

宇宙は多数の銀河によって構成される。銀河の構造と進化を解明することは、現代天文学の重要な課題である。銀河を構成する星間物質は、星の形成をとおりて銀河の進化に大きな影響を与える。近年、多くの観測的研究が星間物質の物理的・化学的性質の解明に注がれている。

8太陽質量をこえる大質量星に起因する星風や超新星爆発は、星間物質の分布と運動に大きな力学的影響を与えることが知られる。大質量星の集団が引き起こす最も顕著な現象として、周囲の星間物質を圧縮して球殻状のガス分布をつくる「スーパーシェル」がある。スーパーシェルにおいては、星間原子ガス(HI)が圧縮されて星間分子ガス(H₂)が形成され、星形成に至る可能性が理論的に議論されてきたが、観測的な検証は十分になされていなかった。申請者は、スーパーシェルにおける中性ガスの性質と分子雲の成因を解明するために、銀河系内の2個のスーパーシェル方向の中性ガスの観測研究を行った。これらのスーパーシェルは、りゅうこつ座のカリーナ・フレア GSH287+04-17(Fukui et al. 1999)とGSH277+00+36(McClure-Griffiths et al. 2000)である。

申請者はまず、南米チリ共和国に設置された電波望遠鏡「なんてん」によって取得された、星間一酸化炭素分子(CO)の回転量子数 $J=1-0$ 遷移(波長2.6mm)の観測結果を解析し、両スーパーシェルに附随する分子ガスを探索し、分子雲のカatalogを作製した。特に、カリーナ・フレアは、10万太陽質量の分子ガスを含む顕著な分子雲シェルであることを確認した。ついで、オーストラリア国立電波天文台の干渉計ATCAを用いてHIガス(波長21cm)の詳細観測を行い、分子雲と同等の角度分解能でシェル状の中性原子ガスの分布と運動を明らかにした。

次に申請者は、速度軸を含む3次元空間において原子ガスと分子ガスとの相関関係を調べ、分子ガスが粒状に分布し、空間的に広がった原子ガスの内側に分布する傾向を明らかにした。分子ガスの密度はおおむね 1000cm^{-3} であるのに対して、原子ガスの密度は $1-100\text{個cm}^{-3}$ に分布し、分子ガスの占める体積は原子ガスの100分の1程度である。また、分子雲方向の原子ガスが 100cm^{-3} という高い密度をもち、分子雲を形成するに十分な質量を含むことを導いた。

申請者は、以上の解析結果から、各シェルについて分子/原子の質量比が3程度であることを導き、分子の量がシェル内で有意に増加していることを示した。また、中性ガスの減光等を求めて紫外線による解離の影響等を推定し、分子雲の形成と消滅過程を定量的に論じた。以上の検討から申請者は、分子雲の多くがシェルと無関係に存在したものではなく、シェルの圧縮によって形成されたことを指摘した。また、分子雲の一部は星形成を起こしており、シェルの影響で星形成が誘発されたことも示した。

主 論 文 の 概 要

宇宙は創成以来、千億個を超える銀河を形成し、現在に至っている。これらの銀河の進化を解明することは、天体物理学の重要な課題である。特に、恒星を形成する分子雲の物理状態の解明は銀河進化を理解するうえで重要であり、多くの研究がなされてきた。天の川を含む渦状銀河は銀河の主要な割合を占め、中心部と円盤部とからなる。天の川の円盤部については、太陽系を含めて詳細な観測研究が進み、その進化の概要が理解されている。しかし、中心部の進化については、諸天体の分布が複雑であり、可視光では見えないために、物理状態の解明が遅れていた。

福井他(2006)・藤下他(2009)は、「なんてん」電波望遠鏡によって銀河系中心部の分子雲をCO分子の回転量子数 $J=1-0$ の遷移によって広く観測し、3個の巨大な分子雲ループを発見し、これらのループがE.パーカー(1966)が理論的に提案した磁気浮上ループであることを指摘した。また、磁気浮上ループにそって落下するガスが根元に衝撃波面を形成し、ガスの加速と加熱が起こることを示唆し、磁気ループが分子雲の物理状態に大きく影響することを指摘した。

申請者は、これら3個のループを、COの回転遷移($J=2-1$ 、 $J=3-2$)で広範に観測した。観測には、南米チリ共和国に設置されたサブミリ波望遠鏡NANTEN2およびASTEが用いられた。その結果、2遷移の強度比はループ内ではピーク値が0.7であり、円盤部のピーク値0.4に比べて有意に高いことを示し、分子雲ループは円盤部よりも高い励起状態にあることを明らかにした。さらに、ループの一部について同位体 ^{13}CO の $J=2-1$ 遷移をあわせて観測し、3つの遷移の強度比を理論計算と比較して、分子ガスの温度が 20-100 K 以上であり、密度が1000 個/ cm^3 程度であることを導いた。この温度は、円盤部の分子雲の典型的な値10-20 K に比べて有意に高く、何らかの加熱機構が必要であることを指摘した。特に高い励起状態は、ループの根元のほか、ループの内側と上部にも見られることを示し、磁気浮上運動に伴う3、4種の加熱機構が働いている可能性を論じた。これらの加熱過程としては、磁気浮上に伴う衝撃波、ループ根元で形成される衝撃波、磁気再結合などが検討された。

また、ループの根元4個に共通する特徴として、2つの速度成分が底部で結ばれたU字型を示すことを明らかにした。これらのU字型分布は、磁気浮上ループ根元の速度分布によって、基本的傾向が統一的に説明できることを示した。併せて、U字型分布中には、空間的に局在した速度分散の大きな成分があることも示し、磁気再結合による加速の可能性を検討し、エネルギー的に可能であることを示した。