

2023 年度 若手・女性研究者奨励金 レポート

研究課題	天体望遠鏡を用いた惑星系形成過程の観測研究 －惑星大気の起源に迫る－
キーワード	①天体望遠鏡、②惑星系形成、③地球環境

研究者の所属・氏名等

フリガナ 氏 名	ヒグチ アヤ 樋口 あや
配付時の所属先・職位等 (令和5年4月1日現在)	東京電機大学 理工学部理工学科理学系 助教
現在の所属先・職位等	東京電機大学 理工学部理工学科理学系 助教
プロフィール	2010 年東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻修了、博士(理学)。Joint ALMA Observatory (チリ共和国) の Commissioning Scientist や茨城大学、理化学研究所、国立天文台の研究員を経て2021 年から現職。国外・国内の大型望遠鏡を用いて宇宙を観測し、銀河系や太陽系の起源を解明しようと奮闘中。

1. 研究の概要

私たちの地球環境がどのように形成されたのか。特に太陽系が完成する直前に、地球はどのようなメカニズムで大気や水が存在する惑星になったのか。これらを明らかにするため、形成段階にある太陽系外の惑星系に対して天体望遠鏡を用いて観測し、その環境を明らかにすることで、最終的には地球環境が普遍的なのか奇跡的なのかを解明したい。惑星の形成現場である原始惑星系円盤内では、生まれた惑星内にいつ大気を取り込まれ、ガス成分はいつどのように散逸したかは観測的に明らかではない。ガスの散逸時間とその組成は、惑星大気の組成と密接に関わっており非常に重要なテーマである。なぜならガスがいつどのように散逸するかで形成される惑星系の多様性が決まるからである。私はこの問題を解明するため、ガスが散逸段階にある太陽系外の惑星系を、チリ共和国のアタカマ砂漠に建設された大型電波干渉計（アルマ望遠鏡）¹をはじめとする電波望遠鏡を用いて統計的に観測し、アーカイブデータを含めたすべてのデータの均一処理を行なったのちデータベース化し、中心星の年齢と付随するガスの質量を系統的に調査する。これにより原始惑星系円盤から惑星系に至るまでの、ガスの散逸時間や中心星のスペクトルタイプによる影響、物理過程について観測的に制限を与えることができる。本研究では以上の観点から、既存の惑星形成モデルを観測的に再検討することを目指とし、太陽系でのガス散逸時間についても明らかにしていきたい。

2. 研究の動機、目的

太陽系のような惑星系は、原始星の周りに形成されるガスと塵の円盤（原始惑星系円盤）の中で、塵の合体成長により生まれると考えられている。原始惑星系円盤（図1参照）は進化していくと、中心星の周りは惑星形成に使われなかった塵の残骸で囲まれ、この段階はデブリ（残骸）円盤として知られている。これまでの惑星系形成理論では、デブリ円盤の段階になると、もともと存在していたガス成分は散逸してしまったと考えられていた。しかし近年、アルマ望遠鏡など最新の望遠鏡を用いた電波観測の進展により、デブリ円盤の段階でも

¹ <https://alma-telescope.jp> (国立天文台 ALMA プロジェクト)

ガス成分が検出され始め（図2参照）、このガスの起源について2つのメカニズムが考えられてきた。一つは、惑星系のもとになったガス成分が残存しているという「残存説」であり、もう一つは、一度原始惑星系円盤のガスが消失した後、残存した塵や岩石からガス成分が新たに供給されているという「供給説」である。もし、ガスの起源が残存説であれば、惑星系形成理論におけるガスの散逸過程について、これまでの理論モデルでは解釈できず、新たに再考しなければならない。またデブリ円盤に付随するガス成分は、惑星大気の成分にも密接に関わっており、ガスの組成を理解することが惑星系の多様性の理解へも繋がるため、極めて重要な課題である。本研究では、これまでにアルマ望遠鏡を用いて観測されてきた、デブリ円盤に付随するガス（一酸化炭素分子と炭素原子）のデータ（約100天体）をまとめて再解析し、高品質なデータベースとして公開する。以上の作業により、中心星の年齢と付随するガス質量の関係を十分なサンプルで導出することができ、デブリ円盤にいつまでガス成分が存在しているのかを、観測データから導き出すことができる。一方、光赤外線領域での観測も遂行し、新たなデブリ円盤候補天体の探索も行う。本研究で独自のターゲットリストを作成し、のちに電波観測でフォローアップ観測を行い、ガスの散逸時間やその物理過程を明らかにしていきたい。



図1（左）：ALMA望遠鏡が観測したおうし座HL星の円盤（左）と、太陽系の大きさ（右）を比較した図。右の図では、太陽系の最も外側を回る惑星・海王星の軌道が一番外側に描かれている。おうし座HL星の円盤は、太陽系の3倍程度の大きさがあることがわかる。Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

図2：（右）ALMA望遠鏡が捉えた、くじら座49番座のデブリ円盤のダストとガスの分布。ダスト：614 μm を赤、一酸化炭素分子ガス：(J=3-2輝線) を緑、炭素原子ガス：CI ($^3\text{P}_1-^3\text{P}_0$) を青で合成。Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

3. 研究の結果

これまでに国際協力プロジェクトの一員として検討してきた、アルマ望遠鏡を用いたデブリ円盤の大規模サーベイプログラムが、2022年度に高評価で採択された。この観測が進むことにより、これまでのアーカイブデータに加えて、18天体の高品質な観測データが得られることになった。観測と解析は現在進行中であるが、2024年度内には完了する見込みである。また私が主宰する研究室の活動として、2023年度は、東京大学木曽観測所のシュミット望遠鏡、京都大学岡山天文台のせいめい望遠鏡、茨城大学宇宙科学教育研究センターの日立・高萩32m電波望遠鏡を用いた星・惑星形成領域の観測も遂行し（図3・図4参照）、新たな観測データを揃えることができた。その一部は、6名分の卒業論文としてまとめた。現在、研究室の所属学生が、卒業研究の一環として、天文データベースの構築を行っており、こちらが完成次第、これまで観測・解析したデータを広く一般に公開する。

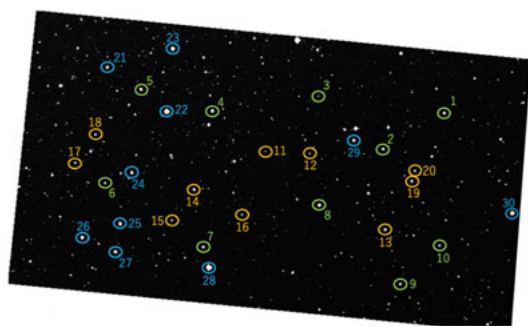


図 3：東京大学木曽観測所シュミット望遠鏡を用いた星・惑星形成領域の観測結果の一部。2022 年度、2023 年度卒業論文より引用。



図 4：天文学研究室主催の東京大学木曽観測所シュミット望遠鏡（左）、日立・高萩 32m 電波望遠鏡（中央）、京都大学岡山天文台せいめい望遠鏡（右）を用いた観測実習の様子。

4. 研究者としてのこれからの展望

本研究を含めたこれまでの研究は、主に地上の望遠鏡を用いて行ってきましたが、今後は宇宙望遠鏡の観測も展開し、惑星系形成論のグランドシナリオの形成に貢献していきたいと考えています。実際に、国際協力プロジェクトの一員として、電波帯域を観測する宇宙望遠鏡の計画・立案を行っているところで、来年早々には、アメリカ航空宇宙局（NASA）へ提案を行う予定です。主宰している天文学研究室は、学生が天文台や観測所で、様々な観測装置を使って観測経験ができることを売りとしています。昨年度は、学生を引率して、東京大学木曽観測所、京都大学岡山天文台、茨城大学宇宙科学教育研究センターの望遠鏡を用いて観測実習を行いました。今後は国内にとどまらず、国立天文台ハワイ観測所などの海外の天文台・観測所でも実習ができるように検討しているところです。これまでは、私が主体となり研究を進めてきましたが、今後は学生と一緒に天体観測を楽しみながら、より国際的に研究を推進・発展させていきたいと思っています。

5. 支援者（寄付企業等や社会一般）等へのメッセージ

本奨励金により、これまでの研究をさらに発展させることができました。私立大学は、担当する授業数が多く、海外での研究会や会議への積極的な参加が難しい状況が続いておりました。さらに昨今の円安・物価高騰のため、2023年度も海外出張を諦めておりましたが、本奨励金のおかげで渡航が実現いたしました。もうすぐ稼働する一平方キロメートル電波干渉計（Square Kilometer Array, SKA）²の研究会であったため、今後の研究の方向性を探る上での情報収集もでき、大変良い機会になりました。観測天文学は、私たちの生活に直接恩恵がないため、なかなか予算の獲得が難しい分野ですが、研究過程で発見・開発された技術が実社会に還元されているものも数多く、本研究もその一つになることを信じて、今後も研究に励んでいきたいと思っています。

² <https://www.skao.int> (SKA Observatory)