

氏 名 高橋 智子

学位 (専攻分野) 博士 (理学)

学位記番号 総研大甲第 1033 号

学位授与の日付 平成 19 年 3 月 23 日

学位授与の要件 物理科学研究科 天文科学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Structure and Evolution of Intermediate-mass Protostars

論文審査委員 主 査 助教授 大石 雅寿
教授 富阪 幸治
助教授 阪本 成一
教授 花輪 知幸 (千葉大学)
教授 山本 智 (東京大学)

論文内容の要旨

過去 20 年にわたる理論・観測的な研究により、太陽質量程度の星が形成される場合の進化初期段階（原始星段階）では、星周ガスの動的降着現象と活発な質量放出現象（双極分子流）を伴うことで進化が進むことが明らかとなりつつある。では、このような描像（質量降着・コア散逸）を通じた原始星の進化は中・大質量星形成領域でも同様に成り立つのか？これらの問題解決を目指し、比較的近傍（距離 ~ 450 pc）にあり、かつ中質量原始星候補天体が多数存在するオリオン分子雲-2/3 領域（OMC-2/3）中の分子雲フィラメントを対象とした分子雲コア及び分子流サーベイ観測を行った。

観測には、分子雲中の高密度ガス（ H_2 の数密度 $\sim 10^6 \text{cm}^{-3}$ ）を選択的に観測できる $H^{13}CO^+$ ($J=1-0$) 輝線、および双極分子流の探索には、分子雲との相互作用によるショック・高温領域（温度 ~ 40 K）を選択的に観測できる CO ($J=3-2$) 輝線を用いた。観測の結果、OMC-2/3 のフィラメントに沿って分布する 43 個の中質量原始星候補天体の中から 14 個の分子流を検出した。さらに、野辺山ミリ波干渉計を用いたコアサーベイにより OMC-3 領域及び OMC-2 領域北部に存在する 13 個の観測対象全てにおいて高密度ガスを検出した。

得られた CO ($J=3-2$) 輝線、 $H^{13}CO^+$ ($J=1-0$) 輝線、3.3 mm ダスト連続波放射に加え、近赤外線放射、中間赤外線、センチ波放射を用いることにより、中質量原始星の形成過程を以下の 3 段階（prestellar, Class A, Class B phases）に分類できることが分かった。

- **Prestellar phase** : コア中心には高密度（ H_2 の数密度 $\sim 10^7 \text{cm}^{-3}$ ）でコンパクト（size \sim 数千天文単位 (AU)）なダスト連続波源や中間赤外線源（温度 > 100 K）が存在するが、原始星がまだ形成されておらず双極分子流も付随していない段階。
- **Class A phase** : 原始星の初期段階で、コア中心には数千 AU スケールのコンパクトなダスト連続波源および、中間赤外線源を付随する原始星が既に形成されている。この段階の天体には、0.1 pc 程度のサイズを持つ分子流も観測される。
- **Class B phase** : 原始星の後期段階であり、コア中心には数千 AU スケールのコンパクトなダスト連続波源および、中間赤外線源を付随する原始星が既に形成されている。この段階の天体には、0.5-1 pc 程度の拡がりを持つ分子流も観測される。原始星を取り囲む 0.1 pc スケールの分子雲コアは、分子流とは直交方向に伸びた構造を持ち、分子流方向には既に吹き飛ばされた形状・速度構造が観測される。

さらに、分子流の持つ運動量及び中間赤外線源の強度が中質量原始星進化（Class A phase \rightarrow Class B phase）に従い増加する傾向を検出した。この結果は、分子流のサイズ・運動量が中質量原始星の進化とともに増大している証拠を捉えたことを示唆している。一方、中間赤外線の増光については、周辺高密度ガスが分子流との相互作用によって吹き飛ばされることで、中心星からの光が逃げ出しやすくなったことで解釈可能である。

本研究により、中質量原始星の進化はガスの晴れ上がりと密接に関連している可能性が高いことが明らかとなった。

論文の審査結果の要旨

現代天文学において星形成の理解は、太陽系外を含む惑星系形成の理解に直結する非常に重要な研究課題である。過去の研究は、2太陽質量より軽い小質量星を主な対象として進められ、小質量星の形成過程については観測的・理論的研究によりその概略について明らかになっている。また8太陽質量より重い大質量星の形成に関しても、その形成過程については未解明の課題があるものの、多くの研究例がある。本論文は、小質量星と大質量星の狭間にあつてほとんど研究例がない中質量星の形成過程を観測的に明らかにしようとしたものである。

申請者は、オリオン 2/3 領域にある 42 個の原始星候補天体を研究対象とし、国立天文台野辺山ミリ波干渉計 (NMA) による高分解能観測、同野辺山 45m 望遠鏡による観測、同チリの ASTE 望遠鏡によるサブミリ波観測、南アフリカの SIRIUS/IRSF による JHKs バンドの赤外線観測を実行しただけでなく、VLA λ 3.6cm や Spitzer 望遠鏡の λ 24 μ m の公開データを駆使して下記の結論を得た。

(1) CO J=3-2 輝線の観測により、原始星からの分子流を新たに 8 天体発見し、研究対象領域において既に知られている分子流天体と併せ、分子流の運動量増加率等を決定した。分子流の膨張速度は小質量星形成領域とほぼ同程度であるにも関わらず、分子流の力学的年齢や広がりは約 1 桁大きく、その結果、運動量増加率も 1 桁以上大きいことが明らかになった。また、CO 分子流の運動量増加率は Spitzer による λ 24 μ m 強度 (約 150 K のダストからの放射に対応) とほぼ正の相関を示すことが分かった。

(2) NMA を用いた H13CO+ J=1-0 輝線観測により、中質量原始星を形成した高密度ガスの分布が明らかとなった。高密度ガスは小質量星形成領域と同様に分子流にほぼ垂直に分布するだけでなく、分子流方向に運動していると考えられる成分が初めて見いだされた。この高密度ガスは、原始星からの分子流の大きな運動量増加率により駆動され散逸されつつある高密度ガスであると考えられる。

(3) H13CO+ J=1-0 輝線の観測と同時に取得された 3.3mm ダスト連続波は中質量原始星のある進化段階 (後述 Class A 期) より後期にのみ出現し、分布は H13CO+ の空間スケールより約一桁コンパクトで、かつ、約一桁高密度な領域に対応していることが分かった。

(4) 南アフリカ天文台による近赤外線観測からいくつかの中質量星形成領域に反射星雲が付随していることが分かった。反射星雲の付随する天体から生ずる CO 分子流は観測天体の中で比較的広く広がっていることがわかった。

(5) (1)~(4)の観測結果を総合して、中質量形成領域が 3 つの種類に分類できることがわかった。申請者は、この 3 つの種類为天体が進化系列を表しているとして、以下のよう

な中質量星形成の進化の描像を新たに提案した。

○Pre-Stellar 期：H13CO+ J=1-0 輝線でみえる高密度ガスは存在するが、ダストからの連続波、赤外反射星雲、CO 分子流はまだ発達していない重力収縮が進行している段階。

○Class A 期：高密度ガスの中心領域に 3.3mm や 24 μ m で見える原始星が形成され、重力エネルギーを大きな運動量増加率をもつ分子流として放出し、それにより、一部の高密度ガスを散逸させる過程が始まる段階。

○Class B 期：高密度ガスの一部を散逸させる分子流がより大きく発達し、高密度ガスに空洞が形成される。この空洞は中心の原始星からの赤外線を反射する反射星雲として観測される段階。

その後さらにガスの散逸が続き、Harbig Ae/Be 星として認識される。

申請者の博士論文に示された以上の結果は、申請者の観測的研究推進、データ処理、その解釈のために必要な広範かつ高度な背景知識等が備わっていることを示している。論文は星形成研究に新たな知見を加え、中質量星形成進化過程について観測に基づいた新たな提案を行ったものであって、大中小質量星形成の統一的理解に向けて極めて重要で独自の視点を加えるものであると判定された。これにより審査委員会は、全員一致で本論文が博士論文として十分な価値を有し、合格であると判定した。