

ALMA データアーカイブによる 近傍銀河 NGC253 の回転曲線および質量分布の導入

内間克豊 (明星大学大学院理工学研究科物理学専攻)

Abstract

銀河の回転曲線は、渦巻銀河の運動学的特徴を表す重要な観測量の一つであるとともに、ダークマターの質量を求めるうえでも大切な観測量である。祖父江ら (2003) による先行研究では、野辺山ミリ波干渉計を使用して 12CO(J=1-0) 輝線の分子ガスの観測をおとめ座銀河団の銀河 (距離 ~ 16 Mpc) で行い、そこから回転曲線を描いて中心部の回転速度や質量分布を求めている。可視光や中性水素ガス (HI)21cm の輝線ではなく一酸化炭素 (CO)2.6mm 輝線で行うのは、一酸化炭素分子が銀河中心部に多量に存在し、かつ精度のよいドップラー速度の観測が可能だからである。

野辺山ミリ波干渉計の分解能は $6''$ (~ 500 pc) 程度だったが、ALMA のデータを使用することでより精度が高く詳細な情報が得られる。とくに、NGC3079 やおとめ座銀河団において、銀河中心部に存在が確認されている大質量のダークマターコア ($\sim 10^7 M_{\odot}$) に関連した詳細な情報を得ることが可能である。

本研究では、ALMA データアーカイブの中から Band3 の 12CO(J=1-0) 輝線に絞り込み、そこからちょうこくしつ座方向にある NGC253 をピックアップした。NGC253 は距離が 3.5Mpc と近いとため、より高い空間分解能で中心部の情報を得られる。このデータから回転曲線を求め、そこから中心部の質量分布を導出した。本講演ではこの結果について報告する。

1 Introduction

われわれの宇宙は、ビッグバンに始まり、その中に生まれたわずかな密度揺らぎの中のわずかに密度の濃い部分が重力収縮することで、銀河団が生まれ、その中にさらに銀河が生まれてきたと考えられている。そして、これらの構造形成の主役は暗黒物質 (ダークマター) と呼ばれる未知の物質であり、星や星間ガスと言った電磁波を発することで観測にかかる物質の 6 \sim 7 倍もの質量があることがわかっている。

このような宇宙初期のわずかなゆらぎから銀河団サイズの構造が形成される過程については、大規模なシミュレーション計算が行われ、銀河団サイズの構造の中のダークマターの質量密度分布は、NFW 分布と呼ばれる構造の中心に向けて密度がどんどん増加して行く分布になる結果が得られている。そして観測的にも、この分布に大きく矛盾しない結果が得られつつある。

この銀河団サイズの構造が作られていく中で、その中の小さなスケールの密度の濃い部分が重力収縮

して、銀河サイズの構造が作られていくと考えられ、大規模シミュレーションによっても銀河サイズの構造ができることが確認されている。しかし、銀河サイズの構造の中のダークマターの質量密度分布については、理論的にも観測的にも必ずしも明らかになっていない。

そこで本研究では、その前段階として、高い空間分解能で中心部の情報を得られる ALMA のデータアーカイブの中から、ちょうこくしつ座方向にある NGC253 をピックアップし、回転曲線を作成することで中心部の質量分布を導出した。

2 NGC253

NGC253 とは、ちょうこくしつ座方向にある渦巻銀河であるが、3.329Mpc と比較的近く存在していて、スターバースト銀河として知られているため、あらゆる機関によって観測されている銀河である。スターバーストとは、大量の大質量星が短期間に生成され

る現象であり、NGC253 の他の近傍銀河では、M82 が有名である。



図 1 : NGC253 (2MASS Atlas Image Mosaic)

その他の詳細なことは図 2 に数値として紹介する。

Morphological type	SAB(s)c
RA [J2000.0]	00h47m33.1s
DEC [J2000.0]	-25d17m17s
Distance [Mpc]	3.329
Heliocentric Radial Velocity [km/s]	243
Inclination i [deg]	78.5
Position Angle [deg]	51

図 2 : NGC253 の詳細なデータ

3 Methods

まず始めに、ALMA アーカイブデータについて説明する。ALMA のアーカイブデータを使う場所は 2 つある。1 つは直接 ALMA のサイトにアクセスし、データ処理のされていないモノをダウンロードする。もう 1 つが、「JVO Data Search」である。JVO Data

Search には 1 次リダクションされたデータが公開されているので使い勝手が良い。しかもダウンロードするのは簡単なので、皆さんも使ってほしいと思う。そのデータを使って、銀河の質量を得ることにする。そこで選んだのが一酸化炭素 (CO)2.6mm 輝線で観測された NGC 253 である。何故可視光や中性水素ガス (HI)21cm の輝線ではなく一酸化炭素 (CO)2.6mm 輝線で行うのかというと、一酸化炭素分子が銀河中心部に多量に存在し、かつ精度のよいドップラー速度の観測が可能だからである。

銀河の質量を得る為には、重力レンズ効果を使って求める方法と、位置-速度図 (PV 図) を描き、そこから回転曲線を描いてから質量を求める方法がある。本研究では後者を選んで解析を行う。そもそも回転曲線とは、銀河円盤の物質が同じ方向に、かつ、軸対象に回転していると仮定して、回転速度を銀河中心からの距離の関数として描いたものである。

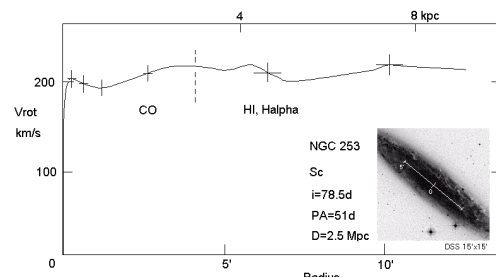


図 3 : NGC253 の回転曲線 (NRO45m : Sofue)

図 3 は、NGC253 を野辺山電波望遠鏡 45m(NRO45m) で観測し、回転曲線を描いたものである。だが、回転曲線は位置-速度図 (PV 図) を作成した後に計算を行うのが必須となっている。

位置-速度図 (PV 図) とは、天球上で広がりをもつ天体に対して、ある空間方向 1 次元の断面で観測した線スペクトルのデータ列を基に、横軸にその方向の位置をとり、縦軸に速度をとって線スペクトルの強度分布を表示した図のことで、その方向の線スペクトルの速度変化を読み取るのに適している。その解析には、電波天文学ではよく使われている「AIPS」を使用して PV 図を作成した。

PV 図を作成した後は、計算をして回転曲線を描く。まずは、PV 図の銀河中心 0 から半分に分け、外

側のピークの位置をプロットする。その後、速度差の絶対値をとって平均を出し、Excel や Mathematica などを使って回転曲線を描きながら計算していく。横軸はパーセク (pc) にしたいので、

$$\text{銀河中心距離 (pc)} = \frac{v}{H_0} \times \frac{\pi}{180 \times 3600} \times (\text{秒角})$$

から求めた。後は後退速度や position angle(P.A.)、inclinationなどを補正しながら回転曲線が描く。得られた回転曲線より、球対称の質量分布を仮定して、重力に寄与している質量（重力質量）の分布を計算する。

4 Results

結果は、図 4、5、6、7 に示している。

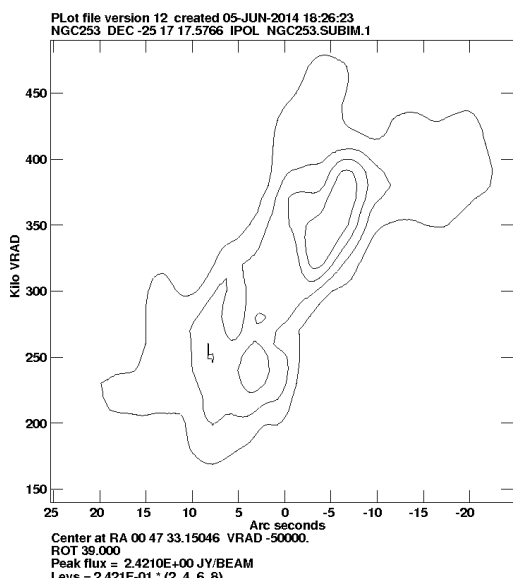


図 4：NGC253 の位置-速度図 (PV 図)

図 4 は、「AIPS」を使って得られた NGC253 の位置-速度図 (PV 図) である。ピークレベルは図下に書いていて、2、4、6、8 としている。

図 5 は、図 4 の PV 図から描いた NGC253 の回転曲線である。このグラフを見る限りだと、NGC253 の回転速度はおおよそ 100~120km/s と思われる。

図 6 は、銀河中心距離に対しての質量である。こ

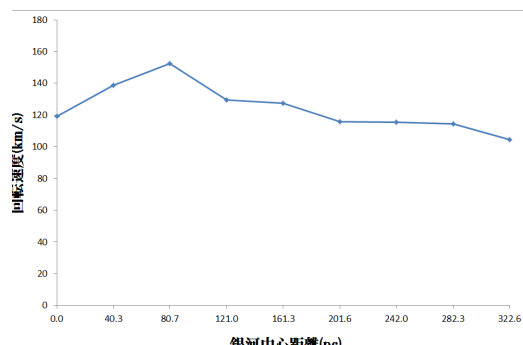


図 5：銀河中心距離と回転速度の関係

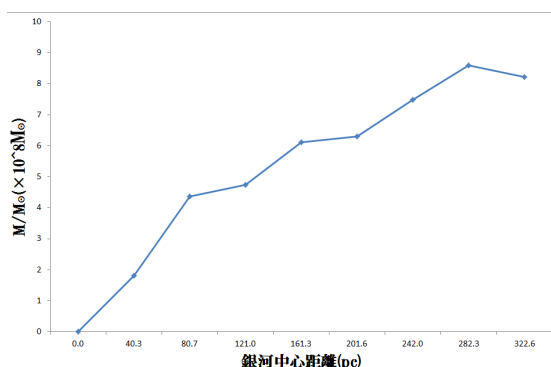


図 6：銀河中心距離と質量の関係

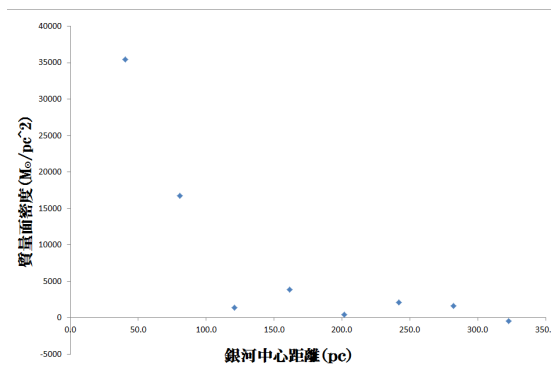


図 7：銀河中心距離と質量面密度の関係

のグラフを見ると、40.3pc の半径の中に 1.8×10^8 (太陽質量) の質量が存在していることが判明した。

図 7 は、銀河中心の距離に対しての面密度である。これはある距離からある距離までの間にある質量がどの位存在しているのかを示したグラフである。このグラフを見ると面密度はゼロになりかけるがゼロ

にはならない値をとることがわかる。

5 Discussion

ALMA のデータを使うことで、今まで見えなかった NGC253 の銀河中心の詳細が明らかになった。本研究により、40.3pc の半径の中に 1.8×10^8 (太陽質量) の質量が存在していることが判明し、さらには、質量密度の濃さが狭い範囲であることも突き止めた。

今後の研究によって更なる改良と、それに伴うサンプルデータの収集を考えている。

6 参考文献

- 1) 岡村定矩. シリーズ現代の天文学別巻「天文学辞典」. 日本評論社, 2012
- 2) 谷口義明、岡村定矩、祖父江義明. シリーズ現代の天文学 4 巻「銀河」. 日本評論社, 2007
- 3) 祖父江義明、有本信雄、家正則. シリーズ現代の天文学 5 巻「銀河」. 日本評論社, 2007

Reference

- 1) The Mass Distribution and Rotation Curve in the Galaxy. Yoshiaki SOFUE
- 2) Sofue, Rubin (2000) 2001ARA & A..39,,137S