

宇宙膨張と重力による収縮の境界を密度から探る ～宇宙膨張VS重力～

チーム名：もし天2020 (OaO)

メンバー：管野 瑠海 (カンノ ルミ)

木村 萌恵 (キムラ モエ)

篠田 賢佑 (シノダ ケンスケ)

橋沼 宗慶 (ハシヌマ ソウケイ)

0. 研究概要

～研究背景～

宇宙空間は膨張しているため、銀河団同士の距離は離れると考えていたが、銀河団同士は衝突することがあると知り、疑問に思った。そこで私たちは、ある2つの銀河団に対して、銀河団の重力の効果が勝って衝突する場合と、宇宙膨張の効果が勝って衝突しない場合を分ける、境界の距離が存在すると考えた。

～本研究の内容～

1. 銀河団A347を観測し、この銀河団の平均密度を求めた。
2. 宇宙膨張の効果をハッブル則を用いて運動エネルギーで表し、銀河団の重力の効果を1で求めた平均密度を用いて万有引力エネルギーで表した。
3. 両者を比較し、銀河団の重力の効果よりも宇宙膨張による効果が上回る境界の距離を求めた。

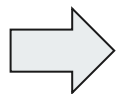
～結論～

銀河団の中心より570Mpcの距離で、銀河団の重力の効果よりも宇宙膨張の効果が上回る境界が現れた。銀河団同士の規模では重力の効果が勝り、宇宙膨張の効果が現れるのは超銀河団以上の規模である。

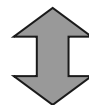
1. 私たちの疑問と研究内容

宇宙空間は**膨張**している

確かな事象

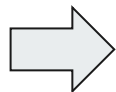


銀河団間の距離は**離れる**



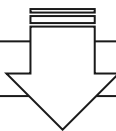
両立している
ことに疑問

銀河団同士は**衝突**することがある



銀河団間の距離が**近づいている**

重力によって引き合う



仮説：ある銀河団間で**ある距離**を境に **離れる** or **近づく** が変わるのでは？

研究内容：宇宙**膨張の効果**が**重力の効果**を上回る**距離**はどのくらい？

2. 観測方法

観測天体：ペルセウス座うお座超銀河団の銀河団A426・A347

観測機器：仙台市天文台 ひとみ望遠鏡 (口径1.3m反射望遠鏡 経度：140.755 緯度：38.255 高度：162.7m)

観測日時：12/21 18時半~21時 12/24 18時~19時半

フィルタ：なし (=ルミナス)

積分時間：60秒

A347からA426まで画角を0.5度ずつずらしながら20枚連続撮影

A426に到達後、直線上反対方向を20枚撮影

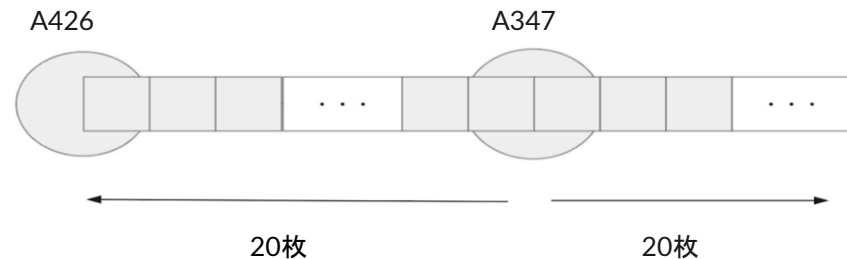
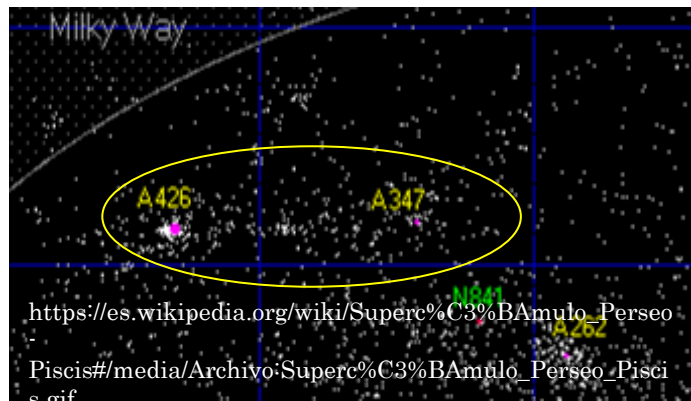


図1.

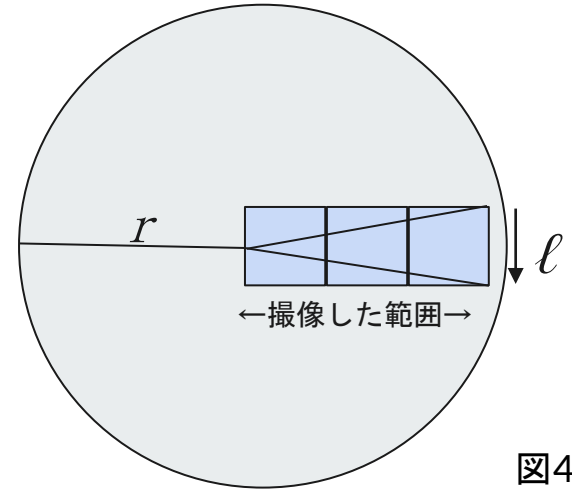
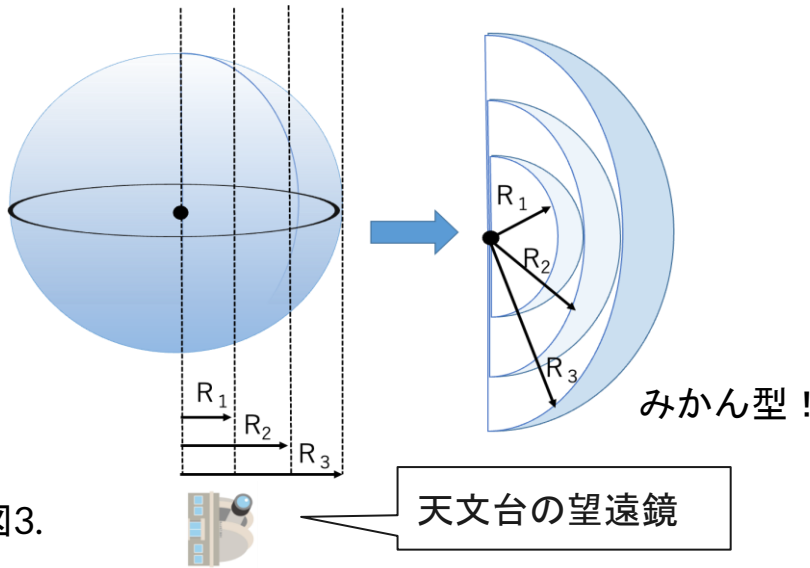
図2.

3. 解析方法

1. 銀河団内の、観測した範囲の銀河の平均個数を画像処理ソフト「マカリ」を用いて目視で数えた
2. 銀河団の平均密度を求めた
3. 膨張による運動エネルギーと、重力による万有引力のエネルギーを用いて方程式を立て、2つの効果が一致する密度(=臨界密度)を求めた
4. 2.で求めた平均密度が、3.で求めた臨界密度を下回る位置の銀河団の中心からの距離(=境界線)を求めた

4.解析方法 詳細①：銀河の個数の数え方

左図を平面的に（下から）見た図



半径 R_1 の領域で観測された銀河は半径 R_1 のみかん型の体積に含まれているとする
半径 R_2 の領域で観測された銀河は半径 R_2 のみかん型の体積に含まれているとする
このように任意の半径における球内の銀河の密度が分かる

6.解析方法 詳細③：計算方法

1. 運動エネルギーの式の v にハッブル則 $v=Hr$ (H :ハッブル定数)を代入した。
また、万有引力によるエネルギーの式を平均密度を用いて表した(式1、式2)
1. 平均密度(ρ)を代入し、膨張による運動エネルギーのほうが大きくなる銀河団の中心からの距離を求めた

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{GM}{r}m$$

力学的エネルギー保存の法則

$$\frac{1}{2}mv^2 \geq G\frac{Mm}{r}$$

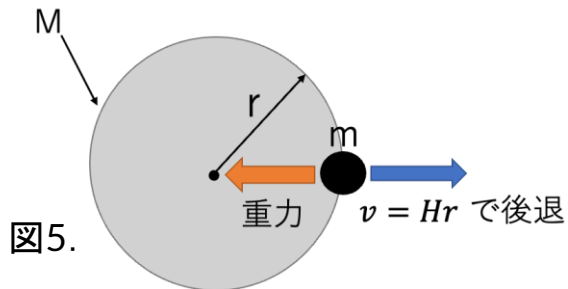
式1

$$M = \frac{4\pi r^3}{3}\rho$$

式2

$$\rho < \frac{3H^2}{8\pi G}$$

宇宙の臨界密度



M : 銀河団の中心から半径 r の球体とみなした集団の質量
(ダークマター、銀河間ガスを考慮したもの)

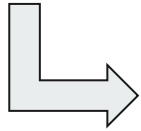
m : 銀河団の中心から半径 r の位置にある銀河の質量

V : 銀河団の中心から半径 r の位置にある銀河のハッブル則により導かれる速さ

G : 万有引力定数

5.解析方法 詳細②：銀河団の平均密度

ここで言う「銀河団の平均密度」とは？



銀河団の中心から、撮像した部分までを半径とする球の総質量/体積のこと（前のページの図3参考）

- (1) **ダークマターなしモデル**：1つの銀河の質量 × その球に含まれる銀河の個数
- (2) **ダークマターありモデル**：1つの銀河の質量 × その球に含まれる銀河の個数 × (1+9)

（銀河団内のダークマターの質量を銀河の総質量の9倍だと仮定）

※ 「1つの銀河の質量」とは、標準的な大きさである天の川銀河の質量（ダークマターを含む）と仮定した

7.結果と考察

ダークマターの質量を銀河の質量の9倍と仮定した場合(図6)とダークマターの質量を考慮しなかった場合(図7)において、観測値を近似した曲線と臨界密度の直線の交点の座標を求めた。

ダークマターの質量を考慮した場合は570Mpc(観測範囲の約48倍)
 ダークマターの質量を考慮しなかった場合は76.9Mpc(観測範囲の約6.5倍)

ダークマターの質量を銀河の銀河の質量の9倍と仮定

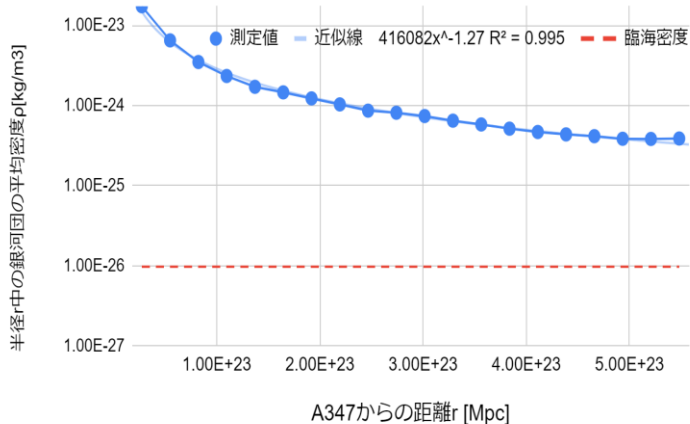


図6.

ダークマター考慮無し

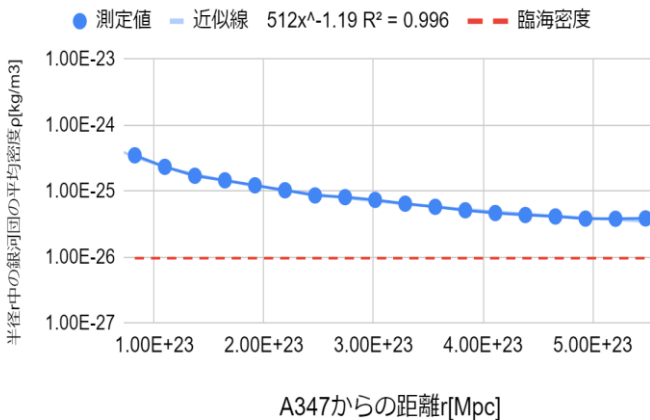


図7.

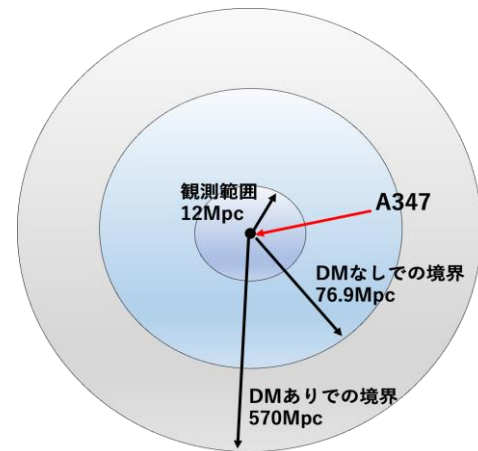


図8.

8.誤差を補正するとどう変わる？

銀河の個数、各銀河の質量、ダークマターの質量について近似を行ったため実際の数値との誤差が生じている可能性がある。
それぞれの値が仮定よりも大きかった場合には境界は近くなり、
仮定よりも小さかった場合には境界は遠くなる。

表1

| | | |
|-----------|---------------|---------------|
| 銀河の個数 | もし「仮定 < 実際」なら | もし「仮定 > 実際」なら |
| 各銀河の質量 | | |
| ダークマターの質量 | | |
| その結果、境界は | 遠くなる | 近くなる |

9.結論

観測結果より、銀河団の中心から570Mpcの距離で境界が現れると考えられる。一方で、ペルセウス座・うお座超銀河団の大きさは30.66Mpcであるため、**観測領域内では宇宙膨張より重力の影響の方が大きく、収縮する**と言える。

つまり、今回の観測した銀河団の大きさが一般的なものであるならば、銀河団同士の規模でも宇宙膨張よりも重力の効果の方が大きく、**宇宙膨張による効果が現れてくるのは超銀河団以上の規模**であるという結論が導ける。

10.謝辞

本研究では、「もしも君が杜の都で天文学者になったら」
の関係者の皆様にご協力をいただきました。
この場を借りて、御礼申し上げます。