

論文内容の要旨

論文題目 Observational Study in Atomic and Molecular Gas Disks
of the Milky Way Galaxy and Nearby Cluster Galaxies

(天の川銀河および近傍銀河団銀河の

原子・分子ガス円盤についての観測的研究)

氏名 中西 裕之

我々は電波観測データを用い、天の川銀河および近傍銀河団銀河の中性ガス円盤における原子水素 (H I) および水素分子 (H_2) ガスの分布を詳細に調べ、H I・ H_2 の分布についての比較を行った。

まず、天の川銀河の最新のH Iおよび一酸化炭素 (CO) ガス輝線サーベイ観測データと回転曲線を用いて天の川銀河ガスディスクの3次元構造を描き出した。COガス輝線は H_2 ガス分布をほぼ再現していると言えるので、 H_2 ガスディスクの構造はCOデータから構築した。ガスの距離は銀河が回転しているという仮定に基づいた力学的距離 (kinematic-distance) を用いて決定した。この手法では、太陽軌道よりも内側の領域で同じ速度に対して、距離の解が2つ存在するという近遠問題 (near-far problem) があるが、ガスのz方向 (z: 銀河面に対して垂直方向) のモデル分布を仮定することにより、解決した。

H I、COガスはそれぞれ銀河系ガスディスクの外側、内側の構造を探るのに有利であったが、我々は両者を組み合わせることにより、天の川銀河全体の渦巻き腕構造を広範囲にわたって描き出すことができた。これまで知られていた、いて座一りゅうこつ座腕 (the

Sagittarius-Carina arm)、ペルセウス座腕、局部あるいはオリオン腕 (the local or Orion arm)、たて座—みなみじゅうじ座腕 (the Scutum-Crux arm)、じょうぎ座腕 (the Norma arm)、外部腕 (the Outer arm) のすべてを描き出し、ピッチアングルが $11-15^\circ$ であると考え、じょうぎ座腕と外部腕が同一の腕構造であるということがわかった。

渦巻き腕構造に加え、ガスディスクが外側大きく歪んでいる Warp と呼ばれる構造が H I、 H_2 ディスク両方に見られ、特に H I ガスディスクは銀河面から 1 kpc も歪んでいることがわかった。また内側のディスクも 100 pc 程度、銀河面から上下していることがわかった。

H I、 H_2 ディスクの厚みは銀河中心部から外側に向かって増大していくことがわかった。増加率は H I ガスディスクの方がより顕著であった。さらに半径方向の大きな変化に加え、同じ半径内でも厚みが増えることがわかった。その変化は腕で薄く、腕の間で厚いという傾向であった。重力的な要因では説明がつかないほど大きく、他のシナリオが示唆される。

H I ガスディスクは第 4 象限の方向で、広がりが大きくなっていることがわかった。このような非対称性を Lopsided 構造と呼ぶが、銀河系でもこのような構造がはっきりと存在し、さらに第 2 象限方向も第 1・3 象限方向に比べて広がり大きいことがわかった。

全ガス密度に対する分子ガス密度の比を分子ガス比 f_{mol} と定義し、 f_{mol} の変化を調べた。 f_{mol} は銀河中心部において ほぼ 1 で一定であり、ある半径方向を境にその外側ではほぼ 0 で一定となる。分子ガス比 f_{mol} の急激な変化は 6-8kpc 付近で起こり、これは分子前線 (Molecular Front) と呼ばれている。半径方向の大局的な変化に加え、渦巻き腕前後における f_{mol} の変化も見られた。このような変化は、渦巻き腕で急速 (一千万年) に原子—分子ガス間の変化が生じていることを示している。全ガス密度に対する f_{mol} の値は、全ガス量が大きいほど大きくなり、全ガス量に関して一価関数となっている。

全ガスの体積密度と H I、 H_2 ガスの体積密度との間の関係を調べたところ、全ガス密度が小さい範囲では H I ガスが優勢であるが、ある一定値を超えると H I ガス量は一定となり、 H_2 ガスが全ガス量の増加と共に増えていくことが分かった。このような H I ガスの飽和密度が存在することが分かった。このような関係は銀河を真上 (face-on) から見たときの柱密度でも、同様の関係があることがわかった。ガスの z 方向の分布について解析的なモデルを考え、体積密度での飽和密度を考慮すると、積分したときも同様の関係が見られることが解析的に示された。また H I 飽和密度は銀河系の外側と内側でも異なることが分かった。

次に我々は野辺山 45 m 望遠鏡とマルチビーム受信機 BEARS を用いて、おとめ座銀河団に属する 12 銀河の CO 観測を行った。それらと比較するために VLA C-array を用いて 3 銀河の HI の観測を行い、アーカイブから 3 銀河の生データを取得し解析を行った。まず CO の観測ではおとめ座銀河団の半径方向の分子ガス分布が 3 種類に分類された。もっとも多いのは指数関数型であり、12 銀河のうち 9 銀河がそのような分布を示していた。それに加え、2 銀河がリング構造をもち、1 銀河が一次関数で表される分布をしていた。H I 観

測ではほとんどの銀河でガスの半径方向の分布は指数関数型では示されず、中心ではなくある半径でピークをもつことが分かった。

H I、COデータから全ガス量の半径分布を調べたところ、おとめ座銀河団の北側に位置する銀河では、全ガス密度の分布は一つの指数関数で表された。一方、南側に位置する銀河では全ガス密度の分布は一つの指数関数では表されず、フィールド銀河の性質と似ていることが分かった。

またH I、COデータを比較したところ、NGC4402, NGC4419, NGC4569, NGC4579, NGC4689では銀河団内の環境効果を受けてH Iガスが剥ぎ取られ、H Iガスの量が少なくなっていることがわかった。特にNGC4402, NGC4419, NGC4569, NGC4579ではH Iガスディスクの広がりやCOガスディスクとほぼ同じかそれ以下であることが分かった。天の川銀河と同じように全ガスの柱密度と f_{mol} の関係を調べてみたところ、NGC4402, NGC4419, NGC4569, NGC4579, NGC4689 以外では天の川銀河と同様な全ガスの柱密度に関する一価関数であることが分かった。一方、NGC4402, NGC4419, NGC4569, NGC4579, NGC4689 では f_{mol} が異常に高いことが分かった。特にNGC4569 などでは f_{mol} の値が大きな分散をもっていることが分かった。(1) H Iガスディスクの広がりやCOガスディスクと同じかそれ以下であること、(2) H Iガスはram圧で剥ぎ取られる条件を満たすが、 H_2 (CO) は剥ぎ取りの影響を受けないこと、(3) 異常に高い f_{mol} を示すこと、を考えると、これらの銀河中心ではH Iガスの剥ぎ取りが起こっていることが示唆される。さらに分子雲の寿命が一千万年から一億年内であることを考えると、それよりも短い時間にH Iガスの剥ぎ取りが起こったと考えられる。

おとめ座銀河団銀河のうち、H Iガスの剥ぎ取りがほとんど起こっていないと考えられるNGC4192, NGC4254, NGC 4535, NGC 4536, NGC 4548, NGC 4654について、全ガスの柱密度とH I・ H_2 の柱密度を比較したところ天の川銀河同様にH I飽和密度が存在することがわかった。H I飽和密度の値は銀河によって異なり、典型的には5 - 20 Mo/pc^2 であることが分かった。

最後におとめ座銀河団銀河の一つNGC 4569の中心部をNMAで高分解能CO輝線観測した結果を示す。分子ガスは中心部に集中した分布をしており、速度場・位置-速度図は顕著な非円運動をしていることが分かった。さらに2"分解能で見ると、中心部に楕円形をしたリング状構造が発見された。この構造は銀河が非軸対称の棒状ポテンシャルを持っていることに起因していると考えられる。非円運動を示す銀河の場合、回転曲線が求められず銀河の質量分布を求めることができない。そこで非円運動を示す場合でも質量分布が求められる方法を考案した。この方法は、ある回転系(パターン速度 Ω_p で回転)で見た時に軌道が閉じているとした場合、角運動量を保存量とするとガスの2次元軌道を決定することができ、それをを用いることで質量分布が求められることができる、というものである。我々はこの方法をNGC 4569に適用し、2次元軌道と質量分布を求めた。ただしパターン速度は不明なため、これまで知られているパターン速度の値を網羅的に代入して求めた。求めた質量分布からポテンシャルを計算し、そのポテンシャル下でガスの運動をSPHコードでシ

ミュレーションしたところ、 $\Omega_p > 65 \text{ km/s/kpc}$ で NGC 4569 の中心部に見られたリング構造が形成されることがわかった。このことからパターン速度が $\Omega_p > 65 \text{ km/s/kpc}$ であるという制限がついた。また我々が提案した手法で決定した質量分布を用いて、実際に観測されるガス分布が再現されたことから、我々の新しい手法が良い質量分布の決定法であることがわかった。

本論文の全体を通して、天の川銀河およびおとめ座銀河団銀河の中性ガスディスクの諸性質を様々な角度から観測データに基づいて明らかにした。特に、H I 飽和密度が天の川銀河・系外銀河で発見されたということは星間ガス化学の上から重要である。そして全ガス量に対する分子ガス比の関係が銀河団環境効果を考える上で有力なパラメータであることが分かった。