令和7年度 研究計画

気象研究所
令和7年4月

I	研究課題構成の概要	3
II	気象業務に関する技術の研究開発に必要な経費による研究課題	4
1	経常研究課題	4
	「基盤技術研究」	4
	（M課題）階層的な地球システムモデリングに関する研究	5
	（P課題）大気の物理過程の解明と物理過程モデルの開発に関する研究	13
	（D課題）データ同化技術と観測解析技術の高度化に関する研究	20
	「課題解決型研究」	27
	（T課題）台風・線状降水帯等の顕著現象の機構解明と監視予測技術の高度化に関する研究	28
	（C課題）気候システム及び炭素・生物地球化学循環の解明・評価・予測に関する研究	34
	「地震・津波・火山研究」	40
	（S課題）地殻活動・地震動・津波の監視・予測に関する研究	41
	（V課題）火山活動の監視・評価及び予測技術に関する研究	44
	「応用気象研究」	48
	（A課題）気象・気候予測の社会経済活動への高度利用に関する研究	49
2	地方共同研究	53
	メソ・局地アンサンブルを利用した顕著現象に対する最適予測シナリオの構築	54
3	緊急研究	55
	線状降水帯・台風等に関する集中観測による機構解明及び予測技術向上	56
III	外部資金（移替予算）による研究課題	60
1	地球環境保全等試験研究費〔地球環境保全試験研究費（地球一括計上）〕	61
	日本域に沈着する光吸収性不純物に起因する雪氷面放射強制力の時空間変動監視と気候システムへの影響解明	61
2	研究開発と Society 5.0 との橋渡しプログラム（BRIDGE）	65
	局地的・突発的な荒天対策のためのスタートアップとの連携：AI を用いたリアルタイム防災フィールド構築	65

I 研究課題構成の概要

気象研究所における令和7年度の研究計画は、気象業務に関する技術の研究開発に必要な経費による研究課題及び外部資金（移替予算）による研究課題で、研究計画の概要は以下のとおりである。

気象業務に関する技術の研究開発に必要な経費による研究課題

	研究課題数			
	基盤技術研究	課題解決型研究	地震・津波・ 火山研究	応用気象研究
経常研究	3 課題	2 課題	2 課題	1 課題
地方共同研究	1 課題			
緊急研究	1 課題			
計	10 課題			

外部資金（移替予算）による研究課題

	研究課題数
地球環境保全等試験研究費	1 課題
研究開発と Society 5.0 との橋渡しプログラム	1 課題
計	2 課題

Ⅱ 気象業務に関する技術の研究開発に必要な経費による研究課題

1 経常研究課題

「基盤技術研究」

研究課題	<p>(M課題) 階層的な地球システムモデリングに関する研究 副課題1：短期から長期予測課題に応用可能な地球システムモデルの開発に関する研究 副課題2：海洋予測技術の開発及び海洋現象の機構解明に関する研究 副課題3：海洋及び大気海洋結合系のデータ同化に関する研究 副課題4：週間から季節予報のための予測システム開発に関する研究 副課題5：大気微量成分の監視予測技術と気象・気候影響に関する研究</p>
研究期間	令和6年度から5年間（5年計画第2年度）
担当者	<p>○永戸久喜 全球大気海洋研究部長 (副課題1) [全球大気海洋研究部] ○辻野博之、出牛真、大島長、吉田康平、吉村裕正、高谷祐平、足立恭将、安井良輔、中野英之、浦川昇吾、平原翔二、堀直登(併任)、宮本雅俊(併任) [気象予報研究部] 川合秀明、長澤亮二、庭野匡思 [気象観測研究部] 堀田大介 [気候・環境研究部] 石井正好、保坂征宏、水田亮、行本誠史 (副課題2) [全球大気海洋研究部] ○中野英之、浦川昇吾、平原翔二、青木邦弘、川上雄真、藤井陽介、碓氷典久、広瀬成章、辻野博之、吉村裕正、高谷祐平、足立恭将、新藤永樹(併任)、住友雅司(併任)、金濱貴史(併任)、平原幹俊(併任)、川村知裕(併任)、山田広大(併任)、佐藤大卓(併任)、大江光穂(併任)、高槻靖(併任) [研究総務官] 山中吾郎 [気候・環境研究部] 豊田隆寛 [応用気象研究部] 高野洋雄 (副課題3) [全球大気海洋研究部] ○石川一郎、藤井陽介、碓氷典久、広瀬成章、中野英之、浦川昇吾、青木邦弘、川上雄真、吉村裕正、高谷祐平、中村貴(併任)、杉本裕之(併任)、櫻木智明(併任)、浅井博明(併任)、佐々木春花(併任)、一色香菜子(併任)、七海仁美(併任) [研究総務官] 山中吾郎 [気象観測研究部] 石橋俊之 [気候・環境研究部] 豊田隆寛、遠山勝也 [応用気象研究部] 高野洋雄 (副課題4) [全球大気海洋研究部] ○吉村裕正、高谷祐平、足立恭将、安井良輔、中野英之、浦川昇吾、平原翔二、石川一郎、藤井陽介、出牛真、吉田康平、山口春季(併任)、久保勇太郎(併任)、越智健太(併任) [気象予報研究部] 川合秀明 [気候・環境研究部] 関澤徳温、保坂征宏、豊田隆寛 [応用気象研究部] 直江寛明 (副課題5) [全球大気海洋研究部] ○眞木貴史、足立光司、梶野瑞王、安井良輔、出牛真、大島長、関口亮平(併任)、幸田笹佳(併任) [気象予報研究部] 関山剛、 [気象観測研究部] 酒井哲、及川栄治 [応用気象研究部] 直江寛明</p>
目的	<p>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「階層的な地球システムモデル」の考え方に基づいて研究を進める。これにより、地球温暖化予測、季節予報、海況監視予測、大気微量成分の監視予測、台風や集中豪雨等の顕著現象等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) 幅広い時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、モデル気候値と過去気候変動の再現性の向上を図り、気象・気候予測の精度向上と不確実性低減に貢献する。上記に加えてモデル利活用の裾野拡大を図り、地球システム要素の影響が適切に評価可能なモデルの構築を目指す。</p>

	<p>(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、日本周辺海域の極端現象や長期変動の機構を解明するとともに、将来の現業システムの高度化及び気候変動予測や日本周辺の海洋環境に係る情報の高度化に貢献する。</p> <p>(副課題 3) 地球システムの重要な構成要素である海洋及び大気海洋結合系のデータ同化システムの改良を通じて、海況監視予測情報や大気海洋結合モデルを用いた気象予報、及び気候データ同化（長期再解析）の精度向上に貢献する。</p> <p>(副課題 4) 将来の現業予測システムのための技術開発とフィジビリティ研究を行うことにより、週間から季節予報の精度向上に貢献する。</p> <p>(副課題 5) 化学輸送モデルの改良を通じて地球システムモデルの放射収支や雲・降水過程等を高精度化し、地球温暖化予測等の改善に繋げるとともに、気象業務（数値予報、環境気象等）の精度向上を目指す。大気微量成分の各種観測データを用いて化学輸送モデルを検証・改良するとともに、データ同化技術を改良しつつ、深層学習等も導入して大気微量成分の監視・予測精度の向上を図る。</p>
<p>目標</p>	<p>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空間スケールの現象の予測への影響を評価するとともに、高解像度化や初期値化について利用可能性を検討する。また、地球システム要素のコンポーネント化や計算の効率化を図ることにより、現業数値予報モデルを改善するとともに、次世代の現業数値予報モデルの仕様に係る指針を得る。</p> <p>(副課題 1)</p> <p>① モデル気候値と過去気候変動の再現性の向上・検証、及び国際モデル相互比較 ・確信度の高い気候予測を行うために、必要なモデル開発を通じて、地球システムモデル (ESM) における現在気候の再現精度を高める。CMIP7 等の国際プロジェクトへの参画等を通じて、気候変動予測の不確実性の低減と信頼性の高い科学的評価を目指す国際的な取り組みに貢献する。</p> <p>② 詳細な地域気候と顕著な地球環境イベントを再現する高解像度 ESM 開発 ・高解像度モデルを用いた気候実験を通して、地域規模の気候予測にも利用可能なプロダクト作成に向けた開発課題の整理を行う。</p> <p>③ 短期～10 年規模変動を高精度に再現する多圏間相互作用の導入と評価 ・地球システムモデルの各構成要素とそれらの相互作用を高精度に実現するモデルを構築する上で必要な開発を行う。モデル利活用の裾野拡大を図るため、地球システム各要素からの影響が適切に評価可能なモデルの構築を目指す。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>① 将来の現業業務等に資する海洋予測技術の開発 ・気象庁次期スパコンシステムにおける現業システム（季節予測システム及び日本沿岸海況監視予測システム）の更新に向けて、全球海洋モデル及び日本沿岸海況監視予測システムの改良を行う。 ・ダウンスケーリング等の手法により、様々な時空間スケールや極端現象の情報提供を可能にする海洋予測技術を開発する。 ・大気海洋結合モデルを用いた、大気及び海洋の短期予報等への結合効果の影響調査のための研究を実施する。</p> <p>② 海洋モデルの安定性、利便性、精度、及び速度の向上 ・水塊等の保存性の向上や、海氷の精緻化などによりバイアスを低減するとともに、より現実的な海洋物理過程を再現可能にするために、物理プロセス及びパラメタリゼーションを改良する。 ・多様なユーザーによる海洋モデルの円滑な実行、活用のために、前処理・後処理・解析環境の整備や出力の拡充等の利便性向上を行う。 ・海洋モデルの開発効率を向上させるため、他機関及び本庁との連携も見据えた海洋モデル開発基盤の強化を行う。 ・CPU の速度向上に頼らない高速化技法を取り入れて海洋モデルの高速化を図る。</p> <p>③ 海洋熱波等の極端現象や長期変動の機構解明 ・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。</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ・海洋熱波等の様々な時空間スケールの極端現象の検出、同定、メカニズム評価を行う。 <p>(副課題 3)</p> <ul style="list-style-type: none"> ① マルチスケールに対応する新たな海洋データ同化手法の開発 <ul style="list-style-type: none"> ・弱拘束条件の導入や高解像度衛星観測データの有効活用などにより、日本近海から全球海洋及び大気海洋結合系に適応できる統合的なデータ同化システムを開発する。 ② 大気海洋結合系のデータ同化と数値予測に関する研究 <ul style="list-style-type: none"> ・大気海洋結合同化システムについて、海面水温変動の再現性向上等を目指した改良を行い、解析性能を評価して、気候データ同化（長期再解析）への利用可能性、及び、初期値作成手法としての結合予測へのインパクトを評価する。 ③ 海洋観測の活用と海洋変動のメカニズム研究 <ul style="list-style-type: none"> ・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実施するとともに、観測システムの評価に関する国際協力を継続し、国連海洋科学の 10 年プロジェクト SynObs に貢献する。 ・海洋長期再解析データなどを用いて、海洋変動のメカニズムを明らかにする。 ④ 現業海洋同化システムの共同開発 <ul style="list-style-type: none"> ・気象庁次期スパコンシステムにおける現業システム（季節予測システム及び日本沿岸海況監視予測システム）の更新に向けて、全球海洋データ同化システム及び日本沿岸海況監視予測システムの改良を行う。 <p>(副課題 4)</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 地球システム要素を含む週間・季節予測システムの技術開発とフィジビリティ研究 <ul style="list-style-type: none"> ・地球システムモデルを使用した週間から季節予測システムの構築・開発を行う。 ・オゾン・エアロゾル・波浪等の地球システム要素の週間から季節予測での利用に向けたフィジビリティ研究を行う。 ② 週間から季節スケールの台風・極端現象の予測可能性評価と予測改善のための開発・研究 <ul style="list-style-type: none"> ・台風・極端現象の予測可能性の評価を行う。 ・アンサンブル予測、確率予測の改善に資する研究を行う。 ・モデル高解像度化による、予測への影響評価を行う。 ③ 海洋観測・初期値の週間から季節予測への影響評価 <ul style="list-style-type: none"> ・海洋同化システム、大気海洋結合同化システム、海洋観測システムの予測への影響評価を行う。 <p>(副課題 5)</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 化学輸送モデルの精緻化及び統合化 <ul style="list-style-type: none"> ・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とともに、地球システムモデルの構築を進めつつ、大気化学統合モデルの開発を継続する。 ・季節予報モデルに導入するためのオゾン簡易モデルの開発を進める。 ・領域化学輸送モデルの改良を継続するとともに、エアロゾルと降水とのフィードバック過程の解明を進める。 ② 大気微量成分データ同化システムの精緻化 <ul style="list-style-type: none"> ・エアロゾルデータ同化システムの改良を行い、複数衛星観測データの導入などエアロゾルの監視・予測精度を向上させる。 ・深層学習を用いた応用研究（オゾン代理モデル、ダウンスケーリング等）を行う。 ・複数衛星観測データの導入など大気微量成分再解析（エアロゾル、二酸化炭素）の精度向上を目指す。
研究の概要	<p>(副課題 1)</p> <ul style="list-style-type: none"> ① モデル気候値と過去気候変動の再現性の向上・検証、及び国際モデル相互比較 <ul style="list-style-type: none"> ・MRI-ESM3 をベースに、各モデルコンポーネントの改良を進め、MRI-ESM3 のトータルな性能向上を図る。各モデルコンポーネントに新しい計算スキームを導入することも検討する。 ・気候予測においてとりわけ不確実性の高い雲・エアロゾル相互作用については、モデル実験物理スキームの改良を通して、不確実性の低減を図る。開発したモデルで

気候実験（長期積分）を行い、これまでに開発を進めてきたモデル評価ツールに依拠して全球スケールでの現象再現性を評価する。

- ・安定した動作が確認された地球システムモデルで CMIP7 等の国際相互比較プロジェクトなどの国際共同研究に参加し、気候変動に関する信頼性の高い科学的評価を目指す国際的な取り組み（IPCC 等）にも貢献する。
 - ・国際共同研究によるモデル検証結果を踏まえてモデルの開発課題を整理し、モデル改善の指針を得る。
- ② 詳細な地域気候と顕著な地球環境イベントを再現する高解像度 ESM 開発
- ・大気 10km、海洋 10km 程度の高解像度モデルを構築し、長期積分実験を行う。地域規模気候に重要な熱帯低気圧や梅雨前線などの現象に焦点を当てた初期評価を行い、海洋モデルと大気モデルそれぞれの高解像度化が地域規模の気候変動再現性に及ぼす影響を系統的に調査し、開発課題を整理する。
 - ・海洋の水塊形成や変質過程は、地域的な海洋変動や気候変動を再現する上で重要であるため、改良された海洋物理スキームによってどの程度改善されたかについて検証を行う。
 - ・GPU 等の活用など将来的な計算プラットフォームの変革が想定されていることから、地球システムモデルへの対応について検討する。部外の関連機関との情報交換を進め、当該研究計画期間内に技術開発の指針を得る。
- ③ 短期～10 年規模変動を高精度に再現する多圏間相互作用の導入と評価
- ・コンポーネント間相互作用を高精度に実現するために、特に、大気化学、陸面、植生、物質循環についてのモデル開発を進める。まず、オフライン化した陸面モデルをそれらの実験プラットフォームとして活用できるようにする。その上で、他コンポーネントとの間での動作確認とモデル評価を実施する。必要に応じて、他機関で開発されたスキームの導入も検討する。
 - ・実用性の高まった開発成果を地球システムモデルに組み入れて、火山噴火による気象・気候影響を評価するための実験を行う。他課題と連携して火山噴火影響評価研究を展開する。
 - ・累積炭素排出量に対する過渡的気候応答の不確実性低減に向けて、生物地球化学循環場の精度を改善する。短期～季節スケールの変動再現に適したオゾン簡易モデル及び大気物理過程の開発についても実施する。

(副課題 2)

① 将来の現業業務等に資する海洋予測技術の開発

- ・気象庁次期スパコンシステムにおける現業システム（季節予測システム及び日本沿岸海況監視予測システム）の更新に向けて、新しいスキームやパラメタリゼーション等を導入することにより、全球海洋モデル及び日本沿岸海況監視予測システムの改良を図る。この開発は関係課室（気候情報課、海洋気象情報室、数値予報課地球システムモデル技術開発室）及び M3、M4 課題と協力して実施する。
- ・ネスティングによる港湾スケールのモデルの構築や AI の利用等によるダウンスケーリング等の手法により、様々な時空間スケールや極端現象の将来の情報提供に資する海洋予測技術の開発を行う。
- ・高解像度大気海洋結合モデル及び、大気、海洋単体モデルの比較等から、大気及び海洋の短期予報等への結合効果の影響調査のための研究を行う。これは、関係各室（数値予報課全球モデルチーム）及び M4 課題と連携して行う。

② 海洋モデルの安定性、利便性、精度、及び速度の向上

- ・鉛直座標の抜本的見直しにより海洋内部でのラグランジュ的な水塊移動をより適切に表現することで数値拡散が小さいスキームを使うことができるオプションを開発し、海洋内部のバイアス低減を図る。
- ・数値拡散の影響が小さいモデルに、近年の混合過程の知見を取り込んで評価する。
- ・ブラックカーボンの表現を含めた海氷モデルの表現を精緻化する。
- ・波浪の影響を海洋モデルに取り入れることで海面過程の精緻化を行う。
- ・本庁と協力して GPU 等の活用により、海洋モデルの高速化を図る。
- ・前処理、後処理における共用ツールの拡充等により利便性向上を図る。
- ・GitHub、Redmine 等の継続した利用により、他機関や関係各室との連携を強化する。

③ 海洋熱波等の極端現象や長期変動機構の解明

- ・感度実験の実施により、日本近海の気候変動や黒潮変動のメカニズムを調査する。
- ・モデル結果及び観測データ等から海洋熱波等の様々な時空間スケールの極端現象の検出、同定、及びメカニズムの評価を行う。

(副課題 3)

① マルチスケールに対応する新たな海洋データ同化手法の開発

- ・日本近海から全球海洋及び結合システムに利用可能な統合的同化システムの構築を進める。そのために以下の開発を行う。
 - 弱拘束条件の利用、同化サイクル長の短縮、力学バランスに関する拘束条件の導入等による、幅広い時間スケールの変動に対応した同化手法
 - 高解像度衛星データ（ひまわり SST, SWOT など）、及び沿岸観測データ（HF レーダの海流など）の有効利用を図るための同化手法
 - 背景誤差統計量算出方法や海洋初期擾乱生成法の改良、計算の効率化

② 大気海洋結合系のデータ同化と数値予測に関する研究

- ・結合同化システムの開発（海面過程の再現性の高度化、及び、衛星放射計等を用いた大気と海面水温の同時解析手法の組み込み）を進め、再解析実験を行なって性能評価を行うとともに、大気海洋結合モデルによる気象予測における、結合同化のインパクトを評価する。

③ 海洋観測の活用と海洋変動のメカニズム研究

- ・海洋アジョイントモデルを活用した観測システム評価手法の開発を行う。
- ・国連海洋科学の 10 年プロジェクト SynObs の計画に従い、観測システム実験等を実施し、他機関の実験結果と合わせて検討することにより、今後の海洋観測システムの拡充や効率化についての提言をとりまとめる。
- ・海洋長期再解析データを用いて、海洋変動のメカニズムを明らかにする。
 - 日本周辺海域における水温の長期変動と黒潮・親潮・対馬暖流の関係
 - 黒潮大蛇行と黒潮流量、北太平洋の風の変化との対応
 - 急潮など沿岸域での極端現象の再現性検討と発生メカニズムの解明

④ 現業海洋同化システムの共同開発

- ・気象庁で運用中の全球海洋データ同化システム及び日本沿岸海況監視予測システムについて、精度評価と改良を担当課室と協力して行う。
- ・将来の季節予測システムのための全球海洋データ同化システムの開発（渦許容海洋モデルでの四次元変分法の実施、同化サイクル長の短縮、海面水温データ同化手法の高度化）を行う。
- ・日本近海モデルに変分法同化を導入するなどして、解析・予測精度を向上させ、日本沿岸海況監視予測システムの海洋貯熱量(TCHP)を利用した台風強度予報ガイダンスの精度向上を図るとともに、同システムの海面水温情報を気象予報モデルの下部境界条件として用いることの有効性検討に資する。
- ・上記の開発は関係課室（気候情報課、海洋気象情報室、数値予報課地球システムモデル技術開発室）及び M2, M4 課題と協力して実施し、M3 課題は海洋同化と結合同化の改良を通じて貢献する。

(副課題 4)

① 地球システム要素を含む週間・季節予測システムの技術開発とフィジビリティ研究

- ・MRI-ESM3 を使用した週間から季節予測システムの構築・開発を行う。モデル開発（大気、陸面、大気波浪結合（A3 課題と連携）等）、初期値化整備、予測実験環境整備を行う。
- ・オゾン・エアロゾル・波浪等の地球システム要素の週間から季節予報での利用に向けたフィジビリティ研究を行う。大気・海洋・陸面等の要素についても、予測への影響評価を行う。

② 週間から季節スケールの台風・極端現象の予測可能性評価と予測改善のための開発・研究

- ・現業季節予測システム（CPS3 等）や MRI-ESM3 を使用した予測改善のための研究を行う。

	<ul style="list-style-type: none"> ・極端現象の予測可能性の評価を行う。大気・海洋場の違いによる予測可能性への影響評価とプロセス理解を進める（C1 課題と連携）。 ・台風の予測可能性の評価を行う。 ・アンサンブル予測、確率予測の改善に資する研究を行う。予測システムデザイン（アンサンブル構成等）の開発を行う。 ・大気海洋結合モデルの高解像度化による予測への影響評価を行う。 ・高解像度非静力学全球大気モデルの開発・高速化と、短期から週間予測のフィジビリティ研究を行う。 <p>③ 海洋観測・初期値の週間から季節予測への影響評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海洋同化システム・大気海洋結合同化システムによる初期値の予測への影響評価を行う。 ・海洋観測システムの予測への影響評価を行う。 <p>(副課題 5)</p> <p>① 化学輸送モデルの精緻化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・M1 課題等と連携しつつ観測データとの比較検証等を行い、MRI-ESM3 におけるエアロゾル、オゾン等の化学輸送モデルを精緻化する。 ・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の開発を進める。 ・領域化学輸送モデルを高度化するとともに、降水とのフィードバック過程を改善する。 ・短期～季節スケールの変動再現に適したオゾン簡易モデルを開発する（M1 課題と共同）。 ・MRI-ESM3 ベースの物質輸送モデルを開発する。 <p>② 大気微量成分データ同化システムの高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大気微量成分のデータ同化システムにおいて複数衛星の活用を図るなどして、本庁での業務高度化を支援する。 ・エアロゾル・オゾン・二酸化炭素に関する再解析システムを改良する。 ・数値予報課地球システムモデル開発室が行っている大気化学モデル及びそのデータ同化システム維持管理への協力を行う。 ・深層学習を用いたオゾン代理モデル（注：オゾン簡易モデルとは別）やダウンスケールリング等に関する技術開発を進める。
<p>研究の有効性</p>	<p>(気象業務への貢献)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本課題で開発される「階層的な地球システムモデル」は、気象庁の季節予測、日本近海の海況監視予測、大気微量成分の監視予測に用いられる現業システムの高度化に貢献する。 ・「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。 ・気象庁の週間から季節予報の将来の改善に資する。 ・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・予測に貢献する。 ・「地球システムモデル」の成果は、モデルを様々な業務にそのまま適用することに加えて、「階層的な地球システムモデル」の考え方にに基づき、モデルを構成する「コンポーネント」を各現業モデルに適した形で利用する方法で貢献する。 <p>(学術的貢献)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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「地球システムモデル」として総合的に扱うことにより、各構成要素を精緻に解析・予測できる最先端の数値解析予測システムを構築することが可能になる。 ・台風・集中豪雨などの顕著現象における海洋の役割の解明が進展する。 ・国際的な海洋観測網の維持発展に寄与し、国連海洋科学 10 年に貢献する。 ・大気微量成分の再解析データの高度化により、気象、気候、社会研究等に貢献する。

	<p>(社会的貢献)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本課題で得られる日本周辺の海況の将来予測に関する知見は、気候変動に伴う海面上昇量の検討など、「国土強靱化基本計画」で実施されている、気候変動の影響を踏まえた治水対策に係る基盤情報を与える。 ・日本周辺海域の監視・予測能力の向上に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、「海洋基本計画」が推進する海洋状況把握 (MDA) の強化や総合的な海洋の安全保障と持続可能な海洋の構築に大きく資する。 ・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持続可能な社会の実現に貢献することができる。
令和7年度実施計画	<p>(副課題1)</p> <ol style="list-style-type: none"> ① モデル気候値と過去気候変動の再現性の向上・検証、及び国際モデル相互比較 <ul style="list-style-type: none"> ・第7期結合モデル相互比較計画 (CMIP7) に向けて開発したモデルにより、長期積分実験を行い、再現された気候値が許容範囲に収まることを確認し、本番実験に着手する (M2, C1, C2 課題他と共同)。 ② 詳細な地域気候と顕著な地球環境イベントを再現する高解像度 ESM 開発 <ul style="list-style-type: none"> ・日本周辺における地域規模の気候変動の理解に重要な熱帯低気圧や梅雨前線などの再現精度を向上させるために、MRI-ESM3 を高解像度化する開発を進める。これに必要となる海洋モデルと大気モデルの力学・物理スキームの開発を行う。また、大気 10km、海洋 10km 程度の高解像度モデルの長期積分に着手する (M2、P4、C2 課題と共同)。 ③ 短期～10 年規模変動を高精度に再現する多圏間相互作用の導入と評価 <ul style="list-style-type: none"> ・地球システムの各構成要素とそれらの相互作用を高精度に実現するために開発し MRI-ESM3 に組み入れた陸面・大気化学・陸域生態系モデルが、地球システムモデルで正常に動作することを確認し、炭素循環評価や古気候再現などに関連した CMIP7 実験の準備を進める (M2、M5、P3、C2、A1 課題と共同)。 <p>(副課題2)</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 将来の現業業務等に資する海洋予測技術の開発 <ul style="list-style-type: none"> ・大気海洋結合モデルの短期予報へのインパクトを、沿岸湧昇の影響等の事例解析を通して評価する。 ・現海況監視予測システムについて安定化や高速化等の MRI.COM の更新を適用することにより改良を行う。 ・AI を用いたダウンスケール、極端海洋現象等の検出、予測等の開発を進める。 ② 海洋モデルの安定性、利便性、精度、及び速度の向上 <ul style="list-style-type: none"> ・水塊の保存性向上や中規模渦パラメタリゼーションなどの物理過程の改良を進め、様々な分解能のモデルで検証を行う。 ・本庁数値予報課と協力して GPU の利用や一部単精度化を通して海洋モデルの高速化を進める。 ③ 海洋熱波などの極端現象や長期変動機構の解明 <ul style="list-style-type: none"> ・海洋モデルを用いた数値計算や気候変動先端プログラムのアンサンブル計算成果の解析などにより、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や、海洋熱波などの極端海洋現象の発生・維持・減衰過程を調査する。 <p>(副課題3)</p> <ol style="list-style-type: none"> ① マルチスケールに対応する新たな海洋データ同化手法の開発 <ul style="list-style-type: none"> ・同化手法の開発・改良とその性能評価を行う。 ・さらなる高速化、省メモリ化を実施し、GPU 対応に備えた改良を行う。 ② 大気海洋結合系のデータ同化と数値予測に関する研究 <ul style="list-style-type: none"> ・昨年度実施した 1 年再解析実験結果の解析・性能評価を行う。 ・海洋・海氷同化スキームを更新する。 ③ 海洋観測の活用と海洋変動のメカニズム研究 <ul style="list-style-type: none"> ・観測システム実験 (OSE) を実施する。 ・マルチシステム OSE と海洋アジョイントモデルなどを活用した観測システムインパクトを評価する。 ・海洋長期再解析を用いた海洋変動のメカニズム研究 (急潮や海洋熱波、黒潮流路変

動など)を行う。

④ 現業海洋同化システムの共同開発

- ・季節予報のための全球海洋同化システムの改良と性能評価を行う。
- ・海況監視予測システムの精度向上に向けた開発と導入支援を行う。

(副課題 4)

① 地球システム要素を含む週間・季節予測システムの技術開発とフィジビリティ研究

- ・地球システムモデル (MRI-ESM3) を使用した週間から季節予測システムの構築・開発を進める。
- ・MRI-ESM3 に波浪要素を結合する開発に着手する。
- ・大気・海洋要素に加えてオゾン要素やエアロゾル要素等を含むモデルを使用した予測実験を行う。使用する地球システム要素の違いが予測に与える影響を調査する。

② 台風・極端現象の予測可能性評価と予測改善に資する開発・研究

- ・週間から季節予測の台風・極端現象等の予測可能性の評価を行う。
- ・アンサンブル予測、確率予測の改善に資する研究を行う。アンサンブル構成や、解像度の違いが予測に与える影響を評価する。
- ・高解像度非静力学全球大気モデルの開発・高速化を進める。

③ 海洋観測・初期値の週間から季節予測への影響評価

- ・海洋初期値の作成等、週間から季節予測実験の準備を行う。

(副課題 5)

① 化学輸送モデルの精緻化

- ・他副課題と連携しつつ、MRI-ESM3 の調整等を行う。
- ・カップラーを用いた大気化学統合モデルの構築を行う。
- ・他副課題と連携して、オゾン簡易モデルの CPS4 導入支援を行う。
- ・領域化学輸送モデルを用いて大気微量成分と気象のフィードバックに関するフィジビリティスタディを行った成果を取り纏める。

② 大気微量成分データ同化システムの高度化

- ・深層学習を用いたオゾン代理モデルの開発に着手する。
- ・大気微量成分の複合衛星観測データ同化システムを試験運用しつつエアロゾル再解析システム改良を行う。
- ・CO2 逆解析における新規衛星導入のプロトタイプを構築する。

研究課題	<p>(P 課題) 大気の物理過程の解明と物理過程モデルの開発に関する研究 副課題 1 : 高解像度数値モデルにおける線状降水帯等の激しい気象現象の再現性向上 副課題 2 : 雪氷物理過程の高度化に資する観測的研究 副課題 3 : 数値モデルの予測精度向上に向けた積雲対流・雲・放射スキームの精緻化 副課題 4 : 実験観測に基づくエーロゾル・雲・降水微物理素過程モデリングの改良</p>
研究期間	令和 6 年度から 5 年間 (5 年計画第 2 年度)
担当者	<p>○中里真久 気象予報研究部長 (副課題 1) [気象予報研究部] ○橋本明弘、林修吾、水野吉規、渡邊俊一、大泉伝、岸達郎、築地原匠 [台風・災害気象研究部] 辻野智紀 (副課題 2) [気象予報研究部] ○大河原望、谷川朋範、庭野匡思 [気候・環境研究部] 豊田隆寛 (副課題 3) [気象予報研究部] ○関山剛、川合秀明、長澤亮二 [全球大気海洋研究部] 吉村裕正 [台風・災害気象研究部] 和田章義 (副課題 4) [気象予報研究部] ○折笠成宏、田尻拓也、岩田歩、橋本明弘 [全球大気海洋研究部] 足立光司、梶野瑞王</p>
目的	<p>観測や実験により大気の種類物理過程を解明し、その物理過程モデルの高度化等を通じて、大雨等の顕著現象、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の向上に寄与する。</p> <p>(副課題 1) 解像度数百 m 以下の数値モデルによる、顕著現象の詳細な構造分析に基づく機構解明・再現性の向上、及び、雲・乱流過程の高度化を通じて、線状降水帯をはじめとする激しい気象現象の予測精度向上に貢献する。</p> <p>(副課題 2) 観測に基づき雪氷物理過程の理解の深化とその物理モデルの高度化を図り、雪氷にかかわるモデルの精度の向上及び現業プロダクトの改善に貢献する。</p> <p>(副課題 3) 将来の気象庁全球モデル (GSM) の水平高解像度化への適合や、放射収支やモデルバイアスの改善のため、短期から週間予報、季節予報や地球温暖化予測に用いられる数値予報モデルの積雲対流、部分雲、放射スキームといった物理過程を精緻化し、予測精度向上に寄与する。</p> <p>(副課題 4) 室内実験や野外観測によるエーロゾル・雲特性から、エーロゾル・雲・降水の微物理素過程や相互作用を解明し、数値モデリングを精緻化することで降水や放射の予測精度向上に寄与する。</p>
目標	<p>顕著現象の再現性や予測精度の向上及び雲・降水過程や放射過程などの不確実性やモデルバイアスの低減に資するよう、各種の観測成果や実験施設、観測装置を十分に活用しつつ、素過程の解明から物理過程モデルの高度化までに取り組むことにより、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や将来に向けた課題を明らかにし、有効な改善方法を提案する。</p> <p>(副課題 1) 解像度数百 m 以下の数値シミュレーション・実験・観測により、大雨、大雪、突風、線状降水帯、台風などの顕著現象から雲・乱流などの素過程にわたって、詳細な構造分析に基づく機構解明、及び、再現性向上を目指す。日本とその周辺の領域の様々な環境下で発生する激しい気象現象について、</p>

- ① 数値モデルによる積乱雲・降雪雲内の鉛直流や雲・降水粒子特性など詳細な内部構造を観測データと比較することで検証する。
- ② 高解像度数値シミュレーションを活用した解像度に応じた物理過程の検討などに基づき、数値モデルの課題を抽出し、再現性向上のための方策を示す。
- ③ 大気境界層において線状降水帯の発生や維持に特に重要な以下の乱流現象を 1. 数値計算、2. 風洞実験、3. 野外観測により明らかにする：
 - (a) 不安定成層における上昇流の発生、及び地表面近傍に現れるその前兆現象
 - (b) 潜熱（水蒸気）の供給に寄与する鉛直輸送と地表面近傍の水平輸送
 - (c) 顕熱、運動量の鉛直輸送と地表面近傍の水平輸送
- ④ 得られた知見を統合し、境界層過程の改善策を取りまとめて、乱流輸送に関する新たなスキームを構築する。風洞実験や野外観測による検証を経て、気象モデル asuca に実装し数値実験による検証を行う。
- ⑤ 関連課題との連携により課題を抽出するとともに解決法を検討する。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)

- ① 地上観測に基づく雪氷物理過程の解明

雪氷物理量観測の基盤技術を開発しつつ放射・気象・積雪の地上観測を国内（札幌・北見・長岡）において実施し、観測データに基づいた雪氷物理過程の解明を進める。また、観測データを活用して、雪氷圏を対象にした放射伝達モデルの開発を行う。
- ② 雪氷に関する衛星リモートセンシングアルゴリズムの開発及びデータ利活用

地上観測データから得られた知見や、雪氷圏を対象にした放射伝達モデルを活用して衛星リモートセンシングアルゴリズムを開発・改良し、雪氷圏変動の面的な実態把握を行う。また、次期衛星を含む静止衛星ひまわりによる積雪・海氷の質的な雪氷プロダクトの充実及び現業利活用の検討を行う。
- ③ 雪氷物理過程モデルの高度化

観測データの検証データとしての利用や、観測から得られた積雪・海氷に関する物理過程の知見を活用することにより、これまで開発を行ってきた積雪変質モデルや海氷モデルの高度化を図る。特に世界的に見てもアルベド再現の不確実性に係る課題となっている積雪変質モデルにおける光吸収性不純物の積雪時空間変動への影響考慮、及び、海氷モデルにおける融解期のメルトポンドの影響考慮について改善を進める。さらに、積雪変質モデルの現業予測情報への高度利用を進め、海氷モデルの海洋モデルへの組み込みを行う。

(副課題 3)

- ① 積雲対流スキームの精緻化

将来の GSM の水平高解像度化や気象庁メソモデル（MSM）による顕著現象などの予測精度向上に向け、対応する格子間隔に適合が必要となる積雲対流スキームなどの物理過程の問題点を抽出し、改善のための方策を示す。
- ② 雲・放射スキームの精緻化

長期の予測やデータ同化において重要となる放射収支やモデルバイアスの改善に向け、関連する雲・放射スキームといった物理過程の問題点を抽出し、改善のための方策を示す。

(副課題 4)

- ① 世界的にみて未解明かつ雲生成にインパクトが大きいエアロゾル粒子を対象とした室内実験や多様な地点での野外観測によるエアロゾル物理・化学分析データから、エアロゾルタイプ別の雲核（CCN）・氷晶核（INP）の特性を解明し、定式化を図る。

	<p>② 実大気で見られるエアロゾル粒子の混合・変質過程に基づき、野外観測と室内実験との比較、ボックスモデル数値実験との比較検証から雲粒・氷晶発生過程に関する雲物理パラメタリゼーション改良を行い、雲生成過程の解明を進める。</p> <p>③ 室内実験や野外観測の結果を基に、詳細微物理モデルによる数値実験との比較検証を行い、CCN・INP 特性、エアロゾル粒子の混合・変質過程を含めた詳細微物理モデルの改良を図る。</p> <p>④ 詳細微物理モデルを導入した3次元改良モデルによる数値実験を大気汚染によるインパクトの高精度な評価等を観点に実施し、エアロゾル・雲・降水モデリングの精緻化を進める。</p>
<p>研究の概要</p>	<p>(副課題1)</p> <p>解像度数百 m 以下の数値シミュレーション・実験・観測により、日本とその周辺の領域での様々な激しい気象現象（大雨、大雪、突風、線状降水帯、台風など）及び雲・乱流等について、それらの再現性やモデリングに関する課題の抽出、改良のための方策の検討を行う。</p> <p>① 観測データに基づくモデルの検証・改良</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高頻度高密度観測データを用いた時間・空間解像度の高い検証により、モデルの解像度に応じた再現性を把握し課題を抽出する。 ・ モデルの物理過程に関する情報を抽出するための、多様な観測データを用いた多角的な検証法を検討する。 ・ 着目する現象の発生しやすい局地環境の国外地域を対象とする数値実験を適宜実施し知見を活用する。 <p>② 解像度に応じた物理過程の検討</p> <p>Large Eddy Simulation (LES) をリファレンスとし、解像度に応じた適切な物理過程パラメタリゼーションスキームの検討を行う。それぞれの解像度における乱流輸送等の挙動を把握し、グリッドスケール、サブグリッドスケールで表現されるべき微視的過程を検討する。</p> <p>③-1 数値計算による境界層乱流の解析</p> <p>高解像度の LES や Direct Numerical Simulation (DNS) を用いて境界層乱流の数値計算を行い、データを解析する。特に対流の発生については、発生時の場の特徴をコンポジット解析（条件付き平均）などにより抽出して調べ、対流現象と境界層下層に現れるその前兆現象の調査を行い、線状降水帯予測の改善の可能性と方向性を見出す。</p> <p>③-2 風洞実験による境界層乱流の解析</p> <p>気象研究所風洞で各種風速計・温度計・濃度計を用いて境界層乱流の実験を行い、データを解析する。機能強化した風洞装置を用いて、安定、不安定領域における境界層乱流の実験を行い、乱流輸送についての解析を前研究計画から引き続いて行う。また、粒子画像流速測定法 (PIV) により得られる風速の面的情報を活用し、③-1 と同様に境界層下層における対流の前兆現象の調査を行い、線状降水帯予測の改善の可能性と方向性を見出す。さらに、各種境界層乱流におけるガス拡散実験により、鉛直分布や床面粗度への依存性などを調査し、潜熱の乱流輸送モデルの高度化の方向性を見出す。</p> <p>③-3 野外観測による境界層乱流の解析</p> <p>気象研究所露場において蒸発散測定装置・超音波風速温度計・赤外線濃度計等を用いて通年連続観測を行い、各種地表面フラックスのデータを蓄積・解析する。観測データやそれらの解析の結果は③-2 風洞実験に対する現実大気のリファレンスとして用いる。③-2 風洞実験に対応して乱流輸送の解析を行い、スキームの高度化の方向性を見出す。</p> <p>④乱流輸送スキームの検討・構築と気象モデルへの実装・検証</p> <p>③-1～3 から得られた知見とも統合し乱流輸送スキームの検討と構築を行い、気象モデル asuca に実装・検証を行う。なお③-1～3 のそれぞれにおいて必要に応じて技術開発や事例研究を行う。</p> <p>⑤関連課題との連携による課題抽出・解決法の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 大気モデルの表現する降水粒子特性が雪氷物理過程モデルにもたらす効果を調査し、高度化の方策を検討する。 ・ 積雲対流スキームの開発に活かすために、LES 実験の結果や解像度依存性に関する

知見を副課題3と共有する。

- ・ 整備した数値モデルによる予測の検証ツールや実験環境を関連課題と共有することで、効率的な研究を推進する。

(副課題2)

① 地上観測に基づく雪氷物理過程の解明

雪氷物理量観測の基盤技術を開発しつつ放射・気象・積雪の地上観測を国内（札幌・北見・長岡）において実施し、観測データに基づいた雪氷物理過程の解明を進める。また、観測データを活用して、雪氷圏に特化した放射伝達モデルの開発を行う。

② 雪氷に関する衛星リモートセンシングアルゴリズムの開発及びデータ利活用

地上観測データから得られた知見や、雪氷圏に特化した放射伝達モデルを活用して衛星リモートセンシングアルゴリズムを開発・改良し、雪氷圏変動の面的な実態把握を行う。また、次期衛星を含む静止衛星ひまわりによる積雪・海水の質的な雪氷プロダクトの充実及び現業利活用の検討を行う。

③ 雪氷物理過程モデルの高度化

観測データの検証データとしての利用や、観測から得られた積雪・海氷に関する物理過程の知見を活用することにより、これまで開発を行ってきた積雪変質モデルや海氷モデルの高度化を図る。さらに、積雪変質モデルの現業予測情報への高度利用を進め、海氷モデルの海洋モデルへの組み込みを行う。

(副課題3)

将来の GSM の水平高解像度化への適合や、放射収支やモデルバイアスの改善のため、関連するモデルの物理過程について、理想実験から現業と同様のシステムによる実験まで段階を踏み、各種観測データによる検証、他のモデルや解析値との比較による評価を行い、課題の抽出及び改良のための方策の検討を行う。他の副課題と連携し、新しく開発された物理過程の全球モデルへの導入や性能評価に向けた情報提供や、新しい物理過程を組み合わせた実験等を行う。またデータ同化、地球システムモデルに関する研究課題と連携し、データ同化技術や長期積分に基づく検証結果を参照する一方、本副課題による物理過程の高度化の成果を提供し観測データの有効利用や予測精度向上に寄与する。本庁への成果の提供に向けては他の物理過程改良との組み合わせを想定した開発・情報交換を行う。

① 積雲対流スキームの精緻化

- ・ 水平高解像度化への適合が必要な物理過程を抽出し、対応策を取りまとめる。
- ・ 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開発し、台風や積雲の組織化の検証及び予測精度の評価を行う。特に、クロージャ部分や積雲モデルのグレーゾーン対応を検討する。副課題1による LES 実験に基づくリファレンスや、解像度に応じてパラメタライズすべき現象に関する知見の提供を受け、開発に活用する。

② 雲・放射スキームの精緻化

- ・ 気象研究所地球システムモデル (MRI-ESM3) や GSM において、様々な種類の雲をより精緻に表現するための改良を行う。
- ・ 観測データ・リファレンスとの比較や文献調査に基づき、放射スキームの問題点を抽出し、改善のための開発を行う。
- ・ 現状扱っていない長波放射における雲の散乱効果についての調査と開発を行い、長波放射フラックス・加熱率・計算コストへの影響や予測精度の評価を行う。

(副課題4)

① 雲核・氷晶核の特性解明と定式化

雲生成チェンバー、地上モニタリング観測システム、電子顕微鏡等を用いた室内実験や野外観測の手法等についてより良い方法を検討する。この結果を踏まえて、土壌粒子やバイオエアロゾル等のタイプ別エアロゾル粒子を対象に CCN・INP 特性及び雲生成に関する室内実験を行う。また、多様な地点でのエアロゾル・雲の野外観測やサンプリングを行う。これらのエアロゾル物理・化学分析データから、エアロゾルタイプ別の CCN・INP 特性の定式化改良を行う。

② 雲物理パラメタリゼーションの改良

	<p>実大気エアロゾルを模した粒子の発生方法、混合方法を検討するとともに、それに適した実験環境を整備する。人為的に発生させた混合粒子や変質させた粒子を対象に、高温高湿で強い上昇流範囲までカバーした雲生成チェンバー等を用いた雲生成に関する室内実験を行う。また、CCN・INP 特性に関する室内実験及び個別粒子分析等も併せて、エアロゾルの混合・変質過程と雲生成との関連を調査する。実大気での雲生成過程の解明を図るため、それらの室内実験結果とボックスモデルによる数値実験結果との比較検証から、雲粒・氷晶発生過程に関する雲物理パラメタリゼーション改良を行う。</p> <p>③ 詳細微物理モデルの改良 CCN・INP 特性を評価できる詳細微物理モデルを用いて、雲生成にインパクトが大きいエアロゾルタイプ別の数値実験、エアロゾル粒子の混合・変質過程を対象とした数値実験を行う。それらの結果と、室内実験や野外観測による結果との比較検証を進め、他の研究課題と連携しながら詳細微物理モデルの改良を行う。</p> <p>④ エアロゾル・雲・降水モデリングの精緻化 現在の雲スキームの改良を検討し、問題点を整理する。詳細微物理モデルが実装された3次元改良モデルによる数値実験を行い、最新のパラメタリゼーションを導入した雲スキームの改良を進める。エアロゾル-雲-放射の相互作用の解明を図るため、大気汚染によるインパクトの高精度な評価等を観点に数値実験を実施し、他の研究課題と連携しながら、エアロゾル・雲・降水モデリングの精緻化を進める。併せて、3次元改良モデルと現行バルク法との比較検証から現行バルク法のパラメタリゼーション改良を行う。</p>
<p>研究の有効性</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・領域モデルに用いるスキーム等の改良により、線状降水帯などの顕著現象の予測精度の向上に資する。ひいては、防災気象情報の高度化、気象災害の軽減に貢献する。 ・全球モデル・地球システムモデルに用いるスキーム等の改良により、気候予測の不確実性の低減や温暖化予測情報の精度向上、台風の予測精度向上に資する。 ・精度よい気象データを提供することにより、気象ビジネス分野への貢献に資する。 ・スキーム等の開発において得られた技術や知見は、本庁におけるモデル開発業務にも活用される。 ・副課題別の波及効果として、以下が期待される。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 整備した数値モデルによる予測の検証ツールや実験環境を関連課題と共有することで、効率的な研究を推進する。(副課題1) ✓ 積雪変質モデルの高度化を通じた予報業務の雪に関する情報(解析積雪深・降雪量等)の精度向上や現業予報情報の精度向上、海氷モデルの高度化を通じた海洋モデルの精度向上への寄与。(副課題2) ✓ エアロゾル等も考慮した視程予測の可能性検討とその精度向上への寄与。(副課題4)
<p>令和7年度実施計画</p>	<p>(副課題1)</p> <p>① 観測データに基づくモデルの検証・改良 数100m以下～数km格子の数値実験を行うとともに、各種観測データを用いて、モデル解像度に応じた再現性を評価する。高解像度数値実験により、日本とその周辺の領域での様々な激しい気象現象の内部構造および雲・乱流過程の解明に取り組みとともに、課題を解像度別に整理し、再現性向上に向けた検討を行う。</p> <p>② 解像度に応じた物理過程の検討 LES実験の結果をもとに、数100m以下～数km格子の数値実験において、グリッドスケール、サブグリッドスケールで表現されるべき微視的過程を検討する。これらをもとに、物理過程の改良に着手する。</p> <p>③-1 数値計算による境界層乱流の解析 高解像度のLESやDNSによる境界層乱流の数値計算を実施、その結果を用いて中立、安定時の乱流輸送の解析を行う。また、不安定時の対流現象の発生機構の解析と予測方法の検討を進める。</p> <p>③-2 風洞実験による境界層乱流の解析 気象研究所風洞で中立、安定、不安定領域における境界層乱流の実験を実施し、データを蓄積する。中立、安定時の乱流輸送の解析を行い、また、③-1と同様に境界層下層における不安定時の対流現象の発生機構の解析を進める。④において構築</p>

を進めるモデルのアプリオリテストのためのデータの整理と提供を行う。

③-3 野外観測による境界層乱流の解析

気象研究所露場において通年連続観測を行い、各種地表面フラックスのデータを蓄積、③-2 風洞実験に対する現実大気のリファレンスとして乱流輸送の解析に用いる。④において構築を進めるモデルのアプリオリテストのためのデータの整理と提供を行う。

④ 乱流輸送スキームの検討・構築と気象モデルへの実装・検証

③-1～3から得られた知見とも統合し構築された乱流輸送スキームに対して③-2、3のデータを用いたアプリオリテストを実施、気象モデル asuca への実装と検証を行う。なお③-1～3のそれぞれにおいて必要に応じて技術開発や事例研究を行う。

⑤ 関連課題との連携による課題抽出・解決法の検討

- ・ 気象モデルの降水粒子特性が雪氷物理過程モデルにもたらす効果を調査し、高度化の方策を検討する。
- ・ LES 実験の結果や解像度依存性に関する知見を副課題3と共有する。
- ・ 検証ツールや実験環境を関連課題と共有することで、効率的な研究を推進する。

(副課題2)

① 地上観測

札幌・北見・長岡において現地観測に必要な観測装置・分析装置の開発・改良を行いつつ、放射・気象・積雪観測を実施し、雪氷物理過程の理解に必要な基盤データを取得する。取得した観測データを利用して、主に積雪・海氷を対象とした物理過程の解明を進める。

② 衛星観測

①で得られたデータや知見を活用してリモートセンシングアルゴリズムを改良し、多バンドの光学センサーによる時間分解能に優れた静止気象衛星ひまわりの観測データ、光学及びマイクロ波センサーによる極軌道衛星の長期間の観測データ等、多様な衛星データを利用して、主に極域、日本周辺における面的な雪氷物理量の把握・監視を行う。

③ 雪氷物理過程モデルの高度化と活用

雪氷の変動メカニズム解明や、大気モデル及び海洋モデルとの結合等を通じた予測精度向上のため、①で得られた知見及び①②で得られたデータを活用して積雪不純物(光吸収性エアロゾル)を考慮した積雪変質モデルや海氷モデルの改良を進める。この開発では、副課題1を含む大気モデル開発に係る研究課題や海洋モデルに係る研究課題と連携しながら進める。

(副課題3)

① 積雲対流スキームの精緻化

- ・ モデル水平高解像度化に適合させるため、積雲対流スキームのクロージャ部分等について先行研究の文献調査を行い、概念モデルを構築する。超低解像度モデルや鉛直1次元モデルに導入して実験を行う。
- ・ 観測や湿潤 LES による参照値の収集・作成を行う。

② 雲・放射スキームの精緻化

- ・ 全球モデルにおいて、様々な種類の雲の再現性の向上のための雲過程の精緻化、及び見直しを行う。
- ・ 衛星データ等の観測データによる検証を行い、CMIP や CFMIP などの枠組みで行われるモデル間比較に参加する。
- ・ 放射スキームの問題点を抽出するため、鉛直1次元モデルを用いた観測データ・リファレンスとの比較や文献調査を行う。

(副課題4)

① 他副課題や外部研究機関等と協力した野外観測・サンプリングを実施し、地上モニタリングシステム・電子顕微鏡分析等を用いて、雲生成に重要にもかかわらず解明が進んでいないエアロゾルタイプ(バイオ、土壌など)を主な対象とした室内実験を行う。エアロゾルタイプ別の CCN・INP 特性に関するデータを取得し、その特性

の定式化を進める

- ② 実大気エアロゾルを模して発生させた混合粒子等を対象に、高温高湿で強い上昇流範囲までカバーする実験環境下で、雲生成チェンバー等を用いた本実験を引き続き行う。その実験結果とボックスモデルによる数値実験との比較検証を進める。
- ③ CCN・INP 特性を評価できる詳細微物理モデルを用いた数値実験と、エアロゾルタイプ別や混合粒子を対象とした新たな室内実験結果との比較検証を基に、詳細微物理モデルの改良を進める。
- ④ 詳細微物理モデルが実装された3次元改良モデルによる数値実験を大気汚染によるインパクト等を観点に実施し、他の研究課題と連携しながら、現時点での雲スキームの問題点整理と改良検討、③で得られた知見を活用した詳細微物理モデルの改良を進める。3次元改良モデルと現行バルク法を用いた数値実験の比較を行い、相違する特徴等を分析する。

研究課題	(D課題) データ同化技術と観測解析技術の高度化に関する研究 副課題1：衛星データの同化及びリモートセンシング技術の高度化 副課題2：次世代メソスケールデータ同化およびアンサンブルシステムの高度化 副課題3：顕著現象の実況監視とメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発
研究期間	令和6年度から5年間（5年計画第2年度）
担当者	○気象観測研究部長 岡本幸三 (副課題1) [気象観測研究部] ○山崎明宏、石橋俊之、石田春磨、工藤玲、岡部いづみ、田上雅浩、太田芳文、近藤圭一、岡本幸三、林昌宏(併任) [気象予報研究部] 大河原望 [火山研究部] 石元裕史 (副課題2) [気象観測研究部] ○川畑拓矢、堀田大介、太田芳文、幾田泰醇、近藤圭一、星野俊介、寺崎康児、瀬戸里枝、佐谷茜、井上卓也、山下翔大、田上雅浩、瀬古弘、澤田謙(併任)、横田祥(併任)、川田英幸(併任) [研究連携戦略官] 藤田匡 [気象予報研究部] 大泉伝 [全球・大気海洋研究部] 安井良輔 [台風・災害気象研究部] 小野耕介 (副課題3) [気象観測研究部] ○酒井哲、西橋政秀、及川栄治、瀬古弘、都築貴登(併任)、吉田智(併任)、山本健太郎(併任) [気象予報研究部] 田尻拓也 [台風・災害気象研究部] 荒木健太郎
目的	<p>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。</p> <p>(副課題1) 衛星データの同化及びリモートセンシング技術の高度化 全球データ同化手法や衛星同化の改善による「主に全球大気数値予報システムを用いた解析・予測の高精度化改善」、衛星を用いた火山灰物質推定や火山灰雲の物理量推定による「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」、エア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。</p> <p>(副課題2) 次世代メソスケールデータ同化及びアンサンブルシステムの高度化 メソスケールの激しい大気現象の予測可能性向上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」を目的とする。</p> <p>(副課題3) 顕著現象の実況監視とメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発 次世代水蒸気ライダーの開発等による「大気下層の水蒸気観測技術の確立」、観測データを用いた「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精度向上」、「火山噴火や森林火災等エアロゾル監視のための地上リモートセンシング技術の開発」を目的とする。</p>
目標	<p>目的を達成するため、以下を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> 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） 次期静止気象衛星ひまわり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） 水蒸気やエアロゾルなどの観測技術の開発とその有効性の評価、新しい観測データ選択法の開発（副課題1, 3） <p>(副課題1) 衛星データの同化及びリモートセンシング技術の高度化</p> <p><u>① 衛星データ同化の改良</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 全天候域での衛星輝度温度同化など、衛星同化手法の高度化や、新規衛星データの導入・同化改良を行う。ひまわり後継衛星等の将来の衛星観測を想定し、OSSE等を実施

	<p>して、新規観測データの同化観測やインパクト評価を行う。</p> <p><u>② 全球データ同化システムの改良</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・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、誤差統計処理の高度化や結合同化などによる観測情報の拡充、観測インパクト評価の高度化、海洋結合同化の高度化を行う。 <p><u>③ 衛星・地上観測による大気中物質のリモートセンシング技術に関する研究</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・A-Trainの後継衛星（EarthCARE、AOS）、次期静止気象衛星を用いてエーロゾルの推定手法を開発し、地上リモートセンシングによる検証手法を確立することで、包括的な観測によってエーロゾルの時空間変動の把握を目指す。 ・各種全天カメラとスカイラジオメータを用い、雲の放射に関する全てのパラメータ（3次元分布、熱力学的相、微物理・光学特性）を観測する地上システムを開発する。また、全天カメラを用いた雲の無人観測システムを開発する。 ・太陽光・月光観測分光放射観測技術の開発を行い、昼夜間のエーロゾルの変動監視技術を確立する。また、エーロゾル組成推定技術を利用し、エーロゾル光学特性の空間・時間分布を解析することで、大気放射場の変動の要因を明らかにする。 ・大気プロファイル推定技術の向上のため、衛星搭載の赤外サウンダデータにおける観測データ情報圧縮・抽出アルゴリズムを開発する。 ・衛星リモートセンシングの基盤技術の高度化を目的に、雲水・氷晶・雪片・霰の放射特性の高精度化、可視・赤外・マイクロ波の放射伝達計算法や、温度・水蒸気・不安定指数の推定技術の高度化を行う。 ・赤外サウンダデータを用いた火山灰情報の高度化を行う。 ・ひまわり等イメージャの赤外チャンネルを使った火山灰推定（OVAA）の精度を向上させる。 ・推定結果を気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）に利用する。 <p>（副課題2）次世代メソスケールデータ同化及びアンサンブルシステムの高度化</p> <p><u>① 非線形・非ガウス性が卓越する顕著現象に対する予測可能性の向上</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・非線形性・非ガウス性が卓越している顕著現象の予測可能性を向上すべく、データ同化システムの高度化を図る。 <p><u>② 高度な観測データ同化手法の開発</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・高頻度・高密度な観測データを同化する手法を開発するとともに、新規観測データの同化手法を開発する。 <p><u>③ アンサンブルシステムによる豪雨予測</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・豪雨予測を精度良く行うアンサンブルシステムの開発及びアンサンブル情報の高度利用法を開発する。 <p>（副課題3）顕著現象の実況監視とメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発</p> <p><u>① 顕著現象のメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発と実証実験</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・大気下層をターゲットとした、高精度かつ小型・低コストで多点展開できる水蒸気ライダー等の観測技術を開発する。 ・豪雨発生域の風上（地上、洋上）等で実証実験を行い、観測データ質の評価、現象解析、データ同化による予測インパクト調査、実況把握への利用を行う。 <p><u>② 実況監視とメカニズム解明・予測に有望なデータの特性と有効性の調査</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・予測に有望なデータの選択法の調査と開発を行う。 ・新しい観測データの特性調査、同化手法の開発を行う。 ・地上マイクロ波放射計を用いた水蒸気・雲の推定技術開発を行う。 <p><u>③ 火山噴火や森林火災等エーロゾル監視のための地上リモートセンシング技術の開発</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・全球規模で気候変動に影響を及ぼす成層圏エーロゾルの観測と放射効果の評価、地球システムモデル、火砕物移流拡散モデルの検証を行う。
研究の概要	<p>（副課題1）衛星データの同化及びリモートセンシング技術の高度化</p> <p><u>① 衛星データ同化の高度化</u></p>

・全球モデルとメソモデルについて、全天候、全表面（陸・雪氷）における輝度温度同化やその高度化を行う。DWL 同化の高度化と他観測との補完性を調べる。また、ハイパーサウンダの多チャンネル情報有効活用、機械学習を用いた高頻度・高密度観測利用や情報圧縮、リトリーブに取り組む。

・雲降水レーダー、小型衛星（TROPICS 等）や MTG、Metop-SG 等の新規衛星について情報を収集し、観測データの特性を調査したうえで、利用できそうな衛星について同化手法を開発する。

・これらの同化に際し、モデルや観測演算子のバイアス等の特性を調査する。

・ひまわり後継衛星や JAXA 将来衛星等の OSSE を行い、それらのインパクトや他観測との相乗効果を調査する。

② 全球データ同化システムの高度化

・同化手法の高度化として、アンサンブル同化や 4 次元背景誤差時間推進の高度化、粒子近似等の高次の誤差統計モーメント導入、水物質の制御、水物質導入等による観測演算子の高度化、アンサンブルによる大気と海洋や陸面との結合同化、モデル誤差を考慮した手法の開発に取り組む。

・観測情報の拡充として、流れ依存性に関する誤差統計の高度化、水物質関連観測（雷観測等）の同化の拡充、結合同化により陸面温度や海面水温等も解析することにより、境界（陸面、海洋等）付近の観測情報の活用、高密度な時空間情報の考慮、衛星風・台風ボーガスなどのリトリーブ量から直接同化への高度化を実施する。

・数値予報及び観測システムの評価とデザインの高度化について、疑似真値場やアンサンブル等を用いた観測インパクト評価研究を行う。また、複数の OSSE 手法を調査し、より堅牢な実験手法を構築する。OSSE システムを用いて、将来全球観測網のデザインを検討する。

・結合同化の高度化について、大気同化部分の高度化、海洋観測からの大気情報をより多く活用するための手法を開発する。

③ 衛星・地上観測による大気中物質のリモートセンシング技術に関する研究

・A-Train 後継衛星（EarthCARE、AOS）、次期静止気象衛星（イメージャ・赤外サウンダ）のエ어로ゾルの推定手法を開発する。その解析結果を使って地球システムモデルの比較検証を行う。

・全天カメラとスカイラジオメータを使って雲の分布・熱力学的相・微物理・光学特性を推定する手法を開発する。また、全天カメラによる雲の無人観測システムを確立する。

・地上放射観測網（福岡、つくば、南鳥島）において、分光放射計及び大気の現地測定による地上エアロゾル光学特性連続観測を実施し、黄砂粒子や黒色炭素の発生、大陸からの汚染大気輸送を考慮した観測を実施する。

・太陽光・月光観測分光放射計により、昼夜間のエアロゾルの変動監視技術の開発を行う。

・気象研究所の地上放射観測網（福岡、つくば、南鳥島）と気象庁精密日射・放射観測網（網走、石垣島、南鳥島）の分光放射計による観測データからエアロゾルの組成推定、エアロゾル光学特性の空間・時間分布を解析する

・赤外サウンダが観測した火山灰雲の赤外輝度温度スペクトル情報から、火山灰物質情報（複素屈折率）を推定する。その情報をもとに火山灰粒子モデルを決定し最適火山灰解析（OVAA）によるひまわりイメージャ解析を実施することでひまわりイメージャによる火山灰推定精度の向上を図る。

・ひまわりと GCOM-C など異なる観測特性を持つ衛星データを複合的に利用することで、ひまわり単体では得られなかった火山灰推定を実現する。

（副課題 2）次世代メソスケールデータ同化及びアンサンブルシステムの高度化

① 非線形・非ガウス性が卓越する顕著現象に対する予測可能性の向上

・粒子フィルターや iterative Kalman smoother などの非線形性を考慮するデータ同化手法の開発を行う。

・非ガウス型背景誤差を扱えるよう現業同化システムを拡張し、水蒸気・水物質関連の効果的な同化を目指す。さらに大気の水蒸気・気温・運動量とバランスする水物質の初期値作成を行う。

・衛星輝度温度やレーダー画像等の非ガウス・稠密な面的データを同化可能とするた

	<p>めに変分自己符号化器を用いて分布のガウス化と次元圧縮を実現する手法を確立する。</p> <p><u>②高度な観測データ同化手法の開発</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・メソ解析における赤外サウンダデータ、二重偏波レーダー、地上マイクロ波放射計等のリモートセンシング観測データ同化手法の高度化を行う。 ・GNSS 偏波掩蔽観測、水同位体比観測データなど新規観測データ同化手法の開発を行う。 ・地上設置型マイクロ波放射計データやゾンデ BUFR 報などの高頻度・高密度観測データを有効活用するために時空間における観測誤差相関を考慮する手法の開発を行う。 <p><u>③ アンサンブルシステムによる豪雨予測</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・既存システムの高度化として、EDA、LETKF、EnVar、SV、BGM などの開発を行う。 ・大アンサンブルシミュレーションデータを用いた顕著現象のメカニズム解明や、気象災害に対する高精度確率情報の作成、少数アンサンブルとの比較など、アンサンブルデータの利用について高度化を図る。 <p>(副課題3) 顕著現象の実況監視とメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発</p> <p><u>① 顕著現象のメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発と実証実験</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・次世代型水蒸気ライダー (DIAL) を開発し、豪雨発生域の風上 (地上、洋上) 等で観測を実施する。 ・得られた観測データ質の評価、品質管理方法の開発、実況把握への利用を行い、大気海洋部が3次元実況監視ツールを開発する上で参考となる地上リモートセンシング観測の利活用状況について情報提供を行う。さらに、線状降水帯を含めた顕著現象に有効な実況監視手法についても情報共有を行う。 ・ライダーによる水蒸気・雲・エアロゾルの同時推定のアルゴリズム開発を行う。 ・ライダーで観測された水蒸気、雲、エアロゾルの高度情報とマイクロ放射計等から観測される鉛直積算雲水量や可降水量などの観測データを用いて、雲の生成・維持過程に関する関係解析やメカニズム解明を行う。 <p><u>② 地上マイクロ波放射計を用いた水蒸気観測データ利用技術に関する研究</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・大気海洋部からの併任者など本庁担当者と連携して、地上マイクロ波放射計観測による輝度温度や放射計算によって求めた可降水量や温度・水蒸気プロファイルなどを大気海洋部と情報基盤部に提供する。また同様に知見の共有や3次元実況監視ツールの開発にもデータ提供等の協力を行う。 <p><u>③ 火山噴火や森林火災等エアロゾル監視のための地上リモートセンシング技術の開発</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・EarthCARE 衛星 (2024 年打ち上げ)、GOSAT シリーズ衛星、AOS 衛星プロジェクト等のデータ検証を行う。 ・将来の衛星観測も見据えた最適な実況監視のための地上リモートセンシング観測システムの開発を行う。
<p>研究の有効性</p>	<p>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アロゾル観測業務における観測測器の校正への支援が可能となり、同業務の安定実施に貢献する。さらに同業務におけるデータ解析支援の要望に対し、エアロゾルの粒径分布や光吸収特性等の解析についての助言を通して、地球環境変動監視の強化に貢献する。(副課題1)</p> <p>様々な測器で水蒸気の時・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・予測を向上させ、被害の軽減に貢献できる(副課題3)。</p> <p>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。これまでに、アンサンブル変分法同化や観測誤差最適化、観測感度解析手法</p>

	<p>などを数値予報課に提供してきた。(副課題 1)</p> <p>衛星データ同化も、数値予報の改善に向けて不可欠であり、利用の高度化や新規データの有効性の実証などが数値予報課から要望されている。これまで陸面マイクロ波射出率の動的推定、静止衛星 CO2 バンドの晴天輝度温度同化、全天候での赤外輝度温度同化、衛星搭載風ライダー同化を数値予報課に提供してきた。またやハイパーサウンダの再構築輝度温度同化など、現業利用に先立つ重要な調査を行い、知見を数値予報課に共有している。(副課題 1)</p> <p>新規衛星・観測に対する OSSE は、観測システムの設計や早期の現業的データ利用に有効である。特にひまわり後継衛星に搭載されるハイパースペクトルサウンダのインパクト評価を本庁・気象研の他部室と共同して行い、客観的な検討材料の作成や仕様決定に大きく貢献した。(副課題 1,2)</p> <p>これまで気象庁では局地解析がハイブリッド化され、現在メソ解析のハイブリッド化の検討が進められている。本副課題においては非ガウス性を考慮したハイブリッドシステムの開発や、アジョイントを用いないデータ同化システムの開発を行い、次世代あるいは次々世代の現業データ同化・アンサンブルシステムの高度化へ貢献するとともに、観測データ利用手法の高度化によって現システムへの貢献を図る。さらに高度なアンサンブルシステムによってメソ及び局地アンサンブルの高度化に資する開発を行う。(副課題 2)</p>
令和 7 年度 実施計画	<p>(副課題 1) 衛星データの同化及びリモートセンシング技術の高度化</p> <p>① 衛星データ同化の高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・赤外センサーの全天候輝度温度同化処理を改良し、全球データ同化実験を通して詳細に効果を調査する。複数のハイパーサウンダや多様なチャンネルの適用可能性についても調査する。 ・陸域マイクロ波射出率推定及び地表面温度の雪氷面における処理を高度化し、全球データ同化実験を用いた詳細な検証を行う。 ・メソ解析予報システムにおけるドップラー風ライダー同化インパクト評価を行う。特に日本付近での線状降水帯を含む豪雨事例や台風事例の予測精度への影響評価や、AMV など他の風観測との補完性を調査する。 ・ハイパーサウンダの多チャンネル情報を有効に活用した同化のため、AI 技術を応用した観測データ情報圧縮・抽出アルゴリズムを開発し、チャンネル選択手法を実装する。 ・衛星搭載雲水レーダーについて、CloudSat/CPR の同化処理の改良と、2024 年に打ち上げ予定の EarthCARE/CPR の特性調査および同化処理の開発を行う。小型衛星 (TOROPICS) の同化処理を開発し、初期的な同化実験を行う。 ・ひまわり 10 号搭載ハイパーサウンダや JAXA 将来衛星搭載 DWL の利用調査を行い、それらのインパクトや他観測との相乗効果を調査する。 <p>② 全球データ同化システムの高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・同化手法の高度化として、アンサンブル同化により水物質の取り扱い等を高度化し、計算量や精度を評価する。 ・観測情報の拡充として、水物質関連観測 (輝度温度、雷観測等) の同化等を高度化し、解析場や解析、予報精度の変化を評価する。 ・数値予報及び観測システムの評価とデザインの高度化として、複数の OSSE 手法の組み合わせによる堅牢な評価手法の構築等を行う。 ・結合同化の高度化について、大気と他媒質間の同時確率密度関数を取り扱える同化システムの構築等を行う。 <p>③ 衛星・地上観測による大気中物質のリモートセンシング技術に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・EarthCARE 衛星のエーロゾルプロダクトを地上観測による検証結果を使ってアルゴリズムの改良を実施する。 ・2 台の全天カメラと静止気象衛星を使って雲の三次元分布を推定する手法を開発する。 ・地上放射観測網 (福岡、つくば、南鳥島) において、分光放射計及び大気の現地測定による地上エーロゾル光学特性連続観測を実施し、黄砂粒子や黒色炭素の発生、大陸からの汚染大気輸送を考慮した観測を実施する。

- ・太陽光・月光観測分光放射計により、昼夜間のエアロゾルの変動監視技術の開発を行う。
- ・気象研究所の地上放射観測網（福岡、つくば、南鳥島）の分光放射計による観測データからエアロゾルの組成推定、エアロゾル光学特性の空間・時間分布を解析する。
- ・大気プロファイル推定技術の向上とその情報利用の高度化のため、衛星搭載の多波長センサーにおける AI 技術を応用した観測データ情報圧縮・抽出アルゴリズムを開発する。
- ・赤外サウンダが観測した火山灰雲の赤外輝度温度スペクトル情報から、火山灰物質情報（複素屈折率）を推定する。その情報をもとに火山灰粒子モデルを決定し最適火山灰解析（OVAA）によるひまわりイメージャ解析を実施することでひまわりイメージャによる火山灰推定精度の向上を図る。
- ・ひまわりと GCOM-C など異なる観測特性を持つ衛星データを複合的に利用することで、ひまわり単体では得られなかった火山灰推定を実現する。

（副課題 2）次世代メソスケールデータ同化およびアンサンブルシステムの高度化

① 非線形・非ガウスを考慮する同化システムの開発

- ・粒子フィルターや LETKF-LPF ハイブリッドシステムなど非線形性を考慮するデータ同化手法の開発を行う。
- ・非ガウス型背景誤差を扱えるよう現業同化システムを拡張し、水蒸気・水物質関連の効果的な同化を目指す。さらに大気の水蒸気・気温・運動量とバランスする水物質の初期値作成を行う。

② 高度な観測データ同化手法

- ・メソ解析における赤外サウンダデータ、二重偏波レーダー、地上マイクロ波放射計等のリモートセンシング観測データ同化手法の高度化を行う。
- ・GNSS 偏波掩蔽観測、水同位体比観測データなど新規観測データ同化手法の開発を行う。
- ・時空間における観測誤差相関を考慮する手法の開発を行う。

③ アンサンブルシステムによる線状降水帯や豪雨の予測

- ・既存システムの高度化として、EDA、LETKF、EnVar、SV、BGM などの開発を行う。
- ・大アンサンブルシミュレーションデータを用いた顕著現象のメカニズム解明や、気象災害に対する高精度確率情報の作成、少数アンサンブルとの比較など、アンサンブルデータの利用について高度化を図る。

（副課題 3）顕著現象の実況監視とメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発

① 顕著現象のメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発と実証実験

- ・暖候期（5 月～10 月）に長崎市野母崎において、線状降水帯をターゲットとした水蒸気 DIAL 観測を行う。
- ・DIAL 観測データの品質評価、デノイズ手法の適用を行う。
- ・DIAL 観測データとドップラーライダー、地上観測データ等と合わせた現象解析、データ同化による予測へのインパクト調査を行う。

② 実況監視とメカニズム解明・予測に有望なデータの特性と有効性の調査

- ・新規および既存観測データ質の評価、品質管理方法の開発、実況把握への利用を行い、大気海洋部が 3 次元実況監視ツールを開発する上で参考となる地上リモートセンシング観測の利活用状況について情報提供を行う。さらに、線状降水帯を含めた顕著現象に有効な実況監視手法についても情報共有を行う。

- ・大気海洋部からの併任者などの本庁担当者、台風・災害気象研究部と連携して、地上マイクロ波放射計観測による輝度温度や放射計算によって求めた可降水量や温度・水蒸気プロファイルなどを大気海洋部と情報基盤部に提供する。また地上マイクロ波放射計観測に関わる知見について大気海洋部や情報基盤部と共有するとともに 3 次元実況監視ツールの開発にもデータ提供等の協力を行う。

③ 気候変動に影響を及ぼす火山噴火や森林火災、人為起源エアロゾル監視のための地上リモートセンシング技術の開発と観測

- ・つくば、ニュージーランド・ローダーでのエアロゾルライダー観測を行う。

	・気象研地球システムモデル (MRI-ESM)、火砕物移流拡散モデルとの比較検証を行う。・2024年5月に打ち上げられた EarthCARE 衛星搭載ライダーのデータ検証を行う。

「課題解決型研究」

研究課題	<p>(T課題) 台風・線状降水帯等の顕著現象の機構解明と監視予測技術の高度化に関する研究</p> <p>副課題1：台風の遷移過程に関する解析・予測技術の研究</p> <p>副課題2：線状降水帯等の顕著現象の機構解明と数値予報を用いた予測技術の研究</p> <p>副課題3：顕著現象のリアルタイム検出・予測技術とその利用に向けた研究開発</p> <p>副課題4：顕著現象を捉える基盤的な観測・解析技術の研究</p>
研究期間	令和6年度から5年間（5年計画第2年度）
担当者	<p>○足立アホロ 台風・災害気象研究部長 (副課題1)</p> <p>[台風・災害気象研究部]○和田章義、嶋田宇大、川端康弘、辻野智紀、高橋卓也、柳瀬亘（併任）、石文 希（併任）、文野彩花（併任）、伊藤享洋（併任）</p> <p>[気象観測研究部] 岡本幸三</p> <p>(副課題2)</p> <p>[台風・災害気象研究部]○益子渉、廣川康隆、小野耕介、荒木健太郎、栃本英伍、末木健太、熊谷小緒里（併任）、荒木公仁（併任）、一川孝平（併任）、塚本暢（併任）、小野茉莉花（併任）、加藤輝之（併任）、津口裕茂（併任）、北畠尚子（併任）、清野直子（併任）</p> <p>[気象予報研究部] 橋本明弘、林修吾</p> <p>(副課題3)</p> <p>[台風・災害気象研究部]○足立透、楠研一、北村智文</p> <p>(副課題4)</p> <p>[台風・災害気象研究部]○山内洋、梅原章仁、鶴沼昂、益子渉、荒木健太郎、足立透、南雲信宏（併任）、酒井貴紘（併任）、佐藤英一（併任）</p> <p>[気象予報研究部] 林修吾</p> <p>[気象観測研究部] 瀬古弘、吉田智（併任）</p> <p>[火山研究部] 石元裕史</p>
目的	<p>台風及び線状降水帯等による集中豪雨・大雪・竜巻等突風等の顕著現象を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。</p> <p>(副課題1)</p> <p>熱帯低気圧、熱帯低気圧（台風）、亜熱帯低気圧、温帯低気圧間の遷移過程について、対流と渦の相互作用や軸対称—非軸対称間の構造変化など、学術的には多くの未解明な課題が残っている。こうした遷移過程に関わる力学・熱力学過程を解明し、進路等台風予測との関連を明らかにする。特に台風に関して、これまで点としての情報であった台風内部域の情報を面的分布として解析・予測する技術を確立する。</p> <p>(副課題2)</p> <p>線状降水帯等による集中豪雨や大雪、竜巻等の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、それに基づく数値予報を用いた予測技術に関する研究を通して顕著現象の半日前から数日先までの予測精度向上に貢献する。</p> <p>(副課題3)</p> <p>主に突発的・局地的に発生し災害をもたらす顕著現象について、社会の多様なニーズに応じた防災・支援情報を発信するための取り組みをすることにより、国民の安心・安全への貢献を目指す。</p> <p>(副課題4)</p> <p>集中豪雨・大雪・発雷・降雪等の顕著現象について、地上リモートセンシング技術を用いた観測・解析に基づく機構解明を行い、これら顕著現象の直前予測精度の向上に貢献する。</p>
目標	<p>(副課題1)</p> <p>国内外数値予測センターなどで作成されたマルチアンサンブルデータ等、多種の</p>

	<p>解析データ、観測データ、非静力学気象モデルによる計算結果を組み合わせ、台風等の遷移過程の特徴、力学・熱力学過程及び進路との関連を明らかにするとともに、遷移過程が予測可能性へ与える影響を評価する。台風内部域の面的分布解析・予測技術を確立し、社会に影響を及ぼす台風の速報解析等に活用する。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>線状降水帯等による集中豪雨や大雪、竜巻等突風の顕著現象について、地上マイクロ波放射計等の新たな観測結果や数値シミュレーションを用いた事例解析や統計解析から、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、最先端のアンサンブル予報結果や高解像度モデルによる数値予報結果を活用し、予報現業での顕著現象に対する予測技術向上に資する知見・手法を得る。</p> <p>(副課題 3)</p> <p>主に突発的・局地的に発生し災害をもたらす顕著現象を対象に、深層学習を用いてそれらのパターンの検出や直前予測をする技術を開発する。さらに開発した技術を顕著現象のリアルタイム情報を必要とする事業者や交通等へ適用するための研究を産学官連携のもとで行う。</p> <p>(副課題 4)</p> <p>地上リモートセンシングにより、雲内微物理量（雨粒の粒径、降水粒子種別）の3次元分布を把握する技術を確立し、顕著現象（大雨、大雪、降雹、発雷等）の機構解明を通じてそれらの直前予測指標を開発する。またこれら3次元分布を高頻度に取得するためのレーダー観測技術を開発する。</p>
<p>研究の概要</p>	<p>(副課題 1)</p> <p>(a) 台風等の遷移過程に関わる力学・熱力学機構の解明</p> <p>数値予報センターによるマルチアンサンブルデータ、大気海洋再解析データ、様々な衛星データ及び二重偏波気象レーダーを含む各種現場観測データを用いて、台風等の遷移過程の判別手法を開発する。事例解析により台風等の遷移過程における対流と渦の相互作用の知見を深める。台風等遷移過程の気候学的特徴、大気海洋環境場の気候学的特徴との関連を解明するとともに、予測可能性に関する研究を実施する。</p> <p>(b) 台風内部域における雨風分布の実態把握と予測可能性</p> <p>非静力学大気モデル（水平解像度1km程度の高解像度モデル）、衛星データ、レーダーデータ及び現場観測データを組み合わせ、台風域に特有な雨風分布に関する研究を実施する。台風構造を代表するパラメータに関するデータセットを整備するとともに、面的解析・予測技術を構築し、予測可能性に関する研究を実施する。社会に影響のある台風については、科学的な情報を外部へ適宜発信する。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>(a) 線状降水帯等の顕著現象の実態把握と機構解明に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・過去に発生した線状降水帯等の顕著現象に対して、非静力学数値モデルでの再現実験や客観解析データ、地上・高層・レーダーや地上マイクロ波放射計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、顕著現象に至る階層構造を含めて、実態把握や機構解明に取り組む。数値シミュレーションについては、サブkmの高解像度の実験も行い、感度実験や理想実験を通して機構解明に取り組む。 ・大雨・大雪等の顕著現象を対象として、地上マイクロ波放射計等の新しい観測データや客観解析データを用いた事例解析・統計解析を行うことで、その発生環境場の時空間変動を解明することにより、予報現業における実況監視技術・診断的予測技術の高度化に資する研究を行う。 ・特に顕著な現象が発生した時は、速やかに客観解析データ・各種観測データの解析・非静力学数値モデルの実行結果からその発生要因等を調査する。 <p>(b) 数値予報を活用した顕著現象の予測技術に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・客観的に抽出した過去30年以上の線状降水帯事例を対象として、再解析データを活用した統計解析を行い、現象の事態把握や発生・発達・維持機構に寄与す

	<p>る環境場の特徴の解明を行う。それをもとに、「線状降水帯発生条件」の検証と改良を行い、半日前から数日先までの線状降水帯発生予測の精度向上に資する指標を作成する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 線状降水帯等による集中豪雨や大雪等の顕著現象に対して、高解像度のアンサンブル予報結果を利用して予測可能性を支配する要因を解明するとともに、確率論的及び決定論的予測技術の高度化を行い、予報現業における顕著現象予測技術の向上に資する研究を行う。 <p>(副課題 3)</p> <p>(a) 顕著現象に伴うデータセット構築 全国の気象レーダーをはじめ、過去に発生した顕著現象に伴うデータを収集する。解析等を通じて顕著現象の特徴量を考察し、深層学習モデルの教師データとしても使用可能なメタ情報を付与したデータセットを構築する。</p> <p>(b) 深層学習モデルに基づく顕著現象の検出・予測技術の開発 構築されたデータセットを用いて、顕著現象に伴うパターンやその時系列を扱う深層学習モデルを作成して評価を行う。さらに深層学習モデルをベースとした顕著現象の検出・予測技術の開発を行う。</p> <p>(c) 顕著現象のリアルタイム検出・予測情報利用に関する研究 防災上の様々な利用形態が想定される顕著現象のリアルタイム情報に対し、必要なプロダクト・精度・リードタイム等のニーズを把握し、レーダーデータや映像・位置情報等をリアルタイム連携させたプロダクトやその配信を行うための要件を産学官連携で検討し、提案をまとめる。</p> <p>(副課題 4)</p> <p>(a) 雲内微物理量の 3 次元分布把握技術の確立</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 強雨、雷、降雪をもたらす降水システムに対して、二重偏波気象レーダーによる遠隔観測と、降水粒子撮像ゾンデ、ディストロメーター、重量式雨量計等の直接観測との同期観測を実施する。 同期観測の結果を用いて降雪強度推定手法の開発を行う。 <p>(b) 顕著現象の直前予測指標の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> レーダーで観測された個々の積乱雲をセルトラッキング技術によって追跡し、(a)を用いて把握される個々の積乱雲の内部構造（雨滴の粒径、降水粒子の分布）の時間変化を捉える。 線状降水帯等の降水強化・持続のメカニズムを、積乱雲の内部構造（特に雨滴の粒径）の時間変化の観点から解明し、降水強化・持続の直前予測指標を開発する。 積乱雲の盛衰・顕著現象（降雹、発雷等）の発生メカニズムを、積乱雲の内部構造（特に降水粒子の分布）の時間変化の観点から解明し、盛衰・顕著現象（降雹、発雷等）の直前予測指標を開発する。 <p>(c) 高い時間分解能・鉛直分解能を実現する観測手法の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 顕著現象の直前予測指標の算出に必要な、高い時間・鉛直分解能を両立させながら二重偏波データを取得するためのレーダーの観測手法を開発する。まず、広い探知範囲とドップラー速度測定精度の両立ができないために、現業レーダーにおいて「強度観測」「速度観測」に分かれている観測シーケンスを統合することにより観測時間の半減を目指す。さらに、アンテナの仰角と方位角を同時に変化させるスパイラルスキャンによって鉛直分解能を向上させる。 積乱雲の発生、継続に必要な下層水蒸気の収束を捉えるために、レーダー位相から水蒸気変化を捉える解析手法の開発を進めるとともに、レーダーによる晴天大気のドップラー速度観測技術の開発を行う。
研究の有効性	(気象業務への貢献) (副課題 1)

台風遷移過程に関する新たな学術的知見は「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」目標3の台風の進路予報精度向上及び予報改善に必須となる数値モデルの改善に資する知見を与え得る。また新しい詳細台風域雨風分布の監視・予測技術の確立は、台風防災に貢献し得る。

(副課題2)

顕著現象の機構解明や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、気象庁が提供する数日先までの防災気象情報の改善に資する。

また、高解像度アンサンブル予報結果を利用した顕著現象の予測可能性を支配する要因の解明と確率論的及び決定論的予測技術の高度化の研究は、予報現業における線状降水帯の半日前予測などの顕著現象予測技術の向上に資する。

(副課題3)

顕著現象のリアルタイム検出・予測手法の開発により、顕著現象の様相が精度よく迅速に把握できるため、観測・予測技術の改善に貢献することが可能である。さらに民間事業者はじめ、様々なユーザーが活用し易い情報を産学官連携の下で開発することは、社会の多様なニーズに応じた気象情報・データの利用促進につながる。

(副課題4)

雲内微物理量の3次元分布把握技術の確立は、冬季の解析雨量の精度向上に資する。

顕著現象の直前予測指標の開発は、線状降水帯の検出情報のリードタイム向上、雷発生確度の高精度化(空振り率の低減)、降雹の直前予測情報の開発に資する。

高い時間分解能・鉛直分解能を実現する観測手法は、気象庁だけでなく国内のCバンド現業気象レーダーに適用可能であり、国内の高頻度・3次元レーダー観測網の実現に資する。

(学術的貢献、社会的貢献など)

(副課題1)

2030年に向けた台風進路予測誤差軽減目標を達成する上で、熱帯低気圧部、熱帯低気圧(台風)、亜熱帯低気圧、温帯低気圧間に見られる遷移過程の力学・熱力学過程を解明することは、学術的に重要な課題である。また台風域内の構造を面的に解析・予測する技術は、遷移過程の力学・熱力学過程を理解する上で必要であるだけでなく、社会的においても、特に暴風予測の面で災害の軽減に貢献することが期待される。こうした活動を国内外の大学・研究機関等と連携することにより実施することは、台風に関する多くの学術的・社会的課題を克服する上で有益である。学術的知見はまた、世界気象機関(WMO)、台風委員会(The ESCAP/WMO Typhoon Committee)等の国際活動及び地域特別気象中枢(RSMC)業務に貢献する。

(副課題2)

線状降水帯等の顕著現象の内部構造や発生機構については未だ不明な点が多く、その解明は学術的な意義が大きい。また、数値予報を活用した顕著現象の予測技術に関する研究については、気象予測精度の向上とともに、防災、風工学など様々な分野に貢献する。

(副課題3)

顕著現象を検出・予測する技術を開発する過程で、未解明な面が多い顕著現象の詳細なメカニズムや発生・発達プロセス等、気象分野における学術的知見の蓄積が可能となる。またレーダーデータとソーシャルデータ等から得られる位置情報や映像をリアルタイムで連携させる技術が将来的に実証されれば、これらをさらに広く防災減災分野に応用することにつながる。

(副課題4)

	<p>雷雲の内部構造を把握することで、これまで提唱されてきた雷の発生メカニズムを更新することが可能となり、当該研究分野の発展に大きく寄与する。積乱雲の時間発展を加味した降水強化の過程を明らかにすることは、線状降水帯のような限られた地域で大雨をもたらす現象の発生・発達メカニズムの解明に大きく貢献する。また開発する晴天大気ドップラー速度観測技術は、日本が世界に先駆けて導入した固体素子送信機において初めて実装可能な観測技術であり、実現されれば気象レーダーをウィンドプロファイラとして活用できるようになる。</p>
令和7年度実施計画	<p>(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 (a) 台風等の遷移過程に関わる力学・熱力学機構の解明 数値予報センターによるマルチアンサンブルデータ、大気海洋再解析データ、様々な衛星データ及び二重偏波気象レーダーを含む各種現場観測データを引き続き整備する。マルチアンサンブルデータ等を用いた台風発生・予測に関わる統計的研究に着手する。熱帯低気圧等の遷移過程に関する数値実験及び力学・熱力学機構の研究に着手する。台風の遷移過程の判別手法の開発に関する研究を引き続き実施する。 (b) 台風内部域の面的分布解析・予測技術の開発と台風即時解析への適用 数値大気モデルによる熱帯低気圧の高解像度な理想・再現実験環境の整備、台風域雨風分布研究のためのレーダー・衛星データを主とした台風域雨風データセットに関する統計解析環境の構築を引き続き実施する。台風内部構造推定手法に関する研究を引き続き実施する。 社会に影響のある台風について収集したデータや数値モデル結果に基づいた即時解析を実施し、科学的な情報を外部へ適宜発信する。</p> <p>(副課題2) 線状降水帯等の顕著現象の機構解明と数値予報を用いた予測技術の研究 (a) 線状降水帯等の顕著現象の実態把握と機構解明に関する研究 近年発生した線状降水帯等の顕著現象に対して(令和5年6月に高知県で発生した線状降水帯事例や令和5年9月8日に房総半島から福島県沿岸にかけて発生した大雨事例、令和6年7月の山形県、9月の能登半島で発生した線状降水帯事例など)、客観解析データや地上・高層・レーダー・地上マイクロ波放射計などの各種観測データ、非静力学数値モデルでの再現実験等を駆使することにより事例解析を行い、現象の内部構造や発生・維持機構を明らかにするとともに、過去に発生した顕著事例との比較も行う。 地上マイクロ波放射計等の観測データを用いた大気熱力学場の解析技術を高度化し、大雨・大雪事例に適用してそれらの発生環境場の時空間変動の解析を進め、現象の発生から終焉に至るまでの環境場の特徴についての理解を深める。 特に顕著な現象が発生した時は、速やかに客観解析データ・各種観測データの解析・非静力学数値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予測技術に関する研究 過去30年以上の線状降水帯を対象とした長期再解析データや気象庁メソ解析値による統計解析から、発生・発達・維持機構に寄与する環境場の特徴を把握し、各特徴を地域や季節、発生メカニズム別に系統的に整理し現象の理解につなげる。また、気象庁メソ解析および局地解析等の客観解析を用いて線状降水帯等の顕著現象の発生環境場に有効な指標を調査する。 水平解像度2km程度の高解像度アンサンブル予測システムを近年発生した線状降水帯を含む大雨、大雪等の顕著現象に適用し、その予測精度を検証し問題点・改善点を抽出するとともに、予報現業に適した利用方法を検討する。</p> <p>(副課題3) 顕著現象のリアルタイム検出・予測技術とその利用に向けた研究開発 (a) 顕著現象に伴うデータセット構築 ・過去の顕著現象事例を抽出し、対象となる顕著現象の種類を定義する。 ・気象レーダーデータベースから、定義した顕著現象に関連する気象データを収集する。 ・収集したデータから、顕著現象の特徴量を考察し、深層学習の教師データとして使用可能なメタ情報を付与する。 (b) 深層学習モデルに基づく顕著現象の検出・予測技術の開発</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ・顕著現象の検出に使用する深層学習のモデルアーキテクチャを設計する。 ・必要に応じて、既存モデルのカスタマイズや改良を行う。 ・構築したデータセットを用いて、モデルの性能評価や改良効果の検証を行う。 <p>(c) 顕著現象のリアルタイム検出・予測情報利用に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・事業関係者への調査結果を参考に、本プロジェクトで対象とする顕著現象に関する情報ニーズを評価する。 <ul style="list-style-type: none"> ・必要な情報内容、精度、リードタイム等の要件を推定する。 <p>(副課題4) 顕著現象を捉える基盤的な観測・解析技術の研究</p> <p>(a) 雲内微物理量の3次元分布把握技術の開発</p> <p>強雨、雷、降雪をもたらす降水システムに対して、研究協力機関と連携し、降水粒子撮像ゾンデ、ディストロメータ、重量式雨量計等の直接観測を実施する。得られた直接観測の結果と比較・検証することにより、二重偏波レーダーによる粒径分布推定、降水粒子判別手法を高度化する。</p> <p>(b) 顕著現象の直前予測指標の開発</p> <p>線状降水帯事例に対して、積乱雲とともに移動する座標系から見た雲内部における雨粒の粒径分布の時間変化を解析し、降水強化のメカニズムを解析する。降雹・発雷事例に対して、積乱雲とともに移動する座標系から見た雲内部における降水粒子分布の時間変化を解析し、雹生成から降雹、電荷分離から発雷に至るメカニズムを解析する。</p> <p>(c) 高い時間分解能・鉛直分解能等を実現する新たな観測手法の開発</p> <p>固体素子二重偏波レーダーの機能強化を行い、高頻度・高解像度観測、晴天大気観測を実施する。取得した観測データを用いて、これら新しい観測シーケンスに適用可能な新たなドップラー速度処理アルゴリズム、3次元データ作成アルゴリズムを完成させる。</p>
--	---

研究課題	(C課題) 気候システム及び炭素・生物地球化学循環の解明・評価・予測に関する研究 副課題1：異常気象・気候変動やその予測可能性の解明・評価 副課題2：地球温暖化に伴う気候変動・極端現象変化のメカニズム解明と将来予測 副課題3：大気中の物質循環及び炭素収支の理解・評価 副課題4：海洋の炭素・生物地球化学循環の実態評価・変化予測
研究期間	令和6年度から5年間(5年計画第2年度)
担当者	○仲江川敏之 気候・環境研究部長 (副課題1) [気候・環境研究部] ○原田やよい、石井正好、中村哲、関澤偲温、仲江川敏之、保坂征宏、遠藤洋和、古林慎哉(併任)、高坂裕貴(併任)、前田修平(併任)、小林ちあき(併任)、竹村和人(併任)、瀬崎歩美(併任) [全球大気海洋研究部] 出牛真、吉田康平、吉村裕正、高谷祐平、足立恭将、安井良輔、平原翔二、石川一郎 [応用気象研究部] 川瀬宏明、直江寛明 (副課題2) [気候・環境研究部] ○保坂征宏、水田亮、遠藤洋和、行本誠史、原田やよい、石井正好、関澤偲温、仲江川敏之、小畑淳(併任) [全球大気海洋研究部] 辻野博之、出牛真、大島長、吉田康平、吉村裕正、高谷祐平、足立恭将、中野英之、浦川昇吾、平原翔二、石川一郎 [気象予報研究部] 川合秀明、長澤亮二 [応用気象研究部] 川瀬宏明、直江寛明、村崎万代、山口宗彦 (副課題3) [気候・環境研究部] ○澤庸介、永井康之、石井雅男、藤田遼、大鹿真(併任)、坪井一寛(併任)、石島健太郎(併任) [全球大気海洋研究部] 眞木貴史 (副課題4) [気候・環境研究部] ○豊田隆寛、遠山勝也、小杉如央、石井雅男、笹野大輔(併任)、飯田洋介(併任)、小野恒(併任) [全球大気海洋研究部] 辻野博之、中野英之、浦川昇吾
目的	(全体) ・ 大気と海洋を含む気候システムや、その応答過程で重要な炭素循環及びそれに関連する生物地球化学循環について、観測及び数値モデルによるデータ・プロダクトを複合的に活用することで、諸現象の要因を解明し、過去から将来にわたる解析・予測に係る信頼性を向上するとともに、観測及び数値モデルの進展にフィードバックする。 ・ そのことで、気候システム及び炭素・生物地球化学循環の現状及び過去から将来にわたる変化を評価・考察し、社会経済の発展及び政策決定のための理解促進・活用に資する。 (副課題1) 異常気象・気候変動やその予測可能性の解明・評価 気候系や異常気象について、現象の監視、要因分析及びメカニズム解明、長期再解析の品質評価、及び季節～十年規模の予測可能性の解明に貢献する。 (副課題2) 地球温暖化に伴う気候変動・極端現象変化のメカニズム解明と将来予測 地球温暖化に伴う気候変動について、気候モデルデータや予測システムを用いてメカニズム解明と将来予測を行い、信頼できる予測情報の活用にご貢献する。 (副課題3) 大気中の物質循環及び炭素収支の理解・評価 大気中の温室効果ガスの時空間変動について、多角的観測による実態把握及び要因解析とともに、解析結果に基づき地球規模の炭素収支・物質循環の理解にご貢献する。 (副課題4) 海洋の炭素・生物地球化学循環の実態評価・変化予測 海洋の炭素循環及びそれに関連する生物地球化学環境について、観測・モデルの活用により、季節変動の実態把握及び循環の長期変動の総合的分析にご貢献する。
目標	(全体)

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 災害の激甚化に対応した防災意識の向上や防災・社会インフラ整備の計画的な推進など、地球温暖化対策の政策判断や適応支援に必要な、気象庁による情報提供に関するニーズに対応し、科学的基盤となる知見の充実や国際活動に参画・貢献するとともに、気象庁の基盤技術向上に寄与し、情報発信・国際協力に係る業務を支援・補完する。 ・ 特に、過去から将来にわたる様々な時間スケール及び大気と海洋を跨ぐシームレスな情報提供に貢献し、次世代技術を志向した研究を推進する。 <p>(副課題1) 異常気象・気候変動やその予測可能性の解明・評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 長期再解析、季節予測システムのデータ、観測データを活用し、気候系の監視、異常気象や極端気象の要因となる遠隔影響のメカニズム解明を行う。 ・ 地球温暖化や十年規模変動と異常気象との因果関係について即時的な評価を行う。 ・ 他機関の長期再解析や観測データの比較から気象庁第3次長期再解析(JRA-3Q)の品質評価を行い、将来の長期再解析の高度化・改善に向けた提案する。 ・ 季節から十年規模変動内において極端気象の要因となる遠隔影響の予測可能性評価と予測改善のための研究を行う。 <p>(副課題2) 地球温暖化に伴う気候変動・極端現象変化のメカニズム解明と将来予測</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ さまざまな気候モデル・観測のデータを活用し、過去から将来にかけての気候変動メカニズム解明、要因分析を行う。気候場に加え、物質循環にも着目する。 ・ 全球高解像度モデルの数値実験結果を用いて、過去の再現性を評価したうえで、適応策を意識した近未来をはじめとする将来予測を行う。特に東アジア域の気候場の変動・変化、極端現象のメカニズム解明・要因分析に注目する。 ・ 地球温暖化にかかわる検討・予測・評価に関する知見等をまとめ、近未来予測を含む将来予測データに関わる情報を作成する。 <p>(副課題3) 大気中の物質循環及び炭素収支の理解・評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 主要な温室効果ガス(CO₂、CH₄、N₂O等)について、大気中濃度の時空間変動の実態を把握し要因を解析して理解するとともに、地球システムにおける炭素等物質の循環及び収支を解析して評価する。 ・ そのために必要な観測・解析を行い、技術・システムの開発・導入を推進し、気象庁及び国内外の技術基盤の維持・高度化・発展に貢献する。 <p>(副課題4) 海洋の炭素・生物地球化学循環の実態評価・変化予測</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 船舶や自動測器等による海洋生物地球化学パラメータの表層観測データを取得・収集し、日本近海域をはじめとした海洋における表層生物地球化学環境の季節変動の実態を把握する。 ・ 観測船による長期定線観測データや海洋モデルによる過去再現・将来予測実験データを活用し、日本近海域をはじめとした海洋における生物地球化学場の過去から現在、将来にわたる長期変動を評価する。 ・ 国際共同研究プロジェクトへの参加を通じて、炭素循環の実態解明や将来予測に貢献する。 ・ 季節・長期変動の実態評価や相互比較結果等をもとに、海洋モデルにおける生物地球化学パラメータの季節変動の再現性や将来予測の不確実性を評価し、モデルにおける関連諸過程の改善に向けたフィードバックを行う。
<p>研究の概要</p>	<p>(副課題1) 異常気象・気候変動やその予測可能性の解明・評価</p> <p>① 異常気象の分析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 長期再解析(JRA-3Q)や季節予測システムを用いて、気候系の監視、ブロッキング形成、寒波の吹き出しなどの異常気象をもたらす持続的な偏西風の蛇行の要因としての遠隔影響のメカニズム解明や、豪雨、熱波、台風などの極端な気象現象の要因分析を行う。 ・ 気温の上昇や水蒸気の増加などの熱力学的な効果に加え、豪雨が発生する際の極端な気圧パターンなどの偏西風の蛇行の要因としての遠隔影響について、地

球温暖化や十年規模気候変動と個別の異常気象の因果関係の評価を行う。

② 将来の長期再解析に向けた検討

- ・ 月統計値に加え日別値を用いて、短周期擾乱や長周期波動の表現性能、北半球や南半球環状モード、ハドレー循環、ウオーカー循環、モンスーン循環について、JRA-3Qの品質評価を行う。
- ・ データ同化システムにおける大気モデルや、エーロゾル等の強制場の違いが解析値に与える影響について、感度実験の比較から評価する。
- ・ JRA-3Qと他機関（ECMWF、NCEP、NASA）の長期再解析やISCCP衛星データなど観測データと比較し、再解析の精度、衛星データ同化による再解析表現、降水量や水蒸気量の評価、熱帯波動や熱帯低気圧の表現性能、成層圏準二年振動や火山性エーロゾル表現の性能について、問題点を整理する。海洋データ同化の利用による海面境界条件の精度向上や大気海洋結合データ同化システムの利用等、長期再解析の高度化について検討し、将来的な改善について提案する。

③ 季節～十年規模変動の予測可能性の解明・評価

- ・ 遠隔影響を通して異常気象や極端気象をもたらす熱帯域・中緯度域・極域の季節～十年規模気候変動や長期変化の予測可能性を調査し、予測精度向上に資する情報を提供する。

(副課題2) 地球温暖化に伴う気候変動・極端現象変化のメカニズム解明と将来予測

① 地球システムモデルを用いた研究

- ・ MRI-ESM及びCMIPのマルチESMデータをはじめとするさまざまな気候モデル及び観測データを活用し、全球規模の気候場（熱帯・ENSO、アジアモンスーン、中高緯度など）に加え、物質循環（炭素循環等）にも着目したうえで、過去の変化の再現性を評価し、将来予測を行う。
- ・ MRI-ESM3を用いたCMIP7実験（endorsed MIP等）を実施・データ提出し、各MIPで注目する現象やメカニズムに着目した初期解析を行う。

② 全球高解像度モデルを用いた研究

- ・ 大気海洋結合の効果を加え、高い再現性能を持つ全球高解像度システムを活用することで、主に、東アジアの気候場（梅雨・大気循環等）や極端現象（気温・降水・台風等）のメカニズム解明・要因分析、予測・評価を行う。将来予測には各種不確実性の評価や、2050年ころまでの近未来予測を含める。
- ・ 全球高解像度システムにMRI-ESMに含まれる諸過程の取り込みを図る。

③ 信頼度の高い地球温暖化予測情報の作成

- ・ シナリオ、内部変動、モデル等の不確実性も含めた、地球温暖化にかかわる検討・予測・評価を行う。
- ・ 「日本の気候変動2025」や「気候予測データセット2027」（仮）の解説書等にそれらの知見を反映させる。

(副課題3) 大気中の物質循環及び炭素収支の理解・評価

① 温室効果ガスの多角的観測・観測技術の向上

- ・ 気象庁地上観測所や移動体（航空機など）をはじめとする観測プラットフォームを活用し、トレーサーとなるラドン(^{222}Rn)や炭素収支に関わる酸素(O_2/N_2)などの多角的観測を実施する。
- ・ 小型化された携行型レーザー分光分析計の活用、廉価型分析計の調査・実用化などの新たな技術の開発や導入を推進し、気象庁の観測基盤の維持や発展に貢献する。

② 大気中温室効果ガスの実態把握・変動要因解析

- ・ 気象庁による温室効果ガス等の定常観測データ、気象研究所や他機関が気象庁プラットフォームなどで行う研究観測データを中心に、気象データ、気象再解析データ、モデルを広く活用することで、大気中の温室効果ガスの時空間変動の実態を把握し変動要因を解析する。

③ 炭素等物質循環の実態把握・評価

- ・ M課題で開発されたMRI-ESM3を温室効果ガスに適用し、温室効果ガスの解析システムとして新たに導入する。CO₂だけでなくCH₄、N₂O等も対象に全球

	<p>的な振る舞いを再現し、炭素や窒素等物質の輸送や循環の実態を解明し、陸域・海洋における収支解析・発生吸収源を評価するとともに、不確かさの軽減など解析システムの高度化を目指す。</p> <p>(副課題4) 海洋の炭素・生物地球化学循環の実態評価・変化予測</p> <p>① 観測データに基づく海洋表層生物地球化学環境の季節変動の実態把握</p> <ul style="list-style-type: none"> 近年世界の海洋に展開され始めている生物地球化学フロート等の自動観測機器による観測データの収集や、船舶による航走連続観測・水中グライダー観測等を独自に実施してデータを取得するなどして、日本近海域をはじめとした海洋表層の生物地球化学パラメータの季節変動の実態を分析する。 海洋モデルに実装された生物地球化学過程が過去再現実験等で表現する海洋生物地球化学パラメータの表層季節変動特性を、日本近海域を含む北西太平洋域を中心に分析する。 観測データとモデルデータの季節変動性の差異に基づき、海洋モデルの生物地球化学過程の改良について指針を得る。 <p>② 観測・モデルデータ活用による海洋炭素・生物地球化学循環の長期変動の総合分析</p> <ul style="list-style-type: none"> 船舶による各層・定線時系列の観測データを分析して海洋生物地球化学環境の長期変動を明らかにするとともに、「気候変動予測データセット 2022」などの黒潮を解像する北太平洋域海洋モデルによる過去再現・将来予測データにおける長期変動を分析して、日本近海域を含む北西太平洋域の予測不確か性評価に対する指針を得る。 海洋生物地球化学過程を実装した海洋モデルによる過去再現、将来変化予測実験結果を用いて、炭素循環の評価を目的とした国際プロジェクト (CMIP、RECCAP、GCP) に参加する。そのことにより、海洋炭素循環の実態解明や将来予測の国際共同研究活動に貢献するとともに、モデルの再現性能比較等を通じてモデルにおける海洋生物地球化学関連諸過程の検証・改善に対するフィードバックを行う。 海洋モデルの季節変動過程をはじめとする改良が、海洋モデルの炭素・生物地球化学パラメータの気候値バイアスや将来予測の不確か性の低減に及ぼす影響等を分析・評価する。
<p>研究の有効性</p>	<ul style="list-style-type: none"> 気象庁による基盤技術 (大気・海洋環境観測、季節予測・地球システムモデル、長期再解析など) の向上及びシームレスな気象情報 (季節予報・十年規模予測、異常気象要因分析、大気・海洋環境解析、「日本の気候変動 2025」など) の提供を支援・補完し、気象業務の推進に貢献する。 国際的な計画・プロジェクト (WCRP/CMIP, GCOS/GOOS、WMO/GAW、GCP/RECCAP、IPCC、UNFCCC/パリ協定など) に参画・協力し、これらの推進、関係コミュニティにおける日本のプレゼンス向上及び気象庁の国際業務に貢献する。 研究機関が連携する研究プロジェクト (気候変動予測先端研究プログラム、科学研究費助成事業 (新学術領域研究)、環境研究総合推進費 (戦略的研究開発領域課題)をはじめ各種課題) や共同研究の相手方の大学・研究機関の研究の推進に寄与し、それを通じて科学・社会に還元する。 異常気象や地球温暖化に関する最先端の科学的知見の提供及び啓発活動を通じた、気候変動に関する一般市民の意識向上及び緩和・適応に向けた国内外の政策の立案や実施に貢献する。
<p>令和7年度実施計画</p>	<p>(副課題1) 異常気象・気候変動やその予測可能性の解明・評価</p> <p>① 異常気象の分析</p> <ul style="list-style-type: none"> 気候系の監視、大気循環場の変動と異常気象発生時の要因分析やそれらのメカニズム解明を行う。異常気象や極端気象の要因となる遠隔影響の分析を行い、異常気象分析検討会へ貢献する。 長期再解析データ等を用いて、日本の猛暑や全球高温現象に関する要因分析、あるいは海洋大陸上のローカルハドレー循環を介した遠隔影響による日本付近での異常気象の発現に関する調査を行う。

- ・ JRA-3Q を含めた複数の長期再解析を用いて成層圏界面付近の極端に強い東風イベントの力学的解析結果をまとめる。
- ② 将来の長期再解析に向けた検討
 - ・ 他センターの再解析データの入手・整備、及び大気再解析データの品質評価に必要な検証用観測データの入手・整備を行う。
 - ・ 大気データ同化システムにおけるエロゾル等の強制場の違いが長期再解析値に与える影響の評価、および結合データ同化システムによる短期再解析の品質評価に関連する情報の収集を行う。
 - ・ 北オーストラリア周辺などモンスーン域における降水活動の再現性と大気循環場や陸面過程との関係について、観測・再解析データ間での比較を行う。
 - ・ JRA-3Q における熱帯低気圧の詳細な品質評価作業を実施し、熱帯低気圧の表現性能についての課題を整理する。
- ③ 季節～十年規模変動の予測可能性の解明・評価
 - ・ 季節予測システム (CPS3) のハインドキャストの解析により、アジアモンスーン、台風年々変動、中緯度大気海洋相互作用、成層圏現象などの再現性と予測可能性を調べる。
 - ・ ハインドキャストを用いて、成層圏突然昇温現象が対流圏変動の季節予測可能性に与える影響、あるいは海洋大陸周辺の降水活動変動のスケール間相互作用や遠隔影響などを調べる。

(副課題 2) 地球温暖化に伴う気候変動・極端現象変化のメカニズム解明と将来予測

- ① 地球システムモデルを用いた研究
 - ・ 引き続き、CMIP6 等のマルチモデル解析、MRI-ESM2 の感度実験等による気候メカニズム解明を進める。
 - ・ 他課題と連携し、MRI-ESM3 を用いた CMIP7 用の preindustrial (工業化前) 設定での助走ラン (数千年にわたる超長期積分) 等について予備的な解析を行い、MRI-ESM3 の特性について事前調査を行う。
- ② 全球高解像度モデルを用いた研究
 - ・ 引き続き、大気・海洋間の結合効果の加わった全球高解像度モデルによる地球温暖化予測計算の初期解析を行う。結合効果のない大気モデルによる既存予測計算との比較により結合効果を調べるほか、近未来の温暖化予測の不確実性について検討する。
- ③ 信頼度の高い地球温暖化予測情報の作成
 - ・ 引き続き、地球温暖化予測の不確実性に関する検討を進め、予測情報に反映させる。
 - ・ 「日本の気候変動 2025」への貢献として普及活動を行う。

(副課題 3) 大気中の物質循環及び炭素収支の理解・評価

- ① 温室効果ガスの多角的観測・観測技術の向上
 - ・ 令和 4 年度補正予算により令和 5 年度末までに気象庁地上観測所の観測システムが更新された。令和 7 年度は、新旧比較、新システムの評価やデータの長期連続性を確認した結果について取りまとめを行う。気象庁の観測体制の変更を踏まえ、地上・航空機を用いた研究観測の再構築を行う。
 - ・ 携帯型分析計、廉価型分析計の実用化に向け、移動体 (車両、航空機) に搭載した試験観測を実施する。振動や環境変化などがある中で高品質なデータを取得できる手法を構築する。
- ② 大気中温室効果ガスの実態把握・変動要因解析
 - ・ CO₂ だけではなく CH₄ や N₂O 等にターゲットを拡大して解析を進めるため、利用可能な他機関のデータや同位体など様々な関連データ、解析ツールなどの手法を調査し・整理を行い今後の方針を立てる。
 - ・ 観測スケール維持のため、標準ガスの測定や比較実験を行う。
- ③ 炭素等物質循環の実態把握・評価
 - ・ 輸送モデルにおいて温室効果ガスの観測データを取り扱うための手法を検討し、モデル計算の準備を行う。
 - ・ MRI-ESM3 を温室効果ガスに適用するための整備を行い、輸送実験が行える環

境を整える。

(副課題 4) 海洋の炭素・生物地球化学循環の実態評価・変化予測

① 観測データに基づく海洋表層生物地球化学環境の季節変動の実態把握

- ・ 日本周辺海域において、夏季及び秋季から冬季にかけて水中グライダー観測を行い、黒潮あるいは気象擾乱の通過に伴う海洋表層の物理・生物地球化学的な構造変化の観測を行う。
- ・ BGC フロートによって取得された生物地球化学パラメータの校正手法の開発、及び初期品質評価を行う。
- ・ 観測より得られたデータを分析し、北太平洋亜熱帯・亜寒帯海域における、炭素循環に関連する生物地球化学パラメータの表層季節変動の特性の理解を図る。

② 観測・モデルデータ活用による海洋炭素・生物地球化学循環の長期変動の総合分析

- ・ 気象庁海洋気象観測船による観測定線における海洋生物地球化学パラメータの長期観測データを用い、北西太平洋海域の表層から深層に至る海洋炭素・生物地球化学環境の長期変化傾向を明らかにする。
- ・ 海洋モデルによる生物地球化学環境場の過去再現実験データを分析し、**Global Carbon Budget** をはじめとする国際研究計画に参加・貢献するとともに、相互比較等を通じて気象研究所の海洋モデルにおける人為起源二酸化炭素蓄積過程の特徴を評価する。

「地震・津波・火山研究」

研究課題	<p>(S 課題) 地殻活動・地震動・津波の監視・予測に関する研究 副課題 1 : 地震観測・データ処理技術に関する研究 副課題 2 : 地殻活動監視・評価に関する研究 副課題 3 : 地震動即時予測に関する研究 副課題 4 : 津波の予測手法に関する研究</p>
研究期間	令和 6 年度から 5 年間 (5 年計画第 2 年度)
担当者	<p>○山本剛靖 地震津波研究部長 (副課題 1) [地震津波研究部]○木村一洋、田中昌之、中田健嗣、小木曾仁、中村雅基、下條賢梧 (副課題 2) [地震津波研究部]○露木貴裕、弘瀬冬樹、小木曾仁、中村雅基、下條賢梧 (副課題 3) [地震津波研究部]○西宮隆仁、小寺祐貴、干場充之、小木曾仁、下條賢梧 (副課題 4) [地震津波研究部]○林豊、対馬弘晃、南雅晃、中田健嗣、小木曾仁</p>
目的	<p>地震や津波の発生に伴う災害を防止・軽減するため、地震発生過程・地震活動・地殻変動・地震動・津波の諸現象への理解を深め、地殻活動・地震動・津波の監視・予測技術の開発・改良を行う。</p> <p>(副課題 1) 新たな技術の導入等により地震観測及び地震データ処理の自動化・迅速化等を通じた効率化・高精度化を図る。</p> <p>(副課題 2) プレート境界固着状況変化の把握精度向上、地殻活動評価手法の開発を行う。</p> <p>(副課題 3) 地震動即時予測技術の精度向上、迅速化、堅牢化及びそれらに資する地震動リアルタイムモニタリング手法の高度化を図る。</p> <p>(副課題 4) 津波災害をより軽減するため、津波事前・即時予測手法を改良する。</p>
目標	<p>地震の観測と発生した地震の地震像を即時把握するデータ処理技術を改良する。南海トラフ沿いをはじめとするプレート境界における固着状況変化の把握精度を向上し、地震発生シナリオを構築する。地殻内変形場と地震活動の関係性を明らかにする。地震動即時予測の精度、迅速性、及び堅牢性の向上、広帯域の揺れの予測への対応、津波即時予測の効果的な改良を行う。</p> <p>(副課題 1) 光ファイバー振動計 (DAS) の地震観測への利活用可能性を検証し、その特性を生かす解析手法を開発する。観測データから地震を識別する技術、発生した地震の震源要素や規模の決定精度向上、破壊領域の即時把握など地震データ処理技術を改良する。</p> <p>(副課題 2) 南海トラフ沿いのプレート境界で発生するすべり分布の時間経過を把握する手法開発により、固着状況変化の把握精度を向上させる。地殻内のひずみ速度、非弾性変形場と地震活動との関係性を明らかにする。地震発生の数値モデルを改善するとともに、プレート境界地震発生シナリオを構築する。</p> <p>(副課題 3) 地震動即時予測について、震源位置やマグニチュードによらずに行う震度予測手法の改善を進め、精度向上、迅速性・堅牢性を向上させる。そのため、新たな観測データを含めた揺れの分布 (波動場) のリアルタイムモニタリング手法の検討を進め、</p>

	<p>さらに、震度だけでなく、より長周期の揺れを含めた広帯域の揺れの予測に対応する。</p> <p>(副課題 4)</p> <p>津波波源からの距離に応じて、波源近傍、波源からやや離れた地域、波源から遠い地域のそれぞれの予測対象について、津波即時予測の手法を効果的に改良する。</p>
<p>研究の概要</p>	<p>(副課題 1)</p> <p>① 新たな地震観測技術の検討</p> <p>既設の海底地震計用ケーブルを利用して DAS による長期間の観測を実施する。自然環境における地震以外の様々な現象との識別、地震波形の位相と振幅の長期安定性の評価などにより地震計としての活用可能性を検証する。ケーブル方向に密に振動観測を行える DAS の特性を生かしつつ業務に活用できる地震解析手法を検討・開発する。</p> <p>② 地震データ処理技術の改善</p> <p>地震の震源決定について、機械学習を利用した地震波形の識別能力向上等により自動震源の震源精度を向上させる。南海トラフ域の超低周波地震の検出手法の開発を進めるとともに、遠地震などの誤検出の除去により浅部低周波微動の検出精度を高め、また、S-net 等他の海域を監視対象とするための技術開発を進める。前期課題で作成した南海トラフ沿いのプレート境界地震に特化した近地震波形を用いた即時震源過程解析手法のプロトタイプの改良を進める。発生場所を限定しない場合の震源過程解析の迅速化手法を検討・開発する。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>① 地震・地殻変動データによるプレート境界の固着状況監視</p> <p>南海トラフ沿いのプレート境界でのすべり分布の時間変化をモニタリングする手法を開発する。また、非定常地殻変動検出ツール、スロースリップのすべり位置推定ツールを日本海溝・千島海溝沿いに対して適用し、非定常変動と変動源を把握する。</p> <p>② 地殻内変形場の推定と地震活動との関係調査</p> <p>測地データに基づく地殻内のひずみ速度、非弾性変形の推定などにより、地殻変動と地震活動との関係、地震発生ポテンシャルなどを考察する。統計モデルによる地震活動の異常度の評価手法を改良する。</p> <p>③ 地震発生シミュレーション技術の改良</p> <p>地震発生モデルで再現可能な現象の規模を、現在の長期的スロースリップ相当から短期的スロースリップ相当にするため、メッシュ細分化、計算速度高速化を行う。また、地震性/非地震性すべりの条件としてこれまで提示されている摩擦パラメータ以外に影響を及ぼすパラメータ（周囲の a-b、a/b、収束速度など）について調査する。さらに応力蓄積に基づく地震シナリオ構築手法などを用いて、南海トラフ沿いでの大きな地震発生後に、残りの震源域で発生する地震の規模や範囲を推定する方法を開発する。また同手法を日本海溝・千島海溝の地震に対しても適用する。</p> <p>(副課題 3)</p> <p>① 揺れの分布（波動場）の予測手法の高度化</p> <p>地震のリアルタイムの揺れの分布（波動場）を初期値とした波動伝播計算と地盤増幅特性の補正によって、震度のみならず広帯域の地震動の分布を正確かつ即時的に予測する手法を開発する。より猶予時間が長く、精度の高い地震動即時予測が可能となるよう、不均質な地震波減衰特性を波動伝播計算に取り込む技術開発を行う。</p> <p>② 揺れの分布（波動場）のリアルタイムモニタリング手法の高度化</p> <p>①を達成するため、周波数依存性を持つ地盤増幅特性の推定とそのリアルタイム補正、観測点での地震波形の時系列の特徴に基づいた地震波伝播の推定等により、幅広い帯域における地震動の分布とその伝播の様子を即時的に把握する技術開発を行う。</p> <p>(副課題 4)</p> <p>① 波源近傍の津波予測</p> <p>津波発生場の性質の把握を通じて事前津波予測データベースの改善点を見出し、</p>

	<p>発生直後で津波の観測値がほとんど得られない段階で予測する必要がある波源近傍の即時予測手法を改良する。</p> <p>② 波源からやや離れた地域の津波予測 津波到達までの間に沖合で観測されるデータの活用技術を高め、津波波源からやや離れていて発生から到達までの時間がやや長い地域での津波の即時予測手法を改良する。</p> <p>③ 波源から遠い地域の津波予測 津波伝播計算において、非線形性を表現する計算手法の改良を進めるとともに、計算結果の品質を診断する手法の開発を行い、津波波源から遠い地域の津波の予測手法を改良する。また、津波伝播計算手法の改良成果によって、津波予測データベース及び沖合で観測されるデータを活用した即時予測手法における波源近傍等の簡便な沿岸波高の予測手法と、津波の時間的推移の予測手法の改良も図る。</p>
研究の有効性	<p>本研究が目標とする成果は、緊急地震速報の予測精度向上、迅速化、及び長周期地震動予測への対応、適時適切な津波即時予測に基づく情報の改良、及び南海トラフ地震や後発地震の的確な評価と見通しについてのより具体的な情報の提供に結びつく。</p> <p>地震や津波に関する警報・情報の精度向上、迅速化、及び内容の充実は、情報の利便性を高め、情報の受け手がよりの確に防災・減災行動を取れるようになることが期待される。</p>
令和7年度実施計画	<p>(副課題1) 光海底ケーブルを用いた DAS の観測を行う。自然地震と地震以外の様々な振動現象のそれぞれの特徴を調査するとともに、地震波形の位相と振幅の長期安定性を評価する。 機械学習を用いた地震波形データの位相検出等の事例検証により自動震源決定処理の精度評価を行う。 南海トラフ域での浅部超低周波地震の検出手法を改良する。 近地地震波形を用い、南海トラフプレート境界に震源域を固定する震源過程解析手法を改良する。</p> <p>(副課題2) ひずみデータを用いた時間依存のインバージョン手法を開発する。 スロースリップのすべり位置推定ツールを日本海溝・千島海溝沿いに適用するための改良を行う。 地殻内のひずみ速度の統計的異常度の調査を行う。 地震発生シミュレーションモデルにおいて短期的スロースリップ相当の現象の再現を行う。</p> <p>(副課題3) 即時予測のための機械学習やアレイ解析手法の適用による揺れの特徴をとらえたリアルタイムモニタリング手法、不均質な地下構造の推定とそれらの即時予測への反映方法、合わせてそれらが広帯域な揺れに適用可能かの調査等を通じて PLUM 法的な長周期地震動予測の実現可能性、について引き続き検討を進める。</p> <p>(副課題4) 発生状況について得られる情報がごく限られる発生直後で段階において、津波波源分布の推定の不確実性が沿岸での津波の予測に及ぼす影響について検討する。 沖合の観測データを逐次的に活用して津波波源分布や波動場を推定する手法の課題について検討する。 津波数値計算における非線形性の表現を向上させるための計算手法の課題を、日本海で発生する津波を重点的に検討する。</p>

研究課題	(V課題) 火山活動の監視・評価及び予測技術に関する研究 副課題1：地球物理学的手法による火山活動の監視及び評価技術 副課題2：地球化学的手法による火山活動の監視及び評価技術 副課題3：衛星解析等による火山噴出物の濃度・確率予測技術
研究期間	令和6年度から5年間（5年計画第2年度）
担当者	○中村浩二 火山研究部長 (副課題1) [火山研究部]○鬼澤真也、森 健彦、奥山 哲、岡田 純、川口亮平、入山 宙、成田冴理、近江克也(併任*1)、小久保一哉(併任*1)、桑原將旗(併任*2)、長岡優(併任*3)、加藤幸司(併任*3) (副課題2) [火山研究部]○坂井孝行、谷口無我、堀内桂香、関 香織、森 健彦、近澤 心(併任*1)、手操佳子(併任*1)、高木朗充(併任*1)、栗原佑典(併任*1)、寺澤博貴(併任*2) [気象予報研究部]橋本明弘 (副課題3) [火山研究部]○新堀敏基、石井憲介、石元裕史、関 香織、入山 宙、林 洋介(併任*1)、古川大誠(併任*2) [気象予報研究部]橋本明弘 *1 地震火山部火山監視課、*2 地震火山部地震火山技術・調査課、*3 気象大学校
目的	火山活動の監視及び評価技術、噴火現象の即時的解析・予測技術を高度化する。これにより、気象庁火山業務における噴火警報、噴火警戒レベルの判定基準、降灰予報、航空路火山灰情報等の改善に資する。 (副課題1) 地球物理学的手法による火山活動の監視及び評価技術 多項目データの整理・解析を通じ、監視業務や噴火警戒レベルの判定基準等の活動評価・予測技術の高度化に資するとともに、監視データによる迅速な異常検知と活動状況把握、これらに基づく的確な噴火警報発表への寄与を目指す。 (副課題2) 地球化学的手法による火山活動の監視及び評価技術 熱水系卓越型火山における水蒸気噴火発生機構の理解を深めることで火山活動評価技術の向上を進めるとともに、マグマ噴火卓越型火山における火山活動監視技術の向上を進め、火山活動の監視及び評価技術の高度化を目指す。 (副課題3) 衛星解析等による火山噴出物の濃度・確率予測技術 噴火現象の即時的な解析技術及び予測技術の開発・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及び航空路火山灰情報の内容高度化に対応する。
目標	地球物理学的手法及び地球化学的手法を用いた研究により、火山活動の監視及び評価技術を高度化する。また、大規模噴火にも適用できる噴火現象の即時的解析・予測技術の開発・改良を行う。 (副課題1) 地球物理学的手法による火山活動の監視及び評価技術 [テーマ1] 多項目データの整理・解析に基づく監視・評価技術の高度化 気象庁及び各研究機関によって蓄積された多項目データをより実用的な観点でデータベースとして整理し、監視・評価業務での利活用を図る。さらに、監視業務や噴火警戒レベルの判定基準等の高度化へ向け、データベースに集約された多項目の大規模データを基に、火山活動状態の確率的表現を目指した新たな視点による評価手法の開発を進める。 [テーマ2] 監視データ解析処理技術の開発 迅速な異常検知と活動状況把握、及びこれらに基づく的確な噴火警報発表を実現するために、地殻変動、震動をはじめとする監視・観測データの自動処理システムを開発する。また、観測データのノイズ除去手法の開発など、異常検知力向上のための手法改良を進め、これらに反映してゆく。

	<p>(副課題 2) 地球化学的手法による火山活動の監視及び評価技術</p> <p>[テーマ 1] 熱水系卓越型火山の活動評価技術の高度化</p> <p>繰り返し水蒸気噴火を起こす火山を主な対象として火山ガスや熱水、火山灰等を採用・分析することで水蒸気噴火の発生機構や発生場を考察するとともに、非噴火期においても活動消長の評価に有益な化学的指標の探索及び観測手法の改良・開発を進める。</p> <p>[テーマ 2] マグマ噴火卓越型火山のマグマ活動監視技術の高度化</p> <p>マグマ活動の高い火山に対する監視技術の高度化を目指し、火山ガス中に含まれる二酸化硫黄の放出率を高い時間分解能で把握できる地上及び衛星による観測・解析技術の開発と改良を行う。また、地球物理学的観測データとの統合的な解釈に取り組むことで、マグマ活動推移の可視化を進める。</p> <p>(副課題 3) 衛星解析等による火山噴出物の濃度・確率予測技術</p> <p>[テーマ 1] 気象衛星・レーダー等による噴火現象の解析</p> <p>気象衛星・レーダー等の観測データを用いて、噴火規模の即時的推定や火山灰雲に含まれる火山灰量等、火山灰プロダクトの定量的解析技術を開発・改良する。</p> <p>[テーマ 2] 火山灰濃度予測及び確率予測のモデル開発</p> <p>火山灰プロダクト、大気場のアンサンブル予報及び移流拡散モデルを用いて、浮遊火山灰の濃度予測及び確率予測技術を開発・改良する。さらに新しい噴煙モデルを用いて、風の影響や傘型噴煙を考慮した浮遊火山灰及び降灰予測技術を開発・改良する。</p>
<p>研究の概要</p>	<p>(副課題 1) 地球物理学的手法による火山活動の監視及び評価技術</p> <p>[テーマ 1] 多項目データの整理・解析に基づく監視・評価技術の高度化</p> <p>気象庁の現業監視データをはじめとする気象庁が蓄積してきた観測データや活動評価資料、気象研究所による伊豆大島観測データや SAR 解析データ、各研究機関による学術的知見等の多項目の観測・解析データを整理し、データベースを構築する。このデータベースを基に、過去事例検索・閲覧システムを開発することで監視・評価業務への利活用を可能とする仕組みを作る。また、データベースに集約された大規模データを基に、数理統計学的にパラメータごとの頻度分布及びパラメータ間の定量的な相互関係を調査するとともに、監視業務や噴火警戒レベルの判定基準等の活動評価・予測の高度化へ寄与する確率的評価手法を開発する。</p> <p>[テーマ 2] 監視データ解析処理技術の開発</p> <p>地殻変動の迅速な検知と変動源把握のために伊豆大島等のデータを用いて GNSS キネマティック解析システムの構築及び地殻変動源推定システムの開発を行う。また、現業監視データを用いて PF 法等の震源・震動源自動推定法を火山業務へ実装するための技術開発を行う。その他、監視・評価に資する、観測データに関する解析処理技術の改良を進める。</p> <p>(副課題 2) 地球化学的手法による火山活動の監視及び評価技術</p> <p>[テーマ 1] 熱水系卓越型火山の活動評価技術の高度化</p> <p>主に水蒸気噴火卓越型火山の活動の消長の評価監視技術の高度化を進めるため、噴気孔や火口等から直接採取した火山ガスや熱水の化学組成や安定同位体比、あるいは水蒸気噴火によって放出された火山灰の内容物や水溶性成分等の分析や装置による観測を実施し、熱水系の構造や火山性異常、水蒸気噴火の発生場・発生機構について地球化学的視点で理解を深化させる。</p> <p>また、一部の火山については熱水系に含まれるマグマ成分の相対的な多寡を迅速に推定するための手法（選択的迅速分析法）を検討・開発し、火山ガスの化学的観測の簡便化・効率化を進め、監視評価技術を高度化する。</p> <p>[テーマ 2] マグマ噴火卓越型火山のマグマ活動監視技術の高度化</p> <p>マグマ活動の監視技術の高度化を目指し、噴煙中に含まれるマグマ揮発性成分の一つであり、火山活動の重要な指標となっている二酸化硫黄の放出率について、地上での連続観測や機動的な繰り返し観測に加え、衛星による観測データを用いることで測定的时间分解能を向上させる。</p>

	<p>観測の複合化により必要となる定量技術の複合化では、観測手法間の精度評価を進めるとともに、気象場を用いた定量法を各観測データの定量解析に適用することによって、二酸化硫黄放出率の解析精度の向上を図る。</p> <p>測定及び解析技術の開発を進めることで、これまで観測が難しかった火山における二酸化硫黄放出率の解析データをマグマ活動の基礎的情報として蓄積し、地殻変動等の連続的な地球物理学的観測データとの統合解釈を進め、時間変化するマグマの移動と揮発性成分の挙動の関係を定量的に評価する手法を検討することによって、マグマ活動推移の可視化を進める。</p> <p>(副課題 3) 衛星解析等による火山噴出物の濃度・確率予測技術 [テーマ 1] 気象衛星・レーダー等による噴火現象の解析 国内外の火山噴火事例を対象として、気象衛星ひまわり 8 号で観測された衛星データ等を用いて安定的に現業利用できる火山灰プロダクトのアルゴリズムを導入し、ひまわり 9 号による噴火検知、噴火規模の即時的推定、火山灰雲の実況解析、濃度予測に必要な解析値作成及び予測結果の相互検証に必要な解析技術を開発・改良する。</p> <p>二重偏波気象レーダーと二次元ビデオディストロメーター (2DVD) による観測データを用いて、特に水物質の関与の大きい場合 (曇天時等) の噴煙の解析を行う。また、噴煙の解析結果について、衛星による解析結果との比較検証も適宜行う。</p> <p>[テーマ 2] 火山灰濃度予測及び確率予測のモデル開発 衛星解析による火山灰プロダクトを気象庁移流拡散モデルの初期値に用いて、浮遊火山灰の濃度予測技術を開発する。また、気象庁数値予報モデルによるアンサンブル予報を移流拡散モデルの入力値に用いて、浮遊火山灰の確率予測技術を開発する。さらに噴火の規模によらず、大規模噴火に対しても浮遊火山灰及び降灰予測が可能のように、風の影響や傘型噴煙を考慮した新しい噴煙モデル及び移流拡散モデルの開発・改良を行う。</p>
<p>研究の有効性</p>	<ul style="list-style-type: none"> 本研究の進捗により、火山現象に対する物理化学過程の統合的な理解が進み、火山活動の監視及び評価技術の一層の高度化が可能となる。加えて、大規模噴火にも適用可能な噴火現象の即時的解析・予測技術の開発・改良を行うことにより、気象庁火山業務における噴火警報・予報、降灰予報、航空路火山灰情報等の一層の適時的確かな発表、及び噴火警戒レベルの判定基準の改善に貢献する。これにより、火山災害の軽減に寄与することが期待される。 文科省「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」への成果の提供により、わが国の火山研究の進展や、火山研究人材の育成に寄与する。 また、国際勧告への対応による航空輸送の安全等に貢献する。
<p>令和 7 年度実施計画</p>	<p>(副課題 1) 地球物理学的手法による火山活動の監視及び評価技術 [テーマ 1] 多項目データの整理・解析に基づく監視・評価技術の高度化 近年、活動に変化のあった一部の火山を対象として、多項目の観測・解析データを整理し、データベースの構築を継続するとともに、過去事例検索・閲覧システムの開発を進める。また、データベースの大規模データを基に、数理統計学的な解析による確率的評価手法の開発に着手する。</p> <p>[テーマ 2] 監視データ解析処理技術の開発 地殻変動データ、振動データの自動・迅速処理手法の開発のため、GNSS キネマティック解析システムや、地殻変動源推定手法、PF 法等の開発に取り組む。干渉 SAR 解析について精度向上のための技術開発を実施するとともに、時系列解析について調査する。また、自動・迅速処理手法の開発や監視・評価の高度化に資するために、伊豆大島にて地殻変動等の観測を実施する。</p> <p>(副課題 2) 地球化学的手法による火山活動の監視及び評価技術 [テーマ 1] 熱水系卓越型火山の活動評価技術の高度化 熱水系卓越型火山における火山性異常や水蒸気噴火発生機構を検討するために、吾妻山・箱根山・草津白根山・御嶽山等において火山ガスや熱水の化学組成や安定同位体比を分析・観測し、熱水系の構造推定や活動推移を把握する。 熱水系に含まれるマグマ成分の相対的な多寡を迅速に推定するために着目す</p>

べき化学種や観測項目の調査・選定を進め、それらを選択的に分析する機器や分析条件等を検討する。

[テーマ2] マグマ噴火卓越型火山のマグマ活動監視技術の高度化

令和6年度にオーバーホールを実施した二酸化硫黄カラム濃度計測装置に対して、テレメータ化への改装を実施するとともに、これまでの観測による機器劣化に対応するため、一部で測器の交換作業を実施する。また、テレメータの試験観測へ向け、通信及びサーバ環境の構築を進めるとともに、テレメータ観測に適した二酸化硫黄放出率の定量技術の改良を進めていく。

オーバーホールで交換した装置の一部を再利用した、軽量・小型化された現地収録型測器を用いた試験観測を行う。この試験観測は、また、令和8年度から実施するテレメータの試験観測に先立つ観測点調査もかねて、阿蘇山において実施する。

極軌道衛星が取得した二酸化硫黄分布データに対して、気象庁局地解析値を用いた後方追跡計算により、日々の二酸化硫黄放出率を算出する手法開発を進める。

(副課題3) 衛星解析等による火山噴出物の濃度・確率予測技術

[テーマ1] 気象衛星・レーダー等による噴火現象の解析

気象衛星ひまわりで観測された衛星データによる火山灰雲解析を継続し、また解析手法の見直しと改良を行う。その結果をもとに火山灰濃度予測に有効な初期値を作成する。さらに、火山灰雲解析に重要な灰判定について、誤判定軽減のための改良と機械学習による自動化に向けた調査検討を行う。

監視カメラで降灰観測するための擬似環境を露場に構築し、火山灰の散布実験から開始する。また、二重偏波気象レーダーを用いて、特に水物質の関与の大きい曇天時等の噴火検知状況の調査を引き続き行う。

[テーマ2] 火山灰濃度予測及び確率予測のモデル開発

気象庁メソモデルのアンサンブル予報を用いて、降灰の確率予測の開発を行う。また、テーマ1の火山灰雲の解析結果を移流拡散モデル(JMA-ATM)の初期値に用いて、火山灰の濃度予測の開発を進める。

新しい噴煙モデル(NIKS-1D)の開発・改良を進め、パラメータの調整を行い、実事例を用いてその再現性について評価・確認を行う。

「応用気象研究」

研究課題	(A課題) 気象・気候予測の社会経済活動への高度利用に関する研究 副課題1：雲解像地域気候モデルによる顕著現象の再現・予測に関する研究 副課題2：防災・交通安全に直結する気象情報高度化に関する研究 副課題3：社会経済活動の安全・安心を向上させる気象・気候情報の利活用
研究期間	令和6年度から5年間（5年計画第2年度）
担当者	○村田昭彦 応用気象研究部長 (副課題1) [応用気象研究部] ○川瀬宏明、野坂真也、福井真、直江寛明、村崎万代、中川憲一（併任）、福田裕太（併任）、文野彩花（併任）、石文希（併任）、川田大樹（併任） [全球大気海洋研究部] 辻野博之 [気象予報研究部] 渡邊俊一、長澤亮二 [気候・環境研究部] 仲江川敏之 (副課題2) [応用気象研究部] ○高野洋雄、山口宗彦、太田琢磨、池田翔、胤森知玄（併任） 芦田裕子（併任）、高橋正臣（併任） [台風・災害研究部] 川端康弘 (副課題3) [応用気象研究部] ○直江寛明、村崎万代、山口宗彦、川瀬宏明、野坂真也、福井真、太田琢磨、高橋馨（併任）、和田晃（併任）、光川祐平（併任） [全球大気海洋研究部] 辻野博之、高谷祐平 [気候・環境研究部] 仲江川敏之
目的	豊かで安全な生活をもたらすような社会を実現するため、気象・気候予測の高度利用を図り、特に防災対応や気候変動適応に貢献する。 (副課題1) より詳細な日本域の気候の将来変化を予測する雲解像地域気候モデルの開発・改良をAIの活用も適宜検討しつつ進め、市町村スケールの気候変動予測情報・影響評価の創出に貢献する。また、同モデルによるシミュレーション結果をもとに、メソスケールの顕著現象の地球温暖化に伴う変化のメカニズムを解明する。 (副課題2) 大雨や高潮・波浪による河川洪水や沿岸浸水の予測・リスク評価に関する手法の開発・改良をAIの活用も適宜検討しつつ進め、より効果的な防災対応に貢献する。また、様々な災害につながる台風の予測情報の改善に向けて、誤差要因等を調査して予測の不確実性を踏まえつつ、より信頼できる進路・強度予測ガイダンスや、中長期予測プロダクトの検討を進める。 (副課題3) 気象・気候情報の利活用の推進・拡大に資する簡便な気候指標を整備し、その変化・変動の要因を解明する。また、大学・研究機関と協力・連携した、気象・気候リスク管理に資する気象・気候情報の利活用に関する取組を通じて、気象・気候リスクの軽減を図り、社会経済活動の安全・安心や生産性の向上に貢献する。
目標	(副課題1) ① 格子間隔1km以下の地域気候モデルの開発 ② 検証用高解像度データの検討及び検証の実施 ③ 雲解像地域気候モデルを活用した顕著現象のメカニズム解析 (副課題2) ① 予測不確実性を踏まえた台風ガイダンスの改良・開発 ② 次世代洪水予測モデル及び洪水ガイダンスの開発 ③ 沿岸の総合水位予測・浸水リスク評価手法の開発 (副課題3)

	<p>① 利用が容易な気候指標の整備及び変化要因解明</p> <p>② 気象・気候リスク管理に資する利活用研究とデータ整備</p>
<p>研究の概要</p>	<p>(副課題 1)</p> <p>① 格子間隔 1km 以下の地域気候モデルの開発 局地的大雨など災害につながる顕著現象の再現性向上を図るため、水平スケールが 10km ほどの積乱雲が直接表現できるようになる格子間隔 1km の地域気候モデルを開発する。特に、都市モデル、土地利用などの部分を精緻化あるいは高度化する。また、更なる高解像度化（格子間隔 1km 未満）を念頭にテストランを行う。得られた結果をもとに性能評価を行い、改善すべき点を抽出する。</p> <p>② 検証用高解像度データの検討及び検証の実施 高解像度の地域気候モデルによるシミュレーション結果を検証するための観測データについて、その使用可能性について検討する。領域再解析データ、解析雨量、衛星データなどを想定し、主に降水量の検証に活用することを考える。利用可能なものについては、従来の観測データとともに実際の検証に利用する。</p> <p>③ 雲解像地域気候モデルを活用した顕著現象のメカニズム解析 様々な大気現象（降水システム、局地風など）及び様々な気象要素（気温、雨、雪、風など）に対して、主に顕著な現象・要素を対象とした温暖化予測結果の解析を行い、温暖化に伴う変化のメカニズムを明らかにする。また、イベントアトリビューション（EA）手法を活用したメカニズム解析を実施する。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>① 予測不確実性を踏まえた台風ガイダンスの改良・開発 台風予測情報の不確実性に関する調査を踏まえ、予測信頼性情報を加味するなど、より効果的な台風情報について検討を進め、台風の進路や強度、発生などに関するガイダンスの改良・開発を行う。</p> <p>② 次世代洪水予測モデル及び洪水ガイダンスの開発 実況補正等を組み込んだ高解像度の次世代洪水予測モデルを開発し、予測情報の改善を図るとともに、新しいモデルによる予測情報を活用して内水氾濫や小河川の短期洪水予測など洪水ガイダンスの改良・開発を行う。</p> <p>③ 沿岸の総合水位予測・浸水リスク評価手法の開発 高潮・高波の予測情報を統合して沿岸の総合水位を現業的に予測する手法の開発を進めるとともに、沿岸の浸水リスクを評価する手法の開発を行う。合わせて、高潮と波浪の相互作用等についても調査し、複合災害の予測手法の開発も進める。</p> <p>(副課題 3)</p> <p>① 利用が容易な気候指標の整備及び変化要因解明 気候モデルを用いて歴史実験を行い、グリッド形式の気候指標データセットを長期にわたり整備する。このデータを用いて、過去の指標変化とその気象学的な要因解明を行う。また、社会経済指標と気候指標の統計関係を調査し、気候指標の利用可能性を評価する。これらの研究活動を通じて得られた知見を、WMO を始めとした国際的枠組みを通して、世界の気象・気候リスク低減に貢献する。</p> <p>② 気象・気候リスク管理に関する利活用研究とデータ整備 WMO の Global Framework for Climate Services (GFCS) の 5 つの優先分野（農業と食糧安全保障、災害軽減、エネルギー、健康、水資源）を踏まえつつ、短期から気候までのシームレスなアンサンブル予測を最大限利活用する先進的リスク管理に資する研究に取り組む。特に、本取組では、社会経済を含む各分野の専門家との協力・連携を図るとともに、大学・研究機関との共同研究も進める。また、共同研究において、必要となる気象観測・予測データの整備を行い、予測精度の評価を行う。</p>
<p>研究の有効性</p>	<p>(気象業務への貢献)</p> <p>(副課題 1)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画「④温暖化への適応策」で目標としている国や地方自治体の適応策に資する温暖化予測情報の高度化へ貢献する。 ・ 気候情報課の業務である「日本の気候変動」レポートの元データを作成・解析することで、気象業務へ貢献する。また、雲解像地域気候モデルを活用した顕著現象のメカニズム解析を通じて、大雨等の顕著現象の発生頻度情報の開発にも貢献する。

- ・地域気候モデルの再現性を検証し、その知見を共有することで、メソモデルの改良等の数値予報課の業務に貢献する。

(副課題 2)

- ・気象庁中長期計画「キキクル（危険度分布）の高度化、及び指数計算モデルの高度化（長期目標）」に貢献する。特に、河川洪水の予測手法の改善に関する研究は、令和10年度以降のキキクル改良に直結し、大雨に関する情報の改善に寄与する。
- ・気象庁中長期計画「台風進路予報・強度予報の改善」に貢献する。台風予測誤差に関する知見は、現業で行っている予測情報の信頼性向上に貢献する。
- ・気象庁中長期計画「高潮の危険度分布情報の開発、及び的確な防災対応のための、高潮・波浪情報の改善（長期目標）」に貢献する。特に、高潮・波浪による沿岸浸水の予測手法の改善に関する研究は、令和7年以降に計画されている高潮危険度分布情報（キキクル）の開発・改良に寄与する。

(副課題 3)

- ・気候リスク管理の先進的研究については、気候情報課の気候リスク管理業務と密接に結びついている。
- ・利用が容易な産業別気候指標は、気象ビジネス推進コンソーシアムの裾野を広げる点で、本庁情報利用推進課の業務と密接に結びついている。
- ・アンサンブルシミュレーション結果等を用いた予測結果の不確実性評価を通して、各種統計的手法の活用の裾野を広げることに寄与する。

(学術的貢献)

(副課題 1)

- ・地域気候モデルによるシミュレーション結果を詳細に解析し、温暖化による現象、特にメソスケールの顕著現象の変化に対する物理的メカニズムを理解することで、気象学の発展に貢献する。
- ・温暖化予測結果の信頼度評価の際に各種統計手法を駆使するので、統計学の発展に寄与する。

(副課題 2)

- ・近年、台風・大雨等の顕著現象による自然災害が頻発し、諸現象の予測に加え災害リスクの評価が求められおり、世界的にもインパクトを指向した情報開発が進められている。
- ・大雨・強風・高波・高潮、洪水、土砂災害等、様々な災害につながる台風については、その発生や進路・強度予測に関して、予測の不確実性を踏まえて更なる情報の高度化が求められる。
- ・洪水、高潮、高波等、複数の現象が関連した複合災害もしばしば発生しており、これらの影響を踏まえた情報の高度化がリスク評価に重要となる。

(副課題 3)

- ・日本において、気候リスク・気候サービス関連研究の先駆けとなる研究を行う点で、学术界に貢献する。

(社会的貢献)

(副課題 1)

- ・地域気候モデルの高解像度化によって、市町村単位の温暖化予測情報の創出に貢献し、得られたデータは温暖化影響評価、適応策策定の基礎データとなることが期待される。
- ・本研究課題で得られる地域気候に関する成果が IPCC AR7 に引用されるなど、国際的な貢献が期待される。

(副課題 2)

- ・台風の予測情報の高度化に向けた研究を通して、一般に向けて発する気象庁の台風予測情報の信頼性や利便性の向上への貢献が期待される。

	<ul style="list-style-type: none"> ・研究で進められた災害リスクを端的に表現できる情報が発表されることで、市町村の適切な避難情報の発令や住民の主体的な避難等、より効果的な防災対応を支援できる。 ・災害リスクを端的に伝える情報の開発は、WMO の推進している IBF の展開や国連が主導する EW4ALL (Early Warnings for All) 等のプロジェクトへの貢献につながるほか、地域センターとして気象庁が提供している情報の改善など、アジア等の関係諸国に対する貢献も期待される。 <p>(副課題 3)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・気象・気候リスク管理の先進的研究により、共同研究機関などを通して、社会実装に貢献することができる。 ・利用が容易な気候指標の開発により、気候リスク管理の敷居を低くし、生産性の向上に、気候リスク管理を導入する端緒を与えることができる、また、この指標により、WMO 意思決定のための気候指標専門家チーム等を通して、海外へも貢献ができる。
令和 7 年度 実施計画	<p>(副課題 1)</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 雪を取り扱えるように改良した都市スキームを組み入れた状態で地域気候モデルを積分し、その性能を評価する。 ② 気候予測モデルデータのバイアス特性の把握や将来予測の補正に対する機械学習の利用可能性を検討する。 ③ 客観解析データを活用し、降水量等の地球温暖化に伴うトレンドを解析し、現在の温暖化の進行の程度を把握する。 ④ 構築した高解像度実験環境 (格子間隔 1km 程度) を用いて、顕著な降水現象事例を含む年のシミュレーションを行い、再現性の検証及びメカニズムの解析を行う。地域気候モデルを用いた異常気象の要因分析を必要に応じて実施し、異常気象分析検討会へ貢献する。 <p>(副課題 2)</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 台風に関する数値モデルや AI 気象モデルの予測等を用いて、表現能力や不確実性等を踏まえて、週間スケールの台風発生の可能性や、進路・強度変化に関する予測ガイダンスの改良を進め、合わせて、その有効性について評価を行う。 ② 実況補正を組みこんだ高解像度洪水予測モデルのプロトタイプを開発し、その性能評価を行って、さらなる改良点を特定すると共に、新洪水モデルによるガイダンスの有効性を評価する。 ③ 波浪を効果的に取り込んだ総合水位の予測手法を検討・試作して、その性能を評価するとともに、より効率的に波浪の影響を取り込める予測システムの開発を進める。 <p>(副課題 3)</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 観測に基づく気候指標の気象学的変化要因について成果をまとめる。地域気候モデルによる長期積分実験を開始する。 ② 気象・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と農業分野において研究機関等と実施し、アンサンブル予測情報を活用した気象・気候リスク管理に関する共同研究を引き続き推進する。

2 地方共同研究

研究課題	メソ・局地アンサンブルを利用した顕著現象に対する最適予測シナリオの構築
研究期間	令和6年度～令和7年度（2年計画第2年度）
実施官署	札幌管区气象台、新千歳航空測候所、仙台管区气象台、大阪管区气象台、福岡管区气象台、下関地方气象台、長崎地方气象台、熊本地方气象台、鹿児島地方气象台
担当者	<p>（札幌管区气象台）市川真吾、齋藤直幸、関原孝俊、小泉創大、北川澄人、廣瀬聡、伊東慎司、金盛友香、倉橋永、宇田川怜、橋口直弥、高島大聖、新津賢也、小迫茉里香、榎本比呂佳</p> <p>（仙台管区气象台）高橋香衣、間野正美、松永崇、中川巧一郎、菅原海大</p> <p>（大阪管区气象台）古矢真一、山西孝宜、高澤郁也、枝元勝悟、西峯康晴、古積健太郎、朝比奈聡司、福家朱莉</p> <p>（福岡管区气象台）鈴木雄斗、小川浩司、清末英裕</p> <p>（下関地方气象台）喜多川太一、大谷修一、小山芳太</p> <p>（長崎地方气象台）武次良孝</p> <p>（鹿児島地方气象台）簗添良輔、東島成良、小林英樹</p> <p>（福岡航空地方气象台）渡部俊輝</p> <p>（予報課気象監視・警報センター）林真由</p>
担当研究官	[台風・災害気象研究部] ○
目的	気象研究所で開発したメソアンサンブル（MEPS）及び局地アンサンブル（LEPS）から複数の決定論的予測シナリオを作成する技術を、地方官署が注目する顕著現象に適用することで、現業的な観点から精度の良いシナリオの選択可能性を調査し、予測精度の改善を目指す。また MEPS・LEPS を利用した事例解析の議論を通じて、予報担当者のアンサンブル予報に対する理解を深めることを目指す。
研究の概要	<ol style="list-style-type: none"> 1. MEPS・LEPS シナリオ作成・選択技術の紹介。地方官署より注目する顕著事例の提案。 2. 気象研究所にて、提案事例に対して MEPS・LEPS 複数シナリオデータを作成・提供。 3. 地方官署にて事例の解析を行う。検証スコア等の計算は気象研究所が支援。 4. 解析結果について Web 会議を利用して議論することで、MEPS・LEPS シナリオの現業的な有用性を検討する。 5. 府県研究会等における原稿作成及び発表を通じて成果をまとめる。
令和7年度実施計画	<ol style="list-style-type: none"> 1. Web 会議により、気象研側から MEPS・LEPS の特性及び複数シナリオ選択技術の紹介を行うとともに、地方官署より注目したい事例の紹介を行う。 2. 注目する事例について、気象研側で複数気象シナリオを作成し、地方官署側へ提供する。 3. 地方官署により複数シナリオデータを利用した事例解析。気象研側で検証スコア等の計算を実施。 4. Web 会議により複数シナリオの有用性を検討するとともに、複数シナリオ作成方法の高度化についての議論を行う。 5. 地方研究会等により、成果の報告・まとめを行う。

3 緊急研究

研究課題	線状降水帯・台風等に関する集中観測による機構解明及び予測技術向上 副課題1：大気・海洋の集中観測と機構解明 副課題2：線状降水帯・台風等の解析・予測技術の向上
研究期間	令和7年度から4年間（4年計画第1年度）
担当者	○藤田匡 研究連携戦略官 (副課題1) [台風・災害気象研究部] ○足立アホロ、和田章義、辻野智紀、高橋卓也、益子渉、廣川康隆、小野耕介、荒木健太郎、栃本英伍、末木健太、山内洋、梅原章仁、鵜沼昂、加藤輝之(併任)、柳瀬亘(併任) [気象観測研究部] 酒井哲、西橋政秀、及川栄治、瀬古弘、幾田泰醇、吉田智(併任) [気候・環境研究部] 豊田隆寛、遠山勝也 [全球大気海洋研究部] ○永戸久喜、藤井陽介 [応用気象研究部] 山口宗彦 [気象予報研究部] 橋本明弘、林修吾、渡邊俊一、大泉伝 [研究連携戦略官] 藤田匡 (副課題2) [気象観測研究部] ○岡本幸三、○川畑拓矢、石橋俊之、幾田泰醇、酒井哲、山崎明宏、石田春磨、岡部いづみ、田上雅浩、瀬古弘、堀田大介、太田芳文、近藤圭一、星野俊介、寺崎康児、瀬戸里枝、井上卓也、佐谷茜、山下翔大 [全球大気海洋研究部] 石川一郎、藤井陽介、碓氷典久、広瀬成章、中野英之、平原翔二、杉本裕之(併任)、久保勇太郎(併任) [気象予報研究部] 関山剛 [気候・環境研究部] 仲江川俊之 [応用気象研究部] 高野洋雄、山口宗彦、太田琢磨、池田翔
目的	線状降水帯や台風等に伴う顕著現象とその環境場の実態を把握するとともに、顕著現象の機構や大気海洋相互作用の役割を明らかにする。これらの取組により予測技術の向上を目指すことで、防災・減災対策に貢献する。
目標	(副課題1) 大気・海洋の集中観測と機構解明 線状降水帯や台風に伴う顕著現象の機構解明に資するため、様々な観測手法を用いて大気・海洋の集中観測を実施し、海洋を含むデータを集約・保存・共有して大学や研究機関と協働した研究を推進する。線状降水帯や台風に伴う顕著現象の内部構造や発生過程に関する研究を加速化するとともに、大気および海洋環境場と大気海洋相互作用が顕著現象に果たす役割を解明する。 (副課題2) 線状降水帯・台風等の解析・予測技術の向上 副課題1で得られた観測データや衛星データ等も活用し、線状降水帯や台風を大気・海洋にわたって解析する。そのため、AI技術等を活用した最先端の同化・予測手法を開発・改良して数値シミュレーションやデータ同化実験を行い、線状降水帯や台風の機構を明らかにするとともに、数日先までの台風やその発達に影響を及ぼす海洋の効果、数日先までの台風進路や豪雨環境場における大気下層の効果、1～2日先までの線状降水帯や台風による豪雨等の顕著現象、さらに線状降水帯や台風に伴う高潮や洪水等の予測技術を向上させる。
研究の概要	(副課題1) 大気・海洋の集中観測と機構解明 (a) 集中観測 令和4年度の集中観測以降に継続して実施してきた船舶搭載型乱流フラックス観測装置による海面からの水蒸気輸送量や雲粒子撮影ゾンデの観測に加えて、下記に示す観測を新たに実施する。 (ア) 航空機観測 ・線状降水帯や台風を対象とした航空機によるゾンデ観測を実施し、台風中心やその周辺域、特に対流発達域等に対して風、気温、比湿等の鉛直分布を観測する。観測データの一部は全球気象観測網(GTS)を通じて世界気象機関に配信され、詳細データは既存のデータベースの拡充に貢献する(研究協力機関と連携して実施)。 (イ) マイクロレインレーダー観測 ・降水域直上の降水強度・雨滴粒径の鉛直分布を高頻度取得する。地上のディスト

ロメーター、二重偏波レーダー観測と併用することで大雨時の降水過程の緻密化に貢献する。

(ウ) 水蒸気ライダー観測

- ・水蒸気・風ライダーを用いた観測を洋上や陸上で実施し、線状降水帯や台風の機構解明と予測に重要な水蒸気の流入量データを高頻度取得する。

(エ) 海洋気象観測

- ・線状降水帯や台風に伴う顕著現象の背景となる、海上における大気海洋環境場の観測（高層観測、海洋表層観測等）を観測船により実施し、既存のデータベースの拡充を図る。（研究協力機関と協力して実施）
- ・ウェーブライダーや漂流ブイにより、線状降水帯や台風発生時の大気海洋環境場として、海面水温、気温、比湿、海上風、海面校正気圧、波高等を観測する。観測データの品質管理を実施した上で、既存のデータセットの拡充に用いる（研究協力機関と協力して実施）。
- ・日本周辺海域や気象庁が定めた台風監視海域を中心に水中ライダーによる観測を実施する。また中層フロートを台風監視海域に投入し、海洋観測を実施する。海洋表層における観測データは品質管理を実施した上で、既存のデータセットの拡充に用いる（研究協力機関と協力して実施）。

(b) 機構解明

線状降水帯、台風及びこれらに伴う顕著現象の内部構造等の実態把握と発生・発達過程や大気海洋環境場の影響等の解明に資するために、集中観測期間中に発生した事例を中心に、各種観測データや客観解析・数値シミュレーションを活用した事例解析等を行い、関連する知見の獲得と集約を進める。

(c) 集中観測データベース

集中観測で得られた観測データを同期間の現業観測・数値予報データとともに集約・保存し、協力機関とも共有することで、これらを利用した顕著現象の機構解明や解析・予測技術の向上に関する研究、大学や研究機関との連携を推進する。令和3年度から令和4年度の緊急研究で整備したデータベースを拡充して実施する。

(副課題2) 線状降水帯・台風の解析・予測技術の向上

台風やその発達に影響を及ぼす海洋の効果、台風進路や豪雨環境場、線状降水帯や台風による豪雨等の顕著現象、さらにこれらに伴う高潮や洪水等の予測技術向上に向けた研究を進める。線状降水帯や台風にかかわる広範囲のスケールの現象を表現可能な階層的なデータ同化・予測システムとして、以下の4つのシステムを用いる。

(a) 海洋同化・海洋影響の評価

海洋データ同化システムや大気海洋結合同化システムのモデル・同化手法を改良し、数日先までの大気予測に対する海洋の影響を調査する。特に集中観測で取得予定の水中ライダー等の新規海洋観測を同化するための開発を行い、開発したシステムによる同化予測実験により、大気に影響を与える海洋の状態（表層貯熱量など）や、これらの大気予測、特に台風強度の予測ガイダンスへの影響を調査する。

(b) 全球大気同化・予測

全球大気数値予報システムの同化手法を高度化し、集中観測や衛星観測等で得られたデータを同化して、特に大気下層の観測が台風進路や豪雨環境場の予測へ及ぼす影響等を調査する。このため、全球大気データ同化において海面を解析の対象に加える等、集中観測で得られる航空機観測や大気下層に感度を持つ衛星観測を有効に活用する技術を開発・高度化し、大気状態の解析を精緻化する。

またAI技術を用いた気象モデルに加え、全球大気モデルによる台風進路や環境場の予測結果から豪雨などスケールの小さい顕著現象の予測を得るための、AIによるダウンスケリング技術等も活用し、数日先までの台風・豪雨予測の精度向上や高解像度化を図る。

	<p>(c) メソ大気同化・予測 メソ数値予報システムの同化手法を高度化し、集中観測や既存の地上・衛星観測で得られたデータを同化し、線状降水帯や台風に伴う豪雨などの時間・空間スケールの小さい現象の1～2日先までの予測精度に対する影響を調査する。このために、台風周辺を集中的に観測する航空機や暖湿気流入域を中心に観測する水蒸気ライダー等の集中観測及び、大気下層に感度を持つ衛星観測を有効に同化する技術を開発する。さらに、局地的に変動する気象場の不確実性を考慮できる高解像度のアンサンブルを用いたデータ同化技術を開発する。</p> <p>また、全球AIモデルの側面境界値を用いた物理モデルによるダウンスケーリング、全球物理モデルの側面境界値を用いたAI領域気象モデルによるダウンスケーリング等、AI気象モデルを活用する技術やAIダウンスケーリング技術による高解像度予測手法を開発する。</p> <p>(d) 高潮・洪水予測 上記の数値予測結果を用いて数日先までの高潮・洪水予測を実施し、その予測入力値や洪水・高潮の精度を評価する。また比較のため、既存のモデル結果の入力による過去事例の評価、AI技術を用いたダウンスケーリング結果の評価を行うとともに、外部機関の洪水予測モデルによる結果との比較等を行う。</p>
<p>研究の有効性</p>	<p>(気象業務への貢献)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・集中観測データ、数値モデル、同化システム等を用いた分析による顕著現象の機構解明に関する知見は、診断的予測技術をはじめ現業予報作業の改善に資することが期待される。 ・数値予報システム（大気、海洋の数値モデル・同化システム、AI活用技術、災害危険度予測など）の集中観測データを用いた検証・改良等は、現業数値予報、ナウキャスト、ガイダンスなどの問題点抽出や改善に資することが期待される。 <p>(学術的貢献、社会的貢献)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・線状降水帯をはじめとする顕著現象の内部構造、発生、停滞、維持のメカニズム、台風やその海洋との相互作用による顕著現象への直接的・間接的影響に関する科学的知見が得られると期待される。現業予報における診断的予測技術、現業数値予報、ナウキャスト、ガイダンス等の改善・高度化に資する知見を通じて、防災・減災対策への貢献が期待される。 ・本集中観測で得られた航空機によるゾンデ観測のデータはGTSを通じて、世界中の気象機関にリアルタイムで共有する予定であり、各国における台風の解析・予報業務等気象業務への貢献が期待される。
<p>令和7年度実施計画</p>	<p>(副課題1)</p> <p>(a) 集中観測</p> <p>(ア) 航空機観測</p> <ul style="list-style-type: none"> ・協力研究機関と連携し、線状降水帯及び台風をターゲットとする航空機観測を数回実施する。得られたデータをGTS配信するとともに、配信するデータフォーマットに関する検討を行う。 <p>(イ) マイクロレインライダー観測</p> <ul style="list-style-type: none"> ・観測機器の購入手続きを行うとともに、現地調査により観測地点の選定を行う。 <p>(ウ) 水蒸気ライダー観測</p> <ul style="list-style-type: none"> ・観測機器の購入手続きを行うとともに、観測地点、船舶搭載の検討を行う。 <p>(エ) 海洋気象観測</p> <ul style="list-style-type: none"> ・出水期、黒潮及び黒潮続流域にて観測船による水中グライダーを含む大気海洋観測を研究機関協力の元、実施する。また水中グライダーによる観測を気象庁の定める集中観測域において実施する。沖縄周辺海域において協力研究機関により実施されてきた台風シーズンにおけるウェイブグライダー観測研究の情報収集を行い、令和8年度以降の観測について検討する。 <p>(b) 機構解明</p> <p>航空機等の観測が行われた事例について、観測データも活用した事例解析等を実施する。</p>

(c) 集中観測データベース

データベースサーバの拡充整備を行う。集中観測データ、現業観測データ、数値予報データの集約、保存、共有を行う。

(副課題 2)

(a) 海洋同化・海洋影響の評価

- ・海洋同化システムの出力から、海面水温・海洋貯熱量を算出し、リアルタイムで統計手法による台風強度予測を行う、台風強度予測ガイダンスを構築する。
- ・表層変動の再現性を改善するための海洋モデルの改良を実施する。
- ・集中観測で取得予定の海中グライダーや高頻度アルゴフロート観測の海同化手法を開発する。

(b) 全球大気同化・予測

- ・下層大気観測等の高度利用が可能な全球大気同化を構築する
- ・静止気象衛星ひまわりや赤外サウンダ等の輝度温度データの利用を高度化し下層大気観測等の活用を拡充する
- ・赤外サウンダや赤外イメージャーにおける全球データ同化に適した下層大気情報のAIによる抽出方法を構築する
- ・衛星搭載風ライダー等アクティブセンサ観測の利用高度化による下層大気観測等の活用を拡充する
- ・全球大気数値予報システムを用いてゾンデ観測の台風予測へのインパクトを評価する。

(c) メソ大気同化・予測

- ・アンサンブルデータ同化手法を高度化する
- ・水蒸気ライダー等の水蒸気観測同化のインパクトを調査する
- ・航空機観測やドロップゾンデ観測同化のインパクトを調査する
- ・静止気象衛星ひまわりや赤外サウンダ等の輝度温度データの利用を高度化する
- ・海面水温制御変数化と対流圏下層に感度のある衛星観測等同化のインパクトを調査する
- ・全球 AI 気象予測モデルの側面境界値利用や AI ダウンスケーリングによる台風・豪雨予測手法を確立する

(d) 高潮・洪水予測

- ・高潮や洪水の評価に向けた評価手法を検討する
- ・評価のための予測システムを整備・構築する
- ・高潮と洪水予測評価に向けた、予測システムの感度実験と改良を行う

Ⅲ 外部資金（移替予算）による研究課題

1 地球環境保全等試験研究費〔地球環境保全試験研究費（地球一括計上）〕

研究課題	日本域に沈着する光吸収性不純物に起因する雪氷面放射強制力の時空間変動監視と気候システムへの影響解明
研究期間	令和4年度～令和8年度（5年計画第4年度）
担当者	[気象予報研究部] ○庭野匡思、大河原望、谷川朋範 [全球大気海洋研究部] 梶野瑞王、足立光司、大島 長 [気象観測研究部] 工藤 玲 [火山研究部] 石元裕史
目的	大気中から雪氷面に沈着するブラックカーボン（以下、BCと略）やダストといった光吸収性不純物（Light Absorbing Particles; 以下、LAPと略）は、雪氷面における短波放射加熱を助長することから、雪氷融解の強力なトリガーとなり得る。ひとたび雪氷圏の融解が始まり面積の縮小が始まると、正のフィードバック機構である積雪-アルベドフィードバックが誘起され、雪氷圏の損失が加速度的に進む可能性がある。1980年代以降、観測技術と数値モデルの進展によって、雪氷中に存在するLAPに関する知見は確実に増えてきているが、主に現地観測が依然として足りておらず、観測事実を基にしたモデルの高度化が十分進んでおらず、世界的にも定量的な不確定性は非常に大きい。本研究課題では、我々が持つ現地観測、衛星リモートセンシング、及び数値モデリングの技術と知見を融合させ、1) 国内の積雪中LAPに起因する放射強制力の詳細な時空間変動を初めて提示すること、2) 単独の観測地点での融雪時期の変化に限定されない従来よりも多角的かつ広範な影響評価を実施することを目的とする。
目標	本研究では、(1) モニタリング、(2) プロセス研究、及び(3) 数値モデリングの3つのサブテーマを設定する。 (1) モニタリング 地上現地観測では、札幌、長岡、北見の連続観測地点でそれぞれ積雪中LAPの連続測定を行うことにより、国内の冬季LAP（主に、BC、ダスト、及び有機炭素OC）の監視を実施する。札幌では、積雪中LAP分析と並行して、大気中の連続サンプリングを実施し、大気と雪氷中のLAP変化の同時測定を世界で初めて実現させる。更に、全天分光放射計による積雪物理量・LAP濃度遠隔推定、地上の放射観測データから大気中のLAP変動を推定する解析、CALIPSO衛星に搭載されたライダーによって測定された情報から大気粒子の鉛直分布の情報を抽出する解析、また、電子顕微鏡観察を用いたLAP組成・混合状態に関する情報を組み合わせて、LAPの詳細な時間変化の全貌を浮かび上がらせる。特に、札幌における観測は、IPCC 第6次報告書策定のために実施された積雪モデル国際相互比較プロジェクトESM-SnowMIPへの貢献を通して、世界的に高い知名度を持つ観測拠点となっており、今後もその価値を維持する取り組みを続ける。また、同様の国際プロジェクトが実施される場合は、積極的に参加し貢献する。また、積雪の時空間変動に関する知見が絶対的に不足している本州中部山岳域に新たな気象・放射・雪氷モニタリングサイトを構築し、関係する気象・放射・雪氷物理量の自動モニタリングを実現させる。以上の取り組みを補足するものとして、これまで我々が着目してきていなかった国内の他地域における積雪中LAP機動観測を1冬期につき1回実施する。また、国内の観測の比較対象として、人為起源物質の発生源域と遠方域のBCを定量的に分離することができる北極域における大気中BC観測や雪氷中LAP分析も実施する。この北極域での観測は、地球規模で進行する雪氷融解の理解にも貢献する。 (2) プロセス研究 積雪内部LAP混合状態の時間変化プロセスと、大気・雪氷中におけるLAP除去過程について、重点的に研究を進める。特に前者については、我々が札幌・長岡・北見で定常的に取得している積雪サンプルから、積雪内部LAP混合状態に関する情報を抽出するための革新的な技術的開発に挑戦する。いずれのプロセスについても、札幌で取得される各種データ（サブテーマ1）を多角的に組み合わせて、従来よりも精緻なパラメタリゼーションを構築する。

	<p>(3) 数値モデリング</p> <p>領域気象化学モデルNHM-Chemと積雪変質モデルSMAPを面的にフルカップルさせ、直近10年間をターゲットとした精密大気-積雪数値シミュレーションを実施する。その結果を元に、日本の積雪変化に対するLAPの定量的寄与を放射強制力、積雪面積、及び積雪水量の観点で評価する。NHM-Chem-SMAPモデルシステムは、最新のコンピューターにおいても計算コストが依然として大きいため、長期気候計算は気象研究所地球システムモデルMRI-ESMを用いて実施する。MRI-ESMをSMAPと組み合わせることで、1900年から2100年にかけての日本の積雪変化に対するLAPの定量的寄与を、複数の将来気候変化シナリオごとに提示する。</p>
研究の概要	<p>(1) モニタリング</p> <p>(1. 1) 定常観測</p> <p>地上現地観測では、札幌（北海道大学低温科学研究所/気象研究所）、長岡（防災科学研究所雪氷防災研究センター）、北見（北見工業大学）の連続観測地点でそれぞれ積雪中LAPの連続測定を行うことにより、国内の冬季LAP（主に、BC、ダスト、及び有機炭素OC）の監視を実施する。測定に際しては、表面10 cm程度の積雪サンプルを現地で直接採取し、気象研究所に冷凍状態で送付して実験室で融解させフィルター上に濾過した後、それを熱光学式カーボン分析装置で分析し更に重量測定することで、積雪中BC・OC・ダスト濃度を定量する。各サイトにおける積雪サンプルの取得頻度は週2回を予定している。また札幌においては、全天分光日射計を用いて、リモートセンシングの原理により、積雪表面付近のLAP変動を監視する。また、OPCを用いて10ナノメートルから数十マイクロメートルのエアロゾル粒径の測定を連続的に行い、得られる濃度と粒径分布から高い時間分解能による起源推定、粒子成長過程等をモニタリングする。更に、札幌において大気の連続サンプリングを実施し、雪氷サンプルの分析と同様の手法を用いて大気中LAP変動を明らかにする。大気中LAP変動については、並行して、地上の放射観測データから大気中のLAP変動を推定する手法を用いて、大気サンプリングの結果と相補的な解析・評価を実施する。</p> <p>大気・積雪中に存在するLAPの個別粒子分析を、気象研究所走査型及び透過型電子顕微鏡観察によって実施し、その形態と成分の実態解明を行う。また、波長依存性を持つLAPの一種であるブラウンカーボンなどの形状と成分分析も行い、大気中の挙動や積雪沈着時の影響についても検討を行う。</p> <p>札幌・長岡・北見においては、各観測グループが保有している自動気象観測装置を用いて、LAPの定量的影響を評価する際に必要となる気象・雪氷物理量の変動の把握を実施する。各観測サイトにおいては、現地の共同研究者に積雪断面観測を委託し、積雪内部の物理量プロファイル（粒径、密度、温度、含水量、雪質）の情報を取得する。</p> <p>我々が予備的に実施している国内での面的な大気-雪氷数値シミュレーション結果（サブテーマ3）によると、山岳域における積雪の再現精度が平地に比べて劣ることが示されている。一方で、山岳域では、モデル検証に利用可能なデータの数が絶対的に不足していることから、その点に起因する不確実性もある。そこで、本州中部山岳域（新潟県を予定；防災科学研究所雪氷防災研究センターと協力予定）に新たな気象・放射・雪氷モニタリングサイトを構築し、関係する気象・放射・雪氷物理量の自動モニタリングを実現させる。このサイトには、1冬期の間は何度か訪れ、札幌と同様の積雪サンプリングを実施し、積雪中LAPを把握する。LAPの分析には、札幌・長岡・北見で用いる手法と同様とする。ただし、サンプリングの頻度がそれらのサイトよりも低くなるため、積雪下層まで鉛直高解像度にサンプリングする。</p> <p>更に、人為起源物質の発生源域と遠方域のBCを定量的に分離するためには人為発生源から離れた地点での観測が必須であり、これまでに継続的に観測を行ってきた北極域（ニーオルスン・グリーンランドなど）における大気中BC観測や雪氷中LAP分析も同時並行で実施する。これらの極域でのデータは、地球規模でのLAP物質輸送評価に重要であり、後述の地球システムモデル（サブテーマ3）の検証データとしても必要である。</p> <p>(1. 2) 機動観測</p> <p>国内の積雪中LAP分布を従来よりも更に詳細に把握するために、上記以外の地域（東北地方、北陸地方西部、及び西日本の高山地域）の複数地点において機動観測を</p>

1冬期につき1回実施する。ここでも、LAPの分析手法は、札幌・長岡・北見で用いる手法と同様とする。具体的な機動観測実施場所の選定に当たっては、LAP感度が高い特に注目すべきエリアを絞るために、後述の領域気象化学-積雪モデルNHM-Chem-SMAP計算結果（サブテーマ3）を参照する。

（1. 3）衛星リモートセンシング

最新の気象衛星ひまわり8号の観測結果から推定される積雪域の変化を監視の対象とする。その結果と後述の数値モデルシミュレーション結果（サブテーマ3）を組み合わせ、冬季の国内におけるLAP変動とそれに起因する積雪変化を明らかにする。

CALIPSO衛星に搭載されたライダーによって測定された結果から大気粒子の鉛直分布の情報を我々が開発した手法に従って抽出する。この結果を札幌における大気・雪氷中LAP変動と組み合わせ、3次元的な時空間変動の理解を深化させる。本データも、数値モデルシミュレーションデータと相互比較して、両者の整合性を議論する。

（2）プロセス研究

（2. 1）積雪内部LAP混合状態の変化は何によって引き起こされるのか？

我々が札幌・長岡・北見で定常的に取得している積雪サンプルから、積雪内部LAP混合状態の情報を抽出するための革新的技術の開発を行う。積雪サンプルを気象研究所に冷凍状態で送付して実験室で融解させフィルター上に濾過する前に、外部混合しているLAPと内部混合しているLAPを分離する手法を開発する。その新しい分析手法の妥当性を確認するために、走査型及び透過型電子顕微鏡を用いて積雪サンプルを分析し、積雪内部LAP混合状態解明に資する実環境からのLAPに関する基礎情報を集積する。札幌の積雪サンプルからLAP混合状態が確認できた日については、全天分光日射計による積雪表層LAP抽出において考慮される混合モデルを分析によって確認された混合状態に対応させ、推定されるLAP濃度が熱光学式カーボン分析装置の結果と整合するかどうかを調べる。併せて、現地観測（サブテーマ1）で得られたいくつかの観測条件の下で、精密積雪粒子モデル（Ishimoto et al., 2018）を用いたLAP混合粒子モデルを開発し、その粒子に対する光散乱特性の理論計算結果に基づく積雪散乱シミュレーションを実施する。以上で得られる知見と、サブテーマ1で取得される気象・放射・雪氷データと総合して組み合わせ、混合状態変動を推定するためのパラメタリゼーションを構築する。この成果は、積雪変質モデルSMAPの最新版（Niwano et al., 2014, 2015）に導入する。

（2. 2）大気・雪氷中におけるLAP除去過程の理解の深化

我々が札幌において取得する多種多様な大気・積雪中LAP濃度観測データを最大限活用して、雲底におけるLAP除去に関する知見を深化させる。この結果に基づいて、従来よりも現実的なパラメタリゼーションを構築し、サブテーマ3で説明する領域気象化学モデルNHM-ChemとMRI-ESMに組み込む。

積雪については、長岡の雪氷防災研究センターの低温実験室において、理想的な条件下における室内実験を、LAPサイズ・種類、積雪粒径、融解水量を個別に変更させながら複数のパターンについて実施し、計算手法高度化に資する知見を集積する。この結果に基づいて、従来よりも現実的なパラメタリゼーションを構築し、積雪変質モデルSMAPの最新版に組み込む。

（3）数値モデリング

（3. 1）NHM-Chem-SMAP

気象庁本庁と開発中の面的計算が可能な次世代版SMAPとNHM-Chemを組み合わせ、国内における積雪中LAPの面的な評価を実現させる。現在、その面的計算可能なSMAPでは、先行研究による新潟県内での積雪中LAP濃度評価結果に基づいて、長岡で観測された積雪中LAP濃度の季節変化を気候値と仮定して一様に与えている。その部分を本提案研究ではNHM-Chemによって与える方法に高度化する。その上で、LAPのon/off実験を行い、日本の積雪変化に対するLAPの定量的寄与を放射強制力、積雪面積、及び積雪水量の観点で評価する。

上記の研究と同時並行で、サブテーマ2で開発される積雪内部LAP混合状態推定パラ

	<p>メタリゼーションと大気・雪氷中LAP除去過程計算パラメタリゼーションをSMAPとNHM-Chemに組み込み、それらの評価を札幌・長岡・北見で取得されるデータ（サブテーマ1）用いて行う。評価対象期間は、直近10年間とする。そのため、NHM-Chemを駆動する大気情報には気象庁の最新の再解析データJRA-55を利用する。更に、BCについては、人為起源及びバイオマス燃焼起源の切り分けと、日本の積雪に対するそれぞれの影響評価を本モデルによって行う。</p> <p>（3. 2）ESM-SMAP</p> <p>NHM-Chemは精緻な化学過程を考慮しているものの、計算コストが大きいため、現状、長期気候計算には適さない。そこで、本提案研究では、気候計算を実施するために気象研究所開発地球システムモデルMRI-ESM2を用いる。本モデルは、気象庁の全球天気予報用現業モデルGSM をベースにして気候モデル用に改変した大気モデルに、海洋モデル、エアロゾルモデルMASINGAR (the Model of Aerosol Species IN the Global Atmosphere)、大気化学モデル、炭素循環などが結合されて開発されたものである。本提案研究では、NHM-Chem-SMAPと同様に、MRI-ESMとSMAPを面的に結合させて気候計算を実施し、複数の将来気候変化シナリオによって、日本の積雪変化に対するLAPの定量的寄与がどのように変化するかを明らかにする。本提案研究の解析対象期間は1900年から2100年とする。NHM-Chemと同様に、BCについては、人為起源及びバイオマス燃焼起源の切り分けを実施する。</p>
<p>研究の有効性</p>	<p>本研究課題は、「地球観測の推進戦略」が掲げる「気候変動対策の効果把握」の方向性に沿う。また、将来のBC排出量規制に資する情報を提供できる点は、本提案研究の成果が社会的、経済的、あるいは行政的な価値をも持ち得ることを意味する。更に、BCについては、人為起源及びバイオマス燃焼起源の切り分けを行うことなどを通して、「人為的な地球環境の変動の把握」（「地球観測の推進戦略」）に資する定性的・定量的情報を示す。また、関連する数値モデリング技術の高度化にも引き続き取り組むことから、「気候変動の予測精度向上」（「地球観測の推進戦略」）にも大いに貢献する。更に、本研究課題で開発・高度化する次世代の領域気象化学－雪氷モデルは、気象庁で公表している解析積雪深・降雪量プロダクト、及びそれらを活用して発表される各種防災情報の更なる高度化に貢献することが期待できる。</p>
<p>令和7年度実施計画</p>	<p>（1）モニタリング</p> <p>札幌、長岡、北見等の連続観測地点で積雪と大気中のBC、OC、鉱物性ダスト等LAP成分の連続測定を継続する。それらの観測点では、地上気象・放射観測も継続する。妙高笹ヶ峰では、豪雪地帯の気象・放射・積雪に着目した連続観測を継続する。CALIPSO衛星に搭載されたライダーによって測定された結果から大気中LAP粒子の鉛直分布の情報を抽出する。この結果を札幌における大気・雪氷中LAP直接観測結果と組み合わせ解析する。また、北極域での現地観測も実施し、電子顕微鏡分析用エアロゾル粒子試料及び雲残渣積雪中LAP濃度分析用試料を採取・解析する。</p> <p>（2）プロセス研究</p> <p>積雪サンプルから、積雪内部LAP混合状態の情報を抽出するための技術開発を継続する。積雪サンプル中や雲残渣試料に存在するLAPの個別粒子分析を気象研究所走査型及び透過型電子顕微鏡観察によって実施し、その形態と成分の実態解明を行う。大気・雪氷中におけるLAP除去過程の検討のための基礎データをサブテーマ1で得られる観測データから抽出・整理する。</p> <p>（3）数値モデリング</p> <p>面的結合されたMRI-ESM-SMAPとNHM-Chem-SMAPによる近年を対象としたモデル計算結果を、上記（1）などで取得した観測データにより検証するとともに、雪氷面でのLAPによる放射強制力を評価する。必要に応じてモデルの改良を行う。将来シナリオにもとづく地域的な排出量に着目した気候モデル計算およびモデル解析を実施する。</p>

2 研究開発と Society 5.0 との橋渡しプログラム (BRIDGE)

研究課題	<p>局地的・突発的な荒天対策のためのスタートアップとの連携: AI を用いたリアルタイム防災フィールド構築</p> <p>実施項目(1) 荒天をもたらす顕著現象検出のための深層学習モデルの構築</p> <p>実施項目(2) 荒天情報と GPS 等による位置情報を統合した防災情報生成技術の開発</p> <p>実施項目(3) リアルタイム防災情報の個別配信システムの開発(令和 5 年度のみ実施)</p>
研究期間	令和 5 年度～令和 7 年度 (3 年計画第 3 年度)
担当者	[台風・災害気象研究部] ○楠研一、足立透、北村智文
目的	気象レーダーで観測された局地的・突発的な荒天と GPS 等による位置情報や映像を組み合わせ、深層学習を活用して生成した個別の防災情報を配信可能とすることで、局地的・突発的な荒天に対する社会の多様なニーズに応じたリアルタイム防災フィールドの構築を産学官連携で目指す。
目標	顕著現象検出のための深層学習モデルを構築し、検出結果と対象先の GPS 位置情報を統合した防災情報を生成する。さらにそれらの防災情報をインターネットやスマートフォン等のデバイスを通じて、広く社会に迅速に届ける技術を開発する。研究開発にあたっては、創造的で革新的なアイデアの創造を重視し、高度な専門知識を有するスタートアップを発掘し、大企業との連携も念頭に迅速かつ柔軟で効果的な開発を目指すとともに、気象庁の元施策への波及・イノベーション化への誘導を目指す。これにより、より効率的な防災情報の生成・伝達が可能となり、社会全体の防災力の向上に寄与する。
研究の概要	<p>本課題は目標設定のため3つのテーマで構成され、気象研究所がハブとなった産学官連携体制を構築し、研究開発を進める。</p> <p><u>実施項目(1) 荒天をもたらす顕著現象検出のための深層学習モデルの構築</u></p> <p>過去の気象データを基に、荒天を予測するための深層学習モデルを設計、開発、及び評価する。初年度にはモデルの初期設計とデータの準備に注力し、2 年目はモデルの改善と汎用性の向上、3 年目は運用テストと精度の最終評価を行い、商用化に向けた準備を行う。</p> <p><u>実施項目(2) 荒天情報と GPS 等による位置情報を統合した防災情報生成技術の開発</u></p> <p>荒天情報と位置情報を活用してリアルタイムの防災情報を生成する技術を開発する。初年度には情報収集と初期 API の開発に焦点を当て、2 年目には API の機能改善と実証試験を行い、最終年度にはシステムの実用化と事業化のための準備を進める。</p> <p><u>実施項目(3) リアルタイム防災情報の個別配信システムの開発 (令和 5 年度のみ実施)</u></p> <p>リアルタイムでの防災情報をユーザーごとにカスタマイズして配信するシステムを開発する。プロジェクトは、初年度に配信システムの基本設計とプロトタイプ開発を行い、2年目にはシステムの信頼性と拡張性を向上させ、3年目にはサービスの品質向上とビジネスモデルの確立に努める。</p>
研究の有効性	<p>社会実装への有効性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・荒天による災害被害の最小化: 深層学習による荒天の早期情報配信により迅速な対応措置を行うことが可能となる。 ・安全で効率的な交通の運行: 荒天情報を利用した交通運行の最適化が可能となり、安全で効率的な交通の運行が可能となる。 ・スタートアップが研究開発段階で開発された技術を大企業との連携をはじめ様々な形で市場投入することで実用化が可能になり、迅速な社会的な課題解決への貢献が期待される。さらに新しい技術やサービスの開発や社会の変化に応じた迅速な対応など、イノベーションが促進され、より広い範囲の社会に防災情報を提供することを目指す。 ・これらの取り組みを通じ研究開発に対して積極的な民間投資が誘発されることで新技術の開発の促進が期待される。 <p>(想定される実装先) 局地的・突発的な荒天情報をリアルタイムで必要とする鉄道・道路等の公共交通事業者、電力事業者、及びこれら情報を提供する民間気象事業者</p> <p>気象庁施策への波及</p> <ul style="list-style-type: none"> ・開発された技術により、気象庁が発表する竜巻の発生するポテンシャル情報である竜巻注意情報に強度情報を含めた高度化の実現が期待される。 ・深層学習などの最新技術の活用: 気象庁の技術革新が促進され、深層学習を用いた様々な顕

	<p>著現象の高精度の検出や早期予測を含めたより高度な気象予報技術が開発されることが期待される。</p> <p>・社会の多様なニーズに応じた気象庁データの利用促進につながる。</p>
<p>令和7年度 実施計画</p>	<p><u>実施項目(1) 荒天をもたらす顕著現象検出のための深層学習モデルの構築</u></p> <p>(1)技術面目標:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実運用環境での長期運用テストを実施し、安定性・信頼性を検証する。 ・検出精度と処理速度を評価し、要求水準充足を確認する。 ・実運用環境での竜巻の強度情報提供と気象レーダーデータ補正の有効性を実証する。 <p>(2)事業化目標:スタートアップの事業化実現に向けて、下記を達成する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・深層学習モデルの多様な収益化(API提供、ライセンス供与等)の具体化。 ・気象情報事業者との収益分配モデルの確立と初期顧客との契約締結。 ・知的財産権の管理・活用による持続的な収益確保の実現。 ・2026年以降の事業開始に向けた具体的な事業計画(収支計画、料金体系、運用体制等)の検討。 <p>(3)スタートアップ等新規事業者の参入促進</p> <ul style="list-style-type: none"> ・気象データと深層学習モデルの基礎知識に関する技術資料の提供 ・APIの詳細な仕様書と開発者向けドキュメンテーションの整備 ・技術説明会の開催。 <p><u>実施項目(2) 荒天情報とGPS等による位置情報を統合した防災情報生成技術の開発</u></p> <p>(1)技術面目標:</p> <p>実証実験を実施し、ユーザーとの意見交換やフィードバックを取り入れ、防災情報の多様化を図る。</p> <p>(2)事業化目標:社会インフラ分野での事業展開に向けて、下記を達成する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・APIのスタートアップ等への提供体制の確立。 ・具体的な料金体系と収益モデルの確定。 ・初期顧客の獲得と利用契約の締結。 ・保守・運用体制の構築完了。 <p>(3)スタートアップ等新規事業者の参入促進</p> <ul style="list-style-type: none"> ・APIの標準化と拡張性の確保、および詳細な開発者向けドキュメントの公開 ・スタートアップ向けのテスト環境の構築(サンプルデータを用いた開発テスト環境) ・防災テック分野の業界団体や支援機関との連携強化 ・スタートアップからのフィードバックを収集し、APIや関連サービスの改善に反映させる仕組みの構築 ・スタートアップ向けのオンラインセルフサービスポータルの開発(API利用状況確認、設定変更等)