

NGC 3184 のダークマター質量の推定：公開データを用いた プログラミングによる銀河回転運動の解析

滝田 海理（高2）、蟹江 皓貴、森島 大晴、阿比留 康介（高1）【名古屋大学教育学部附属高等学校】

要 旨

本研究では NGC 3184 の視線速度分布と光度分布を解析することでダークマターが作る重力加速度の分布を特定し、ダークマター質量を推定した。ダークマター質量は $1.2 \times 10^{11} M_{\odot}$ となり、先行研究と無矛盾な結果となった。

1. はじめに

銀河のダークマター質量分布は、銀河の形成過程の詳細な解析につながる。本研究では、典型的な渦巻銀河である NGC 3184 に対して (1) 回転中心と傾き角の決定、(2) ガス・星質量分布の算出、(3) ダークマター質量推定、という手順で解析を行う。まず、銀河の視線速度分布を使うことで銀河の回転中心と銀河の傾き角を求めた。求めた傾き角を用いて、傾き角から回転速度を計算した。次に、銀河回転を円運動と仮定し、空間分解された重力加速度を画像のピクセルごとに求め、それらからガスと星による重力加速度を差し引くことでダークマターによる重力加速度を分離する。ダークマターの円運動と球対称を仮定すると、万有引力は遠心力と釣り合うため、これを利用してダークマターの内包質量を求めた。

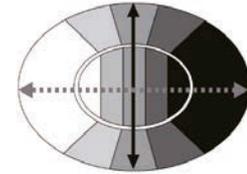


図1 銀河の視線速度の分布

2. 回転中心・傾き角の大きさの特定手法

銀河が円盤状であり、それを斜めから見ることで楕円に見えているとする。銀河が回転しているとして、銀河の中心を回転中心とすると、以下の性質が成り立つ。ここで、図1は銀河の視線速度分布の概念図である。

1. 図1の実線矢印上の視線速度の標準偏差が最も小さい。
2. 図1の点線矢印上の視線速度の標準偏差が最も大きい。
3. 実線矢印と点線矢印がそれぞれ楕円の長軸、短軸である。

以上の性質を用い、長軸と短軸の交点として中心を求めた。同じ仮定を置くと、銀河の回転速度 v は外側でほとんど一定となる。視線速度を v_{Los} 、傾き角を θ とすると、式1より v を求めることができる。

$$v = \frac{v_{\text{Los}}}{\sin\theta} \sqrt{\left(\frac{y}{x \cos\theta}\right)^2 + 1} \quad (\text{式1})$$

ここで、 x, y は銀河中心が原点の直交座標系での x, y 座標である。NGC 3184 はフェイスオン銀河であり、銀河の長軸と短軸の比から θ を精度よく求めることは困難である。よって、 θ の値は v の標準偏差が最小となるものを採用した。

3. ガス質量・星質量・ダークマター質量による速度分布の特定手法

銀河の円運動を仮定することで、ピクセルごとのガス質量と星質量は以下のように求められる。

ガス質量：ガス質量の計算には、The HI Nearby Galaxy Survey (THINGS; [1]) の積分強度図を用いる。これを単位面積あたりの中性水素原子の個数に変換する。

星質量：星質量の計算には質量光度比 [2]を用いる。質量光度比に用いる光度は Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey (SINGS; [3]) の Iバンド (805 nm) と Vバンド (550 nm) の値を採用した。

速度分布：まず、ガス質量、星質量それぞれを用いて、銀河の画像の各ピクセルに対して、全てのピクセルから受ける万有引力による重力加速度を計算する。 v より、各ピクセルにおける全質量による重力加速度を求めた。これらからガス・星による重力加速度の寄与を差し引くことでダークマターによる重力加速度を求めた。この加速度のうち、半径方向成分だけを取り出すと向心加速度となる。円運動していると仮定したため向心加速度とダークマターによる回転速度 v_d の関係は $a = v_d^2/r$ と表され、これを用いて v_d を求めた。

4. 結果

ダークマターに球対称を仮定すると、半径 r において、回転速度が v_d のときの向心加速度 v_d^2/r と、ダークマターの内包質量 m_d による重力加速度 Gm_d/r^2 が釣り合う。この関係を用いて v_d から m_d を求めた。半径方向の質量分布は図2のようになり、ガスが観測された範囲内のダークマター質量は $1.2 \times 10^{11} M_{\odot}$ となった。これは、先行研究から推定した値と無矛盾な結果である。

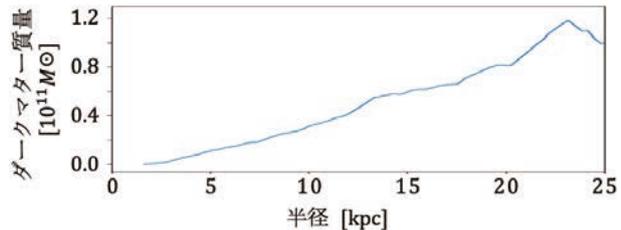


図2 半径に対する累積ダークマター質量

5. 考察

ダークマター質量の半径方向の分布は、理論的には原点付近で非線形に増えた後、線形に増えていくはずであるが、本研究では全体を通して線形な増加であり、外側で値が大きく下がっている。その原因と考えられるのは θ の誤差である。 θ が小さいと、その変化に対して v が大きく変化する。したがって、わずかな誤差が計算結果に大きな影響を与える。

6. 謝辞

名古屋大学大学院理学研究科博士後期課程学生の中野覚矢氏、同研究科の立原研悟准教授、名古屋大学教育学部附属高等学校の大羽徹先生にご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

7. 参考文献

- [1] Fabian Walter et al. (2008), AJ, 136, 6, doi:10.1088/0004-6256/136/6/2563
- [2] Into & Portinari (2013), MNRAS, 430, 4, 2715. doi:10.1093/mnras/stv
- [3] Kennicutt et al.(2003), PASP, 115, 810, 928, doi:10.1086/3769