

ダークマターと銀河団の形成

松下 隼之介、林 環稀 (高2) 【神奈川県立横須賀高等学校】

要旨

本研究は、昨年度の研究課題として設定した「銀河内におけるダークマターの分布」に関する考察に、理論的な説明を加えることを目的として行った。昨年度の研究の結論を踏まえ、「銀河団を構成するダークマターは二種である」「銀河団形成の過程にダークマターの持つ特徴や性質が顕著に表れる」と仮定し、太陽系の形成・維持に関わる数式を銀河団の形成に適用させ、様々な先行研究も利用して考察を深めた。

1. 研究背景・仮説

図1より、銀河団の中心部には非常に高密度にダークマターが存在していることが分かる。質量が小さい物質同士の相互作用は無視できるほど小さいため、中心部に密集しているダークマターを一つの塊として見た場合、外縁部のダークマターは、中心部から受ける万有引力の影響のみを受けて運動していることになる。これらの特徴は、太陽を中心とした太陽系にも当てはまり、太陽系が万有引力の法則によって現在の形を維持しているといえることから、「万有引力によって説明される基本法則は、星系間の大きなスケールでも成立し、銀河団の中心部に密集したダークマターによる万有引力が、銀河団の形成・維持に大きな役割を果たしている」と仮説を立てた。

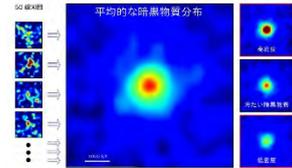


図1 50個の銀河団において観測されたダークマターの平均分布図 (カブリ数物連携宇宙研究機構)

2. 研究方法

- 銀河団内の物質における運動方程式と力学的エネルギー保存則から、銀河団が形成され維持するのに必要な物質の速さを求める。
- おとめ座銀河団の中心質量を、(1)の速さとおとめ座銀河団内の銀河「M86」の速さから見積もり、その結果をグラフにより示す。
- (2)で求めた中心質量から、おとめ座銀河団の中心部と外縁部に存在するダークマターの質量比を予想し、その結果を先行研究と比較する。

3. 結果

- 銀河団内にある物質の運動方程式は以下のようになる。

$$m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} = \sum_{j=1}^n G m_i m_j \frac{x_j - x_i}{|x_j - x_i|^3}$$

↓
質量が密集している中心部からのみ力を受けるとする。
(中心部の質量M, 中心からの距離

$$m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} = G \frac{m_i M}{r^2} \quad \dots \textcircled{1}$$

物質が中心部に引き込まれずに円運動し続ける速さを v_1 とすると、式①より、

$$m_i \frac{v_1^2}{r} = G \frac{m_i M}{r^2} \Leftrightarrow v_1 = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad \dots \textcircled{2}$$

一方で、物質が中心部からの影響を受けなくなる地点に達するために必要な速さを v_2 とすると、力学的エネルギー保存の法則より、

$$\frac{1}{2} m_i v_2^2 + \left(-G \frac{m_i M}{r}\right) = 0 \Leftrightarrow v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \quad \dots \textcircled{3}$$

- M86の移動速度と、銀河団の中心からM86までの距離を用いて、おとめ座銀河団の中心質量を見積もる。(1)の式②(第一宇宙速度)と式③(第二宇宙速度)に以下の値を代入し、計算を行った。図2はその結果をまとめたものである。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{銀河団の中心からM86までの距離 } r = 67.83 \times 10^{21} \text{m} \\ \text{M86の移動速度 } v = 0.243 \times 10^6 \text{m/s} \end{array} \right.$$

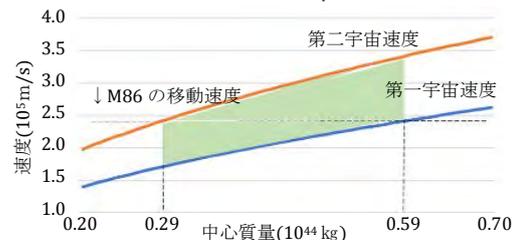


図2 おとめ座銀河団の中心質量

- (2)で求めたおとめ座銀河団の中心質量から、銀河団内のダークマターの質量比を予想する。一般的に銀河団の質量のうち、約83%をダークマターが占めるとされている。そのため、おとめ座銀河団の総質量が $1.5 \times 10^{44} \text{kg}$ であることから銀河団内に存在するダークマターの総質量は $1.245 \times 10^{44} \text{kg}$ であり、中心部に密集するダークマターの質量は $0.248 \dots \times 10^{44} \sim 0.496 \dots \times 10^{44} \text{kg}$ であることが計算から求めた。これより、おとめ座銀河団内に分布しているダークマターのうち、約20~40%が中心部に集まっていることが予想される。

4. 考察

(2)で求めたおとめ座銀河団の中心質量は、各銀河の中心に存在する巨大ブラックホールのさらに $10^4 \sim 10^9$ 倍の質量を持つ必要があると求めた。これは非常に大きな値であるため、実際には中心部だけでなく、銀河団の外縁部に広く存在するダークマターや宇宙ガスの持つ万有引力が、銀河団の形成・維持に大きな役割を果たしていると考えられる。(3)で求めた銀河団内のダークマターの質量比を先行研究と比較すると、図でも同様に中心部にきわめて大きな質量が集中している。このため、銀河団が中心部から受ける万有引力の影響を強く受けて形成された可能性は高いと考えられる。(図1の色分けの具体的な基準が分かれば、20~40%という値の信憑性をはかることができる。)