

## 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

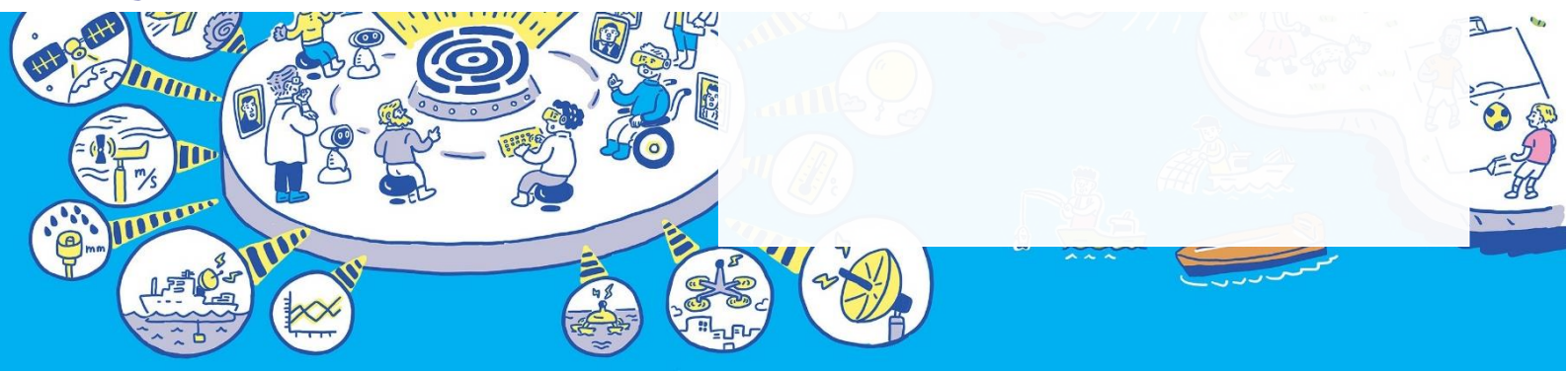
局地的気象現象の蓋然性の推定を可能

にする気象モデルの開発

**西澤 誠也**

理化学研究所 計算科学研究センター

 **MOONSHOT**  
RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM



## 研究開発プロジェクト概要

気象制御において、制御の容易さや適した制御手法は気象事例ごと異なります。そのため、気象制御を実現するためには、現象に応じて最適な制御手法を事前に判断できるようになることが必要です。最適な手法を選択するためには、現象の発生場所・時刻・強度などが必然的に決まるのかそれとも偶然的かという蓋然性の正確な推定が重要です。しかし、気象シミュレーションモデルに内在する問題により、蓋然性推定に誤差が生じることがボトルネックとなっています。

本プロジェクトでは、気象シミュレーションモデルに内在する問題を解決するため、従来計算手法の延長的改良ではなく、質的に異なる手法の開発に取り組むことで、蓋然性推定を可能にする気象モデルの構築を目指します。これにより、より正確な蓋然性推定が実現され、気象制御の実現に貢献することが期待されます。

[https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal8/86\\_nishizawa.html](https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal8/86_nishizawa.html)

## 課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
伊藤 純至	東北大学 大学院理学研究科	准教授
河合 佑太	理化学研究所 計算科学研究センター	特別研究員
島 伸一郎	兵庫県立大学 情報科学研究科	准教授
佐藤 陽祐	北海道大学 大学院理学研究院	准教授
西澤 誠也	理化学研究所 計算科学研究センター	研究員
足立 幸穂	理化学研究所 計算科学研究センター	研究員
宮本 佳明	慶應義塾大学 環境情報学部	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

気象制御を実現するためには、最適な制御手法決定に必要となる、現象の発生場所・時刻・強度などが必然的に決まるのかそれとも偶然的かという蓋然性の正確な推定がボトルネックとなっている。本プロジェクトでは、蓋然性推定に誤差をもたらす気象シミュレーションモデルに内在する問題の解決のため、従来計算手法の延長的改良ではなく質的に異なる手法を開発することで、蓋然性推定を可能にする気象モデルの開発を目指す。

### (2) 研究開発プロジェクトの実施状況

本年度は、本プロジェクトの目標である蓋然性推定精度向上にむけて、研究開発課題毎にそれぞれが開発目標としている気象シミュレーションモデルの計算スキームや評価のための手法の開発を進めた。

研究開発項目 1 サブメートルスケールシミュレーションのためのモデル開発においては、接地層乱流スキームおよび不連続ガラキソ法を用いた力学スキームの数理モデル化を完成させ、プログラムコードの実装を行い、その妥当性の検証を行った。

研究開発項目 2 物理法則に基づく物理過程スキーム開発においては、超水滴法雲微物理スキームを用いた現実大気実験のために必要な開発や設計を行うとともに、エアロゾル・雲・降水・雷の統合スキームのためにまずは雲・降水と雷の統合スキームの開発を行いその妥当性の検証を行った。

研究開発項目 3 シミュレーション評価においては、過去研究で提案された手法を発展させることで、本プロジェクトで行うシミュレーションの評価のための手法の設計開発を行った。

全体として、当初の研究開発計画にそって実施できており、引き続き 2023 年度もマイルストーン達成に向けて計画にもとづいて研究開発を進めていく。

### (3) プロジェクトマネジメントの実施状況

本年度に計画していた、課題推進者の選定、マネジメント補佐の雇用を予定通り行い、本プロジェクトの目標を実現するための研究開発体制およびプロジェクト推進体制を確立した。

プロジェクト内の情報や進捗の共有のための環境構築については、月 1 回の定例ミーティングの実施や、メールリストの整備、ファイル共有のための環境整備など、予定通りに遂行した。

アウトリーチについては、計画通り、一般向けのプロジェクト紹介コンテンツの作成や、プロジェクト Web ページの作成・公開を行い、国民に向けた情報発信を行った。

## 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 1: サブメートルスケールシミュレーションのためのモデル開発

#### 研究開発課題 1: 接地層乱流スキーム開発

当該年度実施内容: 従来の接地層乱流スキームに内在する仮定を排除し、サブメートルスケールシミュレーションにおいて適切な接地層スキームの開発を行っ

た。令和4年度は Mouri and Ito (Physic of Fluid, 2022) により提案された、高解像度時に適した新たな接地層フラックスの診断手法を数値シミュレーションに導入するために、適切な高度依存性の定式化を完成させた。そして、このモデルを用いた数値実験を行い、地上風速観測により検証を行った。

課題推進者: 伊藤純至(東北大学)

#### 研究開発課題2: 高精度力学スキーム開発

当該年度実施内容: 低次精度力学スキームの数値誤差や数値粘性・拡散が、現象の蓋然性の表現に与える影響を軽減することを念頭に置きながら、サブメートルスケールシミュレーションのための高精度力学スキームの開発を行った。高精度力学スキームとして、高精度化が容易でデータ局所性の高い不連続ガラーキン法(DGM)に基づく力学コアを構築し、その物理的な妥当性を伝統的な力学コアのテストケースで調べた。線形移流や内部重力波のテストを行い、理論的に期待される数値収束率との比較を行った。また、富岳での DGM に基づく力学コアの計算性能測定を行い、SCALE-RM を用いた同程度の格子幅の実験との比較を行った。

課題推進者: 河合佑太(理化学研究所)

### (2) 研究開発項目2: 物理法則に基づく物理過程スキーム開発

#### 研究開発課題1: ラグランジュ粒子ベース雲微物理スキーム開発

当該年度実施内容: ラグランジュ粒子ベース雲微物理スキームによる現実大気シミュレーション実施の準備として、コードの拡張と小領域のテスト実験を行い、結果の気象学的妥当性の評価を行った。また、スキームの性能評価のため、孤立対流雲と雲チャンバー実験の再現シミュレーションを開始した。また、雲クラスター事例を選定するとともに数値実験計画書の作成を行った。

課題推進者: 島伸一郎(兵庫県立大学)

#### 研究開発課題2: エアロゾル・雲降水・雷統合スキーム開発

当該年度実施内容: 本開発課題の目標である、「エアロゾル、雲・降水、雷統合スキームの開発」の達成に向けて、雲・降水、雷統合スキーム(気象雷モデル)の開発を実施し、モデルで計算された発雷頻度と観測された発雷頻度とが矛盾しないこと、および、モデルで計算された雲内部の電気的特性が過去の理論研究と整合的であることの確認を行った。この開発した雲・降水、雷統合スキームを用いることによって、雲内部の電気的特性と雷頻度の時空間分布変動を陽に計算することが可能となり、

最終的なマイルストーンである「エアロゾル、雲・降水、雷統合スキームを開発」のうち、雲・降水、雷統合スキームの開発を完了した。

課題推進者: 佐藤陽祐(北海道大学)

### (3) 研究開発項目 3: シミュレーション評価

#### 研究開発課題 1: 蓋然性推定精度評価

当該年度実施内容: 蓋然性推定精度評価のためのメトリックの設計を行った。過去研究で提案されている確率予測のための評価メトリックのレビューを行い、蓋然性推定評価に適した評価メトリックセットの設計を行った。そして、低次元のカオス系の実験により、確率分布の直接時間積分で得られる分布をもとにその評価メトリックセットの妥当性を示した。

課題推進者: 西澤誠也(理化学研究所)

#### 研究開発課題 2: 非線形相互作用を含めた不確実性の要因分析

当該年度実施内容: 課題推進者がこれまで開発してきた領域気候の将来変化における不確実性の要因分析手法(Adachi et al., 2019; ASL)を基に、異なる2つのモデル要素のそれぞれに複数ケースある場合の定量的評価手法の開発を行った。

課題推進者: 足立幸穂(理化学研究所)

#### 研究開発課題 3: 離散化による不安定モードの変質による影響評価

当該年度実施内容: 本開発目標である「離散化による不安定モードの変質による影響評価」を目指して、湿潤過程を含んだ Rayleigh-Benard (R-B) 不安定に注目して、定式化を試みた。解析的な解が得られる系の構築は困難であることが判明したため、解析的な解の定式化の導出の代わりに数値的に解の導出を行った。二次元の流体系に水蒸気の凝結・水滴の蒸発などの一連の湿潤過程を加えた数値モデルを構築して、R-B 不安定に関して時空間解像度を系統的に変えた数値実験を行った。そして、乾燥条件下と湿潤条件下とでそれぞれ安定条件を調べ、その違いを示した。また、高解像度の実験を行うことにより解の解像度に対する収束性について調べ、先行研究との定量的比較を行った。

課題推進者: 宮本佳明(慶應義塾大学)

### 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

PM 活動を補佐するための体制として、パートタイムアシスタントを 1 名雇用するとともに、代表機関の関係部署（理化学研究所外部資金室、理研鼎業、理化学研究所計算科学研究センター計算科学研究推進室、理化学研究所科技ハブ産連本部）との連携体制を構築した。パートタイムアシスタントは、PM 活動のうち主に研究内容に関わらない各種業務を担当するため、外部研究資金プロジェクトの事務管理経験が豊富な人材を採用した。契約業務や知財戦略などについては、理研内のそれぞれの専門部署が担当することで円滑なマネジメント業務推進が可能となる体制とした。

プロジェクト内の意識共有および進捗等の共有のため、キックオフミーティング(7/13)、および月一回の定例ミーティング(8 月～3 月の計 8 回)を実施した。また、評価結果をうけて来年度の計画変更等について議論するため、3 月に運営会議を開催した。これらのミーティングには、SPD、アドバイザー、JST 事務局にも出席をお願いし、助言やコメント等を得た。

##### 研究開発プロジェクトの展開

各研究開発課題間の連携強化および計算資源利用の効率化をめざし、それぞれの研究開発課題のうち関係する課題で議論する場を設け、共通の数値実験設定の構築を促進させた。また、本プロジェクトで実施する数値シミュレーション実験の結果は、本プロジェクト内に限らず他の研究プロジェクト等でも利用することで、本プロジェクトの目的以外の研究成果促進を検討した。具体例として、研究拠点形成推進事業「異なる時間スケールを考慮したレジリエント社会形成に資する計算科学研究」(研究代表 大石哲) で実験データで利用される予定である。

国際連携に関する取り組みとして、課題推進者の島らが粒子ベースの雲微物理スキームに関するセッションを 2023 年の America Meteorological Society の Annual meeting に提案し、採択された。

(<https://ams.confex.com/ams/103ANNUAL/webprogrampreliminary/Session61566.html>)

また、開発したスキームの検証のため、Indian Institute of Tropical Meteorology で進めている観測プロジェクト Cloud Aerosol Interaction and Precipitation Enhancement Experiment と連携を進めており、リモートミーティングで議論を行っている。

その他、将来の研究協力や人材育成を念頭に、各研究機関の制度を利用して、国際インターンシップ生の受け入れ(理化学研究所 1 名)や、海外からの研究生の受け入れ(兵庫県立大学 2 名)を行った。

#### (2) 研究成果の展開

本プロジェクトで開発したプログラムソースコードは、すべてオープンソースライセンスのもとで公開する。そのための準備として、github.com を利用したソースコード管理体制の構築を行った。また、開発したスキームを、他の気象シミュレーションモデルへ展開するために、他のモデル開発グループとの共同研究開発にむけた取り組みを行うため、2023 年度

に行う国際ワークショップの開催を企画した。

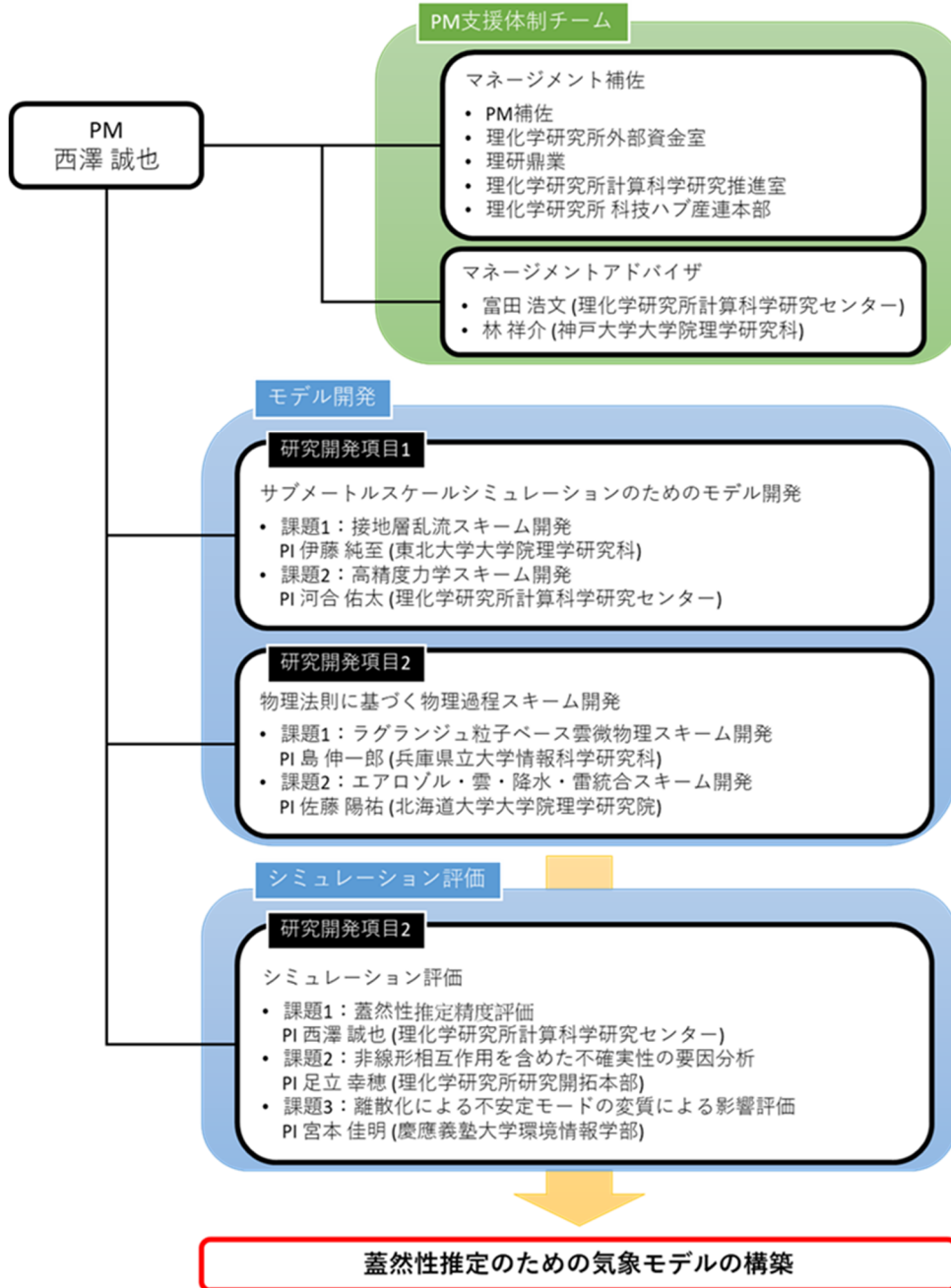
(3) 広報、アウトリーチ

本プロジェクトの内容を、一般の方々に分かりやすく説明するために、サイエンスライターに依頼し、紹介文および図表の制作を行った。また、当該プロジェクト紹介コンテンツ等を用いて一般に向けたプロジェクトのホームページを制作し、公開した。

(4) データマネジメントに関する取り組み

本プロジェクトで得られたデータは、公開を原則とすることを決定した。開発したプログラムソースコードについては、オープンソースライセンスのもとで公開する。シミュレーション実験データについては、公開データアーカイブサービスへの登録など、データサイズによって適切な手段で公開することとした。

#### 4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図





## 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	2	4
口頭発表	8	2	10
ポスター発表	0	1	1
合計	10	5	15

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
0

ワークショップ等、アウトリーチ件数
1