

## ムーンショット目標 8

2050年までに、激甚化しつつある台風や豪雨を制御し極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現

# 実施状況報告書

## 2022年度版

社会的意思決定を支援する気象

－社会結合系の制御理論

**澤田 洋平**

東京大学 大学院工学系研究科

 **MOONSHOT**  
RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM



## 研究開発プロジェクト概要

本プロジェクトでは、小さな外力で大きく気象の未来を変えるための気象制御理論の構築と、制御実施を合意形成するために必要な極端風水害の社会インパクトの精緻な予測能力の獲得を達成します。それにより、2050年には、民主的な社会的意思決定に基づく気象と社会の制御で極端風水害の恐怖から解放された社会の実現を目指します。

[https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal8/81\\_sawada.html](https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal8/81_sawada.html)

## 課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
南出 将志	東京大学 大学院工学系研究科	助教
橋本 和宗	大阪大学 大学院工学研究科	講師
澤田 洋平	東京大学 大学院工学系研究科	准教授
鈴木 健太郎	東京大学 大気海洋研究所	教授
山崎 大	東京大学 生産技術研究所	准教授
田島 芳満	東京大学 大学院工学系研究科	教授
小谷 仁務	京都大学 大学院地球環境学	助教
藤見 俊夫	京都大学 防災研究所	准教授
松山 桃世	東京大学 生産技術研究所	准教授

## 1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

### (1) 研究開発プロジェクトの概要

本プロジェクトでは、小さな外力で大きく気象の未来を変えるための気象制御理論の構築と、制御実施を合意形成するために必要な極端風水害の社会インパクトの精緻な予測能力の獲得を達成する。それにより、2050年には、民主的な社会的意思決定に基づく気象と社会の制御で極端風水害の恐怖から解放された社会の実現を目指す。

### (2) 研究開発プロジェクトの実施状況

各研究開発課題が設定した当該年度のマイルストーン達成に向けて、研究運営体制の構築が進むとともに、基本的な成果を得ることができている。

研究開発項目 A-1 においては大規模アンサンブル台風再解析/再予報データセットの構築が進み、その気象学的な解析が行われ水蒸気の初期場に対する感度などの知見が得られると同時に、気象学的に非自明な知見を得るための新しいモデル低次元化手法に関する考察が進んでいる。並行して PM と連携して工学的アプローチ選定に関する議論も進み、水蒸気場の改変を軸としつつも幅広い工学的アプローチの候補を検討し、工学的アプローチの研究開発項目の設定のための分析を行った。

研究開発項目 A-2 においては頑健性の高い制御理論構築に向けて、気象モデルのシミュレーションに内在する不確実性を定量化するための開発が進んでおり、手法の一部は実際の気象モデルに実装され、有効性が確認されている。このように定量化された不確実性を衛星観測により理解する研究も進んでいる。また巨大アンサンブルの解析により「誰も損をしない」制御の容易性を解析するための基礎的検討に係る成果を得た。

研究開発項目 B-1 においては統合的な社会インパクト予測に不可欠な要素技術の開発が順調に進展している。当該年度は全球河川モデルにおける洪水防護スキームの実装や確率台風モデルによる高潮・高波の高速なアンサンブル計算の実現に向けた開発を進めた。次年度以降に向けてテストケースとなるような事例解析も行われており、順調に研究が進行している。

研究開発項目 B-2 においては災害に対する社会の応答を精緻に予測・制御することを目標に地域レベルおよびよりミクロなスケールの個人の行動に関する研究がともに順調に進捗している。地域レベルの研究では新しい社会水文モデルを構築し、地域間での防災情報の伝達が減災行動にどのように影響を及ぼすのかについて理論的に解析することを可能にした。また、仮想的な氾濫解析データを用いて経済被害算出アルゴリズムを構築し、広域な経済被害を算出できる環境を整えた。ミクロスケールの個人の行動を分析するにあたっては、心理実験を実施するための被災状況の仮想環境の構築を進めており、高潮氾濫状況の VR 映像を試作した。また、本研究開発項目においては ELSI 論点抽出のための市民対話の活動や、課題推進者間の議論が当初想定よりも進んでおり、全く未知な課題である気象制御の ELSI 研究に関して一定の進捗がみられている。

### (3) プロジェクトマネジメントの実施状況

PM 支援チームに、2名のムーンショット専任スタッフを配置した。1名は PM 補佐として事務・広報担当、もう1名は技術担当としている。事務・広報担当者は、各種書類作成・とりまとめ支援、課題推進者間・JST との連絡調整、イベント運営、ホームページ等作成の広報活動を行っている。技術担当者は、本研究において整備する計算機等の研究資源

の課題全体での共用、開発したプログラムやデータのオープンソース・オープンデータ化と公開体制の構築を行っている。

研究開発プロジェクト内の連絡調整等については、各課題推進者の研究時間最大化を PM 支援チームの使命と位置付け、各種書類作成を PM 支援チームで引き受け効率化している。非同期・同期のコミュニケーションをうまく使い分け、月ごとの研究進捗のモニタリングを行い研究活動にあたってのボトルネック解消に取り組んだ。PM、全課題推進者が一堂に会する課題推進者会議を 2023 年 3 月に実施した。

広報・アウトリーチ活動としては、研究開発プロジェクトのホームページを 2022 年 10 月に公開し、イベント開催情報、公募、研究成果の発信、動画を活用した情報発信を行った。また、研究開発プロジェクト内のコロキウムを外部公開した研究会 WeSCoS Colloquium や研究開発課題9を中心に市民の研究開発活動への参画を企図したワークショップ開催、また外部セミナーや研修会等での講演を通じてプロジェクト紹介を行った。

## 2. 当該年度の研究開発プロジェクトの実施内容

### (1) 研究開発項目 A-1:「制御可能性」を導く新しい気象データの構築・解析と制御手法設計 研究開発課題1:大規模アンサンブル気象再解析/再予報データの構築と気象学的解析

当該年度実施内容:

#### (1) データ同化

数値実験の実施に必要なシステムや、実施を担当するポスドク研究員、データ保存用のサーバなどは準備が完了した。特に強く発生した台風や被害をもたらしたケースなどを中心として、再現・再予報データの構築も開始した。

#### (2) 台風の発生しやすさの解析

GOES-16 の全天候赤外輝度温度観測同化により、台風の急速発達過程をよく捉えることができたハリケーン Harvey について、初期の水蒸気場を変動させ、発生から急速発達過程への影響を検証した。結果、ハリケーンの中心付近のみの 5-20%程度の限定的な水蒸気場の変動においても、対流活動が影響を受け、急速発達および最盛期の強度が有意に変動することが示された。水蒸気場を変動させる領域の拡大は必ずしも台風発達への影響の増大に繋がらない場合があり、台風全域の水蒸気場を減少させた場合と同様の効果をもたらす部分的領域の存在が示唆された。また同程度の大きさの変化を与えた場合でも、特定のタイミングに摂動を与えた場合のみ、発達への影響が大きくなるといった結果が示され、台風の急速発達に効果的に作用する“スイートスポット”の存在が示唆することができた。

課題推進者:南出将志(東京大学)

### 研究開発課題2:データ駆動型気象制御器の設計

当該年度実施内容:

データ駆動型の低次元モデルを得るため、モデル低次元化に関する研究動向の調査および流体シミュレーションを行った。具体的には、以下の研究項目を遂行した。

#### (1) モデル低次元化手法の研究動向の調査

流体場のモデル低次元化について、昨今の研究動向の調査を行った。流体場の低次元化においては POD (Proper Orthogonal Decomposition) や変分オートエンコーダなどが提案されているが、それらを制御問題に応用した既存研究はほとんど提案されていないことが分かった。

## (2) 流体場の数値実験

POD に DMDC (Dynamic Mode Decomposition for Control) を併用することで制御入力有りの線形システムを学習し、その後、最適レギュレータを用いてフィードバック制御器を構築する手法を提案した。数値実験では円柱周りの流れを考え、円柱表面に流体を放出する噴出口 (アクチュエータ) があると仮定し、水平方向における渦度の低減化を目標とする評価関数を考えた。数値実験により、ある程度の渦度を低減化することに成功したが、完全に渦度を 0 に漸近安定化させることはできなかつたため、得られた結果の課題抽出を行った。その結果、線形近似を行った際による推定誤差や、低次元化の際に制御入力の影響を陽に考慮していないことが、漸近安定化できなかつたことの原因であることが明らかとなった。

課題推進者: 橋本和宗 (大阪大学)

## (2) 研究開発項目 A-2: 制御のための不確実性定量化

### 研究開発課題3: 気象-社会結合系の不確実性定量化

当該年度実施内容:

(1) 気象シミュレーションに対する不確実性定量化ステージ1: 気候学的特徴を正確に表現する気象モデルの物理過程選択とパラメータチューニング

世界中で使われている代表的な領域気象モデルである Weather Research & Forecast (WRF) モデルにおいて、そのコードを大幅に改変し、物理過程の選択と物理過程内部のモデルパラメータに対する不確実性定量化を実現できるソフトウェア開発を行った。2015 年関東東北豪雨と 2022 年台風 Nannmadol の二つのテストケースにおいて動作を確認し、解析雨量やひまわり 8 号の輝度温度観測を用いて広範なモデルパラメータのチューニングとその不確実性推定が可能であることを示した。

(2) 気象シミュレーションに対する不確実性定量化ステージ 2: 流れに沿った気象モデルの物理過程選択とパラメータチューニング

すでに課題推進者が粒子フィルタに対して実現している手法をアンサンブルカルマンフィルターに適用できるようにした。提案手法である Hybrid Offline Online Parameter Estimation with Ensemble Kalman Filter (HOOPE-EnKF) は上記ステージ 1 で推定したパラメータの事後確率分布を制約条件として有効活用することで時空間分布するモデルパラメータの流れに沿って推定することができる。当該年度においては two-scale Lorenz96 モデルを用いて、提案手法の有効性を確認することができた。

(3) 極端気象がもたらす社会インパクト予測の不確実性定量化

2019 年台風 Hagibis を事例として既存手法を用いて 1000 個程度の大規模アンサンブル気象予測を実施した。多地点の海岸における高潮ハザードをパレートフロンティア解析の枠組みで分析することで 1000 メンバーの中から最悪シナリオとみなせる数十個のメンバーを客観的に抽出することができた。これらの最悪シナリオメンバーにおいては多地点間の

高潮ハザードのトレードオフの関係が端的に示されており、気象制御において議論すべき「制御で目指すべき望ましい/制御で回避すべき望ましくない」シナリオを議論することは簡単ではないことが示された。以上のように大規模な災害において多地点で発生する災害を大アンサンブル気象予測で解析する手法の大枠を提案することができた。

課題推進者：澤田洋平(東京大学)

#### 研究開発課題4:気象物理過程の不確実性の解析

当該年度実施内容:

##### (1)アンサンブルモデル実験データの解析

当該年度は、極端気象の代表例である台風のシミュレーションについて、数値モデルアンサンブルデータの解析に着手した。このために、研究開発課題1で実施された特定の台風事例に関するアンサンブルモデルシミュレーションの実験データを使い、雲の微物理プロセスに着目した解析を開始した。特に、雲から降水を生成する物理プロセスを調べるために、モデル実験から出力された雲と降水に関する変数を用いて、鉛直積算の雲水量と地表での降水量の関係を統計的に調べる解析を行った。具体的には、モデル実験の各時刻・各水平格子点における鉛直積算の凝結水分量と降水量から、与えられたしきい値よりも大きな降水強度が生じる割合(確率)を鉛直積算凝結水分量ごとに算出し、それが凝結水分量にどのように依存するのかを調べた。その結果、鉛直積算凝結水分量の増加に伴って降水の発生割合(確率)は単調に増加すること、同じ発生確率の降水は強い降水ほどより大きな凝結水分量で生じることを示す初期結果が得られた。この結果は、解析対象としたモデル実験において、雲に含まれる水分量が多くなるにつれてより強い降水が統計的に発生しやすくなることを意味しており、課題推進者の先行研究において衛星観測データおよび複数の全球気候モデルと全球雲解像モデルで見られた傾向と少なくとも定性的には整合している。この解析によって、本プロジェクトで今後用いられることになる領域気象モデルが雲からの降水生成の基本的な振る舞いを定性的には表現していることが確認され、翌年度以降により定量的で詳細な解析を行っていくための準備ができた。

##### (2)衛星観測データの解析

上に述べたモデル実験データの解析と並行して、翌年度以降のモデル比較のための準備として、衛星観測データの解析も開始した。このために、米国 NASA/A-Train 地球観測衛星群に含まれる Aqua 衛星搭載の MODIS センサと CloudSat 衛星搭載の雲レーダー、CALIPSO 衛星搭載の CALIOP ライダーを複合的に用いた解析を行った。具体的には、MODIS センサに含まれる短波長赤外チャンネルの観測輝度および CALIOP ライダーの偏光情報から推定される雲の熱力学的相(水か氷か)の割合と MODIS センサの可視・近赤外の観測輝度から得られる雲の有効粒子半径・光学的厚さを CloudSat 雲レーダーで観測される雲の鉛直内部構造のデータと組み合わせる解析し、雲内部の鉛直微物理構造が雲頂付近の雲粒有効半径と雲の相割合の双方にどのように依存して変化するかを統計的に調べた。その結果、雲頂付近の雲粒有効半径が大きいほど、また、雲の氷相割合が高いほど、雲内部の鉛直微物理構造が統計的に降水性の特徴を示す傾向にあることがわかった。この解析結果は、課題推進者が先行研究において水のみを含む「暖かい雲」を対象にして開発した衛星データ解析手法を水と氷の両方を含む「混合相雲」に拡張したものであ

る。これによって、前者の「暖かい雲」では雲粒有効半径の増加に伴って鉛直微物理構造が非降水性から降水性へと系統的に遷移していくという先行研究の知見が後者の「混合相雲」からの降水過程に関する知見へと発展的に更新され、氷相割合の高い雲ではより小さな雲粒半径で降水が起こる傾向にあることを統計的に示す初期結果が得られた。この初期結果は、衛星データの複合解析によって雲からの降水生成を決めている微物理プロセスを観測的に診断できることを例示したものであり、これによって、今後の本プロジェクト研究において数値モデル実験の不確実な微物理パラメータへの依存性を観測的に評価していくための具体的な方法論の一つを提示した。

課題推進者：鈴木健太郎(東京大学)

### (3) 研究開発項目 B-1:水害の複合ハザードの統合的確率予測

#### 研究開発課題5:洪水氾濫ハザード確率予測

当該年度実施内容:

当該年度は、全球河川モデル CaMa-Flood に洪水防護スキームを実装することを最優先で進めた。現実のダム操作を考慮した時の妥当性と数値計算上の安定性を向上させるために、ダム操作スキームの式系を抜本的に改善した。さらに、全球貯水池データベース GRanD に含まれていないダムが表現できていないことが課題であったが、メコン川を対象に近年新造されたダムを追加する実験を行い、貯水容量などのダムパラメータを推計する枠組みを概ね完成させた。

また、現実的な浸水域の推定にはダム操作に加えて堤防の表現が必須である。そこで本研究課題では全球河川モデルの枠組みで堤防を適切にサブグリッド地形パラメータとして表現することで、堤防による氾濫発生を抑制を表現できるように全球河川モデルの物理過程を改善する。堤防スキームの地形パラメータとして堤防の位置や高さの情報が必要となるが、堤防に関するデータベースは限られている。そこで、まず堤防データが広域で利用可能なアメリカを対象に、CaMa-Flood 計算で利用可能な集水域単位の堤防パラメータを作成し、それを元に、人口や土地利用分布・地形データ・洪水防護レベルデータ FLOPROS などを組み合わせて、全球の任意地点に置いて堤防の大まかな位置と高さを推定するアルゴリズムを開発した。

#### (2)リアルタイム確率的洪水氾濫予測システムの構築

過去の極端気象災害についての再現実験を行うことで、洪水防護の考慮の有無によって洪水氾濫ハザード予測がどの程度異なるかを示すサンプルデータを作成した。堤防スキームを用いる場合は、CaMa-Flood は各単位集水域において河川水位(堤外)と防護側水位(堤内)を計算する。高解像度の地図データをピクセル単位で堤外・堤内に分けることによって、堤防を考慮した浸水域ダウンスケールが可能になった。2019年台風19号による浸水深ダウンスケール実験を行い、堤防を考慮することで浸水範囲が現実的になることを示した。堤防スキームのインパクト評価を先行して進める必要があったために、アンサンブルハインドキャストではなく再解析データによる再解析実験を行ったが、堤防による防護の効果を加味したハザード推定が可能になり、社会的意思決定の研究を進めるための参考データを構築できた。

課題推進者:山崎大(東京大学)

## 研究開発課題6:高波高潮ハザード確率予測

当該年度実施内容:

### (1) 気象アンサンブルに基づく台風情報の抽出

研究開発課題3が創出する大量の気象アンサンブル予測データに基づき、高波および高潮推算に用いる台風情報を抽出するシステムを構築することを企図し、本研究では、気象アンサンブル予測データに確率台風モデルを組み込み、台風中心近傍の風況場には経験台風モデルを活用するモデルを構築して、その妥当性を検証した。その結果、最大風速半径などのパラメータを適切に入力することにより、台風近傍の風況場については妥当に再現できることを確認した。高潮の推定においては、湾スケールでの風況場の再現性が重要となるため、構築したモデルで台風が湾近傍を通過して高潮が増大する条件下では、妥当な再現精度が期待できる。一方で、遠方からの伝播も重要となる高波の推定においては、台風近傍だけでなく周辺の風況場の再現性も重要となるため、その推定手法の検討をさらに進める。

### (2) 北西太平洋域を対象にした確率台風モデルの構築

北西太平洋域を対象とした確率台風モデルを構築した。確率台風モデルは時間発展項に自己相関法を取り入れ、個々の台風の履歴による影響を考慮できるモデルとした。さらに、実際の台風が生成した際の観測データおよび予報値を確率台風モデルに組み込み、任意時刻以降の台風を生成することのできるモデルへと拡張した。

### (3) 気象アンサンブル予測データと確率台風モデルの結合

上記の構築した確率台風モデルと気象アンサンブルデータとの統合手法を検討し、気象アンサンブルデータに基づき台風中心の気圧や位置、最大風速半径を入力する手法を構築した。実際に風況場を生成して高潮および高波の推算を実施し、その計算結果の比較を通じて、高潮および高波の高精度推算に適した風況場の生成方法を検討した。

課題推進者:田島芳満(東京大学)

## (4) 研究開発項目 B-2:社会インパクトの予測・制御と気象制御の社会的意思決定

### 研究開発課題7:災害社会ダイナミクスの予測・制御

当該年度実施内容:

地域間の情報伝搬について、地域間相互作用を考慮した社会水文モデルを構築した。個別の地域社会の風水害への対応能力の高さが、自地域の水害予報の帰結と被災経験によって形成される過程を描くベースとなるモデルは既に課題推進者らによって作られていた。当該年度、このモデルに地域間相互作用を含め、新たな理論モデルの開発に取り組んだ。各地域をノード、地域間の隣接状況をリンクで表すネットワークモデルへと拡張した。すなわち、各地域の風水害への対応能力の高さが、自地域のみならず他地域の水害予報の帰結と被災経験によって決まる相互作用を導入した。そして、地域間で脆弱性(例えば、堤防の高さなどのインフラの水準)が同じ場合や異なる場合について、アンサンブル予測に基づく警報発令と各地域の損失を分析した。数値実験の結果として、インフラ水準が低い地域では地域間相互作用によりオオカミ少年効果(誤報率が高いことで経済損失が大きくなる事象)が発生しやすいことや、インフラ水準が高い地域では地域間相互作用により地

域の対応能力が高まることなどが分かった。さらに、地域間の異質性が大きい社会では、人々の被災経験や警報に対する信頼度、相互作用の程度などの社会的側面を考慮することが、社会的に効率的な警報戦略の設計において重要であること等の知見を得た。

このモデルは、気象制御によるハザードや予報の変化が、多様な地域社会の防災体制・避難行動能力の高さに動的にどのように作用するかのシナリオ分析、および地域の損失を最小化する警報システムの設計の検討に寄与する。これらの点でプロジェクトの目標達成に向け効果的である。

課題推進者:小谷仁務(京都大学)

#### 研究開発課題8:水害経済被害額予測と意思決定のための不確実性推定

当該年度実施内容:

研究開発項目 B-1 からの氾濫解析データが提供されれば、即座に経済被害額の算出が可能となるように、仮想的な氾濫解析データを用いて経済被害算出アルゴリズムを構築した。当該年度は、極端台風による高潮で甚大な被害が生じることが危惧される大阪湾岸エリアを対象として、氾濫解析の結果から浸水エリアと浸水深さのデータが得られれば経済被害額が算出できるように人口・資産等の GIS データセットを整備し、その自動計算プログラムを構築した。これらを用いて複数の起こりうる仮想的な浸水データをもとに経済被害額の試算を行った。経済被害算出の方法は、他の経済被害の試算例とある程度の整合性を保つため、国土交通省「治水経済評価マニュアル」を用いた。

極端台風による水害・土砂災害の被災状況に関する仮想環境(VE)を構築するために、まず、近年の水害・土砂災害の被災状況の記録映像を収集し、その被災状況を確認することで、水害と土砂災害に対する典型的な特徴を捉えた。水害については、大規模な高潮被害が危惧される地域であり、上記の経済被害の推定研究との連携がとれる大阪湾岸エリアをモデル地区とした。さらに、大阪湾岸エリアを踏査し、水害被災状況の表現対象とする典型的な街並みをデザインした。土砂災害については、熊本、広島、岡山、熱海の土砂災害の実地調査と録画映像をもとに、その典型的な特徴を抽出してモデルとなる街並みをデザインした。特に、港湾堤防沿いの街並みについて3次元コンピュータグラフィックスを構築し、高潮氾濫状況のVR映像を試作した。その試作VR映像について、海岸工学の専門家と景観工学の専門家に不自然な箇所を指摘してもらい、それらの修正を行っている。

課題推進者:藤見俊夫(京都大学)

#### 研究開発課題9:気象制御の社会的意思決定可能性の検討

当該年度実施内容:

当該年度は、高知県および和歌山県を対象に市民対話イベントを企画し、実施した。意思決定の場設計に必要な諸要素を回収することが目的であるため、情報提供よりも対話を重視し、運営側から論点を提供するのではなく、参加者から問いを募る「哲学対話」(※梶谷真司著「考えるとはどういうことか 0歳から100歳までの哲学入門」幻冬舎新書)手法を改変し、実施した。二部構成とし、参加者個々の台風の認知を共有した上で、台風制御の認知を言語化することとした。参加者が52名(高知市)および31名(和歌山市)となり、想定以上に多くの対話データを収集すること

ができた。

提供すべき情報として「制御技術の目的あるいは手法の具体」の必要性が、ステークホルダーとして漁業関係者や災害対策従事者などが、ELSI として「台風のメリットを享受するための課題」を含む多様な論点が抽出された。令和 6 年度実施予定の、大規模アンケート調査による量的解析に向けた予備調査として、有用なデータが回収された。

また、イベント参加者に対して簡易なアンケート調査を実施した。台風制御に対する、イベント前後の受容的態度の変化を分析した結果、若年層での受容性の低下が顕著に見られた。態度変化の理由として、情報提供よりも対話での他者の発言を挙げた参加者が多く、社会的判断・意思決定プロセスに対話を組み込む重要性が示唆された。

気象制御にかかわる ELSI 課題全体の大まかな俯瞰図作成については、令和 4 年度に、各プロジェクトの ELSI 担当者による「ELSI 横断検討チーム」が結成され、1) 目標 8 の各プロジェクトのカバー領域の確認および共有、2) ELSI の検討状況を特定する整理軸の抽出と議論、3) 気象制御のメリット・デメリットの洗い出し、そして 4) ELSI 論点の洗い出し・体系化を行った。整理軸としては、制御対象、制御技術の具体、普及段階、要件、範囲、期間、ステークホルダーなどが抽出された。令和 4 年度は、特定の整理軸に応じた体系化は実施しなかったが、今後の ELSI 論点の精緻化において、重要な情報となると期待される。各プロジェクト内で事前に ELSI 論点を洗い出した上で、ELSI 横断検討チームにそれらを持ち寄り、体系化を試みた。最終的に、6 種のカテゴリーに具体の論点を分類し、大まかな俯瞰図とした。6 種とは「地球規模のリスクに関わる課題」「地域レベルのリスクに関わる課題」「社会システムの脆弱性をめぐる課題」「自然・文化に関わる価値判断をめぐる課題」「社会的判断・意思決定プロセスに関わる課題」「責任ある研究・イノベーション実践に関わる課題」である。

また、プロジェクト内での ELSI/RRI の位置づけについても検討チーム内で議論を重ね、一研究開発課題で閉じるべきものではなく、プロジェクト全体で取り組むべきであることが強調された。検討チームから、すべての課題担当者が、研究開発と並行して ELSI を常に意識していくべきであるという意識変革の提案がなされたことは、大きな成果と考えられる。

課題推進者:松山桃世(東京大学)

### 3. 当該年度のプロジェクトマネジメント実施内容

#### (1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

##### 進捗状況の把握

○代表機関の PM 支援チームには PM の他、2 名のムーンショット専任スタッフを配置した。1 名は事務・広報担当で、各種書類作成支援、課題推進者間または JST との連絡調整、ホームページや取材対応等の広報活動を行っている。もう 1 名は技術担当で、本研究において整備する計算機等の研究資源の課題全体での共用、開発したプログラムやデータのオープンソース・オープンデータ化と公開体制の構築を行っている。

○重要事項の連絡・調整方法として、課題推進者会議を設置し、各課題推進者と PM チームの間で連絡調整を行った。各課題推進者の研究時間最大化を図るため、事務的な連絡事項に関しては可能な限り Slack やメールなどによる非同期のコミュニケーションを主とした。研究そのものにかかわる重要事項については対面会議や Zoom などの同期のコミュニケーションにより行った。

○課題推進者会議を月 1 回 Slack 上で書面開催し、その月の進捗や研究発表の状況、研究を進めるうえで課題となっていること等を PI のみならず各課題推進者の研究室で実働している研究者とも共有した。2023 年3月 20 日に課題推進者会議をハイブリッド開催し、各課題推進者の進捗状況報告、議論を行った。

#### 研究開発プロジェクトの展開

○研究開発体制については一つ一つの課題が独立かつ目標達成に不可欠な問題に取り組むことを原則とし、単一の問題を複数のチームが解こうとするような競合関係は発生しないように各研究開発機関を配置した。一方で、ムーンショットの壮大な目標は一つの研究開発項目や研究開発課題のみでは到底達成できないため、各課題間の連携を積極的に促した。加えて、現状の研究開発体制では解決不可能なボトルネックがないか常に気を配り、必要に応じて体制を変更することによってより最適な研究資金の活用が行えるよう、各研究開発課題の進捗をモニタリングした。

○研究開発の加速や研究開発プロジェクト全体の再構築については、2024 年度からの気象制御の工学的アプローチに関する研究開発項目の設定にむけて準備を進めた。

○世界中から研究者の英知を結集するための国際連携に関する取り組みについては翌年度以降国際学会におけるセッション提案や海外研究機関の優秀な研究者の招へいなどを計画・準備している。また、研究開発プロジェクトの一部成果がベトナム水文気象庁との共同研究に発展しており、今後の国際的な展開が期待できる。本研究開発プロジェクトにおける研究員公募は国際公募となっていることが多く、外国研究機関出身の研究者が多く参画しており、国際的な人材交流ネットワークの中に研究プロジェクトを入れることができている。

○ELSI 課題については、社会全体で意思決定する場の設計に必要な諸要素予備調査や、他のムーンショット目標8プロジェクトと連携して気象制御にかかわる ELSI 課題についての議論を進めた。

#### (2) 研究成果の展開

研究成果の展開についてはオープンサイエンス・オープンイノベーションの考え方を主軸とする。既存のムーンショットの研究のみで目標が達成されるわけではなく、最終的にはより広い研究者コミュニティ全体で目標が達成されるはずであるという立場に立ち、研究成果やイノベーションの果実を本研究の研究者で独占せず、広く世界全体の財産とすることに努める。つまり研究成果はオープンにすべての人が利用可能なようにする。そのために、作成したデータやコード資源等を迅速かつ広く公開する仕組みを PM チームを中心に整えた。技術情報を広く公開することにより、多くの研究開発アクターを呼び込み、研究領域全体の拡大に努める。

### (3) 広報、アウトリーチ

○本研究全体のホームページ(<https://www.wescos.t.u-tokyo.ac.jp/>)を2022年10月に開設し、国内外への広報活動の拠点として、日本語版と英語版を運用している。研究成果、コロキウム案内、公募情報などを掲載している。また、動画を活用した研究紹介コンテンツも展開を開始した。

○多様な分野の方々との議論を通じて今後の数値天気予報研究について考える WeSCoS Colloquium を2か月に1回程度のペースで開催している。コロキウムは一般公開しており、2022年度は4回開催し、合計72名の参加があった。

○研究開発課題9を中心に市民の研究開発活動への参画を企図したワークショップを、高知市(2022年12月8日)と和歌山市(2022年12月11日)で開催し、合計88名の参加者を得た。また、高知でのワークショップでは地元メディアからの取材を受けた。

○研究開発課題9が東京大学駒場リサーチキャンパス一般公開(2022年6月10-11日)に併せて、気象制御に対する一般参加者の印象調査を行った。

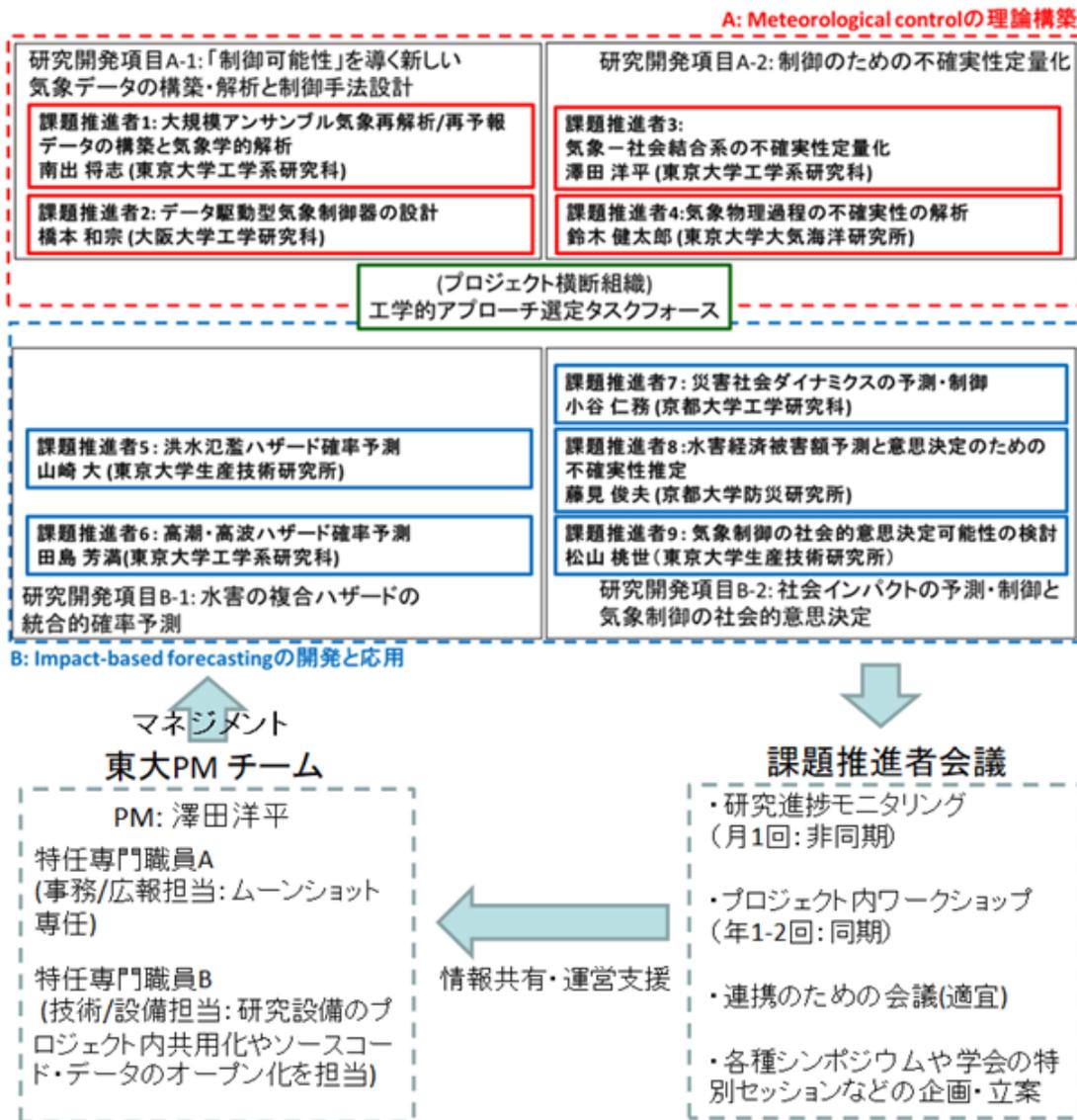
○日本 Global Infrastructure Foundation (日本 GIF 財団)で2022年7月22日に行われたオンラインセミナーでPMが気象予報・気象制御に関する招待講演を行った。

○学術変革領域研究 B「微気象制御学」のシンポジウムにおいてPMがムーンショットにおける気象制御研究に関する招待講演を行い、関連する研究者と交流した。

### (4) データマネジメントに関する取り組み

○原則としてデータは積極的に公開し気象制御研究という新たな研究領域への研究者の積極的な参入を促す。当該年度は、データセット構築用サーバを設置し、研究開発課題1で予定している大規模再解析データセットの構築と公開への準備を進めた。本サーバを今後有効活用しプロジサーバ内部および外部へのデータ共有・保全に生かしていく予定である。

#### 4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



知財運用会議 構成機関と実施内容

2022年度は該当する案件がなかったため、開催なし。

運営会議 実施内容

必要に応じて適宜非同期・対面等で開催した。

## 5. 当該年度の成果データ集計

知的財産権件数				
	特許		その他産業財産権	
	国内	国際(PCT含む)	国内	国際
未登録件数	0	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	0	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	2	0	2
口頭発表	3	11	14
ポスター発表	0	4	5
合計	5	15	21

原著論文数(※proceedingsを含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	1	1
(うち、査読有)	0	1	1

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	0	0	0
書籍	0	0	0
その他	0	0	0
合計	0	0	0

受賞件数		
国内	国際	総数
0	0	0

プレスリリース件数
0

報道件数
1

ワークショップ等、アウトリーチ件数
12