

2023 年度
創発的研究支援事業 年次報告書

※青字の記載要領は確認の上、提出時に削除してください。

研究担当者	塚本裕介
研究機関名	鹿児島大学
所属部署名	大学院理工学研究科
役職名	准教授
研究課題名	強化学習による超高速数値計算の実現と星惑星形成の新展開
研究実施期間	2023 年 4 月 1 日～2024 年 3 月 31 日

研究成果の概要

本課題は、大きく分けて、シミュレーションコードの開発研究と星惑星形成過程の理論的研究の二つの柱がある。第一の柱について、本年度は「独立時間刻み非理想磁気流体力学 Smoothed Particle Hydrodynamics コード」を実装しテストを行った。独立時間刻み法を実装することで、当初の予想通りの良好な性能向上がみられた。一方で、磁気流体力学シミュレーション特有の困難に起因する数値不安定性の除去については、ダイバージェンスクリーニング法と独立時間刻みを組み合わせることで実装当初よりは改善してきたが、引き続き安定性を高める改善が必要であることがわかった。今後は数値安定性を高める施策を継続的に研究する。また、機械学習フレームワーク PyTorch の C++API である libTorch を用いて強化学習アルゴリズムである DDPG 法を実装し、シミュレーションコードに組み込むことに成功した。2024 年度は、強化学習に必要なシミュレーションの「状態」と遷移に対する「報酬」を設計し、動的な負荷最適化モジュールを作成することでさらなるコードの性能向上を目指す。

二本目の柱について、ダスト成長を考慮した円盤進化シミュレーションを行い、その結果を詳細に解析することで、円盤の密度や磁場といった構造がこれまで知られていない、べき乗則に従うことを発見した。本成果については査読論文を執筆し出版された。さらに、このべき乗則を説明するために円盤の厚みを微小パラメータとして、摂動論を用いた解析を行い、ダストが十分に合体成長した原始惑星系円盤を記述する解析解を構築した。本研究については査読論文を投稿し 2024 年 4 月に受理された。また、星惑星研究の世界的なレビュー誌である Protostars and Planets VII に円盤形成進化過程のレビューを筆頭著者として執筆したものが査読を経て出版された。

共同研究として、鹿児島大学の学生および博士研究員とともに、宇宙線電離が円盤形成に与える影響に関する研究、円盤の片側だけに磁気アウトフローが噴出する現象(単極アウトフロー)を発見した研究など 3 報の査読論文が出版された。また、国際共同研究として分子雲の磁場観測のサーベイプロジェクト BISTRO における共同研究として、3 報の査読論文が出版された。

