

|           |                                                                                               |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名       | 寺 田 宏                                                                                         |
| 学位(専攻分野)  | 博 士 (理 学)                                                                                     |
| 学 位 記 番 号 | 理 博 第 2139 号                                                                                  |
| 学位授与の日付   | 平 成 12 年 3 月 23 日                                                                             |
| 学位授与の要件   | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当                                                                       |
| 研究科・専攻    | 理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻                                                               |
| 学位論文題目    | 3-4 $\mu$ m Spectroscopic Study of Herbig Ae/Be Stars<br>(Herbig Ae/Be 星の 3-4 ミクロンにおける分光学的研究) |

論文調査委員 (主 査) 教 授 舞 原 俊 憲 教 授 小 山 勝 二 教 授 笹 尾 登

### 論 文 内 容 の 要 旨

中質量前主系列星は、低質量前主系列星に比べて進化が速いためにサンプル数が少ない。このため中質量星においては、星の進化を理解する上で本質的な『星自体の内部構造』や『星を取り巻く塵の空間的構造』等の解明も未だなされておらず、中質量星の形成進化には未知の部分が多い。

そこで、申請者は中質量 ( $\sim 2-10 M_{\odot}$ ) を持つ前主系列星と考えられている Herbig Ae/Be stars の 20 個のサンプルに対し L バンド ( $2.8-4.2 \mu\text{m}$ ) での近赤外線分光観測を行なった。L バンドには炭素質塵の主要な振動モードが存在し、ここに存在する輝線を検出することにより星周塵の化学組成を知ることができる。観測には申請者らが京都大学宇宙線研究室にて独自に開発した近赤外線分光器 LEWIS (L, M band Echelle Wide coverage Intermediate resolution Spectrometer) を用いた。LEWIS は、 $256 \times 256$  素子の二次元アレイ検出器上にプリズムとグレーティングによって直交方向に分散をかけて広帯域スペクトルを取得することができる分光器である。このことにより中波長分解能 ( $\lambda/\Delta\lambda \sim 1300$ ) にて L バンド全域を一挙に覆うことが可能になり、この波長域で過去にない高質のデータ取得を実現した。サンプルは、比較的近傍に存在し ( $\leq \sim 1 \text{ kpc}$ )、L バンドにて十分明るいもの ( $\leq 4.9$  等) を選んだ。申請者は、中質量前主系列星に対して、中波長分解能で L バンド全域のスペクトルを取得した初めての地上観測である。その結果、複数の天体から豊富な水素原子の再結合線、固体ダスト特有の幅の広い放射、 $\text{H}_2\text{O ice}$  による吸収、様々なスペクトル指数をもった連続光成分を検出した。

水素の再結合輝線に関しては、観測した全ての Herbig Ae/Be stars から Bra 輝線を検出したのをはじめ、複数の天体から Pf 系列、Hu 系列に及ぶ豊富な水素の再結合線を検出した。Bra と P $\gamma$  が示す輝線強度比の評価から、Herbig Ae/Be stars の水素輝線放射機構としてこれまでに提案されていた Nisini et al. (1995) のモデルが有効であることを確認した。

観測した Herbig Ae/Be stars の  $3 \mu\text{m}$  帯連続光成分から求めた標準アクリーションディスクの内縁端温度は、塵の昇華温度に比べて有意に高いものを含んでいた。このことから、申請者は Herbig Ae/Be stars においてこれまでに観測されている  $3 \mu\text{m}$  付近のピークが塵からなる標準アクリーションディスクのみでは説明できないことを示唆した。

特に、観測した Herbig Ae/Be stars の内、 $3 \mu\text{m}$  帯で最も明るい MWC 297 において、極めて高質の  $3 \mu\text{m}$  帯スペクトルを取得した。この MWC 297 のスペクトルは、Humphrey 系列に至る 11 本の水素の再結合輝線と、 $3.1 \mu\text{m}$  に  $\text{H}_2\text{O ice}$  の吸収バンド、さらに  $3.53 \mu\text{m}$  にピークを持つ幅の広い輝線を示した。検出された MWC 297 の  $\text{H}_2\text{O ice}$  の吸収バンドの深さから、MWC 297 の持つ全吸収量の内、約  $1/12$  が星周エンベロープに存在する  $\text{H}_2\text{O ice}$  マントルを有する塵によるものであり、 $1/3$  以上は中心星からの UV 照射によって  $\text{H}_2\text{O ice}$  マントルが壊された塵によるものであることを示した。また、MWC 297 において初めて検出した  $3.53 \mu\text{m}$  輝線バンドは、これまで全天で 4 天体 (Herbig Ae star 2 天体, post AGB star 2 天体) でのみ確認されている極めて稀なものであり、この輝線の発見以来 20 年もの間、その担い手は未同定のままである。MWC 297 に見られるこの  $3.5 \mu\text{m}$  輝線のプロファイルは 3 つの Herbig Ae/Be star において酷似していることを示し、Herbig Ae/Be star における  $3.5 \mu\text{m}$  輝線は同一起源であることを強く示唆した。さらに、MWC 297 においては、 $3.53 \mu\text{m}$  輝

線を持つ他の Herbig Ae/Be stars 2 天体で検出されている  $3.3\mu\text{m}$  輝線を検出できなかった。これより、3 つの Herbig Ae/Be star における  $3.5\mu\text{m}$  放射と  $3.3\mu\text{m}$  放射の強度比は大きく異なることを見出し、この強度比の違いはスペクトル型と相関を持つことを示した。このことは、 $3.3\mu\text{m}$  輝線の担い手が中心星からの UV 放射を受けて破壊され、 $3.5\mu\text{m}$  放射は、その後残った C-C 結合に起源を持つことを示している。

これまで Elias 1, HD 97048 において  $3.53\mu\text{m}$  輝線の起源を探る際には、 $3.3\mu\text{m}$  輝線の担い手が豊富な輝線バンド（例えば  $6.2, 7.7, 8.6, 11.3, 12.7\mu\text{m}$  輝線）を示すために、 $3.53\mu\text{m}$  輝線の担い手が固有に持つ輝線を探索することが困難だった。MWC 297 は、 $3.3\mu\text{m}$  輝線を持たないことから、 $3.53\mu\text{m}$  輝線の担い手が固有に持つ他波長における輝線を見つけることは容易であると考えられる。よって、申請者の研究は、MWC 297 という  $3.53\mu\text{m}$  輝線の起源を探る上で貴重なサンプルを提供したことになる。

### 論文審査の結果の要旨

星形成の分野において、中・高質量を持った若い星は、低質量の若い星に比べて観測的研究が進んでおらず、未知の部分が多く残されている。申請者は、中質量を持った若い星、及び星周環境を探る上で、 $3\mu\text{m}$  帯の分光観測が本質的な役割を果たすことに早い段階から注目し、大学院修士課程入学時にこれらの天体の包括的  $3\mu\text{m}$  帯分光探索を立案・計画した。ここに申請者の優れた着想力が認められる。

しかしそれまでの  $3\mu\text{m}$  帯分光は、様々な観測的困難から広範な観測は不可能であった。そこで、申請者は、この包括的分光探索を可能にするために、宇宙線研究室で独自に進めていた分光器の開発に参画、主に周辺光学系・駆動系の開発に従事し、試験観測を通じた性能向上に大きく貢献した。そして、この装置を用い延べ 5 つの海外望遠鏡の観測時間を獲得し、中質量を持った若い星の包括的分光観測を成功させた。これを通じて申請者は、先進的な観測研究を行う上での高度な技術を習得している。

また申請者は、これらの  $3\mu\text{m}$  分光観測データに対して、既存の解析ソフトに頼らず独自の解析ソフトを作成し、最適なスペクトル抽出法を発見した。これは、与えられた解析ソフトを内容把握しないまま安易に使用する大学院生の多い中で、観測データから出来るだけ正確に多くの情報を引き出すとする申請者の堅実な研究姿勢を表しており、高く評価できる。この解析の結果、申請者は中質量を持った若い星 20 個に対する高質の  $3\mu\text{m}$  帯スペクトルを取得することに成功した。申請者はこれらのスペクトルが示す水素の再結合輝線強度比の解釈として従来より提案されていた電離星風のモデルが有効であることを確認し、連続光成分はアクリンディスクからの放射では説明できないことを示唆した。後者は、中質量を持った若い星の星周構造についての議論が続く中で注目すべき結果であり、 $3\mu\text{m}$  帯という波長域が中質量を持った若い星の星周構造を探る上で有効な波長域であることを初めて示した点で独創的である。

さらに、特に MWC 297 においては、地上からの  $3\mu\text{m}$  帯分光観測としてはこれまでにない高精度のスペクトルを抽出することに成功した。これは申請者の解析手法が結実した結果といえる。これにより、これまでの  $3\mu\text{m}$  帯の分光観測では考えられなかった数の豊富な水素の再結合線と、 $\text{H}_2\text{O}$  アイスの吸収、そして、極めて稀な炭素質塵の輝線を検出した。 $\text{H}_2\text{O}$  アイスの吸収は、孤立した中質量を持った若い星の周りからは初めて検出されたものであり、 $\text{H}_2\text{O}$  アイスが塵上でどのように成長・破壊するかについて重要な知見を与えている。また、MWC 297 における稀な炭素質塵の放射に関しては、この放射を有することが既に知られている天体との比較を行うことにより、中心星からの UV 放射がこの輝線放射における主要な役割を担っていることを示した。さらに、この輝線放射の担い手に関する考察は、IRAS 衛星における中間赤外線帯の分光データを解析した結果を交えてなされており、申請者の広い波長域にわたる知見がうかがわれる。

上記のように申請者は、研究課題の立案・計画から、それを実現するための装置開発、そして得られたデータの解析を独自に行い、これを科学的意義を持った論文にまとめており、装置・サイエンスに非常にバランスのとれた研究を行っている。

以上本申請論文は、地上からの  $3\mu\text{m}$  帯分光観測という未成熟な分野で、装置開発・解析手順の確立をなし、さらに科学的成果を挙げたという点で高く評価される。よって本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。

平成 11 年 10 月 15 日、主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問し合格と認めた。