

氏 名 百 瀬 宗 武

学位（専攻分野） 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第319号

学位授与の日付 平成10年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 天文科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学位論文題目 An observational study of the Structure and  
evolution of protostar envelopes

論文審査委員 主 査 教 授 観山 正見  
教 授 中野 武宣  
助 教 授 川邊 良平  
教 授 祖父江 義明（東京大学）  
教 授 佐藤 修二（名古屋大学）

## 論文内容の要旨

低質量星は、分子雲中に存在する高密度領域(分子雲コア)が重力的に収縮することで形成される。より具体的に主系列星前の天体を分類すると、大きく次の二つの進化段階が考えられる。(1) 半径数千天文単位のエンベロープから中心星への質量供給が起こることにより、中心星が成長する原始星。(2) 原始星期で起こっていた質量供給が停止し、中心星が準静的収縮により輝くTタウリ型星。Tタウリ型星周囲には、質量が太陽の $10^3$ から $10^4$ 倍、半径が百天文単位程度の星周円盤が普遍的に存在しており、これらは惑星系の母体となる原始惑星系円盤だと考えられている。

しかし、原始星エンベロープの構造を観測的に詳しく調べる研究がこれまで不足していたため、原始星エンベロープの内部構造やそこでの質量降着率、あるいは原始星からTタウリ型星への進化に伴うエンベロープの構造変化や質量降着停止の原因については理解が進んでいなかった。これらの理解は、星・円盤系の形成過程や原始惑星系円盤の初期物理状態、さらに星の質量が最終的にどのように決定されるのか、といった問題を考える上で非常に重要である。そこで私はこれらの問題を解明するため、近傍の低質量星形成領域である牡牛座分子雲中に存在している原始星、及び進化段階早期にあるTタウリ型星を対象に、その周囲に付随する分子ガスの構造と運動を系統的に調べた。観測には、分子ガス輝線の高空間分解能観測が可能な野辺山ミリ波干渉計を主に用いた。その結果得られた成果は以下にまとめる通りである。

まず私は、原始星期におけるエンベロープの構造を詳しく調べるため、二つの原始星候補天体L1551 IRS 5及びL1551 NEを対象に、周囲の分子雲成分に対して光学的に薄く、エンベロープ中の高密度ガスを捕らえるのに適した $C^{18}O$  ( $J=1-0$ )輝線を用いて観測を行った。その結果、両天体とも半径約千天文単位の中心集中した円盤状エンベロープが付随していることが明らかになった。このうちL1551 IRS 5については特に高い空間分解能で観測を行い、エンベロープの物理的性質を以下の通り詳細に明らかにした。まず第一にエンベロープ中の速度場は降着運動と回転運動の組み合わせで説明できることが分かった。両者を比較すると、エンベロープ外側では降着運動が支配的であるが、中心に近づくほど回転運動が顕著になり、その結果半径150天文単位程度の回転平衡円盤(原始惑星系円盤)が形成されていることが分かった。第二に観測された位置速度図の解析から、エンベロープの密度構造は中心集中した半径1200天文単位の幾何学的に厚い円盤状構造を持つことが分かった。また、エンベロープの質量は0.062太陽質量、エンベロープ中の質量降着率は一年あたり約 $6 \times 10^{-6}$ 太陽質量であると見積もられた。これらの結果は、原始星エンベロープを完全に空間的に分解して観測し、その結果に基づいてエンベロープ内部の密度・速度構造や質量降着率を直接求めたという点で重要である。

原始星エンベロープの進化を解明するためには、原始星だけでなく、原始星期から進化して間もない天体についても観測を行い、両者を比較することが重要である。そこで私は、原始星期から進化して間もない天体の候補として赤外領域で特徴的なエネルギー・スペクトルを示すTタウリ型星(フラットスペクトルTタウリ型星)に着目し、これら周囲に付随するガスを、ある程度の強度が期待できる $^{13}CO$  ( $J=1-0$ )輝線を用いて観測を行った。その結果、フラットスペクトルTタウリ型星には共通して、半径数千天文単位程度に広がったガス成分が存在していることが明らかになった。これは、典型的Tタウリ型星周囲には半径数百天文単位のガス成分しか存在しないことと比較して、大きく異なった状況である。今回観測されたフラットスペクトル

Tタウリ型星周囲のガスは、その空間的広がりから原始星エンベロープ、あるいは分子雲コアの名残と考えられ、これらの天体が原始星期から進化して間もない天体であることが観測的に明らかになった。とくに牡牛座T星周囲のガス成分の構造と運動を詳しく解析した結果、観測された広がったガス成分は、高速の星風の影響を受けて散逸しつつある母体の分子雲コアの部分であることが明らかになった。

$^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 干渉計観測により、フラットスペクトルTタウリ型星が原始星期から進化して間もない早期Tタウリ型星であることが示されたことをうけて、私はこれらに付随するガスの物理状態を詳細に調べるため、より光学的に薄くアンビエントなガス成分の影響を受けにくい $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$ 輝線を用いた干渉計観測を行った。その結果、その周囲には数千天文単位スケールのガスが付随しているものの、ガスの柱密度分布は原始星の場合とは対照的に中心集中度が著しく弱いことが分かった。これは原始星期において、分子雲コア内域部分のみが主に質量降着を起こした結果であると自然に解釈できる。また、これらフラットスペクトルTタウリ型星に付随するガス成分の柱密度分布を注意深く調べてみると、中心部に半径四千天文単位程度のくぼみが普遍的に存在していることが示唆された。このガス分布のくぼみのスケールは、動的降着により中心星へと落ち込む領域の典型的スケールを暗示しているとも解釈できる。もしそうであるとすれば、これまで未解決だった質量降着の停止機構を今後考えていく上で重要な情報となるであろう。また観測されたガス成分が明瞭な速度構造をもたないため、これらが降着運動しているのか散逸運動しているのかを結論するためにはさらなる観測が必要である。しかし、もし観測されたガスの一部が内側へと降着運動しているとすると、その質量が約0.05太陽質量であることから、原始惑星系円盤への重要な質量供給源になりうると考えられる。

本論文は、形成途上にある星（原始星）の周辺、および形成がほぼ終了した星の周辺の高密度ガス雲（分子雲コア）の構造と運動を、国立天文台野辺山宇宙電波観測所のミリ波干渉計で観測することにより、太陽質量程度の星の形成過程を研究したものである。出願者はこの研究で、分子雲コアの重力収縮によって原始星のまわりに回転ガス円盤が形成される過程を明らかにし、また、原始星周辺の分子雲コアと、形成がほぼ終了した星のまわりの分子雲コアの構造を比較することにより、分子雲コアのどの部分が収縮して星が生まれるのかを明らかにした。

論文は、1. 導入、2. 原始星候補天体の $C^{18}O$  ( $J=1-0$ ) 輝線観測、3. 平坦スペクトルを持つ牡牛座T型星の $^{13}CO$  ( $J=1-0$ ) 輝線観測、4. 平坦スペクトルを持つ牡牛座T型星の $C^{18}O$  ( $J=1-0$ ) 輝線観測、5. 分子雲コアの進化、6. まとめ、の6章から構成されている。

分子雲コアの収縮によって、まず非常に小さい星の芯（原始星）が出来、遅れて収縮してきたガスが降り積もることによって、原始星は次第に成長していき、ある時点で成長が止まり、星の誕生が完了する、と考えられている。出願者は2つの原始星候補天体周辺の高密度ガスの密度と速度の空間分布を、 $C^{18}O$  ( $J=1-0$ ) 輝線を観測することによって調べた。特に、原始星L1551IRS5については、高密度ガス雲は約5000AU（1AUは地球と太陽の距離）の広がりを持つこと、原始星から十分遠方ではほぼ原始星に向かって収縮しているが、原始星に近づくにつれて、回転運動が次第に卓越していくこと、このまま角運動量を保存しながら収縮を続けると、原始星から約160AUの位置で遠心力と重力が釣り合った状態が実現されること、を明らかにした。これは、高密度ガス雲の重力収縮によって、原始星のまわりに回転ガス円盤が形成される過程、あるいは回転ガス円盤に更にガスが供給される過程を、観測によって初めて示したもので、星形成だけでなく、惑星系形成にも関係する優れた成果と評価される。なお、出願者にはこの研究に対し、平成9年度長倉研究奨励賞が授与された。

原始星よりも少し後期にある天体として、牡牛座T型星のうち赤外域でほぼ平坦なスペクトルを持つ3つの星を選び、その周辺を、 $^{13}CO$  ( $J=1-0$ ) 輝線で観測した。その結果、どの星にも数千AUの広がりを持った高密度ガス雲が付随していることがわかった。普通の牡牛座T型星に付随するガスは半径数百AUの広がりしか持たないので、平坦スペクトル牡牛座T型星は、原始星から普通の牡牛座T型星への遷移段階にあると言える。また、その内の1つ、牡牛座T星周辺のガスの構造と運動を詳しく解析したところ、分子雲コアの一部が高速の星風の影響で吹き飛ばされつつあることがわかった。

上記の3つの平坦スペクトル牡牛座T型星周辺のガスの物理状態を更に詳しく調べるため、 $C^{18}O$  ( $J=1-0$ ) 輝線による観測を行った。その結果、原始星周辺のガスに比べて、中心集中度が著しく弱く、星から数千AU以内ではガスが

少ないことがわかった。これは分子雲コアのうち収縮して星になるのは、その内域部であることを示している。

以上のように出願者の研究は、いくつかの分子輝線による観測によって分子雲コアの構造と運動を調べることにより、星形成に関係するいくつかの重要な過程を明らかにしており、この分野で優れた貢献をなしたものと評価される。

なお、本論分は共同研究の成果であるが、研究の主要部分はお願者が中心になって進めたものであり、審査委員は全員一致で、本論分が博士（理学）の学位を受けるにふさわしいものであると判定した。