

銀河系内域の分子ガスは太陽系近傍よりも高温・高密度だった

わたしたちは、野辺山に設置した口径60 cmのサブミリ波望遠鏡で、星間CO分子の波長1.3 mmの電波スペクトル線による天の川のサーベイ観測を開始した。その初期の結果から、銀河系ディスクの中に浮かぶ分子雲内のガスの温度や密度がどこでも同じではなく、太陽系近傍では温度が10-20 K水素分子密度が1 cm³当たり数百個なのに対し、銀河系の内域（銀河系中心から5キロパーセク程度以内）では温度は50 K以上、密度も1桁程度高いガスが多いことが明らかになった。

1. 東大-NRO 60 cm サブミリ波サーベイ望遠鏡

長野県の野辺山宇宙電波観測所には、波長数mmから1 mmで天体を観測する装置が3つある。45 m望遠鏡、ミリ波干渉計、そして3つめは、東京大学理学部の電波天文研究グループと野辺山宇宙電波観測所が共同で建設し運営している東大-NRO 60 cm サブミリ波サーベイ望遠鏡である。

それぞれの望遠鏡には、それぞれ得意とする観測がある。45 m望遠鏡やミリ波干渉計は「より遠くの天体をより詳しく見る」ために作られた、いわばカメラの望遠レンズ、超望遠レンズにあたる。それに対し、60 cm望遠鏡は広角レンズである。天球をぐるりとひとまわりする天の川。それをカメラに収めようとする人が広角レンズを選ぶように、わたしたちはこの広角電波望遠鏡を使って、波長1.3 mmの電波で見た天の川の姿を描き出そうとしているのである。

当面の目標は銀河系中心（銀経0°）から銀経90°の付近まで天の川に沿って幅2°の範囲、観測点12,000点分をカバーする「基本サーベイ」である

が、それに先立ち銀河面を銀経1°おきにサンプルするパイロットサーベイを行った。観測点数100足らずのこの観測は、早くも銀河系円盤の中の分子ガスの物理状態について新しい事実を明らかにしたのである。

2. スペクトル線の強度比で温度や密度をはかる

わたしたちは、一酸化炭素(CO)分子の回転量子数 J が2から1に変わる周波数230 GHz（波長1.3 mm）の遷移に60 cm望遠鏡の受信機を合わせて天の川を観測していった。観測結果を銀経の順に並べると図1（表紙の写真）のようになる。左半分に示したのは、観測されたスペクトル輝線のプロファイルである。これらは第1次近似としては、どの方向に、どの速度をもつ星間分子ガスが、どれだけあるかを示している。

対する図1の右側は、わたしたちが観測したCOの $J=2 \rightarrow 1$ 遷移と、おなじみCOの $J=1 \rightarrow 0$ 遷移（周波数115 GHz、波長2.6 mm）の、二つのスペクトル輝線の強度比を色で示している。

CO分子の回転エネルギー準位を思い出してみよう。波長2.6 mmのスペクトル線が出る $J=1$ の状態は基底状態($J=0$)から温度に換算して5.5 K分上にある。10 K程度以上の温度があると考えられる星間分子ガスの中では、 $J=1$ の準位は分子どうし（主に H_2 とCO）の衝突で容易に励起される。それに対し、波長1.3 mmの輝線が出る $J=2$ の準位は基底状態から16.5 K分上がった状態なので、分子間の衝突でこの準位まで励起するにはより高い温度が必要になる。

さらに、 $J=2 \rightarrow 1$ の遷移は $J=1 \rightarrow 0$ に比べて遷移確率（アインシュタインのA係数）が大きく、電波を出して $J=2$ から $J=1$ に遷移するスピードにつりあうためには $J=2$ に励起する分子間の衝突がより高い頻度で起こらなければならない。つまり分子密度（衝突の相手の H_2 の密度）がより高い必要がある。

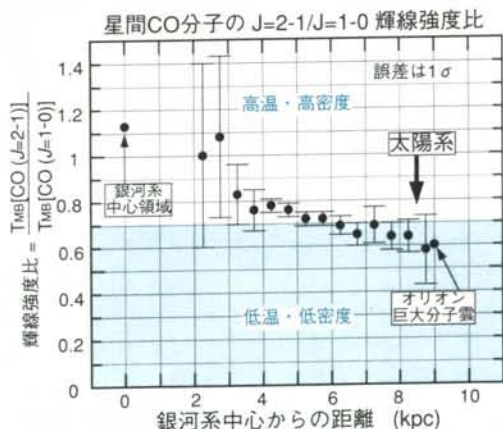


図2 銀河系中心からの距離ごとに平均された、星間CO分子の $J=2-1/J=1-0$ 輝線強度比。中心から太陽系近傍にかけて、強度比はほぼ単調に減少する。

まとめると、波長1.3 mmの $J=2 \rightarrow 1$ 輝線は、2.6 mmの $J=1 \rightarrow 0$ 輝線に比べてより暖かくて密度の高い分子ガスから強く出るということになる。図1の右側の色分けで黄色から赤の領域がそのような場所になる。それに対して緑色から青で示した領域では温度や密度が低い。

3. うかびあがる銀河系スケールの変化

図1の色分けで見た強度比の変化は、銀河系のなかにさまざまな温度や密度を持つ分子ガスがあることを示している。その分布の傾向を調べるために、銀河系中心からの距離ごとに平均の強度比を求めてプロットしたのが図2である。銀河系中心領域とオリオン座巨大分子雲のマッピング観測(Oka et al., 1992; Sakamoto et al. 1992:ともに投稿準備中)の結果もあわせて示した。

図2が直ちに語りかけてくることは、銀河系円盤のスケールで、分子ガスの平均的な物理状態に変化が存在するという事実である。 $J=2-1/J=1-0$ 輝線強度比は、銀河系中心領域から太陽系近傍にかけて単調に下がって行く。銀河系円盤中の平均的な分子ガスは、その内域では太陽系近傍に比べて温度や密度が高くなっている。

データを詳しく見ると、この平均的描像は単純化が過ぎるようである。実際は、輝線強度比が0.6程度の場合と1.0程度の成分があり、それら二成分の比率が銀河系中心からの距離によって変化するというのが真の描像に近い。強度比が0.6程度の「冷たい」成分は、太陽系近傍で典型的に見られる温度10-20 K H_2 密度数百個/cm³の分子ガスに対応する。それに対して強度比が1.0程度の「暖かい」成分は、温度が50 Kをゆうに超え H_2 密度も数千個/cm³以上と高い。この「暖かい」成分は、銀河系中心領域のCO輝線光度のほとんど全部、銀河系中心から3-6キロパーセクの領域では約半分を占めるのに対し、太陽系近傍ではその割合は小さい。この相対的な寄与の変化が、図2の傾向を作っているのである。

このような変化はどうして起きるのであろうか。わたしたちは、巨大分子雲の構造が銀河系内の場所により違っているのではないかと考えている。オリオン座の巨大分子雲を詳しく見ると、輝線強度比が1近くになっている分子雲の「芯」にあたる部分が強度比0.4以下の低密度エンベロープに包まれており、その全体を積分する結果「冷たい」強度比になることがわかる。それに対して銀河系の内域にある巨大分子雲には低密度エンベロープがないか、あってもその寄与は小さいのであろう。さらに、分子ガスの単位質量あたりの星形成率(星形成効率)が、銀河系の内域から中心へと急速に高くなっていることが、銀河系内域のガスの温度を上げているのだらう。

銀河系ディスクの中に浮かぶ分子雲。そこは、銀河系スケールの大規模な物質循環の原動力となる星誕生の現場である。今回のわたしたちの発見は、物質循環の様相も銀河系の中の場所によって違っている可能性を示唆している。「基本サーベイ」、そして南天サーベイとデータを積み重ねて、わたしたちはこの可能性に挑戦していきたい。

長谷川哲夫, 林 正彦, 半田利弘,
阪本成一, 岡 朋治 (東大理)