



## 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

## 2023 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



## 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

令和5年度は、それぞれの研究開発課題において気象モデル計算スキームや評価手法の開発や改良を、昨年度に引き続き継続的に行った。また、本年度のマイルストーンに設定している、これらのスキームや手法の評価について、評価のために必要な実験の設計や、実験実施、および、実験結果の解析を行った。

研究開発課題項目1および2の気象モデル計算スキームの開発においては、接地境界層乱流スキーム、不連続ガラーキン法力学スキーム、超水滴雲微物理スキーム、雷スキーム、エアロゾルスキームのそれぞれのスキームの開発や改良を進めるとともに、それらの検証実験を実施した。それぞれの計算スキームの検証のために、理想的な実験条件を設定し、期待される結果が得られるかどうかを検証した。

研究開発課題項目3のシミュレーション評価においては、それぞれの評価手法の開発や改良を行うとともに、その手法の検証や、シミュレーションの評価を進めた。

加えて、当初の計画にはなかったが、2050年頃の気象制御のリアルタイム運用やそれにむけた検証においては、スーパーコンピュータにおける高速な数値計算が必須であるとの判断から、世界的に進んでいるスーパーコンピュータの演算加速器（GPU など）採用のトレンドに対応するために、気象シミュレーションモデルのGPU対応にも取り組むこととした。各研究開発課題で協力して開発を進めることで、GPU 計算機でのシミュレーションを実行可能とした。

### (3) プロジェクトマネジメントの実施状況

プロジェクト運営を適切に進めるため、月1回、プロジェクト内の定例ミーティングを開催し、情報や進捗の共有を行った。当該ミーティングには、アドバイザーの先生やJST事務局にもご参加いただき、適宜アドバイスをいただきながらプロジェクトを進めた。また、参加者のそれぞれの研究についての相互理解やプロジェクト内の相互連携を促進するべく、プロジェクト合宿（9/4-5）を行った。この合宿には、世界の最先端の知見を取り込むため、当該分野の最先端で活躍する研究者を招聘した。

ムーンショット目標8プログラム内のプロジェクト間の連携については、全プロジェクトのPMで議論する場を企画するなど、連携に向けた取り組みを継続的に行った。

プログラム外の研究との連携や協力のための取り組みも進め、国際ワークショップの共催や、海外の関係プロジェクトのメンバーの本プロジェクトへの参画、外部の若手研究者の短期受け入れなどの取り組みを進めた。

アウトリーチについては、プロジェクトのウェブページに適宜最新の成果情報を掲載し、プ

プロジェクトの成果発信に努めた。

## 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:SCALE モデルに新たな接地層乱流スキームを実装することを目標に、運動量フラックスの変動が顕著になるような環境条件(中立成層に近く、弱風)を想定した高解像度の理想化実験を実施した。この新しい接地境界層スキームを導入した場合と、しなかった場合の計算を行い、それらの計算結果において地表近くの風速分布(例えば風速の分散の対数則との比較など)を比較検証し、接地境界層の実測結果を合理的に再現することを示した。

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、不連続ガラーキン法(DGM)に基づく高精度力学スキームの開発を進めた。当該年度は開発した高精度力学スキームのサブメートルシミュレーションにおける効果を検証する系として Rayleigh-Bénard 対流に焦点を当てて、LES 実験と DNS 実験を実施した。その物理的な妥当性を確認するために、初期的な解析を行い、先行研究の結果やスケール則と概ね整合することが確認できた。また、エネルギースペクトルの解析によって、DGM の展開多項式の次数に伴う有効解像度の変化を調べた。また、富岳における DGM の計算コードの計算効率や並列計算のスケラビリティ等の調査をさらに進め、高速化ポテンシャルについても検討した。

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の雲微物理素過程の精緻化を行うとともに、プログラムを改良した。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実施した。スキームの性能評価のための雲クラスター事例の数値実験も開始した。

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、エアロゾル・雲・降水スキームの開発を実施した。開発したエアロゾル・雲・降水統合スキームを用いることによって、エアロゾルの時空間分布変動とそれによる雲への影響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、エアロゾル・雲・降水統合スキームの開発を概ね完了させた。

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:令和4年度で設計した分布の推定精度の検証方法について、多変量分布への拡張を行うとともに、理想実験によりその妥当性の評価を行った。また、研究開発項目1の研究開発課題によって開発された新しいスキームについて、当該課題の課題推進者と協力し理想実験によりそのスキームの評価を行った。

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:シミュレーション結果にもたらされる不確実性に対し、各モデル要素の影響について定量的評価を行うという本課題の目標に向けて、今年度は、雲物理スキームと解像度(格子サイズ)の違いによる不確実性について定量的比較を行った。具体的には、雲物理スキームの違い、及び、解像度の違いによる降水変数などのばらつき(不確実性)の幅の直接比較に加え、令和4年度に開発した手法を用いて、両者が同時に変化した際の二要素間の非線形影響の寄与についても評価を実施した。

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:非断熱加熱を考慮した湿潤対流モデルを構築して、固有値解析を行い、解のパラメータ依存性を調査した。その結果、既往研究と整合的であることを確認したと共に、対流の上昇流域に対して約9倍の下降流域が必要であることが分かった。さらに、水平解像度を変えた計算を行い、低解像度だと対流の強度が表現されないことを示した。

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

プロジェクトにおける PM 支援体制チームについては、昨年度、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との連携体制を構築した。特に問題が無かったことから、今年度も、引き続き継続してこの体制でマネジメントを行った。

プロジェクト内の意識共有および進捗等の共有のため、月一回の定例ミーティング(計 11 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、1 月に運営会議を開催した。10 月の定例ミーティングでは、全 PI による進捗のまとめ報告をうけ、PM による PI の評価を行った。これらのミーティングには、SPD、アドバイザ、JST 事務局にも出席をお願いし、助言やコメント等を得た。また、参画者のそれぞれの研究についての相互理解やプロジェクト内の相互連携を促進するべく、プロジェクト合宿 (9/4-5) を行った。

### 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。

当初の計画にはなかったが、2050 年頃の気象制御のリアルタイム運用やそれにむけた検証においては、スーパーコンピュータにおける高速な数値計算が必須であるとの判断から、世界的に進んでいるスーパーコンピュータの演算加速器 (GPU など) 採用のトレンドに対応するために、気象シミュレーションモデルの GPU 対応にも取り組んだ。各研究開発課題で協力して開発を進めることで、GPU 計算機でのシミュレーションが実行可能となった。

9 月におこなったプロジェクト合宿では、世界の最先端の知見を取り込むため、当該分野の最先端で活躍する 4 名の研究者を招聘した。

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 2024 年の America Meteorological Society の Annual meeting に提案し、採択された。また、開発したスキームの検証のため、Indian Institute of Tropical Meteorology (IITM) 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、IITM と島 PI の間で MOC を締結した。

その他、将来の研究協力や人材育成を念頭に、各研究機関の制度等を利用して、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 1 名) を行った。

また、プログラム内のプロジェクト間連携をすすめるため、全 PM が参加するオンラインミーティングを企画し、要素プロジェクト終了後の体制の可能性などの連携についての議論を行った。個別には、澤田 PM や、小槻 PM、吉田 PI (筆保プロジェクト) と連携の可能性に

ついて議論や、山口プロジェクトとの合同議論を行った。

#### (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、ソースコード管理は github.com を利用して行った。

国内外の当該分野における最新の知見の獲得および本プロジェクトの成果発信を目的として、8/31-9/2 に非静力学モデル国際ワークショップを共催として開催した。

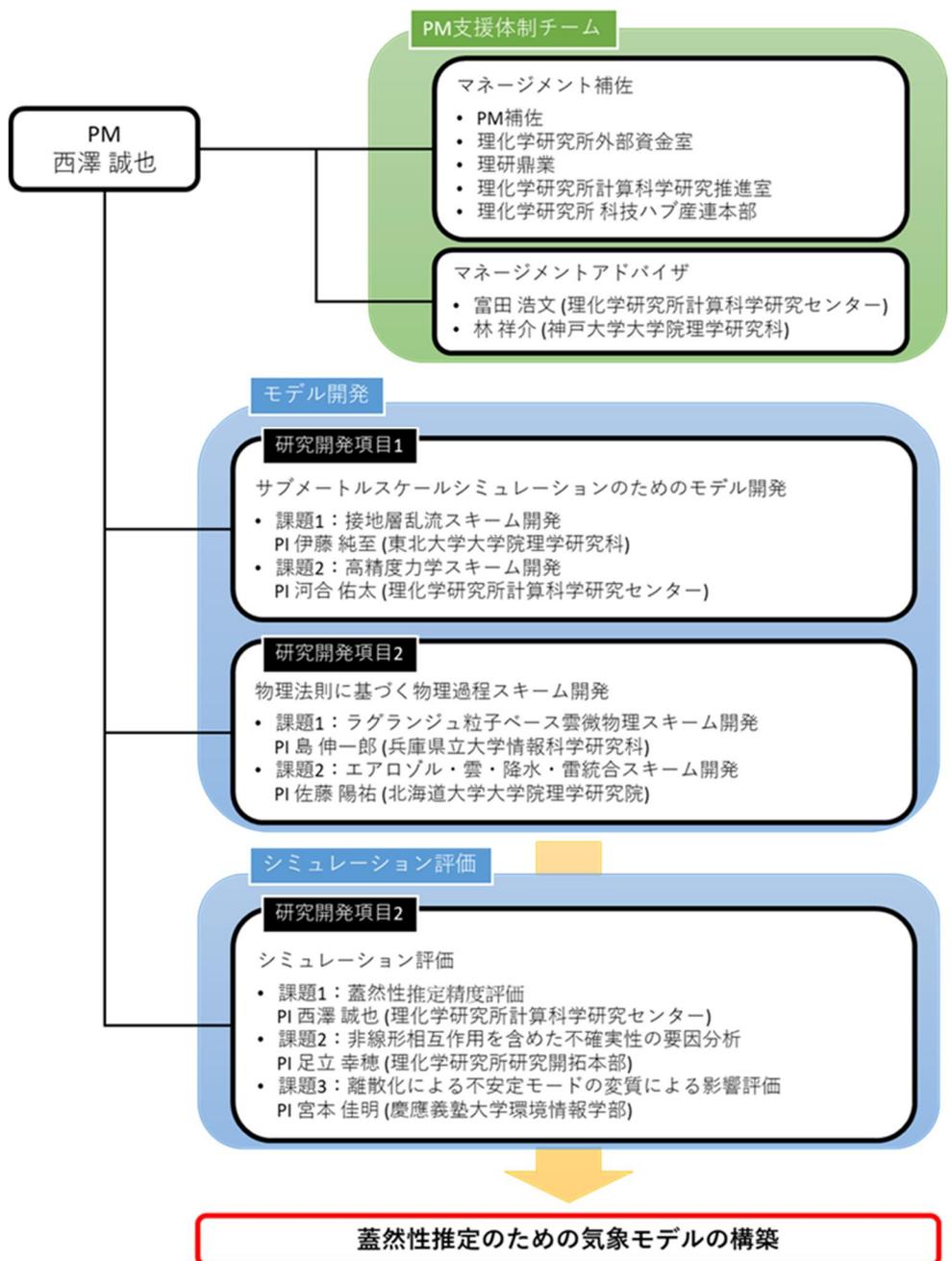
#### (3) 広報、アウトリーチ

プロジェクトのウェブページに適宜最新の成果情報を掲載し、プロジェクトの成果発信に努めた。

#### (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としている。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ている。

### 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	1	2	3
口頭発表	8	9	17
ポスター発表	2	4	6
合計	11	15	26

原著論文数(※proceedings を含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	4	4
(うち、査読有)	0	4	4

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