

# 令和2年度 研究計画

気象研究所  
令和2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) 地球システム・海洋モデリングに関する研究	5
	(P課題) 大気・物理過程の解明とモデル化に関する研究	11
	(D課題) データ同化技術と観測データの高度利用に関する研究	17
	「課題解決型研究」	24
	(T課題) 台風・顕著現象の機構解明と監視予測技術の開発に関する研究	25
	(C課題) 気候・地球環境変動の要因解明と予測に関する研究	30
	「地震・津波・火山研究」	38
	(S課題) 地震と津波の監視・予測に関する研究	39
	(N課題) 南海トラフ沿いのプレート間固着状態監視と津波地震の発生状況即時把握に関する研究	41
	(V課題) 火山活動の監視・予測に関する研究	43
	「応用気象研究」	48
	(A課題) シームレスな気象予測の災害・交通・産業への応用に関する研究	49
2	地方共同研究	53
	2.1 機械学習を用いた地震波検測に関する研究	54
	2.2 全天カメラによる雲の地上観測システムの開発	55
	2.3 沖縄地方の低周波地震の震源決定と発生状況等の調査	57
	2.4 高精度な津波数値計算結果を用いた津波の地域特性の理解	58
	2.5 二重偏波レーダーを用いた火山噴煙の解析的研究	59
III	外部資金による研究課題	60
1	地球環境保全等試験研究費〔地球環境保全試験研究費（地球一括計上）〕	61
	1.1 民間航空機による温室効果ガスの3次元長期観測とデータ提供システムの構築	61
	1.2 大気成分の長期観測による海洋貯熱量および生態系への気候変動影響のモニタリング	63
	1.3 光吸収性エアロゾルの監視と大気・雪氷系の放射収支への影響評価	64
	－地球規模で進行する雪氷圏融解メカニズムの解明に向けて－	64
2	放射能調査研究費	66
	2.1 人工放射性核種のバックグラウンド大気監視と数値解析に関する研究	66

## I 研究課題構成の概要

気象研究所における令和2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および外部資金による研究課題で、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	3 課題	1 課題
地方共同研究	5 課題			
計	14 課題			

### 外部資金による研究課題

	研究課題数
地球環境保全等試験研究費	3 課題
放射能調査研究費	1 課題
計	4 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) 地球システム・海洋モデリングに関する研究</p> <p>副課題1：気象・気候予測のための地球システムモデリングに関する研究</p> <p>副課題2：マルチスケールに対応した海洋予測技術の開発に関する研究</p> <p>副課題3：次世代海洋データ同化・大気海洋結合データ同化</p> <p>副課題4：全球数値予報モデル、季節予測システムに関する研究</p> <p>副課題5：化学輸送モデル、大気微量成分同化に関する研究</p>
研究期間	令和元年度から5年間（5年計画第2年度）
担当者	<p>○行本誠史 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〕○石井正好、吉村裕正、出牛真、吉田康平、神代剛、高谷祐平、新藤永樹、足立恭将、大島長、浦川昇吾</p> <p>〔気象予報研究部〕川合秀明、長澤亮二</p> <p>〔気候・環境研究部〕保坂征宏、水田亮、田中泰宙、辻野博之</p> <p>〔応用気象研究部〕高槻靖、小畑淳</p> <p>(副課題2)</p> <p>〔全球大気海洋研究部〕○山中吾郎、中野英之、豊田隆寛、坂本圭、浦川昇吾、高野洋雄、藤井陽介、碓氷典久、広瀬成章、吉村裕正、高谷祐平、新藤永樹、川上雄真(併任)、延与和敬(併任)、平原幹俊(併任)</p> <p>〔気候・環境研究部〕辻野博之</p> <p>(副課題3)</p> <p>〔全球大気海洋研究部〕○高野洋雄、藤井陽介、碓氷典久、広瀬成章、山中吾郎、中野英之、豊田隆寛、坂本圭、浦川昇吾、石川一郎、高谷祐平、杉本裕之(併任)、吉田拓馬(併任)、桜井敏之(併任)、吉田久美(併任)、檜垣将和(併任)、櫻木智明(併任)、浅井博明(併任)、小林熙(併任)</p> <p>〔気象観測研究部〕岡本幸三、石橋俊之</p> <p>〔気候・環境研究部〕遠山勝也</p> <p>(副課題4)</p> <p>〔全球大気海洋研究部〕○石川一郎、高谷祐平、新藤永樹、足立恭将、齊藤直彬、藤井陽介、豊田隆寛、山中吾郎、浦川昇吾、吉田康平、平原翔二(併任)、小森拓也(併任)、金濱貴史(併任)、久保勇太郎(併任)、杉本裕之(併任)、吉田拓馬(併任)</p> <p>〔気象予報研究部〕川合秀明</p> <p>〔気候・環境研究部〕保坂征宏、今田由紀子、小林ちあき、辻野博之</p> <p>(副課題5)</p> <p>〔全球大気海洋研究部〕○眞木貴史、関山剛、出牛真、大島長、梶野瑞王、足立光司、上清直隆(併任)、永井康之(併任)、中村貴(併任)、鎌田茜(併任)、小木昭典(併任)、小野寺悠(併任)、中川勝之(併任)、佐々木泰憲(併任)、諸藤隆史(併任)</p> <p>〔気象観測研究部〕酒井哲、吉田智、近藤圭一</p> <p>〔台風・災害気象研究部〕永井智広</p> <p>〔気候・環境研究部〕直江寛明、田中泰宙</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「地球システムモデル」の考え方に基づいた研究を進める。これにより、地球システムの構成要素の関連性とそれらの相互作用を適切に扱い、その成果を様々な時間・空間スケールの現象の高精度の解析と予測に適用させられる「階層的」な「地球システムモデル」の考え方に基づいた統合的な研究課題とし、次世代の現業数値予報モデルの仕様に係る指針を得る。</p> <p>(副課題1)</p> <p>幅広い時間・空間スケールの現象を高精度に表現可能な地球システムモデルを開発することにより、気象・気候予測の精度向上と不確実性低減に貢献する。</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、気候変動予測情報や日本周辺の海洋環境情報の高度化に貢献する。</p>

	<p>(副課題 3)  海洋及び大気海洋結合に関連したデータ同化システムの改良を通じて、沿岸の詳細な海況情報の発表や大気海洋結合モデルを用いた週間・1か月アンサンブル予報や季節予報などで用いる初期値の改善に貢献する。</p> <p>(副課題 4)  季節予測システムの改良を通じて、現業季節予報の精度向上に貢献する。その成果を利用しながら週間・1か月予報の改良を進める。</p> <p>(副課題 5)  エーロゾル、オゾン、温室効果ガス等（大気微量成分）の動態をシミュレートする化学輸送モデルを高度化する。また、これらの物質に関して多様なリモートセンシング観測データを用いて分布に関する監視と、化学輸送モデルを検証・改良すると共に、データ同化技術を開発・改良する。また、これらの各種プロダクトや手法を用いた応用研究（視程、排出量逆解析等）を実施する。</p>
<p>目標</p>	<p>地球システムの構成要素の関連性とそれらの相互作用を適切に扱い、地球システムの様々な時間・空間スケールの現象について高精度の解析と予測を行う。</p> <p>(副課題 1)  高解像度化を可能にする新しい地球システムモデルを開発し、数日以上前からの台風の発生や強度の予測など、気象予測の新たな可能性を探る。また、積雲対流過程、境界層過程、雲物理過程など各種物理過程や物質循環過程を高度化し、全球規模の気候変動予測の高精度化を図るとともに、台風や梅雨など地域規模の現象の高精度な再現と変動予測を可能とする。</p> <p>(副課題 2)  <ul style="list-style-type: none"> <li>・海洋モデルの高解像度化に対応して、物理プロセスを改良する。</li> <li>・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。</li> <li>・開発した海洋モデルを用いて、気候変動に関わる海洋循環や海面水位等の変動プロセスを解明する。</li> <li>・海洋モデルの開発効率を向上させるため、海洋モデル開発基盤の整備を行う。</li> </ul> </p> <p>(副課題 3)  <ul style="list-style-type: none"> <li>・平成 30 年度までに開発した全球海洋データ同化システム及び日本近海海洋データ同化システムを現業化する。</li> <li>・海況の再現性改善に向け、衛星海面水温の直接同化などを用いた新たな海洋データ同化手法を開発する。</li> <li>・開発した海洋データ同化システムを適用して大気海洋結合同化システムを改良し、改善した大気海洋結合モデル初期値を作成すると共に、結合同化の解析インパクトを明らかにする。</li> <li>・海洋観測の効率化や最適化に向け、海洋観測データのインパクト評価を行う。</li> </ul> </p> <p>(副課題 4)  令和 3 年度現業化を目標として次期季節予測システムの開発・改良を行う。さらに将来の季節予測システムに向けた開発と 1 か月より短い予報の大気海洋結合化を含むフィジビリティ研究を行う。</p> <p>(副課題 5)  <ul style="list-style-type: none"> <li>・気象研究所地球システムモデル（MRI-ESM2）におけるエーロゾル、オゾン等の化学輸送モデルを高度化する。</li> <li>・領域化学輸送モデルを高解像度化すると共に、気象庁領域モデル（asuca）対応を行う。</li> <li>・エーロゾル、オゾン等大気微量気体をシームレスに取り扱う全球化学統合モデルを開発する。</li> <li>・ライダー・衛星・地上（分光日射）観測により、エーロゾル等の分布を監視する。</li> </ul> </p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・衛星に関しては衛星から組成別の光学的厚さ算出を目指す。</li> <li>・大気微量成分のデータ同化システムを開発・高度化して、エアロゾル・オゾンに関しては本庁での業務開始・高度化を支援する。</li> <li>・エアロゾル・オゾンに関する再解析を高度化する。</li> <li>・温室効果ガス輸送モデルや逆解析を高度化する。</li> <li>・視程・排出量逆解析に関する技術開発を進める。</li> </ul>
研究の概要	<p>(副課題1) 気象・気候予測のための地球システムモデリングに関する研究</p> <p>(1) 高解像度地球システムモデルによる気象予測のフィジビリティ研究  数日以上前からの台風の発生や強度の予測など、気象予測の新たな可能性を探るため、以下の開発・研究を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・非静力学全球大気モデルを高解像度化し、渦解像海洋モデルと結合した高解像度地球システムモデルを開発する。</li> <li>・非静力学全球大気モデルに10km以下の解像度に適合する積雲対流パラメタリゼーションを導入する。</li> <li>・高解像度地球システムモデルを用いた気象予測実験を行い、台風の発生や強度の予測などに関するフィジビリティを調査する。</li> </ul> <p>(2) 地球システムモデルの気候再現性の高精度化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・台風、梅雨など地域規模の現象の再現性向上を目指し、大気モデルの高解像度化に合わせて境界層、浅い対流及び積雲対流などの物理過程を高度化する。</li> <li>・雲フィードバック及びエアロゾル雲相互作用の不確実性低減を目指し、雲と放射に関する物理過程の高度化により、雲と放射の再現性を向上させる。</li> <li>・対流圏から中層大気までの循環場の再現性向上を目指し、重力波抵抗パラメタリゼーション等の高度化を行う。</li> <li>・気候変動再現実験を行い、過去から現在までの気候の再現性を評価する。</li> </ul> <p>(3) 気候と化学物質の相互作用の高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高度化したエアロゾル・化学輸送モデルを導入し、気候とエアロゾル・大気微量成分の相互作用について調査する。</li> <li>・陸域及び海洋の炭素循環過程に窒素循環の効果を導入し、二酸化炭素濃度の将来予測における不確実性を調査する。</li> </ul> <p>(副課題2) マルチスケールに対応した海洋予測技術の開発に関する研究</p> <p>(1) 海洋モデルのプロセス改良</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・大気海洋境界過程や氷床-海氷-海洋過程などのプロセスを精緻化する。</li> <li>・海洋物質循環プロセスを精緻化する。</li> </ul> <p>(2) 次世代の海洋予測技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・港湾の水温や1か月先の異常潮位を対象とした予測技術を開発する。</li> <li>・地球システムモデルや季節予報システムの海洋モデルを開発する。</li> <li>・高分解能大気海洋結合モデルを開発し、気象津波の予測可能性を調査する。</li> <li>・大気波浪結合モデルを開発する。波浪依存性を考慮した海面粗度およびフラックスを導入し、海面境界過程の精密化を図る。</li> </ul> <p>(3) 海洋変動機構の解明</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・高解像度海洋モデルの国際比較実験を実施する。</li> </ul> <p>(4) 海洋モデルの開発基盤の整備</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁の現業で用いられるモデルとして、海洋モデルの高速化・堅牢化を進める。</li> <li>・大学等の連携によりモデル開発体制を強化する。</li> </ul> <p>(副課題3) 次世代海洋データ同化・大気海洋結合データ同化に関する研究</p> <p>(1) 昨年までに開発したシステムの現業化に向けた検証・改良</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・昨年までに開発した全球海洋データ同化システム及び日本近海海洋データ同化システムについて、現業化のための精度評価と改良を継続して行う。</li> </ul> <p>(2) 新たな海洋データ同化手法の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・海況の再現性を改善するため、a) 4D-VAR 同化手法の改善、b) 衛星海面水温データを直接同化する手法、c) 海洋短波レーダーなどの流速データ、面的海面</li> </ul>

高度計データ、グライダーによる観測など、新たな海洋データ同化手法の開発を進める。

- ・ 現行の沿岸・近海、全球の海洋同化システムの統合に向け、短期（数日）から10日以降の現象をシームレスに表現できる新しい同化手法を開発する。
- ・ 上記で新たに開発した海洋データ同化手法を、日本近海モデルの初期作成手法に適用する。

(3) 大気海洋結合同化システムの改良

- ・ 季節予報・台風予測等の予測精度向上に向け、上記で新たに開発する海洋データ同化手法を導入して大気海洋結合同化システムを改良し、大気海洋結合予測に向けた初期値の作成を行う。
- ・ 上記で開発した結合同化システムにおける大気・海洋結合および海洋・大気観測データの台風や熱帯降水系、大気大循環等に対するインパクトを解析し、結合同化の解析値改善の効果について検証する。

(4) 海洋観測のインパクト評価と観測最適化に向けた研究

- ・ データ同化システムの開発を通じて海洋観測データが海況の監視・予測に与える影響等を評価すると共に、黒潮流路の変動メカニズム等、海洋の諸現象の解明を進める。
- ・ 観測インパクト実験等の結果に基づき、重要地点に焦点を当てた機動観測の計画や観測システム設計の効率化と最適化に向け、海洋観測システムの重要度、効率性について評価を行う。

(副課題4) 全球数値予報モデル、季節予測システムに関する研究

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

平成26～30年度に実施した重点研究「季節予報の高度化と異常気象の要因解明に関する研究」において開発した大気・海洋結合モデルと海洋初期値作成手法を用いた新しい季節予測システムを構築する。再予報実験の解析を行って、このシステムの改良点である(ア)大気・海洋モデルの高解像度化、(イ)海洋初期値作成手法の高度化(4次元変分法の導入)、(ウ)海水初期値の改善、(エ)大気物理過程の改善について、予測精度への影響を評価する。

(2) 将来の季節予測システムに向けた開発・フィジビリティ研究

令和6年度以降に導入される次々期季節予測システムを含む将来の季節予測システムに向けて以下の開発・フィジビリティ研究を行う。

(ア) さらなる高解像度化(特に海洋渦解像)のインパクト評価

(イ) 大気海洋結合同化による初期値の予報への影響評価

(ウ) 結合系のアンサンブル手法の開発

(エ) 結合モデルの季節内予測への適用に関するフィジビリティ研究

(3) 海洋観測システムの季節予報への影響に関する研究

現業季節予測システムを用いて海洋観測システムの影響を調べる実験を行い、結果に基づいて観測システムの種類や海域の重要性を評価する。

(副課題5) 化学輸送モデル、大気微量成分同化に関する研究

(1) 化学輸送モデルに関する研究

・ 全球エーロゾルモデルや全球化学輸送モデル等の改良を行いM1課題と協力して地球システムモデルの高度化を図る。

・ 全球エーロゾルモデルと全球化学輸送モデルを統合した全球大気化学統合モデルの開発を行う。

・ P5課題と連携して領域化学輸送モデルの諸過程を高度化し、高解像度化を図る。大気モデルとして気象庁の現業領域非静力学モデル(asuca)対応を進める。

・ D4課題と連携してライダーの観測を継続しつつエーロゾル等の大気微量成分とモデルとの比較検証を実施してモデルの改善点等を把握してモデル精度向上に繋げる。

・ D3課題と連携して国内の分光放射計の解析結果とエーロゾルモデルとの比較検証を実施してモデルの改善等を把握する。

・ D3課題と連携して東・東南アジアにおける分光放射計の地上観測網であるSKYNET及びライダーの地上観測網であるAD-Netのデータを解析し、エーロゾル組成の

	<p>多点・長期変動を解析してモデルとの比較検証を行う。</p> <p>(2) データ同化・応用技術に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・大気微量成分データ同化手法 (2D/3D-Var、LETKF) の開発を進める。鉛直分布観測データ (ライダー) の取り込みや複数衛星同時同化手法、大気と微量成分の同時同化等の開発を進める。</li> <li>・大気微量成分再解析 (エロゾル、オゾン、温室効果ガス等) を高度化する。</li> <li>・D3 課題と連携して衛星観測データよりエロゾルの組成毎に抽出された光学的厚さを用いてモデルの検証やデータ同化の入力として利用する。</li> <li>・C3 課題と連携し大気トレーサー観測データを用いてモデルや逆解析との比較検証を実施し、大気輸送過程・排出量見積の改善等を把握する。また、日本付近の炭素収支の変動に関する解析結果を共有し、アジア域等広域の濃度場・吸排出量に対する影響評価に利用する。</li> <li>・化学輸送モデル・データ同化や AI 技術を用いた応用研究 (AI を用いた予測ガイダンス、視程情報高度化、排出量逆推計、社会適用等) を行う。</li> </ul>
<p>研究の有効性</p>	<p>(気象業務への貢献)</p> <p>「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のではなく、階層的な考え方にに基づき、モデルを構成する「コンポーネント」を各現業モデルに適した形で利用する方法で貢献することを想定する。これにより、地球温暖化を背景とする台風・集中豪雨などの顕著現象、季節予報、海況監視予測、大気微量成分の監視・予測の高度化に貢献する。</p> <p>(学術的貢献)</p> <p>大気、海洋、波浪、陸面、雪氷、大気微量成分等の地球システムを構成する多様な要素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。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> <p>(社会的貢献)</p> <p>集中豪雨・台風等の災害をもたらす顕著な現象の今後の激甚化の可能性予測、地球温暖化の進行を背景として大気や海洋の長期変化の予測、温室効果ガスや汚染物質の排出増加にともなう地球環境の監視・予測ができる「地球システムモデル」の研究を進めることは、「気候変動適応」の法制化に対応する高精度の温暖化予測と気候変動が全球から地域までのそれぞれにもたらす影響の評価に大きく資する。</p> <p>海洋を巡る総合的な安全保障上の情勢を踏まえ、日本周辺海域の監視・予測能力の向上に資する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、「第三期海洋基本計画」が推進する海洋状況把握 (MDA) の強化に大きく資する。</p> <p>大気微量成分に関する監視・予測情報の高度化は、運輸、産業、エネルギー、社会、疫学等の場面においてスマート社会の実現に貢献することができる。</p>
<p>令和 2 年度実施計画</p>	<p>(副課題 1) 気象・気候予測のための地球システムモデリングに関する研究</p> <p>(1) 高解像度地球システムモデルによる気象予測のフィジビリティ研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地球システムモデルの基幹となる大気海洋結合部の開発と高解像度実験の実施</li> </ul> <p>(2) 地球システムモデルの気候再現性の高精度化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地球システムモデルの気候再現性の高精度化のための、放射、境界層などに関わる大気物理過程や化学過程の計算スキームの改良。</li> </ul> <p>(3) 気候と化学物質の相互作用の高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・気候と地球化学の相互作用の高度化に向けての、エロゾル・大気化学モデルとの結合インターフェースの実装</li> </ul> <p>(副課題 2) マルチスケールに対応した海洋予測技術の開発</p> <p>(1) 海洋モデルのプロセス改良</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・海水プロセスや海面フラックスなどの大気海洋境界過程の精緻化</li> </ul> <p>(2) 次世代の海洋予測技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高分解能大気海洋結合モデル及び大気波浪結合モデルによる予報実験の実施</li> </ul> <p>(3) 海洋変動機構の解明</p>

- ・ 現在気候再現実験の実施と海盆毎の海洋変動メカニズムの解明
- (4) 海洋モデルの開発基盤の整備
  - ・ 汎用的な港湾モデル開発、解析ツールの共有化
- (副課題3) 次世代海洋データ同化・大気海洋結合データ同化に関する研究
  - (1) R2年度現業化するシステムの検証・改良
    - ・ 現業システムによる精度評価に基づく改良
  - (2) 新たな海洋データ同化手法の開発
    - ・ 4D-VAR 同化手法の改善
    - ・ 衛星海面水温データを直接同化する手法の開発
    - ・ 海洋レーダー・グライダー観測値のデータ同化手法に関する検討
  - (3) 大気海洋結合同化システムの改良
    - ・ システムを構成する結合モデル・海洋同化システムの高度化（海洋 4DVAR の組み込み等）
    - ・ 大気海洋結合予測に向けた初期値の作成
  - (4) 海洋観測のインパクト評価
    - ・ 海洋観測データが海況の監視・予測に与える影響等の評価
    - ・ 黒潮流路の変動メカニズム等、海洋諸現象の解明
- (副課題4) 全球数値予報モデル、季節予測システムに関する研究
  - (1) 次期季節予測システムの運用開始(R3年度予定)に向けた開発・精度評価
    - ・ R1年度に実施した試験的再予報の精度評価、本格的な再予報に向けた調整・準備、再予報の実施
  - (2) 将来の季節予測システムに向けた開発・フィジビリティ研究
    - ・ 高解像度化の影響評価実験、結合系のアンサンブル手法の開発、結合モデルの季節内予測への適用に関するフィジビリティ研究
  - (3) 海洋観測システムの季節予報への影響に関する研究
    - ・ 予測実験の実施と予備的な解析
- (副課題5) 化学輸送モデル、大気微量成分同化に関する研究
  - (1) 化学輸送モデルに関する研究。
    - ・ NHM-Chem 改良（オンラインモデル開発等）
    - ・ 全球エアロゾル、化学輸送モデル改良
    - ・ 全球輸送モデルの開発
  - (2) データ同化・応用技術に関する研究
    - ・ 2D-Var、LETKF 等の同化システム開発
    - ・ エアロゾル再解析（JRAero）V2 の開発開発
    - ・ CO2 逆解析において衛星観測データを取り入れるシステムの構築
  - (3) 大気微量成分の鉛直分布観測
    - ・ 化学輸送モデル検証のためのエアロゾルや対流圏オゾンの鉛直分布観測

研究課題	<p>(P課題) 大気の物理過程の解明とモデル化に関する研究  副課題1：高解像度非静力学モデルによる激しい気象現象の再現性向上  副課題2：接地境界層における乱流輸送スキームの精緻化  副課題3：雪氷圏の監視・変動要因解明とその基盤技術の開発  副課題4：積雲対流スキームのグレーゾーン対応と雲・放射スキームの精緻化  副課題5：エーロゾル・雲・降水微物理の素過程解明と微物理モデルの開発</p>
研究期間	令和元年度から5年間（5年計画第2年度）
担当者	<p>○山田雄二 気象予報研究部長  (副課題1)  [気象予報研究部] ○藤田匡、林修吾、橋本明弘、渡邊俊一  [気象観測研究部] 山田芳則  [台風・災害気象研究部] 和田章義、小野耕介  (副課題2)  [気象予報研究部] ○毛利英明、水野吉規、安斎太郎、守永武史  (副課題3)  [気象予報研究部] ○大河原望、庭野匡思、谷川朋範  [気候・環境研究部] 保坂征宏  (副課題4)  [気象予報研究部] ○中川雅之、川合秀明、長澤亮二  [全球大気海洋研究部] 吉村裕正、新藤永樹  [台風・災害気象研究部] 和田章義  (副課題5)  [気象予報研究部] ○財前祐二、折笠成宏、田尻拓也、橋本明弘  [全球大気海洋研究部] 足立光司、梶野瑞王  [応用気象研究部] 川端康弘</p>
目的	<p>観測や実験と数値シミュレーションを組み合わせることで大気の種類物理過程を解明し、それを数値予報モデルに反映させることによって、集中豪雨、台風の予測、季節予報、地球温暖化予測に用いられる数値予報モデルの予測精度を向上させる。</p> <p>(副課題1)  高解像度非静力学モデルにより局地的な激しい現象の再現性を向上させる。このモデルを広領域で実行して、フィリピン域や北西太平洋域での降水量や風の予測精度を向上させる。</p> <p>(副課題2)  気象庁現業領域モデル (asuca) の接地境界層過程を精緻化して地上気象予測の精度を改善する。</p> <p>(副課題3)  放射伝達理論等の物理過程に基づき、雪氷面の観測を行い、雪氷圏変動の実態把握を行う。その状態変化に係るモデル化を進め、予測精度向上に寄与する。</p> <p>(副課題4)  数値予報モデルの積雲対流、部分雲、放射スキームを精緻化し、予測精度向上に寄与する。</p> <p>(副課題5)  エーロゾルの物理化学特性を解明し、また、雲の生成から降水に至る物理過程を精緻化することにより、降水や放射の予測精度向上に寄与する。</p>
目標	<p>現業数値予報モデルで使用されている各種物理過程の問題点を明らかにし、有効な改善方法を提案する。あわせて、モデルの高解像度化と領域モデルの広域化について利用可能性を評価し、次世代の現業数値予報モデルの仕様に係る指針を得る。</p> <p>(副課題1)  高解像度モデルの予測精度の解像度依存性について評価して問題点を抽出し改善</p>

	<p>の方策を示すとともに、高解像度モデルに適した力学フレームを検討する。広領域で実行可能な高解像度領域モデルを開発し、台風による局地的な降水や風の予測精度を評価して問題点の抽出と改善のための方策を示す。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>接地境界層における運動量・熱などの乱流輸送の特性を①数値計算②風洞実験③野外観測から明らかにする。得られた知見を総合的に検討して気象庁領域モデル(asuca)に接地境界層過程として実装する乱流輸送スキームを精緻化する。</p> <p>(副課題 3)</p> <p>観測のための測器等を開発・整備しつつ、地上観測・試料分析を継続して高精度な長期監視を行うとともに、未だに十分な理解が進んでいない雪氷の物理過程の解明を行う。これを衛星リモートセンシングアルゴリズムの開発・改良に活かし、時空間的に連続的かつ広域にわたる、量的・質的な雪氷圏監視を行う。また、積雪モデルや海氷モデルの開発・改良を進め、これらを大気モデルに結合させることで大気と雪氷面の相互作用を精緻化し、雪氷面の状態変化に係る予測精度を向上させる。</p> <p>(副課題 4)</p> <p>メソモデルによる顕著現象などの予測精度向上や、将来の全球モデルの水平高解像度化に向け、水平格子間隔約 10km からそれ以下のグレーゾーンに対応した積雲対流スキームを提案する。また、格子内の部分雲の表現を改善、および、雲が放射に及ぼす効果を改善するなど雲・放射全般の改善を図る。</p> <p>(副課題 5)</p> <p>電子顕微鏡による大気エアロゾル粒子の個々のレベルでの分析により、存在状態や物理化学特性などの基礎データを得る。また、雲生成チェンバー等の装置を用いた実験やモニタリングを行い、各種大気エアロゾルの CCN 能、IN 能についてのデータを得る。これらの実験結果や測定結果を、新たに開発する詳細微物理モデルによって、解析し、パラメータ化する。さらに航空機観測データ等も用いて、雲・降水プロセス全般について検討を行い、3次元モデル用の新たな雲物理モデリングの提案を行う。</p>
<p>研究の概要</p>	<p>(副課題 1)</p> <p>①気象庁非静力学モデル (JMA-NHM) あるいは気象庁現業領域モデル(asuca) による予測精度のモデル解像度依存性を系統的な実験によって明らかにする。</p> <p>②副課題 2～5 の各種物理過程研究の成果を反映させた高解像度モデルを開発し、その性能を評価する。</p> <p>③②のモデルにより激しい気象現象 (局地的大雨や短時間強雨、大雪、雷雨、風のシア、突風など) の再現性の検証及び予測精度の評価を行う。</p> <p>④広領域の高解像度モデルを用いてフィリピン域における上陸台風とそれに伴う降雨の予測実験を行い、その精度を検証する。</p> <p>⑤広領域の高解像度モデルを用いて北西太平洋海域における台風・モンスーンに伴う降水や風分布の予測及びその精度を検証する。</p> <p>副課題 2～5 の各種物理過程研究や、「データ同化技術の高度化と観測データの高度利用に関する研究」と密接に関連して研究を行う。また、モデル開発により得られた成果を「台風・顕著現象の機構解明と監視予測技術の開発に関する研究」に共有することによって台風予報の改善にも貢献する。「地球温暖化と異常気象の解明と予測及び地球環境に関する研究」における地域気候モデル開発と情報交換する。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>・接地境界層における運動量や熱などの乱流輸送の特性を明らかにするため①数値計算②風洞実験③野外観測を以下のように行う：</p> <p>①LES や Direct Numerical Simulation (DNS) を用いて安定度等の条件を変えて境界層乱流の数値計算を行い、データを蓄積して詳細な解析を行う (第 1～第 3 年度)。</p> <p>②気象研風洞において安定度や表面粗度等の条件を広範囲で変えて境界層乱流の実験を行い、データを蓄積して解析する (第 1～第 5 年度)。</p>

- ③気象研露場において蒸発散測定装置や超音波風速温度計等を用いて地中も含む総合観測を通年連続で行い、データを蓄積して解析する(第1～第5年度)。
- データの解析は接地境界層の普遍則・粗度など境界条件の影響・既存の輸送量評価法の精度等に着眼して行うものとする。とくに②風洞実験と③野外観測については、研究期間を通して系統的にデータを蓄積しつつ、各年度に着眼点を定めて解析を進める。なお必要に応じて計算・実験・観測技術の開発を行う。
- 得られた知見を統合して asuca に実装可能な乱流輸送スキーム改善について検討する。とくに数値計算については①asuca に改善した乱流輸送スキームを実装して検証を行う(第4～第5年度)。  
検討に際しては数値予報課と協議を行い、必要に応じて②風洞実験や③野外観測で取得したデータを検討用に提供する。
- ①数値計算は課題「シームレスな気象予報・予測の災害・交通・産業への応用に関する研究」の副課題「地域気候モデルによる予測結果の信頼性向上に関する研究」と連携する。
- ②風洞実験については各年度に所内全体に利用予定を照会する。
- ③野外観測で得られた観測データは副課題3および課題「データ同化技術の高度化と観測データの高度利用に関する研究」の副課題「地上リモートセンシング技術及びそれらをコアとした水蒸気等の観測技術に関する研究」にも提供する。

(副課題3)

- ①雪氷物理量を測定するための技術開発、連続観測  
札幌・北見・長岡における放射・気象・積雪観測を継続し、変動の実態把握、分析のための解析を進める。そうした現地観測と同期させながら、必要な観測装置・分析装置を開発・導入・改良し、主に積雪・海氷を対象として、それぞれの物理過程の解明を進める。
- ②リモートセンシングによる雪氷物理量の監視、アルゴリズム開発・改良  
①で得られた知見を活か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のデータを利用して、主に極域、日本周辺における雪氷物理量の空間変動を 20 年以上にわたる、量的ならびに質的な監視を行う。
- ③雪氷物理過程モデルの高度化と活用  
①で得られた知見、①②で得られた検証データを活かして積雪不純物(光吸収性エアロゾル)を考慮した雪氷放射過程、積雪変質過程等を含む、積雪変質アルベドモデル SMAP や海氷モデルの改良を行う。簡易版の開発も進める。これらを各種大気モデル・気候モデルに組み込み、変動メカニズム解明を行うとともに、予測精度を評価し、向上させる。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、エアロゾルに関係する研究課題と連携しながら進める。

(副課題4)

- 数値予報モデルの積雲対流、部分雲、放射などの物理過程を改良・高度化する。各種観測データによる検証、他のモデルとの比較、湿潤 LES との比較により評価を行いつつ開発を進める。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。
- ・グレーズンに対応した積雲対流スキームの開発：理想実験や鉛直1次元モデルによる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つつ、観測値や湿潤 LES の結果を参照値として開発を進める。
  - ・地球システムモデル向けに開発された層積雲スキームの、短期予報における評価：本スキーム単独の評価とともに、必要に応じて浅い対流や境界層スキームの改良と組み合わせることを検討する。
  - ・放射スキーム：雲が放射に及ぼす効果において大きなインパクトを持つ雲の水平非一様性の効果やより精緻な雲オーバーラップ等を放射計算で扱えるようにする。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つつ、観測デ

	<p>ータ・再解析データによる検証と参照利用を行いながら開発を進める。</p> <p>(副課題 5)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・雲生成チェンバー、IN 計、CCN 計等を用いた実験により、大気中の主なエアロゾルについて、内部混合の影響も含め、CCN 活性、IN 活性を定量化する。</li> <li>・エアロゾルの物理化学特性の雲生成や降水、雲の放射特性への影響を表現する微物理モデルを開発し、チェンバー実験などを再現、パラメタリゼーションの開発を行う。</li> <li>・航空機観測データや微物理モデルを活用して、雲・降水プロセス全般について 3 次元モデルに搭載可能な、詳細雲モデルを開発する。</li> <li>・電子顕微鏡等を用いた分析により、エアロゾルの存在状態、物理化学特性の解明を行う。サンプルは外部研究機関と協力した野外観測キャンペーン等に参加することで広く採取する。得られたエアロゾル素過程の理解は、エアロゾルモデルを用いて定式化する。</li> <li>・つくば及び福岡などにおいてモニタリング観測を実施し、エアロゾルや CCN, IN の変動を解明するとともに、実験的手法と組み合わせて実大気で有効な IN を特定する。</li> </ul>
研究の有効性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・領域モデルの改良によって防災気象情報の高度化、気象災害の軽減に貢献する</li> <li>・全球モデル・地球システムモデルの改良によって気候予測の不確実性低減、温暖化予測向上に資する</li> <li>・数値予報モデルの改善の波及効果として以下が期待できる       <ol style="list-style-type: none"> <li>①第一推定値のバイアスの軽減を通じて、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</li> <li>②顕著現象の発生・維持機構の解明</li> <li>③大気中の物理プロセスの理解の深化</li> <li>④雲や風の予測精度向上による再生可能エネルギー分野への貢献（特に、電力の需給バランスによる安定的な電力供給）</li> <li>⑤精度よい気象データを提供することによる気象ビジネス分野への貢献</li> </ol> </li> <li>・副課題別の波及効果は以下のとおり       <ul style="list-style-type: none"> <li>副課題 1：高解像度モデルは、領域気候や汚染物質・噴煙の拡散予測、高潮等の沿岸海況予測などの業務や研究への技術的基盤となる。</li> <li>副課題 2：地上気象観測業務に対して、測器の開発や観測環境の検討さらに推計気象分布の拡充等に、本副課題から得られる技術や知見の活用が見込まれる。</li> <li>副課題 3：より高精度な海水準変動予測への寄与</li> <li>副課題 5：視程予測の改善の可能性</li> </ul> </li> </ul>
令和 2 年度実施計画	<p>(副課題 1)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 引き続き、異なる空間解像度の気象庁非静力学モデル (JMA-NHM) あるいは気象庁現業領域モデル (asuca) による再現実験を行い、現行モデルや現業モデルの改良点の検討を行う。</li> <li>② 副課題 2～5 の各種物理過程研究の成果を高解像度モデルに組み込み、予備的な実験によってその性能を調査する。</li> <li>③ バルク法やビン法雲微物理モデルによる降水・降雪過程モデルの改良や高度化を行う。</li> <li>④ 物理過程の高度化や改良を行うとともに、対流雲の再現性を向上させる。</li> <li>⑤ 高解像度モデルによる発雷予測手法の検討および観測との比較検証を行い、発雷メカニズムに基づいた発雷予測の改良を行う。</li> <li>⑥ asuca への移行準備を進める。</li> <li>⑦ 湿潤 LES 開発のための実験を行い、モデルの問題点等を明らかにする。</li> <li>⑧ 広領域高解像度モデルを用いたフィリピン付近を対象とした予備的な実験を実施し、予備的な検証に着手する。</li> <li>⑨ 熱帯や亜熱帯域での物理過程の改良を検討する。</li> <li>⑩ NHM の高度化と利用促進のために、様々な状況でのモデル計算に資するための力学過程・物理過程の最適化、外部機関での利用を念頭に置いたツールの整備を行う。</li> </ol>

(副課題 2)

- ① LES や DNS を用いて数安定・不安定・中立な境界層の数値計算を行い、接地境界層における乱流輸送についてデータを解析する。
- ② 気象研風洞において安定・不安定・中立な境界層の実験を行なってデータを蓄積しつつ、中立・安定な場合について解析を行う。
- ③ 気象研露場において接地境界層の通年観測を行なってデータを蓄積しつつ、乱流輸送と大気安定度等との関係について解析を行う。

(副課題 3)

- ① 雪氷物理量を測定するための技術開発、連続観測  
札幌・北見・長岡における放射・気象・積雪連続観測を継続すると同時に、現地で取得する積雪サンプルから光吸収性不純物濃度を測定する。上記 3 地点を含む国内外の様々な場所における気象・雪氷現地観測を実施して、積雪・海水等の物理過程の理解の深化、放射理論・観測等に基づく詳細衛星リモートセンシングアルゴリズムの開発を進める。
- ② リモートセンシングによる雪氷物理量の監視、アルゴリズム開発・改良  
多バンドで時空間分解能の優れたひまわり、長期観測中の MODIS、SGLI を搭載する GCOM-C 等の極軌道衛星、マイクロ波衛星等の衛星データについて、雪氷物理量の監視のためのアルゴリズムの改良を行う。
- ③ 雪氷物理過程モデルの高度化と活用  
積雪変質モデル SMAP の高度化・日本周辺および極域での領域気候モデル (NHM-SMAP) 計算を実施し、地球システムモデルの結果とともにその検証を行い、修正すべき課題を明らかにするとともに、改良を図る。

(副課題 4)

- ① 積雲対流スキームの開発
  - ・ 理想環境や鉛直 1 次元モデルによる実験を行う。また 3 次元モデルでの単発実験と事例調査、従来の積雲対流スキームとの比較による性能評価に着手する。
  - ・ 引き続き観測や湿潤 LES による参照値の収集・作成を進める。
- ② 層積雲スキームの開発
  - ・ 3 次元モデルでの単発実験と事例調査を引き続き行う。またサイクル実験による性能評価を進める。
  - ・ 必要に応じて浅い対流、境界層スキームの改良を行う。
- ③ 全球モデルにおける雲微物理過程の改良
  - ・ 全球モデルの雲微物理過程の見直しを引き続き行う。
  - ・ 衛星データ等の観測データによる検証を行い、CMIP6 や CFMIP などの枠組みで行われるモデル間比較に参加する。
- ④ 全球モデルにおけるエアロゾル雲相互作用の高度化
  - ・ 地球システムモデルのエアロゾル雲相互作用の部分の見直しを引き続き行う。
  - ・ 各種観測データによる検証を行い、CFMIP などの枠組みで行われるモデル間比較に参加する。
- ⑤ 放射スキームの改良
  - ・ 雲の水平非一様性とより精緻な雲オーバーラップ等を実現する仕組みの構築を引き続き行う。理想実験による動作確認に着手する。
  - ・ 必要に応じて観測データ・再解析データによる検証・参照利用を行う。

(副課題 5)

- ① 雲生成チェンバーを用いて、代表的な内部混合粒子の CCN 特性について、予備実験を行う。
- ② 氷晶核、雲核、エアロゾルの地上モニタリングを継続実施する。
- ③ 詳細微物理モデルを開発・改良し、過去に得られた室内実験や観測データと比較可能にする。
- ④ 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て、電子顕微鏡等を用いた分析によりエアロゾルの存在状態、物理化学特性を調査する。
- ⑤ バーチャルインパクトや電子顕微鏡、冷却ステージ付き光学顕微鏡等を用いて

	有効な IN を調査する。
--	---------------

研究課題	(D課題) データ同化技術と観測データの高度利用に関する研究 副課題1: 衛星データ同化技術及び全球同化システムの改良 副課題2: メソスケール高解像度同化システム及びアンサンブル摂動作成法の改良 副課題3: 衛星・地上放射観測および放射計算・解析技術の開発 副課題4: 地上リモートセンシング技術及びそれらをコアとした水蒸気等の観測技術に関する研究
研究期間	令和元年度から5年間(5年計画第2年度)
担当者	○ 瀬古 弘 気象観測研究部長 (副課題1) [気象観測研究部] ○岡本幸三、石橋俊之、近藤圭一、石田春磨、岡部いづみ、上田学(併) (副課題2) [気象観測研究部] ○川畑拓矢、澤田謙、堀田大介、幾田泰醇、山田芳則、小司禎教、酒井哲、吉田智、岡本幸三、近藤圭一、横田祥(併)、国井勝(併)、川田英幸(併)、大塚道子(併) [気象予報研究部] 藤田匡 (副課題3) [気象観測研究部] ○石元裕史、山崎明宏、工藤 玲、太田芳文(併) [台風・災害気象研究部] 林 昌宏 [気象予報研究部] 大河原望、谷川朋範、長澤亮二 (副課題4) [気象観測研究部] ○小司禎教、酒井哲、吉田智 [台風・気象災害研究部] 永井智広
目的	台風、集中豪雨等の監視・予測精度向上のため、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・予測技術の開発を一体的に進める。
目標	目的を達成するため、以下を行う。 ・シビア現象の予測精度の向上のためのデータ同化技術の改良やアンサンブル予報技術の開発と利用法の開発(副課題1, 2) ・静止気象衛星ひまわり8, 9号等の衛星データを有効かつ効率的に同化する技術の改良と大気放射収支及びエーロゾル・雲の監視技術の改良(副課題3) ・大気中の水蒸気などの観測技術の開発・改良とその有効性の評価(副課題4)  (副課題1) (a) 全天候域での衛星輝度温度同化など、衛星同化手法の新しい開発や、新規衛星データの導入を行う。ひまわり後継衛星等の将来の衛星観測を評価し観測システムを検討するため、観測システムシミュレーション実験(OSSE)を実施する。 (b) アンサンブルを用いた全球データ同化手法の開発・改良や、観測情報の拡充、モデル誤差の影響の軽減によって、より多くの観測情報をより効果的に同化する。  (副課題2) (a) シビア現象に適用できる高解像度非線形同化システムの開発 非線形性・非ガウス性が卓越しているシビア現象を念頭に、高解像度同化システム(EnVarや粒子フィルターなど)を開発する。 (b) 領域モデルを対象にした高頻度・高密度な観測ビッグデータの同化法の開発 高頻度・高密度な観測データを同化する手法を開発し、さらに観測誤差相関への対処法を開発する。これらの手法を用い、より短いスピンアップで、予測のより長いリードタイムを目指す。 (c) 領域モデルを対象にしたアンサンブル予報の摂動作成法の改良 シビア現象のアンサンブル予報の摂動作成法を改良し、「全外し」が少なくなるアンサンブル予報システムの開発を行う。  (副課題3) (a) ひまわり等衛星データを利用した大気・地表面リトリーバル手法の開発 最適雲推定(OCA)アルゴリズムや機械学習を用いた高度な雲物理情報の抽出技術を

	<p>開発する。またエアロゾル効果の改良などによる高精度の日射量推定を実現する。ひまわり等衛星観測を用いた晴天域不安定指数の推定を行い、その有効性を評価する。</p> <p>(b) ひまわりを用いた火山灰物理量推定アルゴリズムの開発 赤外サウンダ観測を利用した火山灰物質情報の推定技術により、NOAA/NESDIS から導入したひまわり火山灰アルゴリズム (VOLCAT) を改良し、火山灰物理量の推定精度を向上させる。また OCA アルゴリズムを利用した、ひまわり 8/9 号による最適火山灰推定アルゴリズム (OVAA) の新規開発を実施する。</p> <p>(c) 大気・地表面放射モデルの高度化 エアロゾル粒子モデルを開発・改良し、ひまわりや衛星複合センサ解析手法の開発を行う。またひまわり後継機やひまわり 8/9 号を含む複合的な衛星データ解析に対応した高精度な大気放射計算手法の開発を行う。降雪・積雪粒子の形状や融解による散乱特性の変化についての現実的なモデルを開発し、ぬれ雪のレーダー反射特性や融解雪面の散乱特性を利用した解析手法の開発を行う。</p> <p>(d) 大気放射収支の変動及びエアロゾル・雲の監視技術の高度化 日射・大気放射エネルギー及びスペクトル観測技術の開発、及び、エアロゾル・雲等の推定技術の開発を行い、大気放射場の変動とその要因の監視技術を確立する。また、大気放射場の変動やその要因について解析を行う。</p> <p>(副課題 4)</p> <p>(a) GNSS、水蒸気ライダーを含む複数の観測機器を統合し、水蒸気の時・空間構造を高精度でとらえる手法を開発する。船舶 GNSS による海上での水蒸気観測手法の実用化に取り組む。水蒸気ライダーの観測・開発及び現業化に向けた最適な観測ネットワークの検討を行う。</p> <p>(b) 水蒸気ライダーや GNSS の観測・データ解析技術の開発・改良を行い、既存の観測網に加え地上デジタル波、レーダー電波の位相等新たなリモセン機器と統合処理し、水蒸気の時・空間構造を高精度でとらえる手法の開発を実施することで、豪雨をもたらす気象現象の機構解明・予測に資する。</p>
研究の概要	<p>(副課題 1)</p> <p>(a) 衛星データ同化の改良 ・衛星データ同化手法の改良：雲・降水域を含む全天候域の輝度温度の同化を行う。また陸や海氷の影響を受けた輝度温度データの同化、ハイパースペクトルサウンダデータをより有効に利用する手法の開発、観測誤差設定やバイアス補正等の衛星処理の改良を行う。 ・新規衛星データや従来は利用できなかった衛星データの評価・導入：Aeolus、CYGNSS、TROPICS、FY4 等の新規衛星の精度検証・利用可能性調査を行う。また、雲・降水ライダーやライダー、可視・近赤外域反射率等、従来は利用が困難であったデータの評価・同化開発を行う。 ・将来衛星の評価：ひまわり後継衛星等の、将来衛星・測器の利用によってもたらされる数値予報精度への影響を評価するため、OSSE を行う。これにより、最適な観測システムの提案や、先行的な同化処理開発を行う。 ・衛星シミュレータの開発・検証、観測・モデルの検証：放射伝達モデル等の衛星シミュレータ（観測演算子）を開発あるいは既存のものを導入し、検証する。観測・シミュレーション結果を比較することにより、観測・モデル開発者と連携しながら観測・シミュレータ・モデルの検証を行う。さらにこの結果から、データ同化前処理の開発を行う。</p> <p>(b) 全球データ同化システムの改良 ・同化手法の改良：アンサンブルを用いた同化手法において 4 次元（時空間）の背景誤差共分散の高精度化、観測情報の大幅な拡充を可能とする構成の構築、計算量の抑制と高分解能化を実施する。 ・観測情報の拡充：観測誤差相関を考慮した高密度な観測の同化や、水物質の情報を持った観測の同化、境界付近等の新規観測の導入、観測情報の最適な圧縮を行う。 ・数値予報システムの診断：既存観測及び将来の観測データについて、解析や予報場へのインパクトを評価するとともに、評価手法や評価指標を高精度化・多様化する。 ・モデル誤差の軽減：同化システムを用いて、予報モデルのパラメータの推定や、モデルバイアスの補正、感度解析によるモデル誤差の解析等を行い、モデル誤差を軽減</p>

する。

(a)、(b)とも、非線形・ビッグデータ同化処理や放射伝達計算、モデルの再現性が重要となるので、副課題 2、副課題 3、P、M 課題と連携する。さらに開発・改良成果の評価において、台風の解析精度や発生・進路予報の改善を重視しており、T1 課題と知見や同化システムの共有を行う。

(副課題 2)

(a) シビア現象に適用する高解像度非線形同化システムの開発

・ 現業システムに近いシステムや LETKF の改良、 LETKF と 4DVar のハイブリッド手法の開発とともに、非線形性・非ガウス性が卓越するシビア現象にも適用できる EnVar や粒子フィルターなどの開発を行う。

・ 非常に複雑かつ非線形で計算コストの大きな物理過程を少ない計算コストで表現する代替モデルを AI により開発し、未知パラメータ最適化等の高度なデータ同化への応用可能性を検討する。

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

・ ひまわりや偏波レーダー、フェーズドアレイレーダー、水蒸気ライダー等の高頻度・高密度な観測ビッグデータについての特性を調べ、最適なデータ間引き法や観測誤差相関を考慮した同化法等を検討する。

・ 観測ビッグデータを用いて、より短いスピンアップで精度の良く予測するための同化手法を開発する。

・ ハイパースペクトルサウンダー等の観測手法に資する観測システムシミュレーション実験を行う。

・ 観測データの品質管理に関して AI の開発を行う。

・ 位置ずれ誤差を伴う画像データのように、高次元・高密度で冗長性を持ち非ガウス分布する観測データに対し、次元削減とガウス変換を同時に施せる手法を AI 技術を参考に開発し、これを前処理として利用することでガウス分布を仮定する従前の同化アルゴリズムで正しく同化できるようにする。

(c) 領域モデルを対象にしたアンサンブル予報の摂動作成法の改良

・ メソスケール現象のアンサンブル予報において、アンサンブル予報の初期摂動の作成法を改良し、「全外し」時の特徴を調べて「全外し」が少なくなるアンサンブル予報を開発する。

(副課題 3)

(a) ひまわり等衛星データを利用した大気・地表面リトリーバル手法の開発

・ 最適雲推定 (OCA) アルゴリズムについて、水と氷の混合相や過冷却水滴などを扱う高度な雲物理情報の抽出技術を開発する。

・ ひまわり観測データを用いた 1DVar 計算の手法を用いて晴天域不安定指数の推定を行い、その有効性を評価する。

(b) ひまわりを用いた火山灰物理量推定アルゴリズムの開発

・ 火山灰散乱を含む高速赤外サウンダ計算手法の開発を行い、赤外サウンダ観測を利用した火山灰物質情報の推定と、その物質特性に応じたひまわり VOLCAT のルックアップテーブルを開発する。改良 VOLCAT による推定物理量 (光学的厚さ、火山灰高度、有効半径) を評価し、火山 2 研が開発している火山灰モデルにそのデータを提供する。

・ OCA アルゴリズムを利用した、ひまわり 8 号・9 号による最適火山灰推定アルゴリズム (OVAA) の新規開発では VOLCAT と同様、赤外サウンダから推定した火山灰物質情報を用いて OVAA による火山灰推定を実施する。その結果と VOLCAT 解析結果や衛星ライダー観測結果とを用いて比較検証を行う。

(c) 大気・地表面放射モデルの改良

・ 内部混合エアロゾルモデルなど、エアロゾル散乱モデルの開発を実施し、ひまわり観測や地上放射観測、衛星ライダー/イメージャ観測を用いた組成別エアロゾル推定アルゴリズムの改良を行う (地球一括)。

・ X 線マイクロ CT による雪粒子形状抽出や、融解・変質過程の数値計算などを行い、ぬれ雪の粒子散乱モデルを開発する (予報 4 研と共同、地球一括)。またひまわりをはじめとする各種衛星観測を用いた湿雪情報の導出アルゴリズム開発を行う。ぬれ雪モデルは二重偏波レーダーによる液水・雪水量推定 (台風 3 研) に利用する。

	<p>(d) 大気放射収支の変動及びエアロゾル・雲の監視技術の高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地上放射計観測網（福岡、宮古島、つくば、南鳥島）において地上エアロゾル光学特性連続観測およびエアロゾル散乱・吸収係数の観測を実施し、黄砂粒子や黒色炭素の発生、大陸からの輸送を考慮したエアロゾル光学特性の空間・時間分布を解析する。</li> <li>・分光日射観測システムの開発を進め、地上放射の重点観測点（福岡、つくばと南鳥島）において連続観測を行い、スカイラジオメータ等の放射計及びエアロゾル直接観測機器などの従来の観測システムと融合させることにより、エアロゾルや雲等の地上放射への影響を評価可能とする技術の開発を行う。</li> <li>・計量分野とのトレーサビリティを考慮した放射計校正技術の開発を行う。</li> <li>・分光放射計や全天カメラの地上観測から、雲の微物理・光学特性を解析する手法を開発する。</li> </ul> <p>（副課題 4）</p> <p>(a) 水蒸気ライダー</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・これまでに開発した水蒸気ライダーを用いた観測を行うとともに、副課題 2 にデータを提供し、予測への効果を評価する。ライダーの観測精度向上のための改良と観測データ品質手法の開発・改良を行う。</li> </ul> <p>(b) 船舶 GNSS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・平成 30 年度気象庁予算「海上の水蒸気観測による集中豪雨予測精度向上のための研究」により、主に東シナ海を航行する船舶 8 隻に GNSS 機器を設置し観測を行う。令和 2 年度まで観測を継続し、副課題 3 にデータを提供し、予測への効果を評価する。</li> </ul> <p>(c) 水蒸気の時・空間構造解析</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地上リモセン技術等を用いた水蒸気等の鉛直構造解析に資する研究の調査を行う。データ同化手法などを用い、観測データを統合した水蒸気の 3 次元構造解析手法を構築する。得られた結果を用いた豪雨時の大気状態の解析を行い、機構解明を行う。</li> </ul>
<p>研究の有効性</p>	<p>（気象業務への貢献）</p> <p>（副課題 1）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・全球データ同化システム及び衛星データ同化の開発・改良は、現業数値予報の精度向上に資する。また新規衛星・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資する。</li> <li>・MRI-NAPEX を用いて研究を実行することにより、現実大気の解析に耐える研究成果を創出し、現業システムの直接的な改善に資する。MRI-NAPEX は本課題で管理するが、モデル課題や現象解析課題と共有し所内共通基盤として、効率的な研究を進める。</li> </ul> <p>（副課題 2）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・気象研究所に移植したメソ NAPEX などの現業同化システムを用いた研究で得られた知見は、現業データ同化システムの開発に貢献する。</li> <li>・アンサンブル予報の摂動作成法で得られた知見も、現業アンサンブル予報の開発に直結する。</li> </ul> <p>（副課題 3）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・NOAA/NESDIS から導入した火山灰アルゴリズム (VOLCAT) の改良や、新規に独自開発する火山灰シミュレータは本庁におけるひまわりでの火山灰検出精度の向上に貢献し、観測データと火山灰物理量との関係をより明確にする。また推定された火山灰情報はデータ同化を通じた降灰予測への利用が期待できる。</li> <li>・ひまわりによる最適雲解析アルゴリズム (OCA) の改良により、OCA を用いた雲プロダクト精度や日射量プロダクト精度が向上する。</li> <li>・ひまわりや異なる衛星センサを複合的に用いた組成別エアロゾル解析は環境気象管理官からのエアロゾル組成別空間情報の要望に対応した研究課題である。</li> <li>・本庁要望である放射計算に基づくひまわり 10/11 号に向けたサウンド・イメージャについての事前調査・検討に本課題で開発する放射伝達計算が利用できる</li> <li>・気象衛星ひまわりのエアロゾルプロダクトの改良等により、環境気象業務において気候及び地球環境変動監視のための基本データである組成別エアロゾル分布の提供が可能となる。</li> </ul> <p>（副課題 4）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水蒸気ライダーの観測精度など、測器の基本的な特性調査を行う。ここで得られ</li> </ul>

る特性情報は、水蒸気ライダーを現業展開し大雨予報に組み込む段階で、業務に不可欠な情報となる。

- ・ 国土地理院の GNSS 観測網を活用することにより、大気中の全水蒸気量を連続的に観測できるという他の測器には無い優れた特徴を有している。海上での水蒸気観測手法が確立できれば気象研究、業務に基本的かつ貴重な情報を提供できる。さらに視線情報を活用することにより、対流スケールの水蒸気変動の理解に役立つ。

(学術的貢献、社会的貢献など)

(副課題 1)

- ・ 全球データ同化・衛星同化の改善は、全球数値予報システムを用いる気象庁の様々な大気・海洋・環境予測・解析精度の高度化に資する。

(副課題 2)

- ・ データ同化やアンサンブル予報の改良や開発は、顕著現象の予測精度を向上させ、防災気象情報を高精度にする。

(副課題 3)

- ・ 最適雲推定 (OCA) はひまわりデータを用いた解析ツールとして気象研究への幅広い応用が期待される。
- ・ 衛星による火山灰物質推定や火山灰雲の物理量推定は、これまでになかった新しい火山灰情報の提供に資する。
- ・ 粒子形状・散乱モデル開発の成果はデータの提供により広く一般の大気・地表面の放射伝達計算に適用できる。
- ・ エアロゾル監視技術の高度化は、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に資する。

(副課題 4)

- ・ 水蒸気ライダーや GNSS 水蒸気観測によってもたらされる水蒸気情報の強化は、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、予測改善に貢献する。尚、この研究計画の実行にあたって、他の研究機関、大学等と連携を進め、学会等の研究コミュニティに積極的な情報発信を行う。これによって、この分野の研究の振興に寄与する。

(特記事項)

(副課題 1)

- ・ 宇宙航空研究開発機構と衛星データ利用促進分科会や、共同研究、研究公募を通して、緊密に連携しながら高度な衛星データ同化手法を開発している。また情報通信研究機構との共同研究を通して、将来衛星 (風ライダー) の OSSE を実施するなど、将来の衛星観測システム評価・設計に有用な研究を精力的に進めている。
- ・ MRI-NAPEX は本課題で管理するが、モデル課題や現象解析課題の研究者にも必要に応じて利用してもらうことで、所内共通基盤として、効率的な研究を進める。

(副課題 2)

- ・ 観測ビッグデータを用いた同化法に関して、情報通信研究機構などの観測データが高頻度・高密度になる測器を開発している研究機関との共同研究により観測データの特徴や限界等の情報を得ると共に、「富岳」プロジェクト等に参加して、観測ビッグデータのデータ同化手法に関する情報を積極的に収集し、より大きな計算機資源を利用できるように研究を推進する。
- ・ 観測データの特性調査では副課題 3 や副課題 4、気象研究所に移植したメソ NAPEX などの現業同化システムを用いた同化実験では数値予報課、衛星データの同化法については副課題 1 の協力を得て研究の効率化を図る。そのほか、理化学研究所 計算科学研究センターの同化グループなどの気象研究所以外のメソデータ同化コミュニティと情報交換等を行うことにより、より効率的に研究を進め

	<p>る。</p> <p>(副課題 4)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 科研費「水蒸気稠密観測システムの構築による首都圏シビアストームの機構解明」において、首都圏での水蒸気ライダー連続観測を実施（2017-2019 年度）。</li> <li>・ 平成 30 年に開始した SIP 課題において、九州での水蒸気ライダー観測を計画している（2020-2022 年度）。</li> <li>・ 科研費「最先端の地上大気観測とデータ同化で、線状降水帯の予測精度はどこまで向上するのか？」において、水蒸気ライダーに加え、気温ライダーやプロファイラを加えた先進的なデータ同化実験を実施（2019 年度-2022 年度）</li> <li>・ 平成 30 年度に九州西方を航行する船舶等 8 隻に GNSS 受信機を設置し、東シナ海の水蒸気観測を実施している（2018-2020 年度）</li> <li>・ 国土地理院が運用する世界的にも最高密度の地上 GNSS 観測網データを活用する。</li> </ul>
令和 2 年度 実施計画	<p>(副課題 1)</p> <p>(a) 衛星データ同化の高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「ひまわり」の全天候域輝度温度の全球データ同化の検証・改良を引き続き継続する。特に、放射伝達モデルや数値予報モデルの特性を調査し、バイアス補正や品質管理を高度化する。マイクロ波センサ輝度温度の全球同化について、陸域射出率推定の検証・高度化を引き続き行う。特に、輝度温度同化に係る品質管理、予報へのインパクトを検証する。</li> <li>・ Aeolus 衛星による全球風データの検証や同化を引き続き行う。</li> <li>・ 「ひまわり」後継衛星の OSSE の結果をまとめるとともに、より詳細な調査を実施する。</li> </ul> <p>(b) 全球データ同化の高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ アンサンブルを用いた同化システムについて、4 次元（時空間）の背景誤差共分散の高精度化等によって解析精度の向上を図る。特に観測誤差を含む誤差共分散行列全体の高度化の効果を明らかにする。</li> <li>・ 観測誤差相関を考慮した観測データの高密度同化や、水物質の情報を持った観測の同化を進め、観測情報を拡充する。特に観測誤差の流れ依存性を明らかにする。</li> <li>・ 既存及び将来観測データの解析や予報場へのインパクトを評価する。特に高解像度（水平 20km）な真値代替場の特性の解析、数値予報システムの変更による観測インパクトの変化を明らかにする。</li> <li>・ モデル誤差を感度解析等によって検出し、解析への影響を軽減する。特に水物質のモデル誤差について解析を進める。</li> </ul> <p>(副課題 2)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ シビア現象に適用する高解像度非線形同化システムの開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 気象研究所に移植したメソ NAPEX や LETKF の改良を継続する。</li> <li>・ 非線形や非ガウス分布なシビア現象にも適用できる EnVar や粒子フィルター の開発を開始する。</li> </ul> </li> <li>○ 領域モデルを対象にしたひまわりデータ等の高頻度・高密度な観測ビッグデータの同化法の開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ひまわりデータや偏波レーダー、フェーズドアレイレーダー等の高頻度・高密度 な観測ビッグデータについての特性を調べる。</li> <li>・ 観測ビッグデータの最適なデータ間引き法等の検討を継続する。</li> <li>・ 観測ビッグデータを用いて、より短いスピニングで精度良く予測するための同化手法の開発を開始する。</li> <li>・ 画像的な観測ビッグデータに対する間引きに代わる新しい次元削減手法として、AI 分野における自己符号化ニューラルネットワークのアルゴリズムを応用し、非ガウス分布する高次元データをガウス分布する低次元データに変換する手法を確立する。</li> </ul> </li> <li>○ 領域モデルを対象にしたアンサンブル予報の摂動作成法の改良 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ メソスケール現象のアンサンブル予報において、摂動作成法の改良を行い、「全外し」となるアンサンブル予報の特徴を調べ、「全外し」が少なくなる摂動作成法についての検討を継続する。</li> </ul> </li> </ul>

(副課題 3)

- ・ひまわり等衛星データを利用した OCA による雲物理情報の抽出アルゴリズム開発、とエアロゾル効果の導入による日射量推定アルゴリズムの改良を継続して行う。
- ・赤外サウンダシミュレータを用いて、ひまわり解析に最適な火山灰物質モデルを推定し、それを用いたひまわり火山灰解析を実施する。また赤外サウンダとひまわりを用いた複合的火山灰解析についてのまとめ論文執筆を開始する。
- ・水蒸気リトリーバルアルゴリズムを開発し、ひまわり等衛星データによる晴天不安定指数の導出を行う。
- ・マイクロ CT データから抽出した霰形状モデルを用いて、霰によるレーダー偏波特性データベースの作成に着手する。
- ・積雪粒子の変質について、新しい手法による変質シミュレーションを試みる。
- ・積雪の分光観測と放射伝達計算を行い、湿雪を含む様々な雪質の偏光特性について調査する。
- ・地上観測点での連続観測を継続し、エアロゾル光学特性データの取得と解析を行う。また、南鳥島でのエアロゾル観測強化に向けて、研究観測から現業観測移行への検討を進める。
- ・分光日射観測と月光観測スカイラジオメータの校正技術及びシステム開発、同観測機器を用いた連続観測を行う。
- ・全天カメラを使って雲などの地上観測を行う手法を開発する。
- ・引き続き、衛星機器（ひまわり、EarthCARE）、地上測器（スカイラジオメータ、全天カメラ）を使った雲・エアロゾルのリモートセンシング手法の開発・改良を行う。

(副課題 4)

- ・水蒸気ラマンライダーを用いた観測（九州及び関東）とデータ同化グループへのデータ提供。水蒸気 DIAL の開発。
- ・引き続き、九州西方を航行する船舶に搭載した GNSS から可降水量を解析し、精度評価を行うとともに、副課題 2 に同化用データとして提供する。3 月に撤去を行い、3 年間の結果をまとめる。
- ・複数の観測機器を統合した、水蒸気の時・空間構造を高精度でとらえる手法のプロトタイプを気象災害事例に適用し、有効性を評価する。
- ・観測や解析された 3 次元大気情報の評価、顕著気象現象の機構解明のため、高層ゾンデ観測を実施する。

「課題解決型研究」

研究課題	(T課題) 台風・顕著現象の機構解明と監視予測技術の開発に関する研究 副課題1：台風の発生、発達から温帯低気圧化に至る解析・予測技術の研究 副課題2：顕著現象の実態解明と数値予報を用いた予測技術の研究 副課題3：顕著現象の自動探知・直前予測技術のための研究開発 副課題4：先端的气象レーダーの観測技術の研究
研究期間	令和元年度から5年間（5年計画第2年度）
担当者	○清野直子 台風・災害気象研究部長 （副課題1） [台風・災害気象研究部] ○和田章義、嶋田宇大、柳瀬亘、林昌宏、小野耕介、小山亮（併）、沢田雅洋（併） [気象観測研究部] 岡本幸三 （副課題2） [台風・災害気象研究部] ○益子渉、廣川康隆、荒木健太郎、鈴木修、田巻優子（併）、津口裕茂（併）、北嶋尚子（併） [気象予報研究部] 橋本明弘、林修吾 （副課題3） [台風・災害気象研究部] ○楠研一、足立透、猪上華子、鈴木修 （副課題4） [台風・災害気象研究部] ○足立アホロ、梅原章仁、永井智広、足立透、荒木健太郎、鈴木修、南雲信宏（併） [気象予報研究部] 林修吾 [気象観測研究部] 石元裕史、瀬古弘、吉田智 [火山研究部] 佐藤英一
目的	台風および集中豪雨・大雪・竜巻等突風等の顕著現象がもたらす気象災害を防止・軽減するため、最先端の観測・解析手法や高精度の数値予報システムを用い、これらの現象の機構解明と高度な監視予測技術の開発を行う。  (副課題1) 台風の発生、急発達、成熟期及び温帯低気圧化へと至る構造変化を包括的に理解し、その予測可能性を評価する。国内外の研究者との連携の元、最先端の台風解析・予報技術を導入・検証する。これにより台風予報精度の改善につながる技術基盤を確立する。  (副課題2) 集中豪雨・大雪・竜巻等、災害をもたらす顕著現象について、事例解析・統計解析による実態把握と機構解明を推進し、それに基づく診断的予測技術の開発を通して顕著現象の監視・予測精度向上に貢献する。  (副課題3) 竜巻等突風・局地的大雨など甚大な災害に直結する顕著現象の自動探知・予測技術の開発により、国民の安心・安全への貢献を目指す。  (副課題4) 最先端的气象レーダーの観測技術に関する研究を行い、降水観測の精度向上と新たな物理量の推定手法の開発を行うことにより、台風や顕著現象の機構解明と監視予測技術の改善に資する。
目標	(副課題1) 最先端技術による様々な観測結果の解析や数値予報システムによる事例解析を組み合わせる技術を開発し、これを基盤として台風の発生、急発達、成熟期及び温帯低気圧化へと至る構造変化機構を解明する。また数値予報システムによる台風進路・強度及び構造変化等の予測可能性研究を通じて、予報誤差の要因に関する知見を得ることにより、予報精度向上及び数値予報システムの改善に貢献する。  (副課題2) 集中豪雨や大雪、竜巻等、顕著現象の事例解析と統計解析から、災害をもたらす

	<p>顕著現象の実態把握・機構解明を進める。さらに、最先端の数値予報システムを活用し、予報現業での顕著現象に対する診断的予測技術向上に資する知見・手法を得る。</p> <p>(副課題 3)</p> <p>高速 3 次元観測が可能な研究用フェーズドアレイレーダーを含む気象レーダー観測で得られるビッグデータを、人工知能技術等でリアルタイムに処理し、災害をもたらすおそれがある竜巻等突風・局地的大雨の範囲や強さを自動検出する技術確立する。さらに利用者向けにカスタマイズされた情報を提供するためのシステムを開発する。</p> <p>(副課題 4)</p> <p>二重偏波レーダーによる観測技術の研究開発を行い、二重偏波パラメータなどから降水強度や粒径分布など降水に関する微物理量を抽出するための手法を開発する。開発した手法を用いて粒子判別等を行い、顕著現象の機構解明を行う。また、水蒸気や液水量など従来のレーダーでは行われてこなかった新たな気象物理量を推定する手法の開発を行う。さらに、フェーズドアレイレーダーによる観測データの品質管理および高頻度立体解析に関する技術開発を行い、顕著現象の理解と監視・予測技術の活用に関連して機能評価を行う。</p>
<p>研究の概要</p>	<p>(副課題 1)</p> <p>(a) 発生から温帯低気圧化に至る台風構造変化プロセスに関する研究 最先端技術を含む衛星や気象レーダー等による観測や気象予報システム等により得られた大気海洋解析・再解析データに加えて、データ同化システムや数値予報モデルによる数値実験を通じ、台風の発生、急発達、成熟期、上陸及び温帯低気圧化へと至る構造変化プロセス及び統計的特徴を明らかにする。</p> <p>(b) 診断的台風予測技術開発と予測可能性研究 台風発生、急発達の予測を可能とする技術を開発する。機械学習手法を用いた新しい台風強度予測技術を開発する。観測データ、数値予測システムやアンサンブルシステムによる予測等を用いて、発生から温帯低気圧に至るまでの台風の予測可能性を調査する。特に台風の予測誤差が際立った事例や社会に重大な影響を与えた事例について、予測誤差が生じたメカニズムを解明するとともに予測可能性を調査する。</p> <p>(c) 新しい台風解析・予測技術の導入による台風研究の推進 気象研究所及び国内外の研究により得られた台風解析・予測技術を一元的に集約し、その精度を検証し、技術改良及び汎用化を図る。最先端技術を含む衛星や気象レーダー等による観測、気象予報システムにより得られた解析・再解析データを集約し、台風解析・予測技術を組み合わせ、効率的に事例解析を実施することができる技術を開発する。特に社会に影響のある台風については、科学的な情報を社会へ適宜発信する。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>(a) 顕著現象の実態把握と機構解明のための事例解析的研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・過去に発生した顕著現象に対して、非静力学数値予報モデルでの再現実験や客観解析データ、地上・高層・レーダーやシチズンサイエンスなどの各種観測データを駆使することにより事例解析を行い、これらの現象の実態把握や機構解明に取り組む。</li> <li>・特に顕著な現象が発生した時は、速やかに各種観測データの解析・非静力学数値予報モデルの実行結果からその発生要因等を調査する。</li> </ul> <p>(b) 数値予報を活用した顕著現象の診断的予測技術に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・大雨をもたらした降水系や発生環境場についての統計解析に基づき、「線状降水帯発生条件」の検証と改良を行い、大雨の予測精度向上を目指す。</li> <li>・高解像度モデル（水平解像度 1km 程度）やアンサンブル予報等の数値予報モデルの結果を用い、竜巻等突風や降雪現象に伴う雪氷災害の予測手法の開発を行う。</li> </ul>

	<p>(副課題 3)</p> <p>(a) 竜巻等突風および局地的大雨のレーダーデータ解析      竜巻等突風、局地的大雨および台風環境下等の顕著現象についてフェーズドアレイレーダー、可搬型ドップラーレーダー、その他の各種気象レーダーによる観測から得られたデータを解析し、自動探知・予測技術に資する顕著現象の発生・発達メカニズムの解明を行う。</p> <p>(b) 顕著現象の自動探知・追跡技術の開発      ビッグデータ高速処理技術、3次元図化技術等の観測基盤ツールを整備の上、当該副課題のコア技術となる竜巻渦・降水コア・対流システム等の即時自動解析、危険域早期検出・追跡技術を開発する。さらに深層学習の適用による高速化・高精度化を行う。</p> <p>(c) 探知・予測に関する気象情報生成技術の開発      様々なニーズを持つ事業者（高速交通等）の位置情報やMAPデータを連携させ、検出情報に先読み情報（直前予測）を含めた配信情報の自動生成システムを開発する。</p> <p>(副課題 4)</p> <p>(a) 偏波情報を用いた降水強度高精度推定に関する研究      二重偏波レーダーの観測データを用い、激しい降雨であっても経験式を用いずに電波の減衰を補正し、雨の粒径分布と降水強度を理論的に高精度に推定する手法の開発とその検証を行う。合わせて観測を最適化する基礎技術についても研究を行う。</p> <p>(b) 偏波情報を用いた粒子判別に関する研究      二重偏波情報を用いた、雨・雪・融解層・雹・あられ・凍雨・雨氷・竜巻飛散物・晴天エコー・シークラッタの自動判別アルゴリズムの開発を行う。またこれらの技術を用いて顕著現象の機構解明を行う。</p> <p>(c) 偏波情報を用いた水蒸気、液水、雪水量推定に関する研究      二重偏波情報から液水・雪水量を推定する研究及び水蒸気量を推定する研究を行う。</p> <p>(d) フェーズドアレイレーダーを用いた観測技術に関する研究      フェーズドアレイレーダーによる観測データの品質管理・3次元解析などの基盤技術の開発を進める。さらに、業務利用の観点から多角的な機能評価を行い、Cバンド二重偏波フェーズドアレイレーダーを含めた将来型レーダーの開発に必要な学術的・技術的な研究を行う。</p>
<p>研究の有効性</p>	<p>(気象業務への貢献)</p> <p>(副課題 1)      台風の解析・予測技術の研究は、第4期国土交通省技術基本計画における技術開発事項の1つであり、台風予測精度向上のために必要である。さらに気象庁の地域特別気象中枢(RSMC)としての北西太平洋域における台風等の解析、予報改善に寄与する。</p> <p>(副課題 2)      数値予報を用いた顕著現象予測技術の研究は、顕著現象の形成要因や環境条件からその発生可能性を予測する”診断的予測”技術の開発を通じて、気象庁が提供する半日前からの防災気象情報の改善に資する。</p> <p>(副課題 3)      顕著現象の自動探知・直前予測技術の研究開発、数分で起こる顕著現象の様相を気象レーダーにより正確かつ迅速に把握し、観測データに基づく新たな予測手法を構築することは、特に突風や竜巻の予測・観測能力の強化に貢献する。</p> <p>(副課題 4)      気象庁で平成31年度から現業利用を予定している二重偏波レーダー、国土交通省交通政策審議会気象分科会の提言（2015年7月）において開発が望まれているフェーズドアレイレーダーの利用技術の基礎となり、台風・顕著現象の理解と監視・予測技術</p>

	<p>に貢献する。また開発した技術は、気象庁で開発・現業運用されているナウキャスト技術に将来応用できる可能性がある。</p> <p>(学術的貢献、社会的貢献など)</p> <p>(副課題 1)</p> <p>国内外の研究者と予報官が気象研究所を介して台風に関する議論を適宜実施することは、研究成果の現業化を推進する上で有益である。</p> <p>日本に來襲する台風は、同心円状(軸対称)構造から温帯低気圧(非軸対称構造)に変質する過程を経るものが多い。台風の急発達だけでなく、こうした性質を持つ台風の構造変化や予測可能性評価は学術的意義のある研究課題だけでなく、台風予報の精度向上を実現する有効な手段である。</p> <p>大学や海外の研究機関等と日ごろから台風に関する情報を適宜共有することは、連携を深めることに有益な活動である。これにより世界気象機関(WMO)、台風委員会(ESCAP)等で行われる台風に関する国際的活動に貢献する。これにより地域特別気象中枢(RSMC)としての国際的信用を高める。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>顕著現象の実態把握と診断的予測技術の開発は、半日前からの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>予報・警報等の防災情報の高精度化のための現象の観測・解析技術において、波及効果の極めて高い技術的ブレークスルーとなる。</p> <p>(a) 実況・予測プロダクトの大幅な高速化・高精度化</p> <p>(b) 台風等の高度な盛衰予測や局地的大雨・竜巻等の超短時間予測の実現</p> <p>(c) 多様な観測及びモデルとのシナジー効果</p> <p>&lt;例：気象衛星ひまわりの高頻度雲画像を用いた台風観測(雲分布・盛衰状況・進路等)との連携&gt;</p> <p>(副課題 4)</p> <p>二重偏波レーダーによる降水強度の高精度推定や粒子判別は学術的に最先端の課題であると同時に、現業的にも H31 年度から二重偏波化される本庁のレーダー観測に直接貢献することができる。実際、気象庁観測部から推進を強く要請されている。また雨滴の粒径分布や液水量は観測・解析だけでなくデータ同化など数値モデルにも利用できる可能性がある。一方、雪水量の推定は大きな計算コストを必要とするため現業利用はすぐには難しいがこれから発展が見込まれる学術的分野である。またフェーズドアレイレーダーを含め、最先端の気象レーダーを用いた研究開発を通して、レーダー気象学の研究分野における国際的リーダーシップの発揮につながるほか、気象庁現業における次世代および次々世代のレーダー観測技術への応用に資する。</p> <p>(特記事項)</p> <p>(副課題 4)</p> <p>研究を予定している(a)、(b)は今後現業レーダーが二重偏波化するにあたり観測部から推進するように要請を受けている。</p> <p>なお、これらのレーダーの観測や技術開発にはパルスの長さや形など電波の質の変更を伴う操作をする必要があるが、担当者はこれを行う資格を有している。</p>
令和 2 年度 実施計画	<p>(副課題 1) 台風の発生、発達から温帯低気圧化に至る解析・予測技術の研究</p> <p>ひまわり 8 号高頻度大気追跡風や気象レーダーデータ、数値予報モデル等を用いた構造変化プロセス及び台風内部の変動過程に関する解析研究、並びに台風活動及び温帯低気圧化の気候学的特徴の抽出に関する研究を引き続き実施する。数値予報システム等を用いた台風予測可能性研究を引き続き実施する。台風予測精度向上に向け、機械学習を用いた台風予測システムシステムの改良を実施する。解析サーバー等において使用する解析ツールを引き続き整備・拡張する。当該年度の台風について、特に社会に深刻な影響をもたらした事例について、各種観測・数値シミュレーションデータ</p>

の解析を即時に実施し、台風の特徴を調査する。

(副課題 2) 顕著現象の実態解明と数値予報を用いた予測技術の研究

近年発生した大雨(線状降水帯による事例を含む)や突風、降雪事例について、特に顕著なものを中心に、各種観測データや客観解析データ及び数値シミュレーション結果を解析し、環境場の特徴や、現象の構造、発生機構の解明を行う(※)。

令和元年度に開発した線状降水帯の客観的な検出手法を改良した上で、過去10年程度の国内における線状降水帯の発生の特徴や環境場に関する調査を進める。これらの調査で得られた結果をもとに、線状降水帯発生 of 診断的予測指標である線状降水帯6条件の改善の可能性を検討する。

突風の実態把握と突風予測のための検証用データとしての利用を目的に、全国のアメダス1分値データを用いて突風事例の抽出を行い、突風の統計的な調査を行う。

首都圏で発生した降雪事例について、気象研究所「#関東雪結晶 プロジェクト」を通して得られたシチズンサイエンスデータを活用し、地上降雪粒子分布を踏まえた降雪雲の物理特性と大気環境場の調査を進める。また、この結果を踏まえ、アンサンブルシミュレーションを通じた首都圏の降雪現象の予測可能性について検討する。

特に顕著な現象が発生した時は、速やかに各種観測データの解析・非静力学数値予報モデルの実行結果からその発生要因等を調査する。

※「2019年台風第19号による豪雨」、「2019年10月24～26日低気圧等による大雨」、「顕著な暴風・突風をもたらした2019年台風第15号」、「2015年台風第15号の通過に伴って八重山諸島で発生した記録的な暴風・突風」、「2018年1月22日に南岸低気圧の通過に伴って発生した首都圏の大雪」等。

(副課題 3) 顕著現象の自動探知・直前予測技術のための研究開発

引き続き国内外の各種気象レーダーによるデータベースを構築するとともに、竜巻シミュレーターの開発を通して必要な教師データを拡充する。またデータベースのAIによる解析を通じ、現象の発生季節・頻度・エリア等の災害リスク解析に着手する。さらに令和1年度の研究開発で進展した深層学習モデルをさらに発展させた様々な竜巻やレーダーに対応可能な汎用型検出技術の開発、および深層学習を利用した竜巻等突風探知の実用化を目指す。

(副課題 4) 先端的気象レーダーの観測技術の研究

(a) 偏波情報を用いた降水強度高精度推定に関する研究

レーダーシミュレーターによる雨滴の散乱特性の計算を行い、粒径分布に対する二重偏波レーダーで観測される偏波パラメータのデータベースを作成する。またデータベースに基づき雨滴粒径分布のパラメータを二重偏波レーダーの観測データから推定する手法の改良と高度化を行う。

(b) 偏波情報を用いた粒子判別に関する研究

二重偏波パラメータなどを用いて、クラッター等のノイズを除去するとともに、降水粒子の種別を判別アルゴリズムの開発に着手する。また降水粒子と積乱雲内の電荷分布の関係の調査を行う。

(c) 偏波情報を用いた水蒸気、液水、雪水量推定に関する研究

レーダー位相データの品質管理手法の開発及び水蒸気推定手法の改良を行う。また、C-bandなど気象用二重偏波レーダーに用いられている波長に対する雪粒子モデルの散乱特性を計算するためのシミュレーターの開発及び散乱計算を行う。

(d) フェーズドアレイレーダーを用いた観測技術に関する研究

フェーズドアレイレーダーに固有の問題に対処するための技術開発を行う。

研究課題	<p>(C課題) 気候・地球環境変動の要因解明と予測に関する研究  副課題1：異常気象のメカニズム解明と季節予測可能性の評価  副課題2：地球温暖化予測の不確定性低減  副課題3：大気中温室効果ガスの変動要因・炭素収支の解明  副課題4：海洋の生物地球化学循環と酸性化実態の解明</p>
研究期間	令和元年度から5年間（5年計画第2年度）
担当者	<p>○石井雅男 研究総務官（気候・環境研究部長 兼任）  （副課題1）  [気候・環境研究部] ○直江寛明、小林ちあき、原田やよい、遠藤洋和、今田由紀子、高薮出、保坂征宏、尾瀬智昭  [全球大気海洋研究部] 石川一郎、高谷祐平、新藤永樹、吉田康平、齊藤直彬  [応用気象研究部] 仲江川敏之、川瀬宏明  （副課題2）  [気候・環境研究部] ○保坂征宏、水田 亮、遠藤洋和、尾瀬智昭、田中泰宙、辻野博之、直江寛明、小林ちあき、原田やよい、今田由紀子  [全球大気海洋研究部] 行本誠史、石井正好、吉村裕正、出牛真、吉田康平、石川一郎、高谷祐平、新藤永樹、齊藤直彬、足立恭将、大島長、山中吾郎、坂本 圭、浦川昇吾  [気象予報研究部] 中川雅之、川合秀明、長澤亮二  [応用気象研究部] 仲江川敏之、村崎万代、川瀬宏明、小畑淳、山口宗彦  （副課題3）  [気候・環境研究部] ○田中泰宙、坪井一寛、石島健太郎  [全球大気海洋研究部] 眞木貴史  （副課題4）  [気候・環境研究部] ○辻野博之、遠山勝也、小杉如央、小野恒  [全球大気海洋研究部] 山中吾郎、中野英之、豊田隆寛、坂本圭、浦川昇吾</p>
目的	<p>本研究課題では、大気と海洋の物理及び生物地球化学の長期観測と多様かつ高解像度のプロセス観測及びそれらのデータ解析や、精緻化された大気・海洋・生物地球化学過程を含むシステムの数値モデルの利用と解析を推進し、それらの研究の連携を強化する。これによって気候システムとその変化をより深く理解し、その諸現象の予測の不確実性の低減に資することで、社会に貢献する。</p> <p>（副課題1）異常気象のメカニズム解明と季節予測可能性の評価  ・季節予測システム等を用いたアジア地域固有の気候現象と異常気象の季節予測可能性の研究、観測・長期再解析並びにモデル実験等を用いた異常気象の実態解明と温暖化の影響の研究、そして気候研究に必要なデータ整備に関する研究を通して、季節予測の向上とその予測を用いた減災に資する情報を提供する。</p> <p>（副課題2）地球温暖化予測の不確定性低減  ・地球システムモデルを実用し、地球温暖化予測や十年規模の気候変動予測のための研究基盤システムを開発する。高解像度の地球システムモデルを活用した実験を行い、気候メカニズムを理解し、全球および地域スケールの気候の再現・予測の不確実性を評価・低減する。また、海洋の温暖化予測情報を充実させる。</p> <p>（副課題3）大気中温室効果ガスの変動要因・炭素収支の解明  ・大気中の温室効果ガスの新しい観測・測定手法を開発し、多種類の大気化学トレーサー観測を実施して、西太平洋域における時空間変動を把握する。それらの観測情報に基づいて、温室効果ガスの変動要因を解析し、炭素収支を評価する。これらの活動を通じて、温室効果ガス排出削減の政策決定に科学的根拠を与える気象庁の現業温室効果ガス観測、世界気象機関の Global Atmospheric Watch、パリ協定の Global Stocktake 等に貢献する。</p> <p>（副課題4）海洋の生物地球化学循環と酸性化実態の解明  ・海洋の炭素循環や海洋酸性化について、新しい観測手法の開発や、従来の手法の改良を行う。それらによる観測データと数値モデルのデータを合わせて解析し、</p>

	<p>海洋炭素循環の変化や海洋酸性化の実態を評価すると同時に、その原因を解明する。これによって、「持続的開発目標」や温室効果ガス排出削減の政策決定に科学的根拠を与える気象庁の現業海洋二酸化炭素観測や全球海洋観測システムの発展に貢献する。また、数値モデリングとの比較等を通じて、海洋酸性化の将来予測の向上にも貢献する。</p>
<p>目標</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 異常気象の実態解明、季節予測の可能性、地球温暖化、大気と海洋の炭素循環に関する長期かつ高解像度の観測およびモデル実験データベースを作成する</li> <li>・ それらの解析や数値モデリングにより、炭素循環や気候変動の実態とメカニズムの理解を深めるとともに、過去気候再現と将来気候予測の不確実性を評価・低減する。</li> </ul> <p>(副課題1) 異常気象のメカニズム解明と季節予測可能性の評価</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① アジアマンスーンと台風の予測可能性評価 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 季節予測システムを用いた実験により、海洋・陸面と相互作用したアジアマンスーンの季節～数年の予測可能性を評価し、そのメカニズムを解明する。</li> <li>・ 季節予測システムの再予報実験における台風の発生数等の予測精度を評価し、予測可能性の要因を解明する。</li> </ul> </li> <li>② 極端気象の実態と予測可能性の研究 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 長期再解析などのデータ解析と季節予測システムを用いたモデル実験を通して、極端気象の実態と発生メカニズムを明らかにする。</li> <li>・ 大気モデルの大規模アンサンブル実験を用いて、熱波、旱魃、豪雨といった極端事象の発生確率の季節(内)予測可能性を評価し、季節予測システムを用いて大気・海洋結合がそれらの予測可能性にどのような影響を及ぼすかを調べる。</li> </ul> </li> <li>③ 異常気象の実態解明と要因に与える大規模場の影響評価 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 長期再解析データ、地上観測データ、モデル実験等を利用して、今後発生する異常気象の発生機序の迅速かつ的確な情報提供に資するために、過去の異常気象の実態と発生機序、温暖化寄与評価について大規模場の観点から研究を行う。</li> </ul> </li> <li>④ 気候データに関する研究 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 異常気象の実態と発生機序の解析、予測初期値、予測精度評価に必要な、気候研究の基盤となる長期再解析データなどを整備し、品質評価を行う。また、次世代の長期再解析の品質向上に資する同化インパクト実験や結合同化実験の評価を行う。</li> </ul> </li> </ol> <p>(副課題2) 地球温暖化予測の不確実性低減</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① タイムスライス温暖化予測システム <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地球システムモデルを用いた高解像度モデルによる温暖化予測システムを開発し、アンサンブル実験を行い、地域スケールの予測情報の不確実性を評価・低減する。また、海洋の将来予測プロダクトの検討を行う。</li> </ul> </li> <li>② 十年規模気候変動予測 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地球システムモデルに組込む初期値化スキームを開発し、十年規模予測実験を行い、全球および地域スケールの十年規模の気候予測可能性や変動メカニズムについて考察する。また、これにより、モデル開発、初期値スキームの開発、予測情報の不確実性の低減に結びつける。</li> </ul> </li> <li>③ 気候再解析 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 気候モデルにより、歴史的観測データを整備・活用した長期気候変動再現(気候再解析)システムを開発する。再現実験出力により長期気候変動の理解を進め、観測データに基づく100年スケールの気候変動研究領域を開拓する。</li> </ul> </li> <li>④ CMIP 実験 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 世界気候研究計画の第6期気候モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)の各種温暖化実験を行い、国際比較のために実験出力をプロジェクトへ提出する。また、CMIP6マルチモデル解析を行う。解析結果をモデル開発にフィードバックするとともに、上記の課題の気候変動メカニズムの理解に役立てる。</li> </ul> </li> </ol> <p>(副課題3) 大気中温室効果ガスの変動要因・炭素収支の解明</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 化学トレーサーの時空間変動に関する観測研究 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 気象庁の大気観測所(綾里、与那国島、南鳥島)や父島気象観測所の観測施設を利用して、ラドン、酸素や、二酸化炭素の炭素・酸素安定同位体比等の複数の大</li> </ul> </li> </ol>

	<p>気化学トレーサーの連続観測を実施する。これらのデータと、大気観測所で収集されている温室効果ガス濃度のデータを統合して、多種類の微量気体を含む高分解能観測データベースを作成する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>温室効果ガス測定の標準ガス等の国内相互比較実験に参加し、観測基準や測定精度を評価する。また、実大気を用いた標準ガス調製システムを開発する。</li> <li>次世代のレーザー分光型分析計等を利用した観測・校正システムを開発する。</li> <li>代替フロンを含むハロカーボン類の連続測定技術を確立する。</li> </ul> <p>② 化学トレーサー観測による炭素収支に関する解析研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>観測データベースを用いて、ラドンを指標とした清浄大気の日データ選別手法を確立し、温室効果ガスの広域代表性の高い変動を再解析する。</li> <li>酸素や二酸化炭素同位体比を用いた解析を実施し、他の手法とも比較検証を行って温室効果ガス濃度の変動要因・炭素収支を定量的に評価する。</li> </ul> <p>(副課題4) 海洋の生物地球化学循環と酸性化実態の解明</p> <p>① 高解像度観測や高精度分析による海洋炭素循環と酸性化実態の解明</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水中グライダーによる観測方法と取得されたデータの品質管理技術を確立し、観測結果から時空間的に高解像度の海洋観測データセットを作成する。</li> <li>海水のpH測定における不確かさ低減の手法や、アルカリ度の航走観測技術の確立により、海洋酸性化観測技術を改善する。</li> </ul> <p>② データ解析による海洋物質循環の変動機構解明</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水中グライダーによる観測データから、中規模渦の物理・化学構造や、亜表層の酸素濃度の季節内変動など、海洋観測船では取得が難しい事象について知見を深める。</li> <li>気象庁観測船などによる北太平洋の長期観測データを解析することにより、この海域の表層及び中層における二酸化炭素など、生物地球化学パラメーターの変動実態を定量的に評価し、その変動要因を解明する。</li> <li>海洋モデルや地球システムモデルの結果を観測結果と比較することにより、これらのモデルの性能を評価する。また、モデルの結果から、観測された海洋への二酸化炭素蓄積や酸性化の進行の実態について理解を深める。</li> </ul>
研究の概要	<p>(副課題1) 異常気象のメカニズム解明と季節予測可能性の評価</p> <p>① アジアモンスーンと台風の予測可能性評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>季節予測システムを用いた実験により、海洋・陸面と相互作用したアジアモンスーンの季節～数年の予測可能性を評価し、そのメカニズムを解明する。</li> <li>季節予測システムの再予報実験における台風の発生数等の予測精度を評価し、予測可能性の要因を解明する。</li> </ul> <p>② 極端気象の実態と予測可能性の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>長期再解析などのデータ解析と季節予測システムを用いたモデル実験を通して、極端気象の実態と発生メカニズムを明らかにする。</li> <li>大気モデルの大規模アンサンブル実験を用いて、熱波、旱魃、豪雨といった極端事象の発生確率の季節(内)予測可能性を評価し、季節予測システムを用いて大気・海洋結合がそれらの予測可能性にどのような影響を及ぼすかを調べる。</li> </ul> <p>③ 異常気象の予測可能性の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>長期再解析データ、地上観測データ、モデル実験等を利用して、今後発生する異常気象の発生機序の迅速かつ的確な情報提供に資するために、過去の異常気象の実態と発生機序の研究を行う。社会的に影響の大きい異常気象が発生した場合には、速やかに実態と要因解明を行う。この研究を通して、副課題1の季節予測システムによる精度について、その要因を明らかにする。</li> <li>大気モデルの大規模アンサンブル実験を用いて、現在気候条件下で発生した異常気象に対する温暖化の影響を定量化する。(この結果を、応用気象AP3の領域大規模アンサンブル実験と合わせてシームレスな解析を行い、全球モデルで分析困難な異常気象の要因を明らかにする。)</li> </ul> <p>④ 気候研究の基盤情報整備に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>異常気象の要因解明や季節予測システム予測精度評価に必要な基盤データを整備するため、長期再解析JRA-3Qデータを作成する。計算過程でリアルタイム品質管理を実施し、最新技術による再解析データを、品質情報と共に提供する。このデ</li> </ul>

ータセットは、M4 はじめ M 課題でのモデル検証・評価や初期値として利用される。  
・次世代の長期再解析の品質向上につながる、未使用データの同化インパクト実験を行い、長期再解析での利用可能性を評価する。

#### (副課題 2) 地球温暖化予測の不確定性低減

##### ① タイムスライス温暖化予測システム

- ・最初の 2 年間で、地球システムモデルに外部条件を変えたアンサンブル生成スキームとデータ同化による初期値化スキームを組み入れた実験システム開発を行い、過去と将来についての予備実験を行う。3 年目に既存システムとの比較、課題整理、システム改修をしたのち、4 年目に外部プログラムと連携した長期のタイムスライス実験を実施し、将来気候変化について考察する。
- ・システム開発では海洋に関する温暖化情報プロダクトの生成も可能となる構成を検討し、4 年目以降は海洋プロダクトの検討を進める。

##### ② 十年規模気候変動予測実験

- ・タイムスライス実験で開発した初期値化システムを活用して、過去気候についてのハインドキャスト実験を実施する。初期値化手法を変えた試みも行い、2 年目までにシステムを完成させる。3 年目以降、本番実験を行い、長期気候予測可能性や気候変動メカニズムについて考察する。

##### ③ 気候再解析

- ・地球システムモデルに組み入れた初期値化手法により、地上観測データを同化する気候再解析の可能性を検討する。2 年目までにシステム開発を行い、以後長期積分し、過去気候変動を考察する。

##### ④ CMIP 実験

- ・CMIP6 の各種温暖化実験を行い、2 年目までに成果を取りまとめる。以後、マルチモデル実験データ解析を進め、地球温暖化メカニズムの理解やモデル開発に結びつけるための調査を行う。

#### (副課題 3) 大気中温室効果ガスの変動要因・炭素収支の解明

##### ① 化学トレーサーの時空間変動に関する観測研究

- ・気象庁の 3 つの大気観測所（南鳥島、綾里、与那国島）と父島において、ラドン ( $^{222}\text{Rn}$ )、酸素 ( $\text{O}_2/\text{N}_2$ )、二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) の炭素・酸素安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ ) 及び水素 ( $\text{H}_2$ ) 等の複数の大気化学トレーサーを高精度で連続測定する装置を設置し、観測データを取得する。
- ・これらの化学トレーサー観測データと、大気観測所で測定している温室効果ガス濃度 ( $\text{CO}_2$ 、メタン ( $\text{CH}_4$ ) 等) のデータを統合して、多種類の微量気体を含む高分解能観測データベースを構築する。
- ・観測データのスケール統一とその国際標準化のため、気象庁との標準ガス比較を定期的実施すると同時に、気象庁の温室効果ガス標準化共同プログラムにおける国内の標準ガス相互比較実験に参加し、観測精度を評価する。
- ・気象庁の次期更新計画に対応する、次世代のレーザー分光型大気観測・較正システムや実大気を用いた標準ガス調製システムの開発と、代替フロンを含むハロカーボン類の連続測定技術の高度化を図る。

##### ② 化学トレーサー観測による炭素収支に関する解析研究

- ・サブ課題①で作成した  $^{222}\text{Rn}$  の観測データベースを利用して、大陸の発生源の影響を強く受けた大気の前データをとり除き、広域の清浄大気を代表するデータを選別する手法を確立する。
- ・この手法を適用して、 $\text{CO}_2$  や  $\text{CH}_4$  等の温室効果ガス濃度のデータを選別し、より正確なバックグラウンド大気の季節変動や長期的な増減傾向を解析する。
- ・上記から得られた  $\text{CO}_2$  濃度の広域を代表する長期増加速度とサブ課題①で取得する  $\text{O}_2$  濃度の減少速度の関係性等に基づいて炭素収支解析を実施し、海洋や陸域生態系の吸収・発生量を定量的に評価する。
- ・この結果と、M5 課題における従来のインバージョン法や C4 課題の海洋診断解析による陸域や海洋の炭素フラックス解析結果を相互に比較解析し、炭素収支の不確かさを評価する。

	<p>(副課題4) 海洋の生物地球化学循環と酸性化実態の解明</p> <p>① 高解像度観測や高精度分析による海洋炭素循環と酸性化実態の解明</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 気象庁観測船の協力を得て、水中グライダーによる水温・塩分・溶存酸素・クロロフィル濃度の時空間高解像度観測を行う。</li> <li>・ 伊豆・下田の筑波大学臨海実験センターを拠点にして、水中グライダーの性能試験を実施し、水中グライダーの安定運用法を確立する。</li> <li>・ 船舶観測による正確なデータを用いて、水中グライダーに搭載したセンサーによる観測データの誤差やドリフトの評価と、その補正方法を確立し、水中グライダー観測に基づく海洋物質循環の解析や海洋データ同化結果との比較に資するデータセットを作成する。</li> <li>・ 分光光度法による pH 測定の精度をいっそう向上させることにより、海洋酸性化の実態をより高精度で把握することを可能にする。</li> <li>・ 亜熱帯域や亜熱帯・亜寒帯移行域において、気象庁観測船などで全アルカリ度の航走観測試験を行い、性能を評価するとともに、測定の問題点を明らかにする。</li> </ul> <p>② データ解析による海洋物質循環の変動機構解明</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 気象庁観測船による高精度の長期海洋観測データ（東経 137 度、東経 165 度、東シナ海、沖縄東方など）を解析し、亜熱帯域の海洋表層や海洋内部における CO<sub>2</sub> の季節変化・年々変化・長期変化等を明らかにする。また、それらの要因について数値モデル結果等を活用して考察する。</li> <li>・ 気象研究所の地球システムモデルによる海洋炭素循環の予測結果を、気候モデル相互比較プロジェクト (CMIP) に参加する他のモデルによる結果とともに解析し、観測データにより得られた知見と比較してそれら信頼性を評価する。</li> </ul>
<p>研究の有効性</p>	<p>(副課題1) 異常気象のメカニズム解明と季節予測可能性の評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 季節予測可能性の研究については、気候情報課の季節予報業務と密接に結びついており、予測可能性の要因の理解を通じて発表予報の精度や解説の的確性の向上に貢献する。また、台風の季節予報など新たな情報発信の検討に資する。この研究は、気象庁が発表する季節予報の精度向上や新たな情報の発表につながり、ユーザの意思決定への寄与の増大につながることを期待される。</li> <li>・ アジアモンスーンの長期にわたる予測可能性や台風の季節予測可能性については、先行研究で指摘されている。本研究では、季節予測システムの解析等を通じて、それらの要因についてさらに理解を深めることにより、新たな情報発信に通じる知見が得られることが期待される。また、予測システムの改善につながるフィードバックも期待できる。</li> <li>・ 極端事象の季節(内)予測可能性については、まだ十分に理解されていない。大規模大気アンサンブルと季節予測システムの解析を通じて、理解が深まることを期待される。</li> <li>・ 異常気象の研究については、気候情報課の異常気象情報センターの監視・解析班の業務と密接に結びついている。蓄積される知見は、異常気象分析検討会の基礎資料となる。この研究は、将来の異常気象の発生頻度と強度、発生要因を理解する上で、重要な情報を提供する。また、防災・減災に関する研究の基礎資料となる。</li> <li>・ 基盤データの整備については、長期再解析データ JRA-3Q の作成を気候情報課再解析班と共同で実施する。このデータは、同課で行っている季節予報の初期値として使用されるほか、解析業務の基盤情報となる。長期再解析データは、気象コミュニティにおける気候研究基盤データとして、世界的に広く利用されることが期待される。また、再生可能エネルギーの潜在量の推定など、気象分野外での活用も期待される。</li> <li>・ 異常気象については、文科省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」の資金の一部を活用する。基盤データの整備については、現在、科研費に応募中である。</li> </ul> <p>(副課題2) 地球温暖化予測の不確定性低減</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地球システムモデルの活用を想定した次世代現業システムの有り様を考える上での様々な判断材料が提供される。</li> <li>・ 複雑な海洋構造を持つ海洋に接した日本域の気候について、大気海洋相互作用を適切に表現したモデルにより、気象と海洋の物理的に整合したプロダクトの生成</li> </ul>

	<p>による社会貢献と、プロダクトを活用した気候研究の展開が可能となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・将来気候への適応や気候緩和を進める研究や政策への貢献につながる。</li> <li>・大規模データを保存する技術、それを効率的に利用できる技術等の開発が進み、関連する計算科学技術の進展に結びつく。</li> </ul> <p>(副課題3) 大気中温室効果ガスの変動要因・炭素収支の解明</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本研究で開発した測定技術や品質管理と解析等の手法は、気象庁における現業観測の効率化や高精度化及び温室効果ガス監視情報の充実に貢献する。</li> <li>・観測技術の高度化と科学的知見の集積は世界気象機関/全球大気監視(WMO/GAW)計画に貢献する。データの標準化並びに解析手法の開発は、温室効果ガス世界資料センター(WDCGG)が担う広域の温室効果ガス分布監視情報の向上につながる。温室効果ガス測定の基本となる標準ガススケールの維持・管理は気象庁が運営する世界気象機関全球大気監視校正センター(WMO/GAW-WCC)活動を支える技術的基盤となる。また、国内の地球温暖化観測連携拠点活動に貢献する。</li> <li>・気象庁の温室効果ガスの定常観測を技術的に支援するとともに、遠隔大気観測所等の観測プラットフォームを共有し、国内外の研究機関と連携して研究観測を実施し、定常観測結果と合わせ変動要因に関する解析成果を発信する。これらは、国内の研究連携を推進するとともに、気象庁による情報発信の内容の改善に貢献する。</li> <li>・アジア地域における温室効果ガスの発生源に関する有効な知見を提供し、地球温暖化予測の不確実性低減に貢献する。これらの科学的知見は、IPCC報告書等に反映させ、CO<sub>2</sub>排出削減に向けた国際的な地球環境政策に貢献する。</li> <li>・地球温暖化の最先端の科学的知見による啓発活動によって、温暖化対策に対する一般市民の意識向上に役立てる。</li> <li>・日本域の温室効果ガス濃度の変動の把握と変動過程の理解は、地球温暖化の将来予測並びに排出量削減対策の効果検証の高度化に寄与する。</li> </ul> <p>(副課題4) 海洋の生物地球化学循環と酸性化実態の解明</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・海洋内の物理構造や生物地球化学的分布について、従来の海洋観測では得ることができなかった高い時間・空間解像度でデータを取得できるようになることで、現象の理解が深まるとともに、高解像度の海洋モデルの検証も可能になる。</li> <li>・海気象課の「海洋の健康診断表」や気候変動監視レポートなど、気象庁による情報発信の内容の改善に貢献する。</li> <li>・全球海洋観測システムが支援する国際的な海洋CO<sub>2</sub>分布のデータベース(SOCAT、GLODAP)の構築に貢献する。</li> <li>・海洋モデルや地球システムモデルの検証や解析を通して、それらの数値モデルの向上に貢献する。</li> <li>・得られた科学的知見を、IPCC WG1の評価報告書などに反映させ、CO<sub>2</sub>排出削減に向けた国際的な政策の立案や実施に貢献する。</li> </ul>
令和2年度 実施計画	<p>(副課題1) 異常気象のメカニズム解明と季節予測可能性の評価</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① アジアモンスーンと台風の予測可能性評価 <ul style="list-style-type: none"> <li>・現行季節予測システム(CPS2)と他機関のモデルの再予報データの比較により、アジアモンスーンの再現性と予測可能性を調査する。さらに、それらと次期季節予測システム(CPS3)の再予報データの評価を通じて、モデルの改善に資する。</li> </ul> </li> <li>② 極端気象の実態と予測可能性の研究 <ul style="list-style-type: none"> <li>・大気モデル大規模アンサンブルの解析結果と比較しつつ、結合モデルでの初期値問題としての予測可能性を評価する。</li> </ul> </li> <li>③ 異常気象の実態解明と要因に与える大規模場の影響評価 <ul style="list-style-type: none"> <li>・地球温暖化や十年規模変動と個別の異常気象の因果関係の評価を行う。</li> <li>・大気循環場の変動と異常気象発生の関係やそれらのメカニズム解明を行う。</li> <li>・気候系の監視や異常気象発生時の要因分析を行う。</li> </ul> </li> <li>④ 気候データに関する研究 <ul style="list-style-type: none"> <li>・次期長期再解析データの品質評価を行う。</li> <li>・次期長期再解析の速報報告論文を執筆する。</li> </ul> </li> </ol>

(副課題 2) 地球温暖化予測の不確定性低減

- ① タイムスライス温暖化予測システムの活用
  - ・タイムスライス実験システムにより、過去と将来気候を対象とし、確実性表現も考慮した数値実験を行う。既存システムの結果と比較する。
  - ・海洋のプロダクト作成に向けた作業に着手する。
- ② 十年規模気候変動予測
  - ・実施した十年規模予測実験結果を解析し、十年規模の気候予測可能性や変動メカニズムについて考察するとともに、課題整理を行う。初期値化手法などを改良したシステムを開発する。
- ③ 歴史的観測データの活用
  - ・整備した歴史的観測データを活用した気候再解析実験システムを開発し、予備実験を行う。
- ④ CMIP 実験の実施と気候変動メカニズム解明
  - ・MRI-ESM2 を用い CMIP6 等の計算を行う。確信度等を付与できる温暖化予測情報を作成することを目的に、CMIP6 実験を追加実施してアンサンブル数を増やし、その解析を進め、気候変動メカニズムの解明をはかる。加えて、MRI-ESM2 による各種数値実験を行い、プロセスやイベント等に注目した要因解明を進める。
  - ・CMIP をはじめとするマルチモデルデータ解析によるメカニズム解明を行い、確信度情報の付与を試みる。
  - ・得られた知見を『気候変動予測レポート 2020』に反映させ、その向上に活かす。

(副課題 3) 大気中温室効果ガスの変動要因・炭素収支の解明

- ① 化学トレーサーの時空間変動に関する観測研究：
  - ・綾里・与那国島・南鳥島・父島の気象観測所におけるラドン濃度と水素等の微量気体の観測、南鳥島のハロカーボン観測、綾里の酸素濃度連続観測をそれぞれ継続する。
  - ・次世代のレーザー分光型大気観測システムを見据え、3成分(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO)レーザー分光分析計の評価試験として南鳥島観測所にて従前装置との比較実験を行い結果を評価する。
  - ・気象庁と標準ガス比較実験を年2回実施し、これまでの実験結果も踏まえながら、気象庁から要請のあるCO<sub>2</sub>標準ガス新校正装置の運用について技術支援を行う。
  - ・南鳥島における気象庁のハロカーボン観測の技術支援を行う。これまで気象研が実施してきたフラスコ分析との比較実験を行う。気象庁のフロン標準ガス分析を行い、観測スケール維持について支援を行う。
  - ・実大気標準ガス充填設備を用いて、充填したガス容器の安定性試験を行う。
- ② 化学トレーサー観測による炭素収支に関する解析研究：
  - ・<sup>222</sup>Rn の観測データベースを利用して、大陸の発生源の影響を強く受けた大気データをとり除き、広域の清浄大気を代表するデータを選別する手法の評価を行う。
  - ・CO<sub>2</sub>濃度の変動に対応する<sup>222</sup>Rn や O<sub>2</sub>濃度等の変動の関係性の解析を行い、組成比について、イベント・季節的な変動性の違いの有無について解析を実施する。
  - ・M5 課題と連携し温室効果ガス輸送モデルを用いた<sup>222</sup>Rn 濃度の再現実験を行う。気象研究所で観測を実施している4つの観測所における観測値との比較解析を行い、大陸からの気塊の輸送過程の再現性の評価を行う。

(副課題 4) 海洋の生物地球化学循環と酸性化実態の解明

- ① 高解像度観測、高精度分析による、海洋炭素循環、酸性化実態の理解の促進
  - ・晩冬から初夏にかけての海水サブサクション期に、本州南方の亜熱帯域において水中グライダーによる高解像度海洋観測を実施する。
  - ・水中グライダー自己推進装置の性能を確認するため、筑波大学下田臨海実験センターの協力を得て、下田沖で試験を実施した上、9月から10月に実施される気象庁海洋気象観測船による三陸沖の航海に乗船して、中規模渦等を対象とした運航試験を行う。
  - ・水中グライダー観測の結果の修正法を確立する。
  - ・新しい分析法による海水 pH 測定結果の精度評価を行う。

- |  |  |
|--|--|
|  | <p>② データ解析による海洋物質循環の変動機構解明</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・東経 137 度、165 度、東シナ海測線等、気象庁観測船による長期高精度データを解析することにより、海洋内部の CO<sub>2</sub> 等の長期変化の実態を明らかにする。</li><li>・気象研究所海洋モデル (MRI.COM) や地球システムモデル (MRI-ESM) による予測実験における海洋炭素系の誤差を評価する。</li></ul> |
|--|--|

「地震・津波・火山研究」

研究課題	(S課題) 地震と津波の監視・予測に関する研究 副課題1：地殻活動監視に関する研究 副課題2：地震動即時予測に関する研究 副課題3：津波予測に関する研究
研究期間	令和元年度から5年間(5年計画第2年度)
担当者	○ 干場充之 地震津波研究部長 (副課題1) [地震津波研究部] ○ 勝間田明男、小林昭夫、田中昌之、露木貴裕、弘瀬冬樹、永田広平、溜瀧功史 (副課題2) [地震津波研究部] ○ 林豊、小木曾仁、小寺祐貴 (副課題3) [地震津波研究部] ○ 山本剛靖、林豊、対馬弘晃、南雅晃
目的	地震の発生に伴う災害を防止・軽減するため、地震活動・地震動・津波の諸現象への理解を深め、地震と津波の監視・予測技術の開発・改良を行う。  (副課題1) 地震活動の状況把握と推移予測を的確に行うため、地震・地殻変動データの解析に基づいて地殻活動の状況を適切に指標化することによって、地殻活動状態の変化を監視し異常度を評価する手法を開発する。  (副課題2) 地震動即時予測の有効性を広げるため、地震動即時予測技術の精度向上、迅速化、及び堅牢化を図るとともに、長周期地震動までを含めた様々な周期での地震動即時予測を行えるよう改良する。  (副課題3) 長時間継続する津波の事前予測や推移予測を行うため、津波伝播計算手法を改良することによって、日本の沿岸域における津波全過程予測精度を改善する。
目標	統合的な地殻活動指標を考案し、地殻活動の異常度を表す手段としての可能性を評価する。地震動即時予測の精度、迅速性、及び堅牢性の向上、様々な周期の揺れの予測への拡張、日本の沿岸域における津波全過程予測の精度向上を図る。  (副課題1) 地震活動の特徴を表す様々な指標と地殻変動の解析結果の地域特性・時間変化の特徴を調査し、さらにそれらの様々な指標を組み合わせた統合的指標を考案する。統合的指標について、顕著地震の発生との関連性の調査や物理的背景の検討などにより、地殻活動の現在の異常度を表現する手段としての可能性を評価する。  (副課題2) 地震動即時予測について観測震度に対して予測震度が概ね震度差1以内に収まる精度を目指す。また、震源位置やマグニチュードが決まっていない段階においても震度予測ができる迅速性・堅牢性の向上も目指す。さらに、長周期(おおよそ周期10秒程度まで)の様々な揺れの予測にも対応できるように拡張・強化する。  (副課題3) 津波伝播計算における沿岸域での境界条件等を最適化する。それにより、津波伝播計算による日本の沿岸域における第1波到達から後続波、減衰に至るまでの津波全過程予測の精度向上を図る。
研究の概要	(副課題1) 均質なデータの蓄積が進んでいる日本全国・長期間の地震・地殻変動データを活用し、これまでに知られているb値やp値などの各種地震活動パラメータ、及び地震波速度やひずみ速度など場の状態を表すパラメータのそれぞれの時間変化について長期間にわたる発現頻度調査等を行うことによって平常時の状態からの異常の程度を示す指標化を行う。それら個々の指標、及びそれらを重ね合わせた統合指標に

	<p>ついて、将来的な地震活動の見通し情報への活用を念頭に、異常発生頻度等時間・空間的な変化、指標相互の関係や比較的規模の大きな地震、いわゆる顕著地震の発生との関連性について解析を進める。さらに、相互の現象の統合的理解のため、地殻活動指標変化の物理的背景について検討を加える。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>これまで構築してきた揺れから揺れを予測する技術をさらに発展させ、データ同化手法を用いて波動場を正確に推定し、そこから未来の波動場を予測する手法を目指す。これにより、(震度だけではなく)長周期地震動を含めた波形での予測が可能となる。また、海域や陸上の観測網の環境の変化に対応するとともに、波動の同定(P波かS波か)の手法、伝播経路特性や地盤増幅特性の改良を行うことで、緊急地震速報や長周期地震動予測情報の精度向上・迅速化・堅牢化に向けた技術開発を行う。さらには、これらの予測手法は、現場への応用を考慮し、実時間よりも早く計算が行えるようにする。</p> <p>(副課題 3)</p> <p>沖合津波観測データを用いることにより、沿岸津波観測データからよりも正確に津波波源を推定する。推定された津波波源から得られる津波伝播計算結果と観測データとの比較により、沿岸域の地形データや摩擦パラメータ等、津波伝播計算における境界条件を評価し、その最適化を行う。それにより、沿岸域に捕捉され長時間継続する津波の後続波の伝播や減衰過程の予測精度向上を図る。また、これらの成果を活用するなどして、データ同化を含む沖合津波観測データを用いた津波の面的把握技術と津波即時予測技術の改良を進めるとともに、新たな津波監視技術の活用可能性に関する調査を行う。</p>
<p>研究の有効性</p>	<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、津波の時間的推移や津波警報・注意報の解除の見通しに関する情報発表、並びに地震活動の推移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> <p>地震動即時予測に関する研究においてこれまで取り組んできた手法は、USGSにより米国でも応用への研究が進められている。</p>
<p>令和2年度実施計画</p>	<p>(副課題 1)</p> <p>地殻活動の異常度を表現するための統合的指標の構築のため、その要素となる地震活動の特徴を表すb値やp値などの様々な指標の地域毎の時間変動特性および地域差の特徴について調査を継続して行う。各指標の変動特性の統計的な性質を抽出するとともに、それらの指標の変動の物理的背景について検討を行う。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>緊急地震速報のさらなる精度向上・迅速化・堅牢化を目指して、データ同化手法を用いて波動場を正確に推定し、そこから未来の波動場を予測する手法を発展させる。PLUM法の改良を進め、伝播経路特性については地下構造の精緻化を図る。地盤増幅特性の中の位相特性を検討し、長周期地震動を含めた即時予測での継続時間の予測の精度向上を目指す。</p> <p>(副課題 3)</p> <p>近地津波について津波後続波の観測事例の整理をまとめ、それらの観測事例を再現する津波波源を推定する。遠地津波の減衰過程を説明するMRMSパラメータの改良についてまとめる。遠地津波と近地津波のそれぞれについて観測事例を用い、長時間津波伝播計算による後続波と減衰過程の再現の精度向上のため、沿岸域地形データ等の計算条件設定の改良を試みる。</p>

研究課題	(N課題) 南海トラフ沿いのプレート間固着状態監視と津波地震の発生状況即時把握に関する研究 副課題1：南海トラフ沿いのプレート間固着状態監視技術の高度化 副課題2：津波地震などに対応した即時的地震像把握手法の開発
研究期間	平成28年度から5年間（5年計画第5年度）
担当者	○ 干場充之 地震津波研究部長 (副課題1) [地震津波研究部] ○小林昭夫、勝間田明男、露木貴裕、西宮隆仁、弘瀬冬樹、永田広平 [火山研究部] 安藤忍 (副課題2) [地震津波研究部] ○勝間田明男、小林昭夫、田中昌之、西宮隆仁、溜渕功史
目的	切迫性の高い南海トラフの大規模地震に関連し、プレート境界におけるスロースリップ、プレスリップなど固着状態の変化を検出するための手法を高度化するとともに、観測された現象と大地震発生との関連性を理解し、地震発生前の的確な情報発信を可能とする。さらに、津波地震を含む巨大地震の多様な発生状況を想定した地震の規模・震源域の広がり等を迅速に把握するための手法を開発し、津波地震に対する津波警報の適切な発表や、東海・東南海・南海地域の時間差発生対応のための割れ残りの判定により、的確な災害対策に貢献する情報発信を可能とする。これらにより大地震、津波から国民の生命と財産を守る。
目標	南海トラフ沿いのプレート境界におけるスロースリップ、プレスリップなど固着状態の変化を検出するための手法を高度化するとともに、その物理的背景（固着域の状態変化）に関する説明能力の向上を図る。さらに、津波地震を含む巨大地震の多様な発生状況を想定した地震の規模・震源域の広がり等を迅速に把握する手法を開発する。  (副課題1) 南海トラフ沿いのプレート間固着状態監視技術の高度化 ・プレート間の固着状態の変化による地殻変動を面的に詳細に把握するため、人工衛星リモートセンシング手法の一つである SAR 干渉解析手法の改良を行う。 ・プレート間のゆっくりしたすべり現象について、数か月から数年間継続する長期的スロースリップによる地殻変動をひずみ計、GNSS 等を用いて客観的に検出するなど、すべり現象の変動源を推定する手法の改良を行う。 ・観測された固着状態の変化の物理的背景の理解を進めるとともに、プレスリップにつながるなど将来の大地震の発生に結びつく可能性を評価する手法を開発する。  (副課題2) 津波地震などに対応した即時的地震像把握手法の開発 ・津波地震や海底地すべりの発生を検知し、津波予測に用いるための規模等を推定するための手法を開発する。 ・発生した地震の震源域の広がり把握や、余震発生予測等に寄与するため、地震発生直後の余震の発生状況について即時に把握する手法を改良する。 ・津波予測や連動発生地震の監視に寄与するため、発生した地震のすべり分布を迅速に推定するための手法を改良する。
研究の概要	(副課題1) 南海トラフ沿いのプレート間固着状態監視技術の高度化 ・精度の高い地殻変動を面的に得るため、衛星データ（干渉 SAR）の解析手法を高度化する。長期間の衛星データを用いて干渉度の高い点群に着目して時系列解析することにより、従来の解析よりも高精度な地殻変動を推定する。また、1時間ごとの気象数値モデルを利用した対流圏伝搬遅延の影響を補正する手法を開発する。解析対象地域は、プレート間固着域に近く、固着状態変化の影響を受けやすい岬などを候補とする。 ・これまで長期的スロースリップについては、GNSS 観測点の座標時系列や基線長変化などを個別に見ることで検出してきた。ひずみ計や GNSS の記録を用いたスタッキング手法、およびすべり方向、時定数などを仮定した手法や、地震活動解析等により、長期的スロースリップ等を客観的に検出し、それらの規模や変動源を推定する手法を開発する。水準測量、潮位の解析により、1944 年東南海地震、1946 年南海地震を含む南海トラフ沿い地域の長期間の上下変動を把握する。一部海域

	<p>で海底地震計、海底水圧計による観測を行い、データの少ない海域で詳細な地震活動や地殻変動を把握する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・南海トラフ沿いで観測された地殻変動と数値シミュレーション結果とを比較できるように、可能性のあるパラメータの範囲で多数の数値シミュレーションを行う。観測結果との比較から、その変化が現れた物理的背景を理解するとともに、複数のプレスリップのモデル化や地震前の固着状況変化のモデル化などを通じて、観測結果が大地震につながる可能性について評価する手法を開発する。</li> </ul> <p>(副課題2) 津波地震などに対応した即時的地震像把握手法の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・過去に発生した津波地震や海底地すべりの事例を集め、通常の地震との比較により津波地震などに共通する特徴を抽出する。地震波の短周期成分と長周期成分の信号の特徴から、津波地震の判定を行い、津波予測に用いるための長周期成分のみを用いた震源決定と規模推定を行う手法を開発する。また、海底地すべりについては、津波発生ポテンシャルについて評価する。</li> <li>・南海トラフ沿いの地震の場合、震源域は沖合になると考えられるが、沖合で発生した地震の余震活動については、即時の地震数の把握や震源決定精度がまだ不十分である。現在の地震波の立ち上がりに基づく手法では、同規模の地震の連発や大きな地震の場合に不適当な結果が見られる。これらの改良に加え、地震波形の相関を取るなどして、余震が多発する場合にも精度の高い震源決定を行う手法を開発する。</li> <li>・現状では大すべり域の推定は可能となったが、大すべり域内の複数のすべり分布の推定結果には推定手法やパラメータによりばらつきがみられる場合がある。このため、震源過程解析手法に、CMT 解析やアレイ手法などの複数の推定手法を組み合わせ、相互に矛盾のない最適解を導き出す手法を開発する。</li> </ul>
<p>研究の有効性</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・平成 29 年 9 月に内閣府から「南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応のあり方について」の報告があり、平成 29 年 11 月から気象庁が「南海トラフ地震に関連する情報」の発表を開始した。この研究で得られる知見は、この情報発表に寄与するものである。</li> <li>・十数年前から高密度の GNSS や高感度地震計の展開により進展してきた、長期的スロースリップ、浅部及び深部の超低周波地震などの研究について、この研究課題において更なる現象理解の進展が見込まれる。</li> <li>・南海トラフ沿いで異常現象が観測された場合、それがプレート固着状態の変化に起因するものかどうか、巨大地震発生の危険性が相対的に高まっているかどうかを評価する際の科学的判断材料の一つを提供できる。</li> <li>・南海トラフ沿い・日本海溝沿い等において津波地震が発生した場合に、適切な津波予測に結びつく。</li> <li>・南海トラフ地震が発生した場合において、その判定の迅速化が図られる。</li> </ul>
<p>令和 2 年度実施計画</p>	<p>以下のような各手法の改善を図るとともに、計画最終年度にあたり各成果のとりまとめを進める。成果については気象研究所技術報告として発行することを想定し、原稿の執筆を行う。</p> <p>(副課題1)：南海トラフ沿いのプレート間固着状態監視技術の高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひずみ計、傾斜計、GNSS など複数の観測要素を同時に用いることができるよう、すべり分布インバージョン手法を改良する。</li> <li>・東海大学と共同で、海底地震計観測を行う。</li> </ul> <p>(副課題2)：津波地震などに対応した即時的地震像把握手法の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・スロー津波地震が日本近海で発生した場合の、現状の規模推定法の問題点の検討を行う。</li> <li>・スロー津波地震の規模推定法の検証を進める。</li> <li>・山体崩壊による津波の評価法の検討を行う。</li> <li>・海底地震計データを自動震源決定手法に導入した場合に問題となる、エアガンイベントに対応した手法改良を行う。</li> <li>・船明トンネルにおける DAS 試験観測を行う。</li> </ul>

研究課題	(V課題) 火山活動の監視・予測に関する研究 副課題1：地殻変動観測等に基づく火山活動評価 副課題2：化学的手法等による火山活動監視 副課題3：火山噴出物の監視技術とデータ同化に基づく輸送予測
研究期間	令和元年度から5年間（5年計画第2年度）
担当者	○齋藤誠 火山研究部長 (副課題1) [火山研究部] ○小久保一哉、鬼澤真也、安藤忍、森 健彦、奥山 哲、岡田 純、川口亮平、島村哲也、瀧山弘明（併任）、加古考範（併任）、山本哲也（併任）、長岡 優（併任） [地震津波研究部] 小林昭夫 (副課題2) [火山研究部] ○菅野智之、堀口桂香、谷口無我、森 健彦、北川隆洋（併任）、福井敬一（併任）、高木朗充（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、佐藤英一、石井憲介、土山博昭（併任）、稲澤智之（併任）、福井敬一（併任）、大城久尚（併任） [気象予報研究部] 橋本明弘
目的	火山活動への理解を深め、火山現象の評価・予測の精度を高めることにより、気象庁火山業務における噴火警報、噴火警戒レベル、降灰予報、航空路火山灰情報などの改善に貢献する。  (副課題1) 地殻変動観測等に基づく火山活動評価 火山内部の状態把握をよりの確に行えるよう地殻変動データなどの解析手法の開発・改善を進め、噴火に至るプロセス等の解明を行うことにより、火山活動評価手法の改善を図る。  (副課題2) 化学的手法等による火山活動監視 化学的手法等による観測・分析によって火山ガス活動の理解を深め、火山噴火の前兆を早期に把握する監視手法を開発し、火山活動予測への活用を図る。  (副課題3) 火山噴出物の監視技術とデータ同化に基づく輸送予測 噴火現象の即時的な観測技術および予測技術の開発・改良を行うことにより、大規模噴火にも対処可能な「降灰予報」および「航空路火山灰情報」とその精度向上を図る。
目標	地殻変動や火山ガスなどの観測データの解析をとおして、火山活動の理解を深めるとともに、火山内部の状態をよりの確に把握することで、火山活動予測、火山活動評価の改善を図る。また、噴火に伴う浮遊火山灰や降灰等、噴火現象の即時的な把握技術および予測技術の開発を行う。  (副課題1) 地殻変動観測等に基づく火山活動評価 [テーマ1] 伊豆大島で地殻変動源解析によりマグマ蓄積量を迅速に把握し、多項目観測を統合したプロダクトと精密に補正した重力観測データを用いて、マグマ上昇の検出・モニタリングを行う。地表面熱・水収支、およびマグマ・揮発性成分収支のモデルを構築し、火山活動評価への活用を図る。他の活動的火山でも活動評価に資する地殻変動等の解析を行う。 [テーマ2] 衛星 SAR 解析における大気遅延補正を気象モデルを用いて高精度化し、GNSS 解析にも気象モデルを導入して、火山における地殻変動検知能力を向上させる。また、火山活動の理解を深めるために、地殻変動から地下の変動源の時空間変化を推定する手法、及び地下のマグマ挙動に伴う地殻変動のシミュレーション手法を開発し、それらの事例解析の比較により解析手法と物理モデルを改良する。 [テーマ3] 火山内部の状態監視や活動の異常検出を目指して、伊豆大島の震動観測データに地震波干渉法を適用し、地下の速度構造の時間変化を検出する手法

	<p>を開発する。また検出された変化の要因、火山活動との関連を評価する。</p> <p>(副課題2) 化学的手法等による火山活動監視  [テーマ1] 直接採取した火山ガスや熱水の化学組成および安定同位体比、および火山灰に付着した火山ガス由来成分等の分析を通じて火山ガス活動の理解を深め、個々の火山における火山ガス活動の機構の解明を目指す。  [テーマ2] 火山ガスの放出率や組成比をモニタリング・評価する技術を開発する。テーマ1による火山ガス活動への理解をふまえ、副課題1の地殻変動などの物理観測データも組み合わせた多項目解析を行うことで、火山活動評価への活用を図る。</p> <p>(副課題3) 火山噴出物の監視技術とデータ同化に基づく輸送予測  [テーマ1] 気象レーダー等の観測データを用いて、噴火現象の検知や噴煙に含まれる火山灰等の定量的推定手法を開発する。  [テーマ2] 浮遊火山灰や降灰等を統一的に予測するための新しい移流拡散モデルを開発・改良する。さらに火山灰データ同化システム(プロトタイプ)と結合させることにより、気象レーダー等による観測値と移流拡散モデルの予測値に基づく火山灰データ同化・予測システムを構築する。</p>
<p>研究の概要</p>	<p>(副課題1)  [テーマ1]  伊豆大島における各種地殻変動データの取得・収集を継続し、地下のマグマの蓄積量(噴火ポテンシャル)を把握するための解析手法を迅速化する。マグマ上昇検出とモニタリングを目的とした、多項目観測、重力繰返し観測を実施する。そのために重力データ補正技術の向上を図る。  噴火が近づく時期の地下浅部における熱的活動を詳細に把握するために、山頂付近の空中からの熱赤外線繰返し観測、地表での熱収支観測を実施し、熱および水収支のモデルを構築して地表面からの熱・水の総放出量を定量化する。  他の活動的火山においても火山活動の活発化がみられるような場合に地殻変動等の解析を行う。  [テーマ2]  衛星 SAR の干渉解析について、気象モデルを用いた対流圏遅延補正プログラムを開発する。補正精度の評価にあたり各種気象モデルによる補正結果を比較検証する。GNSS 観測データの解析に、気象モデルによる大気遅延補正を導入するためのプログラムを開発し、パラメータ・プログラムを調整してその有効性を検証する。  地下のマグマの挙動を説明する物理モデルに基づいた地殻変動のシミュレーションプログラム、および観測データの解析による地殻変動源の時空間変化推定プログラムを開発し、両者を事例に適用し比較することにより、解析手法や地下のマグマの物理モデルなどを改良する。  [テーマ3]  伊豆大島の震動観測データに、地震学の分野で知見が深まっている地震計記録の背景雑音(ambient noise)を用いた解析手法を適用し、火山周辺における地震波速度の時間変化を検出する手法を開発する。また、その要因を評価する中で、実際の火山活動に伴う地震波速度変化の検出を目指す。</p> <p>(副課題2)  [テーマ1]  吾妻山、箱根山、草津白根山、および霧島山等の活動的火山において採取した火山ガスや熱水の化学組成および水素・酸素安定同位体比、あるいは火山灰から抽出した水溶性の化学成分を、重量分析や容量分析などの手分析のほか、ガスクロマトグラフやイオンクロマトグラフ、分光分析といった機器分析を組み合わせて分析し、火山ガス活動やその起源に関する理解を深め、個々の火山における火山ガス活動の機構の解明を目指す。  [テーマ2]  火山ガスをセンサー等で測定し火山ガス活動をモニタリングするための研究</p>

	<p>を行う。具体的には、気象庁が4火山に設置した、多成分火山ガス連続観測装置によるガス成分比のモニタリング技術の向上、気象モデルを用いた二酸化硫黄放出率のモニタリング技術の改善、二酸化炭素等の土壌ガスの連続観測あるいは機動観測による噴火ポテンシャル評価等を、吾妻山、草津白根山、伊豆大島、桜島等で行う。また、それらのデータと、地震や地殻変動等の既存の物理観測データを組み合わせた統合解析手法を検討する。</p> <p>(副課題3) [テーマ1] 活動的な火山である桜島を主対象として、二重偏波レーダーや高速スキャンレーダーなどの先進的な気象レーダーによる噴煙のエコー強度やマルチパラメータを解析することにより、噴火検知技術の開発や噴出する火山灰・礫の量や挙動を定量的に推定するための技術開発を行う。また気象衛星で観測される火山灰から、噴火検知や噴火規模の即時的な推定の研究を行うとともに、噴火発生直後の監視カメラによる爆発映像等を利用し、気象レーダー等による解析結果の検証、火砕流や火山岩塊等の防災上重要な火山現象の解析を行う。</p> <p>[テーマ2] 領域移流拡散モデルと全球移流拡散モデルを統一した新しい移流拡散モデルを、堅牢性、速報性、柔軟性および開発管理の観点から設計して開発する。そして供給源および新しい移流拡散モデルとこれまでに開発した火山灰データ同化システム(プロトタイプ)を組み合わせて、火山噴出物に対する観測データの解析から予測までを一貫して実行できる火山灰データ同化・予測システムの構築を行う。</p>
<p>研究の有効性</p>	<p>(副課題1)  <ul style="list-style-type: none"> <li>マグマの蓄積・挙動に関する研究成果は、気象庁が発表する噴火警戒レベルの判断基準の高精度化に資する。また、気象庁における火山活動評価、噴火警報、噴火警戒レベルの運用を向上させることで火山防災に貢献できる。</li> <li>伊豆大島等における地殻変動観測結果は、逐次、気象庁や火山噴火予知連絡会における当該火山の活動評価に利用される。</li> </ul> </p> <p>(副課題2)  <ul style="list-style-type: none"> <li>火山ガスの放出活動と地殻変動は密接に関係すると考えられており、副課題1と連携することにより、火山活動のモデル化の研究がより効率的に推進できる。</li> <li>活動的な火山における火山ガス等の地球化学的な理解が進むとともに、地球化学的な視点に立った火山活動監視の有効性を示すことが可能になる。</li> <li>気象庁が設置した火山ガス観測装置のデータを研究に活用することで、研究成果を気象庁は活動評価に活用することができる。</li> <li>気象庁火山業務への地球化学的手法の本格的な導入が進むことが期待され、噴火警報等の防災情報のよりの確な提供が可能となる。</li> </ul> </p> <p>(副課題3)  <ul style="list-style-type: none"> <li>気象レーダー等を活用することで火山活動監視技術の向上を図ることができる。</li> <li>気象レーダー等による全天候に対応した噴火現象、噴煙状態の把握技術を開発すること、新しい移流拡散モデルの開発および火山灰データ同化システムと結合することで、降灰予報や航空路火山灰情報の精度が向上する。</li> <li>様々なケースにおける移流拡散モデルを用いた火山噴出物予測は、噴火ハザード予測の研究に活用することができる(次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト関連)</li> </ul> </p> <p>(特記事項)  従来重点研究B7「火山ガス観測による火山活動監視・予測に関する研究」(H28-32)は、本研究に統合して副課題2「化学的手法等による火山活動監視」として継続する。他の副課題との連携でより効率的な研究が期待できる。</p>
<p>令和2年度実施計画</p>	<p>(副課題1) [テーマ1] 火山活動活発化や噴火へ至るプロセスの解明</p>

- ① 伊豆大島等におけるマグマ蓄積・上昇過程の解明
  - ・ 伊豆大島の地殻変動観測を継続し、地殻変動（源）解析の迅速化・自動化を目指す。他の活動的火山についても地殻変動等の解析を行う。
  - ・ 重力観測データ補正技術の高度化を進めるとともに、伊豆大島において重力の繰り返し精密観測を行う。

- ② 伊豆大島山頂部における地表放熱量評価
  - ・ 地表面の熱収支連続観測を継続し、地表面熱・水収支モデルを検討する。新たに空中熱赤外観測による面的な温度分布の把握を開始する。マグマ・揮発成分収支の関わる観測データ及び活動場の物性の既存資料を調査する。

[テーマ2] 火山活動の解析・評価のための手法開発

- ① SAR の対流圏遅延補正高精度化
  - ・ 気象モデルを用いた対流圏遅延補正プログラムの開発を進める。
- ② GNSS 解析手法の高度化
  - ・ 気象モデルを導入した大気遅延補正による解析プログラムの開発を進める。
- ③ マグマの状態・活動を地殻変動などから推定するための手法開発
  - ・ 地殻変動データから変動源の変化の推定手法、地下のマグマ挙動に伴う地殻変動シミュレーション手法の開発を進める。

[テーマ3] 監視観測データの活用的高度化

- ① 地震波形の観測点間の相互相関解析による地震波速度変化のモニタリング
  - ・ 地震波干渉法を用いて伊豆大島地下の地震波速度構造を求め、その時間変化の検出を試みる。

(副課題2)

[テーマ1] 化学分析に基づく火山活動の理解に関する研究

吾妻山、箱根山、草津白根山及び霧島山等を主な対象として、火山ガス及び熱水流体について化学組成及び水素・酸素安定同位体比を分析する。また、噴火中の火山ガスの化学組成及びその変化の推定のために、火山灰から抽出した水溶性物質の化学分析を実施する。以上の変化を噴気域や放出量、放出温度の変化等の表面現象の観測や、地震、地殻変動等の物理観測の結果と比較し、火山活動の推移を総合的に評価する手法の検討を進める。

さらに、福岡管区气象台が地方共同研究の成果を活かして実施するガス検知管や湧水の観測等に協力するとともに、将来的に火山ガス等の化学分析を火山機動観測と連携して効率的に実施する方法について検討を行う。

[テーマ2] 火山ガス活動のモニタリングに関する研究

センサーによる火山ガス観測の有効性を検証するため、本庁整備の多成分火山ガス観測装置、気象研整備の可搬型マルチガス観測装置及び直接採取による化学分析のそれぞれから得られるガス成分比について比較し、センサー観測のデータ精度や感度変化の補正手法などについて検討する。また、土壌ガスの連続観測を吾妻山で継続するとともに、面的な繰り返し観測を複数の火山で実施して基礎データと知見の蓄積を行う。

二酸化硫黄放出率のリアルタイム観測へ向け、令和元年度に整備した試験機を用いた試験観測を行い、令和3年度以降の本格展開に向けたハード及びソフトのブラッシュアップを行う。また、気象場と噴煙拡散モデルを利用した二酸化硫黄ガス拡散モデル化について、二酸化硫黄カメラを利用した実況とモデルとの比較検討を試みる。

以上の観測研究成果を火山監視・警報センターの監視業務で活用するため、本庁関係官と連携しつつ火山監視情報システムへの実装に向けた検討を開始する。

(副課題3)

[テーマ1] 気象レーダー・衛星等による噴火現象の観測

気象レーダー等による噴煙の解析結果を、降灰や大気中の火山灰の実観測データによって検証するスキームを確立する。

[テーマ2]

① 新しい移流拡散モデルの開発・改良

領域移流拡散モデルと全球移流拡散モデルを統一した、新しい移流拡散モデルを開発して、設計内容の技術報告を作成する。

② 火山灰データ同化・予測システムの構築

火山灰データ同化システムと新しい移流拡散モデルを結合した、火山灰データ同化・予測システムにおける予報官解析の利用について、現業化に必要な機能の追加を行う。また、耐久試験を兼ねた並行運用試験を行う。

「応用気象研究」

研究課題	(A課題) シームレスな気象予測の災害・交通・産業への応用に関する研究 副課題1：地域気候モデルによる予測結果の信頼性向上に関する研究 副課題2：防災・交通分野への気象情報の活用 副課題3：産業活動に資する気候リスク管理
研究期間	令和元年度から5年間（5年計画第2年度）
担当者	○ 高槻靖 応用気象研究部長 (副課題1) [応用気象研究部] ○村田昭彦、野坂真也、佐々木秀孝、仲江川敏之、村崎万代、川瀬宏明、大泉三津夫（併）、卜部佑介（併）、岡部裕己（併）、山田賢（併）、後藤敦史（併） [気象予報研究部] 渡邊俊一、長澤亮二 [気候・環境研究部] 高薮出 (副課題2) [応用気象研究部] ○小畑淳、山口宗彦、川端康弘 (副課題3) [応用気象研究部] ○仲江川敏之、村崎万代、川瀬宏明、村田昭彦、野坂真也、佐々木秀孝、萱場互之（併）、宮脇祥一郎（併） [気候・環境研究部] 小林ちあき、高薮出 [全球大気海洋研究部] 高谷祐平
目的	気象情報を利活用し、豊かで安全な生活をもたらすような世の中を実現することが目的である。その中には、気象予報・予測精度の向上とともに、気象情報の利用に関し不確実性の観点も含め各分野の専門家と協働・協創を行うことも含まれる。  (副課題1) 適応策策定に資する高い確度の地域気候予測情報を創出するため、地域気候予測結果にばらつきをもたらす要因を分析し、予測の不確実性を低減する。  (副課題2) アンサンブル予報を含む数値予報データ等を利用し、防災業務に資するプロダクトや新たな予報ガイダンスの開発を行う。  (副課題3) 1週間～季節予測を用いた気象・気候リスクを管理する事例研究を通して、必要とされるデータの過去観測・気象予測データの利用可能性と予測精度について整理し、気候リスク管理が生産性向上をもたらす潜在的な産業分野の開拓を通して、気象・気候リスク管理による幅広い分野での気象情報の利活用を目指す。
目標	(副課題1) ① 地域気候モデル及び数値実験設定の改良 ② モデルによる再現・予測結果に対する信頼度評価 ③ モデルによる再現・予測結果における物理的メカニズムの理解  (副課題2) ① 全球・メソアンサンブル予報の利活用 ② 防災業務に資する予報ガイダンスの開発 ③ 予報大外し事例の抽出  (副課題3) ① 異業種・産学官交流に基づく各産業分野の気候リスク管理の需要調査・連携 ② 週間～季節予測情報を利活用した気候リスク管理に関する先進的研究とデータ整備 ③ 利活用の裾野を拡大するための簡便な産業分野別気候指標と管理手法の開発
研究の概要	(副課題1) ① 地域気候モデル及び数値実験設定の改良 気象庁の現業で使用されている数値モデル（asuca）を新たに導入し、地域気候

	<p>モデルとして使用するための調整等を実施する。この際、asuca を気象モデルとして使用する研究課題と情報交換等を通じた連携を図る。高解像度 SST のモデル計算結果に対する効果を調べる。陸面過程等の物理課程の改良を行う。</p> <p>② モデルによる再現・予測結果に対する信頼度評価 従来とは異なる現実的なシナリオ (RCP2.6 等) に沿った予測結果の解析を行う。現象による切り分けを行いつつ、統計的手法によって予測結果を評価する。ディテクション&amp;アトリビューション手法等を活用し、現在既に温暖化が顕在化しているかどうか検証する。これらの再現・予測実験に当たっては、他の研究課題から境界値データの提供等を通して連携する。また、海外からの研究者と連携し、モデルを日本以外の領域に適用し性能を評価する。</p> <p>③ モデルによる再現・予測結果における物理的メカニズムの理解 各現象 (降水システム、局地風など) 及び各要素 (気温、雨、雪、風など) に応じて温暖化予測結果の解析を実施する。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>① 気象庁メソアンサンブル予報や TIGGE(The International Grand Global Ensemble, 海外の気象局を含む全球アンサンブル予報)、S2S(Subseasonal to Seasonal, 海外の気象局を含む 1 ヶ月アンサンブル予報) といった全球アンサンブル予報のデータを利用し、予報の不確実性や予報の気象学的根拠の定量化など、防災気象情報の拡充に資するプロダクトの開発を行う。</p> <p>② 顕著現象や災害データと数値予報データを組み合わせ、機械学習等の技術を用い、防災業務に資する新たな予報ガイダンスの開発を行う。プロダクトやガイダンス開発は、本庁予報課などのユーザーとの対話やニーズの掘り起こしを通じて進める。</p> <p>③ 防災気象情報の発信において課題となる見逃し事例の減少を目的に、大雨や台風など顕著な現象に注目して予報の大外し事例の抽出を行い、データ同化・数値予報モデル開発者へ情報を還元する。</p> <p>(副課題 3)</p> <p>① 異業種・産学官交流に基づく各産業分野の気候リスク管理の需要調査・連携 GFCS の優先分野 5 つ (農業と食糧安全保障、災害軽減、エネルギー、健康、水資源) に重点を置き、関係機関 (農業環境技術研究所、防災科学研究所、電力中央研究所、産業技術総合研究所、国土技術政策総合研究所など) と連携して、気候リスクと気候リスク管理需要の調査・まとめを行う。その際に、気象ビジネス推進コンソーシアムなどの枠組みを利用して、異業種・産学官交流による研究方向の新機軸を模索する。</p> <p>② 週間～季節予測情報を利活用した気候リスク管理に関する先進的研究とデータ整備 ① で得られた基盤情報を踏まえ、各産業に応じたアンサンブル週間～季節予測情報を最大限利活用するための先進的リスク管理手法について、既往研究をまとめると共に、新たな手法の開発を、関係機関と共に進める。その中から選定した分野での新しい気候リスク管理手法で必要となる気象観測・予測データの整備を行い、予測精度の評価を行う。</p> <p>③ 利活用の裾野を拡大するための簡便な産業分野別気候指標と管理手法の開発 ② では、選ばれた産業について、先進的な手法を用いた高度な気候リスク管理の研究を行うのに対して、本課題では気象情報利活用の裾野を広げるために既存の気候指標の有効性を検討する。また、産業別に適した気候指標または、管理手法の開発を目指す。その際に、国内に留まらず、世界展開も視野に入れて開発する。</p>
研究の有効性	<p>(気象業務への貢献)</p> <p>(副課題 1)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・気候情報課の業務である温暖化予測情報の元データを作成・分析することで、気象業務へ貢献する。</li> <li>・数値モデルの再現性を検証し、その知見を共有することで、モデル改良等の数値予報課の業務に貢献する。</li> </ul>

(副課題 2)

- ・アンサンブル予報の利活用に関する研究は、気象庁における予報業務や防災業務に貢献する。
- ・大外し事例の抽出に関する研究は、数値予報システムの改良等の数値予報業務に貢献する。

(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。
- ・簡便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。

(学術的貢献)

(副課題 1)

- ・地域気候シミュレーション結果に関する物理的メカニズムの研究によって、気象学の発展に寄与する。
- ・温暖化予測結果の信頼度評価の際に各種統計手法を駆使するので、統計学の発展に寄与する。

(副課題 2)

- ・アンサンブル予報を含む数値予報データの応用的利用に関する研究は、気象学の発展に貢献する。
- ・顕著現象に注目したプロダクトや予報ガイダンスの開発は、世界気象機関の推進する High Impact Weather Project に貢献する。また、全球アンサンブル予報を利用した研究は、世界気象機関の推進する TIGGE や S2S の推進に貢献する。

(副課題 3)

- ・利活用気象データの評価により、普段モデル開発などでは見過ごされがちな気象要素の評価が進み、モデルコミュニティに再現・予測精度のフィードバックができる。
- ・気候リスクの先進的な研究により、産業気象分野の拡大・活性化に貢献できる。
- ・簡便な産業別気候指標の開発により、産業気象学の裾野の拡大に貢献する。

(社会的貢献)

(副課題 1)

- ・地域気候モデルによる将来気候変化予測データセットは様々な分野の影響評価研究グループに利用されると共に、政府及び全国の地方自治体の温暖化に対する適応策の策定に寄与する。
- ・本研究で得られた地域気候に関する成果は IPCC AR6 に貢献することが期待される。

(副課題 2)

- ・予報の不確実性を定量化した新たなアンサンブル予報プロダクトの開発や予報ガイダンスの開発を通じて、気象庁の防災気象情報の拡充に貢献する。
- ・アンサンブル予報など大量のデータから必要な情報を抽出する新たなプロダクトを開発することにより、国土交通省の生産革命プロジェクトに貢献する。

(副課題 3)

- ・気候リスク管理の先進的研究により、国土交通省の生産革命プロジェクトに直接貢献することができる。
- ・簡便な産業別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

	<p>指標により、WMO の分野別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。</p>
<p>令和 2 年度 実施計画</p>	<p>(副課題 1) 地域気候モデルによる予測結果の信頼性向上に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①気象庁の現業で使用されている数値モデル (asuca) を新スパコンに適用し、基本的な動作確認を行う。asuca を地域気候モデルとして利用可能にするため、陸面過程の導入に向けた検討を行う。</li> <li>②統計的な手法を用いて、地域気候モデルシミュレーションから得られた予測結果の不確実性を評価する。</li> <li>③現在気候実験の結果を活用し、地上気温、降水量以外の物理量についてバイアス、RMSE などの誤差を検証することで、データの適応策関連への利用可能性を評価する。</li> <li>④地域気候モデル (NHRCM) を日本以外の領域に適用し、シミュレーション結果を用いて再現性の検証等の性能評価を行う。</li> </ul> <p>(副課題 2) 防災・交通分野への気象情報の活用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①令和元年度に岐阜大学と締結した共同研究に基づいて、渦位逆変換台風指向流解析法により、台風の移動を気象学的に自動診断する応用プロダクトの開発を行う。</li> <li>②台風予報ガイダンスに関して、台風発生ガイダンスの高度化に関する開発を実施する。</li> <li>③数値予報改良に資する予報大外し事例抽出に関して、収集したアンサンブル予報データから、台風の発生予報の大外し事例抽出、及び、その原因の解析を行う。</li> </ul> <p>(副課題 3) 各産業分野の気候リスク管理に必要な気象データの整備と予測精度評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① GFCS の優先分野 5 つ(農業と食糧安全保障、災害軽減、エネルギー、健康、水資源)に重点を置いた潜在的な気候リスク管理需要に基づき、必要となる気象観測・予測データの整備を行うと同時に、予測精度検証などを実施する。</li> <li>② 気候リスク管理に関する先端的研究を、外部協力機関と引き続き実施しつつ気候リスク管理の研究を推進する。</li> <li>③ 既存の研究を調査しつつ、容易に利用可能な気温、降水量などを用いた、産業別の気候指標の開発するための検討を実施する。</li> </ul>

## 2 地方共同研究

研究課題	2.1 機械学習を用いた地震波検測に関する研究
研究期間	令和元年度～令和2年度（2年計画第2年度）
実施官署	大阪管区気象台
担当者	（大阪管区気象台）○工藤祥太、飯盛裕、下條賢梧
担当研究官	〔地震津波研究部〕溜淵功史
目的	気象庁が保有する地震波形、検測値、震源データ等を活用し、Deep Learning を用いて、P相/S相/ノイズの分類、相の検測を行うモデルを構築し、検測・震源精度の向上に資することを目的とする。また、波形そのものからの震源決定や震度予測等を行うなど、Deep Learning を用いた応用を可能な限り検討し、先進事例としてその適用可能性を模索する。さらに、将来的に地震火山部システムへの適用可能なプログラムを作成する。
研究の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・利用可能な地震波形、震源、検測値、震度データを可能な限り収集し、Deep Learning で使いやすいデータセットを構築する。</li> <li>・波形、検測値データを用いて Deep Learning モデルの学習を進め、P相/S相/ノイズの分類や相の検測を行うモデルを構築する。</li> <li>・既存の手法との比較や精度検証を行う。</li> <li>・現行システムへの適用ができる限り可能な形にプログラム開発を行う。</li> <li>・府県研究会等の原稿作成により成果を取りまとめる。</li> </ul>
令和2年度 実施計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>・作成したモデルの精度検証</li> <li>・とりまとめ</li> <li>・現業システムへの適用検討</li> </ul>

研究課題	2.2 全天カメラによる雲の地上観測システムの開発
研究期間	令和2年度～令和3年度（2年計画第1年度）
実施官署	大阪管区气象台
担当者	（大阪管区气象台）高野松美、河野真也、谷澤隼人
担当研究官	〔気象観測研究部〕○工藤玲
目的	<p>雲は、地球表面の約60%を覆い、大気放射収支、そして気候変動に最も大きな影響を持つ。しかし、その影響評価は、最も不確実でもある。近年の衛星観測の高解像度化・高頻度化により、雲の分布をより精密に捉えることが出来るようになってきたが、上層雲に阻まれた下層の雲を観測することが出来ない。一方、発展著しい高解像度数値気象モデルにおいても、雲の再現性は不十分である。これらの問題に対し、雲の三次元的な分布を定量化する地上観測手法を確立することで、衛星やモデルの検証、そして、数値モデルの雲表現に関するパラメタリゼーションに貢献することが出来る。</p> <p>近年の衛星観測の進歩に伴い、気象業務における目視観測の重要性は、相対的に下がっている。そして、目視観測地点は、縮減傾向にある。しかし、衛星では上層雲に隠れた霧を捉えることができない等、現業業務における問題は多々ある。このため、目視観測の重要性は失われてはいない。目視観測を代替する観測システムが必要である。上記の研究・業務背景の下、全天の雲を撮影し、屋外での連続観測を可能とする全天カメラをこれまで開発してきた。本研究では、全天カメラによる撮影画像から、高度別の雲分布を定量化する手法を開発することを目的とする。また、LTE/3G回線を使って、カメラの遠隔操作、サーバーへのデータ転送、そして、雲の解析とその結果を公開する一連のシステムを構築する。この全天カメラによる地上観測システムによって、雲解析の結果を観測業務の現場に提供し、現業活用に関する効果を実証する。</p>
研究の概要	<p>①全天カメラを使った雲の地上観測システムの構築、②高度別の雲分布の導出方法の開発、③現業での利用実験、の3つに分けて研究を進める。</p> <p>① 全天カメラを使った雲の地上観測システムの構築</p> <p>本研究の全天カメラは、人間の眼よりも広いダイナミックレンジを有するCMOSセンサーを使った産業用カメラを使用している。広いダイナミックレンジは、太陽直達光も白飛びせずに撮影することを可能にし、全天の様子を正確に記録することが出来るため、気象観測に最適なセンサーである。</p> <p>大阪管区气象台の屋上で、全天カメラの常時観測を行う。設置場所は調査済みで、大阪管区气象台の許可と協力を得ている。本研究の開始に先立ち、R1年度内にカメラを設置し、観測を開始する予定である。観測期間は、令和3年12月まで行うことを予定している。</p> <p>全天カメラによる観測データは、生データと画像データの2種類がある。データサイズの小さい画像データは、LTE/3G回線を使って気象研究所のデータ共有サーバーに逐次転送し、大阪管区气象台から閲覧できる体制を整える。一方、雲分布の解析に使用するカメラの生データは、1日約1GBのデータサイズになる見込みである。LTE/3G回線を使うことを想定すると、データサイズが大きすぎる。このため、一日分を圧縮したデータを深夜に転送し、解析用サーバーでデータ処理を行った後、データ共有サーバーから解析結果を公開する。ただし、画像データと同様、逐次転送・公開も試験する予定である。</p> <p>全天カメラは、基本的にメンテナンスフリーであるが、カメラの窓が汚れた場合にだけ、大阪管区气象台の担当者に拭いてもらう。このため、現業当番者への大きな負担はない。また、観測データは、大阪管区气象台に設置する観測用PCに外付けするデータストレージに保存する。データストレージは、定期的に気象研究所に郵送する。</p>

	<p>② 高度別の雲分布の導出手法の開発</p> <p>担当研究者の高野が開発した全天カメラから雲分布を導出する手法（高層気象台彙報第 67 号、第 68 号）は、カメラ RGB 色情報だけでなく、RGB から算出される彩度を使った手法で、目視観測とほぼ同等の結果が得られている。この手法を本研究で使用する全天カメラに応用する。高層台で使用していた全天カメラは、太陽周辺で白飛びするため、解析できない領域が多かった。しかし、本研究の全天カメラは、白飛びしないため、より精密な解析が可能となる。</p> <p>フィルムカメラ時代から、2 台の全天カメラを使ったステレオ撮影によって、雲の高度を求める手法が使われている。本研究では、1 台のカメラしかないためこの手法をそのまま使用することはできない。そこで、5 分程度の短い時間間隔で撮影された 2 枚の画像を疑似的なステレオ撮影とみなし、雲の高度を推定する手法を開発する。真のステレオ撮影では、2 台のカメラの距離を基準として高度を定量化する。しかし、疑似的な手法で出来ることは、雲の上中下層のカテゴリズにとどまる。しかし、目視観測と同程度の情報にはなる。</p> <p>③ 現業での利用実験</p> <p>本研究の担当研究者が、現業当番に入った際に、逐次公開する画像データを閲覧する。通常、目視観測は 3 時間に 1 回行われるが、その間を埋める画像データが手に入ることになる。また、降雨レーダと合わせて見ることで、大雨をもたらす雲の接近などを直に観測することが出来る。このような全天カメラ観測の利点が、観測の現場でどのように活用できるかを調査する。</p>
令和 2 年度 実施計画	<p>(気象研究所)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 全天カメラの観測（遠隔運用）とデータ送信、解析、結果の公開システムの構築。</li> <li>・ 疑似ステレオ撮影による雲高度の導出手法の開発。</li> </ul> <p>(大阪管区気象台)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 雲分布導出手法の開発。</li> <li>・ 現業での利用実験。</li> </ul>

研究課題	2.3 沖縄地方の低周波地震の震源決定と発生状況等の調査
研究期間	令和2年度～令和3年度（2年計画第1年度）
実施官署	沖縄気象台
担当者	（沖縄気象台）○水岸研二、川門義治、古謝秀和
担当研究官	〔地震津波研究部〕溜瀧功史
目的	<p>現在、気象庁では南海トラフ沿いの深部低周波地震やゆっくりすべりの監視を行い、南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会等の検討に利用している。また近年、南海トラフ沿いだけでなく、東北地方の日本海溝沿いなどでプレート境界の浅部で発生する浅部低周波地震（微動）やゆっくりすべりの研究が盛んに行われている。</p> <p>しかし、沖縄地方のプレート境界付近で発生するゆっくりすべりや低周波地震活動については、振幅が小さいために気象庁では決定できていない状況である。</p> <p>沖縄地方のプレート境界の固着状態を把握するための一つの方法として、低周波地震の活動状況を明らかにすることは重要である。そのためには、低周波地震の震源を自動で決定し、通常地震やゆっくりすべりとの発生場所の関係をさらに調査する必要がある。そこで、低周波地震を自動で検出し、低周波地震と通常地震やゆっくりすべり地震との発生場所を明らかにすることにより、沖縄地方のプレート境界の固着状況解明に繋げることを目的とする。</p>
研究の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存の浅部低周波地震の検出プログラムの環境構築</li> <li>・浅部低周波地震の検出パラメータの調整</li> <li>・決定された震源を使い、低周波地震の発生頻度、発生場所を確認する。</li> <li>・プレート境界で発生していると想定されている繰り返し相似地震やゆっくりすべりと低周波地震の発生場所を比較する。</li> <li>・低周波地震、ゆっくりすべり、繰り返し相似地震の活動状況をまとめる。</li> </ul>
令和2年度 実施計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存の浅部低周波地震の検出プログラムの環境を構築する。</li> <li>・浅部低周波地震の検出パラメータの調整を行う。</li> <li>・決定された震源を使い、低周波地震の発生頻度、発生場所を確認する。</li> <li>・プレート境界で発生していると想定されている繰り返し相似地震やゆっくりすべりと低周波地震の発生場所を比較する。</li> </ul>

研究課題	2.4 高精度な津波数値計算結果を用いた津波の地域特性の理解
研究期間	令和2年度～令和3年度（2年計画第1年度）
実施官署	仙台管区気象台、大阪管区気象台、高知地方気象台、石垣島地方気象台
担当者	（仙台管区気象台）田中 満幸 後藤 峻 藤田 正義 （大阪管区気象台）新納 孝寿 瀧本絵里香 （高知地方気象台）瀬戸 博巳 川田 敏弘 （石垣島地方気象台）石川 徹
担当研究官	[地震津波研究部] ○南 雅晃
目的	<p>津波は発生すると広い範囲に影響を及ぼす現象であり津波予報区は概ね県単位に設定されているが、沿岸地形や海底地形の効果などにより局地的に津波が高くなることもあり、そのような場所では周辺に比べて被害が特に集中するようなことがあるため、個々の狭い範囲の地点での津波の正確な予測を行うこともまた重要である。</p> <p>また、地方の気象官署においては、津波防災に関する啓発活動等を、各都道府県が実施する津波数値計算に基づくハザードマップ等を踏まえて行うことがあるが、個別特定の地点において高くなる低くなる原因などに言及するには、計算の具体的な中身まで理解するため、自らが計算の過程や詳細な結果を知っておく必要がある。</p> <p>各地方において自らの地方に特化した解析を行うことによって、これまで明らかになっていなかった各地方に特化したそれぞれの地域の津波の特性を見出すことが期待されることから、今回の地方共同研究を行いたいと考えた。</p> <p>各々の地方において観測されたり予測されたりしている周辺に比べて局地的に高い津波が、地形効果などその地域特有の現象であるのか、それともその他に原因があるのかを、様々な条件で行った津波数値計算を定量的に評価することにより、各地方における津波の地域特性を見いだす。加えて津波数値計算の精緻化による効果なども明らかにする。</p>
研究の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各地方で、周辺に比べて局地的に高い津波が、実際に観測されたかハザードマップ等で予測されている事例（以下、特徴的な津波事例）を収集する。</li> <li>・様々な初期波源を設定して津波数値計算を行い、特徴的な津波事例の再現を図る。再現の過程で必要があれば、沿岸域の海底地形の細密化等計算条件設定の改良を行う。</li> <li>・津波数値計算の結果、及び特徴的な津波事例の再現に必要な計算条件設定について以下の観点から調査する。</li> </ul> <p>特徴的な津波事例の発生原因が、</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. 現実の沿岸地形や海底地形によるものか</li> <li>b. 津波を引き起こす地震の断層パラメータに依存するものか</li> <li>c. 津波数値計算のメッシュサイズ等、数値計算上の問題によるものか</li> </ol> <p>また、初期波源設定によっては当初収集した事例にはない場所で特徴的な津波事例が発生しうる恐れのあることが見いだされる場合も考えられ、そのような事例についても抽出する。</p>
令和2年度実施計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象とする津波事例を選定し、気象研究所において、スーパーコンピュータを用いて、津波数値計算を行う。</li> <li>・計算結果を解析する（各地方に特異に高い場所などがないか、それは地形が原因か、計算解像度の問題なのか、計算条件の問題のかなど）</li> <li>・各都道府県が実施している津波ハザードマップに用いられている津波数値計算結果との比較などから精度の検証等を行う。</li> </ul>

研究課題	2.5 二重偏波レーダーを用いた火山噴煙の解析的研究
研究期間	令和2年度～令和4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）星原一航、久保武史、千馬竜太郎、五藤大仁、大賀昌一
担当研究官	[火山研究部] ○佐藤英一
目的	本研究の目的は、地方（現業）官署における二重偏波気象レーダーを用いた噴煙解析技術の普及である。また、本研究を通じて、気象レーダーを用いた火山噴煙解析分野（コミュニティ）の裾野拡大・職員のスキルアップも目指す。
研究の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象研究所 X バンド MP レーダー (MRI-XMP) や 2 次元ビデオディストロメーター (2DVD)、国土交通省 XRAIN などの二重偏波レーダーで観測したデータを用いて、桜島などの噴火事例による事例解析を行い、噴煙／火山灰雲エコーと降水エコーの違いについて、とりまとめる。</li> <li>・二重偏波気象レーダーを用いた火山噴煙の解析環境を構築し、その手順をマニュアル化する。解析には、気象研究所で開発されたソフトウェアである Draft（田中・鈴木（2000））などを用いる。</li> </ul>
令和2年度 実施計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>・先行研究（論文）を調査し、要点・着目すべきポイントをまとめる。</li> <li>・解析手法及び開発環境構築のための講習を行う。メール等によるサポートは随時行う。</li> <li>・開発環境の構築を行う。</li> <li>・解析事例の選定・解析に着手する。</li> </ul>

### Ⅲ 外部資金による研究課題

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	1.1 民間航空機による温室効果ガスの3次元長期観測とデータ提供システムの構築
研究期間	平成28年度～令和2年度（5年計画第5年度）
担当者	〔研究代表者〕町田敏暢（国立環境研究所） 〔気候・環境研究部〕○坪井一寛、石島健太郎
目的	地球表層の炭素循環を定量的に明らかにするために必要な広域を代表する上空の温室効果ガス観測データは決定的に不足しており、最終的な収支見積の精度向上を阻む原因となっている。本研究では民間航空機による温室効果ガスの定期観測プロジェクト（CONTRAIL）を実施することにより温室効果ガスの観測データを蓄積する。過去の観測データと合わせ長期間の上空の二酸化炭素（CO <sub>2</sub> ）濃度データセットを構築し解析を行うことで、地球規模のCO <sub>2</sub> 吸収・放出量の変動を解明する。さらに、観測データの迅速な解析・公表により、タイムリーかつ効果的な温室効果ガスの変動に関する情報提供にも寄与する。
目標	民間航空機にCO <sub>2</sub> 連続測定装置を搭載し、世界の広い地域で高頻度観測を実施しCO <sub>2</sub> 濃度変動を捉える。また、フラスコサンプリング装置によって大気試料を採取・分析することにより多種類の温室効果ガスを測定する。2つの装置を用いた観測と過去の観測データと合わせ、高品質な15年間の濃度時系列データセットを作成する。このデータセットから広域を代表する上空の観測データの特長を生かし、濃度変動の地域的な違いを明らかにする。また、観測データを基にインパース手法によって炭素循環モデルを最適化し、現実に近いCO <sub>2</sub> 濃度の3次元データベースを作成する。長期的な増加速度の変化、数年周期のENSOサイクルに伴う変動を解析することにより温室効果ガスの吸収・放出量の年々変動が、どのように気象・気候変化と関係しているかを解明する。さらに、迅速な観測データの公開により、衛星観測の検証や物質輸送のプロセス研究等にも貢献する。
研究の概要	本研究では2つの手法による観測を行う。1つはCO <sub>2</sub> 連続測定装置によって航空機の飛行中に連続してCO <sub>2</sub> 濃度を測定するものであり、もう1つはフラスコサンプリング装置によって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CO <sub>2</sub> を始めとする温室効果ガスの濃度やCO <sub>2</sub> の安定同位体比の観測を行うものである。得られた観測データについて、機上での測定環境、標準ガススケールの比較や気象データとの対応などの観点から品質評価を行い、高品質で代表性の高い広域のデータセットを作成する。過去10年以上の航空機観測データから主要な航空路上の温室効果ガス濃度の長期的な変化、ENSOなどと対応する数年スケールの変動を明らかにする。さらに、航空機観測データをこれまでにない頻度・領域で炭素循環モデルの入力値とすることにより、地上CO <sub>2</sub> の吸収・放出量フラックス分布とその時間的変動をより確からしい精度で導出し、変動要因についての解析を実施する。またデータ公開までの時間を短縮することにより外部の研究者と連携を強化し、衛星観測の検証や輸送モデルの高度化等の共同研究を推進する。
研究の有効性	<ul style="list-style-type: none"> <li>温室効果ガス観測におけるデータ空白域（アジア域・上空）の長期観測データが得られることにより、CO<sub>2</sub>放出源・吸収源の見積りの不確実性を大きく低減させ、地球温暖化の将来予測、緩和策策定の基礎資料となる。</li> <li>本研究で観測されるデータは、国際連合世界気象機関(WMO)が推進する「全球大気監視計画(GAW)」等の全世界が協力して行う地球環境モニタリングに対して大きな国際貢献を果し、温室効果ガスの観測分野における日本のプレゼンスをさらに高めることができる。</li> <li>現在稼働中の日本のGOSATや米国のOCO-2衛星のほか、今後打ち上げが予定されているGOSAT-2等の温室効果ガス観測衛星の検証に有効で、衛星観測による広域の濃度変動検出のための精度向上に寄与する。</li> <li>大気中で化学的に安定なCO<sub>2</sub>、成層圏/対流圏で大きく濃度が異なる一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)、発生源が人為起源に限られる六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)等の異なる化学的性質を利用して成層圏/対流圏の輸送過程、南北両半球の輸送過程やその季節性、輸送の年々の変動と長期的変化に関する進展が見込まれ、化学トレーサーを導入した新たな気象・大気科学の研究分野を発展させることができる。</li> </ul>
令和2年度実施計画	CO <sub>2</sub> 連続測定装置によって取得されたデータについて、機上の測定環境を考慮した品質評価を実施し、濃度データセットを確定させる。濃度計算・品質評価の作業処理の迅

<p>速化を進め、6 か月以内でのデータセット確定処理を行い、即時的なデータ公開に供する。国立環境研究所との標準ガスの比較実験を行い、観測スケールの安定性試験を継続して行う。また、過去 10 年間の広域観測データをもとに地域的な CO<sub>2</sub> 濃度変動の変化に関する解析を行う。</p>
---

研究課題	1.2 大気成分の長期観測による海洋貯熱量および生態系への気候変動影響のモニタリング
研究期間	令和元年度～令和5年度（5年計画第2年度）
担当者	[研究代表者] 石戸谷重之（（独）産業技術総合研究所） [気候・環境研究部] ○坪井一寛、石島健太郎
目的	本研究では、世界有数の大気中アルゴンと酸素濃度の超高精度測定技術を基盤とした大気成分の長期観測により、適切な気候変動適応策の策定のために不可欠である海洋貯熱量および生態系への気候変動影響に関する広域平均の長期変動情報を精密にモニタリングできる手法を開発し、国内で唯一バックグラウンド清浄大気変動観測が可能な人為的排出源から離れた西部北太平洋上の南鳥島と、本州沿岸域の活発な海洋生物活動のシグナルを大気から捉えるのに適した岩手県大船渡市綾里に位置する両気象庁観測所における観測に適用して、観測や解析手法等の改良を進め、当モニタリング手法を確立することを目的とする。
目標	本研究で得られたアルゴン濃度データから海洋貯熱量変動を、アルゴン濃度・酸素濃度・二酸化炭素濃度および同位体比等を組み合わせた解析から海洋生物活動による海洋の酸素吸収/放出をそれぞれ評価することで、気候変動（広域平均の海洋貯熱量変動）と、気候変動影響として考えられる成層化（表層海水の高温化に伴う鉛直方向の海水混合の抑制）に起因した海洋貧酸素化等による海洋生物活動の長期変動を明らかにする。
研究の概要	温暖化の実態を示す海洋貯熱量を大気観測に基づくトップダウン法で評価するために、貯熱量変動と1対1対応で変動する大気中アルゴン濃度を超高精度で観測する。同時に海洋貯熱量と海洋生物活動の両変動の情報を持つ大気中酸素濃度を超高精度で観測し、気候変動が海洋生態系に及ぼす影響を分離して評価する。並行して、大気観測用アルゴン・酸素標準ガスを標準機関と連携して開発し観測データの標準化を図る。バックグラウンド大気観測が可能な南鳥島と三陸沿岸の綾里において観測を実施し、従来の海洋現場観測との相互比較検証を行って、当気候変動影響モニタリング手法を確立し、気候変動予測の高精度化や効果的な適応策の策定への貢献を図る。
研究の有効性	<ul style="list-style-type: none"> <li>海洋貯熱量に関する高精度なデータに基づく変動メカニズムの理解と気候モデルの予測精度の向上。</li> <li>海洋生態系への影響評価は、国民生活、産業、陸上生態系等の様々な分野へ気候変動が及ぼす影響を予測することが可能になり、それらに対する適応策等の施策の策定や関連する対策技術の開発への貢献。</li> <li>観測分野ー計量標準分野連携による標準ガスの開発、アルゴン・酸素のSIトレーサブルな標準ガス調製法の確立とアルゴン・酸素濃度観測データの標準化、さらに同分野における我が国のリーダーシップ。</li> <li>科学的知見に基づく温室効果ガスの動態解明や温室効果ガス削減技術の検証等への活用。</li> </ul>
令和2年度実施計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>気象庁の観測所（南鳥島と綾里）にて、酸素、アルゴン、二酸化炭素同位体、ラドンの観測データを取得する。またそのための装置整備や改良を行う。</li> <li>気象研究所は、南鳥島と綾里での大気中ラドン濃度の連続観測と綾里での酸素濃度連続観測を実施し時系列データを得るとともに、気象庁定常観測データとあわせ解析を行うところを担当する。</li> <li>産総研が実施する南鳥島でのフラスコ採取の継続（酸素、アルゴン、二酸化炭素同位体）と連続観測（酸素、二酸化炭素同位体）のサポートを行う。また装置の高精度化など観測技術の向上のための試験等を共同で実施する。</li> <li>産総研が進める、綾里での大気フラスコ自動採取装置の製作や次年度以降の設置導入に向けて支援を行う。</li> </ul>

研究課題	1.3 光吸収性エアロゾルの監視と大気・雪氷系の放射収支への影響評価 －地球規模で進行する雪氷圏融解メカニズムの解明に向けて－
研究期間	平成 29 年度～令和 3 年度 (5 年計画第 4 年度)
担当者	[気象予報研究部] ○大河原望、庭野匡思、谷川朋範 [全球大気海洋研究部] 大島長、梶野瑞王、足立光司 [気候・環境研究部] 保坂征宏、(連携) 田中泰宙 [気象観測研究部] 石元裕史
目的	気候変動に対して最も脆弱な地域である雪氷圏変動に、大きな不確定要素となっている大気と積雪中の LAA (光吸収性エアロゾルならびにそれが沈着した積雪不純物) と地球温暖化に伴う積雪粒径の変化が大気-雪氷系の放射収支や融雪過程に与える影響を評価するため、主に国内の地上観測と東アジアと北極域における衛星リモートセンシングによって大気と積雪中の LAA 変動、その性状変化、積雪アルベドに大きな影響を持つ積雪粒径の変化を監視する。また、LAA の発生・輸送・沈着過程と積雪変質過程を含んだ領域モデルと地球システムモデルによって、LAA の主要な発生源である東アジアと最も影響を受けやすい北極域における LAA 分布、積雪粒径変化、大気-雪氷系の放射収支量、融雪過程に与える影響を評価する。
目標	①地上観測、②衛星リモートセンシング、③数値モデルの3つの手法によって、大気と積雪中の LAA 及び積雪粒径の監視と、それらが大気-雪氷系の放射収支や融雪過程に与える影響評価を行う。 ①主に国内の連続観測地点でそれぞれ積雪と大気中の BC、有機炭素 (OC)、鉱物性ダスト等 LAA 成分の連続測定を行い、これまでのデータと結合することで、国内の LAA の長期監視データを作成する。継続に伴う長期化に加え、多点化、観測要素の追加 (LAA 形状等)、観測装置の高精度化・多様化等により、監視をより充実させる。 ②衛星リモートセンシングによって地球温暖化と LAA の影響を広域で監視する。高精度の光散乱粒子モデルを開発し、MODIS データのある 2000 年以降の、主にグリーンランドにおける積雪中 LAA 及び、積雪粒径の時空間変化を監視する。また、日本付近では東アジア域における大気中 LAA の時空間変化を MODIS 及び気象衛星のひまわり 8 号のデータから監視する。長期化に加え、高精度化、複数の衛星の活用により、監視をより充実させる。 ③数値モデルでは東アジアと北極域における温暖化と LAA の影響を評価するため、LAA の発生・輸送・沈着過程を組み込んだ気象庁非静力学領域気象化学モデル (NHM-Chem) と LAA 過程及び積雪変質過程を組み込んだ気象研究所地球システムモデル (MRI-ESM) (Yukimoto et al., 2012) を利用し、LAA が大気及び積雪中に存在したとき、それらが大気-雪氷系の放射収支に与える定量的効果を見積もる。
研究の概要	①地上地点観測： 札幌、つくば (大気)、長岡等の連続観測地点でそれぞれ積雪と大気中の BC、有機炭素 (OC)、鉱物性ダスト等 LAA 成分の連続測定を行うことにより、過去数年分の同データに継続して国内の LAA の監視を実施する。また国内外において、一定期間集中的に積雪域で鉛直積雪サンプリングを実施することにより、冬期間積雪中に蓄積された LAA 変化を復元する (機動観測) ことで監視を行う。積雪中の LAA 形状等、これまでは観測してこなかったが気候変動への影響因子になりうるものがわかったものの監視も開始する。また、より優れた観測装置・分析装置の開発を行う。 ②衛星リモートセンシング： アルゴリズムの改善を行いつつ、それをを用いた広域・長期の監視を行う。LAA や積雪粒子の形状を反映させることで、精度向上をはかる。海水の放射スキームの作成を図り、海水域を含むより広域の監視を目指す。改良されたアルゴリズムを用いて、MODIS、ひまわり、平成 30 年度に打ち上げ予定の GCOM-C 等の衛星データから、大気と積雪中の LAA 及び積雪粒径等の監視を行う。 ③モデル： 必要なプロセスの入った領域ならびに全球モデルを、①②等で得られた観測をもとに検証しつつ改良し、それらを用いて監視すると同時に、感度実験等によるメカニズム解明・影響評価を行う。日本国内及び東アジア域では NHM-Chem を利用し、地上観測から得られた実測値で検証を行うと共に、NHM-Chem と結合した積雪変質モデル (SMAP) (Niwano et al., 2012; 2014) で融雪への影響を評価する。北極域の広域では MRI-ESM を利用し、グリーンランドでは NHM-Chem と SMAP の結合モデ

	<p>ルを用いて、LAA による大気加熱効果、日傘効果、LAA の積雪中への沈着と温暖化に伴う積雪粒径増加によるアルベド低下効果及び融雪過程をそれぞれ見積もる。</p>
<p>研究の有効性</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地点観測やリモセンにより、大気中ならびに積雪中の LAA 濃度、積雪粒径等の物理量に関する、より長期、より多点（地上観測）、より広域（リモセン、モデル）で、これまで分析されてこなかった情報（エアロゾルの粒子形状、混合状態等）も含めたデータセットができる。国内及び北極域における雪氷汚染の実態把握が進み、BC等の排出規制のための根拠となるデータの提供にもつながる。</li> <li>・衛星リモセンのアルゴリズムが、検証やアルゴリズムの改良を通じて、より高精度化される。今後の衛星による、高精度の広域監視データにつながる。</li> <li>・観測データを用いたモデルの検証、それに基づくモデルの改良を通じて、気候モデルによる雪氷圏の将来気候予測精度の向上につながる。</li> <li>・モデルによる数値実験により、特に積雪モデルの結果の解析から、アルベド低下や融雪に対する積雪中 LAA の寄与や温暖化に伴う積雪粒径増加のメカニズムが明らかになり、雪氷圏への影響を定量化することができる。</li> <li>・東アジア及び北極圏における数値計算の解析から、LAA の輸送・積雪汚染に関わる実態を解明することができる。特に、大気中 LAA による大気加熱や、LAA ・積雪粒径変化による大気・雪氷系の放射収支と融雪等に与える影響の定量的に評価できる。これは極域のアイス・アルベド・フィードバックや温暖化増幅メカニズムの解明に貢献する。また、今後監視を強化すべき地域を示すことができる。</li> </ul>
<p>令和2年度実施計画</p>	<p>①地上観測による監視 札幌、つくば（大気）、長岡等の連続観測地点でそれぞれ積雪と大気中の BC、有機炭素（OC）、鉍物性ダスト等 LAA 成分の連続測定・LAA の監視を継続する。 積雪サンプル並びに大気中の LAA の形状分析をさらに進める。積雪・海氷モデルの改良を進め、モニタリングに活用する。</p> <p>② 衛星リモートセンシングによる監視 LAA 不純物量と積雪の形状を改良したアルゴリズムを用いて、ひまわりによる長期・広域の雪氷情報の作成を開始する。</p> <p>③ 数値モデルによる影響評価 NHM-Chem-SMAP の結合システムの検証をさらに進め、予備的な影響評価を実施する。また、気象研究所地球システムモデルを用いた感度実験等により、LAA 濃度が大気・雪氷系の放射収支や融雪量等に与える影響の評価を進める。</p>

## 2 放射能調査研究費

研究課題	2.1 人工放射性核種のバックグラウンド大気監視と数値解析に関する研究 副課題1：バックグラウンド大気の監視 副課題2：移流・拡散・沈着過程の数値解析
研究期間	令和2年度（単年度）
担当者	[気象予報研究部] ○財前祐二 [全球大気海洋研究部] 眞木貴史、梶野瑞王、足立光司、関山剛
目的	<p>気象研究所では、つくば（1957年から1979年は東京・高円寺）において過去60年以上継続して、人工放射性核種の降下量を精密測定してきた。この観測は世界でも最長の定点観測である。この間、中国等の核実験、チェルノブイリ原発事故等が発生し、それらの影響を含めたバックグラウンドの人工放射性核種の長期的な変動を明らかにしてきた。人工放射性核種の長期的変動においては、既存の仮説に反する季節変動や理論予測と異なる線量の下げ止まり等の未解明部分もあり、今後も長期的な視点で監視を継続していく必要がある。</p> <p>これまでの観測及び解析から、人工放射性核種の長期的な変動に対しては、核実験や事故等による一次放出に加え、一旦地面に沈着した人工放射性核種が、風送、燃焼等によって二次的に大気中に飛散するエアロゾルとしての再飛散過程が重要であることが明らかになっている。また、ここ数年間の観測やサンプルの分析、数値シミュレーションによって、生物由来のエアロゾルによる二次飛散の影響が重要であると示唆されている。このような人工放射性核種を含むエアロゾルの移行実態を把握するためには、長期的観測に加えて、二次飛散や輸送、沈着のメカニズムを解明すること、さらにそれを再現する数値計算モデルの開発が必要である。</p> <p>本研究課題では、大気中のバックグラウンドの人工放射性核種の長期変動を監視することとともに、人工放射性核種を含むエアロゾルの移流・拡散・沈着に関する実態把握とより詳細なメカニズムの解明を目的とする。</p>
目標	放射性物質降下量の精密なモニタリングを継続し、長期的視点での変動を明らかにする。また、特別観測と新たに開発したモデルによる解析から、二次飛散による人工放射線降下量の変動メカニズムの解明を行う。
研究の概要	<p>（副課題1）降水降下塵の長期モニタリング</p> <p>つくばにおいて、大気中に放出された人工放射性核種を含むエアロゾルの降下量（湿性沈着量、乾性沈着量）の高精度のモニタリングを継続する。サンプルは、採水盤を用いて月ごとに採取し、気象研究所において、濃縮、抽出、整形等の前処理を行った後、Ge半導体検出器、アルファベータ自動計測システムを用いて、90Sr、137Cs等の放射性核種を含むエアロゾルの月ごとの降下量を測定する。</p> <p>（副課題2）再飛散・沈着過程のメカニズム解析</p> <p>つくばにおいて、ハイボリュームサンプラーを用いた高時間分解能のエアロゾルサンプル採取、降雨毎の雨水の採取等を行い、高精度に放射性核種を定量する。また、イメージングプレート、電子顕微鏡、その他の物理・化学的手法を用いて、放射性核種の存在形態の調査を行う。これらの観測データを気象研究所の充実した気象データ、各種エアロゾル測定データ、組成分析データと合わせて解析し、再飛散の実態把握とメカニズム解明を行う。</p> <p>人工放射性核種をトレーサーとし、エアロゾルの再飛散・沈着過程の詳細なメカニズムを組み込んだ領域非静力気象化学シミュレーションモデルを開発する。このモデルを使い、過去数十年間の日本列島あるいは関東平野における人工放射性核種を含むエアロゾルの降下量変動を再現計算することにより、シミュレーションの精度検証を行う。精度検証は、つくばにおける長期モニタリングのデータや榛名山での観測データを用いて実施する。</p> <p>これまでに蓄積された観測データと、本サブ課題で再現計算された過去の人工放射性核種を含むエアロゾルの変動シミュレーション結果との比較解析を行い、長期変動のメカニズム解析を行う。</p>
研究の有効性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁のエアロゾル化学輸送モデルについて、沈着過程等の進歩が期待される。</li> <li>・人工放射性核種の移流・拡散沈着についての予測は気象庁の環境緊急対応（EER）</li> </ul>

	<p>地区特別気象センター予測の基盤技術となっている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>放射線物質の大気環境における長期的な変動とその要因が明らかになり、国民の安全・安心に貢献する。</li> <li>人工放射性核種の二次放出の観測・解析から、従来不明であった植物生態からのエアロゾル放出（飛散）についての新知見が得られる可能性がある。</li> </ul>
令和2年度実施計画	<p>(副課題1) 降水降下塵の長期モニタリング</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1960年代前半の大規模大気圏核実験および福島原発事故に由来する粒子状中長半減期人工放射性核種 (<math>^{90}\text{Sr}</math>、<math>^{137}\text{Cs}</math>) の降下量を精密観測し、その変動を把握する。つくばのモニタリングを継続実施する。</li> <li>榛名山のモニタリングを9月までで終了し、観測設備・機器の撤去を行う。</li> </ul> <p>(副課題2) 再飛散・沈着過程のメカニズム解析</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>再飛散の実態把握やメカニズム解明に資する調査・研究の結果を取りまとめる。</li> </ul>