象研究会の報告－メソ気象研究の将来展望・構想－, 天気, 58, 819-824.
16. 加藤輝之, 2013: 新潟・福島豪雨の発生要因, 気象庁技術報告, 134, 119-136.
17. 加藤輝之, 益子渉, 津口裕茂, 2013: 発生環境場, 佐呂間竜巻との比較と 250m/50m 数値シミュレーションの結果, 天気, 60, 51.
18. 加藤輝之, 山内洋, 2013：竜巻の解析とメカニズム, 平成 24 年度予報技術研修テキスト, 81-87.
19. 加藤輝之, 2013: 集中豪雨の研究, 天気と気象についてわかっていることいないこと : ようこそそらの研究室へ, ベレ出版, 135-173.
20. 加藤輝之, 上田博, 竹見哲也, 佐野哲也, 纐纈丈晴, 山田広幸, 2013: 第 9 回「東アジア域でのメソ対流系と顕著気象に関する国際会議(ICMCS-IX)」参加報告, 天気, 60, 539-546.
21. 加藤輝之, 楠研一, 林泰一, 吉田健二, 木下仁, 佐々木洋, 國井勝, 茂木耕作, 佐々木恭子, 2013: 第 39 回メソ気象研究会・気象災害委員会との共催発表会報告　梅雨期の大雨 ～平成 24 年 7 月九州北部豪雨～天気, 60, 667-672.
22. 加藤輝之, 2013: 風水害に対する備えと対策～豪雨や竜巻等の顕著気象の発生要因をふまえて～, 人と国土 21, 39(3), 31-36.
23. 加藤輝之, 2013: メソ対流系, 図説地球環境の辞典, 朝倉書店, 82-83.
24. 篠田太郎, 加藤輝之, 勝俣昌己, 山田広幸, 津口裕茂, 竹見哲也, 出世ゆかり, 耿　驃, 2011: 第 8 回「東アジア域でのメソ対流系とハイインパクトな気象に関する国際会議(ICMCS-Ⅷ)」参加報告, 天気, 58, 785-792.
25. 津口裕茂, 2013: 豪雨事例の客観的な抽出とその特徴・環境場に関する統計解析, 平成 24 年度予報技術研修テキスト, 126-137.

26. 津口裕茂, 2014: 中豪雨が発生する総観～メソ α スケール環境場の統計解析, 平成 25 年度予報技術研修テキスト, (発刊予定).
27. 中井専人, 沢田雅洋, 津口裕茂, 中村晃三, 村田昭彦, 篠田太郎, 原旅人, 竹見哲也, 相澤拓郎, Woosub Roh, 藤田学斗, 板戸昌子, 石島伯紀, 熊倉俊郎, 石塚翔大, 小林麻耶, 後藤研, 本田明治, 2012: 第 13 回非静力学モデルに関するワークショップの報告. 天気, 59, 251-259.
28. 益子渉, 2013: 領域モデル研究, 気象研究ノート「台風研究の最前線（下)」, 227, 77-81.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：13 件

1. Aoyagi, T. and N. Seino, 2010: Single-layer urban canopy scheme for the mesoscale model of JMA －As an adaptation planning tool for the future urbanization－, 2-3 June, 2010, International Workshop on Urban Climate Projection for better Adaptation Plan, 15-16, Tsukuba, Japan.
2. Inoue, H., O. Suzuki, H. Yamauchi, T. Kato, M. Nakazato, W. Mashiko and M. Iwane, 2009: Environmental atmospheric conditions and characteristic features of the parent storm of Tatebayashi tornado, observed north of Tokyo, Japan on 27 July 2009, 11-13 November, 2009, Conference on MCSs and High-Impact Weather and Climate in East Asia (ICMCS-VII) , Seoul, Korea.
3. Kanada, S., M. Nakano, and T. Kato, 2010: Projection of the future change in precipitation in the vicinity of Japan during the rainy season using a 5km - mesh regional climate model, 1-3 November, 2010 International Workshop of TCCIP Project on Climate Change, 2010, Taipei, Taiwan.
4. Kato, T., 2009: Representative height of low-level water vapor field to examine the occurrence possibility of heavy rainfall in East Asi, 11-13 November, 2009, Conference on MCSs and High-Impact Weather and Climate in East Asia (ICMCS-VII) , Seoul, Korea.
5. Kato, T., 2013: Formation mechanisms of heavy rainfall observed Niigata and Fukushima, middle Japan, 28-30 July 2011 - Comparison with the previous heavy rainfall events –, 26-29 March, 2013, Conference on Meso-Scale Convective Systems and High-Impact Weather in East Asia (ICMCS-IX), Beijing, China.
6. Kato, T., T. Muramatsu, M. Nakazato, H. Endo and A. Kitoh, 2013: Future changes of tornado occurrence estimated by a global 20-km mesh atmospheric model, 26-29 March, 2013, Conference on Meso-Scale Convective Systems and High-Impact Weather in East Asia (ICMCS-IX), Beijing, China.
7. Kato, T. and W. Mashiko, 2013: Numerical reproduction of 6 May 2012 Tsukuba Tornado and effect of warm ocean current on its formation environmental fields, 8-12 July, 2013, Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly (DACA-13), Davos, Switzerland.
8. Nakano, M., H. Murakami, S. Kanada, and T. Kato, 2010: Future changes of precipitation associated with typhoons around Japan simulated by a 5km-mesh regional climate model, 2010 International Workshop of TCCIP Project on Climate Change, 1-3 November, 2010 International Workshop of TCCIP Project on Climate Change, 2010, Taipei, Taiwan.
9. Mashiko, W., 2012: Numerical Simulations of Supercell Tornadogenesis: The Structure and Evolution of Vortex Lines within Low-Level Mesocyclones and Tornadoes, 5-8 November 2012, 26th Conference on Severe Local Storms, Nashville, U.S.A.
10. Seino, N. and T. Aoyagi 2010: Urban climate research with a mesoscale model JMA-NHM, 2-3 June, International Workshop on Urban Climate Projection for better Adaptation Plan, 6, 2010, Tsukuba, Japan.
11. Seino, N. and T. Aoyagi 2012: Impact of urbanization on precipitation in the Tokyo area:

Numerical simulation for summer cases, 6-10 August 2012, 8th International Conference on Urban Climate, Dublin, Ireland.
12. Tsuguti, H. and T. Kato, 2009: Development mechanism and inner structure of the precipitation system inducing the heavy rainfall, observed in the south part of Hyogo, western Japan on 28 July 2008, 11-13 November, 2009, Conference on MCSs and High-Impact Weather and Climate in East Asia (ICMCS-VII) , Seoul, Korea.
13. Tsuguti, H. and T. Kato, 2011: Analytical and numerical study of the heavy rainfall event at Amami island on 20 October 2010, 7-9 March 2011, International Conference on Mesoscale Convective Systems (MCSs) and High-Impact Weather (ICMCS-VIII) , Nagoya, Japan.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：63 件

1. 青柳曉典, 清野直子, 2009: NHM 用単層都市キャノピースキーム導入前後の地上気温検証, 第 11 回非静力学モデルに関するワークショップ, H-2.
2. 荒木健太郎, 新野宏, 加藤輝之, 2012: 2011 年 4 月 25 日に千葉県で発生した竜巻とその親雲のドップラーレーダー解析, 日本気象学会 2012 年度春季大会, B404.
3. 荒木健太郎, 新野宏, 加藤輝之, 2012: 50m-NHM で再現された 2011 年 4 月 25 日千葉県の複数の竜巻の発達過程, 日本気象学会 2012 年度春季大会, A111.
4. 荒木健太郎, 新野宏, 2012: 暴風雪をもたらすメソスケールの渦状擾乱の発達過程に関する数値解析, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, MIS22-05.
5. 永戸久喜, 加藤輝之, 2010: 日本海寒帯気団収束帯に伴う直交型筋状雲の発生機構, 日本気象学会 2010 年度春季大会, A203.
6. 永戸久喜, 2010: 日本海寒帯気団収束帯に伴う直交型筋状雲の構造と発生機構, 第 33 回メソ気象研究会.
7. 永戸久喜, 加藤輝之, 2012: 気象庁現業メソ数値予報による平成 23 年台風第 12 号・第 15 号に伴う降水予報の特徴, 日本気象学会 2012 年度春季大会, A460.
8. 加藤新太, 加藤央之, 加藤輝之, 2013: 日本における無降水日の季節別地域特性, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, P351.
9. 加藤輝之, 2009: 下層水蒸気場を表現する高度について～気圧面から絶対高度の気象学へ～, 日本気象学会 2009 年度春季大会, B303.
10. 加藤輝之, 2009: 集中豪雨の発生メカニズム, 第 32 回メソ気象研究会・気象災害委員会との共催発表会.
11. 加藤輝之, 2009: 西日本で見られる積乱雲の雲底高度の高度別出現頻度～雲解像モデルの予想結果から～, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, D101.
12. 加藤輝之, 2009: 平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨および 8 月 8～10 日四国・岡山・兵庫での豪雨の発生要因, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, B307.
13. 加藤輝之, 岩根賢幸, 2009: 2009 年 7 月 27 日群馬県館林市で観測された竜巻の発生環境場について～雲解像モデルによる再現結果から～, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, B313.
14. 加藤輝之, 津口裕茂, 2010: 2010 年西日本に大雨をもたらした梅雨前線帯の特徴, 日本気象学会 2010 年度秋季大会, C351.
15. 加藤輝之, 2011: 集中豪雨の発生環境場とその条件, 日本気象学会九州支部 2010 年度発表会.
16. 加藤輝之, 津口裕茂, 2011: LFM（局地モデル）と MSM（メソモデル）の予報結果、及び 2000 年東海豪雨、2008 年岡崎豪雨との発生環境場の比較, 平成 23 年台風第 12 号、第 15 号による豪雨に関する研究会（日本気象学会）.
17. 加藤輝之, 2011: 大雨予測における診断的手法の確立に向けて その 1: 下層水蒸気場の特徴の把握, 日本気象学会 2011 年度春季大会, A211.
18. 加藤輝之, 2011: 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨の発生要因－1998 年・2004 年の過去の豪雨との比較－, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, C169.
19. 加藤輝之, 2012: 発生環境場、佐呂間竜巻との比較と 250m 数値シミュレーションの結果, 5 月

6 日の茨城・栃木の竜巻に関する調査研究報告会（日本気象学会）.
20. 加藤輝之, 2012:　梅雨前線帯での対流活動と下層水蒸気の役割, 日本気象学会 2012 年度春季大会, B160.
21. 加藤輝之, 2012: 竜巻の発生メカニズム, 5 月 6 日に北関東で発生した一連の竜巻被害についての緊急調査報告（日本風工学会）.
22. 加藤輝之, 2012: 2012 年 5 月 6 日に発生したつくば竜巻の親雲の発生環境場, 日本気象学会 2012 年度秋季大会, A103.
23. 加藤輝之, 北畠尚子, 津口裕茂, 2012: 2012 年 4 月 3 日に日本海上で急発達した低気圧の発達要因と構造変化, 日本気象学会 2012 年度秋季大会, A118.
24. 加藤輝之, 2013: 平成 24 年 7 月九州北部豪雨の発生要因, 第 39 回メソ気象研究会.
25. 加藤輝之, 2013: 平成 24 年 7 月九州北部豪雨の発生要因, 日本気象学会 2013 年度春季大会, A162.
26. 加藤輝之, 2013: 大気下層水蒸気蓄積過程における大気・海面相互作用, 大槌シンポジウム「大気・海陸面相互作用と降水過程」.
27. 加藤輝之, 2013: つくば竜巻をもたらした下層水蒸気の蓄積における黒潮の影響, 第 15 回非静力学モデルに関するワークショップ, 7-8.
28. 加藤輝之, 2013: 山口・島根豪雨と 2013 年 7～8 月に大雨をもたらした大気状態の特徴, 2013 年 7・8 月豪雨災害に関する研究会（日本気象学会）.
29. 加藤輝之, 2013: 平成 24 年 7 月 14 日九州北部豪雨をもたらした下層水蒸気の蓄積過程と下層メソ渦との関係, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, B214.
30. 加藤輝之, 2013: 平成 25 年 7 月 28 日山口・島根豪雨の発生要因, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, B215.
31. 金田幸恵, 津口裕茂, 加藤輝之, 藤部文昭, 2010: 15 年分の解析雨量を用いた梅雨期日本周辺域の降水の日変化について, 日本気象学会 2010 年度秋季大会, C352.
32. 清野直子, 青柳曉典, 2009: 東京における強雨事例のシミュレーション－2007 年 8 月の事例における都市の効果－, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, B301.
33. 清野直子, 青柳曉典, 2010: 東京における強雨事例のシミュレーション－2010 年 7 月 5 日の事例解析－, 日本気象学会 2010 年度秋季大会, C355.
34. 清野直子, 青柳曉典, 津口裕茂, 菅原広史, 小田僚子, 2012: 2011 年夏季の東京における短時間強雨について－発生状況と再現実験－, 日本気象学会 2012 年度春季大会, B402.
35. 清野直子, 青柳曉典, 津口裕茂, 2012: 首都圏の夏季降水に対する都市の効果－NHM による感度実験－, 日本気象学会 2012 年度秋季大会, A311.
36. 清野直子・青柳曉典・津口裕茂, 2013: NHM による首都圏の夏季降水シミュレーション, 第 15 回非静力学モデルに関するワークショップ, 82-83.
37. 清野直子, 青柳曉典, 津口裕茂, 2013: 首都圏の夏季降水に対する都市の効果（2）－NHM 実験からみた日降水量へのインパクト－, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, B209.
38. 津口裕茂, 成田正巳, 2009: 2008 年 7 月 28 日の兵庫県の豪雨～MSM の予測失敗の原因～, 日本気象学会 2009 年度春季大会, B160.
39. 津口裕茂, 加藤輝之, 2009: 2008 年 7 月 28 日に兵庫県南部に大雨をもたらした降水系の発生・発達機構について, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, B306.
40. 津口裕茂, 加藤輝之, 2009: 2008 年 7 月 28 日に兵庫県南部に大雨をもたらした降水系の雲解像モデルによる再現実験, 第 11 回非静力学モデルに関するワークショップ, B3.
41. 津口裕茂, 加藤輝之, 2010: 集中豪雨事例の客観的な抽出方法について, 日本気象学会 2010 年度春季大会, A303.
42. 津口裕茂, 澤田　謙, 川畑拓矢, 林　修吾, 加藤輝之, 斉藤和雄, 露木　義, 2010: 東海豪雨の再現実験, 日本気象学会 2010 年度秋季大会, C357.
43. 津口裕茂, 2011: 奄美豪雨の数値実験, 日本気象学会九州支部 2010 年度発表会.
44. 津口裕茂, 2011: ”集中豪雨”の統計的な解析、及び 2010 年 10 月 20 日の奄美豪雨-気団変質過程による暖湿気塊の形成-, 関西支部 2011 年度第 2 回例会.

45. 津口裕茂, 加藤輝之, 2011: 2010 年 10 月 20 日の“奄美豪雨”の発生要因について, 日本気象学会 2011 年度春季大会, A206.
46. 津口裕茂, 加藤輝之, 2011: 2010 年 10 月 20 日の奄美豪雨－気団変質過程による暖湿気塊の形成－, 第 13 回非静力学モデルに関するワークショップ, 11.
47. 津口裕茂, 加藤輝之, 2012: 台風第 15 号の遠隔で発生した東海地方の大雨, 日本気象学会 2012 年度春季大会, A463.
48. 津口裕茂, 加藤輝之, 2013: 2010 年 10 月 20 日の奄美豪雨 -降水系の発生・維持メカニズムの解析-, 第 15 回非静力学モデルに関するワークショップ, 5-6.
49. 廣川康隆, 加藤輝之, 2009: 2007 年 11 月 11-12 日に青森で発生した大雨～その 1：発生要因について, 日本気象学会 2009 年度春季大会, B106.
50. 廣川康隆, 加藤輝之, 2009: 2007 年 11 月 11-12 日に青森で発生した大雨～その 2: 渦状擾乱の発達に対する運動エネルギー収支解析, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, B308.
51. 廣川康隆, 加藤輝之, 2010: 2008 年 4 月 7 日－8 日に日本の南岸で発達した低気圧の絶対渦度収支解析, 日本気象学会 2010 年秋季大会, C360.
52. 廣川康隆, 加藤輝之, 2011: 強雨事例に対する上空高渦位の寄与に関する統計調査, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, C118.
53. 廣川康隆, 加藤輝之, 2012: 日本列島付近で急速に発達する低気圧に関する統計調査（その１）, 日本気象学会 2012 年度秋季大会, A117.
54. 廣川康隆, 加藤輝之, 津口裕茂, 2013: 上空高渦位に着目した強雨発生診断の統計調査, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, B213.
55. 益子渉, 新野宏, 2009: 2006 年台風第 13 号に伴う竜巻の数値シミュレーションーミニスーパーセルに伴う竜巻の発生機構（Ⅱ）ー, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, B312.
56. 益子渉, 2010: 台風に伴う竜巻の数値シミュレーションーT0613 号に伴う延岡竜巻と T0918 号に伴う土浦・竜ヶ崎竜巻との比較ー, 平成 22 年度京都大学防災研究所共同研究集会「台風研究会」.
57. 益子渉, 2012: 2011 年 11 月 18 日に徳之島で発生した竜巻の環境場と積乱雲の特徴, 日本気象学会 2012 年度春季大会, B206.
58. 益子渉, 2012: 2012 年 5 月 6 日に発生したつくば竜巻の数値シミュレーション, 日本気象学会 2012 年度秋季大会, A104.
59. 益子渉, 2013: 2012 年 5 月 6 日につくば市に被害をもたらしたスーパーセル竜巻の発生機構, 日本気象学会 2013 年度春季大会, A152.
60. 村松貴有, 加藤輝之, 鬼頭昭雄, 2011: 全球 20km 大気大循環モデルに基づく竜巻発生環境場の将来予測, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, C153.
61. 村松貴有, 加藤輝之, 中里真久, 遠藤洋和, 鬼頭昭雄, 2012: 全球 20km 大気大循環モデルに基づく竜巻発生環境場の将来予測（その 2）, 日本気象学会 2012 年度春季大会, B407.
62. 村松貴有, 加藤輝之, 佐々木秀孝, 2013: 水平 5km 地域気候モデルに基づく日本域竜巻発生環境場の将来予測, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, B101.
63. 吉崎正憲, 加藤輝之, 安永数明, 2012: 端のあるバンド状降水系による浮力の線型応答と観測による実証（1）, 日本気象学会 2012 年度春季大会, B408.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：7 件

1. Aoyagi, T. and N. Seino, 2009: The development of a single layer urban canopy scheme for the Japan Meteorological Agency nonhydrostatic mesoscale model, 29 June-3 July 2009, 7th International Conference on Urban Climate, P3-8, Yokohama, Japan.
2. Aoyagi, T., N. Kayaba and N. Seino, 2011: A simulation of climatic change on summer induced by land use modification from 1976 to 2006 over Tokyo metropolitan area, Japan, 23-27 January, 2011, 23rd Conference on Climate Variability and Change, P497, Seattle, U.S.A.
3. Kato, T., 2013: Effect of warm ocean current on accumulation of low-level water vapor to

cause high impact weather: Case study of 6 May 2012 Tsukuba Tornado event, 28 Octorber-1 November, 2013, Fifth International Workshop on Monsoons, Macao/HongKong, China.
4. Mashiko, W., 2013: Numerical Simulation of Supercell Tornadogenesis: The Tsukuba Tornado on 6 May 2012, 3-7 June, 2013, 7th European Conference on Severe Storms, Scandic Marina Congress Center, Helsinki, Finland.
5. Mashiko, W., 2013: Numerical Simulation of Supercell Tornadogenesis: The Tsukuba Tornado on 6 May 2012, 6-9 August, 2013, 15th Conference on Mesoscale Processes, Portland, U.S.A.
6. Seino, N. and T. Aoyagi, 2009: Urban influences on precipitation in the Tokyo area: Numerical simulation on a heavy rainfall event, 29 June-3 July 2009, 7th International Conference on Urban Climate, P3-44, Yokohama, Japan.
7. Tsuguti, H. and T. Kato, 2011: Case study of a heavy rainfall event in Amami Island on 20 October 2010, 8-12 August, 2011, AMS 14th Mesoscale Processes, Los Angeles, U.S.A.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：20 件

1. 青柳曉典, 清野直子, 2009: 人工排熱・建物構造・粗度長が都市域の地上気温に与える影響について－単層都市キャノピースキームを導入した NHM による感度実験－, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, P162.
2. 青柳曉典, 萱場亙起, 清野直子, 2010: 土地利用変化に伴う都市域地上気温の上昇に関する数値シミュレーション, 日本ヒートアイランド学会第 5 回全国大会, A-17.
3. 青柳曉典, 萱場亙起, 清野直子, 2010: 土地利用変化による夏季関東域の気候変化に関する数値シミュレーション, 日本気象学会 2010 年度秋季大会, P301.
4. 猪上華子, 鈴木修, 山内洋, 加藤輝之, 中里真久, 益子渉, 岩根賢幸, 2009: 2009 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生した親雲と環境場の特徴, 第 7 回環境研究機関連絡会成果発表会.
5. 岩根賢幸, 加藤輝之, 2009: 2004 年 9 月 30 日東京都大田区で観測された竜巻の発生環境について, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, P107.
6. 植木綾乃, 益子渉, 藤部文昭, 2011: 気象庁非静力学モデルによるスーパーセル竜巻の発生過程の解析, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, P348.
7. 加藤輝之, 益子渉, 津口裕茂, 2012: 2012 年 5 月 6 日に発生したつくば竜巻の発生要因, 第 10 回環境研究機関連絡会成果発表会.
8. 加藤輝之, 2012: 平成 24 年 7 月九州北部豪雨の発生メカニズム, 第 10 回環境研究機関連絡会成果発表会.
9. 加藤輝之, 2013: 顕著現象をもたらす下層水蒸気の蓄積における黒潮の影響- 2012 年 5 月 6 日のつくば竜巻のケース -, 第 11 回環境研究機関連絡会成果発表会.
10. 津口裕茂, 加藤輝之, 2011: 2010 年 10 月 20 日の“奄美豪雨”の発生要因について(その 2)～気団変質過程による暖湿気塊の形成～, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, P153.
11. 津口裕茂, 加藤輝之, 2012: 集中豪雨事例の客観的な抽出と環境場の統計解析, 日本気象学会 2012 年度秋季大会, P319.
12. 津口裕茂, 加藤輝之, 2013: 集中豪雨が発生する総観～メソαスケール環境場の統計解析, 日本気象学会 2013 年度春季大会, P106.
13. 津口裕茂, 加藤輝之, 2013: 2010 年 10 月 20 日の奄美豪雨 -気団変質過程による暖湿気塊の形成-, 第 11 回環境研究機関連絡会成果発表会.
14. 津口裕茂, 加藤輝之, 2013: 2010 年 10 月 20 日の”奄美豪雨”の発生要因について（その 3）, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, P330.
15. 中野満寿男, 金田幸恵, 加藤輝之, 栗原和夫, 2010: 温暖化予測実験における暖候期の月別連続無降水日数, 日本気象学会秋季大会, P333.
16. 益子渉, 2010: 2009 年台風第 18 号の接近に伴い関東平野で発生した竜巻－数値シミュレーシ

ョンによって再現された下層渦の解析ー, 日本気象学会 2010 年度秋季大会, P123.
17. 益子渉, 2011: 関東平野で発生する竜巻の環境場の特徴, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, P151.
18. 村崎万代, 栗原和夫, 2009: SST の高分解能化が日本域の気候再現実験に与える影響, 日本気象学会 2009 年度春季大会, P333.
19. 村崎万代, 栗原和夫, 辻野博之, 本井達夫, 2010: 高解像度海洋モデル SST による日本域の気候シミュレーション, 日本気象学会 2010 年度春季大会, P117.
20. 村崎万代, 山田芳則, 加藤輝之, 2011: JMANHM による冬季日本海側の降水予測精度の検証, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, P156.

メソスケールデータ同化とアンサンブル予報に関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：斉藤和雄[1)]（予報研究部第二研究室長）、瀬古弘[2)]（予報研究部第二研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１　メソデータ同化技術の高度化
斉藤和雄、瀬古 弘、川畑拓矢、折口征二[4)]、國井 勝（予報研究部）、露木 義（気候研究部）、青梨和正（台風研究部）、本田有機[3)]、藤田 匡[4)]（予報部数値予報課）、伊藤耕介[5)]、黒田 徹[5)]、LeDuc[5)]（客員研究員）

副課題２　観測データ利用手法の高度化
斉藤和雄、瀬古弘、川畑拓矢、折口征二[4)]、大塚道子[5)]（予報研究部）、露木義（気候研究部）、青梨和正、國井勝（台風研究部）、小司禎教、石元裕史（気象衛星・観測システム研究部）

副課題３　メソアンサンブル予報技術の開発
斉藤和雄、瀬古弘、原　昌弘[3)]、折口征二[4)]（予報研究部）、露木義（気候研究部）、國井 勝（台風研究部）、藤田 匡（気象庁予報部数値予報課）、黒田徹[5)]、LeDuc[5)]（客員研究員）

研究の目的

データ同化手法の高度化と各種リモートセンシング観測データの活用に関する研究、メソ数値予報にアンサンブル手法を適用する研究等に取り組み、非静力学数値予報モデルの初期値改善を通じて市町村単位での降水の短時間の予測の精度を向上させるとともに、予測に信頼度や確率情報を付加する技術を開発する。

研究の動機・背景

副課題１　メソデータ同化技術の高度化

① NHM-4DVAR の開発
気象庁の現業メソ同化システムは水平解像度 15km の非静力学モデルであり、降水過程は大規模凝結しか入っておらず、モデルの初期値を豪雨などの顕著現象の予測に必要なきめ細かさで決定することができない。

② アンサンブル予報を用いた変分法的データ同化法の開発
これまでの変分法同化手法では、背景誤差共分散として統計的に求めた予報誤差を用いており、ケースや場所による予報誤差の違いが考慮されていない。

③ 局所アンサンブル変換カルマンフィルタの開発
次世代の同化システムとしてアンサンブルカルマンフィルタが注目されているが、日本では、気象庁で全球同化システムとしての開発と精度検証が行われている程度で、メソスケール同化システムとしての本格的な開発は行われていない。

④ 台風初期値の改善と熱帯域同化実験
現在実用化されているメソ 4 次元変分法は、中緯度を対象に設計されており、台風や熱帯域のような低緯度での同化実験に不向きである。

副課題２　観測データ利用手法の高度化

① マイクロ波放射計データ同化手法の開発
気象庁の現業メソ同化システムでは、マイクロ波放射計データは、衛星観測による海上の可降水量・降水強度しか同化されていない。可降水量はその地点の鉛直積算した水蒸気に関する情報を与えるのみで、鉛直分布の構造や周囲の分布を正しく修正できない。

② GPS データ同化手法の開発

[1)]平成 21 年度～平成 24 年度、[2)]平成 25 年度、[3)]平成 21 年度～平成 22 年度、[4)]平成 23 年度～平成 25 年度、[5)]平成 24 年度～平成 25 年度

これまでの GPS データ同化研究は、静力学同化システムによる可降水量同化が中心で、鉛直積算水蒸気量の修正は行われるが、水蒸気量の鉛直分布や観測地点周囲の分布を正しく修正するには不十分である。

③ NHM-4DVAR への同化実験

気象庁の現業メソ同化システムは水平解像度 15km の非静力学モデルであり、ドップラーレーダー動径風などが同化されているものの、局地的な豪雨を捕らえるための高密度データは同化されていない。

④ 局所アンサンブル変換カルマンフィルタへの同化実験

NHM への局所アンサンブル変換カルマンフィルタの適用が可能になっているが、メソスケールデータ同化システムとしての本格的な同化実験はまだ行われていない。

副課題３　メソアンサンブル予報技術の開発

① 各種摂動手法の比較と改良

現在の気象庁のメソ数値予報は、単独予報のみであるが、顕著現象の予測では、場所・時間・強度に実況とずれが生じるのが普通で、見逃しや空振りが避けられない。アンサンブル予報は週間予報・季節予報を対象としてのみ行われている。

② 物理過程摂動手法の開発

現在のアンサンブル予報では、モデルの不完全性に起因する誤差が考慮されていないため、予報スプレッドや予報誤差が過小に評価される傾向がある。

③ 予測信頼度の評価と確率予報の検証

現在の気象庁のメソ数値予報は、単独予報のみで予測にどの程度の誤差や信頼度があるのかの客観的な情報がない現在の『降水確率』は、1mm 以上の降水の有無についてで、強雨についての情報ではない。

④ 熱帯域・台風アンサンブル実験

これまでのメソアンサンブル予報実験は、北京プロジェクトや日本域などを対象に行われたのみで、台風や熱帯域への適用は殆ど行われていない。

研究の成果の到達目標

副課題１　メソデータ同化技術の高度化

非静力学モデルで降水系を予測するためのデータ同化技術として、次の 4 項目について研究を実施する。

① NHM-4DVAR の開発
② アンサンブル予報を用いた変分法的データ同化法の開発
③ 局所アンサンブル変換カルマンフィルタの開発
④ 風初期値の改善と熱帯域同化実験

副課題２　観測データ利用手法の高度化

非静力学モデルの初期値を改善させるための観測データの利用手法として、次の 4 項目について研究を実施する。

① マイクロ波放射計データ同化手法の開発
② GPS データ同化手法の開発
③ NHM-4DVAR への同化実験
④ 局所アンサンブル変換カルマンフィルタへの同化実験

副課題３　メソアンサンブル予報技術の開発

アンサンブル予報に基づいて短期量的予測に信頼度や確率情報を付加するための技術開発として、次の 4 項目について研究を実施する。

① 各種摂動手法の比較と改良
② 物理過程摂動手法の開発

③　予測信頼度の評価や確率予報の検証
④　熱帯域・台風アンサンブル実験

研究結果

（成果の概要）

下に述べる 3 つの副課題に沿って研究を推進し、全体としてほぼ順調に進捗した。
全体として当初の目標に沿った研究を遂行し、概ね期待した成果が得られた。

（副課題ごとの研究成果）

副課題 1　メソデータ同化技術の高度化

①　NHM-4DVAR の開発

（H21 年度）

インクリメント法のテストを行い、非線形性の高い状況下においては有効でないことがわかった。

（H22 年度）

現業非静力学メソ 4 次元変分法同化システム(JnoVA)との親和性を高めるため、予報部数値予報課より JNoVA の非線形コード、接線形コード、アジョイントコードの提供を受けた。これらのコードに対し、雲物理過程の組み込みを行っている。

（H23 年度）

現業メソ同化システムとの親和性を高め、並列化を行うことを目標に、統合システムの設計について検討し、NHM-4DVAR の制御変数の採用、側面境界値の摂動の除去などを決定した。

（H24 年度）

現業メソ同化システムとの親和性を高めた同化システムのコーディングを終了し、3D-Var 部分の並列化も完了した。動作確認と観測演算子の並列化を進めている。

背景誤差共分散へのアンサンブル予報で得られた誤差統計の適用のためのハイブリッド手法について検討し、流れ依存性を取り込むため評価関数の拡張を行う方針を決定した。

（H25 年度）

現業メソ同化システムとの親和性を高めたシステムの開発を完了した。各種動作確認を行い、実観測データ同化実験によってその性能を確認した。ハイブリッドシステムの開発を開始し、初期的な結果を得た。年度内に終了の見込み。

②　アンサンブル予報を用いた変分法的データ同化法の開発

（H21 年度）

Ensemble 予報の位置ずれ誤差の補正スキムと Ensemble に基づく変分法的データ同化スキムで構成される、マイクロ波放射計 TB の JMANHM への同化法を開発した。この同化法を沖縄付近の台風の事例に適用したところ、降水予報が改善した。

（H22 年度）

位置ずれ誤差補正とアンサンブルに基づく変分法的同化法を組み合わせたデータ同化法をマイクロ波放射計データ以外のデータにも適用するプログラムを開発した。このプログラムを用いて沖縄梅雨特別観測期間（2004 年 6 月）について、マイクロ波放射計データと高層ゾンデデータを同化する初期的な実験を行った。その結果、アンサンブルに基づく変分法的同化法での降水物理量のサンプリング誤差が深刻であること、局所化のスケールを流れに依存して物理量毎に変更する必要があること、がわかった。

（H23 年度）

サンプリング誤差を抑制するため、先行研究で提案されている、上記サンプリング誤差抑制のアイデアの前提条件が JMANHM の Ensemble 予報誤差で成り立つか調べた。また前提条件の成り立つアイデアに基づく、JMANHM 用のサンプリング誤差抑制手法を開発し、そのインパクトを調べた。

（H24 年度）

マイクロ波放射計の輝度温度を用いて位置ずれ補正の調査を行った。位置ずれ補正後のデータを用いて EnVA 実験を行い延長予報の降水インパクトを解析した。その結果、位置ずれ補正を行

ってさらにEnVA実験を行うことの有効性が確認された。

サンプリング誤差抑制法として、対象点の周囲の地点のアンサンブルを使う手法を開発した。この手法を台風、梅雨、温帯低気圧の事例でテストし、アンサンブル予報誤差を平均場と偏差成分に分けることで、物理量毎の水平方向の予報誤差相関のスケールの違いを表すことができるように改良した。これに基づき、サンプリング誤差抑制法をアンサンブルに基づく変分法的同化法に導入した具体的なプログラムを開発した。

(H25年度)

LETKFとEn3DVARの統合メソデータ同化実験システムの開発を行い、テスト実験で正常に動作することを確認した。年度末までにEn3DVARの4次元化を終了させる見込み。また、マイクロ波放射計にレーダーのデータを組合せるメソスケールの位置ずれ補正の高度化について検討した。

③　局所アンサンブル変換カルマンフィルタの開発

(H21年度)

局所アンサンブル変換カルマンフィルタを2008年9月5日の堺の雷雨、2009年8月9日の兵庫県住用町の豪雨などの事例に適用した。局地的な豪雨では、摂動の調整や3DVarなどによる補正が必要な場合があることが分かった。

北京域を対象として、局所アンサンブル変換カルマンフィルタの解析同化サイクルに境界摂動を入れた場合と入れない場合の解析精度の違いを調べ、解析同化サイクルに境界摂動を入れる方が良いことを確認した。

(H22年度)

兵庫県佐用町の豪雨にLETKFを適用し、豪雨の再現を試みた。再現されたアンサンブルメンバーの出力を持いた解析結果から、豪雨は、中国山地の風上側にあった冷気が南風によって山地に押し付けられ、厚みを増した冷気によって南からの暖湿な気塊がより高い高度まで持ち上げられて、発生していることがわかった。

メンバー数の検討に関して、メンバー数を60、40、20に設定して、アンサンブル実験を行い、再現された降水域を比較した。アンサンブルメンバー数が20では再現が十分でなく、40の場合は60と再現された降水域と良く似ていた。これらから、50程度のアンサンブルメンバーが必要であることがわかった。共分散膨張手法についても、調査を着手した。

インクリメンタル法を用いる水平分解能40kmの領域LETKFについて、初期シードと側面境界摂動を振幅調整を加えた週間EPSから与えられるようにした。これにより、側面境界付近のアンサンブルスプレッドの過小が大きく改善することを確認した。

(H23年度)

2008年9月5日の堺市で発生した短時間強雨について、ネストしたLETKFシステムを用いて、同化実験を行った。また、豪雨の要因である停滞を理解するために、移動速度が途中で遅くなった2010年10月13日に関東平野西部で観測された雷雨についても同化実験を着手した。

共分散膨張手法が組み込まれている最新版のLETKFの移植を開始した。

(H24年度)

適応共分散膨張や変数間局所化を含む最新のLETKFコードに基づいたNHM-LETKF実験システムを開発した。ソースコードやシェルスクリプトを subversion で管理するようにし，他の研究者との共同開発環境を整えた。

上記実験システムを2012年7月の九州北部豪雨の事例に適用し、豪雨の再現実験への有用性を確認した。境界摂動や局所化スケールに関する感度実験を行い、境界摂動導入による境界付近のスプレッドの改善を確認するとともに、高解像度モデルではサンプリングノイズのためによりタイトな観測データの局所化スケールが必要であることがわかった。

LETKFのネストシステムを神戸の都賀川の短時間降水に適用し、同化実験を開始した。2012年5月6日の竜巻について、アンサンブル予報を格子間隔50mまでダウンスケール予報を行い、竜巻と同様の強い渦度を再現した。

2011年のヤマセの事例の海面水温について、気象庁の解析のみ与えた実験、半数のメンバーを東北大の外洋域新世代海面水温にして同化した実験を行った。複数の海洋の解析を用いると、スプレッドが大きくなり、有効であることがわかった。

平成 23 年新潟・福島豪雨のケースについて、雲物理変数を制御変数に加えたがそれだけでは解析精度は向上しなかった。サンプリング誤差が大きいことに注目し、変数間局所化を導入したところ、アンサンブルスプレッドの適正化とともに解析精度と予報精度の向上が見られた。

(H25 年度)

前年度行った NHM-LETKF の 2012 年 7 月九州北部豪雨への適用実験をさらに進捗させ、JNoVA および LETKF による解析値を初期値とした予報の比較検証行った。結果として、弱雨では JNoVA による予報のスコアが高いものの、中程度から強雨では、LETKF の優位性が確認された。また、1way ネストを用いた水平解像度 5km でのデータ同化実験を追加した。ネストを行った場合と行わない場合で予報検証を行い、高解像度データ同化の極端現象の予報に対する有効性を確認した。

2013 年の夏季（7 月～9 月）にかけ、NHM-LETKF の予報解析サイクルを実行した。統計検証を行うことで、LETKF の顕著事例への有効性を調査するとともに、竜巻や豪雨、台風事例についていくつかピックアップし、1way ネストによる高解像度データ同化実験、アンサンブル予報実験を行う予定である。

LETKF において、制御変数と観測データの相関を用いた適応局所化手法について検討を行った。簡易な SPEEDY-LETKF を用いた実験で、解析精度が向上することを確認した。

副課題２　観測データ利用手法の高度化

①　マイクロ波放射計データ同化手法の開発

(H21 年度)

精巧なマイクロ波放射伝達計算でもとめた現実的な固体降水粒子形状のモデルのバルク的なマイクロ波特性を、近似できるよう高速な RTM を改良した。これによって、マイクロ波放射計データの観測演算子で使う高速な RTM に非球形固体粒子のマイクロ波特性を導入した。

地上設置型マイクロ波放射計について、雲水のバイアスを補正して温度／水蒸気プロファイルを求める解析手法を開発し、暖候期と寒候期それぞれ 2 週間程度の期間において 1kmNHM を用いた 1DVar 解析を実施した。

(H22 年度)

非球形の現実的な固体降水粒子モデルのマイクロ波特性をパラメタライズした放射伝達モデルを、4 ice scheme をもつ雲解像モデルの出力用に改変して、マイクロ波特性へのインパクトを調べた。その結果、4 ice scheme で予報された、雨の粒径分布を使うと、低周波のマイクロ波の輝度温度が過小評価されることがわかった。この計算結果などから、熱帯降水観測衛星のマイクロ波放射計の 85 と 37 GHz の輝度温度の低下の比を使うと、固体降水の層厚が推定できることがわかった。85 と 37 GHz の輝度温度の低下の比が小さい降水は、固体降水の層厚が小さく、熱帯降水観測衛星のレーダの降水強度に対して、マイクロ波放射計の輝度温度低下も小さくなることがわかった。85 と 37 GHz の輝度温度の低下の比や降水の非一様性を用いた降水のタイプ分けを行い、熱帯降水観測衛星のレーダーとマイクロ波放射計の観測データの特徴を解析した結果、37GHz の輝度温度の低下が、雨の粒径分布に感度を持つことがわかった。

地上設置型マイクロ波放射計観測データを直接同化するため、これまで開発されてきた 1 次元変分法同化用プログラムを NHM-4DVAR へ組み込むために改良を行っている。また、同化実験を実施すべき事例について検討し、選定を行った。

2009 年四国でのマイクロ波放射計観測からリトリーブされた気温や水蒸気プロファイルの JNoVA による同化実験の準備に取り掛かった。

(H23 年度)

地上設置マイクロ波放射計について、2010 年 6 月の高知市における人工降雨集中観測での計測データを用いて 1km-NHM 解析値を初期値とした 1DVAR を実施した。その結果、雲水による輝度温度バイアスを除去することで気温・水蒸気のリトリーバル結果が改善することが確認できた。それを受け 4DVAR 用アジョイントコード作成に着手した。サンプルプログラムによる試験的なアジョイントコード計算ができることを確認し、次の段階として実際の NHM-4DVAR プログラムへの組込みのためのプログラム開発を継続中である。

(H24 年度)

予報研究部と気象衛星・観測システム研究部と共同して多波長マイクロ波放射計輝度温度データ同化用アジョイントコードのプロトタイプを作成し、NHM-4DVAR へ組み込むための改良を行った。現在、実際の観測データを用いた動作確認実験を行っている。

② GPS データ同化手法の開発

(H21 年度)

メソ 4 次元変分法を用いて GPS 可降水量、視線水蒸気量、GPS 掩蔽データを一緒にも同化した場合のインパクトについて調べ、両者を同時に同化することで最も良い結果が得られることを確認した。

国外 GPS 点の解析手法を開発し、インドネシア・ベンガル湾周辺の GPS 解析から得られた可降水量を 2008 年のサイクロン NARGIS に同化する実験を行った。また、2009 年 7 月 21 日の山口豪雨に関連し、韓国の GPS 点の解析を行い、同化実験を実施した。

四国沖の海洋ブイ搭載 GPS データを入手し、2008 年 8 月について解析に着手した。

2008 年 8 月 5 日の雑司ヶ谷豪雨について GPS 視線遅延量を解析し、豪雨との関連を調査した。

GPS 掩蔽データの対流圏下層における特性を調査し、境界層上端検出の可能性を考察した。

地上設置マイクロ波放射計の気温・湿度について、精度調査に着手した。

(H22 年度)

室戸沖 GPS 津波計を用いた天頂遅延量解析実験を実施し、現在の手法では観測衛星数に依存して、精度が変化することを確認した。10 個以上の衛星が捕捉されている場合は可降水量にして 5mm 程度の精度で解析が可能だった。衛星数が少ない場合の精度劣化を抑えるための手法を検討中。

視線遅延量同化手法において、観測誤差のモデル化、観測データの間引き法の開発を行った。これらを用いて、2009 年 8 月に発生した那覇ガーブ川事例において、視線遅延量のデータ同化実験を行い、可降水量、天頂遅延量の同化結果と比較した。その結果、視線遅延量同化の有効性が確認できた。

国外 GPS 点を用いた 2008 年ミャンマーサイクロン Nargis の可降水量同化実験を実施し、結果を気象集誌に発表した。国外 GPS 点の視線遅延量解析については、特に GPS 衛星や受信機のアンテナ位相中心変動の考慮に関する開発が遅れているため同化実験を行うまでには至っていない。

GPS 掩蔽データの同化実験に関して、屈折角のフォワードモデルを作成した。気象庁メソ解析と COSMIC プロジェクトによる解析を比較した結果、COSMIC プロジェクトで解析された屈折角は、屈折率同様、対流圏下層に負のバイアスがみられることが分かった。バイアス原因の考察と、補正方法を検討している。

屈折角を利用した大気境界層高度検出手法の開発として、COSMIC プロジェクトで解析された屈折角を用いることで、全球の境界層高度の地域・季節・日変化などの特徴をとらえ得ることを確認した。

(H23 年度)

GPS 解析手法の改良（アンテナ位相特性モデル、海洋潮汐荷重モデル、大気モデル等の高度化、及び衛星時計解析手法の改良）を実施。平成 23 年度 7 月より全球での毎時衛星時計誤差解析を開始した。

国内 GPS 点の毎時準リアルタイム視線遅延量解析を 9 月から開始。

視線遅延量の誤差統計を実施するためのデータセット作成に着手した。

改良された衛星時計解析結果を用いた海洋ブイ搭載 GPS 解析の改良に着手した。

2009 年 8 月 19 日に発生した那覇ガーブ川豪雨事例において、GPS 視線遅延量データ同化実験を行い、降水予報への良いインパクトを確認した。

(H24 年度)

海洋観測船凌風丸（2012 年 7 月 25 日）と啓風丸（2012 年 8 月 23 日）に GPS 受信機を設置し、観測を開始した。予備解析を行い、鉛直方向の座標を拘束する必要がわかった。この結果を GPS/GNSS シンポジウムにて報告した。

国土地理院の GPS 観測網から、定常的に視線遅延量を解析し、出力を 2012 年 5 月より開始した。GPS 解析により算出される視線遅延量の異方性を、NHM によるものと比較した結果、GPS によ

るそれがNHMによるものより小さいことがわかった。高速化に向け、国際GNSSサービス(IGS)の提供するリアルタイム暦情報の解析への利用準備を行った。

(H25年度)

海洋観測船で観測したGPS,Glonass,QZSS等複数測位衛星の解析が可能なGPS/GNSS解析ソフトウェア、"RTKlib"をインストールし、解析試験を開始した。現状の仕様では、位置は解析できるが、大気遅延量等のパラメータが出力できないため、ソースコードの改変を行っている。

解析の高速化に向け、国際GNSSサービス(IGS)の提供するリアルタイム暦情報の解析への利用試験を開始した。

③ NHM-4DVARへの同化実験

(H21年度)

これまで開発してきた反射強度データの同化法が開発に用いた事例と異なる場合でも同様に有効であることを確認した。

(H22年度)

2009年8月に発生した那覇ガーブ川事例において、RASSデータの同化および3時間予報を行った。第一推定値と比べて、RASS データを同化した場合、那覇付近の降水帯が強化されるなどRASSデータ同化の降水予報に対する有効性が確認された。

2008年8月の雑司ヶ谷豪雨事例において、レーダー反射強度データの同化実験を行った。この結果、予報開始時において、対流の表現が改善されることを確認した。

ライダーデータ同化のために、2008年8月に発生した雑司ヶ谷豪雨事例のデータの利用可能性について検討した。また、2010年7月5日における板橋豪雨事例について、NICTによるライダーデータを用いたデータ同化実験を実施する方向で打ち合わせを行った。

(H23年度)

NICTによるドップラーライダー同化の観測演算子を開発し、実観測データ同化実験の準備を進めた。

(H24年度)

2010年7月の板橋局地豪雨の事例についてドップラーライダーデータの同化実験を行い、データのインパクトについて調査し、豪雨の予測への有効性を確認した。視線遅延量データについては、新たな同化実験例の追加は行わなかったが、2009年8月の沖縄ガーブ川増水事故の局地豪雨事例について、論文にまとめ気象集誌に投稿した。

(H25年度)

GPS 視線遅延量同化のガーブ川事例における降水予報へのインパクトについて論文が出版された。

板橋豪雨事例のライダーデータ同化のインパクトについて Monthly Weather Review に投稿した。

④ 局所アンサンブル変換カルマンフィルタへの同化実験

(H21年度)

簡易的なGPSデータの同化手法について、気象研技術報告にまとめると共に、数値予報課藤田氏の開発した新しい手法の移植を開始した。

(H22年度)

GPS 可降水量データの同化実験については、2008年7月28日の神戸の大雨の事例に適用した結果を論文にまとめた。さらに手法を高度化する取り組みを開始した。

ドップラーレーダーの動径風は、2009年9月5日に発生した堺市の雷雨の事例について、新たに作成したLETKFネスティングシステムの内側モデル（降水間隔2km）での同化法の開発に着手した。

同じく2009年9月5日の事例について、NHM用の3DVARシステムを用いてプロファイラーの屈折率を同化することによって、下層により湿った気塊が分布するように初期値を変更できる可能性を示した。

(H23年度)

2008年9月5日に堺市で発生した短時間強雨について、雲解像LETKFを用いて、GPS可降水量

やドップラーレーダーの動径風を同化し、ぞれぞれ、短時間強雨を再現するアンサンブルメンバーが増えることを確認した。

視線水蒸気量についても、local な演算子を用いた同化実験を開始した。

プロファイラーの屈折率の鉛直勾配について、推定に使われる乱流がプロファイラーの鉛直解像度より細かいことが観測精度の向上しない原因であるという指摘から、鉛直解像度を細かくするモードの観測に着手した。

(H24 年度)

雲底高度と共に混合層上端の高度が測定できることが報告されているシーロメータの後方散乱データについて、気象庁のシーロメータを用いて確認したところ、混合層上端はほとんど見えていないが、雲底が感度よく見えていることを確認した。近傍のゾンデ観測との比較により、雲底高度は湿度 90%に対応しているがわかった。2011 年 7 月末のヤマセの事例について、雲底高度の第一推定値を、湿度が 90%を超える高度として求め、雲底高度として同化したが、インパクトが小さかった。今後の改善を継続する。混合層上端高度についても、シーロメータの調整を期待して、同化法の開発を開始した。

ドップラーレーダーの IQ データを用いて、固定反射物までの往復の位相差が、空間・時間的に、滑らかにゆっくりと変化していることを示した。この変化は、位相情報が地上付近の大気の情報を持っていることを裏付けていた。固定反射物の位相差について、水蒸気情報として同化する実験を行い、同化すると下層の水蒸気場が位相差に対応して変化したことを確認した。

(H25 年度)

2012 年 5 月 6 日につくば市に被害をもたらした竜巻について、雲解像 LETKF で気象研究所のドップラーレーダーの動径風を同化し、この動径風の同化によって竜巻発生時刻付近でより竜巻の発生に適した環境場が再現されることを確認した。

⑤　ひまわり高頻度観測による衛星風のデータ品質調査

(H24 年度)

ひまわり高頻度観測による衛星風について、2km-NHM による予報値と比較するなどの調査を行い、各チャンネルによって誤差幅と誤差分布に特徴が見られることがわかった。誤差の特徴は、通常観測による衛星風とそれほど変わらなかったが、特に下層風のデータ数がより多いことから、今後の利用可能性が示唆された。

副課題３メソアンサンブル予報技術の開発成果

①　各種摂動手法の比較と改良

(H21 年度)

メソ特異ベクトルと全球特異ベクトルとの結合手法に関する調査を行い、降水確率予測が改善することを確認した。また、新スパコンにメソアンサンブル予報実験システムを構築し、気象庁全球アンサンブル予報の初期・境界摂動を用いた日本域アンサンブル予報実験を試行した。

GSV 法において水蒸気エネルギーが下層に集中するように改良を行い、2008 北京オリンピックの期間に適用して降水予報が改善することを示した。

局所アンサンブル変換カルマンフィルタ、メソ SV 法、WEP 法を 2008 年 9 月 5 日の堺の雷雨の事例に適用し、豪雨の再現を比較した。

北京プロジェクトの事例について、BGM 法とアンサンブルカルマンフィルタ法のバグを修正して、摂動手法の比較を行った。BGM 法では直交性を維持するのに境界摂動が重要であることがわかった。

週間 EPS の予報値ファイルからメソモデル用の初期・境界摂動を振幅調整して作成するツールを開発し、数値予報課に提供した。

(H22 年度)

北京オリンピックのアンサンブル予報実験の事例について、コントローランに比べて降水量が最も降水が強化されたメンバーに注目し、降水の強化に寄与した摂動の分布を調べた。メソ SV 法は対流の上昇流域で気温等が増加し、全球 SV は比較的に大きいなスケールで中層の気温が低くなって不安程度を増していたこと、LETKF とブリーディング法は摂動のパターンが良く似てい

て、共に対流の付近の下層で気温が高められていたことが分かった。

ローパスフィルターを用いて全球 SV の摂動エネルギーが梅雨前線のスケールで極大となるように変更した。その結果、下層の波数 20 付近に水蒸気エネルギーの極大が現れるメンバーが出現した。この手法を 2009 年 7 月豪雨に適用した結果 30mm/3hrs の降水確率を増大させる効果が認められた。

2010 年梅雨期に改良した全球 SV 法によるアンサンブル予報実験を行った。5km-JMA/NHM で予測困難だった豪雨事例に対して、15km メソアンサンブルで豪雨発生域にある程度以上の降水を表現できるメンバーが出現した。共通しているのはコントロールに比べて強い潜在不安定域を表現できていることである。ただし、量的には十分ではなかった。

北京オリンピックのアンサンブル予報実験の事例について、週間 EPS のダウンスケール、全球 SV 法、メソ SV 法、メソ BGM 法、メソ LETKF の５つの摂動手法の比較を行った論文を国際誌(Tellus)に投稿し受理された。改訂作業において、各摂動手法によるエネルギーノルムの大きさや鉛直分布、成長率の違いなどについて調べ、全球 SV はノルムの成長が継続すること、メソ SV は予報開始初期の成長率が大きいこと、メソ BGM とメソ LETKF は似た傾向を持つが、成長率は BGM 法の方がやや大きいことなどが分かった。

北京オリンピックのアンサンブル予報実験の事例について、BGM 法と LETKF 法の摂動生成サイクルにおける境界摂動の影響を調べた。ブリーディングサイクルやアンサンブルカルマンフィルタサイクルに境界摂動を加える方がノルムでみた摂動の成長が早くなり、BGM 法では各ブレッドベクトル間の直交性が増すことが分かった。

2008 年８月の世田谷区雑司ヶ谷の局地豪雨の事例について、水平解像度 2km の雲解像モデルによるアンサンブル実験を行った。コントロール予報の初期値として、ルーチンメソ解析では、降水が不足気味だったが、GPS 可降水量を同化した JNoVA による解析におきかえることで降水量が改善することが分かった。

(H23 年度)

LETKF をネストしたシステムを構築し、2008 年 9 月 5 日に堺市で発生した短時間強雨に適用した。LETKF をネストしたシステムでは、メソスケールの LETKF(親 LETKF)で環境を作って、その中で 3 次元変分法＋雲解析を用いて短時間強雨を再現するよりも、短時間強雨を再現できるメンバーが多く、予報により有効であることがわかった。

(H24 年度)

LETKF 解析とメソ解析を初期場とする雲解像アンサンブル実験を 2011 年台風第 12 号について行い、結果の解析と比較を行った。3～4 日間の長時間豪雨が持続し、積算降水量の予測が困難と思われたが、1 つのメンバーは近畿南東部を中心に精度の高い予想をすることができた。

全球大気海洋結合モデルを用いた LETKF から海面水温成分を抽出し、メソ領域モデルを用いた LETKF に海面水温に摂動を加えた実験を行った。得られた解析値を用いた台風の予報実験に対し，正のインパクトがあることがわかった。

2011 年のヤマセの事例の海面水温について、気象庁の解析のみ与えた実験、半数のメンバーを東北大の外洋域新世代海面水温にして同化した実験を行った。複数の海洋の解析を用いると、スプレッドが大きくなり、予報の改善に有効であることがわかった。

② 物理過程摂動手法の開発

(H23 年度)

2008 年 9 月 5 日に堺市で発生した短時間強雨について、ネストした LETKF システムを用いて、雲水や氷晶から雨水や雪に変換される閾値のメンバー毎に変える実験を行い、閾値を変えたことによる予報へのインパクトを調べた。この事例では、データ同化による改善の寄与がより大きいこと、閾値を変えても領域全体の降水量が増減するのではなく、降水域ごとに変わることがわかった。

③ 予測信頼度の評価や確率予報の検証

(H21 年度)

平成 21 年九州北部・中国豪雨に改良した GSV 法を適用し、豪雨の再現が可能であることを示した。豪雨を再現したメンバーを解析することにより、高度 1km 以下の相当温位の初期摂動が強

い潜在不安定を作り出し豪雨発生に寄与していることがわかった。

局地的な豪雨である 2008 年 9 月 5 日の堺の雷雨の事例について、局所アンサンブル変換カルマンフィルタとメソ SV 法による調査を行った。摂動振幅の調整やターゲット域などの工夫が必要なことが分かった。

(H22 年度)

2010 年の梅雨期について、週間アンサンブルの摂動を規格化して与えた実験を行い、西日本に大雨をもたらした 7 月 11 日から 14 日について、大雨の観測された時刻の降水量と、それ以前の地上の気温や相当温位、水蒸気フラックスなどとの相関の空間分布を調べた。その結果、降水量をより正しく表現できる 2km のダウンスケール実験の出力では、対流スケールの変動が大きく対応が不明瞭なこと、格子間隔 15km の親モデルでは水蒸気フラックスの対応は良くないものの、相当温位や気温では、比較的高温な領域が移流してきて降水が発達している事例があることが分かった。このことから、降水量の表現にはダウンスケールが必要だが、その強雨をもたらす要因については、親モデルの地上の相当温位等に注目するなど、用途に応じて出力を使い分ける必要があることが分かった。

北京オリンピックのアンサンブル予報実験の事例について、週間 EPS のダウンスケール、全球 SV 法、メソ SV 法、メソ BGM 法、メソ LETKF の５つの摂動手法の比較を行った論文を国際誌(Tellus)に投稿し受理された。改訂作業において、各摂動手法による降水の確率予測について Brier Skill Score を調べ、全球 SV は弱い雨について、メソ SV、メソ BGM、メソ LETKF は強い雨について確率予測の成績が良いことを示した。

北京オリンピックのアンサンブル予報実験の事例について、BGM 法と LETKF 法の摂動生成サイクルにおける境界摂動の降水予測への影響を調べた。ブリーディングサイクルやアンサンブルカルマンフィルタサイクルに境界摂動を加える方が、ブライアスキルスコアが大きく改善し、その影響は延長予報における境界摂動の影響よりも大きいことが分かった。

(H23 年度)

2008 年８月５日の首都圏豪雨と平成 23 年新潟福島豪雨についてメソアンサンブル予報と雲解像アンサンブル予報を実施し、それぞれの事例について、降水強度別確率予報の分布図を作成するとともに、メソスケールモデルによる予測可能性が大規模場の強制の有無によって事例に依り大きく変わることを示した。

2010 年日本域を対象に行ったメソアンサンブル予報を対象に、Brier Skill Score など確率予報のスコアや reliability diagram を調べるとともに、Fractions Skill Score を時間方向にも拡張して検証を行った。

(H24 年度)

2008 年の岡崎豪雨について、豪雨をもたらした線状降水系の降水量と、降水域に湿った気流が吹き込む南側での、南北風と水蒸気量の積であるフラックスと関係を調べた。高度 1 kmでは、地上付近や高度 3 kmに比べて相関がいいこと、その場合でも 2 時間前では相関が悪いことがわかった。

2012 年のつくばの竜巻について、格子間隔 50m までのダウンスケール実験を行い、メンバーによって、渦の大きさ強度などが大きく変化していることがわかった。また、格子間隔 350m のダウンスケール実験から、渦の寿命は、下層の水蒸気量が大きく、高度 5 kmと 0.5 kmの水平風の鉛直シアが大きいと、長くなる傾向があることがわかった。

2012 年のつくばの竜巻について、格子間隔 350m のダウンスケール実験から、複数のアンサンブルメンバーの予報結果を比較することにより、竜巻を引き起こした積乱雲群による低圧部が広い場合、下層風が強くなって鉛直シアが弱まって竜巻の強い渦は発生しなかっこと、下層の低圧ン部下層の水蒸気量が湿った条件下で、鉛直シアの大きい領域が降水域の傍を通過したことにより発生したことがわかった。

④　熱帯域・台風アンサンブル実験

(H21 年度)

ベンガル湾に発生したサイクロン Nargis についてのメソアンサンブル予報実験を行い、単独予報よりも精度が向上すること、境界摂動を付与することにより現実的なスプレッドが得られる

ことを確認した。

(H22 年度)

2008 年にミャンマーで未曾有の高潮被害を発生させたサイクロン Nargis とその高潮のメソアンサンブル予報実験を行った論文が気象集誌に掲載された。この事例について、LETKF を用いた QuikSCAT 海上風の同化実験を行った。

2007 年１月のジャカルタ周辺の豪雨についての 20km メソモデルを用いたラグアンサンブル実験を京都大学との協力で行った。北風モンスーンの侵入に伴う降水量の増大など総観規模の気象場とメソスケール降水の対応が確認できた

(H24 年度)

2012 年台風第 15 号の雲解像アンサンブルによる 3 重眼再現実験を行った。3 重眼の解析は、中心位置の精度に大きく左右されるため Braun(2002)の手法を用いてリングに対し位置が固定されるようにした。幾つかのメンバーである程度の再現性が得られた。

2008 年ミャンマーサイクロン Nargis のケースについて、複数センターの海面水温解析に基づく海面水温摂動と RIP(Running in Place)手法を導入し、解析精度と予測精度に有効であることを確認した。

(H25 年度)

2013 年台風第 18 号に事例について､LETKF に基づくアンサンブル予報実験を行う予定である。

2012 年台風第 15 号の雲解像アンサンブルによる 3 重眼再現実験の解析を進めた。Eyewall replacement が見られず､多重眼の同一構造が 24 時間以上維持したメカニズムや台風中心付近の風速が弱かったことについて理解することができた。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

大きな変更はない。

JMANHM の Ensemble を使った同化法では、特に降水物理量に対して、サンプリング誤差が深刻な問題になることがわかったので、サンプリング誤差抑制法の研究を行うこととした。

NHM-4DVAR での地表面過程のアジョイントモデルの作成は、現業メソ同化システムとの親和性を高めることで、同モデルが導入されるため、独自開発を中止した。

人事異動に伴い、GPS 掩蔽データの対流圏下層の品質管理手法の確立については、気象衛星・観測システム研究部の研究課題「次世代リモートセンシングに関する研究」に移した。

成果の他の研究への波及状況

当課題で開発した手法で解析した GPS 可降水量を用いて 2008 年にミャンマーを襲ったサイクロン NARGIS のデータ同化実験を実施した。(科学技術振興調整費「東南アジア地域の気象災害軽減国際共同研究」)。観測点数が限られるものの、GPS 可降水量がサイクロン強度や進路予測に中立あるいは正のインパクトをもたらすことを確認している。

当課題で作成してきた国内 GPS 可降水量や視線遅延量データを気象庁内の調査・研究（地方共同研究など）や研究機関(JAXA)、大学等へ提供した。

GPS 可降水量の解析に関する講習を、気象庁職員や研究者向けに実施した（2010 年 4 月)。

全球とメソの特異ベクトル法を組み合わせる方法については、気象研究所のアイデアを基に予報部数値予報課で現業化も視野に入れた開発が進んでいる。

文部科学省の HPCI 戦略プログラムが H23 年度から始まっている。本重点研究の成果を応用した大規模計算を行う計画であるとともに、その知見は本重点研究へも還元させる予定である。

本課題の研究は、気象庁技術開発推進本部モデル技術開発部会のメソグループ活動計画の開発個表の 3.メソアンサンブル予報システム､4.メソ及び局地解析用変分法データ同化システムに密接に関連して行われている。また予報部観測部との研究懇談会における要望事項「水蒸気場推定のためのリモートセンシング技術の調査・開発に関する協力」にも関連して行われている。

文部科学省 HPCI 戦略プログラム分野 3「防災・減災に資する地球変動予測」の研究課題②「超高精度メソスケール気象予測の実証」において京コンピュータを用いたメソスケール気象予測の実証研究が行われており、データ同化手法やデータ利用手法、アンサンブル手法の開発などに本課題の成果が

貢献している。

戦略推進費「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」で実施する首都圏稠密観測により得られる観測データの同化実験を行っている。同研究の課題 2 の気象予測に貢献する。

環境応用研究部へ LETKF 実験システムの実験システム提供を行い、大気化学モデリングに関するデータ同化実験や科研費研究「放射性核種トレーサーのアンサンブルデータ同化と移流拡散沈着過程の高精度解析」に貢献している。

今後の課題

さらなる予報精度の向上が期待できる「アンサンブル予報の背景誤差を用いた変分法的データ同化法」や「局所アンサンブル変換カルマンフィルタと変分法的データ同化法を統合させたシステム」の開発を進める必要がある。その際、開発効率等の視点から、コアや観測演算子、実験システムの共有を図っていく。

ドップラーライダーやラピッドスキャンデータ等の高頻度観測データや、気象レーダーで観測される二重偏波データや屈折率等の新しい観測データの効率的・効果的な同化手法を開発する必要がある。

雲解像アンサンブル予報の確率予報の検証システムや、顕著現象の複数の予報シナリオから有効な情報を抽出し、わかりやすく示す手法を構築していく必要がある。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（台風・集中豪雨分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、474 ページを参照。

成果発表一覧

査読論文 ：31 件

1. Aonashi, K. and H. Eito, 2011: Displaced Ensemble variational assimilation method to incorporate microwave imager data into a cloud-resolving model, J. Meteor. Soc.Japan, 89, 175-194.
2. Duan, Y., J. Gong, M. Charron, J. Chen, G. Deng, G. DiMego, J. Du, M. Hara, M. Kunii, X. Li , Y. Li, K. Saito, H. Seko, Y. Wang, and C. Wittmann, 2010: An overview of Beijing 2008 Olympics Research and Development Project (B08RDP). Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, 381–403.
3. Duc L., K. Saito, and H. Seko, 2013: Spatial-temporal fractions verification for high resolution ensemble forecasts. Tellus A. 65, 18171.
4. Eito, H. and K. Aaonashi, 2009: Verification of Hydrometeor Properties Simulated by a Cloud-Resolving Model Using a Passive Microwave Satellite and Ground-Based Radar Observations for a Rainfall System Associated with the Baiu Front, J. Meteor. Soc. Japan, 87A, 423–446.
5. Iguchi T., T. Nakajima, A. Khain, K. Saito, T. Takemura, H. Okamoto, T. Nishizawa and W. Tao, 2012: Evaluation of cloud microphysics in JMA-NHM simulations using bin or bulk microphysical schemes through comparison with cloud radar observations. J. Atmos. Sci. 69, 2566-2586.
6. Ito, K., T. Kawabata, T. Kato, Y. Honda, Y. Ishikawa, and T. Awaji, 2013: Simultaneous optimization of air-sea exchange coefficients and initial conditions near a tropical cyclone with JNoVA. J. Meteor. Soc. Japan, 91, 337-353.
7. Kawabata, T., H. Iwai, H. Seko, Y. Shoji, K. Saito, S. Ishii, and K. Mizutani, 2013: Impact of Doppler Wind Lidar Assimilation on a Heavy Rainfall Forecast at a Meso-β Scale, Mon. Wea. Rev., (submitted).
8. Kawabata, T., M. Kunii, K. Bessho, T. Nakazawa, N. Kohno, Y. Honda, K. Sawada, 2012: Reanalysis and Reforecast of Typhoon Vera (1959) Using a Mesoscale

Four-Dimensional Variational Assimilation System. J. Meteor. Soc. Japan, 90, 449-465.

9. Kawabata, T., T. Kuroda, H. Seko, and K. Saito, 2011: A cloud-resolving 4D-Var assimilation experiment for a local heavy rainfall event in the Tokyo metropolitan area, Mon. Wea. Rev. 139, 1911-1931.
10. Kawabata, T., Y. Shoji, H. Seko, and K. Saito, 2013: A numerical study on a mesoscale convective system over a subtropical island with 4D-Var assimilation of GPS slant total delays. J. Meteor. Soc. Japan, 91.
11. Kunii, M., K. Saito and H. Seko, 2010: Mesoscale Data Assimilation Experiment in the WWRP B08RDP. SOLA, 6, 33-36.
12. Kunii, M., K. Saito, H. Seko, M. Hara, T. Hara, M. Yamaguchi, J. Gong, M. Charron, J. Du, Y. Wang and D. Chen, 2011: Verifications and intercomparisons of mesoscale ensemble prediction systems in B08RDP. Tellus, 63A, 531-549.
13. Kunii, M, and T. Miyoshi, 2012: Including Uncertainties of Sea Surface Temperature in an Ensemble Kalman Filter: A Case Study of Typhoon Sinlaku (2008). Wea. Forecasting, 27, 1586–1597.
14. Kunii, M., Y. Shoji, M. Ueno and K. Saito, 2010: Mesoscale Data Assimilation of Myanmar Cyclone Nargis. J. Meteor. Soc. Japan, 88, 455-474.
15. Mikami, A., T. Kawabata, S. Satoh, J. Furumoto, S. Nagai, Y. Murayama and T. Tsuda, 2011: Meso-γ-scale convective systems observed by a 443-MHz wind-profiling radar with RASS in the Okinawa subtropical region, J. Atmos. Solar-Terrestrial Phys, 73, 996-1009.
16. Saito, K., T. Tsuyuki, H. Seko, F. Kimura, T. Tokioka, T. Kuroda, L. Duc, K. Ito, T. Oizumi, G. Chen, J. Ito, and SPIRE Field 3 Mesoscale NWP group, 2013: Super high-resolution mesoscale weather prediction. J. Phys. Conf. Ser., 454, 012073: doi:10.1088/1742-6596/454/1/012073.
17. Saito, K., 2012: The Japan Meteorological Agency nonhydrostatic model and its application to operation and research. InTech, Atmospheric Model Applications, 85-110. doi: 10.5772/35368.
18. Saito, K., M. Hara, M. Kunii, H. Seko, and M. Yamaguchi, 2011: Comparison of initial perturbation methods for the mesoscale ensemble prediction system of the Meteorological Research Institute for the WWRP Beijing 2008 Olympics Research and Development Project (B08RDP). Tellus, 63A, 445-467.
19. Saito, K., H. Seko, M. Kunii and T. Miyoshi, 2012: Effect of lateral boundary perturbations on the breeding method and the local ensemble transform Kalman filter for mesoscale ensemble prediction. Tellus, 64, 11594.
20. Saito, K., T. Kuroda, M. Kunii and N. Kohno, 2010: Numerical Simulations of Myanmar Cyclone Nargis and the Associated Storm Surge Part 2: Ensemble prediction. J. Meteor. Soc. Japan. 88, 547-570.
21. Seko, H., K. Saito, M. Kunii1 and M. Kyouda, 2009: Mesoscale Ensemble Experiments on Potential Parameters for Tornado Formation. SOLA, 5, 57-60.
22. Seko, H., H. Yamauchi, O. Suzuki and K. Saito, 2009: Estimation of Refractive Index Variation using C-band Doppler Radar Equipped with Magnetron Transmitter. SOLA. 5, 145-148.
23. Seko, H., M. Kunii, Y. Shoji and K. Saito, 2010: Improvement of Rainfall Forecast by Assimilations of Ground-based GPS data and Radio Occultation Data. SOLA. 6, 81-84.
24. Seko, H., S. Hayashi, and K. Saito, 2012: Processes Generating Convection Cells near Sumatra Island in the Monsoon Season, Pap. Met. Geophys., 63, 57-67.

25. Seko, H., T. Miyoshi, Y. Shoji and K. Saito, 2011: Data Assimilation experiments of precipitable water vapor using the LETKF system -an intense rainfall event over Japan 28 July 2008-, 2011, Tellus. 63A, 402-412.
26. Seko, H., Y. Shoji, M. Kunii and Y. Aoyama, 2009: Impact of the CHAMP occultation data on the rainfall forecast, Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp197-218.
27. Shoji, Y., Kunii, M. and K. Saito, 2011: Mesoscale Data Assimilation of Myanmar Cyclone Nargis. Part II: Assimilation of GPS derived Precipitable Water Vapor, J. Meteor. Soc. Japan, 89, 67-88.
28. Shoji, Y., M. Kunii and K. Saito, 2009: Assimilation of Nationwide and Global GPS PWV Data for a Heavy Rain Event on 28 July 2008 in Hokuriku and Kinki, Japan. SOLA, 5, 45-48.
29. 草開浩，小山芳太，金森恒雄，瀬古弘，2011: 2008 年 7 月 28 日近畿地方を南西進した線状降水帯と都賀川での大雨について．天気，58,395-412.
30. 栗原佳代子，金森恒雄，瀬古弘，2009: 2003 年 7 月 18 日に広島県で発生した線状降水帯―気象庁非静力学モデルで解析した気流構造と地形や中層乾燥気塊の効果―．天気，56, 613-626.
31. 小林健一郎，大塚成徳，寶馨，折口征二，斉藤和雄, 2013: 高解像度アンサンブル予測降雨を入力とするアンサンブル洪水予測．水工学論文集、57, I_1597-I_1602.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：47 件

1. Duc, L., K. Saito and H. Seko, 2012: Verification of high resolution ensemble forecasts using the 4-dimensional Fractions Skill Score. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell, 42, 2.05-2.06.
2. Duc, L., T. Koruda, K. Saito and T. Fujita, 2012: Data assimilation experiments of Myanmar cyclone Nargis based on NHM-LETKF. CAS/JSC WGNE Res. Act. Atmos. Ocea. Model., 42, 1.03-1.04.
3. Honda, Y. and K. Sawada, 2009: Upgrade of the Operational Mesoscale 4D-Var System at the Japan Meteorological Agency. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell., 39, 1.11-1.12.
4. Kawabata, T., Y. Shoji, H. Seko, K. Saito, 2011: An assimilation experiment of GPS-derived water vapor observations on a local heavy rainfall event, CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell., 41, 1.15-1.16.
5. Kunii, M. and K. Saito, 2009: Sensitivity Analysis using the Mesoscale Singular Vector. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell., 39, 1.27-1.28.
6. Kuroda, T., K. Saito, M. Kunii, H. Seko, 2010: Mesoscale LETKF Data Assimilation on Cyclone Nargis. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell., 40, 1.23-1.24.
7. Kuroda, T., K. Saito, M. Kunii and N. Kohno, 2009: Numerical Experiments of Myanmar Cyclone Nargis. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell., 39, 5.11-5.12.
8. Kuroda, T., T. Fujita, H. Seko and K. Saito, 2012: Construction of Mesoscale LETKF Data Assimilation Experiment System. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell, 42, 1.15-1.16.
9. Origuchi, S., K. Aonashi and K. Okamoto, 2013: Displaced Ensemble Variational Assimilation Experiment Using Brightness temperatures of Microwave Imager. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos.Oceanic Modell, 43, 1.09-1.10.
10. Origuchi, S., K. Saito, H. Seko and T. Kuroda, 2012: Cloud resolving ensemble experiment of the 2011 Typhoon “Talas”. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell, 42, 5.13-5.14.

11. Origuchi, S., K. Saito, H. Seko, T. Kuroda and W. Mashiko, 2013: Triple Eyewall Experiment of the 2012 Typhoon “Bolaven” Using Cloud Resolving Ensemble Forecast. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell, 43, 5.09-5.10.
12. Saito, K., M. Kunii, M. Hara, H. Seko, T. Hara and M. Yamaguchi, 2009: Development of MRI/JMA mesoscale EPS at the WWRP Beijing Olympic Research and Development Project (B08RDP). CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell., 39, 5.19-5.20.
13. Saito, K., M. Kunii, M. Hara, H. Seko, T. Hara, M. Yamaguchi, T. Miyoshi and W. Wong, 2010: WWRP Beijing Olympics 2008 Forecast Demonstration / Research and Development Project (B08FDP/RDP). Tech. Rep. MRI, 62, 210pp.
14. Saito, K., H. Seko, M. Kunii, M. Hara and T. Miyoshi, 2009: Influence of lateral boundary perturbations on the mesoscale EPS using BGM and LETKF. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell., 39, 5.21-5.22.
15. Saito, K., H. Seko, T.Kuroda, T. Fujita, T. Kawabata, K. Aonashi, and T. Tsuyuki, 2011: Next generation supercomputer project toward cloud resolving NWP. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell., 41, 5.19-5.20.
16. Saito, K., T. Kuroda and M. Kunii, 2009: Ensemble Forecast Experiment of Cyclone Nargis. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell., 39, 5.23-5.24.
17. Saito, K., T. Kuroda, S. hayashi, H. Seko, M. Kunii, Y. Shoji, M. Ueno, T. Kawabata, S. Yoden, S. Otuka, N.J. Trilaksono, T.Y. Koh, S. Koseki, L. Duc, X.K. Xin, W.K. Wong and K.C. Gouda, 2011: International Research for Prevention and Mitigation of Meteorological Disasters in Southeast Asia. Tech. Rep. MRI, 65, 193pp.
18. Saito, K., Y. Shoji, S. Origuchi, L. Duc and H. Seko, 2012: GPS TPW Assimilation with the JMA Nonhydrostatic 4DVAR and Cloud Resolving Ensemble Forecast for the 2008 August Tokyo Metropolitan Area Local Heavy Rainfalls. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell, 42, 1.19-1.20.
19. Seko, H., K. Saito, M. Kunii and T. Miyoshi, 2009: Data assimilation experiment of the Kobe thunderstorm by using NHM-LETKF. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell., 39, 1.37-1.38.
20. Seko, H., K. Saito, M. Kunii and Y. Shoji, 2009: Synergistic effect of the assimilation of Radio occultation data and ground-based GPS data. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell., 39, 1.35-1.35.
21. Seko, H., K. Saito, O. Suzuki and A. Adachi, 2012: Impacts of the low-level convergence data on the local heavy rainfall, 2012, CAS/JSC WGNE Res. Act. Atmos. Ocea. Modell., 42, 01-23.
22. Seko, H., K. Saito, O. Suzuki and A. Adachi, 2012: Impacts of the low-level convergence data on the local heavy rainfall. CAS/JSC WGNE Res. Act. Atmos. Ocea. Modell., 42, 1.23-1.24.
23. Seko, H., K. Saito, and T. Tsuda, 2011: Data Assimilation Experiments of Vertical Gradient of Refractive Index Observed by Wind Profilers. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell., 41, 1.27-1.28.
24. Seko, H., O. Suzuki, K. Saito and T. Miyoshi, 2012: Ensemble forecast experiments of thunderstorm that occurred in the Kanto Plain on 13th Oct. 2010. CAS/JSC WGNE Res. Act. Atmos. Ocea. Modell., 42, 5.17-5.18.
25. Seko, H., S. Kogure and T. Tsuda, 2012: Observation System Simulation Experiments of Quasi-Zenith Satellite, CAS/JSC WGNE Res. Act. Atmos. Ocea. Modell., 42,01.21-01.22.
26. Seko, H., S. Hayashi, M. Kunii and K. Saito, 2009: Structure of the regional heavy rainfall system that occurred in Mumbai, India, On 26 July 2005. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell., 39, 2.27-2.28.

27. Seko, H., S. Hayashi, and K. Saito, 2010: Generation mechanisms of convections by gravity waves. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell., 40, 5.19-5.20.
28. Seko, H., T. Tsuyuki, and K. Saito, 2011: Development of an LETKF Nested System for a Cloud Resolving Model. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell., 41, 1.25-1.26.
29. Seko, H., T. Tsuyuki, K. Saito, and T. Miyoshi, Development of a Two-way Nested LETKF System for Cloud Resolving Model, Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications II, Eds. S.K. Park and L. Xu, Springer- Verlag Berlin Heidelberg, pp 489-507.
30. Seko, H., T. Tsuyuki and K. Saito, 2012: Improvements of the nested LETKF system - Impacts of GPS water vapor data and synergistic effects of GPS water vapor data and wind data -. CAS/JSC WGNE Res. Act. Atmos. Ocea. Modell., 42, 1.25-1.26.
31. Seko, H., Y. Kodama and T. Tsuda, 2012: Ensemble forecast experiments of 'Yamase' that occurred on 31st July 2011, CAS/JSC WGNE Res. Act. Atmos. Ocea. Model., 05.15-05.16.
32. Tsuyuki, T., 2012: Data assimilation in a two-scale model with Kalman filters, CAS/JSC WGNE Res. Act. Atmos. Ocea. Modell. 01.27-01.28.
33. 足立誠，瀬古弘，2009: 2007 年 8 月 31 日の島根県隠岐の大雨について，天気, 56, 826-830.
34. 折口征二，斉藤和雄，小林健一郎，2013: 台風第 12 号のメソアンサンブル予報実験，気象庁技術報告, 134, 184-194.
35. 川畑拓矢, 藤井陽介, 上野玄太, 中野慎也, 茂木耕作, 増田周平,2011: 第 1 回データ同化ワークショップの報告，天気, 58, 793-794.
36. 斉藤和雄，2012: 局地的大雨の予測に挑む. 環境会議、2012 春号, 58-63.
37. 斉藤和雄，2013: メソスケールの気象予測. シミュレーション, 32.
38. 斉藤和雄，折口征二，LeDuc，小林健一郎，2013: 新潟福島豪雨のメソアンサンブル予報実験，気象庁技術報告, 134, 170-184.
39. 斉藤和雄，川畑拓矢，国井勝，2013: 台風強度予報と再予報実験. 気象研究ノート, 227, 37-70.
40. 斉藤和雄，国井勝，2009: 第 4 回 WWRP 北京 2008 予報実証実験/研究開発プロジェクト(B08FDP/RDP)ワークショップ報告. 天気、55, 647-654.
41. 佐藤正樹，斉藤和雄，八代尚，2013: 防災・減災に資する気象・気候・環境予測－台風予測およびメソ気象予測－. 計算工学、18、2881-2884.
42. 里村雄彦，竹見哲也，野田暁，三好建正，富田浩之，斉藤和雄，日下博幸，重尚一，2011: 第 1 回非静力学数値モデルに関する国際ワークショップの報告. 天気、58、 249-256.
43. 住明正，露木義，河宮未知生，木本昌秀，1012: 岩波講座計算科学５　計算と地球環境，岩波書店. 228pp.
44. 瀬古弘，小司禎教，市川隆一, 2009: アピール「GPS リモートセンシングデータの利用推進に向けて」, 天気，56，683.
45. 瀬古 弘，2011: 地上 GPS データと GPS 掩蔽データを同時に用いたメソ同化実験，数値予報課報告別冊、57、59-62.
46. 小司禎教, 2009 年: GPS から得られる水蒸気情報の天気予報への利用，CHANNEL，開隆堂，東京, 1 ページ.
47. 小司禎教, 2011: 掩蔽法による屈折率の対流圏における誤差に関する考察，数値予報課報告別冊、57、56-58.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：69 件

1. Aonashi, K., 2010: New GSMaP Over-Land Precipitation Retrieval Algorithm, 5th meeting of International Precipitation Working Group (IPWG).
2. Aonashi, K. and H. Eito, 2010: Displaced ensemble variational assimilation method to incorporate microwave imager data into a cloud-resolving model, The ISPRS

Commission VIII Symposium.
3. Chen, G., M. Sawada, W. Sha, T. Iwasaki, H. Iwai, H. Seko and K. Saito, 2012: Super-High-Resolution Modelling based on Down-Scaling Simulation System (DS3): Configuration and Verification. Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models. (30 November, Sendai, Japan)
4. Draxler, R., P. Chen, M. Hort, A. Malo, K. Saito, and G. Wotawa, 2013: Radionuclide Dispersion and Deposition from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. Special Symposium on the Transport and Diffusion of Contaminants from the Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant: Present Status and Future Directions. (6 January, Austin, U. S. A.)
5. Duc, L., K., Saito and T. Fujita, 2012: Data assimilation experiments with LETKF: the case of Niigata - Fukushima heavy rainfall event. Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models. (30 November, Sendai, Japan)
6. Duc, L., K., Saito and T. Fujita, 2013: Testing of variable localization with NHM-LETKF: application into Niigata - Fukushima heavy rainfall event. Ninth Conference on Meso-Scale Convective Systems and High-Impact Weather in East Asia. (27 March, Beijing, China)
7. Fujita, T. 2010: Development of an Ensemble Data Assimilation System for Mesoscale Ensemble Prediction, the 4th EnKF Workshop, Rensselaerville Meeting Center, Rensselaerville, New York.
8. Honda, Y. and K. Sawada, 2009: New operational mesoscale 4D-Var using JMA nonhydrostatic model. 4th Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology. (9 November, Tsukuba, Japan)
9. Ito, K., T. Kawabata, Y. Honda, T. Kato, Y. Ishikawa and T. Awaji, 2012: Simultaneous optimization of air-sea exchange coefficients and initial condition around a tropical cyclone by use of a 4D-VAR system. International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models. (29 November, Sendai, Japan)
10. Kawabata, T., H. Iwai, H. Seko, Y. Shoji, K. Saito, 2013: Impact of Doppler Lidar radial wind data assimilation to a localized heavy rainfall event, The AICS International Workshop on Data Assimilation (February 26-27, Kobe, Japan)
11. Kawabata, T., K. Saito, H. Iwai, Y. Shoji, H. Seko, 2012: Assimilation Experiment On A Local Heavy Rainfall Event Using Doppler Lidar Observations, Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models. (30, November, Sendai, Japan)
12. Kawabata, T., K. Saito, H. Iwai, Y. Shoji, H. Seko, 2012: Cloud Resolving 4D-Var Assimilation Experiment on a Localized Heavy Rainfall Event in Tokyo using Doppler Lidar Data, International Symposium on Heavy rainfall over East Asia: Observation and modeling at cloud-resolving scales. (Invited, 7 September, Seogwipo, Korea)
13. Kawabata, T., K. Saito, H. Iwai, Y. Shoji, H. Seko, 2012: Assimilation experiment on a local heavy rainfall event using Doppler Lidar observations, 3rd WMO/WWRP International Symposium on Nowcasting and Very Short Range Forecasting. (8 August, Rio de Janeiro, Brazil)
14. Kawabata, T., T. Kuroda, H. Seko, and K. Saito, 2009: Assimilation Experiment of a Local Heavy Rainfall Event with a Cloud-Resolving 4D-Var Assimilation System. International Symposium on Radar and Modeling Studies of the Atmosphere (10-13 November, Kyoto University, Japan)
15. Kawabata, T., T. Kuroda, H. Seko, and K. Saito, 2009: Cloud-Resolving Nonhydrostatic 4D-Var Assimilation System (NHM-4DVAR), ISAR-NCU-2009 International School

on Atmosphere Radars, Profiling, Modelling and Forecasting.
16. Kawabata, T., T. Kuroda, Y. Shoji, H. Seko, and K. Saito,, 2010: Cloud-resolving 4D-Var with Radar and GPS data, The Third International Workshop on Prevention and Mitigation of Meteorological Disasters in Southeast Asia.
17. Kawabata, T., Y. Shoji, H. Seko, and K. Saito, 2009: Improvement of the NHM-4DVAR, ISAR-NCU-2009 International School on Atmosphere Radars, Profiling, Modelling and Forecasting.
18. Kawabata, T., M. Kunii, N. Kohno, K. Bessho, H. Kamahori, T. Nakazawa, Y. Honda and K. Sawada, 2009: Re-forecast of Typhoon Vera - Intensity and storm surge -, ISAR-NCU-2009 International School on Atmosphere Radars, Profiling, Modelling and Forecasting
19. Kunii, M. and K. Saito, 2009: Meso 4D-Var Application to B08RDP. The 4th Workshop of WWRP B08FDP/RDP. (23 April, Guang Zhou, China)
20. Kunii, M. and K. Saito, 2009: Mesoscale singular vector method and sensitivity analysis. The 4th Workshop of WWRP B08FDP/RDP. (23 April, Guang Zhou, China)
21. Kunii, M., M. Hara, K. Saito and H. Seko, 2009: Intercomparison of Ensemble Prediction Systems in the WWRP B08RDP Project. The 4th Workshop of WWRP B08FDP/RDP. (22 April, Guang Zhou, China)
22. Kunii, M., M. Hara, K. Saito and H. Seko, 2009: Mesoscale ensemble forecast experiment and sensitivity analysis over Japan area. 4th Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology. (8 November, Tsukuba, Japan)
23. Kunii, M., 2012: Introduction and Recent Advances of Data Assimilation, Training Workshop on the Latest Developments on the Use and Interpretation of Numerical Weather Prediction (NWP) Models. (5 December, Hong Kong, China).
24. Kunii, M., 2012: Research and Development of Mesoscale Data Assimilation at MRI, Training Workshop on the Latest Developments on the Use and Interpretation of Numerical Weather Prediction (NWP) Models. (7 December, Hong Kong, China).
25. Kunii, M., 2012: Future Development of Mesoscale Modelling and Data Assimilation in JMA, Training Workshop on the Latest Developments on the Use and Interpretation of Numerical Weather Prediction (NWP) Models. (5 December, Hong Kong, China).
26. Kuroda, T., K. Saito, M. Kunii and H. Seko, 2009: Forecast experiment of Myanmar cyclone Nargis. Seminar at School of Science, Vietnam National University. (7 October, Hanoi, Vietnam)
27. Kuroda, T., K. Saito, M. Kunii, N. Kohno and H. Seko, 2009: Numerical Simulation of Myanmar Cyclone Nargis and Its Associated Storm Surge. 4th Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology. (8 November, Tsukuba, Japan)
28. Origuchi, S., K. Aonashi and K. Okamoto, 2013: Displaced ensemble variational assimilation experiment using brightness temperatures of microwave imager. AGU Fall meeting. (December 9-13, SanFrancisco, America).
29. Saito, K., M. Kunii, M. Hara, H. Seko, T. Hara and M. Yamaguchi, 2009: MRI/JMA mesoscale ensemble prediction system. The 4th Workshop of WWRP B08FDP/RDP. (21 April, Guang Zhou, China)
30. Saito, K., H. Seko, Kunii, M., M. Yamaguchi and T. Miyoshi, 2009: Test of BGM and LETKF with lateral boundary perturbations. The 4th Workshop of WWRP B08FDP/RDP. (22 April, Guang Zhou, China)
31. Saito, K., M. Kunii, M. Hara and H. Seko, 2009: Experiences of MRI/JMA at the WWRP Beijing Olympic Research and Development Project (B08RDP) --- Initial and lateral boundary perturbations ---. 4th SRNWP Workshop on Short-range Ensemble Prediction Systems. (23 June, UKMO, United Kingdom)

32. Saito, K., 2009: Review of the nonhydrostatic atmospheric model and development of NHM. Seminar at School of Science, Vietnam National University. (6 October, Hanoi, Vietnam)
33. Saito, K., 2009: Application of NHM: WWRP B08RDP and the International Research Project for Prevention and Mitigation of Meteorological Disasters in Southeast Asia. Seminar at School of Science, Vietnam National University. (7 October, Hanoi, Vietnam)
34. Saito, K., 2009: Current and future studies at MRI toward the dynamical and probabilistic prediction of local heavy rain. International Symposium on Radar and Modeling Studies of the Atmosphere (12 November, Kyoto University, Japan)
35. Saito, K., 2009: Current and future studies at MRI/JMA toward the dynamical and probabilistic prediction of local heavy rain. The 4th meeting, Working Group on Mesoscale Weather Forecasting Research. (1 December, De Bilt, Netherlands)
36. Saito, K., 2010: Challenges of MRI for NWP in tropical Asia. Japan-Indonesia Workshop on "Developing climate-change prepared and resilient society – from weather and climate information to decision making". (Jakarta, 26 July 2010)
37. Saito, K., 2010: Studies at MRI (Meteorological Research Institute) toward the cloud resolving NWP. Cooperative Institute for Research in the Atmosphere Seminar, Colorado State University. (Fort Collins, 25 August 2010)
38. Saito, K., 2010: Current studies and future plan on the cloud resolving NWP at MRI/JMA. The 3rd International Workshop on Next-Generation NWP models. (Seogwipo, 30 August 2010).
39. Saito, K., 2013: Mesoscale weather prediction, Seventh APEC-Tsukuba International Conference. (Invited, February 17, Tokyo, Japan)
40. Saito, K., 2013: Severe weather prediction in SPIRE Field 3, AICS International Workshop on Data Assimilation. (Invited, February 26-27, Kobe, Japan)
41. Saito, K., H. Seko, T. Kawabata, Y. Shoji, M. Hara, K. Aonashi, M. Kunii and T. Tsuyuki, 2010: Study for Prediction of Local Heavy Rainfall and the Next Generation Super Computer Program. AOGS2010. (Hyderabad, 5 July 2010)
42. Saito, K., H. Sseko, M.Kunii and T. Miyoshi, 2011: Effect of lateral boundary perturbations on the breeding method and the local ensemble transform Kalman filter for the mesoscale ensemble prediction system for B08RDP. Joint SRNWP Workshop on DA and EPS. (Bologna, 23 February 2011)
43. Saito, K., 2011: Studies at MRI Toward the cloud resolving NWP. Fifth Korea-Japan-China Joint Conference on Meteorology. (Busan, 24-26 October)
44. Saito, K., H. Seko, T. Kawabata, M. Hara, Y. Shoji, and T. Kuroda, 2010: Study at MRI toward the mesoscale NWP for disaster prevention. First International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models. (Kyoto University, 30 September 2010)
45. Saito, K., , H. Seko, T. Kuroda, T. Kawabata, Y. Shoji, K. Aonashi, T. Tsuyuki, T. Fujita, M. Ishihara and O. Suzuki, 2011: Next generation supercomputer project and the Tokyo metropolitan area deep convection field campaign. AOGS2011. (Taipei, 8-12 August)
46. Saito, K., H. Seko, T. Kawabata, Y. Shoji, T. Kuroda, T. Fujita, and O. Suzuki, 2011: Studies at MRI toward cloud resolving ensemble NWP -Next generation supercomputer project and the Tokyo metropolitan area deep convection field campaign- . 11th EMS Annual Meeting/10th European Conference on Applications of Meteorology. (Berlin, 12-16 September)
47. Saito, K., M. Maki, Y. Yamada, Y. Shoji, A. Adachi, R. Misumi, T. Kawabata, H. Seko and TOMACS members, 2012: Tokyo metropolitan are convection study (TOMACS) -- A possible future RDP for nowcasting and mesoscale weather forecasting researches--.

3rd WMO/WWRP International Symposium on Nowcasting and Very Short Range Forecasting. (Invited, 8 August, Rio de Janeiro, Brazil).

48. Saito, K., M. Kunii, M. Hara and H. Seko, 2009: Experiences of MRI/JMA at the WWRP Beijing Olympic 2008 Research and Development Project (B08RDP). 4th Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology. (8 November, Tsukuba, Japan)
49. Saito, K., and M. Kunii, 2012: Cloud resolving ensemble prediction of a local heavy rainfall event on 26 August 2011 observed by the Tokyo Metropolitan Area Convection Study (TOMACS). Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical. (Sendai, 28-20, November)
50. Saito, K., T. Kuroda, S. Hayashi, H. Seko, Y. Shoji, M. Kunii, M. Ueno and T. Kawabata, 2010: Achievement of MRI for the International Research for Prevention and Mitigation of Meteorological Disasters in Southeast Asia. The Third International Workshop on Prevention and Mitigation of Meteorological Disasters in Southeast Asia. (1-3 March, Ritsumeikan Asia Pacific University, Beppu, Japan)
51. Saito, K., T. Kuroda, S. Hayashi, H. Seko, Y. Shoji and M. Kunii, 2010: Application of the JMA Nonhydrostatic Model to the Tropics -- International Research for Prevention and Mitigation of Meteorological Disasters in Southeast Asia --. AOGS2010. (Hyderabad, 5 July 2010)
52. Saito, K., Y. Shoji, S. Origuchi, H. Seko and L. Duc, 2011: GPS TPW assimilation with the JMA nonhydrostatic 4DVAR and cloud resolving ensemble forecast for the 2008 August Tokyo metropolitan area local heavy rainfalls. Fifth Korea-Japan-China Joint Conference on Meteorology. (Busan, 24-26 October)
53. Saito, K., 2012: Tokyo metropolitan area convection study (TOMACS), WWRP Working Group on Nowcasting Research (WGNR) meeting. (12 August, Rio de Janeiro, Brazil)
54. Saito, K., T. Tsuyuki, H. Seko, F. Kimura , T. Tokioka, T. Kuroda, L. Duc, K. Ito, T. Oizumi, G. Chen, J. Ito, and SPIRE Field 3 Mesoscale NWP group, 2012: Super high-resolution mesoscale weather prediction. Conference on Computational Physics (CCP2012). (Invited, Kobe, 14-18, October)
55. Seko, H., K. Saito, M. Kunii and T. Miyoshi, 2009: Mesoscale ensemble experiments of heavy rainfall in Japan area by using NHM-LETKF. 4th Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology. (8 November, Tsukuba, Japan)
56. Seko, H., K. Saito, M. Kunii and T. Miyoshi, 2009: Data Assimilation Experiment of the Kobe Thunderstorm by using NHMLETKF. International Symposium on Radar and Modeling Studies of the Atmosphere (12 November, Kyoto University, Japan)
57. Seko, H., M. Kunii, Y. Shoji and T. Tsuda, 2009: Impacts of GPS radio occultation data of CHAMP and COSMIC on the precipitation of heavy rainfall and typhoon formation, 4th Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, (11.8-10, Tsukuba)
58. Seko, H., S. Hayashi and K. Saito, 2010: Generation mechanisms of convections in the Tropical region -Role of gravity waves-. AOGS2010. (Hyderabad, 6 July 2010).
59. Seko, H., T. Tsuyuki and K. Saito, 2011: Development of an LETKF nest system for a cloud resolving Model, International symposium of earth-science challenges. (Norman, 14-16 September)
60. Seko, H., T. Tsuda, N. Yoshida and Y.-H. Kuo, 2009: Data Assimilation of Side-looking Radio Occultation by Observing System Simulation Experiment, 4th FORMOSAT-3/COSMIC Data Users Workshop. (10.27-29, Boulder)
61. Seko, H., T., Tsuyuki and K. Saito, 2011: Development of an LETKF two-way nesting system for a cloud resolving model, The fifth Korea-Japan-China joint conference on

meteorology. （2011 年 10 月 24～26 日、韓国）

62. Seko, H., T. Tsuyuki, K. Saito, M. Kunii, T. Kuroda, T. Fujita and T. Miyoshi, 2012: Data assimilation on convective systems, -Developments of Nested LETKF system-, Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models. (29, November, Sendai, Japan)
63. Seko, H., T. Tsuyuki, K. Saito, M. Kunii, T. Kuroda, T. Fujita and T. Miyoshi, Data assimilation on convective systems, -Developments of Nested LETKF system-, Kick off meeting on WWRP Research and Development Project proposal on TOMACS. (25, October, Tokyo, Japan)
64. Seko, H., T. Tsuyuki, M. Kunii and K. Saito, Cloud-resolving Ensemble Forecasts by using a Two-way Nested-LETKF, AICS International Workshop on Data Assimilation. (February 26-27, Kobe, Japan)
65. Seko, H., Y. Shoji, M. Kunii, and T. Tsuda, 2011: Improvement of rainfall forecast by assimilations of ground-based GPS data and radio occultation data、5th FORMOSAT-3 / COSMIC Data Users Workshop & ICGPSRO 2011. (Taipei, 14 April 2011)
66. Shoji, Y., M. Kunii and K. Saito, 2009: Impacts of Nationwide and Global GPS PWV on Heavy Rainfall Predictions. International Symposium on Radar and Modeling Studies of the Atmosphere (10-13 November, Kyoto University, Japan)
67. Shoji, Y., M. Kunii and K. Saito, 2009: Mesoscale Data Assimilation of GPS derived Precipitable Water Vapor for Myanmar Cyclone Nargis. International Symposium on Radar and Modeling Studies of the Atmosphere (10-13 November, Kyoto University, Japan)
68. Tsuyuki, T., 2011: Data assimilation in a two-scale with Kalman filters, The fifth Korea-Japan-China joint conference on meteorology（2011 年 10 月 24～26 日、韓国）
69. Tsuyuki, T., 2013: Deterministic predictability of the most probable state and reformulation of variational data assimilation, AICS International Workshop on Data Assimilation. (26 February, Kobe, Japan)

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：145 件

1. 青梨和正,2009: マイクロ波輝度温度の非静力雲解像モデルへの同化のための Neighboring Ensemble 法, 日本気象学会 2009 年春季大会予稿集,C307.
2. 青梨和正,2009: マイクロ波輝度温度を雲解像モデルへ同化する Ensemble に基づく変分同化法(EnVA), 日本気象学会 2009 年秋季大会予稿集,D156.
3. 青梨和正,2010: Displaced Ensemble を用いた MWI TB の変分法的同化法:台風 200404 への適用結果, 2010 年度日本気象学会春季大会予稿集,C103.
4. 青梨和正,2009:Adaptive Localization を使った, アンサンブルに基づく 4 次元変分法の開発（その 1）, 2010 年度日本気象学会秋季大会予稿集,A104.
5. 青梨和正,2010:新しい陸上のマイクロ波放射計降水リトリーバルアルゴリズムの開発(その 1), 2010 年度日本気象学会秋季大会予稿集,D160.
6. 青梨和正,2012: 雲解像モデルアンサンブル予報誤差解析に基づくサンプリング誤差抑制法 日本気象学会春季大会予稿集,C306.
7. 青梨和正,折口征二, 2012: 雲解像モデルアンサンブル予報誤差解析に基づくサンプリング誤差抑制法(その 2) 日本気象学会春季大会予稿集,D154.
8. 石元裕史, 川畑拓矢, 2012: 地上マイクロ波放射計を用いた NHM 同化実験, 局地豪雨予測のための先端的データ同化と雲解像アンサンブル手法に関する研究平成 24 年度第 1 回研究集会. (7 月 18 日)
9. 伊藤耕介, 川畑拓矢, 本田有機, 加藤輝之, 石川洋一, 淡路敏之, 2012: 台風状況下における初期値と海面交換係数の 同時最適化. 週間及び 1 か月予報における顕著現象の予測可能

性研究集会. (11 月 21 日)
10. 大塚道子, 国井勝, 斉藤和雄, 下地和希, 林昌宏, 2012: NHM の気象場との比較による高頻度衛星観測データの特性調査, 日本気象学会秋季大会 C364.
11. 大塚道子, 国井勝, 斉藤和雄, 下地和希, 林昌宏, 2013: NHM 予報値を利用した高頻度衛星観測による大気追跡風（AMV）の特性調査, 日本気象学会春季大会, C207.
12. 大塚道子, 国井勝, 瀬古弘, 下地和希, 林昌宏, 2013: 高頻度衛星観測による大気追跡風（AMV）の同化実験, 日本気象学会春季大会, A308.
13. 折口征二, 斉藤和雄, 瀬古弘, 黒田徹, 藤田匡, 2011: NHM-LETKF における可降水量の適応鉛直局所化手法と降水インパクト実験, 日本気象学会 2011 年度秋季大会.
14. 折口征二､青梨和正, 2012: マイクロ波放射計の輝度温度による位置ずれ補正と EnVA 実験. 日本気象学会秋季大会, D155.
15. 折口征二、斉藤和雄、瀬古弘、黒田徹、藤田匡, 2012: 2011 年台風第 12 号の雲解像アンサンブル実験. 日本気象学会春季大会, A461.
16. 折口征二, 斉藤和雄, 瀬古弘, 益子渉, 黒田徹, 2013: 雲解像アンサンブルによる 2012 年台風第 15 号の 3 重眼再現実験. 日本気象学会春季大会, C209.
17. 折口征二, 斉藤和雄, 瀬古弘, 益子渉, 黒田徹, 2013: 雲解像アンサンブルによる 2012 年台風第 15 号の 3 重眼再現実験. 平成 25 年度台風研究会.
18. 折口征二, 青梨和正, 川畑拓矢, 国井勝, 2013: EnKF・EnVar の統合メソデータ同化実験システムの開発. 第 15 回非静力学モデルに関するワークショップ.
19. 折口征二, 青梨和正, 川畑拓矢, 国井勝, 2013: EnKF・EnVar の統合メソデータ同化実験システムの開発. 日本気象学会秋季大会, A304
20. 川畑拓矢, 三上彩, 古本淳一, 佐藤晋介, 永井清二, 2009: RASS 観測データを用いた沖縄本島における小規模降水帯の同化･予報実験, 2009 年度日本気象学会春季大会, 2009 年度日本気象学会春季大会講演要旨集, 日本気象学会, B301.
21. 川畑拓矢, 小司禎教, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2009: 豊島区雑司が谷豪雨に関するデータ同化実験, 2009 年度日本気象学会春季大会, 2009 年度日本気象学会春季大会講演要旨集, B164.
22. 川畑拓矢, 国井勝, 高野洋雄, 別所康太郎, 釜堀弘隆, 中澤哲夫, 本田有機, 澤田謙, 2009: 気象庁メソ解析を用いた伊勢湾台風と高潮の再予報, 台風研究会
23. 川畑拓矢, 小司禎教, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2009: GPS 視線遅延量を用いた雑司ヶ谷豪雨同化実験, 非静力学モデルに関するワークショップ, 講演要旨集, F-1.
24. 川畑拓矢, 国井勝, 高野洋雄, 別所康太郎, 釜堀弘隆, 中澤哲夫, 本田有機, 澤田謙, 2009: 伊勢湾台風再現実験プロジェクト(Re-analysis/forecast of Typhoon Vera project: ReVera), 東京大学海洋研究所セミナー.
25. 川畑拓矢, 小司禎教, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2009: 雲解像 4 D-Var を用いた局地豪雨の同化・予報実験, 第 32 回メソ気象研究会.
26. 川畑拓矢, 小司禎教, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2009: 雑司ヶ谷豪雨に関するデータ同化・予報実験 -GPS 水蒸気データのインパクト-, 2009 年度気象学会秋季大会, 2009 年度気象学会秋季大会講演予稿集, B302.
27. 川畑拓矢, 国井勝, 高野洋雄, 別所康太郎, 釜堀弘隆, 中澤哲夫, 本田有機, 澤田謙, 2009: 伊勢湾台風再現実験 ―気象庁メソ解析による再予報―, 2009 年度気象学会秋季大会, 2009 年度気象学会秋季大会講演予稿集, C154.
28. 川畑拓矢, 国井勝, 高野洋雄, 別所康太郎, 釜堀弘隆, 中澤哲夫, 本田有機, 澤田謙, 2010: 伊勢湾台風再現実験プロジェクト(Re-analysis/forecast of Typhoon Vera project: ReVera), 数値予報課コロキウム.
29. 川畑拓矢, 国井勝, 高野洋雄, 別所康太郎, 釜堀弘隆, 中澤哲夫, 本田有機, 澤田謙, 2010: 気象庁メソ解析を用いた伊勢湾台風と高潮の再予報, 第 7 回天気予報研究会.
30. 川畑拓矢, 国井勝, 高野洋雄, 別所康太郎, 釜堀弘隆, 中澤哲夫, 本田有機, 澤田謙, 2010: 伊勢湾台風再解析プロジェクト, 平成 21 年度地方官署非静力学モデル利用技術研修.
31. 川畑拓矢, 小司禎教, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2010: GPS による水蒸気情報同化手法の高度化, 2010

年度日本気象学会春季大会, 2010 年度日本気象学会春季大会講演予稿集, 日本気象学会, C102
32. 川畑拓矢, 国井勝, 高野洋雄, 別所康太郎, 釜堀弘隆, 中澤哲夫, 本田有機, 澤田謙, 2010: 気象庁メソ解析を用いた伊勢湾台風再予報, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集, 日本地球惑星科学連合, MGI017-08.
33. 川畑拓矢, 古本淳一, 佐藤晋介, 沖縄本島の降水予報における RASS 観測データのインパクト, 日本気象学会 2011 年度春季大会.
34. 川畑拓矢, 小司禎教, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2011: 那覇ガーブ川豪雨に関する同化・予報実験, 日本気象学会 2011 年度春季大会. A209.
35. 川畑拓矢, 岩井宏徳, 瀬古弘, 斉藤和雄, 石井昌憲, 水谷耕平, 2011: ドップラーライダー観測データ同化手法の開発, 日本気象学会 2011 年度秋季大会.
36. 川畑拓矢, 岩井宏徳, 小司禎教, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2012: 2010 年 7 月 5 日の板橋豪雨事例に関するデータ同化実験, 局地豪雨予測のための先端的データ同化と雲解像アンサンブル手法に関する研究平成 24 年度第 1 回研究集会. (7 月 18 日)
37. 川畑拓矢, 岩井宏徳, 小司禎教, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2012: 2010 年 7 月 5 日の板橋豪雨事例に関するデータ同化実験,日本気象学会春季大会 D167.
38. 川畑拓矢, 観測データを豪雨予測に活かすには ーデータ同化と数値予報ー, 国際シンポジウム「都市と極端気象」. (10 月 24 日).
39. 川畑拓矢, 小司禎教, 斉藤和雄, 荒木健太郎, 西暁史, 2012 年 5 月 6 日に発生したつくば竜巻に関するデータ同化実験,日本気象学会秋季大会, D153.
40. 川畑拓矢, 伊藤耕介, 斉藤和雄, 本田有機, 2013:JNoVA と統合された新しい NHM-4DVAR の開発, 第 3 回超高精度メソスケール気象予測研究会
41. 川畑拓矢, 岩井宏徳, 瀬古弘, 小司禎教, 斉藤和雄, 2013: 2010 年 7 月 5 日の板橋豪雨事例におけるドップラーライダーデータ同化のインパクト, 戦略推進費「極端気象」研究会
42. 川畑拓矢, 伊藤耕介, 斉藤和雄, 本田有機, JNoVA アジョイントモデルを用いた新しい NHM-4DVAR の開発, 2013 年度日本気象学会春季大会, C210.
43. 川畑拓矢, 伊藤耕介, 斉藤和雄, 本田有機, 新しい NHM-4DVAR を用いたデータ同化実験, 非静力学モデルに関するワークショップ
44. 川畑拓矢, 伊藤耕介, 斉藤和雄, 本田有機, 新しい NHM-4DVAR を用いたデータ同化実験, 2013 年度日本気象学会秋季大会, A307.
45. 国井勝, 瀬古弘, 津田敏隆, 2009: Mesoscale Data Assimilation Experiment in Low Latitudes with GPS RO data, 日本気象学会 2009 年度春季大会, B456.
46. 国井勝, 斉藤和雄, 瀬古弘, 本田有機, 2009: メソ特異ベクトル法を用いた感度解析, 日本気象学会 2009 年度春季大会, C303.
47. 国井勝, 斉藤和雄, 原昌弘, 2009: メソアンサンブル予報に対する初期摂動結合手法の試み, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, D159.
48. 国井勝, 2012：WRF モデルを用いたアンサンブルデータ同化実験, 第 63 回地球シミュレータセンターセミナー（4 月 19 日）.
49. 国井勝, 三好建正, E. Kalnay, 2012：WRF-LETKF を用いた観測インパクト実験, 日本気象学会春季大会 C304.
50. 国井勝, 三好建正, 2012：局所アンサンブル変換 カルマンフィルタの解説と大気モデルへの利用, 第 16 回データ同化夏の学校（10 月 3 日）.
51. 国井勝, 三好建正, 2012：双方向ネストを用いた LETKF 実験システムの構築, 日本気象学会秋季大会 A307.
52. 黒田徹, 斉藤和雄, 2009: ミャンマーサイクロン Nargis と高潮の数値シミュレーション(2) アンサンブル予報実験. 日本気象学会春季大会予稿集, A202.
53. 黒田徹, 斉藤和雄, 国井勝, 瀬古弘, 2009: ミャンマーサイクロン Nargis の LETKF データ同化実験. 日本気象学会秋季大会予稿集, D153.
54. 黒田徹, 斉藤和雄, 国井勝, 高野洋雄, 瀬古弘, 2009: 2008 ミャンマーサイクロン Nargis につ

いての NHM 予報実験、LETKF 同化実験と高潮シミュレーション. 平成 21 年度京都大学防災研究所一般共同利用研究集会「台風災害の歴史と教訓.(9 月 18 日, 京都大学防災研究所木質ホール)
55. 黒田徹, 斉藤和雄, 瀬古弘, 国井勝, 2009: 2008 ミャンマーサイクロン Nargis の NHM 予報実験・LETKF 同化実験. 第 11 回非静力学モデルに関するワークショップ講演要旨集, E-3.
56. 黒田徹, 藤田匡, 斉藤和雄, 瀬古弘, 2010:インクリメント法 LETKF を用いた実験システムの構築（序報）.日本気象学会 2010 年度秋季大会予稿集, A109.
57. 黒田徹, 藤田匡, 折口征二, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2011:インクリメント法LETKFを用いた実験システムの構築（第 3 報）. 日本気象学会 2011 年度秋季大会.
58. 黒田徹, 藤田匡, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2012: 2011 年 7 月梅雨期の LETKF 解析. 日本気象学会秋季大会, D158.
59. 斉藤和雄, 国井勝, 原昌弘, 瀬古弘, 2009: 2008 年夏季の日本域アンサンブル予報実験. 日本気象学会春季大会予稿集, B159.
60. 斉藤和雄, 瀬古弘, 国井勝, 原昌弘, 三好建正, 2009: メソアンサンブル予報における BGM 法と LETKF 法の比較(2) EnKF サイクルへの境界摂動の影響. 日本気象学会秋季大会予稿集, D161.
61. 斉藤和雄, 瀬古弘, 国井勝, 原昌弘, 三好建正, 2009: メソアンサンブル予報における BGM と NHM-LETKF -北京 2008RDP の再実験-. 第 11 回非静力学モデルに関するワークショップ講演要旨集, E-4.
62. 斉藤和雄, 2009: 超高精度メソスケール気象予測の研究. 「防災・減災に資する気象・気候・環境予測研究」ワークショップ.
63. 斉藤和雄, 瀬古弘, 国井勝, 原昌弘, 2010 : WWRP 北京 2008RDP におけるメソアンサンブル予報摂動手法の比較. 第 4 回気象研究所・統計数理研究所共同ワークショップ. （2010 年 4 月 15 日、統計数理研究所）
64. 斉藤和雄, 瀬古弘, 国井勝, 原昌弘, 露木義, 藤田匡, 2010 : メソアンサンブル予報と次世代スパコン戦略プログラム. 2010 年度日本気象学会春季大会予稿集,C152.
65. 斉藤和雄, 2010:集中豪雨を予測する. 第 4 回次世代スパコンについて知る集い.（10 月 1 日、理化学研究所計算科学研究機構）
66. 斉藤和雄, 2010 : 非静力学数値予報モデルの開発とメソ気象予測研究.筑波大学特別セミナー.（11 月 19 日、筑波大学）
67. 斉藤和雄, 小司禎教, 瀬古弘, 国井勝, 黒田徹, 2011: 2008 年 8 月 5 日首都圏局地的大雨の雲解像アンサンブル実験（その２　JNoVA による GPS 可降水量同化解析の利用）. 日本気象学会春季大会. A202.
68. 斉藤和雄, 2011: メソスケールのデータ同化とアンサンブル研究. メソ気象研究会. (5 月 17 日、気象庁)
69. 斉藤和雄, 2011: 集中豪雨/局地的大雨の予測. 地球シミュレータ/HPCI 戦略プログラム(分野 3)合同シンポジウム. (9 月 21 日、秋葉原コンベンションホール)
70. 斉藤和雄, 折口征二, 小司禎教, 瀬古弘, LeDuc, 2011: アンサンブル予報に見られる集中豪雨/局地的大雨の予測可能性について. 第 13 回非静力学モデルに関するワークショップ(10 月 13－14 日, 長岡技術科学大学)
71. 斉藤和雄, 折口征二, 瀬古弘, 黒田徹, 2011: 平成 23 年新潟福島豪雨の雲解像アンサンブル実験. 日本気象学会秋季大会.
72. 斉藤和雄, 2013: 台風が南海上にある時に出現する非地衡風の成因について. 第 15 回非静力学モデルに関するワークショップ(9 月 26－27 日, 北海道大学低温科学研究所)
73. 斉藤和雄, 2013: 台風が南海上にある時に出現する非地衡風の成因について. 日本気象学会秋季大会.
74. 斉藤和雄, 国井勝, 2012 : 2011 年 8 月 26 日首都圏豪雨のアンサンブル実験. 日本気象学会秋季大会, D151.
75. 斉藤和雄, 露木義, 瀬古弘, 木村富士男, 時岡達志, 2012 : HPCI 戦略プログラム「超高精度メ

ソスケール気象予測の実証」. 日本気象学会秋季大会, D151.
76. 斉藤和雄, 2012：高精度メソスケール気象予測の実証. 第 2 回 HPCI 戦略プログラム分野 3 シンポジウム. (12 月 12 日)
77. 瀬古弘, 斉藤和雄, 国井勝, 原昌弘, 三好建正, 金森恒雄, 2009: LETKF を用いた日本域の豪雨再現実験, 日本気象学会, 2009 年度春季大会講演、B161.
78. 瀬古弘, 小司禎教, 斉藤和雄, 2009: 局所アンサンブル変換カルマンフィルターやメソ 4 次元変分法を用いた日本域豪雨実験,第 3 回 気象研究所・統計数理研究所共同ワークショップ, 2009.6.16, 気象庁.
79. 瀬古弘, 小司禎教, 斉藤和雄, 津田敏隆, 三好建正, 2009: 青森県のヤマセと強風の予報実験, 第 7 回青森県気象災害連絡会, 2009.6.19, 弘前大学.
80. 瀬古弘, 斉藤和雄, 原昌弘, 国井勝, 2009: 領域雲解像 アンサンブル解析予測システムの開発. 「防災･減災に資する気象･気候･環境予測研究」ワークショップ.
81. 瀬古弘, 山内洋, 鈴木修, 斉藤和雄, 2010: レーダー反射波の位相情報による屈折指数分布推定. 第 7 回天気予報研究会.
82. 瀬古弘, 露木義, 斉藤和雄, 黒田徹, 藤田匡, 三好建正, 2011, LETKF をネストさせた雲解像度同化システムの開発,日本気象学会 2011 年度春季大会, A160.
83. 瀬古弘, 斉藤和雄, 三好建正, 古本淳一, 津田敏隆, 2011: プロファイラーで観測された屈折率の同化実験, 日本気象学会 2011 年度春季大会, C154.
84. 瀬古弘, 国井勝, 小司禎教, 斉藤和雄, 2011: 地上型 GPS データと GPS 掩蔽データの同化による降水予報の改善, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会
85. 瀬古弘, 三好建正, 小司禎教, 斉藤和雄, 2011: LETKF を用いた 2008 年 7 月 28 日の近畿地方の大雨の再現実験, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会
86. 瀬古弘, 露木義, 斉藤和雄, 鈴木修, 2011: LETKF ネストシステムによる短時間強雨の再現と観測システムシミュレーション実験、第 13 回非静力学モデルに関するワークショップ (10 月 13－14 日, 長岡技術科学大学)
87. 瀬古弘, 露木義, 斉藤和雄, 黒田徹, 折口征二, 藤田匡, 2011：LETKF ネストシステムの改良, 日本気象学会 2011 年度秋季大会
88. 瀬古弘, 露木義, 斉藤和雄, 岩崎俊樹, 三好建正,2012：LETKF ネストシステムを用いた同化実験, 日本気象学会度秋季大会, D157.
89. 瀬古弘, 鈴木修, 斉藤和雄, 三好建正, 2012: 2010 年 10 月 13 日に関東地方で発生した雷雨の同化実験, 日本気象学会春季大会, D166.
90. 瀬古弘, 鈴木修, 足立アホロ, 2012: 局地豪雨を引き起こす収束の効果を調べる観測システムシミュレーション実験, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会.
91. 瀬古弘, 露木義, 斉藤和雄, 三好建正, 2012: Development of a Two-way Nested LETKF System for Cloud Resolving Model. 第 3 回データ同化ワークショップ. (1 月 18 日)
92. 瀬古弘, 露木義, 斉藤和雄, 岩崎俊樹, 三好建正, 2012: LETKF ネストシステムを用いた同化実験, 日本気象学会度秋季大会, D157.
93. 瀬古弘, 斉藤和雄, 国井勝, 露木義, 三好建正, 2013: LETKF ネストシステムを用いた 2012 年 5 月 6 日のつくばの竜巻のアンサンブル預予報実験, 日本気象学会度春季大会, B451.
94. 瀬古弘、国井勝、横田祥, 2013: LETKF ネストシステムを用いて再現した竜巻に伴う渦の発生要因. 第 15 回非静力学モデルに関するワークショップ
95. 瀬古弘, 木俣昌久,津田敏隆, 2013: 気象庁ドップラーレーダーで求めた屈折率の同化実験, 日本気象学会秋季大会, A303.
96. 小司禎教, 2009：GPS を用いた大雨の予測、気象キャスターネットワーク研修会.
97. 小司禎教, 2009：GPS 気象学、国土交通大学校専門課程高等測量研修.
98. 小司禎教, 国井勝, 斉藤和雄, 2009: サイクロン Nargis の GPS データ同化実験. 日本気象学会度秋季大会予稿集, D154
99. 小司禎教, 2009：GPS を用いた大雨の予測、日本気象学会九州支部 2009 年度気象教室、6.
100. 小司禎教, 2009：GPS による大気計測と豪雨予測に関する研究、日本気象学会関西支部 2009

年度気象研究会、8.
101.小司禎教, 国井勝、斉藤和雄、2009: 2009 年 7 月 21 日山口豪雨の GPS 可降水量同化実験. 第 11 回非静力学モデルに関するワークショップ講演要旨集, F-2.
102.小司禎教, 寺田幸博, 加藤照之, 2010 : 室戸沖 GPS 津波計を用いた天頂遅延量解析実験, 日本気象学会 2010 年度春季大会, D102.
103.小司禎教, 小澤英司, 瀬古弘, 国井勝, 鈴木睦, 津田敏隆, 2010 : GPS 掩蔽法による大気計測と気象学・天気予報への利用, 宇宙からの地球観測を考える会平成 22 年度特別講演会.
104.小司禎教, 2010 : 「GPS 気象学」, 国土交通大学校平成 22 年度専門課程高等測量研修.
105.小司禎教, 古本淳一, 林寛生, 津田敏隆, 2010 : GPS 掩蔽法による大気境界層高度解析, 日本気象学会 2010 年度秋季大会, D107.
106.小司禎教, 瀬古弘, 国井勝, 小澤英司, 津田敏隆, 2010 : GNSS 掩蔽法による大気計測と気象学・天気予報への利用, 第 54 回宇宙科学技術連合講演会, IG03.
107.小司禎教, 瀬古弘, 川畑拓矢, 佐藤和敏, 津田敏隆, 2011 : GNSS 気象学と QZSS への期待, GPS GNSS Symposium 2010, 139-147.
108.小司禎教, 2010 : 衛星測位が気象学にもたらしたもの, セミナー「次世代衛星測位システムと防災」　－異常気象による大規模災害を防ぐ－.
109.小司禎教, 2011 : GNSS を用いた水蒸気解析の改良, 測位航法学会平成 23 年度「全国大会」, A-3,(2011/4/25).
110.小司禎教, 2011 : GPS 解析の改良, 日本気象学会 2011 年度春季大会, A103,(2011/5/18).
111.小司禎教, 2011 : 「GPS 気象学」, 国土交通大学校平成 23 年度専門課程高等測量研修. (2011/7/15)
112.小司禎教, 2011 : GPS 水蒸気情報と降水の関係について, 横浜地方気象台談話会,(2011/8/3).
113.小司禎教, 川畑拓矢, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2011, GPS による大気計測とデータ同化, 2011 年度日本気象学会夏季大学,(2011/8/6).
114.小司禎教, 2011, 水蒸気変動監視のための首都圏 GNSS 観測, 日本気象学会 2011 年度秋季大会.
115.小司禎教, 2012: 気象庁海洋気象観測船による水蒸気解析のための GNSS 観測実験. GPS/GNSS シンポジウム 2012. (10 月 26 日).
116.露木義, 2009: 雲解像 4 次元データ同化技術の開発. 「防災･減災に資する気象･気候･環境予測研究」ワークショップ.
117.露木義, 2011: 気象学における 4 次元変分法データ同化. 第 4 回 EFD/CFD 融合ワークショップ（2011 年 1 月 25 日、秋葉原コンベンションホール）
118.露木義, 2011: データ同化と数値天気予報, 第 1 回データ同化ワークショップ（2011 年 4 月 22 日, 気象研究所）
119.露木義, 2011: カルマンフィルタによる 2-スケールモデルのデータ同化, 超高精度メソスケール気象予測研究会（2011 年 6 月 2～3 日, 計算科学研究機構）
120.露木義, 2011: カルマンフィルタによる 2-スケールモデルのデータ同化, 気象学会秋季大会, B205.
121.露木義, 2012: メソ現象に関わるデータ同化法の課題, 第 2 回超高精度メソスケール気象予測研究会, (2012 年 3 月 22 日, 計算科学研究機構)
122.露木義, 2012: 決定論的予測可能性の必要条件と変分法データ同化, 日本気象学会春季大会, C309.
123.露木義, 2013: メソ対流系のデータ同化の課題, 第 3 回超高精度メソスケール気象予測研究会, (2013 年 3 月 21 日, 神戸ニチイ学館)
124.露木義, 2013: 決定論的予測可能性の必要条件と変分法データ同化（第 2 報）, 日本気象学会春季大会, C203.
125.原昌弘, 2009: 全球 SV メソアンサンブル予報による豪雨予測の可能性－平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨－, 第 32 回メソ気象研究会.
126.原昌弘, 斉藤和雄, 2009: 全球 SV 法によるメソアンサンブル予報実験. 日本気象学会秋季大会

予稿集, D160.
127.原昌弘, 斉藤和雄, 2009: 全球 SV 法によるメソアンサンブル予報実験 -2009 年 7 月豪雨の事例-. 第 11 回非静力学モデルに関するワークショップ講演要旨集, E-6.
128.原昌弘, 2010: メソアンサンブル予報による豪雨予測, 平成 21 年度地方官署非静力学モデル利用技術研修.
129.原昌弘, 2010: ローパスフィルターを用いた全球 SV 法メソアンサンブル, 2010 年度日本気象学会春季大会, C105.
130.原昌弘, 2010: 全球 SV メソアンサンブルによる 2010 年梅雨期の予報実験, 2010 年度日本気象学会秋季大会, A112.
131.藤田匡, 2009: 気象庁におけるメソ LETKF の開発. 第 11 回非静力学モデルに関するワークショップ講演要旨集, E-2.
132.藤田匡, 2009: 気象庁での LETKF 開発状況. 「防災･減災に資する気象･気候･環境予測研究」ワークショップ.
133.藤田匡, 2010: メソアンサンブル予報のためのアンサンブルデータ同化システムの開発,科研費「局地豪雨予測のための先端的データ同化と雲解像アンサンブル手法に関する研究」研究集会, 気象研究所.
134.藤田匡, 黒田徹, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2010: LETKF によるメソアンサンブル同化システムの開発, 分野 3 「防災・減災に資する気象・気候・環境予測研究」サブ課題会合, 海洋研究開発機構東京事務所.
135.藤田匡, 2011: メソアンサンブルデータ同化の開発.「局地豪雨予測のための先端的データ同化と雲解像アンサンブル手法に関する研究」平成 23 年度第一回研究集会.
136.藤田匡, 黒田徹, 折口征二, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2011: メソ LETKF の開発. 日本気象学会秋季大会.
137.藤田匡, 黒田徹, 折口征二, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2012: メソ LETKF によるデ同化の検討, 局地豪雨予測のための先端的データ同化と雲解像アンサンブル手法に関する研究平成 24 年度第 1 回研究集会. (7 月 18 日).
138.本田有機, 2010: 現業領域数値予報システム報告. 次世代スーパーコンピュータ戦略プログラム分野 3 「防災・減災に資する気象・気候・環境予測研究」サブ課題会合（2010 年 12 月 3 日　海洋研究開発機構東京事務所）
139.横田祥, 国井勝, 瀬古弘, 2013: 2012 年 5 月 6 日につくば市に被害をもたらした竜巻の発生環境場の LETKF ネストシテムを用いた同化実験, 日本気象学会秋季大会, B105.
140.Chen, G., M. Sawada, W. Sha, T. Iwasaki, H. Iwai, H. Seko and K. Saito, 2012: A challenge to realize ultra-high-resolution weather prediction for big cities: system construction and experiments over Sendai area. 日本気象学会秋季大会, D160.
141.Duc, L., T. Kuroda, K. Saito and T. Fujita, 2012: NHM-LETKF modifications in application for tropical cyclones. 日本気象学会秋季大会, D159.
142.Duc, L., K. Saito and H. Seko. 2011: Application of Spatial-Temporal Fractions Skill Score to high-resolution ensemble forecast verification. 第 13 回非静力学モデルに関するワークショップ.
143.Kawabata, T., K. Ito, K. Saito, and Y. Honda, 2013: Development of new NHM-4DVAR unified with JNoVA, 科研費研究集会
144.Shoji, Y., M. Kunii, and K. Saito, Near realtime retrieval of GPS precipitable water vapor in low latitudes and mesoscale data assimilation experiment of Myanmar cyclone Nargis, グローバル COE「極端気象と適応社会の生存科学」の第 15 回セミナー (2011/5/13).
145.Shoji, Y., M. Kunii, H. Seko, T. Tsuda, and K. Saito, 2011, Mesoscale Data Assimilation of Tropical Cyclones with GPS Atmospheric Information, 日本地球惑星連合 2011 年大会, AAS001-06,(2011/5/22).

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：25 件

1. Aonashi, K. and H. Eito, 2009: Displaced ensemble variational assimilation method to incorporate microwave radiometer data into a cloud-resolving model, The 5th WMO International Symposium on Data Assimilation.
2. Aonashi, K. and H. Eito, 2010 :Displaced Ensemble variational assimilation method to incorporate microwave imager data into a cloud-resolving model, 11th Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing of the Environment.
3. Aonashi, K., 2012: Sampling error damping method for a cloud-resolving model based on ensemble forecast error analysis, International Conference on Ensemble Methods in Geophysical Sciences. (13 November, Toulouse, France)
4. Kawabata, T., Y. Shoji, H. Seko, and K. Saito, 2009: Cloud resolving 4DVAR experiment of a local heavy rainfall event using GPS slant delay data, The 5th WMO International Symposium on Data Assimilation.
5. Kawabata, T, Y. Shoji, H. Seko, K. Saito, 2010: Assimilation experiment on Zoshigaya local heavy rainfall event, First International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models. First International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models. (29-30 September, Kyoto University)
6. Kawabata, T., T. Kuroda, H. Seko, and K. Saito, 2009: Radar data assimilation using a cloud-resolving 4D-Var, International Symposium on Radar and Modeling Studies of the Atmosphere.
7. Kawabata, T., Y. Shoji, H. Seko, K. Saito, 2011: Impact of the assimilation of GPS slant total delay observations on a local heavy rainfall forecast. International symposium of earth-science challenges. (Norman, 14-16 September)
8. Kawabata, T., K. Saito, H. Iwai, Y. Shoji, H. Seko, 2013: Assimilation Experiment On A Local Heavy Rainfall Event Using Doppler Lidar Observations, 93rd American Meteorological Society Annual Meeting. (9 January, Austin, U.S.A)
9. Kawabata, T., K. Ito, K. Saito, and Y. Honda, Development of a New Storm-Scale 4D-Var Assimilation System, Sixth WMO Symposium on Data Assimilation.(7-11 September, Collage Park, U.S.A.).
10. Kawabata, T., K. Ito, K. Saito, and Y. Honda, Development of a New Storm-Scale 4D-Var Assimilation System, KURIMS Variability and Predictability Conference. (22-25 October, Kyoto, Japan).
11. Kunii, M., M. Hara, K. Saito and H. Seko, M. Yamaguchi and T. Hara, 2009: Mesoscale ensemble prediction system of MRI/JMA at the WWRP Beijing Olympic Research and Development Project (B08RDP) --- System specification and verification --- 4th SRNWP Workshop on Short-range Ensemble Prediction Systems. (23-25 June, UKMO, United Kingdom)
12. Kunii, M., M. Hara, K. Saito and H. Seko, 2009: Mesoscale ensemble forecast experiment and sensitivity analysis over Japan area. 4th SRNWP Workshop on Short-range Ensemble Prediction Systems. (23-25 June, UKMO, United Kingdom)
13. Kunii, M., K. Saito, M. Hara and H. Seko, 2009: Intercomparison of ensemble prediction system in the WWRP B08RDP project. 4th Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology. (8 November, Tsukuba, Japan)
14. Saito, K., T. Tsuyuki, H. Seko, M. Ishihara and O. Suzuki, 2011: Next generation supercomputer project and the Tokyo metropolitan area deep convection field campaign. Joint SRNWP Workshop on DA and EPS. (Bologna, 23-25 February 2011)
15. Saito, K.et al., 2011: Next generation supercomputer project and the Tokyo metropolitan area deep convection field campaign. International symposium of earth-science challenges. (Norman, 14-16 September)

16. Saito, K., T. Tsuyuki, H. Seko, F. Kimura and SPIRE mesoscale NWP project participants, 2012: K-computer project in Japan and super high-accuracy mesoscale weather prediction. Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models. (29-30 November, Sendai, Japan)
17. Saito, K., T. Tsuyuki, H. Seko, F. Kimura, T. Tokioka, T. Kuroda, L. Duc, K. Ito, T. Oizumi, G. Chen, J. Ito, and SPIRE Field 3 Mesoscale NWP group, 2013: Super high-accuracy mesoscale weather prediction in SPIRE Filed 3. The 3rd AICS International Symposium. (28 February, Kobe, Japan)
18. Seko, H., K. Saito, M. Kunii and T. Miyoshi, 2009: Mesoscale ensemble experiments of heavy rainfall in Japan area by using NHM-LETKF. (23-25 June, UKMO, United Kingdom).
19. Seko, H., H. Yamauchi, O. Suzuki and K. Saito, Estimation of Temporal Variation of Refractive Index using C-band Doppler Radar Equipped with Magnetron Transmitter, Symposium on Radar and Modeling Studies of the Atmosphere, 2009.11. 10-13, Kyoto University.
20. Seko, H., T. Tsuyuki and K. Saito, 2011: Development of an LETKF Nest system for a Cloud Resolving Model. AOGS2011. (Taipei, 8-12 August)
21. Seko, H., K. Saito, T. Kawabata, T. Miyoshi and M. Kunii, 2010: Ensemble experiments of Local Heavy Rainfall that occurred in Osaka, Japan on 5th September 2008. AOGS201. (Hyderabad, 5-9 July 2010)
22. Seko, H., S. Hayashi and K. Saito, 2010: Generation mechanisms of convections by gravity waves. 非静力学ワークショップ, 京都大, 9/29-30
23. Seko, H., Y. Kodama and T. Miyoshi, 2010: Mesoscale ensemble forecasts of strong wind caused by typhoon 0709. First International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models. (29-30 September, Kyoto University)
24. Seko, H., T. Tsuda, Y. Kimata and T. Miyoshi, Development of Data Assimilation Methods for Ceilometer's Cloud-base Height Data and Doppler Radar's Refractivity Data, 2012, Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models. (29-30 November, Sendai, Japan)
25. Seko, H., T. Tsuyuki, M. Kunii and K. Saito, Cloud-resolving Ensemble Forecasts by using a Two-way Nested-LETKF, Third AICS International Symposium, (28, February -1 March, Kobe, Japan)

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：32 件

1. 青梨和正, 永戸久喜, 石元裕史, 劉國勝, 2009: 非球形固体降水粒子のマイクロ波特性の導入による GSMaP 前方計算法の改良,日本気象学会 2010 年春季大会予稿集,P413.
2. 青梨和正, 2011: アンサンブルを用いた変分同化法の高分解能気象予報モデルへの適用. 第 1 回戦略プログラム 5 分野合同ワークショップ. P07.
3. 国井勝, 三好建正, 2012：WRF を用いた LETKF 実験システムの構築, 日本気象学会春季大会, P158
4. 黒田徹, 藤田匡, 斉藤和雄, 瀬古弘, 2011: インクリメント法 LETKF によるデータ同化システム. 第 1 回戦略プログラム 5 分野合同ワークショップ. P12.
5. 黒田徹, 藤田匡, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2011:インクリメント法 LETKF を用いた実験システムの構築（第 2 報）.日本気象学会 2011 年度春季大会予稿集, P110.
6. 黒田徹, LeDuc, 藤田匡, 折口征二, 瀬古弘, 斉藤和雄, 2012: インクリメント法 LETKF を用いた実験システムの構築（第 4 報）. 日本気象学会春季大会, P159.
7. 斉藤和雄, 小司禎教, 瀬古弘, 国井勝, 黒田徹, 2011: 2008 年 8 月 5 日首都圏局地的大雨の雲解像アンサンブル実験（序報）. 日本気象学会 2010 年秋季大会予稿集,P124.
8. 斉藤和雄, 露木義, 瀬古弘, 木村富士男, 時岡達志, 2011: 超高精度メソスケール気象予測の実

証. 第 1 回戦略プログラム 5 分野合同ワークショップ. P10.
9. 斉藤和雄, 小司禎教, 折口征二, 国井勝, 瀬古弘, 2011: 2008 年 8 月 5 日首都圏局地的大雨の雲解像アンサンブル実験（その 3 検証）. 日本気象学会秋季大会. （予定）
10. 斉藤和雄, 瀬古弘, 川畑拓矢, 大塚道子, 折口征二, 国井勝, 露木義, 黒田徹, LeDuc, 伊藤耕介, 藤田匡, 2012: メソスケール顕著気象予測への取り組み. 第 10 回環境研究シンポジウム. (11 月 14 日, 一橋大学一橋講堂)
11. 瀬古弘, 国井勝, 小司禎教, 津田敏隆, 2009: Data assimilation experiments of 'YAMASE' using GPS RO data, 日本気象学会, 2009 年度春季大会講演予稿集, P442.
12. 瀬古弘, 斉藤和雄, 川畑拓矢, 三好建正, 家藤敦章, 2009: 都市部に大雨をもたらした雷雨の LETKF を用いたアンサンブル予報実験, 日本気象学会, 2009 年度秋季大会講演予稿集, P128.
13. 瀬古弘, 吉田直人, 津田敏隆, 国井勝, 小司禎教, Y.-H. Kuo, 2009: 観測システムシミュレーション実験でみた COSMIC の横掩蔽観測のインパクト、日本気象学会, 2009 年度秋季大会講演予稿集, P327.
14. 瀬古弘, 林 修吾, 斉藤和雄, 2010: 非静力学モデルによる熱帯域の積雲対流の発生過程, 日本気象学会春季大会, P306.
15. 瀬古弘, 川畑拓矢, 斉藤和雄, 三好建正, 津田敏隆, 2010: 局地豪雨の同化実験, 日本気象学会秋季大会, P324. 京都 9 月 29 日
16. 瀬古弘, 小司禎教, 児玉安正, 三好建正, 2010: 青森を通過した台風による強風のアンサンブル予報実験、日本気象学会秋季大会, P325.京都 9 月 29 日
17. 瀬古弘, 斉藤和雄, 黒田徹, 藤田匡, 三好建正, 2011：NHM-LETKF を用いたメソアンサンブル予報実験 2008 年 7 月 28 日の近畿地方の大雨事例. 第 1 回戦略プログラム 5 分野合同ワークショップ. P11.
18. 瀬古弘, 小暮聡, 島田誠一, 2011: 準天頂衛星データの大気による測位誤差の軽減への効果, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会.
19. 瀬古弘, 鈴木修, 山内洋, 小司禎教, 2011: 2010 年 10 月 13 日に発生した雷雨の特徴と再現実験, 日本気象学会 2011 年度秋季大会.
20. 瀬古弘, 津田敏隆, 木俣昌久, 三好建正, 2012, LETKF ネストシステムを用いたシーロメータの後方散乱データやレーダの位相データの同化実験（序報), 日本気象学会秋季大会, P259.
21. 瀬古弘, 小司禎教, 津田敏隆, 2012: 準天頂衛星の水蒸気データの観測システムシミュレーション実験, 日本気象学会 2012 年度春季大会, P1a2.
22. 瀬古弘, 斉藤和雄, 2012: LETKF ネストシステムで再現した岡崎豪雨, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会.
23. 瀬古弘, 国井勝, 木俣昌久, 2013: 観測データの即応的インパクト実験, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, P314.
24. 瀬古弘, 津田敏隆, 木俣昌久, 三好建正, 2012: LETKF ネストシステムを用いたシーロメータの後方散乱データやレーダの位相データの同化実験（序報）, 日本気象学会 2012 年度秋季大会, P1a2.
25. 瀬古弘, 国井勝, 木俣昌久, 2013: 観測データの即応的インパクト実験, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, P314.
26. 横田祥, 国井勝, 瀬古弘, 2013: 2012 年 5 月 6 日につくば市付近で発生した竜巻に関する LETKF ネストシテムを用いた同化実験, 台風セミナー2013.
27. Chen, G., M. H. Iwai, H. Seko X. Zhu, M. Sawada, W. Sah, T. Iwasaki and K. Saito, 2012: A numerical study of horizontal convective rolls and near-surface streaks around Sendai Airport. 日本気象学会春季大会, P232.
28. Chen, G., M. Sawada, W. Sha, T. Iwasaki, H. Iwai, H. Seko and K. Saito, 2012: A challenge to realize ultra-high-resolution weather prediction for big city. 京コンピュータ・シンポジウム 2012, (6 月 14-15 日)

29. Duc, L., T. Kuroda, K. Saito and T. Fujita, 2012: High resolution data assimilation experiment of Myanmar cyclone Nargis based on Local Ensemble Transform Kalman Filter. 京コンピュータ・シンポジウム 2012, (6 月 14-15 日)
30. Duc, L., T. Kuroda, K. Saito and T. Fujita, 2012: A data assimilation experiment of Myanmar cyclone Nargis based on NHM-LETKF. 日本気象学会春季大会, P359.
31. Duc, L., K. Saito and H. Seko, 2012: Extension of the SAL method for verification of high resolution ensemble forecasts. 日本気象学会秋季大会, P3a3.
32. Kawabata, T., Y. Shoji, H. Seko, K. Saito, Assimilation experiment of the grand based GPS-derived water vapor observations on the local heavy rainfall event in Okinawa island, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会.

台風強度に影響する外的要因に関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：中澤哲夫[1)]（台風研究部第二研究室長）、徳野正己[2)]（台風研究部第二研究室長）、北畠尚子[3)]（台風研究部第二研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１　衛星データを用いた台風強度推定に関する研究
別所康太郎[1)]、中澤哲夫[4)]、徳野正己[2)]、小山　亮[6)]、櫻木智明[7)]、星野俊介[5)]、北畠尚子[3)]（台風研究部）

副課題２　台風の最適観測法
徳野正己[8)]、山口宗彦[9)]、小山　亮[6)]、櫻木智明[7)]、星野俊介[5)]、中澤哲夫[4)]、別所康太郎[1)]、北畠尚子[3)]（台風研究部）

副課題３　台風の強雨・強風構造の実態解明
北畠尚子、湊　信也[2)]、和田章義[6)]（台風研究部）、益子　渉[5)]（予報研究部）、楠　研一[4)]（気象衛星・観測システム研究部）、村田昭彦[4)]（環境・応用気象研究部）

研究の目的

台風の進路予想は、近年の数値予報の向上により改善されつつあるものの、国民の生命、財産を台風による災害から守り、減災するためには、台風の進路予報の改善に加えて、台風の強度（強風、強雨）などに関する地域に即したきめ細かい防災情報が望まれている。

数年後には、計算機資源等の発達により、現状より数倍の高分解能の次期メソ数値予報モデルの運用が考えられている。その中で、台風に関する進路予報の改善及び台風強度の精度向上に資するため、特に台風の強度（強風、強雨）についてより高精度で的確な防災情報を国民に提供することができるように、台風強度に影響する外的要因に関する研究を進める。

このため、

（１）観測点の少ない海洋上の台風予報の初期値改善のため、台風の強度について、その推定手法の高度化

（２）台風を含む初期環境場の改善のために、台風の最適観測法の検討

（３）台風に伴う強雨・強風構造の実態解明を行うことにより、モデルの問題点の抽出

を行う。

研究の動機・背景

台風の進路予想は、近年の数値予報の向上により改善されつつあるものの、国民の生命、財産を台風による災害から守り、減災するためには、台風の進路予報の改善に加えて、台風の強度（強風、強雨）などに関する地域に即したきめ細かい防災情報が望まれている。

数年後には、現状より数倍の高分解能の次期メソ数値予報モデルの運用により、台風に関する進路予報の改善や台風強度の精度向上が考えられている。その中で、特に台風強度の精度向上に資するため、台風強度推定法の開発及び台風強度に影響する外的要因の評価に関する研究を行い、台風の強度（強風、強雨）についてより高精度で的確な防災情報の提供に寄与する。

研究の成果の到達目標

副課題１　衛星データを用いた台風強度推定に関する研究

関連する各種衛星搭載マイクロ波センサーの観測データを収集し、現存の強度推定手法を適用して、統計解析・事例解析を行い、台風の強度予測の向上を図る。

---

1)平成 21 年度、2)平成 22 年度～平成 24 年度、3)平成 25 年度、4)平成 21 年度～平成 22 年度、5)平成 21 年度～平成 23 年度、6)平成 23 年度～平成 25 年度、7)平成 24 年度～平成 25 年度、8)平成 23 年度～平成 24 年度、9)平成 22 年度～平成 25 年度

副課題２　台風の最適観測法に関する研究

台風周辺の環境把握に有効であり、予報改善にも資する最適観測法を機動観測・各種衛星等のデータを用いて検討する。台風周辺の感度領域解析の特性を抽出する。

副課題３　台風の強雨・強風構造の実態解明に関する研究

台風の強度予測の精度向上のため、台風の発達過程と強雨・強風構造の実態を解明し、それらに関する数値モデルの問題点を明らかにする。

研究結果

（成果の概要）

副課題 1 では、衛星搭載マイクロ波放射計により台風の最大風速を推定する手法を改良し、独立資料でRMSE～6.3m/s で推定できることを確認した。またマイクロ波探査計により台風の中心気圧をRMSE～10.1hPa で推定する手法を開発した。これらは現在、気象庁予報部で解析に使用されている。

副課題 2 では、T-PARC における航空機特別観測データを利用することによる台風進路予測精度の向上を確認するとともに、台風進路の不確実性を見積もるためのアンサンブル予報の有効性を確認し、また感度領域に関する解析により台風進路予報の北上バイアスに台風の構造が影響することがわかった。静止気象衛星ラピッドスキャン観測による詳細な上層風の解析からは台風の強度・構造変化を把握する可能性に関する知見が得られた。

副課題 3 では、日本に影響を与えた台風の解析を行うとともに、中緯度における台風の温帯低気圧化の調査を行い、北西太平洋の全台風の 40%が最終的に温帯低気圧化したことなど、気候学的特徴を明らかにした。また台風が海洋に与える影響としては観測データから台風の強度・移動速度に依存性があることや 200m 深まで水温低下がみられることがわかった。数値モデルによる台風の再現性に関しては、水平解像度 5km では発達を十分に再現できないこと、初期場の違いが台風強度や進路に影響を与えること、また水平解像度を細かくすることや乱流熱フラックスを大きくすることはシミュレーション精度を必ずしも向上させないという問題が明らかになった。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　衛星データを用いた台風強度推定に関する研究

①　衛星搭載マイクロ波放射計データを用いた台風強度推定に関する研究

ア）1998 年から 2008 年までに北西太平洋で発生した台風について、TRMM/TMI マイクロ波放射計による輝度温度データを台風中心からの距離と台風の移動方向に対して相対的な位置関係からパラメータ化し、そのパラメータを k-means 法により 10 個のパターンへ分類した。さらに、これらのパターン毎にベストトラックデータを真値として最大風速の推定式を作成した。これを 2009 年～2012 年に適用したところ、RMSE はおよそ 6.3m/s で、輝度温度分布の非対称性を考慮しない手法と比較して推定精度は改善された。

イ）前述の台風強度推定法の適用範囲を拡張するために、降水域が TMI の観測幅に収まらない台風や、一部が陸域にかかっている台風について、欠損を補完する手法を開発した。欠損が大きい場合はパターンの誤判別を招くことがあるので、欠損のあった事例のうち被覆率 85%未満の観測を除外した事例のみで調査した結果、1998 年から 2012 年までのうち対象となる事例における推定精度は RMSE で 5.9m/s であった。

ウ）TRMM/TMI および Aqua/AMSR-E のマイクロ波放射計画像を用いて、T1112 および T1115 の事例解析を行った。この結果、T1112 は、海上においては閉じたリングとしての眼が維持されることがなく、中心から半径 1° 以内においては活発な対流が持続して存在することができなかったことが判明した。T1115 の場合は、Cb クラスタの組織化と眼の形成、さらにその後の inner core 部分と outer band 部分の結合による発達段階を追跡することができた。

②　衛星搭載マイクロ波探査計データを用いた台風強度推定に関する研究

AMSU-A マイクロ波探査計の 55GHz 帯チャンネル（6,7,8）の輝度温度から求めた上層暖気核の強さから中心気圧を推定する手法の開発を行った。中心気圧推定のための回帰式は、2008 年

の台風のベストトラック中心気圧を使って導出した。上層暖気核の強さの推定は、AMSU-A 観測に含まれる粗い空間解像度、氷降水による輝度温度減衰の影響による誤差も考慮して行った。2009 年から 2011 年の台風事例に対する推定精度（対ベストトラック）は、RMSE 約 10.1 hPa、バイアス約+0.3hPa であり、全体の 51%が誤差±5 hPa、79.3%が誤差±10 hPa に収まっていた。また、暖気核サイズが比較的大きく特定の雲パターンをもつ熱帯低気圧の場合には、ドボラック法による推定よりも推定精度が高い傾向があることが分かった。

③　衛星搭載マイクロ波散乱計データを用いた台風強度に関する研究

QuikSCAT マイクロ波散乱計データから得られた台風の強風分布の特徴が台風の移動方向と眼の壁雲域の対流活動の偏りからある程度説明できることが分かった。また QuikSCAT による海上風分布を T0813 について時系列で解析した結果、最盛期までの風速分布と、一旦衰弱し温帯低気圧として再発達した場合の風速分布とでは、進行方向と中心からみた最大風速領域との位置関係が明確に異なっていることがわかった。

④　静止気象衛星観測による台風強度推定に関する研究

ドボラック法の補完のために、静止気象衛星に搭載されている短波長赤外チャネル（IR4）や水蒸気チャネル（WV）の利用に関する調査を行った。IR4 に関しては、台風の壁雲の対流雲域の雲頂の変化が、観測される雲の反射率の違いにある程度現れることがわかった。WV に関しては、2007～2010 年の最低気圧 950hPa 以下の台風に関して、観測された眼の輝度温度の上昇と中心気圧の低下に相関関係が見られ、中心気圧推定への利用可能性が示された。この輝度温度上昇に関しては、放射モデルによるシミュレーションの結果、主に大気中の水蒸気量が減少するためであることがわかった。

副課題２　台風の最適観測法に関する研究

①　2008 年 T-PARC 特別観測に関する研究

ア）T-PARC 特別観測期間の MTSAT 高頻度小領域観測（ラピッドスキャン）データを用いて大気追跡風を算出した。これにより、台風周辺域の大気追跡風である上層風を従来より高密度に得ることができ、台風上層の発散場の特徴をより詳細に把握することが可能となったが、GPV やドロップゾンデの風との対応が悪い大気追跡風が見られ、大気追跡風の高度指定に問題があることがわかった。

イ）T-PARC 航空機観測データの台風進路予測へのインパクトについて調査を行い、航空機観測を利用することにより、進路予測精度が向上することが分かった。また、航空機観測データの内、特異ベクトル法により抽出された特定の高感度領域のデータを利用することにより、進路予測精度が向上することがわかった。

②　アンサンブル予測における台風予測信頼度抽出に関する研究

ア）TIGGE のデータを用いて台風の各予報センターのアンサンブル予報を可視化し、比較することができるサイトを構築し、台風の調査に利用するとともに、WMO 台風委員会や世界の研究者向けに公開している。

イ）台風最適観測技術を確立するために、海外の数値予報センターの解析値やアンサンブル初期摂動を解析することにより、台風周辺域の擾乱の発達と台風進路の関係を調査した。台風渦中の傾圧的なエネルギー変換によって摂動の運動エネルギーが増大し、台風の進路に影響を及ぼすことが分かった。

ウ）台風最適観測では台風進路予報の不確実性を見積もることが重要であるため、TIGGE データを用いて、複数のアンサンブル予報を収集してアンサンブルと見なす「マルチセンターグランドアンサンブル（MCGE)」の有効性を調査した結果、各数値予報センターが運用するアンサンブル予報に対して MCGE は、台風接近確率予測、台風進路の信頼度予測、アンサンブル平均進路予測において有効であることが分かった。

③　感度解析技術に関する研究

ア）台風最適観測の根幹となる感度解析技術(最適な観測領域を推定する手法)についてその代表的な手法である特異ベクトルの基本的な性質を調査した。様々な台風構造に対して特異ベクトルを算出し、その算出される領域(感度領域)の特性を調査した結果、感度領域は台風の

最大風速、最大風速半径、特異ベクトルの評価時間が大きくなるほど台風の外側に求まることが分かった。

イ）台風周辺の感度領域の特性を把握するために、気象庁の全球モデルにおいて、実際の台風進路を北側に移動させ過ぎてしまう北上バイアスが顕著であった事例について解析した結果、台風渦の構造（楕円構造）や台風周辺の非軸対称な降水域の表現が北上バイアスの要因の 1 つとなることが分かった。

④　ラピッドスキャンデータを使った台風構造解析に関する研究

MT-SAT ラピッドスキャンデータを使って台風領域で算出した水蒸気風データの精度評価のため、気象庁メソ解析データと比較した。2011 年台風第 6 号、12 号及び 15 号について調べた結果、水蒸気風は気象庁メソ解析のおよそ 150～250hPa 面の風に対応していることが分かった。また、水蒸気風から求めた対流雲域内の発散の強さと衛星マイクロ波データで推定された降水の強さとの関係を調べたところ、2011 年台風第 12 号のような幅 100km 以上の雲バンドの場合、大まかな線形関係を示すことが分かった。この結果は、水蒸気風が雲バンドの圏界面付近の発散に伴う風を反映していることを示唆する。水蒸気風の接線風速の時間変化は、地表の最大風速の変化に追従しており風の渦の強まりを捉えられる可能性が示唆された。

副課題３　台風の強雨・強風構造の実態解明に関する研究

①　日本に接近・上陸した台風の強雨・強風構造に関する研究

ア）過去の台風（T0704、T0709、T0813）に関するレーダー観測データ等の解析を行い、アウターバンドとそれに伴う気流の三次元構造の特徴、及びその地形の影響による変化が抽出された。T0704 及び T0709 による日本国内の大雨事例を対象にして、非静力学モデルによる数値シミュレーションを行い、降水効率を計算した。その結果、以前に行った T0421 のシミュレーション結果と同様両事例とも大雨となった期間の降水効率はそうでない期間に比べて高いことが分かった。

イ）2011 年に日本に上陸して大きな被害をもたらした T1112 と T1115 の解析を行った。T1112 は発生当初からスケールが非常に大きく、眼の直径約 200km で北上して、西日本を遅い速度で通過したため、進行方向右側にあたる東側で降水量が非常に多くなった。これに対して T1115 は眼の直径が 50km 以下で台風としてはスケールが小さかったが、上陸前後は温低化過程にあり進行方向左側の広い範囲で降水量が多くなった。T1115 は日本上陸に先立って九州の南で急発達しており、複数の上部対流圏低気圧の影響による鉛直シアーや上層発散の変化との対応が見られた。

ウ）2012 年 8 月末から 9 月末にかけて相次いで沖縄本島を通過した T1215、T1216、T1217 について、地上観測データによる風分布と客観解析データによる大気環境場の解析を行った。T1216 は中心付近で地上風が強い典型的な台風の風分布が観測されたのに対して、T1215 は軸対称構造だが壁雲が三重になり、外側の壁雲の内部では地上風の強まりが比較的小さかった。この領域では地上気圧から計算した傾度風速も弱かったことから、観測された地上風の変化は壁雲交替サイクルに伴う構造変化に伴って生じたものであることがわかった。T1217 は台風の構造としては非対称性が大きくなっており、大陸からの寒気の南下による温帯低気圧化が始まっていたと見なされる。中心の南西側で吹いた猛烈な風は、傾度風よりも風速が大きく、また気温の低下を伴っており、台風の強風にさらに大陸からの寒気の吹き出しが加わっていたことがわかった。

エ）T1215 で観測された三重眼は、非静力学大気モデル単独かつ水平解像度 1.5km の数値シミュレーションでも再現できていない。これは積分時間 24 時間以内のスピンアップの時に形成される比較的大きい眼と眼の内部の下降流が、眼の内部に存在すべきより小さい眼の形成を阻害しているためと考えられる。

オ）沖縄本島を通過した T1215 等に関して、現業ドップラーレーダーデータを用いた台風の構造解析に関する予備調査を行った。強い台風の壁雲近傍ではドップラー速度の折り返しの影響が大きく、データ利用には補正が必要であることがわかった。台風中心気圧推定プログラムを作成し、折り返しの影響の小さかった T1215 の沖縄レーダー観測データに適用したところ、

レーダーサイトと台風中心との間の距離が約 130km 以内の場合に中心気圧の推定が可能であることがわかった。

カ）2013 年 9 月に中部地方に上陸し、近畿地方に大雨災害をもたらした T1318 について、初期解析を行った。台風は初期にはスケールが大きかったものの組織化が遅かったが、北上しながら上陸直前まで発達を続けた。比較的高緯度での発達には中緯度偏西風帯の上層ジェット気流・トラフシステムと、平年より高い海水温が寄与したことが考えられる。また近畿地方の豪雨時には日本海から下層の強い湿潤気流があったことが見出された。

② 中緯度大気環境場における台風の構造変化に関する研究

ア）中緯度における台風の構造変化と強度等についての気候学的調査を、1979 年からの 26 年分の長期再解析データを用いて行った。客観的な判定基準で最終的に温帯低気圧化したと判定されたのは、全台風 687 個中 274 個（40%）で、客観的に判定された温帯低気圧化の時刻が気象庁ベストトラックより平均 3 時間程度早く、全体の 91%は両者の時刻の差が 24 時間以内であった。客観的判定基準での温低化の割合は、6−8 月期は 30%程度だが、9・10 月期は 60%近くに上り、季節による差異が顕著にみられた。この季節による差異は台風の熱的非対称化開始から寒気核化までと定義した遷移期間にもみられた。また温低化と判定された台風のうち 16.8%は熱的非対称化より寒気核化が先行していたことがわかった。

イ）2012 年 7 月下旬から 8 月にかけて、本州南方～南東方の北緯 25～30 度沿いで、T1210,1211,1212 が連続して発生した。これらは北緯 10 度付近の赤道波動とは異なり、中部太平洋の上部対流圏に生じた熱帯上部対流圏トラフ（TUTT）から切離して西進した擾乱に対応していた。その西進速度はベータ効果でおおむね説明できる大きさであった。このうち T1212 は気象庁ベストトラックで「台風」とされている期間の初期は上層で寒気核構造を持っており、30° N 以北に北上後に上層暖気核化して典型的台風の構造を持ったことがわかった。

③ 台風と海洋環境場との関係に関する研究

ア）2004 年に温低化した台風 9 個について、海面水温との関係について調べた。非対称性の増大で定義した温低化開始が海面水温 27℃以上で起こっている事例がある一方、海面水温 20℃以下の海域まで温低化完了せずに進む事例もあり、海面水温の低い海域に進むことが温低化の条件とは言えないことがわかった。一方、海面付近の気温が海面水温と等しいと仮定した場合の相当温位と下層大気の相当温位を比較すると、成熟期台風の段階では全事例で海面の方が高く、海面から下層大気への加熱を示唆していたのに対して、温低化前後の台風に関しては、秋の台風では海面からの加熱の継続が示唆されていたのに対して、梅雨期・夏季の台風では海面の方が低温で、台風が海面から熱的に切り離されていたことが示唆された。

イ）台風と海洋環境場との関係の実態を調査するためアルゴフロートのデータを収集し、2000～2010 年の北西太平洋の台風を対象として台風進路近傍の約 4400 個の水温プロファイルの変化を統計的に調べた。プロファイルの水温低下の大きさは台風の強度・移動速度に依存が見られた。具体的には、海面付近での、台風後方（幅 500km）の平均水温変化は、台風の最大風速が 30～40m/s の場合、-0.8℃であり、標準偏差は 1.1℃であった。水温変化は海洋中層まで見られ、その深度は台風強度・移動速度との関係が薄く観測位置の緯度に依存していた。台風の移動速度は、海洋内部波の速度より大きい／小さいで平均水温変化への影響が大別でき、小さい場合の方が、特に 200m 深で水温低下が大きかった。

ウ）2011 年 6 月、北緯 20,22,24 度、東経 137 度に投入した 3 基のイリジウム海洋フロートブイのデータを用いて、台風通過前後における海洋変動と台風移動方向に対する相対位置の関係を調査した。T1109 と T1215 については、台風のほぼ直下における水温変動を捉えることができ、湧昇により海面から 200m 深まで水温低下がみられた。T1106 と T1221 については、中心から 1 度以内の距離かつ進行方向右側で～5℃の水温低下と海洋混合層底で通過後に水温上昇がみられた。と T1109 通過時の水温・塩分変動が台風経路からの相対位置により異なっていたことを見出した。進行方向左側においても、中心から 1 度以内の海域では乱流混合後に湧昇が生じた事例も見られた(T1106,T1115,T1215)。事例によっては降水により海洋混合層で塩分が低下している事例も見られた。

④　数値モデルの問題点の抽出に関する研究

ア）2008 年 8 月～2010 年までの顕著な台風（最低気圧が 950hPa 以下）13 事例に対して、発生期から最盛期までの 79 初期値について、水平解像度 5km の非静力学モデルを用いて 5 日積分を行い、予報進路や強度に関して統計調査を行った。これまでの調査から台風の発達を十分に表現できないことが明らかになっていたが、特に発達期や最盛期に顕著であることが分かった。また、時間変化傾向を評価すると、急発達や急衰弱についての再現がよくないことが明らかになった。これは台風のコア構造の再現性が不十分であることが一因であることが示された。また鉛直構造においては、一次・二次循環ともに、一般的な台風の構造に比べて上端が高すぎるという問題が明らかになった。

イ）T0914 について大気モデル、大気波浪海洋結合モデルと、異なる大気初期値（2 事例）、海洋初期値(14 事例)、水平解像度(3,6,12,24km)を用いて数値シミュレーションを実施した。大気初期値や海洋初期値の種類に関わらず、中心気圧は気象庁ベストトラックの値よりも低めに計算されるという問題が明らかとなった。大気環境場の違いは台風強度だけでなく台風経路にも影響を与える一方、海洋環境場の違いは台風強度のみ影響が見られたことは新たな知見である。海洋環境場が台風の構造に与える影響は台風のライフステージにより異なるという問題点を見出した。特に発達期には超傾度風過程、成熟期には台風の眼の壁雲域における凝結熱の放出過程、衰退期においては大気境界層における台風中心への大気の流入の過程でその影響が顕著であることを新たに示した。

ウ）T1106 のシミュレーションでは、中心気圧はやや高めで転向の場所やタイミングにもややズレがあったものの、全体的に見て気象庁等のベストトラックデータと整合していた。気象庁で展開している 3 基の自動昇降式フロートによるデータとシミュレーション結果を比較したところ、台風による海面水温低下は定性的に再現された一方、塩分変動については必ずしも観測とモデル結果は整合しないという問題が示された。一方で降水による海面塩分の希釈及び移流・混合による海面塩分の増大のプロセスを新たに確認することができた。

エ）台風の眼の水平スケールが大きく移動速度の遅かった T1112 のシミュレーションでは、非静力学大気モデルでは中心気圧を過度に深め、非静力学大気波浪海洋結合モデルによる中心気圧はベストトラックと整合していた。また T1112 による海水温低下は、その南東象限で発生した T1113 の発生時期にも影響を与えていた。大気モデルでのシミュレーション結果はむしろ T1113 の発生を早めるという問題を見出した一方、結合モデルの結果は T1113 の発生を遅らせ、結果的に気象庁ベストトラックでの発生時期に近づいた。

オ）台風の眼の水平スケールが小さい特徴をもつ台風であった T1115 については､水平解像度 2km 及び 1.5km、海面飛沫効果を含めた非静力学大気波浪海洋結合モデルによる数値実験を実施した。T1115 の急発達を再現できたのは非静力学大気モデル単独の場合であり、これは水平解像度をより細かくした実験や海面飛沫効果を含めた実験でも同様であった。シミュレートされた T1115 の眼の大きさは海面飛沫効果の導入の有無に関わらず、マイクロ波衛星観測よりも大きくなった。また海面飛沫効果の導入により、T1115 は実際よりも速いタイミングで強化するという問題を見出した。以上の結果から水平解像度を細かくすることと、乱流熱フラックスを大きくすることは、シミュレーション精度を必ずしも向上させないという問題が明らかとなった。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

副課題１　衛星データを用いた台風強度推定に関する研究

QuikSCAT が運用を停止したため、マイクロ波散乱計データを用いる研究を取りやめた。一方、ドボラック法の補完のため、静止気象衛星データによる台風強度推定に関連する調査を追加した。

副課題２　台風の最適観測法に関する研究

アンサンブル予報を用いた台風発生予測可能性の研究は、気象研究所重点研究「全球大気データ同化の高度化に関する研究」での実施に変更した。

副課題３　台風の強雨・強風構造の実態解明に関する研究

可搬型レーダーによる台風の特別観測を取りやめ、現業ドップラーレーダー観測データを用いた解析を行った。また台風と海洋環境場との関係を調査するため、アルゴフロート等の海洋データを用いた解析や大気海洋結合モデルによる数値実験等を実施した。

成果の他の研究への波及状況

副課題１　衛星データを用いた台風強度推定に関する研究

特になし

副課題２　台風の最適観測法に関する研究

① アンサンブル予報比較サイトに関しては、東南アジアの国々の予報センターを初めとして世界中の現業部門および研究者にパスワード付きで公開しており、利用されている。また WMO の推進する SWFDP(荒天予報実証プロジェクト/WMO)の支援資料としても利用されている。

② 台風周辺域のアンサンブル初期摂動の成長メカニズムの解明は、世界気象機関及び気象庁が推進する THORPEX 研究に寄与している。

副課題３　台風の強雨・強風構造の実態解明に関する研究

① 本課題で実施した低気圧の解析手法を、重点課題「顕著現象の機構解明に関する解析的・統計的研究」において、急発達した温帯低気圧の解析に適用し、その構造と急発達メカニズムの解明に寄与した。

② 本課題で用いた数値モデルは重点課題「次世代非静力学気象予測モデルの開発」で開発されたものであり、数値シミュレーションの実施にあたって、重点課題「全球及び日本近海を対象とした海洋データ同化システムの開発」により計算された海洋再解析データを使用した。また本課題で得られた科学的知見については、科学研究費補助金基盤 C「台風海洋間の多階層渦による相互作用の解明と海洋酸性化に与える影響評価」と新学術研究「気候系の hot spot」公募課題「成熟期の台風の強度・構造変化と海洋との相互作用の解明」にて得られたものである。また重点課題「海洋中炭素循環変動の実態把握とメカニズム解明に関する研究」において T0914 の数値シミュレーション結果が活用された。

今後の課題

副課題１　衛星データを用いた台風強度推定に関する研究

本課題で開発した台風強度推定手法は、台風のライフサイクルにおける発達ステージや季節・緯度・海域等による環境場の差異を考慮せずにすべての台風に同じ手法(回帰式等)を適用している。これらの差異により強度推定精度に差があるか、調査を行う必要がある。

古い衛星が運用を停止する一方、高精度のセンサーを搭載した新しい衛星が打ち上げられており、それらの利用可能性について検討する必要がある。

台風強度推定の検証には主に気象庁ベストトラックデータを使用しており、結果的にドボラック法に依存している。今後、検証方法を工夫する必要がある。

副課題２　台風の最適観測法に関する研究

台風の予報精度は着実に改善しているが、予報誤差が極端に大きくなる事例も依然として存在している。今後はこのような事例が起こる原因を初期値の観点から研究し、最適観測技術、さらには予報精度の更なる向上をはかる必要がある。

現在、航空機の安全運航を支援するために行われている MTSAT によるラピッドスキャン観測は、日中のみ（09 時～19 時）という制約があり、台風の日変化等も含めた解析には平成 27 年度に運用開始予定である次期気象衛星による観測データの利用が必要である。

副課題３　台風の強雨・強風構造の実態解明に関する研究

気象庁現業レーダーが昨年度までにすべてドップラー化され、日本に接近する台風の観測データ

が蓄積されつつあるので、それらを利用した台風の詳細構造に関する研究を行う必要がある。

台風の詳細構造や急発達等の予測は、モデルの空間解像度を数 km にしても十分に再現することはできない。再現を阻む要素は様々であることから、台風の詳細構造や急発達等の予測精度を向上するための前段階として、台風の発達や構造変化に関するプロセス及びそのプロセスと解像度、初期値、素過程等数値モデリングの関係を明らかにする必要がある。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（台風・集中豪雨分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、474 ページを参照。

成果発表一覧

査読論文 ：19 件

1. Bessho, K, T. Nakazawa, S. Nishimura and K. Kato, 2010: Warm core structures in organized cloud clusters developing or not developing into tropical storms observed by the Advanced Microwave Sounding Unit, Mon. Wea. Rev., 138, 2624-2643.
2. Kitabatake, N. and Y. Tanaka, 2009: Observed low level jets associated with Typhoon Higos (0221) over the Kanto Plain, SOLA, 5, 105-108.
3. Kitabatake, N. and F. Fujibe, 2009: Relationship between surface wind fields and three-dimensinal structures of tropical cyclones landfalling in the main islands of Japan. J. Meteor. Soc. Japan, 87, 959-977.
4. Kitabatake, N., 2010: Impact of synthetic wind retrieval on tropical cyclone structures at the extratropical transition stage in the JRA-25 Reanalysis, SOLA, 6, 77-80.
5. Kitabatake, N., 2011: Climatology of extratropical transition of tropical cyclones in the western North Pacific. J. Meteor. Soc. Japan, 89, 309-325.
6. Li, Y., K. Cheung, J.C.L. Chan and M. Tokuno, 2012: Rainfall distribution of five landfalling tropical cyclones in the northwestern Australia region. Aust. Meteor. Ocean. J. (in press).
7. Nakazawa, T. and K. Rajendran, 2009: Interannual variability of tropical rainfall characteristics and the impact of the altitude boost from TRMM PR 3A25 data. J. Meteor. Soc. Japan, 87A, 317-338.
8. Nakazawa, T. and S. Hoshino, 2009: Intercomparison of Dvorak parameters in the tropical cyclone datasets over the western North Pacific. SOLA, 5, 33-36.
9. Oyama, R., 2013: Estimation of tropical cyclone central pressure from warm core intensity observed by the Advanced Microwave Sounding Unit-A (AMSU-A), Pap. Meteor. Geophys., submitted.
10. Wada, A., N. Usui, and K. Sato, 2012: Relationship of maximum tropical cyclone intensity to sea surface temperature and tropical cyclone heat potential in the North Pacific Ocean, J. Geophys. Res., 117, D11118.
11. Wada, A., 2012: Numerical study on the effect of the ocean on tropical-cyclone intensity and structural change. Atmospheric Models Applications. I. Yucel Ed. 43-68.
12. Wada, A., M. F. Cronin, A. J. Sutton, Y. Kawai, and M. Ishii, 2013: Numerical simulations of oceanic pCO2 variations and interactions between Typhoon Choi-wan (0914) and the ocean. J. Geophys. Res., Oceans, 118, 2667-2684.
13. Wada, A., N. Usui, and M. Kunii, 2013: Interactions between Typhoon Choi-wan (2009) and the Kuroshio Extension System. Advances in Meteorology, 859810.
14. Wu, C.-C., J.-H. Chen, S. J. Majumdar, M. S. Peng, C. A. Reynolds, S. D. Aberson, R. Buizza, M. Yamaguchi, S.-G. Chen, T. Nakazawa and K.-H. Chou, 2009: Inter-comparison of targeted observation guidance for tropical cyclones in the North Western Pacific, Mon. Wea. Rev., 137, 2471-2492.
15. Yamaguchi, M., T. Iriguchi, T. Nakazawa and C.-C. Wu, 2009: An observing system experiment for Typhoon Conson (2004) using a singular vector method and DOTSTAR data. Mon. Wea. Rev., 137, 2801-2816.
16. Yamaguchi, M. and S. J. Majumdar, 2010: Using TIGGE data to diagnose initial

perturbations and their growth for tropical cyclone ensemble forecast, Mon. Wea. Rev., 138, 3634-3655.
17. Yamaguchi, M., D. S. Nolan, M. Iskandarani, S. J. Majumdar, M. S. Peng, and C. A. Reynolds, 2011: Singular vectors for tropical cyclone-like vortices in a nondivergent barotropic framework, J. Atmos. Sci., 68, 2273-2291.
18. Yamaguchi, M., T. Nakazawa, and S. Hoshino, 2012: On the Relative Benefits of a Multi-Centre Grand Ensemble for Tropical Cyclone Track Prediction in the Western North Pacific. Q. J. R. Meteorol. Soc., 138, 2019-2029.
19. Yamaguchi, M., T. Nakazawa, and K. Aonashi, 2012: Tropical cyclone track forecasts using JMA model with ECMWF and JMA initial conditions, Geophys. Res. Lett., 39, L09801.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：23 件

1. Fogarty, C., D. Arwender, E. Atallah, P. Caroff, E.-J. Cha, R. Das, C. Evans, K. Griffin, H. Heming, M. Jurewics, N. Kitabatake, M. Kucas, M. Riemer, and R. Torn, 2010: Forecasting extratropical transitions, Workshop Topic Reports: Seventh WMO International Workshop on Tropical Cyclones (IWTC-VII), 2.5.1-2.5.23.
2. Jones, S. C., H. Archambault, J. Beven, L. F. Bosart, J. Callaghan, J. Cordeira, J. Evans, P. Harr, D. Keyser, N. Kitabatake, R. McTaggart-Cowan, R. Torn, and C. Velden, 2010: New reserch and field experiments in extratropical transitions, Workshop Topic Reports: Seventh WMO International Workshop on Tropical Cyclones (IWTC-VII), 2.4.1-2.4.22.
3. Mashiko, W., 2011: A statistical evaluation of typhoon structures simulated by JMA nonhydrostatic model, CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, No. 41, 3.05-3.06.
4. Murata, A., 2010: Precipitation efficiency in numerically simulated heavy rainfall associated with typhoons Man-Yi (2007) and Fitow (2007), CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 40, 5.15-5.16.
5. Oyama, R., 2013: Algorithm and validation of tropical cyclone central pressure estimation using warm core intensity observed by the Advanced Microwave Sounding Unit-A (AMSU-A), RSMC Tokyo-Typhoon Center Technical Review, in preparation.
6. Sakuragi, T., S. Hoshino, and N. Kitabatake, 2014: Estimation of tropical cyclone intensity taking asymmetric distribution of TRMM/TMI brightness temperature into account, RSMC Tokyo - Typhoon Center Technical Review, in preparation.
7. Wada, A., 2012: Rapid intensification of Typhoon Roke in 2011. CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 42, 9.05-9.06.
8. Wada, A., 2012: Oceanic influences for a large eye of Typhoon Talas in 2011. CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 42, 9.09-9.10.
9. Wada, A., 2013: The impact of oceanic initial conditions on the simulations of Typhoon Ma-on in 2011, CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 43, 9.05-9.06.
10. Wada, A., 2013: Sensitivity of horizontal resolution and sea spray to the simulations of Typhoon Roke in 2011, CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 43, 9.07-9.08.
11. Wada, A., 2013: Effect of Talas-induced sea-surface cooling on the generation of a subsequent typhoon, CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 43, 9.13-9.14.
12. 上野充, 山口宗彦, 2012: 図解・台風の科学, ブルーバックス, 講談社, 238pp.
13. 北畠尚子, 2010: 亜熱帯低気圧. 天気, 57, 342-344.
14. 北畠尚子, 2011: Cyclone phase space（低気圧位相空間）. 天気, 58, 801-803.
15. 北畠尚子, 小山亮, 星野俊介, 2013: 台風第 12 号と第 15 号の構造の比較. 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨と平成 23 年（2011 年）台風第 12 号及び台風第 15 号の調査報告, 気象庁技術報告, 134, 137-142.
16. 北畠尚子, 2013: 台風の温帯低気圧化. 台風研究の最前線（上）, 気象研究ノート, 226, 127-148.
17. 北畠尚子, 2012: PRE (Predecessor Rain Event). 天気, 59, 171-172.

18. 北畠尚子, 2013: 暖気核隔離の低気圧. 天気, 60, 194-196.
19. 杉正人, 中澤哲夫, 柳瀬亘, 2009: 第１回インド洋熱帯低気圧と気候変動に関する国際会議出席報告、天気, 56, 927-932.
20. 湊信也, 2012: 台風近傍のアルゴデータによる水温変化の統計的解析, 測候時報, 投稿中.
21. 山口宗彦, 2013: ベータドリフト, 天気, 60, 133-134
22. 山口宗彦, 2013: 台風の進路予報, 台風研究の最前線（下）, 気象研究ノート, 227. 15-36.
23. 和田章義, 2012: 台風と海洋, 台風研究の最前線（上）, 気象研究ノート, 226, 149-189.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：44 件

1. Bessho, K., T. Nakazawa, and M. Weissmann, 2009: Dropsonde operation of Falcon in T-PARC and the analyses of surrounding environment of typhoons. The Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, November 8-10, 2009, Tsukuba, Japan.
2. Hoshino, S., and T. Nakazawa, 2009: Intercomparison of Dvorak parameters in the tropical cyclone datasets over the western North Pacific. The Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, November 8-10, 2009, Tsukuba, Japan.
3. Hoshino, S., 2012: Development of the method to estimate maximum wind speed of tropical cyclones using GCOM/AMSR2 data, Joint PI workshop of Global Environment Observation Mission 2011, GCOM-W session, Tokyo, Japan.
4. Kitabatake, N. and F. Fujibe, 2009: Relationship between surface wind fields and three-dimensional structures of tropical cyclones landfalling in the Japan main islands. The Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, November 8-10, 2009, Tsukuba, Japan.
5. Kyouda, M., Y. Honda, and M. Yamaguchi, 2011: EPS-based products for support to regional demonstration projects at JMA, Meeting of the CBS Expert Team on Enemble Prediction Systems (ET-EPS), Geneva, Switzerland.
6. Hoshino, S., K. Shimoji, R. Oyama and T. Nakazawa, 2010: Verification of AMVs in the T-PARC period, 10th International Winds Workshop 2010.
7. Murata, A., 2009: A mechanism for heavy precipitation associated with typhoon Meari (2004). The Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, November 8-10, 2009, Tsukuba, Japan.
8. Nakazawa, T., 2009: High-Impact Weather Forecast and Global Rainfall Maps for Urban Flood Management. ESCAP Expert group meeting on innovative strategies towards flood resilient cities in Asia-Pacific.
9. Nakazawa, T., 2009: Role of Scatterometer Data in Tropical Meteorology. - MJO and Tropical Cyclone Studies- 2009 Scatterometry and Climate Meeting.
10. Nakazawa, T., 2009: Tropical Cyclones, MJO and YOTC. WCRP/WWRP -THORPEX YOTC Implementation Planning Meeting.
11. Nakazawa, T., 2009: Tropical Cyclone Observation with Aircraft, Present Status and Prospects. 14th Annual US-Japan Meteorological Technical Exchange Meeting.
12. Nakazawa, T., C.-C. Wu, M. Weissmann, S. Majumdar, C. Reynolds, J. Doyle, P. Harr, K. Bessho, T. Komori, Y. Ohta, K. Yamashita, S. C. Jones, H.-S. Lee, D. Richardson, M. Yamaguchi, F. Harnisch, and D. Parsons, 2009: THORPEX Pacific Asian Regional Campaign(T-PARC) A New Direction for Typhoon Research/Forecast. 3rd THORPEX International Science Symposium.
13. Nakazawa, T., J. Hawkins, and C. Velden, 2009: Satellite Digital Data and Products for Tropical Cyclone Studies. WMO Second International Workshop on Tropical Cyclone Landfall Processes.
14. Nakazawa, T., P. Harr, J. Moore, M. Weissmann, S. Majumdar et al. , 2009: THORPEX Pacific Asian Regional Campaign for typhoon targeting in 2008 over the western North Pacific. The Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, November 8-10, 2009, Tsukuba, Japan.
15. Nakazawa, T., 2009: Impact of special observations for tropical cyclone track forecasts in T-PARC 2008. International Workshop on Advancement of Typhoon Track Forecast

Technique.
16. Nakazawa, T., 2009: Introduction of the Northwestern Pacific Tropical Cyclone Ensemble Track Forecast Research Project. International Workshop on Advancement of Typhoon Track Forecast Technique.
17. Nakazawa, T., P. Harr, S. C. Jones, and D. Parsons, 2010: THORPEX Pacific Asian Regional Campaign and Tropical Cyclone Structure-08. Toward better understanding of typhoon life cycle. WMO Technical Conference Environmental Prediction into the Next Decade: Weather, Climate, Water and the Air We Breathe"
18. Nakazawa, T., D. Parsons, and D. Burridge, 2010: North western Pacific Tropical Cyclone Ensemble Track Forecast Research Project. WMO 15th session of WMO/CAS.
19. Nakazawa, T., P. Harr, C. C. Wu and M. Weissmann, 2010: Targeted observation for tropical cyclone during T-PARC 2008, 29th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, May 2010.
20. Nakazawa, T. and M. Matsueda, 2010: Genesis potential estimation of high-impact weather by TIGGE ensemble data, 29th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, May 2010.
21. Ohta, Y., K. Yamashita, and T. Nakazawa, 2009: Observing system experiments using the operational NWP system of JMA with T-PARC 2008 special observations targeted for Typhoon Jangmi. International Workshop on Advancement of Typhoon Track Forecast Technique.
22. Oyama, R., T. Sakuragi and S. Hoshino, 2013: Development of the method to estimate maximum wind speed of tropical cyclones using GCOM/AMSR2 data, Joint PI workshop of Global Environment Observation Mission 2012, GCOM-W session, Tokyo, Japan.
23. Oyama, R. and A. Wada, 2013: Analysis of tropical cyclone warm core structure by using the Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) data, Japan Geoscience Union Meeting, May 19-24, 2013, Chiba, Japan.
24. Tokuno, M., 2010: Satellite 3.8μm cloud top reflectivity of eyewall. The 3rd International Symposium on Sentinel Earth, November 2010.
25. Ueno, M., M. Kunii, 2009: Possible control of near-surface wind distributions by environmental vertical wind shear. The Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, November 8-10, 2009, Tsukuba, Japan.
26. Wada, A., Meghan, F. Cronin, Adrienne J. Sutton, Y. Kawai, and M. Ishii, 2012: Numerical simulation on the interactions between Typhoon Choi-wan in 2009 and the mid-latitude Ocean. Asia Oceania Geosciences Society 9th Annual General Meeting & AGU_2012 Western Pacific Geophysics Meeting (AOGS 2012 - AGU WPGM), Singapore, Aug. 13-17.
27. Weissmann,M., F. Harnisch, S. Rahm, M. Wirth, P. Harr, T. Nakazawa, K. Bessho, S. Jones, D. Anwender, D. Parsons, H.-S. Lee, R. M.-Cowan, and C. Cardinali, 2009: Overview of T-PARC Falcon operations and ECMWF data denial experiments. 3rd THORPEX International Science Symposium.
28. Weissmann, M., F. Harnisch, S. Rahm, T. Nakazawa, C. C. Wu, S. D. Aberson, Y. H. Kim, K. Yamashita and Y. Ohta, 2010: The influence of special T-PARC observations on typhoon track and mid-latitude forecasts, 29th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, May 2010.
29. Wu, C. C., P. H. Lin, K. H. Chou, S. D. Aberson, S. Majumdar, C. A. Reynolds, M. S. Peng, T. Nakazawa, P. A. Harr, H. M. Kim, M. Weissmann, J. H. Chen and S. G. Chen, 2010: Targeted observation and its impact in DOTSTAR and T-PARC, 29th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, May 2010.
30. Yamaguchi, M., D. S. Nolan, M. Iskandarani, S. J. Majumdar, C. A. Reynolds, and M. S. Peng, 2010: Singular vectors for tropical cyclone-like vortices in a nondivergent barotropic framework, First International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models, September 2010.
31. Yamashita, K., Y. Ohta, and T. Nakazawa, 2009: An observing system experiment of special observations of T-PARC for Sinlaku using the operational NWP system at JMA. The Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, November

8-10, 2009, Tsukuba, Japan.
32. Yamashita, K., Y. Ohta, and T. Nakazawa, 2009: Observing system experiments using the operational NWP system of JMA with T-PARC 2008 special observations targeted for Typhoon Sinlaku. International Workshop on Advancement of Typhoon Track Forecast Technique.
33. Yamaguchi, M., M. Kyouda, M. Kunitsugu, and K. Kuma, 2010: The Japan Meteorological Agency and its typhoon forecasts, Seminar at National Hurricane Center, June 2010. (Miami, USA)
34. Yamaguchi, M., and S. J. Majumdar, 2010: Using TIGGE data to diagnose initial perturbations and their growth for tropical cyclone ensemble forecasts, 29th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, May 2010. (Tucson, USA)
35. Yamaguchi, M., M. Matsueda, S. Hoshino, M. Nakamura, T. Tsuyuki, T. Nakazawa, 2011: GIFS-TIGGE products for SWFDP, 8th Asian THORPEX Regional Committee Meeting, Tokyo, Japan.
36. Yamaguchi. M., 2011: GIFS-TIGGE products by MRI/JMA, Meeting of the Reginal Subproject Management Team (RSMT) of the Severe Weather Forecasting Demonstration project (SWFDP) in Southeast Asia, Ha Noi, Viet Nam.
37. Yamaguchi, M., M. Matsueda, S. Hoshino, M. Nakamura, T. Tsuyuki, T. Nakazawa, 2011: GIFS-TIGGE products for SWFDP, SWFDP – Southeast Asia (SeA) Regional Training Workshop on Severe Weather Forecasting (GDPFS) and Warning Services (PWS), Hong Kong, China.
38. Yamaguchi, M., 2012: Dynamical mechanism of the growth of singular vectors for tropical cyclones, Seminar at the National Taiwan University, November 2012. (Taipei, Taiwan)
39. Yamaguchi, M., 2012: A study on typhoon track prediction using the TIGGE and YOTC data, Seminar at the National Taiwan University, November 2012. (Taipei, Taiwan)
40. Yamaguchi, M., 2012: Progress related to SWFDP in Southeast Asia, 9th Asian THORPEX Regional Committee Meeting, November 2012. (Nanjing, China)
41. Yamaguchi, M., T. Nakazawa, and S. Hoshino, 2012: On the relative benefits of Multi-Centre Grand Ensemble for tropical cyclone track prediction in the western North Pacific, 4th THORPEX Asian Science Workshop, November 2012. (Nanjing, China)
42. Yamaguchi, M., T. Nakazawa, and K. Aonashi, 2012: Tropical cyclone track forecasts using JMA model with ECMWF and JMA initial conditions, 4th THORPEX Asian Science Workshop, November 2012. (Nanjing, China)
43. Yamaguchi, M., T. Nakazawa, and K. Aonashi, 2012: New approach to diagnose tropical cyclone track prediction errors, 30th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, April 2012. (Ponte Vedra Beach, USA)
44. Yamaguchi, M, T. Nakazawa, and A. Wada, 2012: Observing System Experiments for Typhoon Track Prediction using ITOP Dropwindsonde Data, Japan Geoscience Union (JGU) Meeting, May 20-25, 2012, Makuhari, Japan.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：46 件

1. 上野充, 國井勝, 2009: 環境風の鉛直シアーと台風コア域内地上風分布, 日本気象学会 2009 年度春季大会
2. 上野充, 別所康太郎, 2009: QuikSCAT データで見た台風コア域内の降水と地上風非対称の関係, 日本気象学会 2009 年度秋季大会
3. 太田洋一郎, 山下浩史, 中澤哲夫, 2009: 2008 年台風第 15 号の特別観測データを使用した気象庁全球モデルによるインパクト実験の評価、日本気象学会 2009 年度春季大会.
4. 太田洋一郎, 山下浩史, 中澤哲夫, 2009: 2008 年台風第 15 号の特別観測データを使用した気象庁全球モデルによるインパクト実験の評価（第 2 報）日本気象学会 2009 年度秋季大会.
5. 小山亮, 2011: マイクロ波探査計データを使った台風強度推定手法の開発－暖気核推定誤差の要因と特徴について－、日本気象学会 2011 年度秋季大会.
6. 小山亮, 2012：2011 年台風第 12 号および 15 号の暖気核に注目した解析、日本気象学会 2012 年度春季大会.

7. 小山亮，北畠尚子，2013: 2011 年台風第 15 号（Roke）の急発達時にみられた構造変化と環境場の特徴，台風研究会.
8. 小山亮，櫻木智明，北畠尚子，和田章義，嶋田宇大，2013: 衛星マイクロ波データを用いて推定された 2013 年台風第 7 号の強度、日本気象学会 2013 年秋季大会.
9. 北畠尚子, 2011: 温帯低気圧化した台風の構造の特徴. 日本気象学会 2011 年度春季大会.
10. 北畠尚子, 2011: 台風の温帯低気圧化時の海面水温の特徴. 日本気象学会 2011 年度秋季大会.
11. 北畠尚子, 2012: 2011 年に日本本土に上陸した台風の構造変化と総観場の特徴. 日本気象学会 2012 年度春季大会.
12. 北畠尚子, 2012: 台風 1115 号の急発達前の変化と大気環境場の影響. 日本気象学会 2012 年度秋季大会.
13. 北畠尚子, 2012: 北西太平洋の台風の特徴　～主に温帯低気圧化について～. 日本気象学会関西支部例会.
14. 北畠尚子, 2013: 台風 1212 号の発生と構造の特徴、及びそれに対する環境場の影響. 日本気象学会 2013 年度秋季大会.
15. 沢田雅洋，山口宗彦, 2012: 非軸対称な熱源が台風進路へ及ぼす影響について，日本気象学会 2012 年度秋季大会.
16. 徳野正己, 2010: 衛星連続観測 3.8μm 反射率による台風(0815)の眼の壁雲の特徴，日本気象学会 2010 年度秋季大会.
17. 中澤哲夫，松枝未遠, 2009: 全球客観解析データの地上風の強風発生確率、日本気象学会 2009 年度秋季大会.
18. 中澤哲夫，松枝未遠, 2010: TIGGE 全球アンサンブルデータによる顕著現象ポテンシャル予測, 日本気象学会 2010 年度春季大会.
19. 中澤哲夫，隈健一, 2010: アジアと日本での THORPEX 関連研究　その変異と展望.日本気象学会 THORPEX 研究連絡会第 4 回研究集会.
20. 中澤哲夫，松枝未遠, 2010: 全球アンサンブルデータから顕著現象発生ポテンシャル予測は可能，日本気象学会 THORPEX 研究連絡会第 4 回研究集会.
21. 別所康太郎，中澤哲夫, Martin Weissmann, 2009: T-PARC におけるドロップゾンデ観測と台風周辺環境の解析、日本気象学会 2009 年度秋季大会.
22. 星野俊介，中澤哲夫，別所康太郎，小山亮，下地和希, 2009: Rapid Scan による詳細大気追跡風データの台風解析への利用（序報），日本気象学会 2009 年度春季大会.
23. 星野俊介，下地和希，小山亮，別所康太郎，中澤哲夫, 2009: T-PARC で算出された大気追跡風データの精度検証，日本気象学会 2009 年度秋季大会.
24. 星野俊介，中澤哲夫, 2010: TIGGE 台風アンサンブル予測閲覧サイトの紹介，日本気象学会 2010 年度秋季大会.
25. 星野俊介，中澤哲夫，別所康太郎，小山亮，下地和希, 2009: Rapid Scan による詳細大気追跡風データの台風解析への利用（序報）、日本気象学会 2009 年度春季大会.
26. 星野俊介，下地和希，小山亮，別所康太郎，中澤哲夫, 2009: T-PARC で算出された大気追跡風データの精度検証、日本気象学会 2009 年度秋季大会.
27. 星野俊介，中澤哲夫, 2010: TIGGE 台風アンサンブル予測閲覧サイトの紹介、日本気象学会 2010 年度秋季大会.
28. 星野俊介, 2011: 台風強度推定法改良のための TRMM/TMI 輝度温度パターンの分類、日本気象学会 2011 年度秋季大会.
29. 星野俊介，北畠尚子，小山亮, 2012：マイクロ波放射計データにみられる T1112 および T1115 の構造変化，日本気象学会 2012 年度春季大会.
30. 益子渉，村田昭彦, 2010: 気象庁 NHM を用いた台風の数値シミュレーション，日本気象学会 2010 年度春季大会.
31. 松枝未遠，中澤哲夫, 2010: TIGGE データポータルの利用法とそれを利用した研究,日本気象学会 THORPEX 研究連絡会第 4 回研究集会.
32. 湊信也, 2011：アルゴデータを使った台風近傍の水温変化の検証. 日本海洋学会 2011 年度秋季大会.
33. 柳瀬亘, K. I. Hodges，北畠尚子, 2012: 複数の環境場の影響下で発達する低気圧の統計解析. 日本気象学会 2012 年秋季大会.

34. 山口宗彦, 2010: 台風渦中で成長する特異ベクトルの構造とその成長メカニズム、日本気象学会 THORPEX 研究連絡会第 4 回研究集会.
35. 山口宗彦, 2010: 台風渦中で成長する特異ベクトルの構造とその成長メカニズム、日本気象学会 2010 年度秋季大会.
36. 山口宗彦, D. S. Nolan, M. Iskandarani, S. J. Majumdar, M. S. Peng, and C. A. Reynolds, 2011: 理想的な台風渦に対する特異ベクトルの性質、日本気象学会 2011 年度春季大会.
37. 山口宗彦, 星野俊介, 中澤哲夫, 2011: 理想的な台風渦に対する特異ベクトルの性質、日本気象学会 2011 年度秋季大会.
38. 山口宗彦, 2012: 台風進路予報誤差の診断, 日本気象学会 2012 年春季大会.
39. 山口宗彦, 沢田雅洋, 2012: 南北方向に傾いた台風渦の移動, 日本気象学会 2012 年秋季大会.
40. 山口宗彦, 中村誠臣, 2012: North Western Pacific Tropical Cyclone Ensemble Forecast Project の紹介, 研究集会「週間及び 1 か月予報における顕著現象の予測可能性」
41. 山下浩史, 太田洋一郎, 中澤哲夫, 2009: 2008 年台風第 13 号の特別観測データを使用した気象庁全球モデルによるインパクト実験の評価（第 1 報）、日本気象学会 2009 年度春季大会.
42. 山下浩史, 太田洋一郎, 中澤哲夫, 2009: 2008 年台風第 13 号の特別観測データを使用した気象庁全球モデルによるインパクト実験の評価（第 2 報）、日本気象学会 2009 年度秋季大会.
43. 和田章義, 碓氷典久, 北畠尚子, 小山亮, 2012: 2011 年台風第 12 号の強度変化と海洋の相互作用、日本気象学会 2012 年度春季大会.
44. 和田章義, 碓氷典久, 2012: 台風第 15 号の急発達に関する数値実験、日本気象学会 2012 年年度春季大会.
45. 和田章義, 2012: 2009 年台風 Choi-wan と海洋との相互作用、日本気象学会 2012 年度秋季大会.
46. 和田章義, 2013: 海洋データ同化による海洋解析場が台風シミュレーションに与える影響, 日本気象学会 2012 年度春季大会.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：5 件

1. Bessho, K., T. Nakazawa, and M. Weissmann, 2009: Dropsonde operation of Falcon in T-PARC and the analysis of surrounding environment of typhoons. 3rd THORPEX International Science Symposium.
2. Murata, A., 2009: A mechanism for heavy precipitation associated with typhoon Meari (2004). The Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, November 8-10, 2009, Tsukuba, Japan.
3. Wada, A., Meghan, F. Cronin, Adrienne J. Sutton, Y. Kawai, and M. Ishii, 2012: Numerical simulations of interactions between Typhoon Choi-wan and the ocean. AGU fall meeting, San Fransisco, Unites States.
4. Wada, A., T. Uehara, and S. Ishizaki, 2013: Daily observations by profiling floats and numerical simulations on typhoons during 2011-2012 typhoon seasons. JpGU, Makuhari, Japan.
5. Yamashita, K., Y. Ohta, T. Komori, K. Sato, and T. Nakazawa, 2009: Observing system experiments using the operational NWP system of JMA with special observations targeted for Typhoon Sinlaku and Jangmi. 3rd THORPEX International Science Symposium.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：15 件

1. 小山亮, 徳野正己, 下地和希, 林昌宏, 2012：MTSAT ラピッドスキャンデータを使った台風周辺上層風の算出とその利用の検討, 日本気象学会 2012 年度秋季大会.
2. 小山亮, 青梨和正, 下地和希, 林昌宏, 2013: ラピッドスキャン観測で得られる台風領域の上層発散と AMSR-E 等で観測される降水バンドとの関係, 日本気象学会 2013 年度秋季大会.
3. 北畠尚子, 2009: 台風 0813 号のアウターバンドとその中上層の環境、日本気象学会 2009 年度春季大会.

4. 北畠尚子, 2009: 等渦位面解析の台風への利用、日本気象学会 2009 年度秋季大会.
5. 北畠尚子, 2010: JRA-25 における温帯低気圧化台風に対するボーガスの影響, 日本気象学会 2010 年度春季大会.
6. 北畠尚子, 2010: 北西太平洋における台風の温帯低気圧化の気候学的特徴, 日本気象学会 2010 年度秋季大会.
7. 櫻木智明, 星野俊介, 小山亮, 2012: TRMM/TMI 輝度温度データを用いた台風強度推定法の改良と誤差検証. 日本気象学会 2012 年度秋季大会.
8. 櫻木智明, 北畠尚子, 2013: TRMM/TMI 輝度温度データを用いた台風強度推定法の改良と誤差検証（その 2）. 日本気象学会 2013 年度秋季大会.
9. 嶋田宇大, 北畠尚子, 2013: 単一ドップラーレーダーデータを利用した台風強度の推定—2012 年台風第 15 号の事例—. 日本気象学会 2013 年度秋季大会.
10. 徳野正己, 2010: 衛星 3.8μm 帯チャンネルによる積乱雲の特徴, 日本気象学会 2010 年度春季大会.
11. 徳野正己, 2011: 水蒸気チャンネルによる台風強度の推定, 日本気象学会 2011 年度春季大会.
12. 徳野正己, 小山亮, 2011: 水蒸気チャンネルによる台風の眼の観測, 日本気象学会 2011 年度秋季大会.
13. 徳野正己, 2012: 2011 年台風第 17 号のフィリピン上陸時の雲の特徴、日本気象学会 2012 年度春季大会.
14. 益子渉, 2011：気象庁非静力学モデルによる台風の再現性の統計的検証. 日本気象学会 2011 年度春季大会.
15. 和田章義, 2011: 2011 年台風 Ma-on における台風海洋相互作用. 日本気象学会 2011 年度秋季大会.

シビア現象の監視及び危険度診断技術の高度化に関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：鈴木修[1)]（気象衛星・観測システム研究部第二研究室長）、楠研一[2)]（気象衛星・観測システム研究部第四研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１　シビア現象に関する気象レーダー観測技術の高精度化に関する研究
小司禎教[2)]、山内 洋、楠 研一、鈴木　修、中里真久[1)]、猪上華子[1)]、（気象衛星・観測システム研究部）、林 修吾、益子 渉（予報研究部）、星野俊介[1)]、別所康太郎[3)]、櫻木智明[2)]（台風研究部）、高谷美正（気象衛星・観測システム研究部 客員研究員）、

副課題２　シビア現象の監視・直前予測技術に関する研究
小司禎教[2)]、山内 洋、佐藤英一[5)]、鈴木　修[1)]、中里真久[4)]（気象衛星・観測システム研究部）

副課題３　局地的シビア現象を対象とした高精度センシング技術に関する研究
楠 研一、斉藤貞夫[5)]、山内 洋、佐藤英一[5)]、中里真久[4)]、猪上華子[1)]（気象衛星・観測システム研究部）、林 修吾、益子 渉（予報研究部）、櫻木智明[2)]、星野俊介[6)]（台風研究部）

研究の目的

数分から 15 分以内に発生する竜巻等突風の監視技術の高度化、及び１時間以内の短時間強雨の移動・盛衰を監視・直前予測するための技術を開発する。同時に、シビア現象監視の基盤である気象レーダー観測の精度を向上させるための技術を開発・改良する。

また、既存観測システムに比べてより高分解能・高精度な観測技術・システムを用いた観測によりシビア現象の構造・メカニズムを解析し、局地領域を対象にシビア現象の早期探知や高度予測技術を実現するための基礎的基盤的知見・技術を得る。

研究の動機・背景

副課題１、２では、近年、特に社会的要請が高まっている突風・大雨・落雷（以下「シビア現象」という）に対する防災気象情報の高度化や交通の安全運行等への貢献を目的として、数分から 15 分以内に発生する竜巻等突風の監視技術の高度化、及び１時間以内の短時間強雨の移動・盛衰を監視・直前予測するための技術を開発する。同時に、シビア現象監視の基盤である気象レーダー観測の精度を向上させるための技術を開発・改良する。

また、基礎基盤的研究に位置づけられる副課題３では、シビア現象に対してより高度な情報を提供するため、既存観測システムに比べてより高分解能・高精度な観測技術・システムを開発するとともに、それらによる観測からシビア現象の構造・メカニズムを解析し、シビア現象の早期探知や高度予測技術を実現するための基礎的基盤的知見・技術を得る。

副課題１　シビア現象に関する気象レーダーの観測技術の高精度化に関する研究

シビア現象の監視を充実させ、さらにシビア現象の直前予測を実現するためには、既存の現業レーダー観測システムはデータ品質や時間・空間分解能の点で十分とはいえない。たとえば、気象レーダーの反射強度データは、降水の監視・予測、発雷、竜巻等突風に関連するメソサイクロン検出などにおいて基本的なデータであるが、地形、シークラッター、融解層、電波異常伝搬、降水の粒径分布、降水の鉛直分布、降水の短時間変化等に起因して誤差が生じる（±50%以上とも言われている）。ドップラー速度についても、台風中心付近の強風や積乱雲周辺における風の局所的な変化などにより自動折返補正処理にエラーが生じることがあり、また地形エコーやシークラッターの混入も誤データの要因となる。一方、二重偏波機能レーダーによる雹・あられ・雪などの降水粒子の判別はシビア現象の監視に有望とされているが、我が国ではまだ十分な利用が図られていない。

[1)]平成 21 年度～平成 23 年度、[2)] 平成 24 年度～平成 25 年度、[3)]平成 21 年度、[4)]平成 21 年度～平成 22 年度、[5)]平成 23 年度～平成 25 年度、[6)]平成 22 年度～平成 23 年度

副課題２におけるシビア現象の監視技術の高度化・直前予測技術の開発のためには、シビア現象の振舞いと構造について、十分な数の事例解析や総合的な統計調査が必要である。

副課題２　シビア現象の監視・直前予測技術に関する研究

現行のメソサイクロン検出アルゴリズムにおいては、上述のとおり観測データの品質に起因する誤検出や、現象の特徴（レーダーの時間・空間分解能と同程度のスケール、大きな移動速度、大きな時間変化、アルゴリズムの仮定するものと異なる構造等）に起因する誤検出が生じる。また、竜巻等の監視には地上の風・気温データの利用も有効と考えられるが、現行の検出アルゴリズムでは地上観測データは使用されていない。さらに、突風に関する情報の充実には、現業レーダーで利用可能なダウンバースト・ガストフロントの監視アルゴリズムの開発が必要である。

現行の短時間強雨の監視・直前予測アルゴリズム（降水ナウキャスト、解析雨量）は、レーダー２次元データと地上雨量計による降水量分布、地形による増雨効果、降水域の移流を基礎としているが、降水の３次元分布、降水の短時間変化、降水の局所的な移動などの情報の複合的な利用を考慮するなどして、短時間強雨に関する監視・直前予測技術を改良・開発することが求められている。

副課題３　局地的シビア現象を対象とした高精度センシング技術に関する研究

近年の技術を利用すると、数十 km 四方程度の局地領域においては高分解能・高精度な気象観測を行うことが可能となってきている。今後は、こうした技術にもとづきシビア現象を局地領域で監視することが社会的に求められる。しかし、現状では局地領域でのシビア現象の観測技術や、監視に必要なシビア現象についての詳細な構造等の理解が十分には得られていない。一方、共同研究で実施している高分解能・高精度な気象観測技術の開発とそれによる観測、高解像度シミュレーションなどの研究を通じて得られるシビア現象についての詳細な構造等の知見は、一般の気象観測網や現業数値モデルの検証や改良に役立つためのものと考えられる。さらに共同研究で開発される高精度センシング技術と気象庁のシステム・情報とを組み合わせれば、より重層的な探知・予測技術が提案可能と考えられる。

研究の成果の到達目標

副課題１　シビア現象に関する気象レーダー観測技術の高精度化に関する研究

① 気象レーダー観測の精度向上のための技術開発を行う。
② シビア現象の監視・直前予測技術の開発・検証のための事例解析・統計解析を行う。

副課題２　シビア現象の監視・直前予測技術に関する研究

① 数分～15 分以内に発生する竜巻等突風や落雷を監視・直前予測する技術・システムの改良及び新たな開発を行う。
② １時間以内に発生する短時間強雨を監視・直前予測する技術の開発を行う。

副課題３　局地的シビア現象を対象とした高精度センシング技術に関する研究

① 既存観測システムに比べてより高分解能・高精度な観測を利用して、シビア現象を発生させる降水システムおよび大気環境の基礎的な調査を行う。
② 以下に資する知見を取りまとめる。
・シビア現象に関わる現業数値モデル・注意情報の検証・改良
・局地領域における、シビア現象の探知・予測技術と気象庁の情報を組み合わせた重層的な探知・予測技術の策定

研究結果

（成果の概要）

副課題１では、ドップラー速度の折り返し補正、セルトラッキング技術についての検討を行い、その改良・開発に向けた基礎的なツールや定式化を推進した。

また、暖候季を中心とした、レーダー観測の実施や現地調査の実施し、関東で発生した複数の竜巻事例について解析を行った。その結果、ボウエコーなど我が国で従来余り解析事例が少なかった現象について、知見が得られた。2012 年 5 月 6 日に発生した常総市～つくば市の竜巻では、水平距離 15km

程度の至近距離から、竜巻渦の位置において、竜巻の飛散物と考えられる特徴的な二重偏波情報を、国内で初めて検出することに成功した。

副課題２では、竜巻の渦モデルによる地上被害を予測する手法の開発、ポテンシャル予測のためのパラメータの開発を行った。また、レーダーのパルス毎の IQ（In-Phase/Quadrature -phase）信号などを新たな信号処理アルゴリズムで処理することにより、渦パターンなどの情報をより正確に測定できる可能性を示した。

GPS 視線遅延量を利用した水蒸気非一様性の度合いを示す指標を提案し、雷雨との関連を調査した結果、短時間強雨に先行あるいは同時に水蒸気非一様性の指標が増大していることを示した。

副課題３は、竜巻および雷を対象とした観測装置の開発・展開・稠密観測を行った。冬季竜巻に関連する多くの事例解析とシミュレーションから、竜巻を起こす可能性のある渦擾乱について、発達・上陸過程・発生環境場の新たな知見が得られた。特に発生と成長過程から、竜巻の監視に下層中心のレーダー高速スキャンが必要なことをデータで実証し、フェーズドアレイレーダーに代表される高速スキャンレーダーの必要性を示した。さらに竜巻の自動探知追跡アルゴリズムを開発し、国交省レーダー等による夏季竜巻・米国のトルネードに適用した。雷は雷活動度の３次元的挙動とモデル結果との比較等により、冬季雷放電の発生環境や探知手法・その他の顕著気象との関連性などが明らかになった。この知見は将来の雷予報や次期 LIDEN の利用法に活用されることが期待される。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　シビア現象に関する気象レーダー観測技術の高精度化に関する研究

①　気象レーダー観測の精度向上のための技術開発

ドップラー速度、強度データの品質低下をもたらす二次エコー（観測範囲外のエコーが、観測範囲に混入した誤データ）を、速度幅・反射強度の空間分布の特徴を利用して軽減するアルゴリズムを作成した。更に、SQI（Signal Quality Index）と SN 比を併用する品質管理手法を開発し、雷雲内部のデータ欠落をほぼ解消することに成功した。

偏波レーダーである気象研 C バンドレーダーや水管理・国土保全局（含旧河川局）X バンドマルチパラメータ（以下 MP-X と略）レーダー用に、二重偏波情報を用いた地形クラッタの検出・除去手法を開発し、ドップラー速度・反射強度の品質を改善することに成功した。

ドップラー速度の折り返し補正に関連し、速度変化が大きいために自動の折返し補正が困難であるシビア現象付近でのアルゴリズムの性能の改良に資するため、手動で比較的容易に補正するツールを作成した。

水管理･国土保全局（含旧河川局）による MP-X レーダーの試験運用が開始されたことを受け、同レーダーのデータの蓄積を行うシステムの構築、観測データについて気象研開発のツールで処理するためのソフトウェアを作成した。

②　シビア現象の監視・直前予測技術の開発・検証のための事例解析・統計解析

暖候季を中心に、関東地方で突風や大雨の発生が予想される場合に、固体素子二重偏波レーダーによる観測を実施した。夏季の突風事例について、気象庁と共同で現地調査を実施したほか、気象庁が現地調査等を実施したほとんどの竜巻等突風事例について、現地調査及びそのとりまとめへの技術支援を行った。さらに顕著なシビア現象についての事例解析を実施し、主に以下の知見を得た。

・2007 年 4 月 28 日、関東全域の突風・降雹・雷雨事例

現地調査、および計 4 台の C バンドレーダーなどを用いて詳細に解析した結果、被害をもたらしたのは、いわゆる bow echo(ボウエコー：反射強度分布が弓形をした準ライン状の降水システム)の中に埋め込まれたマイソサイクロンによることが判明した。

・2009 年 7 月 27 日に群馬県館林市で発生した竜巻事例

典型的なスーパーセルとは異なった環境場で発生したこと、親雲の構造も典型的なスーパーセルとは異なり、ガストフロントが竜巻の発生、維持に重要な役割を果たしていたことが示唆された。

・2009 年 10 月 8 日に土浦市で発生した竜巻事例

被害地上空に直径数 100m の竜巻渦とみられるドップラー速度パターンの存在は確認できたが、中層にはメソサイクロンがなく、親雲はスーパーセルではなかったことがわかった。鉛直シアが強すぎてスーパーセルに適さない環境場であった可能性が示唆された。

・2010 年 12 月 9 日に新潟県上越市で発生した竜巻事例
　気象庁新潟レーダーを用いて初期解析を行った。竜巻は小低気圧の前線に対応する活発なライン状エコーが通過した際に発生していたこと、エコー内には複数の水平スケール数 km、鉛直方向に 4-5km まで達する渦が観測されており、その 1 つが被害域上空を通過していたことが分かった。
・2012 年 5 月 6 日つくば市の竜巻事例
　親雲（スーパーセル）のデュアルドップラー解析を行い、RFD（Rear Flank Downdraft）と呼ばれる擾乱後面の下降流が竜巻の発生に先だって確認された。気象研究所 C バンド固体素子二重偏波レーダーによる解析を行った結果、竜巻渦の位置において、竜巻の飛散物と考えられる特徴的な二重偏波情報を、国内で初めて検出することに成功し、竜巻渦の移動速度が親雲より遅いこと、竜巻渦が進行方向に傾いていることも確認できた。

副課題２　シビア現象の監視・直前予測技術に関する研究

①　数分～15 分以内に発生する竜巻等突風や落雷を監視・直前予測する技術・システムの改良及び新たな開発

・メソサイクロン検出アルゴリズムについて、竜巻やその親雲の反射強度の特有のパターン（円弧や螺旋状のパターンなど）を検出、追跡するためのアルゴリズムの概念設計を行った。
・竜巻渦内の速度場として剛体渦モデルを仮定し、前研究計画で開発した竜巻の風速・直径の推定手法を応用して、竜巻渦内速度分布、竜巻渦の通過に伴う風向・風速の変化、強風の継続時間、及び飛散物の飛散方向の度数分布を推定する方法を開発した。比較的顕著な竜巻８事例の現地調査結果とレーダー及び地上観測データを使用し、推定結果と比較し、４事例で F スケールが一致、４事例で被害幅が一致する結果となり、F スケールや被害幅が一致しない事例でも近い値を示した。飛散方向の推定度数分布は、現地調査で得られた度数分布と似た形状になることも確認した。
・我が国の竜巻では、冬季の竜巻を含め、渦は比較的小規模であることから、レーダービーム分解能程度のスケールの竜巻等の渦がドップラー速度場中でどのような観測特性を持つかについて検討を行った。ビーム幅や方位方向のサンプリング、ドップラー速度算出方法の影響をシンプルなシミュレーションを用いて検討した結果、ドップラー速度の算出に、従来用いられている平均法（スペクトラムの平均値）よりも、ドップラースペクトルの最頻値を用いる(モード法)ほうが、渦の最大接線速度の推定精度が良いことが明らかになった。ただし、渦の直径の推定では平均法による推定値は過大評価、モード法の場合は過小評価となる傾向であるが、優劣は特にはなかった。
・上記の検討により、小規模な渦に対しては、ドップラー速度の算出方式自身の再検討が必要と判ったため、スペクトラム算出前のデータである IQ 信号を直接用いて、竜巻やメソサイクロン等の渦を検出する新たなアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムは、レーダービームが遠方で広がることによる検出性能低下やドップラー速度の折り返し補正の失敗などに起因する問題点の軽減を目的として開発した。疑似データを用いて評価し、従来手法より、計算精度が向上すること、特に小規模の渦パターンに対して効果が高いこと、折り返し補正といった前処理が不要なことを確認した。

②　１時間以内に発生する短時間強雨を監視・直前予測する技術の開発

・日本を含む世界各国の竜巻強度分布が速度の二乗を変数とする指数分布になる理由を説明しうる、統計力学的な物理モデルを作成した。この物理モデルを用いると、ラジオゾンデや数値モデル出力データから、竜巻の強度分布（F スケールなど）を推定することができるため、予測パラメータの１つとして利用できる可能性がある。気候学的竜巻強度分布を用いた検証を行ったところ、日本の竜巻強度分布は極めて良く再現されたが、米国の分布では、分布の傾きが実際よりも小さかった。また、１つの気象擾乱の下で数十～百個程度の竜巻が発生した米国での事例を抽出し、竜巻発生地近傍のラジオゾンデのデータを使って竜巻強度分布を計算した結果、両者はよく一致した。
・シビア現象を発生させる孤立積乱雲のタイプや特性の判別等に利用するため、積乱雲中の最大鉛直速度を推定する物理モデルを作成した。この物理モデルを用いると、個々の積乱雲の最大鉛直速度の分布も竜巻の速度分布と同様な分布を示し、その平均値及び最頻値は、それぞれパーセル法による計算値の約 70%、58%になることが示唆された。この値は、鉛直速度とバルク

リチャードソン数との関係を示した Weisman and Klemp（1982, 1984）による数値実験の結果とほぼ一致する。
・運動学的な予測手法のために必要なノイズフィルタリングのために、ウェーブレット変換を用いる手法を開発した。また、ウェーブレット変換はノイズフィルタリングだけではなく、セルトラックアルゴリズム等への利用も期待できることを示した。
・GPS から水蒸気の非一様性の度合いを推定する指標を開発し、2012 年に発生した竜巻等顕著現象との関連を調査した。その結果、発達した積乱雲の近傍で WVI インデックスは増大することが確認できた。GPS 観測網の空間密度（日本全体の平均で 17km 程度）により、限界はあるが、レーダー観測に依存する竜巻等突風探知に GPS 観測網が、新たな情報を付加できる可能性を示している。
・TOA 方式の雷標定装置の標定アルゴリズムの開発を行った。

副課題３　局地的シビア現象を対象とした高精度センシング技術に関する研究
①　竜巻等突風
・冬季日本海沿岸に突風をもたらす渦状の降水システムを対象にその通過前後の高層ゾンデ観測を最高頻度 30 分間隔で行ない、シミュレーション結果とも合わせ、突風は水平シア不安定により形成される渦によるもたらされることが示唆された。突風のメカニズム解明につながるほか、発生予測や現業 NHM モデルの問題点を考察する基礎資料となる。
・山形県庄内空港近傍の海岸線長さ 1km にわたり、13 台の風速計および 25 台の気圧計を超高密度(100m 以下)で直線上に配置し、同期計測する多点型地上観測システムを開発した。突風をもたらす渦の内部コアの詳細様相を世界で初めてとらえることに成功した。得られた地上風と気圧の分布から、渦は理想的なランキン渦の様相を示すことが分かった。レーダーで見る上空の渦パターンを捉える竜巻注意情報の問題点および、冬季日本海でウインドシアをもたらす原因となる風を考察する基礎資料となる。
・突風をもたらす可能性のある渦の日本海からの上陸前後の変化をドップラーレーダーを用いて多数調べ、上陸前後の渦の回転や傾きの様相を明らかにした。高速スキャンレーダーで渦を探知し追跡する際の問題点を考察する基礎資料となる。
・冬季日本海沿岸に突風をもたらした降水システムについて、数値シミュレーションで再現し詳細な構造と形成機構について明らかにするとともに、エネルギー収支解析を行い、発生要因の考察を行った。フェーズドアレイレーダー等の高速スキャンレーダーで渦を探知し追跡する際の基礎資料となる。
・水管理・国土保全レーダーや米国オクラホマ州にある CASA レーダーにより観測された、竜巻やトルネードのデータを用いた竜巻探知実験を行った。さまざまなレーダーによる竜巻探知のための基礎的技術となる。
②　冬季雷
・交開方式の雷放電装置を開発し庄内平野 5 か所に設置した。このことにより、雷放電の精密な３次元標定が可能となった。さらに同領域に５ヵ所に設置した電界計により、雷放電を起こす大気電場の観測が可能となった。
・庄内平野で観測された雷放電の放電点の鉛直分布と-10℃高度との関連性について解析を行った結果、放電点ピークは MANAL から算出された-10℃高度と一致している。これは-10℃層周辺において多数の電荷の存在を示唆する結果であり、積乱雲の発雷には、-10℃高度での電荷分離、蓄積過程が重要であることを示しているものと考えられる。本研究の結果は、従来の冬季雷の電荷生成機構と整合的であり、雷放電を発生させる環境場の知見の獲得が期待される。
・非スーパーセルタイプの渦をもつ降水システムにおいて、降水コアや渦に向かって進展する雷放電の 3 次元的様相を複数事例で捉えることに成功した。雷放電と渦の発生環境場の強い類似性が示唆される結果であり、竜巻の直前予測に対する雷放電の利用の糸口を位置づけられる。
・次期 LIDEN との連携を念頭に TOA 方式の雷標定装置を開発した。さらに当該方式の雷標定装置のためのネットワーク標定を念頭にした標定アルゴリズムの開発を行った。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

副課題１　レーダーによる雨量解析アルゴリズム開発

当初、雨がレーダー観測高度（約 2km）から地表まで落下する間に風に乗って水平方向に移動す

ることによる誤差の対処目的で計画した。しかし降雨減衰や粒径分布の多様性によってもたらされる雨量解析誤差を二重偏波情報で軽減する研究が優先と判断し、「次世代リモートセンシングに関する研究」にて偏波情報の活用に関連しそれら研究を推進した。

副課題１，２

国土地理院や科学技術戦略推進費「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」の GPS 観測網を利用した顕著現象予測のための指標開発を研究項目に加え、2012 年及び 2013 年に発生した竜巻事例での評価を行った。

副課題３　局地的シビア現象を対象とした高精度センシング技術に関する研究

平成 23 年度に開発・整備した可搬型ＶＨＦ雷センサーを都内 2 箇所への設置し、首都圏で夏季雷観測を実施している。さらに TOA 方式の雷標定装置の策定と標定アルゴリズムの開発を行っている。得られる事例数の少ない竜巻について、その高精度・早期探知技術の開発のため、水管理・国土保全レーダーや米国オクラホマ州にある CASA レーダーなど、様々なレーダーにより観測された竜巻やトルネードのデータを用い探知実験をしている。

成果の他の研究への波及状況

副課題１　シビア現象に関する気象レーダーの観測技術の高精度化に関する研究

①　科学技術・学術政策推進費「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」（H22-26 年度）

本研究で得られたシビア現象を捉えるための高密度観測網のノウハウをもとに、首都圏に 12 箇所のサイトからなる地上気象観測網を立ち上げ、観測を開始するなど、本研究課題で得られた知見が研究計画に活かされた。

副課題２　シビア現象の監視・直前予測技術に関する研究

①　科学技術・学術政策推進費「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」（H22-26 年度）

本研究で得られたシビア現象を捉えるための高密度観測網のノウハウをもとに、首都圏に 12 箇所のサイトからなる地上気象観測網を立ち上げ、観測を開始するなど、本研究課題で得られた知見が研究計画に活かされた。

副課題３　局地的シビア現象を対象とした高精度センシング技術に関する研究

①　大阪大学との共同研究「局地的シビア現象のための将来型センシング技術および探知・予測に関する研究」（H21-25 年度）

庄内平野での観測・解析で得られた知見を元に、庄内空港近傍で Ku バンドレーダーおよびドップラーライダーによる乱気流の観測が行なわれている。さらに当該経常研究で得られた、局地的大雨・竜巻等突風の探知・直前予測のためには高速スキャンレーダーが重要であるという当該経常研究の結論から、大阪平野で運用されているフェーズドアレイレーダーに関する情報共有および観測データ提供を受けている。

②　電気通信大学との共同研究「首都圏にシビア現象をもたらす孤立積乱雲の電気的特性に関する研究」（H23-25 年度）

③　東京学芸大学との共同研究「積乱雲の発生・発達と雷電荷チャージに関する研究」（H24-25 年度）

雷観測の成果を元に、可搬型ＶＨＦ雷センサーを開発し、首都圏で雷観測を実施している。

④　科学技術・学術政策推進費「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」（H22-26 年度）

シビア現象を捉える高密度観測網のノウハウをもとに、首都圏に 12 箇所のサイトからなる地上気象観測網を立ち上げ、観測を行っている。

⑤　情報通信研究機構との共同研究「フェーズドアレイ気象レーダーによる顕著現象の探知に関する基礎研究」（H25-27 年度）

局地的大雨・竜巻等突風の探知・直前予測のためには高速スキャンレーダーが重要であるという当該経常研究の結論から、フェーズドアレイレーダーの実利用を念頭にした共同研究を立ち上げている。

⑥　次期経常研究計画「シビア現象の監視及び危険度診断技術の高度化に関する研究」（H26-30 年

度)

副課題３で得られた基礎的基盤的知見・技術は、最先端の観測機器を用いたシビア現象の微細構造の高分解能観測とメカニズム解明を目的とする次期研究計画に引き継がれることとなる。

今後の課題

副課題１　シビア現象に関する気象レーダー観測技術の高精度化に関する研究

降水強度推定手法の開発については従来型レーダーを念頭においていたが、偏波レーダーについても水管理・国土保全局 MP-X レーダーとして展開され、偏波情報の実利用の可能性が高まっている（注1）ことから、偏波レーダーによる降水強度推定手法高度化について今後も研究する必要がある。

また、研究計画策定時、気象研究所固体化レーダーは固体素子化に伴うパルス圧縮方式の採用によるレンジサイドローブのノイズが多いうえに偏波データの品質も悪く、現業的な偏波レーダーの導入計画も無かった。しかし、基礎的基盤的研究「次世代リモートセンシング技術に関する研究」において、気象研レーダーのレンジサイドローブ対策に目処がついた。さらに、総務省における狭帯域化に向けた技術検討により、数年後の固体素子レーダーの導入が現業的に避けられない見通しとなった。そのため、「次世代リモートセンシング技術に関する研究」において実施している固体素子レーダー及び偏波レーダーの実用化研究の成果を活用し、実用化の検討を進める必要がある。

注１．国のグリーンイノベーションに関連して、平成 22 年度から国土交通省として重点的に進めるべき「気候変動に対応したゲリラ豪雨（局地的大雨）対策」を構成する研究に位置づけられ、水管理・国土保全局（含旧河川局）MP-X レーダーのデータを利用した直前予測技術の開発を実施した。

副課題２　シビア現象の監視・直前予測技術に関する研究

・竜巻等突風事例に関して、これまで蓄積されたレーダー観測データの解析を推進し、発生機構の解明に引き続き取り組む必要がある。
・高頻度観測レーダーに加え，気象衛星のラピッドスキャン、ドップラーライダーによる風の場、水蒸気ライダーによる水蒸気の鉛直プロファイル、GPS による水蒸気変動、雷観測など複数の観測手法を統合した現象の解明と直前予測技術を構築する必要がある。
・GPS 水蒸気情報の顕著現象監視への利用については、解析事例の蓄積とともに統計的・定量的な解析を進める必要がある。また、将来の現業利用を想定した場合、GPS 解析時間の短縮を図る必要がある。

副課題３　局地的シビア現象を対象とした高精度センシング技術に関する研究

・竜巻注意情報の検証を行うためには、共同研究で実施している突風探知の補足率や適中率を評価することが重要である。そのためには、観測されたデータを解析し、レーダーパターンと地上突風との関係を精査する必要がある。
・首都圏で実施している可搬型ＶＨＦ雷センサーによる雷観測において、局地的大雨など極端現象との関係などを解明するためには、科学技術・学術政策推進費「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」の成果の活用が必要である。
・高速スキャンレーダーによる局地的大雨・竜巻等突風の探知・直前予測の研究推進のためには、フェーズドアレイレーダーの無線技術・信号処理技術の開発を行っている研究機関との積極的な連携が必要である。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（台風・集中豪雨分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、475 ページを参照。

研究成果一覧

査読論文　：10 件

1. Inoue, H. Y., K. Kusunoki, W. Kato, H. Suzuki, T. Imai, T. Takemi, K. Bessho,M. Nakazato, S. Hoshino, W. Mashiko, S. Hayashi, T. Fukuhara, T. Shibata, H. Yamauchi, and O. Suzuki, 2011: Doppler radar study on the low-level misocyclones associated with

tornado within the winter storm on the Japan Sea coastal region. Mon. Wea. Rev., 139, 351-369.
2. Kato, R., K. Kusunoki, H. Y. Inoue, K. Arai, M. Nishihashi, C. Fujiwara, K. Shimose, W. Mashiko, E. Sato, S. Saito, S. Hayashi, and H. Suzuki, 2014: Changes in intensity and tilt of misovortices during landfall in Japan Sea coastal region. Mon. Wea. Rev., (submitted).
3. Kusunoki, K., 2011: Assessment of the Doppler Radar for Airport Weather (DRAW) system in Japan as a research tool for studying typhoon. IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, 131, No. 9, 711-715.
4. Mashiko, W., H. Y. Inoue, S. Hayashi, K. Kusunoki, S. Hoshino, K. Arai, K. Shimose, M. Kusume, M. Nishihashi, H. Yamauchi, O. Suzuki, and H. Morishima, 2012 : Structure of two adjacent shear lines accompanied by wind gusts in the Japan Sea coastal region during a cold-air outbreak on December 2010. SOLA, 8, 90-93.
5. Nishihashi, M., K. Shimose, K. Kusunoki, S. Hayashi, K. Arai, H. Y. Inoue, W. Mashiko, M. Kusume, and H. Morishima, 2013: Three-Dimensional VHF lightning mapping system for winter thunderstorms. J. Atmos. Oceanic Technol., 30, 325-335.
6. Sato, K., E. Realini, T. Tsuda, M. Oigawa, Y. Iwaki, Y. Shoji, and H. Seko, 2013: A High-Resolution, Precipitable Water Vapor Monitoring System Using a Dense Network of GNSS Receivers, Journal of Disaster Research, 8, 37-47.
7. Suzuki, T., M. Hayakawa, Y. Hobara, and K. Kusunoki, 2012 : First detection of summer blue jets and starters over Northern Kanto area of Japan: Lightning activity. J. Geophys. Res., 117, A07307, doi:10.1029/2011JA017366.
8. Torii, T., T. Sugita, M. Kamogawa, Y. Watanabe, and K. Kusunoki, 2011 : Migrating Source of Energetic Radiation Generated by Thunderstorm Activity. Geophys. Res. Lett., doi:10.1029/2011GL049731, 38.
9. 高谷美正, 鈴木修, 山内洋, 中里真久, 猪上華子, 2011: 2007 年 4 月 28 日に東京湾岸地帯に突風をもたらしたボウエコー, 天気, 58, 1037-1054.
10. 高谷美正, 鈴木修, 山内洋, 中里真久, 猪上華子, 2013: 論文「2007 年 4 月 28 日に東京湾岸地帯に突風をもたらしたボウエコー」の訂正について, 天気, 60, 445-447.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）: 17 件

1. Shoji, Y., 2013: North Kanto Tornadoes in Japan on May 6, 2012, Workshop on Tornado Disaster Risk Reduction in Bangladesh, 87-105.
2. Suzuki, O., 2009: Early Warning System for Tornado and other hazardous winds in Japan, Proceedings of International Forum on Tornado Disaster Risk Reduction for Bangladesh, 85-91.
3. 加藤輝之, 山内洋, 2013:竜巻の解析とメカニズム、 平成 24 年度予報技術研修テキスト、81-87.
4. 楠研一,2010:基礎的研究最前線「小型ドップラー気象レーダーによる鉄道安全運行のための突風探知システムの基礎的研究」, 鉄道・運輸機構だより 2010WINTER 号, 28
5. 楠研一, 猪上華子, 益子渉, 林修吾, 山内洋, 加藤亘, 荒木啓司, 別所康太郎, 星野俊介, 中里真久, 今井俊昭, 保野聡裕, 竹見哲也, 福原隆彰, 柴田徹,2010:小型ドップラー気象レーダーによる鉄道安全運行のための突風探知システムの基礎的研究.」台風災害の歴史と教訓に関する研究集会報告書, 20K-09, 34-38.
6. 楠研一,2010:研究会報告「第 31 回メソ気象研究会の報告-突風-」 . 天気, 57, 171-178.
7. 楠研一,2010:突風－その理解と災害低減に向けた取組み 日本鉄道施設協会誌, 48, 14-16.
8. 楠研一,2010:鉄道における突風災害防止のためのセンシング・予測技術 交通新聞 19145, 2.
9. 楠研一, 2011:「風を知り風と付き合う－耐風設計入門－」1.4 いろいろな風 .テクニカルレポート 94 日本鋼構造協会

10. 楠研一, 2013：空港気象ドップラーレーダー領域を台風中心部が通過する統計調査の有効性. 電気学会技術報告「自然災害軽減のための早期警戒システムと電磁界技術 第二章 降雨災害軽減のための早期警戒システムと電磁界技術」(印刷中).
11. 小司禎教, 2013：竜巻の観測-メカニズム解明に向けて-、日本気象学会関西支部第 35 回夏季大学テキスト、20-39.
12. 鈴木修, 2009、風のリモートセンシング技術　ドップラーレーダー、日本風工学会誌、特集　風観測技術、日本風工学会、329-332（解説）
13. 鈴木修, 小林文明, 2010：2009 年台風 18 号の気象学的特徴 (特集 2009 年台風 18 号(Melor)による被害)、日本風工学会誌 、35(3), 192-196.（解説）
14. 鈴木修, 中里真久, 益子渉, 山内洋, 林修吾, 猪上華子, 楠目雅子, 2010:庄内突風観測プロジェクトにおける冬季雷観測　―発雷時の雷雲の特徴―、日本大気電気学会第 81 回研究発表会誌、77、86-87.
15. 鈴木智幸, 楠研一（編著）, 2012：気象災害軽減－現状レビュー：最近の気象観測器材開発傾向と災害監視のための新しい取り組み. 電気学会技術報告「自然災害の予測と監視のための電磁界技術」, 1248, 33-34.
16. 長町信吾, 源泰拓, 西橋政, 楠研一, 足立啓二, 2011:庄内平野での大気電気観測とそれに関連する平面校正の報告.日本大気電気学会誌 78, 67-68.
17. 西村宏明, 丸山敬, 鈴木修, 2009: 突風によるイベント用大型テントの被害について、日本風工学会誌、119、141-142（報告）

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：11 件

1. Inoue, H Y., O. Suzuki, H. Yamauchi, T. Kato, M. Nakazato, W. Mashiko, M. Iwane, 2009: Environmental atmospheric conditions and characteristic features of the parent storm of Tatebayashi tornado, observed north of Tokyo, Japan on 27 July 2009, Proc. of ICMCS-VII, 381-386.
2. Mashiko, W., H. Y. Inoue, S. Hayashi, K. Kusunoki, S. Hoshino, K. Arai, K. Shimose, M. Kusume, M. Nishihashi, H. Yamauchi, O. Suzuki, and H. Morishima, 2013: Structure and Formation Mechanisms of Two Adjacent Shear Lines Accompanied by Wind Gusts in the Japan Sea Coastal Region during a Cold-Air Outbreak. Preprints, Seventh European Conference on Severe Storms, Helsinki, Finland, 172.
3. Nishihashi, M., K. Shimose, K. Kusunoki, S. Hayashi, K. Arai, H. Y. Inoue, S. Saito, E. Sato, W. Mashiko, M. Kusume, H. Suzuki, 2013: Three-Dimensional Distribution of VHF Lightning Radiation Sources in Winter Thunderstorms. Preprints, 93rd AMS Annual Meeting 6th Conference on the Meteorological Applications of Lightning Data.
4. Nishihashi, M., K. Shimose, K. Kusunoki, S. Hayashi, C. Fujiwara, K. Arai, H. Inoue, S. Saito, E. Sato, W. Mashiko, and H. Suzuki, 2013: Three-Dimensional Characteristics of VHF Lightning Radiation Sources in Winter Thunderstorms. Preprints, Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly 2013 (DACA-13).
5. Nishihashi, M., K. Shimose, K. Kusunoki, S. Hayashi, K. Bessho, S. Hoshino, K. Arai, Y. Hono, K. Adachi, W. Kato, O. Suzuki, M. Nakazato, W. Mashiko, H. Yamauchi, H. Inoue, M. Kusume 2011:"Characteristics of Winter Thunderclouds Observed in the Shonai Area Railroad Weather Project. Preprints, 3rd International Symposium on Winter Lightning (ISWL 2011), 3, 139-142.
6. Nishihashi, M., K. Shimose, K. Kusunoki, S. Hayashi, K. Bessho, S. Hoshino, K. Arai, Y. Hono, K. Adachi, W. Kato, O. Suzuki, M. Nakazato, W. Mashiko, H. Yamauchi, H. Inoue, M. Kusume2011:Observation of winter lightning in the Shonai area railroad weather project: preliminary results. Preprints, Fifth Conference on the Meteorological Applications of Lightning Data, Seattle, Washington, USA, 687.

7. Nishihashi, M., K. Shimose, K. Kusunoki, S. Hayashi, K. Bessho, S. Hoshino, K. Arai, Y. Hono, K. Adachi, W. Kato, O. Suzuki, M. Nakazato, W. Mashiko, H. Yamauchi, H. Inoue, M. Kusume 2011: Winter Lightning Observation in the Shonai Area Railroad Weather Project: Characteristics of Winter Thunderclouds. Preprints, XIV International Conference on Atmospheric Electricity (ICAE2011), Rio de Janeiro, Brazil, 14, 125.
8. Sato, E., H. Yamauchi, W. Mashiko, Y. Shoji and O. Suzuki, 2012: Multiple Doppler analysis of the Tsukuba tornado on May 6, 2012- A supercell tornado in convergence line. Preprints, 26th Conference on Severe Local Storms, Nashville, Tennessee, 112.
9. Shoji, Y., 2013: North Kanto Tornadoes in Japan on May 6, 2012, Workshop on Tornado Disaster Risk Reduction in Bangladesh, 15 January 2013.
10. Suzuki O., H. Yamauchi, M. Nakazato, H. Inoue, K. Kobayashi, H. Murai, Y. Hanamiya , H. Miyagi, 2009, Statistics on tornado and other hazardous winds in Japan, 5th European Conference on Severe Storms.
11. Suzuki, O. 2009, Early Warning System for Tornado and other hazardous winds in Japan, International Forum on Tornado Disaster Risk Reduction for Bangladesh -To Cope with Neglected Severe Disasters..

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：61 件

1. 新井健一郎, 楠研一, 鈴木修, 猪上華子, 林修吾, 別所康太郎, 星野俊介, 保野聡裕, 足立啓二, 加藤亘, 今井俊昭, 荒木啓司, 竹見哲也, 中里真久, 益子渉, 山内洋, 2010: 小型ドップラー気象レーダーを用いた突風探知システムのプロトタイプの開発－ 複数の渦が同時に存在する事例のテスト－. 2010 年度日本気象学会春季大会予稿集 A409
2. 新井健一郎 ほか, 2010: 小型ドップラー気象レーダーを用いた突風探知システムのプロトタイプの開発 － 地上突風事例における渦パラメータ特性の把握 －. 2010 年度日本気象学会秋季大会予稿集 D215
3. 新井健一郎 ほか, 2011: 庄内平野において小型ドップラーレーダーデータから自動検 された下層の渦の特徴. 2011 年度日本気象学会春季大会予稿集 A306
4. 新井健一郎 ほか, 2012: 2011 年 12 月 22 日庄内平野に突風をもたらした複数の渦の構造. 日本気象学会 2012 春季大会 B203.
5. 新井健一郎 ほか, 2012: 2011 年 12 月 22 日の庄内空港突風事例における渦の構造. 日本気象学会 2012 年度秋季大会予稿集 A108.
6. 猪上華子, 鈴木修, 山内洋, 中里真久, 益子渉, 2009: 2009 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生した竜巻の親雲と環境場の特徴, 日本気象学会 2009 年度秋季大会予稿集, B352.
7. 猪上華子, 楠研一, 益子渉, 林修吾, 山内洋, 加藤亘, 荒木啓司, 別所康太郎, 星野俊介, 中里真久, 鈴木修, 今井俊昭, 保野聡裕, 竹見哲也, 福原隆彰, 柴田徹, 2010:庄内平野で観測された突風をもたらす気象擾乱. 第８回降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究ワークショップ.
8. 猪上華子 ほか, 2010:庄内平野で観測されたマイクロスケールの渦の立体構造と発達過程. 2010 年度日本気象学会秋季大会予稿集 D214
9. 猪上華子 ほか, 2011:冬季突風をもたらす気象擾乱の環境場把握に向けた高頻度ゾンデ観測概要. 2011 年度日本気象学会春季大会予稿集 A304
10. 猪上華子 ほか, 2011:2009 年 1 月 23 日に庄内平野に突風をもたらした気象擾乱(序報). 2011 年度日本気象学会秋季大会予稿集 C157
11. 片倉翔, 鳥居建夫, 杉田武志, 楠研一, 保田浩志, 御園生諒, 鴨川仁, 2013: 夏期の雷雲に関連する高エネルギー放射線の発生位置同定.日本大気電気学会誌, 82, 42-43.
12. 加藤亮平 ほか, 2012: 庄内平野で観測された下層渦の上陸時の変質. 日本気象学会 2012 年度秋季大会予稿集 A109.
13. 加藤亮平, 楠研一, 新井健一郎, 西橋政秀, 下瀬健一, 益子渉, 佐藤英一, 斉藤貞夫, 猪上華子,

別所康太郎, 星野俊介, 鈴木博人,2013: 庄内平野で観測された渦の上陸時の変質-渦の傾き増加のメカニズム-. 日本気象学会 2013 年度春季大会 A156
14. 楠研一, 新井健一郎, 下瀬健一, 益子渉, 別所康太郎, 猪上華子, 林修吾, 星野俊介, 西橋政秀, 保野聡裕, 足立啓二,今井俊昭, 荒木啓司,鈴木修,中里真久, 山内洋, 竹見哲也 2010. 小型ドップラー気象レーダーを用いた突風探知システムの開発へ向けてー探知手法開発における問題点と今後の取り組みー. 2010 年度日本気象学会春季大会予稿集 A405
15. 楠研一, 猪上華子, 別所康太郎, 星野俊介,林修吾, 保野聡裕, 今井俊昭, 足立啓二, 鈴木博人, 加藤亘, 竹見哲也, 中里真久, 益子渉, 山内洋, 福原隆彰, 荒木啓司, 柴田徹 2010:庄内平野に直進性の突風をもたらした気象じょう乱. 2010年度日本気象学会春季大会予稿集 A406
16. 楠研一 ほか, 2010: 庄内平野で観測された突風と気象じょう乱ー2009～10 年冬季ー. 2010 年度日本気象学会秋季大会予稿集 D212
17. 楠研一 ほか, 2010: 2009 年 12 月 12 日に庄内平野に突風をもたらした気象じょう乱. 2010 年度日本気象学会秋季大会予稿集 D213
18. 楠研一 ほか, 2011: 庄内平野で観測された突風と気象じょう乱ー渦および渦内部の地上風についてー. 2011 年度日本気象学会春季大会予稿集 A303
19. 楠研一 ほか, 2011: 渦列をもつ降水帯周辺の高頻度高層ゾンデ観測ー2010 年 12 月 7 日の事例ー. 2011 年度日本気象学会春季大会予稿集 A305
20. 楠研一 ほか, 2011: 竜巻等突風のための多点型地上観測システムの開発. 2011 年度日本気象学会秋季大会予稿集 C156
21. 楠研一 ほか, 2012: 竜巻等突風のための多点型地上観測システムー初期結果ー. 日本気象学会 2012 春季大会 B202.
22. 楠研一 ほか, 2012: 多点型地上観測システムによる下層渦の地上直接観測 -202 年冬季-. 日本気象学会 2012 年度秋季大会予稿集 A107.
23. 斉藤貞夫 ほか, 2012: 孤立積乱雲発達時における地上降水の高密度観測. 日本気象学会 2012 年度秋季大会予稿集 A114.
24. 齋藤潤, 林修吾, 西橋政秀, 大泉三津夫, 楠研一, 鈴木博人, 2013: 山形県庄内平野の地上電界観測網を用いた発雷予測のための積乱雲の電気的特性の解析. 日本気象学会 2013 年度春季大会 P114
25. 佐々浩司, 宮井星児（高知大学), 林正典, 田中利秀(高松地台), 鈴木修、2009 : 2008 年 9 月に多度津・丸亀で発生した突風災害、第 55 回風に関するシンポジウム.
26. 佐藤英一 ほか,2011: 2010 年 1 月 13 日に庄内平野を通過した渦状擾乱の構造. 2011 年度日本気象学会秋季大会予稿集 C158
27. 佐藤英一 ほか, 2012: 2010 年 1 月 13 日に庄内平野を通過した渦状擾乱の構造（第 2 報）. 日本気象学会 2012 春季大会 B204.
28. 佐藤英一 ほか, 2012 : 高頻度・高解像度レーダー用セル認識手法の開発 I （ノイズフィルタリング）, 日本気象学会 2012 年度春季大会 B412.
29. 佐藤英一 ほか, 2012 : 2012 年 5 月 6 日関東地方の環境場及び竜巻を発生させた擾乱の構造について, 日本気象学会 2012 年度秋季大会 A101
30. 下瀬健一, 林修吾, 益子渉, 楠研一, 別所康太郎, 星野俊介, 荒木啓司, 猪上華子,中里真久, 保野聡裕, 今井俊昭, 足立啓二, 山内洋,竹見哲也 2010: 2008 年月日庄内平野に突風をもたらした気象じょう乱ー高解像度シミュレーションー. 2010 年度日本気象学会春季大会予稿集 A407
31. 下瀬健一 ほか, 2010: 庄内平野に突風をもたらしたじょう乱の数値シミュレーション ー2009 年 12 月 12 日の事例解析ー. 2010 年度日本気象学会秋季大会予稿集 D214
32. 下瀬健一 ほか, 2011: 庄内平野に突風をもたらした気象じょう乱の数値シミュレーション ー降水システムの時間発展の解析ー. 2011 年度日本気象学会秋季大会予稿集 C160
33. 小司禎教, 2012:国土地理院の GPS 観測網を用いた水蒸気非一様性の解析, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会 AAS24-P05

34. 小司禎教，2012:GNSS 観測を用いた東京湾周辺夏季の水蒸気変動解析，日本気象学会 2012 年度春季大会，2012 年 5 月 26 日
35. 小司禎教, 2012:2012 年 5 月 6 日のつくば市周辺 GPS の解析，日本気象学会 2012 年度秋季大会 P127.
36. 小司禎教，2013:GPS を用いた水蒸気の非一様性解析,及び対流性降水との関係，日本地球惑星科学連合 2013 年大会 AAS23-08.
37. 小司禎教, 山内洋, 佐藤英一, 2013: GPS/GNSS による水蒸気非一様性の指標と突風や短時間強雨との統計的関係,日本気象学会 2013 年度春季大会 P209.
38. 鈴木修，山内洋，中里真久，猪上華子，小林健二，村井博一，花宮義和，宮城仁史，2009: 2007,2008 年の竜巻等突風の発生の特徴徴－気象庁データベースを用いた速報解析－、日本気象学会 2009 年度春季大会 B207.
39. 鈴木智幸, 楠研一, 早川正士, 芳原容英,2013: ブルージェットの発生と親雷雲の放電特性, 2013. 日本気象学会 2013 年度春季大会 P214
40. 中里真久, 鈴木修, 楠研一, 山内洋, 猪上華子, 2009: 竜巻予測パラメータ TVP を用いた竜巻渦内風ベクトル及び被害分布の推定、日本気象学会 2009 年度秋季大会 B353.
41. 中里真久, 鈴木修, 楠研一, 山内洋, 猪上華子, 高谷美正, 2010：統計力学に基づく竜巻強度分布の推定. 日本気象学会 2010 年度春季大会 A401.
42. 中里真久, 鈴木修, 楠研一, 猪上華子, 2010：孤立積乱雲の強度分布と最大鉛直速度. 日本気象学会 2010 年度秋季大会 C363.
43. 長町信吾, 源泰拓, 西橋政秀, 楠研一, 足立啓二 2011:庄内平野での大気電気観測とそれに関連する平面校正の報告. 日本地球惑星科学連合, MIS026-10.
44. 西橋政秀, 下瀬健一, 楠研一, 別所康太郎, 星野俊介, 新井健一郎, 保野聡裕, 足立啓二, 加藤亘, 鈴木修, 中里真久, 益子渉, 山内洋, 林修吾, 猪上華子, 楠目雅子 2010:庄内突風観測プロジェクトによる冬季雷観測 －初期観測結果－. 2010 年度日本気象学会春季大会予稿集 A408
45. 西橋政秀 ほか, 2010: 庄内突風観測プロジェクトによる冬季雷観測 －雷放電を伴う積乱雲の特徴－. 2010 年度日本気象学会秋季大会予稿集 D216
46. 西橋政秀, 下瀬健一, 楠研一, 林修吾, 別所康太郎, 星野俊介, 新井健一郎, 保野聡裕, 足立啓二, 加藤亘, 鈴木修, 中里真久, 益子渉, 山内洋, 猪上華子, 楠目雅子 2011:庄内平野で観測された冬季雷雲の特徴. 講演 Abstract 集, ワークショップ『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究(第 9 回)』, 長岡, 新潟, 9, 8-9.
47. 西橋政秀 ほか, 2011: 庄内平野で観測された冬季雷の 3 次元標定. 2011 年度日本気象学会春季大会予稿集 A307
48. Nishihashi, M., K. Shimose, K. Kusunoki, S. Hayashi, K. Arai, H. Inoue, W. Mashiko, O. Suzuki, K. Adachi, K. Bessho, S. Hoshino, M. Nakazato, H. Yamauchi, Y. Hono, W. Kato, and M. Kusume, 2011: 3D mapping of winter lightning discharges observed in the Shonai area. 日本地球惑星科学連合, AEM002-P07.
49. 西橋政秀 ほか, 2011: 庄内平野における冬季雷と渦の関連性 －2010 年 11 月 30 日の事例解析－. 2011 年度日本気象学会秋季大会予稿集 C161
50. 西橋政秀 ほか, 2012: 冬季雷の放電点の鉛直分布と-10℃層高度の関連性. 日本気象学会 2012 春季大会 B205.
51. 西橋政秀ほか, 2012: 庄内平野で観測された冬季雷の放電点の鉛直分布と-10℃高度の関連性. 日本大気電気学会誌, 81, 48-49.
52. 西橋政秀, 林修吾, 楠研一, 斉藤貞夫, 鈴木博人, 2013: ソフトウェア無線技術を用いた雷放電位置標定装置の開発. 日本気象学会 2013 年度春季大会 P115
53. 益子渉 ほか, 2011: 2010 年 12 月 12 日庄内平野に突風をもたらしたシアラインの構造と形成機構. 2011 年度日本気象学会秋季大会予稿集 C159
54. 宮崎忠臣, 道本光一郎, 鈴木智幸, 楠研一, 早川正士, 木村順一, 早川信一, 2012: 2012 年 7 月 28 日の雷観測事例について.日本大気電気学会誌, 81, 65-66.

55. 宮崎忠臣, 道本光一郎, 鈴木智幸, 楠研一, 早川正士, 木村順一, 早川信一, 2013: 雷放電時の電界変化について.日本大気電気学会誌, 82, 116-117.
56. 山内洋, 鈴木修, 猪上華子, 和田将一, 堀込淳一, 2009: 気象研究所 C バンド固体素子二重偏波ドップラーレーダー, 日本気象学会, 日本気象学会 2009 年度春季大会 D102.
57. 山内洋, 鈴木修, 中里真久, 猪上華子, 益子渉, 星野俊介, 小林隆久, 足立アホロ, 2010 : 2009 年 10 月 8 日に土浦市で発生した竜巻の親雲の特徴. 日本気象学会 2010 年度春季大会 A402.
58. 山内洋, 2011 : 偏波間位相差を用いた地形クラッタの影響の軽減. 日本気象学会 2011 年度秋季大会 B108
59. 山内洋, 小司禎教, 佐藤英一, 足立アホロ, 益子渉, 2012 : 気象研究所・二重偏波ドップラーレーダーで捉えた竜巻渦. 2012 年 5 月 6 日の茨城・栃木の竜巻に関する調査研究報告会, 2012 年 5 月 27 日.
60. 山内洋, 小司禎教, 佐藤英一, 足立アホロ, 益子渉, 2012 : 2012 年 5 月 6 日つくば竜巻の二重偏波レーダー解析. 日本気象学会 2012 年度秋季大会 A102.
61. 山内洋, 小司禎教, 佐藤英一, 足立アホロ, 益子渉, 2013 : つくば竜巻 : 二重偏波レーダーによる実態解明. 平成 24 年度気象研究所研究成果発表会, 2013 年 3 月 13 日.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：18 件

1. Kato, R., K. Kusunoki, K. I. Arai, M. Nishihashi, K. Shimose, W. Mashiko, E. Sato, S. Saito, H. Y. Inoue, and H. Morishima, 2012: Intensity and structure changes of low-level tornadic vortices during landfall over the Japan Sea Area. Preprints, 26th Conference on Severe Local Storms, Nashville, TN, 5-8 November 2012.
2. Kusunoki, K., E. Sato, S. Onogi, S. Saito, H. Inoue, and W. Mashiko, 2012: High resolution in situ wind and pressure measurements in winter tornadoes with LAWPS. Preprints, 26th Conference on Severe Local Storms, Nashville, TN, 5-8 November 2012.
3. Kusunoki, K., E. Sato, S. Onogi, S. Saito, H. Inoue, W. Mashiko, K. Shimose, M. Nishihashi, K. Arai, H. Morishima, and K. Adachi, 2012: A linear array of pressure and wind sensors for high resolution in situ measurements in winter tornadoes. Preprints, Seventh European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, Toulouse, France, 24-29 June 2012.
4. Kusunoki, K., H. Inoue, M. Nakazato, K. Bessho, S. Hoshino, W. Mashiko, S. Hayashi, H. Morishima, K. Adachi, 2011:Radar and in situ observations in a winter bow echo and associated meso-vortices over the Japan sea area.Preprints, Sixth European Conference on Severe Storms, Palma de Mallorca, Balearic Islands, Spain, 212
5. Kusunoki, K., H. Inoue, M. Nakazato, K. Bessho, S. Hoshino, W. Mashiko, S. Hayashi, H. Morishima, K. Adachi, 2011:The vertical structures within a winter tornadic storm during landfall over the Japan sea area.Preprints, Sixth European Conference on Severe Storms, Palma de Mallorca, Balearic Islands, Spain, 213
6. Kusunoki, K., H. Inoue, S. Hayashi, S. Hoshino, M. Nishihashi, K. Shimose, K. Arai, W. Mashiko, M. Kusume, H. Morishima, and K. Adachi, 2012 : Proximity soundings in rapid succession within winter tornadic storm during the Shonai Area Railroad Weather. Preprints, Seventh European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, Toulouse, France, 24-29 June 2012.
7. Kusunoki, K., H. Inoue, W. Mashiko, S. Hayashi, and K. Arai, 2012: Temporal and vertical evolution of landfalling tornadoes over the Japan Sea area. Preprints, 26th Conference on Severe Local Storms, Nashville, TN, 5-8 November 2012.
8. Kusunoki, K., H. Inoue, W. Mashiko, S. Hayashi, M. Nishihashi, K. Shimose, K. Arai, and H. Morishima, 2012: A summary of radar and in situ near-ground observations

within winter tornadic vortices during the Shonai Area Railroad Weather Project in Japan. Preprints, 26th Conference on Severe Local Storms, Nashville, TN, 5-8 November 2012.

9. Kusunoki, K., S. Saito, and H. Inoue, 2012: Radar and surface mesonet observations of convection initiation associated with seabreeze front and outflow boundary. Preprints, Seventh European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, Toulouse, France, 24-29 June 2012.
10. Mashiko, W., S. Hayashi, K. Kusunoki, H. Y. Inoue, K. Bessho,S. Hoshino, M. Nakazato, and H. Yamauchi, 2009:Structure and evolution of numerically simulated misocyclones along a snowband over the Shonai region on 25 January 2008.Preprints,13th Conf. on Mesoscale Processes, Salt Lake City, Utah, 17-20 August 2009, American Meteorological Society, P1.23
11. Nakazato, M., O. Suzuki, K. Kusunoki, H. Yamauchi, and H. Y. Inoue, 2009: Possible stretching mechanisms producing the tornado vortex in the mid-level., 13th Conference on Mesoscale Processes (Extended Abstract), P1.7.
12. Nakazato, M., O. Suzuki, K. Kusunoki, H. Yamauchi, and H. Y. Inoue, 2009:Possible stretching mechanisms producing the tornado vortex in the mid-level.Preprints,13th Conf. on Mesoscale Processes, Salt Lake City, Utah, 17-20 August 2009, American Meteorological Society, P1.7
13. Nakazato, M., O. Suzuki, K. Kusunoki, H. Yamauchi, and H. Y. Inoue, 2010:Statistical Mechanics of Tornado Intensity Distributions. Preprints, 25th Conf. on Severe Local Storms, 11-14 October 2010, P10.9
14. Nishihashi, M., K. Shimose, K. Kenichi , S. Hayashi, K. Arai, H. Inoue, S. Saito, E. Sato, W. Mashiko, M. Kusume, and H. Suzuki, 2013：Three-Dimensional distribution of VHF lightning radiation sources in winter thunderstorms. Preprints, 6th Conference on the Meteorological Applications of Lightning Data, TX, 6-10 January 2013.
15. Nishihashi, M., K. Shimose, K. Kusunoki, S. Hayashi, K. Arai, H. Inoue, W. Mashiko, M. Kusume, H. Morishima, and K. Adachi, 2012：Three-dimensional Characteristics of Winter Lightning Discharges in the Shonai Area, Japan. Preprints, International Lightning Detection, CO, 2-5 April 2012.
16. Nishihashi, M., K. Shimose, K. Kusunoki, S. Hayashi, K. Arai, H. Inoue, W. Mashiko, O. Suzuki, K. Bessho, S. Hoshino, M. Nakazato, H. Yamauchi, M. Kusume, H. Morishima, K. Adachi, 2011:Three-dimensional characteristics of winter lightning observed in the Shonai area railroad weather project.Preprints, Sixth European Conference on Severe Storms, Palma de Mallorca, Balearic Islands, Spain, 217
17. Shimose, K., S. Hayashi, W. Mashiko, K. Kusunoki, K. Bessho, S. Hoshino, H. Inoue, M. Nakazato, H. Yamauchi, K. Araki, H. Morishima, K. Adachi, 2011:Numerical simulation of low-level misocyclone associated with winter convective cells over the Japan Sea area.Preprints, Sixth European Conference on Severe Storms, Palma de Mallorca, Balearic Islands, Spain, 218
18. Shimose, K., S. Hayashi, W. Mashiko, K. Kusunoki, K. Bessho, S. Hoshino, K. Araki, H. Y. Inoue, M. Nakazato, Y. Hono, T. Imai, K. Adachi, H. Yamauchi, and T. Takemi, 2010:Numerical simulation of low-level misocyclones associated with winter convective cells: a case study from the Shonai area railroad weather project . Preprints, 25th Conf. on Severe Local Storms, 11-14 October 2010, P10.15

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：3 件

1. 猪上華子, 鈴木修, 山内洋, 加藤輝之, 中里真久, 益子渉, 岩根賢幸, 2009: 2009 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生した竜巻の親雲と環境場の特徴, 第 7 回環境研究機関連絡会成果発表

会.
2. 下瀬健一ほか, 2011:冬季に庄内平野で突風をもたらした降水システムの形態分類. 2011 年度日本気象学会春季大会予稿集 P113
3. 鈴木修, 猪上華子, 山内洋, 中里真久, 2010：IQ データを使った高解像化メソサイクロン検出アルゴリズム, 日本気象学会 2010 年度春季大会, 同予稿集 97, 325.

緊急地震速報高度化のための震度等の予測の信頼性向上技術の開発

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：干場充之（地震火山研究部第四研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１　緊急地震速報のための余震・群発活動・連発地震に対応した処理手法の開発
干場充之、青木重樹[1)]、林元直樹[1)]（地震火山研究部）、平野和幸[1)]、山田安之[1)]、菊田晴之[2)]、石垣裕三[3)]（気象庁地震火山部地震津波監視課）、大竹和生[4)]（気象庁地震火山部地震予知情報課）、岩切一宏[5)]（気象庁地震火山部地震予知情報課）

副課題２　震源・マグニチュードの即時推定精度および震度の予測精度の向上に関する研究
干場充之、青木重樹[1)]、林元直樹[1)]（地震火山研究部）、菊田晴之[2)]、平野和幸[1)]、山田安之[1)]（気象庁地震火山部地震津波監視課）、大竹和生[4)]、岩切一宏[5)]（地震火山部地震予知情報課）、下山利浩[6)]（気象庁地震火山部地震津波監視課）

研究の目的

緊急地震速報の処理の高度化に結びつく技術開発を行う。余震・群発活動・連発地震に対応した処理手法の開発や海底地震計を有効に利用する手法を開発し、また断層面の広がりに即時的に対応する手法の開発に関する研究等に取り組み、特に、東南海・南海地震等の海域に発生する巨大地震について、緊急地震速報における震源、マグニチュード及び震度の予測精度を向上させる。

研究の動機・背景

副課題１　緊急地震速報のための余震・群発活動・連発地震に対応した処理手法の開発

現在の緊急地震速報の処理では、地震が連発した場合には適切に対応できない課題がある。引き続いて発生した２つ以上の地震についてはイベントの分離が難しいのが現状である。

副課題２　震源・マグニチュードの即時推定精度および震度の予測精度の向上に関する研究

緊急地震速報における震度予測の精度向上には、まず、震源とマグニチュードの迅速かつ適正な推定が重要である。また、巨大地震では断層面に広がりが見られるが、この広がりの影響を震度予測に取り入れれば、精度の向上が期待できる。

① 海底地震計の活用による震源決定精度の向上
海域に設置したケーブル式海底地震計は海溝型地震の震源域近傍に設置されているため、より早い段階で地震波を検知することができる。しかし、その特殊な設置条件のため、陸域に設置した地震計とは異なるデータの扱いが必要となる可能性がある。

② 迅速かつ的確なマグニチュードの推定と震度予測における観測点補正等の導入
緊急地震速報では、少数の観測点でのみ地震波が到達している段階でマグニチュードを決定するため、使える観測点は少なく、決定誤差が大きいのが現状である。迅速かつ的確なマグニチュードの決定、さらに、精度の高い震度予測が求められている。これを解決するにはリアルタイムでデータを送り出す観測網を増強すること、および、震度の予測手法の向上が重要であるが、本研究では、このうち、震度の予測精度を向上させる手法を開発する。

③ 巨大地震の断層面の広がりに対応した震度予測手法の開発
巨大地震においては、震源は点ではなく、断層面の広がりを無視できない。現状では、震度予測において、この広がりのある断層面には十分に対応していない。

研究の成果の到達目標

[1)]平成 23 年度～平成 25 年度、[2)]平成 23 年度～平成 24 年度、[3)]平成 23 年度、[4)]平成 21 年度～平成 24 年度、[5)]平成 21 年度～平成 23 年度、[6)]平成 21 年度～平成 22 年度

副課題１　緊急地震速報のための余震・群発活動・連発地震に対応した処理手法の開発
　連発する地震の中で発生したやや大きな地震に対して、適切な震度予測ができる処理技術を開発する（H23 年度に、「連発する地震の中で発生したやや大きな地震に対して、個々の地震を分離し適切に震源決定処理ができる技術を開発する」から変更）。

副課題２　震源・マグニチュードの即時推定精度および震度の予測精度の向上に関する研究
　ケーブル式海底地震計をより有効に活用する技術を開発する。また、マグニチュードの推定を迅速かつ的確化すること、観測点ごとの補正値の適正化を図ること、により震度予測の手法の改良を行う。さらに、巨大地震の震源の広がりの影響を取り入れることにより、震度予測の手法の向上につなげる。

研究結果

（成果の概要）

気象庁本庁の緊急地震速報の技術担当と緊密に連絡を取り合いながら現場での課題に応じられるように研究をすすめた。順調に進み、目標を達成できる見込みである。なお、以下に示すとおり、当初計画していた手法についての課題が明らかになったことから、異なる手法での技術開発について検討を行ってきた（平成 23 年度に到達目標を一部変更）。

東北地方太平洋沖地震の余震活動では、数週間にわたり過大な震度予測をする緊急地震速報が多くあった。これは、複数の地震が広域でほぼ同時に発生したため、システムが混乱し、震源・マグニチュードを適切に決められなかったためである。副課題１「余震・群発活動・連発地震への対応」に関して、当初計画では、「余震や群発、連発地震等では発生場所はほぼ同じ」という前提のもとで技術開発を進めることを想定していたが、今回の事例ではこの前提が成り立たないことが明らかになった。そこで、この前提を使わない新たなアプローチ（揺れが伝わってくる様子をリアルタイムでモニターすることにより震度予測を行う考え方）についても考察を行った（「（２）当初計画からの変更点」を参照。このアプローチは、副課題２の”巨大地震の震源の広がり”への対応も可能である）。

研究期間の前半では、短期的に成果の求められている、海底地震計の活用による震源やマグニチュード決定精度の向上、および、的確な震度予測のための観測点補正等の導入、の課題について重点的に進めた。成果は本庁に報告され、これらの手法は業務に応用された。後半では、観測点補正のさらなる高度化（周波数依存性とその実時間補正方法の考察）、また、JAMSTEC が東南海沖に設置した海底地震計（DONET）のデータの解析を進め、さらに「余震・群発活動・連発地震への対応」と「巨大地震の震源の広がり」に対応するための手法開発を行った。

本計画のアウトプットとして、上記の周波数依存性をもつ観測点補正の方法とリアルタイムモニタリングのよる震度予測手法を融合させ、新しい予測手法のプロトタイプを構築する（今年度後半予定）。

なお、東北地方太平洋沖地震以降、とくに海外から、緊急地震速報についての招待講演を依頼されることが多く、可能な限り対応した。また、緊急地震速報の予測精度向上の研究は、H24，25 年度科学技術重要施策アクションプランに登録され、国としての重要研究課題とされた。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　緊急地震速報のための余震・群発活動・連発地震に対応した処理手法の開発

① 当初「余震や群発地震等では発生場所はほぼ同じ」という前提のもとで開発していくことにしていたところ、東北地方太平洋沖地震ではこの前提が成り立たないことが明らかとなった。そこで、新たに、震源とマグニチュードによらず震度予測を行う方法、具体的には、波が伝播していく様子を実時間でモニターすることで予測を行う方法も考察した。

② 上記の実時間モニタリングを用いる方法を活用するために、気象の数値予報等で広く用いられている「データ同化」手法の応用を考察した。これにより、より詳細かつ正確な地震動分布が得られることを確認した。地震の数や発生間隔にとらわれず、震度予測ができる道筋を見出した。

副課題２　震源・マグニチュードの即時推定精度および震度の予測精度の向上に関する研究

① 海底地震計の活用による震源決定精度の向上

ア）気象庁が H20 に東南海沖に設置したケーブル式海底地震計（東南海ＯＢＳ）や、JAMSTEC が設置した DONET のデータを緊急地震速報に適用するに当たり、これらの海底地震計の記録について吟味した。１観測点で震源距離を求める手法（Ｂ―Δ法）における適用の可否について調べ、現在の経験式と大きな差がないとの結果を得た。一方、方位角を推定する主成分分析法では差がある結果を得た。これは、海底下の低速度層の影響で入射角が小さくなるために、方位角の推定誤差が大きくなるためである。

イ）観測点ごとの走時補正値やマグニチュード補正について検討した。走時に関しては 1～3 秒の補正を、また、マグニチュードに関しては、系統的に 0.6 の補正を加えるべきことがわかった。

ウ）（実時間モニターによる震度予測に活用するために）海底地震計の観測点補正値の周波数依存性を推定した。周波数依存性を考慮することで震度予測の精度向上に寄与することを確認した。

② 迅速かつ的確なマグニチュードの推定と震度予測における観測点補正等の導入

ア）震度の予測精度向上の一環として、現在の震度推定手法における観測点補正値の改良の検討を進めた。震度観測の実測に基づく補正値を推定し、従来の微地形区分に基づく補正値を用いる方法より精度向上が期待できることを示し、業務化に向けて本庁に計算方法等の資料を提供した。なお、本庁では、平成 24 年 10 月に当該手法による観測点補正値の導入を行った。

イ）観測点補正に関して、震度の増幅量というスカラ量では様々な周期の揺れの増幅を考える上では必ずしも十分でない。実際の波形を解析した結果、震度を基に震度増幅率のみの観測点補正を用いて他の地点の震度を予測するよりも、波形の周波数依存性も考慮した観測点補正を用いて予測する方が、約 2 割の改善が見込めることを示した。

ウ）上記の周波数依存性も考慮した観測点補正を緊急地震速報に応用するためには、リアルタイムでの補正を行うことが必要となる。そこで、周波数依存性と等価な時間軸上のフィルターを施すことを考え、因果律を満足するようにフィルターが作成できる手法を構築した。

エ）１観測点で震源距離を求める手法では、地震波の到来方向の推定が重要である。そこで、１観測点の解析結果が比較的多く用いられる島しょ部について、到来方向の推定精度を向上させることを検討した。従来用いられているよりも短い時間長を用いる方が、精度が良くなる結果を得た。

オ）緊急地震速報に用いるマグニチュードを推定する手法について検討した。P 波部分から求めるマグニチュードについて、H20 年度の緊急地震速報評価・改善検討会技術部会で、従来（S-P 時間の 0.7 倍）よりももっと短い時間長（S-P 時間の 0.5 倍）にする案が取り上げられたが、その影響を調査したところ、M の過小評価に繋がり易いことがわかった。（その結果、短い時間長（S-P 時間の 0.5 倍）で推定するのは全国的には行わず、南西諸島のみ、とすることとなった）。

カ）Ｐ波の最初の数秒間の卓越周期から最終的なマグニチュードが推定可能という考え（τc 法、τPmax 法）があり特に海外の研究者では多く用いられている（気象庁では用いていない）。東北地方太平洋沖地震で吟味した結果、この地震ではこれらのτc 法、τPmax 法はうまく働かないことが分かり、その理由として、きわめて強い高周波の輻射があったことを示した。マグニチュードの推定について、現在の気象庁方式と同様に時間の経過とともに逐次更新していくことが重要との見解を得た。

③ 巨大地震の断層面の広がりに対応した震度予測手法の開発

ア） 断層面の広がりに対応する手法として、震源とマグニチュードによらず震度予測を行う方法、具体的には、揺れが伝わっていく様子を実時間で把握することで震度予測を行う方法を考察した（これは、副課題１での余震・群発活動・連発地震への対応と共通の方法である）。この方法は、断層面の広がりそのものを求めることにはこだわらず、断層面の広がりに対応した震度予測を目指すものである。

イ） 上記の実時間モニターを用いる方法を活用するために、気象の数値予報等で広く用いられている「データ同化」手法の応用を考察した。断層面の拡がり自体を求めることなく、震度

予測ができる道筋を見出した。（これも、副課題１での余震・群発活動・連発地震への対応と共通の方法である）

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

① 東北地方太平洋沖地震の余震活動では、複数の地震が広域でほぼ同時に発生したため、システムが混乱し、震源・マグニチュードを適切に決められず、その結果、震度を過大評価した場合が多かった。副課題１に関して、当初計画では、「余震や群発地震等では発生場所はほぼ同じ」という前提のもとで技術開発を進めることを想定していたが、今回の事例ではこの前提が成り立たない。そこで、新たに、（この前提条件に基づくのではなく）震源とマグニチュードによらずに震度予測を行う方法を考察することとした。具体的には、一旦、震源とMを決めるという方法ではなく、揺れが伝わっていく様子を実時間で把握することで震度予測を行う方法である。この方法は、同時に、副課題２の③「震源域の広がり」にも適用できる方法である。

② 本研究の当初の計画以外の対応として、気象庁本庁の地震火山部からの依頼により、地震火山部と防災科研との共同研究「強震データの緊急地震速報への活用に関する研究」にも参画することとなった。この依頼研究の中では、首都圏の防災科研 KiK-net のボアホール（深さ 500～3500m）のデータを緊急地震速報に活用すべく、震源決定時の走時補正、M推定時の補正値、および、ボアホールデータを活用することによる迅速性向上の程度、等の調査を担当した。

成果の他の研究への波及状況

① 本課題の成果は、地震火山部、防災科研、鉄道総研、地震研と進めている「緊急地震速報の高度化」、地震火山部と防災科研との共同研究「強震データの緊急地震速報への活用に関する研究」での議論に生かされている。

② ヨーロッパ連合を中心とした地震防災研究プロジェクト（Real time EArthquake risK reducTion, REAKT）に、気象庁の代表として参加し、気象庁での緊急地震速報を紹介するとともに、技術的な議論に参加している。

③ 京都大学防災研究所一般共同研究 24G-13「高密度強震観測点の地盤増幅特性に基づく実時間地震動予測に関する研究」、科研費「実時間地震動予測：実況値を反映させる手法の構築」に参加し、本研究で得た成果を波及させている。

今後の課題

今後とも、気象庁本庁の緊急地震速報の技術担当とは緊密に連絡を取り合いながら、現場での課題に応じられるように研究をすすめる。

本研究課題では、正確な震源位置とマグニチュードの推定だけでは予測精度向上には限界があることが明らかになった。そこで、実時間での揺れのモニターにより、地震波が伝わっていく様子を把握することで震度予測を行う方法を考察し、その適用について研究を進めてきた。今後は、この揺れのモニターから予測を行う方法を主体に研究を進める。揺れの実況把握強化の方策、および、実時間よりも早く揺れの伝播の計算が行え、かつ、精度を落とさない手法の開発、がカギとなる。

課題

・ 揺れの実時間モニターから予測を行う方法の進展

この本研究課題では、「震度」の予測精度を上げることをターゲットに研究を進めたが、今後は、波形（もしくは、エンベロープ）の予測について進める。これにより「○秒後にもう一度強い揺れが予想される」とか「揺れのヤマ場は越えた」という時間推移を予測することが可能となる。さらに、波形レベルで考察することにより、長周期地震動を含む様々な周期の波の予測が行えるようになる。なお、長周期地震動の観測情報は H25 年 3 月から試行的に発表されるようになった。さらに、予測情報（緊急地震速報の長周期地震動版に相当するもの）の発表も期待されている。

課題

・ 長周期地震動を含む地震波形（または、エンベロープ）を予測する手法

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（地震火山津波分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、479 ページを参照。

成果発表一覧

査読論文 ：23 件

1. Hoshiba, M., K. Ohtake, K. Iwakiri, T. Aketagawa, H. Nakamura, and S. Yamamoto, 2010: How precisely can we anticipate seismic intensities? A study of uncertainty of anticipated seismic intensities for the Earthquake Early Warning method in Japan, Earth Planets Space, 62, 611-620.
2. Hoshiba, M. and Kazuhiro Iwakiri, 2011: Initial 30 seconds of the 2011 off the Pacific coast Tohoku earthquake (Mw9.0) –amplitude and τ_c for magnitude estimation for Earthquake Early Warning -, Earth Plants Spaces, 63, 553-557.
3. Hoshiba, M., K. Iwakiri, N. Hayashimoto, T. Shimoyama, K. Hirano, Y. Yamada, Y. Ishigaki, and H. Kikuta, 2011: Outline of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Mw 9.0) —Earthquake Early Warning and observed seismic intensity—, Earth Plants Spaces, 63, 547-551.
4. Hoshiba, M., 2013: Real-time prediction of ground motion by Kirchhoff-Fresnel boundary integral equation method: Extended front detection method for Earthquake Early Warning, J. Geophys. Res. Solid Earth, 118, 1038–1050, doi:10.1002/jgrb.50119.
5. Hoshiba, M., 2013: Real-time correction of frequency-dependent site amplification factors for application to Earthquake Early Warning, Bull. Seism. Soc. Am., (Accepted).
6. Hoshiba, M., 2013: Review of the nationwide earthquake early warning in Japan during the first five years, Earthquake and Seismic Hazards and Disasters, Elsevier (Editor: M. Wyss), (Accepted).
7. Hoshiba, M. and T. Ozaki, 2013: Earthquake Early Warning and Tsunami Warning of the Japan Meteorological Agency, and their performance for the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Advance Technologies in Earth Science, Springer (editors: F. Wenzel and J. Zschau), p.1-28.
8. Iwakiri, K., M. Hoshiba, K. Nakamura, and N. Morikawa, 2011: Improvement in the accuracy of expected seismic intensities for earthquake early warning in Japan by using empirically estimated site amplification factors, Earth Planets Space, 63, 57-69.
9. Iwakiri, K. and M. Hoshiba, 2012: High-Frequency (>10Hz) Content of the Initial Fifty Seconds of Waveforms from the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 102, 2232-2238.
10. Kamigaichi, O., M. Saito, K. Doi, T. Matsumori, S. Tsukada, K. Takeda, T. Shimoyama, K. Nakamura M. Kiyomoto, and Y. Watanabe, 2009: Earthquake Early Warning in Japan: Warning the General Public and Future Prospects, Seismol. Res. Let., 80, 717-726.
11. Katsumata, A., H. Ueno, S. Aoki, Y. Yoshida, and S. Barrientos, 2013: Rapid magnitude determination from peak amplitudes at local stations, Earth Planets Space, (Accepted).
12. Nakamura, T, M. Nakano, N. Hayashimoto, N. Takahashi, H. Takenaka, T. Okamoto, E. Araki, and Y. Kaneda, 2013: Anomalously large seismic amplifications in the seafloor area off the Kii peninsula, Marine Geophys. Res., (submitted).
13. 青木重樹, 吉田康宏, 勝間田明男, 干場充之, 2012: 強震動の継続時間から見た平成 15 年(2003 年)十勝沖地震とその最大余震の破壊伝播特性, 地震 2, 65, 163-174.
14. 明田川保, 清本真司, 下山利浩, 森脇健, 横田崇, 2010: 緊急地震速報におけるＰ波マグニチュード推定方法の改善, 験震時報, 73, 123-134.
15. 岩切一宏, 干場充之, 大竹和生, 下山利浩, 2011: 南関東周辺の KiK-net 強震データの緊急地震速報への活用検討, 験震時報, 75, 37-59.
16. 岩切一宏, 干場充之, 大竹和生, 2012: 近距離に注目した既往の距離減衰式の検討 –緊急地震

速報の震度予測への適用性評価―, 験震時報, 75, 25-36.
17. 清本真司, 明田川 保, 大竹和生, 新原俊樹, 下山利浩, 森脇健, 土井恵治, 横田崇, 2010: 緊急地震速報における技術的検討事項について, 験震時報, 73, 135-150.
18. 林元直樹, 干場充之, 2013：緊急地震速報における東南海海底地震計活用のための走時補正・マグニチュード補正の検討, 験震時報, 76, 69-81.
19. 干場充之, 岩切一宏, 大竹和生, 2010: 最大振幅推定の区間長がＰ波マグニチュードに及ぼす影響, 験震時報, 73, 151-157.
20. 干場充之, 2011: メキシコ版緊急地震速報の現状と将来展望－CIRES の Juan Manuel Espinosa Aranda 所長を招へいして―, 験震時報, 75, 107-111.
21. 干場充之, 下山利浩, 2011: 世界の Earthquake Early Warning の調査, 験震時報, 76, 63-68.
22. 干場充之, 尾崎友亮, 2012: 2011 年東北地方太平洋沖地震での緊急地震速報と津波警報（総合報告）, 地震 2, 64, 155-168.
23. 横田崇, 川上徹人, 尾崎友亮, 下山利浩, 近藤さや, 岡部来, 吉田知央, 坂本誠一, 能勢努, 辻村晃一, 下坪善浩, 2011: 震度に関する検討について, 験震時報, 75, 61-105.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：8 件

1. 岩切一宏, 干場充之, 中村浩二, 森川信之, 2010: 最大速度の距離減衰式に基づく経験的なサイト増幅特性を用いた緊急地震速報の震度予測の精度向上, 第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集, 4278-4283.
2. 大竹和生, 干場充之, 岩切一宏, 2010: 気象庁の緊急地震速報へのＯＢＳデータの導入にかかわる改良, 第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集, 4313-4317.
3. 下山利浩, 2010: 緊急地震速報の予測精度向上と提供時間短縮への取組, 地震本部ニュース, 2010 年 1 月号, 10-11.
4. 下山利浩, 平野和幸, 山田安之, 干場充之, 大竹和生, 岩切一宏, 2010:緊急地震速報の発表状況、技術改良, 第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集, 4291-4296.
5. 干場充之, 岩切一宏, 大竹和生, 2010: 経過時間に応じたＰ波マグニチュード推定の補正 ―緊急地震速報への応用―, 第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集, 3043-3048.
6. 干場充之, 若山晶彦, 2011: 緊急地震速報, 「災害情報学事典」の分担執筆, 朝倉書店, (投稿中).
7. 干場充之, 2012: 気象庁でのマグニチュード決定および緊急地震速報：東北地方太平洋沖地震でのパフォーマンスと課題, 日本地震工学会誌, 16, 6-9.
8. 横田 崇, 川上徹人, 下山利浩, 2009: 新しい気象庁震度階級関連解説表, 地震ジャーナル, 48, 1-11.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：25 件

1. Hoshiba, M., K. Ohtake, and K. Iwakiri, 2009: Uncertainty of anticipation of seismic intensities -A study of fluctuation of anticipated seismic intensities by the method of current Earthquake Early Warning –, The 2nd International Workshop on Earthquake Early Warning (Proceedings), 44-46.
2. Hoshiba, M., T. Shimoyama, Y. Hasegawa and H. Naito. 2011: Performance of Earthquake Early Warning of JMA - Review of Practical Stage of Recent 3 Years, IUGG2011, #3444 (invited).
3. Hoshiba, M., T. Shimoyama, H. Naito and Y. Hasegawa, 2011: Performance of EEW of JMA - Review of Practical Stage of Recent 3 Years and The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake(M9.0)-, 2011 AOGS, 201C-006 (invited).
4. Hoshiba, M., 2011: Expectation of ground motion using real time data of neighbor stations -A method of seismic intensity expectation without earthquake source parameters in EEW-, 2011 AOGS, 201C-005.
5. Hoshiba, M., 2011: The recent M=9 Japan earthquake and the performance of the Japanese Early Warning System, The kick off meeting of Real time EArthquake risK reduction (REAKT) (invited).
6. Hoshiba, M., 2011: Uses of EEW information in Japan, The kick off meeting of Real time EArthquake risK reduction (REAKT) (invited).

7. Hoshiba, M., 2011: Earthquake Early Warning of JMA, and its performance for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Mw9.0), Seminar on East-Asia Earthquakes Studies - Earthquakes, Tsunamis and Volcanoes in Northeast Asia: International Collaboration and Regional Capacity Building for the Forecast, Preparedness and Early Warning.
8. Hoshiba, M., 2011: Application of knowledge of seismic wave scattering to Earthquake Early Warning –For expectation of wave amplitude and timing -, International Workshop on "Recent developments in seismic wave scattering and heterogeneities in the Earth".
9. Hoshiba, M., 2011: Information before strong ground shaking -Earthquake Early Warning in Japan - , 14th Japan-EU conference (invited).
10. Hoshiba, M, A. Wakayama, Y. Ishigaki, K. Doi, 2011, Performance of JMA Earthquake Early Warning for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Mw9.0), AGU 2011 fall meeting (invited).
11. Hoshiba, M., 2011: Expectation of ground motion in Earthquake Early Waning using real time monitoring of wavefield: a method based on Kirchhoff-Fresnel integral without information of hypocenter and magnitude, AGU 2011 fall meeting.
12. Hoshiba, M., 2012: Expectation of ground motion in Earthquake Early Warning using real time monitoring of wavefield- a method without information of hypocenter and magnitude -, 15th World Conference on Earthquake Engineering, ES12-3818.
13. Hoshiba, M., 2012: Feedback about Earthquake Early Warning: Questionnaire survey after the 2011 Tohoku Earthquake, 1st annual meeting of Real time EArthquake risK reduction (REAKT) (invited).
14. Hoshiba, M., 2012: Real-time prediction of earthquake ground motion- time evolutional prediction and real-time correction of site amplification factor -, The 2nd International workshop on seismic observation in deep borehole and its application.
15. Hoshiba, M., 2013: Earthquake Early Warning of the Japan Meteorological Agency, and its performance during the 2011 Tohoku Earthquake (Mw 9.0), Seminar at UNAM (invited).
16. Hoshiba, M., 2013: Real-time prediction of seismic ground motion: (I) Real-time estimation of seismic wavefield using data assimilation technique and time evolutional prediction using Kirchhoff integral, 2013 Meeting of the Americas.
17. Hoshiba, M., 2013: Real-time prediction of seismic ground motion: (II) real-time correction of frequency-dependent site amplification factors, 2013 Meeting of the Americas.
18. Hoshiba, M., 2013: Real-time prediction of seismic ground motion (I): Real-time estimation of wavefield using data assimilation and time evolutional prediction using Kirchhoff Integral, 2013 IASPEI Joint Assembly.
19. Hoshiba, M., 2013: Real-time prediction of seismic ground motion (II): real-time correction of frequency-dependent site amplification factors, 2013 IASPEI Joint Assembly.
20. Hoshiba, M., 2013: Real-time prediction of earthquake ground motion using real-time monitoring, and improvement strategy of JMA EEW based on the lessons from M9 Tohoku Earthquake, AGU 2013 fall meeting (to be invited).
21. Hoshiba, M., 2013: Real-time prediction of earthquake ground motion: application of data assimilation and real-time correction of site amplification factors, AGU 2013 fall meeting (submitted).
22. Katsumata, A., S. Aoki, Y. Yoshida, H. Ueno and T. Yokota, 2012: Rapid source parameter estimation of great earthquakes for tsunami warning, International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake.
23. Nakamura, M., K. Hirano, Y. Yamada, H. Kikuta and M. Hoshiba, 2013: The Earthquake Early Warning of Japan Meteorological Agency, 2013 Meeting of the Americas.
24. Yamada, Y., 2012: Earthquake Early Warning of JMA - The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and its aftershocks -, The 9th Joint Meeting of the U.S.-Japan Panel on Earthquake Research (UJNR)
25. Yamamoto, S., K. Ashiya, S. Sato, M. Korenaga, S. Noda, M. Hoshiba, K. Irikura, and Y. Fukushima, 2009: A Robust Method for Imaging Asperities of Large Earthquakes, The 2nd International Workshop on Earthquake Early Warning (Proceedings),

42-43.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：54 件

1. 青木重樹，吉田康宏, 勝間田明男, 干場充之，2011：2003 年十勝沖地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震の強震動の継続時間から見た破壊伝播の特徴，日本地震工学会 2011 年度大会.
2. 青木重樹, 干場充之，2012: コーダ規格化法により推定した気象庁震度観測点のサイト増幅率の特徴，日本地震工学会大会 2012 年度大会.
3. 青木重樹, 干場充之，2013: コーダ規格化法により推定した気象庁震度観測点のサイト増幅率の特徴, 2012 年度東京大学地震研究所研究集会「地震動の即時予測と防災に向けた情報の活用」.
4. 青木重樹，干場充之，2013: コーダ規格化法により推定した気象庁震度観測点のサイト増幅率を用いたリアルタイムサイト補正の試み，日本地球惑星科学連合 2013 年大会，SSS23-04.
5. 青木重樹，干場充之，2013: スペクトル比法により推定したサイト増幅率を用いたリアルタイム補正，日本地震工学会 2013 年度大会.
6. 石垣祐三，平野和幸，山田安之，若山晶彦，2011: 2011 年東北地方太平洋沖地震及びそれ以降の緊急地震速報について，平成 23 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「地震動の瞬時解析と直前予測」.
7. 岩切一宏, 2010: 距離減衰式に基づく経験的なサイト増幅特性を用いた緊急地震速報の震度予測の精度向上，東京大学地震研究所共同利用研究集会「揺れる直前の地震動予測：さらなる迅速化と精度の向上」.
8. 岩切一宏, 2011: 2011 年東北地方太平洋沖地震のはじめの 30 秒のスペクトルと τc；高周波の生成，東京大学地震研究所共同利用研究集会「地震動の瞬時解析と直前予測」.
9. 岩切一宏，干場充之, 2011: 2011 年東北地方太平洋沖地震のはじめの 30 秒における 10Hz 以上の高周波地震動，日本地震学会 2011 年度秋季大会講演予稿集, B22-02.
10. 大竹和生, 2009: よくわかる緊急地震速報，第 2 回データ科学ワークショップ(科学情報学研究会）.
11. 大竹和生，2010: 緊急地震速報における島しょ部等の精度向上にかかわる試み，東京大学地震研究所共同利用研究集会「揺れる直前の地震動予測：さらなる迅速化と精度の向上」.
12. 勝間田明男，上野寛，青木重樹，吉田康宏, Sergio Barrientos, 2013: 最大振幅に基づく津波警報のための即時的マグニチュード決定，日本地球惑星科学連合 2013 年大会, HDS26-02.
13. 菊田晴之，平野和幸，山田安之，若山晶彦，松井正人，干場充之，林元直樹，青木重樹，2012: 緊急地震速報の発表状況　—2011 年東北地方太平洋沖地震とその余震について—，日本地球惑星科学連合 2012 年大会, SSS40-01.
14. 下山利浩，清本真司，渡邊幸弘，新原俊樹，土井恵治，内藤宏人，相川達朗，干場充之，大竹和生，岩切一宏, 2010: 緊急地震速報の発表状況 －さらなる迅速化・精度向上に向けて－，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集, HDS023-01.
15. 下山利浩, 2010: 緊急地震速報の発表状況，東京大学地震研究所共同利用研究集会「揺れる直前の地震動予測：さらなる迅速化と精度の向上」.
16. 下山利浩，平野和幸，山田安之，干場充之，大竹和生，岩切一宏，2011: 緊急地震速報の現状と課題，日本地球惑星科学連合 2011 年大会, HDS030-01.
17. 土井恵治，干場 充之，2010: 気象庁が発表する地震に関する情報の変遷，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集, SCG081-15.
18. 中村雅基，山田安之，平野和幸，菊田晴之, 2013: 気象庁における緊急地震速報の改善に向けて～中期的改善計画～，日本地球惑星科学連合 2013 年大会, SSS23-01.
19. 林元直樹，2011：緊急地震速報における東南海海底地震計活用のための走時補正・マグニチュード補正の検討，平成 23 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「地震動の瞬時解析と直前予測」.
20. 林元直樹，岩切一宏，干場充之，2011：緊急地震速報における東南海海底地震計活用のための走時補正・マグニチュード補正の検討，日本地震工学会.
21. 林元直樹，干場充之，2012：東南海 OBS と DONET への緊急地震速報の B-Δ 法・主成分分析

法の適用，日本地震工学会 2012 年度大会.
22. 林元直樹, 2013：東南海 OBS と DONET における緊急地震速報の単独観測点処理の適用, 2012 年度東京大学地震研究所研究集会「地震動の即時予測と防災に向けた情報の活用」.
23. 林元直樹，干場充之, 2013：東南海海域の海底地震計を用いた陸上での震度予測可能性の検討，地震工学会 2013 年度大会.
24. 干場充之，岩切一宏，大竹和生, 2009：最大動の出現時間について―緊急地震速報におけるより迅速なM推定を目指して―，日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集, Y230-004.
25. 干場充之，岩切一宏，大竹和生, 2009：最大振幅推定の区間長が P 波部分から推定するマグニチュードに及ぼす影響，日本地震工学会大会 2009 梗概集, 118-119.
26. 干場充之, 2009：P 波部分の最大振幅の遅れについて，東京大学地震研究所共同利用研究集会「リソスフェアの短波長不均質性の時空間変化に関する研究の高度化 - 物理モデルの構築と稠密地震観測記録の解析をとおして -」.
27. 干場充之，岩切一宏，大竹和生, 2010：経過時間に応じたマグニチュード補正の検討，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集, HDS023-06.
28. 干場充之，香川敬生，隈元崇，堀川晴央, 2010：兵庫県南部地震から１５年：教訓，その後の研究の進展そして展望　―趣旨説明に代えて―，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集, SCG081-01.
29. 干場充之，岩切一宏，大竹和生, 2010：海溝型Ｍ８クラスの地震の際の緊急地震速報，日本地震学会 2010 年度秋季大会講演予稿集, B12-10.
30. 干場充之，岩切一宏，大竹和生，2010：経過時間に応じたＰ波マグニチュード推定の補正　―緊急地震速報への応用―，第 13 回日本地震工学シンポジウム, GO25-Sat-AM-3.
31. 干場充之，2010：海溝型Ｍ８クラスの地震の際の緊急地震速報，東京大学地震研究所共同利用研究集会「揺れる直前の地震動予測：さらなる迅速化と精度の向上」.
32. 干場充之，2011：不均質構造中の高周波地震波の伝播，第 60 回理論応用力学講演会, OS04-01.
33. 干場充之，杉山雄一，山中浩明，森川信之，2011：地震動予測地図：関連する研究成果の融合と今後　―趣旨説明にかえて―，日本地球惑星科学連合 2011 年大会, HDS028-1.
34. 干場充之，2011：経路上や近傍の観測点の実時間データを用いた震度予測　―実況の利用と補正の検討―，日本地球惑星科学連合 2011 年大会, HDS030-7.
35. 干場充之,2011：地震波散乱研究の知見を緊急地震速報へ，平成 23 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会　「リソスフェアの短波長不均質性のイメージングとモニタリングに関する研究の高度化　－地殻活動領域の構造特性の時空間変化の解明に向けて－」.
36. 干場充之，2011：波動場のリアルタイム把握による地震動予測：次世代の緊急地震速報を目指して，平成 23 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「地震動の瞬時解析と直前予測」.
37. 干場充之, 2011：　実時間モニタリングを用いた緊急地震速報の地震動予測手法の構築　―広域同時多発余震と震源域の拡がりへの対応―，日本地震学会 2011 秋季大会, B22-10.
38. 干場充之，2011：波動場のリアルタイム把握による地震動予測，日本地震工学会.
39. 干場充之，浅野公之，2012：2011 年東北地方太平洋沖地震の強震動と地震動災害　―趣旨説明にかえて―，日本地球惑星科学連合 2012 年大会, SSS37-01.
40. 干場充之，2012:リアルタイムモニタリングを用いた地震動の予測 ―リアルタイム地震動予測，日本地球惑星科学連合 2012 年大会, SSS40-02.
41. 干場充之，2012：自然科学としての地震学から防災の現場へ，日本地震学会 2012 年夏の学校(招待講演).
42. 干場充之, 2012：波動伝播に基づく実時間地震動予測を目指して-データ同化と実時間サイト補正による時間発展型の予測-，東京地震研究所共同利用研究集会「不均質構造における波動伝播の物理学の深化-理論・実験・観測・シミュレーションからの複合的アプローチ-」.
43. 干場充之，2012：実時間地震動予測－データ同化と実時間サイト補正による時間発展型の予測－，日本地震学会 2012 年度秋季大会, B31-02.
44. 干場充之，2012：実時間地震動予測を目指して　－データ同化と実時間サイト補正による時間発展型の予測－，日本地震工学会 2012 年度大会.
45. 干場充之，2013：データ同化，実時間サイト補正，伝播理論による時間発展型の地震動予測，2012 年度度東京大学地震研究所研究集会「地震動の即時予測と防災に向けた情報の活

用」.

46. 干場充之, 2013 : 地盤増幅特性評価に基づく実時間地震動予測, 平成年 24 年度京都大学防災研究所研究発表講演会.
47. 干場充之, 2013 : 緊急地震速報の新しい処理手法に向けた研究, 平成 24 年度気象庁施設等機関研究報告会.
48. 干場充之, 2013: 実時間地震動予測　―データ同化手法の適用による実況波動場の把握強化―, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, SSS23-03.
49. 干場充之, 2013 : リアルタイムでの地震動波形予測 :　次世代の緊急地震速報を目指して, 緊急地震速報利用者協議会総会（招待講演）.
50. 干場充之, 2013 : 地震動即時予測の次世代への考察 ―東北地方太平洋沖地震の教訓から―,　日本地震学会 2012 年度秋季大会.
51. 干場充之, 2013 : 実時間地震動予測 : 輻射伝達理論とデータ同化による現状把握, 東京地震研究所共同利用研究集会「不均質媒質における波動伝播の物理の総合的な理解」.
52. 前田憲二, 対馬弘晃, 平田賢治, 勝間田明男, 吉田康宏, 青木重樹, 尾崎友亮, 横田　崇, 2012: 気象庁の津波警報改善のための研究開発, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, HDS26-02（招待講演）.
53. 山本俊六, 芦谷公稔, 佐藤新二, 是永将宏, 野田俊太, 干場充之, 入倉孝次郎, 福島美光, 2009: 断層の面的広がりを考慮した即時震度推定手法の改良, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集, Y230-006.
54. 吉田康宏, 勝間田明男, 青木重樹, 2012: 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の地震像と巨大地震の早期規模推定に向けた取り組み, 平成 23 年度気象研究所研究成果発表会.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：12 件

1. Aoki, S. and M. Hoshiba, 2013: Real-time prediction of ground motion using real-time correction of site amplification factors for EEW, AGU 2013 Fall Meeting, (submitted).
2. Hayashi, Y., K. Maeda, H. Tsushima, K. Hirata, A. Katsumata, Y. Yoshida, S. Aoki, T. Ozaki, and T. Yokota, 2012: Research for improvement of tsunami warning of Japan after the 2011 Off the Pacific coast of Tohoku earthquake, 2012AOGS.
3. Hayashimoto, N. and M. Hoshiba, 2013：Examination of the site amplification factor of OBS and their application to magnitude estimation and ground-motion prediction for EEW, AGU 2013 Fall Meeting, (submitted).
4. Hoshiba, M., 2010: Earthquake Early Warning of JMA -Review of recent 2 years and approaches for improving rapidity and accuracy-, 2010 Western Pacific Geophysical Meeting, S33A-049.
5. Hoshiba, M., 2011: Expectation of ground motion using real time data of neighbor stations -A method of seismic intensity expectation without earthquake source parameters in EEW-, IUGG2011, #3445.
6. Hoshiba, M., 2012: Real-time Prediction of Earthquake Ground Motion : Time evolutional prediction using data assimilation and real-time correction of site amplification factors, AGU 2012 Fall Meeting, S51A-2395.
7. Hoshiba, M., M. Nakamura, M. Matsui, N. Hayashimoto and A. Wakayawa, 2013: Feedback about Earthquake Early Warning: Questionnaire survey after the 2011 Tohoku Earthquake (Mw9.0), 2013 IASPEI Joint Assembly.
8. Iwakiri, K., M. Hoshiba, and K. Ohtake, 2009: Study on attenuation relations focused on near source region -Evaluation of their applicability for earthquake early warning-, The 2nd International Workshop on Earthquake Early Warning (Proceedings), 85.
9. Nakamura, M., M. Hoshiba, M. Matsui, N. Hayashimoto and A. Wakayama, 2013: Feedback about Earthquake Early Warning: Questionnaire survey after the 2011 Tohoku Earthquake (Mw9.0), 2013 Meeting of the Americas.
10. Ohtake, K., 2009: Techniques of using data from OBS stations for EEW, The 2nd International Workshop on Earthquake Early Warning (Proceedings), 86-88.
11. Shimoyama, T., K. Doi, M. Hoshiba, 2009: Earthquake Early Warning in Japan – Result of

recent two years -, AGU, S13A-1714.
12. Shimoyama, T. and K. Hirano, 2010: Operating Status and Technical Improvement Plan of JMA Earthquake Early Warning, 8th Joint Meeting of UJNR Panel on Earthquake Research, P15.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：32 件

1. 青木重樹，吉田康宏，干場充之，勝間田明男, 2011: 平成 23 年(2011 年) 東北地方太平洋沖地震の短周期エンベロープを用いた振動源イメージング（暫定版），日本地球惑星科学連合 2011 年大会, MIS036-P38.
2. 青木重樹，吉田康宏，勝間田明男, 2011: 強震動の継続時間から見た破壊伝播の特徴，日本地震学会 2011 秋季大会，P2-42.
3. 青木重樹，吉田康宏，勝間田明男，横田崇，碓井勇二，上野寛，清本真司，2011: 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の地震像，第 9 回環境研究シンポジウム.
4. 青木重樹，吉田康宏，干場充之，中原恒，勝間田明男，2012: 福島第一原子力発電所の稠密地震計アレイで捉えた平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の破壊伝播，日本地球惑星科学連合 2012 年大会, SSS37-P02.
5. 青木重樹，干場充之，2012: 実時間地震動予測のためのサイト補正の検討 —コーダ規格化法により推定されたサイト増幅率を用いた試み—，日本地震学会 2012 年度秋季大会, P3–39.
6. 青木重樹，干場充之，2013: スペクトル比法により推定したサイト増幅率を用いたリアルタイム補正，日本地震学会 2013 年度秋季大会.
7. 岩切一宏，干場充之，大竹和生，2009: 近距離に注目した既往の距離減衰式の検討－緊急地震速報への適用性評価－，日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集, Y230-P001.
8. 岩切一宏，干場充之，大竹和生, 2009: 日本地震学会 2009 年度秋季大会講演予稿集，最大速度の距離減衰式を用いた震度観測点の観測点補正値の改良, P1-54.
9. 岩切一宏，干場充之，大竹和生，2010; 距離減衰式による震度予測における断層最短距離の影響，日本地球惑星科学連合 2010 年大会, HDS023-P03.
10. 岩切一宏，干場充之，大竹和生，下山利浩, 2010; 関東地方の 500m 以深の深井戸における強震観測データを緊急地震速報へ利用する場合の効果，日本地震学会 2010 年度秋季大会講演, P1-28.
11. 岩切一宏，干場充之，中村浩二，森川信之, 2010: 最大速度の距離減衰式に基づく経験的なサイト増幅特性を用いた緊急地震速報の震度予測の精度向上，第 13 回日本地震工学シンポジウム, PS3-Sat-19.
12. 岩切一宏，干場充之，2011: 深井戸と地表の強震データのスペクトル比による緊急地震速報の震度予測，日本地球惑星科学連合 2011 年大会, HDS030-P05.
13. 岩切一宏，干場充之, 2011: 深井戸の強震データによる震度予測：震度差による方法とスペクトル比による方法，日本地震学会 2011 年度秋季大会講演予稿集, P2-41.
14. 岩切一宏，土井恵治，干場充之，2012: 時間幅を延ばした τc 法で東北地方太平洋沖地震の早期規模推定は可能か？，日本地球惑星科学連合 2012 年大会予稿集，日本地球惑星科学連合 2012 年大会, SSS40-P03.
15. 大竹和生，2010: 気象庁南西諸島観測点への方位推定精度向上策の適用，日本地球惑星科学連合 2010 年大会, HDS023-P01.
16. 大竹和生，川上徹人，東田進也, 2010: 気象庁における地震業務処理技術研修の報告，日本地震学会 2010 年度秋季大会講演, P2-85.
17. 大竹和生，干場充之，岩切一宏，2010: 気象庁の緊急地震速報へのＯＢＳデータの導入にかかわる改良，第 13 回日本地震工学シンポジウム, PS3-Sat-24.
18. 勝間田明男，青木重樹，林元直樹，吉田康宏，木村一洋，2011: 余震・群発自動震源決定処理の開発 (2)，日本地震学会講演予稿集 2011 年度秋季大会，P2-66.
19. 勝間田明男，青木重樹，吉田康宏，木村一洋， 2011: 最大振幅を用いた早期マグニチュード推定，日本地震学会講演予稿集 2011 年度秋季大会，P2-67.
20. 勝間田明男，青木重樹，吉田康宏，上野寛，甲斐田康弘，横田崇，2012: 津波警報のための巨大地震の早期規模推定法，日本地球惑星科学連合 2012 年大会, HDS26-P01.
21. 久保久彦，筧楽麿，干場充之，2012: 遠地実体波と地殻変動データを用いたジョイントインヴ

ァージョンによる 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源過程の解析，日本地球惑星科学連合 2012 年大会, SSS39-P22.
22. 下山利浩，平野和幸，山田安之，干場充之，大竹和生，岩切一宏，2010:緊急地震速報の発表状況、技術改良，第 13 回日本地震工学シンポジウム, PS3-Sat-21.
23. 武田清史，松井正人，中村雅基，山田安之, 2013: 緊急地震速報等の利活用状況調査結果について，日本地球惑星科学連合 2013 年大会, SSS23-P08.
24. 林元直樹，岩切一宏，干場充之，2011：緊急地震速報における東南海海底地震計活用のための走時補正・マグニチュード補正の検討，日本地震学会 2011 秋季大会, P2-40.
25. 林元直樹，干場充之, 2012：緊急地震速報に DONET を活用するためのマグニチュード補正の検討，日本地球惑星科学連合 2012 年大会, SSS40-P06.
26. 林元直樹，干場充之，2012：東南海 OBS と DONET における緊急地震速報の単独観測点処理の適用，日本地震学会 2012 年度秋季大会, P3-41.
27. 林元直樹，干場充之, 2013: 緊急地震速報処理のための東南海 OBS の設置方位推定，日本地球惑星科学連合 2013 年大会, SSS23-P02.
28. 林元直樹，干場充之，2013: 東南海海域の海底地震計を用いた陸上での震度予測可能性の検討，日本地震学会 2013 年大会.
29. 干場充之，岩切一宏，山田安之，林元直樹，下山利浩，2011: 緊急地震速報と観測された震度の特徴，日本地球惑星科学連合 2011 年大会, MIS036-P66.
30. 干場充之, 岩切一宏, 2011: 経験則からのずれ —はじめの数秒と強震動：τc, Pd, スペクトル，簡易震源域推定方法—，日本地球惑星科学連合 2011 年大会, MIS036-P67.
31. 干場充之，岩切一宏, 2011:東北地方太平洋沖地震の最初の 30 秒—Earthquake Early Warning のM推定における振幅と τc —，日本地震学会 2011 秋季大会,P2-23.
32. 吉田康宏，青木重樹，勝間田明男，横田崇，2011：即時的マグニチュード推定手法の検証，日本地震学会講演予稿集 2011 年度秋季大会，P2-69.

東海地震予知技術と南海トラフ沿いの地殻活動監視技術の高度化に関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度（平成 22 年度研究再編）
研究代表者：勝間田明男（地震火山研究部第二研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１　監視・解析技術の高度化

横田崇[1)]、前田憲二[2)]、林　豊[2)]、勝間田明男、小林昭夫、木村一洋、弘瀬冬樹[2)]、上野 寛[3)]、武藤大介[1)]、林元直樹[3)]、吉田康宏[5)]、青木重樹[5)]、岩切一宏[6)] 、吉川澄夫[7)]（地震火山研究部）、西政樹[1)]、明田川保[1)]、長谷川浩[1)]、赤司貴則[1)]、大西星司[6)]、足達晋平[8)]、潟山弘明[7)]、宮岡一樹[9)]（気象庁地震火山部地震予知情報課）、小山卓三[6)]（気象庁地震火山部地震津波監視課）、太田健治[4)]（仙台管区気象台技術部 地震火山課）、岡田正実[2)]（地震火山研究部　客員研究員）

副課題２　地震発生シミュレーション技術の高度化

前田憲二、弘瀬冬樹、木村一洋[5)]、青木重樹[6)]（地震火山研究部）、小山卓三[1)]、潟山弘明[7)]、菅沼一成[9)]（気象庁地震火山部地震予知情報課）

研究の目的

東海地震予知技術の精度向上及び南海トラフ沿いの領域等の地震・地殻活動監視技術の拡充のため、海溝型巨大地震発生シミュレーションモデルの高度化、地震波速度場変化及び地殻変動の監視・解析技術の高度化、地震活動評価手法の高度化に関する研究等に取り組み、東海地震の発生シナリオの改善及び地殻活動状態変化のモニター手法の拡充を図る。

研究の動機・背景

発生が懸念されている東海地震の発生領域周辺では、近年スロースリップ・深部低周波微動など様々な現象が見出されている。これまで５カ年における研究において、東海地震発生直前の前兆すべりを捉える目的で、東海地域に精密制御（弾性波アクロス）震源を設置し観測を開始すると共に、レーザー式変位計を新たに開発し観測を開始した。また、東海地震・東南海地震の想定震源域の海域においては、新たなケーブル式海底地震計が整備される等新たな観測手段の導入がなされている。これらの充実した観測データを活用して現在起きている現象を確実に捉え、更にそれらの現象の東海地震に対する影響を評価する技術を開発することが気象庁監視業務のために求められている。

研究の成果の到達目標

副課題１　監視・解析技術の高度化

① 精密制御震源を用いた監視技術に関する研究
　信号の時間変化の効率的な監視手法の開発
② 地殻変動データを用いた監視技術に関する研究
　ア）レーザー式変位計による観測と長期的スロースリップ等の異常地殻変動検知技術開発
　イ）ひずみ計等データによるスロースリップ等の異常地殻変動検出手法の改良
　ウ）数十年以上にわたる長期的地殻変動の特徴把握
③ 地震活動評価の高度化
④ 地震活動の特徴抽出による地震活動度および地震発生確率の評価

副課題２　地震発生シミュレーション技術の高度化

① 東海地震発生に先行する地殻変動等の予測
② 東南海・南海地震発生に先行する地殻変動等の予測

[1)]平成 24 年度～平成 25 年度、[2)]平成 22 年度～平成 25 年度、[3)]平成 23 年度～平成 25 年度、[4)]平成 22 年度～平成 24 年度、[5)]平成 21 年度～平成 23 年度、[6)]平成 21 年度、[7)]平成 22 年度、[8)]平成 22 年度～平成 23 年度、[9)]平成 23 年度

研究結果

（成果の概要）

監視・解析技術に関しては、精密制御震源・地殻変動・地震活動に関してこれまで開発してきた技術の高度化や自動化を進めるとともに、補正技術の高度化により異常検知技術の向上が図られた。

地震発生シミュレーションに関しては、長期的スロースリップイベントを地震発生モデルに取り入れ、モデルの説明能力を向上させるとともに、トラフ軸付近まで地震すべりが発生するようなパラメータを組み込むことにより、より様々な地震発生パターンをモデルにより再現した。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　監視・解析技術の高度化

①　精密制御震源を用いた監視技術に関する研究

ア）精密制御震源装置からの信号とノイズレベルとの関係を調査し、地震波速度の時間変化を調査する上での最適なスタッキング時間を求める等、アクロス信号処理の適正化を行った。

イ）静岡県西部から愛知県東部にかけて臨時地震観測を行った結果を、最新のプレート形状を取り入れた理論走時解析と比較した。その結果、アクロス伝達関数の波群においてプレート境界面からの反射波を同定した。

ウ）愛知県東部の定常観測点近傍において臨時地震小アレイ観測を行い、定常観測点において認められる波群について地下深部からのものと地下浅部からのものとを識別した。

エ）精密制御震源装置と Hi-net 森観測点間の、伝達関数の走時時間変化について、気圧・気温・降水量など気象要素との相関を調べ、変動要因分析を行った。その結果、調査した気象要素の中では降水量の影響が最も大きい ことがわかった。また、４段のタンクモデルでほぼ時間変化の説明がつくことを明らかにし、大域的探索法（SCE-UA 法）を用い、各タンクの最適パラメータを求めた。

オ）森町送信点と近傍の地震観測点間の伝達関数の顕著な波群について、走時変化とエネルギー変化を１日に１回自動的に計算を行い、ブラウザで監視を行えるシステムを構築した。

カ）森町送信点から距離の近い３観測点（距離 10km 以内）について、2011 年東北地方太平洋沖地震に伴って数ミリ秒の走時の遅れが発生し、その後ゆっくりと走時が元の値に回復している ことを明らかにした。

②　地殻変動データを用いた監視技術に関する研究

ア）レーザー式変位計の応答に関して調査を行い、ひずみの地震波応答と潮汐応答の理論値に対する比 がともに約 0.5 であることを明らかにした。

イ）レーザー式変位計の基線長 200ｍの場合と 400ｍの場合との潮汐・気圧応答の違いについて解析し、潮汐応答の時間変化・気圧応答の大きさなど両者にわずかな差があることを明らかにした。また、地震応答についてはほぼ同等であることを確認した。

ウ）レーザー式変位計の解析データを気象庁地震火山部へデータ転送できるように関連ソフトウェアを整備し、データ提供を行なうようにした。

エ）敦賀・今津の多成分ひずみ計について水位・降水応答を補正し、東海の長期的スロースリップと同時期にひずみ変化が見られることを指摘した。

オ）体積ひずみ計の観測開始からの長期的な時系列データを用い、1980 年代の東海の長期的スロースリップとの関連を調査した。その結果、1988～1990 年は、６つの観測点で長期的スロースリップイベントがあったとしても矛盾しない変化が認められた。また 2000～2005 年は、２つの観測点で GNSS で捉えられた地殻変動（地殻の変化量）と同期した変化を確認できた。

カ）体積ひずみ計観測点について、気圧補正係数や潮汐補正係数の経年変化を調査し、一部の観測点で経年的に感度が変わっていることを明らかにした。

キ）ひずみ計の短期的な監視を行う上では、現在気象庁が降水補正に用いている自己回帰モデルよりも、タンクモデルを用いた補正の方が非線形的な効果を導入できることによって有効であることを明らかにした。また、観測点の設置場所によっては、観測点の上流における降水量を考慮した降水補正を行う必要性を明らかにした。

ク）ひずみ計の降水補正に用いる降水量データについて、レーダーアメダス解析雨量と観測点設置雨量計、近隣のアメダスを比較し、基本的には観測点設置雨量計が最も良く補正できるが、近隣に雨量計が無い観測点ではレーダーアメダス解析雨量によって良い補正ができるケースがあることを明らかにした。

ケ）ひずみ計の降水期間のノイズレベルの定義を見直すことによって、降水によるアラーム報知回数を従来の 1/3 以下にでき、短期的スロースリップイベントなどの真の地殻変動の検出率が大幅に向上することを確認した。

コ）ひずみ計の監視において、基準を下げた上で複数観測点での同期現象を監視することによって、短期的スロースリップイベント程度の規模のイベントについて、精度良く検知が可能であることを明らかにした。また、より小さな規模の地下深部の現象を捉えるためには、24 時間階差以外に 72 時間階差などの長期間の階差が有効であることを明らかにした。

サ）GNSS 面的監視について、地震時のオフセットが解析結果に影響するのを避けるため、補正値を設定してオフセットを除去できるようにした。また、外れ値を客観的に除くため四分位数を活用したノイズレベル調査を行った。

シ）GNSS データの解析により、2011 年東北地方太平洋沖地震の数年前から東北地方を東西に横切る基線長に伸びが見られ、この変化が震源域から南の福島県沖、茨城県沖にかけてのゆっくりしたすべりにより説明できることを明らかにした。

ス）GNSS データの解析により、小規模な長期的スロースリップが 2005 年に四国西部で、2005～2010 年頃に四国中部で、1996 年と 2001～2004 年にかけて紀伊水道付近で発生していたことを見出した。

セ）水準測量と潮位の解析により、豊後水道の長期的スロースリップについて、GNSS が観測する以前にもおよそ６～７年のほぼ一定間隔 で同規模の地殻変動が発生していたことを明らかにした。

ソ）水準測量と潮位の解析により、四国中部で 1977～1980 年頃に長期的スロースリップの可能性がある地殻変動が発生していたことを明らかにした。また、紀伊半島については 1980 年以降に Mw6.5 以上の長期的スロースリップが発生していなかったことを明らかにした。

タ）GNSS データの 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動について調査し、余効変動の影響が見られる地域で、余効変動を除いてその地域周辺に起因する地殻変動を解析可能とした。

③　地震活動評価の高度化

ア）地震の規模別頻度分布をGutenberg-Richter(G-R)則および改良G-R則で近似する手法を基に、日本の深さ 30 km 以浅で M5.0 以上の地震が発生する確率を算出するモデル（MGR モデル）を試作し、地震発生予測検証実験（日本版 CSEP）に参加した。

イ）3 次元地震波速度と過去に発生した M6.0 以上の地震との関連を調査した。その結果、深さ 30 km における地震波速度が平均よりも遅い地域で M6.0 以上の地震が比較的多く発生し、両者の関係を対数正規分布で近似できることがわかった。この関係を既存の地震発生予測モデル（MGR モデル）に組み込むことで、対数尤度は 2.5 上昇し、全体的な予測精度が若干向上 した。

ウ）応力場を正断層型、逆断層型、横ずれ型のいずれの地震を発生させやすい場であるかによって大別した３つの応力場ごとに速度構造と地震活動との関連を調べた。その結果、応力場が正断層型の地域では、速度構造と地震活動とに関連はみられなかった。一方、逆断層型の地域では、モホ面付近の下部地殻における地震波速度が低い地域において M6.0 以上の地震が比較的多く発生していることがわかった。また、横ずれ型の地域でもその傾向はみられる。これらの情報を、地震発生予測モデル（MGR モデル）に組み込んだところ、対数尤度は 4.9 上昇し、総合的なパフォーマンスはやや向上 した。

エ）房総半島沖のスロースリップ北縁で発生する地震活動の b 値（G-R 則）の時間変化を調査した結果、b 値はスロースリップによる応力の変化を反映して変化していることが示唆された。

オ）M7.0 以上の地震前後の規模別頻度分布に対して η 値の時間変化を求めた結果、本震前の η 値は小さく本震後は大きくなっていることを確認した。このことは、本震前は G-R 則から逸脱し、本震・余震によって G-R 則に回復する傾向があることを示している。これらの特徴を考

慮してη値に基づいた予測モデルの作成を試みたところ、対象地震の余震域に適した半径を用いれば予知率は高まることがわかった。予知率の高い M8 クラスに特化した予測モデルによれば、2012 年 8 月までのデータでは特に房総半島沖でη値が小さく、注目される。

カ）本震の直前に複数の地震が発生する場合があることに着目し、前震活動による予測可能性について調査した。その結果、続発地震が発生しやすい東北沖の 3 領域に限ると、2010 年までの過去 50 年のデータから最適なパラメータを用いて前震候補を選択した場合、予知率=38% (=11/29)、適中率=30% (=13/44)となることが分かった。このパラメータを用いて 2011 年から 2012 年 6 月までの地震活動に適用した場合、2011 年東北地方太平洋沖地震(M9.0)と 2012 年 5 月 20 日の岩手県沖の地震(M6.5)は、その前震活動により予測された期間で発生した地震となり、予知率=25% (=2/8)、適中率=40% (=2/5)となるが、この成績は過去 50 年の地震活動から期待される予測成績に近い。限られた領域ではあるが、前震活動が予測に有効である場合があることが示された。

キ）相似地震の年発生確率について基本的統計予測モデルを開発し、事前予測と観測データによる検証を行い、一様ランダムなモデルより有意に優れていることを確認した。2010 年までの予測実験（4 実験、528 回予測）の結果を集計すると、ブライアスコアで 0.197、平均対数尤度で-0.577 であった（因みに 7 日先の降水確率予報（東京地方）と同程度の成績)。2011 年予測では、相似地震活動の地域性と予測成績を考慮し、対象地域を 3 区域に分けたモデルを適用したが、東北地方太平洋沖地震の発生と余震活動のために、地域性を考慮したことの効果は確認できなかった。

ク）相似地震と同様に繰り返し地震である活断層帯で発生する大地震について、地震発生履歴情報に不確実性がある場合にも、繰り返し間隔のばらつきの統計モデルを用いて、地震発生頻度・確率等のポテンシャルを推定できる手法を開発した。

ケ）静岡県西部において観測された群発的な地震活動を、間隙水圧の変動による有効法線応力の変化と、地球潮汐による応力変化により定量的に説明するモデルを作成した。

コ）国内の大地震（1988～2010 年、M6.7 以上、深さ 120km 以浅）の前に地震活動の静穏化現象が伴ったかどうかを明田川・伊藤の手法（2008)により検証した結果、太平洋プレート沈み込み帯付近のプレート境界型地震には静穏化が高い割合（約 70%）で出現することが確認され、この場合、静穏化領域と静穏化継続期間の地震規模（M）に対する正の相関関係も認められた。

サ）気象庁地震火山部と協力して伊豆東部の地震活動について、地殻変動に基づく予測手法を開発した。

副課題２　地震発生シミュレーション技術の高度化

① 東海地震、東南海地震、南海地震の想定震源域を含んだ計算領域である南海トラフ沿いの広域のシミュレーションモデルのメッシュサイズをこれまでの 10km から 7km に高精度化するとともに、東海地域の計算領域でのスロースリップの再現に成功したモデルを組み入れることにより、広域の応力場の影響を考慮した東海地域の長期的スロースリップイベント（LSSE）のモデル化を行った。その結果、南海トラフ沿いの巨大地震の発生と東海地域の LSSE の発生を同時にシミュレーションすることが可能となった。

② 数値シミュレーションを用いて、南海トラフ沿いで繰り返し発生する巨大地震、東海地域および豊後水道で繰り返し発生している LSSE の再現を試みた。その結果、以下のモデルを作成することができた。

ア）紀伊半島沖を破壊開始点とする東南海地震・南海地震が約 110 年のサイクルで発生し、2 回に 1 回は東海地域まで破壊が進展する（2 回に 1 回は東海地域が割れ残る）モデルが得られた。これは安政および昭和の巨大地震の発生様式を概ね再現している。

イ）地震サイクル中に、東海地域で約 15-18 年、豊後水道で約 6-10 年の周期を持つ LSSE が発生した。LSSE の周期は時間とともに短くなり、規模は大きくなる傾向を示した。東海地域の LSSE の規模は、東海地域が割れ残った後のサイクルにおいて大きくなった。豊後水道の LSSE は、東海地域の割れ残りの影響は見られなかった。

③ 上記のシミュレーションモデルでは東南海地震と南海地震は毎回同時に破壊し、安政や昭和の地震ように時間差のあるパターンが現れない。そこで、海山列がバリアとしての効果を持つよう特徴的すべり量を大きく与えた。その結果、紀伊半島沖を震源とする東南海地震が約 100 年のサイクルで発生し、その数年後に南海地震が発生し、そして 2 回に 1 回は東海地域まで破壊が進展するモデルが得られた。

④ 2011 年東北地方太平洋沖地震でプレート境界浅部が大きく滑ったことを考慮し、トラフ軸付近まで地震すべりが発生するようなパラメータをモデルに組み込んだ。その結果、巨大地震の多用な発生パターンが現れるモデルを作成することができた。

⑤ 1605 年慶長津波地震のように浅部(深さ 10km 以浅)のみが滑ったパターンの再現を目指して、内陸地震や海域の仮想的なプレート内地震による応力擾乱を考慮したシミュレーションを行った。内陸地震によるせん断応力擾乱は東海沖および四国西部沖では地震を促進するが、志摩半島沖から四国東部沖にかけての広い範囲で地震を抑制する傾向を示した。擾乱を入れるタイミングによってその後に発生する地震の時期は前後し、破壊域も変化したが、いずれの場合も浅部のみを破壊する地震は発生せず、浅部から深部におけるすべりのパターンは擾乱を与えない場合の地震時すべりとほぼ同じであった。一方、海域の仮想的なプレート内地震によるせん断応力擾乱は内陸地震によるものよりも数値が大きいものの局所的であるため大局的な擾乱の効果は小さく、浅部のみを破壊する地震は再現できなかった。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

副課題 1　監視・解析技術の高度化

「①精密制御震源を用いた監視技術に関する研究」において、変動要因に関する調査をより進めるため名古屋大学・静岡大学との平成 25 年度より共同研究として実施することとした。

成果の他の研究への波及状況

① 2011 年（平成 23 年）東北地方太平洋沖地震が発生したことに際し、これまでに開発してきた GNSS データの検討手法や、地震活動評価手法などをこの震源域及びその周辺に適用した。長期の GNSS データについて解析した結果、2003 年頃から福島県沖付近に非定常すべりが発生していた可能性があること、本震発生以後に中部地方や北海道南部など震源域を広く取り囲む地域でわずかな隆起が継続していることなどを明らかにした。また、本震の震源域付近は、b 値が異常に低い領域にあたっていたことを明らかにした。

② 当課題における地殻変動解析手法は、火山地域での地殻変動の解析にも寄与した。

③ 当課題における相似地震の発生予測手法は、地方共同研究「日本各地域の繰り返し相似地震発生状況に関する研究」（平成 23 年～24 年度）においても用いられた。

今後の課題

① 南海トラフ沿いの監視に注力してきたが、平成 23 年東北地方太平洋沖地震発生後に、地震前の地殻変動や地震活動に異常が発生していたことが指摘されている。南海トラフ沿い以外の領域についても非定常な変化を検知する手法の応用、高度化が望まれている。

② 地震発生シミュレーションについては、地震サイクルの複雑さの要因分析や、前兆的な現象の可能性について更なる検討を行う必要がある。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（地震火山津波分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、479 ページを参照。

成果発表一覧

査読論文　：21 件

1. Hirose, F., and K. Maeda, 2011: Earthquake Forecast Models for Inland Japan Based on

the G-R Law and the Modified G-R Law, Earth Planets and Space, 63, 239-260.
2. Hirose, F., and K. Maeda, 2013: Simulation of recurring earthquakes along the Nankai trough and their relationship to the Tokai long-term slow slip events taking into account the effect of locally elevated pore pressure and subducting ridges, J. Geophys. Res., 118, 1-18, doi:10.1002/jgrb.50287.
3. Katsumata, A., T. Yamamoto, A. Kobayashi, N. Hamada, and S. Yoshikawa, 2010: Evaluation of detection level of crustal deformation observation in the time domain through power spectrum analysis—Investigation of a long-baseline laser extensometer—, J. Geodetic Soc. Japan, 56, 107-116.
4. Kobayashi, A., and T. Yamamoto, 2011: Repetitive long-term slow slip events beneath the Bungo Channel, southwestern Japan, identified from leveling and sea level data from 1979 to 2008, J. Geophys. Res., 116, B04406, doi:10.1029/2010JB007822.
5. Okada, M., N. Uchida, and S. Aoki, 2012: Statistical forecasts and tests for small repeating earthquakes along the Japan Trench, Earth Planets and Space, 64, 703-715, doi:10.5047/eps.2011.02.008.
6. Yoshida, A., K. Hosono, H. Takayama, A. Kobayashi, and K. Maeda, 2011: Seismic and geodetic evidence for the existence of hot materials beneath the Wakayama swarm activity, southwestern Japan, Tectonophysics, 510, 1-2, 124-131, doi:10.1016/j.tecto.2011.06.023.
7. 青木重樹, 岡田正実, 2010：三角ダイヤグラムを用いたメカニズムタイプの変化の統計的検出, 地震 2，63，101-105.
8. 木村一洋，潟山弘明，藤松淳，菅沼一成，赤司貴則，2013：地殻変動観測原簿のしくみについて，験震時報，76，175-187.
9. 木村一洋，近澤心，菅沼一成，草野利夫，2013：EPOS4 における地殻変動の異常監視処理の高度化，験震時報，76，45-62.
10. 木村一洋，前田憲二，弘瀬冬樹，2010：1935 年および 1965 年の静岡地震による東海地震の発生時期への影響，験震時報，73，165-168.
11. 小林昭夫，2010：四国西部において 2005 年に発生した小規模な長期的スロースリップ，地震 2，63，97-100.
12. 小林昭夫，2012：高知市付近で 1978～1980 年頃に発生した長期的スロースリップ，地震 2，64，63-73.
13. 小林昭夫，2013：GNSS 日値による面的監視の通常変動値調査，験震時報，77，印刷中.
14. 小林昭夫，2013：水準測量と潮位による紀伊半島の地殻上下変動（1972～2009 年），地震 2，印刷中.
15. 小林昭夫，山本剛靖，近澤心，木村一洋，吉田明夫，2010：三ケ日観測点で夏季に見られる特徴的な体積歪・水位変化の原因特定とモデル化，験震時報，73，159-163.
16. 原田昌武，小林昭夫，細野耕司，吉田明夫，2009：2001 年箱根群発地震活動以後の箱根から富士山にかけての地殻変動，温泉地学研究所報告，41，7-14.
17. 原田昌武，細野耕司，小林昭夫，行竹洋平，吉田明夫，2010：富士山及び箱根火山の膨張歪と低周波地震活動，火山，55，193-199.
18. 弘瀬冬樹，前田憲二，高山博之，2009：東海地域の長期的スロースリップイベントおよび地震サイクルの再現の試み，地震 2，62，67-84.
19. 宮岡一樹，横田崇，2012：地殻変動検出のためのスタッキング手法の開発—東海地域のひずみ計データによるプレート境界すべり早期検知への適用—，地震 2，65，205-218.
20. 山本剛靖，小林昭夫，2009：近畿地方北部で観測された地殻歪の長期的変化，気象研究所研究報告，60,17-24.
21. 吉田明夫, 原田昌武, 小田原啓, 宮岡一樹, 小林昭夫, 野口伸一, 2013：関東地震は'characteristic earthquake'か？，温泉地学研究所報告，44，1-7.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）: 40 件

1. 岩切一宏，2011：第２章　精密制御震源（アクロス）を用いた地殻活動モニタリング　2.4.短スパン地震計アレイ観測，気象研究所技術報告，63，149-161.
2. 岡田正実, 2010 : 繰り返し地震の周期性と揺らぎに基づく発生予測, 地震予知連絡会会報, 83, 633-638.
3. 岡田正実, 内田直希, 2010 : 2009 年相似地震予測の検証, 地震予知連絡会会報, 84, 474-476.
4. 沖縄気象台，気象庁地震予知情報課，気象研究所，2009：沖縄本島近海（国頭村東方沖・沖永良部島西方沖）の固有地震（繰り返し地震），地震予知連絡会会報，82，417-422.
5. 勝間田明男, 2011 : 第４章　新地殻変動観測手法の開発　4.2.技術要素, 気象研究所技術報告, 63，197-216.
6. 気象研究所, 2009 : 天竜船明レーザー式変位計による地殻変動観測, 地震予知連絡会会報, 82, 310-311.
7. 気象研究所, 2009 : 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測, 地震予知連絡会会報, 82, 366-368.
8. 気象研究所, 2009 : 西南日本で発生する深部低周波地震の深さ変化, 地震予知連絡会会報, 82, 483-485.
9. 気象研究所，2009：長期的・短期的スロースリップに先行して現れた深部低周波微動活動の変化，地震予知連絡会会報，82，486-490.
10. 気象研究所, 2010 : 天竜船明レーザー式変位計による地殻変動観測, 地震予知連絡会会報, 83, 399-400.
11. 気象研究所, 2010 : 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測, 地震予知連絡会会報, 83, 418-421.
12. 気象研究所，2010：静岡県森町に設置した弾性波アクロス送信装置を用いた解析，地震予知連絡会会報，83，648-653.
13. 気象研究所, 2010 : 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測, 地震予知連絡会会報, 84, 366-368.
14. 気象研究所, 2011 : 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測, 地震予知連絡会会報, 85, 288-291.
15. 気象研究所, 2011 : 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測, 地震予知連絡会会報, 86, 514-515.
16. 気象研究所, 2012 : 海溝と直交する方向の全国の基線長変化, 地震予知連絡会会報, 87, 33-37.
17. 気象研究所, 2012 : 天竜船明レーザー式変位計による地殻変動観測, 地震予知連絡会会報, 87, 323-324.
18. 気象研究所, 2012 : 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測, 地震予知連絡会会報, 87, 388-390.
19. 気象研究所, 2012 : 海溝と直交する方向の全国の基線長変化, 地震予知連絡会会報, 88, 31-34.
20. 気象研究所, 2012 : 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測, 地震予知連絡会会報, 88, 370-372.
21. 気象研究所, 2013 : 東北地方太平洋岸の潮位から見た地殻上下変動, 地震予知連絡会会報, 89, 110-112.
22. 気象研究所, 2013 : 天竜船明レーザー式変位計による地殻変動観測, 地震予知連絡会会報, 89, 253-255.
23. 気象研究所, 2013 : 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測, 地震予知連絡会会報, 89, 285-288.
24. 気象研究所，2013：海溝と直交する方向の全国の基線長変化，地震予知連絡会会報，90，印刷中.
25. 気象研究所, 2013 : 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測, 地震予知連絡会会報, 90, 印刷中.
26. 気象研究所（小林昭夫，木村一洋），2011：東北地方太平洋沖地震の数年前からの震源域内の

非地震性すべり，地震予知連絡会会報，86，182-183.
27. 気象研究所（弘瀬冬樹），2011：東北地方周辺における b 値の空間分布，地震予知連絡会会報，86，83-86.
28. 気象研究所（前田憲二，弘瀬冬樹，小林昭夫），2013：2011 年東北地方太平洋沖地震前に見られた前兆的現象，地震予知連絡会会報，90，印刷中.
29. 気象研究所，気象庁，2010：歪計による短期的スロースリップイベントの検知について，地震予知連絡会会報，84，560-564.
30. 気象研究所，仙台管区気象台，気象庁地震予知情報課，神奈川県温泉地学研究所，2011：客観的手法による地震活動静穏化の検出，地震予知連絡会会報，85，8-18.
31. 気象研究所，名古屋大学，2011：アクロスによるプレート境界状態変化検出の試み，地震予知連絡会会報，85，503-509.
32. 気象庁地震予知情報課，仙台管区気象台，気象研究所，2009：東北地方（福島県いわき沖・岩手県種市沖）の固有地震（周期的な相似地震），地震予知連絡会会報，82，84-90.
33. 小林昭夫，2011：第３章　潮位記録による地殻上下変動の推定　3.1.舞阪の潮位変化から推定される東海スロースリップの繰り返し発生，気象研究所技術報告，63，162-167.
34. 弘瀬冬樹，前田憲二，2010：東海地域の割れ残りと長期スローイベントとの関係，地震予知連絡会会報，84，547-549.
35. 弘瀬冬樹，前田憲二，2011：G-R 則および改良 G-R 則を用いた地震発生予測モデルーMGR モデルー，地震予知連絡会会報，85，437-439.
36. 弘瀬冬樹，前田憲二，2011：第５章　三次元数値モデルによる巨大地震発生シミュレーション　5.1.3.GPS データを用いた摩擦パラメータ（a-b）の推定，気象研究所技術報告，63，255-265
37. 弘瀬冬樹，前田憲二，2012：東海地域の割れ残りと東海地域および豊後水道の長期的スロースリップイベントの再現，地震予知連絡会会報，87，504-506.
38. 弘瀬冬樹，前田憲二，高山博之，2009：南海トラフ沿い巨大地震の破壊開始点および発生時期の推定ーフィリピン海スラブの３次元沈み込み形状を用いた地震発生シミュレーションー，月刊地球，31(5)，255-263.
39. 前田憲二，弘瀬冬樹，2011：前震による確率予測ー日本海溝沿い領域についてー，地震予知連絡会会報，85，460-462.
40. 吉田康宏，2011；第２章　精密制御震源（アクロス）を用いた地殻活動モニタリング　2.1.アクロスの原理と解析方法　2.2.森町のアクロス送信装置概要　2.3.受信データ解析，気象研究所技術報告，63，88-148.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：13 件

1. Aoki, S, 2010: Complicated fault geometries of shallow destructive inland earthquakes with high aftershock activity -the Mid Niigata Earthquake in 2004 and the Mikawa Earthquake in 1945-, 8th Joint Meeting of UJNR Panel on Earthquake Research, O-01.
2. Harada, M., T. Tanada, Y. Yukutake, A. Kobayashi, and A. Yoshida, 2009, Sources of crustal deformation associated with swarm activities in the Hakone caldera and their influence on the occurrence of the Western Kanagawa Prefecture earthquake, American Geophysical Union, Fall Meeting 2009, NH31A-1094.
3. Hirose, F., and K. Maeda, 2009: Earthquake Occurrence Probability in Inland Japan by Applying the Gutenberg-Richter Model, Abstracts, Japan Geoscience Union Meeting, S220-015.
4. Hirose, F., and K. Maeda, 2010: Seismicity Model Modified by the Information of Seismic Velocity Structure, Workshop on “Earthquake Forecast Systems Based on Seismicity of Japan: Toward Constructing Base-line Models of Earthquake Forecasting”.
5. Hirose, F., and K. Maeda, 2012: Relation between the slow slip that started since 2003 off

Miyagi and Fukushima and the temporal variation of b-value, International symposium on “Statistical modeling and real-time probability forecasting for earthquakes”, ISM.
6. Kato, A., T. Iidaka, R. Ikuta, Y. Yoshida, K. Katsumata, T. Iwasaki, S. Sakai, K. Yamaoka, T. Watanabe, T. Kunitomo, F. Yamazaki, N. Tsumura, K. Nozaki, F. Takahashi, M. Okubo, S. Suzuki, N. Hirata, 2009: Stress field from the bottom of the source region of the Tokai Earthquake to the deep slow-slip regions, Abstracts, Japan Geoscience Union Meeting, T224-006.
7. Kato, A., T. Iidaka, R. Ikuta, Y. Yoshida, K. Katsumata, T. Iwasaki, S. Sakai, K. Yamaoka, T. Watanabe, T. Kunitomo, F. Yamazaki, N. Tsumura, K. Nozaki, F. Takahashi, M. Okubo, S. Suzuki, N. Hirata, H. Zhang, C. H. Thurber, 2009: Detailed velocity structure from the bottom of the source region of the Tokai Earthquake to the deep slow-slip regions, Abstracts, Japan Geoscience Union Meeting, S153-006.
8. Kimura, K., 2010: Short-term Slow Slip Events Detected by the Strainmeters in the Tokai Region, 8th Joint Meeting of UJNR Panel on Earthquake Research, O-36.
9. Maeda, K,, and F. Hirose, 2010: Probability Estimation of Large Earthquakes by Possible Foreshocks along the Japan Trench, Workshop on "Earthquake Forecast Systems Based on Seismicity of Japan: Toward Constructing Base-line Models of Earthquake Forecasting".
10. Maeda, K. and F. Hirose, 2012: Prediction Performance of Empirically Defined Foreshocks and Its Application to the 2011 Off Tohoku Earthquake, International symposium on “Statistical modeling and real-time probability forecasting for earthquakes”, at ISM
11. Okada, M., N. Uchida, and S. Aoki, 2010: A new prior distribution of a Bayesian forecast model for small repeating earthquakes in the subduction zone along the Japan Trench, Workshop on “Earthquake forecast systems Based on seismicity of Japan: Toward constructing baseline models of earthquake forecasting”.
12. Okada, M., 2012: A Baysian model, Negative Binomial Model, for forecasting major aftershocks, Symposium on “Statistical model and real-time probability forecasting for earthquakes”, ISM.
13. Yoshida, Y., A. Katsumata, T. Kunitomo, and M. Kumazawa, Temporal variation of tensor transfer function obtained by ACROSS signal transmitted from Morimachi, 1st joint international workshop for the earth's surface and subsurface 4D monitoring, 3-2-1.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：50 件

1. 青木重樹，岡田正実，2009：客観的な小三角分割手法による三角ダイヤグラムを用いたメカニズム解分布の変化の統計的検出，日本地震学会 2009 年秋季大会予稿集，B32-06.
2. 飯高隆，加藤愛太郎，生田領野，吉田康宏，勝俣啓，岩崎貴哉，酒井慎一，津村紀子，山岡耕春，渡辺俊樹，國友孝洋，山崎文人，大久保慎人，鈴木貞臣，平田直，東海地域における異方性観測，日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集，SSS034-05.
3. 太田健治，林元直樹，宮岡一樹，明田川保，吉川澄夫，2010：プレート境界型繰り返し地震発生前の静穏化域検出（続報），日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集，SSS012-03.
4. 太田健治，林元直樹，宮岡一樹，明田川保，吉川澄夫，2010：静穏化現象を検出した場合の地震発生の割合について，日本地震学会 2010 年秋季大会予稿集，D31-05.
5. 岡田正実，2010：区間推定された地震発生確率予測の検証方法（試案），日本地震学会 2010 年度秋季大会予稿集，B22-01.
6. 岡田正実，2011，海溝型大地震の長期評価に対する中間検証（試行），第 166 回地震調査委員会長期評価部会.
7. 岡田正実，内田直希，青木重樹，2011：2010～11 年の相似地震確率予測，研究集会「地震活動の評価に基づく地震発生予測システム：標準予測モデルの構築へ向けて(2)」.

8. 勝間田明男，山本剛靖，吉川澄夫，浜田信生，2009:長基線レーザー伸縮計の開発と試験観測結果，日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集，D108-002.
9. 勝間田明男，吉田康宏，2013：アクロス森町送信点からの信号を用いた東海地域弾性波変化監視，第 4 回周波数コム研究集会.
10. 加藤愛太郎，飯高隆，生田領野，吉田康宏，勝俣啓，岩崎貴哉，酒井慎一，山岡耕春，渡辺俊樹，國友孝洋，山崎文人，津村紀子，野崎謙治，高橋福助，大久保慎人，鈴木貞臣，平田直，熊澤峰夫，2009：東海地震震源域の深部遷移領域の包括的理解にむけて，日本地震学会 2009 年秋季大会予稿集，A31-09.
11. 加藤愛太郎，飯高隆，生田領野，吉田康宏，勝俣啓，岩崎貴哉，酒井慎一，山岡耕春，渡辺俊樹，國友孝洋，山崎文人，津村紀子，野崎謙治，高橋福助，大久保慎人，鈴木貞臣，平田直，2010：東海下の構造と地震発生に果たす水の役割，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集，U004-02.
12. 鎌谷紀子，宇都宮真吾，勝間田明男，2010：深部低周波地震の帯が途切れる理由，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集，SCG085-05.
13. 気象研究所，気象庁，2010：歪計による短期的スロースリップの検知能力（重点検討課題「プレート境界の固着とすべりのシミュレーションーモニタリングによって何が検知されると期待されるのか？」），第 186 回地震予知連絡会.
14. 気象研究所，気象庁，2010：歪計による短期的 SSE の検知能力（重点検討課題「プレート境界すべり現象に関する今後のモニタリング戦略」），第 188 回地震予知連絡会.
15. 気象研究所，名古屋大学，2010：アクロスによるプレート境界状態変化検出の試み，第 188 回地震予知連絡会.
16. 木村一洋，2012：気象研究所における地殻変動連続観測（船明・敦賀・今津）について，地殻変動連続観測と GPS 大学連合会合（2012/3/28）.
17. 木村一洋，2013：気象庁のひずみ計におけるプレスリップ検知力の現状と短期的 SSE の自動検知，東大地震研共同利用研究集会「スロー地震の発生メカニズムを探る：測地・地震観測、データ処理、実験、シミュレーション、モデル化から得られる情報の総合化と巨大地震との関連性の解明を目指して」（2013/3/28）.
18. 木村一洋，2013：タンクモデルによるひずみ計の降水補正，地殻変動連続観測と GPS 大学連合会合（2013/3/30）.
19. 小林昭夫，2013：紀伊水道から紀伊半島の過去の長期的スロースリップ，東大地震研共同利用研究集会「スロー地震の発生メカニズムを探る：測地・地震観測、データ処理、実験、シミュレーション、モデル化から得られる情報の総合化と巨大地震との関連性の解明を目指して」（2013/3/28）.
20. 小林昭夫，2013：水準測量と潮位による紀伊半島の地殻上下変動（1972～2009 年），海岸昇降検知センター総会話題提供（2013/8/8）.
21. 原田昌武，宮岡一樹，行竹洋平，小林昭夫，本多亮，板寺一洋，伊東博，明田川保，吉田明夫，2013：箱根火山における群発地震活動と地殻歪，日本地球惑星科学連合 2013 年大会予稿集，SVC48-14.
22. 弘瀬冬樹，前田憲二，2009：局所的な高間隙水圧を考慮した東海地域の長期的スロースリップイベントの再現，日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集，J169-002.
23. 弘瀬冬樹，前田憲二，2009：東海地域の割れ残りとスロースリップイベントの再現，日本地震学会 2009 年秋季大会予稿集，A32-09.
24. 弘瀬冬樹，前田憲二，2010: G-R 則および改良 G-R 則を用いた地震発生予測モデル，地震活動の評価に基づく地震発生予測プロジェクト研究集会＠東大地震研究所（2010/3/17）.
25. 弘瀬冬樹，前田憲二，2010：東海地域の割れ残りと長期スローイベントとの関係，第 2 回東海地震の予知手法等に関する勉強会.
26. 弘瀬冬樹，前田憲二，2010：東海地域の割れ残りと長期スローイベントとの関係（重点検討課題「プレート境界の固着とすべりのシミュレーションーモニタリングによって何が検知されると期待されるのか？」），第 186 回地震予知連絡会.

27. 弘瀬冬樹，前田憲二，2010：G-R 則および改良 G-R 則を用いた地震発生予測モデルーMGR モデルー（重点検討課題「地震活動について」），第 187 回地震予知連絡会.
28. 弘瀬冬樹, 前田憲二, 2010：東海地域および豊後水道の長期的スロースリップイベントの再現，日本地震学会 2010 年秋季大会予稿集，B32-06.
29. 弘瀬冬樹，前田憲二，2011：応力場の地震タイプ分類情報を用た日本内陸地域の地震発生確率モデルの改良，日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集，SSS024-07.
30. 弘瀬冬樹, 前田憲二, 2011：G-R 則からのずれに基づいた大地震の予測の可能性，研究集会「地震活動の評価に基づく地震発生予測システム：標準予測モデルの構築へ向けて(2)」，地震発生予測実験研究グループ.
31. 弘瀬冬樹，前田憲二，2011：東海地震のシミュレーション（重点検討課題「プレート境界に関するわれわれのイメージは正しいか？（その１）南海トラフ・西南諸島海溝」），第 192 回地震予知連絡会.
32. 弘瀬冬樹，前田憲二，2011：南海トラフ沿い巨大地震の複雑なパターンの再現，日本地震学会 2011 年度秋季大会予稿集，B32-02.
33. 弘瀬冬樹，前田憲二，2012：MGR モデルによる地震発生予測，研究集会"地震活動の評価に基づく地震発生予測システムー東北地方太平洋沖地震前後の地震発生予測ー"@東大地震研究所（2012/07/12）.
34. 弘瀬冬樹，前田憲二，2012：南海トラフの地震発生シミュレーション，南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会@内閣府（2012/09/13）.
35. 弘瀬冬樹，前田憲二, 2013: 房総半島沖で繰り返すスロースリップと b 値の時間変化との関係，地震研共同利用研究集会「室内実験と数値実験から探る地震活動の物理」@東大地震研究所（2013/03/05）.
36. 弘瀬冬樹, 前田憲二, 2013: 房総半島沖で繰り返すスロースリップと地震活動の関係，研究集会"地震活動の評価に基づく地震発生予測システムー東北地方太平洋沖地震前後の地震発生予測ー"@東大地震研究所（2013/07/12）.
37. 前田憲二，2010：静岡県西部の地震クラスターの活動と応力変化，東京大学地震研究所特定共同研究（A）研究集会「日本列島域の応力場・ひずみ場に関する研究」（2010/2/16）前田憲二，2013：地震活動解析に基づく地震発生確率予測の現状，日本地球惑星科学連合 2013 年大会予稿集，U06-18.
38. 前田憲二，弘瀬冬樹，2010：静岡県西部の群発微小地震活動と間隙水圧との関連，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集，SSS013-01.
39. 前田憲二，弘瀬冬樹，2010：前震による確率予測（重点検討課題「地震活動について」），第 187 回地震予知連絡会.
40. 前田憲二，弘瀬冬樹，2011：前震の統計解析に基づく東北地方太平洋沖地震の予測可能性，研究集会「地震活動の評価に基づく地震発生予測システム：標準予測モデルの構築へ向けて(2)」，地震発生予測実験研究グループ.
41. 前田憲二，弘瀬冬樹，2011：統計的手法による前震の識別ー日本海溝沿い領域の場合ー，日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集，SSS024-06.
42. 前田憲二，弘瀬冬樹，2012：前震の経験則に基づく地震発生予測―東北地方太平洋沖地震とその後の地震活動への適用―，日本地震学会講演予稿集 2012 年度秋季大会，D12-06.
43. 前田憲二，弘瀬冬樹, 2013: 前震に基づく東北地方太平洋沖地震の発生確率，研究集会"地震活動の評価に基づく地震発生予測システムー東北地方太平洋沖地震前後の地震発生予測ー"@東大地震研究所（2013/07/11）
44. 前田憲二，弘瀬冬樹，小林昭夫，2012：2011 年東北地方太平洋沖地震の前兆的現象，南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会@内閣府（2012/07/18）.
45. 前田憲二，弘瀬冬樹，小林昭夫，2012：2011 年東北太平洋沖地震前に見られた前兆的現象（重点検討課題「東北地方太平洋沖地震に関する検討（まとめ）」），第 198 回地震予知連絡会（2013/02/18）.
46. 前田憲二, 宮岡一樹, 2009：静岡県西部の群発的地震活動と地球潮汐による応力変化との関連，

日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集，S149-007.
47. 吉川澄夫，2010：大地震前の地震活動活発化と静穏化出現の空間的特徴，日本地震学会 2010 年秋季大会予稿集，D31-04.
48. 吉川澄夫，2010：地震活動静穏化の「局所的滑り説」の定量化の試み，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集，SSS012-04.
49. 吉田康宏，勝間田明男，國友孝洋，岩切一宏，加藤愛太郎，飯高隆，生田領野，勝俣啓，岩崎貴哉，酒井慎一，山岡耕春，渡辺俊樹，山崎文人，津村紀子，野崎謙治，高橋福助，大久保慎人，鈴木貞臣，平田直，熊澤峰夫，2009：東海臨時観測で見た森町アクロスの信号の解析，日本地震学会 2009 年秋季大会予稿集，B21-02.
50. 吉田康宏，勝間田明男，岩切一宏，吉川澄夫，國友孝洋，熊澤峰夫，2010：地震波で地下の時間変動を監視する，平成 21 年度気象研究所研究成果発表会.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：4 件

1. Hirose, F., and K. Maeda, 2010: Use of Seismic Velocity Information for Predictive Earthquake Occurrence Rate, Seismological Society of Japan, 2010, Fall Meeting, P2-30.
2. Noguchi, S., A. Yoshida, K. Hosono, A. Kobayashi, and M. Harada, 2012: Double subduction of the Philippine Sea plate and its implication in large earthquake occurrence in southern Kanto, central Japan, AGU Fall meeting, T13C-2624.
3. Okada, M., N. Uchida, and S. Aoki, 2010: Forecast for small interplate repeating earthquakes near the east coast of NE Japan in 2009, Japan Geoscience Union Meeting, SSS220-P01.
4. Okada, M., N. Uchida, and S. Aoki, 2013: Testing the probability forecast in 2011 for small interplate repeating earthquakes along the Japan Trench, Japan Geoscience Union Meeting, SSS02-P03.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：51 件

1. 青木重樹，2009：三角ダイヤグラムを用いたメカニズム解分布の変化の統計的検出，日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集，S149-P017.
2. 青木重樹，迫田浩司，碓井勇二，2010：日本全域における初動発震機構解とモーメントテンソル解の比較，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集，SSS011-P07.
3. 岩切一宏，吉田康宏，勝間田明男，渡辺俊樹，山岡耕春，國友孝洋，熊澤峰夫，2009：Hi-net 下山周辺における地震計アレイを用いた森町弾性波アクロス信号の解析，日本地震学会 2009 年秋季大会予稿集，P2-50.
4. 岡田正実，2011：海溝型大地震の長期評価に対する中間検証（試行），日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集，U21-P02.
5. 岡田正実，内田直希，青木重樹，2012：相似地震予測（2006～10 年）の検証・評価，日本地震学会講演予稿集 2012 年度秋季大会予稿集，P1-69.
6. 勝間田明男，2010：原子時計式海底地震計の可能性(2)，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集，STT071-P01.
7. 勝間田明男，小林昭夫，木村一洋，2011：レーザー歪計の潮汐・気圧応答の基線長 200m と 400m の比較，日本地球惑星科学連合 2011 年大会，SSS030-P03.
8. 勝間田明男，小林昭夫，吉川澄夫，2010：長基線レーザー伸縮計の地震応答，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集，SSS014-P06.
9. 勝間田明男，浜田信生，2009：原子時計式海底地震計の可能性，日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集，S150-P010.
10. 鎌谷紀子，勝間田明男，2010：全国の中規模固有地震活動（M ≧ 4.5）検出の試み，日本地震学会 2010 年度秋季大会予稿集，P2-32.
11. 北川貞之，土井恵治，横田崇，上野寛，足達晋平，太田貴郎，2012：過去の地震カタログの再

構成の試みについて（続報），日本地球惑星科学連合 2012 年大会予稿集，SSS30-P02.
12. 木村一洋，小林昭夫，近澤心，菅沼一成，2010：歪計による短期的スロースリップイベントの自動検出，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集，SSS012-P02.
13. 木村一洋，2011：小さく短期的な変化を検出するためのひずみ計の降水補正(1)，日本地震学会 2011 年秋季大会予稿集，P3-28.
14. 木村一洋，勝間田明男，小林昭夫，2011：気象庁の歪計による長期的スロースリップイベントの検出の試み，日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集，SSS030-P04.
15. 木村一洋，小林昭夫，長谷川浩，2012：GPS データからの余効変動の除去について，日本地球惑星科学連合 2012 年大会予稿集，SSS32-P02.
16. 木村一洋，露木貴裕，菅沼一成，藤田健一，2012：小さく短期的な変化を検出するためのひずみ計の降水補正(2)，日本地球惑星科学連合 2012 年大会予稿集，SSS32-P01.
17. 木村一洋，露木貴裕，菅沼一成，藤田健一，2012：小さく短期的な変化を検出するためのひずみ計の降水補正(3)，日本地震学会 2012 年秋季大会予稿集，P2-10.
18. 木村一洋，露木貴裕，秋山加奈，見須裕美，レーダー・アメダス解析雨量を用いたひずみ計の降水補正について，日本地球惑星科学連合 2013 年大会，SSS34-P03.
19. 木村一洋, 小林昭夫, 近畿地方北部における地殻歪の長期的変化に見られる 2010 年頃の変化，日本地球惑星科学連合 2013 年大会予稿集，SSS34-P04.
20. 國友孝洋，加藤愛太郎，飯高隆，生田領野，吉田康宏，勝俣啓，岩崎貴哉，酒井慎一，山岡耕春，渡辺俊樹，山崎文人，津村紀子，野崎謙治，高橋福助，大久保慎人，鈴木貞臣，平田直，2010：東海臨時測線で観測された土岐送信所からの弾性波アクロス信号，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集，SSS015-P14.
21. 國友孝洋，吉田康宏，勝間田明男，山岡耕春，渡辺俊樹，加藤愛太郎，飯高隆，生田領野，勝俣啓，岩崎貴哉，酒井慎一，山崎文人，津村紀子，野崎謙治，高橋福助，大久保慎人，鈴木貞臣，平田直, 2011：弾性波アクロスによる土岐–森町–牧之原測線下の地殻構造の推定，日本地震学会 2011 年度秋季大会予稿集，P1-35.
22. 小林昭夫，2009：四国西部において 2005 年に発生した可能性のある小規模な長期的スロースリップ，日本測地学会第 112 回講演会要旨集，P-18.
23. 小林昭夫，2011：水準測量と潮位記録から推定される 1978～1980 年頃の高知市付近の長期的スロースリップ，日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集，SCG058-P07.
24. 小林昭夫，2012：水準測量から推定される 1972 年から 2009 年の紀伊半島の地殻上下変動，日本地球惑星科学連合 2012 年大会予稿集，SSS32-P05.
25. 小林昭夫，2013：四国東部から紀伊水道にかけて発生した長期的スロースリップ(2)，日本地球惑星科学連合 2013 年大会予稿集，SCG62-P07.
26. 小林昭夫，木村一洋，2011：2005 年から 2010 年頃に発生した四国中部の地殻変動，日本地震学会 2011 年秋季大会予稿集，P3-27.
27. 小林昭夫，武藤大介，上野寛，横田崇，2013：大きな地震の余震数と余効変動との関係，日本地球惑星科学連合 2013 年大会予稿集，SSS34-P02.
28. 小林昭夫，山本剛靖，2009：潮位変化から推定される過去の豊後水道長期的スロースリップ，日本地球惑星科学連合大会予稿集，D108-P008.
29. 小林昭夫，山本剛靖，2010：水準測量と潮位記録から推定される過去の豊後水道長期的スロースリップ，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集，SSS014-P03.
30. 小林昭夫，矢来博司，2012：四国東部から紀伊水道にかけて発生した長期的スロースリップ，日本地球惑星科学連合 2012 年大会予稿集，SCG63-P11.
31. 中村雅基，今村翔太，溜渕功史，高木康伸，山田安之，石垣祐三，前田憲二，岡田正実, 2010：全国で見つかったいくつかの固有地震的地震活動，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集, SSS013-P05.
32. 原田昌武，小林昭夫，細野耕司，杉本慎吾，藤井昌和，佐柳敬造，2010：箱根火山における地殻歪と浅部地震活動，日本地震学会 2010 年秋季大会予稿集，P2-51.
33. 原田昌武，小林昭夫，吉田明夫，2010：2001 年箱根群発地震活動以後の箱根から富士山にか

けての地殻変動，日本火山学会講演予稿集，P12.
34. 原田昌武，細野耕司，伊東博，明田川保，小林昭夫，本多亮，行竹洋平，2011：箱根火山における群発地震活動に先行する地殻の膨張，日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集，VC048-P02.
35. 原田昌武，細野耕司，伊東博，明田川保，小林昭夫，本多亮，行竹洋平，吉田明夫，2010：箱根群発地震活動と地殻変動，火山学会.
36. 弘瀬冬樹，前田憲二, 2009: G-R モデルおよび改良 G-R モデルを用いた地震発生予測，日本地震学会 2009 年秋季大会予稿集, P2-05.
37. 弘瀬冬樹，前田憲二，2011：南海トラフ沿い巨大地震の複雑な発生様式の再現を目指して，日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集，SSS035-P30.
38. 弘瀬冬樹，前田憲二，2011：東北太平洋沈み込み帯の b 値の時空間変化，日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集，MIS036-P96.
39. 弘瀬冬樹，前田憲二, 2011：大地震前に現れる G-R 則からの逸脱について，日本地震学会 2011 年度秋季大会予稿集，P3-59.
40. 弘瀬冬樹，前田憲二，2012：南海トラフ沿い巨大地震の複雑な発生様式の再現を目指して(2)，日本地球惑星科学連合 2012 年大会予稿集，SSS038-P01.
41. 弘瀬冬樹, 前田憲二, 2012：房総半島沖で繰り返すスロースリップと b 値の時間変化との関係，日本地球惑星科学連合 2012 年大会予稿集，SSS030-P09.
42. 弘瀬冬樹，前田憲二，2012：大地震前に現れる G-R 則からの逸脱について～その２～，日本地震学会 2012 年秋季大会予稿集，P1-68.
43. 弘瀬冬樹，前田憲二，2012：四国中央構造線断層帯の活動と 1605 年慶長津波地震との関係，日本地震学会 2012 年秋季大会予稿集，P2-72.
44. 弘瀬冬樹, 前田憲二, 2013: 仮想的なプレート内地震による応力擾乱と 1605 年慶長津波地震との関係，日本地球惑星科学連合 2013 年大会予稿集, SSS31-P30.
45. 弘瀬冬樹, 前田憲二, 2013: 房総半島沖で繰り返すスロースリップと b 値の時間変化との関係：その２，日本地球惑星科学連合 2013 年大会予稿集, SSS27-P01.
46. 前田憲二，弘瀬冬樹, 2011：前震の経験則に基づく東北地方太平洋沖地震の予測可能性，日本地震学会 2011 年度秋季大会予稿集，P3-10.
47. 宮岡一樹, 長谷川浩, 横田崇, 2011：ひずみ計データの重ね合わせ処理による検知力の向上（その２），日本地震学会 2011 年度秋季大会予稿集，P3-29.
48. 山本剛靖，小林昭夫，2009：近畿地方北部で観測された地殻歪の長期的変化，日本地球惑星科学連合大会予稿集，D108-P009.
49. 吉田康宏，勝間田明男，岩切一宏，国友孝洋，熊沢峰夫，2009：森町アクロス送信信号から求めた伝達関数の周波数依存性，日本地球惑星科学連合大会予稿集，S153-P014.
50. 吉田康宏，勝間田明男，國友孝洋，熊澤峰夫，2010：森町アクロス送信信号から求めた伝達関数の時間変化，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集，SSS018-P14.
51. 吉田康宏，勝間田明男，國友孝洋，熊澤峰夫，2011：森町アクロス送信信号の準リアルタイム解析，日本地球惑星科学連合 2011 年大会，SSS034-P14.

気象観測技術等を活用した火山監視・解析手法の高度化に関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：山里　平[1)]（地震火山研究部第三研究室長）、山本哲也[2)]（地震火山研究部第三研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１　噴火現象の定量的監視技術の開発

新堀敏基、小久保一哉[3)]、高木朗充[2)4)]、鬼澤真也、山本哲也[2)]、安藤忍[5)]、坂井孝行[4)]、山里平[1)]（地震火山研究部）、楠研一（気象衛星・観測システム研究部）、橋本明弘（予報研究部）、長谷川嘉彦[6)]（気象庁地震火山部火山課）、福井敬一（地磁気観測所観測課）

副課題２　火山観測データ処理技術の高度化に関する研究

新堀敏基、小久保一哉[3)]、高木朗充[2)4)]、鬼澤真也、山本哲也[2)]、安藤忍[5)]、坂井孝行[4)]、山里平[1)]（地震火山研究部）、小司禎教（気象衛星・観測システム研究部）、橋本明弘（予報研究部）、近澤心[7)]、藤原みどり[2)]、平松秀行[4)]（気象庁地震火山部火山課）、福井敬一（地磁気観測所観測課）

研究の目的

気象レーダー等を用いた噴煙観測等新たな観測手法の開発、移流拡散モデルによる降灰予測及び火山灰拡散予測手法の高度化に資する研究、地殻変動等の火山観測データのノイズ除去手法の開発等による火山監視手法の研究に取り組み、噴火等の様々な火山現象をより迅速・正確に把握するための監視・データ解析技術を開発する。

研究の動機・背景

火山活動を把握するための観測種目には多種多様なものがあり、現在、気象庁においては、震動観測、地殻変動観測、電磁気観測、表面現象観測、熱観測や火山ガス観測が行われている。しかし、様々な課題も多く、迅速・正確な火山監視のためには、これらのデータの高精度化や解析手法の改善は重要である。

気象庁は、平成 20 年 3 月から、火山灰移流拡散モデルを用いた降灰予報を発表する業務を開始し、これまで桜島等の噴火に際して発表している。しかし、現在の予報は降灰の範囲に限られており、量的な予報が今後の課題となっている。そのためには、初期値となる噴火現象の定量的監視技術の開発が必要である。

また、地殻変動の観測データ等に含まれる気象ノイズの除去をはじめとする監視・解析手法の高度化も課題となっている。

副課題１　噴火現象の定量的監視技術の開発

火山噴火の検知は、火山観測の最も重要で根幹的なものであるにもかかわらず、それを即時的に行うことは必ずしも容易ではない。特に、悪天時や、観測場所が晴天であっても火山に雲がかかっている場合は、監視カメラでは表面現象が観測できないことも多い。一方、気象レーダーによって噴煙が偶然検知できた事例は内外で多くあり、威力を発揮することが期待できるが、火山観測を目的としたレーダー観測や系統的・継続的な研究は極めて少ない。気象レーダー等のリモートセンシング技術による噴煙観測手法について研究し、噴火の検知力の評価や噴煙の動力学的研究を行うことは意義深く、その上で得られた成果は、降灰予測における噴煙モデルの改善にも資する。

火山噴火の検知手法のうち、空振計を用いた観測は、これまでも多くの成果をあげてきている。しかし、観測されている空振と表面現象との間の定量的な関係についての研究は少なく、これを明らかにすることは、降灰予測の高度化にも資することができる。また、空振観測において気象ノイ

[1)]平成 21 年度～平成 22 年度、[2)]平成 23 年度～平成 25 年度、[3)]平成 23 年度～平成 24 年度、[4)]平成 21 年度、[5)]平成 21 年度～平成 23 年度、[6)]平成 24 年度～平成 25 年度、[7)]平成 22 年度～平成 25 年度

ズは大きな障害となるため、空振観測データに現れる気象の影響の評価やノイズ除去手法が課題となっている。

副課題２　火山監視手法及びデータ処理手法の改良に関する研究

火山の地殻変動観測手法のうち、近年注目されているのが、干渉ＳＡＲによる地殻変動観測である。干渉ＳＡＲによる観測は、面的な地殻変動に関する情報を得られるという大きな利点があるものの、水蒸気の影響によると考えられるノイズが多く含まれ、得られた結果（地殻変動の有無や変動量）の妥当性についての評価が難しく、この種のノイズの除去は大きな課題となっている。

また、火山性震動多発時の処理手法等、噴火以外の火山異常を判断するための処理手法にも改善が望まれている。

研究の成果の到達目標

副課題１　噴火現象の定量的監視技術の開発

気象レーダー等のリモートセンシング技術を用いた噴煙観測手法や空振観測等から、噴火発生やその規模を迅速に検知する手法を開発するとともに、降灰予測及び火山灰拡散予測手法に用いる噴煙、移流拡散モデルの改善を行う。

副課題２　火山観測データ処理技術の高度化に関する研究

火山性震動の客観的・定量的な処理手法等の開発によって、火山異常をより迅速・正確に把握するための監視・データ解析技術を開発する。また、干渉ＳＡＲによる地殻変動観測について、気象の影響の除去手法を開発する。

研究結果

（成果の概要）

リモートセンシング技術を用いた噴煙監視技術に関しては、研究期間中に霧島山（新燃岳）の活動的な噴火活動があったことから、気象レーダー等により観測された貴重なデータを活用することが可能となった。レーダーから得られた数多くの噴煙データからは、遠望観測では噴煙の高さを十分に観測できない場合においても、定量的に監視することが可能であることを示し、２日間にわたる準プリニー式噴火の噴煙活動の推移を詳細に再現することに成功した。また、レーダーで観測された桜島の膨大な爆発事例の解析を行い、爆発噴煙の検知率を調査することで、レーダーによって観測される爆発噴煙の平均的な構造を明らかにし、今後の気象レーダーを用いた火山噴煙監視の業務化への重要な知見が得られた。

この観測によって得られた噴煙の高さを、移流拡散モデル計算の初期値として順次活用することにより、精度の高い火山灰の輸送予測が可能になることを示した。また、火山灰に限らず、噴煙に持ち上げられて風の影響を受ける小さな噴石（火山礫）についても、移流拡散モデルで予測計算することが可能であることを示し、火山礫の密度や形状因子についての定量的な検証を実施した。

以上から、定量的な降灰予測の実現が可能となった。さらに火山灰に限らず火山礫の落下予測についても可能となった。

噴煙の動力学シミュレーションについては、非静力学モデルをもとに雲・降水粒子との相互作用を考慮した噴煙－降灰モデルを開発し、複数の火山の噴火事例について実施した結果、噴煙やその周辺の水・氷粒子の平均的な挙動を表現できることを確認した。また、気象衛星ひまわり（MTSAT-2）により得られたデータと整合することを確認し、数百キロメートルの広域においても適用可能であることを示した。これらの成果は、火山灰の凝集現象である火山豆石の形成等の複雑な噴煙現象を、物理過程を考慮して精緻に再現できる可能性を示した。また、大規模火山噴火における広域の噴煙予測に必要な課題を抽出した。

複数種類の音圧センサーを用いた桜島での空振比較観測を実施した結果、火山観測現業に使用している空振計と異なるタイプの空振計、気圧計には振幅と位相に差異があることがわかったが、その原因は各空振計のフィルタの違いに起因することを明らかにし、振幅・位相補正により互いに波形再現性があることを示した。

また、桜島の爆発的噴火に伴う空振データを解析し、弾道を描いて飛散する大きな噴石（火山岩塊）の最大到達距離に対する最大射出速度及び空振振幅との関係を明らかにし、その関係は他の火山においても適用可能であることを示した。また、新燃岳噴火時の空振観測等により噴煙の高さを推定した結果、レーダーから見積もった噴煙の高さの推移を概ね説明できることが分かった。これは、噴火後、即時的に火山岩塊の最大到達範囲を把握することが可能なため、火山防災上有効な成果である。

火山観測データ処理技術の高度化については、SAR 干渉解析による地殻変動データに対し、非静力学モデルの数値予報 GPV を用いた対流圏における位相伝搬遅延を考慮した補正を行う手法を開発した。これを新燃岳噴火前後の地殻変動について適用した結果、高精度な変動域を検出することに成功した。これはマグマ蓄積や放出量を高精度に把握することが可能であるため、火山活動評価に貢献する。

火山性震動の客観的・定量的な処理手法に関しては、火山性地震のスペクトル的性質からその波形タイプを客観的に分類する手法を開発した。火山性震動波形の客観的分類手法を三宅島直下の地震活動に適用した結果、3 つのタイプに分類でき、小規模な噴火の直前には波形タイプが時間的変化していくことを明らかにした。

（副課題ごとの研究成果）

副課題 1　噴火現象の定量的監視技術の開発

① 気象レーダーによる監視技術

・平成 23 年（2011 年）に発生した新燃岳噴火事例の種子島、福岡及び鹿児島空港気象レーダーデータを収集し、噴煙エコーを解析した結果、遠望カメラでは把握できない連続的噴火の噴煙エコー頂高度の詳細な時間変化が観測できること、爆発噴煙全 13 例のうち 10 例が検知されたこと、降水時であっても爆発的噴火を検知できる事例があることを示した。検知できなかった 3 例については、雨の影響や噴煙高度が低く噴出物量が少なかったことなどがその理由と考えられる。また、新燃岳に近い鹿児島空港レーダーではエコー強度の一次データにしきい値が設けられているため、種子島・福岡レーダーと比較してエコー頂が系統的に数 100m 程度低く解析されること、高頻度にスキャンしているため特に爆発的噴火の噴煙エコー頂の時間変化がより詳細に観測できることが分かった。

・桜島の爆発 543 例の種子島レーダーデータを収集し、爆発噴煙の検知率を調査した結果、噴煙高度 2400m 以上の 5 例はすべて検知され、噴煙高度が低くなるにつれ検知率は低下することを確認した。低下の割合はレーダーの走査パターンから推測されるものにあっており、走査頻度を増せば、小規模な爆発も検知可能なことが分かった。レーダーによって観測される爆発噴煙の平均的な構造を明らかにし、噴煙上昇に伴う火山灰粒子の大気中での振る舞いを推測した。

② 移流拡散予測の高度化

・2011 年新燃岳噴火事例について、初期値に気象レーダー観測に基づく噴煙エコー頂高度の解析結果などより適切な噴煙高度を適用することで、リアルタイムで降灰予測を行うための移流拡散モデルにおいても、現行の目視観測の噴煙高度を使用する場合と比べて降灰の予測精度（適中率）が約 10%改善することを確認した。また同モデルによる富士山宝永噴火クラスを想定した降灰シミュレーションを実行し、大規模噴火時に想定される傘型噴煙が十分表現できていないことや成層圏内における移流拡散予測の課題を挙げた。

・2011 年新燃岳噴火に伴い気象庁から発表された降灰予報全 39 事例について、予想降灰域と降灰分布の比較検証を行い、降灰予測に用いている MSM の予報値を入力する移流拡散モデルの初期値（噴煙柱モデル）の拡散比率を、中央粒径での拡散量が最大となる高度を 1/2 に下げる変更をすることにより予測が改善することを明らかにした。

・火山礫の落下予測についても、火山灰の輸送予測に使用している移流拡散モデルの手法を適用できることを示し、形状因子や密度への依存性を確認した。

③ 噴煙シミュレーション

・非静力学モデルをもとに、雲・降水粒子との相互作用を考慮した噴煙－降灰モデルを開発し、Sarychev Peak 火山や桜島の噴火事例について噴煙の動力学シミュレーションを実行した。噴

煙やその周辺の水・氷粒子の平均的な挙動を表現できることを確認するとともに、乱流過程の精緻化や質量保存性の向上など課題を見つけることができた。

・2011 年 1 月 26～27 日新燃岳噴火にともなう降灰・火山灰輸送の再現実験を噴煙－降灰モデルを用いて行い、降灰調査および MTSAT-2 から得られたデータと比較した。噴煙高度を時間変化させるなど最適な火山灰放出プロファイルを与えることで、水平数 10km スケールの降灰分布をよく再現できることを確認した。さらに、数 100km スケールの火山灰輸送の再現性を同時に満たすには、噴煙と気象場との力学的相互作用を適切にモデル化することの必要性が示唆された。

④　空振観測等

・気象庁の火山観測現業に使用している空振計（圧電型の超低周波マイクロホン）とコンデンサ型の超低周波マイクロホン及び水晶振動型の気圧計による桜島での同時観測の結果、空振波形の全振幅で約 1 割の差異があること、波形の差異は振幅・位相特性の違いに起因する見かけ上の差であること、特性の違いは超低周波帯域での各空振計のフィルタの違いに起因することを明らかにし、振幅・位相補正により互いに波形再現性があることを示した。

・桜島の爆発的噴火に伴う空振データを解析し、火山岩塊の最大到達距離に対する最大射出速度及び空振振幅との関係を明らかにした。また、得られた関係は、他の火山においてもおおむね適用可能であることを示した。

・業務的に重要である空振観測、傾斜観測及び地震観測のデータを用いた噴煙高度推定のための基礎解析を、新燃岳噴火時のデータによって実施し、レーダーから見積もった噴煙の高さの推移を概ね説明できることが分かった。

副課題２　火山観測データ処理技術の高度化に関する研究

①　地殻変動データへの気象ノイズの除去

・新燃岳噴火前後の干渉 SAR 解析画像について、5km メッシュのメソ解析値を初期値・境界値として 1km メッシュにダウンスケーリングした非静力学モデルの数値予報 GPV を用いることで、対流圏における位相伝搬遅延を考慮した干渉解析を行った。これによって大気中の水蒸気による気象ノイズを除去することが可能になり、新燃岳噴火に伴う新燃岳北西部領域においてより高精度な沈降域を検出することに成功した。

・新燃岳噴火前後の SAR 干渉解析結果について、上記非静力学モデルをダウンスケーリングして補正した変位量から圧力源を推定した結果、補正しない場合と比べて圧力源の深さは 10%程度浅くなり、体積変化量は 20%近く過大評価されていたことが分かった。

②　火山性震動の定量的処理手法

・火山性地震のスペクトル的性質からその波形タイプを客観的に分類する手法を開発した。

・火山性震動の客観的分類手法を三宅島直下の地震活動に適用した結果、３つのタイプに分類でき、ごく小規模な噴火の直前には「高周波地震」→「やや低周波地震」へと波形が時間的変化をしていくことを明らかにした。

・桜島のハーモニックな火山性微動（C 型微動）に伴う超低周波音を解析し、C 型微動は火口直下ごく浅部で発生し、超低周波音は昭和火口から射出されること、超低周波音の励起率は爆発地震あるいは低周波が卓越する火山性地震（BL 型地震）発生後、時間とともに減少することを明らかにし、大気に開放的な共鳴体が収縮・閉塞していく過程を見ている可能性を示した。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

・気象レーダーによる火山噴煙解析については、当初、桜島の噴煙を対象として種子島レーダーのデータを用いる計画だったが、研究期間中に 2011 年新燃岳噴火が発生したため新燃岳も解析対象とすることとし、福岡、種子島レーダーに加え、鹿児島空港レーダーのデータも収集して分析を行った。

・気象庁地震火山部からの要請に基づき、移流拡散モデルによる降灰予測に加え、航空路火山灰情報（VAA）のための火山灰拡散予測に関する技術開発も研究内容に追加した。

・干渉 SAR の水蒸気ノイズ補正処理方法については、当初標高差から経験的にノイズを除去する

手法で着手する予定だったが、数値予報 GPV を利用する環境が速やかに構築できたため、初年度から数値予報 GPV を用いた補正手法の開発に取り組んだ。

成果の他の研究への波及状況

SAR 干渉解析における数値予報 GPV を用いた気象ノイズ補正処理手法については、重点研究「地殻変動観測による火山活動監視評価と噴火シナリオの高度化に関する研究」（平成 23～27 年度）において活用し、高精度の火山活動監視評価の研究を実施する上で貢献した。

今後の課題

副課題１　噴火現象の定量的監視技術の開発

本研究において、初期値となる火山噴煙の高さを正確に把握することが、移流拡散モデルで降灰量の定量的な予測を行う上で極めて重要であることが確認された。このため、これまでのように遠望カメラなどを用いた目視観測だけでなく、リモートセンシング技術を用いた噴火の検知、噴出状態、及び噴煙の高さを即時的に高精度に把握する技術の高度化が必要である。具体的には気象レーダーを活用することが有効と考えられるが、雨天時や大規模噴火時には対応できていない。噴煙と雨雲の判別技術の開発が必須である。

一方、噴煙状態の初期値の即時把握が可能となっても、予測の基礎となる噴煙柱モデルや移流拡散モデルが大規模噴火に対応していないという課題がある。そのため、降灰量、最大粒径、火山灰濃度等の量的な情報を導入することが検討されている降灰予報や VAA の高度化のために、非静力学モデルに基づく大規模噴火に伴う噴煙柱の形成・発達に関する研究と、その成果を初期値（噴煙柱モデル）として活用した火山灰・礫等の移流拡散モデルに基づく高精度な予測技術の開発が必要である。

課題

噴煙と雨雲の判別技術を開発すること

噴煙柱モデル、移流拡散モデルを大規模噴火に対応させること

副課題２　火山観測データ処理技術の高度化に関する研究

本研究は、5km メッシュのメソ解析をもとに、気象庁非静力学モデルを 1km メッシュにダウンスケーリングして得られた気象要素から対流圏補正を実施し、業務に活用可能な成果を得た。今後は、2km メッシュの LFM モデルの直接利用や、さらにダウンスケーリングした JMA-NHM の活用、及び GNSS 可降水量のデータ同化に伴い現在の気象庁メソ解析で算出されている天頂遅延量の直接利用などを実施して SAR 干渉解析に対する補正精度をさらに向上させることが検討課題である。

これら補正技術は SAR 干渉解析のみならず、GNSS や EDM 等の電磁波を利用した他の観測種目への適用も期待される。

課題

SAR 等の電磁波を用いた地殻変動観測データの補正精度を上げること

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（地震火山津波分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、480 ページを参照。

研究成果一覧

査読論文　：９件

1. Hashimoto, A., T. Shimbori, and K. Fukui, 2012: Tephra fall simulation for the eruptions at Mt. Shinmoe-dake during 26-27 January 2011 with JMANHM, SOLA, 8, 37-40.
2. 鬼澤真也, 新堀敏基, 福井敬一, 安藤忍, 弘瀬冬樹, 木村一洋, 吉田康宏, 岩切一宏, 吉田友央, 山本哲也, 吉川澄夫, 2013: 2011 年霧島山新燃岳噴火における降灰観測と予測, 験震時報, 77, 215-222.
3. 鬼澤真也, 新堀敏基, 福井敬一, 2013: 遠望カメラ画像による噴煙高度の把握とマグマ噴出率の推定－2011 年 3 月 13 日霧島山新燃岳噴火の事例－, 験震時報, 77, 119-138.

4. 新堀敏基, 相川百合, 福井敬一, 橋本明弘, 清野直子, 山里　平, 2010: 火山灰移流拡散モデルによる量的降灰予測－2009 年浅間山噴火の事例－, 気象研究所研究報告, 61, 13-29.
5. 新堀敏基, 桜井利幸, 田原基行, 福井敬一, 2013: 気象レーダー・衛星による火山噴煙観測—2011 年霧島山（新燃岳）噴火の事例—, 験震時報, 77, 139-214.
6. 高木朗充, 新堀敏基, 山本哲也, 白土正明, 平祐太郎, 加藤幸司, 福井敬一, 2013: 物理観測による新燃岳の噴火規模の即時的な推定の試み, 験震時報, 77, 111-118.
7. 高木朗充, 福井敬一, 小司禎教, 2010: 火山周辺での GPS 観測における数値気象モデルを用いた対流圏補正, 火山, 55, 1-12.
8. 高木朗充, 福井敬一, 新堀敏基, 飯島 聖, 2010: 光波測距の数値気象モデルに基づく大気補正－浅間山への適用－, 火山, 55, 41-51.
9. 福井敬一, 寺田暁彦, 2013: 霧島山新燃岳 2011 年 2 月の放熱率と H_2O 放出率, 験震時報, 77, 223-228.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：９件

1. Shimbori, T., Y. Aikawa, N. Seino, 2009: Operational implementation of the tephra fall forecast with the JMA mesoscale tracer transport model. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell., 39, 0529-0530.
2. 気象研究所［新堀敏基］, 2010: 2009 年 2 月 2 日浅間山噴火に伴う降灰予報の検証と最大噴煙高度の再推定, 火山噴火予知連絡会会報, 103, 35-37.
3. 気象研究所［新堀敏基］, 2011: 2009 年 10 月 3 日桜島噴火に伴う降灰予報の検証, 火山噴火予知連絡会会報, 105, 178-180.
4. 気象研究所［新堀敏基, 鬼澤真也, 甲斐玲子］, 2012: 2011 年霧島山（新燃岳）噴火に伴う降灰予報の予備検証, 火山噴火予知連絡会会報, 108, 185-188.
5. 気象研究所［新堀敏基, 福井敬一］, 2012: 種子島・福岡レーダーで観測された 2011 年霧島山（新燃岳）噴火に伴う噴煙エコー頂高度の時間変化, 火山噴火予知連絡会会報, 108, 189-196.
6. 気象研究所［新堀敏基, 福井敬一］, 2012: 種子島・福岡レーダーで観測された 2011 年霧島山（新燃岳）噴火に伴う噴煙エコー頂高度の時間変化（その２）, 火山噴火予知連絡会会報, 109, 173-178.
7. 気象研究所・気象庁・鹿児島大学［新堀敏基, 高木朗充, 山内洋, 佐藤英一, 福井敬一, 菅井明, 林勇太,林洋介, 長谷川嘉彦, 真木雅之], 2014: 気象レーダーで観測された 2013 年 8 月 18 日桜島噴火に伴う噴煙エコー. 火山噴火予知連絡会会報, 116, 253-259.
8. 気象研究所・気象庁［福井敬一, 新堀敏基］, 2010: 気象レーダーで見た桜島 2009 年 4 月 9 日噴火噴煙, 火山噴火予知連絡会会報, 103, 123-127.
9. 気象研究所・東京大学地震研究所［福井敬一, 前田憲二, 卜部卓, 辻浩］, 2010: 硫黄鳥島における熱映像観測結果（2006 年 7 月 5 日）, 火山噴火予知連絡会会報, 100, 126-129.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：40 件

1. 新井伸夫, 今西祐一, 綿田辰吾, 大井拓磨, 村山貴彦, 岩國真紀子, 野上麻美, 山里平, 上田義浩, 藤原善明, 新堀敏基, 2011: インフラサウンドの観測－センサ（絶対圧型とマイクロフォン式）の比較－. 日本音響学会 2011 年秋季研究発表会, 3-7-3.
2. 安藤忍, 高木朗充, 新堀敏基, 2013: 気象庁における SAR データを活用した地震・火山活動の把握と大気補正手法について, 2013 年度京都大学防災研究所特定研究集会「SAR が切り拓く地球人間圏科学の新展開」.
3. 安藤忍, 高木朗充, 平祐太郎, 藤原みどり, 2011: 気象庁の SAR を用いた火山地殻変動監視及び研究. 東京大学地震研究所特定共同研究 B「SAR を用いた地震火山活動に伴う地殻変動の検出」平成 23 年度成果報告会.
4. 新堀敏基, 2009: 火山灰の輸送シミュレーションと降灰予報. 平成 21 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「火山現象の数値計算研究」.
5. 新堀敏基, 2011: 2011 年霧島山（新燃岳）噴火に伴う量的降灰予測の試行実験, 平成 23 年度東

京大学地震研究所共同利用研究集会「火山現象のダイナミクス・素過程研究」.
6. 新堀敏基, 2012: 富士山噴火を想定した降灰シミュレーション. 第 29 回つくば火山学セミナー「３．１１後の火山活動～富士山の最近の活動を中心に～」.
7. 新堀敏基, 2011: 2011 年霧島山（新燃岳）の噴煙エコーの解析. 第 27 回つくば火山学セミナー「噴煙と火山灰輸送に関する新知見～霧島新燃岳噴火から～」.
8. 新堀敏基, 2014: 気象レーダーを活用した火山噴煙観測と降灰予報. 災害・危機管理 ICT シンポジウム 2014.
9. 新堀敏基, 相川百合, 清野直子, 2009: 火山灰移流拡散モデルによる量的降灰予測の検証. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, V159-023.
10. 新堀敏基, 桜井利幸, 2010: 火山灰の輸送シミュレーションと航空路火山灰情報. 平成 22 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「火山現象の数値計算研究」.
11. 新堀敏基, 高木朗充, 橋本明弘, 2012: 移流拡散モデルによる火山礫の落下シミュレーション. 平成 24 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「火山現象のダイナミクス・素過程研究」.
12. 新堀敏基, 橋本明弘, 福井敬一, 2012: 火山噴煙の気象レーダーによる観測と降灰予測への活用に向けた研究－2011 年霧島山（新燃岳）噴火の事例から－. 平成 23 年度気象庁施設等機関研究報告会.
13. 新堀敏基, 橋本明弘, 福井敬一, 2012: 2011 年霧島山（新燃岳）噴火対応～噴煙エコーの解析と降灰の量的予測に関する研究～. 平成 23 年度気象研究所研究成果発表会.
14. 新堀敏基, 福井敬一, 橋本明弘, 山里平, 2009: 2009 年 2 月 2 日浅間山噴火に伴う量的降灰予測―気象レーダーにより観測された噴煙エコー頂高度の利用―. 日本火山学会 2009 年度秋季大会, B29.
15. 高木朗充, 宇都宮真吾, 中橋正樹, 飯島聖, 長谷川嘉彦, 山本哲也, 2012: 爆発的噴火に伴って飛散する火山岩塊の到達距離と空振振幅の関係, 日本火山学会 2012 年度秋季大会, A2-07.
16. 高木朗充, 新堀敏基, 安藤忍, 福井敬一, 2012: 気象庁の SAR を用いた火山監視活用, 京都大学防災研究所一般研究集会「SAR 研究の新時代に向けて」平成 24 年度成果報告会.
17. 高木朗充, 新堀敏基, 安藤忍, 福井敬一, 橋本明弘, 小司禎教, 2013: 気象庁非静力学モデルを用いた対流圏補正による SAR 干渉解析　霧島山等への適用, 日本火山学会 2013 年度秋季大会, A2-06.
18. 高木朗充, 新堀敏基, 福井敬一, 2013: 気象庁レーダーによる火山噴煙観測と降灰予報業務の高度化. 次世代安心・安全 ICT フォーラム企画部会 災害・環境監視技術検討会.
19. 高木朗充, 新堀敏基, 山本哲也, 白土正明, 平祐太郎, 加藤幸司, 福井敬一, 2012: 画像解析を用いた新燃岳における噴火規模の即時的な推定の試み, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, SVC54-08.
20. 高木朗充, 福井敬一, 新堀敏基, 山里平, 坂井孝行, 安藤忍, 藤原健治, 飯島聖, 2009: 光波測距の数値気象モデルに基づく大気補正－浅間山への適用－, 日本測地学会第 112 回講演会, 34.
21. 高木朗充, 福井敬一, 山里平, 小司禎教, 2009: GPS 基線解析における数値気象モデルを用いた対流圏補正－浅間山への適用－. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, V159-027.
22. 長井雅史, 鵜川元雄, 棚田俊收, 新堀敏基, 橋本明弘, 鬼澤真也, 2011: ゾンデによる霧島山新燃岳の噴煙観測. 日本火山学会 2011 年度秋季大会, A1-17.
23. 橋本明弘, 2009: 雲過程を考慮した噴煙モデルの開発－Sarychev Peak 2009 年 6 月 12 日噴火事例への適用－. 平成 21 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「火山現象の数値計算研究」.
24. 橋本明弘, 2011: 新燃岳 2011 年 1 月 26 日噴火にともなう火山灰輸送の数値実験. 平成 23 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「火山現象のダイナミクス・素過程研究.
25. 橋本明弘, 2011: 新燃岳 2011 年 1 月 26－27 日の噴火にともなう火山灰輸送の数値実験. 第 27 回つくば火山学セミナー「噴煙と火山灰輸送に関する新知見～霧島新燃岳噴火から～」.
26. 橋本明弘, 新堀敏基, 福井敬一, 2009: 雲過程を考慮した噴煙モデルの開発－Sarychev Peak 2009 年 6 月 12 日噴火事例への適用－. 日本火山学会 2009 年度秋季大会, A02.
27. 橋本明弘, 新堀敏基, 福井敬一, 2010: 雲・降水過程を考慮した噴煙－降灰モデルの開発（その

２）霧島山新燃岳 2008 年 8 月 22 日噴火事例への適用. 平成 22 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「火山現象の数値計算研究.
28. 橋本明弘, 新堀敏基, 福井敬一, 2011: 霧島山新燃岳噴火に伴う火山灰輸送の数値実験. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, SVC050-08.
29. 橋本明弘, 新堀敏基, 福井敬一, 2011: 霧島山新燃岳噴火に伴う火山灰輸送の数値実験（その２）. 日本火山学会 2011 年度秋季大会, A1-19.
30. 橋本明弘, 新堀敏基, 福井敬一, 2012: 霧島山新燃岳噴火に伴う火山灰輸送の数値実験（その３）. 日本火山学会 2012 年度秋季大会, B1-13.
31. 橋本明弘, 新堀敏基, 福井敬一, 2012: 新燃岳 2011 年 1 月 26－27 日噴火にともなう広域火山灰輸送の数値実験. 平成 24 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「火山現象のダイナミクス・素過程研究」.
32. 橋本明弘, 鈴木雄治郎, 新堀敏基, 高木朗充, 2013: 数 100km にわたる火山灰長距離輸送に関するモデル開発と数値実験. 平成 25 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「火山現象のダイナミクス・素過程研究」.
33. 福井敬一, 2009: ALOS/PRISM による国内活火山における噴気のマッピングとモニタリング. ALOS-3 利用ワークショップ 1, 宇宙航空研究開発機構筑波宇宙センター.
34. 福井敬一, 安藤忍, 2009: ALOS/PRISM を用いた噴気活動の評価に向けて. 日本火山学会 2009 年度秋季大会, B30.
35. 福井敬一, 安藤忍, 2010: ALOS/PRISM による日本国内活火山における噴気活動評価, 平成 22 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「地震・火山活動と関連する災害のリモートセンシング」（課題番号 2010-W-07）.
36. 福井敬一, 新堀敏基, 2010: 種子島気象レーダーによる桜島噴火噴煙の検知率. 日本火山学会 2010 年度秋季大会, 3-A05.
37. 山里平, 2009: 火山活動の監視に気象学の知見・観測技術を応用. 平成 21 年度気象研究所研究活動報告会, 気象庁講堂.
38. 山里平, 2010: 爆発的噴火に伴う空気振動の性質とその観測. 第 26 回つくば火山学セミナー.
39. 横田崇, 2013: 火山災害対策へのリモートセンシング技術の活用. 次世代安心・安全 ICT フォーラム総会記念特別講演会.
40. 山里平, 新堀敏基, 小枝智幸, 片岡義久, 末峯宏一, 加藤幸司, 坂井孝行, 藤原善明, 山内博, 2010: 霧島・新燃岳の水蒸気爆発に伴う空気振動. 日本火山学会 2010 年度秋季大会, 3-A14.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：5 件

1. Hasegawa, Y., A. Sugai, Y. Hayashi, S. Imamura, T. Shimbori and Toshiyuki Matumori, 2013: Volcanic Ash Fall Forecasts of Japan Meteorological Agency and its improvement, International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior 2013 Scientific Assembly, 4F-P13.
2. Hashimoto, A., T. Shimbori, K. Fukui and A. Takagi, 2013: Numerical Simulation of Transport and Sedimentation of Volcanic Ash for the Eruptions at Mt. Shinmoe-dake during 26-27 January 2011, International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior 2013 Scientific Assembly, 4F-P11.
3. Nagai, M., M. Ukawa, T. Tanada, T. Shimbori, A. Hashimoto, S. Onizawa and T. Sawada 2013: Balloon-borne Observation of Volcanic Ash from Shinmoe-dake (Kirishima) Volcano in March 2011, International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior 2013 Scientific Assembly, 2E-P21.
4. Shimbori, T., A. Hashimoto, S. Onizawa, A. Takagi, T. Yamamoto, K. Fukui, Y. Hayashi, S. Imamura, A. Sugai, Y. Hasegawa, R. Kai, S. Sugiura, T. Ueyama, T. Sakurai and S. Shirato, 2013: Observations by the JMA Weather Radar Network and Quantitative Predictions of Tephra-Fall with the JMA RATM for the Eruptions at Shinmoe-dake Volcano in 2011, International Association of Volcanology and Chemistry of the

Earth's Interior 2013 Scientific Assembly, 4F-P10.

5. Takagi, A., T. Shimbori, T. Yamamoto, T. Yokota, Y. Fujiwara, Y. Hasegawa, A. Sugai, S. Iijima, K. Kato, S. Utsunomiya, M. Nakahashi and M. Iguchi, 2013: Relationship between infrasound pressure and possible flight distance of volcanic bomb, International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior 2013 Scientific Assembly, 2C-P17.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：30 件

1. 鬼澤真也, 新堀敏基, 山本哲也, 2012; 多項目観測による火山灰輸送の解析. 日本火山学会 2012 年度秋季大会, P20, 御代田町, 2012/10/15.
2. 鬼澤真也, 福井敬一, 新堀敏基, 安藤　忍, 木村一洋, 弘瀬冬樹, 吉田康宏, 岩切一宏, 吉田知央, 山本哲也, 吉川澄夫, 2011: 2011 年霧島新燃岳噴火に伴う噴煙観測および降灰調査. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, SVC070-P19.
3. 気象研究所, 2010: 気象観測技術等を活用した火山監視・解析手法の高度化に関する研究, 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」成果報告シンポジウム, 7022, 地震研究所.
4. 気象研究所, 2011: 気象観測技術等を活用した火山監視・解析手法の高度化に関する研究. 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」成果報告シンポジウム, 7022, 地震研究所.
5. 気象研究所, 2011: 気象研究所における新燃岳噴火対応.「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」成果報告シンポジウム, 新燃 9, 地震研究所.
6. 気象研究所, 2012: 気象観測技術等を活用した火山監視・解析手法の高度化に関する研究, 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」成果報告シンポジウム, 7022, 地震研究所.
7. 気象研究所, 2013: 気象観測技術等を活用した火山監視・解析手法の高度化に関する研究, 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」成果報告シンポジウム, 7022, 地震研究所.
8. 新堀敏基, 相川百合, 甲斐玲子, 桜井利幸, 白土正明, 齋藤　誠, 2010: 航空路火山灰拡散モデルの拡張－2010 年エイヤフィヤトラヨークトル火山噴火への適用－, 日本火山学会 2010 年度秋季大会, P57.
9. 新堀敏基, 安藤　忍, 福井敬一, 橋本明弘, 小司禎教, 高木朗充, 2011: 気象庁非静力学モデルによる大気遅延量の推定と SAR 干渉解析への応用, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, STT057-P05.
10. 気象研究所, 2014: 気象観測技術等を活用した火山監視・解析手法の高度化に関する研究, 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」成果報告シンポジウム, 7022, 地震研究所.
11. 新堀敏基, 小久保一哉, 高木朗充, 鬼澤真也, 山本哲也, 福井敬一, 安藤　忍, 藤原善明, 坂井孝行, 山里　平, 上田義浩, 加藤幸司, 中橋正樹, 松末伸一, 2013: 桜島における空振比較観測. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, MTT40-P02.
12. 橋本明弘, 鈴木雄治郎, 新堀敏基, 高木朗充, 2013: 数 100km にわたる火山灰長距離輸送に関するモデル開発と数値実験, 日本火山学会 2013 年度秋季大会, P44.
13. 橋本明弘, 鈴木雄治郎, 新堀敏基, 高木朗充, 2013: JMA-NHM を用いた火山灰輸送実験: 2011 年 1 月 26-27 日新燃岳噴火, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, P345.
14. 新堀敏基, 高木朗充, 橋本明弘, 長谷川嘉彦, 林　洋介, 山本哲也, 2012: 移流拡散モデルによる降下火山礫予測. 日本火山学会 2012 年度秋季大会, P21.
15. 新堀敏基, 橋本明弘, 鬼澤真也, 高木朗充, 福井敬一, 相川百合, 甲斐玲子, 白土正明, 平裕太郎, 2012: 2011 年霧島山（新燃岳）噴火に伴う量的降灰予測―気象レーダーにより観測された噴煙エコー頂高度の利用―. 日本気象学会 2012 年度春季大会, P226.
16. 新堀敏基, 橋本明弘, 鬼澤真也, 福井敬一, 相川百合, 甲斐玲子, 白土正明, 2011: 2011 年霧島山（新燃岳）噴火に伴う降灰予報の検証. 日本気象学会 2011 年度秋季大会, P158.
17. 新堀敏基, 福井敬一, 2011: 気象レーダーにより観測された 2011 年霧島山（新燃岳）の噴煙エコー, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, SVC070-P15.
18. 新堀敏基, 福井敬一, 橋本明弘, 加藤幸司, 山里　平, 2010: 2009 年桜島噴火に伴う量的降灰予測, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, SVC062-P02.
19. 新堀敏基, 福井敬一, 橋本明弘, 清野直子, 山里　平, 相川百合, 2009: 火山噴火に伴う降灰の量的予測に関する研究. 第 7 回環境研究機関連絡会成果発表会. 学術総合センター.

20. 新堀敏基, 山本哲也, 横田崇, 2013: 移流拡散モデルによる大規模噴火を想定した降下火砕物予測の課題, 日本火山学会 2013 年度秋季大会, P45.
21. 高木朗充, 飯島　聖, 前川和宏, 舟崎　淳, 2009: 数値気象モデルを用いた対流圏補正により明かされた 2008 年からの浅間山の地殻変動. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, V159-P032.
22. 高木朗充, 新堀敏基, 山本哲也, 横田　崇, 加藤幸司, 2013: 火山噴煙の高さの即時的な把握の検討. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, SVC050-P02.
23. 橋本明弘, 新堀敏基, 福井敬一, 2010: 雲・降水過程を考慮した噴煙－降灰モデルの開発（その２）霧島山新燃岳 2008 年 8 月 22 日噴火事例への適用, 日本火山学会 2010 年度秋季大会, P56.
24. 橋本明弘, 新堀敏基, 福井敬一, 2012: JMANHM を用いた降灰再現実験：2011 年 1 月 26 - 27 日新燃岳噴火. 日本気象学会 2012 年度秋季大会, P363.
25. 橋本明弘, 福井敬一, 高木朗充, 2009: 雲・降水過程を考慮した噴煙－降灰モデルの開発. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, V159-P026.
26. 藤原善明, 山里平, 新堀敏基, 加藤幸司, 坂井孝行, 小窪則夫, 2013: 高層風が空振走時に与える影響について―桜島昭和火口爆発的噴火の場合（その２）―, 日本火山学会 2013 年度秋季大会, P49.
27. 福井敬一, 青木輝夫, 朽木勝幸, 2009: 放射伝達モデルを用いた SO2 放出量紫外リモートセンシング観測手法における誤差要因の定量的評価. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, V159-P017.
28. 藤原善明, 山里　平, 坂井孝行, 小久保一哉, 加藤幸司, 新堀敏基, 2011: 広範囲で観測された霧島山新燃岳噴火の空振. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, SVC070-P45.
29. 藤原善明, 山里　平, 坂井孝行, 新堀敏基, 2010: 高層風が空振走時に与える影響について―桜島昭和火口爆発的噴火の場合―, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, SVC063-P20.
30. 山里　平, 新堀敏基, 加藤幸司, 小枝智幸, 片岡義久, 末峯宏一, 坂井孝行, 藤原善明, 山内博, 宇平幸一, 2010: 桜島火山のＣ型微動に伴う超低周波音（２）, 日本火山学会 2010 年度秋季大会, P50.

沖合・沿岸津波観測等による津波の高精度予測に関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度（平成 22 年度研究再編）
研究代表者：前田憲二（地震火山研究部第一研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１　地震津波の発生・伝播メカニズムに関する研究
前田憲二、山崎 明、林 豊、対馬弘晃[1)]（地震火山研究部）、中田健嗣[2)]、新原俊樹[3)]、南 雅晃[3)]、上野俊洋[3)]（気象庁地震火山部地震津波監視課）、 平田賢治（客員研究員）

副課題２　沖合津波観測データ等を用いた津波予測手法に関する研究
前田憲二、山崎 明、林 豊、対馬弘晃[1)]、吉田康宏[4)]（地震火山研究部）、中田健嗣[2)]、新原俊樹[3)]、南 雅晃[3)]、上野俊洋[3)]（気象庁地震火山部地震津波監視課）、平田賢治（客員研究員）

研究の目的

沿岸へ到達する前に津波を予測するためには、津波波源の推定、津波伝播の再現および、予測誤差低減のための沖合津波データ等活用が必要である。本研究では、津波予測の精度向上に資するため、これら津波予測の 3 要素に関する研究を行うことを目的とする。

研究の動機・背景

副課題１　地震津波の発生・伝播メカニズムに関する研究

①　地震津波の発生メカニズムに関する研究

近年、津波予報に津波データベース方式が導入されるに至っている。しかしながら、既存の津波データベースでは、津波を発生させた地震断層を１枚の矩形断層あるいは少数の矩形断層の組み合わせでしかモデル化していない。Ｍ８以上の巨大地震の場合は、断層滑り量の不均質性、断層面の矩形からのずれ、断層面の折れ曲がり（３次元的な断層幾何形状）などの影響も無視できなくなってくる。つまり、現状の津波予報システムでは、津波データベースであらかじめ想定された断層モデルは非常に簡略化されており、特に、大きな地震津波になればなるほど、予測精度が低下する可能性が高い。これを改善するためには、より現実的な津波波源、すなわち地震断層運動（津波予測における津波計算の初期値）を推定し、津波予測に用いる必要がある。

②　津波伝播に伴う津波減衰特性の研究

津波第１波が到達した数時間後になって大きな津波が現れる場合がある。このような現象は、水深の浅い陸棚を伝わってくる陸棚波（エッジ波）、あるいは近隣の海岸や島嶼等からの反射波が原因であると考えられている。津波数値計算では、津波第１波の計算精度が最も高く、後続波になればなるほどその計算精度が悪くなる。津波第１波から後続波までを高精度で再現可能な計算手法は現在のところ存在しない。エッジ波や反射波などの後続波を含め、津波がどのように減衰するかは、津波警報の解除にとって重要な問題である。

副課題２　沖合津波観測データ等を用いた津波予測手法に関する研究

沖合津波観測データを用いた津波予測手法の開発

近年、主として東北地方の重要港湾の沖合約 10 ㎞の浅い海底に、ＧＰＳ波浪観測点が複数点構築されている。沿岸に近いＧＰＳ波浪観測点には、背後に控える重要港湾などの沿岸エリアまでの伝播距離が短いため猶予時間は稼げないが、逆に、精度の高い津波予測情報を提供できるメリットがある。ＧＰＳ波浪観測点における沖合津波観測データを活用し、沿岸に到達する津波の予測手法を開発する必要がある。

[1)]平成 22 年度～平成 25 年度、[2)]平成 21 年度～平成 24 年度、[3)]平成 24 年度～平成 25 年度、[4)]平成 21 年度

研究の成果の到達目標

副課題１　地震津波の発生・伝播メカニズムに関する研究

津波波源（地震断層運動；津波伝播計算に必要な初期値）に関する知識の蓄積・改善および、津波伝播過程の高精度再現を図るために、次の２項目について研究を実施する。

①　地震津波の発生メカニズムに関する研究

②　津波伝播に伴う津波減衰特性の研究

副課題２　沖合津波観測データ等を用いた津波予測手法に関する研究

沖合津波観測データの津波予測への活用手法を検討するとともに、津波波源の推定手法に関する技術基盤を強化するために、次の項目について研究を実施する。

・　沖合津波観測データを用いた津波予測手法の開発

研究結果

（成果の概要）

地震津波の発生・伝播メカニズムに関する研究については、2004 年スマトラ沖地震における大津波の発生メカニズム解明のための調査を行い、地震時に動いた可能性のある分岐断層の断層トレースを発見するとともに、その断層が最新の地質学的時代において最も活動的であることを明らかにするなどの成果があった。また、津波減衰特性の研究については、津波の減衰過程を定量的に解析する手法を開発することにより、津波の減衰過程の特性を明らかにするとともに、時間減衰の近似関数を求め、モデル化することができた。さらに、沖合津波観測データ等を用いた津波予測手法に関する研究では、経験的手法及び解析的手法による予測手法の開発を行った。経験的手法では、過去の GPS 波浪計等の観測値と検潮所における観測値との間の定量的な関係式を導き、沖合津波観測データから沿岸の津波波高を予測する手法を開発した。解析的手法では、沖合に設置された GPS 波浪計や海底水圧計の津波波形データを用いたインバージョンにより津波波源を推定し、その波源から沿岸の津波波形を即時的に数値計算する手法を開発するとともに、その手法を 2011 年東北地方太平洋沖地震等に適用し、即時津波予測に有効であることを示した。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　地震津波の発生・伝播メカニズムに関する研究

①　地震津波の発生メカニズムに関する研究

ア）気象研を中心とした日本のスマトラ沖研究グループは、2004 年 12 月のスマトラ島沖地震の巨大津波発生メカニズムに関し、スマトラ沖外縁隆起帯のある分岐断層（中央スラスト）が本震時にプレート境界の運動とともに同時に活動したという作業仮説を提唱した。

イ）2009 年および 2010 年に、日本の調査船を用いて、スマトラ北西沖の海域で精密海底地形調査や高分解能マルチチャンネル反射法探査および表層地層探査を実施した。その結果、スマトラ北西沖外縁隆起帯の断層群の中でも、外縁隆起帯中央部を北北西-南南東方向に縦断する中央スラストが最新の地質学的時代において最も活動的であることがわかり、仮説を裏付ける結論が得られた。

ウ）2011 年東北地方太平洋沖地震による津波浸水高の分布について、気象庁、各地気象台とともに実施した現地調査結果の概要を速報するとともに、調査結果の詳細を報告書としてまとめた。

エ）2011 年東北地方太平洋沖地震の津波波源域を、沖合の観測施設で観測された津波到達時刻からの逆伝播によって求め、震源の東側の海域に、地震に伴う海面上昇が大きい箇所があった可能性を指摘した。また、この地震による津波の実記録を用いた検証により、津波逆伝播の方法をリアルタイムに適用できれば、地震発生から 20 分以内に記録された津波到達時刻の情報だけからでもマグニチュード 8.7 以上の地震であると推定可能だったことが分かった。

②　津波伝播に伴う津波減衰特性の研究

ア）移動自乗平均振幅、津波コーダ、無次元化津波振幅の三つの新尺度を導入することにより、長時間の時系列水位データから津波の減衰過程を定量的に解析する手法を開発した。この手

法を用いて、気象庁の検潮所の観測値がデジタル化された 1997 年以降の津波の減衰過程の特性を系統的に解析し、一般的特徴を明らかにした。

イ）津波の減衰過程において、移動自乗平均振幅の 3 倍以上の半振幅の波が出現することが稀だという性質に、移動自乗平均振幅の時間減衰の近似関数を組み合わせれば、津波警報の解除のタイミングの予告を伴う情報発表が可能になることを示した。

ウ）津波波源から海岸までの津波エネルギーの伝播過程を、波源形成、伝播経路、観測点近傍の各段階での効果のコンボリューション（畳み込み）を用いて、津波の移動自乗平均振幅の時間減衰をモデル化し、定量的に減衰が予測できるようにした。

副課題２　沖合津波観測データ等を用いた津波予測手法に関する研究

①　沖合津波観測データを用いた津波予測手法の開発

ア）海岸の潮位観測施設と全国港湾海洋波浪観測網(NOWPHAS)の沖合波浪観測施設との両方で津波の記録が得られた観測例を収集し、両者での津波第一波振幅と最大振幅について、それぞれ関係式を導いた。この関係式を元に、沖合波浪観測施設での津波振幅から海岸の潮位観測施設の津波振幅を求める予測式を導き、GPS 波浪計で観測される津波振幅を津波注警報に活用する方法を提案した。

イ）2010 年 2 月のチリ地震津波において、海岸の潮位観測施設と全国港湾海洋波浪観測網(NOWPHAS)の沖合波浪観測施設との両方で津波の記録が得られた観測例を収集し、両者での津波第一波振幅と最大振幅の関係、第一波の到着時間差を明らかにした。

ウ）数値実験を通じて沖合の観測値から海岸付近の津波振幅の経験則を構築できる環境を整備するため、H23 年度第三次補正予算を活用して沿岸波高高精度予測システムを開発した。このシステムには、地震断層モデルからの地殻変動計算、地形・構造物等データの編集、各種パラメータ・計算条件の設定、実行プログラムの自動生成～計算実行、計算結果の可視化という数値計算の各手順の実施を支援する沿岸の津波数値計算のための統合ソフトウェアを含み、計算を効率的に行えるようになった。

エ）津波警報の発表の有無のような二者択一の予報について、予報の価値との関係が明確なスコア付け方法を、効用理論を用いて導出した。

オ）沖合の海底水圧計の波形データを用いたインバージョンにより津波波源を推定し、その波源から沿岸の津波波形を数値計算により予測する手法を開発するとともに、水圧計に加え GPS 波浪計も用いた場合についての数値実験を行い、両データの併用が、広範囲の沿岸地域に対する津波予測精度の向上につながりうることを示した。

カ）2011 年東北地方太平洋沖地震津波に対して、沖合津波波形の逆解析に基づく津波予測手法を適用し、東北地方太平洋沿岸に実際の津波が到来する少なくとも５分前には、同地域への 10 m を超える大津波の襲来を予測できる可能性があることを示した。また、2011 年東北地方太平洋沖地震の前震（M7.4）による津波に適用し、沖合津波計付近の沿岸について、津波第一波の最大波が到着する約 15 分前に、第一波の波高と到着時刻をよく再現できることを示した。さらに、1944 年東南海地震を想定した仮想沖合津波記録に適用し、津波波源域から離れた沿岸地域に対する津波予測には沖合記録の逆解析に基づく予測手法が極めて有効であること、波源近傍の沿岸地域の予測精度を向上させるには、測地データ等との併合処理が必要になる可能性が高いことを示した。

キ）気象庁が新しく設置した沖合のブイ式津波観測施設（DART）について、仮想的な大地震を想定した津波即時予測の数値実験を実施し、観測点増設が予測精度向上に効果的であることを示した。

ク）沖合津波波形の逆解析に基づく津波予測手法について、地震発生直後の地殻変動データに基づく初期水位分布および津波予測値を、沖合津波波形データを活用して逐次修正・更新する手法を提案するとともに、2011 年東北地方太平洋沖地震を仮定した数値実験と実観測値への適用を行い、逐次修正・更新することが地震発生後早期の波形予測精度向上に有効なことを示した。

ケ）沖合津波波形の逆解析に基づく津波予測手法について、H23 年度第三次補正予算を活用し、

業務化を念頭においたプロトタイプシステムを構築した。同システムに、東北地方太平洋沖地震の実記録に適用し、東北地方の太平洋沿岸の津波即時予測精度の早期向上に効果的であることを示した。

コ）海底水圧計による沖合津波観測において、海水層内の多重音響反射波、地震動などの高周波成分や、大地震時に観測される急激な水温変動に起因する観測誤差が生じており、津波警報の信頼性を向上する上で解決すべき問題である。これらの現象は、唯一、我が国の周辺海域で我が国の観測システムを用いて観測されたものであり、近地津波の沖合津波観測における解決すべき問題点および展望に関して、国際研究集会において発表した。

サ）2012 年 3 月 14 日の三陸沖の地震について地震津波発生時に記録された水圧と地震動との関係を調べた。水圧式津波計で記録された変動は低周波帯域から順に、静水圧、動水圧、水中音圧の三種類に分けられ、近傍の海底地震計の記録との比較から、動水圧は地動の加速度と、水中音圧は地動の速度とそれぞれ比例関係にあることを見出した。

シ）海水層内の多重音響反射波、地震動などの高周波成分の問題について、既存の観測センサーの計測原理や計測能力を詳しく検討し、観測センサー仕様・観測仕様についての解決策の概略を得た。この問題の解決を図るため、新型海底水圧計の試作を進め、水晶発振式水圧センサー、高精度水温計の性能評価のための陸上試験観測を実施した。さらに、実海域における同水圧計の性能を評価するため、気象庁のケーブル式海底水圧計近傍の深海底に設置し、比較観測を実施した。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

① 平成 21 年度当初計画に含まれていた「(副課題２）②歪計・広帯域地震計データを用いた津波波源域（震源域）の即時推定手法の開発」については、研究効率を高めるため、平成 22 年度から新規に開始した重点研究課題「海溝沿い巨大地震の地震像の即時的把握に関する研究」で行うこととした。

② 沖合津波波形の逆解析に基づく津波予測手法について、H23 年度第三次補正予算を活用し、業務化を念頭においたプロトタイプシステムの構築を行った。沖合の観測値から海岸付近の津波振幅を経験則により予測する手法の改良について、H23 年度第三次補正予算を活用したシステム開発を行い、沖合と海岸付近の津波高を非線形か線形か、遡上高の計算を行うか行わないかなど、条件を変えて数値計算を行えるシステムを構築し、計算の効率化を図った。

成果の他の研究への波及状況

① 2011 年東北地方太平洋沖地震の解析において、津波の逆伝搬解析により波源域を推定する研究や、沖合の津波観測データを用いてインバージョンにより津波波源を求める研究は、その解析結果と地震動から得られる震源断層の大きさやすべり分布と比較することができるため、他の震源過程解析の研究にフィードバックすることができる。

② スマトラ島沖で確認された分岐断層に関する研究成果は、2011 年東北地方太平洋沖地震時に観測された海溝近傍域の断層運動や、将来巨大津波を引き起こす可能性のある南海トラフ沿いの分岐断層と比較研究を行う上で、重要な成果である。

今後の課題

① 津波予測手法に関する研究

本研究では、既存の比較的少数の沖合における津波観測データの活用を念頭に置いた即時津波予測システムの開発を行った。今後、沖合の地震津波観測網の整備計画により利用が期待できる大量の沖合観測データを効率よく活用し、より高精度な津波予測を行うため、大量の観測データに対応した手法の高度化や新しい手法の開発が必要である。同時に、データに含まれる津波成分以外のノイズ除去手法の高度化が求められる。また、津波観測データだけでなく、GNSS や地震波などの解析により即時的に得られるようになる可能性がある地震像の情報も活用した予測手法の高度化も重要である。

課題

・ 大量の沖合観測データの活用に適した予測手法を構築すること
・ GNSS や地震波などの解析結果の情報も活用した予測手法を構築すること
・ ノイズ成分をさらに適切に除去する手法を得ること

② 津波伝播に伴う津波減衰特性に関する研究

本研究では、過去に観測された津波の減衰特性から津波の減衰過程を予測するための理論的あるいは経験的な手法を構築してきた。遠地津波警報の解除を適切に行うためには、減衰特性に加え、第 1 波が最大波でない場合の最大波の出現のタイミングなど、後続波の特性についての把握が重要である。そこで、今後は後続波の特性に関する調査も行い、これまでに構築した最大波以降の津波減衰過程のモデルと組み合わせて、遠地津波の波動伝播特性に基づくより適切な津波警報の解除のための予測手法を開発することが重要である。

課題
・ 後続波の特性を把握すること
・ 津波警報解除のための予測手法を開発すること

③ 津波の発生メカニズムに関する研究

津波発生のメカニズムの研究は、津波の性質や特徴を把握し、その特徴に応じた予測システムを構築する上で重要である。今後は、津波の発生メカニズムの多様性についての研究を進め、様々な発生様式の津波に対しても、津波予測システムが想定した機能を発揮するかの検証に活用することが重要である。

課題
・ 構築した津波予測システムの機能を検証すること

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（地震火山津波分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、480 ページを参照。

成果発表一覧

査読論文：27 件

1. Eddy Gaffar, Udrekh, K. Hirata, K. Ikehara, K. Arai, 2010: The possibility of magnetic properties of coring samples from Aceh Basin west of Sumatera Island related to occurrence of past Tsunami in Thailand: Preliminary Result of Joint Research between Indonesia and Japan, The Bali 2010 International Geosciences Conference and Exposition, Bali, Indonesia, 19-22 July.
2. Gusman, A. R., Y. Tanioka, S. Sakai, and H. Tsushima, 2012: Source model of the great 2011 Tohoku earthquake estimated from tsunami waveforms and crustal deformation data, Earth and Planetary Science Letters, 341-344, 234-242, doi:10.1016/j.epsl.2012.06.006.
3. Oishi, Y., M. D. Piggott, T. Maeda, S. C. Kramer, G. S. Collins, H. Tsushima, and T. Furumura, 2013: Three-dimensional tsunami propagation simulations using an unstructured mesh finite element model, J. Geophys. Res. Solid Earth, 118, 2998–3018, doi:10.1002/jgrb.50225.
4. Hayashi, Y., 2010: Empirical relationship of tsunami height between offshore and coastal stations, Earth, Planets and Space, 62, 269-275.
5. Hayashi, Y., H. Tsushima, K. Hirata, K. Kimura, and K. Maeda, 2011, Tsunami source area of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake determined from tsunami arrival times at offshore observation stations, Earth Planets Space, 63, 809-813.
6. Hayashi, Y., S. Koshimura, and F. Imamura, 2012: Comparison of decay features of the 2006 and 2007 Kuril Island earthquake tsunamis. Geophys. J. Int., 190, 347-357, doi:10.1111/j.1365-246X.2012.05166.x.
7. Hirata,K. , 2009: Tsunami amplification along the eastern coast of India and Sri Lanka due to propagating tsunami sources, Journal of Earthquake and Tsunami, 3, 67-75.
8. Hirata,K., K.Satake, Y.Tanioka, and Y.Hasegawa, 2009: Variable tsunami sources and seismic gap in the southernmost Kuril Trench ： review, Pure and Applied

Geophysics,166, 77-96.
9. Hirata, K., H. Permana, T. Fujiwara, Udrekh, E. Z. Gaffar, M. Kawano, Y. S. Djajadihardja, 2012, Detailed bathymetric features in the outer-arc high off the northwest Sumatra - results from KY09-09 cruise -, JAMSTEC Rep. Res. Dev., 15,1-11
10. Iinuma, T., R. Hino, M. Kido, D. Inazu, Y. Osada, Y. Ito, M. Ohzono, H. Tsushima, S. Suzuki, H. Fujimoto, and S. Miura, 2012: Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M9.0) refined by means of seafloor geodetic data, J. Geophys. Res., 117, B07409, doi:10.1029/2012JB009186.
11. Ito, Y., T. Tsuji, Y. Osada, M. Kido, D. Inazu, Y. Hayashi, H. Tsushima, R. Hino, and H. Fujimoto, 2011, Frontal wedge deformation near the source region 1 of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Geophysical Research Letters, 38, L00G05, doi:10.1029/2011GL048355.
12. Namegaya,Y., Y.Tanioka, K.Abe, K.Satake, K.Hirata, M.Okada, and A.R.Gusman, 2009: In situ measurements of tide gauge response along the southwestern coast of the northern Honshu, Japan -- Corrections of tsunami waveforms of the 2007 Niigataken Chuetsu-oki earthquake tsunami --, Pure and Applied Geophysics, 166, 97-116.
13. Ohta, Y., T. Kobayashi, H. Tsushima, S. Miura, R. Hino, T. Takasu, H. Fujimoto, T. Iinuma, K. Tachibana, T. Demachi, T. Sato, M. Ohzono, and N. Umino, Quasi real-time fault model estimation for near-field tsunami forecasting based on RTK-GPS analysis: Application to the 2011 Tohoku-Oki Earthquake (Mw 9.0), J. Geophys. Res., 117, B02311, doi:10.1029/2011JB008750.
14. Permana, H., K. Hirata, T. Fujiwara, Udrekh, Gaffar, E.Z., M. Kawano, ,Djajadihardja, Y.S., 2010: Fault pattern and active deformation of outer arc ridge of northwest of Simeulue Island, Aceh, Indonesia, Proceedings PIT IAGI LOMBOK 2010, The 39th IAGI Annual Convention and Exhibition, Bali, Indonesia.
15. Fabrizio Romano, A. Piatanesi , S. Lorito , K. Hirata, 2010: Slip distribution of the 2003 Tokachi-Oki Mw 8.1 earthquake from joint inversion of tsunami waveforms and geodetic data, J. Geophys. Res., 115, B11313, doi:10.1029/2009JB006665.
16. Romano, F., A. Piatanesi, S. Lorito, N. D'Agostino, K. Hirata, S. Atzori, Y. Yamazaki, and M. Cocco, 2012, Clues from joint inversion of tsunami and geodetic data of the 2011 Tohoku-oki earthquake, Sci. Rep. 2, 385; DOI:10.1038/srep00385.
17. Tsushima, H., K. Hirata, Y. Hayashi, Y. Tanioka, K. Kimura, S. Sakai, M. Shinohara, T. Kanazawa, R. Hino, and K. Maeda, 2011, Near-field tsunami forecasting using offshore tsunami data from the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets Space, 63, 821-826.
18. Tsushima, H., R. Hino, Y. Tanioka, F. Imamura , H. Fujimoto, Tsunami waveform inversion incorporating permanent seafloor deformation and its application to tsunami forecasting, J. Geophys. Res., J. Geophys. Res., 117, B03311, doi:10.1029/2011JB008877.
19. 佐竹健治, 行谷佑一, 藤井雄士郎, 岡田正実, 阿部邦昭, 今井健太郎, 上野俊洋, 山口和典, 三和功喜, 山本浩之, 2010：駿河湾沿岸の検潮井戸応答特性調査と 2009 年駿河湾地震津波波形の補正, 地震研究所彙報, 85, 1-14.
20. 対馬弘晃, 平田賢治, 林 豊, 前田憲二, 尾崎友亮, 2012: 沖合津波観測点配置の違いが逆解析に基づく近地津波予測の精度に与える影響, 土木工学論文集 B2(海岸工学), 68(2), I_211-I_215.
21. 対馬弘晃, 林 豊, 前田憲二, 横田崇, 川上博隆, 平田怜, 吉村健二, 遠藤清隆, 木田洋祐, 2013: 沖合津波観測データ同化システムの開発, 土木工学論文集 B2(海岸工学), 69(2), I_446-I_450.
22. 林 豊, 越村俊一, 今村文彦, 2009: 津波のコーダとエンベロープの遠地津波予測への活用可能性—その定義と 2006 年千島列島沖地震津波への適用—, 土木学会論文集 B2(海岸工学), B2-65(1), 276-280.
23. 林 豊, 今村文彦, 越村俊一, 2010: 津波減衰過程のトレンドとばらつきの性質の遠地津波予測への活用可能性, 土木学会論文集 B2(海岸工学), B2-66(1), 211-215.
24. 林 豊, 2010: GPS 波浪計の長周期波形観測値による沿岸津波換算値を活用した津波即時情報,

自然災害科学, 29(3), 381-391.
25. 林　豊, 越村俊一, 今村文彦, 2011, 遠地地震津波の減衰予測のための MRMS 振幅の時間減衰モデル, 土木工学論文集 B2（海岸工学）, B2-67(2), I_216-I_220.
26. 林　豊, 2012, 津波警報を解除するタイミングに関する研究の現状と展望, 験震時報, 75, 13-24.
27. 松本浩幸, 林　豊, 金田義行, 2012: 海底津波計のリアルタイム観測データに含まれる水圧擾乱の特性, 土木工学論文集 B2(海岸工学), 68(2), I_391-I_395.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）: 5 件

1. 林　豊, 2010: 遠地地震津波のコーダ波の減衰特性に関する研究, 東北大学大学院工学研究科博士学位論文, 126p.
2. 林　豊, 対馬弘晃, 平田賢治, 木村一洋, 前田憲二, 2011: 沖合津波観測値からの逆伝播で推定した平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の津波波源域と顕著な海面隆起箇所, 地震予知連絡会会報, no.86, 71-73.
3. 林　豊, 対馬弘晃, 平田賢治, 木村一洋, 前田憲二, 2012: 沖合津波観測値からの逆伝播で推定した津波波源域, 気象庁技術報告第 133 号「平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震調査報告」, 第 I 編 112-114.
4. 林　豊, 前田憲二, 対馬弘晃, 岡田正實, 木村一洋, 岩切一宏, 2013: 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による津波高の現地調査報告, 気象研究所技術報告, no.70, 48pp.
5. 林　豊, 2013: 第 4 章 3.1 国内の潮位・津波観測施設による観測値の概略, 土木学会編,「東日本大震災報告書（津波編）第 2 編 津波の特性と被害」, 投稿中.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：41 件

1. Gusman, A., Y. Tanioka, S. Sakai, and H. Tsushima, 2013: , Tsunami waveform analyses for the 2011 Tohoku great earthquake sequence, International Tsunami Symposium 2013, 2013 年 9 月, トルコ, ギョジェク.
2. Hayashi, Y., S. Koshimura, and F. Imamura, 2009: Tsunami coda and tsunami envelope, Asia Oceania Geosciences Society 6th Annual Meeting (AOGS2009), SE58-A013.
3. Hayashi, Y., 2009: Comparison between tsunami height data obtained by offshore and coastal observation, Asia Oceania Geosciences Society 6th Annual Meeting (AOGS2009), SE58-A012.
4. Hayashi, Y., 2010: Applying empirical relationship of tsunami height between offshore and coastal stations for real-time tsunami information, 3rd International Tsunami Field Symposium, No.3-6.
5. Hayashi, Y., 2011: Present research status and foresight on timely cancellation of tsunami warning, 2011 International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly (IUGG2011), 2922.
6. Hayashi, Y., T. Ozaki, M. Abe, H. Iino, and H. Tsushima, 2011: Outline of the tsunami early warnings and observation of the 2011 off the Pacific coast Tohoku earthquake tsunami, 2011 International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly (IUGG2011), 6081.
7. Hayashi, Y., H. Tsushima, K. Hirata, K. Kimura, and K. Maeda, 2011: Tsunami source area due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake determined by tsunami arrival time to offshore observatories, 8th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society (AOGS2011), SE87-A001.
8. Hayashi, Y., H. Tsushima, Y. Yoshida, 2012, Real-time detection of the source area of an intense tsunami - Case study of the 2011 Great East Japan, International Symposium of Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan, 2012 年 3 月, 東京都.
9. Hayashi, Y., 2012: Tsunami source area of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake determined from tsunami arrival times at offshore observation stations and its real-time detectability, French-Japanese Seminar on Earthquakes and Tsunamis, Session 5, 2012 年 11 月, 東京都港区.
10. Hayashi, Y., 2012: Problems on tsunami warnings revealed by the Great East Japan

Earthquake and JMA's action for their solution, The 10th International Workshop on Coastal Disaster Prevention and The 2nd Japan-Chile Joint Workshop on Tsunami Disaster Mitigation, 2012 年 12 月, チリ, サンチャゴ.

11. Hayashi, Y., H. Tsushima, K. Maeda T. Yokota, Y. Murashima, Y. Murata, and T. Ishiwata, 2013: Development of the system for high-precision prediction of coastal tsunami wave heights, 10th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS), IG01-A023, 2013 年 6 月, オーストラリア, ブリスベン.
12. Hayashi, Y., K. Maeda, H. Tsushima, H. Takeuchi, Y. Murashima, and I. Nomura, Development of the synthetic tsunami waveform database for tsunami forecasting system based on offshore tsunami data assimilation, 10th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS), IG05-04-24-A016, 2013 年 6 月, オーストラリア, ブリスベン.
13. Hayashi, Y., K. Maeda, H. Tsushima, H. Takeuchi, Y. Murashima, and I. Nomura, 2013: Development of the synthetic tsunami waveform database for tsunami forecasting system based on offshore tsunami data assimilation, International Tsunami Symposium 2013, 2013 年 9 月, トルコ, ギョジェク.
14. Hirata,K., 2009: Recent offshore tsunami observation in Japan,30 years of experience, The Joint IUGG/TC - NGDC/NOAA - IOC/UNESCO Technical Workshop on Tsunami Measurements and Real-Time Detection (Invited)
15. Kenji Hirata, and Haryadi Permana, 2009: Preliminary results of the research cruise KY0909 off northwest Sumatra, International workshop on tectonics in the offshore of the northwest Sumatra, Dec.21-22, Tsukuba, Japan.
16. Kenji Hirata, 2010: Investigation of submarine active faults off northwest of Sumatra - present and past -, International Workshop on Multi-disciplinary Hazard Reduction from Earthquakes and Volcanoes in Indonesia, Nov.22-24, Kobe, Hyogo, Japan.
17. Kenji Hirata, Haryadi Permana, T. Fujiwara, Udrekh, Eddy Z. Gaffar, M. Kawano, Yusuf.S.Djajadihardia, K. Arai, 2010: Geological evidences of the fifth model for the tsunami generation in ocean floor off northwest Sumatra during the 2004 Sumatra-Andaman earthquake, 2010 AGU Fall meeting, T11B-2090.
18. Kenji Hiata, Jeffrey.A.Hanson, Eric L.Geist, et al., 2011:Fifth model for the huge tsunami generation off northwest Sumatra during the 2004 Sumatra-Andaman earthquake: Intoruduction of Japanese offshore surveys during KY09-09 and KH-10-5, The International workshop on Subduction processes, tectonics, and related topics along the Sumatra-Java arc, Tokyo, Japan, March 10-11,
19. KENJI HIRATA, RIZA RAHARDIAWAN, AYANORI MISAWA, UDREKH, LEONARDO SEEBER, HISATOSHI BABA, KEITA ADACHI, HIROSHI SARUKAWA, MASATAKA KINOSHITA, TOSHIYA FUJIWARA, KOHSAKU ARAI, HIDEKAZU TOKUYAMA, YASUYUKI NAKAMURA, HARYADI PERMANA, YUSUF.S.DJAJADIHARDIA, 2011: Preliminary Results from High-Resolution MCS Survey During the KH-10-5 Off Northwest Sumatra Cruise, 2011 AOGS meeting, IWG01-05-11-A022, 2011.
20. K. Hirata, R.Rahardiawan, A. Misawa, T.Fujiwara, H.Permana, Udrekh, Y.S.Djajadihardia, 2011: Geological evidence of submarine faults in the outer-arc high off northwest Sumatra, INTERNATIONAL WORKSHOP JICA PROJECT MULTI-DISCIPLINARY HAZARD REDUCTION FROM EARTHQUAKES AND VOLCANOES IN INDONESIA, Oct.27-29, JIExpo, Kemayoran, Jakarta.
21. KENJI HIRATA, RIZA RAHARDIAWAN, AYANORI MISAWA, UDREKH, LEONARDO SEEBER, HISATOSHI BABA, KEITA ADACHI, HIROSHI SARUKAWA, MASATAKA KINOSHITA, TOSHIYA FUJIWARA, KOHSAKU ARAI, HIDEKAZU TOKUYAMA, YASUYUKI NAKAMURA, HARYADI PERMANA, YUSUF.S.DJAJADIHARDIA, 2011: KH-10-5 High-Resolution MCS Survey Off Northwest Sumatra, 2011 AGU Fall Meeting, Dec.5-9, SanFrancisco, USA.
22. Hirata, K., T. Fujiwara, M. Kinoshita, K. Arai, L. Seeber, and H. Tokuyama, 2012: A Controversy over Source Model for the Huge Tsunami Generation off Northwest Sumatra During the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake, Joint Assembly of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) and the American Geophysical Union's

(AGU) Western Pacific Geophysics Meeting, SE57-A012, 2012 年 8 月, シンガポール.
23. Ito, Y., T. Tsuji, Y. Osada, M. Kido, D. Inazu, Y. Hayashi, H. Tsushima, R. Hino, and H. Fujimoto, 2011: Frontal wedge deformation near the source region of the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Invited), 2011 American Geophysical Union Fall Meeting, T11C-02.
24. M. Kawano, T. Fujiwara, K. Hirata, A. Shito, H. Sugioka, and E. Araki, 2011: Focal mechanisms of aftershocks following the 26 December 2004 Sumatra- Andaman earthquake from ocean bottom seismographic observation, The International workshop on Subduction processes, tectonics, and related topics along the Sumatra-Java arc, Tokyo, Japan, March 10-11,
25. Kobayashi, T., Y. Ohta, S. Miura, H. Tsushima, R. Hino, T. Takasu, and H. Fujimoto, 2011: Rapid fault model estimation based on RTK-GPS and its application to near-field tsunami forecasting, 2011 American Geophysical Union Fall Meeting, G44A-08.
26. A. Misawa, R. Rahardiawan, Udrekh4, H. Permana, Y. Nakamura, K. Arai, K. Kameo, K. Adachi, J. Ashi, H. Tokuyama, H. Baba, H. Sarukawa, Seeber, Y. Djajadihardja, and K. Hirata, 2011: Preliminary results of KH-10-5 offshore Sumatra MCS survey, The International workshop on Subduction processes, tectonics, and related topics along the Sumatra-Java arc, Tokyo, Japan, March 10-11,
27. Oishi, Y., M. D. Piggott, T. Maeda, R. B. Nelson, G. J. Gorman, S. C. Kramer, G. S. Collins, H. Tsushima, and T. Furumura, 2011: A three dimensional tsunami propagation simulation of the 2011 off Tohoku earthquake using an unstructured finite element model, 2011 American Geophysical Union Fall Meeting, NH13G-02.
28. Permana, H., Hirata, K., Fujiwara, T., Udrekh, Gaffar, E.Z., Kawano, M. and Djajadihardja, Y.S. , 2009: Structural Pattern of Aceh Outer Arc High Ridge (3° 01'N-4°57'N a 93°16'E-94°08'E) inferred from bathymetry map of Kaiyo 0909 Cruise, International workshop on tectonics in the offshore of the northwest Sumatra, Dec.21-22, Tsukuba, Japan.
29. Permana, H., K. Hirata, S. Signh, K. McNeil, F. Klingelhoefer, T. Henstock, T. Fujiwara, Udrekh, E.Z. Gaffar, and Y.S.Djajadihardja, 2010: General Structural Pattern inferred from bathymetry data of Aceh Fore Arc and Aceh Outer Arc Ridge, Sumatra, Indonesia, International Workshop on Subduction Margin off Sumatra, April, Nice, France.
30. Permana, H., K. Hirata, Udrekh, A. Misawa, R. Rahardiawan, H. Baba, K. Kameo, K. Adachi, H. Sarukawa, K. Arai, Y. Nakamura, M. Kinoshita, T. Fujiwara, J. Ashi, H. Tokuyama, Y. Djajadihardja, and L. Seeber, 2012: Middle Thrust of Aceh Fore Arc High: shallow structure style and role during 2004 Aceh-Andaman Earthquake, Joint Assembly of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) and the American Geophysical Union's (AGU) Western Pacific Geophysics Meeting, SE57-A017, 2012 年 8 月, シンガポール.
31. Rahardiawan, R, Misawa, A, Udrekh, Permana, H, and Hirata, K, Y. Nakamura, H. Baba, H, Adachi, K, R. Seeber, H. Tokuyama and Y. Djajadihardja, 2011: Deformation structures on the toes of Accretionary Prism, at the northern most of Sunda Trench, The International workshop on Subduction processes, tectonics, and related topics along the Sumatra-Java arc, Tokyo, Japan, March 10-11,
32. Romano.F, A. Piatanesi, S. Lorito, N. D'Agostino, K. Hirata, S. Atzori, and M. Cocco, Slip Distribution of the Giant 2011 Tohoku-oki Earthquake from Joint Inversion of Tsunami Waveforms and GPS Data, Inter national Workshop on "Advances in the Science and Applications of SAR Interferometry", Frascati, Italy 19th -23rd September.
33. Romano.F, A. Piatanesi, S. Lorito, N. D'Agostino, K. Hirata, S. Atzori, and M. Cocco, 2011: Slip Distribution of the Giant 2011 Tohoku-oki Earthquake from Joint Inversion of Tsunami Waveforms and GPS Data, 13th Plinius Conference on Mediterranean Storms,Savona, Italy, 07 – 09 September.
34. Leonardo Seeber, Kenji Hirata, Riza Rahardiawan, Toshiya Fujiwara, Ayanori Misawa, 2011: Slip partitioning and longitudinal extension on the Aceh Promontory of the Sunda Arc in the 2004-2005 rupture areas offshore northern Sumatra, The

International workshop on Subduction processes, tectonics, and related topics along the Sumatra-Java arc, Tokyo, Japan, March 10-11,

35. Leonardo Seeber1, Kenji Hirata2, Riza Rahardiawan3, Toshiya Fujiwara4, Ayanori Misawa5, Cecilia McHugh1, Milene Cormier6, 2011: Oblique accretion, slip partitioning, and longitudinal extension on the Aceh Promontory of the Sunda Arc in the 2004-2005 rupture areas, northern Sumatra, Dec.5-9, SanFrancisco, USA.
36. Tsushima, H., K. Hirata, Y. Hayashi, K. Maeda, R. Hino, F. Imamura, H. Fujimoto, Y. Tanioka, S. Sakai, M. Shinohara, and T. Kanazawa, 2012: Real-time tsunami forecast of near-field earthquakes using offshore tsunami data, G-COE Symposium 2012: Achievements of G-COE Program for Earth and Planetary Dynamics and the Future Perspective, 2012 年 9 月, 宮城県仙台市.
37. Tsushima, H., 2012: Real-time tsunami forecast of near-field earthquakes using offshore tsunami data, East-Asia Earthquake Seminar 2012, 2012 年 10 月, 大韓民国, 済洲島.
38. Tsushima, H., 2012: Real-time tsunami forecast of near-field earthquakes using offshore tsunami data, French-Japanese Seminar on Earthquakes and Tsunamis, Session 7, 2012 年 11 月, 東京都港区.
39. Tsushima, H., 2013: Offshore tsunami observation network around Japan and its application to real-time tsunami prediction, The 3rd Japan-Chile Symposium on Tsunami Disaster Mitigation, 2013 年 8 月, 東京都港区.
40. Tsushima, H., Y. Hayashi, K. Maeda, T. Yokota, 2013: Real-time forecasting of near-field tsunamis based on source estimation from offshore tsunami data (Invited), 2013 American Geophysical Union Fall Meeting, 2013 年 12 月, 米国, サンフランシスコ.
41. Udrekh, Rahardiawan R., Misawa A., Permana H., Djajadihardja, Y.S., Nakamura Y., Ladage, S., K. Hirata, T. Fujiwara, and Gaedicke C., 2011: Geophysical Investigation of Accretionary Prism and Fore Arc High in Western Part of Aceh, – Indonesia, The International workshop on Subduction processes, tectonics, and related topics along the Sumatra-Java arc, Tokyo, Japan, March 10-11,

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：35 件

1. Hirata,K., H. Takayama, H. Tsushima, Y. Hayashi, R. Iwase, T. Baba, 2009: Integration of Seafloor geodetic observation and offshore tsunami observation - toward researches on tsunami forecast, 第 21 回海洋工学シンポジウム、東京、OES21-181.
2. Kenji Hirata, Riza Rahardiawan, H. Baba, Leonardo Seeber, K. Kameo, H. Yamamoto, H. Hayashi, A. Misawa・K. Adachi, H. Sarukawa, T. Sekimoto・K. Iyota, T. Fujiwara, M Kinoshita, H. Tokuyama, Y. Nakamura, K. Arai, Haryadi Permana, Udrekh, Yusuf S. Djajadihardja, 2011: Preliminary results of KH-10-5 Leg.1 high-resolution geological survey off northwest Sumatra, JAMSTEC Blue Earth'11 symposium, BE11-P09、Tokyo.
3. KENJI HIRATA, RIZA RAHARDIAWAN, AYANORI MISAWA, UDREKH, LEONARDO SEEBER, HISATOSHI BABA, KEITA ADACHI, HIROSHI SARUKAWA, MASATAKA KINOSHITA, TOSHIYA FUJIWARA, KOHSAKU ARAI, HIDEKAZU TOKUYAMA, YASUYUKI NAKAMURA, HARYADI PERMANA, YUSUF.S.DJAJADIHARDIA, 2011: High-resolution MCS survey during KH-10-5 Leg.1 off northwest Sumatra cruise, 2011 JpGU meeting, HDS004-P06.
4. 飯沼卓史，木戸元之，長田幸仁，稲津大祐，日野亮太，太田雄策，鈴木秀市，藤本博己，大園真子，対馬弘晃，三浦哲，篠原雅尚，2011: 海陸測地観測データに基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震の地震時すべり分布，日本地球惑星科学連合 2011 年大会，A22–02.
5. 伊藤喜宏, 辻　健, 長田幸仁, 木戸元之, 稲津大祐, 林　豊, 対馬弘晃, 日野亮太, 藤本博己, 2011:震源域直上の海底圧力観測に基づく 2011 年東北太平洋沖地震に伴う海溝付近の地震時すべり, 日本地震学会 2011 年度秋季大会, A22-01.
6. 大石裕介，Matthew D. Piggott，前田拓人，Rhodri B. Nelson，Gerard J. Gorman，対馬弘晃, 古村孝志, 2011: 有限要素法および差分法による 3 次元津波伝播シミュレーション，日本地球惑星科学連合 2011 年大会，HDS026-07.
7. 川野雅弘, 志藤あずさ, 富士原敏也, 平田賢治, 荒木英一郎, 2010: 海底地震計観測データに基

づく 2004 年 12 月 26 日スマトラーアンダマン地震の余震の震源メカニズムの検討, 2010 年度日本地震学会秋期大会，P１-６４，広島.
8. 小林竜也, 太田雄策, 三浦哲, 対馬弘晃, 日野亮太, 藤本博己，RTK-GPS データによる震源断層モデル即時決定の試み，2011：日本地球惑星科学連合 2011 年大会，SSS30-07.
9. 小林竜也，太田雄策，三浦哲，対馬弘晃，日野亮太，高須知二，藤本博己，RTK–GPS データによる震源断層モデル即時決定 －近地津波予測の高精度化に向けてー，日本地震学会 2011 年度秋季大会，A31–06.
10. 小林竜也, 太田雄策, 日野亮太, 三浦哲, 藤本博己, 対馬弘晃, 出町知嗣, 立花憲司, 2012: 地震時永久変位即時推定手法の開発およびその 2011 年東北地方太平洋沖地震への適用, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, HDS26-03, 2012 年 5 月, 千葉県千葉市.
11. 谷岡勇市郎，グスマンアディティア，対馬弘晃，酒井慎一，津波波形・GPS 地殻変動・海底地殻変動データの同時インバージョンにより推定された 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源過程，日本地震学会 2011 年度秋季大会，A11–02.
12. 対馬弘晃，日野亮太，今村文彦，谷岡勇市郎，太田雄策，飯沼卓史，三浦　哲，藤本博己，2010：海底圧力・陸上 GPS 観測による近地津波予測，日本地球惑星科学連合 2010 年大会，M-IS003-01.
13. 対馬弘晃, 平田賢治, 2010: 海底津波観測による近地津波予測, 海底地殻変動と津波に関するシンポジウム.
14. 対馬弘晃，2011: 2011 年東北地方太平洋沖地震津波に対する近地津波予測手法の適用，第 47 回海中海底工学フォーラム.
15. 対馬弘晃，前田拓人，古村孝志，平田賢治，沖合津波記録を活用した南海トラフ沿いの地震津波の即時予測，日本地球惑星科学連合 2011 年大会，HDS026-14.
16. 対馬弘晃, 林　豊, 平田賢治, 前田憲二, 日野亮太, 小林竜也, 太田雄策, 飯沼卓史, 馬場俊孝, 谷岡勇市郎, 酒井慎一, 篠原雅尚, 金沢敏彦, 2011: 近地津波予測アルゴリズム tFISH による 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波予測，日本地震学会 2011 年度秋季大会, A31-04.
17. 対馬弘晃, 平田賢治, 林　豊, 前田憲二, 尾崎友亮, 2012: 沖合津波観測点配置の違いが逆解析に基づく近地津波予測の精度に与える影響，第 59 回海岸工学講演会, 2012 年 11 月，広島県広島市.
18. 対馬弘晃, 日野亮太, 太田雄策, 飯沼卓史, 2012: tFISH/RAPiD：沖合津波・陸上 GPS データの統合解析による近地津波の即時予測手法の開発，日本地震学会 2012 年秋季大会, C11-08, 2012 年 10 月，北海道函館市.
19. 対馬弘晃，林　豊，前田憲二，横田崇，川上博隆，平田怜，吉村健二，遠藤清隆，木田洋祐，2013: 沖合津波観測データ同化システムの開発，第 60 回海岸工学講演会, 2013 年 11 月，福岡県福岡市.
20. 馬場俊孝，対馬弘晃，tFISH の即時解を用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波浸水シミュレーション，日本地震学会 2011 年度秋季大会，A31-05.
21. 林　豊, 2009: 沖合の波浪観測施設と海岸の検潮所で観測された津波の高さの比較，日本地球惑星科学連合 2009 年大会, S154-007.
22. 林　豊, 越村俊一, 今村文彦, 2009: 津波のコーダとエンベロープの遠地津波予測への活用可能性—その定義,と 2006 年千島列島沖地震津波への適用—，第 56 回海岸工学講演会.
(注：本発表に伴う著作物は上述の同題の査読論文)
23. 林　豊, 2010: 茨城県の津波の特徴，平成 22 年度茨城県自主防災組織リーダー研修会.（招待講演）
24. 林　豊, 今村文彦, 越村俊一, 2010：津波減衰過程のトレンドとばらつきの性質の遠地地震津波予測への活用可能性，第 57 回海岸工学講演会.
25. 林　豊, 2010: 海岸—沖合津波高比の経験則を適用した新しい津波予測手順案の紹介, 海底地殻変動と津波に関するシンポジウム.
26. 林　豊, 2011: 津波警報を解除するタイミングに関する研究の現状と展望，日本地球惑星科学連合 2011 年大会, HDS026-08.
27. 林　豊, 馬場俊孝, 2011: 総合討論：津波即時予測技術の革新に向けて取り組むべき課題は何か？，日本地球惑星科学連合 2011 年大会, HDS026-16.

28. 林　豊, 越村俊一, 今村文彦, 2011: 遠地地震津波の減衰予測のための MRMS 振幅の時間減衰モデル, 土木工学論文集 B2（海岸工学）, B2-67(2), 216-220. （注：本発表に伴う著作物は上述の同題の査読論文)
29. 林　豊, 阿部正雄, 飯野英樹, 前田憲二, 対馬弘晃, 岡田正実, 木村一洋, 岩切一宏, 2011: 現地調査から見た津波浸水高の分布の特徴, 東北地方太平洋沖地震津波に関する合同調査報告会, 東北地方太平洋沖地震津波に関する合同調査報告会予稿集, pp.86-91.
30. 林　豊, 対馬弘晃, 前田憲二, 横田崇, 村嶋陽一, 村田泰洋, 石綿利光, 2013: 沿岸波高高精度予測システムの開発, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, HDS26-03, 2013 年 5 月, 千葉県千葉市.
31. 平田賢治, 馬場俊孝, 2009: 水晶振動式海底水圧計の過渡的熱応答、日本地球惑星科学連合 2009 年大会,S154-009.
32. 平田賢治, Haryadi Permana, 富士原敏也, Udrekh, Eddy Z.Gaffar, 川野雅弘, Yusuf S. Djajadihardja, 荒井晃作, 2010: 2004 年に発生したスマトラ北西沖巨大津波の発生メカニズムに関する第 5 仮説に対する地質学的な証拠について、2010 年度日本地震学会秋期大会、P2-27,広島。
33. 平田賢治, 富士原敏也, 木下正高, 荒木英一郎, 金松敏也, 徐亘, 町山栄章, 中村恭之, 荒井晃作, 徳山英一, 馬場久紀, 2011: スマトラ北西沖海域調査の国際的な取り組みと 2004 年波源域南部の津波発生モデル仮説のレビュー(その３)、2011 年日本地震学会秋期大会、B11-04, 静岡
34. 前田憲二, 対馬弘晃, 平田賢治, 勝間田明男, 吉田康宏, 青木重樹, 尾崎友亮, 横田崇, 2012: 気象庁の津波警報改善のための研究開発, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, HDS26-02, 2012 年 5 月, 千葉県千葉市.
35. 松本浩幸, 林　豊, 金田義行, 2012: 海底津波計のリアルタイム観測データに含まれる水圧擾乱の特性, 第 59 回海岸工学講演会, 2012 年 11 月, 広島県広島市.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：14 件

1. Hayashi, Y., Weniza, and Y. Fujii, 2011: Proposal of New Procedures for Improved Tsunami Forecast by Applying Coastal-to-offshore Tsunami Height Ratio, 2011 International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly (IUGG2011), 2924.
2. Hayashi, Y., K. Maeda, H. Tsushima, K. Hirata, A. Katsumata, Y. Yoshida, S. Aoki, T. Ozaki, and T. Yokota, 2012: Research for improvement of tsunami warning of Japan after the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Joint Assembly of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) and the American Geophysical Union's (AGU) Western Pacific Geophysics Meeting, OS07-17-A024, 2012 年 8 月, シンガポール.
3. K. Hirata, H. Permana, T. Fujiwara, Udrekh, E. Z. Gaffar, M. Kawano, Y. S. Djajadihardia, K. Arai, 2011: Geological evidences of the fifth model for the tsunami generation in ocean floor off northwest Sumatra during the 2004 Sumatra-Andaman earthquake – results from the KH09-09 cruise -, The International workshop on Subduction processes, tectonics, and related topics along the Sumatra-Java arc, Tokyo, Japan, March 10-11,
4. K. Hirata, R. Rahardiawan, H. Baba, L. Seeber, A. Misawa, K. Adachi, H. Sarukawa, T. Fujiwara, M. Kinoshita, H. Tokuyama, Y. Nakamura, K. Arai, H. Permana, Udrekh, Y. S. Djajadihardia, 2011: KH-10-5 Leg.1 high-resolution geological survey off northwest Sumatra, The International workshop on Subduction processes, tectonics, and related topics along the Sumatra-Java arc, Tokyo, Japan, March 10-11.
5. Iinuma, T., M. Kido, Y. Osada, D. Inazu, M. Ohzono, H. Tsushima, R. Hino, Y. Ohta, S. Suzuki, H. Fujimoto, S. Miura, and M. Shinohara, 2011: Coseismic Slip Distribution of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Deduced from Land and Seafloor Geodesy, 2011 American Geophysical Union Fall Meeting, G51A-0853.
6. Inazu, D., R. Hino, S. Suzuki, Y. Osada, Y. Ohta, T. Iinuma, H. Tsushima, Y. Ito, M. Kido, and H. Fujimoto, 2011: Ocean bottom pressure observations near the source of the 2011 Tohoku earthquake, 2011 American Geophysical Union Fall Meeting, G51A-0868.
7. Misawa, A., K. Hirata, L. Seeber, K. Arai, J. Ashi, R. Rahardiawan, Udrekh, H. Baba, M.

Kinoshita, T. Fujiwara, H. Tokuyama, Y. Nakamura, H. Permana, and Y. S. Djajadhihardia, 2012: Subsurface deformation along major thrusts in the outer-arc high off northwest Sumatra, 2012 American Geophysical Union Fall Meeting, T52A-02, 2012 年 12 月, 米国, サンフランシスコ.

8. Romano, F., E. Trasatti, S. Lorito, Y. Ito, A. Piatanesi, P. Lanucara, K. Hirata, N. D'Agostino, and M. Cocco, 2012: Slip distribution of the 2011 Tohoku-oki earthquake obtained by geodetic and tsunami data and with a 3-D Finite Element model, 2012 American Geophysical Union Fall Meeting, NH43B-1641, 2012 年 12 月, 米国, サンフランシスコ.
9. W.Soh, H. Machiyama, K. Hirata, E. Araki, K. Obana, K. Arai, T. Fujiwara, Y.Djajadihardja, S. Burhanuddim, C. Muller, L. Seeber, and K. Suyehiro, 2011: Surface break of a thrust that initiated the Indian Ocean Tsunami in the Sumatra- Andaman Earthquake of 26 December 2004, The International workshop on Subduction processes, tectonics, and related topics along the Sumatra-Java arc, Tokyo, Japan, March 10-11,
10. Tsushima, H., R. Hino, F. Imamura, Y. Tanioka, Y. Ohta, et al. 2011: Near-field tsunami forecasting from ocean bottom pressure and onshore GPS data, 2011 International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly (IUGG2011), 4693.
11. Tsushima, H., K. Hirata, Y. Hayashi, Y. Tanioka, K. Kimura, S. Sakai, M. Shinohara, T. Kanazawa, R. Hino, and K. Maeda, 2011: Experimental Near-field tsunami forecasting of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake from offshore tsunami data, 8th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society (AOGS2011), SE87-A026.
12. Tsushima, H., K. Hirata, Y. Hayashi, K. Maeda, and T. Ozaki, 2012: Effect of offshore tsunami station array configuration on accuracy of near-field tsunami forecast, Joint Assembly of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) and the American Geophysical Union's (AGU) Western Pacific Geophysics Meeting, OS07-17-A011, 2012 年 8 月, シンガポール.
13. Tsushima, H., Y. Hayashi, K. Hirata, T. Baba, Y. Ohta, T. Iinuma, R. Hino, Y. Tanioka, S. Sakai, M. Shinohara, T. Kanazawa, and K. Maeda, 2012: Near-field tsunami forecasting using offshore tsunami data from the 2011 Tohoku earthquake, 2012 American Geophysical Union Fall Meeting, NH43B-1660, 2012 年 12 月, 米国, サンフランシスコ.
14. Tsushima, H., Y. Hayashi, K. Maeda, T. Yokota, H. Kawakami, S. Hirata, K. Yoshimura, K. Endo, Y. Kida, 2013: Development of tsunami forecasting system based on offshore tsunami data assimilation, 10th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS), IG05-04-24-A019, 2013 年 6 月, オーストラリア, ブリスベン.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：24 件

1. Kenji Hirata, Haryadi Permana, T. Fujiwara, Udrekh, Eddy Z.Gaffar, M. Kawano, Yusuf S. Djajadihardja, 2010: Detailed bathymetric features of the outer- arc high off northwest Sumatra acquired during the KY0909 Leg1 survey, Japan Geoscience Union Meeting, MAG022-P04.
2. Misawa, A., K. Hirata, L. Seeber, R. Rahardiawan, H. Baba, K. Kameo, K. Adachi, H. Sarukawa, Udrekh, K. Arai, Y. Nakamura, and M. Kinoshita, 2012: Subbottom structures in the region causing the huge tsunami during the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, SSS38-P34, 2012 年 5 月, 千葉県千葉市.
3. WENIZA, Y. HAYASHI, Y. FUJII, 2010: Proposal of new procedures for improved tsunami forecast by applying coastal-to-offshore tsunami height ratio, 日本地震学会 2010 年秋季大会, P3-49.
4. 稲津大祐, 日野亮太, 鈴木秀市, 長田幸仁, 太田雄策, 飯沼卓史, 対馬弘晃, 伊藤喜宏, 木戸元之, 藤本博己, 2011: 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源近傍での海底圧力観測, 日本地震学会 2011 年秋季大会, 日本地震学会 2011 年度秋季大会, P2–10.
5. 大石裕介, M. D. Piggott, 前田拓人, R. B. Nelson, G. J. Gorman, S. C. Kramer, G. S. Collins,

対馬弘晃, 古村孝志, 2011: 有限要素法による 3 次元津波伝播シミュレーション : 2011 年東北地方太平洋沖地震への適用, P3–19
6. 大石裕介, M. D. Piggott, 前田拓人, S. C. Kramer, G. S. Collins, 対馬弘晃, 古村孝志, 2012: 非構造格子有限要素法による 3 次元津波生成シミュレーション: 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う津波生成過程の検討, HDS26-P09, 2012 年 5 月, 千葉県千葉市.
7. 川野雅弘, 志藤あずさ, 富士原敏也, 平田賢治, 荒木英一郎, 海底地震計観測データに基づく 2004 年 12 月 26 日スマトラーアンダマン地震の余震の震源メカニズムの検討, 2010 年度日本地震学会秋期大会, P1-64,広島.
8. 対馬弘晃, 平田賢治, 林　豊, 前田憲二, 日野亮太, 藤本博己, 今村文彦, 谷岡勇市郎, 2010 : 海底圧力・GPS 波浪計データによる近地津波予測, 日本地震学会 2010 年秋季大会, P3-50.
9. 対馬弘晃, 平田賢治, 林 豊, 谷岡勇市郎, 木村一洋, 酒井慎一, 篠原雅尚, 金沢敏彦, 日野亮太, 前田憲二, 2011: 2011 年東北地方太平洋沖地震津波に対する近地津波予測手法の適用, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, MIS036-P115.
10. 対馬弘晃, 平田賢治, 林　豊, 前田憲二, 尾崎友亮, 2012: 沖合津波観測点配置の違いが近地津波の予測精度に与える影響の評価, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, HDS26-P04, 2012 年 5 月, 千葉県千葉市.
11. 対馬弘晃, 日野亮太, 長田幸仁, 稲津大祐, 伊藤喜宏, 鈴木秀市, 飯沼卓史, 太田雄策, 木戸元之, 久保田達矢, 藤本博己, 酒井慎一, 篠原雅尚, 金沢敏彦, 2012: 震源域直上の自己浮上式海底水圧計の津波記録からみた 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波波源, 日本地震学会 2012 年秋季大会, P1–71, 2012 年 10 月, 北海道函館市.
12. 対馬弘晃, 林　豊, 前田憲二, 横田崇, 川上博隆, 平田怜, 吉村健二, 遠藤清隆, 木田洋祐, 2013: 沖合津波観測データ同化システムの開発, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, HDS26-P06, 2013 年 5 月, 千葉県千葉市.
13. 対馬弘晃, 林　豊, 前田憲二, 2013: tFISH に基づく津波即時予測システムの性能評価, 日本地震学会 2013 年秋季大会, 2013 年 10 月, 神奈川県横浜市.
14. 林　豊, 2009: GPS 波浪計の長周期波高を用いた沿岸津波換算値, 日本地震学会 2009 年度秋季大会, P3-10.
15. 林　豊, 2010: 2010 年 2 月チリ中部地震津波の GPS 波浪計と検潮所での振幅比較, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, MIS050-P09.
16. 林　豊, 越村俊一, 今村文彦, 2010: 移動自乗平均津波振幅の簡易時間減衰モデルの設定, 日本地震学会 2010 年秋季大会, P3-48.
17. 林　豊, 対馬弘晃, 平田賢治, 木村一洋, 前田憲二, 2011: 沖合津波観測点からの津波逆伝播で推定した 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波波源域, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, MIS036-P114.
18. 林　豊, 対馬弘晃, 前田憲二, 2011: 後続波による津波最大振幅の出現時および振幅の性質—日本の津波カタログによる検討, 日本地震学会 2011 年秋季大会, P2-76.
19. 林　豊, 前田憲二, 対馬弘晃, 岡田正実, 木村一洋, 岩切一宏, 菅谷晴臣, 田中三樹男, 大嶋幸雄, 2011: 茨城県北茨城市から千葉県旭市における 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の現地調査結果, 日本地震学会 2011 年度秋季大会, P3-17.
20. 林　豊, 前田憲二, 対馬弘晃, 竹内仁, 村嶋陽一, 野村出, 2013: 沖合津波観測データ同化システム用津波波形データベースの作成, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, HDS26-P05, 2013 年 5 月, 千葉県千葉市.
21. 林　豊, 対馬弘晃, 前田憲二, 2013: 2011 年東北地方太平洋沖地震の余震は津波の高さに影響を与えたか？, 日本地震学会 2013 年秋季大会, 2013 年 10 月, 神奈川県横浜市.
22. 平田賢治, Haryadi Permana, 富士原敏也, Udrekh, Eddy Z.Gaffar, 川野雅弘, Yusuf S. Djajadihardja, 荒井晃作, 2004 年に発生したスマトラ北西沖巨大津波の発生メカニズムに関する第 5 仮説に対する地質学的な証拠について、2010 年度日本地震学会秋季大会、P2-27,広島.
23. 平田賢治, 対馬弘晃, 2012: 近地津波の沖合観測における諸問題, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, HDS26-P05, 2012 年 5 月, 千葉県千葉市.
24. 山崎明, 本山龍也, 平松秀行, 2013: 津波高の測定における高潮数値予測モデルの利用について,日本地球惑星科学連合 2013 年大会, HDS26-P03, 2013 年 5 月, 千葉県千葉市.

気候変動への適応策策定に資するための気候・環境変化予測に関する研究

研 究 期 間：平成 22 年度～平成 25 年度
研究代表者：鬼頭昭雄[1)]（気候研究部長）、行本誠史[2)]（気候研究部第四研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１　地球システムモデルによるアジア太平洋域の 2050 年までの地域気候・環境変動予測
鬼頭昭雄[1)]、行本誠史、保坂征宏、石井正好、足立恭将、新藤永樹、楠 昌司、川合秀明、遠藤洋和、水田 亮、尾瀬智昭、吉村裕正、小畑 淳、坂見智法[3)]（気候研究部）、柴田清孝、田中泰宙、出牛 真（環境・応用気象研究部）、蒲地政文、山中吾郎、辻野博之（海洋研究部）、村井博一[4)]（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）

副課題２　初期値アンサンブルによる地域気候変動の近未来予測
鬼頭昭雄[1)]、行本誠史、保坂征宏、石井正好、足立恭将、新藤永樹、楠 昌司、川合秀明[4)]、遠藤洋和、水田 亮、尾瀬智昭、吉村裕正、小畑 淳[4)]（気候研究部）、柴田清孝[4)]、田中泰宙[4)]、出牛 真[4)]、環境・応用気象研究部）、蒲地政文、山中吾郎、辻野博之（海洋研究部）、村井博一[4)]（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）

研究の目的

地球温暖化が不可避となることが予想される近年の状況において、気候変動への適応策の立案・実施に向けて、費用対効果や優先順位等を検討するための判断材料が求められている。また、アジア諸国の経済発展や土地利用変化などに伴い、アジア太平洋域における環境変化予測情報へのニーズが高まっている。これらのことから、特にアジア太平洋域をターゲットに 20～数十年程度先の近未来を対象とした高度な気候および環境の変化予測情報を提供可能にすることを目的とする。

研究の動機・背景

変動に関する政府間パネル第 4 次評価報告書（IPCC/AR4）で気候システムの温暖化には疑う余地がないと報告されているように、温暖化問題は我が国のみならず地球全体の重要課題となった。我が国でも温暖化に伴い、異常高温（猛暑日、熱帯夜の増加など）、記録的な大雨の増加、台風の強大化などの気候変動による深刻な影響が懸念されている。こうした気候変動は、これまで講じてきた災害対策等に影響を及ぼすと考えられることから、関係機関においては気候変動への適応策の策定・実施に向け動き始めている。しかし、気候変動予測には不確実性があるため、適応策を策定する者からは不確実性の低減を求められている。

また、限られた資源の下で適切に適応策をとるためには、例えば何を優先すべきか等の費用対効果の検討が不可欠であり、その根拠として確率的情報を付すなどしたいっそう高度な予測情報が求められるようになってきた。

他方、アジア諸国の経済発展や土地利用変化（砂漠化等）による我が国への黄砂飛来の増加やオキシダント濃度の増加が言われている。一部では健康への影響が懸念されており、こうした環境変化についての定量的な予測も求められてきている。

これらのことから、地球システムモデルによりエーロゾル（黄砂を含む）や大気化学と気候との相互作用を取り入れて気候変動予測の不確実性の低減を図りつつ、ニーズに応えるための新たな技術開発が必要とあらためて認識した。

地球温暖化による気候変動やアジア諸国の経済発展や土地利用変化等に伴う環境変化について、特にアジア太平洋域をターゲットに 30 年程度先の将来や、不確実性について確率的情報を付加した、高精度かつ高度な気候・環境予測情報を提供可能とすることにより、関係機関や国民の、地球温暖化への適切な適応策の実施、環境変化への適切な対策の実施に資する。

研究の成果の到達目標

全球から地域規模までの気候・環境変動を表現可能な高解像度の地球システムモデルを開発し、2050 年までの地域的な気候・環境変動予測を行う。また、近未来を対象にした確率的な情報を含む高

[1)] 平成 22 年度～平成 24 年度、[2)] 平成 25 年度、[3)] 平成 22 年度～平成 23 年度、[4)] 平成 24 年度～平成 25 年度

度な予測情報を提供可能とするため、観測値を取り込んだ初期値アンサンブル予測を行う。

副課題１　地球システムモデルによるアジア太平洋域の 2050 年までの地域気候・環境変動予測

高解像度（約 20km）全球大気モデル及び高精度全球海洋モデルを結合した高解像度地球システムモデルを開発する。

このモデルを用いて 2050 年までの予測実験を行い、我が国およびアジア太平洋地域に大きな影響を及ぼす諸現象（台風、梅雨等）の変化、極端現象の地域的な変化、およびアジア太平洋域の環境変化予測を行う。

副課題２　初期値アンサンブル予測による地域気候変動の近未来予測

十年規模の気候の内部変動も含む観測データを取り込んだ初期値から近未来のアンサンブル予測実験を行い、適応策策定に必要な確率的情報を含む地域気候・環境変化の予測を行う。

研究結果

（成果の概要）

全球から地域規模までの気候・環境変動を表現可能な高精度の地球システムモデルの開発の前期モデルとして、中解像度の地球システムモデルを開発した。開発した中解像度の地球システムモデルを用いて CMIP5 に従った主要な長期実験および近未来予測実験を行った。長期実験では、20 世紀の気候再現性の検証をふまえて、将来の気候と関連するエーロゾル、オゾン、炭素循環の変化が示された。近未来予測実験では、海洋の観測データを同化した初期値から 10 年規模のアンサンブル予測を行った。

後期モデルの開発として、CMIP5 実験の結果を解析して地球システムモデルの各コンポーネントにおける課題を抽出し、それらに対する改良を行った。さらに大気を 120km から 60km に高解像度化し、渦解像領域海洋モデルをネスティングした高精度地球システムモデルを完成させ、20 世紀後半の気候再現実験を行った。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　地球システムモデルによるアジア太平洋域の 2050 年までの地域気候・環境変動予測

①　前期モデルの開発と CMIP5 長期実験

全球から地域規模までの気候・環境変動を表現可能な高精度の地球システムモデルの開発の前期モデルとして中解像度の地球システムモデルを開発した。このモデルは、大気モデル、海洋モデル、エーロゾルモデル、大気化学気候モデル（オゾンモデル）を、新たに開発したカップラー Scup を用いて柔軟に結合することができる。また炭素循環過程も組み込まれている。さらに、雲衛星データと直接比較検証を可能とするため雲衛星シミュレータ（COSP）が組み込まれている。中解像度モデルの大気の水平解像度は約 120km、海洋の水平解像度は 1°×0.5°である。また、エーロゾルモデル、オゾンモデルの水平解像度はそれぞれ約 180km、約 280km である。

地球システムモデルのサブセットである気候モデル MRI-CGCM3（大気+エーロゾル+海洋結合モデル）を用いて、主要な CMIP5 長期実験を行った。CMIP5 長期実験には、産業革命前基準実験（500 年）、歴史気候実験（1850 年～2005 年、5 アンサンブル）、将来気候予測実験（2006 年～2100 年、４シナリオ）、各種気候感度実験等が含まれる。さらに地球システムモデル MRI-ESM1（MRI-CGCM3+オゾンモデル+炭素循環）を用いて、排出量を与えて二酸化炭素濃度やオゾン濃度を予測する CMIP5 長期実験（基準実験 250 年、歴史気候実験 1850 年～2005 年、将来気候予測実験 2006 年～2100 年）を行った。

CMIP5 歴史気候実験結果の検討を行った結果、モデルは放射収支、地上気温や海面水温、降水分布などにおいて全般に良好な気候再現性を示すことがわかった。特に、熱帯季節内変動で代表的なマッデン・ジュリアン振動（MJO）の表現が優れていることがモデル比較で示された。なお、MRI-CGCM3 と MRI-ESM1 は、意図した通り気候再現性がほぼ同じであることが確かめられた。一方、後期モデル開発に向けて優先すべき課題が示された。主な課題は、①北半球中緯度海洋の低温誤差、②熱帯における降水分布の誤差（ダブル ITCZ）、③南大洋の高温誤差、④冬季の北大西洋（特にラブラドル海付近）の過剰な海氷、⑤インドモンスーンの再現性がよくないなどである。雲衛星シミュレータの出力を検証した結果、モデルは全般に中層・下層の雲量が過少で、特に南大洋で顕著な過少を示すことがわかった。

CMIP5 の長期予測実験において、代表的なシナリオ RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、および RCP8.5（21 世紀末の放射強制力がそれぞれ 2.6, 4.5, 6.0, および 8.5 Wm2 に相当）に対して、21 世紀末には全球平均地上気温が 1.0℃、1.8℃、2.0℃、および 3.8℃、それぞれ 20 世紀末と比較して上昇する結果となった。これらは、CMIP5 のモデルの平均よりやや小さいが、ばらつきの範囲内であることがわかった。気候変化の特徴は、例えば降水量は熱帯と中高緯度で増加し、亜熱帯で減少するなど、他の多くのモデルと共通する特徴が見られた。RCP8.5 シナリオで北極海の夏の海氷は 21 世紀中頃にほぼ消失する予測となった。排出量を与えた RCP8.5 実験では、21 世紀末に大気中二酸化炭素濃度が 800ppm となり、地上気温は 3.2℃の昇温となることが示された。これらの値は、濃度を与える RCP8.5 実験の 930ppm、3.8℃より小さい。二酸化炭素濃度増加による陸域の植生の施肥効果が過大である可能性が示唆された。オゾンモデルによって、現在のオゾン分布が現実的に再現され、将来はオゾンホールが回復する一方、対流圏オゾンが増加することが示された。

CMIP5 実験の結果を踏まえて、後期モデル開発を行った。大気モデルの物理過程改良と高解像度化、全球海洋モデルの改良、渦解像領域海洋モデルを北太平洋および北大西洋にネスティング、およびエーロゾルモデルの改良を導入した。

② 後期モデルの開発

中緯度海洋における下層雲の表現の改善のため、雲の雲頂エントレインメントの効果を考慮した EIS にもとづく層積雲スキームを導入するとともに、層積雲の表現改善のため大気下層での鉛直解像度が細かくなるよう鉛直層数を 48 層から 64 層にした。また衛星観測を使った検証や感度実験をもとに、雲水量、雲氷量、雲粒有効半径（または数濃度）、氷晶数濃度などに関わる雲スキームのパラメータを調整し、中高緯度（特に南大洋）の短波放射の反射過少のバイアスを改善した。さらに熱帯対流域での短波反射過剰を改善するため、雲放射のオーバーラップ効果を精緻化した部分独立カラム近似（PICA）を導入した。MJO や熱帯降水分布の表現と雲放射効果バイアス低減を両立させることは難しい。これを改善するため、数多くの感度実験に基づき、積雲対流スキームの降水変換率調整等の改良を行った。

新しいバージョンのエーロゾルモデルを導入し、過小であったエーロゾルの光学的厚さが観測に近い表現をするようになった。エーロゾルの再現性向上は間接効果により雲の分布や光学特性に影響するが、それに合わせた雲スキームの調整により雲放射効果のバイアスが改善された。オゾンモデルについても化学反応に関するいくつかの改良がなされた。海洋モデルにおいては、新しい混合層スキームを導入し、冬季の北大西洋（ラブラドル海付近）の過剰な海氷が改善することがわかった。さらに、北大西洋に渦解像領域モデルをネストすることにより、海氷分布の表現がより改善することがわかった。また、渦解像領域モデルのネスティングにより、北半球中緯度海洋の低温誤差が緩和することが示された。炭素循環に関して、陸域生態系の炭素吸収過多を改善するための調整を行い、二酸化炭素濃度変化の再現性を向上させた歴史実験のための初期値として利用可能な定常状態を得た。

以上の大気モデル、エーロゾルモデル、オゾンモデル、海洋モデル、炭素循環の各コンポーネントの改良を統合し、それに加えて大気モデルの高解像度化（水平 60km、鉛直 64 層）を採用した。このようにして完成した高精度地球システムモデルを用いて 20 世紀後半の気候再現実験を行い検証を行った結果、前期モデルで課題となっていた点が改善され、全体的な性能向上が確認できた。

副課題２　初期値アンサンブルによる地域気候変動の近未来予測

MRI-CGCM3 による近未来予測のための海洋初期値化手法の開発を行った。海洋の初期値化には、Mochizuki et al. (2010) で使用された手法を導入した。過去の長い期間に亘り、良質な観測データで気候モデルを初期値化することが必要である。使用する過去の海洋観測データの品質に関わる研究を併せおこない、歴史的データのバイアスを除去する手法が、近未来予測に有効であることを、別途行った実験により確認した。また、火山の噴火が近未来予測に与える影響についても、モデル実験を実施し、量的に信頼のある結果を得た。

MRI-CGCM3 に表層水温・塩分観測データを同化するスキームを組み込んだシステムにより、1960 年から 2010 年までの歴史的な海洋観測データ同化（3 メンバー）を実施し、予測のための初期値を作成した。作成された初期値（1960, 1965, … , 2005, 2010 年）から、各 9 メンバー（同化 3×LAF 3）の 10 年（一部 30 年）ハインドキャスト実験および近未来予測実験を行った。さ

らに、この実験結果を CMIP5 の要請に従ってデータ変換しデータ提供した。

ハインドキャスト実験を解析し、太平洋十年規模変動（PDO）や大西洋数十年規模変動（AMO）などの代表的な十年規模気候変動には、ある程度予測可能性があることを確認した。ただし、MRI-CGCM3 は他の機関のモデルに比較してシグナルが小さい傾向がある。2013 年 1 月 1 日を最新初期値とする近未来予測実験を実施し、英国を中心とする準リアルタイムで予測結果を比較するプロジェクトにデータ提供し、各国機関の結果と比較した。

次世代の気候予測をめざして、新しい初期値化手法の開発に着手した。創生プログラム課題Aと共同で、新しい初期値化手法としてアンサンブルカルマンフィルター （EnKF）による気候モデル初期値化システムを開発、改良を進め、最近 10 年の期間について行った（MIROC モデルに基づく）同化実験結果の解析を実施した。また、GRENE の北極気候変動分野「北極海航路の利用可能性評価につながる海氷分布の将来予測」課題との共同で、海氷予測システムの開発を行い、簡便な同化方法による海氷予測実験に着手した。

歴史的海面水温解析値を高度化した COBE-SST2 に関わる論文を学術誌に投稿し、査読者との議論を踏まえて改良を進め、COBE-SST2 を完成させた。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

当初計画時点では CMIP5 への対応が未確定であったが、モデル開発を前期と後期に分割することにより、前期モデルで CMIP5 に参加した。CMIP5 では非常に多くの実験が要請され、想定よりかなり多くの種類の実験を行ったため、後期モデルの開発に遅れが生じたため、後期モデルで予定した 2050 年までの予測の計算は間に合わなかった。また、当初計画では大気の水平解像度 20km を目標としていたが 60km とした。物理過程改良を行う過程でスキームの高度化（PICA など）および鉛直層数の増加に伴う計算量の増加による計算機資源の制約が生じたほか、多面的な検討の結果、水平解像度を高くするより、鉛直解像度を高くして物理過程のほうに計算コストをかける方が目標とする表現性能を得られると判断したことが理由である。

成果の他の研究への波及状況

CMIP5 実験の結果は、基礎的・基盤的研究「気候モデルによる気候変動メカニズム解明に関する研究」（平成 22-25 年度）において、気候再現性や十年規模予測可能性についての解析に用いられ、また開発されたモデルを用いた完新世中期と最終氷期最盛期の気候再現実験が行われ、気候変動メカニズムの研究に寄与している。また、重点研究「異常気象・気候変動の実態とその要因解明に関する研究」にも利用されている。また、環境省環境研究総合推進費「CMIP5 マルチモデルデータを用いたアジア域気候の将来変化予測に関する研究」での北太平洋の海面水位の変動・変化の解析において、MRI-CGCM3 の十年規模予測実験データを提供し、解析結果の議論に参加した。その他、CMIP5 実験データは公開されており、世界中の研究者により気象研究所のモデルを含むモデル比較をもとにした研究が盛んに行われている。

地球システムモデルの高精度化および近未来予測の精度向上は、重点研究「全球大気海洋結合モデルを用いた季節予測システムの開発に関する研究」と連携し、将来の季節予報の高度化にも寄与している。

海洋モデル部分については、重点研究「海洋環境の予測技術の開発」と連携して開発を進めた。また、海洋の炭素循環について、重点研究「海洋中炭素循環変動の実態把握とメカニズム解明に関する研究」と連携して開発を行った。

全球エーロゾルモデルの改良は、地球環境保全試験研究費「吸収性エアロゾルが大気・雪氷面放射過程に与える影響のモニタリングに関する研究」、地球環境研究総合研究費「風送ダストの飛来量把握に基づく予報モデルの精緻化と健康・植物影響評価に関する研究」および「地球温暖化対策としてのブラックカーボン削減の有効性の評価」などに貢献している。気象庁・気象研究所統一大気モデル（GSMUV）と結合したエーロゾルモデルは次期の黄砂予測情報に用いるためのモデルとして、現在本庁地球環境・海洋部と共同でモデル検証を行っている。

地球システムモデルに組み込まれているオゾンモデルは紫外線情報およびスモッグ気象情報に用いるためのモデルとして、現在本庁地球環境・海洋部と共同でモデル検証を行っている。将来は、次世代の環境予測モデルとして地球システムモデルを上記業務等にも応用することが期待できる。

地球システムモデルの大気モデルの開発をはじめ、近未来予測実験における初期値化技術、十年規模予測の解析等において、21 世紀気候変動予測革新プログラムおよび気候変動リスク情報創生プログ

ラムと知見を交換することにより双方の研究の発展に寄与した。

今後の課題

CMIP5 実験の結果を踏まえて多岐にわたる改良を重ねた結果、モデルの再現性にかなりの改善が見られたが、目標である我が国およびアジア太平洋地域に大きな影響を及ぼす諸現象（台風、梅雨等）や極端現象の表現は、地域的な将来変化を評価するには信頼性が十分ではない。より信頼性を高めるためには、季節予測とのシームレスな開発により、気候再現性だけでなく、季節から十年規模までの予測精度を検証しつつ高精度なモデルを開発していく必要がある。また、上記諸現象の表現能力の向上には積雲対流と雲物理の各スキームの改良が特に重要であり、そのためには雲解像領域気候モデルによる研究の知見を取り入れることが課題である。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（気候・地球環境分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、485 ページを参照。

成果発表一覧

査読論文　：45 件

1. Abraham, J.P., M. Baringer, N.L. Bindoff, T. Boyer, L.J. Cheng, J.A. Church, J.L. Conroy, C.M. Domingues, J.T. Fasullo, J. Gilson, G. Goni, S.A. Good, J. M. Gorman, V. Gouretski, M. Ishii, G.C. Johnson, S. Kizu, J.M. Lyman, A. M. Macdonald, W.J. Minkowycz, S.E. Moffitt, M.D. Palmer, A.R. Piola, F. Reseghetti, K. Schuckmann,K.E. Trenberth, I. Velicogna, J.K. Willis, A review of global ocean temperature observations: Implications for ocean heat content estimates and climate change, Reviews of Geophysics, (accepted).
2. Adachi, Y., Yukimoto, S., M. Deushi, A. Obata, H. Nakano, T. Y. Tanaka, M. Hosaka, T. Sakami, H. Yoshimura, M. Hirabara, E. Shindo, H. Tsujino, R. Mizuta, S. Yabu, T. Koshiro, T. Ose, and A. Kitoh, 2013: Basic performance of a new earth system model of the Meteorological Research Institute (MRI-ESM1). Pap. Meteor. Geophys., accepted.
3. Aoki, Te., K. Kuchiki, M. Niwano, Y. Kodama, M. Hosaka, and T. Tanaka, 2011: Physically based snow albedo model for calculating broadband albedos and the solar heating profile in snowpack for general circulation models, J. Geophys. Res., 116, D11114, doi:10.1029/2010JD015507.
4. Chikamoto, Y., M. Kimoto, M. Ishii, M. Watanabe, T. Nozawa, T. Mochizuki, H. Tatebe, T. Sakamoto, Y. Komuro, H. Shiogama, M. Mori, S. Yasunaka, Y. Imada, H. Koyama, M. Nozu, and F-F. Jin, 2012: Predictability of a stepwise shift in Pacific climate during the late 1990s in hindcast experiments by MIROC. J. Meteor. Soc. Japan, 90A, 1-21.
5. Deushi, M., and K. Shibata, 2011: Development of a Meteorological Research Institute Chemistry-Climate Model version 2 for the Study of Tropospheric and Stratospheric Chemistry, Papers in Meteorology and Geophysics, 62, 1–46.
6. Hirahara, S., M. Ishii, and Y. Fukuda, 2012: Centennial-scale sea surface temperature analysis and its uncertainty. J. Climate. (accepted)
7. Imada, Y., H. Shiogama, M. Watanabe, M. Mori, M. Ishii and M. Kimoto, 2013: Contribution of atmospheric circulation change to the 2012 heavy rainfall in southwestern Japan. "Explaining extreme events of 2012 from a climate perspective", Eds. T. C. Peterson, M. P. Hoerling, P. A. Stott, and S. C. Herring, Bull. Amer. Meteor. Soc., 94, S52-S54.
8. Jiang, J. H., et al., 2012: Evaluation of cloud and water vapor simulations in CMIP5 climate models using NASA "A-Train" satellite observations. J. Geophys. Res., 117, D14105.
9. Kawai, H., and J. Teixeira, 2012: Probability Density Functions of Liquid Water Path and Total Water Content of Marine Boundary Layer Clouds: Implications for Cloud Parameterization. J. Climate, 25, 2162-2177.
10. Kawai, H., 2012: Examples of mechanisms for negative cloud feedback of stratocumulus and stratus in cloud parameterizations. SOLA, 8, 150-154.
11. Kitoh, A., H. Endo, K. K. Kumar, I. F. A. Cavalcanti, P. Goswami, and T. Zhou, 2013,

Monsoons in a changing world: a regional perspective in a global context J. Geophys. Res., 118, 3053-3065, doi: 10.1002/jgrd.50258.
12. Komuro, Y., T. Suzuki, T. T. Sakamoto, H. Hasumi, M. Ishii, M. Watanabe, T. Nozawa, T. Yokohata, T. Nishimura, K. Ogochi. S. Emori, and M. Kimoto, 2012: Sea-ice climatology and trends in twentieth-century simulations by new MIROC coupled models. J. Meteor. Soc. Japan, 90A, 213-232.
13. Lyman, J., S. A. Good, V. Gouretski, M. Ishii, G. C. Johnson, M. D. Palmer, D. M. Smith, and J. Willis, 2010: Robust Warming of the Global Upper Ocean. Nature, 465, 334–337, doi:10.1038/nature09043.
14. Matsueda, M., H. Endo, and R. Mizuta, 2010: Future change in Southern Hemisphere summertime and wintertime atmospheric blockings simulated using a 20-km-mesh AGCM, Geophys. Res. Lett., 37, L02803, doi:10.1029/2009GL041758.
15. Mizuta, R., M. Matsueda, H. Endo, and S. Yukimoto, 2011: Future Change in Extratropical Cyclones Associated with Change in the Upper Troposphere. J. Climate, 24, 6456-6470.
16. Mizuta, R., H. Yoshimura, H. Murakami, M. Matsueda, H. Endo, T. Ose, K. Kamiguchi, M. Hosaka, M. Sugi, S. Yukimoto, S. Kusunoki, and A. Kitoh, 2012: Climate simulations using MRI-AGCM3.2 with 20-km grid. J. Meteor. Soc. Japan, 90A, 233-258. doi: 10.2151/jmsj.2012-A12.
17. Mochizuki, T, Y. Chikamoto, M. Kimoto, M. Ishii, H. Tatebe, Y. Komuro, T. T. Sakamoto, M. Watanabe, and M. Mori, 2012: Decadal Prediction using a Recent Series of MIROC Global Climate Models. J. Meteor. Soc. Japan, 90A, 373-383.
18. Mori, M. Kimoto, M. Ishii, S. Yokoi, T. Mochizuki, Y. Chikamoto, M. Watanabe, T. Nozawa, H. Tatebe, T. T. Sakamoto, Y. Komuro, Y. Imada and H. Koyama, 2012,Prediction and Projection of Tropical Cyclone Activity over the Western North Pacific using CMIP5 Near-Term Experiments by MIROC. J. Meteor. Soc. Japan. (accepted)
19. Murakami, H., R. Mizuta, and E. Shindo, 2012: Future changes in tropical cyclone activity projected by multi-physics and multi-SST ensemble experiments using the 60-km-mesh MRI-AGCM. Clim. Dyn., 39 (9 - 10), 2569-2584, doi:10.1007/s00382-011-1223-x. a-32.
20. Murakami, H., B. Wang, and A. Kitoh, 2011: Future change of western North Pacific typhoons: Projections by a 20-km-mesh global atmospheric model. J. Climate, 23, 2699-2721.
21. Murakami, H., and B. Wang, 2010: Future change of North Atlantic tropical cyclone tracks: Projection by a 20-km-mesh global atmospheric model. J. Climate, 23, 2699-2721.
22. Murakami, H., Y. Wang, M. Sugi, H. Yoshimura, R. Mizuta, E. Shindo, Y. Adachi, S. Yukimoto, M. Hosaka, A. Kitoh, T. Ose, and S. Kusunoki, 2012: Future changes in tropical cyclone activity projected by the new high-resolution MRI-AGCM. J. Climate, 25, 3237-3260, doi:10.1175/JCLI-D-11-00415.1.
23. Murakami, H, and M. Sugi, 2010: Effect of model resolution on tropical cyclone climate projections. SOLA, 6, 073-076.
24. Murakami, H., M. Sugi, and A. Kitoh, 2012: Future changes in tropical cyclone activity in the North Indian Ocean projected by high-resolution MRI-AGCMs. Clim. Dyn., doi:10.1007/s00382-012-1407-z.
25. Nakada, M., J. Okuno, and M. Ishii, 2013: Twentieth century sea-level rise inferred from tide gauge, geologically derived and thermosteric sea-level changes. Quaternary Science Reviews, 75, 114-131.
26. Nakano, H., H. Tsujino, M. Hirabara, T. Yasuda, T. Motoi, M. Ishii, G. Yamanaka, 2011: Uptake mechanism of anthropogenic CO_2 in the Kuroshio Extension region in an ocean general circulation model, J. Oceanogr., 67,765-783, DOI 10.1007/s10872-011-0075-7
27. Nisii K., T. Miyasaka, H. Nakamura, Y. Kosaka, S. Yokoi, Y. N. Takayabu, H. Endo, H. Ichikawa, T. Inoue, K. Oshima, N. Sato, and Y. Tsushima, 2012: Relatioship of the reproducibility of multiple variables among global climate models. J. Meteor. Soc. Japan, 90A, 87-100.doi: 10.2151/jmsj.2012-A04.
28. Obata, A., and K. Shibata, 2012: Damage of land biosphere due to intense warming by 1000-fold rapid increase in atmospheric methane: Estimation with a climate-carbon cycle model. J. Climate, doi:10.1175/JCLI-D-11-00533.1.
29. Ose, T. and O. Arakawa, 2011: Uncertainty of future precipitation change due to global

warming associated with sea surface temperature change in the tropical Pacific. J. Meteor. Soc. Japan, 87, 807-819.
30. Seo, K..-W., D. E. Waliser, B. Tian, B.-M. Kim, S.-C. Park, S. Cocke, B.-J. Sohn, and M. Ishii, 2011: Global trends of fresh water discharge and evapotranspiration revealed by space-based observations. APJAS, accepted.
31. Shiogama, H., S. Emori, T. Mochizuki, S. Yasunaka, T. Yokohata, M. Ishii, T. Nozawa, and M. Kimoto, 2010: Possible influence of volcanic activity on the decadal potential predictability of the natural variability in near-term climate predictions. Advances in Meteorology, 2010, Article ID 657318, 7 pages, doi:10.1155/2010/657318.
32. Shiogama, H., M. Watanabe, Y. Imada, M. Mori, M. Ishii, and M. Kimoto, 2013: An Event Attribution of the 2010 Drought in the South Amazon Region using the MIROC5 Model. Atmospheric Science Letters, 14, 170-175.
33. Su, H., et al., 2013: Diagnosis of Regime-dependent Cloud Simulation Errors in CMIP5 Models Using "A-Train" Satellite Observations and Reanalysis Data. J. Geophys. Res., 118, 2762-2780.
34. Sugi, M., J. Yoshimura, 2012: Decreasing Trend of Tropical Cyclone Frequency in 228-year High-resolution AGCM Simulations. Geophys. Res. Let. 39, L19805, doi:10.1029/2012GL053360.
35. Suzuki, T., and M. Ishii, 2011: Long - term regional sea level changes due to variations in water mass density during the period 1981-2007, Geophys. Res. Lett., 38, L21604, doi:10.1029/2011GL049326.
36. Suzuki, T. and M. Ishii, 2011: Regional distribution of sea level changes resulting from enhanced greenhouse warming in the Model for Interdisciplinary Research on Climate version 3.2, Geophys. Res. Lett., 38, L02601, doi:10.1029/2010GL045693.
37. Tatebe, H., M. Ishii, T. Mochizuki, Y. Chikamoto, T. T. Sakamoto, Y. Komuro, M. Mori, S. Yasunaka, M. Watanabe, K. Ogochi, T. Suzuki, T. Nishimura, and M. Kimoto, 2012: Initialization of the climate model MIROC for decadal prediction with hydographic data assimilation. J. Meterol. Soc. Japan, 90A, 275-294.
38. Toyoda, T., T. Awaji, N. Sugiura, S. Masuda, H. Igarashi, Y. Sasaki, Y. Hiyoshi, Y. Ishikawa, T. Mochizuki, T. Sakamoto, H. Tatebe, Y. Komuro, T. Suzuki, T. Nishimura, M. Mori, Y. Chikamoto, S. Yasunaka, Y. Kanamaru, M. Arai, M. Watanabe, H. Shiogama, T. Nozawa, A. Hasegawa, M. Ishii, and M. Kimoto, 2011: Impact of the assimilation of sea ice concentration data on an atmosphere-ocean-sea ice coupled simulation of the Arctic Ocean climate. SOLA, 7, .37-40.
39. Tsujino, H., M. Hirabara, H. Nakano, T. Yasuda, T. Motoi, G. Yamanaka, 2011: Simulating present climate of the global ocean-ice system using the Meteorological Research Institute Community Ocean Model (MRI.COM): simulation characteristics and variability in the Pacific sector, J. Oceanogr., 67, 449-479, DOI 10.1007/s10872-011-0050-3
40. Watanabe, M., Y. Kamae, A. Oka, M. Sato, M. Ishii, T. Mochizuki, M. Kimoto, 2013: Strengthening of ocean heat uptake efficiency associated with the recent climate hiatus. Geophy. Res. Lett. 40, 1-5, doi: 10.1002/grl.50541.
41. Watanabe, M., H. Shiogama, Y. Imada, M. Mori, M. Ishii, and M. Kimoto, 2013: Event attribution of the August 2010 Russian heat wave. SOLA, 9, 64-67, doi:10.2151/sola.2013-015.
42. Yasunaka. S., M. Ishii, M. Kimoto, T. Mochizuki, and H. Shiogama, 2011: Influence of XBT Temperature Biason Decadal Climate Prediction with a Coupled Climate Model. J. Climate, 24, 5303-5308, doi: 10.1175/2011JCLI4230.1.
43. Yokoi, S., Y. N. Takayabu, K. Nishii, H. Nakamura, H. Endo, H. Ichikawa, T. Inoue, M. Kimoto, Y. Kosaka, T. Miyasaka, K. Oshima, N. Sato, Y. Tsushima, M. Watanabe, 2011: Application of Cluster Analysis to Climate Model Performance Metrics. J. Applied Meteorology and Climatology, 50, 1666-1675.
44. Yukimoto, S., Y. Adachi, M. Hosaka, T. Sakami, H. Yoshimura, M. Hirabara, T. Y. Tanaka, E. Shindo, H. Tsujino, M. Deushi, R. Mizuta, S. Yabu, A. Obata, H. Nakano, T. Koshiro, T. Ose, and A. Kitoh, 2012: A New Global Climate Model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3 —Model Description and Basic Performance —. J. Meterol. Soc. Japan, 90A, 23-64.
45. 石井正好, 2010: 歴史的海洋観測データに見る海洋気候の変化とデータ同化による 20 世紀気候再現. 天気, 第 57 巻, 768-773.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：15 件

1. Hosaka, M., 2012: MRI Landsurface Model HAL, 土壌水分ワークショップ 2012, in press.
2. Kawai, H., 2012: Results of ASTEX and Composite model intercomparison cases using two versions of JMA-GSM SCM. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling/WMO, 42, 0411-0412.
3. Kawai, H., 2012: Mechanisms of negative cloud radiative feedback of stratocumulus and stratus in JMA-GSM SCM. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling/WMO, 42, 0707-0708.
4. Kawai, H., 2013: Improvement of a Stratocumulus Scheme for Mid-latitude Marine Low Clouds. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling/WMO, 43, 0403-0404.
5. Kirtman, B., et al. 2013: IPCC WG-I AR5 (Chapter 11) Contributing Author (Ishii, M.)
6. Kitoh, A., 2011: Impact of Climate Change on Asian Monsoon Characteristics. In: C.-P. Chang, Y. Ding, N.-C. Lau, R.H. Johnson, B. Wang and T. Yasunari (eds.) The Global Monsoon System: Research and Forecast, 2nd Edition, World Scientific Series on Asia-Pacific Weather and Climate - Vol. 5, World Scientific Publication Company, 557-568.
7. Rhein, M., et al. 2013: IPCC WG-I AR5 (Chapter 3) Contributing Author (Ishii, M.)
8. Yukimoto, S., H. Yoshimura, M. Hosaka, T. Sakami, H. Tsujino, M. Hirabara, T. Y. Tanaka, M. Deushi, A. Obata, H. Nakano, Y. Adachi, E. Shindo, S. Yabu, T. Ose, and A. Kitoh, 2011: Meteorological Research Institute-Earth system Model Version 1 (MRI-ESM1) — Model Description —. Technical Reports of the Meteorological Research Institute, 64, pp. 88.
9. 石井正好, 2010: Argo と歴史的海洋貯熱量変化—. 月刊海洋 「Argo の進むべき方向性－Argo による研究成果と今後の展望－」, vol. 42, No. 11, 海洋出版株式会社.
10. 江守正多, 甲斐沼美紀子, 鬼頭昭雄, 高橋潔, 野尻幸宏, 原沢英夫, 笹野泰弘, 2010：座談会：IPCC 疑惑をめぐって.地球環境研究センターニュース, 2010 年 7 月号, 14-18.
11. 河宮未知生, 石井正好, 鬼頭昭雄, 木本昌秀, 2013: 「21 世紀気候変動予測革新プログラム」における, CMIP5 実験仕様に基づいた温暖化予測実験. 天気. 60, 223-246.
12. 鬼頭昭雄, 2010：気候予測がもたらすもの. Civil Engineering Consultant, 248, 20-23.
13. 鬼頭昭雄, 2010：地球温暖化と異常気象.弘文堂「地球環境学事典」, 34-35.
14. 鬼頭昭雄, 2011: 近年の集中豪雨について. ARDEC, 45, 34-38、財団法人日本水土総合研究所.
15. 木本昌秀, 石井正好, 2010: 近未来気候予測実験 —十年規模気候変動の予測に向けて—. 月刊海洋 「気候変動予測の最先端」, Vol. 42, No. 5, 海洋出版株式会社.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：51 件

1. Deushi, M., and Y. Kuroda, Role of the stratospheric ozone on the medium-range weather forecast: A case study of northern winter 2003-2004, SPARC DynVar Workshop 2, November 2010 in Boulder Colorado.
2. Deushi, M. and K. Shibata, 2013: Impacts of ozone recovery and increase in greenhouse gases on the lower stratospheric mean transport and eddy mixing, Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly 2013, July 08-12, 2013, Davos.
3. Endo, H., 2012: Future changes of Yamase bringing unusually cold summers over northeastern Japan in CMIP3 multi-models. Research workshop on climate change - Introduction of Japanese research activities to Asia -, Tsukuba, Japan, 16 March 2012.
4. Endo, H. A. Kitoh, K. K. Kumar, I. F. A. Cavalcanti, P. Goswami, and T. Zhou, 2012: Monsoons in a changing world: a regional perspective in a global context. AGU Fall meeting, San Francisco, 5 December 2012.
5. Endo, H., A. Kitoh, K. K. Kumar, I. F. A. Cavalcanti, P. Goswami, and T. Zhou, 2013: Changes in global and regional monsoon rainfall projected by CMIP5 models. International Workshop on CMIP5 Model Intercomparison for Future Projections of Precipitation and Climate in Asia, Tsukuba, Japan, 26 March 2013.
6. Endo H., A. Kitoh, T. Ose, R. Mizuta, and S. Kusunoki, 2012: Future changes in Asian

rainfall simulated by multi-physics and multi-SST ensemble experiments with high-resolution MRI-AGCMs. AOGS - AGU (WPGM) Joint assembly, Singapore, 17 August 2012.
7. Endo H., A. Kitoh, T. Ose, R. Mizuta, and S. Kusunoki, 2013: Future changes and uncertainties in Asian precipitation simulated by ensemble experiments with high-resolution MRI-AGCMs, JpGU 2013, Makuhari, Japan, 21 May 2013.
8. Endo H., A. Kitoh, T. Ose, R. Mizuta, and S. Kusunoki, 2011: Future changes of Asian monsoon simulated by high-resolution MRI-AGCM. 5th Japan-China-Korea joint conference, Busan, Korea, 24 October 2011.
9. Endo, H., T. Ose, R. Mizuta, H. Yoshimura, H. Murakami, M. Hosaka, S. Kusunoki and A. Kitoh, 2011: Future changes of Asian monsoon simulated by the improved 20km and 60km MRI/JMA AGCM. Second MAHASRI/HyARC Workshop, Nha-Trang, Viet-Nam, 23 August 2011.
10. Endo H., A. Kitoh, T. Ose, R. Mizuta, and S. Kusunoki, 2011: Future changes of Asian monsoon simulated by high-resolution MRI-AGCM. 5th Japan-China-Korea joint conference, 24 October 2011, Busan, Korea.
11. Endo, H., T. Ose, R. Mizuta, H. Yoshimura, H. Murakami, M. Hosaka, S. Kusunoki and A. Kitoh, 2011: Future changes of Asian monsoon simulated by the improved 20km and 60km MRI/JMA AGCM. Second MAHASRI/HyARC Workshop, 23 August 2011, Nha-Trang, Viet-Nam.
12. Fukuda, Y., S. Hirahara, and M. Ishii, 2011: Ocean heat content variations and its trends estimated from historical oceanographic observations. Third International Workshop on Advances in the Use of Historical Marine Climate Data (MARCDAT-III) 2-6 May 2011, Frascati, Italy.
13. Hirahara, S., Y. Fukuda, and M. Ishii, 2011: A new Historical SST Analysis: COBE2-SST. Third International Workshop on Advances in the Use of Historical Marine Climate Data (MARCDAT-III) 2-6 May 2011, Frascati, Italy.
14. Kitoh, A., 2011: Modeling at MRI for climate variability and climate change. 7th Session of Forum on Regional Climate Monitoring, Assessment and Prediction for Asia (FOCRAII), 6-8 April 2011, Beijing, China. [Invited Lecture]
15. Hosaka, M., Kakushin-Team3, MRI-ESM Team, 2011: Climate Projections Using a Super-High-Resolution Atmospheric Model and the MRI Earth System Model (MRI-ESM1), the 13th international specialist meeting on the next generation models of climate change and sustainability for advanced high performance computing facilities - Climate 13 -, Hawaii, USA., March 2011.
16. Hosaka, M., 2011: Recent MRI projects for climate projection - for Asian drought studies -. Asia Drought Workshop 2011, Tokyo, Japan, January 2011.
17. Imada, Y., H. Shiogama, M. Mori, M. Watanabe, M. Ishii, M. Kimoto, 2013: Challenges to an Event Attribution using the MIROC5 model. Climate2013, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, March 20-22, 2013.
18. Ishii, M., 2010: Reevaluation of historical ocean heat content variations with time-varying XBT and MBT depth bias corrections. XBT Bias and Fall Rate Workshop, Hamburg,, Germany Aug. 25-27, 2010.
19. Ishii, M., 2011: Quantification of uncertainty by an ansemble data assimilation method. 6th EU-Janpan workshop on climate change research. Brussels, 9-11 Octber, 2011.
20. Ishii, M., 2011: Decadal climate prediction with initialized climate models. Twelfth Joint Meeting for the Seasonal Prediction of the East Asian Winter Monsoon, 10-11 November 2011, Tokyo, Japan.
21. Ishii, M. 2013: Detection and prediction of climate changes. ICSS-Asia 2013, The Australian National University, Canberra, Australia, Feb. 4-8, 2013.
22. Ishii, M., and Collaborators, 2013: A Japanese Project for Reconstruction of XBT Database. CLIVAR-GSOP Coordinated Quality-Control of Global Subsurface Ocean Climate Observations, Hobart, Australia, 12-14 June, 2013.
23. Ishii, M., M. Watanabe, T. Ogura, Y. Tanaka, and M. Kimoto, 2013: Seasonal-to-decadal prediction studies under the SOUSEI program. International workshop on seasonal to decadal prediction – Toulouse, France – 13-16 May 2013.

24. Kawai, H., T. Koshiro, 2013: Improvement of a Stratocumulus Scheme for Mid-latitude Marine Low Clouds. Joint EUCLIPSE - CFMIP meeting, in Hamburg, 10 - 14 June 2013.
25. Kawai, H., S. Yabu, and Y. Hagihara, 2012: Characteristics of vertical structures of marine boundary layer clouds over mid-latitudes. Joint EUCLIPSE - CFMIP meeting, in Paris, 29 May - 1 June 2012.
26. Kawai, H., S. Yabu, and Y. Hagihara, 2012: Vertical Structures of Marine Boundary Layer Clouds over Mid-Latitudes. --- Southern Ocean and Northern Pacific in Summer ---. 2012 AGU Fall Meeting, in San Francisco, 3-7 December 2012.
27. Kitoh,A., 2010: Toward seasonal climate forecasting and climate projections in future.Sixth Session of Forum on Regional Climate Monitoring, Assessment and Prediction for Asia (FOCRAII), 6-8 April 2010, Beijing, China. [Invited Lecture]
28. Koyama, H., M. Ishii, H. Tatebe, T. Nishimura, and M. Kimoto, 2013: Assimilation of Surface Observations Using an Atmosphere-ocean Coupled EnKF. Sixth WMO Symposium on Data Assimilation, Maryland, USA, 7-11 October 2013.
29. Mochizuki, M., M. Kimoto, M. Ishii, Y. Chikamoto, H. Tatebe, Y. Komuro, T. T. Sakamoto, and M. Mori, 2011: Decadal Prediction using Recent Series of MIROC Global Climate Model. 3rd International Workshop on Global Change Projection: Modeling, Intercomparison, and Impact Assessment" jointly with "4th International Workshop on KAKUSHIN Program.
30. Mochizuki, T., M. Kimoto, M. Ishii, H. Tatebe, Y. Komuro, and T. T. Sakamoto, 2010: Pacific Decadal OScillation Hindcasts relevant to Near-term Climate Prediction, WGOMD/CLIVAR GSOP Workshop on Decadal Variability, Predictability and Prediction, Boulder, USA, September 2010.
31. Mochizuki, T., M. Watanabe, M. Kimoto, and M. Ishii, 2013: Possible remote influence on pacific decadal variability and predictability. International workshop on seasonal to decadal prediction – Toulouse, France – 13-16 May 2013.
32. Murakami, H., 2011: Future changes in tropical cyclone activity projected by multi-physics and multi-SST ensemble experiments using the 60-km-mesh MRI-AGCM, Seminar at APCC, Oct 27, 2011, APCC, Busan, Korea.
33. Murakami, H., 2011: Tropical cyclone climate projections by a 20-km-mesh high-resolution MRI/JMA global atmospheric model., Seminar at Central Weather Bureau in Taiwan, Aug 15 2011, CWB, Taipei, TPE.
34. Murakami, H., M. Sugi, and A. Kitoh 2012: Future changes in tropical cyclone activity in the Indian Ocean projected by the new high-resolution MRI-AGCM, Second WMO International Conference on Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change, Feb 14-17, 2012, New Delhi, India.
35. Murakami, H., Y. Wang, M. Sugi, and A. Kitoh 2012: Future changes in tropical cyclone activity with the new higi-resolution MRI-AGCM, The 30th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Apr. 15-Apr. 20, 2012, the Marriott Sawgrass in Ponte Vedra Beach, Florida, Ponte Vedra Beach, FL, USA.
36. Murakami, H., B. Wang, and A. Kitoh, 2011: Future change of western North Pacific typhoons: Projections by a 20-km-mesh global atmospheric model., AOGS, Aug 8-Aug 12, 2011, Taipei International Convention Center, Taipei, Taiwan.
37. Murakami, H., B. Wang, and A. Kitoh, 2011: Future change of western North Pacific typhoons: Projections by a 20-km-mesh global atmospheric model., EAC, Aug 6-Aug 7, 2011, Hotel Kingdom, Kao-hsiung, Taipei, Taiwan.
38. Murakami, H., B. Wang, and A. Kitoh, 2011: Future change of western North Pacific typhoons: Projections by a 20-km-mesh global atmospheric model., 2011 IUGG, Jun 28-Jul 7, 2011, Melbourne Convention and Exhibition Center, Melbourne, VIC, AUS.
39. Murakami, H., and H. Yoshimura, R. Mizuta, and A. Kitoh, 2011: Future changes in tropical cyclone activity projected by the new 20-km-mesh high-resolution MRI-AGCM, The 5th Korea-Japan-China joint conference on meteorology, Oct 24-26, 2011, Bexco, Busan, Korea.
40. Sakamoto, T. T., Y. Komuro, M. Ishii, H. Tatebe, H. Shiogama, A. Hasegawa, T. Toyoda, M. Mori, T. Mochizuki, T. Suzuki, and M. Kimoto, MIROC4 – a high-resolution climate

model for the near-term climate prediction, 2nd International Workshop on Global Change Projection: Modeling, Intercomparison, and Impact Assessment jointly with 3rd International Workshop on KAKUSHIN Program, February, 2010.
41. Sakamoto, T. T., Y. Komuro, M. Ishii, H. Tatebe, A. Hasegawa, H. Shiogama, T. Toyoda, M. Mori, S. Emori, H. Hasumi, and M. Kimoto, MIROC4 – a high-resolution AOGCM for the near-term climate prediction, Climate Change Effects of Fish and Fisheries: Forecasting Impacts, Assessing Ecosystem Responses, and Evaluating Management Strategies, April 2010.
42. Sakamoto, T.T., Y. Komuro, H. Tatebe, M. Ishii1, T. Mochizuki, M. Mori, Y. Chikamoto, Y. Imada, H. Shiogama, T. Suzuki, T. Nozawa, and M. Kimoto, 2011: Reproducibility and predictability of decadal climate variations in MIROC. 3rd International Workshop on Global Change Projection: Modeling, Intercomparison, and Impact Assessment" jointly with "4th International Workshop on KAKUSHIN Program.
43. Suzuki, T., M. Ishii, T. Nakano, H. Yoritaka, A. Seta, S. Kizu, K. Sato, Y. Shimizu, K. Amaike, T.Suga, Y.Michida, 2013: XBT Data Management and Quality Control in Japan. International Conference on Marine Data and Information Systems (IMDS 2013) - Lucca (Italia), September 23-25, 2013.
44. Tanaka, T. Y.: Representation of Dust Cycle in Earth System Models, Sino-German Science Center Symposium "Dust Cycle and Climate Change: Past, Present and Future", University of Cologne, 21 September 2011.
45. Tatebe, H., M. Ishii, M. Kimoto, T.T. Sakamoto, Y. Komuro, and T. Mochizuki, 2010: Decadal modulations of high frequency eddies in the Kuroshio-Oyashio confluence zone in a high-resolution CGCM with ocean data assimilation. International symposium on climate change effects on fish and fisheries, Sendai, Japan, May 2010.
46. Tatebe, H., M. Ishii, M. Kimoto, T.T. Sakamoto, Y. Komuro, and T. Mochizuki, 2010: Decadal modulations of high frequency oceanic and atmospheric disturbances in the Kuroshio-Oyashio interfrontal zone represented in a high-resolution CGCM with ocean data assimilation. CLIVAR-WGOMD, Boulder, USA, September 2010.
47. Tatebe, H., H. Koyama, M. Ishii, T. Suzuki, Y. Komuro, M. Kurogi, K. Ogochi, T. Ogura, Y. Imada, R. O'ishi, M. Watanabe, and M. Kimoto, 2013: Development of the updated version of MIROC5 and a data assimilation system using LETKF applied to the atmosphere-ocean coupled system. Climate2013, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, March 20-22, 2013.
48. Yasunaka, S., M. Ishii, M. Kimoto, T, Mochizuki, H. Shiogama, 2010: Impact of XBT depth correction on decadal climate prediction. 11th IMSC workshop, Edinburgh, UK, July 2010.
49. Yasunaka, S., M. Ishii, M. Kimoto, T, Mochizuki, H. Shiogama, 2010: Impact of XBT depth correction on decadal climate prediction. AGU fall meeting, San Fransisco, USA, December 2010.
50. Yasuda, T., Y. Adachi, M. Ishii, and S. Yukimoto, 2013: Decadal prediction of sea level in the western North Pacific. International workshop on seasonal to decadal prediction – Toulouse, France – 13-16 May 2013.
51. 石井 正好, 2013: 将来予測に向けて過去をよく理解するための技術. 気候変動リスク情報創生プログラム平成 25 年度公開シンポジウム, 国連大学ウ・タント国際会議場, 平成 25 年 9 月 25 日.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：51 件

1. 足立恭将, 小畑淳, 田中泰宙、2013：火山噴火規模の環境変動への影響、日本気象学会 2013 秋季大会、2013 年 11 月 19-21 日、仙台。
2. 足立恭将・安田珠幾・村上裕之・水田亮・吉村裕正・新藤永樹・行本誠史・尾瀬智昭・鬼頭昭雄, 2011: 超高解像度大気モデルでの台風通過時における大気海洋相互作用の影響 調査, 日本気象学会 2011 秋季大会, 2011 年 11 月 16 日-18 日,名古屋.
3. 石井正好, 2010: Argo と歴史的海洋貯熱量変化. 日本海洋学会シンポジウム「Argo の進むべき方向性」 - Argo による研究成果と今後の展望 -, 2010 年 3 月 30 日, 東京海洋大学.

4. 石井正好, 2011： 21 世紀気候変動予測革新プログラム FY22 研究成果報告会. 2011 年 2 月 21 日, 一橋記念講堂（千代田区）.
5. 今田由紀子, 鼎信次郎, 木本昌秀, 石井正好, 渡部雅浩, 2013: 特異値分解解析を用いた GCM 季節予測のダウンスケーリング. 日本気象学会 2013 年度春季大会, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2013 年 5 月 15 日～18 日.
6. 今田由紀子, 塩竈秀夫, 渡部雅浩, 森正人, 石井正好, 木本昌秀, 2013: 平成 24 年 7 月九州北部豪雨に対する地球温暖化の寄与. 2013 年度日本気象学会秋季大会.
7. 小畑淳, 2010：大気メタン急激増加に対する気候炭素循環モデルの応答−各種感度実験−, 日本気象学会 2010 年度秋季大会.
8. 小畑淳, 2012: クラカタウ火山噴火が引き起こす気候炭素循環変動−気象研地球システムモデルによる解析−, 日本気象学会 2012 年度春季大会, つくば.
9. 小畑淳, 田中泰宙, 足立恭将, 行本誠史, 地球システムモデル開発グループ, 2013: 巨大火山噴火が引き起こす気候炭素循環変動−気象研地球システムモデルによる解析−, 日本気象学会 2013 年度春季大会, 平成 25 年 5 月 18 日, 東京.
10. 金田幸恵, 和田章義, 2012: 水平解像度 2km の非静力学モデル JMANHM を用いた非常に強い TC の発達に関する感度実験(3)～境界層構造と海面フラックス, 日本気象学会 2012 年度春季大会, 2012 年 5 月 26 日～29 日, つくば.
11. 川合秀明, 2012: 夏の中高緯度海上には、なぜ下層雲が多いのか？. 第 6 回ヤマセ研究会, 岩手県盛岡市, 2012 年 9 月 24-25 日.
12. 川合秀明, 神代剛, 2013: モデルにおける夏季の中緯度の海上下層雲表現の改善. 第7回ヤマセ研究会, 青森県弘前市, 2013 年 3 月 7-8 日.
13. 川合秀明, 神代剛, 2013: 中緯度の海洋下層雲のパラメタリゼーション. 日本気象学会, 2013 年度春季大会, 103, A402, 代々木, 2013 年 5 月 15-18 日.
14. 川合秀明, Joao Teixeira, 2012: 下層安定度によって異なる、降水過程・放射過程における雲水の非一様性効果. 日本気象学会, 2012 年度秋季大会, 102, D354, 札幌, 2012 年 10 月 3-5 日.
15. 川合秀明, 藪将吉, 萩原雄一朗, 2012: 中緯度の海洋下層雲の鉛直構造−夏の南大洋と北太平洋における地理的特徴−. 日本気象学会, 2012 年度秋季大会, 102, D355, 札幌, 2012 年 10 月 3-5 日.
16. 鬼頭昭雄, 2010:気候変動の科学.気象講演会「温暖化する地球～最新の研究成果と私たちにできること」.一橋記念講堂, 東京.
17. 鬼頭昭雄, 2010:モンスーンモデリングの現状と今後.アジアモンスーンサイエンスワークショップ. JAMSTEC 東京事務所, 東京.
18. 鬼頭昭雄, 2010: 気候変動予測に関する国際的動向.第３回エコファーマシンポジウム、熊本大学薬学部、熊本.
19. 鬼頭昭雄, 2011: 地球温暖化　最新の知見. CASA 連続市民講座第 19 期地球環境大学第３回「地球温暖化と気象」, 2011 年 9 月 10 日, 大阪科学技術センター.
20. 鬼頭昭雄, 2012: IPCC AR5 および今後の気候研究の方向性について. 気象庁施設等機関研究報告会. 2012 年 1 月 25 日, 東京, 気象庁講堂.
21. 小山博司, 石井正好, 建部洋晶, 西村照幸, 木本昌秀, 2011: 大気海洋結合モデル MIROC へのアンサンブル・カルマンフィルタの導入. 第 8 回「異常気象と長期変動」研究集会, 2011 年 11 月 8 日～9 日, 宇治, 京都大学防災研究所.
22. 小山博司, 石井正好, 建部洋晶, 西村照幸, 木本昌秀, 2013: MIROC アンサンブルデータ同化システムを用いた地表気圧・海面水温の同化実験. 日本気象学会 2013 年度春季大会, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2013 年 5 月 15 日～18 日.
23. 坂本天, 小室芳樹, 石井正好, 建部洋晶, 塩竈秀夫, 長谷川聡, 豊田隆寛, 森正人, 鈴木立郎, 今田由紀子, 野沢徹, 高田久美子, 望月崇, 大越智幸司, 江守正多, 羽角博康, 木本昌秀, 高解像度大気海洋結合モデル MIROC4 (I) –標準実験における平均物理場–、2010 年度日本海洋学会秋季大会、2010 年 9 月.
24. 鈴木立郎, 石井正好, 2011: 水塊の変質を伴う近年の海面水位分布の変化. 海洋学会 2011 年秋季大会. 九州大学, 平成 23 年 9 月 26 日～9 月 30 日.
25. 建部洋晶, 黒木聖夫, 坂本天, 鈴木立郎, 田中幸夫, 羽角博康, 望月崇, 石井正好, 木本昌秀,

2011: 高解像度気象モデルによる黒潮続流十年規模変動予測と結合ネストモデルの開発. 海洋学会 2011 年秋季大会. 九州大学, 平成 23 年 9 月 26 日～9 月 30 日.
26. 近本喜光, 木本昌秀, 石井正好, 野沢徹, 渡部雅浩, 望月崇, 建部洋晶, 坂本天, 小室芳樹, 塩竈秀夫, 安中さやか, 森正人, 今田由紀子, 小山博司, 野津雅人, 2011: MIROC を用いた近未来予測システムの開発. 日本気象学会 2011 年度春季大会専門分科会「AR5 に向けた気候変化予測の現状, 2011 年 5 月.
27. 近本喜光, 木本昌秀, 石井正好, 望月崇, 渡部雅浩, 森正人, 2011: 90 年代後半における太平洋水温シフトの予測可能性. 第 8 回「異常気象と長期変動」研究集会, 2011 年 11 月 8 日～9 日, 宇治, 京都大学防災研究所.
28. 出牛真, 柴田清孝, 2013: 温室効果の増加およびオゾン層の破壊と回復がブリューワー・ドブソン循環に与える影響, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 5 月 20 日, 千葉市.
29. 野津雅人, 野沢徹, 石井正好, 西村照幸, 大越智幸司, 2013: 外部フォーシングの変更の 20 世紀気候変動再現実験への影響. 2013 年度日本気象学会秋季大会.
30. 福田義和, 石井正好, 勢田明大, 2011: 歴史的ＸＢＴ海洋表層水温観測データの整備とその必要性. 海洋学会 2011 年秋季大会. 九州大学, 平成 23 年 9 月 26 日～9 月 30 日.
31. 福田義和, 伊藤渉, 楳田貴郁, 石井正好, 2011: 全球積算海洋表層貯熱量の相互比較. 2011 年度日本海洋学会春季大会.
32. 保坂征宏, 2011: MRI モデルの現状と極域再現性、極域寒冷域研究連絡会、東京.
33. 保坂征宏, 2011: 気象研陸面モデル HAL、土壌水分ワークショップ 2012、東京.
34. 保坂征宏, 青木輝夫, 庭野匡思, 田中泰宙, 2010: 陸面モデル HAL への積雪変態・アルベドプロセスモデル SMAP の導入. 日本気象学会 2010 年度春季大会講演予稿集, 97, B105.
35. 保坂征宏, 2011: 気象研陸面モデル HAL の土壌モデル. 第 11 回永久凍土のモニタリングと変動に関する研究集会, 札幌.
36. 望月崇, 木本昌秀, 石井正好, 建部洋晶, 坂本天, 小室芳樹, 2010: 高解像度大気海洋結合モデル MIROC4 (III) –大気海洋系の初期値化による近未来気候予測実験–、2010 年度日本海洋学会秋季大会、2010 年 9 月.
37. 望月崇, 石井正好, 木本昌秀, 建部洋晶, 小室芳樹, 坂本天, 2010: 高解像度大気海洋結合モデル MIROC4 を用いた近未来気候変動予測実験, 日本気象学会秋季大会, 京都, 2010 年 10 月.
38. 望月崇, 石井正好, 木本昌秀, 建部洋晶, 小室芳樹, 坂本天, 2010: 高解像度大気海洋結合モデル MIROC4(III) -大気海洋系の初期値化による近未来気候変動予測実験-, 日本海洋学会秋季大会, 網走, 2010 年 9 月.
39. 望月崇, 石井正好, 木本昌秀, 建部洋晶, 近本喜光, 小室芳樹, 坂本天, 2011:高解像度大気海洋結合モデル MIROC4 を用いた近未来気候変動予測実験. 2011 年度日本海洋学会春季大会.
40. 望月崇, 石井正好, 木本昌秀, 近本喜光, 安中さやか, 渡部雅浩, 坂本天, 野沢徹, 塩竈秀夫, 建部洋晶, 小室芳樹, 森正人, 淡路敏之, 杉浦望実, 豊田隆寛, 2010: 大気海洋系の初期値化による近未来気候変動予測. 第 13 回海洋データ同化夏の学校, むつ, 2010 年 8 月.
41. 望月崇, 石井正好, 木本昌秀, 近本喜光, 渡部雅浩, 野沢徹, 坂本天, 塩竈秀夫, 淡路敏之, 杉浦望実, 豊田隆寛, 安中さやか, 建部洋晶, 森正人, 2010: アンサンブル同化手法を用いた近未来気候変動予測実験. 日本気象学会春季大会, 東京, 2010 年 5 月.
42. 望月崇, 渡部 雅浩, 木本 昌秀, 石井 正好, 2013: 太平洋域の十年規模気候変動やその予測可能性に対する遠隔からの影響. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 5 月 24 日, 幕張メッセ.
43. 森正人, 木本昌秀, 石井正好, 野沢徹, 渡部雅浩, 望月崇, 建部洋晶,坂本天, 小室芳樹, 近本喜光, 安中さやか, 今田由紀子, 塩竈秀夫, 野津雅人,小山博司、 2011： 高解像度大気海洋結合モデルによる近未来気候変動予測実験. 日本気象学会 2011 年度春季大会専門分科会「AR5 に向けた気候変化予測の現状, 2011 年 5 月.
44. 森正人, 木本昌秀, 石井正好, 望月崇, 近本喜光, 2011: 大気海洋結合モデルによる台風の季節予報と近未来の台風変化予測. 第 8 回「異常気象と長期変動」研究集会, 2011 年 11 月 8 日～9 日, 宇治, 京都大学防災研究所.

45. 森正人, 木本昌秀, 石井正好, 渡部雅浩, 望月崇, 2013: MIROC による CMIP5 近未来予測実験を用いた北西太平洋における熱帯低気圧活動の過去・将来予測. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 5 月 24 日, 幕張メッセ.
46. 森正人, 木本昌秀, 渡部雅浩, 石井正好, 坂本天, 2010: 大気海洋結合モデルによる夏季ブロッキング高気圧の再現性. 2010 年日本気象学会春季大会, 2010 年 10 月 27-29 日, 京都テルサ.
47. 森正人, 木本昌秀, 渡部雅浩, 安中さやか, 今田由紀子, 建部洋晶, 石井正好, 2010: 大気海洋結合モデル MIROC に見られる PDO ～中緯度固有モード～. 2010 年日本気象学会春季大会, 2010 年 5 月 23-26 日, 国立オリンピック記念青少年総合センター.
48. 安田珠幾, 石井正好, 足立恭将, 行本誠史, 2013: MRI-CGCM3 十年規模予測実験における北太平洋西部海面水位変化. 2013 年度日本気象学会秋季大会.
49. 安中さやか, 石井正好, 木本昌秀, 望月崇, 塩竈秀夫, 2010: 地球温暖化近未来予測実験に対する XBT 深度補正のインパクト（続報）. 日本海洋学会 2010 年度秋季大会, 網走, 2010 年 9 月.
50. 行本誠史, 気象研究所地球システムモデル開発グループ, 2011: 気象研究所地球システムモデル（MRI-ESM1）の気候再現性と気候感度, 日本気象学会 2011 年度春季大会, 99, D458, 2011 年 5 月 18-21 日, 代々木.
51. 行本誠史, 田中泰宙, 坂見智法, 神代剛, 2012: 20 世紀の気候変化における人為起源の硫酸エーロゾルと有機エーロゾルの効果 ―雲・エーロゾル相互作用を含む気候モデル MRI-CGCM3 の実験結果―. 日本気象学会 2012 年度春季大会, 2012 年 5 月, つくば.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：30 件

1. Adachi, Y., T. Yasuda, H. Murakami, R. Mizuta, H. Yoshimura, E. Shindo, S. Yukimoto, T. Ose and A. Kitoh, 2011: Influence of Air-Sea Interaction on Tropical Cyclone in a Super-High-Resolution Atmospheric Model Coupled with Ocean Model, Fifth Korea-Japan-China Joint Conference on Meteorology, October 24-26, Busan Exhibition and Convention Center, Busan, Korea.
2. Adachi, Y., S. Yukimoto, M. Hosaka, T. Sakami, H. Yoshimura, M. Hirabara, T. Y. Tanaka, E. Shindo, H. Tsujino, M. Deushi, R. Mizuta, S. Yabu, A. Obota, H. Nakano, T. Koshiro, T. Ose, and A. Kitoh, 2012: Present-day climate simulation and future projection by the global climate model MRI-CGCM3 and the earth system model MRI-ESM1, 3rd International Conference on Earth System Modelling, 2012.9.17-21, Hamburg.
3. Arai, M., T. T. Sakamoto, Y. Komuro, H. Tatebe, M. Ishii, T. Mochizuki, M. Mori, Y. Chikamoto, Y. Imada, H. Shiogama, T. Suzuki, T. Nozawa, M. Kimoto, 2011: Team MIROC: Reproducibility and predictability of decadal climate variations in MIROC. WCRP OSC Climate Research in Service to Society, 24-28 October 2011, Sheraton Denver Downtown Hotel, Denver, CO, USA.
4. Endo H., A. Kitoh, T. Ose, R. Mizuta, and S. Kusunoki, 2013: Future Changes in Onset and Retreat of the Asian Summer Rainy Season Simulated by Multi-Physics and Multi-SST Ensemble Experiments with High-Resolution MRI-AGCMs, AOGS 2013, Brisbane, Australia, 27 June 2013.
5. Endo, H., H. Yoshimura, T. Ose, and A. Kitoh, 2010：Tropical Intraseasonal Variability in a 20-km Mesh MRI/JMA AGCM Incorporating a New Convective Scheme. Monsoon Intraseasonal Variability Modelling Workshop, Busan, Korea, 15-18 June 2010.
6. Ishii, M., 2010: Assimilated and predicted thermosteric sea level changes in near-term global warming prediction experiments. IPCC Workshop on Sea Level Rise and Ice Sheet Instabilities Hilton Hotel, Kuala Lumpur, Malaysia, 21-24 June 2010.
7. Chikamoto, Y., M. Kimoto, M. Watanabe, M. Ishii, Takashi Mochizuki, 2011: Team MIROC: Multi-year predictability of tropical Atlantic climate variability. WCRP OSC Climate Research in Service to Society, 24-28 October 2011, Sheraton Denver Downtown Hotel, Denver, CO, USA.
8. Chikamoto, Y., M. Kimoto, M. Ishii, M. Watanabe, T. Nozawa, T. Mochizuki, H. Tatebe, T. T. Sakamoto, Y. Komuro, H. Shiogama, M. Mori, S. Yasunaka, Y. Imada, H. Koyama, M.

Nozu, 2011: Team MIROC: Predictability of a stepwise shift in Pacific climate during the late 1990s in hindcast experiments by MIROC. WCRP OSC Climate Research in Service to Society, 24-28 October 2011, Sheraton Denver Downtown Hotel, Denver, CO, USA.

9. Gleckler, P.J., B.D. Santer, C.M. Domingues, T. Boyer, D.W. Pierce, T.P. Barnett, D. Ivanova, K. AchutaRao, J. Gregory, J. A. Church, M. Ishii, and K.E. Taylor, 2011: Exploring the impact of model and data uncertainties in the detection and attribution of upper-ocean warming. WCRP OSC. Denver, USA, October 24-28, 2011.
10. Hosaka, M., 2011: MRI New Land Surface Model HAL, The 2nd International MAHASRI/HyARC Workshop on Asian Monsoon and Water Cycle, 23 August 2011, Viet Nam.
11. Hosaka, M., 2011: MRI New Land Surface Model HAL, AGU Fall Meeting 2011, San Francisco, USA.
12. Kawai, H., 2011: Results of CGILS, ASTEX, and Composite cases using JMA-GSM SCM. CFMIP/GCSS/EUCLIPSE Meeting on Cloud Processes and Climate Feedbacks, 6-10 June 2011, Exeter, UK.
13. Komuro, Y., T. T. Sakamoto, T. Suzuki, H. Hasumi, M. Ishii, M. Watanabe, T. Nozawa, T. Yokohata, T. Nishimura, K. Ogochi, S. Emori, M. Kimoto, 2011: Team MIROC: Sea-ice climatology and trends in twentieth-century simulations by new MIROC coupled models. WCRP OSC Climate Research in Service to Society, 24-28 October 2011, Sheraton Denver Downtown Hotel, Denver, CO, USA.
14. Komuro, Y. T. Suzuki, M. Ishii, M. Watanabe, T. Yokohata, T. Ogura, H. Hasumi, S. Emori, and Masahide Kimoto, 2011: Arctic Sea-Ice Decline Simulated in an Atmosphere-ice-ocean Coupled Model MIROC5. IUGG 2011, 28 June #| 7 July 2011, Melbourne, Australia.
15. Mochizuki, T., M. Ishii, M. Kimoto, Y. Chikamoto, M. Watanabe, T. Nozawa, and et al. 2011: Team MIROC: Pacific decadal oscillation hindcasts relevant to near-term climate prediction. WCRP OSC Climate Research in Service to Society, 24-28 October 2011, Sheraton Denver Downtown Hotel, Denver, CO, USA.
16. Mochizuki, T., Y. Chikamoto, M. Kimoto, M. Ishii, H. Tatebe, Y. Komuro, T. T. Sakamoto, M. Watanabe, M. Mori, 2011: Team MIROC: Decadal prediction using recent series of MIROC global climate model. WCRP OSC Climate Research in Service to Society, 24-28 October 2011, Sheraton Denver Downtown Hotel, Denver, CO, USA.
17. Murakami, H., R. Mizuta, and E. Shindo 2012: Uncertainties in future changes in tropical cyclone activity projected by multi-physics and multi-SST ensemble experiments using the 60-km-mesh MRI-AGCM, The 30th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Apr. 15-Apr. 20, 2012, the Marriott Sawgrass in Ponte Vedra Beach, Florida, Ponte Vedra Beach, FL, USA.
18. Murakami, H., B. Wang, and A. Kitoh, 2010: Future change of western North Pacific typhoons: Projections by a 20-km-mesh global atmospheric model., The AGU fall meeting, Dec 13-Dec 17, 2010, Moscone Convention Center, San Francisco, CA, USA.
19. Murakami, H., B. Wang, and A. Kitoh, 2010: Future change of North Atlantic tropical cyclone tracks: projection by a 20-km-mesh global climate model., The 29th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, May 10-May 14, 2010, JW Marriott Starr Pass Resort and Spa, Tucson, AZ, USA.
20. Sakamoto, T. T., Y. Komuro, M. Ishii, H. Tatebe, A. Hasegawa, H. Shiogama, T. Toyoda, M. Mori, S.Emori, H. Hasumi, and M. Kimoto, Interannual to decadal variability in a control experiment using MIROC4 – a high-resolution AOGCM for the near-term climate prediction, European Geosciences Union General Assembly 2010, May 2010.
21. Sakamoto, T. T., Y. Komuro, T. Nishimura, M. Ishii, H. Tatebe, H. Shiogama, A. Hasegawa, T. Toyoda, M. Mori, T. Suzuki, Y. Imada, T. Nozawa, K. Takata, T. Mochizuki, K. Ogochi, S. Emori, H. Hasumi, M. Kimoto, 2011: Team MIROC: MIROC4h - a new high-resolution atmosphere-ocean coupled general circulation model. WCRP OSC Climate Research in Service to Society, 24-28 October 2011, Sheraton Denver Downtown Hotel, Denver, CO, USA.
22. Shiogama, H., S. Emori, T. Mochizuki, S. Yasunaka, T. Yokohata, M. Ishii, T. Nozawa, M.

Kimoto, 2011: Team MIROC: Possible influence of volcanic activity on the decadal potential predictability of the natural variability in near-term climate predictions. WCRP OSC Climate Research in Service to Society, 24-28 October 2011, Sheraton Denver Downtown Hotel, Denver, CO, USA.
23. Suzuki, T. and M. Ishii, 2011: Long-term regional sea level change due to the changes in water mass property for the period 1981-2007. IUGG 2011, 28 June -7 July 2011, Melbourne, Australia.
24. Suzuki, T., M. Ishii, 2011: Recent and future baroclinic sea level changes based on observation data and a projection using a climate model. WCRP OSC Climate Research in Service to Society, 24-28 October 2011, Sheraton Denver Downtown Hotel, Denver, CO, USA.
25. Tanaka, T. Y., and MRI Earth System Modelling Group, 2010: Development of an Aerosol Model in the Earth System Model of Meteorological Research Institute of Japan Meteorological Agency, AeroCom 2010 workshop, Oxford University, U.K.
26. Tanaka, T. Y. and MRI Earth System Modeling Group: Variability of the naturally emitted aerosols in the climate CMIP5 experiments of Meteorological Research Institute, 10th AeroCom workshop, Kyushu University, 3-6 October 2011
27. Tatebe, H., M. Ishii, T. Mochizuki, Y. Chikamoto, T. Sakamoto, Y. Komuro, M. Mori, S. Yasunaka, M. Watanabe, K. Ogochi, T. Suzuki, T. Nishimura, M. Kimoto, 2011: Team MIROC:Initialization of the climate model MIROC for decadal prediction with hydrographic data assimilation. WCRP OSC Climate Research in Service to Society, 24-28 October 2011, Sheraton Denver Downtown Hotel, Denver, CO, USA.
28. Tatebe, H., M. Kurogi, T. Suzuki, Y. Tanaka, H. Hasumi, M. Ishii, M. Kimoto, T. T. Sakamoto, 2011: Team MIROC: Toward predicting the decadal changes of mesoscale eddy activities in the Kuroshio-Oyashio confluence zone. WCRP OSC Climate Research in Service to Society, 24-28 October 2011, Sheraton Denver Downtown Hotel, Denver, CO, USA.
29. Toyoda, T. H. Tatebe, T. Awaji, N. Sugiura, S. Masuda, H. Igarashi, Y. Sasaki, Y. Hiyoshi, Y. Ishikawa, T. Mochizuki, T. T. Sakamoto, Y. Komuro, T. Suzuki, T. Nishimura, M. Mori, Y. Chikamoto, S. Yasunaka, Y. Imada, M. Arai, M. Watanabe, H. Shiogama, T. Nozawa, A. Hasegawa, M. Ishii, M. Kimoto, 2011: Team MIROC: Impact of the Assimilation of Sea Ice Concentration Data on an Atmosphere-Ocean-Sea Ice Coupled Simulation of the Arctic Ocean Climate. WCRP OSC Climate Research in Service to Society, 24-28 October 2011, Sheraton Denver Downtown Hotel, Denver, CO, USA.
30. Yasunaka, S., H. Tatebe, M. Ishii, M. Kimoto, T. Mochizuki, H. Shiogama, 2011: Team MIROC: Influence of XBT Temperature Bias on Decadal Climate Prediction with a Coupled Climate Model. WCRP OSC Climate Research in Service to Society, 24-28 October 2011, Sheraton Denver Downtown Hotel, Denver, CO, USA.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：11 件

1. 足立恭将, 行本誠史, 小畑淳, 気象研究所モデル開発グループ、2012：気象研究所地球システムモデル（MRI-ESM1）、日本気象学会 2012 春季大会, 2012 年 5 月 26 日-29 日,つくば.
2. 小畑淳, 2010：気候変動に及ぼす炭素循環の影響–将来百年予測について–, 第 8 回環境研究シンポジウム.
3. 川合秀明, 2011: 海洋性境界層雲の層積雲から浅い対流への遷移. 日本気象学会 2011 年度春季大会, 99, P236, 2011 年 5 月 18-21 日, 代々木.
4. 川合秀明, 藪将吉, 萩原雄一朗, 2012: 中高緯度の海洋下層雲の鉛直構造及び気象要素との関係. 日本気象学会, 2012 年度春季大会, 101, P126, つくば, 2012 年 5 月 26-29 日.
5. 小室芳樹, 建部洋晶, 坂本天, 石井正好, 塩竈秀夫, 長谷川聡, 豊田隆寛, 森正人, 鈴木立郎, 今田由紀子, 野沢徹, 高田久美子, 望月崇, 大越智幸司, 江守正多, 羽角博康, 木本昌秀,2010: 高解像度大気海洋結合モデル MIROC4 (II) –20 世紀再現実験とデータ同化実験–、2010 年度日本海洋学会秋季大会、2010 年 9 月.
6. 辻野博之, 足立恭将, 行本誠史, 2011: 気象研究所大気-海洋結合全球気候モデル(MRI-CGCM3)における領域海洋高解像度化のインパクト. 2011 年度日本海洋学会秋季

大会, 2011 年 9 月, 福岡.
7. 出牛真, 柴田清孝, 2010：２１世紀予測実験に基づいた成層圏における物質輸送特性の長期変動解析（第二報)、日本気象学会 2010 年度春季大会, P222.
8. 野津雅人, 小室芳樹, 坂本天, 石井正好, 木本昌秀, 2010: 東南アジア冬期季節風の大気海洋結合モデル MIROC 4 における再現性. 日本気象学会 2010 年度秋季大会講演予稿集, P146. 2010 年 10 月 27 日, 京都市, 京都テルサ.
9. 福田義和, 平原翔二, 石井正好, 2010: COBE-SST ver.2：リコンストラクションを適用した日別解析による歴史的海面水温解析. 気象学会 2010 年秋季大会, 京都.
10. 保坂征宏, 2011: 気象研究所陸面モデル HAL. 第 34 回極域気水圏シンポジウム, 東京.
11. 保坂征宏, 2011: 陸面モデル HAL の開発ポリシー. 気象学会 2011 年秋季大会, 名古屋.

全球大気海洋結合モデルを用いた季節予測システムの開発に関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：尾瀬智昭（気候研究部第二研究室長）

研究担当者：安田珠幾、仲江川敏之、籔将吉、行本誠史、保坂征宏[1)]、足立恭将、釜堀弘隆 （気候研究部）、蒲地政文、山中吾郎、藤井陽介、豊田隆寛[1)]、鳥山暁人[2)]（海洋研究部）

研究の目的

高分解能全球大気海洋結合モデルおよびその初期値作成に関する研究に取り組み、次世代季節予測システムを開発・検証する。

研究の動機・背景

平成 16-18 年度の前融合型研究において開発されたエルニーニョ予測モデル（気象庁統一全球大気モデル JMA-GSM0606 版 TL95L40 上端 0.4hPa＋気象研海洋モデル MRI-COM2.4__75S-75N 域__1 度×0.3-1.0 度_50 層）は、気象庁で現業的に運用されている。現融合型経常研究（平成 19-21 年度）において同モデルによる季節予報実験を実施したところ、次期現業季節予測モデルとして利用可能な予測性能をもつことが確かめられた。気象庁気候情報課では、平成 22 年 2 月に現業化することを計画している。さらに、次期 NAPS 更新（平成 23 年度）後に、高分解能（TL159L60）季節予測モデルの導入を予定している。

研究の成果の到達目標

① 気象庁気候情報課と共同で、気象庁新全球大気モデル（ReducedGrid 版__TL159L60 上端 0.1hPa）と気象研究所全球海洋海氷モデル（3 極一般化座標版__約 0.5 度×１度_51 層）および結合インターフェース（SCUP）からなる高分解能全球大気海洋結合モデルを新たに開発する。
② 同化システム（準結合同化システム）と結合ブリーディング法を開発する。
③ ①と②の研究成果をもとに次世代季節予測システムを開発する。システムに対応した全球海洋の初期値を作成し、システム全体の試験を行う。

研究結果

（成果の概要）

① 気象庁気候情報課と共同で、気象庁新全球大気モデル（ReducedGrid 版__TL159L60 上端 0.1hPa）と気象研究所全球海洋海氷モデル（3 極一般化座標版__１度×約 0.5 度_53 層）および結合インターフェース（SCUP）からなる高分解能全球大気海洋結合モデルを新たに開発した。
② ①の全球海洋海氷モデルを用いた海洋データ同化システムの開発（海洋同化解析の極域への拡張、統計量を改良した海洋の同化解析の導入）を行った。
③ 現行の季節予報用大気海洋結合モデルを用いた準結合同化システムを開発し、これを利用した再解析を実施した。結合ブリーディング法については、文献調査と予備試験の結果、今後の結合同化システム開発研究課題の中で実施することが必要と判断し、①の高分解能全球大気海洋結合モデルを利用した結合同化システムの開発を開始した。
④ ①と②の研究成果をもとに次期季節予測システムを構築し、このシステムに対応した全球海洋の初期値を作成した。現在、現業化に向けて季節予測実験とシステムの調整を実施している。
⑤ ①～④の過程において、高速計算でより精緻な長波放射スキームの開発、新土地被覆データセットの作成、入射角とクロロフィル分布に依存した短波吸収スキームの導入を実施した。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

① 気象研究所の地球システムモデルで使われている、海氷と海洋および陸面の混合格子技術を導

[1)]平成 23 年度～平成 25 年度、[2)]平成 21 年度

入する必要が生じたことから、地球システムモデルの開発関係者の協力が必要になったため、新たに研究分担者として加えた。

② 力学的季節予測業務の将来展開および季節予測モデル開発の重点事項の把握のため、台風の季節予測可能性の調査や、熱帯インド洋・大西洋の海面水温変動と異常天候の関係調査など、現在の予測システムを利用した季節予測可能性の研究を実施した。

成果の他の研究への波及状況

① 大気海洋結合モデルを用いた 2010 年猛暑の季節予測実験（気象研究ノート、2012）は、異常気象の分析・原因究明の研究に寄与した。

② 大気モデルの開発・検証過程で初期値アンサンブル技術（気象研究所技術報告、2013）の利用体制が整備されたことから、当所においても本格的な季節予報可能性の研究が可能となった。

今後の課題

開発した次期季節予測システムは、季節予測実験の成績を参考に平成 26 年度の現業化に向けてさらに調整する必要がある。また、季節予測実験データを解析することにより、モデル気候値の精度を確認するとともに、年々変動の再現性および季節予測性能の評価を行い、季節予報システムの適切な利用と必要な改良点を明らかにする必要がある。

世界の主要な現業機関では、季節予測モデルの高分解能化が進んでいる。東アジア域においても、モデルの高分解能化により冬季日本海側の降雪、夏季東アジアの降雨帯や熱帯低気圧などの再現性が高くなると期待されることから、高分解能（60km100 層）大気モデルを利用した季節予報システムの開発が必要である。さらに、気象庁の季節予報の現場からは、エルニーニョ南方振動の年々の特徴や北極域の海氷変動の予測精度の向上を期待する声があり、新たな海洋データ同化手法（全球 4 次元変分法・海氷同化）を利用した季節予報初期値の導入によって、季節予測シグナルの精緻化に向けた開発が必要である。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（気候・地球環境分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、485 ページを参照。

成果発表一覧

査読論文：19 件

1. Balmaseda, M. A., O. J. Alves, A. Arribas, T. Awaji, D. W. Behringer, N. Ferry, Y. Fujii, T. Lee, M. Rienecker, T. Rosati, and D. Stammer, 2009: Ocean initialization for seasonal forecasts. Oceanography, 22, 154-159.
2. Fujii, Y., T. Nakaegawa, S. Matsumoto, T. Yasuda, G. Yamanaka, and M. Kamachi, 2009: Coupled climate simulation by constraining ocean fields in a coupled model with ocean data. J. Climate, 22, 5541-5557.
3. Fujii, Y., S. Matsumoto, M. Kamachi, and S. Ishizaki, 2010: Estimation of the equatorial Pacific salinity field using ocean data assimilation system. Adv. in Geosciences. 18, 197-212.
4. Fujii, Y., M. Kamachi, T. Nakaegawa, T. Yasuda, G. Yamanaka, T.toyoda, K. Ando, and S. Matsumoto, 2011: Assimilating Ocean Observation data for ENSO monitoring and forecasting. Climate Variability (ISBN:979-953-307-236-3), Ed:A. Hannachi, INTECH, Rijeka, Croatia, doi:10.5772/30330.
5. Fukuda, Y., K. Yamamoto, T. Hasegawa, T. Nakaegawa, J. Nishijima, and M. Taniguchi, 2009: Monitoring Groundwater Variation by Satellite and Implications for in-situ Gravity Measurements, Science of Total Environment, 407, 3183-3180.
6. Inaba, M. and K. Kodera, 2010: Forecast study of the cold December of 2005 in Japan: role of Rossby waves and tropical convection. J. Meteor. Soc. Japan, 88, 719-735.

7. Ishizaki, Y., T. Nakaegawa, and I. Takayabu, 2012 : Validation of the precipitation simulated by three regional climate models and two multi-model ensemble means over Japan for the period 1985-2RCM Downscaling of Precipitation. Climate Dynamics. DOI: 10.1007/s00382-012-1304-5.
8. Kusunoki, S., T. Nakaegawa, O. Arakawa, I. Yagai, 2008 : Land-surface air temperature and land-only precipitation in the twentieth century climate simulations by an atmospheric general circulation model, J. Meteor. Soc. Japan., 86, 473-495.
9. Lee, T., T. Awaji, M. Balmaseda, N. Ferry, Y. Fujii, I. Fukumori, B. Giese, P. Heimbach, A. Kohl, S. Masina, E. Remy, A. Rosati, M. Schodlok, D. Stammer, A. Weaver, 2010: Consistency and fidelity of Indonesian-throughflow total volume transport estimated by 14 ocean data assimilation products. Dyn. Atmos. Oceans, 50(2), 201-223.
10. Nakaegawa, T, 2011. Uncertainty in land cover datasets for global land-surface models derived from 1-km global land cover datasets, Hydrolgical Processes. DOI: 10.1002/hyp.8011.
11. Nakaegawa, T. K. Yamamoto, T. Tanaka, Y. Fukuda and H. Hasegawa, 2012: Investigation of Temporal Characteristics of Terrestrial Water Storage Changes and Its Comparison to Terrestrial Mass Changes. Hydrological Processes. 26, 2470–2481 DOI: 10.1002/hyp.9392
12. Nakaegawa, Tosiyuki, 2012: Comparison of Water-Related Land Cover Types in Six 1-km Global Land Cover Datasets. J. Hydrometeor, 13, 649–664. doi: 10.1175/JHM-D-10-05036.1
13. Ose, T. and O. Arakawa, 2009: Characteristics of the CMIP3 models simulating realistic response of tropical western Pacific precipitation to Nino3 SST variability. J. Meteor. Soc. Japan 87, 807-819.
14. Takaya,T., T. Yasuda, T. Ose, T. Nakaegawa, 2010: Predictability of the mean location of typhoon formation in a seasonal prediction experiment with a coupled general circulation model. J. Meteor. Soc. Japan, 88, 799-812.
15. Toyoda, T, Y. Fujii, T. Yasuda, N. Usui, T. Iwao, T. Kuragano, and M. Kamachi, (2013): Improved Analysis of the Seasonal-Interannual Fields by a Global Ocean Data Assimilation System, Theoretical and Applied Mechanics Japan, 61, 31-48, doi.org/10.11345/nctam.61.31.
16. Yamanaka, G., T. Yasuda, Y. Fujii, and S. Matsumoto, 2009: Rapid termination of the 2006 El Nino and its relation to the Indian Ocean. Geophysical Research Letters, .36, L07702, doi:10.1029 / 2009GL037298.
17. Yamanaka, G., H. Ishizaki, H. Tsujino, H. Nakano, and M. Hirabara, 2012: Impact of prescribed solar radiation data and its absorption schemes on ocean model simulations, Solar Radiation, InTech, ISBN 979-953-307-424-4.
18. 石崎安洋, 仲江川敏之, 高薮出, 地域気候マルチモデルアンサンブルを 用いた日本域における降水の再現性, 水工学論文集, 55, S433-S438.
19. 仲江川敏之, 2011: 全球大気モデルを用いた河川流量の潜在的季節予測可能性と その水平解像度依存性, 水工学論文集, 55, S253-S258.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）: 15 件

1. Balmaseda, M., Y. Fujii, O. Alves, T. Lee, M. Rienecker, T. Rosati, D. Stammer, Y. Xue, H. Freeland, M. J. McPhaden, L. Goddard, C. Coelho, 2010: Role of the Ocean Observing System in an End-to-End Seasonal Forecasting System. Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 1), Venice, Italy, 21-25 September 2009, Hall, J., Harrison, D.E. & Stammer, D., Eds.,

ESA Publication WPP-306, 299-315, doi:10.5270/OceanObs09.pp.03.
2. Balmaseda, M., Y. Fujii, O. Alves, T. Awaji, D. Behringer, N. Ferry, T. Lee, M. Rienecker, T. Rosati, D. Stammer, D. Smith, and F. Molteni, 2010: Initialization for seasonal and decadal forecasts. Proceedings of OceanObs'09. Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2), Venice, Italy, 21-25 September 2009, Hall, J., Harrison D.E. & Stammer, D., Eds., ESA Publication WPP-306, 19-26, doi:10.5270/OceanObs09.cwp.02.
3. Ose, T., 2012: Introduction to Climatology. TCC Training Seminar on Climate Analysis Information, Nov 26-30, 2012, Tokyo Climate Center/JMA、1-10.
4. Stockdale, T.N., O. Alves, G. Boer, M. Deque, Y. Ding, A. Kumar, K. Kumar, W. Landman, S. Mason, P. Nobre, A. Scaife, T. Ose, and W. Yun, 2009: Understanding and predicting seasonal to interannual climate variability –the producer perspective. White paper for WCC3.
5. 尾瀬智昭, 2010 : Nino3 海域の海面水温変動に対して現実に近い熱帯西太平洋の降水応答を示す CMIP3 モデルの特徴. 平成 21 年度全国季節予報技術検討会資料. 気象研究所.
6. 尾瀬智昭, 2011 : 夏季日本・東アジア域の確率的な季節予測精度が高い年の特徴　―過去季節予測実験（CHFP）の解析から―. 平成 22 年度全国季節予報技術検討会資料, 気象研究所.
7. 尾瀬智昭, 2012 : 本だな「長期予報のしくみ（酒井重典著)」. 天気 59 巻 9 号 867-868 頁 日本気象学会.
8. 仲江川敏之, 高谷祐平, 安田珠幾, 尾瀬智昭, 2010: 気象庁気象研究所　大気－海洋結合モデル予測実験における台風予測精度. 平成 21 年度全国季節予報技術検討会資料. 気象研究所.
9. 仲江川敏之, 2011: 全球 1km 土地被覆データセットの選択による数値モデル土地被覆への影響. 平成 22 年度全国季節予報技術検討会資料, 気象研究所.
10. 平井雅之, 石川一郎, 新保明彦, 曽我太三, 森浩俊, 藤井陽介, 松本聡, 安田珠幾, 2010 : エルニーニョ予測システムの改良. 測候時報, 第 77 巻特別号(海洋気象特集), S23-S34、気象庁.
11. 安田珠幾, 2010 : 大気海洋結合モデルによる季節予測実験におけるエルニーニョ現象後のインド洋海面水温の上昇. 平成 21 年度全国季節予報技術検討会資料. 気象研究所.
12. 安田珠幾, 仲江川敏之, 高谷祐平, 藤井陽介, 蒲地政文, 尾瀬智昭, 2012: 大気海洋結合モデルを用いた季節予測実験－2010 年猛暑に対する大西洋海面水温偏差の影響－. 気象研究ノート 225 号 113-125 頁 日本気象学会.
13. 籔将吉, 2010 : 大気モデルにおける高速な長波放射スキームの開発. 平成 21 年度全国季節予報技術検討会資料　気象研究所.
14. 籔将吉, 2011 : 2 方向吸収近似長波放射スキームの全球大気モデルへの導入. 平成 22 年度全国季節予報技術検討会資料, 気象研究所.
15. 山中吾郎, 石崎廣, 辻野博之, 平原幹俊, 中野英之, 2011 : 海洋モデルの太平洋亜熱帯セルの再現性に対する海水の有効光学的特性の影響および太平洋亜熱帯セルの数十年規模変動. 平成 22 年度全国季節予報技術検討会資料, 気象研究所.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：13 件

1. Charles, A., Y. Kuleshov, Y., H. Hendon, and T. Nakaegawa, A.Seasonal Predictability of Atmospheric Fields for Tropical Cyclone Tracking. AOGS Annual Meeting, Brisbane, 24 to 28 June 2013.
2. Fujii, Y., T. Nakaegawa, S. Matsumoto, T. Yasuda, G. Yamanaka, M. Kamachi, 2010: Coupled model simulation by constraining ocean fields with ocean data through the JMA operational ocean data assimilation system. International workshop on “Development of atmosphere-ocean coupled models towards improvement of long range forecast”, 9-10 Dec., Tokyo.

3. Fujii, Y., S. Ishizaki and M. Kamachi, 2012: Activity toward coupled data assimilation in JMA/MRI, Coupled DA Workshop, Reading, UK, Sep. 10th, 2012.
4. Kamachi,M., N. Usui, T. Toyoda and Y. Adachi, 2010: Strategy and issues to be addressed in the sea-ice assimilation. JMA workshop for development of atmosphere-ocean coupled models, 9-10 Dec., Tokyo.
5. Kuleshov, Y., H. Hendon, D. Jones, A. Charles, K. Shelton, R. de Wit, T. Nakaegawa, A. Cottrill, A. Griesser, E. Miles, C. Spillman, E. Lim, P. Mcintosh, and John Church, 2013. Seasonal Prediction of Climate Extremes for the Pacific. AOGS Annual Meeting, Brisbane, 24 to 28 June 2013.
6. Nakaegawa, T. 2009: Potential Applicability of the Seasonal Climate Prediction to Water Resources Managements, Tokyo Climate Conference, 6-8 Jul., Tokyo.
7. Nakaegawa, T. et al. 2012: Dynamical seasonal typhoon prediction with the JMA/MRI-CGCM and its linkage of Asian Monsoon prediction. The 6th Centre for Australian Weather and Climate Research Workshop. Melborune, Australia. 12-15, Nov., 2012.
8. Nakaegawa, T., A. Charles, K. Shelton, Y. Kuleshov, H. Hendon, Y. Takaya, T. Yasuda, and T. Ose, 2013: Potential Dynamical Seasonal Predictability of Tropical Cyclones in the Southern Hemisphere. AOGS Annual Meeting, Brisbane, 24 to 28 June 2013.
9. Yasuda, T., 2010: Air-sea interaction over the Indian Ocean after El Nino in JMA/MRI-CGCM seasonal forecast experiment, International Workshop on Development of Atmosphere-Ocean Coupled Models towards Improvement of Long-Range Forecast, 8-10 Dec., Tokyo.
10. Yasuda, T., 2011: Seasonal to decadal prediction at JMA/MRI - hot summer 2010 in Japan -. 14th Session of WGSIP. Sep. 12-14, 2011, Trieste, Italy.
11. Yasuda, T., 2011: Current status of seasonal forecast research. 12th Joint Meeting for Seasonal Prediction of the East Asian Winter Monsoon. Nov 10-11, 2011, Tokyo.
12. Yasuda, T., 2012: Seasonal to decadal prediction at MRI. 15th Session of WGSIP – Joint with 16th Session of WGCM. Sep 24-26, 2012, Max Planck Institute, Hamburg, Germany.
13. 藤井陽介, 2010: The ocean monitoring and forecasting service. 台湾国立中山大学特別講義. 5 月 5-7 日, 台湾国立中山大学, 高雄, 台湾.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：19 件

1. 石崎士郎, 藤井陽介, 2010: 気象庁現業海洋同化システム. 第 14 回データ同化夏の学校. 8 月 24 日, 日本海洋科学振興財団むつ海洋研究所, むつ, 青森.
2. 尾瀬智昭、2013：赤道太平洋海面水温変動の中高緯度大気への影響頻度. 日本気象学会 2013 年度秋季大会, 11 月 18-21 日, 仙台.
3. 蒲地政文, 2010:データ同化に関する国内外の動向. 第 14 回データ同化夏の学校. 8 月 24 日, 日本海洋科学振興財団むつ海洋研究所, むつ, 青森.
4. 小畠豊, 藤井陽介, 延与和敬, 伊藤渉, 中野俊也, 松本聡, 岩尾尊徳, 蒲地政文, 2010: 曳航式 CTD で観測された南太平洋熱帯水とバリアレイヤー. 2010 年度日本海洋学会秋季大会. 9 月 6-10 日、網走, 北海道.
5. 仲江川敏之, 安田珠幾, 高谷裕平, 尾瀬智昭, 2009: JMA/MRI 結合モデル季節予測実験で再現された台風の気候値. 気象学会春季大会講演, 5 月 28-31 日、つくば、茨城.
6. 仲江川敏之, 2009: 全球土地被覆データの水関連土地被覆に関する不確実性, 水文・水資源学会 2009 年研究発表会, 8 月 19-21 日、金沢.
7. 仲江川敏之,安田珠幾,高谷裕平,尾瀬智昭, 2010. 気象庁気象研究所 大気－海洋合モデル予測実験における台風発生位置の予測可能性, 2010 年春季大会, 5 月 23-26 日、東京.

8. 仲江川敏之， 2010 全球 1km 土地被覆データセットの選択による数値モデル土地被覆への影響, 水文・水資源学会 2010 年研究発表会, 9 月 7-9 日、東京.
9. 仲江川敏之， 2011. 全球 1km 土地被覆データセットの選択による大気モデル土地被覆の不確実性, 日本気象学会 2011 年度春季大会, 5 月 18-21 日、東京.
10. 仲江川敏之， 2011. 全球 1km 土地被覆データセットの選択による数値モデル土地被覆の不確実性. 日本リモートセンシング学会春季学術講演会、 5 月 26-27 日、東京.
11. 仲江川敏之, 2012: 6 つの衛星ベース全球土地被覆データセットの水関連土地被覆比較, 気象学会春季大会,2012 年 5 月, つくば国際会議場.
12. 仲江川敏之, 2012: 全球 1km 土地被覆データセットの水関連土地被覆の不確実性,第 52 回（平成 24 年度春季）リモートセンシング学術講演会， 東京大学 生産技術研究所.
13. 藤井陽介, 仲江川俊之, 松本聡, 安田珠幾, 山中吾郎, 蒲地政文, 2010: 結合モデルと海洋観測データの統合（準結合同化）による気候変動の再現, 日本気象学会 2010 年度春季大会, 5 月 23-26 日、東京.
14. 藤井陽介, 豊田隆寛, 安田珠幾, 安藤健太郎, 杉浦望実, 蒲地政文, 2013: エルニーニョとデータ同化. 日本海洋学会 2013 秋季大会シンポジウム「太平洋・インド洋の熱帯気候変動研究：過去から未来へ」, 2013 年 9 月 17 日, 札幌.
15. 安田珠幾, 高谷祐平, 松本聡, 2009. 大気海洋結合モデルによる季節予測実験におけるエルニーニョ現象後のインド洋海面水温の上昇, 2009 年度日本海洋学会春季大会, 4 月 5-9 日, 東京.
16. 安田珠幾, 仲江川敏之, 藤井陽介, 高谷祐平, 蒲地政文, 尾瀬智昭, 2011: 大気海洋結合モデルを用いた 2010 年夏の季節予測実験. 研究会「長期予報と大気大循環」, 7 月 12 日, 気象庁,東京.
17. 安田珠幾, 仲江川敏之, 藤井陽介, 高谷祐平, 蒲地政文, 尾瀬智昭, 2011: 大気海洋結合モデルを用いた 2010 年夏の季節予測実験. 2011 年度日本海洋学会秋季大会, 9 月 27-29 日, 福岡.
18. 安田珠幾, 仲江川敏之, 藤井陽介, 高谷祐平, 蒲地政文, 尾瀬智昭, 2011: 大気海洋結合モデルを用いた 2010 年夏の季節予測実験. 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 11 月 16-18 日, 名古屋.
19. 安田珠幾, 2012: 熱帯太平洋における海面水位変動と変化. 日本地球惑星連合 2012 年大会, 平成 24 年 5 月 22 日, 幕張.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：9 件

1. Fujii, Y., T. Nakaegawa, S. Matsumoto, T. Yasuda, G. Yamanaka, M. Kamachi, 2010: Coupled Ocean and Atmosphere Analysis by Assimilating Ocean Observation Data to a Coupled Model. Workshop on Decadal Variability, Predictability, and Prediction, and to have research presentations, 20-23th, Sep., NCAR, Boulder, USA.
2. Fujii, Y., T. Nakaegawa, T. Yasuda, S. Matsumoto, G. Yamanaka, T. Toyoda, and M. Kamachi, 2011, Atmospheric Response to the ENSO in a Quasi-coupled Data Assimilation System. WCRP Open Science Conference, 24-28, Oct., Denver, USA.
3. Fujii, Y., T. Nakaegawa, S. Matsumoto, T. Yasuda, G. Yamanaka, M. Kamachi, 2013: Role of air-sea interaction in a coupled model simulation Constrained by Ocean Data Assimilation, RIMS International Conference on Theoretical Aspectsof Variability and Predictability in Weather and Climate Systems, 23-25, Oct., Kyoto, Japan.
4. Takaya,Y., T.Yasuda, T. Nakaegawa, M.Kamachi, K. Takahashi and T.Ose, 2009: Improved Asian Monsoon Prediction in the JMA/MRI Seasonal Forecast System. World Climate Conference-3, Aug.31-Sep.4, Geneva, Switzerland.
5. Takaya,Y., T.Yasuda, T.Ose, M.Hirai, S.Maeda, 2011: Seasonal forecast system of Japan Meteorological Agency: Physical basis of seasonal forecasting in the Asian region. WCRP Open Science Conference, 24-28, Oct., Denver, USA.

6. Toyoda, T., Y. Fujii, N. Usui, K. Ogawa, T. Iwao, T. Yasuda, and M. Kamachi, 2011: Improved analysis fields in the Arctic Ocean by the Meteorological Research Institute Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) system. WCRP Open Science Conference, 24-28, Oct., Denver, USA.
7. Yamanaka, G., H. Ishizaki, H. Nakano, H. Tsujino, and M. Hirabara, 2012: Pacific subtropical cell response to effective ocean optical properties, Ocean Sciences Meeting 2012, Feb, 2012, Salt Lake City, USA.
8. Yamanaka, G., H. Tsujino, H. Ishizaki, H. Nakano, and M. Hirabara, 2012: Impact of effective ocean optical properties on the Pacific subtropical cell: a CGCM study, AGU Fall Meeting 2012, San Francisco, U.S.A..
9. Yasuda,T., T. Nakaegawa, Y.Fujii, Y.Takaya, M.Kamachi, and T. Ose, 2011: Seasonal Forecast System of Japan Meteorological Agency: Anomalous Hot Summer 2010 in Japan and Its Relationship to the Tropical SST Anomalies. WCRP Open Science Conference, 24-28, Oct., Denver, USA.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：7 件

1. 仲江川敏之, 安田珠幾, 高谷裕平, 2009. 早明浦ダム流域における渇水対策のための季節予測の利用可能性, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, 11 月 18-21 日、仙台.
2. 仲江川敏之, 高谷祐平, 安田珠幾, 尾瀬智昭, 2010：気象庁気象研究所大気—海洋結合モデル予測実験における台風発生位置の予測可能性. 日本気象学会 2010 年度春季大会、5 月 23-26 日、東京.
3. 豊田隆寛, 藤井陽介, 安田珠樹, 岩尾尊徳, 蒲地政文, 気象研全球海洋データ同化システム（ＭＯＶＥ）における北極海解析場の改良について, 2011 年度日本海洋学会秋季大会, 9 月 26-30 日, 春日, 福岡.
4. 安田珠幾, 高谷祐平, 松本聡, 2009. 大気海洋結合モデルによる季節予測実験におけるエルニーニョ現象後のインド洋海面水温の上昇, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, 11 月 25-27 日, 福岡.
5. 山中吾郎, 石崎廣, 中野英之, 辻野博之, 平原幹俊, 2011：熱帯太平洋の短波吸収におけるクロロフィル分布の影響, 2011 年度日本海洋学会秋季大会, 9 月 26-30 日, 春日, 福岡.
6. 山中吾郎, 辻野博之, 石崎廣, 中野英之, 平原幹俊, 2012：大気海洋結合モデルにおける海水の光学的特性の影響, 2012 年度日本海洋学会秋季大会, 2012 年 9 月？, 静岡県清水市.
7. 籔将吉, 2011：気象庁全球大気モデルにおける散乱を考慮した長波放射スキームの開発. 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 11 月 16-18 日, 名古屋.

異常気象・気候変動の実態とその要因解明に関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：釜堀弘隆（気候研究部第五研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１　異常気象の実態とその要因解明

釜堀弘隆、小林ちあき、遠藤洋和[1)]、上口賢治[2)]（気候研究部）、藤部文昭（環境・応用気象研究部）、清野直子（予報研究部）

副課題２　気候変動の実態とその機構解明

釜堀弘隆、黒田友二、小林ちあき、遠藤洋和、行本誠史、藪将吉[2)]、田中実[3)]、石原幸司[4)]、上口賢治[2)]（気候研究部）、藤部文昭（環境・応用気象研究部）

研究の目的

異常気象・気候変動の実態とその要因解明に関する解析的研究等に取り組み、異常気象・気候変化の要因に関する解説資料の作成を通じて、異常気象や気候変動についての国民や関係機関の理解促進を目指す。

研究の動機・背景

副課題１　異常気象の実態とその要因解明

平成 20 年 8 月末豪雨や四国地方の渇水など、近年日本では異常気象の多発に対する社会的関心が高まり、気象研究所として情報を提供していくことが求められている。そのため、極値統計手法や長期再解析データ等を利用した定量的な現象把握と、大気循環場とりわけ熱帯域の解析を通じた異常気象の要因解明の研究を進める必要がある。また、気象学的・社会的に重要な異常気象が起きたとき、すみやかにその解明を進めることが求められる。

副課題２　気候変動の実態とその機構解明

気候の長期的な変動は、異常気象の変動にも関連する重要なテーマである。そこで、まだ利用されていないデータの収集や品質のチェックを進め、都市化の影響などの評価を行いつつ、気候変動の実態と機構の解明を進めていく必要がある。また、成層圏の変動や太陽活動など外部強制力が気候変動に及ぼす影響については未解明の点が多く、その研究の推進が求められる。

研究の成果の到達目標

副課題１　異常気象の実態とその要因解明

① 過去の異常気象の実態や特徴をデータ解析によって明らかにし、その要因解明を行う。
② 再解析データ等により、日本の気候変動と熱帯域など大気循環場の変動との関連を明らかにする。
③ 異常気象が発現した際には、すみやかにデータを収集・解析し、その実態と要因の解明を行う。

副課題２　気候変動の実態とその機構解明

① 国内外の気候データの収集・整備により、日本とその周辺の気候の長期変動の実態を解明する。
② 中層大気の変動が気候に及ぼす影響を明らかにする。

各サブ課題で得られた成果に基づき、異常気象・気候変動に関する解説資料を作成する。

研究結果

（成果の概要）

[1)]平成 22 年度～平成 25 年度、[2)]平成 23 年度～平成 25 年度、[3)]平成 21 年度、[4)]平成 21 年度～平成 22 年度

極値統計手法の評価精度について検討し、手法を適用する際に注意すべき点を指摘した。

① 日本の極端降水の発生頻度について、その時間スケールによって緯度および地形依存性があることを見出した。また、日本の気温の長期変動に対する都市化の影響を地点観測データから定量化した。

② 異常気象・気候変動を定量的に解析するための基盤データとして、長期再解析データセットJRA-55C および JRA-55AMIP を作成した。

③ 過去 100 年にわたる国内の観測データから、梅雨の季節進行が遅れる傾向になることを示し、またオホーツク海高気圧が強化される傾向にあることを明らかにした。

④ 成層圏変動が対流圏環状モードに与える影響を数値実験により示し、成層圏変動が季節予報のシグナルとなる可能性があることを示した。

⑤ 統計開始以来の猛暑となった 2010 年の気象場をモデル実験やデータ解析から調べ、日本付近の 2010 年異常気象が熱帯の SST 偏差により説明できることを示した。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　異常気象の実態とその要因解明

① 極値統計手法による異常気象（大雨等）の再現期間や再現期待値を定量的に評価するに当たり、手法の適用方法と評価精度との関連をモンテカルロ・シミュレーションで検討した。具体的な検討事項は、(1)極値分布関数のパラメーターの決定方法、(2)年極値解析と閾値解析の比較、(3)適合度規準の妥当性などである。その結果、再現期間や再現期待値の評価精度はデータに含まれる確率変動に影響されること、従って適合度だけでなく統計的な安定性の確保が重要であること、SLSC による適合性判定に当たってはしきい値として定数を使うべきではないこと、ジャックナイフ法を適合度の判定に使うのは適切でないことが示された。

② 日本の極端降水の発生頻度分布を、その時間スケール別に調べ、時間スケールによって緯度や地形への依存性に違いがあることを見出した。また、降水の極端度によって地域性が異なることを見出した。

③ 近年の暑熱（熱中症）被害の増加を受け、過去 100 年余にわたる暑熱死亡率と夏季高温との関連を統計的に調べ、高温年には被害が大きい傾向があることを示した。

④ 2010 年は観測開始以来の猛暑となるなど社会的に関心の高い異常気象が発生したため、モデル実験および再解析データからその要因解明を行い、異常気象と海面水温や大規模対流との関連を明らかにした。

⑤ 日本の過去 100 年以上の長期地上観測データおよび長期再解析データ（JRA-55）の解析から、梅雨の季節進行が遅れる傾向にあること、夏季北日本の昇温トレンドが他地域に比べて小さいこと、オホーツク海高気圧が強化される傾向にあることを明らかにした。

⑥ 衛星導出降水量データを用いて、熱帯低気圧コンポジット場の年々変動を調べた。衛星導出降水量からは、台風中心から 5 度以内に熱帯低気圧による正の降水量偏差があり、その外側に負の降水量偏差がある事が分かった。JRA-55 からも同様の降水量分布が見出された。

⑦ 衛星導出降水量データを用いて、北西太平洋における一般場の対流活動と熱帯低気圧活動に正の相関があることを示した。

⑧ 2010 年夏の観測された海面水温を下部境界条件とした大気モデル実験を行った。太平洋熱帯域の SST 偏差（ラニーニャ現象）が太平洋の亜熱帯ジェットの北偏に、インド洋の高い SST 偏差がパキスタン付近の多雨に寄与した可能性が示唆された。また、海域別に海面水温偏差を与えた感度実験から、太平洋熱帯域、インド洋、大西洋熱帯域の SST 偏差はいずれも、北西熱帯太平洋の亜熱帯高気圧と貿易風の強化に寄与した可能性が示唆された。

⑨ 2010 年夏の猛暑について、モデル実験などによりその要因解明を行った。その結果、エルニーニョ終息後のインド洋亜熱帯域や大西洋亜熱帯域における対流活動の活発化により、中高緯度全体が顕著に昇温する傾向があり、これが猛暑の一因であることが分かった。

⑩ 2010 年に台風発生数が記録的に少なかった要因を再解析や衛星観測データを用いて調べた。海洋大陸～東インド洋で海面水温が高かったため、これらの地域で対流活動が活発となり、その結果ウオーカー循環の上昇流域が西へ変位して台風活動活発域であるフィリピン沖の太平洋

が対流不活発となったためであることを示した。

副課題２　気候変動の実態とその機構解明

① 日本における気温の観測データやその長期変動における都市化等の影響について、実データに基づく検討を進めた。具体的には、(1) アメダス地点の気温の長期変動を風速別・降水別に評価し、都市域では強風時や降水時の気温上昇率が弱風時や無降水時よりも小さいことから、気温の長期的な上昇傾向に都市の効果が関わっていることを確認した。(2) 気温の曜日依存性を評価し、中小都市でも人工排熱の影響があることを示した。(3) 格子点気温データ（CRU, GISS 等）と気温の実測データの長期変動を比べ、CRU に若干の都市バイアスが含まれる可能性を見出した。

② 日本における 1901 年以降の降水変動を地域・季節ごとに調べた。降水日数の減少傾向はほぼ全国的かつ年間を通じて認められるが、変化率は地域・季節によりまちまちであり、月単位あるいは 1～2 ヶ月スケールの変動も認められた。

③ 1901 年～2009 年の東・西日本の 37 観測地点の日降水量データを元に、梅雨期の降水の長期変化を調べた。梅雨初期（６月上旬・中旬）は全域で 100 年あたり約 20%の減少トレンド（信頼水準 90%)、梅雨末期（７月中旬・下旬）は日本海側地域で 100 年あたり約 50%の増加トレンド（信頼水準 95%）が認められた。また、日本海側地域では梅雨末期降水量の年々変動は増加傾向にあり、平年比 250%以上の大雨年はすべて 20 世紀後半以降に出現していた。一方、梅雨最盛期（６月下旬～７月上旬）および梅雨期全体（６～７月平均）の降水量は有意なトレンドが見られなかった。観測された梅雨末期の降水量増加トレンドは、気候モデル実験による温暖化応答と類似していることから、温暖化影響を受けている可能性が示唆された。

④ 国内気象官署の長期地上気温データ（1901～2012 年）および長期再解析データ（JRA-55; 1958～2012 年）を元に、夏季日本の気候変動を調べた。夏季北日本の昇温トレンドは他地域に比べて小さいこと、これに関連してオホーツク海高気圧が強化される傾向にあることを見出した。

⑤ JRA-55 長期再解析のサブセットとして、通常型観測のみを用いた JRA-55C および JRA-55 の全球モデルによる AMIP ランを実施した。(JRA-55C は全体の約 66%、AMIP は全体の約 87%を完了した。）また、比較用として、JRA-25 で用いたモデルによる AMIP 実験ランを実施した。初期解析を行い、再解析モデルが持つバイアスなどを把握した。JRA-55C は、北半球において衛星を使った再解析よりは精度が劣るものの JRA-25 より精度が良い。一方、南半球では衛星を使用しないことによる精度低下が大きく、南半球において衛星観測データが重要であることが分かった。

⑥ 日本の長期高解像度降水量データ APHRO_JP を使った極端降水の解析を進め、極端降水インデックスが顕著な事例を抽出した。また、高標高域における降水量の特性を把握するために、国交省河川局の雨量計データを収集・整理を行い、近接したアメダスとの間で降水量の値が著しく異なる例を見出した。

⑦ オゾン同化データの解析を行い、北半球中緯度下部成層圏のオゾンの長期変化における力学的な寄与について、調査し、下部成層圏において輸送(力学的な影響)の効果がオゾンの減少トレンドの主な要因であり、上部成層圏のオゾントレンドはハロゲン類(化学的な影響)の長期変化が強く影響していることを示した。

⑧ 成層圏の変動が対流圏の環状モードの予測可能性に与える影響について最近の冬期について数値実験から調べた。その結果、成層圏突然昇温が大きく振幅の大きな極夜ジェット振動を引き起こす場合ほど成層圏の予測可能性が伸びることが分かった。対流圏への影響は他の因子との競合となるものの、一般に成層圏の変動が大きいほど伸びる大まかな傾向が見られた。

⑨ 太陽活動が南半球環状モードに与える影響を調べたところ、太陽活動が高いほど極夜ジェット振動が強まり、成層圏変動が対流圏に有意に下降する信号が現れる確率が増えることが分かった。

⑩ 北半球環状モードの維持強制に対しては、停滞性波動の役割が半分以上を占めるほど大きい。また、停滞性波動の維持には、総観規模波動や低周波波動からのエネルギー移行が重要な役割を果たしていることが示された。他方、中間規模波動の役割はせいぜい１割程度と小さく、南

半球環状モードの場合に比べてかなり小さいことが分かった。

⑪ 2010 年夏季のロシアブロッキングについてその維持メカニズムと予測可能性について調べた。予測実験のデータから 7 月末のブロッキングの予測精度の精度はその前後に比べて有意に悪化することが示され、このような精度悪化は過去の研究結果とも一致せず特異である。また、8 月上旬のブロッキングはギリシャ上空の高気圧偏差に関連して強まっており、特有なメカニズムによって維持されていることが示唆された。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

① 副課題 1 のうち，極値統計に関連する発展的研究は文科省地球学戦略推進費「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」（サブ課題名：稠密観測による極端気象のメカニズム解明）に移して実施した。

② 副課題 2 のうち，都市化の影響評価に関する発展的研究は科研費「日本の温暖化率の算定に関わる都市バイアスの評価と微気候的影響の解明」（基盤 B, H22～24 年度, No. 22340141）に移して実施した。

成果の他の研究への波及状況

① 副課題 1 における極値統計手法に関する成果は革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」および文科省科学技術戦略推進費「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」（サブ課題名：稠密観測による極端気象のメカニズム解明）における極端現象の統計解析の基盤的知見として反映された。

② 副課題 2 における気温の長期変動についての成果は一般研究「都市気象モデルの開発」と科研費「日本の温暖化率の算定に関わる都市バイアスの評価と微気候的影響の解明」（基盤 B, H22～24 年度, No. 22340141）における基盤的知見として反映された。

今後の課題

2010 年夏の猛暑は社会的影響が大きく、その要因解明の結果をまとめることができた。今後も、社会に大きな影響を与えるような異常気象が発現した際には、その実態と要因の解明を行う。

JRA-55C および JRA-55AMIP は本課題終了後も一部計算が残る。本計算を早急に終了させ、本庁業務への活用・総合報告の執筆などの取りまとめを行う。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（気候・地球環境分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、486 ページを参照。

成果発表一覧

査読論文 ：32 件

1. Ebita, A., S. Kobayashi, Y. Ota, M. Moriya, R. Kumabe, K. Onogi, Y. Harada, S. Yasui, K. Miyaoka, K. Takahashi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, M. Soma, Y. Oikawa, and T. Ishimizu, 2011: The Japanese 55-year Reanalysis "JRA-55": An Interim Report, SOLA, 7, 149-152, doi:10.2151/sola.2011-038.
2. Endo, H., 2011: Long-term changes of Seasonal Progress in Baiu rainfall using 109 years (1901-2009) daily station data, SOLA, 7, 5-8.
3. Fujibe, F., 2009: Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan, Int. J. Climatol., 29, 1811-1822.
4. Fujibe, F., 2009: Relation between long-term temperature and wind speed trends at surface observation stations in Japan, SOLA, 5, 81-84.
5. Fujibe, F., 2010: Day-of-the-week variations and their long-term trends of urban temperature in Japan, Theor. Appl. Climatol., 102, 393-401.
6. Fujibe, F., 2011: Urban warming in Japanese cities and its relation to climate change

monitoring, Int. J. Climatol., 31, 162-173.
7. Fujibe, F. and K. Ishihara, 2010: Possible urban bias in gridded climate temperature data over the Japan area, SOLA, 6, 61-64.
8. Ishihara, K., 2010: Assessment for the 30-year daily precipitation change due to global warming using regional frequency analysis, Hydrol. Res. Lett., 4, 30-34.
9. Ishihara, K., 2010: Quantifying the uncertainty range of 30-year daily precipitation change due to global warming using regional frequency analysis, Hydrol. Res. Lett., 4, 90-94.
10. Lee T.-C., T. R. Knutson, H. Kamahori, and M. Ying, 2012: Impacts of Climate Change on Tropical Cyclones in the Western North Pacific Basin. Part I: Past Observations. Tropical Cyclone Research and Review. 1, 213-230. doi:10.6057/2012TCRR02.08
11. Kamahori, H., 2012: Mean Features of Tropical Cyclone Precipitation from TRMM/3B42. SOLA, 8, 17-20.
12. Kobayashi, C. and K. Shibata, 2011: Evaluation of Dynamical Contribution to Lower Stratospheric Ozone Trends in Northern Mid-latitudes over the Last Two Decades (1980-2006) Using a Chemical Transport Model J. Meteor. Soc. Japan, Vol. 89, No. 4, pp.363-376
13. Kobayashi, C. 2014: Impact of tropical and subtropical SSTs on mid-latitude tropospheric warming in the northern summer of 2010. (Climate Dynamics 改訂中)
14. Kobayashi, C., H. Endo, H. Kamahori and Y. Ota, 2014: Preliminary results of JRA-55C: atmospheric reanalysis assimilating conventional observations only. (SOLA 投稿中)
15. Kuroda, Y., 2010: High initial-time sensitivity of medium-range forecasting observed for a stratospheric sudden warming, Geophys. Res. Letters, 37, L16804, doi:10.1029/2010GL044119.
16. Kuroda, Y., and K. Yamazaki (2010), Influence of the solar cycle and QBO modulation on the Southern Annular Mode, Geophys. Res. Letters, 37, L12703, doi:10.1029/2010GL043252
17. Kuroda, Y., and H. Mukougawa (2011), Role of medium-scale waves on the Southern Annular Mode, J. Geophys. Res., 116, doi:10.1029/2011JD016293.
18. Kodera, K., Y. Kuroda et al., (2011): Sudden changes in the tropical stratosphere and tropospheric circulation during January 2009, J. Meteor. Soc. Japan, 89, 283-290
19. Kodera, K., Y. Kuroda et al., (2011): A general circulation model study of the impact of a stratospheric sudden warming event on tropical convection, SOLA, 197-200.
20. Matthes, K., Y. Kuroda et al., (2013): The importance of time-varying for QBO modulation of the atmospheric impact of the 11-year solar cycle, J. Geophys. Res., 118, 10.1002/jgrd.50424.
21. Kuroda, Y. and H. Mukougawa (2013): Role of atmospheric waves on the formation and maintenance of the Northern Annular Mode, J. Geophys. Res., 118, doi:10.1002/jgrd.50709.
22. Matsueda, M. and H. Endo, 2011: Verification of medium‐range MJO forecasts with TIGGE. Geophys, Res. Lett., 38, L11801, doi:10.1029/2010GL046618.
23. Miyajima, J. and F. Fujibe, 2011: Climatology of extreme precipitation in Japan for different time scales, SOLA, 7, 157-160.
24. Oguchi, S. and F. Fujibe, 2011: Seasonal and regional features of long-term precipitation changes in Japan, Pap. Meteorol. Geophys., 63, 21-30.
25. Tanaka, M., 2010: 20-th Century Winter Temperature near Japan: Its relationship to the Decadal Oscillation of the Aleutian Low and Siberian High. SOLA, (submitted)
26. Ying M., T. R. Knutson, H. Kamahori and T.-C Lee, 2012: Impacts of Climate Change on Tropical Cyclones in the Western North Pacific Basin. Part II: Late Twenty-First

Century Projections. Tropical Cyclone Research and Review. 1, 231-241. doi:10.6057/2012TCRR02.09
27. 石原幸司, 2010；都道府県別に適用した地域頻度解析によるアメダス地点の確率降水量評価, 水文・水資源学会誌, 23, 118-128.
28. 黒田友二, (2012): 成層圏 - 対流圏力学結合、天気、59, 778-788,
29. 藤部文昭, 2010: 極端な豪雨の再現期間推定精度に関する検討, 天気, 57, 449-462.
30. 藤部文昭, 2011: 回答 天気, 58, 147-151.
31. 藤部文昭, 2011: 極値分布関数の適合度評価に関する検討, 天気, 58, 765-775.
32. 藤部文昭, 2013: 暑熱（熱中症）による国内死者数と夏季気温の長期変動, 天気, 60, 371-381.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：17 件

1. Fujibe, F., 2009: Urban warming in recent temperature trends in Japan, IAUC Newsletter, Issue 33, 5-8.
2. Kamahori, H., 2012: The Inactive Typhoon Season of 2010. RSMC Tokyo Typhoon Center Technical Review, 14.
3. Ming, Y., T.R. Knutson, T-.C. Lee, and H. Kamahori, 2012: The second assessment report on the influence of climate change on tropical cyclones in the Typhoon Committee region. ESCAP/WMO Typhoon Committee Technical Document, TC/TD-No 0004. 71pp.
4. Rienecker, M.M., D. Dee, J. Woollen, G.P. Compo, K. Onogi, R. Gelaro, M.G. Bosilovich, A. da Silva, S. Pawson, S. Schubert, M. Suarez, D. Barker, H. Kamahori, R. Kistler, and S. Saha, 2012: Atmospheric Reanalyses – Recent Progress and Prospects for the Future. NASA Technical Report Series on Global Modeling and Data Assimilation. NASA TM–2012-104606, Vol. 29, 56 pp
5. 遠藤洋和, 尾瀬智昭, 水田亮, 松枝未遠, 2012: MRI-AGCM による 2010 年夏の再現実験. 気象研究ノート, 225, 135-145.
6. 遠藤洋和, 2013: 気候科学が教えてくれること：地球温暖化と異常気象, 地球温暖化, 2013 年 9 月号, 46-47.
7. 大野木和敏, 原田やよい, 古林慎哉, 釜堀弘隆, 小林ちあき, 遠藤洋和, 石橋敏之, 久保田雅久, 芳村圭, 三好建正, 小守信正, 大島和裕, 2012: 第 4 回 WCRP 再解析国際会議報告. 天気, 59, 1007-1016.
8. 釜堀弘隆, 2012: 2010 年不活発な台風活動. 気象研究ノート, 225, 17-27.
9. 釜堀弘隆, 2012: 異常気象と気候変動. 環境研究, 166, 188-213.
10. 小林ちあき, 2012: 2010 年夏季における中緯度対流圏の昇温. 気象研究ノート, 225, 77-86.
11. 藤井晶, 向川均, 黒田友二, 2013: 2010 年夏のロシアブロッキングのメカニズムと予測可能性、京都大学防災研究所年報、５６B、印刷中
12. 藤部文昭, 2011: 日本の気候の長期変動と都市化 天気, 58, 5-18.
13. 藤部文昭, 2012: 観測データから見た日本の都市気候, 気象研究ノート, (224), 1-23.
14. 藤部文昭, 2012: 都市の気候変動と異常気象 ―猛暑と大雨をめぐって―, 朝倉書店, 176pp.
15. 藤部文昭, 2012: 気象災害と気候変動, 都市問題, 103(10), 4-9.
16. 藤部文昭, 2013: 気温の世界最高記録とされる「バスラの 58.8℃」について, 天気, 60, 125-127.
17. 別所康太郎, 中澤哲夫, 川畑拓矢, 釜堀弘隆, 高野洋雄, 新藤永樹, 國井勝, 原昌弘, 高橋清利, 海老田綾貴, 太田行哉, 古林慎哉, 守谷昌己, 本田有機, 澤田謙, 2010: 伊勢湾台風再現実験プロジェクト. 天気, 57, 247-254.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：23 件

1. Bessho, K., T.Nakazawa, H.Kamahori, E.Shindo, M.Hara, T.Kawabata, M. Kunii, N.Kohno, 2009 : Re-analysis/Prediction of Typhoon Vera (1959) Project, International Workshop on Advancement of Typhoon Track Forecast Technique（2009.12.2, 東京・日本財団ビル）

2. Fujibe, F., 2009: Urban warming in Japanese cities and its relation to climate change monitoring, The Seventh International Conference on Urban Climate (2009.6.29, 横浜国際平和会議場)
3. Harada, Y., S.Kobayashi, Y.Ota, H.Onoda , S.Yasui, K.Onogi, H.Kamahori, C.Kobayashi, H.Endo, K.Miyaoka, A.Ebita, R.Kumabe, K.Takahashi, and M.Moriya, 2013: The Japanese 55-year Reanalysis “JRA-55”: progress and status. GCOS/WCRP AOPC 第 18 回会合(2013.4.5, スイス・ジュネーブ)
4. Kamahori, H., 2009：AMY Reanalysis, 第 6 回 AMY ワークショップ（2009.12.1 中国・昆明）
5. Kamahori, H., 2010 : AMY Reanalysis. AMY Data Workshop. (2010.6.9, 東京大学生産技術研究所)
6. Kuroda, Y., 2009: High initial-time sensibility observed for the tropospheric NAM predictability with the stratospheric sudden warming. アメリカ気象学会第 17 回大気海洋流体力学会議及び第 15 回中層大気会議合同研究集会（2009.6, 米国バーモント州ストーフレーク）
7. Kuroda, Y., 2009: Influence of stratospheric sudden warming and vortex intensification on the tropical troposphere. アメリカ気象学会第 17 回大気海洋流体力学会議及び第 15 回中層大気会議合同研究集会（2009.6, 米国バーモント州ストーフレーク）
8. Kuroda, Y. and K. Yamazaki, 2010: Influence of the solar cycle and QBO modulation on the Southern Annular Mode”, SCOSTEP Symposium STP12, (2010,7, 独国・ベルリン)
9. Kuroda, Y. and K. Yamazaki, 2010: Influence of solar cycle and QBO modulation on the Southern Annular Mode, SOLARIS 研究集会 (2010,3, 独国・ポツダム)
10. Kuroda, Y. and H. Mukougawa, 2011: Role of medium-scale waves on the Southern Annular Mode, 国際測地学地球物理学連合総会 (2011,6,30 オーストラリア・メルボルン)
11. Kuroda, Y., 2011: Impact of stratospheric sudden warming on the predictability of tropospheric NAM variability, 国際測地学地球物理学連合総会 (2011,7 オーストラリア・メルボルン)
12. Kuroda, Y., 2012: Role of ultra-violet radiation on the stratosphere-troposphere coupling of the Southern Annular Mode, 太陽活動と気候ワークショップ(2012.1 名古屋)
13. Kuroda, Y., 2012: Effect of stratospheric sudden warming on the predictability of the tropospheric NAM variability, 成層圏突然昇温と気候への影響国際会議(2012.2 京都)
14. Kuroda, Y., 2012: Effect of stratospheric sudden warming on the predictability of tropospheric NAM, ヨーロッパ地球物理学連合総会（2012,4 オーストリア・ウィーン）
15. Kuroda, Y., 2013: Effect of stratospheric sudden warming on the predictability of tropospheric NAM –Numerical experiment with MRI climate model-, DynVar/SNAP 国際研究会（2013.4 英国・レディング）
16. Kuroda, Y., and M. Deushi, 2013: Modulation of the Southern Annular mode through solar UV change –chemistry-climate model simulation-, DACA13 国際研究集会（2013.7 スイス・ダボス）
17. Matsumoto, J., B. Wang, G. Wu, J. Li, P. Wu, S. Ogino, S. Mori, M. D. Yamanaka, N. Endo, H. Kubota, J. Xu, M. Hattori, T. Inoue, T. Koike, K. Tamagawa, E. Ikoma, H. Kinutani, D. Wang, H. Kamahori, K. Kamiguchi, T. Oki, T. Satomura, A. Higuchi, S. Kanae, H. Takahashi and T. Yasunari. 2013: MAHASRI, AMY, and Future Earth. The Third MAHASRI/HyARC Workshop on Asian Monsoon and Water Cycle (2013.8.28, ベトナム・ダナン)
18. Kobayashi, S., Y.Ota, Y.Harada, A.Ebita, M.Moriya, H.Onoda, K.Onogi, H.Kamahori, C.Kobayashi, H.Endo, K.Takahashi, K.Miyaoka, and R.Kumabe : The Japanese 55-year Reanalysis (JRA-55): status and plans, 第 6 回 WMO データ同化シンポジウム (2013.10.8,米国メリーランド州カレッジパーク)
19. Kamahori, H., K.Kamiguchi, J.Matsumoto, T.Koike, K.Tamagawa, E.Ikoma, and H.Kinutani, : AMY reanalysis, AMY Open Science Conference, (2013.10.27, 中国・珠海)
20. Matsumoto, J., B.Wang, G.Wu, J.Li, T.Koike, K.Tamagawa, E.Ikoma, H.Kinutani, D.Wang, H.Kamahori, and K.Kamiguchi,: AMY coordinated observations, reanalysis and data management, AMY Open Science Conference, (2013.10.26, 中国・珠海)
21. Matsumoto, J., B. Wang, G. Wu, J. Li, P. Wu, S. Ogino, S. Mori, M. Yamanaka, N. Endo, M. Hattori, T. Koike, K. Tamagawa, E. Ikoma, H. Kinutani, D. Wang, H. Kamahori, K. Kamiguchi : Asian

Monsoon Years (AMY) 2007-2012, Fifth International Workshop on Monsoons, (2013.10.29, 中国・マカオ)

22. Matsumoto, J., B.Wang, G.Wu, J.Li, P.Wu, S.Ogino, S.Mori, M.Yamanaka, N.Endo, M.Hattori, T.Koike, K.Tamagawa, E.Ikoma, H.Kinutani, D.Wang, H.Kamahori, and K.Kamiguchi : AMY coordinated observations, reanalysis and data management, The Third International Workshop on GRENE-CAAM, (2014.3.17, インドネシア・バリ)
23. Tanaka, M., 2009: 20-th Century Winter Temperature near Japan: its Relationship to the Decadal Oscillation of the Aleutian Low and Siberian High. 第 4 回日中韓気象学会（2009.11.9, つくば国際会議場）

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：57 件

1. 石原幸司, 2009；地球温暖化に伴う確率降水量変化の都道府県別評価に向けて, 極端気象現象とその影響評価に関する研究集会（2009.11, 京都大学）
2. 石原幸司, 2009；地球温暖化に伴う確率降水量変化の都道府県別評価, 水文・水資源学会 2009 年度研究発表会（2009.8, 金沢）
3. 石原幸司, 2010: 地球温暖化と異常気象, 金沢エコ推進事業者ネットワーク第 52 回全体会（2010.4, 金沢市保健所）
4. 石原幸司, 2010: 気象分野における気温変動解析法と日本の気温変化について,平成 22 年度「地球温暖化がもたらす日本沿岸域の水質変化とその適応策に関する研究」第 2 回全体会議.（2010.9, 愛知県産業労働センター）
5. 石原幸司, 2011: 地球温暖化の監視について, NPO 法人地学オリンピック日本委員会「2011 グランプリ地球にわくわく」とっぷ・レクチャー.（2011.3, 産業技術総合研究所共用棟講堂）
6. 遠藤洋和, 尾瀬智昭, 水田亮, 松枝未遠, 2011: MRI-AGCM による 2010 年夏の再現実験. 第８回「異常気象と長期変動」研究集会, 京都, 京都大学宇治キャンパス, 2011 年 11 月 9 日.
7. 遠藤洋和, 尾瀬智昭, 水田亮, 松枝未遠, 2011: MRI-AGCM による 2010 年夏の再現実験. 長期予報研究連絡会, 東京, 気象庁, 2011 年 7 月.
8. 遠藤洋和, 水田亮, 尾瀬智昭, 松枝未遠, 2011: MRI-AGCM による 2010 年夏の再現実験. 日本気象学会 2011 年度春季大会, D155, 東京, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2011 年 5 月.
9. 遠藤洋和, 2011: 過去 100 年の日降水量データによる梅雨の季節進行の長期変化（その２）. 日本気象学会 2011 年度春季大会, B105, 東京, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2011 年 5 月.
10. 遠藤洋和, 小林ちあき, 釜堀弘隆, 太田行哉, 古林慎哉, 2013: JRA-55 大気モデルによる AMIP 型実験, 日本気象学会春季大会, C153, 東京, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2013 年 5 月 15 日.
11. 釜堀弘隆, 高橋清利, 海老田綾貴, 太田行哉, 古林慎也, 守谷昌己, 別所康太郎, 中澤哲夫, 2009：気象庁全球同化システムを用いた伊勢湾台風再解析、台風研究会（2009.9.17, 京都大学防災研究所）
12. 釜堀弘隆, 別所康太郎, 川畑拓矢, 新藤永樹, 原昌弘, 國井勝, 高野洋雄, 中澤哲夫, 高橋清利, 海老田綾貴, 太田行哉, 古林慎哉, 守谷昌己, 2009：伊勢湾台風再現実験、第 7 回「異常気象と長期変動」研究集会（2009.10.30, 京都大学防災研究所）
13. 釜堀弘隆, 高橋清利, 海老田綾貴, 太田行哉, 小林慎哉, 守谷昌己, 別所康太郎, 中澤哲夫, 2009：伊勢湾台風再現実験−気象庁全球同化システムを用いた伊勢湾台風再解析−, 日本気象学会 2009 年秋季大会予稿集, C152.（2009.11.25, アクロス福岡）
14. 釜堀弘隆, 2010: AMY 再解析. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会.（2010.5.27, 幕張メッセ国際会議場）
15. 釜堀弘隆, 2010: 台風場の降水量分布. 2010 年度気象学会秋季大会.（2010.10.28, 京都テルサ）
16. 釜堀弘隆, 2010: 再解析プロダクトにおける降水量の品質(その 2) . 2010 年度気象学会秋季大

会, (2010.10.29, 京都テルサ)
17. 釜堀弘隆, 2011: 2010 年不活発な台風活動. 日本気象学会 2010 年秋季大会, D162（2011.5.18, 国立オリンピック記念青少年総合センター）
18. 釜堀弘隆, 2011: 再解析の過去、現在、未来, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会. (2011.5.27, 幕張メッセ国際会議場)
19. 釜堀弘隆, 2011: JRA-55 長期再解析, 第８回「異常気象と長期変動」研究集会（2011.11.9, 京都大学防災研究所）
20. 釜堀弘隆, 2011: 全球降水量への熱帯低気圧の寄与, 2011 年気象学会春季大会 A151（2011.11.16, 名古屋大学）
21. 釜堀弘隆, 2012: 気象庁再解析 JRA-25 と JRA-55. 第２回データ同化ワークショップ（2012.1.13, JAMSTEC 横浜研究所）
22. 釜堀弘隆, 海老田綾貴, 古林慎哉, 太田行哉, 守谷昌己, 隈部良司, 大野木和敏, 原田やよい, 安井壯一郎, 宮岡健吾, 高橋清利, 小林ちあき, 遠藤洋和, 相馬求, 及川義教, 石水尊久, 2012: JRA-55 プロジェクトの現状. 日本地球惑星科学連合 2012 年大会. 2012 年 5 月 21 日（千葉市・幕張メッセ）
23. 釜堀弘隆, 2012: JRA-55 における熱帯低気圧検出率. 日本気象学会 2012 年度秋季大会, D368, 2012 年 10 月 5 日（北海道大学).
24. 釜堀弘隆, 太田行哉, 原田やよい, 2013: RA-55 ファミリーにおける TC 表現. 日本気象学会春季大会, C159, 東京, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2013 年 5 月 15 日.
25. 釜堀弘隆, 2013: 大気再解析はどの程度現実大気を再現しているか? 日本地球惑星科学連合 2013 年大会. 2013 年 5 月 19 日（千葉市・幕張メッセ）
26. 釜堀弘隆, 2013: 再解析に表現される台風の特性と有用性. 台風研究会. (2013.9.9. 京都大学防災研究所)
27. 釜堀弘隆, 遠藤洋和, 原田やよい, 2013: JRA-55AMIP に表現される熱帯低気圧. 日本気象学会春季大会, C159, 東京, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2013 年 5 月 15 日.
28. 川畑拓矢, 國井勝, 別所康太郎, 釜堀弘隆, 中澤哲夫, 本田有機, 澤田謙, 2009：気象庁メソ解析を用いた伊勢湾台風と高潮の再予報、台風研究会（2009.9.17, 京都大学防災研究所）
29. 川畑拓也, 國井勝, 高野洋雄, 別所康太郎, 釜堀弘隆, 中澤哲夫, 本田有機, 澤田謙, 2009 : 伊勢湾台風再現実験−気象庁メソ解析による再予報−, 日本気象学会 2009 年秋季大会予稿集, C154. (2009.11.25, アクロス福岡)
30. 黒田友二, 2009: 太陽活動の対流圏成層圏結合に及ぼす役割−南北両半球の比較−. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, F207-022（2009.5.21, 幕張国際会議場）
31. 黒田友二, 2009：成層圏突然昇温時に見られた対流圏環状モード予測可能性に対する大きな初期値敏感性, A201（2009.11.25, アクロス福岡）
32. 黒田友二, 2009: 太陽黒点変動と気候変動の関係. 地文台シンポジウム（2010.1.26, 東京大学宇宙線研究所）
33. 黒田友二, 2010: 成層圏－対流圏力学結合、日本気象学会秋季大会、基調講演（2010.10.28, 京都テレサ）
34. 黒田友二, 2011: 中間規模波動の南半球環状モード形成に果たす役割. 日本気象学会 2010 年秋季大会, B303（2011.11.18, 名古屋大学）
35. 黒田友二, 2012: 太陽紫外線変化による南半球環状モードの変調. 日本気象学会 2012 年春季大会, C164（2012.5.26,つくば国際会議場）
36. 黒田友二, 小寺邦彦、2012: 多変数場間に対しての最大共分散法. 日本気象学会 2012 年秋季大会, C207（2012.10.4, 北海道大学）
37. 黒田友二, 2012: 北大西洋振動に果たす各波動の役割. 日本気象学会 2012 年秋季大会, D305（2012.10.5, 北海道大学）
38. 小林ちあき, 2011: 2010 年夏季における対流圏中緯度域の昇温について. 2011 年気象学会春季大会 D156
39. 小林ちあき, 2011: 2010 年夏季における中緯度対流圏の昇温」　平成 23 年長期予報研究連絡

会（研究会「長期予報と大気大循環」）2011 年 7 月 12 日

40. 小林ちあき, 2012: 中緯度対流圏の昇温に対する熱帯海面水温の影響. 研究集会「週間及び 1 か月予報における顕著現象の予測可能性」2012 年 11 月 21 日（京都大学防災研研究所）
41. 小林ちあき, 太田行哉, 遠藤洋和, 釜堀弘隆, 2013: 従来型観測データのみを用いた長期再解析(JRA-55C)の評価(中間報告)日本気象学会 2013 年度春季大会 C152　2013 年 5 月 15 日
42. 小林ちあき, 岩崎俊樹, 2013: JRA-55 で表現された平均子午面循環の特徴(2) 日本気象学会 2013 年度秋季大会, D356, 2013 年 11 月 21 日（北海道大学）
43. 中澤哲夫, 釜堀弘隆, 別所康太郎, 川畑拓矢, 高野洋雄, 新藤永樹, 原昌弘, 國井勝, 2009：伊勢湾台風再予報実験の概要、台風研究会（2009.9.17, 京都大学防災研究所）
44. 中澤哲夫, 釜堀弘隆, 別所康太郎, 川畑拓也, 高野洋雄, 新藤永樹, 原昌弘, 國井勝, 高橋清利, 海老田綾貴, 太田行哉, 小林慎哉, 守谷昌己, 2009：伊勢湾台風再現実験−概要−, 日本気象学会 2009 年秋季大会予稿集, C151.（2009.11.25, アクロス福岡）
45. 藤部文昭, 2009: 都市気温とその経年変化率の曜日依存性, 日本気象学会 2009 年度春季大会, A102.（2009.5.28, つくば国際会議場）
46. 藤部文昭, 2009: 近年の豪雨, 大雨の発生傾向, 第 32 回メソ気象研究会・気象災害委員会共催発表会（2009.11.24, 九州大学国際ホール）
47. 藤部文昭, 2010: 極値分布関数の適合度評価に関する検討, 日本気象学会 2010 年度秋季大会, B111 (2010.10.27, 京都テルサ).
48. 藤部文昭, 2010: 区内観測による日降水量データのディジタル化と降水長期変動解析への利用, 日本地理学会 2010 年秋季学術大会（2010.10.3, 名古屋大学）
49. 藤部文昭, 2010: 都市気温の長期変化率の風速・降水への依存性, 日本気象学会 2010 年度春季大会, B207 (2010.5.24, 国立オリンピック記念青少年総合センター).
50. 藤部文昭, 2011: 降水の長期変動から見た渇水問題, 日本気象学会第 36 回メソ気象研究会 (2011.11.15, 名古屋大学)
51. 藤部文昭, 2011: 長期観測データから見た日本の気候変動と異常気象, 地球観測連携拠点（温暖化分野）平成 23 年度ワークショップ（2011.12.2, 千代田放送会館）
52. 藤部文昭, 2012: 日本における短時間極端降水の経年変化, 日本気象学会 2012 年度春季大会, A208, 2012 年 5 月 27 日（つくば国際会議場）
53. 藤部文昭, 2012: 暑熱（熱中症）による国内死者数と夏季気温の長期変動, 日本気象学会 2012 年度秋季大会, B367, 2012 年 10 月 5 日（北海道大学).
54. 藤部文昭, 2012: 観測データからみる極端な気象現象, 第 10 回環境研究シンポジウム, 2012 年 11 月 14 日（一橋大学一橋講堂).
55. 藤部文昭, 2013: 降水の統計と長期変動ー弱い降水を中心としてー, 日本気象学会第 40 回メソ気象研究会（2013.11.18, 東北大学百周年記念会館）【発表予定】
56. 藤部文昭, 石原幸司, 2009: 日本域の地上気温の長期格子点データに含まれる都市バイアスの検討, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, B214.（2009.11.26, アクロス福岡）
57. 松本淳, 赤坂郁美, 久保田尚之, 遠藤伸彦, 荻野慎也, 伍倍明, 服部美紀, 井上知栄, 釜堀弘隆, 上口賢治, 玉川勝徳, 生駒英二, 小池俊雄, 2012: Recent activities in MAHASRI and AMY. 第 8 回南アジアおよびインドシナにおける自然環境と人間活動に関する研究集会, 2012 年 12 月 22 日（京都大学防災研研究所）

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：18 件

1. Endo, H., 2011: Long-term changes of Seasonal Progress in Baiu rainfall using 109 years (1901-2009) daily station data. 5th Japan-China-Korea joint conference, (2011.10.25, 釜山)
2. Endo H. and M. Matsueda, 2012: Long-term variations of circulation in East Asian summer during the past half century. 4th WCRP International conference on reanalysis,（2012.5.7-11, メリーランド）
3. Endo H. 2012: Observed long-term changes of seasonal progress in Baiu rainfall based on

109 years (1901-2009) daily station data. AOGS - AGU (WPGM) Joint assembly, (2012.8.16, シンガポール)

4. Fujibe, F., 2009: Day-of-the-week variations and their long-term trends of urban temperature in Japan, The Seventh International Conference on Urban Climate (2009.7.3, 横浜国際平和会議場)
5. Fujibe, F. 2010: Day-of-the week variations and their long-term trends of urban temperature in Japan, International Workshop on Urban Climate Projection for better Adaptation Plan (2010.6.3, 筑波大学)
6. Fujibe, F., 2010: Dependence of long-term temperature trends on wind and precipitation at urban stations in Japan, The Ninth Symposium on the Urban Environment. (2010.8.2, 米国コロラド州キーストーン)
7. Ishihara, K., 2010: Comparison of GHCN temperature data with JMA data at 17 climatological stations in Japan, Workshop on Land-surface temperature data sets for the 21st Century.（2010.9 月, 英国エクセター）
8. Ishihara, K., 2010: Assessment for the 30-Year Daily Precipitation Change due to Global Warming Using Regional Frequency Analysis, WCRP-UNESCO Workshop on metrics and methodologies of estimation of extreme climate events.（2010.9, パリ）
9. Ishihara, K., 2010: Quantifying the uncertainty range of regional temperature change due to global warming using its normality, AGU Fall Meeting（2010.12, サンフランシスコ）
10. Kamahori, H., 2012: Tropical Cyclones Represented in JRA-55. 4th WCRP International conference on reanalysis. 2012 年 5 月 7 日（米国・シルバースプリング）
11. Kobayashi, C., H. Endo, H. Kamahori, Y. Ota, and K.Onogi, 2012: Introduction and early results of JRA-55C: subset of JRA-55. 4th WCRP International conference on reanalysis. 2012 年 5 月 7 日（米国・シルバースプリング）
12. Kobayashi, C. and T. Iwasaki, 2014: Brewer-Dobson circulation diagnosed from JRA-55. SPARC 2014 General Assembly. 2014 年 1 月 16 日（ニュージーランド・クイーンズタウン）
13. Kuroda, Y., 2009: High initial-time sensibility observed for the tropospheric NAM predictability with the stratospheric sudden warming. アメリカ地球物理学連合（AGU）秋季大会 A13H-0347（2009.12.14, 米国サンフランシスコ）
14. Kuroda, Y., 2010: Predictability of the stratospheric sudden warming and its impact on the tropospheric climate in January 2009 -Comparison with the warming of 2004 and 2006, DynVar シンポジウム. (2010.11, ボルダー).
15. Kuroda, Y., 2010: Predictability of the stratospheric sudden warming and its impact on the tropospheric climate in January 2009 -Comparison with the warming of 2004 and 2006, AGU 秋季大会. (2010.12、サンフランシスコ)
16. Kuroda, Y., 2011: Role of medium-scale waves on the Southern Annular Mode, AGU 秋季大会. (2011.12、サンフランシスコ)
17. Kuroda, Y., 2012: Role of waves on the Northern Annular Mode, AGU 秋季大会. (2012.12、サンフランシスコ)
18. Kamahori, H., K.Kamiguchi, J.Matsumoto, T.Koike, K.Tamagawa, E.Ikoma, and H.Kinutani, AMY reanalysis. Fifth International Workshop on Monsoons (2013.10.29, 中国マカオ)

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：23 件

1. 石原幸司, 2009；地球温暖化に伴う気温変化の正規性を利用した都道府県別評価, 日本気象学会 2009 年度秋季大会（2009.11.25, アクロス福岡）
2. 石原幸司, 2009；CMIP3 マルチ気候モデルにおける全球平均および帯状平均気温の再現性評価,

日本気象学会 2009 年度秋季大会（2009.11.27, アクロス福岡）
3. 石原幸司, 2010: 学校における地球温暖化学習についての提案, 日本気象学会 2010 年度春季大会 (2010.5.24, 国立オリンピック記念青少年総合センター)
4. 石原幸司, 2010: 日本の気候監視地点における気象庁データと GHCN データとの比較, 日本気象学会 2010 年度秋季大会 (2010.10.29, 京都テルサ)
5. 石原幸司, 2010: 高解像度全球大気モデルによる確率降水量の将来変化, 日本気象学会 2010 年度秋季大会 (2010.10.29, 京都テルサ)
6. 石原幸司, 2010: 地域頻度解析を用いた確率降水量変化の不確実性評価, 水文・水資源学会 2010 年度研究発表会 (2010.9, 東京・法政大学)
7. 遠藤洋和, 2009: 過去 100 年の日降水量データによる梅雨の季節進行の長期変化. 日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, P367. （2009.11.27, アクロス福岡）
8. 遠藤洋和, 2011: 梅雨の過去の長期変化. 第 9 回環境研究シンポジウム. 東京, 2011 年 11 月 8 日.
9. 遠藤洋和, 2013: 北東日本の夏季気温の長期変化とその要因, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, P145, 仙台, 仙台国際センター, 2013 年 11 月 19 日.
10. 小口哲史, 藤部文昭, 2011: 日本における降水の長期変動の季節特性と地域特性, 日本気象学会 2011 年度春季大会, P413 (2011.5.21, 国立オリンピック記念青少年総合センター)
11. 釜堀弘隆, 2009：2008 年夏期循環場と南西諸島の少雨、日本気象学会 2009 年春期大会予稿集, P326. （2009.5.30, つくば国際会議場）
12. 釜堀弘隆, 2010: 再解析プロダクトにおける降水量の品質. 2010 年度気象学会春季大会. (2010.5.23, 国立オリンピック記念青少年総合センター)
13. 釜堀弘隆, 2012: 全球降水量への熱帯低気圧の寄与（2）. 日本気象学会 2012 年度春季大会, A303, 2012 年 5 月 28 日（つくば国際会議場）
14. 上口賢治, 2012: 高解像度 GCM を用いた 21 世紀末の大雨リスクマップ作成について. 日本気象学会 2012 年度春季大会, P202, 2012 年 5 月 27 日（つくば国際会議場）
15. 小林ちあき, 2009: 北半球中緯度下部成層圏オゾントレンドにおける力学的要因の寄与, 日本気象学会 2009 年度秋季大会
16. 小林ちあき、柴田清孝, 2010: マルチ気候モデル実験における北半球夏のジェットと成層圏オゾンとの関係. 日本気象学会 2010 年度秋季大会
17. 小林ちあき, 2011: 従来型観測データのみを用いた長期再解析データの作成. 日本気象学会 2011 年度秋季大会
18. 小林ちあき, 太田行哉, 遠藤洋和, 釜堀弘隆, 2012: 従来型観測データのみを用いた長期再解析(JRA-55C)の初期結果. 日本気象学会 2012 年度春季大会, P102, 2012 年 5 月 26 日（つくば国際会議場）
19. 小林ちあき, 岩崎俊樹, 2012: JRA-55 で表現された平均子午面循環の特徴. 日本気象学会 2012 年度秋季大会, P177, 2012 年 10 月 3 日（北海道大学）
20. 小堀佳奈子, 加藤央之, 藤部文昭, 2013: 日本の過去 100 年間の気温観測値における広域変動成分と都市化成分の特性, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, P154 (2013.11.19, 仙台国際センター)【発表予定】
21. 田中実, 2009: 20 世紀における日本付近の冬の気温とアリユーシャン低気圧(PDO)・ENSO の関係、日本気象学会 2009 年度春季大会講演予稿集 P241.（2009.5.29, つくば国際会議場）
22. 宮島純也, 藤部文昭, 2011: 時間スケール別にみた日本の極端降水の気候学的研究, 日本気象学会 2011 年度春季大会, P412 (2011.5.21, 国立オリンピック記念青少年総合センター)
23. 宮島純也, 藤部文昭, 2011: 時間スケール別にみた日本の極端降水の気候学的特性, 第 9 回環境研究シンポジウム (2011.11.8, 一橋記念講堂)

大気環境の予測・同化技術の開発

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度

研究代表者：柴田清孝[1)]（環境･応用気象研究部第一研究室長）、眞木貴史[2)]（環境･応用気象研究部第一研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１　オゾン化学モデルの高度化

眞木貴史、関山剛、出牛真、梶野瑞王[3)]、直江寛明[4)]、田中泰宙[5)]、大島長[6)]、（環境・応用気象研究部）、中村貴[7)]、池上雅明[7)]、桜井敏之[7)]（本庁環境気象管理官室）

副課題２　エーロゾルモデルの高度化

眞木貴史、関山剛、田中泰宙、大島長[3)]、梶野瑞王[3)]、出牛真[5)]（環境・応用気象研究部）、藤原宏章[7)]（本庁環境気象管理官室）

副課題３　大気質モデルの開発

眞木貴史、関山剛、田中泰宙、大島長、梶野瑞王（環境・応用気象研究部）

研究の目的

全球規模の予測精度向上のため、全球のオゾン化学モデル、エーロゾルモデルと同化技術の研究、局地規模（メソスケール）の予測精度向上のため、メソスケールのオゾン化学モデル、エーロゾルモデルと同化技術の研究等に取り組み、全球規模及び局地規模でのオゾン、黄砂を含むエーロゾル、紫外線、広域大気汚染物質等の環境予測精度の向上を図る。

研究の動機・背景

副課題１　オゾン化学モデルの高度化

対流圏や成層圏の化学と輸送について世界標準のレベルになっているが、部分解能の増加や積分時間の延伸のトレンドに対応するため、個々の過程についてさらに改良と計算効率を高める必要がある。また予測に必要な初期値ならびに実況監視の精度を向上させるため、観測データを同化する技術を導入する必要がある。また、日本域の詳細な越境大気汚染予測、紫外線予測などの精度を向上するため、新たに領域オゾン化学モデルを開発する。

副課題２　エーロゾルモデルの高度化

モデル中の巨大粒子の数密度が系統的に小さいエラーを改善するため、自然起源エーロゾル放出過程スキーム、巨大粒子の輸送・沈着スキームを見直す必要がある。また、雲とエーロゾルの混合状態をより現実的に表現するスキームを導入する。さらに、予測に必要な初期値ならびに実況監視の精度を向上させるため、観測データを同化する技術を導入する必要がある。また、日本域の詳細な黄砂予測などの精度を向上するため、新たに領域エーロゾルモデルを開発する。

副課題３　大気質モデルの開発

越境大気汚染予測、紫外線予測、黄砂予測などの精度を向上するため気体とエーロゾルを統一的に扱うことのできる全球大気質モデルと領域大気質モデルを開発する。

研究の成果の到達目標

副課題１　オゾン化学モデルの高度化

これまで開発してきた全球のオゾン化学モデルをベースに、オゾンー化学物質に係る、

① 化学・輸送過程の高度化

② 観測値の同化技術の導入

[1)] 平成 21 年度～平成 24 年度、[2)] 平成 25 年度、[3)] 平成 22 年度～平成 25 年度、[4)] 平成 21 年度、[5)] 平成 21 年度～平成 22 年度、[6)] 平成 22 年度、[7)] 平成 24 年度～平成 25 年度

を実施し、予測に必要な初期値解析並びに温暖化気体に関する実況監視機能の基礎技術を高度化する。また、新たに、
③　領域オゾン化学モデル開発
を行い、越境大気汚染対応、紫外線予測などの監視・予測技術を高度化する。

副課題２　エーロゾルモデルの高度化
これまで開発してきた全球のエーロゾルモデルをベースに、エーロゾルに係る、
①　化学・輸送過程の高度化
②　観測値の同化技術の導入
を実施し、黄砂などの予測に必要な初期値解析並びに実況監視機能の基礎技術を高度化する。また、新たに、
③　領域エーロゾルモデル開発
を行い、黄砂予測技術を高度化する。

副課題３　大気質モデルの開発
オゾン化学とエーロゾルとの統合を行い、両者を統合的に扱う大気質モデルを作成することにより、温暖化予測技術を高度化する。
①　全球大気質モデルの開発
②　領域大気質モデルの開発

研究結果

（成果の概要）

研究期間の間にオゾンモデルとエーロゾルモデルの高度化を達成することができた。さらに、カップラーを用いた全球大気質モデルの開発を行い、気象研究所地球システムモデルとして温暖化予測技術の高度化を行うと共に、全球大気質モデルを本庁に提供して業務化を行うことができた。領域大気質モデルに関してもオフライン版の開発を行い、本庁に提供した。また、アンサンブル・カルマン・フィルタを用いたオゾン・エーロゾルのデータ同化手法の開発も行い衛星観測データを同化することによって当該物質の再現性が向上することを示すことができた。加えて、統計的な逆推定の技術を用いて大気微量成分の放出量を逆推定する技術を開発した。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　オゾン化学モデルの高度化

①　対流による鉛直輸送過程についての感度実験を行い、対流圏上部での輸送計算精度を向上させた。
②　夜間における化学反応計算の近似精度を上げるようモデルを改良した。主に中間圏および成層圏において精度が向上したとともに、太陽プロトンイベントが大気微量成分に及ぼす影響を定量的に評価することが可能となった。
③　組み込むべき化学反応の見直し・変更・追加をおこなうとともに、化学反応係数データベースの更新を行うことでモデル精度を向上させた。
④　国際モデル相互比較実験（SPARC CCMVal プロジェクト）に参加し、成層圏オゾン化学モデル気候予測実験を行った。また、この実験結果を用いて、成層圏における物質輸送特性の長期変動の解析をおこなった。
⑤　いくつかのエミッションインベントリ（MACCity, GFED, REAS など）についてモデルで利用できるよう整備し、感度実験を行なった。
⑥　全球オゾン化学モデルと領域化学輸送モデル(NHM-Chem)とのネスティング計算を行った。
⑦　アンサンブル・カルマン・フィルタと全球成層圏オゾン化学輸送モデルを組み合わせて衛星観測オゾン全量（TOMS）のデータ同化システムを開発した。プロトタイプ版ではあるが、このデータ同化システムが計算したオゾン全量解析値の精度はナッジングデータ同化法に比べて著しく向上することを確認した。

⑧ 衛星によって観測されたオゾン全量および３次元成層圏オゾン濃度のデータ同化システムをアンサンブル・カルマン・フィルタ手法を用いて構築し、データ同化解析精度の検証を行った。また、この同化システムを用いたオゾン同化・予報サイクル実験を行い、予測精度が従来のナッジング同化手法より大幅に向上することを確認した。
⑨ 窒素酸化物やハロゲンなど複数の成層圏オゾン関連化学種を同時にデータ同化するシステムを開発した。
⑩ 対流圏一酸化炭素およびオゾン衛星観測データの同化システムの開発を行った。

副課題２　エーロゾルモデルの高度化
① オンライン化学輸送モデルの気象モデル（gsmuv）を気象庁現業モデル（GSAM）に高度化する準備として、気象庁本庁より GSAM の提供を受けてこれにパッシブトレーサーの輸送過程を組み込んだプロトタイプ（GSAM-TM）を作成して輸送実験を実施した。
② エーロゾルの微物理過程を詳細に計算できるボックスモデルの開発を行い、エーロゾルの混合状態の変化がエーロゾルの光学特性や雲凝結核特性に及ぼす影響を評価した。本成果は学術論文として掲載された。
③ エーロゾルの微物理過程を詳細に扱うボックスモデルを用いて、全球モデルで使用可能なブラックカーボンの変質過程のパラメタリゼーションを新たに開発した。本成果は学術論文として掲載された。
④ 開発したブラックカーボンの変質過程のパラメタリゼーションを全球エーロゾルモデルに組み込んだ。その結果、従来と比較して、北極域などで汚染物質濃度の季節変動の再現性が向上した。
⑤ エーロゾルの除去過程のスキームを新たに開発し、領域三次元化学輸送モデルに組み込んだ。その結果、従来と比較して、ブラックカーボンの鉛直分布の再現性が向上した。本成果を学術論文としてまとめた。
⑥ 先端的なエーロゾルの航空機観測を実施し、数値モデルの開発・検証・高度化に必要な観測データを取得した。また観測データを用いて、エーロゾルの除去過程の解明を行ったとともに、数値モデルの高度化に活用できる成果を得た。本成果は学術論文として掲載された。
⑦ 東アジア域でのブラックカーボンの地上観測結果と領域三次元化学輸送モデルによる計算結果を組み合わせることで、中国におけるブラックカーボンの排出源データの定量的評価を行った。本成果は学術論文として掲載された。
⑧ 衛星搭載ライダー（CALIPSO）によって観測された対流圏エアロゾルの減衰後方散乱係数をアンサンブル・カルマン・フィルタによって４次元データ同化するシステムの開発に成功した。このデータ同化システムを用い、東アジア域ダストエアロゾル（黄砂）および硫酸エアロゾルの客観解析値を作成することができた。また、このシステムを地上ライダー観測データ（AD-NET）にも適用し、同様に解析値作成が可能であることを確認した。
⑨ エアロゾルの衛星観測が黄砂予測計算の初期値精度に与えるインパクトを観測システムシミュレーション実験（OSSE）によって定量評価した。この実験により、CALIPSO エアロゾルライダー観測値をデータ同化する前後で、黄砂分布解析値の誤差は半分程度に減少することが示された。
⑩ OSSEによる精度検証を完了したCALIPSO全球エアロゾルデータ同化システムを本庁スパコンシステムに移植した。
⑪ 極軌道衛星によって観測されているエーロゾルカラム量の二次元分布の同化に向けた検討を開始した。地表面からの反射が強く、エーロゾル観測の難しい砂漠域でのデータ同化および、リトリーバル過程も同化システムに組み込む新しい黄砂同化システム構築のため JAXA EORC のグループと意見交換・共同研究を開始し、観測演算子の開発に着手した。
⑫ 大気大循環モデル(GSMUV)に更新された新しい全球エーロゾルモデル(MASINGAR-Mk2)への同化システムの移植(MASINGAR-Mk2/LETKF)を開始した。これを機にアンサンブル・カルマン・フィルタ同化システムの更新も行う予定である。
⑬ 領域エアロゾルモデルを用いたアンサンブルデータ同化システムを構築し、そのシステムを用

いて福島第一原発事故のセシウム拡散シミュレーションを行った。そのシミュレーション結果と実観測データを比較検証することによって、モデルのエアロゾル湿性沈着プロセスの改良を行った。

⑭ 炭素循環の解析で用いられてきたベイズ統合逆解析を用いて黄砂の発生量推定を行い、アンサンブル・カルマン・フィルタによる推定結果と定性的に一致する結果を得ることができた。

⑮ Green 関数法を用いた排出量推定システムを開発し、黄砂や一酸化炭素の排出量を推定した。また、4 次元変分法を用いた黄砂放出量推定法を開発した。

副課題３　大気質モデルの開発

① 短寿命化学種の予測精度向上を目的として、より安定でより精度の良い化学反応計算スキーム EBI 法を導入した。

② 二酸化硫黄などの酸化過程を新たに導入した。

③ 対流圏オゾンライダー（佐賀、つくば）および航空機による観測データを用いて、対流圏オゾンおよび一酸化炭素濃度についてモデル精度を検証した。

④ 領域化学輸送モデル（EMTACS）を気象研全球オゾン化学モデルにネスティングし、アジア領域を対象とした大気質の再現実験を 60km メッシュ解像度で 2006 年について行い(MRI-PM/c モデル)、エアロゾル粒径分布、化学組成、混合形態（特に硫酸、硝酸、アンモニウムの微小粒子ー海塩粒子分配)、湿性除去量（降水中の無機イオン濃度）について、再現精度の検証を行った。

⑤ 東アジア領域 20km メッシュの NHM とオフライン結合した NHM-Chem モデルを構築し、本庁の現業システムに納入し、平成 26 年度から開始予定の領域大気質モデルによるオキシダント予測に関するガイダンスの作成を開始した。また、事例解析を行った。

⑥ 1-way のオンライン結合版 NHM-Chem モデルを構築し、その精度検証を行うとともに、このモデルを用いて東アジア領域(20km メッシュ)における対流圏オゾンの輸送・反応解析を実施した。

⑦ 領域大気質モデルのデータ同化システムを開発するための準備として、予報研究部から提供を受けた NHM-LETKF（アンサンブル・カルマン・フィルタと気象庁非静力学領域気象モデルを組み合わせたデータ同化システム）とオフライン移流拡散モデルのカップリング実験を行った。これによって、ナッジングではなくアンサンブル・カルマン・フィルタによって移流拡散モデルの気象場を作成することが可能になり、今後の領域大気質モデル版データ同化システム開発の技術的目処を立てることができた。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

なし

成果の他の研究への波及状況

① 気象庁において現在運用されている紫外線予測情報の提供については、本研究課題で開発した全球オゾン化学モデルを用いた予測結果が用いられている。

② 気象庁において現在運用されているスモッグ全般気象情報の提供については、本研究課題で開発した全球オゾン化学モデルを用いた予測結果が用いられている。

③ GSAM-TM の開発は、現在検討がすすめられている庁内における開発過程の統一化に貢献できるものと考えられる。

④ 高解像度版エーロゾルモデルは次期の黄砂予測情報に用いるためのモデルとして、現在本庁地球環境・海洋部と共同でモデル検証を行っている。

⑤ 継続して開発を行っているエーロゾルの微物理過程のスキームを用いて、ブラックカーボンの混合状態に着目したエーロゾルモデルの開発を行っている（科学研究費補助金・若手研究（Ｂ）「全球大気大循環・エアロゾル結合モデルの開発と黒色炭素粒子の気候影響評価」)。

⑥ 開発したエーロゾルの除去過程のスキームを導入した領域三次元化学輸送モデルを用いて、東アジア域で実施された航空機観測に対してモデル計算を行い、東京大学等が行っている観測研究に大きな貢献をした（科学研究費補助金・基盤研究（Ｓ）「アジアのエアロゾル・雲・降水

システムの観測・モデルによる統合的研究」)。

⑦ 開発したブラックカーボンの変質過程のパラメタリゼーションを東京大学の全球気候モデルに組み込み、ブラックカーボンの混合状態がエーロゾルの放射強制力へ及ぼす影響を評価した（環境省環境研究総合推進費「地球温暖化対策としてのブラックカーボン削減の有効性の評価」)。

⑧ ここで開発したデータ同化システムは地球環境研究総合推進費「大気環境に関する次世代実況監視及び排出量推定システムの開発」(代表機関：東北大、H21-23)、地球環境研究総合推進費「風送ダストの飛来量把握に基づく予報モデルの精緻化と健康・植物影響評価に関する研究」(代表機関：国立環境研、H21-23)、地球環境研究総合推進費「PM2.5 規制に影響する汚染混合型黄砂の組成的特徴と飛来量／降下量に関する研究」(代表機関：国立環境研 H24-26)、科研費若手Ｂ「高精度データ同化システムの開発による大気微量成分の濃度予測可能性の検証」(代表者：関山、H20-22)、科研費挑戦的萌芽「大気微量成分の衛星観測を事前評価するシステムの構築」(代表者：関山、H24-26)、科研費基盤 B「放射性核種トレーサーのアンサンブルデータ同化と移流拡散沈着過程の高精度解析」(代表者：関山、H24-27) などの外部予算研究において非常に重要なツールとして利用された。またこれらの外部予算研究の研究成果を利用することにより、データ同化システムのパラメータ設定などを向上させてシステムの精度を上げることができた。

⑨ 現状では得難かった黄砂発生域（砂漠域）での衛星データの取得、およびデータ同化による解析値の作成は、発生域での黄砂の挙動理解（発生源逆推定）につながる。

⑩ 本課題で開発したベイズ統合逆解析を用いて福島原子力発電所事故の際に放出された放射性物質の放出量推定を実施している。

⑪ 黄砂リトリーバル・同化システムは既存の MODIS/TERRA, AQUA 衛星観測をターゲットに行われているが、打ち上げ予定の GCOM-C にも適応が可能である。

⑫ 東アジア領域 20km メッシュの NHM とオフライン結合した NHM-Chem モデルは、本庁における大気汚染気象業務の高精度化に資するものと期待できる。

⑬ エアロゾル過程の精緻化により、粒径分布、光学特性、吸湿特性を予測することにより、視程等の高精度予測が可能になる。

今後の課題

① 精度向上および効率的な現業化のために、全球エアロゾルデータ同化システムで利用しているエアロゾルモデルを最新バージョンのものに更新し、本庁現業の黄砂モデルにも対応させる必要がある。

② 2015年打ち上げ予定の次世代ライダー衛星EarthCAREの観測値を用いたデータ同化への準備として、EarthCARE の OSSE を実施することが望ましい。

③ 現業化に必要なシステムの安定的運用という観点から、エアロゾルのライダー観測だけでなく光学的厚さ観測（衛星イメージャーあるいは地上サンフォトメータなど）を利用したデータ同化も行い、データセットの多様化を図る必要がある。

④ 全球モデルで培った技術を使い、領域モデルの大気化学データ同化の開発に着手する必要がある。

⑤ 5 年後あるいは 10 年後の目標となるが、大気微量成分濃度と風向風速の同時データ同化を究極的な目標として技術開発を進めることが重要である。

⑥ 複数のプラットフォームによって得られた観測データの複合同化が重要である。

⑦ 新システムの構築（MASINGAR-Mk2/LETKF）と予報・解析結果の検証を行う必要がある。

⑧ 高度な有機エアロゾルモデルを導入する必要がある。

⑨ 微物理過程、硝酸エーロゾルを全球モデルへ導入する必要がある。

⑩ 現在のモーダル・カテゴリ法から、ビン・カテゴリ法に移行する。

⑪ 2-way のオンライン結合版 NHM-Chem モデルを構築し、化学場から気象場へのフィードバックを考慮することでエアロゾルー気象相互作用研究を深める必要がある。

⑫ NHM-Chem をコミュニティモデルとし、外部機関の研究者と共同開発を行える体制を構築するこ

とが重要である。

⑬ エーロゾルとオゾン等をシームレスに取り扱うことができる化学統合モデルを開発することが重要である。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（気候・地球環境分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、486 ページを参照。

成果発表一覧

査読論文 ：70 件

1. Adachi, K., M. Kajino, Y. Zaizen, Y. Igarashi, Emission of spherical cesium-bearing particles from early stage of the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident in Japan, Scientific Report, 3:2554, doi:10.1038/srep02554, 2013.
2. Cagnazzo, C., Manzini, E., Calvo, N., Douglass, A., Akiyoshi, H., Bekki, S., Chipperfield, M., Dameris, M., Deushi, M., Fischer, A. M., Garny, H., Gettelman, A., Giorgetta, M. A., Plummer, D., Rozanov, E., Shepherd, T. G., Shibata, K., Stenke, A., Struthers, H., and Tian, W., 2009: Northern winter stratospheric temperature and ozone responses to ENSO inferred from an ensemble of Chemistry Climate Models, Atmos. Chem. Phys., 9, 8935-8948, 2009.
3. Calil, P. H. R., Doney, S. C., Yumimoto, K., Eguchi, K., and Takemura, T.: Episodic Upwelling and Dust Deposition as Bloom Triggers in Low Nutrient Low Chlorophyll Regions, J. Geophys. Res., 116, C06030, doi:10.1029/2010JC006704, 2011.
4. Chatani, S., Y. Morino, H. Shimadera, H. Hayami, Y. Mori, K. Sasaki, M. Kajino, T. Yokoi, T. Morikawa, T. Ohara, Multi-model analyses of dominant factors influencing elemental carbon in Tokyo Metropolitan Area of Japan, Aerosol and Air Quality Research, in press.
5. Deushi, M., and K. Shibata, 2011: Development of a Meteorological Research Institute Chemistry-Climate Model version 2 for the Study of Tropospheric and Stratospheric Chemistry, Papers in Meteorology and Geophysics, 62, 1–46.
6. Deushi, M., and K. Shibata, 2011: Impacts of increases in greenhouse gases and ozone recovery on lower stratospheric circulation and the age of air: Chemistry-climate model simulations up to 2100, J. Geophys. Res., 116, D07107, doi:10.1029/2010JD015024.
7. Eguchi, K., Uno, I., Yumimoto, K., Takemura, T., Nakajima, T. Y., Uematsu, M., and Liu, Z.: Modulation of Cloud Droplets and Radiation over the North Pacific by Sulfate Aerosol Erupted from Mount Kirauea, SOLA, Vol. 7, 77-80, doi:10.2151/sola.2011-020, 2011.
8. Inomata, Yayoi, Igarashi, Yasuhito, Mikami, Masao, Tanaka, Taichu Y. and Chiba, Masaru, 2009: Seasonal and Yearly Variations of Dust Deposition in Tsukuba: Possible Linkage with Variations of Dust Emission over the Asian Continent, SOLA, 5, 153-156.
9. Inomata Y., Igarashi Y., Yoshioka K., Tanaka Y. T., Chiba M., 2010: Temporal Variation of ^{222}Rn at the Summit of Mt. Fuji Associated with the Asian Continental Outflow, Atmospheric Environment, 44, 3856-3865.
10. Inomata, Y., Y. Igarashi, H. Naoe, H. Takahashi, A. Shimizu, N. Sugimoto, T. Y. Tanaka, 2011: Influence of blocking effect of mountain and local front on two Asian-dust events observed at Mt. Haruna and Tsukuba in Kanto, Japan, in 2007, Atmos. Environ. 45(26), 4429-4441, doi:10.1016/j.atmosenv.2011.05.038.

11. Inomata, Y., M. Kajino, K. Sato, T. Ohara, J. Kurokawa, H. Ueda, N. Tang, K. Hayakawa, T. Ohizumi, H. Akimoto. Emission and atmospheric transport of particulate PAHs in Northeast Asia, Environ. Sci. Tech., 46(9), 4941-4949, 2012.
12. Inomata, Y., M. Kajino, K. Sato, T. Ohara, J. Kurokawa, H. Ueda, N. Tang, K. Hayakawa, T. Ohizumi, H. Akimoto, Source contribution of surface particulate polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in Northeast Asia from source-receptor relationship analysis, Environmental Pollution, in press.
13. Itahashi, S., Uno, I., Yumimoto, K., Irie, H., Osada, K., Ogata, H., Fukushima, H., Wang, Z., and Ohara, T.: Interannual variation in the fine-mode MODIS aerosol optical depsh and its relationship to the changes in sulfur dioxide emisions in China between 2000 and 2010, Atmos. Chem. Phys., 12, 2631-2640, doi:10.5194/acp-12-2631-2012, 2012.
14. Iwamoto, Y., Yumimoto, K., Toratani, M., Tsuda, A., Miura, K., Uno, I., and Uematsu, M.: Biogeochemical implications of increased mineralparticle concentrations in surface waters of the northwestern NorthPacific during an Asian dust event, Geophys. Res. Lett., 38, L01604, doi:10.1029/2010GL045906, 2011.
15. Kajino, M., Y. Kondo, EMTACS: Development and regional-scale simulation of a size, chemical, mixing type and soot-shape resolved atmospheric particle model. Journal of Geophysical Research, 116, D02303, 28 pp., doi:10.1029/2010JD015030, 2011.
16. Kajino, M. MADMS: Modal Aerosol Dynamics model for multiple Modes and fractal Shapes in the free-molecular and near-continuum regimes. Journal of Aerosol Science, 42(4), 224—248, 2011.
17. Kajino, M., H. Ueda, K. Sato, T. Sakurai, Spatial distribution of the source - receptor relationship of sulfur in Northeast Asia, Atmos. Chem. Phys., 11, 6475-6491, 2011.
18. Kajino, M. 大気エアロゾルの性質と素過程の多様性を考慮できる軽くて正確な新しい動力学モデル, Developmenet of an efficient but accurate new dynamics model to predict a variety of atmospheric aerosol properties and their elemental processes, Earozoru Kenkyu, (in Japanese), 26(4), 296-306, 2011.
19. Kajino, M., Inomata, Y., Sato, K., Ueda, H., Han, Z., An, J., Katata, G., Deushi, M., Maki, T., Oshima, N., Kurokawa, J., Ohara, T., Takami, A., and Hatakeyama, S., 2012: Development of the RAQM2 aerosol chemical transport model and predictions of the Northeast Asian aerosol mass, size, chemistry, and mixing type, Atmos. Chem. Phys., 12, 11833-11856, doi:10.5194/acp-12-11833-2012.
20. Kajino, M., Deushi, M., Maki, T., Oshima, N., Inomata, Y., Sato, K., Ohizumi, T., and Ueda, H., 2012: Modeling wet deposition and concentration of inorganics over Northeast Asia with MRI-PM/c, Geosci. Model Dev., 5, 1363-1375, doi:10.5194/gmd-5-1363-2012.
21. Kajino, M., K. Sato, Y. Inomata, H. Ueda, Source-receptor relationship of nitrate in Northeast Asia and influence of sea salt on the long-range transport of nitrate, Atmos. Environ., 79, 67-78, 2013, doi:10.1016/ j.atmos.env.2013.06.024
22. Kajino, M., R. C. Easter, S. J. Ghan, Modal Bin Hybrid Model: a surface area consistent, triple moment sectional model for process-oriented modeling of atmospheric aerosols, J. Geophys. Res., doi: 10.1002/jgrd.50685, in press.
23. Kang, J.-Y., Tanaka, T.Y., Mikami, M. and Yoon, S.-C., 2013: A numerical study of the effect of frozen soil on dust emission during an East Asian dust event in December 2009, Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 49, 57-65, doi:10.1007/s13143-013-0007-0.
24. Katata, G., M. Kajino, T. Hiraki, M. Aikawa, T. Kobayashi, H. Nagai. A method for simple and accurate estimation of fog deposition in a mountain forest using a meteorological model. J. Geophys. Res., 116, D20102, doi:10.1029/2010JD015552,

2011.

25. Kim, C.-H., L.-S. Chang, J.-S. Kim, F. Meng, M. Kajino, H. Ueda, Y. Zhang, H.-Y. Son, Y. He, J. Xu, K. Sato, C.-K. Song, S.-J. Ban, T. Sakurai, Z. Han, L. Duan, S.-J. Lee, S.-G. Shim, S. Young, T.-Y. Lee, Long-term simulations of the sulfur concentrations over the China, Japan and Korea: A model comparison study, Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 47(4), 399-411, 2011.
26. Kim, C.-H., L.-S. Chang, F. Meng, M. Kajino, H. Ueda, Y. Zhang, H.-Y. Son, J.-J. Lee, Y. He, J. Xu, K. Sato, T. Sakurai, Z. Han, L. Duan, J.-S. Kim, S.-J. Lee, C.-K. Song, S.-J. Ban, S.-G. Shim, Y. Sunwoo, T.-Y. Lee, Sulfur deposition simulations over China, Japan and Korea: A model intercomparison study for abating sulfur emission, Environ. Sci. Pollut. Res., 19, 4073-4089, 2012
27. Kim, S.-B., Yumimoto, K., Uno I., and Chun, Y.: Dust Model Intercomparison Between ADAM and CFORS/Dust For Asian Dust Case in 2007 (March 28 - April 3), SOLA, Vol. 7A, pp.25-28, 2011.
28. Koike M., N. Takegawa, N. Moteki, Y. Kondo, H. Nakamura, K. Kita, H. Matsui, N. Oshima, M. Kajino, T. Nakajima. Measurements of regional-scale aerosol impacts on cloud microphysics over the East China Sea: Possible influences of warm sea surface temperature over the Kuroshio ocean current, J. Geophys. Res., 117, D17205, doi:10.1029/2011JD017324, 2012.
29. Kondo, Y., N. Oshima, M. Kajino, R. Mikami, N. Moteki, N. Takegawa, R. L. Verma, Y. Kajii, S. Kato, and A. Takami, Emissions of black carbon in East Asia estimated from the observations at a remote site in the East China Sea, J. Geophys. Res., 116, D16201, doi:10.1029/2011JD015637, 2011.
30. Kondo, Y., H. Matsui, N. Moteki, L. Sahu, N. Takegawa, M. Kajino, Y. Zhao, M. J .Cubison, J. L. Jiminez, S. Vay, G. S. Diskin, B. Anderson, A. Wisthaler, T. Mikoviny, H. E. Fuelberg, D. R. Blake, G. Huey, A. J. Weinheimer, D. J. Knapp, and W. H. Brune. Emissions of black carbon, organic, and inorganic aerosols from biomass burning in North America and Asia in 2008, J. Geophys. Res., 116, D08204, doi:101029/2010JD015152, 2011
31. Liu, X., Y. Kondo, K. Ram, H. Matsui, K. Nakagomi, T. Ikeda, N. Oshima, R. L. Verma, N. Takegawa, M. Koike, M. Kajino, Seasonal variations of black carbon observed at the remote mountain site Happo in Japan, J. Geophys. Res., 118(9), 3709-3722, doi:10.1002/jgrd.50317, 2013.
32. Maki, T., M. Ikegami, T. Fujita, T. Hirahara, K. Yamada, K. Mori, A. Takeuchi, Y. Tsutsumi, K. Suda, T. J. Conway, : New technique to analyse global distributions of CO_2 concentrations and fluxes from non-processed observational data, Tellus B, DOI: 10.1111/j.1600-0889. 2010.00488.x, 2010.
33. Maki, T., T. T. Sekiyama, T. Y. Tanaka, and M. Mikami: The Impact of Ground-based Observations on the Inverse Technique of Aeolian Dust Aerosol, SOLA, 7A, 021-024, 2011.
34. Matsui, H., M. Koike, Y. Kondo, N. Oshima, N. Moteki, Y. Kanaya, A. Takami, and M. Irwin, 2013: Seasonal variations of Asian black carbon outflow to the Pacific: Contribution from anthropogenic sources in China and biomass burning sources in Siberia and Southeast Asia, J. Geophys. Res. Atmos., doi: 10.1002/jgrd.50702.
35. Miyazaki, K., T. Maki, P. Patra, and T. Nakazawa: Assessing the impact of satellite, aircraft, and surface observations on CO_2 flux estimation using an ensemble-based 4-D data assimilation system, J. Geophys. Res., 116, D16306, doi:10.1029/2010JD015366, 2011.
36. Morgenstern, O., H. Akiyoshi, S. Bekki, P. Braesicke, N. Butchart, M.P. Chipperfield, D. Cugnet, M. Deushi, S.S. Dhomse, R. R. Garcia, A. Gettelman, N.P. Gillett, S.C. Hardiman, J. Jumelet, D. E. Kinnison, J.-F. Lamarque, F. Lott, M. Marchand, M.

Michou, T. Nakamura, D. Olivie, T. Peter, D. Plummer, J. A. Pyle, E. Rozanov, D. Saint-Martin, J. F. Scinocca, K. Shibata, M. Sigmond, D. Smale, H. Teyssedre, W. Tian, A. Voldoire, and Y. Yamashita, 2010: Anthropogenic forcing of the Northern Annular Mode in CCMVal-2 Models,J. Geophys. Res., doi:10.1029/2009JD013347.

37. Moteki, N., Y. Kondo, N. Oshima, N. Takegawa, M. Koike, K. Kita, H. Matsui, M. Kajino. Size dependence of wet removal of black carbon aerosols during transport from the boundary layer to the free troposphere, to be submitted to Geophys. Res. Lett., 39, L13802, doi:10.1029/2012GL052034, 2012.
38. Nakaegawa, T., Yamamoto, K., Tanaka, T. Y., Hasegawa, T., and Fukuda, Y., 2012: Investigationof temporal characteristics of terrestrial water storage changes and its comparison to terrestrial mass changes. Hydrological Processes, 26: 2470–2481. doi: 10.1002/hyp.9392.
39. Nakamura, T., H. Akiyoshi, M. Deushi, K. Miyazaki, C. Kobayashi, K. Shibata, and T. Iwasaki, 2013: A multimodel comparison of stratospheric ozone data assimilation based on an ensemble Kalman filter approach, J. Geophys. Res. Atmos., 118, 3848–3868, doi:10.1002/jgrd.50338.
40. Osada, K., Ura, S., Kagawa, M., Mikami, M., Tanaka, T. Y., Matoba, S., Aoki, K., Shinoda, M., Kurosaki, Y., Hayashi, M., Shimizu, A., and Uematsu, M., 2013: Wet and dry deposition of mineral dust particles in Japan: factors related to temporal variation and spatial distribution, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 13, 21801-21835, doi:10.5194/acpd-13-21801-2013.
41. Oshima, N., Y. Kondo, N. Moteki, N. Takegawa, M. Koike, K. Kita, H. Matsui, M. Kajino, H. Nakamura, J. S. Jung and Y. J. Kim, Wet removal of black carbon in Asian outflow: Aerosol Radiative Forcing in East Asia (A-FORCE) aircraft campaign, J. Geophys. Res., 117, D03204, 24pp., doi:10.1029/2011JD016552, 2012.
42. Oshima, N. and M. Koike, 2013: Development of a parameterization of black carbon aging for use in general circulation models, Geosci. Model Dev., 6, 263-282, doi:10.5194/gmd-6-263-2013.
43. Sahu, L. K., V. Sheel, M. Kajino, P. Nedelec, Variability in tropospheric carbon monoxide over an urban site in Southeast Asia, Atmos. Environ., 68, 243-255, 2013.
44. Sahu, L. K., V. Sheel, M. Kajino, S. S. Gunthe, V. Thouret, P. Nedelec, H. G. Smit, Characteristics of tropospheric ozone variability over an urban site in Southeast Asia: a study based on MOZAIC and MOZART vertical profiles, J. Geophys. Res., 118, 1-19, doi:10.1002/jgrd.50662, 2013.
45. Sekiyama, T. T., 2012: Data assimilation of satellite-borne lidar aerosol observations and its validation with Asian Dust, Ph. D. dissertation, Tohoku University, 120 pp.
46. Sekiyama, T. T., T. Y. Tanaka, and T. Miyoshi, 2012: A simulation study of the ensemble-based data assimilation of satellite-borne lidar aerosol observations, Geosci. Model Dev. Discuss., 5, 1877-1947.
47. Sekiyama, T. T., M. Deushi and T. Miyoshi: Operation-Oriented Ensemble Data Assimilation of Total Column Ozone, SOLA, 7, 41-44, 2011.
48. Sekiyama, T. T., T. Y. Tanaka, T. Maki and M. Mikami: The Effects of Snow Cover and Soil Moisture on Asian Dust: II. Emission Estimation by Lidar Data Assimilation, SOLA, 7A, 40-43, 2011.
49. Sekiyama, T. T., T. Y. Tanaka, A. Shimizu, and T. Miyoshi, 2010: Data assimilation of CALIPSO aerosol observations, Atmospheric Chemistry and Physics, 10, 39-49.
50. Shibata, K. and M. Deushi, 2012: Future changes in the quasi-biennial oscillation under a greenhouse gas increase and ozone recovery in transient simulations by a chemistry-climate model, Greenhous Gases/Book 1, ISBN 979-953-307-224-0, IN-TECH.

51. Sugimoto, N., Hara, Y., Shimizu, A., Yumimoto, K., Uno, I.,and Nishikawa, M.: Comparison of Surface Observations and a Regional Dust Transport Model Assimilated with Lidar Network Data in Asian Dust Event of March 29 to April 2, 2007, SOLA, Vol. 7A, pp.13-1, 2011.
52. Takegawa, N., N. Moteki, M. Koike, N. Oshima, and Y. Kondo, 2013: Condensation particle counters combined with a low-pressure impactor for fast measurement of mode-segregated aerosol number concentration, Aerosol. Sci. Technol., 47:10, 1059-1065, DOI: 10.1080/02786826.2013.822462.
53. Tanaka, T. Y., T. T. Sekiyama, T., and M. Mikami, 2011: The effects of snow cover and soil moisture on Asian dust: I. A numerical sensitivity study, SOLA, 7A, 36-39.
54. Tanaka, T.Y., 2012: Numerical study of the seasonal variation of elevated dust aerosols from the Taklimakan desert, SOLA, 8, doi:10.2151/sola.2012-025.
55. Tourpali, K., A. F. Bais, A. Kazantzidis, C. S. Zerefos, H. Akiyoshi, J. Austin, C. Bruhl, N. Butchart, M. P. Chipperfield, M. Dameris, M. Deushi, V. Eyring, M. A. Giorgetta, D. E. Kinnison, E. Mancini, D. R. Marsh, T. Nagashima, G. Pitari, D. A. Plummer, E. Rozanov, K. Shibata, and W. Tian, 2009: Clear sky UV simulations in the 21st century based on ozone and temperature projections from chemistry-climate models. Atmos. Chem. Phys., 9, 1165-1172.
56. Ueda, H. T. Fukui, M. Kajino, M. Horiguchi, H. Hashiguchi, and S. Fukao. Eddy diffusivities for momentum and heat in the upper troposphere and lower stratosphere measured by MU radar and RASS, and a comparison of turbulence model predictions. J. Atmos. Sci., 69, 323-337, doi:10.1175/jas-d-11-023.1, 2012.
57. Uno, I., Eguchi, K., Yumimoto, K., Liu, Z., Hara, Y., Sugimoto, N., Shimizu, A., and Takemura, T.: Large Asian dust layers continuously reached North America in April 2010, Atmos. Chem. Phys., 11, 7333-7341, doi:10.5194/acp-11-7333-2011, 2011.
58. Verma, R. L., Y. Kondo, N. Oshima, H. Matsui, K. Kita, L. K. Sahu, S. Kato, Y. Kajii, A. Takami, and T. Miyakawa, 2011: Seasonal variations of the transport of black carbon and carbon monoxide from the Asian continent to the western Pacific in the boundary layer, J. Geophys. Res., 116, D21307, doi:10.1029/2011JD015830.
59. Wang, Y., X. Wang, Y. Kondo, M. Kajino, J. W. Munger, J. Hao. Measurements of black carbon and its correlation with trace gases at a rural site in Beijing: implications for bottom-up emissions. J. Geophys. Res., 116, D24304, doi:10.1029/2011JD016575, 2011.
60. Yukimoto, S., Y. Adachi, M. Hosaka, T. Sakami, H. Yoshimura, M. Hirabara, T. Y. Tanaka, E. Shindo, H. Tsujino, M. Deushi, R. Mizuta, S. Yabu, A. Obata, H. Nakano, T. Koshiro, T. Ose, and A. Kitoh, 2012: A New Global Climate Model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3 —Model Description and Basic Performance—. J. Meterol. Soc. Japan, 90A, 23-64, doi:10.2151/jmsj.2012-A02.
61. Yumimoto, K. and Takemura, T.: Direct radiative effect of aerosols estimated using ensemble-based data assimilarion in a global aerosol climate model, Geophys. Res. Lett., 38, L21802, doi:10.1029/2011GL049258, 2011.
62. Yumimoto, K., Uno, I., Shimizu, A., and Sugimoto, N., Hara, Y., and Takemura, T.: Size-resolved adjoint inversion of Asian dust, Geophys. Res. Lett., 39, L24807, doi:10.1029/2012GL053890, 2012.
63. Yumimoto, K.: Impacts of geostationary satellite measurements on CO forecasting: An observing system simulation experiment with GEOS-Chem/LETKF data assimilation system, Atmos. Environ., 74, 123-133, doi:10.1016/j.atmosenv.2013.03.032, 2013.
64. Yumimoto, K. and Takemura, T.: The SPRINTARS version 3.80/4D-Var data assimilation

system: development and inversion experiments based on the observing system simulation experiment framefork, Geosci. Model Dev. Discuss, 6, 3427-3471, 2013.
65. 猪股弥生，梶野瑞王，佐藤啓市，黒川純一，大泉毅，東アジアにおける PAHs の排出インベントリと大気モデル解析，Emission inventory and atmospheric modeling analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Northeast Asia – Focus on Benzo(a)pyrene(BaP) -, Earozoru Kenkyu (in Japanese), 28(1), 5-11, 2013.
66. 鵜野伊津志，弓本桂也，大原利眞，黒川純一，2013: タグ付き CO 輸送モデルを用いたアジア域のソース・リセプター解析．大気環境学会誌，48, 5 月号, pp.123-132.
67. 鵜野伊津志，弓本桂也，大原利眞，黒川純一，2013: タグ付き輸送モデルによるアジア域の CO 濃度と発生源寄与の長期解析．大気環境学会誌，48, 5 月号, pp.133-139.
68. 鵜野伊津志，板橋秀一，弓本桂也，入江仁士， 黒川純一，大原利眞，2013: 東アジア域の NOx 排出量の経年変化と窒素化合物の挙動のモデル解析．大気環境学会誌，48, 9 月号, pp.223-233.
69. 鵜野伊津志，弓本桂也，原由香里，板橋秀一，金谷有剛，杉本伸夫，大原利眞，2013: 何故 2013 年冬季の中国で PM2.5 が高濃度になったか？ 大気環境学会誌，印刷中
70. 弓本桂也，鵜野伊津志，2012: グリーン関数法を用いた一酸化炭素排出量の長期間逆推定．大気環境学会誌，47, 162-172.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：17 件

1. Goto, D., N. Oshima, T. Nakajima, T. Takemura, and T. Ohara, 2012: Impact of the aging process of black carbon aerosols on their spatial distribution, hygroscopicity, and radiative forcing in a global climate model, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 12, 29801-29849, doi:10.5194/acpd-12-29801-2012.
2. Goto, D., N. Oshima, T. Nakajima, and T. Takemura, 2013: Treatment of black carbon and availability of electron microscope for global climate models, Technical Reports of the Meteorological Research Institute, 68, 24-27.
3. Kajino, M., H. Ueda, Chapter 2. Secondary Acidification, Monitoring, Control and Effects of Air Pollution, Ed. Andrzej G. Chmielewski, InTech Open Access Publisher, ISBN:978-953-307-526-6, 15-38, 2011.
4. Kajino, M. and 3 co-authors. Part II. Modeling part, Annual report 11th year's Joint Research on Long-range Transboundary Air Pollutants in Northeast Asia, NIER, Incheon Korea, 32 pp., 2011.
5. Kajino, M. and 3 co-authors. Part II. Modeling part, Annual report 12th year's Joint Research on Long-range Transboundary Air Pollutants in Northeast Asia, NIER, Incheon Korea, 27 pp., 2012.
6. Kajino, M.Model formulation and predictability of a variety of atmospheric aerosols, Technical Reports of the Meteorological Research Institute（気象研究所技術報告）, 68, 69-72, 2013.
7. Oshima, M. 2013: Aging of black carbon and its impact on aerosol optical properties and cloud condensation nuclei activities using a mixing state resolved model, Technical Reports of the Meteorological Research Institute, 68, 32-35.
8. 梶野瑞王，2011： 第 4 章 大気モデルの結果，環境における人工放射能の研究 2011，青山道夫編，気象研究所地球化学研究部，環境・応用気象研究部，ISSN1348-9739, 2pp.,
9. 梶野瑞王，五十嵐康人，田中泰宙，眞木貴史，関山剛，千葉長，青枩暁典，出牛真，大島長，三上正男，2012: 2.9 気象研領域モデルによる福島第一原発事故に伴う放射性物質の輸送・沈着実験，2011 年度秋季大会スペシャルセッション「放射性物質輸送モデルの現状と課題」報告，天気，2012 年 4 月号，47-48.

10. 梶野瑞王，2012: 大気エアロゾルの性質と素過程の多様性を考慮できる軽くて正確な新しい動力学モデルの開発（26 巻 4 号）－2012 年度日本エアロゾル学会各賞受賞者のことば－，エアロゾル研究，27(4), 399.
11. 梶野瑞王，2012: 3-モーメントビン法モデル，クリーンテクノロジー，22(12), 8-13.
12. 関山剛，2011 : エアロゾルを宇宙から観る，日本気象学会関西支部第３３回夏季大学「最新の衛星観測」講義テキスト，日本気象学会関西支部，17 ページ.
13. 関山剛，2010 : 大気微量成分のデータ同化，第 44 回夏季大学「新しい気象学」講義テキスト，日本気象学会，7 ページ.
14. 田口　他 10 名，2010:成層圏過程とその気候における役割 (SPARC) 第 4 回総会報告，天気，Vol.57 (No.6), 399-404, 2010.
15. 田中泰宙, 2009: 3.1 節 黄砂の予報, 岩坂泰信, 西川雅高, 山田丸, 洪天祥（編）, 黄砂, 古今書院, 東京都千代田区神田駿河台 2-10, 31–36.
16. 田中泰宙, 猪股弥生, 五十嵐康人, 梶野瑞王, 眞木貴史, 関山 剛, 三上正男, 千葉 長, 2012: 2.11 気象研究所全球モデルによる放射性物質輸送シミュレーションの現状と課題, 2011 年度秋季大会スペシャルセッション「放射性物質輸送モデルの現状と課題」報告, 天気, 2012 年 4 月号, 49
17. 中島映至，鶴田治雄，滝川雅之，森野悠，関山剛，梶野瑞王，渡辺明，篠原厚，北和之，地球科学分野における活動と緊急災害時における研究者の対応，Radioisotopes，in press.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：45 件

1. Deushi, M., and Y. Kuroda, Role of the stratospheric ozone on the medium-range weather forecast: A case study of northern winter 2003-2004, SPARC DynVar Workshop 2, November 2010 in Boulder Colorado.
2. Deushi, M., and Y. Kuroda, 2010: Role of the stratospheric ozone on the medium-range weather forecast: A case study of northern winter 2003-2004, SPARC DynVar Workshop 2, November 2010 in Boulder Colorado. 7.
3. Deushi, M., and Y. Kuroda, 2012: Effects of stratospheric ozone on polar-night jet oscillation revealed with ensemble forecastsusing a chemistry-climate model, Workshop on Stratospheric Sudden Warming and its Role in Weather and Climate Variations, February 2012 in Kyoto Japan.
4. Goto, D., N. Oshima, T. Nakajima, and T. Takemura, 2011: A modeling study of black carbon aerosol using a global aerosol model with parameterized aging process, XXV General Assembly of IUGG (IAMAS), July 5, 2011, Melbourne, Australia.
5. Goto, D., N. Oshima, T. Nakajima, T. Takemura, 2012: Treatment of black carbon and availability of electron microscope for global climate models, International symposium on aerosol studies explored by electron microscopy, February 16, 2012, Tsukuba, Japan.
6. Kajino, M, K. Sato, Y. Inomata, H. Ueda. Modeling study on LTP in northeast Asia: Japan, The 12th Expert Meeting for Long-range Transboundary Air Pollutants in Northeast Asia, Nov. 2010, Zuhai, China.
7. Kajino, M., M. Deushi, Y. Inomata, K. Sato, H. Ueda, Z. Han, J. An, J. Kurokawa, and T. Ohara, 2011: Modeling air, rain and snow precipitation quality over Northeast Asia using MRI-CCM2-WRF-RAQM2 model system, Acid rain 2011, June 2011 Beijin China, T2-5.
8. Kajino, M., G.Katata, T. Hiraki, M. Aikawa, T. Kobayashi, H. Ueda, “Modeling fog chemistry and its deposition on a mountain forest in summer in Japan”, FOGDEW2013, Yokohama, 19-24 May 2013.

9. Kajino, M., R. C. Easter, S. J. Ghan, Modal Bin Hybrid Model: a surface area consistent, triple moment sectional method for use in process-oriented modeling of atmospheric aerosols, 12th ASAAQ meeting, Seoul, 3-5 Jun 2013.
10. Kondo, Y., N. Oshima, M. Kajino, R. Mikami, R. Verma, Y. J. Kajii, S. Kato, A. Takami, N. Takegawa, and K. Kawana, 2010: Estimation of the black carbon (BC) emissions from East Asia based on accurate BC measurements in the Asian outflow, 2010 AGU fall meeting, December 15, 2010, San Francisco, USA.
11. Kondo, Y., R. L. Verma, N. Oshima, H. Matsui, K. Kita, Y. Kajii, S. Kato, T. Miyakawa and A. Takami, 2011: Transport of black carbon and CO from the Asian continent to the western Pacific and estimate of CO emissions in China, 2011 AGU fall meeting, December 7, 2011, San Francisco, USA.
12. Maki, T., T. Sakashita, K. Suzuki, K. Yamada, T. T. Sekiyama, T. Y. Tanaka and M. Mikami, 2009: Research and operational SDS modeling associated with JMA, Workshop on the Implementation of the WMO SDS-WAS Asia Node, Seoul, Korea.
13. Maki, T., Y. T. Tanaka, T. T. Sekiyama, K. Yamada, N. Ohkawara and M. Mikami, 2012: DSS forecast model in JMA , The 5th meeting of Working Group I for Joint Research on DSS , Fukuoka, Japan.
14. Maki, T., Y. T. Tanaka, T. T. Sekiyama, K. Yamada, N. Ohkawara and M. Mikami: The 5th meeting of Working Group I for Joint Research on DSS , Fukuoka, Japan, 2012 "The Dust Modeling Research Activities in Meteorological Research Institute"
15. Maki, T., M. Kajino, N. Oshima, M. Deushi, T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, K. Shibata, M. Ikegami, A. Ogi, K. Mine, H. Fujiwara, T. Sakurai, N. Ohkawara, K. Yamada and M. Mikami: 4th International Workshop on Air Quality Forecasting Research, Geneva, Switzerland, 2012 "The Outline of Air Quality Operational and Research Activities in the Japan Meteorological Agency"
16. Mikami, M., T. Sakashita, K. Suzuki, K. Yamada, T. T. Sekiyama, T. Y. Tanaka and T. Maki, 2009: Case selections of post SDS for the model inter-comparison, Workshop on the Implementation of the WMO SDS-WAS Asia Node, Seoul, Korea.
17. Mikami, M., T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, T. Maki, N. Ohkawara and K. Yamada, 2012: Operational Services and Research Activities in JMA and MRI/JMA, Workshop on the Implementation of the WMO SDS-WAS Asia Node, Tsukuba, Japan.
18. Oshima, N., Y. Kondo, N. Moteki, N. Takegawa, M. Koike, and K. Kita, 2010: Vertical transport mechanisms of black carbon over east Asia in spring observed during the A-FORCE aircraft campaign, Japan Geoscience Union Meeting 2010, International Session, May 27, 2010, Makuhari, Japan.]
19. Oshima, N. 2011: Vertical transport of black carbon over East Asia in spring during the A-FORCE aircraft campaign, Department of Marine, Earth, and Atmospheric Sciences, North Carolina State University, February 11, 2011, Raleigh, USA.
20. Oshima, N., Y. Kondo, N. Moteki, N. Takegawa, M. Koike, K. Kita, H. Matsui, M. Kajino, H. Nakamura, J. Jung, and Y. Kim, 2011: Wet Removal of Black Carbon in Asian Outflow During Aerosol Radiative Forcing in East Asia (A-FORCE) Aircraft Campaign, 2011 International Aerosol Modeling Algorithms Conference, December 2, 2011, Davis, USA.
21. Oshima, N., Y. Kondo, N. Moteki, N. Takegawa, M. Koike, K. Kita, H. Matsui, M. Kajino, H. Nakamura, J. Jung, and Y. Kim, 2011: Wet removal of black carbon in Asian outflow: Aerosol Radiative Forcing in East Asia (A-FORCE) aircraft campaign, 10th AeroCom Workshop, October 5, 2011, Fukuoka, Japan.
22. Oshima, N., Y. Kondo, N. Moteki, N. Takegawa, M. Koike, K. Kita, H. Matsui, M. Kajino, H. Nakamura, J. Jung, and Y. Kim, 2012: Wet removal of black carbon in Asian outflow:

Aerosol Radiative Forcing in East Asia (A-FORCE) aircraft campaign, 12th International Global Atmospheric Chemistry Conference, September 20, 2012, Beijing, China.

23. Oshima, N., M. Koike, Y. Zhang, and Y. Kondo, 2012: Aging of black carbon and its impact on aerosol optical properties using a size and mixing state resolved model, International Radiation Symposium 2012, August 6, 2012, Berlin, Germany.
24. Oshima, N., 2012: Aging of black carbon and its impact on aerosol optical properties and cloud condensation nuclei activities using a mixing state resolved model, International symposium on aerosol studies explored by electron microscopy, February 17, 2012, Tsukuba, Japan.
25. Sekiyama, T. T., M. Kajino, and M. Kunii, 2014: Spatial resolution dependence of Fukushima radionuclide simulations using 15-km, 3-km, and 500-m grid models, 94th AMS Annual Meeting, Atlanta, USA.
26. Sekiyama, T. T., M. Kajino, and M. Kunii, 2013: Ensemble Simulation of the Atmospheric Radionuclides Discharged by the Fukushima Nuclear Accident, EGU General Assembly 2013, Vienna, Austria.
27. Sekiyama, T. T., 2013: Ensemble Simulation of Atmospheric Dispersion of Radionuclides During the Fukushima Nuclear Accident, 93th AMS Annual Meeting, Austin, USA.
28. Sekiyama, T. T., 2013: Data Assimilation of Lidar Aerosol Observations, AICS International Workshop on Data Assimilation, Kobe, Japan.
29. Sekiyama, T. T., 2011: Fundamentals of Ensemble Kalman Filter in an operational system, The Third International Cooperative for Aerosol Prediction (ICAP) Workshop, University of Colorado, Boulder, CO, USA.
30. Sekiyama, T. T., 2011: Data Assimilation of Lidar Aerosol Observations, Seminar at the School of Earth & Environmental Sciences, Seoul National University, July 26, 2011, Seoul, South Korea.
31. Sekiyama, T. T., 2010: Aerosol Data Assimilation with Lidar Observations and Ensemble Kalman Filter, The Second GAW Aerosol Lidar Observation Network (GALION) Workshop at the WMO Headquarters in Geneva, Switzerland.
32. Sekiyama, T. T. and T. Y. Tanaka, 2010: Overview – MRI/JMA - Asian Dust Simulation, Prediction, and Verification, The Second International Cooperative for Aerosol Prediction (ICAP) Workshop, University of Oxford, England.
33. Sekiyama, T. T., T. Y. Tanaka, A. Shimizu, and T. Miyoshi, 2009: Data Assimilation of CALIPSO Aerosol Observations Using an Ensemble Kalman Filter, The Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Tsukuba, Japan.
34. Shibata, K. and M. Deushi, 2009: Structure of extreme NAM events in the simulation of a chemistry-climate model driven by observed forcings（化学-気候モデルで再現された強い北半球環状モードの構造について）, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会 JPGU Meeting 2009.
35. Tanaka, T. Y., T. Sakami, S. Yukimoto and M. Deushi, 2009: DEVELOPMENT OF AN AEROSOL MODULE IN AN EARTH SYSTEM MODEL FOR GLOBAL WARMING PREDICTION, 4th Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, 9 November 2009, Abstract Collection p.92.
36. Tanaka, T. Y., 2011: Representation of Dust Cycle in Earth System Models, Sino-German Science Center Symposium "Dust Cycle and Climate Change, 2011: Past, Present and Future", University of Cologne, 21 September 2011.
37. Tanaka, T. Y., 2011: Numerical simulation of the seasonal variation of elevated dust aerosol from Taklimakan desert, Fifth Korea-Japan-China Joint Conference on Meteorology, 24-26 October 2011, Busan, Korea.

38. Tanaka, T.Y., Sekiyama, T.T., Maki, T., Kajino, M. and Yamada, K., 2012: Current status and updates of the aerosol forecast in Japan Meteorological Agency, 4th International Cooperative for Aerosol Prediction (ICAP) Workshop, ESRIN, 14-17 May 2012, Frascati, Italy
39. Tanaka, T.Y., Maki, T., Kajino, M., and Sekiyama, T.T., 2012: Inverse estimation of the emission of radioactive materials from Fukushima, The Fourth International Cooperative for Aerosol Prediction (ICAP) Workshop, ESRIN, 14-17 May 2012, Frascati, Italy
40. Tanaka, T. Y., Maki, T., Sekiyama, T.T., Igarashi, Y. Kajino, M. and Mikami, M., 2013: Numerical analysis of the global transport of radionuclides from Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident, 93rd AMS Annual Meeting, 6 - 11 January 2013, Austin, TX, U.S.A.
41. Yumimoto, K. and Takemura, T.: Development and Preliminaty Results of SPRINTARS/4D-Var Data Assimilation System, 10th AeroCom Workshop, Kasuga, Japan, October 3-6, 2011. (Oral)
42. Yumimoto, K. and Uno I.: Recent Inverse Estimate of Chinese CO emission with Forward Sensitivity and Green's Function Method, 3rd International Workshop on Emission Inventory in Asia, Yokohama, Japan, February 24-25, 2012. (Oral, Invited)
43. Yumimoto, K. and Uno I.: Inverse estimate of long-term CO emission in China between 2005–2010 with Green's function method, 6th GEOS-Chem International Workshop, Boston, USA, May 6-9, 2013. (Oral)
44. Yumimoto, K. and Uno I.: Inverse estimate of long-term CO emission in China between 2005–2010 with Green's function method and forward sensitivity, International Workshop on "Inventory, Modeling and Climate Impacts of Greenhouse Gas emissions (GHG's) and Aerosols in the Asian Region", Tsukuba, Japan, May 6-9, 2013. (Oral, Invited)
45. Yumimoto, K. and Takemura, T.: Inverse Modeling of Asian Dust Emission with MODIS AOT and the SPRINTARS Adjoint Model, Goldschimdt2013, Florence, Italy, August 25-31, 2013. (Oral)

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：57 件

1. Kang Jung-Yoon, Masao Mikami, Yaping Shao, Soon-Chang Yoon, Taichu Y. Tanaka, and Tsuyoshi T. Sekiyama, 2010: Comparison of different dust emission schemes by implementing them into WRF/Chem, 日本気象学会 2010 年秋季大会（予稿集）, A153
2. M. Mikami, T. Maki, T. Sakashita, K. Suzuki, K. Yamada, T. T. Sekiyama and T. Y. Tanaka、2009：Kosa event analysis by Japan Meteorological Agency、日中韓黄砂共同研究作業グループ会合（東京）.
3. 岩崎俊樹, 横尾好朗, 沢田雅洋, 中澤高清, 青木周司, 柴田清孝, 小林ちあき, 眞木貴史, 関山剛, 出牛真, 宮崎和幸, 中村哲, 秋吉英治, 2011: 大気環境に関する次世代実況監視及び排出量推定システムの開発, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, AAS020.
4. 大島長, 近藤豊, 茂木信宏, 竹川暢之, 小池真, 北和之, 他 A-FORCE サイエンスチーム, 2010: 東シナ海・黄海上の自由対流圏中で観測されたブラックカーボンの上方輸送過程、日本気象学会 2010 年度春季大会、D306、代々木、2010 年 5 月 25 日.
5. 大島長, 近藤豊, 茂木信宏, 竹川暢之, 小池真, 北和之, 2010: 自由対流圏中で観測されたブラックカーボンの降水による除去過程、日本気象学会 2010 年度秋季大会、D357、京都、2010 年 10 月 29 日.
6. 大島長, 近藤豊, 茂木信宏, 竹川暢之, 小池真, 北和之, 2010: 春季東アジア域で航空機により観測されたブラックカーボンの上方輸送過程、第 16 回大気化学討論会、K-59、八王子、2010 年 11 月 19 日.
7. 大島長, 小池真, 近藤豊, 茂木信宏, 中村尚, 竹川暢之, 北和之, 2011: 領域モデルを用いた春季東アジア域におけるブラックカーボンの上方輸送過程、第 17 回大気化学討論会、2K7、宇治、2011 年 10 月 19 日.

8. 大島長, 小池真, 近藤豊, 茂木信宏, 中村尚, 竹川暢之, 北和之, 2011: 春季東アジア域におけるブラックカーボンの上方輸送過程、日本気象学会2011年度秋季大会、D159、名古屋、2011年11月16日.
9. 大島長, 小池真, 近藤豊, 松井仁志, 茂木信宏, 中村尚, 竹川暢之, 北和之, 2013: 春季東アジア域におけるブラックカーボンの上方輸送過程と輸送経路、日本気象学会 2013 年度春季大会、D309、代々木、2013年5月17日.
10. 大島長, 小池真, 近藤豊, 松井仁志, 茂木信宏, 中村尚, 竹川暢之, 北和之, 2013: 春季東アジア域におけるブラックカーボンの上方輸送過程（A-FORCE航空機観測）、日本地球惑星科学連合2013年大会、AAS21-19、幕張、2013年5月19日.
11. 梶野瑞王, 近藤豊ほか, 2010:「東アジアにおける化学組成、粒径分布、混合状態の成長過程のモデル解析」日本気象学会2010年春季大会、2010年5月、東京.
12. 梶野瑞王, 近藤豊, 桑田幹哲, 2010: 「東アジアにおけるエアロゾル微視的特性のモデル解析」日本気象学会2010年秋季大会、2010年10月、京都.
13. 梶野瑞王, 大島長, 2011: 大気エアロゾルの多様性を考慮しながらダイナミクスを解くモーダル・ビンハイブリッドモデル（MBHM）の開発、日本気象学会 2011 年度春季大会、D307、代々木、2011年5月20日.
14. 梶野瑞王, 五十嵐康人, 田中泰宙, 眞木貴史, 関山剛, 千葉長, 青柳曉典, 出牛真, 大島長, 三上正男, 気象研領域モデルによる福島第一原発事故に伴う放射性物質の輸送・沈着実験、日本気象学会2011年度秋季大会、A209、名古屋、2011年11月
15. 梶野瑞王, 出牛真, 眞木貴史, 青柳曉典, 橋本明弘, 三上正男, 2011: 非静力学気象化学モデル（NHM-Chem）の開発, 日本気象学会2011年度秋季大会, D163.
16. 梶野瑞王, R. C. Easter, S. J. Ghan, “Modal Bin Hybrid Model の開発と従来法との比較”, 日本気象学会春季大会2013, 渋谷区, 2013年5月15-18日
17. 小池真, 宇井麻衣子, 竹川暢之, 茂木信宏, 近藤豊, 松井仁志, 大島長, 梶野瑞王, 北和之, 2010: 東シナ海における人為エアロゾルの雲微物理特性への影響、第 16 回大気化学討論会、K-58、八王子、2010年11月19日.
18. 五藤大輔, 大島長, 中島映至, 竹村俊彦, 2010: BC の大気変質過程のパラメタリゼーションの全球モデルへの導入、日本気象学会 2010 年度秋季大会、D355、京都、2010 年 10 月 29 日.
19. 五藤大輔, 大島長, 中島映至, 竹村俊彦, 2011: 全球モデルを用いたブラックカーボンの大気変質過程に関する研究、日本気象学会 2011 年度春季大会、D303、代々木、2011年5月20日.
20. 関山剛, 國井勝, 梶野瑞王, 2013: 福島原発事故 137Cs 移流拡散シミュレーションのモデル解像度依存性～15km、3km、500m の比較～, 日本気象学会 2013 年度秋季大会.
21. 関山剛, 2012: アンサンブル・カルマン・フィルタによる CALIPSO エアロゾル観測のデータ同化, 日本気象学会 2012 年度秋季大会.
22. 関山剛, 眞木 貴史, 田中 泰宙, 出牛 真, 2012: エアロゾルと大気微量成分のデータ同化(招待講演）, 科研費新学術領域「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム, 京都大学.
23. 関山剛, 田中泰宙, 清水厚, 三好建正, 2010: 大気エーロゾルのデータ同化, 第 27 回エーロゾル科学・技術研究討論会.
24. 関山剛, 田中泰宙, 清水厚, 三好建正, 2009: ライダーによるエアロゾル観測をアンサンブル・カルマン・フィルタでデータ同化する, 第 15 回大気化学討論会.
25. 田中泰宙, 2009: 全球モデルで見たアジアの砂漠起源のダストの役割, 公開シンポジウム「黄砂・ダスト輸送と越境大気汚染」主催:日本学術会議農学委員会風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会, 東京大学理学部 4 号館 2 階, 2009年6月8日.
26. 田中泰宙, 2010: 全球スケールで見た気候変動と黄砂の関係 -全球モデルによる研究-, 平成 22 年度 千葉大学 CEReS 寄附研究部門公開シンポジウム, 千葉大学
27. 田中泰宙, ダスト沈着ネットワークグループ, 2010: ダストエーロゾル沈着ネットワークと数

値シミュレーションの比較実験, 第 27 回エーロゾル科学・技術研究討論会, G05
28. 田中泰宙, ダスト沈着ネットワークグループ, 2010: 乾性・湿性別観測との比較による全球ダストモデルの改良, 日本気象学会 2010 年秋季大会（予稿集), A161 田中泰宙, 2009: 全球モデルで見たアジアの砂漠起源のダストの役割, 公開シンポジウム「黄砂・ダスト輸送と越境大気汚染」(主催:日本学術会議農学委員会風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会, 東京大学理学部 4 号館 2 階, 2009 年 6 月 8 日).
29. 田中泰宙, 2010: 全球スケールで見た気候変動と黄砂の関係 -全球モデルによる研究-, 平成 22 年度 千葉大学 CEReS 寄附研究部門公開シンポジウム, 千葉大学
30. 田中泰宙, ダスト沈着ネットワークグループ, 2010: ダストエアロゾル沈着ネットワークと数値シミュレーションの比較実験, 第 27 回エアロゾル科学・技術研究討論会, G05
31. 田中泰宙, ダスト沈着ネットワークグループ, 2010: 乾性・湿性別観測との比較による全球ダストモデルの改良, 日本気象学会 2010 年秋季大会（予稿集), A161
32. 田中泰宙, 千葉長, 猪俣弥生, 五十嵐康人, 気象研究所全球モデルによる放射性物質輸送シミュレーションの現状と課題点, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 名古屋大学, 名古屋市, 2011 年 11 月 17 日
33. 田中泰宙,梶野瑞王, 眞木貴史, 関山剛, 五十嵐康人, 千葉長, 三上正男, 2012: Numerical simulation of atmospheric transport of radionuclides in Meteorological Research Institute, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 2012 年 5 月 20-25 日, 幕張.
34. 田中泰宙, 梶野瑞王, 眞木貴史, 関山剛, 五十嵐康人, 2012: 放射性エアロゾルの拡散シミュレーションの現状, 第 29 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2012 年 8 月 28-30 日, 北九州市
35. 田中泰宙, 青木輝夫, 坂見智法, 保坂征宏, 足立恭将, 行本誠史, 地球システムモデル開発グループ, 2012: 20 世紀再現実験による吸収性エーロゾルによる積雪汚染, 日本気象学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 10 月 3-5 日, 札幌, D365.
36. 田中泰宙, 2012: 気象研究所気候モデル MRI-CGCM3 の T2K への移植：性能評価と火山エアロゾルの予備実験, 第 4 回「学際計算科学による新たな知の発見・統合・創出」シンポジウム 平成 24 年度学際共同利用成果報告会, 2012 年 10 月 25 日, 筑波大学計算科学研究センター
37. 田中泰宙, 2012: BC モデリングについて, 北極 BC 研究会合, 2012 年 12 月 21 日, 東京大学理学部
38. 田中泰宙, 2013: 全球シミュレーションによるダスト変動, 風送ダスト研究会「風送ダストに関する最近の話題と今後の展望」, 2013 年 1 月 17 日, 福岡県春日市, 九州大学応用力学研究所
39. 田中泰宙, 2013: 気象庁黄砂予報モデル MASINGAR, 平成 24 年度 第 9 回黄砂セミナー, 2013 年 2 月 5 日, 鳥取大学乾燥地研究センター(鳥取市).
40. 田中泰宙, 2013: Simulation of BC and dust deposition over Greenland, The 3rd SIGMA Workshop, 2013 年 3 月 6 日～8 日, 田沢湖スポーツセンター(秋田県仙北市).
41. 田中泰宙, 足立恭将, 行本誠史, 小畑淳, 地球システムモデル開発グループ, 2013: 超巨大火山噴火による気候変化の数値実験 -気象研究所気候モデルによるトバ火山噴火シミュレーション-, GSJ 火山談話会, 2013 年 6 月 10 日, 産業技術総合研究所（つくば市）.
42. 田中泰宙, 2013: 気象研究所全球モデルによる BC 削減の有効性評価について, H25 年度環境省環境研究総合推進費アドバイザリーボード会合, 2013 年 8 月 9 日, 東京大学（東京）.
43. 田中泰宙, 青木輝夫, 保坂征宏, 足立恭将, 2013: 気候モデルによる光吸収性エアロゾルの影響評価：大気の加熱と積雪汚染, 第 30 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2013 年 8 月 27 日～29 日, 京都大学百周年時計台記念館(京都市).
44. 田中泰宙, 2013: 大気汚染と火山噴火: 2013 年 7 月の桜島噴火は本州の大気汚染に影響したか?, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, 2013 年 11 月 19 日～21 日,仙台国際センター(仙台市), C113.
45. 出牛真, 小林ちあき, 中村哲, 柴田清孝, 2012: 成層圏オゾンのデータ同化とハインドキャスト実験、日本気象学会 2012 年度秋季大会、A157.

46. 出牛真, 柴田清孝, 2013: 温室効果の増加およびオゾン層の破壊と回復がブリューワー・ドブソン循環に与える影響、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、AAS22-07.
47. 眞木貴史, 関山剛, 田中泰宙, 2011:「数値モデルを用いた地球環境解析」、日本農業工学会第 27 回シンポジウム・日本学術会議公開シンポジウム「地球環境・気候変動と農業環境工学」
48. 眞木貴史, 田中泰宙, 関山剛, 三上正男, 2011: 逆解析を用いた放射線放出量推定システムの構築、2011 年度気象学会秋季大会、名古屋、2011 年 11 月.
49. 松井仁志, 小池真, 近藤豊, 大島長, 茂木信宏, 金谷有剛, 高見昭憲, Martin Irwin, 2013: ３次元タグモデルを用いた西太平洋域におけるブラックカーボンの季節変動と発生源寄与、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、AAS21-18、幕張、2013 年 5 月 19 日.
50. 三上正男, 長田和雄, 清水厚, 関山剛, 田中泰宙, ほか, 科研費「全球ダスト動態解明」グループ, 2010: ダストの発生・輸送・沈着過程の観測・解析・モデリング, A151
51. 三上正男, 長田和雄, 清水厚, 関山剛, 田中泰宙, ほか, 科研費「全球ダスト動態解明」グループ, 2010: ダストの発生・輸送・沈着過程の観測・解析・モデリング, A151
52. 茂木信宏, 近藤豊, 大島長, 竹川暢之, 小池真, 北和之, 松井仁志, 梶野瑞王, 2013: ブラックカーボンの航空機観測から実証されたエアロゾルの湿性除去効率の粒径依存性、日本気象学会 2013 年度春季大会、B154、代々木、2013 年 5 月 15 日.
53. 弓本桂也, 江口健太, 鵜野伊津志:グリーン関数を用いた一酸化炭素排出量の逆推定,日本気象学会 2011 年度秋季大会,名古屋大学,2011 年 11 月.(Oral)
54. 弓本桂也, Jabob, D.:東アジア域における化学天気予報に対する静止衛星データのインパクト調査,日本気象学会 2012 年度春季大会,エポカルつくば,2012 年 5 月.(Oral)
55. 弓本桂也, 竹村俊彦:SPRINTARS/4DVAR 同化システムを用いた黄砂の排出量推定,日本気象学会 2012 年度秋季大会,北海道大学,2012 年 10 月.(Oral)
56. 弓本桂也, 竹村俊彦:データ同化を用いたエアロゾルの不確実性低減への取り組み,日本気象学会 2013 年度春季大会,国立オリンピック記念青少年総合センター, 2013 年 5 月.(Oral)
57. 弓本桂也, 鵜野伊津志:中国起源一酸化炭素排出量の長期間逆推定,日本大気環境学会年会,朱鷺メッセ,2013 年 9 月.(Oral)

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：31 件

1. Deushi, M. and K. Shibata, 2009: Development of an MRI chemistry-climate model coupled with data assimilation system for ozone forecasts, MOCA-09 IAMAS/IAPSO/IACS Joint Assembly, J467.
2. Deushi, M. T. T. Sekiyama, and K. Shibata, 2009: Ensemble Kalman filter assimilation of atmospheric chemical constituents data with a MRI chemistry-climate model: OSS Experiments, THE 5TH WMO International Symposium On Data Assimilation, 205.
3. Deushi, M. and K. Shibata, 2009: Development of an MRIchemistry-climate model coupled with data assimilation system for ozone forecasts, MOCA-09 IAMAS/IAPSO/IACS Joint Assembly, J467.
4. Deushi, M., T. T. Sekiyama, and K. Shibata, 2009: Ensemble Kalman filter assimilation of atmospheric chemical constituents data with a MRI chemistry-climate model: OSS Experiments, THE 5TH WMO International Symposium On Data Assimilation, 205.
5. Deushi, M. and K. Shibata, 2011: Impacts of increases in greenhouse gases And ozone recovery on lower stratospheric circulation through 21st century: Comparison with fi xed-halogen and climate Simulations, IUGG General Assembly 2011, M02-2594.
6. Deushi, M. and Y. Kuroda, 2011: Effects of stratospheric ozone on polar-night Jet oscillation: A case study of northern winter 2003-2004, IUGG General Assembly 2011, M04-2435.Kang, J.-Y., Tanaka, T.Y., Yoon, S.-C., and Kim, Y.-J., 2012: A numerical study of the effect of frozen soil on dust emission during an Asian dust event in December 2009, AGU 2012 Fall Meeting, 3-7 December, 2012, San Francisco, CA, U.S.A.

7. Deushi, M., C. Kobayashi1, T. Nakamura, K. Shibata, 2012: Evaluation of the effects of stratospheric ozone and related chemical species assimilation, and their impacts on the predictability of ozone, AGU Fall meeting 2012, A11E-0087.
8. Deushi, M. and K. Shibata, 2013: Impacts of ozone recovery and increase in greenhouse gases on the lower stratospheric mean transport and eddy mixing, Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly 2013, TU-75_B7.3.
9. Kajino, M., S. J. Ghan, R. C. Easter, Modal Bin Hybrid Model: a surface area consistent, triple moment sectional method for use in process-oriented modeling of atmospheric aerosols, 2012 American Geophysical Union fall meeting, San Francisco, USA, 2012/12/7, 2012/12/3-12/7, poster.
10. Kajino, M., G. Katata, T. Hiraki, M. Aikawa, T. Kobayashi, Numerical study of fog deposition onto a mountainous forest using atmosphere, aerosol chemical transport and land surface models: Chemical and physical properties of fog and aerosols, 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, June 2010, Munster, Germany.
11. Kajino, M., Y. Kondo et al., Modeling evolution process of size distribution and mixing state of black carbon in East Asia, International Aerosol Conference, August 2010, Helsinki, Finland.
12. Liu, X., Y. Kondo, H. Matsui, N. Oshima, L. Sahu, N. Takegawa, K. Nakagomi, and M. Kajino, 2010: Seasonal variation of black carbon aerosol at Happo, a remote mountain site, 2010 AGU fall meeting, December 13, 2010, San Francisco, USA.
13. Nakamura, T., M. Deushi, K. Miyazaki, C. Kobayashi, H. Akiyoshi, K. Shibata, and T. Iwasaki, 2011: An Inter-comparison of Observation System Experiments for Stratospheric Ozone between LETKF Data Assimilation Systems with CCSR/NIES CCM, MRI CCM, and CHASER CTM, IUGG General Assembly 2011, JM02-4800.
14. Oshima, N., Y. Kondo, N. Moteki, N. Takegawa, M. Koike, and K. Kita, 2010: Aircraft Measurements of Upward Transport of Black Carbon Over East Asia in Spring 2009, 2010 AGU fall meeting, December 15, 2010, San Francisco, USA.
15. Oshima, N., M. Koike, Y. Kondo, H. Matsui, N. Moteki, H. Nakamura, N. Takegawa, and K. Kita, 2013: Vertical Transport of Black Carbon over East Asia during the AFORCE Aircraft campaign, Goldschmidt 2013, August 28, 2013, Florence, Italy.
16. Sekiyama, T. T., M. Kunii, and M. Kajino, 2013: Ensemble Simulation of the Atmospheric Radionuclides Discharged by the Fukushima Nuclear Accident, Goldschmidt Conference 2013, Florence, Italy.
17. Sekiyama, T. T., 2013: A simulation study of the ensemble-based data assimilation of satellite-borne lidar aerosol observations, 93th AMS Annual Meeting, Austin, USA.
18. Sekiyama, T. T., 2011: Asian Dust Emission Estimated by Ensemble Data Assimilation of Satellite-Borne Lidar Observation, 5th Korea-Japan-China Joint Conference on Meteorology, Pusan, South Korea.
19. Sekiyama, T. T., 2011: Object-based verification of aerosol simulations, 10th AeroCom Workshop, Kyushu University, Fukuoka, Japan.
20. Sekiyama, T. T. and T. Y. Tanaka, 2010: Dust aerosol analysis and prediction with 4D-EnKF data assimilation, EGU General Assembly 2010, Vienna, Austria.
21. Sekiyama, T. T. and T. Y. Tanaka, 2010: Dust analysis and prediction with ensemble-based data assimilation, 9th AeroCom Workshop, University of Oxford, UK.
22. Sekiyama, T. T., T. Y. Tanaka, A. Shimizu, and T. Miyoshi, 2010: Dust Aerosol Analysis and Prediction with Lidar Observations and Ensemble Kalman Filter, AGU Fall Meeting 2010, San Francisco, USA.
23. Sekiyama, T. T., T. Y. Tanaka, A. Shimizu, and T. Miyoshi, 2009: Aerosol Data Assimilation

with an Ensemble Kalman Filter Using CALIPSO and Ground-Based Lidar Observations, IAMAS-IAPSO-IACS 2009 Joint Assembly (MOCA-09), Montreal, Canada.
24. Sekiyama, T. T., T. Y. Tanaka, A. Shimizu, and T. Miyoshi, 2009: Aerosol Data Assimilation with an Ensemble Kalman Filter Using CALIPSO and Ground-Based Lidar Observations, The Fifth WMO Symposium on Data Assimilation, Melbourne, Australia.
25. Taichu Y Tanaka, Teruo Aoki, Masahiro Hosaka, Yukimasa Adachi, 2009: Simulation of the effect of mineral dust and black carbon deposition on snow surface, 2009 AGU Fall Meeting, 14 December 2009.
26. Taichu Y. Tanaka, and MRI Earth System Modelling Group, 2010: Development of an Aerosol Model in the Earth System Model of Meteorological Research Institute of Japan Meteorological Agency, AeroCom 2010 workshop, Oxford University, U.K.
27. Verma, R. L., Y. Kondo, N. Oshima, H. Matsui, K. Kita, L. K. Sahu, S. Kato, Y. Kajii, and A. Takami, 2011: TRANSPORT OF BLACK CARBON AND CARBON MONOXIDE FROM THE ASIAN CONTINENT TO THE WESTERN PACIFIC IN THE BOUNDARY LAYER, India-Japan Symposium on Global Challenges in Health and Environment, October 7, 2011 Tokyo, Japan.
28. Yumimoto, K. and Jacob, D. J.: Preliminary Results of the GEOS-Chem/LETKF Data Assimilation System, 5th International GEOS-Chem Meeting, Harvard University, Cambridge, USA, May 2-5, 2011. (Poster)
29. Yumimoto, K., Takemura, T., Eguchi, K., and Uno, I.: Ensemble based data assimilation with global aerosol climate model, The 8th International Conference on Acid Deposition: ACID RAIN 2011, Beijing, China, June 15-18, 2011. (Poster)
30. Yumimoto, K. and Jacob, D. J.: Impact of geostationary satellite measurements for CO forecasting: A observarion sytem simulation experiment with GEOS-Chem/LETKF, AGU Fall Meeting, A33A-0168, San Francisco, USA, December 5-9, 2011. (Poster)
31. Yumimoto, K. and Uno I.: Inverse Estimate of Long-Term CO Emission in China between 2005-2010 with Green's Function Method, IGAC International Science Conference, Beijing, China, September 17-21, 2012. (poster)

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：18 件

1. Taichu Tanaka, Makoto Deushi, Seiji Yukimoto, 2009: Simulation of the aerosols produced by Mt. Pinatubo eruption and its impact to stratosphere, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, F207-P002.
2. 宇井麻衣子, 小池真, 竹川暢之, 近藤豊, 大島長, 松井仁志, 梶野瑞王, 北和之, 2010: A-FORCE 航空機観測により得られた春季東シナ海の層雲・層積雲の雲微物理特性、日本地球惑星科学連合 2010 年大会、AAS001-P05、幕張、2010 年 5 月 27 日.
3. 梶野瑞王, 出牛真, 眞木貴史, 青柳曉典, 田中泰宙, 関山剛, 大島長, 五十嵐康人, 三上正男, 猪股弥, 堅田元喜, 2011: 気象研パッシブトレーサーモデル（MRI-PM）の開発、第 17 回大気化学討論会、P35、宇治、2011 年 10 月 18 日.
4. 田中泰宙, 青木輝夫, 保坂征宏, 足立恭将, 2009: 鉱物ダストおよび黒色炭素エーロゾル沈着を考慮した雪氷面アルベド2層モデルの開発, 日本気象学会 2009 年秋季大会（予稿集）, p.385
5. 田中泰宙, 2010: 数値シミュレーションによるタクラマカン砂漠起源ダストエアロゾルの長距離輸送の機構, 第 27 回エアロゾル科学・技術研究討論会, P21
6. 田中泰宙, 関山剛, Jung-Yoon Kang, 眞木貴史, 三上正男, 次期全球エーロゾル予測モデルの開発: エーゾロル予測の高度化に向けて, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 名古屋大学, 名古屋市, 2011 年 11 月 16 日

7. 田中泰宙, 青木輝夫, 坂見智法, 保坂征宏, 足立恭将, 行本誠史, 地球システムモデル開発グループ, 2012: 気候モデルによる黒色炭素エーロゾル削減の有効性評価のための感度実験, 日本気象学会 2012 年度春季大会, 2012 年 5 月 26-29 日, つくば, P222.
8. 田中泰宙, 関山剛, 眞木貴史, 三上正男, 2013: 汚染混合型黄砂の数値モデル研究: 2013 年 1 月の大気汚染事例, 日本気象学会 2013 年度春季大会, 2013 年 5 月 15 日～18 日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都), P311.
9. 田中泰宙, 足立恭将, 行本誠史, 小畑淳, 地球システムモデル開発グループ, 2013: 超巨大火山噴火による気候変化の数値実験 -気象研究所気候モデルによるトバ火山噴火シミュレーション-, 日本気象学会 2013 年度春季大会, 2013 年 5 月 15 日～18 日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都), P323.
10. 出牛真, 柴田清孝, 2009：２１世紀予測実験に基づいた成層圏における物質輸送特性の長期変動解析、日本気象学会 2009 年度秋季大会, P193.
11. 出牛真, 柴田清孝, 2010：２１世紀予測実験に基づいた成層圏における物質輸送特性の長期変動解析（第二報)、日本気象学 2010 年度春季大会, P222.
12. 出牛真, 柴田清孝, 2011：全球化学気候モデルによる２１世紀気候予測実験：ハロゲンおよび気候固定実験との比較, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, AAS020-P02. 5.
13. 出牛真, 梶野瑞王, 中里真久, 眞木貴史, 永井智広, 酒井哲, 柴田清孝, 2011: 光化学オキシダント予測システム精度検証のための対流圏オゾンライダー観測、日本気象学会 2011 年度秋季大会、P161.
14. 眞木貴史, 田中泰宙, 関山剛, 三上正男, 2011：逆解析を用いた黄砂放出量解析手法の開発、2011 年度日本気象学会春季大会、東京、2011 年 5 月.
15. 眞木貴史, 田中泰宙, 関山剛, 三上正男, 2012：逆解析を用いた 2008、2009 年における黄砂放出量解析、2012 年度日本気象学会秋季大会、札幌、2012 年 10 月.
16. 眞木貴史, 2013：気象庁の数値モデルを用いた地球環境業務、第 9 回黄砂セミナー、鳥取、2013 年 2 月.
17. 矢野雅大, 北和之, 大島長, 茂木信宏, 竹川暢之, 小池真, 近藤豊, 2011: 春季アジア大陸から輸送された汚染気塊中でのブラックカーボンの沈着の発生状況、第 17 回大気化学討論会、P37、宇治、2011 年 10 月 18 日.
18. 矢野雅大, 北和之, 大島長, 茂木信宏, 竹川暢之, 小池真, 近藤豊, 2011: 航空機観測による海上での BC 沈着速度の推定、日本地球惑星科学連合 2011 年大会、AAS021-P14、幕張、2011 年 5 月 23 日.

温暖化への対応策検討に資するための日本域の気候変化予測に関する研究

研 究 期 間：平成 22 年度～平成 25 年度
研究代表者：栗原和夫[1)]（環境・応用気象研究部第三研究室長）、高藪出[2)]（環境・応用気象研究部第三研究室長）、佐々木秀孝[3)]（環境・応用気象研究部第三研究室長）

研究担当者：栗原和夫[1)]、日谷道夫[1)]、高藪　出、佐々木秀孝、村田昭彦、花房瑞樹、青柳暁典[4)]（環境・応用気象研究部）、遠藤洋和、石原幸司[5)]（気候研究部）、村崎万代（予報研究部）、大泉三津夫、及川義教[4)]、平原翔二（気象庁地球環境・海洋部 気候情報課）

研究の目的

主要な山脈、谷、平野などの地形効果を含む高精度な非静力学地域気候モデルの研究及び同モデルによる近未来・21 世紀末の気候変化予測の研究に取り組み、日本における温暖化・異常気象の発生傾向・顕著な現象の将来変化予測に関する情報を作成するとともに、地球温暖化の影響評価に資する予測データを高度化する。

研究の動機・背景

地球温暖化に対応するため、具体的な対応策の策定が緊急の課題となっている。これらの検討の根拠となる温暖化予測情報の提供が求められているが、それには日本の地形特性など局地性を反映した、地域レベルのニーズに適合する予測が不可欠である。このため本課題では全球大気海洋結合モデルの予測データにネスティングした地域気候モデルにより詳細な予測を行うとともに、データの信頼性情報など影響評価に必要な情報提供技術を開発する必要がある。また、具体的な対応策に関連し、将来の設計レベルで必要となるさらに詳細な予測情報の提供を可能とするため、次世代の地域気候モデルの開発を行う。

研究の成果の到達目標

温暖化に対する具体的な対応策を検討するための指針を提供することを目的として、下記の研究項目により、詳細な非静力学地域気候モデルによる予測を行うとともに、信頼性情報など予測データの活用に必要な情報を提供する。

① 地域気候モデル(MRI-NHRCM4)による温暖化予測
② 地域気候モデルによる現在気候の再現実験
③ 地域気候モデルデータの信頼性確保技術の開発
④ 次世代地域気候モデルの開発

なお、上記成果を、「気候変動に関する政府間パネル（IPCC)」の報告書に反映するよう努力する。

研究結果

（成果の概要）

① 地域気候モデル(MRI-NHRCM4)による温暖化予測

ア）関東甲信越地方を領域とする非静力学地域気候モデル(NHRCM)を地球システムモデルにネスティングした温暖化予測実験の結果を解析し、夏季及び冬季の降水の変化予測を求めた。予測結果は地球システムモデルの大規模場の変化を反映しているが、特に山岳における降水量の増加が顕著に見られるなど、高解像度の変化パターンが得られた。

イ）地域気候モデル国際相互比較プロジェクト（RMIP）のための東アジアの広域を対象とする現在気候再現実験と温暖化予測実験を実施した。当初高温バイアスなどの問題が見られたが、地表面過程、境界条件等の検討を行い、問題を解決することができた。

ウ）NHRCM の現在気候再現精度は、境界値を与える全球気候モデルの精度に依存している。これ

[1)] 平成 22 年度～平成 23 年度、[2)] 平成 24 年度、[3)] 平成 25 年度、[4)] 平成 23 年度～平成 25 年度、[5)] 平成 22 年度

まで計算を行っている全球気候モデルの再現結果を検討し、20km 解像度の全球気候モデルの再現精度が最もよいと考えられることから、これを、境界条件とし、15km 解像度 NHRCM、5km 解像 NHRCM と 2 重ネストする計算システムを構築した。

エ）計算システムの自動化を行い、計算を大幅に省力化することができた。

オ）5km 解像度の NHRCM を用いて、20km の全球気候モデルの結果を境界条件とし、20 年間の連続期間における日本領域の現在、近未来（約 30 年後）と 21 世紀末（約 100 年後）を対象とした３つの期間に関する各 20 年間の温暖化予測計算を行った。

カ）現在気候再現実験の結果を解析し、気温、降水量、積雪・降雪量などについて観測値をよく再現することが確認された。また強い降水についても検討を行い、観測された強い降水の頻度と比較して再現性が確認された。

キ）21 世紀末予測実験結果を用いて、将来の通年での気候変化の概要を、気温、降水、積雪に関して把握した。将来の気温は平均して約 3 度程度の上昇、降水は 2 月と 8 月の増加が顕著であった。積雪は特に平野部において減少が顕著であるが、山間部や北海道などでは減少率は小さい傾向が見られた。

ク）21 世紀末の顕著現象の変化についても解析を行い、将来は強い降水が増加することが調べられた。

ケ）近未来実験についても結果の解析を開始し、気温の上昇、降水量の変化が、21 世紀末予測結果と定性的には同様であるが、変化は小さい傾向を把握した。

コ）おろし風、だし風、フェーンなど地域固有の気候現象の温暖化による将来変化予測可能性についての検証を行った。その結果、5km の格子間隔の NHRCM では、現在気候にそれらの現象が再現されており、定性的な予測は可能であるが、定量的な予測を行うにはこの解像度では不十分であることが分った。

② 地域気候モデルによる現在気候の再現実験

ア）再解析を境界条件として、5km 解像度の NHRCM で九州領域、関西領域に関して各 3 年ずつ長時間積分を実施し、精度評価を行った。いずれの領域も、よい現在気候再現精度が確認できた。

イ）日本域の過去の詳細な気候変化を調べるため、JRA-25 を境界条件として 20km 解像度の静力学地域気候モデル RCM20 をランさせることにより 20km メッシュダウンスケーリングデータを作成した。そして雨の強さの再現性について検証した。RCM20 は JRA-25 に比べ強い雨の再現性が向上することがわかった。また、強い雨の頻度の年々変動についても観測値とよく合っていることがわかった。

ウ）気象庁の新しい再解析データ（JRA-55）の提供を受け、再解析データを境界条件とする 5km 解像度 NHRCM による 1 年間の長時間積分を実施した。結果を観測値と比較したところ、月降水量などはある程度観測を再現するものの、冬季の日本海側の降水量が少ない、島根県に発生した豪雨の表現が不十分であるなどの問題点もあることが解った。

③ 地域気候モデルデータの信頼性確保技術の開発

ア）モデルの現在気候再現結果が、観測と比較してバイアスを持つために、実際にデータを利用する際には計算結果を補正する必要がある。このために、気温と降水量に関してバイアス補正法を検討し、手法の開発と精度評価を行った。気温、降水量ともバイアスを補正によって再現性が向上した。

イ）21 世紀末の極端に低い気温の予測についての解析をし、山間部では初夏において現在に匹敵する程度の温度低下があり得ることを把握した。

ウ）極端な気温（著しく高い及び低い気温）に対するバイアス補正法を検討し、手法の開発と評価を行い、精度良く補正できることを確認した。

エ）日本海側の積雪が過小評価となっているが、その補正方法の開発を行った。その結果、北海道の日本海側では、将来温暖化による積雪の減少量は補正を行わなかった場合より大幅に大きくなることが判明した。

④ 次世代地域気候モデルの開発

ア）地域気候モデルの境界条件作成手法の検討を行った。現在 SBC 法（Spectral Boundary

Coupling）を用いているが、東アジア全域程度の広領域ではある程度の強い拘束を与えないと計算が境界条件から大きく乖離することが確認された。日本周辺の狭い領域においては、SBC 法を使わない場合、大規模場では大きな問題はないが、小スケール擾乱の発達が過大になるなどの問題点が見られた。

イ）地形の単純な種子島、宮古島を対象に、解像度、領域の大きさ、降水過程などについての気候実験を行った。解像度を上げると、地形に対する降水のレスポンスが改善されること、領域の広さはある程度広くとらないと境界の影響が大きくなり誤差を生ずること、降水過程も高解像度では対流パラメタリゼーションに関するバイアスを生じ、対流パラメタリゼーションを使わない方が良い結果を得られることなどが確認された。

ウ）5km 解像度の NHRCM の気温について解析を行い、都市付近では、都市効果を入れないことにより、低温バイアスが発生し、低温バイアスは都市化の大きいところほど大きくなっていることが解った。このことは、気温の改善には、都市効果を何らかの方法で取り込むことが必要であると考えられる。

エ）地表面における積雪や、気温の現在気候再現性能を検討し、植物圏モデル(SiB)がほぼ妥当であることが確認された。ただし、積雪量がやや多すぎる傾向や、特に冬季における気温の低温バイアスの改善に関してはさらに検討が必要である。

オ）SiB の不凍水スキームが導入されたモデルを用いて長期積分を行った。地上気温については、観測と比べて過剰であった摂氏 0 度付近のデータが、不凍水スキームを適用することで現実と合うように改善されることが確認された。

カ）フィリッピンおよびインドにおいて NHRCM による現在気候再現実験を行い、それぞれの領域に合うようにモデルのチューニングを行った。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

① NHRCM の解像度を当初 4km としていたが、計算機資源を考慮し、また客観解析を境界条件とする実験などで解像度を 5km としても精度低下は見られないことから､解像度を 5km に変更した。

② 当初 NHRCM をドライブする境界条件として全球大気海洋結合モデルを使う計画であったが、日本付近の現在気候再現性を検討した結果、ダウンスケールによって十分満足いく結果が得られないことが推測されたため、全球大気モデルへのネスティングを行い、将来気候変化予測を行う事とした。

成果の他の研究への波及状況

① 以下に示されたプロジェクトにおいて本課題で開発された NHRCM が使われている。

ア）21 世紀気候変動予測革新プログラム極端現象予測（平成 19 年度～23 年度）

イ）気候変動リスク情報創生プログラムテーマ C：気候変動リスク情報の基盤技術開発（平成 24 年度～28 年度）

ウ）[HPCI 戦略プログラム]分野 3「防災・減災に資する地球変動予測」　②超高精度メソスケール気象予測の実証（平成 22 年度～27 年度）

② 以下の研究機関と共同研究において、本課題よって計算された結果が使われている。

ア）JAMSTEC との共同研究､「適応策に向けた日本海沿岸における積雪の変化予測と適応策のための先進的ダウンスケーリング手法の開発」（文部科学省 RECCA プロジェクト）

イ）慶応義塾大学との共同研究、「気候変動に対応した新たな社会の創出に向けた社会システムの変革プログラムグリーン社会 ICT ライフインフラ」

ウ）防災科研との共同研究、気候変動気候研究推進イニシアチブ「高解像度気候変動シナリオを用いた大都市圏の風水害脆弱性評価に基づく適応に関する研究」（文部科学省 RECCA）

エ）防災科研及び筑波大との共同研究、「気象研究所大気・海洋カップル全球モデル MRI-CGCM3 のマルチ RCM によるダウンスケーリング研究」RAMS と NHRCM モデルによる MRI-CGCM3 の日本域ダウンスケーリング結果の比較改正によるモデル高度化

③ 本課題で開発されたモデル及び計算結果を使って以下の海外のプロジェクトへの参加もしくは各国との共同研究を行った。

ア）CORDEX(Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment)への参加
イ）フィリッピン(Manila Observatory)、インド(Indian Institute of Tropical Meteorology)、ベトナム(Hanoi University of Science)との共同研究

今後の課題

① これまで行われてきた地域気候モデルの結果から、現在気候の再現性が悪い所を見つけ出し、その原因を探り改善する。さらには影響評価の研究者により詳細なデータを提供するため、地域気候モデルの高分解能化を行う。物理過程の性能はモデルの分解能に大きく依存することから、高分解能化に伴い再現性が低下した物理過程については、その改善方法について検討する。更に、都市気候モデルを組み込みことによって、現在気候の再現性のさらなる向上を図っていく。
② 地域気候モデルを複数の全球結合モデルによるSSTシナリオを使って計算された気象研究所全球大気モデルの結果にネストし、21世紀末を対象とする温暖化予測のための連続長時間積分を外部資金を活用しながら実施し、気候の将来変化を予測する。なお、IPCC への地域気候モデルによる貢献を目指し、今後の国際的動向に対応した必要な実験を行う。
③ 地域気候モデルによって作られたデータは多かれ少なかれ誤差を含むことから、モデルによる温暖化予測の結果をより精度の高い予測情報とするためのバイアス補正の手法の開発を行う。また、温暖化対策を考える際に不可欠となる予測データの信頼性の評価技術を開発し、実用的な信頼性情報の提供を行う。また、そのデータの温暖化予測業務への適用可能性を検討する。
④ 日本には様々な気候現象が存在し、それにより交通障害や人体や家畜などへの健康に重大な害をもたらす危険性がある。おろし、だし、フェーンなどの地域的な気候現象の強度や頻度が将来どのように変化するのかを地域気候モデルで予測可能であるかどうか検討する。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（気候・地球環境分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、487ページを参照。

成果発表一覧

査読論文： 18件

1. Bai, Y., I. Kaneko, H. Kobayashi, K. Kurihara, I. Takayabu, H. Sasaki and A. Murata, 2013: A Geographic Information System (GIS)-based approach to adaptation to regional climate change: a case study of Okutama-machi, Tokyo, Japan. Mitigation and Adaptation of Strategies for Global Change. Springer. DOI:10.1007/s11027-013-9450-6
2. Hanafusa, M., H. Sasaki, A. Murata, and K. Kurihara、2013: Projection of Changes in Future Surface Wind around Japan Using a Non-hydrostatic Regional Climate Model. SOLA, 9, 23−26, doi:10.2151/sola.2013-006.
3. Ishihara, K., 2010: Quantifying the uncertainty range of 30-year daily precipitation change due to global warming using regional frequency analysis. Hydrological Research Letters, 4, 90-94 , doi:10.3178/hrl.4.90.
4. Ishihara, K., 2010: Assessment for the 30-Year Daily Precipitation Change due to Global Warming Using Regional Frequency Analysis. Hydorological Research Letters, 4, 30-34 , doi:10.3178/hrl.4.30.
5. Ishizaki, N., I. Takayabu, M. Oh'izumi, H. Sasaki, K. Dairaku,, S. Iizuka, F. Kimura, H. Kusaka, S. A. Adachi, K. Kurihara, K. Murazaki, K. Tanaka, 2012: Improved performance of simulated Japanese climate with a multi-model ensemble., J. Meteor. Soc. Japan, 90,235-254.
6. Kitajima, T., K. Yoshimatsu, H. Ohno and K. Ishihara, 2010: Reproducibility of Regional-Mean Probable Precipitation by High-Resolution Climate Models.

Hydorological Research Letters, 4, 20-24 , doi:10.3178/hrl.4.20.
7. Nishii, K., T. Miyasaka, H. Nakamura, Y. Kosaka, S. Yokoi, Y. N. Takayabu, H. Endo, H. Ichikawa, T. Inoue, K. Oshima, N. Sato and Y. Tsushima, 2012: Relationship of the Reproducibility of Multiple Variables among Global Climate Models. Journal of the Meteorological Society of Japan, 90A, 87-100 , doi:10.2151/jmsj.2012-A04.
8. Murata, A., M. Nakano, S. Kanada, K. Kurihara and H. Sasaki, 2012: Summertime temperature extremes over Japan in the late 21st century projected by a high-resolution regional climate model. J. Meteor. Soc. Japan, 90A, 101-122 , doi:10.2151/jmsj.2012-A05.
9. Murata, A., H. Sasaki, M. Hanafusa, K. Kurihara, 2013: Estimation of urban heat island intensity using biases in surfaceair temperature simulated by a non-hydrostatic regional climate model. Theoretical and Applied Climatology, 112, 351-361 , doi:doi:10.1007/s00704-012-0739-2.
10. Murata, A., 2013: The role of a convective burst in the genesis of typhoon Hagupit (2008). J. Geophys. Res. Atmos., 118, 3520-3533, DOI: 10.1002/jgrd.50303.
11. Murazaki, K., K. Kurihara and H. Sasaki, 2010: Dynamical Downscaling of JRA-25 Precipitation over Japan Using the MRI-Regional Climate Model. SOLA, 6, 141-144 . , doi:10.2151/sola.2010-036.
12. Oh'izumi, M., I. Takayabu, amd N. Ishizaki, 2013: Snow reproducibility of the non-hydrostatic regional climate model (NHRCM) nested in JRA-25. J. Meteor. Soc. Japan, 91, 229-238, DOI:10.2151/jmsj.2013-209.
13. Sasaki, H., A. Murata, M. Hanafusa, M. Oh'izumi, and K. Kurihara, 2011: Reproducibility of present climate in a non-hydrostatic regional climate model nested within an atmosphere general circulation model. SOLA, 7, 173-176, doi: 10.2151/sola.2011-044.
14. Sasaki, H., A. Murata, M. Hanafusa, M. Oh'izumi, and K. Kurihara, 2012: Projection of future climate change in a non-hydrostatic regional climate model nested within an atmospheric general circulation model. SOLA, 8, 053−056, doi:10.2151/sola.2012-014.
15. Sasaki, H., K. Kurihara, A. Murata, M. Hanafusa and M. Oh'izumi, 2013: Future changes of snow depth in a non-hydrostatic regional climate model with bias correction. SOLA, 9, 05−08, doi:10.2151/sola.2013-002.
16. Yokoi, S., Y. N. Takayabu, K. Nishii, H. Nakamura, H. Endo , H. Ichikawa, T. Inoue, M. Kimoto, Y. Kosaka, T. Miyasaka, K. Oshima, N. Sato, Y. Tsushima and M. Watanabe, 2011: Application of Cluster Analysis to Climate Model Performance Metrics. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 50, 1666-1675 , doi:10.1175/2011JAMC2643.1.
17. 石崎安洋, 仲江川敏之, 高藪出, 2010: 地域気候マルチモデルアンサンブルを用いた日本域における降水の再現性. 水工学論文集, 55, S433-S438 .
18. 高橋潔, 高藪出, 石﨑紀子, 塩釜秀夫, 松井哲哉, 田中信行, 江守正多, 2013 : 3 種の力学的ダウンスケーリングシナリオを用いた我が国のブナ林適域、土木学会論文集

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）: 2 件

1. 高藪出, 金光正郎, 2010:力学的ダウンスケーリングのレビュー、天気、57(7),435-447.
2. 高藪出, 2010: 2.地域気候モデルによる温暖化予測、天気、57(8),546-550

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）: 32 件

1. Aoyagi, T., N. Seino, F. Shido, and H. Sasaki, 2013: Impact of the Urban Land Surface Parameterization on the Reproduction of Present Climate (2001 – 2006), Sixth China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology, Nanjing, China.

2. Bai,Y., I. Kaneko and H. Kobayashi, K. Kurihara, I. Takayabu, H. Sasaki and A. Murata, 2012: A GIS-based approach to adaptation to regional climate change for decision-making by local government: Case study of Kurihaha in Miyagi Prefecture, Japan. The 3rd Annual Environmental Innovators Symposium: Innovation for Resilience and Transformation (December 21-22, 2012). Keio University, Japan.
3. Bai,Y., I. Kaneko, H. Kobayashi, K. Kurihara, I. Takayabu, H. Sasaki and A. Murata, 2012: Analysis on the potential vulnerabilities of climate change in depopulated areas applying super-high- resolution global and regional atmospheric models in the KAKUSHIN Program: The case study of Kurihara City, Miyagi Prefecture, Tsukuba, Japan.
4. Bai, Y., I. Kaneko, H. Kobayashi, K. Kurihara, I. Takayabu, H. Sasaki and A. Murata, 2013: A GIS-based approach to adaptation to regional climate change for decision-making by local government : A case study of Okutama-machi in Tokyo, Japan, European Climate Change Adaptation Conference 2013, Organizing Committee of the European Climate Change Adaptation Conference, Hamburg, Germany.
5. Bai, Y., I. Kaneko, H.Kobayshi, H. Sasaki, M. Hanafusa, I. Takayabu, K. Kurihara and A. Murata, 2013: A web platform construction for capitalizing on high resolution projections in application on regional climate change adaptation planning, Sixth China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology, Nanjing, China.
6. Bai, Y., I. Kaneko, H. Kobayashi, K. Kurihara, I. Takayabu, H. Sasaki and A. Murata, 201): A GIS-based approach to adaptation to regional climate change. International Geographical Union Regional Conference 2013 Kyoto (August 4-12, 2013). Kyoto, Japan.
7. Bai, Y., I. Kaneko, H. Kobayashi, K. Kurihara, I. Takayabu, H. Sasaki and A. Murata, 2013: High resolution regional climate model (NHRCM-5 km) simulations for Tokyo, Japan. The 12th International Meeting Statistical Climatology (June 24-28, 2013). International Convention Center, Jeju, Korea.
8. Cruz, F., G. Narisma and H. Sasaki, 2013: Impact of model resolution on the southwest monsoon rainfall simulation in the Philippines, The conference is the 31st Physics Congress of the Samahang Pisika ng Pilipinas, Cebu, Philippines
9. Cruz , F., H. Sasaki, A. Discar, G. Narisma,2013: Assessment of model skill of NHRCM and RegCM4 in capturing the seasonal variability in the Philippine climate, International Workshop on downscaling, Tsukuba, Japan.
10. Ishihara, K, 2010: Assessment for the 30-Year Daily Precipitation Change due to Global Warming Using Regional Frequency Analysis, WCRP/UNESCO Workshop on metrics and methodologies of estimation of extreme climate events, Paris, France.
11. Ishihara, K, 2010: Comparison of GHCN temperature data with JMA data at 17 climatological stations in Japan, Workshop on Land-surface temperature data sets for the 21st Century, Exeter, UK.
12. Ishihara, K, 2010: Quantifying the uncertainty range of regional temperature change due to global warming using its normality, San Francisco, USA.
AGU Fall Meeting 2010
13. Kurihara, K., 2010: Non-hydrostatic Regional Climate Model in MRI, RMIP (Regional Climate Model Intercomparison Project for East Asia) International Workshop in Tsukuba, Tsukuba, Japan.
14. Kurihara, K., 2010: Regional Climate Models at MRI., JICA Seminar 'Adaptation to Climate Change'
15. Kurihara, K. 2011: Non-Hydrostatic Regional Climate Model in MRI for CORDEX-EA. The

International Workshop on CORDEX-East Asia. 22-23 September 2011, Seogwipo, Jeju, Korea.

16. Kurihara, K, M. Hanafusa, H. Sasaki and A. Murata, 2011: RMIP simulation with MRI-NHRCM (Non-Hydrostatic Regional Climate Model), The 2nd APN Workshop of Building Asian Climate Change Scenarios by Multi-Regional Climate Models Ensemble, Melbourne, Australia.
17. Kurihara, K., 2011: MRI Non-Hydrostatic Regional Climate Model (MRI-NHRCM), The UN-CECAR (University Network for Climate and Ecosystems Change Adaptation Research) Joint Research Development Working Group Meeting, Bangkok, Thailand..
18. Kurihara, K, M. Hanafusa,H. Sasaki and A. Murata, 2012: Results of global warming projection with MRI-NHRCM and its future plan, The 3rd APN Workshop of Building Asian Climate Change Scenarios by Multi-Regional Climate Models Ensemble, Jeju, Korea.
19. Murata, A., 2011: Future changes in summertime temperature extremes over Japan projected by a high-resolution regional climate model, High Resolution Modeling of Climate Change over Asia, APN Workshop of Building Asian Climate Change Scenarios by Multi- Regional Climate Models Ensemble, Melbourne, Australia.
20. Murata, A., M., Nakano, S.,Kanada, K.,Kurihara, H., Sasaki, 2011:Summertime temperature extremes over Japan projected by a high-resolution regional climate model, The 5th Japan, China and Korea International Meteorological Meeting, Busan, Korea.
21. Murata, A., 2012:Evaluation of surface air temperature in Japan simulated by non-hydrostatic regional climate model (NHRCM), The third APN workshop of building Asian climate change scenario by multi-regional climate model ensemble, Jeju, Korea.
22. Murata, A., H. Sasaki, M. Hanafusa, and K. Kurihara, 2012: Evaluation of surface air temperature and urban effects in Japan simulated by non-hydrostatic regional climate model. The 45th AGU Fall Meeting, 3 – 7 December 2012, American Geophysical Union, San Francisco, USA.
23. Murata, A., H. Sasaki, M. Hanafusa, K. Kurihara, 2013: Early-summer low temperature extremes in Japan projected by a nonhydrostatic regional climate model. Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 10th Annual Meeting, 24 – 28 June 2013, Asia Oceania Geosciences Society, Brisbane, Australia.
24. Murata, A., H. Sasaki, M. Hanafusa, and K. Kurihara, 2013: Projection of Early-Summer Low Temperature in Japan Simulated by a High-Resolution Regional Climate Model, International Workshop on downcaling, Tsukuba, Japan.
25. Murazaki, K., 2012/11/28: Evaluation of the temperature predictive accuracy of winter Hokuriku by JMA-NHM, Second International NHM workshop, Sendai, Japan.
26. Sasaki, H., 2011: Numerical experiments of reproducing the present climate around Japan using NHRCM, Workshop of the third regional model intercomparison project, Melbourne, Australia.
27. Sasaki, H., 2011: Global warming projection using NHRCM, IV International symposium climatology, João Pessoa, Brazil.
28. Sasaki, H., 2012: Projection of Climate Change around Japan by a Non-hydrostatic Regional Climate Model, 5th International Workshop on KAKUSHIN Program, Hawaii, USA.
29. Sasaki, H., 2012: Projection of Climate Change around Japan by a Non-hydrostatic Regional Climate Mode, The 2nd International Workshop on CORDEX-East Asia,

Jeju, Korea.
30. Sasaki H. 2013: The development of Non-hydrostatic Regional Climate Model in SOUSEI program. International Workshop of TCCIP Project on Climate Change, Taipei, Taiwan.
31. Takayabu, I., 2010: Downscaling of Climate Projections in Japan. International workshop on economics of climate change and low carbon growth strategies in north east Asia. Asia Development Bank.
32. Takayabu, I, 2011: Design of a downscaling project of climate projections in Japan, Aug. 2011 at Vietnam, The second International MAHASRI/HyARC Workshop on Asian Monsoon and Water Cycle. Vietnam.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：23 件

1. 石﨑紀子, 高藪出, 大楽浩司, 飯塚聡, 木村富士男, 日下博幸, 足立幸穂, 栗原和夫, 村崎万代, 金光正郎, 芳村圭, Jens Hesselbjerg Christensen, Neil Mackellar, 田中賢治,2010: 日本域における領域気候モデルの再現性の相互比較, 日本気象学会 2010 年度春季大会
2. 石崎紀子, 高藪出, 金光正郎、2010：モデルの空間解像度に応じた観測データと検証方法について, 日本気象学会 2010 年度秋季大会
3. 石原幸司, 2010:気象分野における気温変動解析法と日本の気温変化について, 地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との共同研究（C 型）「地球温暖化がもたらす日本沿岸域の水質変化とその適応策に関する研究」全体会合
4. 石原幸司, 2010:地域頻度解析を用いた確率降水量変化の不確実性評価, 水文・水資源学会 2010 年度総会・研究発表会
5. 栗原和夫, 村田昭彦, 佐々木秀孝, 花房瑞樹, 高藪出, 2010: 非力学地域気候モデル（MRI-NHRCM)の完全境界実験による精度評価-九州領域および関西領域-, 日本気象学会 2010 年度秋季大会
6. 栗原和夫, 2011: 温暖化による日本付近の詳細な気候変化予測をめざして, 平成 22 年度気象庁施設等機関研究報告会
7. 栗原和夫, 佐々木秀孝, 村田昭彦, 花房瑞樹, 及川義教, 大野浩史, 平原翔二, 2011: AGCM にネストした NHRCM の現在気候の再現実験（その１） ー降水・気温ー, 日本気象学会 2011 年春季大会
8. 栗原和夫, 佐々木秀孝, 花房瑞樹, 村田昭彦, 及川義教, 大野浩史, 平原翔, 2011: AGCM にネストした NHRCM の現在気候の再現実験（その２）-積雪-, 日本気象学会 2011 年春季大会
9. 栗原和夫, 佐々木秀孝, 村田昭彦, 北房瑞樹, 日谷道夫, 大泉三津夫, 及川義教, 2011:AGCM にネストした NHRCM による温暖化実験 -概要-, 日本気象学会 2011 年度春季大会
10. 栗原和夫, 白迎玖, 森薫, 佐々木秀孝, 2012:5km メッシュ非静力学地域気候モデルによる地域気候の再現性の検討（宮城県栗原市周辺域を対象として）, 日本気象学会 2012 年度秋季大会
11. 栗原和夫, 2012: 日本の顕著な気象現象の将来予測, 平成 23 年度気象講演会.
12. 栗原和夫, 2012: 革新プログラムでの領域モデルによる顕著現象予測と課題, 第 2 回超高精度メソスケール気象予測研究会.
13. 栗原和夫, 2012: 気象研究所における詳細な気候予測のためのダウンスケーリング研究の現状, 第 5 回やませ研究会.
14. 栗原和夫, 花房瑞樹, 佐々木秀孝, 村田昭彦, 2013: 地域気候モデルによる甲府盆地の降水特性の再現,日本気象学会 2013 年度秋季大会
15. 高藪出,2011:マルチモデルアンサンブルとダウンスケーリングの研究(S-5-3), 日本気象学会 2011 年度秋季大会
16. 白 迎玖, 金子郁容, 小林 光, 栗原和夫, 高藪 出, 佐々木秀孝, 村田昭彦, 2012 : 5km メッシュ非静力学地域気候モデル（NHRCM-5km）による温暖化予測データの自治体政策への

利用－東京都奥多摩町を事例として、日本地理学会 2012 年度秋季学術大会.

17. 村崎万代, 辻野博之, 栗原和夫, 本井達夫,2012: 地域気候モデルによる日本域の気候への黒潮大蛇行の影響, 京大防災研研究集会「週間及び 1 か月予報における顕著現象の予測可能性」
18. 村田昭彦, 2010： 高解像度非静力学モデルによる台風 0814 号の発生過程の解析, 日本気象学会 2010 年度春季大会
19. 村田昭彦, 中野満寿男, 金田幸恵, 栗原和夫, 佐々木秀孝, 2011: 高解像度日本域気候モデルによる夏季の高温の将来予測, 日本気象学会 2011 年春季大会
20. 村田昭彦, 栗原和夫, 佐々木秀孝, 花房瑞樹, 2011: 非静力学地域気候モデルによる日本域の地上気温の再現性, 第 13 回非静力学モデルに関するワークショップ
21. 村田昭彦, 2011：提供データの特徴と利用における注意点. グリーン社会 ICT ライフインフラプロジェクト　第３回全体会議(2011 年 9 月)
22. 村田昭彦, 佐々木秀孝, 花房瑞樹, 栗原和夫, 2012AGCM にネストした NHRCM による日最低気温の将来変化, 日本気象学会 2012 年度秋季大会
23. 高藪出, 2011：力学的ダウンスケーリングとは？. グリーン社会 ICT ライフインフラプロジェクト、第３回全体会議(2011 年 9 月)

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：4 件

1. Bai, Y., I. Kaneko, H. Kobayashi, K. Kurihara, I. Takayabu, H. Sasaki, M. Hanafusa and A. Murata, 2013: High resolution non-hydrostatic regional climate model (NHRCM-5 km) simulations for Tokyo, Japan. International Conference on Regional Climate - CORDEX 2013 (November 4-7, 2013). European Commission, Charlemagne Building, Brussels, Belgium.
2. Bai, Y., I. Kaneko, H. Kobayashi, K. Kurihara, I. Takayabu, H. Sasaki and A. Murata, 2013: Assessing Vulnerabilities to Regional Climate Change: A Case Study of Okutama-machi in Tokyo, Japan, International Workshop on CMIP5 Model Intercomparisons for Future Projections of Precipitation and Climate in Asia, Tsukuba, Japan.
3. Bai, Y., I. Kaneko, H. Kobayashi, K. Kurihara, I. Takayabu, H. Sasaki and A. Murata, 2013: Assessing vulnerabilities to regional climate change: A case study of Tokyo, Japan. International Workshop on Seasonal to Decadal Prediction (May 13-16, 2013), Toulouse, France.
4. F. T. Cruz, G. T. Narisma, H. Sasaki 2013: NHRCM simulation of heavy rainfall variability in the Philippines, International Conference on Regional Climate - CORDEX 2013, Brussels, Belgium.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：24 件

1. 石崎紀子, 川瀬宏明, 高橋洋, 木村富士男, 栗原和夫, 佐々木秀孝, 村田昭彦, 花房瑞樹, 2011: 冬季日本海における気団変質と SST の影響, 日本気象学会 2012 年度春季大会
2. 石崎紀子, 高橋洋, 川瀬宏明, 木村富士男, 佐々木秀孝, 2012:日本海上の大気と SST の温度差が冬季降水量に与える影響, 日本気象学会 2012 年度秋季大会
3. 石原幸司, 2010: 高解像度全球大気モデルによる確率降水量の将来変化, 日本気象学会 2010 年度秋季大会
4. 石原幸司, 2011:新しい陸上気温データセットの作成, 日本気象学会 2011 年度春季大会
5. 栗原和夫, 佐々木秀孝, 高藪出, 村崎万代, 村田昭彦, 花房瑞樹, 日谷道夫, 佐藤康雄, 行本誠史, 鬼頭昭雄, 2010：: 地域気候モデルを用いた日本の気候変化, 第 8 回環境研究シンポジウム.
6. 大泉三津夫, 村田昭彦, 佐々木秀孝, 花房瑞樹, 高藪出, 2013:NHRCM の陸面モデルに導入した土壌不凍水スキーム, 日本気象学会 2013 年度春季大会

7. 佐々木秀孝, 栗原和夫, 村田昭彦, 花房瑞樹, 大津三津夫, 及川義教, 2011:AGCM にネストした NHRCM による温暖化実験―寒候期―, 日本気象学会 2011 年度秋季大会
8. 佐々木秀孝, 村田昭彦, 花房瑞樹, 栗原和夫, 大泉三津夫, 2012:AGCM にネストした NHRCM による北海道における積雪の将来変化, 日本気象学会 2012 年度秋季大会
9. 佐々木秀孝, 村田昭彦, 花房瑞樹, 野坂真也, 2013: 地球温暖化による六甲おろしの将来変化予測の可能性について,日本気象学会 2013 年度秋季大会
10. 野坂真也, 佐々木秀孝, 村田昭彦, 花房瑞樹, 2013: 領域気候モデルによるやまじ風の再現性に関する研究,日本気象学会 2013 年度秋季大会
11. 花房瑞樹, 中野満寿男, 金田幸恵, 栗原和夫, 2011: 高解像度日本域気候モデルによる日本の地上風の再現性と将来気候における変化, 日本気象学会 2011 年春季大会
12. 花房瑞樹, 栗原和夫, 2011:高解像度日本域領域モデルによる中部山岳域の降水の気候再現性について, 日本気象学会 2011 年度秋季大会
13. 花房瑞樹, 栗原和夫, 佐々木秀孝, 村田昭彦, 2011:AGCM にネストした NHRCM による地上風の再現性, 日本気象学会 2011 年度秋季大会
14. 花房瑞樹, 栗原和夫, 2012:高解像度日本域気候モデルによる局地風の再現性と将来変化-山形県清川だしの例-, 日本気象学会 2012 年度春季大会
15. 花房瑞樹, 佐々木秀孝, 村田昭彦, 栗原和夫, 2012:AGCM にネストした NHRCM の降水量バイアス補正, 日本気象学会 2012 年度秋季大会
16. 花房瑞樹,佐々木秀孝,村田昭彦,野坂慎也,栗原和夫,2013:十勝地方広尾町で発生する強風の将来変化について,日本気象学会 2013 年度秋季大会
17. 日谷道夫, 佐々木秀孝, 栗原和夫, 村田昭彦, 花房瑞樹, 2011:AGCM にネストした NHRCM による温暖化実験―都市域の降雪―, 日本気象学会 2011 年度秋季大会
18. 日谷道夫, 佐々木秀孝, 栗原和夫, 村田昭彦, 花房瑞樹, 大泉三津夫, 及川義教, 2012:AGCM にネストした NHRCM による温暖化実験-雪水量-, 日本気象学会 2012 年度春季大会
19. 村崎万代, 高薮出, 栗原和夫, 辻野博之, 本井達夫, 2010:高解像度海洋モデル SST による日本域の気候シミュレーション, 日本気象学会 2010 年度春季大会
20. 村田昭彦, 中野満寿男, 金田幸恵, 栗原和夫, 佐々木秀孝, 2010: 高解像度日本域気候モデルによる気温の再現性と将来予測, 日本気象学会 2010 年度秋季大会
21. 村田昭彦, 栗原和夫, 佐々木秀孝, 花房瑞樹, 2011:AGCM にネストした NHRCM による地上気温の再現性, 日本気象学会 2011 年度秋季大会
22. 村田昭彦, 佐々木秀孝, 花房瑞樹, 栗原和夫, 2012:AGCM にネストした NHRCM による地上気温の将来変化, 日本気象学会 2012 年度春季大会
23. 村田昭彦, 佐々木秀孝, 花房瑞樹, 栗原和夫, 2013:地域気候モデルによって再現された極端な地上気温に対する補正手法の開発, 日本気象学会 2013 年度春季大会
24. 村田昭彦, 佐々木秀孝, 花房瑞樹, 野坂真也, 2013: 雲解像度地域気候モデルによる南西諸島の降水量の再現性、日本気象学会 2013 年度秋季大会

海洋環境の予測技術の開発

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：山中吾郎（海洋・地球化学研究部第一研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１　海洋環境モデルの開発

山中吾郎、辻野博之、平原幹俊、中野英之、坂本　圭[4)]、小川浩司[4)]、安藤　正[4)]、石井雅男[2)]、緑川　貴[3)]、青山道夫（海洋・地球化学研究部）、安田珠幾、小畑　淳（気候研究部）、石崎　廣[1)]、本井達夫[1)]（海洋研究部）、石川一郎（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）、中野俊也（気象庁地球環境・海洋部海洋気象課海洋環境解析センター）

副課題２　日本近海の海洋環境変動の予測可能性に関する研究

山中吾郎、辻野博之、平原幹俊[4)]、中野英之[4)]、坂本　圭[2)]、小川浩司[2)]、安藤　正[4)]、石井雅男[4)]、青山道夫[4)]（海洋・地球化学研究部）安田珠幾[4)]、小畑　淳[4)]、（気候研究部）、石崎　廣[1)]、本井達夫[1)]、（海洋研究部）、石川一郎[4)]（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）、中野俊也[4)]（気象庁地球環境・海洋部海洋環境解析センター）、中川憲一[3)]、（気象庁地球環境・海洋部海洋気象課海洋気象情報室）

研究の目的

海洋環境モデル（海洋・海氷結合モデル、物質循環・海洋生態系モデル）の研究並びに海洋環境モデルや観測データ等を用いた海洋環境変動機構の解明の研究に取り組み、海洋における３次元炭素分布を作成することにより、海洋環境情報の高度化を図る。

高波や高潮等を精度よく予測できる日本近海監視・予測システムのアルゴリズムを開発する。

研究の動機・背景

副課題１ 海洋環境モデルの開発に関する研究

① 海洋環境モデルの開発

地球温暖化予測の不確実性の最大要因である海洋中への二酸化炭素吸収量を正確に把握することは喫緊の課題であり、現状の気象研究所共用海洋モデル（MRI.COM）に海洋中の炭素循環を対象とした海洋物質循環過程を導入する必要がある。

② ３次元炭素分布の作成

気象庁では、海洋観測によって二酸化炭素の海洋中への吸収量を時系列データとして監視しているが、その結果を気候学的な観点から解析するためには、モデル実験から得られた、水温や流速などの物理場と整合のとれた３次元炭素分布データセットが必要である。

③ 国際標準実験に基づく海洋環境モデルの再現性検証

海洋モデルの外力に用いられてきた従来の大気再解析データには、海面フラックスの長期変化等の信頼性に問題があることが知られている。さらに、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の地球温暖化研究等と連携している気候変動及び予測可能性研究計画の海洋モデル開発ワーキンググループ（CLIVAR/WGOMD）から、物質循環を含む海洋モデル(海洋環境モデル)に関して、国際標準実験（CORE）で推奨された外力データを用いた長期歴史実験の実施が求められている。

④ 全球渦解像モデルの開発

①で開発する海洋環境モデルの水平解像度は東西１度、南北 0.5 度であり、海洋構造の形成や物質循環に重要な役割を担うと考えられている海洋の中小規模渦が考慮されていない。このような中小規模渦を解像する全球海洋モデルは将来的に気候モデルの中核を担うと考えられ、その開発が必要である。

[1)]平成 21 年度、[2)]平成 22 年度～平成 25 年度、[3)]平成 22 年度～平成 23 年度、[4)]平成 24 年度～平成 25 年度

副課題２　日本近海の海洋環境変動の予測可能性に関する研究

①　高解像度日本近海モデルの開発

気候変動に影響を及ぼす日本近海の水塊分布の現実的な再現には、縁辺海での海氷生成を含む数 km スケールの水塊形成過程が重要である。しかし、平成 20 年３月から気象庁で現業化された北西太平洋の監視・予報を行う海洋総合解析システム（MOVE/MRI.COM-WNP）の海洋モデルの水平解像度は海氷生成に係る縁辺海で 1/6°（18km)程度であり、必ずしも十分ではない。そのため、より高解像度のモデル開発が必要である。

②　国際標準実験に基づく高解像度日本近海モデルの再現性検証

副課題１の③と同様に、日本近海に対しても CLIVAR/WGOMD から推奨されている国際標準実験（CORE）の外力データを用いた高解像度日本近海モデルによる長期歴史実験を実施し、再現精度を検証する必要がある。

③　高解像度日本近海モデルの高度化

次世代システムとして計画されている日本近海監視・予測システムは、①で開発する高解像度日本近海モデルの他に、高潮モデル・波浪モデルと統合したシステムとし、相互作用も含めて一体化して沿岸の環境情報を出力する仕様となる予定である。現在、高潮モデルには、波浪が浅海で砕けることによる効果（Wave Setup）や起潮力の効果が考慮されていない。高潮を精度よく再現・予測するために、これらの効果を導入する必要がある。

研究の成果の到達目標

副課題１　海洋環境モデルの開発に関する研究

従来の海洋モデルに、海洋物質循環過程を組み込んだ海洋環境モデルを開発し、国際標準実験に基づいた３次元炭素分布を作成する。

副課題２　日本近海の海洋環境変動の予測可能性に関する研究

高解像度日本近海モデルを開発し、国際標準実験に基づいて日本近海の海洋環境変動の予測可能性を調査する。

研究結果

（成果の概要）

本課題を実施することにより、地球温暖化などの気候変動から高潮・異常潮位などの沿岸防災まで、幅広い時間スケールをシームレスに扱うことができる海洋モデルを開発することができた。この海洋モデルは、解説書を気象研技術報告として出版（英文）したことにより、気象庁の現業・開発業務のみならず、今後モデル貸与等を通じて、海洋学のコミュニティに広く活用されることが期待される。

副課題１では、従来の海洋・海氷結合モデル（MRI.COM）に海洋物質循環過程を組み込んだ海洋環境モデルを作成した。海洋環境モデルを CLIVAR/WGOMD による歴史的データ（1948 年から 2007 年）で駆動した国際標準実験（CORE-II）を行い、熱帯・亜熱帯域の海洋変動および北極域の海氷変動について良好な再現性を確認した。上記実験で得られた物理場を用いてオフラインモデルによる炭素循環再現実験（OCMIP, OCMIP-C）を実施し、北太平洋における人為起源二酸化炭素の吸収メカニズムに関する解析を行なった。モデル結果は、平成 22 年度に気象庁が実施した、温暖化の影響を監視するための船舶による観測結果（WHP-P9）と比較・検証され、観測結果の解析に貢献するとともに、CLIVAR-WGOMD に提出され、国際的なモデル比較に寄与した。海洋環境モデルで得られた３次元炭素分布データセットは気象庁を通じて一般に提供され、調査研究に広く利用される。本課題で得られた海洋環境モデルの物理場と物質循環場の再現性検証および解析結果は、学術論文として出版された。

副課題２では、高解像度日本近海モデルを全球・北西太平洋・日本近海の多段ネスティングモデルとして開発した。北西太平洋モデルを CLIVAR/WGOMD による歴史的データ（1948 年から 2007 年）で駆動して国際標準実験（CORE-II）を行ない、日本南岸の黒潮大蛇行の長期変動が概ね再現されることを確認した。モデルに起潮力を導入するために、新しい潮汐スキームの開発を行った。潮位の時間発展を基本場とは別に解くことにより、潮汐の再現性を向上させることができた。また、気象庁海洋情

報室からの要請を受けて、異常潮位や急潮等海況監視の高度化に資する、水平解像度 2km 程度の日本近海モデルの開発に着手した。日本近海モデルの長期積分を実施し、沿岸潮位・海況・海氷分布等の全体的なパフォーマンスを検証した。さらに、気象庁における平成 26 年度からの現業での先行導入に向けて、瀬戸内海を対象とした領域モデルを新たに開発し、顕著事例の再現性を調査した。2011 年 9 月の瀬戸内海の異常潮位再現実験では、データ同化で作成した初期場の重要性が明らかになった。2012 年 9 月の山陰地方の高潮位偏差については、高解像度の大気場を用いることで現実的な潮位変動を再現できることを確認した。

(副課題ごとの研究成果)

副課題１　海洋環境モデルの開発に関する研究

①　海洋環境モデルの開発

従来の海洋モデルの物理過程を改良するとともに、海洋物質循環過程を組み込んだ海洋環境モデルを開発した。

ア）海洋物質循環過程の開発・改良

・ 炭素に関する物質循環過程として植物・動物プランクトンを陽に表現する簡易生態系モデル（NPZD モデル）を、従来の比較的簡略化された生物地球化学モデルに加えて導入した。栄養塩や光に対する植物プランクトンの光合成に関するパラメータチューニングを実施した。これにより以前のバージョンに比べて、とくにアフリカ西岸やオレゴン沖などの沿岸湧昇の大きなところでの基礎生産量の再現性が向上した。

・ 高次海洋生態系モデル（NEMURO）を導入した。NEMURO は植物プランクトン２種、動物プランクトン３種をもち、種の間の季節毎の世代交代等、NPZD モデルよりも詳細な現象を表現できる。また、植物プランクトンの重要な制限要素である鉄が入っており、特に鉄が枯渇している高緯度域の表現が改善される。沈降粒子などのパラメータ化を精緻化するとともに、ソースコードを改良することにより、炭素循環プロセスと生態系プロセスのモジュールの分割を容易にした。

・ 海洋での炭素循環再現実験におけるオフラインモデルを改良し、流速場だけでなく水温・塩分場も読み込んだデータを使うようにした。その結果、物理モデルとの整合性が増したのみならず、計算の高速化がなされた。また、新たに化学トレーサー（CFC11 及び CFC12）を計算できるようにした。これにより、化学トレーサーの観測結果との比較が可能になった。

イ）海洋物理過程の開発・改良

・ 海洋内部の短波放射の取り扱いを精緻化し、クロロフィル分布を介して物理場と生物場の相互作用を表現できるようになった。

・ 粘性過程については、非等方的粘性スキームを導入することにより、赤道潜流の再現性が向上した。

・ 拡散過程については、渦輸送パラメタリゼーションである層厚拡散の係数について、密度勾配から診断するオプションを精緻化した。その結果、サブグリッドスケールにおける中規模渦による混合がより現実的に表現されるようになった。

・ 海氷過程については、厚さによるカテゴリー分けと移流スキームの改良を行い、より確実な再現性が得られるようになった。

ウ）ソースコードの改良

MRI.COM のソースコードに以下の改良を実施した。

・データ同化による利用を意識して、ひとつのジョブにおける初期設定と時間積分部分の独立性を高めるなど、モジュール再構成を進め、ソースコードの可読性、利便性の向上を図った新しいバージョン（MRI.COM version 3.2）を開発した。

・気象庁現業で使用されている海洋モデル(MRI.COM version 2.4)のソースコードや実行環境を整備して、モデル貸与が可能な状態にした。

・モデル結果の診断作業を効率化するために、予報変数等の出力機能を拡充した。

・時刻管理モジュールを整備し、モデルの時間積分に関する見通しを改善した。

・プログラムの高速化に資するため、陸地ノードを削減するコーディングを実施した。

② ３次元炭素分布の作成

下記の手順で国際標準実験を実施することにより、３次元炭素分布データセット（1948 年～2007 年）を作成し、気象庁に提供した。

ア）CLIVAR/WGOMDによる標準年サイクルデータを用いた500年程度の現在海洋再現実験を行った。まず、月別気候値を用いた長期積分実験を進め、準定常状態を得た。次に、大気海洋結合モデル実験や6時間平均外力実験を行って確認されたモデルドリフトの問題を解消するために、この結果を初期値として、海面風応力の与え方・拡散パラメータ・対流調節スキームに変更を加え、月別気候値を用いた長期積分実験を行った。その結果、海洋大循環の標準的な指標である各種流量（北大西洋深層水、南極周極流等）に関して、良好な気候学的再現性を得た。

イ）CLIVAR/WGOMD による、歴史的海洋モデル駆動用データ（1948 年から 2007 年）を使用して以下の手順により現在海洋気候再現実験を行った。

ウ）実験(a)： 1948 年から 2006 年の線形トレンドを除いたデータを再作成し、これを繰り返し用いて長期積分を行い（CORE-I）、現在の海洋気候の平均状態を再現する場を得た。

エ）実験(b)： 実験(a)に引き続き、線形トレンドを含む本来のデータにより、1948 年から 2007 年の国際標準実験（CORE-II）を行った。

オ）実験(c)： 実験(b)で得られた物理場を用いたオフラインモデルによる炭素循環再現実験（OCMIP）を行った。

カ）実験(d)： 人為起源の CO_2 の影響を評価するために、実験(c)で大気 CO_2 濃度を一定とした炭素循環再現実験（OCMIP-C）を行った。

③ 国際標準実験に基づく海洋環境モデルの再現性検証

海洋環境モデルの物理場と物質循環場を観測結果と比較することにより、再現性を検証した。

ア）物理場の再現性検証

・上記の実験(a)について平均的両極域海氷分布及び熱塩循環強度に着目し、観測及び他のモデル結果との比較を通した検証を行い、全般的に良好な気候学的再現性を確認した。

・実験(b)について、太平洋を中心に両極を含む海域について、海洋気候変動の再現性を検証した。海洋単体モデルでウェッデル海の海氷分布を再現するにあたって、海面境界条件に起因する根本的な問題（後述）が示唆されたものの、熱帯・亜熱帯域、および北極域の海氷について良好な再現性を確認した。

・実験(b)について、日本沿岸水位の数十年規模変動に着目して解析を行った。日本沿岸平均水位には、過去 100 年間に渡る線形トレンドは見られないが、1980 年代以降に上昇トレンドが顕著であり、1950 年代と 2000 年代に高水位偏差であった。モデル結果は、観測に見られる日本沿岸全体が同符号で変動する 20 年周期変動を再現した。さらに、北太平洋の主要な風応力 curl 変動に数年のラグで応答することが示された。1980 年代以降の水位上昇トレンドには、全球平均水位上昇の寄与があることが明らかとなった。

・実験(b)について、太平洋亜熱帯セル（STC）に着目して熱帯太平洋の十年規模変動の解析を行った。モデルは、観測で見られる 1960 年代から 1990 年代半ばにかけての STC の弱化傾向と 1990 年代半ば以降の強化傾向を再現していた。STC の長期変動に関連した海面水位の空間パターンは風応力に伴う上部密度躍層内の質量の再分配を概ね反映しており、変動の位相毎に異なっていた。STC が弱い期間（1977-1987 年）では、海面水位の負偏差が南西熱帯太平洋のみに出現し、南北非対称性が顕著だった。一方、STC が強い期間（1996-2006 年）では、海面水位の正偏差は北西熱帯太平洋と南西熱帯太平洋の両方に見られた。位相反転プロセスを調べたところ、STC の十年規模変動に関連した変動メカニズムは年代毎に異なることがわかった。

・南大洋における深層循環の変動について解析した。ウェッデル・ポリニアに似た現象が発生していることを確認した。これに伴う変動は、周極流からウェッデル海深層への熱・塩輸送による対流ポテンシャルの単調増加と、表層への淡水供給で維持される塩分躍層の破壊に続く深い対流の繰り返しとして説明できることがわかった。また、この現象を 1970 年代に再現するのが困難である理由は、大気再解析ベースの境界条件からバルク式で海面熱フラックスを計算する設定にあることがわかった。そこで 1974～76 年冬季に観測された開氷域上の

気温・比湿を下げる実験を行ったところ、開氷域を再現することができ、その後のウェッデル海深層水温の推移も観測と整合的になった。

・CLIVAR-WGOMD で実施している CORE2 実験結果を基づく５研究テーマ（北大西洋の変動、南大洋の変動、海面水位変動、北極海の変動、全球熱塩循環）での国際比較研究に対して解析結果を提出し、論文作成に係る議論に参加した。

イ）物質循環場の再現性検証

・実験(c)と実験(d)の解析において、黒潮続流域における人為起源二酸化炭素の吸収には、温度依存性の増大が本質的に重要であることがわかった。また生態系モデルの解析において、これまでの研究では、栄養塩が深層に豊富にあり表層では比較的枯渇していることから、下からの栄養塩供給に焦点が当てられてきた。しかしながら、水平勾配が大きなモード水形成領域においては、モード水形成時における対流による深層水の高栄養塩の取り込みに加えて、それがどのように亜熱帯循環によって運ばれていくかが、下流の栄養塩および生物生産に重要であることがわかった。

・気象庁が温暖化監視のために行なっている船舶による海洋観測（WHP-P9）の解析に資するために、モデルの 137° E における経年変動を解析した。137° E における溶存無機炭素濃度の上昇は(CFC から見積もった)水塊が形成された時の大気の二酸化炭素濃度上昇によく対応していることがわかった。このことは、137° E の当研究部の石井第３研究室長（海洋化学）らの解析結果を支持していた。また、この二酸化炭素濃度上昇のトレンドに加えて明瞭な数十年変動があることがわかった。

④　全球渦解像モデルの開発

・全球渦解像モデルの現在気候再現実験を平成 23 年度に引き続いて実施し、1970 年の海洋環境モデル結果を初期値として 2009 年までの計算を実行した。黒潮やメキシコ湾流の離岸を現実的に再現することができた一方、北大西洋海流の下流部など再現性に問題が残る海域も見られた。

・黒潮続流に対するシャツキーライズ の効果を調べ、続流の強流帯の東端を規定していることや、シャツキーライズ 東方でのジェット構造の維持に寄与していることがわかった。

・極域における塩分躍層の再現性向上を目的として、海洋環境モデルに塩プリュームのパラメータ化手法を導入した結果、CORE2 実験で見られた南大洋を起源とする全球平均水位変動の誤差等を大幅に低減することができた。

・太平洋赤道近辺で行った過去の深層測流結果と比較して、鉛直伝播する赤道ロスビー波をよく再現していることが確認された。

副課題２　日本近海の海洋環境変動の予測可能性に関する研究

①　高解像度日本近海モデルの開発

・水平解像度が約 10km の北西太平洋モデル（MRI.COM-WNP）を作成した。日本近海の黒潮流路の再現性を向上するために、海面風応力過程や水平粘性過程の改良を行い、日本南岸における安定な黒潮流路と現実的な黒潮流量を得ることができた。

・双方向ネスティングコードを開発した。ネスティング計算における、低解像度モデルと高解像度モデルのデータ通信を効率的に行うことが可能なモデルカップラーの導入を行った。また、このモデルカップラーを用いて双方向ネスティングコードを開発するとともに、一つの低解像度モデルに複数の高解像度モデルがネスト可能なモデルソースコードを作成した。

・波浪モデルと海洋モデルを結合して運用することが可能なコードを作成した。

・平成 21 年度に新しく導入された気象研究所大型計算機（SR16000）に最適な計算スキームを検討した。並列計算における、計算領域２次元分割を新たに導入し、通信効率を向上させた。また、新型の大型計算機においてはメモリへのデータの転送がボトルネックになることが多いため、一部のルーチンにおいては一度読み込んだデータを有効利用するために計算順序を変更した。その結果、従来の南北方向の１次元分割時よりも高速な計算が実施可能となった。また、メモリーコピーを最小限に抑えることにより、高精度だが計算負荷が重いトレーサー移流スキーム（SOM）が２割弱高速化された。これらの改良により、将来的に気象庁現業モデルにおい

ても高速化が期待できる。

② 国際標準実験に基づく高解像度日本近海モデルの再現性検証

・全球－北西太平洋ネスティングモデルで、CLIVAR/WGOMD による歴史的海洋モデル駆動用データ（1948 年から 2007 年）により北西太平洋域の国際標準実験（CORE-II）を行った。

・北西太平洋モデルの再現性を検証した。日本南岸の黒潮大蛇行流路の変動について、1960 年代初頭の大蛇行流路の出現と解消、1970 年代後半の出現と解消、及び 1990 年代以降の非出現が再現された。

③ 高解像度日本近海モデルの高度化

・水平解像度が約 2km(東西 1/33o、南北 1/50o)の日本近海モデル（MRI.COM-JPN）を作成した。全球－北西太平洋－日本近海の多段ネスティングモデルを作成した。また、モデル領域を瀬戸内海付近に限定したモデル（MRI.COM-SETO）を作成した。

・全球－北西太平洋－日本近海ネスティングモデルに起潮力を導入した。潮位の時間発展を基本場とは別に解くことにより、潮汐の再現性が向上することを確認した。

・複数の地形データセットを用いて任意の解像度の地形を作成できるソフトウェアを開発した。日本近海モデルの開発には日本沿岸の地形を適切に表現することが必要であるが、沿岸の地形はデータセットによって大きく異なる場所があったため、複数のデータセットを吟味の上、海底・海岸地形を作成する際に使用する地形データセット（30 秒格子、GEBCO30 と JTOPO30 を融合したもの）を選定した。

・全球－北西太平洋－日本近海ネスティングモデルを CLIVAR/WGOMD による歴史的海洋モデル駆動用データを用いて３年間積分し、日本近海モデルの再現性を検証した。

ア）海洋構造について、３年間の長期積分で形成された平均状態を北西太平洋モデルと比較した。高解像度化により、黒潮や黒潮続流前線を伝播する擾乱の形成と、それに伴う海水の混合や移動が促進された結果、水温や塩分の平均状態の再現性が向上することが確認された。

イ）北海道オホーツク海沿岸の海氷分布については、日本海の高温バイアスの影響がみられ、冬季の接岸が良好に再現されなかった。今後は計算開始時の状態に、北西太平洋モデルの長期駆動結果でなく、データ同化の結果を使用することなどを検討する必要がある。

ウ）潮汐の影響を評価するために、潮汐なしの設定で 2 年間、潮汐ありの設定で 1 年間の長期積分実験を行った。日本周辺海域における海況の季節発展、及び沿岸潮位変動を解析し、概ね現実的に再現されることを確かめた。

・日本近海モデルの現業運用に向けた調査を行った。

ア）データ同化解析値を初期値に用いて、2011 年 9 月の瀬戸内海の異常潮位の再現実験を行った。その結果、黒潮からの暖水波及によって引き起こされる異常潮位の再現には、初期場が非常に重要であることがわかった。

イ）MSM 格子点上の海上気象要素を日本近海モデル格子点に変換するツールを作成した。これにより、日本近海モデルを駆動する強制力として、従来の CORE や JRA/JCDAS データに加えて、MSM データを用いることが可能になった。

ウ）気象擾乱に伴って生じる高潮位現象の予測可能性を調べるために、2012 年 9 月に山陰沿岸で発生した高潮位偏差の再現実験を行った。その結果、MSM の大気強制を用いることで、台風通過に伴う高潮位偏差の励起と沿岸伝播を現実的に表現できることが分かった。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

副課題２「日本近海の海洋環境変動の予測可能性に関する研究」では、当初５年計画の４年目以降に波浪の効果や起潮力を導入した高解像度日本近海モデルを開発する予定であった。しかしながら平成 22 年度の気象庁との研究懇談会時に、次々期 NAPS 更新時を目処に異常潮位や急潮等の海況情報の高度化に対応できる日本沿岸海況監視予測システムの早期開発を要望された。そのため、日本近海の潮位変動の再現性に重要な起潮力の導入を前倒しで開始するとともに、水平解像度 2km 程度の日本近海モデルの開発に着手した。波浪のパラメータ化については混合層モデル高度化の一環として実施した。その後、平成 24 年度の気象庁との研究懇談会時に、当システムを気象庁現業へ平成 26 年度から

先行実施することを要望された。そのため、対象海域を瀬戸内海に限定した日本沿岸海況監視予測システムの開発を行った。

成果の他の研究への波及状況

① CLIVAR/WGOMD による標準データを用いた海洋環境モデルによる現在海洋再現実験の出力結果は、重点研究「気候変動への適応策策定に資するための気候・環境変化予測に関する研究」において地球システムモデルの初期値として用いられた。また本課題で実施された海洋環境モデルのモデル出力機能の拡充により、上記研究課題における CMIP5 実験の実行が効率化された。

② 本課題で開発された海洋環境モデルは、重点研究「気候変動への適応策策定に資するための気候・環境変化予測に関する研究」において地球システムモデルの海洋部分として利用されている。海洋環境モデルの極域での再現性向上や海洋生態系過程の高度化、ネスティング技術の高度化に関する知見は、地球システムモデルの改良に資する。

③ 本課題で開発した海洋環境モデルは、重点研究「全球及び日本近海を対象とした海洋データ同化システムの開発」において海洋データ同化システムの海洋モデルとして利用されている。MRI.COM version 3.2 は、同化システムでの利用を念頭にひとつのジョブにおける時間積分部分の独立性を高めており、同化システムの開発効率の向上が期待される。海況監視・予測などの気象庁現業で活用される予定である。

④ 本課題で得られた海洋環境モデルの短波吸収過程における再現性向上に関する知見は、重点研究「全球大気海洋結合モデルを用いた季節予測システムの開発」における次期季節予報システムの海洋モデル部分の改良に用いられた。

今後の課題

① 海洋環境モデルについては、極域を含むモデルの再現性をより向上させるために、物理スキームの改良を継続するとともに、海洋内部の炭素分布の再現性をさらに向上させるために、海洋物質循環過程の改良を引き続き実施することが必要である。

② 全球渦解像モデルの全般的な再現性は、世界の標準的な渦解像モデル（水平解像度：約 10 km）に遜色はないものの、チューニング不足のため、高解像度日本近海モデル（水平解像度：2 km）と比較すると黒潮などの再現性に劣るところがある。これらを高解像度日本近海モデルの成果を取り入れて改善する必要がある。

③ 日本近海モデルの安定性の検証とケーススタディの積み重ねによる海洋環境予測に対するインパクトの確認に引き続き取り組む必要がある。とくに、浅海域での再現性を向上させる必要がある。

④ 多段階ネスティングや複数領域のネスティングを可能にすることにより、外洋から港湾レベルまでシームレスに扱える海洋モデルを開発する必要がある。

⑤ モデルコードの開発に加えて、モデルの実行準備、実行環境、解析・分析を一体的に取り扱うことの可能なソフトウェアを整備し、検証や分析体制を充実させることにより、モデルの開発効率を向上させることが今後必要と考えられる。

⑥ 本課題で開発した海洋モデルは、気象業務への貢献にとどまらず、モデル貸与や共同研究の枠組みを通じて、日本の海洋モデリングコミュニティの活性化に寄与していく必要がある。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（気候・地球環境分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、487 ページを参照。

成果発表一覧

査読論文　：28 件

1. Endoh, T., H. Tsujino, and T. Hibiya, 2011: The Effect of Koshu Seamount on the Formation of the Kuroshio Large Meander South of Japan. J. Phys. Oceanogr., 41, 1624–1629. doi: 10.1175/JPO-D-11-074.1

2. Fujii, Y., T. Nakano, N. Usui, S. Matsumoto, H. Tsujino, M. Kamachi, 2013: Pathways of the North Pacific Intermediate Water identified through the tangent linear and adjoint models of an ocean general circulation model, J. Geophys. Res., in press.
3. Hirabara, M., H. Ishizaki, G. Yamanaka, H. Tsujino and I. Ishikawa, 2010: Additional flux arising from unresolved scales in eddying ocean models, J. Oceanogr., 66, 633-647, doi:10.1007/s10872-010-0052-6.
4. Hirabara, M., H. Tsujino, H. Nakano, and G. Yamanaka, 2012: Formation mechanism of the Weddell Sea Polynya and the impact on the global abyssal ocean, J. Oceanogr., 68, 771-796, doi: 10.1007/s10872-012-0139-3.
5. Hurlburt, H. E., G. B. Brassington, Y. Drillet, M. Kamachi, M. Benkiran, R. Bourdalle-Badie, E. P. Chassignet, G. A. Jacobs, O. Le Galloudec, J. M. Lellouche, E. J. Metzger, O. M. Smedstad, B. Tranchant, H.Tsujino, N.Usui, and A. J. Wallcraft, 2009: High-Resolution Global and Basin-Scale Ocean Analyses and Forecasts, Oceanography, 22, no. 3 110-127.
6. Ishikawa, I., and H. Ishizaki, 2009: Importance of eddy representation for modeling the intermediate salinity minimum in the North Pacific: Comparison between eddy-resolving and eddy-permitting models, J. Oceanogr., 65, 407-425.
7. Ishizaki, H. and G. Yamanaka, 2010: Impact of explicit sun altitude in solar radiation on an ocean model simulation, Ocean Modelling, 33, 52-69.
8. Ishizaki, H., T. Nakano, H. Nakano, and N. Shikama, 2012: Direct measurements of deep current at 162E south of the equator in the Malanesian Basin: a trial to detect a corss-equatorial deep western boundary current, J. Oceanogr., 68, 929-957.
9. Ishizaki, H., H. Nakano, T. Nakano, and N. Shikama, 2013: Evidence of equatorial Rossby wave propagation obtained by deep mooring observation in the western Pacific Ocean. Submitted to J. Oceanogr.
10. Nakano, H., and I. Ishikawa, 2010: Meridional shift of the Kuroshio Extension induced by response of recirculation gyre to decadal wind variations. Deep-Sea Res. Part II., 57, 1111-1126.
11. Nakano, H., T. Motoi, K. Hirose, and M. Aoyama, 2010: Analysis of 137Cs concentration in the Pacific using a Lagrangian approach. J. Geophys. Res., 115, C06015, doi:10.1029/2009JC005640.
12. Nakano, H., H. Tsujino, M. Hirabara, T. Yasuda, T. Motoi, M. Ishii, and G. Yamanaka, 2011: Uptake mechanism of anthropogenic CO_2 in the Kuroshio Extension Region in an ocean general circulation model. J. Oceanogr., 67, Issue 6, 765-783, doi:10.1007/s10872-011-0075-7.
13. Nakano, H., H. Tsujino, and K. Sakamoto, 2013: Tracer transport in cold-core rings pinched-off from the Kuroshio Extension in an eddy-resolving ocean general circulation model, J. Geophys. Res., in press.
14. Nishikawa, S., H. Tsujino, K. Sakamoto, and H. Nakano, 2010: Effects of mesoscale eddies on subduction and distribution of subtropical mode water in an eddy-resolving OGCM of the western North Pacific, J. Phys. Oceanogr., 40, 1748-1765.
15. Nishikawa, S., H. Tsujino, K. Sakamoto, H. Nakano, 2013: Diagnosis of water-mass transformation and formation rates in a high-resolution GCM of the North Pacific, J. Geophys. Res., in press.
16. Sakamoto, K., H. Tsujino, S. Nishikawa, H. Nakano, and T. Motoi, 2010: Dynamics of the coastal Oyashio and its seasonal variation in a high-resolution western North Pacific ocean model. J. Phys. Oceanogr., 40, 1283-1301.
17. Sakamoto, K., H. Tsujino, H. Nakano, M. Hirabara, G.Yamanaka, 2013: A practical scheme to introduce explicit tidal forcing into an OGCM, Ocean Science, 9, 1089-1108.

18. Sugimoto, S., K. Hanawa, T. Yasuda, and G. Yamanaka, 2012: Low-frequency variations of the eastern subtropical front in the North Pacific in an eddy-resolving ocean general circulation model: Roles of central mode water in the formation and maintenance, J. Oceanogr., 68, 521-531, doi:10.1007/s10872-012-0116-x
19. Tsujino, H., S. Nishikawa, K. Sakamoto, H. Nakano, and H. Ishizaki, 2010: Mesoscale eddy statistics and implications for parameterization refinements from a diagnosis of a high resolution model of the North Pacific. Ocean Modelling, 33, 205-223, doi:10.1016/j.ocemod.2010.02.004
20. Tsujino, H., M. Hirabara, H. Nakano, T. Yasuda, T. Motoi, and G. Yamanaka, 2011: Simulating present climate of the global ocean-ice system using the Meteorological Research Institute Community Ocean Model (MRI.COM): simulation characteristics and variability in the Pacific sector. J. Oceanogr., 67, Issue 4(2011), 449-479, doi:10.1007/s10872-011-0050-3.
21. Tsujino, H., S. Nishikawa, K. Sakamoto, N. Usui, H. Nakano, G. Yamanaka, 2013: Effects of large-scale wind on the Kuroshio path south of Japan in a 60-year historical OGCM simulation, Climate Dynamics, doi:10.1007/s00382-012-1641-4.
22. Usui, N., H. Tsujino, H. Nakano, Y. Fujii, M. Kamachi, 2011: Decay mechanism of the 2004/05 Kuroshio large meander, J. Geophys. Res., 113, C08047, doi:10.1029/2007JC004675.
23. Usui, N., H. Tsujino, H. Nakano, S. Matsumoto, 2013: Long-term variability of the Kuroshio path south of Japan, J. Oceanogr., in press.
24. Yamanaka, G., T. Yasuda, Y. Fujii, and S. Matsumoto, 2009: Rapid termination of the 2006 El Niño and its relation to the Indian Ocean. Geophysical Research Letters, 36, L07702, doi:10.1029 / 2009GL037298.
25. Yamanaka, G., H. Ishizaki, H. Tsujino, H. Nakano, and M. Hirabara, 2012: Impact of prescribed solar radiation data and its absorption schemes on ocean model simulations, Solar Radiation, InTech, ISBN 979-953-307-424-4.
26. Yamanaka, G., H. Tsujino, H. Nakano, and M. Hirabara, 2013: Decadal variability of the subtropical cell and the sea surface height of the tropical Pacific in a historical OGCM simulation, Submitted to J. Climate.
27. 坂本圭，山中吾郎，辻野博之，中野英之，平原幹俊，2013: 次世代日本近海予測モデル MRI.COM-JPN によるあびきの予測可能性, 海と空, 88(3), 15-28.
28. 中野渡拓也，三寺史夫，本井達夫，大島慶一郎，石川一郎，2010：渦解像海洋大循環モデルで再現される北太平洋中層水の 50 年規模の低温化，海と空，85, 141-150.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：13 件

1. Griffies, S.M., A.J. Adcroft, H. Banks, C.W. B¨oning, E.P. Chassignet, G. Danabasoglu, S. Danilov, E. Deleersnijder, H. Drange, M. England, B. Fox-Kemper, R. Gerdes, A. Gnanadesikan, R.J. Greatbatch, R.W. Hallberg, E. Hanert, M.J. Harrison, S. Legg, C.M. Little, G. Madec, S.J. Marsland, M. Nikurashin, A. Pirani, H.L. Simmons, J. Schr¨oter, B.L. Samuels, A.-M. Treguier, J.R. Toggweiler, H. Tsujino, G.K. Vallis, L. White, 2009: Problems and Prospects in Large-Scale Ocean Circulation Models, OceanObs'09 White Paper.
2. Griffies, S. M., A. J. Adcroft, H. Aiki, V. Balaji, M. Bentson, F. Bryan, G. Danabasoglu, S. Denvil, H. Drange, M. England, J. Gregory, R. W. Hallberg, S. Legg, T. Martin, T. McDougall, A.Pirani, G. Schmidt, D. Stevens, K. E. Taylor, and H. Tsujino, 2009: Sampling Physical Ocean Fields in WCRP CMIP5 Simulations, ICPO Publication Series 137, WCRP Informal Report, No. 3/2009.
3. Griffies, S. M., J. Yin, S. C. Bates, E. Behrens. M. Bentsen, D. Bi, A. Biastoch, C. Böning. A.

Bozec, C. Cassou, E. Chassignet, G. Danabasoglu, S. Danilov, C. Domingues, H. Drange, P. J. Durack, R. Farneti, E. Fernandez, P. Goddard, R. J. Greatbatch, M. Ilicak, J. Lu, S. J. Marsland, A. Mishra, K. Lorbacher, A. J. G. Nurser, D. Salas y Mélia, J. B. Palter, B. L. Samuels, J. Schröter, F. U. Schwarzkopf, D. Sidorenko, A. M. Treguier, Y. Tseng, H. Tsujino, P. Uotila, S. Valcke, A.Voldoire, Q. Wang, M. Winton, X. Zhang, 2013: An assessment of global and regional sea level in a suite of interannual COREII simulations: a synopsis, CLIVAR Exchanges, No. 62, 11-15.

4. Nakanowatari, T., H. Mitsudera, T. Motoi, K. I. Oshima, and I. Ishikawa, 2009: 50-yr scale change in the intermediate water temperature in the western North Pacific simulated by an eddy-resolving sea-ice coupled OGCM, PICES Sci. Rep., 39, 102-106.
5. Tsujino, H., T. Motoi, I. Ishikawa, M. Hirabara, H. Nakano, G. Yamanaka, T. Yasuda, and H. Ishizaki, 2010: Reference Manual for the Meteorological Research Institute Community Ocean Model (MRI.COM) Version 3., Technical Reports of the Meteorological Research Institute, No.59, 241pp.
6. Yamanaka, G., 2010: Discrepancies between observed and OGCM-simulated anomalies in recent SSTs of the tropical Indian Ocean, Proceedings of OceanObs'09.
7. 坂本圭, 辻野博之, 西川史朗, 中野英之, 本井達夫, 2010: 北西太平洋モデルにおける沿岸親潮とその短周期蛇行, 九州大学応用力学研究所研究集会報告 21ME-S6, 1-10.
8. 坂本圭, 山中吾郎, 辻野博之, 中野英之, 平原幹俊, 2013: 日本近海 2km モデルの開発 -次世代日本沿岸監視予測システムに向けて, 測候時報, 80, S99-S109.
9. 辻野博之, 2010: 気象研究所共用海洋モデル（MRI.COM）最新版（バージョン 3）と実施中の実験の紹介, 測侯時報, 特集号「新海洋データ同化システム（MOVE/MRI.COM）による海洋情報の高度化」, 77, S1-S10.
10. 中野英之, 2009: 2008 年度岡田賞受賞記念論文, 海洋大循環モデルを用いた中・深層を中心とする海洋循環場の研究, 海の研究, 18, 7-22.
11. 中野英之, 2010: 気象研究所における海洋生態系モデリングの取り組み, 測候時報 特集号「新海洋データ同化システム(MOVE/MRI.COM)による海洋情報の高度化」, 77, S11-S21.
12. 村上潔，日比野祥，福田義和，北村知之，辻野博之，中野俊也，2013: 気象庁定線観測データとアルゴフロートデータを用いた北太平洋の北緯 24 度線を横切る南北熱輸送量の見積もり, 月刊海洋，Vol.45，No.1，p3-9.
13. 山中吾郎，石崎廣，辻野博之，平原幹俊，中野英之，2010：海洋モデルの太平洋亜熱帯セルの再現性に対する海水の有効光学的特性の影響および太平洋亜熱帯セルの数十年規模変動、平成 22 年度全国季節予報技術検討会資料（気象研究所）.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：4 件

1. Hirabara, M. and M. Kamachi, 2010: Ocean Model, Workshop on JMA Global Wave and Ocean Circulation. Malaysian Meteorological Department, Sept., 2010, Malaysia.
2. Kamachi, M., N. Usui, T. Tsujino, Y. Fujii, S. Matsumoto, S. Ishizaki, 2010: Ocean Data Assimilation and Prediction Experiments in JMA and MRI, Workshop on JMA Global Wave and Ocean Circulation. Malaysian Meteorological Department, Sept., 2010, Malaysia.
3. Nakano, H., H. Tsujino, and K. Sakamoto, 2012: Tracer transport by a cold-core ring pinched-off from the Kuroshio Extension in an eddy-resolving ocean general circulation model, AGU Fall Meeting 2012, Dec. 2012, San Francisco, USA.
4. Tsujino, H., S. Nishikawa, K. Sakamoto, N. Usui, H. Nakano, and G. Yamanaka, 2012: Effects of large-scale wind variation on the Kuroshio path south of Japan in a 60-year historical GCM simulation, PICES 2012 Annual Meeting 2012, Oct. 2012, Hiroshima, Japan.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：29 件

1. 石崎廣, 2012：162°E 赤道近傍深層測流結果（1998-2005 年）から見えてきたもの –DWBC, 平均東西流システム，赤道ロスビー波－，海洋大循環の力学とくに中深層循環におよぼす海岸，海底地形の影響に関する研究集会.
2. 坂本圭, 辻野博之, 西川史朗, 中野英之, 本井達夫, 2009: 北西太平洋モデルにおける沿岸親潮とその短周期蛇行, 九州大学地球流体力学研究集会.
3. 坂本圭, 辻野博之, 西川史朗, 中野英之, 本井達夫, 2010: 北西太平洋モデルにおける沿岸親潮の短周期蛇行(II), 2010 年度日本海洋学会春季大会.
4. 坂本圭，辻野博之，中野英之，山中吾郎，2011：OGCM における順圧潮汐フォーシングの導入手法，2011 年度日本海洋学会秋季大会.
5. 坂本圭, 辻野博之, 中野英之, 山中吾郎, 平原幹俊, 2011: 次世代日本近海予測モデルの構築に向けて -モデルの概要と再現性, 2011 年度九州沖縄地区合同シンポジウム「東アジア域での大気海洋相互作用と大気粒子研究の現状」.
6. 坂本圭, 山中吾郎, 辻野博之, 中野英之, 平原幹俊, 2013: 次世代日本近海予測モデル MRI.COM-JPN によるあびきの予測可能性, 2013 年度日本海洋学会春季大会.
7. 坂本圭, 山中吾郎, 辻野博之, 碓氷典久, 平原幹俊, 小川浩司, 2013: 日本沿岸海況監視予測システムに向けた瀬戸内海モデルの開発, 2013 年度日本海洋学会秋季大会.
8. 杉本周作，花輪公雄，安田珠幾，山中吾郎，2011：北太平洋東部亜熱帯前線強度の長周期変動機構，2011 年度日本海洋学会春季大会.
9. 辻野博之，西川史朗，坂本圭，中野英之，石崎廣，2009: 渦解像モデルの渦位分布とその渦フラックスについて, 2009 年日本海洋学会秋季大会，講演番号 149, 京都大学吉田キャンパス.
10. 辻野博之，平原幹俊，中野英之，安田珠幾，本井達夫，山中吾郎、2010：MRI-ESM 用海洋単体モデルによる現在気候再現実験(1)：実験の概要とパフォーマンス，2010 年度日本海洋学会秋季大会.
11. 辻野博之，西川史郎，坂本圭，碓氷典久，中野英之，山中吾郎，2011：全球－北西太平洋ネストモデルによる黒潮経年変動再現実験，2011 年度日本海洋学会春季大会.
12. 辻野博之，2013：気象研究所における海洋モデル開発の現状と今後の方向性について, 2013 年度日本海洋学会春季大会シンポジウム，ポスト「京」に向けた計算科学としての海洋学の展望，東京，日本，2013 年 3 月.
13. 辻野博之，2013：気象研究所における汎用海洋モデル開発の現状と展望，2013 年度日本海洋学会秋季大会シンポジウム, 海洋モデリング研究の今後を展望する, 札幌， 日本， 2013 年 9 月.
14. 中野俊也, 2011：気象庁 WHP-P9 再観測（1）－観測概要－，2011 年度日本海洋学会春季大会.
15. 中野英之，辻野博之，平原幹俊，安田珠幾，石井雅男，緑川貴，本井達夫，山中吾郎，2010：MRI-ESM1 用海洋単体モデルによる現在気候再現実験(3)：炭素循環モデルにおける 黒潮続流域の人為起源 CO_2 吸収，2010 年度日本海洋学会秋季大会.
16. 中野英之，辻野博之，坂本圭，2012：冷水渦によるトレーサー輸送，2012 年度日本海洋学会秋季大会，静岡県清水市，2012 年 9 月.
17. 日比野祥, 村上潔, 中野俊也, 辻野博之, 平原幹俊, 中野英之, 山中吾郎, 2011：気象庁 WHP-P9 再観測（4）－深・底層水温の変化について（MRI.COM による経年変動再現実験結果の解析），2011 年度日本海洋学会春季大会.
18. 平原幹俊， 2009: 渦を表現するモデルにおける水平速度勾配に関連した移流フラックスの付加, 海洋大循環の力学とくに中深層循環におよぼす海岸、海底地形の影響に関する研究集会.
19. 平原幹俊，辻野博之，中野英之，山中吾郎，安田珠幾，2010：MRI-ESM1 用海洋単体モデルによる現在気候再現実験(5)：南大洋深層循環の変動，2010 年度日本海洋学会秋季大会.
20. 平原幹俊，2010：海洋モデルを用いた歴史実験に見られる南大洋深層循環の変動, 海洋大循環

の力学とくに中深層循環におよぼす海岸，海底地形の影響に関する研究集会，九州大学応用力学研究所.
21. 平原幹俊，辻野博之，中野英之，坂本圭，山中吾郎, 2013：海洋モデルを用いた歴史実験における Weddell Polynya の再現, 2013 年度日本海洋学会秋季大会.
22. 村上潔，重岡裕海，日比野祥，延与和敬，中野俊也，2011：気象庁 WHP-P9 再観測(2)－深・底層の水温変化－，2011 年度日本海洋学会春季大会.
23. 村上潔，日比野祥，中野俊也，福田義和，北村知之，辻野博之，2012：気象庁定線データとアルゴフロートデータを用いた北太平洋亜熱帯域における南北熱輸送量の見積もり．東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会「アルゴ時代の海洋物理船舶観測」.
24. 安田珠幾，末吉雅和，辻野博之，平原幹俊，中野英之，山中吾郎，2010：MRI-ESM1 用海洋単体モデルによる現在気候再現実験(2)：日本沿岸水位の数十年規模変動，2010 年度日本海洋学会秋季大会.
25. 安田珠幾, 辻野博之, 中野英之, 坂本圭, 山中吾郎, 2012：渦解像海洋大循環モデルにおける日本沿岸水位の経年変動, 2012 年度日本海洋学会春季大会，茨城県つくば市，2012 年 3 月.
26. 山中吾郎，石崎廣，平原幹俊，石川一郎，2009：渦解像モデルにおける西部北太平洋亜熱帯前線の十年規模変動、2009 年度日本海洋学会春季大会.
27. 山中吾郎, 石崎廣,平原幹俊，石川一郎, 2010：気象研北太平洋渦解像モデル（NPERM5）における亜熱帯前線の長期変動およびモード水との関連, 2010年度日本海洋学会春季大会シンポジウム.
28. 山中吾郎，辻野博之，平原幹俊，中野英之，安田珠幾，2010：MRI-ESM 用海洋単体モデルによる現在気候再現実験(4)： 太平洋亜熱帯セル(STC)の長期変動，2010 年度日本海洋学会秋季大会.
29. 山中吾郎，辻野博之，中野英之，平原幹俊，2013：太平洋亜熱帯セルとそれに関連した海面水位の十年規模変動，2013 年度日本海洋学会秋季大会.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：15 件

1. Nakano, H., H. Tsujino, and K. Sakamoto, 2012: Tracers in cold-core eddies detached from the Kuroshio Extension, Ocean Science Meeting 2012, Feb, 2012, Salt Lake City, USA.
2. Sakamoto, K., H. Tsujino, S. Nishikawa, H. Nakano and T. Motoi, 2010: Dynamics of the Coastal Oyashio and Its Seasonal Variation in a High-Resolution Western North Pacific Ocean Model, Ocean Science Meeting, Oregon, USA.
3. Sakamoto, K., H. Tsujino, H. Nakano, M. Hirabara, and G. Yamanaka, 2012 : Development of a high-resolution Japanese coastal ocean model toward operational monitoring and forecasting, PICES Annual Meeting 2012, Oct, 2012, Hiroshima, Japan.
4. Sakamoto, K., H. Tsujino, H. Nakano, M. Hirabara, and G. Yamanaka, 2013 : Development of a high-resolution Japanese coastal ocean model toward operational monitoring and forecasting, GODAE 2nd COSS-TT International Coodination Workshop, Feb, 2013, Lecce, Italy.
5. Tsujino, H., 2009: Diagnosis of eddy fluxes in a hierarchy of high resolution models of the North Pacific, WGOMD Workshop on Ocean Mesoscale Eddies, UK Met Office, Exeter, UK.
6. Tsujino, H., M. Hirabara, H. Nakano, T. Motoi, and G. Yamanaka, 2010: A long-term spin-up of a CMIP-class global ocean-ice model of JMA/MRI using CORE-II, WGOMD-GSOP Workshop on decadal variability, predictability, and prediction: Understanding the role of the ocean, Boulder, Colorado, USA.
7. Tsujino, H., S. Nishikawa, K. Sakamoto, and G. Yamanaka, 2010: A long-term hindcast of the Kuroshio using a high resolution GCM, AGU Fall Meeting 2010, San Francisco,

USA.

8. Yamanaka, G., 2009: Discrepancies between observed and OGCM-simulated anomalies of the recent SSTs in the tropical Indian Ocean, OceanObs'09, Venice, Italy.
9. Yamanaka, G., H. Ishizaki, H. Tsujino, M. Hirabara, and H. Nakano, 2010: Impact of effective ocean optical properties on Pacific subtropical cell and its mechanism for interdecadal variability, AGU Fall Meeting 2010, San Francisco, USA.
10. Yamanaka, G., H. Ishizaki, H. Tsujino, M. Hirabara, and H. Nakano, 2011: Interdecadal variability of the Pacific subtropical cell: sensitivities to effective ocean optical properties, 2011 IUGG General Assembly, Melbourne, Australia.
11. Yamanaka, G., H. Ishizaki, H. Nakano, H. Tsujino, and M. Hirabara, 2012: Pacific subtropical cell response to effective ocean optical properties, Ocean Sciences Meeting 2012, Feb, 2012, Salt Lake City, USA.
12. Yamanaka, G., H. Ishizaki, H. Tsujino, H. Nakano, and M. Hirabara, 2012: Interdecadal variability of the Pacific subtropical cell: an OGCM study, Open Science Symposium on Western Pacific Ocean Circulation and Climate, Oct, 2012, Qingdao, China.
13. Yamanaka, G., H. Tsujino, H. Ishizaki, H. Nakano, and M. Hirabara, 2012: Impact of effective ocean optical properties on the Pacific subtropical cell: a CGCM study, AGU Fall Meeting 2012, Dec, 2012, San Francisco, USA.
14. Yasuda, T., 2010: Interdecadal variability and rising trend of sea level along the Japanese coast, IPCC Workshop on sea level rise and ice sheet instabilities, Kuala Lumpur, Malaysia.
15. Yasuda, T., and M. Sueyoshi, 2010: Interdecadal variability and rising trend of sea level along the Japanese coast, AGU Fall Meeting 2010, San Francisco, USA.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：21 件

1. 石崎廣，中野俊也，四竈信行，2011：東経１６５度赤道近傍での深層測流（３）－４回の観測のまとめー，2011 年度日本海洋学会春季大会.
2. 石崎廣, 中野英之, 中野俊也, 2013：深層測流結果にみられる赤道ロスビー波のシグナル, 2013 年度日本海洋学会春季大会.
3. 小畑淳，2010：気候変動に及ぼす炭素循環の影響ー将来百年予測についてー，第 8 回環境研究シンポジウム.
4. 坂本圭, 辻野博之, 西川史朗, 中野英之, 本井達夫, 2009: 北西太平洋モデルにおける沿岸親潮の短周期蛇行, 2009 年度日本海洋学会秋季大会.
5. 坂本圭，辻野博之，西川史朗，中野英之，2010：MRI.COM ネスト・モデルへの潮汐の導入，2010 年度日本海洋学会秋季大会.
6. 坂本圭，辻野博之，西川史朗，中野英之，山中吾郎，2011：MRI.COM ネスト・モデルへの潮汐の導入（Ⅱ），2011 年度日本海洋学会春季大会.
7. 坂本圭, 辻野博之, 中野英之, 山中吾郎, 2012：MRI.COM ネスト・モデルへの潮汐の導入(III), 2012 年度日本海洋学会春季大会，茨城県つくば市，2012 年 3 月.
8. 辻野博之, 坂本圭, 中野英之, 山中吾郎，2012：日本近海高解像度モデルにおける混合層とモード水形成，日本海洋学会 2012 年度秋季大会，静岡県清水市，2012 年 9 月.
9. 中野英之，本井達夫，山中吾郎，平原幹俊，辻野博之，2009：全球渦非解像 NPZD モデルにおける栄養塩及び生物化学過程の収支，2009 年度日本海洋学会秋季大会.
10. 中野英之，辻野博之，坂本圭，2011：黒潮続流域の冷水渦中の高栄養塩の起源，2011 年度日本海洋学会秋季大会.
11. 中野英之，辻野博之，平原幹俊，坂本圭，山中吾郎，2013：黒潮続流に対する Shatsky Rise の効果，2013 年度日本海洋学会秋季大会.
12. 西川史朗，辻野博之，坂本圭，中野英之，2010：北太平洋海洋大循環モデルを用いた表層水塊解析手法の比較，2010 年度日本海洋学会春季大会.

13. 平原幹俊, 石崎廣, 山中吾郎, 辻野博之, 2009:拡散スキームが渦許容モデルの再現性能に与える影響, 2009 年度日本海洋学会春季大会.
14. 平原幹俊, 辻野博之, 中野英之, 山中吾郎, 2009: 南半球環状モードの西風偏差に対する太平洋深層循環の応答, 2009 年日本海洋学会秋季大会.
15. 平原幹俊, 石崎廣, 中野英之, 辻野博之, 山中吾郎, 2010：渦を表現するモデルにおけるサブグリッド輸送のパラメタリゼーション, 2010 年度日本海洋学会春季大会.
16. 平原幹俊, 辻野博之, 中野英之, 山中吾郎, 安田珠幾, 2011：海洋モデルを用いた経年変動実験に見られる南大洋深層循環の変動, 2011 年度日本海洋学会春季大会.
17. 平原幹俊, 辻野博之, 中野英之, 山中吾郎, 安田珠幾, 2011：海洋モデルを用いた経年変動実験に見られる南大洋深層循環の変動Ⅱ, 2011 年度日本海洋学会秋季大会.
18. 山中吾郎, 石崎廣, 2009: 大気海洋結合モデルに対する海洋短波吸収スキームのインパクト, 日本気象学会 2009 年度春季大会.
19. 山中吾郎, 安田珠幾, 藤井陽介, 松本聡, 2010：2006 エルニーニョの衰退過程, 2010 年度日本海洋学会春季大会.
20. 山中吾郎, 石崎廣, 中野英之, 辻野博之, 平原幹俊, 2011：熱帯太平洋の短波吸収におけるクロロフィル分布の影響, 2011 年度日本海洋学会秋季大会.
21. 山中吾郎, 辻野博之, 石崎廣, 中野英之, 平原幹俊, 2012：大気海洋結合モデルにおける海水の光学的特性の影響, 2012 年度日本海洋学会秋季大会, 静岡県清水市, 2012 年 9 月.

全球及び日本近海を対象とした海洋データ同化システムの開発

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度

研究代表者：蒲地政文[1)]、岩尾尊徳[2)]（海洋研究部第二研究室長）、倉賀野連[3)]（海洋・地球化学研究部第二研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１　変分法同化技術の高度化

倉賀野連[3)]、蒲池政文、辻野博之[3)]、中野英之[3)]、碓氷典久、藤井陽介、小川浩司[3)]、豊田隆寛[4)]（海洋研究部）、和田章義[3)]、（台風研究部）足立典之[3)]、（気候情報課）、高野洋雄[3)]、石崎士郎、岡田良平[3)]、（海洋気象情報室）、鳥山暁人[1)]、松本　聡[1)]、岩尾尊徳[2)]（海洋研究部）、曽我太三[5)]、杉本裕之[6)]（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）

副課題２　日本近海の海況監視・予測技術の開発

倉賀野連[3)]、蒲池政文、辻野博之、中野英之、碓氷典久、藤井陽介[3)]、小川浩司[4)]、豊田隆寛[3)]、松本　聡[1)]（海洋研究部）、和田章義（台風研究部）、足立典之[3)]、（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）、高野洋雄、石崎士郎、岡田良平[3)]、（気象庁地球環境・海洋部海洋気象情報室）

研究の目的

海洋環境モデル（海洋・海氷結合モデル、物質循環・海洋生態系モデル）及び海洋同化システムの研究並びに同化システムや観測データ等を用いた海洋環境変動機構の解明の研究に取り組み、海洋における海洋長期再解析データを作成することにより、海洋環境情報の高度化を図る。

浅海波浪過程を導入した波浪モデルの開発、波浪同化モデルの開発、波浪・海流相互作用の研究等に取り組み、高波や高潮等を精度よく予測できる日本近海監視・予測システムのアルゴリズムを開発する。

研究の動機・背景

気象庁の海洋関連業務（海況予報業務・エルニーニョ予報業務）に使用される海洋データ同化システムの開発を継続・発展させるために重点研究として本研究を行う。

副課題１　変分法同化技術の高度化

① 全球海洋データ同化システムの開発

現在、気象庁の現業エルニーニョ予報業務用全球海洋データ同化システムは、北緯 75 度までの海洋モデルで、緯度・経度の水平座標系であり、それに合わせた同化システムである。現在開発中の地球システムモデルで用いられている海洋モデルは、3 極の一般化座標系であり北極も含んでいる。この新しい地球システムモデルの座標系を用いた同化技術の開発が喫緊の課題である。

② 新しい観測データの同化技術開発

現在、気象庁での海況予報業務用北西太平洋海洋データ同化システムは、オホーツク海を含んだ海域の情報を提供しているが、海氷モデルへの海氷密接度データの同化は行われていない。そのため、正確な海氷情報を提供するために、海氷同化技術の開発が求められている。また、新しい観測データとして衛星海面塩分データの同化技術の開発も世界的に求められている。

③ 海洋長期再解析の実施

国際研究計画（GOOS/GODAE_OceanView, JCOMM/ET-OOFS, CLIVAR/GSOP）では、海洋の同化実験（再解析）を行い、国際的な比較実験に参加することが求められている。その再解析データを用いて海洋中の気候変動を検証することにより、同化スキームの改良点を明確にしたうえで改善を図る

[1)]平成 21 年度、[2)]平成 22 年度～平成 23 年度、[3)]平成 24 年度～平成 25 年度、[4)]平成 22 年度～平成 25 年度、[5)]平成 21 年度～平成 22 年度、[6)]平成 23 年度

必要がある。

④　4次元変分法の開発（アジョイントモデルの作成）

気象庁の海洋関連業務に使用されている海洋データ同化システムは多変量の3次元変分法を用いている。海況と気候の監視・予測精度をさらに向上させるために4次元変分法の開発（アジョイントモデルの作成）が必要である。

副課題２　日本近海の海況監視・予測技術の開発

①　海洋総合解析システム（MOVE/MRI.COM-WNP）の高度化

平成 20 年 3 月から現業化された北西太平洋の監視・予報を行う海洋総合解析システム（MOVE/MRI.COM-WNP）の親潮海域には低温バイアスがあり、そのバイアスを取り除いて精度が向上した水温・流速の情報提供が喫緊の課題である。その為に低温バイアスに関する制約条件や中規模渦まわりのフロント構造に準拠した非等方的な誤差統計量の算出方法の開発が求められている。

②　波浪の海流への影響の研究

現在の気象庁の現業波浪モデルは、沖合のみを扱っているため浅海用に改良することが必要である。

海況監視・予測業務に使用する海洋モデルと同化システムの解像度が細かくなるに従い、波浪などの海流への影響が重要になることが指摘されはじめている。またその波浪モデルを用いた海洋混合層での混合過程への影響も考慮する必要がある。

③　局所大気海洋相互作用の研究

局所的な大気・波浪・海洋混合層結合モデルを構築する場合、海洋データ同化システムから得られる結果を初期値・境界値として用いて精度を向上させるための影響評価がなされていない。また、同モデルを用いた局所的な大気海洋相互作用、特に海面水温フロント付近の海上風の変動等を調べることによる改良が必要である。

研究の成果の到達目標

副課題１　変分法同化技術の高度化

海洋環境同化システムの開発に取り組み、海洋長期再解析データを作成することにより、海洋環境情報の高度化を図る。

副課題２　日本近海の海況監視・予測技術の開発

現在気象庁で現業運用されている同化スキームの改良、浅海波浪過程を導入した波浪モデルの開発、波浪同化システムの開発、波浪の海流への影響に関する研究・開発に取り組み、日本近海監視・予測システムの基礎を確立する。

研究結果

（成果の概要）

副課題１「変分法同化技術の高度化」では、新しい全球海洋大循環モデルでの座標系へ緯度・経度座標系での解析値を変換するスキームを開発した。高度計データ同化の改善に向けた検証、海氷密接度の同化スキームの開発をすすめた。三極座標系（一般座標系）海洋データ同化システムにより再解析を実施し、他の研究機関のシステムと比べて解析精度が高いことが明らかになった。また4次元変分法では短期の変動について3次元変分法よりもよく表現できていることを明らかにした。また現業導入に向けた、4次元変分法の計算効率化などを行った。

副課題２「日本近海の海況監視・予測技術の開発」では、誤差の非ガウス性を考慮した拘束条件を開発し、海洋観測データ及び潮位計データの解析によるモデル及び同化の有効性を検証した。瀬戸内海を対象とした日本近海海況監視予測システム（MOVE/MRI.COM-SETO）の初期化手法の開発を行った。また浅海波浪スキームの波浪モデルへの導入を実施、その精度検証を行った。非静力学大気波浪海洋結合モデルにおける、海洋データの台風予測へのインパクトを調べ、台風強度予測への海洋初期値場の効果について有効な知見が得られた。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　変分法同化技術の高度化

①　全球海洋データ同化システムの開発

・地球システムモデル等で使用されている3極一般化座標の海洋大循環モデルに対応した同化システム（3次元変分法）を構築するため、一般化座標と極座標の変換スキーム及び極座標系での全球解析スキームを開発した。

・超音波流速計と曳航式CTDを用いた観測を、気象庁地球環境・海洋部及び神戸海洋気象台と共同で日本南方及び熱帯で実施し、この観測データを用いて、塩分場を中心とした精度検証、水温・塩分の関係を壊さずに同化するスキームの効果の検証、南太平洋起源の高塩分水の挙動等の詳細な解析等を行った。

・次期エルニーニョ予測システムに向けて、北極を含む海洋モデルを用いた3次元変分法によるデータ同化システムのプロトタイプを作成し、北極の海氷などが適切に再現されることを確認した。

・同化に必要な統計量を月ごとに変化させることができるようにするため、データ同化システム本体、及び、統計量の作成ルーチンの改良を行った。

・全球海水質量の増加トレンドや順圧成分の季節変動を考慮した、全球海水質量補正スキームの改良を行い、2005年以降、太平洋熱帯域に見られていた高温バイアスの軽減を行った。

②　新しい観測データの同化技術開発

・現業用海氷モデルがマルチカテゴリを採用した最新のモデルに変更されることに伴い、マルチカテゴリ海氷モデルに対する海氷密接度のナッジング手法の開発を行った。また、同化実験を行い、オホーツク海の海氷が適切に再現されていることが確認された。本スキームは、平成22年度末に気象庁海洋気象情報室で運用中の北西太平洋システムに導入された。

・3次元変分法による海氷密接度データの同化スキームを開発した。この際に、モデル海氷の熱力学・力学的な整合性を考慮した新しい手法を提案した。これにより、海洋－海氷場の再現性の向上と予報における誤差（初期ショック）を低減できることが確認された。

・衛星海面塩分データの全球同化実験を行った。Argoデータが少ない極域では、塩分・水温・海氷場に大きな影響みられ、亜熱帯域ではこれまで分解されていなかった収束域の表層高塩分水が強調され、回帰線水分布域に広く高塩・高温化と混合層深化がみられた。海大陸や熱帯収束帯でも、Argoなどのこれまでの観測で十分分解されず、またモデル（フォーシング）誤差の大きな海域で修正が見られた。衛星海面塩分データの同化により、海況解析精度を向上させる可能性があることが分かった。

③　海洋長期再解析の実施

・現行のエルニーニョ予測業務に用いられている全球極無し版海洋データ同化システムを用いて1948年～2011年の再解析を行い、熱帯域の塩分変動やバリアレイヤーの解析等に利用した。

・北西太平洋版では1985年～2010年の再解析を実施した。

・次期エルニーニョ予測用に開発している全球三極座標系（一般座標系）版海洋データ同化システムを用いて1948年～2012年の再解析を行い、CLIVAR-WGOMDのモデル相互比較プロジェクト（CORE-II）、及び、CLIVAR-GSOPの同化再解析データの相互比較プロジェクトに、データを提出した。比較の結果、海面高度変動などの再現性は、他の機関よりよいが、1990年代以降の全球平均水温は他の機関の結果より大きく上昇しているなどの特徴が明らかになった。現在、他の研究者と協力のもと、比較結果に関する複数の論文を、作成中、或いは、準備中である。

④　4次元変分法の開発（アジョイントモデルの作成）

・アジョイントモデルを作成し、以下の改良を行った。
  ・積分計算を途中で中断した後に継続計算が可能となるようにプログラムの改良
  ・気象庁海洋気象情報室で運用中の北西太平洋モデルに合わせたアジョイントモデルのバージョンアップ
  ・海氷モデルを結合しない場合に生じる亜寒帯域の亜表層水温の高温バイアスを軽減するため、海氷モデルを結合したアジョイントモデルが実行できるようなスキームの改良

・既存の 3 次元変分法の背景誤差共分散行列を用い、観測データをモデルに同化するスキームの開発、4 次元変分法データ同化システムの作成を実施した。
・2 次元並列化や初期推定値に 3 次元変分法の結果を用いるスキーム等を組み入れ、現業用バージョンを確定し、外力にGSMのフォーシングを用いた、2009～2012年の再解析実験を実施した。
・開発した接線型モデルとアジョイントモデルを用いて、ある水塊が起源海域から終着海域まで移動するときの途中経路の確率密度の解析手法を開発し、北太平洋中層水がシャツキライズ付近で黒潮から亜熱帯循環内へと取り込まれることを明らかにし、論文で発表した。

副課題２　日本近海の海況監視・予測技術の開発

①　海洋総合解析システム（MOVE/MRI.COM-WNP）の高度化

・亜寒帯域での低温バイアスを低減するスキームとして、既存の 3 次元変分法の同化システムに、負の水温を避ける制約条件の導入を行うことで、観測をよく再現した。
・東北沖などの海洋フロント域では、同化結果の精度向上に誤差の非ガウス的な性質を考慮する必要があることが分かった。このため、非ガウス分布の誤差を仮定した観測データの品質管理の手法を開発し、フロント域で解析精度が向上することを確認した。この品質管理の改良手法は平成 22 年度末に気象庁海洋気象情報室で運用中の北西太平洋システムに導入された。
・上記精度検証を行うための係留系観測を、水産総合研究センター東北区水産研究所と共同で、東北沖で実施した。得られた観測データを用い、上記品質管理手法で誤差を低減させた。
・縁辺海での塩分精度向上に向けて、淡水フラックス修正量の見積を行った。
・平成 26 年度の現業運用を計画している瀬戸内海を対象とした日本近海海況監視予測システム（MOVE/MRI.COM-SETO）の初期化ルーチンの開発、修正を行った。また、大気モデル（MSM）による外力での駆動により、2009～2012 年の期間、同化・予報実験を実施した。
・上記実験から、2011 年 9 月に生じた異常潮位事例が高精度に再現されていることが確認され、またその事例解析から、この事例が黒潮流路変動に起因して生じた沿岸捕捉波によりもたらされたことが明らかとなった。

②　波浪の海流への影響の研究

・浅海波浪スキーム及び天文潮を導入した高潮モデルの開発（本庁と共同研究）を行って浅海での効果を考慮するスキームを導入した。高潮モデルに天文潮を計算して足し込む技術を導入し気象庁海洋気象情報室において現業化された。
・現行の深水波用波浪モデルに、浅海効果（屈折・海底摩擦及び非線形効果の補正）を導入し、プロトタイプを完成させ、平成 22 年 3 月までに理想実験を行いパフォーマンスの検証を行った。
・波浪モデルのチューニングについては、波浪モデルの発達項を修正し、冬季における検証では、衛星観測値との比較で精度の改善（RMSE, BIAS の減少）が得られた。
・開発した浅海波浪スキームを波浪モデルに導入し、実事例による検証を行った。浅海スキームの導入により概ね予測精度の向上がみられたが、一部で波が過大な発達を示す等の問題が見つかったことから、スキームの改良を行い、最終的に良好な結果が得られた。

③　局所大気海洋相互作用の研究

・2005 年の台風 Hai-Tang の通過に伴う海洋応答の海洋初期場依存性について、日別海洋再解析データを用いてそれぞれ初期値を作成し、数値シミュレーションを実施した。台風通過海域における海洋混合層の深さによって、エクマン輸送と鉛直乱流混合による冷たい海水の海面水温低下への影響が異なることを示した。
・非静力学大気波浪海洋結合モデルによる台風 Hai-Tang 発達期における台風強度予測実験結果から、海洋初期場が台風強度予測に与える影響は、Hai-Tang の移動により形成される海面水温低下による影響と比較すると小さいもののその影響は有意であること、また海洋初期場の違いは Hai-Tang 発達期におけるスパイラルレインバンドの形成に影響していたことを示した。
・東太平洋海域のハリケーンと北西太平洋海域の台風について、IBtRACS ベストトラックデータセット、北太平洋(0.5°)及び全球海洋再解析データセット、TRMM/TMI と AMSR-E 合成海面水温データを用いて、2002-2007 年の台風と海面水温及び海洋熱容量の関係を調査し、東太平洋に

おいても、最大風速と海洋熱容量の相関が、海面水温との相関よりも高いこと、また北西太平洋と比較して東太平洋海域では同じ海洋熱容量で最大風速がより強まっているという結果が得られた。

・ 2011 年の台風第 12 号(Talas)と第 15 号(Roke)の非静力学大気波浪海洋結合モデルによる数値シミュレーションを、水平解像度 0.1° 及び 0.5° の MOVE データを用いて実施した。MOVE データの水平解像度が台風進路、強度に与える結果は双方とも、海洋モデルの結合によるインパクトと比較して小さかった。2009 年の台風第 14 号（Choi-wan）の非静力学大気波浪海洋結合モデルによる数値シミュレーションを水平解像度 0.1° の MOVE データを用いて、2009 年 9 月 17 日 0000UTC の大気再解析データを初期値として、9 月 12-25 日の MOVE データそれぞれについて数値シミュレーションを実施した。この期間における黒潮続流の変動は、海洋結合の有無に関わらず台風強度予測に影響を与えていたが、海洋結合によりそのインパクトは小さくなることが明らかとなった。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

日本沿岸海況監視システムの現業導入を前倒しすることがきめられたため、当初予定していた日本全域を覆う日本沿岸海況監視・予測システムの開発を、瀬戸内海に限定したシステム（MOVE/MRI.COM-SETO）の開発として、前倒しで行うこととなった。このため副課題２の①については、瀬戸内海に特化したシステムで実施した。

成果の他の研究への波及状況

① 重点研究「全球大気海洋結合モデルを用いた季節予測システムの開発」で実施される季節予測実験に、本研究で開発した全球海洋同化システムによる同化結果を初期値として用いた。

② 重点研究「次世代非静力学気象予測モデルの開発に関する研究」に対し、大気・海洋混合層結合モデルで台風の進路・発達強度に関する予報実験を行う際に必要な海洋混合層の初期値について、本課題で開発した北西太平洋データ同化システムを用いて計算して、提供した。

今後の課題

副課題１　変分法同化技術の高度化

① 全球海洋データ同化システムの開発

3 次元変分法では、TAO/TRITON ブイのような時間分解能の高い観測データや、海流のデータを十分に活用することができず、また、海洋内部の力学的バランスを保った海洋モデル初期値を作成することができないので、今後のエルニーニョ予測の精度向上のためには、4 次元変分法を全球海洋データ同化システムにも導入する必要がある。また、大気海洋間のバランスを保った結合モデル初期値を作成するために、大気海洋結合同化システムの開発を行う必要がある。

② 新しい観測データの同化技術開発

ア）海氷同化スキームに関して、海氷の予測初期値として利用できるよう、海氷密接度を制御変数とする 3 次元変分法の改良を進める必要があり。このため、同化実験を行い、観測データとの比較検討、及び前半で開発したナッジング法での同化結果と比較検討を進める必要がある。

イ）衛星海面塩分データの精度検証・向上についての研究が今後更に進展すると思われるので、これらを常に情報収集するとともに、同化実験によりインパクトのあった海域について、既存のデータとの比較などにより、改善を確認する必要がある。

③ 海洋長期再解析の実施

海洋再解析データは海洋・気候変動の把握や原因究明のための強力なツールであるが、現状では 1990 年以降の海水温の増加トレンドにつて再解析データ間でばらつきがあるなど、必ずしも十分な精度とはいえず、今後も、同化システムの高度化、及び、再解析データの作成を継続的に行うことが望ましい。また、再解析データの精度向上のためには、他の再解析データとの相互比較を行い、その特徴や欠点を把握することが重要であり、そのために、今後も、相互比較等の国際プロジェクトに参加していく必要がある。

④ 4 次元変分法の開発（アジョイントモデルの作成）

4 次元変分法を用いることにより、現行の 3 次元変分法に比べて、沿岸現象に重要な短周期変動の再現性が飛躍的に向上することが明らかとなった。今後さらに沿岸現象の再現性を向上させるためには、現在、同化に用いていない潮位データや流速場の同化手法の開発が必要である。

副課題２　日本近海の海況監視・予測技術の開発

① 海洋総合解析システム（MOVE/MRI.COM-WNP）の高度化

ア）瀬戸内海に限定した日本近海海況監視予測システム（MOVE/MRI.COM-SETO）では、4DVAR による解析を 10 kmの北西太平洋モデルで行い、その結果で 2 kmの瀬戸内海モデルを初期化するという簡易なインクリメンタル手法をとっている。今後、さらなる精度向上にむけて、北西太平洋モデルでの同化インクリメントをそのまま 2km モデルに用いて予報するというより高度なインクリメンタル 4DVAR の開発が必要である。

イ）沿岸での海況現象の再現精度向上のための潮汐データの同化手法の開発が必要である。

② 波浪の海流への影響の研究

浅海波浪スキームと天文潮を導入した高潮モデルは、気象庁で現業化され、当初の目的を達成したため、とくに課題はない。

③ 局所大気海洋相互作用の研究

台風・顕著現象の再現に対する海洋同化データの影響は大気の初期場、大気の物理過程や水平解像度等大気モデルの仕様や海洋波の砕波の効果等波浪モデルとの相互作用が複雑に関わる。今後はこうした様々な観点を考慮した上で、台風・顕著現象の数値実験と事例調査が必要である。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（気候・地球環境分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、488 ページを参照。

成果発表一覧

査読論文　：28 件

1. Balmaseda, M. A., O. J. Alves, A. Arribas, T. Awaji, D. W. Behringer, N. Ferry, Y. Fujii, T. Lee, M. Rienecker, T. Rosati, and D. Stammer, 2009: Ocean initialization for seasonal forecasts. Oceanography, 22, 154-159.
2. Cummings, J., L. Bertino, P. Brasseur, I. Fukumori, M. Kamachi, M.J. Martin, K. Mogensen, P. Oke, C.E. Testut, J. Verron, and A. Weaver 2009: Ocean Data Assimilation Systems for GODAE. Oceanography, 22, No.3, pp. 96-109.
3. Davidosn, F.J.M., A. Allen, G.B. Brassington, O. Breivik, P. Daniel, M. Kamachi, S. sato, B. King, F. Lefevre,, M. Sutton, and H. Kaneko 2009: Application of GODAE Ocean Current Forecasts to Search and Rescue and Ship Routing. Oceanography, 22, No.3, pp. 176-181.
4. Dombrowsky, E., L. Bertino, G.B. Brassington, E.P. Chassignet, F. Davidson, H.E. Hurlburt, M., Kamachi, T. lee, M.J. Martin, S. Mei, and M. Tonani 2009: GODAE System in Operation. Oceanography, 22, No.3, pp.80-95.
5. Fujii, Y., T. Nakaegawa, S. Matsumoto, T. Yasuda, G. Yamanaka, and M. Kamachi, 2009: Coupled climate simulation by constraining ocean fields in a coupled model with ocean data. J. Climate, 22(20), 5541-5557.
6. Fujii, Y., S. Matsumoto, M. Kamachi, and S. Ishizaki, 2010: Estimation of the equatorial Pacific salinity field using ocean data assimilation system. Adv. in Geosciences. 18, 197-212.
7. Fujii, Y., M. Kamachi, T. Nakaegawa, T. Yasuda, G. Yamanaka, T.Toyoda, K. Ando, and S. Matsumoto, 2011: Assimilating Ocean Observation data for ENSO monitoring and forecasting. Climate Variability (ISBN:979-953-307-236-3), Ed: A. Hannachi,

INTECH, Rijeka, Croatia, 75-98, DOI: 10.5772/30330.

8. Fujii, Y., M. Kamachi, S. Matsumoto, S. Ishizaki (2012): Barrier layer and relevant variability of the salinity field in the equatorial Pacific estimated in an ocean reanalysis experiment. Pure Appl. Geophys. 169, 579-594, DOI:10.1007/s00024-011-0387-y.
9. Fujii, Y., T. Nakano, N. Usui, S. Matsumoto, H. Tsujino, M. Kamachi, 2013: Pathways of the North Pacific Intermediate Water identified through the tangent linear and adjoint models of an ocean general circulation model. J. Geophys. Res., 118, 2035-2051, DOI:10.1002/jgrc.20094.
10. Hurlburt, H. E., G. B. Brassington, Y. Drillet, M. Kamachi, M. Benkiran, R. Bourdalle-Badie, E. P. Chassignet, G. A. Jacobs, O. Le Galloudec, J. M. Lellouche, E. J. Metzger, O. M. Smedstad, B. Tranchant, H. Tsujino, N. Usui, and A. J. Wallcraft, 2009: High-Resolution Global and Basin-Scale Ocean Analyses and Forecasts, Oceanography, 22, No.3, pp. 110-127.
11. Hernandez, F., L. Bertino, G. Brassington, E. Chassignet, J. Cummings, F. Davidson, M. Drevillon, G. Garric, M. Kamachi, J.-M. Lellouche, R. Mahdon, M.J. Martin, A. Ratsimandresey, and C. regnier 2009: Validation and Intercomparison Studies Within GODAE. Oceanography, 22, No.3, pp. 128-144.
12. Lee, T., T. Awaji, M. Balmaseda, N. Ferry, Y. Fujii, I. Fukumori, B. Giese, P. Heimbach, A. Kohl, S. Masina, E. Remy, A. Rosati, M. Schodlok, D. Stammer, A. Weaver, 2010: Consistency and fidelity of Indonesian-throughflow total volume transport estimated by 14 ocean data assimilation products. Dyn. Atmos. Oceans, 50(2), 201-223.
13. Nakaoka, S., M. Telszewski, Y. Nojiri, S. Yasunaka, C. Miyazaki, H. Mukai, N. Usui, 2013: Estimating temporal and spatial variation of ocean surface pCO_2 in the North Pacific using a Self Organizing Map neural network technique, Biogeosciences Discuss., 10, 4575-4610.
14. Oke P. R., M. A. Balmaseda, M. Benkiran, J. A. Cummings, E. Dombrowsky, Y. Fujii, S. Guinehut, G. Larnicol, P.-Y. Le Traon, and M. J. Martin 2009: Observing system evaluations using GODAE systems. Oceanography., 22(2), 144-153.
15. Sugiura, N., Masuda, S., Fujii, Y., Kamachi, M., Ishikawa, Y., and Awaji, T. 2013: A framework for interpreting regularized state estimation, Mon. Wea. Rev., accepted.
16. Toyoda, T., Y. Fujii, T. Yasuda, N. Usui, T. Iwao, T. Kuragano, M. Kamach, 2013: Improved Analysis of the Seasonal-Interannual Fields by a Global Ocean Data Assimilation System, Theoretical and Applied Mechanics Japan, Volume 61 (61st Japan National Congress for Theoretical and Applied Mechanics, 2012), pp. 31-48, http://dx.doi.org/10.11345/nctam.61.31.
17. Usui, N., S. Ishizaki, Y. Fujii and M. Kamachi, 2011: Improving strategies with constraints regarding non-Gaussian statistics in a three-dimensional variational assimilation method, Journal of Oceanography, 67, 253-262.
18. Usui, N., H. Tsujino, H. Nakano, Y. Fujii, M. Kamachi, 2011: Decay mechanism of the 2004/05 Kuroshio large meander. J. Geophys. Res. , 116, C10010, doi: 10.1029/2011JC007009.
19. Usui, N., H. Tsujino, H. Nakano, S. Matsumoto, 2013: Long-term variability of the Kuroshio path south of Japan, Journal of Oceanography, (accepted).
20. Wada, A., H. Niino and H. Nakano, 2009: Roles of Vertical Turbulent Mixing in the Ocean Response to Typhoon Rex (1998). Journal of Oceanography, 65, 373-396.
21. Wada, A., K. Sato, N. Usui and Y. Kawai, 2009: Comment on "The importance of pre-existing oceanic conditions to upper ocean response induced by Super Typhoon

Hai-Tang" by Zheng Z.-W.C.-R. Ho and N.-J. Kuo. Geophysical Research Letters, 36, L09603.

22. Wada, A. and N. Usui, 2010: Impacts of oceanic preexisting conditions on predictions of typhoon Hai-Tang in 2005. Adv. Meteorol. 2010. 756071. doi:10.1155/2010/756071.
23. Wada, A., N. Usui, and K. Sato, 2012: Relationship of maximum tropical cyclone intensity to sea surface temperature and tropical cyclone heat potential in the North Pacific Ocean, J. Geophys. Res., 117, D11118.
24. Wada, A., 2012: Numerical study on the effect of the ocean on tropical-cyclone intensity and structural change. Atmospheric Models Applications. I. Yucel Ed. InTech. 43-68.
25. Wada, A., M. F. Cronin, A. J. Sutton, Y. Kawai, and M. Ishii, 2013: Numerical simulations of oceanic pCO_2 variations and interactions between Typhoon Choi-wan (0914) and the ocean. J. Geophys. Res., Oceans, 118, 2667-2684.
26. Wada, A., N. Usui, and M. Kunii, 2013: Interactions between Typhoon Choi-wan (2009) and the Kuroshio Extension System. Advances in Meteorology, 859810.
27. Yasunaka, S., Y. Nojiri, S. Nakaoka, T. Ono, H. Mukai, N. Usui, 2013: Monthly maps of sea surface dissolved inorganic carbon in the North Pacific: Basin-wide distribution and seasonal variation, J. Geophys. Res. , 118, 3843-3850.
28. 五十嵐弘道, 淡路敏之, 蒲地政文, 石川洋一, 杉浦望実, 増田周平, 土居知将, 碓氷典久, 藤井陽介, 豊田隆寛, 日吉善久, 佐々木祐二, 斉藤誠一, 酒井光夫, 加藤慶樹, 佐藤晋一, 2011: 気候変動に伴う水産資源・海況変動予測技術の革新と実利用化. 土木学会論文集 G (環境), 67, No.5, I_9-I_15.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）: 44 件

1. Balmaseda, M., Y. Fujii, O. Alves, T. Lee, M. Rienecker, T. Rosati, D. Stammer, Y. Xue, H. Freeland, M. J. McPhaden, L. Goddard, C. Coelho((2010). "Role of the Ocean Observing System in an End-to-End Seasonal Forecasting System" in Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 1), Venice, Italy, 21-25 September 2009, Hall, J., Harrison, D.E. & Stammer, D., Eds., ESA Publication WPP-306, 299-315, doi:10.5270/OceanObs09.pp.03.
2. Balmaseda, M., Y. Fujii, O. Alves, T. Awaji, D. Behringer, N. Ferry, T. Lee, M. Rienecker, T. Rosati, D. Stammer, D. Smith, and F. Molteni 2010: Initialization for seasonal and decadal forecasts. Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2), Venice, Italy, 21-25 September 2009, Hall, J., Harrison D.E. & Stammer, D., Eds., ESA Publication WPP-306, 19-26, doi:10.5270/OceanObs09.cwp.02.
3. Fujii, Y., M. Kamachi, N. Usui, H. Tsujino, and H. Nakano 2009: Application of singular vector analysis to the Kuroshio large meander. 5th WMO Data Assimilation Symposium Extended Abstract, 262.1-8. (Oct. 2009).
4. Fujii, Y., M. Kamachi, N. Usui, S. Matsumoto, T. Yasuda, S. Ishizaki 2010: Observing system evaluations using the ocean data assimilation and prediction system, MOVE/MRI.COM. Proceedings of the "OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society" Conference (Annex), Venice, Italy, 21-25 September 2009, Hall, J., Harrison D.E. and Stammer, D., Eds., ESA Publication WPP-306, doi:10.5270/OceanObs09.
5. Fujii, Y., T. Nakaegawa, S. Matsumoto, T. Yasuda, G. Yamanaka, M. Kamachi, 2011: Coupled model simulation by constraining ocean fields with ocean data through the JMA operational ocean data assimilation system. Extended Abstract of International workshop on "Development of atmosphere-ocean coupled models towards improvement of long range forecast", Dec. 9th, 2010, JMA, Chiyoda, Tokyo,

Japan. (Pressed in Mar. 2011)

6. Hirai, M., I. Ishikawa, A. Shimpo, T. Soga, H. Mori, Y. Fujii, S. Matsumoto, and T. Yasuda 2009: Update of the JMA's El Nino Prediction System in February 2009, Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, Report No.39, J. Cote, Eds., CAS/JSC Working Group on Numerical Experimentation, WMO, October, 2009
7. Matsumoto, S., T. Nakano, Y. Fujii, T. Yasuda, and M. Kamachi 2010: Utilization of Ocean Reanalysis Data for Climate Variability Analysis of the North Pacific Intermediate Water, in Proceedings of the "OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society" Conference (Annex), Venice, Italy, 21-25 September 2009, Hall, J., Harrison D.E. and Stammer, D., Eds., ESA Publication WPP-306, doi:10.5270/OceanObs09.
8. Oke, P., M. A. Balmaseda, M. Benkiran, J. A. Cummings, E. Dombrowsky, Y. Fujii, S. Guinehut, G. Larnicol, P.-Y. Le Traon, M. J. Martin 2010: Ocean observing system evaluation. Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2), Venice, Italy, 21-25 September 2009, Hall, J., Harrison D.E. & Stammer, D., Eds., ESA Publication WPP-306, 785-791, doi:10.5270/OceanObs09.cwp.67.
9. Usui, N., S. Ishizaki, Y. Fujii, and M. Kamachi, 2009: Improving strategies with constraints regarding non-Gaussian statistics in MOVE/MRI.COM. 5th WMO Data Assimilation Symposium Extended Abstract, 260.1-8. (Oct. 2009)
10. Wada, A., N. Usui, K. Sato and Y. Kawai, 2009: The impact of pre-existing oceanic condition on the ocean response to Typhoon Hai-Tang in 2005. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell. 0809-0810.
11. Wada, A., N. Kohno and N. Usui, 2009: Numerical predictions for Typhoon Hai-Tang in 2005 by an experimental atmosphere-wave-ocean coupled model. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell. 39. 0911-0912
12. Wada, A. 2010: Tropical Cyclone – Ocean Interaction: Numerical Studies. In Advances in Energy Research. Volume 1. Ed. M. J. Acosta. 1-67. ISBN 978-1-61668-994-0.
13. Wada, A. 2010: Tropical Cyclone – Ocean Interaction: Climatology. In Advances in Energy Research. Volume 1. Ed. M. J. Acosta. 99-132. ISBN 978-1-61668-994-0.
14. Wada, A. and N. Usui, 2010: The influence of the variation of oceanic precondition on the prediction of Typhoon Hai-Tang in 2005. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell. 40. 9.13-9.14.
15. Wada, A., 2012: Tropical Cyclone-Ocean Interaction: Climatology. Climatology: New Developments. A. Herveoux and E. Suthland Ed. Nova Science Publishers, Inc. 107-152.
16. Wada, A., 2012: Rapid intensification of Typhoon Roke in 2011. CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 42, 9.05-9.06.
17. Wada, A., 2012: Oceanic influences for a large eye of Typhoon Talas in 2011. CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 42, 9.09-9.10.
18. Wada, A., 2013: The impact of oceanic initial conditions on the simulations of Typhoon Ma-on in 2011, CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 43, 9.05-9.06.
19. Wada, A., 2013: Lagged simulations of the oceanic initial condition for Typhoon Choi-wan (2009), CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 43, 9.09-9.10.
20. Wada, A., 2013: Impacts of surface roughness lengths on axisymmetrically mean structure of Typhoon Fanapi (2010), CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 43, 9.11-9.12.

21. Wada, A., 2013: Effect of Talas-induced sea-surface cooling on the generation of a subsequent typhoon, CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 43, 9.13-9.14.
22. 淡路敏之, 蒲地政文, 池田元美, 石川洋一 (編著)　2009：　データ同化. 観測・実験とモデルを融合するイノベーション　京都大学学術出版会、ISBN: 978-4-87698-797-9、284pp.
23. 淡路敏之, 五十嵐弘道, 池田元美, 石川洋一, 杉浦望実, 豊田隆寛, 藤井賢彦, 藤井陽介, 本田有機, 美山透, 望月崇　2009：　第８章. アジョイント法の応用. in「データ同化. 観測・実験とモデルを融合するイノベーション」（編著：淡路敏之, 蒲地政文, 池田元美, 石川洋一）、京都大学学術出版会、pp.223-248.
24. 石崎士郎，大森正雄，伊藤渉，吉岡典哉，2010：北西太平洋版海洋データ同化システム（MOVE/MRI.COM-WNP）における予測結果の検証，測候時報，第 77 巻特別号, S59-69.
25. 碓氷典久, 2009: 第１章. 統計学からみたデータ同化. in「データ同化. 観測・実験とモデルを融合するイノベーション」（編著：淡路敏之, 蒲地政文, 池田元美, 石川洋一）、京都大学学術出版会、pp.15-25
26. 碓氷典久, 広瀬直毅, 藤井陽介, 2009: 第２章. 経験がとても役立つ静的な同化手法. in「データ同化. 観測・実験とモデルを融合するイノベーション」（編著：淡路敏之, 蒲地政文, 池田元美, 石川洋一）、京都大学学術出版会、pp.28-60.
27. 碓氷典久, 2009: 付録 A.3　変分法の基礎.　in「データ同化. 観測・実験とモデルを融合するイノベーション」（編著：淡路敏之, 蒲地政文, 池田元美, 石川洋一）、京都大学学術出版会、pp.256-258
28. 碓氷典久，今泉孝男，辻野博之，2010：MOVE/MRI.COM への海氷密接度同化の導入に向けて―オホーツク海を対象とした予備調査と簡易同化実験－，測候時報，第 77 巻特別号, S71-82.
29. 蒲地政文, 松本聡, 中野俊也, 2009 : 海洋予測、GODAE での情報の流れ、成果と将来。月刊「海洋」。総特集：海洋情報の一元化と利用にむけて。号外 No.53、pp.56-67.
30. 蒲地政文, 石川洋一, 2009：　序編：データ同化のあらまし。in「データ同化. 観測・実験とモデルを融合するイノベーション」（編著：淡路敏之, 蒲地政文, 池田元美, 石川洋一）、京都大学学術出版会、pp.1-11.
31. 蒲地政文, 2009 : コラム : 海洋レジャーにも役立つ海洋同化と海況予報。in「データ同化. 観測・実験とモデルを融合するイノベーション」（編著：淡路敏之, 蒲地政文, 池田元美, 石川洋一）、京都大学学術出版会、pp.26-27.
32. 蒲地政文, 石崎士郎, 碓氷典久, 松本聡, 倉賀野連, 石川洋一, 印貞治, 小守信正, 中山智治, 2009：第 6 章：簡便に使える静的データ同化手法の応用。in「データ同化. 観測・実験とモデルを融合するイノベーション」（編著：淡路敏之, 蒲地政文, 池田元美, 石川洋一）、京都大学学術出版会、pp.181-198.
33. 蒲地政文，2011：データ同化：観測とモデルの融合．数学セミナー、vol.50、No.12、29-36.
34. 川畑拓矢, 藤井陽介, 上野玄太, 中野慎也, 茂木耕作, 増田周平, 2011: 第 1 回データ同化ワークショップの報告. 天気, 58, 9, 31-32.
35. 川畑拓矢, 増田周平, 茂木耕作, 小守信正, 藤井陽介, 上野玄太, 中野慎也, 2011: 第 2 回データ同化ワークショップの報告. 天気, 59, 7, 61-62.
36. 久保剛太, 高野洋雄, 2010：波浪に対する海流の影響.　測候時報、第 77 巻特別号.　S141-S157.
37. 高野洋雄, 2011：風の事典、丸善、276pp（部分執筆）.
38. 高野洋雄, 2011：身近な気象の事典、東京堂出版、279pp（部分執筆）.
39. 高山勝巳, 藤井陽介, 2009: 第５章. データ同化の２大系列「カルマンフィルター・スムーザーとアジョイント法」の比較. 例題解説による「共通点と相違点」の体得.　in「データ同化. 観測・実験とモデルを融合するイノベーション」（編著：淡路敏之, 蒲地政文, 池田元美, 石川洋一）、京都大学学術出版会、pp.129-167
40. 平井雅之，石川一郎，新保明彦，曽我太三，森浩俊，藤井陽介，松本聡，安田珠幾，2010：エルニーニョ予測システムの改良，測候時報，第 77 巻特別号, S23-34.

41. 広瀬直毅, 藤井陽介　2009:　付録 A.1. 線形代数の基礎. in「データ同化. 観測・実験とモデルを融合するイノベーション」(編著：淡路敏之, 蒲地政文, 池田元美, 石川洋一)、京都大学学術出版会、pp.249-254.
42. 藤井陽介, 2009: 第４章. モデルとの整合性に優れたアジョイント法. in「データ同化. 観測・実験とモデルを融合するイノベーション」(編著：淡路敏之, 蒲地政文, 池田元美, 石川洋一)、京都大学学術出版会、pp.96-125.
43. 藤井陽介, 2009: 付録 A.4. 降下法. in「データ同化. 観測・実験とモデルを融合するイノベーション」(編著：淡路敏之, 蒲地政文, 池田元美, 石川洋一)、京都大学学術出版会、pp.258-260.
44. 和田章義, 2012: 台風と海洋, 台風研究の最前線（上）, 気象研究ノート, 226, 149-189.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：67 件

1. Balmaseda, M., Y. Fujii, O. Alves, T. Lee, M. Rienecker, T. Rosati, D. Stammer, Y. Xue, H. Freeland, M. McPhaden, L. Goddard, and C. Coelho, 2009: Ocean Observations for an End-to-End Seasonal Forecasting System. OceanObs'09, Sep. 23rd, 2009, Venice, Italy.
2. BianMei, J. Zhu, and M. Kamachi (2010): Experimental design in the reconstruction of observed vertical temperature profiles in the east of Japan as an example of convex analysis. Seminar in the Institute of Atmospheric Physics, 2010 年 6 月, 中国, 北京.
3. Fujii, Y., M. Kamachi, N. Usui, H. Tsujino, and H. Nakano, 2009: Application of singular vector analysis to the Kuroshio large meander. 5th WMO Data Assimilation Symposium, Oct. 6th, 2009, Melbourne, Australia.
4. Fujii, Y.、2010: The ocean monitoring and forecasting service. 台湾国立中山大学特別講義、台湾国立中山大学、高雄、台湾、2010 年 5 月.
5. Fujii, Y., T. Nakaegawa, S. Matsumoto, T. Yasuda, G. Yamanaka, M. Kamachi, 2010: Coupled model simulation by constraining ocean fields with ocean data through the JMA operational ocean data assimilation system. International workshop on “Development of atmosphere-ocean coupled models towards improvement of long range forecast”, JMA, Chiyoda, Tokyo, Japan, Dec. 2010.
6. Fujii, Y., D. Smith, S. Masuda, M. Balmaseda, K. Ando, M. Kamachi, 2011: Ocean Observing System Evaluation for Seasonal/Decadal Prediction, GODAE Ocean View-CLIVAR-GSOP Workshop on Observing System Evaluation and Intercomparisons, Santa Cruz, Ca, USA, Jun. 2011.
7. Fujii, Y., 2011: Ocean Observing System Evaluation for the Use in the Data Assimilation Systems. Institute of Atmospheric Physics Workshop “The application of ensemble-based method in the ocean”, Beijing, November 28, 2011.
8. Fujii, Y., S. Ishizaki and M. Kamachi, Activity toward coupled data assimilation in JMA/MRI, Coupled Data Assimilation Workshop, Reading, UK, Sep. 10th, 2012.
9. Fujii, Y., K. Ogawa, K. Ando and M. Kamachi, Evaluation of Argo float impacts on the ocean data assimilation system in JMA/MRI, 4th Argo Science Workshop, Sept 27-29.
10. Fujii, Y., H. Tsujino, T. Toyoda, T. Kuragano and M. Kamachi, Intercomparison of data-free and data-assimilated ocean simulations with a common ocean model forced by CORE II data, Ocean Synthesis and Air-Sea flux evaluation Workshop, Nov 27-30, 2012.
11. Fujii, Y., K. Ogawa, K. Ando and M. Kamachi (Presented by T. Kuragano). 2012: Evaluation of Argo float impacts on the ocean data assimilation system in JMA/MRI, GODAE OceanView OSEval Task Team meeting, Rio de Janeiro Nov 7, 2012.
12. Fujii, Y., T. Toyoda, T. Kuragano, and M. Kamachi, 2013: Insight on Steric Height (and

Heat Content) behavior in MRI-JMA products. CLIVAR GSOP/GODAE Ocean Reanalyses Intercomparison Workshop, ECMWF, Reading, UK, July 2nd, 2013.
13. Fujii, Y., 2013: Studies using eddy-resolving western North Pacific Ocean model and its adjoint model in JMA/MRI. Fall seminar series in University of California, Irvine. 8, Nov., 2013, Irvine, USA
14. Hirabara, M. and M. Kamachi 2010: Ocean Model. Workshop on JMA Global Wave and Ocean Circulation. Malaysian Meteorological Department, Malaysia, Sept. 2010,.
15. Ishizaki, S. and M. Kamachi (2010): Center Report : Japan Meteorological Agency. JCOMM Expert Team of Operational Ocean Forecasting System Meeting. 2010 年 10 月, 東京.
16. Kamachi, M. and N. Usui 2009: An Overview of Ocean Data Assimilation. Special Lecture 1, National Sun Yat-sen University. Kaoshiung, Taiwan.
17. Kamachi, M. and N. Usui 2009: Fundamental Data Assimilation. Special Lecture 2, National Sun Yat-sen University. Kaoshiung, Taiwan.
18. Kamachi, M. and Y. Fujii 2009: Adjoint Method. Special Lecture 3, National Sun Yat-sen University. Kaoshiung, Taiwan.
19. Kamachi, M., N. Usui, T. Tsujino, Y. Fujii, S. Matsumoto, and S. Ishizaki 2009: Ocean Data Assimilation and Prediction Experiments in JMA and MRI. Special Lecture 4, National Sun Yat-sen University. Kaoshiung, Taiwan.
20. Kamachi, M., Y. Fujii, N. Usui, S. Ishizaki, S. Matsumoto, H. Tsujino, T. Yasuda, and T. Nakano 2009: Study of Ocean data assimilation and statistical modeling of T-S coupling in MRI/JMA. Special Lecture 5, National Sun Yat-sen University. Kaoshiung, Taiwan.
21. Kamachi, M. 2009: National Forecasting System (MOVE/MRI.COM) and Japan Working Team (JWoT.GOV). 1st GODAE Ocean View Science Core Team Meeting. France Toulouse.
22. Kamachi, M. and S. Ishizaki 2009: Center Report - Japan Meteorological Agency. 3rd JCOMM Expert Team for Operationa Ocean Forecasting Systems. France Toulouse.
23. Kamachi, M. and N. Usui 2009: An Overview of Ocean Data Assimilation. Special Lecture 1, Institute for Atmospheric Physics, Beijing, China.
24. Kamachi, M. and N. Usui 2009: Fundamental Data Assimilation. Special Lecture 2, Institute for Atmospheric Physics, Beijing, China.
25. Kamachi, M. and Y. Fujii 2009: Adjoint Method. Special Lecture 3, Institute for Atmospheric Physics, Beijing, China.
26. Kamachi, M., N. Usui, T. Tsujino, Y. Fujii, S. Matsumoto, and S. Ishizaki 2009: Ocean Data Assimilation and Prediction Experiments in JMA and MRI. Special Lecture 4, Institute for Atmospheric Physics, Beijing, China.
27. Kamachi, M. and Y. Fujii 2009: Quasi Coupled Data Assimilation System MOVE-QC. Special Lecture 5, Institute for Atmospheric Physics, Beijing, China.
28. Kamachi, M. and N. Usui 2009: An Overview of Ocean Data Assimilation. Special Lecture 1, South China Sea Institute of Oceanology. Guangzhou, China.
29. Kamachi, M. and N. Usui 2009: Fundamental Data Assimilation. Special Lecture 2, South China Sea Institute of Oceanology. Guangzhou, China.
30. Kamachi, M. and Y. Fujii 2009: Adjoint Method. Special Lecture 3, South China Sea Institute of Oceanology. Guangzhou, China.
31. Kamachi, M., N. Usui, T. Tsujino, Y. Fujii, S. Matsumoto, and S. Ishizaki 2009: Ocean Data Assimilation and Prediction Experiments in JMA and MRI. Special Lecture 4, South China Sea Institute of Oceanology. Guangzhou, China.
32. Kamachi, M. and Y. Fujii, N. Usui, H. Tsujino, and H. Nakano 2009: Application of

Singular Vector Analysis to the Kuroshio Large Meander. Special Lecture 5, South China Sea Institute of Oceanology. Guangzhou, China.

33. Kamachi, M. and Y. Fujii, N. Usui, H. Tsujino, and H. Nakano 2009: Application of Singular Vector Analysis to the Kuroshio Large Meander. Special Seminar, Institute for Atmospheric Physics, Beijing, China.
34. Kamachi, M. (2010): Ocean Observation. CIMPA UNESCO Thematic School. Data assimilation for Geophysical Fluids. Wuhan, China. May 2010.
35. Kamachi, M. (2010): Application of Ocean Data Assimilation. CIMPA UNESCO Thematic School. Data assimilation for Geophysical Fluids. Wuhan, China. May 2010.
36. Kamachi, M. and J. Zhu (2010): JSPS Japan-China Cooperative Research Plan: Development of Optimum Data-Model Synthesis System in the East Asian Peripheral Sea in the Pacific Ocean with Application of Convex Analysis. Seminar in the Institute of Atmospheric Physics, 2010 年 6 月, 中国, 北京.
37. Kamachi, M. (2010): Nonlinear constraints and their impacts in MOVE 3DVAR system. Seminar in the Institute of Atmospheric Physics, 2010 年 6 月, 中国, 北京.
38. Kamachi, M., N. Usui, T. Tsujino, Y. Fujii, S. Matsumoto, S. Ishizaki 2010: Ocean Data Assimilation and Prediction Experiments in JMA and MRI. Workshop on JMA Global Wave and Ocean Circulation. Malaysian Meteorological Department, Malaysia, Sept. 2010.
39. Kamachi, M. 2010: Note on Implementation of MOVE System. Workshop on JMA Global Wave and Ocean Circulation. Malaysian Meteorological Department, Malaysia, Sept. 2010.
40. Kamachi,M. and T. Awaji (2010): National Forecasting System (MOVE/MRI.COM) and Japan Working Team - Progress in 2009-2010 -. International GODAE Ocean View Science Steering Team Meeting, 2010 年 10 月、東京.
41. Kamachi,M., N. Usui, T. Toyoda and Y. Adachi, 2010: Strategy and issues to be addressed in the sea-ice assimilation. International workshop on “Development of atmosphere-ocean coupled models towards improvement of long range forecast”, , JMA, Chiyoda, Tokyo, Japan, Dec. 2010.
42. Kamachi,M., N. Usui, T. Toyoda and Y. Adachi, 2010: Impacts and issues to be addressed in the sea-ice assimilation. Seminar in the Institute of Atmospheric Physics, Beijing, March 04, 2011.
43. Kamachi,M. , 2011: An Introduction to Data Assimilation. Data Assimilation Seminar. Beijing, Sep. 2011.
44. Kamachi,M., 2011: Ocean Observation and International Cooperation. Data Assimilation Seminar. Beijing, Sep. 2011.
45. Kamachi,M., 2011: Basics of Ocean Numerical Model. Data Assimilation Seminar. Beijing, Sep. 2011.
46. Kamachi,M. (2011): Application of Ocean Data Assimilation. Data Assimilation Seminar. Beijing, Sep. 2011.
47. Kamachi,M., N. Usui, T. Toyoda and Y. Adachi, 2011: Impacts and issues to be addressed in the sea-ice assimilation. Seminar in the Institute of Atmospheric Physics, Beijing, March 04, 2011.
48. Kamachi,M. , 2011: An Introduction to Data Assimilation. Data Assimilation Seminar. Beijing, Sep. 2011.
49. Kamachi,M., 2011: Ocean Observation and International Cooperation. Data Assimilation Seminar. Beijing, Sep. 2011.
50. Kamachi,M., 2011: Basics of Ocean Numerical Model. Data Assimilation Seminar. Beijing, Sep. 2011.

51. Kamachi,M. (2011): Application of Ocean Data Assimilation. Data Assimilation Seminar. Beijing, Sep. 2011.
52. Kamachi, M., T. Kuragano, Y. Fujii, N. Usui, S. Ishizaki, T. Toyoda, K. Sakamoto, and, T. Awaji, 2012: National Forecasting System (MOVE/MRI.COM) and Hapan Working Team –Progress in 2011-2012-, 4th Meeting of the GODAE OceanView Science Team, Rio de Janeiro Nov 5-9, 2012.
53. Kohno, N., 2012: An improvement plan for JMA marine meteorological predictions and information, Scientific and Technical Workshop at JCOMM-4, Yeosu, May 24-25, 2012.
54. Kohno, N., 2012: Overview: JMA Marine operation and information, 8th JCOMM-TCP Workshop on Storm Surge and Wave Forecasting, Nov 19-23, 2012.
55. Kohno, N., 2012: Outline: JMA Storm Surge Model, 8th JCOMM-TCP Workshop on Storm Surge and Wave Forecasting, Nov 19-23, 2012.
56. Toyoda, T., Y. Fujii, T. Kuragano, M. Kamachi, Y. Ishikawa, S. Masuda and T. Awaji, Mixed-Layer Depth Intercomparison, Ocean Synthesis and Air-Sea flux evaluation Workshop, Nov 27-30, 2012.
57. Toyoda, T., Y. Fujii, T. Yasuda, N. Usui, T. Kuragano, and M. Kamachi, 2013 : Assimilation of Sea-ice concentration data to an ocean-sea ice model in Meteorological Research Institute, 第 1 回海氷データ同化研究会、海洋研究開発機構横浜研究所、神奈川県横浜市、2013 年 1 月.
58. Toyoda, T., Y. Fujii, T. Kuragano, M. Kamachi, Y. Ishikawa, S. Masuda, and T. Awaji, Mixed-layer depth intercomparison (revisited), CLIVAR GSOP/GODAE Ocean View Ocean Reanalyses Workshop, July 1-3, 2013, Reading, UK.
59. Usui, N. 2010: Decay mechanism of the 2004/05 Kuroshio large meander revealed by MOVE/MRI.COM, Workshop on Ocean Modeling in the Regional Marine Systems, Kashiwa Campus, University of Tokyo. July 2010.
60. Usui, N. and M. Kamachi 2010: Fundamental Data Assimilation. Workshop on JMA Global Wave and Ocean Circulation. Malaysian Meteorological Department, Malaysia, Sept. 2010.
61. Usui, N., H. Tsujino, H. Nakano, Y. Fujii and M. Kamachi, 2010: Decay mechanism of the 2004/05 Kuroshio large meander revealed by MOVE/MRI.COM, 2010 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA. , Dec. 2010.
62. Usui, N., Y. Fujii, K. Sakamoto and M. Kamachi, 2012: Improved representation of nearshore processes at the southern coast of Japan using a 4DVAR assimilation system. International Workshop of the Coastal and Shelf Seas Task Team, Miami, USA, January 10, 2012
63. Usui, N., H. Tsujino, and H. Nakano, 2011: Long-term variability of the Kuroshio large meander. 2012 Ocean Sciences Meeting, Feb. 2012, Salt Lake City, USA.
64. Wada, A., N. Usui, N. Kohno, Y. Kawai and K. Sato,2009: The ocean response to Typhoon Hai-Tang in 2005 and its influence. International Workshop on Tropical Cyclone-Ocean Interaction in the Northwest pacific. April 27-29, 2009, Jeju, Korea.
65. Wada, A., 2011: Roles of the ocean in tropical cyclone intensity and its intensification. 8th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society.
66. Wada, A., 2011: Roles of the ocean in tropical cyclone intensity and its intensification. 8th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society.
67. Wada, A., Meghan, F. Cronin, Adrienne J. Sutton, Y. Kawai, and M. Ishii, 2012: Numerical simulation on the interactions between Typhoon Choi-wan in 2009 and the mid-latitude Ocean. Asia Oceania Geosciences Society 9th Annual General Meeting & AGU_2012 Western Pacific Geophysics Meeting (AOGS 2012 - AGU WPGM),

Singapore, Aug 13-17, 2012.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：55 件

1. 石崎士郎, 藤井陽介, 2010：気象庁現業海洋同化システム． 第 14 回データ同化夏の学校． 日本海洋科学振興財団むつ海洋研究所、むつ、青森、2010 年 8 月.
2. 伊藤進一, 筧茂穂, 和川*, 清水勇吾, 植原量行, 岩尾尊徳, 倉賀野連, 蒲地政文, 2012：準定常ジェットの係留観測, 日本海洋学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 9 月.
3. 碓氷典久，石崎士郎，藤井陽介，蒲地政文，2009：渦解像海洋データ同化システムの表現する混乱水域の特徴，2009 年大槌シンポジウム.
4. 碓氷典久，2009：基礎編　第 1 章，第 2 章のポイント解説，2009 年データ同化夏の学校.
5. 碓氷典久，石崎士郎，藤井陽介，蒲地政文，2009：非ガウス統計を考慮した変分法同化システムの改良，2009 年データ同化夏の学校.
6. 碓氷典久，石崎士郎，藤井陽介，蒲地政文，2009：非ガウス統計を考慮した拘束条件を用いた 3 次元変分法の改良，2009 年度日本海洋学会秋季大会.
7. 碓氷典久, 2010：非ガウス統計を考慮した変分法同化システムの改良．第 4 回気象研究所・統計数理研究所共同ワークショップ、統計数理研究所、東京、2010 年 4 月.
8. 碓氷典久，石崎士郎，藤井陽介，蒲地政文，2010：非ガウス統計を考慮した拘束条件による MOVE/MRI.COM の改良．日本地球惑星科学連合 2010 年大会、幕張メッセ、2010 年 5 月.
9. 碓氷典久, 辻野博之, 中野英之, 藤井陽介, 蒲地政文, 2011: 黒潮大蛇行の消滅機構、2011 年度日本海洋学会春季大会、2011 年 3 月.
10. 碓氷典久, 杉本裕之, 2011：気象庁・気象研海洋再解析．第 15 回データ同化夏の学校、日本海洋科学振興財団むつ海洋研究所、むつ、青森、2011 年 8 月.
11. 碓氷典久, 辻野博之, 中野英之, 2012：黒潮大蛇行の長期変動の実態．2012 年度日本海洋学会春季大会シンポジウム：黒潮・親潮とその続流域での海洋変動と大気海洋相互作用、つくば、2012 年 3 月.
12. 碓氷典久, 坂本圭, 小川浩司, 藤井陽介, 辻野博之, 山中吾郎, 倉賀野連, 蒲地政文, 2013：日本沿岸海況監視予測システムによる 2011 年異常潮位の再現実験、2013 年度日本海洋学会秋季大会、2013 年 9 月.
13. 小川浩司, 碓氷典久, 藤井陽介, 豊田隆寛, 岩尾尊徳, 蒲地政文, 2011: 北太平洋版気象庁研究所海洋データ同化システム（MOVE-NP）における Argo フロート観測のインパクト、2011 年度日本海洋学会秋季大会、2011 年 9 月.
14. 小川浩司, 2011：MOVE-NP におけるアルゴフロート観測のインパクト実験．第 15 回データ同化夏の学校、日本海洋科学振興財団むつ海洋研究所、むつ、青森、2011 年 8 月.
15. 小畠豊, 藤井陽介, 延与和敬, 伊藤渉, 中野俊也, 松本聡, 岩尾尊徳, 蒲地政文, 2010：曳航式 CTD で観測された南太平洋熱帯水とバリアレイヤー. 2010 年度日本海洋学会秋季大会、東京農業大学生物産業学部、網走、北海道、2010 年 9 月.
16. 蒲地政文, 松本聡, 中野俊也, 2009：海洋予測、GODAE での情報の流れ、成果と将来。シンポジウム「海洋情報の一元化と利用にむけて」、2009 年度日本海洋学会春期大会.
17. 蒲地政文, 2009: データ同化をめぐる国内外の動向、及び外国の夏の学校の紹介． 第 13 回データ同化夏の学校
18. 蒲地政文, 2009: データ同化による海洋情報の統合化。　日本海洋政策研究会第 1 回年次総会～総合的な海洋政策の形成を目指して～。
19. 蒲地政文, 2010：データ同化に関する国内外の動向．第 14 回データ同化夏の学校、日本海洋科学振興財団むつ海洋研究所、むつ、青森、2010 年 8 月.
20. 蒲地政文, 2011：海洋をどうやって知り予測するか　―海洋データ同化の紹介―。明治大学グローバル COE 大学院プロジェクト系科目先端数理科学Ａ特別講義、2011 年 8 月.
21. 蒲地政文, 2012: 気象研究所海洋データ同化システムによる海況解析の紹介, 研究集会「宗谷暖

流を始めとした対馬暖流系の変動メカニズム」2012 年 7 月.

22. 蒲地政文, 2012: 新海面高度衛星（金比羅）の技術検討部会の活動, 日本海洋学会 2012 年度秋季大会シンポジウム「海洋と宇宙の連携：新海面高度計と新たな海洋観測・モデルの展開に向けて」, 2012 年 9 月.
23. 蒲地政文, 碓氷典久, 藤井陽介, 倉賀野連, 2012：海洋データ同化システムでの衛星海面高度計の応用、Techno-Ocean 2012, 2012 年 11 月
24. 倉賀野連, 藤井陽介, 福田義和, 石崎士郎, 蒲地政文, 2013：季節的な淡水収支の変動に伴う海面水位変動の特徴, 2013 年日本海洋学会春季大会シンポジウム「日本・アジア域における海面上昇：海洋学にとっての挑戦は何か？」, 東京, 2013 年 3 月.
25. 倉賀野連, 藤井陽介, 豊田隆寛, 碓氷典久, 小川浩司, 蒲地政文, 2012：海水質量変動に伴う領域的な海面水位の季節変動, 2013 年日本海洋学会秋季大会, 札幌, 2013 年 9 月.
26. 杉浦望実, 増田周平, 藤井陽介, 蒲地政文, 石川洋一, 淡路俊之, 2013: 4 次元変分法における正則化手法の解釈, 2013 年度日本海洋学会秋季大会シンポジウム, 北海道大学札幌キャンパス, 北海道札幌市, 2013 年 9 月 17 日.
27. 辻野博之, 西川史朗, 坂本圭, 碓氷典久, 中野英之, 山中吾郎, 2011: 全球-北太平洋ネストモデルによる黒潮経年変動再現実験、2011 年度日本海洋学会春季大会、2011 年 3 月.
28. 豊田隆寛, 藤井陽介, 安田珠幾, 碓氷典久, 岩尾尊徳, 蒲地政文, 2012：気象研全球海洋モデルにおける海氷データ同化について, 第 16 回データ同化夏の学校(21-24 Aug 2012), むつ科学技術館, 青森県むつ市
29. 豊田隆寛, 2013: 海洋再解析データ相互比較における混合層変動, 北太平洋を中心とした海洋の循環とその変動（大槌シンポジウム）, 2013 年 8 月, 大槌町役場, 大槌町.
30. 中野俊也, 北村知之, 須賀利雄, 蒲地政文, 2012:北太平洋回帰線水（North Pacific Tropical Water）の長期変動-亜熱帯循環の変動との関係-, 日本海洋学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 9 月.
31. 藤井陽介, 蒲地政文, 碓氷典久, 2009: 海洋大循環モデルアジョイントコードのデータ同化への活用. 2009 年 6 月 9 日, 第５８回理論応用力学講演会, 東京.
32. 藤井陽介, 仲江川敏之, 松本聡, 安田珠幾, 山中吾郎, 蒲地政文, 2009: 準結合同化システムによる降水場の改善. 2009 年データ同化夏の学校. 2009 年 8 月 25 日, 下北文化会館, むつ, 青森.
33. 藤井陽介, 碓氷典久, 松本聡, 安田珠幾, 平井雅之, 2010: 気象庁における海洋データ同化システムの現状と特異ベクトルを用いた黒潮大蛇行の解析について. 統計数理研究所 2009 年度共同利用共同研究集会『乱流の統計理論とその応用』. 2010 年 3 月 16 日. 統計数理研究所, 立川、東京.
34. 藤井陽介, 仲江川俊之, 松本聡, 安田珠幾, 山中吾郎, 蒲地政文, 2010：結合モデルと海洋観測データの統合（準結合同化）による気候変動の再現. 日本気象学会 2010 年度春季大会、専門分科会「様々な時間スケールでのデータ同化とアンサンブル予報」、東京、2010 年 5 月.
35. 藤井陽介, 碓氷典久, 豊田隆寛, 小川浩司, 蒲地政文, 2011: アジョイント法と海洋学での利用. 名古屋大学太陽地球環境研究所・統計数理研究所データ同化研究開発センター合同研究集会「電離圏・磁気圏モデリングとデータ同化」, 名古屋大学東山キャンパス, 名古屋, 愛知, 2011 年 9 月.
36. 藤井陽介, 安藤健太郎, 岩尾尊徳, 蒲地政文, 2011: 気象庁季節用法システムにおける TAO/TRITON ブイ・アルゴフロートのインパクト、2011 年度日本海洋学会秋季大会、2011 年 9 月.
37. 藤井陽介, 中野俊也, 碓氷典久, 松本聡, 辻野博之, 蒲地政文, 2013: 海洋大循環モデルの接線形コードとアジョイントコードを用いた北太平洋中層水の経路の特定, 第 3 回データ同化ワークショップ, 統計数理研究所, 立川, 日本, 2013 年 1 月 18 日（招待講演）.
38. 藤井陽介, 2013: 曳航式 CTD で観測された南太平洋熱帯水(SPTW)とバリアレイヤー. JAMSTEC 熱帯気候変動プログラムゲストセミナー. JAMSTEC 横須賀本部, 横須賀,

日本, 2013 年 1 月 30 日（招待講演）.
39. 藤井陽介, 碓氷典久, 辻野博之, 蒲地政文, 中野俊也, 松本聡, 2013: 海洋大循環モデルとそのアジョイントコードを用いたNPIWの水塊追跡. 2013年海洋学会春季大会, 東京, 日本, 2013 年 3 月.
40. 藤井陽介, 碓氷典久, 蒲地政文, 2013: 超高速計算機を利用した大規模データ同化・アジョイントシステムの可能性, 2013 年日本海洋学会春季大会シンポジウム「ポストー「京」に向けた計算科学としての海洋学の展望ー」, 東京, 日本, 2013 年 3 月.
41. 藤井陽介, 中野俊也, 碓氷典久, 松本聡, 辻野博之, 蒲地政文, 2013: 海洋大循環モデルの接線形コードとアジョイントコードを用いた北太平洋中層水の経路の特定, 第 3 回データ同化ワークショップ, 2013 年 1 月 18 日, 統計数理研究所, 立川, 東京.
42. 藤井陽介, 2013: 曳航式 CTD で観測された南太平洋熱帯水(SPTW)とバリアレイヤー. JAMSTEC 熱帯気候変動プログラムゲストセミナー. 2013 年 1 月 30 日. JAMSTEC 横須賀本部, 横須賀, 日本.
43. 藤井陽介, 碓氷典久, 蒲地政文, 2013: 超高速計算機を利用した大規模データ同化・アジョイントシステムの可能性, 2013 年日本海洋学会春季大会シンポジウムポストー「京」に向けた計算科学としての海洋学の展望ー, 東京, 日本, 2013 年 3 月.
44. 藤井陽介, 中野俊也, 碓氷典久, 松本聡, 辻野博之, 蒲地政文, 2013: 海洋大循環モデルで再現される水塊の追跡へのアジョイントコードの利用. 第 17 回データ同化夏の学校, JAMSTEC むつ研究所, 青森県むつ市, 2013 年 8 月 22 日.
45. 藤井陽介, 中野俊也, 碓氷典久, 松本聡, 辻野博之, 蒲地政文, 2013: フォワード・アジョイントコードの組み合わせによる水塊追跡法. 日本流体力学会年会 2013、東京農工大学小金井キャンパス, 東京都小金井市, 2013 年 9 月 14 日.
46. 藤井陽介, 2013: エルニーニョと同化研究, 2013 年度日本海洋学会秋季大会シンポジウム「太平洋・インド洋の熱帯気候変動研究：過去から未来へ」, 北海道大学札幌キャンパス, 北海道札幌市, 2013 年 9 月 17 日
47. 松本聡, 中野俊也, 藤井陽介, 安田珠幾, 蒲地政文, 2009 : 海洋再解析データを用いた北太平洋中層における長期変化の解析. 2009 年 4 月 6 日, 2009 年度日本海洋学会春季大会, 東京大学, 文京, 東京.
48. 安田珠幾, 高谷祐平, 松本聡, 2009 : 大気海洋結合モデルによる季節予測実験におけるエルニーニョ現象後のインド洋海面水温の上昇. 2009 年 4 月 6 日, 2009 年度日本海洋学会春季大会, 東京大学, 文京, 東京
49. 安田珠幾, 高谷祐平, 松本聡, 2009 : 大気海洋結合モデルによる季節予測実験におけるエルニーニョ現象後のインド洋海面水温の上昇. 2009 年 11 月 25 日, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, アクロス福岡, 福岡.
50. 若松剛, 石川洋一, 淡路俊之, 石崎廣, 田中裕介, 藤井陽介, 碓氷典久, 蒲地政文, 2013: 4 次元変分法技術を用いた領域海洋モデルの最適化, 2013 年度日本海洋学会秋季大会シンポジウム「海洋モデルリング研究の今後を展望する」, 北海道大学札幌キャンパス, 北海道札幌市, 2013 年 9 月 17 日（若松さん、招待講演）
51. 和田章義, 2010：東太平洋と北西太平洋における熱帯低気圧の強度と表層海洋貯熱量の関係の違いについて. 日本気象学会 2010 年度春季大会、2010 年 5 月.
52. 和田章義, 碓氷典久, 北畠尚子, 小山 亮, 2012: 2011 年台風第 12 号の強度変化と海洋の相互作用、日本気象学会春季大会、A467.
53. 和田章義, 碓氷典久, 2012: 台風第 15 号の急発達に関する数値実験、日本気象学会春季大会、A468.
54. 和田章義, 2012: 2009 年台風 Choi-wan と海洋との相互作用、日本気象学会 2012 年秋季大会講演予稿集、B358.
55. 和田章義, 2013: 海洋データ同化による海洋解析場が台風シミュレーションに与える影響, 日本気象学会 2012 年春季大会講演予稿集、B406.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：32 件

1. Balmaseda, M., O. Alves, T. Awaji, D. Behringer, N. Ferry, Y. Fujii, T. Lee, M. Rienecker, T. Rosati, D. Stammer, D. Smith, F. Molteni, 2009: Initialization for Seasonal and Decadal Forecasts. OceanObs'09, Sep. 22-24th, 2009, Venice, Italy.
2. Fujii, Y., T. Soga, S. Ishizaki, N. Usui, and M. Kamachi, 2009: Quality Control and Diagnostic of Observation Data in Operational Ocean Data Assimilation Systems in JMA. 2nd GODAE Ocean System Evaluation Workshop, June 4th, 2009, Toulouse, France.
3. Fujii, Y, S. Matsusmoto, T. Yasuda, M. Kamachi, and K. Ando, 2009: OSE Experiments Using the JMA-MRI ENSO Forecasting System. 2nd GODAE Ocean System Evaluation Workshop, June 5th, 2009, Toulouse, France.
4. Fujii, Y., M. Kamachi, N. Usui, S. Matsumoto, T. Yasuda, and S. Ishizaki, 2009: Observing System evaluation using the ocean data assimilation and prediction system, MOVE/MRI.COM. OceanObs'09, Sep. 22-24th, 2009, Venice, Italy.
5. Fujii, Y., T. Nakaegawa, S. Matsumoto, T. Yasuda, G. Yamanaka, M. Kamachi, 2010: Coupled Ocean and Atmosphere Analysis by Assimilating Ocean Observation Data to a Coupled Model. Workshop on Decadal Variability, Predictability, and Prediction, and to have research presentations, Sep. 20-23th, 2010, NCAR, Boulder, Co, USA.
6. Fujii, Y., T. Nakaegawa, T. Yasuda, S. Matsumoto, G. Yamanaka, T. Toyoda, and M. Kamachi, 2011, Atmospheric Response to the ENSO in a Quasi-coupled Data Assimilation System. WCRP Open Science Conference, Oct. 2011. Denver, CO, USA.
7. Fujii, Y., T. Nakaegawa, S. Matsumoto, T. Yasuda, G. Yamanaka, M. Kamachi, 2013: Role of air-sea interaction in a coupled model simulation Constrained by Ocean Data Assimilation, RIMS International Conference on Theoretical Aspectsof Variability and Predictability in Weather and Climate Systems, 23-25, Oct., 2013, Kyoto, Japan.
8. Fujii, Y., Ogawa, K., Toyoda, T., Usui, N., Kuragano, T. and Kamachi, M., 2013: Activities of Observation System Evaluation and Design in JMA/MRI. GODAE Ocean View Symposium 2013, 4-6, Nov., 2013, Maryland, USA.
9. Fukuda, Y., W. Ito, T. Nakano, S. Ishizaki and T. Kuragano, Recent change of thermosteric sea level and its contribution to the sea level change measured from satellite altimetry, 20 years of progress in radar altimetry symposium, Sept. 2012.
10. Ishizaki, S, Y. Kanno, S. Matsumoto, N. Usui, Y. Fujii, T. Kuragano, M. Kamachi, Operational Ocean Modeling for the western North Pacific at JMA, GODAE Ocean View Symposium, 2013, 4-6, Nov., 2013, Maryland, USA.
11. Kiyofuji, H, H. Okamoto, I. Fusejima, T. Oshima, T. Kimura, I., Senina, P. Lehodey, N. Usui, and M. Kamachi, Investigating relationship between Skipjack Tuna (Katsuwonus pelamis) and environment from a modeling approach – An application of spatial ecosystem and population dynamics model (SEAPODYM) and GOV product (MOVE) –, GODAE Ocean View Symposium, 2013, 4-6, Nov., 2013, Maryland, USA.
12. Kuragano, T., Y. Fujii, T. Toyoda, Y. Fukuda, S. Ishizaki, T. Nakano, W. Ito and M. Kamachi, 2012, Altimeter's effect on global ocean heat content and mean surface dynamic height analyzed by MRI global ocean data assimilation system, 2012 OSTST meeting, Sept. 27-28, 2012, Venis, Itary.
13. Kuragano, T., Y. Fujii, T. Toyoda, N. Usui, K. Ogawa, M. Kamachi, 2013: Regional ocean mass contribution to sea surface height variations with seasonal timescale, 2013 OSTST meeting, Oct. 8-11. 2012, Boulder, USA.
14. Kuragano, T., Y. Fujii, T. Toyoda, N. Usui, K. Ogawa, M. Kamachi, 2013: Improvement of assimilation procedure for sea surface height data by removing nonsteric seasonal

height, GODAE Ocean View Symposium, 2013, 4-6, Nov., 2013, Maryland, USA.
15. Matsumoto, S., T. Nakano, Y. Fujii, T. Yasuda, and M. Kamachi 2009: Utilization of Ocean Reanalysis Data for Climate Variability Analysis of the North Pacific Intermediate Water. OceanObs'09, Sep. 22-24th, 2009, Venice, Italy.
16. Moon, J.-H., N. Hirose, N. Usui and H. Tsujino, 2010: Estimation of Kuroshio transport in the East China Sea, 010 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA. 2010/12/14.
17. Ogawa, K., N. Usui, Y. Fujii, T. Toyoda, T. Iwao, and M. Kamachi, 2011: Impact of Argo Data in a Data Assimilation System for the North Pacific Area. Ocean Surface Topography Science Team Meeting/Joint Argo and Altimetry Workshop, Oct. 2011, San Diego, USA.
18. Ogawa, K., K. Sakamoto, H. Tsujino, T. Kuragano, and Y. Fujii, 2012: Validation of the Sea Level Simulated by MRI.COM-JPN, a Japan Coastal Ocean Model, 6th Coastal Altimetry Workshop, Riva del Garda, Italy, Sep. 20-21, 2012.
19. Ogawa, K, N. Usui, and T. Kuragano, 2013: Relationship between Position of the Kuroshio Path and Sea Level Anomaly in the Seto Inland Sea in Japan, 7th Coastal Altimetry Workshop, Boulder, Colorado, USA, Oct. 8-9,2013
20. Oke, P. R., M. A. Balmaseda, M. Benkiran, J. A. Cummings, E. Dombrowsky, Y. Fujii, S. Guinehut, G. Larnicol, P.-Y. Le Traon, M. Martin, 2009: Ocean Observing System Evaluation. OceanObs'09, Sep. 22-24th, 2009, Venice, Italy.
21. Toyoda, T., Y. Fujii, T. Yasuda, N. Usui, T. Iwao, and M. Kamachi, 2011: Improved analysis fields in the Arctic Ocean by the Meteorological Research Institute Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) system. WCRP Open Science Conference, Oct. 2011, Denver, CO, USA.
22. Toyoda, T, Y. Fujii, T. Kuragano, M. Kamachi, Y. Ishikawa, S. Masuda, T. Awaji, Ocean Mixed Layer Depth Intercomparison among syntheses, GODAE Ocean View Symposium, 2013, 4-6, Nov., 2013, Maryland, USA.
23. Usui, N., S. Ishizaki, Y. Fujii, and M. Kamachi, 2009: Improving strategies with constraints regarding non-Gaussian statistics in MOVE/MRI.COM, 5th WMO Data Assimilation Symposium, Melborune, Australia.
24. Usui, N., H. Tsujino, H. Nakano, Y. Fujii, and M. Kamachi, 2010: Decay mechanism of the 2004/05 Kuroshio large meander, 2010 Ocean Sciences Meeting, Portland, Oregon.
25. Usui, N., H. Tsujino, and H. Nakano, 2011: Long-term Variations of the Kuroshio Path South of Japan. IUGG 2011, June 29, 2011, Melbourne, Australis.
26. Usui, N., Y. Fujii and M. Kamachi, 2012: Improved representation of short-term variations at the southern coast of Japan with a 4DVAR assimilation system, AGU 2012 Fall Meeting
27. Usui, N., Y. Fujii, K. Sakamoto, and M. Kamachi, 2013: Development of a high-resolution coastal forecasting system with a 4DVAR assimilation scheme, 6th WMO Symposium on Data Assimilation, Oct. 7-11, 2013, College Park, MD, USA.
28. Usui, N, K. Sakamoto, Y. Fujii, K. Ogawa, T. Kuragano, and M. Kamachi, Development of a coastal monitoring and forecasting system around the Seto Inland Sea, Japan, GODAE Ocean View Symposium, 2013, 4-6, Nov., 2013, Maryland, USA.
29. Wada, A., N. Kohno, N. Usui and Y. Kawai, 2009: Preliminary numerical experiments for Typhoon Hai-Tang in 2005 by Typhoon-wave-ocean coupled model. Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology 8–10 November 2009, Tsukuba, Japan, 251.
30. Wada, A., and N. Kohno, 2012: Impact of surface roughness length on typhoon simulation. 30th Conference on Hurricanes and tropical Meteorology, Ponte Vedra Beach, Florida, USA, Apr. 15-20.

31. Wada, A., Meghan, F. Cronin, Adrienne J. Sutton, Y. Kawai, and M. Ishii, 2012: Numerical simulations of interactions between Typhoon Choi-wan and the ocean. AGU fall meeting, San Francisco, USA, Dec. 3-7.
32. Wada, A., T. Uehara, and S. Ishizaki, 2013: Daily observations by profiling floats and numerical simulations on typhoons during 2011-2012 typhoon seasons. JpGU, Makuhari, Japan.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：14 件

1. 碓氷典久, 藤井陽介, 蒲地政文, 2012： MOVE-4DVAR の開発：システムの概要と初期結果について, 日本海洋学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 9 月.
2. 小川浩司, 2012： アルゴフロート観測による 海洋内部状態の再現性の向上、第 10 回環境研究シンポジウム、東京都千代田区、2012 年 11 月 14 日.
3. 小川浩司, 碓氷典久, 倉賀野連, 2013：MOVE/MRI.COM-WNP 長期再解析値から見た黒潮流軸変動と瀬戸内海の水位との関係, 2013 年日本海洋学会秋季大会, 2013 年 9 月, 北海道大学, 札幌市.
4. 倉賀野連, 福田義和, 石崎士郎, 2012： 海水質量変動に伴う海面水位の変動, 日本海洋学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 9 月.
5. 豊田隆寛, 藤井陽介, 安田珠幾, 碓氷典久, 岩尾尊徳, 蒲地政文, 2011: 気象研全球海洋データ同化システム（MOVE）における北極海解析場の改良について、2011 年度日本海洋学会秋季大会、九州大学、春日市.
6. 豊田隆寛, 藤井陽介, 安田珠幾, 碓氷典久, 岩尾尊徳, 蒲地政文, 2012: 全球海洋データ同化システムによる季節から経年変動の再現、第 61 回理論応用力学講演会、東京大学、駒場.
7. 藤井陽介, 碓氷典久, 豊田隆寛, 小川浩司, 岩尾尊徳, 蒲地政文, 2011: 気象研究所海洋データ同化システムで作成した海洋再解析データセット, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月, 幕張メッセ、千葉市.
8. 松本聡, 中野俊也, 藤井陽介, 安田珠幾, 蒲地政文, 2009：海洋再解析データを用いた北太平洋中層における長期変化の解析. 2009 年 4 月 6 日, 2009 年度日本海洋学会春季大会, 東京大学, 東京
9. 山中吾郎, 安田珠幾, 藤井陽介, 松本聡, 2010：2006 エルニーニョの衰退過程. 2010 年 3 月 26-30 日, 2010 年度日本海洋学会度春季大会, 東京海洋大学, 東京
10. 和田章義, 高野洋雄, 碓氷典久, 川合義美, 2009:台風発達期における台風 Hai-Tang(2005)と海洋との相互作用、2009 年日本気象学会春季大会講演予稿集、234.
11. 和田章義, 川合義美, 碓氷典久, 2009: 海面水温日変化が台風強度予測に与える影響、平成 21 年度京都大学防災研究所共同研究集会「台風研究会：台風災害の歴史と教訓 －伊勢湾台風から 50 年－」講演予稿集、96, 199.
12. 和田章義, 川合義美, 碓氷典久, 2009:海面水温日変化が台風強度予測に与える影響、2009 年日本気象学会秋季大会講演予稿集、19
13. 和田章義, 2011:北太平洋海域における Argo データを用いた台風最大強度と海洋貯熱量の関係の検証、2011 年日本気象学会春季大会講演予稿集、423
14. 和田章義, 2011:北太平洋海域における Argo データを用いた台風最大強度と海洋貯熱量の関係の検証、2011 年日本気象学会春季大会講演予稿集、423

大気化学環境変動とそのメカニズムの解明に関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：松枝秀和（海洋・地球化学研究部第四研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１　温室効果ガスの時空間変動の実態把握に関する観測研究
松枝秀和、馬淵和雄、澤庸介、坪井一寛、丹羽洋介[1)]（海洋・地球化学研究部）齊藤和幸[2)]、滝沢厚詩[2)]、高辻慎也[3)]、西秀紘[3)]（気象庁地球環境・海洋部環境気象管理官付)、和田晃[4)]（気象大学校）

副課題２　温室効果ガスの変動メカニズムの解明に関する解析研究
松枝秀和、馬淵和雄、澤庸介、坪井一寛、丹羽洋介[1)]（海洋・地球化学研究部)、齊藤和幸[2)]、滝沢厚詩[2)]、高辻慎也[3)]、西秀紘[3)]（気象庁地球環境・海洋部環境気象管理官付）

副課題３　高度化陸域生態系過程を導入した気候モデルによる大気―陸面相互作用に関するモデル研究
松枝秀和、馬淵和雄、澤庸介、坪井一寛、丹羽洋介[5)]（海洋・地球化学研究部)、齊藤和幸[2)]、滝沢厚詩[2)]、高辻慎也[3)]、西秀紘[3)]（気象庁地球環境・海洋部環境気象管理官付）

研究の目的

温室効果ガスの大気増加・海洋吸収の変動評価及びその人為的・気候的要因の診断解析手法を開発し、地球温暖化の監視技術の高度化を図る。

研究の動機・背景

炭素循環の解明が、地球温暖化予測の精度向上において重要な研究課題の一つになっている。現在、大気の観測データに基づくトップダウン・アプローチによって、地球規模の二酸化炭素等の温室効果ガスの発生・吸収量の見積りが行われているが、その結果には依然として大きな誤差が含まれている。より確度の高い炭素収支の評価には、さらに多くの観測データを長期にわたって蓄積することが必要とされている。

本研究では、航空機を利用した立体的な観測や連続測定による高時間分解能観測による時空間変動の実態把握とその変動要因の解析を通して、陸域や海洋における地域別の発生・吸収源を再評価することを目的とする。また、炭素循環変動に対する気候要因を解析するために、陸域生態系モデルの高度化とそれを導入した気候モデルを開発する。

研究の成果の到達目標

定期航空機や地上大気観測所における温室効果ガスの連続測定を継続し、これまでにない高密度（～数分/数 10km）な長期観測データベースを構築する（副課題１)。観測データベースを用いて様々な時空間スケールの変動を把握し、その輸送メカニズムを解明するために、気象データ解析・輸送モデル実験等による診断解析手法を確立する。また、本研究で得られた観測データを炭素循環モデルに導入して地域別の発生・吸収源の分布と変動を再評価する（副課題２)。炭素循環変動に対する気候要因を解析するために、陸域生態系モデルの高度化とそれを導入した気候モデルを開発する（副課題３)。

副課題１　温室効果ガスの時空間変動の実態把握に関する観測研究

①　温室効果ガスの長期観測

定期航空機による上空大気と鉛直分布の観測及び気象研究所構内における接地境界層大気の連続観測を継続し、地表から上空までの二酸化炭素を中心とする温室効果ガス（CH4,N20 等）と

[1)]平成 22 年度～平成 25 年度、[2)]平成 24 年度、[3)]平成 25 年度、[4)]平成 21 年度～平成 23 年度、[5)]平成 23 年度～平成 25 年度

その関連微量気体(CO,H2 等)の濃度分布を高頻度で収集する。これによって、これまでにない高密度（～数分/数 10km）な長期観測データベースを構築し、WMO/WDCGG 等の世界データセンターによる公開を通して関連分野（モデルやリモートセンシング観測等）との共同研究を推進する。

② 大気ラドン濃度の長期観測

アジア大陸の人為発生源からのアウトフローによる変動の実態を把握するために、気象庁の綾里、与那国島、南鳥島の 3 箇所の大気観測所において、高精度高時間分解能の新型ラドン測定装置を用いた大気中ラドン濃度の連続観測を継続する。これによって、長期にわたる高密度な観測データを収集してデータベースを構築する。

③ 観測技術の標準化と高度化

観測データの国際標準化とその検証のため、気象庁との標準ガス検定比較実験を定期的に継続し、測定精度の長期的維持を図る。また、従来型の個別測定装置による煩雑な観測監視手法を改善するために、多種類の温室効果ガスを同時に測定できる新たな精密測定装置の開発を進める。

副課題２　温室効果ガスの変動メカニズムの解明に関する解析研究

① 温室効果ガスの時空間変動の解析

観測で得られた高分解能のデータベースを利用して、温室効果ガス濃度の時系列解析を行い、数日スケールの短周期変動から季節変動及び長期的な増減傾向を評価する。特に、航空機観測で得られる二酸化炭素濃度の変動については、境界層から自由対流圏及び下部成層圏までの高度別の時系列解析を行い、濃度変動の地域的特性とその年々変化を明らかにする。

② 気象データによる物質輸送メカニズムの解析

観測された温室効果ガス濃度の変動に対する物質輸送の寄与を評価するため、気象庁再解析気象データを利用した解析や流跡線解析及び化学トレーサー（ラドン等）解析等の手法を適用して、圏界面付近の大気交換、対流圏内の長距離輸送、及び接地境界層内の鉛直混合等の輸送メカニズムを解明する。

③ モデル実験による発生・吸収源の解析と再評価

観測された温室効果ガスの変動を導く発生・吸収源の影響を評価するため、全球化学輸送モデルを用いた地域別の放出実験を行い、広域拡散分布の解析を行う。また、本研究で得られた高密度な観測データを全球炭素循環モデルに使用して、地域別のフラックスの分布と変動を再評価する。

副課題３　高度化陸域生態系過程を導入した気候モデルによる大気―陸面相互作用に関するモデル研究

① 陸域生態系モデルの高度化

現存の陸域生態系モデルに対して、動的植生変動過程や森林火災などのバイオマス燃焼過程等を新たに導入し、モデルの高度化を図る。

② 気候モデルの検証

高度化された陸域生態系モデルを導入した３次元全球および地域気候モデルについて、大気の温室効果ガス観測、生態系フラックス観測、及びリモートセンシング観測等との比較検証を行う。

③ 気候モデルを用いた炭素循環変動要因の解析

気候モデルを用いた数値実験の結果を解析し、地域別の炭素収支の変動とそれに影響を与える気候要因を評価する。

研究結果

（成果の概要）

定期航空機及び気象研究所鉄塔を利用した観測を継続し、高密度・高精度のデータベースを構築して、輸送モデルや衛星観測の検証として関連分野との共同研究が進展した。一方、標準ガスの相互比較実験により気象庁の観測スケールの検証とデータの品質向上に貢献した。さらに、新型のレーザー分光分析計の性能試験と実用化研究により、気象庁における新規の航空機観測の現業化が実現した。

気象庁の３つの観測所において大気中ラドンの高精度観測を実施し、東アジア大陸から流出する微

量気体の輸送メカニズムを明らかにした。また、アジア大陸の発生源を定量的に求めるために、ラドン・トレーサー法を開発し、既存の発生源データベースの不確実性を評価することができた。

定期航空機観測データと気象データを組み合わせた新たな解析手法を適応して、対流圏から下部成層圏にわたる地球規模の二酸化炭素(CO_2)の季節的循環とその輸送過程を捉えることができた。また、インバース法に定期航空機観測データを導入する最適な方法を確立し、全球の CO_2 発生源・吸収源を再評価した結果、アジアの熱帯地域の炭素収支をより精度良く算定できることが分かった。

陸域生態系モデルの高度化を進め、モデルの性能が改善されたことを検証し、地域別の炭素収支の変動に影響を与える気候要因を評価した。体として当初の目標に沿った研究を遂行し、概ね期待した成果が得られた。

(副課題ごとの研究成果)

副課題１　温室効果ガスの時空間変動の実態把握に関する観測研究

①　温室効果ガスの長期観測

定期航空機及び気象研究所鉄塔を利用した高密度観測によって収集された膨大な測定値の品質評価手法を確立し、高精度のデータベースを構築した。但し、鉄塔の撤去に伴い鉄塔を利用した観測は 2010 年の夏季に終了した。データベースは、気象庁が運営する世界気象機関のデータセンター（WDCGG）と米国大気海洋庁（NOAA）のデータ・アーカイブ・プロジェクト（GLOVALVIEW）を通して公開し、その利用を促進した。その結果、国内外の多数の炭素循環モデル、衛星観測（GOSAT、IASI、TES）及び、地上 FTS 観測の検証として有効に活用され、関連分野との共同研究が大いに進展した。

②　大気ラドン濃度の長期観測

気象庁の綾里・与那国島・南鳥島の観測所において大気中ラドン濃度を高精度で連続測定した結果、数日スケールの変動と季節変化及び、それらの変動の地理的な違いを明瞭に把握できた。特に、数日スケールでラドン濃度が上昇するイベントでは、微量気体の濃度も同時に上昇していることが見いだされた。ラドンと微量気体の増大比は大陸の発生源情報を保持し、寒冷前線の発生と移動によって長距離輸送されていることが分かった。取得されたラドンのデータは、各観測所で収集された微量気体成分と組み合わせ、比較解析のための統合データベースを構築した。

③　観測技術の標準化と高度化

気象研究所と気象庁の標準ガス比較実験を長期に実施し、両者の観測スケールが安定していたこと及び、観測データの品質を評価・検証できた。一方、新型の分光型分析計（WS-CRDS、ICOS、VURF）に精密な流量・圧力制御機能を導入して性能試験を実施した結果、従来型の分析法（GC 法）に比べて測定精度を 2～10 倍も向上させることができた。この新たな測定技術は、H22 年度に気象庁で開始された航空機観測における新分析システムに導入され、定常観測業務の確立に大いに貢献した。さらに、この航空機観測データを共同解析し、中部対流圏の微量気体変動の特徴を明らかにした。

副課題２　温室効果ガスの変動メカニズムの解明に関する解析研究

①　温室効果ガスの時空間変動の解析

定期航空機観測で得られた圏界面付近の CO_2 データについて、気象庁再解析気象データ（JCDAS）を利用した渦位（PV）によるデータ選別法を適応した結果、上部対流圏から下部成層圏における層別の濃度変動の違いを明瞭に把握することができた。一方、対流圏内の CO_2 濃度の変動を従来の高度別に解析する方法ではなく、バルクリチャードソン数で求めた境界層（PBL）高度で分別する手法を導入し、自由対流圏の季節変動の特徴とその地域的な違いをより正確に捉える手法を確立した。

②　気象データによる物質輸送メカニズムの解析

定期航空機観測で得られた観測データを利用して、圏界面付近の CO_2 季節変動を詳細に解析した結果、夏季に熱帯上部対流圏の高濃度 CO_2 が中・高緯度の下部成層圏に流入し、冬季には低濃度 CO_2 が成層圏上部から降下する輸送が駆動していることが明瞭に示された。一方、対流圏全域の CO_2 動態を調べるために、気象データ（JCDAS）から求めた等価緯度を導入した解析手法により、

月別の高度－緯度断面の全球マッピング図を作成することができた。その結果、北半球の陸上生態系で引き起こされる地表付近の CO_2 季節変動が、上空を通して南半球に伝播する輸送メカニズムを、世界で初めて観測データから明瞭に示すことに成功した。

③　モデル実験による発生・吸収源の解析と再評価

東アジア大陸における微量気体の発生源を見積もるために、観測されたラドンと微量気体の増大比を利用した2つの異なるラドン・トレーサー法を開発し、発生量を定量的に算定することができた。これによって、不確実性の大きなアジアの発生源データベースを検証・評価するための有効な手法であることが検証できた。一方、輸送モデルを用いたインバース法による全球規模の CO_2 の発生・吸収源を地域別に再評価するため、定期航空機観測データの導入手法を新たに確立した。その結果、アジアの熱帯地域の炭素収支の評価精度を大きく向上させると同時に、フラックスの季節変動も従来の結果とは異なることが分かった。

副課題３　高度化陸域生態系過程を導入した気候モデルによる大気―陸面相互作用に関するモデル研究

①　陸域生態系モデルの高度化

陸域生態系モデルの高度化のために植生変動インパクト数値実験を実施し、動的植生変動過程導入の影響について検討した。また、最新の陸域物理生物過程を組み込んだ3次元全球気候モデルにおいて、極域大気上層で生じていた不自然な二酸化炭素濃度変動を解消するため、力学的移流項および拡散項に関する取り扱いを改良した。

②　気候モデルの検証

陸域物理生物過程モデルのバージョンアップによる精度検証を目的として、オフラインモデル化を行った結果、最新バージョンで用いている陸域物理生物諸過程のパラメータ値の妥当性が確認出来た。また、3 次元全球気候モデル数値実験の結果、降水量、地上気温、および短波放射量などの陸域物理生物過程の変動に強い影響を与える気候要素について、衛星データとの比較検証を行った結果、そのパターンが概ね数値実験で再現されていることが分かった。

③　気候モデルを用いた炭素循環変動要因の解析

現実的な大気気候場における大気―陸域相互作用と炭素循環変動を解析するための3次元モデル実験を実施した。その結果、観測値に現われている大気中 CO_2 濃度の年々変動の特徴を概ね再現できていることが確認され、変動を引き起こす気候要因が地域によって異なることが示唆された。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

①　気象鉄塔の撤去に伴い、接地境界層内の高度別の観測は2010年の夏季に終了したが、地上1.5mの観測はこれまで通り継続して、データを収集した。

②　大気中ラドンの観測は気象庁の３つの観測点で実施し、アジア大陸の発生源の評価に有効であることが認められた。このため、ラドン観測網をさらに拡充するため、父島においてもラドンと微量気体の予備観測を開始した。

③　レーザー分光法による二酸化炭素同位体連続測定装置の精度試験の準備を開始した。

成果の他の研究への波及状況

①　本研究で得られた観測データベースは、炭素循環研究に関連するモデルや衛星観測の検証に有効に活用され、それらの結果は多くの共著論文として発表された。

②　気象庁の地上観測所や航空機観測における共同観測の有効性が示され、複数の外部資金による観測所や余剰試料を利活用した他機関との共同研究が促進された。

今後の課題

①　定期航空機及び気象研究所露場のおける微量気体の高密度・高精度の観測を今後も継続し、データベースを更新しつつ、その利用による関連分野との共同研究をさらに推進する。

②　観測データの品質を長期的に維持するために、気象研究所と気象庁との定期的な標準比較実験

を今後も継続する。一方、新たに導入された分光型分析計による運用と長期的な精度維持について気象庁の現業観測を継続的に支援する。

③ 現在のラドン観測をさらに継続して長期的にデータを蓄積し、ラドン・トレーサー法を適用して、東アジア地域の発生源の長期的増加や年々変動の実態を評価する。また、父島におけるラドンと微量気体の観測を継続し、東アジア大陸の微量気体の放出とその流出メカニズムの実態をより詳しく調べる。

④ 定期航空機による観測を継続すると同時に、過去に得られた航空機観測データも統合して長期間にわたるデータセットを構築し、エルニーニョ・南方振動（ENSO）現象等の気候変化に応答する数年スケールの大規模な CO_2 循環の年々変動の実態の解明に取り組む。

⑤ レーザー分光法を用いた最新の二酸化炭素同位体連続測定装置の性能試験とその実用化及び、気象庁現業観測への導入に向けた研究を次期研究計画で本格的に進める。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（気候・地球環境分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、488 ページを参照。

成果発表一覧

査読論文 ：29 件

1. Araki, M., I. Morino, T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, H. Ohyama, T. Yokota and O. Uchino, 2010: CO_2 column-averaged volume mixing ratio derived over Tsukuba from measurements by commercial airlines, Atmos. Chem. Phys., 10, 7659-7667.
2. Crevoisier, C, A., Chedin, H. Matsueda, T. Machida, R. Armante and N. A. Scott, 2009: First year of upper tropospheric integrated content of CO_2 from IASI hyperspectral infrared observations, Atmos. Chem. Phys., 9, 4797-4810.
3. Crevoisier, C., D. Nobileau, R. Armante, L. Crépeau, T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, T. Schuck, T. Thonat, J. Pernin, N.A. Scott and A. Chédin, 2013: The 2007-2011 evolution of tropical methane in the mid-troposphere as seen from space by MetOp-A/IASI, Atmos. Chem. Phys., 13, 4279-4289.
4. Ganshin, A., T. Oda, M. Saito, S. Maksyutov, V. Valsala, R.J. Andres, R.E. Fisher, D. Lowry, A. Lukyanov, H. Matsueda, E.G. Nisbet, M. Rigby, Y. Sawa, R. Toumi, K. Tsuboi, A. Varlagin, R. Zhuravlev, 2012: A global coupled Eulerian-Lagrangian model and 1×1 km CO_2 surface flux dataset for high-resolution atmospheric CO_2 transport simulations, Geosci. Model Dev., 5, 231-243.
5. Mabuchi, K., K. Takahashi and K. Nasahara, 2009: Numerical investigation of climate factors impact on carbon cycle in the East Asian terrestrial ecosystem, J. Meteor. Soc. Japan, 87, 219-244.
6. Mabuchi, K., 2011: A numerical investigation of changes in energy and carbon cycle balances under vegetation transition due to deforestation in the Asian tropical region, J. Meteor. Soc. Japan, 89, 1-19.
7. Niwa, Y., H. Tomita, M. Satoh and R. Imasu, 2011: A three-dimensional icosahedral grid advection scheme preserving monotonicity and consistency with continuity for atmospheric tracer transport, J. Meteor. Soc. Japan, 89, 255-268.
8. Niwa, Y., P.K. Patra, Y. Sawa, T. Machida, H. Matsueda, D. Belikov, T. Maki, M. Ikegami, R. Imasu, S. Maksyutov, T. Oda, M. Satoh and M. Takigawa, 2011: Three-dimensional variations of atmospheric CO_2: aircraft measurements and multi-transport model simulations, Atmos. Chem. Phys., 11, 13359-13375.
9. Niwa, Y., T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, T.J. Schuck, C.A.M. Brenninkmeijer, R. Imasu and M. Satoh, 2012: Imposing strong constraints on tropical terrestrial CO_2 fluxes using passenger aircraft based measurements, J. Geophys. Res., 117, D11303, doi:10.1029/2012JD017474.
10. Niwa, Y., K. Tsuboi, H. Matsueda, Y. Sawa, T. Machida, M. Nakamura, T. Kawasato, K. Saito, S. Takatsuji, K. Tsuji, H. Nishi, K. Dehara, Y. Baba, D. Kuboike, S. Iwatsubo, H. Ohmori and Y. Hanamiya, 2013: Seasonal variations of CO_2, CH_4, N_2O and CO in

the mid-troposphere over the western North Pacific observed by a C-130H cargo aircraft, J. Meteor. Soc. Japan, in press.
11. Patra, P.K., J.G. Canadell, R.A. Houghton, S.L. Piao, N.-H. Oh, P. Ciais, K.R. Majunath, A. Chhabra, T. Wang, T. Bhattacharya, P. Bousquet, J. Harman, A. Ito, E. Mayorga, Y. Niwa, P.A. Raymond, V.V.S.S. Sarma and R. Lasco, 2013: The carbon budget of South Asia, Biogeosci., 10, 513-527.
12. Sahu, L.K., Y. Kondo, Y. Miyazaki, M. Kuwata, M. Koike, N. Takegawa, H. Tanimoto, H. Matsueda, S.C. Yoon and Y.J. Kim, 2009: Anthropogenic aerosols observed in Asian continental outflow at Jeju Island, Korea, in spring 2005, J. Geophys. Res., 114, D03301, doi:10.1029/2008JD010306.
13. Saito, R., S. Houweling, P.K. Patra, D. Belikov, R. Lokupitiya, Y. Niwa, F. Chevallier, T. Saeki and S. Maksyutov, 2011: TransCom satellite intercomparison experiment: Construction of a bias corrected atmospheric CO_2 climatology, J. Geophys. Res., 116, D21120, doi:10.1029/2011JD016033.
14. Saito, T., K. Kawamura, U. Tsunogai, T.-Y. Chen, H. Matsueda, T. Nakatsuka, T. Gamo, M. Uematsu and B.J. Huebert, 2009: Photochemical histories of nonmethane hydrocarbons inferred from their stable carbon isotope ratio measurements over East Asia, J. Geophys. Res., 114, D11303, doi:10.1029/2008JD011388.
15. Saitoh, N., M. Touno, S. Hayashida, R. Imasu, K. Shiomi, T. Yokota, Y. Yoshida, T. Machida, H. Matsueda and Y. Sawa, 2012: Comparisons between XCH_4 from GOSAT shortwave and thermal infrared spectra and aircraft CH_4 measurements over Guam, SOLA, 8, 145-149.
16. Sakaizawa, D., S. Kawakami, M. Nakajima, Y. Sawa and H. Matsueda, 2010: Ground-based demonstration of a CO_2 remote sensor using a 1.57μm differential laser absorption spectrometer with direct detection, J. Appl. Remote Sens., 4, 043548.
17. Sasakawa, M., A. Ito, T. Machida, N. Tsuda, Y. Niwa, D. Davydov, A. Fofonov, and M. Arshinov, 2012: Annual variation of CH_4 emissions from the middle taiga in West Siberian Lowland (2005-2009): A case of high CH_4 flux and precipitation rate in the summer of 2007, Tellus B, 64, 17514, Doi: 10.3402/tellusb.v64i0.17514.
18. Sawa, Y., T. Machida and H. Matsueda, 2012: Aircraft observation of the seasonal variation in the transport of CO_2 in the upper atmosphere, J. Geophys. Res., 117, doi:10.1029/2011JD016933.
19. Schuck, T.J., K. Ishijima, P.K. Patra, A.K. Baker, T. Machida, H. Matsueda, Y. Sawa, T. Umezawa, C.A.M. Brenninkmeijer and J. Lelieveld, 2012: Distribution of methane in the tropical upper troposphere measured by CARIBIC and CONTRAIL aircraft, J. Geophys. Res., 117, D19304, doi:10.1029/2012JD018199.
20. Shirai, T., T. Machida, H. Matsueda, Y. Sawa, Y. Niwa, S. Maksyutov and K. Higuchi, 2012: Relative contribution of transport/surface flux to the seasonal vertical synoptic CO_2 variability in the troposphere over Narita, Tellus B, 64, 19138, Doi:10.3402/tellusb.v64i0.19138.
21. Tanaka, T., Y. Miyamoto, I. Morino, T. Machida, T. Nagahama, Y. Sawa, H. Matsueda, D. Wunch, S. Kawakami and O. Uchino, 2012: Aircraft measurements of carbon dioxide and methane for the calibration of ground-based high-resolution Fourier Transform Spectrometers and a comparison to GOSAT data measured over Tsukuba and Moshiri, Atmos. Meas.Tech., 5, 2003-2012.
22. Tsuboi, K., H. Matsueda, Y. Sawa, Y. Niwa, M. Nakamura, D. Kuboike, K. Saito, H. Ohmori, S. Iwatsubo, H. Nishi, Y. Hanamiya, K. Tsuji and Y. Baba, 2013: Evaluation of a new JMA aircraft flask sampling system and laboratory trace gas analysis system, Atmos. Meas.Tech., 6,1257-1270.
23. Umezawa, T., T. Machida, K. Ishijima, H. Matsueda, Y. Sawa, P.K. Patra, S. Aoki and T. Nakazawa, 2012: Carbon and hydrogen isotopic ratios of atmospheric methane in the upper troposphere over the western Pacific, Atmos. Chem. Phys., 12, 8095-8113.
24. Wada, A., S. Murayama, H. Kondo, H. Matsueda, Y. Sawa and K. Tsuboi, 2010: Development of a compact and sensitive electrostatic Radon-222 measuring system for use in atmospheric observation, J. Meteor. Soc. Japan, 88, 123-134.

25. Wada, A., H. Matsueda, Y. Sawa, K. Tsuboi and S. Okubo, 2011: Seasonal variation of enhancement ratios of trace gases observed over 10 years in the western North Pacific, Atmos. Environ., 45, 2129-2137.
26. Wada, A., H. Matsueda, S. Murayama, S. Taguchi, A. Kamada, M. Nosaka, K. Tsuboi and Y. Sawa, 2012: Evaluation of anthropogenic emissions of carbon monoxide in East Asia derived from observations of atmospheric radon-222 over the western North Pacific, Atmos. Chem. Phys., 12, 12119-12132.
27. Wada, A., H. Matsueda, S. Murayama, S. Taguchi, S. Hirao, H. Yamazawa, J. Moriizumi, K. Tsuboi, Y. Niwa and Y. Sawa, 2013: Quantification of emission estimates of CO_2, CH_4 and CO for East Asia derived from atmospheric radon-222 measurements over the western North Pacific. Tellus B, 65, http://dx.doi. org/10.3402/tellusb.v65i0.18037.
28. Wunch, D., G.C. Toon, P.O. Wennberg, S.C. Wofsy, B.B. Stephens, M.L. Fischer, O. Uchino, J.B. Absire, P. Bernath, S.C. Biraud, J.-F. L. Blavier C. Boone, K.P. Bowman, E.V. Browell, T. Campos, B.J. Connor, B.C. Daube, N.M. Deutscher, M. Kiao, J.W Elkins, C. Gerbig, E. Gottlieb, D.W.T. Griffith, D.F. Hurst, R. Jiménez, G. Keppel-Aleks, E. Korf, R. Macatangay, T. Machida, H. Matsueda, F. Moore, I. Morino, S. Park, J. Robinson, C.M. Roehl, Y. Sawa, V. Sherlock, C. Sweeney, T. Tanaka and M.A. Zondlo, 2010: Calibration of the total carbon column observing network using aircraft profile data, Atmos. Meas.Tech., 3, 1351-1362.
29. Zhu, C., H. Yoshikawa-Inoue, H. Matsueda, Y. Sawa, Y. Niwa, A. Wada and H. Tanimoto, 2012: Influence of Asian outflow on Rishiri Island, northernmost Japan: Application of radon as a tracer for characterizing fetch regions and evaluating a global 3D model, Atmos. Environ., 50, 174-181.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：6 件

1. Koide, H., A. Takizawa, D. Kuboike, M. Nakamura, Y. Takatsuki and Y. Sawa, 2012: Greenhouse gas monitoring and intercomparison activities of JMA, Global Atmospheric Watch Report, 206, 5-9.
2. Mabuchi, K., 2011: Numerical Investigation of the Interaction between Land Surface Processes and Climate. Climate Models, ISBN 979-953-307-338-4, InTech.
3. 坪井一寛， 松枝秀和， 澤庸介， 丹羽洋介， 中村雅道， 久保池大輔， 岩坪昇平， 齊藤和幸， 花宮義和， 辻健太郎， 大森英裕， 西秀紘, 2012： C-130H 輸送機を利用した温室効果ガス観測のためのフラスコ採取とその高精度測定システムの開発，気象研究所技術報告, 第 67 号, 1-54.
4. 中村雅道， 久保池大輔， 岩坪昇平， 齊藤和幸， 花宮義和， 辻健太郎， 大森英裕， 西秀紘, 松枝秀和， 澤庸介， 坪井一寛， 丹羽洋介，2012：航空機による上空の温室効果ガス観測の開始について ～WMO/GAW 計画に貢献する気象庁の温室効果ガス観測～，測候時報, 第 78 巻, 第 6 号, 259-268.
5. 丹羽洋介, 2012: 地球表層の炭素の動きを探る, 数研出版サイエンスネット, 第 45 号, 特集 2, 6-9.
6. 安成哲三， 熊谷朝臣， 栗田進， 立入郁， 小野朗子， 上野健一， 徐健青， 浅沼順， 佐藤友徳， 市井和仁， 羽島知洋， 馬淵和雄, 2012：「ユーラシア・アジアモンスーン地域の気候―陸域相互作用研究会」の報告，天気, 59, 381-391.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：35 件

1. Crevoisier, C., D. Nobileau, A. Chédin, H. Matsueda, T. Machida, A.M. Fiore, R. Armante and N.A. Scott, 2009: Simultaneous retrieval of tropospheric CO_2 and CH_4 in the tropics from spaceborne hyperspectral infrared observations: 6 years from Aqua/AIRS and 2 years from MetOp/IASI, 8th International Carbon Dioxide Conference.
2. Ishijima, K., P.K. Patra, M. Takigawa, K. Sudo, T. Machida, H. Matsueda, Y. Sawa, Shuji Aoki, T. Nakazawa, S. Toyoda and N. Yoshida, 2012: Simulation of atmospheric N_2O in the troposphere and stratosphere, IGAC/SPARC Global Chemistry-Climate Modeling and Evaluation Workshop.

3. Koide, H., A. Takizawa, D. Kuboike, M. Nakamura, Y. Takatsuki and Y. Sawa, 2011: Greenhouse gas monitoring and intercomparison activities of JMA, The 16th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Technique.
4. Kondo, H., R. Imasu, Y. Matsumi, Y. Niwa, Y. Sawa, H. Matsueda and K. Tsuboi, 2011: Development of local scale CO_2 transportation model including data assimilation with GOSAT data, 3rd iLEAPS Science Conference.
5. Mabuchi, K., 2009: Mutual utilization between remote sensing data and numerical simulation on the land surface processes, Proceedings of International Symposium on Estimation of Ocean and Land Primary Production by Satellite, 7.
6. Mabuchi, K., 2010: Biosphere-Atmosphere Interaction Model (BAIM)/Participation in ADMIP, The APN-MAIRS joint workshop on Asian Dryland Land Surface Process Model Intercomparison Project (ADMIP).
7. Mabuchi, K., 2011: The first view of simulation results of BAIM2 for KBU, The 2nd International Workshop on Asian Dryland Model Intercomparison Project-ADMIP.
8. Mabuchi, K., 2012: Stage 0.5 simulation results of BAIM2 for KBU and Tongyu, The 3rd International Workshop on Asian Dryland Model Intercomparison Project-(ADMIP).
9. Mabuchi, K., K. Nasahara, Y. Honda, H. Murakami and M. Hori, 2010: Land surface – atmosphere full couple simulation using GCM and a case study of annual changes. Joint PI workshop of global environmental observation mission.
10. Mabuchi, K., K. Nasahara, Y. Honda, H. Murakami and M. Hori, M. M. Moriyama, and A. Ono, 2013: Mutual verification between satellite products and climate model products. Joint PI Workshop of Global Environmental Observation Mission 2012.
11. Mabuchi, K., K. Nasahara, Y. Honda, H. Murakami, M. Hori, M. Moriyama and A. Ono, 2011: Comparison of the simulation results of GCM with satellite data: cases of interannual changes of land surface temperature and soil moisture, Joint PI Workshop of Global Environment Observation Mission 2011.
12. Mabuchi, K., K. Nasahara, Y. Honda, H. Murakami, M. Hori, M. M. Moriyama, A. Ono, 2012: Possibility of mutual verification between satellite products and climate model simulation results. SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012.
13. Machida, T., Y. Sawa, Y. Niwa, H. Matsueda, 2013: Three-dimensional Behaviors of Atmospheric CO_2 Revealed by the Comprehensive Observation Network for Trace Gases by Airliner (CONTRAIL) Project, NOAA ESRL Global Monitoring Annual Conference 2013.
14. Machida, T., Y. Sawa, Y. Niwa, H. Matsueda, 2013: Three-dimensional behaviors of atmospheric CO2 revealed by the CONTRAIL project and their significance in inverse flux estimates, The 9th International Carbon Dioxide Conference.
15. Matsueda, H., T. Machida, S. Murayama, K. Tsuboi, Y. Niwa and Y. Sawa, 2010: Introduction and recent topics for atmospheric carbon cycle researches in Meteorological Research Institute (MRI), Japan, The 2nd International Workshop on Atmosphere Watch in Asia – Greenhouse Gases Monitoring Activities –.
16. Matsueda, H., T. Machida and Y. Sawa, 2009: Atmospheric observations of MRI toward constraining global and regional carbon budget, 1st East-Asia Workshop on Climate Change – Greenhouse Gases Watch and Activity.
17. Niwa, Y., P.K. Patra, Y. Sawa, M. Ikegami, R. Imasu, T. Maki, T. Machida, S. Maksyutov, H. Matsueda, T. Nakazawa, T. Oda and M. Satoh, 2009: CONTRAIL-Transport Model Intercomparison (TMI): analysis of CO_2 vertical profiles, 8th International Carbon Dioxide Conference.
18. Niwa, Y., P.K. Patra, Y. Sawa, T. Machida, H. Matsueda, D. Belikov, T. Maki, S. Maksyutov, T. Oda and R. Imasu, 2010: CONTRAIL-Transport Model Intercomparison Project, TransCom Meeting.
19. Niwa, Y., 2010: Development of a global atmospheric transport model and its application for carbon cycle studies, The 2nd International Workshop on Atmosphere Watch in Asia – Greenhouse Gases Monitoring Activities –.
20. Niwa Y., T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, R. Imasu and M. Satoh, 2011: Aircraft measurements and inverse modeling for estimating Asian carbon budgets,

International workshop on Asian greenhouse gases budget.
21. Niwa, Y., T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, K. Tsuboi, T.J. Schuck, C.A.M. Brenninkmeijer, R. Imasu and M. Satoh, 2011: New constraint by aircraft measurements on estimates of global CO_2 flux and concentration field, 2nd International SALSA Workshop.
22. Niwa, Y., T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, R. Imasu and M. Satoh, 2011: Aircraft measurements and inverse modeling for estimating Asian carbon budgets, International Workshop on Asian Greenhouse Gases Budget.
23. Niwa, Y., T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, T.J. Schuck, C.A.M. Brenninkmeijer, R. Imasu, and M. Satoh, 2011: Imposing strong constraints on tropical terrestrial CO_2 fluxes using passenger aircraft based measurements, AGU Fall Meeting 2011.
24. Niwa, Y., T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, T.J. Schuck, C.A.M. Brenninkmeijer, R. Imasu and M. Satoh, 2011:Transport and inverse modeling analyses with the CONTRAIL data for estimating surface CO_2 fluxes, Second Workshop of the Greenhouse Gas Budgets of South and Southeast Asia.
25. Niwa, Y., T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, T.J. Schuck, C.A.M. Brenninkmeijer, R. Imasu and M. Satoh, 2012: Atmospheric CO_2 inversion for 2006-2008 using CONTRAIL data, The Atmospheric Tracer Transport Model Intercomparison Project Meeting 2012.
26. Niwa, Y., T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, T.J. Schuck, C.A.M. Brenninkmeijer and R. Imasu, 2013: Atmospheric inversion with CONTRAIL exposing CO_2 dynamics in the Asian tropics, The 9th International Carbon Dioxide Conference.
27. Ouchi, M., Y. Matsumi, T. Nakayama, T. Machida, H. Matsueda, Y. Sawa, T. Tanaka, I. Morino and O. Uchino, 2012: Development of balloon-borne CO_2 sonde: CO_2 vertical profile (0-10km) observations and comparison with the air craft measurements, AGU 2012 Fall Meeting.
28. Sakaizawa, D., S. Kawakami, M. Nakajima, Y. Sawa and H. Matsueda, 2009: Complementary CO_2 measurement with multi-positioned in-situ sensors and the 1.57 μm laser absorption spectrometer, 15th Coherent Laser Radar Conference.
29. Sawa, Y., T. Machida and H. Matsueda, 2009: Seasonal distribution and transport of CO2 in the tropopause region based on frequent observations in the CONTRAIL project, The Extra-tropical UTLS Observations, Concepts and Future Directions Community Workshop.
30. Sawa, Y., T Machida, H. Matsueda and Y. Niwa, 2011: Global distributions and transport of CO_2 in upper troposphere obtained by commercial aircraft observation, European Geosciences Union General Assembly 2011.
31. Sawa, Y., T. Machida and H. Matsueda, 2011: CONTRAIL CO_2 observation activity and movement of network CO_2 observations, 2nd International SALSA Workshop.
32. Sawa, Y., T. Machida, H. Matsueda and Y. Niwa, 2012: Outline of CONTRAIL project –Observation of atmospheric GHGs by passenger aircraft, The Atmospheric Tracer Transport Model Intercomparison Project Meeting 2012.
33. Suda, K., H. Matsueda, K.Tsuboi and S. Takatsuji, 2009: Recent history of CO_2 standard gases in JMA, 15th WMO/IAEA Meeting of Experts on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Tracer Measurement Techniques.
34. Thompson, R.L., P. Patra, K. Ishijima, E. Saikawa, M. Corazza, P. Bousquet, D. Hauglustaine, P. Bergamaschi, E. Kort, S. Zaehle, C. Nevison, A. Bouwman, E. Dlugokencky, A.T. Vermeulen, T. Aalto, L. Haszpra, F. Meinhardt, S. O'Doherty, J. Moncrieff, E.M. Popa, M. Steinbacher, Y. Tohjima, A. Jordan, T. Schuck, C.A.M. Brenninkmeijer, C. Sweeny, T. Machida, H. Matsueda and Y. Sawa, 2012: TranCom N_2O Experiment Results, The Atmospheric Tracer Transport Model Intercomparison Project Meeting 2012.
35. Tsuboi, K., A. Wada, S. Murayama, H. Matsueda and Y. Sawa, 2010: Observation of atmospheric radon-222 with a new measuring system at the WMO/GAW monitoring stations in Japan, The 2nd International Workshop on Atmosphere Watch in Asia – Greenhouse Gases Monitoring Activities –.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：44 件

1. Mabuchi, K., 2009: Numerical investigation of relationship between climate and carbon cycle in the East Asian terrestrial ecosystem. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会.
2. Zhu, C., H. Yoshikawa, H. Matsueda, Y. Sawa, Y. Niwa, A. Wada and H. Tanimoto, 2011：Variations of atmospheric radon-222 at Rishiri Island, Japan and traced fetch regions, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会.
3. 石島健太郎, P.K. Patra, 町田敏暢, 松枝秀和, 澤庸介, 滝川雅之, 中澤高清, 青木周司, 2009：地表－上部対流圏における大気中一酸化二窒素濃度の季節変動～ 航空機観測およびモデル計算結果の解析 ～, 日本気象学会 2009 年度春季大会.
4. 石戸谷重之, 坪井一寛, 松枝秀和, 村山昌平, 澤庸介, 丹羽洋介, 田口彰一, 中村雅道, 河里太郎, 齊藤和幸, 高辻慎也, 辻健太郎, 西秀紘, 出原幸志郎, 馬場祐介, 2013：C-130H 輸送機により観測された北西太平洋上空における大気中酸素濃度の時空間変動, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会.
5. 井上誠, 森野勇, 内野修, 宮本祐樹, 佐伯田鶴, 吉田幸生, 横田達也, 町田敏暢, 澤庸介, 松枝秀和, C. Sweeney, P.P. Tans, A.E. Andrews, P.K. Patra, 2012：航空機観測データを用いた GOSAT TANSO-FTS SWIR XCO_2 と XCH_4 の検証. 第 18 回大気化学討論会.
6. 今須良一, 新井豊, 林洋司, 近藤裕昭, 松枝秀和, 澤庸介, 丹羽洋介, 松見豊, 川崎昌博, 齋藤尚子, 町田敏暢, 横田達也, 2013：領域輸送モデルを用いた関東域からの二酸化炭素排出量のインバージョン解析, 日本気象学会 2013 年度春季大会.
7. 今須良一, 新井豊, 近藤裕昭, 丹羽洋介, 澤庸介, 松枝秀和, 町田敏暢, 横田達也, 2013：衛星と直接観測データを用いたメガシティーからの CO_2 発生量のインバース解析, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会.
8. 梅澤拓, 青木周司, 町田敏暢, 松枝秀和, 澤庸介, 中澤高清, 2009：定期航空機と船舶による西太平洋対流圏におけるメタン濃度と炭素／水素安定同位体比の観測, 日本気象学会 2009 年度春季大会.
9. 大内麻衣, 松見豊, 中山智喜, 町田敏暢, 松枝秀和, 澤庸介, 田中智章, 森野勇, 内野修, 2012：気球 CO_2 ゾンデを用いた CO_2 高度分布計測結果と航空機による計測結果との比較, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会.
10. 大山拓也, 角皆潤, 小松大祐, 代田里子, 中川書子, 野口泉, 山口高志, 佐藤啓市, 大泉毅, 坪井一寛, 木戸瑞佳, 2011：硝酸の三酸素同位体組成を指標に用いた NOx の光化学反応過程の解析, 2011 年度日本地球化学会年会.
11. 大山拓也, 角皆潤, 小松大祐, 中川書子, 野口泉, 山口高志, 佐藤啓市, 大泉毅, 坪井一寛, 木戸瑞佳, 2012：Regional differences in the photochemical reaction paths of NOx estimated from the $\Delta^{17}O$ tracer of nitrate, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会.
12. 近藤裕昭, 村山昌平, 澤庸介, 松枝秀和, 和田晃, 菅原広史, 石島健太郎, 小野木茂, 2011：地上ラドン濃度上昇時の平均的特徴について, 日本気象学会 2011 年春季大会.
13. 近藤裕昭, 村山昌平, 澤庸介, 松枝秀和, 和田晃, 菅原広史, 石島健太郎, 小野木茂, 2011：地上ラドン濃度上昇時の平均的特徴について, 日本気象学会 2011 年度春季大会.
14. 齋藤尚子, 東野美和, 那須侑子, 林田佐智子, 今須良一, 塩見慶, 横田達也, 吉田幸生, 町田敏暢, 松枝秀和, 澤庸介, 2012：航空機観測 CH_4 データを用いた GOSAT SWIRX CH_4 と TIR CH_4 のデータ質検証－GOSAT SWIR および TIR CH_4 データの複合利用を前提としてー, 日本気象学会 2012 年度春季大会.
15. 澤庸介, 丹羽洋介, P. K. Patra, 町田敏暢, 松枝秀和, D. Belikov, 池上雅明, 眞木貴史, S. Maksyutov, 小田知宏, 今須良一, 佐藤正樹, 2011：CO_2 seasonal distributions in the UT/LS region as observed by CONTRAIL and four transport models, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会.
16. 澤庸介, 町田敏暢, 松枝秀和, 丹羽洋介, 今須良一, P.K. Patra, 池上雅明, 藤田建, 眞木貴史, 小田知宏, S. Maksyutov, 2009：定期旅客便観測データを利用した圏界面付近の CO_2 動態の解析, 日本気象学会 2009 年度春季大会.
17. 朱春茂, 吉川（井上）久幸, 松枝秀和, 澤庸介, 丹羽洋介, 和田晃, 谷本浩志, 2011：後方流

跡線に基づく利尻島大気ラドン-222 の時間系列解析について，2011 年度日本地球化学会 58 年会.
18. 朱春茂，吉川久幸，松枝秀和，澤庸介，丹羽洋介，和田晃，谷本浩志, 2011：後方流跡線に基づく利尻島大気ラドン-222 の時間系列解析について， 2011 年度日本地球化学会年会.
19. 田中智章，宮本祐樹，井上誠，森野勇，町田敏暢，川上修二，境澤大亮，大山博史，澤康介，松枝秀和，内野修, 2011：つくばにおける地上設置高分解能フーリエ分光計の検定と GOSAT データプロダクトの検証を目的とした CO_2 と CH_4 の航空機観測，日本気象学会 2011 年度秋季大会.
20. 坪井一寛，松枝秀和，澤 庸介，丹羽洋介，中村雅道，久保池大輔，斎藤和幸，大森英裕，岩坪昇平，西 秀紘，花宮義和，辻健太郎，馬場祐介，2012： 最新レーザー分光法を用いた標準ガスの測定，平成 23 年度標準ガスクラブ.
21. 坪井一寛，松枝秀和，澤庸介，丹羽洋介，中村雅道，久保池大輔，斎藤和幸，大森英裕，岩坪昇平，西秀紘，花宮義和，辻健太郎，馬場祐介, 2011：分光法を利用した大気中の温室効果気体の 高精度分析システムの開発， 2011 年度日本地球化学会年会.
22. 坪井一寛，松枝秀和，澤庸介，丹羽洋介，中村雅道，久保池大輔，斎藤和幸，大森英裕，西秀紘，岩坪昇平，花宮義和，辻健太郎，2011： 気象庁における南鳥島 C-130H 輸送機による温室効果ガスの観測，日本地球惑星科学連合 2011 年大会.
23. 坪井一寛，松枝秀和，澤庸介，丹羽洋介，中村雅道，久保池大輔，斎藤和幸，大森英裕，西秀紘，岩坪昇平，花宮義和，辻健太郎，2011：気象庁における南鳥島 C-130H 輸送機による温室効果ガスの観測，日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集,.
24. 丹羽洋介，今須良一，松枝秀和，澤庸介，町田敏暢，2009：上部対流圏における CO_2 濃度の緯度別変動，日本気象学会 2009 年度春季大会.
25. 丹羽洋介，町田敏暢，今須良一，佐々井崇博，笹川基樹，下山宏，佐藤正樹，2010：長期インバージョン解析におけるシベリア航空機データの効果．日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集, AAS001-05.
26. 丹羽洋介, 町田敏暢, 澤 庸介, 松枝秀和, 今須良一, 佐藤正樹, 2011 : Carbon budget estimation by inverse modeling with atmospheric CO_2 concentrations from surface and CONTRAIL measurements，日本地球惑星科学連合 2011 年大会.
27. 丹羽洋介，町田敏暢，澤康介，松枝秀和，T.J. Schuck，C.A.M. Brenninkmeijer，今須良一，佐藤正樹，2011： 熱帯の CO_2 フラックス推定に対する定期旅客機観測データのインパクト，日本気象学会 2011 年度秋季大会.
28. 丹羽洋介，坪井一寛，松枝秀和，澤庸介，中村雅道，久保池大輔，斎藤和幸，大森英裕，岩坪昇平，西秀紘，花宮義和，辻健太郎，馬場祐介，町田敏暢, 2012：C-130H 輸送機で観測された自由対流圏中における温室効果ガスの季節変動，日本地球惑星科学連合 2012 年大会.
29. 藤井愛子，多炭雅博，馬淵和雄，森山雅雄, 2013: 気象モデルを利用した GCOM-C1 全球蒸発散推定手法精度検証に向けての取組，リモートセンシング学会九州支部会.
30. 町田敏暢，松枝秀和，澤庸介, 2012：航空機がとらえた二酸化炭素の新しい循環像，アサヒビール学術振興財団 30 周年記念特別シンポジウム.
31. 松枝秀和，町田敏暢，澤庸介，2010： 上部対流圏におけるCO_2の南北勾配の長期変化，日本地球惑星科学連合 2010 年大会.
32. 松枝秀和，和田晃，坪井一寛，丹羽洋介，澤庸介，村山昌平，田口彰一，大原利眞，黒川純一，2011：大気中ラドンの観測による東アジア地域の微量気体放出量の評価， 2011 年度日本地球化学会年会.
33. 松枝秀和，和田晃，坪井一寛，丹羽洋介，澤庸介，村山昌平，田口彰一，大原利眞，黒川純一，2011：大気中ラドンの観測による東アジア地域の微量気体放出量の評価，2011 年度日本地球化学会 58 年会.
34. 馬淵和雄, 2009: BAIM2 を導入した全球気候モデルにより再現された陸域炭素収支の季節変化の特徴．日本気象学会 2009 年度春季大会.
35. 馬淵和雄, 2009: アジア域熱帯林減少の地域的なエネルギー，炭素収支への影響（３）―エネルギー収支の時間的変動推移について―，日本気象学会 2009 年度秋季大会.
36. 馬淵和雄，2011: 気候モデルを用いた陸域生態系―気候相互作用研究における衛星観測データ

への期待， 第 11 回奈良女子大学共生科学研究センターシンポジウム「～宇宙からの目で地球を知る・地域を知る～」.

37. 馬淵和雄, 2011: 近年発生したエルニーニョ前後の大気中ＣＯ$_2$濃度変動と陸域過程との関係に関する数値実験解析，日本気象学会 2011 年度春季大会.
38. 馬淵和雄, 2011: 近年発生したエルニーニョ前後の陸域炭素収支とＬＡＩ季節進行との関係に関する数値実験解析，日本気象学会 2011 年度秋季大会.
39. 馬淵和雄, 2011: 大気中ＣＯ$_2$濃度変動と北半球陸域過程との関係に関する数値実験解析，日本気象学会 2011 年度秋季大会「ユーラシア，アジアモンスーン地域の気候―陸域相互作用研究会」.
40. 馬淵和雄，森山雅雄，本多嘉明，梶原康司, 2013: 気候モデル数値実験結果による衛星プロダクト導出アルゴリズムの検証，第 15 回 CEReS 環境リモートセンシングシンポジウム.
41. 馬淵和雄，本多嘉明，奈佐原顕朗，村上浩，堀雅裕，森山雅雄，小野朗子, 2012：気候モデルと地球観測衛星プロダクトの相互検証，日本気象学会 2012 年度春季大会.
42. 馬淵和雄，本多嘉明，奈佐原顕郎，村上浩，堀雅裕，森山雅雄，小野朗子, 2012: 気候モデルと地球観測衛星プロダクトの相互検証，日本気象学会 2012 年度春季大会.
43. 森野勇，井上誠，中前久美，宮本祐樹，菊地信弘，吉田幸生，内野修，町田敏暢，横田達也，澤庸介，松枝秀和，C. Sweeney，P. P. Tans，A. E. Andrews，P. K. Patra, 2012：改良した解析アルゴリズムで処理されたGOSAT TANSO-FTS SWIRプロダクトとその検証解析，第 18 回大気化学討論会.
44. 和田晃，松枝秀和，坪井一寛，澤庸介，村山昌平，近藤裕昭，田口彰一，2010：南鳥島および与那国島における大気中ラドンの観測と輸送過程の解析，2010 年度日本地球化学会年会.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議，学会等）：23 件

1. Mabuchi, K., 2011: Relationship between interannual variation of the atmospheric CO_2 concentration and land surface process in the period of recent El Niño event, The 3rd iLEAPS International Science Conference.
2. Mabuchi, K., K. N. Nasahara, Y. Honda, H. Murakami, M. Hori, 2010: Utilization of climate model simulation data toward contribution to GCOM-C. GCOM PI Workshop.
3. Mabuchi, K., K. Takahashi, K. N. Nasahara, 2009: Numerical investigation of relationship between climate and carbon cycle in the East Asian terrestrial ecosystem, 8th International Carbon Dioxide Conference.
4. Machida,T., M. Sasakawa, Y. Sawa, H. Matsueda, S. Morimoto, S. Murayama,Y. Niwa, K. Tsuboi, S. Aoki, 2013: Observations of atmospheric greenhouse gases from a tower network and aircraft over Siberia, Third International Symposium on the Arctic Research (ISAR3).
5. Maki, T., K. Miyazaki, Y. Sawa, H. Matsueda, T. Machida, T. Iwasaki, 2013: CONSTRUCTING Arctic CO_2 data assimilation system using transport model and LETKF, Third International Symposium on the Arctic Research (ISAR3).
6. Matsueda, H., T. Machida, Y. Sawa, 2009: Long-term observation of carbon dioxide in the upper troposphere using a JAL airliner from 1993 to 2009, 8th International Carbon Dioxide Conference.
7. Matsueda, H., T. Machida, Y. Sawa, Y. Niwa, 2013: Long-term change of the CO_2 latitudinal gradient in the upper troposphere, The 9th International Carbon Dioxide Conference.
8. Niwa, Y., P. K. Patra, Y. Sawa, T. Machida, H. Matsueda, D. Belikov, M. Ikegami, T., Maki, S. Maksyutov, T. Oda, R. Imasu, M. Satoh, 2010: Variations of the three-dimensional atmospheric CO_2; implications for carbon budget from model simulations and aircraft measurements, Proceeding of 2010 AGU Fall Meeting.
9. Niwa, Y., R. Imasu, H. Matsueda, Y. Sawa, T. Machida, M. Satoh, 2009: Seasonal and interannual variation of CO_2 concentration over the western Pacific: Model analysis with inversed fluxes, Proceeding of 8th International Carbon Dioxide Conference.
10. Niwa, Y., T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, R. Imasu, M. Satoh, 2011: Carbon budget

estimation by inverse modeling with atmospheric CO_2 concentrations from surface and CONTRAIL measurements, European Geosciences Union General Assembly 2011,.
11. Niwa, Y., Y. Sawa, P. Patra, T. Machida, H. Matsueda, D. Belikov, M. Ikegami, T. Maki, S. Maksyutov, T. Oda, R. Imasu, M. Satoh, 2011: CO_2 seasonal variations in the UT/LS region as observed by CONTRAIL and four transport models, European Geosciences Union General Assembly 2011.
12. Niwa, Y., Y. Sawa, P. Patra, T. Machida, H. Matsueda, D. Belikov, M. Ikegami, T. Maki, S. Maksyutov, T. Oda, R. Imasu, M. Satoh, 2011: CO_2 seasonal variations in the UT/LS region as observed by CONTRAIL and four transport models, European Geosciences Union General Assembly 2011.
13. Niwa, Y., K. Tsuboi, H. Matsueda, Y. Sawa, T. Machida, M. Nakamura, T. Kawasato, K. Saito, S. Takatsuji, K. Tsuji, H. Nishi, K. Dehara, Y. Baba, D. Kuboike, S. Iwatsubo, H. Ohmori, Y. Hanamiya, 2013: Seasonal variations of CO_2, CH_4, N_2O and CO in the mid-troposphere over the western North Pacific observed by a cargo aircraft C-130H, The 9th International Carbon Dioxide Conference.
14. Oshiki, N., H. Matsueda, Y. Sawa, K. Tsuboi, 2010: The calibration system in WCC/GAW and an activity in JMA to ensure traceability of observations to WMO scale, 8th APMP/TCQM Gas CRM Workshop.
15. Ouchi, M., K. Miyaji, Y. Matsumi, T. Nakayama, K. Shimizu, K. Shibata, T. Machida, H. Matsueda, Y. Sawa, T. Tanaka, I. Morino, O. Uchino, 2013: Development of balloon-borne CO_2 instruments (CO_2 sonde) for the troposphere and comparison with aircraft measurements, The 9th International Carbon Dioxide Conference.
16. Saitoh, N., M. Touno, Y. Nasu, S. Hayashida, R. Imasu, K. Shiomi, T. Yokota, Y. Yoshida, T. Machida, H. Matsueda, Y. Sawa, 2012: Simultaneous observations of column abundances and profiles of CH_4 by GOSAT: Validation of GOSAT CH_4 products using aircraft CH_4 measurements over Guam, 8th IWGGMS Meeting.
17. Sawa, Y., K. Tsuboi, H. Matsueda, Y. Niwa, M. Nakamura, D. Kuboike, K. Saito, H. Oomori, S. Iwatsubo, H. Nishi, Y. Hanamiya, K. Tsuji, Y. Baba, T. Machida, 2011: JMA aircraft observation using a cargo aircraft C-130H, The 16th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Technique.
18. Sawa, Y., T. Machida, H. Matsueda, 2009: Seasonal distribution and transport of CO_2 in the tropopause region based on frequent observations by commercial airliners, Proceeding of 8th International Carbon Dioxide Conference.
19. Sawa, Y., T. Machida, H. Matsueda, Y. Niwa, 2011: Global distributions and transport of CO_2 in upper troposphere obtained by commercial aircraft observation, European Geosciences Union General Assembly 2011.
20. Sawa, Y., T. Machida, H. Matsueda, Y. Niwa, 2013: Variability of CO_2 mixing ratios observed in the upper troposphere revealed by frequent continuous observations by commercial airliner, The 9th International Carbon Dioxide Conference.
21. Tsuboi, K., T. Machida, Y. Sawa, S. Morimoto, S. Murayama, Y. Niwa, H. Matsueda, S. Aoki, 2013:Seasonal changes of CO_2, CH_4 and N_2O in the upper troposphere/lower stratosphere over the Eurasian continent observed by commercial airliner, The 9th International Carbon Dioxide Conference.
22. Taguchi, S., T. Machida, H. Matsueda, Y. Sawa, 2013: Surface CO_2 flux in weekly temporal resolution over the globeinferred from the CONTRAIL dataset, NCAR-ASP Summer Colloquium 2013.
23. Wada, A., S. Murayama H. Matsueda , Y. Sawa, K. Tsuboi, H. Kondo, S. Taguchi, 2009: Observation of radon-222 over the western North Pacific with a new radon measuring system, Proceeding of 8th International Carbon Dioxide Conference.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議，学会等）：28 件

1. 石島健太郎，P.K. Patra，町田敏暢，松枝秀和，澤庸介，2009：Nitrous oxide seasonal variations between the surface and the upper troposphere，日本地球惑星科学連合 2009 年大会.
2. 石戸谷重之，村山昌平，菅原敏，森本真司，田口彰一，坪井一寛，松枝秀和，後藤大輔，近藤

裕昭, 青木周司, 中澤高清, 澤庸介, 丹羽洋介, 遠嶋康徳, 三枝信子, 青木伸行, P.K. Patra, 本田秀之, 2013：気候変動メカニズム解明に向けた対流圏・成層圏における大気主成分濃度および同位体比の高精度観測, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会.

3. 今須良一, 林洋司, 染谷有, 齋藤尚子, 松枝秀和, 澤庸介, 丹羽洋介, 2013：TANSO-FTS/GOSAT スペクトルデータの複合利用による境界層内 CO_2 濃度の推定, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会.
4. 大山拓也, 角皆潤, 野口泉, 山口高志, 佐藤啓市, 大泉毅, 坪井一寛, 2011： Regional differences in the photochemical reaction paths of NOx estimated from the $\Delta^{17}O$ tracer of nitrate, 2011 年度同位体比部会（日韓合同）.
5. 大山拓也, 小松大祐, 代田里子, 大久保智, 中川書子, 角皆潤, 野口泉, 山口高志, 佐藤啓市, 大泉毅, 坪井一寛, 2010：利尻, 佐渡関岬, 南鳥島の湿性沈着試料に含まれる硝酸の三酸素同位体組成を指標に用いた NOx の光化学反応過程の比較, 第 16 回大気化学討論会.
6. 大山拓也, 小松大祐, 代田里子, 中川書子, 角皆潤, 野口泉, 山口高志, 佐藤啓市, 大泉毅, 坪井一寛, 2011： 大気から沈着する硝酸の三酸素同位体異常, 生物地球化学研究会１０周年記念セッション.
7. 鎌田茜, 和田晃, 松枝秀和, 澤庸介, 坪井一寛, 村山昌平, 田口彰一, 2010：南鳥島で観測された CO/Rn 比を用いたアジアの一酸化炭素排出量の推定, 日本気象学会 2010 年度春季大会
8. 澤庸介, 松枝秀和, 坪井一寛, 丹羽洋介, 石井雅男, 吉川久幸, 2010：気象研究所鉄塔で観測された CO_2 濃度の高度別時間変動, 第 16 回大気化学討論会.
9. 澤庸介, 町田敏暢, 松枝秀和, 丹羽洋介, 2012：航空機による連続観測から明らかになった上部対流圏 CO_2 濃度の変動強度－1 つの CO_2 濃度観測データはどの程度の空間代表性を持っているか?－, 日本気象学会 2012 年度春季大会.
10. 澤庸介, 町田敏暢, 丹羽洋介, 松枝秀和, 2011： 高頻度航空機観測で得られた夏季ユーラシア大陸上空の CO_2 濃度短周期変動, 第 17 回大気化学討論会.
11. 澤庸介, 坪井一寛, 松枝秀和, 吉川久幸, 丹羽洋介, 2012：気象研究所鉄塔で観測された CH_4 濃度の高度別時間変動, 第 18 回大気化学討論会.
12. 坪井一寛, 若林正夫, 江崎雄治, 松枝秀和, 澤庸介, 2009：気象庁の温室効果ガス観測システムの更新, 第 15 回大気化学討論講演要旨集, P-29.
13. 坪井一寛, 若林正夫, 江崎雄治, 松枝秀和, 澤庸介, 和田晃, 2010：気象庁観測データにおける大気中メタン濃度の時間変動, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会.
14. 坪井一寛, 松枝秀和, 澤庸介, 丹羽洋介, 2010：気象庁 GAW 観測点における二酸化炭素濃度の長期変動, 日本気象学会 2010 年度秋季大会.
15. 坪井一寛, 松枝秀和, 澤庸介, 丹羽洋介, 中村雅道, 久保池大輔, 斉藤和幸, 大森英裕, 岩坪昇平, 西秀紘, 花宮義和, 辻健太郎, 馬場裕介, 町田敏暢, 2012：南鳥島に飛行する C-130H 輸送機で観測された温室効果ガスの濃度変動, 日本気象学会 2012 年度春季大会.
16. 坪井一寛, 松枝秀和, 澤庸介, 丹羽洋介, 中村雅道, 久保池大輔, 齊藤和幸, 大森英裕, 岩坪昇平, 西秀紘, 花宮義和, 辻健太郎, 馬場祐介, 町田敏暢, 2011： 南鳥島 C130H 輸送機を利用した上空の温室効果ガス観測, 第 17 回大気化学討論会.
17. 坪井一寛, 緑川貴, 横内陽子, 遠嶋康徳, 村山昌平, 松枝秀和, 澤庸介, 丹羽洋介, 斉藤拓也, 石戸谷重之, 中村雅道, 久保池大輔, 河里太郎, 大森英裕, 花宮義和, 馬場祐介, 西秀紘, 辻健太郎, 齊藤和幸, 高辻慎也, 出原幸志郎, 2012：南鳥島における温室効果ガスモニタリング強化のための共同観測計画, 第 18 回大気化学討論会.
18. 丹羽洋介, 今須良一, 佐藤正樹, 富田浩文, 2010：全球アジョイント, トレーサ輸送モデルの開発とそれを用いたラドンプリュームの逆追跡, 日本気象学会 2010 年度春季大会.
19. 丹羽洋介, 町田敏暢, 澤庸介, 松枝秀和, 2010：定期旅客機観測データからみる東南アジアの CO_2 変動, 日本気象学会 2010 年度秋季大会.
20. 丹羽洋介, 町田敏暢, 澤庸介, 松枝秀和, T. J. Schuck, C. A. M. Brenninkmeijer, 今須良一, 佐藤正樹, 2011： 定期旅客機観測データを用いたインバージョン解析による 3 次元 CO_2 濃度分布の導出, 第 17 回大気化学討論会.

21. 丹羽洋介，澤庸介，藤井陽介，富田浩文，佐藤正樹，今須良一，松枝秀和，2012：CO_2 逆解析のための NICAM–4D-Var の開発，第 18 回大気化学討論会.
22. 松枝秀和，町田敏暢，澤庸介，丹羽洋介，2012: 定期航空機観測による高度 10km におけるメタン濃度の長期変動，日本気象学会 2012 年度春季大会.
23. 松枝秀和，町田敏暢，澤庸介，丹羽洋介，2010：上部対流圏における二酸化炭素濃度の南北分布の年々変動，日本気象学会 2010 年度秋季大会.
24. 松枝秀和，町田敏暢，澤庸介，丹羽洋介，2013：産業革命前の二酸化炭素濃度の南北分布，日本地球化学会 2013 年度年会.
25. 村山昌平，兼保直樹，和田晃，松枝秀和，坪井一寛，田口彰一，近藤裕昭，2010：父島における大気中ラドン濃度の観測（速報），日本気象学会 2010 年度春季大会.
26. 村山昌平，石戸谷重之，近藤裕昭，宇佐美哲之，石島健太郎，松枝秀和，澤庸介，坪井一寛，2010:冷温帯落葉広葉樹林における温室効果気体の濃度変動，第 16 回大気化学討論会.
27. 村山昌平，坪井一寛，石戸谷重之，緑川貴，松枝秀和，澤庸介，丹羽洋介，遠嶋康徳，大森英裕，花宮義和，馬場祐介，西秀紘，辻健太郎，斉藤和幸，宇佐美哲之，2012：南鳥島における大気中二酸化炭素の安定同位体比観測，第 18 回大気化学討論会.
28. 和田晃，村山昌平，松枝秀和，澤庸介，坪井一寛，近藤裕昭，田口彰一，2009：南鳥島および与那国島で観測された大気中ラドンと微量気体の観測，第 15 回大気化学討論会.

海洋中炭素循環変動の実態把握とメカニズム解明に関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度

研究代表者：緑川貴[1)]（地球化学研究部第二研究室長）、石井雅男[2)]（海洋・地球化学研究部第三研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１　長期変化傾向を検出するための観測・品質管理手法の開発

石井雅男、安藤正[3)]、青山道夫、笹野大輔、小杉如央、緑川貴[4)]、中野英之[3)]（海洋・地球化学研究部）海洋研究部)、和田章義[3)]（台風研究部)、延与和敬[3)]、高谷祐介[3)]、小島惇[3)]（地球環境・海洋部海洋気象課海洋環境解析センター)、本井達夫[3)]（気象大学校）

副課題２　温室効果ガスの海洋蓄積の実態把握

石井雅男、安藤正[3)]、青山道夫[3)]、笹野大輔、小杉如央、緑川貴[4)]、中野英之[3)]、(海洋・地球化学研究部)、和田章義[3)]（台風研究部)、増田真次[4)]、平石直孝[6)]（気象庁地球環境・海洋部)、延与和敬[5)]、小島惇[3)]、(地球環境・海洋部海洋気象課海洋環境解析センター)、本井達夫[3)]（気象大学校）

副課題３　海洋中炭素循環変動メカニズムの解明

石井雅男、安藤正[3)]、青山道夫、笹野大輔、小杉如央、緑川貴[4)]、中野英之（海洋・地球化学研究部)、和田章義（台風研究部)、延与和敬[3)]、小島惇[3)]（地球環境・海洋部海洋気象課海洋環境解析センター)、本井達夫（気象大学校）

研究の目的

温室効果ガスの大気増加・海洋吸収の変動評価及びその人為的・気候的要因の診断解析手法を開発し、地球温暖化の監視技術の高度化を図る。

研究の動機・背景

副課題１　長期変化傾向を検出するための観測・品質管理手法の開発

① 海洋酸性化の指標となる pH と生物活動の寄与を把握するための全アルカリ度については、それぞれの測定法の精度不足により、実態把握が十分にできなかった。さらなる測定技術の開発が必要である。

② 炭酸系の変動に深く関わり、生物地球化学的過程のキー・パラメータとして注目される溶存酸素を正確に連続的に測定できるセンサーが開発されつつある。このセンサーを利用して溶存酸素の高密度観測を実施することによって、特に海洋表層の生物活動の詳細な状況把握が期待される。

③ 栄養塩標準の作製とこれを用いた観測の実施により、コンパラビリティを確保した変動の解析が可能となることを示すことができた。しかし、標準物質の要件としての安定性の確認がまだ十分でないことや、栄養塩標準の運用とこれに基づいた値付けの方法に起因した不確実性も同時に明らかとなった。これらの手法の検討やマニュアル化等を国際的な枠組みの中で進めていく必要がある。

副課題２　温室効果ガスの海洋蓄積の実態把握

① これまでに実施した時系列観測により、北太平洋西部における炭酸系の季節変動の状況を把握できた。さらに、その年々変動や長期的変化傾向を性格に評価するためには、炭酸系とその変動に影響を及ぼす溶存酸素や栄養塩などの各層観測を継続実施すると共に、各観測データの品質管理を行ってコンパラビリティを確保する必要がある。

② これまでの観測結果から、亜熱帯北部での CO_2 蓄積の状況が把握できたが、亜熱帯南部、赤道

[1)]平成 21 年度、[2)]平成 22 年度～平成 25 年度、[3)]平成 24 年度～平成 25 年度、[4)]平成 21 年度～平成 23 年度、[5)]平成 23 年度～平成 25 年度、[6)]平成 21 年度～平成 22 年度

域及び亜寒帯域では海洋構造の変動が大きく、有意な変化の傾向が検出できていない。各海域における CO_2 蓄積の変動要因を解析する手法の開発が必要である。

③ これまでの観測結果から、深度（密度面）によって全炭酸濃度や溶存酸素等の変動の状況が異なることがわかってきた。これらの変動メカニズムを調査する必要がある。

副課題３　海洋中炭素循環変動メカニズムの解明

① これまでの研究における解析では、炭素循環の変動を引き起こす海洋過程の寄与を分別定量することができなかった。炭素循環の変動要因を定量的に評価する診断的解析手法を開発する必要がある。

② 海洋 CO_2 吸収の年々変動を引き起こすプロセスに関する定量的な評価はまだ進められていない。海洋 CO_2 吸収の変動要因を検討する必要がある。

③ 栄養塩の時空間変動については、栄養塩標準の未整備から、正確な解析が滞り、生物地球化学的変動プロセスの評価に支障をきたしていた。栄養塩標準の使用に基づいて、海盆規模で整合性の取れたデータ解析を行う必要がある。

研究の成果の到達目標

副課題１　長期変化傾向を検出するための観測・品質管理手法の開発

① 海水の pH 及び全アルカリ度を高精度で効率的に測定する装置とその測定データの品質管理手法を開発し、観測マニュアルを作成する。

② 酸素センサーを実用化し、溶存酸素の高密度観測を実現する。

③ 栄養塩変動の解析を可能にする栄養塩標準の確立と分析マニュアル作成を行う。

副課題２　温室効果ガスの海洋蓄積の実態把握

① 副課題１で開発した観測技術を駆使して、北太平洋などにおける炭酸系及び関連物質の各層時系列観測を実施する。取得した観測データについて品質評価を行った上で、データセットを WMO/WDCGG（温室効果ガス世界資料センター）から公開する。

② 各層時系列観測データから、北太平洋西部における海洋内部の CO_2 蓄積や酸性化の長期変化傾向を明らかにする。

③ 北太平洋西部における炭素循環の年々変動の要因を明らかにする。

副課題３　海洋中炭素循環変動メカニズムの解明

① 海洋物質循環モデルを活用して、炭素循環の変動要因を定量的に評価する診断的解析手法を開発する。

② 海洋 CO_2 吸収の年々変動の要因を明らかにする。

③ 海洋内部の栄養塩変動の要因を明らかにする。

④ CO_2 吸収・蓄積メカニズム及びこれに伴う酸性化に関する情報を集約して公表する。

研究結果

（成果の概要）

海水中の炭酸系パラメーター（全炭酸濃度・全アルカリ度・水素イオン濃度）を高い精度で測定できる装置の改良や測定条件の最適化、溶存酸素濃度を連続的に測定できるセンサーの性能評価・アルゴリズム開発、栄養塩濃度測定の標準化法の開発など、海洋の炭素循環変動の実態把握に不可欠な観測技術を向上させながら、これらを活用して海洋の広域観測や時系列観測を実施した。測定装置や品質管理法の成果は、気象庁の現業海洋観測に導入され、海洋監視業務に貢献しているほか、国内外の他の研究機関等でも活用され始めている。

また、得られた海洋炭酸系や栄養塩・溶存酸素などの海洋観測データを、過去のデータや他機関のデータと統合し、系統誤差評価・補正などの品質管理をして、太平洋の炭酸系データベース PACIFICA や全球規模の栄養塩データベース GND10 を完成させた。これらはユネスコ政府間海洋学委員会（IOC）の関連活動や、北太平洋海洋科学機関(PICES)の炭素・気候部会の活動の一環として、国際協力によ

り実施し、本研究課題の代表者や分担者が、それらの活動を中心的に担った。

さらに、これらの観測データに基づいて、西部北太平洋・太平洋熱帯域・オーストラリア南方の海洋表層や海洋内部における CO_2 の増加・海洋酸性化の実態を評価した。北太平洋広域における溶存酸素濃度の長期変動についても解析し、人為的 CO_2 排出のほか、気候変化に伴う海洋物質循環の変化が、海洋内部の CO_2 増加・海洋酸性化に顕著に影響していることを明らかにした。

このほか、台風通過による海面擾乱が、夏季の海洋物質循環や海水の酸性度に顕著な影響を及ぼしていることを、化学過程を組み込んだ非静力学大気波浪海洋結合モデルや係留計による観測データなどから明らかにした。また、Global Carbon Project の国際プロジェクト RECCAP に参加し、さまざまなアプローチから評価されている太平洋の CO_2 吸収速度の知見を総合的に評価し、太平洋の大気・海洋間 CO_2 フラックスの、現状で最も確からしい季節変化・年々変動・10 年平均値を評価した。

これらの成果の一部は、気象庁の「海洋の健康診断表」や、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第 5 次評価報告書に掲載された。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　長期変化傾向を検出するための観測・品質管理手法の開発

①　海洋炭酸系観測技術の高度化

分光光度法による pH 分析装置の海水前処理装置の動作調整、全アルカリ度分析装置の分光光度測定条件の最適化、全炭酸濃度分析装置の電量滴定セルの温度制御や滴定電流パルスの最適化など、装置や測定条件の改良を進め、これらの炭酸系パラメーター測定の高精度化を進めることができた。これらの装置は、気象庁海洋気象観測船凌風丸・啓風丸に導入され、海洋監視業務に活用され始めた。炭酸系測定装置の開発・運用を通じて得た知見を、ユネスコ政府間海洋学委員会 IOC 関連の International Ocean Carbon Coordination Project (IOCCP)などが主催した”Global Intercomparability in a Changing Ocean: An International Time-Series Methods Workshop”の報告書に反映させ、国際的な観測ネットワーク構築の推進に貢献した。

②　溶存酸素センサーの実用化

国内メーカーが開発した高速応答の溶存酸素センサーを、気象庁凌風丸・啓風丸や海洋研究開発機構の学術船白鳳丸の CTD・多筒採水システムに導入し、西部北太平洋・南太平洋・南大洋で多くの現場観測を行い、応答速度、圧力ヒステリシス、経時変化等の性能を評価した。観測データからアルゴリズムを開発し、採水分析値との差が約±1μmol/kg 以内のセンサーデータ取得を可能にした。得られた溶存酸素センサーのデータから、南北太平洋亜熱帯の広域の海洋亜表層で、夏季に栄養塩が枯渇しているにもかかわらず、生物生産によって酸素濃度が増加していることが分かった。

③　栄養塩濃度スケールの確立

栄養塩濃度スケールの確立に向け、ユネスコ政府間海洋学委員会や ICES に働きかけ、The Joint IOC-ICES Study Group on Nutrient Standards を発足させた。栄養塩標準国際共同実験を、世界の主要 69 研究室の参加を得て 4 回実施し、気象研究所技術報告に結果を報告した。これらの国際的な共同作業を踏まえて、栄養塩分析マニュアルを作成し、”The GO-SHIP Repeat Hydrography Manual: A Collection of Expert Reports and Guidelines, IOCCP Report Number 14, ICPO Publication Series Number 134“に掲載した。また、栄養塩標準物質の調製と国際栄養塩スケールの確立に向け、11 編の論文からなる”Comparability of nutrients in the world’s ocean”（ISBN978-4-9904863-0-3）を出版した。

副課題２　温室効果ガスの海洋蓄積の実態把握

①　高精度観測の実施、データベースの作成

・副課題１で開発した観測手法を活用し、気象庁海洋気象観測船凌風丸・啓風丸や海洋研究開発機構の学術研究船白鳳丸・海洋地球研究船「みらい」で、海洋炭酸系・溶存酸素濃度・栄養塩濃度の高精度観測を実施した。

・北太平洋海洋科学機関（PICES）の炭素・気候部会（S-CC）の活動の一環として、1980 年代後半以後に太平洋で観測された海洋各層の炭酸系データを収集・統合し、観測航海ごとに、溶存

酸素、栄養塩、塩分のデータとともに系統誤差の評価・補正を行い、データベース PACIFICA を作成した。PACIFICA は、(財) 水路協会海洋情報研究センターや米国の Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC)のウェブサイト上で公開している。

・副課題１で開発した栄養塩測定の標準化手法に基づいて測定され、Comparability (比較可能性) が確保された新しい栄養塩データセット群により、全海洋規模の栄養塩データベース Global Nutrients Dataset 2010 (GND10)を完成させた。

・コロンビア大学 Taro Takahashi 博士らが作成している海洋表面水の CO_2 分圧のデータベース LDEO2009 や、IOCCP を通じて国際協力で作成されている海洋表面水の CO_2 分圧のデータベース SOCAT の作成にも貢献した。

② 海洋内部の CO_2 蓄積・酸性化傾向の解明

・本州南方の気象庁の海洋観測定線の東経 137 度上で、1994 年以降に取得した海洋内部の全炭酸濃度や溶存酸素濃度の多くの観測データを解析し、北太平洋亜熱帯循環域西部の海洋表層から中層にかけて、人為的 CO_2 排出による海洋内 CO_2 増加と海洋酸性化の進行を定量的に評価した。進行速度は、大気 CO_2 濃度の増加速度、海水の酸塩基緩衝能、海洋各層の海水が大気との接触を絶ってからの経過時間の 3 つのファクターでよく説明できることが分かった。

・本州沿岸域、太平洋赤道域、オーストラリア南方の南大洋についても、表層の炭酸系観測データに基づいて、CO_2 増加・海洋酸性化の進行速度を評価した。これらの結果から、南北太平洋の広範囲における海洋の CO_2 増加と海洋酸性化の進行を実証できた。

③ 北太平洋西部における炭素循環の年々変動の要因解明

・気象庁が長期に亘って観測している西部北太平洋海洋各層の溶存酸素濃度データの品質管理を行い、東経 137 度や東経 165 度の各観測点・各層における溶存酸素濃度の 1980 年代以降の長期変化を解析した。亜熱帯域～亜寒帯域の広域の海洋中層から深層で、溶存酸素濃度が長期に減少する傾向にあり、さらに親潮域における溶存酸素濃度の変動とリンクしていることが分かった。また、溶存酸素の減少が CO_2 濃度の増加を伴い、人為的に排出された CO_2 の蓄積とともに、北太平洋の海洋内部の CO_2 増加に顕著に寄与していることが分かった。

・北太平洋の内部への CO_2 輸送に重要と考えられる本州東方の亜熱帯モード水形成域を対象に、副課題１で実用化したセンサーを使って観測した鉛直高密度の溶存酸素データを解析した。これまでの各層採水による離散的観測では把握できなかった酸素の鉛直構造が詳しく分かり、亜熱帯モード水の中に、冬季形成から 1 年以上経ったモード水があることを発見するなど、海洋物理観測だけでは分からない亜熱帯モード水分布や、その変動が海洋 CO_2 や酸性度の時間変動に及ぼす影響を明らかにできた。

副課題３　海洋中炭素循環変動メカニズムの解明

① 台風通過が海洋炭素循環に及ぼす影響の評価

・海洋大循環モデル MRI.COM や非静力学大気波浪海洋結合モデルに化学過程を組みこみ、東シナ海や黒潮続流域における台風通過事例について、海洋表層の物理場や炭酸系の変動を数値シミュレーションした。気象庁が東シナ海で行った定点観測ブイによる海洋 CO_2 分圧の時系列データや米国海洋大気庁が黒潮続流域で行っている定点観測ブイの CO_2 分圧の時系列データと比較・検証した。大気・海洋間 CO_2 フラックスが小さい夏季に、台風通過に伴うフラックスの増加が大きく寄与することや、台風通過に伴う擾乱が、海洋表層の CO_2 増加と酸性化を引き起こし得ることが明らかになり、成果をアメリカ地球物理学連合の学術誌で発表した。

② 海洋 CO_2 吸収の年々変動等の評価

・本研究計画の 2 年目に、IOCCP を通じて Global Carbon Project (GCP) から要請を受け、GCP の Regional Carbon Cycle Analyses and Processes (RECCAP) に参画した。評価結果を提供した国内外の数多くの研究者らの協力を得て、太平洋熱帯域と南北太平洋それぞれの中・高緯度域を対象に、海洋 CO_2 分圧データ診断モデル、海洋生物地球化学・大循環モデル、海洋内 CO_2 濃度データのインバージョン、大気 CO_2 濃度データのインバージョンなど、さまざまな手法で評価された太平洋の大気・海洋間 CO_2 フラックスを比較し、現在の科学的知見で最も確からしい太平洋の大気・海洋間 CO_2 フラックスの季節変化・年々変動・10 年平均値を評価した。成果

はBiogeoscience誌のRECCAP special section で発表した。

③ 海洋内部の栄養塩変動

・ 副課題２①で作成した高品質の全球規模栄養塩データベースGND10に基づいて、1980年代以降の海洋内部の栄養塩分布を解析した。南太平洋では、1000m以深の深層において、栄養塩濃度の水平分布の変動幅が、これまで考えられていたより遥かに小さいこと、また、北太平洋中央部の水深3000m以深では、硝酸塩とリン酸塩の濃度比が、これまで14.3から15.5程度と考えられていたが、これは分析誤差によるもので、実際は14.3程度でほぼ一定していることなど、海洋深層の栄養塩分布について、より確からしい知見を得ることができた。

④ CO_2吸収・蓄積メカニズム及び海洋酸性化の情報の集約・公表

・ 副課題２②の解析結果や、これまでの海洋CO_2増加の知見を総合して、気象庁の「海洋の健康診断表」を通じたCO_2吸収や海洋酸性化情報の発信に貢献した。東経137度における海洋酸性化傾向は、IPCCの第5次評価報告書(AR5)にも取り上げられ、国際的にも貢献した。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

IPCC AR5に向けた活動の一環としてGCPが推進するRECCAPへの参画をGCPから要請された。これを実施するため、副課題３①で計画したモデルによる炭素循環の診断的解析に代え、副課題３②の目標を拡張して、太平洋の大気・海洋間CO_2フラックス評価の総合比較を実施した。

成果の他の研究への波及状況

① 本研究で得られたデータベースは、主に1990年代に実施された世界海洋大循環計画（WOCE）や共同グローバル海洋フラックス計画（JGOFS）等の炭酸系統合データベースGLODAP、大西洋・南大洋における海洋内炭酸系データベースCARINA、そして最新の海洋内炭酸系データと結合され、品質管理された全球的な海洋内炭酸系データベース　GLODAP2の作成に生かされている。また、これを活用した全球的な人為起源CO_2蓄積速度の評価プロジェクトも、ボトムアップで準備が進められている。

② 本研究で得られた海洋物質循環の変動や海洋酸性化に関する知見や手法は、関連する外部機関の研究にも活用され、それらの結果は多くの共著論文や学会で発表された。科学研究費補助金による複数の海洋物質循環に関する共同研究や、文部科学省のGRENE北極気候変動研究事業の参加が促進された。

今後の課題

① 気象庁現業観測への導入や、国内外の他機関への普及を念頭に置いて、引き続き、炭酸系パラメーターなど海洋物質循環に関わるパラメーターの観測手法の高度化や省力化を進めてゆく。具体的には、レーザー分光法を用いた海洋CO_2分圧観測の省力化と海洋メタン分圧の航走観測、分光セルの改造によるpH測定の効率化、全アルカリ度分析における品質管理技術の向上などが挙げられる。

② 酸素センサーの導入は、海洋物質循環に直接関わる化学パラメーターに初めての鉛直高密度データを提供し、海洋物質循環に新しい知見を与えた。また、離散的な採水分析データの内挿誤差の低減にも役立つ。台風通過による擾乱が物質循環にも短期に大きな影響を及ぼすことや、海洋の中規模渦の通過や短期的な生物活動の変動が物質循環に大きなインパクトを与えていると推定されることを考慮し、また数値モデルの高解像度化に合わせ、自動観測プラットフォームの導入などによって、海洋物理・化学観測のハイビジョン化を推進する必要がある。

③ 今後とも、海洋物質循環に関する高精度の観測を長期に継続し、海洋酸性化の動向や気候変化に伴う物質循環の変化を監視してゆく必要がある。その中で、気象庁の現業観測の観測精度を長期的に維持・向上させるよう継続的に支援することは、重要な位置を占める。

④ 他機関との共同観測・情報交換や数値モデルとの比較研究を推進しながら、海洋物質循環変化のメカニズム解明、影響評価、将来予測を、引き続き推進してゆく必要がある。

⑤ 作成した高品質のデータベースを更新しつつ活用し、全海洋規模など、より広域を対象とした診断解析を進めてゆく必要がある。その一方で、我々の生活圏に近く、一般に生物相も豊かな

沿岸域についても、海洋酸性化の実態把握など物質循環変動の調査を促進する必要がある。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所評議委員会評価分科会（気候・地球環境分野）において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、489 ページを参照。

成果発表一覧

査読論文　：29 件

1. Aoyama, M., 2010: Inter-laboratory comparison studies of nutrients measurements in seawater: a history of I/C studies and results from latest I/C studies of RMNS, In: Comparability of nutrients in the world's ocean, ISBN978-4-9904863-0-3,113-126.
2. Aoyama, M. and D. J. Hydes, 2010: How do we improve the comparability of nutrient measurements?, In: Comparability of nutrients in the world's ocean, ISBN978-4-9904863-0-3,1-10.
3. Aoyama, M., H. Ota, M. Kimura, T. Kitao, H. Mitsuda, A. Murata, and K. Sato, 2012: Current Status of homogeneity and stability of the Reference Materials for Nutrients in Seawater. Analytical Science, 28, 911-916.
4. Fujii, M., F. Chai, L. Shi, H. Y. Inoue, M. Ishii, 2009: Seasonal and interannual variability of oceanic carbon cycling in the western and central tropical-subtropical Pacific: A physical-biogeochemical modeling study, Journal of Oceanography, 65, 689-701.
5. Hama, T., S. Kawashima, K. Shimotori, Y. Satoh, Y. Omori, T. Adachi, S. Hasegawa, T. Midorikawa, M. Ishii, S. Saito, D. Sasano, H. Endo, T. Nakayama, and I. Inouye, 2012: Effect of ocean acidification on coastal phytoplankton composition and accompanying organic nitrogen production, Journal of Oceanography, 68, 183-194, doi: 10.1007/s10872-011-0084-6.
6. Ishii, M., H. Y. Inoue, T. Midorikawa, S. Saito, T. Tokieda, D. Sasano, N. Nakadate, K. Nemoto, N. Metzl, C. S. Wong, R. A. Feely, 2009: Spatial variability and decadal trend of the oceanic CO_2 in the western equatorial Pacific warm/fresh water, Deep-Sea Research II, 56, 591-606.
7. Ishii, M., N. Kosugi, D. Sasano, S. Saito, T. Midorikawa, and H. Y. Inoue, 2011: Ocean acidification off the south coast of Japan: A result from time series observations of CO_2 parameters from 1994 to 2008, Journal of Geophysical Research, 116, C06022, doi:10.1029/2010JC006831.
8. Ishii, M., R. A. Feely, K. B. Rodgers, G.–H. Park, R. Wanninkhof, D. Sasano, H. Sugimoto, C. E. Cosca, S. Nakaoka, M. Telszewski, Y. Nojiri, S. E. Mikaloff-Fletcher, Y. Niwa, P. K. Patra, V. Valsala, H. Nakano, I. Lima, S. C. Doney, E. T. Buitenhuis, O. Aumont, J. P. Dunne, A. Lenton, T. Takahashi, 2013: Air-sea CO_2 flux in the Pacific Ocean for the period 1990-2009, Biogeosciences Discussion, 10, 12155-12216, doi:10.5194/bgd-10-12155-2013.
9. Kameyama, S., H. Tanimoto, S. Inomata, H. Y. Inoue, U. Tsunogai, A. Tsuda, M. Uematsu, M. Ishii, D. Sasano, K. Suzuki, and Y. Nosaka, 2013: Strong relationship between dimethyl sulfide and net community production in the western subarctic Pacific, Geophysical Research Letters, 40, 3986–3990, doi:10.1002/grl.50654.
10. Kawai, Y. and A. Wada, 2011: Detection of cyclone-induced rapid increases in chlorophyll-a with sea surface cooling in the northwestern Pacific Ocean from a MODIS/SeaWiFS merged satellite chlorophyll product. International Journal of Remote Sensing, 32, 9455-9471.
11. Kouketsu, S., M. Fukasawa, D. Sasano, Y. Kumamoto, T. Kawano, H. Uchida, T. Doi, 2010, Changes in water properties around North Pacific intermediate water beweem the

1980s, 1990s and 2000s. Deep-Sea Research II, 57, 1177-1187.
12. Lee, S., T. Hama, M. Ishii, S. Saito, Y. Omori, D. Sasano, and K. Yanagi, 2011: Concentration and UV reactivity of total organic carbon in the upper layer in the oligotrophic subtropical western North Pacific, Journal of Geophysical Research, 113, C03017, doi:10.1029/2007JC004330.
13. Lenton, A., B. Tilbrook, R. M. Law, D. Bakker, S. C. Doney, N. Gruber, M. Ishii, M. Hoppema, N. S. Lovenduski, R. J. Matear, B. I. McNeil, N. Metzl, S. E. Mikaloff Fletcher, P. M. S. Monteiro, C. Rödenbeck, C. Sweeney, and T. Takahashi, 2013: Sea-air CO_2 fluxes in the Southern Ocean for the period 1990-2009. Biogeosciences, 10, 4037-4054. Doi:10.5194/bg-10-4037-2013.
14. Midorikawa, T., M. Ishii, D. Sasano, N. Kosugi, H. Sugimoto, N. Hiraishi, S. Masuda, T. Suzuki, T. R. Takamura, and H. Y. Inoue, 2011: Ocean acidification in the subtropical North Pacific estimated from accumulated carbonate data. Papers in Meteorology and Geophysics, 62, 47−56. doi:10.2467/mripapers.62.47.
15. Midorikawa, T., H. Y. Inoue, M. Ishii, D. Sasano, N. Kosugi, G. Hashida, S. Nakaoka, T. Suzuki, 2012: Decreasing pH trend estimated from 35-year time series of carbonate parameters in the Pacific sector of the Southern Ocean in summer, Deep-Sea Research I, 61, 131-139, doi:10.1016/j.dsr.2011.12.003.
16. Midorikawa, T., M. Ishii, N. Kosugi, D. Sasano, T. Nakano, S. Saito, N. Sakamoto, H. Nakano, and H. Y. Inoue, 2012: Recent deceleration of oceanic pCO_2 increase in the western North Pacific in winter, Geophysical Research Letters, 39, L12601, doi:10.1029/2012GL051665.
17. Mitsuda, H., M. Kimura, A. Murao, R. Ishii, Y. Takeda, H. Ota, M. Aoyama, 2010: Development of a reference material for dissolved oxygen in seawater, In: Comparability of nutrients in the world's ocean, ISBN978-4-9904863-0-3,101-112.
18. Nakano, H., H. Tsujino, M. Hirabara, T. Yasuda, T. Motoi, M. Ishii, and G. Yamanaka, 2011: Uptake mechanism of anthropogenic CO_2 in the Kuroshio Extension region in an ocean general circulation model, Journal of Oceanography, 65, 765-783, doi: 10.1007/s10872-011-0075-7.
19. Nakaoka, S., T. Nakazawa, H. Y. Inoue, S. Aoki, G. Hashida, M. Ishii, T. Yamanouchi, T. Odate, M. Fukuchi, 2009: Variations of oceanic pCO_2 and air-sea CO_2 flux in the eastern Indian sector of the Southern Ocean for the austral summer of 2001–2002. Geophysical Research Letters, 36, L14610, doi:10.1029/2009GL038467.
20. Nemoto, K., Midorikawa, T., Wada, A., Ogawa, K., Takatani, S., Kimoto, H., Ishii, M., Inoue, H. Y., 2009: Continuous observations of atmospheric and oceanic CO_2 using a moored buoy in the East China Sea: Variations during the passage of typhoons, Deep-Sea Research II, 56, 542-553.
21. Omori, Y., T. Hama, M. Ishii, S. Saito, 2010: Relationship between the seasonal change in fluorescent dissolved organic matter and mixed layer depth in the subtropical western North Pacific, Journal of Geophysical Research, 115, C06001, doi:10.1029/2009JC005526.
22. Omori, Y., T. Hama, M. Ishii, and S. Saito, 2011: Vertical change in the composition of marine humic-like fluorescent dissolved organic matter in the subtropical western North Pacific and its relation to photoreactivity, Marine Chemistry, 124, 38–47.
23. Rodgers, K. B., R. M. Key, A. Gnanadesikan, J. L. Sarmiento, O. Aumont, L. Bopp, S. C. Doney, J. P. Dunne, D. M. Glover, A. Ishida, M. Ishii, A. R. Jacobson, C. L. Monaco, E. Maier-Reimer, H. Mercier, N. Metzl, F. F. Perez, A. F. Rios, R. Wanninkhof, P. Wetzel, C. D. Winn, Y. Yamanaka, 2009: Using altimetry to help explain patchy

changes in hydrographic carbon measurements, Journal of Geophysical Research, 114, C09013, doi: 10.1029/2008JC005183.

24. Sasano, D., M. Ishii, T. Nakano, T. Tokieda, and H. Uchida, 2011: Testing a new quick response oxygen sensor RINKO, Papers in Meteorology and Geophysics, 62, 47−56, doi:10.2467/mripapers.62.63.
25. Sato, K., M. Aoyama, S. Becker, 2010: Reference materials for nutrients in seawater as calibration standard solution to keep comparability for several cruises in the world ocean in 2000s, In: Comparability of nutrients in the world's ocean, ISBN978-4-9904863-0-3,43-56.
26. Takahashi, T., S. C. Sutherland, R. Wanninkhof, C. Sweeney, R. A. Feely, D. W. Chipman, B. Hales, G. Friederich, F. Chavez, C. Sabine, A. Watson, D. C. E. Bakker, U. Schuster, N. Metzl, H. Y. Inoue, M. Ishii, T. Midorikawa, Y. Nojiri, A. Körtzinger, T. Steinhoff, M. Hoppema, J. Olafsson, T. S. Arnarson, B. Tilbrook, T. Johannessen, A. Olsen, R. Bellerby, C. S. Wong, B. Delille, N. R. Bates, and H. J. W. de Baar, 2009: Climatological mean and decadal change in surface ocean pCO_2, and net sea-air CO_2 flux over the global oceans, Deep-Sea Research II, 56, 554-577.
27. Takamura, T. R., H. Y. Inoue, T. Midorikawa, M. Ishii, Y. Nojiri, 2010: Seasonal and inter-annual variations in pCO_2sea and air-sea CO_2 fluxes in mid-latitudes of the western and eastern North Pacific during 1999-2006: recent results utilizing voluntary observation ships. Journal of Meteorological Society of Japan, 88, 883-898.
28. Takatani, Y., D. Sasano, T. Nakano, T. Midorikawa, and M. Ishii, 2012: Decrease of dissolved oxygen after the mid-1980s in the western North Pacific subtropical gyre along the 137ºE repeat section, Global Biogeochemical Cycles, 26, GB2013, doi:10.1029/2011GB004227.
29. Wada, A., T. Midorikawa, M. Ishii, and T. Motoi, 2011: Carbon system changes in the East China Sea induced by typhoons Tina and Winnie in 1997, Journal of Geophysical Research, 116, C07014, doi:10.1029/2010JC006701.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：19 件

1. Wada, A. and T. Midorikawa, 2009: Numerical simulation for the ocean response to Typhoons Tina and Winnie in 1997 and their relations to sudden variations of pCO_2, CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell, 0807-0808.
2. Aoyama, M., J. Anning, J. Barwell-Clarke, F. Baurand, S. Becker, M. Blum, S. C. Corvely, E. Czobik, F. D'amico, I. Dahllöf, M. H. Dai, J. Dobson, M. Duval, C. Engelke, G. C. Gong, O. Gross, A. Hirayama, H. Inoue, Y. Ishida, D. J. Hydes, H. Kasai, R. Kerouel, M. Knockaert, N. Kress, K. A. Krogslund, M. Kumagai, S. Leterme, C. Mahaffey, H. Mitsuda, P. Morin, T. Moutin, D. Munaron, A. Murata, G. Nausch, H. Ogawa, J. van Ooijen, J. M. Pan, G. Paradis, C. Payne, O. Pierre-Duplessix, G. Prove, P. Raimbault, M. Rose, K. Saito, H. Saito, K. Sato, C. Schmidt, M. Schütt, T. M. Shammon, O. Solveigo, J. Sun, T. Tanhua, S. Weigelt-Krenz, L. White, E. M. S. Malcolm, P. Worsfold, T. Yoshimura, A. Youénou, J. Z. Zhang, 2009: 2008 Inter-comparison Study of a Reference Material for Nutrients in Seawater, Technical Reports of the Meteorological Research Institute, 60.
3. Aoyama, M., D. J. Hydes, A. Daniel, K., Bakker, A., Murata, T., Tanhua, E. M. S., Woodward, 2010: Joint IOC-ICES study group on nutrient standards (SGONES) first meeting UNESCO headquarters, Paris, France 23-24 March 2010. IOC Reports of Meetings of Experts and Equivalent Bodies, 223. UNESCO 2010.
4. Chiba, S., T. Hirawake, S. Ishizaki, S. Ito, H. Kamiya, M. Kaeriyama, A. Kuwata, T.

Midorikawa, S. Minobe, S. Okamoto, Y. Okazaki, T. Ono, H. Saito, S. Saitoh, D. Sasano, K. Tadokoro, K. Takahashi, Y. Takatani, Y. Watanabe, Y. W. Watanabe, Y. Watanuki, O. Yamamura, N. Yamashita, A. Yatsu, 2010: Status and trends of the Oyashio region, 2003-2008, In: S. M. McKinnell and M. Dagg [Eds.], The North Pacific Ocean; status and trends, 2003-2008, PICES Special Publication, 4.

5. Hydes, D. J., M. Aoyama, A. Aminot, K. Bakker, S. Becker, S. Coverly, A. Daniel, A. G. Dickson, O. Grosso, R. Kerouel, J. van Ooijen, K. Sato, T. Tanhua, E. M. S. Woodward, J. Z. Zhang, 2010: Determination of dissolved nutrients (N, P, Si) in seawater with high precision and inter-comparability using gas-segmented continuous flow analyzers, In: The GO-SHIP Repeat Hydrography Manual: A Collection of Expert Reports and Guidelines, IOCCP Report, 14, ICPO Publication Series Number 134.
6. Ishii, M., T. Suzuki, R. M. Key, 2011: Pacific Ocean Interior Carbon Data Synthesis, PACIFICA, in progress, PICES Press, 19, 20-23.
7. Ishii, M., 2011: Mode waters: uptake windows of atmospheric CO_2 into the ocean interior. SOLAS Newletter, 12.
8. Lorenzoni, L., Benway, H. M. (Editors), N. Bates, C. Carlson, C. Chandler, M. Church, M. Conte, K. Isensee, M. Ishii, K. Johnson, O. Kawka, A. Körtzinger, R. Lampitt, R. Letelier, M. Lomas, V. Lutz, F. Muller-Karger, M. Telszewski, L. Valdes, 2013: Report of Global intercomparability in a changing ocean: An international time-series methods workshop, November 28-30, 2012.
9. Midoriakwa, T. and H. Kamiya, 2010: Oyashio, 4.4 Contaminants, In: Marine Ecosystems of the North Pacific Ocean 2003-2008, PICES Special Publication 4.
10. Sasano, D. and Y. Takatani, 2010: Oyashio, 4.1 Oxygen, In: Marine Ecosystems of the North Pacific Ocean 2003-2008, PICES Special Publication 4.
11. Tanhua, T., R. M. Key, M. Hoppema, A. Olsen, M. Ishii, and C. L. Sabine, 2010: Expanding carbon data collection from the Ocean's Interior. EOS, 91, 48, 457-458.
12. Uchida, H., A. Murata, T. Kawano, M. Aoyama, 2010: Density salinity measurements of the standard seawaters for conductivity and nutrients, Proceedings of CD of Techno-Ocean 2010, 1-3.
13. Wada, A., 2010: Tropical Cyclone – Ocean Interaction: Numerical Studies. Advances in Energy Research, 1, Ed. M. J. Acosta. 1-67. ISBN 978-1-61668-994-0.
14. Wada, A., 2012: Numerical simulations of the intensity change of Typhoon Choiwan (2009) and the ocean response. CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling, 42, 9.03-9.04.
15. 石井雅男, 2009: 亜熱帯モード水による大気から海洋への CO_2 吸収, 月刊海洋「北太平洋亜熱帯モード水の物理・化学・生物過程」, 41(12), 725-730.
16. 石井雅男, 2013: 炭素循環　図説　地球環境の事典　印刷中
17. 石井雅男, 2013: 基礎編　二酸化炭素の溶液化学　図説　地球環境の事典　印刷中
18. 和田章義, 2009: 台風海洋相互作用と台風強度予測, W-PASS NEWS, 4, 2-3.
19. 和田章義, 2012: 台風と海洋, 台風研究の最前線（上）, 気象研究ノート, 226.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：32 件

1. Aoyama, M., 2010: The joint IOC-ICES study group on Nutrient standards (SGONS), 43rd Session of IOC Executive Council, June, 2010, Paris, France.
2. Aoyama, M., and D. J., Hydes, 2010: The new era of nutrients measurements in seawater with RM/CRM and the new manual: The joint IOC-ICES Study Group on Nutrient Standards (SGONS) and recent progress, PICES 2010 annual meeting, October, 2010, Portland, USA.

3. Aoyama, M., 2010: Global nutrients data synthesis based on the cruises with Reference Material of Nutrients in Seawater, 2010 Study Group on Nutrients Standards, SGONS, Meeting.
4. Aoyama, M., H. Ota, M. Kimura, T. Kitao, H. Mitsuda, A. Murata, and K. Sato, 2011: Present homogeneity and stability of Reference Materials for nutrients in seawater, IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2011, May 2011, Kyoto..
5. Aoyama, M., 2012: Activity summary of SGONS, 2012 RMNS I/C study and future, INSS Workshop, November 2012, Texel, the Netherlands.
6. Aoyama, M., 2012: Activity summary of SGONS, 2012 RMNS I/C study and future, INSS Workshop 12-15 November 2012, Texel, the Netherlands.
7. Becker, S., M. Aoyama, D. Schuller, K. Sato, 2010: Initial results from the use of RMNS during the CLIVAR P6 revisit cruise by SIO, 2010 Study Group on Nutrients Standards, SGONS, Meeting.
8. Gruber, N., D. Clement, T. Tanhua, M. Ishii, R. M. Key, K. Rodgers, R. Wanninkhof, M. Hoppema, F. F. Perez, S. van Heuven, 2012: Toward a global data-based estimate of oceanic accumulation of anthropogenic CO_2 since the WOCE era, Ocean Sciences Meeting 2012, February, 2012, Salt Lake City, USA.
9. Ishii, M., D. Sasano, N. Kosugi, S. Saito, T. Midorikawa, Y. Takatani, S. Masuda, T. Tokieda, T. Nakano, H. Y. Inoue, T. Suzuki, 2009: Trend of DIC increase in the western North Pacific subtropical gyre during 1994 – 2008, PICES 2009 Annual Meeting, October 2009, Jeju, Korea.
10. Ishii, M., 2010: Air-sea CO_2 flux and CO_2 storage in the equatorial and North Pacific Ocean, Workshop “Regional Carbon Cycle Assessment on Land and Oceans”, October 2010, Viterbo, Italy.
11. Ishii, M., and R. A. Feely, 2011: RECCAP regional synthesis for Pacific Ocean, Regional Carbon Cycle and Processes Final Workshop, May 2011, Shepherds Town, USA.
12. Ishii, M., 2011: Interior carbon changes in the Pacific, SOLAS/IMBER/IOCCP Workshop for the ocean carbon cycle at a time of change: synthesis and vulnerabilities, September 2011, Paris, France.
13. Ishii, M., D. Sasano, N. Kosugi, T. Midorikawa, K. B. Rodgers, 2012: Mode waters: the uptake window of natural and anthropogenic CO_2 into the ocean interior. Ocean Sciences Meeting 2012, February, 2012, Salt Lake City, USA.
14. Ishii, M., T. Midorikawa, D. Sasano, N. Kosugi, T. Nakano, and H. Y. Inoue, 2012: An overview of the ocean CO_2 increase in the western North Pacific subtropical and tropical zones. 2nd International Symposium Effects of Climate Change on the World’s Oceans, May 2012, Yeous, Korea.
15. Ishii, M., T. Midorikawa, D. Sasano, N. Kosugi, S. Nakaoka, G. Hashida, T. Suzuki, and H. Y. Inoue: Ocean acidification in the western Pacific sector of the Southern Ocean, The 18th International Symposium on Polar Sciences, May 2012, Jeju, Korea.
16. Ishii, M., N. Kosugi, D. Sasano, K. Enyo, S. Saito, T. Nakano, T. Midorikawa, and H. Y. Inoue, 2012: Decadal change in the rate of ocean acidification in the western Pacific equatorial zone. Third Symposium the Ocean in a Hgh-CO_2 World, September 2012, Monterey, CA, USA.
17. Ishii, M., D. Sasano, N. Kosugi, K. B. Rodgers, D. Iudicone, H. Nakano, M. Long, J. Kleypas, 2013: Ocean acidification in the tropical Pacific from below, the 9th International Carbon Dioxide Conference, June 2013, Beijing, China.
18. Ishii, M., 2013: Trend of ocean acidification in the western Pacific tropical and subtropical zones over the past decades, Japan－Australia Marine Science Workshop, July 2013, Tokyo.

19. Ishii, M., and D. Sasano, 2013: Toward the future expansion of the ocean biogeochemistry observing network, Japan－Australia Marine Science Workshop, July 2013, Tokyo.
20. Ishii, M., D. Sasano, N. Kosugi, H. Nakano, K. Enyo, S. Saito, T. Nakano, T. Midorikawa, H. Y. Inoue, 2013: Trend of ocean acidification in the western Pacific tropical and subtropical zones, International Symposium "Ocean Acidification and Coral Reef", Expert's Meeting, September 29-30, Tokyo.
21. Ishii, M., D. Sasano, N. Kosugi, H. Nakano, K. Enyo, S. Saito, T. Nakano, T. Midorikawa, H. Y. Inoue, 2013: Trend of ocean acidification in the western Pacific tropical and subtropical zones, 6th China-Japan-Korea IMBER International Symposium, October, 2013, Tokyo.
22. Kawano, T., M., Aoyama, 2010: Final results of salinity synthesis in PACIFICA, PICES 2010 annual meeting, October, 2010, Portland, USA.
23. Lauvset, S., R. M. Key, A. Olsen, T. Tanhua, M. Hoppema, S. Jutterström, R. Steinfeldt, E. Jeansson, A. Kozyr, B. Pfeil, 2013: GLODAPv2 – a global and quality controlled ocean biogeochemical data product, the 9th International Carbon Dioxide Conference, June 2013, Beijing, China.
24. Metzl, N., B. Tilbrook, A. Lenton, T. Takahashi, D. Bakker, M. Ishii, H. Y. Inoue, C. Sabine, C. Sweeney, M. Hoppema, A. Olsen, B. Pfeil, 2009: Decadal variation of the ocean carbon dioxide system observed in the Southern Ocean, 8th International Carbon Dioxide Conference, September 2009, Jena, Germany.
25. Mitsuda, H., M. Kimura, T. Kitao, H. Ota, R. Ishii, Y. Takeda, A. Torao, H. Uchida, A. Murata, and M. Aoyama, 2011: Production of a Reference Material for nutrients in seawater and current developing Reference Materials in seawater, IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2011, May 2011, Kyoto.
26. Murata, A., H. Mitsuda, H. Ota, and M. Aoyama, 2011: Development of non-toxic Reference Material for oceanic inorganic carbonate system parameters, IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2011, May 2011, Kyoto.
27. Rodgers, K. B., M. Ishii, T. Froelicher, D. Iudicone, Y. Plancherel, O. Aumont, L. Bopp, J. P. Dunne, T. Gorgues, A. Gnanadesikan, M. Kawamiya, H. Okajima, and R. Wanninkhof, 2013: Large changes in seasonality of the surface ocean carbon cycle under anthropogenic climate change, the 9th International Carbon Dioxide Conference, June 2013, Beijing, China.
28. Uchida, H., A. Murata, T. Kawano, M. Aoyama, S. Nishino, 2010: Comparison between measured and calculated density salinity for standard seawaters and real seawater, AGU Fall Meeting 2010, December 2010, San Francisco, USA.
29. Uchida, H., A. Murata, M. Wakita, Y. Kumamoto, Y. Nagasawa, H. Mitsuda, M. Aoyama, and T. Kawano, 2011: Development of a small and fast-responding OPTODE sensor for standardization of dissolved oxygen measurements, IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2011 , May 2011, Kyoto.
30. Wada, A., M. F. Cronin, A. J. Sutton, Y. Kawai, and M. Ishii, 2012: Numerical simulation on the interactions between Typhoon Choi-wan in 2009 and the mid-latitude Ocean. Asia Oceania Geosciences Society 9th Annual General Meeting & AGU_2012 Western Pacific Geophysics Meeting, August, 2012, Singapore.
31. Wada, A., M. F. Cronin, A. J. Sutton, Y. Kawai, and M. Ishii, 2012: Numerical simulations of interactions between Typhoon Choi-wan (0914) and the ocean, AGU 2012 Fall Meeting, December, 2012, San Francisco, USA.
32. Yoshimura, T., J. H. Sharp, M. Aoyama, and H. Ota, 2011: Developing Reference Materials for dissolved organic matter analysis, IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2011, May, 2011, Kyoto, Japan.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：54 件

1. 青山道夫，深澤理郎，　河野健，村田昌彦，熊本雄一郎，内田裕，佐藤憲一郎，2011: 海水中栄養塩の長期変動の研究：比較可能性が確保された全球栄養塩データセットの作成とその解析，ブルーアース'11.
2. 青山道夫，中野英之，本井達夫，津旨大輔，浜島靖典，深澤理郎，河野健，村田昌彦，内田裕，熊本雄一郎，2011: 海洋環境における人工放射性核種の長期挙動の研究　太平洋における ^{137}Cs の 3 次元分布とモデル計算結果，ブルーアース'11.
3. 青山道夫，2010: 気候変動モニタリングと計量標準，平成 22 年度第 1 回国際計量研究連絡委員会.
4. 青山道夫，村田昌彦，芳村毅，太田秀和，佐藤憲一郎，2010: 国際栄養塩スケールと海水中栄養塩標準を使った二つの航海における比較可能性の向上，日本分析化学会第 59 年会.
5. 青山道夫，村田昌彦，芳村毅，2010: 栄養塩標準国際共同実験の成果および IOC-ICES SGONS の活動，2010 年度日本海洋学会春季大会.
6. 青山道夫，2010: 海洋中炭素循環変動の実態把握とメカニズム解明に関する研究，平成 21 年度気象庁施設等機関研究報告会.
7. 飯田洋介，杉本裕之，平石直孝，石井雅男，緑川 貴, 2011:北大西洋における表面海水中二酸化炭素分圧の推定，2011 年度日本海洋学会春季大会.
8. 飯田洋介，小嶋惇，高谷祐介，延与和敬，中野俊也，小杉如央，笹野大輔，石井雅男，緑川貴，2013: 本州東方亜寒帯域における海洋酸性化傾向の推定, 2013年度日本海洋学会秋季大会.
9. 石井雅男，笹野大輔，斉藤 秀，時枝隆之，緑川 貴, 2009: 亜熱帯モード水における CO_2 の増加傾向，東京大学海洋研究所共同利用研究集会「北太平洋亜熱帯モード水の物理・化学・生物過程」.
10. 石井雅男，2010：海洋炭素循環研究における Argo の活用可能性について，第 2 回アルゴ将来構想検討会.
11. 石井雅男,笹野大輔,小杉如央，2013: 太平洋における大気・海洋間 CO_2 交換，2013 年度日本海洋学会秋季大会.
12. 石井雅男，村田昌彦，2012: 炭酸系データのシンセシス結果, 2012 年度日本海洋学会春季大会.
13. 石井雅男，笹野大輔，小杉如央，延与和敬，中野俊也，緑川貴，吉川久幸，2012: 北太平洋西部亜熱帯域・熱帯域における海洋酸性化動向について，東京大学大気海洋研究所共同利用シンポジウム「バイオミネラリゼーションと石灰化－遺伝子から地球環境まで―」.
14. 石井雅男，笹野大輔，小杉如央，中野英之，延与和敬，中野俊也，緑川 貴，吉川久幸，北太平洋西部亜熱帯域・熱帯域における海洋酸性化, 2013 年度日本地球化学会第 60 回年会.
15. 石丸和樹，増田真次，小杉如央，延与和敬，小野越郎，志賀達，永井直樹，石井雅男，時枝隆之，2011：気象庁 WHP-P9 再観測（11）．有機物/炭酸カルシウムから再生した無機炭素，2011 年度日本海洋学会春季大会.
16. 井上幸樹，鈴木莉紗，柏崎啓人，和田茂樹，緑川貴，石井雅男，笹野大輔，小杉如央，濱健夫，2013: 海洋酸性化が微生物群集組成および機能に与える影響―２．植物プランクトン群集組成, 2013 年度日本海洋学会秋季大会.
17. 内田裕，村田昌彦，河野健，青山道夫，池田未世，2010: 溶存酸素量のセンサーによる測定確立と実体標準の開発（Ⅲ）-標準ガスでバブリングした試料中の溶存酸素量の測定-，2010 年度日本海洋学会秋季大会.
18. 内田裕，脇田昌英，熊本雄一郎，河野健，長澤泰宏，川原雄樹，青山道夫，2010: 溶存酸素量のセンサーによる測定確立と実体標準の開発－高速応答光学式センサーによる高精度測定－，2010 年度日本海洋学会春季大会.
19. 内田裕, 河野健, 青山道夫, 村田昌彦, 脇田昌英, 西野茂人, 2011：　海水の絶対塩分の評価 (I) 絶対塩分推定方法の比較, 2011 年度日本海洋学会春季大会.

20. 内田裕, 石井雅男, 笹野大輔, 小杉如央, 吉川久幸, 西野茂人, 脇田昌英, 村田昌彦, 長澤泰宏, 2013: 表層海水中溶存酸素の高精度連続観測, ブルーアース 2013.
21. 梅田振一郎, 髙谷祐介, 日比野祥, 中野俊也, 青山道夫, 2011 : 気象庁 WHP-P9 再観測(8)-溶存酸素量測定の不確かさ-, 2011 年度日本海洋学会春季大会.
22. 太田秀和, 光田均, 村田昌彦, 青山道夫, 2010: 無毒全炭酸栄養塩一体型標準物質の作成および保存実験, 2010 年度日本海洋学会春季大会.
23. 大森裕子, 濱健夫, 石井雅男, 2011 : 海洋腐植様蛍光 DOM（FDOMM）の蛍光と炭素濃度の関係, 2011 年度日本海洋学会春季大会.
24. 大森裕子, 濱健夫, 石井雅男, 2011 : 蛍光強度と炭素濃度による海洋腐植物質の光化学反応の評価, 2011 年度日本地球化学会年会.
25. 岡英太郎, 石井雅男, 植原量行, 大森裕子, 川合義美, 纐纈慎也, 小杉如央, 須賀利雄, 鋤柄千穂, 角皆潤, 野中正見, 藤田実季子, Vincent Faure, 細田滋毅, 村山利幸, 安田一郎, 柳本大吾, 山崎誠, 2013: 初春中央水形成域観測 - KH-13-3航海速報 - , 2013年度日本海洋学会秋季大会.
26. 柏崎啓人, 鈴木莉紗, 井上幸樹, 緑川貴, 石井雅男, 笹野大輔, 小杉如央, 濱健夫, 和田茂樹, 2013: 海洋酸性化が微生物群集組成および機能に与える影響 - ３．蛍光性溶存態有機物生成過程, 2013 年度日本海洋学会秋季大会.
27. 亀山宗彦, 谷本浩志, 猪俣敏, 奥沢和浩, 角皆潤, 石井雅男, 笹野大輔, 吉川久幸, 2011:高生物生産海域における海洋表層水中の DMS 分布の制限因子 —EI-PTR-MS を用いた DMS 連続測定に基づく検討—, 2011 年度日本地球化学会年会.
28. 北川隆洋, 藤原弘行, 齊藤一浩, 永井直樹, 中野俊也, 青山道夫, 2011 : 気象庁 WHP-P9 再観測（9）栄養塩分析の不確かさ, 2011 年度日本海洋学会春季大会.
29. 小杉如央, 笹野大輔, 石井雅男, 緑川貴, 高野宏之, 吉川久幸, 2010: 東経 137 度線における大気-海洋間二酸化炭素分圧差の十年規模変動, 第 16 回大気化学討論会.
30. 小杉如央, 笹野大輔, 石井雅男, 延与和敬, 増田真次, 緑川 貴, 2011 : 気象庁 WHP-P9 再観測（6）pH の観測結果と西部北太平洋における海洋酸性化, 2011 年度日本海洋学会春季大会.
31. 小杉如央, 笹野大輔, 石井雅男, 吉川久幸, 2012: 白鳳丸 KH11-10 航海で観測された南半球亜熱帯域における海水中 pCO_2 /pO_2 の日周変動について, 第 18 回大気化学討論会.
32. 小杉如央, 笹野大輔, 石井雅男, 延与和敬, 増田信次, 緑川 貴, 2011 : pH 直接測定の時系列データが捉えた東経 137 度線における海洋酸性化, 2011 年度日本海洋学会秋季大会.
33. 笹野大輔, 石井雅男, 緑川貴, 髙谷祐介, 時枝隆之, 中野俊也, 2009: 親潮・黒潮における溶存酸素の長期トレンド, 2009 年度日本海洋学会秋季大会.
34. 笹野大輔, 石井雅男, 緑川貴, 高谷祐介, 時枝隆之, 中野俊也, 2010 : 東経 165 度線における溶存酸素の長期トレンド, 2010 年度日本海洋学会秋季大会.
35. 笹野大輔, 石井雅男, 緑川貴, 小杉如央, 橋田元, 吉川久幸, 児玉武稔, 古谷研 : 南大洋における pCO_2 と pO_2 の関連性, 2011 年度日本海洋学会春季大会.
36. 笹野大輔, 石井雅男, 緑川貴, 小杉如央, 橋田元, 吉川久幸, 児玉武稔, 古谷研, 2011 : 南大洋における pCO_2 と pO_2 の変動に対する生物の影響, 2011 年度日本海洋学会秋季大会.
37. 笹野大輔, 石井雅男, 小杉如央, 村田昌彦, 内田裕, 豊田栄, 山田桂大, 工藤久志, 吉田尚弘, 吉川久幸, 2013: 北極海で観測された表面海水中における二酸化炭素とメタン分布の関連性, 2013 年度日本海洋学会春季大会.
38. 笹野大輔, 石井雅男, 小杉如央, 村田昌彦, 内田裕, 豊田栄, 山田桂大, 工藤久志, 吉田尚弘, 吉川久幸, 2012: Spatial distribution of pCO_2 and pCH_4 in the surface sea water and overlying air in the Arctic Ocean, 第 3 回極域科学シンポジウム.
39. 笹野大輔, 石井雅男, 小杉如央, 豊田栄, 山田桂大, 工藤久志, 吉田尚弘, 吉川久幸, 三船尊久, 川合美千代, 村田昌彦, 内田裕, 西野茂人, 菊地隆, 2013: 北極海の表面海水中におけるCO_2とCH_4の変動要因, 2013年度日本海洋学会秋季大会.
40. 佐藤憲一郎, 青山道夫, Susan Becker, 村田昌彦, 2010: 2003 年および 2009 年 WOCE P06

再観測における RMNS 使用結果，2010 年度日本海洋学会春季大会.

41. 澤井茉利奈，小森真里奈，佐藤雄，大森裕子，安達大輝，遠藤寛子，中山剛，井上勲，緑川 貴，石井雅男，笹野大輔，小杉如央，濱 健夫，2011：海洋酸性化が植物プランクトンの群集組成に与える影響に関する実験的解析(2)，2011 年度日本海洋学会春季大会.
42. 重岡裕海，延与和敬，高谷祐介，平石直孝，中野俊也，石井雅男，緑川 貴，2011：気象庁 WHP-P9 再観測（5）多重回帰解析による北西太平洋の二酸化炭素蓄積量推定，2011 年度日本海洋学会春季大会.
43. 杉本裕之，平石直孝，石井雅男，緑川貴, 2011：　太平洋における大気 - 海洋間二酸化炭素フラックスの推定，2011 年度日本海洋学会春季大会.
44. 鈴木莉紗，柏崎啓人，井上幸樹，和田茂樹，緑川貴，石井雅男，笹野大輔，小杉如央，濱 健夫，2013: 海洋酸性化が微生物群集組成および機能に与える影響　1．一次生産過程，2013 年度日本海洋学会秋季大会.
45. 西野茂人，菊地隆，平譯享，川合美千代，青山道夫，2013: チャクチ海の生物学的ホットスポットにおける物理・化学環境，2013 年度日本海洋学会春季大会.
46. 西野茂人，伊東素代，川口悠介，菊地隆，青山道夫, 2011：西部北極海の暖水渦が栄養塩や植物プランクトン分布に与える影響，2011 年度日本海洋学会春季大会.
47. 増田真次，小杉如央，延与和敬，石丸和樹，小野越郎，石井雅男，時枝隆之，2011：気象庁 WHP-P9 再観測（10）全炭酸・アルカリ度・pH・CFCs 観測-，2011 年度日本海洋学会春季大会.
48. 光田均，村尾麻美，木村宗人，石井竜介，武田佳子，青山道夫，2010: 溶存酸素量のセンサーによる測定確立と実体標準の開発－溶存酸素測定用海水標準物質の開発－，2010 年度日本海洋学会春季大会.
49. 緑川 貴，石井雅男，小杉如央，笹野大輔，中野英之，時枝隆之，増田真次，高野宏之，坂本尚章，吉川久幸：北太平洋西部における海面 CO_2 分圧の変化傾向, 2011 年度日本海洋学会春季大会.
50. 村田昌彦，A. G. Dickson，脇田昌英，斉藤秀，吉川久幸，小杉如央，日置昭治，青山道夫，2010: 海水 pH 参照物質の作製，2010 年度日本海洋学会春季大会.
51. 和田章義, 2012: 2009年台風Choi-wanと海洋との相互作用，日本気象学会2012年度秋季大会.
52. 和田章義，石井雅男, 2013: Numerical study on TC-induced oceanic carbon system changes, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会.
53. 芳村毅, Jonathan H. Sharp，青山道夫，太田秀和，光田均, 2011：溶存有機物分析のための標準物質の開発，2011 年度日本海洋学会春季大会.
54. Uchida, H., A. Murata, T. Kawano, M. Aoyama, 2010: Density salinity measurements of the standard seawaters for conductivity and nutrients, Techno-Ocean 2010, 今はじまる海洋新時代 ～すばらしい海を次世代のために～.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：20 件

1. Enyo, K., T. Nakano, Y. Takatani, Y. Iida, A. Kojima, N. Kosugi, D. Sasano, M. Ishii, and T. Midorikawa, 2012: Slowdown of ocean acidification in the subtropical western North Pacific due to ocean circulation change. Third symposium the ocean in a high-CO_2 world, Monterey, USA.
2. Iida, Y., A. Kojima, K. Enyo, Y. Takatani, T. Nakano, N. Kosugi, D. Sasano, M. Ishii, and T. Midorikawa, 2013: Long-term variability of sea–air CO_2 flux distribution over the global ocean analyzed by JMA, the 9th International Carbon Dioxide Conference, Beijing, China.
3. Ishii, M., N. Kosugi, D. Sasano, K. Enyo, T. Nakano, T. Midorikawa, 2013: Ocean acidification over the western North Pacific subtropical and tropical zones for the last decades, 2nd Internatioanl Workshop Global Ocean Acidification Observing Network, St.Andrews, UK.

4. Kosugi, N., D. Sasano, M. Ishii, S. Saito, S. Masuda, K. Enyo, and T. Midorikawa, 2011: Decadal ocean acidification detected in western north Pacific, Joint SOLAS/IMBER/IOCCP Carbon Synthesis Meeting, The Ocean Carbon Cycle at a time of change: Synthesis and vulnerabilities, Paris, France.
5. Kosugi, N., D. Sasano, M. Ishii, K. Enyo, T. Nakano, and T. Midorikawa, 2012: Decadal trend of acidification in the North Pacific subtropical mode water and its connection with climate variability. Third symposium the ocean in a high-CO_2 world, Monterey, USA.
6. Kosugi, N., D. Sasano, M. Ishii, K. Enyo, T. Nakano, and T. Midorikawa, 2012: An acidification in the North Pacific subtropical mode water and its relation with climate variability, PICES 2012 Annual Meeting, Hiroshima, Japan.
7. Kosugi, N., D. Sasano, M. Ishii, K. Enyo, Y. Iida, and T. Midorikawa, 2013: Spatial and temporal variability of ocean acidification in the interior western North Pacific, the 9th International Carbon Dioxide Conference, Beijing, China.
8. Kumamoto, Y., A., Murata, S., Kouketsu, M., Aoyama, S., Watanabe, M., Fukasawa, 2010: A comparison of dissolved oxygen concentration in intermediate layer between the western and eastern subarctic gyres of the North Pacific from 1985 to 2007, North Pacific Marine Science Organization 2010 annual meeting, Portland, USA.
9. Nishino, S., T. Kikuchi, M. Itoh, Y. Kawaguchi, M. Yamamoto-Kawai, T. Hirawake, and M. Aoyama, 2012: Arctic ocean circulation and eddies characterizing nutrient and phytoplankton distributions in the Canada Basin, 2012 Ocean Sciences Meeting, Salt Lake City, USA.
10. Omori, Y., H. Tanimoto, S. Inomata, T. Iwata, H. Sakuma, U. Tsunogai, F. Nakagawa, M. Ishii, N. Kosugi, A. Tsuda, and M. Uematsu, 2012: Air-sea fluxes of dimethyl sulfide and carbon dioxide measured by the gradient technique in the subtropical and equatorial Pacific Ocean, AGU 2012 Fall Meeting, San Francisco, USA.
11. Sasano, D., M. Ishii, T. Midorikawa, Y. Takatani, T. Nakano, T. Tokieda, H. Kamiya, 2009: Oxygen decrease in the western Pacific along 165˚E, 8th International Carbon Dioxide Conference, Jena, Germany.
12. Sasano, D., M. Ishii, N. Kosugi, T. Midorikawa, Y. Takatani, T. Nakano, T. Tokieda, and H. Kamiya, 2011: Significant decrease of dissolved oxygen in the western Pacific along 165ºE, The Ocean Carbon Cycle at a time of change: Synthesis and vulnerabilities, Paris, France.
13. Sasano, D., M. Ishii, T. Midorikawa, Y. Takatani, T. Nakano, T. Tokieda, and H. Kamiya, 2012: Oxygen decrease in the western Pacific along 165°E, 2nd International Symposium Effects of Climate Change on the World's Oceans, Yeous, Korea.
14. Sasano, D., Y. Takatani, N. Kosugi, T. Nakano, T. Midorikawa and M. Ishii, 2013: Oxygen Decrease with Bidecadal Oscillations in the Northwestern Pacific, the 9th International Carbon Dioxide Conference, Beijing, China.
15. Sasano, D., M. Ishii, N. Kosugi, A. Murata, H. Uchida, S. Toyoda, K. Yamada, K. Kudo, N. Yoshida and H. Y. Inoue, 2013: The hotspots of high CH_4 and their relations with CO_2 in the surface seawater in the western Arctic Ocean, the 9th International Carbon Dioxide Conference, Beijing, China.
16. Suzuki, T., Ishii, M., Ono, T., Kawano, T., Wakita, M., Miller, L. A.; Murata, A., Sasaki, K., Christian, J. R., Key, R. M., 2012: PACIFICA: Pacific Ocean Interior Carbon Data Synthesis, 2012 Ocean Sciences Meeting, Salt Lake City, USA.
17. Suzuki, T., M. Ishii, T. Ono, T. Kawano, M. Wakita, L. Miller, A. Murata, K. Sasaki, J. Christian, and R. M. Key, 2012: Comparison with carbon data syntheses in the Pacific Ocean. Third symposium the ocean in a high-CO_2 world, Monterey, USA.

18. Takamura, T., M. Ishii, T. Midorikawa, T. Tokieda, H. Y. Inoue, 2009: Temporal variation of $^{13}C/^{12}C$ and concentration of DIC in the western North Pacific Subtropical Gyre, 8th International Carbon Dioxide Conference, Jena, Germany.
19. Takatani, Y. and M. Ishii, 2012: Hydrographic and hydrochemical time-series observations along 137°E and 165°E sections by the Japan Meteorological Agency (JMA), An international time-series methods workshop, Bermuda.
20. Wada, A., M. F. Cronin, A. J. Sutton, Y. Kawai, and M. Ishii, 2012: Numerical simulations of interactions between Typhoon Choi-wan (0914) and the ocean, AGU 2012 Fall Meeting, San Francisco, USA.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：12 件

1. 井上幸樹, 鈴木莉紗, 崎啓人, 松下幼奈, 和田茂樹, 石井雅男, 笹野大輔, 小杉如央, 濱健夫, 2013: 海洋酸性化が沿岸植物プランクトン群集に及ぼす影響 2.群集組成, 2013 年度日本海洋学会秋季大会.
2. 小嶋惇, 飯田洋介, 延与和敬, 中野俊也, 笹野大輔, 小杉如央, 石井雅男, 緑川 貴, 2012: 気象庁表面海水中二酸化炭素分圧推定値を基にした 1985 年から 2010 年までの pH および Ωarg の分布, 2012 年度日本海洋学会秋季大会.
3. 桑田晃, 田所和明, 高野宏之, 緑川 貴, 2009: 親潮・黒潮親潮移行域におけるプランクトン珪藻群集の季節変動と長期変動, 2009 年度日本海洋学会春季大会.
4. 笹野大輔, 緑川 貴, 石井雅男, 小杉如央, 橋田 元, 吉川久幸, 2010：南大洋における pCO_2 および pO_2 の関係性, 第 1 回極域科学シンポジウム.
5. 佐藤憲一郎, 青山道夫, Susan Becker, 2010: Results of stability test of RMNS for 6 years and improve comparability of nutrients data, 海洋理工学会平成 22 年度春季大会.
6. 高谷祐介, 笹野大輔, 神谷ひとみ, 北川隆洋, 中野俊也, 時枝隆之, 緑川貴, 石井雅男, 2009: 東経137 度線亜熱帯域での低酸素化とその要因, 2009年度日本海洋学会春季大会.
7. 髙谷祐介, 笹野大輔, 中野俊也, 緑川 貴, 石井雅男, 2012: 東経 137 度線亜熱帯域での低酸素化とその要因, 2012 年度日本海洋学会春季大会.
8. 濱健夫, 鈴木莉紗, 井上幸樹, 松下幼菜, 柏崎啓人, 和田茂樹, 笹野大輔, 石井雅男, 小杉如央, 2013: 海洋酸性化が沿岸植物プランクトン群集に及ぼす影響 1. 光合成生産, 2013年度日本海洋学会秋季大会.
9. 松下幼奈, 和田茂樹, 石井雅男, 笹野大輔, 小杉如央, 濱健夫, 2013: 下田沖における炭酸系の季節変動とその支配要因, 2013年度日本海洋学会秋季大会.
10. 本井達夫, 笹井義一, 石井雅男, 緑川貴, 2009：南極ウェッデルポリニアでの海洋深層二酸化炭素の大気への冬季放出, 2009年度日本海洋学会春季大会.
11. 本井達夫, 笹井義一, 石井雅男, 緑川貴, 2009：南極ウェッデルポリニアでの海洋深層二酸化炭素の大気への冬季放出, 第7回環境研究機関連絡会成果発表会.
12. 和田章義, 緑川 貴, 石井雅男, 新野 宏, 2010: 台風 Hai-Tang(2005)通過時の CO_2 フラックスと pH の変化.日本気象学会 2010 年度秋季大会.

気候モデルによる気候変動メカニズム解明に関する研究

研 究 期 間：平成 22 年度～平成 25 年度
研究代表者：楠　昌司（気候研究部第一研究室長）

課題構成及び研究担当者：
副課題１：大気モデルの高度化に関する研究
小畑　淳、川合秀明[1)]、水田　亮、吉村　純、上口賢治、遠藤洋和、藪　将吉、保坂征宏、足立恭将、新藤永樹、村上茂教[2)]（気象大学校）
副課題２：気候変動メカニズム解明に関する研究
楠　昌司、小畑　淳、吉田康平[3)]、吉村　純、上口賢治、水田　亮、遠藤洋和、村上茂教[2)]（気象大学校）、鬼頭昭雄[4)]（客員研究員）

研究の目的
気候モデルを高解像度化および高精度化して精度を向上する。その気候モデルを用いて古気候実験、過去再現実験などを実行して気候変動のメカニズムを解明する。

研究の動機・背景
副課題１　大気モデルの高度化に関する研究
信頼性の高い気候変動予測のためには、気候モデルの主要部分である大気モデルの高解像度化及び諸過程の改良を行ってモデルの精度を向上させる必要がある。

副課題２　気候変動メカニズム解明に関する研究
副課題１で高度化されたモデルを用いて過去再現実験や古気候実験を行い、その気候変動のメカニズムを解明して温暖化を始めとする気候変動の予測に科学的基礎として役立てる必要がある。

研究の成果の到達目標
副課題１　大気モデルの高度化に関する研究
大気モデルを構成する陸面、降水、炭素循環、海氷、エアロゾルなどに関する物理過程を改良する。それらを大気モデルに組み込んで大気モデルの精度評価を行う。さらに大気モデルの高解像度化も行う。改良した大気モデルを温暖化特研で開発している地球システムモデルに提供する。

副課題２　気候変動メカニズム解明に関する研究
改良した大気モデル、大気海洋結合モデル、地球システムモデルを用いて、古気候実験、過去再現実験、境界条件や物理過程の影響を調べる実験などを行い、気候変動のメカニズムや気候変動の予測可能性を研究する。

研究結果
（成果の概要）
大気モデルの高解像度化、および下層雲のパラメタリゼーションの精緻化などによる物理過程の改良により、大気モデルの高度化を行った。
全球大気エネルギーサイクルの局所的様相を解析するための新スキームを考案し、古気候モデル実験結果の解析に適用して平均場と擾乱場の相互作用を理論的に明らかにした。
地球システムモデルを用いた古気候実験や温暖化予測における感度実験を行い、特に炭素循環が関与する部分の気候変動メカニズムを解明した。また、20 世紀気候再現実験を行い、広域平均の長期変動が再現されていることを確認した。

[1)]平成 23 年度～平成 25 年度、[2)]平成 22 年度～平成 23 年度、[3)]平成 24 年度～平成 25 年度、[4)]平成 22 年度～平成 24 年度

完新世中期、最終氷期最盛期、過去千年の各種古気候実験を完了し、結合モデル相互比較(CMIP5)データとして公開した。

(副課題ごとの研究成果)

副課題１　大気モデルの高度化に関する研究

① 大気海洋結合モデル(MRI-CGCM3)の大気部分を高解像度(TL319, 60km)にした。

② 海洋性境界層雲の高度なパラメタリゼーションを開発するため、雲観測衛星(CloudSat, CALIPSO)のデータを用いて、モデル格子内の雲水の確率密度分布の関数形や、雲水の格子内不均一性に伴う放射スキームや降水パラメタリゼーションへの影響を詳細に調査し、これらを境界層の安定度ごとに定量的に見積ることに成功し、論文として発表した。(Kawai and Teixeira 2012 J.Climate)

③ 気候変動シミュレーションにおける不確定性の大きな原因となっている海洋性境界層雲の雲

④ フィードバックのメカニズムを解明するため、雲フィードバックに関するモデル相互比較(CFMIP-GCSS)の事例を用いて、鉛直１次元モデル数値実験を多数行い、得られた結果を論文として発表した。(Kawai 2012 SOLA)

⑤ 大気モデルの鉛直層の層配分を決定する方法に関する公式レポートを作成し、WMO に提出した。本庁数値予報課はこの方法を用いて現業 GSM の鉛直層を 60 層から 100 層へ増強する予定である。これに関連して、気象研大気モデルでは層増加による大気境界層の高解像度化が下層雲の鉛直構造の再現性を向上させることを確認した。

⑥ 中高緯度の下層雲の高度なパラメタリゼーションを開発するため、雲観測衛星データと再解析データを用い、大気状態・気象要素と下層雲・霧の関係をその詳細な鉛直構造について全球規模で調査した。その結果、従来重視されてきた温位プロファイルのみではなく、湿度プロファイルが、中高緯度の下層雲の形成・維持に重要である可能性が示唆された。

⑦ 雲観測衛星から得られる正確な雲の雲頂高度データを用い、モデルにおける中緯度の海洋下層雲の鉛直構造を検証した。特に、再現性の悪い南大洋の夏季の海洋下層雲の鉛直構造を理解するため、その地理的分布や、北太平洋中緯度の下層雲の鉛直構造との違い、季節による違いなども比較し、モデルがどのような状況の雲を表現出来ていないかを明らかにした。

⑧ 現在の大気モデル(MRI-AGCM3)では、季節内振動(MJO)のシグナルが弱いため、MJO を再現出来るような積雲対流スキームの調整を行った。具体的には、大気中の水物質の滞留時間を延ばすように、積雲から出る水物質を大規模凝結過程にできるだけ渡し、雲スキームによって降水を作るような調整である。この方法により、積雲スキームの種類によらずに、MJO のシグナルを強める事が出来た。

⑨ 熱帯対流圏界層は成層圏への熱・運動量・物質の輸送を通じて気候に影響を及ぼすが、同領域の気温のモデルによる再現性は世界各国で不十分である。その原因を気象研大気モデルと CMIP5 データを用いて調査した。その結果、同領域の上昇流(による冷却)の強/弱と気温の低さ/高さが対応した形でモデルの短所が判明した（気象研は、上昇流：弱、気温：高)。この知見を今後のモデルの改良に役立てる予定である。

⑩ CMIP5 データ提出時、地球システムモデルの陸域植生の純一次生産量（大気からの二酸化炭素吸収量）はモデル全体の調整時間不足のため若干過大傾向であった。そこで、陸域生態系炭素循環モデル部分の各種生物係数の調整（植生死亡率の増加など）を行い、生産量を改善した。

副課題２　気候変動メカニズム解明に関する研究

① ローレンツが提唱した全球のエネルギーサイクルの局所的様相を解析するための新しいスキームを考案した。更に、東大大気海洋研 MIROC モデルによる第 2 次古気候モデル相互比較(PMIP2)最終氷期最盛期実験結果について、その新スキームを準地衡風近似方程式系に適用して局所エネルギー相互作用の解析を行い、局所 Eliassen-Palm フラックスと相互作用エネルギーフラックスの関係を理論的に明らかにした。以上の成果を論文として発表した。(Murakami et al. 2011 J.Atmos.Sci.) (Murakami 2011 J.Atmos.Sci.)

② 地球システムモデルの一部である気候炭素循環モデルを用いて暁-始新世高温期の大気メタン

急増に関連する実験を行った。その結果、メタンの激しい温室効果により全球で 6℃以上の高温化が再現され、高温化で植物の呼吸が増加して生産が減少することにより陸域生態系の炭素量が低中緯度を中心として全球で 3 割も減ることが分かった。これらの環境激変と生態系への影響は 21 世紀温暖化予測を凌駕するものであり、結果を論文として発表した。(Obata and Shibata 2012 J.Climate)

③ 気候炭素循環モデルに化石燃料消費二酸化炭素排出量を与えた 2100 年までの実験における炭素循環の効果を評価した。炭素循環を気候の温暖化と結合した実験は結合しない実験に比べ、特に土壌有機炭素の微生物による呼吸分解が活発化することで、大気二酸化炭素増加が 10%以上増えて温暖化を加速させる事が分かった。この結果は既存の各国研究機関のモデルと一致しており、将来予測における気候炭素循環相互作用の重要性が改めて認識された。

④ 巨大火山噴火による環境変動を解明するため、地球システムモデルを用いてクラカタウ(1883 年)やその 100 倍規模のトバ(約 7.4 万年前)火山噴火を対象とした成層圏二酸化硫黄放出の実験を行った。その結果、生成された硫酸エアロゾル粒子による日射減少・気温低下・植物生産減少などの変動は、クラカタウについては全球で数%以下の小さな規模であった。一方、トバについては、日射激減(-75%)による激しい寒冷乾燥化(気温 10℃以上低下、降水量 80%減少)とそれに伴う陸域生態系の激しい衰退(植生 50%以上減少)が見られ、生態系への破滅的な影響が示唆された。

⑤ 完新世中期(6000 年前)、最終氷期最盛期(21000 年前)、過去千年(西暦 850-1850 年)の各種古気候実験を完了し、CMIP5 データとして公開した。

⑥ MRI-CGCM3 の低解像度版大気モデル(TL95, 180km)による 20 世紀再現実験(1872-2003 年, 132 年間)を完了した。このモデルはエアロゾルモデルが組み込まれており、エアロゾル-大気相互作用が表現出来る。実験結果の陸域年平均地上気温の解析によると、モデルは全球平均の気温の変動を良く再現していたが、1880～1890 年代で過大、1990 年代で過小である。北半球平均は全球と同様な傾向がある。南半球平均でもモデルの再現性が良いが、1890 年代で過大である。熱帯平均でもモデルの再現性は良い。熱帯平均では年々変動が特に良く再現されているが、これは海面水温の観測値を与えている海洋の面積が大きいためである。

⑦ MRI-CGCM3 の高解像度版大気モデル(TL319, 60km)を用いてエアロゾルと大気との相互作用の効果を調べた。エアロゾルモデルが組み込まれた基準実験では、エアロゾルの排出量から濃度を計算して、エアロゾルによる直接効果と間接効果を表現している。エアロゾルと大気との相互作用を切った実験では、エアロゾルの濃度を直接与えた。両者共に海面水温の観測値を与え、1979～2003 年の 25 年間積分した。夏季の東アジアの降水量の再現性は 2 つの実験共に概ね良好であるが、フィリピン海域で降水量が過剰である。2 つの実験の降水量の差からエアロゾルと大気との相互作用の効果を見積もったところ、中国大陸で降水量が増えることが分かった。冬季についても同様な傾向がある。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

東日本大震災の影響による電力不足からスーパーコンピューターの運用が制限されている。このため、結合モデルによる数十年変動予測可能性アンサンブル実験、および完新世中期、最終氷期最盛期に関する山岳の感度実験は完了していない。しかし、解析用の道具の開発や既存の実験データを用いた基礎的な気候変動の解析は行うことが出来た。

成果の他の研究への波及状況

モデルの高解像度化や物理過程などの改良は、温暖化特研、創生プログラムでのモデルによる研究に貢献している。

今後の課題

上記（当初計画からの変更点）に記した様に、数十年変動予測可能性アンサンブル実験や山岳の古気候感度実験は未達成である。これら未達成の実験とその解析は、今後の研究課題で実施して気候変動予測の精度向上・不確実性低減に役立てる必要がある。

自己点検

（1）到達目標に対する達成度

大気モデルの高度化については、予定通り高解像度化を行い、下層雲の表現の精緻化・積雲対流改良による季節内振動の再現性向上・植物生産の改良など諸過程の改良も概ね達成した。

気候変動メカニズム解明については、理論分野ではエネルギーサイクルに関する新しい知見を提示出来た事が目標以上の大きな成果であった。実験分野では、電力不足からスーパーコンピューターの運用が制限されているにも関わらず、主な過去再現実験・古気候実験とその解析を行い、目標をある程度達成した。

（2）研究手法及び到達目標の設定の妥当性

モデルが含む大循環やその他の諸過程について、各国研究機関の中でも最先端に位置する気象研のモデルを更に改良しつつ、気候変動に関する実験も同時に行う本課題の手法と目標は、気象業務と地球科学に貢献する上記の各成果を生み出したことで、妥当であったと認められる。

（3）成果の施策への活用・学術的意義

本課題で得られた気候変動メカニズムの理解は、地球温暖化時の気候変化の原因を究明するために必要な基礎知識となり、温暖化防止の施策を決定する場合に、予測の科学的な信頼性を与えるものである。CMIP５に提出した古気候実験は、今後の IPCC 報告書に貢献することが期待される。また、英文査読誌に発表した物理過程改良、古気候実験、炭素循環に関する論文は、気象研究、気候変動研究の分野での国際的な貢献となっている。

（4）総合評価

気候変動は本来、物理のみならず化学・生物など多くの要素が複雑に関係するものであり、その時空間規模も多岐にわたる。従って、本課題の成果の集合だけでは気候変動の総合的理解に十分とは言えない。しかし、現在未解明ながら重要と考えられる雲や炭素循環など各要素の気候に及ぼす効果、また、気候の状態を記述するエネルギーサイクルについて、理論やモデル実験を通じて新たな知見を示した事は、今後の気候変動研究への大きな貢献（著名な米気象学会誌に筆頭著者論文として４編掲載）であり、高く評価される。

気象研究所評価委員会による終了時評価

１．総合評価

研究を実施した意義はあった。

２．総合所見

本研究は、気候モデルの開発と気候変動メカニズムの解明の２本立ての研究課題となっているが、この両者の研究内容の関連、相互のフィードバックが明確でなかった。また、モデルの高度化により、気候モデルとしての過去～現在気候の再現性、予測可能性の向上の程度、世界の主要気候モデルの中での位置づけや総括も十分とは言い難い。

一方で、過去再現実験についての報道発表については、積極的に取組み、気象研究所のプレゼンスを示すことが出来た点や、本研究が、気候モデルの改良を通して地球温暖化予測などに貢献した面は評価できる。

査読論文は、9 編（うち 4 編が国際誌での主著者原著論文）となっており、課題担当者の数に比べ少ない状況であったことから、更に積極的な取組みをお願いする。

本研究では、十分な進捗が認められない点があった。具体的には、大気モデルの高度化に関する研究において、改良点が海洋性境界層雲のパラメタリゼーション等に限られた点や、当初計画していた気候実験の一部が、東日本大震災の影響によるスパコン運用制限もあったとはいえ、完了しなかった点を挙げることができる。

今後は、気候変動メカニズム解明に関して、国際比較実験へ参加することで得られた点は何かをしっかりと検証し、気候モデルの高度化に資する研究としての発展を期待する。

成果発表一覧

査読論文 ：9 件

1. Murakami, S., R. Ohgaito, and A. Abe-Ouchi, 2011: Atmospheric local energetics and energy interactions between mean and eddy fields. Part II: An example for the Last Glacial Maximum climate. J. Atmos. Sci., 68, 533-552.
2. Murakami, S., 2011: Atmospheric local energetics and energy interactions between mean and eddy fields. Part I: Theory. J. Atmos. Sci., 68, 760-768.
3. Kawai, H., and J. Teixeira, 2012: Probability density functions of liquid water path and total water content of marine boundary layer clouds: Implications for cloud parameterization. J. Climate, 25, 2162-2177.
4. Kawai, H., 2012: Examples of mechanisms for negative cloud feedback of stratocumulus and stratus in cloud parameterizations. SOLA, 8, 150-154.
5. Obata, A., and K. Shibata, 2012: Damage of land biosphere due to intense warming by 1000-fold rapid increase in atmospheric methane: Estimation with a climate-carbon cycle model. J. Climate, 25, 8524-8541.
6. Sperber, K.R., H. Annamalai, I.-S. Kang, A. Kitoh, A. Moise, A.G. Turner, B. Wang and T. Zhou, 2012: The Asian summer monsoon: An intercomparison of CMIP5 vs. CMIP3 simulations of the late 20th century. Climate Dynamics, DOI:10.1007/S00382-012-1607-6.
7. Abe, M., M. Hori, T. Yasunari, and A. Kitoh, 2013: Effects of the Tibetan Plateau on the onset of the summer monsoon in South Asia: The role of the air-sea interaction. J. Geophys. Res. Atmos., 118, 1760-1776, doi:10.1002/jgrd.50210.
8. Lee, S.-S., J.-Y. Lee, K.-J. Ha, B. Wang, A. Kitoh, Y. Kajikawa, and M. Abe, 2013: Role of the Tibetan Plateau on the annual variation of mean atmospheric circulation and storm-track activity. J. Climate, 26, 5270-5286.
9. Zhang, M., H. Kawai, et al., 2014: CGILS: Results from the first phase of an international project to understand the physical mechanisms of low cloud feedbacks in single column models. J. Adv. Model. Earth Syst., in press.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：3 編

1. Kawai, H., 2012: Results of ASTEX and Composite model intercomparison cases using two versions of JMA-GSM SCM. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling/WMO, 42, 0411-0412.
2. Kawai, H., 2012: Mechanisms of negative cloud radiative feedback of stratocumulus and stratus in JMA-GSM SCM. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling/WMO, 42, 0707-0708.
3. Kawai, H., H. Yonehara, and M. Ujiie, 2013: Vertical layer placement in the Eta Coordinate for models with a high model top. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling/WMO, 43, 0303-0304.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：6 件

1. Kawai, H., 2011: Results of CGILS, ASTEX, and Composite cases using JMA-GSM SCM. CFMIP/GCSS/EUCLIPSE Meeting on Cloud Processes and Climate Feedbacks, June 2011, Exeter, UK.
2. Kawai, H., S. Yabu, and Y. Hagihara, 2012: Characteristics of vertical structures of marine boundary layer clouds over mid-latitudes. Joint EUCLIPSE - CFMIP meeting, 29 May-1 June 2012, Paris, France.
3. Kawai, H., 2012: Sub-grid scale inhomogeneity effect of marine boundary layer clouds on precipitation and radiation processes depending on the atmospheric boundary layer stability. Workshop: The Physics of Weather and Climate Models, March 2012, パサデナ, USA.
4. Kawai, H., S. Yabu, and Y. Hagihara, 2012: Vertical structures of marine boundary layer clouds over mid-latitudes. --- Southern Ocean and Northern Pacific in summer ---. 2012 AGU Fall Meeting, 3-7 December 2012, San Francisco, CA, USA.
5. Sperber, K.R., H. Annamalai, I.-S. Kang, A. Kitoh, A.F. Moise, A.G. Turner, B. Wang, and T.

Zhou 2012: The Asian summer monsoon: An intercomparison of CMIP5 vs. CMIP3 simulations of the late 20th century. 2012 AGU Fall Meeting, 3-7 December 2012, San Francisco, CA, USA. [GC33G-04]

6. Yoshida, K., and R. Mizuta, 2013: Future changes and uncertainties in the tropical tropopause layer by multiphysics and multi-SST ensemble experiments with MRI-AGCM3.2. China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology, 25 October 2013, Nanjing, China.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：19 件

1. 村上茂教, 2010: 氷期気候系における局所エネルギー収支とエネルギー流束. 日本気象学会 2010 年度春季大会, 2010 年 5 月 23～26 日, 国立オリンピック記念青少年総合センター.
2. 村上茂教, 2010;氷期気候系における局所エネルギー収支. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 23～28 日, 幕張メッセ国際会議場.
3. 村上茂教, 2010: 氷期気候系における局所エネルギー収支－その季節性－. 日本気象学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月 27～29 日, 京都テルサ.
4. 村上茂教, 2010: 氷期気候系における局所エネルギー相互作用. 第 33 回極域気水圏シンポジウム, 2010 年 11 月 30 日～12 月 1 日, 国立極地研究所.
5. 小畑淳, 2010: 大気メタン急激増加に対する気候炭素循環モデルの応答－各種感度実験－. 日本気象学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月 29 日, 京都テルサ.
6. 村上茂教, 2011: エネルギーサイクル再考. 日本気象学会 2011 年春季大会, 2011 年 5 月, 東京都渋谷区.
7. 川合秀明, 2011: 海洋性境界層雲の層積雲から浅い対流への遷移. 日本気象学会 2011 年春季大会, 2011 年 5 月, 東京都渋谷区.
8. 村上茂教, 2011: Atmospheric local energetics in mid-Holocene and Last Glacial Maximum climates. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 千葉市.
9. 川合秀明, 2011: 世界の海域における多様な下層雲とその大気構造-見えてくるオホーツク海の下層雲の特徴-. 第 4 回ヤマセ研究会, 2011 年 9 月, 青森県弘前市.
10. 川合秀明, 2011: 中高緯度の海洋下層雲. 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 11 月, 名古屋市.
11. 村上茂教, 2011: エネルギー論再考-第 2 報-. 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 11 月, 名古屋市.
12. 小畑淳, 2011: 温暖化時の気候炭素循環変動に及ぼす植生枯死の影響. 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 11 月, 名古屋市.
13. 川合秀明, 2012: 中高緯度の海上下層雲の鉛直構造、海上霧の発生頻度、及びそれらと大気状態との関係. 第 5 回ヤマセ研究会, 2012 年 3 月, 宮城県仙台市.
14. 小畑淳, 2012: クラカタウ火山噴火が引き起こす気候炭素循環変動－気象研地球システムモデルによる解析－. 日本気象学会 2012 年度春季大会, 2012 年 5 月 28 日, つくば国際会議場.
15. 川合秀明, 2012: 夏の中高緯度海上には、なぜ下層雲が多いのか？. 第 6 回ヤマセ研究会, 2012 年 9 月 24-25 日, 岩手県盛岡市.
16. 川合秀明, 2012: 下層安定度によって異なる、降水過程・放射過程における雲水の非一様性効果. 日本気象学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 10 月 3-5 日, 札幌.
17. 川合秀明, 2012: 中緯度の海洋下層雲の鉛直構造－夏の南大洋と北太平洋における地理的特徴－. 日本気象学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 10 月 3-5 日, 札幌.
18. 小畑淳, 2013: 巨大火山噴火が引き起こす気候炭素循環変動－気象研地球システムモデルによる解析－. 日本気象学会 2013 年度春季大会, 2013 年 5 月 18 日, 東京都渋谷区.
19. 川合秀明, 藪将吉, 2013: モデルにおける中緯度海洋下層雲の鉛直構造の検証. 日本気象学会 2013 年度秋季大会, 2013 年 11 月 20 日, 仙台市.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：6 件

1. Murakami, S., R. Ohgaito, and A. Abe-Ouchi, 2010; Atmospheric Energetics in Glacial Climate, 2010 PAGES Regional Workshop in Japan, Jun. 5th to 6th 2010, Nagoya University Noyori Conference Hall, Nagoya, Japan.

2. Murakami, S., R. Ohgaito, A. Abe-Ouchi, and A. Kitoh, 2010; Atmospheric Local Energetics in mid-Holocene and LGM Climates, PMIP3 Kyoto Workshop. Dec. 5th to 10th 2010, Kyoto Garden Palace, Kyoto, Japan.
3. Kamae, Y., H. Ueda and A. Kitoh, 2010:Wetter subtropics and Hadley/Walker circulation in Mid-Pliocene simulated by an atmospheric general circulation model. PMIP3 Kyoto Workshop. Dec. 5th to 10th 2010, Kyoto Garden Palace, Kyoto, Japan.
4. Kitoh, A., 2010: PMIP3 Simulations at MRI. PMIP3 Kyoto Workshop. Dec. 5th to 10th 2010, Kyoto Garden Palace, Kyoto, Japan.
5. Kawai, H., S. Yabu, and Y. Hagihara, 2013: Evaluation of vertical structures of marine boundary layer clouds over mid-latitudes. --- Southern Ocean and Northern Pacific in summer ---. 4th WGNE workshop on systematic errors in weather and climate models, 15-19 April 2013, Exeter, UK.
6. Kawai, H., S. Yukimoto, T. Koshiro, T. Ose, and T. Tanaka, 2013: Characteristics of clouds and aerosol indirect effects in the MRI-CGCM3. 2013 AGU Fall Meeting, 9-13 December 2013, San Francisco, CA, USA.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：5 件

1. 小畑淳, 2010: 気候変動に及ぼす炭素循環の影響－将来百年予測について－. 第 8 回環境研究シンポジウム, 平成 22 年 11 月 17 日, 一橋記念講堂.
2. 川合秀明, 2012: 中高緯度の海洋下層雲の鉛直構造及び気象要素との関係. 日本気象学会 2012 年度春季大会, 2012 年 5 月 26-29 日, つくば国際会議場.
3. 保坂征宏, 2013: 陸面モデル HAL とその開発. 気水圏シンポジウム, 平成 25 年 11 月 12 日, 極地研, 東京都立川市.
4. 足立恭将, 小畑淳, 2013: 火山噴火規模の環境変動への影響. 日本気象学会 2013 年度秋季大会, 2013 年 11 月 19 日, 仙台市.
5. 吉田康平, 水田亮, 2013: マルチ対流スキーム・SST アンサンブル実験による熱帯対流圏界層の不確実性評価. 日本気象学会 2013 年度秋季大会, 2013 年 11 月 21 日, 仙台市.

地上観測による大気要素の放射収支への影響の実態解明

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：内山明博（気候研究部第三研究室長）

課題構成及び研究担当者：
副課題１：雲・エーロゾルの監視と放射影響の実態解明に関する研究
内山明博、山崎明宏、上澤大作[1)]、坂見智法[2)]、工藤玲（気候研究部）、五十嵐康人[1)]、財前祐二[1)]（環境・応用気象研究部）、増田一彦[1)]、石元裕史[1)]（気象衛星・観測システム研究部）
副課題２：エーロゾルの光学特性の測定とモデル化に関する研究
内山明博、山崎明宏、上澤大作[1)]、坂見智法[2)]、工藤　玲（気候研究部）、五十嵐康人、財前祐二、高橋宙[3)]（環境・応用気象研究部）、増田一彦、石元裕史（気象衛星・観測システム研究部）

研究の目的
気候変動、大気環境の監視技術を高度化する要請に応え、雲やエーロゾルの影響を精密に把握するため、気象現業機関で実施されている放射観測を高度化する上で必要な基盤技術の開発を行うとともに、雲・エーロゾルの放射影響の実態を把握することを目的とする。

研究の動機・背景
気候変動、大気環境の監視技術を高度化する要請に応え、雲やエーロゾルの影響を精密に把握するため、気象現業機関で実施されている放射観測を高度化する上で必要な基盤技術の開発を行うとともに、雲・エーロゾルの放射影響の実態を把握することを目的とする。

研究の成果の到達目標
気候変動や大気環境の監視を高度化させる要求に応えるためには、スカイラジオメーター、分光日射計などによる放射観測をより精密にするための技術開発を行う。
気候変動や大気環境の監視、気候モデルでの放射加熱・冷却の評価、エーロゾルリモートセンシングの高度化に不可欠であるエーロゾルの１次散乱特性の理解を深める。

副課題１　雲・エーロゾルの監視と放射影響の実態解明に関する研究
気候変動や大気環境の監視の高度化と実態把握のために次の項目について実施する。
① 観測精度向上のための研究
② 測定データの解析ソフトウェアの開発・改良
③ 雲・エーロゾル特性、放射影響の変動特性の実態把握

副課題２　エーロゾルの光学特性の測定とモデル化に関する研究
エーロゾル特性を地上で測定し、光学特性を理解することにより、副課題１の更なる高度化を進めるため、次の項目について実施する。
① エーロゾル光学特性測定法の改良
② エーロゾルの基礎物理・化学量の測定と実態把握
③ エーロゾル光学特性の観測値と計算値の比較によるモデル化

研究結果
（成果の概要）
放射計を主体とした連続観測を複数の観測点で継続して行うことで、エーロゾル特性の変動特性、地域特性を調べることができるデータを蓄積することができた。

[1)]平成 24 年度～平成 25 年度、[2)]平成 21 年度～平成 23 年度、[3)]平成 21 年度

観測機器の一つであるスカイラジオメーターに関しては、校正技術をほぼ確立した。また、そのデータ解析プログラムに関しては、エーロゾル特性の推定法を大きく改良した。それにより、エーロゾルの放射影響の評価が可能になった。更に、水蒸気チャンネルからの水蒸気量の推定、雲物理量推定のための基礎的研究、スカイラジオメーターとライダーの複合利用などについて研究が進んだ。

スカイラジメーターからの雲パラメーターの推定に関しては、模擬実験を行い、その後実データに適用したが、今後、複数の手段による検証が必要である。

分光観測に関しては、直達分光日射計(0.3～2.5μm)の校正法も確立しており、今後、全天日射計タイプのものへの拡張が可能である。

気象庁が長年観測してきた広帯域日射計（通常の日射計）の直達成分と散乱成分を利用した解析法を開発し、エーロゾルの量(光学的厚さ)と、その質（一次散乱アルベド）の影響を評価できるようにし、Global Dimming/Brightening の解明に繋がった。また、その長期間のエーロゾル特性データを大気境界層モデルに組込、その影響評価を行った。

エーロゾルの光学特性の直接測定データの蓄積も図り、新たにそのデータの解析法を開発した。それにより、光学特性の長期変動、地域特性を監視可能にした。解析結果は、放射計データの解析結果と概ね一致しており、放射計観測の結果を保証するものであった。

エーロゾル光学特性の理解を進めるためにエーロゾル光学特性の測定法の改良、電子顕微鏡による基礎物理・化学量の測定、それに基づく一次散乱特性のモデル化を行った。エーロゾル光学特性の測定では、エーロゾルによる散乱光の角度分布を測定できるネフェロメーターを開発し、散乱係数測定を高度化した。電子顕微鏡による粒子形状データや他の課題による氷粒子形状データを基に粒子形状をモデル化し、それに基づいて、一次散乱量を複数の計算手法（FDTD,GOM2,GOM）を組み合わせて可視域～赤外域の波長範囲で広い粒径サイズについて計算し、データベース化をすすめることができた。このデータベースは、本課題のみならず、RSTAR などよく知られた放射計算コードに組み込まれ衛星リモートセンシング分野などで利用されている。

(副課題ごとの研究成果)

副課題１　雲・エーロゾルの監視と放射影響の実態解明に関する研究

①　観測精度向上のための研究

ア）データ公開関連

・各種観測データを図示化し、WEB 上で閲覧するシステムを構築した。これにより、観測値の監視、過去データのチェックが容易になり、且つ、公開しやすくなった。

イ）pom-02 校正

・スカイラジメーター（POM-02）の特性を調べ、検定法をほぼ確立した。温度特性の考慮、Langley 法の精度、Improved Langley と通常 Langley 法の比較、拡散光の利用法等について調査を行った。

・マウナ･ロア観測所で取得したデータによる Langley 法による検定定数の精度は､波長 380nm 未満で 0.5～0.9%、400nm 以上で 0.2～0.4%であった。直達光の比較による他の放射計への転写は、0.2%以下のバラツキであった。

・スカイラジオメーターの温度特性（-20℃から 40℃）を調べた結果、最大で 10%程度の影響が出る可能性があることが分かった。温度依存を考慮して検定定数の季節変化を調べたが、その影響は小さかった。

・準器スカイラジオメーターとつくば設置スカイラジオメーターとの通年比較を実施し、比較転写による検定定数と Improved Langley 法による検定定数の比較を行った。その結果、1%以下（ｔ検定、有意水準 5%）の差で有意ではなかった。

・雲からの均一な拡散光を利用した検定定数の転写法が可能で有ることが分かった（人工光源を利用した方法を試験中）。

・スカイラジオメーターの検定定数が既知のチャンネルから他のチャンネルの検定定数を推定する方法を開発した。センサー出力の自己チェックにも使える。

ウ）画像型放射計

・画像センサーを用いた太陽周辺光の測定に関する基礎実験を行い、CCD センサーでは、問題

が多く、CMOS センサーで、太陽光と周辺光を同時に測定可能であることを確認した。
・ CMOS カメラは、画素間隔角度（約 0.09 度）、感度むらを決定後、500nm（半値全幅 10nm）の干渉フィルターつけて測定し、スカイラジメーターとの比較を行った。その結果、直達光と散乱光の同時測定が可能であることが分かったが、散乱角が大きいところでスカイラジメーターより出力が系統的に高かった。
・ CCD カメラによる測定は、スミア現象を除くため減光フィルターを取り付けた測定をおこなったが、CMOS カメラほどの精度は得られなかった。

② 測定データの解析ソフトウェアの開発・改良

ア）POM-02 解析プリグラム・非球形
・ 研究室で開発したスカイラジメーターのデータ解析プログラムに非球形粒子の効果を入れ、結果を論文め、投稿し、掲載された。
・ 研究室で開発したプログラムと従来から使われているプログラム(SkyRad.pack ver4.2)の結果を比較したところ、SkyRad.pack ver4.2 で一次散乱アルベドが大きくなる傾向が改善された。

イ）POM-02 水蒸気
・ スカイラジメーターの水蒸気チャンネル(中心波長 940nm)の校正法を開発し、推定された透過率から水蒸気量を推定する方法を開発した。精度は±0.1g/cm^2 程度である。これにより 1225,1627,2200nm チャンネルの水蒸気補正が可能になり、また、CO_2 等の影響も考慮し、これらの波長のエーロゾル光学的厚さも推定可能になった。結果をまとめて論文として投稿した（査読中）。

ウ）広帯域データ
・ 数十年の長期的なエーロゾルの変動と放射への影響を調べるために、広帯域日射計データを用いてエーロゾルの光学特性を推定する方法を開発した。推定精度は、光学的厚さが 0.03、一次散乱アルベドが 0.05 程度であり、十分に実用可能な精度であった。これにより、気象庁が 1970 年代から測定して来たデータの解析が可能になった。

エ）散乱・吸収係数の直接測定
・ 多波長の散乱係数と吸収係数の直接測定データを補正し、解析する手法を開発し、これらのデータからエーロゾルの一次散乱量を推定できるようにした。これにより、地上に限られるがエーロゾルの光学特性の変動を直接監視できるようになった。OPAC のモデルで模擬実験を行い誤差評価を行ったところ、一次散乱アルベドを誤差 0.005 以下で推定できた。結果をまとめて投稿した（査読中）。

オ）相関 k 分布
・ 新しい吸収線パラメーター（HITRAN2008）に基づき、相関 k-分布を作成し直した。また、過去に作成された赤外放射計算コードを見直し、いくつかのバグの修正をした。更新前後で比べると、赤外域の上方・下方フラックスともにほとんど差はない。しかし、冷却率で比べると、高度 45km 付近で値が小さくなった。

カ）エーロゾルの影響評価
・ エーロゾルがもたらす放射場の変化により、大気境界層の物理過程への影響を調べるために、一次元大気境界層モデルに短波・長波放射伝達モデルを組み込んだモデルを作成した。エーロゾルの光学特性に対する感度実験を行った結果、「一次散乱アルベドが小さい（大きい）と、地上気温は上がり（下がり）、また、境界層高度が上がる（下がる）。」という大きなインパクトを持っていることが分かった。

キ）POM-02 雲
・ スカイラジオメーターの観測データから雲物理量の推定を可能にするため、模擬実験を行った。その結果、雲以外の消散大気場（消散・散乱・吸収係数の分布）が重要であり、水蒸気の吸収帯や酸素の Aband, Bband などの吸収帯は大きな情報（情報：チャンネル間の放射輝度の差）をもっていること、光学的厚さの薄い雲は、紫外域から可視域にかけて消散大気場に依存せず、大きな情報をもっていること、地表面放射輝度の水平ベクトル（地表面放射輝度×sin（天頂角））に情報があること、天頂角 55° 付近がもっとも情報をもち天頂角は情

報の増幅に寄与すること、地表面放射輝度比により、モデルの適用可能場（平行平面大気、雲量＝１）か判断できることがわかった。（H21～H23 年度）
・スカイラジメーターで観測される地表面放射輝度から雲の鉛直分布を推定するため、複数の方法を試したが、複数の方法によるアンサンブル平均の精度はおおむねよく、アンサンブルリトリーバル法の可能性が示唆された。（H21～H23 年度）
・推定法の一つであるルックアップテーブルを利用した水雲の光学的厚さと有効半径の推定手法を開発した。スカイラジオメーター1 年分のデータに適用し、マイクロ波放射計による推定値との比較検証を実施した。（H24～H25 年度）

ク）混合相雲
・混合相雲の光学特性を調べるために、科学研究費補助金（基盤研究（B）、北極域の混合相雲の放射・微物理特性の解明研究）で得られた観測値から新たに開発した方法で雲物理量を抽出し、得られた雲の微物理量から光学特性の推定を行った。混合相雲が発達段階に応じて粒形スペクトルを変わること、光学特性には氷水量が最大の時でも水粒子が支配的であることが分かった。結果をまとめて投稿し、掲載された。

ケ）複合センサー利用
・ライダーとスカイラジオメーターを複合利用することで、エーロゾル光学特性の鉛直分布を推定する手法を開発した。つくばのデータを解析したところ、上空を輸送される黄砂の光学特性を大気境界層内のものと区別して得ることができた。
・ライダーとスカイラジオメーターの複合解析に用いた非線形最小二乗法の解法部分を独立してパッケージ化した。このパッケージは、様々な大気分野でのリモートセンシングに応用可能であり、今回、スカイラジオメーターの解析、ラマンライダーの解析に応用し、有効性を示すことができた。

③　雲・エーロゾル特性、放射影響の変動特性の実態把握

ア）連続観測・データ蓄積
・つくば、宮古島、南鳥島、福岡で連続観測データを蓄積し、公開できるようを準備している。宮古島の過去データは GEOSS/SKYNET として公開している。
・SKYRAD.pack(ver4.2)と研究室で開発したプログラムを使用して過去のスカイラジメーターデータの再解析を実施している。

イ）広帯域データ解析
・つくばで過去 36 年に渡って行ってきた日射観測から、エーロゾルの長期変動と地上日射への影響を調べ、その結果を論文としてまとめ投稿・掲載された。
・更に、国内 14 地点の広帯域日射観測データを解析した。過去約 30 年で、日本のエーロゾルの光学的厚さは減少、一次散乱アルベドが増加していることにより、地上日射が増加していることが分かった。また、環境省のエーロゾルの地上サンプリングデータとの比較から、エーロゾル光学特性の変化が、人為起源エーロゾルの排出量の変動と関連していることが分かった。この結果を論文としてまとめ、投稿・掲載された。

ウ）エーロゾル影響評価
・気象庁非静力学モデル内の大気境界層モデルと当研究室の大気放射伝達モデルを組み合わせ、エーロゾルが放射過程を通して大気境界層へ与える影響を調べることが出来る一次元モデルを作成した。このモデルを用いて、つくばでの観測から得られている 1980 年代から 2000 年代にかけてのエーロゾル光学特性の変動に対する感度実験を行った。エーロゾル光学特性の変動は、地表面の熱収支や大気安定度の変化を通して、二酸化炭素の増加による地上気温増加を抑制し、また、大気中の水蒸気量を増加させる方向に働く可能性が示された。

エ）散乱・吸収係数の直接測定
・ネフェロメーター(３波長、2002～2010 年)、PSAP（１波長、2002～2010 年、３波長、2006～2010 年)を解析し、エーロゾルの光学特性の変化傾向を調べた。消散(散乱＋吸収)係数は、僅かに減少する傾向にあること、吸収係数は、冬に大きく夏に小さい季節変化をしながら減少傾向にあること、その結果、一次散乱アルベドは、僅かに増加傾向(吸収の割合が減少)にあることが分かった。また、吸収係数のオングストローム指数（組成に依存する）が増加傾

向にあり、吸収性エーロゾルの組成の変化（構成比率の変化）を示していた。これらの結果は、放射計による解析と概ね対応している。結果をまとめて論文として投稿した（査読中）。

・ 福岡、南鳥島、北京でも同様のデータの取得し、解析を行った。福岡の散乱・吸収係数は、つくばと同程度の大きさである。SSA は、0.85～0.9 であり、季節変化は見られない。南鳥島は散乱・吸収係数ともつくばの十分の一以下の非常に小さい値である。北京の散乱・吸収係数は、冬に大きな値になる傾向があり、つくばの数倍から 10 倍程度である。SSA の値は、0.7～0.95 である。3 年間のデータでしかないが、SSA は、増加傾向にある。季節変化は、不明瞭である。

副課題２　エーロゾルの光学特性の測定とモデル化に関する研究

①　エーロゾル光学特性測定法の改良

・ 加湿・除湿状態の散乱係数を測定するため、ナフィオンチューブを用いた加湿、除湿の実験を行った。加湿は、ナフィオンチューブ内に温水を流すことによって容易に加湿できた。空気を乾燥させるため、加湿と逆にチューブドライヤー(中空糸膜使用)とナフィオンチューブを用いて乾燥を試したが、十分に乾燥できなかった。単純に加熱（50～60℃）した方が、容易に相対湿度を下げられることが分かった。湿度の上限を設定できるネフェロメーターを用いて、連続測定のための試験を実施中である。

・ 科学研究費補助金（基盤研究（B）、高精度エアロゾル光学特性測定法の開発と実証観測）と連携して、角度分解型ネフェロメーターの開発を行った。これにより、極前方及び極後方への散乱光の補正が容易にできるようになり、精度よく散乱係数を測定できることを示すことができた。

・ 更に、科学研究費補助金の課題と連携して、正確に消散係数を測定できる CRDS 装置とネフェロメーターを用いて二次生成エーロゾル（SOA）の光学特性の測定を行い論文にまとめた投稿し、掲載された。

・ 本副課題で測定したデータは、エーロゾルの光学特性の変動特性、地域特性を調べるために副課題１で使用した。

②　エーロゾルの基礎物理・化学量の測定と実態把握

・ 副課題２の③で粒子形状をモデル化するためのデータ及び光学特性と結びつけるための粒子特性を調べるため、過去に取得したデータを分析した。

・ 過去データ（2009 年 3,4 月の福岡での観測データ）から黄砂が飛来している日のデータについて分析を行い、黄砂粒子の形状モデル作成のためのデータを提供した。また、個々の粒子の組成分析、粒径を調べた結果、黄砂粒子は主に直径１μｍ以上であり、主要元素が珪素の粒子とカルシウムの粒子の 2 種類が存在すること、また珪素の粒子は不規則形状、カルシウム粒子は液滴または表面が細かい結晶になっているものが多いことがわかった。

・ 2010 年 10 月及び 11 月につくばにてエーロゾル粒子サンプルの採取を行った。電子顕微鏡で分析した結果、化学組成は、基本的に、海塩、鉱物、硫酸塩、煤、有機物の混合と考えられることが分かった。煤は、その多くが硫酸塩または有機物と内部混合していた。

・ つくばで採取した黄砂サンプルを電子顕微鏡で分析した。その結果、粗大粒子については、従来から考えられていた angular 形状がほとんどで、水溶性物質との内部混合による影響は比較的小さいこと、0.2-0.6μｍの微小な鉱物粒子が個数濃度では卓越していること、またそれらはアジア大陸からの輸送のされ方によっては、硫酸塩などの人為起源の水溶性エーロゾルとの内部混合による著しい形態変化を示すことがわかった。

・ 平成 24 年度に、新電子顕微鏡システムを用いた、個別粒子分析法の改良を行った。STEM の明視野を用いた自動分析を行うことにより、従来判別が困難であったコントラストの薄い有機物粒子等の自動検出を可能とした。また、１次分析後にコントラスト閾値を変えて、２次分析をおこなうことにより、１次分析で検出された個々の粒子に含まれるすすなどの耐熱性粒子のサイズ、形態、元素組成の情報が得られるようになった。

・ 新分析方法を用いて 2009 年の福岡で採取したサンプルを一部分析した。３月の黄砂イベントでは粗大粒子の多くが鉱物であったが、４月の黄砂イベントでは、粗大粒子は主に海塩であっ

た。
・ 平成 24 年春から平成 25 年春にかけて、つくばで採取された 23 個のサンプル中の約 4000 個の粒子に対し、電子顕微鏡を用いて組成別の形状をサイズ別に調査した。外部混合すすの、平均形状ファクターは、サイズが大きいほど大きく、0.05-0.2μｍで 2.7、0.5-1μｍで 4.4 であった。鉱物粒子はサブミクロンで 1.5、1μｍ以上では 1.8 であった。硫酸塩、海塩、Ca-rich 粒子については、サイズによらず 1.3 以下であった。

③ エーロゾル光学特性の観測値と計算値に比較によるモデル化
・ 2009年3月に福岡で採取した黄砂の画像データと前年度開発した形状決定手法を用いて鉱物粒子の形状をモデル化した。FDTD 法と改良型幾何光学近似法を併用し、可視および近赤外の波長における粒子の散乱特性データベースを作成した。
・ この鉱物粒子モデルの利用拡大を目的として、衛星データ解析用高速放射モデル RSTAR 用の散乱特性データテーブル(MRIDUST)を作成し、東大 RSTAR 開発コミュニティに提供することで研究成果の公開を行った。
・ すす粒子については電子顕微鏡画像による形状特性とフラクタル・ボロノイ型凝集体構造を用いた形状モデル化をおこなった。その形状についての散乱特性データベースを作成した。また回転楕円体についても 3 種類の形状について計算を実施した。
・ 鉱物性エーロゾル粒子の放射計算精度向上を目的として、2013 年 3 月に発生した煙霧中の鉱物粒子サンプルについて、その電子顕微鏡画像と形状情報を環境・応用気象第４研究室より入手しサイズ依存性を持つ鉱物粒子の形状モデル化とその散乱特性の計算を行った。
・ 対流性の雲に見られる不規則形状の氷晶について、物理 1 研が実施した人工降雨実験の観測データや報告されている氷晶の微物理特性などを利用して粒子の形状モデルを作成した。
・ 六角柱、六角平板、砲弾集合、ボロノイ凝集形状の 4 種類の氷粒子モデルについて、異なる散乱計算手法（FDTD, GOM2,GOM）を併用し、地上測器の波長に対応した散乱特性パッケージを作成した。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

計画の変更なし。

成果の他の研究への波及状況

・地球環境・海洋部・環境気象管理官から日射と赤外放射に関する解析結果を刊行物や気象庁ＨＰで公表するために、日射放射に関する観測データの解析プログラムの提供依頼があり、日射放射に関する観測データの解析結果と解析プログラムを提供し、本庁の計算機上への移植に協力した。
・高層気象台観測第三課で行っている分光日射計の調査に協力し、本研究課題で校正した直達分光日射データの提供を行った。
・本庁のサンフォトメーター更新の計画作成に際して、技術的なアドバイスを行った。
・気象大学校の学生の卒業論文のために一部データを提供した。
・副課題１の観測点のスカイラジメーターの解析値を温室光ガス観測技術衛星（GOSAT）の検証データとして提供した。また、GOSAT の検証サイトのスカイラジオメーターの比較検定を気象研究所で行った。H23 年度から検証グループの課題に直接参加して精度改善に貢献した。
・副課題１で実施している放射計（サンフォトメーター、スカイラジオメーター、日射計）の校正法を GEOSS/SKYNET の標準とした。
・開発したスカイラジオメーターの観測値の解析法の使用の要請がスカイラジオメーターの使用者からあり、GEOSS/SKYNET で標準プログラムとするための調査を千葉大学と共同で実施している。
・気象研で校正したスカイラジオメーターを準器として、産総研(太陽光発電、フラックスネット)、環境研（GOSAT 検証）、千葉大（SKYNET 他）、金沢工大、富山大など多数のスカイラジオメーターを比較検定し、検定定数の転写を行い、それぞれの機関の研究推進に貢献した（平成 24 年度合計 24 台）。
・SKYNET の高精度化に貢献し、SKYNET が申請している GAW の Contributing Network の登録に貢献している。GAW へ提供するデータは、気候 3 研で開発したプログラムで処理したものを提供する

ことになっている。
・開発した非線形最小二乗法の解法パッケージを使って、ラマンライダー観測から、エーロゾル組成をリトリーバルするプログラムを環境研と共同で作成した（SKYNET/AD-Net）。
・スカイラジメーター、日射計（直達、全天）の測定データを産総研の太陽光発電工学研究センター、評価・標準チームに提供した。提供したデータは、太陽光発電の基準を作るための分光観測の校正技術の開発、大気成分の影響評価に使われている。
・副課題２の③のデータの利用拡大を目的として、衛星データ解析用高速放射モデル RSTAR 用の散乱特性データテーブル(MRIDUST)を作成し、東大 RSTAR 開発コミュニティに提供することでコミュニティに貢献している。
・国立環境研究所 杉本研究室が開発中である偏光 OPC の解析アルゴリズム用に前年度に開発した鉱物性エーロゾルモデルの散乱特性計算結果（論文で発表済み）を提供した。
・エーロゾル・氷粒子の散乱特性データベースの一部は衛星データ解析用として衛星 3 研経常研究（副課題２）と共有し、また東海大中島研究室や GCOM-C1/SGLI 解析用として JAXA への提供を実施している。
・本課題と科研費の課題でスカイラジオメーター解析のために作成した、観測からパラメーターを推定する逆問題を解くプログラムを環境研究所のライダーグループへ提供。雲エアロゾル放射ミッション「EarthCARE」の衛星搭載ライダーの解析のために使われる。

今後の課題

・観測データを広く一般に利用してもらうため、WEB で閲覧可能なようにし、また、データを提供可能な形に整理する。
・連続分光日射フラックスの測定は、現在約 1.0μm までしかできていない。このため雲の微物理量の日射フラックスへの影響の測定ができていない。早急に分光日射フラックスの測定を 2.5μm 程度までできるようにする。
・太陽光エネルギーの分野で分光日射データが必要とされており、最低 2.5μm までフラックスを測定できるようにする（分光日射観測装置の更新が必要）。これによって、雲の微物理量の日射量への影響を評価できるようになる。
・画像型スカイラジメーターの開発のための基礎研究をつづける。測器の開発とあわせて、太陽周辺光の測定値を利用した解析法の開発を行う。
・比較検定観測が天候に左右されて予定通りに進まないことがある。これを解決するために人工光源による比較観測が可能か検討をする。
・エーロゾルの太陽放射への影響を見ることができるようになったので、赤外放射への影響について今後調べられるようにする。
・スカイラジオメーターによる雲パラメーターの推定法を確立し、放射影響を評価できるようにする。
・複合センサーの利用（例えば、スカイラジオメーターとライダー）により、エーロゾルの光学特性や放射強制力の推定精度の向上を図る。
・スカイラジオメーターとライダーの複合解析の開発により、エーロゾルのより詳細な時空間の変動を調べることができるようになった。今後、この手法を用いて、SKYNET/AD-Net の東アジア観測網のデータを解析し、広域なエーロゾルの時空間変動の実態解明を行っていく。
・エーロゾル光学特性の直接測定の精度向上を図り、消散係数、散乱係数、吸収係数、散乱光の角度分布などの測定精度を上げる。
・電子顕微鏡だけから広い範囲の粒径について粒径分布を得ることが困難であったため、電子顕微鏡データによる多分散系の散乱特性の計算と測定値の比較ができず、近似法の開発にも至らなかった。今後の課題である。
・観測点（放射実験棟）の周囲の状況が徐々に変化したため、観測値への影響があるかどうかを見る必要がある。

自己点検

（1）到達目標に対する達成度

一部問題が有り進捗が遅れたものもあるが、概ね計画通り進捗した。副課題２の②は、地震による電子顕微鏡の損傷や節電、新システムへの移行の遅れ等の影響により、サンプル分析の進捗はやや遅れた。

（2）研究手法及び到達目標の設定の妥当性

概ね目標を達成することができており、研究手法及び到達目標の設定は妥当であった。

（3）成果の施策への活用・学術的意義

- 南鳥島でのスカイラジオメーターの解析値を気象庁がおこなっているスカイラジオメーターの観測のデータチェックのために提供した。
- 広帯域の全天日射計、直達日射計のデータの解析が可能になったので、日本付近だけであるが10 年スケールの長期の日射の変動とエーロゾルの量と質の関係を明らかにできるようになった。
- 蓄積したデータや放射計の校正技術が、太陽光エネルギーの分野、地表面フラックスの研究分野で利用可能であり、共同研究の要望が高い。
- スカイラジオメーターの再解析が進みつつあり、数年スケールでのエーロゾルの光学特性の変動、それに伴う放射強制力の変動、地域特性を明らかにできるようになった。

（4）総合評価

放射計による観測を継続して行い、校正法及び解析手法を発展させ、エーロゾルの光学特性、その放射収支への影響評価の実態を監視できるようにしたことは評価できる。スカイラジメーターの校正では所外のものに検定定数を転写し、所外のプロジェクトや研究課題に貢献した。

また、地上でのエーロゾル光学特性の直接測定の連続観測も可能にし、新たな解析法を開発し、その変動を監視することは、エーロゾルの放射収支への影響監視にとっても有用であることが示された。

放射計データの開発から雲パラメーターの推定、複合センサーの利用、分光日射計の校正技術の開発など、次期課題に繋がる研究、開発も緒に就いており今後の進展が期待できる。

エーロゾルや氷粒子の一次散乱特性を観測に基づきモデル化した粒子形状により可視域～赤外域で広範囲のサイズに対してデータベース化を進めたことは、高度な放射計算が必要な分野にとって大きな貢献である。

一方、他国の気候監視のための放射関係の観測に比べると、新しい測器の導入が遅れており、多課題との連携による観測や予算を確保による新しい測器の導入が必要である。また、この課題で開発したものをすぐには現業化するには気象庁による予算措置が必要であるが、それができないようであれば、気象庁の精密日射放射観測点での連携した観測が必要である。

気象研究所評価委員会による終了時評価

１．総合評価

優れた研究であった。

２．総合所見

本研究は、放射観測の高度化に必要な技術基盤の開発及び雲・エアロゾルの放射影響の実態把握を目的としており、両副課題ともに着実に成果を上げている。特に、エーロゾルを含む放射計算技術を確立し、過去の観測データに適用して、長期的な日射変動とエーロゾル変動の関係を明らかにしたことは大きな成果である。また、スカイラジオメーターの較正技術を確立したことは、環境気象業務に資する重要な研究であったと評価する。

一方、研究全体としての方向性が見えにくい点や全般的に研究成果の社会へのアピールやインパクトに欠ける面も見られた。

査読論文は主著者の原著論文７編であった。基礎的な研究であることから、やむを得ない部分はあるが、今後一層の努力を期待する。

今後は、観測機器については競争的資金を活用しつつ、静止気象衛星ひまわりのプロダクト開発の基盤技術や放射スキームの改善に向けた気候モデル開発協力など、関連する分野や課題との連携を積極的に推し進め、より一層の研究展開を期待したい。その際には、放射をベースにした研究の方向性や、気候分野における放射強制力との関連性も明確にして欲しい。現在は、数値予報モデルにおける放射スキームの改良や、次期ひまわりのプロダクト開発などの面で放射研究に精通した専門家が切望されている状況にあることから、当該分野に研究の裾野を広げ、関係機関や研究者と連携を強化し、より積極的に業務貢献の道筋を探って欲しい。

成果発表一覧

査読論文：19 件

1. Kudo R., A. Uchiyama, A. Yamazaki, and E. Kobayashi, 2010: Seasonal characteristics of aerosol radiative effect estimated from ground-based solar radiation measurements in Tsukuba, Japan. J. Geophys. Res., 115, D01204, doi:10.1029/2009JD012487.
2. Kudo R., A. Uchiyama, A. Yamazaki, T. Sakami, and E. Kobayashi, 2010: From solar radiation measurements to optical properties: 1998-2008 trends in Japan. Geophysical Research Letters, 37, L04805, doi:10.1029/2009GL041794.
3. Kobayashi E, A. Uchiyama, A. Yamazaki, R. Kudo, 2010: Retrieval of Aerosol Optical Properties Based on the Spheroids Model. J. Meteorol. Soc. Japan , 88, Doi:10.2151/jmsj.2010-505.
4. Kudo R., A. Uchiyama, A. Yamazaki, T. Sakami, and O. Ijima, 2011: Decadal changes in aerosol optical thickness and single scattering albedo estimated from ground-based broadband radiometers: a case study in Japan, J. Geophys. Res., 116, D03207, doi:10.1029/2010JD014911.
5. Ishimoto H., Y. Zaizen, A. Uchiyama, K. Masuda, Y. Mano, 2010: Shape modeling of mineral dust particles for light-scattering calculations using the spatial Poisson-Voronoi tessellation, Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 111, 2434-2443.
6. Nakayama T., Y. Matsumi, K. Sato, T. Imamura, A. Yamazaki, and A. Uchiyama, 2010: Laboratory studies on optical properties of secondary organic aerosols generated during the photooxidation of toluene and the ozonolysis of α-pinene, J. Geophys. Res., 115, D24204, 11 PP., doi:10.1029/2010JD014387.
7. Nakayama T., R. Hagino, Y. Matsumi, Y. Sakamoto, M.Kawasaki, A. Yamazaki, A. Uchiyama, R. Kudo, N. Moteki, Y. Kondo, K. Tonokura, 2010: Measurements of aerosol optical properties in central Tokyo during summertime using cavity ring-down spectroscopy: Comparison with conventional techniques, Atmospheric Environment 44 (2010) 3034-3042
8. Kudo, R., A. Uchiyama, O. Ijima, N. Ohkawara, and S. Ohta, 2012: Aerosol impact on the brightening in Japan, J. Geophys. Res., 117, D07208, doi:10.1029/2011JD017158 .
9. Khatri1, P., T. Takamura, A. Yamazaki, and Y. Kondo, 2012: Retrievals of key aerosol optical parameters from measured cosine erroneous spectral direct and diffuse irradiances, J. Atmos. Oceanic Technol., 29, 683–696.
10. Kudo, R., A. Uchiyama, O. Ijima, N. Ohkawara, and S. Ohta, 2012: Aerosol impact on the brightening in Japan, J. Geophys. Res., 117, D07208, doi:10.1029/2011JD017158
11. Ishimoto H., K. Masuda, Y. Mano, N. Orikasa, and A. Uchiyama, 2012: Irregularly shaped ice aggregates in optical modeling of convectively generated ice clouds. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 113, 632-643.
12. 工藤玲, 内山明博, 2012: 地上日射量の世界的減光・増光, エアロゾル研究, 27, 249-255.
13. Nakayama T., K. Sato, Y. Matsumi, T. Imamura, A. Yamazaki, and A. Uchiyama, 2012 : Wavelength Dependence of Refractive Index of Secondary Organic Aerosols

Generated during the Ozonolysis and Photooxidation of α-Pinene, SOLA, 8, 119.123,doi:10.2151/sola.2012-030
14. Nakayama T., K. Sato, Y. Matsumi, T. Imamura, A. Yamazaki, and A. Uchiyama, 2012: Wavelength and NOx dependent complex refractive index of SOAs generated from the photooxidation of toluene, Atmos. Chem. Phys., 13, 531-545, 2013, www.atmos-chem-phys.net/13/531/2013/ doi:10.5194/acp-13-531-2013.
15. Uchiyama, A., A. Yamazaki, M. Shiobara, H. Kobayashi, 2013: Case study on microphysical properties of boundary layer mixed-phase cloud observed at Ny-Ålesund, Svalbard: observed cloud microphysics and calculated optical properties on 9 June 2011, Polar Science, (in press)
16. Ishimoto H., Masuda K., Mano Y., Orikasa N., Uchiyama A. 2013: Optical modeling of irregularly shaped particles in convective cirrus. Proceedings of the International Radiation Symposium (IRS2012), 1531, 184 (2013); doi: 10.1063/1.4804737.
17. Uchiyama, A., A. Yamazaki, R. Kudo, 2013: Column Water Vapor Retrievals From Sky-radiometer (POM-02) 940nm Data, J. Meteorol. Soc. Japan, (submitted)
18. Uchiyama, A., 2013: Method to retrieve single-scattering properties of aerosols using multi-wavelength scattering and absorption coefficient data measured by integrating nephelometer and absorption photometer J. Meteorol. Soc. Japan, (submitted)
19. Uchiyama, A., A. Yamazaki, R. Kudo, E. Kobayashi, H. Togawa, and D. Uesawa, 2013: Continuous Ground-Based Observation of Aerosol Optical Properties at Tsukuba, Japan (Trend and Climatology), J. Meteorol. Soc. Japan, (submitted)

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）： 9 件

1. 内山明博, 山崎明宏, 古林絵里子, 工藤玲, 2009 : 地球観測システム構築推進プラン　プロジェクト：対流圏大気変化観測研究プロジェクト　SKYNET 観測網によるエアロゾルの気候影響モニタリング　2008 年度報告書　5-2　SKYNET 観測器材の精度の確保、千葉大学環境リモートセンシング研究センター、p.14-28
2. 荒生公雄, 内山明博, 青木一真, 2009 : 黄砂（KOSA）第 4 章黄砂の観測法 4.1.3　放射計による観測、古今書院、p.70-76.
3. 内山明博, 2009 : 乗鞍コロナ観測所での観測、乗鞍コロナ観測所 60 年史、自然科学研究機構国立天文台太陽観測所、p.218-219.
4. 内山明博，山崎明宏，古林絵里子，工藤玲，2010 : 地球観測システム構築推進プラン　プロジェクト：対流圏大気変化観測研究プロジェクト　SKYNET 観測網によるエアロゾルの気候影響モニタリング　2009 年度報告書　5-2　SKYNET 観測器材の精度の確保，千葉大学環境リモートセンシング研究センター，p.18-31.
5. 内山明博, 山崎明宏, 2011 : 米国ハワイ島マウナ・ロア観測所（「いぶき」地上検証サイトシリーズ）、国立環境研究所 GOSAT プロジェクトニュースレター、1 月号
6. 石元裕史, 増田一彦, 真野雄三, 2011 : 気候・気候学のための最新放射計算技術とその応用、第４章　非球形粒子による電磁波の散乱計算、気象研究ノート第 223 号、早坂忠裕・岩渕弘信編集、日本気象学会.
7. 内山明博，山崎明宏，坂見智法，工藤玲，2011 : 地球観測システム構築推進プラン　プロジェクト：対流圏大気変化観測研究プロジェクト　SKYNET 観測網によるエアロゾルの気候影響モニタリング　2010 年度報告書　5-2　SKYNET 観測器材の精度の確保－スカイラジオメーター，日射計の検定－，千葉大学環境リモートセンシング研究センター，p.25-39.
8. Ishimoto H., Y. Zaizen, K. Masuda, Y. Mano, A. Uchiyama, 2013: Shape modeling of dust and soot particles for remote sensing applications considering the geometrical features of sampled aerosols. Technical Reports of the Meteorological Research

Institute, No.68, 40-43.
9. 白石浩一, 林政彦, 橋本あやか, 内山明博, 山崎明宏(K. Shiraishi, M. Hayashi, A. Hashimoto, A. Uchiyama and A. Yamazaki) 2013：ライダー比の推定とエアロゾルの同定－2011年 4-11 月に福岡でラーダーとスカイラジオメータにより観測された下部対流圏エアロゾルの光学特性－(Estimation of Lider Ratio and Identification of Aerosol －Optical Properties of the Lower Tropospheric Aerosol Observed by Lider and Skyradiometer at Fukuoka －, 福岡大学理学集報, 43(2), 159-165.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：16 件

1. Kudo, R., A. Uchiyama, A. Yamazaki, and T. Sakami, 2010: Influences of aerosol optical thickness and single scattering albedo on global dimming and brightening, The 3rd Asia Pacific Radiation Symposium (APRS), O3_8, Seoul, Korea.
2. Ishimoto H., Y. Zaizen, A. Uchiyama, K. Masuda, Y. Mano, 2010: Voronoi aggregate for a shape model of mineral dust particles, 2010 Asia-Pacific Radiation Symposium (APRS), O5_02, Seoul, Korea.
3. Sakami T., A. Uchiyama, A. Yamazaki, and R. Kudo, 2010: Retrieval methods of microphysical and optical properties of cloud vertical profiles from radiances measured by ground- based observations at a specific point, Proceedings of the 16th CEReS International Symposium on Climate Change Studies through activities of SKYNET and Virtual Laboratory for Climate Diagnostics, Okinawa, Japan P11-12.
4. Yamazaki A., A. Uchiyama A., E. Kobayashi, R. Kudo and T. Sakami, 2010: The analysis of Skyradiometer observation data by using SKYRAD.PACK and MRI-MLM, Proceedings of the 16th CEReS International Symposium on Climate Change Studies through Activities of SKYNET and Virtual Laboratory for Climate Diagnostics, Okinawa, Japan, P23-24.
5. Sheng L-F., A. Yamazaki, A. Uchiyama, and G-Y. Shi, 2010: Seasonal variation of aerosol optical properties in Qingdao, Proceedings of the 16th CEReS International Symposium on Climate Change Studies through Activities of SKYNET and Virtual Laboratory for Climate Diagnostics, Okinawa, Japan, P25-26.
6. Kudo, R., A. Uchiyama, A. Yamazaki, T. Sakami and O. Ijima, 2010: Impacts of aerosol optical thickness and single scattering albedo on the dimming and brightening in Japan, The 16d CEReS International Symposium on Climate Change Studies through activities of SKYNET and Virtual Laboratory for Climate Diagnostics, Okinawa, Japan, P101-104.
7. Uchiyama A., A. Yamazaki, R. Kudo and T. Sakami, 2010: Development of correction method for integrating nephelometer and recent trend of aerosol optical properties based on ground-based measurement at Tsukuba, Proceedings of the 16th CEReS International Symposium on Climate Change Studies through Activities of SKYNET and Virtual Laboratory for Climate Diagnostics, Okinawa, Japan, P151-154.
8. Khatri P.,T. Takamura, A. Yamazaki, and Y. Kondo, 2010: Use of spectral irradiances measured at surface to retrieve aerosol optical parameters, Proceedings of the 16th CEReS International Symposium on Climate Change Studies through Activities of SKYNET and Virtual Laboratory for Climate Diagnostics, Okinawa, Japan, P155-158.
9. Shiobara M., A. Uchiyama, A. Yamazaki, H. Kobayashi, 2011: In-situ cloud measurements performed at Zeppelin Station in May-June 2011, The 10th Ny-Alesund Seminar, October 25 – 26, 2011, Lillestrom Centre of Expertise-Kunnskapsbyen Lillestrom, Kjeller, Norway.

10. Kudo, R., A. Uchiyama, 2012: Aerosol impact on the brightening in Japan, International Radiation Symposium 2012, August 06-10, 2012, Berlin, Germany.
11. Ishimoto H., K. Masuda, Y. Mano, N. Orikasa, and A. Uchiyama, 2012: Optical modeling of irregularly shaped ice particles in convective cirrus, International Radiation Symposium 2012, August 06-10, 2012, Berlin, Germany.
12. Rei Kudo, 2013: Development of an algorithm to estimate the aerosol vertical profile from Sky radiometer and Lidar measurements, International SKYNET Workshop 2013 and the 19th CEReS International Symposium on Remote Sensing, Chiba University, July 04-05, 2013, Chiba, Japan.
13. Uchiyama, A., A.Yamazaki, R. Kudo, and D. Uesawa, 2013：Column water vapor retrieval from skyradiometer (POM-02) 940nm channel data, International SKYNET Workshop 2013 and the 19th CEReS International Symposium on Remote Sensing, Chiba University, July 04-05, 2013, Chiba, Japan.
14. Khatri, P., T. Takamura, A. Yamazaki, and A. Uchiyama, 2013：Use of 315nm channel of sky radiometer to retrieve columnar ozone amount, International SKYNET Workshop 2013 and the 19th CEReS International Symposium on Remote Sensing, Chiba University, July 04-05, 2013, Chiba, Japan.
15. Campanelli, M., T. Nakajima, P. Khatri, T. Takamura, A. Uchiyama, V. Estelles, G.L. Liberti, and V. Malvestuto, Retrieval of calibration parameters for ground based sun-sky radiometeric measurements of columar water vapor using operational surface meteorological measurements, International SKYNET Workshop 2013 and the 19th CEReS International Symposium on Remote Sensing, Chiba University, July 04-05, 2013, Chiba, Japan.
16. Uchiyama, A., A. Yamazaki, R. Kudo, and D. Uesawa, 2013：Continuous ground-based observation of aerosol optical properties in Tsukuba, Japan, International SKYNET Workshop 2013 and the 19th CEReS International Symposium on Remote Sensing, Chiba University, July 04-05, 2013, Chiba, Japan.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：19 件

1. 石元裕史, 放射計算のためのスス粒子モデルの作成, 日本気象学会 2009 年度春季大会予稿集 D206, p218.
2. 中山智喜, 松見豊, 山崎明宏, 内山明博, 佐藤圭, 今村隆史, 2009：二次有機エアロゾルは BrownCarbon となりうるか？：光吸収特性の実験的研究, 日本地球惑星科学連合大会 2009 年大会予稿集.
3. 内山明博, 山崎明宏, 坂見智法, 工藤玲, 2010：気象研のスカイラジオメーターに関する活動（校正、解析法改良）, 極地スカイラジオメーター観測標準化会合.
4. 内山明博, 2010：航空機を用いた検証観測, 第 5 回地球観測衛星研究連絡会「衛星リモートセンシングにおける地上/航空機観測の役割」, 2010 年 5 月, 東京.
5. 工藤玲, 内山明博, 山崎明宏, 坂見智法, 2010: つくばにおけるエアロゾル光学特性の長期変動と地上日射への影響, 日本気象学会 2010 年度秋季大会予稿集 D363.
6. 石元裕史, 増田一彦, 真野裕三, 財前祐二, 内山明博, 村上正隆, 折笠成宏, 2010: Poisson-Voronoi 構造と粒子画像情報を用いた鉱物・氷晶粒子形状のモデル化, 日本気象学会 2010 年度秋季大会予稿集 D362.
7. プラデイープ･カトリ, 高村民雄, 内山明博, 山崎明宏, 2010：Retrieval of ozone concentration using 315nm channel data of sky radiometer of SKYNET network, 日本リモートセンシング学会, 第 49 回（平成 22 年度秋季）学術講演会, 鹿児島.
8. 内山明博, 2010：気象研究所における放射観測に関する取り組み, 地球温暖化観測推進事務局, 「放射観測機器の較正に関する専門家会合」, 2010 年 12 月, つくば.
9. 坂見智法, 内山明博, 山崎明宏, 工藤玲, 2011：定点放射輝度観測による鉛直雲特性量の推定,

極域の雲の衛星観測に関する研究集会, 国立極地研究所, 2011 年 1 月, 東京.
10. 内野修, 菊池信弘, 森野勇, 吉田幸生, 横田達也, 酒井哲, 永井智広, 真野裕三, 清水厚, 柴田隆, 山崎明宏, 内山明博, 菊池信行, 2012：GOSAT プロダクト改良に向けたライダーとスカイラジオメータデータの利用, 第 29 回レーザーセンシングシンポジウム, 2011 年 9 月 8 日(木), 9 日(金), 石川県七尾市.
11. 小林拓, 塩原匡貴, 内山明博, 山崎明宏, 2011：雲粒子顕微鏡による混合層雲観測, 2011 国立極地研究所極域科学シンポジウム, 11 月 14 日～18 日, 東京.
12. 塩原匡貴, 内山明博, 山崎明宏, 小林拓,2011：北極ニーオルスンにおける混合相雲観測－2011 年 5-6 月の観測結果, 2011 国立極地研究所極域科学シンポジウム, 11 月 14 日～18 日, 東京.
13. 内山明博, 山崎明宏, 塩原匡貴, 小林拓, 2011：北極・ニーオルスン観測基地での混合相雲の微物理特性の測定と放射特性（1）, 日本気象学会 2011 年秋季大会予稿集, D353.
14. 中山智喜, 佐藤圭, 松見豊, 今村隆史, 山崎明宏, 内山明博, 2012：トルエンの光酸化反応により生成する二次有機エアロゾルの光吸収特性：波長および NOx 濃度依存性（Optical properties of secondary organic aerosols from photooxidation of toluene: wavelength and NOx dependence）, 日本地球惑星科学連合大会, AAS21-07.
15. 内山明博, 山崎明宏, 工藤玲, 上沢大作, 2012：スカイラジオメーターの 940nm チャンネルによる水蒸気量の推定, 日本気象学会 2012 年度秋季大会予稿集, C314.
16. 工藤玲, 2013: ライダーとスカイラジオメータから推定したエアロゾル光学特性の鉛直分布, 日本気象学会 2013 年春季大会, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 5 月 17 日.
17. 内山明博, 山崎明宏, 工藤玲, 上沢大作, 2013：地上で測定したエアロゾル光学特性, 150 万都市福岡と越境物質－福岡大学における観測から－8 研究機関合同研究会, 平成 25 年 6 月 22 日, 福岡.
18. 内山明博, 山崎明宏, 石廣玉, 陳彬, 工藤玲, 上沢大作, 2013：地上でのエアロゾル光学特性の連続観測, 日本気象学会 2013 年度秋季大会予稿集, D371.
19. Katri, P., T. Takamura, A. Yamazaki, A. Uchiyama, B. Holben, I. Sano, 2013: Comparison of single scattering albedo of aerosols obtained from observation data PREDE sky radiometer and CIMEL sunphotometer, 日本気象学会 2013 年度秋季大会予稿集, D370.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：20 件

1. Kudo, R., A. Uchiyama, A. Yamazaki, and E. Kobayashi, 2009: The recent decade tendencies of aerosol optical properties and surface radiative forcing at Tsukuba, Japan, Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Tsukuba, Japan.
2. Nakayama T., R. Hagino, Y. Matsumi, A. Yamazaki, A. Uchiyama, J. -H. Xing, K. Takahashi, M. Kawasaki, K. Tonokura, 2009: Development of Cavity Ring-down Aerosol Extinction Spectrometer and Application to the Ambient Observations in Central Tokyo, Workshop on Chemistry in the Earth's Atmosphere －Crosscutting Aspects of Molecular Science and Atmospheric Chemistry－,Tokyo, Japan
3. Nakayama T., Y. Matsumi, A. Yamazaki, A. Uchiyama, K. Sato, and T. Imamura, 2009: Could Secondary Organic Aerosols Act as Brown Carbon?: Laboratory Studies of Aerosol Absorption, IGAC-SPARC Joint Workshop in Kyoto, Kyoto, Japan
4. Uchiyama A., A. Yamazaki, R. Kudo and T. Sakami, 2010: Development of correction method for integrating nephelometer, The 3rd Asia Pacific Radiation Symposium (APRS), PF_01, Seoul, Korea.
5. Shiobara M., A. Uchiyama, A. Yamazaki, H. Kobayashi, and M. Yabuki, 2010: Field Experiment of Cloud-Aerosol Interaction Study Planned for May 2011 in Ny-Ålesund, Svalbard, ISAR2-2010 International Symposium on the Arctic

Research, Tokyo, Japan, 7-9 December 2010.
6. Zaizen, Y., H. Naoe, H. Takahashi, Y. Igarashi, Elemental composition of Asian aerosols observed at a mountain site over central Japan, AGU Fall Meeting 2010, December 2010, San Francisco, USA
7. Shiobara M, A. Uchiyama, A. Yamazaki, and H. Kobayashi, 2011:Field experiment for cloud-aerosol interaction study in the arctic Svalbard, The second Science Team Meeting of the Atmospheric System Research (ASR) program, March 28-April 1, 2011, San Antonio , Texas USA
8. Nakayama T., Y. Matsumi, R. Hagino, S. Kagamitani, K. Sato, T. Imamura, A. Yamazaki, A. Uchiyama, 2010: Applications of cavity ring-down aerosol extinction spectrometer to laboratory and field studies, User Meeting and Summer School Cavity Enhanced Spectroscopy, June 26-29, 2011 Kingston, Canada.
9. Ishimoto H., K. Masuda, Y. Mano, N. Orikasa, A. Uchiyama, 2011: Irregularly shaped ice aggregates in optical modeling of convective ice clouds, World Climate Research Program (WCRP) Open Science Conference, C12, M40B, Denver, USA.
10. Nakayama T., Y. Matsumi, K. Sato, T. Imamura, A. Yamazaki, A. Uchiyama, 2011: Determination of refractive index of secondary organic aerosols generated during the photooxidation of toluene and the ozonolysis of alpha-pinene, American Association for Aerosol Research, October 3-7, 2011, Orland, Florida USA.
11. Kudo, R., and A. Uchiyama, 2011: Direct effect of aerosol optical properties on global dimming and brightening, American Geophysical Union Fall meeting, San Francisco, USA, 5-9 December 2011.
12. Shiobara M., A. Uchiyama, A. Yamazaki, H. Kobayashi, 2011: Mixed phase cloud observation in Ny-Alesund, Svalbard: Preliminary results from the May-June 2011 experiment, The American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, December 5-9, 2011, San Francisco, California, USA.
13. Uchiyama A., A. Yamazaki, M. Shiobara, and H. Kobayashi, 2012: Microphyisical Properties of Boundary Layer Mixed-Phase Cloud Observed in Ny-Alesund, Svalbard, 92nd American Meteorological Society Annual Meeting, January 22-26, 2012, New Orleans, Louisiana USA.
14. Shiobara M., H. Kobayashi, A. Yamazaki, A. Uchiyama, 2012: In-Cloud and below -Cloud Aerosol Characteristics and Mixwd Phase Cloud Microphysica During the May-June 2011 Field Experiment in Ny-Alesund , Svalbard, 92nd American Meteorological Society Annual Meeting, January 22-26, 2012, New Orleans, Louisiana USA.
15. Zaizen Y., and H. Naoe, 2012, Mixing state of soot collected at mountain sites in Japan, 92nd American Meteorological Society Annual Meeting, January 22-26, 2012, New Orleans, Louisiana USA.
16. Uchiyama A., A. Yamazaki, M. Shiobara, and H. Kobayashi, 2012: Microphyisical Properties of Boundary Layer Mixed-Phase Cloud Observed in Ny-Alesund, Svalbard (observed cloud micro-physics and calculated optical properties), 2012 Atmospheric System Research Science Team Meeting, March 12 - March 16, 2012, Arlington, Virginia USA.
17. Uchiyama A., M. Shiobara, A. Yamazaki, H. Kobayashi, 2012 : Microphyisical Properties of Boundary layer Mixed-phase Cloud observed in Ny-Alesund, Svalbard on June 9, 2011., International Conference on Cloud and Precipitation 2012, July 30 –August 03, 2012, in Leipzig, Germany.
18. Ishimoto H., K. Masuda, Y. Mano, N. Orikasa, A. Uchiyama, 2012: Optical modeling of irregularly shaped ice particles in convective cirrus, International Radiation Symposium 2012, August 06-10, 2012, Berlin, Germany.

19. Morino, I, O. Uchino, Y. Yoshida, N. Kikuchi, M. Inoue, K. Nakamae, T. Yokota, V. Sherlock, B. Liley, S. Kawakami, H. Ohyama, T. Nagai, T. Sakai, A. Uchiyama, A. Yamazaki, K. Arai, and H. Okumura, 2012 : Extended validation of the GOSAT-observed CO2 and CH4 at TCCON sites with co-located aerosol profiling, AGU 2012 Fall Meeting, December 3-7, 2012, San Francisco.
20. Uchiyama A., A. Yamazaki, M. Shiobara, H. Kobayashi, 2013: Microphyisical Properties of Boundary layer Mixed-phase Cloud observed in Ny-Alesund, Svalbard（observed cloud micro-physics and calculated optical properties）, Third International Symposium on the Arctic Research, January 15-17, 2013, Tokyo, Japan.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：22 件

1. 工藤玲, 内山明博, 山崎明宏, 古林絵里子, 2009: つくばのエアロゾル光学特性と地上放射強制力の最近 10 年間の変化傾向, 日本気象学会 2009 年度春季大会 P129, p266.
2. 中山智喜, 萩野理恵, 松見豊, 木名瀬健, 北和之, 山崎明宏, 内山明博, 古林絵里子, 工藤玲, シンジャワ, 高橋けんし, 衣川高志, 藪下彰啓, 川崎昌博, 戸野倉賢一, 2009: 夏季東京都心におけるエアロゾル光学特性と化学特性の同時観測, 日本気象学会 2009 年度春季大会予稿集 P229, p308.
3. 中山智喜, 松見豊, 山崎明宏, 内山明博, 佐藤圭, 今村隆史, 2009：二次有機エアロゾルは BrownCarbon となりうるか？：光吸収特性の実験的研究, 日本気象学会 2009 年度春季大会予稿集 P228, p307
4. 鏡谷聡美, 中山智喜, 松見豊, シンジャワ, 高橋けんし, 北和之, 山崎明宏,内山明博, 川崎昌博, 戸野倉賢一, 2009：エアロゾル消散係数の湿度依存性と化学組成との関係に関する観測研究, 第 15 回大気化学討論会（つくば）.
5. 高橋宙, 財前祐二, 中村美樹, 五十嵐康人, 内山明博, 山崎明宏, 岡田菊夫, 林政彦, 2009：黄砂時における粗大エアロゾル粒子の混合状態と吸湿特性, 日本気象学会 2009 年度春季大会 P131, p268.
6. 財前祐二, 高橋宙, 内山明博, 山崎明宏, 岡田菊夫, 皆巳幸也, 林政彦, 2009：乾燥大気中における煤と硫酸塩の内部混合エアロゾル粒子, 日本気象学会 2009 年度春季大会 P132, p269.
7. 工藤玲, 内山明博, 山崎明宏, 坂見智法, 2009: 直達・散乱日射の地上観測からのエアロゾル光学特性の推定, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, P138, p370.
8. 山崎明宏, 内山明博, 工藤玲, 財前祐二, 高橋宙, 古林絵里子, 林政彦, 白石浩一, 原圭一郎, 丸山智生, 2009：福岡での 2009 年春季エアロゾル光学特性集中観測期間中の炭素成分分析結果, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, P340, p466.
9. 財前祐二, 直江寛明, 高橋宙, 五十嵐康人, 杉本伸夫, 2010：冬季新穂高ロープウェイ駅で採取されたエアロゾル粒子の特徴, 第 27 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2010 年 8 月, 名古屋.
10. 財前祐二, 岡田菊夫, 高橋宙, 直江寛明, 2010：不揮発性エアロゾルの内部混合比率と揮発性シェルの厚さについてーつくばでの夏と冬の違い, 日本気象学会 2010 年春季大会予稿集 P206.
11. 財前祐二, 直江寛明, 高橋宙, 五十嵐康人, 2010：2010 年３月の黄砂とそのプレイベント時に採取されたエアロゾル粒子の特徴, 日本気象学会 2010 年秋季大会予稿集, P179.
12. 増田一彦, 石元裕史, 真野裕三, 村上正隆, 折笠成宏, 2010: ボロノイ型粒子モデルを用いた氷晶雲特性のリトリーバル, 日本気象学会 2010 年度秋季大会予稿集, P182.
13. 内山明博, 山崎明宏, 坂見智法, 工藤玲, 2011：つくばの地上観測によるエアロゾルの光学特性の変動, 日本気象学会 2011 年春季大会予稿集, P329.
14. 財前祐二, 岡田菊夫, 直江寛明, 高橋宙, 2011: エアロゾル粒子の加熱による形態変化, 日本気象学会 2011 年度春季大会, P330.
15. 工藤玲, 内山明博, 山崎明宏, 坂見智法, 2011: 日本のエアロゾル光学特性の長期変動と地上日

射への影響, 日本気象学会 2011 年春季大会予稿集 P334.
16. 中山智喜, 池田裕香, 後藤祐樹, 松見豊, 佐藤圭, 今村隆史, 山崎明宏, 内山明博, 2011 : トルエンの光酸化反応により生成する二次有機エアロゾルの光吸収特性, 第 17 回大気化学討論会, 2011 年 10 月 18 日～20 日, 京都大学宇治キャンパス.
17. 財前祐二, 直江寛明, 高橋宙, 2011: 黄砂イベントにおける微小鉱物粒子の粒径分布と混合状態, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, P173.
18. 山崎明宏, 内山明博, 坂見智法, 工藤玲、塩原匡貴, 小林拓、2011: スカイラジオメーターが観測した北極域混合相雲集中観測期間中のエアロゾル光学特性、日本気象学会 2011 年秋季大会予稿集 P376.
19. 工藤玲, 青柳曉典, 西澤智明, 2011: 光吸収性エアロゾルの大気境界層構造への影響, 日本気象学会 2011 年秋季大会予稿集 P378.
20. 山崎明宏, 内山明博, 上沢大作, 工藤玲, 2012 : 比較検定と Improved Langley 法で決められたスカイラジオメーターの検定定数について, 日本気象学会 2012 年度秋季大会予稿集, P344.
21. 工藤玲, 青柳曉典, 西澤智明, 2012: ライダーとスカイラジオメータから推定したエアロゾル光学特性の鉛直分布, 日本気象学会 2012 年秋季大会予稿集, P342.
22. 上沢大作, 内山明博, 山崎明宏, 工藤玲, 石元裕史, 2013 : 地上放射観測による雲水の物理量推定, 日本気象学会 2013 年度秋季大会予稿集, P376.

意図的・非意図的気象改変に関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：村上正隆（予報研究部第四研究室長）

研究担当者：
副課題１　意図的気象改変に関する研究
村上正隆、折笠成宏[1)]、斎藤篤思、田尻拓也、荒木健太郎[2)]、橋本明弘（予報研究部）、石元裕史、永井智広、酒井　哲、中里真久[3)]、（気象衛星・観測システム研究部）、財前祐二（環境・応用気象研究部）
副課題２　エアロゾルの間接効果に関する研究
村上正隆、折笠成宏[1)]、斎藤篤思、田尻拓也、荒木健太郎[2)]、橋本明弘（予報研究部）、石元裕史、永井智広、酒井　哲（気象衛星・観測システム研究部）、財前祐二（環境・応用気象研究部）

研究の目的
人工降雨で代表される意図的気象改変技術の確立および雲・降水の数値予報精度の向上や気候変動に影響を及ぼすエアロゾルの間接効果（非意図的気象改変）の解明を目的とする。

研究の動機・背景
副課題１　意図的気象改変に関する研究
国連は 2025 年までに世界の２／３の人口が水不足に直面すると指摘している。日本でも人口集中域では潜在的な水不足の状態にある。現在、約四十カ国で、100 件以上の人工降雨プロジェクトが実施されているが、その大半は社会事業的要請によるもので、その効果の検証や最適シーディング法の開発などが不十分なまま継続されている。
地球温暖化が進むと、少雨・渇水や豪雨・洪水などの異常気象が頻発することも指摘されており、安定的水資源確保や即効的渇水対策のための人工降雨・降雪の可能性を総合的・定量的に評価するとともに人工降雨・降雪技術を早急に確立する必要がある。

副課題２　エアロゾルの間接効果に関する研究
人為起源エアロゾルや乾燥域における森林火災からの有機エアロゾル、鉱物ダストなどは、雲粒・氷晶発生を通して雲の寿命・広がり・放射特性・降水能率・降水のタイミング・降水分布など雲・降水過程に大きな影響を及ぼす。
雲核（CCN）として雲粒生成を担うエアロゾルに関しては、いくつかのエアロゾル種の吸湿特性や層状雲を対象としたエアロゾル・雲観測などが行われ始めたが、エアロゾルの外部混合・内部混合や有機エアロゾルの初期雲粒粒径分布に及ぼす影響など、未解明の問題が残されている。氷晶核（IN）として氷晶発生に寄与するエアロゾルに関しては、人工降雨実験で使用される人工氷晶核との対比を通して戦後まもなくからおおよそ半世紀にわたって研究が行われてきたが、凝結核とは異なり幾通りもの氷晶発生メカニズムが存在し非常に複雑なため、定量的にも定性的にも未解明の部分が非常に多い。
今後、室内実験及び野外観測に基づくエアロゾル・雲・降水を統一的に扱う雲物理パラメタリゼーションを組み込んだ高精度の数値モデルを用いてエアロゾルの間接効果を解明する必要がある。

研究の成果の到達目標
副課題１　意図的気象改変に関する研究
①　リモセン観測による有効雲の出現頻度把握とシーディング効果の物理的評価
②　S/N 比の高いシーディング効果の統計的評価法の開発

[1)]平成 21 年度～平成 23 年度、[2)]平成 24 年度～平成 25 年度、[3)]平成 21 年度～平成 22 年度、

③　シーディングエアロゾルによる雲粒・氷晶発生過程の定式化
④　人工降雨・降雪の水資源確保および渇水対策技術としての有効性評価

副課題２　エアロゾルの間接効果に関する研究
①　雲核（CCN）・氷晶核（IN）のモニタリング観測
②　大気中エアロゾルによる雲粒・氷晶発生過程の定式化
③　大気中エアロゾルによる雲粒・氷晶生成過程に関する観測
④　エアロゾルの間接効果の解明

副課題１と副課題２に共通
①　エアロゾルの物理化学特性と CCN・IN の活性化スペクトルの直接測定法の確立
②　各種リモセン技術を用いたエアロゾル・雲・降水の微物理構造の遠隔測定法の確立
③　詳細雲物理ボックスモデルの確立
④　エアロゾル・雲・降水統一雲物理パラメタリゼーションの開発・改良とＮＨＭへの組込

研究結果

（成果の概要）

雲生成チェンバーや雲核計・氷晶核計等を用いて、種々のエアロゾル粒子の CCN・IN としての活性化特性を明らかにすることができた。航空機観測データの解析から、CCN・IN 活性化スペクトルの空間分布も明らかになりつつある。また、平均的な大気エアロゾルの CCN としての活性化能力は無垢の海塩粒子や硫酸アンモニウムエアロゾルよりはるかに低いことも明らかとなった。大気中エアロゾルの CCN・IN 能とその雲粒・氷晶生成過程に及ぼす影響も雲生成チェンバー実験や航空機観測から明らかとなりつつある。エアロゾル・雲・降水統一雲物理パラメタリゼーションを組み込んだ多次元ビン法ボックスモデル・NHM を開発し、エアロゾルの間接効果・シーディング効果に関する数値実験を行った。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　意図的気象改変に関する研究

副課題１は科振費「渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究」の成果を活用するとともに、平成 23 年度途中で締結した東京都水道局との共同研究の一環として、地上発煙装置（AgI のアセトン溶液の燃焼）から生成される AgI 粒子の CCN・IN としての性能試験、小河内ダム周辺における雲・降水の地上リモートセンシング観測、エアロゾル・CCN・IN の地上観測および航空機観測を実施し、より広範な条件下で意図的気象改変の研究が可能となった。

暖候期に関してはある程度の増雨効果が期待できる有効雲、寒候期に関しては期待される増雪量をランク分けした有効雲出現頻度の評価が可能となった。現在、小河内ダム周辺で得られた通年データを解析中である。航空機の直接観測によるシーディング効果の物理的評価が可能となった。

物理的予測因子を導入することによりシーディング効果の統計的評価期間を大幅に短縮できることが示された。

シーディング物質（AgI,吸湿性粒子）の CCN・IN 能を室内実験に基づき定式化し、多次元ビン法ボックスモデルに導入した。この結果をエアロゾル・雲・降水統一パラメタリゼーションを組み込んだ NHM にも反映した。

NHM と水文モデルを組み合わせることで人工降雨降雪の水資源確保および渇水対策技術としての有効性評価が可能なことを世界で初めて示した。さらに、高精度な有効性評価を行うために、エアロゾル・雲・降水統一雲物理パラメタリゼーションを組み込んだ NHM を航空機観測から得られた雲微物理構造やエアロゾルの移流拡散過程に関する観測結果を用いて比較・検証・改良した。これを用いた数値実験から、通年の有効雲の出現頻度、地上 AgI 発煙装置を用いたシーディング効果の評価を実施中である。

副課題２　エアロゾルの間接効果に関する研究

低温実験別棟において、2012 年３月から大気エアロゾル粒子の通年モニタリング観測を実施した。低過飽和度(SSｗ＝0.1,0.2%)と高過飽和度(SSw=0.5,0.8,1.0%)の CCN 数濃度はそれぞれ 0.3um 以上と 0.01-0.3um のエアロゾル数濃度と相関が高いこと、-25℃で活性化する IN 数濃度は 0.5μｍ以上の粒径の数濃度と比較的対応が良いことが示された。エアロゾル粒子の電子顕微鏡 EDX 分析から、大気エアロゾルは海塩、鉱物、硫酸塩、無機炭素、有機炭素などの混合と考えられることが分かった。CCN としては、基本的に硫酸塩が多数を占めるが、水溶性成分を含む黄砂粒子や有機物粒子の影響が大きい可能性があることが示唆された。

６月高知市周辺で取得したエアロゾル観測データの解析結果から、初夏に南寄りの風で運ばれてくる太平洋気団中でも平均的なエアロゾル粒子数濃度や CCN 数濃度は、比較的高濃度で、大気汚染の影響を受けていることが示唆された。

雲生成チェンバーや雲核計・氷晶核計等を用いて、海塩、鉱物、硫酸塩、無機炭素、有機炭素粒子等の物理化学特性と CCN・IN としての活性化特性を測定した。CCN 活性化特性は、これらの粒子の吸湿度κを推定し、κ-Köhler 理論を用いて定式化した。IN 活性化特性に関しては、活性化比率を温度・過飽和度の関数として求めるとともに活性化速度の温度依存性から活性化エネルギーと接触角を推定し氷晶核形成理論を用いて定式化した。通年モニタリングと雲生成チェンバーとの同期実験を行い、大気中エアロゾルの CCN・IN 能に関するデータを蓄積中である。

高知県上空で取得した航空機観測データの解析結果から、過飽和度 0.7%で活性化する CCN 数濃度は 0.1μｍ以上のエアロゾル粒子数濃度と良い相関があることが示された。CCN クロージャー解析から推定した雲底付近の最大過飽和度は 0.2～1.2%で、CCN 数濃度と上昇流速度によって変化することが明らかとなった。代表的な大気エアロゾルの吸湿度は、海塩粒子や硫酸アンモニウムよりも数倍小さく、雲核性能の低い各種エアロゾル粒子との外部混合あるいは内部混合が進んでいることが示唆された。実際に採取したサブミクロン粒子は基本的に硫酸塩が多数を占めるが、その他にバイオマス燃焼起源と推定される有機物、カリウム塩、すすもある程度の個数割合で存在していたことがわかった。

IN として働くエアロゾルによる氷晶発生過程および雲微物理構造に及ぼす影響の LCL 温度・上昇流・雲粒数濃度依存性は雲生成チェンバー実験と多次元ビン法ボックスモデルを用いて明らかとなった。

エアロゾル・雲・降水を統一的に扱う雲物理パラメタリゼーションを組み込んだバルク法 NHM を用いて、山岳性混合雲の氷晶核数濃度に対する感度実験と背の低い水雲の雲核数濃度に対する感度実験を行い、IN 数濃度の増加、CCN 数濃度の減少に伴って降水量が増加することを示した。

副課題１と副課題２に共通

SMPS（走査型モビリティ粒径分析装置）や OPC（光散乱式粒子計数器）を用いたエアロゾル粒子の粒径分布（0.01～10 ミクロン）、電子顕微鏡を用いた化学組成、雲核計や氷晶核計を用いた CCN の活性化スペクトル（過飽和度スペクトル）と IN の活性化スペクトル（過冷却度・氷過飽和度スペクトル）の同時測定システムをほぼ確立した。氷晶核計については、成長槽の過飽和度の検証実験および氷晶の過度な蒸発を抑制するための蒸発槽の改良等を行い測定精度の向上を図った。雲生成チェンバー実験については、PCVI による残渣粒子捕集技術の導入を進めるとともに、実験手順や制御プログラムの高度化を図り外部混合粒子の取り扱いが可能となった。また、内部混合粒子発生装置の整備により、混合状態まで考慮した広範なエアロゾル種を用いた実験が可能になった。これらの取組みにより、実験汎用性および取得データの信頼性が高まった。

２波長偏光ライダー測定データ（後方散乱係数、偏光解消度、２波長比）を用いたエアロゾル数濃度・タイプの推定手法を開発した。X バンドレーダ又は Ka バンドレーダに関しては、電波の消散を利用した乾燥雪に対する雲微物理量の導出法の定式化を行った。多波長マイクロ波放射計のアングルスキャン計測が降雨時の雲水量推定誤差を軽減するのに有効であること、3 次元数値気象モデルデータを用いた一次元変分法の適用でより正確な気温・水蒸気プロファイルの推定が可能なことを確認した。二波長マイクロ波放射計のアングルスキャン観測も、冬季の弱雨時には信頼性のある可降水量・鉛直積算雲水量をリトリーブすることが出来ることを確認した。

氷晶のリモートセンシング技術を高度化するため、観測用航空機の２D イメージプローブで得られたデータを用い複雑な形状をもつ氷晶のモデル化を試み、粒子散乱特性を求めた。

化学組成の異なる２種類の吸湿性エアロゾルの外部混合状態から初期雲粒生成・成長までを再現できるよう物理過程を拡張した。さらに、ダスト粒子等の CCN・IN 活性化特性を κ-Köhler 理論・氷晶核形成理論で表現できるよう改良し、雲粒・氷晶生成過程を精度よく再現可能なモデルであることを、雲生成チェンバー実験データと比較して確認した。

エアロゾル（雲核・氷晶核）・雲・降水を統一的に扱う新しいバルク法雲物理パラメタリゼーション及び多次元ビン法を開発し、NHM に組み込んだ。新しい雲物理パラメタリゼーションを組み込んだ NHM を使って、各種シーディング物質を用いた人工降雨・降雪実験、および、エアロゾル間接効果に関する 3 次元の理想化実験のテストを行った。また、精度を保って高速・簡略化することで、計算コストを抑えた多次元ビン法を開発して NHM に組み込んだ。更なる高速化・高精度化のための改良を実施中である。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

平成 21 年度途中で締結した電力中央研究所との共同研究の一環として、冬期日本海上に於けるエアロゾルの間接効果に関する航空機観測データを追加することができた。これにより広範な条件下でエアロゾルの間接効果の研究が可能となった。

平成 23 年度から開始した科研費の一環としてエアロゾル測定装置を購入し、エアロゾルの物理特性の測定手法の充実を図ることができ、雲生成チェンバーを用いた実験と並行してエアロゾルのモニタリング観測を実施することが可能となった。

平成 23 年度途中で締結した東京都水道局との共同研究の一環として、小河内ダム周辺で地上リモートセンサーによる雲・降水モニタリング観測とエアロゾル（・CCN・IN）のモニタリング（集中）観測・航空機観測を実施することにより、より広範な条件下で意図的気象改変の研究が可能となった。

成果の他の研究への波及状況

本研究で開発されたエアロゾル・雲核・氷晶核の測定手法は科研費基盤研究 A「黄砂バイオエアロゾル及び人為起源エアロゾルの雲核・氷晶核能に関する研究」の一環として実施するモニタリング観測に活用されている。また、多波長の能動的・受動的リモートセンサーを組み合わせた手法やエアロゾル・雲・降水を統一的に扱う３次元 NHM は、東京都水道局との人工降雨に関する共同研究のなかで活用されている。

今後の課題

副課題１と２に共通する実験観測手法の開発はほぼ目処が付いた。今後は、種々のエアロゾル粒子の単独・内部混合・外部混合状態に対して、各種エアロゾル測定装置・雲核計・氷晶核計を用いたエアロゾルの物理化学特性・CCN の活性化スペクトル・IN の活性化スペクトルの測定を継続する。多様な気象条件のもとで雲生成チェンバー実験を行い、自然の雲の発生環境において発現し得る雲粒や氷晶の生成過程を再現し、試料粒子の数濃度、気温、上昇速度および水・氷に対する過飽和度の関数として試料粒子の雲核・氷晶核 CCN・IN としての活性化率および雲粒子の初期粒径分布を把握する。

大気中エアロゾルのモニタリング観測についても、PCVI を併用した雲生成チェンバー実験から得られる雲粒・氷晶中の残渣粒子と大気中のエアロゾルの電子顕微鏡解析用サンプル解析を組み合わせることで、実際に CCN・IN として働く大気中エアロゾルの同定を進める。

大気エアロゾルの地上モニタリング観測と同期して、天頂観測用 X-band、Ka-band、（W-band）ドップラーレーダ、２波長偏光ライダー、多波長マイクロ波放射計等によるシナジー観測および特殊ゾンデ観測を実施し、エアロゾル・雲・降水の微物理構造の鉛直分布を明らかにする。これらを組み合わせたユニークな観測データを用いて、エアロゾルの間接効果を把握するとともに、エアロゾル・雲・降水統一雲物理パラメタリゼーションを組み込んだ 3 次元気象数値モデルの計算結果を検証する。また、これらのデータを用いて人工降雨・降雪に適した雲（有効雲）の検出法の改良を行う。

多様なエアロゾルに関する測定結果に基づき定式化した雲核能・氷晶核能を組み込んだ雲微物理リファレンスモデルの結果と雲生成チェンバー実験の結果を比較・検証し、リファレンスモデルを改良する。エアロゾル・雲・降水統一雲物理パラメタリゼーションで取り扱うエアロゾル種（予報変数）を拡張し、３次元気象数値モデルを用いて実データシミュレーションを行い、観測結果を用いてモデ

ルの検証・改良を行う。さらに、雲核・氷晶核として働く多様なエアロゾルの間接効果による、種々の雲や降水システムに対する微物理構造・寿命・雲量・地上降水量への影響、およびシーディングによる増雨・増雪効果を定量的に評価する。

自己点検

（1）到達目標に対する進捗度

ほぼ計画通りに進捗している。

（2）研究手法の妥当性

雲生成チェンバーや雲核計・氷晶核計等を用いた実験的手法、航空機を用いた観測的手法、エアロゾル・雲・降水統一雲物理モデルを用いた数値実験手法のそれぞれから、すでに有用な成果が出始めており、これらの組み合わせにより、研究目標を達成する見込みで、採用した研究手法は妥当であったと考えられる。

（3）成果の施策への活用・学術的意義

当初の目標を達成することにより、より高精度で細やかな日々の天気予報や、より信頼性の高い気候変動予測を可能にするためのモデルの検証・改良に貢献できる。CCN・IN としての活性化を通してエアロゾルが雲・降水システムに及ぼす影響（間接効果）を実証的に解明しようとする本研究の学術的意義は高い。

（4）総合評価

意図的気象改変に関しては、実験・観測・モデリングを融合し、非意図的気象改変（エアロゾルの間接効果）と表裏一体の研究を効率的に推進することによって、観測データや数値シミュレーション結果を用いた有効雲出現頻度の評価やドライアイスや吸湿性粒子を用いたシーディングの一シーズンの降水量さらにはダム貯水量に対する効果を評価するなど、世界に先駆けた成果が挙がっている。東京都水道局との共同研究の中で、これらの技術の地理的条件の異なる地域への移転可能性を示すとともに、シーディング物質の拡張や観測技術や数値モデルの改良・高精度化を通して、より信頼性の高い人工降雨・降雪の水資源確保および渇水対策技術としての有効性評価が可能となりつつある。

非意図的気象改変に関しては、種々の試料粒子（エアロゾル）の CCN・IN としての活性化特性を明らかにするなど、順調に成果が出ており目標達成が見込まれる。雲生成チェンバー施設は、特定粒子を用いた CCN・IN 能の評価だけではなく、大気中エアロゾルモニタリング観測との同期実験においても有用性を示し、広範な気温・湿度領域における実験再現性および汎用性の面での信頼度を高めており、雲物理過程の実験的研究と数値的研究を繋ぐ重要な研究資源として世界的に認知されつつある。また低温実験施設別棟には、大気エアロゾル粒子のモニタリング観測システムを構築し、すでに運用を開始しており、雲核・氷晶核計などを組み合わせた世界的にも希少である通年の地上モニタリング観測の結果を蓄積し、こちらも目標達成が見込まれる。

エアロゾル・雲・降水を統一的に扱う新しいバルク法雲物理パラメタリゼーション及び多次元ビン法を開発し NHM に組み込むことによって、各種シーディング物質を用いた人工降雨の有効性や各種大気エアロゾルが雲・降水に及ぼす影響をより現実的に評価することが可能となった。

このように順調に成果が出ており、次期中期研究計画でも本研究の内容を着実に継続・発展させていく必要がある。

気象研究所評価委員会による終了時評価

1．総合評価

優れた研究であった。

2．総合所見

本研究は、モデルー観測間の中間領域の研究課題として、観測・実験部門の研究者とモデリング部門の研究者との協力体制を構築し、外部資金を有効に活用し、目標達成に向けて計画的に進めら

れた。

数多くの観測や実験により、雲粒･氷晶生成過程やエーロゾル間接効果に関するデータや知見が得られたことは、非静力学モデル(NHM)の雲降水過程のモデルや地球システムモデル(ESM)に対するエーロゾルの効果の高度化にとって重要な知見である。特に、NHM 用いた研究成果は比較的明瞭であり、有効であると評価できるものである。

また、シーディング効果の客観的評価やエーロゾル活性化特性等に関して一定の成果が得られており、総合的アプローチによって開発したシーディング効果の評価技術は優れた研究成果である。更に、報道等による社会的な還元は積極的であった。

一方、各種モデル開発へのフィードバックと研究連携は充分とは言い難い。また、雲生成チェンバーや航空機観測等から得られた成果は断片的で、かつ明瞭ではない。

査読論文として 19 編（うち国際誌での主著者原著論文 6 編程度）の発表があったが、課題担当者による筆頭論文数は十分とは言い難い。特に、雲生成チェンバー等を用いた実験的研究の成果については、速やかに論文として発表することを求める。

今後は、数値予報モデルの雲物理過程の改良・高度化を目指し、所内の各種モデル開発とより密接に連携した研究として進める必要がある。特に、エーロゾルの扱いについては NHM-Chem グループとの協力のもと推進して欲しい。

なお、意図的気象改変については、外部機関の要請を踏まえた外部資金研究として取組むべきである。

成果発表一覧

査読論文　：19 件

1. Kuba, N. and M. Murakami, 2010: Effect of hygroscopic seeding on warm rain clouds - numerical study using a hybrid cloud microphysical model. Atmos. Chem. Phys., 10, 3335-3351.
2. Misumi, R., A. Hashimoto, M. Murakami, N. Kuba, N. Orikasa, A. Saito, T. Tajiri, K. Yamashita, and J. P. Chen, 2010: Microphysical structure of a developing convective snow cloud simulated by an improved version of the multi-dimensional bin model. Atmos. Sci. Let., DOI: 10.1002/asl.268.
3. Luce, H., T. Mega, M. K. Yamamoto, M. Yamamoto, H. Hashiguchi, S. Fukao, N. Nishi, T. Tajiri, and M. Nakazato, 2010: Observations of Kelvin-Helmholtz instability at a cloud base with the middle and upper atmosphere (MU) and weather radars, J. Geophys. Res., 115, D19116, doi:10.1029/2009JD013519.
4. Yamashita, K., M. Murakami, A. Hashimoto and T. Tajiri, 2011: CCN ability of Asian mineral dust particles and their effects on cloud droplet formation. J. Meteorol. Soc. Jpn., 89 (5), 581-587, DOI:10.2151/jmsj.2011-512.
5. Saito, A., M. Murakami, and T. Tanaka, 2011: Automated continuous-flow thermal-diffusion-chamber type ice nucleus counter. SOLA, 7, 29-32.
6. Yamamoto, M. K., T. Mega, N. Ikeno, T. Shimomai, H. Hashiguchi, M. Yamamoto, M. Nakazato, T. Tajiri, and T. Ichiyama, 2010: Doppler velocity measurement of portable X-band weather radar equipped with magnetron transmitter and IF digital receiver. IEICE Trans. Commun., E94-B(6), 1716-1724.
7. Yamamoto, M. K., T. Mega, N. Ikeno, T. Shimomai, H. Hashiguchi, M. Yamamoto, M. Nakazato, T. Tajiri, and Y. Ohigashi, 2011: Assessment of radar reflectivity and Doppler velocity measurement by FMCW Ka-band Doppler weather radar. J. Atmos. Electr., 31, 85-94.
8. DeMott,P. J.,O. Mohler, O. Stetzer, G. Vali, Z. Levin, M. Petters, M. Murakami, T. Leisner, U. Bundke, H. Klein, Z. A. Kanji, R. Cotton, H. Jones, S. Benz, M. Brinkmann, D. Rzesanke, H. Saathoff, M. Nicolet, A. Saito, B. Nillius, H. Bingemer, J. Abbatt, K. Ardon, E. Ganor, D. G. Georgakopoulos, and C. Saunders, 2011: Resurgence in Ice

Nuclei Measurement Research. Bull. Amer. Meteor. Soc., doi:10.1175/2011BAMS3119.1
9. Luce, H., N. Nishi, J. Caccia, S. Fukao, M. K. Yamamoto, T. Mega, M. Yamamoto, H. Hashiguchi, T. Tajiri, and M. Nakazato, 2011: Kelvin-Helmholtz billows generated at a cirrus cloud base within a tropopause fold/upperlevel frontal system (submitted to GRL).
10. Koshida, T., M. Murakami, K. Yoshida, F. Fujibe and K. Takahashi, 2012: Assessment of Clouds Suitable for Summertime Precipitation Augmentation over Shikoku Island. Sola, Vol. 8, 160−164, doi:10.2151/sola.2012-039.
11. Orikasa, N., M. Murakami and A. J. Heymsfield, 2013: Ice crystal concentration in midlatitude cirrus clouds: in situ measurements with the balloonborne HYVIS. J. Meteor. Soc. Japan, 91, 143-161.
12. Tajiri, T., K. Yamashita, M. Murakami, N. Orikasa, A. Saito, K. Kusunoki, and L. Lilie, 2013: A novel adiabatic-expansion-type cloud simulation chamber. J. Meteor. Soc. Japan, 91, 687-704.
13. Xue, L., A. Hashimoto, M. Murakami, R. Rasmussen, S. A. Tessendorf, D. Breed, B. Lawrence, S. Parkinson, P. Holbrook and D. Blestrud, 2013: Implementation of a Silver Iodide cloud seeding parameterization in WRF. Part I: Model description and Idealized 2D sensitivity tests. J. Appl. Meteor. Climatol., 52, 1433-1457.
14. Ohtake, H., M. Murakami, N. Orikasa, A. Hashimoto, A. Saito and T. Kato, 2013: Statistical validation of a cloud resolving model using aircraft observations of orographic snow clouds (submitted to J. Meteor. Soc. Japan)
15. Sakai T., T. Nagai, N. Orikasa, Y. Zaizen, K. Yamashita, Y. Mano and M. Murakami, 2013: Aerosol characterization by dual-wavelength and polarization lidar measurements during field campaigns of Japanese Cloud Seeding Experiment for Precipitation Augmentation Project. (accepted to J. Meteor. Soc. Japan)
16. Sakai, T., N. Orikasa, T. Nagai, M. Murakami, T. Tajiri, A. Saito and K. Yamashita , A. Hashimoto, 2013: Asian dust and cirrus cloud properties as measured with balloon-borne instruments and ground-based Raman lidar over Tsukuba, Japan. (submitted to J. Geophys. Res.)
17. Orikasa, N. and M. Murakami, 2013: Ice crystal shapes in midlatitude cirrus clouds from the hydrometeor videosonde (HYVIS) observations. (submitted to J. Meteor. Soc. Japan)
18. Yamashita, K., M. Murakami, T. Tajiri, A Saito and H. Ohtake, 2013: CCN ability of physical properties of background aerosol particles and CCN measured in Kochi city in the early summer of 2010. (submitted to J. Meteor. Soc. Japan)
19. Araki, K, H Ishimoto, M. Murakami and T. Tajiri, 2013: Temporal variation of close-proximity soundings within a tornadic supercell environment. (submitted to Sola)

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：20 件

1. 藤吉康志, 久芳奈遠美, 橋本明弘, 三隅良平, 河本和明, 三井達也, 井口享道, 村上正隆, 斎藤篤思, 田尻拓也, 山下克也, 折笠成宏, 竹見哲也, 尾上万里子, 吉原經太郎, 2009: 第 15 回雲・降水国際学会参加報告. 天気, 56, 223-232.
2. 村上正隆, 2009: 気象調節―人工降雨・降雪による渇水対策―, 化学工学誌、11 号
3. 村上正隆, 2009: 人工降雨・降雪による渇水被害軽減研究の国内動向, 水と水技術
4. Hashimoto, A., T. Kato, and M. Murakami, 2009: Short-range numerical forecast system supporting the field experiment of cloud seeding. Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling/WMO, 39, 5-05 – 5-06.

5. Sakai, T., T. Nagai, M. Murakami, Observation group of Japanese Cloud Seeding Experiment for Precipitation Augmentation, 2010: Aerosol characterization with dual-wavelength and polarization Lidar during Japanese Cloud Seeding Experiment, Proc. 25th ILRC, St.-Petersburg, 5–9 July 2010, Russia, 584–587.
6. Yamashita, K., T. Tajiri, M. Murakami, Y. Zaizen, and A. Saito, 2010: CCN property of Asian mineral dust particle, 13th AMS Conference on Cloud Physics, P1.14
7. Ohtake, H., M. Murakami, N. Orikasa, A. Saito, and A. Hashimoto, 2010: The validation of microphysics properties simulated by a cloud resolving model using an in-situ aircraft observation during a cold winter event, 13th AMS Conference on Cloud Physics, P1.67
8. 村上正隆，2011：科学技術振興調整費　重要課題解決型研究「渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究」事後評価成果報告書，251.
9. Yamashita, K. Takuya Tajiri, and Masataka Murakami, 2012: CCN ability of soot and mineral dust particles. Proceedings of the 16th International Conference on Clouds and Precipitation, Leipzig, Germany, P
10. Tajiri, T., Katsuya Yamashita, Atsushi Saito, and Masataka Murakami, 2012: Laboratory studies of ice formation by soot and mineral dust particles. Proceedings of the 16th International Conference on Clouds and Precipitation, Leipzig, Germany, P
11. Saito, A., N. Orikasa, T. Tajiri, K. Yamashita and M. Murakami, 2012: Re-examination on the performance of Continuous-Flow Diffusion-Chamber type Ice Nucleus Counter. Proceedings of the 16th International Conference on Clouds and Precipitation, Leipzig, Germany, P
12. Murakami, M., Narihiro Orikasa, Takuya Tajiri, Atsushi Saito and Katsuya Yamashita, 2012: Effectiveness of Asian dust particles as ice nuclei in orographic snow clouds. Proceedings of the 16th International Conference on Clouds and Precipitation, Leipzig, Germany, P
13. Hashimoto, A. and Masataka Murakami, 2012: A numerical modelling study for the issues on the planned and inadvertent weather modification in Japan. Proceedings of the 16th International Conference on Clouds and Precipitation, Leipzig, Germany, P
14. Kuba N. and M. Murakami, 2012: Effect of hygroscopic seeding on warm rain clouds--Numerical study using a hybrid cloud microphysical model -. Proceedings of the 16th International Conference on Clouds and Precipitation, Leipzig, Germany, P
15. 村上正隆，人工降雨、降雪、化学と教育、(2012)， Vol.60, No.6、242-245
16. 村上正隆，第 36 回メソ気象研究会の報告—人工降雨・降雪研究の現状—，天気，(2012)， 59, 737-743.
17. Murakami, M., N. Orikasa, A. Saito, K. Yamashita, 2013: CCN Ability of Atmospheric Aerosols and Microphysical Structures of Shallow Warm Clouds in Western Japan, Nucleation and Atmospheric Aerosols, AIP/Conference Proceeding 1527, 817-819.
18. Yamashita、K., T. Tajiri, M. Murakami, 2013: CCN and IN parameter of Arizona Test Dust derived from laboratory experiments to simulate ice crystal formation by condensation freezing, Nucleation and Atmospheric Aerosols, AIP/Conference Proceeding 1527, 918-921.
19. 三隅良平，下瀬健一，岩崎杉紀，大東忠保，佐藤陽祐，鵜沼昂，大竹秀明，古関俊也，斎藤篤思，橋本明弘，山下克也，田尻拓也，竹見哲也，藤吉康志，村上正隆，中井専人，李根玉，2013：第 16 回国際雲・降水会議（ICCP2012）の報告．天気，60，177-185..
20. 村上正隆，2013：第 9 回天気予報研究会の報告　【特別講演】降雪研究に関する最近の動向について，天気，60，673-677.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：21 件

1. Murakami, M, 2009: Japanese Cloud Seeding Experiments for Precipitation Augmentation (JCSEPA) －Preliminary results from summertime weather modification program －, Weather Modification Association 2009 Annual Meeting (22-24 April, Anaheim, USA)
2. Murakami, M., 2010:Japanese Cloud Seeding Experiments for Precipitation Augmentation (JCSEPA) -- Results from wintertime and summertime weather modification programs --, The 4th International Workshop on Weather Modification, (22 October., Daegu, Korea).
3. Murakami, M., 2011:Japanese Cloud Seeding Experiments for Precipitation Augmentation (JCSEPA) - New approaches and some results from wintertime and summertime weather modification programs -, AMS 18th Conference on Planned and Inadvertent Weather Modification. (24 January, Seattle, USA).
4. Murakami, M., and JCSEPA research group, 2011: Japanese Cloud Seeding Experiments for Precipitation Augmentation (JCSEPA) - New approaches and some results from wintertime and summertime weather modification programs -, International Symposium on Weather Modification Recent Progress in Precipitation Enhancement Research, (3 March, Tsukuba, Japan).
5. Orikasa, N., M. Murakami, A. Saito, H. Ohtake, A. Ikeda, and K. Yoshida, 2011: An observational study of changes in cloud microphysical properties through glaciogenic seeding by dry ice during the Japanese orographic snow cloud modification projects, International Symposium on Weather Modification Recent Progress in Precipitation Enhancement Research, (4 March, Tsukuba, Japan).
6. Hashimoto, A., and M. Murakami, 2011:Cloud Seeding Experiment Using the Cloud Resolving Model JMANHM, International Symposium on Weather Modification Recent Progress in Precipitation Enhancement Research, (4 March, Tsukuba, Japan).
7. Tajiri, T., 2011: MRI Cloud Chamber Experiments: A Laboratory Testbed for Evaluating the Relation between Hygroscopic Seeding Particles, Its CCN Activity and Droplet Growth, International Symposium on Weather Modification Recent Progress in Precipitation Enhancement Research, (4 March, Tsukuba, Japan)
8. Murakami, M., 2011: Japanese Cloud Seeding Experiments for Precipitation Augmentation (JCSEPA) -- Some results from summertime and wintertime weather modification programs --, Asian Hydrotropic Flare Weather Modification Technology Symposium, (10 Apr.il, Xi'an, China),
9. Murakami, M., 2011: Recent activity of ice initiation study at MRI. The International Workshop on Ice Nucleation in Tropospheric Clouds, (23 May, Ettingen, Germany)
10. Murakami, M., 2011: Validation of MRI NHM with aircraft and ground-based observations of orographic snow clouds, Asia Oceania Geosciences Society 2011 Annual Meeting, (12 August, Taipei, Taiwan).
11. Murakami, M., H. Ohtake, K. Koike, A. Hashimoto, N. Orikasa, T. Tajiri, and A. Saito, 2012: Validation of MRI NHM with aircraft and ground-based observations of orographic snow clouds. 8th WMO International Cloud Modeling Workshop, Warsaw, Poland.
12. Murakami, M., Narihiro Orikasa, Takuya Tajiri, Atsushi Saito and Katsuya Yamashita, 2012: Effectiveness of Asian dust particles as ice nuclei in orographic snow clouds. Proceedings of the 16th International Conference on Clouds and Precipitation, Leipzig, Germany, 10.2.1
13. Hashimoto, A. and Masataka Murakami, 2012: A numerical modelling study for the issues on the planned and inadvertent weather modification in Japan. Proceedings of the

16th International Conference on Clouds and Precipitation, Leipzig, Germany, 13.1.1
14. Zazien Y., K. Adachi, Y. Igarashi, H. Naoe, H. Takahashi, Features of aerosol particles collected at Mt. Kiso-Komagatake during foggy condition in summer 2012, International Symposium on Aerosols in East Asia and Their Impacts and Human Health Proceedings of International Symposium on Aerosols in East Asia and Their Impacts and Human Health
15. Murakami, M., N. Orikasa, A. Saito, K. Yamashita, 2013: CCN Ability of Atmospheric Aerosols and Microphysical Structures of Shallow Warm Clouds in Western Japan, Nucleation and Atmospheric Aerosols, AIP/Conference Proceeding 1527, 817-819.
16. Hashimoto, A. and Masataka Murakami, 2012: A numerical modelling study for the issues on the planned and inadvertent weather modification in Japan. Proceedings of the 16th International Conference on Clouds and Precipitation, Leipzig, Germany, 13.1.1
17. Zazien Y., K. Adachi, Y. Igarashi, H. Naoe, H. Takahashi, Features of aerosol particles collected at Mt. Kiso-Komagatake during foggy condition in summer 2012, International Symposium on Aerosols in East Asia and Their Impacts and Human Health Proceedings of International Symposium on Aerosols in East Asia and Their Impacts and Human Health
18. Murakami, M., N. Orikasa, A. Saito, K. Yamashita, 2013: CCN Ability of Atmospheric Aerosols and Microphysical Structures of Shallow Warm Clouds in Western Japan, Nucleation and Atmospheric Aerosols, AIP/Conference Proceeding 1527, 817-819.
19. Murakami, M., 2013: Research activities related to simulations of contrail formation. IFAR/NASA Alternative Fuels Workshop, Washington D.C., UAS.
20. Murakami, M., 2013: Japanese Cloud Seeding Experiments for Precipitation Augmentation (JCSEPA), Workshop of Artificial Rain Enhancement, Taipei, Taiwan
21. Murakami, M., 2013: Could Physics research at MRI. Special Seminar of Department of Atmospheric Science, , National Taiwan University, Taipei, Taiwan.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：83 件

1. 田尻拓也，山下克也，村上正隆，2009：MRI 雲生成チェンバーによる吸湿性シーディング実験(その３)．日本気象学会 2009 年度春季大会講演予稿集, B403.
2. 山下克也，村上正隆，橋本明弘，財前祐二，田尻拓也，2009：人工降雨シーディング用吸湿性粒子の雲凝結核特性（その 2）．日本気象学会 2009 年度春季大会講演予稿集, B402.
3. 田尻拓也，山下克也，村上正隆，2009：ダスト粒子を用いた MRI 雲生成チェンバー実験．第 26 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演予稿集, B25.
4. 山下克也，財前祐二，斎藤篤思，村上正隆，田尻拓也，2009：黄砂現象時の CCN 特性．第 26 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演予稿集, B10.
5. 田尻拓也，山下克也，永井智広，酒井哲，石本裕史，村上正隆，2009：MRI 雲生成チェンバー実験に用いる粒子計測センサについて．第 27 回レーザセンシングシンポジウム講演予稿集, C-1.
6. 田尻拓也，山下克也，村上正隆，2009：MRI 雲生成チェンバーによる雲物理実験　ダスト粒子～雲粒・氷晶発生過程（序報）．日本気象学会 2009 年度春季大会講演予稿集, B403.
7. 山下克也，田尻拓也，村上正隆，折笠成宏，斎藤篤思，大竹秀明，2009：人工降雨シーディング用吸湿性粒子の雲凝結核特性(その３)．日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, D205.
8. 深尾昌一郎，Hubert Luce，妻鹿友昭，山本真之，山本衛，田尻拓也，中里真久，2009: Radar observations of mammatus clouds and turbulence in three frequency bands. 第 23 回大気圏シンポジウム・講演集.

9. 深尾昌一郎, 山本真之, Hubert. Luce, 妻鹿友昭, 橋口浩之, 山本衛, 田尻拓也, 中里真久 2009 : 50-MHz 帯レーダーで観るケルビン・ヘルムホルツ不安定の構造とダイナミックス. 第 3 回赤道大気レーダーシンポジウム（第 129 回生存圏シンポジウム）講演要旨集.
10. 深尾昌一郎, 山本真之, Hubert Luce, 妻鹿友昭, 橋口浩之, 山本衛, 田尻拓也, 中里真久, 2009: Mammatusclouds(乳房雲) と背景乱流の 3 波長帯レーダーによる同時観測, 日本気象学会 2009 年度秋季大会予稿集, D215.
11. 森谷祐介, 橋口浩之, 山本真之, 妻鹿友昭, 山本衛, 今井克之, 足立アホロ, 中里真久, 田尻拓也, 柴垣佳明, H. Luce, 2009: 大気境界層観測用レンジイメージング・ウィンドプロファイラーの開発. 第 5 回 MU レーダーシンポジウム講演集.
12. 扇沢一平, 大東雄二, 市山尚, 田尻拓也, 中里真久, 2009: X バンド、K a バンドレーダーを用いた降雨・雲観測装置の概要. 第 5 回 MU レーダーシンポジウム講演集.
13. 小池克征, 橋口浩之, 村上正隆, 折笠成宏, 斎藤篤思, 田尻拓也, 池田明弘, 2009: 山岳の風下側の降雪分布に関する一考察. 日本気象学会 2009 年度春季大会講演予稿集, B404.
14. 伊ヶ崎英雄, 飯田秀重, 田尻拓也, 酒井哲, 中里真久, 村上正隆, 大野裕一, 2009: 人工降雨実験観測データを用いた人工降雨有効雲の定性的判定法の試み. 日本気象学会 2009 年度春季大会講演予稿集, B405.
15. 伊ヶ崎英雄, 飯田秀重, 田尻拓也, 酒井哲, 中里真久, 石元裕史, 村上正隆, 大野裕一, 大東雄二, 2009: 人工降雨実験観測データを用いた人工降雨有効雲の定性的判定法の試み(2). 日本気象学会 2009 年度秋季大会予稿集, D202.
16. 大竹秀明, 村上正隆, 折笠成宏, 斎藤篤思, 2009 : 山岳性降雪雲内の雲水・氷水量の分布—モデルとの validation に向けて—. 日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, D204.
17. 橋本明弘, 村上正隆, 2009: 雲シーディングのための各種散布物質の有効性評価. 2009 年日本気象学会春季大会, つくば, B406.
18. 小池克征, 村上正隆, 橋本明弘, 2009: 地上観測データを用いた利根川上流域における降雪決定因子に関する研究. 日本気象学会 2009 年度秋季大会予稿集, D203.
19. 三隅良平, 橋本明弘, 村上正隆, 折笠成宏, 斎藤篤思, 田尻拓也, 山下克也, 久芳奈遠美, J.-P. Chen, 2009: 対流性降雪雲の発達期における雲物理構造 —多次元ビン法シミュレーション—. 日本気象学会 2009 年度秋季大会予稿集, D209.
20. 村上正隆, 折笠成宏, 山下克也, 大竹秀明, 斎藤篤思, 財前祐二, 科振費「人工降雨・降雪」夏季観測グループ, 2009 : 暖候期四国上空における雲・エアロゾル特性（その１）. 日本気象学会 2009 年度春季大会講演予稿集, B401.
21. 村上正隆, 折笠成宏, 山下克也, 大竹秀明, 斎藤篤思, 科振費「人工降雨・降雪」夏季観測グループ, 2009 : 暖候期四国上空における雲・エアロゾル特性（その２）. 日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, D201.
22. 田尻拓也, 山下克也, 村上正隆, 2010 : MRI 雲生成チェンバーによる雲物理実験-ダスト粒子～雲粒・氷晶発生過程(その２). 日本気象学会 2010 年度春季大会講演予稿集, A452.
23. 山下克也, 田尻拓也, 橋本明弘, 村上正隆, 折笠成宏, 斎藤篤思, 大竹秀明, 2010: 人工降雨シーディング用吸湿性粒子の雲凝結核特性（その４）.日本気象学会 2010 年度春季大会講演予稿集, A453.
24. 村上正隆, 折笠成宏, 山下克也, 大竹秀明, 斎藤篤思, 財前祐二, 酒井哲, 科振費「人工降雨・降雪」夏季観測グループ, 2010: 暖候期四国上空における雲・エアロゾル特性（その３）、日本気象学会 2010 年度春季大会講演予稿集, A451.
25. 田尻拓也, 山下克也, 村上正隆, 2010 : 吸湿性フレアーシーディングに関する MRI 雲生成チェンバー実験. 第 27 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演予稿集,G9.
26. 村上正隆, 折笠成宏, 山下克也, 大竹秀明, 斎藤篤思, 財前祐二, 2010: 暖候期高知上空における大気エアロゾルの CCN 特性, 第 27 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演予稿集,G8.
27. 山下克也, 田尻拓也, 橋本明弘, 村上正隆, 斎藤篤思, 大竹秀明, 2010 : 人工降雨シーディング用吸湿性粒子の雲凝結核特性. 第 27 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演予稿集,

G07 .
28. 田尻拓也，山下克也，村上正隆，2010：MRI 雲生成チェンバーによる雲物理実験　フレアー法（その２）．日本気象学会 2010 年度秋季大会講演予稿集, D204.
29. 石元裕史，増田一彦，真野裕三，財前祐二，内山明博，村上正隆，折笠成宏，2010: Poisson-Voronoi 構造と粒子画像情報を用いた鉱物・氷晶粒子形状のモデル化、日本気象学会 2010 年度秋季大会予稿集，D362
30. 山本真之，池野伸幸，妻鹿友昭，橋口浩之，山本衛，下舞豊志，中里真久，田尻拓也・深尾昌一郎，2010：局地観測用 X 帯気象レーダーによるドップラー速度観測．日本気象学会 2010 年度秋季大会講演予稿集, D152.
31. 池野伸幸，山本真之，妻鹿友昭，橋口浩之，山本衛，下舞豊志，中里真久，田尻拓也・深尾昌一郎，2010：35GHz 帯 FMCW 気象レーダーによるドップラー速度観測．日本気象学会 2010 年度秋季大会講演予稿集, D153.
32. 酒井哲, 永井智広, 村上正隆, JCSEPA 観測グループ, 2010: 2 波長・偏光ライダー観測によるエアロゾルキャラクタリゼーション 夏季人工降雨実験/航空機観測による検証,第 36 回リモートセンシングシンポジウム（講演予稿集）,pp23-26.
33. 酒井哲, 永井智広, 村上正隆, JCSEPA 観測グループ, 2010: 夏季人工降雨実験における 2 波長・偏光ライダー観測：エアロゾルキャラクタリゼーションと航空機観測による検証、日本気象学会 2010 年度秋季大会講演予稿集, p329.
34. 村上正隆, 折笠成宏, 山下克也, 斎藤篤思, 財前祐二, 酒井哲, 科振費「人工降雨・降雪」夏季観測グループ, 2010: 暖候期四国上空における雲・エアロゾル特性（その４）、日本気象学会 2010 年度秋季大会講演予稿集, D201.
35. 斎藤篤思，2010：ダム集水域における固形降水の精確な計量．気象庁観測部談話会，東京.
36. 橋本明弘, 大竹秀明, 豊田友英, 折笠成宏, 齊藤篤思, 村上正隆, 2011: 航空機による雲シーディング実験の高解像度数値シミュレーション（その２），日本気象学会 2011 年度春季大会講演予稿集, 東京, A106.
37. 田尻拓也, 山下克也, 村上正隆，2011：MRI 雲生成チェンバーによる人工降雨基礎実験吸湿性粒子シーディングの評価．日本気象学会 2011 年度春季大会講演予稿集, A104.
38. 藤田浩史, 飯田秀重, 伊ヶ先英雄, 田尻拓也, 石元裕史, 村上正隆，2011：人工降雪実験観測データを用いたシーディング効果の定量的判定の試み．日本気象学会 2011 年度春季大会講演予稿集, A105.
39. 山本真之, 池野伸幸, 妻鹿友昭, 橋口浩之, 山本衛, 下舞豊志, 中里真久, 田尻拓也, 大東雄二, 2011：Ka 帯 FMCW 気象レーダーとマイクロレインレーダーの比較観測．2011 年度気象学会関西支部年会予稿集, 11-12.
40. 村上正隆, 山下克也, 折笠成宏, 斎藤篤思, 財前祐二, 酒井哲, 2011：暖候期高知上空における大気エアロゾルと雲形成．第 28 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演予稿集, D06 .
41. 田尻拓也, 山下克也, 村上正隆，2011：ＭＲＩ雲生成チェンバーによるエアロゾルの間接効果に関する実験的研究．第 28 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演予稿集, F03 .
42. 山本真之, 池野伸幸, 妻鹿友昭, 下舞豊志, 橋口浩之, 山本衛, 中里真久, 田尻拓也, 深尾昌一郎, 2011：35GHz 帯 FMCW 気象レーダーと 1.3GHz 帯・24GHz 帯ドップラーレーダーとの比較観測．地球電磁気・地球惑星圏学会第 130 回講演会予稿集, B005-03.
43. 山下克也，田尻拓也，斎藤篤思，村上正隆，2011：すす粒子の CCN・IN 活性化特性．日本気象学会 2011 年度秋季大会講演予稿集, C205.
44. 村上正隆, 折笠成宏, 斎藤篤思, 山下克也, 2011：吸湿性粒子を用いたシーディング実験　ー航空機観測の結果ー．日本気象学会 2011 年度秋季大会講演予稿集, C203.
45. 村上正隆，2011：趣旨説明と基調講演．第 36 回メソ気象研究会「人工降雨・降雪研究の現状」
46. 折笠成宏，2011：航空機を用いたシーディング実験．第 36 回メソ気象研究会「人工降雨・降雪研究の現状」
47. 田尻拓也，2011：吸湿性粒子シーディングに関するチェンバー実験．第 36 回メソ気象研究会「人工降雨・降雪研究の現状」

48. 橋本明弘，2011：総合的水資源予測モデルを用いた人工降雨・降雪の影響評価．第 36 回メソ気象研究会「人工降雨・降雪研究の現状」
49. 村上正隆，折笠成宏，斎藤篤思，田尻拓也，橋本明弘，尾根田勝，平井伸一，松尾崇宏，吾妻晃，池田明弘，小池克征，吉田一全，越田智喜, 2012 : 多摩川上流域を対象とした人工降雨研究 －概要－． 日本気象学会 2012 年度春季大会講演予稿集, A106.
50. 村上正隆，山下克也，折笠成宏，斎藤篤思，財前祐、2012 : エアロゾル粒径分布および雲核活性化スペクトルの気団特性、日本気象学会 2012 年度春季大会講演予稿集, A205.
51. 小池克征, 村上正隆, 橋本明弘, 尾根田勝, 山田誠, 松尾崇宏, 山本厚, 池田明弘, 2012 : 非静力学モデルデータを用いた多摩川上流域に出現する降水雲の水収支に関する研究，日本気象学会 2012 年度春季大会講演予稿集, A209.
52. 橋本明弘，三隅良平，村上正隆, Richard D. Farley, 2012: 多次元ビン法微物理モデルを利用したバルク法微物理モデルの開発・改良，日本気象学会 2012 年度秋季大会講演予稿集，D162.
53. 前島康光，橋本明弘，村上正隆，2012: 小河内貯水池の集水域を対象とした暖候期の降水シミュレーション，日本気象学会 2012 年度秋季大会講演予稿集，A208.
54. 山下克也，田尻拓也，村上正隆, 2012 : 室内実験データから導出したダスト粒子の CCN・IN 能パラメーター，日本気象学会 2012 年度春季大会講演予稿集，B304.
55. 田尻拓也，山下克也，村上正隆，2012：広範なエアロゾル種の雲核・氷晶核能に関する研究(序報)，日本気象学会 2012 年度春季大会講演予稿集、東京、B303.
56. 山下克也，斎藤篤思，村上正隆，2012：つくばにおける 2012 年春季のエアロゾル濃度の変動，第 29 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演予稿集，I02.
57. 村上正隆，山下克也，折笠成宏，斎藤篤思，財前祐二, 2012：暖候期高知上空におけるエアロゾル粒径分布及び雲核活性化スペクトルの気団特性，第 29 回エアロゾル科学･技術研究討論会講演予稿集，K04.
58. 田尻拓也，山下克也，村上正隆，2012：MRI 雲生成チェンバーによるエアロゾルの間接効果に関する実験的研究(その 2)，第 29 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演予稿集，K05.
59. 山下克也，斎藤篤思，田尻拓也，村上正隆, 2012：つくばにおける CCN・IN・エアロゾル濃度の地上モニタリング観測，日本気象学会 2012 年度秋季大会講演予稿集, A206.
60. 田尻拓也，山下克也，斎藤篤思，村上正隆, 2012 : 広範なエアロゾル種の雲核・氷晶核能に関する研究(その２)，日本気象学会 2012 年度秋季大会講演予稿集, A207.
61. 荒木健太郎，山下克也，村上正隆，橋本明弘，田尻拓也，2012：MRI 雲生成チャンバーを用いた多次元ビン法雲微物理モデルにおける拡散成長過程の検証．日本気象学会 2012 年度秋季大会講演予稿集．A119.
62. 荒木健太郎，橋本明弘，三隅良平，村上正隆, 2012 : 多次元ビン法雲微物理モデルの高速化．ワークショップ「降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究(第 11 回)」講演予稿集.
63. 荒木健太郎，2013：雲微物理モデリングに関する研究．平成 24 年度仙台管区気象台 NHM 技術検討会.
64. 荒木健太郎，田尻拓也，村上正隆，斉藤篤思，小司禎教，伊東克郎，山田誠，山本厚，松尾崇宏，2013：地上マイクロ波放射計のアングルスキャンによる降雨時の水蒸気場観測．平成 24 年度第 2 回先端的データ同化と雲解像アンサンブル手法に関する研究集会.
65. 荒木健太郎，橋本明弘, 2013 : 多次元ビン法に基づく高精度ビン法雲微物理モデルの開発．第 3 回超高精度メソスケール気象予測研究会.
66. 荒木健太郎，橋本明弘，三隅良平，村上正隆, 2013 : 高精度ビン法雲微物理モデルの開発．日本気象学会 2013 年度春季大会講演予稿集，C301.
67. 荒木健太郎，田尻拓也，村上正隆，斉藤篤思，小司禎教，伊東克郎，山田誠，山本厚，松尾崇宏，2013 : 地上マイクロ波放射計のアングルスキャンによる降雨時の水蒸気場観測．日本気象学会 2013 年度春季大会講演予稿集，C302.
68. 荒木健太郎，石元裕史，村上正隆，田尻拓也，斉藤篤思，小司禎教，2013 : 降雨時の地上マイクロ波放射計 Off-Zenith 観測値の検証. 日本気象学会 2013 年度秋季大会演予稿集, B312.

69. 田尻拓也, 山下克也, 斎藤篤思, 村上正隆, 牧輝弥, 松木篤, 2012：バイオエアロゾルの雲核・氷晶核能に関する雲生成チェンバー実験, 第 7 回大気バイオエアロゾルシンポジューム, 彦根、セッション 2.
70. 山下克也, 田尻拓也, 村上正隆, 2013：ダスト粒子の雲核・氷晶能に関する研究, 第 5 回環日本海域の環境シンポジウム, 金沢, セッション 2.
71. 田尻拓也, 山下克也, 斎藤篤思, 村上正隆, 2013：広範なエアロゾル種の雲核・氷晶核能に関する研究(その 3)、日本気象学会 2013 年度春季大会講演予稿集, A301.
72. 山下克也, 田尻拓也, 村上正隆, 橋本明弘, 2013：ダスト粒子の雲粒・氷晶発生を扱う詳細雲微物理ボックスモデルの開発, 日本気象学会 2013 年度春季大会講演予稿集, A303.
73. 田尻拓也, 山下克也, 斎藤篤思, 村上正隆, 2013：MRI 雲生成チェンバーによるエアロゾルの間接効果に関する実験的研究(その 3), 第 30 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演予稿集, A16.
74. 山下克也, 田尻拓也, 斎藤篤思, 牧輝弥, 松木篤, 原和嵩, 岩田歩, 村上正隆, 2013：室内実験から見積もった枯草菌(バイオエアロゾル)の雲凝結核能と氷晶核能、第 30 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演予稿集, A17.
75. 山下克也, 田尻拓也, 斎藤篤思, 村上正隆, 牧輝弥, 松木篤, 原和嵩, 岩田歩, 2013：バイオエアロゾルの CCN・IN 能, 日本気象学会 2013 年度秋季大会講演予稿集, A308.
76. 田尻拓也, 山下克也, 村上正隆, 2013：広範なエアロゾル種の雲核・氷晶核能に関する研究(その 4), 日本気象学会 2013 年度秋季大会講演予稿集, A309.
77. 張澤鋒, 村上正隆, 斎藤篤思, 山下克也, 田尻拓也, 荒木健太郎, 橋本明弘, 伊東克郎, 山田誠, 山本厚, 松尾崇宏, AgI 粒子の物理化学特性の調査研究, 日本気象学会 2013 年度春季大会講演予稿集, A302.
78. 橋本明弘, 山下克也, 村上正隆, 伊東克郎, 山田誠, 山本厚, 松尾崇宏, 2013: 吸湿性粒子最適シーディング法に関する数値実験. 日本気象学会 2013 年度春季大会講演予稿集, A304.
79. 橋本明弘, 山下克也, 村上正隆, 2013: 吸湿性エアロゾル 2 成分系における雲形成に関する数値実験. 第 30 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演予稿集, A18.
80. 橋本明弘, 大竹秀明, 村上正隆, 2013: 冬季山岳性降雪雲の微物理構造の再現実験. 第 15 回非静力学モデルに関するワークショップ, 2013 年 9 月 26 日（木）－27 日（金）, 札幌.
81. 前島康光, 橋本明弘, 村上正隆, 伊東克郎, 山田誠, 山本厚, 松尾崇宏, R. D. Farley, 2013: 小河内集水域の通年シミュレーションによるシーディング有効雲の同定解析, 日本気象学会 2013 年度春季大会講演予稿集, A305.
82. 前島康光, 村上正隆, 橋本明弘, 2013: 雲核・氷晶核の多寡による水・エネルギー循環への影響, 日本気象学会 2013 年度秋季大会講演予稿集, B310.
83. 前島康光, 橋本明弘, 村上正隆, 池田明弘, 伊東克郎, 水野克彦, 松尾崇宏, R. D. Farley, 2013: 小河内ダム集水域におけるシーディングシミュレーション, 日本気象学会 2013 年度秋季大会講演予稿集, B311.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：20 件

1. Murakami, M., N. Orikasa, T. Tajiri, A. Saito and K. Yamashita, 2009: The influence of Asian dust particles on the microphysical structures of orographic snow clouds. IAMAS, Montreal Canada.
2. M. Murakami and N. Orikasa, 2009: How does Asian dust storm affect the microphysical structures of orographic snow clouds. The 18th Intl. Conf. on Nucleation and Atmospheric Aerosols. Prague, Czech Republic.
3. Luce, H., M. K. Yamamoto, T. Mega, M. Yamamoto, S. Fukao, H. Hashiguchi, T. Tajiri, and M. Nakazato, 2009: Mammatus and turbulence observations with the VHF MU radar, Kaband and X-band radars during the TANUKI 2008 campaign, Proceedings of The 12th International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar, London, Canada, P5.10.

4. Luce, H., S. Fukao, M. K. Yamamoto, T. Mega, M. Yamamoto, H. Hashiguchi, T. Tajiri, and M. Nakazato, 2009: Characteristics of Kelvin-Helmholtz instabilities in the troposphere (up to ～16 km) seen by the MU radar in range imaging mode, Proceedings of The 12th International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar, London, Canada, P5.11.
5. Ohhigashi, Y., M. Nakazato, T. Tajiri, and T. Ichiyama, 2009 : Development of Cloud Profiling Radar System. International Symposium on Radar and Modeling Studies of the Atmosphere, Po-1.
6. Takuya Tajiri, K. Yamashita, and M. Murakami, 2010: MRI cloud chamber experiments on dust aerosol and cloud interactions, 13th AMS Conference on Cloud Physics, P1.21
7. Katsuya Yamashita, T. Tajiri, M. Murakami, Y. Zaizen, and A. Saito, 2010: CCN property of Asian mineral dust particle, 13th AMS Conference on Cloud Physics, P1.14
8. Murakami, M. N. Orikasa, A. Saito, K. Yamashita, and H. Ohtake, 2010: Vertical profiles of CCN concentrations and microphysical structures of shallow warm clouds in western Japan, 13th AMS Conference on AMS Cloud Physics, P2.18
9. Saito, A., and M. Murakami, 2010 : A new continuous flow diffusion chamber for airborne measurement of natural ice nuclei over Japan, 13th Conference on Cloud Physics, American Meteorology Society, Portland, OR, USA, P1.19.
10. Orikasa, N., M. Murakami, A. Saito, H. Ohtake, A. Ikeda, and K. Yoshida, 2010 : An observational study of changes in cloud microphysical properties by dry-ice seeding during Japanese orographic snow cloud modification projects, 13th Conference on Cloud Physics, American Meteorology Society, Portland, OR, USA, P1.32.
11. Hashimoto, A, 2010: Numerical simulation of cloud seeding using high resolution regional model. Workshop on dynamical downscaling over Japan, 25 – 27 January, 2010, Tsukuba, Japan.
12. Hashimoto, A., M. Murakami, 2010: Numerical Experiment Comparing the Efficacies of Dryice Pellets and Liquid Carbon Dioxide for Cloud Seeding Operation. 13th Conference on Cloud Physics of the AMS, 28 June-2 July 2010, Portland, OR, P1.40.
13. Yamamoto, M. K., N. Ikeno, T. Mega, H. Hashiguchi, M. Yamamoto, T. Shimomai, S. Fukao, M. Nakazato, and T. Tajiri, 2010: Precipitation observation by 9.8-GHz and 35-GHzDoppler weather radars during the REQUIPP campaign at Shigaraki, Japan. International Symposium on the 25th Anniversary of the MU Radar (156th Symposium on Sustainable Humanosphere), Kyoto, Japan, P-01.
14. Yamamoto, M. K., T. Mega, N. Ikeno, H. Hashiguchi, T. Shimomai, M. Yamamoto, M. Nakazato, T. Tajiri, and Y. Ohigashi, 2011: Assessment of radar reflectivity and Doppler velocity measured by Ka-band FMCW Doppler weather radar. International Symposium on Earth-science Challenges (ISEC), ID31, Oklahoma, USA.
15. Yamamoto, M. K., T. Mega, N. Ikeno, H. Hashiguchi, T. Shimomai, M. Yamamoto, M. Nakazato, T. Tajiri, and T. Ichiyama, 2011: Assessment of radar reflectivity and Doppler velocity measured by ultraportable X-band Doppler weather radar. International Symposium on Earth-science Challenges (ISEC), ID35, Oklahoma, USA.
16. Yamashita, K. Takuya Tajiri, and Masataka Murakami, 2012: CCN ability of soot and mineral dust particles. Proceedings of the 16th International Conference on Clouds and Precipitation, Leipzig, Germany, P.10.6
17. Tajiri, T., Katsuya Yamashita, Atsushi Saito, and Masataka Murakami, 2012: Laboratory studies of ice formation by soot and mineral dust particles. Proceedings of the 16th International Conference on Clouds and Precipitation, Leipzig, Germany, P.10.10

18. Saito, A., N. Orikasa, T. Tajiri, K. Yamashita and M. Murakami, 2012: Re-examination on the performance of Continuous-Flow Diffusion-Chamber type Ice Nucleus Counter. Proceedings of the 16th International Conference on Clouds and Precipitation, Leipzig, Germany, P.10.7
19. Kuba N. and M. Murakami, 2012: Effect of hygroscopic seeding on warm rain clouds - Numerical study using a hybrid cloud microphysical model -. Proceedings of the 16th International Conference on Clouds and Precipitation, Leipzig, Germany, P.8.10
20. Yamashita、K., T. Tajiri, M. Murakami, 2013: CCN and IN parameter of Arizona Test Dust derived from laboratory experiments to simulate ice crystal formation by condensation freezing, Nucleation and Atmospheric Aerosols, AIP/Conference Proceeding 1527, 918-921.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：42 件

1. 折笠成宏，村上正隆，斎藤篤思，大竹秀明，吉田一全，池田明弘，2009： ドライアイスシーディングに伴う山岳性降雪雲の微物理構造の変化(その２). 日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, P332.
2. 斎藤篤思，村上正隆，板橋孝明，棚沢義一，2009：ダム集水域における固形降水の精確な計量（その２）．日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, P402.
3. 斎藤篤思，村上正隆，2009：航空機搭載用氷晶核測定装置の開発．日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, P124.
4. 橋本明弘，村上正隆，斎藤篤思，折笠成宏，田尻拓也，山下克也，2009: 航空機による雲シーディング実験の高解像度数値シミュレーション．日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, P333.
5. 石元裕史，橋本明弘，川畑拓矢，村上正隆, 2009: 地上多波長マイクロ波放射計による雲域での温度・水蒸気 1D-Var リトリーバル．日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, P116.
6. 中里真久，田尻拓也，大東雄二，山内洋，猪上華子，石原正仁，村上正隆，2009：天頂観測用 X バンドレーダー及び FMCW 型 Ka バンドレーダーによるシーディング有効雲の観測．日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, P331.
7. 山本真之，池野伸幸，妻鹿友昭，下舞豊志，橋口浩之，山本衛，田尻拓也，中里真久, 2010：局地観測用 X 帯気象レーダー及び Ka 帯 FMCW 気象レーダーによるドップラー速度観測．熱帯気象研究会 2010，高松.
8. 増田一彦，石元裕史，真野裕三，村上正隆，折笠成宏，2010: ボロノイ型粒子モデルを用いた氷晶雲特性のリトリーバル、日本気象学会 2010 年度秋季大会予稿集，P182
9. 山下克也，大竹秀明，財前祐二，田尻拓也，斎藤篤思，村上正隆，松木篤，2010 : JCSEPA-IOP 期間中（2010 年 6 月）の高知のエアロゾル濃度(速報)．日本気象学会 2010 年度秋季大会講演予稿集, P192.
10. 小池克征，村上正隆，橋本明弘，2010: JMANHM_1km データを用いたダム流域における降雪気象因子の特性に関する研究．日本気象学会 2010 年度春季大会講演予稿集, P321.
11. 橋本明弘，加藤輝之，田尻拓也，斎藤篤思，大竹秀明，村上正隆, 2010：山岳性降雪雲に関する雲解像モデルの予想特性．日本気象学会 2010 年度春季大会講演予稿集, P322.
12. 豊田友英，橋本明弘，加藤輝之，2010: 冬季降雪雲に対する数値モデルを用いた最適シーディング法についての研究．日本気象学会 2010 年度春季大会講演予稿集, P325.
13. 斎藤篤思，村上正隆，折笠成宏，山下克也，2010：航空機搭載用氷晶核測定装置による観測．日本気象学会 2010 年度春季大会講演予稿集, P426
14. 豊田友英，橋本明弘，2010: 冬季降雪雲に対する数値モデルを用いた最適シーディング法についての研究（その２）．日本気象学会 2010 年度秋季大会，京都, P392.
15. 中里真久，田尻拓也，大東雄二，山内洋，猪上華子，石原正仁，村上正隆, 2010：X バンド及び Ka バンドレーダーによる雲微物理量導出法の比較．日本気象学会 2010 年度春季大会

講演予稿集, P423.
16. 財前祐二, 岡田菊夫, 高橋宙, 直江寛明, 2010：不揮発性エアロゾルの内部混合比率と揮発性シェルの厚さについて―つくばでの夏と冬の違い.日本気象学会 2010 年春季大会講演予稿集、P206.
17. 財前祐二, 直江寛明, 高橋宙, 五十嵐康人, 2010：2010 年 3 月の黄砂とそのプレイベント時に採取されたエアロゾル粒子の特徴.日本気象学会 2010 年秋季大会講演予稿集、2010 年 10 月, P179.
18. 折笠成宏, 村上正隆, 斎藤篤思, 大竹秀明, 吉田一全, 池田明弘, 2010： ドライアイスシーディングに伴う山岳性降雪雲の微物理構造の変化(その 3). 日本気象学会 2010 年度春季大会講演予稿集, P324.
19. 折笠成宏, 村上正隆, 斎藤篤思, 大竹秀明, 吉田一全, 池田明弘, 2010： ドライアイスシーディングに伴う山岳性降雪雲の微物理構造の変化(その 4). 日本気象学会 2010 年度秋季大会講演予稿集, P193.
20. 斎藤篤思, 村上正隆, 板橋孝明, 吉澤拓実, 宮崎哲弥, 2010：ダム集水域における固形降水の精確な計量（その 3）. 日本気象学会 2010 年度秋季大会講演予稿集, P190.
21. 橋本明弘, 2010: 詳細な雲・降水過程に基づく大気エアロゾル沈着モデルの開発. 第 27 回エアロゾル科学・技術研究討論会論文集, 名古屋, P14.
22. 山本真之, 妻鹿友昭, 池野伸幸, 下舞豊志, 橋口浩之, 山本衛, 中里真久, 田尻拓也, 深尾昌一郎, 2010 : IF デジタル受信機を用いた気象ドップラーレーダーにおけるマグネトロン送信位相の較正. 地球電磁気・地球惑星圏学会第 128 回講演会予稿集, B005-P004.
23. 池野伸幸, 山本真之, 妻鹿友昭, 橋口浩之, 山本衛, 下舞豊志, 中里真久, 田尻拓也, 深尾昌一郎, 2011: REQUIPP における X 帯・Ka 帯気象レーダーのドップラー速度観測. 第 25 回大気圏シンポジウム・講演集, P-3.
24. 折笠成宏, 村上正隆, 斎藤篤思, 大竹秀明, 吉田一全, 池田明弘, 2011： ドライアイスシーディングに伴う山岳性降雪雲の微物理構造の変化(その 5). 日本気象学会 2011 年度春季大会講演予稿集, P214.
25. 折笠成宏, 吉田一全, 村上正隆, 池田明弘, 科振費「人工降雨・降雪」冬季観測グループ, 2011：X バンド及び Ka バンドレーダ観測によるシーディング効果の統計的特徴. 日本気象学会 2011 年度秋季大会講演予稿集, P340.
26. 斎藤篤思, 村上正隆, 折笠成宏, 山下克也, 2011: 航空機搭載用氷晶核測定装置による観測（その 2）, 日本気象学会 2011 年度春季大会講演予稿集, P116.
27. 斎藤篤思, 村上正隆, 田中豊顕, 2011: 氷晶核測定装置の測定精度の検証, 日本気象学会 2011 年度春季大会講演予稿集, P187.
28. 小池克征, 村上正隆, 大竹秀明, 橋本明弘, 2011: 山岳性降雪雲を対象とした地上気象観測と JMANHM_1km データとの統計的な Validation. 日本気象学会 2011 年度春季大会講演予稿集, P120.
29. 大竹秀明, 村上正隆, 折笠成宏, 斎藤篤思, 橋本明弘, 加藤輝之, 2011: 夏季の高知上空における航空機観測と雲解像モデルとの統計的な validation. 日本気象学会 2011 年度春季大会講演予稿集, P218.
30. 橋本明弘, 村上正隆, 2011: 早明浦ダムを対象とする暖候期雲シーディングの模擬的数値実験, 日本気象学会 2011 年度秋季大会講演予稿集, P138.
31. 豊田友英, 橋本明弘, 2011: 冬季降雪雲に対する数値モデルを用いた最適シーディング法についての研究. 日本気象学会 2011 年度秋季大会講演予稿集, P140.
32. 小池克征, 村上正隆, 橋本明弘, 池田明弘, 吉田一全, 2011: 人工降雪実験時におけるシーディング評価期間の推定に関する研究. 日本気象学会 2011 年度秋季大会講演予稿集, P339.
33. 山下克也, 村上正隆, 橋本明弘, 田尻拓也, 2011：アジア鉱物ダスト粒子の CCN 能力とその雲粒生成に対する影響. 第 28 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演予稿集, P05 .
34. 田尻拓也, 山下克也, 村上正隆, 2011 : MRI 雲生成チェンバーによる人工降雨基礎実験　吸湿性粒子シーディングの評価（その 2）. 日本気象学会 2011 年度秋季大会講演予稿集,

P139.
35. 山本真之, 池野伸幸, 妻鹿友昭, 橋口浩之, 山本衛, 下舞豊志, 中里真久, 田尻拓也, 深尾昌一郎, 大東雄二, 2011：Ka バンド FMCW ドップラー気象レーダーとマイクロレインレーダー・L バンドウィンドプロファイラーとの比較観測. 日本気象学会 2011 年度秋季大会講演予稿集, P391.
36. 山本真之, 池野伸幸, 妻鹿友昭, 橋口浩之, 山本衛, 下舞豊志, 中里真久, 田尻拓也, 深尾昌一郎, 市山尚, 2011：極地観測用 X バンド気象レーダーとマイクロレインレーダー・L バンドウィンドプロファイラーの比較観測. 日本気象学会 2011 年度秋季大会講演予稿集, P392.
37. 橋本明弘, 村上正隆, 地上発煙装置による雲シーディングに関する数値実験, 日本気象学会 2012 年度春季大会演予稿集, P348.
38. 橋本明弘, 村上正隆, ヨウ化銀を用いた地上からの雲シーディングに関する数値実験, 第 29 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2012 年 8 月, 福岡県北九州市, P22.
39. 斎藤篤思, 村上 正隆, D. C. Rogers, 氷晶核測定装置の測定精度の検証（その２）, 日本気象学会 2012 年度春季大会演予稿集, P148.
40. 斎藤篤思, 村上 正隆, D. C. Rogers, 氷晶核測定装置の測定精度の検証（その３）, 日本気象学会 2012 年度秋季大会演予稿集, P114.
41. 斎藤篤思, 山下克也, 張澤鋒, 田尻拓也, 村上 正隆, 氷晶核数濃度の地上モニタリング観測, 日本気象学会 2013 年度秋季大会演予稿集, P124.
42. 橋本明弘, 大竹秀明, 村上正隆, 2013: 航空機・地上観測データに基づく雲物理モデルの改良. 本気象学会 2013 年度秋季大会演予稿集, P320.

大気境界層の乱流構造の統合的研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：毛利英明（環境・応用気象研究部第五研究室長）

研究担当者

毛利英明、中川慎治[1)]、柴田　彰[2)]、萩野谷成徳、小野木茂、北村祐二、三上正男[3)]、青柳曉典（環境・応用気象研究部）、伊藤純至[4)]（客員研究員）

研究の目的

次世代数値モデルにおける大気境界層乱流パラメタリゼーションを高度化する。

研究の動機・背景

研究の必要性：数値モデルのサブグリッド乱流過程や接地境界層過程を高度化して予報精度を上げるため、これら乱流過程パラメタリゼーションの基盤となる、大気境界層乱流に関する知見を深める必要がある。とくに、計算結果に大きく影響する乱流過程を特定し、統計量や空間構造が、どのような普遍的性質や大気・陸面状態などへの依存性を持つか解明することが必要である。

研究の背景：数値計算や風洞実験・野外観測の進歩の結果、大気境界層の乱流過程に関し、数値モデルのパラメタリゼーションの基盤である Monin-Obukhov の相似則など従来提案されてきた普遍則を再検討し、新たな知見を得る機運が高まっている：

・詳細かつ大規模な数値計算や風洞実験・野外観測から、従来提案されてきた各種統計量の普遍則に疑問を呈する結果が報告され始めた。
・境界層乱流が様々な空間構造から構成されることが判明し、これら空間構造の研究から、新たな普遍則を見出す可能性が出てきた。

一方で数値計算・風洞実験・野外観測において新たな手法が導入されつつある：

・数値計算において、大型計算機の高性能化に伴い Large Eddy Simulation (LES)が導入されつつある。
・風洞実験・野外観測において、画像解析技術の進歩に伴い、速度場の空間構造を瞬時に捉える粒子画像風速測定(PIV)が導入されつつある。
・野外観測において、信号処理技術の進歩に伴い、ウィンドプロファイラなどリモートセンシングの測器を用い、高度約 100m 以上の全高度で大気境界層の風速測定が可能になりつつある。

研究の意義：上述の新たな手法を本格的に実用化することで、従来は不可能だった計算・実験・観測を可能とし、従来提案されてきた普遍則を再検討し新たな知見を得ること目指すことに、本研究の意義がある。

研究の成果の到達目標

次世代数値モデルにおける大気境界層乱流パラメタリゼーション高度化の基盤となる知見を得るため、大気境界層の乱流構造に関し、以下の 4 項目について研究を実施する。

① 数値モデルのサブグリッド乱流過程や接地境界層過程パラメータのうち、計算結果に大きく影響するパラメータを特定する(項 1(2)当初計画からの変更点も参照)。
② Large Eddy Simulation (LES)に基づく大気境界層乱流の新たな数値計算手法を実用化する。
③ 粒子画像風速測定(PIV)を用いた地上付近の風速測定など新たな風洞実験・野外観測手法を実用化する。
④ ①,②,③に基づく数値計算・風洞実験・野外観測から、数値モデルに大きく影響する乱流過程に関し、従来提案されてきた普遍則を再検討し、新たな普遍則を見出すことを目指す。

[1)]平成 22 年度～平成 23 年度、[2)]平成 24 年度、[3)]平成 21 年度、[4)]平成 23 年度～平成 25 年度

研究結果

(成果の概要)

数値計算・風洞実験・野外観測の各分野において、LES に基づく数値計算手法(査読論文 6 等)や PIV をはじめとした実験・観測手法(査読論文 13,16 等)を実用化し、これらを活用して、既存の乱流スキームを再検討し(査読論文 5, 18)、新たな普遍則を見出すなど(査読論文 15 等)、大気境界層乱流の解明ひいては数値モデルの高度化に資する様々な成果を得ることが出来た。

とくに数値計算の風洞実験による比較検証(査読論文 22)や野外観測用 PIV の風洞における開発(査読論文 24 等)など、数値計算・風洞実験・野外観測を統合した成果が得られた。

(副課題ごとの研究成果)

各副課題において、大気境界層乱流の解明ひいては数値モデルの高度化に資する様々な成果を得て、以下のとおり論文として報告した。

① NHM を用いた不安定境界層の数値計算を行い、同じ条件での LES の計算結果と比較検討を行った。とくにサブグリッド乱流過程に採用されている MYNN スキームについて修正版を提案した(査読論文 7)。またモデル解像度とパラメータ最適値との間に普遍的な関係がないか検討しており(国内学会口頭発表 26,29 など)、成果の一部を年度内に論文として投稿の予定である(項 1(2)当初計画からの変更点も参照)。

② LES に基づく数値計算プログラムを実用化し、大気境界層乱流の計算手法に関して以下の成果を得た：

・ LES を用いて回転成層乱流の数値実験を行った。回転がある場合は観測と良く一致したが、回転がない場合は鉛直粘性の寄与が過大となることを指摘した(査読論文 5)。

・ LES におけるサブグリッド乱流輸送過程の自己整合性を検証する手法を提案した(査読論文 6)。

・ 最も単純な LES として知られる 2 点速度和のエネルギー収支式を理論的に導出し、風洞実験で検証した(査読論文 8)。

③ 野外 PIV 用の高速撮影装置を開発し、気象研小型風洞において実証実験を行った(査読論文 13, 20)。また光源やトレーサ粒子発生装置も開発し、気象研露場において観測を行い、接地境界層乱流の空間構造を検出できることを示した(査読論文 24)。

④ 数値計算・風洞実験・野外観測の各々において大気境界層における乱流過程の研究を実施した。とくに○印の項が大気境界層における普遍則に関する成果である。

・ LES を用いた数値計算と気象研大型風洞での実験から、安定境界層におけるエネルギー収支の解析を行った。乱流運動エネルギーの生成項が負になる場合は、輸送項によるエネルギー供給が重要となり、輸送項の適切なパラメタリゼーションが必要であることを指摘した(査読論文 22)。

○気象研大型風洞における実験から、乱流の運動エネルギーが大スケールにおいても顕著に揺らぐことを指摘し(査読論文 1)、普遍的な統計則の存在を明らかにした(査読論文 11, 15, 23)。普遍則の特性長である局所エネルギー相関長が、小スケール側においてもエネルギー散逸率の無次元化など既知の普遍則において重要な役割を果たす可能性を指摘した(査読論文 18)。

・ 気象研小型風洞において、風洞実験で用いる熱線風速計のプローブの安定性と耐久性を高める技術を新たに開発した(査読論文 4)。

・ 気象研露場における観測から、全天日射量を毎時の日照時間から推定する手法を提案した(査読論文 9)。また高精度なライシメータを開発し、気象研露場における観測から、蒸発散量の精密測定が可能であることを示した (査読論文 16)。なお接地気象観測装置を用いた観測が今年度で 10 年を経過したのを期に、この間の水・熱収支データを解析しており(国内学会口頭発表 34)、年度内に論文として投稿の予定である。

○気象研鉄塔において得られた風速時系列データのウェーブレット解析を行い、鉛直方向に広がる大規模な空間構造が存在し、運動量の輸送に大きな寄与を果たしていることを明らかにした(査読論文 10, 14, 25)。こうした空間構造は従来の数値計算や風洞実験から境界層乱流の普遍的構造として知られており、大気境界層においても存在を確認したものである。

○チベット高原のヤムドックヤム湖（査読論文 2)・ナム湖(査読論文 3)・アーハイ湖(査読論文 12）における水・熱収支の時系列データを解析し、湖と周辺領域との間の水・熱循環過程を明らかにした。各地の気象官署の観測データを用いて陸面熱収支の分布を明らかにした(査読論文 19)。また氷河地帯における観測データを解析し、氷河面上の水・熱収支を明らかにした(査読論文 21)。こうして得られた水収支とくに潜熱輸送量と降水量との関係が気象研露場において得られた関係とともに普遍則を形成することを確認した。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

副課題①については、数値モデルの高解像度化に際し既存のサブグリッド乱流過程をそのまま適用できない可能性が重要視されるようになってきた現状を踏まえ、感度実験に限定せず LES から得られた成果等を活用しサブグリッド乱流過程の高度化に資する研究を進めるものとした。

成果の他の研究への波及状況

所内の他の研究課題への波及状況は以下のとおりである。なお科研費など外部資金に基づく研究および外部機関との共同研究への波及状況については項 3.3 に記述した。

- 気象衛星・観測システム研究部第２研究室の JR 東日本との共同研究「高精度センシング技術を用いた、列車運行判断のための災害気象の監視・予測手法の開発」に関して、観測に使用する気圧計の特性試験を気象研大型風洞で実施した(平成 23 年度)。
- 気象衛星・観測システム研究部第２研究室のウィンドプロファイラについて、保守作業およびパラメトリックスピーカと組み合わせた RASS 観測の予備実験に技術協力した(平成 21～25 年度)。
- 地震火山研究部第３研究室が東大地震研究所と共同で新規開発した火山用地震計の強風環境における試験を気象研大型風洞で実施した(平成 23 年度)。
- 気候研究部第４研究室が気象研露場の接地境界層観測装置付近に設置した土壌水分計と積雪深計の保守管理に技術協力するとともに、土壌水分量や地中温度などの観測データを提供した(平成 24～25 年度)。

今後の課題

① 数値モデルを高解像度化した場合には既存のサブグリッド乱流過程をそのまま適用しても解像度に見合う精度が達成できない問題が重要視されるようになってきている(項 1(2)当初計画からの変更点も参照)。数値モデル高度化のためには、大気境界層の乱流に関する知見を深めて新たなサブグリッド乱流過程を開発する指針を得ることが重要であり(国内学会口頭発表 26,29,33,37 など)、このことを次期中期課題の主たる目的としたい。

④ 野外観測については、乱流に関する既知の普遍則に基づいた経験的手法を用いて水・熱収支を評価するという性格が強かった。気象研鉄塔の超音波風速計データを解析して乱流の大スケール空間構造を検出したが(査読論文 10, 14, 25)、PIV 観測で検出した接地境界層乱流の空間構造(査読論文 24)や水・熱収支との関係を解明することは重要である。よって次期中期課題においては超音波風速温度計を気象研露場にも整備して乱流の直接観測を実施することとしたい(H26 年度整備予定)。

自己点検

（１）到達目標に対する達成度

副課題①数値モデル検討、②LES 開発、③PIV 開発、④普遍則検討の各々において大気境界層乱流の解明ひいては数値モデルの高度化に資する成果を得ることができた(項 1-(1)参照)。

ただし達成度から判断して実力不足は否めない。我々と同時期に室内実験と野外観測を統合して普遍則の再検討を行ったメルボルン大学のグループは、いわゆる対数則が平均風速だけでなく乱流強度についても成立することを発見した(Marusic et al. 2013, Journal of Fluid Mechanics 716, R3)。大気境界層の描像に強い制限を加える発見であり評価は高い(McKeon 2013, Journal of Fluid Mechanics 718, 1)。我々も実験技術や観測技術を高め、情報収集と分析力を強化して、挽回を図

っていきたい。
　また「項 1(4)今後の課題」にあるように①数値モデルの検討は問題提起を経て試行錯誤を始めたばかりであり、④普遍則検討とともに次期中期課題においても追究することとしたい。

（2）研究手法及び到達目標の設定の妥当性
　到達目標に対する達成度から判断して、おおむね妥当であった。とくに数値計算の風洞実験による比較検証(査読論文 22)や野外観測用 PIV の風洞における開発(査読論文 13 等)など、数値計算・風洞実験・野外観測を統合した成果を得ることが出来た。

（3）成果の施策への活用・学術的意義
　本研究課題から得られた知見と技術に基づいて気象庁数値予報課および観測課に対して以下の業務貢献を行った：
・ 数値予報課で進めている次期局地モデル asuca の開発について、大気境界層過程のパラメタリゼーションとして MYNN モデルの実装を担当した(査読論文以外の著作物２)。また Deardorff モデルに基づく LES も実装した。
・ 気象庁観測課の気象測器検定試験センターから依頼を受けて、雨量計の風洞実験を行い、現在使用されている数種類の架台については、降水の捕捉率に顕著な影響を及ぼさないことを確認した(査読論文以外の著作物 7)。
・ 気象庁観測課の技術開発課題「観測所周辺環境の変化による気温観測への影響調査」（平成 23 年度～25 年度）に参加して、所謂「日だまり効果」に関する風洞実験を実施中である。年度内にデータセットを作成し、来年度に結果を測候時報等に投稿する予定である。
　また「項 1. 研究成果 (1) 成果の概要」で述べたように大気境界層乱流に関して様々な知見が得られており、一定の学術的意義があったと判断される。

（4）総合評価
残された課題は少なくないものの、業務的および学術的に一定の成果を得たと判断される。

気象研究所評価委員会による終了時評価
１．総合評価
　優れた研究であった。
２．総合所見
　本研究では、領域数値予報モデルの境界層パラメタリゼーションの改善及び数値予報モデルの高解像度化に伴い、既存乱流スキームが適用できなくなる問題(グレイゾーン問題)の解決を目的としており、乱流モデル(LES)の開発と数値実験、風洞実験、野外観測から、大気境界層乱流の解明と数値モデルの高度化に向けた重要な成果を得た。本研究は、将来の数値予報モデルの高分解能化に向けた基礎的研究として、また、観測業務への貢献として積極的に取り組まれ、実験・観測・シミュレーションがうまく融合され、部門間連携も適切になされていた。
　一方、数値モデル、LES、粒子画像風速測定(PIV)、普遍則など、得られた研究成果相互の関連性に乏しい点が見られた。また、Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino(MYNN)スキームの修正やLESのasucaへの実装の点については、端緒的な成果であり、次期中期研究計画での進展を期待する。
　査読論文は 25 編（うち、国際誌掲載の原著論文は 11 編）が掲載された。掲載誌の多くが海外の一流学術誌であり、質・量ともに十分評価できる。
　なお、野外観測と気候モデルの陸面過程、風洞実験と都市気象モデル、LES とメソ気象モデル、それぞれ連携することにより具体的な成果を挙げることが期待できる。
　現在、境界層乱流物理過程の観測･実験の人材育成が問題となりつつあることから、このことに寄与できるよう、様々な展開を積極的に図りながら、研究を推進して欲しい。

成果発表一覧
査読論文：25 件

1. Mouri, H., A. Hori, & M. Takaoka, 2009: Large-scale lognormal fluctuations in turbulence velocity fields, Physics of Fluids, 21, 065107.
2. Xu, J., S. Yu, J. Liu, S. Haginoya, Y. Ishigooka, T. Kuwagata, M. Hara & T. Yasunari, 2009: The Implication of Heat and Water Balance Changes in a Lake Basin on the Tibetan Plateau, Hydrological Research Letters, 3, 1-5.
3. Haginoya, S., H. Fujii, T. Kuwagata, J. Xu, Y. Ishigooka, S. Kang & Y. Zhang, 2009: Air-Lake Interaction Features Found in Heat and Water Exchanges over Nam Co on the Tibetan Plateau, SOLA, 5, 172-175.
4. 堀晃浩, 小野木茂, 2009: 熱線風速計用タングステン線の白金蒸着の方法, 日本風工学会論文集, 34, 111-114.
5. Kitamura, Y. & Y. Matsuda, 2010: Energy cascade processes in rotating stratified turbulence with application to the atmospheric mesoscale, J. Geophys. Res., 115, D11104.
6. Kitamura, Y., 2010: Self-consistency validation of subgrid scale parameterization schemes in a large-eddy simulation, J. Meteor. Soc. Japan, 88, 813-825.
7. Kitamura, Y., 2010: Modifications to the Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino (MYNN) model for the stable stratification case, J. Meteor. Soc. Japan, 88, 857-864.
8. Mouri, H. & A. Hori, 2010: Two-point velocity average of turbulence: Statistics and their implications, Physics of Fluids, 22, 115110.
9. Xu, J., K. Masuda, Y. Ishigooka, T. Kuwagata, S. Haginoya, T. Hayasaka & T. Yasunari, 2011: Estimation and verification of daily surface shortwave flux over China, J. Meteor. Soc. Japan, 89A, 225-238.
10. 堀口光章, 林 泰一, 足立アホロ, 小野木茂, 2010: 中立に近い大気境界層における組織的乱流構造—気象研究所気象観測鉄塔での観測—, 京都大学防災研究所年報, 53B, 329-336.
11. Mouri, H. 2011: Large-scale velocity fluctuations of turbulence, J. Physics Conference Series, 318, 042007.
12. Haginoya, S., H. Fujii, J. Sun & J. Liu, 2011: Features of air-lake interaction in heat and water exchanges over Erhai Lake, J. Meteor. Soc. Japan, 90C, 55-73.
13. Hashimoto, K., A. Hori, T. Hara, S. Onogi & H. Mouri, 2011, Dual-camera system for high-speed imaging in particle image velocimetry, J. Visualization, 15, 193-195.
14. Horiguchi, M., T. Hayashi, A. Adachi, & S. Onogi, 2011: Large-scale turbulence Structures and their contributions to the momentum flux and turbulence in the near-neutral atmospheric boundary layer observed using a 213-m tall meteorological tower, Boundary-Layer Meteor., 144, 179-198.
15. Mouri, H., H. Hori, Y. Kawashima & K. Hashimoto, 2011: Statistical mechanics and large-scale velocity fluctuations of turbulence, Physics of Fluids, 23, 125110.
16. Lee, B.Y. & S. Haginoya, 2011: The latent heat exchange on the ground, J. Environmental Sci. Korea, 20, 1061-1068.
17. Arimitsu, T., N. Arimitsu, & H. Mouri, 2012: Analyses of turbulence in a wind tunnel by a multifractal theory for probability density functions, Fluid Dynamics Research, 44, 031402.
18. Mouri, H., A. Hori, Y. Kawashima, & K. Hashimoto, 2012: Large-scale length that determines the mean rate of energy dissipation in turbulence, Physical Review E, 86, 026309.
19. Liu, J., J. Liu, H. W. Linderholm, D. Chen, Q. Yu, D. Wu and S. Haginoya, 2012: Observation and calculation of the solar radiation on the Tibetan Plateau, Energy Conversion and Management, 57, 23-32.
20. 小野木茂, 橋本孔佑, 堀晃浩, 毛利英明, 2013: 汎用デジタルカメラを使用した PIV 撮影技術, 日本風工学会論文集, 38 11-14.

21. Zhang G., S. Kang, K. Fujita, E. Huintjes, J. Xu, T. Yamazaki, S. Haginoya, Y. Wei, D. Scherer, C. Schneider, T. Yao, 2013: Energy and mass balance of the Zhadang Glacier surface, central Tibetan Plateau, J. Glaciology, 59, 137-148.
22. Kitamura, Y., A. Hori & T. Yagi, 2013: Flux Richardson number and turbulent Prandtl number in a developing stable boundary layer, J. Meteor. Soc. Japan., 91, 655-666.
23. Mouri, H. 2013: Log-normal distribution from a process that is not multiplicative but is additive, Physical Review E, 87, 042124.
24. 小野木茂, 萩野谷成徳, 堀晃浩, 八木俊政, 毛利英明, 2013: 汎用デジタルカメラを使用した野外 PIV 撮影技術～安全面と環境面に配慮した野外 PIV～, 日本風工学会論文集,投稿中.
25. Horiguchi, M., T. Hayashi, A. Adachi, & S. Onogi, 2013: Stability dependence and diurnal change of large-scale turbulence structures in the near-neutral atmospheric boundary layer observed from a meteorological tower, Boundary-Layer Meteor., submitted.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：7 件

1. 小野木茂, 2009： 地上風の測器, 日本風工学会誌, 34, 314-321.
2. Ishida, J., C. Muroi, K. Kawano & Y. Kitamura, 2010: Development of a new nonhydrostatic model "ASUCA" at JMA, CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling (2010), Sec. 5 11-12.
3. Hayashi, Y.-Y., M. Ishiwatari, M. Odaka, Y. Kitamura, M. Takagi, Y. O. Takahashi, S. Takehiro, K. Nakajima, G. L. Hashimoto & Y. Matsuda, 2011: Simulations of Atmospheric General Circulations of Earth-like Planets by AFES, Annual Report of the Earth Simulator 2011, 29-34.
4. 毛利英明, 2011： 乱流と層流, 風の辞典 (真木太一, 新野宏, 野村卓史, 林陽生, 山川修治), 丸善, 丸善出版, p.41.
5. Hara, T., K. Kawano, K. Aranami, Y. Kitamura, M. Sakamoto, H. Kusabiraki, C. Muroi, & J. Ishida, 2012: Physics Library and its application to ASUCA, CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling (2012), Sec. 5 5-6.
6. Hayashi, Y.-Y., Y. O. Takahashi, N. Sugimoto, M. Takagi, M. Ishiwatari, M. Odaka, S. Takehiro, K. Nakajima, Y. Kitamura, G. L. Hashimoto, & Y. Matsuda, 2012: Simulations of Atmospheric General Circulations of Earth-like Planets by AFES, Annual Report of the Earth Simulator 2012, 33-39.
7. 気象測器検定試験センター, 気象研究所物理気象研究部, 2013: 雨量計周囲の気流に架台が及ぼす影響についての調査報告, 測候時報, 80, 1-5.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：10 件

1. Haginoya, S. & J. Xu, 2009: A climatological estimate of heat and water fluxes over the Tibetan Plateau, International Conference on Land Surface Radiation and Energy Budget, March 2009, Beijing, China (Abstract Book, P-8).
2. Kitamura, Y., 2010: Modifications to the Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino (MYNN) model for the stable stratification case, First International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models, 29 September – 1 October 2010 Kyoto, Japan.
3. Haginoya, S., H. Fujii, T. Kuwagata, J. Xu, Y. Ishigooka, S. Kang & Y. Zhang, 2010: Air lake interaction features found in heat and water exchanges over Nam Co on the Tibetan Plateau, The 2nd CAS-CEOP International Workshop on Energy and Water Cycle over the Tibetan Plateau and High Elevations, 19-21 July 2010, Lhasa, China (Abstract Book, S-1.7, 27-32).
4. Lee, B.Y. & S. Haginoya, 2011: Evapotranspiration measurement by small lysimeter,

International Symposium on Agricultural Meteorology, 17-18 March 2011, Kagoshima, Japan.
5. Mouri, H., 2011: Large-scale velocity fluctuations of turbulence, 13th European Turbulence Conference, 12-15 September 2011, Warsaw, Poland (Abstract Book, p. 117).
6. Mouri, H., A. Hori, Y. Kawashima, and K. Hashimoto 2012: Normalization of the mean rate of energy dissipation in turbulence, 23rd International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, 19-24 August 2012, Beijing, China (Abstract Book p. 294).
7. Kawano, K., K. Aranami, T. Hara, Y. Kitamura, M. Sakamoto & C. Muroi, 2012: Development of a nonhydrostatic model "ASUCA" at JMA, Climate 2012 International workshop on climate change projection and high performance computing, 12-15 March 2012, Hawaii, USA (http://www.prime-pco.com/climate2012/agenda.html).
8. Mouri, H. 2013: Length scale to determine the rate of energy dissipation in turbulence, 14th European Turbulence Conference, 1-4 September 2013, Lyon, France (Program Booklet).
9. Kawano, K., T. Hara, Y. Kitamura, H. Kusabiraki, M. Sakamoto & C. Muroi, 2013: An activity to improve the simulation of mesoscale convection in ASUCA: a new nonhydrostatic model of JMA, Climate 2013, 20-22 March 2013, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA (http://www.prime-pco.com/climate2013/agenda.html).
10. Ito, J., N. Niino & M. Nakanishi, 2013: Horizontal turbulent diffusion in a convective mixed layer, AGU Fall Meeting, 9-13 December 2013, San Francisco, USA (Abstract, A53G-08).

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：38 件

1. 小野木茂, 足立アホロ, 2009：1.3GHz ウィンドプロファイラーの下層測風性能の改善～最下層データに生じるノイズの新しい除去方式～, 日本気象学会 2009 年秋季大会(講演予稿集, D356).
2. 毛利英明, 堀晃浩, 高岡正憲 2009：乱流速度場の大スケール揺らぎにおける対数正規性, 日本流体力学会年会（講演要旨集,p.38).
3. 毛利英明, 2009：乱流２点速度和の統計的特徴, 日本物理学会秋季大会（予稿集,28aQC-5).
4. 毛利英明, 2009：乱流２点速度和の統計的特徴, 京都大学数理解析研究所研究集会「乱流の多重性・階層性とその数理的構造」(数理解析研究所講究録 1721, p. 12).
5. 栗原和夫, 村田昭彦, 佐々木秀孝, 花房瑞樹, 高藪出, 2010: 非静力学地域気候モデル(MRI-NHRCM)の完全境界実験による精度評価－九州領域および関西領域－, 日本気象学会 2010 年春季大会（講演予稿集,A211).
6. 北村祐二, 2010: 安定成層下での MYNN モデルの修正について, 日本気象学会 2010 年春季大会（講演予稿集,C451).
7. 前山徳久, 井上実, 堀晃浩, 市川陽一, 毛利英明, 2010: 風洞実験および数値計算によるベル型地形周りの気流場に関する研究, 第 51 回大気環境学会年会（講演要旨集, 2A0900).
8. 毛利英明, 2010：乱流速度場における大スケール変動の統計則, 日本物理学会秋季大会（予稿集, 25pTF-10).
9. 橋本孔佑, 堀晃浩, 小野木茂, 毛利英明, 2010: 汎用デジタルカメラを使用した PIV 撮影装置（２報), 日本気象学会 2010 年春季大会（講演予稿集,D101).
10. 又吉直樹, 奥野善則, 毛利英明, 田村哲郎, 中村修, 2010: 高層ビル屋上ヘリポート周辺の風計測, 第 48 回飛行機シンポジウム（アブストラクト集, 1E8).
11. 有光直子, 有光敏彦, 毛利英明 2010: MPDFT による風洞乱流 PDF の解析, 九州大学応用力学研究所研究集会「乱流現象及び非平衡系の多様性と普遍性」.
12. 毛利英明, 2011：乱流速度場における大スケール変動の統計熱力学形式による記述, 京都大学数理解析研究所研究集会「乱流研究 次の 10 年：乱流の動的構造の理解へ向けて」(数

理解析研究所講究録 1771, p. 135).
13. 北村祐二, 2011 : 安定境界層の鉛直フラックスにおけるパラメタリゼーションスキームの依存性, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会 (講演予稿集, AAS022-02).
14. 前山徳久, 井上実, 堀晃浩, 市川陽一, 毛利英明, 2011: 風洞実験および数値計算によるベル型地形周りの濃度場に関する研究, 第 52 回大気環境学会年会 (講演要旨集, 2D0900).
15. 市川陽一, 安藤由幸, 松本亮祐, 前山徳久, 井上実, 堀晃浩, 毛利英明, 2011: 風洞実験と CFD モデルによる火山排ガスの拡散予測, 第 52 回大気環境学会年会 (講演要旨集, 3A11139).
16. 河野耕平, 荒波恒平, 原旅人, 北村祐二, 室井ちあし, 2011 : 気象庁における非静力学モデル asuca の開発状況, 第 13 回非静力学モデルに関するワークショップ(講演予稿集, 34).
17. 伊藤純至, 新野宏, 中西幹郎, 2011 ： Terra Incognita における大気境界層モデルのアプリオリ・テスト, 第 13 回非静力学モデルに関するワークショップ (講演予稿集, 44).
18. 北村祐二, 堀晃浩, 八木俊政, 2011 : 安定成層でのフラックスリチャードソン数と乱流プラントル数の同定, 日本気象学会 2011 年秋季大会 (講演予稿集, D303).
19. 小野木茂、橋本孔佑、堀晃浩、原敏幸、毛利英明, 2011: 汎用デジタルカメラを使用したＰＩＶ撮影装置(３報), 日本気象学会 2011 年秋季大会 (講演予稿集, B102).
20. 毛利英明, 2012: 乱流エネルギー散逸率の規格化について, 京都大学数理解析研究所研究集会「乱流の普遍性と個別性」(数理解析研究所講究録 1822, p. 18).
21. 有光直子, 有光敏彦, 毛利英明, 2012: 風洞乱流のマルティフラクタル確率密度関数理論による解析 III, 日本物理学会年次大会（予稿集, 27pAE-4）
22. 毛利英明, 2012: 乱流エネルギー散逸率の規格化について, 日本物理学会年次大会（予稿集,27pAE-6).
23. 北村祐二, 2012: 安定境界層での乱流運動エネルギーの収支解析, 日本気象学会 2012 年春季大会(講演予稿集, D302).24.
24. 伊藤純至, 新野宏, 中西幹郎, 2012: 対流混合層の水平拡散について、日本気象学会 2012 年春季大会(講演予稿集, D303).
25. 毛利英明, 堀晃浩, 川島儀英, 橋本孔佑 2012: 乱流エネルギー散逸率の規格化について, 日本流体力学会年会 2012(講演論文集 No. 140).
26. 北村祐二, 2012: a priori 解析に基づいて推定した渦粘性係数の空間解像度依存性, 日本気象学会 2012 年秋季大会(講演予稿集, C353).
27. 伊藤純至, 新野宏, 中西幹郎, 2012: 大規模ラージ・エディ・シミュレーションによる境界層モデルの検討、日本気象学会 2012 年秋季大会(講演予稿集, D164).
28. 小野木茂, 堀晃浩, 八木俊政, 萩野谷成徳, 毛利英明 2012: 汎用デジタルカメラを利用した野外ＰＩＶ手法による雨量計周辺気流の可視化, 2012 可視化情報学会全国講演会(可視化情報学会誌 Vol.32 Suppl. No.2, 165-166)
29. 北村祐二, 2012: a priori 解析に基づいて推定した渦粘性係数の空間解像度依存性, 東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会「地球流体における流れのスケール間相互作用の力学」.
30. 毛利英明, 2013: 乱流速度場の大スケール変動:加算過程がもたらす対数正規性, 京都大学数理解析研究所研究集会「多重物理・多重スケール乱流現象の数理」(数理解析研究所講究録, 印刷中).
31. 伊藤純至, 新野宏, 中西幹郎 2013: MYNN モデルのダブルカウント問題, 日本気象学会 2013 年秋季大会(講演予稿集, C414).
32. 毛利英明, 2013: 乱流速度場の大スケール変動： 加算過程がもたらす対数正規性, 日本物理学会秋季大会 (予稿集, 25pKJ-6).
33. 伊藤純至, 新野宏, 中西幹郎 2013: Terra Incognita スケール境界層モデルの設計とテスト, 第 15 回非静力学モデルに関するワークショップ (講演予稿集, 44).
34. 滝本貴弘, 桑形恒男, 萩野谷成徳, 石郷岡康史, 徐健青, 藤井秀幸, 康世昌 2013: チベット高原南部における裸地面熱・水収支の長期解析, 日本象学会 2013 年秋季大会(講演予稿集, C361).

35. 萩野谷成徳, 桑形恒男, 石郷岡康史, 滝本貴弘, 徐健青, 藤井秀幸, 唐世昌 2013: チベット高原ナム湖域の熱・水循環, 日本象学会 2013 年秋季大会(講演予稿集, C362).
36. 甲斐智博, 萩野谷成徳 2013: 気象研究所露場観測データによる草地の地表面熱収支の解析, 日本象学会 2013 年秋季大会(講演予稿集, C366).
37. 伊藤純至, 新野宏, 中西幹郎 2013: Terra Incognita スケールにおける大気境界層モデルの試作, 日本象学会 2013 年秋季大会(講演予稿集, D115).
38. 毛利英明, 2014: 乱流間欠性の対数安定分布理論について, 京都大学数理解析研究所研究集会「大スケール流体運動と乱流揺らぎ」(数理解析研究所講究録, 印刷予定).

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：3 件

1. Hori, A., K. Kurihara & K. Hashimoto, 2009: Wind tunnel experiment for diffusion of volcanic gas erupted from Miyake Island, Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology (Abstract Collection, P-69).
2. Kitamura, Y., 2009: Self-consistency validation of subgrid scale parameterization schemes in large-eddy simulation, AGU fall meeting (Abstract Collection, A13G-0327).
3. Sakamoto, M., K. Kawano, K. Aranami, T. Hara, H. Kusabiraki, J. Ishida, C. Muroi, & Y. Kitamura, 2013: Computational instability arising from Ying-Yang boundary, 19th AMS Conference on Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics, 16-21 June 2013, Rhode Island, USA (https://ams.confex.com/ams/19Fluid17Middle/webprogram/Paper227005.html).

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：15 件

1. 堀口光章, 林泰一, 足立アホロ, 小野木茂, 2009: 大気境界層における乱流構造－つくばにおける観測の解析－,日本気象学会 2009 年春季大会（講演予稿集, P217).
2. 萩野谷成徳, 小野木茂, 2009:館野の鉄塔データから推定した粗度長の長期変動, 日本気象学会 2009 年春季大会（予稿集, P218).
3. 柏浦徹, 上野健一, 萩野谷成徳, 2009 : 超音波積雪深計による草丈観測と熱収支変動, 日本気象学会 2009 年春季大会（予稿集, P408).
4. 萩野谷成徳, 藤井秀幸, 桑形恒男, 徐健青, 石郷岡康史, 康世昌, 2009 : チベット高原ナム湖における熱・水循環過程の研究, 日本気象学会 2009 年秋季大会（予稿集, P356).
5. 萩野谷成徳, 藤井秀幸, 桑形恒男, 徐健青, 石郷岡康史, 康世昌, 2010 : チベット高原ナム湖における熱・水循環過程の研究(2), 日本気象学会 2010 年春季大会（予稿集 P212).
6. 堀口光章, 林泰一, 足立アホロ, 小野木茂, 2011: 中立に近い大気境界層における組織的乱流構造－気象観測鉄塔(つくば)によるデータの解析－,日本気象学会 2011 年春季大会（講演予稿集, P128).
7. 萩野谷成徳, 張擁軍, 張国帥, 桑形恒男, 徐健青, 藤井秀幸, 石郷岡康史, 康世昌, 2011 : チベット高原ナム湖における放射観測, 日本気象学会 2011 年春季大会（予稿集, P335).
8. 萩野谷成徳, 藤井秀幸, 徐健青, 桑形恒男, 石郷岡康史, 康世昌, 2011 : チベット高原上の湖の衛星データ解析, 日本気象学会 2011 年春季大会（予稿集, P435).
9. 萩野谷成徳, 藤井秀幸, 張擁軍, 張国帥, 桑形恒男, 徐健青, 石郷岡康史, 康世昌, 2011 : チベット高原ナム湖域の雲量日変化, 日本気象学会 2011 年秋季大会（予稿集, P115).
10. 萩野谷成徳, 張国帥, 徐健青, 藤井秀幸, 桑形恒男, 石郷岡康史, 康世昌,2012 : チベット高原ナム湖畔の気象観測、日本気象学会 2012 年春季大会(講演予稿集、P230).
11. 北村祐二, 河野耕平, 原旅人, 坂本雅巳, 草開浩, 室井ちあし 2012: 非静力学モデル asuca を用いた大気境界層の LES, 日本気象学会 2012 年秋季大会(講演予稿集, P331).
12. 萩野谷成徳, 張国帥, 徐健青, 藤井秀幸, 桑形恒男, 石郷岡康史, 康世昌, 2012 : チベット高原ナム湖畔の気象観測(２),日本気象学会 2012 年秋季大会(講演予稿集, P328).
13. 萩野谷成徳, 藤井秀幸, 桑形恒男, 徐健青, 石郷岡康史, 康世昌, 2013: 1 日 4 回の衛星表面温度(LST)の観測値から日平均地表面温度等の推定,日本気象学会 2013 年春季大会(講演予稿

集, P403).
14. 北村祐二, 2013: a priori 解析に基づいて推定した渦粘性係数の空間解像度依存性(2), 日本気象学会 2013 年秋季大会(講演論文集, P109).
15. 小野木茂, 萩野谷成徳, 堀晃浩, 八木俊政, 毛利英明, 2013: 汎用デジタルカメラを使用した野外ＰＩＶ技術, 日本気象学会 2013 年秋季大会(講演予稿集, P108).

エーロゾル—雪氷相互作用に関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：青木輝夫（気候研究部第六研究室長）

研究担当者

青木輝夫、朽木勝幸、庭野匡思、内山明博[1)]（気候研究部）、田中泰宙（環境・応用気象研究部）

研究の目的

エーロゾルが大気中及び雪氷面において放射収支を変化させるプロセスを観測及びモデル化することにより、気候へ与える効果を明らかにすると共に、衛星観測により積雪物理量と雪氷面アルベドの変化を監視する。

研究の動機・背景

光を吸収する性質の吸収性エーロゾル（主にすすとダスト）は雪氷面に沈着し、アルベドを低下させることにより温暖化を加速する効果を持っている。その効果を定量的に明らかにするため、雪氷・放射観測、放射過程のモデル化、全球エーロゾル輸送モデル（Model of Aerosol Species IN the Global AtmospheRe）MASINGAR（担当：研究課題「大気環境の予測・同化技術の開発」）、衛星観測の手法を用い、気候へ与える効果を明らかにすると共に、衛星観測により積雪物理量と雪氷面アルベドの変化を監視する。

現在の気候モデルでは近年の北極圏おける雪氷の急激な融解を再現できておらず、その克服が重大な課題となっている。急激な融解の原因の一つとして、黒色炭素等の吸収性エーロゾルによる積雪汚染が注目されているが、現在の気候モデルでは雪氷面アルベドは気候値や現在気候下における経験的なパラメタリゼーションによって決定されているため、一般的に急激な北極圏の温暖化には対応できない可能性が指摘されている。また、積雪アルベドを支配する重要な物理量である積雪粒径と不純物濃度とアルベドの衛星による同時広域監視が、温暖化に伴う雪氷圏変動の把握にとって重要な知見を与えるものと期待される。一方、様々なエーロゾルが気候に与える影響を解明するために、エーロゾル輸送モデルを用いた研究は非常に有効な方法であるが、モデルの中で用いる各種エーロゾルの光学特性には不確定な要素が多く、気候に対する影響を正確に評価するためには代表的なエーロゾル粒子（硫酸、海塩、ダスト、黒色炭素、有機炭素）に対して、妥当な光学モデルを構築することが急務となっている。

研究の成果の到達目標

① 雪氷面放射過程の解明と雪氷面アルベド物理モデルの高度化

札幌において放射、積雪、エーロゾルの観測を行い、それらを元に既存の積雪アルベド物理モデルの精度向上を図る。また、理論的な海氷のみのアルベドモデルと前述の積雪アルベドデルを組み合わせて、海氷-積雪系のアルベドモデルを開発し、全球の雪氷面に適応できるアルベドモデルを構築する。さらに、積雪内部の放射加熱、熱輸送、温度分布、粒子の変態過程も計算できる積雪変態・アルベド物理モデルの機能を付加する。

② 吸収性エーロゾル沈着による雪氷面アルベド低下と大気エーロゾル変動が気候に与える影響評価

①の観測データや他のユニットの観測データを用いて、新たに代表的なエーロゾル粒子（硫酸、海塩、ダスト、黒色炭素、有機炭素）に対して、MASINGAR 用光学モデルを開発し、大気エーロゾル変動が気候に与える影響評価を行う。また、エーロゾル光学モデルを用いて紫外域放射モデルの高度化を行う。

[1)]平成 21 年度

③ 衛星観測による積雪物理量や雪氷面アルベドの抽出技術の改良と雪氷圏変動の監視
GLI 雪氷グループで開発した積雪粒径、不純物濃度の衛星リモートセンシング・アルゴリズムを高度化する。また、雪氷面アルベド抽出アルゴリズムを新規に開発し、上記積雪物理量と共にMODIS センサー等衛星データから遠隔抽出を行う。これらの結果から②の MASINGAR による計算結果を検証すると共に、主に極域におけるこれら物理量の時空間変動を調べ、雪氷圏の急激な温暖化の原因解明に資する。

研究結果

（成果の概要）

① 札幌において放射・気象・積雪・エーロゾルの連続観測を行い、可視・近赤外域のアルベド及び積雪内部の短波放射加熱分布を物理的に計算する積雪アルベド物理モデル（Physically Based Snow Albedo Model: PBSAM, Aoki et al., 2011）と積雪の内部構造を計算するための積雪変態・アルベド・プロセス・モデル（Snow Metamorphism and Albedo Process model：SMAP, Niwano et al., 2012）を開発し、気象研究所の地球システムモデル（MRI-Earth System Model1: MRI-ESM1）に移植した。SMAP モデルで札幌における積雪不純物の効果に関する感度実験を行ったところ、積雪不純物によるアルベド低下により 16-19 日間融雪が早められていたことが分かった。同観測データは米国 NASA のグループにも提供し、気候モデル中の陸面モデルの改良に利用された（Yasunari et al., 2010）。札幌における 2007-2013 年の 6 冬期間の積雪中の黒色炭素（black carbon：BC）、有機炭素（organic carbon：OC）、ダスト各重量濃度の長期変化を解析した結果、顕著な経年変化は確認されなかった。

② 大気及び積雪中の光吸収性エーロゾルの湿度依存性を考慮した光学モデルを改訂し（青木, 2010）、積雪不純物によるアルベド低下に伴う放射強制力の全球分布を MASINGAR によって求めた結果、BC 及びダスト単独による場合に比べ、両者が存在すると増幅効果のあることが分かった(青木・田中, 2011)。また、IPCC に提出した気候変動相互比較実験 CMIP5 において、MASINGAR と結合された気象研究所気候モデル MRI-CGCM3 および MRI-ESM1 の結果から歴史実験で再現された積雪中の BC およびダストの含有量を解析した。一方、エーロゾルと積雪粒子との内部混合型一次散乱モデルを開発し、光学特性を計算した結果、外部混合モデルに比べて光吸収性が強いことが分かった。エーロゾル観測では、2010 年 4 月から気象研究所において大気中の光吸収性エーロゾルの連続測定を実施し、OC、元素状炭素（elemental carbon：EC～BC）、ダストの各濃度の日々の変動や季節変化を解析した。一方、グリーンランドでの観測データ解析では、夏季のグリーンランド氷床上で雪面から水分が昇華・蒸発することにより表面付近の積雪不純物濃度に濃縮効果のあることが分かった（Aoki et al., submitted to BGR）。

③ 全天分光日射計による積雪物理量抽出アルゴリズム（Kuchiki et al., 2009）を積雪 2 層・非球形粒子モデルに高度化し、北海道における観測データを用いて精度を検証した。また、現場分光放射観測及びモンテカルロ放射伝達モデルによる数値実験によって、雪面の凹凸（サスツルギ）が反射率に与える影響を定量的に評価した。その結果をもとに開発した衛星リモートセンシング・アルゴリズムを南極点のサスツルギ雪面に適用し、積雪粒径、サスツルギの方向、振幅を抽出した（Kuchiki et al., 2011）。衛星リモートセンシングでは非球形積雪粒子のモデル化、従来の積雪 1 層モデルアルゴリズムから 2 層モデルアルゴリズムへの改良を行った。また、その結果を PBSAM に入力してアルベドを計算するアルゴリズムを開発した。それらのアルゴリズムを用いて、MODIS 衛星データから積雪粒径、BC 濃度を抽出し、グリーンランド等における地上検証観測データと比較した結果、良い一致が見られた。そこで、グリーンランドにおける過去 12 年間の積雪粒径と BC 濃度を抽出した。さらに、海外の研究者と共同で Asymptotic theory による積雪粒径抽出アルゴリズムを開発し、過去の地上同期検証データによって精度検証を行った。

（副課題ごとの研究成果）

① 雪氷面放射過程の解明と雪氷面アルベド物理モデルの高度化

・ 札幌において放射・気象・積雪・エーロゾルの連続観測を行い、以下に述べる各種モデル開発・

検証用の高精度データセットを整備した。

・ 積雪粒径、不純物濃度、積雪深、密度等の任意の積雪構造、任意の日射条件で可視・近赤外域のアルベド及び積雪中の短波放射加熱分布を物理的に計算できる PBSAM を開発した。また、気候モデルで用いることができる高速版 PBSAM を開発し、札幌における放射・気象・積雪観測データによって検証し、精度を維持するために必要な波長バンド数、積雪層数を決定した（Aoki et al., 2011）。このモデルを気象研究所の ESM に移植した。

・ 札幌における 2006-2011 年の 5 冬期間の放射収支・積雪断面観測データ、積雪不純物（ダストと BC）濃度データから、PBSAM を用いて積雪不純物による日々のアルベド低下量と放射強制力を求めた。その結果、放射強制力の増加には、不純物濃度だけでなく、積雪粒径の増加と日射量の増加（遅い時期ほど増加）が寄与していることが分かった。また、同観測データから積雪内部の短波放射吸収率を見積もったところ、積雪粒径の増加時により深い層まで加熱されていることも分かった（Aoki et al., 2011）。

・ PBSAM の更なる正確な精度評価のため、札幌においてアルベド測定精度向上のための改良型放射収支架台の設置と全天分光日射計から求めた積雪粒径を PBSAM へ入力した結果、PBSAM によって計算される短波長域アルベドの平均二乗平方根誤差は 0.056 から 0.030 に改善した。

・ 雪面熱収支、雪中熱伝導、水分移動、融解・再凍結、圧密等の積雪物理過程を考慮し、PBSAM を組み込んで積雪変態過程、アルベド、層構造、温度分布を計算することができる SMAP モデルを開発し、気象研究所の ESM に移植した（Niwano et al., 2012）。

・ SMAP モデルを用いて、2007-2009 二冬期の札幌の融雪に対する積雪不純物の定量的寄与を評価したところ、2007-2008 冬期は 19 日、2008-2009 冬期は 16 日、融雪が早められていたことが分かった（Niwano et al., 2012）。

・ SMAP の精度検証は、札幌、長岡、芽室、およびグリーンランドで実施された。大気―積雪相互作用を規定する雪面アルベドと雪面温度はいずれのサイトでも良好な精度で計算されたが、冬期最大積雪深が非常に大きな季節積雪域での融雪計算には課題が残った。

・ 大気―積雪―土壌間相互作用の理解を目的として、SMAP モデルに土壌サブモデルを導入した。積雪―土壌結合計算を札幌と長岡で実施して精度検証を行ったところ、一冬期間の表面 1m 程度の土壌温度変化を精度よく計算できることを確認した。

・ 積雪不純物濃度の測定精度を向上させるため、複数の濾過フィルターによる比較分析、炭酸塩炭素の影響評価、凝集剤の定量的評価等の実験を行い、不純物濃度分析手法を確立した。この手法を用いて、札幌における 6 冬期（2007-2013 年）の BC、OC、ダストの各重量濃度の長期変化を解析した。各不純物濃度は、1-2 月の涵養期に比較的低濃度、3-4 月の融雪期に濃度が増加する季節変化が見られたが、顕著な経年変化は確認されなかった。表層 0-2 cm における BC、OC、ダスト濃度の全期間の中央値は、それぞれ 0.20, 0.34, 3.80 ppmw であった。

② 吸収性エーロゾル沈着による雪氷面アルベド低下と大気エーロゾル変動が気候に与える影響評価

・ 大気及び積雪中の光吸収性エーロゾルの湿度依存性を考慮した光学モデルの改訂を行った。特に、BC とダストは最新の文献を元に、複素屈折率、粒径分布、混合形態、湿度依存性を見直し、コア・シェル型の内部混合を仮定し、波長別及び広波長帯域の一次散乱特性のデータセットを構築した（青木, 2010）。

・ 積雪不純物によるアルベド低下がもたらす放射強制力の全球分布を MASINGAR によって見積もった結果、全球年平均値は BC とダストそれぞれによって 0.09 Wm-2、0.04 Wm-2 であった。これらの値は先行研究と概ね同程度であるが、BC とダストが同時に存在すると、0.42 Wm-2 となり増幅効果のあることが分かった（青木・田中, 2011）。

・ IPCC に提出した気候変動相互比較実験 CMIP5 において、全球エーロゾルモデル MASINGAR と結合された気象研究所気候モデル MRI-CGCM3 および MRI-ESM1 の結果から歴史実験で再現された積雪中の BC およびダストの含有量を解析した。歴史実験で用いられる BC 放出量では 19 世紀末から 21 世紀初めにかけて BC を多量に放出する地域は著しく変化し、それとともに積雪中の BC 含有量も変化する結果となった。また、グリーンランドのアイスコアで観測されているコア中の BC 含有量の時系列変化の傾向はシミュレーションによってほぼ同じ傾向が再現されてい

た（田中他、2012）。
・吸収性エーロゾルの気候への影響を調査するため、全球エーロゾルモデル MASINGAR と結合された大気・海洋結合気候モデル MRI-CGCM3 を用いて、BC の大気放射への影響の有無による気温や大気循環の変化を調べた。BC の光吸収による大気放射への影響により、全球平均の気温はわずかに上昇するが、加熱による積雲対流活動への影響が大きく、気温の変化は地域によって大きく異なることが示唆された（Tanaka et al., 2013）。
・2010年4月から気象研究所において大気中の光吸収性エーロゾルの連続測定を実施し、OC、EC、ダストの各濃度の日々の変動や季節変化を観測した。3 年半の観測結果について統計的な解析を行った結果、各カーボン濃度は 10-2 月の冬期に上昇し、また風系別では東よりの風に比べて西寄りの風の場合に高濃度であった。
・光学モデルの改良では粒径分布を持ったエーロゾルが積雪粒子の内部に混合した粒子モデル（dynamic effective medium approximation: DEMA）を導入し（内部混合モデル）、光学特性を計算した結果、外部混合モデルに比べて質量吸収係数が 2 倍程度大きいことが分かった。
・夏季のグリーンランド氷床上では雪面から水分が昇華・蒸発することにより表面付近の積雪不純物濃度が 1 週間で 2 倍程度濃縮される効果のあることが分かった（Aoki et al., submitted to BGR）。
・2012 年夏期にグリーンランド全域で発生した記録的な表面融解イベントを対象として、北西グリーンランド SIGMA-A サイト（78° 03’ N, 67° 38’ W, 1,490 m a.s.l.）で取得した気象データと SMAP を用いて大気―積雪相互作用の解析を行った。その結果、2012 年 7 月 10 日から 14 日にかけて現地で観測された急激な融解に対しては長波放射・顕熱・潜熱の増加が支配的な役割を担っていたことを明らかにした。このことは総観スケールの大気場の変化によって暖気が流入したことと下層雲が増加したことに起因すると考察した。
・また、衛星リモートセンシングによって裸氷上の雪氷微生物濃度を求めるために、波長別アルベドの現場観測データから放射伝達モデルによって雪氷微生物の複素屈折率を求めた結果、クリオコナイトでは波長 1.0 ミクロン以下で一様に吸収が強かったのに対し、赤雪では波長 0.6 ミクロン以下で非常に吸収が強いことが分かった（Aoki et al., 2013）。
・2012 年 6-7 月のグリーンランド氷床上におけるアルベド観測値を PBSAM で計算し、積雪不純物及び積雪粒径変化による感度実験を行ったところ、不純物によるアルベド低下量は 0.01 以下であったものの、温度上昇に伴う積雪粒子成長効果によって 0.1 前後あることが分かった。

③　衛星観測による積雪物理量や雪氷面アルベドの抽出技術の改良と雪氷圏変動の監視
・全天分光日射計による積雪物理量抽出アルゴリズムを積雪 1 層・球形粒子モデルから積雪 2 層・非球形粒子モデルに高度化し、北海道における観測データを用いて精度を検証した。その結果、粒径によって最適な粒子モデルが異なることが分かった（Kuchiki et al., 2009）。
・雪面の凹凸（サスツルギ）が衛星観測にとって重要な双方向反射率に与える影響を調べるため、モンテカルロ放射伝達モデルによる数値実験を行い、人工的に凹凸を付けた雪面上での実測値と比較し、サスツルギの定量的効果を確認した。この結果をもとに開発した衛星観リモートセンシング・アルゴリズムを南極点のサスツルギ雪面に適応し、積雪粒径、サスツルギの方向、振幅を抽出した（Kuchiki et al., 2011）。
・回転楕円体及びボロノイ型凝集粒子から成る非球形積雪粒子による積雪 2 層モデルアルゴリズムを開発し、Terra/Aqua 衛星 MODIS データから積雪粒径、黒色炭素濃度を抽出した。グリーンランド等における地上検証データと比較したところ、概ね良好な結果が得られた。さらに、積雪粒径と黒色炭素濃度の抽出結果を PBSAM に入力して広波長帯域アルベドを抽出するアルゴリズムを開発した。また、MODIS データからグリーンランドにおける過去 12 年間の積雪粒径と BC 濃度を抽出した。
・Asymptotic theory による積雪粒径抽出アルゴリズムを開発し、過去の地上同期検証データによって精度検証を行った（Lyapustin et al., 2009; Kokhanovsky et al., 2011; Wiebe et al., 2013）。
・グリーンランドにおける過去 12 年における裸氷域の変化とその上の雪氷微生物による暗色域面積の変化を調べたところ、約 2 倍に拡大していることが分かった。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

① 雪氷面放射過程の解明と雪氷面アルベド物理モデルの高度化

積雪アルベド物理モデル開発では、当初、不純物過程と物理的な粒径計算過程の改良を主目的に行い、高精度の PBSAM が完成したが、さらに積雪内部の短波放射加熱、熱輸送、温度分布、含水率、積雪の形態に関する情報などの様々な予測が可能となることが分かったため、積雪の内部構造を予測する包括的な SMAP モデルへ拡張して開発を進めた。その結果、大気―積雪相互作用に関して多角的な観点から研究を進めることが可能となった。

② 吸収性エーロゾル沈着による雪氷面アルベド低下と大気エーロゾル変動が気候に与える影響評価

当初、代表的なエーロゾル粒子（硫酸、海塩、ダスト、BC、OC）に対して、MASINGAR 用光学モデルを高度化する予定であったが、近年研究が進んでいるダストと黒色炭素の吸収性エーロゾルに絞って高度化を行った。硫酸、海塩、OC については現時点では既存の光学モデルを利用可能である。また、2010 年 4 月から気象研究所において MASINGAR 検証等のために、シーケンシャル・エーロゾル・サンプラーによる大気中の光吸収性エーロゾルの連続測定を開始した。

③ 衛星観測による積雪物理量や雪氷面アルベドの抽出技術の改良と雪氷圏変動の監視

「主に極域における積雪物理量の時空間変動を調べ、雪氷圏の急激な温暖化の原因解明に資する」とした目標設定をより具体的に、近年融解の著しいグリーンランドを対象とすることとした。一方、本庁気象衛星課と気象衛星センターから、次期静止気象衛星雪氷プロダクト協力依頼があり、その一環として気象衛星の各チャンネルに対応した雪氷面の方向別反射のルックアップテーブルを提供した。

成果の他の研究への波及状況

① 雪氷面放射過程の解明と雪氷面アルベド物理モデルの高度化

PBSAM 及び SMAP モデルを気象研究所の MRI-ESM1 の陸面モデル（Hydrosphere Atmosphere and Land: HAL）への移植を行った。これにより大気中の黒色炭素及びダストが雪氷面に沈着することによりアルベドが低下し、融雪が早まる効果などの気候感度実験が可能となった。札幌における放射・気象・雪氷・エーロゾル観測データは、米国 NASA のグループに提供し、気候モデル中の陸面モデルの改良に利用された（Yasunari et al., 2010）。また、各種外部資金（3.3 章参照）において、それぞれ PBSAM と SMAP モデルが利用され、特に、3.3 章（ア）科学研究費補助金ではグリーンランドの積雪状態変化の評価に SMAP モデルが使用されている。さらに、北海道農業研究センター芽室拠点で行われている、融雪期に耕作を早く行うための融雪剤散布の定量的効果の研究（数値実験）にも採用されることになった。

② 吸収性エーロゾル沈着による雪氷面アルベド低下と大気エーロゾル変動が気候に与える影響評価

気象研究所における大気エーロゾル中カーボン分析のために採取したフィルター試料の一部は、環境・応用気象研究部第四研究室においてイオン分析と放射線測定のために使用されている。これらの観測データは、MASINGAR の検証や、エーロゾルの混合状態の研究に利用可能である。また、②本研究で開発した DEMA 内部混合モデルと③非球形粒子散乱モデルは、次の 3.3 章（エ）JAXA との共同研究のアルゴリズム改良に利用された。一方、気象研究所におけるシーケンシャル・エーロゾル・サンプラーデータを環境・応用気象研究部の五十嵐グループに提供し、その顕微鏡解析から福島原発事故由来の放射性物質がエーロゾル中のどのような混合形態で飛来したか明らかになった（Adachi et at., 2013, doi: 10.1038/srep02554）。

③ 衛星観測による積雪物理量や雪氷面アルベドの抽出技術の改良と雪氷圏変動の監視

衛星リモートセンシング関連で改良したアルゴリズムは、他の研究資金による研究でも利用されている（3.3 章参照）。また、地上検証観測データはドイツ・ブレーメン大学及び米国 NASA の研究者に提供し、共同で積雪物理量の衛星リモートセンシング・アルゴリズム開発を行い、その検証に利用された（Lyapustin et al., 2009; Kokhanovsky et al., 2011; Wiebe et al., 2013）。

今後の課題

① 雪氷面放射過程の解明と雪氷面アルベド物理モデルの高度化

・積雪アルベド物理モデル開発は SMAP モデルを中心として今後も実施する。現在、積雪比表面積をキーパラメータとして積雪物理過程の再構築を行う動きが世界的に活発になりつつある（山口ほか, 2013）ので、その動向に遅れないようにする必要がある。また、地域固有の経験的なパラメタリゼーションを物理モデル化し、他の様々な気候条件下の地点にも適用して、モデルの信頼性を高める必要がある。

・SMAP モデルは雪質、雪温などの予測にも利用できるため、将来的に、積雪に関する防災情報の改善などの可能性がある。今後は NHM 等の領域モデルに組み込み、積雪粒径や積雪不純物がアルベドに与える領域的な効果の研究に利用できないか検討する。また、気候変動に対する積雪の応答についてのプロセス研究にも利用する。

・PBSAM は現在積雪不純物としてダストと BC を考慮しているが、今後は OC や雪氷微生物なども考慮していく必要がある。また、PBSAM の海氷モデルへの拡張も必要である。

・PBSAM で用いる積雪の非球形粒子散乱光学モデルには、衛星リモートセンシング・アルゴリズムに合わせてボロノイ凝集モデルと積雪不純物の内部混合（DEMA）モデルによるバージョンアップを行い、その効果を検証する。

② 吸収性エーロゾル沈着による雪氷面アルベド低下と大気エーロゾル変動が気候に与える影響評価

・今後の光吸収性大気エーロゾル光学モデルの開発は、気象研究所内外の他の研究グループと連携して、粒子混合状態の解明を行った上で、開発を進める必要がある。

・大気エーロゾルの気候影響評価を行うには全球大気モデル MRI-AGCM3 の放射伝達モデルの改修を行う必要があるため、今後、これらのモデルの改良については MASINGAR および MRI-AGCM3 の改良スケジュールに合わせて対応する。

・気象研究所におけるカーボン・エーロゾルの連続測定は今後も継続し、長期トレンド、季節変化を調べ、MASINGAR の検証を行う。

・カーボン・エーロゾルの測定精度に関しては、エーロゾル粒子のフィルター上への捕集率や EC と OC 分離誤差などの問題があるため、今後測定精度の向上を図る。

③ 衛星観測による積雪物理量や雪氷面アルベドの抽出技術の改良と雪氷圏変動の監視

・現在急激な融解の進行しているグリーンランドを主な対象として雪氷圏変動の監視を継続し温暖化の原因解明を進める。

・客観的な雪氷物理量測定手法の開発（積雪粒径測定手法、不純物濃度分析、アルベド測定装置、それらの自動化など）

・静止気象衛星の利用方法の検討

自己点検

（1）到達目標に対する達成度

① 雪氷面放射過程の解明と雪氷面アルベド物理モデルの高度化

札幌における観測は予定通り実施した。積雪アルベド物理モデル開発では、「（3）当初計画からの変更点」で述べたように積雪内部構造を計算できる SMAP モデルへの拡張を行い、当初の目標を達成した。気象研究所の ESM への移植は目標以上の成果である。理論的な海氷のみのアルベドモデル開発はテスト的に海氷中の気泡とブラインの効果を放射伝達モデルで計算し、基本的な振る舞いをチェックしたが、気候モデルに移植できる段階には至らなかった。しかし、PBSAM では海氷面のアルベドを外部から与えることにより海氷上の積雪アルベドを計算できる機能を有しているため、すでに実用的には海氷-積雪系のアルベドモデルとして利用可能である。（達成度 90%）

② 吸収性エーロゾル沈着による雪氷面アルベド低下と大気エーロゾル変動が気候に与える影響評価

ダストと BC の光学モデル開発は予定通り進捗した。硫酸、海塩、OC については現時点では前課題で開発した既存の光学モデルを利用可能である。気候に与える影響評価は積雪不純物（BC と

ダスト）について全球における放射強制力の計算を実施した。大気エーロゾルによる放射強制力の見積りは大気大循環モデル MRI-AGCM3 の放射伝達モデルの改修を行う必要があり、未達成である。紫外域放射モデルの高度化は、上記の光学モデルがそのまま利用できるようデータベース化されているので、現状でも精度向上が期待できる。（達成度 70%）

③　衛星観測による積雪物理量や雪氷面アルベドの抽出技術の改良と雪氷圏変動の監視

GLI 雪氷グループで開発した積雪粒径、不純物濃度の衛星リモートセンシング・アルゴリズムの高度化と雪氷面アルベド抽出アルゴリズム開発は目標通り進捗している。これら物理量の時空間変動解析はグリーンランドを対象とし、過去 10 年間の解析をほぼ終了した。MASINGAR による衛星観測結果の検証作業は今後実施する予定である。（達成度 80%）

（2）研究手法及び到達目標の設定の妥当性

積雪アルベド物理モデル開発において SMAP モデル開発への拡張を行うなどの研究手法の修正を行った。作業の遅れている目標は主に MASINGAR による計算結果の解析で、役割分担について連携が一部不十分であった。しかし、PBSAM 及び SMAP の MRI-ESM1 移植は目標以上の成果であった。衛星リモートセンシングについては、目標通り進捗した。また、それらのプロセス・モデルや衛星リモートセンシング・アルゴリズムをシーズとして、外部予算を獲得し、札幌やグリーンランド等での現場観測から新しい成果が得られたという点で、総合的な研究手法として妥当であると判断する。

（3）成果の施策への活用・学術的意義

- SMAP モデルは雪質、雪温などの予測にも利用できるため、将来、積雪に関する防災情報の改善などの可能性がある。また、気候変動に対する積雪の応答についてのプロセス研究にも利用可能である。
- SMAP モデル開発の進捗状況と代表的な成果を、気象庁技術開発推進本部モデル技術開発部会物理過程陸面サブグループにおいて報告・共有した。
- PBSAM と SMAP モデルの MRI-ESM1 への移植により、大気中の光吸収性エーロゾルが雪氷面アルベド変化を通して、気候に与える影響評価を行うことができるようになった。
- 気象研究所における大気中カーボン・エーロゾルの連続観測と札幌における積雪中黒色炭素濃度観測は、大気及び積雪を加熱する効果を有する黒色炭素の排出規制などの根拠となる基礎データを提供するものである。
- 積雪物理量の衛星リモートセンシングは、現在極域で急激に進行している雪氷融解の実態把握と原因究明に重要な役割を及ぼすことが期待される。
- 本研究で開発した雪氷物理量抽出アルゴリズム（雪氷面反射率モデル、雪氷面分類等）の一部は、気象衛星センターに移植し、次期静止気象衛星の雪氷面上雲検知、雪氷面分類アルゴリズムに利用されている。

（4）総合評価

「①雪氷面放射過程の解明と雪氷面アルベド物理モデルの高度化」では、札幌における放射・気象・雪氷・エーロゾル観測を着実に実施し、モデル検証用の信頼性の高いデータを取得した。高精度の積雪アルベド物理モデルの開発は目標通り達成し、それを拡張した SMAP モデルによって積雪の内部構造の計算できるようになった。更に、それらモデルの MRI-ESM1 への移植など目標以上の成果を挙げた。

「②吸収性エーロゾル沈着による雪氷面アルベド低下と大気エーロゾル変動が気候に与える影響評価」では、近年理解の進んだ吸収性エーロゾル（BC とダスト）について湿度依存性を考慮した光学モデルの高度化を行い、それらが PBSAM や SMAP モデルに利用されている。このことと①の成果により大気中の吸収性エーロゾルが雪氷面に沈着し、アルベド変化を通して、気候に与える影響評価ができるようになった。

「③衛星観測による積雪物理量や雪氷面アルベドの抽出技術の改良と雪氷圏変動の監視」では、非球形積雪粒子の導入、積雪 2 層モデルアルゴリズムの開発、PBSAM による雪氷面アルベド抽出

アルゴリズム開発、雪面の凹凸（サスツルギ）が双方向反射率に与える効果のモデル化を行い、雪氷面衛星観測技術の改良は目標通り進んだ。さらに、衛星リモートセンシング・アルゴリズムの一部は気象衛星センターに移植済みで、業務へのフィードバックも行った。

これらの成果をもとに、外部資金を獲得し、雪氷融解の著しいグリーンランドを中心に現地観測や雪氷圏変動の監視を現在行っている。既に新しい観測事実も見つかり、雪氷圏の急激な温暖化の原因解明が期待できる。

以上の結果は、内外の雑誌に投稿・掲載されており（査読付き論文 15 本）、現在投稿中の論文は 4 本、現在執筆中の論文は数本あり、、着実に成果が挙がっている。

最後に問題点を挙げると、モデルグループとの連携がまだ不十分であった。すなわち、MASINGAR に対して一部の光学モデルを提供ができなかった点や気候モデルや MASINGAR による計算結果を、十分解析できない点（専門性とマンパワー）などで、今後一層の連携が必要である。しかし、現在の研究組織の中では困難な問題でもある。

気象研究所評価委員会による終了時評価

１．総合評価

非常に優れた研究であった。

２．総合所見

本研究は、エーロゾルの気候モデルにおける予測不確実性の課題解決を目的としており、現地観測と衛星観測を組み合わせて、積雪物理量や雪氷面アルベドの抽出アルゴリズムの開発・改良、さらには地球システムモデル（ESM）への組み込みなど、観測・プロセス・モデルの各研究をバランス良く融合させており、地球温暖化に対する積雪の効果をより精度良く評価するという、気象研究所の優位性をいかんなく発揮した、非常に優れた研究であった。

例えば、本研究で開発した「積雪状態・アルベド・プロセス・モデル(SMAP)」は、不純物による観測との一致がよく再現されており、この SMAP モデルを気象研究所の ESM に組み込むことにより、ダストによる融雪効果を表現できるモデルという、他の ESM にはないアドバンテージをもたらすことに貢献している。

また、衛星観測やグリーンランドでの観測（科研費課題）と組み合わせることにより、気候変動への影響評価にも着実に取り組んだ。

さらに、報道などによる社会的なアピールや競争的資金の獲得は非常に活発であった。

査読論文としては、19 編（うち、研究計画参加者が主著者の国際誌での原著論文と言えるのは 5 編程度）であった。参加研究者数を考慮しても十分に評価でき、また学術的にも意義のあるものである。

今後は、研究体制を強化し、気候モデルグループとの連携を更に進めることで、より多くの応用的成果（気候モデル高度化や気候影響評価等）が期待できる。また、アウトリーチ活動も更に積極的に取り組み、この素晴らしい成果を広く知らせてほしい。また、積雪モデルは陸面過程の改善だけでなく、雪崩等の防災対策にも活用可能であることから、そのような応用利用にも期待したい。

成果発表一覧

査読論文 ：19 件

1. Kuchiki., K, T. Aoki, T. Tanikawa, and Y. Kodama, 2009: Retrieval of snow physical parameters using a ground-based spectral radiometer, Appl. Opt., 48, 5567–5582.
2. Lyapustin, A., M. Tedesco, Y. Wang, T. Aoki, M. Hori, A. Kokhanovsky, 2009: Retrieval of snow grain size over Greenland from MODIS. Remote Sens. Environ., 113, 1976–1987, doi: 10.1016/j.rse.2009.05.008.
3. 青木輝夫, 2010: 極域における雪氷中の光吸収性エアロゾルとその光学特性, エアロゾル研究, 25, 240-246.
4. Aoki T., K. Kuchiki, M. Niwano, Y. Kodama, M. Hosaka, and T. Tanaka, 2011: Physically based snow albedo model for calculating broadband albedos and the solar heating profile in snowpack for general circulation models, J. Geophys. Res., 116, D11114,

doi:10.1029/2010JD015507.
5. Yasunari, T. J., R. D. Koster, K.-M. Lau, T. Aoki, Y. C. Sud, T. Yamazaki, H. Motoyoshi, and Y. Kodama, 2011: Influence of dust and black carbon on the snow albedo in the NASA Goddard Earth Observing System version 5 land surface model, J. Geophys. Res., 116, D02210, doi:10.1029/2010JD014861.
6. Kuchiki, K., T. Aoki, M. Niwano, H. Motoyoshi, and H. Iwabuchi, 2011: Effect of sastrugi on snow bidirectional reflectance and its application to MODIS data, J. Geophys. Res., 116, D18110, doi:10.1029/2011JD016070.
7. Kokhanovsky, A., V. V. Rozanov, T. Aoki, D. Odermatt, C. Brockmann, O. Krüger, M. Bouvet, M. Drusch, and M. Hori, 2011: Sizing of snow grains using backscattered solar light, Int. J. Remote Sens., 32, doi:10.1080/01431161.2011.560621.
8. Niwano, M., T. Aoki, K. Kuchiki, M. Hosaka, and Y. Kodama, 2012: Snow Metamorphism and Albedo Process (SMAP) model for climate studies: Model validation using meteorological and snow impurity data measured at Sapporo, Japan, J. Geophys. Res., 117, F03008, doi:10.1029/2011JF002239.
9. 八久保晶弘，山口悟，谷川朋範，堀雅裕，杉浦幸之助，庭野匡思，朽木勝幸，青木輝夫, 2012: ガス吸着法による積雪比表面積測定装置の開発，北海道の雪氷, 31, 45-48.
10. Hori, M., T. Aoki, K. Stamnes, T. Tanikawa, W. Li, and N. Chen, 2012: An overview of the cryosphere products and validation plans for GCOM-C1/SGLI observations, Proc. SPIE, 8528, (Earth Observing Missions and Sensors: Development, Implementation, and Characterization II, edited by Haruhisa Shimoda and Xiaoxiong Xiong, Editors), 852819, doi: 10.1117/12.977251.
11. Wiebe, H., G. Heygster, E. Zege, T. Aoki, and M. Hori, 2013: Snow grain size retrieval SGSP from optical satellite data: Validation with ground measurements and detection of snow fall events, Remote Sens. Environ., 128, 11-20, doi: 10.1016/j.rse.2012.09.007.
12. Aoki T., K. Kuchiki, M. Niwano, S. Matoba, J. Uetake, K. Masuda and H. Ishimoto, 2013: Light-absorbing snow impurity concentrations measured on Northwest Greenland ice sheet in 2011 and 2012, RADIATION PROCESSES IN THE ATMOSPHERE AND OCEAN (IRS2012), Robert Cahalan and Jürgen Fischer (Eds), AIP Conf. Proc. 1531, 176 (2013); doi: 10.1063/1.4804735..
13. Hori, M., T. Aoki, K. Stamnes, T. Tanikawa, W. Li, and N. Chen, 2012: An overview of the cryosphere products and validation plans for GCOM-C1/SGLI observations, Proc. SPIE, 8528, (Earth Observing Missions and Sensors: Development, Implementation, and Characterization II, edited by Haruhisa Shimoda and Xiaoxiong Xiong, Editors), 852819, doi: 10.1117/12.977251.
14. Hori, M., T. Aoki, T. Tanikawa, A. Hachikubo, K. Sugiura, K. Kuchiki, and M. Niwano, 2013: Modeling angular dependent spectral emissivity of snow and ice in the thermal infrared atmospheric window, Appl. Opt., 52, 7243-7255, doi.org/10.1364/AO.52.007243.
15. Sugiyama, S., D. Sakakibara, S. Matsuno, S. Yamaguchi, S. Matoba and T. Aoki, 2014: Initial field observations on Qaanaaq Ice Cap in northwestern Greenland, Ann. Glaciol., 55, (in press).
16. Aoki T., S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Niwano, K. Kuchiki, K. Adachi, J. Uetake, H. Motoyama and M. Mori, 2013: Numerical Simulation of Spectral Albedos of Glacier Surfaces Covered with Glacial Microbes in Northwestern Greenland, Bull. Glaciol. Res., (submitted).
17. Yasunari, T. J., K.-M. Lau, S. P. P. Mahanama, P. R. Colarco, A. M. da Silva, T. Aoki, K. Aoki, N. Murao, S. Yamagata, and Y. Kodama: The GOddard SnoW Impurity

Module (GOSWIM) for the NASA GEOS-5 Earth System Model: Preliminary comparisons with observations in Sapporo, Japan, SOLA, (submitted).

18. Hachikubo, A., S. Yamaguch, H. Arakawa, T. Tanikawa, M. Hori, K. Sugiura, S. Matoba, M. Niwano, K. Kuchiki, and T. Aoki, Effects of temperature and grain type on time variation of snow specific surface area, Bull. Glaciol. Res., (submitted).
19. Hori, M., T. Aoki, T. Tanikawa1, K. Kuchiki, M. Niwano, S. Yamaguchi, and S. Matoba, Dependence of thermal infrared emissive behaviors of snow cover on the surface snow type, Bull. Glaciol. Res., (submitted).

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：15 件

1. 青木輝夫, 2009: 積雪のエージング効果, 天気, 56, 479-480.
2. 青木輝夫, 2009: 雪氷面放射過程, AESTO News, 12, 7-8.
3. 青木輝夫, 竹内望, 2010: 雪氷不純物に関するワークショップ（Workshop on Impurities in Snow and Ice）参加報告, 雪氷, 72, 323-326.
4. Hori, M., T. Aoki, K. Stamnes, and A. Kokhanovsky, 2010: Cryosphere sciences in the first generation of the Global Change Observation Mission-Climate (GCOM-C1), International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Technical Commission VIII Symposium, ISPRS Archives – Volume XXXVIII - Part 8, 2010, 26-29.
5. 庭野匡思, 2010: 本だな「積雪観測ガイドブック」, 天気, 57, 463.
6. Wiebe, H., G. Heygster, A. Kokhanovsky, E. Zege, T. Aoki and M. Hori, 2010: Developing Arctic Modeling and Observing Capabilities for Long-term Environment Studies, D1.2-02e – Snow parameters in sea ice, Report for Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006), University of Bremen, 34pp.
7. 能登美之, 青木輝夫, 坂本尚章, 島村哲也, 2010: 紫外域放射伝達モデルの観測値による検証 –放射伝達モデルの高度化に向けて-, 技術時報, 札幌管区気象台, 150, 7-15.
8. 青木輝夫, 田中泰宙, 2011: 7 章「雪氷中の光吸収性エアロゾル」（p.95-106）, 気象研究ノート第 222 号「北極の気象と海洋」, pp.171.
9. Aoki T., 2012: Reflection properties of snow surfaces, Light Scattering Reviews 7, A. A. Kokhanovsky, (Editor), Praxis Publishing, Chichester, UK, 151-187.
10. Tanaka, T. Y. and MRI Earth System Modeling Group, 2013: Climatic effect of black carbon in the MRI global climate model, Technical Reports of the Meteorological Research Institute, No. 68, 65-68.
11. 青木輝夫, 2011: 5 章「積雪内の放射計算」(p.123-141), 気象研究ノート第 223 号「気象・気候学のための最新放射計算技術とその応用」（共著）, 日本気象学会, pp.184.
12. 青木輝夫, 大畑哲夫, 2013: 全球雪氷圏監視計画 (GCW) の概要と第 2 回 CryoNet 会議の報告, 雪氷, 75, 199-204.
13. 青木輝夫, 2013: 本だな「南極と氷河の旅」成瀬廉二著, 気象, 60, 59-60.
14. 山口悟, 庭野匡思, 荒川逸人, 西村浩一, 2013: Snow Grain Size Workshop ― Measurements and Applications 参加報告, 雪氷, 75, 365-371.
15. 上野健一, 藤田耕史, 青木輝夫, 竹内由香里, 川瀬宏明, 平沢尚彦, 東久美子, 本田明治, 山崎剛, 2013: Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly（DACA-13）の報告, 雪氷, 75, 461-468.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：36 件

1. Aoki T. and T. Tanaka, 2010: Effect of BC in snowpack on radiation budget in Sapporo, Japan, International Workshop “Frontiers of Black Carbon Studies”, University of Tokyo, January 25, 2010, Tokyo.

2. Aoki T., 2010: Physically based snow albedo model for the use in GCM, 20-23 June 2010, Impurities in Snow and Ice (ISI) Workshop, Siverton, USA.
3. Heygster, G., H. Wiebe, E. P. Zege, I. L. Katsev, A. S. Prikhach, A. V. Malinka, J. O. Grudo, T. Aoki, and A. Kokhanovsky, 2010: Determining and validating the effective snow grain size and pollution amount from satellite measurements in polar regions, 38th Scientific Assembly of the Committee on Space Research (COSPAR), 19-23 July 2010, Bremen, Germany.
4. Kokhanovsky, A. A., V. V. Rozanov, T. Aoki, C. Brockmann, O. Krüger, M. Bouvet, and M. Hori, 2010: Satellite remote sensing of grain size in snow: the description of a new retrieval method and its validation, International Polar Year Oslo Science Conference, 8-12 June 2010, Oslo, Norway.
5. Hori, M., T. Aoki, K. Stamnes, and A. Kokhanovsky, 2010: Cryosphere sciences in the first generation of the Global Change Observation Mission-Climate (GCOM-C1), International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Technical Commission VIII Symposium, 9-12 August 2010, Kyoto, Japan.
6. Aoki T., K. Kuchiki, M. Niwano, M. Hosaka and T. Tanaka, 2010: Physically based snow albedo model for multilayer snow using multi sub-spectral-band to use in GCM, The third Asia-Pacific Radiation Symposium (APRS) 2010, 25-28 August 2010, Seoul, Korea.
7. Aoki T., 2010: Discussion on snow physical parameters and albedo using physically based snow albedo model, 7-9 September 2010, Workshop on SGLI Cryosphere Algorithm Developments, Hoboken, USA.
8. Aoki T., H. Motoyoshi, K. Kuchiki, M. Niwano, M. Hori, T. Tanikawa and K. Stamnes, 2010: Snow parameter retrievals using two-snow-layer model, GCOM PI Workshop 2010, JAXA/EORC, 6-9 December 2010, Tokyo, Japan.
9. Aoki T. 2010: Polar region and the earth's radiation budget, GCOM PI Workshop 2010, JAXA/EORC, 6-9 December 2010, Tokyo, Japan.
10. Aoki T., K. Kuchiki, and M. Niwano, 2011: Possible snow albedo reduction due to black carbon in snowpack and snow grain size variation on the present earth, International Union of Geodesy and Geophysics 2011, 28 June - 7 July 2011, Melbourne, Australia.
11. Tanaka, T. Y., Representation of Dust Cycle in Earth System Models, Sino-German Science Center Symposium "Dust Cycle and Climate Change: Past, Present and Future", University of Cologne, 21 September 2011.
12. Aoki T., H. Motoyoshi, K. Kuchiki, M. Niwano, M. Hori, and T. Tanikawa, 2011: Satellite remote sensing of snow physical parameters using two-snow layer model, the Fifth Korea-Japan-China Joint Conference on Meteorology, 24-25 October 2011, Busan, Korea.
13. Yasunari, T. J., R. D. Koster, M. Suarez, K.-M. Lau, S. Mahanama, T. Aoki, Y. C. Sud, T. Yamazaki, H. Motoyoshi, and Y. Kodama, 2010: Role of black carbon, dust, and organic carbon on snow melting assessed with the new NASA GEOS-5 Catchment land surface model, WCRP OSC Climate Research in Service to Society, 24-28 October 2011, Denver, USA.
14. Aoki T., K. Kuchiki, M. Niwano, and Y. Kodama, 2011: Accuracy of physically based snow albedo model evaluated with measured data at Sapporo, Japan during five winters from 2006 to 2011, C41F-08, AGU Fall Meeting, 5-8 December 2011, San Francisco, USA.
15. Yasunari , T. J., R. D. Koster, K.-M. Lau, P. R. Colarco, A. M. Dasilva, T. Aoki, and Y. Kodama, 2011: Mass concentrations on dust, black carbon, and organic carbon in

snow directly estimated using NASA GOCART/GEOS-5 aerosol depositions, AGU Fall Meeting, 5-8 December 2011, San Francisco, USA.

16. Kuchiki, K., T. Aoki, H. Motoyoshi, M. Niwano, T. Tanikawa, M. Hori., K. Stamnes, W. Li, K. Masuda, H. Ishimoto, and R. Shimada, 2012: Snow paraemter retrievals in Greenland using two-snow-layer model, GCOM/EarthCARE/PMM Joint PI Workshop, JAXA/EORC, 17-20 January 2012, Tokyo, Japan.
17. Chen, N., T. Tanikawa, W. Li, K. Stamnes, M. Hori, and T. Aoki, 2011: Cloud masking and surface classification algorithm for GCOM-C1/SGLI purpose, C31A-0613, 5-8 December 2011, San Francisco, USA.
18. Aoki T., K. Kuchiki, H. Motoyoshi, M. Niwano, T. Tanikawa, M. Hori, K. Stamnes, and W. Li, 2012: Snow parameter retrievals from satellite in Greenland using two-snow layer model algorithm, Colloquium of Institute for Snow and Avalanche Research, 15 March 2012, Davos, Switzerland.
19. Aoki T., K. Kuchiki, M. Niwano, and Yuji Kodama, 2012: Physically based snow albedo model, Colloquium of Institute for Snow and Avalanche Research, 15 March 2012, Davos, Switzerland.
20. Niwano, M., 2012: Development of a physical snowpack model at MRI, Colloquium of Institute for Snow and Avalanche Research, Colloquium of Institute for Snow and Avalanche Research, 15 March 2012, Davos, Switzerland.
21. Kuchiki, K., T. Aoki, M. Niwano, Y. Kodama, Y. Iwata, and T. Tanikawa, 2012: Snow physical parameters retrieved from a ground-based spectral radiometer using different shape models of snow particles, International Radiation Symposium 2012, 6-10 August 2012, Dahlem Cube, Berlin, Germany, IRS2012-141.
22. Hori, M., T. Aoki, K. Stamnes, T. Tanikawa, W. Li, and N. Chen, 2012: An overview of the cryosphere products and validation plans for GCOM-C1/SGLI observations, SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012, 8528-45, 29 October - 1 November 2012, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan.
23. Aoki T., 2012: Possible contribution to GCW from Japan for areas of Antarctica, Svalbard and Greenland, Global Cryosphere Watch (GCW) CryoNet Implementation Meeting, World Meteorological Organization, 20-22 November 2012, ZAMG, Vienna, Austria.
24. Aoki T., K. Kuchiki, M. Hori., T. Tanikawa, M. Niwano, R. Shimada, and A. Kokhanovsky, 2013: Validation results of satellite derived snow parameters in Greenland, GCOM/EarthCARE/PMM Joint PI Workshop, JAXA/EORC, 29 January - 1 February 2013, Tokyo, Japan.
25. Stamnes, K., W. Li, N. Chen, T. Tanikawa, M. Hori, T. Aoki, 2013, SGLI Snow Product Algorithms, GCOM/EarthCARE/PMM Joint PI Workshop, JAXA/EORC, 29 January - 1 February 2013, Tokyo, Japan.
26. Aoki T., M. Niwano, K. Kuchiki, S. Matoba S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Hori, T. Yamasaki, and H. Motoyama, 2013: Snow impurities and albedo variation measured at SIGMA-A on Greenland ice sheet, The 3rd SIGMA Workshop, 6-8 March 2013, Tazawako.
27. Hashimoto, A., M. Niwano and T. Aoki, 2013: Numerical simulation of the rainfall event in Greenland during SIGMA-IOP2012, The 3rd SIGMA Workshop, 6-8 March 2013, Tazawako.
28. Shimada, R., N. Takeuchi, and T. Aoki, 2013: Comparative study between Greenland ice sheet surface temperature and reflectance- The effect of glacial microorganism -, The 3rd SIGMA Workshop, 6-8 March 2013, Tazawako.
29. Uetake, J., R. Shimada, N. Nagatsuka, N. Takeuchi, H. Motoyama, T. Aoki, 2013: Bacterial community change during cryoconite formation process in Northwestern Greenland,

The 3rd SIGMA Workshop, 6-8 March 2013, Tazawako.

30. Niwano, M., 2013: Diagnosing the extreme surface melt event at site SIGMA-A northwest Greenland observed during the 2012 summer intensive field observation, The 3rd SIGMA Workshop, 6-8 March 2013, Tazawako.
31. Kuchiki, K., 2013: Snow physical parameters retrieved from MODIS over northwestern Greenland, The 3rd SIGMA Workshop, 6-8 March 2013, Tazawako.
32. Hachikubo, A., H. Arakawa, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Hori, K. Sugiura, M. Niwano, K. Kuchiki, and T. Aoki, 2013: Measurement of snow specific surface area by the BET theory - investigation of suitable adsorbent for field use -, Snow Grain Size Workshop – Measurements and Applications, 2-5 April 2013, Grenoble, France.
33. Aoki T., 2013: Snow Impurity and Glacial Microbe effects on the abrupt warming in the Arctic (SIGMA) Project, The Norwegian Polar Institute Seminar, 24 April 2013, Tromso, Norway, (http://www.npolar.no/en/events/2013/04-24-snow-impurity-glacial-microbe-effects-warming-arctic.html?cat=event/seminar/&y=2013).（招待講演）
34. Yasunari, T. J., K.-M. Lau, S. P. P. Mahanama, R. D. Koster, M. Suarez, P. R. Colarco, A. Dasilva, T. Aoki, and Y. Kodama, 2013: Introduction of the Goddard Snow Darkening Package for the NASA GEOS-5, First Annual Young Scientist Forum, NASA Goddard Space Flight Center, 17 June 2013, Greenbelt, USA.
35. Aoki T., S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Niwano, T. Yamasaki, Katsuyuki Kuchiki1, H. Motoyama, and M. Hori, 2013: Effects of snow grain size and snow impurity concentrations on albedo variation at SIGMA-A on Greenland ice sheet, Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly DACA-13, 8-12 July 2013, Davos, Switzerland.
36. Yamaguchi, S., H. Motoyoshi, T. Aoki, T. Tanikawa, and A. Hachikubo, 2013: The relationship between the near-infrared reflectance of snow and its water content, The International Snow Science Workshop (ISSW) 2013, 7-11 October, Grenoble, France, O2-10.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：88 件

1. Aoki T., K. Kuchiki, M. Niwano, E. Tanaka, S. Hasegawa, and Y. Kodama, 2009: Long-term variations of snow impurity concentrations and albedo in Sapporo, 日本地球惑星科学連合 2009 年度合同大会, 2009 年 5 月, 千葉.
2. 福井敬一, 青木輝夫, 朽木勝幸, 2009: 放射伝達モデルを用いた SO_2 放出量紫外リモートセンシング観測手法における誤差要因の定量的評価, 日本地球惑星科学連合 2009 年度合同大会, 2009 年 5 月, 千葉.
3. 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 2009: フィルタ上エアロゾルサンプルの複素屈折率虚数部の測定, 日本気象学会 2009 年度春季大会, 2009 年 5 月, つくば, D203.
4. 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 2009: 札幌における冬季雪面熱収支, 日本気象学会 2009 年度春季大会, 2009 年 5 月, つくば, D153.
5. 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 本吉弘岐, 兒玉裕二, 2009: 札幌の積雪中炭素及びダスト濃度変化, 雪氷研究大会（2009・札幌）, 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2009 年 9 月, 札幌, C1-04, 11.
6. 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 田中泰宙, 2009: 多層積雪アルベド物理モデル, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, 2009 年 11 月, 福岡, C214.
7. 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 2009: 積雪アルベド物理モデルの高度化—積雪粒径計算過程の組み込み—, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, 2009 年 11 月, 福岡, C215.
8. 杉浦幸之助, 筒井浩行, 青木輝夫, 大畑哲夫, 小池俊雄, 兒玉裕二, 2009: モンゴル・シベリア・札幌における AMSR-E 積雪水量プロダクトの地上検証, 第 32 回極域気水圏シンポ

ジウム, 国立極地研究所, 2009 年 11 月, 立川, IV-2.
9. 青木輝夫, 2009: 積雪不純物が気候に与える効果を見積もるためのモデル開発,「両極異変が全球気候変動へ及ぼす遠隔作用についての観測的研究」研究集会, 2009 年 12 月 22 日, 新潟大学.
10. 青木輝夫, 庭野匡思, 朽木勝幸, 保坂征宏, 2010: 気候モデリングのための積雪変態・アルベドモデル, 積雪の構造と変質に関するワークショップ, 防災科学技術研究所, 2010 年 3 月 19 日, 長岡. (招待講演)
11. 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 保坂征宏, 田中泰宙, 2010: 積雪アルベド物理モデルによる積雪内部の短波放射吸収量の計算精度, 日本気象学会 2010 年度春季大会, 2010 年 5 月, 東京, B104.
12. 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 2010: 積雪変態・アルベドプロセスモデル (SMAP), 日本気象学会 2010 年度春季大会, 2010 年 5 月, 東京, B103.
13. 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 兒玉裕二, 2010: 札幌における放射収支・積雪断面観測データによる積雪アルベド物理モデルの検証, 日本地球惑星科学連合 2010 年度合同大会, 2010 年 5 月, 千葉, ACC023-05.
14. 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 岩田幸良, 廣田知良, 2010: 十勝地方に適用した積雪変態・アルベドプロセス (SMAP) モデルの精度評価, 雪氷研究大会 (2010・仙台), 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2010 年 9 月, 仙台, A1-13, 13.
15. 杉浦幸之助, 山崎剛, 兒玉裕二, 青木輝夫, 2010: 吹雪プロセスの組み込みによる陸面過程モデルの精緻化, 雪氷研究大会 (2010・仙台), 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2010 年 9 月, 仙台, C3-03, 215.
16. 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 2010: 積雪のアルベド低下をもたらす原因について, 日本気象学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月, 京都, B309.
17. 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 2010: 不純物濃度の変化と気温変化に対する積雪の応答, 日本気象学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月, 京都, B310.
18. 安成哲平, Randal Koster, 山崎剛, 青木輝夫, 本吉弘岐, 兒玉裕二, Yogesh Sud, K. -M. Lau, 2010: ブラックカーボンとダストを考慮した積雪アルベドモデル : 2003/2004 冬期札幌での検証例, 日本気象学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月, 京都, B301.
19. 青木輝夫, 2010: 極域におけるブラックカーボン濃度とアルベドへの影響, 大気・雪氷間の物質循環と南極への物質輸送に関する研究小集会, 2010 年 12 月 16-17 日, 国立極地研究所.
20. 青木輝夫, 2011: 様々な要因によるアルベド変動が近年の北極域における雪氷融解に与える効果, 平成 22 年度研究集会「北極環境研究の課題と展望」, 2011 年 1 月 18-19 日, 国立極地研究所.
21. 青木輝夫, 本吉弘岐, 朽木勝幸, 庭野匡思, 堀雅裕, 谷川明範, Kunt Stamnes, 2011: 積雪 2 層モデルによる積雪物理量の衛星リモートセンシング, 日本気象学会 2011 年度春季大会, 2011 年 5 月, 東京, D407, 267.
22. 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 谷川朋範, 2011: 全天分光日射計による積雪物理量の推定－積雪 2 層・非球形粒子モデルの導入－, 日本気象学会 2011 年度春季大会, 2011 年 5 月, 東京, D406.
23. 青木輝夫,朽木勝幸, 庭野匡思, 2011: 近年観測された積雪中ブラックカーボン濃度と起こりうる積雪粒径変化がアルベドを低下させる効果, 日本地球惑星科学連合 2011 年度合同大会, 2011 年 5 月, 千葉, ACC028-10.
24. 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 2011: 三つの積雪変態スキームの相互比較, 日本地球惑星科学連合 2011 年度合同大会, 2011 年 5 月, 千葉, ACC030-02.
25. 青木輝夫, 本吉弘岐, 朽木勝幸, 庭野匡思, 堀雅裕, 谷川明範, 2011: 積雪粒径及び不純物の衛星リモートセンシング—積雪 2 層モデルと非球形粒子モデルの効果—, 雪氷研究大会 (2011 長岡), 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2011 年 9 月 22 日, 長岡, C4-8, 129.
26. 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 兒玉裕二, 岩田幸良, 2011: 積雪変態・アルベドプロセス (SMAP) モデルへの土壌サブモデルの導入, 雪氷研究大会 (2011・長岡), 日

本雪氷学会/日本雪工学会, 2011 年 9 月 22 日, 長岡, B2-4, 49.
27. 堀雅裕, 谷川朋範, 青木輝夫, 八久保晶弘, 杉浦幸之助, 朽木勝幸, 庭野匡思, 2011: 携帯型赤外線カメラを用いた積雪の熱赤外域射出特性の可視化, 雪氷研究大会（2011・長岡）, 2011 年 9 月 20 日, 長岡, 9 月 20 日, 長岡, C1-3, 27.
28. 青木輝夫, 本山秀明, 的場澄人, 植竹淳, 2011: グリーンランド予備調査報告, 第 1 回 SIGMA ワークショップ, 2011 年 10 月 13-14 日, 東京.
29. 朽木勝幸, 2011: 全天分光日射計による積雪物理量の推定, 北極域における積雪汚染と雪氷微生物が温暖化に及ぼす影響に関する第 1 回ワークショップ, 2011 年 10 月 13-14 日, 東京.
30. 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 2011: 積雪変態・アルベドプロセスモデルのグリーンランドへの適用, 北極域における積雪汚染と雪氷微生物が温暖化に及ぼす影響に関する第 1 回ワークショップ, 2011 年 10 月 13-14 日, 東京.
31. 青木輝夫, 的場澄人, 植竹淳, 本山秀明, 朽木勝幸, 庭野匡思, 竹内望, 2011: グリーンランド・カナックにおける分光アルベド測定, 国立極地研究所第 2 回極域科学シンポジウム, 2011 年 11 月 14-15 日, 立川.
32. 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 兒玉裕二, 2011: 積雪変態アルベドプロセスモデルのグリーンランドへの適用, 国立極地研究所第 2 回極域科学シンポジウム, 2011 年 11 月 14-15 日, 立川.
33. 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 兒玉裕二, 2011: 積雪アルベド物理モデルの札幌における 5 冬期間の計算精度評価, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 11 月 18 日, 名古屋, D351.
34. 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 兒玉裕二, 2011:グリーンランド氷床上積雪の状態変化予測, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 11 月 18 日, 名古屋, A364.
35. 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 兒玉裕二, 2012: 積雪変態・アルベドプロセスモデルの開発 －精度検証と積雪不純物が融雪に及ぼす影響評価－, 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター 第三回積雪モデルに関するワークショップ, 2012 年 2 月 29 日, 長岡. （招待講演）
36. 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 的場澄人, 植竹淳, 本山秀明, 朽木勝幸, 庭野匡思, 竹内望, 2012: グリーンランド・カナック氷河消耗域における波長別アルベドのモデル化とグリーンランドにおける黒色炭素観測のレビュー, 第 2 回 SIGMA ワークショップ, 2012 年 3 月 14-16 日, 札幌.
37. 朽木勝幸, 2012: MODIS から推定したグリーンランド北西部における積雪物理量の経年変化, 第 2 回 SIGMA ワークショップ, 2012 年 3 月 14-16 日, 札幌.
38. 庭野匡思, 2012: グリーンランドにおける気象・放射観測と積雪物理状態予測, 第 2 回 SIGMA ワークショップ, 2012 年 3 月 14-16 日, 札幌.
39. 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 的場澄人, 植竹淳, 本山秀明, 竹内望, 2012: 雪氷微生物で覆われた北西グリーンランドの氷河表面の波長別アルベド日本地球惑星科学連合 2012 年度連合大会, 2012 年 5 月 20-25 日, 千葉, ACG37-06.
40. 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 兒玉裕二, 2012: 札幌における積雪中短波放射加熱と不純物による放射強制力, 日本気象学会 2012 年度春季大会, 2012 年 5 月 26-29 日, つくば, A201.
41. 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 兒玉裕二, 岩田幸良, 2012: 積雪不純物による融雪時期の変化が土壌の物理状態に与える影響, 日本気象学会 2012 年度春季大会, 2012 年 5 月 26-29 日, つくば, A301.
42. 青木輝夫, 本山秀明, 2012: 企画セッション「急変している地球雪氷圏の観測・監視」（3）氷床, 雪氷研究大会（2012・福山）, 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2012 年 9 月 24-27 日, 福山, 13.
43. 青木輝夫, 2012: 雪氷化学分科会講演会「雪氷中の光吸収性エアロゾルと関連プロジェクト紹介」, 雪氷研究大会（2012・福山）, 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2012 年 9 月 24-27 日, 福山, 17.（招待講演）

44. 青木輝夫，的場澄人，山口悟，谷川朋範，庭野匡思，山崎哲秀，朽木勝幸，本山秀明，堀雅裕, 2012: SIGMA プロジェクトによる 2012 年グリーンランド氷床観測報告，雪氷研究大会（2012・福山），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2012 年 9 月 24-27 日，福山, A4-9, 93.
45. 朽木勝幸，青木輝夫，庭野匡思，兒玉裕二，的場澄人, 2012: 札幌における 2007-2012 年の 5 冬期間の積雪不純物濃度，雪氷研究大会（2012・福山），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2012 年 9 月 24-27 日，福山, C3-10, 81.
46. 荒川逸人，八久保晶弘，青木輝夫, 2012: 比表面積と固有透過度による積雪モデルの開発に向けて -序・フィールド観測の実現のため取り組み-，雪氷研究大会（2012・福山），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2012 年 9 月 24-27 日，福山, B4-2, 105.
47. 谷川朋範，堀雅裕，青木輝夫，八久保晶弘, 2012: 波長別積雪偏光度の測定，雪氷研究大会（2012・福山），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2012 年 9 月 24-27 日，福山, B4-4, 107.
48. 島田利元，竹内望，青木輝夫, 2012: グリーンランド氷床表面温度変化に与える雪氷微生物の影響，雪氷研究大会（2012・福山），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2012 年 9 月 24-27 日，福山, A4-11, 95.
49. 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 田中泰宙, 保坂征宏, 橋本明弘, 本山秀明, 兒玉裕二, 植竹淳, 竹内望, 的場澄人, 杉山慎, 山口悟, 本吉弘岐, 岩田幸良, 杉浦幸之助, 八久保晶弘, 堀雅裕, 谷川朋範, 本谷研, 山崎哲秀, 2012: 北極域における積雪汚染及び雪氷微生物が急激な温暖化に及ぼす影響評価に関する研究（SIGMA プロジェクト）の紹介, 2012: 日本気象学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 10 月 3-5 日，札幌市, D313.
50. 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 兒玉裕二, 岩田幸良, 谷川朋範, 2012: 積雪不純物濃度の推定に及ぼす不純物混合状態の効果, , 2012:日本気象学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 10 月 3-5 日，札幌市, C306.
51. 田中泰宙, 青木輝夫, 坂見智法, 保坂征宏, 足立恭将, 行本誠史, 地球システムモデル開発グループ, 2012: 20 世紀再現実験による吸収性エーロゾルによる積雪汚染，日本気象学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 10 月 3-5 日，札幌, D365.
52. 青木輝夫, 2012: グリーンランド・カナック域氷床上における積雪不純物観測，大気・雪氷間の物質循環と南極への物質輸送に関する研究小集会，国立極地研究所, 2012 年 11 月 15-16 日，立川市.
53. 青木輝夫，的場澄人，山口悟，山崎哲秀，谷川朋範，庭野匡思，朽木勝幸，本山秀明，堀雅裕、橋本明弘, 2012: グリーンランド 2012 年 SIGMA 観測報告-主に降雨と積雪不純物について-，グリーンランド氷床の質量変化と全球気候変動への影響に関する研究集会，北海道大学低温科学研究所, 2012 年 11 月 6-8 日，札幌市.
54. 朽木勝幸, 2012: MODIS から推定された北西グリーンランドにおける積雪不純物濃度と積雪粒径，グリーンランド氷床の質量変化と全球気候変動への影響に関する研究集会，北海道大学低温科学研究所, 2012 年 11 月 6-8 日，札幌市.
55. 庭野匡思, 2012: SIGMA プロジェクト 2012 年グリーンランド集中観測期間における Site-A 積雪状態の再現実験，グリーンランド氷床の質量変化と全球気候変動への影響に関する研究集会，北海道大学低温科学研究所, 2012 年 11 月 6-8 日，札幌市.
56. 青木輝夫, 2012: 光吸収性エアロゾルが積雪アルベドに与える効果のモデリングと観測，第 18 回大気化学討論会，大気化学研究会・名古屋大学太陽地球環境研究所・福岡大学，2012 年 11 月 6-8 日，福岡県朝倉市.（招待講演）
57. 青木輝夫，朽木勝幸，的場澄人，山口悟，谷川朋範，庭野匡思，山崎哲秀，本山秀明，堀雅裕, 2012: グリーンランド氷床上 SIGMA-A における積雪不純物とアルベド変化，国立極地研究所，第 3 回極域科学シンポジウム, 2012 年 11 月 26-30 日，立川.
58. Matoba, S., S. Yamaguchi, T. Yamasaki, T. Aoki, M. Niwano, T. Tanikawa, and H. Motoyama, 2012: Glaciological observations at Site SIGMA-A on the northwestern Greenland Ice Sheet，国立極地研究所，第 3 回極域科学シンポジウム，2012 年 11 月 26-30 日，立川.
59. Enomoto, H., Y. Azuma, H. Hayasaka, M. Hirabayashi, K. G. Azuma, T. Kadota, H. Yabuki,

T. Ohata, S. Takahashi, R. Kusaka, T. Shirakawa, N. Alimasi, T. Aoki, S. Sugiyama, K. Tateyama, K.Shimada, M. Utsumi and M. Uchida, 2012: Arctic weather in 2012 summer and influences on Arctic Environment, 国立極地研究所, 第3回極域科学シンポジウム, 2012 年 11 月 26-30 日, 立川.

60. 庭野匡思, 2013: 積雪変質モデルを用いたグリーンランド雪氷融解の解析, 北極気候システムにおける積雪の役割に関する研究集会, 2013 年 1 月 22 日, 立川.
61. 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 橋本明弘, 田中泰宙, 保坂征宏, 2013: グリーンランドから地球温暖化をみる, 平成 24 年度気象研究所研究成果発表会, 発表要旨集, 2013 年 3 月 13 日, つくば, 6-7.
62. 青木輝夫, 庭野匡思, 朽木勝幸, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 堀雅裕, 山崎哲秀, 本山秀明, 2013: グリーンランド SIGMA-A におけるアルベドと積雪物理量変化, GRENE 雪氷課題 2012 年度全体会合, 2013 年 3 月 21-22 日, 国立極地研究所, 立川.
63. 山口悟, 本吉弘岐, 青木輝夫, 谷川朋範, 八久保晶弘, 2013: 積雪の近赤外領域の反射率と含水率との関係, 日本雪氷学会 2013 年度北信越支部研究発表会, 2013 年 5 月 11 日, 新潟.
64. 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 足立光司, 財前祐二, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 山崎哲秀, 2013: グリーンランド氷床上 SIGMA-A で観測された光吸収性積雪不純物, 日本気象学会 2013 年度春季大会, 2013 年 5 月 15-18 日, 東京, D303.
65. 青木輝夫, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 庭野匡思, 山崎哲秀, 朽木勝幸, 本山秀明, 堀雅裕, 2013: グリーンランド SIGMA-A で観測された積雪粒径と不純物濃度がアルベドに与える効果, 日本地球惑星科学連合 2013 年度連合大会, 2013 年 5 月 19-24 日, 千葉市, ACG38-08.
66. 庭野匡思, 青木輝夫, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 本山秀明, 朽木勝幸, 山崎哲秀, 2013: 2012 年夏期の北西グリーンランド SIGMA-A における積雪シミュレーション, 日本気象学会 2013 年度春季大会, 2013 年 5 月 15-18 日, 東京, A403.
67. 庭野匡思, 青木輝夫, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 本山秀明, 朽木勝幸, 2016: 積雪変質モデルを用いた、2012 年夏期の北西グリーンランド SIGMA-A における急激な表面融解の解析, 日本地球惑星科学連合 2013 年度大会, 2013 年 5 月 19-24 日, 千葉, A-CG38-09.
68. 堀雅裕, 青木輝夫, Knut Stamnes, 谷川朋範, Wei Li, and N. Chen, 2013: Global snow and ice cover observations using GCOM-C1/SGLI, 日本地球惑星科学連合 2013 年度大会, 2013 年 5 月 19-24 日, 千葉, A-CG39-10.
69. 青木輝夫, 2013: 雪氷中の光吸収性不純物と放射過程, エアロゾル-雲セミナー, 2013 年 6 月 7 日, 東京大学理学部, 東京.（招待講演）
70. 青木輝夫, 2013: グリーンランドにおける氷床・氷帽の観測, 2013 年度海外学術調査フォーラム, 2013 年 6 月 29 日, 東京外国語大学アジア・アフリカ言語文化研究所, 東京.（招待講演）
71. 田中泰宙, 青木輝夫, 保坂征宏, 足立恭将, 2013: 気候モデルによる光吸収性エアロゾルの影響評価 : 大気の加熱と積雪汚染 (Evaluation of the impacts of light-absorbing aerosols by a climate model: atmospheric heating and snow darkening), 日本エアロゾル学会, 第 30 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2013 年 8 月 27-29 日, 京都.
72. 青木輝夫, 庭野匡思, 山口悟, 本吉弘岐, 朽木勝幸, 的場澄人, 八久保晶弘, 2013: 近赤外域イメージセンサーによる積雪及び氷試料の光学測定, 雪氷研究大会（2013・北見）, 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2013 年 9 月 18-20 日, 北見市, B1-1.
73. 的場澄人, 山口悟, 山崎哲秀, 青木輝夫, 庭野匡思, 谷川朋範, 本山秀明, 杉山慎, 2013: グリーンランド氷床北西部 SIGMA-A サイトにおける過去 36 年間の年間質量収支の復元, 雪氷研究大会（2013・北見）, 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2013 年 9 月 18-20 日, 北見市, A1-3.
74. 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 山口悟, 八久保晶弘, 竹内由香里, 堀雅裕, 谷川朋範, 2013: 近赤外域の光学測定による積雪粒径の推定, 雪氷研究大会（2013・北見）, 2013 年 9 月 18-20 日, 北見市, B1-2.

75. 山口悟，本吉弘岐，青木輝夫，谷川朋範，八久保晶弘, 2013: 体積含水率の変化に伴う積雪の近赤外領域の反射率の変化, 雪氷研究大会（2013・北見），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2013 年 9 月 18-20 日，北見市, B1-3.
76. 堀雅裕，青木輝夫，谷川朋範，朽木勝幸，庭野匡思，山口悟，的場澄人，八久保晶弘，杉浦幸之助, 2013: 雪氷面熱赤外域射出輝度の変動特性と表面雪質の関係, 雪氷研究大会（2013・北見），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2013 年 9 月 18-20 日，北見市, B1-4
77. 八久保晶弘，山口悟，荒川逸人，谷川朋範，堀雅裕，杉浦幸之助，庭野匡思，朽木勝幸，青木輝夫, 2013: 積雪比表面積の経時変化に及ぼす温度および粒子形状の効果, 雪氷研究大会（2013・北見），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2013 年 9 月 18-20 日，北見市, B1-5.
78. 谷川朋範，青木輝夫，堀雅裕，八久保晶弘，杉浦幸之助，的場澄人，山口悟，朽木勝幸，庭野匡思, 2013: 積雪の波長別双方向反射率と偏光度の測定, 雪氷研究大会（2013・北見），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2013 年 9 月 18-20 日，北見市, B1-6.
79. 庭野匡思，青木輝夫，的場澄人，山口悟，谷川朋範，朽木勝幸，橋本明弘，保坂征宏, 2013: グリーンランド氷床上積雪の通年数値シミュレーション, 雪氷研究大会（2013・北見），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2013 年 9 月 18-20 日，北見市, B1-8.
80. 青木輝夫,的場澄人,谷川朋範，庭野匡思，對馬あかね，山崎哲秀，山口悟，朽木勝幸，堀雅裕，本山秀明， Jason Box, 2013: 北西グリーンランド SIGMA-A, -B サイトで 2012-2013 年に観測された気象要素の変化, 第 4 回極域科学シンポジウム, 国立極地研究所， 2013 年 11 月 13-16 日，立川.
81. 庭野匡思，青木輝夫，的場澄人，山口悟，谷川朋範，山崎哲秀，朽木勝幸，本山秀明, 2013: グリーンランド氷床表面の積雪融解に対する積雪粒径プロファイルの影響, 第 4 回極域科学シンポジウム, 国立極地研究所, 2013 年 11 月 13-16 日，立川.
82. 堀雅裕，杉浦幸之助，谷川朋範，青木輝夫，朽木勝幸，庭野匡思，榎本浩之，2013: 衛星観測による環北極域の積雪･曇天率分布の解析と今後の計画, 第 4 回極域科学シンポジウム, 国立極地研究所, 2013 年 11 月 13-16 日，立川.
83. 青木輝夫，朽木勝幸，庭野匡思，的場澄人，兒玉裕二，森淳子，2013: 積雪アルベド物理モデルの再検証，日本気象学会 2013 年度秋季大会, 2013 年 11 月 19-21 日，仙台市, D373.
84. 朽木勝幸，青木輝夫，庭野匡思，塩原匡貴，東久美子，2013: ニーオルスンにおける積雪不純物濃度と積雪粒径の観測，日本気象学会 2013 年度秋季大会, 2013 年 11 月 19-21 日，仙台市, D372.
85. 堀雅裕，杉浦幸之助，谷川朋範，青木輝夫，朽木勝幸，庭野匡思，榎本浩之，2013: 衛星データ解析に基づいた近年の北極域積雪・曇天率分布の変動傾向，日本気象学会 2013 年度秋季大会, 2013 年 11 月 19-21 日，仙台市, A106.
86. 青木輝夫, 2013: グリーンランド SIGMA-A、B における 2012 年と 2013 年の気象条件の違い, グリーンランド氷床の質量変化と全球気候変動への影響に関する研究集会，北海道大学低温科学研究所, 2013 年 11 月 25-27 日，札幌市.
87. 朽木勝幸，2013: MODIS データを用いたグリーンランド北西部における積雪不純物濃度と積雪粒径の推定，グリーンランド氷床の質量変化と全球気候変動への影響に関する研究集会，北海道大学低温科学研究所, 2013 年 11 月 25-27 日，札幌市.
88. 庭野匡思，2013: グリーンラドにおける大気—雪面相互作用，グリーンランド氷床の質量変化と全球気候変動への影響に関する研究集会，北海道大学低温科学研究所，2013 年 11 月 25-27 日，札幌市.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：35 件

1. Tanaka, T, T. Aoki, M. Hosaka, Y. Adachi, 2009: Simulation of the effect of mineral dust and black carbon deposition on snow surface, AGU Fall Meeting, 14-19 December 2009, San Francisco, USA.
2. Tanikawa, T., K. Stamnes, T. Aoki, K. Kuchiki, A. Hachikubo and K. Sugiura, 2009: Effect of snow impurities and vertical profile on snow albedo and reflectance, AGU Fall

Meeting, 14-19 December 2009, San Francisco, USA.
3. Aoki T., K. Kuchiki, M. Niwano, T. Tanaka, M. Hori and A. A, Kokhanovsky, 2007: Snow albedo retrieval from satellite data using physically based snow albedo model, GCOM PI Workshop 2010, JAXA/EORC, 12-14 January 2010, Tokyo, Japan.
4. Kokhanovsky, A. A., E. P. Zege, T. Aoki, M. Hori, 2010: Modeling the snow spectral BRDF, GCOM PI Workshop 2010, JAXA/EORC, 12-14 January 20010, Tokyo, Japan.
5. Niwano, M., T. Aoki, K. Kuchiki and M. Hosaka, 2010: Effects of snow impurities on snowpack structure in Sapporo, Japan assessed by Snow Metamorphism and Albedo Process (SMAP) model, International Symposium on snow, ice and humanity in a changing climate, International Glaciology Society, 21-25 June 2010, Sapporo, Japan.
6. Kodama, Y., K. Nishimura, T. Yamazaki, K. Suzuki, M. Niwano, T. Aoki and M. Hosaka, 2010: Inter-comparison of snow cover models for the snowpack in Sapporo, Japan, International Symposium on snow, ice and humanity in a changing climate, International Glaciology Society, 21-25 June 2010, Sapporo, Japan.
7. Aoki T., K. Kuchiki, M. Niwano, M. Hori and A. Kokhanovsky, 2010: Snow albedo algorithm using physically based snow albedo model, 38th Scientific Assembly of the Committee on Space Research (COSPAR), 19-23 July 2010, Bremen, Germany.
8. Niwano, M., T. Aoki, K. Kuchiki and M. Hosaka, 2010: Analysis of snow feedbacks using Snow Metamorphism and Albedo Process (SMAP) model, Second International Symposium on the Arctic Research (ISAR-2), Commission on Earth and Planetary Science, 6-8 December 2010, Tokyo, Japan.
9. Kodama, Y., K. Nishimura, T. Yamazaki, K. Suzuki, M. Niwano, T. Aoki, and M. Hosaka, 2010: Inter-comparison of snow cover models for the snowpack in Sapporo, Second International Symposium on the Arctic Research (ISAR-2), Commission on Earth and Planetary Science, 6-8 December 2010, Tokyo, Japan.
10. Yasunari, T. J., R. D. Koster, K.-M. Lau, T. Aoki, Y. C. Sud, T. Yamazaki, H. Motoyoshi, and Y. Kodama, 2010: New snow albedo model with the influence of black carbon and dust in the NASA catchment-based land surface model, AGU Fall Meeting, 13-17 December, 2010, San Francisco, USA.
11. Kuchiki, K., T. Aoki, M. Niwano, H. Motoyoshi, and H. Iwabuchi, 2011: Retrieval of snow surface roughness from MODIS: Case study for sastrugi over the South Pole, International Union of Geodesy and Geophysics 2011, 28 June - 7 July 2011, Melbourne, Australia.
12. Sugiura, K., T. Aoki, Y. Kodama, H. Motoyoshi, and T. Ishimaru, 2011: Field observations of short- and long-wave radiation in blowing snow, International Union of Geodesy and Geophysics 2011, 28 June - 7 July 2011, Melbourne, Australia.
13. Niwano. M., T. Aoki, K. Kuchiki, M. Hosaka, and K. Kodama, 2011: A numerical model to simulate physical states of snowpack for climate studies AGU Fall Meeting, 5-8 December 2011, San Francisco, USA.
14. Aoki T., K. Kuchiki, M. Niwano, S. Matoba, J. Uetake, K. Masuda, and H. Ishimoto, 2012: Numerical simulation of spectral albedos of glacier surfaces covered with glacial microbes in northwestern Greenland, International Radiation Symposium 2012, 6-10 August 2012, Dahlem Cube, Berlin, Germany, IRS2012-19.
15. Hori, M., T. Tanikawa, T. Aoki, A. Hachikubo, K. Sugiura, K. Kuchiki, and M. Niwano , 2012: Possibility to discriminate snow types using brightness temperatures in the thermal infrared wavelength region, International Radiation Symposium 2012, 6-10 August 2012, Dahlem Cube, Berlin, Germany, IRS2012-439.
16. Aoki T., S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Niwano, H. Motoyama, K. Kuchiki,

2012: Meteorological and snow properties measured at SIGMA-A site on northwestern Greenland during drastic melting event in July, 2012, C13F-0712, AGU Fall Meeting 2012, 3-7 December 2012, San Francisco, USA.

17. Tanikawa, T., M. Hori, T. Aoki, A. Hachikubo, and K. Stamnes, 2012: Measurements on degree of linear polarization of snow for the GCOM/SGLI sensor, C33B-0660, AGU Fall Meeting 2012, 3-7 December 2012, San Francisco, USA.
18. Shimada, R., N. Takeuchi, and T. Aoki, 2012: Effect of microorganism on Greenland ice sheet surface temperature change, C13B-0607, AGU Fall Meeting 2012, 3-7 December 2012, San Francisco, USA.
19. Aoki T., S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Niwano, T. Yamasaki, K. Kuchiki, H. Motoyama, and M. Hori, 2013: Intensive observations of meteorological and snow-physical parameters at site SIGMA-A in northwestern Greenland in summer 2012, Third International Symposium on the Arctic Research (ISAR-3), 14-17 January 2013, Tokyo, Japan.
20. Kuchiki, K., T. Aoki, H. Motoyoshi, S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Niwano, Rigen S., and T. Yamasaki, 2013: Mass concentration of snow impurities and snow grain size on northwestern Greenland Ice Sheet: Comparison between retrieval from MODIS and in-situ measurement, Third International Symposium on the Arctic Research (ISAR-3), 14-17 January 2013, Tokyo, Japan.
21. Niwano, M., T. Aoki, S. Yamaguchi, S. Matoba, T. Tanikawa, T. Yamasaki, K. Kuchiki, and H. Motoyama, 2013: Numerical simulation of summer snowmelt at site SIGMA-A northwestern Greenland during 2012 intensive observations, Third International Symposium on the Arctic Research (ISAR-3), 14-17 January 2013, Tokyo, Japan.
22. Tanikawa, T., T. Aoki, and M. Hori, 2013: Monitoring of the dark region on Greenland by AQUA/MODIS during the melting season 2002 - 2012, Third International Symposium on the Arctic Research (ISAR-3), 14-17 January 2013, Tokyo, Japan.
23. Matoba, S., S. Yamaguchi, T. Yamasaki, T. Tanikawa, T. Aoki, M. Niwano and H. Motoyama, 2013: Melting record in northwestern Greenland Ice Sheet, Third Internation Symposium on the Arctic Research (ISAR-3), 14-17 January 2013, Tokyo, Japan.
24. Yamaguchi, S., S. Matoba, T. Aoki, M. Niwano, T. Tanikawa, T. Yamasaki, and A. Hachikubo, 2013: Measurement of specific surface area of snow cover in Greenland, Third Internation Symposium on the Arctic Research (ISAR-3), 14-17 January 2013, Tokyo, Japan.
25. Uetake, J., N. Takeuchi, N, Nagatsuka, H. Motoyama, and T. Aoki, 2013: Microbial composition changes in cryoconite formation process in northwestern Greenland, Third Internation Symposium on the Arctic Research (ISAR-3), 14-17 January 2013, Tokyo, Japan.
26. Shimada, R., N. Takeuchi, and T. Aoki, 2013: Effect of Microorganism on Greenland Ice Sheet surface temperature change, Third Internation Symposium on the Arctic Research (ISAR-3), 14-17 January 2013, Tokyo, Japan.
27. Saito, K., T. Yamazaki, T. Ise, T. Hajima, M. Hosaka, A. Ito, M. Niwano, R. O'ishi, H. Park, T. Sueyoshi, S. Yamaguchi, 2013: Goals and activities of the terrestrial modeling group of "GRENE arctic climate change research project", Third Internation Symposium on the Arctic Research (ISAR-3), 14-17 January 2013, Tokyo, Japan.
28. Niwano, M., T. Aoki, S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, H. Motoyama, K. Kuchiki, M. Hosaka, and Y. Kodama, 2013: Accuracy of simulated snow grain size and shortwave

albedo by a 1-D physical snowpack model SMAP: Model validation at Sapporo, Japan and Greenland, Snow Grain Size Workshop – Measurements and Applications, 2-5 April 2013, Grenoble, France.

29. Arakawa, H., A. Hachikubo, S. Yamaguchi, T. Aoki, and K. Izumi, 2013: Run-length dependence of specific surface area and intrinsic permeability in seasonal snow, Snow Grain Size Workshop – Measurements and Applications, 2-5 April 2013, Grenoble, France.
30. Yamaguchi, S., A. Hachikubo, H. Arakawa, and T. Aoki, 2013: Attempt of modeling water movement in snow cover using specific surface area, Snow Grain Size Workshop – Measurements and Applications, 2-5 April 2013, Grenoble, France.
31. Niwano, M., T. Aoki, S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, H. Motoyama, and K. Kuchiki, 2013: Evaluation of a 1-D snowpack model SMAP applied in the Greenland ice sheet, EGU General Assembly 2013, 8-12 April 2013, Vienna, Austria.
32. Kuchiki, K., T. Aoki, H. Motoyoshi, S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Niwano, R. Shimada, and T. Yamasaki, 2013: Comparison of snow physical parameters retrieved from MODIS with in-situ measurements on northwestern Greenland ice sheet, Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly DACA-13, 8-12 July 2013, Davos, Switzerland.
33. Hachikubo, A., S. Yamaguchi, H. Arakawa, T. Tanikawa, M. Hori, K. Sugiura, M. Niwano, K. Kuchiki and T. Aoki, 2013: Investigation of adsorbent for a measurement of snow specific surface area by the gas-adsorption method, The International Snow Science Workshop (ISSW) 2013, 7-11 October 2013, Grenoble, France, P4-16.
34. Hori, M., T. Aoki, T. Tanikawa, K. Kuchiki, M. Niwano, S. Yamaguchi, S. Matoba, A. Hachikubo and K. Sugiura, 2013: Dependence of brightness temperatures in the thermal infrared wavelength region on the surface snow types, C21D-0679, AGU Fall Meeting 2013, 9-13 December 2013, San Francisco, USA.
35. Tanikawa, T., T. Aoki, M. Hori, A. Hachikubo and K. Stamnes, 2013: Measurements on angular distribution of reflectance and degree of linear polarization of snow for the GCOM-C/SGLI snow product, C21D-0675, AGU Fall Meeting 2013, 9-13 December 2013, San Francisco, USA.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：41 件

1. 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 2009: 分光アルベドを用いた積雪中黒色炭素・ダスト濃度の推定, 日本気象学会 2009 年度春季大会, 2009 年 5 月, つくば, P303
2. 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 2009: SNOWPACK によって再現された札幌の積雪状態, 雪氷研究大会（2009・札幌）, 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2009 年 9 月, 札幌, P1-30, 51.
3. 谷川朋範, 青木輝夫, 朽木勝幸, 八久保晶弘, 杉浦幸之助, 2009: 積雪アルベド・反射率の不純物・層構造依存性, 雪氷研究大会（2009・札幌）, 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2009 年 9 月, 札幌, P1-31, 52.
4. 兒玉裕二, 青木輝夫, 2009: 根雪開始の熱収支 II, 雪氷研究大会（2009・札幌）, 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2009 年 9 月, 札幌, P2-55, 149
5. 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 2009: 積雪不純物濃度測定における濾過フィルターの違い, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, 2009 年 11 月, 福岡, P354
6. 田中泰宙, 青木輝夫, 保坂征宏, 足立恭将, 2009: 鉱物ダストおよび黒色炭素エーロゾル沈着を考慮した雪氷面アルベド 2 層モデルの開発, 日本気象学会 2009 年秋季大会, 2009 年 11 月, 福岡, P153, 385.
7. 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 2010: 衛星と地上放射計それぞれから抽出された積雪物理量の比較）, 日本気象学会 2010 年度春季大会, 2010 年 5 月, 東京, P416.
8. 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 堀雅裕, 2010: 積雪アルベド物理モデルを用いて衛星データか

ら積雪アルベドを抽出するアルゴリズム，雪氷研究大会（2010・仙台），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2010 年 9 月，仙台, P3-14, 153.
9. 庭野匡思，青木輝夫，朽木勝幸, 2010: 積雪変態・アルベドプロセスモデル（SMAP）における積雪変態過程の改良，日本地球惑星科学連合 2010 年度合同大会，2010 年 5 月，千葉, ACC023-P02.
10. 兒玉裕二，西村浩一，山崎剛，鈴木和良，庭野匡思，青木輝夫，保坂征宏, 2010: 積雪変態モデルの比較，日本地球惑星科学連合 2010 年度合同大会, 2010 年 5 月，千葉, ACC023-P03.
11. 朽木勝幸，青木輝夫, 庭野匡思, 2010: 積雪不純物濃度の測定に及ぼす誤差要因の検討，雪氷研究大会（2010・仙台），日本雪氷学会/日本雪工学会，仙台, 2010 年 9 月, P2-05, 83.
12. 朽木勝幸，青木輝夫, 庭野匡思, 2010: 全天分光日射計による積雪中黒色炭素・ダスト濃度の推定，日本気象学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月，京都, P383.
13. 庭野匡思，青木輝夫，朽木勝幸，保坂征宏, 2011: 積雪不純物が雪面熱収支に与える影響の評価，日本気象学会 2011 年度春季大会, 2011 年 5 月，東京, P238.
14. 朽木勝幸，青木輝夫，庭野匡思，堀雅裕，谷川朋範，八久保晶弘，杉浦幸之助, 2011: 双方向反射率に対する積雪層構造の効果，雪氷研究大会（2011・長岡），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2011 年 9 月 20 日，長岡, P1-6, 138.
15. 八久保晶弘，谷川朋範，庭野匡思，朽木勝幸，青木輝夫, 2011: BET 吸着法による積雪比表面積測定－フィールド仕様の開発検討－，雪氷研究大会（2011・長岡），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2011 年 9 月 20 日，長岡, P1-7, 139.
16. 杉浦幸之助，八久保晶弘，堀雅裕，青木輝夫，谷川朋範，朽木勝幸，庭野匡思，本吉弘岐, 2011: 赤外線サーモグラフィーを用いた水みちの野外観測，雪氷研究大会（2011・長岡），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2011 年 9 月 20 日，長岡, P1-8, 140.
17. 谷川朋範，堀雅裕，Knut Stamnes，青木輝夫，朽木勝幸，庭野匡思，2011：可視・近赤外光における積雪中の浸透深さ－GCOM-C/SGLI 雪氷プロダクトの高精度化にむけて－，雪氷研究大会（2011・長岡）, 9 月 20 日，長岡, P1-8, 167.
18. 朽木勝幸，青木輝夫，庭野匡思，2011: つくばにおける大気エアロゾル中炭素成分の季節変動，日本気象学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 11 月 16 日，名古屋, P171.
19. 朽木勝幸，青木輝夫，本吉弘岐，庭野匡思，谷川朋範，堀雅裕，Knut Stamnes, Wei Li，島田利元，2012: MODIS から推定された北西グリーンランドにおける積雪物理量経年変化の初期解析結果，日本地球惑星科学連合 2012 年度連合大会，2012 年 5 月 20-25 日，千葉, ACG37-P01.
20. 朽木勝幸，青木輝夫，庭野匡思，兒玉裕二，岩田幸良，谷川朋範，増田一彦，石元裕史，2012: 全天分光日射計を用いた積雪物理量の推定に及ぼす積雪粒子形状の効果,日本気象学会 2012 年度春季大会, 2012 年 5 月 26-29 日，つくば, P220.
21. 田中泰宙，青木輝夫，坂見智法，保坂征宏，足立恭将，行本誠史，地球システムモデル開発グループ, 2012: 気候モデルによる黒色炭素エーロゾル削減の有効性評価のための感度実験，日本気象学会 2012 年度春季大会, 2012 年 5 月 26-29 日，つくば, P222.
22. 的場澄人，植竹淳，青木輝夫, 2012: 北西グリーンランド氷床積雪中の化学プロファイル-2011 年 SIGMA グリーンランド観測結果報告-，雪氷研究大会（2012・福山），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2012 年 9 月 24-27 日，福山, P1-19, 151.
23. 植竹淳，本山秀明，青木輝夫: 2012: グリーンランド北西部におけるクリオコナイトの形成過程による微生物種の変動，雪氷研究大会（2012・福山），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2012 年 9 月 24-27 日，福山, P1-23, 155.
24. 堀雅裕，谷川朋範，青木輝夫，朽木勝幸，庭野匡思，八久保晶弘，杉浦幸之助, 2012: 雪氷面の熱赤外域射出率のモデル化と雪質分類への応用可能性，雪氷研究大会（2012・福山），日本雪氷学会/日本雪工学会, 2012 年 9 月 24-27 日，福山, P1-34, 166.
25. 堀雅裕，谷川朋範，青木輝夫，朽木勝幸，庭野匡思，2012: 衛星搭載熱赤外域バンドを用いた雪氷面上可降水量の抽出手法の検討, 2012: 日本気象学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 10 月 3-5 日，札幌, P343.

26. Shimada, R., N. Takeuchi, and T. Aoki, 2012: Effect of microorganism on Greenland ice sheet surface temperature change, 2012 年 11 月 26-30 日, 国立極地研究所, 第 3 回極域科学シンポジウム, 2011 年 11 月 14-15 日, 立川.
27. Tanikawa, T., M. Hori, T. Aoki, S. Matoba, S. Yamaguchi, M. Niwano, T. Yamasaki and H. Motoyama, 2012: Monitoring of the dark and the melting region on the Greenland ice sheet by Aqua/MODIS data during melting season, 2012 年 11 月 26-30 日, 国立極地研究所, 第 3 回極域科学シンポジウム, 2011 年 11 月 14-15 日, 立川.
28. 八久保晶弘, 山口悟, 谷川朋範, 堀雅裕, 杉浦幸之助, 庭野匡思, 朽木勝幸, 青木輝夫, 2012: BET 吸着法による積雪比表面積測定—吸着ガスの検討—, 2012 年 11 月 26-30 日, 国立極地研究所, 第 3 回極域科学シンポジウム, 2011 年 11 月 14-15 日, 立川.
29. 斉藤和之, 山崎剛, 伊勢武史, 羽島知洋, 保坂征宏, 伊藤昭彦, 庭野匡思, 大石龍太, 朴昊澤, 末吉哲雄, 山口悟, 芳村圭, 2012: GRENE 北極圏プロジェクト陸域モデルグループの活動と目標, 国立極地研究所, 第 3 回極域科学シンポジウム, 2012 年 11 月 26-30 日, 立川.
30. 朽木勝幸, 青木輝夫, 本吉弘岐, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 庭野匡思, 島田利元, 2013: MODIS から推定したグリーンランドにおける積雪物理量の検証, 日本気象学会 2013 年度春季大会, 2013 年 5 月 15-18 日, 東京, P327.
31. 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 本吉弘岐, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 島田利元, 2013: 地上及び衛星リモートシングによって推定された北西グリーンランド氷床上 SIGMA-A における積雪粒径, 日本地球惑星科学連合 2013 年度大会, 2013 年 5 月 19-24 日, 千葉, A-CG39-P02.
32. 島田利元, 竹内望, 青木輝夫, 2013: MODIS データを用いたグリーンランド氷床表面温度と表面反射率の時間変化, 日本地球惑星科学連合 2013 年度大会, 2013 年 5 月 19-24 日, 千葉, ACG38-P14.
33. 島田利元, 竹内望, 青木輝夫, 2013: 衛星データを用いたグリーンランド氷床表面反射率と表面輝度温度との比較研究, 雪氷研究大会（2013・北見）, 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2013 年 9 月 18-20 日, 北見市, P1-22.
34. 清水勇希, 八久保晶弘, 竹谷敏, 青木輝夫, 2013: 粉末氷から生成したガスハイドレートの比表面積測定, 雪氷研究大会（2013・北見）, 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2013 年 9 月 18-20 日, 北見市, P2-54.
35. 山口悟, 佐藤威, 望月重人, 八久保晶弘, 青木輝夫, 2013: 積雪の圧縮粘性係数に対する大気圧の効果, 雪氷研究大会（2013・北見）, 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2013 年 9 月 18-20 日, 北見市, P2-67.
36. 的場澄人, 山口悟, 山崎哲秀, 青木輝夫, 庭野匡思, 谷川朋範, 本山秀明, 杉山慎, 2013: グリーンランド氷床北西部 SIGMA-A サイトにおける過去 36 年間の年間質量収支の復元, 第 4 回極域科学シンポジウム, 国立極地研究所, 2013 年 11 月 13-16 日, 立川, IA-P37.
37. 植竹淳, 永塚尚子, 竹内望, 本山秀明, 青木輝夫, 2013：グリーンランド、カナック氷河のクリオコナイト粒の発達プロセスにおけるバクテリア相の変化, 第 4 回極域科学シンポジウム, 国立極地研究所, 2013 年 11 月 13-16 日, 立川, IA-P35.
38. 八久保晶弘, 山口悟, 荒川逸人, 谷川朋範, 堀雅裕, 杉浦幸之助, 庭野匡思, 朽木勝幸, 青木輝夫, 2013: BET 吸着法による積雪比表面積（SSA）測定 —粒子形状が SSA 減少率に及ぼす影響—, 2013 年 11 月 13-16 日, 立川, OM-P20.
39. 大沼友貴彦, 竹内望, 植竹淳, 永塚尚子, 朽木勝幸, 庭野匡思, 青木輝夫, 2013: 2013 年グリーンランドカナックの積雪における雪氷藻類の季節変化, 第 4 回極域科学シンポジウム, 国立極地研究所, 2013 年 11 月 13-16 日, 立川, OM-P12.
40. 斉藤和之, 山崎剛, 伊勢武史, 宮崎真, 荒木田葉月, 森淳子, 羽島知洋, 保坂征宏, 飯島慈裕, 伊藤昭彦, 松浦陽次郎, 庭野匡思, 大石龍太, 太田岳史, 朴昊澤, 佐藤篤司, 末吉哲雄, 鈴木力英, 山口悟, 芳村圭, 2013: GRENE-TEA 北極陸域変動モデル相互比較プロジェクト stage 1, 国立極地研究所, 2013 年 11 月 13-16 日, 立川, IA-P5.

41. 庭野匡思, 青木輝夫, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 朽木勝幸, 橋本明弘, 保坂征宏, 2013: 積雪変質モデルを用いたグリーンランド氷床上積雪物理状態の再現, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, 2013 年 11 月 19-21 日, 仙台市, P164.

都市気象モデルの開発

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：高薮出（環境・応用気象研究部第二研究室長）

課題構成及び研究担当者

副課題１：都市気象全般を表現可能な都市気象モデルの開発
藤部文昭[1)]、山本哲[1)]、青柳曉典、志藤文武[1)]、高橋俊二[2)]、栗田進[3)]、日谷道夫[3)]（環境・応用気象研究部）、清野直子（予報研究部）、萱場亙起[2)]、山田崇[4)]（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）

副課題２：LES による都市気象モデルの検証と微気象 LES モデルの開発
藤部文昭[1)]、山本哲[1)]、青柳曉典、志藤文武[1)]、高橋俊二[2)]、栗田進[3)]（環境・応用気象研究部）、清野直子[1)]（予報研究部）、山田崇[1)]（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）

研究の目的

全国的な都市化の進行とともに顕在化してきているヒートアイランド、都市豪雨等への都市効果を、定量的に表現・予測することは大きな社会的要請となっている。気象庁ではこれら社会の要請に応えるべく、ヒートアイランドの実態把握、都市化影響の評価を行う「ヒートアイランド監視報告」を定期的に発表しているが、これらの情報作成に用いる都市気象モデルの更なる高度化が要請されている。また、都市の関連する豪雨や異常高温等の極端現象を NHM で再現、予測を行うための都市効果をより正しく表現するスキームが求められている。これらの要請に応えるべく、都市気象を精度良く再現、予測可能な都市気象モデルを開発提供し、都市気象メカニズムの解明と都市気象にともなう極端現象の解析・予測を通じた気象庁の情報発信の高度化に資する。

研究の動機・背景

副課題１　都市気象全般を表現可能な都市気象モデルの開発

気象庁の現業数値予報モデルでの都市の表現は簡単な平板モデルであり、地球環境・海洋部の１層の都市気象モデルが導入されているが、降水過程は含まれていない。非静力学モデルに適合し都市大気層をより定量的に表現する都市気象モデルの作成が早急の課題となっている。

副課題２　LES による都市気象モデルの検証と微気象 LES モデルの開発

ビル群周辺の大気環境の観測は困難であり、都市気象モデル開発において都市の素過程を検証する観測データがほとんどない。都市の微気象を表現できる都市 LES モデルは地上気象観測環境の定量評価の可能性を持つが、多様な観測環境に対応するモデルではない。

研究の成果の到達目標

副課題１　都市気象全般を表現可能な都市気象モデルの開発
- １層都市キャノピーモデルへの水文過程の導入
- 都市モデルの多層化とモザイク化
- 都市領域の拡散モデルの開発

副課題２　LES による都市気象モデルの検証と微気象 LES モデルの開発
- 都市大気境界層を表現する LES モデルの開発
- 汎用 LES モデルの開発

[1)]平成 24 年度～平成 25 年度、[2)]平成 21 年度、[3)]平成 21 年度～平成 23 年度、[4)]平成 23 年度～平成 25 年度

研究結果

（成果の概要）

本課題では、従来平板でしか表現されてこなかった都市域の陸面過程について、1 層都市キャノピーモデル・多層都市キャノピーモデル・LES モデルと階層化されたモデル開発を実施した。

これにより都市周辺の気象研究に対して様々なレベルで対応可能なシステムが構築された。全国の都市のヒートアイランド効果の評価には、計算コストが小さいながらも都市域特有の放射・熱環境を表現する主要なパラメータ設定が可能な 1 層都市気象モデルが用いられ本庁気候情報課に納入された。他方、地球温暖化の監視という観点から近年注目を浴びている観測環境の精査に対しては多層都市モデルや LES モデルが対応可能である。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　都市気象全般を表現可能な都市気象モデルの開発

- １層都市キャノピーモデルの開発とメソ気象モデル NHM への導入を行った(Aoyagi and Seino 2011, 青柳・清野 2012)。開発には 2 年間を要しモデルの開発・改良には気象庁本庁屋上における観測データを使用した。地域気候モデル NHRCM への導入が成功した 3 年度目からは長期積分による都市効果の気候学的な量の把握にも成功した。このモデルは本庁気候情報課への納入も果たし、ヒートアイランド情報の基礎資料の作成にも生かされている。さらに、4 年度目からは生成情報の精緻化を目指して地表面状態のモザイク化に取り組んだ。
- １層都市キャノピーモデルを導入した NHRCM による気候数値実験では、過去 30 年間の土地利用変化に伴う地上気温上昇についてその要因別の寄与を調べた。人工排熱の増大は地上気温を平均的に上昇させること、都市域の拡大（すなわち植生域の減少）は特に夏季日中の気温上昇をもたらすこと、都市内部のビル群の高層化による放射収支の変化（特に放射冷却の抑制）は夜間の気温上昇に寄与すること等を定量的に示した(Aoyagi et al. 2012)。
- １層都市キャノピーモデルでも、従来の平板モデルに比すれば都市の効果を多く取り込むことが出来るが、多層化することでより精緻化できる。そのため研究レベルでは多層都市モデルが有用である。まずは放射収支変化を精緻に表現可能となるように無限回の多重反射を考慮した都市多層放射モデルを開発した。このモデルの構築には 3 年を要した。構築には、やはり気象庁本庁屋上で行っている放射観測の結果を適用しモデルの精度を上げることに成功した。完成した都市多層放射モデルを用い、放射平衡にある都市域地表面においては３次元立体構造があることのみでその平均表面温度が高くなる可能性を見出し、その温度上昇は天空開放度にほぼ比例することを明らかにした(Aoyagi and Takahashi 2012)。
- さらに、温室効果気体を含む大気の放射平衡状態の解釈を通して、表面温度上昇や温室効果気体の増加に伴う都市域上空の気温上昇の可能性について理解を深めた。
- 都市モデルの構築に当たっては、都市域における微気象の観測データが不可欠である。そのため本課題では、本庁観測部及び東管技術課の協力を得て本庁屋上に観測点を設け放射観測を実施した。観測結果は上記に示すようにモデル開発に有効利用されたが、さらにデータの散逸を防ぐためにデータベース化の作業を進めた。

副課題２　LES による都市気象モデルの検証と微気象 LES モデルの開発

- 都市の詳細な気象状況を再現できる LES モデルの導入は観測環境の検証のためにも必要である。本研究では LES モデル導入に際して問題となる諸点を 3 年間にわたり風洞を用いた実験により研究した(Kurita and Kanda 2009)。
- 第 4 年度に、オープンソースの LES モデルを所内計算機システムに導入することに成功し、風洞実験結果の再現計算を行いモデル計算結果の検証を実施した。
- 微気象スケールでみた観測環境の変化はときに観測データの極値に影響を与え、さらには長期変化傾向としても顕在化する場合がある。観測環境変化の影響を受けたデータはメソモデル検証の際の誤差要因となり得る。このため 3 年度目以降において、観測データのメタデータを整備し検証環境を整備した。その結果、アメダス降雪量データの精度を上げることに成功しモデル検証の精度を向上させることに成功した。

・都市域に設置されている観測所の周辺環境については国内外の設置状況や研究動向等を調査した。その中の１例として明治の東京観測所の観測開始期における環境について詳しく調査・検討を行い、当時の観測所周辺の土地利用・周辺起伏等を明らかにすることができた。
・そのほか、都市や観測所など近傍の気温分布を効率的に測定する新手法の検討や、シーロメータデータを利用した都市境界層の立体構造観測の可能性について検討を行った。
・観測露場の周辺数 10m スケールにおいて瞬間的あるいは季節平均としてどの程度気温差が生じ得るかを調査するため、東京管区気象台の露場敷地内の植栽に囲まれた場所に新たに強制通風式温湿度計を設置して通年観測を実施した。得られたデータと気象庁の現業観測データを比較した結果、同一露場敷地内であっても、周囲数 10m が開けた場所と植栽等に囲まれた場所とでは、夏季日中に月平均で最大 0.6℃の気温差が生じていること、その気温差は日射量が大きいほど拡大することを見出した。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

乱流スキームそのものの研究や気象業務における観測環境の研究に集中するため、数値風洞としての汎用 LES モデルのベースにオープンソースパッケージを利用するように研究の流れを微修正した。都市領域の拡散モデルの開発に関しては、本研究課題単独でのモデル開発とはせず、環境・応用気象研究部第 1 研究室及び第 4 研究室で行われている JMA-NHM 用化学輸送モデル（NHM-CHEM）の開発に合流し、作業の効率化を図ることとした。本研究課題では、NHM-CHEM を都市スケールの現象に適用した研究に注力した。

副課題１で推進した都市気象モデルの検証を進める中で、都市域では地上観測データの特性が観測地点周囲の観測環境に影響を受けやすいこと、モデルの性能評価や改良のためには、そうした影響を考慮したモデル対観測の比較が必要であることが明らかとなった。そこで、モデルにおいて地表面状態のモザイク化に取り組むとともに観測環境がデータに及ぼす影響の実態把握のため都市観測点周辺での観測にも取り組んだ。

成果の他の研究への波及状況

・「温暖化への対応策検討に資するための日本域の気候変化予測に関する研究」（代表者：環境・応用 3 研　佐々木室長）において、NHRCM 計算結果の検証に本研究計画で高精度化した観測データが利用された。また、次世代高精度モデルの開発にあたり、本研究計画で開発した都市サブモデルが導入された。
・「顕著現象の機構解明に関する解析的・統計的研究」（代表者：予報 3 研　加藤輝之室長、平成 22 年度～平成 23 年度は予報 3 研　藤部文昭室長（当時））の副課題３「都市効果が顕著現象に及ぼす影響の評価」において、本研究計画において開発された 1 層都市キャノピーモデルを組み込んだ NHM が顕著現象発生時の事例解析や都市の高温化が降水に与える影響を調べるための数値実験に活用された。

今後の課題

・1 層都市キャノピーモデルを含む陸面過程のモザイク化を進め、観測値の再現精度をより高める必要がある。
・モデル検証のために一層稠密な都市域の観測データを得る必要がある。

自己点検

（１）到達目標に対する達成度

開発した 1 層都市気象モデルは、その利便性から本庁気候情報課が毎年出しているヒートアイランド情報の基礎資料算出に適しているということが認められた。一方、その本庁納入のために人的資源を割くことになり LES モデル開発が遅延した。そのため、LES モデルに関しては風洞基礎実験の成果を取り入れる形で既存のオープンソースモデルを導入して対応した。都市モデルの放射過程の多層化はほぼ計画通りに進んだ。以上の結果、現業に利用できる 1 層都市気象モデルが開発されるとともに多層都市放射モデル・LES モデルの基盤的な枠組みが整備されることになった。これら

のモデルの整備と適用に関する知見の蓄積という面において、本研究課題の当初の目標は十分クリアーしていると考える。

（2）研究手法及び到達目標の設定の妥当性

基礎的・基盤的研究をうたっていながら、研究期間中に本庁のオペレーショナルモデルとして採用されるなど想定外の事が生じたため、若干の設定変更はあったが、5 年間で目標にはおおむね到達でき、目標設定は妥当だったと考えられる。

（3）成果の施策への活用・学術的意義

本庁気候情報課への 1 層都市気象モデルの納入：本モデルの計算結果は「ヒートアイランド監視報告」の基礎資料として用いられた。

気候変動による温暖化研究の進展に伴い注目を集めている「観測環境問題」に、露場の微気象の研究により学術的・行政的に貢献した。

気候変動による温暖化研究における、都市化の効果の研究に対して、長時間安定して走る都市モデルは寄与した。

（4）総合評価

シームレスとは言わないまでも階層的な複数の都市モデルの構築は、今後都市気象の研究にあたり隙の無いモデルシステムを構築したと言える。本課題はそのタイトルと見比べて成功と言える。

気象研究所評価委員会による終了時評価

1．総合評価

優れた研究であった。

2．総合所見

都市の効果は、領域気候モデルや領域予報モデルで取り込むべき重要なプロセスである。本研究では、一層都市キャノピーモデルを開発し、都市気象のメカニズム解明と再現に成功したとともに、本庁地域気候モデル(NHRCM)への組み込みと「ヒートアイランド監視報告」への寄与など、業務貢献として着実に成果をあげた。また、気象研究所において、都市化による気温上昇や降水への効果を現実的な状況で評価することを可能にしたことなど、想定した以上の成果が得られたものもあった。

一方、観測環境問題への応用が期待される乱流モデル(LES)については、大きな進捗は見られなかったことから、今後の課題として部内での人的･物的資源を効率的に活用し、中長期的な視点で取り組みを継続して欲しい。また、次期中期研究計画の中で、新しい環境業務や情報サービスに結びつけられる成果が得られることを期待したい。

査読論文は 7 編（うち国際誌掲載の原著論文は 4 編）と十分な数とは言えず、積極的な取り組みが必要である。

なお、観測環境問題については、より高分解能な数値モデルや風洞実験による研究が有効であるため、環境・応用気象研究部第 5 研究室との連携を進めて欲しい。

成果発表一覧

査読論文　：7 件

1. Kurita and Kanda, 2009: Characteristics of Boundary layer over a Sequence of Small Localized Urban Canopied with Various Heights Obtained by Wind-Tunnel Experiment, JMSJ , 87, 705-719.
2. Aoyagi, T. and N. Seino, 2011: A Square Prism Urban Canopy Scheme for the NHM and Its Validation on Summer Conditions in the Tokyo Metropolitan Area, Japan, J. Appl. Meteorol. Climatol., 50, 1476-1496.
3. Aoyagi, T. and S. Takahashi, 2012: Development of an Urban Multilayer Radiation Scheme and Its Application to the Urban Surface Warming Potential, Bound.-Layer Meteor.,

142, 305-328.
4. Aoyagi, T., N. Kayaba, and N. Seino, 2012: Numerical Simulation of the Surface Air Temperature Change Caused by Increases of Urban Area, Anthropogenic Heat, and Building Aspect Ratio in the Kanto-Koshin Area, J. Meteor. Soc. Japan., 90B, 11-31.
5. Bai, Y., I. Kaneko, H. Kobayashi, K. Kurihara, I. Takayabu, H. Sasaki, and A. Murata, 2013: A geographic information system (GIS)-based approach to adaptation to regional climate change: a case study of Okutama-machi, Tokyo, Japan.
6. 高橋潔, 高藪出, 石﨑紀子, 塩竈秀夫, 松井哲哉, 田中信行, 江守正多, 2013: ３種の力学的ダウンスケーリングシナリオを用いた我が国のブナ林分布適域の変化予測。土木学会論文集 G（環境）, 69,5,I_161-I_170.
7. Aoyagi, T., 2013: Numerical Simulation on the Urban Warming Induced by Land Use Modification during Recent 30 Years. A Dissertation submitted to the University of Tsukuba for the degree of Ph.D. in Science.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：7 件

1. 藤部文昭, 青柳曉典, 竹見哲也, 中山浩成, 2009: 第 8 回都市環境シンポジウム参加報告, 天気, 56, 799-806
2. 高藪出, 2010：地域気候モデルによる温暖化予測. 天気, 57, 546-550.
3. 佐藤友徳, 石崎紀子, 石崎安洋, 稲津将, 岡田直資, 仲江川敏之, 高藪出, 芳村圭, 金光正郎, 2011：第１０回 RSM に関する国際ワークショップ開催・参加報告, 天気 58, 41-45.
4. 萱場亙起, 青柳曉典, 高橋俊二, 2010：重回帰分析による人工排熱量の推定, 測候時報, 77, 137-153.
5. 青柳曉典, 足立幸穂, 伊東瑠衣, 近藤裕昭, 日下博幸, 小田僚子, 大橋唯太, 清野直子, 2013：第 8 回都市気候会議の報告. 天気, 60, 97-104.
6. 青柳曉典, 清野直子, 2012：メソ数値予報モデルと都市. 気象研究ノート, 224, 273-301.
7. 山本哲, 2013 : 温室効果気体はどのようにして大気を暖めているのか, 天気, 60, 385-389.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：7 件

1. Takayabu, I., 2010: Downscaling of Climate Projections in Japan. Japan 1st international workshop on economics of climate change and low carbon growth strategies in northeast Asia. (アジア開発銀行, 20 April at Tokyo).
2. Aoyagi, T. and N. Seino, 2010: Single-layer urban canopy scheme for the mesoscale model of JMA – As an adaptation planning tool for the future urbanization -. Proc. International Workshop on Urban Climate Projection for better Adaptation Plan, 15-16. (June 2010 at Tsukuba)
3. Seino, N. and T. Aoyagi, 2010: Urban Climate Research with a Mesoscale Model JMA-NHM. Proc. International Workshop on Urban Climate Projection for better Adaptation Plan, 6. (June 2010 at Tsukuba)
4. Takayabu, I., 2010: Down-scaling system applied for representing local climate in Japan, 10th international RSM workshop, Japan, Aug. 2010.
5. Takayabu, I., 2011: Design of a downscaling project of climate projections in Japan, Aug. 2011 at Vietnam, The second International MAHASRI/HyARC Workshop on Asian Monsoon and Water Cycle.
6. Takayabu, I., 2013: Introduction of a new program in Japan for research on risk assessment of climate change. 6th China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology, 24-25 October 2013, Nanjing, China.
7. Hibino, K., T. Nakaegawa, and I. Takayabu, 2013: The climate analogues of the cities in East Asian Asia at the end of 21st century. 6th China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology, 24-25 October 2013, Nanjing, China.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等：13 件

1. 清野直子, 青柳曉典, 2009: 東京における強雨事例のシミュレーション －2007 年 8 月の事例における都市の効果－. 2009 年度日本気象学会秋季大会, B301. 2009.11.27（福岡）.
2. 青柳曉典, 清野直子, 2009: NHM 用単層都市キャノピースキーム導入前後の地上気温検証. 第 11 回非静力学モデルに関するワークショップ, 講演予稿集 H-2.2009. 9. 25.（弘前）
3. 清野直子, 青柳曉典, 津口裕茂, 加藤輝之, 2010: 東京における強雨事例のシミュレーション（２）—2010 年 7 月 5 日の事例解析—, 気象学会 2010 年秋季大会講演要旨集 C355, 2010 年 10 月.
4. 高藪出, 2011：「力学的ダウンスケーリングとは？」。グリーン社会 ICT ライフインフラプロジェクト　第 3 回全体会議, 2011 年 9 月.
5. 栗田進, 2011：粗度：ゼロ面変位の安定度依存性と, そのキャノピー内乱流との関係について（観測的研究への適用に向けて）, ユーラシア・アジアモンスーン地域の気候－陸域相互作用研究会
6. 青柳曉典, 清野直子, 2012：都市温暖化と地上風速の関係－過去 30 年間の土地利用変化に伴う気候変化シミュレーション－. 第 10 回環境研究シンポジウム, 一橋講堂（千代田区）, 2012 年 11 月 14 日.
7. 山本哲, 2013：世界気象機関（WMO）地上観測設置環境分類の導入. 2013 年度日本気象学会春季大会, D158. 2013.5.15（東京）.
8. 志藤文武, 清野直子, 藤部文昭, 青柳曉典, 山本哲, 2013：観測露場内で生じる気温差の通年観測－東京管区気象台（千代田区大手町）の場合－, 2013 年度日本気象学会春季大会, D159. 2013.5.15（東京）.
9. 清野直子, 青柳曉典, ほか 3 名, 2013： 都市における下向き赤外放射量の観測, 2013 年度日本気象学会春季大会、D156. 2013.5.15（東京）.
10. 山本哲, 2013：東京気象台 1875（明治 8）年観測開始期のメタ情報. 第 232 回生存圏シンポジウム. 2013.8.20（立川）.
11. 山本哲, 2013：東京気象台 1875（明治 8）年観測開始期のメタ情報. 2013 年度日本気象学会秋季大会, D204. 2013.11.20（仙台）.
12. 青柳曉典, 清野直子, 志藤文武, 佐々木秀孝, 2013：NHRCM4km への都市キャノピースキーム導入実験－現在気候（2001 年～2006 年）再現実験の検証－. 日本気象学会 2013 年度秋季大会講演予稿集, A216, 仙台国際センター（仙台市）, 2013 年 11 月 20 日.
13. 藤部文昭, 2013: 長期観測データから見る日本の気候変動の実態と問題点. 日本気象学会関西支部 2013 年度四国地区例会予稿集, 高松第 2 地方合同庁舎（高松市）, 2013 年 12 月 20 日.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：7 件

1. Aoyagi, T. and N. Seino, 2009: The Development of a Single Layer Urban Canopy Scheme for the Japan Meteorological Agency Nonhydrostatic Mesoscale Model. The 7th International Conference on Urban Climate, P3-8. 2009.7.1 (Yokohama, Japan)
2. N. Seino and T. Aoyagi, 2009: Urban Influences on Precipitation in the Tokyo Area: Numerical Simulation on a Heavy Rainfall Event. The 7th International Conference on Urban Climate, P3-44. 2009.7.1 (Yokohama, Japan)
3. Aoyagi, T., N. Kayaba and N. Seino, 2011: A simulation of climatic change on summer induced by land use modification from 1976 to 2006 over Tokyo metropolitan area, Japan. 23rd Conference on Climate Variability and Change, P497.
4. Aoyagi, T., S.A. Adachi, H. Kusaka, K. Tanaka, and N. Seino, 2011: Near-term Prediction of Urban Climate Based on Urban Growth Scenarios in the Tokyo Metropolitan Area, 第 5 回日中韓気象学会共催国際会議, 釜山国際展示場（大韓民国・釜山市）, 10 月 24 日.

5. Aoyagi, T. and N. Seino, 2012: Relationship Between Urban Warming and Surface Wind Speed –A Numerical Study on Climatic Changes Induced by Land Surface Modifications. 92nd American Meteorological Society Annual Meeting, Ernest N. Memorial Convention Center (ニューオーリンズ, 米国), 2012 年 1 月 25 日.
6. Aoyagi, T. and N. Seino, 2012: Relationship between urban warming and surface wind speed from a simulation on local climate change induced by the spread of urban land during 30 years in the Tokyo metropolitan area. 8th International Conference on Urban Climate, University College Dublin (Dublin), 2012 年 8 月 9 日.
7. Aoyagi, T., N. Seino, F. Shido, and H. Sasaki, 2013: Impact of the urban land surface parameterization on the reproduction of present climate (2001-2006). 6th China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology, 24-25 October 2013, Nanjing, China.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：13 件

1. 清野直子, 青柳曉典, 高橋俊二, 2009: 気象庁屋上における放射収支観測. 2009 年度日本気象学会春季大会, P118.
2. 青柳曉典, 高橋俊二, 2009: 格子状ブロック群の実効アルベド／実効射出率を考慮した放射平衡温度. 2009 年度日本気象学会秋季大会, P329.
3. 青柳曉典, 清野直子, 2009: 人工排熱・建物構造・粗度長が都市域の地上気温に与える影響について－単層都市キャノピースキームを導入した NHM による感度実験－. 2009 年度日本気象学会秋季大会, P162. 2009.11.25（福岡）
4. 栗田進, 2010: 新しい都市境界層の考え方－都市スケールと街区スケールを結びつけるもの－, 気象学会 2010 年春季大会講演要旨集 P330.
5. 青柳暁典, 萱場瓦起, 清野直子, 2010 年: 土地利用変化に伴う都市域地上気温の上昇に関する数値シミュレーション, 日本ヒートアイランド学会第 5 回全国大会, A-17.
6. 青柳暁典, 萱場瓦起, 清野直子, 2010 年: 土地利用変化による夏季関東域の気候変化に関する数値シミュレーション, 気象学会 2010 年秋季大会講演要旨集 P301.
7. 栗田進, 2011：粗度・ゼロ面変位の安定度依存性など新たな地表面過程からみた気象・気候モデルの高分解能化に伴う問題点, 気象学会 2011 年秋季大会講演要旨集 P110
8. 青柳曉典, 高橋俊二, 2011: 都市多層放射モデルによる都市表面温度上昇ポテンシャルの評価, 日本ヒートアイランド学会第 6 回全国大会, 筑波大学（つくば市）, 7 月 23 日.
9. 青柳曉典, 高橋俊二, 2011: 多層都市キャノピーモデルの開発－多層放射モデル－, 気象学会 2011 年秋季大会講演要旨集 P109.
10. 青柳曉典, 足立幸穂, 日下博幸, 田中賢治, 清野直子, 2012: 都市シナリオを考慮した近未来気候シミュレーション－夏季気温の変化に着目して－. 日本ヒートアイランド学会第 7 回全国大会, 京都大学（京都市）, 2012 年 7 月 23 日.
11. 青柳曉典, 清野直子, 2012: 都市温暖化と地上風速変化の相関－関東甲信地方の土地利用変化に伴う気候変化シミュレーション－. 日本気象学会 2012 年度秋季大会講演予稿集, P136, 北海道大学（札幌市）, 2012 年 10 月 3 日.
12. 志藤文武, 清野直子, 藤部文昭, 青柳曉典, 山本哲, 高薮出, 2013: 観測露場周辺の気温の通年観測（第 2 報）－東京（千代田区大手町）の場合－, P106. 2013.11.19（仙台）.
13. 小堀佳奈子, 加藤央之, 藤部文昭, 2013: 日本の過去 100 年間の気温観測値における広域変動成分と都市化成分の特性. 日本気象学会 2013 年度秋季大会予稿集, P154, 仙台国際センター（仙台市）, 2013 年 11 月 19 日.

大気エーロゾル粒子の性状とその変動過程に関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：五十嵐康人（環境・応用気象研究部第四研究室長）

研究担当者

五十嵐康人、財前祐二、高橋　宙[1)]、直江寛明[2)]、梶野瑞王[3)]、足立光司[4)]（環境・応用気象研究部）

研究の目的

気象庁は、平成 20 年、黄砂予測情報、地球温暖化予測情報の提供などを含む地球環境業務の高度化を重点施策として進めることとした。気象研究所では予測技術の高度化などを通してその施策に貢献することとしている。本研究はその一環として、大気エーロゾルの移流・変質にかかる素過程（発生・輸送・変質・沈着過程）の高度化による予測スキームの改善に必要なパラメーターの設定などのため、大気エーロゾル粒子の混合状態、生成過程、吸湿特性、ダスト沈着量などについて実験・観測により現象の解明を行い、予測技術の高度化に資することを目的とする。

研究の動機・背景

気象庁は、平成 20 年、黄砂予測情報、地球温暖化予測情報の提供などを含む地球環境業務の高度化を重点施策として進めることとした。気象研では予測技術の高度化などを通してその施策に貢献することとしている。本研究はその一環として、大気エーロゾルの移流・変質にかかる素過程（発生・輸送・変質・沈着過程）の高度化による予測スキームの改善に必要なパラメーターの設定などのため、大気エーロゾル粒子の混合状態、生成過程、吸湿特性、ダスト沈着量などについて実験・観測により現象の解明を行い、予測技術の高度化に資することを目的とする。

研究の成果の到達目標

気象研究所の全球エーロゾル輸送モデルによる将来予測精度の向上の一環として、エーロゾルの発生・輸送・変質・沈着過程、各々の段階に対応したパラメーターやモデルスキームの改善を図るため、電子顕微鏡や化学分析等の手法を用いて、典型的な大気エーロゾル粒子の物理・化学特性と諸過程の解明に取り組む。得られた知見に基づいたエーロゾルモジュールを開発する。具体的には、副課題は設けずに下記項目への貢献を目標として実施。

① 大気エーロゾル粒子の粒径分布・組成・混合状態の実態とその変動・変質の解明
② 硫酸・硫酸塩粒子を含むエーロゾルの生成過程の解明
③ 組成・混合状態がエーロゾル粒子の吸湿特性に及ぼす影響の解明
④ エーロゾル輸送・沈着の量的な評価
⑤ エーロゾルモデルの開発・検証

研究結果

（成果の概要）

①～⑤に至る各項目において観測、実験を新規に導入した観測機器、新規電子顕微鏡等を活用して着実に進め、エーロゾルモデル開発・検証研究と連携して、課題全体の進捗をみた。個別項目について以下に記す。

① 組成・混合

ア）エーロゾルや汚染物質の長距離輸送並びにその三次元的構造を把握するため、山岳（西穂高、木曽駒ヶ岳、榛名山）においてエーロゾルの数濃度や質量濃度の観測を実施した。2012 年冬

[1)]平成 21 年度、[2)]平成 21 年度～平成 23 年度、[3)]平成 22 年度～平成 25 年度、[4)]平成 23 年度～平成 25 年度

季の木曽駒ヶ岳千畳敷で採集されたエーロゾル粒子について、透過型電子顕微鏡（TEM）を用いてその形状と混合状態を解析し、さらに付属のX線分析装置を用いて粒子の元素組成分析を行った。そして、長距離輸送を経たすす粒子（BC）について、混合状態、大きさ、形状の定量的な評価を行い、その平均値が得られた。その結果、すす粒子の混合状態とその粒径について正の相関があることが分かった。

イ）2012年夏季に東京都内で採取したすす試料の混合状態を、電子顕微鏡を用いて分析を行った。その結果、すす粒子の混合状態とその被覆物質の組成が時間変化していくことが分かった。現在、これらの結果を報告する論文の執筆を進めている。

ウ）山岳及びつくばで採取したサンプルから、季節や発生源の違いによる組成の変化を調べた。日本上空、下部対流圏のエーロゾルは、夏を除いて東アジアからの長距離輸送の影響を強く受けており、一年を通して硫酸塩が卓越し、特に冬季は硫酸塩が大部分を占めることが示唆された。秋はバイオマス燃焼起源と推定される有機物とカリウム塩粒子が比較的多かった。粗大粒子では、冬は硫酸塩、春と秋は鉱物、夏は海塩が卓越していた。つくばでのエーロゾルは、東アジアからの長距離輸送と関東のローカルな汚染の両方の影響があり、長距離輸送の汚染大気中では、硫酸塩の個数割合が突出して高い、煤がほとんど内部混合しているなどの特徴がみられた。また、ローカルな発生源からの汚染大気では、有機物、外部混合したすす等が比較的多かった。

② 二次粒子生成

ア）つくばにおける走査式移動度粒径分析装置（SMPS）による微小粒子の個数濃度の通年連続モニタリングから、関東では春から秋に新粒子生成が比較的頻繁に起きていることがわかった。新粒子の生成は、地上付近で起こるケースと、上空で起こるケースがあり、後者は夏季に起こりやすいことが推察された。

イ）能登での観測データとの比較から、冬季に新粒子生成がほとんど起こらないのは、関東に特有の現象であることが示唆された。

ウ）2010年から2013年の微小粒子の濃度の変化から、福島第一原発事故による放射線量の増加に伴う新粒子生成率への影響を調べた。放射線によるイオン誘発核生成による有意な影響は、つくばでは認められなかった。

③ 湿度特性

ア）エーロゾル粒子の形態（固相，液相）は試料採取時の相対湿度に影響を受け、電子顕微鏡チャンバー内で真空乾燥するときには相変化を起こし、その実態については不明な点が多い。真空を必要としない原子間力顕微鏡（AFM）を用いて、野外の生試料と、電子顕微鏡内で真空乾燥させた試料との予備的な比較を行った。その結果、硫酸塩に関しては、電子顕微鏡は相変化を起こした結果を観察していることが明らかになった。一方、混合状態や有機エーロゾル相に関してはほとんど変化を起こしていないことが分かった。また、高揮発性有機エーロゾルの損失もほとんどないことが分かった。

イ）気象研究所R階で行っているエーロゾルサイズ分布および偏光解消度のモニタリングにおいて、サンプル空気の湿度をコントロールして、粒径や形態（非球形性）の変化を調べる実験装置を作成した。

④ 輸送・沈着

ア）群馬県の榛名山頂でエアロゾル質量濃度と粒径分布の測定を継続した。質量濃度の極大は、榛名山では春季、近傍の平野では夏季に見られ、異なる季節変動を示した。大陸から長距離輸送される黄砂ダスト雲は複雑な三次元構造をとるが、榛名山頂と比べ平野部への到達時刻が数時間以上遅れる事象がしばしば発生することを、明らかにした。黄砂の輸送に際しては、関東地方北側と西側に位置する山岳が、その侵入をブロックし、地表での局地前線が気塊の混合を障害する様子が判明した。

イ）2007年春季のつくばでの乾性・湿性降下物の観測データを解析した結果から、水溶性化学物質の乾性・湿性降下量の時間変動の支配要因は、主に気団の発生地域・水蒸気混合比・および黄砂イベントであることを明らかにした。つくばで風速が大きいときには、局所的なダストが乾性降下物に占める割合が大きかった。湿った気団での水溶性化学物質の乾性降下量は、

乾いた気団での場合より大きかった。

ウ）2007 年 4 月のダスト総降下量は 4220mg で、水溶性化学物質は 10-636mg/月の範囲に及んだ。ダストの総降下量のうち 72%を湿性降下物が占め、水溶性化学物質はその 72-96％を占めた。最大の湿性降下量は 4 月 3 日の黄砂事象で発生した。1 回のダストイベントでも規模が非常に大であれば、東アジアの陸海の生態系に広範囲に影響を起こし得ることが示唆された。

エ）関係研究機関に大気降下塵試料を提供し、過去の気候変動等を知るうえで、重要な成果を得た。例として、降下塵中の石英粒子の ESR による計測が進んだ。我が国での降下物は、アジア大陸起源の風送塵と現地表土の混合物と考えられ、具体的には秋田･福岡の降下塵では、ともに細粒の方が風送塵を多く含んでいること、さらに年や月によって混合の割合が変動することがわかった。アジア大陸起源の風送塵の輸送は、現地でのダスト現象の発生頻度に係ることが示唆された。また、微量元素や人工放射性核種（ヨウ素-129 など）の降下量の経年変動についての知見を得た。

⑤　モデル開発

ア）エーロゾルの化学組成、粒径分布、混合状態の時間発展を低計算機負荷で解くエーロゾル動力学サブモデル MBHM を開発し、従来のダブルモーメントビン法と比較して、単一化学組成の場合において大幅な計算機コスト削減を実現した。また、成層圏・対流圏化学気候モデル CCM2 との 1-way nesting model system（MRI-CCM2-WRF-RAQM2 = MRI-PM/c）の開発と、エーロゾル混合状態および降水質における観測との検証結果について、国際誌に発表した。

イ）（①組成・混合と関連するモデル適用研究）混合状態を考慮できる領域エーロゾル化学輸送モデルにより計算された、東アジアにおけるエーロゾル無機成分 SO_4^{2-}、NO_3^-、NH_4^+、Na^+、Cl^- の微小粒子／粗大粒子分配が観測と定量的に良く一致した。これは、モデルによるエーロゾル混合状態の計算結果が、観測と整合的であることを示すものである。

ウ）（②二次粒子生成と関連するモデル適用研究）新粒子生成、既存粒子への凝縮、凝集のエーロゾル二次生成の競合的過程の定式化に関する新しいモデル手法を開発し、新粒子生成の起こるケースと起こらないケースに対して従来法に比べて、低コスト性でなおかつ高精度であることを示した。

エ）（③湿度特性と関連するモデル適用研究）エアロゾルの粒径と吸湿性の違いによる肺沈着率の変化を数値モデルにより算出した。気管支より深部は水飽和であるため、粒径だけでなく吸湿性も重要となる。エーロゾルの粒径分布は対数正規分布を仮定し、数基準乾燥幾何平均径 40 - 280nm、幾何標準偏差 1.3 - 2.0、吸湿性 κ 0 - 0.7 の範囲において、肺への沈着率は、3 - 30%まで約 1 桁変化した。

オ）（④輸送・沈着と関連するモデル適用研究）混合状態を考慮できる領域エーロゾルモデルにより、東アジアにおける、煤、煤以外の微小粒子、海塩粒子、土壌粒子とそれぞれに内部混合する硫酸塩、硝酸塩など無機イオン成分を計算し、化学組成、粒径分布、混合状態に関する観測結果と比較を行い、モデルパフォーマンスを評価した。また、降水中の化学成分についても、モデルと観測の比較を行い、そのパフォーマンスを評価した。

その他

電子顕微鏡の更新

・ 最新の粒子自動判別機能や元素マッピング機能を有する透過型電子顕微鏡（TEM）を H23 年度に、走査型電子顕微鏡（SEM）を H24 年度に導入した。TEM はナノ粒径のすすや硫酸塩、有機物粒子、SEM は黄砂や海塩などミクロンサイズ粒子の分析に威力を発揮する。これらの導入で研究の効率が飛躍的に増大した。また、その機能やソフトは TEM と SEM で共通しているため、現在構築を進めているエーロゾルデータベースでの取り扱いも可能となった。

・ 観測とモデルの融合を促進させるべく、平成 23 年度に「国際シンポジウム 電子顕微鏡を用いたエアロゾル研究」を主催し、平成 24 年度には、同シンポジウムの英文プロシーディングスを気象研究所技術報告第 68 号として刊行した。

視程情報の高度化

・ 偏光式光学粒子計数装置（偏光 OPC）を整備し、2013 年 5 月に試験観測を開始した。測定された偏光度と電子顕微鏡による粒子形態の比較を行った。このうち、11 月に観測された黄砂現象

では、電子顕微鏡での分析と一致する結果が得られ、有効性が確認された。またモデルの予測結果とも比較的よく一致した。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

- 平成 23、24 年度に二つの電子顕微鏡（TEM,SEM）をそれぞれ一新できたことより、電顕分析の精度、効率の著しい改善が図られ、対応したソフトウエアや分析手法の開発・改良が進行中である。また、自動化が進んだ電子顕微鏡システムでは、従来の何倍もの数値・画像データの取得があるため、その膨大なデータを効率よく処理するデータベースの開発が急務であり、鋭意進めている。
- エーロゾル観測棟の取り壊し・実験室の異動に伴い、気象研究所最上階にエーロゾル観測室を新たに設け、環境整備を実施した。並行して、偏光 OPC 等最新のエーロゾル観測機器の充実にも努めた。
- 平成 21 年度後半にエーロゾルモデル研究者が新たに研究分担者に加わったことで、モデル開発研究が本課題においても可能となった。
- 平成 23 年度「国際シンポジウム 電子顕微鏡を用いたエアロゾル研究」を主催し、翌年度そのプロシーディングスを気象研究所技術報告として刊行した。
- 原子間力顕微鏡（AFM）に関する予備的な実験を行い、粒子の湿度特性、揮発性有機物質の分析に関しての基礎情報を取得した。

成果の他の研究への波及状況

- 本課題の研究内容や観測手法は、放射能調査研究費「大気を通じた人工放射性核種の陸圏・水圏への沈着およびその後の移行過程の解明研究」（代表者：五十嵐室長、H23-26）、新学術領域研究「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究」A01-02 計画班「放射性物質の大気沈着・拡散過程および陸面相互作用の理解」（代表者：五十嵐室長、H24-28）、地球環境研究総合研究費「地球温暖化対策としてのブラックカーボン削減の有効性の評価」（代表者：近藤東大教授、H23-25）、新学術領域研究「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」（領域代表者：畠山農工大教授）P05 計画班「ライダーおよび地上モニタリングネットワークによるエアロゾル動態解明」（代表者：杉本国立環境研究室長、H20-24）等に活用された。
- 本課題において開発した RAQM2/MBHM モデルは、本庁における現業化（NHM-Chem によるオキシダント予測）に貢献（平成 25 年 4 月に本庁スパコンで運用を可能に）した。NHM-LETKF との結合により、当研究部重点研究「大気環境の予測・同化技術の開発」（代表者：眞木一研究室長、H21-25）にも貢献している。
- 同様に、RAQM2 に放射性核種の輸送過程を組み込み、放射能調査研究費「大気を通じた人工放射性核種の陸圏・水圏への沈着およびその後の移行過程の解明研究」(代表者:五十嵐室長､H23-26)，新学術領域研究「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究」(領域代表者：恩田筑波大教授）A01-02 計画班「放射性物質の大気沈着・拡散過程および陸面相互作用の理解」（代表者：五十嵐室長、H24-28）、科研費基盤 B「放射性核種トレーサーのアンサンブルデータ同化と移流拡散沈着過程の高精度解析」（代表者：関山一研主研、H24-27）に貢献。
- さらに、東アジアにおけるエーロゾル予測システムを構築し、地球環境研究総合研究費「地球温暖化対策としてのブラックカーボン削減の有効性の評価」（代表者：近藤東大教授、H23-25）における航空機のフライト計画策定に貢献。
- このほか、RAQM2/MBHM モデルのコンセプトは、㈶アジア大気汚染研究センターや太平洋北西国立研究所（米国）における数値モデルの改良・改善に貢献している。

今後の課題

- 冬季の大陸における PM2.5 汚染問題はますます深刻化していて、越境汚染問題－視程障害や大気環境影響問題は、我が国においても緊急に解決すべき課題として浮上している。そのため、本課題は今年度とりまとめとなるが、気象庁業務への観測・予測両面への技術的な支援を可能とすべく、新たな展開も模索しつつ推進する必要性を強く感じる。以下、具体的な課題を列挙する。

・ 視程障害に係る予備的な取組として、粒子一個ずつの偏光解消度の測定が可能である偏光 OPC の連続観測データと電子顕微鏡観測との比較を行い、偏光解消度の上昇は確かに粒子の非球形性の変化と関係することを明らかにした。今後より研究内容を深化させ、偏光 OPC と典型的な汚染粒子の硫酸塩粒子の自動計測、電子顕微鏡観測との組み合わせを強化していく。視程観測手法の高度化や自動化にも取り組む。
・ エーロゾルが霧や雲にどう影響するかは、重要な科学的な研究課題である。この湿度特性の問題については、今年度の予備的な実験結果から、原子間力顕微鏡（AFM）を適用した研究が適切ではないかと考えられ、今後、装置導入を検討する必要がある。
・ 気象研究所本館Ｒ階でのモニタリングは、新粒子生成を中心に興味あるデータが得られつつあるが､平成 24 年度に整備を進めた湿度調整とインレットのメンテナンスが依然として課題である。また、二酸化硫黄などの前駆物質のモニタリングが望まれる。
・ エーロゾルモデルでは、エーロゾル数濃度の予測精度向上が課題である。現業化にむけて、気象庁環境気象管理官へのシステムの移行と、オキシダント濃度の予測精度向上も求められている。
・ 現業版エーロゾルモデルでは、限られた計算機資源を用いて、限られた時間内に計算を完了する必要があるために、複雑・多様なエーロゾルの混合状態や化学・物理素過程を大胆に簡略化する必要がある。その一方で、簡略化されたエーロゾルモデルの性能を担保するために、上記全てのエーロゾル素過程を組み込んだ詳細なベンチマークモデルが必要である。そのために、電子顕微鏡と先端的なエーロゾル物理・化学・光学観測の結果を巧みに組み合わせて大気エーロゾルの実態を明らかにし、その知見に基づいた、ベンチマークモデルのボトムアップ構築と随時アップデートが必要である。

自己点検

（１）到達目標に対する達成度

モデル研究と並行して観測研究が進捗し、前課題，関連課題の成果出版という進捗もあり、過去５か年の学会発表は 199 件（国際会議含む）、原著論文 76 報（印刷中含む）である。これらは、課題全体の成果として充分な質と量を示すと考えられる。特に原著論文は充分な発表件数となっていて、満足すべき水準・規模にある。細かに眺めると、つくば市の気象研究所でのエーロゾルの観測については、マンパワーが依然として不十分であることから、次期課題の取り組みを待つべき部分がある。他方、新型電子顕微鏡システムを活用した研究や山岳における観測研究については、順調に成果を得たと言える。

（２）研究手法及び到達目標の設定の妥当性

未解明点の多いエーロゾルの発生、輸送、変質、沈着等に関する基礎的な研究を対象とした課題であるため、観測を中心とした計画の組み立てとなっており、極めて妥当な手法と目標設定であったと考える。また、現実に本シートに記載した量・内容の成果が達成されており、評価できる。ただし､モデル開発研究の充実に対して､検証データや概念モデルを効率的に提供できる状況へ向け、一層の努力（人的資源確保も含めて）が必要である。

（３）成果の施策への活用・学術的意義

①組成・混合、②二次粒子生成、③湿度特性、④輸送・沈着量のいずれについても第一に学術的な貢献が期待される研究内容であり、直截に気象庁施策や業務に直結するものではなかった。ただし、平成 21 年度後半にモデル研究者を研究分担者に加えることができたことにより、観測結果を⑤モデル化に直結できる体制が整ったため、①から④の全項目について、観測とモデルを併用した研究が可能となり、より直接的な業務貢献が可能な状況となった。

①の組成・混合については、環境気象管理官付において一般国民向けに提供されている黄砂情報の高度化や、視程情報の高度化に資するため、共同研究者が開発を進めている新規観測機器（偏光 OPC）をいち早く導入し、その応用を検討している。汚染粒子と黄砂粒子の判別に寄与できるため、有望な手法と考えている。

②、③項目については、エーロゾル粒子が雲核となって雲量や雲の寿命を変化させる効果につい

ての研究であり、依然として不明点が多く、学術的な貢献が期待される。②二次粒子は雲核として機能すると考えられ、雲粒子数を左右して雲の性質を変化させる。そのため、アジア大陸から放出されるエーロゾルは気候変動へのインパクトが大きいと推測される。エーロゾル粒子の個数濃度を粒子生成から陽に扱うモデルが、雲粒子の個数濃度をモデル化するために必須であり本課題で取り組みを進めた。③湿度特性もエーロゾルの雲核活性化に関し必要なパラメーターであり、今後さらなる研究が必須である。

④については、大陸で深刻化したPM2.5の越境輸送を含め一層の実態解明が求められ、観測データは、化学輸送モデルの検証データとして提供が必要な内容である。

また今後、世界的な研究動向として⑤に関わり、エーロゾル・雲・降水/短期気象・気候系に亘る複数の現象階層をそれぞれの第一原理にもとづきモデル化し、跨る諸階層を連結するモデル（階層連結モデル）の構築の重要性が一層高まると予想され、本課題においても精力的に取り組んでいる。

（4）総合評価

成果の内容、量ともに、基礎・基盤的な研究課題として、充分な進捗があった。今後は次期中期研究計画のＣ３：地球環境監視・診断・予測技術高度化に関する研究副課題１「エーロゾルの監視」において、着実に業務貢献と科学研究の両面において進捗を図る基盤を生み出すことが出来た。

気象研究所評価委員会による終了時評価

１．総合評価

非常に優れた研究であった。

２．総合所見

本研究では、エーロゾルの物理･化学特性、輸送過程の量的評価、吸湿特性の解明、モデルの開発とエーロゾルの物性と変動に係わる広範な課題について取り組まれた。大気エーロゾルや汚染物質の輸送と変質に関する研究では、観測とモデルに関して多くの成果が得られた。また、領域化学輸送モデルの開発が追加されたことにより、大気エーロゾル粒子の特性と実態の解明、輸送・沈着過程に関する、観測・実験・モデリングを融合させた、気象研究所にふさわしい内容の研究として取り組まれた。

また、本研究は、福島第一原発事故やPM2.5の問題など、社会的関心の高い問題と関連が深いこともあり、報道発表等にも積極的に取り組んでいた点を評価する。

査読論文はレター誌、投稿中を含めて76編（うち18編が国際誌での主著者原著論文）が投稿された。この数は特筆に値するものであり申し分ない。

当初想定されていなかった、エーロゾル輸送モデルの現業化への貢献や、最新型電子顕微鏡による研究成果は高く評価できるが、一方で、本研究単独では成果の出口が少ない。大気環境の理解と評価の高度化に加え、予報モデルや気候モデルへの直接間接の寄与も期待できるため、雲物理や放射等の所内の関連する研究グループのほか、本庁や他機関との連携を密にして欲しい。また、次期中期研究計画では、次期静止気象衛星ひまわりの観測データの利活用含めた検討をして欲しい。さらに、新型電子顕微鏡による解析データのデータベース化と研究コミュニティーへの公開についても、取り組みを加速して欲しい。

成果発表一覧

査読論文：76件

1. Igarashi, Y., Anthropogenic radioactivity in aerosol -A review focusing on studies during the 2000s-, Jpn. J. Health Phys. (保健物理), 44(3), 315-325, 2009.
2. Igarashi, Y., Y. Inomata, M. Aoyama, K. Hirose, H. Takahashi, Y. Shinoda, N. Sugimoto, A. Shimizu and M. Chiba, Possible change in Asian dust source suggested by atmospheric anthropogenic radionuclides during the 2000s, Atmos. Environ., 43, 2971-2980, 2009.
3. Hirose, K., Y. Igarashi, M. Aoyama and Y. Inomata, Depositional behaviors of plutonium

and thorium isotopes at Tsukuba and Mt. Haruna in Japan indicate the sources of atmospheric dust, J. Environ. Radioactiv., 101(2) , 106-112, 2009.
4. Kikawada, Y., K. Oda, R.Yamauchi, M. Nomura, T. Honda, T. Oi, K. Hirose and Y. Igarashi, Anomalous uranium isotope ratio in atmospheric deposits in Japan, J. Nucl. Sci. Technol., 42(12) , 1094-1098, 2009.
5. 五十嵐康人，富士山におけるエアロゾル観測とその課題，エアロゾル研究，24, 90-96, 2009.
6. Inomata, Y., Y. Igarashi, M. Chiba, Y. Shinoda, and H. Takahashi, Dry and wet deposition of water-insoluble dust and water-soluble chemical species during spring 2007 in Tsukuba, Japan, Atmos. Environ., 43, 4503-4512, 2009.
7. Inomata, Y., Y. Igarashi, M. Mikami, T. Y. Tanaka, and M. Chiba, Seasonal and yearly variations of dust deposition in Tsukuba: Possible linkage with variations of dust emission over the Asian continent, SOLA (Scientific Online Letters on the Atmosphere), 5, 153-156, 2009.
8. Suzuki, I., Y. Igarashi, Y. Dokiya and T. Akagi, Two extreme types of mixing of dust with urban aerosols observed in Kosa particles: 'After' mixing and 'on-the-way' mixing, Atmos. Environ., 44, 858-866, 2010.
9. Inomata, Y., Y. Igarashi, K. Yoshioka, T. Y. Tanaka, and M. Chiba, Temporal variation of 222Rn at the summit of Mt. Fuji associated with the Asian continental outflow, Atmos. Environ., 44(31), 3739-3868, 2010.
10. 小林拓，三浦和彦，兼保直樹，五十嵐康人，夏季富士山で測定された不溶性粒子の粒径分布，エアロゾル研究, 25(2), 167－176, 2010.
11. 五十嵐康人，直江寛明，高橋宙，猪股弥生，山岳における大気化学観測，その動向と課題―小レビュー―，低温科学, 68, 69－78, 2010.
12. Harada, Y., A. Goto, H. Hasegawa, N. Fujikawa, H. Naoe and T. Hirooka, A Major Stratospheric Sudden Warming event in January 2009, J. Atmos. Sci., 67, 2052－2069, 2010. doi: 10.1175/2009JAS3320.1.
13. Takahashi, H., H. Naoe, Y. Igarashi, Y. Inomata and N. Sugimoto, Aerosol concentrations observed at Mt. Haruna, Japan, in relation to long-range transport of Asian mineral dust aerosols, Atmos. Environ., 44, 4638-4644, 2010.
14. Naoe, H., and K. Shibata, Equatorial quasi-biennial oscillation influence on northern winter extratropical circulation, J. Geophys. Res.-Atmos., 115, D19102, doi:10.1029/2009JD012952, 2010.
15. Oku, Y., M. Kajino and H. Ishikawa, Estimation of the cloud effective particle radius using MTSAT-1R data, Int. J. Remote. Sens., 31(20), 5439 – 5447, 2010.
16. Katata, G., H. Nagai, M. Kajino, H. Ueda and Y. Hozumi, Numerical study of fog deposition on vegetation for atmosphere – land interactions in semi-arid and arid regions, Agr. Forest Meteorol., 150, 340 – 353, 2010.
17. Inomata, Y., Y. Igarashi, M. Chiba, H. Takahashi, A. Shimizu, N. Sugimoto, and T. Y. Tanaka, Characteristics of two Asian dust events observed at Mt. Haruna and Tsukuba in Japan in 2007: influence of the mountain blocking and local front, Atmos. Environ., 45, 4429－4441, 2011.
18. Adachi, K., and Buseck, P. R., Atmospheric tar balls from biomass burning in Mexico, J. Geophys. Res.-Atmos., 116, D05204, doi:10.1029/2010JD015102, 2011.
19. Igarashi, Y., H. Fujiwara and D. Jugder, Change of the Asian dust source region deduced from the relationship between anthropogenic radionuclides in surface soil and precipitation in Mongolia, Atmos. Chem. Phys., 11, 7069–7080, 2011.
20. Kajino, M., H. Ueda, K. Sato, and T. Sakurai, Spatial distribution of the source – receptor relationship of sulfur in Northeast Asia, Atmos. Chem. Phys., 11, 6475–6491, 2011.
21. 梶野瑞王，大気エアロゾルの性質と素過程の多様性を考慮できる軽くて正確な新しい動力学モ

デル, 26(4), 296 –306, 2011.
22. Kajino, M., and Y. Kondo, EMTACS: Development and regional-scale simulation of a size chemical, mixing type and soot shape resolved atmospheric particle model, J. Geophys. Res., 116, D02303, doi:10.1029/2010JD015030, 2011.
23. Kajino, M., MADMS: Modal Aerosol Dynamics model for multiple Modes and fractal Shapes in the free-molecular and near-continuum regimes, J. Aerosol Sci., 42(4), 224-248, 2011.
24. Kajino, M., and H. Ueda, Chapter 2. Secondary Acidification, Monitoring, Control and Effects of Air Pollution, Ed. Andrzej G. Chmielewski, InTech Open Access Publisher, ISBN:978-953-307-526-6, pp. 15-38, 2011.
25. Kim, C.-H., L.-S. Chang, J.-S. Kim, F. Meng, M. Kajino, H. Ueda, Y. Zhang, H.-Y. Son, Y. He, J. Xu, K. Sato, C.-K. Song, S.-J. Ban, T. Sakurai, Z. Han, L. Duan, S.-J. Lee, S.-G. Shim, S. Young, T.-Y. Lee, Long-term simulations of the sulfur concentrations over the China, Japan and Korea: A model comparison study, Asia Pac. J. Atmos. Sci., 47(4), 399-411, 2011.
26. Katata, G., M. Kajino, T. Hiraki, M. Aikawa, T. Kobayashi, and H. Nagai. A method for simple and accurate estimation of fog deposition in a mountain forest using a meteorological model, J. Geophys. Res., 116, D20102, doi:10.1029/2010JD015552, 2011.
27. Wang, Y., X. Wang, Y. Kondo, M. Kajino, J. W. Munger, and J. Hao. Measurements of black carbon and its correlation with trace gases at a rural site in Beijing: implications for bottom-up emissions, J. Geophys. Res., 116, D24304, doi:10.1029/2011JD016575, 2011.
28. Kondo, Y., H. Matsui, N. Moteki, L. Sahu, N. Takegawa, M. Kajino, Y. Zhao, M. J .Cubison, J. L. Jiminez, S. Vay, G. S. Diskin, B. Anderson, A. Wisthaler, T. Mikoviny, H. E. Fuelberg, D. R. Blake, G. Huey, A. J. Weinheimer, D. J. Knapp, and W. H. Brune. Emissions of black carbon, organic, and inorganic aerosols from biomass burning in North America and Asia in 2008, J. Geophys. Res., 116, D08204, doi:10.1029/2010JD015152, 2011.
29. Kondo, Y., N. Oshima, M. Kajino, R. Mikami, N. Moteki, N. Takegawa, R. L. Verma, Y. Kajii, S. Kato, and A. Takami, Emissions of black carbon in East Asia estimated from the observations at a remote site in the East China Sea, J. Geophys. Res., 116, D16201, doi:10.1029/2011JD015637, 2011.
30. Yokelson, R. J., Burling, I. R., Urbanski, S. P., Atlas, E. L., Adachi, K., Buseck, P. R., Wiedinmyer, C., Akagi, S. K., Toohey, D. W., and Wold, C. E, Trace gas and particle emissions from open biomass burning in Mexico, Atmos. Chem. Phys., 11, 6787-6808, 2011.
31. Zheng, J., Y. Zhang, M. Yamada, F. Wu, Y. Igarashi, and K. Hirose, Determination of Pu isotopes and 241Am in a reference fallout material using SF-ICP-MS, Radiat. Prot. Dosim., 146 (1–3), 307–310, 2011.
32. Adachi, K. Freney, E. and Buseck, P. R., Shapes of internally mixed hygroscopic aerosol particles after deliquescence, and their effect on light scattering, Geophys. Res. Lett., 38, L13804, doi:10.1029/2011GL047540. 2011.
33. Inoue, M., M. Takahashi, and H. Naoe, Relationship between the stratospheric quasi-biennial oscillation and tropospheric circulation in northern autumn, J. Geophys. Res., 116, D24115, doi:10.1029/2011JD016040, 2011.
34. Ueda, H. T. Fukui, M. Kajino, M. Horiguchi, H. Hashiguchi, and S. Fukao, Eddy diffusivities for momentum and heat in the upper troposphere and lower stratosphere measured by MU radar and RASS, and a comparison of turbulence

model predictions, J. Atmos. Sci., 69, 323-337, doi:10.1175/jas-d-11-023.1, 2012.
35. Oshima, N., Y. Kondo, N. Moteki, N. Takegawa, M. Koike, K. Kita, H. Matsui, M. Kajino, H. Nakamura, J. S. Jung and Y. J. Kim, Wet removal of black carbon in Asian outflow: Aerosol radiative forcing in East Asia (A-FORCE) aircraft campaign, J. Geophys. Res., 117(D3), doi:10.1029/2011JD016552, 2012.
36. Naoe, H., and K. Shibata, Future changes in the influence of the quasi-biennial oscillation on the northern polar vortex simulated with an MRI chemistry climate model, J. Geophys. Res., doi:10.1029/2011JD016255, 2012.
37. Kato, H., Y. Igarashi, Y. Dokiya, and Y. Katayama, Vertical distribution of carbonyl sulfide at Mt. Fuji, Japan, Water Air Soil Poll., 223, 159-167, doi:10.1007/s11270-011-0847-0, 2012.
38. Hirose, K., Y. Kikawada and Y. Igarashi, Temporal variation and provenance of thorium deposition observed at Tsukuba, J. Environ. Radioactiv., 108, 24-28, 2012.
39. Toyama, C., Y. Muramatsu, Y. Uchida, Y. Igarashi, M. Aoyama, and H. Matsuzaki, Variations of 129I in the atmospheric fallout of Tokyo, Japan: 1963-2003, J. Environ. Radioactiv., 113,116-122, 2012.
40. Kikawada, Y., K. Oda, M. Nomura,T. Honda, T. Oi, K. Hirose and Y. Igarashi, Origin of enriched uranium contained in Japanese atmospheric deposits, Natural Science, 4 Special Issue, 936-942, doi:10.4236/ns.2012.431122, 2012.
41. Kajino, M., Y. Inomata, K. Sato, H. Ueda, Z. Han, J. An, G. Katata, M. Deushi, T. Maki, N. Oshima, J. Kurokawa, T. Ohara, A. Takami, and S. Hatakeyama, Development of the RAQM2 aerosol chemical transport model and predictions of the Northeast Asian aerosol mass, size, chemistry, and the mixing type, Atmos. Chem. Phys., 12, 11833-11856, 2012.
42. Kajino, M., M. Deushi, T. Maki, N. Oshima, Y. Inomata, K. Sato, T. Ohizumi, and H. Ueda, Modeling wet deposition and concentration of inorganics over Northeast Asia with MRI-PM/c, Geosci. Model Dev., 5, 1363-1375, 2012.
43. Inomata, Y., M. Kajino, K. Sato, T. Ohara, J. Kurokawa, H. Ueda, N. Tang, K. Hayakawa, T. Ohizumi, H. Akimoto, Emission and atmospheric transport of particulate PAHs in Northeast Asia, Environ. Sci. Technol., 46(9), 4941-4949, 2012.
44. Kim, C.-H., L.-S. Chang, F. Meng, M. Kajino, H. Ueda, Y. Zhang, H.-Y. Son, J.-J. Lee, Y. He, J. Xu, K. Sato, T. Sakurai, Z. Han, L. Duan, J.-S. Kim, S.-J. Lee, C.-K. Song, S.-J. Ban, S.-G. Shim, Y. Sunwoo, T.-Y. Lee, Sulfur deposition simulations over China, Japan and Korea: A model intercomparison study for abating sulfur emission, Environ. Sci. Pollut. R., 19, 4073-4089, 2012.
45. Moteki, N., Y. Kondo, N. Oshima, N. Takegawa, M. Koike, K. Kita, H. Matsui, M. Kajino, Size dependence of wet removal of black carbon aerosols during transport from the boundary layer to the free troposphere, Geophys. Res. Lett., 39, L13802, doi:10.1029/2012GL052034, 2012.
46. Koike M., N. Takegawa, N. Moteki, Y. Kondo, H. Nakamura, K. Kita, H. Matsui, N. Oshima, M. Kajino, T. Y. Nakajima, Measurements of regional-scale aerosol impacts on cloud microphysics over the East China Sea: Possible influences of warm sea surface temperature over the Kuroshio ocean current, J. Geophys. Res., 117, D17205, doi:10.1029/2011JD017324, 2012.
47. Naoe, H., Y. Zazien, K. Yanagida, K. Okada, H. Takahashi, and Y. Igarashi, Mixing state of aerosol particles at Mt. Hotaka, Japan: A case study in winter, Atmos. Res., 118, 170-179, 2012.
48. Thompson, J. E., P. L. Hayes, J .L. Jimenez, K. Adachi, X. Zhang, J. Liu, R. J. Weber, and P. R. Buseck, Aerosol optical properties at Pasadena, CA during CalNex 2010, Atmos.

Environ., 55, 190-200, 2012.
49. Sahu, L. K., V. Sheel, M. Kajino, P. Nedelec, Variability in tropospheric carbon monoxide over an urban site in Southeast Asia, Atmos. Environ., 68, 243-255, 2013.
50. Adachi, K. and P. R. Buseck, Changes of ns-soot mixing states and shapes in an urban area during CalNex, J. Geophys. Res.-Atmos., 118, 3723-3730, doi:10.1002/jgrd.50321, 2013.
51. Kajino, M., K. Sato, Y. Inomata, and H. Ueda, Source-receptor relationship of nitrate in East Asia and sea salt effects, Atmos. Environ., 79, 67-78, doi:10.1016/j.atmos.env.2013.06.024, 2013.
52. Kajino, M., R. C. Easter, and S. J. Ghan, Modal Bin Hybrid Model: a surface area consistent, triple moment sectional method for process-oriented modeling of atmospheric aerosols, J. Geophys. Res., 118, 10,011-10,040, doi:10.1002/jgrd.50685, 2013.
53. Inomata, Y., M. Kajino, K. Sato, T. Ohara, J. Kurokawa, H. Ueda, N. Tang, K. Hayakawa, T. Ohizumi, and H. Akimoto, Source contribution of surface particulate polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in Northeast Asia from source-receptor relationship analysis, Environ. Pollut., 182, 324-334, 2013.
54. 猪股弥生，梶野瑞王，佐藤啓市，黒川純一，大泉毅，東アジアにおける PAHs の排出インベントリと大気モデル解析, 28(1), 5-11, 2013.
55. Liu, X., Y. Kondo, K. Ram, H. Matsui, K. Nakagomi, T. Ikeda, N. Oshima, R. L. Verma, N. Takegawa, M. Koike, M. Kajino, Seasonal variations of black carbon observed at the remote mountain site Happo in Japan, J. Geophys. Res., 118(9), 3709-3722, doi:10.1002/jgrd.50317, 2013.
56. 足立光司, 電子線トモグラフィによるエアロゾル粒子の３次元形態解析, エアロゾル研究, 28-3, 189-194, 2013.
57. Adachi, K., Kajino, M., Zaizen, Y. and Igarashi, Y. Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident, Sci. Rep., 3, 2554, doi:10.1038/srep02554, 2013.
58. Toyama,C., Y. Muramatsu, Y. Igarashi, M. Aoyama, and H. Matsuzaki, Atmospheric fallout of 129I in Japan before the Fukushima Accident: Regional and global contributions (1963–2005), Environ. Sci. Technol., 47 (15), 8383–8390, doi: 10.1021/es401596z, 2013.
59. Yamamoto, Y., S. Toyoda, K. Nagashima, Y. Igarashi and R. Tada, Investigation of the temporal change of the sources of aeolian dust delivered to East Asia using electron spin resonance signals in quartz, Geochronometria, 40(4) 355-359, doi:10.2478/s13386-013-0121-x, 2013.
60. Sahu, L. K., V. Sheel, M. Kajino, S. S. Gunthe, V. Thouret, P. Nedelec, H. G. Smit, Characteristics of tropospheric ozone variability over an urban site in Southeast Asia: a study based on MOZAIC and MOZART vertical profiles, J. Geophys. Res., 118(15), 8729-8747, doi:10.1002/jgrd.50662, 2013.
61. Yamashiki, Y., Y. Onda, H. Smith, W. Blake, T. Wakahara, Y. Igarashi, Y. Matsuura, K. Yoshimura, Initial flux of sediment-associated radiocaesium to the ocean from the largest river impacted by Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Sci. Rep., 4：3714, doi: 10.1038/srep03714, 2014.
62. Chatani, S., Y. Morino, H. Shimadera, H. Hayami, Y. Mori, K. Sasaki, M. Kajino, T. Yokoi, T. Morikawa, T. Ohara, Urban air quality model inter-comparison study in Japan (UMICS) phase 1: Model performance and sensitivity on elemental carbon in Tokyo Metropolitan Area of Japan, Atmos. Environ., in press.
63. 梶野瑞王，五十嵐康人，藤谷雄二，Fresh soot と，aged soot は、どちらが気道に沈着しやす

いかー粒径分布と吸湿性の気管支・肺沈着率への影響ー，大気環境学会誌，印刷中.

64. Chatani, S., Y. Morino, H. Shimadera, H. Hayami, Y. Mori, K. Sasaki, M.Kajino, T. Yokoi, T. Morikawa, T. Ohara, Multi-model analyses of dominant factors influencing elemental carbon in Tokyo Metropolitan Area of Japan, Aerosol Air Qual. Res., in press.
65. Katata, G., M. Kajino, K. Matsuda, A. Takahashi, K. Nakaya, Effects of aerosol hygroscopic properties on dry deposition onto a broad-leaved forest: a numerical study, Atmos. Environ., in press.
66. 足立光司，ナノスケールで見るすす粒子，エアロゾル研究，投稿中
67. Adachi, K., Y. Zaizen, M. Kajino, and Y. Igarashi, Mixing state of regionally transported soot particles and the coating effect on their size and shape at a mountain site in Japan, J. Geophys. Res., submitted.
68. Buseck, P. R., K. Adachi, A. Gelencser, E. Tompa, and M. Posfai, Ns-soot: a material-based term for strongly light-absorbing carbonaceous particles, Aerosol Sci. Tech., submitted.
69. Moteki, N., Y. Kondo, and K. Adachi, Identification by single-particle soot photometer of black carbon particles attached to other particles: Laboratory experiments and ground observations in Tokyo, J. Geophys. Res., submitted.
70. Aoki, T., S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Niwano, K. Kuchiki, K. Adachi, J. Uetake, H. Motoyama and M. Hori, Light absorbing snow impurity concentrations measured on Northwest Greenland ice sheet in 2011 and 2012, Bulletin of Glaciological Research, submitted.
71. Sahu, L. K., V. Sheel, M. Kajino, M. Deushi, S. S. Gunthe, P. R. Sinha, B. Sauvage, V. Thouret, and H. G. Smit, Seasonal and inter-annual variability of tropospheric ozone over an urban site in India: A study based on MOZAIC and CCM vertical profiles over Hyderabad, J. Geophys. Res., submitted.
72. Uchino, O., T. Sakai, T. Nagai, I. Morino, T. Maki, M. Deushi, K. Shibata, M. Kajino, T. Kawasaki, T. Akaho, S. Takubo, H. Okumura, K. Arai, M. Nakazato, T. Matsunaga, T. Yokota, S. Kawakami, K. Kita, and Y. Sasano, DIAL measurement of lower tropospheric ozone over Saga (33.24°N, 130.29°E), Japan, and comparison with a chemical climate model, Atmos. Meas. Tech., submitted.
73. Zaizen. Y., H. Naoe, H. Takahashi, Y. Igarashi, Number concentration and elemental composition of aerosol particles observed at Mt. Kiso-Komagatake in central Japan for three years, Atmos Environ., submitted.
74. Zaizen, Y., H. Naoe, H. Takahashi, K. Okada, Modification of Asian-dust particles transported via different routes from China to Japan – A case study, Atmos Environ., submitted.
75. Kobayashi, H., M. Hayashi, K. Shiraishi, Y. Nakura, T. Enomoto, K. Miura, H. Takahashi, Y. Igarashi, H. Naoe, N. Kaneyasu, T. Nishizawa, and N. Sugimoto, Development of polarization optical particle counter capable of aerosol type classification, Atmos. Environ., submitted.
76. Ohtsuka, Y., M. Aoyama, Y. Takaku, Y. Igarashi, M. Hattori, K. Hirose, and S. Hisamatsu, 240Pu/239Pu and 242Pu/239Pu ratios of Japanese monthly atmospheric deposition samples during 1963 – 1966, Earth and Planetary Science Letters, submitted.

査読論文以外の著作物（翻訳，著書，解説）：35 件

1. 千葉長, 猪股弥生, 五十嵐康人, 長岡和則, 降雨時の高ガンマ線線量率事象の背景について, 第 10 回「環境放射能」研究会 Proceedings of the Tenth Workshop on Environmental Radioactivity (KEK), pp. 110-114, 2009.

2. 遠山知亜紀, 村松康行, 五十嵐康人, 松崎浩之, AMS を用いた大気降下物中の 129I/127I の経年変化に関する研究, 第 11 回「環境放射能」研究会 Proceedings of the 11th Workshop on Environmental Radioactivity, KEK Proceeding 2010-8, pp. 33-42, 2010.
3. 溝武志, 富田正利, 藤川敬, 五十嵐康人,気象研究所における放射能分析の品質管理について, 第 11 回「環境放射能」研究会 Proceedings of the 11th Workshop on Environmental Radioactivity, KEK Proceeding 2010-8, pp. 58-62, 2010.
4. 五十嵐康人, 藤原英司, ジュグダー・デュラーム,モンゴル表土中の人工放射性核種と降水量との関係から推定した黄砂発生地域の変動, 第 11 回「環境放射能」研究会 Proceedings of the 11th Workshop on Environmental Radioactivity, KEK Proceeding 2010-8, pp. 69-75, 2010.
5. 五十嵐康人, 第 1 章 人工放射性降下物, 青山道夫編, 気象研究所 地球化学研究部, 環境・応用気象研究部, 「環境における人工放射能の研究 2011」ISSN 1348-9739, 2011.
6. 五十嵐康人, 第 3 章 福島第一原子力発電所事故によるつくば市における大気放射能の変動, 青山道夫編, 気象研究所 地球化学研究部, 環境・応用気象研究部, 「環境における人工放射能の研究 2011」ISSN 1348-9739, 2011.
7. 梶野瑞王, 第 4 章 大気モデルの結果,「環境における人工放射能の研究 2011」, 青山道夫編, 気象研究所地球化学研究部, 環境・応用気象研究部, ISSN1348-9739, 2011.
8. Kajino, M., K. Sato, Y. Inomata, H. Ueda. Part II. Modeling part, Annual report 11th year's Joint Research on Long-range Transboundary Air Pollutants in Northeast Asia, NIER, Incheon Korea, 32 pp., 2011.
9. 五十嵐康人, 財前祐二, 高橋宙, 青山道夫, 広瀬勝己「榛名山とつくばにおける人工放射能の降下量」第 12 回「環境放射能」研究会 Proceedings of the 12th Workshop on Environmental Radioactivity, KEK Proceeding 2011-7, pp. 32-35, 2011.
10. 遠山知亜紀, 内田悠香, 村松康行, 五十嵐康人, 青山道夫, 松崎浩之, 「秋田・東京・石垣における大気降下物中 129I の経年変化」, 第 12 回「環境放射能」研究会 Proceedings of the 12th Workshop on Environmental Radioactivity, KEK Proceeding 2011-7, pp. 58-65, 2011.
11. 梶野瑞王「Acid Rain 2011 国際会議の参加報告」, 大気化学研究会ニュースレター, 26, 2012.
12. Kajino, M., K. Sato, Y. Inomata, H. Ueda. II. Modeling Part. Modeling study on long-range transboundary air pollutants in Northeast Asia, Proceedings of the 14th Expert Meeting for the Long-range Transboundary Air Pollutants in Northeast Asia, Nov.8-10, 2011, Pyeongchang, Korea.
13. 青山道夫, 五十嵐康人, 廣瀬勝己, 月間降下物測定 660 カ月が教えること 90Sr, 137Cs および Pu 降下量 1957 年 4 月～2012 年 3 月, 科学, 82(4), 442-457, 2012.
14. 五十嵐康人, 特集にあたって:気候変動と大気エアロゾルⅡ, エアロゾル研究, 27(3), 248, 2012.
15. 五十嵐康人, 「大気の放射能」, 地球と宇宙の化学事典, 日本地球化学会編, pp. 201-202, 2012.
16. 北 和之, 笠原理絵, 渡邊 明, 鶴田治雄, 植松光夫, 桧垣正吾, 吉田尚弘, 豊田 栄, 山田桂大, 篠原 厚, 三上正男, 五十嵐康人, 恩田裕一, 末木啓介, 滝川雅之, 日本地球化学会=日本地球惑星科学連合=日本放射化学会連携緊急放射性物質サンプリングチーム大気班および分析班, 2.2 大気放射性物質の広域観測と土壌からの再飛散の影響, 近藤裕昭, 里村雄彦, 竹村俊彦, 山澤弘実, 渡邉明, 2011 年度秋季大会スペシャルセッション「放射性物質輸送モデルの現状と課題」報告, 天気, 2012 年 4 月号, 42-43.
17. 眞木貴史, 梶野瑞王, 田中泰宙, 関山剛, 千葉長, 五十嵐康人, 三上正男, 2.4 逆解析を用いた初期放射線量推定システムの構築, 近藤裕昭, 里村雄彦, 竹村俊彦, 山澤弘実, 渡邉明, 2011 年度秋季大会スペシャルセッション「放射性物質輸送モデルの現状と課題」報告, 天気, 2012 年 4 月号, 44.
18. 梶野瑞王, 五十嵐康人, 田中泰宙, 眞木貴史, 関山剛, 千葉長, 青柳曉典, 出牛真, 大島長, 三上正男 (2012) 2.9 気象研領域モデルによる福島第一原発事故に伴う放射性物質の輸送・沈着実験, 近藤裕昭, 里村雄彦, 竹村俊彦, 山澤弘実, 渡邉明, 2011 年度秋季大

会スペシャルセッション「放射性物質輸送モデルの現状と課題」報告，天気，2012 年 4 月号，47-48.
19. 田中泰宙，猪股弥生，五十嵐康人，梶野瑞王，眞木貴史，関山剛，三上正男，千葉長，2.11 気象研究所全球モデルによる放射性物質輸送シミュレーションの現状と課題，近藤裕昭，里村雄彦，竹村俊彦，山澤弘実，渡邉明，2011 年度秋季大会スペシャルセッション「放射性物質輸送モデルの現状と課題」報告，天気，2012 年 4 月号，48.
20. 五十嵐康人，三上正男，青山道夫 2.12 核災害を含む緊急時対応システムー欧州の先行事例から，近藤裕昭，里村雄彦，竹村俊彦，山澤弘実，渡邉明，2011 年度秋季大会スペシャルセッション「放射性物質輸送モデルの現状と課題」報告，天気，2012 年 4 月号，49-50.
21. 梶野瑞王，3-モーメントビン法モデル，クリーンテクノロジー，22(12), 8-13 (2012)
22. 梶野瑞王，大気エアロゾルの性質と素過程の多様性を考慮できる軽くて正確な新しい動力学モデルの開発（26 巻 4 号）－2012 年度日本エアロゾル学会各賞受賞者のことばー，エアロゾル研究，27(4), 399, 2012.
23. Kajino, M., K. Sato, Y. Inomata, and H. Ueda, Part II. Modeling part, Annual report 12th year's Joint Research on Long-range Transboundary Air Pollutants in Northeast Asia, NIER, Incheon Korea, 27 pp., 2012.
24. Buseck, P. R., K. Adachi, A. Gelencsér, É. Tompa, and M. Pósfai, Are black carbon and soot the same?, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 12, 24821-24846, 2012.
25. Adachi, K., Aerosol particle shape revealed by transmission electron microscopy and the implications for its optical properties, 気象研究所技術報告, Technical Reports of The Meteorological Research Institute No.68, pp. 18-19, 2013.
26. Buseck, P. R., K. Adachi, E. Freney, T. Kojima, W. J. Li and M. Posfai, Identification and analysis of atmospheric aerosol particles (& climate implications), 気象研究所技術報告, Technical Reports of The Meteorological Research Institute No.68, pp. 6-9, 2013.
27. Igarashi, Y., International symposium on aerosol studies explored by electron microscopy: How can electron microscopy improve atmospheric models-Foreword 気象研究所技術報告, Technical Reports of The Meteorological Research Institute No.68, pp. 1-3, 2013.
28. Ishimoto, H., Y. Zaizen, K. Masuda, Y. Mano and A. Uchiyama, Shape modeling of dust and soot particles for remote sensing applications by considering the geometrical features of sampled aerosols, 気象研究所技術報告, Technical Reports of The Meteorological Research Institute No.68, pp. 40-43, 2013.
29. Kajino, M., Model formulation and predictability of a variety of atmospheric aerosols, 気象研究所技術報告, Technical Reports of the Meteorological Research Institute No. 68, pp. 69-72, 2013.
30. Zaizen, Y., H. Naoe, H. Takahashi and K. Okada, Fine mineral aerosols collected in Japan during two Asian dust events: Size distributions and mixing properties, 気象研究所技術報告， Technical Reports of The Meteorological Research Institute, No.68, pp. 63-64, 2013.
31. 五十嵐康人，財前祐二，足立光司，梶野瑞王，三上正男，福島事故後のつくばにおける降下量，大気中放射能濃度の推移，第 14 回「環境放射能」研究会 Proceedings of the 14th Workshop on Environmental Radioactivity，KEK Proceedings 2013-7, pp. 35-39, 2013.
32. 五十嵐康人，新学術領域研究（研究領域提案型）「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究」とその立ち上がり，放射化学，第 27 号 pp. 28-34, ISSN1345-2754, 2013.
33. 中島映至，鶴田治雄，滝川雅之，森野悠，関山剛，梶野瑞王，渡辺明，篠原厚，北和之，地球科学分野における活動と緊急災害時における研究者の対応, Radioisotopes, 62, 761-766, 2013.

34. Zazien, Y., K. Adachi, Y. Igarashi, H. Naoe, H. Takahashi, Features of aerosol particles collected at Mt. Kiso-Komagatake during foggy condition in summer 2012, International Symposium on Aerosols in East Asia and Their Impacts and Human Health Proceedings of International Symposium on Aerosols in East Asia and Their Impacts and Human Health, in press.
35. 五十嵐康人，日本地球惑星科学連合 2013 年大会セッション「最新の大気科学：福島原発事故放射能の大気・陸圏輸送，沈着問題」の報告，天気，印刷中.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：44 件

1. Nagashima, K., H. Nishido, S. Toyoda, Y. Yamamoto, A. Tani, Y. Igarashi, and R. Tada, Application of ESR and CL analyses to provenance study of quartz, Japan Geoscience Union Meeting 2009, May 2009, Makuhari, Chiba.
2. Zhang, J. Zheng, M. Yamada, F. Wu, Y. Igarashi and K. Hirose, Characterization of Pu concentration and its isotopic composition in a reference fallout material, the Fifth International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology (ISORD-5), 2009.
3. Nagashima,K., H. Nishido, M. Kasima, S. Toyoda, Y. Igarashi, H. Hasegawa, and R. Tada, Provenance study of Asian dust based on cathode luminescence analyses of single quartz grain, Japan Geoscience Union Meeting 2010, May 2010, Makuhari, Chiba,.
4. Igarashi, Y., H. Fujiwara, D. Jugder, Evidence for Desertification in Asian Dust Source Regions: Implication from Relationship between Anthropogenic Radionuclides in Mongolian Surface Soil and Precipitation Rates, International Symposium on Asian Dust/Aerosol and its Impact on the Global Climate Change, August 2010, Shanghai, China.
5. Kaneyasu, N., Y. Igarashi, M. Uchida, Cabonaceous aerosols at the summit of Mt. Fuji, Japan, ACP Symposium 2010: Symposium on Atmospheric Chemistry and Physics at Mountain Sites, June 2010, Interlaken, Switzerland
6. Miura, K., H. Kobayashi, S. Fujita, Y. Igarashi, H. Okochi, Size distribution of aerosol particles measured at the summit and a base of Mt. Fuji, ACP Symposium 2010: Symposium on Atmospheric Chemistry and Physics at Mountain Sites, June 2010, Interlaken, Switzerland
7. Kajino, M, K. Sato, Y. Inomata, and H. Ueda, Modeling study on LTP in northeast Asia: Japan, The 12th Expert Meeting for Long-range Transboundary Air Pollutants in Northeast Asia, November 2010, Zuhai, China.
8. Sato, K., Y. Inomata, M. Kajino, H. Ueda, Model simulation of atmospheric concentrations and depositions of polycyclic aromatic hydrocarbons and persistent organic pollutants in East Asia, Pacifichem 2010, December 2010, Hawaii, USA.
9. Naoe, H., and K. Shibata, Future change in the quasi-biennial oscillation influence on the northern polar vortex simulated with an MRI chemistry, Japan Geoscience Union Meeting 2011, May 2011, Makuhari, Chiba.
10. Buseck, P. R., K. Adachi, A. Gelencser, and M. Posfai, Soot, Elemental Carbon (EC), Black Carbon (BC), and Brown Carbon (BrC): A Transmission Electron Microscopy Perspective, 3rd International Symposium on Polycyclic Aromatic Compounds, 2011, Germany.
11. Kajino, M., M. Deushi, Y. Inomata, K. Sato, H. Ueda, Z. Han, J. An, J. Kurokawa, and T. Ohara, Modeling air, rain and snow precipitation quality over Northeast Asia using MRI-CCM2-WRF-RAQM2 model, Acid Rain 2011, June 2011, Beijing, China.
12. Kajino, M., Model formulation and predictability of a variety of atmospheric aerosols, International symposium on aerosol studies explored by electron microscopy,

Tsukuba, Japan
13. Kajino, M., Modeling air, rain and snow precipitation quality over Northeast Asia, 3rd International Workshop on Atmospheric Modeling Research in East Asia, Sep.24-25, 2011, Chengdu, Sichuan, China.
14. Inomata, Y., M. Kajino, K. Sato, H. Ueda, N. Tang, K. Hayakawa, H. Akimoto, Regional scale emission inventory of PAHs in Northeast Asia and its verification based on surface measurements and chemical transport modeling, 3rd International Workshop on Atmospheric Modeling Research in East Asia, Sep.24-25, 2011, Chengdu, Sichuan, China.
15. Naoe, H., Y. Kuroda, K. Shibata, and T. Hirooka, A major stratospheric sudden warming event of January 2009 and its dynamical linkage between the troposphere and stratosphere, 92nd American Meteorological Society (AMS) Annual Meeting, January 2012, New Orleans, USA.
16. Naoe, H., Y. Kuroda, K. Shibata, and T. Hirooka, A major stratospheric sudden warming of 2009 and dynamical linkage with troposphere, Workshop on Stratospheric Sudden Warming and its Role in Weather and Climate Variations, February 2012, Kyoto, Japan.
17. Adachi, K., Aerosol particle shape revealed by transmission electron microscopy and the implications for its optical properties, International symposium on aerosol studies explored by electron microscopy, February 2012, Tsukuba, Japan.
18. Buseck, P. R., K. Adachi, E. Freney, T. Kojima, W. J. Li and M. Posfai, Identification and analysis of atmospheric aerosol particles (& climate implications), International symposium on aerosol studies explored by electron microscopy, February 2012, Tsukuba, Japan.
19. Igarashi, Y., International symposium on aerosol studies explored by electron microscopy: How can electron microscopy improve atmospheric models, International symposium on aerosol studies explored by electron microscopy, February 2012, Tsukuba, Japan.
20. Ishimoto, H., Y. Zaizen, K. Masuda, Y. Mano and A. Uchiyama, Shape modeling of dust and soot particles for remote sensing applications by considering the geometrical features of sampled aerosols, International symposium on aerosol studies explored by electron microscopy, February 2012, Tsukuba, Japan.
21. Kajino, M., Model formulation and predictability of a variety of atmospheric aerosols, International symposium on aerosol studies explored by electron microscopy, February 2012, Tsukuba, Japan.
22. Tsujimura M., P. Ishwar, Y. Onda, M. Hada, Y. Igarashi, The Cs-134 and Cs-137 concentrations in soil water covered by different vegetations, Japan Geoscience Union Meeting 2012, May 2012, Makuhari, Chiba.
23. Kita, K., Kasahara, R., Demizu, H., Watanabe, A., Tsuruta, H., Uematsu, M., Higaki, S., Yoshida, N., Toyoda, S., Shinohara, A., Igarashi, Y., Mikami. M., Onda Y., Sueki, K., Takigawa, M., Nagabayashi, H., Yokoyama, A., Radioactivity monitoring team, Intensity of atmospheric radioactivity over East Japan after Fukushima nuclear plant accident, Japan Geoscience Union Meeting 2012, May 2012, Makuhari, Chiba.
24. Adachi, K., Igarashi, Y., Buseck, P. R., Change of shape and composition of sea-salt aerosol particles in an urban atmosphere, Japan Geoscience Union Meeting 2012, May 2012, Makuhari, Chiba.
25. Tanaka, T., Kajino, M., Maki, T., Sekiyama, T. T., Igarashi, Y., Chiba, M., Mikami, M., Numerical simulation of atmospheric transport of radionuclides in Meteorological Research Institute, Japan Geoscience Union Meeting 2012, May 2012, Makuhari,

Chiba.
26. Maki, T., Kajino, M., Tanaka, T., Sekiyama, T. T., Chiba, M., Igarashi, Y., Mikami, M., Estimation of released radioactive materials from Fukushima power plant by inverse model, Japan Geoscience Union Meeting 2012, May 2012, Makuhari, Chiba.
27. Igarashi, Y., Observation of atmospheric radioactivity in Tsukuba-Impacts on aerosol and deposition by the Fukushima nuclear accident, Japan Geoscience Union Meeting 2012, May 2012, Makuhari, Chiba.
28. Igarashi, Y., W. Iwai, H. Sakou, K. Nabeshima, M. Kajino, Radioactive strontium from the Fukushima Nuclear Power Plant accident observed at Tsukuba, Ibaraki, Japan, Japan Geoscience Union Meeting 2012, May 2012, Makuhari, Chiba.
29. Igarashi, Y., Y. Zaizen, K. Adachi and M. Kajino, Aerosol research activity at the MRI, Japan, First China-Japan Aerosol Symposium (第 1 回日中エアロゾルシンポジウム), September 2012, Kanazawa.
30. Igarashi, Y., M. Kajino, Y. Zaizen, and M. Mikami, Observations of Atmospheric Radionuclides from the Fukushima Nuclear Accident in Tsukuba, Japan, American Meteorological Society 93rd Annual Meeting, January 2013, Austin, Texas, USA.
31. Tanaka, T. Y., T. Maki, T. T. Sekiyama, Y. Igarashi, M. Kajino, and M. Mikami, Numerical analysis of the global transport of radionuclides from Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident, American Meteorological Society 93rd Annual Meeting, January 2013, Austin, Texas USA.
32. Maki, T., T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, M. Kajino, Y. Igarashi, and M. Mikami, Radioactive Nuclei Emission Analysis from Fukushim Dai-ichi Nuclear Power Plant by Inverse Model, American Meteorological Society 93rd Annual Meeting, January 2013, Austin, Texas USA.
33. Thompson, J., L. Ma, J. L. Jimenez, P. Hayes, K. Adachi, P. Buseck, R. Weber, X. Zhang, and J. Liu, Insights on Direct Forcing: Aerosol Albedo Measurements in the Visible and Near UV, American Meteorological Society 93rd Annual Meeting, January 2013, Austin, Texas, USA.
34. Kita, K., Y. Igarashi, N. Yoshida, and T. Nakajima, Emission, transport, deposition, and re-suspension of radionuclides from Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant in the atmosphere - Overview of 2-year investigations in Japan (solicited), European Geosciences Union General Assembly 2013, April 2013, Wien, Austria.
35. Tsumune, D., M. Aoyama, M. Kajino, T. Tanaka, T. Sekiyama, T. Tsubono, K. Misumi, Y. Maeda, Y. Yoshida, H. Hayami, Y. Hamajima, T. Gamo, M. Uematsu, T. Kawano, A. Murata, Y. Kumamoto, M. Fukasawa, and M. Chino, Spatial and temporal variations and budget of radiocesium in the ocean following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, European Geosciences Union General Assembly 2013, April 2013, Wien, Austria.
36. Igarashi, Y., K. Kita, N. Yoshida, K. Yamada, M. Mikami, K. Adachi, T. Sekiyama, T. Maki, T. Tanaka, Y. Zaizen, M. Ishizuka, T. Satomura, I. Nakai, Y. Abe, K. Nishiguchi, K. Utani, H. Kawashima, Y. Yamada, Y. Hatano, H. Okochi, Atmospheric-Terrestrial Interactions in Radioactive Pollution by the Fukushima Accident, Japan Geoscience Union Meeting 2013, May 2013, Makuhari, Chiba.
37. Maki, T., T. Tanaka, M. Kajino, T. Sekiyama, Y. Igarashi, M. Mikami, The time series analysis of the radionuclide emissions from Fukushima Daiichi nuclear power plant by inverse model, Japan Geoscience Union Meeting 2013, May 2013, Makuhari, Chiba.
38. Yamashiki, Y., Y. Onda, Y. Igarashi, T. Wakahara, Y. Tachikawa, M. Shiiba, Y. Matsuura, Release of Radionuclides from Natural River, Abukuma as Suspended Particulate

Matter into Pacific Ocean, Japan Geoscience Union Meeting 2013, May 2013, Makuhari, Chiba.
39. Kita, K., M. Tanaka, T. Kinase, H. Demizu, Y. Igarashi, M. Mikami, N. Yoshida, S. Toyoda, K. Yamada, A. Shinohara, H. Kawashima, Y. Onda, Re-suspension processes of radioactive cesium emitted by the FNDPP accident, Japan Geoscience Union Meeting 2013, May 2013, Makuhari, Chiba.
40. Ishizuka, M., M. Mikami, T. Tanaka, Y. Igarashi, Evaluation of radioactivity resuspension by mineral dust particles from ground surface using a 1-D vertical model, Japan Geoscience Union Meeting 2013, May 2013, Makuhari, Chiba.
41. Igarashi, Y., M. Kajino, K. Adachi, T. Maki, T. Sekiyama, T. Tanaka, Y. Zaizen, M. Mikami, CTM Applications with Aerosol Modeling and Observations to Radioactive Contamination, Sixth China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology, October 2013, Nanjing, China.
42. Kajino, M., G. Katata, T. Hiraki, M. Aikawa, T. Kobayashi, H. Ueda, Modeling fog chemistry and its deposition on a mountain forest in summer in Japan, 6th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew (FOGDEW 2013), May 2013, Yokohama, Japan.
43. Kajino, M., R. C. Easter, and S. J. Ghan, Modal Bin Hybrid Model: a surface area consistent, triple moment sectional method for use in process-oriented modeling of atmospheric aerosols, 12th ASAAQ conference, May 2013, Seoul, Korea.
44. Kajino, M., Aerosol-cloud interaction: importance of size distribution and hygroscopicitiy of aerosols, Japanese-German Frontiers of Science (JGFoS) Symposium 2013, November 2013, Kyoto.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：76 件

1. 杉本伸夫，西澤智明，高橋宙，清水厚，松井一郎，五十嵐康人，ライダーおよび地上モニタリングによるエアロゾル動態解明，科研費新学術領域研究「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」平成 21 年度第 1 回全体会議，2009 年，東京
2. 五十嵐康人，広瀬勝己，青山道夫，放射性降下物の長期変動と再浮遊に関する研究，　第 51 回環境放射能調査研究成果発表会，2009 年 12 月，東京
3. 五十嵐康人，藤原英司，ジュグダー・デュラーム，モンゴル東部・南部の表土中の人工放射性核種から推定した黄砂発生地域の変動，第 3 回「環日本海域の環境」シンポジウム，2009 年 10 月，金沢
4. 五十嵐康人，高橋宙，猪股弥生，山岳におけるエアロゾル観測とその課題－富士山の話題を中心にしてー，北海道大学　低温研研究集会，「大気圏と生物圏の相互作用:大気化学を中心として」，2009 年 6 月，札幌
5. 財前祐二，酒井哲，高橋宙，五十嵐康人，黄砂粒子のガス成分による変質の再現実験，第 15 回大気化学討論会，2009 年 10 月，つくば.
6. 高橋宙，五十嵐康人，猪股弥生，小林拓，財前祐二，ライダー及び地上モニタリングによるエアロゾル動態解明　3.榛名山と新穂高における山岳地上エアロゾル観測，科研費新学術領域研究「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」，平成 21 年度第 2 回全体会議，2010 年 1 月，国立環境研，つくば.
7. 西澤智明，杉本伸夫，高橋宙，松井一郎，清水厚，五十嵐康人，ライダー及び地上モニタリングによるエアロゾル動態解明　2.ラマン散乱を用いたライダーの改良とそのデータ解析，科研費新学術領域研究「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人 間系へのインパクト」，平成 21 年度第 2 回全体会議，2010 年 1 月，国立環境研，つくば.
8. 杉本伸夫，西澤智明，高橋宙，清水厚，松井一郎，五十嵐康人，ライダー及び地上モニタリングによるエアロゾル動態解明　1.ライダーネットワーク観測　科研費新学術領域研究「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」，平成 21 年度第 2 回

全体会議，2010 年 1 月，国立環境研，つくば.
9. 直江寛明, 柴田清孝, 熱帯 QBO が冬季中高緯度循環に与える影響, 日本気象学会 2010 年春季大会, 2010 年 5 月，東京.
10. 梶野瑞王, 近藤豊, 宮崎雄三, 桑田幹哲，東アジアにおける化学組成，粒径分布，混合状態の成長過程のモデル解析，日本気象学会 2010 年春季大会, 2010 年 5 月，東京，代々木.
11. 杉本伸夫, 西澤智明, 直江寛明, 清水厚, 松井一郎, 五十嵐康人, ライダー及び地上モニタリングによるエアロゾル動態解明：ライダーネットワーク観測, 新学術領域「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」平成 22 年度第 1 回全体会議, 2010 年 9 月，東京都府中.
12. 直江寛明, 財前祐二, 五十嵐康人, 高橋宙, 猪股弥生, 杉本伸夫, アジア起源の鉱物ダスト粒子の長距離輸送と榛名山で観測されたエアロゾル個数濃度, 新学術領域「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」平成 22 年度第 1 回全体会議, 2010 年 9 月，東京都府中.
13. 堅田元喜, 梶野瑞王, 平木隆年, 藍川昌秀, 小林禧樹, 永井晴康, 気象・エアロゾル化学輸送・霧水沈着モデルを用いた山岳森林への霧水沈着に関する数値的研究, 第 51 回大気環境学会年会, 2010 年 9 月，大坂大学 豊中キャンパス.
14. 梶野瑞王, 近藤豊, 桑田幹哲，東アジアにおけるエアロゾル微視的特性のモデル解析，日本気象学会 2010 年秋季大会, 2010 年 10 月，京都.
15. 内田悠香, 遠山知亜紀, 村松康行, 五十嵐康人, 東京における大気降下物中のヨウ素の経年変化, 第 13 回ヨウ素学会, 2010 年 11 月，千葉.
16. 五十嵐康人, 高橋宙, 財前祐二, 青山道夫, 放射性降下物の長期変動と再浮遊に関する研究, 第 52 回環境放射能調査研究成果発表会，2010 年 12 月，東京.
17. 五十嵐康人，「大気の拡散過程について」，日本気象学会 2011 年度春季大会 東日本大震災に伴う原発環境汚染に関する勉強会, 2011 年 5 月，東京代々木オリンピックセンター.
18. 梶野瑞王,「多重モードとフラクタル凝集形状を考慮した自由分子領域と近連続領域における粒子ダイナミクスモデル（MADMS）の開発」,日本気象学会 2011 年春季大会，2011 年 5 月，東京.
19. 梶野瑞王，大島長,「大気エアロゾルの多様性を考慮しながらダイナミクスを解くモーダル・ビンハイブリッドモデル（MBHM）の開発」,日本気象学会 2011 年春季大会，2011 年 5 月，東京.
20. 永淵修, 横田久里子，地下まゆみ，川上智規，加賀谷重浩，五十嵐康人，藤田慎一,「富士山頂で観測された高濃度ガス状水銀と粒子状水銀の起源解析」，日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月，千葉.
21. 五十嵐康人，直江寛明，財前祐二，猪股弥生，高橋宙,「気象研究所での山岳を利用した大気エアロゾル研究の紹介」，東京理科大学総合研究機構山岳研究部第一回山岳シンポジウム，2011 年 6 月，東京理科大学神楽坂校舎.
22. 小林拓，三浦和彦，兼保直樹，五十嵐康人，大河内博，皆巳幸也，林政彦，塩原匡貴,「富士山での黄砂観測」，東京理科大学総合研究機構山岳研究部第一回山岳シンポジウム，2011 年 6 月，東京理科大学神楽坂校舎.
23. 五十嵐康人，財前祐二，田中泰宙，梶野瑞王，直江寛明,「サブ課題 2：BC の電子顕微鏡観測と全球エアロゾルモデルによる研究」環境省総合環境研究推進費 A-1101 第一回研究連絡会議，2011 年 7 月，東京大学.
24. 五十嵐康人，梶野瑞王，長田直之，沖雄一，武田智津子,「2011 年 3 月につくば市で観測されたエアロゾル態放射能」，第 28 回エアロゾル科学・技術研究討論会，2011 年 8 月，大阪.
25. 長田和雄, 西澤邦秀, 五十嵐康人,「つくばで採取した放射性エアロゾル粒子―イメージング・プレートを用いた解析―」，第 28 回日本エアロゾル科学・技術研究討論会，2011 年 8 月，大阪.
26. 梶野瑞王,「大気エアロゾルの多様性に対応できる軽くて正確な動力学モデルの開発」第 28 回

日本エアロゾル科学・技術研究討論会，2011 年 8 月，大阪.

27. 五十嵐康人,「日本に飛来した黄砂と現地表土中の放射性 Cs/Sr 同位体比解析から推定した黄砂発生源変動　鳥取大学乾燥地研究センター公開セミナー，2011 年 9 月，鳥取.
28. 大浦泰嗣（首都大院理工），松田和秀（明星大理工）米持真一（埼玉県環境科学），五十嵐康人（気象研）海老原充（首都大院理工）,「八王子，日野，ならびに加須で採取した大気浮遊粒子中の放射能濃度」，日本放射化学会年会・第 55 回放射化学討論会，2011 年 9 月，信州大学，長野.
29. 五十嵐康人，「大気放出・輸送・沈着過程」，第 52 回大気環境学会年会，特別集会 6 福島原発事故による放射性物質の環境影響，2011 年 9 月，長崎
30. 梶野瑞王,「最先端のエアロゾルモデルにおける輸送・沈着過程」，第 52 回大気環境学会年会，特別集会 6 福島原発事故による放射性物質の環境影響，2011 年 9 月，長崎
31. 北和之，笠原理絵，鶴田治雄，桧垣正吾，吉田尚弘，豊田栄，山田桂大，篠原厚，三上正男，五十嵐康人，恩田裕一，末木啓介他，地球科学会=日本地球惑星科学連合=放射化学会連携緊急放射性物質サンプリングチーム大気班・分析班，福島陸域・水域モニタリング大学連合チーム，「大気放射性物質の広域観測と土壌からの再飛散の影響」，第 52 回大気環境学会年会，特別集会 6 福島原発事故による放射性物質の環境影響，　2011 年 9 月，長崎
32. 直江寛明, 財前祐二, 柳田佳世, 高橋宙, 五十嵐康人，「冬季新穂高で観測されたエアロゾル粒子の組成と混合状態」，科研費新学術領域研究「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」平成 23 年度第 1 回全体会議, 2011 年 9 月，東京.
33. 永井智広，眞木貴史，酒井哲，柴田清孝，出牛真，梶野瑞王，中里真久，内野修「対流圏オゾン監視予測技術向上のための対流圏オゾンライダー観測」第 29 回レーザセンシングシンポジウム，2011 年 9 月，七尾市.
34. 足立光司，Peter R. Buseck，五十嵐康人，「透過型電子顕微鏡を用いたメガシティ（メキシコシティ及びロサンゼルス）由来のエアロゾル分析」第 17 回大気化学討論会，2011 年 10 月，京都大学宇治キャンパス.
35. 五十嵐康人「大気放出・輸送・沈着過程」，エネルギー環境学域講演会「福島事故における放射性物質の拡散予測と降下量推定」，2011 年 11 月，筑波大学，茨城
36. 北和之，笠原理絵，鶴田治雄，桧垣正吾，吉田尚弘，豊田栄，山田桂大，篠原厚，三上正男，五十嵐康人，恩田裕一，末木啓介ほか，地球科学会=日本地球惑星科学連合=放射化学会連携緊急放射性物質サンプリングチーム大気班および分析班「福島第一原子力発電所事故により放出された放射性物質の大気再飛散」，第 17 回大気化学討論会，2011 年 10 月，京都大学宇治キャンパス.
37. 五十嵐康人, 三上正男, 青山道夫,「核災害を含む緊急時対応システム-欧州の先行事例から」，日本気象学会 2011 年度秋季大会，2011 年 11 月，名古屋大学
38. 梶野瑞王，出牛真，眞木貴史，青柳曉典，橋本明弘，三上正男「非静力学気象化学モデル（NHM-Chem）の開発，日本気象学会 2011 年秋季大会，2011 年 11 月，名古屋大学.
39. 梶野瑞王，五十嵐康人，田中泰宙，眞木貴史，関山剛，千葉長，青柳曉典，出牛真，大島長，三上正男「気象研領域モデルによる福島第一原発事故に伴う放射性物質の輸送・沈着実験」，日本気象学会 2011 年秋季大会，2011 年 11 月，名古屋大学.
40. 北和之，笠原理絵，渡邊明，鶴田治雄，植松光夫，桧垣正吾，吉田尚弘，豊田 栄，山田桂大，篠原 厚，三上正男，五十嵐康人，恩田裕一，末木啓介，滝川雅之，日本地球化学会=日本地球惑星科学連合=日本放射化学会連携緊急放射性物質サンプリングチーム大気班および分析班,「大気放射性物質の広域観測と土壌からの再飛散の影響, 日本気象学会 2011 年秋季大会，2011 年 11 月，名古屋大学.
41. 出牛真，梶野瑞王，中里真久，眞木貴史，永井智広，酒井哲，柴田清孝,「対流圏オゾンライダー観測を用いた気象研光化学オキシダント予測システムの検証」日本気象学会 2011 年秋季大会，2011 年 11 月，名古屋大学.
42. 眞木貴史，梶野瑞王，田中泰宙，関山剛，五十嵐康人，三上正男,「逆解析を用いた初期放射線

量推定システムの構築」, 日本気象学会 2011 年秋季大会, 2011 年 11 月, 名古屋大学.
43. 田中泰宙, 猪股弥生, 五十嵐康人, 梶野瑞王, 眞木貴史, 関山剛, 三上正男, 千葉長, 気象研究所全球モデルによる放射性物質輸送シミュレーションの現状と課題点, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 11 月, 名古屋大学.
44. 直江寛明, 黒田友二, 柴田清孝, 廣岡俊彦,「2009 年 1 月の成層圏突然昇温と対流圏との力学結合」, 第 8 回「異常気象と長期変動」研究集会（H23）, 2011 年 11 月, 京都.
45. 五十嵐康人「大気放出・輸送・沈着過程」, エネルギー環境学域講演会「福島事故における放射性物質の拡散予測と降下量推定」, 2011 年 11 月, 筑波大学, 茨城.
46. 梶野瑞王「大気エアロゾルの多様性に対応できる軽くて正確な動力学モデルの開発」第 8 回エアロゾルシンポジウム, 2011 年 12 月, 東京工業大.
47. 青山道夫, 五十嵐康人, 津旨大輔（電力中央研究所）「海洋環境における人工放射性核種の長期挙動の研究と福島事故で太平洋に付加された放射性セシウムの挙動」, 第 53 回環境放射能調査研究成果発表会　文部科学省, 2011 年 12 月, 東京.
48. 五十嵐康人, 財前祐二, 直江寛明, 梶野瑞王, 青山道夫「放射性降下物の長期変動と再浮遊に関する研究」, 第 53 回環境放射能調査研究成果発表会, 2011 年 12 月, 文部科学省, 東京
49. 五十嵐康人, 「つくばにおける大気放射能観測―福島事故による大気エアロゾル, 降下物の変動の実態」, 日本学術振興会 マイクロビームアナリシス第 141 委員会, 第 147 回研究会, 2012 年 3 月, 産業技術総合研究所, つくば, 茨城.
50. 岩井和加里, 五十嵐康人, 鍋島一真, 「大気エアロゾルの放射能観測（放射性 Sr）」, 第 13 回「環境放射能」研究会, 2012 年 3 月, 高エネルギー加速器研究機構, つくば, 茨城.
51. 五十嵐康人, コメント「事故調査報告書を読む」, 日本気象学会 2012 年度春季大会　シンポジウム, 2012 年 5 月, つくば, 茨城.
52. 五十嵐康人, エアロゾルに関する研究, 第 7 回 NIMS 放射線計測セミナー, 2012 年 6 月, 物質材料研究機構, つくば.
53. 五十嵐康人, BC の電子顕微鏡観察, 環境省推進費 A-1101 H24 年度アドバイザリーボード会合, 2012 年 6 月, 東京大学.
54. 五十嵐康人, 福島事故による大気中の人工放射性核種の長期変動への影響, 第 29 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2012 年 8 月, 北九州市.
55. 田中泰宙, 梶野瑞王, 眞木貴史, 関山剛, 五十嵐康人, 放射性エアロゾルの拡散シミュレーションの現状, 第 29 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2012 年 8 月, 北九州市.
56. 五十嵐康人, 北和之, 吉田尚弘, 三上正男, 石塚正秀, 里村雄彦, 山田桂太, 川島洋人, 田中泰宙, 関山剛, 眞木貴史, 中井泉, 阿部善也, 西口講平, 宇谷啓介, 山田豊（理研）, 長田和雄, 財前祐二, 足立光司, 大河内博, A1-2 班課題概要　（計画班名称：放射性物質の大気沈着・拡散過程および陸面相互作用の理解）, 科研費新学術領域全体キックオフ会合（領域名）福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究, 2012 年 8 月, 成田市.
57. 杉本伸夫, 西澤智明, 清水厚, 松井一郎, 財前祐二, 足立光司, 五十嵐康人, ライダーおよび地上モニタリングによるエアロゾル動態解明,科研費新学術「粒子人間植物影響」平成 24 年度第一回全体会議, 2012 年 9 月, 埼玉大.
58. 張子見, 柿谷俊輔, 二宮和彦, 高橋成人, 山口喜朗, 吉村崇, 齋藤敬, 小島貞夫, 五十嵐 康人, 篠原 厚, 液体シンチレーションカウンターによる福島第一原子力発電所事故由来の放射性ストロンチウムの定量, 2012 日本放射化学会年会・第 56 回放射化学討論会, 2012 年 10 月, 東京工業大学.
59. 遠山知亜紀, 内田悠香, 村松康行, 五十嵐康人, 青山道夫, 松崎浩之, 秋田・東京・筑波・石垣における大気降下物中 129I/127I 比と 129I 降下量の経年変化, 2012 日本放射化学会年回・第 56 回放射化学討論会, 2012 年 10 月, 東京工業大学.
60. 足立光司, 大気すす粒子の三次元像と光学特性, 第 29 回日本エアロゾル科学・技術研究討論会, 2012 年 8 月, 北九州.

61. 足立光司, 透過型電子顕微鏡を用いた有機エアロゾル分析, 第 29 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2012 年 8 月, 北九州.
62. 小林拓, 林政彦, 名倉義信, 榎本孝之, 三浦和彦, 高橋宙, 五十嵐康人, 直江寛明, 西澤智明, 杉本伸夫, 偏光を利用した光散乱式気中粒子計測器による 2012 年春季の観測結果, 日本気象学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 11 月, 札幌市.
63. 北和之, 田中美佐子, 佐藤かおり, 出水宏幸, 渡邊明, 鶴田治雄, 植松光夫, 桧垣正吾, 吉田尚弘, 豊田栄, 山田桂大, 篠原厚, 三上正男, 五十嵐康人, 恩田裕一, 末木啓介, 滝川雅之, 長林久夫, 横山明彦, 菅原敏, 福島第一原発事故後の大気放射能濃度の変動と大気再浮遊の影響, 第 18 回大気化学討論会, 2012 年 11 月, 福岡県朝倉市.
64. 杉本伸夫, 西澤智明, 清水厚, 松井一郎, 財前祐二, 足立光司, 五十嵐康人, ライダーおよび地上モニタリングによるエアロゾル動態解明,科研費新学術「粒子人間植物影響」平成 24 年度第二回全体会議, 2013 年 1 月, 東京農工大.
65. 財前祐二, 足立光司, 五十嵐康人, 山岳およびつくばで観測された東アジアからの人為起源エアロゾル, 第 6 回環日本海域の環境シンポジウム, 2013 年 3 月, 金沢.
66. 梶野瑞王, R. C. Easter, S. J. Ghan, Modal Bin Hybrid Model の開発と従来法との比較, 2013 年気象学会春季大会, 2013 年 5 月, 東京.
67. 五十嵐康人, 足立光司, 財前祐二, 梶野瑞王, 田中泰宙, 眞木貴史, 関山剛, 三上正男, 福島第一原発事故による大気環境影響:気象研究所での研究成果, 環境放射能除染学会 第２回研究発表会, 2013 年 6 月, 東京.
68. 五十嵐康人, 大気環境における中長半減期核種の挙動, 日本エアロゾル学会第 9 回エアロゾルシンポジウム, 2013 年 6 月, 埼玉県大宮.
69. 五十嵐康人, 宇宙線・雲仮説について考えること, 研究会「宇宙線による雲核生成機構の解明」, 2013 年 7 月, 名古屋大学.
70. 梶野瑞王, 3-モーメントビン法の開発と、2-モーメント法の問題点について、第 30 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2013 年 8 月, 京都大学.
71. 五十嵐康人, 福島第一原子力発電所事故による大気環境影響, NIFS 一般共同研究 研究会「核融合炉システムにおけるトリチウムの取り扱いと安全性」, 2013 年 8 月, 自然科学研究機構 核融合科学研究所, 岐阜県土岐市.
72. 五十嵐康人, BC の電子顕微鏡観察, 環境省環境研究総合推進費 A-1101 H25 年度アドバイザリーボード会合, 2013 年 8 月, 東京.
73. 梶野瑞王, エアロゾルカテゴリ法を用いた大気質モデル, 第 54 回大気環境学会年会, 2013 年 9 月, 新潟市.
74. 五十嵐康人, 足立光司, 田中泰宙, 梶野瑞王, 関山剛, 眞木貴史, 財前祐二, 三上正男, 福島第一原発事故に関する大気観測と大気モデル研究, 2013 年度日本地球化学会年会, 2013 年 9 月, 筑波大学, つくば市.
75. 末木啓介, 半田晃士, 佐藤志彦, 足立光司, 五十嵐康人, 福島原発事故で輸送された放射性物質の化学状態, 2013 年度日本地球化学会年会, 2013 年 9 月, 筑波大学, つくば市.
76. 五十嵐康人, 「福島原発事故による放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究」A01-02 班 H25 年度中間報告, 科研費新学術領域「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究」第 2 回全体会合, 2013 年 9 月, 筑波大学, つくば市.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：37 件

1. Yamamoto, Y., S. Toyoda, Y. Isozaki, Y., Sun, R. Tada, K., Nagasima, A. Tani, Y. Igarashi, Characterization of the eolian dust sources by ESR of impurity centers in quartz, Asia Pacific Luminescence Dating and Electron Spin Resonance Dating, , November 2009, Ahmedabad, India.
2. Toyoda, S., Y. Yamamoto, K. Nagashima, Y. Isozaki, Y. Sun, R. Tada, and Y. Igarashi, Temporal change of the sources of aeolian dust delivered to East Asia revealed by

electron spin resonance signals in quartz, American Geophysical Union 2009 Fall Meeting, December 2009, San Francisco, USA.

3. Takahashi, H., Y. Igarashi, H. Naoe, and H. Kobayashi, Diurnal changes of wind and aerosol concentration at Mt. Fuji, Japan, Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, 2009, Tsukuba.
4. Katata, G., M. Kajino, T. Hiraki, M. Aikawa, T. Kobayashi and H. Nagai, Numerical study of fog deposition onto a mountainous forest using atmosphere, aerosol chemical transport, and land surface models: Estimation of water and matter deposition by fog deposition, 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, June 2010, Munster, Germany.
5. Kajino, M., G. Katata, T. Hiraki, M. Aikawa and T. Kobayashi, Numerical study of fog deposition onto a mountainous forest using atmosphere, aerosol chemical transport and land surface models: Chemical and physical properties of fog and aerosols, 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, June 2010, Munster, Germany.
6. Naoe, H., Y. Zaizen, H. Takahashi and Y. Igarashi, Asian aerosols observed on mountainous sites over central Japan, International Aerosol Conference, August 2010, Helsinki, Finland.
7. Inomata, Y., M. Kajino, K. Sato, H. Ueda, N. Tang, K. Hayakawa, and H. Akimoto, Emission and transportation of polycyclic aromatic hydrocarbons and nitropolycyclic aromatic hydrocarbons in East Asia: comparison with observation and simulation, International Aerosol Conference, August 2010, Helsinki, Finland.
8. Kajino, M., Y. Kondo, M. Kuwata, and Y. Miyazaki, Modeling evolution process of size distribution and mixing state of black carbon in East Asia, International Aerosol Conference, August 2010, Helsinki, Finland.
9. Hirose, K., Y. Kikawada and Y. Igarashi, Temporal variation of thorium deposition observed at Tsukuba, Japan, Environmental Radioactivity 2010-New Frontiers and Developments, October 2010, Rome, Italy.
10. Zaizen, Y., H. Naoe, H. Takahashi and Y. Igarashi, Elemental composition of Asian aerosols observed at a mountain site over central Japan, American Geophysical Union 2010 Fall Meeting, December 2010, San Francisco, USA.
11. Naoe, H. and K. Shibata, Future change in the quasi-biennial oscillation influence on the northern polar vortex simulated with an MRI chemistry climate model, American Geophysical Union 2010 Fall Meeting, December 2010, San Francisco, USA.
12. Naoe, H., H. Takahashi, Y. Igarashi, Y. Inomata and N. Sugimoto, Aerosol concentrations observed at Mt. Haruna, Japan, in relation to long-range transport of Asian mineral dust aerosols, American Meteorological Society Annual Meeting, January 2011, Seattle, USA.
13. Igarashi, Y., M. Kajino, N. Osada, Y. Oki, and C. Takeda, Aerosol radioactivity observed in Tsukuba during March 2011, IUPAC International Congress on Analytical Science 2011 meeting (ICAS2011), May 2011, Kyoto.
14. Yamamoto, Y., S. Toyoda, K. Nagashima, Y. Isozaki, R. Tada, and Y. Igarashi, Temporal change of the sources of aeolian dust delivered to East Asia revealed by ESR signals in quartz, Japan Geoscience Union Meeting 2011, May 2011, Makuhari, Chiba.
15. Inomata, Y., M. Kajino, K. Sato, H. Ueda, N. Tang, K. Hayakawa, J. Kurokawa, T. Ohara, T. Ohizumi, and H. Akimoto, Emission, transport and deposition of simulated polycyclic aromatic hydrocarbons in East Asia, Acid Rain 2011, June 2011, Beijing, China.
16. Naoe, H., and K. Shibata, Future change in the quasi-biennial oscillation influence on the

extratropical stratosphere in the Northern Hemisphere winter simulated with an MRI chemistry climate model, International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly, July 2011, Melbourne, Australia.

17. Igarashi, Y., Y. Zaizen, H. Naoe, M. Kajino, K. Adachi, Aerosol research using electron microscope and mountain platform, Fifth Korea-Japan-China Joint Conference, October 2011, Busan, Korea.
18. Naoe, H., K. Yanagida, Y. Zaizen, M. Kajino, and K. Okada, Mixing states of aerosol particles at a mountain observation site Mt. Kiso-Komagatake, Japan: a case study in spring, American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, December 2011, San Francisco, USA.
19. Inomata, Y., M. Kajino, K. Sato, T. Ohara, J.-I. Kurokawa, H. Ueda, N. Tang, K. Hayakawa, T. Ohizumi, and H. Akimoto, Transport and deposition of PAHs in East Asia using Regional Emission Inventory in ASia (REAS) and Regional Air Quality Model (RAQM) for POP version, 2011 AGU Fall Meeting, December 2011, San Francisco, USA.
20. Naoe, H., Y. Zaizen, K. Yanagida, H. Takahashi, and Y. Igarashi, Mixing states of aerosol particles at Mt. Hotaka, Japan: a case study in winter, 92nd American Meteorological Society (AMS) Annual Meeting, January, 2012, New Orleans, USA.
21. Zaizen, Y. and H. Naoe, Mixing state of soot collected at mountain sites in Japan, 92nd AMS Annual Meeting, January, 2012, New Orleans, USA.
22. Naoe, H., and K. Okada, Mixing state of atmospheric black carbon particles and its effect on particulate light absorption, International symposium on aerosol studies explored by electron microscopy, February, 2012, Tsukuba, Japan.
23. Zaizen, Y., H. Naoe, H. Takahashi and K. Okada, Fine mineral aerosols collected in Japan during two Asian dust events: Size distributions and mixing properties, International symposium on aerosol studies explored by electron microscopy, February, 2012, Tsukuba, Japan.
24. Yamamoto, Y., Toyoda, S., Nagashima, K., Tada, R., Igarashi, Y., Temporal change of the sources of aeolian dust delivered to Japan, Japan Geoscience Union Meeting 2012, May 2012, Makuhari, Chiba.
25. Yamashiki, Y., Wakahara, T., Onda, Y., Igarashi, Y., Takahashi, Y., Tanaka, K., Tachikawa, Y. and Shiiba, M., Estimation of Radioactive Contaminant Load from Abukuma River, Japan Geoscience Union Meeting 2012, May 2012, Makuhari, Chiba.
26. Hada, M., Tsujimura, M., Onda, Y., Ishwar, P. and Igarashi, Y., Measurements of Cs-134 and Cs-137 released by Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant in stream water and spring water, Japan Geoscience Union Meeting 2012, May 2012, Makuhari, Chiba.
27. Adachi, K., Y. Zaizen and Y. Igarashi, Mixing state of soot particles analyzed using transmission electron microscopy, American Geophysical Union 2012 Fall Meeting, December 2012, San Francisco, USA.
28. Buseck, P. R., K. Adachi and M. Posfai, Black Carbon, Aerosols, and the Tooth Fairy, American Geophysical Union 2012 Fall Meeting, December 2012, San Francisco, USA.
29. Kajino, M., S. J. Ghan and R. C. Easter. Modal Bin Hybrid Model: a surface area consistent, triple moment sectional method for use in process-oriented modeling of atmospheric aerosols, 2012 American Geophysical Union fall meeting, December 2012, San Francisco, USA.
30. Adachi, K., Yuji Zaizen, Yasuhito Igarashi, Hiroshi Sakou and Tohru Kimura, Imaging of

radioactive material and its host particle from the nuclear power plant accident in Japan by using imaging plate and electron microscopy, European Geosciences Union General Assembly 2013, April 2013, Wien, Austria.

31. Igarashi, Y., Mizuo Kajino, Yuji Zaizen, Adachi, K and Masao Mikami, Kazuyuki Kita, Yuko Hatano, Atmospheric Radionuclides from the Fukushima Nuclear Accident－Two years observations in Tsukuba, Japan, European Geosciences Union General Assembly 2013, April 2013, Wien, Austria.
32. Kita, K., R. Kasahara, M. Tanaka, K. Sato, H. Demizu, Y. Igarashi, M. Mikami, N. Yoshida, S. Toyoda, H. Tsuruta, M. Uematsu, S. Hgaki, A. Shinohara, A. Watanabe, H. Nagabayashi, A. Yokoyama, M. Takigawa, S. Sugawara, K. Sueki, and Y. Onda, Variation of atmospheric concentarations of I-131, Cs-134 and Cs-137 observed over eastren Japan: contribution of leakage from Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant and secondary emission from soil and vegetation, European Geosciences Union General Assembly 2013, April 2013, Wien, Austria.
33. Maki, T., T. Tanaka, M. Kajino, T. Sekiyama, Y. Igarashi, and M. Mikami, The time series analysis of the radionuclide emissions from Fukushima Daiichi nuclear power plant by online global chemistry transport model and inverse model, European Geosciences Union General Assembly 2013, April 2013, Wien, Austria.
34. Igarashi, Y., K. Adachi, T. Tanaka, M. Kajino, T. Sekiyama, T. Maki, Y. Zaizen, and M. Mikami, Research on Atmospheric Radionuclides from the Fukushima Nuclear Accident at the MRI, Japan, The 5th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC13), September 2013, Kanazawa, Japan.
35. Igarashi, Y., K. Adachi, Y. Zaizen, and M. Kajino, Construction trial of the electron-microscopic aerosol database, Sixth China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology, October 2013, Nanjing, China.
36. Adachi, K., N. Moteki, Y. Kondo, and Y. Igarashi, Mixing states of soot and BC particles measured using transmission electron microscope (TEM) and single particle soot photometer (SP2), American Geophysical Union 2013 Fall Meeting, December 2013, San Francisco, USA.
37. Sedlacek III, A. J., L. Kleinman, K. Adachi, W. P. Arnott P. R. Buseck, S. Collier, A. Freedman, D. Jaffe, E. R. Lewis, T. B. Onasch, M. Pikridas, J. E. Shilling, S. R. Springston, J. Wang, R. J. Yokelson, N. Wigder, Q. Zhang, and S. Zhou, Near-Field Evolution of Biomass Burning Aerosols, American Geophysical Union 2013 Fall Meeting, December 2013, San Francisco, USA.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：42 件

1. 五十嵐康人, 藤原英司, ジュグダー・デュラーム, モンゴル表土中の人工放射性核種と降水量との関係から推定した黄砂発生地域の変動, 日本気象学会 2010 年度春季大会, 2010 年 5 月, 東京.
2. 財前祐二, 岡田菊夫, 高橋宙, 直江寛明, 不揮発性エアロゾルの内部混合比率と揮発性シェルの厚さについてーつくばでの夏と冬の違い, 日本気象学会 2010 年春季大会, 2010 年 5 月, 東京.
3. 財前祐二, 内山明博, 山崎明宏, 岡田菊夫, 皆巳幸也, 林政彦, 乾燥大気中における煤と硫酸塩の内部混合エアロゾル粒子, 日本気象学会 2009 年度春季大会, 2009 年 5 月, 東京.
4. 高橋宙, 財前祐二, 中村美樹, 五十嵐康人, 内山明博, 山崎明宏, 岡田菊夫, 林政彦,黄砂時における粗大エアロゾル粒子の混合状態と吸湿特性, 日本気象学会 2009 年度春季大会, 2009 年 5 月, 東京.
5. 猪股弥生, 五十嵐康人, つくばにおけるダスト沈着量の季節・年々変動：アジア大陸におけるダスト放出量変動との関連, 日本気象学会 2009 年度春季大会, 2009 年 5 月, 東京.

6. 五十嵐康人，高橋宙，財前祐二，藤原英司，小林拓，溝武志，サイクロンを利用した表土分粒の試み 数 μm ダストのグラム分取，第 26 回エアロゾル科学･技術研究討論会，2009 年 8 月，岡山理科大.
7. 猪股弥生，高橋宙，五十嵐康人，つくばにおけるエアロゾル濃度変動解析，第 26 回エアロゾル科学･技術研究討論会，2009 年 8 月，岡山理科大.
8. 高橋宙，猪股弥生，五十嵐康人，財前祐二，杉本伸夫，小林拓，榛名山における山岳大気観測と平野観測の比較，第 26 回エアロゾル科学･技術研究討論会，2009 年 8 月，岡山理科大.
9. 玉置晴朗，矢澤正人，高橋宙，酒井直樹，植竹政樹，福囿輝旗，松本健作，警報と観測のためのスペクトラム拡散・長距離通信技術の野外実験，第 2 回砂防学会技術研究会，2009 年 5 月，広島.
10. 皆巳幸也，五十村紗知，財前祐二，高橋宙，岡田菊夫，酒井哲，能登半島における降水による黄砂粒子の洗浄，大気環境学会 2009 年大会，2009 年
11. 高橋宙，猪股弥生，五十嵐康人，財前祐二，杉本伸夫，小林拓，榛名山における山岳大気観測と平野観測の比較， 第 7 回環境研究機関連絡会成果発表会，2009 年 11 月，一橋記念講堂，東京.
12. 高橋宙，五十嵐康人，財前祐二，猪股弥生，小林拓，杉本伸夫，複数山岳におけるエアロゾル同期観測，日本気象学会 2010 年度春季大会，2010 年 5 月，東京.
13. 直江寛明，海塩粒子が酸性化に要する時間とライフタイムとの関係，日本気象学会 2010 年春季大会，2010 年 5 月，東京.
14. 遠山知亜紀，村松康行，五十嵐康人，松崎浩之，東京における大気降下物中の 129I/127I の経年変化（1963 年から 2000 年），第 23 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会，2010 年 7 月，東京.
15. 五十嵐康人，藤原英司，ジュグダー･ジュラーム，風で輸送され得る粒径まで分粒したモンゴル表土中の人工放射性核種，第 27 回エアロゾル科学･技術検討討論会，2010 年 8 月，名古屋.
16. 財前祐二，直江寛明，高橋宙，五十嵐康人，杉本伸夫，冬季新穂高ロープウェイ駅で採取されたエアロゾル粒子の特徴，第 27 回エアロゾル科学･技術研究討論会，2010 年 8 月，名古屋.
17. 直江寛明，Size dependency of sea-salt aerosol alkalinity titration by acid gases in the remote marine boundary layer，第 27 回エアロゾル科学・技術研究討論会，2010 年 8 月，名古屋.
18. 遠山知亜紀，内田悠香，伊藤絵理佳，村松康行，五十嵐康人，松崎浩之，AMS を用いた東京・秋田における大気降下物中,129I/127I の経年変化，2010 日本放射化学会年会・第 54 回放射化学討論会，2010 年 9 月，大阪市.
19. 松本祐介，木川田喜一，大井隆夫，赤峰生朗，廣瀬勝己，五十嵐康人，藤原英司，野村雅夫，Jugder Dulam，国内大気降下物に見出された濃縮ウランの起源に関する予察的考察，2010 年度日本地球化学会年会，2010 年 9 月，熊谷市.
20. 廣瀬勝己，木川田喜一，五十嵐康人，つくばにおける降下物中のトリウム同位体の長期挙動について，2010 年度日本地球化学会年会，2010 年 9 月，熊谷市.
21. 財前祐二，直江寛明，高橋宙，五十嵐康人，2010 年 3 月の黄砂とそのプレイベント時に採取されたエアロゾル粒子の特徴，日本気象学会 2010 年秋季大会，2010 年 10 月，京都.
22. 直江寛明，財前祐二，高橋宙，五十嵐康人，千畳敷・榛名・穂高・つくばで観測された 2010 年 3 月の黄砂現象，日本気象学会 2010 年秋季大会，2010 年 10 月，京都.
23. 猪股弥生，梶野瑞王，佐藤啓市，植田洋匡，早川和一，唐寧，黒川純一，大原利眞，大泉毅，秋元肇，領域モデル(RAQM-POPs)を用いた東アジアにおける多環芳香族炭化水素濃度の時空間変動解析，第 51 回大気環境学会年会，2010 年 9 月，大阪.
24. 直江寛明，財前祐二，高橋宙，五十嵐康人，冬季新穂高で採集されたエアロゾル粒子の混合状態，日本気象学会 2011 年春季大会，2011 年 5 月，東京.
25. 財前祐二，岡田菊夫，直江寛明，高橋宙,「エアロゾル粒子の加熱による形態変化」日本気象学

会 2011 年度春季大会，2011 年 5 月，東京.
26. 財前祐二, 直江寛明, 高橋宙,「黄砂イベントにおける微小鉱物粒子の粒径分布と混合状態」 日本気象学会 2011 年度春季大会，2011 年 5 月，東京.
27. 猪股弥生，梶野瑞王，佐藤啓市，大原利眞，黒川純一，唐寧，早川和一，植田洋匡，大泉毅，秋元肇「RAQM-POP モデルによる北東アジアにおける多環芳香族炭化水素の濃度および沈着量の変動解析」，第 52 回大気環境学会，2011 年 9 月，長崎.
28. 梶野瑞王，出牛真，眞木貴史，青柳曉典，田中泰宙，関山剛，大島長，五十嵐康人，三上正男，猪股弥生，堅田元喜,「気象研パッシブトレーサーモデル（MRI-PM）の開発」，第 17 回大気化学討論会，2011 年 10 月，京都大学宇治キャンパス.
29. 田中泰宙, 関山剛, Jung-Yoon Kang, 眞木貴史, 三上正男: 次期全球エーロゾル予測モデルの開発: エーロゾル予測の高度化に向けて, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 11 月，名古屋大学.
30. 直江寛明, 財前祐二, 柳田佳世, 高橋宙, 五十嵐康人, 「冬季新穂高で観測されたエアロゾル粒子の組成と混合状態」, 日本気象学会 2011 年秋季大会, 2011 年 11 月, 名古屋大学.
31. 鍋島一真，五十嵐康人，岩井和加里，佐向洋，「福島第一原子力発電所から放出された放射性セシウムの大気中濃度・降下量と減衰」, 第 13 回「環境放射能」研究会, 2012 年 3 月，つくば，茨城.
32. 五十嵐康人, 財前裕二, 直江寛明, 梶野瑞王, 岩井和加里, 鍋島一真，茨城県つくば市で福島事故後に観測された人工放射能降下量，日本気象学会 2012 年度春季大会，2012 年 5 月，つくば.
33. 財前祐二, 足立光司, 五十嵐康人, つくばで観測された超微粒子の日変化, 日本気象学会 2012 年度春季大会，2012 年 5 月，つくば.
34. 足立光司, 五十嵐康人, R. Buseck, カリフォルニアで採取された“すす粒子”の形態及び混合状態の日変化, 日本気象学会 2012 年度春季大会，2012 年 5 月，つくば.
35. 財前祐二, 足立光司, 五十嵐康人, つくばでの個別粒子分析によるエアロゾル組成モニタリングの試み, 第 29 回エアロゾル科学・技術研究討論会，2012 年 8 月，北九州.
36. 財前祐二, 足立光司, 五十嵐康人, モンテカルロ法によるエアロゾル粒子個別分析の試み, 日本気象学会 2012 年度秋季大会，2012 年 10 月，北海道大学.
37. 五十嵐康人, 財前祐二, 梶野瑞王, 足立光司, 福島事故後のつくばにおける降下量, 大気中放射能濃度の推移, 第 14 回「環境放射能」研究会，2013 年 2 月，つくば市.
38. 足立光司, 財前祐二, 五十嵐康人, 電子顕微鏡とイメージングプレートを用いた原発事故由来放射性物質の分析, 第 14 回「環境放射能」研究会，2013 年 2 月，つくば市.
39. 財前祐二, 足立光司, 五十嵐康人, 中部山岳サイトで観測された東アジアからの人為起源エアロゾル, 日本気象学会 2013 年度春季大会，2013 年 5 月，東京.
40. 五十嵐康人，足立光司，田中泰宙，梶野瑞王，関山剛，眞木貴史，財前祐二，三上正男，電子顕微鏡データの活用：エアロゾルデータベース構築の試み，第 30 回エアロゾル科学・技術研究討論会，2013 年 8 月，京都.
41. 五十嵐康人，財前祐二，足立光司，梶野瑞王，羽田野祐子，北和之，福島第一原発事故による大気環境影響の研究：つくばでの 2 か年にわたる観測，第 30 回エアロゾル科学・技術研究討論会，2013 年 8 月，京都.
42. 財前祐二, 足立光司, 五十嵐康人, 関東での 2013 年冬季-春季の大気エアロゾル個別粒子の特徴, 第 30 回エアロゾル科学・技術討論会，2013 年 8 月，京都.

衛星データの利用技術に関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：増田一彦（気象衛星・観測システム研究部第一研究室長）

研究担当者
増田一彦、角村悟[1)]、石元裕史、真野裕三、岡本幸三（気象衛星・観測システム研究部）

研究の目的
近年運用が開始された多波長赤外サウンダのデータを全球数値予報モデルの初期値作成に導入しその予報精度を改善させるための基盤技術を強化することが本研究の目的である。

研究の動機・背景
近年運用が開始された多波長赤外サウンダのデータを全球数値予報モデルの初期値作成に導入しその予報精度を改善させるための、基盤技術を強化することが本研究の目的である。
放射伝達モデルは衛星データ処理の基本ツールであり、多波長赤外サウンダやマイクロ波サウンダの放射伝達モデルを自主開発しているが、雲粒や雪片の導入など、さらに性能を高めてゆく必要がある。また、放射伝達モデルや大気プロファイル推定アルゴリズムの性能評価を行うことも重要な課題である。さらに、衛星観測データをより効率的に利用するために、チャネル合成手法などの高度なデータ利用技術に関する研究を進める必要がある。

研究の成果の到達目標
数値予報モデルの将来の更なる初期値改善に向けての基盤技術を強化するために、次の 3 項目について研究を実施する。
① 多波長サウンダによる大気プロファイル推定に必要な放射伝達モデルの開発
② ①を基にした多波長サウンダによる大気プロファイル推定技術の開発
③ 多波長赤外サウンダのより高度な利用技術に関する研究

（用語に関する注釈）
本研究評価シートでは、「多波長サウンダ」は波長数が 10 程度以上の赤外やマイクロ波の放射計を総称するものとする。たとえば AMSU や地上設置型マイクロ波放射計が含まれる。一方、「多波長赤外サウンダ」は波長数が 1000 を超えるような赤外サウンダであり、「ハイパースペクトル赤外サウンダ」、「ハイパーサウンダ」とも記す。たとえば、AIRS、IASI が含まれる。

研究結果
（成果の概要）
① 多波長サウンダによる大気プロファイル推定に必要な放射伝達モデルの開発
ア）放射伝達モデルにおける粒子の散乱・吸収計算を精緻化するために、雲・雪粒子の形状のフラクタル構造を使ったモデル化を行い、散乱分布関数の計算を行った。その結果は、衛星マイクロ波データ解析の放射伝達モデルに実装され衛星からの降水量推定の改善に寄与した。
イ）強い対流性の雲に特徴的である複雑な凝集体形状の氷粒子モデルとして、航空機観測等によって得られたサイズ－形状特性を満足する粒子形状モデル（ボロノイ凝集体モデル）を開発した。この粒子モデルの散乱特性を FDTD 法および改良型幾何光学近似法で計算した結果、位相関数や非対称性因子が衛星および地上観測などから推定されている平均的な雲氷の散乱特性に近いことがわかった。

[1)]平成 24 年度～平成 25 年度

ウ）回折格子型赤外サウンダ AIRS に対応して開発した放射伝達モデル(MITRAN)を干渉計型サウンダ IASI にも対応できるように拡張した。併せて、放射輝度の計算精度を向上させるために、吸収線データベース（HITRAN）の改訂への対応と海面での多重反射を導入することによる海面射出率モデルの改良を行った。

エ）ハイパースペクトル赤外サウンダ(IASI, AIRS)のヤコビアンについて、MITRAN と現業で利用されている放射伝達モデル(RTTOV)の比較を行った。両者はほぼ一致しているが、大気最上層においての RTTOV の結果は MITRAN と比べて系統的に大きい値を示すことが分かった。

オ）多波長マイクロ波サウンダの放射伝達モデルの開発・改良を行い、地上設置型マイクロ波放射計のデータ同化アルゴリズムに実装した。

② ①を基にした多波長サウンダによる大気プロファイル推定技術の開発

ア）MITRANを使ってAIRS/Aquaデータから求めた海域および陸域での水蒸気の鉛直分布を求めた。水蒸気ラマンライダーによる観測値と比較した結果は、おおむね良い一致を示した。また、陸域においては適切な陸面射出率モデルを利用することの重要性も明らかになった。

イ）多波長赤外サウンダ AIRS について、陸域や下層雲より上の晴天領域に対する水蒸気のリトリーバルが行えるアルゴリズムを開発し MITRAN を用いて解析を実施した。この処理によって解析対象領域は晴天海域のみの場合の約 4 倍になり、またこれまでの衛星観測からでは明瞭でなかった詳細な水蒸気の水平・鉛直分布や氷雲周辺域での水蒸気過飽和が推定可能になった。

③ 多波長赤外サウンダのより高度な利用技術に関する研究

ア）ハイパースペクトル赤外サウンダ Aqua/AIRS の模擬データを使って、主成分を利用したチャネル合成手法の有効性を示した。

イ）ハイパースペクトル赤外サウンダのチャネル間の透過率の相関関係を調べた。その結果、サウンディングに使用しているチャネルの約 3 割は他チャネルから透過率を推定可能で、高速放射モデルの計算効率改善に利用できることが分かった。干渉計型サウンダ IASI の場合、計算時間は概ね 50%減少した。

ウ）一般的な雲域（多層雲・薄い雲領域）で赤外輝度温度を同化するため、ECMWF システムを用いた観測・モデルの（誤差）特性調査や、一点同化実験、線形誤差推定理論に基づく雲域 IASI データの情報量の調査を行った。この中で雲の効果を適切に見積もるパラメータを考案し、それに基づいた誤差推定を行うことにより、O-B（観測値―計算値）がガウス分布となることが分かった。この結果を用いることにより、同化処理に置いて、雲に応じた動的な観測誤差推定や品質管理などが可能となることが分かった。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

本研究は平成 22 年度からの 5 年計画で開始された「衛星データの利用技術に関する研究」

副課題１　衛星サウンダの数値予報モデルでの利用技術に関する研究（重点）

副課題２　衛星サウンダ利用の基盤技術に関する研究（基礎・基盤）

の副課題２に相当する。以下にその経緯を記しておく。

当初計画の第一、二年度において、本庁で開発・利用されている全球大気同化システムの気象研究所への移植を関連研究部と協力して実施した。同全球大気データ同化システムを中核として、平成 23 年度から新規課題「全球大気データ同化の高度化に関する研究」（重点）が開始され、（副課題１）「衛星サウンダの数値予報モデルでの利用技術に関する研究」の全球大気データ同化にかかわる主要部分は、同新規課題の副課題「衛星データ同化技術の高度化に関する研究」に移行した。その結果、当初計画の（副課題２）衛星サウンダ利用の基盤技術に関する研究（基礎・基盤）が「衛星データの利用技術に関する研究」（基礎・基盤）として継続して実施されることとなった。

成果の他の研究への波及状況

・ 非球形粒子の形状のモデリング技術は、「エーロゾル・雲・微量気体に関する衛星リモートセンシングの数値モデルへの活用のための基礎研究（研究代表者：真野裕三）」、「地上観測による大気要素の放射収支の影響の実態解明に関する研究（研究代表者：内山明博）」、「意図的・非

意図的気象改変に関する研究（研究代表者：村上正隆）」、「エーロゾルー雪氷相互作用に関する研究（研究代表者：青木輝夫）」において、雲・エーロゾル、雪面等のリモートセンシングの高度化に寄与した。また、JAXA 公募「マイクロ波放射計輝度温度の新しい前方計算法の開発（H22-24、研究代表者：青梨和正）」、「AMSR2 用のマイクロ波降水リトリーバルアルゴリズムの改良（H23-25、研究代表者：青梨和正）」のデータ解析システムに実装され、衛星からの降水量推定の改善に成果をあげた。

・ 開発した多波長マイクロ波サウンダの放射伝達モデルは、地上設置型マイクロ波放射計のデータ同化アルゴリズムに実装され、「メソスケールデータ同化とアンサンブル予報に関する研究（研究代表者：斉藤和雄）」の推進に寄与した。
・ 放射伝達モデル(MITRAN)は、「全球大気データ同化の高度化に関する研究（研究代表者：青梨和正）」において、主成分を利用したハイパースペクトル赤外サウンダによる効率的な気温・水蒸気のリトリーバル手法の研究に活用された。

今後の課題

本研究では、数値予報モデルの将来の更なる初期値改善に向けての様々な成果が得られた。特に、雲域でのハイパースペクトル赤外サウンダの利用に関する基盤技術が強化されたことから、その技術を発展させ、雲域さらには降水域での衛星データ同化の実践へと進むことが望まれる。

また、放射伝達モデルの開発・改良に関連して進められた非球形粒子の形状のモデリング技術は、多波長化などで大きく機能が向上する次期ひまわり衛星による雲やエーロゾルのプロダクトの改良への活用が期待される。

自己点検

（1）到達目標に対する達成度

項目①、放射伝達モデル(MITRAN)の改善が着実に進展、所内の他の研究課題での活用も進んだ。また、放射伝達モデルを精緻化するために開発した非球形粒子モデルは各種リモートセンシングの高度化に寄与した。以上のことから、目標達成度は高いと考える。

項目②、MITRAN を利用して、水蒸気のプロファイルの推定技術についての知見が強化されたことから、達成度は満足できるものと判断している。

項目③、論文発表などで研究成果が適切に公表されている。特に、世界的にも精力的に研究が継続中の、多層雲や薄い雲域などでの赤外輝度温度の同化に関する知見が強化されたことから、達成度は高いといえる。

（2）研究手法及び到達目標の設定の妥当性

放射伝達プログラムの開発・改良、衛星データや地上観測データの事例解析を中心に研究を行った。研究成果は論文や学会等で適宜公表され、所内の他の研究課題や本庁等関連部署での利活用も進んでいることから、研究手法・目標設定は妥当であったといえる。

（3）成果の施策への活用・学術的意義

① ハイパースペクトル赤外サウンダのデータ同化について、雲域でのデータ利用の現状と問題点を中心に、数値予報課報告・別冊 57 号で報告した。
② 開発中の放射伝達モデル(MITRAN)は現業で利用されている放射伝達モデル(RTTOV)との相互検証などに利用され、その結果を数値予報課の担当者に情報提供した。
③ 放射伝達モデルに関連して改良した赤外海面射出率モデルは、気象衛星センターにおける海面温度推定アルゴリズムの改良に組み込まれ、その結果、現行アルゴリズムで問題になっている各種バイアスが解消されつつある。
④ 非球形粒子の形状モデルの開発は他の多くの研究課題にも活用され、雲・エーロゾル等のリモートセンシングの高度化に寄与するものである。また、「気象研究ノート」への掲載にみられるように、我が国のこの分野をリードするものであり学術的意義も大きいといえる。
⑤ 多層雲・薄い雲領域における赤外雲域輝度温度同化に関する研究成果は、関連分野で世界を

リードする欧州中期予報センター(ECMWF)の研究者との共著で論文発表がされ、学術的意義が高いものである。

（補足）

平成 21－22 年度に当初計画の（副課題１）「衛星サウンダの数値予報モデルでの利用技術に関する研究」において行ったハイパースペクトル赤外サウンダ（IASI）の最適チャネルの選択結果は、気象庁モデル技術開発推進本部の衛星サブグループの課題（ハイパースペクトル赤外サウンダ（AIRS, IASI）の全球モデルでの同化）推進に活用された。

（４）総合評価

研究成果は次項に示すように論文や学会等で適宜公表され、所内の他の研究課題や本庁等関連部署での活用が進んでいることから、研究は総合的にみて順調に進んだと判断している。

気象研究所評価委員会による終了時評価

１．総合評価

優れた研究であった。

２．総合所見

本研究により、雲・雪・氷粒子の光学モデル、多波長サウンダのアルゴリズムと大気プロファイル推定技術、多波長赤外サウンダのデータ同化技術など、着実に基礎･基盤的技術開発を進め、成果を上げている。

当初計画のうち、数値予報モデルでの衛星データの利用技術に関しては、重点研究課題「全球大気データ同化の高度化に関する研究」に移行し、衛星データ利用技術に関して重要な放射伝達モデルの開発と多波長サウンダ利用技術に関して一定の成果が得られた。

特に、光学モデルの開発では、非球形粒子による散乱を扱えるよう放射計算での非球形効果の影響を取り入れることを可能にし、科学的意義があったほか、所内のエーロゾル・雲に関する研究課題で利用されるなど、他の研究への貢献も大であった。

査読論文は８編（うち７編が国際誌での主著者原著論文）であった。少人数の研究体制ではあるが、基礎的研究であることから、更に積極的な取組みを求める。

本研究における成果は、次期静止気象衛星ひまわりの観測データの高度利用のための技術的基盤となることから、引き続き、次期中期研究計画での重点研究の副課題として衛星利用技術の高度化研究を発展させ、ひまわりの多チャンネル観測データを気象業務に活用するためのプロダクト開発を含む研究に取り組んで欲しい。また、雲・降水域でのリトリーバルや多層雲、薄い雲域での赤外輝度温度の同化は、最先端の研究であり、今後の発展に期待する。

成果発表一覧

査読論文　：8 件

1. Mano, Y. , 2009 :Maximum information composite channels of a high-resolution satellite sounder. Papers in Meteorology and Geophysics , 60, 1-6, doi:10.2467/mripapers.60.1.
2. Ishimoto, H. , 2009 :Retrieval of upper tropospheric relative humidity profiles over low clouds from the Atmospheric Infrared Sounder. Geophysical Research Letters , 36, L11814, doi:10.1029/2009GL037665.
3. Ishimoto H., Zaizen Y., Uchiyama A., Masuda K., Mano Y., 2010: Shape modeling of mineral dust particles for light-scattering calculations using the spatial Poisson-Voronoi tessellation, Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer , 111, 2434-2443.
4. Mano, Y. , 2011 : Inter-channel correlation of transmittances in a high-resolution satellite sounder. Papers in Meteorology and Geophysics , 62, 57-62, doi:10.2467/mripapers.62.57.
5. Masuda, K., 2012: Influence of wind direction on the infrared sea surface emissivity model

including multiple reflection effect. Papers in Meteorology and Geophysics, 63, 1-13.
6. Ishimoto H., Masuda K., Mano Y., Orikasa N., Uchiyama A. 2012: Irregularly shaped ice aggregates in optical modeling of convectively generated ice clouds. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer , 113, 632-643.
7. Ishimoto H., Masuda K., Mano Y., Orikasa N., Uchiyama A. 2012: Optical modeling of irregularly shaped particles in convective cirrus. Proceedings of the International Radiation Symposium (IRS2012), in press.
8. Okamoto K., McNally A.P., Bell W. 2013: Progress towards the assimilation of all-sky infrared radiances: an evaluation of cloud effects. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, doi:10.1002/qj.2242.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：10 件

1. Okamoto, K., M. Kazumori, T. Egawa, T. Ishibashi, H. Owada, A. Murata, and H. Nishihata, 2010: Recent development of satellite data assimilation at JMA. Proceedings of The 17th International TOVS Study Conferences, Monterey, USA, 14–20 April 2010.
2. 岡本幸三, 2011: 衛星データ同化に関する諸外国の状況, 数値予報課報告・別冊 57 号, 第 1.3 節, 7-10.
3. 岡本幸三, 2011: 衛星データの高度利用に向けて, 数値予報課報告・別冊 57 号, 第 1.5 節, 18-24.
4. 岡本幸三, 2011: ハイパースペクトル赤外サウンダ, 数値予報課報告・別冊 57 号, 第 2.1 節, 25-36.
5. 岡本幸三, 2011: 赤外雲域同化, 数値予報課報告・別冊 57 号, 第 2.6 節, 84-92.
6. 増田一彦, 石元裕史, 岡本幸三, 真野裕三, 2011: 衛星データ利用技術に関する研究, 平成 22 年度気象研究所研究成果発表会発表要旨集, 8-9.
7. 石元裕史, 2011: 複雑形状粒子のモデル化, 気象研究ノート 223 号, 第 4.5 節, 108-115.
8. Ishimoto H., Zaizen Y., Masuda K., Mano Y., Uchiyama A. 2013: Shape modeling of dust and soot particles for remote sensing applications considering the geometrical features of sampled aerosols. Technical Reports of the Meteorological Research Institute, No.68, 40-43.
9. Okamoto, K, T. McNally and W. Bell, 2012: Cloud information from high spectral resolution IR sounders, EUMETSAT NWP SAF Visiting Scientist Report, NWPSAF-EC-VS-022,http://research.metoffice.gov.uk/research/interproj/nwpsaf/vs_reports/nwpsaf-ec-vs-022.pdf, pp. 34.
10. 笹野泰弘, 祖父江真一, 江淵直人, 岡本幸三, 佐藤正樹, 沢田治雄, 中村健治, 早坂忠裕, 本多嘉明, 2013: わが国の今後の衛星観測計画について, 天気, 60, 433-444.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：6 件

1. Ishimoto H., Zaizen Y., Uchiyama A., Masuda K., Mano Y., 2010: Voronoi aggregates for a shape model of mineral dust particles, 2010 APRS (Asia-Pacific Radiation Symposium), Seoul, O5_02.
2. Ishimoto H., 2013: Numerical simulations of melting snowflakes by using Moving Particle Semi-Implicit (MPS) method, Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly 2013, Davos, A-544-0057-01200.
3. Okamoto, K., Y.Sato, H. Owada, M. Kazumori, A. Okagaki, M. Moriya, 2013: Recent development of satellite data assimilation at JMA. Expert meeting on satellite data assimilation, Seoul, Korea, 29 October - 1 November 2013.
4. Okamoto, K., K. Yamashita, 2013: Assimilation of geostationary satellite at JMA. Expert meeting on satellite data assimilation, Seoul, Korea, 29 October - 1 November 2013.

5. Okamoto, K., 2013: Assimilation of cloudy radiances from satellite infrared imagers and sounders. Expert meeting on satellite data assimilation, Seoul, Korea, 29 October - 1 November 2013.
6. Okamoto, K., T. McNally, W. Bell, 2013: Assimilation of cloudy radiances from satellite infrared imagers and sounders. AICS international workshop on data assimilation, Kobe, Japan, 26-27 February 2013.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：10 件

1. 青梨和正, 永戸久喜, 石元裕史, 今岡啓治, 劉國勝, 2009: GCOM-W とマイクロ波降水強度リトリーバルアルゴリズムの開発. 日本気象学会 2009 年度春季大会講演予稿集, P41.
2. 青梨和正, 永戸久喜, 石元裕史, 今岡啓治, 劉國勝, 2009:マイクロ放射計の高周波の輝度温度とその前方計算法の開発. 日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, P324.
3. 上清直隆, 真野裕三, 2009: ハイパースペクトル赤外サウンダの再編成チャネルの有効性について. 日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, P325.
4. 岡本幸三, 西畑秀則, 2010: 雲・降水域の衛星輝度温度データの同化に向けて, 日本気象学会 2010 年度秋季大会講演予稿集, P41.
5. 青梨和正, 石元裕史, 2010: 新しい陸上のマイクロ波放射計降水リトリーバルアルゴリズムの開発（その 1）, 日本気象学会 2010 年度秋季大会講演予稿集, P287.
6. 石元裕史, 2011: 降雪粒子のモデリング. 防災科学技術研究所 降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究（第 9 回）講演 Abstract 集, P5.
7. 石元裕史, 2013: MPS 法を用いた氷粒子の融解シミュレーション, 日本気象学会 2013 年度春季大会講演予稿集, P259.
8. 石元裕史, 岡本幸三, 岡本 創, 佐藤可織, 2013: 赤外サウンダ AIRS 輝度温度データの 1D-Var 解析から求まる対流圏中層の水蒸気場, 日本気象学会 2013 年度秋季大会講演予稿集, P588.
9. 石元裕史, 2013: マイクロ波リモートセンシングを目的とした、MPS 法による落下氷粒子の融解シミュレーション, 防災科学技術研究所 降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究（第１２回）講演 Abstract 集, P3.
10. 岡本幸三, 2013: 気象庁における地球観測衛星データの利用. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, 2013 年 5 月 20 日

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：3 件

1. Ishimoto H., Masuda K., Mano Y., Orikasa N., Uchiyama A., 2011: Irregularly shaped ice aggregates in optical modeling of convective ice clouds, World Climate Research Program (WCRP) Open Science Conference, M40B.
2. Ishimoto H., Aonashi K., 2012: Microwave scattering properties of complex shaped snowflakes, AGU Chapman Conference on Remote Sensing of the Terrestrial Water Cycle, Kona.
3. Ishimoto H., Masuda K., Mano Y., Orikasa N., Uchiyama A., Optical modeling of irregularly shaped ice particles in convective cirrus, International Radiation Symposium 2012, August 2012, Berlin, Germany.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：13 件

1. 増田一彦, 岡本幸三, 2009: ハイパースペクトル赤外サウンダとマイクロ波サウンダの複合利用. 日本気象学会 2009 年度春季大会講演予稿集, P328.
2. 岡本幸三, 増田一彦, 2009: ハイパースペクトル赤外サウンダの輝度温度の同化（３）—Aqua/AIRS と Metop/IASI の同化—. 日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, P454.
3. 増田一彦, 石元裕史, 真野裕三, 2009: ボロノイ型氷晶粒子の散乱分布関数, 日本気象学会

2009 年度秋季大会講演予稿集, P463.
4. 石元裕史, 橋本明弘, 川畑拓矢, 村上正隆, 2009: 地上多波長マイクロ波放射計による雲域での温度・水蒸気 1D-Var リトリーバル. 日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, P348.
5. 石元裕史, 青梨和正, 折笠成宏, 村上正隆, 2009: 2DP データを用いた雪片形状の推定. 日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, P448.
6. 真野裕三, 2009: 高波数分解能の衛星サウンダーにおける透過率のチャネル間相関. 日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, P465.
7. 青梨和正, 永戸久喜, 石元裕史, 2010: 非球形固体降水粒子のマイクロ波特性の導入による GSMaP 前方計算法の改良, 日本気象学会 2010 年度春季大会講演予稿集, P329.
8. 増田一彦, 岡本幸三, 2010: IASI の最適チャネル選択におけるアポダイゼーションの影響, 日本気象学会 2010 年度秋季大会講演予稿集, P522.
9. 真野裕三, 酒井哲, 永井智広, 2010: 衛星サウンダーによる陸上の水蒸気分布と水蒸気ライダー観測値との比較, 日本気象学会 2010 年度秋季大会講演予稿集, P523.
10. 岩崎杉紀, 石元裕史, 柴田隆, 2010: 下部成層圏の雲の性質, 日本気象学会 2010 年度秋季大会講演予稿集, P531.
11. 増田一彦, 石元裕史, 真野裕三, 2012: 非球形粒子の赤外域での吸収・散乱特性, 日本気象学会 2012 年度春季大会講演予稿集, P348.
12. 石元裕史, 岡本幸三, 岡本創, 2012: AIRS 輝度温度データを用いた対流圏中層水蒸気プロファイル推定, 日本気象学会 2012 年度秋季大会予稿集, P194.
13. 岡本幸三 他, 2012: 雲・降水域の衛星輝度温度データの同化に向けて（その３）, 日本気象学会 2012 年度秋季大会講演予稿集, P285.

エーロゾル・雲・微量気体に関するリモートセンシング技術の高度化に関する基礎研究

研 究 期 間：平成 22（21）年度～平成 25 年度

研究代表者：真野裕三[1)]（気象衛星・観測システム研究部第三研究室長）、永井智広[2)]（気象衛星・観測システム研究部第三研究室長）

（注）平成 21 年度は、「エーロゾルと雪氷面との相互作用、及びライダーによるエーロゾル・雲・微量気体観測技術の高度化に関する研究（研究代表者 青木輝夫）、副課題２　ライダーによるエーロゾル・雲・微量気体観測技術の高度化に関する研究」（副課題１）及び、「エーロゾル・雲・微量気体に関する衛星リモートセンシングの数値モデルへの活用のための基礎研究（研究代表者 真野裕三）」（副課題２）として実施。

課題構成及び研究担当者

副課題１　ライダーによるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化

真野裕三[1)]、増田一彦[3)]、岡本幸三[3)]、石元裕史[3)]、永井智広、酒井哲、中里真久[4)]（気象衛星・観測システム研究部）

副課題２　衛星によるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化

真野裕三[1)]、増田一彦、岡本幸三、石元裕史、永井智広、酒井哲[3)]（気象衛星・観測システム研究部）

研究の目的

数値予報・環境・気候に関わる物質監視のために、ライダーおよび性能向上が進みつつある地球観測衛星・極軌道気象衛星・静止気象衛星を用いたエーロゾル・雲・微量気体に関する情報抽出技術を高度化し、数値モデル等におけるライダー・衛星データの利用拡大を図る。

研究の動機・背景

副課題１　ライダーによるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化

ライダーによるエーロゾルや雲・微量気体成分の観測は、これらの鉛直分布の高頻度観測データを得る現時点で唯一の観測であり、全球エーロゾル輸送モデルや化学輸送モデルの検証、データ同化による予測精度の向上を図る上で重要な役割が期待されている。このような利用を可能にするため、ライダーシステムとそのデータ処理技術の開発・改良を行い、エーロゾルや巻雲の光学・微物理特性の解明やオゾン等の微量気体成分の観測精度の向上をはかる。

ライダーは、エーロゾル等の鉛直分布を連続的に観測できることから、衛星観測や数値モデルの検証、モデルへのデータ同化に極めて重要である。しかし、ライダーで観測されるエーロゾルの後方散乱係数、偏光解消度等の光学特性は、全球エーロゾル輸送モデルで直接扱われず、そのままでは比較や同化に利用できないため、モデルで取り扱う物理量へ換算する手法の確立が求められている。人為的な汚染物質でもある対流圏オゾンや二酸化窒素、二酸化硫黄などの微量成分は、その起源の識別が必要なだけでなく、化学輸送モデルの検証／データ同化による予報技術の向上のため、ライダーによる鉛直分解能を持つ連続観測が必要である。温暖化物質である対流圏オゾンや二酸化炭素は、地球温暖化の理解のために鉛直分布観測が求められている。

副課題２　衛星によるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化

衛星からのエーロゾルのリモートセンシングは、黄砂や越境汚染等に関連して数値予報モデルや環境監視に重要な情報をもたらす。現在、気象衛星センターでは NOAA 衛星により陸域エーロゾル

[1)]平成 22 年度～平成 24 年度、[2)]平成 25 年度、[3)]平成 24 年度～平成 25 年度、[4)]平成 22 年度

プロダクトおよびNOAA・MTSAT両衛星により海域エーゾルプロダクトを作成している。このうち陸域エーロゾルプロダクトについては誤差が大きく、改良を図る必要がある。また、夜間のエーロゾルについては赤外の輝度温度差による黄砂の検出が行われているがあたりはずれがあり物理的な観点から定量的な研究が求められる。

雲は数値モデルにおいて放射や水循環に重要な役割を果たす。今後、数値モデルにおいて雲物理過程の扱いが進むとともに雲に関する衛星データが必要になると思われる。性能向上が進みつつある地球観測衛星や気象衛星による雲物理量のプロダクト作成の高度化が求められている。

エーロゾル・雲（特に氷雲）のリモートセンシングを行ううえで現在ネックになっているのが非球形粒子の散乱特性を正確に取り入れることである。非球形粒子の電磁波散乱計算手法を高度化させ、その計算結果をデータベース化することが必要である。

多波長サウンダーを利用したオゾン・CO_2等のリトリーバルがECMWF等の数値予報モデルで実験的に進められている。衛星による微量気体の観測は物質輸送モデルへの同化に重要である。

研究の成果の到達目標

ライダーや衛星を用いたエーロゾル、雲、微量気体の観測手法を改良・開発するとともに、観測データを物質輸送モデルで利用する際の評価やモデルの検証を行う。

研究結果

（成果の概要）

ライダーによるエーロゾル・雲の観測技術の高度化については、チェンバー実験、エーロゾルの直接サンプリングや航空機観測の比較を行い、エーロゾルの物理量と光学特性との関係を明らかにした。また、雲水量の観測について課題を明らかにするとともに、成層圏エーロゾルの定常観測から、小規模な火山噴火が起源と考えられる増大や漸増を検出した。

ライダーによる微量気体の観測技術の高度化については、対流圏オゾンライダーを用いた観測を行って数値モデルとの簡単な比較を行い、また、対流圏オゾンライダーの３波長データを用いて二酸化硫黄の検出を試みた。さらに、二酸化窒素観測用のライダーの試験観測装置を製作した。

衛星によるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化については、気象衛星による黄砂などのエーロゾルプロダクトの改良、地球観測衛星・極軌道気象衛星による氷雲の微物理量作成アルゴリズムの開発、非球形粒子の散乱計算、微量気体成分のリトリーバル技術の開発などを行った。エーロゾルについては陸域や夜間の導出、火山灰などの鉱物粒子の検出能力の向上など、次期静止気象衛星のエーロゾルプロダクトにつながる結果を得た。また、各種非球形形状の氷雲やエーロゾルについての散乱計算を行い、散乱特性データベースを作成するとともに、二酸化炭素の導出するための高速放射モデルを開発し、現実的な値が得られることを確認した。

（副課題ごとの研究成果）

副課題１　ライダーによるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化

- エーロゾルチェンバーを作成し、室内実験により黄砂、海塩、硫酸塩等の偏光解消度を測定した（Sakai et al. Appl. Opt. 2010）。これにより、エーロゾルライダー観測データを定量解釈するための基礎データが得られた。
- ライダーと直接サンプリングによるエーロゾル比較観測を行い、エーロゾル質量濃度と後方散乱係数との対応およびエーロゾル形状･サイズと偏光解消度との対応を明らかにした（Sakai et al. Atmos. Environ., 2012）。これにより、ライダーパラメータが実大気中のエーロゾル微物理特性を定性的に示していることを確認した。
- ライダーと航空機によるエーロゾル観測データを比較し、エーロゾル数濃度と後方散乱係数との対応およびエーロゾルタイプと偏光解消度・波長依存性との対応を明らかにした（Sakai et al., J. Meteorol. Soc. Jpn., 2013）。その結果、直径0.3 μm以上のエーロゾル数濃度が波長532nm 後方散乱係数と高い相関を持つ事が分かり、ライダー観測データから比較的良い精度でエーロゾル数濃度を推定することが分かった。
- ライダーによる雲水量の観測・検証をおこない、その現状と解決すべき課題を明らかにした

（Sakai et al., J Atmos. Ocean. Tech., 2013）。その結果、エーロゾルによる蛍光の影響が小さい場合は、赤外干渉計やマイクロ波放射計、レーダーデータとよく対応することが分かった。
・ 2008 年以降のつくば上空におけるライダー観測データを解析し、ナブロ火山噴火による成層圏エーロゾル増大があったことを明らかにした（Uchino et al., Atmos. Chem. Phys., 2012）。
・ 過去 30 年の成層圏エーロゾルライダー観測データを解析し、ピナトゥボ火山噴火後の変動について全球エーロゾルモデルとの比較を行った。その結果、全球エーロゾルモデルは、成層圏エーロゾル量を平均 44%過小評価している事が分かった。
・ ライダーによる二酸化硫黄の観測について、最小測定感度がおよそ $3\times10^{17}m^{-3}$ 程度であると見積もられたため、現代の日本の環境レベルの濃度測定は困難であるが、火山より放出された二酸化硫黄のように濃度が十分高い場合は、対流圏オゾンライダー観測データを用いて、オゾンとの同時導出が理論的に可能であると推定された。現有の３波長対流圏オゾンライダー観測データを解析した結果、三宅島あるいは浅間山から放出されたと考えられる二酸化硫黄が観測された。
・ ライダー装置の保守や送信レーザーの改良を行い、対流圏オゾンライダーを用いた観測を行った。観測結果と数値モデルとの簡単な比較を行い、春季オゾン極大期の高濃度オゾン事例について、成層圏起源と考えられるオゾンがモデルで再現されているのに対し、大陸の（人為）起源のオゾンは再現されていない、などの事例が得られた。
・ 二酸化窒素を観測するライダーについて、装置構成や送受信光学系などのシステム設計、送信レーザーの改造・保守などを行い、試験観測装置を構成し、試験観測を行った。

副課題２　衛星によるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化
①　気象衛星によるエーロゾル(黄砂等)プロダクトの改良
・ 中国大陸の AERONET 観測点で光学的厚さの地上実測値と衛星推定値が合うように、黄砂と gray haze の複素屈折率を調整した。
・ 静止気象衛星 MTSAT-2 による陸域エーロゾルの光学的厚さの推定プログラムの開発とテストを行った。
・ 次期静止衛星のエーロゾルプロダクトの仕様を GOES-R のそれを参考に検討し、決定した。海域では現行のものに比べて新たにサイズに関するプロダクトを追加した。また、新たに陸域での光学的厚さと陸面反射率を出せるようにした。陸域および海域用の LUT を作成し、気象衛星センター担当者に提供した。MODIS の観測データを使ってアルゴリズムのテストしたところ、大きな問題はみられなかった。
・ 夜間の黄砂の新しい検出法をテストした。MODIS の観測データを使った解析では、光学的厚さ・粒子サイズ・黄砂層の高さを安定してリトリーバルできたが、精度の点でまだ改良の余地があることが分かった。
・ 夜間の黄砂検出手法の改良のために、AIRS 用のエーロゾルの赤外放射モデルの開発を行った。適切な AIRS のチャネルを用いて、ダストの赤外光学的厚さとダスト層の高度を求めるプログラムの開発とシミュレーションテストを行い、妥当な結果を得た。
・ 赤外衛星データを利用した火山灰などの鉱物粒子の検出能力に関する知見を強化するために、粒子の性質を特徴づける複素屈折率と観測データとの関係を調べた。11.2 ミクロンと 12.3 ミクロンの観測データに加えて 8.5 ミクロンの観測データを利用することにより、粒子種別の識別能力が高まることを確認した。
②　地球観測衛星・極軌道気象衛星による氷雲の微物理量作成アルゴリズムの開発・改良
・ボロノイ型粒子モデルなど各種形状の氷晶雲粒子の単散乱特性の計算を行い、その結果を使って、AVHRR の可視、近赤外 2 チャネルから氷晶雲の光学的厚さと氷晶粒子の有効半径を求めた。粒子モデルの違いによって光学的厚さ・粒径の推定値に大きな違いが生じることを明らかになった。
③　非球形粒子の散乱計算
・ 環境・応用 4 研が取得した黄砂の電顕画像を利用し鉱物性エーロゾル粒子モデルとして考えたボロノイ型形状粒子について、FDTD 法と改良型幾何光学近似法を用いた散乱特性計算を実施し、

様々な波長および粒子サイズでの散乱特性データベースを作成した。
・ ススス粒子について、電顕画像による形状特性とフラクタル・ボロノイ型凝集体構造を用いた形状モデル化を行い、散乱特性データベースを作成した。また回転楕円体についても 3 種類の形状について計算を実施した。
・ 改良型幾何光学近似手法のプログラム開発を行った。これまで計算が困難であったサイズパラメータが 50 から 200 程度の非球形粒子の計算が可能になった。
・ 六角柱・六角平板・二十面体・砲弾型集合など代表的な氷晶形状について FDTD 法と幾何光学近似手法を用いた散乱特性計算を実施し、可視―赤外の散乱特性データベースを作成した。

④微量気体のリトリーバル技術の開発
・ 気圧レベルごとの CO_2 を変数とする AIRS 用高速放射モデルを開発した。CO_2 濃度のリトリーバルのシミュレーションを行い、現実的な値が得られることを確認した。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

副課題１　ライダーによるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化
・ ライダーを用いた雲水量観測手法に関する研究を新たに行った。

成果の他の研究への波及状況

副課題１　ライダーによるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化
・ 全球エーロゾルモデル検証のための成層圏エーロゾルデータを「大気環境の予測・同化技術の開発（研究代表者：柴田清孝、眞木貴史）」に提供した。
・ 対流圏エーロゾルライダーのデータを「対流圏オゾンライダーを用いた日本域における対流圏オゾンに関する研究（科学研究費補助金、研究代表者：眞木貴史）」や「可視紫外同時分光観測による地表境界層オゾンのリモートセンシング手法の開発（科学研究費補助金、研究代表者：北和之）」に提供した。
・ 本課題や先行して行った経常研究の成果として得られたエーロゾルライダー及び対流圏オゾンライダー技術を、地球環境研究総合推進費「「いぶき」観測データ解析により得られた温室効果ガス濃度の高精度化に関する研究、重点サイトにおける巻雲・エアロゾル光学特性観測に関する研究（研究代表者：森野勇）」に提供し、佐賀でのエーロゾル及び対流圏オゾンのライダー観測につなげた。
・ ライダーによるエーロゾルとオゾン観測を基盤の一つとした研究計画を立案し、平成 26 年度からの科学研究費補助金（基盤研究(B)、「ライダーと数値モデルによる日本域オゾン・エーロゾルの高解像度監視・予測技術の研究（研究代表者：永井智広）」）に応募した。

副課題２　衛星によるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化
・ 非球形粒子の散乱特性の計算結果は、「地上観測による大気要素の放射収支の影響の実態解明に関する研究（研究代表者：内山明博）」、「エーロゾルー雪氷相互作用に関する研究（研究代表者：青木輝夫）」において、雲・エーロゾル、雪面等のリモートセンシングの高度化に寄与した。

今後の課題

副課題１　ライダーによるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化
・ モデル研究とのリンクを深め、成層圏エーロゾルの長期変動については、全球エーロゾルモデルと、対流圏オゾン・二酸化窒素については化学輸送モデルと、それぞれライダー観測データとモデルの結果の詳細な比較や、同化による予測精度の向上を目指したデータの利用を進める必要がある。

副課題２　衛星によるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化
・ 本研究で開発・改良した非球形粒子の散乱特性の計算技術や雲・エーロゾルの各種パラメータ導出アルゴリズムは、多波長化などで大きく機能が向上する次期ひまわり衛星によるプロダク

トの改良への活用が期待される。

自己点検

（1）到達目標に対する達成度

副課題１　ライダーによるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化

ライダー光学特性から微物理量を導出するため基礎的なデータと知見を得る事が出来概ね目標を達成した。全球エーロゾル輸送モデルの検証については初期的な目標を達成したが、モデルでのライダー観測データ利用の評価を行う点については、目標まで至っていない。

ライダーによる雲水量の推定については、ラマンライダーを用いて雲底付近の雲水量が測定可能な事を示し、当初の計画で想定していない結果が得られた。

対流圏オゾン及び二酸化硫黄、二酸化窒素の観測については、対流圏オゾンと二酸化硫黄については当初の目標をほぼ達成したが、二酸化窒素については、使用を予定していたレーザーの変更、ガス配管の耐震対策などのため、当初の目標までは到達しなかった。

副課題２　衛星によるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化

気象衛星による陸域における黄砂等のエーロゾルの光学的厚さ等のプロダクト作成アルゴリズムの改良が行われ、次期ひまわり衛星のプロダクト高度化に寄与した。また、非球形粒子の散乱計算手法の改良が進み、衛星からの氷晶雲の微物理量作成アルゴリズムが改良された。さらに、地球観測衛星・極軌道気象衛星による微量気体のリトリーバルにも一定の進展があった。これらのことより、目標に対する達成度は高いといえる。

（2）研究手法及び到達目標の設定の妥当性

副課題１　ライダーによるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化

ライダー観測からのエーロゾル微物理量導出手法の開発、対流圏オゾン、二酸化硫黄、二酸化窒素のライダー観測、装置開発については、概ね妥当であったと考えるが、数値モデルでの利用などについては、モデルグループとのより緊密な関係を構築する必要があった。

副課題２　衛星によるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化

衛星によるエーロゾルや雲、微量気体成分の導出手法の改良・開発については、概ね妥当であったと考える。

（3）成果の施策への活用・学術的意義

副課題１　ライダーによるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化

全球エーロゾルモデルでの成層圏エーロゾルの改良、全球化学輸送モデルの高精度化に寄与することができる。対流圏エーロゾルについては、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」（GOSAT）の二酸化炭素濃度の導出精度の向上に貢献した。

副課題２　衛星によるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化

次期静止気象衛星（Himawari 8/9）のエーロゾルプロダクトの高度化を行うために、アルゴリズムの設計を行い、海域では光学的厚さと粒子のサイズを・陸域では光学的厚さと陸面反射率を導出するためのテーブルを作成し、気象衛星センターに提供した。

火山灰粒子の性質を特徴づける複素屈折率と赤外観測データとの関係など、次期静止気象衛星による火山灰の検出アルゴリズムの開発に有用な知見を気象衛星センターに提供した。

非球形粒子の散乱特性の計算結果は他の多くの研究課題にも活用され、また気象衛星センターで利用されている放射伝達モデル RSTAR への導入が進むなど、雲やエーロゾル等のリモートセンシングの高度化に寄与している。また、研究成果は「気象研究ノート」への掲載にみられるように、我が国のこの分野をリードするものであり学術的意義も大きいといえる。

（4）総合評価

個々の研究は、十分な学術的意義を持つ成果があがっていると考えられる。衛星関係では、次期静止気象衛星のエーロゾルプロダクトにそのまま利用可能で、直ちに施策に反映できる結果となった。ライダー関係では、成果を施策へ反映させる段階に進めるための研究が不十分であったと考えられるが、総じて優れた研究であったと考える。

気象研究所評価委員会による終了時評価

1．総合評価

優れた研究であった。

2．総合所見

本研究では、ライダーと衛星によるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術に関して、室内実験や航空機観測との比較等による研究で多くの成果が出すことができたほか、副課題１での化学輸送モデルへの発展や、副課題２での次期静止気象衛星ひまわりの解析アルゴリズム等、今後の発展が期待できる成果が得られている。

副課題１のエーロゾルの質量濃度、数濃度、形状、サイズや雲水量、火山性エーロゾル等をライダーにより推定する手法の開発、副課題２の静止気象衛星ひまわりや中分解能撮像分光放射計（MODIS）による黄砂情報の抽出技術の開発、大気赤外サウンダ（AIRS）による夜間も含めた黄砂情報の抽出技術の開発、氷雲の微物理特性など衛星解析技術の開発、さらには非球形粒子の光学モデルの計算など多岐にわたる研究成果を出せたことは評価できる。また、当初計画になかったラマンライダーによる雲水量測定については、技術が確立すれば応用範囲は広い。

一方、研究成果の利用や研究の将来的な発展の方向性について、不明確な所や、全体的なまとまりを欠く印象があるほか、副課題１に所期の目標に到達できなかった所もあった。

査読論文として 16 編（うち 6 編が国際誌）の主著者原著論文を発表したが、更に積極的な取り組みをお願いする。

今後、次期中期研究計画において、ライダーと衛星の観測技術高度化研究としての発展を期待するとともに、関連研究課題との連携、次期静止気象衛星ひまわりの多チャンネル観測データの活用等についても、業務化を見据え更なる努力をお願いする。

成果発表一覧

査読論文　：16 件

1. Sakai, T., T. Nagai, Y. Zaizen, Y. Mano, 2010: Backscattering linear depolarization ratio measurement of mineral dust, sea salt, and ammonium sulfate particles simulated in a laboratory chamber, Appl. Opt., 49, 4441-4449, doi:10.1364/AO.49.004441.
2. Nagai, T., B. Liley,, T. Sakai, T. Shibata, O. Uchino, 2010: Post-Pinatubo evolution and subsequent trend of the stratospheric aerosol layer observed by mid-latitude lidars in both hemispheres, SOLA, 6, 69-72, doi:10.2151/sola.2010-018.
3. 内野修, 酒井哲, 永井智広, 坂下卓也, 鈴木健司, 柴田隆, 森野勇, 横田達也, 2010：ライダーで観測された 2009 年サリチェフ火山噴火による成層圏エーロゾルの増加、日本リモートセンシング学会誌、30、149-156、doi:10.11440/rssj.30.149。
4. Sakai, T., T. Nagai, Y. Zaizen, 2010: Backscattering linear depolarization ratio measurement of mineral dust, sea salt, and ammonium sulfate particles generated in a laboratory chamber, Proc. 25th ILRC, St.-Petersburg, 5-9 July 2010, Russia, 457-460.
5. Liley, J. B., T. Nagai, T. Sakai, O. Uchino, 2010: Stratospheric and upper tropospheric aerosols in the last two decades over mid-latitudes of the southern hemisphere. Proc. 25th ILRC, St.-Petersburg, 5-9 July 2010, Russia, 955-958.
6. Ishimoto H., Y. Zaizen, A. Uchiyama, K. Masuda, Y. Mano, 2010: Shape modeling of min-eral dust particles for light-scattering calculations using the spatial Poisson-Voronoi tessella-tion, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf., 111, 2434-2443, doi:10.1016/j.jqsrt.2010.06.018.

7. Masuda, K., H. Ishimoto, Y. Mano, 2012: Efficient method of geometric optics integral for light scattering by nonspherical particles. Pap. Meteor. Geophys., 63, 15-19, doi:10.2467/mripapers.63.15.
8. Sakai, T., T. Nagai, Y. Mano, Y. Zaizen, Y. Inomata, 2012: Aerosol optical and microphysical properties as derived from collocated measurements using polarization lidar and direct sampling, Atmos. Environ., 60, 419-427, doi:10.1016/j.atmosenv.2012.06.068.
9. Sakai, T., F. Russo, D. Whiteman, D. Turner, I. Veselovskii, S. H. Melfi, T. Nagai, 2012: Water cloud measurement using Raman lidar technique: current understanding and future work, Proc. of 26th International Laser Radar Conference, pp 371-374.
10. Uchino, O., T. Sakai, T. Nagai, K. Nakamae, I. Morino, K. Arai, H. Okumura, S. Takubo, T. Kawasaki, Y. Mano, T. Matsunaga, T. Yokota, 2012: On recent (2008-2012) stratospheric aerosols observed by lidar over Japan, Atmos. Chem. Phys., 12, 11975-11984, doi:10.5194/acp-12-11975-2012.
11. Ishimoto, H., K. Masuda, Y. Mano, N. Orikasa, A. Uchiyama, 2012: Irregularly shaped ice aggregates in optical modeling of convectively generated ice clouds. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf., 113, 632-643, doi:10.1016/j.jqsrt.2012.01.017.
12. Sakai, T., F. Russo, D. N. Whiteman, D. D. Turner, I. Veselovskii, S. H. Melfi, T. Nagai, 2012: Water cloud measurement using Raman lidar technique: current understanding and future work, Reviewed and Revised Papers of the 26th International Laser Radar Conference, 25-29 June 2012, Porto Heli, Greece, 371-374.
13. Sakai, T., F. Russo, D. N. Whiteman, D. D. Turner, I. Veselovskii, S. H. Melfi, T. Nagai, Y. Mano, 2013: Liquid water cloud measurements using the Raman lidar technique: current understanding and future research needs, J. Atmos. Ocean. Tech., 30, 1337-1353, doi:10.1175/JTECH-D-12-00099.1.
14. Whiteman, D. N., D. D. Venable, M. Walker, M. Cadirola, T. Sakai, I. Veselovskii, 2013: Assessing the temperature dependence of narrow-band Raman water vapor lidar measure-ments: a practical approach, App. Opt., 52, 5376-5384, doi:10.1364/AO.52.005376.
15. Ishimoto, H., K. Masuda, Y. Mano, N. Orikasa, A. Uchiyama, 2013: Optical modeling of irregularly shaped particles in convective cirrus. Proc. of International Radiation Symposium (IRS2012), in press.
16. Sakai, T., T. Nagai, N. Orikasa, Y. Zaizen, K. Yamashita, Y. Mano, M. Murakami, 2013: Aerosol characterization by dual-wavelength polarization lidar measurements over Kochi, Japan during the warm seasons of 2008 to 2010, J. Meteorol. Soc. Jpn., accepted.

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：4 件

1. 永井智広, 2010：両半球中緯度三地点でのライダー観測によるピナツボ火山噴火後の成層圏エアロゾルの長期的な変動、平成 23 年 3 月 名古屋大学学位論文.
2. 石元裕史, 増田一彦, 真野裕三, 2011：非球形粒子による電磁波の散乱計算、気象研究ノート第 223 号「気象・気候学のための最新放射計算技術とその応用」第 4 章、pp 93-121.
3. 酒井哲, 永井智広, 2013：水蒸気ラマンライダー、気象研究ノート第 229 号「高層気象観測の発展と展望」第 4 章、pp 123-131.
4. 中里真久, 永井智広, 酒井哲, 内野修, 2013：オゾンライダー、気象研究ノート第 229 号「高層気象観測の発展と展望」第 5 章、pp 133-160.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：8 件

1. Sakai, T., T. Nagai, Y. Zaizen, 2010: Backscattering linear depolarization ratio measurement of mineral dust, sea salt, and ammonium sulfate particles generated in a laboratory chamber, 25th International Laser Radar Conference, St.-Petersburg, 5-9 July 2010, Russia.
2. Liley, J. B., T. Nagai, T. Sakai, O. Uchino, 2010: Stratospheric and upper tropospheric aerosols in the last two decades over mid-latitudes of the southern hemisphere. 25th International Laser Radar Conference, St.-Petersburg, 5-9 July 2010, Russia.
3. Ishimoto H., Y. Zaizen, A. Uchiyama, K. Masuda, Y. Mano, 2010: Voronoi aggregate for a shape model of mineral dust particles, 2010 Asia-Pacific Radiation Symposium (APRS), O5_02, Seoul, Korea.
4. Mano, Y., K. Masuda, H. Ishimoto, 2010: Nonspherical scattering database for aerosol particles. Joint PI Workshop of Global Environmental Observation Mission @ TKP Conference, Tokyo
5. Ishimoto, H., Y. Zaizen, A Y. Zaizen, A. Uchiyama, K. Masuda, Y. Mano, 2012: Shape modeling of dust and soot particles for remote sensing applications taking into account the geometrical features of sampled aerosols, International symposium on aerosol studies explored by electron microscopy, Tsukuba, Japan
6. Sakai, T., F, Russo, D. Whiteman, D. Turner, I. Veselovskii, S. H. Melfi, T. Nagai, Water cloud measurement using Raman lidar technique: current understanding and future work, 26th International Laser Radar Conference, Porto Heli Conference Centre, June 26, 2012, Porto Heli, Greece.
7. Sakai, T., N. Orikasa, T. Nagai, M. Murakami, T. Tajiri, A. Saito, K. Yamashita, A. Hashimoto, 2013: Asian dust and cirrus cloud as measured with Raman lidar and instrumented balloon over Tsukuba, Japan, The 3rd International Symposium on Atmospheric Light and Remote Sensing, Nagoya University.
8. Sakai, T., D. N. Whiteman, F. Russo, D. D. Turner, I. Veselovskii, S. H. Melfi, T. Nagai, Y. Mano, 2013: Cloud liquid water measurements using the Raman lidar technique: current understanding and future research needs, International Symposium on Remote Sensing 2013, Makuhari Seminar House.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：20 件

1. 酒井哲, 永井智広, 財前祐二, 2009：室内実験によるエアロゾル偏光解消度の測定－ライダーデータの定量解釈に向けて－、日本気象学会 2009 年度秋季大会（講演予稿集）、pp 218.
2. 酒井哲, 永井智広, 財前祐二, 2009：エアロゾル偏光解消度の測定－エアロゾルチャンバーを用いた室内実験－、第 35 回リモートセンシングシンポジウム（講演論文集）、pp 75-78.
3. 永井智広, 酒井哲, 内野修, 森野勇, 横田達也, B. Liley, 2009：GOSAT 検証のための南半球 Lauder に於ける雲・エアロゾルのライダー観測、(社) 日本リモートセンシング学会 第 46 回（平成 21 年度春季）学術講演会（論文集）、pp 39-40.
4. 中里真久, 永井智広, 酒井哲, 内野修, 真野裕三, 2009：３波長差分吸収ライダーを用いたオゾン及び二酸化硫黄の同時観測、第 15 回大気化学討論会（講演要旨集）、pp 6.
5. 酒井哲, 財前祐二, 永井智広, 2010：偏光ライダーと直接サンプリングによる黄砂観測　－液滴状の鉱物粒子－、第 16 回大気化学討論会（講演要旨集）、P-52.
6. 永井智広, J. B. Liley, 内野修, 酒井哲, 柴田隆, 2010：ライダーで観測された成層圏バックグラウンドエーロゾルの増加、第 28 回レーザセンシングシンポジウム（予稿集）、pp 84-87.
7. 永井智広, 酒井哲, J. Ben Liley,内野修,柴田隆,2010：ニュージーランドローダーで観測された成層圏エーロゾルの増加について, 第８回環境研究シンポジウム.
8. 石元裕史, 増田一彦, 真野裕三, 財前祐二, 内山明博, 村上正隆, 折笠成宏, 2010：Poisson-Voronoi 構造と粒子画像情報を用いた鉱物・氷晶粒子形状のモデル化, 日本気象学会 2010 年度秋季大会（講演予稿集）, pp 331.

9. 中里真久, 永井智広, 酒井哲, 内野修, 真野裕三, 眞木貴史, 出牛真, 柴田清孝, 2010 : ライダーと MRI-CCM2 を使った対流圏オゾン高濃度事例の解析, 第 16 回大気化学討論会（講演要旨集）, K-15。
10. 中里真久, 永井智広, 酒井哲, 真野裕三, 内野修, 入江仁士, 北和之, 2010 : Nd:YAG レーザーを用いた差分吸収ライダーによる二酸化窒素の観測性能, 第 28 回レーザセンシングシンポジウム（予稿集）, pp91-92.
11. 内野修, 永井智広, 中里真久, 酒井哲, 森野勇, 横田達也, 松永恒雄, 佐藤勇城, 2010 : GOSAT プロジェクト検証用可搬型ライダーの開発, 第 28 回レーザセンシングシンポジウム（予稿集）, pp 9-11.
12. 永井智広, 酒井哲, 真野裕三, 内野修, 入江仁士, 北和之, 2011 : Nd:YAG レーザーを用いた二酸化窒素観測用ライダーの開発, 日本気象学会 2011 年度秋季大会（講演予稿集）, pp 114.
13. 酒井哲, D. Whiteman, I. Veselovskii, 永井智広, 2012 : ラマンライダーによる雲水量の観測, 第 16 回大気ライダー観測研究会（講演集）, pp 15-18.
14. 酒井哲, D. Whiteman, R. Russo, D. Turner, I. Veselovskii, S. H. Melfi, 永井智広, ラマンライダーによる雲水量観測, 日本気象学会 2012 年度秋季大会（講演予稿集）, pp 89.
15. 内野修, 酒井哲, 永井智広, 中前久美, 森野勇, 新井康平, 奥村浩, 田久保洋一郎, 川崎健, B. Liley, 柴田隆, 真野裕三, 松永恒雄, 横田達也, ライダーで観測された近年の成層圏エアロゾル増加と気候等への影響, 日本気象学会 2012 年度秋季大会（講演予稿集）, pp 433.
16. 酒井哲, D. N. Whiteman, F. Russo, D. D. Turner, I. Veselovskii, S. H. Melfi, 永井智広, 2012 : ラマンライダーによる雲水量測定, 第 38 回リモートセンシングシンポジウム（講演論文集）, pp 31-32.
17. 酒井哲, D. Whiteman, I. Veselovskii, 永井智広, 2012: ラマンライダーによる雲水量の観測, 第 16 回大気ライダー観測研究会（講演集）, pp 15-18.
18. 酒井哲, 永井智広, 内野修, 田中泰宙, 藤本敏文, 田端功, 2013 : つくば上空成層圏エアロゾルの長期変動:ライダー観測と全球エアロゾルモデルとの比較, 第 31 回レーザセンシングシンポジウム（予稿集）, pp 114-115.
19. 酒井哲, 内野修, 永井智広, 田中泰宙, 藤本敏文, 田端功, 2013 : 気象研究所ライダーで観測した成層圏エアロゾルの長期変動, 第 39 回リモートセンシングシンポジウム（講演論文集）, pp 7-8.
20. 酒井哲, 永井智広, 内野修, 田中泰宙, 藤本敏文, 田端功, 2013 : つくば上空成層圏エアロゾルの長期変動　－気象研ライダー観測と全球エアロゾルモデルの比較－, 日本気象学会 2013 年度秋季大会（講演予稿集）, pp 86.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：4 件

1. Sakai, T., N. Orikasa, T. Nagai, M. Murakami, T. Tajiri, A. Saito, K. Yamashita, A. Hashimoto, 2011: Microphysical and optical properties of Asian dust and cirrus cloud as measured with balloon-borne instruments and ground-based Raman lidar over Tsukuba, Japan, 2011 Aerosol update, NASA Goddard Space Flight Center Visitor Center.
2. Ishimoto, H., K. Masuda, Y. Mano, N. Orikasa, A. Uchiyama, 2011: Irregularly shaped ice aggregates in optical modeling of convective ice clouds, WCRP Open Science Conference, C12, M40B, Denver, USA
3. Ishimoto, H., K. Masuda, Y. Mano, N. Orikasa, A. Uchiyama, 2012: Optical modeling of irregularly shaped ice particles in convective cirrus, International Radiation Symposium 2012, August 7, 2012, Berlin, Germany.
4. Nakamae, K., O. Uchino, I. Morino, B. Liley, T. Sakai, 2012: Lidar observation of the 2011 Puyehue volcanic aerosols at Lauder, New Zealand, AGU 2012 Fall Meeting,

Moscone Center, December 7, 2012, San Francisco, USA.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：17 件

1. 酒井哲, 永井智広, 財前祐二, 2009：室内実験によるエアロゾル偏光解消度の測定, 第 27 回レーザセンシングシンポジウム（予稿集）, pp 94-95.
2. 永井智広, 酒井哲, B. Liley, 柴田隆, 森野勇, 内野修, 2009：ニュージーランド・ローダーにおける GOSAT 検証のためのエーロゾル・雲の観測, 第 27 回 レーザセンシングシンポジウム（予稿集）, pp 110-111.
3. 中里真久, 永井智広, 酒井哲, 内野修, 真野裕三, 2009： 3 波長差分吸収ライダーを用いたオゾン及び二酸化硫黄の同時観測, 第 27 回レーザセンシングシンポジウム（予稿集）, pp 170-171.
4. 酒井哲, 永井智広, 財前祐二, 2010：偏光ライダーと直接サンプリングによる黄砂観測－液滴状の鉱物粒子－第 16 回大気化学討論会（講演予稿集）, pp 113.
5. 内野修, 柴田隆, 酒井哲, 永井智広, 清水厚, 坂下卓也, 鈴木健司, 森野勇, 横田達也, 2009：ライダーで観測されたサリチェフ火山噴火起源のエーロゾル層, 第 27 回レーザセンシングシンポジウム（予稿集）, pp 112-113.
6. 増田一彦, 石元裕史, 真野裕三, 村上正隆, 折笠成宏, 2010：ボロノイ型粒子モデルを用いた氷晶雲特性のリトリーバル, 日本気象学会 2010 年度秋季大会（講演予稿集）, pp 419.
7. 中里真久, 永井智広, 酒井哲, 内野修, 真野裕三, 入江仁士, 北和之, 2010：Nd:YAG レーザーを用いた差分吸収ライダーによる二酸化窒素の観測性能, 第 28 回レーザセンシングシンポジウム（予稿集）, PD-22.
8. 増田一彦, 石元裕史, 真野裕三, 2011：幾何光学近似手法の適用範囲, 日本気象学会 2011 年度秋季大会（講演予稿集）, pp 429.
9. 真野裕三, 2011：Nonstandard FDTD による電磁波散乱問題の計算, 日本気象学会 2011 年度春季大会（講演予稿集）, pp 391.
10. 真野裕三, 2011：静止気象衛星から求めた陸域エーロゾル, 日本気象学会 2011 年度秋季大会（講演予稿集）, pp 509.
11. 酒井哲, 永井智広, 内野修, 藤本敏文, 真野裕三, 田端功, 気象研ライダーで観測した成層圏エアロゾルの長期変動（1982–2012 年）, 第 30 回レーザセンシングシンポジウム（予稿集）, pp 72-73.
12. 永井智広, 酒井哲, 真野裕三, 中里真久, 内野修, 入江仁士, 北和之, 2012：Nd:YAG レーザーを用いた二酸化窒素観測用ライダーの開発（Ⅱ）, 日本気象学会 2012 年度秋季大会（講演予稿集）, pp 185.
13. 増田一彦, 2012：衛星赤外観測による鉱物粒子の検出,日本気象学会 2012 年度秋季大会（講演予稿集）, pp 186.
14. 中前久美, 内野修, 森野勇, B. Liley, 酒井哲, 永井智広, 横田達也, 2012：Lauder における地上観測でみるチリ Puyehue 火山噴火後の噴出物の動向について, 第 18 回大気化学討論会.
15. 増田一彦, 石元裕史, 真野裕三, 2013：ボロノイ型粒子モデルを用いた氷晶雲特性の推定精度, 日本気象学会 2013 年度春季大会（講演予稿集）, pp 401.
16. 永井智広, 酒井哲, 中里真久, 内野修, 入江仁士, 2013：Nd:YAG レーザーを用いた二酸化窒素観測用ライダーの開発（Ⅲ）, 日本気象学会 2013 年度秋季大会（講演予稿集）, pp 263.
17. 増田一彦, 2013：衛星からの赤外観測による火山灰領域の検出, 日本気象学会 2013 年度秋季大会（講演予稿集）, pp 286.

次世代リモートセンシングに関する研究

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 25 年度
研究代表者：小林隆久[1)]、楠研一[2)]、小司禎教[3)]（気象衛星・観測システム研究部第二研究室長）

研究担当者
小司禎教[3)]、楠研一、足立アホロ、山内洋、佐藤英一[4)]、鈴木修[5)]、猪上華子[5)]（気象衛星・観測システム研究部）、小野木茂（環境・応用気象研究部）

研究の目的
偏波機能、多周波観測、高速スキャンなど今後大きな発展が期待されている地上・衛星搭載レーダーやウィンドプロファイラーにおいて雲・降水観測精度の向上とデータ利用の高度化を図り、防災気象や気候研究に不可欠な雲・降水メカニズムの解明、今後の気象観測システム構築に資するのが本研究の目的である。

研究の動機・背景
近年の雲・降水に関するリモートセンシング技術の発展は、固体化レーダー、偏波レーダー、衛星搭載レーダー等目覚しいものがある。しかし、これらの特性や物理量抽出アルゴリズムにおいてまだ未知な点も多い。固体化レーダーは、従来のレーダーに比べ帯域幅が狭くできるなどの利点があるためわが国における将来のレーダー観測の基盤技術になるものと予想されるが、まだ開発されて間もなく本格運用も十分にはなされていない。このため、実際の観測上、現在のレーダーに比べどのような利点・欠点があるかなど未確認な点も多い。また、偏波レーダーは従来のレーダーでは得られない雨滴サイズや形状についての情報が得られるため、降水観測精度の向上が期待されているが、偏波情報から降水パラメータを抽出するアルゴリズムは改善すべき点も多い。このために電波散乱理論に基づいたレーダー特性の評価ならびにリモートセンシングと直接観測の比較等による観測データの詳細な解析が必要である。

研究の成果の到達目標
固体化・偏波レーダー、ウィンドプロファイラ、衛星搭載レーダー等のリモートセンシング手法を気象観測で有用に活用するために以下の研究を実施する。
① 固体化レーダー観測基盤技術の確立、観測データの検証・評価
② リモートセンシングデータの高度利用化技術の開発
③ リモートセンシングデータの利用高度化による雲・降水過程の解明

研究結果
（成果の概要）
固体素子を用いたC帯気象偏波レーダーの観測基盤技術を世界で初めて確立し、当初想定以上の成果が得られた。さらに偏波情報を利用した降水強度の高精度推定、豪雨をもたらす積雲の識別に大きな成果を得た。また、GPS 等精密衛星測位を用いた水蒸気変動解析手法を開発した。この手法は対流性降水の先行指標としての利用可能性があることが分かった。

［固体化レーダー観測基盤技術の確立，観測データの検証・評価］
① 送信波占有帯域の確認及び感度向上
偏波レーダーに用いている固体素子から発信される送信波が許可されている占有帯域幅の範囲内であることを確認した。これにより後段に設置されている狭帯域フィルターが不要となった

1)平成 21 年度～平成 22 年度、2)平成 23 年度、3)平成 24 年度～平成 25 年度、4)平成 23 年度～平成 25 年度、5)平成 21 年度～平成 23 年度

ので導波管径路の改修を行い、フィルターを撤去することにより感度を 3dB 向上させることができた。

② 最適なパルス幅の確定

固体素子レーダーは従来のレーダーに比べてピーク出力が小さいためパルス圧縮と呼ばれる技術を用いる必要がある。その一方、パルス圧縮を用いるとレンジサイドローブと呼ばれる距離方向の偽エコーが必然的に発生するため、その抑圧技術の開発が固体素子レーダーの運用には重要となる。一般に、パルス幅を長くするほどレーダーの感度は向上し、レンジサイドローブ抑圧も改善されるが、レーダーに近い領域の観測は不可能となり、その領域はパルス幅と共に拡大する。そこでレーダー近傍を観測するため長パルス観測と交互にパルス圧縮を用いない短いパルスでも観測を行うが、短パルスは長パルスに比べて平均出力が小さいため感度が低く、短パルスで観測する領域は小さい方が望ましい。また短パルス観測領域の増加に伴いパルス繰り返し周波数を低くする必要が生じ、これに伴いドップラー速度の精度低下・観測時間の拡大を招くという問題も生じる。そこでパルス圧縮のレンジサイドローブへのパルス幅の影響を調査し、パルス幅 30 μsec，47 μsec，67 μsec に対しレンジサイドローブ抑圧がそれぞれ 40dB，52dB，60dB であること、これらの値が電波を外部に発射せずに行う折り返し試験の結果とほとんど変わらないことをまず確認した。抑圧が 60dB 以上あれば、アンテナの方位方向のサイドローブ抑圧よりも性能が良く、反射強度が 50dBZ を大幅に超える降雹や豪雨の際にも観測結果に混入するレンジサイドローブの強度は極めて小さくほとんど影響がないことも分かった。そこでこれらのバランスを考慮し、探知距離 150km 程度までのドップラー観測を行う場合にはパルス幅は 67 μsec 程度を用いることが適切であることがわかった。さらにオクラホマ大学との共同研究により、時間に対して非線形に周波数を変化させるパルス圧縮技術をレーダー実機で試験し、レンジサイドローブを抑圧したまま、長パルス領域の感度を 3dB 程度改善（送信機出力の倍増に匹敵）できることがわかった。

③ 偏波データの品質管理

偏波観測データの品質を統計的に調査し、品質管理手法を開発するとともに、偏波間相関係数 ρhv のピーク値が 0.998 であることを確認した。ρhv のピーク値は，偏波観測の品質を端的に示す指標であり、この値は本研究で得られた観測データが世界でもトップクラスの高品質であることを示している。

［リモートセンシングデータの高度利用化技術の開発］

① GPS/GNSS の視線遅延量を利用した高度利用

GPS（全球測位システム）等から水蒸気の非一様性の度合いを推定する指標（WVC インデックス、WVI インデックス）を開発し、論文誌（気象集誌）に発表を行った。両指標は可降水量（PWV）に比べ、強雨との関連が強く、今後顕著現象の監視指標としての利用も想定される。

さらに視線を利用した観測点周囲の PWV 勾配を推定する手法を開発し、2012 年 5 月 6 日のつくば竜巻の事例について、親雲の発達に伴う水蒸気勾配を解析した。

［リモートセンシングデータの利用高度化による雲・降水過程の解明］

① 偏波を用いた降水強度アルゴリズムの改良

偏波パラメータを用いた降水強度の推定アルゴリズムの改良を行い、層状性の雨や対流性の雨において地上のディスドロメータの観測から得られた降水強度との比較を行ないその精度の検証を行なった。その結果、現在気象庁が用いている手法では降水による電波の減衰の影響を受けて対流性で雨が強い時には精度が大幅に低下（85%過小評価）することを確認した。一方、開発したアルゴリズムでは 100mm/h を越える強雨の時でも精度よく（9%過大評価で）観測できることが分かった。この研究についてはヨーロッパ気象レーダー会議（ERAD）などで発表を行った。これとは別に降雨強度の推定に誤差となる雹の影響を観測データから低減させる手法についても開発した。

② 豪雨をもたらす積雲識別手法の開発

科研費で開発した偏波レーダーシミュレーターの計算結果を実際のレーダー観測に応用して、

豪雨をもたらす積雲を識別するための手法を開発し、実際のデータでこれを検証した。その結果は国際学会および論文誌（Atmospheric Measurement Techniques）に発表を行った。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

平成 24 年度より、GPS 等衛星測位技術を用いたリモートセンシング研究を、追加した。

成果の他の研究への波及状況

［シビア現象の監視及び危険度診断技術の高度化に関する研究］

本研究で開発した二重偏波レーダーデータ解析技術を、つくば竜巻の事例解析に用いている。

当課題で開発した GPS による水蒸気非一様性指標を用いた顕著現象の直前探知・予測可能性の研究を、「シビア現象の監視及び危険度診断技術の高度化に関する研究」で行っている。

［メソスケールデータ同化とアンサンブル予報に関する研究］

当課題で開発した GPS による可降水量、天頂遅延量、視線遅延量が、データ同化実験に利用されている。

［意図的・非意図的気象改変に関する研究］

当課題で開発した GPS による可降水量、視線遅延量が、マイクロ波放射計との比較に利用されている。

［地上観測による大気要素の放射収支への影響の実態解明］

当課題で開発した GPS による可降水量が、マイクロ波放射計との比較に利用されている。

［レーダ活用による河川情報高度化検討会 X バンドレーダ分科会］

この検討会は、国土交通省の整備している X バンド MP レーダ網（XRAIN）の精度および利活用の向上を図ることを目的としている。この検討会に対し、本研究で開発したレーダーの品質管理手法など技術情報を提供している。

［次期 DRAW 検討委員会］

この委員会は、気象庁が空港に整備している空港気象ドップラーレーダー（DRAW）について、今後更新する際の仕様を検討することを目的としている。電波行政上、今後更新される気象レーダーは、占有帯域幅の大幅な縮小が求められることから、本研究で用いている固体素子二重偏波レーダーの技術情報を提供している。

［国土交通省及び気象庁におけるレーダ雨量観測に関する検討会議］

この会議は、国土交通省及び気象庁の有する気象レーダーについて、相互に更に有効利用を図るための会議である。国土交通省では C バンド偏波レーダーが展開されつつある状況にあり、偏波情報の特性についての情報を提供している。

［科学技術・学術政策推進費［気候変動に伴う極端気象に強い都市創り］

本研究で開発した降水強度推定アルゴリズムは、戦略推進費「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」において、豪雨をもたらす積雲の解析等に用いている。また上空の雲水量の推定等、豪雨発生以前の上空の診断等にも用いている。一方、「極端気象の監視・予測システムの開発」会合において、GPS による非一様性指標と、豪雨の関連について報告を行った。

［運輸分野における基礎的研究推進精度「航空安全運航のための次世代ウィンドプロファイラによる乱気流検出・予測技術の開発」］

本研究でこれまでに開発したウィンドプロファイラのスペクトルデータのノイズ除去手法等の信号処理技術の移転を行なった。なおこの課題の事後評価は、同じ年度に採択された 4 課題の中で

最高の評価を受けた。

[総務省委託研究【周波数の有効利用を可能とする協調制御型レーダーシステムの研究開発】有識者会議]

NICT や東芝等が中心となって行っている次世代のレーダーの開発に、本研究の観測結果やシミュレーション結果を反映させ情報と技術移転を行っている。

[GRUAN（GCOS 基準高層観測網）]

GRUAN 登録サイト(ニュージーランド、LAUDER)における GNSS 解析に、当課題で開発した手法を提供した。

他省庁予算及び共同研究等からの反映状況（他省庁予算等研究課題から本課題への波及効果）

[科学技術・学術政策推進費[気候変動に伴う極端気象に強い都市創り]

戦略推進費によって設置した地上観測装置により、本研究で開発した降水強度推定アルゴリズムの検証を行なっている。その成果は気象学会や ERAD などの国際学会において発表を行っている。一方、GPS 解析には、当該課題で東京湾周辺に展開した 5 点の GPS 点の観測データも利用している。

[科研費【豪雨前兆観測システムの開発】]

科研費で開発した偏波レーダーシミュレーターの計算結果を用いて、実際のレーダーで観測したデータの降雨による減衰や仰角などの補正や理論値との比較、さらにレーダー観測データから雨滴の直径などの微物理量の推定を行っている。また地上で観測された雨粒の粒径分布からシミュレーターを用いて偏波パラメータに変換し、レーダーデータの精度評価等も行っている。

今後の課題

① 偏波情報の絶対校正

偏波レーダーの性能を最大限に活用するためには、絶対校正によりレーダーの精度がどの程度、理論値からずれているかを定期的に測定して調整し、機器誤差を可能な限り低減させる必要がある。誤差を最小にするための調整にはソフトウェア的に対応できるものとハードウェア的な対応を要する種類のものがある。前者については機器誤差をアルゴリズムに反映させればよいが、後者については導波管の径路長や送信タイミングの調整など製造メーカーの助力を必要とする。現在、絶対校正を反映させるためのハードウェア的な調整作業について製造メーカーと交渉し、準備を行なっている。具体的にはスペクトルアナライザー等を設置するレーダー校正のための場所を選定し、その校正場所とレーダーの間で無線 LAN 接続を確立させ、スペクトルアナライザーが無線 LAN でレーダーサイトから操作できることなど、絶対校正に必要な環境であることはこれまでに確認した。メーカーの準備が整い次第、絶対校正のための計測作業を実施する予定である。

② 送信波の最適化、常時監視

気象研のレーダーに理論的に観測に最適な送信波形のパラメータを現在シミュレーションによって計算中である。しかし最適にすると出力が低下する等の別の問題が発生する可能性があり、実際の観測で調整を行なう必要がある。また送信器に入力した波形が最適であっても送信器によってこれが歪む可能性もある。例えば温度によっても送信器の特性が変わるので、アンテナから出力される送信波を常時監視し、これを送信器に入力する種信号の波形にフィードバックする必要がある。これにはハードウェアの改修が必要でこれについてもメーカーと協議中である。

③ レーダー特性の検証

これまでに行ってきた機器の改修によって偏波レーダーの特性が感度以外にも変化していることが予想される。検証観測等によってこれらを確認し、信号処理や解析アルゴリズムに反映させる必要がある。また絶対校正の結果についても可能な部分についてはアルゴリズムに反映させる必要がある。

④ 降水強度推定手法高度化

降水強度の推定において、現在世界的に主流なのは、偏波パラメータと降水強度の経験的な関

係式を地上観測で先に求めてから、偏波レーダーデータに適用する手法である。本研究でもこれに準じて降水強度の推定を行った。しかし経験式は現象や季節・気温などによって変わり得るため、まだ誤差の生じる余地が残っている。そこで例えば、偏波レーダーのデータから粒径分布を物理的に推定し、降水強度を理論的に決定する手法を開発する必要がある。

⑤ GPS/GNSS の解析高度化

GPS 水蒸気情報の精度向上にむけ、Glonass（ロシア）や QZSS(日本)等、GPS 以外の測位衛星信号の利用に向けた研究を行う必要がある。また、将来の現業利用を想定した場合、GPS 解析時間の短縮を図る必要がある。

自己点検

（1）到達目標に対する達成度

下記に示すとおり、目標は達成できた。偏波レーダーを用いた研究については初期の想定以上の成果が得られた。

① 固体化レーダー観測基盤技術の確立、観測データの検証・評価

電波資源の逼迫を解消する切り札と目された固体素子レーダーは、当初、レンジサイドローブ等の特有のノイズが顕著であったため、現業気象レーダーの後継とはなり得なかった。しかし本課題においてノイズの原因を究明し、その対策を見出したことにより、現業気象レーダーと同等以上の観測を可能とする技術を確立することができた。

偏波レーダーを用いた降水強度の推定に先立ち、その精度を検証するためにディスドロメータの精度を検証した。その結果、特に新しいタイプのディスドロメータは従来の転倒ます式雨量計や重量式雨量計に対して特に強い雨(>30㎜/h)のときに過大評価する傾向があることが分かった。このような傾向は偏波レーダーのアルゴリズムの開発と検証には不具合が生じる。そこでその原因を調査したところ、特に新しいタイプのディスドロメータに用いられているアルゴリズムに誤りがあることを示唆する結果が得られ、その補正方法を開発すると共にその結果についてメーカーに連絡した。また同じタイプのディスドロメータを用いて研究を行っている海外の研究者に結果を提供した。この種のディスドロメータにこのような過大評価傾向があることは一部では知られていたがその原因が特定されたのは今回が初めてであった。この結果については国際学術誌で発表／公刊した。

② リモートセンシングデータの高度利用化技術の開発

偏波レーダーで観測される偏波パラメータは雨滴に入射する電波の周波数や方向によって異なることが知られている。そこで豪雨時にディスドロメータなど地上測器で観測された雨滴の粒径分布を元に、科研費で開発した偏波レーダーシミュレーターを用いて気象研究所のレーダーが用いている周波数における雨滴の温度や仰角特性の計算を行った。次のこの計算結果を実際の偏波レーダーのデータに適応し仰角の補正をする手法を開発した。これにより特に発達する積乱雲内部の鉛直構造とその時間変化を観測することが可能となった。また偏波パラメータの違いから雹と雨を識別し雹による影響の割合を推定する手法を開発した。さらに偏波パラメータから雹の影響を取り除いた上で降水強度を推定する手法を開発し、あわせて降水による電波の減衰を補正することができた。地上観測との比較の結果、この手法により豪雨時でも従来の手法より２倍程度高い精度で降水強度を推定できることを確認した。これらの結果については英文の論文など学術誌や国際学会で発表を行ない、当初の目標は達成された。

③ リモートセンシングデータの利用高度化による雲・降水過程の解明

豪雨の直前探知の一環として２）で開発した仰角補正手法を用いて豪雨発生直前の降雨強度の鉛直プロファイルの計算を行った。一般に豪雨発生時には上昇流が強いため積乱雲内部の上空に雹が発生しその大半が地上に落下する。従来のレーダー観測では雹と雨の識別ができず、結果的に降水強度推定に大きな誤差となっていた。しかし今回の手法では仰角補正に加えて雹がどの程度混入しているかを推定することができるため、より精度よく降水強度の鉛直プロファイルを推定できた。その結果、豪雨をもたらす積雲では 10 分ほど直前に上空に降水強度が高い領域が形成されることが分かった。また観測では高降水強度域が時間と共に発達をしながら落下する様子や、雹が形成されて落下する様子も解析され降水や雹がどの高度（気温）や時期に形成／発達するのかの知見を得た。さらに上空の降水域が地上に到達する時間も推定し、この推定時刻が実際の地上で大雨が始ま

った時間と一致することも確認した。また、豪雨をもたらす積雲では偏波レーダーの観測で上空に強降雨域を形成する前に high-Zdr コラムという現象が見られた。これは上昇流が強く発達傾向にある積雲に見られる特徴で、豪雨をもたらさない積雲にはこのような特徴は見られなかった。これらのことから上空の高い降水強度やhigh-Zdr コラムといった偏波レーダーから得られる解析値が、潜在的に豪雨をもたらす積雲とそうでない積雲を識別するのに有効であることが分かった。これらの結果については英文の論文など学術誌や国際学会で発表を行い、当初の目標を達成した。

（2）研究手法及び到達目標の設定の妥当性

本研究の一部である偏波レーダーを用いた研究の手法は当初以下のように設定していた。すなわち新しい技術であるが固体素子を使ったレーダーがどの程度気象レーダーとして基礎的な技術を開発／確立し程度の性能があるのかを評価し、次いでこのデータを高度利用する技術を開発し、実際の観測に応用して降水過程を検証するというものであった。偏波レーダーの観測パラメータの最適化など一部にまだ今後も開発する余地がある技術は残っているものの、当初の目標はほぼ達され、その成果についても所長表彰や長官表彰、国際会議等での評価が得られていることから設定した到達目標は適切で妥当であったと考える。

（3）成果の施策への活用・学術的意義

本研究の一部である偏波レーダーを用いた研究では施策への活用が可能な結果や学術的に意義がある結果が得られた。例えば、今回開発した偏波レーダーによる降水強度の推定手法は現在気象庁が用いている手法よりも特に豪雨時には２倍程度精度が高いことが示された。とくに偏波パラメータの中には降雨による電波の減衰の影響を受けない、位相情報を用いたものがありこれを用いれば（例えば 2013 年に大島で見られたような）豪雨であってもより正確な降水強度が推定できることが示された。また偏波レーダーを用いれば豪雨をもたらす積雲とそうでない積雲が直前（15 分程度前）に探知／識別できる可能性があることも分かった。リーディングタイムは短いが、緊急地震速報のように現在の技術を用いれば該当する地域の住人に直前に知らせることで被害を減少させることができる可能性もある。このような積雲の識別は施策だけでなく学術的にも意義があると考えられる。また開発した雨量強度推定アルゴリズムの検証の一環としてディスドロメータのアルゴリズムにバグがありその原因と対策を明らかにした。このディスドロメータは現在世界的に使用されており、準標準器として用いられている（気象研で 30 台程度）。しかし２−３年ほど前からこのディスドロメータで観測された降水強度に過大評価の傾向があることが知られ、例えば 2013.8 月の論文(Tokay et al 2013 JTECH)ではこの過大評価傾向は観測に用いているレーザーが不均一なためではないかと推定しているが、原因はこれまで知られていなかった。今回その原因をほぼ推定しその対策を初めて示し学術雑誌に発表したことから今後この種の装置を用いた観測と学術研究に貢献できるものと考えられる。

本課題から得られた固体素子レーダーおよび二重偏波レーダーに関する知見は、「X バンドレーダ分科会」および「コンソーシアム」への参加を通して国土交通省の XRAIN（X バンドの二重偏波レーダー網）の品質評価・データ利用に、および気象庁の次期空港気象ドップラーレーダーの仕様策定に役立てられている。

（4）総合評価

本研究の一部である偏波レーダーを用いた研究では当初予定していた基礎技術の開発、データの高度利用技術の開発、実際の観測への応用の３つの目標を全て達成し、併せてそれ以外にも潜在的に豪雨をもたらす積乱雲の直前探知やディスドロメータのデータ補正方法など学術研究に寄与する成果も得ている。一方、偏波レーダーの wave form の最適化など世界的に現在進行中の研究にも比肩しうる成果も得られつつある。従って、偏波レーダーを用いた研究は予想以上の成果が得られたと考える。

今後は最適化のためにはこれまでのソフトウェアによる対応ではなくメーカーや海外の大学との提携によってソフトウェアと共にハードウェアの改修を含めた研究が必要となる。このため同様なレーダーの研究を行っているオクラホマ大学とメーカーである東芝および気象研究所の間で共

同研究の契約を 2011 年に結び現在も共同研究を続けている。

気象研究所評価委員会による終了時評価

１．総合評価

非常に優れた研究であった。

２．総合所見

C バンド固体素子二重偏波レーダーの技術的課題を解決し、現業化に向けた技術開発を成し遂げたことは高く評価できる。また、GNSS 視線遅延量を用いた水蒸気情報の抽出手法を開発し、大雨の先行情報としての利用可能性を示すことができ、GNSS の先進的な利用技術の開発として高く評価できる。これらは、近年頻発する極端気象の監視・予測に非常に重要な技術的基盤であり、引き続き研究をお願いしたい。

特に、固体素子二重偏波レーダー技術の研究は、本庁業務に大いに貢献し、長官表彰を受けるなど高い評価を受け、非常に優れた成果を上げた。

査読論文は、11 編（うち５編が国際誌での主著者原著論文)、投稿中 1 編が投稿された。原著論文数は多いとはいえないものの、関連する研究･技術開発課題との連携にも積極的であり、所期の目的は充分達成したと判断される。

引き続き、次期研究計画での重点研究の副課題としてリモートセンシング観測技術の高度化研究としての発展を期待したい。その際に、フェイズドアレイレーダーを加え、局地的な顕著現象に関する研究の更なる発展を期待する。

成果発表一覧

査読論文：11 件

1. Ahoro Adachi, T. Kobayashi, H. Yamauchi, and S. Onogi, 2013; Detection of potentially hazardous convective clouds with a dual-polarized C-band radar, Atmos. Meas. Tech., 6, 2741-2760. .
2. Ahoro Adachi, T. Kobayashi, H. Yamauchi and S. Onogi, Detection of potentially hazardous convective cells with a dual-polarized C-band radar, Proceedings of the 9th International Symposium on Tropospheric Profiling, ISBN/EAN: 978-90-815839-4-7, Published by the ESA Conference Bureau, 2012.
3. Ahoro Adachi, Takahisa Kobayashi, Hiroshi Yamauchi, Shigeru Onogi, 2011: Detection of convective cells with a potential to produce local heavy rainfalls by a C-band polarimetric radar, proceedings of the SPIE Remote Sensing Conf. Remote Sensing of Clouds and the Atmos. XVI, 81770P1-81770P6, 2011. doi: 10.1117/12.897807.
4. Ahoro Adachi, Takahisa Kobayashi, 2009: A nonclassical gust front and a solitary wave embedded within a typhoon as observed with Doppler radar and wind profiler, J. Meteor. Soc. Japan, 87, 57-82.
5. Horiguchi, M., T. Hayashi, A. Adachi, S. Onogi, Large-scale turbulence structures and their contributions to the momentum flux and turbulence in the near-neutral atmospheric boundary layer observed from a 213-m tall meteorological tower, Boundary-Layer Meteorol, 144, 179-198, 2012.
6. Kawabata T., Y. Shoji, H. Seko, and K. Saito, 2013: A Numerical Study on a Mesoscale-Convective System over a Subtropical Islandwith4D-Var Assimilationof GPS Slant Total Delays, J. Meteor. Soc. Japan, 91,705-721.
7. Kobayashi Takahisa, Kazuhiko Masuda, Hiroshi Yamauchi, Ahoro Adachi, 2011: Physically-based Simulator for measurements of precipitation with Polarimetric and Space-borne Radars, proceedings of the SPIE Remote Sensing Conf., Remote Sensing of Clouds and the Atmos. XVI, 817710P1-817710P6, 2011. doi: 10.1117/12.897702.
8. Kudo, Atsushi, 2013: The Generation of Turbulence below Midlevel Cloud Bases: The

Effect of Cooling due to Sublimation of Snow. J. Appl. Meteor. Climatol., 52, 819–833..
9. Sato K., E. Realini, T. Tsuda, M. Oigawa, Y. Iwaki, Y. Shoji, and H. Seko, 2013:A High-Resolution, Precipitable Water Vapor Monitoring System Using a Dense Network of GNSS Receivers, Journal of Disaster Research, 8, 37-47.
10. Shoji Y. 2013: Retrieval of Water Vapor Inhomogeneity Using the Japanese Nationwide GPS Array, J. Meteor. Soc. Japan, 91, 43-62.
11. Shoji Y., H. Yamauchi, W. Mashiko, and E. Sato, 2013: Estimation of Local-scale Precipitable Water Vapor Variation Around Each GNSS Station using Slant Path Delay. SOLA, (submitted).

査読論文以外の著作物（翻訳，著書，解説）：4 件

1. 加藤輝之, 山内洋, 2013:竜巻の解析とメカニズム, 平成 24 年度予報技術研修テキスト, 81-87.
2. 山内洋, 鈴木修, 規格化コヒーレント電力 NCP を用いたドップラー気象レーダーの品質管理, 測候時報, 79, 39-52, 2012.
3. 山内洋, 小司禎教, 足立アホロ, 佐藤英一, 2013 : 気象研究所・二重偏波ドップラーレーダーで捉えた竜巻渦, 2012 年 5 月 6 日の茨城・栃木の竜巻に関する調査研究報告会, 天気, 60, 49-50.
4. 気象庁（山内洋）, 2012: C バンド固体素子二重偏波ドップラー気象レーダー, 気象業務はいま 2012, 150-151.

学会等発表（口頭発表：国際的な会議・学会等）：14 件

1. Adachi, A., T. Kobayashi, H. Yamauchi and S. Onogi, Detection of potentially hazardous convective cells with a dual-polarized C-band radar, the 9th International Symposium on Tropospheric Profiling, L'Aquila, Italy, 2012.
2. A. Adachi, T. Kobayashi, H. Yamauchi, and S. Onogi, 2013; Detection of potentially hazardous convective clouds with a dual-polarized C-band radar, International Symposium on Earth-Science Challenges (ISEC) 2013.
3. Adachi, T. Kobayashi, 2009: Observational study of a gust front triggered by vertical momentum transport within a typhoon, 8th International Symposium of Tropospheric Profiling, S02 - O03
4. Ichikawa R., T. Hobiger, Y. Shoji, and Y. Miyauchi, The impact of data assimilation of ground-based GPS precipitable water vapor to numerical weather prediction model on estimation of ray-traced atmospheric slant delays, American Geophysical Union's Fall Meeting, 2012 年 12 月 3 日
5. Jones, J., G. Guerova, J. Dousa, O. Bock, G. Elgered, H. Vedel, E. Pottiaux, S. de Haan, R. Pacione, G. Dick, J. Wang, S. I Gutman, J. Wickert, K. Rannat, G. Liu, J. Braun, and Y. Shoji, International Collaboration in the field of GNSS-Meteorology and Climate Monitoring, American Geophysical Union's Fall Meeting, 2012 年 12 月 3 日
6. Kobayashi, T., and A. Adachi, 2009: Space-borne measurements of changes in cloud optical thickness and cloud drop size associated with precipitation, 2009 International Geoscience and Remote sensing Symposium, Cape Town, South Africa.
7. Sato, E., C. Fujiwara, K. Kusunoki, and S. Saito, 2013: Characteristics of descending reflectivity cores observed by Ku-band radar, 36th Conf. Radar Meteor., Breckenridge, Colorado,
8. Shoji, Y., Retrieval of Water Vapor Anisotropy using the Japanese Nationwide GPS Array and its Potential for Monitoring of Convective Precipitation, American Geophysical Union's Fall Meeting, 2012 年 12 月 3 日
9. Shoji, Y., H. Yamauchi, W. Mashiko, and E. Sato, The Use of GPS/GNSS Slant Delays for

Early Detection of Local Severe Thunderstorms, The 5th Asia Oceania Regional Workshop on GNSS, 2013 年 12 月 3 日，ハノイ/ベトナム.

10. Shoji, Y., H. Yamauchi, W. Mashiko, and E. Sato, GPS/GNSS slant delay: analysis procedure and application for monitoring of water vapor variation associated with severe thunderstorms, First International Workshop on Tokyo Metropolitan Area Convective Study on Extreme Weather resilient Cities, 2013 年 12 月 4 日，つくば.
11. Shoji, Y., H. Yamauchi, W. Mashiko, and E. Sato, Estimation of Water Vapor Variation Around Each GPS/GNSS Station Using Slant Path Delay, 第 243 回生存圏シンポジウム「東南アジアにおける衛星測位データの有効活用に関する国際シンポジウム」, 2014 年 1 月 13 日，バンドン/インドネシア.
12. Wada, M., N. Anraku, H. Yamauchi and A. Adachi, 2012; Operational usage of solid-state weather radar, WMO Technical conference on meteorological and environmental instruments and methods of observation, P1-26.
13. Yamauchi, H., H. Niino, O. Suzuki, Y. Shoji, E. Sato, A. Adachi, and W. Mashiko, 2013: Vertical Structure of the Tsukuba F3 Tornado on 6 May 2012 as Revealed by a Solid-state Polarimetric Radar. International Symposium on Earth-Science Challenges (ISEC) 2013, Uji, O37.
14. Yamauchi, H., H. Niino, O. Suzuki, Y. Shoji, E. Sato, A. Adachi, and W. Mashiko, 2013: Vertical Structure of the Tsukuba F3 Tornado on 6 May 2012 as Revealed by a Polarimetric Radar. 1st International Workshop on Tokyo Metropolitan Area Convection Study for Extreme Weather Resilient Cities, Tsukuba.

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：16 件

1. 足立アホロ, 小林隆久, 山内洋, 小野木茂, レーダーシミュレーターによる偏波パラメタ計算結果のレーダー観測への応用（その３）偏波レーダーによる豪雨をもたらす積乱雲の直前予測の可能性, 2012 年度春季大会講演予稿集, C403, 101, 日本気象学会, 2012
2. 山内洋, 足立アホロ, 鈴木修, 佐藤英一, 小林隆久, 2012：C バンド固体素子二重偏波レーダーで捉えた 2011 年 8 月 26 日の東京の大雨. 日本気象学会 2012 年度春季大会，D163.
3. 山内洋, 2012：気象レーダーの革新－固体素子送信器が実現する高速・高精度な二重偏波観測－, 平成 24 年度気象庁施設等機関研究報告会.
4. 小司禎教, 手塚賢太郎, 樊春明, GNSS を用いた東京湾周辺の水蒸気変動解析, 平成 24 年度測位航法学会全国大会, 2012 年 4 月 20 日
5. 山内 洋, 鈴木修, 猪上華子, 和田将一, 堀込淳一, 2009: 気象研究所 C バンド固体素子二重偏波ドップラーレーダー, 日本気象学会, 2009 年度日本気象学会春季大会講演予稿集, D102.
6. 山内 洋, 鈴木 修, 中里 真久, 猪上 華子, 益子 渉, 星野 俊介, 小林 隆久, 足立 アホロ, 2010：2009 年 10 月 8 日に土浦市で発生した竜巻の親雲の特徴, 日本気象学会 2010 年度春季大会講演予稿集, 97, 63.
7. 山内洋, 小司禎教, 佐藤英一, 足立アホロ, 益子渉, 2012：気象研究所・二重偏波ドップラーレーダーで捉えた竜巻渦, 2012 年 5 月 6 日の茨城・栃木の竜巻に関する調査研究報告会, 日本気象学会, 2012 年 5 月 27 日.
8. 山内洋, 足立アホロ, 小林隆久, 猪上華子, 小野木茂, 山田昭裕, 飯塚治道, 2009: 重量式および転倒ます型雨量計を用いた光学式ディスドロメータの精度検証, 日本気象学会秋季大会講演予稿集, 96,313
9. 小林隆久, 増田一彦, 2009: 衛星で観測した雲光学的厚さと雲粒サイズに及ぼす降水の影響, 日本気象学会秋季大会講演予稿集, 96, 297
10. 小野木茂, 足立アホロ,2009: 1.3GHz ウィンドプロファイラーの下層測風性能の改善, 日本気象学会秋季大会講演予稿集, 96, 318
11. 山内洋, 足立アホロ, 小林隆久, 猪上華子, 小野木茂, 山田昭裕, 飯塚治道, 2009: 重量式お

よび転倒ます型雨量計を用いた光学式ディスドロメータの精度検証，日本気象学会秋季大会講演予稿集，96,313

12. 山内洋，足立アホロ，小林隆久，鈴木修，猪上華子，小野木茂，2010：C バンド固体素子二重偏波レーダーによる降水強度推定の検証，日本気象学会秋季大会講演予稿集, 98, 281.
13. 小林隆久，増田一彦，足立アホロ，山内洋， 2010：雲・降水レーダーシミュレーターの開発 -2-，日本気象学会秋季大会講演予稿集, 98, 282.
14. 足立アホロ，小林隆久，山内洋，小野木茂, 2010：レーダーシミュレーターによる偏波パラメタ計算結果のレーダー観測への応用，日本気象学会秋季大会講演予稿集, 98, 283.
15. 小林隆久，増田一彦，2010：衛星搭載レーダの多重散乱シミュレーション，日本リモートセンシング学会第 49 回学術講演会.
16. 足立アホロ，真木雅之，小林隆久，鈴木修，三隅良平，山内洋，石原正仁，課題 1 観測グループ，2011：科学技術戦略推進費「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」の概要とその観測機器の紹介，日本リモートセンシング学会，第 50 回学術講演会，招待講演.

学会等発表（ポスター発表：国際的な会議・学会等）：9 件

1. A. Adachi, T. Kobayashi, H. Yamauchi, and S. Onogi, 2013; Radar calibration using polarimetric observations with rain attenuation correction, the 36th Conference on Radar Meteorology, Breckenridge, Colorado, USA.
2. Adachi, A., T. Kobayashi, H. Yamauchi, and S. Onogi, 2012: Rainfall estimation and detection of hazardous convective cells with a dual-polarized C-band radar, AGU Chapman Conference on Remote Sensing of the Terrestrial Water Cycle, Waikoloa, USA
3. Adachi, A., T. Kobayashi, H. Yamauchi, and M. Ishihara, 2009: A Nonclassical Gust Front embedded within a Typhoon as Observed with Doppler Radar and Wind Profiler, International Symposium on Radar and Modeling Studies of the Atmosphere, Po-8
4. Anraku, N., M. Wada, A. Adachi and H. Yamauchi, 2013: Solid-State Pulse Compression Radars in Japan, 36th Conf. Radar Meteor., Breckenridge, Colorado, 158.
5. Kobayashi, T., and A. Adachi, 2009: Effects of precipitation on cloud optical thickness derived from combined passive and active space-borne sensors European General Assembly, Wien, Austria
6. Kobayashi, T., K. Masuda, A. Adachi and H. Yamauchi, 2010: Development of a radar simulator for space-borne and polarimetric radar, 6th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology.
7. S. Sugimoto, T. Kobayashi and A. Adachi, 2013: Effect of multiple scattering in GPM precipitation radar measurement, the 36th Conference on Radar Meteorology, Breckenridge, Colorado, USA.
8. Yamauchi, H., H. Niino, O. Suzuki, Y. Shoji, E. Sato, A. Adachi, and W. Mashiko, 2013: Vertical structure of the Tsukuba F3 tornado on 6 May 2012 as revealed by a polarimetric radar, 36th Conf. Radar Meteor., Breckenridge, Colorado, 320.
9. Yamauchi, H., A. Adachi, O. Suzuki and T. Kobayashi, 2012: Precipitation estimate of a heavy rain event using a C-band solid-state polarimetric radar, 7th European Conf. on Radar in Meteorol. and Hydrol., Toulouse, France, 201SP.

学会等発表（ポスター発表：国内の会議・学会等）：7 件

1. 足立アホロ，小野木茂，小林隆久，2009：1.3GHz ウィンドプロファイラーによる雨滴粒径分布の抽出(第 2 報)，日本気象学会春季大会講演予稿集，95, 330
2. 足立アホロ, 山内洋, 小林隆久, 加藤輝之, 2009：雲・降水レーダーシミュレーターの開発（NHM データへの応用），日本気象学会秋季大会講演予稿集，96, 441
3. 足立アホロ，小林隆久，山内洋，小野木茂，2011：レーダーシミュレーターの偏波レーダー観

測への応用（その２）反射因子差を用いた降水強度推定手法の特性，日本気象学会秋季大会講演予稿集，100, 534
4. 小林隆久，増田一彦，足立アホロ，山内洋,2009: 雲・降水レーダーシミュレーターの開発，日本気象学会秋季大会講演予稿集，96, 349
5. 小林隆久，増田一彦，足立アホロ，山内洋,2011: 雲・降水レーダーシミュレーターの開発：３-雨滴生成モデル-，日本気象学会春季大会講演予稿集，99, 297
6. 小司禎教，2013: GPS による水蒸気非一様性の解析，第 225 回生存圏シンポジウム
7. 小司禎教，佐藤一敏，津田敏隆，2013: 精密衛星測位を用いた全球可降水量の長期解析，生存圏ミッションシンポジウム

東北地方のシビア現象に関する解析的研究

研 究 期 間：平成 24 年度～平成 25 年度
研究代表者：折笠成宏（仙台管区気象台防災調査課　調査官）

研究担当者：足立勇士[1)]、中塚斉[1)]、加藤廣、竹村正弘[2)]、小野寺雄司[2)]、菊地一浩[2)]、栗田邦明[2)]、岡田健[1)]、戸ノ崎博毅、高橋幸由[2)]、蒔苗仁[1)]、戸松秀之[1)]、髙須健嗣[1)]（仙台管区気象台）、久塚栄一、泉泰明[1)]、渡邊司[2)]、石黒友紀[1)]、西畑秀則[2)]、高橋未来[2)]、外崎均[2)]（青森地方気象台）、梅原章仁[1)]、正木登[1)]（青森空港出張所）、工藤淳也、小田嶋孝一[1)]、佐藤賢一[2)]、藤瀬優一[1)]、藤井政志[1)]、坂下保[1)]、坂中仁[1)]、齊藤伸次[1)]、小野寺雄司[1)]、栗田徹朗[2)]、吉田洋一[2)]（盛岡地方気象台）、佐々木隆雄[1)]、小野寺健男[1)]、藤本広美[2)]、戸堀博之[2)]、小笠原敦[1)]、高野健志[1)]、八川操規[2)]、野口利世[2)]、澁谷克之[2)]、市川晴基[2)]、後藤久[2)]（秋田地方気象台）、長谷川栄治[1)]、鈴木隆雄、上野純一[2)]、後藤久[1)]、菊地一浩[1)]、佐々木悟[1)]、志田伊久雄[1)]、丹野雅彦[1)]、阿曽知子[1)]、髙内寛義[1)]、高野健志[2)]、一川孝平[2)]（山形地方気象台）、天城正人[1)]（庄内空港出張所）、清野博樹[1)]、高橋浩二[1)]、吉田繁[2)]、長谷川栄治[2)]、大森茂生[1)]、吉田洋一[1)]、古積健太郎、山中力[1)]、正木孝志[2)]、阿部富男[2)]、（福島地方気象台）、小金澤康、信濃辰夫[1)]、藤井政志[2)]（仙台航空測候所）、小司禎教（気象研究所気象衛星・観測システム研究部）

研究の動機・背景

（1）現状と問題点

各気象官署では、地方公共団体が行う避難勧告の判断や防災体制の検討の支援を行っており、その一端として激甚な気象災害が予想される場合には、気象台から専用電話（ホットライン）による解説を行っている。

地方公共団体が地域住民を適切に避難行動に導くためには、リードタイムを長く確保する必要があるが、現状では過去の災害履歴や実況と統計値等の比較に基づく支援の比重が大きく、シビア現象に係る防災支援に際してはリードタイムが十分に確保できていない。

（2）研究の必要性、緊急性

避難勧告の判断等に必要となるホットラインの運用や復旧・復興作業の効率的かつ安全な実施を支援することが必要である。このため、現状の主にレーダーや地上気象観測網等のデータに基づくホットラインの運用では、リードタイムの確保には限界があるため、激甚な気象災害をもたらすシビア現象の診断的予測技術の開発が喫緊の課題となっている。

（3）研究の目的

東北地方で発生したシビア現象について、NHM による再現実験や GPS 可降水量等を用いた解析を実施し、その発生過程や内部構造を把握する。そのうえで、発生の初期段階における前兆現象に関する知見を蓄積し、防災気象情報の充実に貢献することを目的とする。

研究の成果の到達目標

東北地方で発生したシビア現象（大雨、豪雪等）に関して NHM による再現実験及び GPS 可降水量等を用いた解析を行うことにより、発生過程や内部構造を明らかにする。

シビア現象発生過程の初期段階に対する知見を集積し、実況監視手法へ反映させる。

研究結果

（1）成果の概要

2006 年から 2013 年までの 6～8 月を中心に、東北地方で顕著な大雨が発生した事例を解析候補として選定し、メソ客観解析、JMANHM による再現実験、GPS 可降水量による解析を用いて事例解析

[1)]平成 24 年度、[2)]平成 25 年度

を進めた。また、GPS 衛星の視線遅延量を利用した解析データ（等方成分、勾配成分、非一様成分）を整備して解析に利用した。

① 停滞前線による大雨事例(2 個)：
調査した 2 事例において、メソ解析の 500m 高度面における相当温位と水蒸気フラックス量はそれぞれ、345K 以上, 600$gm^{-2}s^{-1}$、約 345K, 250$gm^{-2}s^{-1}$、と暖湿気の流入が強まっていた。
JMANHM による再現実験ではそれぞれ、相当温位の高い領域の山越えや地形の影響を受けた上昇流域、低気圧の閉塞化と別の前線の顕在化、と降水域の発達をもたらす要素は異なるものの、下層の暖湿気が流入しやすい状況であった。
GPS 可降水量は、強雨域周辺で勾配パラメータの極大域が現れた事例もあり、局地的に発達する降水域との対応は良いが、面的に広い範囲の降水との対応は良くなかった。

② 線状降水帯による大雨事例(8 個)：
夏季の 5 事例では、500m 高度面における相当温位と水蒸気フラックス量はそれぞれ 345～355K 以上、 150～400$gm^{-2}s^{-1}$ 程度以上となっていた。線状降水帯の強化となった下層の暖湿気流入以外に考えられる主な要因として、強い下層シアの通過、下層から中層にかけての明瞭な風の鉛直シア、地形による強制上昇、上空の渦位移流に伴う中層の寒冷化などが個々の事例解析で挙げられた。GPS 可降水量データの勾配パラメータや非一様成分指標と強雨との対応は概ね良い傾向があることが分かった。
冬季の 2 事例では、500m 高度面における相当温位と水蒸気フラックス量はそれぞれ約 305K 以上, 150～200$gm^{-2}s^{-1}$ 程度以上となっていた。下層での暖湿流と別の気流との収束線の形成、上層の持続した風系などの条件が重なって大雨となっていたと考えられる。沿岸地域での発生ということもあり、GPS 可降水量データと強雨との対応は見出だせなかった。
実況監視として、気象衛星水蒸気画像による暗域（乾燥域）の顕著な縮小とその接近が現象の初期段階の前兆として対応が良い事例もあった。

③ 熱的不安定性降水による大雨事例(4 個)：
下層への高相当温位域の流入及び、上空の渦位移流に伴う中層の寒冷化によって熱的に不安定な環境場で発生した事例を選定し解析を進めた。
降水系が発達した要因は、不安定な環境場以外は事例ごとに異なり、地形や海水温の影響、下層風の収束などが効いている事例があった。
GPS 可降水量データにおいて、フラックス発散、勾配パラメータ等は強雨域の発生や移動の特定に常に有効とはいかないものの、強雨発生やピークのタイミング、降水系の変化傾向の参考となる場合があることが分かった。

④ メソ低気圧による大雪事例(2 個)：
2 事例ともに、下層の暖気移流により生じた暖気核が海上での気団変質や凝結熱の補給を受けて成長した結果、気圧傾度不連続線に沿う収束によって形成された帯状雲が、停滞することで大雪となった。
予報作業上の着目点として、不安定度を判断する目安となる高度は 1000m 以下、上空の寒気は平衡高度から 600～500hPa であり、これまで着目されることの多かった 850hPa, 500hPa では共に高すぎることが示唆された。

（2）当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）
特になし

（3）成果の他の研究等への波及状況
特になし

（4）今後の課題
・大雨発生前の初期段階における事例解析のさらなる蓄積により、リードタイム確保に有効な指標を総合的に見出すための統計調査が必要となる。

・レーダー観測による 3 次元構造解析や気象衛星高頻度観測による雲画像解析を含めて、シビア現象のより適切な実況監視手法を引き続き検討する必要がある。現象別に着目すべき物理量や判定指標を提案したり、高分解能の GPS 水蒸気情報による実況監視の有効性及び GPS 衛星観測の時空間密度に起因する限界を総合的に評価することが課題である。

自己点検

（1）到達目標に対する達成度

本研究では、東北地方で近年発生したシビア現象事例を選定し、客観解析データを用いた定量的解析や NHM による再現実験、GPS 可降水量の 2 次解析データ等を用いて、発生過程や内部構造を解明することを目標に解析を進めてきた。幾つかの事例解析においては、詳細なスケールでの大雨の要因や降水系の発生・発達メカニズムを明らかにするまで達成できたといえる。ただ、総合的な達成度を見た場合、初期段階における知見を蓄積する枠組みは作ったものの、事例解析を統計調査のレベルに進められるまでには至らず、実況監視手法への研究成果の反映まで到達できなかった。今後もこの枠組みを継続的に活用していくことによって、実況監視の向上に寄与する成果を得ることができると考えられる。

（2）研究手法及び到達目標の設定の妥当性

概ね妥当であったと考えている。

（3）成果の施策への活用・学術的意義

事例解析によって得られた知見は、地方官署での予報現業等の参考にしている。特に、GPS 可降水量のフラックス発散、非一様成分、勾配パラメータが大雨発生の実況監視に有効な事例と、対応が良くない事例があり、GPS 衛星の観測点密度と観測範囲と気象現象との関連からの考察を踏まえつつ、さらに東北地方での大雨発生の事例解析を蓄積することによって、より有効な実況監視手法の確立に向けた基礎的な調査となる。

（4）総合評価

実況監視手法への反映という側面では、当初目標を完全に達成するまでには至らなかったが、仙台管内の各官署において近年発生したシビア現象の様々な事例解析を行うことができた。1 年目は対象事例を特に限定せずに大雨のほか、突風、大雪まで拡げて調査を進めたが、2 年目は大気の状態を不安定化させる要因である積乱雲の発生・発達の環境場や過程に着目し、GPS 可降水量データによる解析の有効性を把握する目的で大雨を中心に添えた事例解析に取り組むように調整を図った。

これまでは、東北地方で発生したシビア現象に関して単発の調査研究を各官署が独立して進めていたが、本研究では調査手法・結果を管内で情報交換しながら進めたことにより、大雨・短時間強雨が発生する環境場や降水系の発生・発達メカニズムの理解に向けて共通認識をより深めることができたといえる。

地方共同研究では、気象研究所の担当者から直接、調査研究の進め方について助言を得られるほか、例えば GPS 可降水量の 2 次解析データといった最新の研究に用いられるデータを利用することも可能である。年一回の担当者打合せ会では、管区、地方、気象研究所の各担当者が一同に会して研究内容を議論することができ、技術指導も受けることができる。各官署からの全担当者のうち比較的若い職員が半数程度を占めた点から、気象庁業務の将来を担う若手職員の技術力向上にも一定の寄与をしたものと考えている。

気象研究所評価委員会による終了時評価

1．総合評価

研究を実施した意義はあった。

2．総合所見

本研究は、激甚な気象災害をもたらすシビア現象について、再現実験や事例解析を通じて、予測精度向上に資する知見を蓄積することを目的としている。また、特別警報を適切に運用するために必要な、現場のニーズに沿った研究となっており、問題点の把握や課題設定は概ね適切であった。

また、仙台管区の多くの官署が NHM の再現実験や GPS 可降水量の 2 次解析データ等の新たな観測データを用いた事例解析を行い、実況監視に関する知見を蓄積できたことは、現場における技術の

高揚や、若手職員の人材育成の面で有意義であった。

本研究の目標は「実況監視手法へ反映」であり現業業務への導入には到達できなかったため、所期の目的を達成できたとは言い難いが、困難な内容であることから、今回の経験を生かし今後も研究を進めて欲しい。

本研究では、調査対象が夏季から冬季、停滞前線や線状降水、熱的不安定降水など広範囲にわたり過ぎていたため、今後は現象の特性を考慮し、対象を絞り込むなどの工夫も一案である。同様の取り組みを続け、一定数の事例が蓄積された段階で、もう一段高い概念化を図り、報告書として取りまとめるなどの取り組みを続けることが重要である。

成果発表一覧

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：37 件

1. 石黒友紀, 2012: 2012 年 2 月 1 日下北に大雪をもたらした低気圧, 平成 24 年度青森地区調査研究会.
2. 正木登, 2012: 2011 年 12 月 4 日に津軽地方において暴風をもたらしたメソ低気圧の再現実験, 平成 24 年度青森地区調査研究会.
3. 梅原章仁, 2012: 2012 年 7 月 5 日に弘前市でＦ1 規模の被害をもたらした竜巻の発生要因について, 平成 24 年度青森地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
4. 藤瀬優一・藤井政志・坂下保, 2012: 2011 年 12 月 24 日未明から明け方の紫波の強風について, 平成 24 年度岩手地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
5. 齊藤伸次・小野寺雄司, 2012: 平成 24 年 6 月 8 日不安定性降水が発生しなかった事例調査, 平成 24 年度岩手地区調査研究会.
6. 坂中仁・小田嶋孝一, 2012: 2012 年 5 月 6 日の雷, 平成 24 年度岩手地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
7. 小笠原敦・藤本広美・高野健志, 2012: 2007 年 9 月 17 日の停滞前線による大雨事例の解析, 平成 24 年度秋田地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
8. 高野健志・藤本広美, 2012: 大雪概念モデルに類似した 2012 年 1 月の大雪事例の解析, 平成 24 年度秋田地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
9. 後藤久, 2012: 梅雨前線帯の大雨と 500m面の水蒸気フラックスについて, 平成 24 年度山形地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
10. 菊地一浩・鈴木隆雄・佐々木悟・後藤久・志田伊久雄・丹野雅彦, 2012: 大雨等の予想に関する 500m高度データの活用, 平成 24 年度山形地区調査研究会.
11. 鈴木隆雄・菊地一浩・佐々木悟・後藤久・志田伊久雄・丹野雅彦, 2012: 500m高度面データを用いた 2011 年 7 月 13 日の大雨の基礎調査, 平成 24 年度山形地区調査研究会.
12. 阿曽知子・長谷川栄治, 2012: 新庄盆地に形成される冷気湖が庄内平野の大雪に与える影響についての考察, 平成 24 年度山形地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
13. 天城正人, 2012: 平成 24 年 4 月 6 日庄内空港付近で発生した漏斗雲について, 平成 24 年度山形地区調査研究会.
14. 髙内寛義, 2012: 2011 年 12 月 22 日に鶴岡市湯野浜付近で発生した突風, 平成 24 年度山形地区調査研究会.
15. 高須健嗣・足立勇士, 2012: 6 月・7 月・8 月の大気の流れと対流雲発生の特徴について, 平成 24 年度宮城地区調査研究会.
16. 加藤廣, 2012: 前線近傍で発生する短時間強雨予測のための着目点の検討, 平成 24 年度宮城地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
17. 大森茂生・清野博樹・吉田洋一, 2012: 平成 24 年 5 月 6 日に会津美里町で発生した突風事例について（その１）, 平成 24 年度福島地区調査研究会.
18. 古積健太郎・清野博樹・吉田洋一・山中力, 2012: 平成 24 年 5 月 6 日に会津美里町で発生した突風事例について（その２）, 平成 24 年度福島地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
19. 高橋未来・渡邊司・西畑秀則, 2013: 2011 年 7 月 27 日十和田市で発生した記録的短時間大雨の事例解析, 平成 25 年度青森地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
20. 渡邊司・西畑秀則・新美昂平, 2013: 平成 24 年 7 月 5 日の不安定降水による大雨について, 平成 25 年度青森地区調査研究会.
21. 外崎均, 2013: レーダー指数による大雨警報発表時のリードタイム改善の試み(続報), 平成 25

年度青森地区調査研究会.
22. 工藤淳也・佐藤賢一・栗田徹朗, 2013: 2010 年 12 月 22 日の低気圧による宮古市付近の大雨, 平成 25 年度岩手地区調査研究会.
23. 佐藤賢一・工藤淳也・栗田徹朗, 2013: 2011 年 6 月 24 日の停滞前線による大雨の解析, 平成 25 年度岩手地区調査研究会.
24. 栗田徹朗・工藤淳也・佐藤賢一, 2013: 2012 年 12 月 4 日の岩手県沿岸の線状降水帯について, 平成 25 年度岩手地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
25. 吉田洋一・坂中仁, 2013: 2013 年 7 月 26 日の寒冷渦による岩手県内の短時間強雨, 平成 25 年度岩手地区調査研究会.
26. 坂中仁・吉田洋一, 2013: 2013 年 8 月 9 日岩手県内に集中豪雨をもたらした線状降水帯の形成要因, 平成 25 年度岩手地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
27. 八川操規・野口利世, 2013: 平成 23 年 6 月下旬の秋田県南部に大雨をもたらした線状降水帯の NHM を用いた解析, 平成 25 年度秋田地区調査研究会.
28. 澁谷克之, 2013: 2013 年 7 月・8 月の不安定性降水による秋田県の大雨, 平成 25 年度秋田地区調査研究会.
29. 市川晴基・澁谷克之, 2013: 2013 年 8 月 9 日の秋田県の大雨について, 平成 25 年度秋田地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
30. 後藤久, 2013: 平成 25 年 8 月 20 日に横手市で発生した突風事例について, 平成 25 年度秋田地区調査研究会.
31. 高野健志・鈴木隆雄, 2013: 2013 年 7 月 18 日の大雨事例解析, 平成 25 年度山形地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
32. 栗田邦明・菊地一浩・戸ノ崎博毅, 2013: 2012 年 9 月 4 日の大雨の事例解析, 平成 25 年度宮城地区調査研究会.
33. 菊地一浩・栗田邦明・戸ノ崎博毅, 2013: 2012 年 7 月 30 日から 31 日の大雨の事例解析, 平成 25 年度宮城地区調査研究会.
34. 加藤廣, 2013: 地形に起因して発生する短時間強雨の特徴, 平成 25 年度宮城地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
35. 長谷川栄治・吉田繁・正木孝志・阿部富男・古積健太郎, 2013: 2013 年 7 月 22～23 日の大雨について, 平成 25 年度福島地区調査研究会.
36. 古積健太郎・吉田繁・長谷川栄治・正木孝志・阿部富男, 2013: 2013 年 4 月 7 日未明の浜通り南部の大雨事例, 平成 25 年度福島地区調査研究会, 東北地方調査研究会.
37. 小金澤康・藤井政志, 2013: 2011 年 9 月 7 日に秋田空港で観測した大雨事例の解析, 平成 25 年度仙台航空測候所調査研究会.

都市域に強雨をもたらす降水系の発生・発達機構と予測に関する研究

研 究 期 間：平成 24 年度～平成 25 年度
研究代表者：出口眞一[1)]、住田慎[2)]（東京管区気象台気象防災部防災調査課）
研究担当者：出口眞一[1)]、住田慎[2)]、窪田邦晃、池田倫子、平隆介[2)]、片岡彩[1)]、亀岡喜史[2)]（東京管区気象台気象防災部防災調査課）、高田雅浩[2)]、林秀明[1)]、洌川貞二[1)]、山崎伸一[2)]、水野康隆[2)]、松浪岳司[1)]、壁昭文[1)]、高瀬真治[1)]、山岸昌伸[2)]、持平孝[2)]、谷内吉彦[2)]、吉田貴弘[2)]、大森正雄[2)]、林真由[1)]、長谷川洋[1)]、片岡彩[2)]（名古屋地方気象台観測予報課）、太田弘彦[1)]、佐藤文治[2)]（名古屋地方気象台防災業務課）
加藤輝之（気象研究所予報研究部）、青柳曉典（気象研究所環境・応用気象研究部）

研究の動機・背景

（1）現状と問題点

都市域は土地の吸水性が低いために、ひとたび強雨が発生すると都市型浸水害の危険にさらされ、毎年のように被害が発生している。特に、近年では今まで顕在化していなかった小河川や下水道施設の急激な増水による災害や事故が多発し、社会的な影響が大きくなっている。このため、当管区では、関東・東海地方の都市域に発生する強雨の発生・発達機構に関する知見の蓄積と、強雨の予測可能性に関する知見を得ることなどを目的とした地方共同研究に平成 18 年度から継続して取り組み、一定の成果を上げてきたところである。

この一連の取り組みの最終的な目標は、都市域に発生する強雨について、予報作業で有用となる前兆現象、継続時間、雨域の移動方向、降水量予測などに関する知見を見出し、防災気象情報の精度向上に資することである。しかしながら、この観点から平成 23 年度までの研究成果をみてみると、研究結果は必ずしも十分であるとは言えない。また、これまでの研究成果を体系的に整理することで、予報現業担当者の気象解析技術力の向上に活用する必要もある。

（2）研究の必要性、緊急性

都市域に災害をもたらす強雨に関する前述の社会情勢を踏まえると、予測精度向上に直結する研究は必要かつ急務である。

（3）研究の目的

平成 23 年度までに取り組んだ地方共同研究で得られた成果を踏まえ、都市域に強雨をもたらす降水系の発生・発達機構に関するさらなる知見の蓄積を目指すとともに、予報作業で有用となる要素を見出すことに注力し、防災気象情報の精度向上に資する成果を得ることを目的とする。

研究の成果の到達目標

関東・東海地方の都市域に強雨をもたらす降水系の発生から終息に至る過程や内部構造に関する知見の蓄積を進める。

関東地方の都市の熱的効果が強雨に与える影響について、引き続き都市キャノピースキームを適用した数値実験を実施し、知見の蓄積を進める。東海地方においても都市キャノピースキームを適用した数値実験を新たに導入し、知見の蓄積に努める。

GPS 可降水量関連物理量を用いた強雨発生や継続時間等の予測可能性に関する知見の蓄積を進める。

平成 23 年度までの研究成果を体系的に整理するとともに、本研究の成果を総合的に分析し、予報作業に有用となる都市域の強雨予測に関する知見を見出すことにより、防災気象情報の精度向上に資する。

研究結果

（1）成果の概要

① ドップラーレーダーデータを用いた三次元事例解析

ドップラーレーダーデータを用いた三次元解析を中心とする事例解析を行い、降水系の発生から収束に至る過程や内部構造に関する知見の蓄積を進めた。

2011 年 8 月 26 日に 23 区西部で短時間強雨となった事例では、前線南下に伴った降水による冷気外出流と鹿島灘からの冷湿な気塊が、関東地方南部に形成されていたシアーラインに流入したことが推察でき、デュアル解析によってこの冷湿な気塊が暖湿気に流入して降水系を発達させたことも確認できた。

2012 年 8 月 11 日に名古屋市周辺で短時間大雨となった事例では、エコーへの中層における西風の流入が下降気流となり、南風を持ち上げて急発達したこと、その流出でさらに新たなエコーの発生を促すという機構を確認した。

② GPS による気象観測データを用いた降水予測に関する調査

GPS による気象観測データを用い、強雨発生や継続時間等の予測可能性に関する知見の蓄積を進めた。

2006 年 5 月 30 日、2008 年 7 月 29 日、2008 年 9 月 6 日、2010 年 7 月 5 日に東京都練馬区付近に共通して強雨となった事例で、非一様成分の標準偏差を用いて大雨出現時の状況を調査した。その結果、非一様成分の標準偏差は強雨との対応がよく、強雨時に共通して標準偏差が 2mm を超えている事を確認した。また、GPS 観測点における強雨と対応していない非一様成分の標準偏差の変動は遠方の降水系の反映である可能性を示唆し、非一様成分の標準偏差を強雨事前予測に用いるにあたっての問題点改善を示した。

2011 年 8 月 12 日に東京都板橋区付近で短時間強雨となった事例で、GPS 可降水量、水蒸気勾配の収束、非一様成分の標準偏差を用いて大雨出現時の状況を調査した。その結果、E-S シアーによる地上付近の風の収束域を起因として降水系が発生し、水蒸気勾配の収束が強い領域において GPS 可降水量が増大し、強雨が発生する事を示唆した。また、非一様成分の標準偏差は強雨に先行して増加し、標準偏差値が 2mm を超えている事を確認した。

2011 年 8 月 26 日に関東地方南部で大雨となった事例で、GPS 可降水量、勾配パラメーターの収束、非一様成分の標準偏差を用いて強雨との関係を調査した。その結果、地上付近の風の収束により水蒸気が集中したために GPS 可降水量が降水に先行して増加していたこと、非一様成分の標準偏差と強雨との対応が良く、強雨に先行して増加する地点があったことを確認した。また、勾配パラメーターの収束域は、衛星画像の対流雲域と、収束の強まりは対流雲の発達と対応が良く、衛星観測データと合わせて監視することにより、その後の雨雲の発達や減衰のポテンシャル把握に利用できる可能性を示唆した。

2012 年 7 月 29 日に名古屋市で短時間強雨となった事例では、GPS 可降水量、勾配パラメーターの収束、可降水量フラックスの収束と強雨の関係について調査した。その結果、GPS 可降水量は前 3 時間偏差が相対的に大きい領域でエコーが発達していることがわかった。勾配パラメーターの収束では名古屋市の降水エコー発生・発達前に収束が次第に強まっている事を再確認した。一方、降水エコー衰弱時にも収束が強まっており、以前の調査結果とは一致していない点もみられた。可降水量フラックスの収束では、降水エコー発生前に収束が見られるところもあったが、愛知県内の広い範囲で収束域となっており、降水エコーとの対応の適否まで言及できなかった。

2012 年 8 月 11 日に名古屋市周辺で強雨となった事例では、GPS 可降水量、勾配パラメーターの収束、可降水量フラックスの収束と強雨の関係について調査した。その結果、GPS 可降水量は前 3 時間偏差が+5mm 以上で降水エコーとの対応が良いこと、勾配パラメーターの収束は強雨域に先行して収束が強まり、収束の弱まりとともに降水エコーが消散したことがわかった。また、予警報作業の判断材料として考察を行い、GPS 可降水量の 3 時間偏差や勾配パラメーターの収束の弱まりが注警報の判断材料に利用できる可能性があることがわかった。

③ 都市キャノピースキームを適用した数値実験

都市の熱的効果が強雨に与える影響について、都市キャノピースキームを適用した再現実験を関東地方に加え東海地方においても実施し知見の蓄積を進めた。

2011 年 8 月 26 日に東京都 23 区に強雨をもたらした事例について、都市キャノピースキームを用いた JMANHM（2km 格子）による再現実験を行った。その結果、再現実験では実況でみられた都市部の高温低圧部での収束が再現されたものの、内陸の気温上昇の不足と水蒸気量の不足から、まず都市よりも大きなスケールの降水が再現できず、都市での顕著な大雨も再現することができなかった。また、平板モデルにより都市域の地表面パラメーターを都市、荒地、農地の状態に変更した感度実験を行い、都市部の高温低圧部強化に都市の熱的効果が寄与していたことが確認できた。しかし、収束の位置や強度への明確な寄与は確認できなかった。

2013 年 7 月 23 日に東京都 23 区西部で短時間強雨となった事例で、都市キャノピースキーム

を適用したJMANHMによる再現実験、平板モデルにより都市域の地表面パラメーターを農地の状態に設定した感度実験を行った。再現実験の結果、降水域は解像度を2kmから1km格子に上げることで実況と比べるとやや広範囲で位置ずれはあるものの、再現性が向上した。また、強雨前の都市部の高温低圧部は実況に近く、ある程度良い再現性がみられた。感度実験では23区西部の降水が標準実験に比べ弱く計算された。この結果から、都市域では海風の侵入が都市の顕熱フラックスによりもたらされたヒートアイランド循環と重なることによって妨げられ、収束の位置が変化し、また、顕熱フラックスによる大気の状態の不安定化は降水開始後も継続し、対流が維持され、都市の降水量が増加した可能性があることが示唆された。

2012年9月11日の事例に愛知県内で大雨となった事例で、JMANHMで都市キャノピーを都市格子に適用した実験及び現業MSMと同じ地表面過程課程を用いた実験を行った。その結果、再現結果は南東風の吹きこみによって暖かい空気が入り込んだ愛知県内を前線位相が通過することによって、愛知県内で雨雲が発達したと思われる。また、都市キャノピーを適用した実験の方が実況に近い降水分布を示し、都市熱を考慮することにより都市域と愛知県東部の温度差がより実況に近くなり、実況に近い風が表現されていたことが推測された。

④　8年間にわたる研究結果の体系的な整理・分析

4期8年にわたる研究の成果を体系的に整理・分析し、予報作業に有用となる都市域の強雨予測に関する知見を見出すことに努めた。

関東地方については、大雨時に共通する環境場を、客観的かつ定量的に把握するため、客観解析資料を用いて特徴を探求した。

この調査にて、各種指標の特徴を以下のとおり見出した。

・メソ解析500m高度の相当温位、自由対流高度までの距離（DLFC）、平衡高度（上昇した気塊が再び周囲の気温と等しくなる高度）などの大気の潜在不安定に関する指数は、強雨発生の第一の着目点であることを再確認した。しかし、不安定の指数のみでは十分でない事例も多く、地上風の収束や日射による下層の昇温など、強制上昇をもたらす他の要素と合わせて判断する必要があることを確認した。
・E-S型シアーラインの形成が不安定性降水の発生には重要であることを、確認した。
・高渦位移流の影響については、接近に伴い中層気温低下による大気不安定の強化をもたらすことを確認できた。
・総観規模の前線を伴う場合は、EPT、DLFC、EL、FLWVとも共通して不安定指数は高く、高渦位移流は関与していなくても、E-S型シアーラインとマージすることで大雨をもたらす場合うがあることがわかった。
・水蒸気フラックスについては、数時間内に終息する不安定性降水には比較的重要な要素ではないことを理解した。

また、予報を行ううえでは現象のメカニズムの理解やモデルにおける振る舞いの把握が不可欠であるが、そのうちの都市の熱的効果が寄与する影響を把握するため、都市キャノピースキームを適用したJMANHMによる調査からその特徴をまとめた。結果、主として2km格子モデルにおける再現性としては、降水の再現が過少である事例が多く、そのような事例では降水セルのスケールが小さいためにセルの世代交代まで表現できないことが一因として挙げられる。感度実験からは、都市による熱フラックスが海風の熱的変化による潜在不安定化を引き起こし、強雨に寄与するという特徴が見られた。強雨をもたらす対流現象に関与する気流について、時間帯別で見ると、日中の事例においては、都市部の気温上昇に伴って乱流エネルギーが増加することで速度収束の位置や強度が変化した。これにより降水の位置が変化し、強度も増すという特徴があった。夜間の事例においては、都市があることによって内陸の高温低圧部が長く維持され、収束や下層への水蒸気補給が維持されるために、降水の発達や持続を促したという特徴があった。なお、これらの特徴は一部の事例により垣間見えたものであり、都市の影響を真に把握するためには、さらに多くの事例による統計的調査が必要である。

（2）当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

都市気候再現モデルで示された「東海地方の高度別の都市化の影響による温位変化量」（ヒートアイランド監視報告（H24））の特徴と熱雷発生場所の比較検討を行った。

（3）成果の他の研究等への波及状況

防災調査課では、科学技術戦略推進費「気候変動に伴う極端気象変動に強い都市創り」課題 1（稠密観測による極端気象のメカニズム解明）の協力官署となっている。稠密観測により得られた観測データなどを用い事例解析を行い、この研究成果は稠密観測による極端気象のメカニズム解明の研究成果として紹介されている。

また、東京管区気象台内の調査研究会において、GPS 可降水量やドップラーレーダーに関する調査研究の発表が継続して行われている。

（4）今後の課題

都市キャノピースキームを用いた数値実験について、今回東海地方でも新たに実施できた。ただし、都市熱が影響している結果を示すことはできたが、1 事例のみであり影響を与えているかどうか今後事例の蓄積が必要である。関東地方においては、多くの事例で都市熱の存在が下層収束の位置変化に関与することが確認されたものの、都市における粗度の影響についても、別途検証する必要がある。

また、これまで扱った強雨事例の体系的な整理・分析について東海地方では詳細な調査までは進めなかった。

自己点検

（1）到達目標に対する達成度

関東地方および東海地方の都市域に強雨をもたらす降水系の事例解析により、降水系の発生・発達や内部構造に関する知見の着実な蓄積がなされた。

GPS 可降水量に関する調査では、非一様成分や前 3 時間偏差などが強雨と対応が良いことが確認できた。都市キャノピースキームを適用した数値実験では、都市域の強雨に与える影響に関する知見の蓄積を行った。また、これまでの 4 期 8 年にわたる研究の体系的な整理・分析を行い、強雨に伴う各種指標について、今後予報作業に有用となるものと思われる特徴を見出した。

以上から、各研究課題について着実に事例の蓄積が行え、また、体系的に整理を行い予報作業に有用となる都市域の強雨予測に関する知見を見いだせていることから所期の目的を概ね達成したと考える。

（2）研究手法及び到達目標の設定の妥当性

前回の地方共同研究に引き続き、ドップラーレーダーデータの三次元解析と都市キャノピースキームを用いた数値実験、GPS 可降水量に関する調査を行った、この調査は、気象研究所からの技術的支援をいただき東京管区気象台、名古屋地方気象台で実施可能レベルなものであり、目的の一つである事例の蓄積もできたので妥当であったものと思われる。

また、4 期 8 年の研究の体系的な整理について、関東地方では各種指数の特徴を見出せた。東海地方においては、強雨事例の概要をまとめることができた。

以上から到達目標の設定としてはおおむね妥当であったと思われる。

（3）成果の施策への活用・学術的意義

都市キャノピースキームを用いた数値実験では、関東地方に加え、1 事例のみではあるが今回新たに東海地方においても行った。関東に比べ都市規模が小さい東海地方でも都市熱が影響している結果が出ており、貴重な成果であると思われる。関東地方における再現実験・感度実験の結果は、都市における降水の予測可能性向上のためには、都市キャノピースキームによる地表面過程の精緻化が重要であることと同時に、周辺の環境場の予測精度向上も重要であることを示している。

GPS による気象観測データを用いた調査では、現業で用いられていない勾配パラメーターや非一様成分を用いた調査が行われており、学術的意義はあると思われる。また、8 年間の研究成果の体系的な整理については、取りまとめの際に作成した資料も年度内に発行する成果報告書に掲載する予定である。このことにより、今後大雨が発生した場合の資料取りまとめの手法として利用していただけるものと考える。

（4）総合評価

今回の地方共同研究は、4 題のテーマを設定して取り組んできた。前回の地方共同研究から引き続

き実施した 3 テーマは着実に事例の蓄積を進め、新たな知見が得られた。また、4 期 8 年にわたる研究成果の取りまとめについては、体系的に整理することができ、その際に作成した資料は今後の事例発生日に資料の取りまとめに際して参考になるものと考える。

なお、当管区では本研究で得られた成果を取りまとめた報告書を現在作成中で、今年度内に刊行する予定である。

気象研究所評価委員会による終了時評価

1．総合評価

優れた研究であった。

2．総合所見

本研究は、都市域で発生する強雨について、これまでの研究成果を体系的に整理し、予報作業で有用となる前兆現象、継続時間、雨域の移動方向、降水量予測などに関する新たな知見を獲得し、防災気象情報の精度向上に資することを目的としている。

本研究は、明確な目的意識を持って取り組まれており、目的の設定や研究体制は、過去の経験を踏まえた具体的かつ適切なものとなっており、高く評価できる。また、ドップラーレーダーデュアル解析データや新たなデータである GPS 勾配パラメーターの収束、非一様成分の標準偏差なども組み合わせた詳細な事例解析を行い、知見を蓄積したことは意義深く、十分な成果をあげられたと認められる。

本研究は、官署の調査能力を維持・向上させる上で重要な取り組みであり、今後も継続して欲しい。

成果発表一覧

学会等発表（口頭発表：国内の会議・学会等）：16 件

1. 窪田邦晃，片岡彩，池田倫子，2012：2011 年 8 月 26 日に東京都で発達した降水系の把握　―メソ解析およびドップラーレーダー解析による降水現象の解明―，東京都内調査研究会
2. 片岡彩，窪田邦晃，池田倫子，2012:ＧＰＳによる気象観測データを用いた大雨の予測可能性－2011 年 8 月 26 日の事例－，東京都内調査研究会
3. 片岡彩，窪田邦晃，池田倫子，2012:ＧＰＳによる気象観測データを用いた大雨の予測可能性－2011 年 8 月 26 日の事例－，関東甲信地区調査研究会
4. 池田倫子，片岡彩，窪田邦晃，2012：2011 年 8 月 26 日に東京都で発生した降水系について―JMANHM による環境場の再現実験・感度実験―，東京都内調査研究会
5. 長谷川洋, 2012:2012 年 7 月 29 日に名古屋市で発生した降水系の事例　- 名古屋市内で発生・発達した雷雨の事例解析 - ，愛知県内調査研究会
6. 長谷川洋，2012:2012 年 9 月 11 日に愛知県で発達した降水系の事例　－都市キャノピーモデルを用いた JMANHM の再現実験－，愛知県内調査研究会
7. 長谷川洋，2012:2012 年 9 月 11 日に愛知県で発達した降水系の事例　－都市キャノピーモデルを用いた JMANHM の再現実験－，東海地区調査研究会
8. 太田弘彦，2012:2012 年 8 月 11 日の強雨と大気遅延量指標の関係，愛知県内調査研究会
9. 太田弘彦，2012:2012 年 8 月 11 日の強雨と大気遅延量指標の関係，東海地区調査研究会
10. 窪田邦晃，平隆介，住田慎，池田倫子，亀岡喜史，2013：都市域に強雨をもたらす降水系の発生・発達機構と予測に関する研究　－客観解析資料を用いた環境場の定量的把握 中間報告－，東京都内調査研究会
11. 亀岡喜史，池田倫子，平隆介，住田慎，窪田邦晃，2013：ＧＰＳによる気象観測データを用いた大雨出現時の状況調査，　東京都内調査研究会
12. 亀岡喜史，池田倫子，平隆介，住田慎，窪田邦晃，2013：ＧＰＳによる気象観測データを用いた大雨出現時の状況調査，関東甲信地区調査研究会
13. 池田倫子，住田慎，窪田邦晃，平隆介，亀岡喜史，2013：都市域に強雨をもたらす降水系の発生・発達機構と予測に関する研究（都市キャノピースキームを適用した JMANHM による調査），東京都内調査研究会
14. 水野康隆，谷内吉彦，吉田貴弘，大森正雄，高田雅浩，佐藤文治，　2013：都市域に強雨をもたらす降水系の発生･発達機構と予測に関する研究（2 年計画第 2 年度）2012 年 8 月 11 日名古屋市付近で発生した強雨の Draft による機構解析，愛知県内調査研究会

15. 片岡彩，山崎伸一，山岸昌伸，持平孝，2013：ＧＰＳによる気象観測データを用いた降水予測に関する調査－2012 年 7 月 29 日に名古屋市で発生した降水系の事例－，愛知県内調査研究会
16. 山崎伸一，山岸昌伸，持平孝，片岡彩，2013：熱雷発生事例の考察及び都市気候再現モデルとの比較，愛知県内調査研究会