

2. 研究報告

2. 1. 研究課題

本節には、気象研究所が令和3年度に実施した全ての研究について、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。

経常的に実施する研究

中期研究計画の5年間（令和元年度開始）では、気象業務の発展に資するため、気象・気候・海洋分野については目的に応じた3つの研究に分類し、地震・津波・火山研究と合わせて大きく4分類して経常的に実施する研究（以下「経常研究」という。）を実施する。令和3年度は、次の9課題を実施した。

基盤技術研究

研究課題	研究期間	代表研究部
地球システム・海洋モデリングに関する研究	R1～R5	全球大気海洋研究部
大気の物理過程の解明とモデル化に関する研究	R1～R5	気象予報研究部
データ同化技術と観測データの高度利用に関する研究	R1～R5	気象観測研究部

課題解決型研究

研究課題	研究期間	代表研究部
台風・顕著現象の機構解明と監視予測技術の開発に関する研究	R1～R5	台風・災害気象研究部
気候・地球環境変動の要因解明と予測に関する研究	R1～R5	気候・環境研究部

地震・津波・火山研究

研究課題	研究期間	代表研究部
地震と津波の監視・予測に関する研究	R1～R5	地震津波研究部
南海トラフ地震の地震像とスロースリップの即時把握に関する研究	R3～R7	地震津波研究部
火山活動の監視・予測に関する研究	R1～R5	火山研究部

応用気象研究

研究課題	研究期間	代表研究部
シームレスな気象予測の災害・交通・産業への応用に関する研究	R1～R5	応用気象研究部

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。令和3年度は、次の4課題を実施した。

研究課題	研究期間	実施官署	担当研究部
全天カメラによる雲の地上観測システムの開発	R2～R3	大阪管区气象台	気象観測研究部
沖縄地方の低周波地震の震源決定と発生状況等の調査	R2～R3	沖縄气象台	地震津波研究部
高精度な津波数値計算結果を用いた津波の地域特性の理解	R2～R3	仙台管区气象台、大阪管区气象台、高知地方气象台、石垣島地方气象台	地震津波研究部
二重偏波レーダーを用いた火山噴煙の解析的研究	R2～R4	鹿児島地方气象台	火山研究部

緊急研究

重大な自然災害発生時には、機動的に研究を行い社会にいち早く情報を発信するための緊急研究課題を必要に応じて実施する。令和3年度は、次の1課題を実施した。

研究課題	研究期間	代表研究部
集中観測等による線状降水帯の機構解明研究	R3～R4	研究調整官

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。令和3年度は、次の5課題を実施した。

(1) 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。

研究課題	研究期間
光吸収性エアロゾルの監視と大気・雪氷系の放射収支への影響評価 ー地球規模で進行する雪氷圏融解メカニズムの解明に向けてー	H29～R3
民間航空機を利用した大都市から全球までの温室効果ガス監視体制の構築	R3～R7
大気成分の長期観測による海洋貯熱量および生態系への気候変動影響のモニタリング	R1～R5

(2) 放射能調査研究費による研究（環境省）

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

研究課題	研究期間
人工放射性核種の大気長期変動監視に関する研究	R 3

（３）官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）による研究（内閣府）

総合科学技術・イノベーション会議が政府全体の科学技術イノベーション政策の司令塔として、民間の研究開発投資誘発効果の高い領域（ターゲット領域）に各府省の施策を誘導し、それらの施策の連携を図るとともに、必要に応じて、追加の予算を配分することにより、領域全体としての方向性を持った研究開発を推進するための経費である。

研究課題	研究期間
AI を用いた竜巻等突風・局地的大雨の自動予測・情報提供システムの開発	H30～R 4

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。令和３年度は、次の 69 課題を実施した。

・主な共同研究

共同研究区分	研究課題名	相手機関
「富岳」成果創出加速プログラム	大アンサンブルを用いた短時間領域スケール予測	気象業務支援センター
統合的気候モデル高度化プログラム	統合的気候変動予測	気象業務支援センター
	気候モデルを用いた気候変動再現実験のマルチモデル比較	東京大学大気海洋研究所
戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第 2 期	線状降水帯の形成とその環境場の解析に関する研究	防災科学技術研究所
	線状降水帯の早期発生予測の精度向上に関する基礎的研究	福岡大学、防災科学技術研究所
戦略的創造研究推進事業（CREST）	「FishTech によるサステイナブル漁業モデルの創出」における On-Spot データ同化手法の開発に関わる共同研究	海洋研究開発機構

・その他の共同研究

研究課題名	相手機関
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
フェーズドアレイ気象レーダーによる顕著現象の探知に関する基礎研究	国立研究開発法人 情報通信研究機構

民間航空機を用いた温室効果ガス観測に関する研究	独立行政法人 国立環境研究所 日本航空株式会社 株式会社ジャムコ 財団法人日航財団
バイオエアロゾル放出源を考慮したエアロゾルモデルの高度化	茨城大学 国立環境研究所
気象研究所大気大循環モデル（MRI-AGCM）を用いた気候変動の影響評価に関する研究	京都大学防災研究所
積雪地域における雲の放射影響の研究	北見工業大学
顕著現象の監視・予測におけるフェーズドアレイレーダーの利用可能性に関する研究	首都大学東京
東京スカイツリーを利用した東京圏の温室効果ガス排出のモニタリング研究	国立環境研究所
水蒸気のリモートセンシングに関する研究開発	国立研究開発法人情報通信研究機構
レーダーと AI 深層学習による竜巻等突風の探知・予測に関する基礎的研究	東京大学
筑波山頂におけるエアロゾル数濃度変動の実態把握と原因解明に関する研究	筑波大学
東海地域における弾性波アコースを用いた地殻状態変化検出に関する研究	名古屋大学 静岡大学
粒子画像解析に基づく乱流計測技術に関する研究	国立研究開発法人国立環境研究所
気候システムの形成と変動に係わる諸過程の研究	筑波大学 生命環境系
次世代植物プランクトン多様性モデルを用いた、気候変動に対する植物プランクトンの応答の評価	北海道大学
南九州の活動的火山の災害軽減に関する共同研究（その2）	京都大学防災研究所 防災科学技術研究所 気象庁地震火山部 福岡管区気象台地震火山課 鹿児島地方気象台
日本海寒帯気団収束帯による豪雪対策のための研究開発	防災科学技術研究所
GNSS データと地震計データを用いた断層すべり推定に関する研究	国土地理院
シチズンサイエンスによる気象観測データのデータセット作成と応用可能性に関する研究	三重大学
台風の移動の診断的評価	岐阜大学
石垣島のスロースリップ域における重力変化に関する研究	東京大学理学部、沖縄気象台
現地観測と気象予報モデルの連携によるヒマラヤにおける降水システムの解明	名古屋大学

メソアンサンブル予報を用いた確率洪水予報に関する研究	気象庁予報部 東京大学生産技術研究所
二重偏波レーダーデータを利用した雷の直前予測技術の開発に関する共同研究	公立大学法人首都大学東京
気象レーダーを活用した火山噴煙に関する研究	鹿児島大学
航空機の動態情報取得システムからの気象データによる数値予報の精度向上と航空機の安全運航に関わる気象予測情報の高度利用のための研究	海上・港湾・航空技術研究所
台風解析・予報の高度化に資する台風発生の環境要因の解析及びメカニズム推定	気象庁予報部 国立大学法人横浜国立大学
なだれ予測の精度向上に資する積雪変質モデルの基礎的研究	防災科学技術研究所
南鳥島におけるハロカーボン類のモニタリング	国立環境研究所環境計測研究センター
台風の強度解析・予報精度向上に資する台風の衰弱時や多重壁雲時における風・中心気圧の関係及び強度変化メカニズム解明	気象庁予報部 名古屋大学
エアロゾルモデルのモジュールの開発と検証に関する共同研究	東京大学 名古屋大学
傾斜・ひずみデータを活用したスロー地震解析等に関する研究	防災科学技術研究所
日本の海洋大循環モデルを用いるコミュニティのための前処理、後処理、解析基盤の構築	東京大学 九州大学 海洋研究開発機構
火山ガス等の化学的手法と物理観測データに基づく火山活動評価研究	東海大学
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
大雨や大雪をもたらす降水雲・降雪雲の観測的数値的研究	北海道大学
箱根山における多項目観測データを活用した総合的火山活動評価に関する研究	神奈川県温泉地学研究所
顕著現象の予測精度向上に向けたデータ同化およびアンサンブル技術に関する研究	筑波大学
局地気象モデル境界層過程の高度化に関する研究	日本気象協会
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
JPN モデルの沿岸海域への適用と湾スケールの物理環境変動特性の解明	北海道大学
ひまわり 8 号大気追跡風を用いた台風強化プロセスに関する研究	富山大学
気象衛星高頻度観測と巨大アンサンブル計算の利用による水文気象災害予測の革新	東京大学
衛星搭載ドップラー風ライダーの開発・利用に関する研究	東京都立大学
稠密地上気象観測と数値モデルによる降雪雲の微細構造に関する研究	酪農学園大学

電力設備のための気象・気候ハザードの温暖化影響評価	(一財) 電力中央研究所
メソアンサンブル予報を用いた再生可能エネルギー出力予測に関する研究	気象庁予報部 産業技術総合研究所 日本大学
長基線レーザー伸縮計を用いた地殻変動現象に関する研究	東京大学地震研究所 富山大学
高精度センシング技術を用いた、列車運行判断のための災害気象の監視・予測手法の開発	JR 東日本研究開発センター
南鳥島における二酸化炭素鉛直平均濃度観測	東京大学大気海洋研究所
高頻度高層観測データを利用した重力波の発生メカニズム及び乱流強度推定に関する研究	東京大学
炭素・水素同位体比観測と大気化学輸送モデルに基づく全球メタン収支の解明	東北大学
領域モデルを用いた長期再解析に関する研究	東北大学
JPN モデルの海洋ゴミ漂流、赤潮伝搬への適用、および、海洋エネルギー利用技術創出可能性の検討	長崎大学
深層学習 (DL) 技術等を用いた衛星データ同化の高度化に関する研究	千葉大学
筑波山頂におけるエアロゾル雲相互作用のプロセス解明に関する研究	筑波大学
南海トラフ地震想定震源域東部海域の地震活動に関する共同研究	東海大学
東京スカイツリーを利用したエアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究	防災科学技術研究所 情報・システム研究機構 広島大学 東海国立大学機構名古屋大学 東京大学
地上ガンマ線観測及びレーダー観測を組み合わせた雷放電の予知に関する共同研究	国立大学法人大阪大学
雷放電経路 3 次元観測システムと C-Band 二重偏波気象レーダーを用いた帯電した降水粒子の分布の実態把握及び発雷危険度の推定手法に関する共同研究	防災科学技術研究所
伊豆半島周辺の沿岸域における海洋酸性化状況の把握	国立大学法人筑波大学
大雨や大雪をもたらす降水雲・降雪雲の時間発展に関する観測的数値的研究	広島県公立大学法人叡啓大学
翌日および翌々日程度先の日射量予測技術の開発	気象庁情報基盤部 産業技術総合研究所 日本大学

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。令和3年度は、次の35件の研究を実施した。

相手機関	共同利用区分	課題名	期間
北海道大学低温科学研究所	共同研究	札幌の積雪中に含まれる光吸収性不純物の起源と融雪への寄与の定量化	R3
新潟大学災害・復興科学研究所	共同研究	日本海側地域に豪雨・豪雪災害をもたらす異常気象と気候変動	R3
宇宙航空研究開発機構	共同研究	GCOM-C 大気プロダクト評価のための検証データの取得と提供	R1～R3
		全球データ同化システムを用いた、衛星シミュレータ及び衛星同化の検証と改良	R1～R3
		GCOM-C SGLI エアロゾルプロダクトを用いたエアロゾルデータ同化予測システムの構築と検証	R1～R3
		複合衛星データを用いた火山灰アルゴリズムの開発	R1～R3
筑波大学	共同研究	気候診断技術開発に基づく季節予報の精度向上と社会実装	R3
東京大学地震研究所	共同利用	固体地球現象の理解と予測に向けたデータ同化法の開発	R3
		高頻度 SAR 観測による地殻・地表変動研究	R3
		伊豆大島火山マグマ活動の解明に向けた精密重力観測	R3
		水蒸気噴火が懸念される火山におけるマグマ起源流体の挙動解明と火山活動評価	R3
		活火山火口湖の水・熱・化学物質収支の長期評価と火山活動変動との関係について：蔵王山と御釜	R3
		大規模数値シミュレーションがもたらす津波推定・予測研究の革新	R3
		固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用	R3
		高密度観測網を用いた緊急地震速報の実現可能性の検討：MeSO-net 観測点データに基づく検証	R3
	外来研究員	断層の内部状態の解明	R3

		データ同化手法を用いた火山灰の拡散及び噴煙ダイナミクスの解析	R 3
東京大学大気海洋研究所	共同利用	日本海対馬暖流域における学際的合同海洋観測 I : 海洋渦に捕捉される風成内部波の痕跡とその可視化	R 3
	共同研究	海氷モデル力学パラメータに対する観測・理論・数値的要請の融合	R 3
		世界海洋大循環モデルの相互比較	R 3
	外来研究員	メソ気象における雲降水プロセスの解明とデータ同化に関する研究	R 3
		熱帯低気圧・温帯低気圧・ハイブリッド低気圧の高解像度シミュレーション	R 3
国立極地研究所	共同研究	両極由来の寒気に伴う顕著大気現象発現にかかわる極域－熱帯域大気海洋結合システムの解明	R 1 ～ R 3
統計数理研究所	共同利用	雲解像非静力学気象モデルを用いた粒子フィルタの開発	R 3
		変分データ同化の最適化手法の改良と解析誤差情報の利用の高度化に関する研究	R 3
		データ同化ワークショップ	R 3
東京工芸大学風工学研究拠点	共同研究	日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究	R 3
京都大学生存圏研究所	共同研究	アジア圏界面エアロゾル層 (ATAL) の影響研究 : 2003～2021 年夏季の日本でのライダー連続観測に基づいて	R 3
総合地球環境学研究所	共同研究	空気浄化と住民の健康改善に向けた農業残渣焼却を低減させるためのスマートシステムの構築に関する研究	R 1 ～ R 5
九州大学応用力学研究所	共同研究	氷晶粒子の形状や配向を考慮した衛星・地上ライダー/レーダ解析技術の改良	R 3
		微細規模から惑星規模にかけての海洋力学過程と規模間相互作用の研究	R 3
国立環境研究所	共同研究	大気化学輸送モデルによる全球メタン収支・トレンド推定に関する研究	R 3
情報・システム研究機構データサイエンス共同利用基盤施設	共同利用	機械学習による昭和基地からみる大気中微量物質の輸送予測システムの構築	R 3

千葉大学環境リモートセンシング研究センター	共同利用	衛星雷観測同化に向けた気象モデルの改良：雪氷種診断と雷モデル	R 3
東京大学地震研究所・京都大学防災研究所 拠点間連携共同研究	共同研究	リアルタイム地震情報配信手法の高度化に向けた地盤特性の影響度評価	R 3

環境研究総合推進費による研究

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。平成 29 年度からは環境再生保全機構交付の個人補助金となった。

研究課題	研究期間
大気中マイクロプラスチックの実態解明と健康影響評価	R 3 ～R 5
船舶観測に基づく海洋 CO2 フラックスデータの精緻化	R 3 ～R 5
気候変動に伴う黄砂の発生・輸送に関する変動予測とその検出手法に関する研究	R 2 ～R 4
地球温暖化に関わる北極エアロゾルの動態解明と放射影響評価	R 2 ～R 4
気候変動影響評価のための日本域の異常天候ストーリーラインの構築	R 1 ～R 3

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、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】

課題区分	課題名	研究期間
新学術領域研究（研究領域提案型）	過去 40 年間の南極氷床表面質量収支高精度計算	R 2 ～R 3
新学術領域研究（研究領域提案型）	対流圏成層圏結合が対流圏ジェット変動に及ぼす影響と中緯度海洋前線帯の役割	R 2 ～R 3
基盤研究（A）	統合粒子モデル開発による水物質を介した気象変化と環境汚染の相乗効果の解明	R 1 ～R 4

基盤研究(B)	揺れの数値予報：広帯域時刻歴波形のリアルタイム予測	H29～R 2
	粒子フィルタを用いた積乱雲の発生・発達に関する不確実性の解明	H29～R 2
	地球システムモデルの高度化と北極域における黒色炭素粒子の気候影響評価	H30～R 3
	積雪が稀な地域での大雪発生状況の把握と現在及び将来の大雪発生ポテンシャルの評価	R 1 ～R 4
	新世代衛星観測の同化がもたらす、台風と大気上層場との相互作用メカニズムの解明	R 1 ～R 4
	最先端の地上大気観測とデータ同化で、線状降水帯の予測精度はどこまで向上するのか？	R 1 ～R 4
	森林火災から大量に生じる固体有機エアロゾルの発生・除去過程の解明と気候影響	R 1 ～R 4
	船舶搭載 GNSS による東シナ海水蒸気、波浪、海面高度の観測	R 2 ～R 4
	ハイブリッド低気圧の形成メカニズムと多様性の体系的解明	R 3 ～R 6
	グリーンランド氷床雪氷質量変動に対する北極温暖化増幅の影響解明	R 3 ～R 5
	深層学習を使った気象場ダウンスケーリングと大気環境予測	R 3 ～R 7
特別研究員奨励費	混合状態多様性指標を導入した黒色炭素粒子と黄砂による気候・環境影響の新評価	R 1 ～R 3
	大気物質循環における湿性沈着過程のモデル再現精度の向上	R 2 ～R 4
国際共同研究加速基金	孤立峰における雲風洞を用いたエアロゾル・雲相互作用に関する研究	H29～R 3
	グリーンランド氷床気候システム研究最前線の開拓	H30～R 3
挑戦的研究（萌芽）	固体粒子のナノスケール構造・化学分析から挑む氷晶核メカニズムの解明	R 1 ～R 3
基盤研究(C)	トレーサー濃度と気象観測値の同時データ同化による移流拡散シミュレーション高精度化	H29～R 3
	火山ガス成分と火山物理の融合的観測・分析による火山活動度の評価の研究	H29～R 3
	観測情報の拡充による全球大気予測の高度化に関する研究	H29～R 3
	新世代気象衛星のマルチバンド観測を用いた台風の暖気核発達プロセスの解明	H30～R 3
	オゾンの衛星観測データ均質化とマルチセンサ長期再解析	H30～R 3
	マルチモデル相互比較による事例別の季節予測可能性	H30～R 3
	地殻内大地震の発生予測に向けた応力蓄積分布の推定	H30～R 3
	巻雲を介した熱帯成層圏対流圏結合と気候変動影響の解明	R 1 ～R 3
	黒潮周辺海域における急激な海面水温上昇のメカニズム解明とその沿岸環境への影響評価	R 1 ～R 3
	衛星観測データを活用した次世代炭素循環解析システムの構築	R 1 ～R 3

	夏季の成層圏-対流圏結合系における力学-放射-化学過程の解明と気候影響評価	R 2 ～R 4
	積乱雲を解像した高解像度モデルを用いた新たな竜巻等突風の予測手法に関する研究	R 2 ～R 4
	二重偏波レーダーによる豪雨形成過程の観測手法の開発ー大粒の雨はどこで生成するかー	R 2 ～R 4
	大気ー積雪ー海水系放射伝達モデルの開発と気候モデル用海水アルベドスキームの高度化	R 2 ～R 4
	パナマにおける将来気候下での降水変化予測とメカニズム解明	R 2 ～R 4
	フェーズドアレイ気象レーダーを用いた竜巻の機構解明と三次元検出技術の開発	R 3 ～R 6
	高頻度高密度観測データ活用のための多重スケールを考慮した変分法データ同化の確立	R 3 ～R 5
	稠密・面的な非ガウス観測データの同化手法の刷新	R 3 ～R 7
	集中豪雨の発達機構を解明する水物質同化手法の研究	R 3 ～R 5
	地球温暖化による大雨の頻度・強度変化の機構解明	R 3 ～R 6
	高解像度・大アンサンブルシミュレーションを用いた線状降水帯に寄与する環境場の解明	R 3 ～R 5
	津波想定はなぜ外れる？ー波源形成から海岸到達の各伝播過程で生じる予測誤差の比較	R 3 ～R 5
	観測点 1 点だけからの地震波動伝播の情報抽出：地震動即時予測の高度化に向けて	R 3 ～R 5
	地殻内の歪みエネルギーの可視化による内陸地震発生メカニズムの解明	R 3 ～R 5
	津波波源の多様な時間履歴に対応した波源推定とそれを活用したリアルタイム津波予測	R 3 ～R 5
	大気エアロゾルの混合状態による雲核能・氷晶核能の変化に関する実験的研究	R 3 ～R 5
	地上・衛星観測網による東アジアのエアロゾルの半世紀の変動とコロナ禍の影響の解明	R 3 ～R 5
若手研究 (B)	フェーズドアレイレーダーを用いた台風環境下における竜巻発生メカニズムの解明	H29～R 3
	海盆間相互作用を介した西太平洋-インドモンスーンと台風の年々変動メカニズムの解明	H29～R 3
若手研究	内部減衰と散乱減衰の 3 次元不均質構造推定-震度予測の高度化へむけて	H30～R 3
	台風急発達の多様なプロセスの体系的理解と急発達前兆現象の解明	R 1 ～R 3
	高解像度アンサンブルシミュレーションによる首都圏の降雪現象の機構解明	R 2 ～R 4

	同時多発地震に対応した自動震源推定法による隠れた微小地震活動の解明	R 2 ～R 4
	梅雨と秋雨の過去 120 年間の長期変動の実態とメカニズムの解明	R 3 ～R 6
	顕著現象予測精度向上を目指した粒子フィルタによるハイブリッドデータ同化手法の構築	R 3 ～R 6
	地震の震源特性はどれだけ空間変化するのか：散乱波を用いた精密推定	R 3 ～R 6
	放射性炭素同位体比観測と数値モデル解析に基づく全球メタン収支の解明	R 3 ～R 5
研究活動スタート支援	二重偏波レーダーを用いた新たな降水粒子判別手法の開発と雷・突風の前兆把握への応用	R 1 ～R 3
	観測ビッグデータを活用した変分法データ同化の高度化	R 1 ～R 3
	スピンドاون問題解決に向けた変分法同化スキームへの水蒸気バランス機構の導入	R 1 ～R 3
	黒潮海流系に対する大規模大気・海洋変動の影響評価	R 3 ～R 4

【研究分担者として実施している研究課題】

課題区分	研究課題	研究期間
新学術領域研究（研究領域提案型）	台風・爆弾低気圧の予測可能性とスケール間大気海洋相互作用	R 1 ～R 5
	急速に温暖化する日本周辺海域での大気海洋相互作用と極端気象	R 1 ～R 5
	雲・エアロゾルを介した中緯度大気海洋相互作用	R 1 ～R 5
	ハイブリッド海洋観測：黒潮続流域の循環変動とその大気・生物地球化学への影響	R 1 ～R 5
	黒潮・親潮等海洋前線帯の大気海洋結合系における役割とその経年変動の予測可能性	R 1 ～R 5
	中緯度域の気候変動のメカニズム解明と予測可能性	R 1 ～R 5
学術変革領域研究 (A)	時空間マルチスケールモデルからの予測：大規模計算と Slow-to-Fast 地震学	R 3 ～R 7
基盤研究 (S)	世界一の確度をもつ過去 200 年間の沈着エアロゾルのデータベース創成と変遷解明	H30～R 4
	航空機観測によるスーパー台風の力学的・熱力学的構造と強化プロセスの解明	R 3 ～R 7
基盤研究 (A)	結合データ同化システム開発の方法と応用	H29～R 3
	揮発性が異なる元素の気化に伴う同位体分別が拓く環境地球化学の新展開	H30～R 3
	世界最高水準の衛星海面フラックスデータが明らかにする台風と海洋の関係	H30～R 3

	大気と海洋の波動エネルギーのライフサイクル解析による熱帯気候変動メカニズムの解明	H30～R3
	新世代気象衛星の台風高頻度観測による高精度風プロダクト開発と台風の変動過程の解明	R1～R4
	実環境大気エアロゾルの帯電状態が生体および地表面への粒子沈着へ及ぼす影響評価	R2～R5
	高精度海水情報取得のためのマイクロ波放射伝達モデルの開発	R2～R4
	最先端解析手法を用いた多様な地表面上でのシビア現象発生機構の解明と予測	R1～R3
基盤研究(B)	台風進路に関わる『藤原効果』の再考	H30～R4
	水中の懸濁微粒子・ファインバブルおよび大気中の浮遊微粒子の実時間分析法の開発	R1～R3
	北極圏における氷河起源ダストが氷晶核分布に与える影響の評価	R1～R3
	海上放射線モニタリングによる原子力事故時放射性物質放出量の早期推定手法の確立	R1～R3
	拡散分離の定量評価により得られた大気組成の精密時空間変動に基づく温暖化影響の評価	R1～R3
	黄砂発生源地域の環境修復と持続的土地利用の両立を目指すキーマンソース管理手法の開発	R1～R3
	沖合津波観測による津波即時予測技術の共進化を可能にする標準評価法の創出	R1～R3
	次世代の天気予報での雷予報を見据えた先駆的雷気象モデルの開発	R2～R5
	西岸境界流と内側沿岸循環の力学的相互作用	R2～R5
	東日本の島弧地殻における非弾性変形マッピング	H30～R3
	成層圏力学場が熱帯低気圧の発生・発達過程に与える影響	R3～R6
	都市における「暖かい雨」メカニズムの解明と数値予報モデルの最適化	R3～R5
	太陽光発電システム上の積雪動態の解明と予測への展開	R3～R5
基盤研究(C)	科学的モデリングによる気象レーダの高解像度化	R3～R6
	西岸境界流続流における組織的流れの形成メカニズム	H29～R3
	沖合津波観測記録を用いた非地震性津波の自動検知と津波波源即時推定手法の開発	H30～R3
	レーダー降雪分類と雲物理過程に基づく新積雪物理量の時空間変化推定手法の開発	R1～R3
	衛星搭載風ライダーによる風高度分布観測の空間分解能最適化に関する研究	R1～R3
	突風・豪雨などの極端現象に関わる乱流の実態・メカニズムとその役割の解明	R1～R4

2. 研究報告

2.1. 研究課題

	非定常な地震活動に対する点過程モデルと予測手法の開発	R 2 ～R 4
	大気自由振動モード群の生成・維持・減衰機構の解明	R 3 ～R 5
国際共同研究加速基金 (B)	気候変動に対するエアロゾルの放射効果—気候変動—大気汚染の相乗作用の評価	R 3 ～R 6
特別研究促進費	トンガ海底火山噴火とそれに伴う津波の予測と災害に関する総合調査	R 3 ～R 4

2. 2. 研究年次報告

本節には、気象研究所が令和3年度に実施した経常研究、地方共同研究について、課題毎に当該年度の研究計画と研究成果等を掲載した。ただし、令和3年度に中間評価を実施した研究課題（6課題）については、2.3節で、令和3年度に終了した研究課題（3課題）については2.4節でそれぞれ報告する。

2. 2. 1. 経常研究

- ・ D データ同化技術と観測データの高度利用に関する研究・・・・・・・・・・・・ 25
- ・ N 南海トラフ地震の地震像とスロースリップの即時把握に関する研究・・・・・・・・ 44
- ・ A シームレスな気象予測の災害・交通・産業への応用に関する研究・・・・・・・・ 49

2. 2. 2. 地方共同研究

- ・ 二重偏波レーダーを用いた火山噴煙の解析的研究・・・・・・・・・・・・ 59

D データ同化技術と観測データの高度利用に関する研究

研究年次：3年目／5年計画（令和元年度～令和5年度）

研究代表者：瀬古 弘（気象観測研究部長）

課題構成及び研究担当者

（副課題1）衛星データ同化技術及び全球同化システムの改良

〔気象観測研究部〕○岡本幸三、石橋俊之、石田春磨、岡部いづみ、近藤圭一（9月まで）

〔台風・災害気象研究部〕林 昌宏

〔気象予報研究部〕中川雅之

（副課題2）メソスケール高解像度同化システム及びアンサンブル摂動作成法の改良

〔気象観測研究部〕○川畑拓矢、澤田 謙、堀田大介、幾田泰醇、太田芳文

〔台風・災害気象研究部〕荒木健太郎、小野耕介

〔気象予報研究部〕藤田 匡

（副課題3）衛星・地上放射観測および放射計算・解析技術の開発

〔気象観測研究部〕○石元裕史、山崎明宏、工藤 玲

〔台風・災害気象研究部〕林 昌宏

〔気象予報研究部〕大河原望、谷川朋範、長澤亮二

（副課題4）地上リモートセンシング技術及びそれらをコアとした水蒸気等の観測技術に関する研究

〔気象観測研究部〕○小司禎教、酒井 哲、吉田 智

〔台風・災害研究部気象〕永井智広

研究協力者：（氏名・機関）

上田 学、原田正輝、横田 祥、川田英幸（情報基盤部数値予報課）、三浦甚哉（大気海洋部環境・海洋気象課）、大塚道子（気象大学校）、澤田洋平、Le Duc（東京大学）、伊藤耕介（琉球大学）、小林健一郎（神戸大学）、斉藤和雄、大泉 伝（気象業務支援センター）、内山明博（環境研）、増田一彦、露木 義（客員）

研究の動機・背景

（社会的背景・意義）

令和2年7月豪雨や平成30年7月豪雨、令和元年の台風15号や19号など、「今まで経験したことのない」という言葉で表現される顕著現象による気象災害が毎年のように発生している。また、地球温暖化に伴って豪雨の降水量が増大し、より頻発するという指摘もされている。これらの自然災害の激甚化、少子高齢化等の社会環境の変化を踏まえ、今後10年程度の中長期を展望して「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方 ～ 災害が激甚化する国土、変革する社会において国民とともに前進する気象業務 ～」（H30.8.20）が交通政策審議会気象分科会により提言としてとりまとめられた。この提言において、重点的な取り組み事項として「豪雨等の予測精度向上」と「長いリードタイムの確保のための観測・予測技術の高度化」の必要性が指摘されている。

甚大な災害をもたらす線状降水帯やそれに伴う豪雨、台風等の顕著現象は、モンスーンから雲物理までの様々なスケールの現象が相互に作用しあうため、また、短期間に局地的に発生する現象もあって、正確な予測が困難である。これらの現象について、近年の高密度・高頻度・高精度な観測データと発達が著しい電子計算機を駆使した「より長いリードタイムを確保して精度良く予測ができるデータ同化システム」の構築が望まれている（副課題1, 2）。また、令和2年7月豪雨のように激しい災害をもたらす顕著現象による被害を軽減するためには、それらの発生・維持のメカニズムを解明し、予測精度を向上させる必要がある。そのために水蒸気の時空間分布を、より高精度・高分解能で把握することが必要である（副課題4）。

静止気象衛星や各種地球観測衛星についても、既存の観測データの高機能・高時空間分解能化と共に、ハイパースペクトル赤外サウンダやドップラー風ライダー等の新しい観測センサの搭載が検討されている。これらの衛星の進歩に対応した利用法を開発すること、つまり、社会に有用な大気・

地表面情報やデータ同化等を通じた数値モデル精度向上に資する情報を衛星プロダクトとして提供する必要がある(副課題1, 3)。それらの実現のためには雲・エアロゾル・火山灰・降雪・積雪等を対象とした大気地表面系の精密かつ高度な放射計算技術と、それを用いた衛星データ解析手法の開発が不可欠である(副課題3)。また、エアロゾルの組成別の情報や雲の特性、これらによる放射収支メカニズム等をより正確に把握することは、自然災害の激甚化・頻発化の可能性が指摘されている地球温暖化の監視・予測における大きな不確定要素であるエアロゾル及び雲の放射強制力の科学的理解を深めるために必要である(副課題3)。

(学術的背景・意義)

全球スケール大気現象は、雲物理からモンスーンまでの様々な時空間スケールの現象の相互作用によって生じており、その解析や予測には降水過程から全球スケールの力学までを適切に扱う数値予報データ同化システムの開発が不可欠である。降水過程から全球スケールの力学までを精度よく解析することは、気象学、統計的推定、計算科学等にまたがる学際的総合科学の重要テーマの一つである。この実現に向けて、アンサンブルを用いた高度な全球同化手法の開発や、これを駆動するための観測データ、特に衛星観測の有効な活用が重要である。(副課題1)

豪雨を構成する積雲対流は非線形・非ガウスな現象であり、線形・ガウスを仮定する4次元変分法やアンサンブルカルマンフィルタには限界がある。非線形・非ガウスな特徴を持つシビアな現象に適用できる新たな同化手法の開発が必要である。また、多くの高密度・高頻度なデータが入手できる「観測ビッグデータ」の時代を迎え、データ間の誤差相関やアンサンブルサイズの小ささなどから従来のやり方が適用困難になっている。高密度・高頻度な観測データをより有効に利用するための手法開発が必要である。(副課題2)

可視から赤外、マイクロ波にいたる波長での衛星観測に応じた大気地表面からの放射伝達計算や、そこに含まれる雲・エアロゾル等の大気粒子による光散乱特性や大気吸収特性のモデル化は、衛星による気象リモートセンシングの基盤的技術であり、世界の気象関係機関・研究所が開発の必要性や重要性を認識している課題である。またその技術はひまわりプロダクト開発に限らず、高精度衛星シミュレータとしての応用や観測チャンネルの校正、ひまわり後継機の仕様検討での利用など、幅広い学術的利用が期待される。(副課題3)

エアロゾルの放射強制力の正確な把握は、気候変動の監視・予測等に重要であるが、多様な物質が複雑に混合するエアロゾルは、短寿命で排出源が偏っており組成毎の分布把握が難しく、放射強制力には不確実性が大きい。エアロゾルの放射強制力の不確実性を低減し、気候変動を正確に監視・予測するためには、エアロゾルの組成別の情報の正確な把握が必要とされている。(副課題3)

GNSS(全球測位衛星システム)による水蒸気の観測については、気象庁では2009年より地上設置GNSS観測点から鉛直積算水蒸気量を、2014年3月からGSMで天頂遅延量をデータ同化している。GLONASS(ロシア)、GALILEO(欧州)、準天頂衛星(日本)等の近年の複数GNSS化に伴い増加する視線方向遅延量の解析技術の高度化、移動体での水蒸気量観測・解析技術の高度化、反射波による干渉を利用した土壌水分や積雪深、潮汐解析の研究が進展している。さらに最新の電離層研究を活用し、低廉な一周波受信機を利用した水蒸気量解析の研究も進められている。水蒸気ライダーについては、ラマンライダーを用いた鉛直分布の観測をデータ同化した際の精度向上についての技術の開発が進み、また、現業利用に適すると考えられる差分吸収法ライダー(DIAL)については測器の開発が盛んに行われている。(副課題4)

令和2年7月豪雨では多数の線状降水帯が発生し、球磨川の氾濫などの災害を引き起こした。線状降水帯による豪雨予測の精度向上のため、船舶に搭載したGNSSによる可降水量観測、水蒸気ライダーによる線状降水帯に供給される水蒸気量の鉛直プロファイル観測など、水蒸気分布の正確な把握が望まれている。(副課題4)

(気象業務での意義)

全球数値予報システムは気象業務の最も重要な技術基盤の一つであり、その精度向上には全球スケールでのデータ同化技術の改良が不可欠となっている。全球数値予報システムの精度向上は、防災情報の精度向上に資するだけでなく、2週間より長い時間スケールを対象とする解析予測システムの技術基盤にもなっており、波及効果は非常に大きい。衛星データ同化手法の改良は、数値予報の改善に向けて不可欠であり、情報基盤部数値予報課から特に「全天候域での輝度温度同化」の技

術開発を要望されている。また新規データの有効性の実証などへの期待も高い。さらに情報基盤部気象衛星課からは、「ひまわり後継衛星搭載センサのインパクト調査」を要望されている。(副課題1)

数値予報課に対し、次世代のデータ同化システムの方向性を示し、また同化手法の改良につながる知見を提供する。情報基盤部数値予報課、大気海洋部観測整備課に対しては、新規データの観測システムシミュレーション実験(OSSE)等を通じて、データ同化に有効な観測データを開拓し、予測を改善する観測データの条件等の知見を提供する。メソアンサンブル予報の現業的利用が令和元年6月から開始された。数値予報課、大気海洋部予報課と航空予報室に、メソアンサンブル予報システム改良についての知見を提供する。リードタイムの長い予報を提供できるよう高度なデータ同化手法の開発を行う。(副課題2)

気象衛星課からの要望事項である「ひまわり8/9号プロダクト開発」に対応する。高性能な放射伝達計算に基づいた新規アルゴリズムによる既存プロダクトの改良や新規衛星プロダクトの開発などを行い気象業務に貢献する。大気海洋部環境・海洋気象課からの要望事項であるエーロゾル観測業務における観測測器の校正への支援を行い、同業務の安定実施に貢献する。さらに同業務における新しいエーロゾル情報のためのデータ解析支援の要望に対し、エーロゾル組成毎の情報抽出技術を提供することにより、地球環境変動監視の強化に貢献する。(副課題3)

水蒸気の時・空間構造を高精度・高分解能でとらえることで、線状降水帯等の甚大な災害をもたらす大気現象の機構解明・予測が向上でき、被害の軽減に貢献できる。20km間隔という高い空間密度のGNSSから得られる情報を高度利用することで、面的基盤情報等、気象庁で開発が進められるプロダクトに貢献できる。(副課題4)

研究の目的

(全体)

全球からメソスケールまでのデータ同化技術と、衛星・地上リモートセンシング及び直接観測データを利用した監視・予測技術の開発による「台風、集中豪雨等の監視・予測精度向上」を目的とする。

(副課題1)

全球データ同化・衛星同化の改善による「全球数値予報システムを用いる気象庁の様々な大気・海洋・環境予測・解析精度の高度化」を目的とする。

(副課題2)

メソスケールの大気現象に向けたデータ同化やアンサンブル予報の改良や開発による「顕著現象の予測精度の向上、防災気象情報の高精度化」を目的とする。

(副課題3)

衛星による火山灰物質推定や火山灰雲の物理量推定という新しい「火山灰情報の提供」、広く一般の大気・地表面の放射伝達計算に適用できる「粒子形状・散乱モデル開発の提供」、エーロゾル監視技術の高度化による「気候及び地球環境変動における社会課題の1つである黒色炭素や硫酸塩等の人為起源気候汚染物質による地球環境変動の把握」を目的とする。

(副課題4)

水蒸気ライダーやGNSS水蒸気観測で得られる水蒸気情報の強化による「水蒸気観測技術の確立」や「線状降水帯など災害をもたらす予測の難しい気象現象の理解と予測改善」を目的とする。

研究の目標

(全体)

目的を達成するため、以下を行う。

- ・シビア現象の予測精度の向上のためのデータ同化技術の改良やアンサンブル予報技術の開発の開発(副課題1,2)
- ・静止気象衛星ひまわり8、9号等の衛星データを有効かつ効率的に同化する技術の改良と大気放射収支及びエーロゾル・雲の監視技術の改良(副課題1,3)
- ・大気中の水蒸気などの観測技術の開発・改良とその有効性の評価(副課題4)

(副課題1)**(a) 衛星データ同化の改良**

全天候域での衛星輝度温度同化など、衛星同化手法の新しい開発や、新規衛星データの導入を行う。ひまわり後継衛星等の将来の衛星観測を評価し、観測システムシステムを検討するため OSSE を実施する。

(b) 全球データ同化システムの改良

アンサンブルを用いた全球データ同化手法の開発・改良や、観測情報の拡充、モデル誤差の影響の軽減によって、より多くの観測情報をより効果的に同化する。

(副課題2)**(a) シビア現象に適用する高解像度非線形同化システムの開発**

非線形性・非ガウス性が卓越しているシビア現象を念頭に高解像度同化システムを開発する。

(b) 領域モデルを対象にした高頻度・高密度な観測ビッグデータの同化法の開発

高頻度・高密度な観測データを同化する手法を開発し、さらに観測誤差相関への対処法を開発する。

(c) 領域モデルを対象にしたアンサンブル予報の摂動作成法の検証

シビア現象を想定したアンサンブル予報の摂動作成法の改良と検証を行う。

(副課題3)**(a) ひまわり等衛星データを利用した大気・地表面リトリーバル手法の開発**

最適雲推定 (OCA) アルゴリズムや機械学習を用いた高度な雲物理情報の抽出技術を開発する。またエアロゾル効果の改良などによる高精度の日射量推定を実現する。ひまわり観測を用いた晴天域不安定指数や地表面射出率の推定を行い、その有効性を評価する。

(b) ひまわりを用いた火山灰物理量推定アルゴリズムの開発

赤外サウンダ観測を利用した火山灰物質情報の推定技術を用いて、NOAA/NESDIS (アメリカ海洋大気庁、国立気象衛星データ情報サービス) から導入したひまわり火山灰アルゴリズム (VOLCAT) を改良し、火山灰物理量の推定精度を向上させる。また最適雲解析 (OCA) アルゴリズムを利用した、ひまわり 8/9 号による最適火山灰推定アルゴリズム (OVAA) の新規開発を実施する。

(c) 大気・地表面放射モデルの改良

エアロゾル粒子モデルを開発・改良し、ひまわりや衛星複合センサ解析手法の開発を行う。また、ひまわり後継機やひまわり 8/9 号を含む複合的な衛星データ解析に対応した高精度な大気放射計算手法の開発を行う。

(d) 大気放射収支の変動及びエアロゾル・雲の監視技術の高度化

日射・大気放射エネルギー及びスペクトル観測技術の開発、及び、エアロゾル・雲等の推定技術の開発を行い、大気放射場の変動とその要因の監視技術を確立する。また、大気放射場の変動やその要因について解析を行う。

(副課題4)**(a) 水蒸気ライダー**

GNSS、水蒸気ライダーを含む複数の観測機器を統合し、水蒸気の時・空間構造を高精度でとらえる手法を開発する。船舶 GNSS による海上での水蒸気観測手法の実用化に取り組む。水蒸気ライダーの観測・開発及び現業化に向けた最適な観測ネットワークの検討を行う。

(b) 船舶 GNSS

水蒸気ライダーや GNSS の観測・データ解析技術の開発・改良を行い、既存の観測網に加え地上デジタル波、レーダー電波の位相等新たなリモセン機器と統合処理し、水蒸気の時・空間構造を高精度でとらえる手法の開発を実施することで、豪雨をもたらす気象現象の機構解明・予測に資する。

(c) 水蒸気の時・空間構造解析

地上リモセン技術等を用いた水蒸気等の鉛直構造解析を行い、局地的大雨や集中豪雨の発生予測等に資する。

研究成果

(1) 今年度得られた成果の概要

研究の目標（全体）の項目に従って主な成果を挙げたい（詳細は、下の副課題毎の成果リストを参照いただきたい）。

「シビア現象の予測精度の向上のためのデータ同化技術の改良やアンサンブル予報技術の開発」（副課題 1, 2）

- ・データ同化による非現実的な水蒸気分布に起因する予報初期の降水再現性問題を水蒸気分布に関する拘束条件を評価関数に適切に与えることで降水予測を改善した。
- ・100 メンバーのアンサンブルを用いたハイブリッド 4D-Var データ同化システムを開発し、豪雨事例において、ハイブリッド 4D-Var は、従来の 4D-Var よりも、降水予測を改善することを示した。
- ・機械学習手法を用いた同化手法の開発にも取り組み、機械学習手法により非ガウス分布する観測データが同化可能である事を示した。
- ・全球データ同化システムの改良。観測誤差相関（水平、チャンネル間）の導入や高度化による観測情報の拡充、アンサンブルを用いた変分法同化システムの高度化を行った。

「静止気象衛星ひまわり 8、9 号等の衛星データを有効かつ効率的に同化する技術の改良と大気放射収支及びエアロゾル・雲の監視技術の改良」（副課題 1, 3）

- ・衛星データ同化の改良。風ライダー搭載衛星 Aeolus の視線風速、「ひまわり」の全天候域での輝度温度、マイクロ波センサの陸面での輝度温度などの同化について処理の高度化を行った。またハイパースペクトル赤外サウンダによる多チャンネル情報を有効に活用するための同化手法の改良を進めた。
- ・赤外サウンダデータによる火山灰物質情報の推定と、その結果を利用したひまわり/GCOM-C 解析を複数の火山噴火事例について実施し、この複合衛星アルゴリズムが有効であることを確認した
- ・スカイラジオメータとライダーの地上観測データを複合解析することにより、境界層高度およびエアロゾル組成（水溶性・光吸収性・ダスト・海塩）の鉛直分布を導出。

「大気中の水蒸気などの観測技術の開発・改良とその有効性の評価」（副課題 4）

- ・梅雨期九州での水蒸気ライダーによる下層水蒸気鉛直構造の連続観測に成功し、データ同化実験による豪雨発生機構を解析した。
- ・船舶搭載 GNSS 装置による海上での水蒸気リアルタイム連続観測システムを構築し、気象庁と協力して気象庁観測船と海上保安庁測量船に実装し、海上での水蒸気リアルタイム連続観測を実現した。

今年度の各副課題の詳細な成果を以下に示す。

(副課題 1)

(a) 衛星データ同化の改良

- ・ひまわり後継衛星への搭載を検討しているハイパースペクトル赤外サウンダのインパクト調査のため、OSSE を実行している。令和 3 年度は、令和 2 年 7 月豪雨事例に対するインパクトの調査や、気温・水蒸気プロファイルを算出する 1 次元変分法処理 (1DVar) の改良、メソ同化システムへの 1DVar 出力の同化インパクト調査などを行った。
- ・ひまわり 8 号の全天候輝度温度データの同化に向けて、雲の効果を考慮した品質管理や観測誤差モデルの改良や、バイアス補正や観測誤差相関の導入などを行った。また全天候輝度温度のモデル計算値バイアスの原因について調べるため、全球モデルや放射伝達モデル、観測校正精度を調べた結果、モデルの雲過少バイアスの寄与が最も大きいことが分かった。このモデルバイアス特性について、数値予報課の全球モデル開発者と共有したほか、査読付き論文でも報告した。
- ・晴天輝度温度データについて、下層気温に感度を持つバンド 16 を新たに同化するため、品質管理処理の開発を行い、検証を行っている。バンド 16 のように大気透過率が高く地表面の影響を受ける晴天放射輝度温度を同化するには、放射計算に用いる地表面パラメータの精度が重要である。地表面パラメータとして用いる地表面温度を窓バンドの晴天放射輝度温度からリトリーブし、GCOM-C 衛星による地表面温度プロダクトをリファレンスとして検証を行った結果、従来用いられているモデル第一推定値の地表面温度よりもリトリーブ地表面温度の方が高精度であることが分かった。バンド

16 の晴天放射輝度温度データを同化した結果、リトリブ地表面温度を用いた方が解析・予測精度が改善することを確認した。

- ・マイクロ波輝度温度同化における陸域高度利用を行うため、マイクロ波気温サウンダに対して陸面射出率の動的推定手法 (DE) を開発し、気象研全球 NAPEX に導入し検証した。また DE においては地表面温度が重要であり、観測からリトリブした地表面温度を DE 推定に使うことで、第一推定値の精度向上を確認した。さらに陸域の雨域による悪影響を抑えるため品質管理処理を開発している。
- ・衛星搭載ドップラー風ライダー (DWL) の同化や将来の実現に向けて、同化処理の開発・改良、OSSE を実施している。さらに DWL を搭載した新規衛星 Aeolus が観測する実データを取得し、品質評価・同化実験を行った。その結果、気象庁全球解析システム相当の実験設定において、Aeolus データ同化による解析・予測精度への大きな正のインパクトが確認された。これらの研究結果について、国内外のワークショップや学会等で発表した。数値予報課観測データチーム合同勉強会で成果を報告し、数値予報課の担当者に Aeolus データ取得方法や品質調査ツール、データ同化モジュールの共有を行った。また、台風など顕著現象の観測可能性や、観測された場合の同化インクリメント調査などの事例検証を進めた。
- ・ハイパースペクトル赤外サウンダがもつ観測情報を有効に活用するため、主成分スコアを同化するための研究を進めている。今年度は、主成分から導出した再構成輝度温度を扱えるよう環境を整備し、EUMETSAT が配布している主成分スコアデータを利用した同化サイクル実験を実施した。主成分の項数を小さくして情報を低減したときの予報精度への影響を明らかにした。また、スペクトルデータのチャンネル間相関を考慮した同化を実行するためのシステムを整備し、同化実験を開始した。さらに、主成分スコアデータに基づくチャンネル選択のための基礎調査を実施した。

(b) 全球データ同化システムの改良

- ・アンサンブル生成と決定論的解析を一つの変分法同化システムで行う同化システムの研究を気象研全球 NAPEX 上で進めている。アンサンブル解像度を 20km に高解像度化したシステムの構築や、解析場の物理バランスを改善するスキームの理論構築を行った。
- ・水物質の情報をもった観測の高度利用のために、マイクロ波輝度温度観測の誤差共分散行列構造の流れ依存性を扱えるように拡張したデータ同化システムでサイクル実験を行い、予報精度が改善することを示した。
- ・同化システムの理論整合性の観点から、衛星輝度温度観測のグロスエラーチェック閾値を一律にデータのガウス分布標準偏差の 4 倍まで拡大した。予測精度は概ね維持され、統計の歪みが少ない同化システムとなることがわかった。
- ・変分法バイアス補正のリファレンス観測の観点から、GNSS 衛星掩蔽観測の対流圏中下層の同化データを拡充した。予報精度が中立から改善となることが分かった。
- ・感度解析を応用した超高精度な解析場 (真値代替場) の高解像度化 (水平 20km、鉛直 100 層) について、引き続き DWL の OSSE の真値代替場として利用した。
- ・誤差共分散行列の客観推定によって、同化された観測の解析や予報場へのインパクトがどのように変化するのかを評価した。水物質や水蒸気に感度をもつマイクロ波イメージャのインパクトが増加するなど、期待した効果が得られていることが分かった。
- ・モデル予測の系統的な誤差の要因の一つである海面水温の解析精度向上及び境界付近の観測の高度利用のために、海面水温解析を大気解析と同時にを行うように大気解析を拡張する研究について、衛星データの増強や解析手法の高度化を図った。
- ・局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (LETKF) に粒子フィルタを組み合わせることで、背景誤差が非ガウス分布となる場合にも対応できるハイブリッドシステムを、簡易大循環モデルで開発した。共分散膨張手法を multiplicative inflation からリラクゼーション手法に変更してもハイブリッドシステムの利点は損なわれないことを確認した。また共著として参加していたブエノスアイレス大学の Juan Ruiz 氏による非ガウス分布に関する論文 (査読付き) が EGU の Nonlinear Processes in Geophysics に掲載された。

(副課題 2)

(a) シンビア現象に適用する高解像度非線形同化システムの開発

- ・データ同化による非現実的な水蒸気分布 (過飽和や負の水蒸気量状態) に起因する予報初期の降水再現性問題 (スピンドアウン・スピニアップ問題) について、変分法の枠組みで水蒸気分布に関する拘束条件を評価関数に適切に与えることで、この問題が軽減できることを示し、論文として出版した。

- ・100 メンバーの 4D-Var データ同化システムのアンサンブルを用いたハイブリッド 4D-Var データ同化サイクルを実行した。豪雨事例において、ハイブリッド 4D-Var は、従来の 4D-Var よりも、降水予測を改善することを示した。
- (b) 領域モデルを対象にした高頻度・高密度な観測ビッグデータの同化法の開発
- ・ドップラー速度観測誤差の統計診断の感度実験を行った。セル平均により測器誤差などスケールの小さい誤差成分の減少、流れに依存する背景誤差により代表性誤差のスケールの大きい成分の減少がみられた。インクリメントのスケールの分析を行い、流れに依存する背景誤差により高波数成分の増加がみられた。この成果について論文として出版した。
- ・流れに依存する背景誤差のスケール依存性を同化で考慮するためウェーブレット制御変数を導入し、スケールに応じた特性がインクリメントに反映されることを確認した。
- ・シーロメーターで推定する境界層の上端の高度について、事例ごとに大きく様相が異なり、一般的な推定法の作成が難しいことが分かった。
- ・船舶搭載 GNSS で観測した可降水量について、気象研メソ NAPEX（メソスケール大気データ同化実験システム）を用いて同化実験を行った。船舶搭載 GNSS 可降水量を同化すると予測精度が改善することを示し、研究成果を論文化した。
- ・合成開口レーダー（SAR）の海上風プロダクト同化のインパクトを調査した。極端現象における観測データの有効活用のため、観測誤差分布関数として非ガウス分布である Huber 損失関数を導入し台風事例を対象に同化実験を行った。SAR 同化によって台風強度予測が改善する事例があることを示した。
- ・次期衛星のハイパースペクトル赤外サウンダのインパクト調査のため、令和 2 年 7 月豪雨の事例について OSSE を行い、サウンダの疑似観測（温度や湿度の鉛直プロファイル）が降水予報を改善することを示した。平成 30 年 7 月豪雨で、より現実に近い 1 次元変分法（1D-Var）リトリーバル疑似観測データ（T1 課題の成果）を用いた OSSE を行い、鉛直プロファイルを用いた場合よりインパクトの幅は縮小するものの改善が維持されることを示した。
- ・中国が運用している世界初の静止気象衛星搭載赤外サウンダ GIIRS のデータ品質や後継機の動向について国際会議等で最新の情報を収集・分析し、GIIRS 固有の時間変化バイアスの成因が分かった。その最新の状況について、解説を加えて庁内気象衛星利用検討チーム（赤外サウンダ OSE/OSSE 班）に報告・共有した。
- ・気象研メソ NAPEX を用いて、同化前データ品質管理におけるハイパースペクトル赤外サウンダの観測誤差の統計的な特徴を調査した。チャンネルによって様々なバイアスの傾向が見られたことから、まずは同化利用するチャンネルを精査する必要があることが分かった。
- ・AI（人工知能）分野で開発されたアルゴリズムを援用して昨年度開発した非ガウス分布する高次元データをガウス分布する低次元データに変換できる技術について、訓練データから逸脱した観測データが自動的に除去される機構が働くことを見出し、品質管理手法としても活用できることを確認した。
- ・ライダー品質管理に関して理化学研究所との共同研究の下、AI を用いたノイズ除去手法を開発し、従来手法を 30%以上改善する成果を得ることができた。
- ・アンサンブルデータ同化システムを利用したアジョイント法を基にした確率的最適観測法を考案した。線状降水帯事例を対象に事後解析を行い、手法の有用性の確認を進めている。
- (c) 領域モデルを対象にしたアンサンブル予報の摂動作成法の改良
- ・1000 メンバーによる大アンサンブル LETKF によって、2019 年東日本台風に対して風向および風速に関する確率予測を精度良く行えることを示した。
- ・ローレンツ 96 モデルによる実験では、AI とアンサンブルカルマンフィルタを組み合わせることで少数メンバーかつ非線形が強い場合でも、精度を保てることが分かった。
- ・これまで広く利用されてきた一変数回帰に基づくアンサンブル感度解析が、摂動のガウス性を仮定した場合には多変量回帰と一致することを発見し、多変量相関分析に基づく感度解析の定式化が有次元の物理量の感度解析にはより適していることを理論的に示した。
- ・ローレンツ 96 モデルによる局所粒子フィルタ（LPF）の実装及び検証を進めている。その中で、観測誤差が大きい場合、または観測密度の粗密にコントラストをつけた場合において、LPF の解析精度がアンサンブルカルマンフィルタに及ばないものの比較できる程度にまで小さくなることを示した。

- ・平成30年豪雨について、メソアンサンブル予報と1km格子の数値予報モデルの出力を用いて、それぞれの豪雨の降水量と環境場の関係を仲介させることによって、メソアンサンブル予報の豪雨予測が改善できる可能性があることを示した。

(副課題3)

(a) ひまわり等衛星データを利用した大気・地表面リトリバル手法の開発

- ・大気不安定指数について、ひまわり後継衛星に搭載を計画している赤外ハイパースペクトルサウンダを想定したシミュレーション研究を行っている。欧州の衛星に搭載予定の赤外サウンダ疑似観測を想定した気温・水蒸気プロファイル推定手法を開発し、フィージビリティ調査を行っている。また、開発したアルゴリズムを現在運用されている赤外サウンダ観測にも導入し、台風中心部等における大気プロファイル推定の有効性についても調査を行った。

(b) ひまわりを用いた火山灰物理量推定アルゴリズムの開発

- ・新たに開発した赤外サウンダ用高速スペクトルシミュレータ(MBCRM)について。複数の火山噴火事例に対して赤外サウンダデータとMBCRMを用いた火山灰物質の推定を行い、論文としてその成果を発表した。
- ・OCAを改良し、ひまわり8号とGCOM-Cが観測した火山灰雲を独自アルゴリズムで解析できるようにした。噴火事例解析を開始し、火山灰物質情報の依存性について調査しており、NOAA/NESDISの火山灰アルゴリズム(VOLCAT)と比較調査を行っている

(c) 大気・地表面放射モデルの改良

- ・マイクロCT(断層撮影法)データから抽出した霰の3次元形状を使い、密度や含水率をパラメータとした新しい霰粒子モデルを開発した。DDA法を用いた粒子散乱計算により、Cバンドレーダー反射特性データセットを作成した。
- ・海氷の波長別偏光特性を調べるための大気-積雪・海氷系放射伝達モデルを開発した。
- ・A-Trainの衛星搭載イメージャとライダーによるエアロゾル組成プロダクトについて、観測誤差や解析手法の仮定に伴う不確定性を評価した。黒色炭素の光学的厚さの推定結果に±100%程度の大きな不確定性が見られたが、水溶性、ダスト、海塩については±20%程度であった。
- ・2023年に打ち上げを予定しているEarthCARE衛星に関して、イメージャとライダーによるエアロゾル組成プロダクトを宇宙航空研究開発機構(JAXA)の開発サーバへの移植と動作確認を実施した。

(d) 大気放射収支の変動及びエアロゾル・雲の監視技術の高度化

- ・気象庁のスカイラジオメータの現業観測、サイエンスコミュニティによるスカイラジオメータの地上観測網(SKYNET)を対象に開発しているスカイラジオメータのエアロゾルプロダクトについて、新しい非球形粒子モデルを導入したソフトウェアパッケージを開発し、Skyrad pack MRI version 2.1として関係者に共有した。
- ・スカイラジオメータとライダーからエアロゾル組成の鉛直分布を推定する手法を開発した。そして、約15年のSKYENTとAD-Netの長期データの解析に着手した。
- ・全天カメラによる雲の分布、雲底高度の分布の導出手法について、アルゴリズムを改良し、目視観測データを使って検証した。雲量は、約82%の正解率で、先行研究と同等か少し良い結果であった。雲底高度の分布について多層構造をとらえることができたか否かを検証したところ、目視観測と一致して多層構造を判別出来たのはわずか約5%であった。約80%は多層構造の判別に失敗した。
- ・南極観測事務室に協力し、南極において光源を太陽光・月光とするスカイラジオメータの観測を開始した。
- ・大気海洋部環境・海洋気象課と南極観測隊によるスカイラジオメータ観測の安定運用に向け、検定観測・解析に係る技術提供とハードウェア特性に関する知見の情報共有を継続して行った。
- ・スカイラジオメータの検出器用温調器交換による精度向上化とセンサ内部温度計の追加を施し、温度特性評価のための改良を行った。
- ・2020年8月上旬に沖縄(宮古島)と福岡でスカイラジオメータが捉えた西之島からの火山起源煙霧のデータ解析を行い、その結果をリモートセンシング学会誌に投稿し、受理された。

(副課題4)**(a) 水蒸気ライダー**

- ・水蒸気ラマンライダーによる観測（長崎および関東）を行った。
- ・観測データを副課題2に同化用データとして提供した。
- ・人工知能を利用した観測データの品質管理、デノイズ手法、及び最適な鉛直・時間解像度を評価する手法を開発した
- ・都立大と共同で水蒸気 DIAL の開発に取り組んだ。
- ・長崎における水蒸気ラマンライダー観測で得られた水蒸気プロファイルのデータ同化実験を行い、事例によっては降水予測の改善が得られることを確認した
- ・海上観測を補強するため、凌風丸、啓風丸における東シナ海ゾンデ観測に使用する装置の支援を行った。

(b) 船舶搭載 GNSS

- ・気象庁と協力し、気象庁観測船、海上保安庁測量船への GNSS 水蒸気観測装置の実装を行った。データ取得率 97%超、高層ゾンデやメソ解析との比較で RMS2.5mm 未満の一致度を得た。2021 年 8 月 31 日より現業メソ解析で利用が開始された。
- ・引き続き、九州西方を航行する船舶に搭載した GNSS から可降水量を解析し、精度評価を行うとともに、副課題2に同化用データとして提供した。
- ・船舶搭載 GNSS 解析による鉛直高度時間変化から波浪を解析するプロトタイプを作成した。アンテナの傾斜の影響を補正するため、傾斜計による観測を開始した。
- ・船舶 GNSS 機器の小型化に向けた検討を行い、超小型 PC による解析試験を実施し、1 週間程度であれば問題なく解析可能であることを確認した。

(2) 当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）**(副課題1)**

変更なし。

(副課題2)

事前評価時（平成 30 年 11 月）には、研究内容を「高度なアンサンブル予報の利用法や摂動作成法の高度化」としていたが、「高度なアンサンブル予報の利用法」については応用気象研究部が行うこととし、副課題2では「アンサンブル摂動作成法の改良」に特化することとした。「陸面・都市・海洋等の結合同化の有効性を調べ、有効な場合にはそれらの開発を行う」ことを取りやめにした。

(副課題3)

NOAA/NESDIS から導入したひまわり火山灰アルゴリズム (VOLCAT) は、アルゴリズムの特殊性などの理由で当初考えていた改良が難しいことがわかってきた。VOLCAT については次のバージョンアップによる改善の調査と気象研開発の火山灰アルゴリズム (OVAA) との比較実験を行い、気象研での開発は OVAA を主とすることにした。

(副課題4)

変更なし。

(3) 成果の他の研究への波及状況**(副課題1) 衛星データ同化技術及び全球同化システムの改良**

- ・本課題で整備している気象研全球 NAPEX は、大気海洋結合同化に関する研究(M 課題)でも基盤システムとして用いられている他、全球モデル検証や他の課題に関連した観測システム実験でも利用されている。
- ・観測インパクト調査や気象研メソ NAPEX 導入、気象庁本庁の計算機移植、JAXA 等の庁外研究機関との協力等にも有効な環境や情報を提供している。観測誤差共分散行列の高精度推定による観測情報の拡充については、現業化を目指して数値予報課と協力して進めている。
- ・Aeolus 衛星やひまわり輝度温度高度利用についても、数値予報課と緊密に情報を共有しながら進めている。
- ・衛星搭載 DWL 同化について、JAXA や東京都立大学と連携して進めており、日本における将来の DWL

検討や衛星シミュレータ高度化に寄与している。

(副課題2) メソスケール高解像度同化システム及びアンサンブル摂動作成法の改良

- ・NHM-LETKF を用いたアンサンブル同化システムは、「ポスト『京』」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発、重点課題④「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」や「富岳」成果創出加速プログラム「防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測」、「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」『V. 線状降水帯の早期発生及び発達予測情報の高度化と利活用に関する研究』」、筑波大学との共同研究において用いられている。また AI を用いたモデルパラメータ推定やライダー品質管理手法は理化学研究所 AIP と気象庁の共同研究の成果となる。
- ・SAR データ同化によって台風予報に対するインパクトを調べた JAXA との共同研究に基づく。

(副課題3) 衛星・地上放射観測および放射計算・解析技術の開発

- ・本研究で開発した昼夜対応の全天カメラについて、高層気象台、東北大学、環境研からの希望で導入を手伝った。
- ・スカイラジオメータの解析ソフト Skyrad pack MRI version 2.1 を応用し、インドの国立大気科学研究所の研究者と共同で、SAGEⅢ/ISS のリムサウンディングによる成層圏エアロゾルの光学的厚さの観測からエアロゾルの数濃度粒径分布を導出する手法を開発した。
- ・全天カメラの校正手法を、JAXA、山梨大学、千葉大学と共同で開発中の GOSAT シリーズ地上検証用のカメラ型分光放射計に応用したソフトウェアを開発し、プログラムを共有した。
- ・産総研（フラックスネット）、環境研（GOSAT/GOSAT-2 検証）、金沢工大などのスカイラジオメータは、気象研究所の基準器と比較検定することで観測精度を維持しており、それぞれの機関の研究推進に貢献した。また、比較検定されたスカイラジオメータは地球観測衛星 GCOM-C の地上検証で使用されている。
- ・2020 年 8 月上旬に福岡に到達した西之島火山性由来気塊の地上 In-situ 観測データの解析では、気象研究所の BC 測定器のデータが使われ、研究成果が福岡大学総合研究所ニュース&レポートにおいて報告されている。

(副課題4) 地上リモートセンシング技術及びそれらをコアとした水蒸気等の観測

技術に関する研究

- ・船舶搭載 GNSS に関し、国産測位衛星システムである準天頂衛星システムから 配信される軌道情報を利用しており、内閣府準天頂衛星システム戦略室が注目している。

(4) 事前・中間評価の結果の研究への反映状況

中間評価において、以下のような評価をいただきました。

- ・適切な副課題を設定し、新しい観測の取り込みや、データ同化技術の高度化が精力的に進められている。非常に順調に計画が進んでおり、現時点で既に分かりやすい成果が十分に挙げられている。
- ・特に船舶 GNSS の観測結果をもとに線状降水帯の予測が改善されたという結果は社会的にもインパクトのある成果になっている。
- ・線状降水帯などの集中豪雨の予測可能性なども精力的に調べられており、メンバー数を大幅に増やすことにより予測精度が向上することが示され、将来の展開が期待される。
- ・新規衛星 Aeolous の風データの同化のインパクト調査、非線形性・非ガウス性現象に強い粒子フィルタの開発なども成果が出ている。メソスケール以外の全球スケールの課題も着実に成果を挙げている。
- ・今年度は新型コロナウイルス感染拡大によって、観測研究全体が非常に困難な状況で実施を迫られることになった。そんな中、遅滞なく成果を挙げていることは特筆に値する。

中間評価でいただいた次の指摘事項について、以下の様に対応しています。

（コメント）学術界では、高度に複雑化したデータ同化技術を用いて研究を展開すること必ずしも容易ではない。しかし、最新システムを用いた様々な角度からの研究が展開できれば、官・学の両者にとって有益であろう。気象庁・気象研の限られた資源の範囲のとどめず、「学」も巻き込んで広く研究を展開するよう心掛けて頂きたい。

(対応) データ同化技術を用いる研究については、複数の「データ同化」の取り組みを含む「大学との共同研究」等に取り組んでいる。緊急研究「集中観測等による線状降水帯の機構解明研究」でも、現業同化システムを大学の研究者の方に使っていただく課題が進められていて、気象観測研究部でも協力する形で進めたい。

(コメント) 衛星・地上放射観測および放射計算・解析技術の開発については、九州・沖縄でのスカイラジオメータ観測解析の結果が報告された。今後は SKYNET や AERONET による多地点観測網の観測データを融合していくような研究が進むと発展性が高まるのではないかと。

(対応) 観測データの融合に関連して、Skyrad pack MRI version 2 の検証のために、ヨーロッパの研究者と SKYNET と AERONET のプロダクトの比較を進めている。

(コメント) 海上の水蒸気の観測が重要であることが示されたのであれば、それを機動的に観測する方法として、航空機による観測を検討されるべきではないかと。

(対応) 航空機観測は、気象研究所の緊急研究「集中観測等による線状降水帯機構解明研究」でも検討したが残念ながら進めることができなかった。科研費でも関東地方を対象にした航空機観測を取り入れた課題を提案したが採択されていない状況なので、引き続き、民間航空機の観測データである MODE-S データ等の利用を含め、検討をしていきたい。

(コメント) 研究としての意義、面白さと社会実装の適否はかならずしも一致しない。出口を見据えて、つねにフィードバックをかけてほしい。

(対応) 出口として、学会や論文による発表に加えて、気象庁の現業システムでの利用が挙げられる。今後も、「防災」と「学術」を両方に貢献できる研究を推進していきたい。

今後の研究の進め方

(副課題 1)

現在、進めている各衛星データ同化や全球データ同化処理開発は、引き続き改良や詳細な検証を進める。特に陸域での輝度温度データ同化手法の高度化やひまわり 8 号晴天輝度温度観測の利用バンド拡大、観測誤差相関を考慮した高密度化や観測誤差の最適化は、現業数値予報システムへの数年以内の導入を予定しており、数値予報課との連携を強化する。さらにその先を見据えた研究・開発、例えば、全天候での赤外輝度温度同化、Aeolus 同化処理の高度化、ハイパースペクトル赤外サウンダの高度な処理、アンサンブルを用いた同化システム、場に依存した誤差相関処理、海面水温等境界付近の観測の同化などの研究開発を着実に進める。ひまわり後継衛星や DWL の観測システムを検討するための OSSE は、本庁や JAXA 等と連携しながら、より多くの事例での調査や同化処理の高度化等を行う。

(副課題 2)

シビア現象に適用する高解像度非線形同化システムの開発については、ハイブリッド 4D-Var や粒子フィルタ (LETKF とのハイブリッドを含む) の開発を進めていく。さらにこれらが特に非線形・非ガウスとなる強雨時に有効であることを確認する。領域モデルを対象にした高頻度・高密度な観測ビッグデータの同化法の開発では、観測ビッグデータにおける誤差相関を陽に考慮し、その効果を発揮するために導入したウェーブレット空間に定義する制御変数による分析などさらなる調査を続けていく。また非ガウス性の強い観測データの同化手法として AI による手法を試みる。さらに様々な先端観測データの予測へのインパクトを調査し、その有用性を確認する。領域モデルを対象にしたアンサンブル予報の摂動作成法の改良では、1000 メンバーのような大アンサンブル実験によって得られるアンサンブルスプレッドなどを参照として、より高度な摂動作成法を開発していく。

(副課題 3)

赤外サウンダ観測を利用した火山灰物質推定と、それに対応した散乱特性テーブルを用いたひまわり/GCOM-C の火山灰雲解析を継続して実施し、その結果をまとめる。X線マイクロ CT データより開発した霰・雪片モデルについてのレーダー偏波特性データベースの開発を継続して行う。雲・エアロゾル・放射に関連した、地上・衛星リモートセンシングプロダクトについて、概ね計画どおり順調に進捗している。今後も計画通り研究を推進する。地上エアロゾル光学特性等の連続観測及びデータ解析、分光日射観測システムの開発及び同システムを利用した連続観測を実施し、放射計校正技術の開発を

継続する。

(副課題 4)

引き続き令和4年度まで、水蒸気ライダーは第2期SIP、船舶GNSS観測は科研費課題で観測を行う。観測データを副課題2に提供するとともに、データ同化実験を行い、線状降水帯等の豪雨の機構解明と予測の改善を目指す。また、次世代型の水蒸気ライダー技術であるDIALについて、観測高度上限の高度化、船舶搭載技術の開発を進める。船舶搭載GNSS観測では、船体揺動の影響評価、及びシステムの小型化を検討するとともに、波浪計や海面高度計としての利用可能性を検討する。

研究成果リスト

(1) 査読論文：23件

1. M. Campanelli, H. Diemoz, A. M. Siani, A. di Sarra, A. M. Iannarelli, R. Kudo, G. Fasano, G. Casasanta, L. Tofful, M. Cacciani, P. Sano, and S. Dietrich, 2022: Aerosol optical characteristics in the urban area of Rome, Italy, and their impact on the UV index. *Atmospheric Measurement Techniques*, 15, 1171-1183.
2. Jin, Y., T. Nishizawa, N. Sugimoto, S. Takakura, Ma. Aoki, S. Ishii, A. Yamazaki, R. Kudo, K. Yumimoto, K. Sato, and H. Okamoto, 2022: Demonstration of aerosol profile measurement with a dual-wavelength high-spectral-resolution lidar using a scanning interferometer. *Applied Optics*, 61, 3523-3532.
3. Khatrri, P., T. Hayasaka, H. Irie, H. Letu, T. Y. Nakajima, H. Ishimoto, T. Takamura, 2022: Quality assessment of Second-generation Global Imager (SGLI)-observed cloud properties using SKYNET surface observation data. *Atmospheric Measurement Techniques*, 15, 1967-1982.
4. T. T. N. Trieu, I. Morino, O. Uchino, Y. Tsutsumi, T. Sakai, T. Nagai, A. Yamazaki, H. Okumura, K. Arai, K. Shiomi, D. F. Pollard, and B. Liley, 2022: Influences of aerosols and thin cirrus clouds on GOSAT XCO₂ and XCH₄ using Total Carbon Column Observing Network, sky radiometer, and lidar data. *International Journal of Remote Sensing*, 43, 1770-1799.
5. Fujita, T., H. Seko, and T. Kawabata, 2022: Effects of Flow Dependency Introduced by Background Error in Frequent and Dense Assimilation of Radial Winds Using Observation Error Correlated in Time and Space. *Monthly Weather Review*, 150, 481-503.
6. Letu H., T. Y. Nakajima, T. Wang, H. Shang, R. Ma, K. Yang, A. J. Baran, J. Riedi, H. Ishimoto, M. Yoshida, C. Shi, P. Khatrri, Y. Du, L. Chen, and J. Shi, 2022: A new benchmark for surface radiation products over the East Asia-Pacific region retrieved from the Himawari-8/AHI next-generation geostationary satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103, 873-888.
7. Ikuta, Y., H. Seko, and Y. Shoji, 2022: Assimilation of shipborne precipitable water vapour by Global Navigation Satellite Systems for extreme precipitation events. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 148, 57-75.
8. Ishimoto, H., M. Hayashi, and Y. Mano, 2022: Ash particle refractive index model for simulating the brightness temperature spectrum of volcanic ash clouds from satellite infrared sounder measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 15, 435-458.
9. Ikuta, Y., F. Tadashi, O. Yukinari, and H. Yuki, 2021: Variational Data Assimilation System for Operational Regional Models at Japan Meteorological Agency. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 99, 1563-1592.
10. Ota, Y., M. Sekiguchi, and Y. Sato, 2021: Spatial-Scale Characteristics of a Three-Dimensional Cloud-Resolving Solar Radiation Budget Based on Monte Carlo Radiative Transfer Simulations. *SOLA*, 17, 228-233.

11. Aonashi, K., T. Tashima, T. Kubota, and K. Okamoto, 2021: Introduction of a mixed lognormal probability distribution function and a new displacement correction method for precipitation to the ensemble-based variational assimilation of the all-sky microwave imager brightness temperatures. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 99, 1201-1230.
12. Okamoto, K., M. Hayashi, T. Hashino, M. Nakagawa, and A. Okuyama, 2021: Examination of all-sky infrared radiance simulation of Hiwamari-8 for global data assimilation and model verification. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 147, 1-17. (in press)
13. Li, J., A. J. Geer, K. Okamoto, J. A. Otkin, Z. Liu, W. Han and P. Wang, 2021: Satellite All-sky Infrared Radiance Assimilation: Recent Progress and Future Perspectives. *Advances in Atmospheric Sciences*.
14. Sawada, K., Y. Honda, 2021: A constraint method for supersaturation in a variational data assimilation system. *Monthly Weather Review*, 149, 3703-3724.
15. Kudo, R., H. Diémoz, V. Estellés, M. Campanelli, M. Momoi, F. Marengo, C. L. Ryder, O. Ijima, A. Uchiyama, K. Nakashima, A. Yamazaki, R. Nagasawa, N. Ohkawara, and H. Ishida, 2021: Optimal use of the Prede POM sky radiometer for aerosol, water vapor, and ozone retrievals. *Atmospheric Measurement Techniques*, 14, 3395-3426.
16. Yokota, S., and H. Seko, 2021: Ensemble - based singular value decomposition analysis to clarify the causes of heavy rainfall. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 147, 2244-2263.
17. 山崎明宏, 工藤玲, 白石浩一, 原圭一郎, 高島久洋, 林政彦, 西田千春, 内山明博, 2021: 2020 年 8 月上旬に九州, 沖縄地方でスカイラジオメーターが観測した煙霧時のエアロゾル光学特性. *日本リモートセンシング学会誌*, 41, 551-562.
18. Fasano G., H. Diémoz, I. Fountoulakis, C. Cassardo, Rei Kudo, A. M. Siani, L. Ferrero, 2021: Vertical profile of the clear-sky aerosol direct radiative effect in an Alpine valley, by the synergy of ground-based measurements and radiative transfer simulations. *Bulletin of Atmospheric Science and Technology*, 2.
19. Tanikawa, T., K. Masuda, H. Ishimoto, T. Aoki, M. Hori, M. Niwano, A. Hachikubo, S. Matoba, K. Sugiura, T. Toyota, N. Ohkawara, and K. Stamnes, 2021: Spectral degree of linear polarization and neutral points of polarization in snow and ice surfaces. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 273.
20. Wada A., W. Yanase, K., and K. Okamoto, 2021: Interactions between a Tropical Cyclone and Upper-Tropospheric Cold-Core Lows Simulated by an Atmosphere-Wave-Ocean Coupled Model: A Case Study of Typhoon Jongdari (2018), *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 100, 387-414.
21. Le Duc, T. Kawabata, K. Saito and, T. Oizumi, 2021: Forecasts of the July 2020 Kyushu heavy rain using a 1000-member ensemble Kalman filter, *SOLA*, 17, 41-47.
22. Barreyat, M., P. Chambon, J.-F. Mahfouf, G. Faure, and Y. Ikuta, 2021: A 1D Bayesian inversion applied to GPM Microwave Imager observations: Sensitivity studies. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 99, 1045-1070.
23. Ikuta, Y., M. Satoh, M. Sawada, H. Kusabiraki, and T. Kubota, 2021: Improvement of the Cloud Microphysics Scheme of the Mesoscale Model at the Japan Meteorological Agency Using Spaceborne Radar and Microwave Imager of the Global Precipitation Measurement as Reference, *Monthly Weather Review*, 149, 3803-3819.

(2) 査読論文以外の著作物(翻訳、著書、解説等): 13 件

1. Ikuta, Y., 2022: Chapter 23 – Radar data assimilation in numerical weather prediction models. *Precipitation Science*, 743–756.
2. Miyoshi, T., K. Terasaki, S. Kotsuki, S. Otsuka, Y.-W. Chen, K. Kanemaru, K. Okamoto, K. Kondo, G.-Y. Lien, H. Yashiro, H. Tomita, M. Satoh, and E. Kalnay, 2021: Enhancing data assimilation of GPM observations. *Precipitation Science – Measurement, Remote Sensing, Microphysics, and Modeling*, 787–804.
3. Okamoto, K., M. Hayashi, T. Hashino, M. Nakagawa, and A. Okuyama, 2021: Examination of all-sky infrared radiance simulation of Himawari-8 for global data assimilation. *GSICS quarterly newsletter*, 15, 1–3.
4. Sawada, K., Y. Honda, 2021: Effect of supersaturation constraint in a variational data assimilation system. *WGNE WGNE Research Activities in Earth System Modelling*, 51, 1–19–20.
5. 林昌宏, 和田章義, 小山亮, 2022: ハイパースペクトル赤外サウンダを用いた台風中心部の大気プロファイル解析. 台風研究会 台風予報と防災情報に関する研究集会, 2021K-06, 5–7.
6. 小司禎教, 2022: GPS/GNSS 気象学について. 電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会 協議会だより, 47, 3–4.
7. 今須良一, 岡本幸三, 橋本真喜子, 佐藤世智, 本多嘉明, 2021: 次期静止ミッション検討分科会における赤外サウンダー搭載に向けた検討. *日本リモートセンシング学会誌*, 41, 469–477.
8. 川畑拓矢, 上野玄太, 中野慎也, 藤井陽介, 三好建正, 小守信正, 増田周平, 伊藤耕介, 村上大輔, 大石俊, 青木邦弘, 青梨和正, 2021: 第 11 回データ同化ワークショップの報告. *天気*, 68, 465–468.
9. 川畑拓矢, 荒木健太郎, 清水慎吾, 下瀬健一, 三好建正, 前島康光, 2021: 気象災害委員会・第 54 回メソ気象研究会「令和 2 年 7 月豪雨」報告. *天気*, 68.
10. 石田純一, 和田章義, 梶本英伍, 杉本志織, 三好建正, 澤田謙, 佐藤陽祐, 太田行哉, 2021: 第 22 回非静力学モデルに関するワークショップ開催報告. *天気*, 68, 59–74.
11. 万田敦昌, 西本秀祐, 雨宮新, 川畑拓矢, 伊藤純至, 樫村博基, 2021: 第 21 回非静力学モデルに関するワークショップ開催報告. *天気*, 68, 263–266.
12. 鴨川仁, 吉田智, 森本健志, 2021: みんなの知りたい雷の疑問 56, 成山堂書店, 216pp.
13. 吉田智, 2022: 稲妻と雷の図鑑. 稲妻と雷の図鑑, グラフィック社, 184pp.

(3) 学会等発表

ア. 口頭発表

・国際的な会議・学会等: 22 件

1. Okamoto, K., M. Hayashi, T. Hashino, M. Nakagawa, and A. Okuyama, Examination of all-sky infrared radiance simulation of Himawari-8 for global data assimilation, *GSICS Annual Meeting 2022*, 2022 年 3 月, online, online
2. Kudo, R., H. Diemoz, V. Estelles, M. Campanelli, Masahiro Momoi, F. Marengo, C. L. Ryder, O. Ijima, A. Uchiyama, K. Nakashima, A. Yamazaki, R. Nagasawa, N. Ohkawara, H. Ishida, Y. Jin, and T. Nishizawa, Development of Skyrad pack MRI version 2, 6th International SKYNET workshop, 2021 年 11 月, Japan, online
3. Okamoto, T. Ishibashi, I. Okabe, K., M. Hayashi, T. Hashino, M. Nakagawa, A. Okuyama, All-sky infrared radiance assimilation of Himawari-8 in the JMA global system, Bureau of Meteorology annual R&D workshop 2021, 2021 年 11 月, オンライン, オンライン

4. Okabe, I., K. Okamoto and T. Ishibashi, Impact of Aeolus DWL data assimilation in the JMA' s global data assimilation system, EUMETSAT Meteorological Satellite Conference 2021, 2021 年 9 月, online, online
5. Okamoto, K., M. Hayashi, T. Hashino, M. Nakagawa, A. Okuyama, I. Okabe, and T. Ishibashi, Examination and assimilation of all-sky IR radiances of Himawari-8 in the global data assimilation system at JMA, EUMETSAT Meteorological Satellite Conference 2021, 2021 年 9 月, online, online
6. Ikuta, Y., New Variational Data Assimilation System for Regional Model at JMA, WCRP-WWRP Symposium on Data Assimilation and Reanalysis, 2021 年 9 月, (オンライン)
7. Kawabata T. and G. Ueno, An Adaptive R Estimator with a Storm-Scale Particle Filter, WCRP-WWRP Symposium on Data Assimilation and Reanalysis, 2021 年 9 月, (オンライン)
8. Okamoto, K., H. Owada, T. Fujita, M. Hayashi, M. Kazumori, M. Otsuka, Y. Ota, N. Uekiyo, H. Seko, H. Ishida, H. Ishimoto, and K. Bessho, OSSE for a hyperspectral IR sounder on the Himawari follow-on geostationary satellite, Asia Oceania Geosciences Society 16th Annual Meeting (AOGS2021), 2021 年 8 月, online, online
9. Sakai, T., S. Yoshida, T. Nagai, K. Shiraishi, Y. Shoji, Y. Ikuta, and H. Seko, Compact Mobile Water Vapor Raman Lidar Observations for Heavy Rainfall Prediction in Japan, The Optical Society Optical Sensors and Sensing Congress, 2021 年 7 月, 米国, オンライン
10. Okamoto, K., M. Kachi, and K. Bessho, Status report of space agency: JMA and JAXA, The 23rd International TOVS Study Conference, 2021 年 6 月, オンライン, オンライン
11. Okamoto, K., M. Hayashi, T. Hashino, M. Nakagawa, A. Okuyama, I. Okabe, and T. Ishibashi, Preliminary assimilation of all-sky IR radiances of Himawari-8 in the global data assimilation system at JMA, The 23rd International TOVS Study Conference, 2021 年 6 月, オンライン, オンライン
12. Fujita, T., H. Seko, T. Kawabata, K. Sawada, D. Hotta, and Y. Ikuta, Enhancement in Assimilation of Doppler Radar Radial Winds, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
13. Okamoto. K., H. Owada, T. Fujita, M. Hayashi, and K. Bessho, Recent progress of impact assessment of hyperspectral sounder for a Himawari follow-on satellite, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
14. Okabe, I., and K. Okamoto, Impact of Aeolus DWL data assimilation in the JMA' s global data assimilation system on forecasting skills for typhoons, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
15. Okabe, I., and K. Okamoto, Assessment of Aeolus DWL data and impact of assimilation in the JMA' s global data assimilation system, EGU General Assembly 2021, 2021 年 4 月, オンライン, オンライン
16. Fujita, T., H. Seko, T. Kawabata, K. Sawada, D. Hotta, and Y. Ikuta, Assimilation of Radial Winds with Observation Error Correlated in Time and Space, International Symposium on Data Assimilation - Online, 2021 年 4 月, オンライン
17. Okabe, I., and K. Okamoto, Impact of Aeolus DWL data assimilation in the JMA' s global data assimilation system on forecasting skills for typhoons, 15th International IWWG Workshop, 2021 年 4 月, オンライン, オンライン
18. Sakai, T., T. Nagai, S. Yoshida, Y. Shoji, O. Uchino, I. Morino, A. Ugajin, B. Liley, R. Querel, and K. Sergey, Operations Discussion: open for topics: Calibration altitude, NDACC Lidar Working Group 2021 Annual Meeting, 2021 年 6 月, 米国, オンライン

19. Sakai, T., T. Nagai, S. Yoshida, Y. Shoji, O. Uchino, I. Morino, A. Ugajin, B. Liley, and R. Querel, Lauder aerosols, NDACC Lidar Working Group 2021 Annual Meeting, 2021 年 6 月, 米国, オンライン
20. Yoshida, S., T. Sakai, T. Nagai, Y. Ikuta, Y. Shoji, H. Seko, and K. Shiraishi, Observation and assimilation of vertical profiles of water vapor mixing ratio of low-level inflow associated with MCS, The 14th International Conference on Mesoscale Convective System and High Impact Weather in East Asia, 2021 年 4 月, オンライン
21. Ikuta, Y., Enhancement of Integrated Satellite Simulators for Data Assimilation, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, (オンライン)
22. Ikuta, Y., Assimilation of GPM DPR Spectral Latent Heating using Situation Dependent Observation Error Covariance with Spatial Correlation in Kalman Gain, EUMETSAT Meteorological Satellite Conference 2021, 2021 年 9 月, (オンライン)

・国内の会議・学会等 : 32 件

1. 藤田匡, 瀬古弘, 川畑拓矢, ドップラー速度の変分法データ同化の高度化の検討, 第 12 回データ同化ワークショップ, 2022 年 2 月, オンライン
2. 工藤玲, 全天カメラによる雲のリモートセンシング, 令和 3 年度日本気象学会関西支部第 1 回例会, 2021 年 12 月, 大阪
3. 工藤玲, 全天カメラによる雲のリモートセンシング, 令和 3 年度大阪管区気象台近畿地区気象研究会兼大阪管区台内談話会, 2021 年 12 月, 大阪
4. 藤田匡, スケールを考慮したドップラー速度の 変分法データ同化の検討, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
5. 岡部いづみ, 岡本幸三, 石橋俊之, Aeolus 衛星のドップラー風ライダーデータ同化インパクト, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
6. 岡本幸三, 岡部いづみ, 久保田拓志, 石井昌憲, 衛星による風観測と数値予報データ同化,, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
7. 近藤圭一, 岡本幸三, 入口武史, 藤井秀幸, 清水宏幸, 青梨和正, 陸域マイクロ波輝度温度同化における地表面射出率と地表面温度の推定についての調査, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
8. 林昌宏, 和田章義, 小山亮, ハイパースペクトル赤外サウンダを用いた台風中心部の大気プロファイル解析, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
9. 小司禎教, 精密衛星測位の気象学, 気象業務への利用, 日本学術会議地球惑星科学委員会地球・人間圏分科会 (第 25 期・第 4 回), 2021 年 11 月, 日本
10. 川畑拓矢, 極端な豪雨に対する予測研究の現状と今後の展望, 第 2 回気候変動適応セミナー, 2021 年 11 月, オンライン
11. 小司禎教, GPS/GNSS 気象学について, 第 18 回リアルタイム測位利用技術講習会, 2021 年 11 月, (オンライン)
12. 小司禎教, 三浦甚哉, 椿修二, 東吉一, 日比野祥, 小嶋惇, 中村哲也, 習田恵三, Kinematic PPP によるリアルタイム海上可降水量解析, GPS/GNSS シンポジウム 2021, 2021 年 10 月, オンライン
13. 瀬古弘, 1km 格子 asuca を用いた豪雨をもたらした降水系の流跡線解析, 第 23 回 非静力学モデルに関するワークショップ, 2021 年 10 月, オンライン
14. 藤田匡, 瀬古弘, 川畑拓矢, 岡本幸三, 澤田謙, 堀田大介, 幾田泰醇, 変分法によるドップラー速度のデータ同化 ウェーブレット空間での制御変数の検討, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン

15. 林昌宏, 和田章義, 小山亮, ハイパースペクトル赤外サウンダを用いた台風中心部の大気プロファイル解析, 台風研究会「台風災害の実態解明と台風防災・減災に資する方策」, 2021年9月, オンライン
16. 吉田智, 白石浩一, 酒井哲, 永井智広, 幾田泰醇, 瀬古弘, 小司禎教, 水蒸気ラマンライダーを用いた大雨に関連する下層水蒸気の観測, 第39回レーザーセンシングシンポジウム, 2021年9月, 東京
17. 山崎明宏, 工藤玲, 気象研究所地上放射観測網のスカイラジオメーター観測から得られたエアロゾル光学特性, 第38回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2021年8月, 熊本県熊本市
18. 小司禎教, 精密衛星測位を用いた大気リモートセンシング, 安全工学シンポジウム2021, 2021年7月, オンライン開催
19. 小司禎教, 船舶搭載 GNSS による水蒸気解析の最適化, 日本地球惑星科学連合2021年大会, 2021年6月, オンライン, オンライン
20. 藤田匡, 岡本幸三, 瀬古弘, 大塚道子, 大和田浩美, ひまわり後継衛星 GeoHSS のメソ OSSE, 日本気象学会2021年度春季大会, 2021年5月, オンライン
21. 林昌宏, 岡本幸三, 大和田浩美, 小山亮, 静止衛星搭載ハイパースペクトル赤外サウンダを想定した 気温・水蒸気鉛直プロファイル推定手法の開発, 日本気象学会2021年度春季大会, 2021年5月, オンライン
22. 岡本幸三, 林昌宏, 端野典平, 中川雅之, 奥山新, 全天候赤外輝度温度データ同化に向けた、シミュレーションの検証とバイアス要因調査, 日本気象学会2021年度春季大会, 2021年5月, オンライン
23. 石橋俊之, 観測誤差共分散行列の流れ依存性, 日本気象学会2021年度春季大会, 2021年5月, つくば市
24. 岡部いづみ, 岡本幸三, 石井昌憲, 石橋俊之, 田中泰宙, 久保田拓志, 藤平耕一, 今村俊介, 宮本佳明, 松本紋子, 山中沙羅, 衛星搭載ドップラー風ライダーOSSE-台風進路予測へのインパクト評価- , 日本気象学会2021年度春季大会, 2021年5月, オンライン
25. 澤田謙, 松信匠, 川畑拓矢, 瀬古弘, 清野直子, NHM-LETKF への SPUC の導入, 日本気象学会2021年度春季大会, 2021年5月, オンライン
26. 近藤圭一, 三好建正, 背景誤差の非ガウス性定量化による非ガウスデータ同化手法, 日本気象学会2021年度春季大会, 2021年5月, オンライン
27. 工藤玲, H. Diemoz, V. Estelles, M. Campanelli, 桃井裕広, F. Marengo, C. L. Ryder, 居島修, 内山明博, 中島孝一, 山崎明宏, 長澤亮二, 大河原望, 石田春磨, スカイラジオメータによるエアロゾル・水蒸気・オゾンのリモートセンシング, 日本気象学会2021年度春季大会, 2021年5月, つくば市
28. H. Diemoz, V. Estellés, M. Campanelli, 桃井裕広, F. Marengo, C. L. Ryder, 居島修, 内山明博, 中島孝一, スカイラジオメータによるエアロゾル・水蒸気・オゾン のリモートセンシング手法の開発, 日本気象学会2021年度春季大会, 2021年5月, つくば市
29. 酒井哲, 吉田智, 永井智広, 小司禎教, ラマンライダーと差分吸収式ライダーによる大気下層水蒸気分布の比較観測, 日本気象学会2021年度春季大会, 2021年5月, つくば市
30. 吉田智, 酒井哲, 幾田泰醇, 永井智広, 小司禎教, 瀬古弘, 白石浩一, 清水慎吾, 線状降水帯に対する水蒸気ライダーデータの同化の影響, 日本気象学会2021年度春季大会, 2021年5月, つくば市
31. 酒井哲, 内野修, 永井智広, 吉田智, 小司禎教, 大島長, 眞木貴史, 森野勇, Richard Querel, and Ben Liley, 成層圏エアロゾルの長期変動: ライダー観測と気象研究所地球システムモデルとの比較, 日本気象学会2021年度秋季大会, 2021年12月, 三重県津市
32. 酒井哲, 吉田智, 永井智広, 幾田泰醇, 小司禎教, 気象研ラマンライダーと Vaisala DIAL 水蒸気観測データの気象予報数値モデルへの同化実験, 第39回レーザーセンシングシンポジウム, 2021年9月, 東京

イ. ポスター発表

・国際的な会議・学会等：4 件

1. Fujita, T., H. Seko, T. Kawabata, K. Sawada, D. Hotta, and Y. Ikuta, Enhancement of Variational Assimilation of High-Frequency and High-Resolution Radial Wind, WCRP-WWRP Symposium on Data Assimilation and Reanalysis, 2021 年 9 月, (オンライン)
2. Sawada, K., Y. Honda, Effects of suppressing supersaturation in a variational data assimilation system, WCRP-WWRP Symposium on Data Assimilation and Reanalysis, 2021 年 9 月, (オンライン)
3. Ishibashi, T., Improvement of Accuracy of Global Numerical Weather Prediction Using Refined Error Covariance Matrices, WCRP-WWRP Symposium on Data Assimilation and Reanalysis, 2021 年 9 月, (オンライン)
4. Kawabata, T., Le Duc, T. Oizumi, and K. Saito, Ensemble Data Assimilation and Probabilistic Forecast with 1000 Members Coupled with a Hydrological Model Using the Supercomputer “Fugaku” Aiming to the Impact-Based Forecast, WCRP-WWRP Symposium on Data Assimilation and Reanalysis, 2021 年 9 月, (オンライン)

・国内の会議・学会等：11 件

1. 瀬古弘, メソアンサンブルと 1km-asuca を用いた豪雨解析, 「富岳」成果創出加速プログラム防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測 2021 年度成果発表会, 2022 年 3 月, オンライン
2. 藤田匡, 瀬古弘, 川畑拓矢, 岡本幸三, 変分法によるドップラー速度等のスケール依存同化の検討, 「富岳」成果創出加速プログラム防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測 2021 年度成果発表会, 2022 年 3 月, オンライン
3. 瀬古弘, 佐藤英一, 梅原章仁, 鈴木修, 足立アホロ, 山内洋, 南雲信宏, 空港気象レーダーによる屈折率の時間変化, 日本気象学会秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
4. 吉田智, 酒井哲, 永井智広, 白石浩一, 幾田泰暉, 瀬古弘, 小司禎教, 線状降水帯の風上側の水蒸気鉛直プロファイルの観測, 日本気象学会 2021 年秋季大会, 2021 年 12 月, オンライン
5. 小司禎教, 三浦甚哉, 椿修二, 東吉一, 日々野祥, 小嶋惇, 中村哲也, 習田恵三, 船舶搭載 GNSS によるリアルタイム海上可降水量解析, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
6. 澤田謙, 変分法メソ解析システムにおける過飽和制約の効果, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
7. 石元裕史, 林 昌宏, 真野裕三, 工藤玲, 火山灰の複素屈折率推定によるひまわり火山灰アルゴリズムの改良, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 6 月, オンライン, オンライン
8. 瀬古弘, メソアンサンブル予報を用いた豪雨の相関解析, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
9. 石田春磨, 岡本幸三, 太田芳文, 主成分スコアからの再構成輝度を利用した赤外ハイパースペクトルサウンダータ同化, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
10. 小司禎教, 船舶搭載 GNSS による海上可降水量解析最適化の検討, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
11. 山崎明宏, 工藤玲, 白石浩一, 原圭一郎, 高島久洋, 林政彦, 西田千春, 2020 年 8 月上旬に九州、沖縄地方で確認された煙霧時の スカイラジオメータ観測, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, つくば市

(4) 投稿予定論文

1. Hotta, D, T. Kadowaki, H. Yonehara, and T. Ishibashi: "Twin-analysis" verification: a new verification approach that alleviates pitfalls of "own-analysis" verification when applied to short-range forecasts
2. Hotta, D.: VAE as a Stochastic Multidimensional Extension to Gaussian Anamorphosis
3. Ikuta, Y., M. Sawada, and M. Satoh: The impact of boundary layer schemes on the secondary circulation of Typhoon FAXAI using radar observations in gray zone
4. Sawada, K., N. Seino, T. Kawabata, and H. Seko: Impact of urbanization and local observations on a heavy rain event through assimilation.
5. 川畑拓矢, 上野玄太: 雲解像粒子フィルタを用いた積乱雲の非ガウス性に関する研究

報道・記事

1. 川畑拓矢, 集中豪雨, 数日前に高精度予測 災害リスク予報発信へ, 日経産業新聞, 2021年2月19日
2. 川畑拓矢, Le Duc, 大泉伝, 西日本版に球磨川線状降水帯, 読売新聞, 2021年4月2日
3. 川畑拓矢, 大泉伝, RCC テレビ特別番組 集中豪雨から命を守る【2021GW スペシャル】, 中国放送, 2021年5月5日
4. 川畑拓矢, 大泉伝, Le Duc, 「半日前予測 気象庁が挑む」, 日本経済新聞, 2021年6月30日
5. 川畑拓矢, 台風の進路予測 誤差半分に, 読売新聞, 2021年9月16日
6. 吉田智, 水蒸気ライダー観測について, フジテレビ「Mr. サンデー」, 2021年7月11日
7. 吉田智, 雷の疑問, TBS ラジオ「荻上チキ session」, 2021年9月10日
8. 吉田智, 長崎での水蒸気ライダー観測, テレビ長崎「マルっと!」, 2021年12月20日

その他

1. 近藤圭一, 岡本幸三, 入口武史, 藤井秀幸, 青梨和正, 陸上でのマイクロ波放射計の利用検討, JAXA-MRI 連絡協議会, 2021年9月17日
2. 岡部いづみ, 岡本幸三, 久保田拓志, 吉岡真由美, ドップラー風ライダーの利用検討, JAXA-MRI 連絡協議会, 2021年9月17日
3. 露木義, 深層学習アンサンブルカルマン フィルタの研究, 第4回先端的データ同化と巨大アンサンブル研究会, 2021年12月16日
4. 幾田泰醇, SAR 同化について, 第4回先端的データ同化と巨大アンサンブル研究会, 2021年12月16日
5. Le Duc, Parameter estimation using Stein variational gradient descent, 第4回 大アンサンブルとアプリケーション研究会, 2021年12月15日
6. 大泉伝, 令和3年8月に九州北部で発生した豪雨の高解像度アンサンブル予報実験, 第4回 大アンサンブルとアプリケーション研究会, 2021年12月15日
7. 大泉伝, 1000 メンバーアンサンブル予報結果を用いた洪水危険度の予測実験, 第3回大アンサンブルとアプリケーション研究会, 2021年7月15日
8. Le Duc, On Nonlinear Ensemble Sensitivity Analysis, 第3回大アンサンブルとアプリケーション研究会, 2021年7月15日
9. 澤田謙, メソ同化システムにおける過飽和制約の効果について, 第3回先端的データ同化と巨大アンサンブル手法に関する研究会, 2021年6月25日
10. 川畑拓矢, 富岳における asuca 利用について, 第3回先端的モデリングと超高解像度シミュレーション, 2021年7月13日
11. 幾田泰醇, 台風の2次循環の構造, 第3回先端的モデリングと超高解像度シミュレーション, 2021年7月13日

N 南海トラフ地震の地震像とスロースリップの即時把握に関する研究

研究年次：1年目／5年計画（令和3年度～令和7年度）

研究代表者：干場充之（地震津波研究部長）

研究担当者：小林昭夫、田中昌之、露木貴裕、西宮隆仁、弘瀬冬樹、永田広平、溜渕功史、野田朱美

研究協力者：（氏名・機関）

勝間田明男（富山大学）、馬場久紀（東海大学）

研究の動機・背景

（社会的背景・意義）

地震調査研究推進本部は、平成25年に「南海トラフの地震活動の長期評価」の改訂版（第二版）を公表し、その中で次の南海トラフの大地震の規模をM8～9クラスとし、今後30年の発生確率を60～70%と推定した（令和2年時点では70～80%）。昭和53年には南海トラフ地震の一部である東海地震を念頭に、「大規模地震対策特別措置法」が制定され、地震の予知がされた場合の対策が制度化された。しかし、中央防災会議が平成29年9月にとりまとめた「南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対策のあり方について（報告）」では、確度の高い地震の予測は現在の科学的知見では難しいことが指摘され、新たな防災対応が定められるまでの当面の対応として、平成29年11月から気象庁が「南海トラフ地震に関連する情報」の発表を開始するなど、不確実ではあるものの、大規模地震発生の可能性が平常時と比べて相対的に高まっていると評価された際の防災対応へと方向性が大きく変わってきた。

内閣府が令和元年5月に一部改訂した「南海トラフ地震の多様な発生形態に備えた防災対応検討ガイドライン【第1版】」では、大規模地震の発生可能性が相対的に高まったと判断できるケースとして、「半割れケース」「一部割れケース」「ゆっくりすべり（スロースリップ）ケース」の3通りをあげ、それぞれのケースに対する防災対応を検討している。気象庁では、これらのケースが発生した場合、有識者からなる「南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会」を開催し、その評価結果に基づき「南海トラフ地震臨時情報（巨大地震警戒や巨大地震注意）」を発表し、一定期間警戒や注意を呼び掛け、その後も引き続き、地震活動や地殻変動の状況について「南海トラフ地震関連解説情報」を適宜発表することとした。これらの評価検討や情報発表のためには、発生した地震の地震像や余震活動、スロースリップの即時解析技術が必要となる。

（学術的背景・意義）

20年ほど前から、全国の陸域に高密度のGNSSや高感度地震計が展開され、南海トラフ沿いでは深部低周波微動・地震を伴うプレート境界の短期的スロースリップ、長期的スロースリップなどが観測され、それらの検知能力が向上してきた。一方、南海トラフの海域では、10年ほど前から地震・津波観測監視システム（DONET）が運用開始され、固着域浅部で発生する低周波微動や超低周波地震が報告されているが、常時監視には至っていない。

2016年4月に発生した紀伊半島沖の地震について、破壊領域に関する各機関の解析結果が一致せず、見解の一致をみるまで時間がかかるという事態が発生した。この原因は、海域における観測点の不足と海域の地震波速度構造の把握が不十分なことによる。1946年南海地震の破壊開始点付近の地震について、プレート境界の地震か否かを即時に判断できないという事実は、地震関係者に重く受け止められた。

10年ほど前から、光ファイバーケーブルを用いた振動計測DAS（Distributed Acoustic Sensing；分散型音響センシング）技術がパイプライン監視などセキュリティ分野で実用化されている。これは光ケーブルに光パルスを入射し、後方散乱光を観測するもので、長さ40から70kmまで、数メートルおきの場所の振動を計測できる。2、3年前からはDASを地震観測へ適用する試みも報告され始めている。地震観測へのDASの活用が可能になれば、点から線への観測となり、既存の海底光ケーブルの活用も期待され、海域における地震監視の強化につながる可能性がある。

(気象業務での意義)

気象庁からの「南海トラフ地震臨時情報」発表のきっかけとなる「半割れケース」「一部割れケース」「ゆっくりすべり（スロースリップ）ケース」が発生した場合、大規模地震発生の可能性が平常時と比べて相対的に高まっていると判断するためには、発生した地震の地震像やスロースリップの規模、広がり、時間発展などについての的確に把握する必要がある。また、これらの現象発生後、大規模地震発生に至るまでの時間経過が不明なため、できる限り早く臨時情報を発表することが望ましく、解析の即時性も重要となる。このため、発生した地震の地震像を即時把握する技術の向上、大地震後の余効変動に隠れた新たなスロースリップをはじめ、各種スロースリップの把握精度向上は、「南海トラフ地震臨時情報」発表の迅速化、情報発表につながるスロースリップの監視強化のために不可欠な研究である。

また、気象庁からの要望の一つとして、南海トラフ付近での地震やスロースリップ発生がその後の巨大地震に結び付くか否かの予測がある。一つの方法として数値シミュレーションがあり、今後数年では信頼できる予測は困難ではあるものの、中長期的にモデルの改善を継続する必要がある。

研究の目的

本研究では、南海トラフでの「半割れケース」「一部割れケース」「ゆっくりすべり（スロースリップ）ケース」の3通りのケースに対応し、気象庁が行う解析に貢献し、地震像を即時把握することで「南海トラフ地震臨時情報」の確実な早期発表と、情報発表につながるスロースリップの監視強化に寄与することを目的とする。

研究の目標

発生した地震の規模、破壊領域など地震像を即時把握する手法を改善するとともに、把握精度を向上させる。また、多様なスロースリップの監視技術開発、把握精度向上を図る。さらに、地震観測活用のための光ファイバ振動計の検証、現在観測されているより小規模な現象を再現できるよう地震発生の数値モデルの改善を行う。

研究成果**(1) 今年度得られた成果の概要**

- ・光ファイバ振動計(DAS 装置)の調達手続きを完了した。
- ・近地強震波形を用いた震源過程解析の迅速化や高精度化にむけて、広帯域強震計の利用や不均質構造における理論波形計算法について検討を進めた。
- ・自動震源決定の課題の一つであるエアガン対策について、エンベロープ波形を用いた自己相関解析をPF法に組み込んで事例検証を行い、令和3年7月にREDCに導入された。
- ・自動震源に含まれるノイズ等の誤検知を除去するため、機械学習の一種であるアンサンブル学習(ランダムフォレストとAdaBoost)による地震ノイズ判別手法を開発した。学習の結果、AdaBoostでは震源決定数を99%以上保ったまま、ノイズを約1/5(全体の1%に相当)に低減できた。
- ・自動震源を即時に推定するため、複数の観測網を統合的に処理する震源推定手法の開発を行った。
- ・機械学習による自動検測プログラムを従来手法の自動震源決定処理と結合するためのプログラムを開発し、事例検証を行った。
- ・東海大学と共同で、駿河湾における海底地震計観測を行った。
- ・DONETを用いた最大振幅とエンベロープ相関のハイブリッド法による浅部低周波地震(微動)検出プログラムを開発した。検出結果を評価検討会で報告した。
- ・日向灘沿いのGNSS客観検知ツールを作成し、令和3年8月以降毎月評価検討会に資料を提出した。
- ・すべり位置推定ツールに、ひずみと傾斜のデータを同時に用いてすべり分布を推定するジョイントインバージョン手法を使えるよう改良した。
- ・過去の大地震発生後のGNSS記録を用い、余効変動を推定および除去する基本処理を開発した。
- ・地震発生シミュレーションに関し、短期的スロースリップを再現するため各種パラメータに対するモデルの挙動を検証した。

(2) 当初計画からの変更点(研究手法の変更点等)

今年度に入ってからの本庁からの要望により、以下の3点を実施した。

- ・浅部低周波地震検出プログラムの開発を前倒しで実行した。

- ・ 気象庁システムの自動震源決定処理へのエアガン対策の組み込みと事例検証をした。
- ・ 日向灘沿いの GNSS 客観検知ツールを作成した。

(3) 成果の他の研究への波及状況

ハイブリッド法による浅部低周波地震検出プログラムを地方共同研究「沖縄地方の低周波地震の震源決定と発生状況等の調査」に適用し、低周波地震の候補を検出した。

(4) 事前・中間評価の結果の研究への反映状況

事前評価の総合評価は「修正の必要なし」だった。

今後の研究の進め方

当初計画通りに研究を進める。具体的な計画は以下の通り。

- ・ DAS の長期観測を行い、振幅情報について評価する。
- ・ 近地地震波形を用いた即時震源過程解析処理を開発する。
- ・ AI 技術を用いた地震波検出処理の検証、地震波形データの識別処理開発を行う。
- ・ 海底地震観測網を活用した浅部低周波微動の検出手法の改良、浅部超低周波地震の検出手法開発を行う。
- ・ 大地震発生後の余効変動の逐次推定・除去処理を開発し、スロースリップ検出処理に統合する。
- ・ 地震発生シミュレーションについてメッシュ細分化、計算速度高速化を行い、短期的スロースリップを再現できるモデルを開発する。

研究成果リスト

(1) 査読論文：

1. Ogiso, M., and K. Tamaribuchi, 2022: Spatiotemporal evolution of tremor activity near the Nankai Trough trench axis inferred from the spatial distribution of seismic amplitudes. *Earth, Planets and Space*, 74, 49.
2. Tsuyuki, T., A. Kobayashi, R. Kai, T. Kimura and S. Itaba, 2021: Joint inversion of strain and tilt data using the Akaike's Bayesian information criterion to map detailed slip distributions of short-term slow slip events. *Earth, Planets and Space*, 73, 181.
3. Matsubara, M., Shiomi, K., Baba, H., Sato, H., and Nishimiya T., 2021: Improved geometry of the subducting Philippine Sea plate beneath the Suruga Trough. *Global and Planetary Change*, 204, 103562.
4. Kamigaichi, O., N. Matsumoto, and F. Hirose, 2021: Green's function at depth of borehole observation required for precise estimation of the effect of ocean tidal loading near coasts. *Geophysical Journal International*, 227, 275-286.
5. Yamada, M., K. Tamaribuchi, S. Wu, 2021: The Extended Integrated Particle Filter Method (IPFx) as a High-Performance Earthquake Early Warning System. *Bulletin of the Seismological Society of America*.
6. Tamaribuchi, K., Hirose, F., Noda, A., Iwasaki, Y., Iwakiri, K., Ueno, H., 2021: Noise classification for the unified earthquake catalog using ensemble learning: the enhanced image of seismic activity along the Japan Trench by the S-net seafloor network. *Earth, Planets and Space*, 73, 91.
7. Noda, A., T. Saito, E. Fukuyama, and Y. Urata, 2021: Energy-based scenarios for great thrust-type earthquakes in the Nankai trough subduction zone, southwest Japan, using an interseismic slip-deficit model. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 126, e2020JB020417.
8. 西宮隆仁, 勝間田明男, 2021: スロー型津波地震に対する気象庁マグニチュードの評価. *気象研究所研究報告*, 70, 1-19.

(2) 査読論文以外の著作物(翻訳、著書、解説等):

1. 気象研究所, 2022: 南海トラフ沿いの長期的スロースリップの客観検知. 地震予知連絡会会報, 107, 395-397.
2. 気象研究所, 2022: 全国 GNSS 観測点のプレート沈み込み方向の位置変化. 地震予知連絡会会報, 107, 40-44.
3. 野田朱美, 2022: エネルギー収支を考慮した地震発生シナリオ構築の新技术. 地震予知連絡会会報, 107, 515-521.
4. 気象研究所, 2021: 南海トラフ沿いの長期的スロースリップの客観検知. 地震予知連絡会会報, 106, 433-435.
5. 気象研究所, 2021: 全国 GNSS 観測点のプレート沈み込み方向の位置変化. 地震予知連絡会会報, 106, 23-27.

(3) 学会等発表

ア. 口頭発表

・国際的な会議・学会等:

1. Noda, A., and T. Saito, Energy-based method to generate rupture scenarios for megathrust earthquakes in the Nankai trough subduction zone, southwest Japan: A necessary condition for earthquake generation, AGU Fall Meeting 2021, 2021 年 12 月, 米国, ニューオーリンズ&オンライン

・国内の会議・学会等:

1. 溜瀧功史, 機械学習による地震波検測の実用化に向けた検討, 研究集会「機械学習時代の地震研究」, 2022 年 3 月, オンライン
2. 野口恵司, 林元直樹, 溜瀧功史, 小寺裕貴, Hi-net 活用のための IPF 法の高度化, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」, 2022 年 1 月, オンライン
3. 溜瀧功史, 小木曾仁, 野田朱美, 浅部低周波地震モニタリングシステムの構築, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」, 2022 年 1 月, オンライン
4. 小木曾仁, 溜瀧功史, 地震波振幅の空間分布から推定した紀伊半島南東沖で発生する浅部低周波微動の時空間分布: 2020 年 12 月から 2021 年 1 月, 日本地震学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
5. 松原誠, 汐見勝彦, 馬場久紀, 佐藤比呂志, 西宮隆仁, 駿河トラフから東海地域に沈み込むフィリピン海プレート形状, 日本地震学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
6. 西宮隆仁, 長周期成分モニターを活用したマグニチュード推定, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
7. 野田 朱美, 齊藤 竜彦, エネルギーバランスを考慮した南海トラフプレート境界地震の発生シナリオ: 地震履歴に基づく応力蓄積モデル, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン

イ. ポスター発表

・国際的な会議・学会等:

1. Noda, A., and T. Saito, Energy-based scenarios for megathrust earthquakes in the Nankai trough subduction zone, southwest Japan, International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021, 2021 年 9 月, オンライン

2. Tamaribuchi, K. and M. Ogiso, Shallow low frequency earthquake monitoring system based on envelope cross-correlation and amplitude, International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021, 2021 年 9 月, オンライン

3. Yuichi Hiramatsu, Yoshiyuki Tanaka and Akio Kobayashi, Gravity data analysis to extract temporal gravity anomalies during the slow slip events in the Ryukyu Trench, International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021, 2021 年 9 月, オンライン

・国内の会議・学会等：

1. 平松祐一, 田中愛幸, 小林昭夫, スロースリップ信号の検出に向けた石垣島気象台における重力解析（第一報）, 日本測地学会第 136 回講演会, 2021 年 11 月, オンライン
2. 溜渕功史, 小木曾仁, エンベロープ相関と振幅に基づく浅部低周波地震モニタリングシステム, 日本地震学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
3. 平松祐一, 田中愛幸, 小林昭夫, 琉球海溝におけるスロースリップ起源の重力変動を抽出するための重力データ解析, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 6 月, オンライン
4. 溜渕功史, 2011 年東北地方太平洋沖地震後の自動微小地震カタログ：教師ありアンサンブル学習による地震ノイズ判別の適用, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
5. 田中昌之, 小林昭夫, 西宮隆仁, 依田幸英, 中原剛, さまざまな設置方法の光ファイバを用いた DAS 試験観測, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 6 月, オンライン
6. 小林昭夫, スロースリップ客観検出手法の GNSS6 時間値への適用, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン

報道・記事

- ・弘瀬冬樹、ラヂオつくば（コミュニティ FM）（2021 年 6 月 7、14、21 日）「地震の話」他
- ・溜渕功史、より早く正確な緊急地震速報に向けて-複数の地震観測網を統合した計算手法を開発-、2021 年 5 月 7 日、報道発表（京都大学、気象研究所、統計数理研究所）

その他（「成果の他の研究への波及状況」関連）

（業務化事項）

- ・自動震源決定の課題の一つであるエアガン対策について、エンベロープ波形を用いた自己相関解析を PF 法に組み込んで事例検証を行い、令和 3 年 7 月に本庁地震火山部の REDC に導入された。
- ・日向灘沿いの GNSS 客観検知ツールを作成し、令和 3 年 8 月以降毎月評価検討会に資料を提出した。

A シームレスな気象予測の災害・交通・産業への応用に関する研究

研究年次：3年目／5年計画（令和元年度～令和5年度）

研究代表者：行本誠史 応用気象研究部長（令和元年度）
高槻 靖 応用気象研究部長（令和2年度）
加藤輝之 応用気象研究部長（令和3年度）

課題構成及び研究担当者

（副課題1）地域気候モデルによる予測結果の信頼性向上に関する研究

〔応用気象研究部〕○村田昭彦、野坂真也、佐々木秀孝、仲江川敏之、村崎万代、川瀬宏明
〔気象予報研究部〕長澤亮二、北村祐二（令和元年度）、渡邊俊一（令和2年度～）
〔気候・環境研究部〕高薮 出（令和2年度～）
〔併任：大気海洋部〕ト部祐介、山田 賢、加藤 尚（以上、令和元年度）、岡部裕己（令和2年度～）、後藤敦史（令和2年度）、原田 昌、瀬崎歩美（以上、令和3年度）
〔併任：気象大学校〕大泉三津夫
〔客員研究員〕福井 真

（副課題2）防災・交通分野への気象情報の活用

〔応用気象研究部〕○小畑 淳、山口宗彦、川端康弘

（副課題3）産業活動に資する気候リスク管理

〔応用気象研究部〕○仲江川敏之、村崎万代、川瀬宏明、村田昭彦、野坂真也、佐々木秀孝
〔気候・環境研究部〕小林ちあき、高薮 出（令和2年度～）
〔全球大気海洋研究部〕高谷祐平
〔併任：地球環境・海洋部〕萱場互起、宮脇祥一（令和元年度）、後藤敦史、池田友紀子（以上、令和3年度）
〔客員研究員〕大竹秀明（令和2年度～）、宮坂貴文、伊東瑠衣、三浦陽介（令和3年度）

研究の動機・背景

（社会的背景・意義）

（副課題1）

温暖化を巡っては、平成27年11月に「気候変動の影響への適応計画」について閣議決定がなされ、環境省は「気候変動適応情報プラットフォーム」（A-PLAT）を設けた。ここには、気象庁において作成した気候温暖化予測情報第9巻（平成29年3月）の内容も掲載されている。さらに、平成30年6月には「気候変動適応法」が成立、平成30年12月1日に施行された（これに伴い国立環境研究所内に「気候変動適応センター」が設立された）。これにより、各地方自治体には温暖化対策策定が求められるようになり、第1次情報としての数値モデルによる温暖化予測情報はより一層重要性を増す。そのため、気象庁は文科省と連携をとり「気候変動に関する懇談会」を平成30年6月に発足させ、気候予測情報の提供体制を整えつつある。このほかに、国交省でも治水計画に「気候変動」を取り込むことを計画しており、「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」が平成29年に設けられ議論が進んでいるところである。

（副課題2）

国土強靱化にかかわる我が国の防災のありようについては、国交省の「新たなステージに対応した防災・減災のあり方に関する懇談会」（平成27年1月）において議論が進められてきている。「新たなステージ」とは、近年頻発するようになった大雨・洪水の現状（ステージ）を表している。WMO大気科学委員会でも、「気象業務のための科学（Science for Services）」を提唱しており、防災・減災に直結する気象情報の提供に資する研究の推進を行っている。

エンドユーザーからの要望として防災・減災につなげるべく、①予報精度の向上、②時間的猶予の増大、③情報伝達の改善の3つが挙げられる。このうち①・②については気象庁で取り組むべき課題として、国交省の交通政策審議会気象分科会においても提言されている（平成30年8月）。このように、

情報の改善といってもユーザーまで相互に関連することは明らかであり、その意味でも、そのような俯瞰的な研究開発が今後求められる。

（副課題 3）

2009 年の第 3 回世界気候会議で、災害軽減や生活の質を向上させるために気候情報を活用する枠組み、Global Framework for Climate Service (GFCS) の実施が採択され、欧米では大型研究プロジェクトを始めとして、各国の気象機関も気候情報の利活用についての研究が盛んに行われている。WMO 気候委員会でも、GFCS に貢献するための専門家チームが複数結成されて活動を行っている。

日本では当庁気候情報課が気候リスク管理の調査を継続的に行っている。また、再生可能エネルギー分野では気象研究所を始めとして気象情報の利活用研究が盛んに行われている。また、国土交通省の生産革命プロジェクト 31 のうちの一つとして、気象ビジネスの創出～気象情報の利活用の促進～が現在進行している。こうした動きを受けて、気象ビジネス推進コンソーシアムが立ち上げられ、産業界で気象情報を利活用する機運が高まっている。

（学術的背景・意義）

（全体）

ここでは、時間的にシームレスな気象予測をいかに生産性革命・国土強靱化に活かしていくかという課題設定となる。「温暖化予測」は 10 年～100 年の時間スケールである。他方、「産業気象」となるとその時間スケールは数週間～数年スケールが中心となる。また、「災害・交通」はより短く、数時間～数日の時間スケールが中心となる。したがって、それぞれにおいて気象予測研究側での最適な取り組みは異なってくる。ところが、気象（ないしは気候）情報の流れとしてみると、これらはいずれも影響評価研究を通しての行政のエンドユーザーへ向けての流れとなり、これらは同様のパターンを呈する。そこで、ユーザーとの橋渡しという視点（階層間トランスレーターという立場）から課題を整理すると互いに応用可能な技術が数多く見えてくるため、そこには新しい学問の芽があると考えられる。特に本課題は気象研究所で閉じた課題にはならないため、外部機関との共同研究、外部予算の獲得により効率の良い研究体制が取れることが期待される。地方共同研究もまた然りである。農業分野は農業気象、航空分野は航空気象というように、気象データを十分に利活用した様々な分野がある。それ以外の産業分野では、上述の通り再生可能エネルギー分野で研究が勢力的に行われているものの、実用化には更なる研究が必要な状況である。非常に広い産業分野から見れば、ほんの少しの分野での調査・研究が行われているだけで、潜在的に気象情報が有用な産業分野は広範な筈であるが、まだ調査・研究が未着手というのが現状である。これらの潜在的分野で気象情報を利活用できれば、国内的には生産性革命に、国際的には GFCS に貢献することができる。また、気象情報が有用な産業分野は取りも直さず、温暖化適応が必要とされる分野でもあり、温暖化適応研究にも貢献できる。

（気象業務での意義）

（副課題 1）

社会的背景でも述べたように、温暖化適応に関しては法律の施行により政府一体となって取り組むことが明記されている。そのため、気象庁・気象研究所も本法律の施行に伴い国立環境研究所内に整備された「気候変動適応センター」並びにその地方中枢と緊密な連携を取りつつ業務を進めていくことになる。その際、業務の円滑な実施に向けては、温暖化適応センターと地理的に近く研究交流も従来から進んでいる気象研究所がセンターとよく連携を取ることが温暖化対策行政への気象庁の寄与にとり、非常に重要になると考えられる。また、気象庁はこの情勢下、国交省・文科省とも連携して温暖化対策策定に貢献する体制をとるが、そこでも研究所の貢献が期待される。

（副課題 2）

大雨や台風など顕著な現象に対する防災気象情報の拡充は喫緊の課題であり、予報精度の向上とともに予報の不確実性情報等の重要性が増している。メソアンサンブル予報など本庁予報官等を支援するデータや資料が増加している一方、それらを短時間で適切に解析するためには、効率的で効果的なプロダクトやガイダンスの開発が必要である。本副課題では、本庁予報課や気象研究所のデータ同化・数値予報モデル課題、副課題 1、3、及び国内外の関係機関と連携して、これらの課題に取り組む。

(副課題3)

産業で利活用できる気象情報を明らかにし、また生産性の向上に貢献することは、本庁気候情報課で行っている気候リスク管理の調査に貢献できるほか、温暖化予測情報とそれに付随するデータセットの利活用にも貢献が期待される。更に、気象ビジネス推進コンソーシアムの事務局を行っている本庁情報利用推進課による産業との連携について、本研究成果を通して推進することができる。

研究の目的**(全体)**

気象情報を利活用し、豊かで安全な生活をもたらすような世の中を実現することが目的である。その中には、気象予報・予測精度の向上とともに、気象情報の利用に関し不確実性の観点も含め各分野の専門家と協働・協創を行うことも含まれる。

(副課題1)

適応策策定に資する高い確度の地域気候予測情報を創出するため、地域気候予測結果にばらつきをもたらす要因を分析し、予測の不確実性を低減する。

(副課題2)

アンサンブル予報を含む数値予報データ等を利用し、防災業務に資するプロダクトや新たな予報ガイドランスの開発を行う。

(副課題3)

1 週間～季節予測を用いた気象・気候リスクを管理する事例研究を通して、必要とされるデータの過去観測・気象予測データの利用可能性と予測精度について整理し、気候リスク管理が生産性向上をもたらす潜在的な産業分野の開拓を通して、気象・気候リスク管理による幅広い分野での気候情報の利活用を目指す。

研究の目標

本研究課題では、既存の課題の解決のみではなく、気象側からのデータ提供とユーザーのニーズとのマッチングを図ることで、課題発見型課題となることも視野に入れている。

(副課題1)

- ① 地域気候モデル及び数値実験設定の改良
- ② モデルによる再現・予測結果に対する信頼度評価
- ③ モデルによる再現・予測結果における物理的メカニズムの理解

(副課題2)

- ① 全球・メソアンサンブル予報の利活用
- ② 防災業務に資する予報ガイドランスの開発
- ③ 予報大外し事例の抽出

(副課題3)

- ① 異業種・産学官交流に基づく各産業分野の気候リスク管理の需要調査・連携
- ② 週間～季節予測情報を利活用した気候リスク管理に関する先進的研究とデータ整備
- ③ 利活用の裾野を拡大するための簡便な産業分野別気候指標と管理手法の開発

研究成果**(1) 今年度得られた成果の概要****(全体)**

地域気候モデルを用いた研究では、気象庁の現業で使用されている数値モデル(asuca)に陸面過程を導入し現実的な気候における性能を調べたところ良好な結果が得られ、RCP2.6, 4.5, 8.5 シナリオ間の比較解析から、地上気温に差が現れるタイミングで極端降水の差も出現することが示された。また、雲を解像する2km格子モデルによる計算結果によると、相対湿度の温暖化による減少が対流抑制指標の強化を通して降水頻度の減少に寄与していることが分かった。台風予報の向上に資する研究で

は、本庁 TIFS（台風強度予測システム）の新たな問題（過発達）の解決に向けた試行を行い、台風発生の予測可能性と環境場の関係の解析は進展中である。産業活動に資する気候リスク管理に関わる研究では、メソアンサンブル予報システム（MEPS）による短波放射予測と、MEPS を効果的に利用できる機械学習モデルの構造を検討し、日本の 51 観測地点における過去 120 年の気候指標トレンドを評価した。

（副課題 1）

① 地域気候モデル及び数値実験設定の改良新モデルの地域気候モデル化

- ・asuca をベースとした地域気候モデルに陸面過程を導入し、現実的な気候における性能を調べた。具体的には、再解析値（JRA-55）を境界値とした 20km 格子モデルによる 10 年間のシミュレーションを行った。その結果、全体的な性能は良好で以前のモデル（NHRCM）による結果と比べて遜色のないことが分かった。

- ・上記のように asuca ベースの地域気候モデルの全体的な性能は良好であったが、冬季の地上気温において低温バイアスが見られた。この原因を探るために陸面スキームのパラメータを変えた三種類の感度実験を行った。このうち、陸面のアルベドや植物の根の土壌内に占める割合を変更した実験においては、地上気温への影響はほとんどなかった。植生部分の長波放射の計算方式については、若干の感度が見られたものの、必ずしも改善方向の結果が得られるという訳ではなかった。

② モデルによる再現・予測結果に対する信頼度評価

- ・RCP2.6, 4.5 シナリオといった現実的と考えられるシナリオを用いた、20km 格子の地域気候モデルによる（1950 年から 150 年間の）数値積分結果から、地上気温及び降水量の時系列を RCP8.5 シナリオのそれと比較しながら解析した。その結果、シナリオ間に地上気温の差が出始める 2040 年以降において、年最大日降水量の差が現れることが分かった。ただし、年降水量についてはシナリオ間に目立った差はなかった。

- ・風速の再現性について 5km と 2km 格子モデルで比較し、アメダスと比べて日最大風速の頻度は 5km 格子モデルでは強い風の頻度が過剰であるのに対し、2km 格子モデルではよりアメダスの頻度分布に近づき、精度が向上していた。平均風速のバイアスが大きい地点を調べると、地域的な偏りはないが、観測で平均風速が 1m/s 以下の地点の 9 割近くの地点では 50%以上の正バイアスが生じており、NHRCM が小さい風速の再現を苦手としていることが分かった。

③ モデルによる再現・予測結果における物理的メカニズムの理解

- ・相対湿度の変化が降水頻度に及ぼす影響について、夏季の西日本を対象に雲を解像する 2km 格子モデルを用いて調べた。8 月においては、地球温暖化による相対湿度の減少が対流抑制指標の増加を通して降水頻度を減少させる可能性のあることが分かった。

- ・国土交通省の水文・水質データを用いた 2km 格子 NHRCM の降水の再現性解析による結果から、低標高箇所での降水の正バイアスが明らかになったが、このバイアスの改善のため 1km 格子での実験に着手した。

（副課題 2）

- ・台風予報の向上に資する研究として、台風発生の予測可能性と環境場の関係について調査した。発生予測確率の検証には各国の数値予報センターのアンサンブル予報を用いた。各センターで比較したところ、最も発生確率が高かったのは米国気象局（NCEP）であったが、過大予測の可能性があることが分かった。台風強度が「Tropical Storm」になった時を基準とすると、どのセンターも 2 日前には 50%以上の確率で予測出来ていることが明らかになった。台風発生環境場の 5 パターン（シアーライン、東西風合流域、モンスーンジャイア、偏東風波動、先行台風によるエネルギー散逸）に着目し、発生予測確率との関係を調査したところ、東西風合流域やモンスーンジャイアのパターンで相関が高いことが分かった。

- ・昨年度生じた台風強度予測システム TIFS の問題（過発達）の解決に向けて、海洋との相互作用を考慮し、海洋モデルによる海面水温や海洋貯熱量の予測値を TIFS に適用した形で昨年の台風強度の再予報を行った。その結果、中心気圧の誤差は、海面水温低下による衰弱が話題となった令和 2 年台風第 10 号について 60%改善され、全台風平均では 3～5 日予測において 10%程度改善された。

- ・Mei and Xie (2016 Nature Geoscience、上陸台風の強化) の再考に関して、1987 年～2020 年までのドボラック再解析データ（気象庁アジア太平洋気象防災センター作成）では、強い台風が増えているという傾向は見られないという結果が得られた。

・数値予報ガイダンスや地上観測の一つである視程は、航空機など交通機関の運行に重要な気象要素である。都市部における視程の実態を把握するため、東京で観測された視程の気候学的特徴を調査した。低視程日数は年々減少しているが、1990年代に一時的に増加していた。そのため、この時期に着目し、大気環境変化との関連について解析した。季節別に見ると、低視程は夏季に多いことが分かった。さらに、NO_x が一時的に増えていることから、光化学スモッグによる視程低下が顕著に表れた可能性があることが示唆された。

・十年規模の社会経済に資する気象研地球システムモデル（第6期結合モデル相互比較計画 CMIP6 参加）の解析での産業革命前実験の低中緯度陸域において、エルニーニョ等の気候変動に影響された降水と純一次生産の数％以上の減少が数十年に一度の規模で見られ、苛税や退蔵等の人為要因が無くても、19世紀の終わりまでは自然要因のみで深刻な飢饉が起り得た事が示された。又、21世紀将来実験において、タイ、ブラジル等一部の地域で激しい土地利用（植生減少）により生産が激減する等、作物収量予測や農業計画に参考となる結果が得られた。

（副課題3）

① 異業種・産学官交流に基づく各産業分野の気候リスク管理の需要調査・連携

・気象ビジネスコンソーシアムや関連研究会へのオンライン出席、関係研究機関とのオンライン会合を行い、既存共同研究の更新や新規の共同研究締結に向けて準備を進めている。

② 週間～季節予測情報を利活用した気候リスク管理に関する先進的研究とデータ整備

・再生可能エネルギーと洪水予測について、MEPS データを用いた共同研究を進めている。MEPS の短波放射予測の精度評価と、MEPS を効果的に利用できる機械学習モデルの構造検討を行い、MEPS の利用により系統誤差と大外し事例時に発生する最大予報誤差の低減ができることが示された。また、MEPS の短波放射量に関する不確実性についても研究を進め、誤差が天候に依存することを明らかにし、実利用では、人工知能や統計的解析による補正が必要であることが分かった。

・アメダスの3時間降水量を用いて集中豪雨事例発生頻度の過去45年間の経年変化を調べ、1時間降水量の短期間大雨に比べて増加率が約1割高くなっていた。また、月別では、梅雨期の集中豪雨の長期増加傾向が顕著で、7月の発生頻度が45年間で約3.8倍に増大していた（短時間大雨は約2.8倍）。

③ 利活用の裾野を拡大するための簡便な産業分野別気候指標と管理手法の開発

・簡便な気候指標として WMO が提案する分野別気候指標を、日本の地上観測51地点に対して、その120年間の指標の線形トレンドを調査し、トレンドの地域特性、温暖化に対する感度についてまとめた。また、DSJRA-55 とそれとは別に行った JRA-55 のダウンスケーリング実験結果から日本全域5km格子で気候指標を算定し、観測値との比較を実施した。

（2）当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

（副課題1）特になし

（副課題2）

・台風進路の診断的研究に関して、渦位逆変換法（岐阜大学開発）による台風進路の診断手法の開発を進めていたが、令和2年台風第10号のTIFS強度予測に問題が生じたため、研究の優先順位を変え、海洋データの観点からTIFS改良の可能性に取り組んだ。

（副課題3）特になし

（3）成果の他の研究への波及状況

（副課題1）

・asuca をベースとした開発中の地域気候モデルについての情報はP課題と共有されており、P課題の副課題1における asuca を用いた各種数値実験を行う際に活用されている。また、このモデルは、文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」のテーマC「統合的気候変動予測」の枠組みでの利用を念頭に、地球シミュレータへの移植が開始された。

・文部科学省、気象庁が発刊予定の「気候予測データセット2022解説書」の原稿を執筆中であるが、その中で地域気候モデルを用いた研究の結果を活用している。

・農林水産省農村振興局において、気候変動が農業農村整備に与える影響の検討がされており、その

一環としてモデル地区での排水解析のために地域気候モデルによる気候予測データが利用される予定となっている。

（副課題 2）

- ・TIFS 改良試験（海洋モデル適用）で得られた知見（台風が最大強度になる環境条件等）は、気象庁アジア太平洋気象防災センターに共有され、台風予報改良に役立てられる。
- ・TIFS 改良試験（海洋モデル適用）で得られた知見は、M課題との連携によるものであり、M課題の海洋モデリングにも活かされる。
- ・台風進路「予報楕円」の有効性の研究成果（日本気象学会 2020 年気象集誌論文賞）は、令和 3 年度気象庁施設等機関研究報告会で報告され、台風予報改良に向けて庁内で知見が共有されている。
- ・令和 3 年度気象研究所研究成果発表会における気象研地球システムモデルによる火山噴火寒冷化等解析の発表「地球システムモデルで探る火山噴火の気候と生態系への影響」（成果自体は令和元年度）は、気候変動についての社会啓蒙となる。又、C 課題（気候・地球環境変動）や本庁気候情報課の異常気象解析業務に寄与する。

（副課題 3）

- ・アメダスの 3 時間降水量を用いた集中豪雨事例の抽出方法は本庁気候情報課に提供し、本庁で検討中の 3 時間降水量の経年変化の作成に活用されている。
- ・過去 120 年における気候指標の線形トレンドは、文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」のテーマ C「統合的気候変動予測」でのモデルによる気候再現性の新たな変数として利用が開始された。

（4）事前・中間評価の結果の研究への反映状況

（副課題 1）

- ・中間評価では特段の問題点の指摘はなかった。

（副課題 2）

- ・事前評価では、課題を明確にすべきとの意見を頂いた。その指摘に従い、計画の対象と内容をより具体化した上で研究を開始した。中間評価では、主な研究である台風予報や台風と気候変動との関係について比較的高い評価を頂いたため、大きな変更は無く研究を行っている。

（副課題 3）

- ・本課題の大義を考えてユーザーの情報創出支援のための環境構築にも取り組むよう、研究計画を一部修正して実施すべきとの指摘があった。これを受け、以下の取り組みを行うことをとした。
 - 1) 種々のデータユーザーに対し、情報インターフェイスやデータサービスに求める機能についてアンケート等による調査と既存のデータ提供者（DIAS, A-PLAT 等）側にも現状の課題等について聞き取り調査等を行う。
 - 2) これらの結果を考察して成果とする。

今後の研究の進め方

（副課題 1）

- ① asuca を地域気候モデルとして使用した場合の性能評価を引き続き行う。
- ② 地域気候モデルによる日本の将来気候を対象にした多数メンバーで構成されるアンサンブルシミュレーションの結果を活用し、比較的頻度の少ない大気現象が将来どのように変化するか調べる。
- ④ 温暖化予測シミュレーションで得られた結果から、変化をもたらす物理的メカニズムについての分析を行う。

（副課題 2）

- ・計画では、台風予報プロダクト及びガイダンスの開発を行い、その利用に関する研究を事例検証により進めることとしていたが、従来の本庁予報手法に新たに発生した問題（TIFS 台風過発達）の解決試行や担当者異動等により遅れが出て来ている。しかし拙速は避け、先ず開発の前段階の解析（台風発生の予測可能性と環境場の関係等）を着実に行う予定である。又、担当者の専門を生かして視程の

研究も進め、交通分野への一層の貢献を図る。

(副課題3)

- ① 潜在的な気候リスク管理需要で利用される気象観測・予測データの整備・予測精度検証を引き続き行うと同時に、利用のされ方を踏まえた予測精度検証の方法の検討を行う。
- ② 気候リスク管理に関する先端的研究を、再生可能エネルギーや治水分野において外部機関と引き続き協力して実施し、アンサンブル予測情報を気候リスク管理の研究を推進する。
- ③ 既存の研究を調査しつつ、容易に利用可能な気温、降水量などを用いた、産業別の気候指標の開発を複数分野で実施する。また気候指標の可視化について検討を行う。

研究成果リスト

(1) 査読論文：

1. Fukui, S., and A. Murata, 2021: Sensitivity to Horizontal Resolution of Regional Climate Model in Simulated Precipitation over Kyushu in Baiu Season. SOLA, 17, 207-212.
2. R. E. Pinzon, N. N. Ishizaki, H. Sasaki, T. Nakaegawa, 2021: Panama's Current Climate Replicability in a Non-Hydrostatic Regional Climate Model Nested in an Atmospheric General Circulation Model. Atmosphere, 12, 1543.
3. Kawase H., S. Watanabe, Y. Hirockawa, and Y. Imada, 2021: Timely Event Attribution Strategy in Japan: An Example of Heavy Rainfall in July 2020. Bulletin of the American Meteorological Society. (in press)
4. R. E. Pinzon, T. Nakaegawa, K. Hibino, I. TAKAYABU, 2021: A climate analogue approach to understanding the future climates of six South American capital cities. Atmósfera, 34, 1202.
5. Nosaka, M., H. Kawase, A. Murata, and H. Sasaki, 2021: Future changes in early spring wind speed and surface warming acceleration in snow-covered areas. Journal of Geophysical Research Atmosphere.
6. Kazuyo Murazaki, Hirotaka Kamahori, Chiaki Kobayashi, Seiji Yukimoto, 2021: Influence of High-Resolution SST on Early Summer Surface Air Temperature in Japan in Downscaling Experiments. SOLA, 17, 75-78.

(2) 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：

1. 小畑淳, 2022: 本だな「年輪で読む世界史ーチンギス・ハーンの戦勝の秘密から失われた海賊の財宝、ローマ帝国の崩壊まで」バレリー・トロエ 著, 佐野弘好 訳. 天気, 69 巻 3 号, 40.
2. 新野 宏, 小林文明, 栃本英伍, 末木健太, 足立 透, 梅原章仁, 田村幸雄, 野田 稔, 佐々浩司, 加藤輝之, 加茂直幸, 中里真久, 益子 渉, 伊藤純至, 横田 祥, 田村哲郎, 楠 研一, 石津尚喜, 2021: 「竜巻シンポジウムー藤田哲也博士生誕 100 年を記念してー」の報告. 天気, 68 巻 10 号, 3-12.

(3) 学会等発表：

ア. 口頭発表

・国際的な会議・学会等：

1. Murata, A., Estimation of future daily precipitation frequency using gamma distribution obtained from regional climate model simulations over Japan., International Workshop on Adaptation Research for Climate Change in Asia (ARCC2021), 2021 年 11 月, 宇治市

2. Kawase H. Y. Imada, S. Watanabe, and A. Murata, Evaluation of historical warming on recent heavy rainfall and snowfall events in Japan, The Fifth Convection-Permitting Modeling Workshop 2021 (CPM2021), 2021 年 9 月, (オンライン)
3. Kawase, H., Y. Imada, S. Watanabe, Impacts of atmospheric and ocean warming on heavy snowfall in 2020/2021 winter, International workshop for mid-latitude air-sea interaction, 2021 年 6 月, オンライン

・国内の会議・学会等：

1. 加藤輝之, 村松貴有, 竜巻発生環境場の気候変化と将来予測, 東京工芸大学・風工学共同研究拠点・研究集会, 2022 年 2 月, オンライン
2. 川端康弘, 台風進路予報における予測領域の楕円化, 気象庁施設等機関研究報告会, 2022 年 2 月, 東京都
3. 川瀬宏明, 本田明治, 山崎哲, 新潟の大雪に影響を与える JPCZ と日本海の SST, 低気圧と暴風雨雪に係るワークショップ 2021, 2021 年 12 月, 富山市
4. 小畑淳, 地球システムモデルで探る火山噴火の気候と生態系への影響, 令和 3 年度気象研究所研究成果発表会, 2021 年 12 月, つくば市
5. 川瀬宏明, 今田由紀子, 渡邊俊一, 本田明治, 山崎哲, 2020/21 冬季の大雪に工業化以降の温暖化が及ぼす影響, 日本気象学会 2021 年秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
6. 加藤輝之, 線状降水帯発生 6 条件の出現頻度の気候変化, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
7. 川瀬宏明, 気候変動に伴う積雪・降雪の将来予測, サイエンスアゴラ 2021, 2021 年 11 月, オンライン
8. 川瀬宏明, 気候変動で雪は増える?減る?, 気候変動の影響への適応ランチタイムセミナー, 2021 年 10 月, オンライン
9. 川瀬宏明, 日本の地域気候変化予測研究の現状, 日本海洋学会 2021 年度秋季大会シンポジウム「中緯度大気海洋相互作用研究の現状と展望」, 2021 年 9 月, オンライン
10. 川瀬宏明, 今田由紀子, 渡邊俊一, 本田明治, 山崎哲, 2020/21 冬季に発生した大雪に対する大気と海洋の温暖化の影響, 雪氷研究大会 (2021・オンライン), 2021 年 9 月, オンライン
11. 仲江川敏之, 村田昭彦, 佐々木秀孝, 川瀬宏明, NHRCM によるタイ降水日周期再現性, 水文・水資源学会 2021 年研究発表会, 2021 年 9 月, オンライン
12. 川瀬宏明, 近年の極端な気象と大雨と大雪の将来変化, 水に関するシンポジウム in 群馬, 2021 年 8 月, オンライン
13. 川瀬宏明, 山崎剛, 杉本志織, 村田昭彦, 野坂真也, 佐々木秀孝, 地域気候モデルを用いた中部山岳の降積雪の再現と将来予測, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
14. 加藤輝之, 線状降水帯のレビューと今後の課題, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, つくば市
15. 野坂真也, 村田昭彦, 佐々木秀孝, 渡邊俊一, 北村祐二, 草開浩, 気象庁現業モデル asuca の気候実験利用のための開発, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
16. 川端康弘, 梶野瑞王, 財前祐二, 足立光司, 田中泰宙, 清野直子, 東京および東京国際空港における視程の変化, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
17. 仲江川敏之, 村田昭彦, 佐々木秀孝, 川瀬宏明, 野坂真也, 水田亮, 高薮出, 途上国の防災にかかわる気候変化予測協力, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン

・ポスター発表

・国際的な会議・学会等：

1. Chung, J. X., H. Sasaki, A. Murata, F. Tangang, L. Juneng, N. S. Tieh, and E. Salimun, Performance of a convection-permitting model in simulating the rainfall in Malaysia, The Fifth Convection-Permitting Modeling Workshop 2021 (CPM2021) High-

Resolution Climate Modeling and Hazards; https://www.pco-prime.com/tougou2021_ws/index.html, 2021 年 9 月, (オンライン)

2. Fukui, S. and A. Murata, Comparison of simulations of precipitations over Kyushu in Baiu season with regional climate models with grid spacing from kilometer to sub-kilometer, The Fifth Convection-Permitting Modeling Workshop 2021 (CPM2021) High-Resolution Climate Modeling and Hazards; https://www.pco-prime.com/tougou2021_ws/index.html, 2021 年 9 月, (オンライン)

・国内の会議・学会等：

1. 川瀬宏明, 土屋智紀, 村田昭彦, 野坂真也, 福井真, 上野健一, 野沢徹, 西井和晃, 大庭雅道, 区内観測が捉えた過去の関東平野の大雪と気象モデルを用いた再現実験, 日本気象学会 2021 年秋季大会, 2021 年 12 月, オンライン
2. 川口真司, 加藤輝之, 寒気流入と大雪との関連性に関する研究, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重
3. 村田昭彦, 野坂真也, 佐々木秀孝, 川瀬宏明, 日本の降水頻度の将来変化に対する相対湿度の影響 (2), 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重
4. 川端康弘, 梶野瑞王, 財前祐二, 足立光司, 東京における 1990 年代の低視程日数増加と大気環境, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重
5. 小畑淳, 辻野博之, 地球システムモデルの土地利用と凶作, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
6. 川端康弘, 山口宗彦, 筆保弘徳, 吉田龍二, アンサンブル予報を用いた台風発生予測と発生環境場, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重
7. 山崎哲, 福井真, 村田昭彦, 気象再解析データでの 2018 年 2 月の福井豪雪, 雪氷研究大会 (2021・オンライン), 2021 年 9 月, オンライン
8. 福井真, 村田昭彦, 地域気候モデルの九州域における降水再現の解像度依存性, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
9. 村崎万代, 仲江川敏之, 石崎紀子, Climact による日本域の気候指標利活用の可能性, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, つくば市
10. 小畑淳, 辻野博之, 地球システムモデルによる旱魃と飢饉の地域別推定, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
11. 仲江川敏之, 佐々木秀孝, 楠昌司, 野坂真也, R. Pinzon, J. Fabrega, J.S. Galan, 気象研究所におけるパナマでの気候変化予測協力, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン

報道・記事

1. 川瀬宏明, 地球温暖化で激しさを増す水害, 朝日新聞 別刷 GLOBE, 2021 年 4 月 4 日
2. 川瀬宏明, シリーズ“2030 未来への分岐点”「暴走する温暖化地球の危機」, NHKBS1 スペシャル, 2021 年 4 月 18 日
3. 川瀬宏明, 温室効果ガス増加・水害に影響, 日本農業新聞, 2021 年 5 月 1 日
4. 山口宗彦, 9 月の台風 近年遅く, 読売新聞, 2021 年 5 月 18 日
5. 川瀬宏明, 複合的な災害 影響が深刻化, 毎日新聞, 2021 年 5 月 18 日
6. 山口宗彦, 秋台風、ノロノロに, 日本経済新聞, 2021 年 5 月 19 日
7. 山口宗彦, 温暖化で災害増 再び関心, 日本経済新聞, 2021 年 5 月 31 日
8. 山口宗彦, 9 月の台風 速度遅く, 朝日新聞, 2021 年 6 月 1 日
9. 加藤輝之, 1995 年県北部豪雨「線状降水帯」か専門家分析, 信濃毎日新聞, 2021 年 6 月 3 日
10. 山口宗彦, 大雨発生数 1.5 倍に, 日本経済新聞, 2021 年 6 月 30 日
11. 川瀬宏明, 高まる「温暖化で豪雨」, 毎日新聞, 2021 年 7 月 20 日
12. 川瀬宏明, 温暖化 異常気象に拍車, 毎日新聞, 2021 年 8 月 10 日
13. 川瀬宏明, 「人間が生んだ危機」断定, 朝日新聞, 2021 年 8 月 10 日

14. 川瀬宏明, 梅雨の雨 10年で活発化, 朝日新聞, 2021年8月10日
15. 川瀬宏明, 異例豪雨 大気の流れ停滞, 日本経済新聞, 2021年8月17日
16. 川瀬宏明, 日本の夏 まさかの長雨, 毎日新聞, 2021年8月27日
17. 川瀬宏明, 凶暴台風 制御に挑む, 朝日新聞, 2021年9月10日
18. 山口宗彦, 学ぼう、台風の仕組み, 毎日こども新聞, 2021年9月22日
19. 川瀬宏明, 昨年の暖冬要因解明, 日刊工業新聞, 2021年9月23日
20. 川瀬宏明, 知って備える 異常な降水のメカニズム, 朝日新聞, 2021年9月30日
21. 川瀬宏明, 梅雨の大雨 北海道でも, 読売新聞, 2021年11月14日
22. 川瀬宏明, ドカ雪で立ち往生 防ぐには, 朝日新聞, 2021年12月20日
23. 川瀬宏明, 夕刊 雪は雨へと・・・クリスマスの未来は, 朝日新聞, 2021年12月23日
24. 小畑 淳, 気温を下げるガス 放出少なめ, 朝日新聞, 2022年1月19日
25. 小畑 淳, 地球寒冷化へ影響「限定的」, 日本経済新聞, 2022年1月20日
26. 小畑 淳, Is all that ash in the earth's atmosphere going to block the sun and cool the planet?, ウォールストリートジャーナル, 2022年1月21日
27. 小畑 淳, 気温低下 影響限定的, 読売新聞, 2022年1月23日
28. 川瀬宏明, 「大気のカ」由来豪雨増加, 日刊工業新聞, 2022年1月24日

その他（「成果の他の研究への波及状況」関連）

・講演、アウトリーチ等

1. 加藤輝之, 線状降水帯とは, 気象研究所お天気フェア, オンライン, 2021年7月20日～8月31日
2. 加藤輝之, 集中豪雨をもたらす線状降水帯とは, 気象学会九州支部第21回気象教室, オンライン, 2021年10月17日
3. 川瀬宏明, 気候変動で変わる大雨, 気象学会九州支部第21回気象教室, オンライン, 2021年10月17日
4. 加藤輝之, アンサンブル予報を用いたリスクマネジメント, 危機管理産業展 (RISCON TOKYO) 2021 危機管理セミナー, 東京都, 2021年10月20日
5. 加藤輝之, 集中豪雨の発生要因と予報について～線状降水帯を中心として～, 第16回航空気象シンポジウム, オンライン, 2021年11月20日
6. 村田昭彦, 地域気候モデルによる気候予測の現状と課題, 気候変動適応の研究会シンポジウム, オンライン, 2022年2月22日

二重偏波レーダーを用いた火山噴煙の解析的研究

研究年次：2年目／3年計画（令和2年度～令和4年度）

研究代表者：佐藤英一（火山研究部第2研究室）

研究担当者：

〔鹿児島地方気象台〕星原一航、久保武史、小枝智幸、中橋正樹

研究の動機・背景

（社会的背景・意義）

気象レーダーで火山噴煙を捉えた事例は数多くある（Wilson et al. (1966)、澤田 (2003)、Marzano et al. (2013) など）。1980 年のセントヘレンズ火山噴火時には噴煙高度と空間的広がりの時系列が捉えられる（Harris et al. (1981)）など、気象レーダーによる火山噴火（噴煙）監視の有効性も示されてきた。2011 年の霧島山（新燃岳）では、気象庁のレーダーを用いて観測したエコー頂データの推移（新堀・福井, 2012a；新堀・福井, 2012b；新堀ほか, 2013）を移流拡散（数値計算）モデルの初期値に用いることで、その後の降下火砕物（テフラ）の分布を再現することに成功したという研究（Hashimoto et al., 2012；新堀ほか, 2014）もある。こうした成功例とも呼べる事例がある一方で、課題の残る結果となった事例もある。2014 年御嶽山噴火事例では、水蒸気噴火における量的推定（噴煙内部の水物質の影響）に関する課題が、2017～2018 年新燃岳では気象レーダーによる雨灰判別の課題が、明らかとなった。そのような問題解決のキーとなる可能性を持っているのが、二重偏波気象レーダーである。二重偏波レーダーは降水量の高度な推定や降水粒子判別での実績があるが、火山噴煙ではまだ研究フェーズでの利用にとどまっている。日本含め、世界的に現業レーダーの二重偏波化が進んでおり、これら二重偏波レーダーを火山監視に有効活用するためにも、基礎的な研究の積み重ねが必要である。本研究では、二重偏波レーダーを用いた事例解析を進めることで、雨灰判別などの問題解決の糸口を見つけることを目指す。

（学術的背景・意義）

火山噴火の規模は、総噴出物量によって測られる。総噴出物量は、たいていの場合事後の現地調査によって明らかになるが、噴煙高度からおおよそその噴火規模を見積もることが可能である。具体的には、噴出物量（率）は噴煙高度のおおよそ 4 乗に比例することが理論（Morton et al. (1956)）及び実際のデータ（Mastin et al. (2009)）からも明らかになっている。しかし、この推定は大まかなものであり、噴出物量をより正確に推定するためには、噴煙内部に含まれる火山灰（礫）の量を直接的に推定する必要がある。噴煙内部の火山灰量を気象レーダーなどのリモートセンシングで推定する際には、大きく 2 つの問題がある。一つは粒径分布が分からないことと、もう一つは水物質の影響である。そのような問題を解決するために期待されている測器の一つが、二重偏波気象レーダーである。二重偏波気象レーダーは、近年、気象学の分野において目覚ましい発展を遂げてきた。特に、降水量（強度）の高度な推定や、降水粒子判別の分野においては、実用化のフェーズに入りつつある。二重偏波レーダーを火山噴煙の観測に応用する試みは、2000 年三宅島噴火の際に防災科学技術研究所によって行われた（Maki et al. (2001)、Maki and Doviak (2001)、真木・岩波 (2002)）が、その後、約 10 年に渡って、そのような研究プロジェクトは存在しなかった。しかし、世界的には 2010 年のエイヤフィヤトラヨークトル火山噴火を機に、2011 年頃からイタリアやアイスランドで火山噴煙を二重偏波レーダーで観測する取り組みが本格化している。日本では、2010 年から国土交通省 X バンド MP レーダー網（XRAIN・当時の略称）の整備が始まり、桜島局（2011 年～）などで噴火観測事例が蓄積されている。

国内では気象研究所の他に、京都大学防災研究所や鹿児島大学で気象レーダーによる火山噴煙の観測・解析が行われているが、コミュニティの規模が小さいため、十分な事例数の解析が行われているとは言えない。二重偏波レーダーデータによる解析事例を蓄積することで、噴煙内部のダイナミクス・素過程に関する理解を深めていく必要がある。

（気象業務での意義）

Mastin et al. (2009) の関係式は、気象庁の降灰予報及び航空路火山灰情報（VAA）にも用いられている。本研究など、二重偏波レーダーによる火山噴煙による観測・解析が進めば、降灰予報や VAA の予測精度改善のための、基礎となるデータを得ることが出来る。

気象庁では、国内の主要空港に設置している DRAW の更新・二重偏波化を進めており、平成 30 年度までに羽田・成田・関西・那覇の各空港にある DRAW が二重偏波化している。また、全国の降水を監視している一般気象レーダー網については、今年度の東京レーダーを皮切りに、二重偏波化を進めていく計画である。近い将来、鹿児島 DRAW や種子島レーダーが二重偏波化した際に、本研究で培った知識や技術が地方での調査研究・技術開発にも役立つ。

雨灰判別に関しては、火山監視現業への直接的なメリットがある。本研究のような研究が進み、将来的に気象レーダーによる雨灰判別が可能になれば、現業における噴火（噴煙）監視の能力が格段に向上することが期待できる。

研究の目的

本研究の目的は、地方（現業）官署における二重偏波気象レーダーを用いた噴煙解析技術の普及である。また、本研究を通じて、気象レーダーを用いた火山噴煙解析分野（コミュニティ）の裾野拡大・職員のスキルアップも目指す。

研究の目標

- ・気象研究所 X バンド MP レーダー（MRI-XMP）や 2 次元ビデオディストロメーター（2DVD）、国土交通省 XRAIN などの二重偏波レーダーで観測したデータを用いて、桜島などの噴火事例による事例解析を行い、噴煙／火山灰雲エコーと降水エコーの違いについて、とりまとめる。

- ・二重偏波気象レーダーを用いた火山噴煙の解析環境を構築し、その手順をマニュアル化する。

研究成果

（１）今年度得られた成果の概要

8 月 30 日にオンラインにて、担当者向けに技術的解説＋今後の方針について打合せを実施。（メールによるサポートは随時実施。）

昨年度 CentOS6 サポート切れのために入れた CentOS8 のサポート終了（打ち切り）に対応するため、CentOS7 のインストール及び環境構築を行った。

12 月 1 日鹿児島地方気象台にて、レーダー解析ソフトウェア（draft）の再インストールの際の不具合に関して、打合せを行った（解決済み）。

下記の事例を解析中。

2018 年 6 月 10 日 14 時 22 分 爆発 噴煙高度 1000m 以上（天候不良）

2018 年 6 月 16 日 07 時 19 分 爆発 噴煙高度 4700m（火砕流あり）

2020 年 4 月 04 日 16 時 21 分 噴火 噴煙高度 3800m 以上（天候不良）

（２）当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

特になし

（３）成果の他の研究への波及状況

本研究で選定した解析事例については、気象研究所経常研究「火山活動の監視・予測に関する研究」副課題 3 「火山噴出物の監視技術とデータ同化に基づく輸送予測」テーマ 1 における噴火現象の検知や噴煙に含まれる火山灰等の定量的推定手法の開発のための事例解析の対象としている。

（４）事前・中間評価の結果の研究への反映状況

昨年度のチェックアップで、オンライン会議をうまく使うようコメントがあった。今年度も新型コロナウイルス感染拡大の影響により出張を控えた期間があったが、その間にも、オンラインによる技術的解説と今後の方針についての打合せを実施した。

今後の研究の進め方

引き続き噴火事例の解析を行い、火山噴煙の二重偏波パラメータの変化傾向を掴む。解析のとりまとめ（噴煙／火山灰雲エコーと降水エコーの違い）を行う予定。

研究成果リスト

(1) 査読論文

特になし

(2) 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説等）:

特になし

(3) 学会等発表

特になし

(4) 投稿予定論文

特になし

報道・記事

特になし

その他（「成果の他の研究への波及状況」関連）

特になし

2. 3. 研究中間報告

本節には、気象研究所が令和3年度に中間評価を実施した経常研究について、課題毎に研究計画と研究成果等を掲載した。

2.3.1. 経常研究

・ M 地球システム・海洋モデリングに関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・	63
・ P 大気の物理過程の解明とモデル化に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・	86
・ T 台風・顕著現象の機構解明と監視予測技術の開発に関する研究・・・・・・・・	122
・ C 気候・地球環境変動の要因解明と予測に関する研究・・・・・・・・・・・・・	160
・ S 地震と津波の監視・予測に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	186
・ V 火山活動の監視・予測に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	197

M 地球システム・海洋モデリングに関する研究

研究年次：3年目／5年計画（令和元年度～令和5年度）

研究代表者：山中吾郎 全球大気海洋研究部長（令和3年度）
 行本誠史 全球大気海洋研究部長（令和2年度）
 前田修平 全球大気海洋研究部長（令和元年度）

課題構成及び研究担当者

（副課題1）気象・気候予測のための地球システムモデリングに関する研究

〔全球大気海洋研究部〕○石井正好、吉村裕正、出牛 真、神代 剛、吉田康平、新藤永樹、高谷祐平、足立恭将（令和2～3年度）、大島 長、中野英之（令和3年度）、浦川昇吾
 〔気象予報研究部〕川合秀明、長澤亮二、庭野匡思（令和3年度）
 〔気象観測研究部〕堀田大介（令和3年度）
 〔気候・環境研究部〕保坂征宏、水田 亮、田中泰宙、辻野博之、行本誠史（令和3年度）
 〔応用気象研究部〕小畑 淳

（副課題2）マルチスケールに対応した海洋予測技術の開発に関する研究

〔全球大気海洋研究部〕○中野英之（令和3年度）、山中吾郎、豊田隆寛、坂本 圭、浦川昇吾、川上雄真（令和3年度）、高野洋雄、藤井陽介、碓氷典久、広瀬成章、吉村裕正、高谷祐平、新藤永樹
 〔気候・環境研究部〕辻野博之

（副課題3）次世代海洋データ同化・大気海洋結合データ同化に関する研究

〔全球大気海洋研究部〕○高野洋雄、藤井陽介、碓氷典久、広瀬成章、山中吾郎、中野英之、豊田隆寛、坂本 圭、浦川昇吾、石川一郎、高谷祐平
 〔気象観測研究部〕岡本幸三、石橋俊之
 〔気候・環境研究部〕遠山勝也

（副課題4）全球数値予報モデル、季節予測システムに関する研究

〔全球大気海洋研究部〕○石川一郎、高谷祐平、新藤永樹、齊藤直彬（令和元～2年度）、足立恭将（令和2～3年度）、藤井陽介、豊田隆寛、山中吾郎（令和元～2年度）、中野英之（令和3年度）、浦川昇吾、吉田康平、出牛真（令和3年度）
 〔気象予報研究部〕川合秀明
 〔気候・環境研究部〕保坂征宏、今田由紀子、小林ちあき、辻野博之
 〔応用気象研究部〕行本誠史（令和元年度）

（副課題5）化学輸送モデル、大気微量成分同化に関する研究

〔全球大気海洋研究部〕○眞木貴史、関山 剛、出牛 真、大島 長、梶野瑞王、足立光司
 〔気象観測研究部〕酒井 哲、吉田 智、近藤圭一
 〔台風・災害気象研究部〕永井智広
 〔気候・環境研究部〕直江寛明、田中泰宙

研究の動機・背景

（社会的背景・意義）

近年、集中豪雨・台風等の災害をもたらす顕著な現象が激甚化している。また、地球温暖化の進行を背景として大気や海洋の長期変化の予測の重要性が増大している。さらに、温室効果ガスや汚染物質の排出増加にともない、地球環境の監視・予測技術の重要性が増大している。これらの相互作用を適切に取り扱いながら数値解析予測モデルの研究を進めることは、「気候変動適応」の法制化に対応する高精度の温暖化予測と気候変動が全球から地域までのそれぞれにもたらす影響の評価に大きく資する。

一方、気象庁では平成 30 年交通政策審議会気象分科会提言「2030 年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」、及びそれを受けた「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」が策定され、2030 年を見据え、数日先の台風・集中豪雨の予測から数十年以上先の地球温暖化予測まで精度向上が求められている。

(学術的背景・意義)

これまでの数値解析予報モデルは地球温暖化予測や季節予報を目的としたモデルを除き、大気、海洋、波浪、物質輸送など（以下、構成要素）のモデルが個別に開発されてきた。気象庁の現業で使用しているモデルも多くがそれぞれの業務目的に対応した構成要素を予測対象としており、他は境界値などの形で与えて各構成要素間の相互作用が適切に扱われていない。

このため、大気、海洋、波浪、陸面、雪氷、物質輸送等の地球システムを構成する多様な要素地球システムの各構成要素とそれらの相互作用を「地球システム」として総合的に扱う数値解析予測モデルによって精緻に解析・予測することが重要である。多様な目的に対応するための階層的な「地球システムモデル」（気象庁「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」より）の考え方に基づき、現業と研究の双方に利用できる最先端の数値解析予測システムを構築する。

ここで、階層的な「地球システムモデル」とは、対象とする現象の予測に重要な各地球システム要素のモデルを組み込み、目的ごとに必要とされる複雑さと精密さで地球の諸現象をより正確に再現するためのモデルを意味する。予測の精度を上げていくには、各要素モデル間で連携しながら開発を進めていく必要がある。本研究課題ではその考え方に基づいて研究を進める。

(気象業務での意義)

「地球システムモデル」の成果が気象庁の現業モデルで最大限利用できるように研究を進める。利用方法としては、ひとつの同じモデルを多業務に適用するのではなく、階層的な「地球システムモデル」の考え方に基づいたモデルを開発し、それを構成する「コンポーネント」をできるだけ共有できるようにして各現業モデルで利用する形で貢献することを想定する。これにより、地球温暖化を背景とする台風・集中豪雨などの顕著現象、季節予報、海況監視予測、物質循環等の予測に貢献する。また、「気候変動適応法」に対応するための温暖化予測情報に高い精度を持つ情報を提供する。

研究の目的

(全体)

気象研究所における数値予報モデル開発関連の研究について、地球の大気、海洋、陸面・雪氷、大気微量成分など地球システムを構成する各要素を総合的に扱う「地球システムモデル」の考え方に基づいた研究を進める。これにより、地球システムの構成要素の関連性とそれらの相互作用を適切に扱い、その成果を様々な時間・空間スケールの現象の高精度の解析と予測に適用させられる「階層的」な「地球システムモデル」の考え方に基づいた統合的な研究課題とし、次世代の現業数値予報モデルの仕様に係る指針を得る。

(副課題 1)

幅広い時間・空間スケールの現象を高精度に表現可能な地球システムモデルを開発することにより、気象・気候予測の精度向上と不確実性低減に貢献する。

(副課題 2)

様々な時空間スケールに対応した海洋予測技術を開発することにより、気候変動予測情報や日本周辺の海洋環境情報の高度化に貢献する。

(副課題 3)

海洋及び大気海洋結合に関連したデータ同化システムの改良を通じて、沿岸の詳細な海況情報の発表や大気海洋結合モデルを用いた週間・1 か月アンサンブル予報や季節予報などで用いる初期値の改善に貢献する。

(副課題 4)

季節予測システムの改良を通じて、現業季節予報の精度向上に貢献する。その成果を利用しながら週間・1 か月予報の改良を進める。

(副課題 5)

エアロゾル、オゾン、温室効果ガス等（大気微量成分）の動態をシミュレートする化学輸送モデルを高度化する。また、これらの物質に関して多様なリモートセンシング観測データを用いて分布

に関する監視と、化学輸送モデルを検証・改良すると共に、データ同化技術を開発・改良する。また、これらの各種プロダクトや手法を用いた応用研究（視程、排出量逆解析等）を実施する。

研究の目標

（全体）

地球システムの構成要素の関連性とそれらの相互作用を適切に扱い、地球システムの様々な時間・空間スケールの現象について高精度の解析と予測を行う。

（副課題 1）

高解像度化を可能にする新しい地球システムモデルを開発し、数日以上前からの台風の発生や強度の予測など、気象予測の新たな可能性を探る。また、積雲対流過程、境界層過程、雲物理過程など各種物理過程や物質循環過程を高度化し、全球規模の気候変動予測の高精度化を図るとともに、台風や梅雨など地域規模の現象の高精度な再現と変動予測を可能とする。

（副課題 2）

- ・ 海洋モデルの高解像度化に対応して、物理プロセスを改良する。
- ・ 様々な時空間スケールに対応した海洋予測技術を開発する。
- ・ 開発した海洋モデルを用いて、気候変動に関わる海洋循環や海面水位等の変動プロセスを解明する。
- ・ 海洋モデルの開発効率を向上させるため、海洋モデル開発基盤の整備を行う。

（副課題 3）

- ・ 平成 30 年度までに開発した全球海洋データ同化システム及び日本近海海洋データ同化システムを現業化する。
- ・ 海況の再現性改善に向け、衛星海面水温の直接同化などを用いた新たな海洋データ同化手法を開発する。
- ・ 開発した海洋データ同化システムを適用して大気海洋結合同化システムを改良し、改善した大気海洋結合モデル初期値を作成すると共に、結合同化の解析インパクトを明らかにする。
- ・ 海洋観測の効率化や最適化に向け、海洋観測データのインパクト評価を行う。

（副課題 4）

平成 33 年度現業化を目標として次期季節予測システムの開発・改良を行う。さらに将来の季節予測システムに向けた開発と 1 か月より短い予報の大気海洋結合化を含むフィジビリティ研究を行う。

（副課題 5）

- ・ 気象研究所地球システムモデル（MRI-ESM2）におけるエアロゾル、オゾン等の化学輸送モデルを高度化する。
- ・ 領域化学輸送モデルを高解像度化すると共に、気象庁領域モデル（asuca）対応を行う。
- ・ エアロゾル、オゾン等大気微量気体をシームレスに取り扱う全球化学統合モデルを開発する。
- ・ ライダー・衛星・地上（分光日射）観測により、エアロゾル等の分布を監視する。
- ・ 衛星に関しては衛星から組成別の光学的厚さ算出を目指す。
- ・ 大気微量成分のデータ同化システムを開発・高度化して、エアロゾル・オゾンに関しては本庁での業務開始・高度化を支援する。
- ・ エアロゾル・オゾンに関する再解析を高度化する。
- ・ 温室効果ガス輸送モデルや逆解析を高度化する。
- ・ 視程・排出量逆解析に関する技術開発を進める。

中間評価時の到達目標

（全体）

地球システムの構成要素の関連性とそれらの相互作用を適切に扱い、地球システムの様々な時間・空間スケールの現象について高精度の解析と予測を行うための技術的基盤を確立する。

(副課題 1)

- (a) 高解像度地球システムモデルによる気象予測のフィジビリティ研究
- ・非静力学全球大気モデルに標準解像度 ($1^{\circ} \times 0.5^{\circ}$) の海洋モデルを結合し、大気モデル高解像度化のインパクトを評価する。
- (b) 地球システムモデルの気候再現性の高精度化
- ・高度化した境界層スキームと浅い対流スキームを導入し、その効果を評価する。
 - ・高度化した雲物理スキームを導入し、その効果を評価する。
- (c) 気候と化学物質の相互作用の高度化
- ・全球大気モデルにエロゾルモデルと大気化学モデルを結合し、気候再現性を評価する。

(副課題 2)

- (a) 海洋モデルのプロセス改良
- ・海面境界過程におけるサブグリッドスケールのパラメタリゼーションの改良を行う。
 - ・観測データを基に海氷モデルの最適なパラメータを決定する。
- (b) 次世代の海洋予測技術の開発
- ・高分解能大気海洋結合モデルを構築する。
- (c) 海洋変動機構の解明
- ・前中期計画で開発した多段階ネストモデルを用いて、気候変動に関わる海面水位等の変動プロセスを明らかにする。
- (d) 海洋モデルの開発基盤の整備
- ・高精度時間積分スキームを導入し、海洋モデルの高速化を図る。

(副課題 3)

- (a) 既存海洋データ同化システムの精度評価等
- ・本庁と協力して、前研究で開発した海洋データ同化システムの精度評価や改良等を行い、運用を開始する。
- (b) 新たな海洋同化手法の開発
- ・SST 直接同化や海流の同化手法を開発し、検証作業を行い、さらなる改良を進める。
- (c) 大気海洋結合同化システムの改良
- ・現結合同化システムによる初期値を作成し、インパクト評価を行い、結果を踏まえてシステムの改良方針を明らかにする。
- (d) 海洋観測のインパクト評価と最適化
- ・海洋観測の同化インパクト等について評価を行い、重要観測地点等の特定を進める。

(副課題 4)

- (a) 次期季節予測システムの運用開始(令和3年度予定)に向けた開発・精度評価
- ・新季節予測システムの再予報実験とその評価を含む、運用開始の準備を完了し、令和3年度に運用開始する。
- (b) 将来の季節予測システムに向けた開発・フィジビリティ研究
- ・高解像度化の影響を調べる実験を行い、その結果を解析する。
 - ・現行の季節予測システムを用いて、結合系のアンサンブル手法の開発と、季節内予測への適用可能性の検証を行う。
- (c) 海洋観測システムの季節予報への影響に関する研究
- ・観測システムの影響評価のための季節予報実験に着手する。

(副課題 5)

- (a) 化学輸送モデルに関する研究
- ・M1 課題と連携して全球エロゾル、オゾンモデル諸過程の改良を行う。
 - ・大気化学統合モデルの開発を進める。
 - ・領域化学輸送モデルの高解像度化を進めると共に、asuca 対応を行う。
 - ・ライダー観測を継続し、モデルとの比較検証を行う。
 - ・各種地上観測データ(分光日射、分光放射計等)を用いて検証を行いつつ全球・領域化学輸送モ

デル諸過程の改良を進める。

(b) データ同化・応用技術に関する研究

- ・ひまわり 8 号エーロゾル光学的厚さ（組成別解析結果の導入など）のデータ同化システム（2D-Var）の改良（観測データの品質評価も含む）を進めつつ、他の衛星観測データ（GCOM-C、GOSAT-2 等）の導入に着手する。
- ・アンサンブルカルマンフィルタ（LETKF）を用いた全球・領域エーロゾルデータ同化手法の開発（気象場の同時解析、鉛直分布同化等）を進める。
- ・全球オゾンデータ同化システムの開発および高度化を行う。
- ・オゾン（長期再解析 JRA-3Q 用）、エーロゾル（JRAero）に関して再解析プロダクトを高度化する。
- ・観測データとの比較検証を行いつつ、CO₂ 逆解析に衛星観測データを導入する。
- ・衛星観測データより組成別光学的厚さを算出する手法を開発する。
- ・AI を用いたエーロゾルガイダンスの開発及び排出量逆推計等を進める。

研究成果

（１）これまで得られた成果の概要

（全体）

「研究の目標」の項目順で記述する。詳細は副課題 1～5 を参照して頂きたい。

A) 地球システムの構成要素の関連性とそれらの相互作用を適切に扱いつつ、モデル構築を行った。

- ・「地球システムモデル課題」（副課題 1）では、二重フーリエ級数を採用した全球大気モデルを開発し、高速化を図るとともに、非静力学モデルへの拡張を進めた。また、大気モデルに新しい物理スキームの導入等を行い、気候と化学物質の相互作用を含む、次期地球システムモデル（MRI-ESM3）の開発を進めた。
- ・「海洋モデル課題」（副課題 2）では、海洋モデルに高精度の時間積分スキームを導入し高速化を図るとともに、観測データを基に海氷モデルの最適なパラメータを決定し、海氷速度の再現性向上を実現した。また、短期予報への適用を視野に入れた高分解能大気海洋結合モデルや大気波浪結合モデルの開発を進めた。
- ・「海洋データ同化課題」（副課題 3）では、衛星海面水温データの直接同化など新たな海洋同化手法の開発を進めるとともに、現業システムに見られる海水分布の系統誤差の改良を行った。また、大気海洋結合モデルの初期値作成に資する大気海洋結合同化システムの再現性評価や季節予報システム（CPS3）をベースとした高度化を進めた。
- ・「季節予測システム課題」（副課題 4）では、CPS3 の性能評価を進め、熱帯の渦活動や ENSO, MJO の再現性など全体として性能の向上が見られた。また、海洋高解像度化のインパクト、大気海洋結合同化の結合プロセス再現性への影響、アンサンブル構成の予測精度への影響といった将来の季節予測システムの改善につながる研究を行った。
- ・「化学輸送モデル課題」（副課題 5）では、全球エーロゾル、オゾンモデル諸過程の改良を行い、CMIP6 実験や関連する MIP（AerChemMIP, DAMIP など）に貢献した。また、エーロゾルから雲微物理過程・大気放射過程を通じた気象へのフィードバック過程を導入し、モデルの検証をおこなうとともに、領域化学輸送モデルの高解像度化を進めた。また、AI を用いた視程ガイダンスのプロトタイプを開発するとともに、気象場のダウンスケーリング手法の開発を行った。

B) 地球システムの様々な時間・空間スケールの現象について、高精度の解析と予測を行った。

- ・「地球システムモデル課題」（副課題 1）では、高解像度非静力学全球大気スペクトルモデルに低解像度の海洋モデルを結合した実験を実施し、現実的な台風示度や降水分布を再現できる可能性が高いことを示した。また CMIP6 実験の解析から、現行地球システムモデル（MRI-ESM2）は気候値とともに ENSO、成層圏突然昇温等の自然変動の再現性が向上していることを示した。
- ・「海洋モデル課題」（副課題 2）では、20 世紀を通じた日本沿岸の海面水位の長期変動を調査し、気候変動に関わる外洋の変動と沿岸捕捉波の重要性を明らかにした。また、高分解能大気海洋結合モデル（大気 10km、海洋 10km）を用いた 10 日予報を実施し、大気単体モデルに比べて、熱帯域を中心に大気場の予測精度が改善することを示した。
- ・「海洋データ同化課題」（副課題 3）では、日本沿岸海況監視予測システムを用いて、日本沿岸の海況特性の取りまとめや急潮の予測可能性を評価し、1971 年と 2011 年に日本南岸で発生した異常潮位の発生メカニズムを明らかにした。また、海洋観測データの同化に対するインパクトについて評価した。

- ・「季節予測システム課題」(副課題4)では、季節予測システム(CPS2)を用い、異常天候のメカニズム解明や予測可能性に関する研究を実施した。
- ・「化学輸送モデル課題」(副課題5)では、国際的な枠組みの中でMRI-ESM2を用いてエアロゾル等の放射影響を評価するとともに、COVID-19に伴う気候影響を迅速に評価した。

(副課題1)

- ・大気、海洋、陸面(含む生態系)、化学、物質循環のそれぞれのモデルコンポーネントから構成される地球システムモデル(ESM)の開発を当課題で統括して進めていくために、各コンポーネントの開発グループからの代表者からなる組織を構成し、ESM開発計画の立案を行うとともに、ESM開発に関連した文書の管理、モニタ図作成ツールの整備、モデル管理や入出力の標準化などを当組織で行うようにした。また、陸面開発グループを新規に立ち上げ、今後、所外の研究グループとも連携しながら、陸面モデルや物質循環モデルの開発を実施していくことを決めた。また、ESM開発は、ESMを応用する課題との情報交換や共同作業が大切であるとして、ESMユーザ・開発者会合を定期的に開催し、双方の情報の交換を進めた。
 - ・上記したESM開発体制の下で、次期バージョンとなるMRI-ESM3の開発を進めた。ここでのハイライトは、気象庁の現業モデルの大気モデルの開発と同調できるように、10年数年ぶりに本庁大気モデルを、陸面モデルを含めて導入すること、海洋の最新モデルと結合して大気との間のフラックス交換の整合性を高めること、そして化学と他コンポーネント間の相互作用の改良である。現在は、大気と海洋を結合した状態での大気モデル更新作業段階にあり、今後、化学コンポーネントとの結合や陸面の気候モデル化を進めていく。
- (a) 高解像度地球システムモデルによる気象予測のフィジビリティ研究
- ・空間解像度10km以下の全球大気モデルを実現するために、スペクトルモデルの計算効率を高める二重フーリエ級数によるスペクトル表現の開発、非静力学モデルへの拡張、そして格子モデルとスペクトルモデルを併用するハイブリッドモデルの開発を進めた。二重フーリエ級数と非静力化の作業は完了しており、現在成果のとりまとめを行っている。二重フーリエ級数を採用した高解像度非静力学全球大気スペクトルモデル(解像度3.9km)に低解像度の海洋モデルを結合した台風再現実験からは、現実的な台風示度や降水分布を再現できる可能性が高いことを確認した。
- (b) 地球システムモデルの気候再現性の高精度化
- ・中期計画の当初の1、2年目に、第6期国際結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)対応のために、MRI-ESM2による計算の実施を行い、予定していた全ての計算(コア実験と12のサテライト実験)を完了して、CMIP6の国際データ交換システム(ESGF)へ実験データを提出した。その傍らで、MRI-ESM2に関連する記述論文を4編作成して、物理プロセスを改良したことによる大気と海洋のモデル気候値が改善されたことと、雲に関連した物理スキームや化学との相互作用過程についての丹念な検証・改良作業により劇的に雲や放射のバイアスが改善されたことを示した。また、国際共同研究の元で行われたCMIP6成果とりまとめ論文の作成に関与し、つごう30編超の論文が公開された。これに加えて、地球システムモデルの気候再現性を高めるために、大気モデルに新しい物理スキームの導入と既存のスキームの改良を行ってきた。境界層スキームと浅い対流スキームには、MRI-ESM2の独自開発となるEddy-Diffusivity Mass-Flux(EDMF)を導入し、対流圏下層の温度や湿度のバイアスの低減を図る。初期実験の結果、EDMFの導入効果は大きいことがわかり、バイアス低減が期待される。また、EDMF導入に伴う積雲スキームの改良や、気候モデルの温暖化強制外力に対する感度に敏感と考えられている雲物理スキームの改良、大気海洋間のフラックス交換の整合性を高めるための改良などに取り組んだ。
- (c) 気候と化学物質の相互作用の高度化
- ・モデル内で化学反応を陽に取り扱うことの需要は高まってきている。ここでは、長期的気候予測への影響に焦点を当てて化学モデルやエアロゾル輸送モデルの開発を行っている。CMIP6で両者のモデルを同時に組み入れた最先端レベルの実験を行ったことや自らのモデルの結果を諸国の関係機関に認知させる努力が奏功し、多くの国際共同研究に参加し、モデルの検証を進めることができた。結果として、現在までに48編の関連論文が公開されている。成果の一部として、MRI-ESM2で再現された対流圏オゾン量はCMIP6参加モデル中では平均的水準にあり衛星観測などとの対応も良い、また、中国における日射量観測や東アジアのPM2.5観測された季節変化との対応が良いことが分かった。本中期計画内に完成を目指すMRI-ESM3.1では、大気モデルの格子と整合させた既存のエアロゾルモデルと化学モデルを結合することとして、作業を進めた。これと並行

して、大気モデルとの相互作用を精緻に計算するスキームを開発するために文献調査などを行い、化学モデルの更新準備を進めた。

(副課題2)

(a) 海洋モデルのプロセス改良

- ・海面境界過程におけるサブグリッドスケールのパラメタリゼーションの改良として、気象庁の全球大気モデル(GSAM)で使われている ECMWF 基準のバルク法に基づく海面フラックスを気象研究所 共用海洋モデル(MRI.COM)に導入し、GSAM との結合の際のショックの低減を図った。
- ・観測データを基に海氷モデルの最適なパラメータを決定し、MRI.COM に導入した。

(b) 次世代の海洋予測技術の開発

- ・海洋の初期化や上記の海面フラックスを変更することで、結合時の初期ショックを抑えた高分解能大気海洋結合モデルを構築した。また、このモデルを用いて短期(～10 日先)の予報実験を実施するとともに、予報結果における大気モデルや海洋モデルの水平解像度依存性などについて本庁数値予報課と協力して調査を進めた。
- ・大気波浪結合モデルのプロトタイプ(大気モデル:TL319L100、波浪モデル:MRI-III、解像度 0.5°)を開発し、動作確認・改良を進めるとともに、予備的な調査として結合インパクトを調べた。

(c) 海洋変動機構の解明

- ・前中期計画で開発した多段階ネストモデルを用いて、気候変動に関わる海面水位等の変動プロセスを明らかにするため、20 世紀を通じた気候変動に関わる日本周辺の海面水位を調査し、外洋の風の場の変動と沿岸捕捉波の重要性を明らかにした。
- ・海洋モデルの国際比較実験(OMIP)の解析を通じて海洋モデルのバイアス等の特性を把握した。
- ・東経 137 度の水塊形成過程など海洋の変動メカニズムの解明を進めた。
- ・エネルギーフラックスの定式化(Aiki et al., 2017)に基づいたエネルギー収支診断ツールを用いて、1997-1998 年と 2005-2006 年の大きなエルニーニョ発達のエネルギー循環を解明した。
- ・日本近海海洋データ同化システムの結果と現場観測を組み合わせる駿河湾の上層の循環に対する黒潮水分岐流の貫入の影響を調査した。
- ・日本周辺の海況(海水温、海面水位、海氷、海洋循環)の将来予測結果を解析した。その成果は、令和 2 年 12 月 2 日に「日本の気候変動 2020」として公表された。

(d) 海洋モデルの開発基盤の整備

- ・海洋モデルの高速化を図るため、高精度時間積分スキームである、3 次の leapfrog+Adams-Moulton(LFAM3)スキームを MRI.COM に導入した。その結果、約 3 割の高速化を達成するとともに、水や熱の保存性や、時間積分精度を向上させた。
- ・GitHub を用いて部外利用者の要望等を海洋モデル開発に反映させた。湾モデルの構築を容易にする「湾モデル構築パッケージ」を作成した。

(副課題3)

(a) 既存海洋データ同化システムの精度評価等

- ・開発した日本沿岸海況監視予測システムの現業化に向けた検証をすすめ、システムの特長を取りまとめて技術報告で発表した。現業システムの仕様の詳細を確定するために、設定ファイルの整備や追加実験による支援を行いつつ、令和 2 年に同システムは正規運用を開始した。精度評価の中で明らかになった、海氷分布の系統誤差についてその要因を解析し、改善策の検討や改良等を進めた。同改良の一部は令和 3 年 12 月に現業モデルに反映された。また、精度評価に関連して、黒潮の大蛇行、急潮および異常潮位のメカニズムや予測可能性等について調査を行っている。
- ・令和 3 年度に運用を開始した新しい季節予報システム(CPS3)のコンポーネントである四次元変分法全球海洋データ同化システム(MOVE-G3)について性能評価を継続的に進め、海氷再現性の向上等のための改良や現業化に向けた支援を行った。また、本システムで導入した各種改良に関するインパクトの調査を実施し、特に四次元変分法については、従来の三次元変分法とくらべ、海面水温の解析値と観測値の間のバイアスや RMSE を低減していることを確認した。また、海氷同化により、海氷周辺の広い範囲で水温場の改善が見られることも確認した。また、次期季節予報システム(CPS4)に向けて、解像度 1/4 度の四次元変分法による全球海洋データ同化システムの開発を進めた。

(b) 新たな海洋同化手法

- ・衛星海面水温 (SST) データの直接同化、海洋レーダの流速同化に向けた予備調査を行った。同調査結果等を踏まえて、SST 直接同化を優先することとし、基礎的な調査から進めた。漂流ブイデータをを用いて、現行の北太平洋 4 次元変分法海洋データ同化システムによる SST 場の精度検証を行い、気象庁全球日別 SST 解析 (MGDSST) よりも高精度に解析されていることを確認した。また、SST を独立変数とした新たな解析スキームの開発に着手した。
- ・M2 課題で開発された新しい時間積分スキーム (LFAM3) を用いた海洋モデルについて、対応したアジョイントコードの開発に着手した。開発したコードは今後の海況監視予測用、及び、季節予報用の四次元変分法をベースとした海洋データ同化システムの開発に利用する予定である。

(c) 大気海洋結合同化システムの改良

- ・大気海洋結合同化システムの高度化に向けて、開発したシステム (MRI-CDA1) のインパクト評価を行い、結果を取りまとめた。大気海洋結合予測に向け、アンサンブル初期値の作成手法を開発した。また、上記の評価を踏まえ、大気海洋結合同化システムに、四次元変分法全球海洋データ同化システム (MOVE-G3) を含む季節予報システム (CPS3) をベースとした新たな大気海洋結合同化システム (MRI-CDA2) の開発を実施した。

(d) 海洋観測のインパクト評価と最適化

- ・海洋観測データの予測に対するインパクトについて、国内外の研究成果や課題をとりまとめた。新たに打ち上げが予定されている面的海面高度衛星の観測システムシミュレーション実験を実施し、改善のインパクトを確認した。

(副課題 4)

(a) 次期季節予測システムの運用開始 (令和 3 年度予定) に向けた開発・精度評価

- ・前研究課題から引き続き、新季節予測システム JMA/MRI-CPS3 (以後 CPS3) の開発を進め、大規模な再予報実験を実施し、その結果を用いて性能評価を行った。旧システム (CPS2) と比較して、全体的な予測精度の向上が確認されたため、現業化に向けて作業を進め、令和 3 年度に現業化された。
- ・主な仕様の変更は大気・海洋の高解像度化 (大気 TL319L100, 海洋水平 0.25 度鉛直 60 層)、全球大気モデル GSM2003 の採用と季節予測に適合させるための改善、海洋モデル MRI.COMv4.6 の採用、大気初期値の改善 (JRA-3Q)、海洋初期値の改善 (渦なしモデルによる 4DVAR の解析結果を渦許容モデルに IAU で反映する新たな手法を開発)、アンサンブル手法の改良 (4DVAR における海洋解析誤差の情報を利用した摂動の作成) である。
- ・これらの変更により、熱帯の渦活動や ENSO、MJO の再現性などに、性能の向上が見られ、基本的な予測指標の検証において、全体として新システムでは旧システムに比べて改善が確認された。
- ・いくつかの感度実験を行なって、仕様変更のどの部分がどのように改善に寄与しているのかを調査している。

(b) 将来の季節予測システムに向けた開発・フィジビリティ研究

- ・ネスティングにより熱帯海洋を高解像度化した地球システムモデルを用いて簡易同化実験・季節予測実験を実施し、ネスティングしないモデルと比較した。熱帯の高解像度化によって熱帯不安定波動 (TIW) が解像されるようになった結果、ENSO の非対称性の再現が改善し、double-ITCZ バイアスが軽減するなど、大気循環場の再現性も向上した。
- ・CPS3 よりもさらに高解像度化 (大気 TL479L128, 海洋水平 0.1 度鉛直 60 層) した大気海洋結合モデルを作成し、M2 課題で行った海洋モデルの高速化を反映して、次々期以降の季節予測システムの仕様検討に役立てられるようにした。
- ・前課題で実施した結合同化システム (MRI-CDA1) の短期再解析実験を用いて、大気海洋結合プロセスの再現性を評価した (Kobayashi et al. 2021)。結合同化では大気単体同化に比べて、季節内スケールの SST-降水量のラグ相関がより現実的に再現されており、これは降水のタイミングではなく、SST の時間変動が結合同化システムでは整合的に修正されるためであることが分かった。また、TIW およびそれに対する大気の応答の再現性についても、結合同化の方がより現実的であることを確認した (Fujii et al., 2021)
- ・M3 課題での新しい結合同化システム (MRI-CDA2) の開発において、CPS3 に対応する純粋結合版 (大気物理過程を調整していない) の大気海洋結合モデルの実行環境を整備するなどの協力を行った。
- ・現行季節予測システム (CPS2) の大規模アンサンブル再予報実験で夏季アジアモンスーンおよびそれに関連する熱帯低気圧の活動を 1 年前から予測できること、またこうしたリードタイムの長

い予測の精度を適切に評価するためにはアンサンブルサイズをある程度大きくする必要があることを示した(Takaya et al., 2021)

- ・季節内予測におけるラグアンサンブルの有効性を調べる研究を ECMWF の研究者と共同で行った(Vitart and Takaya, 2021)。ECMWF の季節内予測モデルを用いて同一の初期日から全てのメンバを走らせる(バースト)のと、1日ずつずらした何日かの初期日からメンバを分散して走らせる(ラグアンサンブル)のとを比較して、予測精度への影響を調べた。ラグアンサンブルは熱帯で特に有効で、2日の初期値ウィンドウの場合は1週目からバーストを上回り、リードタイムが長いほど最適な初期値ウィンドウは長くなる。モンテカルロ手法による理想化したシミュレーションでもラグアンサンブルの利点を評価した。この結果も ECMWF モデルと整合的であり、ラグアンサンブルの利点を調べるのに、計算資源を要さない代用法となりうることが示された。今後の季節予測システムのアンサンブル構成の検討に資する研究成果である。
- ・高山域の陸面温度のインパクトを調べる「季節内から季節予測に対する陸面温度と積雪の初期化のインパクトプロジェクト(LS4P)」に高谷主任研究官が参加している。チベット高原の遠隔影響に焦点を当てたこのプロジェクトの初期フェーズで、気象庁の CPS2 を含むマルチモデルアンサンブルと観測の解析から、チベット高原は、長江域の降水のみならず、広い地域の夏季降水に影響があることなどが分かった(Xue et al. 2021)。今後のモデル開発における陸面の初期化の重要性を示唆する結果である。
- ・オゾン(化学)の取り扱いを変えた(オゾンを気象場と相互作用させて予測する、気候値または気候値+実況偏差を与える)全球モデルでアンサンブルハインドキャスト実験を行ない、成層圏突然昇温後に生じた大規模なオゾン分布の偏差が、季節内～季節スケールで対流圏中高緯度の循環に影響を及ぼすことが分かり、成層圏オゾンが季節予測可能性のソースとなり得ることが示唆された。将来の季節予測システムへの成層圏オゾン過程導入の有効性を調べるため、地球システムモデルを用いた線形オゾンパラメタリゼーションの開発計画を検討し、本庁に情報共有を行なった。
- ・現行季節予測システム(CPS2)を用いた異常天候のメカニズム解明や予測可能性に関する以下の現象を対象とする研究を行った(C 課題と連携)。これらは季節予測システムの予測性能を示すものでもあり、今後のモデル開発や業務利用の検討に資するものである。
 - 2018 年夏の北西太平洋の台風活発(Takaya et al. 2019)
 - 2018 年夏の北半球高温(Kobayashi and Ishikawa 2019)
 - 2010 年夏の顕著な高温に及ぼす北大西洋熱帯域の影響(Takaya et al. 2021)
 - 2020 年梅雨期の多雨に及ぼすインド洋の変動の影響(Takaya et al. 2020)
- (c) 海洋観測システムの季節予報への影響に関する研究
 - ・海洋観測の季節予報へのインパクトを評価する実験を現行季節予測システム(CPS2)を用いて実施し、結果をマルチモデル比較のために共同研究者に提供した。ECMWF の予測システムによる同様の実験と併せて解析を行っており、海洋観測データが MJO の予測の改善などに対して正のインパクトを持つことなどがわかった(Subramanian et al. 2020)。
 - ・CPS3 に導入した海洋密度の同化が予測に及ぼすインパクトを、比較実験を行なって調査している。

(副課題 5)

(a) 化学輸送モデルに関する研究

- ・副課題 1 と連携して全球エアロゾル、オゾンモデル諸過程の改良を行い、CMIP6 実験や関連する MIP (AerChemMIP, DAMIP など) 等に貢献するとともに、エアロゾルやオゾン等の気候影響を評価した。これらの成果は、IPCC AR6 WG1 SPM に記載された。
- ・次期地球システムモデルに導入するため大気化学統合モデルの開発を進めた。
- ・領域化学輸送モデルの高解像度化を進めると共に、asuca 対応を行い、本庁の大気汚染気象業務において業務化された。
- ・ライダー観測を継続し、地球システムモデルとの比較検証を行った。
- ・各種地上観測データ等を用いて検証を行いつつ全球・領域化学輸送モデル諸過程の改良を進めた。
- ・地球システムモデルを用いて北極気候の影響評価を行うとともに、北極評議会/北極圏監視評価プログラム作業部会(AMAP)/短寿命気候強制力因子(SLCFs)の評価報告書の共同執筆に貢献した。
- ・地球システムモデルを用いて、COVID-19 に伴う気候影響を国際的な枠組みで迅速に評価した。この成果は、IPCC AR6 WG1 SPM に記載された。

- ・ エーロゾルから雲微物理過程・大気放射過程を通じた気象へのフィードバック過程を実装し、大気汚染が深刻なインド北西部においてモデルの検証を行った。
- (b) データ同化・応用技術に関する研究
 - ・ ひまわり 8 号エーロゾル光学的厚さのデータ同化システム (2D-Var) の改良 (観測データの品質評価も含む) を進め、本庁の黄砂情報提供業務にて業務化された。また、GCOM-C から得られる光学的厚さのデータ同化手法を開発し、当所において試験運用中である。
 - ・ アンサンブルカルマンフィルタ (LETKF) を用いた全球・領域エーロゾルデータ同化手法の開発 (気象場の同時解析、鉛直分布同化等) を進めた。
 - ・ 全球オゾンデータ同化システム (2D-Var) の開発を進めた。
 - ・ オゾンに関しては長期再解析 JRA-3Q 用オゾン解析システムを本庁と共同で開発すると共に衛星観測データの品質管理を行い、本庁にてオゾン解析値を作成した。エーロゾル (JRAero) に関して再解析プロダクトの期間延長を行った。
 - ・ 観測データとの比較検証を行いつつ、CO2 逆解析に衛星観測データを導入するシステムを構築し、本庁に移植支援を行った。
 - ・ 衛星観測データより組成別光学的厚さを算出する手法の開発に取り組んでいる。
 - ・ AI を用いた視程ガイダンスのプロトタイプを開発する共に、気象場のダウンスケーリング手法の開発を行った。また、BC 逆推計手法の開発を実施中である。

(2) 当初計画からの変更点 (研究手法の変更点等)

(副課題 1)

今回のモデル開発では、大気モデルを入れ替えることに多くの手間や困難が見込まれるために、開発計画を再検討し、大気モデルの更新を主として行い、この変更に必要な他のコンポーネントの変更を行うのみとして、本中期計画内に MRI-ESM2 相当のパフォーマンスを持つ MRI-ESM3 (MRI-ESM3.1) を完成することを目標とした。

(3) 成果の他の研究への波及状況

(副課題 1)

MRI-ESM2 ではモデル気候値の改善が著しいことから、十年規模気候予測システムや文科省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」の「統合的気候変動予測」課題で開発する温暖化予測システムの基盤モデルとして MRI-ESM2 が採用された。また、定期開催の地球システムモデル利用者・開発者会合では、MRI-ESM の応用や活用促進の検討を行ってきた。

(副課題 2)

本課題で開発している気象研究所共用海洋モデル (MRI.COM) は、本庁の現業システムの基盤となっているほか、モデル貸与の枠組みを通じて部外の研究機関にも活用されており、のべ 20 件の貸与実績がある。また、文科省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」や科研費などの外部資金における研究、海洋研究開発機構や北大等との共同研究においても広く使われている。また、全球海洋モデル (GONDOLA_100) の結果は、海洋モデルの国際比較研究 (OMIP) で活用されている。

(副課題 3)

日本沿岸海況監視予測システムで作成したデータは、水産関係の研究機関や大学における研究で利用されており、これまでに 20 件の提供実績がある。前中期計画より継続して開発中の 4 次元変分法全球海洋データ同化システムおよび本研究計画で開発したアンサンブル初期値の作成手法は、次期季節予報システム (CPS3) の予測性能向上することが確認され、令和 4 年 2 月に業務運用が開始された。海洋解析・予測システムや海洋観測値に関する評価に関しては、国際研究プロジェクト OceanPredict の観測システム評価タスクチームの活動、及び、今年から始まった国連海洋科学 10 年の枠組みにおける、研究プロジェクト "Synergistic Observation Network for Relevant and Impactful Ocean Predictions" (SynObs) の一環としても進められる。

(副課題4)

新しい季節予測システム (CPS3) が令和3年度に現業化され、季節予報の精度向上につながることを期待される。CPS3は各コンポーネント(大気モデル、海洋・海水モデル、海洋・海水同化など)の開発者と協力して開発を進めてきており、CPS3の開発成果がこれらコンポーネントの改善としてフィードバックされている。

(副課題5)

本課題で改良した地球システムモデルを推進費研究(黄砂、BC)や科研費(BC、CO₂、黄砂、オゾン)、地球一括(光吸収性エアロゾル)、ArCS II等に活用している。
本課題で改良した領域化学輸送モデルを推進費(酸化能)、科研費、放調費等で活用している。
本課題で開発したエアロゾルデータ同化システムをJAXA公募研究に活用している。
本課題で開発した衛星CO₂逆解析システムをGOSAT研究公募課題に活用している。
本課題で開発した深層学習手法を科研費研究(AIダウンスケーリング)に活用している。

(4) 事前評価の結果の研究への反映状況

事前評価時にいただいた「地球システムモデルの開発としてみた場合には、海水及び陸面水文過程、エアロゾル・雲・降水・微物理のモデル開発が弱いという印象を受ける」というご意見を反映し、以下の対応を行った。海水過程については、海水パラメータの再設定を行ったほか、海水内の塩分濃度を可変にするなど、海水モデルの再現性向上に向けた取り組みを進めた。また、初期値となる海水解析手法についても、現行の問題点の特定や改良に注力している。海水過程については季節予測においても重要な要素であることから、海洋・海水モデル、海洋・海水同化、地球システムモデルの開発成果を活かしつつ、海水過程の再現性はもちろんのこと、現業予測システムでは特に重要な計算安定性を考慮しながら、他の開発者と協力して開発を進めた。陸面水文過程については、陸面モデル開発チームを新設した。陸面水文過程に関するスキーム開発のために、所外の関係機関との連携をとりつつ、本格的な氷床モデルの導入なども含めた陸面モデル開発に取り組んでいる。また、気候モデルで重要な雲・降水・微物理過程のスキーム開発を進めるために、物理と化学モデルの連携を強めている。
「化学輸送モデルとエアロゾルモデルのためのデータ作りや領域スケールの事例解析はP課題とD課題との連携が重要」との指摘に対して、これらの課題からM5課題に研究担当者に入っていただくなど連携を強化している。

「本研究において、P課題との重複を恐れず、異なる視点でモデルの評価を行っていくことを望みたい」との指摘に対して、M課題は全球～領域スケールで、P課題はより細かいスケールでモデルの評価を行いつつ知見等の交換を進めている。

「化学輸送モデル、大気微量成分同化に関する研究(M5)と気候・地球環境度変動の要因解明と予測に関する研究(C課題)は、有機的に知見やデータを交換して研究を進めるべき」というご意見については、複数の研究者が両方の課題に参画するなど、知見やデータの交換を進めている。

5. 今後の研究の進め方**(全体)**

課題全体として概ね計画通り順調に進捗していることから、今後も計画通り研究を推進する。

(副課題1)

- 各コンポーネント開発グループはMRI-ESM3.1の完成に向けて優先的に取り組み、最終年度には、成果の取りまとめとしてモデル記述論文または技術報告の作成を行う。並行して、各コンポーネントの新しい力学フレームや物理スキームの開発を進める。

(副課題2)

- 大気海洋結合モデル実験における大気場への海洋結合の影響評価の解析を進めるとともに、短期予報へ適用の可能性をさらに調べていく。
- 温暖化予測の精度を高めるために、長期間積分する場合に海洋内部のバイアスが小さいとされる、新しい鉛直座標の導入も視野に入れたモデル開発を続ける。
- 特に海水部分においてプログラムの抜本的見直しをはかり、安定で堅牢な海水モデルの作成をおこなう。さらに現状では一定値である海水中の塩分濃度を可変にすることで、よりよい再現性を目指す。

す。

- ・海面水位変動への解析は、感度実験などを引き続き行う。

(副課題3)

- ・基本的な計画は変えないが、台風解析・予測等気象予測の精度向上に、詳細な海面水温情報が求められており、今後は特に海面水温の再現性の向上に力を入れていく。
- ・海況監視予測システムと季節予測システムの現業化は完了したので、次世代システムに向け、SST 直接同化手法、海氷同化手法の改良等の開発を進める。
- ・将来の季節予報システムと気候データ同化(長期再解析)に向けた結合同化システムの高度化を進める。
- ・同化システム開発に加え、顕著な現象のメカニズム調査・解明、観測インパクト評価等を行う

(副課題4)

- ・新季節予測システム CPS3 の開発は完了し、現業化された。今後は追加の感度実験を通じて、モデルの高解像度化や初期値作成の改良がどのように予測精度に影響したかなどを調べて、開発の過程で得られた知見も含め、取りまとめる。
- ・将来の季節予測システムの開発に資する研究を実施する。さらなるモデル高解像度化のインパクト、結合同化による結合プロセスの再現性向上の効果、アンサンブル手法の改善、線形オゾンパラメタリゼーションの導入など。

(副課題5)

- ・引き続き、所内関係部門、所外研究機関等との連携を強化しつつ研究を発展させていく。大気微量成分(エアロゾル、オゾン、二酸化炭素)の数値予報への導入も積極的に取り組んでいく。

6. 自己点検

(1) 到達目標に対する進捗度

(副課題1)

地球システムモデルの開発を、モデル利用者との連携を強めて進めていく体制の下で実施してきており、モデルを台風の発生や強度予測への応用できる研究環境ができつつある。大気と海洋のモデルは、共に 10km 以下の高解像度化を実現できる状況にあり、高解像度の地球システムモデルを活用した気象・気候予測の試みが可能となった。また、積雲対流過程、境界層過程、雲物理過程など各種物理過程や物質循環過程を高度化していくための開発体制が整備され、全球規模の気候変動予測の高精度化や、台風や梅雨など地域規模の現象の高精度な再現と変動予測の実現に向けた開発を進めている。以上のことから、計画どおりの進捗が得られていると考える。

(副課題2)

時間積分スキームの変更も含めた海洋モデルの大幅な高度化、及びそれを利用した大気海洋結合実験や解析等が進んでいる。概ね計画通り進捗している。

(副課題3)

本庁システムの現業化に関連した対応等、緊急を要する調査や改良が求められたため、若干当初の計画と異なる場所もあったが、令和2年に日本沿岸海況予測システム、令和3年度に季節予報システム(CPS3)の現業化が完了し、衛星のSST直接同化等の開発を進めており、概ね計画通りに開発が進められていると考える。

(副課題4)

新季節予測システムの開発は完了し、計画通り令和3年度中に現業化された。全体として進捗は順調である。

(副課題5)

当初の目的を達成することができた。テーマによっては想定以上の成果を挙げることができた(AIを用いたダウンスケーリング等)。

（２）到達目標の設定の妥当性

「（１）到達目標に対する進捗度」で示したように、ほとんどの副課題の項目で中間評価時の目標にほぼ到達しており、研究計画時に設定した到達目標は妥当と考えている。

（３）研究の効率性（実施体制、研究手法等）について

気象研究所が所有する研究施設や観測測器（大型計算機、電子顕微鏡等）を活用して研究を行うことにより、効率的に研究開発を進めることができている。また、副課題１と５の間での「気候と化学物質の相互作用の高度化」、副課題２と３の間での「次期海況監視予測システムの共同開発」、副課題３と４の間での「大気海洋結合同化システムに関する知見の共有」、副課題１と２と４の間での「高分解能大気海洋結合モデルの共同開発や知見の共有」など、副課題間の連携が適切に行われている。他の課題との連携については、P 課題、C 課題、D 課題と知見の共有や研究分担者としての参画を進めてきたほか、新規システムの開発等では情報基盤部数値予報課など本庁関係部署とも適時の情報交換を行い、連携を強化してきた。また、文科省の「統合的気候モデル高度化研究プログラム」や環境研究総合推進費、科研費など外部資金の活用や他機関との協力により遂行している。以上から、研究効率性（実施体制、研究手法等）は妥当と考えている。

（４）成果の施策への活用・学術的意義

本研究で開発された地球システムモデルをはじめとする各モデルは、集中豪雨・台風等の災害をもたらす顕著な現象の今後の激甚化の可能性予測、地球温暖化の進行を背景として大気や海洋の長期変化の予測、温室効果ガスや汚染物質の排出増加にともなう地球環境の監視・予測ができることから、「気候変動適応」の法制化に対応する高精度の温暖化予測と気候変動が全球から地域までのそれぞれにもたらす影響の評価に大きく資する。海洋モデルや海洋データ同化システムの研究を進めることは、海洋を巡る総合的な安全保障上の情勢を踏まえ、日本周辺海域の監視・予測能力の向上に資するとともに、「第三期海洋基本計画」が推進する海洋状況把握（MDA）の強化に大きく資する。また、本課題で得られた日本周辺の海況の将来予測に関する知見は、国土交通省の「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会」において、気候変動に伴う海面上昇量を検討する際に活用された。大気微量成分に関する監視・予測情報の高度化は、運輸、産業、エネルギー、社会、疫学等の場面においてスマート社会の実現に貢献することができる。

また、大気、海洋、波浪、陸面、雪氷、大気微量成分等の地球システムを構成する多様な要素とそれらの相互作用を精緻に扱うモデル開発を進めることは、それ自体が最先端の研究テーマでもあり学術的な意義も大きい。本課題の学術的意義は、査読付き論文（共著含む）165 本、査読なし論文や解説 15 本、口頭発表 166 件、ポスター発表 58 件という成果発表の数にも表れている。

（５）総合評価

本研究課題が掲げる目標が達成されれば、気候変動適応に資する高精度の温暖化予測情報や地球環境の監視・予測の高度化など、社会が必要とする情報の作成に 대응することができる。季節予報、海況予報、黄砂情報など気象庁が発表する予測情報が改善されることにより、国民の社会経済活動における生産性向上へ貢献する。また、階層的な「地球システムモデル」の開発を通じて、次世代の現業数値予報モデルの仕様に係る指針を得ることができる。いずれの研究も日本における気象学や海洋学の進展に貢献するものである。したがって、本研究に継続して取り組む意義は高い。加えて、多数の論文発表等に見られる通り、学術的にも価値の高い成果が数多く得られており、その点においても本研究課題を着実に進める必要がある。

研究成果リスト

（１）査読論文：46 件

1. Tran Thi Ngoc Trieu, I. Morino, O. Uchino, Y. Tsutsumi, T. Sakai, T. Nagai, A. Yamazaki, H. Okumura, K. Arai, K. Shiomi, D. F. Pollard, and B. Liley, 2022: Influences of aerosols and thin cirrus clouds on GOSAT XCO₂ and XCH₄ using Total Carbon Column Observing Network, sky radiometer, and lidar data. International Journal of Remote Sensing, 43, 1770-1799.

2. Shimura, T., W. J. Pringle, N. Mori, T. Miyashita, and K. Yoshida, 2022: Seamless Projections of Global Storm Surge and Ocean Waves Under a Warming Climate. *Geophysical Research Letters*, 49.
3. Bowman, H., Turnock, S., Bauer, S. E., Tsigaridis, K., Deushi, M., Oshima, N., O'Connor, F. M., Horowitz, L., Wu, T., Zhang, J., and Parrish, D. D., 2022: Changes of Anthropogenic Precursor Emissions Drive Shifts of Ozone Seasonal Cycle throughout Northern Midlatitude Troposphere. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22, 3507–3524.
4. Yoshimura, H., 2022: Improved double Fourier series on a sphere and its application to a semi-implicit semi-Lagrangian shallow-water model. *Geoscientific Model Development*, 15, 2561–2597.
5. Yamanaka, G., H. Nakano, K. Sakamoto, T. Toyoda, L. S. Urakawa, S. Nishikawa, T. Watanabe, H. Tsujino, and Y. Ishikawa, 2022: Correction to : Projected climate change in the western North Pacific at the end of the 21st century from ensemble simulations with a high-resolution regional ocean model. *Journal of Oceanography*.
6. Watanabe, M., M. Kajino, K. Ninomiya, Y. Nagahashi, and A. Shinohara, 2022: Eight-year variations in atmospheric radiocesium in Fukushima city. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22 巻1号, 675–692.
7. Kajino, M., A. Watanabe, M. Ishizuka, K. Kita, Y. Zaizen, T. Kinase, R. Hirai, K. Konnai, A. Saya, K. Iwaoka, Y. Shiroma, H. Hasegawa, N. Akata, M. Hosoda, S. Tokonami, and Y. Igarashi, 2022: Reassessment of the radiocesium resuspension flux from contaminated ground surfaces in eastern Japan. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22 巻2号, 783–803.
8. Kondo, M., S. Sitch, P. Ciais, F. Achard, E. Kato, J. Pongratz, R. Houghton, J. Canadell, P. Patra, P. Friedlingstein, W. Li, P. Anthoni, A. Arneeth, F. Chevallier, R. Ganzenmüller, A. Harper, A. Jain, C. Koven, S. Lienert, D. Lombardozzi, T. Maki, et al, 2022: Are Land-Use Change Emissions in Southeast Asia Decreasing or Increasing?. *Global Biogeochemical Cycles*, 36, 1–19.
9. Shimura, T., N. Mori, D. Urano, T. Takemi, and R. Mizuta, 2022: Tropical cyclone characteristics represented by the ocean wave coupled atmospheric global climate model incorporating wave-dependent momentum flux. *Journal of Climate*, 35, 499–515.
10. Aizawa, T., N. Oshima, and S. Yukimoto, 2022: Contributions of anthropogenic aerosol forcing and multidecadal internal variability to mid-20th century Arctic cooling–CMIP6/DAMIP multimodel analysis. *Geophysical Research Letters*, 49.
11. Takemura, K., H. Mukougawa, Y. Takaya, and S. Maeda, 2022: Seasonal Predictability of Summertime Asian Jet Deceleration near Japan in JMA/MRI-CPS2. *SOLA*.
12. Adachi, K., J.E. Dibb, E. Scheuer, J.M. Katich, J.P. Schwarz, A.E. Perring, B. Mediavilla, H. Guo, P. Campuzano-Jost, J.L. Jimenez, J. Crawford, A. J. Soja, N. Oshima, M. Kajino, T. Kinase, L. Kleinman, A.J. Sedlacek, R.J. Yokelson, P.R. Buseck, 2022: Fine Ash-Bearing Particles as a Major Aerosol Component in Biomass Burning Smoke. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 127, e2021JD035657.
13. Komatsu, K., Y. Takaya, T. Toyoda, and H. Hasumi, 2022: Response of Eurasian Temperature to Barents–Kara Sea Ice: Evaluation by Multi-model Seasonal Predictions. *Geophysical Research Letters*. (in press)
14. Hermanson, L., et al., 2022: WMO Global Annual to Decadal Climate Update: A prediction for 2021–2025. *Bulletin of the American Meteorological Society*. (in press)
15. Zanis, P., D. Akritidis, S. Turnock, V. Naik, S. Szopa, A. K. Georgoulas, S. E. Bauer, M. Deushi, L. W. Horowitz, J. Keeble, P. Le Sager, F. M. O'Connor, N. Oshima, K. Tsigaridis, T. van Noije, 2022: Climate change penalty and benefit on near surface

- ozone: A global perspective based on CMIP6 Earth System Models. *Environmental Research Letters*, 17, 024014.
16. Imada, Y. and H. Kawase, 2021: Potential Seasonal Predictability of the Risk of Local Rainfall Extremes Estimated Using High-Resolution Large Ensemble Simulations. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL096236.
 17. Kuroda, Y., K. Kodera, K. Yoshida, S. Yukimoto, and L. Gray, 2021: Influence of the solar cycle on the North Atlantic Oscillation. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 127.
 18. Kawai, H., T. Koshiro, and S. Yukimoto, 2021: Relationship between shortwave radiation bias over the Southern Ocean and the double-intertropical convergence zone problem in MRI-ESM2. *Atmospheric Science Letters*, 22, e1064.
 19. Ohata, S., Koike, M., Yoshida, A., Moteki, N., Adachi, K., Oshima, N., Matsui, H., Eppers, O., Bozem, H., Zanatta, M., and Herber, A. B., 2021: Arctic black carbon during PAMARCMiP 2018 and previous aircraft experiments in spring. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21, 15861–15881.
 20. Kawakami, Y., A. Kojima, K. Murakami, T. Nakano, and S. Sugimoto, 2021: Temporal variations of net Kuroshio transport based on a repeated hydrographic section along 137° E. *Climate Dynamics*.
 21. Aiki, N., Y. Fukutomi, Y. Kanno, T. Ogata, T. Toyoda, and H. Nakano, 2021: The energy flux of three-dimensional waves in the atmosphere: Exact expression for a basic model diagnosis with no equatorial gap. *Journal of the Atmospheric Sciences*. (in press)
 22. Ohata, S., Mori, T., Kondo, Y., Sharma, S., Hyvärinen, A., Andrews, E., Tunved, P., Asmi, E., Backman, J., Servomaa, H., Veber, D., Eleftheriadis, K., Vratolis, S., Krejci, R., Zieger, P., Koike, M., Kanaya, Y., Yoshida, A., Moteki, N., Zhao, Y., et al., 2021: Estimates of mass absorption cross sections of black carbon for filter-based absorption photometers in the Arctic. *Atmospheric Measurement Techniques*, 14, 6723–6748.
 23. Niwano, M., M. Kajino, T. Kajikawa, T. Aoki, Y. Kodama, T. Tanikawa, and S. Matoba, 2021: Quantifying Relative Contributions of Light-Absorbing Particles from Domestic and Foreign Sources on Snow Melt at Sapporo, Japan during the 2011–2012 Winter. *Geophysical Research Letters*. (in press)
 24. Toyoda, T., N. Kimura, L. S. Urakawa, H. Tsujino, H. Nakano, K. Sakamoto, G. Yamanaka, K. K. Komatsu, Y. Matsumura, and Y. Kawaguchi, 2021: Improved representation of Arctic sea ice velocity field in ocean-sea ice models based on satellite observations. *Climate Dynamics*, 57, 2863–2887.
 25. Inomata, Y., M. Takeda, N. Thao, M. Kajino, T. Seto, H. Nakamura, and K. Hayakawa, 2021: Particulate PAH transport associated with adult chronic cough occurrence closely connected with meteorological conditions: A modelling study. *Atmosphere*, 12 卷 9 号, 1163.
 26. Toyoda, T., K. Sakamoto, N. Usui, N. Hirose, K. Tanaka, T. Katsumata, D. Takahashi, M. Niki, K. Kutsuwada, T. Miyama, H. Nakano, L. S. Urakawa, K. K. Komatsu, Y. Kawakami, and G. Yamanaka, 2021: Surface-layer circulations in Suruga Bay induced by intrusions of Kuroshio branch water. *Frontiers in Marine Science*, 8, 721500.
 27. Abalos, M., Calvo, N., Benito-Barca, S., Garny, H., Hardiman, S. C., Lin, P., Andrews, M. B., Butchart, N., Garcia, R., Orbe, C., Saint-Martin, D., Watanabe, S., and Yoshida, K., 2021: The Brewer–Dobson circulation in CMIP6. *Atmospheric Chemistry and Physics*. (in press)

28. Kajino, M., M. Deushi, T. T. Sekiyama, N. Oshima, K. Yumimoto, T. Y. Tanaka, J. Ching, A. Hashimoto, T. Yamamoto, M. Ikegami, A. Kamada, M. Miyashita, Y. Inomata, S. Shima, P. Khatri, A. Shimizu, H. Irie, K. Adachi, Y. Zaizen, Y. Igarashi, H. Ueda, T. Mak, 2021: Comparison of three aerosol representations of NHM-Chem (v1.0) for the simulations of air quality and climate-relevant variables. *Geoscientific Model Development*, 14, 2235-2264.
29. Kusano, K., K. Yoshida, et al., 2021: PSTEP: project for solar-terrestrial environment prediction. *Earth, Planets and Space*, 73:159.
30. Yoshida, K. and R. Mizuta, 2021: Do sudden stratospheric warmings boost convective activity in the tropics?. *Geophysical Research Letters*, 48.
31. Vitart, F. and Y. Takaya, 2021: Lagged Ensembles in sub-seasonal predictions. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. (in press)
32. Itahashi, S., B. Ge, K. Sato, Z. Wang, J. Kurokawa, T. Jiani, J. S. Fu, X. Wang, K. Yamaji, T. Nagashima, J. Li, M. Kajino, G. R. Carmichael, and Z. Wang, 2021: Insights into seasonal variation of wet deposition over Southeast Asia via precipitation adjustment from the findings of MICS-Asia III. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21, 8709-8734.
33. Xue, Y. et al., 2021: Impact of Initialized Land Surface Temperature and Snowpack on Subseasonal to Seasonal Prediction Project, Phase I (LS4P-I): Organization and Experimental design. *Geoscientific Model Development*. (in press)
34. Parrish, D. D., Derwent, R. G., Turnock, S. T., O' Connor, F. M., Staehelin, J., Bauer, S. E., Deushi, M., Oshima, N., Tsigaridis, K., Wu, T., and Zhang, J., 2021: Investigations on the Anthropogenic Reversal of the Natural Ozone Gradient between Northern and Southern Mid-latitudes. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21, 9669-9679.
35. Usui, N., K. Ogawa, K. Sakamoto, H. Tsujino, G. Yamanaka, T. Kuragano, and M. Kamachi, 2021: Unusually high sea level at the south coast of Japan in September 2011 induced by the Kuroshio. *Journal of Oceanography*, 77, 447-461.
36. Yamanaka, G., H. Nakano, K. Sakamoto, T. Toyoda, S. Urakawa, S. Nishikawa, T. Wakamatsu, H. Tsujino, and Y. Ishikawa, 2021: Projected climate change in the western North Pacific at the end of the 21st century from ensemble simulations with a high-resolution regional ocean model. *Journal of Oceanography*, 77, 539-560.
37. Misra, P., M. Takigawa, P. Khatri, S. K. Dhaka, A. P. Dimri, K. Yamaji, M. Kajino, W. Takeuchi, R. Imasu, P. K. Patra, and S. Hayashida, 2021: Nitrogen oxides concentration and emission change detection during COVID-19 restrictions in North India. *Scientific Reports*, 11, 9800.
38. Mori, T., Y. Kondo, S. Ohata, K. Goto-Azuma, K. Fukuda, Y. Ogawa-Tsukagawa, N. Moteki, A. Yoshida, M. Koike, P. R. Sinha, N. Oshima, H. Matsui, Y. Tobo, M. Yabuki and W. Aas, 2021: Seasonal variation of wet deposition of black carbon at Ny-Ålesund, Svalbard. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 126, e2020JD034110.
39. Anstey, J.A., H. Naoe, K. Yoshida, S. Yukimoto, et al., 2021: Teleconnections of the quasi-biennial oscillation in a multi-model ensemble of QBO-resolving models. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. (in press)
40. Hattori, S., Y. Iizuka, B. Alexander, S. Ishino, K. Fujita, S. Zhai, T. Sherwen, N. Oshima, R. Uemura, A. Yamada, N. Suzuki, S. Matoba, A. Tsuruta, J. Savarino, N. Yoshida, 2021: Isotopic Evidence for Acidity-driven Enhancement of Sulfate Formation after SO₂ emission control. *Science Advances*, 7(19), eabd4610.

41. Toyoda, T., H. Nakano, H. Aiki, T. Ogata, Y. Fukutomi, Y. Kanno, L. S. Urakawa, K. Sakamoto, G. Yamanaka, and M. Nagura, 2021: Energy flow diagnosis of ENSO from an ocean reanalysis. *Journal of Climate*, 34, 4023–4042.
42. Kim, C.-H., F. Meng, M. Kajino, J. Lim, W. Tan, J.-J. Lee, Y. Kiriya, J.-H. Woo, K. Sato, T. Kitada, J. Kim, K. B. Lee, S. A. Roh, H.-Y. Jo, and Y.-J. Jo, 2021: Comparative numerical study of PM2.5 in exit-and-entrance areas associated with transboundary transport over China, Japan, and Korea. *Atmosphere*, 12, 469.
43. Kawamiya, M., Ishii, M., Mori, N., I. Takayabu, and Watanabe, M., 2021: Preface for "Projection and impact assessment of global change".. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8. (in press)
44. Takaya, Y., Y. Kosaka, M. Watanabe, S. Maeda, 2021: Skilful predictions of the Asian summer monsoon one year ahead. *Nature Communications*, 12.
45. Jones, C. D., J. E. Hickman, S. T. Rumbold, J. Walton, R. D. Lamboll, R. B. Skeie, S. Fiedler, P. M. Forster, J. Rogelj, M. Abe, M. Botzet, K. Calvin, C. Cassou, J. N. S. Cole, P. Davini, M. Deushi, M. Dix, J. C. Fyfe, N. P. Gillett, T. Ilyina, et al., 2021: The Climate Response to Emissions Reductions due to COVID - 19: Initial Results from CovidMIP. *Geophysical Research Letters*, 48.
46. Shuhei MAEDA, Kazuto TAKEMURA, Chiaki KOBAYASHI, 2021: Planetary wave modulations associated with the Eurasian teleconnection pattern. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 99. (in press)

(2) 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：13 件

1. Nomura, D., H. Ikawa, Y. Kawaguchi, N. Kanna, T. Kawakami, Y. Nosaka, S. Umezawa, M. Tozawa, T. Horikawa, R. Sahashi, T. Noshiro, I. Kaba, M. Ozaki, F. Konko, K. Ono, I. S. Yabe, E. Y. Son, T. Toyoda, S. Kameyama, C. Wang, H. Obata, A. Ooki, et al., 2022: Atmosphere-sea ice-ocean interaction study in Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, Japan 2021. *Bulletin of Glaciological Research*. (in press)
2. Toyoda, T., Y. Kitamura, R. Okada, K. Matsumura, K. Komatsu, K. Sakamoto, S. Urakawa, and H. Nakano, 2022: Sea ice variability along the Okhotsk coast of Hokkaido based on long-term JMA meteorological observatory data. *Okhotsk Sea and Polar Oceans Research*, 6, 27–35.
3. Nakata M., M. Kajino, and Y. Sato, 2021: Effects of mountains on aerosols determined by AERONET/DRAGON/J-ALPS measurements and regional model simulations,. *Earth Space Sci*, 8 巻 12 号, 001972.
4. Kajino, M., N. Tanji, and M. Kuramochi, 2021: Better prediction of surface ozone by a superensemble method using emission sensitivity runs in Japan. *Atmospheric Environment: X*, 12, 100120.
5. Chiba, J., and H. Kawai, 2021: Improved SST-shortwave radiation feedback using an updated stratocumulus parameterization. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Earth System Modelling/WMO*, 51, 403–404.
6. Masuda, Y., Y. Yamanaka, S. Smith, T. Hirata, H. Nakano, A. Oka, and H. Sumata, 2021: Photoacclimation by phytoplankton determines the distribution of global subsurface chlorophyll maxima in the ocean. *COMMUNICATIONS EARTH & ENVIRONMENT*, 2, 128.
7. Lu, B. and Y. Takaya, 2021: Record meiyu-baiu of 2020: reflections for prediction. *Science Bulletin*. (in press)
8. 山中吾郎, 2021: 真鍋淑郎先生のノーベル物理学賞受賞に寄せて. 気象学会九州支部だより, 136, 27–29.

9. 豊田隆寛, 中野英之, 相木秀則, 尾形友道, 菅野湧貴, 福富慶樹, 浦川昇吾, 坂本圭, 山中吾郎, 名倉元樹, 2021: 海洋再解析を用いた ENSO のエネルギーフロー診断. 月刊海洋, 53, 535-540.
10. 広瀬成章, 大石俊, 黒田寛, 山中吾郎, 2021: 総論: 日本周辺を中心とした現業海洋システムの最先端. 月刊海洋, 53, 401-407.
11. 大島長, 2021: コロナ禍による人為起源物質の排出量の減少が気候に及ぼす影響. ArCS II ニュースレター, 2, p03.
12. 山中吾郎, 広瀬成章, 坂本圭, 碓氷典久, 高野洋雄, 2021: JPN システムによる海洋情報の利活用. 月刊海洋, 53, 428-433.
13. 吉田康平, 2021: 太陽活動変動の気候影響評価実験 : 地球システムモデルシミュレーション. 太陽地球圏環境予測 オープン・テキストブック.

(3) 学会等発表

ア. 口頭発表

・国際的な会議・学会等 : 25 件

1. Fujii, Y., ForeSea (UN Decade program) and SynObs (UN Decade project) , 23rd Argo Science Team Meeting, 2022 年 3 月, Monaco, Monaco
2. Hirose, N., N. Usui, K. Sakamoto, N. Nadao, and G. Yamanaka, Mechanism of unusually high sea level around the southern coasts of Japan in early September 1971 revealed by coastal ocean assimilation system, Ocean Sciences Meeting 2022, 2022 年 3 月, アメリカ, オンライン
3. Toyoda, T., Y. Kitamura, R. Okada, K. Matsumura, K. Komatsu, K. Sakamoto, S. Urakawa, and H. Nakano, Sea ice variability along the Okhotsk coast of Hokkaido based on long-term JMA meteorological observatory data, The 36th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans 2022, 2022 年 3 月, 紋別市
4. Fujii, Y., Y. Adachi, I. Ishikawa, T. Yoshida, S. Hirahara, Y. Kubo, and H. Sugimoto, Four-Dimensional Variational (4DVAR) Global Ocean Data Assimilation System for Coupled Predictions in Japan Meteorological Agency (JMA), Ocean Sciences Meeting 2022, 2022 年 2 月, アメリカ, オンライン
5. Kawai, H., and T. Koshiro, Examples of possible evaluation of GCMs using cloud radar and lidar satellite data, EarthCARE モデリングワークショップ, 2022 年 2 月, オンライン
6. Yoshida, K., and R. Mizuta, Do Sudden Stratospheric Warmings Boost Convective Activity in the Tropics?, AMS 102nd Annual Meeting, 2022 年 1 月, アメリカ, オンライン
7. Kawai, H., T. Koshiro, and S. Yukimoto, Does the reduction in the Southern Ocean radiation bias alleviate the double-ITCZ problem?, AGU Fall Meeting 2021, 2021 年 12 月, 米国, ニューオーリンズ&オンライン
8. Kohno, N., S.M.Q. Hassan, and A. Hossain, Numerical analysis of storm surges by Bhola Cyclone in 1970, International Conference on Meteorology and Climate Science (ICMCS) 2021, 2021 年 12 月, バングラデシュ, ダッカ
9. Hirose, N, Applications and services with operational ocean forecasting system in JMA, UN Ocean Decade Kickoff Conference for the Western Pacific and its Adjacent Areas, 2021 年 11 月, タイ, (オンライン)
10. Imada, Y., and H. Kawase, Long-term potential predictability of regional extreme events in East Asia estimated from a high-resolution large ensemble, WCRP Workshop on Extremes in Climate Prediction Ensembles, 2021 年 10 月, 韓国, 釜山

11. Usui, N., Progress in Kuroshio forecasting at JMA, East Asian Workshop on A Predicted Ocean, 2021年9月, オンライン, オンライン
12. Fujii, Y., Synergistic Observing Network for Impactful and Relevant Ocean Predictions (SynObs): An Introduction, UN Decade “A Predicted Ocean” Laboratory, 2021年9月, オンライン, オンライン
13. Takaya, Y., I. Ishikawa, C. Kobayashi, H. Endo, and T. Ose, Enhanced Meiyu - Baiu Rainfall in Early Summer 2020: Aftermath of the 2019 Super IOD Event, 2021 ASP summer workshop, 2021年8月, 米国, ボールダー
14. Usui, N., and N. Hirose, Interdecadal changes of surface-to-subsurface temperature in the East China Sea, International workshop for mid-latitude air-sea interaction: advancing predictive understanding of regional climate variability and change across timescales, 2021年6月, オンライン, オンライン
15. Kawai, H., and T. Koshiro, Do Low-level Clouds Strengthen Summertime Subtropical Highs?, International workshop for mid-latitude air-sea interaction, 2021年6月, オンライン
16. 相木秀則, 福富慶樹, 菅野湧貴, 尾形友道, 豊田隆寛, 中野英之, Recirculation of atmospheric wave energy associated with idealized MJO events, Japan Geoscience Union Meeting 2021, 2021年6月, (オンライン)
17. Imada, Y. and H. Kawase, Potential predictability of regional extreme events associated with large-scale variations in the tropical ocean, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021年6月, オンライン
18. Kohno, N., and Y. Fujii, Wave assimilation system of JMA and its improvement plan, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021年6月, オンライン
19. Fujii, Y., C. Kobayashi, I. Ishikawa, Takaya, T. Ishibashi, and T. Yoshida, Development of a coupled atmosphere-ocean data assimilation system in the Japan Meteorological Agency: evaluation and future plan, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021年6月, オンライン
20. Saitoh, S., Y. Miyakoshi, F. Takahashi, T. Hirata, M. Kaeriyama, I. D. Alabia, T. Hosokawa, T. Miyoshi and K. Sakamoto, Optimization of salmon release operation under changing climate in the Okhotsk coast, Ecosystem Studies of Subarctic and Arctic Seas (ESSAS) Annual Science Meeting 2021, 2021年6月, オンライン
21. Sakai, T., T. Nagai, S. Yoshida, Y. Shoji, O. Uchino, I. Morino, A. Ugajin, B. Liley, R. Querel, K. Sergey, Operations Discussion: open for topics: Calibration altitude, NDACC Lidar Working Group 2021 Annual Meeting, 2021年6月, 米国, virtual
22. Sakai, T., T. Nagai, S. Yoshida, Y. Shoji, O. Uchino, I. Morino, A. Ugajin, B. Liley, R. Querel, Lauder aerosols, NDACC Lidar Working Group 2021 Annual Meeting, 2021年6月, 米国, virtual
23. Yoshimura, H., Improved double Fourier series on a sphere and its application to semi-implicit semi-Lagrangian models, The Workshop on Partial Differential Equations on the Sphere, 2021年5月, (オンライン)
24. Fujii, Y., C. Kobayashi, I. Ishikawa, Y. Takaya, T. Ishibashi, and T. Yoshida, Evaluation of the coupled atmosphere-ocean reanalysis and future development of the coupled data assimilation system in JMA, Joint ECMWF/OceanPredict workshop on Advances in Ocean Data Assimilation, 2021年5月, オンライン, オンライン
25. Kawai, H., S. Yukimoto, T. Koshiro, N. Oshima, T. Tanaka, H. Yoshimura, and R. Nagasawa, Realities of Developing and Improving Parameterizations Related to Clouds in GCMs, モデルにおける雲の改良と較正に関するワークショップ, 2021年4月, オンライン

・国内の会議・学会等：37 件

1. 川合秀明，神代剛，行本誠史，気候モデルにおけるダブル ITCZ 問題はどうか？，第 13 回熱帯気象研究会，2022 年 3 月，オンライン
2. 唐木達郎，坂本圭，山中吾郎，木村伸吾，笠井亮秀，ニホンウナギの仔魚輸送シミュレーション～シラスは泳いで川を目指す!?～，水産海洋学会地域研究集会「第 4 回海と漁業と生態系に関する研究集会」，2022 年 2 月，オンライン，オンライン
3. 川合秀明，神代剛，行本誠史，南大洋の雲は熱帯降水に影響するか？，2021 年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会，2022 年 2 月，オンライン
4. 石川一郎，季節予測システムの共同開発，気象庁施設等機関研究報告会，2022 年 2 月，東京都
5. 山中吾郎，IPCC AR6 WG1 報告書の概要，港湾における気候変動適応策の実装に向けた技術検討委員会，2022 年 1 月，東京都
6. 平原翔二，久保勇太郎，吉田拓馬，小森拓也，千葉丈太郎，関口亮平，越智健太，高倉寿成，金浜貴史，杉本裕之，足立恭将，石川一郎，藤井陽介，次期季節アンサンブル予報システム JMA/MRI-CPS3，令和 3 年度日本気象学会長期予報研究連絡会，2022 年 1 月，東京都
7. 今田由紀子，川瀬宏明，高解像度のラージアンサンブルシミュレーションによって見積もられる局所的な大雨の発生確率の季節予測可能性，令和 3 年度日本気象学会長期予報研究連絡会，2022 年 1 月，東京都
8. 出牛真，成層圏オゾンが季節内から季節スケールで対流圏循環に及ぼす影響について，令和 3 年度日本気象学会長期予報研究連絡会，2022 年 1 月，東京都
9. 川合秀明，地球温暖化を考える！（祝！真鍋さんノーベル賞受賞）～気候モデルによる温暖化シミュレーション～，船橋市オンライン市民公開講座，2022 年 1 月，オンライン
10. 山中 吾郎，変化する気候と海，2021 年度日本気象学会関西支部第 2 回例会，2021 年 12 月，高松市
11. 藤井陽介，石橋俊之，小林ちあき，石川一郎，気象研究所における結合同化システムの開発の成果と今後について，名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究集会「宇宙地球環境の理解に向けての統計数理的アプローチ」，2021 年 12 月，オンライン
12. 今田由紀子，川瀬宏明，高解像度のラージアンサンブルシミュレーションによって見積もられる豪雨の発生頻度の季節予測可能性，日本気象学会 2021 年度秋季大会，2021 年 12 月，三重県津市
13. 広瀬成章，碓氷典久，坂本圭，中野英之，高野洋雄，山中吾郎，2017 年 9 月の室戸岬東部の急潮の要因と予測不確実性について，日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会，2021 年 12 月，福岡県春日市
14. 酒井 哲，内野 修，永井智広，吉田 智，小司禎教，大島 長，眞木貴史，森野 勇，Richard Querel, and Ben Liley，成層圏エアロゾルの長期変動：ライダー観測と気象研究所地球システムモデルとの比較，日本気象学会 2021 年度秋季大会，2021 年 12 月，三重県津市
15. 碓氷典久，黒潮大蛇行研究のこれまでとこれから，黒潮大蛇行セミナー，2021 年 11 月，（オンライン）
16. 川合秀明，気候モデルで地球温暖化を予測する！，科学ライブショー「ユニバース」ノーベル物理学賞特別番組，2021 年 11 月，千代田区
17. 碓氷典久，広瀬成章，平原幹俊，檜垣将和，気象庁現業海況システムにおけるオホーツク海の海洋・海水場のバイアス低減に向けた取り組み，研究集会「縁辺海と外洋とを繋ぐ対馬暖流系の物理・化学・生物過程」，2021 年 10 月，北海道札幌市
18. 藤井陽介，足立恭将，石川一郎，吉田拓馬，平原翔二，久保勇太郎，杉本裕之，気象庁季節予報用全球海洋データ同化システムの更新，日本海洋学会 2021 年度秋季大会，2021 年 9 月，オンライン

19. 豊田隆寛, 坂本圭, 碓氷典久, 広瀬成章, 田中潔, 勝間田高明, 高橋大介, 仁木将人, 轡田邦夫, 美山透, 中野英之, 浦川昇吾, 小松謙介, 川上雄真, 山中吾郎, 駿河湾への黒潮水貫入とそれに伴う湾内の表層循環, 日本海洋学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 9 月, (オンライン)
20. 中野英之, 浦川昇吾, 豊田隆寛, 新藤永樹, 吉村裕正, 川上雄真, 坂本圭, 山中吾郎, 大気海洋結合モデルによる短期の予報可能性について, 日本海洋学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 9 月, オンライン
21. 相木秀則, 福富慶樹, 尾形友道, 菅野湧貴, 豊田隆寛, 中野英之, MJ0 が中緯度に励起する波動エネルギー循環の診断にむけて, 日本海洋学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 9 月, (オンライン)
22. 広瀬成章, 碓氷典久, 坂本圭, 中野英之, 高野洋雄, 山中吾郎, 2017 年 9 月中旬の室戸岬東部で発生した急潮の要因について, 日本海洋学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 9 月, オンライン
23. 大島長, アイスコア観測と全球モデル計算との比較, グリーンランド南東ドームアイスコアに関する研究集会, 2021 年 9 月, オンライン
24. 関山剛, 大気エアロゾルの確率予測、データ同化、そして深層学習, 第 38 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2021 年 8 月, オンライン, オンライン
25. 豊田隆寛, 坂本圭, 碓氷典久, 広瀬成章, 田中潔, 勝間田高明, 高橋大介, 仁木将人, 轡田邦夫, 美山透, 中野英之, 浦川昇吾, 小松謙介, 川上雄真, 山中吾郎, 黒潮変動に影響される駿河湾の循環構造, 海洋力学における海岸/海底地形の役割と影響 (大槌シンポジウム海洋パート), 2021 年 7 月, 岩手県大槌町
26. 大島長, 気象研究所地球システムモデルを用いた北極気候研究 (放射強制力、20 世紀前半の北極温暖化、COVID-19 による気候影響評価), ArCS II 第 2 回全体会合, 2021 年 6 月, (オンライン)
27. 中野英之, 浦川昇吾, 坂本圭, 豊田隆寛, 山中吾郎, 渦解像モデルで再現された 20 世紀の日本沿岸の海面水位の長期変動, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
28. 吉田康平, 水田亮, 成層圏突然昇温は熱帯対流活動を励起するか? ~大規模アンサンブルシミュレーションからの視座~, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
29. 関山剛, 深層畳み込みニューラルネットワークを用いた気象場の総観スケールからメソスケールへの統計的ダウンスケーリング, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 6 月, オンライン, オンライン
30. 小林ちあき, 前田修平, 2019 年南半球成層圏突然昇温後の対流圏における負の南極振動の持続と季節予測可能性, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 6 月, オンライン, オンライン
31. 碓氷 典久, 広瀬 成章, 藤井 陽介, 高野 洋雄, なぜ 2017 年黒潮大蛇行は長期化しているのか?, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
32. 坂本圭, 浦川昇吾, 広瀬成章, 中野英之, 豊田隆寛, 碓氷典久, 山中吾郎, 日本沿岸海況監視予測システムにおける河川流出の高度化に向けて, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
33. 川合秀明, 気候モデルにおける南大洋の雲, 国立極地研究所気水圏コロキウム, 2021 年 5 月, オンライン
34. 川合秀明, 神代剛, 行本誠史, MRI-ESM2 における南大洋の短波放射バイアスとダブル ITCZ 問題の関係, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
35. 石橋俊之, 観測誤差共分散行列の流れ依存性, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, つくば市
36. 田中泰宙, 弓本桂也, 吉田真由美, 村上浩, 永尾隆, GCOM-C SGLI エアロゾルデータ同化・予測の実証実験, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, つくば市

37. 高谷祐平, 石川一郎, 小林ちあき, 遠藤 洋和, 尾瀬 智昭, 2020 年の活発な梅雨・メイユに対するインド洋の影響, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン

イ. ポスター発表

・国際的な会議・学会等 : 8 件

1. Usui, N., N. Hirose, Y. Fujii, and N. Kohno, Why has the 2017 Kuroshio large meander lasted so long?, Ocean Sciences Meeting 2022, 2022 年 3 月, アメリカ, オンライン
2. Kawai, H., S. Yukimoto, T. Koshiro, N. Oshima, T. Tanaka, H. Yoshimura, and R. Nagasawa, Significant Reduction of the Southern Ocean Radiation Bias in a Climate Model, AMS 102nd Annual Meeting, 2022 年 1 月, アメリカ, オンライン
3. Oshima, N., S. Yukimoto, M. Deushi, T. Koshiro, H. Kawai, T. Y. Tanaka, and K. Yoshida, Global and Arctic effective radiative forcing of anthropogenic gases and aerosols in MRI-ESM2.0, Tri-MIPathlon-3, 2021 年 12 月, イギリス, (オンライン)
4. Imada, Y., and H. Kawase, Long-term potential predictability of regional extreme events in East Asia estimated from a high-resolution large ensemble, WCRP workshop on attribution of multi-annual to decadal changes in the climate system, 2021 年 9 月, (オンライン)
5. Kawai, H., T. Koshiro, and S. Yukimoto, Does the reduction in the Southern Ocean radiation bias alleviate the double-ITCZ problem?, CFMIP Meeting on Clouds, Precipitation, Circulation, and Climate Sensitivity, 2021 年 9 月, オンライン
6. Toshiyuki Ishibashi, Improvement of Accuracy of Global Numerical Weather Prediction Using Refined Error Covariance Matrices, WCRP-WWRP Symposium on Data Assimilation and Reanalysis, 2021 年 9 月, (オンライン)
7. Sugi, M., and H. Yoshimura, Cumulus parameterization scheme for gray zone, The Fifth Convection-Permitting Modeling Workshop 2021 (CPM2021) High-Resolution Climate Modeling and Hazards; https://www.pco-prime.com/tougou2021_ws/index.html, 2021 年 9 月, (オンライン)
8. Fujii, Y., C. Kobayashi, I. Ishikawa, and Y. Takaya, Evaluation of a coupled atmosphere-ocean reanalysis using tropical Pacific mooring data, US CLIVAR Tropical Pacific Observing Needs Workshop, 2021 年 5 月, オンライン, オンライン

・国内の会議・学会等 : 4 件

1. 平原翔二, 久保勇太郎, 吉田拓馬, 小森拓也, 千葉丈太郎, 関口亮平, 越智健太, 高倉寿成, 金浜貴史, 市川悠衣子, 杉本裕之, 足立恭将, 石川一郎, 藤井陽介, 次期季節予測システム JMA/MRI-CPS3, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重
2. 行本誠史, 大島長, 相澤拓郎, CMIP6 モデルによる北半球平均降水量の長期変化, 日本気象学会 2021 年秋季大会, 2021 年 12 月, オンライン
3. 杉 正人, 吉村裕正, グレーゾーンの積雲対流スキーム, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
4. 清水 健太, 佐藤 利典, 村田 耕一, 碓氷 典久, 塩原 肇, 山田 知朗, 篠原 雅尚, マルチチャンネル特異スペクトル解析を用いた海底圧力計データからの海洋変動成分の除去, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン

報道・記事

- ・令和元年12月「CO₂の放出と吸収のより正確な推定に成功」(千葉大学他)
- ・令和2年1月「黄砂に関する情報を拡充します」(気象庁他)
- ・令和2年10月「きめ細かな海流・海水温の情報提供を開始～潮位情報の改善～」(気象庁)
- ・令和3年2月「令和2年の活発な梅雨に熱帯インド洋が与えた影響を解明」(気象研)
- ・令和3年4月「1年先の夏季アジアモンスーンの予測に成功」(気象研)
- ・令和3年4月「我が国における金属由来の粒子酸化能の大気中濃度について、初めて予測に成功し、発生源別の寄与率を評価しました」(気象研)
- ・令和3年5月「SO₂排出削減にもかかわらず硫酸エアロゾル減少が鈍化する原因を特定」(東京工業大学他)
- ・令和3年5月「コロナ禍によるCO₂等排出量の減少が地球温暖化に与える影響は限定的」(海洋研究開発機構他)
- ・令和3年6月「温室効果ガス収支をマルチスケールで監視するための環境研究総合推進費プロジェクトの開始について」(国立環境研究所他)
- ・令和3年11月「きめ細かな海水情報の提供を開始します」(気象庁)

その他(「成果の他の研究への波及状況」関連)

- ・前中期計画で開発し、本課題で現業化支援を行った日本沿岸海況監視予測システムが、令和2年10月に気象庁海洋気象業務にて運用開始された。
- ・本課題で解析を行った日本周辺の海況(海水温、海面水位、海氷、海洋循環)の将来予測結果は、令和2年12月に「日本の気候変動2020」として公表された。
- ・本課題で開発した海氷同化・予測手法を導入した日本沿岸海況監視予測システムによる海氷予測情報の配信が令和3年12月に開始された。
- ・本課題で本庁と共同開発した季節予測システムは、令和4年2月に本庁で運用を開始した。
- ・本課題で開発した領域化学輸送モデルの高解像度版(asuca 対応)が令和2年に気象庁大気汚染気象業務にて運用開始された。
- ・本課題で開発したエアロゾルデータ同化システムが令和2年に黄砂情報提供業務において運用開始された。
- ・本課題で本庁と共同で開発したオゾンデータ同化システムを用いて、本庁がJRA-3Q用オゾン解析値の作成を行った。
- ・本課題で開発した二酸化炭素衛星逆解析システムは本庁の二酸化炭素分布情報にて運用を開始する予定である。

P 大気の物理過程の解明とモデル化に関する研究

研究年次：3年目／5年計画（令和元年度～令和5年度）

研究代表者：山田雄二（気象予報研究部長）

課題構成及び研究担当者

（副課題1）高解像度非静力学モデルによる激しい気象現象の再現性向上

〔気象予報研究部〕○藤田 匡、山田芳則（令和元年度）、林 修吾、橋本明弘、渡邊俊一

〔気象観測研究部〕山田芳則（令和2年度）

〔台風・災害気象研究部〕和田章義、小野耕介（令和元～2年度）

（副課題2）接地境界層における乱流輸送スキームの精緻化

〔気象予報研究部〕○毛利英明、北村祐二（令和元年度）、水野吉規、守永武史、
安斎太朗（令和2～3年度）

〔併任：数値予報課〕米原 仁、草開 浩

（副課題3）雪氷圏の監視・変動要因解明とその基盤技術の開発

〔気象予報研究部〕○大河原望、庭野匡思、谷川朋範

〔気候・環境研究部〕保坂征宏

〔併任：気象技術開発室〕酢谷真巳、長屋幸一

（副課題4）積雲対流スキームのグレーゾーン対応と雲・放射スキームの精緻化

〔気象予報研究部〕○中川雅之、川合秀明、長澤亮二

〔全球大気海洋研究部〕吉村 裕正、新藤 永樹

〔台風・災害気象研究部〕和田 章義

（副課題5）エアロゾル・雲・降水微物理の素過程解明と微物理モデルの開発

〔気象予報研究部〕○折笠成宏、財前祐二、田尻拓也、橋本明弘

〔全球大気海洋研究部〕足立光司、梶野瑞王

〔応用気象研究部〕川端康弘

研究協力者：（氏名・機関）

伊藤 純至・東北大学

大竹 秀明・産業技術総合研究所（令和元年度）

宇野 史睦・産業技術総合研究所（令和元年度）

萩野谷 成徳・元気象研究所

小野木 茂・元気象研究所（令和元年度）

西澤 誠也・理化学研究所（令和元年度）

青木 輝夫・国立極地研究所（令和元～2年度）

島田 利元・宇宙航空研究開発機構

村上 正隆・名古屋大学宇宙地球環境研究所

研究の動機・背景

（社会的背景・意義）

近年、集中豪雨や台風等による被害が相次いで発生しており、また雨の降り方が局地化、集中化、激甚化していることから、国土交通省では平成27年1月、「新たなステージに対応した防災・減災のあり方」をとりまとめた。これを受けて、交通政策審議会気象分科会では、防災・減災のためにソフト面から気象庁が取り組むべき事項を審議し、平成27年7月に「新たなステージ」に対応した防災気象情報と観測・予測技術のあり方」を、気象庁への提言としてとりまとめた。この中では、新たなステージに対応できるよう、おおむね10年先を見据えた観測・予測技術の高度化が求められている。

引き続いて同分科会では、上の提言のフォローアップとして、平成 30 年 8 月に「2030 年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」という、気象庁への提言をとりまとめた。ここでは「現在の気象状況から 100 年先まで、社会ニーズに応じた観測・予測の高精度化」が目標として掲げられており、「社会的ニーズに応じた観測・予測」の具体例として集中豪雨、台風、季節予報、温暖化予測があげられている。

これらの予測の基盤技術は数値予報モデルであり、予測精度の向上には数値予報モデルの改善が必要である。数値予報モデルは大気の運動や状態変化のシミュレーションであるから、大気のような物理プロセスの再現性がその予測精度を大きく左右する。

(学術的背景・意義)

集中豪雨や短時間強雨、突風などの激しい気象現象は一般的に時間空間スケールが小さく、積乱雲が関与していることが多い。したがって、これらの現象の予測精度を向上させるためには、積乱雲を精度良く再現する高解像度の非静力学モデルを開発していくことが求められている。気象研究所では高解像度化が予測精度に与える影響を調べてきたが、必ずしも高解像度化が予測精度向上に結び付くわけではないことが分かっている。これは「グレーゾーン問題¹」がその一因である。したがって、モデルの高解像度化に伴う問題点を精査し、それを解決するための新たな物理過程スキームを提案することは、今日のモデル開発における国際的な課題となっている。

エアロゾルは、降水に影響を与える雲形成プロセスにおいて、雲核 (CCN)、氷晶核 (IN) として作用し、また放射を直接的に散乱・吸収する。これらのエアロゾルのプロセスは現在の予報モデルでは考慮されていないが、雲の出現特性や降水、放射過程の予報精度を高めるためには、将来的に重要性が増すと考えられる。特に IN や光吸収性の粒子については未解明部分が多い。そのため、地上モニタリング観測による IN 数濃度の変動特性や、実際に大気中で IN として働くエアロゾル粒子、黒色炭素やブラウンカーボンなど光吸収性粒子の物理化学特性の把握は重要である。また現実のエアロゾルの多くは内部混合であり、その特性について基礎的な研究が必要である。これまで気象研究所では連続モニタリングや雲生成チェンバー実験、顕微鏡的手法による粒子解析で各種エアロゾルの IN 能、CCN 能、物理化学特性を調査し、それらを基にボックスモデルの構築を行ってきたが、これをさらに継続発展させ、数値予報モデルの中でエアロゾルの影響を考慮できるようにする必要がある。

台風は、広範な領域に局地的な豪雨や強風をもたらして甚大な災害を発生させる場合がある。このような被害を軽減するためには、単に台風の進路を予測するだけでなく、台風による雨や風の予測を改善することが重要となる。このためには、広域で運用できる高解像度モデルを開発し、その利用可能性を検討する必要がある。

気象研究所では現業モデルのための境界層過程を作成し、さらに運動量や顕熱の地表面フラックス評価法を改良して実装してきた。世界的には、過去数年間で中立な接地境界層の相似則について理解が進展した結果、次の課題として安定・不安定成層における相似則や粗度の取り扱いを再検討し、その成果を Large Eddy Simulation (LES) や気象モデルに取り込む機運が高まっている。現在の気象庁のモデルによる地上気象予測は、特に強安定・強不安定で精度が高くないので、平成 30 年夏季のような災害的な猛暑を適切に予測するために接地境界層過程を精緻化する必要がある。

季節予報や地球温暖化予測に用いられる全球モデルの改善のために、これまで層積雲スキームや積雲対流スキームの改良に取り組んできた。長期の予測では放射収支が重要な役割を果たすことを踏まえると、さらに部分雲の表現や放射のアルゴリズムを精緻化する必要がある。また、雪氷圏はアイスアルベドフィードバックのもと、気候変動に対して脆弱であることを踏まえ、これまで測器の開発や継続的なモニタリング、および、積雪物理モデルの構築を行ってきた。モニタリングを継続するとともに、数値予報モデルにおける雪氷面と大気との相互作用を精緻化することが重要である。

(気象業務での意義)

上記の提言を踏まえて、気象庁では「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」を策定し、平成 30 年 10 月に公開した。ここでも、主たるターゲットは集中豪雨、台風、2 週間から半年程度先

¹物理過程パラメタリゼーションを必要とする現象とそうでない現象が混在する解像度ではパラメタリゼーションの適用方法が難しく、予測精度が上がらない問題。

までの予測（社会経済活動への貢献）、温暖化への適応策である。上に述べたとおり、数値予報技術の改善の根幹には、個々の物理プロセスの再現性向上がある。

研究の目的

（全体）

観測や実験と数値シミュレーションを組み合わせることで大気の種類物理過程を解明し、それを数値予報モデルに反映させることによって、集中豪雨、台風の予測、季節予報、地球温暖化予測に用いられる数値予報モデルの予測精度を向上させる。

（副課題 1）

高解像度非静力学モデルにより局地的な激しい現象の再現性を向上させる。このモデルを広領域で実行して、フィリピン域や北西太平洋域での降水量や風の予測精度を向上させる。

（副課題 2）

気象庁現業領域モデル（asuca）の接地境界層過程を精緻化して地上気象予測の精度を改善する。

（副課題 3）

放射伝達理論等の物理過程に基づき、雪氷面の観測を行い、雪氷圏変動の実態把握を行う。その状態変化に係るモデル化を進め、予測精度向上に寄与する。

（副課題 4）

数値予報モデルの積雲対流、部分雲、放射スキームを精緻化し、予測精度向上に寄与する。

（副課題 5）

エアロゾルの物理化学特性を解明し、また、雲の生成から降水に至る物理過程を精緻化することにより、降水や放射の予測精度向上に寄与する。

研究の目標

（全体）

現業数値予報モデルで使用されている各種物理過程の問題点を明らかにし、有効な改善方法を提案する。あわせて、モデルの高解像度化と領域モデルの広域化について利用可能性を評価し、次世代の現業数値予報モデルの仕様に係る指針を得る。

（副課題 1）

高解像度モデルの予測精度の解像度依存性について評価して問題点を抽出し改善の方策を示すとともに、高解像度モデルに適した力学フレームを検討する。広領域で実行可能な高解像度領域モデルを開発し、台風による局地的な降水や風の予測精度を評価して問題点の抽出と改善のための方策を示す。また、他副課題で得られた物理過程改良の成果を現業数値予報モデルを用いて総合的に確認し、予報精度向上にかかる改善の提案を目指す。

（副課題 2）

接地境界層における運動量・熱などの乱流輸送の特性を①数値計算②風洞実験③野外観測から明らかにする。得られた知見を総合的に検討して気象庁領域モデル（asuca）に接地境界層過程として実装する乱流輸送スキームを精緻化し、副課題 1 と連携して、数値予報におけるインパクトを確認する。

（副課題 3）

観測のための測器等を開発・整備しつつ、地上観測・試料分析を継続して高精度な長期監視を行うとともに、未だに十分な理解が進んでいない雪氷の物理過程の解明を行う。これを衛星リモートセンシングアルゴリズムの開発・改良に活かし、時空間的に連続的かつ広域にわたる、量的・質的な雪氷圏監視を行う。また、積雪モデルや海氷モデルの開発・改良を進め、これらを大気モデルに結合させることで大気と雪氷面の相互作用を精緻化し、雪氷面の状態変化に係る予測精度を向上させる。

(副課題4)

メソモデルによる顕著現象などの予測精度向上や、将来の全球モデルの水平高解像度化に向け、水平格子間隔約 10km からそれ以下のグレーゾーンに対応した積雲対流スキームを提案する。また、格子内の部分雲の表現を改善、および、雲が放射に及ぼす効果を改善するなど雲・放射全般の改善を図る。これらに関連する課題・副課題と連携し、研究成果を数値予報モデルに適用して、予測精度を向上させる。

(副課題5)

電子顕微鏡による大気エアロゾル粒子の個々のレベルでの分析により、存在状態や物理化学特性などを明らかにする。また、雲生成チャンバー等の装置を用いた実験、各種大気エアロゾルのモニタリング観測、新たに開発する詳細微物理モデルによる数値実験の結果を用いて、CCN 能、IN 能の定量的なモデル化を進める。さらに航空機観測データ等も用いて、雲・降水プロセス全般について検討を行い、3次元モデル用の新たな雲物理モデリングの提案を行い、降水や放射予測精度向上に向けた改善点を明らかにする。

中間評価時の到達目標**(副課題1)**

- ・局地的大雨・大雪や風を中心として、高解像度非静力学モデルの予測精度や現象の再現性に関する解像度依存性に関する知見が得られていること。必要に応じて物理過程の新しいモデルの導入を図り、その効果の評価が可能になっていること。
- ・フィリピンやその周辺及び北太平洋を含む広い領域での高解像度領域モデルの実行が可能になっていること、及び降水の予測精度の評価に着手していること。

(副課題2)

- ・接地境界層における乱流輸送の特性について見出した新たな知見に基づいて、乱流輸送スキーム改善の方向性が明らかになっていること。

(副課題3)

- ・札幌等における冬期の地上観測・試料分析が着実に実施されていること。
- ・上記観測・分析結果等を活かし、雪氷の物理過程の解明が進捗していること。リモートセンシングアルゴリズムや積雪・海氷モデルに対して、雪氷の物理過程に係る得られた知見の導入が図られていること。
- ・日本周辺および極域での領域モデル計算を実施し、地球システムモデルの結果とともにその検証が行われていること。それを踏まえたモデルの改良が図られていること。

(副課題4)

- ・積雲対流スキーム：グレーゾーンに対応した積雲対流スキームの概念モデルを構築し、実装して理想環境や鉛直1次元モデルにより挙動を確認する実験が行われていること。3次元モデルでの単発実験と事例調査、従来の積雲対流スキームとの比較が着手されていること。
- ・層積雲スキーム：様々な状況でのモデルの表現が確認されていること。浅い対流や境界層スキームの改良と組み合わせる必要があるかどうかの確認が行われていること。
- ・放射スキーム：雲の水平非一様性の効果とより精緻な雲オーバーラップ等を実現する仕組みを構築し、放射計算に実装して理想実験を行うことで、その挙動が確認されていること。3次元モデルでの動作確認が着手されていること。

(副課題5)

- ・顕微鏡、バーチャルインパクト等を用いて実大気で有効な IN を調査する実験手法が確立されていること。
- ・内部混合粒子の発生方法を確立し、CCN 能・IN 能測定実験が実施されていること。主な大気エアロゾル粒子の CCN 能・IN 能を高精度に表現する、詳細雲降水微物理モデルを開発し、実験結果との比較が行われていること。
- ・透過型電子顕微鏡、走査型電子顕微鏡、温湿度制御チャンバー付光学顕微鏡を用いた、エアロゾル

の大気反応や温度湿度変化時の物理化学特性分析に関する手法が確立されていること。

- ・ エーロゾルの個別粒子解析の結果を参考にして、現実に近いエーロゾルパラメータの定式化及び妥当性確認が行われていること。様々な物理的パラメータについて従来法による計算結果との違いが明らかになっていること。

研究成果

(1) これまで得られた成果の概要

(副課題1)

① 系統的実験による予測精度のモデル解像度依存性の検証

- ・ 気象研究所スパコン更新に伴い、新スパコンでの NHM による実験環境を再構築し、実行性能調査を行った。また、新たに気象庁の現業モデル asuca の実験環境整備を T 課題と連携して行い、実行性能を調査した。NHM、asuca について、研究用途での入力データへの対応機能の整備や、最近の事例での数値実験に必要な、現業数値予報システムの更新への対応（NHM 前処理ツールでの asuca-Var メソ解析の初期値・境界値利用への対応など）を行った。
- ・ 実験環境を整備した NHM、asuca による系統的実験を行い、予測精度のモデル解像度依存性の調査に取り組んだ。本実験システムでは、副課題2により asuca に実装された大気境界層のグレーゾーンに対応した乱流スキームを導入している。令和2年7月豪雨事例について、現業数値予報で運用されている水平解像度 2km と、より高解像度の 1km, 500m, 250m 格子での再現実験を行い、解析雨量による検証を実施した。総降水量でみたモデル間の差は小さいが、asuca はやや強雨を過剰に表現する傾向がみられた。1時間降水量の再現性は 1km 解像度で向上したが、500m, 250m 解像度では 1km 解像度とほぼ同等であった。

② 激しい気象現象の再現性の検証および予測精度の評価

- ・ バルク法雲物理モデルをベースに、粒子クラス（雲粒・雨滴・氷晶・雪・霰）それぞれの生成量を雲物理素過程別に大気中から地上まで追跡する素過程追跡スキームを開発した。日本海側の大雪事例における水平格子間隔 1km の数値実験を行い、素過程追跡スキームにより雪、霰生成への各過程の寄与率を調べ、JPCZ 内外での傾向の違いが観測結果と一致していることを確認した。また、JPCZ の動きと降雪粒子の分布特性の対応を調査し、観測結果と整合していることを確認した。一方、粒径と落下速度の関係については、予報モデルに地上観測データからの乖離が見られ、落下速度関数の検討、数濃度の検証が必要であることが分かった。
- ・ 大雪事例について、雲核、氷晶核の効果を想定して、雲物理過程の降水粒子生成率を変えた感度実験を行い、降雪量への影響を調査した。雲核の効果（雲粒からの雨滴生成）が、降雪量、霰寄与率に影響を及ぼすことが分かった。
- ・ 二重偏波レーダーの粒子判別による積乱雲内の水物質の分布構造と、発雷観測との関係について統計的に分析した。霰や雹をはじめとする氷粒子や反射強度の体積指標が発雷頻度と高い相関を持つことが分かり、さらに霰の存在高度を考慮することにより発雷頻度との相関関係の向上が見られることが分かった。
- ・ 水平格子間隔 1km のモデルによる水物質の予測と発雷観測の対応について、平成 29 年 7 月九州北部豪雨事例と平成 30 年 7 月豪雨事例による調査を進めた。両事例についてモデルによる霰の体積と発雷観測の増減の時間推移に対応が見られた。
- ・ 2km 以下、LES としての計算が可能な 125m までの水平格子間隔での線状降水帯の理想化実験を行った。高解像度でより強い上昇流、下降流が表現されたほか、低解像度では上昇流のピークの高度が低い傾向が見られた。各解像度での格子間隔の 4-8 倍以上の空間スケールを持つ対流雲の個数は高解像度の結果と一致し、十分解像されていることが分かった。
- ・ 水平格子間隔 5km, 1km でヒマラヤ域における降水種別の標高特性の調査、衛星降水プロダクトとの比較を行った。特に夏季と秋季に、1km の 5km に対する優位性が見られた。
- ・ 三陸沿岸における冬季日中の強風について、水平格子間隔 100m とした再現実験を行い、1km との比較を行った。この現象は、上空の季節風の対流混合と北上山地のおろし風の寄与によるものである。地上付近の風速強化について、水平格子間隔 100m では、1km で表現されないような対流混合による運動量輸送が表現され、強風が出現した。
- ・ デュアル・フェーズドアレイレーダー解析によって、活発な対流活動を伴う降水システム内の 3 次元構造の時間発展を時間解像度 30 秒で解析した。強い上昇流を持つセル内には強い下降流が存在していた（共に 10m/s 以上）。上昇流、下降流の時間変化は速く、対流雲の実態解明には、少なくとも

も1〜2分より短い時間解像度が望ましいことが分かった。また、降水粒子が雲の上部や中層部で成長して地表付近に落下している様子が解析された。

③広領域の高解像度モデルによる台風予測の精度検証

- ・2019年にフィリピンに上陸した台風第28号及び第29号について、NHMを元にした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及び雨・雪・あられの蒸発率に関する感度実験を実施し、得られた結果をマイクロ波衛星によるプロダクトと比較した。1時間降水分布を比較した結果、蒸発を考慮しない場合は台風域内に降水が集中、考慮した場合はレインバンドがより明瞭となり、非対称的な分布が顕在化することがわかった。
- ・asucaの広領域高解像度での実験環境を整備した上で、2018年にフィリピンに上陸した台風第22号について数値シミュレーションを実施し、同領域同水平解像度のNHMの結果と比較することにより今後の台風予測の分析に向けた設定を検討した。asucaの実験設定において、鉛直層を増強(76層→96層)することにより、NHMと同程度の台風強度・強度変化の再現性が得られた。

(副課題2)

①数値計算・②風洞実験・③野外観測の各分野において研究は順調に進捗している。とくに②風洞実験の結果に基づく①数値計算から、気象モデルの地表面フラックス診断について、物理量を時間について平滑化することで、従来は診断誤差が大きかった高解像度においても現行のMonin-Obukhov普遍関数を用いた手法で十分に高い精度が達成できることを示した。ここで平滑化時間は境界層内で最大の渦構造が通過するのに要する時間程度である。さらに平均値まわりの変動成分についての診断式を②風洞実験に基づいて見出した(Mouri and Ito 2022)。

また本研究課題からは大気境界層に関する知見とくに気象モデル境界層過程の検証に資する乱流法則に関する知見や都市・森林・水田など個別事例に関する成果が得られ、以下のとおり論文として発表している。

- ①差分誤差に起因する乱流エネルギーの散逸について、評価法を提案し、不安定な境界層における影響を調べた(Kitamura and Nishizawa 2019)。
- ②日射による壁面過熱が都市街区内の流れや気温に及ぼす影響を風洞における模型実験から明らかにした(Lin et al. 2020)。
- ②大気汚染物質が森林のキャノピー内に侵入する過程を風洞における模型実験から明らかにした(市川ほか 2020: 大気環境学会誌最優秀論文賞)。
- ②風速変動の高次統計量について中立時に平均風速と同様な対数則が成立することを風洞実験から明らかにした(Mouri et al. 2020)。
- ②風速変動の2次統計量である分散について不安定時に中立時と同様な対数則が成立することを風洞実験から明らかにした(守永ほか 2020)。
- ②中立時の運動量フラックス瞬時値を同一高度における水平風速だけで評価する場合の限界精度を機械学習から明らかにした(Ito and Mouri 2022)。
- ③監視カメラの画像からアメダス露場の積雪深を推定するため画像補正のアルゴリズムを開発しCGによる性能評価を行った(水野 2020)。
- ③気象官署における地温・積雪深の日原簿をデジタルアーカイブ化して公開した(Saito et al. 2020: 関東・中部・西日本支部賞)。
- ③水田におけるエネルギー収支を数値モデル化し二酸化炭素濃度の上昇に対する潜熱フラックスの応答を調べた(Ikawa et al. 2021)。

(副課題3)

①雪氷物理量を測定するための技術開発、連続観測

- ・札幌・北見・長岡における放射・気象・積雪観測および現地で取得した積雪サンプルからの光吸収性不純物濃度測定を計画通り実施した。
- ・札幌で取得している気象・雪氷データを国際積雪モデル相互比較プロジェクトESM-SnowMIPに提供し(同時に、オープンデータレポジトリにおいて公開された)、その成果が論文発表された。アジアからの貢献が我々のデータのみであることは特筆に値する。
- ・当研究室で構築してきた積雪アルベド測定手法によって取得されたデータが、欧州宇宙機関ESAで運用されているSentinel-3 OLCI雪氷プロダクトの検証に活用された。
- ・札幌等に設置した地上全天分光日射計データから、積雪粒径、積雪不純物濃度の導出に最適な光散

乱粒子モデルを提案した。また、積雪粒径、積雪不純物濃度の長期モニタリングを実施し、その結果が論文発表された。この光散乱粒子モデルは後述する衛星観測用の光学テーブル(ルックアップテーブル)の作成に用いられた。

- ・様々な雪氷面を対象とした分光反射測定装置の開発を行い、積雪や海水表面の分光反射特性・偏光特性を取得した。また、積雪の偏光特性について、特に積雪粒径や形状等に依存しない、測定幾何条件で決まる普遍的な性質に関する新たな知見を得て、その結果を論文発表した。
 - ・サロマ湖海氷上で取得した気象・放射観測データが、結氷初期の海水凍結過程における積雪の影響評価に関する研究に、また、海氷に含まれるアイスアルジー（海氷藻類）のバイオマス推定に関する研究に活用された。
- ②リモートセンシングによる雪氷物理量の監視、アルゴリズム開発・改良
- ・ひまわり 8 号による積雪・海氷プロダクトを開発し、東アジア域の積雪、オホーツク海海氷面積監視のため定常的な作成を開始した。また、アルゴリズム解説書を作成し、気象衛星センター技術報告書にまとめた。
 - ・ひまわり雪氷・海氷プロダクトの短期数値予報への活用をはかることを目指し、数値予報課で積雪解析への活用を試みているマイクロ波衛星データに基づく積雪被覆情報との比較を行なった。
 - ・積雪物理量のリモートセンシングの高度化を目的に、①で開発した光散乱積雪粒子モデルを MODIS、ひまわり 8 号イメージャに適用し、衛星リモートセンシングアルゴリズムの改良を行った。
 - ・上記手法を SGLI にも応用し、JAXA GCOM-C/SGLI の公式プロダクトに定義されている粒径物理量の高度化を行った。
 - ・偏光リモートセンシングの可能性を調査すること目的に、新たに大気-積雪系放射伝達モデルを開発した。
- ③雪氷物理過程モデルの高度化と活用
- ・領域気候モデル NHM-SMAP を用いて、北半球最大の氷床であるグリーンランド氷床の表面質量収支変動の数値シミュレーションを実現した。NHM-SMAP は、世界的に見ても非常に先端的な雪氷物理過程を組み込んだ気候モデルであるとして、IPCC AR6 WG I 報告書にて評価された。
 - ・グリーンランド氷床における雲放射効果の定性的・定量的影響を NHM-SMAP を用いて調べた。その結果、雲量が増加するほど雪氷表面融解面積は拡大するものの、雪氷質量損失は雲量の減少によって加速されることを世界で初めて明らかにした。本成果は、IPCC AR6 WG I 報告書にて引用された。
 - ・日本周辺および極域での領域気候モデル計算を実施し、上記観測データなども利用してモデル精度評価を随時実施した。
 - ・積雪変質モデル SMAP の国内版的計算版を開発し、本庁システムに導入した。現在、本庁システム内での最適化が行われ、精度評価を行っている。

(副課題 4)

①積雲対流スキームの開発

- ・積雲対流スキームにおいて、まず積雲から格子平均場へのフィードバックをグレーゾーンに対応させるため、積雲の上昇流・対流性下降流と補償下降流が一カラム内で閉じるという仮定を排除する Malardel and Bechtold (2019)、松林（私信）に基づく手法を GSM（気象庁全球モデル）に導入し、動作を従来の手法と比較した。超低解像度や現業と同じ水平解像度の 3 次元モデルの単発実験を行い、補償下降流に伴う気温や比湿の時間変化が、従来の手法では積雲対流スキームの中で表現されるのに対し、新しい手法では力学過程の中で表現されていることを確認した。

②層積雲スキームの開発

- ・GSM に Kawai (2017) の層積雲スキームを導入すると放射フラックスのバイアスが減少するとともに、亜熱帯大陸西岸沖の層積雲に見られる不自然に不連続な鉛直構造が解消される。さらに小森 (2009) に基づく浅い積雲対流スキームを導入することで、冬型時の日本海や南大洋において境界層の構造が現実大気に近づき放射フラックスのバイアスが減少することを示した。また浅い積雲対流スキームについて、層積雲スキームを従来のままとして導入すると東太平洋赤道付近で境界層内に生じる不自然な層積雲が増加するが、Kawai (2017) の層積雲スキームを同時に導入することでこの不自然な層積雲は生じなくなるため、両スキームは組み合わせて導入すべきであることを示した。一方で両スキームを導入した GSM による予報・データ同化サイクル実験では対流圏下層の気温の予測精度には悪化が見られ、これは浅い積雲対流スキームの効果が十分でないことが原因と考えられることがわかった。

③全球モデルにおける雲微物理過程の改良

- MRI-ESM2（気象研地球システムモデルバージョン 2）の雲関係の改良に関する論文を出版（Geosci. Model Dev.）した。MRI-ESM2 の放射収支の改善は著しいが、本論文では、雲関連の多岐にわたる変更を on/off して実験することでそれぞれの変更のインパクトを明らかにした。また、雲氷落下スキームや CTE（雲頂エントレインメント）層積雲スキームについて記述した。
- 全球気候モデル、全球数値予報モデルの下層雲のパラメタリゼーションに関する招待レビュー論文（J. Meteor. Soc. Jpn.）を出版した。下層雲の特徴や性質、そのパラメタリゼーションのコンセプトや困難さも丁寧に記述しており、学生等も含め、初心の研究者らが下層雲のパラメタリゼーションに関わる際の導入となる文献を目指した。
- MRI-ESM2 における南大洋などの放射バイアスと熱帯降水帯の関係を調査した。南大洋の放射バイアスが大きいほど南半球の熱帯降水帯の表現が悪化していくという明瞭な関係が示されると共に、MRI-CGCM3（気象研全球大気・海洋結合モデルバージョン 3）から MRI-ESM2 の熱帯降水帯表現の改善は、ESM2 における南大洋の放射バイアスの大幅な軽減によるものであることが示され、Atmos. Sci. Let. で出版した。
- GSM（2020 年 3 月までの現業版）、MRI-ESM2 の上層雲を比較調査した。放射収支、雲放射効果、雲水量、雲量などの比較を行い、どのような違いがあるかを明らかにした。

④全球モデルにおけるエーロゾル雲相互作用の高度化

- MRI-CGCM3、及び MRI-ESM2 の雲の改善を詳細に把握するため、雲関係の要素（層別雲量・雲水量・雲氷量・雲粒数密度・雲氷数密度）を調査し、その違いを明らかにした。
- MRI-ESM2 におけるエーロゾルの雲への影響を、産業革命前・及び現在のエーロゾル放出量を与えた実験の違いを元に調査した。このモデルにおいて、エーロゾルは、雲量・雲水量・雲氷量にはほとんど影響しない（雲寿命効果は小さい）が、雲粒数密度・雲氷数密度には大きく影響する（Twomey 効果は大きい）ことが示された。この結果は、Oshima et al. (2020, Prog. Earth Planet. Sci.) に記述した。
- MRI-ESM2 では、MRI-CGCM3 で考慮していない微小な海洋性エーロゾルを簡易的に考慮するため、観測的知見に基づき雲凝結核数を 2 倍するという扱いを採用したが、これにより海上の雲の数密度がどの程度増加し、その結果雲の光学的厚さが増えることでどの程度南大洋の放射バイアスが軽減するかを定量的に示した。また南大洋における放射バイアスの軽減を通じ、これが熱帯降水帯の表現の改善に寄与していることを示した。これらについては上記③の MRI-ESM2 に関する 2 本の論文に記述した。
- エーロゾル雲相互作用の不確実性については、上記③の招待レビュー論文に、近年の動向のレビューを記述した。

⑤放射スキームの改良

- 大気モデルの放射計算で多重散乱計算を行う際に必要となる「各鉛直サブカラムでの雲の有無とその雲水量を格子点（格子平均）の雲量と雲水量の値から決定する部分（Cloud Generator）」のコーディングと動作確認を行った。曇天域のみをサブカラムに分割する高速で効率的な Cloud Generator のコーディングと動作確認を行い、この方法では曇天域内のみがサブカラムに分割され全雲量の再現性がよいことを確認した。また雲オーバーラップの仮定をサブグリッドにまで適用するかしないかで診断された全雲量の値に大きな差が生じることも確認した。
- 全球モデルの放射計算における氷雲光学特性診断式と氷雲有効サイズ診断式について文献調査の上より信頼性の高い方法へと見直し、鉛直 1 次元モデルによる理想実験と 3 次元全球大気モデルによる 1 年積分実験、データ同化サイクル実験でその影響を調査した。前者（後者）により氷雲の放射強制力が弱まり（強まり）対流圏が冷える（温まる）こと、両者を組み合わせることで前者の効果が後者の効果により緩和されることが確認された。これらの調査結果を WGNE Blue Book で出版した。

（副課題 5）

①地上モニタリング観測及び有効な IN の解明

- 2012 年度より継続中のつくばでの地上モニタリング観測に関する解析結果をとりまとめ、大気エーロゾル(AP)の CCN 能・IN 能の季節変動に関する特徴等を明らかにした。
- 氷晶核計等を用いた AP の地上モニタリング観測において、IN 能の指標である INAS（AP 総表面積当たりの IN 活性表面サイト数）密度を用いて、種々のダスト標準粒子と比較した。観測された中央値

は1~4桁低く、緩やかな温度依存性を示すことが分かった。

- ・黄砂飛来時やローカルダスト発生時のようなイベント時と、それ以外の非イベント時に採取されたAPを用いて、雲生成チェンバーによる氷晶発生実験を行い、それぞれのIN能を評価した。黄砂事例のINASは、ダスト標準粒子に匹敵するほど高く、ローカルダスト事例は概ねモニタリング観測におけるAPの変動幅に収まるものの明瞭な温度依存性を示し、-25℃以下ではモニタリング観測におけるAP最大値に近い値を示した。一方、非ダスト日のINASは、モニタリング観測におけるAP月平均値と重なる範囲に収まるものの、APの混合状態によってINASの温度依存性に多様性があることが推測された。
 - ・冷却ステージを用いたつくばにおける調査で、有効なINは、春季については鉱物粒子が主だが、他の季節は生物粒子も貢献していることが分かった。
 - ・有効なIN調査のための別手法である、バーチャルインパクトを用いた雲残渣粒子を採取する予備実験を実施し、粒子データを取得できることを確認した。
 - ・北極の観測サイトで雲（水及び氷雲）の残渣粒子の組成分析を行うために試料採取を行った。得られた試料は電子顕微鏡で分析を行い、エアロゾル種の特定制定を行った。
 - ・森林火災から排出される灰成分を含んだエアロゾル粒子のIN活性を検討し、鉱物粒子に次ぐIN能を持つことを明らかにした。
 - ・森林から放出されるエアロゾル中のIN特性を解析し、バイオエアロゾルが強いIN活性を持つことを明らかにした。
 - ・UAEでの夏季対流雲を対象とした航空機観測の事例解析をとりまとめ、上昇流コア内とその周辺で氷晶数濃度の値に顕著な差があることが分かり、IN観測値との比較から、周辺部での二次氷晶の可能性を議論し、数値モデル検証用にも貢献した。
- ②内部混合粒子のCCN特性に関する室内実験
- ・実大気中にて低過飽和度でCCN活性するエアロゾルはサブミクロンサイズであり、その吸湿度を高精度に計測するための測定技術の向上を図った。
 - ・その吸湿度同定手法をサブミクロンサイズの内部混合粒子に拡張できることを確認するため、NaCl粒子やダスト標準粒子を用いて、CCN計のOPCで計測された微水滴粒径情報と詳細雲微物理モデルによるCCN計内部における水滴成長に関する計算結果を比較検証した。NaCl粒子のような純物質について数値モデルによる水滴成長の再現を確認した。
 - ・ダスト粒子の硫酸コーティングのためのセットアップ及び予備実験を実施中である。
 - ・森林火災から排出される灰成分を含んだエアロゾル粒子のCCN特性を検討し、相対湿度80-89%で潮解する性質を明らかにした。
- ③詳細雲微物理モデルの開発・改良
- ・NHM-Chemにエアロゾルから雲微物理・大気放射過程を介した気象へのフィードバック効果を組み込んだ詳細微物理モデルを実装し、大気汚染が深刻なインド北西部、平成27年9月関東東北豪雨、平成30年西日本豪雨、首都圏短時間豪雨などの事例に適用し、観測値や既往モデルであるNHMやWRF、WRF-Chemとの比較を実施した。短波放射に対するエアロゾルフィードバックの効果はモデル間で顕著な差があることが分かり、詳細な評価検証について取り組んでいる。
 - ・NHMにおいてCCN活性化スペクトルに対する依存性を平成30年7月豪雨などの事例で調べた結果、CCNが少ない場合、雲粒サイズは大きくなり、霰生成が促進されることが分かった。
- ④雲スキームの開発・改良
- ・NHM-Chemが予報するエアロゾルの粒径分布、化学組成、混合状態（内部・外部混合）からCCN数濃度を算出し、NHMの雲スキームに受け渡すスキームを開発した。
 - ・NHM-Chemが予報するエアロゾル情報と、実験から得られるINASからIN数濃度を算出し、NHMの雲スキームに受け渡すスキームを開発した。
- ⑤エアロゾル物理化学特性の解明
- ・北極上空の航空機観測で得られたエアロゾル試料の物理化学特性を電子顕微鏡分析し、エアロゾルの混合状態がその起源や輸送過程によって異なることを明らかにした。
 - ・アマゾンの森林で採取されたエアロゾル試料を電子顕微鏡で解析し、アフリカ大陸からのダスト輸送や、森林からの放出現象等によってその物理化学特性が大きく異なることを明らかにした。
 - ・森林火災から放出された煙（エアロゾル）を電子顕微鏡で分析し、微小な灰粒子が他のエアロゾルに混合し、また長距離輸送されていることを明らかにした。
 - ・北西太平洋上空で採取したエアロゾル粒子を解析し、成層圏から低気圧によって対流圏に運ばれた

粒子に鉄とマグネシウムを含む隕石由来と考えられるエアロゾル粒子が多く含まれることを明らかにした。

(2) 当初計画からの変更点(研究手法の変更点等)

概ね当初計画のとおり進捗している。新型コロナ感染防止のため、フィールド観測の実施予定等に変更が生じたが、これまでのところ軽微な影響に留まっており、全体計画には大きな変更は生じていない。

(3) 成果の他の研究への波及状況

(副課題1)

この取り組みにおいて気象研スパコンに整備した、NHM、asucaの実験環境、及び、前処理ツールは、気象研究所におけるこれらのモデルを用いた研究(T, A, V課題)での基盤システムとなっている。実験環境構築によって得られた知見の共有により、「富岳」成果創出加速プログラム「防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測」での「富岳」へのasuca移植に協力した。

(副課題2)

③野外観測において得られたデータは課題D4(GPSによる土壌水分観測)にも提供した。

(副課題3)

本課題で開発・改良したリモートセンシング手法および積雪変質モデルSMAPや領域気候モデルNHM-SMAPは地球環境保全試験研究費(地球一括計上)による研究「光吸収性エアロゾルの監視と大気・雪氷系の放射収支への影響評価」等にも活用している。

(副課題4)

- Kawai et al. (2019, Geosci. Model Dev.)は、CMIP6(第6期結合モデル相互比較プロジェクト)の参加モデルMRI-ESM2の雲関連過程の改良について記述している。このモデルの結果は、2021年に発表される気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第6次評価報告書(AR6)で活用され、地球温暖化問題に関する科学的知見の深化と予測の不確実性の低減に貢献するが、本論文は気候モデルにとって重要な雲関連過程の記述論文として位置づけられる。また、改善の著しい雲関連過程の詳細な記述は、MRI-ESM2の優位性をCMIPコミュニティに周知することにも貢献する。
- MRI-ESM2に導入され、また数値予報課の次期季節予報システムでも現業利用されることとなっている層積雲スキームに関する論文であるKawai et al. (2017)がIPCCのAR6 WG1報告書の第7章(地球のエネルギー収支・雲フィードバック・気候感度の章)において引用された。気候感度にとって重要な下層雲の将来変化のメカニズムについて記述されている部分において引用されている。

(4) 事前評価の結果の研究への反映状況

事前評価において、「衛星データを活用した領域スケールの現象解明が重要」というご指摘をいただいた。当課題において衛星データの活用は不可欠であり、副課題3においては、様々な衛星のデータを活用した雪氷圏の物理量推定技術の研究を行うが大きな研究課題の一つとしているとともに、副課題1、4において、領域数値モデルの精度検証等のために衛星データを利用している。

「積雪を精密に扱えるモデルの開発を期待する」というご意見を受け、気象研で開発されてきた積雪変質モデルSMAPの高度化に継続的に取り組んでいる。また、「領域モデルにおけるエアロゾルのパラメタリゼーション開発を」というご意見については、観測や実験を通じて得られたエアロゾルの特性を数値モデルの精度向上に活用する研究を着実に進めているところである。

なお事前評価において「大学等の研究を鼓舞するような対外的なリーダーシップが必要」というご指摘もいただいた。当課題において、国の内外で高く評価される研究成果が得られつつあるところがあるが、内外の研究をけん引できる人材の育成に向けて今後も着実に歩みを進めてまいりたい。

5. 今後の研究の進め方

(副課題1)

①系統的実験による予測精度のモデル解像度依存性の検証

実施した夏季豪雨事例の数値実験の結果から、解像度およびモデルの違いによる現象の表現や物理量の違いの分析、観測データとの比較をさらに進める。また冬季の豪雪など他の季節の顕著現象にも対象事例を広げ、より一般的な予測特性の調査に取り組む。

②激しい気象現象の再現性の検証および予測精度の評価

以下に挙げる課題をはじめとする、観測データとの比較、観測データによる現象機構の解析、LES 実験などを用いた再現性の検証を継続して実施し、高解像度数値予報モデルの課題の抽出やその改良の検討に取り組む。副課題2で開発された境界層スキームを実装した実験も行い動作を確認する。雲物理過程に着目した再現実験では、大雪事例について落下速度関数のモデリングの高度化や、粒径分布に影響する数濃度の検証を試みるほか、夏季の豪雨事例にも対象を広げ衛星シミュレータを活用した検証に取り組む。また、積乱雲構造と発雷の研究では、積乱雲内の氷物質の分布と発雷についてさらに多数の事例での検証を進めるとともに、雷放電三次元観測データとの比較による電荷極性分布と氷物質分布との関係の調査を進める。線状降水帯の理想化実験では、高解像度実験を粗視化して得られるグリッドスケールの寄与とサブグリッドスケールの寄与、また、その低解像度の実験における表現との関連などについて分析を進める。

③広領域の高解像度モデルによる台風予測の精度検証

検討した設定で台風急発達事例を中心に数値実験及び感度実験を実施し、熱帯域の降水や風など観測データによる検証を通じて予報モデルの課題、改良につながる知見の抽出に取り組むとともに、T 課題との連携により台風急発達等の予測精度向上に関わるメカニズムの調査を行う。

（副課題2）

新たに導いた運動量フラックス診断式を asuca に搭載されている乱流輸送スキームに適用して予測精度へのインパクトを調査することを主たる目標とする。また前半期までは中立状態での運動量フラックス診断に関する研究が主体であったが、後半期はこれらの成果に基づいて不安定・安定状態における各種フラックス診断へ対象を拡張していく。

（副課題3）

①雪氷物理量を測定するための技術開発、連続観測

札幌・北見・長岡における放射・気象・積雪連続観測を継続すると同時に、現地で取得する積雪サンプルから光吸収性不純物濃度を測定する。上記3地点を含む国内外の様々な場所における気象・雪氷現地観測を実施して、積雪・海水等の物理・放射過程の理解の深化を進める。

②リモートセンシングによる雪氷物理量の監視、アルゴリズム開発・改良

多バンドで時空間分解能の優れたひまわり、長期観測中の MODIS を搭載する Tera/Aqua、SGLI を搭載する GCOM-C 等の極軌道衛星、マイクロ波衛星等の衛星データについて、雪氷物理量の監視のためのアルゴリズムの改良・高度化を行う。また、極域、日本周辺域の雪氷物理量の長期的変動を効率的に分析するため、これらの衛星データから推定した雪氷物理量の広域・長期データセットを作成する。

③雪氷物理過程モデルの高度化と活用

積雪変質モデル SMAP の高度化・日本周辺および極域での領域気候モデル（NHM-SMAP）計算を実施し、地球システムモデルの結果とともにその検証を行い、修正すべき課題を明らかにするとともに、改良を図る。また、海水モデルの開発・改良を進め、大気モデルへの実装を行う。

（副課題4）

①積雲対流スキームの開発

・グレーゾーンに対応した積雲対流スキームの構築に向け、台風や積雲の組織化の表現などに着目してフィードバック部分の詳細な評価や改良を進める。また雲モデルやコントロールの部分を開発する。観測や湿潤 LES による参照値の収集・作成を行う。構築した積雲対流スキームを GSM に適用して予報実験を行い、現業 GSM での利用を目指して開発を進める。

②層積雲スキームの開発

・浅い積雲対流スキームの改良を行い、Kawai (2017) の層積雲スキームと組み合わせて導入することによって、GSM の更なるバイアスの軽減と予測精度向上を目指す。

③全球モデルにおける雲微物理過程の改良

・全球モデルの雲微物理過程の見直しを引き続き行うと共に、詳細な物理過程感度実験も行う。
・衛星データ等の観測データによる検証を行い、CMIP6 や CFMIP（雲フィードバックに関するモデル相

互比較プロジェクト)などの枠組みで行われるモデル間比較に参加する。

④全球モデルにおけるエーロゾル雲相互作用の高度化

- ・地球システムモデルのエーロゾル雲相互作用の部分の見直しを引き続き行う。
- ・各種観測データによる検証を行い、CFMIPなどの枠組みで行われるモデル間比較に参加する。

⑤放射スキームの改良

・大気モデルの放射計算で多重散乱計算を行う際に必要となる「各鉛直サブカラムでの雲の有無とその雲水量を格子点(格子平均)の雲量と雲水量の値から決定する部分(Cloud Generator)」の構築を引き続き行う。Cloud Generatorの大気モデルへの組み込み方、乱数のseedの設定方法、計算コストと計算精度を考慮したサブカラムの本数の検討を行い、3次元大気モデルによる動作確認を行う。またCloud Generatorによる雲量と雲水量の検証のため、観測データ・再解析データによる検証・参照利用を行うとともに、GSMに適用して予報実験を行い、現業利用を目指して開発を進める。

(副課題5)

雲生成チェンバー等を用いた内部混合粒子のCCN特性に関する調査を、これまで予備実験から得られた粒子発生・混合方法と計測技術を基に行う。電子顕微鏡等を用いた実大気で有効なINとなる粒子の調査を、バーチャルインパクトによる残渣粒子の採取による方法や冷却ステージを用いた方法を用いて引き続き行う。大気エーロゾル粒子に関する氷晶発生実験については、その手順の改善を図りつつ引き続き実施し、得られた混合状態・化学組成・粒径等からCCN・IN特性の解明を目指す。室内実験結果と詳細微物理モデルによる数値実験結果の比較を通して、モデルの検証改良を継続する。その改良を踏まえつつ、3次元モデル用の微物理パラメタリゼーションの高精度化や改良を進め、降水や放射予測へのインパクトを調査する。

6. 自己点検

(1) 到達目標に対する進捗度

事前に設定した中間評価時の目標に対し、現時点で概ね十分な進捗度であると考えている。

(副課題1)

NHMや気象庁現業モデルasucaの実験環境を整備し、予測精度のモデル解像度依存性を調査して初期的な成果が得られた。激しい気象現象に関して、数値実験による雲物理モデルの特性を調べた。また、顕著事例に対して高解像度数値モデルの結果や観測事実について調べるとともに、両者の一致点・相違点を分析することでモデルの課題を抽出し、改善策の検討を始めている。広領域高解像度モデルに向けて、大気波浪海洋結合モデルを用いた台風事例の数値シミュレーションと、衛星観測データによる検証を実施し、モデルの課題の抽出を進めている。

(副課題2)

風洞実験と数値シミュレーションの結果の比較に基づいて、気象モデルの地表面フラックス診断手法の課題を抽出でき、これによってモデルの改善の方向性を明らかにすることができた。またこれらの成果に関する論文の投稿が準備されている。

(副課題3)

積雪域における各種の地上観測を計画通り実施するとともに、雪氷面で用いる分光反射測定装置の開発を行い、観測結果から得られた積雪の偏光特性の知見を論文発表した。海氷上で気象・放射観測を行い、海氷凍結過程における積雪の影響等に関する知見を得た。地上観測データから、光散乱粒子モデルの構築を行うとともに、それを活用して衛星リモートセンシングアルゴリズムの改良を行った。領域気候モデルNHM-SMAPを用いて、グリーンランド氷床の表面質量収支変動や、雲放射効果の定性的・定量的影響を明らかにした。

(副課題4)

グレーズンに対応する積雲対流スキームをGSMに導入し、従来手法との比較実験を行って、基本的な動作の確認を行っている。また、層積雲スキーム(Kawai, 2017)や、浅い積雲対流スキームをGSMに導入したときの、放射、雲表現の特性の変化を明らかにした。またこれまでに行われたMRI-ESM2の多岐にわたる雲関係の改良のインパクト、南大洋などの放射バイアスと熱帯降水帯の関係を調査した。

Cloud Generator については、動作確認を行いながら効率的な計算手法に関する調査を行っている。全球モデルの放射計算における氷雲光学特性診断式と氷雲有効サイズ診断式を、より信頼性の高い方法へ変更した実験を行って、効果を確認できた。

(副課題 5)

つくばにおける大気エアロゾルの地上モニタリング観測を継続して、CCN 能、IN 能の特徴を明らかにした。またバーチャルインパクトを用いた粒子採取方法を確認できた。北極等でエアロゾル試料採取と電子顕微鏡による分析を行って、エアロゾル種の特異性や IN 特性の調査を実施したほか、過去に実施された UAE での航空機観測の事例解析をとりまとめ論文化した。CCN 特性に関する室内実験に関しては、エアロゾル吸湿度の高精度測定技術を開発して検証を行うとともに、予備的な内部混合粒子の実験を実施中である。また森林火災から排出されるエアロゾル粒子の CCN 特性を明らかにした。数値モデルの改善調査として、NHM-Chem に詳細微物理モデルを実装し、豪雨事例等での既存モデルとの比較実験を実施している。また NHM-Chem と NHM 雲スキームとの間で計算結果を受け渡すスキームを開発した。エアロゾルの物理化学特性に関しては、各地で得られたエアロゾル試料の電子顕微鏡分析によって、混合状態がその起源や輸送過程によって異なることを明らかにできた。

(2) 到達目標の設定の妥当性

上述のとおり、現状で計画に沿って進捗していると考えられることから、設定されている到達目標は妥当であり、変更の必要はないものとする。

(3) 研究の効率性（実施体制、研究手法等）について

当所の研究環境（計算機資源、実験施設、観測装置）を十分に活用するとともに、副課題間、及び他研究課題とも連携して研究を実施している。気象庁業務の改善に密接する研究に関しては、関連する本庁内の技術開発部門とも密に連携している。また科研費等、外部資金による研究や他機関と連携した研究によって得られた成果の活用によって、より効果的に研究を遂行することに努めている。以上のことから効率的な研究が実施できているものとする。なお副課題についてその他に特記すべきことは以下のとおり。

(副課題 1)

副課題 2 において開発された、グレーズーン対応のために改良された境界層スキームを気象庁現業モデルに組み込み、連携して動作性能に係る調査を実施しているほか、雲微物理モデルに係る実験は、副課題 5 と連携して行っている。また熱帯域での台風予測精度向上に向けた物理過程改善の検討は、T1 課題（台風の発生、発達から温帯低気圧化に至る解析・予測技術の研究）と知見を共有しつつ進めている。

(副課題 2)

上記の副課題 1 との連携の他、関連する研究機関と共同で風洞実験施設や気象研露場での地上気象観測データを活用して、地表面の状態（都市、森林、水田）が境界層に与える影響の研究を実施している。

(副課題 4)

雲微物理過程、放射スキームについては M 課題・C 課題と知見を共有し連携して研究を進めてきた。また放射スキーム、層積雲スキームについては、数値予報課と同様の実験システムを用いて開発を行う、適時の情報交換を行うなど、研究成果の現業システムへの効率的な反映に向けて連携を強めてきた。

(副課題 5)

科研費やアラブ首長国連邦(UAE)助成金など外部資金の活用や他機関との協力により先進的な研究を遂行している。実験や観測の結果をもとにした、数値予報モデルにおけるパラメタリゼーションの改善に関しては、M5 課題（化学輸送モデル、大気微量成分同化に関する研究）で開発された実験環境を活用している。

（４）成果の施策への活用・学術的意義

本課題への取り組みを通じて明らかになった数値予報モデルの各種物理過程についての問題点、解決策については、適時、気象庁本庁の関係部門と共有し、現業業務の改善に貢献している。各副課題における貢献は以下のとおりである。

（副課題２）

①数値計算については、大気境界層のグレーゾーンに対応した乱流スキームを数値予報課の気象モデル asuca に実装した（令和元年度）。③野外観測については、本庁気象技術開発室と共同で監視カメラの画像からアメダス露場の積雪深を推定するため画像補正のアルゴリズムを開発した（水野 2020）。

（副課題３）

本課題で開発したひまわり 8 号積雪・海氷プロダクトが令和元年に気象衛星センターにおいて定常作成が開始された。

本課題で開発した積雪変質モデル SMAP を令和 2 年に予報業務（解析積雪深等）の精度向上のため本庁への提供を行った。

（副課題４）

全球モデルにおける氷雲光学特性診断式と氷雲有効サイズ診断式の見直しについては、数値予報課に調査結果の情報共有を行いソースコードの提供も行った。氷雲有効サイズ診断式の見直しについては、2022 年 3 月頃現業化予定の GSM に導入され、現在、業務化試験が行われている。

Kawai (2017) の層積雲スキームは数値予報課にソースの移植等の協力を行った。数値予報課で 2022 年 1 月頃現業化予定の次期季節予報システム CPS3 に導入され、業務化試験が終了し現業化が承認された。

（副課題５）

エーロゾル・雲の航空機観測解析および数値シミュレーションによる再現実験は、UAE 乾燥地域における夏季対流雲の雲微物理構造に関する多くの知見を得て、所内の数値モデル NHM の評価のみならず、名古屋大学等が所有する数値モデルの検証改良にも貢献している。また、つくばにおけるエーロゾル・CCN・IN の地上モニタリング連続観測によるデータは、東アジア域の一地点でエーロゾルの時空間分布を計算するモデル検証用の基盤として有用なものである。また、電子顕微鏡を用いたエーロゾル研究結果は、気候変動の鍵となる地域（北極、アマゾン、森林火災）のエーロゾル粒子の実態を明らかにする世界的に貴重な成果である。

（５）総合評価

集中豪雨、台風、温暖化等の気象現象予測に用いられる数値予報モデルの予測精度を向上させることは大きな社会的ニーズがある。そのための技術改善の根幹には、個々の物理プロセスの再現性向上が必要とされており、本研究課題に取り組むことは国民が求める安全・安心な社会の実現への貢献となる。また、研究対象となる物理プロセスには未解明の分野が多く残されており、その実態を解明することは学術的にも重要性が高く、成果を積み重ねることを通じて地球科学の発展にも寄与できる。これらのことから、本研究課題を今後も着実に進捗させていく必要がある。

研究成果リスト**（１）査読論文：80 件**

1. Vandecrux, B., Box, J. E., Wehrlé, A., Kokhanovsky, A. A., Picard, G., Niwano, M., Hörhold, M., Faber, A.-K., and Steen-Larsen, H. C., 2022: The determination of the snow optical grain diameter and snowmelt area on the Greenland ice sheet using spaceborne optical observations. Remote Sensing.
2. Mouri, H., and J. Ito, 2022: Momentum flux fluctuations in wall turbulence: A formula beyond the law of the wall. Physics of Fluids, 34, 035109.

3. Watanabe, M., M. Kajino, K. Ninomiya, Y. Nagahashi, and A. Shinohara, 2022: Eight-year variations in atmospheric radiocesium in Fukushima city. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22 巻1号, 675–692.
4. Kajino, M., A. Watanabe, M. Ishizuka, K. Kita, Y. Zaizen, T. Kinase, R. Hirai, K. Konnai, A. Saya, K. Iwaoka, Y. Shiroma, H. Hasegawa, N. Akata, M. Hosoda, S. Tokonami, and Y. Igarashi, 2022: Reassessment of the radiocesium resuspension flux from contaminated ground surfaces in eastern Japan. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22 巻2号, 783–803.
5. Adachi, K, J.E. Dibb, E. Scheuer, J.M. Katich, J.P. Schwarz, A.E. Perring, B. Mediavilla, H. Guo, P. Campuzano-Jost, J.L. Jimenez, J. Crawford, A. J. Soja, N. Oshima, M. Kajino, T. Kinase, L. Kleinman, A.J. Sedlacek, R.J. Yokelson, P.R. Buseck, 2022: Fine Ash-Bearing Particles as a Major Aerosol Component in Biomass Burning Smoke. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 127, e2021JD035657.
6. Kawai, H., T. Koshiro, and S. Yukimoto, 2021: Relationship between shortwave radiation bias over the Southern Ocean and the double-intertropical convergence zone problem in MRI-ESM2. *Atmospheric Science Letters*, 22, e1064.
7. Watanabe, I. S., H. Niino, T. Spengler, 2021: Formation of Maritime Convergence Zones within Cold Air Outbreaks due to the Shape of the Coastline or Sea Ice Edge. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*.
8. Iizuka, Y., S. Matoba, M. Minowa, T. Yamasaki, K. Kawakami, A. Kakugo, M. Miyahara, A. Hashimoto, M. Niwano, T. Tanikawa, K. Fujita, T. Aoki, 2021: Ice Core Drilling and the Related Observations at SE-Dome site, southeastern Greenland Ice Sheet. *Bulletin of Glaciological Research*, 39, 1–12.
9. Niwano, M., M. Kajino, T. Kajikawa, T. Aoki, Y. Kodama, T. Tanikawa, and S. Matoba, 2021: Quantifying Relative Contributions of Light-Absorbing Particles from Domestic and Foreign Sources on Snow Melt at Sapporo, Japan during the 2011–2012 Winter. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL093940.
10. Tanikawa, T., K. Masuda, H. Ishimoto, T. Aoki, M. Hori, M. Niwano, A. Hachikubo, S. Matoba, K. Sugiura, T. Toyota, N. Ohkawara, and K. Stamnes, 2021: Spectral degree of linear polarization and neutral points of polarization in snow and ice surfaces. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 273, 107845.
11. Inomata, Y., M. Takeda, N. Thao, M. Kajino, T. Seto, H. Nakamura, and K. Hayakawa, 2021: Particulate PAH transport associated with adult chronic cough occurrence closely connected with meteorological conditions: A modelling study. *Atmosphere*, 12 巻9号, 1163.
12. Sato, Y., S. Hayashi, A. Hashimoto, 2021: Difference in the lightning frequency between the July 2018 heavy rainfall event over central Japan and the 2017 northern Kyushu heavy rainfall event in Japan. *Atmospheric Science Letters*, 23(1), e1067.
13. Niwano, M., Box, J. E., Wehrlé, A., Vandecrux, B., Colgan, W. T., and Cappelen, J., 2021: Rainfall on the Greenland ice sheet: present-day climatology from a high-resolution non-hydrostatic polar regional climate model. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL092942.
14. Wehrlé, A., Box, J. E., Niwano, M., Anesio, A. M., Fausto, R. S., 2021: Greenland bare ice albedo from PROMICE automatic weather station measurements and Sentinel-3 satellite observations. *GEUS Bulletin*, 47, 5284.

15. Hayashi, S., Nakaike, C. & Fujibe, F, 2021: Radar characteristics of summer thunderstorms in the Kanto Plain of Japan with and without cloud-to-ground lightning.. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 133, 233-244.
16. Ikawa, H., T. Kuwagata, S. Haginoya, Y. Ishigooka, K. Ono, A. Maruyama, H. Sakai, M. Fukuoka, M. Yoshimoto, S. Ishida, C. P. Chen, T. Hasegawa, and T. Watanabe , 2021: Heat-Mitigation Effects of Irrigated Rice-Paddy Fields Under Changing Atmospheric Carbon Dioxide Based on a Coupled Atmosphere and Crop Energy-Balance Model. *Boundary-Layer Meteorology*, 179, 447-476.
17. Adachi, K., Oshima, N., Ohata, S., Yoshida, A., Moteki, N., and Koike, M., 2021: Compositions and mixing states of aerosol particles by aircraft observations in the Arctic springtime, 2018. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21, 3607-3626.
18. Ito, J., H. Tsuguchi, S. Hayashi, and H. Niino, 2021: Idealized High-Resolution Simulations of a Back-Building Convective System that Causes Torrential Rain. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 78, 117-132.
19. Sugiyama, S. et al., 2021: Rapidly changing glaciers, ocean and coastal environments, and their impact on human society in the Qaanaaq region, northwestern Greenland. *Polar Science*.
20. Menard, C. B. et al., 2021: Scientific and human errors in a snow model intercomparison. *Bulletin of the American Meteorological Society*, E61-E79.
21. Hayashi, S., A. Umehara, N. Nagumo, and T. Ushio, 2021: The relationship between lightning flash rate and ice-related volume derived from dual-polarization radar. *Atmospheric Research*, 248, 105166.
22. Niwano, M., Yamaguchi, S., Yamasaki, T., and Aoki. T., 2020: Near-surface snow physics data from a dog-sledge traverse expedition in the northwest Greenland ice sheet during 2018 spring. *Polar Data Journal*, 4, 133-144.
23. Vandecrux, B. et al., 2020: The firn meltwater Retention Model Intercomparison Project (RetMIP): evaluation of nine firn models at four weather station sites on the Greenland ice sheet. *The Cryosphere*, 14, 3785-3810.
24. Fettweis, X. et al., 2020: GrSMBMIP: intercomparison of the modelled 1980-2012 surface mass balance over the Greenland Ice Sheet. *The Cryosphere*, 14, 3935-3958.
25. Kubota, T., H. Kuroda, M. Watanabe, A. Takahashi, R. Nakazato, M. Tarui, S. Matsumoto, K. Nakagawa, Y. Numata, T. Ouchi, H. Hosoi, M. Nakagawa, R. Shinohara, M. Kajino, K. Fukushima, Y. Igarashi, N. Imamura, G. Katata, 2020: Role of advection in atmospheric ammonia: A case study at a Japanese lake basin influenced by agricultural ammonia sources. *Atmospheric Environment*, 243, 117856.
26. Kawai, H., and S. Shige, 2020: Marine low clouds and their parameterization in climate models. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 98, 1097-1127.
27. Kleinman L. I., Sedlacek III A. J., Adachi K., Buseck P. R., Collier S., Dubey M. K., Hodshire A. L., Lewis E., Onasch T. B., Pierce J. R., Shilling J., Springston S. R., Wang J., Zhang Q., Zhou S., and Yokelson R. J, 2020: Rapid evolution of aerosol particles and their optical properties downwind of wildfires in the western US. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 13319.
28. Orikasa, N., A. Saito, K. Yamashita, T. Tajiri, Y. Zaizen, T.-H. Kuo, W.-C. Kuo, and M. Murakami, 2020: Seasonal Variations of Atmospheric Aerosol Particles Focused on Cloud Condensation Nuclei and Ice Nucleating Particles from Ground-Based Observations in Tsukuba, Japan. *SOLA*, 16, 212-219.

29. Yoshizue M, Taketani F, Adachi K, Iwamoto Y, Tohjima Y, Mori T, Miura K, 2020: Detection of Aerosol Particles from Siberian Biomass Burning over the Western North Pacific. *Atmosphere*, 11, 1175.
30. Adachi, K., Oshima, N., Gong, Z., de Sá, S., Bateman, A. P., Martin, S. T., de Brito, J. F., Artaxo, P., Cirino, G. G., Sedlacek III, A. J., and Buseck, P. R., 2020: Mixing states of Amazon basin aerosol particles transported over long distances using transmission electron microscopy. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 11923–11939.
31. Orikasa, N., M. Murakami, T. Tajiri, Y. Zaizen, and T. Shinoda, 2020: In Situ Measurements of Cloud and Aerosol Microphysical Properties in Summertime Convective Clouds over Eastern United Arab Emirates. *SOLA*, 16, 185–191.
32. Ge, B., S. Itahashi, K. Sato, D. Xu, J. Wang, F. Fan, Q. Tan, J. S. Fu, X. Wang, K. Yamaji, T. Nagashima, J. Li, M. Kajino, H. Liao, M. Zhang, Z. Wang, M. Li, J.-H. Woo, J. Kurokawa, Y. Pan, Q. Wu, X. Liu, and Z. Wang, 2020: Model Inter-Comparison Study for Asia (MICS-Asia) phase III: Multi-model comparison of reactive nitrogen deposition over China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 10587–10610.
33. Dragović, S., M. Yamauchi, M. Aoyama, M. Kajino, J. Petrović, M. Ćujić, R. Dragović, M. Đorđević, J. Bór, 2020: Synthesis of studies on significant atmospheric electrical effects of major nuclear accidents in Chrnobyl and Fukushima. *Science of Total Environment*, 733, 139271.
34. Kurosaki, Y., S. Matoba, Y. Iizuka, M. Niwano, T. Tanikawa, T. Ando, A. Hori, A. Miyamoto, S. Fujita, and T. Aoki, 2020: Reconstruction of sea ice concentration in northern Baffin Bay using deuterium excess in a coastal ice core from the northwestern Greenland Ice Sheet. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 125.
35. Dhaka, S. K., Chetna, V. Kumar, V. Panwar, A. P. Dimri, N. Singh, P. K. Patra, Y. Matsumi, M. Takigawa, T. Nakayama, K. Yamaji, M. Kajino, P. Misra, and S. Hayashida, 2020: PM_{2.5} diminution and haze events over Delhi during the COVID-19 lockdown period: an interplay between the baseline pollution and meteorology. *Scientific Reports*, 10, 13442.
36. Oshima, N., S. Yukimoto, M. Deushi, T. Koshiro, H. Kawai, T. Y. Tanaka, and K. Yoshida, 2020: Global and Arctic effective radiative forcing of anthropogenic gases and aerosols in MRI-ESM2.0. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7, 38.
37. Wingspan, P., Nomura, D., T. Toyota, T. Tanikawa, K. M. Meiners, T. Ishino, T. P. Tamura, M. Tozawa, Y. Nosaka, T. Hiratake, A. Ooki, and S. Aoki, 2020: Using under-ice hyperspectral transmittance to determine land-fast sea-ice algal biomass in Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, Japan. *Annals of Glaciology*, 1–10.
38. Vandecrux, B., Fausto, R. S., van As, D., Colgan, W., Langen, P. L., Haubner, K., Ingeman-Nielsen, T., Heilig, A., Stevens, C. M., MacFerrin, M., Niwano, M., Steffen, K., Box, J. E., 2020: Firn cold content evolution at nine sites on the Greenland ice sheet between 1998 and 2017. *Journal of Glaciology*.
39. Tanikawa, T., K. Kuchiki, T. Aoki, H. Ishimoto, A. Hachikubo, M. Niwano, M. Hosaka, S. Matoba, Y. Kodama, Y. Iwata, and K. Stamnes, 2020: Effects of snow grain shape and mixing state of snow impurity on retrieval of snow physical parameters from ground-based optical instrument. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 125, e2019JD031858.

40. Ching, J. and M. Kajino, 2020: Rethinking Air Quality and Climate Change after COVID-19. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(14), 5167.
41. Toyota, T., T. Ono, T. Tanikawa, P. Wongpan, and D. Nomura, 2020: Solidification effects of snowfall on sea-ice freeze-up: results from an onsite experimental study. *Annals of Glaciology*, 1-10.
42. Onuma, Y., Takeuchi, N., Tanaka, S., Nagatsuka, N., Niwano, M., and Aoki, T., 2020: Physically based model of the contribution of red snow algal cells to temporal changes in albedo in northwest Greenland. *The Cryosphere*, 14, 2087-2101.
43. Tan, J., J. S. Fu, G. R. Carmichael, S. Itahashi, Z. Tao, K. Huang, X. Dong, K. Yamaji, T. Nagashima, X. Wang, Y. Liu, H.-J. Lee, C.-Y. Lin, B. Ge, M. Kajino, J. Zhu, M. Zhang, L. Hong, and Z. Wang, 2020: Why do models perform differently on particulate matter over East Asia? A multi-model intercomparison study for MICS-Asia III. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(12), 7393-7410.
44. Sun, C., K. Adachi, K. Misawa, H.C. Cheung, C. C.-K. Chou, N. Takegawa, 2020: Mixing State of Black Carbon Particles in Asian Outflow Observed at a Remote Site in Taiwan in the Spring of 2017. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 125.
45. Hartmann, M., K. Adachi, O. Eppers, C. Haas, A. Herber, R. Holzinger, A. Hunerbein, E. Jakel, C. Jentsch, M. van Pinxteren, H. Wex, S. Willmes, and F. Stratmann, 2020: Wintertime airborne measurements of ice nucleating particles in the high Arctic. *Geophysical Research Letters*, 47, 1.
46. Takigawa, M., P. K. Patra, Y. Matsumi, S. K. Dhaka, T. Nakayama, K. Yamaji, M. Kajino, and S. Hayashida, 2020: Can Delhi's pollution be affected by crop fires in the Punjab region?. *SOLA*, 16, 86-91.
47. Sekiyama, T. and M. Kajino, 2020: Reproducibility of surface wind and tracer transport simulations over complex terrain using 5-, 3-, and 1-km grid models. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 59(5), 937-952.
48. Mouri, H., T. Morinaga, T. Yagi, and K. Mori, 2020: Logarithmic and nonlogarithmic scaling laws of two-point statistics in wall turbulence. *Physical Review E*, 101, 053103.
49. Katata G., K. Matsuda, A. Sorimachi, M. Kajino, K. Takagi, 2020: Effects of aerosol dynamics and gas-particle conversion on dry deposition of inorganic reactive nitrogen in a temperate forest. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 4933-4949.
50. Itahashi, S., B. Ge, K. Sato, J. S. Fu, X. Wang, K. Yamaji, T. Nagashima, J. Li, M. Kajino, H. Liao, M. Zhang, Z. Wang, M. Li, J. Kurokawa, G. R. Carmichael, and Z. Wang, 2020: MICS-Asia III: Overview of model inter-comparison and evaluation for acid deposition over Asia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(5), 2667-2693.
51. Kong, L., X. Tang, J. Zhu, Z. Wang, J. S. Fu, X. Wang, S. Itahashi, K. Yamaji, T. Nagashima, H.-J. Lee, C.-H. Kim, C.-Y. Lin, L. Chen, M. Zhang, Z. Tao, J. Li, M. Kajino, H. Liao, K. Sudo, Y. Wang, Y. Pan, G. Tang, M. Li, Q. Wu, B. Ge, G. R. Carmichael,, 2020: Evaluation and uncertainty investigation of the NO₂, CO and NH₃ modeling over China under the framework of MICS-Asia III. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 181-202.
52. Kinase, T., K. Adachi, N. Oshima, K. Goto - Azuma, Y. Ogawa - Tsukagawa, Y. Kondo, N. Moteki, S. Ohata, T. Mori, M. Hayashi, K. Hara, H. Kawashima, and K. Kita,

- 2020: Concentrations and Size Distributions of Black Carbon in the Surface Snow of Eastern Antarctica in 2011. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 125.
53. Lin, Y., T. Ichinose, Y. Yamao, and H. Mouri, 2020: Wind velocity and temperature fields under different surface heating conditions in a street canyon in wind tunnel experiments. *Building and Environment*, 168, 106500.
54. Kajino, M., S. Hayashida, T. T. Sekiyama, M. Deushi, K. Ito, and X. Liu., 2019: Detectability assessment of a satellite sensor for lower tropospheric ozone responses to its precursors emission changes in East Asian summer. *Scientific Reports*, 9, 19629.
55. Yamaguchi S., M. Ishizaka, H. Motoyoshi, S. Nakai, V. Vionnet, T. Aoki, K. Yamashita, A. Hashimoto, and A. Hachikubo, 2019: Measurement of specific surface area of fresh solid precipitation particles in heavy snowfall regions of Japan. *The Cryosphere*, 13, 2713-2732.
56. Kokhanovsky, A., Lamare, M., Danne, O., Brockmann, C., Dumont, M., Picard, G., Arnaud, L., Favier, V., Jourdain, B., Le Meur, E., Di Mauro, B., Aoki, T., Niwano, M., Rozanov, V., Korkin, S., Kipfstuhl, S., Freitag, J., Hoerhold, M., Zuhr, A., Vladimirov, 2019: Retrieval of snow properties from the Sentinel-3 Ocean and Land Colour Instrument. *Remote Sensing*, 11, 2280.
57. Adachi, K., Sedlacek, A.J., Kleinman, L., Springston, S.R., Wang, J., Chand, D., Hubbe, J.M., Shilling, J.E., Onasch, T.B., Kinase, T., Sakata, K., Takahashi, Y., Buseck, P.R., 2019: Spherical tarball particles form through rapid chemical and physical changes of organic matter in biomass-burning smoke. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America*, 116.
58. Niwano, M., A. Hashimoto, and T. Aoki, 2019: Cloud-driven modulations of Greenland ice sheet surface melt. *Scientific Reports*, 9, 10380.
59. Kawai, H., S. Yukimoto, T. Koshiro, N. Oshima, T. Tanaka, H. Yoshimura, and R. Nagasawa, 2019: Significant Improvement of Cloud Representation in Global Climate Model MRI-ESM2. *Geoscientific Model Development*, 12, 2875-2897.
60. Kuo, T.-H., M. Murakami, T. Tajiri, and N. Orikasa, 2019: Cloud Condensation Nuclei and Immersion Freezing Abilities of Al₂O₃ and Fe₂O₃ Particles Measured with the Meteorological Research Institute's Cloud Simulation Chamber. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 97, 597-614.
61. Kitamura, Y. and S. Nishizawa, 2019: Estimation of energy dissipation caused by odd order difference schemes for an unstable planetary boundary layer. *Atmospheric Science Letters*, 20, e905.
62. Ménard, C. B., Essery, R., Barr, A., Bartlett, P., Derry, J., Dumont, M., Fierz, C., Kim, H., Kontu, A., Lejeune, Y., Marks, D., Niwano, M., Raleigh, M., Wang, L., and Wever, N., 2019: Meteorological and evaluation datasets for snow modelling at ten reference sites: description of in situ and bias-corrected reanalysis data. *Earth System Science Data*, 11, 865-880.
63. Hiranuma, N., K. Adachi, D. M. Bell, F. Belosi, H. Beydoun, B. Bhaduri, H. Bingemer, C. Budke, H. -C. Clemen, F. Conen, K. M. Cory, J. Curtius, P. J. DeMott, O. Eppers, S. Grawe, S. Hartmann, N. Hoffmann, K. Höhler, E. Jantsch, A. Kiselev, T. Koop, G. Kul, 2019: A comprehensive characterization of ice nucleation by three different types of cellulose particles immersed in water. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 4823-4846.
64. Danielache, S.O., C. Yoshikawa, M. Kajino, S. Itou, W. Takeya, N. Yoshida, Y. Igarashi, 2019: Radioactive ³⁵S emitted from the Fukushima Nuclear Power Plant

- and its re-suspension from the contaminated area. *Geochemical Journal*, 53 巻 2 号, 103-118.
65. Yoshizue, M., Y. Iwamoto, K. Adachi, S. Kato, S. Sun, K. Miura, and M. Uematsu, 2019: Individual particle analysis of marine aerosols collected during the North-South transect cruise in the Pacific Ocean and its marginal seas. *Journal of Oceanography*, 75, 513-524.
 66. Nakanishi, M., H. Niino, and T. Anzai, 2022: Stability Functions in the Stable Surface Layer Derived from the Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino (MYNN). *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 100, 1.
 67. Ito, J., H. Mouri, 2021: Estimating instantaneous surface momentum fluxes in boundary layers using a deep neural network. *AIP Advances*, 11, 045021.
 68. Ohata, S., Koike, M., Yoshida, A., Moteki, N., Adachi, K., Oshima, N., Matsui, H., Eppers, O., Bozem, H., Zanatta, M., and Herber, A. B., 2021: Arctic black carbon during PAMARCMiP 2018 and previous aircraft experiments in spring, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* <https://doi.org/10.5194/acp-2021-349>, in review *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21 (20), 15861-15881.
 69. 谷川朋範, 青木輝夫, 堀雅裕, 八久保晶弘, 庭野匡思, 杉浦幸之助, 的場澄人, 島田利元, 2021: 光学リモートセンシングによる雪氷プロダクトの地上検証観測. *日本リモートセンシング学会誌*, 41(5), 582-594.
 70. 木村宏海, 八久保晶弘, 舘山一孝, 谷川朋範, 小嶋真輔, 2021: 塩を含む積雪の含水率測定法. *雪氷*, 83(6), 579-590.
 71. 庭野匡思, 青木輝夫, 2021: 気象研究所における積雪モデリング研究. *大気化学研究*, 44, 044A03.
 72. 廣瀬聡, 青木輝夫, 庭野匡思, 的場澄人, 谷川朋範, 山口悟, 山崎哲秀, 2021: 北西グリーンランド氷床上 SIGMA-A サイトで観測された雪面熱収支の特徴. *雪氷*, 83(2), 143-154.
 73. 青木輝夫, 的場澄人, 庭野匡思, 朽木勝幸, 谷川朋範, 竹内望, 山口悟, 本山秀明, 藤田耕史, 山崎哲秀, 飯塚芳徳, 堀雅裕, 島田利元, 植竹淳, 永塚尚子, 大沼友貴彦, 橋本明弘, 石元裕史, 田中泰宙, 大島長, 梶野瑞王, 足立光司, 黒崎豊, 杉山慎, 津滝俊, 東久美子, 八久保晶弘, 川上薫, 木名瀬健, 2021: SIGMA 及び関連プロジェクトによるグリーンランド氷床上の大気・雪氷・雪氷微生物研究- ArCS II プロジェクトへのつながり -. *雪氷*, 83(2).
 74. 庭野匡思, 青木輝夫, 橋本明弘, 大島長, 梶野瑞王, 大沼友貴彦, 藤田耕史, 山口悟, 島田利元, 竹内望, 津滝俊, 本山秀明, 石井正好, 杉山慎, 平沢尚彦, 阿部彩子, 2021: 氷床表面質量収支の実態とそのモデリングの試み: 2020 年夏最新版. *雪氷*, 83, 27-50.
 75. 高橋麗, 梶野瑞王, 津口裕茂, 林修吾, 橋本明弘, 2021: 雲凝結核が降水に与える影響—平成 27 年 9 月関東・東北豪雨を対象として—. *エアロゾル研究*, 36, 55-64.
 76. 川端康弘, 梶野瑞王, 財前祐二, 足立光司, 田中泰宙, 清野直子, 2021: 東京都心における視程の変化. *天気 (論文・短報)*, 68, 5-12.
 77. 猪股弥生, 梶野瑞王, 植田洋匡, 2020: 2001-2015 年における大気中有害大気汚染物質濃度のトレンド解析,. *大気環境学会誌*, 55(2), 78-91.
 78. Nomura, D., P. Wongpan, T. Toyota, T. Tanikawa, Y. Kawaguchi, T. Ono, T. Ishino, M. Tozawa, T. Tamura, I. Yabe, E. Y. Son, F. Vivier, A. Lourenco, M. Lebrun, Y. Nosaka, T. Hirawake, A. Ooki, S. Aoki, B. Else, F. Fripiat, J. Inoue, and M. Vancoppenolle, 2020: Saroma-ko Lagoon Observations for sea ice Physico-chemistry and Ecosystems 2019 (SLOPE2019). *Bulletin of Glaciological Research*, 38, 1-12.

79. Hashimoto, A., H. Motoyoshi, N. Orikasa, and R. Misumi, 2020: Process-tracking scheme based on bulk microphysics to diagnose the features of snow particles. SOLA, 16, 51-56.
80. 小野崎 晴佳, 阿部 善也, 中井 泉, 足立 光司, 五十嵐 康人, 大浦 泰嗣, 海老原 充, 宮坂 貴文, 中村 尚, 末木 啓介, 鶴田 治雄, 森口 祐一, 2019: 福島第一原子力発電所事故により1号機から放出された放射性エアロゾルの物理・化学的性状の解明. 分析化学, 68, 757-768.

(2) 査読論文以外の著作物(翻訳、著書、解説): 31 件

1. Nakata M., M. Kajino, and Y. Sato, 2021: Effects of mountains on aerosols determined by AERONET/DRAGON/J-ALPS measurements and regional model simulations. Earth Space Sci, 8 巻 12 号, 001972.
2. Chiba, J., and H. Kawai, 2021: Improved SST-shortwave radiation feedback using an updated stratocumulus parameterization. CAS/JSC WGNE Research Activities in Earth System Modelling/WMO, 51, 403-404.
3. Nagasawa, R., 2021: Impact of ice cloud treatment on the OLR in the radiation calculation of JMA global NWP model. CAS/JSC WGNE WGNE Research Activities in Earth System Modelling, 51, 4-13-14.
4. Wada, A. 2021: Rainfall simulations of Typhoon Mangkhut (2018) landfalling in the Philippines. Research activities in Earth system modelling. Working Group on Numerical Experimentation, 51, 9-11.
5. Sato, Y., T. T. Sekiyama, S. Fang, M. Kajino, A. Qu  rel, D. Qu  lo, H. Kondo, H. Terada, M. Kadowaki, M. Takigawa, Y. Morino, J. Uchida, D. Goto, and H. Yamazawa,, 2020: A Model intercomparison of atmospheric ¹³⁷Cs concentrations from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, Phase III: Simulation with an identical source term and meteorological field at 1 km resolution. Atmospheric Environment: X, 7.
6. Shima, S., Y. Sato, A. Hashimoto, and R. Misumi, 2020: Predicting the morphology of ice particles in deep convection using the super-droplet method: development and evaluation of SCALE-SDM 0.2.5-2.2.0, -2.2.1, and -2.2.2. Geoscientific Model Development, 13, 4107-4157.
7. Saito, K., K. Watanabe, S. Haginoya, K. Takeda, T. Sueyoshi, T. Hirota, M. Mizoguchi, K. Harada, H. Hosaka, M. Kimura, H. Yabuki,, 2020: Database for ground temperature and freezing depth in Japan.. Polar Data Journal, 4, 83-96.
8. Hashimoto, A., M. Niwano, H. Fujinami, A. Sakai, and K. Fujita, 2020: Numerical simulation of the seasonal precipitation amount over the Himalayan mountain region using the JMA-NHM. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 50, 5-07.
9. Hashimoto, A., and S. Hayashi, 2020: Numerical simulations of the cloud and precipitation processes during the heavy rainfall events of early July 2017 and 2018 in Japan. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 50, 5-05.
10. Kawai, H., and T. Koshiro, 2020: Does Radiative Cooling of Stratocumulus Strengthen Summertime Subtropical Highs?. CAS/JSC WGNE Research Activities in Earth System Modelling/WMO, 50, 711-712.
11. Kawai, H., T. Koshiro, and S. Yukimoto, 2020: Relationship between shortwave radiation bias over the Southern Ocean and the ITCZ in MRI-ESM2. CAS/JSC WGNE Research Activities in Earth System Modelling/WMO, 50, 709-710.

12. Wada, A., 2020: Rainfall simulations of Typhoons Kammuri and Phanfone landfalling in the Philippines. *Research Activities in Earth System Modelling*, 50, 9–11.
13. Yonehara, H., C. Matsukawa, T. Nabetani, T. Kanehama, T. Tokuhiko, K. Yamada, R. Nagasawa, Y. Adachi, and R. Sekiguchi, 2020: Upgrade of JMA's Operational Global Model. *CAS/JSC WGNE WGNE Research Activities in Earth System Modelling*, 50, 6–11–12.
14. Wada, A., H. Yoshimura, and M. Nakagawa, 2020: The effect of the cloud-water conversion rate in the cumulus parameterization on the simulation of Typhoon Lionrock (2016). *Research Activities in Earth System Modelling*, 50, 9–09.
15. Ioka, Y., Y. Yogo, T. Tanikawa, M. Hosaka, H. Ishida, and T. Aoki, 2019: Algorithm Theoretical Basis for the Himawari-8, -9/AHI Cryosphere Product Part 2: Sea Ice Distribution. *Meteorological Satellite Center Technical Note*, 64, 13–21.
16. Yogo, Y., Y. Ioka, T. Tanikawa, M. Hosaka, H. Ishida, and T. Aoki, 2019: Algorithm Theoretical Basis for the Himawari-8, -9/AHI Cryosphere Product Part 1: Snow Cover. *Meteorological Satellite Center Technical Note*, 64, 1–12.
17. Wada, A., R. P. Gile, 2019: Roles of ocean coupling and cumulus parameterization in predicting rainfall amounts caused by landfalling typhoons in the Philippines. *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, 49, 9–09.
18. Hashimoto, A., T. Mori, T. Shimbori and A. Takagi, 2019: An experiment in numerical prediction of volcanic gas transportation. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, 49, 5–07.
19. 石田純一, 和田章義, 栃本英伍, 杉本志織, 三好建正, 澤田謙, 佐藤陽祐, 太田行哉, 2021: 第22回非静力学モデルに関するワークショップ開催報告. *天気*, 68, 59–74.
20. 庭野匡思, 2021: 新刊紹介「サイエンス・パレット 037 南極と北極—地球温暖化の視点から」. *雪氷*, 83, 211–212.
21. 橋本明弘, 中井専人, 山口 悟, 本吉弘岐, 2021: 降雪・積雪系オンラインワークショップ 2020 報告. *天気*, 68.
22. 橋本明弘, 林修吾, 佐藤陽祐, 2020: 第3回雲・降水研究会報告. *天気*, 67, 713–714.
23. 守永武史, 毛利英明, 八木俊政, 森一安, 萩野谷成徳, 2020: 境界層乱流における不安定成層時の平均風速と風速変動. *風工学研究論文集*, 26, 25.
24. 中井専人, 橋本明弘, 山口 悟, 本吉弘岐, 2020: 降雪・積雪系オンラインワークショップ 2020 開催報告. *雪氷*, 82, 280–281.
25. 木村宏海, 八久保晶弘, 谷川 朋範, 2020: 塩濃度測定と融点降下から求める積雪含水率測定法. *北海道の雪氷*, 39, 9–12.
26. 市川陽一, 露木敬允, 薦田直人, 宮元健太, 廣畑智也, 中園真衣, 関光一, 毛利英明, 守永武史, 2020: 森林における大気汚染物質の輸送におよぼす遮蔽による流体力学的効果の解析. *大気環境学会誌*, 55, 50–59.
27. 川合秀明, 北村祐二, 柴田清孝, 2020: 下位層気楼の光路計算 —マダガスカルで見た層気楼—. *天気*, 67 巻2号, 129–137.
28. 橋本明弘, 山崎哲秀, 青木輝夫, 庭野匡思, 山口悟, 2019: グリーンランド北西部シオラパルク・カナックにおける 強風の出現特性. *北海道の雪氷*, 38, 81–84.
29. 水野吉規, 八木俊正, 森一安, 2019: 弱い不安定成層を伴う乱流境界層における運動量輸送のスケール. *数理解析研究所講義録*, 2117, 16.
30. 佐藤陽祐, 當房豊, 山下克也, 荒木健太郎, 橋本明弘, 梶野瑞王, 中島孝, 三隅良平, 小池真, 岩崎杉紀, 川合秀明, 飯塚芳徳, 高橋麗, 山内晃, 折笠成宏, 齋藤泉, 藤田啓恵,

酒井健人, 郭威鎮, 田尻拓也, 島伸一郎, 岩本洋子, 2019: 「2018 年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会」報告. 天気, 66, 479-484.

31. 関口亮平, 長澤 亮二, 中川雅之, 藪 将吉, 2019: 放射. 数値予報課報告別冊, 65, 気象庁予報部, 66-80pp, ISBN: .

(3) 学会等発表

ア. 口頭発表

・国際的な会議・学会等 : 32 件

1. Tajiri, T., N. Orikasa, Y. Zaizen, W.-C. Kuo, and M. Murakami, MRI adiabatic-expansion-type cloud chamber experiments: CCN and INP abilities of atmospheric aerosol particles measured at Tsukuba, Japan, 4th International Workshop on Cloud Turbulence, 2022 年 3 月, オンライン
2. Kawai, H., and T. Koshiro, Examples of possible evaluation of GCMs using cloud radar and lidar satellite data, EarthCARE モデリングワークショップ, 2022 年 2 月, オンライン
3. Niwano, M., Rainfall on the Greenland ice sheet: Present-day states estimated from a high-resolution non-hydrostatic polar regional climate model, 2022 IASC NAG workshop, 2022 年 1 月, Sweden, online
4. Kawai, H., T. Koshiro, and S. Yukimoto, Does the reduction in the Southern Ocean radiation bias alleviate the double-ITCZ problem?, AGU Fall Meeting 2021, 2021 年 12 月, 米国, ニューオーリンズ&オンライン
5. Hori, M., Niwano, M., Shimada, R., Aoki, T., Heterogeneous response of snow cover in the Northern Hemisphere to the recent Arctic warming, The 12th Symposium on Polar Science, 2021 年 11 月, オンライン
6. Hashimoto, A., M. Ishizaka, K. Yamashita, H. Motoyoshi, S. Nakai, and S. Yamaguchi, Numerical simulation of microphysical feature in the heavy snowfall event on February 5, 2018, The Fifth Convection-Permitting Modeling Workshop 2021 (CPM2021) High-Resolution Climate Modeling and Hazards; https://www.pco-prime.com/tougou2021_ws/index.html, 2021 年 9 月, (オンライン)
7. Niwano, M., Challenges to model complex snow-atmosphere interaction processes in the Greenland ice sheet, IMAU online seminar, 2021 年 9 月, オランダ, ユトレヒト
8. Niwano, M., Recent studies related to the northwest Greenland ice sheet, Northwest Greenland online meeting, 2021 年 6 月, オンライン, オンライン
9. Kawai, H., and T. Koshiro, Do Low-level Clouds Strengthen Summertime Subtropical Highs?, International workshop for mid-latitude air-sea interaction, 2021 年 6 月, オンライン
10. Kawai, H., S. Yukimoto, T. Koshiro, N. Oshima, T. Tanaka, H. Yoshimura, and R. Nagasawa, Realities of Developing and Improving Parameterizations Related to Clouds in GCMs, モデルにおける雲の改良と較正に関するワークショップ, 2021 年 4 月, オンライン
11. Wehrlé, A., Box, J., Niwano, M., Anesio, A. M. B., and Fausto, R. S., Greenland surface processes from PROMICE automatic weather station measurements and Sentinel-3 satellite observations, AGU Fall Meeting 2020, 2020 年 12 月, 米国, virtual
12. Kawai, H., S. Yukimoto, T. Koshiro, N. Oshima, T. Tanaka, H. Yoshimura, and R. Nagasawa, Significant Improvement of Cloud Representation in MRI-ESM2, AGU Fall Meeting 2020, 2020 年 12 月, 米国, virtual

13. Niwano, M., Application of the polar regional climate model NHM-SMAP in the Antarctic ice sheet, Polar CORDEX Workshop, 2020 年 10 月, オンライン, オンライン
14. 庭野匡思, 橋本明弘, Meteorological and snow/ice data around the Greenland ice sheet (1980–2019) calculated by the high-resolution polar regional climate model NHM-SMAP, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
15. Oshima, N., S. Yukimoto, M. Deushi, T. Koshiro, H. Kawai, T. Y. Tanaka, and K. Yoshida, Effective Radiative Forcing Estimates of Anthropogenic Aerosols in MRI-ESM2, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
16. 庭野匡思, 橋本明弘, 津滝俊, 本山秀明, 平沢尚彦, 阿部彩子, Estimation of the Antarctic ice sheet surface mass balance using the polar regional climate model NHM-SMAP, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
17. 青木輝夫, 島田利元, 堀雅裕, 庭野匡思, 谷川朋範, 的場澄人, 飯塚芳徳, 藤田耕史, Interannual trend of satellite-derived snow grain size over the Greenland Ice Sheet, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
18. 對馬あかね, 庭野匡思, 青木輝夫, 大河原望, 谷川朋範, 的場澄人, 足立光司, 木名瀬健, 藤田耕史, Annual and seasonal variation trend of light-absorbing snow impurities components at Sapporo, Japan, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
19. 折笠成宏, 村上正隆, 田尻拓也, 財前祐二, 篠田太郎, In situ measurements of aerosol and cloud microphysical properties and cloud seeding experiments over the UAE: Part 2, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
20. Niwano, M. and A. Hashimoto, Detailed description, capabilities, and modelling strategy (domain, years, resolution) for NHM, HOPE (High Elevation Precipitation in High Mountain Asia) KICKOFF MEETING, 2020 年 2 月, スイス, チューリッヒ
21. Niwano, M., Recent advances in the polar RCM NHM-SMAP, HOPE (High Elevation Precipitation in High Mountain Asia) KICKOFF MEETING, 2020 年 2 月, スイス, チューリッヒ
22. Tajiri, T., N. Orikasa, Y. Zaizen, T.-H. Kuo, W.-C. Kuo, and M. Murakami, CCN and INP Abilities of Hybrid Flare Particles Measured with MRI Continuous Flow Diffusion Chamber-type IN Counter and MRI Cloud Simulation Chamber, 22nd Conference on Planned and Inadvertent Weather Modification, 2020 年 1 月, アメリカ, ボストン
23. Orikasa, N., M. Murakami, T. Tajiri, Y. Zaizen, and T. Shinoda, In Situ Measurements of Aerosol and Cloud Microphysical Properties and Cloud Seeding Experiments over the UAE, 22nd Conference on Planned and Inadvertent Weather Modification, 2020 年 1 月, アメリカ, ボストン
24. Adachi, K., and T. Kinase, Single-particle analyses of aerosol particles using transmission electron microscopy and cold stages with an optical and scanning electron microscopes, American Geophysical Union 2019 Fall meeting, 2019 年 12 月, アメリカ, サンフランシスコ
25. Yamada, Y., Damaging wind fields associated with Typhoon Jebi in the Kansai region in Japan on the 4th September 2018 derived from multiple-Doppler wind synthesis over complex terrain, 39th International Conference on Radar Meteorology, 2019 年 9 月, Japan, Nara
26. 青木輝夫, 庭野匡思, 末吉哲雄, Towards the understanding of mass balance variation of Arctic and Antarctic ice sheets, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市

27. 庭野匡思, 橋本明弘, 青木輝夫, Impacts of clouds on the Greenland ice sheet surface melt and mass balance, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
28. 広沢陽一郎, 青木輝夫, 庭野匡思, 的場澄人, 兒玉裕二, 谷川朋範, Effect of snow impurities on the radiation budget and snow melting observed at Sapporo during 10 winter seasons, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
29. 青木輝夫, 庭野匡思, 山口 悟, 的場澄人, 谷川朋範, 堀 雅裕, 島田利元, 八久保晶弘, Preliminary analysis result of the Handheld Integrating Sphere Snow Grain Sizer (HISSGraS), 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
30. Wongpan, P., T. Toyota, T. Tanikawa, D. Nomura, T. Hirawake, A. Ooki, and S. Aoki, Using under-ice spectra to determine land-fast ice algal biomass in Lake Saroma, Japan, SOLAS Open Science Conference, 2019 年 4 月, 北海道札幌市
31. Vandecrux, B., R. Fausto, D. van As, W. Colgan, P. Langen, K. Sampson, K. Steffen, K. Haubner, T. Ingemann-Nielsen, M. Niwano, and J. Box, Heat budget of Greenland firn: observed and simulated changes from 1998–2015, European Geosciences Union (EGU) General assembly, 2019 年 4 月, オーストリア, ウィーン
32. Li, W., N. Chen, C. Gatebe, T. Tanikawa, M. Hori, T. Aoki, R. Shimada, and K. Stamnes, The effect of surface roughness and polarization on snow bi-directional reflectance: Model simulations and validation using NASA Cloud Absorption Radiometer measurements, European Geosciences Union (EGU) General assembly, 2019 年 4 月, オーストリア, ウィーン

・国内の会議・学会等：112 件

1. 水野 吉規、八木 俊政、森 一安, 安定温度成層下の乱流境界層における運動量輸送に関する実験的研究, 日本物理学会第 77 回年次大会, 2022 年 3 月, (オンライン)
2. 庭野匡思, 南極氷床表面質量収支に対する雲放射効果, 科研費南極新学術 2021 年度年次報告会, 2022 年 3 月, 立川
3. 庭野匡思, 極域向け領域気候モデル NHM-SMAP の紹介, ROIS 共同利用研究集会「機械学習による昭和基地からみる大気中微量物質の輸送予測システムの構築研究打ち合わせ」, 2022 年 3 月, 東京都立川市
4. 川合秀明, 神代剛, 行本誠史, 気候モデルにおけるダブル ITCZ 問題はもしや緩和できるか?, 第 13 回熱帯気象研究会, 2022 年 3 月, オンライン
5. 庭野匡思, SMA P を用いた今冬期のリアルタイム積雪計算, 科研費基盤 B 「積雪が稀な地域での大雪発生状況の把握と現在及び将来の大雪発生ポテンシャルの評価」2021 年度末会合, 2022 年 3 月, 津
6. 田尻拓也, 折笠成宏, 郭威鎮, 財前祐二, 村上正隆, 大気エアロゾル粒子の氷晶核能に対する混合状態の影響, 2021 年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会, 2022 年 2 月, オンライン開催
7. 川合秀明, 神代剛, 行本誠史, 南大洋の雲は熱帯降水に影響するか?, 2021 年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会, 2022 年 2 月, オンライン
8. 庭野匡思, 勝山祐太, 雪氷圏における気候変動と気象防災, 気象雪氷サイエンスカフェつくば, 2022 年 2 月, つくば
9. 庭野匡思, 雪に関する気象防災情報の高度化に資する積雪変質モデルの開発, 令和 3 年度・気象庁施設等機関研究報告会, 2022 年 2 月, オンライン
10. 庭野匡思, グリーンランド氷床では今、何が起きているのか?—温暖化の最前線からの報告—, 一般社団法人日本太陽エネルギー学会太陽光発電部会 第 32 回セミナー気象・環境セミナー 「気候変動」, 2022 年 1 月, オンライン

11. 川合秀明, 地球温暖化を考える! (祝! 真鍋さんノーベル賞受賞) ~気候モデルによる温暖化シミュレーション~, 船橋市オンライン市民公開講座, 2022 年 1 月, オンライン
12. 庭野匡思, 最新の積雪変質モデルで拓く雪関連気象防災情報高度化への道, 令和 3 年度札幌管区気象研究会, 2021 年 12 月, 札幌
13. 橋本明弘, 石坂雅昭, 山下克也, 本吉弘岐, 中井専人, 山口悟, 林修吾, 2018 年冬季降雪シミュレーションから得られた 降雪粒子特性の時空間分布, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
14. 橋本明弘, 講演 1 「降雪と積雪」, サイエンスアゴラ 2021, 2021 年 11 月, オンライン
15. 庭野匡思, 講演 1 「降雪と積雪」, サイエンスアゴラ「温暖化時代の雪と私達の暮らし〜雪氷研究の最前線から〜」, サイエンスアゴラ, 2021 年 11 月, オンライン
16. 川合秀明, 気候モデルで地球温暖化を予測する!, 科学ライブショー「ユニバース」ノーベル物理学賞特別番組, 2021 年 11 月, 千代田区
17. 庭野匡思, 領域気象・化学モデルと積雪変質モデルの結合の取り組みの現状と課題, ISEE 研究集会プログラム「アジア高山域における氷河融解を加速する光吸収性不純物に関する研究集会」, 2021 年 11 月, 名古屋
18. 西村基志, 青木輝夫, 庭野匡思, 的場澄人, 谷川朋範, 山口悟, 山崎哲秀, グリーンランド北西部カナック氷帽上 SIGMA-B サイトで観測された雲の放射強制力, 日本山の科学会 2021 年秋季研究大会, 2021 年 10 月, オンライン
19. 堀雅裕, 庭野匡思, 島田利元, 青木輝夫, 衛星搭載光学センサデータから抽出される積雪域分布の軌道時刻依存性, 雪氷研究大会 (2021・オンライン), 2021 年 9 月, オンライン
20. 島田利元, 堀雅裕, 庭野匡思, 複数衛星を用いた 2018 年および 2019 年のグリーンランド氷床表面融解面積と領域気候モデルによる再現結果との比較, 雪氷研究大会 (2021・オンライン), 2021 年 9 月, オンライン
21. 庭野匡思, 梶野瑞王, 梶川友貴, 青木輝夫, 兒玉裕二, 谷川朋範, 的場澄人, 光吸収性不純物粒子を介した大気-積雪相互作用に関する研究の新展開, 雪氷研究大会 (2021・オンライン), 2021 年 9 月, オンライン
22. 橋本明弘, 第 3 部 雲微物理モデリングと数値シミュレーション, 第 7 回メソ気象セミナー, 2021 年 7 月, オンライン
23. 折笠成宏, 観測・実験に基づく雲物理学的知見, 第 7 回メソ気象セミナー, 2021 年 7 月, オンライン
24. 本吉 弘岐, 橋本 明弘, 第 2 部 地上降雪粒子観測とメソ降水系への洞察, 第 7 回メソ気象セミナー, 2021 年 7 月, オンライン
25. 石坂雅昭, 本吉弘岐, 山下克也, 中井専人, 山口 悟, 橋本明弘, 北陸平野部の大雪と降雪粒子の特徴 -2018 年と 2021 年の大雪から-, 日本雪氷学会北信越支部研究発表会, 2021 年 6 月, オンライン
26. 庭野匡思, 橋本明弘, 青木輝夫, 廣瀬聡, 島田利元, 西村基志, 堀雅裕, 2019 年にグリーンランド氷床で引き起こされた顕著な表面融解域拡大に対する雲放射の影響, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
27. 川合秀明, 気候モデルにおける南大洋の雲, 国立極地研究所気水圏コロキウム, 2021 年 5 月, オンライン
28. 川合秀明, 神代剛, 行本誠史, MRI-ESM2 における南大洋の短波放射バイアスとダブル ITCZ 問題の関係, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
29. 庭野匡思, 酢谷真巳, 長屋幸一, 中里真久, 石井恭介, 大河原望, 山口悟, 平島寛行, 本吉弘岐, 積雪変質モデルを用いた日本全域における積雪域推定, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
30. 川端康弘, 梶野瑞王, 財前祐二, 足立光司, 田中泰宙, 清野直子, 東京および東京国際空港における視程の変化, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン

31. 庭野匡思, 積雪モデル SMAP の日本全国運用, 科研費基盤 B「積雪が稀な地域での大雪発生状況の把握と現在及び将来の大雪発生ポテンシャルの評価」(代表: 川瀬宏明) オンライン全体会合, 2021 年 3 月, オンライン
32. 庭野匡思, Antarctic ice sheet surface mass balance 1980-2020 from the polar regional climate model NHM-SMAP, 新学術『南極の海と氷床』2020 年度年次報告会, 2021 年 3 月, virtual
33. 庭野匡思, 公募研究第 2 期: 「過去 40 年間の南極氷床表面質量収支高精度計算」進捗状況, 第 2 回南極新学術 SMB ミーティング, 2021 年 3 月, オンライン
34. Kuo, W.-C., M. Murakami, T. Tajiri, N. Orikasa, and K. Yamashita, 雲核計内における吸湿性フレアー粒子の雲核活性と雲粒粒径分布に関する数値計算, 2020 年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会, 2021 年 2 月, オンライン
35. 川合秀明, 総説: 海上の下層雲の概要、気候モデルにおけるそのパラメタリゼーション, エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会, 2021 年 2 月, オンライン
36. 田尻拓也, 折笠成宏, 郭威鎮, 財前祐二, 村上正隆, 大気エアロゾル粒子の氷晶核能(つくばの事例), 2020 年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会, 2021 年 2 月, オンライン
37. 折笠成宏, 斎藤篤思, 山下克也, 田尻拓也, 財前祐二, Tzu-Hsien Kuo, Wei-Chen Kuo, 村上正隆, つくば地上モニタリング観測による実大気エアロゾルの雲核能・氷晶核能の変動(その 2), エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会, 2021 年 2 月, オンライン
38. 庭野匡思, グリーンランド氷床表面融解と表面質量収支に対する雲放射の影響, ArCS II 気候予測課題連携グループ: 雲放射-雪氷相互作用 オンライン会議, 2021 年 2 月, オンライン
39. 川合秀明, 何が地球の将来の温度を決めるのか?, 地球環境講演会, 2021 年 1 月, オンライン
40. 庭野匡思, 最新の積雪モデルで拓く次世代雪関連防災情報確立への道, 令和 2 年度関東甲信地区調査研究会, 2021 年 1 月, オンライン
41. 庭野匡思, 北極域の急速な温暖化, 2020 年気象庁気象研究所成果発表会, 2020 年 12 月, オンライン
42. 川合秀明, 地球温暖化によって将来の気候はどう変わるのか?, 船橋市・オンライン市民公開講座, 2020 年 12 月, オンライン
43. 村上正隆, 篠田太郎, 高橋暢宏, 坪木和久, 増永浩彦, 堀江宏昭, 山田広幸, 折笠成宏, 田尻拓也, 財前祐二, 川合秀明, 松木篤, 牧輝弥, 竹村俊彦, Walter Strapp, Lyle Lilie, Thomas Ratvasky, Kris Bedka, 高濃度氷晶雲の実態把握と検出法・予測法開発に関する基礎的研究 - 航空機観測実施時期の検討 -, 「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」研究集会, 2020 年 12 月, オンライン
44. 折笠成宏, 村上正隆, 田尻拓也, 財前祐二, 篠田太郎, UAE 上空におけるエアロゾル・雲の直接観測, 「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」研究集会, 2020 年 12 月, オンライン
45. 守永武史, 毛利英明, 八木俊政, 森一安, 萩野谷成徳, 境界層乱流における不安定成層時の平均風速と風速変動, 第 26 回風工学シンポジウム, 2020 年 11 月, オンライン
46. 西村基志, 青木輝夫, 庭野匡思, 的場澄人, 谷川朋範, 山口悟, 山崎哲秀, グリーンランド・カナック氷帽上 SIGMA-B における熱収支解析に基づく表面融解メカニズムの考察, 雪氷研究大会(2020・オンライン), 2020 年 11 月, オンライン
47. 谷川朋範, 青木輝夫, 石元裕史, 増田一彦, 庭野匡思, 堀雅裕, 八久保晶弘, 的場澄人, 杉浦幸之助, 島田利元, 大河原望, 積雪と海氷の波長別偏光特性, 雪氷研究大会(2020・オンライン), 2020 年 11 月, オンライン

48. 中山雅茂, 直木和弘, 谷川朋範, 長幸平, 野外プールを使った海水成長過程観測システムの開発, 雪氷研究大会 (2020・オンライン), 2020 年 11 月, オンライン
49. 直木和弘, 中山雅茂, 谷川朋範, 長幸平, 海水の厚さと 3 周波数帯のマイクロ波輝度温度の関係, 雪氷研究大会 (2020・オンライン), 2020 年 11 月, オンライン
50. 大島長, 行本誠史, 出牛 真, 神代 剛, 川合秀明, 田中泰宙, 吉田康平, 気象研究所地球システムモデルを用いた人為起源気体とエアロゾルによる有効放射強制力の推定, 第 25 回大気化学討論会, 2020 年 11 月, 名古屋市
51. 庭野匡思, 極域・雪氷研究への誘い, 気象大学校オンラインコロキウム, 2020 年 11 月, オンライン
52. 川合秀明, 神代剛, 亜熱帯下層雲の放射冷却は夏季の亜熱帯高気圧を強化するか?, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
53. 千葉丈太郎, 川合秀明, 層積雲スキーム改良による SST-SW フィードバックの改善, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
54. 橋本明弘, 雲・降水の数値シミュレーション, 日本気象学会 2020 年度夏季大会, 2020 年 8 月, オンライン
55. 庭野匡思, 南極新学術公募研究成果報告, 科研費新学術領域研究「南極の海と氷床」2020 年度全体会議, 2020 年 8 月, オンライン
56. 橋本明弘, 石坂雅昭, 山下克也, 本吉弘岐, 中井専入, 山口悟, 2018 年冬季大雪事例の降雪粒子特性に関する数値実験, 降雪・積雪系オンラインワークショップ 2020, 2020 年 7 月, オンライン
57. 庭野匡思, 南極に適用した極域気候モデル NHM-SMAP の設定と初期評価結果, 南極新学術 SMB オンラインミーティング, 2020 年 6 月, オンライン
58. 田尻拓也, 折笠成宏, 財前祐二, 郭威鎮, 村上正隆, つくばで計測された大気エアロゾル粒子の氷晶核能, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
59. 守永武史, 毛利英明, 萩野谷成徳, 八木俊政, 森一安, 境界層乱流における不安定成層時の風速・温度変動, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
60. 谷川朋範, 庭野匡思, 大河原望, 石元裕史, 青木輝夫, ニーオルスンにおける全天分光日射計を用いた積雪粒径・積雪不純物濃度の推定, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
61. 川端康弘, 田中泰宙, 財前祐二, 梶野瑞王, 足立光司, 東京と熊谷における視程の経年変化, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
62. 中川雅之, 川合秀明, 気象庁全球モデルへの浅い積雲対流スキームの導入, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
63. 千葉丈太郎, 川合秀明, 層積雲スキーム改良による SST-SW フィードバックの改善, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 神奈川県川崎市
64. Kuo, W.-C., M. Murakami, T. Tajiri, N. Orikasa, and K. Yamashita, Droplet Size Distribution Activated and Grown from Hygroscopic Particles in CCNC, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 神奈川県川崎市
65. 林 修吾, 梅原章仁, 南雲信宏, 二重偏波レーダによる粒子判別を用いた雷雲内の粒子分布と雷活動の関係, 雲・降水研究会 (第三回), 2020 年 5 月, Web 開催
66. 庭野匡思, NHM-SMAP の現状と将来展望, 近年のグリーンランド氷床表面の暗色化と急激な表面融解に関する研究会, 2020 年 3 月, オンライン
67. 田尻拓也, 折笠成宏, 郭威鎮, 財前祐二, 村上正隆, 混合核の形態的特性と雲粒子生成に関する考察, 2019 年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会, 2020 年 2 月, 東京都立川市

68. 折笠成宏, 村上正隆, 田尻拓也, 財前祐二, 篠田太郎, UAE 上空におけるエアロゾル・雲の直接観測, 2019 年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会, 2020 年 2 月, 東京都立川市
69. 橋本明弘, 折笠成宏, 田尻拓也, 林修吾, 平成 30 年 7 月豪雨の雲微物理特性に関する数値実験, 2019 年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会, 2020 年 2 月, 東京都立川市
70. 川合秀明, エアロゾルの雲への影響についての認識は適切か?, エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会, 2020 年 2 月, 東京都立川市
71. 林 修吾, 梅原章仁, 南雲信宏, 二重偏波レーダーによる降水粒子判別を用いた雷雲の特徴, 第 14 回航空気象研究会, 2020 年 2 月, 東京都
72. 村上正隆, 篠田太郎, 高橋暢宏, 坪木和久, 増永浩彦, 堀江宏昭, 山田広幸, 折笠成宏, Walter Strapp, Lyle Lilie, Tom Bond, 航空機観測計画 ー高濃度氷晶雲の実態把握と検出法・予測法開発に関する基礎的研究ー, 「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」研究集会, 2019 年 12 月, 東京都文京区
73. 石坂雅昭, 本吉弘岐, 山下克也, 中井専入, 山口悟, 橋本明弘, 日本海上に形成される各種降雪雲 (JPCZ、Tmode、L mode) が北陸平野部にもたらす降雪粒子の特徴と強い降雪の雲物理, 日本気象学会中部支部研究発表会, 2019 年 11 月, 富山市
74. 橋本明弘, 本吉弘岐, 山下克也, 石坂雅昭, 中井専入, 山口悟, 2018 年北陸に大雪をもたらした降雪雲の雲物理特性に関する数値実験, ワークショップ「降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究(第 18 回)」, 2019 年 11 月, 新潟県長岡市
75. 庭野匡思, 極域気候モデル NHM-SMAP v1.0 で計算されたグリーンランド氷床表面質量収支 1978-2019, SE-Dome アイスコアに関する研究集会, 2019 年 11 月, 札幌
76. 橋本明弘, 現地観測と数値実験をもとに捉えられた気象現象, グリーンランド南東ドームアイスコアに関する研究集会, 2019 年 11 月, 北海道札幌市
77. 庭野匡思, 極域気候モデリング, 第 3 期ドームふじ計画対応 WG 観測小委員会, 2019 年 11 月, 立川
78. 田尻拓也, 郭威鎮, 折笠成宏, 財前祐二, 村上正隆, 内部混合したサブミクロン粒子の吸湿度と雲粒生成, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
79. 水野吉規, 八木俊政, 森一安, 乱流境界層における大規模構造の運動量輸送への寄与の評価, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
80. 中川雅之, 吉村裕正, 和田章義, 全球 7km 非静力学および 20km 静力学モデルによる台風進路予測誤差の要因の調査, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
81. 林 修吾, 梅原章仁, 南雲信宏, 二重偏波レーダーによる降水粒子判別結果と雷活動の関係, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
82. 石坂雅昭, 本吉弘岐, 山下克也, 中井専入, 山口悟, 橋本明弘, 北陸平野部の大雪時の降雪粒子の特徴と雲物理過程, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
83. 折笠成宏, 村上正隆, 田尻拓也, 財前祐二, 篠田太郎, UAE 上空におけるエアロゾル・雲の直接観測 (その 1), 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
84. 吉住蓉子, 村上正隆, 長谷川晃一, 榊原篤志, 橋本明弘, 篠田太郎, 加藤雅也, 簡易型吸湿性シーディングスキームを導入した雲解像モデル CReSS によるシーディング実験, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
85. 村上正隆, 辻野智紀, 吉住蓉子, 橋本明弘, 加藤雅也, ダブルモーメント雲微物理パラメタリゼーションにおける CCN 活性化スキーム, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市

86. 山口 悟, 石坂雅昭, 本吉弘岐, 中井専人, 山下克也, 橋本明弘, Vionnet V., 八久保晶弘, 青木輝夫, 新雪の比表面積の測定, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
87. 庭野匡思, 橋本明弘, 青木輝夫, グリーンランド氷床表面融解に対する雲の影響, 日本気象学会 2019 年秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡
88. 青木輝夫, 庭野匡思, 谷川朋範, 的場澄人, 気温上昇に伴う積雪粒径の増加と近赤外アルベド低下効果の普遍性, 日本気象学会 2019 年秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡
89. 北村 祐二, 西澤 誠也, 西本 秀祐, MYNN モデルにおける接地境界層での特徴的長さの検討, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
90. 川合秀明, 行本誠史, 神代剛, 大島長, 田中泰宙, 吉村裕正, 長澤亮二, MRI-ESM2 の雲表現の改良における様々な苦勞, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
91. Kuo, W.-C., M. Murakami, T. Tajiri, N. Orikasa, and K. Yamashita, Droplet Size Distribution Activated and Grown from Hygroscopic Particles in CCNC, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
92. 北村智文, 小林健二, 水野吉規, 森将人, 宮武真一, 渋谷和孝, アメダス観測環境監視カメラから積雪深を推定するアルゴリズムの開発, 電子情報通信学会 人工知能と知識処理(AI)研究会, 2019 年 9 月, 鹿児島市
93. 黒崎豊, 的場澄人, 飯塚芳徳, 庭野匡思, 谷川朋範, 安藤卓人, 青木輝夫, グリーンランド北西部 SIGMA-A アイスコアによる海氷変動の復元, 雪氷研究大会 (2019・山形), 2019 年 9 月, 山形市
94. 對馬あかね, 庭野匡思, 青木輝夫, 谷川朋範, 的場澄人, 大河原望, 2007-2018 年冬季の札幌の表面積雪中の EC、OC および dust 濃度の変動傾向, 雪氷研究大会 (2019・山形), 2019 年 9 月, 山形市
95. 中山雅茂, 直木和弘, 谷川朋範, 長幸平, 海氷のマイクロ波放射計観測を目的とした実験用プールの製作と運用, 雪氷研究大会 (2019・山形), 2019 年 9 月, 山形市
96. 石坂雅昭, 本吉弘岐, 山下克也, 中井専人, 山口 悟, 橋本明弘, 北陸平野部に強い降雪をもたらす条件 -2018 年冬季の降雪粒子観測から-, 雪氷研究大会 (2019・山形), 2019 年 9 月, 山形市
97. 直木和弘, 中山雅茂, 谷川朋範, 長幸平, 海氷の厚さとマイクロ波輝度温度の関係 2, 雪氷研究大会 (2019・山形), 2019 年 9 月, 山形市
98. 橋本明弘, 2018 年北陸大雪時の雲・降水機構に関する数値実験, 雪氷圏変動把握にむけた積雪表面近傍の現象理解に関する研究集会, 2019 年 8 月, 長岡市
99. 庭野匡思, 札幌における気象・雪氷観測からグリーンランド氷床雪氷質量変動研究へ, 低温科学研究所 共同研究集会シンポジウム「変化する環オホーツク陸域・海域環境と今後の展望」, 2019 年 7 月, 札幌
100. 毛利英明, 守永武史, 萩野谷成徳, 壁乱流の $1/k$ スペクトル則は実在するのだろうか, 研究会「乱流基礎相似則の再検討」, 2019 年 7 月, 京都府京都市
101. 庭野匡思, 極域気候モデル NHM-SMAP の紹介, ヒマラヤ科研会合, 2019 年 7 月, 名古屋
102. 庭野匡思, 積雪変質モデルを組み込んだ領域気候モデルの高度化と有効活用の方方向性, 日本海寒帯気団収束帯による豪雪対策のための研究開発」研究集会, 2019 年 6 月, 長岡
103. 花土弘, 川村誠治, 岩井宏徳, 佐藤晋介, 中川勝広, 田尻拓也, 折笠成宏, 小司禎教, 荒木健太郎, 瀬古弘, 地デジ放送波を用いた水蒸気量推定手法の研究開発 -マイクロ波放射計との同時観測-, JpGU meeting 2019, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
104. 伊藤純至, 毛利英明, 瞬時的な風速に適用可能な接地境界層モデルの深層学習による構築, JpGU meeting 2019, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市

105. 田尻拓也, 郭威鎮, 折笠成宏, 財前祐二, 村上正隆, 内部混合したサブミクロン粒子の吸湿度, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都渋谷区
106. 吉住蓉子, 村上正隆, 折笠 成宏, 田尻拓也, 篠田太郎, 加藤雅也, アラブ首長国連邦の低地における日周対流雲の発達要因と微物理構造, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都渋谷区
107. 中川雅之, 川合秀明, 気象庁全球モデルにおける下層雲の表現の改善 (第四報), 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都
108. 林修吾, 南雲信宏, 梅原章仁, 2018 年 5 月 10 日に発生した背の低い雷雲の偏波レーダーによる観測, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都
109. 川合秀明, 神代剛, 吉村裕正, 遠藤洋和, 中川雅之, 積雲対流スキームの役割の実情, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都
110. 守永武史, 毛利英明, 萩野谷成徳, 八木俊政, 森一安, 境界層乱流における安定成層時の風速変動と温度変動, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都
111. 大河原望, 南極昭和基地における地表面放射の長期変化傾向, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都
112. Kuo, W.-C., M. Murakami, T. Tajiri, and N. Orikasa, Using Parcel Model to Simulate the Particle Distribution of Hygroscopic Flares in CCNC., 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都渋谷区

イ. ポスター発表

・国際的な会議・学会等 : 23 件

1. Kawai, H., S. Yukimoto, T. Koshiro, N. Oshima, T. Tanaka, H. Yoshimura, and R. Nagasawa, Significant Reduction of the Southern Ocean Radiation Bias in a Climate Model, AMS 102nd Annual Meeting, 2022 年 1 月, アメリカ, オンライン
2. Oshima, N., S. Yukimoto, M. Deushi, T. Koshiro, H. Kawai, T. Y. Tanaka, and K. Yoshida, Global and Arctic effective radiative forcing of anthropogenic gases and aerosols in MRI-ESM2.0, Tri-MIPathlon-3, 2021 年 12 月, イギリス, (オンライン)
3. Hashimoto, A., T. Aoki, T. Yamasaki, S. Matoba, M. Niwano, T. Tanikawa, K. Fujita, and Y. Iizuka, Numerical Weather Simulations for the Ice Core Drilling Expedition 2021 at SE-Dome, Southeastern Greenland Ice Sheet, 第 12 回極域科学シンポジウム, 2021 年 11 月, 東京都
4. Shimada, R., and Niwano, M., Integration test of polar regional climate model and radiative transfer model for development of microwave remote sensing simulator, The 12th Symposium on Polar Science, 2021 年 11 月, オンライン
5. Aoki, T., Shimada, R., Hori, M., Tanikawa, T., and Niwano, M., Is surface darkening occurring over the Greenland Ice Sheet?, The 12th Symposium on Polar Science, 2021 年 11 月, オンライン
6. Kawai, H., T. Koshiro, and S. Yukimoto, Does the reduction in the Southern Ocean radiation bias alleviate the double-ITCZ problem?, CFMIP Meeting on Clouds, Precipitation, Circulation, and Climate Sensitivity, 2021 年 9 月, オンライン
7. Sugi, M., and H. Yoshimura, Cumulus parameterization scheme for gray zone, The Fifth Convection-Permitting Modeling Workshop 2021 (CPM2021) High-Resolution Climate Modeling and Hazards; https://www.pco-prime.com/tougou2021_ws/index.html, 2021 年 9 月, (オンライン)

8. Tajiri, T., N. Orikasa, Y. Zaizen, W.-C. Kuo, and M. Murakami, Immersion freezing abilities of atmospheric aerosols measured at Tsukuba, Japan, 18th International Conference on Clouds and Precipitation (ICCP 2021), 2021年8月, インド, プネ
9. Orikasa, N., M. Murakami, T. Tajiri, Y. Zaizen, and T. Shinoda, In Situ Measurements of Aerosol and Cloud Microphysical Properties and Cloud Seeding Experiments over the UAE, 18th International Conference on Clouds and Precipitation (ICCP 2021), 2021年8月, インド, プネ
10. Orikasa, N., A. Saito, K. Yamashita, T. Tajiri, Y. Zaizen, T.-H. Kuo, W.-C. Kuo, and M. Murakami, Seasonal variations of aerosols focused on IN and CCN abilities from ground-based observations at Tsukuba, Japan, 18th International Conference on Clouds and Precipitation (ICCP 2021), 2021年8月, インド, プネ
11. Hashimoto, A., H. Motoyoshi, N. Orikasa, and R. Misumi, Development of a process-tracking scheme based on bulk microphysics to diagnose the features of snow particles, 18th International Conference on Clouds and Precipitation (ICCP 2021), 2021年8月, インド, プネ
12. Orikasa, N., M. Murakami, A. Saito, T. Tajiri, Y. Zaizen, and T. Shinoda, Cloud seeding experiment for precipitation augmentation with aircraft in-situ measurements, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021年6月, オンライン
13. Hashimoto, A., M. Niwano, H. Fujinami, A. Sakai, and K. Fujita, Numerical simulations of precipitation in high altitude Himalaya mountainous area by using JMA-NHM, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020年7月, 千葉市幕張
14. Hashimoto, A., H. Motoyoshi, N. Orikasa, R. Misumi, and M. Niwano, Development and applications of the process-tracking scheme based on bulk microphysics to determine the properties of snow particles, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020年7月, 千葉市幕張
15. Kawai, H., and T. Koshiro, Stability Index for Marine Low Cloud Cover over the Mid-latitudes, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020年7月, オンライン
16. Tajiri, T., N. Orikasa, Y. Zaizen, W.-C. Kuo, and M. Murakami, Internal structure and INP ability of AgI flare particles mixed with hygroscopic materials, 3rd Atmospheric Ice Nucleation Conference, 2020年1月, アメリカ, ボストン
17. Orikasa, N., A. Saito, K. Yamashita, T. Tajiri, Y. Zaizen, T.-H. Kuo, W.-C. Kuo, and M. Murakami, Seasonal variations of aerosols focused on IN and CCN abilities from ground-based observations at Tsukuba, Japan, 3rd Atmospheric Ice Nucleation Conference, 2020年1月, アメリカ, ボストン
18. Niwano, M., A. Hashimoto, and T. Aoki, Cloud-driven modulations of Greenland ice sheet surface melt, from 2012 to 2014, 2019 AGU Fall Meeting, 2019年12月, アメリカ, サンフランシスコ
19. Yogo, Y., Y. Ioka, T. Tanikawa, M. Hosaka, and T. Aoki, New Snow & Sea Ice Detection Algorithm Using The New Geostationary Meteorological Satellites Himawari-8 and 9/AHI, AGU Fall Meeting 2019, 2019年12月, 米国, San Francisco
20. Kawai, H., T. Koshiro, H. Yoshimura, R. Oyama, H. Endo, and M. Nakagawa, Convective and large-scale precipitation in models, CFMIP Meeting on Clouds, Precipitation, Circulation, and Climate Sensitivity, 2019年10月, ギリシャ, ミコノス
21. Hori, M., T. Aoki, T. Tanikawa, M. Niwano, and R. Shimada, Retrieving temperature and specularity of sea-ice surface from remotely sensed thermal infrared brightness temperatures, European Geosciences Union (EGU) General assembly, 2019年4月, オーストリア, ウィーン

22. Shimada, R., M. Hori, T. Aoki, T. Tanikawa, S. Matoba, M. Niwano, K. Stamnes, W. Li, and N. Chen, Introduction of the GCOM-C/SGLI Cryosphere product and validation result, European Geosciences Union (EGU) General assembly, 2019 年 4 月, オーストリア, ウィーン
23. Ando, T., Y. Iizuka, M. Shibata, S. Matoba, S. Sugiyama, S. Adachi, S. Yamaguchi, K. Fujita, A. Hori, M. Niwano, T. Aoki, and S. Fujita, History of snow grain modification evaluated by specific surface area (SSA) and density using two ice cores from Greenland, European Geosciences Union (EGU) General assembly, 2019 年 4 月, オーストリア, ウィーン

・国内の会議・学会等：44 件

1. Kuo, W-C., M. Murakami, T. Tajiri, N. Orikasa, and K. Yamashita, Droplet Size Distribution Activated and Grown from Hygroscopic Particles in CCNC, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, つくば市
2. 田尻拓也, 折笠成宏, 財前祐二, 郭威鎮, 村上正隆, つくばで計測された 大気エアロゾル粒子の 氷晶核能 (その 3), 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
3. 折笠成宏, 田尻拓也, 財前祐二, Wei-Chen Kuo, 氷晶核計と PCVI による雲残渣粒子の観測 (序報), 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
4. 林修吾, 渡邊俊一, 橋本明弘, 藤田匡, NHM と asuca によるモデル間相互比較実験, 日本気象学会 2021 年秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
5. 守永武史, 毛利英明, 萩野谷成徳, 八木俊政, 森一安, 温度成層のある境界層乱流の風速変動, 日本気象学会 2021 年秋季大会, 2021 年 12 月, オンライン
6. 川端康弘, 梶野瑞王, 財前祐二, 足立光司, 東京における 1990 年代の低視程日数増加と大気環境, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重
7. 杉 正人, 吉村裕正, グレーゾーンの積雲対流スキーム, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
8. 橋本明弘, 森健彦, 新堀敏基, 気象予測モデルを併用した新しい二酸化硫黄放出率推定手法の開発: その 3, 日本火山学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
9. 橋本明弘, 山下克也, 石坂雅昭, 本吉弘岐, 中井専人, 山口悟, 2018 年冬季大雪における降雪粒子特性の JMA-NHM による再現性の検証, 雪氷研究大会 (2021・オンライン), 2021 年 9 月, オンライン
10. 飯塚芳徳, 的場澄人, 箕輪昌紘, 山崎哲秀, 川上薫, 角五綾子, 宮原盛厚, 藤田耕史, 橋本明弘, 庭野匡思, 谷川朋範, 青木輝夫, グリーンランド南東ドームにおけるアイスコア掘削と気象・雪氷観測, 雪氷研究大会 (2021・オンライン), 2021 年 9 月, オンライン
11. 波多俊太郎, 日下稜, 原田康浩, 庭野匡思, 的場澄人, 2021 年 2 月に札幌で発生した斑点濡れ雪の氷薄片観察, 雪氷研究大会 (2021・オンライン), 2021 年 9 月, オンライン
12. 西村基志, 青木輝夫, 庭野匡思, 的場澄人, 谷川朋範, 山口悟, 山崎哲秀, グリーンランド・カナック氷帽上 SIGMA-B サイトで観測された雲の有無による表面熱収支の違い, 雪氷研究大会 (2021・オンライン), 2021 年 9 月, オンライン
13. 田尻拓也, 折笠成宏, 郭威鎮, 財前祐二, 村上正隆, 大気エアロゾル粒子の氷晶核能 -つくば地上観測事例-, 第 38 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2021 年 8 月, オンライン開催
14. 堀雅裕, 庭野匡思, 青木輝夫, 島田利元, 複数の衛星搭載光学センサデータから抽出された北半球積雪域分布の比較, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
15. 西村基志, 青木輝夫, 庭野匡思, 的場澄人, 山口悟, 山崎哲秀, グリーンランド・カナック氷帽上 SIGMA-B における熱収支解析に基づく表面融解メカニズムの考察, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン

16. 廣瀬聡, 青木輝夫, 庭野匡思, 的場澄人, 谷川朋範, 山口悟, 山崎哲秀, 北西グリーンランド氷床上 SIGMA-A サイトで観測された雪面熱収支の特徴, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
17. 橋本 明弘、山下 克也、石坂 雅昭、本吉 弘岐、中井 専人、山口 悟, 素過程追跡雲微物理スキームを用いた 2018 年冬季大雪事例の再現実験, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 6 月, オンライン
18. 橋本明弘、佐々木織江、坂井亜規子、藤田耕史, ヒマラヤ高山域の降水再現実験における地形平滑化に対する依存性, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 6 月, オンライン
19. 田尻拓也, 折笠成宏, 財前祐二, 郭威鎮, 村上正隆, つくばで計測された 大気エアロゾル粒子の氷晶核能 (その 2), 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, つくば市
20. 橋本明弘, 山下克也, 石坂雅昭, 本吉弘岐, 中井専人, 山口悟, 2018 年冬季降雪シミュレーションから得られた降雪粒子特性に関する検討 その 2, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
21. 長澤亮二, 放射計算における氷雲の扱いが大気モデルの OLR に与える影響, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
22. 木村宏海, 八久保晶弘, 舘山一孝, 谷川朋範, サロマ湖海氷上の積雪含水率の測定, 雪氷研究大会 (2020・オンライン), 2020 年 11 月, オンライン
23. 豊田威信, 小野貴司, 谷川朋範, Pat Wongpan, 野村大樹, 降雪が結氷初期の海水凍結過程に及ぼす影響について, 日本海洋学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 11 月, オンライン
24. 折笠成宏, 村上正隆, 田尻拓也, 財前祐二, 篠田太郎, UAE 上空におけるエアロゾル・雲の直接観測 (その 3), 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
25. 田尻拓也, 折笠成宏, 財前祐二, 郭威鎮, 村上正隆, つくばで計測された大気エアロゾル粒子の氷晶核能, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
26. 村上正隆, 篠田太郎, 高橋暢宏, 坪木和久, 増永浩彦, 堀江宏昭, 山田広幸, 折笠成宏, 田尻拓也, 財前祐二, 川合秀明, 松木篤, 牧輝弥, 竹村俊彦, Walter Strapp, Lyle Lilie, Thomas Ratvasky, Kris Bedka, 高濃度氷晶雲の実態把握と検出法・予測法開発に関する基礎的研究 ― 航空機観測実施時期の検討 ―, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
27. 橋本明弘, 石坂雅昭, 山下克也, 本吉弘岐, 中井専人, 山口悟, 2018 年冬季 JPCZ に関連した降雪形成機構に関する数値実験, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
28. 中川雅之, 川合秀明, 気象庁全球モデルへの浅い積雲対流スキームの導入 (2), 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
29. Kuo, W.-C., M. Murakami, T. Tajiri, N. Orikasa, and K. Yamashita, Droplet Size Distribution Activated and Grown from Hygroscopic Particles in CCNC, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
30. 橋本明弘, 森健彦, 新堀敏基, 気象予測モデルを併用した新しい二酸化硫黄放出率推定手法の開発: その 2, 日本火山学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, 日本
31. 豊田威信, 小野貴司, 谷川朋範, Pat Wongpan, 野村大樹, 雪が結氷初期の海水成長に及ぼす影響について, 雪氷研究大会 (2019・山形), 2020 年 9 月, 山形市
32. 橋本明弘, 石坂雅昭, 山下克也, 本吉弘岐, 中井専人, 山口悟, 2018 年冬季大雪事例の降雪粒子特性に関する数値実験, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 川崎市
33. 折笠成宏, 村上正隆, 田尻拓也, 財前祐二, 篠田太郎, UAE 上空におけるエアロゾル・雲の直接観測 (その 2), 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
34. 田村多佳基, 青木輝夫, 庭野匡思, 的場澄人, 兒玉裕二, 谷川朋範, 札幌における雲が積雪面上の熱収支に与える効果, 日本気象学会 2019 年秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡

35. 橋本明弘, 折笠成宏, 田尻拓也, 林修吾, 平成 30 年 7 月豪雨の雲・降水形成機構に関する数値実験, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
36. 長澤亮二, 気象庁全球モデルの放射計算で利用する水雲有効半径の見直し, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
37. 鈴木賢士, 杉立卓治, 清水健作, 森 修一, 勝俣昌己, 中川勝広, 大石 哲, 川野哲也, 橋本明弘, 大東忠保, 齊藤靖博, 篠田太郎, 山田広幸, 降水粒子帯電電荷測定のための 400MHz 帯ラジオゾンデ搭載新型センサー開発, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
38. 橋本明弘, 庭野匡思, 藤波初木, 坂井亜規子, 藤田耕史, ヒマラヤ山岳域の降水再現実験における格子解像度依存性, 雪氷研究大会 (2019・山形), 2019 年 9 月, 山形市
39. 橋本明弘, 本吉弘岐, 山下克也, 石坂雅昭, 中井専入, 山口悟, 2018 年冬季大雪事例の雲・降水機構に関する数値実験, 雪氷研究大会 (2019・山形), 2019 年 9 月, 山形市
40. 田尻拓也, 郭威鎮, 折笠成宏, 財前祐二, 村上正隆, 内部混合粒子の吸湿度と氷晶形成に関する研究 (その 2), 第 36 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2019 年 9 月, 広島県東広島市
41. 西澤誠也, 北村祐二, 有限体積モデルにおける地表面フラックススキーム, 第 6 回メソ気象セミナー, 2019 年 7 月, 三重県伊勢市
42. 折笠成宏, 村上正隆, 田尻拓也, 財前祐二, 篠田太郎, UAE 上空におけるエアロゾル・雲の直接観測及びシーディング実験, JpGU meeting 2019, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
43. 折笠成宏, 斎藤篤思, 山下克也, 田尻拓也, 財前祐二, Tzu-Hsien Kuo, Wei-Chen Kuo, 村上正隆, つくば地上モニタリング観測による実大気エアロゾルの雲核能・氷晶核能の変動 (その 2), 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都渋谷区
44. 谷川朋範, 青木輝夫, 石元裕史, 庭野匡思, 堀雅裕, 的場澄人, 積雪の波長別偏光測定装置の高度化, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都

報道・記事

1. 気象研究所お知らせ「近年のグリーンランド氷床の融解量評価に関する国際共同研究に貢献しました」(令和 3 年 11 月 13 日)
https://www.mri-jma.go.jp/Topics/R02/021113a/021113_oshirase.html
2. 気象研究所報道発表「近年のグリーンランド氷床で増加している降雨の変動の実態を詳細に定量化することに成功」(令和 3 年 8 月 23 日)
https://www.mri-jma.go.jp/Topics/R03/030823/press_030823.html
3. 読売新聞記事「グリーンランド雨量増 氷床解ける原因 温暖化影響か」(令和 3 年 8 月 24 日)
4. 環境展望台, 国内ニュース「気象研、「氷床に降る雨」の時空間変動を詳細解析」(令和 3 年 8 月 23 日)
<https://tenbou.nies.go.jp/news/jnews/detail.php?i=32379>

その他(「成果の他の研究への波及状況」関連)

(講演・アウトリーチ)

1. 毛利 英明 「大気乱流入門」神戸大学理学研究科 集中講義 惑星学詳論 II (令和元年 6 月 18 日・令和 2 年 6 月 2 3 日・令和 3 年 6 月 8 日)
2. 谷川 朋範 体験学習会「雪の重さってどれくらい? 雪はどのように変化する?」 JST 主催サイエンスアゴラ 2019 (令和元年 11 月 16 日)
3. 橋本明弘「雲・降水の数値シミュレーション」日本気象学会第 54 回夏季大学 (令和 2 年 8 月 22 日)
4. 谷川 朋範 講演会「変わりつつある日本の雪と雪崩災害」 JST 主催サイエンスアゴラ 2020 (令和 2 年 11 月 22 日)
5. 川合 秀明 「地球温暖化によって将来の気候はどう変わるのか?」アースドクターふなばし主

催オンライン市民公開講座（令和2年12月11日）

6. 庭野 匡思 「北極域の急速な温暖化」令和2年度 気象研究所 研究成果発表会（令和2年12月16日-4年3月27日）
7. 川合 秀明 「何が地球の将来の温度を決めるのか？」アースドクターふなばし主催オンライン地球環境講演会（令和3年1月27日）

（受賞等）

1. 日本気象学会 2019 年気象集誌論文賞

Yukimoto, S., H. Kawai, T. Koshiro, N. Oshima, K. Yoshida, S. Urakawa, H. Tsujino, M. Deushi, T. Tanaka, M. Hosaka, S. Yabu, H. Yoshimura, E. Shindo, R. Mizuta, A. Obata, Y. Adachi, and M. Ishii, 2019: The Meteorological Research Institute Earth System Model version 2.0, MRI-ESM2.0: Description and basic evaluation of the physical component. J. Meteor. Soc. Japan, 97, 931-965.

2. 日本雪氷学会 2019 年度論文賞

黒崎豊, 的場澄人, 飯塚芳徳, 庭野匡思, 谷川朋範, 青木輝夫、「バフィン湾周辺の環境がグリーンランド北西部の 降雪中の d-excess と化学成分に与える影響」, 雪氷, 80, 515-529.

3. 大気環境学会 令和2年度 最優秀論文賞

市川陽一, 露木敬允, 薦田直人, 宮元健太, 廣畑智也, 中園真衣, 関光一, 毛利英明, 守永武史
「森林における大気汚染物質の輸送におよぼす遮蔽による流体力学的効果の解析」大気環境学会誌, 55, 50-59

4. 日本雪氷学会 2020 年度 関東・中部・西日本支部賞（活動賞）

斎藤和之および日本国内地温・凍結深データベース 作成委員会（萩野谷成徳ほか）「日本国内の地温・凍結深観測値のデータレスキューによる雪氷研究推進と教育・普及に対する貢献」

T 台風・顕著現象の機構解明と監視予測技術の開発に関する研究

研究年次：3年目／5年計画（令和元年度～令和5年度）

研究代表者：清野直子 台風・災害気象研究部 部長（令和2年度-）
鈴木 修 台風・災害気象研究部 部長（令和元年度）

課題構成及び研究担当者

（副課題1）台風の発生、発達から温帯低気圧化に至る解析・予測技術の研究

〔台風・災害気象研究部〕○和田章義、柳瀬 亘、嶋田宇大、林 昌宏、小野耕介（令和元年度-2年度）、辻野智紀（令和3年度）

〔気象観測研究部〕岡本幸三

（副課題2）顕著現象の実態解明と数値予報を用いた予測技術の研究

〔台風・災害気象研究部〕○益子 渉、清野直子、廣川康隆、小野耕介（令和3年度）、荒木健太郎、鈴木 修（令和2年度-）

〔気象予報研究部〕橋本明弘、林 修吾

〔応用気象研究部〕加藤輝之

（副課題3）顕著現象の自動探知・直前予測技術のための研究開発

〔台風・災害気象研究部〕○楠 研一、足立 透、猪上華子（令和元年度-2年度）、鈴木 修

（副課題4）先端的気象レーダーの観測技術の研究

〔台風・災害気象研究部〕○足立アホロ、梅原章仁、永井智広、足立 透、益子 渉、荒木健太郎、鈴木 修

〔気象観測研究部〕瀬古 弘、石元裕史、吉田 智

〔火山研究部〕佐藤英一

〔客員研究員〕小林隆久、石原正仁

研究協力者：（氏名・機関）

小山 亮（気象庁大気海洋部気象リスク対策課アジア太平洋気象防災センター）

沢田雅洋（気象庁情報基盤部数値予報開発センター数値予報技術開発室）

宮本佳明（慶応義塾大学環境情報学部）

伊藤享洋（気象大学校）

金田幸恵（名古屋大学宇宙地球環境研究所）（令和元年度）

中澤哲夫（気象研究所客員研究員）（令和元年度）

筆保弘徳（横浜国立大学 教育学部）（令和元年度）

田巻優子（気象庁大気海洋部気候情報課）

津口裕茂（気象庁大気海洋部予報課）

北畠尚子（気象大学校）

南雲信宏（気象庁大気海洋部業務課気象技術開発室）

研究の動機・背景

（社会的背景・意義）

近年、台風および集中豪雨・大雪・竜巻等突風・局地的大雨（顕著現象）による気象災害が数多く発生しており（平成30年7月豪雨、台風21号など）、気象災害の「新たなステージ」（局地化・集中化・激甚化）に対応する実況監視・予測技術の高度化が求められている。さらにそれらの災害に対して国民の安全・安心を確保し、レジリエントな社会を構築するために、豪雨や竜巻等の実態を把握する気象レーダーや、災害を予測・察知してその実体を知る技術などの研究開発の推進が求められている。

(学術的背景・意義)

台風の構造変化は内部の力学・熱力学だけでなく、時空間スケールの大きな外部の大気海洋環境場の影響を受ける。また、顕著現象の詳細な構造や発生・発達プロセスの時空間スケールは非常に小さい。いずれの現象も、その機構は現在のところ未知な点が多く、その解明は自然現象の理解を深めることにより、気象学の発展に大きく寄与する。さらに風工学、災害科学など他分野との連携により、幅広い分野における学術の発展に貢献することが可能である。

顕著現象の自動探知・直前予測の膨大な観測データをリアルタイムで記録・転送・検索・可視化する技術、さらに深層学習を用いて災害をもたらすおそれのある範囲や現象の強さを抽出する技術の開発は、ビッグデータ高速処理技術や人工知能技術を気象学・防災減災技術への応用につなげる可能性がある。

最先端の気象レーダーである二重偏波レーダー、フェーズドアレイレーダーは、気象災害をもたらす多様な現象への研究利用が始まっている。しかしながら、特にフェーズドアレイレーダーについては学術研究の緒についたばかりであり、現象の理解と監視・予測技術の開発に向けた研究をより重層的に推進する必要がある。また、二重偏波レーダーによる降水強度の推定精度の向上や降水粒子の状態を正確に把握することは現象の理解と監視に不可欠であり、これに向けた研究が各国で精力的にすすめられている。

(気象業務での意義)

気象庁は産学官や国際的連携のもと、最新の科学技術に対応した観測や予測精度向上の技術開発が求められている。

台風の解析・予測技術の研究は、第4期国土交通省技術基本計画における技術開発事項の1つであり、台風予測精度向上のために必要である。さらに気象庁の地域特別気象中枢(RSMC)としての北西太平洋域における台風等の解析、予報改善に寄与する。

数値予報を用いた顕著現象予測技術の研究は、顕著現象の形成要因や環境条件からその発生可能性を予測する”診断的予測”技術の開発を通じて、気象庁が提供する半日前からの防災気象情報の高度化に資する。

顕著現象の自動探知・直前予測技術の研究開発、数分で起こる顕著現象の様相を気象レーダーにより正確かつ迅速に把握し、観測データに基づく新たな予測手法を構築することは、特に突風や竜巻の予測・観測能力の強化に貢献する。

また、高精度の降水強度推定や降水粒子の種別の分布の把握、時空間分解能の高い観測のためのレーダー観測技術の研究開発は、気象庁で平成31年度から現業利用を予定している二重偏波レーダー、国土交通省交通政策審議会気象分科会の提言(2018年8月)において導入が望まれているフェーズドアレイレーダーの利用技術の基礎となり、台風・顕著現象の理解と監視・予測技術の高度化に貢献する。

研究の目的**(全体)**

台風および集中豪雨・大雪・竜巻等突風等の顕著現象がもたらす気象災害を防止・軽減するため、最先端の観測・解析手法や高精度の数値予報システムを用い、これらの現象の機構解明と高度な監視予測技術の開発を行う。

(副課題1)

台風の発生、急発達、成熟期及び温帯低気圧化へと至る構造変化を包括的に理解し、その予測可能性を評価する。国内外の研究者との連携の元、最先端の台風解析・予報技術を導入・検証する。これにより台風予報精度の改善につながる技術基盤を確立する。

(副課題2)

集中豪雨・大雪・竜巻等、災害をもたらす顕著現象について、事例解析・統計解析による実態把握と機構解明を推進し、それに基づく診断的予測技術の開発を通して顕著現象の監視・予測精度向上に貢献する。

(副課題 3)

竜巻等突風・局地的大雨など甚大な災害に直結する顕著現象の自動探知・予測技術の開発により、国民の安心・安全への貢献を目指す。

(副課題 4)

最先端の気象レーダーの観測技術に関する研究を行い、降水観測の精度向上と新たな物理量の推定手法の開発を行うことにより、台風や顕著現象の機構解明と監視予測技術の改善に資する。

研究の目標**(副課題 1)**

最先端技術による様々な観測結果の解析や数値予報システムによる事例解析を組み合わせる技術を開発し、これを基盤として台風の発生、急発達、成熟期及び温帯低気圧化へと至る構造変化機構を解明する。また数値予報システムによる台風進路・強度及び構造変化等の予測可能性研究を通じて、予報誤差の要因に関する知見を得ることにより、予報精度向上及び数値予報システムの改善に貢献する。

(副課題 2)

集中豪雨や大雪、竜巻等、顕著現象の事例解析と統計解析から、災害をもたらす顕著現象の実態把握・機構解明を進める。さらに、最先端の数値予報システムを活用し、予報現業での顕著現象に対する診断的予測技術向上に資する知見・手法を得る。

(副課題 3)

高速 3 次元観測が可能な研究用フェーズドアレイレーダーを含む気象レーダー観測で得られるビッグデータを、人工知能技術等でリアルタイムに処理し、災害をもたらすおそれがある竜巻等突風・局地的大雨の範囲や強さを自動検出する技術確立する。さらに利用者向けにカスタマイズされた情報を提供するためのシステムを開発する。

(副課題 4)

二重偏波レーダーによる観測技術の研究開発を行い、二重偏波パラメータなどから降水強度や粒径分布など降水に関する微物理量を抽出するための手法を開発する。開発した手法を用いて粒子判別等を行い、顕著現象の機構解明を行う。また、水蒸気や液水量など従来のレーダーでは行われてこなかった新たな気象物理量を推定する手法の開発を行う。さらに、フェーズドアレイレーダーによる観測データの品質管理および高頻度立体解析に関する技術開発を行い、顕著現象の理解と監視・予測技術の活用に関連して機能評価を行う。

中間評価時の到達目標**(全体)****(副課題 1)**

(a) 発生から温帯低気圧化に至る台風構造変化プロセスに関する研究

最先端技術を含む衛星や気象レーダー等による観測や気象予報システム等により得られた大気海洋解析・再解析データに加えて、データ同化システムや数値予報モデルによる数値実験を通じ、台風の発生、急発達、成熟期、上陸及び温帯低気圧化へと至る構造変化プロセス及び統計的特徴を明らかにする。

(b) 診断的台風予測技術開発と予測可能性研究

台風発生、急発達の予測を可能とする技術を開発する。機械学習手法を用いた新しい台風強度予測技術を開発する。観測データ、数値予測システムやアンサンブルシステムによる予測等を用いて、発生から温帯低気圧に至るまでの台風の予測可能性を調査する。特に台風の予測誤差が際立った事例や社会に重大な影響を与えた事例について、予測誤差が生じたメカニズムを解明するとともに予測可能性を調査する。

(c) 新しい台風解析・予測技術の導入による台風研究の推進

気象研究所及び国内外の研究により得られた台風解析・予測技術を一元的に集約し、その精度を検証し、技術改良及び汎用化を図る。最先端技術を含む衛星や気象レーダー等による観測、気象予報システムにより得られた解析・再解析データを集約し、台風解析・予測技術を組み合わせ、効率的に事例

解析を実施することができる技術を開発する。特に社会に影響のある台風については、科学的な情報を社会へ適宜発信する。

(副課題2)**(a) 顕著現象の実態把握と機構解明のための事例解析的研究**

- ・過去に発生した顕著現象に対して、非静力学数値予報モデルでの再現実験や客観解析データ、地上・高層・レーダーやシチズンサイエンスなどの各種観測データを駆使することにより事例解析を行い、これらの現象の実態把握や機構解明に取り組む。
- ・特に顕著な現象が発生した時は、速やかに各種観測データの解析・非静力学数値予報モデルの実行結果からその発生要因等を調査する。

(b) 数値予報を活用した顕著現象の診断的予測技術に関する研究

- ・大雨をもたらした降水系や発生環境場についての統計解析に基づき、「線状降水帯発生条件」の検証と改良を行い、大雨の予測精度向上を目指す。
- ・高解像度モデル（水平解像度 1km 程度）やアンサンブル予報等の数値予報モデルの結果を用い、竜巻等突風や降雪現象に伴う雪氷災害の予測手法の開発を行う。

(副課題3)**(a) 竜巻等突風および局地的大雨のレーダーデータ解析**

竜巻等突風、局地的大雨および台風環境下等の顕著現象についてフェーズドアレイレーダー、可搬型ドップラーレーダー、その他の各種気象レーダーによる観測から得られたデータを解析し、自動探知・予測技術に資する顕著現象の発生・発達メカニズムの解明を行う。

(b) 顕著現象の自動探知・追跡技術の開発

ビッグデータ高速処理技術、3次元図化技術等の観測基盤ツールを整備の上、当該副課題のコア技術となる竜巻渦・降水コア・対流システム等の即時自動解析、危険域早期検出・追跡技術を開発する。さらに深層学習の適用による高速化・高精度化を行う。

(c) 探知・予測に関する気象情報生成技術の開発

様々なニーズを持つ事業者（高速交通等）の位置情報やMA Pデータを連携させ、検出情報に先読み情報（直前予測）を含めた配信情報の自動生成システムを開発する。

(副課題4)**(a) 偏波情報を用いた降水強度高精度推定に関する研究**

二重偏波レーダーの観測データを用い、激しい降雨であっても経験式を用いずに電波の減衰を補正し、雨の粒径分布と降水強度を理論的に高精度に推定する手法の開発とその検証を行う。合わせて観測を最適化する基礎技術についても研究を行う。

(b) 偏波情報を用いた粒子判別に関する研究

二重偏波情報を用いた、雨・雪・融解層・雹・あられ・凍雨・雨氷・竜巻飛散物・晴天エコー・シークラッタの自動判別アルゴリズムの開発を行う。またこれらの技術を用いて顕著現象の機構解明を行う。

(c) 偏波情報を用いた水蒸気、液水、雪水量推定に関する研究

二重偏波情報から液水・雪水量を推定する研究及び水蒸気量を推定する研究を行う。

(d) フェーズドアレイレーダーを用いた観測技術に関する研究

フェーズドアレイレーダーによる観測データの品質管理・3次元解析などの基盤技術の開発を進める。さらに、業務利用の観点から多角的な機能評価を行い、C バンド二重偏波フェーズドアレイレーダーを含めた将来型レーダーの開発に必要な学術的・技術的な研究を行う。

研究成果**(1) これまで得られた成果の概要****(副課題1)****(a) 発生から温帯低気圧化に至る台風構造変化プロセスに関する研究**

- ・台風構造変化プロセスの解明のため、ひまわり 8 号台風機動観測を用いた AMV 算出環境、雲物理量推定手法及び対流圏下層 AMV の算出領域を拡大する手法を開発し、検証を行った。台風域における

暖気核発達プロセスの解明のため、衛星サウンダデータや推定現場観測データを用いた、台風の眼の中における気温・水蒸気鉛直プロファイルの推定手法を開発した。本手法を2018年台風第24号に適用し、航空機ドロップゾンデ観測と比較し、本推定手法による気温・水蒸気鉛直プロファイル推定精度向上を確認した。

- ・中緯度起源の上層擾乱の影響下で比較的に高い緯度で発生した2012年台風第12号の数値シミュレーション及び流跡線解析を実施した結果、発生期の台風は前線形成により部分的に温帯低気圧に似た構造を有していた。また、総観場の安定度の指標であるCoupling Indexは上層の寒冷擾乱と下層の高相当温位による安定度の減少を示しており、低気圧位相空間の分類法は（典型的な台風の深い暖気核とは異なり）浅い暖気核の低気圧であることを示していた。これらの特徴は北大西洋域で盛んに研究されている亜熱帯低気圧という現象に類似している。
- ・台風急発達時の環境場条件の多様性と、発達阻害条件があった場合にどのような条件が阻害の回避に寄与しているか調査した。台風雲パターンのクラスター解析から急発達事例を6通りに分類すると、環境場の特徴はクラスター毎に大きく異なっていた。発達阻害要因である中程度の鉛直シアーまたは乾燥した環境場で急発達が起きた3つのクラスターを詳しく調べた結果、台風サイズに依存し、それぞれ次の特徴が見られた。中程度の鉛直シアー下にあった大型事例では、その構造自体が鉛直シアーに対し力学的に抵抗可能であり、また総観スケールで存在する対流圏下層の収束と湿潤環境が鉛直シアーによる熱力学的な阻害の影響回避に好都合であった。中程度の鉛直シアー下にあった中型事例では、比較的高い海面水温と湿潤な環境場、さらに鉛直シアーが小さくかつ高相当温位の存在する領域に台風が移動する傾向にあることが特徴だった。小型事例では、大気環境場における鉛直シアーが小さいため、台風周辺の乾燥空気が台風内部に影響を及ぼしにくい状況となっていた。
- ・台風急発達事例数の長期変化傾向について、歴代にわたる気象庁ドボラック解析データ及びベストトラックデータを使用して調査した。ベストトラックにみられる2000年代中頃以降の急発達事例数の増加は、実際の気候学的な変化に起因するものではなく、ベストトラックの解析に利用される衛星観測データ数が2000年代に飛躍的に増加したことによる品質の変化によるものと考えられる。
- ・ハリケーン発達・定常事例に関する観測研究において、なぜ発達事例は定常事例より強い上昇流をアップシアー（鉛直シアーベクトルの後方側）左象限(USL)に持つのかについて、航空機搭載レーダーデータを用いて調査した。ハリケーン発達事例のうち半数以上で、高度12kmのUSLに波数1の上昇流ピークが存在していた。発達事例では、定常事例より強い対流圏下層におけるハリケーン中心に向かう流れと、眼の内部領域からダウンシアー側の眼の壁雲へ高相当温位気塊を供給可能にする下層の流れが特徴的だった。これらは眼の壁雲の対流活動の強化に好都合であった。実際にダウンシアー側の眼の壁雲では2-6m/sの上昇流の頻度が定常事例より多く、これらが対流活動の最終段階としてUSLでの上層上昇流につながっていたと考えられる。渦度解析の結果、USLの上昇流はアップシアー側の中上層の渦度増加に寄与していた。従ってUSLでの強い上昇流は、それ自体が発達要因ではないものの、ハリケーンが深い渦に発達する過程で重要な役割を果たしていると考えられる。
- ・2019年台風第9号についてレーダー解析を即時的に実施した結果、台風移動時にトロコイダル運動が見られたこと、レーダーデータによる強度推定結果では中心気圧が900hPaを下回っていたこと、また二重壁雲等の構造的特徴等の知見を得た。
- ・2018年台風第21号について入手可能な観測データ等を用いて解析し、台風上陸前後における最大風速の維持、風分布にみられる構造の収縮、眼の壁雲内側でのメソ渦の形成・発達、暖かい雨が支配的な降水プロセス）等の結果が得られた。
- ・令和元年東日本台風（2019年台風第19号）の北側で降水が集中した非対称化メカニズムを解明するため、水平解像度2kmの気象庁非静力学モデルによる数値シミュレーションを実施した。温帯低気圧化における降水に関する先行研究と整合的な特徴である温暖前線形成や準地衡的な強制上昇による降水が、台風が傾圧場に近づいた時に支配的であった。一方で、台風が傾圧場に近づく前、前線形成が弱い状況にもかかわらず降水の非対称化が生じていた。流跡線及び渦位解析から、湿潤対称不安定を示唆する外向きに傾いた上昇流が台風の北側で強化していたことが明らかとなった。
- ・台風の温帯低気圧化後の再発達に関して、1979年～2018年の気象庁ベストトラックとJRA-55再解析データを用いて統計的な解析を行った。コンボジット解析と複数の指標の統計により、再発達する事例は衰弱する事例よりも高い緯度で起きやすいこと、またそれらが上層の渦位場と関係していることを明らかにした。再発達した事例は、典型的な台風とは異なり、比較的高緯度の海面水温が

低い環境場に多く、また典型的な温帯低気圧とも異なり、下層傾圧場との対応が不明瞭であった。時間スケールを分離することにより、非断熱加熱による上層東側でのリッチ形成が温帯低気圧化後の再発達に重要であることを明らかにした (Yanase et al., 2020)。

- 2016 年 8 月の特異な日本上陸及び高頻度の温帯低気圧化をもたらした台風経路の特徴を明らかにするため、k 平均法及び低気圧位相空間解析を 2001 年から 2016 年の 8 月の台風について行い、また台風周辺の大気環境場の特徴を明らかにするためコンポジット解析及び事例解析も実施した。k 平均法から、2016 年 8 月の台風経路は 2001 年から 2015 年までの 8 月における経路や 2016 年 9 月の経路より北向きの特徴をもつ。CPS 解析結果から、2016 年 8 月の温帯低気圧化は 2001 年から 2015 年 8 月のものと比べて、暖気核から寒気核構造へ短い期間で小さい構造変化をとるという特徴をもつ。2016 年 8 月の総観場は、対流圏上層のジェット気流の蛇行の強化、対流圏中層の強いトラフ、対流圏下層の台風付近での暖かい空気により特徴づけられる。2016 年 8 月の北向きの経路をもつことによる特異な台風の日本上陸、高頻度な温帯低気圧化及び温帯低気圧化における小さい構造変化は、これらの総観場の特徴により説明することができた (Takamura and Wada, 2020)。
- 1982 年 1 月から 2020 年 6 月にかけて、26°C を超える上層海洋貯熱量 (TCHP) の増加傾向及び内部変動及びこれらが 2019 年台風第 15 号及び第 19 号の台風強度に及ぼす影響を調査した。台風下における TCHP は、台風第 19 号による海水温低下の影響が見られたものの、台風第 19 号成熟期の一部期間を除き、気候学的平均値よりも高かった。TCHP は 2 つの台風が強化または維持された 2 つの海域、亜熱帯海域 (15–20°N、140–150°E) および中緯度海域 (30–35°N、130–140°E) 地域において、経年変動変動を伴いつつ大幅に増加した。TCHP の経験的直交関数 (EOF) 解析結果から、主要な 3 つの EOF モードで TCHP 変動全体の約 76.8% を説明する。台風第 19 号発達初期における TCHP の増加は海洋内部変動では説明できず、地球温暖化の寄与が考えられる (Wada and Chan, 2021)。
- 沖縄南方海域を北西進し台湾に上陸した 2015 年台風第 21 号について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実施し、海面フラックスデータセット (J-OFURO3) の日別値と比較した。大気再解析データ (JRA-55) と比較して、J-OFURO3 の海上風速場は数値シミュレーションで再現される台風域内の風速場を良好に表現した。また J-OFURO3 海面水温プロダクトは台風通過時の海面水温低下を良好に表現していた。一方で J-OFURO3 は気温、比湿、潜熱に関して、台風域内で欠損が見られ、これは台風域内の降水域に対応していた (Wada et al. 2020)。

(b) 診断的台風予測技術開発と予測可能性研究

- 気象庁現業メソアンサンブル予報システムを用いて、2018 年台風第 7 号による大雨を対象に既存の手法に対するメソ特異ベクトル法の効果について解析した結果、降水確率予測精度の改善におけるメソ特異ベクトル法の寄与は大きいことが示された。
- メソ特異ベクトル法で使用される特異ベクトル計算に関して、複数領域の特異ベクトルを一度に算出する手法を開発した。2017 年台風第 18 号に伴う降水についてこの手法を適用した結果、その予測可能性は向上した。
- 強雨の確率的予測の精度向上を目的として、全球アンサンブル摂動をメソ特異ベクトル (MSV) 法に適用し、特定擾乱の MSV 算出を試みた。2018 年の台風事例及び 2020 年 7 月期の実験結果から、台風・梅雨前線周辺の強雨域近傍にて南洋上に偏在した MSV 分布が優先的に算出され、これによりアンサンブル予報の降水確率予測精度が向上した。
- 台風等顕著現象の 1 日先以上の確率的予測精度の改善を狙い、メソ特異ベクトル (MSV) の解像度及び評価時間依存性を調査した。その結果、気象庁現業で利用されている MSV の設定において、評価時間を 30 時間程度まで延長できることを確認した。これにより予測後半に適したアンサンブル初期摂動に MSV を利用できることが示唆された。
- 台風等顕著現象に対する複数の気象予測シナリオを作成するために、メソアンサンブル予報 (MEPS) の予測値に対してファジークラスタ解析を行った。得られたクラスタ平均を複数のシナリオとして評価した結果、摂動を与えないコントロールランより一定の予測期間で精度の良いシナリオが得られることを確認した。またクラスタ平均降水予報に対して確率マッチング (Probability Matching) 手法を適用し、平均処理によって平滑化された予想降水量のキャリブレーションを行った結果、強雨予測に効果があることを確認した。
- 2018 年台風第 24 号と台風第 25 号について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、1 週間スケールでの異なる日付の海洋初期値を用いたアンサンブルシミュレーションでは成熟期に台風は過発達を示した。海洋解析及び数値シミュレーションでは再現が困難である程度の規模をもつ冷水渦を海洋初期値に組み込んだ結果、この冷水渦の効果により台風の過発達は抑制

される可能性があることを示した。一方で台風第25号は台風第24号によって強化された冷水渦を組み込んでも過発達傾向を示した。大気初期値アンサンブルシミュレーション結果から、この台風の場合はむしろ台風進路の誤差により、より暖かい海域を移動することで過発達が生じていたことが明らかとなった (Wada, 2021)。

- 2018年台風第12号について、2018年7月25日12UTCから28日12UTCまで6時間毎の大気海洋初期値を用いて、大気モデルと大気波浪海洋結合モデル、それぞれ13のアンサンブルシミュレーションを実施し、台風と寒冷渦の相互作用を調査した。寒冷渦域における地衡風は台風に対する指向流として働いた結果、台風は反時計回りに移動し、一方で寒冷渦は南西方向に移動しつつ、対流圏上層の加湿によりその勢力を弱めた。結合モデルにおいても台風強度過発達傾向であった結果、寒冷渦は解析よりも弱まり、台風進路の再現性に影響を与えた。台風進路の再現性は海洋結合の有無よりもむしろ大気初期値の違いによる影響が大きかった (Wada et al. 2022)。
- 2019年東日本台風 (第19号) の最大強度について、海洋温暖化の影響を調べるため、水平解像度2kmの大気波浪海洋結合モデルにより、10月6日00UTCを初期時刻とし、大気初期値に全球アンサンブルの摂動を与えた26メンバーのアンサンブルシミュレーションを、解析場及び気候場の海洋初期値それぞれについて実施した。アンサンブル平均において、気候場よりも海洋解析場を用いたシミュレーション結果の台風中心気圧が10hPa程度深まった。この結果は海洋表層貯熱量の解析値と気候値の差で説明することができた。
- 台風強度予測ガイダンスモデルに新たな説明変数として台風内部構造に関連するパラメータを追加し、その上でランダムフォレストアルゴリズムを新規導入した。この台風強度予測ガイダンスモデルを気象庁に納品した。
- 台風ビックデータとAI技術を用いた新しい台風急発達予測モデルの開発において、統計的にサンプル数の少ない急発達事例に関する予測手法の検討を理研AIP研究者とともに行った。
- ランダムフォレストに基づいた台風強度予測技術の精度検証を実施し、その結果に基づき、急発達・急衰弱事例の多い2019年の予測に対する改善方法を検討した。
- 米国静止気象衛星搭載の雷センサ (GLM) で観測されたデータを用いて、熱帯低気圧における雷の活動と強度変化の関係性について調査した。強度75kt以上の熱帯低気圧では雷の数と強度に正の相関があること、強度75kt以上の発達事例は内部領域で雷の数が多いこと、24時間後の強度変化量と雷の数は現在強度が90-110ktの事例で正の相関があること、雷の発生数は熱帯低気圧の急発達予測モデルに寄与する可能性があることがわかった。
- 発達事例がアップシアー (鉛直シアーベクトルの後方側) 左象限の対流圏上層に活発な対流を持つ傾向について、赤外衛星データからも見られることがわかった。また、強度が70kt以下の事例では、鉛直シアーベクトルの後方右側における平均輝度温度について、発達事例と定常事例で有意な差があることがわかった。さらに中心から半径30km以内で最大の輝度温度値が最大風速の変化量と負の相関を持つこともわかった。これら3つの特徴を、新しく開発した急発達予測モデルの説明変数として使用した結果、従来のモデルに比べ、急発達の予測精度をブライアスキルスコア (BSS) で約3スコア改善し、特に75kt以上の強度事例においてはBSSで約6スコア改善した。

(c) 新しい台風解析・予測技術の導入による台風研究の推進

- 気象庁で大学・研究機関と情報共有するために運用している顕著台風事例解析ウェブを本課題で整備した解析サーバーから参照できるように環境を整備し、2020年台風第10号の発表資料を掲載した。ひまわり8号台風機動観測モニター (2.5分及び30秒観測)、海洋貯熱量、海面水温モニター、鉛直シアー及び渦位のモニターページを整備した。2020年台風第12号・第14号の概要をまとめた資料も作成し、気象庁内関係者に共有した。
- クロストラック走査マイクロ波放射計 (ATMS) などのマイクロ波サウンダ、ひまわり8号/可視赤外放射計 (AHI) などの赤外イメージャ、フーリエ変換スペクトロメータ (CrIS) などの赤外ハイパースペクトラルサウンダ (HSS) から得られた晴天輝度温度データに基づき、気温・比湿プロファイルを解析サーバー上で解析するソフトウェアのプロトタイプを開発した。
- 2019年台風第15号の発生に対する大気海洋環境場の寄与を調査した。熱帯低気圧発生スコアを用いた統計解析により、台風先駆擾乱は東風波に起因していることが明らかになった。熱帯低気圧発生スコアにおける先駆擾乱のEWスコアは気候平均の約2倍であり、過去38年間で2番目に大きな値であった。この先駆擾乱域は2019年8月25日頃の北太平洋東部 (ENP) まできかのぼることができ、このことから台風発生の10日前に台風先駆擾乱の検出が可能であることが示唆された。台風強度予測ガイダンスからは、台風発生に重要な環境は、海洋環境場と風速シアーであることが示唆さ

れた。特に先駆擾乱の北西側にある上層寒冷渦に起因する対流圏上層の西風が弱まり、鉛直シアが減少すると、先駆擾乱は台風の強さに達した (Fudeyasu et al. 2022)。

- ・2019年に日本に上陸した令和元年房総半島台風(2019年台風第15号)について、水平解像度1kmの非静力学大気モデルを用いて数値シミュレーションを実施し、その構造と強度変化について解析を行った。千葉上陸12時間前に台風の強度は潜在最大強度を超えており、超傾度風構造が中緯度における台風の軸対称の維持に貢献していることがわかった。また、この強度は弱い鉛直シアと高い海面水温、それによる海洋から大気へ供給される潜熱の増加といった好都合な大気海洋環境場により実現した (Miyamoto et al. 2022)。
- ・2020年に日本に接近した台風第10号について、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。台風発達期における台風第10号による海面水温低下が台風第10号の発達を抑制する効果は、初期値における海面水温プロダクトの差による効果よりも大きかった。気象レーダー観測から見られた多重眼構造に関して、水平解像度2kmのモデルによる数値シミュレーション結果では、最内部の壁雲からの外出流に起因する下降流による乾燥域形成がある程度再現された。
- ・2020年の台風活動について台風診断ミーティングで発表するとともに、2021年の台風活動、特に台風第14号と第22号について、台風事例検討会で発表を行う。台風の即時解析のための解析サーバーについて、海面水温、海洋貯熱量、衛星海上風等のプロダクトを追加した。

(副課題2)

(a) 顕著現象の実態把握と機構解明のための事例解析的研究

- ・特に顕著な現象が発生した時、速やかに各種観測データの解析・非静力学数値予報モデルの実行結果からその発生要因等を調査した。本研究期内では、令和元年房総半島台風に伴う暴風・突風、令和元年東日本台風に伴う大雨、令和元年10月25日の関東での大雨、令和2年7月豪雨、令和3年7月・8月に発生した豪雨について対応し、本庁への協力を含め6件の報道発表を行った。
- ・令和2年7月豪雨において、九州で多発した線状降水帯の構造や発生環境場の特徴、降水の特徴等の解析を行った。球磨川流域で生じた線状降水帯は、長さが約280kmで13時間停滞するなど、2009年以降に九州で発生した線状降水帯のうち、規模が最も大きく、持続時間も最長であったこと、この線状降水帯による最大3時間降水量は280mm、総降水量は約650mmで、降水の強さも過去最大級であったことがわかった。また、線状降水帯の発生環境場を調査し、近年の豪雨事例と比較した。豪雨期間中に発生した9個の線状降水帯について、線状降水帯によって1時間100mm以上の短時間の大雨が合計20回発生していた。2020年7月3～4日の熊本県・鹿児島県(2020KK)の環境場は、平成30年7月豪雨以上の中層の湿潤な暖気が見られたが、平成29年7月九州北部豪雨と同様に上層寒気の影響を受けていたため、深い対流の発達に好都合な環境だった。このため、線状降水帯の雷活動が活発で、近年の豪雨と比較して最も雲頂が高かった。また、2020KKと7月6～7日の九州北部の線状降水帯は梅雨前線上に発生したメソ低気圧南側の下層収束域上に位置しており、極めて大きな下層水蒸気フラックスを伴うインフローの影響を受けていた。令和2年7月豪雨のほぼ全ての線状降水帯の環境場にメソ低気圧が存在しており、水平風を強めることで極めて大きな下層水蒸気フラックスをもたらし、短時間の大雨を発生させたと考えられる。これらの成果について2編の学術論文としてまとめ、2020年12月24日に報道発表を行った。
- ・房総半島を中心に甚大な風害をもたらした令和元年房総半島台風は、関東上陸時でも軸対称に近い構造をもち、収縮した台風の眼や壁雲を伴い発達した成熟期の構造を有していた。このような構造を有して東京湾付近を通過する台風は稀で、T0115号以来であったことが地上の風速分布やレーダーの解析から明らかになった。また、内房を中心に観測された突風率が高く極端に大きな最大瞬間風速は、発達した台風のコア構造によるものだけでなく、下層のストリーク構造や地形の影響を受けていたことが、ドップラーレーダーによる観測や高解像度数値シミュレーションの結果から明らかになった。
- ・令和元年東日本台風(台風第19号)に伴う大雨における降水強化メカニズムについて調査した。水平解像度2kmの気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)による数値シミュレーションを行い、地形を除去する感度実験も実施した。その結果、地形の影響を受けて総降水量が極めて大きくなっていた地域があったが、台風の温帯低気圧化に伴う前線の影響で台風進路の西側で降水が強化されていた。これらの降水強化メカニズムとしては、地形性上昇流により形成された下層雲に雨が降ることで雲粒の捕捉による雨の成長が見られたほか、前線面の上昇流に対応する下層～中層の雲にも雨が降り、

雲粒の捕捉で雨が成長していた。このような地形と前線での下層雲に対する Seeder-Feeder メカニズムで降水が強化されたと考えられる。

- 2021 年 7 月 3 日を中心とした静岡県での大雨について、気象庁局地客観解析などのデータをもとに発生環境場の解析を行った。その結果、本事例における大雨の環境場の特徴として、梅雨前線近傍での下層水蒸気流入と上層寒気流入による大気の状態の不安定化、上層トラフによる力学的影響が大きいことがわかった。また、地形の影響を確認するために気象庁非静力学モデルによる数値シミュレーションを行って大雨を再現し、標高を 0m にする感度実験を行った。その結果、総雨量は減ったものの大雨は再現されたことから、大雨の背景場として梅雨前線の存在が重要であり、地形は山岳域での降水を強化する役割を果たしていたことが示唆された。
 - 先島諸島に暴風・突風をもたらした 2015 年台風第 15 号のコア域の風構造について、高密度・高頻度の地上観測とドップラーレーダーのデータを用いて解析を行った。その結果、突風率 2.0 以上で最大瞬間風速が 50m/s に達する顕著な突風が、台風の眼の壁雲内側から延びる微小なフィラメント状のエコー域の通過に伴い発生していたことが明らかになった。その解析結果を学術論文にまとめた。
 - 水平解像度 5km に変換した解析雨量 3 時間積算値を用いて、強雨域の形状の特徴や持続性を考慮することで、線状降水帯を客観的に抽出する手法を令和元年度に開発した。この手法では、典型的な線状降水帯の約 8 割を抽出することができる。この手法により、線状降水帯は南西諸島や九州、近畿や四国の太平洋側で発生しやすい特徴があることが分かった。より長期的な線状降水帯の統計解析を実施するため、年代で水平解像度が異なる解析雨量の時空化変換法を新たに開発し、強雨の出現頻度をより適切に扱うことができることを確認した。さらに令和元年度に開発した手法では、台風の壁雲やアウターバンド等の典型的とは言えない線状降水帯事例を誤抽出してしまう課題があったため、台風の相対位置や中心気圧、降水強度等を考慮した除外条件を新たに設定することで、従来よりも適切な線状降水帯事例を抽出することができるようになった。
 - 2018 年 1 月 22 日の関東地方の大雪事例について、「#関東雪結晶 プロジェクト」で得られたシチズンサイエンスデータ等を用いて降雪結晶特性を調査した。その結果、まず関東南部中心に沿岸前線上で発生した対流性の降雪雲から濃密雲粒付結晶の降雪が見られ、その後に南岸低気圧に伴う降雪に変化した。低気圧に伴う降雪では、一貫して交差角板状や砲弾状の低温型結晶に加え、角柱状や樹枝状の降雪結晶が混ざって降っていた。22 日夜にはこれに加えて針状結晶も見られ、高層気象観測の結果から高度 2~5km の暖気流入に対応するものであると考えられる。
- (b) 数値予報を活用した顕著現象の診断的予測技術に関する研究
- 令和元年度に開発した解析雨量を用いた線状降水帯の客観的な検出手法を改良し、従来は見逃していた強雨域事例の多くをよりの確に「線状降水帯」として検出できるようになった。この線状降水帯検出手法は、気象庁が令和 3 年 6 月 17 日から運用を開始した「顕著な大雨に関する情報」発表の基盤技術として活用されている。
 - 九州の線状降水帯発生時の気象条件の空間分布の特徴を明らかにする目的で 11 年間のメソ解析データのコンポジット解析を行った。降水量と降水域の形状・広さに基準を設け、線状の強雨域発生時と、空間的により小規模な強雨発生時にあたる時刻を抽出し、事例数の多い 6, 7 月について、それぞれのグループの気象条件を比較したところ、線状の強雨域発生時には小規模な強雨発生時に比べ、6 月では 500m 高度の水蒸気量が有意に大きく、7 月には下層の水蒸気フラックスと風速が九州風上海上の広範囲で有意に大きかった。また、線状の強雨域発生時は、可降水量が、下層の水蒸気フラックスよりもやや北側で有意に大きいことがわかった。線状降水帯の発生可能性の指標として提案された、大気環境場における線状降水帯 6 条件の各指標；500m 高度における水平水蒸気フラックス・平衡高度、自由対流高度、500hPa の相対湿度、700hPa の相対湿度、700hPa の空間平均上昇速度、ストームに相対的なヘリシティ (SReH) について、2 つのグループでの空間分布の違いを調べたところ、500m 高度の水平水蒸気フラックスは風上の海上を中心に、700hPa の相対湿度や SReH は九州付近で違いが大きい傾向が見られた。今後、そのほかの指標の違いについても調べる予定である。
 - アンサンブル予報を利用した顕著現象の確率論的予測技術向上を目的として、確率予測を作成するベイズモデル平均法の高度化を行った。ベイズモデル平均法では地点・予報時間ごとに独立して最適化が行われるが、時間相関を導入できるよう定式化を拡張し、時系列予測に対して予測精度が向上することを確認した。その解析結果を学術論文にまとめた。
 - アンサンブル予報を利用した顕著現象の決定論的予測技術向上を目的として、クラスター解析を利

用したメソアンサンブル予報システムによる複数の気象予測シナリオから、決定論予測より実況に近いシナリオをクラスターから選択する技術の開発を行った。本手法は古い初期値の予測結果及び直近の解析値を利用してシナリオ選択を行う新しい手法であり、台風及び梅雨前線といった顕著現象に対して適用した結果、決定論予測より精度の良いシナリオの選択が可能であることを確認した。

- ・メソアンサンブル予報システムを利用した顕著現象の予測可能性向上を目指し、メソアンサンブル初期摂動に総観場の不確実性を反映できる手法の開発を行った。本手法により、夏季冬季ともに降水確率予測精度が改善するとともに、顕著現象の複数気象シナリオの予測精度も改善することが明らかとなった。
- ・水平格子間隔 2km の asuca を用いた成長モード育成法に基づく高解像度アンサンブル予報システムを開発し、線状降水帯事例における予測誤差の研究を行った。その結果、予測初期値に含まれる対流規模の誤差が重力波を介してメソスケール以上の大きなスケールに非線形的に伝播することがわかった。このことは予測初期のわずかな誤差が、予報時間とともにより大きな場の予測可能性を制限することを示唆する。
- ・突風予測のための検証用データとしての利用を目的に、2009 年から 2020 年までの全国のアメダスの 1 分値データを用いて突風の抽出を行った。この統計解析によって、突風は全国的に発生しているが、沿岸部や島嶼部で多く、平均すると沿岸部は内陸より発生頻度が 2 倍以上大きくなっていることが明らかになった。また、令和元年東日本台風に伴う市原市で発生した竜巻の事例について、水平解像度 1km の数値実験を行い高解像度モデル用の突風予測指数を適用したところ、ある程度突風をもたらすスーパーセル型の積乱雲を抽出できることが分かった。
- ・2014 年 2 月 14～15 日に関東甲信地方で発生した大雪について、JMA-NHM 及び局所アンサンブル変換カルマンフィルタを用いた数値実験システム (NHM-LETKF) により水平解像度 5km のアンサンブルシミュレーションを行った。その結果、関東甲信地方で大雪となっていたメンバーでは降雪前の下層気温がそもそも低い傾向があり、南岸低気圧の発達度合い・中心位置に伴う下層風向の違いによって特に内陸で地形の影響により降雪量の多くなる地域に違いが見られた。これらのことから、総観スケールの下層気温場や低気圧に応じた下層風向に着目することで、首都圏の大雪の診断的予測技術の向上が示唆された。また、本事例について水平解像度 2km のアンサンブルシミュレーションを実施した。地上気象観測やシチズンサイエンスデータを用いた地上降水種別観測結果等から、関東甲信地方を中心としたメソスケールの降水特性と環境場の再現性の評価を行った。降雪を過小評価しているメンバーでは、そもそも低気圧に伴う降水が弱く、低気圧に伴って南海上から流入する水蒸気量が少ない傾向があった。また、降水は表現していても降雪開始前の気温場が実況よりも高いメンバーでは降雪を過小評価していた。一方で、気温場が実況並み以下のメンバーでは、水蒸気流入の量や継続時間によって降雪（降水）を過大評価しているものもあった。南岸低気圧による首都圏の大雪の要因として、低気圧の雲構造・降水機構と水蒸気供給量、そして降雪前の大気下層気温場が重要であることが示唆された。
- ・南岸低気圧による首都圏での降雪時の降雪結晶特性とその環境場を気象研究所「#関東雪結晶 プロジェクト」で得られたシチズンサイエンスデータを用いて調査した。2016 年からの 3 冬季 9 事例における降雪結晶観測から、砲弾状や交差角板状を伴う低気圧 A と、ほとんどが樹枝状や雲粒付である低気圧 B の 2 種類に分類できた。低気圧 A は前線を伴う温帯低気圧であり、低気圧 B はほとんどが前線を伴わない低気圧だった。また、低気圧 A では低気圧 B に比べて降雪雲の背が有意に高く、下層から上層にかけて高温・湿潤な環境だった。これは前線を伴う温帯低気圧の Warm Conveyor Belt の構造を反映しているものと考えられ、このような環境場の違いが降雪結晶特性の違いを生んだと考えられる。砲弾状や交差角板状は表層雪崩の要因となるため、実況資料や数値予報モデルの結果を用いて低気圧の構造などに着目することで、首都圏の山岳域における表層雪崩発生危険度を診断できる可能性があることがわかった。

(副課題 3)

(a) 竜巻等突風および局地的大雨のレーダーデータ解析

- ・2010 年以降に発生した突風被害に関連するレーダー観測データの収集と、シミュレーションによる模擬的なレーダーデータを作成するとともに、事例解析を通じて発生・発達メカニズムを明らかにし、竜巻の時間的推移を利用するモデル、さらに地形等に起因する異常パターン検出のための教師データを整備した。
- ・夏季太平洋岸で比較的高頻度で竜巻が発生する災害リスクエリアにおいて、2019 年度に鉄道事故を

発生させた竜巻のシミュレーション結果を用いた自動探知を行い、疑似的な鉄道へのアラート情報実験に成功した。

(b) 顕著現象の自動探知・追跡技術の開発

- ・夏季竜巻の探知について複数の深層学習モデルによる、再現率・適合率の精度向上を確認した。
- ・日本の竜巻モデルを用い、竜巻の様相もレーダーの仕様も異なる米国レーダーデータによる探知実験を行い良好な結果を得た。
- ・局地的大雨の探知・追跡・予測アルゴリズムの開発を完了した。
- ・フェーズドアレイレーダーによる竜巻の3次元自動探知技術の開発を進め、令和元年10月12日に発生した市原竜巻に関して探知実験を実施し、良好な結果を得た。さらに、被害報告を伴わない近隣の積乱雲との比較実験を行ったところ、同技術が、竜巻発生の有無を明瞭に区別して探知するための有効な手段であることが示唆された。

(c) 探知・予測に関する気象情報生成技術の開発

- ・局地的大雨の探知・追跡・予測に対し、自動アラートを出すための情報生成と携帯情報端末等への配信を行うシステムを開発し、初期実験を完了した。
- ・深層学習モデルを用いたアルゴリズムを鉄道用ドップラーレーダーへ2020年11月に世界で初めて実装した。事業者範囲拡大を図るため、精度の数値目標等についてのニーズ検討を行った。

(副課題4)

(a) 偏波情報を用いた降水強度高精度推定に関する研究

- ・雨滴のサイズや温度や波長別の散乱特性の計算を行う偏波レーダーシミュレーターを開発し、その結果を用いて雨滴の粒径分布を二重偏波レーダーで観測した偏波パラメータから直接推定する手法のプロトタイプを世界で初めて開発した。
- ・シミュレーションの結果、C-bandレーダーでは偏波パラメータが粒径分布だけでなく雨滴の温度によっても変化することが判明した。そこで本手法で推定した降水強度の雨滴温度に対する感度について調査した。
- ・粒径分布の高精度な推定に必要な気温の鉛直プロファイルを都市域で観測する手法を開発した (Adachi and Hashiguchi, 2019)。
- ・偏波情報を用いた降水強度高精度推定手法に関連し、短パルス領域と長パルス領域間のギャップを抑制する手法を開発し、偏波パラメータ観測の高精度化を行った。
- ・観測精度の高精度化の後、関東を通過した台風の事例について雨の粒径分布の水平分布を推定し、これから電波の減衰補正と降水強度推定を行った。
- ・融解層の検出や電波減衰の推定を二重周波レーダーから行う手法を開発した (Kobayashi et al. 2021)。

(b) 偏波情報を用いた粒子判別に関する研究

- ・二重偏波レーダーの粒子判別手法のプロトタイプを開発・改良し、一定の評価を行った結果を、国際学会、国内学会で発表した。
- ・二重偏波レーダーの粒子判別結果を用いて、ダウンバーストの発生前兆を示す指標（対象降水粒子の鉛直存在率及び鉛直存在率比）を試作。“雹”と“0℃高度以上の雨滴”の鉛直存在率、鉛直存在率比の面分布値の増減から、ダウンバースト発生前後の降水粒子の時空間分布特性を考察した。結果、“雹”だけでなく、“0℃高度以上の雨滴”の鉛直存在率を用いることで、ダウンバースト発生前後の特徴を捉えられる可能性を示した。
- ・二重偏波レーダーの粒子判別による積乱雲内の水物質の分布構造と、発雷観測との関係について統計的に分析した。その結果、我々の粒子判別手法による霰や雹が支配する空間の体積は発雷頻度と高い相関を示し、先行研究と整合的な結果が得られた。さらに氷粒子の存在と反射強度を組み合わせた体積指標を新たに作成することで、従来提案されてきた雷指標よりも高い相関を示すことを明らかにした (Hayashi et al. 2021, Hayashi et al. 2021)。
- ・2016年7月14日に発生した典型的な熱雷事例に対して、羽田空港の二重偏波レーダーデータから推定した粒子判別結果と、雷三次元標定装置で得られた雷雲内電荷構造の比較を行った。雷雲の負電荷領域に最も多く観測されたのが霰である一方、雷雲上部の正電荷領域に乾いた雪が多く推定されていた。Takahashi [1978] で実施された地上実験によると、霰は負電荷、雷雲上部の雪は正電荷に

帯電することが知られており、今回の電荷構造と偏波パラメータを用いた降水粒子種別と整合する結果となった。即ち、今回の比較結果は偏波パラメータを用いた霰粒子の判別の正当性の一端を示すこととなった。

- ・令和元年東日本台風に伴い発生した市原竜巻について、羽田空港、成田空港の二重偏波レーダーを用いて、竜巻飛散物の検出を行い、フェーズドアレイレーダーによる竜巻の親渦の時空間構造と合わせて、世界で初めて台風に伴う竜巻の飛散物について詳細な解析を行い報告した(Umehara et al. 2021)。

(c) 偏波情報を用いた水蒸気、液水、雪水量推定に関する研究

- ・気象研究所レーダーに加えて、羽田・成田の空港レーダーの位相データを用いて、数か月の長期間にわたる屈折率の時間変化を求めた。得られたレーダーによる屈折率の時間変化とスカイツリーで観測された気象データから算出した屈折率の時間変化を比べ、それらの対応が良いことを示した。
- ・レーダー位相から屈折率（水蒸気量）を求めるための、メディアンフィルタを用いた手法を開発・改良した。
- ・霰粒子のマイクロ CT 画像を利用して充填率・液水率をパラメータとした霰粒子モデルのデータセットを作成し、DDA 法を用いたマイクロ波散乱特性の理論計算により霰の C バンド偏波特性データベースを作成した。

(d) フェーズドアレイレーダーを用いた観測技術に関する研究

- ・当該レーダーを用いた観測技術に関する研究として、降水エコー・グランドクラッタ等を用いた品質調査および同レーダーに固有の問題の抽出を行った。
- ・これらの調査・問題抽出で得られた結果に基づいて、鉛直に幅広いビームを放射する当該レーダーに特有の低品質領域の除去や、隣接仰角データの参照による補正などの手法を開発した。
- ・さらに、上記を通して得られた高品質データについて、高頻度に立体解析を行うための技術開発を進め、台風中心部の動径・接線風の高度プロファイルや微細なストリーク構造の解析、また積乱雲の急発達過程や竜巻等突風の発生過程に係る解析を実施した。
- ・令和元年東日本台風に伴って発生した千葉県市原市における竜巻について、フェーズドアレイレーダーのデータ解析を行った。その結果、積乱雲内に存在していたメソサイクロンと、その後方の下降気流に伴って新たに地上付近で発生した径の小さな渦が上下に結合し、強化され、被害域に強い竜巻渦をもたらす原因となったことが明らかになった。この知見をまとめた論文(Adachi and Mashiko, 2020) が Geophysical Research Letters 誌のハイライト論文となり、報道発表・お知らせを実施した。
- ・さらに、二重偏波機能を有する空港気象ドップラーレーダーとフェーズドアレイレーダーによるデータの統合解析を実施し、市原竜巻の渦およびデブリの開始時刻およびその物理過程を明らかにし、この知見を学術論文に取りまとめて投稿した。

(2) 当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

特になし

(3) 成果の他の研究への波及状況

(副課題 1)

- ・ひまわり 8 号台風機動観測(2.5 分時間分解能)を用いた AMV 算出環境および雲物理量推定手法は科学研究費補助金基盤研究 A 「新世代気象衛星の台風高頻度観測による高精度風プロダクト開発と台風の変動過程の解明」(研究代表者 堀之内准教授、北海道大学) 及び富山大安永教授との共同研究「ひまわり 8 号大気追跡風を用いた台風強化プロセスに関する研究」において、構造変化プロセス及び台風内部の変動過程に関する解析研究に利用されている。ひまわり 8 号領域観測(30 秒時間分解能)を 2019 年以降、研究対象となり得る台風について、気象庁及び気象衛星センターの協力の元で実施した。
- ・新しいアルゴリズムを導入した台風強度予測ガイダンスモデルは、気象庁において試験運用するための環境構築が行われているとこととであり、将来現業化となる予定である。
- ・2019 年度の甚大な台風災害を受け、気象研究所研究部横断型研究課題として、緊急研究課題「災害をもたらした令和元年度台風の実態解明とそれに伴う暴風、豪雨、高波等の発生に関する研究」を

実施した。また科学研究費補助金特別研究促進費「令和元年台風 15 号による停電の長期化に伴う影響と風水害に関する総合調査」及び「令和元年台風 19 号及び低気圧による広域災害に関する総合研究」に参加した。機動的に研究を実施する上で、本課題で開発された技術、データが活用された。

(副課題 2)

- ・線状降水帯の客観的な検出手法やその解析結果は、2021 年 6 月 17 日から現業運用された「顕著な大雨に関する情報」に活用された。また、線状降水帯の解析結果は、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) 第 2 期「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」における線状降水帯の発生予測技術の開発に活用されている。
- ・令和元年房総半島台風(2019 年台風第 15 号)や近畿地方に暴風をもたらした 2018 年台風第 21 号の高解像度シミュレーション結果と解析結果は、東京工芸大学風工学研究拠点の共同利用・共同研究「日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究」において風工学分野の研究グループに提供され、被害分布推定等への利用されている。

(副課題 3)

本副課題は内閣府の官民研究開発投資拡大プログラム「AI を用いた竜巻等突風・局地的大雨の自動予測・情報提供システムの開発(2018-2022 年度)」と有機的に強い繋がりを持ちながら進めている。本副課題で開発された深層学習モデルは世界初の冬季の山形県庄内地域を対象とした鉄道のための運転規制への実用化につながり、その成果を用いて、JR 東日本との共同研究「高精度センシング技術を用いた列車運行判断のための災害気象の監視・予測手法開発(2020-2022 年度)」における鉄道のための突風探知システムの検証改良・適用地域拡大の研究に波及している。

さらに、当該課題で開発中のフェーズドアレイレーダーを用いた竜巻の 3 次元自動探知技術については、科学研究費補助金・若手研究(B) 17K13007「フェーズドアレイレーダーを用いた台風環境下における竜巻発生メカニズムの解明」(2017-2021 年度)及び同・基盤研究(C) 21K03666「フェーズドアレイ気象レーダーを用いた竜巻の機構解明と三次元検出技術の開発」(2021-2024 年度)で活用されている。

(副課題 4)

- ・(a)課題で開発中の手法は科学研究費補助金基盤研究(A) 17H00852「水蒸気稠密観測システムの構築により首都圏シビアストームの機構解明」(2017-2019 年度)及び同・基盤研究(C) 20K04092「二重偏波レーダーによる豪雨形成過程の観測手法の開発ー大粒の雨はどこで生成するかー」(2020-2022 年度)で利用している。
- ・(b)課題で開発中のアルゴリズムは科学研究費補助金・研究スタート支援 JP19K23466「二重偏波レーダーを用いた新たな降水粒子判別手法の開発と突風・雷の前兆把握への適用」(2019-2021 年度)で利用している他、気象研究所令和元年度緊急研究「緊急研究課題:災害をもたらした令和元年度台風の実態解明とそれに伴う暴風、豪雨、高波等の発生に関する研究」、交通運輸技術開発推進制度「関東圏の航空機の効率的な運航のための極端気象予測の高度化」(令和 2 年度～4 年度)のデータ解析において活用された。
- ・さらに、本課題で得られた雷と降水粒子種別との研究成果に着想を得て、防災科学技術研究所との共同研究「雷放電経路 3 次元観測システムと C-Band 二重偏波気象レーダーを用いた帯電した降水粒子の分布の実態把握及び発雷危険度の推定手法に関する共同研究」を締結するなど、幅広く、他の研究課題に波及している。
- ・(a)～(c)課題について気象庁大気海洋部が取り組んでいる次の技術開発に対して、得られた知見を提供することで、その推進に寄与した。
 - (i) 二重偏波パラメータ等の新たなレーダーデータの利活用に向けた技術開発(高精度降水強度推定、降水粒子判別、品質管理など)
 - (ii) 各種ナウキャスト・数値予報の改善に寄与する技術開発(発雷指標の開発、水蒸気の時間変動の推定、竜巻等顕著現象の詳細な解析手法など)
- ・(d) 該課題で開発中のデータ品質管理技術について、科学研究費補助金・若手研究(B) 17K13007「フェーズドアレイレーダーを用いた台風環境下における竜巻発生メカニズムの解明」(2017-2021 年度)及び同・基盤研究(C) 21K03666「フェーズドアレイ気象レーダーを用いた竜巻の機構解明と三次元検出技術の開発」(2021-2024 年度)で利用しているほか、気象研究所令和元年度緊急研究「緊急研

研究課題:災害をもたらした令和元年度台風の実態解明とそれに伴う暴風、豪雨、高波等の発生に関する研究」のデータ解析において活用した。

(4) 事前評価の結果の研究への反映状況

- スピード感を持って、成果を社会に還元することに関しては、以下の通り取り組んだ。
 - ・気象研究所の令和元年度緊急研究「災害をもたらした令和元年度台風の実態解明とそれに伴う暴風、豪雨、高波等の発生に関する研究」や科学研究費補助金特別研究促進費研究課題において、本課題の経験をもとに顕著な台風に関わる研究を実施、ホームページやメディアを通じた成果の迅速な発信に貢献した。
 - ・令和2年7月豪雨において、九州で多発した線状降水帯の構造や発生環境場の特徴、降水の特徴等について、解析結果を速やかにとりまとめ、同年7月と8月の気象庁報道発表資料に反映されている。
 - ・令和元年東日本台風に伴う市原竜巻について、二重偏波レーダーにより台風環境下における竜巻飛散物の詳細を世界で初めて明らかにし、速やかに「お知らせ」にて成果を公表しその後、論文にまとめ投稿した。
- 顕著現象発生時の即時分析ができる体制の構築について
 - ・日本に影響のある台風発現時には台風会報を実施し、概況を共有する体制を構築した。メーリングリストの活用に加え、令和2年度以降はウェブ会議システムを積極的に活用し、比較的少人数での打ち合わせを多数実施している。
 - ・線状降水帯の速報解析に向け、線状降水帯頻発地域における気象庁現業用レーダーの二重偏波化更新に合わせて、これらの二重偏波データを気象研にてオンラインで集信・保存するシステムを構築した。今後の解析に活用する予定である。
- アンサンブル手法の活用について
 - ・全球大気アンサンブルデータを活用した領域非静力学大気モデル等を用いたアンサンブル実験、海洋初期値に関しては異なる日付、データプロダクトを用いたアンサンブル実験に新たに取り組み、新たな切り口により台風構造変化プロセス・台風内部変動過程・予測可能性に関する研究を実施している。
 - ・メソアンサンブル予報システムによる複数の気象予測シナリオから、決定論予測より実況に近いシナリオをクラスターから選択する技術の開発や、関東甲信地方で発生した大雪事例のアンサンブルシミュレーションに基づく降雪強化要因の分析を行った。
- 事前評価で期待された最先端の二重偏波レーダーなどを用いた台風の構造解析やメカニズム解明については気象研究所令和元年度緊急研究「緊急研究課題:災害をもたらした令和元年度台風の実態解明とそれに伴う暴風、豪雨、高波等の発生に関する研究」の一環として解析を行った。
- フェーズドアレイレーダーについては、事前評価において指摘のあった、課題設定とスケジューリング管理およびスピード感をもった成果の社会還元について留意しながら、研究を効率的に推進している。このことを通して、令和元年東日本台風に伴う市原竜巻の発生から僅か1年未滿で、Geophysical Research Letters 誌においてメカニズム解明に係る論文を発表し、気象研究所の報道発表を実施したほか、当該論文の Editor's Highlight 受賞について「お知らせ」を公表するに至った。これらは、事前評価の指摘事項を適切に反映することによって得られた成果である。

5. 今後の研究の進め方

(副課題1)

- ・構造変化プロセス及び台風内部の変動過程に関する解析研究及び予測可能性研究において、急発達・急衰弱等の台風の急激な変化、より高解像度な台風域の降水、地表風分布の解析に問題意識をもっており、こうした課題を現在進行中の課題とともに推進していく。
- ・ガイダンス及び機械学習を用いた台風予報技術の開発に関しては、現在の取り組みを今後も継続する。
- ・気象庁・気象衛星センター等関係官との意見交換を通じて、必要に応じてプロダクトの開発・解析を実施し、解析サーバーに導入する。解析サーバー内のプロダクトに関しては、日本に影響を及ぼす可能性のある台風の即時解析に活用する。
- ・令和元年度の緊急研究実施により多くの成果が得られた反面、継続して実施していた研究のうち中断しなければならない部分があった。いかにして研究の連続性を維持するかは、良い研究成果を得

る上で考慮すべき課題である。個々の研究者の専門分野は限定的である一方、外部からは異なる時空間スケールを俯瞰する形での解説を求められることがある。台風に関する総合的な知見をもつ人材を育成していくことが必要である。

(副課題2)

- 2020年度までに開発した客観的な線状降水帯検出手法は、台風の壁雲やアウターバンド、地形性降水等の典型的な線状降水帯とは言えない事例も検出してしまいう課題を含む。このような誤検出事例をできる限り除外する客観的手法の開発に現在取り組んでいる。また線状降水帯検出に用いる解析雨量は年代によりその特性が変化するため、長期統計に適用できる有効な利用方法の開発にも取り組んでいる。これらの手法を確立した上で、過去30年の線状降水帯の発生環境場の統計解析やアンサンブル実験の結果を利用して「線状降水帯発生条件」の改良を行い、大雨の予測精度向上を目指していく。
- アンサンブル予報を利用した決定論予測より良いシナリオを選択する技術について、これまで少数事例でしか試しておらず、手法そのものも洗練する余地がある。今後は多数の顕著現象事例で試していくとともに本手法の改善点を見出し、より精度の高い顕著現象の予測に向けた開発を進める予定である。
- これまでに作成した突風データベースを利用し、特に顕著な突風事例を中心に米国で用いられ始めている高解像度モデル用の突風予測手法の適用を試み、新たな竜巻等突風予測手法の開発を進める。
- 首都圏の降雪現象の実態解明のために過去の顕著な大雪事例の事例解析を行っているが、その発生環境場の特異性については事例が少ないため明らかになっていない。そのため、顕著ではない降雪事例についても発生環境場や降雪結晶特性についての事例解析を進めるとともに、顕著事例のアンサンブルシミュレーション結果を用いて大雪の発生環境場の特徴を詳細に解析し、雪氷災害の診断的予測手法の開発を進める。
- 甚大な被害をもたらす顕著現象が多発したため、実態解明のための即時的な解析を多事例で行いその成果を気象庁報道発表等を通してアピールすることができたが、多くの労力が割かれることになった（令和元年房総半島台風に伴う暴風・突風、令和元年東日本台風に伴う大雨、令和元年10月25日の関東での大雨、令和2年7月豪雨、令和3年7月に発生した豪雨）。本研究課題では今後数値予報を活用した顕著現象の予測技術に関する研究も力を入れて行う計画としており、これに十分なエフォートをとれるか危惧され、今後気象庁内や大学、外部研究機関との連携をより一層図っていく必要がある。

(副課題3)

(a) 竜巻等突風および局地的大雨のレーダーデータ解析

- 国内外の各種気象レーダー・竜巻シミュレーション結果を利用したデータベースを構築し、データ標準化・ビッグデータ化を図るとともにメカニズムの解明を行い、データベースの継続的な利活用について考察を行う。

(b) 顕著現象の自動探知・追跡技術の開発

- 夏季の竜巻探知を中心に、深層学習を利用した(a)様々な季節・地域の竜巻、(b)多様なレーダーに対応可能な汎用型モデルを開発する。
- 開発した深層学習モデルについて最終成果を取りまとめ、深層学習パイプラインを用いた効率的な運用の概念を提示する。
- 竜巻等突風を含めた様々な顕著現象のナウキャストの高度化の手段としての深層学習の応用性を考察する。

(c) 探知・予測に関する気象情報生成技術の開発

- 令和2年に世界初の実用化を達成し、11月から一部の鉄道路線で運用を始めた深層学習による突風探知について検証手法の開発を行い、高い探知精度と輸送安定性を両立させるための改善を行う。
- 多様なレーダーに対応する汎用型深層学習技術に世界初の運用で得られた情報を活用し、実装範囲を拡大するための本格的な準リアルタイム実験を様々なエリアで行う。
- 準リアルタイム実験を行い、特に様々な地域における鉄道への実装のための課題やアクションプランを取りまとめる。
- 有識者からなるシンポジウムを開催し、鉄道のみならず様々な事業者への普及に関する官民連携の

進め方・中長期的なロードマップについて考察を行う。

- ・ 深層学習は人工知能の急速な発展を支える技術として多くの分野への実用化が進む中、気象業務への応用の検討を積極的に進めていくべきと思われる。そのためには今後も産学官連携を積極的に進めることと並行して、データサイエンスの知見をもつ人材の確保・育成をしていくことが必要である。

(副課題 4)

(a) 偏波情報を用いた降水強度高精度推定に関する研究

- ・ 地上観測などと比較し、降水強度や雨の粒径分布パラメータの推定精度の検証を進めていく。ただし新型コロナの動向によっては地上観測データの取得が限定的となる可能性もある。

(b) 偏波情報を用いた粒子判別に関する研究

- ・ 地上観測データを用いて、現行の粒子判別手法を詳細に評価し、改良を継続する。またレーダーが実際に観測している上空についてもゾンデ等による直接観測と比較する必要がある。
- ・ 二重偏波レーダーによる粒子判別手法を利用したダウンバースト発生指標について、引き続きダウンバースト事例の適用を増やし解析行うとともに改良を進める。
- ・ 二重偏波レーダーによる粒子判別手法を利用した雷指標について、引き続き雷事例の適用を増やし解析行うとともに改良を進める。
- ・ 二重偏波レーダーによる粒子判別手法と雷放電三次元標定結果で得られた電荷分布情報の比較事例を増やし、二重偏波情報による粒子判別手法の改善を進める。
- ・ 竜巻飛散物の検出手法をより高度化し、粒子判別手法に導入する。

(c) 偏波情報を用いた水蒸気、液水、雪水量推定に関する研究

- ・ レーダー位相情報から、大気下層の気温や水蒸気量の変動が得られることが確認できたことから、今後は夏季の積雲の発生や境界層の研究への利用を進める。
- ・ 理論計算により構築した霰のCバンド偏波特性データベースを粒子判別アルゴリズムなどに利用する。

(d) フェーズドアレイレーダーを用いた観測技術に関する研究

- ・ フェーズドアレイレーダーによる観測データの3次元解析について、引き続き基盤技術の開発・高度化を進めるとともに、顕著な事例における現象解析を実施する。
- ・ 業務利用の観点から開発技術を多角的に評価することを通して、Cバンド二重偏波フェーズドアレイレーダーを含めた将来型気象レーダーの開発に必要な学術的・技術的な知見の獲得を目指す。

自己点検

(1) 到達目標に対する進捗度

各副課題とも順調に進捗している。

(2) 到達目標の設定の妥当性

(副課題 1)

台風の発生、急発達、成熟期、上陸及び温帯低気圧化へと至る構造変化プロセス及び統計的特徴の解明に向け、研究環境・技術の開発を実施し、それが本課題の基盤となりつつあることを考慮すると、中間時の目標として妥当であったと判断する。

(副課題 2)

研究が概ね計画通り進捗していること、研究成果が本庁業務に貢献していること、気象庁として今後線状降水帯への取り組みを強化することなどから、妥当であると判断される。

(副課題 3)

最新型フェーズドアレイレーダーの利用法を含め、深層学習を用いた先進的な検出技術の開発とその応用は時宜にかなったもので妥当と考える。

(副課題 4)

降水強度高精度推定や粒子判別手法の開発など研究が概ね計画通り進捗し、中間目標に到達していることから、研究計画開始時に設定した到達目標は妥当と考える。

(3) 研究の効率性（実施体制、研究手法等）について**(副課題 1)**

研究遂行時、特に論文執筆時において複数の研究実施者が研究課題に関わることにより、それぞれがもつ技術及び専門性を副課題内で発展的に活用することができるようになった。またウェブ会議を活用した議論の場を増やすことにより、効率的に研究活動が実施できるようになっただけでなく、気象庁関係官との意見交換も容易にできるようになり、本課題の研究に適宜反映できるようになった。

(副課題 2)

研究室内だけでなく本庁や外部研究機関との打ち合わせをオンライン会議を利用して行い、頻繁に意見交換を行うようにした。

(副課題 3)

産学官連携体を構築し、事業者とのニーズ・評価・実装に向けた議論を行いつつ、大学関係者との学術的連携により研究を推進している。

(副課題 4)

当課題のレーダー観測では、詳細な観測設定の調整・変更を要する。この作業は電波の質の変化を伴うため、電波法の規定により操作免許（資格）が必要となる。このため当課題では操作範囲が最大の資格（第1級陸上無線技術士）を持つ研究者を2名配置し、効率的な観測体制を採っている。また、気象庁の一般気象レーダーの二重偏波化更新に合わせ、当該データの収録・解析サーバーを整備し、オンラインにてデータを集信・所内公開することで、研究の効率性を向上させている。

(4) 成果の施策への活用・学術的意義

- ・台風の発生、急発達、成熟期、上陸及び温帯低気圧化を俯瞰的に取り上げた研究課題は他に類をみない取り組みであり、気象庁における台風解析及び予報作業を改善する上で基盤となり得る知見を与える。また台風内部構造変化と台風を取り巻く大気海洋環境場は異なる時空間スケール間に見られる相互作用の解釈が異なることがあるため、その違いを系統的に整理する試みは学術的に意義がある。
 - ・線状降水帯の客観的な検出手法やその解析結果は、本庁の線状降水帯予測精度向上タスクフォースのプロジェクト「B-3 線状降水帯解析・検出」と「C-1 線状降水帯となる可能性のある降水域を検知し、気象情報で注意喚起」で利用され、2021年6月17日から現業運用された「顕著な大雨に関する情報」に活用された。
 - ・線状降水帯の解析結果は、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」テーマV（線状降水帯早期発生及び発達予測情報の高度化と利活用に関する研究）における線状降水帯の発生予測技術の開発に引き続き活用された。
- その他、台風のコア域における突風の実態についてははじめて明らかにし、学術論文として出版しており、学術的意義がある。

(副課題 3)

開発した突風探知のための深層学習モデルが、世界初の冬季の山形県庄内地域を対象とした鉄道のための運転規制への実用化につながった。また探知技術の開発の一環で突風をもたらす竜巻について、3次元的な構造とその時間発展等の学術的知見が得られた。さらに開発した深層学習モデルを用いることで、竜巻の発生頻度や地域性、季節、環境場、メカニズム等、日本の竜巻の多様性についての知見につながることが期待される。

(副課題 4)**(a) - (c) 課題**

本課題で開発する手法は、交通政策審議会気象分科会「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」（平成30年8月20日）において観測・予測精度向上のための技術開発として段階的な導入を進めることを提言された、「降水粒子の判別や降水強度の観測精度の向上が可能となる二重偏波レーダー」に対応したものである。二重偏波レーダーの導入だけで粒子判別や精度向上が可能となるわけではなくデータを利用するための技術が必要であり(a),(b)はその開発を行なっている。また(a)の粒径分

布は雨滴の成長過程など雲物理学とも密接に関係し、(b)の降水粒子の種別判別は(c)の雪水量と合わせて氷粒子を対象としている。一般に氷粒子は雨滴に比べて形状が複雑なため判別や物理量の抽出は難しく、これらは世界的にも最先端の研究であるだけでなく利用範囲も大きいことから学術的な意義は大きい。また、霰や雹が雷と密接に関係することからレーダーから雷が予測できる可能性も本課題で示せた(Hayashi et. al 2021, Hayashi et. al 2021)など、学術的だけでなく社会的にも重要な成果が得られつつある。

(d) フェーズドアレイレーダーを用いた観測技術に関する研究

本研究で開発するフェーズドアレイレーダーは、交通政策審議会気象分科会提言(平成27年7月29日)『『新たなステージ』に対応した防災気象情報と観測・予測技術のあり方』および同(平成30年8月20日)『2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方』において提言のあった、先端的気象レーダーを用いた研究開発に対応したものである。30秒ごとの3次元観測を可能とする当該レーダーを用いた観測研究は、これまで未解明であった激しい風雨をもたらす顕著現象の物理過程を詳細に明らかにするものであり、学術的に極めて意義深い。

(5) 総合評価

到達目標に対する進捗度は順調であり、当初計画で予定していた以上の成果も得られている。また、事前評価に留意した研究が実施されている。顕著現象に関わる課題解決の必要性は高く、研究の一層の推進を図る必要がある。

研究成果リスト

(1) 査読論文 : 42 件

1. Hirano, S., K. Ito, H. Yamada, S. Tsujino, K. Tsuboki, and C.-C. Wu, 2022: Deep Eye Clouds in Tropical Cyclone Trami (2018) during T-PARCI Dropsonde Observations. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **79**, 683-703.
2. Wada, A., W. Yanase, and K. Okamoto, 2022: Interactions between a tropical cyclone and upper-tropospheric cold-core lows simulated by an atmosphere-wave-ocean coupled model: A case study of Typhoon Jongdari (2018). *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **100**, 387-414.
3. Tochimoto E., S. Yokota, H. Niino and W. Yanase, 2022: Ensemble experiments for a maritime meso- β -scale vortex that spawned tornado-like vortices causing shipwrecks. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **100**, 141-165.
4. Kuo, H.-C., S. Tsujino, T.-Y. Hsu, M. S. Peng, and S.-H. Su, 2022: Scaling law for boundary layer inner eyewall pumping in concentric eyewalls. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, **127**, e2021JD035518.
5. Hirockawa, Y., and T. Kato, 2022: A new application method of radar/raingauge analyzed precipitation amounts for long-term statistical analyses of localized heavy rainfall areas. *SOLA*, **18**, 13-18. (in press)
6. Miyamoto, Y., H. Fudeyasu, and A. Wada, 2022: Intensity and Structural Changes of numerically simulated Typhoon Faxai (1915) before landfall. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **100**, 181-196.
7. Wada, A., 2021: Roles of oceanic mesoscale eddy in rapid weakening of Typhoons Trami and Kong-Rey in 2018 simulated with a 2-km-mesh atmosphere-wave-ocean coupled model. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **99**, 1453-1482.
8. Umehara, A., T. Adachi, W. Mashiko, and H. Yamauchi, 2021: Analysis of the Tornadic Debris Signatures of the Ichihara Tornado in a Typhoon Environment Using Two Operational C-band Dual-Polarization Weather Radars. *SOLA*, **17**, 196-201.
9. Fujiwara, H., H. Okochi, M. Kamogawa, T. Suzuki, S. Hayashi, N. Sato, Y. Orihara, J. Matsumoto, J. Hamada, K. Murata, E. Yoshikawa, and T. Kudo, 2021: Difference between lightning activities in thunderstorm cells with and without hailfall in western Tokyo. *Journal of Atmospheric Electricity*, **40**, 10-31.
10. Ono, K., 2021: Bayesian Model Averaging with Temporal Correlation for Time Series Forecasts. *Weather and Forecasting*, **36**, 1681-1692.

11. Sato, Y., S. Hayashi, and A. Hashimoto, 2021: Difference in the lightning frequency between the July 2018 heavy rainfall event over central Japan and the 2017 northern Kyushu heavy rainfall event in Japan. *Atmospheric Science Letters*, **23**, e1067.
12. Mashiko, W., and U. Shimada, 2021: Observed near-surface wind structure in the inner core of Typhoon Goni (2015). *Monthly Weather Review*, **149**, 1785–1800.
13. Kobayashi, T., M. Nomura, A. Adachi, S. Sugimoto, N. Takahashi, and H. Hirakuchi, 2021: Retrieval of Attenuation Profiles from the GPM Dual-frequency Radar Observations. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **99**, 603–620.
14. Wada, A., and J. C. L. Chan, 2021: Increasing TCHP in the western North Pacific and its influence on the intensity of FAXAI and HAGIBIS in 2019. *SOLA*, **17A**, 29–32.
15. Ono, K., M. Kunii, and Y. Honda, 2021: The regional model - based Mesoscale Ensemble Prediction System, MEPS, at the Japan Meteorological Agency. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **147**, 465–484.
16. Araki, K., T. Kato, Y. Hirockawa, and W. Mashiko, 2021: Characteristics of Atmospheric Environments of Quasi-Stationary Convective Bands in Kyushu, Japan during the July 2020 Heavy Rainfall Event. *SOLA*, **17**, 8–15.
17. Hayashi, S., A. Umehara, N. Nagumo, and T. Ushio, 2021: The relationship between lightning flash rate and ice-related volume derived from dual-polarization radar. *Atmospheric Research*, **248**, 105166.
18. Hirockawa Y., T. Kato, K. Araki, and W. Mashiko, 2020: Characteristics of an Extreme Rainfall Event in Kyushu District, Southwestern Japan in Early July 2020. *SOLA*, **16**, 265–270.
19. Yanase, W., U. Shimada and N. Takamura, 2020: Large-scale conditions for reintensification after the extratropical transition of tropical cyclones in the western North Pacific Ocean. *Journal of Climate*, **33**, 10039–10053.
20. Bandholnopparat, K., M. Sato, T. Adachi, T. Ushio, and Y. Takahashi, 2020: Estimation of the IC to CG Ratio Using JEM-GLIMS and Ground-based Lightning Network Data. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, **125**, e2019JD032195.
21. Adachi, T., and W. Mashiko, 2020: High Temporal - Spatial Resolution Observation of Tornadogenesis in a Shallow Supercell Associated With Typhoon Hagibis (2019) Using Phased Array Weather Radar. *Geophysical Research Letters*, **47**, e2020GL089635.
22. Kawaguchi, M., T. Tamura, and W. Mashiko, 2020: A numerical investigation of building damage during the 6 May 2012 Tsukuba tornado using hybrid meteorological model/engineering LES method. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, **204**, 104254.
23. Hirockawa, Y., T. Kato, H. Tsuguti, and N. Seino, 2020: Identification and classification of heavy rainfall areas and their characteristic features in Japan. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **98**, 835–857.
24. Takamura, N., and A. Wada, 2020: Unusual Characteristics of Extratropical Transition of Typhoons in August 2016. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **98**, 691–706.
25. Fukuda K., K. Yasunaga, R. Oyama, A. Wada, A. Hamada, and H. Fudeyasu, 2020: The diurnal cycle of clouds in tropical cyclones over the western North Pacific Basin. *SOLA*, **16**, 109–114.
26. Wada, A, H. Tomita, and S. Kako, 2020: Comparison of the third-generation Japanese ocean flux data set J-OFURO3 with numerical simulations of Typhoon Djuan (2015) traveling south of Okinawa. *Journal of Oceanography*, **76**, 419–437.
27. Horinouchi, T., U. Shimada, and A. Wada, 2020: Convective Bursts With Gravity Waves in Tropical Cyclones: Case Study With the Himawari - 8 Satellite and Idealized Numerical Study. *Geophysical Research Letters*, **47**.

28. Yamada, T., T.O. Sato, T. Adachi, H. Winkler, K. Kuribayashi, R. Larsson, N. Yoshida, Y. Takahashi, M. Sato, A.B. Chen, R.R. Hsu, Y. Nakano, T. Fujinawa, S. Nara, Y. Uchiyama, and Y. Kasai, 2020: H02 generation above sprite-producing thunderstorms derived from low-noise SMILES observation spectra. *Geophysical Research Letters*, **47**, e60090.
29. Shimada, U., M. Yamaguchi, and S. Nishimura, 2020: Is the Number of Tropical Cyclone Rapid Intensification Events in the Western North Pacific Increasing?. *SOLA*, **16**, 1-5.
30. Ono, K. 2020: Extension of the Lanczos Algorithm for Simultaneous Computation of Multiple Targeted Singular Vector Sets. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **146**, 454-467.
31. Courtney, J. B., S. Langlade, S. Barlow, T. Birchard, J. A. Knaff, S.D. Kotal, T. Kriat, W. Lee, R. Pasch, C. R. Sampson, U. Shimada, and A. Singh, 2019: Operational perspectives on tropical cyclone intensity change Part 2: Forecasts by operational agencies. *Tropical Cyclone Research and Review*, **8**, 226-239.
32. Kusunoki K., K. Arai, H. Y. Inoue, and C. Fujiwara, 2019: Doppler radar observations of a wintertime anticyclonic misocyclone associated with surface wind gust on the coast of the Sea of Japan.. *SOLA*, **15**, 234-237.
33. Miglietta, M. K. Arai, K. Kusunoki, H. Y. Inoue, T. Adachi, and H. Niino, 2019: Observational analysis of two waterspouts in northwestern Italy using an OPERA Doppler radar. *Atmospheric Research*, **234**, 104692.
34. Adachi, A., and H. Hashiguchi, 2019: Application of parametric speakers to radio acoustic sounding system. *Atmospheric Measurement Techniques*, **12**, 5699-5715.
35. Inoue, H. Y., K. Kusunoki, T. Adachi, C. Fujiwara, N. Ishitsu, and K. Arai, 2019: Single- and Dual-Doppler Radar Analysis of Misovortices within Snowband in Japan Sea Coastal Region on 17 January 2017. *SOLA*, **15**, 228-233.
36. Courtney, J. B., S. Langlade, C. R. Sampson, J. A. Knaff, T. Birchard, S. Barlow, S.D. Kotal, T. Kriat, W. Lee, R. Pasch, and U. Shimada, 2019: Operational Perspectives on Tropical Cyclone Intensity Change Part 1: recent advances in intensity guidance.. *Tropical Cyclone Research and Review*, **8**, 123-133.
37. Yanase, W. and H. Niino, 2019: Parameter sweep experiments on a spectrum of cyclones with diabatic and baroclinic processes. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **76**, 1917-1935.
38. Wada, A., H. Tsuguti, K. Okamoto, and N. Seino, 2019: Air-Sea Coupled Data Assimilation Experiment for Typhoons Kilo, Etau and the September 2015 Kanto-Tohoku Heavy Rainfall with the Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 Sea Surface Temperature. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **97**, 553-575.
39. Oyama, R., and A. Wada, 2019: The Relationship between Convective Bursts and Warm-Core Intensification in a Nonhydrostatic Simulation of Typhoon Lionrock (2016) . *Monthly Weather Review*, **147**, 1557-1579.
40. Bandholnappar, K., M. Sato, T. Adachi, T. Ushio, and Y. Takahashi, 2019: Optical Properties of Intracloud and Cloud-to-Ground Discharges Derived from JEM-GLIMS Lightning Observations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **189**, 87-97.
41. 北島尚子, 津口裕茂, 2020: 2016 年 8 月末の日本海の低気圧の発達と時間発展: 中緯度の流れと台風 1610 号 (Lionrock) の相互作用. *気象研究所研究報告*, **68**, 1-19.
42. 北島尚子, 黒良龍太, 長田栄治, 杉原 良, 2020: 2018 年 7 月 5~8 日の梅雨前線豪雨におけるメソ α スケールの変化. *天気 (論文・短報)*, **63**, 431-443.

(2) 査読論文以外の著作物(翻訳、著書、解説): 84 件

1. Wada, A., 2021: Rainfall simulations of Typhoon Mangkhut (2018) landfalling in the Philippines. *CAS/JSC WGNE Research activities in Earth system modelling*, **51**, 9–11.
2. Wada, A., 2021: Atmosphere-wave-ocean coupled-model ensemble simulation on rapid intensification of Typhoon Hagibis (2019). *CAS/JSC WGNE Research activities in Earth system modelling*, **51**, 9–07.
3. Wada, A, and W. Yanase, 2021: Numerical simulations of Typhoon Haishen by a coupled atmosphere-wave ocean model with two different oceanic initial conditions. *CAS/JSC WGNE Research activities in Earth system modelling*, **51**, 9–09.
4. Wada, A, and W. Yanase, 2021: Numerical simulations of the rapid weakening of Typhoon Haishen (2020) by a coupled atmosphere-wave ocean model. *CAS/JSC WGNE Research activities in Earth system modelling*, **51**, 9–05.
5. Araki, K., 2020: Numerical simulation of heavy rainfall event associated with typhoon Hagibis (2019) with different horizontal resolutions. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Earth System Modelling*, **51**, 303–304.
6. Araki, K., 2020: Numerical simulation of potential impact of aerosols on heavy rainfall event associated with typhoon Hagibis (2019). *CAS/JSC WGNE Research Activities in Earth System Modelling*, **51**, 403–404.
7. Wada, A., 2020: Atmosphere-wave-ocean coupled-model simulation on rapid intensification of Typhoon Hagibis (2019). *CAS/JSC WGNE Research Activities in Earth System Modelling*, **50**, 9–15.
8. Wada, A., 2020: Sensitivity experiments on axisymmetrization of Typhoon Faxai (2019) just before landfalling in Japan simulated by atmosphere-ocean coupled model. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Earth System Modelling*, **50**, 9–13.
9. Wada, A., 2020: Atmosphere-wave-ocean coupled-model simulation on Typhoon Bualoi(2019) and formation of quasi-linear convective system around Boso Peninsula. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Earth System Modelling*, **50**, 9–07.
10. Wada, A., and K. Okamoto, 2020: Atmosphere-wave-ocean coupled-model simulation on the effect of Himawari-8 all-sky infrared radiances assimilation on the track simulation of Typhoon Jongdari (2018). *CAS/JSC WGNE Research Activities in Earth System Modelling*, **50**, 9–17.
11. Wada, A., 2020: Rainfall simulations of Typhoons Kammuri and Phanfone landfalling in the Philippines. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Earth System Modelling*, **50**, 9–11.
12. Wada, A., H. Yoshimura, and M. Nakagawa, 2020: The effect of the cloud-water conversion rate in the cumulus parameterization on the simulation of Typhoon Lionrock (2016). *CAS/JSC WGNE Research Activities in Earth System Modelling*, **50**, 9–09.
13. Wada, A., and H. Tomita, 2019: Comparison of J-OFURO remote-sensing based ocean flux data with numerical simulations by a coupled atmosphere-wave-ocean model in Typhoon Dujuan (2015) case. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, **49**, 9–13.
14. Wada, A., 2019: The impacts of preexisting oceanic cold eddies on the intensity forecast of Typhoon Trami (2018) during the mature phase. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, **49**, 9–11.
15. Wada, A., and R. P. Gile, 2019: Roles of ocean coupling and cumulus parameterization in predicting rainfall amounts caused by landfalling typhoons in the Philippines. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, **49**, 9–09.

16. Wada, A., 2019: The impacts of a cold eddy induced by Typhoon Trami (2018) on the intensity forecast of Typhoon Kong-Rey (2018). *CAS/JSC WONE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, **49**, 9-07.
17. Wada, A., H. Yoshimura, M. Nakagawa, 2019: Preliminary numerical experiments on the prediction of Typhoon Lionrock (2016) using the global atmosphere-ocean coupled model. *CAS/JSC WONE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, **49**, 9-05.
18. Araki, K., 2019: Numerical simulation of potential impact of aerosols on heavy snowfall events associated with Japan-sea Polar-airmass Convergence Zone. *CAS/JSC WONE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, **49**, 403-404.
19. Araki, K., 2019: Application of 1DVAR technique using ground-based microwave radiometer data to estimating thermodynamic environments in winter convective clouds. *CAS/JSC WONE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, **49**, 103-104.
20. 林 昌宏, 和田章義, 小山 亮, 2022: ハイパースペクトル赤外サウンダを用いた台風中心部の大気プロファイル解析. 台風研究会 台風予報と防災情報に関する研究集会, **2021K-06**, 5-7.
21. 吉田 智, 2022: 稲妻と雷の図鑑. 稲妻と雷の図鑑, グラフィック社, 184pp, ISBN: 978-4-7661-3548-0.
22. 荒木健太郎、津田紗矢佳, 2022: 空を見るのが楽しくなる! 雲のしくみ. 空を見るのが楽しくなる! 雲のしくみ, 誠文堂新光社, 80pp, ISBN: 4416522118.
23. 荒木健太郎、津田紗矢佳, 2022: 天気を知って備える防災雲図鑑. 天気を知って備える防災雲図鑑, 文溪堂, 112pp, ISBN: 479990423X.
24. 楠 研一, 2022: 積乱雲の観測と予測. 自然災害科学・防災の百科事典.
25. 中村 尚, 川合義美, 伊藤進一, 小池 真, 和田章義, 国井 勝, 嶋田宇大, 榎本 剛, 吉田聡, 釜堀弘隆, 升永竜介, 小林ちあき, 岡島 悟, 2021: コミュニティーへの公開データ. 気象研究ノート, **244**, (公社) 日本気象学会, 13pp. ISBN:978-4-904129-27-2.
26. 茂木耕作, 美山 透, 万田敦昌, 和田章義, 吉岡真由美, 武樋路子, 中村 尚, 宮坂貴文, 2021: 東アジアの夏季モンスーン・台風と大気海洋相互作用. 気象研究ノート, **244**, (公社) 日本気象学会, 20pp, ISBN:978-4-904129-27-2.
27. 新野 宏, 小林文明, 栃本英伍, 末木健太, 足立 透, 梅原章仁, 田村幸雄, 野田 稔, 佐々浩司, 加藤輝之, 加茂直幸, 中里真久, 益子 渉, 伊藤純至, 横田 祥, 田村哲郎, 楠 研一, 石津尚喜, 2021: 「竜巻シンポジウムー藤田哲也博士生誕 100 年を記念してー」の報告. 天気, **68 巻 10 号**, 3-12.
28. 荒木健太郎, 2021: 魔法のような空の風景 2022. 魔法のような空の風景 2022, インプレス, 26pp, ISBN: 4295011894.
29. 荒木健太郎, 志田純哉, 近藤 誠, 藤倉理人, 南孝太郎, 稲垣実央, 山下克也, 佐藤陽祐, 當房 豊, 2021: 2020 年度「エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会」報告. 天気, **68**, 391-397.
30. 鴨川 仁、吉田 智、森本健志, 2021: みんなの知りたい雷の疑問 56. みんなの知りたい雷の疑問 56, 成山堂書店, 216pp, ISBN: 978-4-425-98391-9.
31. 石田純一, 和田章義, 栃本英伍, 杉本志織, 三好建正, 澤田 謙, 佐藤陽祐, 太田行哉, 2021: 第 22 回非静力学モデルに関するワークショップ開催報告. 天気, **68**, 59-74.
32. 荒木健太郎, 2021: 地上マイクロ波放射計による大気のリモートセンシング. テレワーク社会を支えるリモートセンシング, 178-188.
33. 荒木健太郎, 2021: 空のふしぎがすべてわかる! すごすぎる天気図鑑. 空のふしぎがすべてわかる! すごすぎる天気図鑑, KADOKAWA, 176pp, ISBN: 4046051515.
34. 廣川康隆, 加藤輝之, 2021: 集中豪雨をもたらす線状降水帯. ながれ, **40**, 3-8.
35. 足立 透, 益子 渉, 2021: 令和元年台風第 19 号に伴って発生した市原竜巻の 3 次元レーダー解析. 台風研究会「台風災害の実態解明と台風防災・減災に資する方策」, **2020K-10**, 15-18.

36. 和田章義, 2021: 2018-2019 年の台風における海洋の役割. 台風研究会「台風災害の実態解明と台風防災・減災に資する方策」, **2020K-10**, 97-102.
37. 足立 透, 2021: 最新レーダー技術を用いた台風に伴う竜巻の新しい研究. 日本風工学会誌, **Vol. 46, No. 1 (No. 166)**, 19-28.
38. 荒木健太郎, 2020: 本だな「激甚気象はなぜ起こる」坪木和久 著. 天気, **67**, 719.
39. 佐藤陽祐, 當房 豊, 山下克也, 荒木健太郎, 岩崎杉紀, 三隅良平, 大竹秀明, 茂木信宏, 齋藤泉, 川合秀明, 中島 孝, 中野 諭, 森 樹大, 橋本明弘, 郭 威鎮, 勝山祐太, 瀬戸 里枝, 古藤慎之, 山田怜史, 折笠成宏, 田尻拓也, 遠藤幸生, 近藤 誠, 大畑 祥, 松嶋俊樹, 2020: 2019 年度「エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究会」報告. 天気, **67**, 665-670.
40. 荒木健太郎, 2020: 魔法のような空の風景. 魔法のような空の風景, インプレス, 28pp, ISBN: 978-4295009313.
41. 楠 研一, 2020: 冬季日本海側の竜巻等突風の観測. 気象研究ノート, **243**, 77-98.
42. 益子 渉, 2020: 2012 年 5 月 6 日に発生したつくば竜巻. 気象研究ノート, **243**, 157-165.
43. 益子 渉, 2020: 2006 年台風第 13 号に伴って発生した延岡竜巻. 気象研究ノート, **243**, 148-156.
44. 松井正宏, 林 泰一, 鈴木修, 村井博一, 2020: 竜巻のスケール. 気象研究ノート「竜巻を識る」, **第 243 号**, 227-234.
45. 鈴木 修, 佐々浩司, 宮城弘守, 2020: 写真測量による竜巻の大きさ, 強度の評価. 気象研究ノート, **第 243 号**, 246-250.
46. 鈴木 修, 2020: 日本の竜巻. 気象研究ノート, **第 243 号**, 33-41.
47. 山内 洋, 佐藤英一, 鈴木 修, 2020: 竜巻観測技術の展望. 気象研究ノート「竜巻を識る」, **243**, 123-128.
48. 荒木健太郎, 柳瀬 亘, 北畠尚子, 黒良龍太, 2020: 大雨に対する地形の影響の評価. 令和元年度科学研究費助成事業・特別研究促進費「令和元年台風 19 号及び台風 21 号による広域災害に関する総合研究」報告書, 49-50.
49. 荒木健太郎, 北畠尚子, 2020: 2019 年 10 月 25 日関東大雨をもたらした降水システムとその発生環境場. 令和元年度科学研究費助成事業・特別研究促進費「令和元年台風 19 号及び台風 21 号による広域災害に関する総合研究」報告書, 42-45.
50. 荒木健太郎, 柳瀬 亘, 北畠尚子, 黒良龍太, 2020: 令和元年台風第 19 号による大雨の発生環境場. 令和元年度科学研究費助成事業・特別研究促進費「令和元年台風 19 号及び台風 21 号による広域災害に関する総合研究」報告書, 41-42.
51. 足立 透, 坪木和久, 牛尾知雄, 高橋暢宏, 川口航平, 瀬瀬丈晴, 岩波 越, 楠 研一, 松田知也, 新野 宏, 中川勝広, 2020: 気象災害委員会・第 52 回メソ気象研究会合同研究会の報告. 天気, **67(6)**, 31-35.
52. 和田章義, 2020: 特集 近年の台風の特徴と将来予測. 気象年鑑, 3-29.
53. 荒木健太郎, 2020: 局地的大雨と集中豪雨の予測. スクエア最新図説地学 (8訂版), 196-197.
54. 吉田 智, 2020: 雷放電三次元標定装置の開発と観測. 日本大気電気学会誌, **Vol. 14, No. 1**, 3-10.
55. 小林文明, 佐藤英一, 高館祐貴, 松井正宏, 木村吉郎, ガヴァンスキ 江 梨, 2020: 【速報】台風 1919 号(HAGIBIS)がもたらした強風災害について. 日本風工学会誌, **45-2**, 126-130.
56. 日本風工学会風災害研究会, 2020: 風災害研究会 2019 年次報告. 日本風工学会誌, **45-2**, 149-152.
57. 黒良峻平, 八谷大岳, 嶋田宇大, 上田修功, 2020: マルチクロスヒンジ損失を用いた不均衡多クラス分類. 信学技報, **119**, 79-84.
58. 荒木健太郎, 2020: 研究を志す若い人へ. 科学の最前線を切りひらく!, 117.
59. 小林文明, 佐藤英一, 友清衣利子, 野田 稔, ガヴァンスキ 江 梨, 高館祐貴, 高森浩治, 木村吉郎, 中藤誠二, 森山英樹, 鈴木 寛, 重永永年, 服部 力, 松井正宏, 岩下久人, 2020: 【速報】台風 1915 号 (FAXAI) がもたらした強風災害について. 日本風工学会誌, **45-1**, 30-39.
60. 中澤哲夫, 2020: 地球温暖化で台風はどうなる?. 茨城保険医新聞, **498 号**, 2-3.

61. 田口 仁, 荒木健太郎, 上石 勲, 臼田裕一郎, 2019: WebGIS による複合要素の可視化システムの関東大雪事例への適用. *気象研究ノート*, **241**, 日本気象学会, 513-522pp, ISBN: 987-4904129241.
62. 山下克也, 中井専人, 石坂雅昭, 本吉弘岐, 荒木健太郎, 村上正隆, 斎藤篤思, 田尻拓也, 2019: 2014 年 2 月大雪時の東京西部と山梨東部の降雪粒子種の特徴. *気象研究ノート*, **240**, 日本気象学会, 365-382pp, ISBN: 987-4904129234.
63. 加藤輝之, 荒木健太郎, 2019: 2014 年 2 月の大雪発生要因と過去事例との比較. *気象研究ノート*, **240**, 日本気象学会, 256-267pp, ISBN: 987-4904129234.
64. 荒木健太郎, 2019: 南岸低気圧による大雪研究の現状と課題. *気象研究ノート*, **241**, 日本気象学会, 605-614pp, ISBN: 987-4904129241.
65. 荒木健太郎, 2019: 南岸低気圧とそれに伴う降水現象の予測可能性. *気象研究ノート*, **241**, 日本気象学会, 557-565pp, ISBN: 987-4904129241.
66. 荒木健太郎, 2019: シチズンサイエンスによる高密度雪結晶観測. *気象研究ノート*, **241**, 日本気象学会, 551-555pp, ISBN: 987-4904129241.
67. 荒木健太郎, 村上正隆, 2019: 南岸低気圧に伴う関東甲信地方大雪時の降雪・雲物理特性. *気象研究ノート*, **240**, 日本気象学会, 323-338pp, ISBN: 987-4904129234.
68. 荒木健太郎, 2019: 2014 年 2 月の関東甲信地方大雪事例における総観・メソスケール環境場. *気象研究ノート*, **240**, 日本気象学会, 299-321pp, ISBN: 987-4904129234.
69. 荒木健太郎, 2019: 高密度地上観測網による 2014 年 2 月関東甲信地方大雪の観測研究. *気象研究ノート*, **240**, 日本気象学会, 285-298pp, ISBN: 987-4904129234.
70. 荒木健太郎, 2019: Cold-Air Damming と沿岸前線を伴う関東大雪のメソスケール環境場. *気象研究ノート*, **240**, 日本気象学会, 235-255pp, ISBN: 987-4904129234.
71. 荒木健太郎, 北畠尚子, 加藤輝之, 2019: 南岸低気圧による関東大雪における総観・メソ環境場と雲の相互作用. *気象研究ノート*, **240**, 日本気象学会, 189-199pp, ISBN: 987-4904129234.
72. 荒木健太郎, 吉田 聡, 北畠尚子, 加藤輝之, 2019: 関東平野に大雪・大雨をもたらす南岸低気圧の特徴. *気象研究ノート*, **240**, 日本気象学会, 174-188pp, ISBN: 987-4904129234.
73. 荒木健太郎, 2019: 南岸低気圧に伴う関東平野の雪と雨の総観スケール環境場. *気象研究ノート*, **240**, 日本気象学会, 163-173pp, ISBN: 987-4904129234.
74. 荒木健太郎, 2019: 関東甲信地方における大雪の気候学的特徴. *気象研究ノート*, **239**, 日本気象学会, 83-93pp, ISBN: 987-4904129227.
75. 荒木健太郎, 2019: アメリカ北東部における大雪“Northeast Snowstorm”. *気象研究ノート*, **239**, 日本気象学会, 46-82pp, ISBN: 987-4904129227.
76. 荒木健太郎, 2019: 南岸低気圧による大雪研究のこれまで. *気象研究ノート*, **239**, 日本気象学会, 1-45pp, ISBN: 987-4904129227.
77. 足立 透, 2019: フェーズドアレイレーダーを用いた顕著な大気現象の観測. *日本風工学会誌*, **44**, **4**, 371-380.
78. 荒木健太郎, 2019: 積乱雲を体験するということ. *気象キャスターネットワーク会報「空色レポート」*, **17**, 1-2.
79. 佐藤陽祐, 當房 豊, 山下克也, 荒木健太郎, 橋本明弘, 梶野瑞王, 中島 孝, 三隅良平, 小池 真, 岩崎杉紀, 川合秀明, 飯塚芳徳, 高橋 麗, 山内 晃, 折笠成宏, 齋藤 泉, 藤田啓恵, 酒井健人, 郭 威鎮, 田尻拓也, 島伸一郎, 岩本洋子, 2019: 「2018 年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会」報告. *天気*, **66**, 479-484.
80. 益子 渉, 2019: 高解像度モデルを用いたスーパーセル竜巻の数値シミュレーション. *月刊海洋号外「大気・海洋の渦・対流・シア流とその相互作用 ー新野宏教授退職記念号ー」*, **62**, 海洋出版, 6 pp, ISBN: .
81. 柳瀬 亘, 2019: 低気圧の多様性 ー熱帯低気圧・温帯低気圧・ハイブリッド低気圧ー. *月刊海洋号外「新野宏教授退職記念号」*, **62**, 34-38.
82. 和田章義, 2019: 台風通過時の海洋応答から台風予測研究へ. *号外海洋 ー大気・海洋の渦・対流・シア流とその相互作用ー*, **62**, 81-86.
83. 荒木健太郎, 2019: 雲の声に耳を傾けてみよう. *道徳と特別活動*, **36**, 58-59.

84. 日本風工学会風災害研究会, 2019: 風災害研究会 2018 年次報告. *日本風工学会誌*, **44-2**, 230-234.
85. 嶋田宇大, 2022: 台風急発達環境場の多様性. 台風研究会「台風予報と防災情報に関する研究集会」, **2021K-06**, 48-53.

(3) 学会等発表

ア. 口頭発表

・国際的な会議・学会等 19 件

1. Kawaguchi, M., T. Tamura, and W. Mashiko, Application of hybrid meteorological model/engineering LES analysis to very strong Typhoon JEBI 2018, The 13th International ERCOFTAC symposium on engineering, turbulence, modelling and measurements, 2021 年 9 月, ギリシャ, ロードス島
2. Adachi, T., W. Mashiko, and A. Umehara, Fine-Scale Observation of TC Tornado Using Phased Array Weather Radar in Japan, Virtual Workshop on Atmospheric Science Applications of Ground-Based Phased Array Radars, 2021 年 5 月, 米国, オンライン
3. Shimada, U., Different Environmental Conditions of Tropical Cyclone Rapid Intensification in the Western North Pacific, 34th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, 2021 年 5 月, アメリカ, オンライン
4. Ichikawa, R., H. Ujihara, S. Satoh, J. Amagai, Y. Ohta, B. Miyahara, H. Munekane, T. Nagasaki, O. Tajima, K. Araki, T. Tajiri, H. Takiguchi, T. Matsushima, N. Matsushima, T. Momotani, and K. Utsunomiya, Development of novel ground-based microwave radiometer for earth science -results of the first measurements-, EGU General Assembly 2020, 2020 年 5 月, オーストリア, ウイーン
5. Kawaguchi, M., T. Tamura, W. Mashiko, and H. Kawai, Assessment of Tornado-Induced Building Damage Using a Hybrid Meteorological Model/Engineering LES Method: In Case of Tsukuba Tornado in 2012, 10th European Conference on Severe Storms, 2019 年 11 月, ポーランド, クラクフ
6. Mashiko, W., Wind gusts associated with mesovortices in the inner core of Typhoon GONI (2015), 10th European Conference on Severe Storms, 2019 年 11 月, ポーランド, クラクフ
7. Umehara, A., TC Analysis with Dual Polarization Weather Radar, 2nd Meeting of the Working Group on Meteorology, 2019 年 10 月, 東京都千代田区
8. Shimada, U., R. Oyama, and S. Shimizu, Dramatic changes in the inner-core structure of Typhoon Jebi (2018) at landfall and relationship between a mesovortex, heavy rainfall, and strong wind gusts, 39th International Conference on Radar Meteorology, 2019 年 9 月, 奈良市
9. Okamoto, K, Assimilation of Passive and Active Sensors on Satellite to Improve Tropical Cyclone Forecasts. , Asia Oceania Geosciences Society 16th Annual Meeting (AOGS2019), 2019 年 7 月, シンガポール, シンガポール
10. Adachi, T., N. Ishitsu, K. Kusunoki, H. Inoue, K. Arai, C. Fujiwara, and H. Suzuki, Analysis of Tornado-like Vortices Using Phased Array Weather Radar and Deep Learning, Asia Oceania Geosciences Society 16th Annual Meeting (AOGS2019), 2019 年 7 月, シンガポール, シンガポール
11. Oyama, R., K. Okamoto, T. Iriguchi, H. Murata, H. Fudeyasu, K. Cheung, and K. Tsuboki, Analysis of atmospheric profiles within tropical cyclones using the new-generation satellite observations, Asia Oceania Geosciences Society 16th Annual Meeting (AOGS2019), 2019 年 7 月, シンガポール, シンガポール
12. Ishimoto, H., S. Adachi, K. Masuda, X-ray micro-CT imagery of deposited snow in optical modeling of atmospheric ice particles, 第 18 回電磁気と光散乱会議 (ELS-XVIII) , 2019 年 6 月, 中国, 杭州

13. Adachi, T., N. Ishitsu, K. Kusunoki, H. Inoue, K. Arai, C. Fujiwara, and H. Suzuki, Volumetric Detection of Tornadic Vortices Associated with Typhoon Nanmadol (2017) Using PAWR and Deep Learning, JpGU meeting 2019, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
14. Shimada, U., R. Oyama, and S. Shimizu, Dramatic changes in the inner-core structure of Typhoon Jebi (2018) at landfall and relationship between a mesovortex and strong wind gusts, JpGU meeting 2019, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
15. Nagasaki, T., O. Tajima, R. Ichikawa, H. Takiguchi, K. Araki, and H. Ishimoto, Comparison of a water vapor observation with GPS and high sensitivity microwave radiometer, KUMODES, JpGU meeting 2019, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
16. Araki, K, S. Satoh, and T. Tajiri, Case study of environmental conditions and cloud microphysical properties of winter convective clouds developed in the Kanto plain, JpGU meeting 2019, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
17. Araki, K, Innovative progress in ground observation of snow crystals and weather conditions by citizen science, JpGU meeting 2019, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
18. Adachi, A., Hiroyuki HASHIGUCHI, Application of Parametric Speaker to Wind Profiler/RASS, 11th International Symposium on Tropospheric Profiling, 2019 年 5 月, France, Toulouse
19. Shoji, Y., T. Sakai, A. Adachi, S. Yoshida, and T. Nagai, High Space-time Resolution Analysis of Atmospheric Fields using GNSS and Other Observations to Study the Mechanisms of Local Heavy Rainfall in Tokyo Metropolitan Area, Living Planet Symposium 2019, 2019 年 5 月, イタリア, ミラノ

・国内の会議・学会等：149 件

1. 荒木健太郎, しんきろう観測のシチズンサイエンスの可能性, サイエンスカフェ『見よう！知ろう！伊勢湾の蜃気楼』講演会, 2022 年 3 月, 四日市市
2. 廣川康隆, 集中豪雨と線状降水帯, 第 19 回天気予報研究会, 2022 年 2 月, 日本
3. 益子 渉, 令和 3 年 7-8 月の線状降水帯事例について, 第 1 回線状降水帯の機構解明に関する研究会, 2022 年 2 月, つくば
4. 加藤輝之, 線状降水帯研究に関するレビューと課題, 線状降水帯の機構解明に関する研究会 (第 1 回), 2022 年 2 月, オンライン
5. 荒木健太郎, 雲研究と防災, 気象防災フォーラム宮古島 2022, 2022 年 1 月, オンライン
6. 荒木健太郎, 雲を愛する技術, 日本気象学会 2021 年度先生のための気象教育セミナー, 2022 年 1 月, 東京都港区
7. 梅原章仁, 吉田 智, 林 修吾, 南雲信宏, 山内 洋, 吉川栄一, 二重偏波レーダーと三次元雷標定装置を用いた夏季積乱雲内部の電荷分布構造の解析, 日本大気電気学会第 100 回研究発表会, 2022 年 1 月, オンライン
8. 荒木健太郎, 雪結晶で読み解く雲の心, 2021 年度積雪観測&雪結晶撮影講習会, 2021 年 12 月, オンライン
9. 小野耕介, メソアンサンブルを用いた複数降水予測シナリオの作成, 第四回大アンサンブルとアプリケーションに関する研究会, 2021 年 12 月, オンライン, オンライン
10. 新井健一郎, 楠 研一, 石津尚樹, 猪上華子, 鈴木 修, 藤原忠誠, ドップラーレーダーで捉えた山形県庄内沖日本海上空の渦列の特徴, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
11. 楠 研一・足立 透・鈴木 修・石津尚喜・猪上華子・新井健一郎・川又 幸・藤原忠誠・鈴木博人, AI を用いた竜巻等突風の自動予測・情報提供システムの開発, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
12. 嶋田宇大, 林 昌宏, 山口宗彦, 柳瀬 亘, 田殿武雄, 大木真人, 磯口 治, 台風における風観測の重要性と SAR による台風の風観測の取組み, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
13. 林 昌宏, 和田章義, 小山 亮, ハイパースペクトル赤外サウンダを用いた台風中心部の大気プロファイル解析, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市

14. 加藤輝之, 線状降水帯発生6条件の出現頻度の気候変化, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
15. 廣川康隆, 加藤輝之, 解析雨量を用いた線状降水帯検出手法の改善, 日本気象学会 2021 年秋季大会, 2021 年 12 月, オンライン
16. 益子 渉, 7/10 に九州南部に大雨をもたらした降水システムの特徴, 線状降水帯ワーキンググループ事例検討会, 2021 年 11 月, (オンライン)
17. 荒木健太郎, 雲を愛する技術, 三重のまなび 2021 まなびいすとセミナー, 2021 年 11 月, オンライン
18. 荒木健太郎, 雲研究について, NDL academic「気象学な雲さん」, 2021 年 10 月, オンライン
19. 荒木健太郎, 防災・減災のための雲科学研究, 科学技術振興機構研究開発戦略センターワークショップ, 2021 年 9 月, 東京
20. 荒木健太郎, 雲研究と防災, 第 61 回滋賀県防災カフェ, 2021 年 9 月, オンライン
21. 林 昌宏, 和田章義, 小山 亮, ハイパースペクトル赤外サウンダを用いた台風中心部の大気プロファイル解析, 台風研究会「台風災害の実態解明と台風防災・減災に資する方策」, 2021 年 9 月, オンライン
22. 和田章義, 台風強度・構造変化における台風海洋相互作用の役割, 台風研究会「台風予報と防災情報に関する研究集会」, 2021 年 9 月, 京都府宇治市
23. 荒木健太郎, 南岸低気圧による首都圏の降雪における降雪結晶特性と大気環境場, 雪氷研究大会 (2021・オンライン), 2021 年 9 月, オンライン
24. 柳瀬 亘, 台風における鉛直シアと傾圧性の影響について, 台風研究会「台風予報と防災情報に関する研究集会」, 2021 年 9 月, 京都府宇治市
25. 嶋田宇大, 台風急発達環境場の多様性, 台風研究会「台風予報と防災情報に関する研究集会」, 2021 年 9 月, オンライン
26. 荒木健太郎, 南岸低気圧による太平洋側の豪雪, 日本気象学会中部支部第 24 回公開気象講座, 2021 年 9 月, オンライン
27. 荒木健太郎, 雲を愛する技術, 港区立みなと科学館スペシャルトークショー, 2021 年 8 月, オンライン
28. 荒木健太郎, 雲と友だちになって上手につき合おう, 名古屋市港防災センターオンラインイベント, 2021 年 7 月, オンライン
29. 荒木健太郎, 雲と友だちになろう, 港区立みなと科学館企画展「みんなの雲展」ワークショップ, 2021 年 7 月, 東京都港区
30. 荒木健太郎, 雲を愛する技術, 京都精華大学アセンブリーアワー講演会, 2021 年 6 月, オンライン
31. 石津尚喜, 楠 研一, 足立 透, 猪上華子, 藤原忠誠, 新井健一郎, 鈴木博人, CNN を利用した突風探知システムの改良, 2021 年度 人工知能学会全国大会 (第 35 回), 2021 年 6 月, 東京
32. 楠 研一, 石津尚喜, 足立 透, 猪上華子, 鈴木 修, 新井健一郎, 藤原忠誠, 鈴木博人, 深層学習を用いた鉄道のための突風探知システム, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 6 月, オンライン, オンライン
33. 楠 研一 石津尚喜, 足立 透, 猪上華子, 鈴木 修, 新井健一郎, 藤原忠誠, 鈴木博人, 深層学習を用いたドップラーレーダーデータによる竜巻渦の自動識別: 進捗と課題, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 6 月, 千葉市
34. 楠 研一, 足立 透, 猪上華子, 鈴木 修, 石津尚喜, 新井健一郎, 藤原忠誠, 鈴木博人, 深層学習を用いた鉄道のための突風探知システム, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 6 月, 千葉市
35. 廣川康隆, 豪雨の正体に迫る 大気の川×線状降水帯, 気象サイエンスカフェ, 2021 年 5 月, オンライン
36. 尾田春雄, 益子 渉, 友清衣利子, 野田稔, 平成 30 年台風 21 号における強風被害発生確率モデルの提案, 2021 年日本風工学会年次大会, 2021 年 5 月, オンライン
37. 加藤輝之, 線状降水帯のレビューと今後の課題, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, つくば市

38. 廣川康隆, 加藤輝之, 強雨域の統計解析に適した 5km 分解能解析雨量の変換手法, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, つくば市
39. 清野直子, 津口裕茂, 廣川康隆, 瀬古 弘, 清水慎吾, 線状降水帯発生環境の気象庁メソ解析によるコンポジット解析 (第二報), 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
40. 林 昌宏, 岡本幸三, 大和田浩美, 小山 亮, 静止衛星搭載ハイパースペクトル赤外サウンダを想定した 気温・水蒸気鉛直プロファイル推定手法の開発, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
41. 荒木健太郎, 2018 年 1 月 22 日の関東大雪事例の降雪結晶特性, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
42. 柳瀬 亘, 嶋田宇大, 北畠尚子, 枋本英伍, 台風 Kirogi (2012) の傾圧的な発生過程, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
43. 小野耕介, メソアンサンブル予報による複数気象シナリオの作成, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
44. 足立 透, 石津尚喜, 楠 研一, 猪上華子, 新井健一郎, 藤原忠誠, 鈴木博人, PAWR および CNN を用いた市原竜巻の 3 次元渦探知実験, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
45. 足立 透, 石津尚喜, 楠 研一, 猪上華子, 新井健一郎, 藤原忠誠, 鈴木博人, PAWR および CNN を用いた市原竜巻の 3 次元渦探知実験, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
46. 益子 渉, 台風第 15 号に伴う暴風・突風の特徴, 第 53 回メソ気象研究会・気象災害委員会合同研究会, 2021 年 5 月, オンライン
47. 荒木健太郎, 柳瀬 亘, 北畠尚子, 林 修吾, 黒良龍太, 台風第 19 号による大雨の降水強化メカニズムの数値シミュレーション, 第 53 回メソ気象研究会・気象災害委員会合同研究会, 2021 年 5 月, オンライン
48. 柳瀬 亘, 荒木健太郎, 和田章義, 嶋田宇大, 林 昌宏, 堀之内武, 台風第 19 号の非対称な降水分布: 中緯度プロセスの影響, 第 53 回メソ気象研究会・気象災害委員会合同研究会, 2021 年 5 月, オンライン
49. 荒木健太郎, 風水害をもたらす気象, ジャパン SDGs アクションシンポジウム, 2021 年 3 月, オンライン
50. 益子 渉, 数値シミュレーションによるスーパーセル竜巻の発生機構に関する研究, 竜巻シンポジウムー藤田哲也博士生誕 100 年を記念してー, 2021 年 3 月, 日本
51. 楠 研一, 足立透, 猪上華子, 鈴木 修, 新井健一郎, 石津尚喜, 藤原忠誠, 鈴木博人, 冬季日本海側の竜巻等突風の観測と災害軽減に向けた研究開発, 東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会「竜巻シンポジウム」, 2021 年 3 月, オンライン
52. 梅原章仁, 足立 透, 益子 渉, 山内 洋, 二重偏波レーダーによる竜巻観測, 竜巻シンポジウムー藤田哲也博士生誕 100 年を記念してー, 2021 年 3 月, 日本
53. 足立 透, 益子 渉, 梅原章仁, フェーズドアレイレーダーを用いた竜巻研究, 竜巻シンポジウムー藤田哲也博士生誕 100 年を記念してー, 2021 年 3 月, 日本
54. 楠 研一, 足立 透, 猪上華子, 鈴木 修, 新井健一郎, 石津尚喜, 藤原忠誠, 鈴木博人, PRISM 成果紹介「竜巻自動予測・情報提供システムの開発」, AI 研究会「激しい大気現象の研究・防災における人工知能の利活用と今後の展望」, 2021 年 3 月, つくば市
55. 廣川康隆, 加藤輝之, 荒木健太郎, 益子 渉, 令和 2 年 7 月豪雨の九州における降水の特徴, 第 54 回メソ気象研究会, 2021 年 3 月, オンライン
56. 荒木健太郎, 加藤輝之, 廣川康隆, 益子 渉, 令和 2 年 7 月豪雨で九州に大雨をもたらした線状降水帯の大気環境場の特徴, 第 54 回メソ気象研究会, 2021 年 3 月, オンライン
57. 荒木健太郎, 柳瀬 亘, 北畠尚子, 林 修吾, 黒良龍太, 令和元年東日本台風に伴う大雨時の降水強化メカニズムのシミュレーション, 2020 年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会, 2021 年 2 月, オンライン
58. 楠 研一, 足立 透, 猪上華子, 鈴木 修, 新井健一郎, 石津尚喜, 藤原忠誠, 鈴木博人, 深層学習を用いた竜巻自動探知システムの開発, 気象庁施設等機関研究報告会, 2021 年 2 月, 東京都

59. 梅原章仁, 足立 透, 益子 渉, 山内 洋, 二重偏波レーダーで捉えた竜巻飛散物の時空間分布～2019年10月12日千葉県市原市に生じた竜巻を対象として～, 東京工芸大学・風工学共同研究拠点・研究集会「日本版改良藤田スケールにおけるDI、DODと被害風速の評価」, 2021年2月, 日本
60. 足立 透, 益子 渉, フェーズドアレイ気象レーダーによる市原竜巻の詳細解析, 東京工芸大学・風工学共同研究拠点・研究集会「日本版改良藤田スケールにおけるDI、DODと被害風速の評価」, 2021年2月, 日本
61. 荒木健太郎, 雪結晶で読み解く雲の心, 2020年度積雪観測&雪結晶撮影講習会, 2021年2月, オンライン
62. 梅原章仁, 南雲信宏, 山内 洋, 二重偏波レーダーの降水粒子判別結果から考察するダウンバースト発生前兆, 第15回航空気象研究会, 2021年2月, 日本
63. 益子 渉, 廣川康隆, 荒木健太郎, 令和2年7月豪雨の特徴 一球磨川流域に記録的大雨をもたらした線状降水帯の構造と発生過程一, 令和2年度気象研究所研究成果発表会, 2020年12月, オンライン
64. 足立 透, フェーズドアレイレーダーを用いた研究の最前線, 気象キャスターネットワークオンライン勉強会, 2020年11月, オンライン
65. 和田章義, 柳瀬 亘, 林 昌宏, 2020年台風第10号(Haishen)の数値シミュレーション, 第22回非静力学モデルに関するワークショップ, 2020年11月, オンライン, オンライン
66. 荒木健太郎, 雲を愛する技術, 江丹別熱中小学校, 2020年11月, 旭川市
67. 荒木健太郎, 加藤輝之, 廣川康隆, 益子 渉, 令和2年7月豪雨をもたらした線状降水帯の発生環境場, 日本気象学会2020年度秋季大会, 2020年10月, オンライン
68. 柳瀬 亘, 荒木健太郎, 和田章義, 嶋田宇大, 林 昌宏, 令和元年台風第19号の降水の非対称化メカニズム～その2, 日本気象学会2020年度秋季大会, 2020年10月, オンライン
69. 荒木健太郎, 柳瀬 亘, 北畠尚子, 林 修吾, 黒良龍太, 令和元年台風第19号における降水強化メカニズム, 日本気象学会2020年度秋季大会, 2020年10月, オンライン
70. 廣川康隆, 益子 渉, 荒木健太郎, 令和2年7月豪雨により九州地方で生じた線状降水帯の特徴, 日本気象学会2020年度秋季大会, 2020年10月, オンライン
71. 楠 研一, 鈴木博人, 岸保・立平賞受賞記念講演「ドップラーレーダーを用いた突風災害の軽減に向けた研究開発と鉄道の安全運行のための社会実装」, 日本気象学会2020年度秋季大会, 2020年10月, オンライン
72. 荒木健太郎, 岩永 哲, 雲でわかる!空のきもち, 2020年度広島市江波山気象館講演会, 2020年10月, オンライン
73. 荒木健太郎, 沖 大幹, 今こそ知りたい、気象と災害:空と雲の”気持ち”から考えてみよう, 国連大学オンライントークイベント, 2020年9月, オンライン
74. 柳瀬 亘, 荒木健太郎, 和田章義, 嶋田宇大, 林 昌宏, 堀之内武, 令和元年東日本台風の降水非対称化メカニズム, 台風研究会「台風災害の実態解明と台風防災・減災に資する方策」, 2020年9月, オンライン
75. 和田章義, 2018-2019年の台風における海洋の役割, 台風研究会「台風災害の実態解明と台風防災・減災に資する方策」, 2020年9月, 京都府宇治市
76. 足立 透, 益子 渉, 梅原章仁, 令和元年台風第19号に伴って発生した市原竜巻の3次元レーダー観測, 台風研究会, 2020年9月, 京都府宇治市
77. 和田章義, 2020年夏の大規模場の解析、今後の台風予想, 台風診断ミーティング2020, 2020年8月, 千葉県柏市
78. 荒木健太郎, 雲科学入門, 日本気象学会第54回夏季大学, 2020年8月, オンライン
79. 柳瀬 亘, 荒木健太郎, 和田章義, 嶋田宇大, 林 昌宏, 台風第19号に関する数値シミュレーション, 「令和元年台風19号及び台風21号による広域災害に関する総合研究」成果報告会, 2020年7月, オンライン
80. 北畠尚子, 荒木健太郎, 2019年10月25日の東日本の大雨に対する総観場の影響, 日本気象学会2020年度春季大会, 2020年5月, オンライン
81. 荒木健太郎, 柳瀬 亘, 北畠尚子, 黒良龍太, 令和元年台風第19号による大雨の環境場と地形の影響, 日本気象学会2020年度春季大会, 2020年5月, オンライン

82. 荒木健太郎, 北畠尚子, 2019 年 10 月 25 日関東大雨のメソスケール環境場, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
83. 梅原章仁, 嶋田宇大, 2019 年台風第 19 号の降水過程に関する二重偏波レーダーを用いた解析, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
84. 柳瀬 亘, 荒木健太郎, 和田章義, 嶋田宇大, 林 昌宏, 令和元年台風第 19 号の降水の非対称化メカニズム, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
85. 和田章義, 2019 年台風シーズンにおける大気海洋環境場の特徴, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
86. 足立アホロ, 小林隆久, 山内 洋, 南雲信宏, 二重偏波レーダーによる雨滴粒径分布の形状パラメータの推定 (その 2), 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
87. 益子 渉, 2019 年日本に暴風・竜巻等突風をもたらした台風の特徴, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
88. 楠 研一, 足立 透, 石津尚喜, 猪上華子, 新井健一郎, 川又 幸, 藤原忠誠, 鈴木博人, AI を用いた竜巻等突風の自動予測・情報提供システムの開発 -開発の現状-, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
89. 足立 透, 益子 渉, フェーズドアレイ気象レーダーで観測された 2019 年 10 月 12 日市原竜巻の発生メカニズムについて, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
90. 猪上華子, 新井健一郎, 楠 研一, 足立 透, 石津尚喜, 藤原忠誠, 鈴木博人, 庄内平野に突風をもたらす渦の IQ データを用いた超解像の試み, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
91. 荒木健太郎, 首都圏における降雪結晶特性, 2019 年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会, 2020 年 2 月, 立川市
92. 荒木健太郎, 雲と雪のかたちの科学, シンポジウム「つくればわかる、かたちの科学」, 2020 年 2 月, つくば市
93. 荒木健太郎, シチズンサイエンスによる降雪研究と科学コミュニケーション, 第 17 回天気予報研究会, 2020 年 2 月, 東京都
94. 和田章義, 2019 年台風を振り返って一気象研究所における事例 解析結果の紹介, NPO 法人気象キャスターネットワーク 2020 年定期総会, 2020 年 2 月, 東京
95. 荒木健太郎, 雪結晶で読み解く雲の心, 2019 年度日本雪氷学会積雪観測&雪結晶撮影講習会, 2020 年 2 月, 長岡市
96. 和田章義, 気象研究所における緊急研究, 令和元年度台風事例検討会, 2020 年 2 月, 東京
97. 林 修吾, 梅原章仁, 南雲信宏, 二重偏波レーダーによる降水粒子判別を用いた雷雲の特徴, 第 14 回航空気象研究会, 2020 年 2 月, 東京都
98. 益子 渉, 2019 年日本に暴風・突風をもたらした台風の特徴, 風工学研究拠点・研究集会「日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究」, 2020 年 2 月, 東京都
99. 足立アホロ, 二重偏波レーダーによる粒径分布の形状パラメータの推定, 科研基盤 S 研究会「ストームジェネシスを捉えるための先端フィールド観測と豪雨災害軽減に向けた総合研究, 2020 年 1 月, 京都
100. 柳瀬 亘, 荒木健太郎, 中緯度プロセスの影響を受けた台風の構造, 第 2 回 高・低気圧ワークショップ, 2019 年 12 月, 和歌山県白浜町
101. 荒木健太郎, SNS を通した気象研究と防災, FUKKO STUDY #1, 2019 年 12 月, 東京都
102. 和田章義, 災害をもたらした 2019 年台風とそれに伴う暴風・豪雨に関する数値シミュレーション研究, 台風研究会, 2019 年 11 月, 名古屋
103. 和田章義, 岡本幸三, データ同化などによる観測の時空間拡張 台風のモデリング, 2019 年度名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会 小型飛翔体による海象観測 (その 4), 2019 年 11 月, 名古屋
104. 荒木健太郎, 雲を愛する技術, 宮崎こばやし熱中小学校, 2019 年 11 月, 宮崎県小林市
105. 梅原章仁, 小池哲司, 山本健太郎, 南雲信宏, 山内 洋, C バンド二重偏波レーダーを用いた降水粒子判別手法の開発と評価, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
106. 荒木健太郎, 南岸低気圧による首都圏降雪時の降雪結晶の特性と環境場の関係, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市

107. 益子 渉, 嶋田宇大, 2015 年台風第 15 号の内部コア域の微細構造, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡市
108. 嶋田宇大, 梅原章仁, 小山 亮, 清水慎吾, 2018 年台風第 21 号による記録的暴風と短時間強雨のメカニズム, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
109. 柳瀬 亘, 嶋田宇大, 北島尚子, 北西太平洋における亜熱帯低気圧の性質を持つ台風, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
110. 清野直子, 津口裕茂, 廣川康隆, 瀬古 弘, 清水慎吾, 線状降水帯発生環境の気象庁メソ解析によるコンポジット解析, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡市
111. 廣川康隆, 加藤輝之, 清野直子, 線状降水帯事例の検出と出現分布の特徴, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
112. 石元裕史, 足立アホロ, 安達 聖, 積雪マイクロ CT データを用いた降雪粒子のモデル化と レーダー反射特性の計算, 日本気象学会秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
113. 足立 透, 小司禎教, 酒井哲, PAWR・水蒸気観測を用いた首都圏における積乱雲の盛衰の解析, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
114. 佐藤英一, 瀬古弘, 南雲信宏, 気象レーダー位相による屈折率の推定について (第 2 報), 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
115. 市川隆一, 原 秀樹, 佐藤晋介, 雨谷 純, 太田雄策, 宮原伐折羅, 宗包浩志, 長崎岳人, 田島治, 荒木健太郎, 田尻拓也, 松島 健, 瀧口博士, 松島喜雄, 桃谷辰也, 宇都宮健志, 次世代超高感度マイクロ波放射計の開発 -その 2-, 日本測地学会第 131 回講演会, 2019 年 10 月, 富山市
116. 林 昌宏, ひまわり 8 号可視・赤外観測を利用した多層雲域の雲物理量推定と巻雲除去画像の作成, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
117. 小野耕介, 混合ガウス分布の最頻値を利用した地上気温予測, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
118. 足立 透, 楠 研一, 気象研究所フェーズドアレイレーダーを用いた最新の研究成果とその応用, 2019 年気象災害委員会・メソ気象研究会合同研究会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
119. 荒木健太郎, 雲と防災, 三重大学特別講義, 2019 年 10 月, 津市
120. 荒木健太郎, 令和元年台風第 19 号に伴う大雨の要因について, 三重大学セミナー, 2019 年 10 月, 津市
121. 荒木健太郎, 南岸低気圧による首都圏降雪時の降雪結晶の特性と環境場の関係, 三重大学セミナー, 2019 年 10 月, 津市
122. 荒木健太郎, 雲を愛する技術, 元村有希子の NEWS なカフェ, 2019 年 10 月, 東京都
123. 和田章義, 2019 年 (2018 年後半も含む) 気象研での解析事例の紹介, 台風診断ミーティング 2019, 2019 年 9 月, 柏
124. 嶋田宇大, 台風第 9 号のレーダー解析, 台風診断ミーティング 2019, 2019 年 9 月, 柏
125. 荒木健太郎, 雲科学とアート, 東京造形大学特別講義, 2019 年 7 月, 東京都
126. 荒木健太郎, 夏の空と仲良くなろう, アカデミアイーアスつくば店サイエンスイベント, 2019 年 7 月, つくば市
127. 荒木健太郎, 雲を愛する技術, 第 16 回麻醉科学サマーセミナー, 2019 年 6 月, 沖縄県
128. 市川隆一, 氏原秀樹, 佐藤晋介, 雨谷 純, 太田雄策, 宮原伐折羅, 宗包浩志, 長崎岳人, 田島治, 荒木健太郎, 田尻拓也, 松島 健, 瀧口博士, 松島喜雄, 桃谷辰也, 宇都宮健志, 次世代高感度マイクロ波放射計の開発-序報-, 第 17 回 I V S 技術開発センターシンポジウム, 2019 年 6 月, 茨城県鹿嶋市
129. 荒木健太郎, 地上マイクロ波放射計を用いた大気熱力学場推定手法の開発と応用, てんコロ. 学会, 2019 年 6 月, 東京都
130. 荒木健太郎, 降雪・積雪・雪氷災害状況のリアルタイム監視に向けて, 「日本海寒帯気団収束帯による豪雪対策のための研究開発」研究集会, 2019 年 6 月, 長岡市
131. 清野直子, 都市キャノピースキーム SPUC を用いた数値シミュレーションによる首都圏の大気境界層構造の解析, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉市
132. 楠 研一, 猪上華子, 石津尚喜, 藤原忠誠, 地上付近の直接詳細観測のための多点型地上観測システム, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市

133. 嶋田宇大, 山口宗彦, 西村修司, 台風の急発達事例は“気候学的に”増加しているか?, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都渋谷区
134. 嶋田宇大, 台風急発達の環境条件と多様性, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都渋谷区
135. 足立アホロ, 橋口浩之, パラメトリックスピーカーによる RASS 観測の精度, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都
136. 益子 渉, 竜巻の数値実験における水平解像度依存性, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都
137. 足立 透, 石津尚喜, 楠 研一, 猪上華子, 新井健一郎, 藤原忠誠, 鈴木博人, PAWR および CNN による突風被害をもたらした渦の立体解析, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都
138. 猪上華子, 楠 研一, 新井健一郎, 石津尚喜, 藤原忠誠, 足立 透, 鈴木博人, 多点型地上観測とレーダー観測による下層渦の解析, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都
139. 藤原忠誠, 楠 研一, 猪上華子, 石津尚喜, 新井健一郎, 水谷文彦, 鈴木博人, ドップラーレーダーで捉えた男鹿市船越で発生した突風事例, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都
140. 新井健一郎, 楠 研一, 石津尚喜, 足立 透, 猪上華子, 新野 宏, Mario Marcello Miglietta⁴, 藤原忠誠, 2017 年 12 月 1 日イタリア・サンレモ竜巻の初期解析と渦の自動探知, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都
141. 石津尚喜, 楠 研一, 足立 透, 猪上華子, 藤原忠誠, 新井健一郎, 鈴木 博, CNN による竜巻の自動検出技術の開発と突風事例への適用, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都
142. 楠 研一, 足立 透, 石津尚喜, 猪上華子, 新井健一郎, 川又 幸, 藤原忠誠, 鈴木博人, AI を用いた竜巻等突風の自動予測・情報提供システムの開発 -概要-, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都
143. 荒木健太郎, 佐藤晋介, 田尻拓也, 2019 年 1 月 26 日に関東平野で発生した対流雲の発生環境場と雲・降水特性, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都渋谷区
144. 嶋田宇大, 台風強度予報の改善に向けて取り組むべき研究課題, 第 51 回メソ気象研究会, 2019 年 5 月, 東京都千代田区
145. 荒木健太郎, 雲を愛する技術, 福岡市科学館講演会, 2019 年 4 月, 福岡市
146. Shimada, U., P. Reasor, R. Rogers, M. Fischer, J. Zawislak, J. Zhang, and F. Marks, 発達ハリケーンの上層アップシア-左象限で観測される強い上昇流について, 第 13 回熱帯気象研究会, 2022 年 3 月, オンライン
147. 石津尚喜, 楠 研一, 足立 透, 猪上華子, 新井健一郎, 藤原忠誠, 鈴木博人, 深層学習を用いた竜巻探知システムの開発, 東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会「竜巻シンポジウム」, 2021 年 3 月, オンライン
148. 楠 研一, 足立透, 猪上華子, 鈴木修, 新井健一郎, 石津尚喜, 足立一夫, 鈴木博人, 植村昌一, 藤原忠誠, PRISM これまでの成果と今後の課題; 2021, 気象研究所 AI 研究会
149. 石津尚喜, 楠 研一, 足立透, 猪上華子, 鈴木修, 新井健一郎, 鈴木博人, 藤原忠誠, 深層学習を利用した突風探知; 2021, 気象研究所 AI 研究会.

イ. ポスター発表

・国際的な会議・学会等 : 21 件

1. Adachi, T., and W. Mashiko, Observations of Boundary Layer Streaks Associated with Typhoon Faxai (2019) Using Phased Array Weather Radar, AGU Fall Meeting 2021, 2021 年 12 月, 米国, ニューオーリンズ
2. Yanase, W., U. Shimada, and N. Takamura, Large-scale conditions for reintensification after the extratropical transition of tropical cyclones in the western North Pacific Ocean, International workshop for mid-latitude air-sea interaction: advancing predictive understanding of regional climate variability and change across timescales, 2021 年 6 月, オンライン, オンライン

3. Shimada, U., P. Reasor, R. Rogers, M. Fischer, J. Zawislak, J. Zhang, and F. Marks, Preference for upshear-left convection at upper levels for intensifying hurricane-strength storms, AMS 101st Annual Meeting, 2021年1月, アメリカ, オンライン
4. Adachi, T., A. Umehara, and W. Mashiko, Multi-Radar Observation of Tornadogenesis in a Shallow Supercell of Typhoon Hagibis (2019), AGU Fall Meeting 2020, 2020年12月, 米国, virtual
5. Wada, A., Warm ocean conditions and increased typhoon intensity in 2019, 日本地球惑星科学連合2020年大会, 2020年7月, オンライン
6. Araki, K., Observational study on characteristics of ground snow crystals in the metropolitan areas in Japan, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020年7月, オンライン
7. Wada, A., H. Tomita, M. Hayashi, and R. Oyama, , Tropical cyclone-ocean interactions and predictions around the southern area of Okinawa with numerical simulations and a sea surface flux data set, 2019 AGU Fall Meeting, 2019年12月, アメリカ, サンフランシスコ
8. Hayashi, M., and K. Nonaka, New Estimation Method of Himawari-8/-9 Lower Tropospheric Winds, American Geophysical Union 2019 Fall meeting, 2019年12月, アメリカ, サンフランシスコ
9. Kusunoki, K., N. Ishitsu, T. Adachi, K. Arai, H. Inoue, C. Fujiwara, and H. Suzuki, An advanced system for automatic strong gust detection and warning for railroads using deep learning, 第10回欧州シビアストーム会議, 2019年11月, ポーランド, クラクフ
10. Yanase, W. and H. Niino, Parameter sweep experiments on a spectrum on cyclones with diabatic and baroclinic processes, 19th Cyclone Workshop, 2019年10月, ドイツ, ゼーオン
11. Adachi, A., and T. Kobayashi, Estimation of shape parameter from C-band polarimetric radar measurements, 39th International Conference on Radar Meteorology, 2019年9月, Japan, Nara
12. Adachi, A., H. Hashiguchi, Application of Parametric Speakers to RASS, 39th International Conference on Radar Meteorology, 2019年9月, Japan, Nara
13. Umehara, A., T. Koike, K. Yamamoto, N. Nagumo, and H. Yamauchi, Development of a Practical Hydrometeor Classification Algorithm via a Bayesian Approach Using C-band Dual Polarization Radar, 39th International Conference on Radar Meteorology, 2019年9月, 奈良市
14. Suezawa, T., H. Kikuchi, T. Mega, E. Yoshikawa, H. Hanado, S. Hayashi, and T. Ushio, An evaluation of the Multi Parameter Phased Array Weather Radar, 39th International Conference on Radar Meteorology, 2019年9月, 奈良市
15. Hayashi, S., A. Umehara, and N. Nagumo, A dual-polarization radar observation of the thunderstorm dominated by positive cloud to ground lightning flash, 39th International Conference on Radar Meteorology, 2019年9月, 奈良市
16. Inoue, H. Y., K. Kusunoki, N. Ishitsu, K. Arai, C. Fujiwara, T. Adachi, and H. Suzuki, Multi-scale structure of meso-gamma scale vortex observed by X-band Doppler radars, 39th International Conference on Radar Meteorology, 2019年9月, 奈良市
17. Sato, E., H. Seko, H. Nagumo, and H. Yamauchi, Radar refractivity estimation using solid-state weather radar, 39th International Conference on Radar Meteorology, 2019年9月, 奈良市
18. Ichikawa, R., H. Ujihara, S. Satoh, J. Amagai, Y. Ohta, B. Miyahara, H. Munekane, T. Nagasaki, O. Tajima, K. Araki, T. Tajiri, H. Takiguchi, T. Matsushima, N. Matsushima, and T. Momotani, Development of novel ground-based microwave

radiometer for earth science, the 27th IUGG General Assembly, 2019 年 7 月, カナダ, モントリオール

19. Wada, A., Roles of preexisting oceanic condition and ocean coupling processes in the intensity prediction during the mature phase of Typhoon Trami (2018) , JpGU meeting 2019, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
20. Ichikawa, R., H. Ujihara, S. Satoh, J. Amagai, Y. Ohta, B. Miyahara, H. Munekane, T. Nagasaki, O. Tajima, K. Araki, T. Tajiri, H. Takiguchi, T. Matsushima, N. Matsushima, and T. Momotani, Development of novel ground-based microwave radiometer for earth science, the EGU General Assembly 2019, 2019 年 4 月, オーストリア, ウィーン
21. Ishitsu, N., K. Kusunoki, T. Adachi, K. Arai, H.Y. Inoue, C. Fujiwara, H. Suzuki, 2019: Detection of tornadic vortex from Doppler velocity field using Convolutional Neural Networks. 第 10 回欧州シビアストーム会議, 2019 年 11 月, ポーランド, クラクフ.

・国内の会議・学会等 : 32 件

1. 益子 渉, アメダス 1 分値データを用いた突風の統計解析, 日本気象学会秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
2. 荒木健太郎, 加藤輝之, 廣川康隆, 益子 渉, 2021 年 7 月 1~3 日の静岡県を中心とした大雨の環境場, 日本気象学会 2021 年秋季大会, 2021 年 12 月, オンライン
3. 梅原章仁, 吉田 智, 林 修吾, 南雲信宏, 山内 洋, 吉川栄一, 二重偏波レーダーによる降水粒子判別結果と BOLT による三次元電荷分布との相互比較, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重
4. 瀬古 弘, 佐藤英一, 梅原章仁, 鈴木 修, 足立アホロ, 山内 洋, 南雲信宏, 空港気象レーダーによる屈折率の時間変化, 日本気象学会秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
5. 柳瀬 亘, 凝結熱と傾圧性から生じる低気圧の多様性, 日本気象学会 2021 年秋季大会, 2021 年 12 月, オンライン
6. 足立アホロ, 小林隆久, 梅原章仁, 山内 洋, 南雲信宏, 二重偏波レーダーによる雨滴粒径分布の推定(その 4) -2019 年 T15 と T19 の強雨域の比較 -, 日本気象学会 2021 年秋季大会, 2021 年 12 月, オンライン
7. 和田章義, 柳瀬 亘, 岡本幸三, 2018 年台風第 12 号(JONGDARI)の数値シミュレーション(2), 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重
8. 足立 透, 益子 渉, PAWR で観測された令和元年房総半島台風に伴う境界層ストリーク, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
9. 和田章義, 海洋貯熱量が台風強度予測に与える影響について, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重
10. 北畠尚子, 日本海側の大雪に対する総観場の影響 —2018 年 2 月上旬と 2021 年 1 月上旬の事例の比較—, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
11. 林 修吾, 梅原章仁, 南雲信宏, 二重偏波レーダーによる粒子判別結果と雷放電頻度の関係(その 2), 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
12. 嶋田宇大, 静止気象衛星搭載雷センサで観測された熱帯低気圧の雷活動と強度変化の関係, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
13. 小野耕介, メソ特異ベクトルの基礎調査, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, オンライン
14. 梅原章仁, 足立 透, 益子 渉, 山内 洋, 2019 年 10 月 12 日に市原市に被害をもたらした竜巻の二重偏波特性について (その 2) , 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
15. 益子 渉, 令和元年房総半島台風 (T1915) に伴う強風の特徴, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
16. 小司禎教, 清野直子, 凌風丸による 2020 年梅雨期東シナ海ゾンデ観測, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン

17. 足立 透、梅原章仁、益子 渉, 2019 年 10 月 12 日市原竜巻の 3 次元渦形成過程について, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
18. 梅原章仁, 南雲信宏, 山内 洋, 二重偏波レーダーで捉えたダウンバースト発生前後における降水粒子の時空間分布特性, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
19. 林 昌宏, 岡本幸三, DARDAR プロダクトとひまわり 8 号観測を用いた RTTOV 氷雲放射スキームの評価, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
20. 市川隆一, 氏原秀樹, 佐藤晋介, 太田雄策, 宮原伐折羅, 宗包浩志, 長崎岳人, 田島 治, 荒木健太郎, 田尻拓也, 瀧口博士, 松島 健, 松島喜雄, 桃谷辰也, 宇都宮健志, 次世代高感度マイクロ波放射計の開発-初期観測成果-, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
21. 梅原章仁, 山内 洋, 2019 年 10 月 12 日に市原市に被害をもたらした竜巻の二重偏波特性, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
22. 橋本明弘, 折笠成宏, 田尻拓也, 林 修吾, 平成 30 年 7 月豪雨の雲・降水形成機構に関する数値実験, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
23. 荒木健太郎, 田中沙央里, 小池佳奈, シチズンサイエンスのための気象アプリ「空ウォッチ」を通じた降雪研究, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
24. 北畠尚子, 荒木健太郎, 2018 年 2 月 5~6 日の日本海側の大雪に対する対流 圏中上層の総観場の影響, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡市
25. 小野耕介, 総観場の不確実性を反映したメソ特異ベクトルの計算, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
26. 和田章義, 岡本幸三, 2018 年台風第 12 号(JONGDARI)の数値シミュレーション, 日本気象学会秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市
27. 清野直子, 新藤永樹, 荒木健太郎, 都市キャノピースキーム SPUC を用いた数値シミュレーションと観測に基づく首都圏の大気境界層構造の事例解析, 日本ヒートアイランド学会第 14 回全国大会, 2019 年 9 月, 千葉県柏市
28. 廣川康隆, 加藤輝之, 清野直子, 解析雨量を用いた, 線状降水帯事例の客観的な検出, 第 6 回メソ気象セミナー, 2019 年 7 月, 三重県伊勢市
29. 市川隆一, 氏原秀樹, 佐藤晋介, 雨谷 純, 太田雄策, 宮原伐折羅, 宗包浩志, 長崎岳人, 田島治, 荒木健太郎, 田尻拓也, 松島 健, 瀧口博士, 松島喜雄, 桃谷辰也, 宇都宮健志, 次世代高感度マイクロ波放射計の開発-序報-, JpGU meeting 2019, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
30. 柳瀬 亘, 嶋田宇大, 台風の温帯低気圧化後の再発達に影響する環境場の特徴, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都渋谷区
31. 北畠尚子、黒良龍太、長田栄治、杉原 良, 2018 年 7 月 5~8 日の豪雨におけるメソ α スケールの変化, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京
32. 小山亮, 岡本幸三, 入口武史, 村田英彦, 1D-Var を用いた台風内部の大気プロファイル解析, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都渋谷区

(4) 投稿予定論文

1. Adachi, T., A. Umehara, and W. Mashiko (2021), Initiation of Near-Surface Tornadic Vortex and Debris in Ichihara Tornado Associated with Typhoon Hagibis (2019) Observed by Phased Array Weather Radar, Geophys. Res. Lett., under review.
2. Kollias, P., D. Bodine, R. Palmer, E. Luke, Steve Nesbitt, Pierre Kirstetter, Alan Shapiro, Mariko Oue, Jorge Salazar, Howie Bluestein, Wen Chau Lee, Robin Tanamachi, Casey Griffin, Toru Adachi, Xuguang Wang, Angela Rowe, Matt Kumjian, James Kurdzo, Jana Houser, and Dusan Zrnica, Science Applications of Phased Array Radars, Bulletin of the American Meteorological Society, under preparation.
3. Shimada, U., Variability of environmental conditions for tropical cyclone rapid intensification in the western North Pacific., in preparation.

4. Shimada, U., P. Reasor, R. Rogers, M. Fischer, F. Marks, J. Zawislak, and J. Zhang, Preference for strong upshear-left ascent at upper levels for intensifying hurricane-strength storms., under review.

・ 気象集誌特集号 査読中

1. Takamura, N., A. Wada, W. Yanase, and Y. Miyamoto, Characteristics of the extratropical transition of tropical cyclones in 2018-2019 and the relationship with variations in mid-latitude westerlies.
2. Yanase, W., K. Araki, A. Wada, U. Shimada, M. Hayashi, and T. Horinouchi, Multiple dynamics of asymmetric precipitation in Typhoon Hagibis (2019) during extratropical transition.

報道・記事

- 足立 透, 楠 研一 「竜巻の動き 解明日指す」読売新聞 2020 年 4 月 12 日
- 足立 透 「大小の渦、結合し竜巻＝台風時のメカニズム解明—気象研究所」時事通信 2020 年 9 月 29 日
- 足立 透 「台風に伴う竜巻発生のメカニズム解明、気象研」日本経済新聞 2020 年 9 月 29 日
- 足立 透 「台風に伴う竜巻『世界初の解析』で分かったメカニズムとは」NHK おはよう日本 2020 年 10 月 1 日
- 足立 透 「台風に伴う竜巻、発生の仕組み解明 気象研」日刊工業新聞 2020 年 10 月 5 日
- 足立 透 「昨年の台風 19 号竜巻 発生の仕組み解明」日本経済新聞 2020 年 10 月 5 日
- 足立 透, 益子 渉 「Radar Observations of a Tornado Associated with Typhoon Hagibis」米国地球物理学会 EOS 誌 2020 年 10 月 23 日
- 足立 透 「最新鋭のレーダー『フェーズドアレイレーダー』」日本気象予報士会・てんきすと 2021 年 5 月 20 日
- 荒木健太郎 TBS ラジオ (赤江珠緒たまむすび)「積乱雲とその観測・予測研究について」2019 年 8 月 8 日
- 荒木健太郎 読売新聞「九州大雨前、多量の水蒸気、南西海上に流入傾向」2019 年 11 月 14 日
- 荒木健太郎 月刊 NEWS がわかる (2019 年 12 月号)「空の様子を姿で伝える雪結晶の神秘」2019 年 11 月 15 日
- 荒木健太郎 FUNDO「スマホを使って手軽に雪の結晶を撮影する方法が話題に！「こんなに綺麗に撮れるんですね」」2019 年 11 月 24 日
- 荒木健太郎 日本経済新聞「市民の日常 科学研究担う SNS の投稿で新発見も」2020 年 5 月 10 日
- 荒木健太郎 読売新聞 (大阪版)「シチズンサイエンスによる雪結晶観測について」2020 年 6 月 3 日
- 荒木健太郎 日本経済新聞電子版 (U22)「みんなでパチリ、雪結晶プロジェクト 雲の科学に活用 気象庁 気象研究所 荒木健太郎 (3)」2020 年 7 月 27 日
- 荒木健太郎 KAB 熊本朝日放送「7 月豪雨の線状降水帯 九州最大規模 長さ 280 キロ 13 時間」2020 年 12 月 24 日
- 荒木健太郎 KBC 九州朝日放送「7 月豪雨は九州で発生した最大規模の線状降水帯」2020 年 12 月 24 日
- 荒木健太郎 フジテレビ (とくダネ!)「市民参加型の降雪観測研究「#関東雪結晶」について」2020 年 12 月 24 日
- 荒木健太郎 読売新聞「雪結晶観測について」2020 年 12 月 24 日
- 荒木健太郎 日本経済新聞「九州の 7 月豪雨、線状降水帯の発生が最多 気象研」2020 年 12 月 24 日
- 荒木健太郎 朝日新聞 (九州・山口・沖縄地方向け版)「熊本豪雨 近年最大の線状降水帯 今年 7 月東西 280 キロは 13 時間停滞」2020 年 12 月 25 日
- 荒木健太郎 西日本新聞「7 月豪雨「小低気圧」が影響 大量の水蒸気流入、最大規模の線状降水帯」2020 年 12 月 29 日
- 荒木健太郎 毎日新聞「特集ワイド：10 万枚の「#関東雪結晶」 市民がスマホで撮影、降雪予測の精度向上」2021 年 1 月 29 日

荒木健太郎 NHK ラジオ（にっぽん列島夕方ラジオ はっけんラジオ）「令和 2 年 7 月豪雨で九州に水害をもたらした線状降水帯について」2021 年 6 月 15 日
 荒木健太郎 週刊文春「集中豪雨をもたらす線状降水帯について」2021 年 8 月 18 日
 加藤輝之 県北部豪雨「線状降水帯」か、2021 年 5 月 31 日、信濃毎日新聞
 楠 研一ほか PR TIME「インキュビット、気象庁「AI を用いた竜巻等突風・局地的大雨の自動予測・情報提供システム」の研究開発委託先として採択」2020 年 6 月 23 日
 楠 研一 秋田魁新聞「AI で突風探知し規制」2020 年 10 月 7 日
 楠 研一ほか 岩手日報「突風原因探知システム開発」2020 年 10 月 7 日
 楠 研一ほか 新潟日報「AI で突風探知 列車規制」2020 年 10 月 7 日
 楠 研一ほか 読売新聞「線路に突風 AI で予測」2020 年 12 月 24 日
 楠 研一ほか NHK ニュース「レーダーと AI で突風を予測 脱線事故受け安全対策強化」2020 年 12 月 24 日
 嶋田宇大 「台風 15 号 降雨域で局所的強風」読売新聞 2020 年 9 月 17 日
 清野直子 読売新聞「九州大雨前、多量の水蒸気、南西海上に流入傾向」2019 年 11 月 14 日
 林 昌宏 「ひまわり 8 号を使った最新の台風研究」朝日新聞 2020 年 9 月 9 日
 廣川康隆 九州豪雨 1 年 最大級 280 キロ 線状降水帯の脅威、2021 年 7 月 3 日、朝日新聞.
 和田章義 「台風第 19 号について」NHK 2019 年 10 月 17 日
 和田章義 「2016 年台風第 10 号の対流バーストについて」河北新報 2020 年 5 月 3 日
 和田章義 「台風第 10 号の予測について」NHK 2020 年 9 月 7 日

その他

・報道発表

国立研究開発法人防災科学技術研究所、一般財団法人日本気象協会、気象庁気象研究所、内閣府 「顕著な大雨をもたらす線状降水帯の自動検出技術を開発」 2021 年 6 月 11 日

・講演、アウトリーチ等

加藤輝之、集中豪雨をもたらす線状降水帯とは、日本気象学会九州支部「第 21 回気象教室」、2021 年 10 月
 荒木健太郎、風水害をもたらす気象。ジャパン SDGs アクションシンポジウム。2021 年 3 月
 荒木健太郎、雪結晶で読み解く雲の心。2020 年度積雪観測&雪結晶撮影講習会。2021 年 2 月
 廣川康隆、集中豪雨と線状降水帯。未来の教室 STEAM ライブラリー、<https://www.pre.steam-library.go.jp/>。2020 年 12 月
 荒木健太郎、雲を愛する技術。江丹別熱中小学校。2020 年 11 月。
 足立 透 「フェーズドアレイレーダーを用いた研究の最前線」 気象キャスターネットワーク講演会 2020 年 11 月
 荒木健太郎、雲でわかる！空のきもち。2020 年度広島市江波山気象館講演会。2020 年 10 月
 荒木健太郎、今こそ知りたい、気象と災害：空と雲の“気持ち”から考えてみよう。国連大学オンライントークイベント。2020 年 9 月
 楠 研一ほか ニュートン別冊 ゼロからわかる人工知能 仕事編 増補第 2 版 「AI と竜巻予測」（ニュートンプレス社）2020 年 9 月号
 荒木健太郎、雲科学入門。日本気象学会第 54 回夏季大学。2020 年 8 月
 荒木健太郎、異常気象と向き合う技術。国連大学トークショー「意外と知らない水と天気、地球のこと」。2020 年 3 月
 和田章義、「なぜ台風 19 号は大規模化したのか」（協力）ニュートン（ニュートンプレス社）2020 年 1 月号
 荒木健太郎、雲と雪のかたちの科学。Tsukuba Mini Maker Faire 2020。2020 年 2 月
 荒木健太郎、つくればわかる、かたちの科学。Tsukuba Mini Maker Faire 2020。2020 年 2 月
 荒木健太郎、雪結晶で読み解く雲の心。2019 年度日本雪氷学会積雪観測&雪結晶撮影講習会。2020 年 2 月
 荒木健太郎、SNS を通した気象研究と防災。FUKKO STUDY #1。2019 年 12 月

荒木健太郎, 雲を愛する技術. 宮崎こばやし熱中小学校. 2019 年 11 月
荒木健太郎, 雲を愛する技術. 元村有希子の NEWS なカフェ. 2019 年 10 月
嶋田宇大, 「Lab SCOPE Invitation」2019 年 8 月
荒木健太郎, 雲科学とアート. 東京造形大学特別講義. 2019 年 7 月
荒木健太郎, 夏の空と仲良くなろう. アカデミアイーアスつくば店サイエンスイベント. 2019 年 7 月
荒木健太郎, 雲を愛する技術. 第 16 回麻醉科学サマーセミナー. 2019 年 6 月
荒木健太郎, 雲を愛する技術. 福岡市科学館講演会. 2019 年 4 月

・受賞等

足立 透, 益子 渉 Editor's Highlight 米国地球物理学学会論文誌 Geophysical Research Letters (GRL 誌), 2020 年 10 月
気象研究所 第 18 回日本鉄道賞表彰委員会による特別賞, 「安全」「正確」「快適」を守るシステム特別賞, 2019 年 10 月
気象研究所 JR 東日本鉄道事業本部長感謝状 (機関賞), 2021 年 1 月
楠 研一 平成 31 年度文部科学大臣表彰, 科学技術賞 (開発部門), 2019 年 4 月 (団体)
楠 研一, 猪上華子 第 11 回日本鉄道技術協会坂田記念賞, 2019 年 4 月
楠 研一 平成 30 年土木学会技術開発賞, 2019 年 5 月 (団体)
楠 研一 2020 年度日本気象学会 岸保・立平賞, 2020 年 5 月
吉田 智, 足立 透, 楠 研一, 林 修吾, 猪上華子, 電気学術振興賞 論文賞 (電気学会), 2021 年 5 月
和田章義 2020 年米国地球物理学学会 優秀査読者賞, 2021 年 6 月
和田章義 Springer Advances in Atmospheric Sciences 2021 年編集者賞, 3 月

・特許等

楠 研一, 足立 透 「渦検出装置、渦検出方法、プログラム及び学習済モデル」(特許第 6756889 号)
登録日 2020 年 8 月 31 日

C 気候・地球環境変動の要因解明と予測に関する研究

研究年次：3年目／5年計画（令和元年度～令和5年度）

研究代表者：石井雅男（気候・環境研究部長、～令和2年9月）
須田一人（気候・環境研究部長、令和2年10月～）

課題構成及び研究担当者

（副課題1）異常気象のメカニズム解明と季節予測可能性の評価

〔気候・環境研究部〕○直江寛明、小林ちあき、原田やよい、今田由紀子、高薮 出（R2.4～）、保坂征宏（R2.4～）、遠藤洋和、尾瀬智昭（～R3.3）、古林慎哉（併任）、高坂裕貴（併任）、上口賢治（併任、R2.1～9）、南敦（併任、～R2.3）、若松俊哉（併任、～R2.3）、千葉丈太郎（併任、R2.4～）、佐藤大卓（併任、R2.4～）、黒田友二（併任）、村上茂教（併任、～R2.3）、前田修平（併任、R3.4～）、
〔全球大気海洋研究部〕石川一郎、高谷祐平、新藤永樹、足立恭将（R2.4～）、吉田康平、齊藤直彬（～R2.9）
〔応用気象研究部〕仲江川敏之、川瀬宏明

（副課題2）地球温暖化予測の不確定性低減

〔気候・環境研究部〕○保坂征宏、水田 亮、遠藤洋和、尾瀬智昭（～R3.3）、行本誠史、田中泰宙、辻野博之、直江寛明、小林ちあき、原田やよい、今田由紀子、村上茂教（併任、R2.4～）
〔全球大気海洋研究部〕石井正好、吉村裕正、出牛 真、神代 剛（R1.12～）、吉田康平、石川一郎、高谷祐平、新藤永樹、齊藤直彬（～R2.9）、足立恭将（R2.4～）、大島 長、山中吾郎（～R3.3）、中野英之（R3.4～）、坂本 圭、浦川昇吾
〔気象予報研究部〕中川雅之、川合秀明、長澤亮二
〔応用気象研究部〕仲江川敏之、村崎万代、川瀬宏明、小畑 淳、山口宗彦

（副課題3）大気中温室効果ガスの変動要因・炭素収支の解明

〔気候・環境研究部〕○田中泰宙、坪井一寛、石島健太郎、松枝秀和（～R2.3）、藤田 遼（R2.10～）、川崎照夫（併任、～R2.3）、梅澤研太（併任、～R2.3）、古積健太郎（併任、～R2.3）、高辻慎也（併任、R2.4～）、雪田一弥（併任、R2.4～）、佐藤祥平（併任、R2.4～）
〔全球大気海洋研究部〕眞木貴史

（副課題4）海洋の生物地球化学循環と酸性化実態の解明

〔気候・環境研究部〕○辻野博之、遠山勝也、小杉如央、小野恒、増田真次（併任、～R2.3）、笹野大輔（併任）、飯田洋介（併任）、佐藤克成（併任、R3.4～）
〔全球大気海洋研究部〕山中吾郎（～R3.3）、中野英之、豊田隆寛、坂本 圭、浦川昇吾、川上雄真（R3.4～）
〔研究総務官〕石井雅男（R2.10～）

研究の動機・背景

（社会的背景・意義）

- ・ 人為的な温室効果ガスの排出によって、大気と海洋の温暖化が進み、気候が変化している。海洋では排出された二酸化炭素の吸収や温暖化によって海洋酸性化や貧酸素化も進んでいる。これらの変化は、国際社会に大きな脅威と認識され、2015年9月に国連総会で制定された17の持続可能な開発目標の中で、気候変動への対策や豊かな海を守る具体的な行動を求めている。2016年11月には温室効果ガス排出の抑制による地球温暖化の緩和に向けたパリ協定が発効した。世界経済フォーラムが公表したグローバルリスク報告書2018においても、異常気象、自然災害、気候変動の緩和と適応の失敗の3つは、世界が抱える30のリスクの中でも発生の可能性が最も高く、負の影響が最も大きいリスクに挙げられている。
- ・ 日本国内においても、観測史上かつてない猛暑や集中豪雨が、近年各地で発生し、人身や社会基盤に大きな被害を与えており、気候の変化が現実の問題として国民に広く認識されるようになった。こうした中、2018年5月には気候変動における海洋の役割や海洋酸性化の実態把握を目的に

C 気候・地球環境変動の要因解明と予測に関する研究

研究年次：3年目／5年計画（令和元年度～令和5年度）

研究代表者：石井雅男（気候・環境研究部長、～令和2年9月）
須田一人（気候・環境研究部長、令和2年10月～）

課題構成及び研究担当者

（副課題1）異常気象のメカニズム解明と季節予測可能性の評価

〔気候・環境研究部〕○直江寛明、小林ちあき、原田やよい、今田由紀子、高薮 出（R2.4～）、保坂征宏（R2.4～）、遠藤洋和、尾瀬智昭（～R3.3）、古林慎哉（併任）、高坂裕貴（併任）、上口賢治（併任、R2.1～9）、南敦（併任、～R2.3）、若松俊哉（併任、～R2.3）、千葉丈太郎（併任、R2.4～）、佐藤大卓（併任、R2.4～）、黒田友二（併任）、村上茂教（併任、～R2.3）、前田修平（併任、R3.4～）、
〔全球大気海洋研究部〕石川一郎、高谷祐平、新藤永樹、足立恭将（R2.4～）、吉田康平、齊藤直彬（～R2.9）
〔応用気象研究部〕仲江川敏之、川瀬宏明

（副課題2）地球温暖化予測の不確定性低減

〔気候・環境研究部〕○保坂征宏、水田 亮、遠藤洋和、尾瀬智昭（～R3.3）、行本誠史、田中泰宙、辻野博之、直江寛明、小林ちあき、原田やよい、今田由紀子、村上茂教（併任、R2.4～）
〔全球大気海洋研究部〕石井正好、吉村裕正、出牛 真、神代 剛（R1.12～）、吉田康平、石川一郎、高谷祐平、新藤永樹、齊藤直彬（～R2.9）、足立恭将（R2.4～）、大島 長、山中吾郎（～R3.3）、中野英之（R3.4～）、坂本 圭、浦川昇吾
〔気象予報研究部〕中川雅之、川合秀明、長澤亮二
〔応用気象研究部〕仲江川敏之、村崎万代、川瀬宏明、小畑 淳、山口宗彦

（副課題3）大気中温室効果ガスの変動要因・炭素収支の解明

〔気候・環境研究部〕○田中泰宙、坪井一寛、石島健太郎、松枝秀和（～R2.3）、藤田 遼（R2.10～）、川崎照夫（併任、～R2.3）、梅澤研太（併任、～R2.3）、古積健太郎（併任、～R2.3）、高辻慎也（併任、R2.4～）、雪田一弥（併任、R2.4～）、佐藤祥平（併任、R2.4～）
〔全球大気海洋研究部〕眞木貴史

（副課題4）海洋の生物地球化学循環と酸性化実態の解明

〔気候・環境研究部〕○辻野博之、遠山勝也、小杉如央、小野恒、増田真次（併任、～R2.3）、笹野大輔（併任）、飯田洋介（併任）、佐藤克成（併任、R3.4～）
〔全球大気海洋研究部〕山中吾郎（～R3.3）、中野英之、豊田隆寛、坂本 圭、浦川昇吾、川上雄真（R3.4～）
〔研究総務官〕石井雅男（R2.10～）

研究の動機・背景

（社会的背景・意義）

- ・ 人為的な温室効果ガスの排出によって、大気と海洋の温暖化が進み、気候が変化している。海洋では排出された二酸化炭素の吸収や温暖化によって海洋酸性化や貧酸素化も進んでいる。これらの変化は、国際社会に大きな脅威と認識され、2015年9月に国連総会で制定された17の持続可能な開発目標の中で、気候変動への対策や豊かな海を守る具体的な行動を求めている。2016年11月には温室効果ガス排出の抑制による地球温暖化の緩和に向けたパリ協定が発効した。世界経済フォーラムが公表したグローバルリスク報告書2018においても、異常気象、自然災害、気候変動の緩和と適応の失敗の3つは、世界が抱える30のリスクの中でも発生の可能性が最も高く、負の影響が最も大きいリスクに挙げられている。
- ・ 日本国内においても、観測史上かつてない猛暑や集中豪雨が、近年各地で発生し、人身や社会基盤に大きな被害を与えており、気候の変化が現実の問題として国民に広く認識されるようになった。こうした中、2018年5月には気候変動における海洋の役割や海洋酸性化の実態把握を目的に

含む第三期海洋基本計画が閣議決定された。2018 年 12 月には気候変動適応法が施行され、産業や自然・社会環境に関する様々な分野で、気候変動に対する効果的な適応策を推進する。

- ・気候変動の緩和や適応に関する国内外の諸政策を立案し、啓発や技術開発・体制構築などを通じてこれらを実施するために、その根拠となる炭素循環や気候変動の実態、原因、メカニズムや、数年から百年スケールの予測に関する科学的知見の充実と、その不確かさの低減が、喫緊の課題として社会から求められている。同時に、気象・気候災害による被害を防止・軽減するため、異常気象の中長期予報精度の向上や極端気象のメカニズム究明も不可欠である。
- ・本課題が対象とする現象は、全球気候観測システム（GCOS）が掲げる 7 つの全球気候インディケーターのうち、雪氷圏の 2 つを除く 5 つ（表面温度、海洋熱、大気 CO₂、海洋酸性化、海面水位）を対象に含む。また、8 つの補助インディケーターのうち、やはり雪氷圏の 2 つを除く 6 つを対象に含む。

（学術的背景・意義）

- ・本課題の内容は、世界気候研究計画（WCRP）が掲げる 7 つの重要課題のうち、気候システムにおける炭素循環の解明、十年規模変動予測、顕著な気象・気候変動の理解と予測、沿岸水位変化に関連する。
- ・地域的な気候や顕著な気象・気候現象に関するメカニズムの解明を実現するためには、大気と海洋等の結合作用を考慮した精緻な高解像度モデルによる気候再現・予測研究の展開が求められている。
- ・地球の放射収支に影響を与える温室効果ガスの長期的変動の実態を把握するための観測の継続に疑問を挟む余地はない。観測データに基づいて地球規模の炭素循環の把握にアプローチすることは目下の重要課題の一つである。また、近年の高度な海洋観測手法により、空間変動スケールの小さい海洋内部変動が卓越する、とりわけ日本近海の複雑な海洋構造の理解を深め、海洋及び海洋炭素循環モデルの高度化を通して、モデルによる海洋変動の再現性を高めることが肝要である。これは海洋学の知見を増やすだけでなく、短期気象予測の高度化や温暖化による気候変動の解明に関わる研究展開につながる。
- ・温室効果ガスの気候影響評価や、気候システムの中でその役割を理解するためには、地球システムモデルを活用した気候研究が有効である。これによる研究成果を積み上げることにより、長期的な気候予測の精度向上が期待される。
- ・温室効果ガスは、もともと地球表層の炭素循環の構成要素であって、地球の放射収支に大きな影響を持つ微量気体群である。温室効果ガスの増加は地球の気候を決定する大気、海洋、陸、雪氷などの多様な要素の相互作用を通して気候システムの変化を引き起こす。したがって、人為的に排出された温室効果ガスの動態や、その増加が引き起こす気候変化の実態及びメカニズムを解明することは、気候システムと、その重要な一構成要素である炭素循環を理解する学術的な研究なしには成し得ない。
- ・気象研究所は、気象庁各課との密接な連携や、国内外の研究機関との共同研究により、季節予報や異常気象の理解、地球温暖化の実態把握と予測、大気と海洋の炭素循環の実態把握など、気候システムに関わる大気科学や海洋科学の諸分野の研究において、それらの黎明期から学術的に優れた業績を挙げるとともに、研究に必要なデータセットなどの基盤情報を学界に広く提供してきた。

（気象業務での意義）

- ・気象再解析、気候再解析、季節予報実験、十年規模予測実験、温暖化予測実験、及びこれらに関連したデータ解析の成果は、気候情報課における季節予報や解析業務の基盤情報となる。
- ・開発と実用化を進める世界最先端の観測手法は、世界気象機関の全球大気監視（WMO/GAW）やユネスコ政府間海洋学委員会等の全球海洋観測システムなどと連携して気象庁が実施している大気と海洋における温室効果ガスの現業観測の改善に活かし、その地球環境監視業務の充実と向上に貢献する。
- ・本課題で得られる研究成果は、気象庁のウェブサイトや、異常気象レポート、気候変動監視レポート、地球温暖化予測情報などの気象庁の刊行物の作成に貢献する。また、気候変動に関する政

府間パネル第6次評価報告書（IPCC AR6）や、WMO 気候ステートメント年報及び温室効果ガス年報等に貢献する。

研究の目的

（全体）

- 本研究課題では、大気と海洋の物理及び生物地球化学の長期観測と多様かつ高解像度のプロセス観測及びそれらのデータ解析や、精緻化された大気・海洋・生物地球化学過程を含むシステムの数値モデルの利用と解析を推進し、それらの研究の連携を強化する。これによって気候システムとその変化をより深く理解し、その諸現象の予測の不確実性の低減に資することで、社会に貢献する。

（副課題1）

- 季節予測システム等を用いたアジア地域固有の気候現象と異常気象の季節予測可能性の研究、観測・長期再解析及びモデル実験等を用いた異常気象の実態解明と温暖化の影響の研究、そして気候研究に必要なデータ整備に関する研究を通して、季節予測の向上とその予測を用いた減災に資する情報を提供する。

（副課題2）

- 地球システムモデルを実用し、地球温暖化予測や十年規模の気候変動予測のための研究基盤システムを開発する。高解像度の地球システムモデルを活用した実験を行うことで、気候メカニズムを理解し、全球及び地域スケールの気候の再現・予測の不確実性を評価・低減する。また、海洋の温暖化予測情報を充実させる。

（副課題3）

- 大気中の温室効果ガスの新しい観測・測定手法を開発し、多種類の大気化学トレーサー観測を実施して、西太平洋域における時空間変動を把握する。それらの観測情報に基づいて、温室効果ガスの変動要因を解析し、炭素収支を評価する。これらの活動を通じて、温室効果ガス排出削減の政策決定に科学的根拠を与える気象庁の現業温室効果ガス観測、WMO/GAW による国際的な観測・解析、パリ協定のグローバルストックテイク等に貢献する。

（副課題4）

- 海洋の炭素循環や海洋酸性化について、新しい観測手法の開発や、従来の手法の改良を行う。それらによる観測データと数値モデルのデータを合わせて解析し、海洋炭素循環の変化や海洋酸性化の実態を評価するとともに、その原因を解明する。これによって、「持続可能な開発目標」や温室効果ガス排出削減の政策決定に科学的根拠を与える気象庁の現業海洋二酸化炭素観測や全球海洋観測システムの発展に貢献する。また、数値モデリングとの比較等を通じて、海洋酸性化の将来予測の向上にも貢献する。

研究の目標

（全体）

- 異常気象の実態解明、季節予測の可能性、地球温暖化、大気と海洋の炭素循環に関する長期かつ高解像度の観測及びモデル実験データベースを作成する。
- それらの解析や数値モデリングにより、炭素循環や気候変動の実態とメカニズムの理解を深めるとともに、過去気候再現と将来気候予測の不確実性を評価・低減する。

（副課題1）

① アジアモンスーンと台風の予測可能性評価

- 季節予測システムを用いた実験により、海洋・陸面と相互作用したアジアモンスーンの季節～数

年の予測可能性を評価し、そのメカニズムを解明する。

- ・ 季節予測システムの再予報実験における台風の発生数等の予測精度を評価し、予測可能性の要因を解明する。
- ② 極端気象の実態と予測可能性の研究
 - ・ 長期再解析などのデータ解析と季節予測システムを用いたモデル実験を通して、極端気象の実態と発生メカニズムを明らかにする。
 - ・ 大気モデルの大規模アンサンブル実験（d4PDF）を用いて、熱波、旱魃、豪雨といった極端事象の発生確率の季節（内）予測可能性を評価し、季節予測システムを用いて大気・海洋結合がそれらの予測可能性にどのような影響を及ぼすかを調べる。
- ③ 異常気象の実態解明と要因に与える大規模場の影響評価
 - ・ 長期再解析データ、地上観測データ、モデル実験等を利用して、今後発生する異常気象の発生メカニズムの迅速かつ的確な情報提供に資するために、過去の異常気象の実態と発生メカニズム、温暖化寄与評価について大規模場の観点から研究を行う。
- ④ 気候データに関する研究
 - ・ 異常気象の実態と発生メカニズムの解析、予測初期値、予測精度評価に必要な、気候研究の基盤となる長期再解析データなどを整備し、品質評価を行う。また、次世代の長期再解析の品質向上に資する同化インパクト実験や結合同化実験の評価を行う。

（副課題2）

- ① タイムスライス温暖化予測システム
 - ・ 地球システムモデルを用いた高解像度モデルによる温暖化予測システムを開発し、アンサンブル実験を行い、地域スケールの温暖化予測の不確実性を評価・低減する。また、これをもとに海洋の将来予測プロダクトの検討を行う。
- ② 十年規模気候変動予測
 - ・ 地球システムモデルに組み込む初期値化スキームを開発し、十年規模予測実験を行い、全球及び地域スケールの十年規模の気候予測可能性や変動メカニズムについて考察する。また、これにより、モデル開発、初期値スキームの開発、予測情報の不確実性の低減に結びつける。
- ③ 気候再現実験
 - ・ 気候モデルにより、歴史的観測データを整備・活用した長期気候変動再現システムを開発する。再現実験出力により長期気候変動の理解を進め、観測データに基づく百年スケールの気候変動研究領域を開拓する。
- ④ CMIP 実験
 - ・ WCRP の第 6 期気候モデル相互比較プロジェクト（CMIP6）の各種温暖化実験を行い、国際比較のために実験出力をプロジェクトへ提出する。また、マルチモデル（CMIP6、CMIP5）等の各種データセット・実験を解析した結果をモデル開発にフィードバックするとともに、気候変動メカニズムの理解に役立てる。

（副課題3）

- ① 化学トレーサの時空間変動に関する観測研究
 - ・ 気象庁の定常大気観測所（綾里、与那国島、南鳥島）や父島気象観測所の観測施設を利用して、ラドン、酸素や、二酸化炭素の炭素・酸素安定同位体比等の複数の大気化学トレーサの連続観測を実施する。これらのデータと、定常大気観測所で収集されている温室効果ガス濃度のデータを統合して、多種類の微量気体を含む高分解能観測データベースを作成する。
 - ・ 温室効果ガス測定の標準ガス等の国内相互比較実験に参加し、観測基準や測定精度を評価する。また、実大気を用いた標準ガス調製システムを開発する。
 - ・ 次世代のレーザー分光型分析計等を利用した観測・校正システムを開発する。
 - ・ 代替フロンを含むハロカーボン類の連続測定技術確立する。
- ② 化学トレーサ観測による炭素収支に関する解析研究
 - ・ 観測データベースを用いて、ラドン（ ^{222}Rn ）を指標とした清浄大気の前データ選別手法を確立し、温室効果ガスの広域代表性の高い変動を再解析する。
 - ・ 酸素や二酸化炭素同位体比を用いた解析を実施し、他の手法とも比較検証を行って温室効果ガス濃度の変動要因・炭素収支を定量的に評価する。

(副課題4)

- ① 高解像度観測や高精度分析による海洋炭素循環と酸性化実態の解明
 - ・ 水中グライダーによる観測方法と取得されたデータの品質管理技術を確立し、観測結果から時空間的に高解像度の海洋観測データセットを作成する。
 - ・ 海水の pH 測定における不確かさ低減の手法や、アルカリ度の航走観測技術の確立により、海洋酸性化観測技術を改善する。
- ② データ解析による海洋物質循環の変動機構解明
 - ・ 水中グライダーによる観測データから、中規模渦の物理・化学構造や、亜表層の酸素濃度の季節内変動など、海洋観測船では取得が難しい事象について知見を深める。
 - ・ 気象庁観測船などによる北太平洋の長期観測データを解析することにより、この海域の表層及び中層における二酸化炭素など、生物地球化学パラメーターの変動実態を定量的に評価し、その変動要因を解明する。
 - ・ 海洋モデルや地球システムモデルの結果を観測結果と比較することにより、これらのモデルの性能を評価する。また、モデルの結果から、観測された海洋への二酸化炭素蓄積や酸性化の進行の実態について理解を深める。

中間評価時の到達目標**(副課題1)**

- ① アジアモンスーンと台風の予測可能性評価
 - ・ 現行の季節予測システムにより、アジアモンスーンや台風等の予測可能性を評価し、その起源を解明する。
- ② 極端気象の実態と予測可能性の研究
 - ・ 大気モデル大規模アンサンブル実験による極端事象の予測可能性を評価する。
- ③ 異常気象の予測可能性の研究
 - ・ 長期再解析を用いて過去に発生した異常気象の実態を把握する。
 - ・ 大気モデル大規模アンサンブル実験により、異常気象への温暖化寄与率を定量化する。
- ④ 気候研究の基盤情報整備に関する研究
 - ・ 気象庁による次世代再解析 (JRA-3Q) の品質評価を行う。

(副課題2)

- ① タイムスライス温暖化予測システム
 - ・ 開発したタイムスライス実験システムにより過去と将来気候を対象とした実験を行い、既存システムとの予測パフォーマンスの相違点についてまとめる。
 - ・ 海洋のプロダクト作成に向けた作業に着手する。まずは、海水温情報について取りかかる。
- ② 十年規模気候変動予測
 - ・ 開発した十年規模気候予測のための新しい実験システムの主要な十年規模変動についての予測パフォーマンスを理解し、課題を整理する。地域的な予測精度の向上に向けて、二回目の予測実験をデザインする。
- ③ 気候再現実験
 - ・ 長期気候変動再現実験システムにより予備実験を行い、アジア域の気候再現に関する課題を整理・解決する。
- ④ CMIP 実験
 - ・ 実施した CMIP6 関連実験の成果をまとめるとともに、各種データセットを解析したメカニズム解明を進める。

(副課題3)

- ① 化学トレーサーの時空間変動に関する観測研究
 - ・ 化学トレーサー観測 (^{222}Rn 、 H_2 、 O_2/N_2) を実施し、長期の連続データを取得し、データセットを

作成する。

- ・ 気象庁及び国内研究機関による標準ガス比較実験を通じて、観測基準の国際標準化を図るとともに、実大気を利用した標準ガス調製装置の製作試験を行う。
 - ・ レーザー分光型分析計を利用した連続観測装置の高精度化と新装置に最適な標準ガスの検討試験を進め、レーザーを利用した観測システムやハロカーボン測定システム等の観測手法を確立する。令和3年度以降に更新予定の気象庁の定常観測装置仕様に反映させる。
- ② 化学トレーサー観測による炭素収支に関する解析研究
- ・ ラドンの観測データをもとにしたデータ選別手法を確立する。これによって、広域を代表する温室効果ガス濃度の変動を、濃度データのみから検出する従来手法よりも高い確からしきで検出する。
 - ・ 化学トレーサー (O_2/N_2 など) の変動に基づいて、 CO_2 濃度の変動要因を定量的に評価する手法を開発する。温室効果ガス濃度と化学トレーサーの変動について短期的・季節的な関係を解析する。

(副課題4)

- ① 高解像度観測や高精度分析による海洋炭素循環と酸性化実態の解明
- ・ 水中グライダーによる基本的な観測手法を確立する。
 - ・ 観測船で測定した高精度のデータに基づいて、水中グライダーに搭載したセンサーで測定したデータの誤差を評価し、補正法を考案する。
 - ・ 精製した発色指示薬を用いることにより、分光光度法による pH 測定の精度を向上させることが可能か否か検討する。
- ② データ解析による海洋物質循環の変動機構解明
- ・ 気象庁観測船による東経 137 度、東経 165 度、東シナ海の各観測定線における長期高精度観測データを解析することにより、北太平洋亜熱帯域の海洋炭素系の十年規模変動と長期変化傾向や、それらのメカニズムを解明する。
 - ・ 海洋炭酸系パラメーターの分布・変動に関して、気象研究所の海洋モデルや地球システムモデルの再現性を検証する。

研究成果

(1) これまで得られた成果の概要

(全体)

本研究は課題解決型研究課題であり、M 課題（地球システム・海洋モデリングに関する研究）や気象庁数値予報課、気候情報課、環境・海洋気象課などとの緊密な協力や、外部資金などを通じた他機関との共同研究を通じて、季節予報モデル、大気輸送モデル、温暖化予測モデル、地球システムモデルの解析や、長期再解析データの品質管理・解析、大気・海洋の温室効果ガスや種々の化学トレーサーの観測・解析、それらの組合せにより、異常気象のメカニズム、季節予測可能性、温暖化に関する種々の予測、大気・海洋の炭素循環や海洋酸性化などの実態解明と予測に関して、以下に述べる成果を上げることができた。

(副課題1)

- ① 極端気象の実態と予測可能性の研究
- ・ 2018 年の夏は北西太平洋モンスーンが活発で、台風の発生個数や存在確率が大きかった。気象庁の現業季節予測システムを用いた数値実験により、これらの状況には太平洋南北モード(PMM)が関係していたことがわかった (Takaya 2019)。これは、ENSO やインド洋キャパシターモード (IPOC) に加え、PMM が北西太平洋モンスーン及び台風活動の予測可能性をもたらすことを意味する。
 - ・ 2010 年夏の記録的な高温に対する大西洋の海水温の影響及び 2020 年梅雨期の多雨に及ぼすインド洋の変動の影響について、現行季節予測システム (JMA/MRI-CPS2) を用いて研究を行い、異常気象発生メカニズムに関する論文 (Takaya et al., 2020, Takaya et al., 2021) を発表した。
- ② 極端気象の実態と予測可能性の研究
- ・ 2018 年夏の事例について、現業季節予測システムを用いて季節予報実験を行い、夏の特徴であ

る深いモンスーントラフやハドレー循環偏差、中緯度域の帯状平均高温偏差などがある程度再現されることを確認した。SST 感度実験などを通して、北太平洋亜熱帯域の SST 高温偏差が対流活動偏差を通じて中緯度大気の高温に影響していたことを明らかにした (Kobayashi and Ishikawa, 2019)。

- ・ 2019/2020 年冬季の大暖冬について、異常気象発生や持続メカニズムに関する解析を行い、当該現象の発生・持続のメカニズムに関する論文 (Kuramochi et al., 2021) を発表した。
 - ・ d4PDF を利用して、日本の局所的な豪雨の発生確率の長期予測可能性を評価した。
- ③ 異常気象のメカニズム解明と要因に与える大規模場の影響評価
- ・ IPCC AR6 への貢献 1) : WG1 AR6 第 10 章”世界規模と地域規模の気候変化のつながり”への主要執筆者としての参加。最終草稿 (FGD) の精査と、第 2 次草稿 (SOD) への専門家レビューコメントへの回答作成。WG1 AR6 テクニカルサマリー (TS) のアジア域の取りまとめ。気候変動の駆動要因テーブル、およびトレースバック表 (TBM) のアジア域作成の取りまとめ。アジア域ファクトシート作成の取りまとめ。
 - ・ IPCC AR6 への貢献 2) : 第 54 回全体会合への日本政府関係者としての参加。7/15 記者クラブ向けの事前勉強会への参加。8/9 公表時の記者会見への同席。政策決定者向け要約 (SPM) の日本語訳暫定訳の作成への参加。8/31 統合プロによる IPCC AR6 紹介のシンポジウムでの発表及びパネリストとしての参加。
 - ・ WG1 AR6 第 11 章「変化する気候下における気象及び気候の極端現象」および第 12 章「地域規模の影響及びリスクを評価するための気候変化に関する情報」にて、イベント・アトリビューションに関する本課題の研究結果が引用された。
 - ・ イベント・アトリビューションのための d4PDF 延長実験を実施し、異常気象に備えた。
 - ・ 平成 29 年 7 月九州北部豪雨及び平成 30 年 7 月豪雨のイベント・アトリビューションに関する論文 (Imada et al., 2020) を発表し、アウトリーチ活動を行った。
 - ・ 令和元年台風 19 号 (Kawase et al., 2020)、令和元年から令和 2 年にかけての大暖冬、令和 2 年 7 月豪雨に対する地球温暖化の影響の評価を行った。
 - ・ 西日本の過去の大雨時と平成 30 年 7 月豪雨の循環場の特徴についてまとめた論文 (Harada et al., 2020) を発表した。
 - ・ ユーラシア (EU) パターンに関連する惑星波の変調を解析し、EU パターンの力学的メカニズムを明らかにする論文 (Maeda et al., 2021) を発表した。
 - ・ 2019 年南半球の成層圏突然昇温 (SSW) 後に起きた南極振動の負位相の持続について、現行季節予測システム (JMA/MRI-CPS2) を用いた予測実験を実施し、実態解明と予測可能性の研究を行った。
 - ・ 2019 年南半球 SSW 発生時の特徴であったダブルジェット構造について、循環場の特徴、波強制で駆動されるジェットの役割、対流圏ジェット変位の予測可能性を調べた。
 - ・ 夏季ユーラシア大陸で、亜熱帯ジェットと波強制で駆動されるジェットが発達するダブルジェット型について、循環場の特徴、運動量収支、生成・発達メカニズムを調べた。
 - ・ 国内地上観測データを用いて過去 120 年間の梅雨期と秋雨期の降水量及び大雨頻度の長期変動を調べ、梅雨は活発化、秋雨は不活発化していることが分かった。
- ④ 気候データに関する研究
- ・ JRA-3Q ストリーム A (1990 年代以降) の本計算では、各種衛星観測データセット (OA フラックス、CERES、TRMM 及び MLS/Aura など) を用いて熱・放射フラックスや降水量、非断熱加熱率の鉛直プロファイル、成層圏における水蒸気やオゾン分布などの品質評価を行った。またヨーロッパ中期予報センターや米国航空宇宙局などの他機関作成の最新プロダクト (ERA5、MERRA2 など) との比較を行った。
 - ・ JRA-3Q ストリーム B (1960 年代～1980 年代) の本計算で、他機関の再解析を含む相互比較から、降水などの 2 次元平面量、風や気温の東西平均場、赤道準二年周期変動について評価を行った。
 - ・ 将来の再解析システムの検討に向け、気象研究所で開発された大気海洋結合同化システム (MRI-CDA1) を用いて、季節内スケールでの海面水温と降水の時間変化の関係の再現性に対する結合化のインパクトを示す研究を行い、論文 (Kobayashi et al., 2021) として発表した。
 - ・ 利用可能な 20 種類の Level 2 衛星観測オゾン全量データを 40 年 (1978-2017 年) 分取得し、地上からのオゾン観測との比較から、2 種類の方法でバイアス補正と時間的に高分解能な結合データセットを作成し、論文として発表した (Naoue et al., 2020)。

(副課題2)

① タイムスライス温暖化予測システムの活用

- 地球システムモデルに外部条件を変えたアンサンブル生成スキームとデータ同化による初期値化スキームを組み入れた実験システム開発を行った。従来の温室効果ガス濃度変化を与える大気海洋結合モデルに比べるとデータ同化により降水量の気候値、年々変動の再現性が改善している。また、従来の海面温度変化を与える高解像度大気モデルと比べると、大気海洋結合効果により、北西太平洋域での季節内変動スケールの SST と降水の間のラグ相関関係や、強い台風の頻度の緯度分布が改善することを確認した。このシステムを高解像度化することで梅雨の再現性能等も向上する。
- 同システムで、複数の CMIP6 モデル温暖化差分を加えた将来予測の予備実験を実施した。将来予測実験では CMIP6 に提出された海洋の温暖化に伴う変化を与えることで降水量の変化も再現できることを示し、海洋表層状況の分布の変化が降水量の分布の変化に強い影響を与えることが示唆された。
- 同システムで、大気モデルを低解像度の設定にして、長期積分を実施することに成功した。対象とする将来予測期間の計算が、長期の積分ののちに実施されるため、海洋のドリフトが少ない状態で実施できること等を確認中である。
- 大気海洋結合モデルの高解像度化（大気 20 キロ、海洋 10 キロ）のテストを実施し、海面温度、海面高度場、西岸境界流路の再現性が向上することを確認した。

② 十年規模気候変動予測

- 気象研究所地球システムモデル MRI-ESM2 により、CMIP6 のサテライト MIP による十年規模変動予測実験 (DCPP) について実験を実施し、成功し、CMIP6 へのデータ提出作業を行った。また、結果について解析を進めた。
- WMO の十年規模変動予測活動の一環として最新初期値による 予測実験を行い、実験結果をリードセンターである英国ハドレーセンターに提出した。
- 気象研究所地球システムモデルを用いて大規模火山噴火の気候及び生態系への影響（全球平均 1°C 寒冷乾燥化、中緯度陸域 3°C 寒冷化で純一次生産 20% 減少、数年後ほぼ回復、等）を解析した論文を公表した (Obata and Adachi, 2019)。

③ 歴史的観測データの活用

- 気候モデルに用いる歴史的観測データの整備を進めたうえで、大気モデル MRI-AGCM3.2 と LETKF を用いて、観測データ（海面気圧データ、日本域気圧データ、COBE-SST2、台風トラックデータ）を与えるデータ同化システムのプロトタイプを開発し、1850 ～ 2015 年 の期間で実施可能にした。試験的に行った一部期間の初期結果について JRA-55 や 20CR ver.3 と比較する等の形で検証を開始した。

④ CMIP 実験の実施と気候変動メカニズム解明

- 気象研究所地球システムモデル MRI-ESM2 を用いて CMIP6 の各種 MIP を実施し、CMIP6 にデータを提出した。歴史実験、シナリオ実験の検証・解析を実施し、放射収支や大気・海洋による南北熱輸送といった基本的なエネルギー収支が大きく改善され、CMIP5 マルチモデル群と比べてもっともよいという結果を論文にまとめた (Yukimoto et al., 2019)。CMIP6 の endorsed MIP として行ったものは、AerChemMIP, CFMIP, C4MIP, DAMIP, FAFMIP, GMMIP, RFMIP, PMIP, CovidMIP 等である。
- CFMIP の下で行われている SPOOKIE2（共通のシンプルな雲スキームを用いて AMIP、AMIP+4K の計算をするモデル間比較実験）に実験結果を提出した。SPOOKIE2 の結果として、雲スキームを共通にしても、雲フィードバックのばらつきは小さくならないという結果を得た。
- COVID-19 に伴う気候影響評価をおこなう CovidMIP に参加した。MRI-ESM2 を含む世界の 12 モデルによる影響評価の結果、一時的な排出量減少により、東アジアや南アジア域でのエアロゾル量は減少するものの、地上気温や降水量への有意な影響は見られないことが分かった (Jones et al., 2021)。
- CMIP6 の歴史実験 (1850-2014 年) におけるエアロゾル濃度変化の再現性をグリーンランドのアイスコアデータにより検証し、解析した。硫酸塩エアロゾルの再現性は高かったが、黒色炭素エアロゾルについては 20 世紀前半にみられる濃度増大を再現できなかった。排出源データとして代わりに CMIP5 で配布されたものを用いたところ、黒色炭素エアロゾルの濃度増大がより適切

に表現された。黒色炭素粒子の排出源データにかかわる不確定性、予測の不確実性は大きいと言える。

- 放射強制力モデル相互比較計画 RFMIP と AerChemMIP の枠組みで、MRI-ESM2 での産業革命前を基準とした現在における人為起源気体とエアロゾルによる有効放射強制力を MRI-ESM2.0 を用いて推定した (Oshima et al., 2020)。
- 北極評議会・北極圏監視評価プログラム作業部会 (AMAP) の枠組みで、Short-lived Climate Forcers (SLCFs) の北極気候や大気質への影響を評価した。
- 気象研究所大気大循環モデル (MRI-AGCM3.2) による将来気候アンサンブル予測実験結果を解析し、梅雨降水帯の6月は強化・南偏が高い確度で予測される一方、7月は変化傾向の不確実性が大きいことを示した。モデル感度実験により、7月は複数の要因が打ち消しあうために変化傾向がばらつきやすいことが分かった (Endo et al., 2021)。
- 同じく d4pdf を用いて梅雨の将来変化について解析し、夏季降水量は東アジアのほとんどの地域で増えるものの、西日本では6月の降水が減ること、これは北西太平洋亜熱帯高気圧が南に偏り、日本の南で水蒸気収束が起こることによる影響であることを示した (Kusunoki et al., 2021)。
- MRI-AGCM による大気循環予測実験結果及び CMIP マルチアンサンブルを用いて日本周辺の解析を行い、予測結果の説明と信頼度についての評価し、冬季は暖冬型、夏季は初夏型の気圧配置、春季は北日本にアリューシャン低気圧が残る一方、秋季はアリューシャン低気圧の南下が遅れる季節変化の傾向が見られること等がわかった (Ito et al., 2020)。
- MRI-AGCM3.2 の 20/60km モデルと CMIP5 マルチモデル平均について盛夏期日本の将来気候変化を解析した。それらの海面気圧将来変化が、JRA-55 での海面気圧偏差と類似する年を抽出して比較すると、日本域の盛夏降水量偏差には類似性がみられることが分かった。なお将来予測では加えて、水蒸気量の増加に伴う降水量増加が重要な因子となる。
- MRI-ESM2 による将来の全球の降水効率を、排出シナリオ別に、それぞれ平均量と極端降水に分けて調べた。平均降水量では低排出シナリオの方が降水効率が高く、各シナリオ別にみると平均降水量よりも極端降水の方が降水効率が高いという結果を得た。
- d4PDF における極端な降水現象の地球温暖化に伴う変化について解析し、再現期間や時空間スケールに対する依存性は、上昇流増加に伴う力学的寄与の違いによって生じていることを示した (Mizuta et al., 2020)。
- 下層雲が SST、亜熱帯高気圧、熱帯降水帯に与える影響を、下層雲を消す実験により、大気海洋結合モデル及び大気モデルを用いて系統的に調べた。大陸西岸の下層雲の雲頂冷却の亜熱帯高気圧への寄与はほとんどないこと (Kawai and Koshiro, 2020)、亜熱帯では下層雲は大陸西岸に局所的に存在するが、SST への局所的な効果はそれほど大きくないこと等がわかった。また MRI-ESM2 では、南大洋の放射バイアスが大きいほど南半球の熱帯降水帯の表現が悪化していくという明瞭な関係が示された (Kawai et al., 2021)。
- 気候モデルにおける雲の取り扱いにかかわる、その値自体の不確実性も結果に与える影響も大きいパラメーター「雲-降水変換が起こる雲粒有効半径の閾値 R_c 」が全球平均気温上昇の再現性に与える影響を、気象研究所全球大気・海洋結合モデル MRI-CGCM3 を用いて調べた。先行研究を支持する結果を得た上で、 R_c を変えたときの雲粒数密度の変化がもたらす雲放射効果の違いが気温上昇量に効くことを明らかにした (Koshiro et al., 2020)。この一連の過程の不確実性を減らすことが重要であると言える。
- d4PDF を用いて熱帯低気圧の地球温暖化に伴う変化について調査し、将来の台風の中緯度での移動速度の低下 (Yamaguchi et al., 2020) や日本域での台風に伴う顕著な降水の増加 (Hatsuzuka et al., 2020) についてその要因や不確実性も含めて明らかにした。
- d4PDF を用いて、成層圏突然昇温 (SSW) が熱帯対流圏、特に対流活動に与える影響について調べた。熱帯低気圧を含む熱帯対流活動は SSW 発生時に活発化し成層圏上昇流と同期することがわかった。対流圏中高緯度波活動の熱帯への影響はサンプルサイズが大きい場合には支配的ではないことも示した (Yoshida et al., 2021)。
- MRI-ESM2 を用いて、1850 年を基準とした 2014 年における気候変動をもたらす主な駆動要因による有効放射強制力 (ERF) を総合的に推定し、エアロゾルと氷雲の相互作用 (氷晶核) の重要性を示唆した (Oshima et al., 2020)。
- MRI-ESM2 を用いて、20 世紀前半 (1920-1940 年) の北極域温暖化について評価・解析し、モデル

は地上気温の上昇と海氷減少を再現するを示した。DAMIP に基づく解析により、自然強制と内部変動がこの温暖化の主要因であり、これらの大きさは同程度であることが示唆された (Aizawa et al., 2021)。

- ・ 気象研地球システムモデル産業革命前実験の定常状態に於いて、エルニーニョとアジアモンスーンについて調べた。産業革命後の温暖化がまだ顕著でない 1877-1878 年の大旱魃・大飢饉に類似した場 (+3℃のエルニーニョの影響でモンスーンアジア陸域の降水と純一次生産が 20%減少) が解析され、炭素循環にかかわる気候・環境変動の解明・予測におけるモデルの有用性を確認した。
- ・ 日本付近における夏期降水の将来予測について、MRI-AGCM3.2 ならび CMIP5 マルチモデルを用いて解析した。21 世紀末の夏季東アジアの平均降水量変化はマルチモデル平均では増加を示すが、夏季東アジアの現在気候再現性が高いモデルを選択すると月や地域によっては減少する可能性があり、その特徴は 60 km MRI-AGCM 予測実験の結果と共通することがわかった (Ose, 2019)。
- ・ CMIP5 マルチモデル間の降水量予測の不確実性について大気循環の将来変化による説明を行い、モデルの現在気候再現性や将来の海陸温度コントラストに基づく要因分析等を進めた。その結果、地球温暖化時に生じる鉛直流の抑制は、現在気候における鉛直流 (すなわち降水量) 分布を反映しており、現在気候のアジア太平洋モンスーンの降水量が比較的少ない (多い) モデルは、将来の夏季東アジア南風指数増加 (減少) を予測する傾向を示すことがわかった (Ose et al., 2020)。
- ・ CMIP マルチモデルを解析し、将来の降水が過去の降水量の最大値を連続して超え始める時期を調べた。平均降水量では高緯度の方が低緯度より早く出現する傾向があること、強い降水では力学的効果より熱力学的効果の増加に起因することなどを示した (Kusunoki et al., 2020)。
- ・ CMIP5 マルチモデルの解析を行って、将来気候変動の不確実性の最も大きな要因の一つである亜熱帯海洋下層雲量の温暖化時における変化を調べた。多くのモデルで温暖化時に下層雲量が減少する傾向が見られるが、下層雲量の指標 (強い正相関を持つ) として知られる推定逆転強度 EIS は増加しており、近年大きな議論となっている。これに対し、Kawai et al. (2017) で新しく提案した指標 ECTEI は、温暖化時に減少しており、下層雲量の減少とそのメカニズムを矛盾なく説明できることがわかった。
- ・ インド-西太平洋コンデンサー効果についてメカニズムおよび影響について調べ、レビュー論文の形でまとめた (Kosaka et al., 2020)。
- ・ WWRP/WCRP の季節内から季節予測プロジェクトの予測データを解析した。負 AO 相は渦・帯状流フィードバックによりユーラシア・北米の寒冷を引き起こすことを示した (Minami et al., 2020)。
- ・ QB0 モデル相互比較 (QB0i) データを用いて QB0 の中高緯度テレコネクションを調べた (Anstey et al., 2021)。QB0 西風時に成層圏極渦の強化が起きたがシグナルは観測より弱かった。モデル QB0 の振幅の小ささがテレコネクションに影響していると示唆された。
- ・ CMIP6 データを用いて Brewer-Dobson 循環の再現性と将来変化を評価した (Abalos et al., 2021)。これまでと同様に成層圏中上層での観測とモデル間のトレンドの不一致が見られた。地球温暖化で循環強化が起きるが下層での変化がロバストである一方、上層の循環はモデル依存性が大きく、予測の不確実性が大きいことが示された。
- ・ 国・地方公共団体、事業者、国民、さらには研究者向けの、地球温暖化に対する緩和策・適応策や影響評価の基盤情報として使える報告書として「日本の気候変動 2020」が気象庁と文部科学省の共同で令和 2 年度に刊行されたが、気象研究所の他課題、気象庁等とも連携して貢献した。地球温暖化予測の最新の知見がまとめられており、特に「不確実性・確信度」の情報も記載されている。

(副課題 3)

① 化学トレーサの時空間変動に関する観測研究

- ・ 綾里・与那国島・南鳥島・父島におけるラドン (^{222}Rn) と水素等の微量気体の観測、南鳥島のハロカーボン観測、綾里の酸素濃度連続観測を、気象条件や装置不具合による欠測に対応しながらそれぞれ継続した。父島の CO_2 と CH_4 は、台風被害により令和元年 10 月末から令和 2 年 2 月まで、令和 2 年 4 月 22 日から令和 3 年 2 月まで装置不具合のため欠測が続いたが、それぞれ新たな採取口等の整備と点検時対応により観測を再開した。また、4 観測所で得られているラドンデ

ータの濃度計算方法や品質管理等を再評価し、データセットを新たに整備した。この整備したラドン観測データは WMO/GAW 温室効果ガス世界資料センター (WDCGG) に登録予定である。

- ・次世代のレーザー分光型大気観測システム開発を見据え、3 成分 (CO_2 、 CH_4 、 CO) レーザー分光分析計の評価試験を行った。南鳥島現業観測装置との比較実験の準備を行った。
 - ・気象庁と標準ガス比較実験を年 2 回実施し、これまでの実験結果も踏まえながら、気象庁から要請のある CO_2 標準ガス新較正装置の性能評価や運用について技術支援を行った。また CO_2 の WMO スケール改訂案 (X2019) の評価を実施した。
 - ・気象庁で運用を開始した CH_4 新較正装置の結果を解析し、高精度測定が維持されていることを検証した。また、過去 (1994 年～2000 年) に気象庁が実施した CH_4 標準ガス国際巡回比較実験の結果をまとめた (松枝ほか, 日本気象学会 2019 年度秋季大会)。また較正装置の現仕様・設定で蓄積してきたデータを解析して性能評価を行い (Ishijima et al., GGMT-2019)、今後の較正装置の運用について議論・助言を行った。
 - ・南鳥島で令和 2 年に開始された気象庁ハロカーボン観測について、観測装置の製作段階から技術支援を行った。これまで気象研が整備したフラスコ分析用の標準ガスと気象庁が整備する標準ガスの比較実験を行って観測スケールの整合性を確認し、観測スケールの維持手法について検討した。
 - ・実大気標準ガス充填設備を導入し、初期的な動作試験を実施した。
- ② 化学トレーサー観測による炭素収支に関する解析研究
- ・新たに整備したラドンデータセットを用いて、大陸やローカルな発生源の直接的影響を受けた温室効果ガス濃度データの選別を行った。
 - ・ラドン、六フッ化水素 (SF_6)、仮想的な人工トレーサーを用いて、気象庁二酸化炭素輸送モデル GSAM-TM の低・高解像度での再現実験を行い、南北半球間輸送がやや遅めの傾向を示す等の大規模輸送特性等について M5 課題 (化学輸送モデル、大気微量成分同化に関する研究) 担当者及び気象庁環境・海洋気象課と共有した。
 - ・ラドン濃度の時空間変動について、低・高解像度の GSAM-TM を用い、モデル解像度による依存性や、異なる領域から放出されたラドンの 4 観測所での細かな濃度変化への寄与などについて解析した。その結果、洋上サイトでのモデル再現性は良いが速い輸送による細かな濃度変化は高解像度でないと捉えられない場合が多いこと、月別ラドン放出データは日本が過小評価になっている可能性があること、地域放出の影響は限定的で総観規模の高濃度イベントはほぼ中国からの輸送に起因し、それより長いスケールの変動についてはロシア等からの輸送の影響も受けているということが分かった。また、これまで着目されてこなかった海洋等からのラドン放出の可能性を探り、日内・総観規模・月別という異なる時間スケールのラドン変動について解析を行った。これらの成果は JpGU 2019、2019 年度 気象学会秋季大会と AGU Fall Meeting 2019 で発表し、査読付き論文に取りまとめて投稿した。
 - ・ERA5 の海洋熱フラックスデータ等を用いて新たに N_2 と Ar のフラックスデータを作成し、GSAM-TM に入力して計算を行った結果、Ar/ N_2 比の大気観測の季節変動の再現性が大きく改善した。この改善した Ar/ N_2 比の季節変動の GSAM-TM シミュレーション結果について、JpGU 2020 ポスターセッション及び AGU Fall Meeting 2020 招待講演にて発表した。
 - ・航空機観測データの解析から 2020 年の米国西部における大規模森林火災による CO_2 放出とみられる濃度変動シグナルを見出すことができた。
 - ・大気中 CH_4 濃度、 CH_4 の安定炭素・水素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$, δD) 及び近年新たに得られた $\Delta^{14}\text{C}$ の観測データの時空間変動を、数値モデルによって統一的に再現することで、1750 年から 2015 年にかけての全球 CH_4 の各排出源・消滅源の最適な推定値を求めた。得られた成果を第 25 回大気化学討論会 2020 及び JpGU 2021 にて招待講演を行い、さらにイギリスの Imperial College London 及び University of Bristol において招待セミナーを行った。また、大気化学輸送モデルを用いて過去 30 年間のメタンの大気中濃度と放出量の変化を詳細に明らかにした共著論文 (Chandra et al., 2021) を気象集誌より出版した。
 - ・航空機観測データの解析からユーラシア大陸上空の上部対流圏・下部成層圏における CH_4 濃度、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD の時空間変動を明らかにした。得られた成果を気象学会分科会「航空機観測研究集会」にて口頭発表した。
 - ・地球システムモデル MRI-ESM2.0 による CMIP6 歴史実験 (esm-hist) における大気二酸化炭素濃度の再現性を WDCGG の地上観測データ及び他機関による解析データセットとの比較評価を行い、

日本気象学会 2020 年度秋季大会で発表した。

- ・ 気象庁二酸化炭素分布の作成に用いられている CO₂逆解析システムを気象研究所スパコンシステムに移植し、炭素収支の解析実験装置として整備した。

(副課題 4)

- ① 高解像度観測、高精度分析による、海洋炭素循環、酸性化実態の理解の促進
 - ・ 水中グライダーによる実海域観測を多様な条件の下で観測試験を兼ねて実施している。令和元年 4 月から 6 月には房総半島南東の黒潮再循環域で高気圧性中規模渦の断面観測に成功した。この高気圧性渦は中心付近に密度一様で高酸素の水を閉じ込めており、熱や物質の輸送に寄与していることを実証できた(遠山ほか、日本海洋学会秋季大会、Toyama et al., Ocean Sciences Meeting 2020)。令和 2 年 3 月から 4 月には房総半島沖合の黒潮再循環域において、春季の成層化による生物生産の活発化を捉えることができた。晩冬の混合層最発達期を含めた季節遷移を完全に把握するには 2 月中から観測を開始し、黒潮続流にも近づく必要があることが分かったが、この時期特有の強風による高波の状況下でも問題なく水中グライダー観測を実施することができ、観測船による現場観測を補う手段となる可能性があることを確認した。
 - ・ 水中グライダーの測器試験を筑波大学臨海実験センターで実施し、水中グライダーの運行性能や観測性能などを確認し、より効率的な観測法やデータ処理方法の開発を進めている。令和元年度から 3 年度は特に自己推進装置の操作習熟を行った。自己推進装置は想定通りに動作し、黒潮等海水の性質が急激に変化する海域での観測や低気圧の予想進路を想定した機動的観測など、今後の観測に柔軟性を持たせることができることを確認した。
 - ・ 水中グライダーにより測定したデータの誤差評価とその補正法の考案を行った。投入・回収時の観測船で測定した高精度データとの比較から、水中グライダーによる水温・塩分データについては系統的補正が必要と判断されるほどの誤差が見いだされなかった。酸素濃度データについては濃度に依存せず経過時間と共に増加する正のバイアスが存在することが判明したため、バイアスが経過時間と共に一定の率で増加すると仮定してバイアスを除去する補正を行うこととした。
 - ・ 気象庁環境・海洋気象課からの要請で pH 測定における指示薬の時間変化の影響調査を実施した。未精製・精製済の指示薬により、標準溶液(CRM)の測定・比較を行い、それぞれの指示薬に対して提案されている補正手法の妥当性を評価した。補正のための測定は、同じ指示薬を使っている限り 1 週間に 1 度程度で十分であることを確認した。
 - ・ アルカリ度に関して、実測値と表面海水中二酸化炭素分圧(pCO₂)及び全炭酸濃度(DIC)の実測値から算出した推算値がよく一致し、十年規模で同様のトレンドを得ることができ、今後クロスチェック等による品質管理に役立つ可能性が示唆された。
- ② データ解析による海洋物質循環の変動機構解明
 - ・ 気象庁の海洋 CO₂観測データの解析結果に基づいて、日本南方の亜熱帯域で海洋酸性化が加速していることを定量的に示すことができた。また、黒潮南方や熱帯域では、酸性化速度に顕著な十年変動があることも分かった(Ono et al., 2019)。
 - ・ 「日本の気候変動 2020」の「詳細版第 15 章 海洋酸性化」における将来変化の部分を分担し、CMIP5 地球システムモデルの結果や観測に基づく線形重回帰モデルを活用して、世界及び沖縄周辺、日本南方海域における海洋酸性化、炭酸カルシウム(アラゴナイト)飽和度の低下に関する定量的評価を行った。人間活動による CO₂排出がこのまま続いた場合(RCP8.5 の濃度シナリオによる CMIP5 参加モデルによる予測に基づく)、日本の南方海域では地球の全海域平均とほぼ同様のペースで酸性化が進行し、2100 年にはさらに 0.3 の pH 低下が見込まれる。
 - ・ 東経 137 度観測線の亜熱帯域における表面海水 DIC の 10 年規模変動の要因について調べ、同海域の亜表層に分布する亜熱帯モード水の厚さや等密度面の深さの変化傾向と一致することを示した。さらに、4 年のラグを適用することで太平洋十年規模振動(PDO)との有意な相関関係も確認でき、当海域の DIC が時間的・空間的に離れた現象の影響を受けて変動していることが明らかとなった。
 - ・ 東経 165 度観測線における表面海水 DIC のトレンドを算出したところ、大気 CO₂濃度増加から想定されるトレンドと概ね一致することが確認されたが、相違点として、西部亜寒帯循環域及び北緯 10 度付近で、大気 CO₂の増加より遅いこと、黒潮続流で高いことが確認された。
 - ・ 太平洋西部赤道域の温度躍層とその下部を対象として、全炭酸濃度の鉛直勾配が大きな水深付近におけるその長期増加速度を評価する方法を考案した。その結果などに基づいて、同海域にお

る海洋 CO₂ 増加・海洋酸性化のトレンドとその海洋循環との関係を考察した論文を発表した (Ishii et al., 2020)。

- ・ 米国海洋大気庁 Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) の地球システムモデル ESM2M のラージアンサンブルデータの海洋 CO₂ 吸収予測の解析に協力し、RCP8.5 シナリオにおける今後の海洋表層の CO₂ 分圧の季節変化の増大が、海水への CO₂ 蓄積に伴う表層海水の化学的性質の変化(バッファファクターの増加)に起因することを明らかにした (Schlunegger et al., 2019)。
- ・ 筑波大学により伊豆半島下田沖において約 2 年間にわたってサンプリングされた海水に対する全炭酸と全アルカリ度の高精度測定に協力し、希少な本州南岸沿岸での炭酸系の通年観測例に基づく、同海域における炭酸系の季節変動とその要因の解明に貢献した (Wada et al., 2020)。
- ・ 欧州や米国の研究チームや気象庁海洋気象課(当時)と協力して、気象庁の海洋気象観測船による現業観測データを多く含む品質管理された海洋内部の海洋 CO₂ 観測データベース“GLODAPv2_2019”を作成し、米国海洋大気庁の National Centers for Environmental Information (NCEI) から公開した (Olsen et al., 2019)。
- ・ 北西太平洋亜熱帯域の亜表層に形成される酸素極大層内に蓄積される酸素量の季節変化を定量した。さらに、大気海洋間や水平移流、下部からの拡散を考慮してこの酸素極大層内における純一次生産量を見積もることで、亜熱帯域の亜表層でも顕著な生物生産が行われていることを定量的に評価できた (小杉ほか, 2019, 日本海洋学会秋季大会)。
- ・ 気象研究所地球システムモデル (MRI-ESM2) による CMIP6 の炭素循環相互比較プロジェクトの実験指針に準拠した実験結果を解析した結果、MRI-ESM2 では海洋による人為起源 CO₂ の吸収量は観測に基づく推測の不確実性に範囲にあるのに対し、陸域生態系による人為起源 CO₂ の吸収が観測に基づく推測より多いことが分かった。前期 (CMIP5) の実験と比較して、海面付近のクロロフィル、栄養塩の分布に改善がみられた。

(2) 当初計画からの変更点(研究手法の変更点等)

- ・ (副課題 1) 及び (副課題 4) は当初計画からの変更はない。
- ・ (副課題 2) では当初「CMIP 実験」としていたテーマを、「CMIP 実験の実施と気候変動メカニズム解明」に拡張して進めている。
- ・ (副課題 3) では、同位体比観測とモデル解析に基づく全球メタン収支の推定、及び GSAM-TM を用いた CO₂ 逆解析システムを実験装置として用いた炭素収支の推定を開始した。

(3) 成果の他の研究への波及状況

(副課題 1)

- ・ 季節予測システム (JMA/MRI-CPS2) を用いた予測可能性の研究は、M4 課題 (全球数値予報モデル、季節予測システムに関する研究) と協力して進めている。2020 年の活発な梅雨・メイユの予測可能性に関する研究成果 (Takaya et al., 2020) などの予測可能性に関する調査研究は異常天候に関する気象庁の情報発信に寄与した。これらの研究成果は、今後の季節予測システム開発において、性能評価の着眼点としてフィードバックを与えると考えられる。
- ・ 気象庁による次世代再解析 (JRA-3Q) ストリーム A、B の本計算について、各種衛星データや他気象機関作成再解析プロダクトを用いた品質評価及び循環場全般の表現性能評価を行い、長期再解析推進懇談会資料を作成した。
- ・ 地球温暖化と個別の異常気象の因果関係を評価するイベント・アトリビューションの研究を行い、社会的に影響の大きかった平成 30 年 7 月豪雨及び同年夏の猛暑の異常気象についてその研究成果を報道発表し、アウトリーチ活動を行った。これらの成果は、共同研究「気候モデルを用いた気候変動再現実験のマルチモデル比較」(東京大学) や、外部研究「統合的気候変動予測」(文部科学省統合的気候モデル高度化研究プログラム) におけるアウトリーチ活動にも貢献した。

(副課題 2)

- ・ 気象庁と文部科学省の共同で刊行した『日本の気候変動 2020』の作成にあたり、気象庁気候変動対策推進室のとりまとめのもと、所内関係課題とも連携して協力した。
- ・ 気象庁環境・海洋気象課で行われている最新の表層水温解析の現業運用に協力した。

(副課題3)

- ・ 気象研究所で実施してきた南鳥島採取大気中のハロカーボン分析手法を参考に、南鳥島で開始された気象庁ハロカーボン観測の技術支援を行った。これまで気象研が整備した標準ガスと気象庁が整備する標準ガスの比較実験を行い、観測スケールの維持手法について検討した。
- ・ 国内機関による温室効果ガス観測スケール標準化のための「温室効果ガス標準化共同プログラム」を気象庁環境・海洋気象課と共同運営し、WMO/GAW の下での国際的な較正業務を支える標準スケールの維持・管理に貢献した。
- ・ 本研究課題で開発される観測技術・解析技術は、文部科学省補助事業（ARCS、ARCS-2）及び地球環境保全等試験研究費、環境研究総合推進費、科学研究費助成事業等の外部研究課題へと波及している。

(副課題4)

- ・ 地球システムモデル出力や回帰モデル等を用いて得られた海洋酸性化の将来見通しを、「日本の気候変動 2020」に反映させた。

(4) 事前評価の結果の研究への反映状況

(自然現象、社会情勢、技術発展等の状況を研究目標に反映させ、達成度を確認)

- ・ 異常気象など社会的に影響の大きい又は関心の高い事例、IPCC やパリ協定などの国際枠組みやCMIP などの国際プロジェクト、観測・解析・モデル技術の進展や気象庁の観測・情報の発出などの状況を意識して、計画の優先度を設定したり柔軟に変更・運営するとともに、達成度を評価している。
- ・ 特に、今中期計画の最初の2年間には、「日本の気候変動 2020」や IPCC AR6 の公表、次世代再解析（JRA-3Q）の作成など多くのイベントがあり、これらを意識して研究・評価を進めた。

(目標達成に向けた優先度を示したメリハリのある研究活動の展開)

- ・ 目標達成に向けては、途中に IPCC やパリ協定などの国際的なイベントや、気象庁におけるシステム整備や情報・プロダクトの作成などのスケジュールを意識して、これらに向けて最大限に貢献できるよう、研究活動の優先度や手順を定める。
- ・ その他、異常気象など予期せぬイベントにも、その都度柔軟に対応できるよう、それに向けた研究環境の整備などを進める。

(長期的な目標と短中期的な目標の整合)

- ・ IPCC や CMIP などの国際取組、統合的気候モデル高度化研究プログラムなどの外部研究課題、長期再解析（JRA）や環境・海洋の現業観測システムなどの本庁業務など、短中期的な潮流やニーズを意識しつつ長期的に発展・継続する活動と整合させながら研究を実施しており、長期・短中期両方の視点から目標を立て、両者を整合させながら研究を実施している。
- ・ 次期中期計画の立案に当たっては、現中期計画の下での短中期的な成果を土台とし、上記のような外部の長期的な課題を踏まえて進めたい。

(気候変動・地球環境変動の研究における我が国内でのリーダーシップ)

- ・ 「日本の気候変動 2020」の作成に対して研究機関としての主導的な役割を果たすとともに、IPCC AR6 の作成においても被引用論文の発表やリードオーサーとしての貢献の一翼を担った。
- ・ 日本の高解像度の地球温暖化情報の作成や、イベント・アトリビューション研究において、A1 副課題（地域気候モデルによる予測結果の信頼性向上に関する研究）と連携して、リーダーシップを取っている。
- ・ 環境・海洋分野の観測・解析において、気象庁の定常観測との連携を強みとし、更に関係機関と共同しての研究観測、モデル等を活用した解析を組み合わせ、存在感を示している。

(多数アンサンブルを用いた感度解析の要因分析への組織的な活用)

- ・ 極端現象発生時には、その発生確率と強度の2つの側面について、異なる2通りの手法でアプローチする体制を整えることができた。発生確率に対する要因分析については、多数アンサンブル実験を効率的に延長するシステムを整えた。強度に対する要因分析については、極端現象発生後のなるべく早い段階で評価結果を出せるような体制を整え、令和2年7月豪雨の際には異常気象分析検討会の臨時会に貢献することができた。また、気象場の強度だけでなく、水文分野の変

数（洪水や高潮など）に対する影響評価までを統合的に行うことができるシステムの構築を開始し、運用に向けて準備中である。

5. 今後の研究の進め方

（副課題 1）

- ・引き続き、現行季節予測システム（JMA/MRI-CPS2）のハインドキャストの解析によるアジアモンスーンと台風年々変動の再現性と予測可能性の調査、及び現業季節予報システムを用いた海面水温の感度実験などを実施して、季節予報に関わる大気・海洋変動のメカニズムを明らかにし、予測可能性を評価する。さらに、他機関のモデルと次期季節予測システム（JMA/MRI-CPS3）のハインドキャストの評価を通じて、モデルの改善に資する。
- ・地球温暖化や十年規模変動と個別の異常気象の因果関係の評価を行う。
- ・大気循環場の変動と異常気象発生の関係やそれらのメカニズム解明、気候系の監視や異常気象発生時の要因分析を行う。
- ・引き続き長期再解析 JRA-3Q データの品質評価を行い、報告論文を執筆する。
- ・極端現象発生時に迅速にイベント・アトリビューションの結果を提供するため、過去に遡って極端現象の要因分析結果を蓄積し、類似事例をもとに速報を出す体制を整える。

（副課題 2）

- ・基本的には引き続き当初計画に基づいて行っていく予定である。
- ・タイムスライス温暖化予測システムは、特に海洋の初期ドリフトを減らし有用な情報を作成できるように、また長期の連続した気候変動情報も作成できるようにするよう、タイムスライスに限らず長期連続的な計算を行えるようにシステム改良・調整を進めているので、これをさらに進める。
- ・十年規模変動予測については、引き続き DCPD に加え、最新初期値による近未来予測実験の結果を解析してメカニズム解明を行っていく。また、大規模な火山噴火が十年規模で影響を与えるような数値実験も実施し、いざ噴火が起こったときに気象庁が速やかに適切な情報を出せることに貢献できるようになることを目指す。
- ・気候再現実験は、引き続きシステム改良を行い、実施された長期積分結果を用いて長期気候変動に関する理解を深める。
- ・CMIP 実験の実施と気候変動メカニズム解明は、引き続き、気候再現性能に優れた MRI-ESM2 を用いて、アンサンブルメンバー数を増やすための追加実験や感度実験を実施していく。また、CMIP5/6 のマルチモデル解析を含む、各種数値計算結果等を用いて、地球温暖化予測の不確定性・不確実性の低減を強く意識して、全球及び東アジア域の各種気候変動メカニズム解明を進めていく。

（副課題 3）

- ・次世代観測技術の開発や地上観測点及び航空機観測をさらに推進・発展させる。大気観測所等における大気化学トレーサー観測と多成分観測データ統合によるデータベース更新を行う。
- ・標準ガス比較実験を継続して実施する。また、実大気を用いた標準ガス調製システムの開発を進める。
- ・新たに導入された一酸化二窒素（ N_2O ）計による実用化試験を実施し、試験観測を開始する。
- ・炭素収支解明に観測データと数値モデルを融合的に活用して温室効果ガスの変動と炭素収支の解析を、気象庁環境・海洋気象課及び数値予報課、所内他課題、並びに国内関係研究機関と連携してさらに進める。
- ・同位体比観測とモデル解析に基づく統合的な全球メタン収支の最適推定値を解明する。
- ・ CO_2 逆解析システムを用い CO_2 放出量領域分割・植生火災による放出の感度実験等の手法を用いて炭素収支の解明を進める。

（副課題 4）

- ・今後も観測データと予測モデルデータを相互活用して海洋生物化学循環及び酸性化の実態把握と将来変化の評価を進めていく。研究の推進にあたっては、気象研究所以外の観測データの収集やアップデート、及び CMIP6 などの機会を利用して他のモデル運用機関による予測データの収集が不可欠である。それに伴い、ディスクスペースの確保やマルチモデル解析に資するデータの

管理や解析ソフトウェアの整備が重要な課題である。

6. 自己点検

(1) 到達目標に対する進捗度

(副課題1)

- ・ 異常気象の要因解明は予定通り進んでいる。
- ・ JRA-3Q の品質評価は、各種衛星観測データセットとの比較、他機関の再解析を含む相互比較などを行い、予定通り進んでいる。

(副課題2)

- ・ タイムスライス温暖化予測システムはおおむね予定通り進んでいる
- ・ 十年規模気候変動予測は、初年度に実験のミスがあり、これを第2年度に行ったため、解析・課題整理などで若干遅れている。
- ・ 気候再現実験はおおむね予定通り進んでいる。
- ・ CMIP 実験の実施と気候変動メカニズム解明は予定通り進んでいる。

(副課題3)

- ・ 化学トレーサの時空間変動に関する観測、化学トレーサー観測による炭素収支に関する解析研究はおおむね予定通り進んでいる。

(副課題4)

- ・ 予定通り進んでいる。

(2) 到達目標の設定の妥当性

(副課題1)

1. アジアモンスーンと台風の予測可能性評価：概ね妥当
2. 極端気象の実態と予測可能性の研究：概ね妥当
3. 異常気象の予測可能性の研究：概ね妥当
4. 気候研究の基盤情報整備に関する研究：概ね妥当

(副課題2)

1. タイムスライス温暖化予測システム：概ね妥当
2. 十年規模気候変動予測：概ね妥当
3. 気候再現実験：概ね妥当
4. CMIP 実験の実施と気候変動メカニズム解明：概ね妥当

(副課題3)

1. 化学トレーサの時空間変動に関する観測研究：概ね妥当
2. 化学トレーサー観測による炭素収支に関する解析研究：概ね妥当

(副課題4)

1. 水中グライダーの観測技術の確立：概ね妥当
2. 水中グライダー補正法の確立：概ね妥当
3. pH 測定の改良・補正手法の確立：概ね妥当
4. 気象庁観測船データを使用した気候変化、10年規模変動の把握：概ね妥当
5. 地球システムモデル、海洋モデルの評価：概ね妥当

(3) 研究の効率性（実施体制、研究手法等）について

(副課題1)

- ・ 異常気象の解析と予測可能性について、C1 副課題では季節予測システムを用いた実験で季節～数年の予測可能性を評価しメカニズム解明研究を行い、そこで得られた知見は他の研究副課題「M4：全球数値予報モデル、季節予測システムに関する研究」における季節予測可能性の研究や季節予測システム開発で考慮すべき点として活用されるなど、連携を密にして、研究を効率的に進めている。

- ・地球温暖化や十年規模変動について、C1 副課題では個別の異常気象について解析研究を行うことで、他の副研究課題「C2：地球温暖化予測の不確定性低減」、A1 副課題「地域気候モデルによる予測結果の信頼性向上に関する研究」で行われている不確定性低減やモデルによる再現・予測結果に対する信頼度評価に貢献しており、連携を密にして研究を効率的に進めている。
- ・異常気象のメカニズム解明では、他の研究副課題「M1：気象・気候予測のための地球システムモデリングに関する研究」で行われた大規模数値実験を他機関の結果と相互比較することでモデルの性能評価を行い、得られた知見は地球システムモデル開発で考慮すべき点として活用されるなど、連携を密にして、研究を効率的に進めている。

(副課題2)

- ・階層的な地球システムモデルの開発は M1 副課題「気象・気候予測のための地球システムモデリングに関する研究」を中心とする M 課題「地球システム・海洋モデリングに関する研究」等で行われており、それらと連携を密にして研究を効率的に行っている。
- ・C1 副課題「異常気象のメカニズム解明と季節予測可能性の評価」で行われている個別事象の解析研究を、地球温暖化の不確実性・不確定性低減に活かすことで、研究を効率的に進めている。
- ・C3 副課題「大気中温室効果ガスの変動要因・炭素収支の解明」ならびに C4 副課題「海洋の生物地球化学循環と酸性化実態の解明」で行われている観測をベースにした調査結果を、地球温暖化のメカニズム解明にかかわる基礎情報として活かすことで、研究を効率的に進めている。
- ・C2 では日本を含むアジア域での気候メカニズムの解明に力を入れているが、日本域を中心とした領域を高解像度で研究する A1 副課題「地域気候モデルによる予測結果の信頼性向上に関する研究」と連携を密にすることで研究を効率的に行っている。
- ・外部研究「統合的気候変動予測」（文部科学省統合的気候モデル高度化研究プログラム）で行われる、地球シミュレータ等で実施された大規模実験結果等をメカニズム解明に活用することで研究を効率的に行っている。

(副課題3)

- ・化学トレーサの時空間変動に関する観測は、気象庁環境・海洋気象課の温室効果ガス観測班と密に連携して進めることによって、効率的に研究を進めている。また、外部研究課題（文部科学省補助事業（ARCS、ARCS-2）及び地球環境保全等試験研究費、環境研究総合推進費、科学研究費助成事業）と連携しつつ研究を効率的に進めている。
- ・化学トレーサ観測による炭素収支に関する解析研究は、気象庁数値予報課地球システムモデル技術開発室及び他の研究副課題「M5：化学輸送モデル、大気微量成分同化に関する研究」と密に連携して進めることによって、効率的に研究を進めている。

(副課題4)

- ・水中グライダー観測にあたっては、他の研究副課題「M3：次世代海洋データ同化・大気海洋結合データ同化に関する研究」と協力して現場の水温・塩分や流れなど最新の海況データを元に水中グライダーの移動方向の決定等を行っている。台風直下の海洋観測にあたっては、他の研究副課題「T1：台風の発生、発達から温帯低気圧化に至る解析・予測技術の研究」と協力して、台風の発生状況や移動方向について助言を得るなど、他課題と連携しつつ研究を効率的に進めている。
- ・地球システムモデル及び海洋モデルを用いた解析にあたっては、他の研究副課題「M1：気象・気候予測のための地球システムモデリングに関する研究」及び「M2：マルチスケールに対応した海洋予測技術の開発に関する研究」から解析プログラムの共有やモデル出力データの解釈などについて適宜助言を受けるなど、他課題と連携しつつ研究を効率的に進めている。
- ・水中グライダー観測は、気象庁の海洋気象観測船のほか、共同研究先である筑波大学臨海実験センターの活用及び支援を得ながら実施している。
- ・観測に基づくデータの収集にあたっては、気象庁環境・海洋気象課と共有を図っている。

(4) 成果の施策への活用・学術的意義

(副課題1)

- ・季節予測システム（JMA/MRI-CPS2）を用いた予測可能性の研究は、M4 副課題（全球数値予報モデル、季節予測システムに関する研究）と協力して進めている。梅雨の予測可能性に関する研究成果などの予測可能性に関する調査研究は異常天候に関する気象庁の情報発信に寄与した。これら

の研究成果は、今後の季節予測システム開発において、性能評価の着眼点としてフィードバックを与える。

- ・ 気象庁による次世代再解析（JRA-3Q）ストリーム A、B の本計算について、各種衛星データや他気象機関作成再解析プロダクトを用いた品質評価及び循環場全般の表現性能評価を行っている。
- ・ 地球温暖化と個別の異常気象の因果関係を評価するイベント・アトリビューションの研究を行い、社会的に影響の大きかった梅雨期の豪雨や夏の猛暑の異常気象についてその研究成果を報道発表し、アウトリーチ活動を行っている。

（副課題 2）

- ・ 気象庁気候変動対策推進室のとりまとめのもと、所内関係課題とも連携して協力して作成した『日本の気候変動 2020』（文部科学省・気象庁、2020）は、進行しつつある地球温暖化への適応策・緩和策にかかわる研究やそれらの政策策定に直接的に貢献する材料として用いられていくことが大いに期待される。
- ・ 気象庁環境・海洋気象課による最新の表層水温解析に貢献している。このほか、これまであまり提供されてこなかった地球温暖化にかかわる海洋の情報作成も、M4 副課題（全球数値予報モデル、季節予測システムに関する研究）や C4 副課題と連携しながら進めている。

（副課題 3）

- ・ 本研究で開発した代替フロンを含むハロカーボン等の測定技術や品質管理と解析等の手法は、気象庁における現業観測の効率化や高精度化及び温室効果ガス監視情報の充実に貢献する。
- ・ 観測された大気成分データを WDCGG に登録することにより、地球環境監視・予測評価研究に活用が期待される。
- ・ 温室効果ガスの収支を観測データと数値モデルを用いた解析に基づいて高精度で監視・評価することにより、国や自治体による温暖化政策の立案に貢献することができる。

（副課題 4）

- ・ CMIP5 の結果等に基づいて海洋酸性度の将来変化を評価し「日本の気候変動 2020」に掲載した。
- ・ 本課題の成果として発表した論文のうち数篇が IPCC 第 6 次評価報告書の科学的根拠として引用された。政策立案者向け要約で人間の影響が気候変動の要因となっていることに疑いの余地がない、とされたことの根拠として貢献している。

（5）総合評価

（副課題 1）

- ・ 研究はほぼ当初計画のとおり実施され、全体として概ね順調である。
- ・ 研究成果は、気象庁における現業季節予報システムの開発や予報作成、異常気象の解説業務及びこれに必要な基盤データの利用や開発に活かされており、現業季節予報の予測精度向上に寄与し異常天候の災害軽減に役立つことから、本研究を進める意義は大変大きい。
- ・ また、研究成果の多くは査読論文にまとめられており、学術的な意義も高い。

（副課題 2）

- ・ 研究はほぼ当初計画のとおり実施され、全体として概ね順調である。
- ・ 研究成果は気象庁の地球温暖化予測業務等に活かされているうえ、引き続き進行中で、その緩和への動きが強く求められつつある地球温暖化の予測をはかる本研究を進める意義は大きい。
- ・ 研究成果は査読論文にまとめられ学術的意義も高いこと、得られる知見は今後の地球システムモデルの改良に引き続き活かされる予定であること、ここで開発されたシステムをもとにしたデータセットが地球温暖化の緩和策、適応策に今後も広く活かされていくと期待されること等からも、引き続き推進していくべきと考える。

（副課題 3）

- ・ 研究はほぼ当初計画のとおり実施され、全体として概ね順調である。
- ・ 研究成果は、気象庁の環境気象に関する現業観測及び二酸化炭素分布情報の開発等に活かされており、気候変動及び大気環境の監視に寄与することから、本研究を進める意義は大変大きい。また整備された観測データから大気微量成分の変動を解析した結果は査読論文として投稿されている。

(副課題4)

- ・ 研究はほぼ当初計画のとおり実施され、全体として概ね順調である。
- ・ 水中グライダーの観測技術はほぼ確立された。今後は、台風直下への自律的移動を伴った観測や、黒潮などの強い流れを横切る等のより機動的な移動を伴った観測等を実践すること等により、海洋観測の新たな可能性を提案する方向へ技術開発を進めることが可能となった。
- ・ 気象庁海洋気象観測船による長期の海洋生物地球化学系観測データの解析を進め、海洋酸性化の長期変動等の実態を浮かび上がらせ、IPCCの報告書等に反映させることができた。
- ・ 地球システムモデルや海洋モデルの海洋生物地球化学場の再現性検証を実施して、今後観測データと数値モデルデータを融合した海洋酸性化などの実態把握と今後の見通しに関する情報の高度化へ向けた道筋を作ることができた。

研究成果リスト

(1) 査読論文：41件

1. Shimura, T., W. J. Pringle, N. Mori, T. Miyashita, and K. Yoshida, 2022: Seamless Projections of Global Storm Surge and Ocean Waves Under a Warming Climate. *Geophysical Research Letters*, 49.
2. Bowman, H., Turnock, S., Bauer, S. E., Tsigaridis, K., Deushi, M., Oshima, N., O'Connor, F. M., Horowitz, L., Wu, T., Zhang, J., and Parrish, D. D., 2022: Changes in anthropogenic precursor emissions drive shifts in the ozone seasonal cycle throughout the northern midlatitude troposphere. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22, 3507–3524.
3. Kuroda, Y., M. Toryu, and H. Naoe, 2022: Influence of stratospheric variability on the winter-mean polar tropospheric climate. *SOLA*, 18, 47–52.
4. Endo, H., A. Kitoh, and R. Mizuta, 2022: Future changes in extreme precipitation and their association with tropical cyclone activity over the western North Pacific and East Asia in 20 km AGCM simulations. *SOLA*, 18, 58–64.
5. Shibata, K., and H. Naoe, 2022: Decadal amplitude modulations of the stratospheric quasi-biennial oscillation. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 100, 29–44.
6. Shimura, T., N. Mori, D. Urano, T. Takemi, and R. Mizuta, 2022: Tropical cyclone characteristics represented by the ocean wave coupled atmospheric global climate model incorporating wave-dependent momentum flux. *Journal of Climate*, 35, 499–515.
7. Aizawa, T., N. Oshima, and S. Yukimoto, 2022: Contributions of anthropogenic aerosol forcing and multidecadal internal variability to mid-20th century Arctic cooling-CMIP6/DAMIP multimodel analysis. *Geophysical Research Letters*, 49.
8. Takemura, K., H. Mukougawa, Y. Takaya, and S. Maeda, 2022: Seasonal Predictability of Summertime Asian Jet Deceleration near Japan in JMA/MRI-CPS2. *SOLA*.
9. Adachi, K., J.E. Dibb, E. Scheuer, J.M. Katich, J.P. Schwarz, A.E. Perring, B. Mediavilla, H. Guo, P. Campuzano-Jost, J.L. Jimenez, J. Crawford, A. J. Soja, N. Oshima, M. Kajino, T. Kinase, L. Kleinman, A.J. Sedlacek, R.J. Yokelson, P.R. Buseck, 2022: Fine Ash-Bearing Particles as a Major Aerosol Component in Biomass Burning Smoke. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 127, e2021JD035657.
10. Komatsu, K., Y. Takaya, T. Toyoda, and H. Hasumi, 2022: Response of Eurasian Temperature to Barents-Kara Sea Ice: Evaluation by Multi-model Seasonal Predictions. *Geophysical Research Letters*.
11. Takahashi, C., Y. Imada, and M. Watanabe, 2022: Influence of the MJO on Wintertime Extreme Snowfall and Precipitation in Japan. *Journal of the Meteorological Society of Japan*.

12. Hermanson, L., et al., 2022: WMO Global Annual to Decadal Climate Update: A prediction for 2021–2025. *Bulletin of the American Meteorological Society*. (in press)
13. Zanis, P., D. Akritidis, S. Turnock, V. Naik, S. Szopa, A. K. Georgoulis, S. E. Bauer, M. Deushi, L. W. Horowitz, J. Keeble, P. Le Sager, F. M. O'Connor, N. Oshima, K. Tsigaridis, T. van Noije, 2022: Climate change penalty and benefit on near surface ozone: A global perspective based on CMIP6 Earth System Models. *Environmental Research Letters*, 17, 024014.
14. Kamae, Y., Y. Imada, H. Kawase, and W. Mei, 2021: Atmospheric rivers bring more frequent and intense extreme rainfall events over East Asia under global warming. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL096030.
15. Imada, Y. and H. Kawase, 2021: Potential Seasonal Predictability of the Risk of Local Rainfall Extremes Estimated Using High-Resolution Large Ensemble Simulations. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL096236.
16. Kuroda, Y., K. Kodera, K. Yoshida, S. Yukimoto, and L. Gray, 2021: Influence of the solar cycle on the North Atlantic Oscillation. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 127.
17. Ueda, H., M. Kuramochi, K. Takaya, Y. Takaya, S. Asano, and S. Maeda, 2021: Genesis of Upper-Tropospheric Anticyclones over the Asian–Western Pacific Sector from Tropical–extratropical Interaction Perspective. *Journal of Climate*.
18. Kobayashi, C., S. Maeda, Y. Kanno, T. Iwasaki, 2021: Extremely weak cold-air mass flux and extratropical direct meridional circulation linked to the record-warm winter 2019/2020 over East Asia. *SOLA*.
19. Kawai, H., T. Koshiro, and S. Yukimoto, 2021: Relationship between shortwave radiation bias over the Southern Ocean and the double–intertropical convergence zone problem in MRI–ESM2. *Atmospheric Science Letters*, 22, e1064.
20. Ohata, S., Koike, M., Yoshida, A., Moteki, N., Adachi, K., Oshima, N., Matsui, H., Eppers, O., Bozem, H., Zanatta, M., and Herber, A. B., 2021: Arctic black carbon during PAMARCMiP 2018 and previous aircraft experiments in spring. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21, 15861–15881.
21. Ohata, S., Mori, T., Kondo, Y., Sharma, S., Hyvärinen, A., Andrews, E., Tunved, P., Asmi, E., Backman, J., Servomaa, H., Veber, D., Eleftheriadis, K., Vratolis, S., Krejci, R., Zieger, P., Koike, M., Kanaya, Y., Yoshida, A., Moteki, N., Zhao, Y., et al., 2021: Estimates of mass absorption cross sections of black carbon for filter-based absorption photometers in the Arctic. *Atmospheric Measurement Techniques*, 14, 6723–6748.
22. Abalos, M., Calvo, N., Benito-Barca, S., Garny, H., Hardiman, S. C., Lin, P., Andrews, M. B., Butchart, N., Garcia, R., Orbe, C., Saint-Martin, D., Watanabe, S., and Yoshida, K., 2021: The Brewer–Dobson circulation in CMIP6. *Atmospheric Chemistry and Physics*. (in press)
23. Kajino, M., M. Deushi, T. T. Sekiyama, N. Oshima, K. Yumimoto, T. Y. Tanaka, J. Ching, A. Hashimoto, T. Yamamoto, M. Ikegami, A. Kamada, M. Miyashita, Y. Inomata, S. Shima, P. Khatri, A. Shimizu, H. Irie, K. Adachi, Y. Zaizen, Y. Igarashi, H. Ueda, T. Mak, 2021: Comparison of three aerosol representations of NHM–Chem (v1.0) for the simulations of air quality and climate-relevant variables. *Geoscientific Model Development*, 14, 2235–2264.
24. Kusano, K., K. Yoshida, et al., 2021: PSTEP: project for solar–terrestrial environment prediction. *Earth, Planets and Space*, 73:159.
25. Kuramochi, M., H. Ueda, C. Kobayashi, Y. Kamae, K. Takaya, 2021: Anomalous warm winter 2019/2020 over East Asia associated with trans-basin Indo-Pacific connections.

SOLA.

26. Yoshida, K. and R. Mizuta, 2021: Do sudden stratospheric warmings boost convective activity in the tropics? *Geophysical Research Letters*, 48.
27. Hirabayashi, Y., H. Alifu, D. Yamazaki, Y. Imada, H. Shiogama, and Y. Kimura, 2021: Anthropogenic climate change has changed frequency of past flood during 2010–2013. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8, 36.
28. Xue, Y. et al., 2021: Impact of Initialized Land Surface Temperature and Snowpack on Subseasonal to Seasonal Prediction Project, Phase I (LS4P-I): Organization and Experimental design. *Geoscientific Model Development*.
29. Parrish, D. D., Derwent, R. G., Turnock, S. T., O’ Connor, F. M., Staehelin, J., Bauer, S. E., Deushi, M., Oshima, N., Tsigaridis, K., Wu, T., and Zhang, J., 2021: Investigations on the Anthropogenic Reversal of the Natural Ozone Gradient between Northern and Southern Mid-latitudes. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21, 9669–9679.
30. Lim, E.P., H. H. Hendon, A.H. Butler, D. W. J. Thompson, A. Scaife, I. Polichtchouk, R. S. Garreaud, R. Comer, L. Coy, P. A. Newman, T. G. Shepherd, H. Nakamura, Z. Lawrence, G. Wang, C. Kobayashi and A. Dowdy, 2021: The 2019 Southern Hemisphere polar stratospheric warming: Evolution, predictability and impact. *Bulletin of the American Meteorological Society*.
31. Yamanaka, G., H. Nakano, K. Sakamoto, T. Toyoda, S. Urakawa, S. Nishikawa, T. Wakamatsu, H. Tsujino, and Y. Ishikawa, 2021: Projected climate change in the western North Pacific at the end of the 21st century from ensemble simulations with a high-resolution regional ocean model. *Journal of Oceanography*, 77, 539–560.
32. Mori, T., Y. Kondo, S. Ohata, K. Goto-Azuma, K. Fukuda, Y. Ogawa-Tsukagawa, N. Moteki, A. Yoshida, M. Koike, P. R. Sinha, N. Oshima, H. Matsui, Y. Tobo, M. Yabuki and W. Aas, 2021: Seasonal variation of wet deposition of black carbon at Ny-Ålesund, Svalbard. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 126, e2020JD034110.
33. Anstey, J.A., H. Naoe, K. Yoshida, S. Yukimoto, et al., 2021: Teleconnections of the quasi-biennial oscillation in a multi-model ensemble of QBO-resolving models. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*.
34. Hattori, S., Y. Iizuka, B. Alexander, S. Ishino, K. Fujita, S. Zhai, T. Sherwen, N. Oshima, R. Uemura, A. Yamada, N. Suzuki, S. Matoba, A. Tsuruta, J. Savarino, N. Yoshida, 2021: Isotopic Evidence for Acidity-driven Enhancement of Sulfate Formation after SO₂ emission control. *Science Advances*, 7(19), eabd4610.
35. Kawamiya, M., Ishii, M., Mori, N., I. Takayabu, and Watanabe, M., 2021: Preface for “Projection and impact assessment of global change”.. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8.
36. Takaya, Y., Y. Kosaka, M. Watanabe, S. Maeda, 2021: Skilful predictions of the Asian summer monsoon one year ahead. *Nature Communications*, 12.
37. Jones, C. D., J. E. Hickman, S. T. Rumbold, J. Walton, R. D. Lamboll, R. B. Skeie, S. Fiedler, P. M. Forster, J. Rogelj, M. Abe, M. Botzet, K. Calvin, C. Cassou, J. N. S. Cole, P. Davini, M. Deushi, M. Dix, J. C. Fyfe, N. P. Gillett, T. Ilyina, et al., 2021: The Climate Response to Emissions Reductions due to COVID - 19: Initial Results from CovidMIP. *Geophysical Research Letters*, 48.
38. CHANDRA Naveen, PATRA Prabir K., BISHT Jagat S. H., ITO Akihiko, UMEZAWA Taku, SAIGUSA Nobuko, MORIMOTO Shinji, AOKI Shuji, JANSSENS-MAENHOUT Greet, FUJITA Ryo, TAKIGAWA Masayuki, WATANABE Shingo, SAITOH Naoko, CANADELL Josep G, 2021: Emissions from the Oil and Gas Sectors, Coal Mining and Ruminant Farming Drive Methane Growth over the Past Three Decades. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 99.

39. Maeda, S., K. Takemura and C. Kobayashi, 2021: Planetary wave modulations associated with the Eurasian teleconnection pattern. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 99.
40. Endo, H., A. Kitoh, R. Mizuta, and T. Ose, 2021: Different future changes between early and late summer monsoon precipitation in East Asia. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 99, 1501-1524.
41. Kentaro ISHIJIMA, Kazuhiro TSUBOI, Hidekazu MATSUEDA, Yasumichi TANAKA, Takashi MAKI, Takashi NAKAMURA, Yosuke NIWA, Shigekazu HIRAO, 2021: Understanding Temporal Variations of Atmospheric Radon-222 around Japan using Model Simulations. *Journal of the Meteorological Society of Japan*.

(2) 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）：8 件

1. Lu, B. and Y. Takaya, 2021: Record meiyu-baiu of 2020: reflections for prediction. *Science Bulletin*.
2. 鬼頭昭雄, 2022: 気候変動の現状と将来 ～地球温暖化による水循環の変化～. *沙漠研究*, 31, 95-101.
3. 鬼頭昭雄, 2022: 数値モデルを用いた気候変動研究 —2021 年度藤原賞受賞記念講演—. *天気*, 69, 5-16.
4. 直江寛明, 榎本剛, 今田由紀子, 2021: 北半球夏季のダブルジェットの力学変動. *京都大学防災研究所年報*, 64B, 309-312.
5. 中村尚, 川合義美, 伊藤進一, 小池真, 和田章義, 国井勝, 嶋田宇大, 榎本剛, 吉田聡, 釜堀弘隆, 升永竜介, 小林ちあき, 岡島悟, 2021: コミュニティーへの公開データ. *気象研究ノート*, 244, (公社) 日本気象学会, 13pp, ISBN: .
6. 大島長, 2021: コロナ禍による人為起源物質の排出量の減少が気候に及ぼす影響. *ArCS II ニュースレター*, 2, p03.
7. 小野恒, 石井雅男, 飯田洋介, 延与和敬, 笹野大輔, 2021: 西部北太平洋亜寒帯域における表面海水中全炭酸濃度の増加傾向. *月刊海洋*, 53, 304-311.
8. 吉田康平, 2021: 太陽活動変動の気候影響評価実験 : 地球システムモデルシミュレーション. *太陽地球圏環境予測 オープン・テキストブック*.

(3) 学会等発表

A. 口頭発表

・国際的な会議・学会等：9 件

1. Yoshida, K., and R. Mizuta, Do Sudden Stratospheric Warmings Boost Convective Activity in the Tropics? AMS 102nd Annual Meeting, 2022 年1月, アメリカ, オンライン
2. Kawai, H., T. Koshiro, and S. Yukimoto, Does the reduction in the Southern Ocean radiation bias alleviate the double-ITCZ problem? AGU Fall Meeting 2021, 2021 年12月, 米国, ニューオーリンズ&オンライン
3. Imada, Y., H. Kawase, and M. Watanabe, Attributing extreme weather events over East Asia: Heavy rain, 2020 NORTHEAST ASIAN SYMPOSIUM, 2021 年11月, オンライン
4. Mizuta, R. and H. Endo, Projected changes in extreme precipitation in a 60-km AGCM large ensemble and their dependence on return periods, WCRP Workshop on Extremes in Climate Prediction Ensembles, 2021 年10月, 韓国, 釜山
5. Imada, Y., and H. Kawase, Long-term potential predictability of regional extreme events in East Asia estimated from a high-resolution large ensemble, WCRP Workshop on Extremes in Climate Prediction Ensembles, 2021 年10月, 韓国, 釜山
6. C. Kobayashi, T. Iwasaki, S. Kobayashi, Y. Kosaka, J. Chiba, T. Tokuhiro, Y. Harada and H. Naoe, Brewer-Dobson circulation represented in JRA-3Q, WCRP-WWRP Symposium on

Data Assimilation and Reanalysis, 2021年9月, オンライン

7. Takaya, Y., I. Ishikawa, C. Kobayashi, H. Endo, and T. Ose, Enhanced Meiyu - Baiu Rainfall in Early Summer 2020: Aftermath of the 2019 Super IOD Event, 2021 ASP summer workshop, 2021年8月, 米国, ボールダー
8. Kawai, H., and T. Koshiro, Do Low-level Clouds Strengthen Summertime Subtropical Highs?, International workshop for mid-latitude air-sea interaction, 2021年6月, オンライン
9. Imada, Y. and H. Kawase, Potential predictability of regional extreme events associated with large-scale variations in the tropical ocean, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021年6月, オンライン

イ. ポスター発表

・国際的な会議・学会等 : 11 件

1. Naoe, H., C. Kobayashi, and S. Maeda, The 2019 Stratospheric Sudden Warming in the Southern Hemisphere and Predictability in the Extratropical Troposphere, AGU Fall Meeting 2021, 2021年12月, 米国, ニューオーリンズ&オンライン
2. C. Kobayashi, T. Iwasaki, S. Kobayashi, Y. Kosaka, J. Chiba, T. Tokuhito, Y. Harada and H. Naoe, Brewer-Dobson circulation diagnosed from JRA-3Q, AGU Fall Meeting 2021, 2021年12月, 米国, ニューオーリンズ&オンライン
3. Oshima, N., S. Yukimoto, M. Deushi, T. Koshiro, H. Kawai, T. Y. Tanaka, and K. Yoshida, Global and Arctic effective radiative forcing of anthropogenic gases and aerosols in MRI-ESM2.0, Tri-MIPathlon-3, 2021年12月, イギリス, オンライン
4. Naoe, H., T. Maki, M. Deushi, and K. Ueno, Bias Correction of Multi-Sensor Satellite-Acquired Total Column Ozone, Quadrennial Ozone Symposium (QOS 2021), 2021年10月, 韓国, ソウル, オンライン
5. Imada, Y., and H. Kawase, Long-term potential predictability of regional extreme events in East Asia estimated from a high-resolution large ensemble, WCRP workshop on attribution of multi-annual to decadal changes in the climate system, 2021年9月, オンライン
6. Harada, Y., S. Kobayashi, Y. Kosaka, J. Chiba, and T. Tokuhito, Early results of the evaluation of the JRA-3Q reanalysis, WCRP-WWRP Symposium on Data Assimilation and Reanalysis, 2021年9月, Germany, Bonn
7. Naoe, H., S. Kobayashi, Y. Kosaka, J. Chiba, T. Tokuhito, Y. Harada, C. Kobayashi, Evaluation of the latest Japanese Reanalysis for three quarters of a century (JRA-3Q) during a pre-satellite era, WCRP-WWRP Symposium on Data Assimilation and Reanalysis, 2021年9月, Germany, Bonn
8. Kawai, H., T. Koshiro, and S. Yukimoto, Does the reduction in the Southern Ocean radiation bias alleviate the double-ITCZ problem? CFMIP Meeting on Clouds, Precipitation, Circulation, and Climate Sensitivity, 2021年9月, オンライン
9. Naoe, H., T. Hirooka, Y. Harada, C. Kobayashi, Y. Imada, and S. Maeda, Characteristics of a pronounced Antarctic stratospheric warming in September 2019, International workshop for mid-latitude air-sea interaction: advancing predictive understanding of regional climate variability and change across timescales, 2021年6月, オンライン, 札幌
10. Ono, H., M. Ishii, Y. Iida, K. Enyo, D. Sasano, Relationship between the variability in dissolved inorganic carbon in surface seawater and the formation volume of subtropical mode water along the 137° E line, International workshop for mid-latitude air-sea interaction, 2021年6月, オンライン

11. Toyama, K., Late-winter glider observation of upper ocean responses to weather disturbances in the western subtropical North Pacific, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン

・国内の会議・学会等：8 件

1. 原田やよい, 釜堀弘隆, 古林慎哉, 高坂裕貴, 千葉丈太郎, 徳広貴之, JRA-3Q 長期再解析の赤道波・熱帯低気圧の表現性能評価, 日本気象学会秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
2. 小林 ちあき, 前田 修平, 南半球成層圏突然昇温後の負の南極振動の季節予測可能性, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重
3. 行本誠史, 大島長, 相澤拓郎, CMIP6 モデルによる北半球平均降水量の長期変化, 日本気象学会 2021 年秋季大会, 2021 年 12 月, オンライン
4. 小畑淳, 辻野博之, 地球システムモデルの土地利用と凶作, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
5. 尾瀬智昭, 遠藤洋和, 仲江川敏之, 夏季日本域月別海面気圧の近年「トレンド」と温暖化予測, 日本気象学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 12 月, 三重県津市
6. 小野 恒, 石井雅男, 笹野大輔, 東経 165 度線の亜熱帯モード水における全炭酸濃度の経年変動, 日本海洋学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 9 月, オンライン
7. 小野 恒, 石井雅男, 飯田洋介, 延与和敬, 笹野大輔, 東経 137 度線における表面海水中全炭酸濃度の変動と亜熱帯モード水形成量との関係, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
8. 尾瀬智昭, 遠藤洋和, 仲江川敏之, 海面気圧の類似年による盛夏期日本の将来気候変化推定, 日本気象学会 2021 年度春季大会, 2021 年 5 月, 茨城県つくば市

(4) 投稿予定論文

1. ISHIJIMA, Kentaro, Kazuhiro Tsuboi, Hidekazu Matsueda, Yasumichi Tanaka, Takashi MAKI, Takashi Nakamura, Yosuke Niwa, Shigekazu HiraO, 2021: Understanding Temporal Variations of Atmospheric Radon-222 around Japan using Model Simulations. Journal of the Meteorological Society of Japan. (submitted)
2. Kobayashi, C., S. Maeda, Y. Kanno, T. Iwasaki, 2021: Extremely weak cold-air mass flux and extratropical direct meridional circulation linked to the record-warm winter 2019/2020 over East Asia. SOLA. (submitted)
3. Shibata, K. and H. Naoe, 2021: Decadal amplitude modulations of the stratospheric quasi-biennial oscillation, J. Meteorol. Soc. Japan. (revised).

報道・記事

(報道)

- 石井雅男, 「土曜特集: 温暖化と同時に進行「海洋酸性化」, 公明新聞, 2020 年 12 月 12 日
- 今田由紀子, 「昨年の猛暑、温暖化が影響＝シミュレーションで裏付け－気象研など」, 時事通信, 2019 年 5 月 22 日
- 今田由紀子, 「温暖化で猛暑日 1.8 倍に 気象研予測、1 度上昇の場合」, 共同通信, 2019 年 5 月 22 日
- 今田由紀子, 「パリ協定目標達成でも 1.8 倍 気象庁」, 毎日新聞, 2019 年 5 月 22 日
- 今田由紀子, 「温暖化で猛暑日 1.8 倍に 気象研などが予測」, 日本経済新聞, 2019 年 5 月 22 日
- 今田由紀子, 2019 年 5 月 22 日, 「昨夏の猛暑、温暖化なければ発生せず? 気象庁など分析」, 朝日新聞
- 今田由紀子, 「温暖化で猛暑日 1.8 倍に 気象研、1 度上昇の場合」, 産経新聞, 2019 年 5 月 22 日
- 今田由紀子, (猛暑のイベント・アトリビューションに関する報道), TBS ゴゴスマ, 2019 年 5 月 23 日
- 今田由紀子, (猛暑のイベント・アトリビューションに関する報道), フジテレビ とくダネ, 2019

年 5 月 24 日

今田由紀子, Deadly Japan heatwave ‘essentially impossible’ without global warming, Climate Home News (ロンドンオンラインマガジン), 2019 年 5 月 29 日

今田由紀子, Japan’s deadly 2018 heatwave ‘could not have happened without climate change’, CarbonBrief (ロンドンオンラインマガジン), 2019 年 5 月 30 日

今田由紀子, Tödliche Hitze in Japan 2018 nur durch Klimawandel erklärbar, German daily newspaper Frankfurter Rundschau (klimareporter.de) (ドイツ新聞社), 2019 年 5 月 30 日

今田由紀子, 「当たり前になっていく「異常気象」地球温暖化は誰が止めるのか」, Yahoo ニュース特集, 2019 年 6 月 4 日

今田由紀子, 2019 年 8 月 20 日, 「記録的猛暑～確かになる温暖化の影響」, NHK 時論公論

今田由紀子, 2020 年 1 月 9 日, 「温暖化と猛暑 (上)」, しんぶん赤旗

今田由紀子, 渡部雅浩, The First Undeniable Climate Change Deaths. EOS Science News by AGU, 2020 年 8 月 20 日

今田由紀子, 猛暑のイベント・アトリビューション, NHK 総合「ニュースシブ 5 時」, 2020 年 8 月 25 日

今田由紀子, 「地球温暖化が近年の日本の豪雨に与えた影響を評価しました」 報道発表内容, NHK 茨城「茨城ニュース 845」, 2020 年 10 月 20 日

今田由紀子, 「西日本豪雨と同規模の大雨、温暖化で発生確率 3.3 倍に」, 朝日デジタル, 2020 年 10 月 20 日

今田由紀子, 「温暖化で大雨の頻度 3.3 倍に 瀬戸内地域で、気象研分析」, 共同通信, 2020 年 10 月 20 日

今田由紀子, 「18 年西日本豪雨 温暖化で発生確率 3.3 倍 気象研などスパコンで分析」, 毎日新聞デジタル, 2020 年 10 月 20 日

今田由紀子, 「温暖化で大雨の頻度 3.3 倍に」, 西日本新聞, 2020 年 10 月 20 日

今田由紀子, 「温暖化で豪雨発生増 「西日本」級 確率 3 倍 気象研」, 日本農業新聞, 2020 年 10 月 21 日

今田由紀子, 「西日本豪雨 温暖化で確率 3.3 倍」, 毎日新聞朝刊, 2020 年 10 月 21 日

今田由紀子, 「18 年の西日本豪雨級 温暖化の影響で発生確率 3.3 倍に」, 日本経済新聞朝刊, 2020 年 10 月 21 日

今田由紀子, 「九州豪雨「温暖化で発生率 1.5 倍」 気象研などが過去データ解析」, 西日本新聞, 2020 年 10 月 21 日

今田由紀子, 「豪雨やはり温暖化影響していた 18 年の西日本は 3.3 倍」, 西日本新聞, 2020 年 10 月 21 日

今田由紀子, 「九州豪雨「温暖化で発生率 1.5 倍」 気象研などが過去データ解析」, TEAM 防災ジャパン, 2020 年 10 月 22 日

今田由紀子, 「温暖化で大雨が多くなった?」, 朝日新聞デジタル「ののちゃんの DO 科学」, 2020 年 11 月 14 日

今田由紀子, 「高まる「温暖化で豪雨」」, 毎日新聞, 2021 年 7 月 20 日

今田由紀子, 「気候変動と激化する災害」, NHK 時論公論, 2021 年 7 月 29 日

今田由紀子, 「災害激化招く気候危機」, しんぶん赤旗日曜版, 2021 年 8 月 29 日

今田由紀子, 渡部雅浩, 川瀬宏明, 塩竈秀夫, 荒井美紀, プレスリリース「平成30年7月の記録的な猛暑に地球温暖化が与えた影響と猛暑発生の将来見通し」, 2019年5月22日

今田由紀子, 川瀬宏明, 渡部雅浩, 荒井美紀, 塩竈秀夫, 高薮出, プレスリリース「地球温暖化が近年の日本の豪雨に与えた影響を評価しました」, 2020年10月20日

遠藤洋和, 「集中豪雨、温暖化の影響も」, 朝日新聞デジタル, 2020 年 8 月 17 日

川瀬宏明, 山口宗彦, 今田由紀子, 林修吾, 村田昭彦, 仲江川敏之, 宮坂貴文, 高薮出, プレスリリース「近年の気温上昇が令和元年東日本台風の大雨に与えた影響」, 2020年12月24日

丹羽洋介, 「世界の CO₂ 収支 2020 年版を公開 ～国際共同研究 (グローバルカーボンプロジェクト) による評価～」, 筑波研究学園都市記者会、環境省記者クラブ、環境記者会、水産庁記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会同時配布, 2020 年 12 月 11 日 (国立環境研究所ほ

かとの共同プレスリリース)

丹羽洋介, 「世界のメタン放出量は過去 20 年間に 10% 近く増加」, 筑波研究学園都市記者会、環境省記者クラブ、環境記者会、文部科学記者会、科学記者会同時配付, 2020 年 8 月 6 日
(国立環境研究所ほかとの共同プレスリリース)

丹羽洋介, 松枝秀和, 「東南アジアの泥炭・森林火災が日本の年間放出量に匹敵する CO₂ をわずか 2 か月間で放出: 旅客機と貨物船による観測が捉えた CO₂ 放出」, 2021 年 7 月 15 日 (国立環境研究所ほかとの共同プレスリリース)

松枝秀和, 「民間旅客機が捉えた都市域からの CO₂ 排出〜世界 34 都市上空での CO₂ 観測データの統計解析〜」, 筑波研究学園都市記者会、環境省記者クラブ、環境記者会、気象庁記者クラブ同時配付, 2020 年 5 月 15 日 (国立環境研究所との共同プレスリリース)

(アウトリーチ)

石井雅男, 「深刻化増す海洋の異変-観測データが示す気候変動 海の温暖化・海面上昇・海洋酸性化 IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書と気象庁「海洋の健康診断表」から」 日本記者クラブ 2020 年度記者ゼミ「科学記者の役割」 2020 年 7 月 28 日

石井雅男, 「海の温暖化・海面水位の上昇・海の酸性化 ― 現状と予測」 内閣府総合海洋政策推進本部 気候変動が海洋環境及び海洋産業に与える影響について検討するプロジェクトチーム 第2回会合 2020 年 12 月 10 日 (非公開)

石井雅男, 「気候変動分野と海洋科学の 10 年 ― 海の温暖化・海面水位上昇・海の酸性化」 笹川平和財団海洋政策研究所 第3回「海洋科学の 10 年」研究会 2020 年 12 月 21 日

石井雅男, 「海洋観測の課題」 内閣府総合海洋政策推進本部 気候変動が海洋環境及び海洋産業に与える影響について検討するプロジェクトチーム第3回会合 2021 年 2 月 4 日 (非公開)

今田由紀子 (2019) 異常気象と地球温暖化 両者の関連を解き明かす新手法〜イベント・アトリビューション〜. 気象研究所一般公開特別講演, 気象研究所, 2019 年 4 月 10 日

今田由紀子, 2019 年 6 月 8 日, 「異常気象と地球温暖化」, 環境プランニング学会 2019 年春季学術講演会, 東京

今田由紀子, 2019 年 6 月 29 日, 「異常気象における温暖化の寄与」, 筑波大学エクステンションプログラム, 東京

今田由紀子, 2019 年 8 月 17 日, 「異常気象における温暖化の寄与」, 日本気象学会関西支部第 41 回夏季大学, 京都

今田由紀子, 2019 年 9 月 27 日, 「豪雨のイベント・アトリビューション〜極端現象と温暖化の関係を解き明かす新手法〜」, 第 2 回洪水リスク研究会, 東京都目黒区

今田由紀子, 2019 年 11 月 19 日, 「異常気象と地球温暖化の関係を解き明かす新手法〜イベント・アトリビューション〜」, 三重県気候講演会『地球温暖化によって 猛暑・豪雨・台風はどのようなのか』, 津市

今田由紀子, 川瀬宏明, 「近年の日本の豪雨は地球温暖化のせい?」, 「気象業務はいま 2021」トピックス III-1 コラム, 2021 年 6 月

坪井一寛, 「航空機を利用して温室効果ガス濃度を『はかる』」, 福岡市科学館 第 19 回気象教室「地球温暖化、その原因の正体に迫る ― 旅客機・人工衛星がとらえた温室効果ガス ―」, 2020 年 1 月 13 日

坪井一寛, 石島健太郎, 丹羽洋介, 松枝秀和, 「民間旅客機を活用した大気観測によって捉えられる二酸化炭素濃度変動」, 「気象業務はいま 2021」第 2 部 3 章 コラム, 2021 年 6 月

S 地震と津波の監視・予測に関する研究

研究年次：3年目／5年計画（令和元年度～令和5年度）

研究代表者：橋本徹夫（令和元年度）
干場充之（令和2～3年度）
[地震津波研究部 部長]

課題構成及び研究担当者（いずれも地震津波研究部）

（副課題1）地殻活動監視に関する研究

○山本剛靖（令和3年度）、勝間田明男（○令和元～2年度）、小林昭夫、田中昌之、露木貴裕、弘瀬冬樹、永田広平、溜渕功史、安藤 忍（令和元年度）、野田朱美（令和2～3年度）

（副課題2）地震動即時予測に関する研究

○鎌谷紀子（令和3年度）、林 豊（○令和2年度）、干場充之（○令和元年度）、小木曾仁、小寺祐貴

（副課題3）津波予測に関する研究

○林 豊（令和3年度）、山本剛靖（○令和元～2年度）、中田健嗣（令和元年度）、対馬弘晃（令和2～3年度）、南 雅晃

研究協力者：（氏名・機関）

（副課題1）

吉川澄夫（令和元～2年度 客員研究員）
勝間田明男（令和3年度 客員研究員）（富山大学）
前田憲二、廣田伸之（令和元～2年度）、吉本昌弘（令和3年度）（気象庁地震火山部）
木村一洋（令和2～3年度）（気象大学校）

（副課題2）

林元直樹、川岸純一郎、野口恵司、岡部 来（令和元～2年度）、森脇 健（令和元～2年度）、甲田浩行（令和元～2年度）、塚本恵利子（令和3年度）（気象庁地震火山部）

（副課題3）

舘畑秀衛（令和元年度 客員研究員）
富士井啓光（令和元～2年度）、中田健嗣（令和2～3年度）、大嶋健嗣（令和3年度）、浜田広太（令和3年度）（気象庁地震火山部）

研究の動機・背景

（社会的背景・意義）

地震調査研究推進本部は、「新たな地震調査研究の推進について」（平成21年4月公表、平成24年9月見直し）において、当面10年間に取り組むべき地震調査研究に関する基本目標として、地震動即時予測及び地震動予測の高精度化、津波即時予測技術の開発及び津波予測に関する調査観測の強化等を掲げた。平成30年3月に報告されたレビューでは、期間中の取り組みにおける実績を評価した上で、今後の課題として、微小地震や地殻変動の観測データを用いた中期的な地震発生の評価手法の検討、津波即時予測の迅速性と予測精度の一段の向上等の必要性を挙げている。また、平成28年（2016年）熊本地震を受けて、それまでの余震確率評価手法を生かしつつ発展させた「大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方」（平成28年8月）の中では、今後も引き続き、地震活動の見通しに関する情報の改善について検討を継続していくことが述べられている。

文部科学省科学技術・学術審議会測地学分科会は、平成31年度からの5年間に実施する観測研究計画として「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）の推進について」を策定中で、その中では、地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測手法の構築、地震動や津波等災害誘因の事前評価・即時予測手法の高度化等に取り組むことが謳われている。

(学術的背景・意義)

平成7年(1995年)兵庫県南部地震以降、基盤的地震観測網の整備が行われて全国均質な地震観測データが蓄積され、近年は震源処理の自動化が進み、リアルタイム的に地震活動の統計的特徴の把握が可能となっている。また、個々の地震活動評価についても、地震予知連絡会の重点検討課題として継続的な検討作業が行われているほか、国際的な枠組みでの手法の提案や評価が進んでいる。

地震動即時予測は、地震被害軽減に向けた新しい手段として世界中で研究が進められている。この中で、揺れから揺れを予測する考え方を発展させるなど、今後のこの分野のマイルストーンを築く。

東北地方太平洋沖地震による津波が甚大な被害をもたらしたことから、稠密な沖合津波観測網の整備と様々な津波即時予測技術の開発が行われ、津波初期部の即時予測については社会実装の段階に進みつつある。

(気象業務での意義)

国土交通省交通政策審議会気象分科会は「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」(平成30年8月公表)において、地震、津波現象を的確に把握・評価し、実況や経過、見通し等について、わかり易くきめ細かに提供する等の取組を進めるべきとして、地震活動や地殻変動を統合的に解析し現象の推移を的確に評価することで今後の地震活動の見通しについてより具体的に情報の提供を行うこと、緊急地震速報において面的な揺れの広がりの予測を提供するとともに震度だけでなく長周期地震動階級も合わせて提供すること、津波の実況や予想に基づき津波の第1波・最大波から減衰までの津波の時間的推移や警報・注意報の解除の見通しを提供することなどを具体的な目標として提言した。気象庁は、これらの目標を実現するために必要な技術開発を進めることが求められている。

気象研究所ではこれまで、従来の緊急地震速報で用いられている“震源とマグニチュードの早期決定”という考え方に加えて“揺れから揺れを予測する”という考え方で研究を進めてきており、その簡易版にあたるPLUM法は平成30年3月に緊急地震速報に導入された。地殻活動監視については、規模別頻度分布の係数 b 値や潮汐と地震活動の相関などを調査し、それぞれのパラメータから応力の集中が起きている可能性などを推定することができたほか、地震活動の統計的解析から前震識別の最適パラメータを推定し確率利得の評価など、地震活動の見通しに関する情報の改善に寄与する研究を行ってきている。津波の時間的推移の予測については、津波観測データの解析により数理モデルで表現した時間的推移が地震の規模と相関をもつことを明らかにしてきている。

研究の目的**(全体)**

地震の発生に伴う災害を防止・軽減するため、地震活動・地震動・津波の諸現象への理解を深め、地震と津波の監視・予測技術の開発・改良を行う。

(副課題1)

地震活動の状況把握と推移予測を的確に行うため、地震・地殻変動データの解析に基づいて地殻活動の状況を適切に指標化することによって、地殻活動状態の変化を監視し異常度を評価する手法を開発する。

(副課題2)

地震動即時予測の有効性を広げるため、地震動即時予測技術の精度向上、迅速化、及び堅牢化を図るとともに、長周期地震動までを含めた様々な周期での地震動即時予測を行えるよう改良する。

(副課題3)

長時間継続する津波の事前予測や推移予測を行うため、津波伝播計算手法を改良することによって、日本の沿岸域における津波全過程予測精度を改善する。

研究の目標**(全体)**

統合的な地殻活動指標を考案し、地殻活動の異常度を表す手段としての可能性を評価する。地震動即時予測の精度、迅速性、及び堅牢性の向上、様々な周期の揺れの予測への拡張、日本の沿岸域における津波全過程予測の精度向上を図る。

(副課題 1)

地震活動の特徴を表す様々な指標と地殻変動の解析結果の地域特性・時間変化の特徴を調査し、さらにそれらの様々な指標を組み合わせた統合的指標を考案する。統合的指標について、顕著地震の発生との関連性の調査や物理的背景の検討などにより、地殻活動の現在の異常度を表現する手段としての可能性を評価する。

(副課題 2)

地震動即時予測について観測震度に対して予測震度が概ね震度差 1 以内に収まる精度を目指す。また、震源位置やマグニチュードが決まっていない段階においても震度予測ができる迅速性・堅牢性の向上も目指す。さらに、長周期(おおよそ周期 10 秒程度まで)の様々な揺れの予測にも対応できるように拡張・強化する。

(副課題 3)

津波伝播計算における沿岸域での境界条件等を最適化する。それにより、津波伝播計算による日本の沿岸域における第 1 波到達から後続波、減衰に至るまでの津波全過程予測の精度向上を図る。

中間評価時の到達目標**(全体)****(副課題 1)**

各種地殻活動指標の統合に先立ち、各種指標の地域特性・時間変化の特徴を抽出する。

(副課題 2)

PLUM 法の改良、及び伝播経路特性や地盤増幅特性の精緻化を行うとともに、それらの成果を長周期地震動に適用する。

(副課題 3)

津波後続波の観測事例を整理し、それらの事例や津波振幅減衰過程を長時間津波伝播計算がどの程度再現できるか評価する。

研究成果**(1) これまで得られた成果の概要****(全体)**

地殻活動指標について、日本全域の震源データを用いて地殻活動を表す b 値などの個別指標の統計的性質を明らかにし、それらと地殻活動の関連性について調査して顕著地震の発生に伴う b 値の低下など地域特性や時間変化を明らかにした。地震動即時予測について、P 波検知法を発展させることにより PLUM 法の迅速化を図れることを示したほか、地盤増幅特性の位相特性を強震動予測に取り入れることにより、強震動継続時間の予測精度向上につなげた。津波の減衰過程について顕著な後続波の出現事例などの観測事例の収集を進め、過去事例に基づく減衰予測手法を開発したことに加え、津波伝播計算手法も一部改良した。

以下に各副課題の成果を記す。

(副課題 1)

- ・2000 年から 2020 年までの日本全国の震源データ（気象庁一元化震源）を用い、地殻活動の特徴を表す個別指標として、地震の規模別頻度分布の傾きを表す b 値と形状を表す η 値、地震活動と潮汐による体積ひずみ変化の相関度を表す D 値、及び ETAS モデルによる地震発生数の期待値と実際の発生数との差を調べた。 b 値一定の G-R 則から期待される分布と比較すると観測 b 値はより幅広に分布し、 b 値が時間的・空間的に一定でないことを示す。 η 値の分布は小さい方にずれ、規模別頻度分布が全体として上に凸の傾向であることを示す。 D 値の分布はレイリー分布とほぼ一致し、対象震源データについて地震活動と潮汐変化がほぼ無相関であることを示す。ETAS 発生数差はポアソン分布より幅広になったが、計算グリッド外の大地震の影響による一時的な活発化とその後の静穏化の反映と解釈できる。
- ・個別指標間の関係を調べ、そのほとんどは無相関だったが、極端に高い b 値と ETAS パラメータの

うち低 α 値との間に相関が見いだされた。これは地震が短期間にまとまって発生する活動の特徴を反映したものと考えられる。

- ・統計検定により b 値の分布が他と異なる領域を分離した。陸域の高 b 値地域は、定常的で、地下のマグマ活動や流体による影響が考えられ、低 b 値地域は、顕著地震の発生と関係していて、地震後に低下した後徐々に回復していく。海域では特に東北地方太平洋沖地震のすべり域の周辺で、走向方向の低 b 値、走向直交方向の地震後の高 b 値が特徴的である。
- ・2016年熊本地震の震源域周辺における b 値とせん断ひずみエネルギー変化との比較により、地震によりせん断ひずみエネルギーが増加した領域で b 値が有意に低下したことを見いだした。

(副課題2)

- ・密な観測網が利用可能な状況においては、観測波形からモーメントマグニチュードの即時推定を行うよりも、各観測点の揺れそのものから周囲の地域に警報を出す方が緊急地震速報の迅速化に有効であることを、事例検証をもとに明らかにした。
- ・P波を検知する方法を進展させ、直前イベント等の地震波に埋もれたP波を検出し、その上下動成分のみから後続のS波による震度を予測する手法を開発した。この方法を用いると、約2割の地震において従来のPLUM法よりもさらに迅速に警報を発表できることを確かめた。
- ・地震動の距離減衰を考慮した遠隔観測点のデータの利用により、地震動即時予測の迅速化ができることを確かめた。
- ・減衰・散乱・速度構造などの地下構造の詳細な推定を行った。この成果を地盤増幅特性及び波動場の計算モデルに組み込むことにより、継続時間も含めた揺れの予測精度向上が期待できる。
- ・データ同化と波動伝播シミュレーションを組み合わせた地震動予測プログラムについて、MPIやOpenMPを用いた並列化及びMPI通信の効率化を行い、計算時間が短縮できることを明らかにした。
- ・地盤増幅特性の中の位相特性を強震動予測に取り入れることで、振幅ばかりでなく継続時間の予測精度向上が可能であることを明らかにした。この成果は、長周期地震動の予測精度向上にも資する。
- ・長周期地震動への活用を念頭に、限られた時間(20秒程度)の波形から周期10秒程度までの地盤増幅特性を精度よく推定するため、自己回帰モデルによるスペクトル解析を用いた地盤増幅率の周波数特性評価を行い、高速フーリエ変換(FFT)を使用したものとの違いを明らかにした。
- ・Hi-net高感度速度計をIPF法やPLUM法に活用した場合の効果を検討するため、Hi-net速度波形から変位やリアルタイム震度を計算するフィルタを設計し、強震観測時の振る舞いを検証した。その結果、Hi-netの速度波形を導入することにより緊急地震速報の警報発表のタイミングが早められる可能性があることがわかった。
- ・将来、活用観測点が飛躍的に増加したときの予測計算の堅牢化のために、機械学習によって観測点の品質を自動的に監視する方法の検討を進めており、地震のシグナルと他の要因による揺れは、この手法により識別が可能であることを明らかにした。

(副課題3)

- ・近地津波について、後続波でも高い津波が観測された過去事例を収集した。このうち福島県沖から関東東方沖にかけての海域を波源とする3事例について津波伝播計算による再現を試み、初期波源などの条件設定の検討を行った結果、福島県沿岸で反射して東北地方沿岸に後続波をもたらす事例を再現した。
- ・カムチャツカ〜千島列島で発生する遠地津波について、地震から約48時間後に、津波注意報の基準に達しうるほど津波が高くなる観測事例があり、津波数値計算を行った結果、チリからの反射波が原因であることを示した。
- ・近地津波の減衰予測について、沿岸津波観測データへのリアルタイム回帰分析による予測手法を東北地方太平洋沖地震津波に適用して予測性能を評価した。津波最大値の出現後からの予測において概ね±12時間の幅で減衰予測できることを示した。
- ・遠地津波について、南米沖及び南太平洋西部を波源とする津波に北太平洋を波源とする巨大津波を対象に加え、それらの振幅の増加・減衰過程を近似する関数形の解析を行った。その結果、増加・減衰初期部の形状は海域が異なっているにもかかわらず共通性が見られ波源によってグループ分けができること、指数関数的に減衰する過程における津波振幅が地震の規模に比例することを確認した。

また、沖合で見られる津波減衰の周期依存性は、沿岸域における減衰予測に大きく影響しないことを確認した。過去事例から得たこれらの減衰過程の特徴に基づく減衰式をリアルタイムデータに適用することによって予測性能を評価したところ、±12 時間程度の幅で減衰予測できることを示した。

- ・2016 年の福島県沖の地震津波の波源について事例解析をした。地震の規模にあわせて要素波源の大きさを即時予測で用いているものよりも細かくして、日本海溝沿いの沖合水圧計観測網の観測データから初期水位分布を推定した。その分布を初期値として津波伝播計算をしたところ、沿岸で観測された津波波形を再現できた。
- ・2016 年の福島県沖の地震の震源断層モデルを用いたケーススタディから、この場所を震源とする地震による津波が福島県から宮城県沿岸で高くなる条件には、震源断層の走向が強く関係していることを示した。
- ・長時間津波伝播計算の精度向上に関し、津波伝播計算（有限差分法）において沿岸域で大きく影響する非線形項について従来の離散化手法を再検討した。摩擦項の離散化式表現を改良することによって、計算時間の大幅な増加を伴うことなく、計算安定性を高めると同時に計算結果を正確にすることを数値実験により示した。
- ・遡上を伴う津波伝播計算において、水がある状態とない状態との境界の流束を取り扱う際に、従来の方法では計算が不安定になる場合があることが知られており、その原因を検討した。この場合に全水深の取り扱いを工夫することによって、計算安定性を高められる可能性があることを確認した。

（2）当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

事前評価に基づく変更に降、変更なし

（3）成果の他の研究への波及状況

地震動即時予測に関し、米国地質調査所（USGS）が主体となり米国西海岸にて PLUM 法の実証実験が行われている。また、TURNkey（EU 連合の Horizon 2020 による応募型の研究課題で、欧州諸国の 21 研究機関により実施）に地震動即時予測の助言委員として寄与している。

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）」（大学及び関係機関）（令和元～5 年度）において、関連分野の研究者と情報共有を行っている。

（4）事前評価の結果の研究への反映状況

副課題 1 について、事前評価における意見を踏まえ、統合的な地殻活動指標の前に個別指標の十分な吟味、指標変化の顕著地震との関係や物理的背景に関する検討などの研究手順を明確に示す研究計画の変更を行った。また、当初計画していた地震発生シミュレーションは、N 課題において実施することとした。

5. 今後の研究の進め方

（副課題 1）

地震活動の特徴を表す様々な指標の地域特性や時間変化の特徴、指標間の関係を考慮し、それら指標を組み合わせた統合的指標を考案する。統合的指標について、顕著地震の発生との関連性の調査や物理的背景の検討などにより、地殻活動の現在の異常度を表現する手段としての可能性を評価する。

（副課題 2）

緊急地震速報のさらなる精度向上・迅速化・堅牢化を目指して、データ同化手法を用いて波動場を正確に推定し、そこから未来の波動場を予測する手法を発展させる。具体的には、伝播経路特性を正しく把握するために地下構造の精緻化を図るとともに、長周期地震動を含めた即時予測での継続時間等の予測精度向上のために地盤増幅特性の中の位相特性および周波数特性の検討を継続し、海域や陸上の観測網の環境の変化に対応することにより、PLUM 法の改良を進める。さらには、これらの予測手法の、現場への応用を考慮し、実時間よりも早く計算が行えるようにする。

(副課題3)

津波伝播計算においては、特に、沿岸域での摩擦などの津波計算の安定性・再現性に影響を与える要素に着目して、計算手法の改良を進める。津波全過程予測については、津波伝播計算による長時間予測も組み込んで、観測事例が知られていない現象に対しても予測可能な手法の開発を進める。

6. 自己点検**(1) 到達目標に対する進捗度**

本研究は、概ね当初計画通り進捗している。

(2) 到達目標の設定の妥当性

これまでのところ、計画した研究は順調に進んでおり、概ね目標は妥当であったと考える。

(3) 研究の効率性（実施体制、研究手法等）について

副課題ごとに研究担当者で定期的に打ち合わせを行い、研究手法について確認するなど、相互の研究がスムーズに進むようにするとともに、併任を含む本庁担当者とも適宜打ち合わせ（オンライン形式含む）を行い、研究の進捗状況や要望を共有している。

また、地震津波研究部において実施している「南海トラフ地震の地震像とスロースリップの即時把握に関する研究」（N 課題、令和3年度から。令和2年度までは「南海トラフ沿いのプレート間固着状態監視と津波地震の発生状況即時把握に関する研究」と密接に連携して、相互に成果を活用しながら進めている。

さらに、共同研究を実施して他研究機関と連携して研究を進めている。

(4) 成果の施策への活用・学術的意義

副課題1で整理した種々の地殻活動指標の統計的性質は、日本全域・全期間を一定の基準により解析したことに特徴があり、指標の変化の有意性を評価する上で意義のある結果である。

副課題2で開発している手法の考え方を応用することにより、気象庁の推計震度分布の高度化が図られることになった。また、地震動即時予測に関しては、米国地質調査所（USGS）が主体となり米国西海岸にて PLUM 法の実証実験が行われるなど、外部機関への波及効果があった。

副課題3で開発した過去事例から得た津波振幅の減衰過程の特徴に基づいた減衰予測手法は、気象庁の次世代の EPOS の機能の一部として実装する準備が進められている。後続波でも高い津波が観測された各過去事例の研究成果、および、巨大津波の振幅の増加・減衰過程を近似する関数形の解析結果は、地震学および海岸工学の分野に、津波の性質に関わる新知見を提供している。2016年福島県沖の地震のケーススタディは、津波予測のためのデータベースの設計時に留意すべき考え方を提供している。

(5) 総合評価

副課題1では、種々の地殻活動指標について共通基準の下で検定を行うことによりそれぞれの指標の確率分布の性質を整理し、通常とりうる値の範囲を明確にできた。副課題2では、PLUM 法の改良を進めた他、地下構造の詳細な推定等による伝播経路特性の精緻化や、位相特性・周波数特性を考慮に入れた地盤増幅特性の精緻化を進めている。副課題3では、過去事例に基づく減衰予測手法を概ね完成させて津波予報業務への実装の準備が進められ、次の課題である長時間津波伝播計算の精度向上に向けた改良にも着手している。

以上のように、いずれの副課題においても研究は順調に進捗しており、成果が蓄積されている。

研究成果リスト**(1) 査読論文：12件**

1. Ogiso, M., and K. Tamaribuchi, 2022: Spatiotemporal evolution of tremor activity near the Nankai Trough trench axis inferred from the spatial distribution of seismic amplitudes. *Earth, Planets and Space*, 74, 49.

2. Hirose, F., K. Maeda, and O. Kamigaichi, 2022: Efficiency of earthquake forecast models based on earth tidal correlation with background seismicity along the Tonga-Kermadec trench. *Earth, Planets and Space*, 74, 10.
3. Wang, Y., H. Tsushima, K. Satake, and P. Navarrete, 2021: Review on recent progress in near-field tsunami forecasting using offshore tsunami measurements: source inversion and data assimilation. *Pure and Applied Geophysics*.
4. Kubota, T., H. Kubo, K. Yoshida, N. Y. Chikasada, W. Suzuki, T. Nakamura, and H. Tsushima, 2021: Improving the constraint on the Mw 7.1 2016 off-Fukushima shallow normal-faulting earthquake with the high azimuthal coverage tsunami data from the S-net wide and dense network: Implication for the stress regime in the Tohoku overriding plate. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 126(10), e2021JB022223.
5. Yasuda, T., K. Imai, Y. Shigihara, T. Arikawa, T. Baba, N. Chikasada, Y. Eguchi, M. Kamiya, M. Minami, T. Miyauchi, K. Nojima, K. Pakoksung, A. Suppasri, and Y. Tominaga, 2021: Numerical Simulation on Detailed Urban Inundation Processes and Their Hydraulic Quantities – Tsunami Analysis Hackathon Theme 1. *Journal of Disaster Research*, 16, 978-993.
6. Cochran, E.S., J.K. Saunders, S. E. Minson, J. Bunn, A. Baltay, D. Kilb, C. O' Rourke, M. Hoshiba, and Y. Kodera, 2021: Alert Optimization of the PLUM earthquake early warning algorithm for the western United States. *Bulletin of the Seismological Society of America*. (in press)
7. Hirose, F., T. Tamaribuchi, and K. Maeda, 2021: Characteristics of foreshocks revealed by an earthquake forecasting method based on precursory swarm activity. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 126.
8. Kodera, Y., N. Hayashimoto, K. Tamaribuchi, K. Noguchi, K. Moriwaki, R. Takahashi, M. Morimoto, K. Okamoto, and M. Hoshiba, 2021: Developments of the nationwide earthquake early warning system in Japan after the 2011 Mw9.0 Tohoku-Oki earthquake. *Frontiers in Earth Science*. (in press)
9. Hayashi, Y., 2021: The Oldest Report of a 1537 Mexico Tsunami Based on Japanese Literature Is Erroneous. *Seismological Research Letters*, 92 (6), 3452-3459.
10. Hoshiba, M., 2021: Real-time Correction of Frequency-Dependent Phase Delay in Site Amplification Factors: Application in the Time Domain for Earthquake Early Warning. *Bulletin of the Seismological Society of America*. (submitted)
11. 野村俊一, 田中昌之, 2021: 余震誘発効果を考慮した繰り返し地震の予測. *統計数理*, 69-2, 239-254.
12. 林 豊, 2021: 断層モデルパラメータに対する津波高の感度測定: 2016 年福島県沖の地震を基準としたケーススタディ. *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, 77(2), I187-I192.

(2) 査読論文以外の著作物(翻訳、著書、解説): 9 件

1. Hoshiba, M., 2021: Real-time prediction of impending ground shaking: Review of wavefield-based (ground-motion-based) method for earthquake early warning. *Frontiers in Earth Science*, 722784.
2. 気象庁気象研究所, 2022: 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測. *地震予知連絡会会報*, 107, 398-401.
3. 山本剛靖, 2022: 遠地津波の観測データに基づく経験的な減衰予測手法. *気象研究所技術報告*, 86, 1-48.
4. 前田憲二, 弘瀬冬樹, 溜渕功史, 2022: 群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法 (6): これまでの取りまとめと今後の課題. *予知連会報*, 107, 539-546.

5. 石丸聡, 小木曾仁, 伊藤陽司, 槇納智裕, 2022: 凍結・融雪期の大雨により生じた土石流 -雌阿寒岳 2008 年 5 月の大雨による事例-. 日本地すべり学会誌, 59 (2), 41-49.
6. 干場充之, 対馬弘晃, 2022: 地震動と津波の即時予測 -最近 10 年の研究の進展-. 月刊地球, 509, 80-87.
7. 干場充之, 2021: 地震動即時予測の研究: 最近 10 年の進展から. 地震予知連絡会会報, 106, 583-597.
8. 田中昌之, 2021: 中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率 (2021). 地震予知連絡会会報, 106.
9. 干場充之, 2021: 第 231 回地震予知連絡会重点検討課題「地震動・津波即時予測技術の高度化 -東北地方太平洋沖地震から 10 年でどこまで進展したか-」の概要. 地震予知連絡会会報, 106, 568-570.

(3) 学会等発表

ア. 口頭発表

・国際的な会議・学会等 : 5 件

1. Kubota, T., T. Saito, H. Tsushima, R. Hino, Y. Ohta, S. Suzuki, and D. Inazu, Extracting near-field in-situ ground motion waveforms with large displacements of the 2011 Tohoku-Oki earthquake from ocean bottom pressure change inside the focal area, AGU Fall Meeting 2021, 2021 年 12 月, 米国, ニューオーリンズ&オンライン
2. Hoshiba, M., Numerical shake prediction for earthquake early warning: data assimilation and wave propagation simulation, the 17th World Conference on Earthquake Engineering (17WCEE), 2021 年 9 月, (ハイブリッド)
3. Hoshiba, M., Experience of nationwide earthquake early warning of JMA and its future prospective, 2021 Earthquake Workshop by KMA, 2021 年 9 月, (オンライン)
4. Hoshiba, M., Overview of the earthquake early warning system of JMA, Japan, The 6th international symposium: Effects of surface geology on seismic motion (ESG6), 2021 年 9 月, (オンライン)
5. Tsushima, H. and T. Yamamoto, Operational use of tsunami source inversion in near-field tsunami warning by JMA, International Tsunami Symposium 2021, 2021 年 7 月, 仙台

・国内の会議・学会等 : 18 件

1. 南 雅晃, 非線形長波方程式の有限差分法による津波計算における計算不安定の原因 とその対処, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
2. 鎌谷紀子, 小木曾仁, 自己回帰モデルによるスペクトル解析は地盤増幅率の周波数特性評価に有効か?, 東京大学地震研究所共同利用研究集会 「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」, 2022 年 1 月, オンライン
3. 小木曾仁, 地震動の逆伝播を用いた面的震度分布の早期推定に向けた検討, 東京大学地震研究所共同利用研究集会 「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」, 2022 年 1 月, オンライン
4. 久保田達矢, 久保久彦, 吉田圭佑, 近貞直孝, 鈴木亘, 中村武史, 対馬弘晃, 2016 年 11月22 日福島県沖の地震における S-net 津波観測記録: 広域・稠密観測データによる高精度震源断層モデル推定, 第 11 回巨大津波災害に関する合同研究集会, 2021 年 12 月, オンライン
5. 対馬弘晃, 山本剛靖, 1952 年カムチャツカ地震における顕著な津波後続波, 第 11 回巨大津波災害に関する合同研究集会, 2021 年 12 月, オンライン

6. 南雅晃, 津波浸水計算における wet/dry 境界の新しい計算法, 第 11 回巨大津波災害に関する合同研究集会, 2021 年 12 月, オンライン
7. 小木曾仁, 地震波振幅を用いた震源域のリアルタイム把握に向けた検討, 日本地震工学会・大会-2021, 2021 年 11 月, オンライン
8. 林 豊, 1780 年ウルップ島地震による北海道への津波の影響, 日本地震学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
9. 南雅晃, 津波浸水計算における wet/dry 境界の新しい計算法, 日本地震学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
10. 野田朱美, 齊藤竜彦, 測地データと地震データを併用した非弾性変形の解析: 新潟神戸変形集中帯への適用, 日本地震学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
11. 小木曾仁, 溜渕功史, 地震波振幅の空間分布から推定した紀伊半島南東沖で発生する浅部低周波微動の時空間分布: 2020 年 12 月から 2021 年 1 月, 日本地震学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
12. 林 豊, 1780 年ウルップ島地震による日本への津波の影響, 第 38 回歴史地震研究会, 2021 年 9 月, オンライン
13. 小木曾仁, 地震波振幅を用いた震源分布の準リアルタイム把握, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 6 月, オンライン, オンライン
14. 対馬弘晃, 近貞直孝, 沖合津波波形の常時解析に基づく津波の自動検知手法の検討, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
15. 林 豊, 日本の文献が根拠とされる 1537 年メキシコの津波は誤り, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 6 月, オンライン
16. 永田広平, 溜渕功史, 弘瀬冬樹, 野田朱美, 統合的な地殻活動指標の構築に向けて — “ふつう” の地震活動の特徴抽出 —, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
17. 干場充之, 対馬弘晃, 地震動と津波の即時予測: 最近 10 年の研究の進展, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 5 月, オンライン
18. 干場充之, 地震動即時予測の研究: 最近 10 年の進展から, 第 231 回地震予知連絡会, 2021 年 5 月, オンライン

イ. ポスター発表

・国際的な会議・学会等: 4 件

1. Tsushima, H., Y. Hayashi, and T. Yamamoto, Evaluation of tsunami source and propagation modeling using dense offshore tsunami measurements: case study of 2016 Mw 6.9 off Fukushima earthquake, Japan, AGU Fall Meeting 2021, 2021 年 12 月, 米国, ニューオーリンズ&オンライン
2. Hoshiba, M., Real-time correction of frequency-dependent site amplification factor in time domain for earthquake early warning: Amplitude and phase delay, The 6th international symposium: Effects of surface geology on seismic motion (ESG6), 2021 年 9 月, (オンライン)
3. Masayuki TANAKA, Relationship Between the Moderate Repeating Earthquakes and the Larger-scale Earthquakes on the Trench Side, AOGS2021 VIRTUAL 18th Annual Meeting, 2021 年 8 月, オンライン
4. Hayashi, Y., Two false tsunamis of the 16th century based on Japanese literature: the 1537 Mexico and 1586 Peru earthquakes, International Tsunami Symposium 2021, 2021 年 7 月, 仙台

・国内の会議・学会等：9 件

1. 対馬弘晃, 山本剛靖, 1952 年カムチャツカ地震における顕著な津波後続波, 日本地震学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
2. 弘瀬冬樹, 前田憲二, 上垣内修, 背景地震活動の地球潮汐相関情報に基づく地震予測モデルの効率: トンガ・ケルマディック海溝沿いのプレート境界型大地震に対して, 日本地震学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
3. 鎌谷紀子, 小木曾仁, 自己回帰モデルによるスペクトル解析を用いた地盤増幅率の周波数特性評価の試行, 日本地震学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
4. 永田広平, 溜渕功史, 弘瀬冬樹, 野田朱美, 日本海溝沿いの地震活動の規模別頻度分布に関する指標値の地域特性とプレート間のすべり現象との比較, 日本地震学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
5. 久保田達矢, 齊藤竜彦, 対馬弘晃, 日野亮太, 太田雄策, 鈴木秀市, 稲津大祐, 海底動的圧力変動成分記録から抽出した 2011 年東北沖地震の震源域内部の大振幅地震動波形, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
6. 田中昌之, 中規模繰り返し相似地震と周辺の規模の大きな地震との態様について, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 6 月, オンライン, オンライン
7. 露木貴裕, 天竜船明レーザーひずみ計による地殻変動観測, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
8. 小寺祐貴, 酒井慎一, 階層的クラスタリングによる地震波形データの教師なし自動分類, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 6 月, オンライン, オンライン
9. 永田広平, 野田朱美, 溜渕功史, 弘瀬冬樹, せん断ひずみエネルギー変化は b 値を変化させるか ―熊本地震及び西南日本のプレート間固着を例に一, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン

(4) 投稿予定論文

1. Tsushima, H., Y. Hayashi, T. Yamamoto: Evaluation of tsunami source and propagation modeling using dense offshore tsunami measurements: case study of 2016 Mw 6.9 off Fukushima earthquake, Japan (仮題), Journal of Geophysical Research: Oceans, 準備中.

報道・記事

- ・”Japan and Mexico have earthquake early-warning systems. How does California's compare?”, Los Angeles Times (令和 3 年 6 月 12 日) の他、米国数紙
- ・「メキシコ最古の津波 実は“幻”」, 毎日新聞 (令和 3 年 6 月 24 日夕刊) など共同通信加盟社 31 紙 (令和 3 年 6 月 19 日夕刊～28 日夕刊)

その他(「成果の他の研究への波及状況」関連)

以下の科研費課題と相互に連携しながら研究を進めている。

- ・基盤研究(C)「非定常な地震活動に対する点過程モデルと予測手法の開発」(令和 2～4 年度)
- ・基盤研究(C)「地殻内大地震の発生予測に向けた応力蓄積分布の推定」(平成 30～令和 3 年度)
- ・基盤研究(C)「地殻内の歪みエネルギーの可視化による内陸地震発生メカニズムの解明」(令和 3～5 年度)
- ・基盤研究(B)「揺れの数値予報: 広帯域時刻歴波形のリアルタイム予測」(平成 29～令和 3 年度)
- ・基盤研究(C)「観測点 1 点だけからの地震波動伝播の情報抽出: 地震動即時予測の高度化に向けて」(令和 3～5 年度)
- ・若手研究(B)「超高密度観測網に基づく地震動即時予測に向けて: 機械学習による地震波の自動識別」(平成 29～令和 2 年度)

- ・若手研究「内部減衰と散乱減衰の3次元不均質構造推定-震度予測の高度化へ向けて」(平成30～令和3年度)
- ・若手研究「地震の震源特性はどれだけ空間変化するのか：散乱波を用いた精密推定」(令和3～6年度)
- ・基盤研究(B)「沖合津波観測による津波即時予測技術の共進化を可能にする標準評価法の創出」(令和元～令和3年度)
- ・基盤研究(C)「沖合津波観測記録を用いた非地震性津波の自動検知と津波波源即時推定手法の開発」(平成30～令和3年度)
- ・基盤研究(C)「津波想定はなぜ外れる？一波源形成から海岸到達の各伝播過程で生じる予測誤差の比較」(令和3～5年度)
- ・基盤研究(C)「津波波源の多様な時間履歴に対応した波源推定とそれを活用したリアルタイム津波予測」(令和3～5年度)

V 火山活動の監視・予測に関する研究

研究年次：3年目／5年計画（令和元年度～令和5年度）

研究代表者：齋藤 誠¹、吉田康宏²（火山研究部長）

課題構成及び研究担当者

（副課題1）地殻変動観測等に基づく火山活動評価

〔火山研究部〕○小久保一哉¹、鬼澤真也、高山博之³、森 健彦、奥山 哲、岡田 純、川口亮平、長岡 優³、安藤 忍⁴、島村哲也⁴、入山 宙⁴

〔地震津波研究部〕小林昭夫、安藤 忍³

〔火山課、火山監視課併任〕潟山弘明¹

〔火山課、地震火山技術・調査課併任〕加古考範¹

〔火山課、火山監視課併任〕山本哲也¹

〔地震予知情報課、火山課、火山監視課併任〕長岡 優⁴

〔火山監視課併任〕菅井 明²

〔地震火山技術・調査課併任〕小久保一哉²

〔地震火山技術・調査課併任〕山田晋也²

（副課題2）化学的手法等による火山活動監視

〔火山研究部〕○菅野智之¹、高木朗充²、堀口桂香¹、谷口無我、長岡 優³、森 健彦

〔気象予報研究部〕橋本明弘²

〔火山課、火山監視課併任〕福井敬一¹

〔火山課、火山監視課併任〕高木朗充¹

〔火山課併任〕風早竜之介³

〔火山課、地震火山技術・調査課併任〕北川隆洋¹

〔火山課併任〕中村政道²

〔地震火山技術・調査課併任〕松本 享²

（副課題3）火山噴出物の監視技術とデータ同化に基づく輸送予測

〔火山研究部〕○新堀敏基、佐藤英一、石井憲介

〔気象予報研究部〕橋本明弘

〔火山課、火山監視課併任〕大城久尚

〔火山課、火山監視課併任〕福井敬一¹

〔航空予報室、火山監視課併任〕土山博昭

〔気象技術開発室併任〕稲澤智之¹

研究協力者：福井敬一²（気象研究所客員研究員）

¹ 令和元～2年度、² 令和3年度、³ 令和元年度、⁴ 令和2～3年度

研究の動機・背景

（社会的背景・意義）

日本ではこれまでたびたび火山噴火が発生し国民の生命や暮らしが脅かされており、火山との共生は国家的な課題である。国として火山災害の軽減を目指す火山噴火予知研究への取り組みは、1974年度の「火山噴火予知計画」（測地学審議会建議）に始まり、2014年度からは「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（科学技術・学術審議会建議）に基づいて実施されてきた。

2014年9月の御嶽山噴火による戦後最悪の火山災害を受けて、火山噴火予知連絡会では「御嶽山の噴火災害を踏まえた活火山の観測体制の強化に関する報告」（2015年3月）をとりまとめた。その中で気象庁には、「これまでに発生した事象の経験や学術研究の成果を最大限活用した火山活動の評価体制の強化」が求められ、また「過去の水蒸気噴火において、先行現象として地磁気変化や火山ガス成分の変化が観測されている。気象庁は大学・研究機関等と連携して、これらの観測データを長期間

安定して蓄積しつつ、水蒸気噴火を繰り返してきた火山の噴火の兆候をより早期に把握するための技術の習得及び開発を行う」とされている。

その後、2016年には火山防災への貢献を目指して文部科学省の「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」(10か年)が創設されているが、2018年1月の草津白根山(本白根山)の噴火では、またしても人的被害が発生している。

気象庁では、各火山で実施する観測に基づいて火山活動の評価を行い、噴火予報及び警報の発表、「噴火警戒レベル」の運用を行っている。これらは、国民の安全・安心に寄与するものであり、最近の火山災害に鑑みてなお一層その的確な運用の基礎となる火山活動評価の精度向上は重要な課題となっている。

さらに、火山噴火に伴う噴煙や風の影響を受けて降下する小さな噴石(火山礫)、火山灰といった火山噴出物は広範囲に災害をもたらす。1707年富士山宝永噴火や1914年桜島大正噴火のような大規模噴火を想定して試行したシミュレーションでは、時季によって国内どこでも浮遊火山灰や降灰の可能性があることが推定されている。大規模降灰時は、交通や電力等インフラへの影響による社会的混乱が懸念され、すみやかに除灰などの対策が取れない場合の経済的被害は計り知れない。

2013年5月に出された「大規模火山災害対策への提言」では「大規模な降灰対策」について、「国及び大学等の監視観測・調査研究機関は、的確な予警報の発表や適切な防災対応のために、大規模な降灰の発生、拡散を早い段階で予知・予測する手法や、降雨時においても降灰状況を把握することができるレーダー解析の手法等の調査研究・技術開発に努めるべきである」と提言され、2018年8月末には「大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ」が中央防災会議防災対策実行会議の下に設置されたところである。

浮遊火山灰や降灰対策を立てる上でも、火山噴火時に火山噴出物の即時的な輸送予測の技術を確立するための研究開発は、継続的に取り組む必要のある課題である。

(学術的背景・意義)

我が国では、2000年有珠山噴火などいくつかの事例で、前もって噴火の発生を予測することに成功しているが、2014年の御嶽山の噴火では、活動の変化を把握しながら噴火の前兆と評価することができず、さらに2018年の草津白根山の噴火では、常時監視の対象とは別の火口で噴火が発生するなど、火山活動の評価と予測に関して未解決の課題が少なくない。

顕著な火山噴火は低頻度の自然現象であるため、火山の研究においては火山現象の観測とその事例解析およびモデル化が、今でも欠かすことのできない研究手段である。また、観測データをより高精度に解析するための技術開発が、研究および業務、双方において必要である。

伊豆大島は30数年の間隔で周期的に噴火する火山であり、前回の噴火が1986年であったことから近い将来に噴火する可能性が高いとみられている。気象研究所が、これまで伊豆大島で行ってきた観測研究から、短期的な収縮・膨張という特徴的な現象や、長期的な膨張が球状圧力源で期待されるものよりも東西方向に卓越することなど、マグマ供給系解明の端緒を開く成果が得られている。しかし、噴火準備過程の全容や噴火に至るプロセスを明らかにするためには、GNSS解析やSAR干渉解析での補正の精度を向上させて地殻変動をより詳細に把握すること、地下の物理モデルの構築で欠かせない熱や水などの収支を観測から評価して準備過程の全容を表現する物理モデル構築を目指すことが必要である。

近年GNSSやALOS-2を始めとする衛星SARの解析技術の向上によって、箱根山や霧島山でみられたような微小な火山性地殻変動をとらえることができるようになり、地下数kmの深さにおけるマグマの蓄積や、数百mの浅部の局所的な熱水等の活動も検出できるようになってきた。ただし、大気の影響でみかけの地殻変動がみられることもあり、解析をより精密に行うためには対流圏遅延補正の改良に引き続き取り組む必要がある。

蓄積したマグマや熱水が移動、上昇して噴火に至ることを事前に予測することは大きな課題である。それら火山性流体の内部で生じる物性の変化等と、その動きを妨げる周囲の地殻の構造の変化により、発生する地震活動や地殻変動も多様に変化しうると考えられる。地下の物性の分布や変化をとらえる手法として、地震学分野で近年発展している背景雑音を用いる手法は、この課題へのアプローチとして取り組む価値が高いと考えられる。

火山ガスはその中に含まれる成分ごとにマグマへの溶解度が異なることなどから、噴火の前には火山ガスの組成比が変化することがあると考えられており、これまでにいくつかの事例も報告されている。しかし、火山ガス成分の高精度で高頻度の観測の事例が少ないことや、単純な説明が適用できないことも多いことから、火山ガスの組成分析に基づく火山活動評価の研究は、地球物理学的手法等による研究と比べると進展していなかった。火山活動における火山ガスの寄与の全体像は明らかにされておらず、また明確なモデル化もされていない。

一方で、マグマが直接移動せず活発な地震活動や地殻変動を生じない水蒸気噴火などの解明において、火山ガスは有望な観測項目のひとつと考えられており、火山ガスの直接採取による高精度分析と、火山ガスのセンサーによる高頻度観測をバランスよく行う観測研究は、火山ガスを活動評価に活用する上で有望視されている。

さらに火山噴火の際に、降灰の状況を正確かつ即時的に把握・予測し、推定される降灰の範囲や程度に応じてすみやかに対応をとることは、被害を最小限に抑えるために重要である。

火山灰の輸送や火山礫の降下範囲の予測には、初期値として噴煙高度が用いられている。現状の噴煙高度は、遠望カメラ等を用いた目視観測によって得られているが、火山の山頂部周辺に雲がかかっている場合や規模の大きな噴煙の場合は、目視観測では噴煙高度が把握できず、正確な予測が困難になっている。噴煙の高度や量を観測する手段として気象レーダーの有効性が注目されており、過去5か年の研究では、2014年御嶽山、2017～18年霧島山（新燃岳）、2018年草津白根山（本白根山）噴火で噴煙の範囲や高度、およびそれらの時間変化を明らかにしてきた。また、Kuバンド高速スキャンレーダーによる噴煙の3次元構造変化の約1分毎に取得（世界初）や、Xバンド二重偏波レーダーによる噴煙内部の火山噴出物の状態変化の捕捉にも成功している。しかし、現在のレーダー観測技術では、噴煙と雨雲の判別、噴煙中の火山灰・礫の総量や分布等の即時的かつ定量的な把握などは実現していない。レーダー観測や気象衛星観測を活用して、火山噴火時に正確な降灰量分布の予測や、正確な降礫範囲の予測をするためには、研究開発を継続する必要がある。

火山噴出物の移流拡散予測について、これまで降灰・降礫を対象とした領域移流拡散モデルと浮遊火山灰を対象とした全球移流拡散モデルの開発および火山灰データ同化システム（プロトタイプ）の作成を行ってきた。しかしながら、領域移流拡散モデルは海拔約20 km以下の下部成層圏までの噴煙しか予測できないため、大規模噴火時に想定される上部成層圏まで達するような強い噴煙にも対応するには、全球移流拡散モデルによる降灰・降礫予測が必要である。また初期値に用いている噴煙供給源モデルには、弱い噴煙における風の影響や強い噴煙に伴う傘型噴煙が入っていないため、噴煙観測に基づく火山灰データ同化による修正が課題である。このため、全球／領域の二つのモデルを統一して、降灰・降礫から浮遊火山灰まで一貫して扱える新しい移流拡散モデルの開発が必要である。その上で、火山灰データ同化システムと結合して初期値改善を図るとともに、火山灰の凝集や再飛散などの物理過程の導入と合わせて、予測精度向上を図ることができる。

（気象業務での意義）

気象庁は、国の行政機関として信頼できる火山情報を一元的に広く提供する責務を負っており、地殻変動観測等による火山活動評価が、震動観測等による火山活動のモニタリングと並んで、火山監視業務の技術的な柱となっている。特に地殻変動観測は、地下のマグマや熱水等の蓄積を圧力源モデルとして検出できる火山監視に有効な手法のひとつであるため、GNSSや傾斜計等による地殻変動の監視が行われている。これらのデータについて、火山監視への高度な利用を図り、適切な火山活動評価に活用する手法を開発・改良することは、火山監視業務への大きな貢献である。

気象庁では平成27年度から順次4火山（御嶽山、吾妻山、草津白根山、九重山）に多成分火山ガス連続観測装置を設置して観測を開始したが、観測データの品質管理や評価手法について課題を多く抱えている。これらの課題解決に向けた協力が、気象庁からの行政要望にあげられている。

気象庁が目指す火山ガス観測による火山活動評価を実現するためには、現地で直接採取した火山ガスを精緻に分析し、火山活動評価にどのように活用しうるのかなどを研究する必要がある、その研究成果は気象庁火山監視業務に直接貢献する。

気象庁で行っている降灰予報（速報・詳細）は現在、目視観測による噴煙高度に依存しているため、噴煙高度の観測ができないときには正確な降灰予報が困難となる。目視観測を補う噴煙の観測手法の

確立が急務である。

また予測対象に降礫を含む降灰予報（速報）では、予測計算の高速化が求められている。高速化によりリアルタイムで計算実行できるようになれば、想定外の火口からの噴火や噴火後すぐに降り始める火山灰や火山礫へも対応が可能になる。

さらに航空路火山灰情報については、現在は火山灰が浮遊する範囲のみの情報であるが、合わせて火山灰の濃度に関する確率的予測を提供しようという動きが国際航空路火山監視のためのロードマップにある。新たに開発する移流拡散モデル、さらにはその初期値となる供給源モデルを高度化した火山灰データ同化・予測システムの構築は、このような課題にも対応する。

研究の目的

（全体）

火山活動への理解を深め、火山現象の評価・予測の精度を高めることにより、気象庁火山業務における噴火警報、噴火警戒レベル、降灰予報、航空路火山灰情報などの改善に資する。

（副課題1）

火山内部の状態把握をよりの確に行えるよう地殻変動データなどの解析手法の開発・改善を進め、噴火に至るプロセス等の解明を行うことにより、火山活動評価手法の改善を図る。

（副課題2）

化学的手法等による観測・分析によって火山ガス活動の理解を深め、火山噴火の前兆を早期に把握する監視手法を開発し、火山活動予測への活用を図る。

（副課題3）

噴火現象の即時的な観測技術および予測技術の開発・改良を行うことにより、大規模噴火にも対処可能な「降灰予報」および「航空路火山灰情報」とその精度向上を図る。

研究の目標

（全体）

地殻変動や火山ガスなどの観測データの解析をとおして、火山活動の理解を深めるとともに、火山内部の状態をよりの確に把握することで、火山活動予測、火山活動評価の改善を図る。また、噴火に伴う浮遊火山灰や降灰等、噴火現象の即時的な把握技術および予測技術の開発を行う。

（副課題1）

【テーマ1】伊豆大島で地殻変動源解析によりマグマ蓄積量を迅速に把握し、多項目観測を統合したプロダクトと精密に補正した重力観測データを用いて、マグマ上昇の検出・モニタリングを行う。地表面熱・水収支、およびマグマ・揮発性成分収支のモデルを構築し、火山活動評価への活用を図る。他の活動的火山でも活動評価に資する地殻変動等の解析を行う。

【テーマ2】衛星 SAR 解析における大気遅延補正を気象モデルを用いて高精度化し、GNSS 解析にも気象モデルを導入して、火山における地殻変動検知能力を向上させる。また、火山活動の理解を深めるために、地殻変動から地下の変動源の時空間変化を推定する手法、及び地下のマグマ挙動に伴う地殻変動のシミュレーション手法を開発し、それらの事例解析の比較により解析手法と物理モデルを改良する。

【テーマ3】伊豆大島の震動観測データに地震波干渉法を適用して、地下の速度構造の時間変化の要因を評価することにより、火山活動に伴う速度構造変化を検出する手法を開発する。

（副課題2）

【テーマ1】直接採取による火山ガスや火山灰および熱水の化学分析や安定同位体比の分析研究を進めることで、火山ガス活動の理解を深め、個々の火山における火山ガス活動の機構の解明を目指す。

【テーマ2】火山ガスの放出率や組成比をモニタリング・評価する技術を開発する。テーマ1による火山ガス活動への理解をふまえ、副課題1の地殻変動などの物理観測データも組み合わせた多項目解析を行うことで、火山活動評価への活用を図る。

(副課題3)

〔テーマ1〕 気象レーダー等の観測データを用いて、噴火現象の検知や噴煙に含まれる火山灰等の定量的推定手法を開発する。

〔テーマ2〕 浮遊火山灰や降灰等を統一的に予測するための新しい移流拡散モデルを開発・改良する。さらに火山灰データ同化システム（プロトタイプ）と結合させることにより、気象レーダー等による観測値と移流拡散モデルの予測値に基づく火山灰データ同化・予測システムを構築する。

中間評価時の到達目標**(副課題1)**

〔テーマ1〕 伊豆大島の地殻変動（源）解析を迅速化・自動化する。繰返し重力観測データの精密な補正手法を確立する。地表面の熱収支観測による地表面熱・水収支モデルを構築する。マグマ・揮発成分収支の関わる観測データ及び活動場の物性の既存資料を調査する。他の活動的火山についても地殻変動等の解析を行う。

〔テーマ2〕 干渉 SAR 及び GNSS の気象モデルを用いた補正・解析プログラムの開発を進める。マグマの状態・活動を地殻変動から推定する手法及びマグマの活動に伴う地殻変動シミュレーションプログラムを開発する。

〔テーマ3〕 地震波干渉法を用いて伊豆大島地下の地震波速度構造を求め、その時間変化の検出を試みる。

(副課題2)

〔テーマ1〕 火山ガス活動が活発な火山において火山ガス、火山灰や熱水等を採取・蓄積し分析することで、その火山における活動を化学的データにより説明し理解を深めることが可能な事例を示す。

〔テーマ2〕 連続的な二酸化硫黄放出量の試験観測を着手し、さらに気象モデルを用いることでどの程度の精度まで放出率を推定することが可能かについて評価する。

(副課題3)

〔テーマ1〕 気象レーダー等による噴煙の解析結果を、降灰や大気中の火山灰の実観測データによって検証するスキームを確立し、実事例に適用する。

〔テーマ2〕 新しい移流拡散モデルを設計・開発して技術報告にまとめる。またこれを火山灰データ同化システムに組み合わせる準備をする。

研究成果**(1) これまで得られた成果の概要****(全体)**

地殻変動観測等に基づく火山活動評価については、伊豆大島におけるマグマ蓄積から噴火に至るプロセスの解明に向けて多項目の観測を実施するとともに、それぞれのデータに対し火山活動評価への適用に向けた技術開発を進めた。また、地殻変動検知能力の向上を目指した SAR 及び GNSS 気象補正技術の開発、地形の影響を取り込んだ地殻変動源解析法を行った。併せて、火山内部の状態モニタに向けて、地震波干渉法による速度変化の検出に取り組んだ。

化学分析に基づく観測研究では、水蒸気噴火の発生が懸念される箱根山や草津白根山の観測データを取得し、箱根山のマグマ熱水系モデルを提案する等、火山活動や熱水系の構造について地球化学的な理解を深めた。火山ガス活動のモニタリングに関する研究では、二酸化硫黄放出率モニタリング手法の開発研究にむけ、試験機による準備、高解像度気象シミュレーションによる調査を進めた。

火山噴出物の監視技術の研究では、気象レーダーを用いた噴煙高度の確率的推定手法を改良した。同手法の改良により、2018年1月23日草津白根山（本白根山）噴火の噴煙高度は海拔 5580 ± 506 m (1σ) と推定した。2次元ビデオディストロメーターの観測データを用いて、二重偏波気象レーダーで解析した噴煙内部の粒径分布を検証する手法を開発した。輸送予測の研究では、新しい気象庁移流拡散モデルを開発し、技術報告を発行して、現業化した。火山灰データ同化システム（プロトタイプ）を気象庁移流拡散モデルと結合して、合わせて現業化した。

(副課題 1)

〔テーマ 1〕 火山活動の活発化や噴火に至るプロセスの解明

伊豆大島**(地殻変動)**

- ・伊豆大島において GNSS、光波測距、多成分ひずみの地殻変動観測を継続した。
- ・GNSS データから地殻変動のモニタリング、変動源位置、マグマだまりのマグマ蓄積量の変化の推定を行った。
- ・多成分ひずみ計のデータについて、気象庁傾斜計 3 台で得られる遠地地震波の変位波形による水平ひずみを用い、キャリブレーション行列を求めた。地殻変動源の挙動をモニタリングする性能の評価のため、GNSS 観測から得られている変動源の周期的収縮・膨張に茂木モデルを適用して関係を検討した。膨張量の変化については、せん断ひずみによりモニタリングが可能で、主ひずみ方位も変動源に対して矛盾はなく相対変化を追跡できることを確かめた。
- ・ALOS/PALSAR および ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた干渉 SAR 時系列解析を行い、三原山山頂火口周辺の局所的な地殻変動（年間約 1~2cm の沈降）を検出した。
- ・GNSS については、継続的な観測、安定的な解析処理のために老朽化した観測点及び解析サーバの更新を実施している。
- ・自動光波測距では気象庁数値気象モデルを用いた気象補正を導入し自動処理を開始した。

(重力)

- ・絶対重力点を利用したスケール検定・校正により、これまで重力計個体間で齟齬のあった測定結果が整合するようになり、測定値の信頼性が大きく向上した。また観測点毎の重力鉛直勾配の実測値・推定値を器械高補正に適用することにより、2 種の重力計の差を解消する効果を確認した。これらにより、山頂部沈降に伴う重力増加、標高差の大きい観測点組合せでの天水浸透の影響と推定される大きな重力変化が明瞭に認められるようになった。
- ・GNSS による地盤上下変動と重力鉛直勾配から、高さ変化に伴う重力変化の定量化を行えるようになった。

(熱観測)

- ・研究計画初年度に、カルデラ内の噴気地及び非噴気地の 2 ヶ所に地表面熱収支観測装置を設置し、連続観測を開始した。また、研究計画 2 年目より、UAV を用いた空中熱赤外観測を開始した。空中熱赤外観測はこれまで季節の異なる 4 回の観測を実施し、それぞれ地表面温度分布のオルソモザイク画像を生成した。ただし、測定される温度値は実温度から外れ、定量解析に向けた検討が必要であることが分かった。
- ・本研究課題の計画を策定するために予察的に実施したカルデラ南部地域での 1 m 深地温マッピング観測データを整理した。各点を季節変動に従う点と火山活動による地温兆候が認められる点に分離し、後者は現在も噴気が視認できる地域あるいは過去に噴気の認められた地域に一致することを確認した。

(概念モデル)

- ・熱・水収支モデルの構築に向けて、東京大学地震研究所によるカルデラ内 1,000m 深坑井温度データを解析し、これまで情報の得られていなかった海水準下の層準について熱・流体の流れ、浸透率を推定した。
- ・文献調査により、地殻熱流量、地下水位、浸透率等の既存データの整理を進めた。
- ・文献調査により、過去のマグマ噴出量の整理を進めた。

その他の火山

- ・西之島について SAR 衛星（ALOS-2/PALSAR-2）データを解析し活動推移のモニタリングを行った。差分干渉解析から噴火時や非噴火時に伴う地殻変動を検出、強度画像および相関画像から陸域面積および溶岩噴出率を推定した。
- ・吾妻山の GNSS 時系列データについて、プレート運動に起因する定常トレンド、季節による年周変化を関数フィッティングで近似し補正した。その結果、2013 年以降、3 回（2014-15、2018-19、2020-2021）の深部膨張イベントが発生していることが明らかとなった。
- ・その他、十勝岳、霧島山、口永良部島等の火山で、地殻変動解析で変動源を推定し、火山活動評価に資する結果を得た。
- ・福徳岡ノ場の SAR データについて、噴火前後の強度画像を比較することにより、新島の出現を確認した。

〔テーマ2〕 火山活動の解析・評価のための手法開発

干渉 SAR および GNSS の対流圏遅延補正の高精度化

- ・気象庁の数値気象モデルを用い、任意の方位角・仰角について数値積分により対流圏遅延量を計算するプログラムを開発した。
- ・干渉 SAR の対流圏遅延補正については、このプログラムにより画像中の各点における視線方向遅延量を直接計算し、それをオリジナルの干渉画像から減ずることで良好な結果を得た。
- ・GNSS については、天頂方向遅延量と仰角 10 度における遅延量から a priori な遅延量モデルを構築し、それを座標値推定に用いることで、既存の対流圏遅延補正モデルとほぼ同等の結果を得た。

地殻変動源解析の手法開発

- ・境界要素法を適用し、山体地形の影響を考慮した地殻変動計算手法を開発した。圧力源の標高が観測点と同程度より浅い場合には、境界要素法により求められる変位量や傾斜変化量と標高補正茂木モデルから求められる変位量や傾斜変化量の差が大きくなること示した。この結果を用いて、標高補正茂木モデルによって浅部圧力源による地殻変動データの解析を行った場合に圧力源の深さや変化量の解析結果に与える影響を評価し、この手法の適用限界を示した。
- ・開発している地殻変動計算手法を火山監視業務に導入するための検討を進めた。常時監視火山のうち 18 火山で山体地形メッシュ作成をできるようにし、圧力源も複数の形状を選択できるようにした。山体地形モデル作成や圧力源モデルの設定に加えて計算結果作図機能を追加し、これらの作業を簡単に行うための GUI プログラムを作成した。
- ・地殻変動から地下の変動源の時間変化を求める手法の開発に着手した。今年度はダイク貫入に伴い観測される地殻変動の時間変化を富士山の宝永噴火シナリオに計算し、観測点ごとの時間変化の特徴の違いを調べた。

〔テーマ3〕 監視観測データの活用的高度化

- ・伊豆大島の震動データ（地震一元化観測点データ）をリアルタイムで取得、蓄積、表示するシステムを構築した。
- ・伊豆大島において、脈動記録を用いた地震波干渉法解析を行い、地震波速度の時間変化を検出した。

（副課題2）

〔テーマ1〕 化学分析に基づく火山活動の理解に関する研究

- ・熱水系が発達して水蒸気噴火の発生が懸念される箱根山、草津白根山、霧島山硫黄山などを対象として火山ガスや熱水、火山灰などを繰り返し採取し、それらの化学組成・安定同位体比などを実験室で精密に分析した。これらの分析によって得られた地球化学的データを地質・鉱物学的知見および火山性地震や地殻変動、地磁気といった地球物理学的な観測結果とともに総合的に考察し、水蒸気噴火の発生場の推定や、地球化学的データを説明する最適なマグマ-熱水系モデルの提案を実施した。また、提案したマグマ-熱水系モデルに基づいて火山活動監視において有益な地球化学的指標を見出し、それらの観測結果を火山噴火予知連絡会などに提供した。

〔テーマ2〕 火山ガス活動のモニタリングに関する研究

- ・気象庁により試行的に行われている多成分火山ガス連続観測では、化学センサーの電圧感度変化に対する課題があるが、年2回の校正データをもとに線形補正の後処理を行うことで電圧感度に対する補正が可能であることを確認した。また、吾妻山、草津白根山、および九重山において、採取したガスの分析や、可搬型の同装置による比較観測を実施し、連続的に使用するセンサーの感度低下の状況を把握し、リアルタイムの補正手法の開発にむけてデータ蓄積を行った。
- ・多成分火山ガス観測装置で用いられるセンサーを、実験室において様々な条件で火山ガスに人工的に曝露させることで、感度低下の状況を把握した。また、硫化水素の標準ガスを乾燥状態で連続曝露させたところ、積算濃度 400,000 ppm s で約 11% の電圧感度が生じることを明らかにした。
- ・二酸化硫黄放出率モニタリング手法の開発のための連続観測装置の試験機を準備し、機能及び測定精度の評価を進めた。阿蘇山における機能試験において、測定ソフトのアルゴリズムの検証を行い、測定法に問題がないことを確認した。解析ソフトの精度についても、同時に行った機動観測結果と矛盾しないこと、データの S/N 比にも問題がないことを確認した。
- ・二酸化硫黄放出率モニタリング手法の開発のため、高解像度気象シミュレーションから得られた風速場を用いて、阿蘇山火口を放出源とするトレーサ移流拡散実験を、放出率の鉛直分散・トレーサの水平拡散係数を数通り与えて実施した。その結果と、トラバース観測から得られた二酸化

硫黄カラム量分布を組み合わせ、放出率の鉛直プロファイルや拡散係数を最適化する手法の開発を進めた。その結果、火口上空の二酸化硫黄放出率プロファイルには鉛直分散を適切に与え、かつ、トレーサの水平拡散係数も適切に与える必要があることが分かった。

(副課題3) 火山噴出物の監視技術とデータ同化に基づく輸送予測

〔テーマ1〕 気象レーダー・衛星等による噴火現象の観測

- ・気象研究所 X バンドマルチパラメータレーダー（気象研 MP レーダー）および Ku バンド高速スキャンレーダーによる噴煙観測と 2 次元ビデオディストロメーター（2DVD）による降灰観測を実施した（気象研 MP レーダーと 2DVD による観測は継続中）。2DVD による観測では、扁平な小粒子が多いことが確認された。このことは、大きな粒子の離脱によって、小さな粒子が数多く残った噴煙または火山灰雲を MP レーダーで観測した際に、扁平度を表すパラメータ（反射因子差）が増加することに対応すると考えられる。
- ・気象レーダーを用いた噴煙高度の確率的推定手法の改良について、大気屈折率、地球楕円体の効果の組み込み、ジオイド補正を追加した、MPE（Modified Probabilistic Estimation）法の開発を行った。MPE 法を 2018 年 1 月 23 日草津白根山（本白根山）噴火事例に適用し、噴煙高度を海拔 5580 ± 506 m (1σ) と推定した。
- ・気象庁一般気象レーダーによる噴火事例（2019 年 8 月 7 日浅間山、2020 年 1 月 11 日・2 月 3 日口永良部島、6 月 4 日桜島）の解析資料は、火山噴火予知連絡会に提出した。噴石が 3 km を超えて飛散した 2020 年 6 月 4 日桜島噴火事例を解析し、噴煙高度が（火口縁上）約 8000 m 以上に達していたと推定した。
- ・2DVD の観測データを用いて、二重偏波気象レーダーで解析した噴煙内部の粒径分布を検証する手法の開発を行った。概要としては、気象レーダーによって解析された粒径分布（および形状）を持つ粒子群を仮想的に落下させ、2DVD による観測値と比較する。ただし、2DVD データは固定観測点で得られるものであるため、原理上、検証可能な粒径が制限されることに注意が必要である。

〔テーマ2〕（1）新しい移流拡散モデルの開発・改良

- ・全球移流拡散モデルと領域移流拡散モデルを統一した新しい気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）について、気象庁開発管理サーバにサブプロジェクトを立上げ、開発した。JMA-ATM による火山灰拡散および降灰予測は、旧モデルと同等の予測精度を保持すること検証した。
- ・JMA-ATM の設計内容から精度検証について、気象研究所技術報告にまとめて発行した。
- ・降灰予報および航空路火山灰情報を発表する気象庁火山灰情報提供システム（VAFS）の更新に合わせて、JMA-ATM を現業化した。MPI 計算による高速化により想定外火口からの速報、また全球 GPV の入力により大規模噴煙からの予報が可能になった。

〔テーマ2〕（2）火山灰データ同化・予測システムの構築

- ・2016 年 10 月 8 日阿蘇山噴火の事例について、降灰データを逆解析して新旧移流拡散モデルを実行し、初期値の不確実性を示した。
- ・予報官による気象衛星画像の解析（予報官解析）を用いた火山灰データ同化システム（プロトタイプ）を JMA-ATM と結合した。同システムで作成した初期値を用いることで、火山灰雲の中心位置・火山灰雲の面積の予測が改善することを確認した。
- ・気象庁 VAFS の更新に合わせて、火山灰データ同化システム（プロトタイプ）も現業システム（気象庁数値解析予報システム（NAPS））に導入した。
- ・火山灰雲の定量的予測のために、衛星解析による定量的な火山灰雲の物理量（火山灰プロダクト）を JMA-ATM の初期値に反映させる仕組みを作成した。

（2）当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

（副課題1）

特になし。

（副課題2）

令和3年度中に、5点から構成される観測網を、薩摩硫黄島において構築する予定であったが、感染症対策の影響等により次年度に阿蘇山で行うことに変更された。

多成分火山ガス連続観測の補正技術について、当初は想定していなかった実験室における化学センサーの電圧感度の時間変化を把握するための実験に取り組むこととした。

（副課題 3）

〔テーマ 1〕について、現業業務への早期活用を目指すため、噴煙高度の確率的推定手法の改良を優先的に行った。Ku バンド高速スキャンレーダーは機器故障のために観測を中止し、気象研 MP レーダーと 2DVD による観測のみに変更した。

〔テーマ 2〕について、JMA-ATM の開発が進捗したことから、火山灰データ同化システム（プロトタイプ）との結合を令和 2 年度までに行った。これに伴い、火山灰データ同化・予測システムの初期値（供給源モデル）を改善するために、噴煙モデルの開発を新たに開始した。

（3）成果の他の研究への波及状況**（副課題 1）**

〔テーマ 2〕で開発した地殻変動源解析プログラム、及び（副課題 3）〔テーマ 2〕で開発した JMA-ATM は、文部科学省次世代火山研究推進事業の「シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発」に活用している。（副課題 2）〔テーマ 1〕で取得した採取・分析成果は、同事業の「地球化学的観測技術の開発」に活用している。

（副課題 2）

〔テーマ 1〕で得られた化学分析に基づく火山活動の理解は、福岡管区气象台等の地方共同研究に展開している。

（副課題 3）

〔テーマ 1〕で開発した二重偏波レーダー解析のためのプログラムやスクリプトは、鹿児島地方气象台との地方共同研究に展開している。

（4）事前評価の結果の研究への反映状況

所外の研究グループとの連携については、文部科学省次世代火山研究推進事業（副課題 1、2、3）、京都大学防災研究所・防災科学技術研究所・気象庁・気象研による共同研究（副課題 3）、神奈川県温泉地学研究所との共同研究（副課題 1、2）、東海大学との共同研究（副課題 2）、鹿児島大学との共同研究（副課題 3）、産業総合研究所との連携（副課題 3）、福岡管区气象台等との地方共同研究（副課題 2）、鹿児島地方气象台との地方共同研究（副課題 3）などを実施している。

（副課題 1）

- ・衛星 SAR の気象モデルによる補正については、共同研究の枠組みを通じ、得られた成果を火山・地震等分野を問わず他の SAR 研究者と積極的に共有する方針で開発を進める。
- ・伊豆大島における観測研究については、これまで地殻変動観測からマグマ蓄積過程を捉えてきた。本中期計画ではマグマ上昇を念頭に置き、1986 年噴火時の観測・研究成果を参照しながら、重力観測の意義を再検討するとともに、新たに熱観測に着手することとした。併せて、種々の観測データ変化の検出にとどまらず、それらを引き起こす地下の過程を理解する足掛かりとして、熱・水収支に関わる諸量を取りまとめた概念モデル作成に取り組むこととした。

（副課題 2）

- ・〔テーマ 1〕の化学分析に基づく火山活動の理解に関する研究においては、草津白根山湯釜火口周辺で発生してきた噴火要因の定性的なモデルについて、他機関と連携して火口湖水の化学分析の結果に基づき考察し、論文を発表した。

（副課題 3）

- ・〔テーマ 1〕の噴火現象の気象レーダーによる解析に関しては台風・災害気象研究部に併任、気象衛星データの解析に関しては気象観測研究部と所内連携している。
- ・〔テーマ 2〕の火山灰データ同化システムの開発に関しては東京大学地震研究所外来研究員として連携しながら実施している。

5. 今後の研究の進め方

(副課題 1)

[テーマ 1] 引き続き伊豆大島において火山活動の活発化や噴火に至るプロセスの解明に向けた多項目の観測を実施する。これらのデータを利用し、解析の迅速化・自動化、地殻変動と重力を併せたマグマ上昇モニタリング法の構築、放熱量の定量化、概念モデルの作成を進める。その他の火山についても、活動活発化等の際には随時、データ解析を行う。課題としては既存観測点の更新や観測の立ち上げに労力を割いてしまうことであり、これらの効率化を図る必要がある。

[テーマ 2] 引き続き、SAR 及び GNSS 気象補正に関する技術開発を進める。干渉 SAR については、既に一定の補正効果が確認できたことから、メソ解析と局所解析・大気屈折率の計算手法など、モデルによる差異について調査するとともに、業務化を視野にアプリケーションの作成を進める。GNSS については、改善の余地について調査を進め、一層の精度向上を図る。地殻変動源解析については、今後は変動源の時間変化の推定やマグマ挙動を想定した地殻変動の時間変化のシミュレーションの開発を進める。

[テーマ 3] 引き続き、地震波干渉法による速度変化の検出に取り組む。今後は、時間変化の要因の評価やノイズ除去等の検討を進める。課題としては、専門性の高い研究課題においては個人能力に依存するところが大きく、研究計画策定後の人事異動により研究の継続性や技術開発に困難が生じていることである。

(副課題 2)

[テーマ 1] 引き続き、水蒸気噴火の発生が懸念される火山の観測データを取得して、火山活動や熱水系の構造について地球化学的な理解を深める。

[テーマ 2] 二酸化硫黄放出率モニタリング手法の開発研究に注力し、実践的な観測研究の開始と、気象モデルによるシミュレーションを進め、最終年度までに両者を統合したモニタリング手法を検討する。

(副課題 3)

[テーマ 1] 引き続き、桜島での気象研 MP レーダーと 2DVD 観測を継続するとともに、二重偏波気象レーダーによる噴煙内部の粒径分布の解析手法を開発する。課題として、桜島の噴火回数が少なくなったため、気象研 MP レーダーと 2DVD の観測の対応が良い事例が取得できていない。そのため、当面は過去データの見直し、国土交通省 XRAIN など部外データの確認・解析も行う予定とする。

[テーマ 2] 火山灰プロダクトを用いて JMA-ATM による定量的な火山灰拡散予測のための仕組みの開発・検証を進める。さらに JMA-ATM 本体の改良とともに、その初期値（供給源モデル）を改善するために、噴煙モデル（プロトタイプ）を新たに開発する。課題として、定量的な火山灰拡散予測については、どのような観測を用いて検証を行うかが重要となる。また噴煙モデル（プロトタイプ）については、噴煙の形状が傘型になるか否かを判断するスキームの確立が必要となる。

6. 自己点検

(1) 到達目標に対する進捗度

一部に若干の遅れはあるものの、全体的に、ほぼ予定通りに進捗している。

(副課題 1)

[テーマ 1] 地殻変動データ解析の迅速化・自動化および放熱量推定に向けた定量解析については、それぞれ観測点更新や観測立ち上げに費やすことで若干の遅れが生じているが、テーマ全体として、概ね順調に進んでいる。

[テーマ 2] SAR 気象補正については着実に進展している。GNSS 気象補正に関しては遅れを取っていたが、SAR における知見を応用することにより、遅れを取り戻しつつある。地殻変動源解析については、開発したプログラムの監視・評価業務への適用に優先的に取り組んだため、若干の遅れが生じているが、概ね順調に進んでいる。

[テーマ 3] 当初予定通り、伊豆大島の地震波速度変化の検出まで進んでいる。

(副課題2)

〔テーマ1〕箱根山、草津白根山、霧島山硫黄山等で精力的な観測研究を実施し、箱根山のマグマ熱水モデルを提案し、草津白根山では推定される噴火機構から、監視すべき指標の化学成分の比について提案する等、火山活動の理解を深める成果を発表し、想定以上の進捗がみられた。

〔テーマ2〕二酸化硫黄放出率モニタリング手法の開発研究にむけ、試験機による準備、高解像度気象シミュレーションによる調査を進め、試験観測の観測網の展開は次年度に繰り越したものの、ほぼ予定通りの進捗である。

(副課題3)

〔テーマ1〕当初計画通りである。

〔テーマ2〕火山灰データ同化システムの開発に関しては、当初計画より進捗している。

(2) 到達目標の設定の妥当性

目標の設定は妥当。

(3) 研究の効率性（実施体制、研究手法等）について

共同研究等の連携を数多く行うことで効率的に進めている。

気象庁が有する数値予報の技術も活用するなど、既存の技術や知見を活用している。

(副課題1)

〔テーマ1〕

- ・絶対重力計を所有する東京大学地震研究所との共同研究により、重力計スケール検定の機会を得、データ補正技術の構築が大きく進んだ。
- ・ALOS-2の防災利用実証実験に参画し、火山噴火予知連絡会の衛星解析グループの枠組みにおいて、SAR観測データおよび干渉解析結果の共有を行い、効率的な研究推進を図っている。
- ・次世代火山研究推進事業（文部科学省）の課題B「先端的な火山観測技術の開発（サブテーマ2：リモートセンシングを活用した火山観測技術の開発、サブテーマ2-1：可搬型レーダー干渉計と衛星SARによる精密地殻変動観測技術の開発）」に参画し、SAR観測データの共有を行い、複数の国内外火山における干渉SAR解析を実施し、解析結果を本研究でも活用している。

〔テーマ2〕次世代火山プロジェクトに参加することで、数値計算やシミュレーション技術の情報が得られている。

(副課題2)

〔テーマ1〕観測を他大学等と連携して実施することで、効率的な観測研究を実現している。

〔テーマ2〕研究手法等に関する都度都度のうち合わせを、気象庁地震火山部や連携機関と臨機に実施する仕組みで進めている。

(副課題3)

〔テーマ1〕客員研究員の協力も得つつ実施している。

〔テーマ2〕気象庁が有する数値予報の技術も活用しつつ研究している。

(4) 成果の施策への活用・学術的意義

各副課題において、火山活動に伴って得られたデータを迅速に解析し、その研究成果を気象庁の火山業務担当者に提供し、火山活動評価に貢献するとともに、火山噴火予知連絡会のメーリングリスト等を通じ、政府機関や火山研究者にも広く共有している。

(副課題1)

〔テーマ1〕

- ・本庁・各管区气象台に駐在する分室研究官は、各火山監視・警報センターにおいて、本研究課題で得られた知見を随時還元するとともに、活動活発化や噴火時には業務化されていないデータ解析を行い報告することで、火山活動評価に多いに貢献している。さらに噴火警戒レベル判定基準

の策定にも直接かかわることで貢献している。

- ・ SAR については、全国の火山の噴火発生に緊急時に迅速解析を実施するとともに、常時監視が難しい離島火山における活動モニタリングに貢献している。これらの解析結果を気象庁及び火山噴火予知連絡会に提供した。

〔テーマ2〕開発した地殻変動計算のプログラムでは、常時監視火山への適用、一般職員の利用を想定した GUI 開発を進めており、火山監視・評価業務での利用が期待される。また山体地形の影響を考慮しているため、気象庁が展開する火口周辺観測点のデータを使った火山活動評価の高度化への貢献が期待される。

（副課題2）

〔テーマ1〕箱根山、草津白根山、霧島山硫黄山等の分析結果を、気象庁及び火山噴火予知連絡会に共有した。

〔テーマ2〕本庁で実施する多成分火山ガス連続装置の運用に資するため、その可搬型装置を用いて機動的な研究観測を実施し、比較観測や周辺噴気孔等調査結果を気象庁に共有して、監視技術の向上に寄与している。

（副課題3）

〔テーマ2〕本課題で開発した火山灰データ同化システム（プロトタイプ）と結合した JMA-ATM は、気象庁降灰予報および航空路火山灰情報で運用を開始した。また同モデルは、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（平成30～令和4年度）の「衛星 SAR 解析および降灰シミュレーションによる広域降灰厚分布把握技術の開発」で活用される予定である。

（5）総合評価

以下のように、一部に若干の遅れはあるものの、いずれの副課題においても研究は着実に進展しており、順調に研究成果があがってきている。

（副課題1）

〔テーマ1〕伊豆大島におけるマグマ蓄積から噴火に至るプロセスの解明に向けて、地殻変動、重力観測を継続するとともに、新たに熱観測を開始した。重力については、重力計の種類・個体差に起因する影響の補正、高さ変化に伴う重力変化の定量化が進んだ。

〔テーマ2〕SAR 及び GNSS 気象補正に適用するために、気象庁の数値気象モデルを用い、任意の方位角・仰角について数値積分により対流圏遅延量を計算するプログラムを開発した。SAR については、対流圏遅延による誤差を大幅に軽減した。また、地形の効果も含めた地殻変動源解析法を開発した。

〔テーマ3〕地震波干渉法により伊豆大島地下の速度変化を検出した。

（副課題2）

〔テーマ1〕地球化学的試料の採取および分析により、火山活動やその機構の理解を進める研究が進捗した。また、火山活動に関する地球化学的なモニタリング手法のための研究が進捗しており、評価・監視への貢献が期待できる。

〔テーマ2〕二酸化硫黄放出率モニタリング手法の開発研究にむけ、観測準備、及び気象シミュレーションによる試行調査を進め、今後展開する本格的な観測研究とシミュレーション研究にむけた準備が整ったところである。

（副課題3）

〔テーマ1〕後期計画の重要な課題である気象レーダーにより噴煙内部の定量的推定手法を開発するための準備—降灰観測データを用いた検証スキームの確立—ができた。

〔テーマ2〕気象庁降灰予報および航空路火山灰情報の業務改善に資する成果が得られた。

研究成果リスト

(1) 査読論文 : 32 件

1. Yaguchi, M., T. Ohba, Y. Hirayama, and N. Numanami, 2022: Volcanic ash from the June 17, 1962 eruption of Yakedake volcano: stereomicroscopic, XRD, and water-soluble components analyses. *Journal of Disaster Research*.
2. J. D' Araújo, F. Sigmundsson, T. Ferreira, J. Okada, M. Lorenzo and R. Silva, 2022: Plate Boundary Deformation and Volcano Unrest at the Azores Triple Junction Determined From Continuous GPS Measurements, 2002-2017. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, **127**.
3. Terada, A., M. Yaguchi, and T. Ohba, 2022: Quantitative assessment of temporal changes in subaqueous hydrothermal activity in active crater lakes during volcanic unrest based on a time-series of lake water chemistry. *Frontiers in Earth Science*, **9**:740671.
4. Goto, A., K. Fukui, T. Hiraga, Y. Nishida, H. Ishibashi, T. Matsushima, T. Miyamoto, and O. Sasaki, 2021: Reply to: H. Sato et al., "Flowage of the 1991 Unzen lava; discussion to Goto et al. 'Rigid migration of Unzen lava rather than flow' , J. Volcanol. Geotherm. Res, 110, 107073." . *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **420**, 107384.
5. Yaguchi, M., T. Ohba, and A. Terada, 2021: Groundwater interacting at depth with hot plastic magma triggers phreatic eruptions at Yugama Crater Lake of Kusatsu-Shirane volcano (Japan). *Frontiers in Earth Science*, **9**:741742.
6. Terada, A., Kanda, W., Ogawa, Y., Yamada, T., Yamamoto, M., Ohkura, T., Aoyama, H., Tsutsui, T. and Onizawa, S., 2021: The 2018 phreatic eruption at Mt. Motoshirane of Kusatsu-Shirane volcano, Japan: eruption and intrusion of hydrothermal fluid observed by a borehole tiltmeter network. *Earth, Planets and Space*, **73**, 157.
7. Sato, E., 2021: Kusatsu-Shirane volcano eruption on January 23, 2018, observed using JMA operational weather radars. *Earth, Planets and Space*, **73**:117, 1-8.
8. Ohba, T., M. Yaguchi, U. Tsunogai, M. Ito and R. Shingubara , 2021: Behavior of magmatic components in fumarolic gases related to the 2018 phreatic eruption at Ebinokogen Ioyama volcano, Kirishima Volcanic Group, Kyushu, Japan. *Earth, Planets and Space*, **73**, 81.
9. Yaguchi, M., 2020: Abnormal discharge of high-temperature hot spring water observed at the abandoned well in the Okuhida hot spring area during the earthquake swarm occurred at Gifu-Nagano district, central Japan. *Journal of Hot Spring Sciences*, **70**, 70-79.
10. Yaguchi, M., A. Terada, and Y. Ogawa, 2020: Air-Fall Ash from the Main Crater of Asama Volcano on August 7, 2019, and its Water-Soluble Components. *Journal of Disaster Research*, **15**, 53-56.
11. Ohba, T., M. Yaguchi, K. Nishino, and N. Numanami, 2019: Time Variation in the Chemical and Isotopic Composition of Volcanic Gas at Mt. Mihara of Izu-Oshima Island, Japan. *Journal of Disaster Research*, **14**, 972-977.
12. Yaguchi, M., T. Ohba, N. Numanami, and R. Kawaguchi, 2019: Constituent Mineral and Water-Soluble Components of Volcanic Ash from the 2018 Eruption of Mt. Motoshirane of Kusatsu-Shirane Volcano, Japan. *Journal of Disaster Research*, **14**, 991-995.
13. Onizawa, S., 2019: Apparent calibration shift of the Scintrex CG-5 gravimeter caused by reading-dependent scale factor and instrumental drift. *Journal of Geodesy*, **93**, 1335-1345.
14. Ohba, T., M. Yaguchi, K. Nishino, N. Numanami, U. Tsunogai, M. Ito, and R. Shingubara, 2019: Time Variation in the Chemical and Isotopic Composition of Fumarolic Gasses at Kusatsu-Shirane Volcano, Japan. *Frontiers in Earth Science*, **7**, 249.

15. Yaguchi, M., T. Ohba, and M. Sago, 2019: The nature and source of the volcanic ash during the 2015 small phreatic eruption at Hakone volcano, central Japan. *Geochemical Journal*, **53**, 209-217.
16. Fujita, E., Y. Iriyama, T. Shimbori, E. Sato, K. Ishii, Y. J. Suzuki, K. Tsunematsu, and K. Kiyosugi, 2019: Evaluating volcanic hazard risk through numerical simulations. *Journal of Disaster Research*, **14**, 604-615.
17. Ohba, T., M. Yaguchi, K. Nishino, N. Numanami, Y. Daita, C. Sukigara, M. Ito, and U. Tsunogai, 2019: Time variations in the chemical and isotopic composition of fumarolic gases at Hakone volcano, Honshu Island, Japan, over the earthquake swarm and eruption in 2015, interpreted by magma sealing model. *Earth, Planets and Space*, **71**, 48.
18. Kondo, G., H. Aoyama, T. Nishimura, M. Ripepe, G. Lacanna, R. Genco, R. Kawaguchi, T. Yamada, T. Miwa, and E. Fujita, 2019: Gas flux cyclic regime at an open vent magmatic column inferred from seismic and acoustic records. *Scientific Reports*, **9**, 5678.
19. Taku Ozawa, Yosuke Aoki, Satoshi Okuyama, Xiaowen Wang, Yousuke Miyagi and Akira Nohmi, 2019: Database of Crustal Deformation Observed by SAR: Improving Atmospheric Delay Mitigation for Satellite SAR Interferometry and Developing L-Band Multi-Type Portable SAR. *Journal of Disaster Research*, **14**, 713-727.
20. Chikita K.A., A. Goto, J. Okada, T. Yamaguchi, S. Miura and M. Yamamoto, 2022: Hydrological and chemical budgets of Okama Crater Lake in active Zao Volcano, Japan. *Hydrology*, **9**.
21. 柳澤宏彰, 及川輝樹, 川口亮平, 木村一洋, 伊藤順一, 越田弘一, 加藤幸司, 安藤忍, 池田啓二, 宇都宮真吾, 坂東あいこ, 奥山哲, 鎌田林太郎, 兒玉篤郎, 小森次郎, 奈良間千之, 2022: 新潟焼山火山 2016 年噴火 ー活動推移・噴出物を基にした噴火モデルー. *火山*, **67**, 295-317.
22. 篠原英一郎, 菅井明, 森健彦, 中村政道, 2022: 2018 年～2019 年口永良部島新岳の噴火活動. *験震時報 (論文)*, **85**.
23. 北川隆洋, 風早竜之介, 谷口無我, 篠原宏志, 福岡管区气象台, 大分地方气象台, 2022: Multi-GAS 連続観測における硫化水素センサーの感度変化の影響とその補正. *火山*, **67**, 113-123.
24. 丹原裕, 若生勝, 堀内慎太郎, 関晋, 大石雅之, 宮川祐司, 近澤心, 岡田純, 碓井勇二, 2022: 気象庁観測データによる吾妻山の火山活動のレビュー (1965 年～2019 年). *験震時報 (論文)*, **85 巻10**, 1-18.
25. 安部祐希, 原田昌武, 板寺一洋, 高木朗充, 藤松淳, 2021: 箱根火山大涌谷における二酸化硫黄放出率 ～2021 年 6 月までの推移～. *神奈川県温泉地学研究所報告*, **53**, 55-60.
26. 気象庁地震火山部火山課, 2022: 気象庁が導入した多成分火山ガス観測システムの概要と観測データ. *験震時報 (報文)*, **86 巻1**, 1-17.
27. 関晋, 丹原裕, 山村卓也, 佐々木康気, 松浦茂郎, 越谷英樹, 近江克也, 近澤心, 若生勝, 岡田純, 碓井勇二, 2021: 2018 年から 2019 年にかけての吾妻山の火山活動. *験震時報 (論文)*, **85 巻4**, 1-35.
28. 村松容一, 谷口無我, 2020: 山梨県増富温泉の水質形成機構. *温泉科学*, **70**, 124-136.
29. 野上健治, 鬼澤真也, 2020: 浅間山 2004 年噴火で放出された火山灰のフッ素・塩素含有量. *火山*, **65**, 1-12.
30. 代田寧, 大場武, 谷口無我, 十河孝夫, 原田昌武, 2019: 箱根火山大涌谷北側斜面で 2017 年に観測された噴気組成 (C/S 比) の変動. *神奈川県温泉地学研究所報告*, **51**, 37-44.
31. 高木朗充, 谷口正実, 太田健治, 上田義浩, 松末伸一, 小窪則夫, 2019: 1950 年代から 2001 年までの気象庁の検知管法による火山ガス成分観測データの調査と解析. *験震時報 (報文)*, **83**.
32. 代田寧, 大場武, 谷口無我, 十河孝夫, 原田昌武, 2021: 箱根山火山ガス組成による火山活動予測-火山防災への活用-. *地学雑誌*, **130**, 783-796.

(2) 査読論文以外の著作物(翻訳、著書、解説): 7 件

1. Ishii, K., T. Shimbori, R. Kai, Y. Hasegawa, Y. Hayashi, and H. Tsuchiyama, 2021: Improvement of volcanic ash cloud prediction in the Tokyo Volcanic Ash Advisory Center. WGNE Research Activities in Earth System Modelling, 51, 0503-0504.
2. Shimbori, T., K. Ishii, R. Kai, Y. Hasegawa, Yo. Hayashi, and Yu. Hayashi, 2021: Renewal of the JMA atmospheric transport model on the volcanic ash advisory and ash fall forecast distribution system. WGNE Research Activities in Earth System Modelling, 51, 0513-0514.
3. Hashimoto, A., T. Mori, T. Shimbori, and A. Takagi, 2019: An experiment in numerical prediction of volcanic gas transportation. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 49, 0507-0508.
4. 岡田純, 2022: 東北の活火山と防災 - 問われる地域の減災協働. 震災学, Vol.16, 108-121.
5. 新堀敏基, 石井憲介, 2021: 気象庁移流拡散モデル設計書. 気象研究所技術報告, 84.
6. 真木雅之, 小堀壮彦, 西隆昭, 藤吉康志, 徳島秀彦, 佐藤英一, 井口正人, 爲栗健, 2020: 船舶レーダによる桜島火山の噴煙柱モニタリングー2018年の観測結果ー. 京都大学防災研究所年報, **63-B**, 136-148.
7. 佐藤英一, 福井敬一, 新堀敏基, 石井憲介, 徳本哲男, 2019: 気象レーダーで観測した2019年1月17日口永良部島噴火に伴う噴煙・火山灰雲エコーについて. 火山噴火予知連絡会会報, 132, 420-426.

(3) 学会等発表

ア. 口頭発表

・国際的な会議・学会等: 7 件

- 1 Chikita, K.A., A. Goto, J. Okada, S. Miura, and M. Yamamoto, Groundwater flow system inferred by estimates of hydrological, thermal and chemical budgets in Okama Crater Lake, Zao Volcano, Japan, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, 2021年6月, オンライン
- 2 Ohba, T., M. Yaguchi, U. Tsunogai, M. Ito, and R. Shingubara, BEHAVIOR OF MAGMATIC COMPONENTS IN FUMAROLIC GASES RELATED TO THE 2018 PHREATIC ERUPTION AT EBINOKOGEN IOYAMA VOLCANO, KIRISHIMA VOLCANIC GROUP, KYUSHU, JAPAN, 1st CCVG Virtual Workshop, 2021年5月, オンライン
- 3 Satoshi Okuyama, Shinobu Ando and Toshiki Shimbori, Development of InSAR tropospheric phase delay correction system at MRI (4th report), JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020年7月, オンライン
- 4 大場 武, 谷口 無我, 沼波 望, 笹井 洋一, Barairo Maria, Alanis Paul, Bornas Ma. Antonia, 楠本 成寿, 長尾 年恭, 角皆 潤, 伊藤 昌稚, 新宮原 諒, VARIATION IN THE CHEMICAL AND ISOTOPIC COMPOSITION OF FUMAROLIC GAS AT TAAL VOLCANO, PHILIPPINE PRIOR TO THE 2020 ERUPTION, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020年7月, オンライン
- 5 Takeshi Ohba, Muga Yaguchi, Kana Nishino, Nozomi Numanami, Yasushi Daita, Chiho Sukigara, Masanori Ito, Urumu Tsunogai, Time variations in the chemical and isotopic composition of fumarolic gases at Hakone volcano, Honshu Island Japan over the earthquake swarm and eruption in 2015, interpreted by magma sealing model, International Workshop on the mechanism of Phreatic Eruption, 2020年1月, 神奈川県箱根町
- 6 Koyaguchi, T., K. Ishii, Y.J. Suzuki, and A. Nishijo, Uncertainty quantification of volcanic eruption column dynamics and tephra dispersal models, The 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems, 2020年3月, 兵庫県神戸市

7 Sato, E., K. Fukui, T. Shimbori, and M. Maki, "Invisible" volcanic eruption plume/cloud observation with polarimetric weather radar, 39th International Conference on Radar Meteorology, 2019 年 9 月, 奈良市

・国内の会議・学会等：58 件

1. 高木朗充, 火山活動評価に資する火山活動のモデル化, 災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第2次)「多項目観測データに基づく火山活動のモデル化と活動分岐判断指標の作成」研究集会(令和3年度), 2022 年 1 月, オンライン開催
2. 知北和久, 後藤章夫, 岡田純, 三浦哲, 山本希, 山口高志, 活火山火口湖における水・化学物質・熱収支評価による地下熱水系の推定: 蔵王・御釜について, 第42回陸水物理学会全国大会, 2021 年 11 月, 名古屋市
3. 石井憲介, 西條祥, 小屋口剛博, 気象庁の火山灰予測業務で用いる一次元噴煙モデルの開発, 日本火山学会2021年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
4. 佐藤英一, 瀧下恒星, 井口正人, 非球形粒子の抵抗係数に関する理論の二次元ビデオディストロメーターによる降灰観測への応用について, 日本火山学会2021年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
5. 大場 武, 谷口 無我, 沼波 望, 豊島 誠也, 箱根火山噴気化学組成の時間変化, 日本火山学会2021年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
6. 若松 海, 寺田 暁彦, 角野 浩史, 小長谷 智哉, 谷口 無我, 大場 武, 草津白根火山・湯釜火口周辺における土壌ガス中のヘリウム同位体比分布ー潜在破砕帯検出の試みー, 日本火山学会2021年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
7. 鈴木 レオナ, 寺田 暁彦, 谷口無我, 大場 武, 草津白根火山・湯釜火口湖へ供給される熱水の化学的特徴ー湖水濃度時系列解析ー, 日本火山学会2021年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
8. 谷口 無我, 大場 武, 寺田 暁彦, 湖水の化学組成からみた草津白根山湯釜火口直下のマグマ-熱水活動, 日本火山学会2021年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
9. 小長谷 智哉, 角野 浩史, 外山 浩太郎, 大場 武, 谷口 無我, 箱根火山噴気の希ガス・炭素同位体組成の時間変動, 日本火山学会2021年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
10. 入山宙, 2 次元定常噴煙流テフラ輸送理論を用いた供給源テフラ粒径分布時系列変化の推定と新燃岳 2018 年 4 月 5 日噴火への応用, 日本火山学会2021年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
11. 高木朗充, 森健彦, 橋本明弘, 大気環境測定局の二酸化硫黄濃度による火山活動評価への活用, 日本火山学会2021年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
12. 小長谷智哉, 角野浩史, 外山浩太郎, 大場武, 谷口無我, 寺田暁彦, 草津白根山噴気中のマグマ起源ヘリウム・アルゴン比の時間変動, 2021 年度日本地球化学会第 68 回年会, 2021 年 9 月, オンライン開催
13. 鬼澤真也, 松島喜雄, 伊豆大島火山における地表面熱収支観測, 日本地球惑星科学連合2021年大会, 2021 年 6 月, オンライン, オンライン
14. 大場 武, 谷口 無我, 角皆 潤, 伊藤 昌稚, 新宮原 諒, えびの高原硫黄山 2018 年水蒸気噴火で解明された火山ガスに含まれるマグマ起源成分の挙動, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
15. 豊島 誠也, 沼波 望, 大場 武, 谷口 無我, 箱根山火山ガス組成の経時変化(2018~2020 年), JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
16. 長岡優, 地震波干渉法による霧島山の 3 次元 V_{SV} , V_{SH} 構造, 東京大学地震研究所特定共同研究(B)「プレートの沈み込みと島弧変動のダイナミクス」オンライン集会, 2021 年 1 月, オンライン
17. 奥山哲, 安藤忍, 新堀敏基, 気象研究所における干渉 SAR 対流圏遅延補正プログラムへの地上面解析値の導入, 東京大学地震研究所共同利用(研究集会)「SAR による地表変動解析の新展開: 先進レーダー衛星の活用を見据えて」, 2020 年 12 月, オンライン
18. 安藤忍, 奥山哲, 飯野英樹, 西之島における SAR 解析, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「SAR による地表変動解析の新展開: 先進レーダー衛星の活用を見据えて」, 2020 年 12 月, オンライン

19. 奥山 哲, 安藤 忍, 新堀 敏基, 気象研究所における干渉 SAR 対流圏遅延補正プログラムへの地上面解析値の導入, 日本測地学会第 134 回講演会, 2020 年 10 月, オンライン
20. 安藤忍, 奥山哲, 飯野英樹, 小笠原諸島西之島の溶岩噴出率の算出の試み, 日本測地学会第 134 回講演会, 2020 年 10 月, 不明
21. 石井憲介, 小屋口剛博, 火砕物の移流拡散堆積過程の逆問題の数値構造とその応用に向けての考察, 火山学会 2020 年秋季大会, 2020 年 10 月, (オンライン)
22. 井村匠, 伴雅雄, 常松佳恵, 後藤章夫, 岡田純, 蔵王火山丸山沢噴気地熱地帯の火山物質科学的研究, 日本火山学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, 日本
23. 佐藤英一, 瀧下恒星, 井口正人, 二次元ビデオディストロメーターによる降灰観測 (初期解析結果), 日本火山学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, 日本
24. 角野浩史, 外山浩太郎, 小長谷智哉, 滝口孝寛, 大場武, 谷口無我, 霧島火山群におけるヘリウム同位体比の時空間変動, 日本火山学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, 日本
25. 大場武, 谷口無我, 角皆潤, 伊藤昌稚, 新宮原諒, えびの高原硫黄山火山ガス組成と 2018 年水蒸気噴火の関係, 日本火山学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, 日本
26. 小長谷智哉, 角野浩史, 外山浩太郎, 川名華織, 山根康平, 大場武, 谷口無我, 寺田暁彦, 草津白根火山周辺の噴気ガス・温泉ガス中の希ガス同位体組成, 日本火山学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, 日本
27. 代田 寧, 大場 武, 谷口無我, 十河孝夫, 原田昌武, 箱根火山における噴気組 (CO₂/H₂S 比) 変化速度と火山活動強度の関係, 日本火山学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, 日本
28. 寺田 暁彦, 香取 慧, 谷口 無我, 山本 希, 山田 大志, 鬼澤 真也, 西澤 達治, 青山 裕, 森田 裕一, 大場 武, 草津白根火山西方における温泉湧出と 2018 年群発地震, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
29. 角野 浩史, 外山 浩太郎, 大場 武, 谷口 無我, 寺田 暁彦, 草津白根火山の火山ガスのヘリウム同位体比, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
30. 沼波 望, 大場 武, 谷口 無我, 箱根火山の地球化学的モニタリング, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
31. 谷口 無我, 大場 武, 寺田 暁彦, 草津白根山湯釜火口湖の化学組成変化, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
32. 佐藤英一, 気象レーダーを用いた火山噴煙解析結果の検証について, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, オンライン
33. 真木雅之, 小堀壮彦, 西隆昭, 藤吉康志, 徳島秀彦, 佐藤英一, 井口正人, 爲栗健, 船舶レーダーによる桜島火山の噴煙柱モニタリングー2018 年の観測結果ー, 令和元年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2020 年 2 月, 京都府宇治市
34. 石井憲介, 小屋口剛博, 火山灰の移流拡散堆積過程における逆問題の特異値解析, 固体地球科学データ同化に関する研究会, 2020 年 2 月, 宮城県仙台市
35. 福井敬一, 佐藤英一, 新堀敏基, 気象庁レーダー観測網による噴火雲の検知, 第 4 回「降水と噴火」研究会, 2020 年 2 月, 東京都千代田区
36. 千馬竜太郎, 佐藤英一, 桜島における気象レーダーを用いた噴煙解析手法の開発, 第 4 回「降水と噴火」研究会, 2020 年 2 月, 東京都千代田区
37. 佐藤英一, 気象レーダーを用いた曇天時の火山噴煙観測について, 第 4 回「降水と噴火」研究会, 2020 年 2 月, 東京都千代田区
新堀敏基, 石井憲介, 新しい気象庁移流拡散モデルの開発 (その 2), 第 4 回「降水と噴火」研究会, 2020 年 2 月, 東京都千代田区
38. 研究会, 2020 年 2 月, 東京都千代田区
39. 新堀敏基, 新しい移流拡散モデルー火山業務における現業化に向けた開発ー, 気象庁施設等機関研究報告会, 2020 年 1 月, 東京都千代田区
40. 佐藤英一, 火山噴煙レーダー観測の検証について, 災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画第 2 次桜島大規模噴火総合研究グループ研究集会, 2019 年 12 月, 鹿児島県鹿児島市
41. 谷口無我, 湯釜火口湖水の化学組成からみた草津白根山のマグマ-熱水活動, 2019 年度火山性流体討論会, 2019 年 10 月, 栃木県那須町
42. 鬼澤真也, 松島喜雄, 坑井温度プロファイルから推定される伊豆大島火山の熱水系, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市

43. 寺田暁彦, 森 俊哉, 大場 武, 谷口無我, 鬼澤真也, 森田裕一, 伊豆大島三原山火口底の火山ガス組成測定, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
44. 大場 武, 谷口無我, 沼波 望, 笹井洋一, C.L. Barairo, P. Alanis, M.A. Bornas, 楠本成寿, 長尾年恭, 角皆 潤, 伊藤昌稚, 新宮原諒, フィリピン・タール山の火山ガス, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
45. 風早竜之介, 北川隆洋, 大場武, 谷口無我, 寺田暁彦, 神田径, 草津白根山(湯釜)の火山活動に対応した火山ガス組成変化, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
46. 森 健彦, 森 俊哉, 福岡管区气象台, 鹿児島地方气象台, 火山活動の変化に伴う二酸化硫黄放出量の変動の特徴について ～霧島新燃岳・口永良部島・阿蘇山における最近の事例から～, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
47. 佐藤英一, 福井敬一, 新堀敏基, 気象レーダーによる火山噴煙高度推定手法の検証, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
48. 谷口無我, 大場武, 寺田暁彦, 草津白根山山頂火口湖湯釜の水質と火山活動との対応, 2019 年度日本地球化学会第 66 回年会, 2019 年 9 月, 東京都文京区
49. 安藤忍, 火山の地殻変動, 2019 年度 測地学サマースクール「暮らしの中の測地学」, 2019 年 8 月, 茨城県つくば市
50. 佐藤英一, 福井敬一, 新堀敏基, 気象庁の気象レーダー網で観測した 2018～2019 年口永良部島の噴煙・火山灰雲エコーについて, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
51. 外山浩太郎, 角野浩史, 川名華織, 大場武, 谷口無我, 秋山良秀, 相澤広記, 塚本果織, 霧島火山群におけるヘリウム同位体比の時空間変化, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
52. 大場武, 谷口無我, 外山浩太郎, 角野浩史, 角皆潤, 伊藤昌稚, 新宮原諒, 霧島硫黄山火山ガスの化学組成および安定同位体比, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
53. 大場武, 谷口無我, 西野佳奈, 沼波望, 代田寧, 角皆潤, 伊藤昌稚, 鋤柄千穂, 箱根山火山ガス化学組成および安定同位体比の時間変化, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
54. 石川歩, 西村太志, 青山裕, 川口亮平, 藤田英輔, 三輪学央, 山田大志, M. Ripepe and R. Genco, ストロンボリ火山の山頂小爆発に伴う傾斜変動の圧力源推定, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市幕張
55. 大場武, 谷口無我, 沼波望, 外山浩太郎, 角野浩史, 角皆潤, 伊藤昌稚, 新宮原諒, 草津白根山火山ガス化学組成および安定同位体比の時間変化, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
56. 谷口 無我, 大場武, 外山浩太郎, 気象庁福岡管区气象台, 気象庁鹿児島地方气象台, 霧島山硫黄山の湧水・湯だまりの水質, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
57. 小屋口剛博, 石井憲介, A. Kyle, 小園誠史, 観測データと物理モデルに基づく火山噴火推移予測の可能性, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
58. 佐藤英一, 千馬竜太郎, 福井敬一, 新堀敏基, 二重偏波レーダーを用いた曇天・雨天時の火山噴煙の観測について(第 2 報), 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都

イ. ポスター発表

・国際的な会議・学会等: 12 件

1. 岡田純, 丹原裕, 宮川祐司, 関晋, 山村卓也, 近澤心, Existence of deep pressure sources and its behaviors during recent volcanic activity at Azumayama, NE Japan, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
2. Sato, E., M. Iguchi, Ash fall observation using 2D-Video Disdrometer, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン

3. Chikita K., A. Goto, J. Okada, S. Miura and M. Yamamoto, Estimates of hydrological, thermal and chemical budgets of Okama Crater Lake, Zao Volcano, Japan: A preliminary study, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
4. 外山 浩太郎, 角野 浩史, 谷口 無我, 大場 武, 豊福 高志, 和田 茂樹, Noble gas composition in hot spring gas in Shikine Island, Izu-Bonin volcanic arc, Japan, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
5. 安藤忍, 奥山哲, 松末伸一, Lava discharge rate in Nishinoshima volcano, Ogasawara Islands revealed using ALOS-2/PALSAR-2, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
6. Okada J., Y. Nihara, S. Chikasawa, T. Yamamura, S. Seki, K. Sasaki, A. Takagi, and K. Fukui, Reactivation of volcanic activity on May 2019 at Azumayama -Importance of precise ground deformation monitoring near the crater, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 5 月, オンライン
7. Toriyama, N., K. Tamaribuchi, R. Kawaguchi, K. Uhira, Y. Yoshigai, J. Miyamura and S. Matsusue, Hypocenter determination, applying PF method to volcanic earthquake in Izu-Oshima, AGU Fall Meeting 2019, 2019 年 12 月, 米国, San Francisco
8. Kobayashi, T., K. Kato, R. Kawaguchi, Y. Yoshigai, Y. Ogawa, K. Nogami, W. Kanda and A. Terada, Report of Volcanic Activity at Kusatsu-Shiranesan(Yugama Area), Japan in 2018-2019, AGU Fall Meeting 2019, 2019 年 12 月, 米国, San Francisco
9. Kitagawa, T., R. Kazahaya, M. Yaguchi, K. Horiguchi, T. Kanno and H. Shinohara, Continuous Multi-GAS observations at volcanoes in Japan: Data quality control and examination for correction of sensor sensitivity changes, 2019 AGU Fall Meeting, 2019 年 12 月, アメリカ, サンフランシスコ
10. Nagaoka, Y., K. Nishida, Y. Aoki, M. Takeo, T. Ohkura, and S. Yoshikawa, Imaging of the magma reservoir beneath Kirishima volcanoes, Japan, by seismic interferometry, AGU Fall Meeting 2019, 2019 年 12 月, 米国, San Francisco
11. Toyama K., Sumino H., Kawana K., Akiyama Y., Ohba T., Yaguchi M., Aizawa K. and Tsukamoto K., Helium Isotope Ratios in Fumarolic and Hot Spring Gases in Kirishima Volcanic Group, Japan., Goldschmidt 2019, 2019 年 8 月, スペイン, バルセロナ
12. Sato, E., K. Fukui, T. Shimbori, K. Ishii, Y. Iriyama, and E. Fujita, Volcanic Eruption Plume Observation using Weather Radar and its Application for Volcanic Hazard Prediction System, 第 27 回国際測地学地球物理学連合総会 (IUGG2019), 2019 年 7 月, カナダ, モントリオール

・国内の会議・学会等 : 51 件

1. 奥山哲, 安藤忍, 新堀敏基, 鬼澤真也, 気象研究所における GNSS 対流圏遅延補正プログラムの開発 (序報), 日本測地学会第 136 回講演会, 2021 年 11 月, オンライン
2. 安藤忍, 奥山哲, 島村哲也, 鬼澤真也, InSAR 時系列解析を用いた伊豆大島の地殻変動, 日本測地学会第 136 回講演会, 2021 年 11 月, オンライン
3. 橋本明弘, 森健彦, 新堀敏基, 気象予測モデルを併用した新しい二酸化硫黄放出率推定手法の開発: その 3, 日本火山学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
4. 川口亮平, マグマ上昇に伴う地殻変動の時間変化のシミュレーション, 日本火山学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
5. 新堀敏基, 石井憲介, 甲斐玲子, 長谷川嘉臣, 林洋介, 林勇太, 火山灰移流拡散モデルの更新, 日本火山学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
6. 後藤章夫, 山崎新太郎, 知北和久, 岡田純, 土屋範芳, 蔵王山火口湖・御釜の水中ドローン調査 (速報), 日本火山学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, 日本
7. 不破智志, 宮村淳一, 奥山 哲, 青山 裕, 2021 年 3 月有珠山直下やや深部の地震増加イベント, 日本火山学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン

8. 島村哲也, 安藤忍, 鬼澤真也, 奥山哲, 入山宙, GNSS と SAR 解析による伊豆大島カルデラ地域の地殻変動, 日本火山学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, オンライン
9. 小久保 一哉, 伊豆大島のボアホール式ひずみ計による地殻変動源のモニタリング, 日本火山学会 2021 年度秋季大会, 2021 年 10 月, 日本
10. 谷口無我, 平山康夫, 大場武, 沼波望, 焼岳 1962 年 6 月 17 日噴火火山灰 (顕微鏡像, XRD, 水溶性成分), 2021 年度日本地球化学会第 68 回年会, 2021 年 9 月, オンライン開催
11. 佐藤英一, 気象レーダーを用いた噴煙高度の確率的推定手法の改良, Japan Geoscience Union Meeting 2021, 2021 年 6 月, (オンライン)
12. 佐藤英一, 瀧下恒星, 井口正人, 二次元ビデオディストロメーターによる降灰観測 (第 2 報), Japan Geoscience Union Meeting 2021, 2021 年 6 月, (オンライン)
13. 小長谷 智哉, 角野 浩史, 外山 浩太郎, 大場 武, 谷口 無我, 寺田 暁彦, 草津白根火山噴気ガス中のヘリウム・炭素同位体組成の時間変動, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
14. 谷口無我, 平山康夫, 大場武, 沼波望, 焼岳 1962 年 6 月 17 日噴火火山灰とその水溶性成分, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
15. 奥山哲, 安藤忍, 干渉 SAR 時系列解析により検出された十勝岳における局所的地殻変動, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
16. 安藤忍, 奥山哲, 干渉 SAR 時系列解析を用いた西之島における噴火間の地殻変動, JpGU Meeting 2021: Virtual, 2021 年 6 月, オンライン
17. 川口亮平, 境界要素法による火山周辺の地殻変動計算システムの開発 (2), 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 6 月, オンライン, オンライン
18. 川口 亮平, 境界要素法による火山周辺の地殻変動計算システムの開発, 日本火山学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, 日本
19. 鬼澤真也, 石原昂典, 平山康夫, 松田健助, 谷口無我, 松島喜雄, 伊豆大島火山における 1m 深地温測定～経験的手法による地熱兆候の検出～, 日本火山学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, 日本
20. 橋本明弘, 森健彦, 新堀敏基, 気象予測モデルを併用した新しい二酸化硫黄放出率推定手法の開発: その 2, 日本火山学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, 日本
21. 谷口無我, 大場 武, 福岡管区気象台, 鹿児島地方気象台, 宮崎地方気象台, 湧水・2018 年噴火口跡熱水の化学組成変化から見た霧島山 (硫黄山) の熱水活動, 日本火山学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
22. 長岡優, 西田究, 青木陽介, 武尾実, 浅間山の 3 次元 3 次元 V_{SV} , V_{SH} 構造, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
23. 鈴木 レオナ, 寺田 暁彦, 谷口 無我, 高橋 昌孝, 大場 武, 草津白根火山・湯釜火口湖水の不均質性から推定される湖底熱水の化学的特徴, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
24. 角野 浩史, 外山 浩太郎, 大場 武, 谷口 無我, 霧島火山群における火山ガスのヘリウム同位体比の時空間変動, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
25. 川口亮平, 境界要素法に基づく火山周辺の気象庁傾斜計データの評価の検討 (2), 日本地球惑星科学連合 2020 年大会, 2020 年 5 月, オンライン
26. 奥山 哲, 安藤 忍, 新堀敏基, 気象研究所における干渉 SAR 対流圏遅延補正プログラムの開発 (第 3 報), 日本測地学会第 132 回講演会, 2019 年 10 月, 富山県富山市
27. 安藤忍, 伊豆大島における ALOS-2/PALSAR-2 を用いた時系列解析, 日本測地学会第 132 回講演会, 2019 年 10 月, 富山県富山市
28. 北川隆洋, 風早竜之介, 多成分火山ガス観測装置 (Multi-GAS) のセンサー感度補正の試み, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
29. 諸石喜大, 大場武, 谷口無我, 箱根大涌谷の温泉水の化学組成変化とリザーバ温度の推定, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
30. 沼波 望, 大場 武, 谷口無我, 箱根山 2019 年火山活動活発化による噴気と河川水への影響, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
31. 谷口無我, 大場武, 寺田暁彦, 火口湖湯釜の化学組成からみた草津白根山のマグマ熱水活動, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市

32. 宇野史睦, 新堀敏基, 橋本明弘, 小長谷瑞木, 火山灰による太陽光発電量の減少率を利用した降灰量推定, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
33. 堀口桂香, 菅野智之, 谷口無我, 北川隆洋, 風早竜之介, 岡田純, 関晋, 吾妻山におけるガスセンサーおよび化学分析による火山ガス観測結果の比較, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
34. 小久保一哉, 伊豆大島の多成分ひずみ計の複数の傾斜計を利用した検定 (2), 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
35. 石川歩, 西村太志, 青山裕, 川口亮平, 藤田英輔, 三輪学央, 山田大志, M. Ripepe, ストロンボリ火山の 2014 年 8 月山腹噴火に伴う山体変形, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
36. 通山尚史, 溜渕功史, 川口亮平, 宇平幸一, 吉開裕亮, 松末伸一, 宮村淳一, 自動震源決定手法(PF 法)の伊豆大島火山性地震への適用, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
37. 川口亮平, 境界要素法に基づく火山周辺の気象庁傾斜計データの評価の検討, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
38. 代田寧, 大場武, 谷口無我, 十河孝夫, 瀧沢倫明, 原田昌武, 箱根山における火山活動活発化に伴う噴気組成の変化, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
39. 外山浩太郎, 角野浩史, 川名華織, 大場 武, 沼波 望, 谷口無我, フィリピン・タール火山における火山ガスのヘリウム・炭素同位体比, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
40. 香取 慧, 寺田暁彦, 西野佳奈, 沼波 望, 大場 武, 谷口無我, 草津白根火山における浅部熱水だまりの化学組成, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
41. 千馬竜太郎, 佐藤英一, 気象レーダーを用いた噴煙解析ツールの開発 (第 2 報), 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
42. 新堀敏基, 鈴木雄治郎, 入山宙, 石井憲介, 佐藤英一, 藤田英輔, 移流拡散モデルによる大規模噴火を想定した降下火砕物予測の課題 (その 3) 噴煙ダイナミクスモデルに基づく初期条件, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 兵庫県神戸市
43. 長岡優, 西田究, 青木陽介, 武尾実, 地震波干渉法を用いた浅間山の 3 次元 V_{SV} , V_{SH} 構造の推定, 日本地震学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, 京都府京都市
44. 佐藤英一, 千馬竜太郎, 気象レーダーを用いた汎用的噴煙解析手法の開発, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
45. 新堀敏基, 石井憲介, 新しい気象庁移流拡散モデルの開発, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
46. 長岡優, 西田究, 青木陽介, 武尾実, 大倉敬宏, 吉川慎, 地震波干渉法による霧島山のマグマ供給系の解明, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
47. 鬼澤真也, 伊豆大島火山カルデラ内坑井温度プロファイルによる伝導・対流熱伝達の推定, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市幕張
48. 川口亮平, 斎藤直子, 鬼澤真也, 水位変動・地震観測に基づく立山カルデラ新湯の地下構造の推定, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市幕張
49. 外山浩太郎, 角野浩史, 川名華織, 秋山良秀, 大場武, 谷口無我, 寺田暁彦, 草津白根火山周辺の噴気及び温泉ガス中の希ガス同位体組成, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
50. 石井憲介, 小屋口剛博, 火山灰の移流拡散堆積過程における逆問題の数理的構造, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市
51. 岡田純, 松浦茂郎, 近江克也, 山村卓也, 丹原裕, 関晋, 吾妻山の 2014-2015 年と 2018-2019 年の火山活動に伴う地殻変動, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市

報道・記事

1. 火山学会、シリーズ「火山研究者育成の現場から★火山を伝える若手たち」
<http://www.kazan-g.sakura.ne.jp/J/repo1.html> (平成 30 年 4 月 10 日)
2. 福島テレビ「吾妻山周辺の火山ガスの調査について」(令和元年 6 月 27 日)
3. 福島テレビ「レベル 1 でも警戒が必要…観測チームがとらえた吾妻山の“今”」(令和元年 7 月 3 日)
4. 福島テレビ「防災大百科 火山活動の監視」(令和元年 7 月 17 日)
5. 毎日新聞「観測体制強化なお脆弱 御嶽山噴火から 5 年「規制解除さらに 10 年」」(令和元年 9 月 22 日)
6. 毎日新聞「火山対策道半ば 御嶽山噴火 5 年」(令和元年 9 月 23 日)
7. 河北新報「山岳救助隊員ら火山災害に備え 県警本部で研修会」(令和元年 11 月 17 日)
8. 読売新聞オンライン「桜島の噴煙、過去最大級の高さ 8000m 超か… 6 月 4 日噴火」(令和 2 年 7 月 14 日)
9. 毎日新聞オンライン「桜島で過去最も高い噴煙 6 月の噴火、9000 メートル超も」(令和 2 年 7 月 15 日)
10. 日経電子版「桜島で過去最も高い噴煙 6 月の噴火、9 千メートル超も」(令和 2 年 7 月 15 日)
11. 産経新聞オンライン「桜島で過去最も高い噴煙 6 月の噴火、9 千メートル超も」(令和 2 年 7 月 15 日)
12. 共同通信「桜島、過去最も高い噴煙を観測 6 月の噴火、9000m 超も」(令和 2 年 7 月 15 日)
13. NHK NEWS WEB「桜島 先月 4 日の噴火 噴煙の高さは 9000m 以上か」(令和 2 年 7 月 15 日)
14. 日経電子版「桜島の 6 月噴煙、過去最高 9000 メートル超 気象庁推定」(令和 2 年 7 月 16 日)
15. 毎日新聞社会面「桜島は噴煙 9570 メートル 過去最高を観測」(令和 2 年 7 月 16 日)
16. 朝日新聞デジタル「鹿児島 6 月 4 日の桜島噴火、噴煙 9000m 台か」(令和 2 年 7 月 17 日)
17. 朝日新聞「西之島の面積について」(令和 2 年 8 月 28 日)

その他(「成果の他の研究への波及状況」関連)

文部科学省次世代火山研究推進事業(平成 28～令和 7 年度)

- ・課題 B-3 「地球化学的観測技術の開発」
- ・課題 C-3 「シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発」

気象研究所地方共同研究

- ・機動観測項目における火山ガス成分観測の実効性調査(平成 30～令和元年度)
- ・二重偏波レーダーを用いた火山噴煙の解析的研究(令和 2～4 年度)

2. 4. 研究終了報告

本節には、気象研究所が令和3年度に終了時評価を実施した地方共同研究について、課題毎に研究成果等を掲載した。

2.4.1. 地方共同研究

- ・ 全天カメラによる雲の地上観測システムの開発・・・・・・・・・・・・・・・・ 220
- ・ 沖縄地方の低周波地震の震源決定と発生状況等の調査・・・・・・・・・・・・ 225
- ・ 高精度な津波数値計算結果を用いた津波の地域特性の理解・・・・・・・・・・ 229

全天カメラによる雲の地上観測システムの開発

研究期間：令和2年度～令和3年度

研究代表者：工藤 玲（気象観測研究部）

研究担当者：

〔大阪管区気象台〕高野松美、山口夢香、井本 忍、河野真也、谷沢隼人

研究の背景・意義

（社会的背景・意義）

雲は、地球表面の約60%を覆い、大気放射収支、そして気候変動に最も大きな影響を持つ。地球温暖化問題において、雲は総じて地球を冷やす効果を持つとされている。しかし、雲は、太陽放射を反射すること、地表面からの赤外放射を遮ることで、地球大気を冷やす効果と温める効果の両方を持っており、どちらの効果が勝るかは、雲種や高度、地表面反射等の様々な要素によって決まる。また、雲の時空間変動は複雑で、その全容を観測すること、数値モデルで表現することは困難である。このため、雲は地球温暖化の影響評価、将来予測に不確実性をもたらす大きな要因の一つとなっている。

（学術的背景・意義）

雲の大気放射収支への影響評価を高度化するためには、雲の時空間変動をより詳細に把握することが必要である。近年の衛星観測の高解像度化・高頻度化によって、雲の分布をより精密に捉えることが出来るようになったものの、上層雲に阻まれた下層の雲を観測することが出来ない等、限界がある。一方、発展著しい高解像度数値気象モデルにおいても、雲の再現性は十分ではない。これらの問題に対し、雲の三次元的な分布を定量化する地上観測手法を確立することで、大気放射収支に対するより正確な影響評価に加え、衛星観測データや数値気象モデルの出力の検証、さらにそれらを通じて数値気象モデルの雲表現に関するパラメタリゼーションに貢献することが出来る。

（気象業務での意義）

近年の衛星観測の進歩に伴い、気象業務における目視観測の重要性は相対的に下がり、目視観測地点は削減された。しかしながら、上述のように衛星観測にも限界があり、現業観測における目視観測の必要性は依然失われてはいない。このため、目視観測を代替、または補間する観測システムが必要である。

研究の目的

上記の社会的、学術的、業務的背景の下、気象研究所のD3課題「衛星・地上放射観測および放射計算・解析技術の開発」では、これまで、屋外で全天の雲画像の連続観測を可能とする全天カメラを開発してきた。本研究では、この全天カメラを用いて、遠隔地における雲の自動観測・解析システムを構築し、雲分布・高度分布を客観的に解析する手法を確立することを目的とする。

研究の目標

上記の研究目的を達成するため、次の3つの目標を立てて研究を進める。

① 全天カメラを使った雲の地上観測システムの構築

大阪管区気象台の屋上に全天カメラを設置し、定期的な撮影を実施する。データを気象研究所のサーバーに転送し、画像解析によって雲の分布と高度分布を導出する。解析結果の画像を気象研究所のクラウドサーバーを通して公開し、大阪管区気象台の観測業務の担当者が閲覧できるようにする。これら一連の処理を自動化したシステムを構築する。

② 高度別の雲分布の導出方法の開発

全天カメラで撮影した画像のRGB情報を元に、雲の分布を画素毎に判別するアルゴリズムを開発する。また、短い時間間隔で撮影した2枚の画像を、疑似的なステレオ撮影とみなすことで、画素毎に雲の高度を導出するアルゴリズムを開発する。大阪管区気象台で行っている目視観測のデータを用いて、これらのアルゴリズムを検証する。

③ 現業での利用実験

本研究の大阪管区気象台の担当研究者が、現業当番に入った際に、気象研究所のデータ共有サーバーから逐次公開している画像データを閲覧し、観測の現場でどのように活用できるかを調査する。

研究成果

(1) 成果の概要

① 全天カメラを使った雲の自動観測システムの構築

本研究の全天カメラは、人間の眼よりも広いダイナミックレンジを有する CMOS センサーを使った産業用の特別なカメラを使用している。広いダイナミックレンジは、太陽直達光も白飛びせずに撮影することを可能にし、全天の様子を正確に記録することが出来るため、気象観測に最適なセンサーである。本研究開始前の令和2年3月に大阪管区気象台の屋上にカメラを設置し、観測を開始した。大阪管区気象台は合庁にあるため、屋上を利用するには合庁の許可が必要になる。観測を開始するにあたり、大阪管区気象台の主担当者を中心に入念な打ち合わせを行った上で合庁の担当者へ利用申請を行った。全天カメラの観測は、令和3年12月まで実施し、撤収した。全天カメラは基本的にメンテナンスフリーであるが、長期間放置するとカメラのレンズを保護するガラスドームが汚れる。観測期間中、数か月に1度、汚れが目立つようになった時に大阪管区気象台の担当者にガラスドームを拭いてもらった。

全天カメラによる観測データは、雲のデータ解析に用いる生データと、リアルタイム閲覧用の画像データの2種類がある。これらのデータをLTE/3G回線を使って気象研究所のデータ共有用サーバーに逐次転送し、データ解析用サーバーで雲分布等の解析を行う。そして、静止画、動画、解析結果を準リアルタイム（観測から最大15分遅れ）でデータ共有用サーバーから公開し、大阪管区気象台から閲覧できるシステムを構築した。当初、生データはデータサイズが大きいため、準リアルタイムで転送・解析することはできないと考えていた。しかし、データを大幅に圧縮することに成功したため、解析も準リアルタイムで実施し、結果を公開することが可能となった。

初年度、コロナ禍でリモートワークが活発になってきた時期に、LTE/3G回線が混雑する頻度が増えたためか、データ転送エラーが多発するようになった。実際、この時期には、データ通信用プリペイドsimは品切れで入手困難な状態が続いていた。その問題を解決するため、次年度に販売を開始したリモートワークを想定したデータ通信用プリペイドsimを利用することとし、データ通信も安定するようになった。上記の通信混雑期間を除くと、システムは安定に稼働しており、堅牢なシステムを構築することができた。

② 高度別の雲分布の導出方法の開発

全天カメラから雲分布を判別、定量化する手法は、大阪管区気象台と気象研で共同開発し、雲の高度分布を導出する手法については気象研が担当する体制で実施した。初年度の前半には、雲解析を行う前の下処理（全天カメラの生データ・画像データの数値の読みこみ、建物等のマスキング、画素毎の天頂角・方位角を決めるための校正、RGBから彩度への変換等）を実施するためのツールをpythonのライブラリとして開発し、共有した。

雲分布の判別について、初年度には、カメラRGB色情報から算出される彩度に対し、閾値を使って判別するアルゴリズムを構築した。閾値は、目視観測との比較によって決めた。概ね良好な結果が得られたものの、太陽周辺や巻雲の判定結果が悪かった。このため、次年度には、短い時間間隔（20または30秒）で撮影された2枚の画像から算出される輝度の時間変化を追加し、太陽周辺の雲の変化や巻雲の変化を捉えるアルゴリズムを構築した。アルゴリズムを更新する際に、彩度よりも赤青比の方が扱いやすかったため、赤青比に閾値を与える方針に変えた。具体的には、まず、輝度の時間変化と赤青比から大雑把なシーン（厚い雲、薄い雲、晴天積雲、快晴など）を判別し、その後、シーンに合わせた赤青比の閾値を使って画素毎に雲を判別するアルゴリズムを開発した。

疑似ステレオ撮影による雲高度分布の導出は、次の手順で行った。（1）テンプレートマッチングによって、1枚目の画像中のある雲が2枚目の画像中のどこあるかを判別し、雲の移動ベクトルを算出する。（2）移動ベクトルとカメラの校正によって予め算出してある画素毎の方位（天頂角と方位角）から、三角測量によって雲の高さを求める。通常のスレオ撮影の場合、2台のカメラの距離を物差しとすることで、高さを定量化できる。しかし、疑似ステレオ撮影では、この物差しが得られないため、雲の高さを定性的な指標として得ることになる。（3）雲の高さの指標のヒストグラムを作成し、上層と下層の雲を分ける閾値を客観的な二値化手法で決める。この閾値によって画素毎に上層雲と下層雲を判別する。

雲の分布と高度分布の解析結果を、大阪管区気象台の目視観測データを使って検証した。目視観測データは、大阪管区気象台の担当者が2年近くのデータをデータベース化し、扱いやすくしたものを利用した。雲分布については、1800事例の雲量を検証したところ、目視観測雲量±1を正解として場合

は75.1%の正解率、目視観測雲量±2を正解として場合は82.8%の正解率であった。この結果は、先行研究とほぼ同等か少し良い結果であった。雲の高度分布については、多層雲と単層雲を判別できたかどうかを検証した。644事例中、正解率は21%であった。この内、多層雲を多層と判別出来た事例は4.5%であり、多層雲を判別できた事例は少なかった。

③ 現業での利用実験

初年度、本研究の大阪管区気象台の担当研究者が、現業当番に入った際に、気象研究所のデータ共有サーバーから逐次公開している画像データを閲覧してもらった。通常、目視観測は3時間に1回行われるが、その間を埋める画像データが手に入ることになる。このような全天カメラ観測の利点が、観測の現場でどのように活用できるかを調査した。次年度は大きく方針を変え、大阪管区気象台の観測課と防災調査課の協力により、大阪管区内の気象台を対象にMicrosoft Formsを使ったオンラインアンケートを実施し、気象庁内の多様な業務への活用法を調査した。また、近畿地区気象研究会、気象学会関西支部例会での講演等を通して、大学関係者を含めて広く意見をうかがう機会を得た。

以上の調査結果を、現在の全天カメラの業務への活用と、業務で活用するために全天カメラに求める機能の2点についてまとめた。現在の全天カメラの業務への活用については、目視観測が無い地点・時間帯の観測（現在天気、雲量・雲形、視程）、航空気象観測、数値予報（天気など）の検証、衛星推計値に移行した観測項目（雲量、日照など）の検証、気象現象（おろし風による笠雲、山岳派による雲列、彩雲、虹など）の観測等が挙げられた。全天カメラに求める機能では、夜間観測、画像を周辺アメダスと連動させた実況監視、高頻度化による積乱雲の発達監視・雷光監視、人の代替観測、目視観測の技術継承、車載による機動観測、観測環境の変化調査、可視以外の波長の撮影による降灰観測、立体視、動画観測、VR空間の構築とリモート目視観測など、様々な興味深いアイディアをいただいた。全体的に多かった業務対象は、夜間を含めた地上気象観測・航空気象観測の目視観測項目の代替であった。

（2）当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

当初は、大阪管区気象台の観測課内に限定して業務活用に関する意見収集を行うことを予定していた。しかし、気象庁内の幅広い業務に対して活用法を調査した方がよいという意見が出た。また、気象庁がリモートワーク環境を導入したことでMicrosoft Formsを使えるようになった。このため、大阪管内の気象台を対象としたオンラインアンケート調査を実施した。

（3）成果の他の研究への波及状況

本研究の知見を活かし、経常研究 D3 課題の中で昼夜の観測に対応した全天カメラを開発した。現在、この全天カメラを2台導入し、昼夜の雲の立体視の技術開発を進めている。また、開発した全天カメラは、高層気象台、東北大学、環境研にも導入された。今後、輝度観測、光害研究、AIによる雲の解析、EarthCARE 衛星プロダクトの検証等に用いられることを予定している。全天カメラのデータ解析の際には、本研究で開発した画像解析プログラムも使われる予定である。

（4）事前・中間評価の結果の研究への反映状況

（中間評価を実施していないものは事前評価の結果の研究への反映状況）

下記のように事前評価でいただいたご意見を参考にさせていただいた。

- ・事前評価：疑似ステレオ撮影について、複数の撮影時間間隔のパターンを考慮。
反映状況：10秒、20秒、30秒の時間差で4枚撮影し、解析の際に複数のパターンを考慮できるようにした。
- ・事前評価：夜間観測。疑似観測よりも2台のカメラによるステレオ撮影。
反映状況：本研究内でこれらの意見を直接反映させることは出来なかったが、経常研究 D3 課題の中で、夜間観測にも対応したより安価な全天カメラを開発し、それを2台用意した。現在、本研究で開発したプログラムをベースにし、昼夜のステレオ撮影による解析手法の開発を進めている。

（5）今後の課題

- ・雲分布の判別に関して、巻雲を晴れと誤判別する例が多かった。この問題は、画素のRGB色情報、輝度の時間変化だけでは完全には克服できないことが分かった。テクスチャ解析等、ある範囲の面情報を利用することで克服できるかもしれない。

- ・ 雲の高度分布の解析に関して、上下雲をはっきりと区別できるケースは少なかった。疑似ステレオ撮影には限界があることが分かったため、今後は2台のカメラを使ったステレオ撮影の開発に切り替えて進めていく。
- ・ アンケート調査の結果、業務活用に向けて複数の要点が判明した。動画や雷光撮影も興味深いですが、まずは、航空気象観測に向けて雲や視程観測に向けた開発を進めたい。

自己点検

(1) 到達目標に対する達成度

① 全天カメラを使った雲の地上観測システムの構築

目標通り、準リアルタイムで撮影画像と動画を公開するシステムを構築できた。その上、データ圧縮の成功により、当初想定していなかった雲の解析結果も準リアルタイムで公開することが可能となった。このため、想定以上の成果が得られた。

② 高度別の雲分布の導出方法の開発

雲分布の導出に関しては、想定通り、先行研究と同等か少し上の性能を示す結果が得られた。雲の高度分布に関しては、雲の多層構造とらえることが出来なかったケースの方が多く、実用からほど遠い結果であった。元々挑戦的な手法であることは認識しており、事前評価でも難しいとの意見をいただいていた。このため、自己点検としては想定内の結果が得られたといえる。また、ここで開発された解析技術は、2台のカメラによる立体視につながることを想定しており、予定通り技術開発を進めることができた。

③ 現業での利用実験

当初、大阪管区気象台の観測課内での調査を想定していたが、大阪管区内の気象台に対する幅広いアンケート調査を実施することができた。これにより、気象庁の広い業務に対する意見をいただくことができた。今後の全天カメラの開発方針を考える上で非常に有用な意見が得られた。このため、想定以上の成果が得られた。

(2) 到達目標の設定の妥当性

概ね目標通りかそれ以上の成果が得られたため、到達目標の設定は妥当だったといえる。しかし、コロナ禍のため通常とは異なる業務環境であったこともあり、通常業務と調査研究の両方を進めることになった大阪管区の担当者の負担が大きかった。コロナ禍を想定した目標設定をすることは不可能だが、段階的な目標を明確に設定することは必要であった。

(3) 研究の効率性（実施体制、研究手法等）について

研究開始前の年度から、全天カメラの設置、大阪管区と気象研の作業分担、両者の開発環境を踏まえた使用プログラミング言語の選定（python）など、実施体制に関する打合せを重ね、初年度すぐに研究を開始できる体制を整えた。観測データの共有は、大阪管区の行政端末からもアクセス可能な気象研のクラウドサーバーから行うことで、USBメモリなどの行政端末への接続を禁じられている媒体を必要としない体制を整えた。以上により、効率的に研究を進めることができた。しかし、大阪管区の担当者は現業当番に入ることがあり、全員集まってオンライン会議を行うことが難しかったため、打合せはメールや電話などによる個別連絡が主体となった。このため、メンバー全員で情報を共有するという点で不十分さがあつた。

(4) 成果の施策への活用・学術的意義

本研究で得られた成果は、目視観測を代替できるほどの結果ではなかったものの、目視観測の空白地点と時間帯を補うには十分な成果である。本研究期間中、旧航空気象観測整備運用室から、空港における雲分布の観測に使いたいとの打診があり、女満別空港に設置するところまで計画が立てられたが、コロナ禍による予算の遅れと気象庁の組織改編のため、計画が中止となった。しかし、気象技術開発室より、静止気象衛星の雲量プロダクトの検証のために、カメラ観測の使用を検討したいとの問い合わせがあり、夜間撮影、ステレオ撮影などの今後の開発次第では、様々な気象庁業務への活用が見込まれる。

学術的には、気象庁以外の研究機関が持つ、目視観測ができない多くの観測地点で、目視に準ずる自動観測が可能になることに大きな意義がある。研究代表者の工藤が参加しているスカイラジオメー

タの国際地上観測網 SKYNET では、雲とエアロゾルのプロダクトが開発されている。全天カメラはこのプロダクトの発展に貢献することができる。さらに、研究代表者の工藤は、2023 年打ち上げを予定している日欧共同プロジェクトの EarthCARE 衛星、現在進行中のアメリカ、カナダ、フランス、ドイツ、日本が参加する国際衛星プロジェクトに参加しているため、これらの衛星プロダクトの検証に活用することを計画している。これらを通して、本研究の成果をより広い規模で活用することが見込まれる。

(5) 総合評価

目標通り、全天カメラによる雲の地上観測システムを構築した。また、アンケート調査などを通して、気象庁内の幅広い業務への活用方法と今後の開発方針を見出すことができた。さらに、近畿地区気象研究会、気象学会関西支部での講演を通して、気象庁内外に本研究の成果を周知することができた。以上により、研究期間が 2 年であることを考慮すると十分な成果を上げたと考えられる。

研究成果リスト

(1) 査読論文

なし。

(2) 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

なし。

(3) 学会等発表

ア. 口頭発表

・国際的な会議・学会等

なし。

・国内の会議・学会等（2 件）

1. 工藤玲，全天カメラによる雲のリモートセンシング，令和 3 年度日本気象学会関西支部第 1 回例会，2021 年 12 月，大阪
2. 工藤玲，全天カメラによる雲のリモートセンシング，令和 3 年度大阪管区気象台近畿地区気象研究会兼大阪管区台内談話会，2021 年 12 月，大阪

イ. ポスター発表

・国際的な会議・学会等

なし。

・国内の会議・学会等

なし。

報道・記事

なし。

その他（「成果の他の研究への波及状況」関連）

なし。

沖縄地方の低周波地震の震源決定と発生状況等の調査

研究期間：令和2年度～令和3年度

研究代表者：水岸研二（沖縄気象台地震火山課 主任技術専門官）R2年度
崎原裕和（沖縄気象台地震火山課 主任技術専門官）R3年度

研究担当者：

〔沖縄気象台〕川門義治、崎濱秀晴、古謝秀和、松代 崇
〔地震津波研究部〕溜渕功史

研究の背景・意義

現在、気象庁では南海トラフ沿いの深部低周波地震やゆっくりすべりの監視を行い、南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会等の検討に利用している。また近年、南海トラフ沿いだけでなく、東北地方の日本海溝沿いなどでプレート境界の浅部で発生する浅部低周波地震（微動）やゆっくりすべりの研究が盛んに行われている。

しかし、沖縄地方のプレート境界付近で発生するゆっくりすべりや低周波地震活動については、振幅が小さいために気象庁では決定できていない状況である。琉球大学の中村教授は、気象庁の地震波形データを用いて、沖縄地方の低周波地震の震源を自動で決定し、研究材料として利用している。しかし、その事例は限られており、巨大地震を発生させるような固着域の有無は解明されていない。当台では、令和元年度の地震火山部地震火山技術検討会の調査において、繰り返し相似地震の発生場所と中村教授が決定した低周波地震の発生場所が異なることなどを報告した。

このように、沖縄地方のプレート境界の固着状態を把握するための一つの方法として、低周波地震の活動状況を明らかにすることは重要である。そのためには、低周波地震の震源を自動で決定し、通常地震やゆっくりすべりとの発生場所の関係をさらに調査する必要がある。以上のことから、地方共同研究を提案する。

研究の目的

低周波地震を自動で検出し、低周波地震と通常地震やゆっくりすべり地震との発生場所を明らかにすることにより、沖縄地方のプレート境界の固着状況解明に繋げることを目的とする。

研究の目標

- ・既存の浅部低周波地震の検出プログラムの環境を用いて沖縄地方の低周波地震の震源決定を行い、低周波地震の発生頻度、発生場所を確認する。
- ・繰り返し相似地震やゆっくりすべりと低周波地震の発生場所を比較する。
- ・低周波地震、ゆっくりすべり、繰り返し相似地震の活動状況の取りまとめを行う。

研究成果

（１）成果の概要

- ・既存の浅部低周波地震の検出プログラムの環境構築のため、2020年6月頃に端末を購入し、地震火山部ネットワークと接続できるよう設定した。これにより、気象研究所整備のサーバにアクセスし、リアルタイムに処理結果を確認することができるようになった。
- ・浅部低周波地震の検出プログラムについて、1年目においては南海トラフの海底地震観測で設定しているパラメータ（バンドパスフィルタ 2-8Hz）を流用したところ、2020年4月から2021年3月の間で2020年4月の1事例の検出にとどまった。そのため、実際に低周波地震の活動がなかったのか、検出条件によるものかを調査するため、琉球大学の中村教授の低周波地震リストと比較した。その結果、2020年4月はいずれでも検出されたが、2020年6月など検出数に差があることがわかった。
- ・事例を蓄積するため、琉球大学の中村教授の低周波地震リストにある時刻を基に、2016年、2018年、2020年から2021年6月の期間について低周波地震波形の目視による確認および検出を行った。その結果、低周波地震リストにある1010個に対して、低周波地震波形を27個確認し、そのうち検出により17個の震源を決定することができた。低周波地震リストの中には2020年6月頃の沖縄トラフの地震活動によるものが含まれていることがわかった。
- ・蓄積した事例を基に、浅部低周波地震の検出パラメータの調整を行うため、2020年4月3日、6月

25日に発生した低周波地震の事例に対してスペクトル解析を行い、卓越周期の確認を行った。その結果、4月3日の事例では低周波地震の卓越周期は1-10Hzで、南海トラフにおける低周波地震と卓越周期はほぼ同じであることがわかった。6月25日の事例ではどの周波数でも定常ノイズとほぼ同じであったことから、バンドパスフィルタの周波数パラメータの調整のみによる改善は見込めないことがわかった。

- ・低周波地震、通常地震、ゆっくりすべり、繰り返し相似地震の活動状況をまとめるため、本研究で決定した低周波地震の震源を用いて検証するには数が少ないことから、比較には琉球大学の中村教授の低周波地震データを用いることとした。また、通常地震についてはプレート境界で発生していると考えられる逆断層型の地震の発生場所、繰り返し相似地震については令和2年までに沖縄気象台で調査した発生場所、ゆっくりすべりについては、西村（2019，第222回地震予知連絡会資料）「GNSSデータから推定された南西諸島の短期的スロースリップイベント」から引用して、それぞれの地震発生場所を比較した。その結果、スロー地震（低周波地震、ゆっくりすべり）と普通の地震（通常地震、繰り返し相似地震）は、発生場所が重ならないようであることを確認した。ただし、波照間島付近では、低周波地震と繰り返し相似地震が近接して発生していることから、両者の地震活動経過図を確認したところ、M4程度の地震の前後に低周波地震が発生している事例があったが、相互の地震への関連は明瞭ではなかった。
- ・既存の低周波地震検出プログラムでは2020年4月3日の1事例の検出で、既存手法のパラメータチューニングによる検出数の向上が困難であった。そこで、既存のエンベロープ相関法に加えて、最大振幅を同時に考慮した自動震源決定手法（ハイブリッド法）を気象研究所で新たに開発し、先島諸島の地震波形に適用した。その結果、2016年5月に66個、2020年4月、6月に32個、それぞれ低周波地震の候補を検出することができた。

（2）当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

1年目の調査で低周波地震検出プログラムによる検出が1事例にとどまった。これについて、実際に低周波地震の活動がなかったのか、検出条件によるものかを調査するため、琉球大学の中村教授の低周波地震リストにある時刻を基に、低周波地震波形の目視による確認および検測を行った。

（3）成果の他の研究への波及状況

なし

（4）事前・中間評価の結果の研究への反映状況

事前評価の結果では、地方の方が地震波形を解析する力を涵養できるようにすることに留意して進めるよう指摘があった。また、1年目の調査で低周波地震を1事例しか検出できなかった点については、活動がなかったのか、あるいは検知能力の限界なのかといった点も踏まえることや過去の地震波の利用ができないか検討してはどうかというコメントがあった。

そのため、沖縄地方で発生する低周波地震の検測作業を通じた実波形の確認を琉球大学の中村教授の低周波地震リストを基に行った。また、低周波地震波形のスペクトル解析による周波数特性を確認することで、地域的な特徴があるのかを調査した。

（5）今後の課題

- ・沖縄地方の低周波地震の特性に基づく検出条件や手法を検討する。
- ・繰り返し相似地震、低周波地震、ゆっくりすべりについて、より事例を蓄積して相互関係を調査する必要がある。

自己点検

（1）到達目標に対する達成度

成果の概要の各項目については、既存の浅部低周波地震の検出プログラムによる自動検出は困難だったが、琉球大学と連携してカタログを整理することで、当初の目的はおおむね達成できたと考える。既存の浅部低周波地震の検出プログラムの環境を用いて、沖縄地方の低周波地震の震源を自動で検出する数を増やすことが難しく、また、検測による低周波地震の震源決定についても容易ではなかった。

(2) 到達目標の設定の妥当性

低周波地震の検出数は少ないものの、低周波地震に関する知見の蓄積を行う上では、本研究の目標設定としては妥当であったと考える。

(3) 研究の効率性（実施体制、研究手法等）について

- ・Microsoft Teams を利用することにより、気象研究所と沖縄気象台の研究担当者間における連絡や研究内容に関する議論を容易かつ迅速に行うことができた。
- ・地震火山部ネットワークを介して気象研究所整備のサーバにアクセスすることにより、リアルタイムに処理結果を確認することができ、効率的に研究を実施できた。

(4) 成果の施策への活用・学術的意義

事例は少ないが、現状の地震観測環境で観測可能な沖縄地方の低周波地震データの発生場所を確認できた。本研究は、今後の沖縄地方における低周波地震に関する研究の基礎資料になると考えられ、また、地震中枢（東京、大阪）での将来の検出業務等への展開につながると考える。

(5) 総合評価

沖縄地方における低周波地震の検出作業による実波形の確認や低周波地震波形のスペクトル解析を行うことにより、観測される低周波地震の振幅が小さく定常ノイズに埋もれている事例が見られ、既存の低周波地震検出プログラムによる自動検出が難しいことがわかった。また、通常地震や繰り返し相似地震やゆっくりすべりとの発生場所を比較した結果、スロー地震（低周波地震、ゆっくりすべり）と普通の地震（通常地震、繰り返し相似地震）は、発生場所が重ならないようであることを確認したが、相互の地震への関連性についてまではわからなかった。

本研究は、沖縄地方のプレート境界で発生する地震に関しての調査研究の基礎資料になると考えられることや、沖縄職員の技術向上に資することができたことから、この研究を行う意義はあったと考える。

研究成果リスト**(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. 水岸研二，古謝秀和，川門義治，城間康司，野田真彦，2021：沖縄地方の低周波地震の震源決定と発生状況等の調査，令和2年度沖縄技術ノート，沖縄気象台。
2. 崎原裕和，古謝秀和，崎濱秀晴，城間康司，松代崇，2022：沖縄地方の低周波地震の震源決定と発生状況等の調査，令和3年度沖縄技術ノート，沖縄気象台。

(3) 学会等発表**ア. 口頭発表**

- ・国際的な会議・学会等

なし

- ・国内の会議・学会等

1. 水岸研二・古謝秀和・川門義治・城間康司・野田真彦（沖縄気象台），沖縄地方の低周波地震の震源決定と発生状況等の調査，令和2年度沖縄管内調査発表会，2020年11月，沖縄気象台
2. 崎原裕和・古謝秀和・崎濱秀晴・城間康司・松代崇（沖縄気象台），沖縄地方の低周波地震の震源決定と発生状況等の調査，令和3年度沖縄管内調査発表会，2021年11月，沖縄気象台
3. 野田真彦・水岸研二・古謝秀和・川門義治・城間康司（沖縄気象台）・溜渕功史（気象研究所），沖縄地方の低周波地震の震源決定と発生状況等の調査，気象庁，令和2年度地震火山技術検討会，2021年2月，東京都港区（オンライン）
4. 崎原裕和・古謝秀和・崎濱秀晴・城間康司・松代崇（沖縄気象台）・溜渕功史（気象研究所），沖縄地方の低周波地震の震源決定と発生状況等の調査，気象庁，令和3年度地震火山技術検討会，2022年3月，東京都港区（オンライン）

イ. ポスター発表

- ・国際的な会議・学会等

なし

- ・国内の会議・学会等

なし

報道・記事

なし

その他（「成果の他の研究への波及状況」関連）

なし

高精度な津波数値計算結果を用いた津波の地域特性の理解

研究期間：令和2年度～令和3年度

研究代表者：南 雅晃（地震津波研究部第四研究室）

研究担当者：

令和2年度

〔仙台管区气象台〕 藤田正義、後藤 峻、田中満幸

〔大阪管区气象台〕 瀧本絵里香、佐藤悠弥、沼野あかね、兵藤 守、小原久典、新納孝寿

〔高知地方气象台〕 瀬戸博巳、川田敏弘

〔石垣島地方气象台〕 石川 徹、赤嶺 拓、宮城 健

令和3年度

〔仙台管区气象台〕 藤田正義、後藤 峻、増田颯貴

〔大阪管区气象台〕 瀧本絵里香、湯浅雄平、佐藤悠弥、沼野あかね、兵藤 守、小原久典、竹添竜也

〔高知地方气象台〕 三木洋介、飯盛 裕、川田敏弘、藤田選哉、北村光良、岡野泰貴、佐藤 信、竹下京佑、肥塚大樹

〔石垣島地方气象台〕 儀間英斗、石川 徹、宮城 健

研究の背景・意義

（社会的背景・意義）

2011 年東北地方太平洋沖地震による巨大津波によって、東北地方を中心に甚大な被害が発生した。この事態を受け国や各地方自治体では、次に発生しうる津波災害の被害想定、避難想定のために、津波数値シミュレーションによるハザードマップの作成などが行われている。例えば、内閣府の南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループによる、南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等とその被害想定は、考えうる最大の地震を想定しつつ、現時点で最も妥当であると考えられる津波数値シミュレーション方法を用いた計算が行われている。さらに、各都道府県でも、その地域に被害を及ぼしうる津波の被害想定も行っており、その際も概ね同様の手法で津波数値シミュレーションが行われている。これらの数値シミュレーション結果は、計算結果がそのまま防災に利用出来るものではなく、結果を専門家が読み解き、その読み解いた結果を行政や一般の国民が利用する形になる。この結果の詳細な読み解きには、津波数値シミュレーションの知識が必要であり、その知識の蓄積には、実際に津波数値シミュレーションを行うしかないが、そのための手段は限られている。その中で地方气象台等の職員には、津波のホームドクターとして、それぞれの地域での津波数値シミュレーション結果の解説や、それらを防災に生かすためのアドバイスなどの専門知識が求められている。このような背景の中で、各官署が、今回の地方共同研究において、各地域の津波数値シミュレーションを行うことによって、各地域の津波の特徴や、津波数値シミュレーションの知識を習得することにより、津波ハザードマップの結果の解説など各地方自治体へのアドバイスなどが可能になり、各地域の防災能力の向上が期待出来、その社会的意義は大きい。

（学術的背景・意義）

津波数値シミュレーションを用いた研究の最も根源たる目的はその精度の向上である。また、津波数値シミュレーションを用いた研究は数多く行われているが、津波研究者の数は決して多くはなく、各大学の所在する地域や、よく解析に用いられる地域を対象を絞った研究がその多くを占め、個別具体の地域全てについて詳細に解析するには至っていない。翻って、津波は沿岸地形や海底地形の効果などにより局地的に高くなることがあり、個々の狭い範囲の地点での津波の正確な予測を行うこともまた重要である。そこで、気象研究所で行った高精度な計算結果等を各官署で詳細に検証し、各地方において自らの地方に特化した解析を行うことによって、これまで明らかになっていなかった各地方に特化したそれぞれの地域の津波の特性を見出し、その知見を津波数値シミュレーションのパラメータ設定や地形データなどに取り入れることによって、その計算精度の向上などが期待できる。

（気象業務での意義）

社会的背景でも述べた通り、津波数値シミュレーションの知識の習熟には実際に津波数値シミュレーションを行うことが必要であるが、地方气象台等ではそのための手段が少ない、その中で今回の地

方共同研究により、各官署において津波数値シミュレーションを行うことによって、各官署の担当職員のスキルアップが可能となる。今回の地方共同研究で得られた経験・知識によって、津波防災業務に関する業務遂行能力の大幅な向上が期待される。

研究の目的

各々の地方において観測されたり予測されたりしている周辺に比べて局地的に高い津波が、地形効果などその地域特有の現象であるのか、それともその他に原因があるのかを、様々な条件で行った津波数値計算を定量的に評価することにより、各地方における津波の地域特性を見いだす。加えて津波数値計算の精緻化による効果なども明らかにする。

研究の目標

各地域の津波の地域特性を把握するために、津波計算の各種パラメータ等を様々に変化させて計算を行う、さらに計算に用いる地形データの精緻化を行い計算を行うなどして、それらが計算結果に与えるインパクトを評価することを目標とする。

研究成果

(1) 成果の概要

【仙台管区気象台の結果概要】

仙台管区気象台では、1年目は1960年チリ地震を対象とした遠地津波の解析を行った。現在広く利用されている断層モデルを使い90秒メッシュで計算を行った場合、その計算結果は記録されている最大波高よりも過大になることが分かった。2年目は2003年十勝沖の地震を対象として解析を行い、4秒メッシュの精緻な地形を用いて計算を行った。その結果、気象庁業務で用いられている60秒メッシュや30秒メッシュの計算と比べて、三陸沿岸の各湾での津波の表現が向上し、同じ湾内でもより津波が高くなる場所を特定することが出来た。

【大阪管区気象台の結果概要】

大阪管区気象台では、1年目は想定南海トラフ地震や、2004年の紀伊半島南東沖の地震、想定鳥取沖地震などの事例で解析を行い、断層パラメータの違いによる波高の違いや、検潮所付近の地形解像度による検潮所のあるメッシュでの波高の違いを明らかにした。2年目は2004年の紀伊半島南東沖の地震を対象を絞り解析を行い、10秒メッシュ及び3.3秒メッシュの地形での比較、さらには非線形長波方程式と、線形長波方程式での計算の比較も行った。その結果、10秒非線形長波と3.3秒非線形長波での計算結果と、観測値との波形の比較でRMSE (Root Mean Square Error) がほとんど変化せず、今回の事例では非線形長波方程式を用いた計算では、10秒メッシュ地形の計算と3.3秒メッシュ地形での計算で精度に大きな違いがないことを明らかにした。

【高知地方気象台の結果概要】

高知地方気象台では、南海トラフの歴史地震を対象とし解析を行った。1年目は1707年宝永地震、1854年安政南海地震、1946年昭和南海地震を対象として10秒メッシュ地形を用いて計算を行い、記録されている遡上高などと比較した。その結果現在広く用いられている断層モデルを使用した場合、すべての事例で高知県内では室戸岬付近などの県東部では計算値が過大の傾向を示し、それ以外の県中部～西部では計算値が過少の傾向を示すことを明らかにした。2年目は同じ地震を対象とし、解析に使用する場所を宿毛市の宿毛湾付近に対象を絞り解析を行った。まず、古文書(小野家家譜)の記載から現地調査を行い、古文書記載の遡上高の計測(追試)を行った。計算結果とそれら古文書の記載と計測した遡上高を比較したところ、津波の押し引きや周期はおおむね一致したが、遡上高に関しては計算値がやはり過少となる結果であった。

【石垣島地方気象台の結果概要】

石垣島地方気象台では、1年目は2011年東北地方太平洋沖地震を対象として非線形長波計算と線形分散波計算の計算を行いその比較を行った。2年目は1986年台湾付近の地震を対象として、30秒メッシュ地形と2秒メッシュ地形での計算を行い、その比較と地域特性の解析を行った。その結果、今回の事例では先島諸島の各島では島の北側が津波が高くなりやすいことが分かった。台湾は先島諸島から見て西側にあり直感と反する。これは台湾東岸で起こった津波の場合、先島

諸島北側、東シナ海側の水深の浅い領域を経由した津波はより屈折しやすく、島の北側に大きく及ぼすのに対して、先島諸島南側、琉球海溝の水深の深い領域を経由した津波は、その伝播速度が速く屈折しづらいため、島の南側は津波の波高が小さくなることが分かった。

(2) 当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

変更なし

(3) 成果の他の研究への波及状況

気象研究所では、経常研究S課題「地震と津波の監視・予測に関する研究」の副課題3「津波予測に関する研究」において、長時間継続する津波の推移を予測するため、沿岸域の地形や摩擦等のパラメータを改善して津波数値計算の精度向上を図る研究を実施している。その中で、今回の津波数値シミュレーションで用いられている計算モデルの改良のための計算に、地方共同研究の計算結果を用いてその比較を行うなど、気象研究所経常研究への波及効果があった。

(4) 事前・中間評価の結果の研究への反映状況

事前評価の結果では、複数の地方官署との間で研究を行っていくことから、適切なツールを利用するなどして、緊密に連絡を取り研究を効率的に進めていけるよう工夫するように指摘があった。そのためこの後の自己点検でも記載しているが、既存の各種のWebツール(グループウェア)等を最大限に活用し、情報交換や打ち合わせ等を行い、参加した全官署で情報を共有出来るよう効率的に研究を進めた。また津波解析の方法や、過去のシミュレーション結果との違いなどの知見を気象研究所側から地方官署側へよく共有するようにとの指摘があった。そのため、解析対象とする津波の先行研究の紹介やその読み解き方、さらには計算結果の解析の際の注意点や使用する津波モデルの特徴など、これまでに気象研究所で得られている知見をその都度共有した。

(5) 今後の課題

研究内容としては、すべての官署で概ね目標とする成果を得ることが出来たことから、特筆すべき課題はなかった。

今後の地方気象台等における、津波数値シミュレーションに関する技術習得という面では、津波数値シミュレーションのように、気象庁業務として重要(津波は年あたりの災害による死者数、被害額などは自然災害の中でも気象と同程度かそれ以上)であるが、現象が低頻度で実際の担当者が少ない業務の技術習得に関しては、技術の進歩や詳細化に伴って、職員個々人の努力だけではその技術の継続が不可能となるような事態がすぐそこまで来ており、これらの技術習得は今回の地方共同研究のような機会がない限り、各職員による自己研鑽でしか成しえない状況にある。このような技術習得について、どのようにすれば継続していけるのか、気象庁全体で考えていく必要があると感じられた。

自己点検

(1) 到達目標に対する達成度

本研究では、津波の地域特性の把握を目標としていたが、各官署において気象庁の津波予報データベースに用いられている30秒メッシュ計算よりもより精緻な2秒メッシュや3.3秒メッシュなどの津波数値シミュレーションを行い各地域の津波の特性を解析し、それらを研究会誌としてまとめて、その結果を文献として残すことが出来たことから、到達目標は達成されたと考えられる。

(2) 到達目標の設定の妥当性

地方官署においては、管轄する管内の津波の特性を把握することは気象業務としても重要であり、津波の研究としても基本的な研究のひとつであり、本研究の到達目標は妥当であったと考える。

(3) 研究の効率性(実施体制、研究手法等)について

Microsoft teamsを用いたWeb会議方式での研究進捗確認のための打ち合わせなど、(現地調査などを除き)研究の全てをネットワーク上で完結し行った。これらはCOVID-19対応もあり、もはや通常の手法となったが、本研究では予算の制約等により、当初から対面での研究打ち合わせや、現地での研究発表の確認などが不可能であった。しかしながら図らずもこれらオンラインでの作業環境

が整ったこともあり、スムーズに効率的に研究の進捗が可能であった。また高知地方気象台で行われた現地調査は、気象観測装置の点検業務の間合いで行うなど効率的に行っている。研究手法に関しては、各官署で購入した解析用 PC で行える計算は各官署で行い、そうでない大規模な計算のみ気象研究所スーパーコンピュータを用いて行うなど効率性も重視して研究を進めた。

(4) 成果の施策への活用・学術的意義

各官署での調査結果は各管内の調査研究会誌の形でまとめられており、今後、各官署の津波特性調査する場合の基礎資料として利用できる形となっている。これらは、各管内の津波に関して解説する際の基礎資料でもあり、また学術的な調査を行う際の基礎資料ともなり得るものである。

(5) 総合評価

本研究を通じて、地方官署で津波数値シミュレーション結果を解析するための技術の基盤を作ることが出来た。本研究の事例解析においても、一定程度の津波の地域特性を見出すことが出来たが、今後、今回のような調査研究をさらにを行い、多くの事例解析の蓄積がなされれば、それらの結果からさらなる津波の地域特性や学術的に重要な成果が得られることも期待できる。これらのことから、将来的な研究・技術開発へとつながる成果を得ることが出来たと言える。

研究成果リスト

(1) 査読論文

なし

(2) 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

- ・藤田正義・後藤峻，JAGURS によるチリ地震津波の断層モデルの精度検証，令和 2 年度仙台湾区調査研究会資料 49～50 ページ，仙台湾区気象台。
- ・瀧本絵里香・佐藤悠弥・沼野あかね・兵藤守・小原久典，津波シミュレーションコード（JAGURS）を用いた大阪管内の津波特性調査，令和 2 年度大阪管区気象研究会誌，大阪管区気象台。
- ・瀬戸博巳・川田敏弘・三木洋介・新垣優治・岡野泰貴，JAGURS による南海トラフで発生する地震の土佐湾沿岸での津波特性調査，令和 2 年度大阪管区気象研究会誌，大阪管区気象台。
- ・藤田正義・後藤峻・増田颯貴，JAGURS を用いた平成 15 年（2003 年）十勝沖地震を対象とした津波地域特性の基礎調査，令和 3 年度仙台湾区調査研究会資料，仙台湾区気象台。
- ・瀧本絵里香・湯浅雄平・佐藤悠弥・兵藤守・沼野あかね・小原久典，JAGURS を用いた 2004 年 9 月 5 日三重県南東沖の地震における大阪管内の津波特性調査，令和 3 年度大阪管区気象研究会誌，大阪管区気象台。
- ・三木洋介・飯盛裕・川田敏弘・藤田選哉・北村光良・佐藤信・竹下京佑・岡野泰貴・肥塚大樹，JAGURS による南海トラフで発生する地震の宿毛湾での津波特性調査，令和 3 年度大阪管区気象研究会誌，大阪管区気象台。
- ・儀間英斗・石川徹・宮城健・赤嶺弘，高精度な津波数値計算コード（JAGURS）を用いた津波の地域特性の調査，2022 年，沖縄技術ノート第 86 号，沖縄気象台。

(3) 学会等発表

A. 口頭発表

・国際的な会議・学会等

なし

・国内の会議・学会等

藤田正義・後藤峻，JAGURS を用いたチリ地震津波の断層モデルの精度検証，気象庁，令和 2 年度地震火山技術検討会，2021 年 2 月，東京都港区(オンライン)

瀧本絵里香・湯浅雄平・沼野あかね・佐藤悠弥・兵藤守・小原久典，津波シミュレーションコード（JAGURS）を用いた大阪管内の津波特性調査，気象庁，令和 2 年度地震火山技術検討会，2021 年 2 月，東京都港区(オンライン)

藤田正義・後藤峻・増田颯貴，JAGURS を用いた平成 15 年（2003 年）十勝沖地震を対象とした津波地域特性の基礎調査，気象庁，令和 3 年度地震火山技術検討会，2022 年 3 月，東京都港区(オンライン)

イ. ポスター発表

・国際的な会議・学会等

なし

・国内の会議・学会等

なし

報道・記事

なし

その他（「成果の他の研究への波及状況」関連）

なし