

論文審査の結果の要旨

氏名 柴田 大輝

本論文は6章および2つの補遺から成る。第1章はイントロダクションとして、星間分子ガス雲と星形成過程、および関連する化学反応について概観する。最近の電波観測により示された、一酸化炭素分子の数密度と重水素化合物の組成の相関に考察を加え、原始星進化段階と分子ガス雲中の重水素濃縮率を論じている。ここで重水素濃縮とは、分子に含まれる重水素と水素の存在量の比が、宇宙存在量の比よりも大きくなる現象である。次に、重水素化合物イオンの分量から重水素濃縮率を導くという従来の手法では、原始星周辺ガスの温度や星間塵の存在によって結果の解釈が大きく変わりうることを指摘し、複数の分子線を用いた解析が重水素濃縮率測定には有効であると提案する。ここで本研究の目的が提示されている。第2章では本研究で使用する野辺山45メートル望遠鏡、アタカマサブミリメートル望遠鏡(ASTE)、およびサブミリメートルアレイ(SMA)の諸元をまとめ、各検出器の特性を解説する。次に、観測対象とする低質量原始星5天体について、これまでの観測より得られた情報をまとめ、Class 0/I 原始星分類や、それぞれの天体の特筆すべき事柄を明示する。

第3章では、論文提出者が行った分子イオン輝線観測のデータを解析する。5天体について、原始星を中心とした9地点を対象としてDCO⁺など5種のイオンおよび対応する同位体分子イオンからの輝線強度を求め、重水素濃縮率を求めている。主要な解析は各分子のJ=1-0回転遷移による輝線に対して行い、さらに3つの天体に対してはJ=4-3等の高エネルギーレベル遷移分子線についても観測を行い、統合解析を行っている。分子ガス雲の温度を3通り仮定し、各輝線に対する光学的厚みを求めた上で、全ての天体で、原始星周りに重水素濃縮度の空間勾配が存在することを明らかにしている。

第4章では、DNC分子などの中性分子からの輝線を観測し、第3章と同様の解析を行う。分子イオン輝線観測の結果と同じく、原始星周りに重水素濃縮率の空間勾配が存在することを明らかにしている。一方でイオンと中性分子では重水素濃縮率が顕著に異なる天体や領域が存在することに着目し、原始星進化との対応を論じている。

第5章では、先行する二つの章で得られたイオン分子輝線および中性分子輝線観測を総括し、またそれぞれの天体に対して観測結果を比較することで、星形成ガス雲の物理状態と進化段階について考察を与えている。特に、重水素濃縮度の空間変動を定量化するために、dip depth と呼ばれる量を考案し、原始星周辺部の重水素減少率を明らかにした。さらに、中性分子とイオンとで重水素濃縮度が異なる点について、重水素化合物の破壊反応を詳細に調べた上で、反応時間と原始星進化の典型的時間を比較し、中性分子の重水素化合物は原始星形成後もしばらく破壊されずに残留すると結論づけた。進化早期段階にある原始星領域 IRAS16293-2422 については、SMA 干渉計によるアーカイブデータを解析し、得られた速度チャンネルマップから、原始星周辺ガスの高速度成分に顕著な重水素濃縮率低減を見出した。

第6章では、星なしコアの段階を含めて原始星進化とガス雲中の化学反応を総括し、本論文で観測した5天体について、原始星周辺コアとエンベロープそれぞれの化学組成とその時間進化を議論している。原始星誕生後の重水素濃縮率の多様性について1つの解釈を与え、将来観測への展望で論文を締めくくる。

なお、本論文第3章、第4章、第5章は山本智氏との共同研究をもとになっているが、重水素濃縮率の空間分布を異なる分子種を用いて測定するという着想は論文提出者本人が得たものである。自ら野辺山電波望遠鏡とASTEを用いた観測によりデータを取得、さらにSMAのアーカイブデータの取得、解析は論文提出者が行った。重水素濃縮率や速度構造を利用した解析は全て論文提出者が行い、考察を与えたもので論文提出者のオリジナルな成果である。

前主系列星の進化を明らかにすることは星形成過程を理解するための重要課題の一つである。本論文はその進化段階の指標の一つとしてガス雲の重水素濃縮率に着目し、電波分光観測によって重水素化合物の分布や原始星進化段階との対応を明らかにした。高角度分解能の電波望遠鏡や電波干渉計の能力を活かした世界最先端の研究であり、現在稼働中、および将来の電波望遠鏡を用いた観測に大きな示唆を与える。原始星形成領域の化学進化に迫る重要な研究成果である。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。