

# 論文審査の結果の要旨

氏名 森 智宏

惑星系形成の場である原始惑星系円盤中の塵（ダスト）の情報は惑星系形成の理解のために不可欠である。本論文は、前主系列星まわりの原始惑星系円盤からのミリ波連続波の偏波をアルマ望遠鏡により空間分解して検出し、円盤中のダストの整列とミリ波偏波の成因に関して理論モデルを用いて考察を行い、円盤中のダストの運動、サイズ、形状に関して新知見を得たものである。

本論文は4章と付録からなる。第1章は序章であり、本論文の背景となる原始惑星系円盤のレビュー、ミリ波偏波の歴史、ミリ波偏波の原因となるダスト整列機構、研究動機などがまとめられている。原始惑星系円盤のミリ波偏波の観測は1995年頃から開始されていたが、最近になってアルマ望遠鏡等における高解像度観測により、円盤を空間分解した偏波が検出されるようになった。最初は、光学的に薄い領域からの、磁場によって整列されたダストによる熱放射偏波と解釈され、円盤中の磁場構造を得る良い手段と考えられていたが、ダストの自己散乱による偏波や磁場以外の様々なダスト整列による偏波の可能性が指摘されるようになった。しかし、原始惑星系円盤を空間分解した偏波観測例はまだ数が少なく、その解釈も限定的であった。本研究では、これまで最も詳しいミリ波偏波観測が行われているTタウ型星 HL Tau と、これまでミリ波偏波観測が行われていないTタウ型星 AS 209 という2天体に着目した。前者については、HL Tau の円盤のアルマ望遠鏡による波長 3.1 mm の偏波データに新しい解釈を与えた。後者については、AS 209 の円盤のミリ波偏波を初めて検出し、その解釈を議論した。いずれも、原始惑星系円盤中のダストのサイズ、形状、運動について新しい情報を提供しており、惑星形成の分野において重要な結果である。

第2章は、先行研究による HL Tau のアルマ望遠鏡による波長 3.1 mm (バンド3) の偏波観測の結果を説明するために、円盤中のダスト整列と散乱の半解析的モデルについて詳述している。HL Tau の円盤の波長 3.1 mm の偏波は、(1) 円状ではなく楕円状の偏波ベクトルのパターンが見られること、および、(2) 偏波強度が方位角方向に一様に分布すること（円盤の長軸あるいは短軸に沿って強くなること）に着目し、先行研究で行われていた放射によるダスト整列とガス流によるダスト整列による偏波に加え、ダストの散乱による偏波の影響を取り入れた。その際、ダスト整列の半解析的モデルと放射輸送モデルを構築し、ダストの形状として針状 (prolate) と円盤状 (oblate) の双方についても考慮した。その結果、針状ダストがガス流で整列され、かつ、ダストの散乱も効果的なモデルの場合、アルマ望遠鏡の観測結果をよく説明することを示した。また、ダスト散乱も効果的であることから、ダストの最大サイズは 130  $\mu\text{m}$  であることを示唆した。いっぽう、ガス流によるダスト整列は原始惑星系円盤においてガスが超音速で運動することを示唆するため、従来の整列理論ではガス流による整列が説明できない可能性がある。

第3章は、AS 209 の観測、結果、議論について記述している。アルマ望遠鏡を用いて

波長 870  $\mu\text{m}$  の連続波において、約 1" の解像度で AS 209 の原始惑星系円盤の観測を行った。その結果、この円盤からの偏波を初めて検出した。円盤偏波は、半径 0.5" を境に内側と外側で違う振る舞いを示す。内側では円盤の長軸に垂直に並んだ偏波ベクトルが卓越している。これは 100  $\mu\text{m}$  程度のサイズのダストによる散乱と解釈される。いっぽう、外側では方位角方向に偏波ベクトルが並んでおり、さらに約 4.5 度の系統的な角度ずれが見られることから、渦巻き状の偏光ベクトルパターンの可能性を示唆した。このパターンは、ガス流による整列によって説明可能であることを示す一方、円盤の運動から期待される角度ずれとは向きが違うことも指摘している。AS 209 の円盤の偏波を空間分解して検出し、その偏波データを複数の起源で説明した点は評価される。

第 4 章では、上記 2 円盤を比較しつつ、共通なダスト整列と今後の計画について記述している。

付録では、第 3 章の偏波ベクトルの方位角の系統的ずれについての統計的な議論を行い、4.5 度のずれが有意である事を示している。

本論文で議論されている原始惑星系円盤からのミリ波偏波と、偏波の原因となる円盤中におけるダスト整列モデルは、円盤中のダストのサイズ・形状や微惑星に至る過程のダスト情報を得る上で大変貴重な情報を与えるものであり、複数の整列モデルを並行して取り入れ、詳細なモデルを検討し、円盤の偏波の起源が複数であることを示したという学術的価値は高い。

なお、本研究は片岡章雅・大橋聡史・百瀬宗武・武藤恭之・永井洋・塚越崇との共同研究であるが、論文提出者が主体となって行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。