



## 成果に関連して出版、もしくは印刷、投稿中の論文リスト

### (1) このプロジェクト（同様の過去のプロジェクトも含む）での成果

今年度中に出版された論文、国際会議集録、国際会議、学会、研究会発表、その他出版物（印刷中、投稿中の場合はその旨を記載すること）

#### ● 論文

- On the X-Ray and Mass Distribution in the Merging Galaxy Cluster 1E 0657-56: Ram Pressure-Stripping in Substructures with an NFW Density Profile  
Motokazu Takizawa  
Publications of the Astronomical Society of Japan, 2006, 58, 925

#### ● 国際会議収録

- Hydrodynamic Simulations of Moving Substructures in Clusters of Galaxies: Cold Fronts and Turbulence Generation  
Motokazu Takizawa  
in *Inflating Horizons of Particle Astrophysics and Cosmology* (Universal Academy Press, inc.) p.235  
H. Suzuki, J. Yokoyama, Y. Suto, and K. Sato (eds.) 2006
- Simulations of Moving Substructures in Clusters of Galaxies: Turbulence and Cold Fronts  
Motokazu Takizawa  
in *Proceedings of the 9th Asian-Pacific Regional Meeting* (ITB press) p.239  
W. Sutantyo, P. W. Premadi, P. Mahasena, T. Hidayat, and S. Mineshige (eds.) 2006

#### ● 国際会議発表

- N-body + Hydrodynamical Simulations of Merging Clusters of Galaxies: Comparison with 1E0657-56  
Motokazu Takizawa  
Heating vs. Cooling in Galaxies and Clusters of Galaxies, MPE, Garching, Germany (August 6-11, 2006)
- X-ray and Mass Distribution in the Merging Galaxy Cluster 1E 0657-56  
Motokazu Takizawa  
The Extreme Universe in the Suzaku Era, Kyoto, Japan (December 4-8, 2006)

#### ● 学会発表

- 銀河団サブストラクチャーの X 線ピークと質量ピークのずれについて  
滝沢元和  
日本天文学会 2006 年秋季年会 (2006 年 9 月 19 - 21 日、九州国際大学)

- 衝突銀河団の N 体+電磁流体シミュレーション  
滝沢元和  
日本天文学会 2007 年春季年会 (2007 年 3 月 28 日-30 日、東海大学)
- 「すざく」XIS 検出器による衝突銀河団 Abell 3667 の観測  
川原田円 他  
日本天文学会 2007 年春季年会 (2007 年 3 月 28 日-30 日、東海大学)

● 研究会発表

- 銀河団衝突のシミュレーション  
滝沢元和  
東北大学天文学教室談話会 (2006 年 11 月 20 日、東北大学)
- 銀河団の銀河間ガスの物理  
滝沢元和  
「宇宙気体力学の現状と展望」研究会 (2006 年 11 月 27-28 日、北海道大学)
- 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  
理論天文学懇談会シンポジウム「理論天文学の進歩」 (2006 年 12 月 25-27 日、立教大学)

(2) これまでのプロジェクトの今年度中の成果

今年度中に出版された論文、国際会議集録、国際会議、学会、研究会発表、その他出版物 (印刷中、投稿中の場合はその旨を記載すること)

評価資料として利用いたしますので、様式・順序は任意ですが、学術論文については題名、著者、発行年月、雑誌名、巻、ページが記載されていること。

項目の説明の文章などは消去して報告内容を記述しても構いません。

成果の概要

銀河団は、銀河団どうしの衝突・合体やより小さな銀河群を吸収しながら形成される。我々はこのようなプロセスを理解するために、N 体+(電磁)流体シミュレーションを行っている。

今年度は特に 1E0657-56 銀河団について詳細に調べた。1E0658-56 銀河団は有名な衝突銀河団のひとつであり様々な手段 (X 線、可視光、電波、重力レンズなど) で観測が行われている。X 線および銀河の空間分布ではそれぞれで二つのピークが見られるが、その場所は一致していない。また、最近になって弱い重力レンズ効果によって質量分布も測定されたが、その結果は銀河の場合とほぼ一致している。以上のような質量分布 (および銀河分布) とガス分布との食い違いは、ダークマターや銀河は無衝突系であるのに対し、ガスは衝突系でラム圧を感じるために生じると定性的には解釈されている。その一方で過去の数値シミュレーションではこのような構造は報告されていない。今回我々はそのような

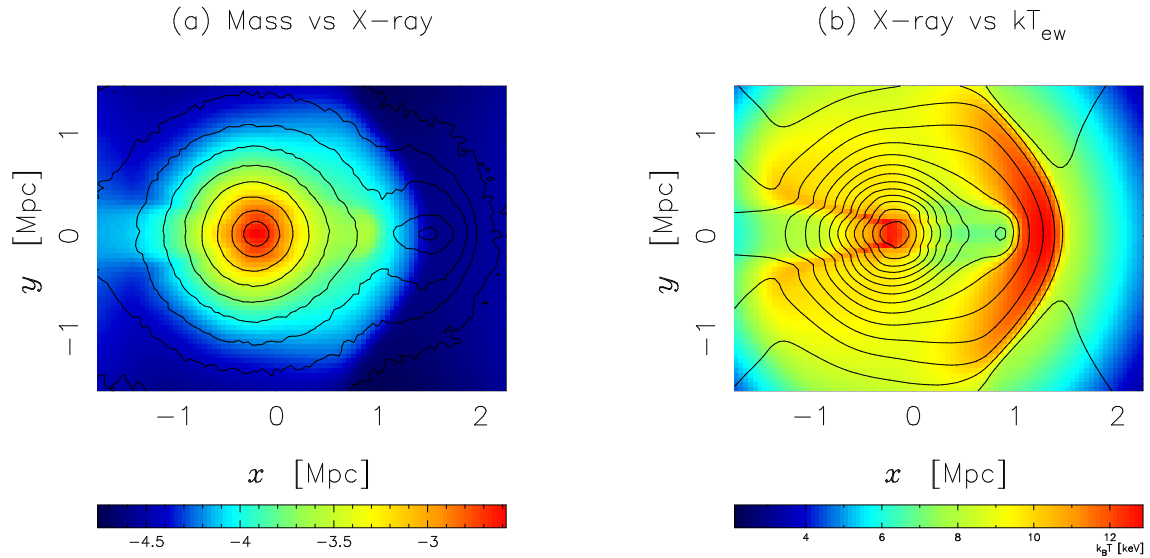


図 1: (a) 衝突後 0.67Gyr での質量分布 (等高線) と X 線表面輝度分布 (カラー) (b) 同時刻での温度分布 (カラー) と X 線表面輝度分布 (等高線)

特徴的な構造を N 体+流体シミュレーションで初めて再現した。また簡単な解析的モデルを用いて、そのような構造が出現する条件を議論したので報告する。

計算手法としては流体部分は Roe TVD 法を、N 体部分には Particle Mesh 法を、自己重力の計算には FFT をそれぞれ用いた。格子数は  $256 \times (128)^2$ 、粒子数は  $256 \times (128)^2$  ( $\approx 4.2 \times 10^6$ ) である。なお、衝突前の銀河団では DM 分布は NFW profile で、ガスは静水圧平衡であるとする。

図 1a は質量比が 1:16 の正面衝突での衝突後 0.67Gyr での質量分布 (等高線) および X 線表面輝度分布 (カラー) である。また図 1b は同時刻での温度 (カラー) および X 線表面輝度分布 (等高線) である。これらの図からわかるように小さな方のサブストラクチャーでは DM のピークに遅れた X 線のピークが見える。また X 線のピークの直前には接触不連続面がコールドフロントとして見え、その前方にバウショックがあることもわかる。

続いて、NFW プロファイルを持った銀河団どうしの正面衝突でのガスのはぎ取りの条件を簡単な解析的モデルを用いて評価した (詳細は Takizawa 2006 を参照のこと)。その結果 (サブストラクチャーの重力)-(ラム圧) に比例する量  $F$  を衝突する銀河団の質量比  $\alpha$  を使って表すことができた。図 2 が  $F(\alpha)$  の図である。三本の線はラム圧がどれだけ効果的にガスのはぎ取りに寄与するかを表すパラメーターによる違いである。なお、 $F(\alpha) < 0$  になる領域がラム圧によるガスのはぎ取りが期待される領域である。いずれにせよ今回のシミュレーションで特徴的なピークのずれを生じたのが  $F \sim 0$  になるような  $\alpha \sim 0.1$  の場合であることは興味深い。このことは以下のように解釈される。まず、ラム圧よりも重力の方が圧倒的に勝つ場合だが、ガスも DM とほぼ同じように振る舞うのでピークのずれは生じない。一方、ラム圧が重力を圧倒する場合であるが、このときはそもそもサブストラクチャーのガスはメインクラスターのコアを突き抜けられないであろう。さらにサブストラクチャーのポテンシャルでは温度の高いメインクラスターのガスを閉じ込められない。そのため X 線ピークを伴わない質量ピークとして見えるであろう。したがって今回のシミュ

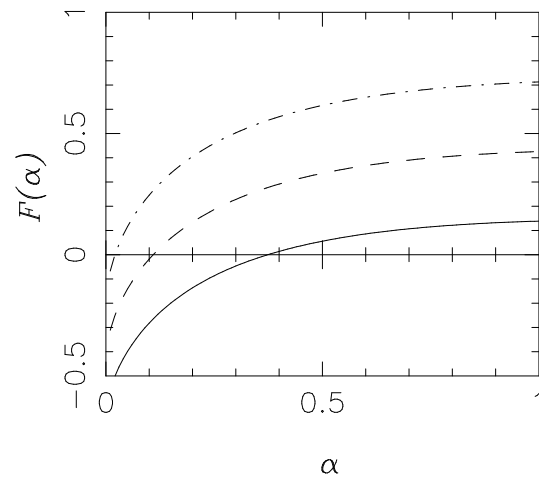


図 2: 質量比  $\alpha$  の NFW モデル同士の正面衝突での、サブストラクチャーの重力とラム圧の差に比例する関数  $F(\alpha)$ 。  $F(\alpha) > 0$  は重力優勢、  $F(\alpha) < 0$  はラム圧優勢をあらわす。

レーションや 1E0657-56 に見られるようなはっきりしたピークのずれは、ちょうどラム圧と重力が拮抗するような質量比の衝突であることを強く示唆する。