

# 衝突銀河団1E0657-56のガスおよび質量分布について

滝沢元和

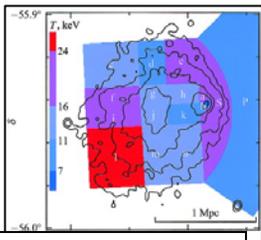
山形大学理学部物理学科

## (Abstract)

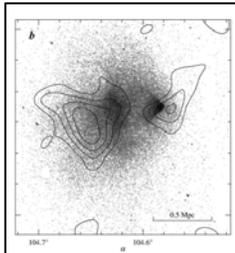
銀河団はより小さな銀河団や銀河群との衝突合体を繰り返しながら今なお成長途上にある天体であり、その痕跡はガスの温度分布や密度分布、さらには弱い重力レンズ効果ではかられる質量分布によっても明らかになってきている。そのような衝突合体の過程ではガスと暗黒物質では空間構造が異なることも予想される。実際、1E0657-56銀河団では、X線分布と弱い重力レンズ効果で求めた質量分布とのあいだで、ピークの位置が有意にずれていることが報告されている。今回我々は、NFWプロファイルを持った銀河団同士の衝突のN体+流体シミュレーションを用いて、そのような構造の再現を試みた。また、シミュレーション結果をもとにして、ピークのずれが生じる条件について簡単な解析的モデルで議論したので報告する。

## 1E0657-56 銀河団について

- 全天で最高温度(〜17keV)の銀河団
- ICM中の衝撃波の最初のはっきりとした観測例
- ICMと質量分布のピークにずれ。(質量分布と銀河分布はほぼ一致)
- 衝突合体の際にガスがram pressureによってDMのポテンシャルからはぎとられたため?
- でも過去のシミュレーションにはこんな見えない。本当かなあ、、、、?

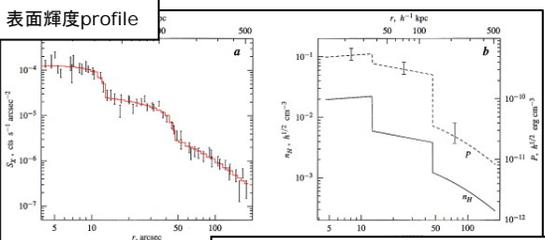


X線イメージ:等高線  
温度:カラ  
(Markevitch et al. 2002)



X線イメージ(グレースケール)  
質量分布(等高線)  
Markevitch et al. (2004)

## 表面輝度profile



Substructure 前面の密度、圧力 profile

## Numerical Method (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

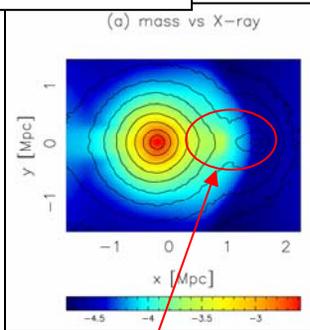
## モデル

- $M_1=10^{15}$  solar mass,  $M_2=M_1/16$  の二つの銀河団の正面衝突
- DM profile --- NFW profile ( $\Omega_0=0.25$   $\lambda_0=0.75$ )
- Gas profile --- ベータモデル、ただし、 $r_s=r_g/2$
- 衝突速度---無限遠で静止していた場合の約2/3

## Simulation Results

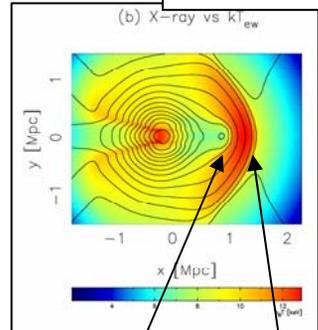
質量比16:1の正面衝突。コア通過後0.67 Gyr

質量分布(等高線)  
X線イメージ(カラー)



質量ピークに遅れるX線ピーク

X線イメージ(等高線)  
温度分布(カラー)



Cold front (接触不連続面) Bow shock

## 簡単な解析的モデルによる議論

質量が $M_{1,2}$ ( $M_1 > M_2$ )、ヴィリアル半径が $R_{1,2}$ の銀河団の正面衝突を考える。ガスがはぎ取られるための条件は、サブストラクチャーでの重力とram pressure forceとの比較から

$$\frac{Gm_2\rho_2}{r_2^2} < A(\pi r_2^2 \rho_1 v^2) \left(\frac{4}{3}\pi r_2^3\right)^{-1},$$

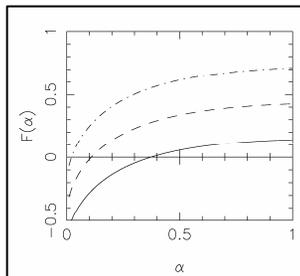
$\rho_{1,2}$ は中心部のガス密度、 $r_2$ はscale radius、 $m_2$ は $r_2$ 内の質量。AはO(1)のfactor。ただし ram pressure force はガスのはぎ取り以外にも使われるので、おそらく  $A < 1$

衝突速度vは 
$$v^2 \simeq \frac{2G(M_1 + M_2)}{R_1 + R_2},$$

$\alpha \equiv M_2/M_1$ とすると、 $R_2/R_1 = \alpha^{1/3}$ 、 $\rho_1/\rho_2 = \alpha^{-x}$ とおけて( $\Lambda$ CDMでは $x \sim 0.25$ )、結局

$$F(\alpha; M_1) \equiv \alpha^{2/3-x} \frac{1 + \alpha^{1/3}}{1 + \alpha} - \frac{3A}{2g(\alpha M_1)c(\alpha M_1)} < 0.$$

ただし、 $c=r_2/R_2$ 、 $g=m_2/M_2$ はMに弱く依存する関数



$F(\alpha) \propto$  (重力) - (ラム圧)  
各線は上から順にA=0.2, 0.4, 0.6の場合。

$\alpha \sim 0.1$  より小さいところではram pressureによるガスのはぎ取りが有効  
→ 小さなsubstructureほどガスがはぎ取られやすい。

境目の値がsimulationでうまくoff-setがでた場合に近いのは偶然か?

- (重力)  $\gg$  (ラム圧)
  - ガスはDMと同じように振る舞う(両者の空間分布は一致)
- (重力)  $\ll$  (ラム圧)
  - ガスはそもそもコアを突き抜けられない(DMだけのピーク)
- (重力)  $\simeq$  (ラム圧)
  - うまくoff-setしたピークがあらわれる。

## Summary

- 衝突銀河団1E0657-56のX線および質量の分布について調べた。
- N体+流体シミュレーションを用いて、substructure周囲の特徴的な構造を再現することに成功した。
- 簡単な解析的モデルを用いて、NFWモデル同士のmergerでのガスのはぎ取りの条件を議論した。
- 質量比が〜1:10程度のときに重力とラム圧が拮抗する。そのようなときに特徴的なピークのずれが生じると推測される。
- Accepted for publication in PASJ (astro-ph/0608693)