

銀河団の質量決定について

滝沢元和¹、薙野綾²、松下恭子²

¹山形大、²東京理科大

日本天文学会春季年会

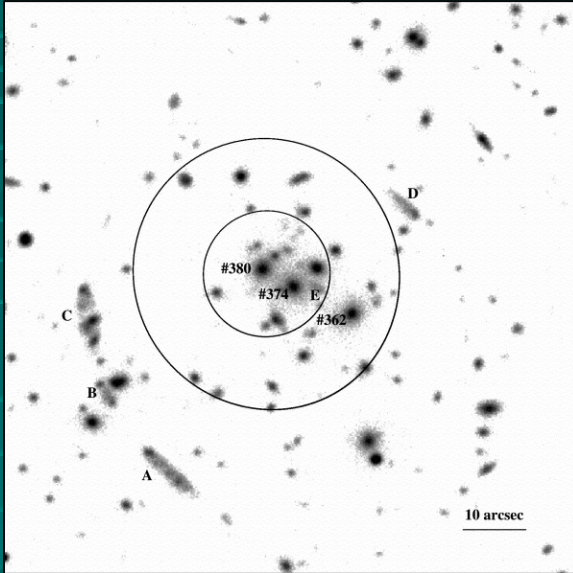
@国立オリンピック記念青少年総合センター

(2008. 3. 24)

Introduction

- 質量は系の最も基本的なパラメーターのひとつ。自己重力系では特に大事。
- 銀河団などの大スケールでの質量分布
 - ダークマターの性質
 - 宇宙のバリオン量への示唆
- 観測的に質量を決める場合、複数の方法によるクロスチェックが重要
 - 銀河の視線速度分散 + Virial定理 or Jeans 方程式
 - X線観測 (温度、密度分布) + 静水圧平衡
 - 強弱の重力レンズ

Introduction (2)



ところが、手法によって得られる質量が異なる場合がある。

重力レンズ銀河団CL 0024+17 (Ota et al. 2004より)

～200Kpc以内の質量に有意な食い違い。

• $M_X = 0.84^{+0.20}_{-0.13} \times 10^{14} h_{50}^{-1}$ solar mass (Ota et al. 2004)

• $M_{\text{lens}} = 3.117^{+0.004}_{-0.004} \times 10^{14} h_{50}^{-1}$ solar mass (Tyson et al. 1997)

• $M_{\text{lens}} = 2.22^{+0.06}_{-0.06} \times 10^{14} h_{50}^{-1}$ solar mass (Broadhurst et al. 2000)

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、速度分散の等方性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」として認識されうるか?

● N体+流体のシミュレーションデータを用いて、「質量評価のシミュレーション」をおこない、本当の質量と比べてみる。

質量評価: Virial定理を使った場合

- 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。

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

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

r_{ij} : 天球面上に投影された距離
 σ_{los} : 視線方向の速度分散

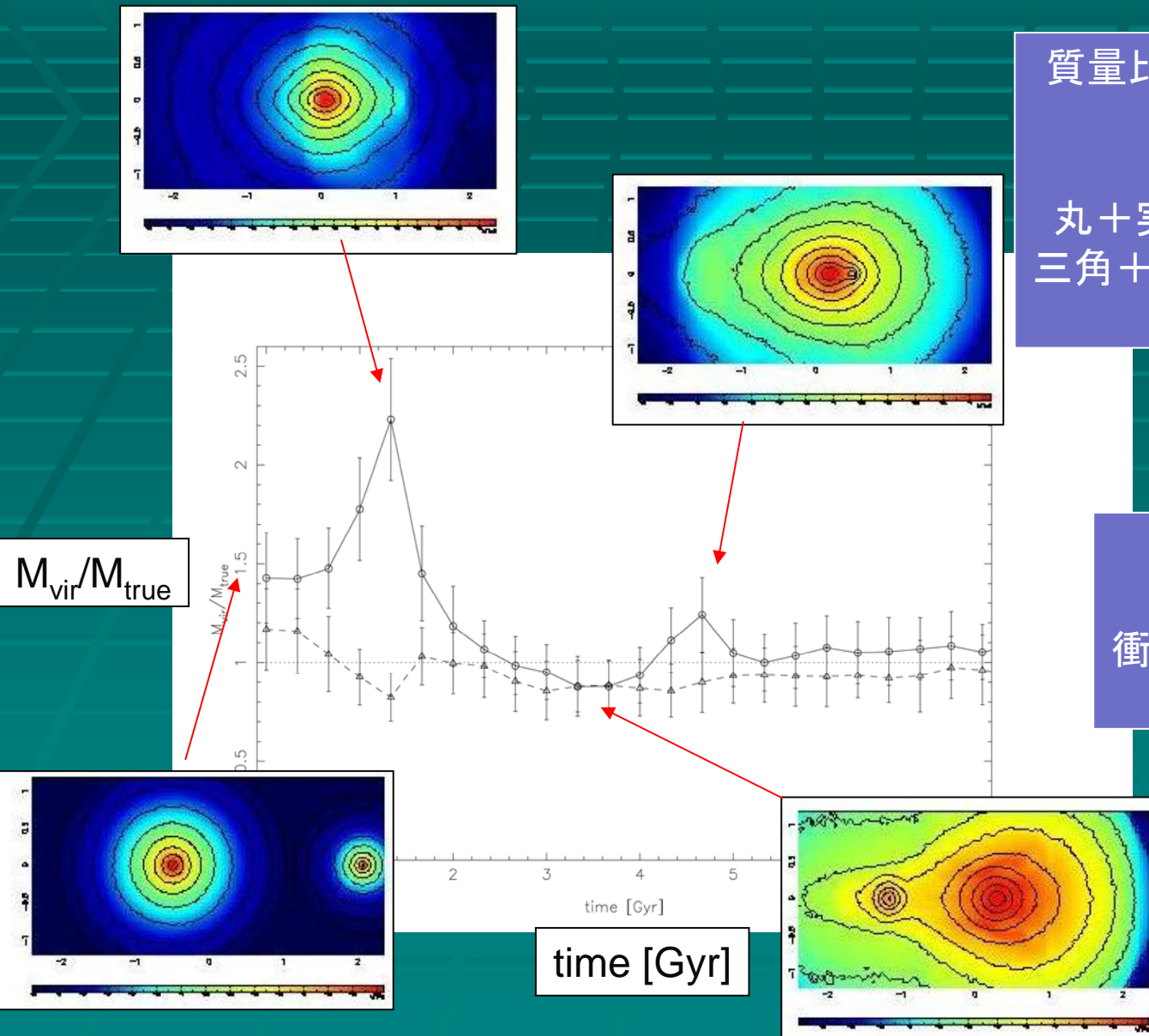
- 上の作業を100回行って、 M_{VT} の平均、分散を求め、「本当の質量」と比較。

Virial定理を用いた場合：結果

質量比1:4のmerger simulation
で、 M_{vir} と M_{true} を比較

丸+実線：視線が衝突軸に平行
三角+破線：視線が衝突軸に垂直
 $N_{\text{samp}}=100$

衝突軸方向から観測
→ 過大評価傾向
衝突軸に垂直方向から観測
→ やや過小評価傾向



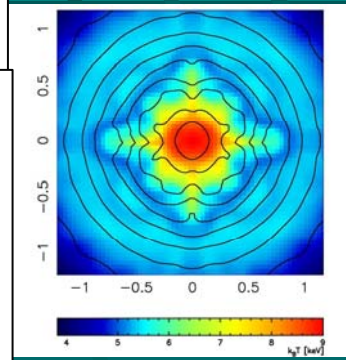
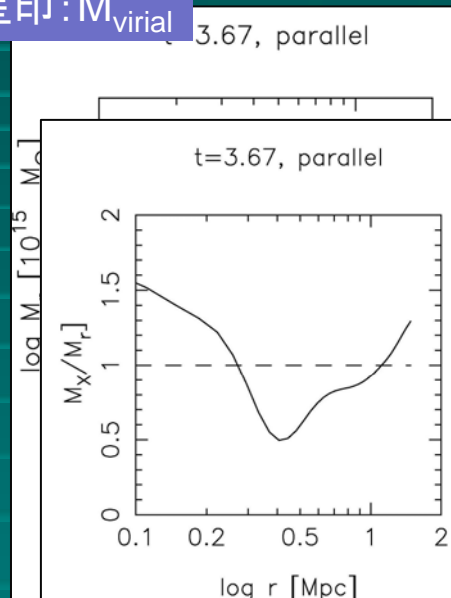
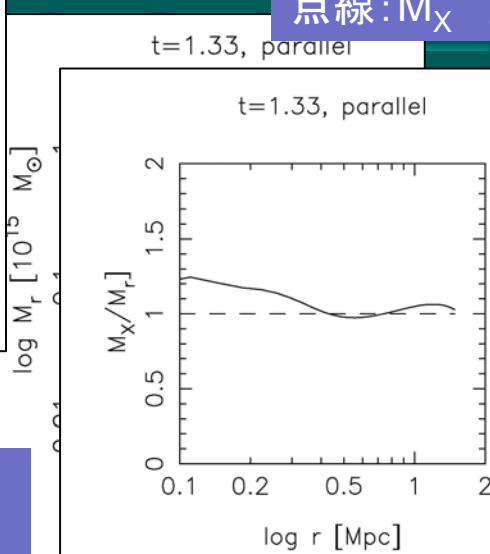
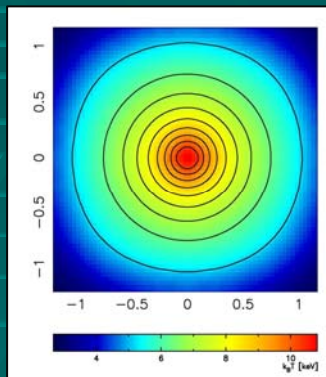
X線観測データを使った質量評価

- 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線分布の重心を中心とした、X線表面輝度プロファイル $I_x(R)$ 、温度プロファイル $T(R)$ を作成。
- $I_x(R)$ をdeprojectionして密度プロファイル $\rho(r)$ を作成
- 密度および温度プロファイルを 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

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

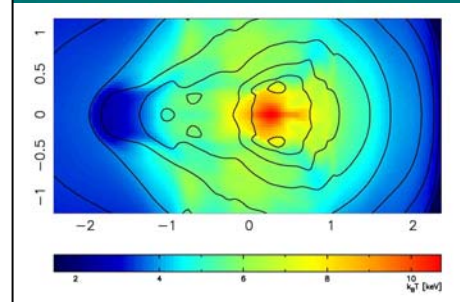
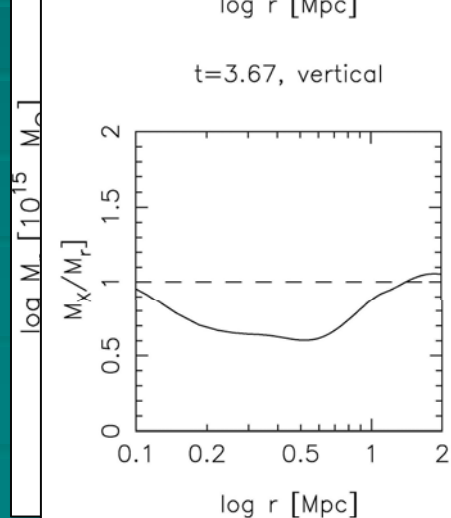
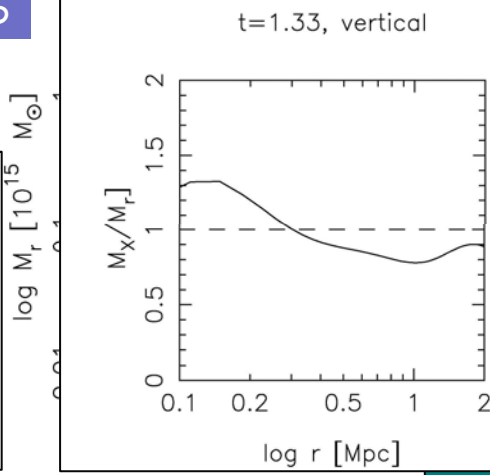
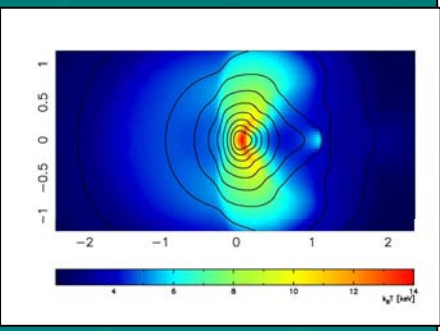
X線データでの質量評価：結果

実線: M_{real}
 点線: M_X 星印: M_{virial}



Core 通過中
 上: 衝突軸方向から
 下: 軸に垂直な方向から

Core 通過後
 上: 衝突軸方向から
 下: 軸に垂直な方向から



まとめ

- 銀河団の質量の決定には複数の方法があるが、必ずしもコンシステントな結果が得られていない場合がある。
- シミュレーションデータを用いて質量決定の不定性を評価した。
- ヴィリアル定理を用いた質量評価
 - 4:1衝突の場合で最大で2倍近い過大評価
 - 観測方向による違い大
- X線データを用いた質量評価
 - ヴィリアル定理を用いた場合よりは誤差は小さい。
 - 観測方向による違いも小さめ。
 - 温度むらはやはり誤差のよい指標である。
- 重力レンズとの比較もやってみたい。