

銀河団における矮小銀河問題

加瀬啓之、牧野淳一郎

(東京大学・天文学専攻)

船渡陽子

(東京大学・広域システム科学系)

銀河団における矮小銀河問題 - p. 1/19

概要

銀河形成論の主要テーマの一つである「矮小銀河問題」と呼ばれる問題に対し、その何が問題を明らかにするため、

- シミュレーションの信頼性を評価し、
- これまでの議論への影響を調べた。

その結果、

- 銀河団スケールでも同様の問題が存在し得る。
- という結果を得た。

銀河団における矮小銀河問題 - p. 2/19

目次

- はじめに...矮小銀河問題
- 数値計算
- 結果
- まとめ

宇宙の構造形成

宇宙の構造形成の標準理論

Cold Dark Matter シナリオ (White & Rees 1978)

- ダークマターハローのポテンシャルの底で銀河や銀河団が形成される。
- ダークマターハローは衝突合体で成長する。

宇宙論的 N 体計算によって、大規模構造は観測を良く再現する結果が得られている。

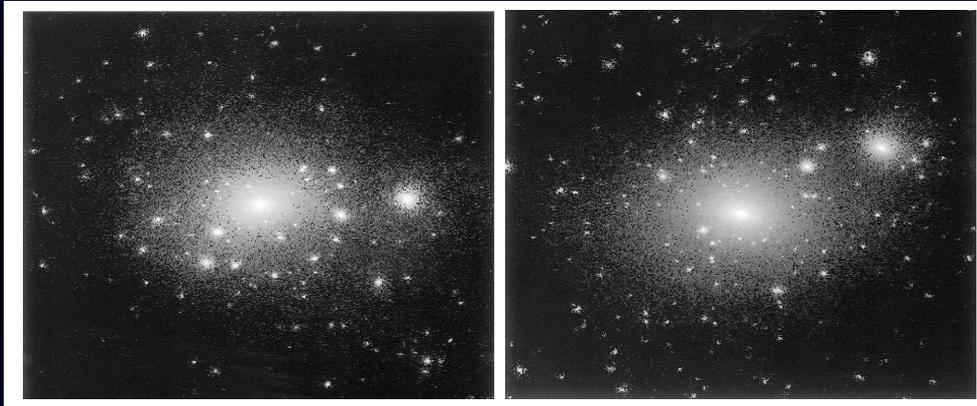
(Davis et al. 1985)



個々のハローの内部構造に関する議論へ

サブハローの形成: 銀河と銀河団

一つのハローの粒子数を増やす
 → 多数の細かい密度ピーク = サブハロー

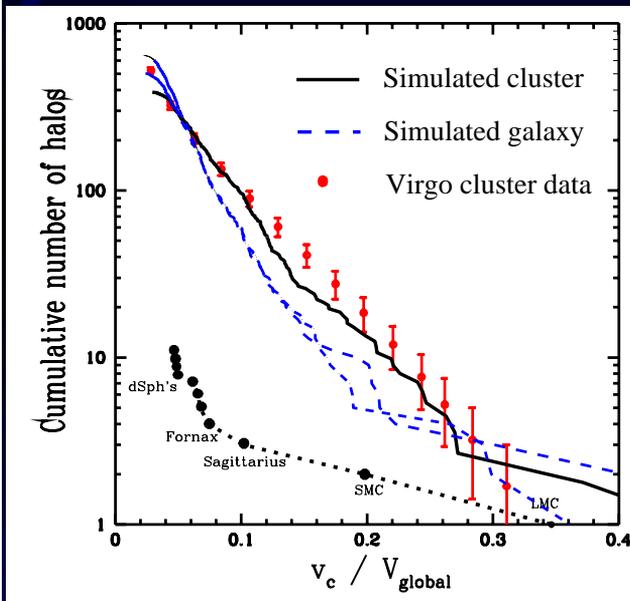


(Moore et al. 1999)

銀河団ハロー（左）と銀河ハロー（右）は相似的な構造
 サブハローは矮小銀河や銀河に対応？

矮小銀河問題

構造形成シミュレーションから得られるサブハローの個数は
 銀河スケールで観測数の10倍以上 (Moore et al. 1999)



横軸：回転速度

$(V(r) = \sqrt{GM(<r)}/r)$ の
 最大値

縦軸：累積個数

実線：銀河団

点線：銀河

のサブハロー

：銀河団の銀河

：銀河系の衛星銀河

提案されている解決案

DMの小さいスケールの性質がわずかに異なる
→ 小さい構造ができない、又は壊れやすいモデル

- Self Interacting DM etc...

銀河として見えないサブハローがある

→ どのサブハローが見えているか

- 現在時刻で最も大きいいくつかの星は極中心部だけ存在 (Stoher et al.2001)
- 全質量領域の特定の一部星形成が起こるに十分な質量 ⇒ 潮汐で小さく (Kravtsov et al.2004)

その他...

銀河団における矮小銀河問題 - p. 7/19

研究の目的及び手法

- 構成粒子数:数十体
⇒ 2体緩和等で個数や V_c 自体が変わる。
⇔ 個数分布自体が信頼できない。



- 個数分布の信頼性を評価し、真の分布を得る。
⇒ より粒子数の大きい計算を行い、
低分解能の結果との比較から
実際の分布を推定する。

銀河団における矮小銀河問題 - p. 8/19

数値計算

- 宇宙モデル...SCDM (Moore et al.1999 と同じ)
- re-simulation 法 (Navarro et al.1996)
 - 粗い計算 → 特定の領域を高分解能化
 - 初期条件は GRAFIC2(Bertschinger 2001) で生成
 - 銀河 × 1、銀河団 × 2、それぞれ 3 段階の分解能
- GRAPE6-A 搭載 PC(4 並列)、Barnes-Hut 型ツリー法
- 検出...階層化 Friends of Friends 法 (Klypin et al.1999)
 - 粒子数 10 体以上を検出する
 - 重力的に束縛した系のみ (Pfitzer et al.1997)

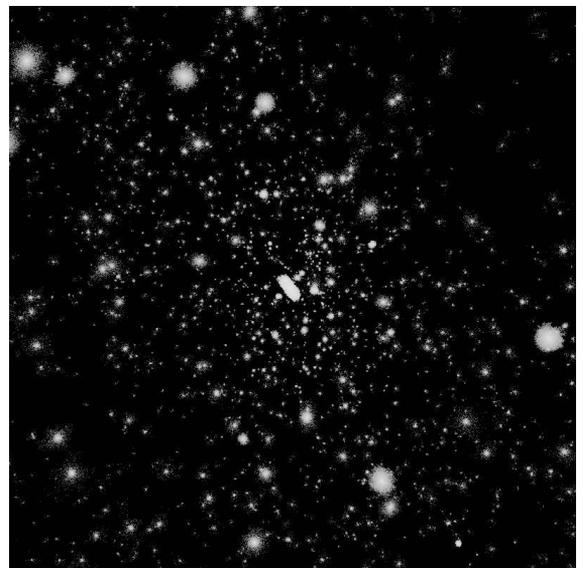
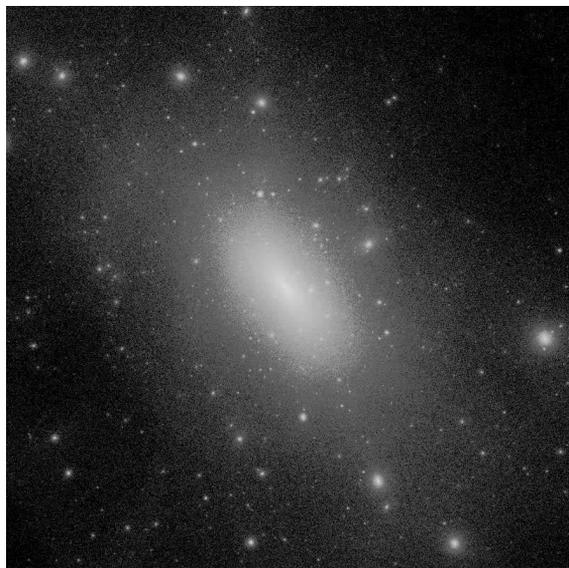
銀河団における矮小銀河問題 - p. 9/19

銀河ハローとサブハロー

半径 330kpc, 質量 $2.1 \times 10^{12} M_{\odot}$, サブハロー 1346 個

左：密度分布,

右：検出したサブハロー



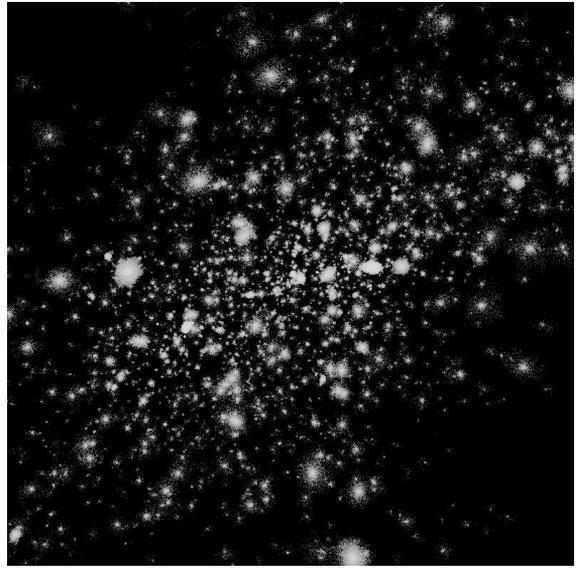
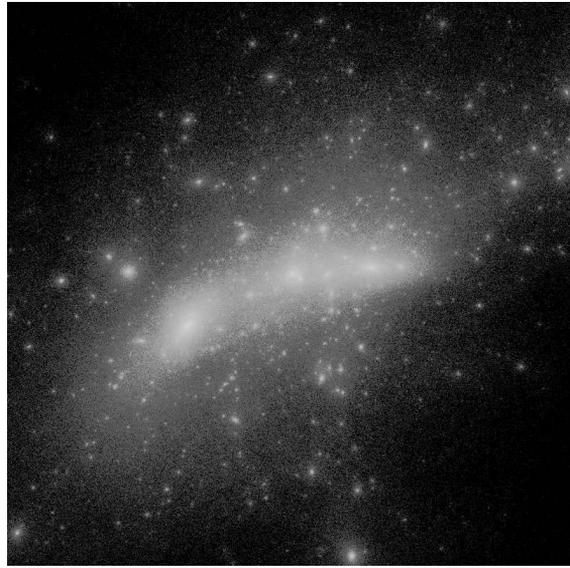
銀河団における矮小銀河問題 - p. 10/19

銀河団ハロー1とサブハロー

半径 3.0Mpc, 質量 $1.6 \times 10^{15} M_{\odot}$, サブハロー 2019 個

左：密度分布,

右：検出したサブハロー



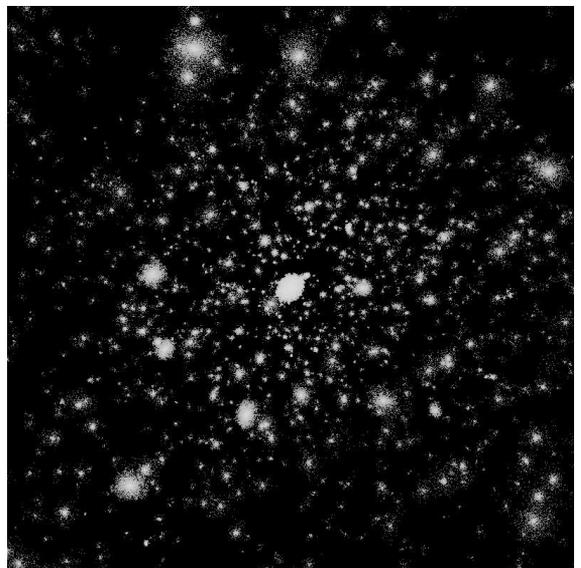
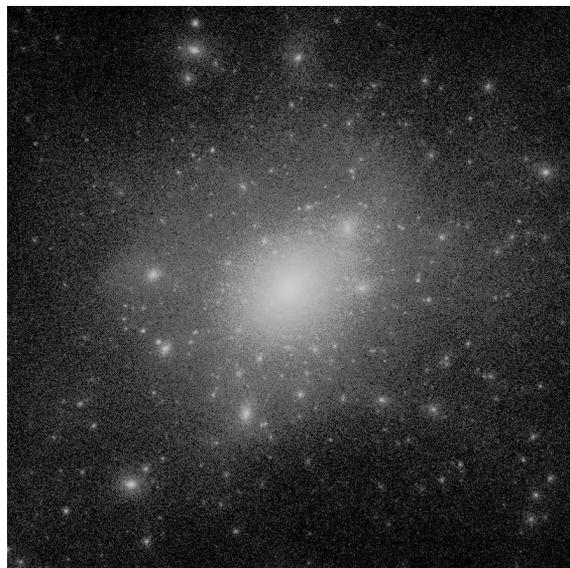
銀河団における矮小銀河問題 - p. 11/19

銀河団ハロー2とサブハロー

半径 2.4Mpc, 質量 $8.2 \times 10^{14} M_{\odot}$, サブハロー 1010 個

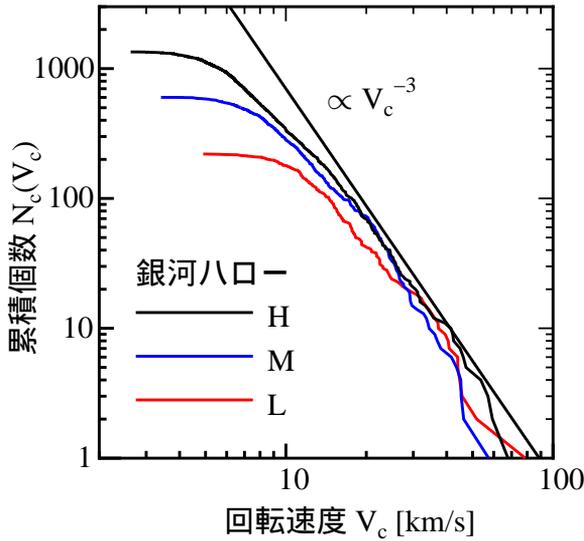
左：密度分布,

右：検出したサブハロー



銀河団における矮小銀河問題 - p. 12/19

銀河ハロー: V_c に対する累積個数

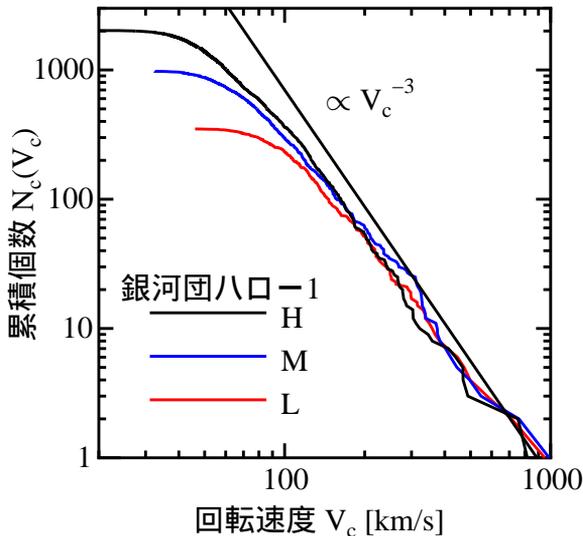


質量分解能

H	$5.1 \times 10^5 M_\odot$
M	$1.2 \times 10^6 M_\odot$
L	$4.1 \times 10^6 M_\odot$

- 分解能の上昇
 $\Rightarrow N_c \propto V_c^{-3}$ に漸近

銀河団ハロー: V_c に対する累積個数



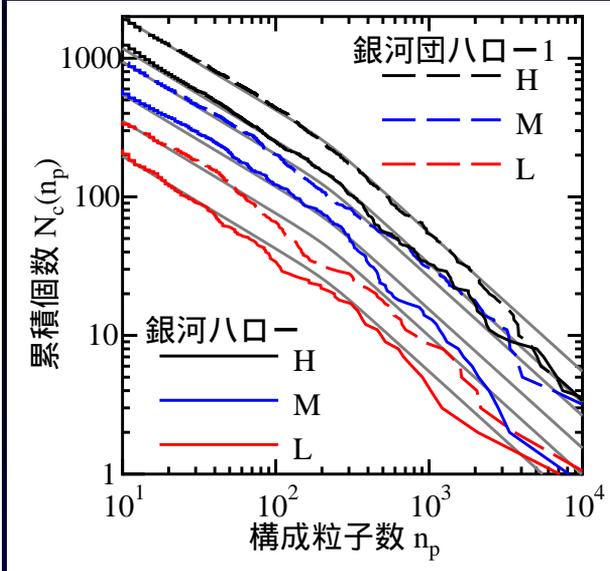
質量分解能

H	$5.1 \times 10^8 M_\odot$
M	$1.2 \times 10^8 M_\odot$
L	$4.1 \times 10^9 M_\odot$

- 銀河ハローと同様の傾向

構成粒子数 n_p に対する累積個数

銀河ハローと銀河団ハローの結果をまとめてプロット



適当な関数でフィット

$$N_c(n_p) \propto \frac{1}{\left(\frac{n_p}{n_0}\right)^{\frac{2}{3}} \left(1 + \left(\frac{n_p}{n_0}\right)^5\right)^{\frac{1}{15}}}$$

- 粒子数に対する依存性が同じ
 $n_0 = 220$
- 物理スケールは全て異なる

銀河団における矮小銀河問題 - p. 15/19

個数分布と分解能

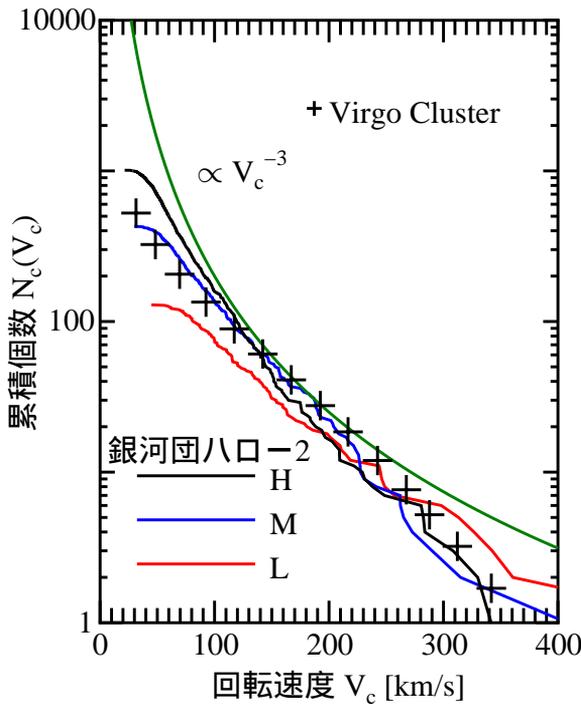
- V_c^{-3} に漸近 \Leftrightarrow 小質量側でずれ
- 粒子数に対する傾向が異なるスケールと解像度で全て一致
 \Rightarrow 個数が減る理由は数値的



これまでの議論は正しいか

銀河団における矮小銀河問題 - p. 16/19

観測との比較



Moore et al. 1999 での
おとめ座銀河団と比較

- 中解像度と良く合う
- 銀河団での「一致」は偶然

銀河団における矮小銀河問題 - p. 17/19

まとめ

サブハローの個数分布への分解能の影響を見た。

- 粒子数 100 体未満のサブハローは数値的な効果で減少
 - M99 での銀河団での一致は偶然
 - 銀河団でも $10^{11}M_\odot$ 辺りから観測より多い
 - サブハローの質量は潮汐によって 90% 以上減少することがある (Kravtsov et al. 2004 他)
- ⇒ 銀河のできない銀河ハローの存在？

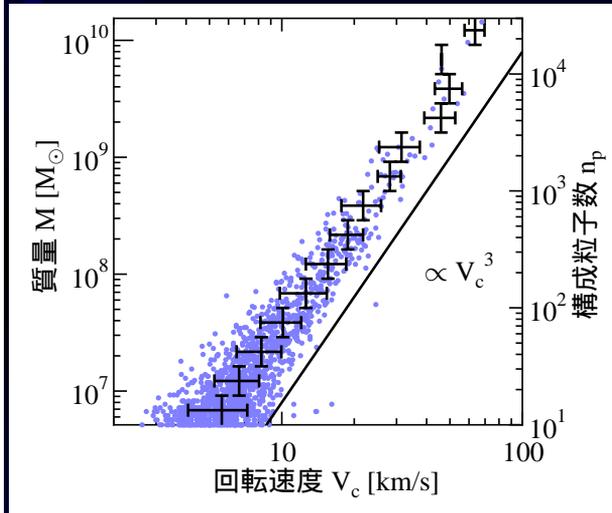


「矮小銀河問題」は
より深刻な問題

銀河団における矮小銀河問題 - p. 18/19

回転速度 V_c に対する質量 M

銀河ハロー内のサブハロー



- およそ $M \propto V_c^3$
- 分散が大きい
- 分散は物理的