

銀河集団の大きさ・質量と、銀河集団中のダークマターの質量の相関

チーム：ダークマター（は）アルマゲドン

柴崎 遼（高2）【埼玉県立豊岡高等学校】、丸田 祥輝（高2）【神奈川県立厚木高等学校】、
筒泉 佳子（高2）【同志社高等学校】、齋藤 鈴花（高2）【新潟清心女子高等学校】

1. 諸言

現在宇宙は加速膨張を続けている。しかし、宇宙は今後も加速膨張を続けるのか、それとも収縮に転じるのかということはまだ分かっていない。宇宙が収縮する力とは、宇宙内の物質の重力によるものである。そして、その物質の約85%（※1）を占めているのがダークマターである。今後宇宙が収縮する可能性があるか知るためには、物質の重力について考える必要がある。だが、ダークマターについても、未だ分からないことが多い。そこで私たちは、ダークマターの質量が天体の大きさ、質量の違いによってどのように変化するのかということを知り、宇宙が収縮する力について理解を深めることで、宇宙の終わりを推測したいと考えた。

2. 研究方法

ダークマターの質量を求めるには、運動と光度から求めた天体の質量を比較する必要がある。

ダークマターは光を発さない物質であるため、天体の質量を光度から求めれば、ダークマターの質量が含まれない値が求まる。一方、天体の質量を運動から求めれば、ダークマターの質量を含めた値が求まる。よって、ダークマターの質量は、ある天体の力学的質量から光学的質量を引いた差より求めることが出来る。光学的質量と力学的質量の求め方は以下のようである。

まず、得られた各天体の各画像を画像解析ソフト“Makali ‘i’”の測光機能とSIMBAD Astronomical Databaseにて、調べた基準星（※2）を用いて実視等級を求める。次に、論文など（※3）から引用した距離を用いて各天体の絶対等級を求め（式1）、太陽の明るさを基準として光学的質量を求める。論文（※4）に従い、Bバンドにおける絶対等級を下記の式に代入する（式2）。

$$-20.5 = m + 5 \log 10 D \dots \text{式1}$$

M_☉：太陽の重さ L_☉：太陽の明るさ M*：恒星の重さ L*：恒星の明るさ

$$\frac{M_*}{L_*} \sim 4.5 \frac{M_{\odot}}{L_{\odot}} \dots \text{式2} \quad M_{\text{光学的}} = M_*$$

力学的質量は論文（※5）から引用した各天体の速度の値を次の式（式3）（式4）に代入して求める。

σ：速度分散 M_{力学的}：質量 R：銀河・銀河団の領域の半径 G：万有引力定数

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 \dots \text{式3}$$

$$M_{\text{力学的}} = \frac{3R\sigma^2}{2G} \dots \text{式4}$$

また、今回の研究では、ダークマターの質量と天体の大きさ、質量との相関を調べたいので、以下の規模が違う4つの天体を観測することにした。

- ・ペルセウス座銀河団の中心付近の33' × 33'（以後 Abell1426）
- ・ステファンの五つ子（以後 HCG92）
- ・M82・M81（バルジ部分）

以上の方法を用いて求めたダークマターの質量と、天体の大きさ、質量との関係をグラフで表し、そこにどのような相関があるかを考察した。

3. 観測

2015年12月21日と22日仙台市天文台1.3mひとみ望遠鏡にて以下の撮像観測を行った。

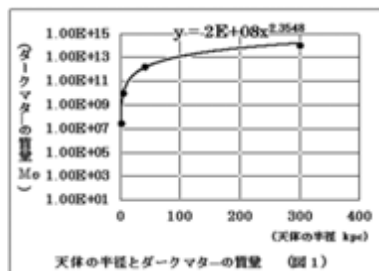
- ・使用バンド：B（観測対象すべて）
- ・対象と積分時間：Abell1426・M82…120秒、HCG92…60秒、M81…180秒

4. 結果

研究方法に記した手順で値を導出した結果、次のようになった。下の表での質量の単位はすべて太陽質量である。

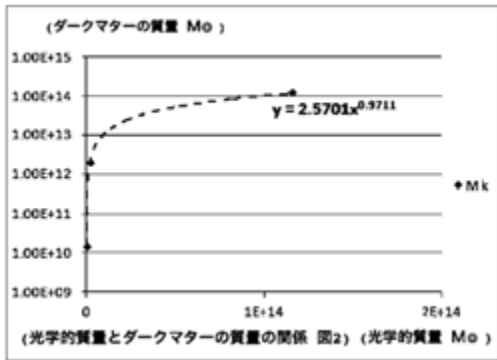
（表1）各天体の半径と質量

	半径 (kpc)	力学的質量	光学的質量	ダークマターの質量
Abell1426	300	1.20E+14M _☉	4.70E+12M _☉	1.15E+14M _☉
HCG92	40	2.00E+12M _☉	1.30E+11M _☉	1.87E+12M _☉
M82	4	1.50E+10M _☉	3.90E+09M _☉	1.11E+10M _☉
M81(バルジ部分)	0.5	3.00E+09M _☉	2.97E+09M _☉	3.00E+07M _☉

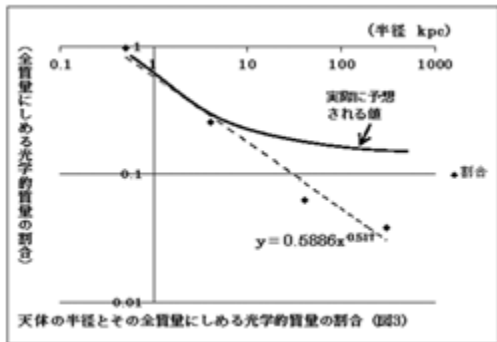


5. 考察

(1)：図1のグラフは、横軸を天体の半径、縦軸をダークマターの質量としたものである。グラフより、天体の半径が大きくなるほど、ダークマターの質量も大きくなるということが読み取れる。また、もしも、ダークマターの密度が一樣であるとしたら、ダークマターの質量は空間に比例する、つまり半径の3乗に比例するはずである。しかし、近似曲線の式では半径のおよそ2.3乗に比例している。従って、ダークマターの密度は一樣でないこともこのグラフから読み取れる。



(2) : 図2のグラフは、横軸を光学的質量、縦軸をダークマターの質量としたものである。グラフより、天体の光学的質量が大きくなるほど、ダークマターの質量も大きくなるということが読み取れる。



(3) : 図3のグラフは縦軸を(割合)、横軸を天体の半径(kpc)としたものである(点線)。その結果、天体の半径が大きくなるほど、光学的質量÷力学的質量の割合が小さくなることが分かった。

この考えを進めていくと、半径の大きさを宇宙全体の大きさとして代入すると、宇宙全体の光学的質量÷力学的質量の値、言い換えると、宇宙全体の 元素÷(元素+ダークマター) = 約15% (※1) が求まるはずである。しかし、仮に138億年という値を代入すると、その値は0.009%となった。このことから、私たちは光学的質量を実際より小さい値で求めてしまったと考え、その原因は可視光の領域では捉えることの出来ない天体内にあるガスや塵だと予想した。つまり、本来このグラフは点線ではなく曲線のようになり、半径の大きさを極限まで宇宙全体の大きさに近づけていけば、正確な宇宙全体の元素÷(元素+ダークマター)の値が出ると思った。

(4) : 今回の研究では、宇宙の終わりを推測するのに十分な考察は得られなかったが、観測的実証によってダークマターの性質について理解を深めることが出来た。

6. 今後の展望

私たちは今回の研究で撮像観測を行ったが、可視光では観測できないガスや塵の質量を含めることができなかったため、光学的質量の正確な値を求めることが出来なかった。そのため、今後の展望として、X線などのガスや塵を捉えることができる波長での観測を行い、より精密なデータに基づいて、考察することが挙げられる。

また、ダークマターの質量の推定について新たなアプローチ方法を検討することで、これからも見えない宇宙の謎へ迫っていきたいと考えている。

謝辞

今回の研究にあたり、「もしも君が天文学者杜の都で天文学者になったら・・・。」で、板由房先生をはじめとする東北大学の教員の皆様並びにTAの皆様、そして仙台市天文台の皆様方には多大なご協力をいただきました。本当にありがとうございました。

参考文献

※1 天文衛星「プランク」の観測データを参考 www.astroarts.co.jp/news/2013/03/22planck/index-j.shtml

※2 基準星

Abell426 : HD275052 HCG92 : TYC2743-898-1

M81 : HD85458 M82 : BD+70586 10.12

※3 ※5の論文 HCG92 に関してのみ NED のデータベースより引用 <https://ned.ipac.caltech.edu/>

※4 佐々木 伸 東京都立大学大学院理学研究科 2002年7月31日

「高校生のための現代物理講座銀河団で見る宇宙論」 www.phys.se.tmu.ac.jp/event/openclass/pdf/uchuu.pdf

※5 Abell426 KENT, STEPHEN M ; SARGENT, W.L.W. "THE DYNAMICS RICH CLUSTERS OF GALAXIES. II. THE PERSEUS CLUSTER" Publications

of the Astronomical Journal vol. 88, June 1983, p. 697-708 (1983):

HCG92 KENT, STEPHEN M. "DISTANCES TO THE GALAXIES STEPHAN'S QUINTETT". Publications of the Astronomical Society of the

Pacific 93.555 (1981): 554-557.

M82 Johnny P. Greco, Paul Martini, and Todd A. Thompson "MEASUREMENT OF THE MASS AND STELLAR POPULATION DISTRIBUTION IN M82 WITH THE LBT"

Published 2012 August 31 • The Astrophysical Journal, Volume 757, Number 1

M81 Bochum, Ruhr-Universität, Bochum, "A Two Component Mass Model for M81 (NGC3031)" Germany Astronomy and Astrophysics (Impact

Factor: 4.38). 06/1980: 87:175-182.