

衝突銀河団の質量評価

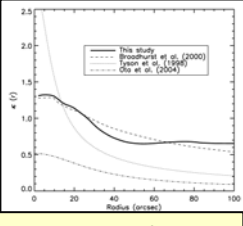
滝沢元和(山形大), 薙野綾(東京理科大), 松下恭子(東京理科大)
(PASJ, 62, 951-963, 2010)

(Abstract)

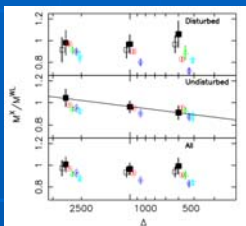
質量は系の基本的なパラメーターのひとつであり、自己重力天体の性質・進化をさぐるうえで得に重要なことは論を待たない。また、銀河団のような大きなスケールの天体での質量分布はダークマターの性質や宇宙のバリオン量とも関係があり、特に興味深い。
ところで、銀河団の質量分布を観測的に決定するにはいくつかの方法(構成銀河の速度分散を用いる方法、X線観測からガスに対して静水圧平衡を用いる方法、強弱の重力レンズ効果など)があるが、それらの間では必ずしもコンシステントな結果が得られているとはいえないのが現状である。これはそれぞれの質量決定の際に用いる仮定が、現実の銀河団では多かれ少なかれ破れており、しかもその効果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)。
- "disturbed clusters"は食い違いが大きくなる傾向がある(Zhang et al. 2010)。



CL 0024+17中心部の質量分布測定結果 (Jee et al. 2007)



M_XとM_{lens}の比較 (Zhang et al. 2010)

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

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

X線表面輝度マップ(等高線)と Spectroscopic 温度マップ(カラー)、ただし衝突軸に垂直な方向から観測

左に同じ、ただし衝突軸と平行な方向から観測

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?

Simulation Data (N体+流体)

- N体: Particle Mesh (PM) 法
- 流体: Roe TVD 法
- 自己重力: FFT with isolated boundary conditions
- Simulation Box: 18Mpc × 9Mpc × 9Mpc (256 × 128 × 128)
- 粒子数: N = 256 × 128 × 128 (~4 millions)

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100個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」とみなしてVirial 定理を使って質量を評価。
- 上の作業を100回行って、M_{vir}の平均、分散を求め、「本当の質量」と比較。

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

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

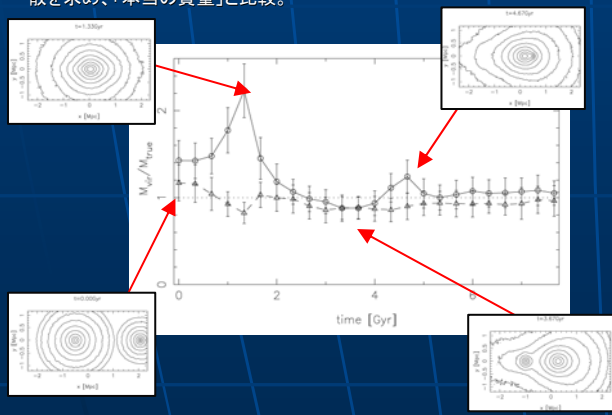
上でスナップショットが出ている4つの時刻について、M_X(破線)とM_{true}(実線)を比較。M_{vir}もアスタリスクで表示。上段、下段はそれぞれ衝突軸と視線が平行および垂直な場合に対応。

$$M_{proj}(R) = \int_0^R 2\pi R' \Sigma(R') dR'$$

$$\Sigma(R) = 2 \int_0^{h_{max}} \rho(\sqrt{R^2 + b^2}) db,$$

$$\rho(r) = \frac{1}{4\pi r^2} \frac{dM}{dr}$$

天球面上の投影質量での結果。実線および破線が実際の投影質量とX線から評価したものの。M_{vir}もアスタリスクで表示。



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

Summary

- 銀河団のN体+流体シミュレーションデータに対して、Virial 定理およびX線データから静水圧平衡の仮定を用いた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。
- 一般的な傾向として、Virial定理を用いたほうが、X線データを用いた場合に比べて観測方向による結果の依存性が高い。
- 衝突軸方向から観測した場合、投影質量は過小評価される傾向が強い。重力レンズによる結果と比較するときには、特にこの事実には注意する必要がある。