

銀河団の質量評価について

滝沢元和¹、薙野綾²、松下恭子²

¹山形大学、²東京理科大学

(Abstract)

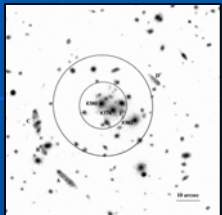
質量は系の基本的なパラメーターのひとつであり、自己重力天体の性質・進化をさぐるうえで得に重要なことは論を待たない。また、銀河団のような大きなスケールの天体での質量分布はダークマターの性質や宇宙のバリオン量とも関係があり、特に興味深い。

ところで、銀河団の質量分布を観測的に決定するにはいくつかの方法(構成銀河の速度分散を用いる方法、X線観測からガスに対して静水圧平衡を用いる方法、強弱の重力レンズ効果など)があるが、それらの間では必ずしもコンシステントな結果が得られているとは言いがたいのが現状である。これはそれぞれの質量決定の際に用いる仮定が、現実の銀河団では多かれ少なかれ破れており、しかもその効果が系の幾何学や力学状態にたいして異なった依存性を示すためと考えられる。

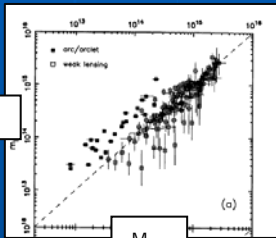
我々は上記の効果を定量的に見積もるため、衝突銀河団のシミュレーションデータに対して観測的な質量評価を行い、本当の質量分布との比較を行った。

Introduction

- いくつかの銀河団では重力レンズから求めた質量とX線観測から求めた質量に2-3倍の食い違いが報告されている(CL 0024+17 など)。
- 統計的に見てもsystematicなずれや分散がけっこうある(Wu et al. 1998など)



CL 0024+17 可視光イメージ (Ota et al. 2004より)



M_{lens}

M_X

質量決定のさいにはいくつかの仮定が必要:

M_X (静水圧平衡、球対称etc)、 M_{lens} (軸対称etc)、 M_{virial} (力学平衡、速度分散etc)

- それらの仮定は衝突中や衝突後数Gyrの銀河団では多かれ少なかれ破れている。
- いつ、どの方向から、どの方法を使うと、どのくらい過大(小)評価になるか?
- それらは観測的に「衝突銀河団」として認識されるか?

Simulation Data (N体+流体)

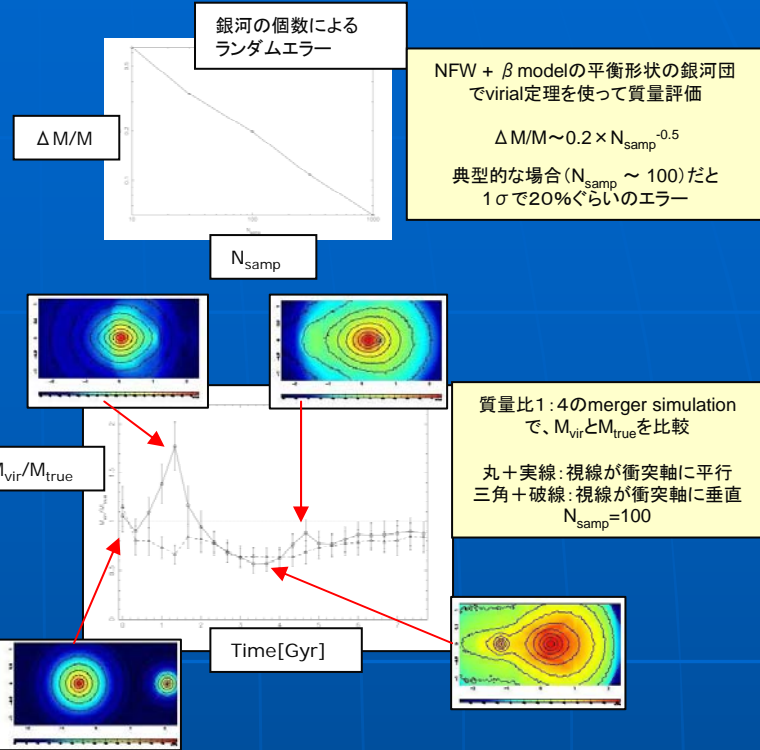
- N体: Particle Mesh (PM) 法
- 流体: Roe TVD法 (空間、時間二次精度)
- 自己重力: FFT with isolated boundary conditions
- Simulation Box
 - 18Mpc × 9Mpc × 9Mpc (256 × 128 × 128)
 - 粒子数 N = 256 × 128 × 128 (約400万)
- VPP5000@国立天文台

Virial定理を使った質量評価

- シミュレーション中の銀河団をある方向から「観測」
- N体粒子のうち N_{samp} をランダムに選び出し、それを「視線速度の観測された銀河」とみなし、virial 定理を使って質量を評価。
- 上の作業を100回行って、 M_{VT} の平均、分散を求め、「本当の質量」と比較。

$$M_{VT} = \frac{3\pi}{G} \sigma_{los}^2 \left\langle \frac{1}{r} \right\rangle^{-1}$$

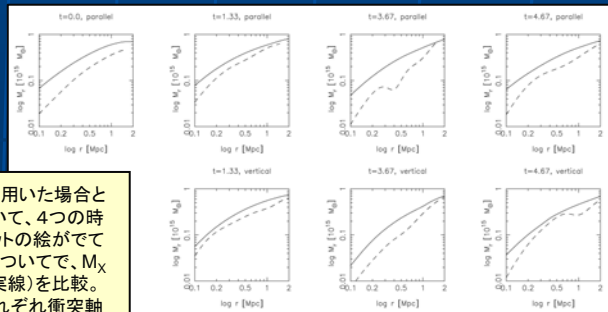
$$\left\langle \frac{1}{r} \right\rangle^{-1} = N_p \left(\sum_{i>j} \frac{1}{r_{ij}} \right)$$



X線観測データを使った質量評価

- シミュレーション中の銀河団をある方向から「観測」したとしてX線表面輝度mapおよび温度mapを作成
- X線分布をdeprojectionして密度分布を作成
- 密度および温度分布を β モデル(またはダブル β モデル)でfit。
- 静水圧平衡を仮定して質量プロファイルを計算

$$M_r = - \frac{k_B T_g r}{G \mu m_p} \left(\frac{d \ln \rho_g}{d \ln r} + \frac{d \ln T_g}{d \ln r} \right)$$



上のvirial 定理を用いた場合と同じモデルについて、4つの時刻(スナップショットの絵がでていのに)について、 M_X (破線)と M_{true} (実線)を比較。上段、下段はそれぞれ衝突軸と視線が平行および垂直な場合に対応。

Summary

- 銀河団のN体+流体シミュレーションデータに対して、観測的な質量評価をおこない、本当の質量との比較を行った。
- virial定理を用いた場合、銀河の個数が有限なことに起因するランダムエラーが生じる。典型的な場合 ($N=100$) で1 σ で20%程度である。
- 質量比1:4の衝突中銀河団の場合、virial定理を用いると見る方向によっては最大で2倍程度過大評価になる。しかし、全体的には10-30%程度過小評価になる時間が多い。
- 上と同じ銀河団をX線観測データから求めた質量は今回調べた範囲ではほぼ過小評価である。