

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 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 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 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 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 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5年度）
担当者	<p>○山中吾郎 全球大気海洋研究部長</p> <p>(副課題1) [全球大気海洋研究部] ○石井正好、吉村裕正、出牛真、神代剛、吉田康平、平原翔二、高谷祐平、足立恭将、大島長、中野英之、浦川昇吾、西村明希生（併任）、大江光穂（併任） [気象予報研究部]、新藤永樹、川合秀明、長澤亮二、庭野匡思 [気候・環境研究部] 保坂征宏、水田亮、辻野博之、行本誠史</p> <p>(副課題2) [全球大気海洋研究部] ○中野英之、豊田隆寛、浦川昇吾、川上雄真、青木邦弘、藤井陽介、碓氷典久、広瀬成章、吉村裕正、高谷祐平、足立恭将、山中吾郎、住友雅司（併任）、金濱貴史（併任）、平原幹俊（併任）、山田広大（併任）、佐藤克成（併任）、坂本圭（併任） [気象予報研究部] 新藤永樹 [気候・環境研究部] 辻野博之 [応用気象研究部] 高野洋雄</p> <p>(副課題3) [全球大気海洋研究部] ○石川一郎、藤井陽介、碓氷典久、広瀬成章、中野英之、豊田隆寛、浦川昇吾、川上雄真、青木邦弘、吉村裕正、高谷祐平、山中吾郎、櫻木智明（併任）、吉田拓馬（併任）、浅井博明（併任）、杉本裕之（併任）、後藤恭敬（併任）、八木晃司（併任） [気象観測研究部] 岡本幸三、石橋俊之 [気候・環境研究部] 遠山勝也 [応用気象研究部] 高野洋雄</p> <p>(副課題4) [全球大気海洋研究部] ○吉村裕正、高谷祐平、足立恭将、平原翔二、石川一郎、藤井陽介、豊田隆寛、中野英之、浦川昇吾、吉田康平、出牛真、小森拓也（併任）、久保勇太郎（併任）、杉本裕之（併任）、吉田拓馬（併任）、高倉寿成（併任） [気象予報研究部] 新藤永樹、川合秀明 [気候・環境研究部] 保坂征宏、小林ちあき、辻野博之</p> <p>(副課題5) [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、中村貴（併任）、鎌田茜（併任）、小木昭典（併任）、 [気象観測研究部] 酒井哲、吉田智、永井智広（併任） [気候・環境研究部] 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「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) 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</p>

	<p>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) 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"> ・海洋モデルの高解像度化に対応して、物理プロセスを改良する。 ・様々な時空間スケールに対応した海洋予測技術を開発する。 ・開発した海洋モデルを用いて、気候変動に関わる海洋循環や海面水位等の変動プロセスを解明する。 ・海洋モデルの開発効率を向上させるため、海洋モデル開発基盤の整備を行う。 </p> <p>(副課題 3) <ul style="list-style-type: none"> ・平成 30 年度までに開発した全球海洋データ同化システム及び日本近海海洋データ同化システムを現業化する。 ・海況の再現性改善に向け、衛星海面水温の直接同化などを用いた新たな海洋データ同化手法を開発する。 ・開発した海洋データ同化システムを適用して大気海洋結合同化システムを改良し、改善した大気海洋結合モデル初期値を作成すると共に、結合同化の解析インパクトを明らかにする。 ・海洋観測の効率化や最適化に向け、海洋観測データのインパクト評価を行う。 </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"> ・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。 </p>

	<ul style="list-style-type: none"> ・領域化学輸送モデルを高解像度化すると共に、気象庁領域モデル（asuca）対応を行う。 ・エアロゾル、オゾン等大気微量気体をシームレスに取り扱う全球化学統合モデルを開発する。 ・ライダー・衛星・地上（分光日射）観測により、エアロゾル等の分布を監視する。 ・衛星に関しては衛星から組成別の光学的厚さ算出を目指す。 ・大気微量成分のデータ同化システムを開発・高度化して、エアロゾル・オゾンに関しては本庁での業務開始・高度化を支援する。 ・エアロゾル・オゾンに関する再解析を高度化する。 ・温室効果ガス輸送モデルや逆解析を高度化する。 ・視程・排出量逆解析に関する技術開発を進める。
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"> ・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。 ・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。 ・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。 <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"> ・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。 ・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。 ・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。 ・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。 <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"> ・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。 ・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。 <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"> ・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。 ・海洋物質循環プロセスを精緻化する。 <p>（2）次世代の海洋予測技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。 ・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。 ・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。 <p>（3）海洋変動機構の解明</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。 ・高解像度海洋モデルの国際比較実験を実施する。 <p>（4）海洋モデルの開発基盤の整備</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・大学等の連携によりモデル開発体制を強化する。 <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>

- ・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。
- (2) 新たな海洋データ同化手法の開発
- ・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)海氷初期値の改善、(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

	<p>繋げる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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、エーロゾル組成の多点・長期変動を解析してモデルとの比較検証を行う。 <p>(2) データ同化・応用技術に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・大気微量成分再解析 (エーロゾル、オゾン、温室効果ガス等) を高度化する。 ・D3 課題と連携して衛星観測データよりエー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。 ・C3 課題と連携し大気レーザ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。 ・化学輸送モデル・データ同化や AI 技術を用いた応用研究 (深層学習を用いたダウンスケージング、視程情報高度化、排出量逆推計、社会適用等) を行う。
<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5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> <ul style="list-style-type: none"> ・新地球システムモデル (MRI-ESM3) の完成に向けたモデル開発研究に取り組む。 ・MRI-ESM3 のモデル積分を行い、出力を解析して、従来モデル (MRI-ESM2) と同程度に動作することを確認する。 ・開発成果を論文や報告書にまとめる。 ・各コンポーネントの新しい力学フレームや物理スキームの開発を進める。 <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> <ul style="list-style-type: none"> ・研究成果の取り纏めを行う。 <p>(1) 海洋モデルのプロセス改良</p> <ul style="list-style-type: none"> ・物理プロセス (特に海水) の精緻化と改良

- (2) 次世代の海洋予測技術の開発
- ・気象庁業務に活用される海洋モデル、高分解能大気海洋結合モデル、大気波浪結合モデルの開発
- (3) 海洋変動機構の解明
- ・観測データとの比較による再現性検証・メカニズム解明
- (4) 海洋モデルの開発基盤の整備
- ・海洋モデルの高速化・堅牢化、部外との連携強化、MRI.COMv5 開発、マニュアル作成
- (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) 既存システムの検証と改良
- ・海況監視・予測システムにおける海氷解析の更なる改良、次期季節予測システム (CPS4) に向けた全球海洋同化システムの改良
- (2) 新たな海洋データ同化手法の開発
- ・将来の海況システム・季節予測システムの改善に繋がる SST 直接同化など新しいデータ同化手法の開発、成果のとりまとめ
- (3) 大気海洋結合同化システムの改良
- ・将来の季節予測の初期値化や気候データ同化の改善の検討に資する、新しい結合同化システム(MRI-CDA2)の再解析によるインパクト評価と成果のとりまとめ
- (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
- ・黒潮大蛇行や急潮等現象のメカニズム解明、観測システム実験 (OSE) による海洋観測システムのインパクト評価と成果のとりまとめ。「国連海洋科学の 10 年」プロジェクト SynObs の推進。
- (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) 季節予測システムの精度評価と予測可能性研究
- ・季節予測システム CPS3 (R3 年度に運用開始) の精度評価と予測可能性研究
- (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
- ・海洋同化改良(高解像度化、SST 直接同化など)の予測へのインパクトの調査
 - ・地球システム要素(オゾン等)を含むモデルによる季節予測のための開発・整備
 - ・結合予測のアンサンブル手法や結合モデルの季節内予測への適用に関する研究のとりまとめ
- (3) 海洋観測システムの季節予測への影響評価に関する研究
- ・観測データの予測感度実験の解析・評価と、結果のとりまとめ
- (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
- ・研究成果の取り纏めを行う
- (1) 化学輸送モデルに関する研究
- ・全球化学輸送モデルの検証及び改良を継続するとともに、M1 課題と連携して次期地球システムモデルを構築する。
 - ・M1 課題と協力してオゾン簡易モデルの開発を継続する。
 - ・領域化学輸送モデルの検証及び改良 (特に気象とのフィードバック過程など) を継続する。
 - ・大気化学・エアロゾル統合モデルの開発に着手する。
- (2) データ同化・応用技術に関する研究
- ・外部機関と協力してエアロゾルデータ同化システムの改良を行う。
 - ・オゾン代理モデルの開発に着手する。
 - ・本庁二酸化炭素逆解析システムの運用支援を行う。
- (3) 大気微量成分の鉛直分布観測
- ・エアロゾルライダーや対流圏オゾンライダー等による観測を継続する。
 - ・ライダー観測データを用いたエアロゾル、オゾン等の化学輸送モデルの検証を実施する。