

令和8年度 研究計画

気象研究所
令和8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」	26
	（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	27
	（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	33
	「地震・津波・火山研究」	39
	（S課題）地殻活動・地震動・津波の監視・予測に関する研究	40
	（V課題）火山活動の監視・評価及び予測技術に関する研究	43
	「応用気象研究」	47
	（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	48
2	地方共同研究	52
1	スカイラジオメータによる網走のエロゾル組成の長期変動に関する研究	53
2	先端技術を活用した顕著現象の予測精度向上に関する研究	54
3	九州地方で発生する大雨に対する地球温暖化の影響評価研究	55
4	桜島大正噴火級の降灰シミュレーション	56
3	緊急研究	57
	（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	58
III	外部資金（移替予算）による研究課題	63
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）〕	64
	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	64
	次世代民間航空機で拓く温室効果ガス観測の新展開	68

I 研究課題構成の概要

気象研究所における令和8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	4 課題			
緊急研究	1 課題			
計	13 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	2 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</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>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 3 年度)
担当者	<p>○村田昭彦 全球大気海洋研究部長</p> <p>(副課題 1)</p> <p>[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、大沼友貴彦、中野英之、浦川昇吾、宮本雅俊 (併任)</p> <p>[気象予報研究部] 長澤亮二、神代剛、庭野匡思、川合秀明 (併任)</p> <p>[気象観測研究部] 堀田大介</p> <p>[気候・環境研究部] 石井正好、水田亮、平原翔二、小畑淳</p> <p>(副課題 2)</p> <p>[全球大気海洋研究部] ○中野英之、浦川昇吾、山中吾郎、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、住友雅司 (併任)、後藤恭敬 (併任)、山田広大 (併任)、佐藤大卓 (併任)、大江光穂 (併任)、桜井敏之 (併任) 新井一永 (併任)、安西悠理 (併任)</p> <p>[気候・環境研究部] 豊田隆寛、平原翔二、</p> <p>[応用気象研究部] 高野洋雄</p> <p>(副課題 3)</p> <p>[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、山中吾郎、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)、七海仁美 (併任)、高見真和 (併任)</p> <p>[気象観測研究部] 石橋俊之</p> <p>[気候・環境研究部] 豊田隆寛、遠山勝也</p> <p>[応用気象研究部] 高野洋雄</p> <p>(副課題 4)</p> <p>[全球大気海洋研究部] ○吉村裕正、高谷祐平、足立恭将、大沼友貴彦、中野英之、浦川昇吾、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)、高倉寿成 (併任)</p> <p>[気候・環境研究部] 原田やよい、中村哲、関澤徳温、平原翔二、豊田隆寛</p> <p>[応用気象研究部] 直江寛明</p> <p>(副課題 5)</p> <p>[全球大気海洋研究部] ○眞木貴史、足立光司、梶野瑞王、出牛真、大島長、関口亮平 (併任)、幸田笹佳 (併任)、安井良輔 (併任)</p> <p>[気象予報研究部] 関山剛</p> <p>[気象観測研究部] 酒井哲、及川栄治</p> <p>[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。</p> <p>(副課題 1)</p> <p>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)</p> <p>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>
目標	<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間・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> <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参加 <ul style="list-style-type: none"> ・ 確信度の高い気候予測を行うため地球システムモデル（ESM）の現在気候の再現精度を高める（M2, M4, M5, P4 課題と共同）。また、モデル国際相互比較プロジェクトへの参画等を通して、当所におけるモデル開発の進展を図るとともに、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。 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"> ・ 高解像度モデルの開発（M2, M4, M5, P4 課題と共同）を進め、当該モデルによる気候実験を通して、域規模の気候変化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。また、短期～季節スケールの変動再現に適した大気物理過程及びオゾン簡易スキームを開発する。 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 <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モデルを構築する上で、とりわけ陸面、大気化学、陸域生態系などのモデルコンポーネントに求められる開発を行う。モデルコンポーネント間の相互作用プロセスを精緻にすることで、モデル利活用の裾野を拡大し、地球システム各要素からの影響が適切に評価できるモデルの構築を目指す。開発したモデルは、火山噴火による気候影響の評価実験や、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た生物地球化学循環場の精度改善のために活用する。 <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"> ・ 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、全球海洋モデルおよ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、大気およ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。 ② 海洋モデルの安定性、利便性、精度、および速度の向上 <ul style="list-style-type: none"> ・ 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、他機関およ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。

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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>③ 海洋熱波等の極端現象や長期変動の機構解明</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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> <p>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</p> <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および大気海洋結合系に適應できる統合的なデータ同化システムを開発する。 <p>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</p> <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、および、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。 <p>③ 海洋観測の活用と海洋変動のメカニズム研究</p> <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共に、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。 <p>④ 現業海洋同化システムの共同開発</p> <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並びに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> <p>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</p> <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。 <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 台風・極端現象の予測可能性の評価を行う。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。 <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、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及び統合化</p> <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共に、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。 <p>② 大気微量成分データ同化システムの精緻化</p> <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> <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</p> <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ル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水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ドラ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。
 - ・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

	<p>影響評価とプロセス理解を進める（C1 課題と連携）。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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、日本近海の時況監視予測、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に貢献する。 ・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8年度 実施計画	<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参加</p> <ul style="list-style-type: none"> ・開発した新地球システムモデル（MRI-ESM3）の気候再現性能を評価した記述論文を作成する。第7期結合モデル相互比較計画（CMIP7）で提案されている主要な実験を実施し、国際研究協力の下で相互比較研究を行う。 <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</p> <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。このため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を長期積分し、評価・検証する。 <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</p> <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・陸域生態系モデルを活用し、火山や山火事などによる気象・気候影響の評価を行う実験に着手する。また、これらのモデルに関連した CMIP7 実験を行う。 <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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大気海洋結合の短期予報へのインパクトを、大気海洋結合モデルを利用した事例解析を通して評価する。 ・日本沿岸海況監視予測システムについて、パラメタリゼーション等の更新や高速化、安定性の向上等の MRI.COM の更新を反映させることで改良を行う。 ・統計的手法を用いたダウンスケーリング、変動パターン等やシグナルの検出、代理モデルによる予測等の開発を進める。 <p>② 海洋モデルの安定性、利便性、精度、および速度の向上</p> <ul style="list-style-type: none"> ・メソスケール・サブメソスケール現象、海面スキン水温・塩分予測のパラメタリゼーションなどの物理過程の改良を進め、様々な解像度のモデルで検証を行う。 ・本庁数値予報課と協力し openACC を利用した GPU の利用や混合精度化等を通して海洋モデルの高速化を進める。 <p>③ 海洋熱波などの極端現象や長期変動機構の解明</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海洋モデルを用いた数値実験や気候変動予測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、極端海洋現象の発生・持続・衰退過程を調べる。また、このアンサンブルデータセットを用いて日本の気候変動 2030（仮称）に向けた初期解析を行う。 ・行う。 ・CMIP7 に付随して実施が検討されている海洋モデル相互比較計画（OMIP）に参画する準備をすすめる。 <p>(副課題3)</p> <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・弱拘束条件を用いた複数衛星の海面水温同化実験の実施。 ・沿岸現象の再現性向上に向けた流速場の検証と同化統計量の改良。 <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・結合同化システムへの新しい誤差統計量と海氷同化スキームの導入。 <p>③ 海洋観測の活用と海洋変動のメカニズム研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マルチシステム OSE を活用した海洋観測影響評価の実施 ・海洋再解析等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)

- ・海洋観測影響評価に関する国際シンポジウムの実施支援。
- ④ 現業海洋同化システムの共同開発
- ・次期現業用全球海洋同化システムの熱帯変動の再現性向上のための同化手法の改良と性能評価
 - ・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

(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を進める。
 - ・オゾン要素やエアロゾル要素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評価する。
 - ・陸面要素についても予測に与える影響を評価する。
- 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
- ・週間から季節予測における台風・極端現象の予測可能性の評価を行う。
 - ・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
- ・海洋初期値の違いによる週間から季節予測への影響を評価する。

(副課題 5)

- ① 化学輸送モデルの精緻化および統合化
- ・MRI-ESM3 をベースとしてカップラーを利用した統合モデルのプロトタイプを構築する。
 - ・大気微量成分と気象場の相互作用に関する事例研究等を実施する。
- ② 大気微量成分データ同化システムの精緻化
- ・オゾン代理モデルのプロトタイプを構築しつつチューニング等を実施する。
 - ・エアロゾル再解析 (JRAero V2) に関して準備を行いつつ、エアロゾル複合データ同化システムの開発に着手する。
 - ・二酸化炭素逆解析に複数の衛星 (GOSAT、OCO-2) を導入した成果について取りまとめる。

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3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、大泉伝、松井楽徳、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、畑中謙一郎（併任）、村田友香（併任） [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、長澤亮二、神代剛、川合秀明（併任） [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（併任） (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</p>

- の様々な環境下で発生する激しい気象現象について、
- 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、およ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。

(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およ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るとともに、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

将来の気象庁全球モデル（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。
- 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。
- 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

	<p>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 実験) 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 Large Eddy Simulation や Direct Numerical Simulation 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、静止気象衛星ひまわりや極軌道衛星データに適用することにより、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およ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におけるアルベド不確実性低減等の高度化を図る。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るとともに、海氷モデルの海洋モデルへの組み込みを行う。

(副課題 3)

将来の気象庁全球モデル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

- ・ 地球システムモデル (MRI-ESM3) や気象庁全球モデル (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 特性およ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

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

	<p>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およ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</p> <p>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</p> <p>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>	<p>(気象業務への貢献)</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>(学術的貢献、社会的貢献など)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・数値予報モデルの改良により、第一推定値のバイアスの軽減を通じた、データ同化システムにおける観測データの有効利用と解析精度向上に資する。 ・顕著現象の詳細な内部構造の検証や、地表面近傍の乱流の理解などにより、線状降水帯をはじめとする顕著大気現象の発生・維持機構の解明に資する。 ・大気物理過程の多面的な解明を進めることにより、大気中の物理プロセスの理解の深化に資する。
<p>令和8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</p> <p>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むとともに、再現性向上に向け、解像度別の課題を整理し、改善策の検討を行う。</p> <p>② 解像度に応じた物理過程の検討</p> <p>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しつつ、物理過程の改良を進める。</p> <p>③-1 数値計算による境界層乱流の解析</p>

高解像度の Large Eddy Simulation や Direct Numerical Simulation による境界層乱流の数値計算を実施、その結果を用いて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分析を行い、予測方法の検討と構築を進める。

③-2 風洞実験による境界層乱流の解析

気象研風洞で中立、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。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分析及び予測方法の検討と構築を進める。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。

③-3 野外観測による境界層乱流の解析

気象研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い、問題点を抽出し必要に応じてスキームの改善を進める。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 地上観測に基づく雪氷物理過程の解明

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、雪氷圏に特化した放射伝達モデルの開発を行うとともに、主に積雪・海氷を対象とした物理過程の解明を進める。

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

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 や SGLI を搭載する GCOM-C (いずれも極軌道衛星)、マイクロ波衛星等の多様な衛星を利用して雪氷の広域・長期データセットを作成し、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

①で得られた知見および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。改良した積雪変質モデルや海氷モデルを、それぞれ大気モデルや海洋モデルと結合し、検証・改良を行う。この開発では、副課題 1 を含む大気モデル開発に関係する研究課題や海洋モデルに関係す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

- ・積雲対流パラメタリゼーションの水平高解像度化について、文献調査済みの当初計画案(グレーゾーン対応の新規方程式開発)を一旦留保し、人工知能/機械学習によるデータ駆動型モデルを利用した高解像度化手法の開発に着手する。
- ・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説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引き続き行う。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、雲生成のパラメタリゼーション改良を進める。
- 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エアロゾルの混合・変質過程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。併せて、エアロゾル・雲・降水粒子の微物理過程の AI 高速微物理モデルの開発・検証に取り組む。
- 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、これまで得られた知見から雲スキームの改良を進める。3 次元改良モデルと現行バルク法を用いた数値実験結果の比較を基に、現行バルク法のパラメタリゼーション改良を進める。

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3年度）
担当者	○岡本幸三 気象観測研究部長 (副課題1) [気象観測研究部] ○山崎明宏、石橋俊之、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、小野耕介、瀬戸里枝、寺崎康児、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)、佐谷茜(併任) [研究連携戦略官] 藤田匡 [気象予報研究部] 大泉伝 (副課題3) [気象観測研究部] ○酒井哲、西橋政秀、及川栄治、永尾隆、瀬古弘、北川隆洋(併任)、吉田智(併任)、坂梨貴紀(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ロゾル・雲の監視技術の改良（副課題1） 水蒸気やエ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, 2, 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 ① 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>② 全球データ同化システムの改良</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>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"> ・A-Train の後継衛星 (EarthCARE、AOS)、次期静止気象衛星を用いてエア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ア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、昼夜間のエアロゾルの変動 監視技術を確立する。また、エアロゾル組成推定技術を利用し、エア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やサウンダにおける効果的な観測データ情報圧縮・抽出方法を、AI 技術を応用して開発し、解析システムを整備する。実データでの試行により、手法の有用性を評価する。 ・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>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</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>② 高度な観測データ同化手法の開発</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>③ アンサンブルシステムによる豪雨予測</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およびアンサンブル情報の高度利用法を開発する。 ・先端 AI 技術を活用する開発を行う。 <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>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</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地上リモートセンシング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>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</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。 ・地上リモートセンシングを用いた水蒸気・雲の推定技術開発を行う。 <p>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</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ア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>① 衛星データ同化の高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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、リトリーバルに取り組む。

- ・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・台風ポ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・赤外サウンダー）のエーロ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、昼夜間のエー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ーロゾルの組成推定、エー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><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地上リモートセンシング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>	<ul style="list-style-type: none"> ・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) ・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) ・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、観測感度解析手法などを数値予報課に提供してきた。(副課題1)

	<ul style="list-style-type: none"> ・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の知見を数値予報課に提供してきた。また、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) ・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で行い、客観的な検討材料の作成や仕様の決定に大きく貢献した。(副課題 1, 2) ・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およ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) ・先端 AI 技術の利用や開発は喫緊の課題であり、数値予報課より貢献を要望されている。アンサンブルやデータ同化への利用を目的に開発を行う。(副課題 2)
令和 8 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"> ・全天候域の赤外輝度温度の全球データ同化を、ハイパースペクトル赤外サウンダや MSG, GOES など他の静止気象衛星に適用し、さらに処理を高度化する。この過程で、モデルバイアス特性についても調査し、モデル開発者と共有する。ハイパースペクトル赤外サウンダの利用の高度化のためのシステム改良を継続し、またそれによる予報精度への有効性について調査する。マイクロ波センサー輝度温度の全球同化について、陸域・雪氷域射出率推定の改良、地表面の取り扱いの影響調査、及びそれらに係る品質管理の高度化・改良を行う。 ・Aeolus 衛星同化処理の改良や、台風や線状降水帯の顕著現象への同化インパクト評価や成果の取りまとめを行う。 ・ひまわり 10 号や将来の衛星搭載風ライダー等の利用について調査する。 ・全球データ同化システムにおいて EarthCARE 衛星搭載雲レーダーや小型衛星搭載マイクロ波センサーに関して、同化処理の開発を進める。 <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、アンサンブル同化を全球雲許容数値予測モデルやデータ駆動モデル等によって精緻化し、解析や予測精度の向上を図る。 ・観測情報の拡充として、境界（陸面、海洋等）付近の観測の同化等を高度化し、解析場や解析、予測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、OSSE システムを用いて将来全球観測網のデザインの検討等を進める。 ・結合同化の高度化として、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、解析や予報精度の検証等を進める。 <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開発し、地上観測によって検証する。 ・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高度化する。 ・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する。 ・太陽光・月光観測分光放射計による昼夜間観測データの解析を進める。 ・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。 ・衛星赤外サウンダ IASI や CrIS の観測に対応した放射伝達モデルを用いて輝度温度

スペクトルから火山灰物質（複素屈折率）の推定を行い、その結果にもとづき Himawari や GCOM-C による火山灰判定条件や解析アルゴリズムの改良を行う。解析結果を EarthCARE など衛星ライダーデータを用いて検証し、また火山 2 研の JMA-ATM へのデータ同化によって改良の効果を確認する。

（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

- ・ LETKF-PF ハイブリッドフィルター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。
- ・ 機械学習を用いて大気の水蒸気・気温・運動量とバランスする水物質の初期値作成手法を開発する。
- ・ 機械学習技術を応用した非ガウス・稠密な観測データを同化可能とする手法を開発する。

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、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 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。
- ・ 先端 AI 技術を用いた大アンサンブルや超解像技術の開発、顕著現象のメカニズム解明に取り組む。

（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。
- ・ 気象研究所露場において、DIAL 観測データの品質評価を設置型水蒸気ラマンライダーやラジオゾンデ観測等との比較により行う。
- ・ 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

- ・ これまで収集した GNSS 視線データやレーダー屈折率などの新しい観測データについて、データの特性調査と品質管理法の開発を継続する。新しい観測データの線状降水帯を含めた顕著現象の実況監視への有効性を調べ、有効性が確認できた場合には監視手法の開発を行う。中間取りまとめを行う。
- ・ 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、地上マイクロ波放射計で観測された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についての知見をまとめ、大気海洋部や情報基盤部と共有する。
- ・ 予報を効果的に改善する観測データの配置法について、初期的な手法を提案し、すでに解析された顕著事例に適用して、効果を調べる。中間取りまとめを行う。

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

- ・ エアロゾルライダー観測による大規模火山噴火や森林火災等の大気影響の連続監視を実施する。それにより、地上・衛星ライダー観測によるエアロゾルと火山灰のプロダクト作成を行い、EarthCARE 衛星搭載ライダーや気象庁移流拡散モデル、MRI-ESM3 の検証に役立てる。

「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3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>[気象観測研究部]</p> <p>[台風・災害気象研究部] ○山口宗彦、柳瀬亘、嶋田宇大、川端康弘、辻野智紀、高橋卓也</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、嶋田宇大、荒木健太郎、栃本英伍、村松貴有、西村明希生(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、和田章義(併任)、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>熱帯低圧部、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・降雹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>(全体目標)</p> <p>台風およ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がもた</p>

	<p>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>(副課題ごとの目標)</p> <p>(副課題1)</p> <p>国内外数値予報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 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 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。
- (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
 - ・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。
 - ・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。

(副課題3)

(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。

(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。

(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。

(副課題4)

(a) 雲内微物理量の3次元分布把握技術の確立

- ・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、ディスドロメータ、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雨滴の粒径分布推定手法、降水粒子判別手法の精度検証、高度化を行う。
- ・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。

(b) 顕著現象の直前予測指標の開発

- ・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。

(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

- ・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

	<p>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。</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> <p>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、令和6年度開催の台風情報の高度化に関する検討会等に基づく台風防災情報の在り方の議論及び将来の高度化に貢献し得る。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>(副課題 3)</p> <p>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。</p> <p>(副課題 4)</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>(学術的貢献、社会的貢献など)</p> <p>(副課題 1)</p> <p>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(ESCAP)等の国際活動及び地域特別気象中枢(RSMC)業務に貢献する。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>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。</p> <p>(副課題 3)</p> <p>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</p>

	<p>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。</p> <p>(副課題4)</p> <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、実現でき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>
<p>令和8年度 実施計画</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・進路の統計的特徴および予測検証に関する研究を行う。上陸前後の陸面との相互作用下での台風内部コアの構造の時間発展を記述する理論モデルを作成し、ドップラーレーダーを含む地上の観測データおよび数値シミュレーションの結果と比較して評価・改善を行う。日本周辺海域の台風発達機構における力学・熱力学過程の詳細に関する研究を二重偏波ドップラーレーダー、衛星等の各種現場観測データと ASUCA 等を用いた数値実験データを組み合わせることにより実施する。熱帯低気圧遷移過程における力学・熱力学機構に関しては、集中観測課題とも連携して実施する。</p> <p>(b) 台風の面的分布推定手法を開発し、台風構造を表現する各種パラメータを含むデータセット(初期版)を作成する。データセットの精度検証や推定手法の改良を行う。またこのデータセット等を用いて面的風分布予測手法の開発に着手する。海洋上の観測から推定した風速の面的分布を、上陸前後の面的分布へとつなぐ手法について検討する。これまで開発してきたドップラーレーダーの風リトリーバルと衛星等の別の風プロダクトと組み合わせることで、台風内部の風分布推定可能な範囲の拡大を試みる。</p> <p>集中観測課題と連携し、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するとともに、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> <p>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、令和7年8月の九州や9月の静岡県の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による再現実験や地形・海面水温等の感度実験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。</p> <p>地上マイクロ波放射計等の観測データを用いた大気環境場・雲物理特性の解析技術を高度化し、大雨・大雪などの顕著現象事例に適用してそれらの発生要因となる大気環境場と雲・降水過程の関係の解析を進め、現象の発生から終焉に至るまでの大気・雲・降水過程の特徴についての理解を深める。</p> <p>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> <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> <p>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、総観場、降水強度、水平スケール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E-CAPE等を含め調査する。</p>

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、高解像度アンサンブル予報を行った結果を利用して予測可能性を支配する要因をまとめる。この結果を踏まえ、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。

(副課題 3)

(a) 顕著現象に伴うデータセット構築

- ・ 収集データの品質管理、ノイズ除去、データ形式の統一など、データの前処理を強化し、深層学習モデルへの入力データとしての信頼性を向上させる。さらに顕著現象の発生メカニズムや予測精度向上に繋がる新たな特徴量を探索・抽出する。前年度で用いた特徴量に加え、気象学的知見や先行研究に基づき、より効果的な特徴量やそのデータセットへの反映を検討する。
- ・ 顕著現象の高精度かつ高時空間分解能の観測データを収集するため、二重偏波フェーズドアレイ気象レーダーの製作を開始する。また、当該レーダーの設置に向けて、気象研究所構内にあるレーダー鉄塔の改修工事に係る設計を行う。
- ・ 深層学習を用いた竜巻渦の探知・追跡技術の高度化のため、AI 解析機能を搭載した可搬型ドップラーレーダーを現象の発生頻度の高い地域に設置し、データ収集を開始する。

(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

- ・ これまで開発された深層学習モデルを、本研究課題で構築したデータセットを用いて評価する。また、様々なハイパーパラメータ設定や学習アルゴリズムを比較検討し、最適なモデル構成を探索する

(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

- ・ 情報提供方法やフォーマットの最適化、利用者ニーズに合わせたカスタマイズなど、情報利活用の促進に向けた検討を行う。開発した技術の社会実装に向けたロードマップを作成する。関係機関や想定ユーザーとの連携を強化し、フィードバックを収集することで、情報配信の将来改善に繋げるための検討を行う。

(副課題 4)

(a) 雲内微物理量の 3 次元分布把握技術の開発

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。

直接観測の結果との比較により、二重偏波レーダーによる粒径分布推定、降水粒子判別手法の精度を検証する。

(b) 顕著現象の直前予測指標の開発

二重偏波レーダーデータから、線状降水帯事例に対して、降水強化が継続する場合の雨粒の粒径分布の特徴を抽出する。また落雷時に降水種別の特徴を抽出する。これらの特徴について、強雨が継続しない事例、落雷の発生しない事例との判別に利用できるか確認を行う。(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

固体素子二重偏波レーダーを用いて、スパイラルスキャンによる、高頻度・高解像度観測とその能力検証のための鉛直断面観測を実施する。

各季節において晴天大気観測を行い、風の鉛直プロファイルを観測可能な高度について、日変化、季節依存性を明らかにする。

研究課題	<p>(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</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>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> <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> <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>
研究期間	令和6年度から5年間（5年計画第3年度）
担当者	<p>○仲江川敏之 気候・環境研究部長 (副課題1)</p> <p>[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、遠藤洋和、平原翔二、高坂裕貴(併任)、秋元銀河(併任)、萱場 互起(併任)、光川 祐平(併任)</p> <p>[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、石川一郎</p> <p>[応用気象研究部] 川瀬宏明、直江寛明、小林ちあき、瀬崎歩美</p> <p>(副課題2)</p> <p>[気候・環境研究部] ○水田亮、遠藤洋和、小畑淳、平原翔二、原田やよい、石井正好、中村哲、関澤偲温、仲江川敏之</p> <p>[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、石川一郎</p> <p>[気象予報研究部] 長澤亮二、神代剛、川合秀明(併任)</p> <p>[応用気象研究部] 川瀬宏明、直江寛明、村崎万代</p> <p>[台風・災害気象研究部] 山口宗彦</p> <p>(副課題3)</p> <p>[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)</p> <p>[全球大気海洋研究部] 眞木貴史</p> <p>(副課題4)</p> <p>[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)、村松美帆(併任)</p> <p>[全球大気海洋研究部] 辻野博之、中野英之、浦川昇吾</p>
目的	<p>(全体)</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 <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 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。</p> <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 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。</p> <p>(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。</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 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</p>

	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貢献する。
目標	<p>(全体)</p> <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。
研究の概要	<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。
 - ・ 小型化された携帯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

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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>(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実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実性の低減に及ぼす影響等を分析・評価する。
研究の有効性	<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。
令和 8 年度実施計画	<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、日本の異常気象や全球高温現象に関する要因分

析やメカニズム解明のための調査を行う。

- ・ 長期再解析データ等を用いて、熱帯域の対流活動とハドレー循環の変動が日本周辺の冬季の大気循環場に及ぼす遠隔影響やその十年規模変動について調査する。
 - ・ **JRA-3Q** を含めた複数の長期再解析を用いて日本の夏季における雷雨発生時を中心とした大気環境場の変化（対流不安定をもたらす大気安定度の長期変化など）の調査を行う。
 - ・ 北極域付近の熱・水循環の長期変化の要因を解明し、他地域より高速に進む北極温暖化への影響を評価するとともに、再解析データ間の比較から水循環に関するデータの不確実性の調査を行う。
- ② 将来の長期再解析に向けた検討
- ・ 海洋同化から得られた海面水温分布を下部境界値としたり、観測システムの変遷に応じた背景誤差共分散を用いた予備実験の評価作業を実施する。
 - ・ 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。また最新の長期再解析や観測データセットの収集や品質評価も引き続き行う。
- ③ 季節～十年規模変動の予測可能性の解明・評価
- ・ 季節予測システムのハインドキャスト実験を用いて、日本に異常天候をもたらす大気循環場の予測可能性に熱帯や中緯度の中緯度大気海洋相互作用が与える影響を調査する。

(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
- ・ 引き続き、**CMIP5/6** 等のマルチモデル解析、**MRI-ESM2/3** 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** 向け工業化前実験、歴史実験、シナリオ実験等についての解析に着手する。**MRI-ESM3** の基本特性、過去再現性、将来予測等の調査を行う。
 - ・ **MRI-ESM3** を用いた **CMIP7** 向けの **Community MIPs** (メカニズム解明等を目的とする数値実験群) の実施ならびにデータ提出の準備を進める。
- ② 全球高解像度モデルを用いた研究
- ・ 大気・海洋間の結合効果の加わった全球高解像度システムによる地球温暖化予測計算の解析・メカニズム解明を進める。近未来の温暖化予測の不確実性についても検討を継続する。
- 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。
 - ・ 引き続き、「日本の気候変動 2025」等の普及に向けた広報活動を進める。
 - ・ 「気候予測データセット 2027」(仮) の作成に向けて①および②の、一般公開向け情報資料作成に着手する。

(副課題 3) 大気中の物質循環及び炭素収支の理解・評価

- ① 温室効果ガスの多角的観測・観測技術の向上
- ・ 地上における温室効果ガスの連続測定、航空機を利用した大気試料採取による温室効果ガス濃度の分析に加え、携行型分析計、廉価型分析計を用いた機動的観測を継続するとともにデータの品質評価を行う。令和 8 年度は、携行型分析計の安定性評価や従来型観測データとの比較を行うことにより観測品質の整合性評価を行う。
 - ・ 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継続して実施する。気圧等の環境変化の影響を軽減・補正する手法を用いた観測を実施し効果を評価する。
- ② 大気中温室効果ガスの実態把握・変動要因解析
- ・ 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。また、他機関との観測スケールの比較実験の結果を用いて、他機関のデータを含めた解析用データセットを作成する。

- ・ 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。利用可能な他機関のデータや同位体などの関連データを用いた解析を開始する。

③ 炭素等物質循環の実態把握・評価

- ・ MRI-ESM3 を温室効果ガスに適用し輸送実験を開始する。本課題で新たに取得したデータを含む各種濃度データとの比較を通じて化学・輸送過程の検証を行う。その精度を高めるために同位体計算過程の導入を開始する。

(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

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

- ・ 水中グライダーを日本南方の北太平洋亜熱帯域に展開して、海洋貯熱と表層生物地球化学過程の関係に注目した連続観測を行う。乱流計などを搭載した新機について次年度以降の運用に向けた試験運用を行う。
- ・ 海洋気象観測船に溶存酸素計・pH 計等を搭載して、日本周辺海域における炭素循環に関連する海面生物地球化学パラメータの航走連続観測を行い、表層季節変動特性の分析に資するデータを収集し、これまでのデータと総合してデータの精度評価と補正を検討する。
- ・ 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、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海洋生物地球化学要素を含む長期定線観測データを用い、北西太平洋海域の表層から深層に至る海洋生物地球化学環境の長期変化傾向を明らかにするための解析を進める。
- ・ 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更新・分析し、**Global Carbon Budget** などの国際研究計画に貢献するとともに、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しモデルの改良を検討する。

「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3年度）
担当者	<p>○林 豊 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、中村雅基、下條賢梧、小木曾仁、中田健嗣 (副課題2) [地震津波研究部] ○露木貴裕、弘瀬冬樹、中村雅基、山本剛靖、下條賢梧 (副課題3) [地震津波研究部] ○西宮隆仁、小木曾仁、小寺祐貴、干場充之、下條賢梧 (副課題4) [地震津波研究部] ○対馬弘晃、中田健嗣、南雅晃、小木曾仁、林豊</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</p>

	<p>進め、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、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、並びに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8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。ケーブル方向に密に観測データが得られるという DAS の特徴を生かした地震波形データ解析手法を検討する。 機械学習を用いた地震波形データの位相検出等による自動震源決定処理を日向灘など他の海域へ適用するにあたって再学習を効果的に行う手法を検討する。引き続き、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た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による解の決定精度評価手法を開発する。他の地域へ適用できるよう迅速性と汎用性を両立する震源過程解析手法の開発に着手する。</p> <p>(副課題2) 引き続き、スロースリップ検出手法の高度化を行い、監視ツールを日本海溝・千島海溝に適用するための改良を進める。変動源推定手法について、手法の信頼性評価の研究を進める。地震発生シミュレーション技術の改良を行う。地殻内現象と地震活動の関係について事例解析を進める。</p> <p>(副課題3) 即時予測のための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、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とともに、それらについて、現在入手可能な観測データから行えること、将来的にデータが入手可能となった場合に行えることに整理する。リアルタイムモニタリングにおける地震観測点の現地処理に AI を活用する手法の研究に着手する。</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の段階において、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を評価する。 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を改良する。 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を改良する。</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3年度）
担当者	○中村政道 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、池谷拓馬、藤松淳（併任）、浅谷将士（併任）、長岡優（併任） (副課題2) [火山研究部]○坂井孝行、谷口無我、堀口桂香、森健彦、関香織、近澤心（併任）、手操佳子（併任）、高木朗充（併任）、寺澤博貴（併任） [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、関香織、石元裕史、入山宙、林洋介（併任）、石川歩（併任） [気象予報研究部]橋本明弘
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、これらに基づく確か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確か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。 (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 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

	<p>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 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 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・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。 テーマ2：火山灰濃度予測及び確率予測のモデル開発 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)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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毎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。 ・テーマ2：監視データ解析処理技術の開発 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>(副課題2)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・テーマ1：熱水系卓越型火山の活動評価技術の高度化 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、現地観測によって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の分析、あるいは火山灰等の内容物や水溶性成分等の分析を実施し、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。 また、一部の火山については火山ガスや熱水に含まれる火山活動の指標となる成分について選択的に迅速分析する手法を試験的に実践するとともに、当該手法の更なる改良を進めることで、熱水系卓越火山の化学観測の高度化を進める。 ・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 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、これまでの機動的な繰り返し観測に加え、地上設置観測点による連続観測やフェリーでの自動観測、衛星による観測などを併せることで測定頻度を向上させる。 観測の複合化によって生じる定量手法の差異に関して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。 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

	<p>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)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・テーマ 1 : 気象衛星・レーダー等による噴火現象の解析 <p>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。監視カメラによる観測データを用いて、大規模噴火に伴う広域降灰の状況把握が可能なように、噴煙・降灰の解析技術を AI も活用しつつ新規に開発する。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> ・テーマ 2 : 火山灰濃度予測及び確率予測のモデル開発 <p>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なように、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>
研究の有効性	<p>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な発表、及び噴火警戒レベル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。</p>
令和 8 年度実施計画	<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> <ul style="list-style-type: none"> ・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>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・閲覧システムの改良を進める。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改良を進める。</p> ・テーマ 2 : 監視データ解析処理技術の開発 <p>地殻変動データ、震動データの自動・迅速処理手法の開発のため、PF 法・相対 ASL 法などの研究や業務化への技術開発に取り組む。また GNSS キネマティック解析システムおよび地殻変動源自動推定システムのプロトタイプを完成させる。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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・テーマ 1 : 熱水系卓越型火山の活動評価技術の高度化 <p>熱水系卓越型火山における熱水系の構造や火山性異常、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・霧島山 (硫黄山) 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、その活動推移を把握する。ただし観測対象火山は直近の活動状態などを踏まえて随時検討することとする。火山ガス等に含まれる一部の成分については、令和 7 年度までに導入した検知管や可搬型の分析装置等を使った迅速分析法を試験的に実践する。また、水蒸気噴火の発生場を推定するため火山灰を分析する装置 (XRD) を整備し、噴火で放出された火山灰の構成分析を進める。</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

令和7年度にテレメータ化への改装を行った二酸化硫黄カラム濃度計測装置及び通信・サーバ環境を用いて、令和8年度から阿蘇山での観測を開始する。そのための観測点設置および保守・点検を実施する。この観測によって得られたデータを用いて、リアルタイムの解析手法へ最適化された、二酸化硫黄拡散モデルを利用した定量法の開発を進めていく。

テレメータ化に際して更新・交換された装置を用いて、令和6年度から軽量・小型化の現地収録型測器の開発に着手し、令和7年度に阿蘇山での試験観測の実施を予定している。令和8年度には、令和9年度に行う離島火山での試験観測の観測点選定を実施する。この小型化された測器はフェリー搭載での自動観測へ利用することを計画している。フェリー搭載及び自動観測を実施するための課題整理を進める。

(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

引き続き新規の噴火事例に対して、気象衛星ひまわりの観測データを用いた火山灰雲物理量（雲頂高度・粒子有効半径・カラム量）の1DVAR解析を行い、火山灰濃度予測に有効な初期値を作成する。またひまわりによる推定結果を比較・検証用データとして蓄積し、これを用いた解析手法の課題抽出と改良を行う。

監視カメラを用いた降灰観測技術の開発においては、桜島島内で試験観測を開始する。気象研露場に構築した擬似観測環境では、引き続き教師データとなる画像の収集を行い、最適な学習モデルの検討を行う。また、噴火・噴煙に関する観測（気象衛星や気象レーダー、監視カメラ等による観測）と数値モデル（噴煙モデルや移流拡散モデル）を組み合わせることで、噴火現象を特徴づけるパラメータ（噴出率やマグマ温度など）を推定する手法について検討する。

・テーマ2：火山灰濃度予測及び確率予測のモデル開発

新しい噴煙モデル（NIKS-1D）および移流拡散モデル（JMA-ATM）を火山灰の濃度予測及び確率予測に使用するために現業システムとの結合を開始する。また、火山灰の濃度予測を再飛散過程にも適用できるように改良する。

NIKS-1Dを大規模噴火に適用して、その再現性と予測可能性や精度について評価・確認を行う。

「応用気象研究」

研究課題	<p>(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</p>
研究期間	令和6年度から5年間（5年計画第3年度）
担当者	<p>○直江寛明 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、村崎万代、小林ちあき、 瀬崎歩美、中川憲一（併任）、福田裕太（併任）、石文希（併任）、 川田大樹（併任） [全球大気海洋研究部] 村田昭彦 [気象予報研究部] 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、太田琢磨、池田翔、三浦大輔（併任）、 胤森知玄（併任）、高橋正臣（併任） [台風・災害気象研究部] 山口宗彦、川端康弘 (副課題3) [応用気象研究部] ○村崎万代、小林ちあき、瀬崎歩美、川瀬宏明、野坂真也、 福井真、和田晃（併任）、小松謙介（併任）、山田賢（併任） [全球大気海洋研究部] 高谷祐平 [気候・環境研究部] 仲江川敏之</p>
目的	<p>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。</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p>
目標	<p>本研究課題では、気象・気候予測の高度利用として、インパクトベース予測（IBF：Impact based Forecast）を指向した取組を中心に実施する。その中には、情報の利活用に関し社会経済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</p> <p>(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</p> <p>(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</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 ③ 沿岸の総合水位予測・浸水リスク評価手法の開発</p> <p>(副課題3) ① 利用が容易な気候指標の整備及び変化要因解明 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>
研究の概要	<p>(副課題1) 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) 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) 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>
研究の有効性	<p>(気象業務への貢献) (副課題1) ・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</p>

- 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。
- ・気象・気候情報のユーザーとなる各分野の専門家との連携に係る知見・技術を蓄積・共有し、気象庁と大学・研究機関との連携強化に貢献する。

(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。
- ・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。

(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 IBF 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。

	<p>(副課題 2)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 ・ 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 8 年度 実施計画	<p>(副課題 1)</p> <ol style="list-style-type: none"> ① asuca ベースの地域気候モデルを用いて関東平野周辺を格子間隔 1km で解像する現在気候シミュレーションを実施する。 ② 日本域再解析データにより地域気候モデルの過去再現実験結果を評価し、地域気候モデルの改善点を明らかにする。 ③ 過去から将来にかけての連続した気候変化に伴う顕著現象の変遷の調査とそのメカニズムを分析する。地域気候モデルを用いて近年発生した顕著現象の気候変動による影響を分析し、必要に応じて異常気象分析検討会へ情報を提供する。 <p>(副課題 2)</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 数値モデルや AI の予測結果を用いて、台風進路や強度予測情報の改善に取り組み、特に AI を活用した予測ガイダンス、台風の構造を考慮した風分布、週間スケールの台風発生の可能性に関する予測ガイダンスの開発と有効性の評価を行う。 ② 次世代洪水予測モデルのプロトタイプを開発して性能評価を行い、モデル・予測システムのさらなる改良を進めるとともに、新モデルのキキクルへの有効性について評価する。 ③ 試作した総合水位予測モデルの精度評価を行い、モデルの改良を進めるとともにモデル予測値を活用した沿岸災害リスクを表すガイダンスの開発を進める。 <p>(副課題 3)</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 観測・再解析・ダウンスケーリングデータを用い、極端気候指標の長期傾向・地域特性・変化要因を統合的に解析する。観測比較に基づき再解析・ダウンスケーリングデータのバイアス特性を検証し、気候指標の整備および利用可能性の向上につなげる。 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、農業分野、健康分野（暑熱）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	1 スカイラジオメータによる網走のエロゾル組成の長期変動に関する研究
研究期間	令和8年度～令和9年度（2年計画第1年度）
実施官署	網走地方気象台
担当者	（網走地方気象台）居島修、吉田悠嗣
担当研究官	[気象観測研究部] ○工藤玲 [全球大気海洋研究部] 眞木貴史
目的	これまでの調査研究で、森林火災由来の大気汚染物質や黄砂等の監視に、網走地方気象台におけるスカイラジオメータの観測が有用であることが示されてきた。しかし、組成の定量化に至るような研究は無かった。一方、気象研究所では、スカイラジオメータの観測から、微物理・光学特性だけではなく、黒色炭素や黄砂などのエロゾルの組成を解析する手法を新たに開発している。本研究では、この手法を用いて、網走におけるスカイラジオメータの長期観測データを解析することで、エロゾル組成の長期変動を調査する。また、解析結果を用いてエロゾルデータ同化の結果を検証することで、データ同化、黄砂予測、地球システムモデルの改善に貢献することを目的とする。
研究の概要	シベリアの森林火災の増加、中国の大気汚染対策、砂漠化対策などにより、東アジアのエロゾルの組成は変動を続けている。エロゾルの放射強制力は、組成によって正負が異なるため、組成の変動を把握することが重要である。 網走地方気象台では、気象研究所、富山大学と2012年からスカイラジオメータの研究観測を行ってきた。そして、2021年から現在まで業務観測を行っている。これらの長期観測を用いたこれまでの研究結果により、網走ではシベリアの森林火災、黄砂などが飛来していたこと、そして、それらの光学的特性と微物理特性が分かってきた。しかし、黒色炭素や黄砂等の組成を定量化するには至っていない。 本研究では、気象研究所で開発を行ってきたスカイラジオメータの観測からエロゾル組成を導出する手法を用いて、網走におけるエロゾル組成の長期変動を明らかにする。さらに、その解析結果を用いて、エロゾルデータ同化の結果を組成ごとに検証することで、エロゾルの組成ごとの改善点等を明らかにする。
令和8年度実施計画	2012年から2025年の期間を対象に、スカイラジオメータの観測データ、及び解析に必要な地表面アルベド等の補助データを整備する。また、対象期間のエロゾルデータ同化の結果を整備する。 スカイラジオメータのデータからエロゾル組成を解析し、データベースとして整備する。スカイラジオメータの解析は、快晴下のデータに対して行われる。このため、網走の目視観測データなどを利用して解析用のデータを選別する。また、解析は雪氷面の反射の影響を受けるため、積雪深などのデータを活用し、雪の積もり始めと解け始めの期間の地表面アルベドデータを精査した上で解析を行っていく。 気象研究所でデータ解析とデータベース化を担当し、解析用データの選別やアルベドの精査などは現地の観測環境に詳しい気象台と協力して実施する。

研究課題	2 先端技術を活用した顕著現象の予測精度向上に関する研究
研究期間	令和8年度～令和10年度（3年計画第1年度）
実施官署	札幌管区气象台、仙台管区气象台、山形地方气象台、福島地方气象台、水戸地方气象台、 銚子地方气象台、富山地方气象台、金沢地方气象台、長野地方气象台、大阪管区气象台、 福岡管区气象台、鹿児島地方气象台、福岡航空地方气象台、気象庁大気海洋部予報課
担当者	（札幌管区气象台）鳥山暁人、倉橋永、小泉創大、北川澄人、金盛友香、橋口直弥、 新津賢也、関原孝俊、齋藤直幸、小迫茉里香、高島大聖、榎本比呂佳、日置真太郎、 湯浅惣一郎、判治慎之佑、倉井健太郎 （仙台管区气象台）中川巧一郎、正垣 宏洋 （山形地方气象台）松永崇 （福島地方气象台）渡邊拓夢 （水戸地方气象台）山口修平、中川卓弥 （銚子地方气象台）羽廣陽介 （富山地方气象台）津田雄輝 （金沢地方气象台）朝妻勇貴 （長野地方气象台）小林惇志 （大阪管区气象台）神野誠、枝元勝悟、山西孝宜、福家朱莉、朝比奈聡司、古矢真一、 高澤郁也、稲垣豪、藤瀬優一、井上晃輔、中村聡恵 （福岡管区气象台）小川浩司 （鹿児島地方气象台）簗添良輔 （福岡航空地方气象台）渡部俊輝 （予報課気象監視・警報センター）林真由
担当研究官	[気象観測研究部] ○小野耕介
目的	本研究では、MEPS・LEPSによるサブシナリオを利用した顕著現象の予測精度改善、さらには統計解析・機械学習を利用した顕著現象の体系的な理解を目的とする。以上を通じて、現業予測精度改善を目指すとともに、十分なリードタイムを持った注警報の発表を目的とする。これらの研究を通して、地方官署職員の数値予報・予測可能性に対する理解を深めるとともに、原稿執筆・発表を通じた技術力向上も目的とする。
研究の概要	顕著現象を主な対象としてその予測可能性を事例および統計解析から評価する。また、アンサンブル予測および機械学習等の先端技術を活用して、顕著現象の予測精度改善を目指す。
令和8年度 実施計画	<u>I. 初回全体打合せ（5月頃）</u> 研究代表者と参加者は個別の研究テーマについて、研究計画および手法を決める。それぞれの研究テーマについての業務上の問題意識と解決に向けた計画について、共同研究参加者全体の打合せにおいて解説する。これにより、他の参加者との研究上の共通点を確認することで、その後の情報交換を促す。 <u>II. 研究の遂行（6～10月）</u> 研究参加者は各テーマに沿って、研究代表者とともに解析を実施する。研究の進捗確認および行き詰っている点等については、適切なタイミングでTeams 及びWeb 会議を実施して議論を行う。 <u>III. 第2回全体打合せ（10月末～11月）</u> 研究参加者より該当年度の成果について、共同研究内で報告を行う。本打合せで議論した内容を踏まえ、地方調査研究会用の原稿・発表資料作成を行う。 <u>IV. 調査研究会での発表・報告書作成（11～2月）</u> 地方官署では地方調査研究会での成果発表、気象研究所では報告書の作成を実施する。

研究課題	3 九州地方で発生する大雨に対する地球温暖化の影響評価研究
研究期間	令和8年度～令和9年度（2年計画第1年度）
実施官署	福岡管区气象台
担当者	（福岡管区气象台）清家裕喜
担当研究官	〔応用気象研究部〕○川瀬宏明、野坂真也、福井真
目的	九州の大雨について、近年の大雨事例の分析、過去の長期的な変化及び最新の将来気候変動予測情報等を分析し、九州地方で発生する大雨に対する地球温暖化の影響を総合的に評価する。本結果は気象庁が進める近未来予測情報計画への貢献が期待される。
研究の概要	<p>九州地方では毎年のように大雨が発生し、河川の氾濫や土砂災害なども多発。令和2年7月豪雨や令和5年7月の九州北部の大雨、令和7年8月の熊本での大雨に対しては、イベント・アトリビューション（EA）によって、地球温暖化による降水量の増加が指摘されている（気象庁異常気象分析検討会等）。一方、日本の気候変動2025では、2度あるいは4度昇温時に極端降水さらなる増加が予測されている。</p> <p>現在、気象研究所では気候変動予測先端研究プログラム（以後、先端プログラム）と協力し、新しい時間連続将来予測計算を実施している。気候変動予測計算やEAの結果を地方气象台職員と共有し、現場での大雨の知見を組み入れる形で、地球温暖化が進行する将来の大雨の評価に対して活かすことは、地域防災の観点からも重要である。</p>
令和8年度実施計画	<p>（5月頃）気象研—福岡管区担当者との打ち合わせ 第一回</p> <p>（上半期 4-9月）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・近年の九州の大雨に対する分析の情報共有 ・福岡管区に提供する5km長期ダウンスケーリングデータの準備 <p>（9月頃）気象研—福岡管区担当者との打ち合わせ 第二回</p> <p>（下半期 10-3月）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・5km長期ダウンスケーリングデータを福岡管区に提供、両者で分析 ・既存のイベントアトリビューションデータの分析 ・成果とりまとめ

研究課題	4 桜島大正噴火級の降灰シミュレーション
研究期間	令和8年度～令和10年度（3年計画第1年度）
実施官署	鹿児島地方気象台
担当者	（鹿児島地方気象台）道下剛史、前田真徳、阿蘇品結仁、小澤大輝
担当研究官	[火山研究部] ○石井憲介、入山宙
目的	<p>本研究では、桜島大正噴火級の大規模噴火をモデルケースとして、数値モデル（噴煙モデルおよび移流拡散モデル）を用いて降灰分布の傾向や特徴を把握することを主たる目的とする。これにより、様々な気象条件下における降灰の広がり方を定量的に評価する。</p> <p>加えて、本研究では次の三つの副次的な目的を含んでいる。第一に、地方官署における業務支援を念頭に、現場職員が数値モデルの構造や挙動を深く理解し、実践的に活用できるような技術的知見の提供を通じて、火山噴煙解析技術の普及と人材育成を図る。第二に、降灰分布に影響を与える噴煙の構造や気象場との相互作用、移流拡散のメカニズムについての理解を深め、モデルの利用者層を拡大することで、火山噴煙解析分野の裾野を広げる。第三に、鹿児島地方気象台との連携を通じて、気象研究所の立場では把握しきれない地域の実情に即した視点を取り入れ(*)、遠くない将来に発生するとされている桜島火山の大規模噴火に備えた知見の蓄積を進める。</p> <p>これらの取り組みを通じて「地域課題の解決に資する研究の推進」および「地方官署との協働による技術普及・業務支援」に資する成果の創出を目指す。</p> <p>(*)鹿児島地台との共同研究を想定している。</p>
研究の概要	<p>本シミュレーションを実施するための噴煙モデルの改良を行う。また、開発したモデルを使って、桜島大正噴火相当の噴火に対するシミュレーションを1年分行い、降灰分布・時間変化・季節変化の傾向を把握する。モデルの特徴や問題点などを抽出し、今後の改良の参考にする。また、本研究を通じて、地方官署職員による降灰解析技術への理解の促進や知見の共有を図り、人材育成に資する。</p>
令和8年度実施計画	<p>噴煙モデルの改良を行う。具体的には、大気中の水蒸気の噴煙内への取り込みと噴煙内の水蒸気の相変化、その潜熱によって噴煙を温める効果を実装する。大正噴火の噴火条件（火口条件）について文献を調査・整理し、その結果を用いて降灰シミュレーションを行う。</p>

3 緊急研究

研究課題	(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2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、山口宗彦、柳瀬亘、辻野智紀、高橋卓也、益子渉、廣川康隆、嶋田宇大、荒木健太郎、栃本英伍、村松貴有、山内洋、梅原章仁、鶴沼昂、加藤輝之(併任)、和田章義(併任) [気象観測研究部] 酒井哲、小野耕介、西橋政秀、及川栄治、瀬古弘、永尾隆、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] 藤井陽介、山中吾郎、高槻靖(併任)、近藤智子(併任)、長谷川拓也(併任)、坂本龍哉(併任) [気象予報研究部] 橋本明弘、林修吾、大泉伝、松井楽徳 [研究連携戦略官] 藤田匡 [研究総務官] 永戸久喜 (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、岡部いづみ、田上雅浩、瀬古弘、永尾隆、堀田大介、太田芳文、近藤圭一、星野俊介、寺崎康児、瀬戸里枝、小野耕介、井上卓也、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、山中吾郎、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、平原翔二 [応用気象研究部] 高野洋雄、太田琢磨、池田翔 [台風・災害気象研究部] 山口宗彦
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	線状降水帯・台風等の実態を把握するため、大気・海洋の集中観測を実施して海洋含むデータを蓄積し、観測データに基づく事例解析や大気・海洋の解析・予測技術の開発・活用により、線状降水帯・台風等の機構及び大気海洋相互作用の役割を明らかにすることで、予測技術の向上を目指す。 (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、大気および海洋の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、特に対流活発域等に対して風、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)
- ・ウェイ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。また気象庁観測船で中層フロートを集中観測域に投入し、アルゴフロートとしての観測データの取得、全球アルゴデータセンター(GDAC)および世界気象通信網(GTS)へのデータの提供を開始すると共に、台風接近時に表層高頻度観測の実施試験を行う。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

- ・開発・改良したモデル・同化手法を海洋データ同化システムに組み込み、予備的な性能評価を行う。
- ・台風強度予測ガイダンスに対する海洋データ同化システム改良の効果を検証する。
- ・改良した海洋データ同化システムを大気海洋結合同化システムに組み込み、予備的な性能評価をおこなう。

(b) 全球大気同化・予測

	<p>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。</p> <p>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 によるダウンスケーリング技術等を活用し、数日先までの台風・豪雨の予測技術向上や高解像度化を図る。</p> <p>(c) メソ大気同化・予測</p> <p>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</p> <p>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>
研究の有効性	<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/WIS 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。 集中観測の観測データを用いた事例解析や測器間の相互比較等で得られる測器特性の知見は観測・解析を中心とする気象業務や研究に資するものと期待される。
令和8年度実施計画	<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"> 昨年度と同様に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) マイクロレインレーダー観測</p>

・観測機器を3地点に設置し、線状降水帯等の強雨域における雨滴粒径の鉛直分布の観測を行う。

(ウ) 水蒸気・風ライダー観測

・購入した観測機器の地上検証を気象研究所露場で実施する。昨年度に行った観測地点、船舶搭載の検討結果を基に、船舶搭載試験を行う。

(エ) 海洋気象観測

・出水期、東シナ海黒潮暖水舌域及び黒潮続流域等にて観測船による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。気象庁観測船に中層フロートを集中観測域に投入し、アルゴフロートとしての観測データの取得、全球アルゴデータセンター(GDAC)へのデータの提供を開始すると共に、台風接近時に表層高頻度観測の実施試験を行う。九州西方海域、沖縄周辺海域等の海域においてウェイブグライダー及び漂流ブイの観測を研究機関協力の元、実施するとともに得られた観測データの品質に関する検討を行う。

(b) 機構解明

航空機等の観測が行われた事例について、客観解析・数値シミュレーション結果に加え、観測データも活用した事例解析等を引き続き実施する。

(c) 集中観測データベース

データベースサーバの管理を引き続き行う。また、機構解明及び予測研究の推進に資するため、引き続き集中観測データ、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

・前年度までに開発・改良したモデル・同化手法を海洋データ同化システムに組み込み、予備的な性能評価を行う。
・台風強度予測ガイダンスに対する海洋データ同化システム改良の効果検証を行う。
・改良した海洋データ同化システムを大気海洋結合同化システムに組み込み、予備的な性能評価を行う。

(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評価する。
・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による抽出アルゴリズムを実装し、試行からその妥当性を評価する。
・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

・予測精度比較のため既存の外力を用いた高潮と洪水の予測実験を行う。

- | | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none">・洪水予測システムの相互比較と改良を進める。・高潮予測システムの感度実験と改良を進める。 |
|--|---|

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5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ー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。 (3) 数値モデリング 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ー積雪数値シミュレーションを実施する。その

	<p>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>
<p>研究の概要</p>	<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、札幌において大気中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定性もある。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。</p>

(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的開発を行う。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

	<p>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のかを明らかにする。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8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、鉍物性ダスト等 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>

研究課題	次世代民間航空機で拓く温室効果ガス観測の新展開
研究期間	令和8年度～令和12年度（5年計画第1年度）
担当者	[気候・環境研究部] ○澤庸介、藤田遼、永井康之
目的	<p>2005年に世界に先駆けて開始した民間航空機による温室効果ガス観測プロジェクトCONTRAIL (Comprehensive Observation Network for TRace gases by AIRliner) によって、我が国は世界最大の上空の温室効果ガスデータ保有国として航空機観測をリードしてきたが、これまでの観測の主力であったボーイング777型機の退役が進み、観測の頻度、範囲ともに減少傾向が続いていた。申請者らのチームは環境省の助力を得て次世代航空機であるボーイング787型機に、新たに787型機用に開発した二酸化炭素濃度連続測定装置(CME)と自動大気サンプリング装置(ASE)を搭載するための機体改修を進め、2025年度中に5機の787型機が観測機として世界の空に向けて飛び立つ予定である。787型機は777型機ではカバーされていない航路も飛行する予定であり、さらに777型機よりも高高度で飛行することから、これまでデータを得られていなかった低緯度帯や、物質循環の理解に重要な成層圏下部のデータが充実することが期待される。さらに新型のCMEは、観測性能の向上によって、そのデータ取得率が大幅に向上することが見込まれている。</p> <p>本研究では、新規開発した装置ならびに改修した航空機で取得される観測値の品質や精度を検証し、CONTRAILプロジェクトによって過去20年間にわたって蓄積されたデータと統合し、唯一無二の信頼性の高い長期の航空機データセットとして世界気象機関など世界の各機関・研究グループに発信することを目的とする。さらに本研究では、787型機の飛行特性や飛行エリアを最大限に活かし、地球全体を従来よりも網羅的に観測することで、地球表層における温室効果ガス循環の理解を大きく前進させることも目的とする。特に、全球的な温室効果ガス濃度変動の主要な駆動源と目される低緯度の温室効果ガス収支の変動メカニズム解明や、対流圏—成層圏間の物質交換、成層圏大気的年代推定を含めた大気物質循環過程を明らかにすることを旨とする。</p>
目標	<p>(1) 787観測データの品質評価と特性、精度把握</p> <p>787型機用のCMEとASEは新たに開発された観測装置である。787型機のサンプル空気を取り込むエアコンダクトは777型機とは違ったメカニズムで構成されている。これらの装置ならびに機体で得られるデータの品質評価は、これまで得られた長期データとの連続性を担保する上で極めて重要であり、今後長きにわたりプロジェクトを継続する上での根幹となる。そこで本研究では、これらの装置ならびに機体で観測されたデータの品質評価を体系的に行うとともに、他の航空機データとの比較を通して、データの特性、精度を明らかにする。</p> <p>(2) 新たなデータ処理システムの開発</p> <p>787型機用のCMEでは従来の777型機用と比べてより多くのデータ取得が可能となるため、効率的なデータ処理が必須となる。そこで本研究では、近年急速に普及している次世代型の統合開発環境を活用して、データ処理、可視化、記録が一元的に実施可能なデータ処理システムを新たに開発する。これを通じてデータ処理の効率化と品質評価プロセスの透明性を飛躍的に向上させる。</p> <p>(3) 長期データセットの構築と世界データベースとの統合</p> <p>過去20年間のデータとの整合性を評価し、787型機による観測も含めた新たな長期のデータセットとして再構築する。また、このデータセットをもって、世界気象機関を始めとする世界の様々なデータ統合の活動に参加し、GOSAT-GWを始めとする衛星観測の検証や、大気輸送モデルの評価、また、フラックス推定といった世界の様々な研究に貢献する。</p> <p>(4) 温室効果ガス収支推定の精度向上</p> <p>CONTRAILプロジェクトによる2005年開始以降の長期にわたって蓄積されたデータに加え、本研究で得られたデータを利用することで、都市域における人為起源排出の増加・減少や森林火災による大規模放出といった、通常自然変動とは異なる放出・吸収量変動を検出し、その変動量を定量的に評価する。</p> <p>また、787型機による観測では、これまでの777型機では観測することが不可能であった中東地域や継続した観測が困難であった南アジアや東南アジアにおけるデータが</p>

	<p>充実することが期待される。これまでの観測で培った日本－オーストラリア間の長期の南北分布データに加え、これらの観測データが加わることにより、西太平洋を中心として、低緯度地域を南北・東西に網羅した観測ネットワークを築くことが出来る。このデータセットを最大限に活用して、大気輸送モデルを用いたフラックス推定などを実施し、全球の温室効果ガス収支の推定精度を向上させる。</p> <p>(5) 対流圏上部－成層圏下部における物質循環過程の解明 対流圏上部から成層圏下部にかけては、温室効果ガス濃度に大きな濃度勾配が生じており、季節変動パターンも鉛直方向に大きく異なることが知られている。しかし、観測データが限られており、また、モデル再現性の問題もあることから、未解明な部分が多く、モデル研究と観測研究で異なる見解が示されているものもある。777 型機は最高到達高度が30,000-38,000ft (9-11.5km) であったが、787 型機は定常的に36,000-41,000ft (11-12.5km) の高度を航行するために、鉛直分布の観測範囲が増加する。特に両半球の中高緯度では圏界面高度が低くなるために下部成層圏における観測データが大幅に充実する。従来のデータに加えて、この高高度観測データを解析することにより、対流圏上部－成層圏下部の間の温室効果ガス濃度変動を詳細に把握し、対流圏－成層圏間の物質交換や成層圏大気の年代推定および成層圏下部のメタン(CH₄)の化学過程について、観測による解析精度を向上させ、メカニズム解明に貢献する。</p>
<p>研究の概要</p>	<p>【航空機観測】 本研究では2つの観測手法により観測を行う。1つはCME によって航空機の飛行中に連続してCO₂ 濃度を測定する。CME は飛行中の全ての時間において自動観測が可能であり、水平飛行中に上部対流圏や下部成層圏におけるCO₂ 濃度の緯度・経度分布を、上昇時及び降下時に離着陸地近傍におけるCO₂ 濃度の高度分布を観測する。 もう1つの装置はASE であり、航空機の飛行中に大気試料を採取し、地上の実験室においてCO₂、CH₄、亜酸化窒素(N₂O)、六弗化硫黄(SF₆)、一酸化炭素(CO)及び水素(H₂)の各濃度とCO₂の炭素同位体比(δ¹³C)及び酸素同位体比(δ¹⁸O)を分析する。また、ASEの搭載が出来ない機材については手動サンプリング装置(MSE)によってASE観測を補う。</p> <p>【787 観測の品質評価・データ処理システム】 787 型機用CME のデータ出力の安定性やノイズレベルの777 型機用データとの比較、CME とASE を同時搭載によるCO₂ 濃度観測値の比較、787 型機と777 型機の日かつ近傍での観測結果の比較、787 型機での観測値と地上観測値との比較ならびに、過去のCONTRAIL データとの時間的連続性を精査することによって787 型機観測の品質評価を行う。</p> <p>【低緯度域の観測と高高度観測】 787 型機はインドネシアのジャカルタ、シンガポール、マレーシアのクアラルンプールの熱帯域、南アジア域であるインドのデリー、中東ではカタールのドーハに定期航路がありこれらの便に搭載するCME で低緯度域におけるデータを取得する。また、欧州便や北米便は圏界面高度の低い高緯度を飛行することから、下部成層圏におけるデータはこれらの路線で収集する。</p>
<p>研究の有効性</p>	<p>・20年にわたって継続してきた世界最長の上空における温室効果ガス観測を、途切れることなく、高い信頼度で787 型機によって引き継ぐことによって過去のデータを活かし、温室効果ガス濃度の広域分布とその変化を捉え、変動要因を解析するための基礎となる観測データを継続して取得する。新たに開始するボーイング787 型機での観測データについて、高い品質と精度を保証するための検証をし、データを速やかに処理・提供する体制を構築する。これにより取得するデータの価値をさらに向上させる。</p> <p>・世界気象機関・全球大気監視(WMO/GAW)計画で重視される移動体による観測における我が国の大きな貢献となるとともに、WMO が推進する全球温室効果ガス監視(G3W)による温室効果ガスの観測・解析の枠組み強化に貢献する。また、観測データは気象庁が運営するWMO/WDCGG(温室効果ガス世界資料センター)を通じてWMO/GAW コミュニティに公開・利用されるほか、気象庁が公開する二酸化炭素分布情報のために開発されている高解像度CO₂ 輸送モデルの検証・改良にも貢献する。</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ・環境研究総合推進費S-22「気候変動緩和に向けた温室効果ガスと大気質関連物質の監視に関する総合的研究」との連携により大気輸送モデルを利用したフラックス推定を行い、パリ協定のグローバルストックテイクに基づいた排出削減政策の効果を客観的観測データから評価するとともに、経済変動に伴う排出の変動も緊急性の観点から評価する。 ・新興国・途上国が多く、GOSAT の観測データが少ない熱帯域における温室効果ガスフラックスの年々変動および経年変動を監視することで、未だに明らかとなっていない自然起源の吸収・発生の長期変動メカニズムの解明に貢献する。さらに、これらのデータや知見を用いて、地球システムモデルの評価を行い、モデル改良につなげることで、気候変動予測の精度向上に貢献する。 ・CO₂ やSF₆ などの化学的に安定な微量成分をトレーサーとした大気輸送研究に貢献する。特に上部対流圏・下部成層圏の大気交換過程や成層圏の大気の年代 (Age of Air) に重要な知見をもたらすことから、温暖化によるブリューワ・ドブソン循環への影響の検証データとなることも期待される。 ・日本のGOSAT シリーズ、米国のOCO シリーズをはじめ、中国や欧州の衛星による温室効果ガスの観測は上空からのカラム量または高度分布を測定する。このことから、航空機による上空の高精度直接観測は、衛星リトリバル値もとより、それをもとに作成される吸収・発生源プロダクトにとって、最も有効な検証データとなる。本研究による観測は世界の衛星による温室効果ガス観測の品質を継続的に保証する上でますます重要となると言える。 ・短寿命気候汚染物質 (SLCP) であるCH₄ は近未来の温暖化を抑制するための削減候補であるが、放出源の定量的理解はCO₂ 以上に進んでいない。本研究は上空のCH₄ 濃度も継続的に観測できる世界で数少ないプロジェクトであり、グローバルなCH₄ 循環の理解に大きく貢献できる。 ・民間航空会社の環境貢献に対するアピールになる。日本の航空会社の国際的な競争力 (差別化) を向上するコストパフォーマンスのよい計画と言え、間接的に日本経済の活性化にも貢献する。 ・アウトリーチへの活用にも期待できる。ジェット旅客機、地球温暖化問題といった身近な科学の話題を提供することにより、市民や子供の興味を引き起こし、自然科学や環境問題に対する理解を深める波及効果が期待できる
令和8度 実施計画	<p>(1) 航空機を利用した温室効果ガス観測の実施 民間航空機を利用して広域の温室効果ガスの観測を行う。3 機の 787 型機または 777 型機 CME を搭載して CO₂ 濃度の連続観測を行うとともに、月に 1~2 回の頻度で ASE を搭載し空気試料のサンプリングを行う。</p> <p>(2) 新たなデータ処理システム・運用体系の構築 CME で取得したデータの処理を行い、濃度計算を行うとともに品質管理を定常的に行う。令和 8 年度は新たに開始した 787 型搭載の新観測装置取得データの処理システムの開発・環境構築を行い、これを通じて初期的な不具合の洗い出し、適切な観測条件の設定を行う。また、787 型機観測では従来の 777 型機と異なる路線で運用され、運用整備体系も異なることから、観測装置の搭載及び取り卸し、情報・データ共有の手順等について関係機関で検討し効率的で効果的な観測が実施できるように調整を行う。</p> <p>(3) 長期データセットの構築と解析過去 20 年間の CME による CO₂ 濃度データ並びに ASE による CH₄ や N₂O 等の CO₂ 以外の温室効果ガスデータに、787 型機による観測を加え新たな長期観測データセットとして再構築する。これら広域・長期にわたって蓄積されたデータを用いて、広域の温室効果ガスの分布、時間変動について解析を行う。令和 8 年度は、新たに 787 型機によって観測されたデータについて 777 型機観測との比</p>

	較を行い、連続性と整合性について検討を行う。
--	------------------------