

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26400218

研究課題名(和文) 次世代多波長観測と理論シミュレーションの連携で解明する銀河団の非熱的現象

研究課題名(英文) Study of nonthermal phenomena of galaxy clusters through next generation multiwave observations and theoretical simulations

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：X線と電波観測により銀河団電波レリックでの粒子加速過程とその物理状態を解明し、理論モデルの構築を行った。特にtoothbrush電波レリックでの粒子加速過程が単純な衝撃波統計加速では説明のつかないことを明らかにした。ALMAを用いて5秒角というこれまでにない空間分解能のSZ効果観測をおこない、RX J1347.5-1145銀河団の超高温成分がX線ピークと異なる場所にあることを明確に示した。低周波電波での宇宙磁場研究についてPASJ誌の招待レビュー論文に対して、銀河団のパートなどに分担執筆者として貢献をした。

研究成果の概要(英文)：We investigated the particle acceleration processes and physical status of the galaxy cluster radio relics through X-ray and radio observations, and constructed a theoretical model for them. In particular, we showed that the particle acceleration processes in the "toothbrush" radio relic cannot be explained by a simple diffusive shock acceleration model. We conducted SZ observations by ALMA with a spatial resolution of 5 arcsec, which is the highest ever, and found that the very high temperature component is located in the significantly different position from the X-ray peak. We contributed the PASJ invited review paper about the cosmic magnetism in low frequency radio astronomy as a coauthor.

研究分野：天文学

キーワード：銀河団 X線天文学 電波天文学

1. 研究開始当初の背景

銀河団は様々な手段で観測可能な天体であり、X線や重力レンズ効果の観測から近年その動的かつ非熱的な描像が急速に明らかになりつつあった。一部の銀河団からは拡がった非熱的電波放射が見つかり、銀河団全体にわたる大規模な粒子加速や磁場増幅がおこなわれていることをうかがわせ大変興味深い。

このように銀河団では熱的成分のみならず、乱流、磁場、高エネルギー粒子のような非熱的成分も重要な位置を占めている。その一方で、非熱的成分の理解は理論・観測ともに熱的成分に比べて非常に遅れている状況であった。銀河団の非熱的現象は次世代の観測装置にとっても重要なターゲットであり、さらなる理解や新たな謎を我々にもたらし、と強く期待されていた。

このような内外の状況に対応して、理論・観測手法の垣根を越えて銀河団の非熱的な姿を解明する重要性が高まっていた。申請者は直近の数年間にわたって主に流体シミュレーションとすざく衛星を用いたX線観測によって銀河団進化の研究を行ってきたが、以上のような情勢を踏まえて、観測面では重力レンズや電波に、理論面では磁場や非熱的粒子に今まで以上に着目する必要性を感じ、本研究計画を申請した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、銀河団の非熱的現象を理論シミュレーションと次世代の多波長観測との連携によって解明することである。熱的成分と比較して理解の遅れている非熱的エネルギー成分(乱流、磁場、高エネルギー粒子)の物理状態を明らかにし、さらにそれらと他成分(暗黒物質や熱的バリオン成分)との相互作用に迫ることで銀河団の包括的理解のみならず、他天体との非熱的現象との共通点・相違点を明らかにし宇宙の非熱的現象の中での統一的理解を目指す。

3. 研究の方法

銀河団の非熱的現象について多波長観測からその物理的性質を明らかにする。非熱的成分そのもの(宇宙線電子および磁場)については低周波電波観測およびX線観測での非熱的成分探査との比較で制限をつける。また、粒子加速や磁場増幅に直接関係する熱的プラズマの運動については主としてX線観測による温度、密度分布の決定でせまっていくが、適宜SZ効果による情報も組み合わせる。最後に、弱重力レンズから暗黒物質を中心とした総質量分布をえて、系全体の力学状態を明らかにする。以上のように、非熱的成分そ

のもの、その加速・増幅メカニズム、およびそれらを操る系全体の力学すべてに迫るためには以上のような多波長観測が必須である。また、得られた観測結果をもとに理論モデルを構築する。

4. 研究成果

主な研究成果は以下のようである。

4-1 X線と電波観測による電波レリックの粒子加速過程と物理状態の解明およびその理論モデル(論文5,6,10,11)。

特異な形状をした電波レリック(toothbrush relic)を持った銀河団1RXSJ0603.3+4214について、電波レリック周辺領域のすざく衛星のX線観測データを解析した。レリック外縁部での温度分布からRH関係を用いてマッハ数を求めたところ、過去の電波観測から得られたものよりも有意に小さい値を得た。このことは、粒子加速過程が単純な衝撃波統計加速ではないことを示唆する結果である。また、非熱的X線放射の上限を求め、電波観測との比較から磁場強度の下限値をえた。その結果、磁場のエネルギー密度が熱的プラズマのものの数%を超える可能性があることがわかり、プラズマの力学において磁場の影響が無視できないことを示した。また、上記の結果を受けて、電波レリックの理論モデルとして、衝撃波背後での乱流による再加速を考慮したものを構築した。

そのほかにも電波レリック銀河団Abell 2255とRXC J1053.7+5453についてX線と電波での解析を行った。特に、RXC J1053.7+5453については中心部まで含めて初めて温度を測定し、レリック周辺領域の温度分布からマッハ数を求めた。また、チャンドラ衛星の表面輝度データから新たにエッジを発見した。表面輝度およびスペクトル解析の結果このエッジは接触不連続面と考えて矛盾がないことを示した。

4-2 高空間分解能SZ効果観測とX線データの組み合わせによる銀河団ガスの力学状態の解明(論文7)。

伸びた形状と超高温成分が過去に見つかった衝突銀河団RX J1347.5-1145についてALMAで5秒角というこれまでにない高空間分解能のSZ効果観測をおこない、チャンドラ衛星のX線観測データとのジョイント解析を行った。その結果、SZ効果の強度ピークがX線表面輝度のピークの外側に有意にずれていることを初めて明確に示した。このことは、存在が予想される超高温成分がX線のピークと異なる場所にあることを明確に示したものである。

4-3 低周波電波での宇宙磁場研究についてのレビュー(論文2)

センチ波およびメーター波を用いた宇宙磁場に関する PASJ 誌の招待レビュー論文について分担執筆者として貢献した。本研究課題と直接関係する部分として、銀河団非熱的電波放射源（電波ハロー、電波ミニハロー、電波レリック）およびファラデー回転を用いた磁気乱流研究のパートがある。申請者は電波レリックのパートを主導的に執筆し、また銀河団のパート全体についてもまとめ役として執筆に貢献した。本研究課題とは直接は関係しないが、MHD シミュレーションおよび磁気乱流理論のパートについても貢献している。

4-4 研究会開催

本研究課題に関連する以下の研究会の開催に関わり、研究の現状の把握や将来展望の議論などの機会を設けた。特に、2016 年開催のものは申請者の所属機関近隣の会場で行われ、運営面で申請者が中心的な役割を果たした。

日本 SKA サイエンス会議「宇宙磁場」2014
2014 年 11 月 13-14 日
国立天文台三鷹キャンパス
<http://ska-jp.org/ws2014/magn/ws20140812.html>

日本 SKA サイエンス会議「宇宙磁場」2015
2015 年 9 月 17-19 日
鹿児島大学郡元キャンパス
<http://ska-jp.org/ws2015/Magn/ws20150917.html>

日本 SKA 合同サイエンス会議「宇宙磁場：銀河系内現象から大規模構造へ」
2016 年 10 月 27-29 日
ルーセントタカミヤ
<http://ska-jp.org/ws/ska-yamagata2016.html>

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 15 件)

¹ ATCA 16 cm Observation of CIZA J1358.9-4750: Implication of Merger Stage and Constraint on Non-Thermal Properties
T. Akahori, Y. Kato, K. Nakazawa, T. Ozawa, L. Gu, M. Takizawa, Y. Fujita, H. Nakanishi, N. Okabe, K. Makishima
accepted for publication in PASJ、査読あり

² Cosmic Magnetism in Centimeter and Meter Wavelength Radio Astronomy,
T. Akahori, H. Nakanishi, Y. Sofue, Y. Fujita, K. Ichiki, S. Ideguchi, O. Kaneya, T. Kudoh, Y. Kudoh, M. Machida, Y.

Miyashita, H. Ohno, T. Ozawa, K. Takahashi, M. Takizawa, D. G. Yamazaki
Publications of the Astronomical Society of Japan, 2018, 70, R2, 査読あり
DOI: 10.1093/pasj/psx123

³ Multiwavelength study of X-ray Luminous Clusters in the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program S16A field
K. Miyaoka, N. Okabe, T. Kitaguchi, M. Oguri, Y. Fukazawa, R. Mandelbaum, E. Medezinski, A. J. Nishizawa, T. Hamana, Y. Lin, H. Akamatsu, I. Chiu, Y. Fujita, Y. Ichinohe, Y. Komiyama, T. Sasaki, M. Takizawa, S. Ueda, K. Umetsu, J. Coupon, C. Hikage, A. Hoshino, A. Leauthaud, K. Matsushita, I. Mitsuishi, H. Miyatake, S. Miyazaki, S. More, K. Nakazawa, N. Ota, K. Sato, D. Spergel, T. Tamura, M. Tanaka, M. M. Tanaka, Y. Utsumi
Publications of the Astronomical Society of Japan, 2018, 70, S22、査読あり
DOI: 10.1093/pasj/psx132

⁴ Suzaku Observations of the Outskirts of the Galaxy Cluster Abell 3395 including a Filament toward Abell 3391,
Y. Sugawara, M. Takizawa, M. Itahana, H. Akamatsu, Y. Fujita, T. Ohashi, Y. Ishisaki

Publications of the Astronomical Society of Japan, 2017, 69, 93, 査読あり
DOI: 10.1093/pasj/psx104

⁵ Suzaku and Chandra observations of the galaxy cluster RXC J1053.7+5453 with a radio relic,

M. Itahana, M. Takizawa, H. Akamatsu, R. J. van Weeren, H. Kawahara, Y. Fukazawa, J. S. Kaastra, K. Nakazawa, T. Ohashi, N. Ota, H. J. A. Röttgering, J. Vink, F. Zandanel

Publications of the Astronomical Society of Japan, 2017, 69, 88, 査読あり
DOI: 10.1093/pasj/psx095

⁶ Suzaku observations of the merging galaxy cluster Abell 2255: The northeast radio relic,

H. Akamatsu, M. Mizuno, N. Ota, Y.-Y. Zhang, R. J. van Weeren, H. Kawahara, Y. Fukazawa, J. S. Kaastra, M. Kawaharada, K. Nakazawa, T. Ohashi, H. J. A. Röttgering, M. Takizawa, J. Vink, F. Zandanel

Astronomy & Astrophysics, 2017, 600, A100, 査読あり

DOI: 10.1051/0004-6361/201628400

⁷ The Sunyaev-Zel'dovich effect at 5 : RX J1347.5-1145 imaged by ALMA

T. Kitayama, S. Ueda, S. Takakuwa, T. Tsutsumi, E. Komatsu, T. Akahori, D. Iono, T. Izumi, R. Kawabe, K. Kohno, H. Matsuo, N. Ota, Y. Suto, M. Takizawa, K. Yoshikawa
Publications of the Astronomical Society

of Japan, 2016, 68, 88, 査読あり
DOI: 10.1093/pasj/psw082
8 Suzaku observation of a high entropy cluster Abell 548W,
K. Nakazawa, Y. Kato, L. Gu, M. Kawaharada,
M. Takizawa, Y. Fujita, K. Makishima
Publications of the Astronomical Society of Japan, 2016, 68, S21, 査読あり
DOI: 10.1093/pasj/psv129
9 Central mass profiles of the nearby cool-core galaxy clusters Hydra A and A478
N. Okabe, K. Umetsu, T. Tamura, Y. Fujita,
M. Takizawa, K. Matsushita, Y. Fukazawa,
T. Futamase, M. Kawaharada, S. Miyazaki,
Y. Mochizuki, K. Nakazawa, T. Ohashi, N. Ota, T. Sasaki, K. Sato, S. I. Tam
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2016, 456, 4475, 査読あり
DOI: 10.1093/mnras/stv2916
10 Turbulent Cosmic-Ray Reacceleration at Radio Relics and Halos in Clusters of Galaxies
Y. Fujita, M. Takizawa, R. Yamazaki, H. Akamatsu, H. Ohno
The Astrophysical Journal, 2015, 815, 116, 査読あり
DOI: 10.1088/0004-637X/815/2/116
11 Suzaku observations of the galaxy cluster 1RXS J0603.3+4214: Implications of particle acceleration processes in the "Toothbrush" radio relic
M. Itahana, M. Takizawa, H. Akamatsu, T. Ohashi, Y. Ishisaki, H. Kawahara, R. J. van Weeren
Publications of the Astronomical Society of Japan, 2015, 67, 113, 査読あり
DOI: 10.1093/pasj/psv084
12 JVLA S- and X-band polarimetry of the merging cluster Abell 2256
T. Ozawa, H. Nakanishi, T. Akahori, K. Anraku, M. Takizawa, I. Takahashi, S. Onodera, Y. Tsuda, Y. Sofue
Publications of the Astronomical Society of Japan, 2015, 67, 110, 査読あり
DOI: 10.1093/pasj/psv082
13 Discovery of a Nearby Early-Phase Major Cluster Merger ClZA J1358.9-4750
Y. Kato, K. Nakazawa, L. Gu, T. Akahori, M. Takizawa, Y. Fujita, K. Makishima
Publications of the Astronomical Society of Japan, 2015, 67, 71, 査読あり
DOI: 10.1093/pasj/psv029
14 Universal Profiles of the Intracluster Medium from Suzaku X-Ray and Subaru Weak Lensing Observations
N. Okabe, K. Umetsu, T. Tamura, Y. Fujita, M. Takizawa, Y. -Y. Zhang, K. Matsushita, T. Hamana, Y. Fukazawa, T. Futamase, M. Kawaharada, S. Miyazaki, Y. Mochizuki, K. Nakazawa, T. Ohashi, N. Ota, T. Sasaki, K.

Sato, and S. I. Tam
Publications of the Astronomical Society of Japan, 2014, 66, 99, 査読あり
DOI: 10.1093/pasj/psu075

[学会発表](計 38件)

1 Physical Status of the Intracluster Medium Investigated through Radio and X-ray Observations, 滝沢元和
嶺重さん還暦祝い嶺重グループOBOG研究会 2017

2 Physical Status of Intracluster Medium Investigated through Radio and X-ray Observations, 滝沢元和
DTA workshop 2017 (理論天文学研究会 2017) 2017

3 Abell 3395 と Abell 3391 の連結領域の X線観測, 滝沢元和
日本天文学会秋季年会 2017

4 多波長観測から迫る銀河団 RXC J1053.7+5453 の衝突過程と粒子加速, 板花まどか
日本天文学会秋季年会 2017

5 すざく衛星による Triangulum Australis 銀河団の超高温領域と非熱的 X線放射の探査, 鷹箸颯太
日本天文学会春季年会 2017

6 ALMA によるスニヤエフ・ゼルドビッチ効果の初観測, 北山哲
日本天文学会春季年会 2017

7 低周波電波と X線観測で探る銀河団磁場, 滝沢元和
日本 SKA 合同サイエンス会議「宇宙磁場: 銀河系内現象から大規模構造へ」 2016

8 Exploring the Intracluster Magnetic Fields through Radio and X-ray Observations, Motokazu Takizawa
Hot spots in the XMM sky: Cosmology from X-ray to Radio 2016

9 Suzaku Observations of the Galaxy Cluster 1RXS J0603.3+4214, Madoka Itahana,
Hot spots in the XMM sky: Cosmology from X-ray to Radio 2016

10 Abell 3391 と Abell 3395 を含む大規模構造フィラメントの X線観測, 菅原悠宇紀
日本天文学会春季年会 2016

11 電波銀河 NGC6166 の偏波観測による冷却コア銀河団 A2199 の磁場推定, 高橋律裕
日本天文学会春季年会 2016

12 電波銀河 NGC3862 の偏波解析による銀河団

Abell 11367 の磁場推定、滝沢元和
日本 SKA サイエンス会議「宇宙磁場」2015
2015
13 電波銀河 NGC3862 の偏波観測による銀河団
Abell 11367 の磁場推定、高橋育美
日本天文学会春季年会
2015
14 X 線と電波で探る銀河団電波レリックの粒
子加速過程、滝沢元和
日本 SKA サイエンス会議「宇宙磁場」2014
2014
15 衝突銀河団 Abell 2256 の JVL A 偏波観測
結果、小澤武揚
日本天文学会秋季年会
2014
16 「すざく」による衝突銀河団 Abell 548W の
観測、中澤知洋
日本天文学会秋季年会
2014
17 衝突初期の銀河団 Cl ZA J1358-4750 におけ
る衝撃波の観測的研究、加藤佑一
日本天文学会秋季年会
2014
18 電波レリックを持つ銀河団 1RXS
J0603.3+4214 の衝撃波候補領域の解析、板花
まどか
日本天文学会秋季年会
2014
19 Particle Acceleration Processes in
Galaxy Cluster Radio Relics Investigated
through X-ray and Radio Observations,
Motokazu Takizawa,
Cosmic Magnetic Fields: Current Knowledge
and the Future Ideas, 2014

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

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

なし

(3) 連携研究者

中澤 知洋 (NAKAZAWA, Kazuhiro)
名古屋大学・理学研究科・准教授
研究者番号：50342621

北山 哲 (KITAYAMA, Tetsu)
東邦大学・理学部・教授
研究者番号：00339201

(4) 研究協力者

なし