

銀河形成におけるサブハロー問題

第 41 回天文・天体物理若手夏の学校 in 愛知県蒲郡市

東北大学大学院理学研究科天文学専攻 修士 1 年

小室 佑介

8/1(月)~8/4(木)

1 Abstract

宇宙における構造形成は様々な観測結果から **CDM**(Cold Dark Matter) モデルに従うとされている。**CDM** モデルとは質量の小さいスケールの天体が先に形成されて、それらが集積していった大きなスケールの天体が形成されるという描像である。この描像に従っていくと質量の軽いダークハローが先に形成されて、それらが重力的に集積していった質量の大きなダークハローが形成される。ダークハローとはダークマターの密度揺らぎが重力崩壊して形成された天体である。



図 1 : CDM モデルに基づき形成された現在の大規模構造



図 2 : CDM モデルに基づき形成されたダークマターハロー

図 1 はダークマター粒子の N 体シミュレーションにより形成された大規模構造で、図 2 はそのシミュレーションにより形成されたダークマターハロー。これらの描像において理論と観測の結果に矛盾がないとされている

結果の一つに図3のパワースペクトラムがある。

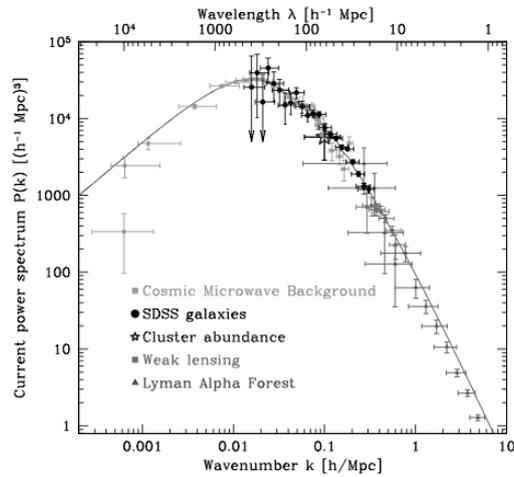


図3：パワースペクトラム

図3は様々なスケールに「どれほどの密度揺らぎが平均的に存在するか」を表していてプロットは観測量、実線は理論曲線を表している。これを見る限りでは大きなスケールでは **CDM** モデルは矛盾が無いように思える。では小さなスケール、特に天の川銀河サイズのハローや局所銀河群のような $1h^{-1}$ [Mpc] 以下のスケールで **CDM** モデルは矛盾はないのだろうか？

2 Missing Satellite Problem

CDM モデルに従うと、天の川銀河の周囲に合体できずに生き残った小さなハロー（サブハロー）が存在する。そして、そのサブハローで星形成が起これば **衛星銀河** となる。

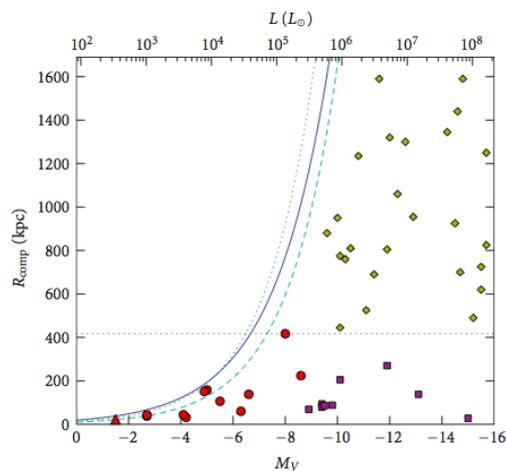


図4：天の川銀河や局所銀河群に付随する衛星銀河の個数

図4の赤色の●はSDSSにより観測された天の川銀河に付随する衛星銀河、紫色の■はSDSS以前から観測されていた天の川銀河に付随する衛星銀河、緑色の◆は局所銀河群に付随する衛星銀河を表す。また、

$R_{\text{comp}} = 417[\text{kpc}]$ までが天の川銀河に付随する衛星銀河としているが、これは最大回転速度の式

$$V_{\text{max}} = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (2.1)$$

により定められる量で、天の川銀河のダークハローに束縛されて運動するテスト粒子が描く軌道を考えた時の半径に相当する。この事を用いて天の川銀河に付随する衛星銀河の数を数え上げたのが図4である。図4の結果とシミュレーションの結果を比較したのが図5である。

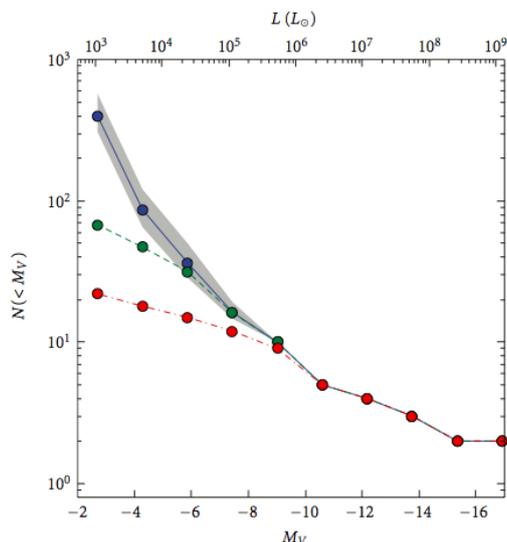


図5：シミュレーションの結果と観測結果の比較

赤色の●はSDSS以前から観測されていた衛星銀河、緑色の●はSDSSにより観測された衛星銀河、青色の●はシミュレーションの結果である。図5は天の川銀河から417[kpc]以内の衛星銀河の累積個数を表したもので、この図5を見る限り観測による衛星銀河の数とシミュレーションによる数との間に大きな開きがある。これを **Missing Satellite Problem** という。

3 Approach

Missing Satellite Problem を解決するためにはどのようなアプローチの仕方があるのか？。シミュレーション側から解決の糸口を探す方法としては、ガス粒子とダークマター粒子のシミュレーションで「**形成される衛星銀河の数を抑制できる**」ような物理過程を組み込む方法がある。主なものとしては

1. 水素が再電離して、それ以降銀河間物質の温度が高く保たれてそれ以下の温度（質量）の衛星銀河の形成が抑制される
2. 星形成が起こり、その星々が超新星爆発を起こしガスにエネルギーが流入しダークマターハローから流出して小さいサブハローでは超新星爆発の影響が大きくなる

などがある。これらの過程をガス+ダークマターのN体シミュレーションに組み込んだ結果が図6と図7である

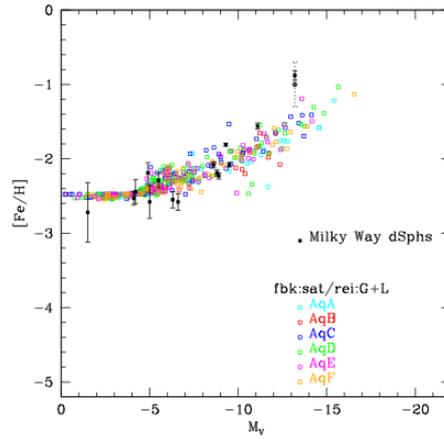


図6：金属量と明るさの関係

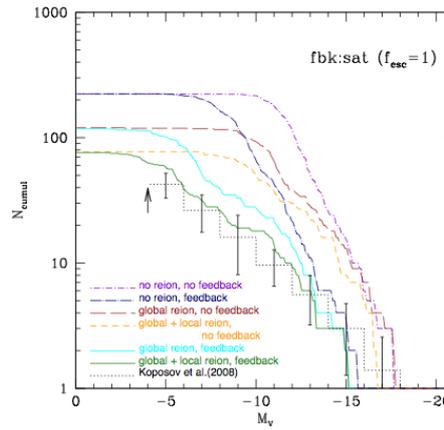


図7：累積個数と明るさの関係

4 Conclusion

図6を見る限りシミュレーションにより形成された衛星銀河の金属量と明るさの関係は観測量と一致している。また、暗くなるにつれて $[Fe/H]$ の値がある値に漸近しているのは超新星爆発のエネルギーフィードバックにより、それ以上星形成が行われていない事を反映していると考えられる。図7は再電離の影響と超新星爆発の影響により星形成を抑制する過程を組み込んだ緑色の実線が一番観測に近い累積個数を再現できている。