

国立天文台 天文学データ解析計算センター  
成果報告書 (平成17年度)

**提出期限：平成18年3月20日(月)17:00必着**

応募カテゴリ (いずれかを選択) B

システム (いずれかを選択) VPP

プロジェクト ID: wmt27b

研究代表者（現在のユーザID：takizwmt）

|                      |                                  |  |
|----------------------|----------------------------------|--|
| 氏名                   | 滝沢 元和                            |  |
| 所属機関名                | 山形大学理学部物理学科                      |  |
| 連絡先住所                | 〒 990-8560<br>山形県山形市小白川町 1-4-12  |  |
| 電話番号                 | 023-628-4550                     |  |
| E-mail               | takizawa@sci.kj.yamagata-u.ac.jp |  |
| 職または学年               | 助手                               |  |
| 研究代表者が学生の場合には指導教官の氏名 |                                  |  |

## 研究課題名

|      |                                                                                                           |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (和文) | 高空間分解能流体シミュレーションによる<br>銀河団ガスの運動状態の研究                                                                      |
| (英文) | Study of dynamical status of intracluster medium<br>by high spatial resolution hydrodynamical simulations |

### 研究分担者

[illegible]

## 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

- Hydrodynamic Simulations of Moving Substructures in Clusters of Galaxies: Cold Fronts and Turbulence Generation  
Motokazu Takizawa  
The Astrophysical Journal, 2005 August 20, 629, 791
- Turbulence Generation by Substructure Motion in Clusters of Galaxies  
Motokazu Takizawa  
Advances in Space Research, 2005, Volume 36, Issue 4, 626

#### ● 国際会議発表

- Simulations of Moving Substructures in Clusters of Galaxies: Turbulence & Cold Fronts  
Motokazu Takizawa  
The 9th Asian-Pacific Regional IAU Meeting 2005, Bali International Convention Centre, Indonesia (July 26 - 29, 2005)
- Hydrodynamic Simulations of Moving Substructures in Clusters of Galaxies: Cold Fronts and Turbulence Generation  
Motokazu Takizawa  
The 59th Yamada conference, Inflating horizon of particle astrophysics and cosmology, The University of Tokyo, Japan (June 20 - 24, 2005)

#### ● 学会発表

- 衝突銀河団のN体+流体シミュレーション  
滝沢 元和  
日本天文学会2006年春季年会（2006年3月27－29日、和歌山大学）
- ALMAによるSZ効果観測のイメージングシミュレーション  
山田 健吉、堤 貴弘、滝沢 元和、北山 哲、小松 英一郎、須藤 靖、河野 孝太郎、高桑 繁久、伊王野 大介、川辺 良平  
日本天文学会2006年春季年会（2006年3月27－29日、和歌山大学）
- ALMAによるSZ効果観測のイメージングシミュレーション  
山田 健吉、堤 貴弘、滝沢 元和、北山 哲、小松 英一郎、須藤 靖、河野 孝太郎、川辺 良平  
日本天文学会2005年秋季年会（2005年10月6－8日、札幌コンベンションセンター）

#### ● 研究会発表

- 衝突銀河団の N 体+流体シミュレーション  
滝沢元和  
国立天文台天文学データ解析計算センター大規模シミュレーションプロジェクト・ユーザーズミーティング、国立天文台(2006年1月11-13日)
- 銀河団のガスダイナミクスと粒子加速  
滝沢元和  
研究会「AGN ジェットと粒子加速」、大阪大学(2005年9月26-28日)

## (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。

## 成果の概要

銀河団は、銀河団同士の衝突・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、三次元高空間分解能流体シミュレーションを行っている。

第一段階として、銀河団内を運動するサブストラクチャー周囲のガスの流れを計算した。サブストラクチャー自身の運動の時間進化を考慮すること、および周囲のガスの運動をできるだけ高空間分解能で追うという二つの目的を達成するために以下のような方法をとった。サブクラスターをメインクラスターの重力ポテンシャル内でのテスト粒子と近似して、メインクラスターに対する相対位置・速度を計算する。流体計算自体は、サブクラスターを中心として共に動く一辺が800kpcの立方体内でおこなう。そのさい、サブクラスター前面の境界条件には同時に解いているメインクラスターとの相対位置・速度の情報を反映させてやる。他の境界は全て自由境界とする。流体の計算手法としては空間・時間二次精度の Roe TVD 法を用いる。メッシュ数は400<sup>3</sup>である。

サブストラクチャー周囲の X 線輝度分布(等高線)と emissivity-weighted temperature 分布(カラー)が図1に示されている。いずれもサブストラクチャーの運動方向に垂直な方向から見た場合である。図1(A)は、メインクラスター外部から落ちてきて中心を突き抜けたところである。バウショックと接触不連続面の間に高温領域が観測され、接触不連続面では輝度の明るい側が低温(暗い側が高温)になり、いわゆるコールドフロントとして観測されることがわかる。同様な構造は 1E 0657-56 銀河団などに見られる。図1(B)はメインクラスター中心付近を振動する場合である。サブクラスターにあった低温ガスが押し出され、見かけ上、サブクラスター前面に低温成分があるようになる。このとき接触不連続面では Rayleigh-Taylor 不安定性が発達し、コールドフロントはさほどシャープにならない。このようななまったコールドフロントは A168 銀河団の構造などをうまく説明できる。

さらに、より大域的な構造を追うために、上記の流体コードに N 体を加えたコードを開発している。N 体の計算には流体の格子法と相性の良い Particle-Mesh 法を用い、自己重力の計算は FFT を用いた。現在、VPP5000 上でベクトル化と並列化がほぼ終了し、銀河団衝突の計算を開始している。図2がその計算例である。格子数は 256 × 128 × 128、粒子数は格子数と同じ(約400万粒子)である。

衝突前の二つの銀河団が、 $R \propto M^{1/2}$  ( $R$  は特徴的な空間的長さ、 $M$  は質量) のようなスケーリング則をみたす場合について調べてみた。これは密度ゆらぎのパワースペクトルでは  $P(k) \propto k^{-2}$

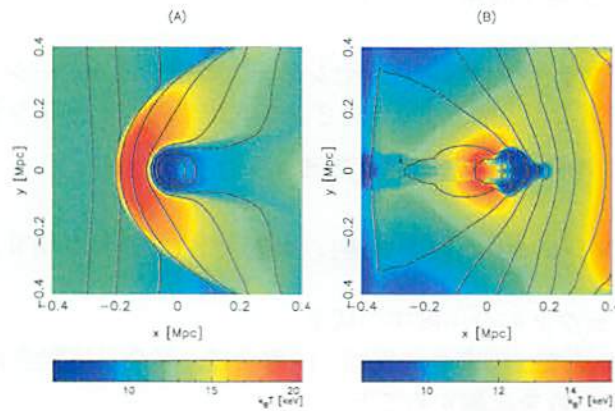


図 1: サブストラクチャー周囲の X 線輝度分布 (等高線) と emissivity-weighted temperature 分布 (カラー)。いずれもサブストラクチャーの運動方向に垂直な方向から見た場合。(A) メインクラスター外部から落ちてきて中心を突き抜けたところ。(B) メインクラスター中心付近を振動する場合。

に対応する。この場合、小銀河団のダークハローは、より大きな銀河団のダークハロー中で完全にはこわされずに生き残って数回振動する (いわゆるスロッシングをする)。そのため、振動に伴って複数の衝撃波の組が外側へと伝播していく。また、スロッシングによる重力ポテンシャルの変動によって複雑な渦状の流れが励起される (図 2)。そのため衝突後 10Gyr 以上たった後でも音速の 30% から、局所的には 50% 近い流れが残ることが判明した。

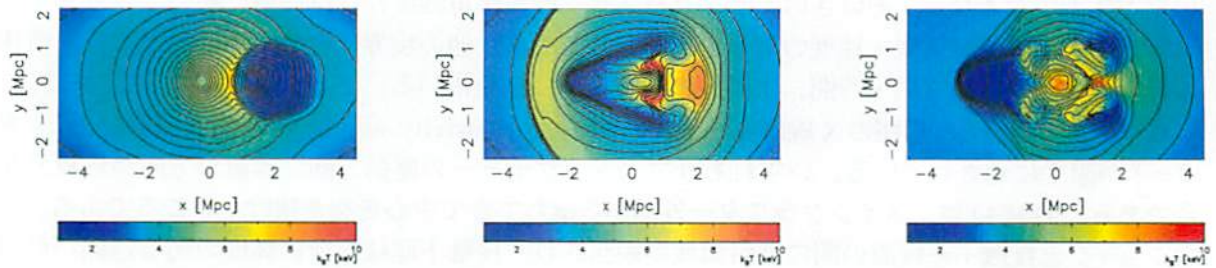


図 2: 質量比 4 : 1 の銀河団の正面衝突。中心面での密度 (等高線) と温度 (カラー) のようす。左からそれぞれ  $t = 3.16, 5.79, 8.45$  Gyr でのスナップショット。小銀河団のダークハローのスロッシングにともなって複数の衝撃波の組が伝播し、複雑な渦上の流れが励起される。