

環境エネルギー科学技術分野に関する 研究開発課題の中間評価結果

令和 7 年 1 月

科学技術・学術審議会

研究計画・評価分科会

科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 委員等名簿

相澤彰子	国立情報学研究所 副所長・教授
○五十嵐仁一	ENEOS 総研株式会社前代表取締役社長
菅野了次	東京科学大学総合研究院全固体電池研究センター センター長・特命教授
栗原美津枝	株式会社価値総合研究所代表取締役会長
田中明子	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門 マグマ活動研究グループ キャリアリサーチャー
原田尚美※	東京大学大気海洋研究所教授、国立研究開発法人海洋研究開発機構地球 環境部門招聘上席研究員
◎観山正見	岐阜聖徳学園大学・同短期大学部・学長
明和政子	京都大学大学院教育学研究科教授
村岡裕由※	東海国立大学機構岐阜大学 高等研究院環境社会共生体研究センター 教授・センター長
村山裕三	同志社大学名誉教授
出光一哉	東北大学特任教授
上田良夫	追手門学院大学教授
大森賢治	大学共同利用機関法人自然科学研究機構分子科学研究所教授・研究主幹
上村靖司	長岡技術科学大学工学研究科教授
佐々木久美子	株式会社グルーヴノーツ代表取締役会長
土屋武司	東京大学大学院工学系研究科教授
長谷山美紀※	北海道大学副学長、大学院情報科学研究科教授
原澤英夫	元国立研究開発法人国立環境研究所理事
宮園浩平	国立研究開発法人理化学研究所理事／東京大学大学院医学系研究科卓越 教授

◎：分科会長、○分科会長代理

※本評価には参加していない

環境エネルギー科学技術委員会委員

	伊香賀 俊治	慶應義塾大学 名誉教授 一般財団法人 住宅・建築 SDGs 推進センター 理事長
※	石川 洋一	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 地球情報科学技術センター長（上席研究員）
	大久保 規子	大阪大学大学院 法学研究科 教授
	堅達 京子	株式会社NHKエンタープライズ エグゼクティブ・プロデューサー
	佐々木 一成	九州大学 副学長・主幹教授 水素エネルギー国際研究センター長 次世代燃料電池産学連携研究センター長
	佐藤 縁	産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 省エネルギー研究部門 副研究部門長
○	関根 泰	早稲田大学先進理工学研究科 教授
	竹ヶ原 啓介	政策研究大学院大学 教授
	田中 謙司	東京大学大学院工学系研究科 レジリエンス工学研究センター/技術経営戦略学専攻 教授
※	中北 英一	京都大学 副理事 京都大学 防災研究所 気候変動適応研究センター センター長
◎	原澤 英夫	元国立環境研究所 理事
	藤森 俊郎	株式会社 IHI 資源・エネルギー・環境事業領域 技監
○	本郷 尚	株式会社三井物産戦略研究所 国際情報部 シニア研究フェロー
	本藤 祐樹	横浜国立大学大学院 環境情報研究院 教授

◎：主査 ○：主査代理

※：利害関係者のため、この研究開発課題の評価に参加しない。

気候変動予測先端研究プログラムの概要

1. 課題実施期間及び評価時期

令和4年度～令和8年度

中間評価 令和6年度

事後評価 令和9年度を予定

2. 研究開発目的・概要

これまでの成果を発展させ、防災対策等の適応策や脱炭素対策等の様々な気候変動対策において、過去データをもとにした対策から、科学的な将来予測データも活用した対策へのパラダイムシフト（気候変動対策のデジタルトランスフォーメーション（DX））を加速するため、気候予測シミュレーション技術の高度化等による将来予測の不確実性の低減及び気候変動メカニズムの解明に関する研究開発並びに気候予測データの高精度化等からその利活用までを想定した研究開発を一体的に推進する。

3. 研究開発の必要性等

本プログラムは、気候予測シミュレーション技術の高度化等による将来予測の不確実性の低減や気候変動メカニズムの解明に関する研究開発、及び気候予測データの高精度化等からその利活用までを想定した研究開発を一体的に推進するものであり、気候変動対策における気候予測データの活用、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の報告書の作成や民間企業の経済活動等への科学的根拠の提供など科学的・技術的意義、社会的・経済的意義の観点から成果が期待できるため、研究開発の必要性がある。

また、これまでの研究プログラムの成果内容を発展させ、ニーズ等を踏まえた気候変動対策に必要な科学的根拠の創出とその利活用の加速に対応するための研究開発を強化するものであり、環境省が公表する気候変動影響評価報告書や IPCC の報告書への活用など、気候変動適応・緩和に関わる政策・施策の企画立案・実施等に必要となる科学的知見を提供することから、有効性が高いプログラムである。

さらに、本プログラムは、四つのテーマを設定し、全体を統括するプログラム・ディレクター、プログラム・オフィサーの監督の下、研究力を有する研究機関が参画するとともに、各領域課題の研究者が双方向にコミュニケーションをとることにより、連携して相互に成果を活用しながら、ニーズ等を踏まえた気候変動対策に必要な科学的知見の創出からその利活用までを想定した気候変動先端研究を一体的に進めているという点で、効率的な研究推進体制を構築している。

4. 予算（執行額）の変遷

年度	令和4（初年度）	令和5年度	令和6年度	翌年度以降	総額
予算額	550 百万	548 百万	548 百万	1,095 百万 （見込額）	2,741 百万 （見込額）
執行額	550 百万	548 百万	548 百万	—	—

5. 課題実施機関・体制

プログラム・ディレクター	国立環境研究所	理事長	木本 昌秀
プログラム・オフィサー	東北大学	名誉教授	岩崎 俊樹
プログラム・オフィサー	京都大学防災研究所	教授	中北 英一

【領域課題1：気候変動予測と気候予測シミュレーション技術の高度化（全球気候モデル）】

領域代表者	東京大学大気海洋研究所	教授	渡部 雅浩
代表研究機関	東京大学		
参画機関	海洋研究開発機構、気象業務支援センター、国立環境研究所		

【領域課題2：カーボンバジェット評価に向けた気候予測シミュレーション技術の研究開発（物質循環モデル）】

領域代表者	海洋研究開発機構 地球環境研究部門		
	環境変動予測研究センター	センター長	河宮 未知生
代表研究機関	海洋研究開発機構		
参画機関	国立環境研究所、電力中央研究所		

【領域課題3：日本域における気候変動予測の高度化】

領域代表者	気象業務支援センター	研究推進部	
	第一研究推進室	室長	辻野 博之
代表研究機関	気象業務支援センター		
参画機関	北海道大学、東北大学、海洋研究開発機構、名古屋大学		

【領域課題4：ハザード統合予測モデルの開発】

領域代表者	京都大学防災研究所	教授	森 信人
代表研究機関	京都大学		
参画機関	北海道大学、東京大学、農業・食品産業技術総合研究機構、土木研究所		

6. その他

特になし。

中間評価票

(令和7年1月現在)

1. 課題名 気候変動予測先端研究プログラム

2. 関係する分野別研究開発プラン名と上位施策との関係

プラン名	環境エネルギー科学技術分野研究開発プラン
プランを推進するにあたっての大目標	「環境・エネルギーに関する課題への対応」(施策目標9-2) 概要：気候変動への対応やカーボンニュートラルの実現、それに伴う社会変革(GX)の推進等の地球規模課題は、人類の生存や社会生活と密接に関係している。これらの諸問題に科学的知見をもって対応するため、環境エネルギー分野の研究開発成果を生み出す必要がある。
プログラム名	環境エネルギー科学技術分野研究開発プログラム(気候変動研究) 概要：気候変動に係る政策や具体的な対策の立案実施に資するよう、その根拠となる科学的知見を生み出すため、気候変動メカニズムの解明や社会のニーズを踏まえた高精度予測データの創出を推進するとともに、国、自治体、企業等の気候変動対策を中心とした意思決定への貢献につながる地球環境データ及び解析システムを利活用した研究開発を推進する。
上位施策	革新的環境イノベーション戦略(令和2年1月21日統合イノベーション戦略推進会議決定) 第6期科学技術・イノベーション基本計画(令和3年3月26日閣議決定) 地球温暖化対策計画(令和3年10月22日閣議決定) 気候変動適応計画(令和3年10月22日閣議決定) パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略(令和3年10月22日閣議決定) 統合イノベーション戦略2024(令和6年6月4日閣議決定)

プログラム全体に関連する アウトプット指標	過去3年程度の状況		
	令和3年度	令和4年度	令和5年度
累計論文数	-	192	389
国際共同研究等の海外連携実績	-	98	94

プログラム全体に関連する アウトカム指標	過去 3 年程度の状況		
	令和 3 年度	令和 4 年度	令和 5 年度
国、地方自治体、国際機関、民間企業等の気候変動対策検討への活用実績※	-	28	71

※本プログラムの成果は、無償で公開、提供しており、全ての活用事例を網羅することは困難であるため、把握している事例のみを計上。

3. 評価結果

(1) 課題の進捗状況

本プログラムは、地球シミュレータ等のスーパーコンピュータを活用し、これまで文部科学省が推進してきた気候変動研究をさらに発展させ、気候モデルの高度化等による将来予測の不確実性の低減や、気候変動メカニズムの解明に関する研究開発、気候予測データの高精度化等からその利活用までを想定した研究開発等を一体的に推進することにより、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）¹の評価報告書の基盤となる結合モデル相互比較プロジェクト（CMIP）²への貢献や、国内外の気候変動対策に活用される科学的根拠を創出・提供することを目的としている。

このため、以下の四つの領域課題を設定して本プログラムを実施している。

- ・領域課題 1：気候変動予測と気候予測シミュレーション技術の高度化（全球モデル）
- ・領域課題 2：カーボンバジェット評価に向けた気候予測シミュレーション技術の研究開発（物質循環モデル）
- ・領域課題 3：日本域における気候変動予測の高度化
- ・領域課題 4：ハザード統合予測モデルの開発

各領域課題の進捗状況については以下のとおり。

【領域課題 1：気候変動予測と気候予測シミュレーション技術の高度化（全球モデル）】

代表研究機関である東京大学と、研究に参画する海洋研究開発機構、国立環境研究所、気象業務支援センターの 4 機関が中心となり、全国の大学・研究機関の研究者と協力し研究開発を進めている。また、「エビデンス（科学的根拠）に基づく地球システム変化の理解と予測」を共通テーマに掲げ、二つのサブ課題「気候シミュレーション技術の高度化研究」及び「地球システム変動の要因分析と予測」の下、相互に連携し研究開発を進めている。両サブ課題の主な成果は下記のとおりであり、計画どおりに進捗していると評価できる。

¹ 気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC）:

人為起源による気候変動、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988 年に世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）により設立された組織。IPCC が作成する評価報告書は、国際連合気候変動枠組条約（UNFCCC）をはじめとする、気候変動に関する国際的な取組に科学的根拠を与えるものとして重要な役割を果たしている。現在、第 7 次評価報告書（the Seventh Assessment Report: AR7）の作成プロセスが進行中。

² 結合モデル相互比較プロジェクト（Coupled Model Intercomparison Project: CMIP）:

世界各国・各機関の多数の気候モデルを相互比較することにより、地球の気候システムの科学的理解を深めるとともに、気候モデルの高精度化を効率的に進める国際的な研究プロジェクト。CMIP のシミュレーションデータは IPCC の評価報告書に活用される。

・サブ課題 i : 気候シミュレーション技術の高度化研究

気候予測におけるフラッグシップモデルとして期待される全球気候モデル (MIROC³) の開発と並行し、これまでに開発した MIROC6 等のモデル群を活用した、観測データをモデルに同化し過去を再現あるいは近未来の地球システム変動を予測する気候・炭素循環予測システムを構築した。当該予測システムを用いた 20 世紀以降の全球二酸化炭素収支の再解析データが、世界の二酸化炭素収支の最新の評価結果をまとめた「Global Carbon Budget 2023⁴」に採用された。また、数年先までの準リアルタイム気候予測や水循環シミュレーションを実施し、世界気象機関 (WMO) による水循環に関する報告書の作成に貢献した。モデル開発では、人工衛星による観測データを活用した大気物理過程の高度化により、降水粒子の全球エネルギー収支への影響を包括的に定量化し、気候予測における誤差の大幅な軽減を実現した。さらに、AI (人工知能) を活用し、全球海洋モデルの出力から超高分解能の日本周辺海洋変動データを生成する手法や、陸域の極端降雨の将来推計を補正・詳細化する手法を開発した。

・サブ課題 ii : 地球システム変動の要因分析と予測

将来気候予測の不確実性低減、過去の気候変動の要因分析、アクションナブル・イベント・アトリビューション (EA)⁵ の実現に向けた課題間の連携により研究を推進し、多くの科学的成果を得た。また、IPCC 第 6 次評価報告書 (AR6) サイクルの報告書において高頻度で使用される中位排出シナリオ (SSP3-7.0)⁶ では、エアロゾル排出が極端に多いため降水量変化などに特殊性が見られることを明らかにした。さらに、気候変動要因分析のために MIROC6 で世界最大規模のアンサンブル実験を実施し、データセットを公開した。要因分析の一環として、熱帯太平洋の海面水温変化パターンとウォーカー循環⁷ 変化、中緯度大気変動における大気海洋相互作用の役割及びその長期変化等についての研究結果を論文として公表した。アクションナブル EA の実現に向けて、d4PDF⁸ の高解像度化等により、近年の熱波について都道府県レベルでの EA を実現するとともに、EA 迅速化のための新しい手法を開発した。令和 4 年以降、毎年の猛暑や大雨事例に EA を適用し、報道発表やメディア出演、一般講演等を通じて研究成果を広く情報提供した。また、サブ課題 i との連携により、MIROC6 の初期値化予測システムを応用して、大気海洋結合効果⁹ を考慮した EA システムを開発した。

³ Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC) : 東京大学、海洋研究開発機構、国立環境研究所の共同により開発している気候モデルのこと。

⁴ Global Carbon Budget (GCB) : Future Earth の取組の一つであり、毎年更新される。炭素循環に関心を持つ研究者が全球炭素収支を議論する際に活用される。

⁵ イベント・アトリビューション (EA) : 気候モデルを用いて、温暖化した気候状態と温暖化しなかった気候状態のそれぞれにおいて、計算結果を創出し比較することにより、極端な気象現象の発生活率及び強さに対する人為起源の地球温暖化の影響を評価する研究手法のこと。

⁶ 共通社会経済経路 (Shared Socio-economic Pathways: SSP) : 将来の気候変動を予測するために使用されるシナリオの一つ。SSP は、社会経済的な発展の異なるシナリオが気候変動に与える影響を評価する。具体的には、人口増加、経済成長、技術進歩、都市化などの要因を考慮し、五つの異なるシナリオから構成される。

⁷ ウォーカー循環 : 太平洋赤道域の大気が東風によって西へ移動し、西太平洋で上昇して東太平洋で下降する東西方向の循環のこと。

⁸ d4PDF (database for Policy Decision making for Future Climate change) : 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベースのこと。

⁹ 大気海洋結合効果 : 大気の風や温度が海洋の表面温度や流れに影響を与え、逆に海洋の温度や流れが大気の循環や気候に影響を与える相互作用のこと。

【領域課題2：カーボンバジェット評価に向けた気候予測シミュレーション技術の研究開発（物質循環モデル）】

代表研究機関である海洋研究開発機構と、研究に参画する電力中央研究所及び国立環境研究所の3機関が中心となり、全国の大学・研究機関研究者と協力し研究開発を進めている。本領域課題では、地球規模の気候の決定要因となる物質循環、生態系動態、社会経済動態に関する要素モデルを含む地球システムモデル（ESM）の開発を通じて、パリ協定¹⁰で定められた温暖化緩和目標達成に必要な温室効果期待排出の削減量評価や、ティッピング現象¹¹の可能性評価など、気候変動緩和策の立案に資する成果の創出を進めている。また、本領域課題は、全領域課題を通じた連携促進に関する活動や、技術的、事務的支援を実施している。各サブ課題の主な成果は下記のとおりであり、計画どおりに進捗していると評価できる。

・サブ課題 i：階層的アプローチによる先端的地球システムモデリング

永久凍土融解に関する新たな物質過程の導入、森林火災要素モデルの開発と ESM への試験実装、気候-メタン（CH₄）循環相互作用の大気科学モデルへの実装、次世代型の海洋生態系物質循環モデルの海洋大循環モデルへの結合試験等を実施した。また、ESM の振舞を簡易気候モデル（エミュレータ）に反映するため、包括的な排出パルス応答実験¹²を用いる手順を確立した。さらに、地球温暖化の程度に基づいて、気候変動リスク情報を推定する手法を開発し、令和6年度中に既存のシナリオデータへの適用をするための準備を進めた。

・サブ課題 ii：包括的な地球気候システム研究のための基盤構築

CMIP7¹³に向けた地球システムモデルの最新版について、サブ課題 i において開発中の永久凍土融解に関する新たな物質過程の統合を含め、ソースコードレベルでの構築を進めている。また、南極大陸やグリーンランドの氷床・棚氷モデルの構築とこれらと気候モデルとの結合作業も順調に進捗するとともに、氷床・棚氷融解のメカニズム研究や温暖化応答などのティッピング現象に関係し得る研究成果も継続的に得られている。さらに、全球雲解像度モデル（NICAM）¹⁴と陸域生態系モデル・大気物質循環モデルとの結合作業や試行実験も概ね計画どおり進めている。

・サブ課題 iii：地球-人間システムの相互作用及び将来シナリオ分析

労働生産性や土地利用変化、エネルギー需要変化を、気候変動に影響を与え得る人間活動の要因として着目し、農業モデル及び統合評価モデル¹⁵と ESM との結合モデルの開発を実施した。また、モデル開発と並行して、バイオ燃料と植林が炭素循環に及ぼす影響に関する研究成果を論文として出版した。

・サブ課題 iv：領域課題間連携のための技術的、事務的支援

技術的支援として、課題間連携用の共有ファイルサーバシステムを継続的に運用し、年次計画に従ってストレージを着実に増強した。また、CMIP7 データの配信システム構築に関する国際会議に参加し、最新情報を全領域課題に共有した。事務的支援として、本プログラム

¹⁰ パリ協定：国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議（COP21）において採択された気候変動問題に関する国際的な枠組み。

¹¹ ティッピング現象：臨界値を超えた昇温が引き起こす気候の不可逆な急変現象のこと。

¹² 排出パルス応答実験：特定の物質を短時間にわたって排出し、その後の応答を観察することで、システムの動態や特性を解析する手法のこと。

¹³ CMIP7：結合モデル相互比較プロジェクトの第7フェーズのこと。IPCC AR7 に向けたデータ提供が行われる。

¹⁴ NICAM（Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model）：非静力学正 20 面体格子大気モデルのこと。

¹⁵ 統合評価モデル：二酸化炭素排出削減シナリオの作成に用いられる社会経済モデルのこと。

のウェブサイトを開設・運用するとともに、成果報告会や一般公開シンポジウム等の事務を担当し、円滑な事業実施に貢献した。

【領域課題3：日本域における気候変動予測の高度化】

代表研究機関である気象業務支援センターと、研究に参画する北海道大学、東北大学、海洋研究開発機構、東海国立大学機構名古屋大学の5機関の協力により、日本域の気候予測システム開発とメカニズム解明、地域・流域の気候変動適応策の推進に向けた気候予測情報の創出・極端現象メカニズム解明、海外の脆弱地域における高精度気候予測データセットの創出、及び気候予測データセットの提供システムの構築等を進めている。各サブ課題の主な成果は下記のとおりであり、計画どおりに進捗していると評価できる。

・サブ課題 i：日本域気候変動の予測システム開発とメカニズム解明

新たな日本域の気候予測データの作成に向けて、適用する気候変化シナリオや実験の重点化を行い、全球気候及び日本域の力学的ダウンスケーリング用領域大気-陸面、海洋各予測システムの調整を行った。また、過去再現性を把握するための大気再解析データで駆動する領域大気-陸面力学的ダウンスケーリングや日本近海海洋再解析実験を行った。さらに、新たな気候予測データの検証・分析に着手し、初期結果を得た。加えて、次期予測システムの基礎となる、「気象研究所地球システムモデル」の最新版を地球シミュレータに移植し、計算効率の最適化を進めた。

・サブ課題 ii：地域・流域の適応策推進に向けた気候変動予測情報の創出・極端現象メカニズムの解明

日本全国を網羅する領域気候モデルを用いて、三つの気候条件（過去、2℃上昇、4℃上昇）下において、720年分のデータを作成し、既存の気候予測データセット（d4PDF）の空間解像度を20kmから5kmに向上させた改良版d4PDFを作成し、データ統合・解析システム（DIAS）¹⁶を通じて公開した。また、台風に起因する最大クラス豪雨について温暖化の影響の解明を進めた。さらに、時間連続実験と温暖化レベル設定実験の長所を最大限に活用可能な数理手法の開発を進め、極端現象の生起確率変化への適用を開始した。加えて、EA手法を用いて、近年の日本域における冬季の大雪や夏季の豪雨等の顕著な気象現象に対して、温暖化の影響を量的・確率的の両面から評価し、報道発表を行った。最大規模の降雨をもたらす台風の経路パターンの同定や極端降雪をもたらす気圧配置パターンの変化、広域的に大雨をもたらす大気循環の将来変化についての分析や、改良版d4PDFと従来の実験結果において降雪日数の比較を行うなど、順調にデータ分析を進めた。

・サブ課題 iii：海外の脆弱地域における高精度気候予測データセットの創出

地域気候モデルによる力学的ダウンスケーリング実験の対象を中央アジア・南アジア地域に拡大し気候予測データセットを作成することを目標に、5カ国（キルギス、パキスタン、ブータン、ネパール、ベトナム）を対象としたデータセットを作成し、それらを使用した気候変化の解析を実施した。

・研究成果の利活用促進

令和4年12月、DIASを通じて気候予測データセット2022の提供を開始した。また、データセット利用者、行政担当者等との意見交換を実施し、気候予測データ利活用コミュニティの醸成及び予測情報への理解を促進するとともに、提供システムの開発や修正を行った。さ

¹⁶ DIAS (Data Integration and Analysis System)：データ統合・解析システムのこと。

らに、領域課題4と連携した専門家向けのワークショップを通して、学术界から実業界への専門知識の普及を図った。

【領域課題4：ハザード統合予測モデルの開発】

代表研究機関である京都大学と、研究に参画する北海道大学、東京大学、土木研究所、農業・食品産業技術総合研究機構の5機関の協力により、統合ハザード¹⁷モデル開発、地域における精緻なハザードモデル開発と災害リスク評価、激甚化する災害ハザードの温暖化要因の定量化、アジア太平洋地域でのハザード及びリスク評価と国際協力、及び人口等の社会の将来変化を考慮したハザードリスク評価等に関する研究開発を進めている。各サブ課題の主な成果は下記のとおりであり、計画どおりに進捗していると評価できる。

・サブ課題 i：統合ハザードモデル開発と全国規模の将来予測

日本全国を対象にした統合ハザードモデルの設計及びコード化を進めるとともに、気象庁気象研究所の大気大循環モデルと結合したモデルの開発を進めた。また、降雨流出モデル及び高潮モデルにより、d4PDFの全国5km力学的ダウンスケーリング予測データ等を用いた気候変動下におけるハザードの将来予測を進めた。

・サブ課題 ii：精緻なハザードモデル開発とメカニズムの解明

土石流の氾濫域の評価モデル、大都市圏における洪水氾濫解析モデル、高潮浸水モデルの開発を完了するなど、領域災害・複合災害評価モデルの開発及び三大都市圏を対象とした可能最大クラスの浸水被害予測についてのモデル開発を着実に進めた。また、水資源施設群のモデル化や土地利用変化モデルを拡張した治水・利水評価モデルの開発を行った。さらに、森林生態系の台風被害リスク予測モデルや被害後の森林再生予測モデルの構築準備を進めるとともに、沿岸生態系について高解像度の物理・生物化学結合モデル開発、極端現象による貝類養殖種への影響評価及び海浜変形予測モデルの高度化を進めた。

・サブ課題 iii：激甚化する災害ハザードの温暖化要因の定量化

海面水温や数日程度の天気変化を支配する気象現象を扱う総観気象場の変動性状を考慮した擬似温暖化実験の開発を行うとともに、洪水や台風についてのハザードに関するEAのモデル開発を進めた。また、過去の激甚災害を対象に、気象モデルによる力学的ダウンスケーリングと擬似温暖化実験手法を様々な温暖化シナリオや温暖化レベルの下でEA手法を適用し、ハザードに及ぼす温暖化影響の定量的評価を進めた。さらに、大雨について、擬似温暖化実験において、温暖化による促進効果と抑制効果の双方を定量化する手法を構築し、温暖化時の線状対流系¹⁸の発達メカニズムを明らかにするとともに、温暖化による極端気象の変化を、防災気象情報に変換する取組を進めた。

・サブ課題 iv：アジア太平洋地域でのハザードおよびリスク評価と国際協力

アジア太平洋域における豪雨、洪水、高潮・波浪等のハザードについて、リスクが高まりつつある特徴地域を抽出し、領域課題3による気候モデル出力データや再解析データを用いて、風水害リスクの将来変化予測を進めた。アジア太平洋地域の研究者や技術者を対象としたワークショップや講習会等を毎年実施するとともに、現地の政策決定者に対して適応策の策定支援を実施した。

¹⁷ ハザード：台風、洪水等の災害を引き起こす可能性のある自然現象のこと。

¹⁸ 線状対流系：積乱雲が次々と発生し、線状に並んで組織化された積乱雲群が数時間にわたってほぼ同じ場所に停滞することで形成される強い降雨域のこと。

・サブ課題ⅴ：ハザード・社会の将来変化に対応できる適応戦略

人口・資産・産業の将来変化を考慮したリスク評価について、他サブ課題と協力してハザード評価を進めるとともに、将来人口推計手法を開発した。また、予測の不確実性を反映させた経済被害と人的被害のリスクカーブを推定した。適応戦略設計について、予測モデルの不確実性を適切に対処して長期の動的な適応戦略を設計する方法論を構築した。

なお、国際的な動向として、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）において、第6次評価報告書統合報告書（AR6）が、2023年（令和5年）3月に公表されAR6サイクルが完了した。AR6サイクルにおいて、本プログラムの前身である「統合的気候モデル高度化研究プログラム」で創出した気候予測データを提供するとともに、これらのデータを用いて執筆された成果論文が、IPCC評価報告書に多数引用されたほか、研究プログラム参加者が評価報告書の執筆者等として多数登用された。同年7月には、第7次評価報告書の議長団が選出され第7次評価報告書（AR7）サイクルが開始した。翌2024年（令和6年）1月に開催されたIPCC第60回総会において、AR7サイクルで作成する成果物及びスケジュール等が議論され、作業部会報告書や統合報告書を含む成果物を2029年（令和11年）までに取りまとめることが決定された。その決定を受け、気候変動予測先端研究プログラムでは、所期の目標に加え、IPCC AR7サイクルの各報告書の作成に貢献するため、前述のとおり、各領域課題において気候予測データの創出や気候変動に関する科学的知見の充実に向けたモデルの高度化等に取り組んでいる。

（2）各観点の再評価

＜必要性＞

評価項目	評価基準		評価項目・評価基準の適用時期
科学的・技術的意義	定性的	気候変動研究における世界最先端の研究成果（気候変動メカニズム等）が期待できるか。	前・中
社会的・経済的意義 （社会的価値、国際貢献等）	定性的	国際社会や民間企業に活用される気候変動に関する科学的根拠の提供が期待できるか。	前・中

○科学的・技術的意義

以下の取組を通じて、気候変動研究における世界最先端の研究成果を創出するとともに、令和5年7月に開始したIPCC AR7への貢献が期待され、科学的、技術的意義があると認められる。

・本プログラムで開発を進めている全球気候モデルは、大気中の雲、降水、放射過程や、陸域水循環、海洋内部過程の高度化により、気候変動の理解と不確実性低減に貢献することが見込まれる。特に、近年の南大洋や熱帯東部太平洋の低温化など、各国のモデルにおいて再現できていない20世紀以降の気候変化に関する国際的な気候科学コミュニティの取組を加速させることが期待される。

・地球システムモデルの開発については、CO2循環に加えてCH4循環まで含んでおり、同様の地球システムモデルは世界でも数例しかなく、亜酸化窒素（N2O）循環までも含められるモ

デルは現時点で公表されていない。また、本プログラムで開発中の地球システムモデルは、これら循環を網羅した世界的に見ても先端的なモデルであり、複数の温室効果ガスを考慮した緩和策を検討する上で有用なものになると考えられる。さらに、全球二酸化炭素収支評価（GCB2023）において、初めて地球システムモデルをベースとした気候・炭素循環予測システムの出力が参照された。なお、このような実績により、本プログラムは炭素循環予測を牽引する主要グループの一つとして、国際研究コミュニティで認知されている。

- ・大規模アンサンブル予測データについては、世界的にも数少ない高解像度の大気モデルであることから、海外での領域気候研究や力学的ダウンスケーリング等での利活用がされるなど評価されている。また、非線形性の強い諸現象を現実的に表現する海洋アンサンブルデータは世界で初めて創出されたものであり、令和6年度から検討が開始された海洋に関する領域ダウンスケーリング実験において、先駆的取組として世界的に高く評価されることが見込まれる。

- ・既に顕在化している極端気象の変化に対する減災や適応は、ますます喫緊度を高めている。そのため、本プログラムで取り組んでいる確率的 EA に用いる大規模アンサンブル実験及び量的 EA に用いる高解像度領域モデル実験結果の分析により、温暖化の寄与率を決める背景要因（大気の流れ、水蒸気、安定度の変化）等も評価でき、気候科学での学術的価値は極めて高い。また、今後の成果となるアクションブル EA では、世界でも類を見ない大規模かつ高精度なデータセットを生成し、直近で発生した熱波や豪雨、洪水等の極端現象に対する人間活動の影響を定量化するとともに、その結果生じる社会経済リスクが、地球規模のどのような気候変動に影響を受けているかを調べることを可能にするものであり、学際的な研究として高い意義を有するといえる。

- ・ハザード予測については、今後発生が予想される洪水と高潮の重複などの複合災害についてのモデル化、及びそれを用いた予測結果を創出することを計画している。これらの成果は、IPCC の第 1 作業部会（自然科学的根拠）と第 2 作業部会（影響・適応・脆弱性）をつなぐ気候影響駆動要因¹⁹であり、また災害に対する適応のための費用推計に直結する世界的に先進的な取組として、有益な研究成果の創出が期待される。

○社会的・経済的意義（社会的価値、国際貢献等）

以下の取組を通じて、本プログラムの成果が IPCC 等の国際的な枠組みや民間企業等に活用されており、引き続き、国際社会や民間企業に活用される気候変動に関する科学的根拠の提供が期待される。

- ・本プログラムで得られる科学的知見である気候変動の要因分析、過去推定、将来予測情報等は、IPCC の報告書等を通じて世界中の政府、民間企業等の多様な主体に提供されるとともに、個々の課題に応じた活用が期待できる。例えば、二酸化炭素濃度変動の予測や炭素収支の過去推定は、グローバルストックテイク²⁰における評価や世界的なカーボンニュートラルの実現に向けた削減の目標策定や適応戦略策定に必要な科学的根拠としての活用が期待される。また、温暖化レベルの評価と科学的理解の進展及び詳細な陸域環境変化の予測情報は、

¹⁹ 気候影響駆動要因：極端現象等の社会や生態系の要素に影響する物理学的な気候システムの状態のこと。

²⁰ グローバルストックテイク：国連気候変動枠組条約第 26 回締約国会議（COP26）において採択された、パリ協定の目的及び長期的な目標の達成に向けた世界全体の進捗状況を定期的（5 年毎）に確認し、各国の取組を強化するための情報提供を行う仕組みのこと。第 2 回は 2028 年末を予定。

洪水・渇水、健康影響、食料生産等の気候リスク評価や適応策検討において重要な科学的根拠を与えることが期待される。

・本プログラムで開発される地球システムモデルは、環境省「環境研究総合推進費」を通じて行われる研究に提供され、その成果の一部が、2028 年（令和 10 年）頃の第 2 回グローバルストックテイクに活用される予定である。また、2022 年（令和 4 年）に開催された気候変動枠組条約第 27 回締結国会議（UNFCCC/COP27）において、本プログラムで得られた成果を中心に「温室効果気体排出抑制とその影響：現状と将来展望」と題したセミナーを日本パビリオンにおいて開催するとともに、「地球情報デー（Earth Information Day）」では、本プログラムから提案した南極棚氷底面融解に関する研究成果が話題として採択された。このように、国際会議等において、気候変動に関する政策関係者に対して、本プログラムの成果を通じた最新の科学的知見を共有することにより、気候変動研究分野での我が国のプレゼンス向上が期待される。

・本プログラムにおいて創出された日本域を中心とした気候予測データセットは、DIAS を通じて広く公開・提供され、民間企業においても、気候関連財務情報開示タスクフォース（TCFD）²¹の提言等を踏まえた、財務情報開示における気候変動の影響の評価の基盤となる科学的知見として利活用されるとともに、金融機関においては、気候変動に伴う災害発生や農作物の生産量変化等のリスク評価のための科学的根拠として利活用されている。

・また、本プログラムにおける EA 研究に基づく科学的根拠に基づく極端現象の分析及び説明が、民間企業から高く評価されており、今後の EA 研究の進展に伴い、民間企業を中心とした、さまざまな分野における統合的な利活用が期待される。

<有効性>

評価項目	評価基準		評価項目・評価基準の適用時期
行政施策への貢献 （国、地方自治体等における防災等の気候変動対策等への貢献）	定性的	本プログラムが扱う研究課題は、気候変動適応・緩和に関わる政策・施策の企画立案・実施等に科学的知見の提供の面から貢献するものか。	前・中
国際社会への貢献	定性的	本プログラムが扱う研究課題は、気候変動適応・緩和に関わる政策・施策の企画立案・実施等に科学的知見の提供の面から貢献するものか。	前・中

○行政施策への貢献（国、地方自治体等における防災等の気候変動対策等への貢献）

以下の取組を通じて、本プログラムが扱う研究課題は、国、地方自治体等における気候変動適応・緩和に関わる政策・施策の企画立案・実施等に科学的知見の提供の面から貢献するものと認められる。

²¹ 気候関連財務情報開示タスクフォース（Task Force on Climate-related Financial Disclosures: TCFD）：G20 の要請を受け、金融安定理事会により、気候関連の情報開示及び金融機関の対応をどのように行うかを検討するため設立されたタスクフォースのこと。

・本プログラムにおいて創出している気候予測データセットは、気候変動に関する研究や民間企業による利活用のみならず、国土交通省、農林水産省や地方自治体における治水対策等の政策検討等に広く利活用されている。また、現在、ユーザーニーズを踏まえ、開発を進めている次期気候予測データセットについても、国や地方自治体における気候変動適応策策定の科学的根拠として利用されることが期待される。

・本プログラムでは、気象要素の将来変化をもとに気象災害、河川災害、沿岸災害を主な対象としてハザードの影響評価モデルの開発とそれらを用いた影響評価研究を進めている。風水害の将来変化予測は、地域から日本全国、さらに全球を対象とした予測に高いニーズがあり、精度を維持しつつ評価領域を拡大するなどの開発を行っている。本プログラムは、単にハザード強度の将来変化を予測するだけでなく、共通社会経済経路（SSP）に基づく人口や産業などの社会の将来変化を考慮した影響予測を行っている。特に、気候変動による風水害の将来変化は、災害対策、防災インフラ等の中長期整備に直結する喫緊のテーマであり、プログラム開始後の社会的ニーズの変化に迅速かつ適切に対応している。農林水産省や国土交通省、気象庁、都道府県担当部局等との密接な連携の下、社会からの高い利活用のニーズに対して、予測データ及び科学的知見の両面から応える社会実装に直結する研究を行っている。

・本プログラムの EA 研究から得られる極端気象に関する定量的情報は、既に現業の異常気象分析検討に採用されており、気象災害の度に社会に提供されている。本プログラムにおける EA 研究の成果は、国土交通省や環境省などの省庁や東京都等の地方自治体における治水計画や熱中症対策などの適応策策定に広く貢献してきた実績がある。

○国際社会への貢献

本プログラムにおいて創出している気候予測データセットについては、国際協力機構（JICA）主催のセミナーやアジア向けの気候変動に関するウェビナー等を継続的に実施することにより、東南アジア諸国を中心に、国際社会における活用も図っている。

また、アジア太平洋域における豪雨、洪水、高潮・波浪等のハザードについて、リスクが高まりつつある特徴地域を抽出し、領域気候モデルによる出力データや再解析データを用いた風水害リスクの将来変化予測データの創出に取り組んでいる。さらに、フィリピン、インドネシア等を対象としたオンライン知の統合システム²²を構築・高度化し、水災害に対する社会の強靱化方策について現地の防災担当者と議論を行うなど、国際連携を通じた、ハザード予測の成果の社会実装に向けた取組を進めている。

加えて、上記で記載した通り、本プログラムにおいて、IPCC 等への研究成果の提供を通じ、気候変動対策を中心として、国際社会に貢献する取組を進めている。

以上のことから、本プログラムが扱う研究課題は、気候変動適応・緩和に関わる政策・施策の企画立案・実施等に科学的知見の提供の面から、国際社会に対して貢献するものと認められる。

²² 知の統合オンラインシステム（OSS-SR：Online Synthesis System for Sustainability and Resilience）：防災レジリエンスと持続可能性の向上を目指して、科学的知見を統合し、現場での課題解決を支援するためのシステムのこと。

<効率性>

評価項目	評価基準		評価項目・評価基準の適用時期
計画・実施体制の妥当性	定性的	各研究者が連携した効果的・効率的な研究開発実施体制が構築されているか。	前・中
データの管理・利活用体制の妥当性	定性的	既存のシステムを活用し、効果的・効率的なデータの管理・利活用体制が構築されているか。	前・中
国際連携の妥当性	定性的	国際連携を活用し、効果的・効率的な研究開発が行われるか。	前・中

○計画・実施体制の妥当性

本プログラムは、一人のプログラム・ディレクター及び二人のプログラム・オフィサーの下、全球気候モデルの高度化を進める領域課題1、領域課題1が高度化を進めた全球気候モデルに地球システムモデルを結合する領域課題2、領域気候モデルの高度化により全球気候予測データから日本域の気候予測データを創出する領域課題3、統合ハザードモデルの構築と領域課題3が創出する日本域の気候予測データの活用によりハザード予測を行う領域課題4から構成されており、明確な意思決定体制の下で効率的な研究実施体制が構築されている。また、各領域課題で研究運営委員会を年2回開催し、外部有識者等からの助言を得るなど、合理的な事業運営を図っている。

また、本プログラムは、領域課題間で互いの研究者が研究協力者等として参加するなど有機的に連携した研究開発が進められ、効果的な研究開発体制が構築されている。また、各領域課題において、参画機関も含めサブ課題ごとに班を構築するとともに、国内の大学や研究機関から研究協力者が参加し、モデル開発や予測データ創出・分析など共同で研究開発を進めている。

以上のことから、本プログラムは、各研究者が連携した効果的・効率的な研究開発実施体制が構築されていると認められる。

○データの管理・利活用体制の妥当性

効果的・効率的なデータの管理・利活用体制を構築するため、前身プログラムにおいて構築した領域課題間の共有ファイルサーバシステムを継続的に運用するとともに、ストレージ増強について年次計画を作成し進めている。

また、モデル開発上の技術的側面において、地球物理学や地球生物化学分野から計算機科学分野まで、各分野の専門家間の情報共有と密な連携が必要であることから、ソースコード用バージョン管理システムの導入とその運用グループを設けることにより、コード管理と主要開発者間での情報集約の一元化を行っている。特に、運用グループメンバーと主要開発者の多くが領域課題2の代表研究機関である海洋研究開発機構に所属しており、効率的なシステム運用が可能である。

加えて、本プログラムで創出された気候予測データは、国内外の研究機関や地方自治体、

民間企業等が利活用できるよう、DIAS を通じて公開、提供されている。特に、気候予測データセット 2022 は、データセットの追加や解説書の更新等により利活用の促進を進めている。

以上のことから、本プログラムは、既存のシステムを活用し、効果的・効率的なデータの管理・利活用体制が構築されていると認められる。

○国際連携の妥当性

本プログラムの研究開発を通じて国際研究コミュニティとの連携を維持、強化するとともに、世界気候研究計画²³（WCRP）の活動に主導的に関与し、令和 5 年 7 月に開始した IPCC 第 7 次評価報告書の作成に向けた取組を進めている。

また、長期気候変化の要因分析と極端気象に関する EA 研究は、それぞれ密接に関わっており、世界気候研究計画の重点課題である Lighthouse Activity²⁴とも関連するため、国際プロジェクトへの参加等を行いながら研究を進めている。

さらに、氷床動態のモデリングと通したティッピング現象の解析においては、ティッピング現象は氷床関連に限らず懸念が頻繁に表明されながら定量的な評価が進んでいないという課題があったところ、国際研究コミュニティでも関心が高まり手法の明確化なども進んでいるため、国際プロジェクトへの参加等を通じ、科学的評価に取り組んでいる。

加えて、領域気候モデルの高度化においては、国際連携により、日本とは異なる気候・地形における実験を行うことによる領域気候モデルの改善や、日本と異なる状況における大気現象の温暖化影響の評価を行うことを通じ、気候変化メカニズムの一般化に取り組んでいる。

以上のことから、本プログラムは、国際連携を活用し、効果的・効率的な研究開発が行われていると認められる。

（３）科学技術・イノベーション基本計画等の上位施策への貢献状況

第 6 期科学技術・イノベーション基本計画において、「高精度な気候変動予測情報の創出や、気候変動課題の解決に貢献するため温室効果ガス等の観測データや予測情報などの地球環境ビッグデータの蓄積・利活用を推進する。」と示されている。本プログラムでは、全ての気候変動対策の基盤となる科学的根拠の充実に向け、気候モデルの開発等を通じて、高精度な気候予測データや科学的知見の創出をするものである。また、本プログラムにおいて創出された気候予測データ及び科学的知見は、上述のとおり、国や自治体等における気候変動適応策の検討に活用されている。

以上のことから、本プログラムは、科学技術・イノベーション基本計画の達成に貢献していると評価できる。

²³ 世界気候研究計画（World Climate Research Programme: WCRP）：1980 年に世界気象機関（WMO）と国際科学会議（ICSU）の共同後援の下で設立された気候予測研究、気候システムの科学的理解の促進を目的とした研究プログラムのこと。

²⁴ Lighthouse Activity：2021 年（令和 3 年）に、WCRP が社会的状況を踏まえて気候研究が今後目指すべき方向性として設定した五つの研究計画のこと。

(4) 事前評価結果時又は直近の中間評価結果時の指摘事項とその対応状況

<指摘事項>

なし

<対応状況>

なし

(5) 今後の研究開発の方向性

本プログラムは 継続、「中止」、「方向転換」する（いずれかに丸をつける）。

理由：

本プログラムの研究成果である気候予測データは、国内の気候変動対策の基盤となっており、国、地方自治体、民間企業等における気候変動の適応策の検討に広く活用されるなど、社会的意義や行政施策への貢献の観点で有効性が高く、我が国の気候変動対策の強化に加え、国土強靱化等への貢献も期待される。また、本プログラムで開発中の気候モデルは、2023 年（令和 5 年）7 月に開始した IPCC 第 7 次評価報告書サイクルにおける評価報告書の作成に当たっても、科学的知見の充実や気候予測データの提供等の貢献が期待される。

なお、平成 30 年 12 月に施行された気候変動適応法において、「国は、気候変動、気候変動影響及び気候変動適応に関する科学的知見の充実及びその効率的かつ効果的な活用を図る」とされていることから、同規定を実現するためにも、本プログラムを通じて、気候変動に関する研究を着実に推進し、気候変動に関する科学的知見の充実とその利活用を図っていく必要がある。

<本プログラムの改善に向けた指摘事項>

本プログラムは、着実に研究成果を創出しており、上記のとおり、今後も研究成果が期待できることから、引き続き事業を進めていくべきである。このため、以下の点についても取組を進めていく必要がある。

○研究環境の整備

IPCC 第 7 次評価報告書の作成や国内の気候変動対策等に貢献するため、最新の気候予測データの創出及び CMIP 等への提供や、日本域を中心とした、新たな気候予測データセットの創出、提供ができるよう、サーバやストレージ等の機器、地球シミュレータの整備を含めた、気候予測研究を進めるための環境整備が必要である。

○DIAS との連携

本プログラムで創出される気候予測データは、国内外の研究機関や地方自治体、民間企業等が利活用できるよう、DIAS を通じて公開、提供されている。DIAS への気候予測データの蓄積、提供、及び効果的なデータ利活用を推進するため、DIAS との連携を継続、強化し、本プログラムと DIAS のそれぞれの特徴を踏まえ、適切に取組を進める必要がある。

(6) その他

本プログラムにおいて開発している全球気候モデルは、我が国のフラッグシップモデルであり、IPCC 等の気候変動に関する国際枠組みにおける我が国の貢献のための重要な知見を提供する。また、本プログラムにおいて創出される日本域の気候予測データは、日本域を中心とする唯一の気候予測データであり、国内の気候変動対策を進める基礎となる重要な科学的

意義を有する。気候変動適応法に基づき、我が国が、気候変動研究を継続、高度化するため、上記の本プログラムの意義や、世界の気候変動研究の動向、企業等による利活用に関するニーズも踏まえつつ、本プログラムの後継となる気候変動研究プログラムの取組内容を検討、具体化することが期待される。