

氏名(本籍)	なかざと たけし 中里 剛(埼玉県)
学位の種類	博士(物理学)
学位記番号	博甲第3117号
学位授与年月日	平成15年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	物理学研究科
学位論文題目	A Study of Protostars with Spectral Modeling Based on the Two-Dimensional Radiative Transfer Calculations (2次元輻射輸送計算に基づくスペクトルのモデル計算による原始星の研究)
主査	筑波大学教授 理学博士 宇川 彰
副査	筑波大学教授 理学博士 岩崎 洋一
副査	筑波大学教授 理学博士 梅村 雅之
副査	国立天文台教授 理学博士 富阪 幸治

### 論文の内容の要旨

本研究は、星が核融合反応を起こす前の段階である原始星段階について、エネルギー・スペクトル分布の輻射輸送計算を行い、原始星の構造推定をする方法を確立したものである。太陽に代表される主系列星は星間分子雲が自己重力によって収縮した結果形成されると考えられている。一般に分子雲は角運動量を持っているために、中心星の周囲には降着円盤が形成される。原始星は、中心星と降着円盤は形成されているものの、まだガス降着が激しく起こっている段階であり、それがエンベロープを作り中心部を隠している天体である。このエンベロープのために中心星からの輻射は直接は観測されず、中心星の輻射によって10～100Kに暖められた周囲のダスト粒子の熱輻射が観測される。原始星の構造を調べることは、主系列に至る星の進化段階を知ることであり、星形成の研究において非常に重要な意義がある。原始星は、中心星、降着円盤、エンベロープの3つの成分から構成される天体であるが、エンベロープには、物質の降着に伴って余った角運動量を受け取った物質が吹き出すことにより、双極状のガス流が形成され、密度の低い穴を作っている。原始星は、中心部が直接見えないため、その構造を直接空間分解して知ることは困難である。このような状況ではエネルギー・スペクトル分布(SED)の観測が有効である。SEDとは振動数毎の光度の分布関数である。原始星の場合、SEDはダスト粒子自身の熱輻射と中心星からの輻射のダスト粒子による散乱光の重ねあわせで構成されている。そのためSEDの形状は中心星周囲のダスト粒子の物質分布、温度分布を反映している。ダスト粒子の温度は中心星からの輻射の吸収とダスト粒子自身の熱放射の輻射平衡によって決まっているため、輻射輸送の正確な取り扱いが重要である。また、原始星は円盤やエンベロープの穴など、非球対称な構造をしており、それらを考慮したモデル化が必要である。しかし、これまでは降着円盤や穴構造などをモデルに反映させ、且つ輻射輸送を正確に取り扱った研究は行われてこなかった。

本研究では、2次元軸対称の物質分布を置き、輻射輸送を正確に取り扱った原始星の物理モデルを構築し、このモデルを用いて実際に観測されている原始星内部の構造を推定した。ここでは、Variable Eddington Factor法と呼ばれる、輻射輸送を正確に取り扱うことのできる方法を採用して、輻射平衡の条件からダスト粒子の温度分布を決定した。まず、輻射輸送過程を球対称近似して解いた計算結果と、実際に用いた近似なしの計算結果を比較した。その結果、輻射平衡の条件で求めた温度分布、及びそこから計算されるSEDは両者の間で大きく異なるこ

とが示された。つまり、SEDに基づく信頼性の高い構造推定の為には、2次元輻射輸送を正しく取り扱うことが必須であることがわかった。次に、原始星モデルにおける物理パラメータの変化が、どのようにSEDに反映されるかを詳細に調べた。その結果、個々のパラメータのSEDに対する影響は複雑に縮退しており、原始星の構造推定にはその縮退を解く構造推定の手順が必要であることが分かった。構造推定の手順は以下の通りである。

1. エンベロープに空けられた穴の大きさを見積もる。
2. 天体の観測角度を見積もる。
3. 中心星の光度も見積もる。
4. 中心星周囲の物質の総質量を見積もる。
5. 星周円盤とエンベロープの質量比を見積もる。

ここで確立した手順をもとに、著者は実際の原始星候補天体に対して構造推定を行った。対象として選んだ天体はIRAS04365 + 2535 (TMC1A)とVLA1623で、前者は比較的質量の小さいエンベロープに覆われた原始星の後期、後者は前者より深くエンベロープに埋もれた前期段階にあるとされている。SEDに基づく構造推定の結果、TMC1Aは中心星の光度が $1.0L_{\odot}$ 、エンベロープの質量が $0.1M_{\odot}$ 、星周円盤の質量も $0.1M_{\odot}$ であり、SEDに対応する温度は130K程度であることがわかった。これらの結果とH-R図上での位置により、TMC1Aは質量 $0.3M_{\odot}$ の主系列星に対応する前主系列段階で、年齢は50万~100万年程度であると考えられる。一方VLA1623は中心星の光度が $0.5L_{\odot}$ 、エンベロープの質量が $0.4M_{\odot}$ 、星周円盤の質量が $0.03M_{\odot}$ であり、SEDに対応する温度は19K程度であった。VLA1623は質量 $0.5M_{\odot}$ の主系列星に対応する前主系列段階で、年齢は50万年以下と見積もられた。年齢、及び対応する主系列星の質量と星周物質の質量の比などから、VLA1623は確かにTMC1Aより若いことがわかった。

## 審査の結果の要旨

本研究の優れた点は、輻射輸送を正確に考慮した原始星の物理モデルを世界で初めて構築した点である。これによりエネルギー・スペクトル分布 (SED) の正確な計算が可能になり、原始星の構造を決める主要パラメータとSEDとの対応関係が明確に示された。これによって、SEDに基づく構造推定法の確立を行った点はこれまでにない斬新なものである。また、実際に観測されているいくつかの原始星にこの方法を適用し、SEDを見事に再現して構造の推定を行っている。結果として、原始星段階の中でも、降着がより進んだ状態と、降着の前期段階にある若い天体を明確に区別できることが明らかになった。この研究により、原始星に対して信頼性の高い詳細な構造推定を行うことが可能になったことは、現在謎となっている主系列段階に至るまでの星の進化過程を解明する上で、極めて重要な意味を持つものであり、その学術的意義は高く評価される。本研究の一部は既に*Astrophysical Journal*に掲載され、観測分野からも注目を集めている。

よって、著者は博士 (物理学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。