

平成 22 年 5 月 15 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007 年度～2009 年度

課題番号：19740112

研究課題名 (和文) X 線分光を用いた銀河団ガスの運動の探査

研究課題名 (英文) Search for Cluster Gas Motion with X-ray Spectroscopy

研究代表者

太田 直美 (OTA NAOMI) (東京理科大学 理学部第一部 助教)

研究者番号：40391891

研究成果の概要 (和文) : 宇宙最大の天体である銀河団のダイナミックな進化を解明することを目指して、「すざく」衛星を用いた X 線観測を行った。銀河団中には X 線を放射する高温ガスが大量に含まれており、その運動や温度を詳細に測定できる。特に、銀河団 RXJ1347 中に 3 億度という宇宙で最も熱いガスの存在を初めて X 線観測のみから確認することに成功した。これは 2 つの銀河団が数千キロメートル毎秒にもおよぶ高速で衝突合体したことによって生成された可能性が高い。

研究成果の概要 (英文) : To reveal the dynamical evolution of the largest objects in the Universe called “clusters of galaxies”, an X-ray spectroscopy with the Suzaku satellite has been performed. Since the clusters of galaxies contain a large amount of hot gas, it is possible to measure the motion and temperature of the gas in detail. In particular, we have confirmed, for the first time, the presence of the hottest gas (with temperature of 0.3 billion degree) in the Universe inside the RXJ1347 cluster with the X-ray observations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	0	1,000,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	480,000	3,080,000

研究分野：X 線天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：X 線 γ 線天文学

1. 研究開始当初の背景

銀河団は宇宙最大の天体であり、より小さな銀河団同士が衝突合体を繰り返しながら現在の姿まで成長してきた。その重力ポテンシャルには高温のガスが大量に閉じ込められ

ている。これまでの研究では、ガスが既にポテンシャルと緩和し静水圧平衡の状態にあるとして記述されることが多かった。しかし最近の観測からそう単純ではない証拠が現れてきた。

(1) まず、X線観測から静水圧平衡を仮定して求めた銀河団の質量がそれとは独立に重力レンズ効果を利用して求めた質量と比べて系統的に数倍小さいのである (Hattori et al. 1999; Ota et al. 2004 など)。この「質量不一致の問題」に対して、X線から質量を求める際に銀河団衝突に伴うガス運動の影響を考慮していないことが原因になっている可能性がある。

(2) さらに、過去の電波によるスニヤエフゼルドヴィッチ効果の測定から、遠方銀河団中に非常に高温のガスの塊の存在が指摘されたのである (Kitayama et al. 2004)。これは銀河団同士の衝突合体でガスが強く加熱された名残ではないかと考えられる。

以上のことは、銀河団が従来の静的な描像に反して驚くほど動的な系であることを示している。

2. 研究の目的

(1) 詳細なX線分光に基づいて銀河団ガスの運動の探査を行い、銀河団の動的な進化を明らかにすることを目指す。数値シミュレーションからも銀河団衝突に伴い 1000 km/s もの速度のガス運動が生じ、それがおよそ 50 億年もの間維持されることが予言されている。このことは多くの銀河団で高温ガスがポテンシャルにまだ緩和しておらず、今なお動的な状態にある可能性を示唆している。

(2) 銀河団同士の激しい衝突はまた同時に極めて高温のガス (以下超高温ガスと呼ぶ) を生成する可能性がある。そこで、銀河団内のガス温度の分布を精度良く測定することで超高温ガスの存在を確定する。得られた結果から銀河団衝突によるガス加熱の過程について議論し、上記 (1) とともに銀河団の構造進化に制限をつける。

3. 研究の方法

(1) 「すざく」衛星のX線 CCD 検出器を用いて銀河団の詳細なX線スペクトル解析を行い、鉄輝線のドップラーシフトからガス運動を測定する。そのためにはX線 CCD 検出器の正確なエネルギー較正が必要となる。私はこの較正を注意深く行い、すでに近傍のケンタウルス座銀河団のX線データに対して、700km/s という過去最高の精度でガス運動の視線速度に制限をつける方法を確立した (Ota et al. 2007)。この方法を利用して近傍の衝突銀河団のガスの力学状態を直接調

べる。

(2) 衝突合体の兆候をもつ遠方の銀河団に注目し、超高温ガスの存在と温度に制限をつける。「すざく」衛星にはX線 CCD 検出器に加えて硬X線検出器が搭載されており、両方を同時に用いることで 0.5 から 60 keV という広帯域X線分光が実現される。ただし、「すざく」衛星の空間分解能は超高温ガスの塊を周囲のガスと分離するには不十分である。よって秒角の空間分解能を持つチャンドラ衛星のデータを相補的に用いることでこれを克服する。

4. 研究成果

(1) 「すざく」衛星で取得した A2142 銀河団のX線分光データの解析を行い、鉄輝線ドップラーシフトからガス運動を測定した。この銀河団は、ガス中に2つのコアの接触不連続面をもつ天体として代表的なものである。その結果、2つのコアの相対的な視線速度に有意な差は見られなかったが、過去最高の精度で視線速度差の上限値を求めることができた。

一方、強い電波ハロー放射を持つことで知られる衝突銀河団 A3667 についてもX線 CCD 検出器の視野を 15 個程度の領域に分割して、各領域のガスの視線速度を求めた。その結果、銀河団中心領域におよそ 2000 km/s という高速のガス運動が存在している兆候を初めて見いだすことができた。電波ハロー放射を持つことは衝突合体によって加速された高エネルギー粒子が銀河団中に存在することを意味する。よって今回捉えられた鉄輝線ドップラーシフトの兆候は、銀河団衝突に伴って生じた大規模なガスバルク運動である可能性がある。これらの成果について現在投稿論文を準備中である。

さらに将来、X線カロリメータ検出器が実現すると、その詳細分光データから高温ガスのバルク運動や乱流が数 100 km/s という非常に高い精度で直接検出できるようになる。これによって銀河団の力学的進化の理解に新たな進展をもたらされると期待されている。大型X線ミッション Astro-H や IX0 などではX線カロリメータの搭載が計画されている。そこで、どのような距離の銀河団でどのような精度で乱流運動を検出可能かについて定量的に検討し、その結果を IX0 国際会議で口頭発表した。

(2) 最大X線光度を持つ遠方銀河団 RXJ1347-1145 について、「すざく」衛星で取

得した広帯域X線分光データとチャンドラ衛星の高分解能データを同時に解析し、銀河団中に超高温ガスの塊が存在することを確認した。その温度は約3億度にのぼる(図1、図2)。また超高温ガスのX線光度は銀河団ガス全体の光度の約20%を占め、その莫大な熱的エネルギーを供給するには活動銀河核のジェットによる加熱では不足することもわかった。

この超高温ガスは現在知られる宇宙で最も高温の熱的ガスであり、銀河団同士の激しい衝突合体によって加熱されたという説を強く支持する。また銀河団衝突の数値シミュレーションによると、仮に質量比が1:1の2つの銀河団が相対速度4000 km/sで衝突したとすると、今回観測されたような3億度のガスの存在を再現できる。以上のX線観測に基づく成果を論文や国際学会で発表し、「宇宙一熱いガスの発見」としてプレスリリースも行った。この研究で確立した手法を他の衝突銀河団にも適用し、さらに高温ガス探査を進めている。

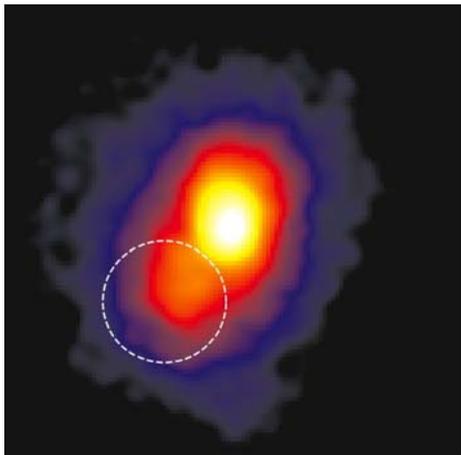


図1 チャンドラ衛星によるRXJ1347銀河団のX線画像。画像の一边は110秒角で約200万光年に対応する。点線で囲った領域が超高温ガスの塊が存在する領域。

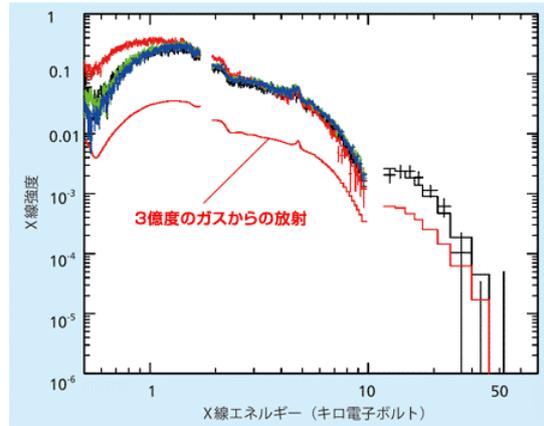


図2 「すざく」衛星のX線CCD検出器と硬X線検出器によるRXJ1347銀河団のX線スペクトル。横軸がX線のエネルギーを、縦軸は各X線エネルギーに対する強度を表す。赤線が超高温ガスからの熱的なX線放射の成分を示す。

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9件)

- ① I. Takahashi, M. Kawaharada, K. Makishima, K. Matsushita, Y. Fukazawa, Y. Ikebe, T. Kitaguchi, M. Kokubun, K. Nakazawa, S. Okuyama, N. Ota, & T. Tamura, “X-ray Diagnostics of Thermal Conductions of the Hot Plasmas in the Centaurus Cluster”, 2009, ApJ, 701, 377-395 査読有り
- ② T. H. Reiprich, D. S. Hudson, Y.-Y. Zhang, Y. Ishisaki, A. Hoshino, T. Ohashi, N. Ota, & Y. Fujita, “Suzaku measurement of Abell 2204’s intracluster gas temperature profile out to 1800 kpc”, 2009, A&A, 501, 899-905 査読有り
- ③ T. Kitayama, Y. Ito, Y. Okada, H. Kaneda, H. Takahashi, N. Ota, T. Onaka, Y. Tajiri, H. Nagata, & K. Yamada, “Constraints on the Intracluster Dust Emission in the Coma Cluster of Galaxies”, 2009, ApJ, 695, 1191-1198 査読有り
- ④ N. Kawano, Y. Fukazawa, S. Nishino, K. Nakazawa, T. Kitaguchi, K. Makishima, T. Takahashi, M. Kokubun, N. Ota, T. Ohashi, N. Isobe, P. Henry, and A. Hornschemeier, “Constraints on Non-Thermal X-ray Emission from the On-Going Merger Cluster Abell 3376 with Suzaku”, 2009, PASJ, 61,

S377-S386 査読有り

⑤G. W. Wilson, I. Aretxaga, D. Hughes, H. Ezawa, J. E. Austermann, S. Doyle, I. Hernandez-Curiel, R. Kawabe, T. Kitayama, K. Kohno, A. Kuboi, H. Matsuo, P. D. Mauskopf, Y. Murakoshi, A. Montana, P. Natarajan, T. Oshima, N. Ota, T. Perera, J. Rand, K. S. Scott, K. Tanaka, T. Tsuboi, “ A bright, dust-obscured, millimeter-selected galaxy beyond the Bullet Cluster (1E0657-56) ”, 2008, MNRAS, 390, 1061-1070 査読有り

⑥ N. Ota, K. Murase, T. Kitayama, E. Komatasu, M. Hattori, H. Matsuo, T. Oshima, Y. Suto, and K. Yoshikawa, “ Suzaku broad-band spectroscopy of RX J1347.5-1145: constraints on the extremely hot gas and non-thermal emission ”, 2008, A&A, 491, 363-377 査読有り

⑦ N. Ota, T. Kitayama, K. Masai, & K. Mitsuda, “ LX-T relation and thermal evolution of galaxy clusters ”, 2008, The Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics, 8, 84-92 査読有り

⑧T. Tokoi, K. Sato, Y. Ishisaki, T. Ohashi, N. Y. Yamasaki, K. Nakazawa, K. Matsushita, Y. Fukazawa, A. Hoshino, T. Tamura, C. Egawa, N. Kawao, N. Ota, N. Isobe, M. Kawaharada, H. Awaki, and J. P. Hughes, “ Suzaku Observations of HCG62: Temperature, Abundance, and Extended Hard X-ray Emission Profiles ”, 2008, PASJ, 60, S317-S332 査読有り

⑨K. Sato, N. Y. Yamasaki, M. Ishida, Y. Ishisaki, T. Ohashi, H. Kawahara, T. Kitaguchi, M. Kawaharada, M. Kokubun, K. Makishima, N. Ota, K. Nakazawa, T. Tamura, K. Matsushita, N. Kawano, Y. Fukazawa, J. P. Hughes, “X-ray Study of Temperature and Abundance Profiles of the Cluster of Galaxies Abell 1060 with Suzaku ”, 2007, PASJ, 59, 299-317 査読有り

[学会発表] (計3件)

①N. Ota, “Extremely hot gas in the most X-ray luminous cluster RXJ1347 ”, The Energetic Cosmos: from Suzaku to Astro-H, 2009年7月1日、北海道・グランドパーク小樽

② N. Ota, “ Velocity diagnostics in distant galaxy clusters with IX0 ”, Exploring the Hot Universe with IX0, 2008年9月18日、ドイツ・マックスプランク研究所

③ N. Ota, “ LX-T relation and thermal evolution of galaxy clusters ”, The

Frascati Workshop 2007, 2007年5月28日、イタリア・ブルカノ島

[その他]

ホームページ等

<http://www.rs.kagu.tus.ac.jp/ota/>

<http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2009/oota/index.shtml>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

太田 直美 (OTA NAOMI)

東京理科大学・理学部第一部・助教

研究者番号：40391891

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：