

	<p>(3) 国際会議における発表又は国内学会、シンポジウム等における発表</p> <ol style="list-style-type: none">1. 研究発表(口頭) <u>佐々木諱虎</u>、久野成夫、福島肇、藤田真司、野崎信吾、「分子雲の構造進化の理解に向けたシミュレーションと観測データの解析」、日本天文学会 2025 年春季年会、P135a(査読なし)、2025 年 3 月 18 日2. 研究発表(ポスター) <u>佐々木諱虎</u>、久野成夫、福島肇、藤田真司、野崎信吾、周昱秋、「Assessing Hierarchical Cloud-Cloud Collisions Using Dendrogram Analysis」、野辺山星・惑星系形成研究会(査読なし)、2025 年 9 月 29 日～10 月 2 日
--	---

研究計画書 (2,000 字程度)

①研究概要を 500 字程度で記入してください。

以下を 1500 字程度で記入してください。

②学際的な研究内容との関連性、見込まれる業績・成果（持続可能な開発目標（SDGs）への貢献又は長期的な人類社会への貢献）についての説明

③企業等での長期インターンシップや海外での研究活動等のキャリア開発の計画等

①星は分子雲と呼ばれる巨大なガスの塊が重力で収縮することで形成されるが、太陽の 8 倍を超える大質量星がどのように大量のガスを集めるのかは未解明である。近年は分子雲同士の衝突が有力なシナリオとされ、大質量星近傍の観測で衝突の特徴が多く報告されている (Fujita et al. 2021 など)。一方で理論的には衝突頻度が低く、観測で見られる傾向を一概に説明できないとされている (Sun et al. 2022)。この点を踏まえ、本研究では巨大分子雲が階層的に重力収縮する過程で、内部のガス塊同士が自然に衝突する可能性に注目する。こうした“階層構造内部の衝突”が、多数観測される衝突の特徴を統一的に説明する鍵になり得る。その検証のため、野辺山 45m 望遠鏡および ALMA の観測データと GPU による高解像度流体シミュレーションを、階層構造解析ツール astrodendro (Rosolowsky et al. 2008) で解析する。博士前期課程では野辺山 45m 鏡の CO 輝線データ FUGIN (Umemoto et al. 2017) を解析し階層構造を調べた。博士後期課程では ALMA 観測と GPU シミュレーションを組み合わせ、近傍銀河における階層的収縮と内部衝突の関係を検証し、大質量星形成シナリオを再評価する。

②本研究の学際の特徴は、観測とシミュレーションという異なるアプローチを共通の解析基盤で結びつけ、分子雲進化を多面的に理解しようとする点にある。観測は実在する天体の構造を直接測定できる一方、時間的な変化を追えない。対してシミュレーションは、理論に基づく時間発展を再現できるが、観測条件の制約を忠実に反映させるのが難しい。両者はこれまで相補的でありながら独立して扱われており、理論と観測を同一基準で結びつけた研究は限られている。本研究では、階層構造解析ツール astrodendro を両者に適用することで、観測データとシミュレーションデータを同じ枠組みで解析し、分子雲内部の構造や運動場を定量的に比較する。これにより、観測現象と理論モデルの接続を可能にし、星形成研究の基盤となる共通解析手法を提示する。このアプローチは「観測者」「理論家」という従来の分業を超え、両者を往復する研究者像を体現するものであり、分野横断的な連携を促す学際的価値を持つ。観測結果を理論的に解釈し、理論予測を観測的に検証する往還型の研究スタイルを確立することが、本研究の最大の特色である。さらに、こうした観測と理論の統合的解析は、個別の天体理解を越えて、星形成過程の普遍性や環境依存性の検証を可能にする。銀河系内の分子雲を対象とした解析を、ALMA による近傍銀河観測へ拡張することで、異なる金属量・星形成率をもつ環境下での比較研究を実現し、星形成の一般則を探ることができる。これは、宇宙における物質進化の全体像を描き出す上で重要な基礎的貢献となる。また、本研究で活用する GPU 計算や高性能解析手法は、天文学にとどまらず科学計算全般に応用可能な技術的基盤を形成する。近年、データ量の急増と計算コストの高騰が進む中で、GPU を用いた効率的な数値実験の体系化は、シミュレーション科学全体にとって不可欠な課題である。天文学分野で得られた経験は、気象学・プラズマ物理・地球科学など、他分野の大規模数値解析にも波及しうる。さらに、解析ツールの共通化やデータの再現性確保といった側面は、オープンサイエンスの促進にも寄与する。このように、本研究は SDGs のうち「9. 産業と技術革新の基盤をつくろう」への直接的貢献を通じて、研究基盤技術の発展に資する。また、宇宙の物質循環や星の起源を明らかにすることは、人類が自身の存在を理解するうえで根幹的なテーマであり、「4. 質の高い教育をみんなに」や「13. 気候変動に具体的な対策を」といった、長期的な科学リテラシーの向上にも繋がる。理論と観測を架橋する横断的研究の実践は、科学を支える知的インフラの拡充そのものであり、社会・学術の双方に持続的な価値をもたらすと考えている。

③博士後期課程では、観測データ解析と数値シミュレーションの双方に精通する研究者としての基盤を確立することを目標とする。博士前期課程で確立しつつある FUGIN データ解析の成果をもとに、博士後期課程では ALMA 観測の提案・解析および GPU シミュレーションの運用を本格化させる。近傍銀河の分子雲解析を進めることで、視線方向の混成やスナップショット性といった銀河系観測の限界を超え、より一般的な星形成メカニズムの理解を目指す。また、海外を含む学会発表を積極的に行い、専門分野に閉じない柔軟な視点を養うことを重視する。将来的には、観測・シミュレーションの両面から星形成を探究し、異なる手法や立場の研究者をつなぐ役割を果たす研究者を目指す。観測者でも理論家でもなく、その両方の視点を併せ持つ存在として、星形成研究の新しい枠組みを切り開くことが自身の目標である。

申請に当たっては、虚偽の記載はありません。

また、採用期間中は、研究奨励費等支給対象学生として教育課程の履修、教育研究に専念いたします。

研究費については、指導教員の指導の下、不正のないように執行いたします。

2025 年 10 月 31 日

申請者 (署名)

佐々木 誇虎

指導教員確認

(所属・職名) 数理物質系・教授

(署名)

久野 成夫

【2】研究計画 適宜概念図を用いるなどして、わかりやすく記入してください。様式の変更・追加は不可です。**(1) 研究の概要及び研究の位置づけ** 本項目は1頁に収めてください。

- ・まず、研究課題名及び研究の概要を500字程度で記入してください。
- ・続けて、特別研究員として取り組む研究の位置づけについて、当該分野の状況や課題等の背景、並びに本研究計画の着想に至った経緯も含めて記入してください。

研究課題名：野辺山 45m 鏡/ALMA 観測と GPU シミュレーションによる分子雲進化の横断的解析

大質量星は巨大分子雲のみから星団として形成される。しかしその詳細なメカニズムや、巨大分子雲のおかれた環境との関係は、まだ明らかでない。近年の観測からは分子雲同士の衝突が大質量星の形成メカニズムとして有力視されているが、運動学的には単一の衝突では銀河における大質量星形成を説明するには頻度が不十分であるとされていることから、大質量星形成に至る高頻度な分子雲衝突を含む新たな分子雲進化のシナリオの検討が求められている。本研究では、巨大分子雲が階層的に重力収縮し、その内部構造間の相互作用を経て大質量星の形成に至るという進化シナリオを、観測と数値シミュレーションの両面から検証する。観測とシミュレーションに共通して適用可能な解析ツールである Dendrogram を用い、分子雲構造の進化を定量的に比較・評価する。野辺山 45m 望遠鏡および ALMA による観測データと、GPU を用いた高解像度流体シミュレーションを解析し、分子雲内部構造の形成・進化過程や、巨大分子雲周囲の環境と大質量星形成の関係性を調査して、大質量星形成メカニズムの包括的な理解を目指す。

星形成分野の状況と課題

星は分子雲と呼ばれる高密度なガス塊の重力収縮によって形成される。特に太陽の8倍以上の質量をもつ大質量星は、巨大分子雲のみから星団として形成されることが観測からわかっている。しかし、そのような星団が巨大分子雲からどのようなプロセスで形成されるかは、まだわかっていない。また、渦状腕や棒状構造といった銀河の構造によって星形成活動に差異がみられ、分子雲のおかれた環境との関係もまだ理解されていない。近年、大質量星形成領域について、分子雲同士の衝突を示唆する観測が多数報告されている。例えば、野辺山 45m 電波望遠鏡による分子雲データ FUGIN[1] の解析からは、大質量星形成領域 W51A 近傍で三つ以上の異なる速度成分の分子雲が衝突していることが示唆されている [2]。一方で運動学的なタイムスケールの計算から、分子雲衝突に要する時間は分子雲自身の重力収縮に要する時間と比べ数倍長く、分子雲衝突は大質量星の形成において支配的な頻度では起こらないともされている [3]。したがって大質量星形成過程の理解のために、より高頻度での分子雲衝突を実現する新たな分子雲進化のシナリオを、分子雲がおかれた環境との関係なども含め包括的に明らかにすることが求められている。

本研究計画の着想に至った経緯

申請者は修士課程で、FUGIN 及び流体シミュレーションのデータに共通の解析ツールとして Dendrogram[4] を用い、高密度領域の同定と比較を行った。この解析を通じて、巨大分子雲が全球的に収縮しつつ、その内部で高密度領域が階層的に形成され、互いに高頻度で衝突することで大質量星が形成される、という分子雲進化のシナリオが得られつつある (図 1)。このシナリオでは巨大分子雲の全球的収縮によって内部構造の頻繁な衝突環境が作られることから、巨大分子雲のみでの大質量星形成や分子雲衝突といった、大質量星の形成に特徴的な観測事実を一貫して説明できる。階層的な重力収縮を取り入れた理論モデルはすでに存在するが [5]、観測とシミュレーションの両面からこのモデルを検討する試みはほとんどなかった。だが階層的な重力収縮や内部構造の相互作用は、シミュレーションの時間発展を観測と同一手法で解析することで、初めて詳細に検証できる。このシナリオをより詳細に検証するには、観測データの拡充とそれに対応した高解像シミュレーションの実行、そしてそれらの解析が必要である。

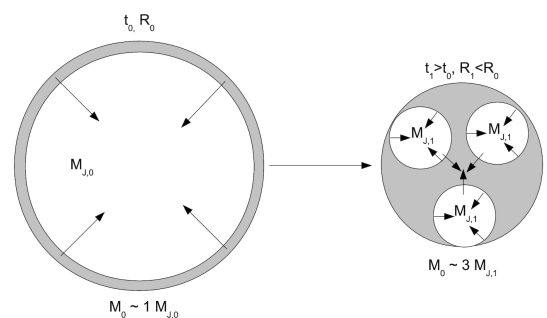


図 1: 階層的な重量収縮の概念図

[1] Umemoto T., et al., 2017, *PASJ*, 69, 5
 [2] Fujita S., et al., 2021, *PASJ*, 73, S172
 [3] Sun J., et al., 2022, *ApJ*, 164, 43

[4] Rosolowsky E. W., et al., 2008, *ApJ*, 679, 1338
 [5] Vázquez-Semadeni E., et al., 2019, *MNRAS*, 490, 3

【2】研究計画（続き） 適宜概念図を用いるなどして、わかりやすく記入してください。様式の変更・追加は不可です。

(2) 研究目的・内容等 本項目は2頁に収めてください。

- ① 特別研究員として取り組む研究計画における研究目的、研究方法、研究内容について記入してください。
- ② どのような計画で、何を、どこまで明らかにしようとするのか、特別研究員奨励費の応募区分（下記（※）参照）に応じて、年次計画を示し、具体的に記入してください。研究計画が想定通り進まなかった場合の対応方法があれば、あわせて記入してください。
- ③ 研究の特色・独創的な点（先行研究等との比較、本研究の完成時に予想されるインパクト、将来の見通し等）にも触れて記入してください。
- ④ 研究計画が所属研究室としての研究活動の一部と位置づけられる場合は申請者が担当する部分を明らかにしてください。
- ⑤ 研究計画の期間中に受入研究機関と異なる研究機関（外国の研究機関等を含む。）において研究に従事することも計画している場合は、具体的に記入してください。

（※）特別研究員奨励費の研究期間が3年の場合の応募総額は（A区分）が240万円以下、（B区分）が240万円超450万円以下（DC1のみ）。2年の場合は（A区分）が160万円以下、（B区分）が160万円超300万円以下。1年の場合は（A区分）が80万円以下、（B区分）が80万円超150万円以下。（B区分については研究計画に必要な場合のみ記入）

研究目的

本研究では、観測とシミュレーションの Dendrogram による解析を通じて、分子雲の階層的な重力収縮と相互作用という、新たな分子雲進化シナリオを検討し、大質量星形成のメカニズムを解明する。

研究方法・研究内容

観測とシミュレーション双方の解析には、階層構造の分類・可視化アルゴリズムである Dendrogram を用いる。本研究の出発点である、階層的な重力収縮による大質量星の形成という仮定に対し、Dendrogram で分子雲内部の階層構造を系統的に同定することで、階層的収縮がどの程度、現実の大質量星形成の現場で実現しているかを検証する。また Dendrogram は観測とシミュレーションの双方に、特別な調整を加えることなく、一貫した方法で適用可能である。すなわち、本研究において大質量星形成のシナリオを検討するうえで、Dendrogram は最も有用なツールである。

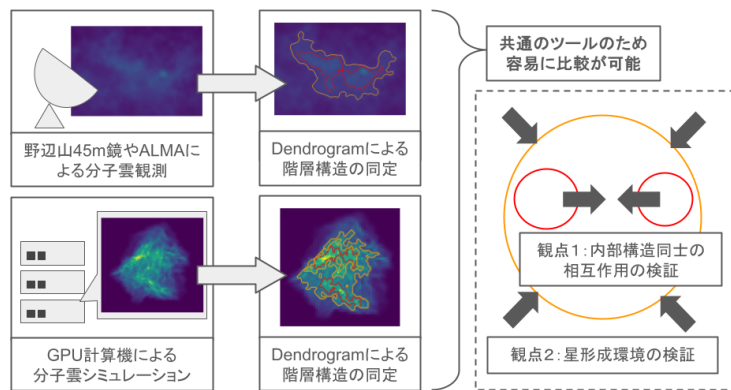


図 2: 本研究の概要

解析対象となる観測データは、野辺山 45m 電波望遠鏡で取得されたものと、チリ・アタカマ山脈に設置された ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) によって今後取得するものである。野辺山 45m 鏡は広い視野で分子雲の大局的な構造を一望できる点に優れており、分子雲全体の進化過程を俯瞰的に捉える観測に適している。一方、ALMA はきわめて高い空間分解能を持ち、分子雲内部の微細構造や高密度領域における物理過程を詳細に解析することが可能である。本研究では、まず野辺山 45m 鏡によるデータから銀河系内の分子雲の階層的な構造とその進化を捉え、続いて ALMA の卓越した分解能を活かして、さらに小スケールの構造や近傍系外銀河との比較を通じた理解の深化を図る。両望遠鏡による観測データを組み合わせることで、空間分布において非常に高いダイナミックレンジが実現される。そのようなデータは Dendrogram 解析を通じた階層構造の解析に極めて適しており、本研究における課題の解明に対して強固な基盤を提供する。

一方、GPU 上で計算したシミュレーションデータも解析対象とする。シミュレーションは筑波大学の福島肇助教と共同で進めていく。計算には、最先端共同 HPC 基盤施設 (JCAHPC) が提供する GPU 搭載スーパーコンピュータ、Pegasus 及び Miyabi を用いる。近年、GPU は多くのスーパーコンピュータにおいて演算加速装置として利用されているが、星形成分野におけるシミュレーションでは GPU 対応があまり進んでこなかったのが現状である。本研究では自己重力流体コード SFUMATO[6] を基に GPU 上で実行可能なコードを用いる。これにより、CPU ベースのシミュレーションと比較して約 10~100 倍の高速化、約 10 倍の高解像度化を実現している。このような極めて高精細なシミュレーションを、観測と同等のスケール・分解能で実行できることにより、分子雲の階層構造を観測と比較することが初めて可能となる。

(【2】研究計画(2) 研究目的・内容等の続き)

解析は以下の二つの観点に基づいて行い、階層的重力収縮を構造内部と環境の両側面から検討していく(図2)。

● **観点1：内部構造同士の相互作用の検証**

巨大分子雲内部の高密度領域の観測と、複数流体球のシミュレーションをそれぞれ解析し、それらの比較から、内部構造の相互作用が実際の大質量星の形成にどれほど寄与しているかを明らかにする。

● **観点2：星形成環境の検証**

銀河系および近傍系外銀河の観測データと銀河スケールの流体シミュレーションを解析・比較することで、巨大分子雲を内部の階層構造を含めてとらえ、階層的重力収縮や内部構造の相互作用が起りやすい環境が、銀河においてどのように形成されるかを調べる。

研究計画

- **2025年度(M2)：**M2前期は、単一流体球のシミュレーションをGPU上で実施する。このセットアップでのシミュレーションはCPUベースでのスーパーコンピュータにて既に実行しているが、**星形成分野でのGPU上でのシミュレーションは本研究が初の試みとなるため、計算の安定性や解析結果の再現性を慎重に検証する必要がある。**そのため、これまでのCPUベースでの計算と同様の物理的挙動が再現されるかを確認しつつ、計算の再実行および解析を進めていく計画である。
- **2026年度(D1)～2027年度(D2)前期：**上記研究内容の**観点1**に基づいた観測とシミュレーションを行う。D1前期には、分子雲内部構造同士の相互作用を想定し、複数の流体球による衝突をモデル化した数値シミュレーションを実施する。これにより、分子雲衝突によって大質量星がどのように形成されるかを調べる。シミュレーションで得られた構造はDendrogramを用いて定量的に解析する。D1後期には、野辺山45m鏡を用いて、HCNなどの高密度トレーサー分子の輝線を観測し、分子雲内部に存在する高密度構造を捉える。これらの観測データも同様にDendrogramにより解析しシミュレーション結果と比較することで、分子雲衝突という観測的事実が、巨大分子雲の内部構造による相互作用であることを明らかにする。さらにD1後期からD2前期にかけて、ALMAによる銀河系内分子雲の高解像度観測を実施し、野辺山45m望遠鏡では捉えきれない小スケール構造にまで踏み込む。これにより、巨大分子雲内部で高密度領域がどのように進化し相互作用するかを詳細に明らかにする。
- **2027年度(D2)後期～2028年度(D3)：**上記研究内容の**観点2**に基づいた観測とシミュレーションを行う。D2後期からD3前期にかけて、近傍かつ円盤面を正面から観測できる銀河であるM33の、巨大分子雲の内部構造を分解する高分解能観測をALMAで行う。銀河スケールの高解像度データをDendrogramによって解析することで、巨大分子雲の階層的な収縮の様子を捉える。**ALMAによるM33の分子輝線観測に対し、Dendrogramを用いて解析した先行研究は極めて限られており、この解析は巨大分子雲の構造形成の理解を、銀河スケールにまで拡張する先駆的な試みとなる。**またM33の観測に先立ち、FUGINによって得られた銀河系の大規模CO輝線データを用いて、銀河系内分子雲の銀河スケールにおける分布と構造の解析を行う。FUGINのデータは複数の観測領域に分割されているが、それを統合して解析を行うことで、銀河系内分子雲について、周囲の環境も含めた階層的収縮の様子を明らかにする。さらに、これらの観測的成果と整合的な銀河スケールの数値シミュレーションも並行して実施する。銀河スケールの流体シミュレーションはこれまでも多く行われているが[7]、本研究では大質量星の誕生する場所を特定できるよう、星の降着成長まで解像して計算する。**個々の星形成と連続的に繋がる銀河スケールのシミュレーションは既存のCPUベースの計算では行うことが難しく、GPU計算機の性能を最大限生かす先進的な試みである。**この計算と解析を通じ、巨大分子雲の階層的収縮を銀河スケールから内部構造の詳細まで包括的に理解することを目指す。

本研究の特色・独創的な点

本研究の独創性は、**観測とシミュレーションに共通の解析ツールを適用し、両者を同一基準で定量的に比較できる点にある。**従来これらはそれぞれ別個に解析されることが多かったが、本研究ではDendrogramを用いることで、分子雲進化を観測・理論の直接比較を可能にする。これは、観測と理論の整合的な接続を可能にし、今後の宇宙物理分野における新たな枠組みとなると期待される。また、GPUによる高解像度シミュレーションを導入することで、**内部構造の描写が飛躍的に向上し、高解像度観測との整合的な比較が可能となった。**この技術的進展も、宇宙物理における解析手法の発展に資することが期待される。

[6] Matsumoto T., 2007, *PASJ*, 59, 905

[7] Hopkins P. F. *et al.*, 2014, *MNRAS*, 445, 1

【3】 人権の保護及び法令等の遵守への対応 本項目は1頁に収めてください。様式の変更・追加は不可です。

- ・本欄には、「【2】研究計画」を遂行するにあたって、相手方の同意・協力を必要とする研究、個人情報の取り扱いの配慮を必要とする研究、生命倫理・安全対策に対する取組を必要とする研究や安全保障貿易管理を必要とする研究など指針・法令等（国際共同研究を行う国・地域の指針・法令等を含む）に基づく手続が必要な研究が含まれている場合、講じる対策と措置を記入してください。
- ・例えば、個人情報を伴うアンケート調査・インタビュー調査・行動調査（個人履歴・映像を含む）、国内外の文化遺産の調査等、提供を受けた試料の使用、侵襲性を伴う研究、インフォームド・コンセントが必要な研究、ヒト遺伝子解析研究、遺伝子組換え実験、動物実験、機微技術に関わる研究など、研究機関内外の情報委員会や倫理委員会等における承認手続が必要となる調査・研究・実験などが対象となりますので手続の状況も具体的に記入してください。
- ・なお、該当しない場合には、その旨記入してください。

本研究では該当しない。

【4】研究遂行力の自己分析 本項目は2頁に収めてください。様式の変更・追加は不可です。

・日本学術振興会特別研究員制度は、我が国の学術研究の将来を担う創造性に富んだ研究者の養成・確保に資することを目的としています。この目的に鑑み、これまで携わった研究活動における経験などを踏まえ、研究遂行力について分析してください。

成果物一覧

1. 受賞 佐々木誇虎, 卒業研究ベストプレゼンテーション賞 受賞, 2024年1月31日
2. 研究発表(口頭) 佐々木誇虎, 「分子雲の構造進化に向けた自己重力流体シミュレーションの解析」, 2024年第54回 天文・天体物理若手夏の学校, 星間 a11, 2024年7月24日
3. 研究発表(ポスター) K. Sasaki, N. Kuno, H. Fukushima, S. Fujita, S. Nozaki, “Simulation and Observational Data Analysis for Understanding the Structural Evolution of Molecular Clouds”, UK Galactic Star Formation Workshop, 17th - 19th September 2024
4. 研究発表(口頭) 佐々木誇虎, 久野成夫, 福島肇, 藤田真司, 野崎信吾, 「分子雲の構造進化の理解に向けたシミュレーションと観測データの解析」, 日本天文学会 2025年春季年会, P135a, 2025年3月18日

(1) 研究に関する自身の強み

● 研究における主体性

申請者は幼少期より宇宙に強い関心を抱き、科学館に通い詰めたり、宇宙に関する書籍を繰り返し読むなど、自発的に知識を深めてきた。大学進学後は、宇宙への関心を学問的に深めたいという思いから、学部1年次より物理学の基礎を重視し、自主的に参考書を購入して授業内容を補完・発展させる学習に取り組んだ。その中で物理学という枠組みを通して宇宙を理解する面白さに触れ、より専門的な研究への意欲を高めていった。一方で、学部2年次にはプログラミングの授業を受講し、Pythonを用いた課題に取り組むうちに、論理的に問題を解決していく過程に強い魅力を感じるようになった。当初は別々に存在していた「宇宙」への憧れと「プログラミング」への興味が、研究活動の中で結びついたとき、データ解析という手段を通じて宇宙の仕組みに迫ることができるという大きな喜びを実感した。その後も必要な知識や技術を主体的に学びながら、自ら問いを立て、仮説を検証するプロセスを通じて研究を能動的に推進してきた。

● 発想力、問題解決力

申請者は、研究を進める中で既存の手法や枠組みの限界に敏感に気づき、そこに潜む課題を自ら発見し、解決策を模索する姿勢を常に大切にしている。実際に、観測とシミュレーションが別個に扱われがちな星形成分野の現状に対し、それらを橋渡しする新たな解析の視点が必要であることをいち早く認識し、具体的な取り組みへとつなげてきた。観測データの解析においては、分子雲の進化段階をよりの確に評価するため、既存の指標にとどまらず多様な物理量を検討しながら、解釈の精度を高めている。また、シミュレーションデータの解析では、Dendrogramアルゴリズムが想定通りに作動しない事例に直面したが、そのたびにアルゴリズムの構造や前処理を見直し、安定した解析の実現に努めてきた。こうした取り組みは、既存手法に安住せず、自らの問題意識にもとづいて能動的に研究を発展させる力の現れであり、今後の研究においても重要な原動力となると考えている。

● 知識の幅、深さ

本研究は観測とシミュレーションの二つを並行して行っていくことから、研究の遂行には双方に対する深い理解と技術的なスキルが不可欠である。申請者は、電波観測を強みとする研究室に所属し、定期的なゼミ発表や研究室内のディスカッションに積極的に参加することで、電波観測に関する知識を着実に身につけてきた。一方で、観測にとどまらず理論的・計算的な側面からも分子雲研究にアプローチすべく、研究室外で開催されるゼミや国立天文台主催のセミナー、勉強会等に積極的に参加し、数値流体力学やN体計算といったシミュレーションの基礎理論を修得してきた。また、申請者は独学でCやPythonをはじめとした複数のプログラミング言語を習得しており、データ解析コードの実装・改良、可視化に至るまで、研究に必要な技術を自らの手で開発・適用する能力を有している。これにより、観測とシミュレーションの間に橋をかける存在として、本研究を多面的かつ柔軟に推進することが可能であると自負している。

● コミュニケーション能力

申請者は、研究活動を通じて多様な立場の研究者と円滑に議論を行うためのコミュニケーション能力を培ってきた。普段の研究では、研究室内の教員・学生との議論に加え、外部の大学や研究機関に所属する研究者とも積極的に意見を交わし、研究の方向性や解釈を深めている。また、学生主体の研究会に積極的に参加し、星形成分

(【4】研究遂行力の自己分析の続き)

野に限らない宇宙物理の幅広い知見を取り入れてきた(成果物2)。さらに、海外で開催される国際学会にも参加し、海外の学生同士の討論を通し、言語や文化の壁を越えて参加者と活発に意見を交わすことで、国際的な場における研究者間のコミュニケーション能力を実践的に磨いてきた(成果物3)。

●プレゼンテーション能力

申請者の強みの一つとして、優れたプレゼンテーション能力が挙げられる。学部4年次には、卒業研究の発表が内容と表現力の双方において高く評価され、学内における表彰を受けた実績がある(成果物1)。修士課程進学後も、国内外の学会や研究会に積極的に参加し、自身の研究成果の発信に努めている(成果物2、3、4)。特に国際学会においては、ポスターの構成や内容を何度も見直した上で発表したことで、海外の研究者にも研究の意義を効果的に伝えることに成功した。このような発信力は、異分野との連携や国際的な共同研究においても大いに活かされると考えている。

(2) 今後研究者として更なる発展のため必要と考えている要素

●観測装置に関する知識の習得

申請者は現在所属する研究室において、ゼミ活動や日常的な議論を通じて観測装置に関する知識を着実に培ってきた。しかしながら、シミュレーション実行やデータ解析に比べ、観測装置そのものに関する理解については、同じ研究室で装置開発に携わるメンバーと比べてなお不十分であると感じている。今後、ALMAという高性能な観測装置を用いて研究を行い、さらに適切なデータ解析を行う上では、装置の原理や性能特性への理解をさらに深めることが、重要な課題であると認識している。この課題を克服するために、今後は研究活動の合間を縫って装置開発に関連する教科書や専門書を継続的に読み進め、独学による基礎知識の習得に努めていきたいと考えている。得られた知識は、将来的に自身の研究における観測提案やデータ解釈に積極的に生かし、理論・観測両面からのアプローチに繋げていきたい。

●シミュレーションコードの習得

本研究で使用されるGPU対応のシミュレーションコードは、NVIDIA社が開発した計算プラットフォームであるCUDAを用いて記述されている。申請者がCUDAによるGPUプログラミングに触れるのは本研究が初めてとなるため、コードの動作確認やセットアップの調整などを通し、動作原理や使い方を実践的に学んでいく予定である。加えて、これまでに習得してきた数値計算の基礎知識を土台に、将来的にはシミュレーションコードの改良や新たな実装にも積極的に関わっていきたくと考えている。GPUを用いた星形成シミュレーションは技術的にも黎明期にあり、研究の遂行に求められるコードや手法は今後も更新されていくことが予想されるため、こうした変化に柔軟に対応し、自らの技術を継続的にアップデートする姿勢を大切にしたい。

●英語によるコミュニケーション能力のさらなる向上

申請者はこれまで、国際学会において海外の研究者や学生と積極的に議論を交わし、英語による発信力や対話力を実践的に培ってきた。とくに、自身の研究内容を英語で的確に伝えるスピーキングに関しては一定の自信を持っている。しかしながら、複数の英語話者による活発な討論の中で、リスニング能力の不足を痛感する場面も多く、今後さらなる国際的な研究活動に臨む上での課題であると認識している。今後は、海外の研究機関が配信するセミナー動画や学会講演の録画資料を積極的に活用し、専門性の高い英語表現への理解を深めるとともに、シャドーイングやディクテーションといった実践的な学習を通じて、アカデミックな環境でも対応可能なリスニング力の向上に努めていきたい。

●精神的な持久力

申請者は研究を進める中で、日頃から周囲の教員や学生との議論を重ねることで、自身のアイデアが大きく変わっていく経験を重ねてきた。その過程では、自分の考えが塗り替えられていくような感覚に戸惑いを覚えることもあり、精神的な負荷や葛藤を感じることもある。しかしそのような感情が生じるのは、自分自身のアイデアに自信や価値を見出しているからでもあり、それは研究に対して真剣に向き合っている証であると考えている。今後は他者からの意見を柔軟に取り入れながらも、揺るぎない研究姿勢を保つための精神的な持久力を養うことが、次の成長に不可欠だと感じている。