

2. 研究報告

2.1. 研究課題

本節には、気象研究所が平成 23 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 23 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 21～25 年、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 21～25 年、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 21～25 年、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 23～27 年、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 21～25 年、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 21～25 年、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 22～26 年、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 23～27 年、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 21～25 年、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 21～25 年、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 21～25 年、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 21～25 年、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 22～26 年、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 21～25 年、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 21～25 年、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 21～25 年、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22～25年、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21～25年、代表研究部：海洋研究部)
- ・ 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21～25年、代表研究部：海洋研究部)
- ・ 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21～25年、代表研究部：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21～25年、代表研究部：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23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22～25年、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21～25年、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21～25年、代表研究部：物理気象研究部)
- ・ 大気境界層の乱流構造の統合的研究(平成21～25年、代表研究部：物理気象研究部)
- ・ エーロゾル・雪氷相互作用に関する研究(平成22～25年、代表研究部：物理気象研究部)
- ・ 都市気象モデルの開発(平成21～25年、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21～25年、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21～25年、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22～25年、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22～25年、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23年度は、次の3課題を実施した。

- ・ 都市域に強雨をもたらす降水系の構造と環境場及び予測に関する研究(平成22～23年、東京管区气象台、予報研究部)
- ・ 集中豪雨・大雨発生の必要条件の抽出とその妥当性(平成23～24年、大阪管区气象台、予報研究部)

- ・ 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 23～24 年、気象庁地震火山部、札幌管区气象台、仙台管区气象台、大阪管区气象台、福岡管区气象台、沖縄气象台、地震火山研究部）

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 23 年度は、次の 11 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 22～26 年）

（2）放射能調査研究費による研究（文部科学省）

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 23～26 年）

（3）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 21～25 年）
- ・ 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 23～25 年）
- ・ 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 23～27 年）

（4）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。

- ・ マルチ気候モデルにおける諸現象の再現性比較とその将来変化に関する研究（平成 19～23 年）
- ・ 温暖化影響評価のための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（平成 19～23 年）
- ・ 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（平成 21～23 年）
- ・ 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（平成 21～23 年）
- ・ 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 23～25 年）
- ・ 「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 23～25 年）

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 23 年度は、次の 48 課題を実施した。

(1) 21 世紀気候変動予測革新プログラムに関する研究

- ・ 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（(独) 海洋研究開発機構）
- ・ モデル相互比較による温暖化予測不確実性の評価研究（(財) 高度情報科学技術研究機構）
- ・ 海洋モデルの高精度化による気候変動予測の向上に関する研究（東京大学大気海洋研究所）

(2) 地球環境変動観測ミッション（GCOM）に関する共同研究

- ・ AMSR2 用のマイクロ波降水リトリ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）
- ・ 気候モデルと衛星・リモートセンシングデータの相互作用による GCOM プロダクト利用技術の高度化（(独) 宇宙航空研究開発機構）
- ・ リモートセンシングアルゴリズム改良のための非球形エアロゾル・雲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 AMSR2 データを用いた台風の最大風速推定法の開発（(独) 宇宙航空研究開発機構）

(3) 降水観測ミッション（PMM）人工衛星プロジェクトに関する共同研究

- ・ マイクロ波輝度温度の新しい前方計算法の開発（(独) 宇宙航空研究開発機構）
- ・ レーダシミュレータを用いた衛星による降水観測の研究（(独) 宇宙航空研究開発機構）

(4) 「気候変動適応戦略イニシアチブ」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）

(5) 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）

(6) その他

- ・ CO₂ 濃度と風・気温の鉛直分布同時測定ライダーの受信系の開発（首都大学東京）
- ・ モンスーンの気候・水循環とその変動に係わる諸過程の研究（筑波大学）
- ・ 海洋中・深層の溶存物質の高精度測定に係わる研究（(独) 海洋研究開発機構）
- ・ 熱帯インド洋・西太平洋域における雲解像モデルによる降水量の精度検証等に関する共同研究（(独) 海洋開発研究機構）
- ・ 長期再解析 JRA-25 のダウンスケーリングデータを用いた過去の気象の電力事業への影響評価に関する研究（(財) 電力中央研究所）
- ・ 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）
- ・ 3次元数値モデル及びリモートセンシングを応用した山岳域の降雪量分布の推定と水資源管理手法等に関する研究（関東地方整備局 利根川ダム統合管理事務所）
- ・ 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）
- ・ 東部亜熱帯前線構造の長期変動に関する研究（東北大学）

- ・ 構造物周辺の風況予測技術及び航空機の安全評価技術に関する研究（（独）宇宙航空研究開発機構、東京工業大学）
- ・ 地上／衛星リモートセンシングによる雲物理量・降水量推定に関する共同研究（（独）宇宙航空研究開発機構）
- ・ 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）
- ・ 親生物気体の同時連続測定による生態系監視技術の開発（（独）産業技術総合研究所）
- ・ 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）
- ・ 強震観測データの緊急地震速報への活用に関する研究（気象庁地震火山部、（独）防災科学技術研究所）
- ・ 平成 23 年度緊急地震速報の高度化に関する研究（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、（財）鉄道総合技術研究所、京都大学防災研究所）
- ・ 同一生態系モデル&異なる海洋物理モデルにおける生態系の応答の相互比較（北海道大学）
- ・ 4次元変分法を用いた台風状況下における海面フラックスの推定手法に関する研究（気象庁予報部、京都大学）
- ・ 積雪変質・アルベドプロセスモデルの検証及び高度化（（独）防災科学技術研究所）
- ・ 衛星測位による水蒸気解析の分解能改善と気象予測への応用に関する研究（京都大学生存圏研究所）
- ・ 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（（独）産業技術総合研究所）
- ・ 首都圏の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（電気通信大学）
- ・ 平成 23 年度 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（乱気流検出・予測技術の開発）（（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構）
- ・ 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）
- ・ 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）
- ・ 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）
- ・ 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）
- ・ 気象庁観測データを用いた顕著現象の機構解明に関する共同研究（筑波大学）
- ・ 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）
- ・ 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）
- ・ 「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」の余震に関する観測研究（東京大学地震研究所）
- ・ 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）
- ・ 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）
- ・ 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）

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 23 年度は、次の 21 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、とくに中深層循環に及ぼす海岸・海底地形の影響に関する研究（平成 14～23 年）

京都大学 防災研究所：一般共同研究

- ・ 都市域の強風シミュレーションに関する研究（平成 22～24 年）

名古屋大学 地球水循環研究センター：センター計画研究

- ・ 水・物質循環を介した陸面－気候相互作用の研究（平成 23 年）

東京大学 大気海洋研究所：白鳳丸共同利用

- ・ 海洋 CO₂ の分布・変動に関する研究（平成 23 年）

東京大学 大気海洋研究所：特定共同研究、一般共同研究、一般共同利用

- ・ 世界海洋大循環モデルのパフォーマンスの相互比較（CCSR/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 18～23 年）
- ・ 冬季に発生するドライダウンバーストに関する研究（平成 23 年）
- ・ 台風等総観規模擾乱に伴う突風現象の発生機構の研究（平成 23 年）
- ・ 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（平成 23 年）

東京大学 地震研究所：特定共同研究

- ・ 有限要素法を用いた火山地域における干渉 SAR データの高度解析（SAR を用いた地震火山活動に伴う地殻変動の検出）（平成 21～23 年）
- ・ 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 22～23 年）

千葉大学 環境リモートセンシング研究センター：プロジェクト研究

- ・ 多波長マイクロ波放射計データを用いた水物質リトリバーバルの研究（平成 17～23 年）

北海道大学 低温科学研究所：一般共同研究

- ・ 数値モデルとドップラーレーダーデータを用いた雪雲の解析（平成 22～23 年）
- ・ 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 23 年）
- ・ 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 23 年）

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 22～23 年）

国立極地研究所：一般共同研究

- ・ リーセルラルセン山地域ナピア岩体の放射年代測定、および岩石磁気・地球電磁気的研究（平成 20～23 年）
- ・ 地球観測衛星から推定されたエアロゾル・雲の比較検証研究（平成 21～24 年）
- ・ 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（平成 21～23 年）

国立極地研究所：プロジェクト研究

- ・ 極地の過去から「地球システム」のメカニズムに迫る～第四紀の極地環境・大気組成変動の高精度・高時間分解能復元～（平成 20～24 年）
- ・ 北極温暖化研究の序章（平成 22～24 年）

マリンバイオ共同推進機構（JAMBIO）：共同研究・共同利用

- ・ 沿岸生態系に対する海洋酸性化の影響評価（平成 23 年）

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】**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 23～25 年）
- ・ 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 23～27 年）

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 21～25 年）
- ・ 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 23～25 年）

基盤研究（B）

- ・ 熱帯準二年振動が中高緯度の大気場・化学場の年々変動に及ぼす影響（平成 20～23 年）
- ・ 太陽紫外線とオゾン変化の力学的上下結合と気候変動に果たす役割の解明（平成 20～23 年）
- ・ 高精度エアロゾル光学特性測定法の開発と実証観測（平成 22～24 年）
- ・ チベット高原における地表面の熱・水収支の長期変動とそれに気温上昇が及ぼす影響（平成 22～24 年）
- ・ 太平洋赤道域における海洋 CO₂ の長期変動メカニズムに関する研究（平成 22～24 年）
- ・ 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（平成 22～24 年）
- ・ 巨大津波の発生原因を探る～スマトラ北西沖巨大津波発生メカニズムに関する仮説の検証（平成 22～24 年）
- ・ 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 23～25 年）

基盤研究（C）

- ・ 豪雨・豪雪をもたらす大気状態の統計的研究（平成 21～23 年）
- ・ 北太平洋長期淡水化の随伴逆探索による原因解明（平成 21～23 年）
- ・ ヒートアイランドの形成に対する人為起源エアロゾルの温室効果の実態解明（平成 22～24 年）
- ・ 豪雨前兆観測システムの開発（平成 22～24 年）
- ・ 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（平成 22～24 年）
- ・ 海水の光学的特性が太平洋の十年規模変動に及ぼす影響（平成 22～24 年）
- ・ 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 23～25 年）

若手研究（B）

- ・ データ同化による黒潮大蛇行の長期変動の実態解明（平成 21～23 年）
- ・ 地上日射の世界的減光・増光傾向に対するエアロゾルの影響解明（平成 22～23 年）
- ・ 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 23～25 年）
- ・ 強い温帯低気圧発生の地球温暖化に伴う変化（平成 23～25 年）

研究活動スタート支援

- ・ 広域大気汚染物質排出量の最適化モデルと衛星を融合させたトップダウンアプローチ（平成 23～24 年）

新学術領域研究（研究領域提案型）の公募研究

- ・ 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（平成 23～24 年）

【研究分担者として実施している研究課題】**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（平成 23～26 年）
- ・ 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 23～26 年）

基盤研究（A）

- ・ 気候変化における成層圏の影響の評価および力学的役割の解明（平成 20～23 年）
- ・ 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 23～25 年）
- ・ 対流圏物質輸送モデルへのデータ同化手法の導入と新展開（平成 21～24 年）
- ・ 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 23～25 年）
- ・ モンスーンアジアの降水強度の長期変化（平成 23～25 年）

基盤研究（B）

- ・ 北太平洋亜熱帯域のサブダクション過程およびその経年変動のメカニズム解明（平成 21～23 年）
- ・ GPS 電波掩蔽による大気構造と擾乱現象の解明（平成 21～23 年）
- ・ 北極域の混合相雲の放射・微物理特性の解明研究（平成 21～23 年）
- ・ 衛星搭載アクティブセンサーによる雲微物理特性導出とその生成機構の解明（平成 22～24 年）
- ・ 乾燥・半乾燥地域における陸面モデル・生態モデルに関するモデル間比較実験（平成 22～24 年）
- ・ 2010 年夏のロシアブロッキングの成因、予測可能性と日本の猛暑への影響の解明（平成 23～25 年）

基盤研究（C）

- ・ 数値計算と実験による乱流の大スケール運動の統計則と空間構造の解明（平成 22～24 年）

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 22～23 年）
- ・ 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 23～25 年）

新学術領域研究

- ・ 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（平成 20～24 年）
- ・ 温室効果気体の発生・吸収源の高精度分離評価を目指した同位体連続観測手法の開発（平成 21～23 年）
- ・ 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 22～26 年）
- ・ 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 22～26 年）

特別研究促進費

- ・ 2011 年東北地方太平洋沖地震に関する総合調査（平成 23 年）

特別研究促進費

- ・ 2011 年東北地方太平洋沖地震に関する総合調査（平成 23 年）

特別研究促進費

- ・ 2011 年東北地方太平洋沖地震に関する総合調査（平成 23 年）

2.2. 研究年次報告

本節には、気象研究所が平成 24 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（下表）。ただし、平成 24 年度に終了した地方共同研究課題（2 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

・次世代非静力学気象予測モデルの開発に関する研究	23
・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	26
・顕著現象の機構解明に関する解析的・統計的研究	30
・全球大気データ同化の高度化に関する研究	33
・台風強度に影響する外的要因に関する研究	37
・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	41
・海溝沿い巨大地震の地震像の即時的把握に関する研究	44
・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	47
・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	49
・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	51
・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	53
・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	55
・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	57
・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	60
・異常気象・気候変動の実態とその要因解明に関する研究	62
・大気環境の予測・同化技術の開発	64
・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	67
・海洋環境の予測技術の開発	69
・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	72
・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	75
・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	79

2.2.2. 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	82
・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	84
・意図的・非意図的気象改変に関する研究	87
・大気境界層の乱流構造の統合的研究	89
・エーロゾル—雪氷相互作用に関する研究	91
・都市気象モデルの開発	93
・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	95
・衛星データの利用技術に関する研究	97
・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	99
・次世代リモートセンシングに関する研究	101

2.2.3. 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	103
----------------------	-----

・ 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	105
---	-----

次世代非静力学気象予測モデルの開発に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）

研究代表者： 山田芳則（予報研究部 第一研究室長）

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。

副課題1 非静力学モデルの高度化

研究担当者

山田芳則、村崎万代、橋本明弘、林 修吾、南雲信宏、斉藤和雄、加藤輝之（予報研究部）、中村誠臣、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（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 海洋気象課）

目標

- 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 非静力学モデル（NHM）への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を行う。
- 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を行う。
- ④ エーロゾルに関わる雲微物理過程の精緻化を実施する。
- ⑤ 非静力学大気波浪海洋結合モデルの開発を行う。
- ⑥ 非静力学モデルによる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を提供する。
- ⑦ 様々な状況でのモデル計算に資するための改良を行う。

本年度の計画

- ① 水平分解能が250m, 500m, 1kmと5km等のNHMによる梅雨期・夏季および冬季の再現実験を行い、格子サイズによる地表面フラックス量、境界層の構造、乱流輸送量、日射量予測等について比較・検証を行い、現業モデルの改良点の検討を行う。インパクト実験も適宜実施する。NHMによる降雪予測精度については、検証方法も含めた検討を継続して行う。
- ② 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行ない、性能を評価しつつ改良を加えることを継続して行う。ビン法雲物理過程の検証にも着手する。
- ③ 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。
- ④ 雲核・氷晶核を組み込んだNHMによる降水過程の再現性を評価しつつ改良を加える。事例を選んで、ある期間についてモデル実験を行う。
- ⑤ 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。
- ⑥ NHMによる発雷シミュレーションモデルの結果を検証し、発雷のメカニズムの解明をすすめる。メカニズムの解明に基づいて、発雷モデルの改良も検討する。
- ⑦ NHMの高度化と利用促進のために、様々な状況でのモデル計算に資するための力学過程・物理過程の最適化、外部機関での利用を念頭に置いたツールの整備を行う。

本年度の成果

- ① ア) 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5 km、2 km、1 km 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 Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino Level 3 スキームを用いた。

- (a) 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。
- (b) 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。
- イ) 夏季の熱雷をもたらし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。
 - (a) 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。
 - (b) 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。
- ウ) 2005 年から 2011 年までの 5 km-NHM と 1 km-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。
 - (a) 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。
 - (b) また、1 km-NHM は 5 km-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。
 - (c) 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 °C~0 °C に頻度が集中しているのに比べ、1 km-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。
- エ) 冬期日本海側の NHM の降雪予測精度を調査するために、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た。
- ② 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。
- ③ ア) 雲氷の粒径分布を与えるモデルの開発を進めている。
 - イ) Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino Level 3 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。
 - ウ) 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。
 - エ) 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。
- ④ 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。
- ⑤ 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。
 - ア) 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。
 - イ) 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。
- ⑥ 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。
- ⑦ ア) 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。
 - イ) 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。

ウ) 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。

副課題 2 全球非静力学モデルの開発

研究担当者

吉村裕正、林 修吾（予報研究部）、新藤永樹（気候研究部）

副課題 2 の目標

- ① 全球スペクトルモデルへの非静力学スキームの導入
- ② 2次元分割法の開発

副課題 2 の本年度の計画

- ① 全般的なモデル性能の評価を行う。
雲物理過程モデルの組み込みを行う。
全球非静力学スペクトルモデルと同じ力学スキームによる領域非静力学モデルの開発に着手する。
- ② 全球非静力学モデルの高速化のためセミラグランジュ法の MPI 通信量が少なくて済む 2次元分割法の開発を継続して行う。

副課題 2 の本年度の成果

- ① ア) 二重フーリエ級数を用いたモデル非静力全球スペクトルモデルについて、最適化や高速フーリエ変換プログラムの変更を行うことにより実行時間を短縮した。TL1279L60 の解像度において、二重フーリエ級数を用いたモデルは従来の球面調和関数を用いたモデルと比較して約 0.7 倍の計算時間で済むようになった。
イ) 非静力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を用いてタイムステップを長くとることが可能であるため、水平にイクスプリシット法を用いる全球グリッドモデルと比べて、本庁の SR16000 のマシンにおいて 10 倍以上高速に実行できることが確認された。
ウ) NHM の雲物理過程の全球モデルへの導入について、warm rain 過程の組み込みを行っている。
- ② MPI 通信量が少なくて済む 2次元分割法の方法を決定し、プログラム作成を行っている。

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

研究年次： 4年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）

研究代表者： 齊藤和雄（予報研究部 第二研究室長）

研究の目的

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。

副課題1 メソデータ同化技術の高度化

副課題1の研究担当者

齊藤和雄、瀬古 弘、川畑拓矢、折口征二、國井 勝、露木 義（予報研究部）、青梨和正（台風研究部）、藤田 匡（予報部数値予報課）伊藤耕介、黒田 徹、LeDuc（客員研究員）

副課題1の目標

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 雲解像度4次元変分法同化システム（NHM-4DVAR）の開発を行う。
- 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を行う。
- ③ 局所アンサンブル変換カルマンフィルタの開発を行う。
- ④ 台風初期値の改善と熱帯域同化実験を実施する。

副課題1の本年度の計画

- ① ・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を用いてデータ同化実験を開始する
・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を試みる
- ② ・サンプリング誤差抑制法の研究の結果に基づき、新しいアンサンブルに基づく変分法的同化法の具体的なプログラムを構築する
- ③ ・LETKFのネストシステムをスパコンに移植し、豪雨の事例で実行する
・観測データの適切な同化スケールの選択法を開発する
・海面水温に摂動を与えた場合の効果を検討する
・10 kmアンサンブル予報を初期・境界摂動とした2 km-LETKFでの適応局所化実験を行う
- ④ ミャンマーサイクロン Nargis のケースについて、LETKF 同化実験を行い、適応共分散膨張の効果について再調査し、スプレッド過小の改善を行う

副課題1の本年度の成果

- ① 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、JnoVAの非線形コード、接線形コード、アジョイントコードを用いて、NHM-4DVARとの統合システムを開発しており、現在、観測演算子の組み込みを行っている。
- ② 雲解像モデルのアンサンブル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である。これに対処するため以下の様な研究を行った。
ア) 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雲解像モデルのアンサンブル予報誤差で成り立つか調べる。
イ) 前提条件の成り立つアイデアに基づく、雲解像モデル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る。

第1の目標のため、台風、温帯低気圧、梅雨の降水事例について、アンサンブル予報を実行した。雲解像モデル領域平均のアンサンブル予報誤差、及びその波数成分を解析し、先行研究のサンプリング誤差抑制のアイデアの前提条件が成り立つかどうかを調べた。その結果、Spectral Localization（SL）の前提条件は成り立つことが確かめられた。

第2の目標のため、SLのアイデアに基づく、対象地点の周囲のアンサンブル（Neighboring Ensemble: NE）も使うアンサンブル予報誤差計算法を開発した。この手法（NE法）を上記の降水事例に適用し、従来法とアンサンブル予報誤差相関などを比較した。その結果、NE法は、降水物理量などのサンプリング誤差抑制に有効であることがわかった。

- ③ ア) LETKF を簡単な 2 スケールモデルに適用し、積雲対流と大規模環境場の同時解析などマルチスケール・データ同化の方法を検討した。小規模場の観測データが十分でない場合には、解析インクリメントの計算において、大規模場と小規模場の間のクロス成分を無視するのが有効であることがわかった。
- イ) LETKF を用いたネストシステムを開発し、2008 年 9 月 5 日の堺市に発生した雷雨に適用した。その結果、格子間隔約 2km の子 LETKF の幾つかのアンサンブルメンバーで、観測に似た降水分布が再現された。また、気圧場のスプレッド等で親 LETKF へのフードバックを確認した。
- ウ) 親 LETKF をノーコストスモーカーにして子 LETKF の初期値・境界値に与える効果、子 LETKF のアンサンブルのシードを前同化ウィンドウから引き継ぐ効果を確認した。
- エ) 共分散膨張手法が組み込まれている最新版の LETKF を用いて、2008 年のサイクロン Nargis の同化実験に着手した。

副課題 2 観測データ利用手法の高度化

副課題 2 の研究担当者

齊藤和雄、瀬古弘、川畑拓矢、大塚道子、折口征二、露木義（予報研究部）、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 2 の目標

各種リモートセンシングデータを用いて非静力学モデルの初期値を改善させるために、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を行う。
- ② GPS データ同化手法の開発を行う。
- ③ NHM-4DVAR への同化実験を実施する。
- 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を実施する。

副課題 2 の本年度の計画

- ① ・地上マイクロ波放射計用に開発したアジョイントコードを用い、科振費「人工降雨」の一環として 2010 年 6 月に高知で観測した 35CH 地上マイクロ波放射計データを使った変分法同化実験を実施し、その有効性を調査する。
・戦略推進費「極端気象」で行う地上マイクロ波放射計観測の観測データを用いた同化実験に着手する。
- ② ・海洋観測船での GPS 観測を実施し、解析実験を行う。
・視線遅延量解析の高精度化とともに、高速化に取り組む
・GPS 掩蔽データの対流圏下層の品質管理手法の確立に引き続き取り組む
- ③ ・視線遅延量データ同化実験例を増やし、有効性を確認する。
・ドップラーライダーデータ同化実験を行い、有効性について調査する。
- ④ ・しい観測データの同化法の開発とすでに組み込んだ観測データの同化法の改良を行う。
・シーロメータ等から得られる高度データの同化法を検討する。

副課題 2 の本年度の成果

- ① 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 ア) 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。
- イ) 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。
- ウ) GPS 掩蔽データの屈折角演算子の下層バイアスに関する予備的な統計調査を行った。米国地球物理学連合 (AGU) 2012 年秋季大会に参加し、対流圏下層の品質に関する情報収集を行った。
- ③ 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。

- ④ ア) 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。
- イ) 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る。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。
- ⑤ ひまわり高頻度観測による衛星風について、2kmNHM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

副課題3の研究担当者

斉藤和雄、瀬古弘、折口征二、露木義（予報研究部）、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、LeDuc（客員研究員）

副課題3の目標

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技術を開発するために、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を行う。
- ② 物理過程摂動手法の開発を行う。
- ③ 予測信頼度の評価や確率予報を検証する。
- ④ 熱帯域・台風アンサンブル実験を行う。

副課題3の本年度の計画

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技術を開発するために、次の3項目について研究を実施する。

- ① 海面水温など境界摂動の作成法を検討する。物理過程摂動や LETKF 摂動スプレッドに関する調査を行う。
- ② ア) 豪雨のアンサンブル予報結果から、豪雨の要因等を抽出する手法を検討する
イ) 豪雨のアンサンブル予報結果と観測との距離の評価法を検討する
ウ) 平成23年台風第12号による豪雨のメソアンサンブル予報の研究と検証
エ) アンサンブル予報検証システムの利便化
- ③ ミャンマーサイクロン Nargis のケースについて、LETKF に基づくアンサンブル予報と週間 EPS の摂動を与えた場合の比較を行う。

副課題3の本年度の成果

- ① ア) 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。
- イ) 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。
- ウ) 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。

- エ) 2012 年 8 月 26 日の東京神奈川での局地豪雨について、全球アンサンブルとメソ特異ベクトルによる摂動を与えた雲解像アンサンブル実験を行った。メソ特異ベクトルによる摂動を与えたメンバーで海風前線の侵入と前面での収束、低気圧性循環を伴うメソ対流系の発達が良く再現された。
- ② ア) 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。
- イ) 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 の水平風が鉛直シア大きいと、長くなる傾向があることがわかった。
- ③ ア) 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。
- イ) 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。

顕著現象の機構解明に関する解析的・統計的研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）

研究代表者： 加藤輝之（予報研究部 第三研究室長）

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。

副課題1 顕著現象の実態把握・機構解明

副課題1の研究担当者

加藤輝之、清野直子、津口裕茂、益子 渉、村崎万代（予報研究部）、荒木健太郎（物理気象研究部）、永戸久喜（気象庁予報部数値予報課）、廣川康隆（気象庁予報部予報課）

副課題1の目標

- 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・発達機構を解明する。
- 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を行う。
- 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を解明する。
- ④ 予警報業務における課題やニーズを把握する。

副課題1の本年度の計画

- ① 特に顕著な現象が発生した場合、速やかに各種観測データ・雲解像モデルの実行結果からその原因を調査する。
- ② 前年度発生した代表的な顕著現象2～3例の発生機構を調査する。
- ③ 気象庁の業務研修や各官署に出向き、最新の顕著現象に関わる研究成果を用いて指導・教育する。

副課題1の本年度の成果

- ① ア) 2012年4月3日に日本海上で急発達した低気圧について、即時的な解析を行い、その発生要因について発生後3日目に報道発表を行った。
 - (a) この低気圧の急発達には、低気圧と上空の高渦位をとま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。
 - (b) 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。
- イ) 2012年5月6日につくば市で発生した竜巻について、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即時的な解析を行い、その発生要因について発生後5日目に報道発表を行った。
 - (a) 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。
 - (b) 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。
 - (c) 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。
- ウ) 2012年7月12～14日発生した平成24年7月九州北部豪雨について解析を行い、その発生要因について報道発表（7月23日）を行った。
 - (a) 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ていることがわかった。
 - (b) また、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。
- ② ア) 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、雲解像モデルによる数値実験を行った。
 - (a) その結果、凝結熱が直接的にMBSDの発達に寄与し、海面からの熱flux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。

(b) 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伴う MBSD の発達過程に重要であることが示された。

イ) 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った。

(a) その結果、本事例は近年米国で盛んに研究が行われている”PRE (Predecessor Rain Event)”に類似していることがわかった。

(b) 客観解析データの解析と JMANHM 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の供給が重要であることがわかった。

ウ) 2006 年台風第 13 号に伴い発生した延岡竜巻について、水平解像度 50m の数値シミュレーション結果を用いて、竜巻を通る渦線の解析を行った。その結果、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。

エ) 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。

(a) その結果、多数の竜巻は Non-Supercell Tornado の発達過程を持つ Gustnado であり、その他に Supercell Tornado の発達過程を持つ竜巻が存在したことが示された。

(b) 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。

オ) 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。

③ ア) 気象大学校での中堅係員研修では中小規模気象学（理論）、予報業務研修では 暖候期のメソ対流系擾乱の講義を行うとともに、仙台管区気象台では NHM に関する技術指導を行った。

イ) 仙台管区気象台、水戸地方気象台、東京管区気象台、横浜地方気象台、名古屋地方気象台、新潟地方気象台、大阪管区気象台、福岡管区気象台、沖縄気象台では 500m 高度データ・等温位面渦位データの利用方法や集中豪雨の解析等に関する講演・技術指導を行った。

副課題 2 顕著現象の要因に関する解説資料の作成

副課題 2 の研究担当者

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）、廣川康隆（気象庁予報部予報課）

副課題 2 の目標

- ① 豪雨事例の客観的な抽出法を確立する。
- ② 総観場と豪雨事例との関連性を調査する。
- 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を作成する。

副課題 2 の本年度の計画

- ① 2004～2008 年の豪雨事例（各年約 10 例）の発生要因を客観解析データや雲解像モデルの再現実験から調査する。
- ② 年別や月別に見られる総観場の特徴と豪雨事例との関連性も調査する。
- ③ サブ課題 1 で行った豪雨事例の調査結果を含めて 1995～2012 年までの約 200 の豪雨事例のデータベースを試作し、気象庁の予報現業へ提供する。

副課題 2 の本年度の成果

- ① 客観的に抽出した集中豪雨事例（全 386 事例）について、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。
- ② 2006～2012 年のメソ解析から、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を行った。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。

- ③ 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)、P0-O 型 (大陸で発生し太平洋上で発達)、P0-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、P0-O 型であることがわかった。
- ④ 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。
- ⑤ 客観的に抽出した集中豪雨事例について、雲解像モデルによる再現実験を実施した。

副課題 3 都市効果が顕著現象に及ぼす影響の評価

副課題 3 の研究担当者

清野直子 (予報研究部)、藤部文昭、青柳暁典 (環境・応用気象研究部)

副課題 3 の目標

- 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を評価する。
- ② 大都市圏での高温・強雨事例の発生環境・発生機構の調査を行う。
- ③ 大都市圏でのメソスケール環境場の特性の調査を行う。

副課題 3 の本年度の計画

- ① 都市の有無による短時間強雨現象への都市効果の量的な評価を行う。
- ② 高解像度都市気象モデル (水平解像度 50m) にビル群の摩擦効果を取り入れてその性能を評価する。
- ③ 前年度までに確立した局地気候特性の解析手法を他地域に適用させる。

副課題 3 の本年度の成果

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。

全球大気データ同化の高度化に関する研究

研究年次： 2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。気象庁においては、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・量とも少なく、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十分ではない。

この状況を改善するため、全球大気データ同化の高度化に関する研究を実施し、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を図る。

副課題1 データ同化手法の高度化に関する研究

副課題1の研究担当者

青梨和正、石橋俊之、弓本桂也、山口宗彦（台風研究部）

副課題1の目標

- ① 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。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ 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。
- ⑤ 特別観測データなどを利用して、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1の本年度の計画

- ① ・誤差共分散の最適化について、長期間の同化、予報試験による精度検証とスキームの改良を進める。
・基本場更新について、精度評価手法の開発（対初期値検証の検証）にも合わせて取り組む。
- ② ・同化窓の延長について、予報時間が伸びることによる誤差の増大、観測データ数の増加、背景誤差に気象場の情報が入る効果、弱拘束化した場合のモデル誤差情報の誤差の影響の得失を評価する。
・昨年に引き続き、アンサンブルカルマンフィルタによる全球同化システムの気象研究所が保有する計算機システムへの移植を行い、基礎研究を行う。
- ③ ・解析誤差の推定について、解析誤差のうち成長する誤差の情報を適切に取り入れる。
・解析誤差推定手法を用いて、観測データ同化シミュレーション実験(OSSE)を実施する。
- ④ 非晴天域の輝度温度データの同化について、精度評価を行う。
- ⑤ 位置ずれ補正スキームに関して、波格子、格子波変換する際の波数に制限を加えることで、指向流はそのままに台風自身だけを位置ずれ補正するようにスキームを改良する。

副課題1の本年度の成果

- ① ア) 同化システムで使用する誤差共分散の最適化では、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た。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。
- イ) 同化システムで非線形性を考慮する手法である基本場更新スキームについて、2010年1月を評価期間とする解析、予報サイクル実験を実施した。
 - (a) その結果、ゾンデを真とした評価では予報精度は概ね改善することがわかった。これはこれまでに行った2010年8月を対象とする実験と整合する結果である。
 - (b) 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。
- ② ア) 同化窓拡張については、現行の 6 時間から 27 時間に延長したシステムを構築した。
- (a) 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。
 - (b) この結果、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。
 - (c) この結果、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。
- イ) アンサンブルカルマンフィルタによる全球同化システムの研究として、気象研究所保有の大規模計算機システムに全球アンサンブル同化システム (GSM-LETKF) の移植を完了した。
- (a) 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。
 - (b) 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。
- ウ) 粒子近似による同化手法の研究については、一般的な形のアンサンブル・カルマンフィルタを構築した。
- (a) 十分に並列化したコーディングを行うことで、T1319 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。
 - (b) 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。
- ③ ア) 解析誤差の推定は、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につい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。
- イ) OSSE 研究については、SOSE と EnDA 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) へも提供されている。
- ウ) 同化システムの随伴演算子による観測データのインパクト評価研究について、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ている。
- ④ 非晴天域の輝度温度データの同化について、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。
- ⑤ ア) 位置ずれ補正スキームを開発し、2009 年 8 月～11 月の 4 か月間の予報実験を行った。
- (a) 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よう改良を行った。
 - (b) 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。
- イ) 特別観測のデータにより台風進路予測が改善する事例は、主に初期場の不確実性が大きい事例であることがわかった。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。
- (a) 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。
 - (b) また、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。

副課題 2 衛星データ同化技術の高度化に関する研究

副課題 2 の研究担当者

青梨和正、上清直隆、弓本桂也 (台風研究部)、岡本幸三、石元裕史 (気象衛星・観測システム研究部)

副課題2の目標

- ① 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。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ 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。

副課題2の本年度の計画

- ① ・主成分を直接計算する放射モデルを使った計算資源節約効果の確認をする。また、バイアス除去や補正等の開発をし、観測誤差低減へ応用する。
・ハイパースペクトル赤外サウンダで微量気体に感度のあるチャンネルと高層大気の情報についての研究を始める。
- ② ・晴天海域の 1DVAR リトリバ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・水蒸気のリトリバーバル実験を実施する。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う。
・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は、現時点では単層の厚い雲だけを対象とした単純な手法を用いているが、これを多層雲も扱えるような同化手法へ高度化していくための調査を行う。
・引き続き、冬半球中緯度海上でのマイクロ波放射計データの前方計算値が、観測値より過小になる問題を研究する。
- ③ 新規衛星搭載予定の雲レーダー・降水レーダー・ライダーのデータの同化技術を研究する。

副課題2の本年度の成果

- ① ア)シミュレーションの AIRS の 1DVAR リトリバーバルの結果を踏まえて、実際の観測データを使ってリトリバーバルを行った。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、リトリバ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バーバル可能であることがわかった。
イ)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。
(a)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。
(b)その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 ア)晴天海域の 1DVAR リトリバ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・水蒸気のリトリバーバル実験を実施した。
(a)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。
(b)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。
(c)上記で得られた結果を利用して、一部地域に対する詳細な AIRS データ解析を実施し、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バ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

- イ) 静止衛星搭載赤外イメージャの厚い単層雲域での同化は、昨年度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。
- (a) 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。
- (b) 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。
- (c) 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。
- ウ) 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。
- (a) 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。
- (b) 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) 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 (マイクロ波、レーダー、ライダー) との比較を行った。
- イ) 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 1 ②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ーを用いて、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。

台風強度に影響する外的要因に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）

研究代表者： 徳野正己（台風研究部 第二研究室長）

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、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。

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

副課題1の研究担当者

徳野正己、小山 亮、櫻木智明（台風研究部）

副課題1の目標

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。

副課題1の本年度の計画

- ① 輝度温度データによる客観的な台風パターン毎の最大風速推定式の開発を行う。
- ② 衛星マイクロ波探査計データによる台風強度を推定する手法について、事例の追加を行い、パラメータ値の変更など改良があれば反映させる。
- ③ 上記の2つ手法の長所・短所を把握し、最適な利用方法についてのガイドラインを提案する。
- ④ MTSATの可視赤外放射計データの利用については、引き続き事例の追加を行い、MTSATの水蒸気チャンネルの輝度温度から台風強度を推定する手法の改善を図る。

副課題1の本年度の成果

- ① ア) 衛星搭載マイクロ波放射計データによる台風強度推定については、1998年から2008年までの北西太平洋の台風のTMIデータ（輝度温度）を用いて客観的に分類した台風パターン毎に台風の最大風速の推定式を作成した。従属事例でのRMSEは約4.4m/sであったが、2009年、2010年の独立事例では約7.6m/sであった。また、TMIの観測幅に収まらない台風について、欠損を補完する手法を開発した。それを使用することにより利用可能な事例数が約3割増加した。欠損補完した事例（1998－2010年）のRMSEは約5.9m/sであった。
- イ) 強度推定誤差が大きくなりやすい事例としては、通常と比較して非常に大きい台風や非常に小さい台風などがあった。また台風中心の推定位置のずれや大きな欠損が台風パターンの誤判別を招くことにより大きな強度推定誤差をもたらす傾向があった。
- ② ア) 衛星搭載マイクロ波探査計データによる台風強度推定については、台風の暖気核の強さ（AMSU-AのCh6、7、8の輝度温度から求めた最大輝度温度偏差）の算出に使われたチャンネルごとに強度推定式を作成する改良を行った。この改良によって、2008年から2011年の台風事例を使った評価において、推定精度が改善されることを確認した。また、特に台風発生初期での、降水によるマイクロ波減衰に対する補正に関係していた過大推定誤差の改善も行った。
- イ) ドボラック法による強度推定との比較では、年統計では、ドボラック法による推定値の方がベストトラックに対するRMSEが小さいことが分かったが、事例毎の解析では、眼パターン以外の台風のうち一部の台風で、AMSUを使った推定の方が精度が良いケースがあることが確認された。
- ③ ア) MTSATデータによる台風強度推定については、2010年台風第13号について、水蒸気チャンネル(WV)で観測された眼の輝度温度の上昇と中心気圧の低下に明瞭な相関関係が見られた。中心気

圧の 12 時間 925～905hPa の変化に対応して WV の輝度温度は約 20K 上昇し減率は-1hPa/K、次の 12 時間で中心気圧は 905～885hPa に変化し WV の輝度温度は約 6K 上昇、減率は約-3hPa/K であった。このように、台風の中心示度の深まりの違いにより WV の輝度温度の減率が異なることがわかった。

イ) 2006 年台風第 13 号では、中心気圧が 12 時間で 940～916hPa に変化し WV の輝度温度は約 8K 上昇し減率は-2.6hPa/K であった。乾燥断熱過程のみを仮定すると、2～3cm/sec の下降流を仮定すると 12 時間で輝度温度が約 8K 上昇することになり、観測と矛盾しない。

副課題 2 台風の最適観測法に関する研究

副課題 2 の研究担当者

徳野正己、山口宗彦、小山 亮、櫻木智明（台風研究部）

副課題 2 の目標

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。現業用数値予報ルーチンの計算データなどから台風周辺の環境把握に有効なデータを抽出する。

副課題 2 の本年度の計画

- ① 現業 MTSAT-1R 詳細風データについては、2011 年に観測された日本に接近・上陸した台風周辺の風データを対象として精度評価を行う。
- ② 進路予報誤差が極端に大きくなる事例の調査を行い、どのような初期場の改善が望まれるのかについての知見を得ることにより、台風最適観測技術の更なる高度化に資する。

副課題 2 の本年度の成果

- ① ア) 2011 年台風第 6 号、12 号及び 15 号について、ラピッドスキャンデータを使って台風周辺域で算出した上層風（水蒸気風）データの統計的精度評価を、気象庁メソ解析データを使って行った結果、ベストフィットレベル（ベクトルの最も合う気圧面）が 150～250hPa で、ベクトル差は 6～7m/s、風速バイアスが-1～0 m/s であることがわかった。
イ) 上層風から算出した強い発散域は、衛星マイクロ波データ（90 GHz 帯）による強い降水域と大まかな対応が見られ、また、上層循環の強さは地表の最大風速の変化との対応がよいことがわかった。
- ② ア) 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。
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。

副課題 3 台風の強雨・強風構造の実態解明に関する研究

副課題 3 の研究担当者

北畠尚子、湊 信也、和田章義（台風研究部）

副課題 3 の目標

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。

副課題 3 の本年度の計画

- ① 平成 23 年度に引き続き、台風と大気・海洋環境場との関係について調査を行う。
- ② 海洋との相互作用が台風の強度・構造変化に与える影響について、台風の具体的な構造の差異と

してどのように現れるかを、客観解析や大気海洋結合モデルによる数値シミュレーション等により調査する。特に数値シミュレーションにより、台風進路や発達段階による台風構造の違いに着目した解析を実施する。

- ③ 海洋の観測データを用いた調査に関しては、台風近傍の水温変化と台風の強度・位置（緯度）・移動等との間でこれまでに見出された関係について、データを増やして統計的關係を明らかにする。

副課題3の本年度の成果

- ① ア) 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。
- (a) 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。
- (b) 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地形の影響等よりも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。
- (c) 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。
- イ) 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。
- ウ) 2012年10月末に米国北東部に大きな災害をもたらしたハリケーン・サンディについて、再解析データを用いて解析を行った。
- (a) 中緯度を北上した際には寒気による暖気核隔離の構造を持ち、中緯度傾圧帯の上部対流圏トラフが発達に寄与していることがわかった。
- (b) 高緯度で北西に移動し上陸したことには大規模流のブロッキングの寄与があったことが分かった。
- ② 2011年に日本に上陸したT1106, T1112, T1115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。また2012年に沖縄本島を通過し三重眼が見られたT1215についても数値シミュレーションを実施した。
- ア) 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かったが、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確認することができた。
- イ) 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。このことは、台風による海面水温低下がT1112の強度及びその変化に重要な役割を果たしていたことを示している。
- ウ) 台風の眼の水平スケールが小さい台風であった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の眼の大きさはマイクロ波衛星観測よりも大きくなっていった。
- 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で、初期値における台風の眼域での比較的大きな鉛直シアが、比較的大きい眼の形成と関連しているかどうかについて、調査継続中である。
- ③ 2000～2010年の北西太平洋の台風を対象とし、収集したアルゴフロートのデータを使って台風進

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。統計的な水温変化の特徴として、以下のことがわかった。

- ア) 海面付近での、台風後方（幅 500km）の平均水温変化は、（最近接）台風の最大風速が 30～40m/s の場合、 -0.8°C であり、標準偏差は 1.1°C であった。この風速まで、両者には最大風速に対して明瞭な線形関係が見られる。
- イ) 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。
- ウ) 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出来た。小さい場合の方が、特に 200m 深で水温低下が大きい。

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

研究年次： 4年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）

研究代表者： 楠 研一（気象衛星・観測システム研究部 第四研究室長）

研究の目的

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、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、局地的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。

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

副課題1の研究担当者

小司禎教、山内 洋、楠 研一（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（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1の目標

- 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1の本年度の計画

- ① レーダーによる雨量解析アルゴリズムの開発と検証を行う。
- ② シビア現象が発生する可能性がある場合固体素子二重偏波ドップラーレーダー観測を実施する。
- ③ 関東域で顕著なシビア現象発生の際の現地調査を行う。
- ④ 顕著なシビア現象について、事例解析を行う。

副課題1の本年度の成果

- ① レーダーによる雨量解析アルゴリズム開発は「次世代リモートセンシングに関する研究」（基礎・基盤的研究）にて実施している。本計画におけるアルゴリズムは、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当初計画した。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た研究を推進している。
- ② シビア現象の発生の可能性がある場合に、固体素子二重偏波ドップラーレーダー観測を実施した。これにより2012年5月6日つくば市の竜巻、2012年5月10日の関東各地の降雹・ガストフロント、2012年7月5日太田市の突風、2012年7月17日栃木市の突風、2012年9月1日船橋市の竜巻、2012年9月4日および7日の関東平野のガストフロント、2012年9月19日野田市の竜巻、台風17号、10月4日の東京の局地的大雨等、多数の事例の二重偏波観測データを得た。
- ③ 2012年5月6日、つくば市周辺で発生したF3竜巻について、現象発生当日と翌日の二日間、現地調査を実施した。
 - ア) 被害状況と気象研Cバンドレーダーの観測した渦との対応を解析し、両者が整合的であることを確認した。
 - イ) 一般の方が撮影した動画や写真について、撮影者を後日訪問し、撮影位置の確認と竜巻位置特定のための検証写真の撮影、聞き取り調査を行った。その結果、実際の竜巻の位置・形態と時刻の対応を複数地点において取ることが出来た。
- ④ ア) 「次世代リモートセンシングに関する研究」にて開発を行ったGPS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）を用い、2012年5月6日の竜巻の事例解析を行った。その結果、竜巻発生域から2-3kmに位置するGPS観測点でWVIインデッ

クスが、顕著な時間変動を示していたことが確認できた。

イ)2012 年 5 月 6 日つくばに竜巻をもたらした親雲（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。このことは主に米国における観測研究等では知られていたが、日本における実際のデータとしても、実況監視における有効性を示唆する結果を得ることが出来た。この事例について、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。その結果、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た。また、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。竜巻飛散物と考えられる二重偏波情報については 2012 年 9 月 1 日船橋市の竜巻と 2012 年 9 月 19 日野田市の竜巻でも検出できた。

副課題 2 シビア現象の監視・直前予測技術に関する研究

副課題 2 の研究担当者

小司禎教、山内 洋、佐藤英一（気象衛星・観測システム研究部）

副課題 2 の目標

- 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 2 の本年度の計画

- ① ポテンシャル予測及び実況監視を組み合わせた危険度診断・予測手法の開発を行う。
- ② 竜巻等突風、落雷、強雨に関する監視・予測手法を用いた監視・予測システムのプロトタイプを作成する。

副課題 2 の本年度の成果

- ① ア)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、セルトラッキングアルゴリズム等への利用も期待できることを示した。
- イ)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。
- ② 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

副課題 3 の研究担当者

楠 研一、斉藤貞夫、山内 洋、佐藤英一（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（台風研究部）

副課題 3 の目標

- 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とりまとめる。
 - ア)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
 - イ)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

副課題 3 の本年度の計画

- ① 局地的大雨や夏季雷など夏季シビア現象のレーダー・地上気象・および雷観測を関東周辺で実施し、夏季シビア現象の発生・発達の微細メカニズムを事例解析する。
- ② 冬季日本海側の突風および冬季雷のレーダー・地上気象・および雷観測を日本海側で実施し、冬

季シビア現象の発生・発達の微細メカニズムを事例解析する。

- ③ X バンドレーダーを用いた突風探知アルゴリズムのプロトタイプ版の開発・改良を行う。
- ④ 雷放電を用いた突風などシビア現象の予測アルゴリズムのプロトタイプ版の開発・改良を行う。

副課題3の本年度の成果

- ① 冬季に発生する突風について以下の結果が得られた。
 - ア) 突風をもたらす渦状の降水システムについて高層ゾンデ観測を最高頻度 30 分間隔で行うことにより、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。
 - イ) 山形県庄内空港近傍の海岸線に平行な長さ 500m の敷地に複数の風速計および気圧計を超高密度 (100m 以下) で直線上に配置した多点型地上観測システムを用い、突風をもたらす渦の空間スケールや強度と地上風・地上気圧との関係を調査した。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。
 - ウ) 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 X バンドドップラーレーダーを用いて調べ、上陸後の回転の減少や渦の傾きを明らかにした。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。
 - エ) 2012 年 12 月 12 日に庄内平野に突風をもたらしたシアラインについて、数値シミュレーション結果や集中観測で得られたゾンデデータなどを用いて、詳細な構造と形成機構について明らかにした。
- ② 冬季に発生する雷に関して、以下の結果が得られた。
 - ア) 2010 年 11 月 30 日に庄内平野で観測された雷放電の放電点の鉛直分布と -10°C 高度との関連性について解析を行った。
 - (a) 放電点は高度 1km から最大エコー頂高度に対応する 5km までの範囲に分布し、2.5-3.0km にピークがあることが明らかにされた。MANAL から算出された -10°C 高度は約 2.8km であり、放電点数のピーク高度と一致している。これは -10°C 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°C 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。
 - (b) 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。
 - イ) 庄内沖合での雷放電の観測を強化するため、山形県庄内空港近傍の海岸(竜巻多点観測点)に雷放電位置標定装置を新たに設置し、庄内平野内 5 観測点体制での冬季雷観測を開始した。
 - (a) その結果これまでより詳細に雷放電進展様相がとらえられるようになり、空港周辺の航空機被雷の様相を 3 次元的に把握可能な体制となった。
 - (b) 3 次元標定の自動処理システムを構築し、Web 上で日々の 3 次元標定結果を確認することが可能となった。
 - (c) 以上により、気象研レーダーおよび JR 東日本レーダーによるエコーデータを用いて、積乱雲の電荷構造および冬季雷と渦との関連性を解析するための基盤がより強固なものとなった。

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： 3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

海溝沿い巨大地震発生直後に、その震源断層の広がりや断層のすべり分布を把握する手法開発を行うと共に、推定された震源断層の広がり・すべり分布に基づき地震動分布を推定する手法を開発することにより、巨大地震に係るいっそう適切な評価や被害把握等、災害の拡大防止等に直結する地震防災情報の提供を可能にし、国民の安全・安心に寄与する。

副課題1 巨大地震の震源断層の広がりやすべり分布の把握

副課題1の研究担当者

横田 崇、勝間田明男、上野 寛、武藤大介、弘瀬冬樹、小林昭夫、木村一洋、青木重樹、林元直樹、平田賢治、対馬弘晃（地震火山研究部）、山崎 明、古舘友通、清水淳平（気象庁地震火山部 地震津波監視課）、清本真司、西 政樹、長谷川浩、岩切一宏、赤司貴則、森脇 健、小山卓三、長岡 優、溜渕功史（気象庁地震火山部 地震予知情報課）

副課題1の目標

巨大地震の断層のおよその広がり地震発生直後2～3分以内に把握する手法を開発する。現在10～20分程度で求められる断層のすべりの大きさや方向の解析について、処理時間の短縮（5～10分）と信頼性向上を図る。余震の震源分布を地震発生後10～20分以内に把握するための震源決定手法を開発する。断層の大まかなすべり分布を震発生後10～20分で求める手法を開発する。

副課題1の本年度の計画

- ① 補正予算による巨大地震規模推定ソフトウェアの制作を進め、それを用いた手法検証を行う。
- ② 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推定する手法の改良と検証を行う。
- ③ 震動継続時間を用いて、断層の長さや破壊進行方向を推定する手法を改良する。
- ④ W-phaseを用いた手法を取り入れて、規模の大きな地震に対してもモーメントテンソル解をより早期かつ信頼性高く求められるよう手法を改良する。
- ⑤ 強震動発生域把握のためのアレイ解析手法を開発する。
- ⑥ 振幅情報・粒子軌道情報を取り入れて、自動地震識別手法を改良する。
- ⑦ 震源決定位置改善のため、震源位置の評価と手法改良を行う。
- ⑧ 自己浮上式海底地震計による南海トラフ沿い域及び東北地方沖における海域地震観測を行う。観測によって得る東北地方太平洋沖地震の余震を含めたデータを用いて、海域観測網によって適正に震源決定する手法を検討する。
- ⑨ 多数の震源を仮定した処理を取り入れて、すべりの大きな領域を推定する手法を開発する。

副課題1の本年度の成果

- ① 巨大地震規模推定ソフトウェアの制作を進め、2003年十勝沖地震や2011年東北地方太平洋沖地震などのデータを用いて、検証を行った。
- ② ア) 強震動域の広がりから地震のマグニチュードを推定する手法について、異常震域補正及び増幅度補正を行うことにより、これまで当手法の適用が困難であったプレート内地震のマグニチュード推定が可能であることを示した。
イ) 周期100秒までの様々な周期帯の地震波形の最大振幅からマグニチュードを推定する手法を開発した。平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震や2010年チリ地震に適用し、地震発生後3分以内でほぼ最終値が得られることを確認した。当手法は、気象庁の監視業務への導入が検討されている。
- ③ 強震動の継続時間の方位角分布から破壊伝播の特徴を抽出する手法を開発し、この手法を用いて、平成15年（2003年）十勝沖地震とその最大余震の破壊伝播方向や断層長の評価を行い、最大余震はマグニチュードが約1異なる本震と同程度の断層長をもつ通常とは異なる地震であることを明らかにした。

- ④ CMT解析において使用されている地球モデルの改良や深さ方向のグリッドサーチの採用、バンドパスフィルターの改良などを行うことによって、CMT解を安定して求められるようにした。
- ⑤ 福島第一原子力発電所の稠密強震アレイを用いて平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の際の入射波の到来方向の時間変化を調べた結果、その傾向は宮城県沖から茨城県沖への高周波励起源の移動と整合的であり、稠密アレイにより巨大地震の破壊伝播を直接補足可能であることを示した。
- ⑥ ア) 自動震源決定手法として、余震の地震波形データのスタッキングによる検知手法、パーティクルフィルターに基づく震源決定手法、パターンマッチを用いたイベント検出法について、評価試験を行い、内陸地震の余震活動の自動震源決定による大まかな把握に目処がついた。
イ) 自動震源決定手法として、ノイズ的データの除去に有効な振幅情報も取り入れた震源決定法を開発した。
- ⑦ 三次元速度構造震源計算を行うための調査として、日本全国のモホ面分布と日本列島の地震波速度分布を同時に推定し、その結果中国地方の最上部マントルが他の地域に低速度になっていることを明らかにした。
- ⑧ ア) 自己浮上式海底地震計を用いた緊急余震観測の結果、本震時にすべりの大きかった海溝付近の領域（例えば宮城沖）で余震活動が少ないこと、余震域南部は、関東地方に沈み込んだフィリピン海プレート北端縁付近までしか余震が発生していないことなどを明らかにした。
イ) 平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の余震域南部及び更に南側の未破壊域において、2011年11月から長期型海底地震計による長期余震観測を実施した。
ウ) 南海トラフ沿いの地震活動の把握と海域における震源の正確な位置の把握のため、潮岬南方沖における自己浮上式海底地震計による観測から得られたデータの解析を進め、アウターライズから沖合において活発な地震活動があることを見い出した。
エ) 南海トラフ沿いおよびフィリピン海プレート内部の地震活動の把握と海域における震源の正確な位置の把握のため、静岡・三重県沖の東部南海トラフ域および潮岬南方沖において取得された自己浮上式海底地震計データの解析・処理を進め、同ケーブル地震計によって海域の地震の震源決定精度が向上していることなどを確認した。
オ) 2011年10月から東海地震想定震源域東部（駿河湾周辺域）において、繰り返し海域地震観測を行い、トラフ軸付近での極浅い地震活動の存在を確認した。
- ⑨ ア) 通常より短周期帯域のW-phaseを用いて、セントロイドの時間変化を推定する手法を開発し、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震への適用を調査した。
イ) 長周期バックプロジェクション法を適用して、大きなすべりのあった領域の推定を行う手法を開発した。

副課題2 巨大地震発生直後の地震動の把握

副課題2の研究担当者

横田 崇、勝間田明男、青木重樹、上野 寛、武藤大介、弘瀬冬樹、木村一洋、小林昭夫・干場充之（地震火山研究部）、石垣祐三、相澤幸治（気象庁地震火山部 地震津波監視課）・岩切一宏（気象庁地震火山部 地震予知情報課）

副課題2の目標

観測地震データと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。

副課題2の本年度の計画

- ① 地震波形データの収集を継続する。
- ② 中～長周期地震動の分布を調査し、地盤構造の影響について評価する。
- ③ 推定値と観測値との整合化手法を改良する。
- ④ すべり分布の地震動への影響評価手法を開発する。

副課題2の本年度の成果

- ① 2012年の地震波形の収集を行うとともに、2010年チリ地震の波形データを入手した。
- ② ア) 2000年以後日本付近で起きた大きな地震について、周期0.5秒～10秒の応答スペクトルを求め、隣接観測点の応答比が地震によって数倍程度異なることがあるという結果を得た。

- イ)震源やメカニズムが類似の地震であっても、速度応答の値がどの周期帯でも2倍程度異なる場合があることを見いだした。
 - ウ)応答スペクトル比と地盤情報の関連性について調査し、周期3秒までは深さ30mまでの平均S波速度との相関が高く、更に長周期については1次固有周期との相関が高いことを明らかにした。
- ③ ア)隣接観測点の速度応答の補正と、応答の地盤補正を組み合わせることにより、関東地方の速度応答分布を推定する手法を開発した。
- イ)震度観測点の増幅度補正值を見直すとともに、震度補正として異常震域補正を加えて震度分布を得られるようにした。
 - ウ)気象庁震度計のサイト増幅率をコーダ規格化法により導出し、その増幅率により震度予測の試みを行った。また、全国的に増幅率を調査した結果、0.75~2Hzの低周波数側では、堆積層が厚い平野部などで増幅率が大きくなり、高周波数側では地域的なコントラストが弱くなることがわかった。
- ④ M9クラスの地震の強震動生成域のスケーリングについてとりまとめ、M9クラスの短周期の強震動予測には、従来までのM7, 8クラスの地震用のレシピの延長を考えるのではなく、M8クラスのレシピを複数用いることで十分であることを確認した。

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： 2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。

副課題1 活動的火山の地殻変動源推定の高精度化に関する研究

副課題1の研究担当者

小久保一哉、鬼澤真也、山本哲也、高木朗充、新堀敏基（地震火山研究部）、近澤 心、藤原みどり（気象庁地震火山部 火山課）

副課題1の目標

伊豆大島について、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加え、歪観測を開始し、マグマ蓄積・移動の検出と地殻変動源推定の高精度化を図り、マグマ供給系の詳細を解明する。伊豆大島以外の火山についても、既存の観測網データを活用するとともに、干渉 SAR による地殻変動解析を用いることによって地殻変動源の位置や膨張量の高精度な推定を行う。

副課題1の本年度の計画

- ① 伊豆大島において、ひずみ計用観測井の掘削とひずみ計の設置を行い、ひずみの連続観測を開始する。
- ② 伊豆大島をはじめとする全国の火山を対象として、気象庁総合観測点データの収集を行い、GPS、傾斜データなどを用いて地殻変動の解析を行う。
- ③ 伊豆大島において GPS、光波測距、傾斜、重力の稠密地殻変動観測と地震観測を継続する。浅間山において GPS 観測を継続する。
- ④ 伊豆大島の地殻変動に伴う応力場を調べるために地震活動の解析を行う。
- ⑤ 地殻変動データにもとづき伊豆大島のマグマ蓄積モデルの精密化を行う。
- ⑥ SAR の過去データによる地殻変動解析を行う。（全国の活火山）
- ⑦ 地殻変動が観測された火山の地下の圧力源モデルを推定する。（全国の活火山）

副課題1の本年度の成果

- ① ア) より高感度・高分解の地殻変動観測を伊豆大島で行うために、GTSM 社製のボアホール式多成分ひずみ計（昨年度購入）を、島内に設置する計画を進めた。南西部の千波崎に近い地点で、100 m 以浅で泉津層群（伊豆大島先カルデラ火山・古期山体、後期更新統）にひずみ計を埋設するために観測井を掘削し、70 - 100 m のコア調査等から深度 76 m 付近の目的の凝灰角礫岩層に埋設することとした。2 月中にセンサー埋設と機器の調整を行い、データ収集を開始する予定である。
- イ) 埋設後のひずみデータには、掘削及び埋設等の影響で数ヶ月間はドリフトが予想されるが、潮汐応答が安定したところで、遠地地震表面波等を用いて設置方位の補正解析および周辺ひずみへの応答係数行列の解析を行う。
- ② ア) 伊豆大島のマグマ蓄積過程を解明するために過去 10 年以上の GPS データを整理し、再解析を行った。この結果、全島的には期間を通した長期的な伸長と 1 ～ 2 年程度の周期を持つ短期的な短縮・伸長が重乗していること、山頂の三原山においては、全島的な変動によらず局所的な沈降・収縮が継続していることが明瞭にわかった。
- イ) 2009 年以降の全島にわたる短期的な短縮・伸長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おり、深さは海水準下 3.7 km から 5.1 km の範囲の球状圧力源の収縮・膨張で説明される。各期間ともに変動量は 10^6 m^3 のオーダーに達するが、積算体積変化量は収縮、膨張の繰り返しによりほぼ相殺され、次期噴火に向けたマグマ蓄積量を見積もる上ではほとんど寄与しないと推定される。
- ウ) 一方、長期的な伸長については、単一の球状圧力源を適用した場合、短期的収縮、膨張と同様

にカルデラ北部下であるが、それらより深い海水準下 6.7 km に推定された。ただし、水平成分、上下成分ともに誤差範囲を超える残差が認められ、今後、マグマ蓄積量やマグマ溜まりの物理条件の精度向上のためには、等方圧力源以外の変動源モデルの導入、短期的変動源との分離等が必要である。

- エ) 一般にボアホールひずみ計はドリフトの評価が困難なことから数年以上の長期的なデータの解析には不向きと考えられてきたが、伊豆大島の既設体積ひずみ計のデータを 1980 年代まで遡り再解析したところ、観測された変化は 2～3 年の周期帯まで GPS と良く整合している。最近の収縮・膨張変動と地震活動の対応は、1986 年噴火前にも見られ、ひずみの振幅は最近の変動の約 2 倍であった。
- ③ ア) 火山監視評価手法の開発とマグマ供給系の解明に向けて、伊豆大島では GPS、光波の繰り返しおよび連続観測、傾斜の連続観測、及び繰り返し重力観測を実施した。本期間は 1～2 年周期で発生する短期的な収縮・膨張のほぼ収縮期に当たり、GPS や光波観測によってカルデラ北部を中心に収縮していることが明瞭に捉えられた。
- イ) また、浅間山の詳細な火山性地殻変動を把握するため、山頂周辺における GPS 繰り返し観測を 4 年ぶりに 2 回実施した。その結果、2009 年浅間山噴火に伴う地殻変動に加え、2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動も含む数 cm の変動量を把握した。
- ④ 伊豆大島において山体の膨張期に発生する地震について、地殻変動との関連の解明および発震メカニズムからの変動源情報の抽出に向けてデータ蓄積を行った。本期間中のほとんどは山体収縮期に相当したため地震活動は静穏であったが、次期膨張期に向けて連続観測を継続している。
- ⑤ 伊豆大島では GPS による地殻変動観測から火山全体が長期間にわたって膨張していることが知られているが、膨張に伴う山頂付近の隆起量には、茂木ソース（球状の地殻変動源）から期待されるものよりも、有意に小さいという特徴がある。地形、地下構造を考慮した軸対称の有限要素モデルに基づく地殻変動の解析を行い、変動源が縦長の回転楕円体の形状をしている場合、観測されている特徴が説明できることが明らかにした。また、茂木ソースの場合に比べて、変動源の深さは浅く、変動源の体積変化は小さいことを示した。
- ⑥ 大気遅延量を考慮した補正による SAR 干渉解析を用い、2011 年霧島山噴火前後の地殻変動を再検討した。

副課題 2 噴火シナリオに関する研究

副課題 2 の研究担当者

山本哲也、小久保一哉、高木朗充、鬼澤真也、新堀敏基（地震火山研究部）、近澤 心、藤原みどり（気象庁地震火山部 火山課）・福井敬一（地磁気観測所 技術課）

副課題 2 の目標

内外の活動的火山における地球物理学的な観測結果等を収集して系統的に整理し、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。

副課題 2 の本年度の計画

- ① 地殻変動、地震活動、表面現象異常事例についての内外火山についての事例調査を行う。
- ② 現在の噴火シナリオについて課題の整理を行う。

副課題 2 の本年度の成果

- ① フィリピンマヨン火山において観測した GPS 繰り返し観測結果から、2009 年噴火前後のマグマの蓄積と噴火に伴う地盤変動と、地震活動に推移の相関について明らかにした。
- ② 多くの火山では想定する噴火シナリオに地殻変動の異常が位置づけられていないことから、噴火シナリオの高度化に向けた調査として、霧島山新燃岳 2011 年噴火前後の地殻変動事象の検討を行い、一連のイベントを説明するマグマ供給系、地下密度構造と関連するマグマ頭位、マグマ溜まりの圧力変化、さらにはこれらから示唆されるマグマ溜まりの大きさについて推定を行った。

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

研究年次： 4年目／5年計画（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）

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より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。

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

副課題1の研究担当者

干場充之、青木重樹、林元直樹（地震火山研究部）、菊田晴之、平野和幸、山田安之（気象庁地震火山部 地震津波監視課）、大竹和生（気象庁地震火山部 地震予知情報課）

副課題1の目標

地震が連発する余震活動や群発地震のような状況においては、適切に個々の地震を分離して自動的に認識できるかが重要となる。特に、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。

副課題1の本年度の計画（含 副課題2の一部）

- ①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構築する。
- ②この方法の中で必要な地震波の伝播方向と見かけ速度把握のため、アレイ処理の技術を応用する。
- ③地震波形データの収集を継続する。

副課題1の本年度の成果

- ①東北地方太平洋沖地震の余震活動において、複数の地震が広域でほぼ同時に発生したため、震源・マグニチュードを適切に決められなかった事例を受け、新たな予測手法として、波が伝わっ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を構築している（このアプローチは、副課題2-③”巨大地震の震源の広がり”への対応と共通）。
- ②今年度は、地震波の伝播の実況把握の強化のため、（気象の数値予報や海洋の分野で広く用いられている）データ同化手法の応用を試みた。また、東北地方太平洋沖地震の波形にアレイ手法を適用し、地震波の伝播方向と見かけ速度の把握を行い、強震動生成領域との関係を調査した。数値実験や実際のデータの適用を行いながら、これらの手法を震度予測に生かす検討を続けている。
- ③手法の検証のために、引き続き、地震波形データの収集を継続している。

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

副課題2の研究担当者

干場充之、青木重樹、林元直樹（地震火山研究部）、菊田晴之、平野和幸、山田安之（気象庁地震火山部 地震津波監視課）、大竹和生（気象庁地震火山部 地震予知情報課）

副課題2の目標

- ① 緊急地震速報では、震源により近い地点で地震波を捉えることが迅速化につながる。海域で発生する海溝型地震に対しては、ケーブル式海底地震計が有効である。そこで、海溝型地震の迅速な震源決定に結びつけるため、海域特有の特性を考慮することにより、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。
- ② 正確な震度予測のためには、正確なマグニチュードの推定が重要である。緊急地震速報では、迅速化のために少数の観測点でマグニチュードを決定する必要がある。そこで、マグニチュードの推定を迅速かつ的確化すること、観測点ごとの補正值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。

- ③ 現在の緊急地震速報では、震源は点として捉えているが、巨大地震では、断層面の広がりが無視できない。このため、震度予測が適切に行えない。そこで、巨大地震の震源の広がりの効果を取り入れることにより震度の予測精度の向上につなげる。

副課題2の本年度の計画

- ① 東南海・南海海域における JAMSTEC の DONET の観測点で、走時やMの補正を行うための観測点補正を推定する。
- ② 観測点ごとの地震波の増幅特性に周波数依存性を取り入れることなどによって、震度等の推定精度の向上を図る。

副課題2の本年度の成果

- ① 海底地震計の活用による震源決定精度の向上

気象庁がH20年に東南海沖に設置したケーブル式海底地震計（東南海 OBS）、および、JAMSTEC が H23 年に設置した海底地震計観測網（DONET）のデータを緊急地震速報に適用するに当たり、これらの記録について吟味した。観測点ごとの走時補正值やM補正について検討を進め、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、近傍の陸上観測点と比べて系統的に0.6の補正を加えるべきことが分かった。また、単点観測点のデータから震源距離を推定する B-Δ法については、陸上観測点から得られた経験式と大きな差はないものの、方向を推定する主成分分析法では（陸上観測点に比べて）推定精度がやや落ちることが分かった。その原因を調査したところ、海底地震計設置点直下の地震波速度が遅く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ことが分かった。

- 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

震度予測について、観測点補正に周波数依存性を考慮することを検討している。H24 年までの研究で、（震度の増幅量というスカラ量ではなく）様々な周期の揺れの増幅を考えることで、約 2 割の改善が見込めることを示した。そこで、今年度は、この周波数依存性をもつ観測点補正を実時間で行うべく、デジタルフィルターの技術を応用し、時間軸上で補正する方法を開発した。さらに、本庁側で気象庁震度観測点を緊急地震速報処理に取入れる計画が進んでいることをにらんで、これらの観測点（全国で約 550 点）での増幅特性の周波数依存性を求め、上記の時間軸上で補正する方法を適用し、震度予測精度向上に向けた検討を進めた。

- 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

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ている（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）。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。

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

研究年次： 4年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）

研究代表者： 勝間田明男（地震火山研究部 第二研究室長）

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。

副課題1 監視・解析技術の高度化

副課題1の研究担当者

横田 崇、前田憲二、林 豊、勝間田明男、小林昭夫、木村一洋、弘瀬冬樹、上野 寛、武藤大介、林元直樹（地震火山研究部）、西 政樹、明田川保、長谷川浩、赤司貴則（気象庁地震火山部 地震予知情報課）、太田健治（仙台管区気象台技術部 地震火山課）、岡田正実（地震火山研究部 客員研究員）

副課題1の目標

- ① 精密制御震源装置（アクロス）を用いた監視技術に関する研究として、信号の時間変化の効率的な監視手法を開発する。
- ② 地殻変動データを用いた監視技術に関する研究として、次を行う。
 - 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を行う。
 - 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を行う。
 - ウ) 数十年以上にわたる長期的地殻変動の特徴を把握する。
- ③ 地震活動評価の高度化のために、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を評価する。

副課題1の本年度の計画

- ① アクロス信号のリアルタイム時間変化の自動検知手法の開発を行う。
- ② ア) 歪計・傾斜計を同時に用いた短期的スロースリップ等変動源推定手法の開発を行う。
 - イ) 降水影響に関するタンクモデルについて多段化し補正精度の向上を図る。
 - ウ) 水準測量・潮位過去データによる変動履歴復元を行い（紀伊半島）、スロースリップイベント発生の有無について調査する。
- ③ 応力場や地域性の情報を取り込んだ地震発生予測モデルの改良や相似地震の統計的予測モデルの改良を行う。

副課題1の本年度の成果

- ① 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回計算を行い、変動事例の蓄積とその分析を行った。
- ② ア) 歪計・傾斜計を同時に用いた変動源推定手法の開発について、以下の成果が得られた。
 - (a) レーザー式変位計の基線長200mの場合と400mの場合の地震応答の違いについて解析し、ほぼ同等な応答であることを確認した。
 - (b) 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、余効変動の影響を除いた変動を解析可能とした。
 - (c) 南海トラフ沿いのGNSS日値を用いた面的監視のノイズレベルについて、外れ値を客観的に除くため四分位数を活用した調査を行った。
 - (d) GNSS座標値を解析し、1996年と2001～2004年にかけて紀伊水道付近で長期的スロースリップが発生していたことを見出した。
- イ) タンクモデルに基づくひずみ計データの降水補正に関して改良するとともに、特に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以下にするほか、ノイズレベルの値を従来の半分程度に下げ、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検証した。

ウ)紀伊半島における1972年以降の地殻変動について調査し、東海や豊後水道で見られたような規模の長期的スロースリップが、この期間に発生していないことを確認した。

③ ア)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。

イ)地震発生予測モデル(MGR)による2011年のM5.0以上の内陸地震の予測個数は4.23個であったが、東北地方太平洋沖地震による誘発地震が頻発したため(45個)大きく予測は外れた。しかしながら、本モデルが2011年の地震活動を学習した結果、2012年は予測9.61個に対して現実6個と予測精度は向上した。

ウ)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(M8クラスでは $3/3=100\%$ 、M7クラスでは $2/4=50\%$)がわかった。M8クラスを予測した場合の確率利得は5.65であった。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。

エ)東日本太平洋沖の海域において、前震活動に基づいた地震発生予測モデルを構築した。その結果、前震活動を伴いやすい東北沖の3領域に限ると、2011年から2012年6月までのM6.0以上の地震の予知率=25%(=2/8)、適中率=40%(=2/5)となった。限られた領域ではあるが、本予測手法を活用すれば、地震発生の注意喚起に役立つ情報を提供できる可能性がある。なお、2012年6月から、本予測手法を用い、部内で準リアルタイムの予測実験を行っているが、現在まで前震候補の発生によるアラームが設定されるような事象は発生していない。

オ)相似地震の予測実験では、2006年～10年の全予測(528回)について検証・評価を行った。予測確率がいくぶん過小傾向で個数検定では棄却されたが、信頼度及びROC(Relative Operating Characteristic)で見るとかなり良い成績であり、「予測は一応合格点に達している」と評価した。2011年予測について検証を進めた。

副課題2 地震発生シミュレーション技術の高度化

副課題2の研究担当者

前田憲二、弘瀬冬樹(地震火山研究部)、小山卓三(気象庁地震火山部 地震予知情報課)

副課題2の目標

地震発生シミュレーション技術の高度化を行い、以下の予測を行う。

- ① 東海地震発生に先行する地殻変動等の予測を行う。
- ② 東南海・南海地震発生に先行する地殻変動等の予測を行う。

副課題2の本年度の計画

東海・東南海・南海地震の発生シミュレーションについて、プレート境界浅部における大きな滑りの可能性も考慮し、過去の多様な発生パターンへの適合化を引き続き行う。

副課題2の本年度の成果

- ① 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。
- ② 1605年慶長津波地震のように浅部(深さ10 km以下)のみが滑ったパターンの再現を目指して、内陸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。シミュレーションの結果、擾乱を入れるタイミングによってその後発生する地震の時期は前後し、破壊域も変化した。しかしながら、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。

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

研究年次： 4年目／5年計画（平成21年度～平成25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。

副課題1 噴火現象の定量的監視技術の開発

副課題1の研究担当者

新堀敏基、小久保一哉、高木朗充、鬼澤真也、山本哲也（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）、福井敬一（地磁気観測所 技術課）、長谷川嘉彦（気象庁地震火山部 火山課）

副課題1の目標

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1の本年度の計画

- ① 桜島、吾妻山において、空振計アレイ、絶対気圧計による空振観測やSO₂カメラ、熱映像装置等による噴煙観測を実施し、以下の研究に活用するため、噴火・噴煙等の多様な観測データを蓄積する。
- ② 2011年新燃岳を含む噴火事例について、噴煙－降灰モデルを用いた再現実験を行い、噴煙－降灰の動力学的側面から解析を行う。
- ③ 既存の気象レーダーによる噴煙エコーのデータ解析を引続き進め、降灰及び火山灰拡散予測の初期値にリアルタイムで利用する方法を検討する。
- ④ 降灰及び火山灰拡散予測の高度化に向けて、噴煙エコー解析や非静力学モデルによる噴煙－降灰の動力学的研究の成果を利活用し、種々の噴火様式に対する予測の検証や局地版移流拡散モデルによる降灰予測の検証を行う。
- ⑤ 桜島の東麓に設置した小口径アレイにより空振観測・解析をすすめ、気象ノイズ除去と空振源推定の技術開発に着手する。
- ⑥ 地震観測を含む総合的なデータから噴火の検知力に関する研究を進め、リアルタイムで噴出率等、噴火の物理量を把握する手法に関する調査を通して、噴火規模推定の可能性を検討する（副課題2含む）。

副課題1の本年度の成果

- ① 桜島における空振計アレイおよび絶対気圧計による観測データの蓄積を2012年3月から継続している。SO₂カメラ、熱映像装置等による噴煙観測は2013年3月に実施予定。
- ② 2011年1月26－27日噴火事例について、九州西方沖数100kmにわたる火山灰輸送の再現実験を噴煙－降灰モデルを用いて行った。火口上空で高度約8km以上あった噴煙頂高度が数100km風下の洋上で高度約6kmまで低下している点に関して、モデル結果と気象衛星ひまわり7号による赤外差分画像を用いた解析の結果、火山灰粒子の重力沈降のみならず、噴煙の持つ浮力・鉛直シアをとまなう水平風・乱流等が大きく影響している可能性が示唆された。
- ③ 2011年新燃岳噴火事例について、種子島、福岡および鹿児島空港気象レーダーで観測された噴煙エコーを引続き解析した。噴煙エコー頂高度は、気象衛星ひまわり6、7号で観測された火山灰雲頂高度と比較して、検知できるタイミングが早く高めに解析されることを示した。また遠望カメラ画像を事後解析した結果、噴煙高度はエコー頂よりもさらに高い事例があることを確認した。さらに、最大エコー強度と噴煙エコー頂高度やドップラー速度と火山礫の落下速度の関係について考察を行った。2012年に発生した桜島噴火事例についても今後解析するための鹿児島空港気象レーダーデータを取得した。
- ④ 2011年新燃岳噴火事例について、初期値に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メソ版および局地版移流拡散モデルにおいても、降灰の時刻や量の予測精度が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、規模の大きな噴火に対する降灰量の予測可能性を点検した。

- ⑤ 桜島の東麓にある気象庁の黒神瀬戸観測施設周辺に、火口方向および直交方向でそれぞれ約 200 m の領域に 6 台の空振計（低周波マイクロホン）による小口径アレイを昨年度 3 月に設置し、データは同施設内で収録して気象庁の協力を得て回収し、SN 比改善および波線推定の解析を進めている。
- ⑥ 桜島の爆発的噴火に伴う空振計データを解析し、弾道を描いて飛散する大きな噴石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、新燃岳噴火時の空振観測、傾斜観測及び地震観測のデータを用いて噴煙の高さを推定するための基礎解析を実施した。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わかった。火山灰と同時に風の影響を受ける小さな噴石（火山礫）についても、移流拡散モデルによる落下予測の検討を開始した。

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

副課題 2 の研究担当者

新堀敏基、高木朗充、鬼澤真也、小久保一哉、山本哲也（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、藤原みどり（気象庁地震火山部 火山課）、福井敬一（地磁気観測所 技術課）

副課題 2 の目標

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。

副課題 2 の本年度の計画

- ① 前年度に概ね目処がついた干渉 SAR のノイズ除去手法を用い、これまで蓄積した様々な火山の SAR データに適用するとともに、GPS 観測結果を用いて検証を行う。
- ② 数値気象データを用いた GPS 対流圏補正手法を用いて、全国の火山センターが保有する過去の GPS データについて、補正手法を適用する。

副課題 2 の本年度の成果

- ① 2011 年霧島山噴火前後の地殻変動について、大気伝搬遅延量に伴う SAR 干渉処理の補正手法について考察を深めた。
- ② 数値気象データを用いた GPS 対流圏補正手法を用いるための基礎データとして、雲仙岳及び北海道駒ヶ岳の過去の GPS 1 周波データについて、電離層補正を実施した。

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

研究年次： 4年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）

研究代表者： 前田憲二（地震火山研究部 第一研究室長）

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。

副課題1 地震津波の発生・伝播メカニズムに関する研究

副課題1の研究担当者

平田賢治、林 豊、対馬弘晃、前田憲二（地震火山研究部）、中田健嗣、南 雅晃（気象庁地震火山部 地震津波監視課）

副課題1の目標

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な再現を図るために、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1の本年度の計画

- ① スマトラ島北西沖海域で昨年度取得した反射法地震探査データなどの解析・解釈のとりまとめ、および、その津波発生メカニズムの関係についての検討を行う。
- ② 津波減衰特性を解析する手法を2011年東北地方太平洋沖地震に適用して、巨大津波の減衰過程の特性も説明できる時間減衰のモデル化を行う。また、時間減衰モデルを津波警報の解除のタイミング判定へ活用する方法の改良を進める。

副課題1の本年度の成果

- ① 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ている。今年度は、昨年度の一次処理に引き続き、マルチチャンネル反射法地震探査データの処理を本格的に進めた。
 - ア) 昨年度の予察的解析結果と同じく、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という結論が得られた。
 - イ) フランス研究チームが本震時に活動したと考えている、最も陸側の分岐断層（上部スラスト）は我々の反射法探査では認識できないか、もしくは、当該分岐断層の運動に伴う堆積層最上部の堆積構造パターンから最新の地質学的時代においてはほとんど活動していない、と推測されるに至った。
 - ウ) 中央スラストと上部スラストの間に新たな分岐断層が認定され、そのある特定の区間が最新の地質学的時代においても活動的である可能性があることが判明した。
- ② 巨大津波の減衰過程の特性を調べるため、2010年チリ中部地震および2011年東北地方太平洋沖地震による津波波形を収集した。

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

副課題2の研究担当者

平田賢治、林 豊、対馬弘晃、前田憲二（地震火山研究部）、中田健嗣、南 雅晃（気象庁地震火山部 地震津波監視課）

副課題2の目標

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、沖合津波観測データを用いた津波予測手法の開発を行う。

副課題2の本年度の計画

- ① 沖合津波観測値と沿岸での観測値の関係についてこれまでに求めた経験式は、M9級の巨大地震による津波を全く含まないデータセットから導出されている。2011年東北地方太平洋沖地震による津波の観測値を用いてこの経験式の有効性を検証するとともに、沖合の観測値から沿岸の津波振幅を経験則により予測する手法が巨大地震津波にも適用できるよう、改良を行う。
- 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は、地震直後の地震動や地殻変動等の即時解析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し、東北太平洋沖地震等の実記録に適用してその有効性を検証する。
- ③ これまで開発した津波予測手法の性能を詳細に評価するため、2011年東北地方太平洋沖地震の前震(M7.4)による津波など、過去事例への適用および仮想地震を用いた数値実験を実施する。
- ④ 海底水圧計が含む津波観測値の精度の評価作業を継続する(東南海データ含む)。
- ⑤ 水晶発振式水圧センサーおよび高精度水温計の観測抗内部での特性評価試験を実施する。

副課題2の本年度の成果

- ① 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が含まれる。
- 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を構築した。現在、パラメータ設定などのシステム調整を行っている。

また、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、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。

- ③ これまでに開発した津波予測手法の性能を評価するため、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。

また、気象庁DARTや防災科学技術研究所が整備を進めている日本海溝沿いの沖合津波観測網を想定した津波即時予測の数値実験を実施し、それらの観測点増設が即時の予測精度向上に効果的であることを示すとともに、そうした大量のデータをより有効に活用するために、予測手法を改善する余地があることを見出した。

- ④ 東海海底水圧計のデータについては、同海底水圧計のデータの解析処理を継続し、計測水圧データの観測精度や誤差の評価を実施中である。

また、2012年3月14日に三陸沖で発生した地震は水圧式津波計データが津波注警報の更新の判断に活用された最初の事例であるが、こ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が見出せた。

- ⑤ 新型海底水圧計の水圧センサーの計測安定性や温度特性等を把握するために、岐阜県瑞浪市の東濃地震科学研究所の観測壕内の観測縦孔に、水圧センサー、水温センサー、その他観測機材を設置し、数ヶ月間の陸上試験観測を実施した。試験観測期間中に、簡易温度低下装置を観測縦孔に挿入し、強制的な温度低下環境を作り出し、動的な温度変化に対する水圧センサーの挙動特性を計測した。現在、東濃地震科学研究所観測縦孔での試験計測データを分析中である。また、ハードハットに装着する水圧センサー取付具など外装部品を試作した。

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

研究年次： 3年目／5年計画（平成22年度～平成26年度）

研究代表者： 鬼頭昭雄（気候研究部長）

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、気候変動への対応策の立案・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。それらを提供可能にするべく、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を行うことを目的とする。

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

副課題1の研究担当者

鬼頭昭雄、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（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（気候情報課）

副課題1の目標

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1の本年度の計画

- ① 地球システムモデルの各コンポーネントに関して、CMIP5 実験の結果を解析し、観測との比較、モデル間比較などにより得られた知見をもとにモデル改良を進める。
- ② 大気モデルを高解像度（約60km）にし、かつ海洋モデルに複数の渦解像領域海洋モデルをネストした高解像度地球システムモデルを構築してテストを行い、気候再現性の改善のための物理過程の改良を行う。

副課題1の本年度の成果

- ① ア) MRI-CGCM3にオゾンモデルおよび炭素循環を入れた地球システムモデルMRI-ESM1を完成させ、それを用いた産業革命前基準実験、歴史実験、および21世紀将来予測実験（RCP8.5シナリオ）を行い、結果をCMIP5に提出した。MRI-ESM1は妥当な炭素循環を表現し、産業革命前（1850年）の大気二酸化炭素濃度を290ppmと観測（285ppm）に近い値を再現した。将来予測実験では、21世紀末の大気二酸化炭素濃度を800ppmと予測した。これはCMIP5モデル間のばらつき（800～1100ppm）の下限值に近い。大気二酸化炭素濃度増加が小さいのは、陸域生態系の炭素吸収が多かったためであり、大気二酸化炭素増加による光合成促進効果・大循環モデルの気候感度・温暖化による土壌呼吸増加などの要因が複雑に相互作用した結果であることがわかった。
- イ) CMIP5及びIPCC-AR5に対する気象研地球システムモデル陸域生態系炭素循環部分の情報提供のために、モデルを用いた大気メタン急増実験（暁 - 始新世高温期に関連）についての論文を発表した（Obata and Shibata 2012）。
- ウ) MRI-CGCM3に見られる南大洋の大きな放射バイアスを解決する目的で、そこに存在する下層雲の性質を明らかにするため、CloudSat、CALIPSO データを用いて調査を行った。南大洋の下層雲が、北半球中高緯度の下層雲とはかなり異なる鉛直構造を持つことを明らかにし、結果を国際会議等で発表した。
- エ) モデルでの表現が不十分な中高緯度の下層雲をより適切に表現できるパラメタリゼーションを開発した。観測に比べて過少であった中高緯度の下層雲量が増加し、観測に近くなることがわかった。
- オ) 気候変動シミュレーションにおける不定性の大きな原因となっている海洋性境界層雲の雲フ

ードバックが、MRI-CGCM3 でどのようになっているかを、CMIP5 提出データ、及び CFMIP2 提出データを用いて調査した。

カ) 雲スキーム (坂見スキーム) の詳細なドキュメンテーション作成にとりかかった。

キ) CMIP5 に向けて開発を行った気象研究所全球気候モデルの大気部分 (MRI-AGCM3) を用い、WCRP-THORPEX MJ0-TF/GCSS 「MJ0 に伴う非断熱加熱鉛直プロファイルのモデル間相互比較」に参加し、モデルの性能評価を行った。20 日ハインドキャスト実験 (YOTC の 2 事例, 94 初期値) の結果は、初期値からモデル気候値へのドリフトが小さく、MJ0 の東進を良く表現し、2 事例だが MJ0 指数 (Wheeler and Hendon 2004) による 2 変数相関係数は 20 日を超えて 0.6 を下回らなかった。2 日ハインドキャスト実験 (YOTC の 2 事例, 42 初期値) の結果は、MJ0 の抑制期、遷移期、活動期に伴う降水量の変化を良く表現していた。対流による非断熱加熱プロファイルは、活動期に 600hPa 付近に加熱のピークを持ち、TRMM からの見積もりや ECMWF の結果と似たプロファイルであったが、MetUM や CanCM4 とは異なっていた。ただし、抑制期に浅い対流に伴う下層加湿率が他のモデルや解析に比べて大きい事、大気中下層の湿潤バイアスが大きい事などの欠点が見られた。これらは今後、積雲対流パラメタリゼーションの改良を通じて改善していく課題である。

② ア) MRI-CGCM3 と MRI-AGCM3 の MJ0 の比較を行った。熱帯の季節内変動の主要モードである Madden-Julian Oscillation (MJ0) は、季節内時間スケールの予測可能性の主要な現象であり、全球気候モデルで再現する事は重要である。近年の観測やモデル研究では、季節内時間スケールの現象に大気-海洋相互作用が起こる事が指摘されており、モデルを用いた MJ0 の予測や再現に大気-海洋間の結合効果を理解しておく事は重要である。気象研究所で開発した大気海洋結合モデル (MRI-CGCM3) とその大気部分を使用して観測された海面水温と海水分布を与えた大気モデル (MRI-AGCM3) の再現する MJ0 を再解析や衛星データ等を用いて比較した。一般に、結合モデルは、海面水温を与える大気モデルに比べて気候値の再現性に劣り、季節内変動を表現する事が難しいが、時空間スペクトルや伝播特性調べた結果、MRI-CGCM3 は、気候値の再現性の弱点があるにも関わらず、東進成分の周期を季節内時間スケールへと高周波側へシフトさせ、さらに西進成分を弱めて、東西の非対称性を明瞭にし、MRI-AGCM3 を大幅に改善し、より現実的となった。また、MRI-CGCM3 の伝播特性は、北半球冬のインド洋から西太平洋への東進成分が MRI-AGCM3 に比べて明瞭で解析に近い。北半球夏のインド洋の東進、北進成分も MRI-AGCM3 を改善し、より現実的となった。以上の結果は、MJ0 に対する大気海洋結合効果は、大気単体モデルの再現性をさらに向上させる手助けをしている可能性を示唆し、MRI-CGCM3 の MJ0 の表現は MRI-AGCM3 に比べてより現実的であった。

イ) 背の低い積雲のマスフラックスの大きさをより弱める改良を行うことにより、下層雲が過小である領域の一部で下層雲が増加し、下層雲の気候値が改善された。

ウ) MRI-ESM1 による CMIP5 歴史再現・将来予測実験結果を用いて、成層圏・対流圏オゾンの長期変動を解析した。まず、歴史再現実験におけるオゾン長期トレンドの再現性を種々の観測データを用いて検証した。対流圏オゾンについては、大気汚染物質によって引き起こされるオゾン濃度の増大を、モデルは定量的に良く再現していた一方、成層圏オゾンについては長期変動を概ね再現しているものの、オゾンホールは過小に再現された。次に、将来予測実験で得られたオゾン長期変動の解析を行った。フロンなどの排出規制の効果と温室効果ガスの増大に伴う成層圏の寒冷化によって、成層圏オゾンは 21 世紀中増大傾向にあった。また、RCP8.5 シナリオ実験においては対流圏オゾンも 21 世紀中増大傾向にあり、これらの結果は定性的に他機関の実験結果と同様であった。

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

副課題 2 の研究担当者

鬼頭昭雄、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 (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 (気候情報課)

副課題 2 の目標

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アンサンブル実験を行い、適応

策策定に必要な確率的情報を含む地域気候・環境変化予測を行う。

副課題2の本年度の計画

- ① 中解像度地球システムモデルによる CMIP5 実験で前年度に未完了および追加要請の十年規模予測実験について完了させ、データ提供を行う。
- ② 大気と海洋を結合して行う新しい海洋データ同化システムのプロトタイプを構築しテストを行う。

副課題2の本年度の成果

- ① 昨年度に計算した MRI-CGCM3 による十年規模気候変動予測の結果を、CMIP5 へ提供した。また、現行モデルによる十年規模予測の基本性能について纏めたものについて、論文発表およびポスター発表を行った。さらに、同手法を用いて 2011 年、2012 年の両年の 1 月を初期値とする予測も実施し、英国、米国、独国、欧州および日本の研究機関の結果を集めたものを解析し、共著論文として纏めた。十年規模予測の 4～5 年程度の予測可能性に加えて、予測開始 1 年までの季節予測精度が高いことが確認された。
- ② 気候予測の基礎的観測データであるところの海面水温解析値 (COBE-SST) の更新を行い、論文にまとめ投稿した。ここでは、戦後の観測データのバイアス補正を施して、海面水温解析の精度を高め、海面水温解析結果の誤差について評価した。
- ③ 創生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し、海面水温と地表面気圧を与えたデータ同化システム (MIROC モデルがベース) のプロトタイプを完成させた。加えて、長期的海水予測のための、システム開発に着手した。

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

研究年次： 4年目／5年計画（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。

研究担当者

安田珠幾、仲江川敏之、藪将吉、行本誠史、保坂征宏、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（海洋研究部）

研究の目標

- 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水モデル（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 ①②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。

本年度の研究計画

- ① 全球結合モデルならびにこれを構成する全球大気モデル・海洋モデルの実験を行い、モデルの改良・調整を実施する。
- ② 全球結合モデルの初期値作成法の調整を実施する。
- ③ 結合ブリーディング法の開発を開始する。
- ④ 予測システムを構築し、対応した初期値を作成する。これにより季節予測実験を実施し解析する。
- ⑤ 結合モデル・大気モデルを用いて、海水変動の影響実験を実施する。

本年度の成果

- ① 海洋モデル及び結合モデルにおける表層海洋及び海水再現性を評価し改善するために JRA-55 を境界条件とした海洋モデルの調整を実施した。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を大気海洋結合モデルに導入し、そのインパクトを評価した。平均場では海洋単体モデルで見られた特徴（太平洋亜熱帯セルの強化等）に加えて、結合系のプロセスによる南北非対称性の増大などの特徴が見られるとともに、変動場では広い海域で変動の振幅が増大した。地球システムモデルから発生起源別のエアロゾル直接効果のプログラムを移植し、検証・改良している。複数の土地利用被覆データセットを用いた場合の陸面水文モデルのオフライン実験を実施している。
- ② 全年度に引き続き、海洋の同化解析に用いる統計量の改良を行った。開発中の海洋同化システムによる長期再解析データの調査から、JRA-25 大気再解析の海面フラックスの利用が原因で南大洋などにおいて解析精度が十分ではないことがわかった。また、開発中の次期季節予報システム用海洋データ同化システムにおいて、衛星海面高度データの同化に伴い、太平洋熱帯域の表層で高温バイアスを生じていることが明らかになったので、そのバイアスを軽減するため、上記の海洋データ同化システムに全球淡水質量変動推定スキームを導入するための作業を開始した。今後、同システムによる次期季節予報システム用海洋初期値の計算を開始する予定である。
- ③ 気象研究所上のシステムに成長モード育成（BGM; Breeding of Growing Mode）法による全球大気アンサンブル初期値作成システムを構築し、北半球・熱帯大気に加えて南半球大気の摂動作成を可能として、多様な季節予測実験のための実験環境を整備した。また、海洋アンサンブル初期値作成手法の開発に関しては、成長モード育成（BGM）法の発展形であるアンサンブル変換法（ET; Ensemble Transformation）について文献調査を行い、擾乱の入力が可能な予報変数に関して、予備調査を行った。

- ④ 次期高分解能全球大気海洋結合モデルの実験環境を気候情報課より移植したのち、短波入射角スキーム、混合スキーム、南極海氷などについて海洋モデルを更新し、予測実験に必要な海洋海水初期値を作成した。現在の全球大気海洋結合モデルによる1979～2011年の季節予測実験結果から、台風の季節予測に関する調査を行った。台風発生個数の再現性は統計的に有意な結果を示した（さらに検証が必要である）。

異常気象・気候変動の実態とその要因解明に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（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）

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。

副課題1 異常気象の実態とその要因解明

副課題1の研究担当者

釜堀弘隆、遠藤洋和、小林ちあき（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1の目標

- 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 再解析データの整備により、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1の本年度の計画

- ① 日本の極端降水の発生頻度について、極値統計指標を用い、降水の時間スケールとの関連や地域性を定量的に調べる。
- ② 2010年夏の異常天候の要因分析を継続する。
- ③ 熱帯低気圧場のコンポジット解析を継続する。熱帯低気圧による降水量の全球降水量への寄与の大きさ、及びその年々変動を調べる。
- ④ 異常気象が発現した場合には、すみやかに各種データを収集・解析し、その実態と要因の解明を進める。

副課題1の本年度の成果

- ① 気象官署における20世紀中期以降の10分間～日降水量データを整理し、それぞれの極値統計指標を求めた。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ 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に中高緯度が顕著に升温する傾向があり、これが猛暑の一因であることが分かった。

副課題2 気候変動の実態とその機構解明

副課題2の研究担当者

釜堀弘隆、黒田友二、小林ちあき、遠藤洋和、行本誠史、藪将吉（気候研究部）、藤部文昭（環境・応用気象研究部）

副課題2の目標

- 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。
各副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。

副課題2の本年度の計画

- ① 従来型観測データのみを同化した長期再解析実験を継続して実施するとともに、本庁で実施している第2次長期再解析実験の結果と合わせた解析をおこなう。JRA-55 再解析同化システムに地球システムモデルのエーロゾル過程を組み込み、再解析プロダクトに対する火山噴火の影響を調べるための同化実験を行う。
- ② 夏季東アジアの気温・降水量に関する長期変動の解析を継続する。
- ③ 中層大気および対流圏の関連変動について、結合変動の要因解明に向けた解析を行う。

副課題2の本年度の成果

- ① 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 ランを開始した。JRA-55C は全体の約 40%、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を把握した。JRA-55C において、北半球では衛星を使った再解析と同程度の精度が得られているが、南半球では精度低下が大きく、衛星データが重要であることが分かった。
- ② 地球システムモデルのエーロゾル過程を組み込んだ全球大気モデルのプロトタイプを作成した。気温分布が観測と合うよう、光学特性パラメータの調整を行っている。
- ③ 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。
- ④ 20 世紀後半の夏季東アジアの地上気温および再解析データの長期トレンドについて調べた。地上気温の低下傾向が北日本太平洋側などで見られ、再解析データでは東アジアで対流圏気温の低下や偏西風の南下傾向が見られた。大気モデルに観測された海面水温（SST）や CO₂ 濃度などを与えた AMIP 実験は観測された気温低下トレンドをおおむね再現することから、観測されたトレンドは SST などの外部強制に起因する可能性が示唆された。
- ⑤ 北半球環状モードの形成に果たす中間規模波動を含む各波動の役割を調べた。中間規模波動は全波動によるものの約 15% の加速に寄与しており、南半球環状モードの場合の約半分の大きさの寄与をしていることが分かった。
- ⑥ 特異値分解（SVD）解析を拡張することによって、3 変数以上の場合でも互いに高い相関を持つような変動を抽出する手法を見出した。

大気環境の予測・同化技術の開発

研究年次： 4年目/5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者： 柴田清孝（環境・応用気象研究部 第一研究室長）

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、エア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、エア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、黄砂を含むエアロゾル、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。

副課題1 オゾン化学モデルの高度化

副課題1の研究担当者

眞木貴史、関山 剛、出牛 真、梶野瑞王（環境・応用気象研究部）、中村 貴、池上 雅明、桜井敏之（本庁環境気象管理官室）

副課題1の目標

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1の本年度の計画

- ① 領域化学輸送モデルの化学反応モジュールについて、全球化学気候モデルに用いられている化学反応モジュールと共通化することで、モデルの高度化を図る。
- ② 引き続き、全球化学気候モデルの高度化を図る。特に、種々のエアロゾル前駆体の化学反応系を拡充することでモデルの高度化を図る。
- ③ 成層圏と対流圏のオゾンデータ同化システムの高度化を図る。特に、対流圏オゾンの解析精度の向上を図る。
- ④ 将来予測実験を用いてオゾンの長期変動が気候へ及ぼす影響について、特にアジアモンスーン循環に着目した研究を行う。
- ⑤ タグ付きシミュレーションを応用し、グリーン関数法を用いた最適化手法を介することで東アジア域の越境大気汚染物質の排出量のトップダウン推定を行う。その端緒として対象物質を寿命の長い一酸化炭素とし、衛星観測データを用いて、近年の中国からの排出量を見積もる。
- ⑥ 全球化学輸送モデルにアンサンブルカルマンフィルターを利用した同化手法を導入し、同化システムの構築を行う。構築した同化システムに対し、観測システムシミュレーション実験を行い、衛星軌道（静止・周回）、センサー（近・熱赤外）による予報精度へのインパクト評価を行う。
- ⑦ ライダー観測データ等を用いた化学輸送モデルの検証を進めると共に、対流圏オゾンの鉛直構造を解析する。
- ⑧ 輸送モデル（GSAM-TM）の開発に関しては、過去のモデル相互比較の追実験を行い、鉛直輸送パラメータの調整などを行う。

副課題1の本年度の成果

佐賀におけるオゾンライダーと全球オゾン化学モデルの比較検証を行った。特に寒候期にモデルは観測結果をよく再現できていることが分かった。

輸送モデル（GSAM-TM）の開発に関しては、過去のモデル相互比較の追実験を行い、移流スキームや積雲対流スキームの違いによる鉛直輸送の違いを評価した。その結果、鉛直輸送速度は積雲対流スキームに大きく依存することが分かった。

領域化学輸送モデル（NHM-Chem）に対して MPI 並列の改良・メモリ削減などを行い大幅な計算機効率・資源の改善を行った。また、大気場のスペクトルナッジング、鉛直解像度・座標系、サブグリッド鉛直

拡散・輸送などの NHM-Chem モデルパラメータの最適化を図った。全球化学輸送モデル(GSMUV-CCM2)とのネスティングツールのプロトタイプを作成し、精度の検証を行った。

硝酸や塩酸などのオゾン関連化学種およびオゾン濃度の衛星観測データを全球化学気候モデル(MRI-CCM2)に同時同化する手法を開発し、同化解析・ハインドキャスト実験を行ない、精度の検証を行った。オゾンのみ同化した場合と比較して、複数の化学種を同化した場合のオゾン同化解析・予測精度は有意に向上した。特に、複数化学種の同化はオゾンのモデルバイアスが大きい低緯度域において効果的であり、大きな精度向上が認められた。

副課題2 エアロゾルモデルの高度化

副課題2の研究担当者

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）、藤原 宏章（本庁環境気象管理官室）

副課題2の目標

これまで開発してきた全球のエアロゾルモデルをベースに、エアロゾルに係る、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領域エア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2の本年度の計画

- ① 福島第一原子力発電所の事故により大気中に放出された人工放射性核種の拡散・沈着モデルと当該事例に対する各種観測結果との比較検証により、アンサンブルカルマンフィルタによるデータ同化手法の有効活用のためにフォワードモデルの精度向上を図る。
- ② 全球モデルに組み込むことが可能な、エアロゾルの粒径分布・混合状態を表現したエアロゾルの微物理過程・化学過程・除去過程などを扱うエアロゾルモジュールの開発を行う。
- ③ 逆解析を用いた黄砂放出量推定システムを用いて、複数年における黄砂イベントにおける黄砂放出量の推定を試みる。
- ④ 鉱物粒子、海塩粒子の長距離輸送に影響する、巨大粒子の発生・輸送・沈着過程の改良を引き続き行う。
- ⑤ 領域大気化学モデルで検証されたエアロゾルの微物理過程スキームの全球エアロゾルモデルへの導入を行う。
- ⑥ 大気化学モデルとの結合から、硝酸塩エアロゾルの導入方法を検討する。
- ⑦ JAXA が数年以内に打ち上げ予定のエアロゾル観測衛星2機（EarthCARE および GCOM-C1）のデータ同化利用について本庁での現業化を念頭に置いて調査する。
- ⑧ 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は OSSE によって評価する。

副課題2の本年度の成果

- ① 逆解析を用いて 2008、2009 年度の顕著な黄砂現象に関して放出量の逆推定を実施した。この結果、中国東北部におけるエアロゾルモデルの黄砂放出量がやや過小評価であることが分かった。
- ② 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。CALIPSO/NASA のエアロゾル観測値をデータ同化することによって、黄砂プルームの解析誤差は半分程度に減少することが示された。
- ③ 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。
- ④ 我々が開発した領域化学輸送モデル（NHM-Chem）と予報研究部から提供された NHM-LETKF を結合させ、アンサンブルデータ同化システムを構築した。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い、化学輸送モデルのエアロゾル湿性沈着過程の改良を行った。
- ⑤ エアロゾルの微物理過程および除去過程を詳細に計算できるエアロゾルスキームの開発に着手し、継続している。

- ⑥ エア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、全球大気大循環モデルで使用可能なブラックカーボンの混合状態の変化のパラメタリゼーションを開発した。
- ⑦ 高解像度版 TL319 (640×320 格子、約 60km) の全球エアロゾルモデルの気候値の改良を行うため、JRA-25/JCDAS を参照値として気象場をナッジングした 1980 年から 2010 年までのシミュレーションを行い、衛星観測とシミュレーションによる光学的厚さの気候値を比較・検証を行った。
- ⑧ エアロゾルモデルの放出過程改良を行い、準リアルタイムでのバイオマス燃焼起源の SO₂、黒色炭素、有機炭素の放出量推定の精度向上のため、ECMWF による放出量データ GFAS 1.0 インベントリを扱うことができるようにモデルを改良した。この結果、準リアルタイムのシミュレーション時にバイオマス燃焼起源エアロゾルの放出量インベントリを扱うことが可能となった。

副課題 3 大気質モデルの開発

副課題 3 の研究担当者

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）

副課題 3 の目標

オゾン化学とエア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

副課題 3 の本年度の計画

- ① ミー計算コードの導入、エアロゾル光学特性（光学的厚さや単一散乱アルベド）の算出、SKYNET や AERONET、気象研などで実施されている実大気観測値との比較を実施する。
- ② 現業化にむけて、領域化学輸送モデル NHM-Chem の予測システムを気象庁環境気象管理官へ移行する。
- ③ 最先端の気象化学モデル（米国太平洋北西国立研究所の WRF-Chem）の素過程モデルや開発体制の体得と、個別粒子の成長の時間発展を高精度で記述できる PartMC/MOSAIC モデルを習得し、軽量のバルクモデル（MADMS、MBHM）の性能評価と精度向上を図る。

副課題 3 の本年度の成果

エアロゾルの化学組成、粒径分布、混合状態の時間発展を低計算機負荷で解くエアロゾル動力学サブモデル MBHM (Modal Bin Hybrid Model) 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 4 分の 1 以下の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、エア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 2 報発表した。

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

研究年次： 3年目／4年計画（平成22年度～平成25年度）
 研究代表者： 高藪 出（環境・応用気象研究部 第三研究室長）

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。

研究担当者

高藪 出、佐々木秀孝、村田昭彦、花房瑞樹、青柳暁典（環境・応用気象研究部）、遠藤洋和（気候研究部）、村崎万代（予報研究部）、大泉三津夫、及川義教、平原翔二(併任)

研究の目標

温暖化に対する具体的な気候変化への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-NHRCM)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）」の報告に反映されるよう努力する。

本年度の計画

- ① 地域気候モデル(MRI-NHRCM)による21世紀末および近未来予測結果を用いた日本の各地域の気候変化傾向の把握のための解析を継続する。
地球温暖化予測情報第8巻への情報提供を継続する。
- ② 気象庁再解析データのダウンスケーリング結果による日本の過去の気候変化の解析を行う。
- ③ これまでの成果に基づき、非静力学地域気候モデルのデータの信頼性評価手法の構築を開始する。
- ④ 次世代地域気候モデルのプロトタイプを作成し、長時間積分・高解像度化・地形効果・海外での適用可能性等の検討を行う。

本年度の成果

- ① ア) 21世紀末の極端に低い気温の予測についての解析を開始し、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。
 イ) 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。
 ウ) 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。
- ② 気象庁で新規に整備された高解像度の再解析データ（JRA-55）の側面境界条件としてのキャパシティ検討のために、5km格子NHRCMによるダウンスケーリング実験を行い、観測と比較した。その結果ダウンスケーリングが良好に行くケースと行かないケースがあることが判明した。
- ③ ア) 南西諸島を対象に雲解像モデル（2km格子）での5年分の気候実験を行った。対流パラメタリゼーションを使用した5km格子モデルの結果と比べると、降水量のバイアスが軽減されることを確認した。
 イ) 累積分布関数マッピング法によるバイアス補正を行うには十分なデータがない場合に、地域頻度解析法を応用して、ある領域内での累積分布関数を作成してバイアス補正を行う方法を開発した
- ④ ア) 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。
- イ) 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。

海洋環境の予測技術の開発

研究年次：4年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）

研究代表者：山中吾郎（海洋研究部第一研究室長）

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。

副課題1 海洋環境モデルの開発

副課題1の研究担当者

山中吾郎、辻野博之、平原幹俊、中野英之、坂本 圭、小川浩司（海洋研究部）

安田珠幾、小畑 淳（気候研究部）安藤 正、石井雅男、青山道夫（地球化学研究部）

石川一郎（気候情報課）、中野俊也（海洋環境解析センター）

副課題1の目標

海洋環境情報の高度化を図るために、次の4項目について研究を実施する。

- ① 従来の海洋・海氷結合モデル（MRI.COM）の物理スキームを改良するとともに海洋物質循環過程（海洋生態系過程を含む）を組み込んだ、海洋環境モデルを開発する。
- ② 海洋環境モデルを歴史的外力で駆動し、3次元炭素分布を作成する。
- ③ 国際標準実験（CORE）に基づいた長期歴史実験により海洋環境変動の再現性を検証し、海洋環境モデルの今後の改良点を明確にする。
- ④ 将来に向けて、全球渦解像モデルの開発を進め、諸水塊形成に及ぼす渦・擾乱の効果を評価する。

副課題1の本年度の計画

- ① 全球渦解像モデルの現在気候再現実験を引き続き実施する。
- ② CLIVAR-WGOMD で実施する CORE2 実験結果のとりまとめにあたって、解析手法や結果の解釈の面から貢献を行う。
- ③ 高次生態系モデルの NEMURO のバージョンをあげる等により、海洋生態系モデルの高度化を引き続き実施する。
- ④ MRI.COM ソースコードのモジュール再構成を前年度に引き続き行い、モデルの可読性、利便性の向上を図るとともに、二次元分割の際に陸地となる場所にノードを割り振らない等によりプログラムの高速化を計る。

副課題1の本年度の成果

- ① 全球渦解像モデルの現在気候再現実験および海洋環境モデルの改良を行った。
 - ア) 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 Gulf Stream 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。
 - イ) 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ル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。
- ② CLIVAR-WGOMD で実施している CORE2 実験結果に基づく4研究（北大西洋、南大洋、海面水位、北極海の変動）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。
- ③ 高次生態系モデル（NEMURO）のバージョンを上げ、沈降粒子などのパラメータ化を精緻化した。またソースコードを改良し、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。
- ④ MRI.COM のソースコードに以下の改良を実施した。
 - ア) 同化システムにおける利用を意識してひとつのジョブにおける各ラン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。

イ) 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。

ウ) 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ための基本的なコーディングを実施した。

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

副課題2の研究担当者

山中吾郎、辻野博之、平原幹俊、中野英之、坂本 圭、小川浩司 (海洋研究部)

安田珠幾、小畑 淳 (気候研究部) 安藤 正、石井雅男、青山道夫 (地球化学研究部)

石川一郎 (気候情報課)、中野俊也 (海洋環境解析センター)

副課題2の目標

日本近海の監視・予測システムのアルゴリズムを開発するために、次の3項目について研究を実施する。

- ① 日本近海の海洋環境変動の予測可能性を調査するために、高解像度日本近海モデルを開発する。
- ② 国際標準実験 (CORE) に基づいた長期歴史実験により日本近海の海洋環境変動の再現性を検証し、高解像度日本近海モデルの今後の改良点を明確にする。
- ③ 将来に向けて、波浪の効果や起潮力を導入することにより、日本近海監視・予測システムのプロトタイプを開発する。

副課題2の本年度の計画

- ① 日本近海モデルによる数年間の長期積分を実施し (コントロール実験)、日本周辺海域の形成される平均状態を北西太平洋モデルと比較し、高解像度化のインパクトの調査を行う。全体的なパフォーマンス (沿岸潮位の時間変動、海況、海水分布の季節発展、外洋と沿岸の主要な海流など) と顕著事例の再現性 (暖水波及、高潮など) を調べ、改善が必要な問題点をまとめる。
- ② 日本近海モデルの現業運用に向けた実行手法の開発に資するための調査を行う。データ同化解析値を初期場に用いた実験を行い、モデル再現性に対する初期場のインパクトを調べる。余裕があれば、コントロール実験に使用した CORE データセットよりも高解像度な大気場を用いた実験を行い、モデル再現性に対する大気強制場のインパクトを調べる。
- ③ 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の作成に着手する。

副課題2の本年度の成果

- ① 日本近海モデルの長期積分を実施し、パフォーマンスを調査した。
 - 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水分布については、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。
- ② 日本近海モデルの現業運用に向けた実行手法の開発に資するための調査を行った。
 - 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。

- ③ 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。

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

研究年次：4年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）

研究代表者：倉賀野連（海洋研究部 第二研究室長）

研究の目的

重点研究：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。

副課題1 変分法同化技術の高度化の研究

副課題1の研究担当者

倉賀野連、蒲池政文、辻野博之、中野英之、碓氷典久、藤井陽介、小川浩司、豊田隆寛（海洋研究部）、和田章義（台風研究部）足立典之（気候情報課）、高野洋雄、石崎士郎、岡田良平（海洋気象情報室）

副課題1の目標

変分法同化技術の高度化のため次の4項目について研究を実施する。

- ① 従来の海洋データ同化システムは、モデルが緯度・経度の水平座標系であるため、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、その座標系を用いた同化技術を開発する。
- ② 新しい観測データの同化技術を開発する。オホーツク海での海氷モデルへの海氷密接度データの同化手法（ナッジング法、3次元変分法）を開発する。海面塩分観測衛星 Aquarius の同化技術の開発を行う。
- ③ 1950年代からの海洋長期再解析を実施する。この再解析のデータを、国際研究計画（GOOS/GODAE_OceanView, JCOMM/ET-00FS, CLIVAR/GSOP）に提供し、国際的な比較実験に参加すること。また同化実験結果を用いた海洋中の気候変動について検証し同化スキームの改良点を明確にする。
- ④ 長期計画で使用するために4次元変分法の開発（アジョイントモデルの作成）を行う。誤差共分散行列は、既存の3次元変分法で使用されている行列を基本的には用いる。制御変数の選択、非線形の制約条件等を新しく開発する。

副課題1の本年度の計画

- ① 観測データとの比較により地球システムモデル（全球海洋モデル）用同化スキームを引き続き改良する。
- ② 新しい観測データの同化技術開発を進める。具体的には、(1)海氷同化スキーム（3次元変分法）の改良を引き続き行い、(2)海面塩分観測衛星 Aquarius データの同化技術の開発を開始する。またそれらの同化結果の検証を行う。
- ③ 全球同化システムを用いた海洋再解析実験引き続き行う。
- ④ 4次元変分法を用いた短期間の同化実験を行う。結果を観測及び3次元変分法による結果と比較し、スキームの改良を行う。

副課題1の本年度の成果

- ① 衛星海面高度データの同化において、全球淡水質量の変動のために、太平洋熱帯域で高温バイアスが生じることが明らかとなり、これまで開発してきた全球淡水質量変動推定スキームでは、十分に修正されないことが分かった。同スキームの改良のため、淡水量の変動の特徴と、高温バイアスの発生過程や影響を調べた。
- ② (1) 3次元変分法による海氷密接度の同化スキームを確立した。(2) 現在公開されている衛星海面塩分データを海洋データ同化システムにより再解析値と比較したところ、そのバイアスや精

度の緯度依存性が高いことが明らかになった。

- ③ 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、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ことが明らかになった。
- ④ 北西太平洋モデルを用いて、2000 年以降の黒潮等の再現性について、現業版の 3 次元変分法と 4 次元変分法の結果の違いについて比較を行い、黒潮続流の蛇行など、特に強い流れを伴う現象について、同化期間内の場の変動についても考慮される 4 次元変分法の結果の方がより現実的であることを確認した。

副課題 2 日本近海の時況監視・予測技術の開発

副課題 2 の研究担当者

倉賀野連、蒲池政文、辻野博之、中野英之、碓氷典久、藤井陽介、小川浩司、豊田隆寛（海洋研究部）、和田章義（台風研究部）足立典之（気候情報課）、高野洋雄、石崎士郎、岡田良平（海洋気象情報室）

副課題 2 の目標

日本近海監視システムの基礎を確立するために次の 4 項目について研究を実施する。

- ① 平成 20 年 3 月から現業化された北西太平洋の監視・予報を行う新海洋総合解析システム（MOVE/MRI.COM-WNP）の親潮海域での低温バイアスを低減する。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を開発する。その結果、亜寒帯域における水温・流速の精度向上を行う。
- ② 既存の沖合用の波浪モデルを浅海域用に改良する。また、波浪の混合層での混合過程ひいては海流への影響を研究する。
- ③ 沿岸での時況現象の再現精度向上のための潮汐データ同化に関する開発・研究を行う。
- ④ 大気・波浪・海洋混合層結合（領域）モデルの境界条件として、海洋データ同化結果を用いて、その影響評価を行う。また、同モデルを用いて、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を調べる。

副課題 2 の本年度の計画

- ① 高度化した海洋総合解析システムでの東北沖の水塊の再現性を向上させるスキームの改良を行う。結果を観測と比較し精度検証を行う。また、精度検証を行うための観測を東北区水産研究所と共同で、東北沖で実施する。
- ② 潮汐に関しては、次期海洋モデルに本庁調和解析データを簡易的な同化手法によって同化する手法の開発に着手する。
- ③ 浅海波浪スキームと天文潮を導入した高潮モデルの現業化にむけて検証を継続するとともに、海流の影響を考慮した具体的な波浪情報の提供について検討を行う。
- ④ 大気・海洋再解析データ、Argo データ等観測データを用いた大気海洋相互作用の研究を引き続き行う。非静力学大気波浪海洋結合モデルにより、台風・顕著現象の再現に対する海洋同化データの影響評価を引き続き行う。
- ⑤ 海洋総合解析システムに対するアジョイント法導入の可能性を検討し、必要な改良を行う。

副課題 2 の本年度の成果

- ① 平成 23 年度作成した月別の統計量と、これまでに開発した、誤差の非ガウス性を考慮した拘束条件（低温を抑制する拘束のみ）を用いて、1980 年～2010 年の再解析を実施し、東北沖の混乱水域で拘束条件が有効に機能していることを確認した。
- ② 日本沿岸における潮位計データの調和解析により取得した潮汐成分によって、次世代日本近海モデルにより得られた潮汐成分の精度評価を行った。また潮汐成分除去フィルタを施した潮位計データを用い、時況起源の異常潮位に関する事例を検証した。
- ③ 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り、スキームの改良を引き続き行っている。高潮モデルへの天文潮導入の効果は、線形的に偏差に加えた場合と大きな差はなかった。流れの影響については、過去の調査結果を踏まえて、試験的に評価手法の検討を行った。

- ④ 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。
- ⑤ 北西太平洋モデル、及び、そのアジョイントコードについて、現業運用で想定される計算機資源での実行を可能にするため、2次元並列計算スキームを適用し、さらに、分割された計算領域のうち、陸地のみの領域について計算を省略するように改良を行った。

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

研究年次：4年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）

研究代表者：松枝秀和（地球化学研究部 第一研究室長）

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。

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

副課題1の研究担当者

松枝秀和、馬淵和雄、澤 庸介、坪井一寛、丹羽洋介（地球化学研究部）
齊藤和幸、滝沢厚詩（環京気象管理官付）

副課題1の目標

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の本年度の計画

- ① 定期航空機を利用したCO₂連続観測とフラスコサンプリングによる毎月2回の観測を継続し、新たに1年間の温室効果ガス測定値が取得できた。また、気象研究所の露場の高さ1.5mの温室効果ガス濃度の連続観測を継続した。今年度新たに得られた観測値は品質評価を行った後、データベースに追加し、副課題2の解析に利用した。
- ② 綾里・与那国島・南鳥島・父島の4地点の観測所における大気Rn濃度の連続観測を継続し、1時間平均の測定データが1年を通してほぼ欠損なく取得された。新たに得られたデータは品質評価による精度を検証した後、データベースに追加して、副課題2の解析に利用した。特に、父島で観測されたRnの濃度変動は、同島で観測している産業技術総合研究所の観測結果と良い一致を示していることが確認できた。
- ③ 気象庁とのCO₂とCH₄の標準ガス及びオゾン計の比較検定実験を2回実施し、お互いの観測基準に変化がなかったことが分かった。また、気象庁のCH₄標準ガス巡回比較実験に参加し、気象研究所と気象庁の実験結果が良い一致を示した。
- ④ 南鳥島観測所にCRDS型のCO₂とCH₄の同時測定システムを設置し、長期間に亘って精度評価試験を行った。その結果、世界気象機関（WMO）で推奨されている観測精度を十分達成できていることが分かった。

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

副課題2の研究担当者

松枝秀和、馬淵和雄、澤 庸介、坪井一寛、丹羽洋介（地球化学研究部）
齊藤和幸、滝沢厚詩（環京気象管理官付）

副課題2の目標

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の本年度の計画

- ① 観測で得られた高分解能のデータベースを利用して、温室効果ガス及びラドン濃度の時空間変動の解析を行い、それらの変動の特徴を把握する。また、父島の観測データを利用したラドン・トレーサー法によるアジア大陸の温室効果ガス発生源の解析手法を確立する。
- ② 3次元のCO₂輸送モデル（NICAM-TM）と航空機観測結果を利用した温室効果ガスの発生・吸収源を

再評価するインバース手法を高度化する。

副課題2の本年度の成果

- ① 気象研究所の露場及び鉄塔で得られた高分解能のデータベースを利用して、大気中 CH_4 濃度の変動を解析した。その結果、夏季に CH_4 濃度が上昇する現象が毎年明瞭に見出された。同時に観測している一酸化炭素 (CO) 濃度の変動と比較した結果、夏季には CH_4/CO 比が増大することが分かった。この結果から、夏季には化石燃料起源の CH_4 放出に比べて、生物活動に由来する CH_4 の発生が大きく増加していることが強く示唆された。一方、大気 Rn の長期データベースを利用して、南鳥島、与那国島、綾里における Rn の濃度変動と、 CO_2 、 CH_4 、 CO の濃度変動を比較解析した。その結果、 CO_2/Rn 比と CH_4/Rn 比が長期的に増加傾向にあることが認められた。これら西部北太平洋域の観測地点ではアジア大陸起源の空気塊の影響を強く受けていることから、アジアの人類活動による CO_2 や CH_4 の放出が年々増大していることが強く示唆された。これらの解析結果から、微量気体と Rn の比を利用したラドン・トレーサー法が大陸の発生源を評価する上で有効な手法となることが分かった。
- ② 3次元の CO_2 輸送モデル (NICAM-TM) を利用したインバース手法を用いて、地球規模の CO_2 の発生・吸収源を領域別に評価する手法の高度化を検討した。その手法の高度化のために、定期航空機による観測データを導入した実験を実施した結果、データの少ない熱帯地域の評価誤差を大きく軽減できることが認められた。また、航空機データを利用することにより、海洋と陸域生態系の1年間の炭素吸収量の分配が $0.6\sim 0.7\text{PgC}$ 変わり、海洋に比べて相対的に陸域生態系の吸収量が増加することが分かった。

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【基礎的・基盤的研究】

副課題3の研究担当者

松枝秀和、馬淵和雄、澤 庸介、坪井一寛、丹羽洋介（地球化学研究部）
齊藤和幸、滝沢厚詩（環京気象管理官付）

副課題3の目標

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の本年度の計画

- ① 陸域物理生物過程モデルの高度化を継続して行う。
- ② 上記陸域物理生物過程モデルを組み込んだ全球および領域気候モデルによる3次元炭素循環の再現性に関する検証、及び大気—陸域相互作用のメカニズム解析を継続して行う。
- ③ 上記全球モデルによる陸域炭素循環への海氷変動インパクト数値実験結果の解析を継続して行う。
- ④ 衛星観測データとモデル数値実験データの相互利用に関する検証研究を継続して行う。
- ⑤ 陸域モデル比較実験を行い陸域物理生物過程モデルの更なる精度の向上を図る。

副課題3の本年度の成果

- ① 陸域物理生物過程モデルの高度化及び精度検証を目的として、最新バージョンの off-line モデルを用いた陸域物理生物過程モデル単独での数値実験を引き続いて行った。特に陸域モデル比較実験のために行った off-line 実験の結果解析より判明した、地表面における特定条件下でのエネルギー収支計算結果の不整合について、その原因を調査し、モデルの改良を行った。また、気候モデルに full-couple で導入可能な Dynamic Vegetation Model へのバージョンアップを目指して、気候モデルで再現可能な物理量のみによる植生タイプ判別・植生変遷評価手法、森林火災等の攪乱効果の評価手法、及びそれらに関するリモートセンシングデータの活用法の検討を引き続いて行った。
- ② 現実的な大気気候場における大気—陸域相互作用及び炭素循環を再現した3次元気候モデル実験として、エルニーニョ発生期に大気中 CO_2 濃度の年々変動に変化が現われる原因を解明するために、1997年から98年及び2002年から03年にかけての2例のエルニーニョ年前後の期間を

対象とした数値実験結果について、大気中 CO_2 濃度変動と陸域過程及び大気—陸域相互作用の変動の関係に関する解析を引き続いて行った。2例の大気中 CO_2 濃度の相対的高濃度年（1998年及び2003年）の特徴に関して、これまでの98—97年及び03—04年比較に加えて、98—99年及び03—02年の陸域諸要素の変動の比較を行った。その結果、暖候期高濃度年におけるユーラシア大陸における高温乾燥傾向、北米大陸における高温乾燥傾向、東アジアにおける日射量減少傾向などの要因によるGPPの減少及びNEPの低減化、及びこれらによる大気中 CO_2 濃度の相対的高濃度化は、98年及び03年に共通した特異的な現象であることが明確となった。また、北半球中高緯度の暖候期の500hPa高度場の98—97年比較、98—99年比較、及び03—02年比較、03—04年比較を行った。その結果、高度場偏差のパターンが非常に良く似ており、エルニーニョ終了年暖候期の中高緯度高度場偏差に共通した特徴があることが示唆された。これらの熱帯SST変動と中緯度大気場変動のテレコネクションの影響による陸域過程の変動、及びそれに起因する北半球陸域における植生活動の変動は密接に関係していることが考えられる。これらの結果から、大気場、陸域諸過程、及び炭素収支の相互作用に関して、2例のエルニーニョに関連する共通した変動メカニズムが存在することが示唆され、これらは地球規模の組織的連動メカニズムの一例であることが分った。以上の結果から、全球的炭素収支変動と大気—陸域相互作用の関係に関する更なる知見を得ることができた。

- ③ 3次元全球気候モデルを用いた海水インパクト数値実験については、これまでに作成した数値実験解析用のデータベースを基にした解析を引き続いて行った。北極域海氷の減少例は、上記数値実験の対象とした2007年の例以降、近年においても顕著な例が発生しているため、今後それらの年を対象とした数値実験を追加して行い、例数を増やすことにより、影響評価解析結果の精度向上を図ることが必要であることが分った。
- ④ 陸域諸要素に関する衛星観測データとの比較が可能な、2000年代の期間を対象として、衛星観測データと全球気候モデル数値実験結果の相互検証解析を引き続いて行った。モデルによる土壌水分値とAMSR-Eによる土壌水分データの比較について、前年度の結果では全球土壌水分分布の季節変化は概ね一致していたが、年々変動のパターンについては一致しない領域があった。そこで、衛星データ関連専門家の協力を得て、最新のアルゴリズムにより作成された土壌水分データの提供を受け、再比較解析を行った。その結果、年々変動のパターンの一致度は上昇したが、特に暖候期の土壌水分の年々変動について、モデルによる結果と比較し衛星データは変動量が少ない傾向にあることが分った。これは森林等の植生の存在が起因していると考えられるが、今後衛星データ専門家との研究討議が必要であると判断された。また、MODISによる下向き短波放射量及びAMSR-Eによる積雪日覆・積雪深に関する相互比較検証を実施した。短波放射量については、定量的な差はあるものの、その季節変化及び年々変動のパターンは相互に良く一致していることが分った。また、積雪面積の季節変化は概ね一致していたが、積雪深の季節変化・年々変動には不一致が見られた。積雪深については、土壌水分と同様に、今後衛星データプロダクト抽出アルゴリズム開発研究者との研究情報交換、及びより詳細な相互検証・討議が必要であると考えられる。これらの研究結果から、衛星データと気候モデル出力データの相互比較検証は、双方のプロダクトの精度向上にとって非常に有効であることが確認できた。
- ⑤ モンゴル及び中国の半乾燥草原地において観測された、2003年から2009年までの地点観測気象データを外力とした、陸域モデル比較プロジェクトに関連して、モデルオリジナルパラメータ値を使用したoff-line数値実験結果、及び観測パラメータを取り入れたoff-line数値実験結果をプロジェクトグループに提供した。その際のモデル実験結果の独自解析の過程で、半乾燥草原域においては、低温期及び夜間に、潜熱フラックスが下向きになるケースが頻発しており、その顕著な条件が想定以上に継続して起きた場合、エネルギー収支計算結果に若干の不整合が生じることが分った。そのため、関連するエネルギー収支計算プロセスの修正を行った。上記の環境条件は、他の森林植生域等では顕著ではない。半乾燥草原域を対象としたモデル実験プロジェクトに参加したことにより、上記のモデルアルゴリズムの改良点を見出すことができた。本プロジェクトに参加したことは、陸域物理生物過程モデルの精度向上のために非常に有意義であった。その他、特に土壌炭素量などの時定数の長い要素の初期値設定のためのモデルspin-up方法の改良、モデル実行時の Δt 変更処理の改良など、off-lineモデル実験の方法に関する改良を行った。また、半乾燥草原域における降水の有無によるボーエン比の激変を含む地表面エネルギー収支の激変過程、及び土壌水分量と短波放

射量条件により激変する乾燥域草原植生の光合成活動の激変過程など、半乾燥草原域特有のモデル実験結果について、他のプロジェクト参加研究者と研究討議を行った。

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

研究年次：4年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）

研究代表者：石井雅男（地球化学研究部 第二研究室長）

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。

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

副課題1の研究担当者

石井雅男、安藤 正、青山道夫、笹野大輔、小杉如央（地球化学研究部）、中野英之（海洋研究部）、和田章義（台風研究部）、延与和敬、高谷祐介、小島 惇（海洋環境解析センター）、本井達夫（気象大学校）

副課題1の目標

- 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 溶存酸素の高密度観測のための酸素センサーを実用化する。
- 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1の本年度の計画

- ① 全アルカリ度観測の品質管理の強化策として、分析に使用する塩酸濃度の検定装置の性能試験を行い、改良してゆく。
- ② 電量滴定装置の滴定用電源を改良し、いっそうの高精度化を図る。
- ③ CTD 搭載型クロロフィルセンサーの性能試験を実施し、運用方法を確立させる。
- ④ 栄養塩標準国際共同実験の結果を取りまとめ、気象研究所技術報告に投稿する。
- ⑤ 本研究で開発・改良してきた炭酸系観測手法を取りまとめ、気象研究所技術報告に投稿する。
- ⑥ 南大洋航海 S4P において、栄養塩標準を使い、栄養塩標準を使用あるいは栄養塩標準から誘導された栄養塩データが存在しない海域の観測を行う。
- ⑦ 栄養塩国際スケールパネル（提案中）の活動を促進する。

副課題1の本年度の成果

- ① 高い精度で滴定電流を制御することで高い精度で塩酸濃度を検定できるように、②の結果をふまえて、塩酸濃度検定装置の滴定用電源を改造した。
- ② 平成23年度に滴定用電源を改良した全炭酸濃度分析装置の性能試験を行った。1% CO₂ 標準空気の繰り返し測定では、低ブランク（<0.03μgC/min）で高精度（0.02%）の測定を実現でき、高い精度で測定できることを実証できた。
- ③ クロロフィルセンサーを凌風丸の CTD に取り付けて運用試験を行い、良好なデータを取得できるようになった。
- ④ 栄養塩標準国際共同実験の結果を取りまとめ、気象研究所技術報告の原稿を執筆している（平成25年2-3月に投稿予定）。
- ⑤ 本研究で開発・改良した全炭酸濃度測定装置について、気象研究所技術報告に投稿する原稿の執筆を進めている。
- ⑥ （独）海洋研究開発機構の海洋地球研究船「みらい」で、平成24年9月～10月の北極海航海にて栄養塩濃度標準物質を用いた観測を行い、データの空白域を減らすことができた。平成24年12月～平成25年2月の南大洋航海でも栄養塩濃度標準物質を用いた観測を順調に行っており、分析の繰り返し精度も世界最高水準を維持している。
- ⑦ 国際学術連合会議（ICSU）傘下の海洋研究科学委員会（SCOR）に、国際栄養塩スケールのワー

キンググループの設立を提案したが、残念ながら採択には至らなかった。来年度も再度提案する予定である。また、オランダ王立海洋研究所において、リン酸塩分析についての国際ワークショップを開催した。

副課題2 温室効果ガスの海洋蓄積の実態把握

副課題2の研究担当者

石井雅男、安藤 正、青山道夫、笹野大輔、小杉如央（地球化学研究部）、中野英之（海洋研究部）、和田章義（台風研究部）、延与和敬、小島 惇（海洋環境解析センター）、本井達夫（気象大学校）

副課題2の目標

- 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WDCGG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CO₂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2の本年度の計画

- ①引き続き西部北太平洋において、海洋中の炭酸系パラメータや酸素センサー・クロロフィルセンサーによる観測を継続する。
- ②平成23年度に白鳳丸KH-11-8次航海により南北太平洋の広域で採取した海水試料の全炭酸濃度・全アルカリ度を分析し、船上で測定したpHなどのデータと合わせてデータセットを作成する。
- ③東経137度における海洋内部のCO₂増加と海洋酸性化に関する解析結果をとりまとめ、論文を投稿する。
- ④東経165度における海洋内部の酸素減少の解析結果をとりまとめ、論文を投稿する。
- ⑤西部北太平洋や南太平洋で、溶存酸素センサーを使って観測した鉛直高密度の酸素データにより、海洋垂表層の酸素濃度の季節変化や広域分布およびそれらと炭酸系パラメータとの関係を調べる。
- ⑥気象研や気象庁が行ってきた海洋CO₂観測データを含み、他の機関の観測データとともに統合された海洋CO₂分圧の新しいデータベースSOCATが、平成23年9月に公開された。このデータベースを用いて、黒潮続流域や太平洋西部赤道域におけるCO₂分圧の長期変化や海洋酸性化の状況を調査する。

副課題2の本年度の成果

- ①凌風丸・啓風丸の東経137度、東経165度、北緯24度の定線観測航海(RF12-03, RF12-05, KS12-04, KS12-06, KS12-07, KS12-08, KS12-09)で、炭酸系パラメータ測定用の海水試料を海洋各層から採取し、気象研究所に持ち帰って全炭酸濃度・全アルカリ度・pHを測定した。酸素センサーやクロロフィルセンサーによる観測も、凌風丸で実施したすべての停船観測点で、水温・塩分などの観測と同時に現場で行った。
- ②平成23年度に参加した白鳳丸KH-11-8次航海において、南北太平洋の広域で採取した海水試料の全炭酸濃度・全アルカリ度を分析した。船上で測定したpHなどのデータと合わせてデータセットを作成した。データは、太平洋広域における表面水中の全アルカリ度分布の解明などに活用している。
- ③1994年に世界海洋大循環実験(WOCE)の一環として凌風丸で実施した東経137度の海洋観測の結果と、2010年夏に同じ海域で実施した海洋観測の結果を比較し、海洋内部における炭酸系の変動を評価した。その結果、海洋の内部でも大気CO₂濃度増加に応じて海洋酸性化が進んでいることや、海洋循環場の変化のために、大気中のCO₂濃度増加から予想される速さ以上に海洋酸性化が進行している領域のあることが分かった。
- ④気象庁が1996年から行っている東経165度の定線観測のデータと、それ以前に米国などの他機関が同海域で行った航海の観測データを統合的に解析した。その結果、東経165度の広い緯度帯と深

度領域で、酸素濃度が長期に減少していることや、その速度が 10 年スケールで変動していることが分かった。原因として、風速場の変化による亜寒帯循環の変化が考えられた。

- ⑤ 北太平洋内部への CO₂ 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主な対象として、溶存酸素センサーを使って観測した鉛直高密度の酸素データを解析した。その結果、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細に分かり、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の実態を知ることができた。
- ⑥ 黒潮続流域では、冬季の亜熱帯モード水形成の海水密度域で、大気 CO₂ 濃度の増加に応じて海洋表層の CO₂ 分圧が増加していることが分かった。これによって、海洋表面の CO₂ 増加と、東経 137 度で観測している海洋内部の CO₂ 増加がリンクしていることを実証できた。多くのサンゴ礁が分布し、生物多様性のホットスポットとして知られる太平洋西部赤道域を対象とした解析でも、表面水や亜表層の水温躍層付近で CO₂ 濃度が増加し、海洋酸性化が進行していることを実証できた。

副課題 3 海洋中炭素循環変動メカニズムの解明

副課題 3 の研究担当者

石井雅男、安藤 正、青山道夫、笹野大輔、小杉如央（地球化学研究部）、中野英之（海洋研究部）、和田章義（台風研究部）、延与和敬、小島惇（海洋環境解析センター）、本井達夫（気象大学校）

副課題 3 の目標

- ① 海洋物質循環モデルを改良し、これ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 CO₂ 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 CO₂ 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。

副課題 3 の本年度の計画

- ① RECCAP の一環として実施している太平洋の大気・海洋間 CO₂ フラックスの評価結果をまとめ、論文を投稿する。
- ② 引き続き、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海洋大循環モデルを用いて、台風通過に伴う海洋表層炭酸系の変動に関する数値シミュレーションを実施する。
- ③ 統合された全球栄養塩データセットを完成させ、海洋内の栄養塩総量を確定させるとともに、時空間変動の解析を進める。

副課題 3 の本年度の成果

- ① RECCAP の一環として実施している太平洋の大気・海洋間 CO₂ フラックスのさまざまな評価の結果を比較し、信頼できるフラックス評価の範囲を評価した。結果を論文にまとめ、現在、国内外の多くの共著者による内部レビューを行っている。
- ② 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を用いて、2009 年 9 月に本州東方を通過した台風 Choi-wan が海洋表層炭酸系に与えたインパクトを評価するとともに、米国 NOAA が設置した係留系による観測データと比較し、モデルの性能について考察した。結果を論文にまとめて投稿した。
- ③ 栄養塩標準物質を使用あるいは栄養塩標準物質から誘導された栄養塩濃度のデータが存在しない海域（南大洋と北大西洋北部）を除き、栄養塩標準物質を基準とした統合された栄養塩データセット（補正された測点データの集合）が完成した。今後グリッド化を行って、海洋内の栄養塩総量を確定させる。

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

研究年次：3年目／4年計画（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）

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を目的としている。

副課題1 大気モデルの高度化に関する研究の研究

副課題1の研究担当者

楠 昌司、小畑 淳、吉村 純、川合秀明、水田 亮、吉田康平、簗 将吉、保坂征宏、足立恭将、新藤永樹、遠藤洋和、鬼頭昭雄（気候研究部）村上茂教（気象大学校）

副課題1の目標

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。それらが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重点研究「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」で開発している地球システムモデルに提供する。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。

副課題1の本年度の計画

- ① 陸面過程、降水過程、海氷過程、炭素循環などの物理過程を改良する。
- ② 高解像度化した大気モデルへ改良した物理過程を組み込む。

副課題1の本年度の成果

- ① MRI-CGCM3の大気部分を高解像度（TL319, 60km）にした。
- ② 気候変動シミュレーションにおける不定性の大きな原因となっている海洋性境界層雲の雲フィードバックを理解するためのモデル間比較、CFMIP-GCSS モデル相互比較事例を用いて、雲フィードバックのメカニズムを明らかにするための1次元モデル数値実験を昨年度から行っていた。さらに追加実験を重ねて信頼できる結果を得ることができたため、その結果を論文として出版した(Kawai 2012)。
- ③ 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ことを目的として、CloudSat、CALIPSO といった新しい衛星データを利用して、下層雲の全球的な詳細な鉛直構造、及び、霧の発生頻度の調査を行い、それらを明らかにした。また、再解析データも使用して、それらの構造と高い相関を持つ気象要素も明らかにした。
- 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火山噴火（1883年）による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による日射減少・気温低下・植物生産減少・土壌呼吸減少などの変動は、全球平均では数%以下の小さな規模であった。しかし、地域的にみると北半球中高緯度の陸域では10～20%の減少を示すなど、農業被害を引き起こす可能性がある顕著な影響が現れることが判明した。

副課題2 気候変動メカニズム解明に関する研究

副課題2の研究担当者

楠 昌司、小畑 淳、吉村 純、川合秀明、水田 亮、吉田康平、簗 将吉、保坂征宏、足立恭将、新藤永樹、遠藤洋和、鬼頭昭雄（気候研究部）村上茂教（気象大学校）

副課題2の目標

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重点研究「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」で開発している地球システムモデルに提供する。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。

副課題2の本年度の計画

- ①過去千年実験を実施する。
- ②結合モデルのアンサンブルによる数十年変動予測可能性を実験する。
- ③大気モデルによる20世紀再現実験を実施し、解析する。
- ④完新世中期と最終氷期最盛期の気候再現実験を実施し、解析する。

副課題2の本年度の成果

- ① 完新世中期実験(6000年前)を完了した。データ変換、日本のデータサーバーDIASへの転送も終了し、CMIP5データとして公開した。
- ② 最終氷期最盛期実験(21000年前)を完了した。データ変換、日本のデータサーバーDIASへの転送も終了し、CMIP5データとして公開した。
- ③ 過去千年実験に必要な温室効果ガス、太陽放射、火山性エアロゾル(硫酸塩)、3次元オゾン分布などの境界条件を整備した。これらは第3次古気候モデル相互比較計画 Paleoclimate Modelling Intercomparison Project Phase 3 (PMIP3) が推奨するものであるが、気象研究所のモデルとの対応関係から必要に応じて修正した。特に、気象研究所のエアロゾルモデルの火山性エアロゾルの扱いは火山の噴出量を与えるものであるため、大気中の濃度を与えるPMIP3の推奨データと対応していなかった。そこで、火山噴火に関する硫酸塩濃度のみ外部ファイルから読み込み、エアロゾルモデルで計算した自然起源の硫酸塩濃度に加えて、放射及び雲過程を計算するようモデルを修正した。過去千年実験のスピンアップを終了し、現在本計算を継続中である。
- ④ 気候炭素循環モデルを用いた暁・始新世高温期の大气メタン急増実験の結果を解析した。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た。高温化により光合成が減少すること、植物呼吸が増加することにより陸域生態系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。これらの環境激変は、21世紀温暖化予測を凌駕するものである。これらの結果を論文に発表した(Obata and Shibata 2012)。
- ⑤ 地球システムモデルによるCMIP5用(人為起源二酸化炭素排出)歴史実験において、二酸化炭素施肥効果による光合成増加が過大になることがわかった。MRI-CGCM3は気候感度が低いため、温暖化が過小傾向になること、その結果、土壌呼吸が過小になる。これらの相乗効果で陸域生態系の炭素吸収はやや多めとなっており、その結果モデルの現代の大气二酸化炭素濃度は現実に比べて20ppm程度低めに計算された。この差は、各国研究機関のモデル結果と比較して不確実性の範囲に入ると思われる。
- 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できる。陸域の年平均地上気温を解析した。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が良い。熱帯平均では年々変動が特によく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HPA_esm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HPA_esm_noaeraplでは、エアロゾルの濃度を直接与えた。とも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つの実験ともに概ね良好だが、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、中国大陆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。

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

研究年次：4年目／5年計画（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）

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、雲やエア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・エアロゾルの放射影響の実態を把握することを目的としている。

副課題1 雲・エアロゾルの監視と放射影響の実態解明に関する研究

副課題1の研究担当者

内山明博、山崎明宏、上澤大作、工藤 玲（気候研究部）、五十嵐康人、財前祐二（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）

副課題1の目標

- 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・エアロゾル特性、放射影響の変動特性の実態把握

副課題1の本年度の計画

- ① 観測精度向上のための研究
 - ア) 日射・エアロゾル観測をWEBで閲覧するシステムは、節電状況を見ながら運用し、日々の観測に役立てる。
 - イ) 引き続き、観測データ、解析データ、補助データを総合的に管理できるようにする。
 - ウ) 太陽周辺光の分布画像を撮る手法の開発を進める。
- ② 測定データの解析ソフトウェアの開発・改良
 - ア) 受動型測器（スカイラジオメータ）と能動型測器（ライダー）を組み合わせたエアロゾルの推定法に取り組む。
 - イ) 各年で決定した検定定数を使用してスカイラジオメーターのデータの再解析を研究室で開発したプログラムを使用して引き続き行う。
 - ウ) スカイラジオメーターのデータの再解析は、エアロゾルが球形、非球形双方を考慮し、雲スクリーニングも含むことで行う。
 - エ) 引き続き、スカイラジオメーター等の測器の校正法の改良を行う。
- ③ 雲・エアロゾル特性、放射影響の変動特性の実態把握
 - ア) 連続観測を実施しデータの蓄積を図る。
 - イ) 収集した国外の広帯域日射計のデータを解析する。
 - ウ) 開発した手法を用いてネフェロメーター、PSAPのデータを解析して一次散乱アルベドの変動特性を引き続き調べる。

副課題1の本年度の成果

- ①観測精度向上のための研究
 - ア) 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 法による比較を行った。その結果、Improved Langley 法での 340nm の結果は温度依存を受けている可能性があることが示唆された。
 - イ) スカイラジオメーターの検定定数転写は、晴天時のデータを用いていたが、一様な入射光があれば、ややデータのバラツキがあるが、出力比は、検定定数と立体視野角の積の比であり、比較観測可能であることがわかった。
- ②測定データの解析ソフトウェアの開発・改良

- ア) 既存のスカイラジオメーターの解析法 (SKYRAD. PACK) に対し、エアロゾルの鉛直分布などの影響を評価し、ライダー観測との複合利用を見据えた解析法へ改造した。
- イ) スカイラジオメーターの輝度分布観測において、障害物があった際に、それを見分け、解析前に下処理するアルゴリズムを開発した。
- ウ) スカイラジオメーター観測から雲特性を推定する問題について調査した。
- ・放射伝達モデルによるフォワード計算によって、スカイラジオメーター観測の持つ雲特性への感度について調べた。鉛直分布への感度は極めて小さく、H23 年度に実施した試験的なリトリバー推定調査によって得られた結果 (鉛直分布の推定はうまくいかない) と整合的である。
 - ・先行研究を参考に、放射伝達モデルによるフォワード計算を用いて、水雲の光学的厚さと粒径分布 (有効半径) を推定するためのルックアップテーブルを試験的に作成した。光学的厚さと粒径が一意に解が求まる範囲について検討を行い、有効半径が $4\mu\text{m}$ 程度以下の場合でないと推定できないという結論が得られた。仮定した粒径分布関数に依存する可能性もあるので、さらに調査が必要である。
- エ) エアロゾルの多波長散乱係数、吸収係数データ解析プログラムを Aurora3000 (Ecotech 社) による 3 波長散乱係数、AE31 (Magee Scientific 社) による 7 波長吸収係数データに適応できるように改良した。
- ③雲・エアロゾル特性、放射影響の変動特性の実態把握
- ア) 各年で決定した検定定数を用いることで、つくばと福岡設置スカイラジオメーターの 2008 年から 2011 年までのデータについて、エアロゾルが球形、非球形双方を考慮し、雲スクリーニングも含むことで再解析を行い、解析結果の蓄積を行った。
- イ) つくばの約 30 年のエアロゾル光学特性の変動が、大気境界層へ与え得る影響について、数値モデルを用いた感度実験を行った。結果、エアロゾルの大気境界層への影響は、1990 年辺りを境に、地上気温を上げる方向から下げる方向へ、日最大境界層高度を上げる方向から下げる方向へ変化していた可能性が示された。
- ウ) 福岡のエアロゾル散乱係数、吸収係数の特性をつくばと比較した。福岡では、つくばほど明確な季節変化が見られなかった。2010~2011 年にかけて一次散乱アルベドが大きくなる傾向にあった。

副課題 2 エアロゾルの光学特性の測定とモデル化に関する研究

副課題 2 の研究担当者

内山明博、山崎明宏、上澤大作、工藤 玲 (気候研究部)、五十嵐康人、財前祐二 (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)

副課題 2 の目標

- ①エアロゾル光学特性測定法の改良
- ②エアロゾルの基礎物理・化学量の測定と実態把握
- ③エア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

副課題 2 の本年度の計画

- ①エアロゾル光学特性測定法の改良
 - ア) エアロゾルの散乱係数の湿度特性の測定試験を継続して行う。
 - イ) エアロゾルを分級して ($1\mu\text{m}$ 以下と全粒径範囲) で光学特性を測定できるようにする。
- ②エアロゾルの基礎物理・化学量の測定と実態把握
 - ア) (H23 より) 季節毎にサンプルの分析を行い、年間を通したエアロゾル組成・混合状態の変化を調べる。R 階で行っているイオンクロマトグラフなどによる化学組成データとの比較、サーモデニューダーにより高温での揮発特性の測定を行うことなどにより、硝酸イオンや有機物のデータの補強を行う。
 - イ) 年度前半は、新電顕システムへの移行とそれに伴う分析手法確立を行う。年度後半は、過去サンプル (2009 年 3、4 月の福岡での観測データなど) に加え、つくばで定期的にサンプルを採取、分析し、黄砂粒子、すす粒子などの形状データを提供する。また、

個々の粒子の組成を調べる。

ウ) すず粒子については、トモグラフィによる3次元データを取得する。

③ エ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

ア) H23年度までにモデル化した黄砂粒子とスス粒子モデルについて、FDTD法と改良型幾何光学近似法を併用した可視～赤外波長における散乱特性データベースの整備を継続して行う。

イ) 氷晶粒子について、FDTD法および改良型幾何光学近似法を用いて代表的な粒子形状である六角柱・角板・二十面体などに対する散乱特性のデータベースを作成する。航空機観測画像データを元にして新たに不規則形状氷晶モデルを作成し、同様に散乱特性のデータベースを作成する。また散乱特性データベースを用いて各種放射伝達計算用の入力ファイルを作成し、研究コミュニティに提供することで研究成果の公開を行う。

副課題2の本年度の成果

① エロゾル光学特性測定法の改良

エロゾルをPM1（直径1 μ mカット）のサイクロンを用いて分級して光学特性の試験観測を行った。

② エロゾルの基礎物理・化学量の測定と実態把握

ア) 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。

イ) 過去サンプルの分析

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。

③ 雲・エロゾル特性、放射影響の変動特性の実態把握

ア) 前年度までにモデル化した黄砂およびスス粒子の形状モデルについて、可視～近赤外波長に対応する光学定数での散乱特性をFDTD法で計算しそのデータベースを構築した。

イ) 氷晶粒子について、代表的形状である六角柱・六角平板・二十面体について可視～赤外の複数の波長での散乱特性をFDTD法と改良型幾何光学近似法を併用して計算し、データベースを作成した。

ウ) 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について、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）を作成し、可視～赤外における散乱特性データベースを構築した。

意図的・非意図的気象変化に関する研究

研究年次：4年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）

研究代表者：村上正隆（物理気象研究部 第一研究室長）

研究の目的

人工降雨で代表される意図的気象変化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（非意図的気象変化）の解明を目的としている。

副課題1 意図的気象変化に関する研究の研究

副課題1の研究担当者

村上正隆、斎藤篤思、田尻拓也、荒木健太郎（物理気象研究部）、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）

副課題1の目標

- 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
- 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1の本年度の計画

- ① 雲生成チェンバー実験と詳細雲物理ボックスモデルの結果に基づき、混合フレアによる初期雲粒分布および氷晶発生の変調に関する定式化を行う。
- ② 各種地上設置型リモセンを用いて、関東における暖候期の有効雲に関するモニタリング観測を実施する。

副課題1の本年度の成果

- ① 先行研究にもとづいて定式化されたヨウ化銀による氷晶発生パラメタリゼーションを改良した。
雲生成チェンバー実験を通じてプロトタイプのヨウ化銀発煙装置の性能評価を行うため、発煙装置希釈サンプリングシステムを構築し、有望な試料を選別するため、CCN計・IN計などによる雲核能・氷晶核能の解析を進めている。
既存のヨウ化銀発煙装置からのヨウ化銀粒子の物理化学特性調査を実施するため、東京都水道局小河内発煙所内でCCN計・IN計などのエアロゾル計測装置を用いて、発煙されたヨウ化銀粒子を含む試料空気の測定を行った。現在測定結果について解析を進めており、プロトタイプのヨウ化銀発煙装置の性能評価に還元する。
- ② 気象研において事前比較観測を行った後、小河内貯水池周辺の各観測地点へ観測機器移設し、有効雲に関するモニタリング観測を開始した（現在、通年観測継続中）。本観測では、観測値取得率の向上やデータ品質管理の高度化を図るため、観測通信網を構築した他、マイクロ波放射計のアンゲルスキャンやFMCW Ka-bandレーダーのレンジサイドローブ除去などの技術開発を進めている。多波長・二波長マイクロ波放射計のアンゲルスキャンについては通年観測を実施中であり、降雨時に良好な品質の観測データの取得率を向上することができた。

副課題2 エアロゾルの間接効果に関する研究

副課題2の研究担当者

村上正隆、斎藤篤思、田尻拓也、荒木健太郎（物理気象研究部）、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）

副課題2の目標

- 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 アロゾルの間接効果の解明

副課題2の本年度の計画

- ① 雲生成チェンバーや雲核計・氷晶核計等を用い、色々な大気環境（気温・上昇流）の下で、ダストや炭素粒子、海塩粒子、硫酸アンモニウムから成る内部混合エアロゾルの物理化学特性と CCN・IN としての活性化特性に関する実験を行い定式化する。
- ② その結果に基づき詳細雲物理ボックスモデルを改良する。
- ③ 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 NHM を用いて、種々の雲システムにおけるエアロゾルの間接効果に関する数値実験を実施し、観測から得られた検証データとの比較を通して、モデルの改良を行う。

副課題2の本年度の成果

- ① ダストや炭素粒子の標準粒子を用いて、氷晶核計と雲生成チェンバーとの氷結活性化率に関する比較解析を行った。実験取得データに関して古典理論を適用し、接触核を求める手法を試行した。初期的な解析結果を変数とし、詳細雲物理ボックスモデルの氷晶発生スキームに組み込んだ。その他の特定粒子に関する同様の実験を進めている。硫酸アンモニウムとダストによる外部混合エアロゾルに関する実験を継続するとともに、バイオエアロゾルとダストの内部混合エアロゾルを用いた実験に着手した。
CCN 計および IN 計などによるエアロゾルモニタリング観測と雲生成チェンバーとの同期実験を行った。
- ② 物理化学特性の異なる吸湿性粒子 2 成分系における雲粒生成過程を表現できるように詳細雲物理ボックスモデルを改良した。
- ③ 既存の航空機観測データの解析から、活性化した雲粒の数濃度の CCN 数濃度や上昇流依存性を明らかにするとともに、暖候期の四国上空に出現する積雲・層積雲内の最大過飽和度を推定した。これら観測から得られた検証データとの比較を通して、モデルの改良を行う。
- ④ 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 NHM を用いて黄砂粒子による間接効果に関する数値実験を 3 月末までに行う予定。

副課題1及び2における本年度の成果

詳細雲物理ボックスモデルを組み込んだ NHM を用いて、2 次元大気における実験を行い、素過程の妥当性と改良点を検討した。また、詳細雲物理ボックスモデルで取り扱う水滴について、CCN/IN の質量ビンの次元を切り離し、純水の質量のみ扱う 1 次元ビンとすることで高速化を図り、ある程度の精度を保ちながら計算コストを 10% 以下に抑えることが出来た。

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 NHM の改良を 3 月末までに行う予定。

二波長・偏光ライダー観測データを用いたエアロゾルキャラクタリゼーションをおこない、航空機観測データ比較により検証をおこなった

大気境界層の乱流構造の統合的研究

研究年次：4年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）

研究代表者：毛利英明（物理気象研究部 第二研究室 主任研究官）

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。

研究担当者

毛利英明、柴田 彰、萩野谷成徳、小野木茂、北村祐二（物理気象研究部）、
青柳曉典（環境・応用気象研究部）、伊藤純至（物理気象研究部 客員研究員）

研究の目標

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。
- 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。
- ④ ①②③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。

本年度の計画

LES計算・風洞実験・野外観測と比較し、気象研NHMにおける境界層過程の特性について検討する。

- ① 実用化されたLESを用いて境界層乱流の空間構造を解像した数値計算を実施し、データベースを作成する。
- ② 気象研究所露場においてPIVを用い接地境界層乱流の空間構造に関する観測を行う。
- ③ 露場等において接地境界層乱流の観測を土壌水分量や水蒸気輸送との関係に注目し行う。

本年度の研究結果

数値計算・風洞実験・野外観測の各々において、研究成果が順調に蓄積されつつある。とくに数値計算と風洞実験の比較検討(査読論文8)や風洞で開発したPIV装置(査読論文2と6)を用いた野外観測など、異なる手法を統合した成果が出始めている。

- ① 自由対流を対象としたLESを実施し、水平スケール間の相互作用に着目した解析から、渦粘性係数や混合距離がモデルの水平解像度にどのように依存するかを診断する手法を開発中である。
- ② 発達する安定境界層を対象として、LESを用いた数値実験から得られた結果についてエネルギーの収支解析を行った。乱流運動エネルギーの生成項が負になる場合に、輸送項によるエネルギー供給が主要な役割を担っており、輸送項の適切なパラメタリゼーションが必要となることを明らかにした(査読論文8)。
- ③ 気象研大型風洞において中立な乱流境界層の実験を行い、その結果を用いて、乱流を構成するエネルギー保有渦構造の特徴的なサイズを評価する方式を提案した(査読論文4)。
- ④ 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、運動量の下方への輸送に大きな寄与を果たしていることを指摘した(査読論文3)。
- ⑤ 気象研風洞で開発したPIV用高速撮影装置(査読論文2と6)を用いて、気象研露場で接地境界層における乱流の空間構造の観測を行った。現在はデータを解析中である。
- ⑥ チベット高原のアーハイ湖における水・熱収支の時系列データを解析し、湖面と陸面の特性の違い等に起因する湖と周辺領域との間の水熱循環過程を明らかにした(査読論文5)。またチ

ベット高原の氷河地帯における観測データを解析し、氷河面上のエネルギー収支と水収支を明らかにした（査読論文7）。

エーロゾル・雪氷相互作用に関する研究

研究年次：3年目／4年計画（平成22年度～平成25年度）

研究代表者：青木輝夫（物理気象研究部 第三研究室長）

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を目的としている。

研究担当者

青木輝夫、朽木勝幸、庭野匡思（物理気象研究部）、田中泰宙（環境・応用気象研究部）

研究の目標

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（担当：物質循環モデル開発ユニット）、衛星観測の手法を用い、下記3項目について研究を実施する。

- 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
- 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
- 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改良と雪氷圏変動の監視

本年度の計画

- ① 札幌における放射収支等観測を継続する。SMAPモデルに土壌モデルを導入し、土壌パラメータの違いによる積雪期間に与える効果について感度実験を行う。
- ② 気象研究所における大気エーロゾル中カーボン分析を継続する。積雪中のダスト、黒色炭素によるアルベド低下に伴う放射強制力、積雪期間の変化について数値実験を行う。エーロゾル光学モデルの改良と紫外域放射伝達モデルの改良を行う。
- ③ 衛星リモートセンシングに回転楕円体、フラクタル図形に基づくボロノイ型凝集粒子など複数の非球形粒子散乱モデルを導入し、裸氷域の不純物濃度抽出アルゴリズムを開発する。

本年度の成果

札幌における放射収支等観測を継続し、過去5冬期間の放射収支・積雪断面観測データ、積雪不純物濃度データから、積雪アルベド物理モデル（Physically Based Snow Albedo Model: 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、積雪中黒色炭素濃度の分析については、異なる分析手法による結果との相互比較やフィルター捕捉率の評価等を行い、測定システムの精度評価と測定方法の改善を図った。SMAPモデルの改良では、土壌サブモデルを導入し、積雪へ沈着した吸収性エーロゾルに起因する大気―積雪―土壌間相互作用の状態変化を評価することが可能となった。その結果、2007-2008 冬期の札幌では不純物は融雪を約3週間弱早め、それによって融雪期の地温（50 cm 深）を2℃弱高める効果があったことが分かった。光学モデルの改良では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。また、気象研究所における大気エーロゾル中カーボン分析を継続して行った。衛星リモートセンシングでは複数の非球形粒子モデルを導入したところ、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。また、グリーンランドにおける積雪粒径と積雪不純物濃度の過去10年の長期変動を解析し、顕著なトレンドは見られないものの年々変動が大きかった。さらに、グリーンランド裸氷域の雪氷微生物濃度抽出アルゴリズム開発のため、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、微生物の種類毎に特徴的な吸収特性が得られた。

- ① 札幌における放射収支、気象、エーロゾルの連続観測を行い、冬期間における週2回の積雪サンプルのダスト、黒色炭素、有機炭素分析を行った。黒色炭素濃度の精度評価のため、札幌の積雪サンプルを東京大学及び国立極地研究所のブラックカーボン分析装置（レーザー誘起白熱法）で分析し、気象

研究所のカーボン分析装置（熱光学法）の結果と比較したところ、熱光学法の方が概して低濃度となった。この原因のひとつとして、濾過用の石英フィルターの捕捉率が低いことが考えられたため、石英フィルター2枚重ねの濾過、銀メンブレンフィルターとの2段濾過等の実験を行い、捕捉率の評価と改善を図った。一方、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。2007-2008 冬期の札幌における深さ 30 cm、50 cm、100 cm の地温の計算精度（平均自乗誤差）はいずれも 1 °C 強程度と良好であった。なお、モデル内部で土壌の層構造をある程度細かく取ることが十分な再現性確保に繋がることも確認された。次に、積雪不純物（黒色炭素、ダスト）が積雪期間に与える影響がさらに地温変化にどの程度定量的効果を与えるかについて調べるため、不純物有無の感度実験を行った結果、2007-2008 冬期の札幌では不純物は融雪を約 3 週間弱早め、それによって融雪期の地温（50 cm 深）を 2 °C 弱高める効果があることが分かった。

- ②気象研究所における大気エアロゾル中カーボン分析を継続し、有機炭素と元素炭素の各濃度を測定した。一方、札幌における過去 5 冬期間の放射収支・積雪断面観測データ、積雪不純物（ダストと黒色炭素）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。光学モデルの改良では粒径分布を持ったエア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 3 倍程度大きいことが分かった。このモデルは大気エアロゾルの計算にも利用可能である。
- ③積雪物理量の衛星リモートセンシングに回転楕円体とボロノイ型凝集粒子の非球形粒子散乱モデルを導入した結果、従来の球形粒子と比べて、積雪粒径と積雪不純物濃度の抽出結果に系統的な違いが生じた。そこで札幌と芽室における全天分光日射計データを使用して、それら非球形粒子散乱モデルを検証したところ、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。さらに、ボロノイ型凝集粒子モデルでグリーンランド北西部の氷床上における過去 10 年間の抽出結果を解析した結果、積雪粒径と積雪不純物濃度に顕著なトレンドは見られなかったが、年々変動が大きいことが明らかになった。一方、グリーンランドにおける過去 10 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。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。

都市気象モデルの開発

研究年次：4年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）

研究代表者：藤部文昭（環境・応用気象研究部 第二研究室長）

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。

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の研究

副課題1の研究担当者

藤部文昭、山本 哲、青柳曉典、志藤文武（環境・応用気象研究部）、清野直子（予報研究部）、山田 崇（気候情報課）

副課題1の目標

- ①1層都市キャノピーモデルへの水文過程の導入
- ②都市モデルの多層化とモザイク化
- ③都市領域の拡散モデルの開発

副課題1の本年度の計画

- ①ビルキャニオン内乱流スケールの新たな定式化、多層キャノピーモデルの安定解法の調査を継続する。
- ②NHM用モザイク陸面モデルの開発し、導入する。
- ③都市放射観測と観測結果の解析・データベース化を行う。

副課題1の本年度の成果

- ①土地利用変化に伴う局地気候の変化に関する調査を進めた。平均気温と平均風速の変化に関して、都市化に伴って平均気温は上昇し、平均風速は弱くなることが都市気象モデルを用いた解析によって明らかとなった。粗度を大きくした感度実験では平均風速が弱くなるものの、平均気温には明瞭な変化は見られなかった。他方、粗度を変えずに緑被率を小さくした感度実験では、ボーエン比変化によって平均気温が上昇するが、平均風速への影響は非常に小さいことが分かった。人工排熱を与え、直接的に大気下層を温めた感度実験では、平均気温が上昇するとともに平均風速も増大した。これは大気下層の気温上昇によって大気成層の安定度が弱くなることによって上空から下層への運動量輸送が増大したためであることが分かった。
- ②気象庁非静力学モデルNHMの陸面過程のモザイク化の手始めとして、植生スキームSiBと都市スキームSPUCとの併用に関する基礎実験を実施した。2001年～2006年の6年間に渡る現在気候再現実験から、SiBのみの場合には都心での顕著な低温バイアスがみられる一方、都市化の顕著な領域にSPUCを適用することでその低温バイアスが改善されることが確認された。
- ③気候情報課への1層都市キャノピーモデルの提供や、都市における観測環境の実態把握のための必要性から、建物影響の大きい地点における気温の日変化特性のモデルパラメーター依存性を感度実験によって調べた。その結果、都市キャノピーのパラメータのうち、ビルの熱物性値によって気温日変化の位相・最高気温の起時に違いが生じることがわかった。一方、最高気温の値そのものにつ

いては、モデルの放射スキームで用いるパラメータによる雲量の違いの影響が大きかった。また、熱中症の予防に資するための情報提供に向け、WBGT の算出など出力データの利用方法に関する検討を行った。

- ④気象庁屋上における放射量の観測とデータベース作成を継続した。これまでのデータから、郊外のつくばと比較して赤外放射量が大きいといった傾向が認められた。
- ⑤都市大気鉛直構造や水蒸気場を把握するため、過去の係留気球観測データや航空気象観測通報データの利用可能性の検討を行った。また、シーロメータによる都市の雲の観測可能性を検討した。

副課題2 LESによる都市気象モデルの検証と微気象LESモデルの開発の研究

副課題2の研究担当者

藤部文昭、山本 哲、青柳曉典、志藤文武（環境・応用気象研究部）、清野直子（予報研究部）、山田 崇（気候情報課）

副課題2の目標

- ①大気境界層を表現するLESモデルの開発
- ②複雑な地表面に対応する微気象LESモデルの開発

副課題2の本年度の計画

- ①副課題1の多層都市キャノピーモデル検証用基礎データセットとして用いるため、正四角柱ビル群内及び上空の水平風速分布をLESモデルにより計算し、データベース化する。
- ②モデルを用いた観測環境評価のフィージビリティの検討を行う。

副課題2の本年度の成果

- ①微気象LESのベースモデルとして、オープンソースの数値流体シミュレーションパッケージを所内のシステムに導入した。以前、気象研究所の風洞実験施設で実施された、角柱ブロック群を用いた境界層発達過程に関する風洞実験と同様の設定での数値シミュレーションを実施中である。角柱ブロックを陽に表現する格子生成、LES及びRANS ($k-\epsilon$) での数値積分の実施、及び後処理である可視化についての一連の環境構築を完了した。他方、流入風における乱れをどのように設定するか、流出壁面における波反射の対策、壁面境界条件の最適化、といった解決すべき課題も明らかとなった。
- ②都市における観測環境の検討のため、大気汚染監視局の設置状況に係る予備調査を行うとともに、大気環境時間値の入手手続き等について調査し、一部データを入手した。

大気エアロゾル粒子の性状とその変動過程に関する研究

研究年次：4年目／5年計画（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、大気エアロゾルの移流・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の設定などのため、大気エア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している。

研究担当者

五十嵐康人、財前祐二、梶野瑞王、足立光司（環境・応用気象研究部）

研究の目標

気象研究所の全球エア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、エアロゾルの発生・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、以下の観点から典型的な大気エアロゾル粒子の物理・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アロゾルモジュールを開発する。

- ①大気エア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先駆気体の観測・解析などに基づく硫酸・硫酸塩粒子を含むエアロゾルの生成過程の解明
- ③組成・混合状態がエアロゾル粒子の吸湿特性に及ぼす影響の解明、特に粒径変化に関する実験的パラメータの取得とモデル化
- ④黄砂を含む風送ダストの輸送・沈着の量的な評価
- ⑤エアロゾルモデルの開発および観測による検証・改良

本年度の計画

- ①サンプル採取と分析を継続。海塩粒子、鉱物粒子の粒径分布とその変質・混合状態を測定し、データセットを作成する。
- ②つくばにて観測を継続。データセットを作成しプロセス理解を深める。
- ③海塩・硫酸塩、すす、鉱物粒子を人工的に発生させる技術及び、吸湿特性測定技術を確立させ、山岳等において実験観測を行う。
- ④組成・混合状態のデータと合わせて分析し、内部混合の影響を評価する。
- ⑤引き続き、エアロゾル化学輸送モデルの開発を行い、NHMへのオフライン結合を行う。

本年度の成果

①【組成・混合】

エア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に、山岳においてエアロゾルの数濃度及び質量濃度の観測を実施した。2012年冬季の木曽駒ヶ岳千畳敷で採集されたエアロゾル粒子について、電子顕微鏡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について、その混合状態、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。

また、2012年夏季に東京都内で採取したすす（BC）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。

EDS（Energy Dispersive X-ray Spectrometry）分析は、電子線照射による特性X線のスペクトルを分析することで、試料中の元素組成情報を得る手法である。TEM（透過型電子顕微鏡）は、分解能が高くサブミクロン粒子を対象とした個別粒子分析に適している。しかし、支持膜上に粒子は捕捉されるので、支持膜に含まれる元素（C, N, Oなど）からのX線も同時に検出してしまうため、これ

ら軽元素の定量には困難性が伴う。そこで、数値シミュレーションにより、支持膜上にある粒子に電子線を照射した場合に検出される特性X線を求めることで、粒子からのX線と支持膜からのX線を区別し、粒子中の軽元素を定量することを試みた。

②【二次粒子生成】

つくばにおけ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。

③【湿度特性】

試料採取時におけるエアロゾル粒子の形態（相；固相、液相）は、試料採取時の相対湿度に影響を受ける。しかし、電子顕微鏡チャンバー内で真空乾燥するときに相変化を起こしてしまうため、その実態については、不明な点が多かった。今回、真空を必要としない原子間力顕微鏡（AFM）を用いて、真空を経験させていない野外の生試料と、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、電子顕微鏡画像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、混合状態や有機エア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、高揮発性有機エアロゾルの損失もほとんどないことが分かった。

④【モデル開発】

エアロゾルの化学組成、粒径分布、混合状態の時間発展を低計算機負荷で解くエア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4分の1以下の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、エア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2報発表した。

⑤【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走査型電子顕微鏡（SEM）を導入したことで、透過型電子顕微鏡（TEM）が得意としない、黄砂や海塩などミクロンサイズ粒子の分析効率が飛躍的に増大した。また、その機能やソフトはH23年度整備のTEMと共通しているため、現在構築を進めているエアロゾルデータベースでの取り扱いも可能となった。

衛星データの利用技術に関する研究

研究年次：4年目／5年計画（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を目的としている。

研究担当者

増田一彦、角村 悟、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

本年度の計画

- ① 多波長赤外サウンダ用放射伝達モデル(MITRAN)の改良を継続してを行う。
- ② 2011年10月に打ち上げられたNPP衛星に搭載されている多波長赤外サウンダCrISの最適チャンネルについての調査・検討を行う。
- ③ 様々な形状の雲や鉱物粒子の赤外域での吸収・散乱特性を調べる。
- ④ 水蒸気ラマンライダーによる観測の事例を増やし、AIRSやIASIのデータ解析との比較検証を継続して実施する。

本年度の成果

- ① ア) 気象研開発の赤外サウンダ用高速放射モデル(MITRAN)について、ECMWFが提供している大気プロファイルデータセットを用いてAIRS324チャンネルのLine-by-Lineによる正確な大気上端輝度温度計算結果とMITRANおよびRTTOV(v10.2)での輝度温度計算結果との比較を行った。その結果、一部のチャンネルを除いてMITRANの方がRTTOVより全体的に計算輝度温度の誤差が小さいことがわかった。
イ) 赤外サウンダAIRSデータについて、陸域や下層雲より上の晴天領域に対するリトリ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。
- ② 多波長赤外サウンダCrISの最適チャンネル選択を行うプログラムを作成した。AIRS、IASIと併せて、現業で利用可能な3つの多波長赤外サウンダの最適チャンネルの選択が可能になった。
- ③ ア) 不規則形状粒子について、準解析的なFDTD法および幾何光学近似手法により赤外域での吸収・散乱特性を調べた。波長10ミクロン程度の熱赤外域では、「半径」10ミクロン以上では、FDTD法と幾何光学近似手法とは良い一致を示したが、10ミクロン以下では差がみられた。
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。
ウ) 個体降水粒子（雪片・霰等）の融解による粒子形状・混合状態とそれによるマイクロ波散乱特性の変化を調べる目的でMPS法を用いた氷粒子の溶融シミュレーションコードを開発中であり、そのプロトタイプによる計算を実施中である。
- ④ 水蒸気ラマンライダーによる観測を実施している。3月末まで継続の予定。
- ⑤ 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、同化处理に置いて、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（1.2.(2), 1.4.(5)参照）。

エアロゾル・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

研究年次：3年目／4年計画（平成22年度～平成25年度）

研究代表者：真野裕三（気象衛星・観測システム研究部 第三研究室長）

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アロゾル・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ことを目的としている。

副課題1 ライダーによるエアロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化

副課題1の研究担当者

真野裕三、増田一彦、岡本幸三、石元裕史、永井智広、酒井 哲（気象衛星・観測システム研究部）

副課題1の目標

ライダーを用いたエアロゾル、雲、微量気体の観測手法の改良、開発を行い、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。

副課題1の本年度の計画

- ① ライダーと直接サンプリングによるエアロゾル観測結果を論文にまとめる。ライダーによるエアロゾル・雲微物理量導出データの検証をおこなう。
- ② 微量気体観測用のライダーの開発については、NO₂観測用のライダーの送信部の波長変換効率などを調べながら、ラマンセルに充填する気体の圧力の最適化を行うとともに、既存の装置を流用した受信部を作成し、試験観測装置を開発する。開発した装置を用いた試験観測を行い、装置の性能を評価する。
- ③ 対流圏オゾンライダーで導出されたSO₂あるいはこの試験観測の結果を用いた事例解析を行う。

副課題1の本年度の成果

- ① ア) ライダーと直接サンプリングによるエアロゾル比較観測結果をまとめ、エアロゾル質量濃度と後方散乱係数との対応およびエアロゾル形状・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）。
イ) ライダーと航空機によるエアロゾル比較観測結果をまとめ、エアロゾル数濃度と後方散乱係数との対応およびエア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。
ウ) 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。
エ) 2008年以降のつくば上空における成層圏エアロゾル観測データを解析し、ナブロ火山噴火による増大があったことを明らかにした（Uchino et al. Atmos. Chem., Phys., 2012）。
- ② ア) 二酸化窒素観測用ライダー送信部について、ラマンセルに充填するラマン活性期待の圧力と波長変換効率の関係を調べた。また、受信部の分光部について、光学部品などの組み込みを行い、観測が可能な状態とした。
イ) 対流圏オゾンについて、装置の細かな不具合を解消しつつ観測を継続して行い、観測結果の数値モデルとの簡単な比較を行った。

副課題2 衛星によるエアロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化

副課題2の研究担当者

真野裕三、増田一彦、岡本幸三、石元裕史、永井智広、酒井 哲（気象衛星・観測システム研究部）

副課題2の目標

気象衛星・地球観測衛星を用いたエアロゾル・雲・微量気体のリモートセンシング技術を開発・改良する。

副課題2の本年度の計画

- ①氷雲の放射伝達シミュレーションを行う。
- ②非球形粒子散乱データベースを作成する。
- ③静止衛星からのエーロゾルリトリーバル手法を開発する。
- ④CO₂リトリーバル手法の開発を行う。

副課題2の本年度の成果

- ①ア) 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。気象衛星センターで MODIS データを使ってテストしたところ、大きな問題はみられなかった。
- イ) 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幾何光学近似法を使って、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データベースを作成した。その結果を使って、AVHRR の可視、近赤外 2 チャン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。
- ③ア) 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。
- 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について、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）を作成し、可視～赤外における散乱特性データベースを構築した。この粒子モデルの散乱特性（位相関数・非対称性因子など）が衛星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。
- ウ) 夜間の黄砂の新しい検出法をテストした。MODIS の実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。
- ④AIRS を使った CO₂ のリトリーバルのため、前年度に開発した高速放射モデルを改良し気圧レベルごとの CO₂ 濃度を変数にした。CO₂ 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。

次世代リモートセンシングに関する研究

研究年次：4年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）

研究代表者：小司禎教（気象衛星・観測システム研究部 第二研究室長）

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としている。

研究担当者

小司禎教、楠 研一、足立アホロ、山内 洋、佐藤英一（気象衛星・観測システム研究部）、小野木茂（物理気象研究部）

研究の目標

固体化・偏波レーダー、ウィンドプロファイラー、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

本年度の計画

- ① 短パルス観測領域の感度を向上させるために機器の改修を行なうとともに、パワーメーターやスペクトルアナライザーなどを用いて偏波レーダーの送信器及び受信器の絶対校正を行ない、偏波パラメータの観測精度を向上させる。
- ② 偏波観測データの品質を統計的に調査し、観測パラメータを最適化する。
- ③ 校正結果に基づき降水強度の推定アルゴリズムの改良を行うとともに観測事例数を増やし、種々の降水タイプについて地上観測結果との比較によりアルゴリズムの精度検証と改良を行う。

本年度の成果

- ① 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ので導波管径路の改修を行ない、フィルターを撤去することにより3dBの感度向上を見込めることが分かった。また偏波レーダーの絶対校正についてはその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を確認した。3月末までに絶対校正のための計測作業を実施する予定である。
- ② 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 ρ_{hv} のピーク値が0.998であること、パルス圧縮のレンジサイドローブが48dB程度に抑圧されていることを確認した。 ρ_{hv} のピーク値は、偏波観測の品質を端的に示す指標であり、0.998という値は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。レンジサイドローブ抑圧は反射強度が50dBZ程度の通常の積雲・積乱雲（に伴う降雨）を観測する際には十分であるが、反射強度が50dBZを大幅に超える降雹や豪雨の際にはレンジサイドローブが観測結果に混入することを意味する。レンジサイドローブをさらに抑圧するため、現在オクラホマ大学と共同研究でシミュレーションにより最適なパラメータの計算を行なっている。
- ③ 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トロメーター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。

- ④ GPS 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 GPS 可降水量に比べ，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．

東北地方のシビア現象に関する解析的研究

研究年次：1年目／2年計画（平成24年度～平成25年度）

研究代表者：小司 禎教（気象衛星・観測システム研究部 第二研究室長）

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している。

研究担当者：折笠成宏・足立勇士・中塚斉・加藤廣・岡田健・戸ノ崎博毅・蒔苗仁・戸松秀之（仙台管区気象台技術部）、久塚栄一・泉泰明（青森地方気象台）、工藤淳也・小田嶋孝一（盛岡地方気象台）、佐々木隆雄・小野寺健男（秋田地方気象台）、長谷川栄治・鈴木隆雄（山形地方気象台）、清野博樹・高橋浩二（福島地方気象台）、小金澤康・信濃辰夫（仙台航空測候所）

研究の目標

- ① 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。
- ② シビア現象の発生過程の初期段階に対する知見の集積。

本年度の計画

- ① 仙台管区気象台等では以下の研究を行う。
 - （ア）シビア現象に係る知見を整理する。
 - （イ）対象シビア現象の事例を収集・選定する。
 - （ウ）各種観測データによる解析を行う（GPS可降水量、WPR等の利用）
 - （エ）NHMを用いた再現実験を行う。
 - （オ）渦位の解析を行い高渦位の移流による影響を把握する。
- ② 気象研究所では以下の研究を行う。
 - （ア）研究全般についての指導を行う。

本年度の成果

- ① 2006年から2011年までの6月・7月・8月の衛星画像から発達した雲域を含む期間を選び出し、東北地方を中心に発生したシビア現象事例の候補として選定した。
- ② シビア現象に対する必要条件を、①大気的不安定な状態、②下層の水蒸気、③気塊を自由対流高度まで持ち上げる仕組み、として大雨を主に事例解析に着手した。事例解析にはメソ客観解析データによる解析、NHMによる再現実験を実施した。
- ③ 事例解析のシビア現象の対象として、夏季の大雨に冬季の大雪、暖候期の突風も加えた。
- ④ 主な選出事例において、詳細なGPS可降水量データを整備し、今後の調査用に配布した。
- ⑤ 以下に、調査対象別で主な事例解析の結果を挙げる：
 - （ア）大雨
 - a) 事例解析として提出された事例は「2007年9月の秋田大雨」「2010年8月の秋田大雨」である。いずれも停滞前線に係る大雨事例である。
 - b) 必要条件のうち①と②については、大雨事例解析のなかで解析雨量やレーダー降水強度との比較から、500m高度面データの水蒸気フラックスや相当温位等から実況監視上の目安が提案された。
 - c) 必要条件③については、5km NHM・2km NHM 再現実験により、下層収束線の形成が線状降

水帯の形成に大きく寄与していることが示された。

- d) しかし、ある程度のスケールを有した大気を自由対流高度まで持ち上げる仕組みについては、渦度・収束・鉛直流との間の関係を用いて診断及び予測するには至っていない。また、シビア現象に必要とされる水蒸気フラックスの定量的な見積もりにも事例による違いや地域差などに議論の余地を残した。

(イ) 大雪

- a) 事例解析として提出された事例は「2012 年 1 月のメソ低気圧による秋田大雪」「2012 年 2 月の低気圧による青森大雪」である。
- b) 大雪をもたらす帯状雲の維持には、対流不安定な成層と水蒸気の補給が不可欠であることが、ドライモデルによる実験結果との比較によって分かった。
- c) しかし、大雨事例と同様に対流雲を帯状に組織し維持する仕組みについては未解明である。

(ウ) 突風

- a) 事例解析として提出された事例は「2012 年 5 月の福島突風事例」「2012 年 7 月の青森突風事例」である。
- b) ドップラーレーダーによる初期場の解析や 250m 格子までダウンスケーリングした NHM による再現実験を実施した。
- c) NHM 再現実験は、福島事例では竜巻を再現したが、青森事例では竜巻を直接再現するまで至らなかった。
- d) 竜巻の親雲を含んでいる擾乱（マイソサイクロンやメソサイクロン）を記述する渦度方程式に基づいて解析した結果、青森事例では親雲と地形とが形成するガストフロント上を渦度の水平成分が立ち上がり、上昇流に引き伸ばされることで擾乱が強化されたことが示された。

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

研究年次：1年目／2年計画（平成24年度～平成25年度）

研究代表者：出口眞一（東京管区気象台気候・調査課 調査官）

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している。

研究担当者：窪田邦明、池田倫子、片岡彩（東京管区気象台）、林秀明、刈川貞二、松波岳司、壁昭文、高瀬真治、林真由、長谷川洋（名古屋地方気象台観測予報課）、太田弘彦（名古屋地方気象台防災業務課）
加藤輝之（予報研究部第三研究室長）、青柳曉典（環境・応用気象研究部第二研究室研究官）

研究の目標

- ① 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。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ 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。

本年度の計画

- ① 東京管区では以下の研究を行う。
 - (ア) 調査対象事例の抽出。
 - (イ) 地上・高層観測データと複数のドップラーレーダーデータによる事例解析により、降水系の発生・発達過程と内部構造を把握。
 - (ウ) 解析事例を中心に都市キャノピースキームを適用した JMANHM による再現・感度実験を行い、都市の熱的効果が強雨に与える影響を確認。
 - (エ) PS 可降水量関連物理量による降水予測に関する調査を実施。
 - (オ) 初年度の研究成果を分析し、予報側の構築に関する検討を実施。
- ② 気象研究所では以下の研究を行う。
 - (ア) 研究全般についての指導を行う。

本年度の成果

- ① 東京管区気象台では、東京の都市部とその周辺に短時間強雨をもたらした降水系の要因を探るために2011年8月26日の事例解析を行った。特にドップラーレーダーデータを用いた三次元解析では、降水系の構造調査し、知見の蓄積に努めた。
- ② 東京管区気象台では、上記事例について、都市域の影響を探るために、都市キャノピースキームを適用した JMANHM による再現・感度実験を行った。実験結果として、顕著な大雨の再現には至らなかったことから、降水系の発生・発達過程に都市部の熱的効果の寄与は確認できなかったが、

大雨をもたらした都市部での風収束の強化については都市キャノピースキームを適用することで再現することができた。

- ③ 名古屋地方気象台では、2012 年 9 月 11 日の大雨事例の再現・感度実験を行った。都市熱の影響と思われる下層風系の変化を都市キャノピースキームを適用することで再現でき、地域の温度差による降水系への影響が大きいことがわかった。
- ④ 東京管区気象台では、GPS マイクロ波の大気遅延量から算出される勾配パラメータ等を用いて、2011 年 8 月 26 日の大雨事例を対象に解析を行った。勾配パラメータの収束域が衛星画像の雲域と対応するなど、強雨のポテンシャルが事前に把握できる可能性を示した。
- ⑤ 名古屋地方気象台では、GPS 可降水量、可降水量フラックスと勾配パラメータを用いて 2012 年 8 月 11 日の大雨事例の解析を行い、収束域では可降水量の変化や勾配パラメータの収束を用いることにより、雷雲発生・発達のパテンシャルを事前に把握できる可能性を示した。

2.3. 研究終了報告

本節には、気象研究所が実施し、平成 24 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. 地方共同研究

集中豪雨・大雨発生の必要条件の抽出とその妥当性	109
(大阪管区气象台、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 地方气象台、神戸、舞鶴両海洋气象台)	
日本各地域の繰り返し相似地震発生状況に関する研究	115
(札幌管区气象台、仙台管区气象台、大阪管区气象台、福岡管区气象台、沖縄气象台)	

集中豪雨発生の必要条件の抽出とその妥当性

研究期間：平成23年度～平成24年度

研究代表者：江崎雄治¹⁾、神内 弘²⁾（大阪管区気象台 気候・調査課 調査官）

研究担当者：江崎雄治¹⁾、神内 弘²⁾、小山内大輔、足立憲一¹⁾、畝田栄作¹⁾、赤坂有史²⁾、鎌田 茜²⁾、佐伯亮介²⁾、飯田早苗、小山芳太、坂梨貴紀¹⁾（大阪管区気象台）、青木眞次¹⁾、安達 智²⁾、土井ひかる、向井直人、重實由美¹⁾、亀井雅章²⁾、榎原資嗣²⁾（彦根地方気象台）、岩本久雄、西川哲也²⁾、風早範彦、末永和貴¹⁾、原田都奈生²⁾、平野竜也²⁾、黒川和誠（京都地方気象台）、井立田真吾、浅野 崇¹⁾、北野昌寛、長山泰淳、岡田健一郎、山下正晴（奈良地方気象台）、秋山佳明、佐藤祐一¹⁾、笠井将伸²⁾（和歌山地方気象台）、梶田昌義、河野 誠、細川利之¹⁾、安井雄一郎²⁾、小林祥悟²⁾（岡山地方気象台）、山田友幸、渋谷誠司、穠山数之¹⁾、大谷修一²⁾、濱岡昭之²⁾、東 克彦、胡未知人¹⁾、石本 歩²⁾、岩城貴信²⁾（広島地方気象台）、金森恒雄、久家好夫¹⁾、足立 誠、澤田達也²⁾、三宅里香²⁾、栗山佳之、川口 純¹⁾、鎌田 茜¹⁾、水野岳志²⁾（松江地方気象台）、原田延明¹⁾、谷口典史、熊谷達也¹⁾、遠藤恒雄¹⁾、若狭剛史²⁾、岡村康伸²⁾、山本高男²⁾、廣尾 進²⁾、森脇嘉一²⁾、大崎晋太郎、加藤 裕¹⁾、菊 友彦（鳥取地方気象台）、大崎智美¹⁾（鳥取空港出張所）、鈴江浩成¹⁾、蓮台正信¹⁾、福永昭史²⁾、細川利之²⁾、上山仁司、栗原正宜¹⁾、神野美幸²⁾（徳島地方気象台）、平井明宏、田中滋司、大黒正夫、内藤健治¹⁾、山西大輔¹⁾、細木 光¹⁾、藤野芳彦²⁾、太田雅文²⁾（高松地方気象台）、坂本 啓、政岡孝明¹⁾、田邊秀樹¹⁾、神野 誠¹⁾、神谷亜希子¹⁾、大野 剛²⁾、川村俊博²⁾、中村 慧²⁾、高石慧利²⁾（松山地方気象台）、亀山俊二¹⁾、日野 学¹⁾、吉川信一¹⁾、熊野繁明²⁾、田中 敬²⁾、増田純一、松本暢明¹⁾、西本 章²⁾、渡部洋己²⁾（高知地方気象台）、沖廣賢司¹⁾、小西誠二¹⁾、久重和久²⁾、有吉正幸²⁾、長崎史津、高井瑞穂、向井祐二、河田耕一²⁾（神戸海洋気象台）、矢尾信嗣、丸山芳弘¹⁾、石山 満¹⁾、寺野浩之¹⁾、坂中 仁¹⁾、坂元勇一¹⁾、小林 宰²⁾、平尾龍一²⁾（舞鶴海洋気象台）、津口裕茂（予報研究部）

研究の目的

集中豪雨の正確な監視や予測の実現のためには、実況監視・数値予報資料の有効な活用方法の確立が必須である。そのために、観測データや非静力学モデルによる再現実験の結果を解析することで、集中豪雨が発生するための必要条件を抽出し、整理を行う。また、複数の事例（集中豪雨が発生した場合・発生しなかった場合）にそれらの必要条件を当てはめることで必要条件の妥当性を確認する。

研究の目標

- ① 研究所から提供される集中豪雨発生の必要条件を検証し、その有効性や問題点を明らかにする。
- ② これまでの調査・研究で得られている実況監視・数値予報資料の着目点の有効性について検証する。
また、可能であれば新たな着目点を得る。
- ③ 事例解析を行い、集中豪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深める。

主な研究成果・目標の達成状況

① 大阪管区

ア) 官署ごとに、2006～2012年の梅雨期(6・7月)に発生した集中豪雨・大雨事例のうち、「警報を発表した」事例を複数抽出した。期間を梅雨期(集中豪雨・大雨が頻発し、甚大な災害がもたらされることが多い期間)に限定することで、調査対象とする集中豪雨・大雨事例の特徴を明確にし、得られる結果ができるだけ共通になるようにした。また、事例抽出の条件を「警報基準」とすることで、“主観的”ではなく、“客観的”に事例を抽出するようにした。ただし、警報事例のない官署については「注意報基準」とした。

イ) 抽出された各事例について、観測データ・客観解析データの解析と JMANHM による再現実験によ

¹⁾ 平成23年度、²⁾ 平成24年度

- り、それぞれの発生要因を明らかにした。各事例解析では、前回の地方共同研究で得られた知見である下層の暖湿な気塊の流入や中層の乾燥空気の寄与などに特に着目した。その結果、これらの特徴は多くの事例でみられることがわかった。
- ウ) 集中豪雨・大雨の発生/非発生の事例を複数集め、それぞれの環境場の比較を行った。定性的な比較にとどまらず、客観解析データや高層観測データを用いて定量的な比較を行った。その結果、以下のことがわかった。
- エ) 発生事例の 500m 高度における相当温位は 345~350K 以上であり、非発生事例よりも大きいことが多かった。ただし、相当温位が 350K 以上の非発生事例もあった。
- オ) 発生事例の 500m 高度における水蒸気フラックス量は官署によるばらつきがあり、200~400g*m-2*s-1 以上であったが、非発生事例よりも値が大きく、相当温位よりも発生/非発生の相違が明瞭な場合が多かった。ただし、水蒸気フラックス量が約 150g*m-2*s-1 の発生事例もあった。
- カ) 発生事例の方が、下層の風速が大きい事例が多かった。この結果は、500m 高度の水蒸気フラックス量の相違にも表れていると解釈できる。ただし、下層の風速が強すぎるために、集中豪雨・大雨が発生しない事例もあった。
- キ) 発生事例には、中層にショートトラフの通過があり、大気中層が上昇流域となっているものがあった。
- ク) 発生事例には、大気中層に乾燥域が流入しており、対流不安定な成層状態になっているものがあった。ただし、非発生事例にも同様の特徴がみられるものがあった。
- ケ) 発生事例には、大気下層の冷氣域の上に高相当温位域が乗り上げて強制上昇しているものがあった。
- コ) 発生事例には、下層の風が収束しているものがあった。
- サ) 500hPa の気温は、発生/非発生で大きな違いはなかった。
- シ) 集中豪雨・大雨の発生/非発生の事例について、客観解析データを用いて、大雨発生の監視に有効な 500m 高度の相当温位・水蒸気フラックス量(加藤・廣川 2012)と 500hPa の気温の定量的な解析と比較を行った。解析結果から、各官署(各地域)において大雨が発生する場合の各要素の閾値を求めた。発生/非発生の事例を比較すると、500m 高度の相当温位・水蒸気フラックス量で両者の差が大きかった。このことは、現業作業での集中豪雨・大雨発生の監視・予測において、500m 高度の相当温位・水蒸気フラックス量が有効な指標であることを示している。

②気象研究所

- ア) 過去 15 年間(1995~2009 年)の解析雨量データを用いて、集中豪雨事例を客観的に抽出した。その結果、約 400 事例の集中豪雨が抽出された(詳細は、津口(2012)に記述)。
- イ) 客観的に抽出された集中豪雨事例について、地域別・月別の発生数、集中豪雨をもたらす総観規模擾乱、降水系の特徴についての統計調査を行った。その結果、集中豪雨は 7・8・9 月に圧倒的に多いこと、集中豪雨をもたらす擾乱としては“台風・熱低本体”がもっとも多く、次いで“停滞前線”が多いこと、集中豪雨をもたらす降水系の形状としては“線状”のことが多いことがわかった(詳細は、津口(2012)に記述)。
- ウ) 客観的に抽出された集中豪雨事例について、客観解析データを用いて、500m 高度の相当温位・水蒸気フラックス量の統計調査を行った。大阪管区が含まれる西日本領域について、各要素の気候場と集中豪雨発生時の平均値・箱ひげ図を月別に比較したところ、7・8 月を除いて明瞭な差があることが明らかになった。このことは、7・8 月を除く時期の集中豪雨・大雨発生の監視・予測においては、指標として 500m 高度の相当温位・水蒸気フラックス量だけでも十分であることを示唆している(詳細は、津口(2012)に記述)。

当初計画からの変更点(研究手法の変更点等)

当初計画では、気象研究所から大阪管区を対象とした集中豪雨・大雨発生の必要条件(各要素の閾値)を提供し、両者を比較する予定であったが、十分な比較を行うことができなかった。その理由は以下の通りである。

- ① 各官署が求めた集中豪雨・大雨発生の必要条件(各要素の閾値)はサンプル数が少ないためにばらつきが大きく、統計的な解析・比較が困難であった。
- ② 気象研究所が求めた集中豪雨・大雨発生の必要条件(各要素の閾値)は、用いた客観解析データの

解像度が粗いために、全体的に値が小さくなっていた。このため、各官署が求めた必要条件と比較するのは困難であった。

- ③ ただし、両者ともデータの蓄積はできているので、上記の問題点が解消され次第、両者の比較を行うことは可能となる。

成果の他の研究等への波及状況

予報研究部の重点研究『顕著現象の機構解明に関する解析的・統計的研究』の「(副課題 2) 顕著現象の要因に関する解説資料の作成」に成果の一部は反映されている。

今後に残された課題

- ① 集中豪雨・大雨発生の必要条件(各要素の閾値)を求めたが、サンプル数が圧倒的に少ない。今後はさらにサンプル数を増やし、より信頼度の高い必要条件を求める必要がある。
- ② 着目した主要要素は、500m 高度の相当温位・水蒸気フラックス量と 500hPa の気温であった。集中豪雨・大雨発生の監視・予測に重要と考えられる他の要素(例えば、可降水量や 700hPa の湿度など)についても、今後、統計調査を行う必要がある。
- ③ 集中豪雨・大雨発生の『必要』条件(たとえば、下層の暖湿気塊の流入や大気の安定度など)だけでなく、『十分』条件*(たとえば、下層収束の存在や地形の影響など)についても調査する必要がある。
*集中豪雨・大雨が発生するためには、下層に暖湿な気塊が流入しなければならないが、これだけでは十分ではない。暖湿気塊が自由対流高度(LFC)まで持ち上げられなければ、対流(積乱雲)は発生しない。

研究成果及びその活用に関する意見(気象研究所研究課題評価委員会による終了時評価)

(評価結果)

優れた研究であった。

(総合所見)

本研究は、社会的に注目されている都市域での強雨について、気象予報の現場において最新の知見を活用し適切に対応するために実施されたもので、時宜を得た取り組みである。

事例をさらに積み重ねる必要はあるが、GPS 可降水量関連物理量が降水予測に使える可能性を見いだした意義は大きい。また、数値実験を通じて都市キャノピーの影響の大きさを把握するなど、当初の目標は概ね達成された。

大気遅延量から算出される勾配パラメータや非一様成分といった、これまでに調査実績のあまりない物理量に注目した調査や、ドップラーレーダーデータを用いた三次元解析を中心に、降水系の発生した環境場や降水系の発生・発達過程や内部構造に関する詳細な事例解析を行い、有益な知見を得ることに成功したことは評価に値する。

しかし、依然として各事例に対する知見の蓄積にとどまっており、「個々の成果を総合的に分析し、防災気象情報の精度向上に資する」という到達目標については、その達成には至っていない。最終的な到達目標は容易なものではないが、これまでの成果を体系的に取りまとめることは重要であり、今後の研究の発展に期待したい。

研究成果については、部外の専門家の意見を広く聞くことも研究の遂行にとって有効なので、気象学会大会などでも発表していただきたい。また、予定されている報告書をまとめるとともに、気象研究所の研究支援の枠組みを活用するなどして、査読論文の形に取りまとめて発表していただきたい。研究成果の学会等での発表は、地方官署職員の技術力向上に資することから、気象研究所担当研究官も積極的に支援していただきたい。

本研究は、平成18 年度から継続・発展してきた研究であり、研究成果は確実に高度化している。都市域の強雨は社会的な関心が高く、引き続き研究を進めて行くべき課題である。今後も研究を継続し、その成果を着実に予報業務に活かしていただきたい。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 : 1 件 (査読論文及びその他の著作物)
- ・口頭発表件数 : 47 件 (ポスター発表を含む)
- ・報道・記事 : 1 件

成果発表一覧

(1) 査読論文

なし

(2) 査読論文以外の著作物 (翻訳、著書、解説)

1. 津口裕茂, 2012: 集中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, (発刊予定).

(3) 口頭発表

1. 鎌田茜, 足立誠, 金森恒雄, 瀬古弘, 2011: 島根県で発生した線状降水帯のメカニズム—2005 年 7 月 1 日の大雨—, 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, 124, 37-40.
2. 大黒正夫, 細木光, 田中滋司, 山西大輔, 平井明宏, 内藤健治, 山下寛, 2011: 2009 年 7 月 20 日の梅雨前線による香川県の大雨, 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, 125, 12-15.
3. 畝田栄作, 小山芳太, 飯田早苗, 坂梨貴紀, 江崎雄治, 小山内大輔, 足立謙一, 2011: 大阪府における大雨発生機構 (2010 年 7 月 13~14 日の事例), 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌 (大阪府).
4. 小山内大輔, 足立謙一, 江崎雄治, 畝田栄作, 小山芳太, 飯田早苗, 坂梨貴紀, 2011: 2007 年 7 月 16 日~17 日の大阪府南部の大雨について, 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌 (大阪府).
5. 青木真次, 土井ひかる, 向井直人, 重實由美, 2011: 2010 年 7 月 14 日の線状降水帯について, 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌 (滋賀県).
6. 向井直人, 青木真次, 土井ひかる, 重實由美, 2011: 梅雨期における集中豪雨 (大雨) の事例解析 2007 年 7 月 12 日事例, 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌 (滋賀県).
7. 向井直人, 青木真次, 土井ひかる, 重實由美, 2011: 梅雨期における集中豪雨 (大雨) の事例解析 2007 年 7 月 12 日事例, 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌 (近畿地区).
8. 黒川和誠, 風早範彦, 末永和貴, 尾上和義, 岩本久雄, 2011: 2009 年 7 月の梅雨前線南下時における大雨事例について, 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌 (京都府).
9. 黒川和誠, 風早範彦, 末永和貴, 尾上和義, 岩本久雄, 2011: 2009 年 7 月の梅雨前線南下時における大雨事例について, 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌 (近畿地区).
10. 長山泰淳, 岡田健一郎, 山下正晴, 井立田真吾, 北野昌寛, 2011: 2007 年 7 月 16 日-17 日の集中豪雨について, 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌 (奈良県).
11. 岡田健一郎, 山下正晴, 井立田真吾, 長山泰淳, 北野昌寛, 2011: 2010 年 7 月 13-14 日の大雨について, 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌 (奈良県).
12. 井立田真吾, 岡田健一郎, 山下正晴, 長山泰淳, 北野昌寛, 2011: 線状降水系発生発生の必要条件の検討, 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌 (奈良県).
13. 北野昌寛, 岡田健一郎, 山下正晴, 井立田真吾, 長山泰淳, 2011: 奈良県周辺で発生する大雨の発生地域とそれを取り囲む大気環境との関連について, 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌 (奈良県).
14. 秋山佳明, 佐藤祐一, 2011: 和歌山県における JMANHM を用いた降水現象時の風況特性について, 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌 (和歌山県).
15. 長崎史津, 沖廣賢司, 小西誠二, 高井瑞穂, 向井祐二, 2011: JMANHM を用いた集中豪雨 (大雨) の事例解析, 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌 (兵庫県).
16. 菊友彦, 森脇嘉一, 仲里正, 遠藤敬裕, 熊谷達也, 2011: 2006 年 7 月 15 日~19 日の大雨について, 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌 (鳥取県).
17. 河野誠, 梶田昌義, 細川利之, 2011: 2006 年 7 月 26 日の線状降水帯について, 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌 (岡山県).
18. 鎌田茜, 足立誠, 栗山佳之, 金森恒雄, 川口純, 2011: 2005 年 7 月 1 日の大雨, 平成 23 年度大阪

- 管区気象研究会誌（島根県）。
19. 栗山佳之，足立誠，鎌田茜，金森恒雄，川口純，2011：2005 年 9 月 3 日の大雨，平成 23 年度大阪管区気象研究会誌（島根県）。
 20. 東克彦，山田友幸，渋谷誠司，亀山数之，胡未知人，2011：梅雨前線による大雨事例の共通点と相違点について（平成 23 年度地方共同研究関連），平成 23 年度大阪管区気象研究会誌（広島県）。
 21. 上山仁司，蓬台正信，栗原正宣，鈴江浩成，2011：梅雨前線における集中豪雨の事例解析，平成 23 年度大阪管区気象研究会誌（徳島県）。
 22. 上山仁司，蓬台正信，栗原正宣，鈴江浩成，2011：2008 年 6 月 28 日から 29 日にかけて徳島県南部に見られた線状降水帯の解析，平成 23 年度大阪管区気象研究会誌（四国地区）。
 23. 細木光，田中滋司，大黒正夫，山西大輔，平井明宏，内藤健治，2011：2009 年 7 月 20 日の梅雨前線による大雨，平成 23 年度大阪管区気象研究会誌（香川県）。
 24. 坂本啓，政岡孝明，田邊秀樹，神野誠，神谷亜希子，2011：2011 年 7 月 4 日梅雨前線による大雨について，平成 23 年度大阪管区気象研究会誌（愛媛県）。
 25. 松本暢明，亀山俊二，日野学，吉川信一，増田純一，2011：2010 年 7 月 13 日から 14 日高知県東部での大雨の事例解析，平成 23 年度大阪管区気象研究会誌（高知県）。
 26. 田中敬，渡部洋己，熊野繁明，西本章，増田純一，2012：客観解析データを用いた高知県における大雨事例について，日本気象学会関西支部例会講演要旨集，128，25-28。
 27. 久重和久，2012：平成 24 年台風第 4 号と梅雨前線による兵庫県の大雨，平成 24 年度大阪管区気象研究会誌（近畿地区）。
 28. 黒川和誠，平野竜也，風早範彦，原田都奈生，西川哲也，岩本 久雄，2012：2012 年 7 月 15 日の大雨事例解析，平成 24 年度大阪管区気象研究会誌（近畿地区）。
 29. 長山泰淳，北野昌寛，山下正晴，井立田真吾，岡田健一郎，2012：奈良県における梅雨期の大雨発生環境場の調査，平成 24 年度大阪管区気象研究会誌（近畿地区）。
 30. 福永昭史，細川利之，上山仁司，神野美幸，2012：徳島県における集中豪雨・大雨発生の必要条件の抽出と妥当性，平成 24 年度大阪管区気象研究会誌（四国地区）。
 31. 小林幸，矢野信嗣，平尾龍一，2012：京都府北部における集中豪雨発生の必要条件の抽出と妥当性，平成 24 年度大阪管区気象研究会誌（京都府）。
 32. 黒川和誠，西川哲也，岩本久雄，風早範彦，原田都奈生，平野達也，2012：2012 年 7 月 15 日の大雨事例解析，平成 24 年度大阪管区気象研究会誌（京都府）。
 33. 鎌田茜，神内弘，赤坂有史，小山内大輔，2012：2006 年 7 月 19 日の大雨について，平成 24 年度大阪管区気象研究会誌（大阪府）。
 34. 小山内大輔，神内弘，赤坂有史，鎌田茜，2012：2012 年 7 月 3 日の大阪府北部での降水事例について，平成 24 年度大阪管区気象研究会誌（大阪府）。
 35. 久重和久，2012：2012 年台風第 4 号と梅雨前線による兵庫県の大雨，平成 24 年度大阪管区気象研究会誌（兵庫県）。
 36. 山川裕士，神野正樹，福原正明，久重和久，楠田雅紀，2012：平成 24 年 7 月 6-7 日事例，平成 24 年度大阪管区気象研究会誌（兵庫県）。
 37. 河野誠，梶田昌義，安井雄一郎，小林祥吾，2012：JCDA Sを用いた梅雨期の大雨発生条件（上空の気温、相当温位）について，平成 24 年度大阪管区気象研究会誌（岡山県）。
 38. 岩城貴信，山田友幸，渋谷誠司，大谷修一，東克彦，石本歩，濱岡昭之，2012：集中豪雨・大雨発生の必要条件の抽出とその妥当性，平成 24 年度大阪管区気象研究会誌（広島県）。
 39. 栗山佳之，澤田達也，水野岳志，三宅里香，足立誠，久家好夫，金森恒雄，2012：2009 年 7 月 19 日の大雨，平成 24 年度大阪管区気象研究会誌（島根県）。
 40. 水野岳志，栗山佳之，栗原佳代子，澤田達也，足立誠，久家好夫，金森恒雄，2012：大雨のための必要条件，平成 24 年度大阪管区気象研究会誌（島根県）。
 41. 大崎晋太郎，岡村康伸，山本高男，若狭剛史，廣尾進，谷口典史，森脇嘉一，菊友彦，2012：集中豪雨及び大雨発生の必要条件の抽出とその妥当性，平成 24 年度大阪管区気象研究会誌（鳥取県）。
 42. 細木光，西森誠人，谷俊昭，片山保，臼井善清，三井秀夫，2012：JCDA S（気象庁気候データ同化システム）データを用いた統計的手法による四国地方の強雨の特性について，平成 24 年度大阪管区気

象研究会誌（香川県）．

43. 神野誠，山岡和弘，濱田浩一，水野善夫，2012：四国太平洋側の線状降水帯の形成について（平成24年7月12日），平成24年度大阪管区気象研究会誌（香川県）．
44. 坂本啓，大野剛，川村俊博，中村彗，高石彗利，2012：梅雨期に発生する集中豪雨の必要条件，平成24年度大阪管区気象研究会誌（愛媛県）．
45. 渡部洋己，熊野繁明，田中啓，増田純一，西本章，2012：梅雨前線停滞時の高知県東部における大雨事例解析，平成24年度大阪管区気象研究会誌（高知県）．
46. 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－”，日本気象学会関西支部2011年度第2回例会．
47. 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．

（4）報道・記事

1. 集中豪雨：国内4割「線状降水帯」で発生 带状に積乱雲群，毎日新聞，平成24年10月5日．

日本各地域の繰り返し相似地震発生状況に関する研究

研究期間：平成23年度～平成24年度

研究代表者：勝間田明男（地震火山研究部 第二研究室長）

研究担当者：齋藤祥司・松山輝雄・平山達也・松島功・高橋賢二・佐鯉央教・菅ノ又淳一・大山浩明・太田良久・菅原政志（札幌管区气象台）、草野富二雄・吉田明博・高齋祥孝・下川淳・松浦茂郎・武田清史・太田健治・長谷川安秀（仙台管区气象台）、長谷川嘉臣・森田裕貴・廣田伸之・小原久典・山崎智紀・石井嘉司・吉川一光（大阪管区气象台）、植村英明・西健志郎・田中直人（福岡管区气象台）、川門義治・古謝秀和・城間康司（沖縄气象台）、中村雅基・溜溜功史（地震予知情報課）、山田安之（地震津波監視課）、鎌谷紀子（気象大学校）、前田憲二・岡田正実（地震火山研究部）

研究の目的

各气象台管内の地震について繰り返し地震の探索調査を進め発生状況を把握し、更に確率予測の事例を積み重ねる。

研究の目標

各地域におけるM5以上の繰り返し地震の発生状況を把握するとともに、抽出された地震について発生確率の評価を行う。

主な研究成果・目標の達成状況

- ① 地震カタログ及びデジタル記録の強震波形に基づいて、全国の中規模の繰り返し相似地震の発生状況を調査し、デジタル記録強震波形の相似性の調査からは、繰り返し相似地震の可能性のある138のグループの抽出ができた。
- ② 浦河沖の地震について、波形の相似性・震源位置・発震機構の調査を行い、2つの地震系列の繰り返し相似地震の発生を明らかにした。一方は1973年以降6回(M4.8～M5.0)の、もう一方は1957年以降11回(M4.7～M5.2)の繰り返し発生が確認され、プレートの平均すべり速度算出や次回の発生時期予測を行った。
- ③ 十勝地方南部の地震(M4.8～M5.1)について、波形の相似性・震源位置・発震機構の調査を行い、繰り返し相似地震の発生を明らかにした。1969年以降5回の繰り返し発生が確認され、プレートの平均すべり速度算出や次回の発生時期予測を行った。
- ④ 釧路沖の地震について、波形の相似性・震源位置・発震機構の調査を行い、2つの繰り返し相似地震の発生を明らかにした。一方は1954年以降10回(M4.7～M5.1)の、もう一方は1979年以降8回(M4.1～M4.6)の繰り返し発生が確認され、プレートの平均すべり速度算出や次回の発生時期予測を行った。
- ⑤ 2011年5月8日に発生した岩手県種市沖の地震の波形について過去の地震波形と比較し、種市沖グループBと呼ばれるマグニチュード約6のグループに分類されることを確認した。この地震の震源は平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の余震域に含まれているにもかかわらず、1960年、1976年、1993年に引き続いて規則的に発生している。規模と繰り返し間隔に基づき、プレートの平均すべり速度算出や次期発生時期の予測を行った。
- ⑥ 宮城県気仙沼沖において繰り返し発生しているM6.0～M6.6の地震の波形について比較検討し、1973年、1986年、2002年の地震については、繰り返し相似地震の可能性が高いことを示した。また、同領域で発生した平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の余震は相互に波形が似ているものの、同地震の前に繰り返し発生している地震とは波形が異なることを確認した。
- ⑦ 福島県相馬沖において繰り返し発生しているM6.4～M6.7の地震の地震波形や震度分布について比較検討し、1963年、1985年、2010年の地震について波形が相互に類似していることや1942年の地震を含めて震度分布が類似していることを確認した。規模と繰り返し間隔に基づき、プレートの平均すべり速度算出や次期発生時期の予測を行った。
- ⑧ 福島県いわき沖において繰り返し発生しているM5.5～M5.8の地震の地震波形や震度分布について比較検討し、1997年、2005年、2012年の地震について波形が相互に類似していることを確認した。規模と繰り返し間隔に基づき、プレートの平均すべり速度算出や次期発生時期の予測を行

った。

- ⑨ 平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震発生後の震源域周辺の繰り返し相似地震の発生状況について調査し、本震発生後にイベントが発生した 9 グループの中では本来の発生間隔よりも早期に発生しているグループが多いことを見いだした。
- ⑩ 房総沖のスロースリップイベントに伴う繰り返し相似地震の発生状況について調査し、1955 年以降何度も繰り返していること、比較的近い規模のサブイベントを起こす場合があることなどを明らかにした。
- ⑪ 想定東海震源域内における微小地震を対象に波形相関解析を行った結果、プレート境界付近では繰り返し相似地震が発生していないことを確認した。
- ⑫ 近畿・中国・四国地方の地震活動について繰り返し発生している地震のグループを抽出し、滋賀県・京都府・大阪府・和歌山県・広島県北部・紀伊水道・四国沖・伊予灘・豊後水道で発生した地震のグループの地震波形等を調査したが、相似地震と考えられる地震は見出されなかった。
- ⑬ 日向灘におけるマグニチュード 5 前後の地震について、地震波形の比較に基づき繰り返し相似地震であるか調査したが、繰り返し相似地震の発生は確認できなかった。また、マグニチュード 3 クラスの地震について調査したところ、繰り返し相似地震の発生が確認された。
- ⑭ 宮古島近海においてこれまでに確認されていたマグニチュード約 4.0、約 4.2、約 4.4、約 5.1 の 4 グループの繰り返し相似地震について、波形の相似性が高く、これらのグループにふくまれる新たな地震の発生を確認した。
- ⑮ 沖縄本島近海において、これまで確認された系列の繰り返し地震のグループにおいて、波形の相似性に基づいて活動が継続していることを確認した。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震発生にともない、その震源域周辺で発生している地震について注目した調査を行った。

成果の他の研究等への波及状況

重点研究「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」の一環として行っている「相似地震の事前予測」に密接に関連し、相互に情報を共有している。

今後に残された課題

調査結果について、気象研究所技術報告としてとりまとめて、発表を行う。

研究成果及びその活用に関する意見（気象研究所研究課題評価委員会による終了時評価）

（評価結果）

優れた研究であった。

（総合所見）

本研究は、社会的に注目されている都市域での強雨について、気象予報の現場において最新の知見を活用し適切に対応するために実施されたもので、時宜を得た取り組みである。

事例をさらに積み重ねる必要はあるが、GPS 可降水量関連物理量が降水予測に使える可能性を見いだした意義は大きい。また、数値実験を通じて都市キャノピーの影響の大きさを把握するなど、当初の目標は概ね達成された。

大気遅延量から算出される勾配パラメータや非一様成分といった、これまでに調査実績のあまりない物理量に注目した調査や、ドップラーレーダーデータを用いた三次元解析を中心に、降水系の発生した環境場や降水系の発生・発達過程や内部構造に関する詳細な事例解析を行い、有益な知見を得ることに成功したことは評価に値する。

しかし、依然として各事例に対する知見の蓄積にとどまっており、「個々の成果を総合的に分析し、防災気象情報の精度向上に資する」という到達目標については、その達成には至っていない。最終的な到達目標は容易なものではないが、これまでの成果を体系的に取りまとめることは重要であり、今後の研究の発展に期待したい。

研究成果については、部外の専門家の意見を広く聞くことも研究の遂行にとって有効なので、気象学会大会などでも発表していただきたい。また、予定されている報告書をまとめるとともに、気

象研究所の研究支援の枠組みを活用するなどして、査読論文の形に取りまとめて発表していただきたい。研究成果の学会等での発表は、地方官署職員の技術力向上に資することから、気象研究所担当研究官も積極的に支援していただきたい。

本研究は、平成18 年度から継続・発展してきた研究であり、研究成果は確実に高度化している。都市域の強雨は社会的な関心が高く、引き続き研究を進めて行くべき課題である。今後も研究を継続し、その成果を着実に予報業務に活かしていただきたい。

成果発表状況

- ・印刷発表件数： 3 件（査読論文及びその他の著作物）
- ・口頭発表件数： 9 件（ポスター発表を含む）
- ・報道・記事： 0 件

成果発表一覧

（1）査読論文

1. Okada M., N. Uchida, and S. Aoki, 2012 : Statistical forecasts and tests for small interplate repeating earthquakes along the Japan Trench, *Earth Planets Space*, 64, 703-715.

（2）査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

1. 溜瀧功史・中村雅基, 2011 : 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の余震域周辺における相似地震活動, 地震予知連絡会会報 87 巻.
2. 気象研究所技術報告「日本各地域の繰り返し相似地震発生状況に関する研究」, 発行予定（来年度）

（3）口頭発表（ポスター発表を含む）

1. 鎌谷紀子・岡田正実・勝間田明男, 2011 : 全国の中規模固有地震活動の検出, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集, SSS025-03.
2. 長谷川嘉臣・勝間田明男・岡田正実・鎌谷紀子, 2011 : 房総沖スロースリップに伴う M5 繰り返し地震 - 将来の震度 5 弱を予測する -, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集, SSS025-04.
3. 鎌谷紀子・勝間田明男, 2011 : 東北地方太平洋沖地震後の中規模固有地震活動, 日本地震学会講演予稿集 2011 年度秋季大会, P3-08.
4. 溜瀧功史・中村雅基・山田安之, 2011 : 全国を対象とした客観的な相似地震の抽出, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集, SSS026-P02.
5. 鎌谷 紀子・勝間田 明男, 2012 : 東北地方太平洋沖地震後の中規模固有地震活動からわかること, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集, SSS28-P09.
6. 森田 裕貴・鎌谷 紀子・勝間田 明男, 2012 : 東北地方太平洋沖地震後の種市沖の固有地震活動, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会予稿集, SSS28-P10.
7. 長谷川 嘉臣, 2012 : 近畿・中国・四国地方における繰り返し相似地震の調査, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会予稿集, SSS28-P11.
8. 勝間田明男・菅ノ又淳一・高橋賢二・平山達也・大山浩明・松島功・太田良久・菅原政志・松山輝雄・齋藤祥司・高齋祥孝・下川淳・長谷川安秀・太田健治・草野富二雄・長谷川嘉臣・植村英明・古謝秀和・城間康司・川門義治・佐鯉央教・山本剛靖・溜瀧功史・鎌谷紀子・岡田正実, 2012 : 日本各地域の中規模繰り返し相似地震の調査, 日本地震学会講演予稿集 2012 年度秋季大会, P3-18.
9. 岩切一宏・溜瀧功史・川添安之・中村雅基, 2012 : 東北地方太平洋沖地震後の宮城県気仙沼市沖 M6 クラスの繰り返し地震, 日本地震学会 2012 年度秋季大会, P1-61.

（3）報道・記事：なし