

論文審査の結果の要旨

氏名 永井 誠

本論文は4章から構成されている。第1章は序論として銀河系中心領域における高速度分子ガス研究の背景と目的が述べられている。銀河系の中心から数百パーセクに渡る領域は、星の強い集中と大量の星間物質によって特徴づけられる特異な領域である。銀河系中心分子層 (Central Molecular Zone; CMZ) と呼ばれるこの領域には、星間ガスが主に分子雲として存在し、それは銀河系円盤部に比べて高温・高密度・高速度分散等の性質を有する。こうしたCMZ内にある分子雲が呈する物理状態・化学組成の原因は未解明であった。本論文では、CMZに特有な分子雲の構造のひとつである、高速度コンパクト雲 (High-velocity Compact Clouds; HVCCs) に着目した研究である。HVCCは、極めて広い速度幅を ($\sim 100 \text{ km s}^{-1}$) 持つ空間的にコンパクトな ($d \leq 5 \text{ pc}$) 分子雲群であり、高温・高密度の物理状態を有すると考えられている。すでに3例の報告があり、それらの研究からHVCCsが何らかの局所的な爆発的天体現象に起因し、その衝撃波によって加熱・圧縮・加熱されたことを示唆する結果が得られている。

第2章では、HVCCの系統的な研究を行うために膨大なサーベイデータからHVCCを同定するために本研究で開発された手法の解説がされ、さらにその手法をNRO 45m望遠鏡によるCO $J=1-0$ サーベイのデータに適用した結果と考察が述べられている。本研究では分子輝線の空間・速度軸を持つ3次元データキューブに含まれているHVCCsを系統的に同定するスキームが新たに開発され、用いられた。これは、計算機アルゴリズムによるHVCC候補天体の同定と、それらの見た目による選別の2つの過程から成る。CO $J=1-0$ データキューブにこの方法を適用し、84天体が同定された。解析を進めた結果、これらのHVCCsの大きさ-速度幅関係は、銀河系円盤部の分子雲のみならず、CMZで通常分子雲のものからも大きく外れており、HVCCsがこれまで知られている分子雲の範疇に属さない、全く新しい種類の天体であることを明確に示すものとなった。

第3章では、第2章で開発された手法を用い、 $J=1-0$ 輝線より高励起の準位に相当する分子CO $J=3-2$ 輝線 (346 GHz) の広域サーベイ観測データに適用することで、分子ガスの物理状態の推定を行った。実際に Atacama Submillimeter Telescope Experiment (ASTE) を用いて、CO $J=3-2$ 輝線の広域サー

ベイ観測を行い、CMZの主要な部分について、 $J=1-0$ 輝線サーベイと同じ $34''$ (1.4 pc)のグリッド間隔で、極めて良質なデータを取得した。これと、 CO , ^{13}CO $J=1-0$ 輝線のデータを併せて、輻射輸送方程式を近似した (Large Velocity Gradient 近似; LVG 近似) モデルによって分子ガスの密度 (n)・力学温度 (T_k)・単位速度あたりの柱密度を各データ点で求め、CMZの分子ガスが典型的に $n \geq 10^{3.5}\text{ cm}^{-2}$ 、 $T_k \sim 30\text{ K}$ の物理状態を有することを確認した。また、 $\text{CO } J=3-2/\text{CO } J=1-0$ 輝線強度比 ($R_{3-2/1-0}$) が分子ガスの励起状態を反映しており、 $R_{3-2/1-0} > 1.5$ のガスの大部分が高温状態 ($T_k > 60\text{ K}$) であることを示す。この $\text{CO } J=3-2$ データキューブに対して同定作業を行い、68天体を得た。これによって、同定されたHVCCsは総計122天体となり、本研究以前では3天体であったのに比べて格段の進歩となった。 $\text{CO } J=3-2$ で同定したものと $\text{CO } J=1-0$ で同定したものとで、HVCCsの物理量 (大きさ、速度幅、質量、運動エネルギー) の分布と相関は概ね一致している。HVCCsの広い速度幅は主に膨張運動に由来すると考えられ、膨張の時間スケールは典型的に $\sim 10^5$ 年である。運動エネルギーは $10^{49}-10^{52}\text{ erg}$ と膨大かつ広範に渡っている。求められた各々のHVCCについて $\text{CO } J=1-0$ vs. $J=3-2$ 輝線強度相関プロットを作成し、それにLVGモデル曲線をフィットする事によって物理状態を推定し、それぞれのHVCCsの密度-温度範囲を得た。

第4章では、解析によって得られた結果が簡潔にまとめられ、さらに今後の展望が描かれている。本研究では、CMZに特有な天体、HVCCsの同定作業を行い、それらの物理量を評価した結果、HVCCsが既知の範疇に属さない、新しい種族の分子雲であることが明らかとなった。HVCCの半数以上が 10^{50} erg という大きな運動エネルギーを持っており、エネルギーの供給源が問題であり、HVCCsの形成過程として多数の超新星爆発が引き起こす衝撃波による加速で説明することができる。このことから、多くのHVCCsにマイクロバースト的に形成されたコンパクトな大質量星団が付随していると推測される。また、HVCCsの平均 $\text{CO } J=3-2/J=1-0$ 強度比が広範囲にわたることから、HVCCsの物理状態の多様性を示している。

なお、本研究の一部は岡 朋治、亀谷和久、久保井信行、田中邦彦との共同研究であるが、論文提出者が主体的に解析を行っており、その寄与は十分であると判断される。

よって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。