

# 分子雲コアのよりよいプローブを求めて

長 浜 智 生

〈名古屋大学理学部 〒464-01 名古屋市千種区不老町〉

分子雲コアは、星間分子雲中の高密度領域であり、星形成の現場である。最近、電波の分子スペクトルによる高密度ガスの観測が進むにつれて、分子種によって空間分布が大きく異なることがはっきりしてきた。分子組成は、空間的にだいぶ変化しているらしい。このため、どの分子スペクトルが分子雲コア、つまり本当の密度の高まりを忠実に反映しているのかが、問題となっている。ここでは、名古屋大学の4メートル電波望遠鏡による、一酸化炭素と硫化炭素の広域観測の結果を紹介しよう。これらふたつの代表的な分子雲コアのプローブを比較した結果、一酸化炭素( $C^{18}O$ )スペクトルがよりよいプローブであることが示唆される。

## 1. はじめに

星の誕生の謎を解き明かすことは、天文学者の長年のテーマである。星は、サイズが1光年くらいの高密度ガス中で生まれる。このようなガスのかたまりが分子雲コアである。分子雲コアを研究するには、その重さ、密度分布などをできるだけ正確に知る必要がある。たとえば、密度に比例して強度が忠実に変化するスペクトルが観測できれば、大変都合がよい。このようなスペクトルがあれば、その観測結果から、正確な密度の輪郭がわかり、重力によって収縮するかどうか、などの興味深い問題に答えることができる。

分子雲コアの研究は、1980年代前半にアメリカのマイヤース等に始まり、最近では電波の分子スペクトルによる広い範囲の分子雲コアの観測が行われ始めている<sup>1,2)</sup>。これまでに観測された分子スペクトルは、アンモニア<sup>3)</sup>、硫化炭素<sup>4,5)</sup>、一酸化炭素の同位体種<sup>6)</sup>などである。ここで問題となるのは、観測者によって用いる分子スペクトルが違うため、それぞれが本当に正しい密度を反映しているかどうか、疑問が残ることである。この疑問

に答えるためには、いくつかの分子スペクトルによって、同一の天体を観測し、それらの分布の共通性を確認することが考えられる。これまでに、1つ、2つの分子雲について、分子種によってかなり分布が異なる例が報告されている<sup>7)</sup>。これまでの観測では、受信器の感度が悪かったために、複数のスペクトルでの広域観測は行われず、1種類の分子スペクトルで観測するのがやっとであった。1990年、名古屋大学で開発された超伝導受信器は、周波数100ギガヘルツ帯(波長3ミリメートル)で雑音温度20度という世界最高の高い感度を持つ。この受信器を使えば、数箇月の内に上の観測は十分実現可能である。

そこで、私たちはこの課題を解くための第一歩として、 $C^{18}O$  ( $J=1-0$ ) と  $CS$  ( $J=2-1$ ) の2つの分子スペクトルでオリオン座のリンズ1641(L1641)分子雲全体の観測を行ない、分子種によるコアの分布の違いを調べた。この分子雲は、別名オリオンA分子雲であり、オリオン大星雲をふくむ有名なものである。

## 2. 著しく違う C<sup>18</sup>O と CS の分布

私たちの観測は、L 1641 分子雲の主要部分約 4 平方度を C<sup>18</sup>O (J=1-0) と CS (J=2-1) スペクトルで完全にカバーした。観測のビーム幅は約 3 分角、観測点の間隔は 2 分角である。2 分角は、この分子雲の距離 1500 光年で約 1 光年にあたる。総観測点数は、各々の分子について約 2500 点である。

観測から得られた全積分強度図を下に示す。図に示した黒丸は、赤外線天文衛星 (アイラス) によって検出された赤外線点源のうち若い原始星と考えられるもの、十字は、双極分子流天体の位置をそれぞれ示している。これらの天体は、形成されつつある原始星の有力候補と考えられている。

下図は、C<sup>18</sup>O と CS の分布が大きく異なっていることをはっきりと示している。より詳しくみると、銀経で 210 度から 211 度の範囲では、両者の一致は比較的よい。違いが顕著なのは、銀経 211 度から 213 度の範囲である。この範囲では、強度のピークの位置は大きくずれており、一方の分布から、他を予想するのは、ほとんど不可能である。

C<sup>18</sup>O の分布は、全体としては広がりをもっていて、粒状というよりはむしろ小フィラメント状に分布している。また、ほとんどの場所で、C<sup>18</sup>O のピークの位置には原始星候補の赤外線源が付随している。特に、銀経 212 度付近では小フィラメント中に赤外線源がフィラメントに沿ってほぼ一列に並んでいて興味深い。一方、CS の分布は C<sup>18</sup>O の場合とは異なり、粒状に近い。この傾向は、下図の中央から左 (銀経 211 度から 213 度) でより顕著である。また CS の場合、ピークと赤外線源の位置は C<sup>18</sup>O ほどには一致していない。銀経 212 度付近の C<sup>18</sup>O の小フィラメント上に赤外線源が並んでいるところでは、CS はほとんど検出されていない。むしろ双極分子流天体の位置 (十字印) と CS のピークとはよく一致しているようである。

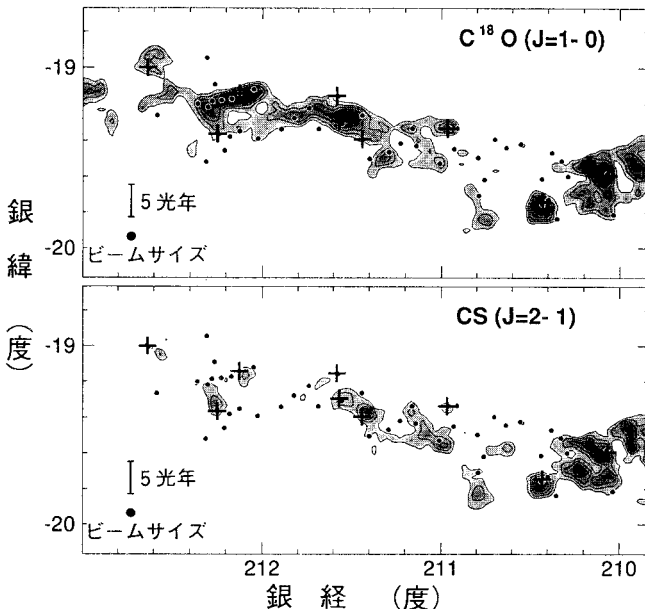
今回のように広い範囲が、分子雲コアの 2 つのプロープで観測されたのは、これが初めてである。その結果、予想外に著しい違いが明らかになったのである。

## 3. 分布の違いの意味するもの

なぜこのように 2 つの分子ガスの分布がまったく異なっているのだろうか。

ここでいくつか理由が考えられるが、まず観測装置の問題としてビームサイズ効果が考えられる。4メートル鏡の空間分解能は約 1 光年である。もし CS の分布が、これよりも小さいサイズの粒状であるすると、CS は十分検出できない恐れがある。

この点をはっきりさせるために、私たちは、国立天文台野辺山の 45メートル鏡を用いて、C<sup>18</sup>O と CS の分布の違いが最も顕著である銀経 212 度付近を観測した。角度分解能は 20 秒角である。この観測の結果、C<sup>18</sup>O も CS も基本的には 4メートル鏡の観測した分布とほぼ同じであり、小クランプは検出されなかった。つまり、ビームサイズの効果では、とても二つの分子の分布の違いは説明



できない。

では、2つ目の可能性として、密度の違いで説明することができるだろうか。CS は、衝突励起に必要な密度が1立方センチメートルあたり1万個以上であるのに対して、 $C^{18}O$  はその10分の1以下の密度でも十分励起される。つまり、密度が1万個を下回ると、 $C^{18}O$  は見えてもCS では見えないことが起こりうる。しかし、観測データから $C^{18}O$  のピーク位置での密度を推定すると、優にCS の励起に必要な密度をもつことがわかる。もし、CS が存在すれば、十分観測されるはずである。密度の効果としては、両者の違いはとても説明できない。

最後に残る最も有力な解釈は、CS の存在比(水素分子に対する相対的存在量)が一様ではないと考えることであろう。CO は、気相の炭素をほとんどすべて取り込むことが知られている。そのため、CO の存在比は炭素元素の存在量で決まる安定なものである。これに対して、CS の存在比はCO の1万分の1程度と考えられ、しかも、分子流天体などによる星間衝撃波によって存在量が有意に変化する可能性が指摘されている。実際、図の結果によれば、銀経211度より左側では、CS の7つのピークの内、5個には分子流天体が付随している。また、図の結果から、CS の存在量を求めると、優にファクタ10以上の変化があることがわかる。CS の存在比は、空間的に大きく変動しているらしいのである。

ここで、図の右側、銀経210から211度の範囲に再度目を向けよう。この領域と、この左側に続く(図には示していないが)オリオン大星雲を含む分子雲とでは、CS と $C^{18}O$  の一致は比較的よい。私たちは、その理由として、水素分子ガスの総量が大きく、そのため、スペクトル強度の飽和が効き始めているためではないか、と考えている。CS と $C^{18}O$  の違いが顕著な領域では、ガスの総量は少なく、飽和の影響も現われにくく、存在比の変化が強度に敏感に反映すると期待される。

## 4. ま と め

今回、私たちは4メートル鏡のビーム幅のスケール(約1光年)での分子雲コアの検出を試み、CS よりも $C^{18}O$  がよりよく分子雲コアをトレースすることを知った。この結果は、分子雲コアの観測家への1つの警鐘であり、今後の分子雲コアの観測において、観測スペクトルの選択が本質的に大切であることを示している。スペクトルによっては、分子の存在比の地図をもとに、分子雲コアの質量などを推定するという誤りを犯すことになる。私たちは、ここで紹介したような複数の分子スペクトルによる広域観測をさらに推進し、より理解を深めたいと考えている。

## 参 考 文 献

- 1) Fukui, Y., Mizuno, A., Nagahama, T., Imaoka, K., and Ogawa, H. 1992, *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, **62**, 801.
- 2) Fukui, Y., & Mizuno, A. 1993, in *the proceedings of the 5th Asian Pacific Physics Conference*, in press.
- 3) Myers, P. C. 1985, in *Protostars and Planets II*, ed. Black, D. C., Matthews, (Arizona Press), 81.
- 4) Lada, E. A., Bally, J., and Stark, A. A. 1991, *Astrophys. J.*, **368**, 432.
- 5) Tatematsu, K. et al 1993, *Astrophys. J.*, **404**, 643.
- 6) Nozawa, S. Mizuno, A., Teshima, Y., Ogawa, H., and Fukui, Y. 1991, *Astrophys. J. Suppl.*, **77**, 647.
- 7) Goldsmith, P., Margulis, M., Snell, R. J., and Fukui, Y. 1992, *Astrophys. J.*, **385**, 522.