

(案)

# 研究開発課題の中間評価結果

令和元年 8 月

環境エネルギー科学技術委員会

## 環境エネルギー科学技術委員会委員

主査	高村ゆかり	国立大学法人東京大学 未来ビジョン研究センター教授
主査代理	江守 正多※	国立研究開発法人国立環境研究所 地球環境研究センター 副研究センター長
	石川 洋一	国立研究開発法人海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門情報エンジニアリング プログラム プログラム長（上席技術研究員）
	沖 大幹	国立大学法人東京大学 未来ビジョン研究センター 教授
	奥 真美	公立大学法人首都大学東京 都市環境学部 都市政策科学科 教授
	加藤 昌子	国立大学法人北海道大学大学院 理学研究院 化学部門 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	国立大学法人九州大学 主幹教授・ 水素エネルギー国際研究センター長（副学長）
	嶋田 知英	埼玉県 環境科学国際センター 研究企画室長
	清水 史彦	三菱ケミカル株式会社 Science & Innovation Center Polymer Laboratory 所長
	竹ヶ原啓介	株式会社日本政策投資銀行 執行役員 産業調査本部副本部長 兼 経営企画部サステナビリティ経営室長
	中山 慶祐	JXTG エネルギー株式会社 中央技術研究所 技術戦略室 事業創出推進グループマネージャー 一般社団法人産業競争力懇談会事務局長代理
	波多野睦子	国立大学法人東京工業大学 工学院 教授
	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	国立大学法人横浜国立大学大学院 環境情報研究院 教授
	山地 憲治	公益財団法人地球環境産業技術研究機構 副理事長・研究所長

※本研究プログラムの関係者であり、利害関係があるため審議には加わらない。

# 統合的気候モデル高度化研究プログラム

## 中間評価調整グループ 構成員一覧

(敬称略)

氏 名	所 属
天野 邦彦	国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部長
石川 洋一 (※)	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 情報エンジニアリングプログラム プログラム長 (上席技術研究員)
日下 博幸	筑波大学 計算科学研究センター教授 (地球環境研究部門主任)
佐藤 薫	東京大学理学系研究科 地球惑星科学専攻 教授
花輪 公雄	東北大学大学院理学研究科 名誉教授

※ 主査

# 気候変動適応戦略イニシアチブ

## 統合的気候モデル高度化研究プログラムの概要

### 1. 課題実施期間及び評価時期

2017 年度～2021 年度

中間評価 2019 年度、事後評価 2022 年度を予定

### 2. 研究開発概要・目的

本事業では、国内外における気候変動対策に活用されるよう、地球観測ビッグデータやスーパーコンピュータ等を活用し、気候変動メカニズムの解明、気候変動予測モデルの開発や気候変動影響評価等を推進することを目的としている。

国際的に信頼性の高い適応策・緩和策の基盤となる我が国独自の基盤的気候モデルを開発し、緩和策立案に大きな科学的根拠をもたらす炭素・窒素循環・気候感度等の解明を進めるとともに、この知見も踏まえた気候モデル要素の精度向上、国内や東南アジア地域を対象とした気候モデル活用のための高度化を行う。また、これらの成果を活用しつつ適応策に資する我が国独自の統合的ハザード予測を実施する。

### 3. 研究開発の必要性等

**必要性：** 本プログラムは、信頼性の高い最新の基盤的気候モデル開発を土台としながら、世界的に重要かつ活発な最新の研究分野において我が国が大きく寄与するための事業であり、我が国の主要排出国としての国際的責務の履行及びプレゼンスの維持・向上や、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）等における気候変動外交交渉を科学的側面からリードするために、必要な取組となっている。加えて、政府全体の緩和・適応計画に貢献し、文部科学省としての役割を果たすためにも、本プログラムが必要となる。

**有効性：** 本プログラムでは、国内の適応策立案に必要な数 km 程度の解像度での気候変動に関する情報を創出すること、また、緩和策立案に科学的な知見をもたらす炭素・窒素循環・気候感度等の不確実性の低減、ティッピングエレメントの解明などを目指すよう体制が構築されており、国の防災計画の策定や緩和策の立案・評価に対して科学的知見を創出する点において有効性が担保されている。さらに、日本国内だけではなく、東南アジア地域等における適応策立案を支援するための気候変動リスク情報の創出も可能なプログラム構造となっており、国際貢

献のできる有効性のあるプログラムとなっている。

効率性： 本プログラムでは、気候変動という分野に様々な立場から携わっている多くの研究者に協働作業を促すことで、各テーマにまたがり広範囲に気候変動研究を支援する本プログラムにしか実現できない気候変動予測情報や、社会実装に役立つ新たな科学的成果の創出を行うことを目的としている。加えて、環境エネルギー課において行われる他の環境関係事業との連携によるシナジー効果も可能であり、それぞれの成果が当該事業に留まることなく、広く社会的な課題解決に活用される道筋があると考えられる。これらのことから、本プログラムは効率性が高い研究体制であると評価できる。

#### 4. 予算（執行額）の変遷

年度	2017年度 (初年度)	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	総額
予算額	582百万円	582百万円	554百万円	804百万円 (見込み)	804百万円 (見込み)	3,326百万円 (見込み)
執行額	582百万円	582百万円	未定	未定	未定	未定

#### 5. 課題実施機関・体制

プログラムディレクター	東京大学未来ビジョン研究センター特任教授	住 明正
プログラムオフィサー	東京大学大気海洋研究所	教授 木本 昌秀
プログラムオフィサー	国立環境研究所	前理事 原澤 英夫

##### 【領域テーマA：全球規模の気候変動予測と基盤的モデル開発】

領域代表者	東京大学大気海洋研究所 教授 渡部 雅浩
主管研究機関	東京大学
再委託機関	国立環境研究所、海洋研究開発機構

##### 【領域テーマB：炭素循環・気候感度・ティッピング・エレメント等の解明】

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
主管研究機関	海洋研究開発機構
再委託機関	電力中央研究所、高度情報科学技術研究機構、国立環境研究所

##### 【領域テーマC：統合的気候変動予測】

領域代表者	気象業務支援センター地球環境・気候研究推進室 高藪 出
主管研究機関	気象業務支援センター

再委託機関 名古屋大学

【領域テーマD：統合的ハザード予測】

領域代表者 京都大学防災研究所 教授 中北 英一

主管研究機関 京都大学

再委託機関 名古屋工業大学、北海道大学、  
農業・食品産業技術総合研究機構、土木研究所

# 中間評価票

(2019年6月現在)

1. 課題名 気候変動適応戦略イニシアチブ 統合的気候モデル高度化研究プログラム

2. 研究開発計画との関係

施策目標：最先端の気候変動予測・対策技術の確立

大目標（概要）：

気候変動メカニズムの解明や地球温暖化の現状把握と予測及びそのために必要な技術開発の推進、地球温暖化が環境、社会・経済に与える影響の評価、温室効果ガスの削減及び地球温暖化への適応策等の研究を、国際協力を図りつつ、戦略的・集中的に推進するために、スーパーコンピュータ等を用いたモデル技術やシミュレーション技術の高度化を行い、時間・空間分解能を高めるとともに発生確率を含む気候変動予測情報を創出する。また、洪水や高潮による将来の外力の変化を分析する。

中目標（概要）：

気候変動メカニズムの解明、気候変動予測モデルの高度化を進め、より精確な将来予測に基づく温暖化対策目標・アプローチの策定に貢献する。また、不確実性の低減、高分解能での気候変動予測や気候モデルのダウンスケーリング<sup>1</sup>、気候変動影響評価、適応策の評価に関する技術の研究開発を推進する。

重点的に推進すべき研究開発の取組（概要）：

国内外における気候変動対策に活用するための気候変動予測・影響評価技術の開発

本課題が関係するアウトプット指標：

気候変動メカニズムの解明や気候変動予測モデルの高度化等による本事業における累計論文数（本）

年度	2016年度	2017年度	2018年度
活動実績	—	158	353
目標値	—	50	250

本課題が関係するアウトカム指標：

研究開発成果を活用した国際共同研究等の海外連携実績（件）

年度	2016年度	2017年度	2018年度
成果実績	—	93	87
目標値	—	50	50

<sup>1</sup> 粗い空間解像度のデータを、より細かなシミュレーションや空間補間などにより、高解像度化すること

### 3. 評価結果

#### (1) 課題の進捗状況

本事業は、地球観測ビッグデータやスーパーコンピュータ等を活用し、気候変動メカニズムの解明、気候変動予測モデル（以下「気候モデル」という。）の開発や気候変動影響評価等を推進することで、国内外の気候変動対策に活用できる気候変動予測情報の創出を目的としている。プログラム・ディレクター（PD）及びプログラム・オフィサー（PO）の下、以下A～Dの4つの領域テーマを設定して事業を実施している。

- ・領域テーマA：全球規模の気候変動予測と基盤的モデル開発
- ・領域テーマB：炭素循環・気候感度・ティッピング・エレメント等の解明
- ・領域テーマC：統合的気候変動予測
- ・領域テーマD：統合的ハザード予測

本事業の状況については以下のとおり。

#### 【領域テーマA：全球規模の気候変動予測と基盤的モデル開発】（東京大学）

領域テーマAでは、東京大学を中心に、海洋研究開発機構、国立環境研究所が連携して、信頼性の高い全球規模の気候変動予測情報を生成するために全球気候モデル(MIROC)及び全球雲解像度大気モデル(NICAM)の開発を実施している。これらを通じて、気候変動メカニズムの解明や、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第6次評価報告書(AR6)<sup>2</sup>のベースとなる、第6次結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)<sup>3</sup>に参加し、主導的役割を果たしている。

中間評価時点までに実施する予定であった以下の項目について具体的な成果がでており、計画どおりに進捗していると評価できる。

#### ・全球気候モデルの開発

予測型の降水・降雪スキーム<sup>4</sup>の開発を行い、全球気候モデルにおける雲放射相互作用と降水プロセスの表現を改良した。これにより、雲・降水・放射の振る舞いが衛星観測データとより整合的になった。また、新たな次世代陸域サブモデル及び河川流下氾濫サブモデルを開発して結合させるなどの開発を進め、全球陸域の長期変化再現や国内河川

<sup>2</sup> 気候変動に関する政府間パネル（IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change）は、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、気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）をはじめとする、地球温暖化に対する国際的な取り組みに科学的根拠を与えるものとして極めて重要な役割を果たしてきた。現在第6次評価報告書（AR6: the Sixth Assessment Report）の作成プロセスが進行中である。

<sup>3</sup> 結合モデル相互比較プロジェクト（CMIP: Coupled Model Intercomparison Project）は、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。CMIP6は中核実験のほか、多数の実験から構成される。

<sup>4</sup> ミクロな雲中の雨・雪粒子を予報することで、雲の一生を適切に表現できる計算手法。

流域の氾濫予測など、幅広い研究の展開が可能となった。河川流下氾濫サブモデルはヨーロッパ中期予報センターの次期モデルへの採用も決定するなど世界的な高い評価を得た。

・気候変動メカニズムの解明

北極海氷の減少が北半球中高緯度に寒冬をもたらすプロセスを評価し、多くの気候モデルが系統的に海氷のインパクトを過小評価していることを世界で初めて明らかにした (Nature Climate Change に掲載)。また、領域テーマ C と連携し、全球気候モデルと地域気候モデルの大規模アンサンブルシミュレーション<sup>5</sup>データを組み合わせた新しい解析手法により、国内で初めて、工業化以降の 1.5°C/2°C 昇温時における日本の熱波地点数増加の定量評価推定を行った。本成果は、極端気象に対する温暖化の影響予測情報を迅速に提供できることを示すものであり、温暖化予測におけるビッグデータの重要性を世界に先駆けて示す研究成果である。

・IPCC への貢献

IPCC AR6 の根拠となる CMIP6 の中核実験を計画通り全て終了させ、データ統合・解析システム (DIAS) を通じて世界の気候モデリングセンターの中で最も迅速に公開を開始した (2019 年 1 月時点で 41 センター 101 モデルのうち公開されていたのは 7 つのみ)。これにより、我が国の気候モデル実験の成果を海外諸国が利用できる環境を構築した。また、国際共同研究として、全球 1.5/2°C 気温上昇時の極端気象の確率評価を主導し、その成果は IPCC の 1.5°C 特別報告書にも活用された。

今後も引き続き全球気候モデルの開発、創出されたシミュレーションデータの解析による気候変動メカニズムの解明を進める。

**【領域テーマ B : 炭素循環・気候感度・ティッピング・エレメント等の解明】(海洋研究開発機構)**

領域テーマ B では、海洋研究開発機構を中心に、電力中央研究所、高度情報科学技術研究機構、国立環境研究所が連携して、全球気候モデルに炭素循環・窒素循環や生態系変化等のプロセスを取り込んだ地球システムモデル (ESM) を用いて CMIP6 実験に参加している。ESM の開発等を通じて、気候感度<sup>6</sup>やティッピング・エレメント<sup>7</sup>、地球システムと人間システムの相互作用等の気候変動対策のなかでも緩和策に与える影響が大きい要素の解明を進めている。また、シンポジウム等の開催を通じて本プログラム全体の成果の発信を推進している。

中間評価時点までに実施する予定であった以下の項目について具体的な成果がでており、計画どおりに進捗していると評価できる。

<sup>5</sup> 不確実性評価やまれにしか生じない事象を再現したり、事象の発生確率を定量的に評価するために、条件をわずかに変えて行う多数の数値シミュレーション

<sup>6</sup> 大気中の二酸化炭素濃度が倍増した時の全球地表面気温の上昇量

<sup>7</sup> 気候変動があるレベルを超えたとき、不可逆性を伴うような激変が生じる気候システムの要素

#### ・CMIP6 実験向け地球システムモデルの開発

窒素や鉄などの栄養分が生態系に取り込まれる過程等を取り入れ、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>に次ぐ温室効果ガス N<sub>2</sub>O の動態を表現する、地球システムモデルの開発を完了し、CMIP6 実験を進めている。本モデルは、海外研究機関のモデルと比較して、河川やダストによる栄養塩輸送の効果などを取り込んだ点（例えば、ダストによる輸送過程の改良などにより、燃料消費の際に放出される鉄分が海水に溶けやすいことを示す研究成果が Science Advances に掲載）が特徴的であり、人間活動を含む陸域物質循環の海洋生態系への影響評価などが可能になっている。これまでに、アマゾン川やミシシッピ川による栄養塩の海洋への輸送が北大西洋の生態系に大きな影響を持つことを示す成果などが得られている。今後 CMIP6 実験データはデータ統合・解析システム（DIAS）を通じて公開される予定となっている。

#### ・ティッピング・エレメント

世界に先駆けて、全球気候と海面上昇に強い影響を与うる、海洋上の南極氷床融解に着目した南極氷床末端の棚氷要素のモデリングを、南極海全域を対象に開発している。南極海全域を対象にして氷床／棚氷を介したティッピング・エレメントを表現できる気候モデルは存在しないため、この開発により、南極棚氷の急激な融解が生じるタイミング、海面上昇評価等、将来予測に関する研究の進展が期待される。

#### ・地球—人間システム相互作用

自然環境と人間活動の相互作用を考慮した水資源・作物・土地利用モデルを開発し、気候変動と陸面過程に影響する灌漑などの人間活動との相互作用の分析が可能となり、渇水リスクの将来変化の解析を進めている。

#### ・データ統合・解析システム（DIAS）と連携した予測データの配信

CMIP6 実験データや本プログラムで創出された予測情報などを、DIAS を通じて国際配信システムに提供し、国内外の研究者に展開するなど、気候変動に係る研究基盤の強化を推進している。

今後は、ティッピング・エレメント等の更なる解明を進め、気候変動と労働生産性等の社会経済活動との相互作用をモデルに取り込むなど、地球—人間システム相互作用に関するモデル開発を行う。

### 【領域テーマC：統合的気候変動予測】（気象業務支援センター）

領域テーマCでは、気象業務支援センターを中心に、名古屋大学が連携して、地域気候モデルに海洋モデル等を導入した統合型モデルの開発を進めている。また、日本付近の詳細な気候予測データ群を創出するとともに、日本付近の気候変動メカニズム研究を進めている。また、国際貢献として、東南アジア諸国との共同研究や、同地域における温暖化予測支援等を実施している。

中間評価時点までに実施する予定であった以下の項目について具体的な成果がでており、計画どおりに進捗していると評価できる。

#### ・地域気候モデルの開発

新たに地域気候モデルに領域海洋モデルを結合することで大気・海洋相互作用の効果を取り込んでいる。その結果として、海面水温分布の高解像度化とも相まって、日本域の降水量や台風の再現性が上がることが示されており、このモデルを用いることにより予測の不確実性の低減が期待される。また、大気と海洋の結合による黒潮変動にもたらす影響も確認され、海洋の再現性を高めるための示唆を得ている。

#### ・日本付近の詳細な気候予測データの創出

これまで行われてきた RCP8.5 シナリオによるデータセットに加え、気候変動への適応策を検討する上で重要となる RCP2.6 シナリオによる 5km/2km メッシュの詳細な予測データセットを作成するとともに、各分野の影響評価等への活用に向けて、モデルの現在気候再現性評価等を進めている。2km メッシュの予測データ創出は世界的に見ても先駆けの試みである。気候予測データは、文部科学省・気象庁が今後作成予定の気候変動レポート 2020（仮称）において活用される見込みである。

#### ・台風シミュレーション

大規模アンサンブルシミュレーションデータの解析により、温暖化が最悪のシナリオで進行した場合の 21 世紀末には、日本の南海上等で猛烈な台風の出現頻度が増加する可能性が高いことを見出した。これは、防災や水資源管理などの適応策を検討する上で重要な知見である。

#### ・東南アジア等への展開と国際貢献

東南アジア諸国との共同研究等を通じて、東南アジア等における気候変動予測シナリオを作成している。また、東南アジア諸国の気候研究者を招聘するなどのキャパシティビルディング<sup>8</sup>を実施するなどの国際貢献を進めている。トレーニングコースなどにより、東南アジア各国の温暖化対策へ使う道もでき始めている。

今後は、大気海洋結合作用を考慮した地域気候モデルの開発や台風シミュレーションにより温暖化気候による台風経路等の分析を進めるとともに、東南アジア等へのキャパシティビルディングを継続して進める。

### 【領域テーマD：統合的ハザード予測】（京都大学）

領域テーマDでは、京都大学を中心に、名古屋工業大学、北海道大学、農業・食品産業技術総合研究機構及び土木研究所が連携して、台風、高潮等などによるハザードの将来変化や社会影響の分析を行い、適応策の検討・策定に必要なハザード予測情報を創出している。また、領域テーマCと共同して、東南アジア諸国等との連携研究を通じて、ハザード予測技術を海外に展開するなどの国際貢献をしている。

中間評価時点までに実施する予定であった以下の項目について具体的な成果がでており、計画どおりに進捗していると評価できる。

<sup>8</sup> Capacity building：能力習得・構築の支援

#### ・ハザードモデルの開発・予測

日本全国の主要 109 水系の河川を対象に、ダム貯水池による流水制御を考慮した洪水流出予測モデルの開発を進めている。また、三大都市圏を対象として内水氾濫<sup>9</sup>と外水氾濫<sup>10</sup>の両者を考慮した氾濫モデルの開発を進めている。アンサンブル数を飛躍的に増加させることで、極端ハザードについて確率評価が可能となっている点、また評価対象が全国展開しつつある点に大きな進捗がある。

#### ・過去ハザードのメカニズム解明

台風に加えて、豪雨や爆弾低気圧等も対象に、過去ハザードの発生要因分析を進めている。例えば、2016 年夏に北日本に被害をもたらした連続台風を対象に、実際の気象場に温暖化した際に予測される差分を嵩上げた疑似温暖化実験を行い、被害の性質がどう変わるかとの視点から、強風の変化などを示した。また、平成 30 年 7 月豪雨を対象に、直前に通過した台風 7 号が梅雨前線を強化する役割を担っていたことを明らかにした。爆弾低気圧については、多数のアンサンブル実験によって、北海道地方で暴風をもたらす低気圧経路を示した。森林災害などの大雨による生態系影響を定量化する総合評価モデルの高度化を進めた。こうした成果は、身近な生活空間での危険度を把握し、風水害への備えを進める上で重要であり、国土強靱化政策等への反映が可能となりつつある。

#### ・社会課題解決への貢献

本テーマにおける梅雨豪雨の将来変化予測等の研究成果は、国土交通省社会資本整備審議会河川分科会「大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会」、国土交通省「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」等において活用されている。加えて、本テーマにより極端河川流量の確率分布の将来変化が我が国で初めて示され、その成果が上記国土交通省の検討会等につながっている。また、関西国際空港「台風 21 号越波等検証委員会」等において、台風コース・中心気圧の情報や高潮・波浪ハザードモデルによる知見が活用されている。

#### ・東南アジア諸国への展開と国際貢献

領域テーマCにおいて作成される東南アジア諸国の詳細な予測データを活用し、タイ、ベトナム、インドネシア、フィリピン等の研究者との共同により、気候変動に伴うハザードの変化を評価している。気候変動に伴って、ベトナムのレッドリバーでの大幅な流量増加、太平洋島嶼国での高潮リスク増加等、適応策検討に有用な知見が創出されている。

今後も引き続き、洪水、渇水、高潮等に関するハザードモデルの開発及びハザードの将来変化・不確実性の定量評価などを進めるとともに、国際貢献の面でもインドシナ半

<sup>9</sup> 堤防で守られた内側の土地にある水（内水）が、側溝・下水道や排水路だけでは排水できなくなり、引き起こされる氾濫

<sup>10</sup> 河川の水が堤防からあふれたり、堤防が決壊したりすることによって引き起こされる氾濫

島全域のハザード分布の予測を進める。

以上を踏まえ、本プログラムは、気候モデル開発等を通じ、気候変動適応策に活用される科学的知見（予測データ）や世界的にインパクトの高い科学的知見（気候変動メカニズムの解明）を創出するだけでなく、IPCC 等への国際貢献も行われており、中間評価時点における進捗状況は適正と評価できる。

## （２）各観点（必要性・有効性・効率性）の再評価

### ＜必要性＞

評価項目：

- ・ 科学的・技術的意義（独創性、革新性、先導性、発展性等）
- ・ 社会的・経済的意義（国際的プレゼンスの維持・向上）
- ・ 国費を用いた研究開発としての意義（国や社会のニーズへの適合性、国の関与の必要性・緊急性、他国の先進研究開発との比較における妥当性等）
- ・ 政策・施策の企画立案・実施への貢献

評価基準：

- ・ 本プログラムによる研究内容には、気候変動研究における世界最先端の分野に関する研究が含まれているか（文部科学省が担う分野としても相応しいと言えるか）。
- ・ 本プログラムが目指す研究成果は、気候変動研究の国際研究コミュニティや気候変動対策の国際交渉の場において、我が国のプレゼンスを高めることが可能な程度にまで研究内容が充実しており、かつ世界に発信できるものか。
- ・ 本プログラムが扱う研究テーマは、国内での適応策策定ニーズ等への影響評価モデルの適合性の確保や、他国の先進気候モデル研究との比較における我が国の先進性維持等を通じて、国費を用いた研究開発としての意義を果たせるものか。
- ・ 本プログラムが扱う研究テーマは、気候変動対策に係る政策・施策の企画立案・実施に科学的知見の提供の面から貢献するものか。

（気候変動メカニズムの解明や気候変動予測モデルの高度化、気候モデルや影響評価モデル等の開発数、研究開発成果を活用した国際共同研究等の海外連携実績、累計論文発表数等）

現時点においても気候変動は喫緊の課題であり、より一層その対策に向けた取組が求められている。具体的には、気候変動適応法が施行（平成 30 年 12 月）され、「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果的な活用を図る」とされている。また、気候変動枠組条約（UNFCCC）ではパリ協定の実施指針が定まり、設計段階から実施段階へと進んでいる。

このような状況において、気象庁長官・文科省研究開発局長の共催による「気候変動に関する懇談会」が開催され、各適応分野のニーズに適う予測情報（日射量、海水の栄養塩等の予測データ）の創出の必要性が示されている。また、国土交通省「気候変動を踏まえ

た治水計画のあり方 提言骨子案」では、今後は気候変動による降雨変化に対応するため将来予測データを活用した治水計画立案を進めるとともに、既存の予測情報に関する課題としてダウンスケーリング精度の向上が示されている。これらのニーズを踏まえた予測情報を充実させていくことが必要である。

本プログラムでは、全球気候モデル及び地域気候モデル、さらには炭素循環・窒素循環、ティッピング・エレメント等も考慮できる地球システムモデルを開発している。これらのモデル開発を通じて、北極海氷の減少が北半球中高緯度に寒冬をもたらすプロセスを評価し、世界の多くの気候モデルが系統的に海氷のインパクトを過小評価していることを世界で初めて明らかにするなど、気候変動メカニズムの解明が行われている。これらの成果はインパクトの高い総合誌（Nature：関連誌6本、Science：関連誌を含む2本）に掲載されている。また、累積論文数及び国際共同研究等の海外連携実績については、上述のアウトプット指標及びアウトカム指標に示している通り、当初目標値を上回る成果を示している。これらのことから、本プログラムでは、世界最先端でインパクトの大きな成果が十分創出されているものと評価する。

また、国際的な観点では、本研究プログラムで開発した河川流下氾濫サブモデルは、ヨーロッパ中期予報センターの次期モデルへの採用も決定するなど世界的な高い評価を得ている。また、IPCCの1.5℃特別報告書（平成30年10月公表）に資する成果も生み出されている。我が国独自の気候モデルを用いたCMIP6実験による予測データを先駆けて公開（2019年1月時点では101モデルのうち7つが公開）するとともに、IPCC WG1 執筆陣に本プログラム関係者が日本人10人中6人選出されている。今後本プログラムの予測データも含めた研究成果を基に、IPCC AR6が取りまとめられ、パリ協定の評価のエビデンスにも活用される見込みであり、本プログラムは、国際的プレゼンスの向上に資するものと評価する。

さらに、本プログラムで創出される気候予測データは、文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）、国土交通省の治水計画検討、環境省の地域適応コンソーシアム事業等に用いられている。

以上を踏まえ、本プログラムの「必要性」は、引き続き高いと評価できる。一方で、新たな課題として、国土交通省等の行政機関、地方自治体等におけるニーズを踏まえた予測情報の創出が必要であり、本プログラムで対応することが求められる。

#### <有効性>

##### 評価項目：

- ・ 実用化・事業化や社会実装に至る全段階を通じた取組（防災・減災への貢献など成果の社会実装に向けた寄与等）
- ・ 知的基盤の整備への貢献や寄与の程度

##### 評価基準：

- ・ 本プログラムにより創出された科学的知見は、国内の適応策検討などへの貢献を通じて社会実装に至る取組となっているか。

- ・本プログラムにより創出された科学的知見は、国内及び東南アジア地域等における気候変動対策策定のための材料となるなど、知的基盤の整備への貢献を果たすものか。

（気候変動影響評価・適応策評価技術の研究開発によって整備された国内の適応策検討や東南アジア地域支援に資するデータセットの数、研究開発成果を活用した国際共同研究等の海外連携実績等）

本プログラムにおける成果（予測情報）は、国土交通省社会資本整備審議会河川分科会「大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会」、国土交通省「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」や関西国際空港「台風 21 号越波等検証委員会」等において活用されている。また、「気候変動に関する懇談会」（文部科学省研究開発局長・気象庁長官主催）、環境省の「気候変動予測及び影響評価の連携推進に向けた検討チーム」等に本プログラム関係者が委員として参画し、それぞれの検討において本プログラムの成果が活用されている。このことから、本プログラムの成果は、国内の適応策検討などへの貢献を通じて社会実装に至る取組となっている。

また、テーマ C・D 連携により、東南アジア諸国との共同研究等を通じて、東南アジア等における気候変動予測シナリオ作成や、河川流量変動予測等を実施している。また、東南アジア諸国の気候研究者を招聘し、共同研究を展開するなどのキャパシティービルディングを通じた国際貢献を進めている。

さらに、本プログラムで創出された CMIP6 実験データや国内の予測情報などを、DIAS を通じて国内外の研究者に展開するなど、気候変動に係る研究基盤の強化を推進している。これらのことから、国内外における気候変動対策策定のための材料となる、知的基盤の整備へ貢献していると評価できる。

以上のことから、本プログラムの「有効性」は、引き続き高いと評価できる。

#### <効率性>

評価項目：

- ・研究開発の手段やアプローチの妥当性
- ・計画・実施体制の妥当性

評価基準：

- ・本プログラムの実施内容は、社会実装に有効な成果を創出するために妥当なアプローチとなっているか。
- ・本プログラムのテーマ間連携の運営体制は、研究実施上において適切な体制となっているか。

（気候変動影響評価・適応策評価技術の研究開発によって整備された国内の適応策検討や東南アジア地域支援に資するデータセットの数、テーマ間連携を実施する運営体制の設置等）

全体を統括する PD・PO のリーダーシップの下、各テーマの研究者が双方向コミュニケーションにより、連携して研究を進めるとともに、各テーマ間で成果を相互に活用している研究推進体制が構築され、効率的な事業運営・研究開発が実施されている。

研究調整委員会（年 1 回実施）においては、PD、PO、全てのテーマ代表者（及び関係者）が参加し、各テーマにおける進捗状況、連携状況、連携促進の議論が行われているほか、各テーマの研究運営委員会（各テーマで年 2 回実施）には外部委員及び他テーマ領域代表が相互に参画しテーマ間連携を推進する研究体制がとられている。各テーマ間の連携事例としては、テーマ A とテーマ B は気候モデル開発に関して、テーマ C 及びテーマ D は、上述のとおり、日本周辺の詳細な予測情報の創出や東南アジア等への国際貢献で連携している。

また、DIAS との連携による CMIP6 実験データの公開や、SI-CAT における本プログラムのモデル／予測データの活用が、影響評価の基盤となるなど、本プログラム外で広く社会課題解決に活用される道筋が見えてきている。このように、本プログラムの体制は、社会実装に有効な成果を創出するために適切なアプローチとなっており、研究実施上において適切なものとなっていると評価できる。

以上のことから、本プログラムの「効率性」は、引き続き高いと評価できる。

### （3）科学技術基本計画等への貢献状況

科学技術基本計画において、「地球規模での温室効果ガスの大幅な削減を目指すとともに、我が国のみならず世界における気候変動の影響への適応に貢献する。」と示されている。

本事業では、気候変動の緩和および適応策の基盤となる気候モデルの開発を通じて予測情報を創出するものである。また、予測情報は、国、地方公共団体等における適応策の検討に活用されている。以上より、科学技術基本計画に基づき、着実に実施されていると評価できる。

### （4）今後の研究開発の方向性

本課題は「**継続**」、「中止」、「方向転換」する。

理由：気候変動適応法が施行（平成 30 年 12 月）され、「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」とされているなど、気候変動適応研究を国として推進していく必要がある。また、本プログラムの成果（予測情報）は、国、地方公共団体等の機関の適応策に活用されているなど、社会実装に至る取組となっており有効である。さらに、各テーマの研究者の双方向コミュニケーションし、連携して研究を進めるとともに、各テーマ間で成果を相互に活用している研究推進体制が構築されているなど、効率的に研究が進められている。

以上より、本事業は継続して実施すべきである。

#### (5) その他

平成 30 年に気候変動適応法が施行されるなど、気候変動は引き続き喫緊の課題である。このような状況を踏まえ、必要性の観点で示されている通り、適応策のニーズを踏まえた予測情報の創出を目指すことが必要。今後の研究開発の推進に当たっては、以下の点に留意する必要がある。

- ・ 気象庁長官・文科省研究開発局長との共催による「気候変動に関する懇談会」や国土交通省「気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言骨子案」等で示されたニーズを踏まえ、日射量、海水の栄養塩等の高精度予測情報の創出や極端事象におけるダウンスケーリング精度の向上をしていくことが必要である。