

# ALMA Observations Revealing Disk Formation in Early Phases of Star Formation

その他のタイトル	ALMAを用いた星形成初期段階における円盤形成の研究
学位授与年月日	2017-03-23
URL	<a href="http://doi.org/10.15083/00075598">http://doi.org/10.15083/00075598</a>

# 審査の結果の要旨

氏名 麻生 有佑

T タウリ型星周囲の円盤は原始惑星系円盤と呼ばれる。これまでの観測でその存在と構造が明らかになってきており、その中で惑星が生まれるというパラダイムが確立してきた。より若い進化段階である原始星降着期における星周円盤は、分子流の駆動や角運動量の外部への輸送という大事な役割を持ち、また惑星形成の現場の可能性があると理論的には考えられているが、一方で磁場による角運動量輸送の結果として円盤は作られないという対立した理論も提案されている。本論文は、原始星期に本当に円盤が形成されているか、またどのような構造を持つかという問題に取り組んだものである。本論文は 5 章から構成されており、原始星における円盤形成について高い空間分解能を持つ Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (アルマ)を用いた研究の成果をまとめている。

第 1 章は序論であり、ケプラー回転する分子ガスと塵(ダスト)から構成される円盤の星形成や惑星系形成過程における役割や、その研究の重要性、さらに未解明の問題などの研究課題が述べられている。また、原始星期において円盤が形成されているか、それはどのような構造を持つかということは、アルマ時代の大事な課題になっていることを指摘している。先行研究においてケプラー回転をする円盤の存在を示唆する結果が得られている天体で、かつ本博士論文でも取り上げる比較的進化した原始星 2 天体 (TMC-1A, L1527 IRS) についてこれまでの研究結果について紹介し、他の先行研究の現状とともに博士論文として取り組む課題をまとめている。

第 2 章では、原始星 TMC-1A について、アルマを用いた新しい観測データの取得とその結果とともに、アーカイブデータも利用して、様々な原始星についての円盤の物理的性質について述べている。高い空間分解能の観測により、 $C^{18}O(2-1)$  輝線では初めて、回転と落下運動を伴うエンベロープとその中心に位置するケプラー回転を示す円盤の二成分に明確に切り分けることに成功している。 $C^{18}O$  輝線の位置速度図を用いることに加え、回転円盤と

エンベロープからなる系の輻射輸送モデル等との比較も行い、円盤半径は約 100 天文単位 (au)、中心星質量は 0.68 太陽質量、エンベロープの落下速度は自由落下速度のおよそ 0.3 倍と見積もった。遅い落下速度の原因として、2 ミリガウス程度の磁場がエンベロープを支えている可能性を示唆した。

第 3 章では、原始星 L1527 IRS について、アルマでの高空間分解能観測について述べている。第 2 章で示された  $C^{18}O(2-1)$  輝線の解析方法をこの天体にも適用し、半径およそ 70 au のケプラー円盤を同定し、中心星質量の導出にも成功した。一方、ダストで円盤構造をほぼ真横から捉えている点にも着目し、観測データのビジビリティ(イメージのフーリエ成分)の 2 次元分布の用いた独自の解析手法を用いて、円盤の長軸方向と短軸方向のダスト分布の明らかな違いを見出した。また、円盤とエンベロープからなる 3 次元モデルをベースに、ビジビリティのフィッティングを行うことによって、原始星期の円盤でも T タウリ型星の星周円盤と同様に静水圧平衡から期待される程度の厚みを持つこと、円盤とエンベロープの間に構造の明らかなギャップ(柱密度構造のギャップと仮定すると、エンベロープから円盤にかけておよそ 5 倍の増加)があることを見出した。このダスト観測データの解析から得たギャップ位置は、ガスの観測から運動学的に求めたケプラー回転する円盤の外径と誤差の範囲で一致するものであった。ガスとダストがほぼ同じような構造を持ち、かつ静水圧平衡にありケプラー回転するという観点で、L1527 IRS の円盤は、T タウリ型星の円盤に近いものであると結論付けた。

第 4 章では、星形成のより若い段階にある天体を探査する目的で行った Serpens Main 領域のアルマでの観測について述べている。この観測により、輻射温度( $T_{\text{bol}}$ )が非常に低いより若い進化段階にあると思われる天体 (SMM11a)を見出した。これまでの理論的な研究や、先行研究でファーストコア候補と示唆されている天体との比較から、SMM11a もファーストコア段階にある可能性を提案している。SMM11a から初検出した分子流と、 $C^{18}O$  輝線で捉えた高密度コアの構造を詳細に調べた結果、分子流はほぼ天球面に沿った構造をもつこと、 $C^{18}O$  分子の存在量が、星間空間に比べて 4 桁近く低いことを見いだした。また、分子流と垂直な方向に円盤のような扁平な構造を持たないことから、この天体は非常に若い段階にあり、

円盤構造が形成されておらず、球対称構造を示しているという解釈を与えている。円盤形成研究の発展方向を示す、大事な糸口の一つである。

5章では、全体のまとめと将来に向けた研究の展望が述べられている。

以上のように、本論文で得られた原始星における円盤形成の確かな証拠や円盤構造に関する研究は、原始星期のみならず、星惑星形成の様々な物理プロセスを理解する上で大変重要であり、星惑星系形成研究に大きな寄与をする価値の高いものであると判断できる。

本論文の第2章、第3章は、指導教員の大橋永芳氏、西合一矢氏、小屋松進氏(第2章のみ)、相川祐理氏、林正彦氏、町田正博氏、齋藤正雄氏、高桑繁久氏、富田賢吾氏、富阪幸治氏、Hsi-Wei, Yen氏との共同研究の成果をまとめたものであるが、論文提出者が主体となって研究計画全体の立案、データ解析、および考察を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分大きいと判断できる。

したがって、本委員会は全員一致で、麻生有佑氏に博士(理学)の学位を授与できると認める。

## 最終試験の結果の要旨

氏名 麻生 有佑

成績 合格

本委員会は論文提出者に対し平成29年1月30日、学位論文の内容及び関連事項について、口頭試験を行った。

その結果、論文提出者は、天文学特に電波天文学について博士（理学）の学位を受けるにふさわしい十分な学識をもつものと認め、審査委員全員により合格と判定した。