

## プロフィールシート（事前評価）

研究課題名： 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： 2024（令和6）～2028（令和10）年度（5年間）

研究代表者： 須田一人（気候・環境研究部長）

研究担当者： （副課題代表）直江寛明、保坂征宏、坪井一寛、辻野博之

### 1. 研究の背景・意義

（気象業務への貢献や社会貢献）

- ・ 「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」にて重点的な取組事項として提言された、「数週間先までの顕著現象の見通し予測、数ヶ月先の冷夏・暖冬等の予測」、「地球温暖化の将来予測」及び「地球温暖化対策を支援する数十年～100年後の情報の高度化」に貢献する。
- ・ 気象庁中長期計画にて示された「気候変動を踏まえた気象リスク対策に資するため、顕著現象に焦点を当てた数日から半年先までの予報や将来予測の高度化」、「地域における気候変動適応策の策定を支援するため、地球温暖化予測情報の利活用促進に関する取組」、「次期長期再解析に向けた検討・準備」、「CO<sub>2</sub>解析手法の改良」、「文科省気候変動予測先端研究プログラムの実施」、「IPCC第7次評価報告書への貢献を見据えた解析」、「関係省庁、コンサル等情報利用者に対し、防災・社会インフラ整備に資する解説・支援」、「観測データと数値モデルから解析した二酸化炭素分布をもとに大気全体の温室効果ガスの挙動を明らかにし、地球温暖化の将来予測の精度向上」、「日本近海の海洋の酸性化・水温上昇等の将来予測情報の開発（情報提供開始）」、「日本近海の海洋酸素濃度（貧酸素化）に関する監視情報の開発（情報提供開始）」、「日本近海を海域別に、海洋酸性化と水温を合体させて、過去から将来までシームレスに情報を提供（水産生態系へ適応活用の利便性を図る）」に貢献する。
- ・ 国連気候変動枠組条約（UNFCCC）及びパリ協定の下で、締約国が実施する緩和・適応策、及びグローバルストックテイクをはじめとする国際的な取組を支援。関連して、世界気象機関（WMO）による気候ステートメント及び温室効果ガス年報の作成や全球温室効果ガス監視（Global Greenhouse Gas Watch；GGGW）等に貢献する。
- ・ 上記を科学面から支援する国際枠組みとしての全球気候観測システム（GCOS）、世界気候研究計画（WCRP）及び気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の諸

活動、特に、GCOS 実施計画（2022 年）、WCRP の Lighthouse Activities 及び IPCC 第 7 次評価報告書に貢献する。また、気候モデル相互比較研究プロジェクト（CMIP）、グローバルカーボンプロジェクト（GCP）などにも参画する。

- ・我が国においては、気候変動適応法、2050 年二酸化炭素排出実質ゼロ表明や、SDGs への貢献に基づき、国、地方公共団体、事業者等が行う気候変動への適応や脱炭素化に向けた取組を支援する。
- ・地球観測推進部会における「我が国における地球観測の実施計画」に基づく地球観測・予測データの活用を含む取組や、文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」を含む気候変動予測研究など、機関連携的に取り組まれている活動の一翼を担う。
- ・「海洋基本法」に基づいて策定される「第 4 期海洋基本計画」（案）の「第 2 部 海洋に関する施策に関し、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策」のうち、「2. 海洋状況把握（MDA）の能力強化」及び「6. 海洋調査及び海洋科学技術に関する研究開発の推進等」に向けた取組の一翼を担う。

（上記のために本研究が必要な学術的背景）

- ・ GCOS 実施計画（2022 年）においては、ユーザーからのニーズが高まっている分野として、気候の評価、パリ協定への支援、気候サービス・適応、地球に係る循環（エネルギー収支、水循環、炭素循環）が掲げられており、それに対応するデータのギャップを埋め、品質や利用性を向上させる等の必要性を指摘、科学的な発展への基盤を提供する研究・学術分野の貢献が求められている。
- ・ WCRP においては、当面の新たな重点事項である 5 つの Lighthouse Activities のうち「地球システム変化の解釈及び予測」が本研究計画に特に関連しており、気候モデルと過去の観測データの再解析に関する評価と誤差低減、気候システムの数年～数十年変動の要因分析や近未来を含む予測などが課題とされている。
- ・ また、WMO が実現しようとしている「全球温室効果ガス監視（Global Greenhouse Gas Watch ; GGGW）」の枠組みにおいては、これまで研究・学術分野も含め各国等で構築してきた温室効果ガス観測や炭素・物質循環に関するモデル解析に関するインフラの活用を目指している。大気・海洋を含めた当該コミュニティには、この枠組みに関連するプロダクトや技術の発展に向けたデータや科学的知見の提供が求められる。
- ・ 平成 29 年の国連総会での宣言を経て、令和 3 年から「持続可能な開発のための国連海洋科学の 10 年」が始まっており、令和 4 年の UNFCCC 第 27 回締約国会議（COP27）においては、海洋酸性化と海洋貧酸素化への科学的理解の重要性が議論された。
- ・ 以上の科学的なニーズに対応するため、本課題に関連しては、一方で大気・海洋の観測に関するデータ・プロダクトの取得、もう一方で過去から将来にわたる地球システムの解析を通じた評価・予測のそれぞれに係る学術的な進展に資する研究が求められており、前者においては、小型廉価や自動による観測・分析技術や、次世代長期再解析に向けた次世代基盤技術に関する研究が進められ

ている。後者においては、大気と海洋等の結合作用を考慮した精緻な高解像度モデルや炭素・物質循環も含めた地球システムモデルを活用し、現在の気候・異常気象・海洋の三重脅威（温暖化・酸性化・貧酸素化）の評価、近未来の気候予測、温暖化した大気・海洋の極端現象予測等が進められている。

## 2. 研究の目的

(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、並びに季節～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。

## 3. 研究の目標

(全体)

- ・ 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。

(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

- ・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。

(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

- ・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。

(副課題 3) 大気中の物質循環及び炭素収支の理解・評価

- ・主要な温室効果ガス(CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O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。

(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

- ・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。

#### 4. 研究体制

研究代表者：須田一人

担当研究者：

(副課題1) サブ代表者：直江寛明 担当研究者：15名程度

(副課題2) サブ代表者：保坂征宏 担当研究者：25名程度

(副課題3) サブ代表者：坪井一寛 担当研究者：5名程度

(副課題4) サブ代表者：辻野博之 担当研究者：9名程度

研究協力者：併任者として気象庁情報基盤部（数値予報課）、大気海洋部（気候情報課、環境・海洋気象課など）、気象大学から15名程度、客員研究員として東京大学大気海洋研究所、国立環境研究所、気象業務支援センター等から10名程度の参加を想定。

#### 5. 研究計画・方法

(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

##### ① 異常気象の分析

- ・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、ウォーカー循環、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 気候メカニズムの解明

- ・ 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ならびに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（ $^{222}\text{Rn}$ ）や炭素収支に関わる酸素（ $\text{O}_2/\text{N}_2$ ）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。CO<sub>2</sub>だけでなく CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 等も対象に

全球的な振る舞いを再現し、炭素や窒素等物質の輸送や循環の実態を解明し、陸域・海洋における収支解析・発生吸収源を評価するとともに、不確かさの軽減など解析システムの高度化を目指す。

#### (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
  - ・ 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。
- 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
  - ・ 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。

## 6. 研究年次計画 (研究フロー図を添付)

中間評価時の到達目標

### (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

- ・ 対流圏成層圏結合や大気海洋相互作用と異常気象との因果関係やそれらのメカニズム解明を行う。
- ・ インドー太平洋域の積雲対流活動の季節内～十年規模変動が日本周辺の大気循環場に及ぼす遠隔影響のメカニズム解明と予測可能性の評価を行う。
- ・ 気候値や長期変化傾向に加え、ハドレー循環や平均子午面循環など、力学的な循環場に関する JRA-3Q の品質評価を行う。

- ・高解像度化による大気海洋相互作用の効果が季節予測精度に与える影響の評価を行う。

(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

- ・主に CMIP5/6 のマルチモデルアンサンブルに加え、MRI-ESM2 や MRI-ESM3 のプロトタイプ等のさまざまなデータを用いて、気候変動メカニズム解明、要因分析を進める。
- ・全球高解像度予測システムについて、過去の再現性を評価し、将来予測データの初期解析を行う。
- ・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た情報を作成する。特に「日本の気候変動 2025」に貢献する。

(副課題 3) 大気中の物質循環及び炭素収支の理解・評価

- ・主要な温室効果ガスの観測を行う気象庁観測システムが令和 5 年度末に更新される。長期的な変動要因解析等に用いるにあたり新旧装置のデータの連続性などの評価を新システム導入時にしっかり行う。
- ・多様なプラットフォームでの観測展開が期待される携行型分析計の評価を行い、実用化に向けて試験
- ・物質循環や収支の理解を推進するため、開発中の新しいモデル MRI-ESM3 にて、温室効果ガスを扱えるよう機能追加を行い研究環境を整備する。

(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

- ・船舶や自動観測機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により、炭素循環の実態解明に貢献するとともに、相互比較を通じて海洋モデルの生物地球化学過程改善への指針を得る。

7. 研究の有効性（気象業務への貢献、学術的貢献、社会的貢献など）

- ・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。

※ 添付資料

課題説明図及び研究フロー図等