

論文内容の要旨

論文題目 Distribution of Atomic Carbon in the Whole Region of Orion Giant Molecular Cloud

(オリオン巨大分子雲における
炭素原子の広域分布)

氏名 池田正史

我々の銀河系の質量の大部分を担う星は、星間分子雲で生成されることが近年の観測で明らかになってきた。生まれる星の質量は、母体である分子雲の質量などの物理的性質によって決まることが高空間分解能による観測から分かってきている。しかし、分子雲自体が希薄な星間ガスからどのように形成されるかはよく分かっていない。その一つの理由は、分子雲の広域観測が主に、分子ガスをトレースする一酸化炭素分子 (CO) で行われてきたためである。炭素原子は希薄なガスと分子雲の中間的な領域をトレースするので、分子雲の構造や進化過程を調べる上で重要である。しかし、その遷移周波数はサブミリ波帯にあり ($^3P_1-^3P_0$; 492 GHz, 0.6 mm)、地上の水蒸気に強く吸収されるため、標高の高い乾燥した場所でしか観測することができない。そのため、炭素原子 (CI) の分布は、一部の代表的な小さな領域 (最大 0.4 平方度程度) でしか調べられてこなかった。

富士山頂は、ハワイのマウナケア山頂などと同程度にサブミリ波観測に適していることが近年明らかになった。そこで、我々は CI 492 GHz 輝線の広域観測を目的として、小口径のサブミリ波望遠鏡を開発し、富士山頂に設置した (富士山頂サブミリ波望遠鏡)。口径は 1.2 m で、492 GHz におけるビームサイズ (HPBW) は $2'.2$ となり、分子雲に対する広域サーベイに適している。この望遠鏡の指向精度としては $15'' \sim 20''$ が要求される。そのために、アンテナ駆動モータの温度特性を詳細に測定し、モータの駆動精度を高めた。その上で星を用いた光学ポインティングと、満月と太陽を用いた電波ポインティングを行

い、指向精度 $14''$ (rms) を達成した。観測期間中も頻繁に電波ポインティングを行い、指向精度 $20''$ を維持した。なお、山頂は、冬季はアクセスできないため、衛星通信を用いた完全なりモード運用に重点をおいて開発を行った。その結果、1998年から2000年にかけて、2シーズンにわたり望遠鏡の運用に成功し、オリオン巨大分子雲に対してCIの広域観測を行った。

オリオン巨大分子雲(距離 450 pc)は、2つの巨大分子雲 Orion A と Orion B からなり、典型的な巨大分子雲として様々な研究がなされている領域である。CIの観測は $3'$ グリッドと $1.5'$ グリッドで行い、計 15 平方度もの領域にたいしてCIの広域分布を明らかにした。その結果を図1に示した。

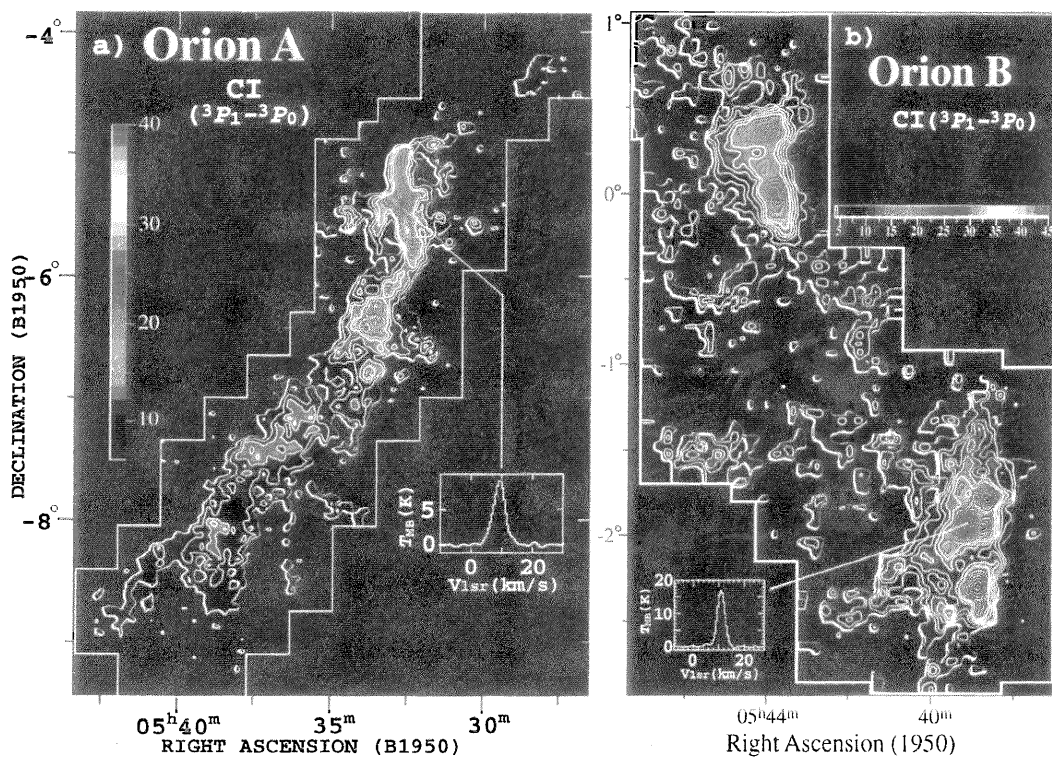


図1: オリオンA(a)とオリオンB(b)に対して観測されたCIの積分強度図。積分範囲は、a) 3 to 13 km s^{-1} , b) 7 to 14 km s^{-1} である。a) Orion-KL と b) NGC2024 におけるCIのスペクトル図も示してある。

CIは、分子雲全体にわたって分布しており、その分布は ^{13}CO ($J=1-0$) の分布と非常によく似ていることが分かった。さらに、スペクトルのプロファイルや速度構造も非常に似ていることが明らかになった。これらより、CI輝線の放射領域は、 ^{13}CO ($J=1-0$) のそれとほぼ同じであることが示唆された。そこで、CIと ^{13}CO ($J=1-0$) の励起温

度が等しいと仮定し、 ^{12}CO ($J = 1 - 0$, Maddalena et al. 1986) と ^{13}CO ($J = 1 - 0$, Bally et al. 1987) のデータを併用して、CI と CO の柱密度 (それぞれ、 $N(\text{CI})$, $N(\text{CO})$) を、すべての観測点に対して求めた。結果を図 2 に示す。その結果、 $N(\text{CI})$ と $N(\text{CO})$ は Orion A, B 全体にわたり、良い相関を示した。すなわち、分子雲のリッジの外側の領域において、 $N(\text{CI})/N(\text{CO})$ 比が高くなっている傾向がみられるものの、 $N(\text{CI})/N(\text{CO})$ 比はリッジ方向に対しては、0.1 から 0.2 と分子雲全体に対してほぼ一定の値を示した。ただし、その中で、Orion A の南の L1641 暗黒星雲において、その比 (~ 0.2) が北部の領域より (~ 0.1) 系統的に、わずかに高くなっていることが分かった。Orion A 分子雲全体においても、Orion B 分子雲全体よりも、その比が同様に高くなっている傾向が見られた。CI は、紫外線が当たり、CO が光解離される分子雲または分子クランプ表面に存在すると考えられている。よってこれらは、領域間のクランプ構造の違いや、もしくは CI が CO に変換されている程度の違いを反映している可能性がある。

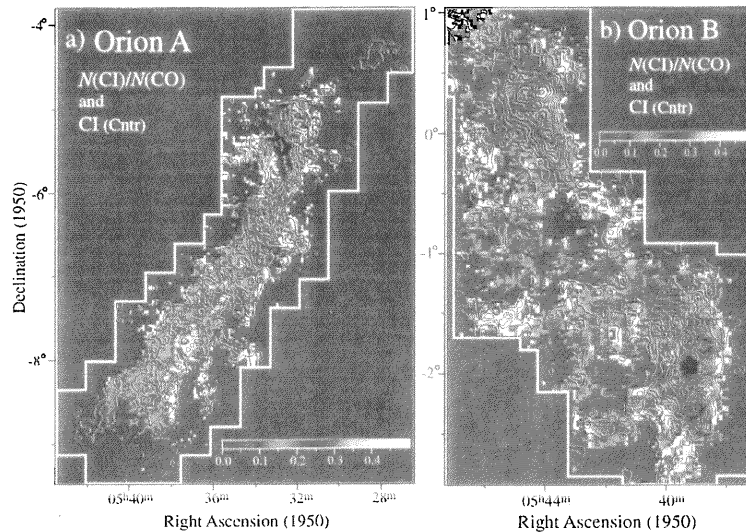


図 2: オリオン A(a) とオリオン B(b) における、 $N(\text{CI})/N(\text{CO})$ 比。

次に、CI 強度のピークを、Orion A 分子雲に対して 39 点、Orion B 分子雲に対して 44 点 同定した。CI ピークの約半分が $^{13}\text{CO}(J = 1 - 0)$ のピークを伴っていた。 $N(\text{CI})/N(\text{CO})$ 比は、0.1 から 2.9 まで広範囲に分布し、一部のピークは、非常に高い値を示した。これらの比と、CI ピークを含む "CI Cloud" の力学的性質の関係を調べるため、CI Cloud の、LTE 質量 (M_{LT}) を、 $N(\text{CI})$ と $N(\text{CO})$ より、ビリアル質量 (M_{VT}) を、CI のデータから求めた。すると、CI cloud の光度 (L_{CI}) と M_{VT} の間に、CO で分子雲に対して観測されるのと同様な相関が見られた。さらに、質量スペクトルについても、CO や CS で観測されたものと 同様の結果が得られた。すなわち、分子ガス (CO) と原子ガス (CI) が存在する雲が似た物

理的性質を持つことが明らかになった。そして、 $N(\text{CI})/N(\text{CO})$ 比と、 $M_{\text{VT}}/M_{\text{LT}}$ 比との間により正の相関が見られた。これを、図3に示した。 $M_{\text{VT}}/M_{\text{LT}}$ 比の変化は、次のように解釈することができると思われる。すなわち、外部の圧力に支えられた希薄な星間ガスが集まり、密度が上がるにつれて重力エネルギーが卓越し、やがて不安定になり収縮していく、といった過程で $M_{\text{VT}}/M_{\text{LT}}$ 比が小さくなると考えられる。すると、 $N(\text{CI})/N(\text{CO})$ 比は、このような分子雲の進化過程に伴い、その比が小さくなっていく可能性が大きいと思われる。モデル計算においても、密度が上がり、時間がたつにつれて $N(\text{CI})/N(\text{CO})$ 比は大きく変化し、小さくなっていくことが示唆されており、上記のシナリオと矛盾しない。

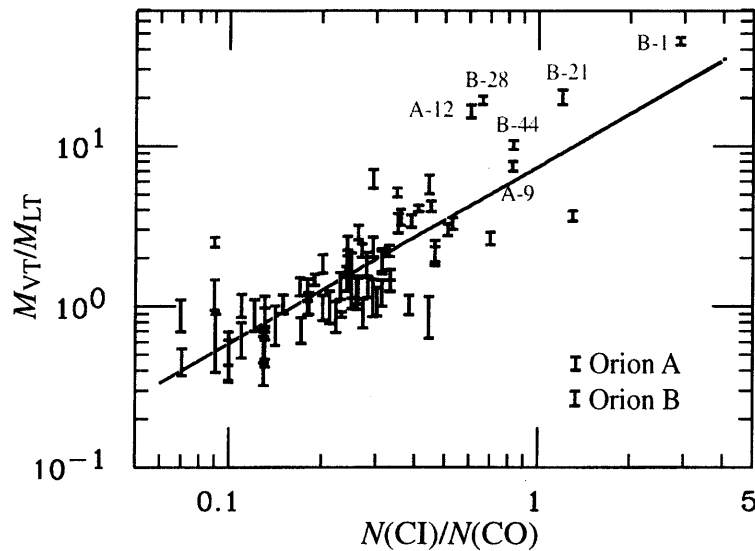


図3: $N(\text{CI})/N(\text{CO})$ 比と $M_{\text{VT}}/M_{\text{LT}}$ 比の相関。

今回明らかにされた分子雲規模におけるCIの広域観測の結果より、CIの起源を支配しているのは、分子雲の進化過程である可能性が示唆された。しかし、Orion A, B 両分子雲全体にわたって、そのリッジにおいて、CI/CO比が0.1から0.2という狭い範囲に収まるということは、既存のモデルでは説明することが困難である。分子雲が我々の観測では分解できないようなクランプで形成されていて、その密度が $10^3 \sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$ であるとすると、CI/CO比がほぼ一定なることを説明できる可能性があるが、そのようなクランプは、今だ観測的には見つかっていない。この観測事実は、既存のモデルを大きく改良する必要があることを示唆している可能性がある。