

銀河団のバリオン密度パラメータと質量密度パラメータの観測的研究

チーム：もし天 2014 Dr.Baryon~絶妙なバランス~

生駒 洋樹【帝塚山高等学校】 亀谷 紀香【兵庫県立洲本高等学校】

小林 士朗【高田高等学校】 土谷 真希【千葉県立東葛飾高等学校】(高2)

要旨

銀河団 Abell 426 を観測し、そこから得た銀河団内にある銀河一つ一つの明るさの観測値からその質量を求める。文献からのデータも用いて、仮説で立てた $\frac{\Omega_b}{\Omega_b + \Omega_{DM}} < 1$ より、ダークマターの存在を証明することで、宇宙が目に見えるものだけで構成されていないことを証明した。

1. 研究目的

私たちは、“宇宙は目に見えるものだけで構成されているのだろうか”という疑問を持ち、宇宙を構成する物質について研究することにした。宇宙は目に見える物質であるバリオンと、目に見えない物質であるダークマター、ダークエネルギーから構成するとされているので、今回はこのダークマターが存在するという証明によって、目に見える物質のみから宇宙は構成されていないことを明らかにする。なお、バリオンとは天文学では星とガスを示し、一般的には目に見えないものであるガスも目に見える物質として扱う。

2. 検証方法

Ω_b = 宇宙でのバリオンの割合、 Ω_{DM} = 宇宙でのダークマターの割合 と表すと、

$$\frac{\Omega_b}{\Omega_b + \Omega_{DM}} = \frac{M_{gal} + M_{gas}}{M_{gal} + M_{gas} + M_{DM}} < 1 \quad \dots (2.1)$$

(2.1)式が成り立つとして、ダークマターの存在を仮定し、 M_{gal} と M_{gas} を観測から求めて検証する。バリオンが多く集まるということは、万有引力によって物質が多く集まるということで、ダークマターも同じくらい多く集まると考えられるため、バリオンとダークマターの比は、宇宙全体と一つの銀河団内全体とで等しいと考える。バリオン密度パラメータを Ω_b 、質量密度パラメータを $\Omega_b + \Omega_{DM}$ と表す。

(1) M/L比を用いて M_{gal} を求める。

$$\frac{M_{gal}/M_{sun}}{L_{gal}/L_{sun}} \sim 15 \quad \dots (2.2)$$

M/L比とは、(2.2)式で表され、質量と明るさの関係を太陽何個分かで表した値である。この比は一定であり、Abell 426内の銀河各々のM/L比が大体10~20なので、平均をとり今回は15とした。観測より L_{gal} が求まり、 L_{sun} と M_{sun} について文献からの値を使用することで M_{gal} が求まる。

(2) Gas mass fraction を用いて M_{gas} を求める

$$x = \frac{M_{gas}}{M_{gas} + M_{gal}} = \frac{M_{gas}}{M_{bar}} \quad \dots (2.3)$$

gas mass fraction は(2.3)式より定義され、今回は論文データより範囲は半径1.2Mpcだったので、図1から外挿して0.225とした。

(3) $M_{gal} + M_{gas} + M_{DM}$ (ビリアル質量) を求める

この値は、今回の検証対象の範囲における観測値(速度分散)を文献から参照し、それを用いて、計算よりビリアル質量を求め $1.099 \times 10^{14} M_{solar}$ とした。

3. 観測・解析

<観測>

日時：2014年12月23日(水) 18:32-19:00

天体：Abell 426

場所：仙台市天文台

望遠鏡：口径1.3mひとみ望遠鏡

観測方法：銀河団内には、ガスも星も銀河もたくさんあり、統計的な観点で検証できるため、銀河団を観測した。時間的にAbell 426内すべての領域を観測することはできなかったため、全体の3分の1の領域のさらに約3分の1を観測した。観測できた部分は、図2の実線を全体の3分の1とした時の点線部分である。フィルターはルミナンスを用いて、撮像観測で行った。

<解析>

Makali'iを用いて解析。撮像データには、銀河と恒星がどちらも写っているので判別する必要がある。マカリにはグラフ機能があり、線を引いた始点から終

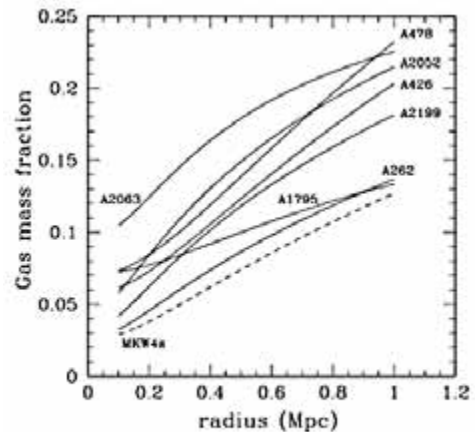


図1 銀河団の半径と Gas mass fraction (Hradecky et al. 2000)

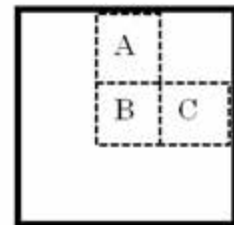


図2 観測領域



図3 銀河と恒星の判別

点までの距離と明るさのグラフを作ることができる。恒星に対してこのグラフを用いた場合は曲線となるが、銀河の場合、グラフはギザギザとしたものとなる。それは、銀河が恒星の集まりであり、発せられる明るさが一定でないためである。(図3・図4・図5) この判別方法により、銀河を特定することができる。

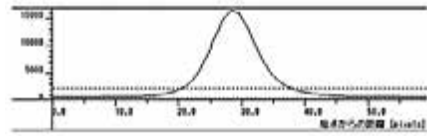


図4 恒星のグラフ

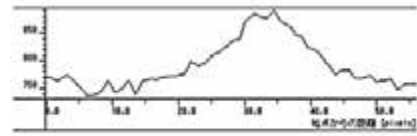


図5 銀河のグラフ

4. 結果

今回の観測範囲から(1)、(2)を求めるために、Abell 426 全体が球でありその中には銀河が一樣に広がっていると仮定した。しかし実際には、観測した銀河 121 個の中で、図2のB内の銀河が71個と、Aの17個とCの33個に比べ多く確認されたので、銀河団内の質量を算出するにあたってBの部分を重みづけて推測した。よって、A,B,Cから得られた銀河の質量をそれぞれ M_A , M_B , M_C , Abell 426 の三分の一の領域の質量を $M_{\frac{1}{3}}$ とおくと、次の(4.1)式が得られる。

$$M_{\frac{1}{3}} = M_B + \frac{(M_A + M_C)}{2} \times 8 = (3.89E+13) + \frac{[(1.09E+13) + (1.59E+13)]}{2} \times 8 \dots (4.1)$$

Abell 426 は地球から約2億5000万光年と十分離れているため、銀河団における実際の観測している範囲(図6の——)は角柱(図6の- - -)として近似できる。今回の検証で対象とするのはAbell 426の半径の1/3の部分なので、その(図6の- - - -)質量の体積は銀河団全体の1/27より、求める質量を M_{gal} 、銀河団全体の銀河の質量を M_{all} とすると

$$M_{gal} = \frac{1}{27} \times M_{all}$$

このとき、銀河団全体と角柱の体積の比を考える。今回観測した角柱の底面は銀河団の半径の約2/3倍の長さを持つ正方形なので、球と角柱の体積の比は、

$$\frac{4\pi}{3} \times 1 \times 1 \times 1 : \frac{2}{3} \times \frac{2}{3} \times 2 \sim 4.72 : 1$$

これを実際の観測領域分に相当するように補正をし、さらに銀河が一樣に分布しているという仮定より、銀河団全体と観測予定範囲の質量比は体積比に比例するので、

$$M_{all} : M_{\frac{1}{3}} \sim 6.58 : 1$$

よって、

$$M_{all} = 6.58 \times M_{\frac{1}{3}}$$

これより、

$$\frac{\Omega_b}{\Omega_b + \Omega_{DM}} = \frac{M_{gal}}{\text{ビリアル質量}} = 2.22 \times 10^{-15} \times M_{\frac{1}{3}}$$

(4.1)式に観測値を代入すると、

$$\frac{\Omega_b}{\Omega_b + \Omega_{DM}} = 0.32 < 1$$

が得られた。よって、ダークマターは存在すると証明できた。

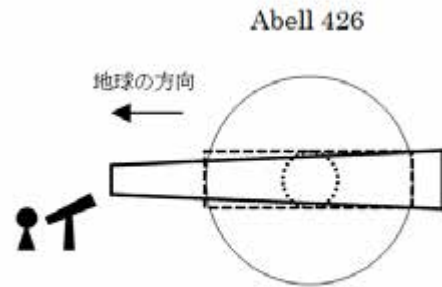


図6 横から見た銀河団の観測範囲

5. 今後の課題

今回の検証において、観測で銀河団内の銀河を判別する際に、観測した画像には、Abell 426に属さない手前の銀河や奥の銀河も含まれていた。しかし、それらすべてもAbell 426内の銀河であるとみなして値をとったので、 Ω_b は真の値より大きくなっていると予想される。これによって $\frac{\Omega_b}{\Omega_m}$ の値を大きく見積もっていると考えられるが、それでも $\frac{\Omega_b}{\Omega_m}$ は1より小さいという結果から、これによるダークマターの存在証明への影響はないと考えられる。しかし仮定や不確定な要素が多いなど、改善すべき点はたくさんあるので、この改善点をこれからの研究に活かしていきたい。

6. 謝辞

今回のこの研究を行うにあたりたくさんの方々にお世話になりました。板由房先生をはじめとした、東北大学の先生方、初日から最終日まで私たちを手厚く指導くださったTAのみなさん、また、観測するにあたって夜遅くまでお手伝いいただいた仙台市天文台の方々。最後まで優しく、時には厳しくご指導いただき、本当にありがとうございました。この場をお借りして御礼申し上げます。

参考文献

- 現代の天文学 銀河 I
- V.HRADECKY (2000)