

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

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

球温暖化や十年規模気候変動と個別の異常気象の因果関係の評価を行う。

② 将来の長期再解析に向けた検討

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

③ 季節～十年規模変動の予測可能性の解明・評価

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

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

① 地球システムモデルを用いた研究

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

② 全球高解像度モデルを用いた研究

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

③ 信頼度の高い地球温暖化予測情報の作成

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

(副課題3) 大気中の物質循環及び炭素収支の理解・評価

① 温室効果ガスの多角的観測・観測技術の向上

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

② 大気中温室効果ガスの実態把握・変動要因解析

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

③ 炭素等物質循環の実態把握・評価

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

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

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

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

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

(副課題 3) 大気中の物質循環及び炭素収支の理解・評価

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

境を整える。

(副課題 4) 海洋の炭素・生物地球化学循環の実態評価・変化予測

① 観測データに基づく海洋表層生物地球化学環境の季節変動の実態把握

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

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

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