

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19740096

研究課題名(和文) 数値シミュレーションとX線観測で探る衝突銀河団の高エネルギー現象

研究課題名(英文) Investigation of High Energy Phenomena in Merging Galaxy Clusters with Numerical Simulations and X-ray Observations

研究代表者

滝沢 元和 (TAKIZAWA MOTOKAZU)

山形大学・理学部・准教授

研究者番号：70323160

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：理論天文学、X線天文学、数値シミュレーション

### 1. 研究計画の概要

銀河団は宇宙で最大スケールの天体で、様々な手段で観測可能な宇宙論的構造形成の現場として重要な天体である。本研究計画では、高空間分解能数値シミュレーションと「すざく」衛星によるX線観測という二つの手段を用いて、衝突銀河団の高エネルギー現象に迫ることを目的とし、以下のような点を明らかにしていきたい。N体+流体シミュレーションにより、衝突銀河団での衝撃波や乱流の構造を明らかにする。N体+電磁流体シミュレーションにより、銀河団内磁場の進化を明らかにする。とくに衝撃波や乱流に付随して特徴的な構造が現れるかと、ダイナモによる磁場の増幅過程を重点的に調べたい。すざく衛星によるX線観測から、銀河団からの非熱的硬X線を検出し(もしくは信頼度の高い上限値を付け)、銀河団内での高エネルギー粒子および磁場の存在量を決定する(もしくは信頼度の高い制限をつける)。上記のシミュレーションおよびX線観測結果、さらには各種の粒子加速モデルとの比較を行い、銀河団での高エネルギー現象の包括的なシナリオを確立する。

### 2. 研究の進捗状況

すざく衛星を用いた観測では、以下のような成果が得られている。代表的な電波ハロー銀河団 A2319 について、ガスのバルクモーション、超高温成分および非熱的硬X線放射強度の上限値を求め、その結果から衝撃波よりも乱流による粒子加速がよりもっともらしいことを示した(Sugawara et al. 2009)。代表的な電波レリック銀河団である A3667 につ

いては、超高温成分の検出および非熱的硬X線成分の上限を得、銀河団外縁部で磁場や宇宙線による非熱的圧力が熱的圧力の数分の1程度にまで達している可能性があることを示した(Nakazawa et al. 2009)。その他に A399&A401 (Fujita et al. 2008a)、Ophiuchus 銀河団(Fujita et al. 2008b)、A1689(Kawaharada et al. 2010)についての結果がすでに論文にまとめられている。

数値シミュレーションのほうでは、電磁流体シミュレーションをおこなっていくつの特徴的な磁場構造が出現することを明らかにした。例えば、接触不連続面に沿った磁場構造、サブストラクチャー背後に現れる整った磁場構造、ケルヴィン-ヘルムホルツ不安定性によって引き起こされる渦状の磁場構造などである。これらの構造は宇宙マイクロ波背景放射の偏光観測によって観測できる可能性があり、銀河団磁場のみならず、ガスの運動状態への新たなプローブになる可能性があることを指摘した(Takizawa 2008)。

2007年10月24-26日に山形蔵王のたかみや瑠璃倶楽リゾートにて「研究会：マクロでマイクロな銀河団」を行った。理論、観測の垣根を越えて40名以上の参加者が集まり、活発な議論が行われた。

### 3. 現在までの達成度

おおむね順調に進展している

(理由)

すざく衛星の観測データの解析は、大学院生や共同研究者の助けもあり、順調に成果を出している。特に、A2319やA3667の広帯域スペクトル解析では非熱的硬X線放射こそ検出できなかったものの、信頼性の高い上限

値を得、それをもとに非常に意味ある議論をすることができた。一方で、シミュレーションのほうは国立天文台の旧システムでの計算結果の解析では結果を出しているが、新システムへのコードのチューニングがあまりすすんでおらず、早急に改善したい。

#### 4. 今後の研究の推進方策

国立天文台新システムへの数値シミュレーションコードのチューニングを早急に進める必要がある。また、観測面では最近特にめざましい成果が出つつある弱重力レンズの結果を組み合わせる系の力学状態により迫っていく手法が非常に今後有用になっていくと考えられるので、その方面との共同研究を今後推し進めていきたい。

#### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

Suzaku Observation of Abell 1689: Anisotropic Temperature and Entropy Distributions Associated with the Large-Scale Structure  
Madoka Kawaharada, Nobuhiro Okabe, Keiichi Umetsu, Motokazu Takizawa, Kyoko Matsushita, Yasushi Fukazawa, Takashi Hamana, Satoshi Miyazaki, Kazuhiro Nakazawa, and Takaya Ohashi, The Astrophysical Journal, 2010, 713 に掲載決定(印刷中)  
査読有り

Suzaku Observation of the Radio Halo Cluster Abell 2319: Gas Dynamics and Hard X-ray Properties  
Chika Sugawara, Motokazu Takizawa, & Kazuhiro Nakazawa  
Publications of the Astronomical Society of Japan, 2009, 61, 1293—1303  
査読有り

Hard X-ray Properties of the Merging Cluster Abell 3667 as Observed with Suzaku

Kazuhiro Nakazawa, Craig L. Sarazin, Madoka Kawaharada, Takao Kitaguchi, Sho Okuyama, Kazuo Makishima, Naomi Kawano, Yasushi Fukazawa, Susumu Inoue, Motokazu Takizawa, Daniel R. Wik, Alexis Finoguenov, & Tracy E. Clarke

Publications of the Astronomical Society of Japan, 2009, 61, 339—355  
査読有り

N-body + Magnetohydrodynamical

Simulations of Merging Clusters of Galaxies: Characteristic Magnetic Field Structures Generated by Bulk Flow Motion

Motokazu Takizawa

The Astrophysical Journal, 2008, 687, 951—958

査読有り

Suzaku Observation of the Ophiuchus Galaxy Cluster: One of the Hottest Cool Core Clusters

Yutaka Fujita, Kiyoshi Hayashida, Masaaki Nagai, Susumu Inoue, Hironori Matsumoto, Nobuhiro Okabe, Thomas. H. Reiprich, Craig L. Sarazin, & Motokazu Takizawa

Publications of the Astronomical Society of Japan, 2008, 60, 1133—1142

査読有り

[学会発表](計21件)

Motokazu Takizawa

Magnetic Field Structures in Merging Clusters of Galaxies, Shock Waves Turbulence, and Particle Acceleration  
21 November 2009

Pohang, Korea

Takizawa, M., Sugawara, C., and Nakazawa K.

Suzaku Observation of the Radio Halo Cluster Abell 2319: Hard X-ray Properties and Gas Dynamics

The Energetic Cosmos: from Suzaku to Astro-H

29 June -- 2 July, 2009

Otaru, Japan

Motokazu Takizawa, Ryo Nagino, and Kyoko Matsushita

Mass Estimation of Merging Clusters of Galaxies

The 10<sup>th</sup> Asian-Pacific Regional Meeting of the International Astronomical Union  
August 3-6 2008

Kunming China

[その他]

「研究会：マクロでミクロな銀河団」

2007年10月24-26日

たかみや瑠璃倶楽リゾート

<http://astr-www.kj.yamagata-u.ac.jp/zao2007/>