

機関番号：11501

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

研究成果の概要(和文): 銀河団衝突に伴う高エネルギー現象について、数値シミュレーションと X 線観測の両面から迫った。N 体 + (電磁) 流体シミュレーションを用いて衝突銀河団での特徴的な磁場構造や質量評価の不定性を明らかにした。すざく衛星を用いた X 線観測で非熱的硬 X 線放射の上限値を求め、磁場強度の下限値を制限した。さらに重力レンズの同時データ解析で、系の力学状態に迫った。

研究成果の概要(英文): We studied high energy phenomena associated with cluster mergers through numerical simulations and X-ray observations. With N-body + (magneto) hydrodynamical simulations, we revealed characteristic magnetic field structures and uncertainty of mass estimation in merging clusters. We obtained upper-limits of nonthermal hard X-ray flux with Suzaku, and constrained lower limits of magnetic field strength. Joint analyses of Suzaku and weak lensing data revealed dynamical status of the systems.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	900,000	0	900,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
2009 年度	700,000	210,000	910,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,000,000	630,000	3,630,000

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

1. 研究開始当初の背景

銀河団は宇宙で最大スケールの天体で、様々な手段(X線、スニャエフ・ゼルドヴィッチ効果、重力レンズなど)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。かつては、銀河団は平衡状態にある静かな天体であると考えられていた。しかし、ASCA 衛星、Chandra 衛星そして XMM 衛星の新たな観測結果により、その描像は大きく変わ

った(例えば Sarazin 2002, Merging Process in Galaxy Clusters など)。ガスの密度分布や温度分布からは、銀河団の衝突や活動銀河核からのジェットやバブルによってガスが激しく運動している様子が如実に見えてきている。また一部の銀河団からはひろがった非熱的電波放射が見つかっており、銀河団全体にわたる大規模な粒子加速がおこなわれていることがわかった。

以上のような銀河団の動的な姿は次世代

の観測計画によってさらに明らかになっていくと予想される。すなわち、日本の X 線天文衛星「すざく」による非熱的硬 X 線観測、NeXT 衛星による超高分解能 X 線分光によるガスの運動の直接検出および非熱的硬 X 線イメージング、GLAST 衛星によるガンマ線観測、さらには ALMA による高空間分解能スニャエフ・ゼルドヴィッチ(SZ)効果イメージングによる新たな窓である。

このような各種観測装置の飛躍的な向上に対応して、理論・観測がともに手を取りあって衝突銀河団を研究する必要性が高まっている。申請者は最近数年間に渡って主に流体シミュレーションによって銀河団の進化の研究をおこなってきたが、以上のような内外の情勢を踏まえて、より観測サイドと緊密な連携を持つ必要性および、磁場や高エネルギー粒子などの非熱的成分と流体成分との相互作用に着目することの重要性を感じ始めていた。そこで、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といふ本研究計画を申請することになった。

2. 研究の目的

主として数値シミュレーションと X 線観測の両面から以下のような点を明らかにしていきたい。

(1) 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。

(2) 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。

(3) 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)。

(4) 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。

本研究によって、銀河団内でのガスの動的な状態と磁場や高エネルギー粒子との関係が、シミュレーションと X 線観測の比較を行うことで明らかになる。この結果は粒子加速モデルに対して強い制限を与えることになり、既存のモデルの取捨選択に、あるいは新たな理論モデルを生み出すドライビングフォース

として役立つであろう。また、その意義は単に銀河団という種類の天体だけには留まらない。ここで得られた結果は「運動する磁化した高温プラズマ中での粒子加速過程」として容易に他の天体にも適用できる可能性があり、例えば降着円盤、宇宙ジェット、超新星残骸、恒星や太陽のコロナなどに対しても重要な指唆を与えるであろう。

3. 研究の方法

衝突銀河団の高空間分解能 N 体+流体シミュレーションをおこなう。衝突にともなう衝撃波のマッハ数の時間的・空間的進化や乱流構造の進化が衝突のパラメーター(質量比や角運動量パラメーターなど)にどのように依存するか系統的に調べる。この結果は粒子加速天体としての銀河団のエンジン部分を明らかにする基礎的なものである。

すざく衛星 A01 で得られた観測データについてデータ解析を行う。実際の解析に際しては申請者本人ももちろん行うが、観測計画の共同提案者や大学院生との緊密な協力のもとに適宜分担して行いたい。共同提案者のなかには X 線天文学のエキスパートが含まれており、彼らの経験や技術を活用して得られたデータから最大限の成果を引き出したいと考えている。特に申請者本人が PI になっている Abell 2319 銀河団にかんしては、非熱的硬 X 線放射の検出(もしくは信頼性の高い上限値の決定)による磁場強度(もしくは下限値)の決定をおこなう。またあわよくば銀河団ガスの内部運動の直接検出(もしくは上限値の決定)が可能かもしれない。以上のようにしてガスの運動と磁場強度という粒子加速に直接関係する二つの重要なパラメーターを決定(制限)する。またこの観測結果を上記のシミュレーションと比較することで、系のより詳細な力学状態を求め、粒子加速の理論モデルとの比較をおこなう。

N 体+電磁流体シミュレーションによって銀河団内磁場の進化のシミュレーションを行う。銀河団内では磁場の効果はさほど効いていないと考えられがちである。しかし、電波ローブとの相互作用、サブストラクチャー周囲の境界面、磁気乱流による粒子加速など興味深い場面では磁場が重要な働きをされると考えられている。特に粒子加速に大きな影響を与える衝撃波近傍での磁場構造や、磁気乱流の構造や進化を明らかにする。また、得られた結果とすざく衛星の観測結果との比較を行い、粒子加速シナリオに対する制限を得たい。

銀河団全体の磁場の増幅過程として、衝突にともなうダイナモが重要な役割を果たしていると予想される。磁場の増幅率に対する

衝突のパラメーター(質量比や角運動量パラメーターなど)の依存性を系統的に調べる。さらには準解析的な銀河団形成モデルから得られる合体履歴と組み合わせることで宇宙論的階層的構造形成における磁場強度の進化を調べることができる。得られた結果を実際の銀河団と比較することで、構造形成前の原始磁場やダイナモ以外の磁場増幅機構について情報が得られるかもしれない。

4. 研究成果

(1)衝突銀河団のN体+電磁流体シミュレーションを行い、銀河団衝突に伴う特徴的な磁場構造について調べた。その結果、コールドフロントにそった磁場構造がガスの運動に伴って自然にできることを確認した(Takizawa 2008)。

(2)非熱的電波放射を伴った衝突銀河団のなかでも代表的な天体である Abell 3667 と Abell 2319 について、すざく衛星を用いて非熱的硬X線放射の探査を行い、これまでにない信頼度の高い上限値を得た。またその結果を用いて磁場の下限値を得た(Nakazawa et al. 2008, Sugawara et al. 2009)。

(3)N体+流体シミュレーションデータを用いて、銀河団衝突が質量評価に与える影響を評価した。その結果、X線観測から求める質量のほうが銀河の速度分散を用いた場合よりも観測方向に対する依存性が小さいことを示した。また、特に衝突軸に平行な方向から観測すると、天球面上に投影した質量を過小評価する傾向が強いことを示した(Takizawa et al. 2010)。

(4)すざくによるX線とすばるによる弱重力レンズとのジョイントデータ解析をおこなった。Abell 1689 銀河団ではヴィリアル半径付近のガスの物理状態と周囲の大規模構造との関連性について明らかにした(Kawaharada et al. 2010)。また、ZwCl0823.4+0425 銀河団周辺領域の大規模構造フィラメントの高温ガスの状態を初めて明らかにした(Watanabe et al. 2011)。

(5)2007年10月24-26日に山形蔵王にて「研究会：マクロでマイクロな銀河団」をLOC chair 兼SOCとして主催した。研究会には理論、X線観測、弱重力レンズ観測を中心に42名の参加者が集まり、27件の口頭発表および2件のポスター発表をもとに活発な議論がなされた。なお、研究会での議論の結果、すざくとすばるのジョイントデータ解析の機運が高まり、Kawaharada et al. (2010)やWatanabe et al. (2011)の成果に結びついたことを強調しておきたい。

5. 主な発表論文等

(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8件)

Suzaku X-ray Follow-up Observation of Weak-lensing-detected Halos in the Field around ZwCl0823.2+0425

Eri Watanabe, Motokazu Takizawa, Kazuhiro Nakazawa, Nobuhiro Okabe, Madoka Kawaharada, Arif Babul, Alexis Finoguenov, Graham P. Smith, and James E. Taylor

Publications of the Astronomical Society of Japan, 2011, 63, 357-366

査読有り

Mass Estimation of Merging Galaxy Clusters

Motokazu Takizawa, Ryo Nagino, and Kyoko Matsushita

Publications of the Astronomical Society of Japan, 2010, 62, 951-963

査読有り

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, 714, 423-441

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

High Metallicity of the X-Ray Gas up to the Virial Radius of a Binary Cluster of Galaxies: Evidence of Galactic Superwinds at High-Redshift

Yutaka Fujita, Noriaki Tawa, Kiyoshi Hayashida, Motokazu Takizawa, Hironori Matsumoto, Nobuhiro Okabe, & Thomas H. Reiprich

Publications of the Astronomical Society of Japan, 2008, 60, S343-S349

査読有り

[学会発表](計26件)

滝沢元和

Mass Estimation of Merging Galaxy Clusters

日本天文学会秋季年会

2010年9月24日

金沢大学

Motokazu Takizawa

Magnetic Field Structures in Merging Clusters of Galaxies

Shock Waves, Turbulence, and Particle Acceleration

21 November, 2009

Pohang, Korea

渡邊瑛里

X線と弱重力レンズによる ZwCl0823.3+0425 銀河団周辺の大規模構造フィラメントの解析

日本天文学会秋季年会

2009年9月14日

山口大

菅原知佳

すざく衛星による Abell 2319 銀河団の広帯域スペクトル解析

日本天文学会 2009年春季年会

2009年3月26日

大阪府立大学

[その他](計1件)

「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

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：