

1. 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、最適な制御手法を決定するうえで鍵となる現象の発生場所・発生時刻・強度などが、必然的に決まるのか、あるいは偶然に左右されるのかという蓋然性を正確に推定すること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を解決するため、従来手法の延長的な改良ではなく質的に新しい手法を開発し、蓋然性推定を可能にする気象モデルの構築を目指す。

(2) 研究開発プロジェクトの実施概要

4つの気象モデル計算スキームの開発・改良と、推定精度を評価する手法の構築を実施した。新たに開発した計算スキームの妥当性を検証し、さらに開発した評価手法を用いて新しいスキームの優位性の検証を行った。その結果、従来スキームよりも統計的に優れた計算スキームを開発することに成功した。これらの計算スキームは、それぞれ単体でも世界的に独自性が高いが、一つのプロジェクトとして統合的に開発したことでスキーム間連携などの議論が進み、一層の高度化へとつながった。

研究開発課題項目 1・2 では、接地境界層乱流スキーム、不連続ガラーキン法による力学スキーム、超水滴雲微物理スキーム、雷・雲降水・エアロゾル統合スキームの開発・改良を進め、各スキームに対して検証実験を実施した。理想化した実験条件下で期待される結果が得られるかを検証し、それらの妥当性を示した。

研究開発課題項目 3 では、シミュレーション評価のための手法を開発・改良し、その妥当性を検証した。さらに、この評価手法を用いて項目 1・2 で開発した新しい計算スキームを組み込んだシミュレーションを評価し、過去の顕著降水事例を対象とする実験により、新スキームの統計的優位性を示した。

加えて、当初の計画にはなかったが、プログラムの要請により非線形最適攪乱の研究に取り組み、同定フレームワークの開発に成功した。また、GPU などの演算加速器を備えたスーパーコンピュータの世界的な普及を見据え、気象シミュレーションモデルの GPU 対応に取り組み、GPU 計算機上での気象シミュレーションを実行可能にした。

(3) プロジェクトマネジメントの実施概要

プロジェクト運営を円滑に進めるため、月1回の定例ミーティングを開催し、情報および進捗を共有した。当該ミーティングにはアドバイザーの先生方や JST 事務局にも参加いただき、適宜助言を得ながらプロジェクトを推進した。また、参画者間の相互理解と連携を深める目的でプロジェクト合宿を 2 回実施し、世界最先端の知見を取り込むため、当該分野で活躍する研究者を招聘した。

計算機資源の確保に向けては、プロジェクト全体で HPCI「富岳」利用一般研究課題に応募・採択され、各研究開発課題における大規模数値実験の遂行が可能になった。さらに、課題間で連携を強化し、実験データを共有するとともに同一データセットを各課題の目的に応じて活用することで、計算機資源の有効利用を図った。

ムーンショット目標 8 プログラム内のプロジェクト間連携については、全プロジェクトの

PM で議論する場を設けるなど継続的に取り組み、複数 PI の各コアプロジェクトへの参画につながった。

プログラム外との連携も推進し、国際ワークショップの共催、海外関連プロジェクトと MOC 締結、外部若手研究者の短期受け入れなどを実施した。

アウトリーチでは、プロジェクトのウェブページを公開し、サイエンスライターに依頼して一般向けに分かりやすい紹介コンテンツを作成・公開した。最新成果の随時掲載や数値実験の可視化動画の公開にも努め、後者は JST の MS 事業 YouTube チャンネルでも配信され、再生回数が 1.3 万回（5 月 30 日現在）を超えるなど大きな関心を得ている。

2. 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

実施内容:

本研究開発課題では、従来の Monin-Obukhov 相似則に基づく平均的なフラックスに加え、10m以下のスケールの変動を新たに考慮する接地層スキームの開発と実装を行った。

このスキームでは、瞬時値に近い風速と、運動量フラックス変動の主成分の間に成り立つ診断式を新たに用いる。Mouri and Ito (Physics of Fluids, 2022, 2023) により提案された、サブキロメートルのシミュレーションに適する考えられる接地層の運動量フラックスの診断手法を数値シミュレーションに実装し、振る舞いを確かめた。

上述の新たな手法は従来の Monin-Obukhov 則の診断による平均的な運動量フラックスに加え、平均風からの偏差に応じた運動量フラックスを付加するシンプルな定式化であり、既存の数値シミュレーションコードの大幅な改変はなく導入できる。ただし、実測された診断式そのものを導入することは、数値的安定性を確保することが難しく、変動値に適切な上・下限を設定する必要があった。また時間フィルタの方法も単純な過去の時系列の平均から、ある時間スケールで緩和させる方式に変更し、実装がもっともしやすい形を提案した。

解像度 5m とした理想的な乱流エクマン層の Large-Eddy Simulation を実施し、従来の診断方法の場合と比較した。新しい診断方法を利用した場合に、水平風速の分散が下層ほど大きいという、これまで実測されてきた水平風速分散の対数則との定性的な合致を確かめるとともに、定量的にも接地境界層の平均風速や分散を表現する対数則ともより合致するようになった。運動量フラックス自体は平均的には数%大きくなっているが、特に極端な突風の出現を許容するようになったと考えられる。

この手法を大気シミュレーションモデル SCALE-RM に導入した。水平一様の理想化実験において、新たな診断式を接地層フラックス計算用のサブルーチン群に導入し、テスト計算を行った。さらに実事例の数値実験においても利用できるようにした。実事例の接地層フラックスのサブルーチン群は呼び出し複雑であるため、呼び出しのインターフェース部において、フラックスの改変を行うなどの工夫を行うことで実装を完了した。

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

実施内容:

本研究開発課題では、高精度化が容易で計算局所性の高い不連続ガラーキン法(DGM)を用いることで、サブメートルスケールシミュレーションで必要となる高い精度と高い計算効率を両立する力学スキームの開発を行った。

開発した力学コアの物理的な妥当性を調べるために、力学コアの比較プロジェクトで典型的に使用されるテストケースを参考に、複数の理想化数値実験を実施し、要素数・多項式の次数(p)に対する数値解の収束性を確認した。いずれの実験でも定性的には先行研究と同様の結果が得られ、決定論的なテストケースにおいては $p+1$ 次の数値収束率が達成されていた。このうちの境界層乱流実験については、西澤課題とデータを共有して利用した。

次に、サブメートルシミュレーションにおける高次精度力学スキームの効果を検討するために、比較的扱いやすい理想化実験として Rayleigh-Bénard(RB) 対流を選定し、Large-Eddy Simulation 実験と、直接数値計算実験を実施した。計算結果を解析して、乱流による鉛直輸送量の鉛直分布や熱境界層のスケール等が、先行研究やスケール則と概ね整合することを確認した。また、風速のエネルギースペクトルの解析を行ない、 $p > 3$ を使用すれば、必要精度指標の基準が満たされることを示すとともに、多項式の次数を大きくすると有効解像度が向上することが確認できた。

そして、計算コストの評価を行なった。厳格に高精度化が可能な DGM では高次の数値収束率が得られる。この特徴によって、誤差ノルムを目標値まで小さくするために必要な格子点数を大幅に減少することができる。内部重力波のテストケースにおいて、L2 誤差ノルムを $1/100$ にするために必要な計算コストを評価したところ、従来の全体で 2 次の有限体積法に比べて、 $p > 3$ の DGM は 4 倍以上計算コストを削減できることを示した。乱流シミュレーションにおいては、 $p = 11$ の DGM を用いた場合に、移流スキームのみ高精度化した従来の有限体積法と比べて計算コストが $1/4 - 1/3$ 程度小さくできる可能性が示唆された。

これらの検証と並行して、SCALE-RM を用いた現実大気シミュレーションにおいて DGM を利用できるようにするために、DGM に基づく力学コア・トレーサー移流の計算コードを SCALE-RM に移植し、力学過程・物理課程の結合も行った。さらに、DG 力学コア用の現実実験の初期値・地形データ作成・境界ナッジング等にも対応した。これにより、SCALE-RM に移植した DG 力学コアを用いて、現実実験ケースが実行できるようになり、西澤課題における現実事例の検証実験で使用された。

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

実施内容:

本研究開発課題では、従来スキームでは困難であった水滴や氷粒子の粒径分布といった雲内部の微視的構造の時空間変化の正確な再現を可能にする、ラグランジュ粒子ベー

ス雲微物理スキーム「超水滴法」を開発・改良し、現実大気シミュレーションにおいても超水滴法を利用可能にするための開発を行った。

これまで我々が研究開発を進めてきた SCALE-SDM モデルを開発の土台とし SCALE-RM への統合を行った。本課題を推進するにあたって全部で 4 つのタスクを設けた。タスク 1 では SDM の拡張と高度化を実施し、地形効果の導入や側面境界条件への対応など、現実大気実験に必要なモデル要素の開発を行った。タスク 2-4 では SDM により現実事例や雲チャンバー実験の再現数値計算を実施し、雲内部の微視的構造の時空間変化の比較を通して、モデルの性能検証を実施した。「タスク 2. 孤立対流雲」と「タスク 4. 雲クラスター」は、どちらも Indian Institute of Tropical Meteorology (IITM) の Cloud Aerosol Interaction and Precipitation Enhancement Experiment (CAIPEEX) プロジェクトチームとの共同研究として推進したものであり、その生成から消滅までのライフサイクル全体を連続的に CAIPEEX で集中観測したものを対象事例としている。タスク 3 は雲チャンバーによる室内実験を対象事例とした。全タスク間で密に連携し、モデルの検証と改良のサイクルを回しながら研究開発を進めた。

その結果、孤立積乱雲と雲チャンバー実験に関しては、航空機観測や室内実験の結果と比較することで、SDM により水滴や氷粒子の粒径分布などの雲内部の微視的構造を正確に再現できることを確認することができた。特に、孤立積乱雲実験については、バルク法やビン法といった従来スキームの結果と比較して再現性が高い結果を得ることが出来た。

雲クラスター事例に関しては、タスク 1 の成果を利用することにより、超水滴法による現実大気実験を世界で初めて実施することに成功した。しかしながら、シミュレーション結果は、積乱雲の集団が一応形成されたものの、雲クラスターの規模としては小さく弱いものとなり、境界条件の扱いや通風効果の考慮、数値計算の安定性など、様々な点でモデルに改良の余地があることが明らかとなった。MS8 基盤ユニットの中でその点についても引き続き検証を進める。本課題で開発したスキームは、西澤課題や足立課題での検証実験で使用された。

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

実施内容:

本研究開発課題では、従来モデルでは不可能であった、エアロゾルや雲内部の電気的特性と雷頻度の時空間変動およびその相互作用の計算を可能にする、エアロゾルと、雲・降水、雷の相互作用を考慮する統合スキームの開発を行った。

まずは、雲内部の電気的特性と雷頻度の時空間変動を計算することが可能な雲内電場を直接考慮するスキーム(以下、雷スキーム)の開発・検証を行った。検証は、「雷スキームで計算された雷の頻度と、雷の地上観測網で観測された雷頻度との比較」、および「計算された雲内電荷の鉛直分布と、観測・理論研究に基づく先行研究で提唱されている雲内電荷の鉛直分布との比較」を通して行った。比較結果から、雷スキームによって計算される電荷の鉛直分布は、先行研究によって提唱されている下層から「正→負→正」の 3 極構造になっていることが確認され、先行研究と矛盾のない結果が得られた。また雷頻度については、計算の初期値や雲微物理モデルによる不確実性によってモデルで計算される雲や

降水が発生する位置が、観測のそれらと異なることがあるが、それらの不確実性や観測データの不確実性を考慮すれば、雷頻度の違いは再現できたことに加え、雷が発生しなかった事例では「雷なし」を雷スキームが再現できた。

次に、エアロゾルの時空間変動と雲・降水との相互作用を扱うスキーム(エアロゾル・雲統合スキーム)の評価・検証を実施した。別の研究プロジェクトによって初期的な開発が実施されてきたエアロゾル・雲統合スキームについて、計算結果と観測データとの比較を通して、スキームの妥当性の検証を実施した。PM2.5、AOT とともに観測データによる値とエアロゾル・雲統合スキームによる計算値の時間相関は 0.5~0.6 程度と、我が国で広く用いられ、その妥当性が検証されているオフライン化学輸送モデルの結果と同程度であり、その妥当性が確認出来た。本モデルは、筆保プロジェクトに提供し、数値実験に使用された。

最後に、上記の雷スキームとエアロゾル・雲統合スキームを結合させ、その統合スキームを用いて数値実験を実施し、エアロゾルが雲との相互作用を介して雲の電気的な特性と雷頻度に与える影響を評価した。現実の雷事例を対象として、統合スキームを用いた数値実験と、エアロゾルの変動を考慮しない雷スキームのみでの数値実験を実施し、これらの結果を比較することで、エアロゾルが雲の電気特性と雷特性に与える影響を評価した。エアロゾルの変動を直接考慮した場合は、電荷密度の鉛直分布の典型的な 3 極構造が再現でき、妥当な結果となった。一方で、エアロゾルの変動を考慮しない場合は、暗黙に与えているエアロゾル数濃度に依存して計算される雷頻度や雲の電気的特性に問題があることが分かった。以上より、エアロゾル・雲・雷の 3 者の相互作用により、エアロゾルが雲の電気的特性と雷頻度に与える影響によって生じる物理的に妥当な変動が得られていることが確認できた。

課題推進者:佐藤陽祐(大阪大学)

(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

実施内容:

本研究開発課題では、局地的気象に対する蓋然性推定の信頼性を客観的かつ定量的に評価できる枠組みを構築し、それを用いて本プロジェクトで開発した新しい計算スキームを組み込んだシミュレーションの定量評価を実施した。また、MS8 プログラムの要請に従い、非線形最適攪乱を同定するためのフレームワークも開発した。

まず、蓋然性推定の信頼性を客観的に測る評価基盤の構築を行った。既存の確率予測評価指標を整理したうえで、分布の妥当性と分布が保持する情報量を評価できるメトリック群を設計した。さらに、気象場の強い多変量性と空間相関に対応するため、最適輸送理論に基づく類似度指標 UOTS (Unbiased Optimal Transport Similarity) を提案し、高解像度計算で顕在化する位置ずれを考慮した誤差定量化を実現した。加えて多次元尺度構成法を導入し、高自由度の状態ベクトルを距離保存的に低次元射影したうえで確率密度を推定する手法を開発し、気象場のような高次元位相空間での評価を可能にした。

開発した評価手法をシミュレーション結果に適用し、推定精度を評価した。理想実験では、境界層乱流とスコールラインの数値実験データに対して指標が安定して適用できるこ

とを確認し、得られた結果が離散化誤差や数値粘性といった物理的解釈と整合することを確認することで本手法の妥当性を示した。境界層乱流実験については河合課題、スコールライン実験については足立課題と実験データの一部を共有して利用した。

現実事例実験として、日本域の豪雨・線状降水帯事例に対してアンサンブルシミュレーションを実施し、UOTS で各アンサンブルメンバーの誤差とその分散を評価した。従来の 1 モーメントバルク雲微物理スキームと、島課題で開発された超水滴法とを 6 事例で比較した結果、超水滴法が 3 % の有意水準で統計的に優れていることが確認され、より良好なアンサンブルの分布が得られることが分かった。一方、有限体積法と河合課題で開発した不連続ガラーキン法の力学スキーム比較では有意差は見られず、事例数の不足が要因の一つと考えられるため、今後さらに多くの事例で検証を行う必要がある。雲微物理スキームについては相対的優位性が示されたものの、絶対的な蓋然性推定精度については課題が残り、継続的な改良が求められる。本現実事例実験のデータ一部は足立課題と共有して利用した。

非線形最適攪乱に関しては、シミュレーション初期時刻における微小擾乱のうち将来最大に成長する成分を抽出するフレームワークを開発し、アジョイントモデルを用いた反復最適化法で最適三次元擾乱を同定する実装を完了した。理想化実験で擾乱エネルギーの時間発展を解析した結果、先行研究と整合する振る舞いが確認され、枠組みの妥当性が裏づけられた。さらに、現実大気を基本場とした擾乱の同定に取り組み、初期擾乱において温度擾乱が大きな振幅をもつことを示した。潜熱加熱の寄与については現時点では十分な結論に至っておらず、2025 年度以降、筆保プロジェクトで検証を継続する予定である。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

実施内容:

本研究課題では、領域気候の将来変化における不確実性要因について定量的に評価するために開発された手法を応用し、シミュレーション結果に含まれる不確実性の要因を分析するための手法の開発を行った。

領域気候予測分野で開発してきた不確実性の要因分析手法を発展させ、モデル結果の不確実性評価のための、評価手法の高度化を行った。この手法では、例えば、モデル要素 A とモデル要素 B を対象とした場合、実験結果の不確実性について、モデル要素 A による成分とモデル要素 B による成分及び、A と B の間の非線形影響の3成分のそれぞれについて定量的評価が可能である。

次に、この要因分析手法を用いて、降水シミュレーションの不確実性要因の定量的評価を行った。降水シミュレーションの不確実性要因として、雲物理スキーム、解像度、初期値について評価を行った。対象事例として、まず、準理想条件でのスコールラインケース (Xue et al., 2017) を取り上げた。雲物理スキームの違いとして、SCALE-RM に既に実装済みであった TOMITA08(1 モーメントバルク)、SN14(2 モーメントバルク)、SUZUKI10(ビン)に加え、本プロジェクトの島課題で新たに実装された SDM(ラグランジュ粒子ベース雲微物理スキーム)の4スキームについて、それぞれの内部パラメータを変えた計 39 ケースを設定した。解像度は 4km, 1km, 250m の3ケースを設定し、初期値の違いは初期条件に

与えるランダム擾乱を変えることで与えた。積算降水量、最後の 1 時間(積分開始から 5-6 時間目)の降水量と降水強度の 3 つについて、雲物理スキーム、解像度、初期値の違いの結果のばらつきに対する寄与を比較した結果、すべての評価指標において、雲物理スキームの違いの寄与が最も大きいことが示された。4 つの雲物理スキームのうち、TOMITA08、SN14 は相対的に類似した結果であったが、SUZUKI10 と SDM で違いが堅調であり、これが、雲物理スキームの違いの寄与が最も大きくなった理由である。一方、類似した結果を示した TOMITA08、SN14 のみを用いて評価した場合には、評価指標によって異なる結果となり、解像度や初期値、相互作用の寄与も十分大きいことが示された。本スクールライン実験のデータの一部は、西澤課題と共有して利用した。

最後に、現実事例として、2020 年に熊本県を中心に豪雨をもたらした「令和 2 年 7 月豪雨」についても評価を行った。雲物理スキームの違いとしては TOMITA08、SN14 から計 29 ケースを、解像度の違いとしては 2km、500m、100m を、初期値の違いとして気象庁メソアンサンブルから 21 メンバー設定した。もっとも降水量の多かった 3 時間の積算降水量を評価指標に設定した。それぞれの寄与を比較した結果、他 2 要素に比べ、初期値の違いの寄与が顕著に大きいことが示された。本現実事例実験の一部は、西澤課題と共有して利用した。

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

実施内容:

本研究開発課題では、簡単化した系での湿潤熱対流の理論的なモデルの構築およびより現実に近い系において非静力学モデルを用いた数値シミュレーションにより、離散化したことによる不安定モードの変質の理解と評価を行った。

湿潤対流は、古くから気象学の研究対象として盛んに研究されてきた。しかし、水の相変化とそれに伴う空気に加減熱が重要となるため解析的なモデル化を行うことが難しく、湿潤対流の構造に関して解析解を求めている先行研究はない。直接解析解を求めるのでは無く、湿潤対流について空間(水平)方向を離散化して固有値を求める研究(Yamasaki 1972, 1974)があることが分かった。本課題では、Kuo の湿潤対流モデルの方程式系を基に、新たに無次元化した式系を導出し、Yamasaki の手法を用いて、水平方向を離散化して固有値解を得るモデルを構築した。まず、Yamasaki と同じ設定で計算を行い、同様の結果が得られることを確認した後、パラメータ依存性について考察を行った。その結果、流体層厚さが深いほど、粘性が弱いほど、安定度を表すパラメータが大きい(不安定傾向)なほど成長率が大きいことが示された。この結果は、物理的にも矛盾なく解釈することができ、今回構築したモデルが現実的に作動することが示唆される。また、計算領域を系統的に変えた計算を行ったところ、少なくとも Kuo モデルで湿潤対流を表現するためには、上昇気流域の約 9 倍(8 倍の下降流域)の計算領域が必要であることがわかった。これは、湿潤過程によって鉛直速度が加速されることから、凝結が生じる上昇流域の方が下降流域に比べて幅が狭くなるためと解釈される。そして、水平解像度を変えた計算を行い、解像度が低い場合、高解像度の時と比べて対流の強度が弱まることが示された。

次に、二次元の湿潤対流の実験で得られた結果を基に、三次元の系における境界層乱

流から積雲・積乱雲へと発達する計算を行った。計算の結果、境界層内で乱れが成長し、大気境界層的な構造が再現されつつ、そのうちの強い上昇流コアが相変化を伴って、深い対流へと成長して行く過程が計算された。今回実施した計算期間中に、こうしたメカニズムで多数の湿潤対流が形成されたことが示された。そこで、計算結果から湿潤対流を抽出してその性質を調べた。抽出した湿潤対流が発生する前の背景場として、鉛直速度や水物質混合比が、その周囲と比べて大きくなっていたことが分かった。これは、湿潤対流の形成・発達メカニズムで重要な水蒸気の凝結と鉛直速度の間に働く正のフィードバックが働いていることを示唆していると共に、湿潤対流として変数の値が大きくなる数分前から、境界層の内部の変数を調査することで、対流の発生を予測できることを示唆している。また、水平方向の空間解像度を 800 m から 100 m まで系統的に変えた実験を行なって、特に湿潤対流の形成過程の解像度依存性を調べた。その結果、解像度が低い(水平格子間隔が大きい)ほど遡ることが難しくなることが分かった。

課題推進者:宮本佳明(慶應義塾大学)

3. 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

プロジェクトのPM 支援体制については、初年度に PM 業務を補佐するパートタイムアシスタント1名を採用し、あわせて代表機関の関係部署との連携体制を整備した。初年度に大きな問題が生じなかったことから、課題終了まで同じ体制を維持してマネジメントを行った。

プロジェクト内の意識共有と進捗管理のため、月1回の定例ミーティングを開催した。また年度末には、評価および次年度計画を議論する運営会議を実施した。10月の定例ミーティングでは、全PIから進捗報告を受け、PMがPI評価を行った。これらの会議には、SPD、アドバイザー、JST事務局にも出席いただき、助言やコメントを得た。また、参画者の相互理解と連携を深めるため、2年目と3年目にプロジェクト合宿を実施した。

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と計算資源利用の効率化を図るため、関係する課題が集まって議論する場を設け、共通の数値実験設定の構築を促進した。実験データを共有し、同一データセットを各課題の目的に応じて活用することで、計算機資源の有効活用に努めた。さらに、プロジェクト全体で HPCI「富岳」利用一般研究課題に応募して採択され(課題番号: hp240095)、各課題が大規模数値実験を実施できる環境を確保した。加えて、本プロジェクトのシミュレーション実験結果は、他のプロジェクトにも共有し、プロジェクト外の成果創出も後押しした。

当初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実現を見据え、スーパーコンピュータの演算加速器(GPUなど)を活用した高速計算が必須との判断から、気象シミュレーションモデルのGPU対応にも取り組んだ。各研究開発課題が協力して開発を進め、GPU 計算機上でのシミュレーション実行を可能にした。

プロジェクト合宿では世界最先端の知見を取り込むため、当該分野の第一線で活躍する研究者を招聘した(2年目4名、3年目3名)。国際連携としては、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・2024 年の American Meteorological Society Annual Meeting に提案し、採択された。また、開発したスキームの検証を目的に、Indian Institute of Tropical Meteorology (IITM) の観測プロジェクト Cloud Aerosol Interaction and Precipitation Enhancement Experiment と連携を深め、IITM と島 PI の間で MOC を締結した。

将来の研究協力と人材育成を見据え、各研究機関の制度等を活用してインターンシップ生（理化学研究所 1 名）および海外研究生（兵庫県立大学 1 名）を受け入れた。

MS8 プログラム内のプロジェクト間連携を推進するため、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などの連携についての議論を行った。個別には澤田 PM、小槻 PM、吉田 PI（筆保プロジェクト）と連携可能性についての議論や、山口プロジェクトとの合同議論を実施した結果、島 PI による基盤ユニットの立ち上げや、河合 PI・西澤 PI のコアプロジェクト参画へとつながった。

(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予定である。そのため、ソースコード管理は GitHub を利用した。

また、国内外の最新知見の取り込みおよび本プロジェクトの成果発信を目的として、2 年目に非静力学モデル国際ワークショップを共催した。

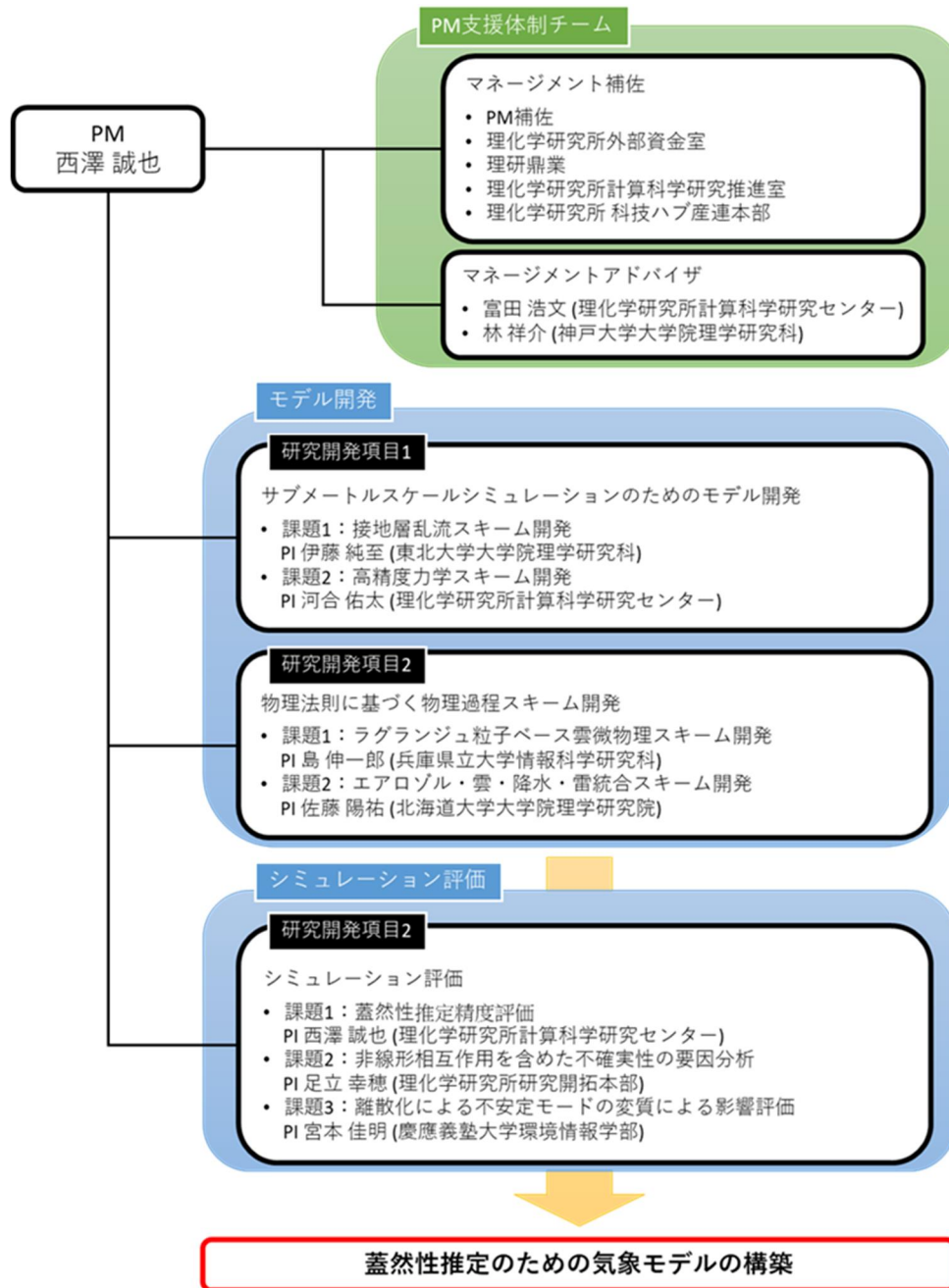
(3) 広報、アウトリーチ

プロジェクトのウェブページを作成・公開し、一般向けに成果を発信した。ウェブページでは、プロジェクト紹介コンテンツを掲載するとともに、最新成果の更新や数値実験の可視化動画の公開を行った。紹介コンテンツはサイエンスライターに依頼し、一般の読者にも分かりやすい内容とした。可視化動画は、科学研究の普及動画制作に実績のある事業者と協力し、視聴者に伝わりやすい表現を迫及した。この動画は、JST の MS 事業 YouTube チャンネルでも配信され、再生回数が 1.3 万回（5 月 30 日現在）を超えるなど、大きな関心を得ている。

(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、原則として公開する。開発したプログラムのソースコードは、オープンソースライセンスの下で公開する。シミュレーション実験データについては、データサイズに応じて公開データアーカイブサービスへの登録など、適切な手段で公開する。

4. 研究開発プロジェクト推進体制図



5. 研究開発プロジェクト成果

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	4	8	12
口頭発表	30	17	47
ポスター発表	5	8	13
合計	39	33	72

原著論文数(※proceedings を含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	9	9
(うち、査読有)	0	9	9

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
2