

銀河団と銀河団プラズマの相互作用の研究

Study of Interactions between Galaxies and Intra-Cluster Plasmas

牧島 一夫 (MAKISHIMA, Kazuo)
東京大学・大学院理学系研究科・教授



研究の概要

この研究は、「すざく」衛星などによる銀河団のX線観測を中心に、可視光データも援用し、「銀河が銀河団プラズマ中を運動するさい、電磁流体効果により強く相互作用する結果、プラズマ加熱や粒子加速が起き、銀河は抵抗を受け徐々に中心へと落下する」という仮説の検証を目指す。これまでの研究により、この視点を支持する結果がえられつつある。

研究分野：高エネルギー宇宙物理実験

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：X線天文学、銀河団、プラズマ物理学、すざく衛星、光学観測、雷雲ガンマ線

1. 研究開始当初の背景

銀河団は、暗黒物質、多数の銀河、および大量の高温プラズマから成る系である。銀河は可視光で、またプラズマはX線で、それぞれ詳しく観測されてきた。しかし、銀河がプラズマ中を遷音速で運動するさい、両者がどう相互作用するかという視点は、従来の研究から欠落していた。この視点は、銀河の形態進化など、銀河団に関する未解決の謎を説明する可能性をもっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「銀河団プラズマ中を銀河が運動するさい、電磁流体的な相互作用により、銀河の運動エネルギーがプラズマに受け渡される結果、プラズマ加熱や粒子加速が起き、銀河は重力ポテンシャルの中心に落下する」という描像を、観測から検証することである。

3. 研究の方法

- ・「すざく」衛星などで銀河団を軟X線観測し、銀河の運動がプラズマを加熱したり引きずったりする効果を検出する。
- ・「すざく」で銀河団の硬X線を探索し、粒子加速などの徴候をつかむ。
- ・X線と可視光のデータを比較することで、銀河が銀河団中心へ落下した証拠を探る。
- ・「すざく」の性能を最大限に引き出すとともに、銀河団の硬X線撮像を目ざし、後継機 *ASTRO-H* の搭載装置を開発する。

4. これまでの成果

4.1 「すざく」衛星による銀河団の硬X線観測

数例の衝突型の銀河団を「すざく」硬X線検出器で観測した結果、過去に *BeppoSAX* 衛星が検出したとする逆コンプトン硬X線は検出されず、より厳しい上限値を得た。シンクロトロン電波を発する銀河団では、この上限値と電波強度とから、磁場強度は数 μG あって構わないことが立証された。銀河団のプラズマ物理に大きな影響をもつ結果である。

Abell 3667 銀河団では、非熱的な放射のかわりに、異常に高温 ($>13\text{ keV}$) の熱的放射を予期せず検出することに成功した。これは銀河団の合体にともない、強いプラズマ加熱が起きていることを示す重要な発見である。

4.2 軟X線領域での銀河団の観測

Abell 1060 銀河団では一般的な銀河団と異なり、中心付近でプラズマ温度が上昇していることを確認した。これは中心部にある3つの銀河の相対運動により、プラズマが加熱されている証拠と考えられる。銀河の運動がプラズマを引きずる効果については、ケンタウルス銀河団で鉄輝線エネルギーを場所ごとに測定することで、その上限値を得た。

近傍銀河団の元素分布を「すざく」の軟X線分光で調べた結果、II型超新星の産物である酸素やマグネシウムに比べ、Ia型超新星の作る鉄やシリコンは、より中心に集中していることが明らかになった。これは銀河が宇宙年齢かけ中心に集まってきたことを支持する。

[4. これまでの成果 (続き)]

4.3 X線と可視光の比較研究

XMM-Newton 衛星による楕円銀河 NGC 1550 のX線観測の結果を、可視光の銀河カタログと比較した結果、プラズマ中の重元素は、それらの源である銀河たちに比べ、遥かに外まで広がっていることを明らかにした。これは宇宙年齢かけて複数の銀河が中心に落下し、合体して NGC 1550 となったことを示唆する。

より直接的には、可視光で測定した銀河の空間分布と、X線で求めたプラズマの分布を比較し、その相対的な関係が、宇宙の進化とともに変化してきたことを示すのがよい。当初、「すざく」による公開データの利用を考えたが、より均質なサンプルを得るのに適した、スローン・デジタル・スカイ・サーベイのデータを使う方針に転換しつつある。

4.4 関連する物理現象の観測的研究

銀河団ではしばしば電子が相対論的エネルギーまで加速されており、それには衝撃波よりもプラズマ中の電磁過程(電場加速など)が寄与していると考えられる。そうした過程を調べるため、関連する物理現象の研究も進めて来た。

電磁誘導の効く例として、高速自転する白色わい星から非熱的な硬X線の検出に成功し、数個のマグネター天体からは、異常に硬い硬X線放射を検出した。銀河中心の星間空間からは広がった硬X線を検出し、それに対する点源の寄与を評価している。

静電場加速の効く例として、日本海沿岸や高山の雷雲から、1分ほど続く強いガンマ線放射を8例、検出することができた。

4.5 装置開発実験

「すざく」に搭載された硬X線検出器は、銀河団の硬X線観測を行う上で重要である。その軌道上較正を推進した結果、10-70 keV 領域のバックグラウンドには、宇宙線が大気と衝突して作り出す中性子が大きく寄与していることを見出した。

銀河団から期待される逆コンプトン放射を検出するには、「すざく」を上回る硬X線感度が必要である。そこで国内外の諸グループと協力し、2013年度の打上げに向け、次期X線衛星 *ASTRO-H* に搭載される硬X線撮像装置や、軟ガンマ線コンプトンカメラの開発を進めた。

5. 今後の計画

銀河団の軟X線観測では、銀河の運動がプラズマを引きずる効果の探査に力を注ぎ、硬X線観測では、超高温成分の検出例を増やす努力を行なう。スローン・デジタル・スカイ・サーベイのデータを用い、可視光とX線の比較を進める。関連する物理現象を総合して電場加速の描像を構築し、成果の公表に努める。*ASTRO-H*の装置開発を続行する。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む) (研究代表者は太字、研究分担者は二重下線、 連携研究者は一重下線)

“Hard X-ray Properties of the Merging Cluster Abell 3667 as Observed with Suzaku”, Nakazawa, K., Sarazin, C., Kawaharada, M., Kitaguchi, T., Okuyama, S., **Makishima, K.**, 他7名: *Publ. Astro. Soc. Japan* **61**, in press (2009)

“A Galaxy Merger Scenario for the NGC 1550 Galaxy from Metal Distributions in the X-Ray Emitting Plasma”, Kawaharada, M., **Makishima, K.**, Kitaguchi, T., Okuyama, S., Nakazawa, K., Matsushita, K., & Fukazawa, Y.: *Astrophys. J.* **691**, 971-983 (2009)

“Constraint of Non-Thermal X-Ray Emission from the On-Going Merger Cluster Abell 3376 with Suzaku”, Kawano, N., Fukazawa, Y., Nishino, S., Nakazawa, K., Kitaguchi, T., **Makishima, K.**, Takahashi, T., Kokubun, M., 他5名: *Publ. Astro. Soc. Japan* **61**, S377-S386 (2009)

“Suzaku Discovery of Hard X-Ray Pulsations from a Rotating Magnetized White Dwarf, AE Aquarii”, Terada, Y., Hayashi, T., Ishida, M., Mukai, K., Dotani, T., Okada, S., Nakamura, R., Naik, S., Bamba, A., & **Makishima, K.**: *Publ. Astro. Soc. Japan* **60**, 387-397 (2008)

“Detection of High-Energy Gamma Rays from Winter Thunderclouds”, Tsuchiya, H., Enoto, T., Yamada, S., Yuasa, T., Kawaharada, M., Kitaguchi, T., Kokubun, M., Kato, H., Okano, M., Nakamura, S., & **Makishima, K.**: *Phys. Rev. Lett.* **99**, id 165002 (2007)

“Hard X-Ray Properties of Groups of Galaxies as Observed with ASCA”, Nakazawa, K., **Makishima, K.**, & Fukazawa, Y.: *Publ. Astr. Soc. Japan* **59**, 299-317 (2007)

“X-Ray Study of Temperature and Abundance Profiles of the Cluster of Galaxies Abell 1060 with Suzaku”, Sato, K., Yamasaki, N., Ishida, M., Ishisaki, Y., Ohashi, T., Kawahara, H., Kitaguchi, T., Kawaharada, M., Kokubun, M., **Makishima, K.**, 他10名: *Publ. Astr. Soc. Japan* **59**, 167-183 (2007)

ホームページ等

<http://www.utheal.phys.s.u-tokyo.ac.jp/>