

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2006～2010

課題番号：18104004

研究課題名(和文) 銀河団と銀河団プラズマの相互作用の研究

研究課題名(英文) Study of Interactions between Galaxies and Intra-Cluster Plasmas

研究代表者

牧島 一夫 (MAKISHIMA KAZUO)

東京大学・大学院理学系研究科・教授

研究者番号：20126163

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、「銀河が銀河団プラズマ中を運動するさい、両者は強く相互作用し、銀河のエネルギーがプラズマへ受け渡され、銀河は落下するはず」という仮説を検証することである。X線衛星「すざく」などで観測を行なった結果、銀河団の中心では大規模な磁気構造が存在し、条件によりプラズマ加熱が起きていることを発見した。また可視光データとの比較により、宇宙年齢かけて実際に銀河が中心に落下してきた徴候も得た。

研究成果の概要(英文)：The present research aimed at demonstrating our conjecture, that galaxies in a galaxy cluster must be interacting strongly with the hot plasma filling the cluster volume, and hence are falling to the center. Through X-ray observations using *Suzaku* and other means, we successfully revealed the presence of a large-scale ordered magnetic structure in the center of some clusters, and obtained evidence of plasma heating process therein. Incorporating optical data, we also obtained evidence that galaxies have actually been falling to the center of the cluster over the cosmological time scale.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	13,900,000	4,170,000	18,070,000
2007年度	14,700,000	4,410,000	19,110,000
2008年度	17,800,000	5,340,000	23,140,000
2009年度	16,600,000	4,980,000	21,580,000
2010年度	16,000,000	4,800,000	20,800,000
総計	79,000,000	23,700,000	102,700,000

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、粒子加速、雷雲ガンマ線

## 1. 研究開始当初の背景

銀河団は、暗黒物質(DM)、メンバー銀河、X線を放射する高温プラズマ(ICM; Intra Cluster Medium)の3成分を主体とする巨大な系で、未解決の謎が多い。たとえば銀河団の中心付近では周辺に比べ、楕円銀河が多く(環境効果)、赤方偏移  $z=1-0$  で強い進化も見られるが、それらの原因は長らく不明であ

る。「ICMはX線放射により宇宙年齢の間に冷えて中心に集積する」として一世を風靡した Cooling Flow 仮説は、「あすか」の観測などで全面的に否定されたが、ICMの放射冷却を止める加熱機構は、いまだ不明である。さらに銀河団で粒子加速が起きている兆候もあるが、その詳細は不明であり、観測的な確認が求められていた。

## 2. 研究の目的

我々は「あすか」衛星を用いた銀河団の X 線観測を通じ、1. で述べた謎が、共通の鍵をもつ可能性に気づいた。銀河団のメンバー銀河は、プラズマ中を遷音速でランダムに運動しており、そのさい銀河とプラズマの間には、相互作用が生じないと考えられて来た。これは中性気体であれば正しい。しかし ICM は磁化した高電離プラズマで、銀河の方も電氣的な良導体である。そこで我々は、「銀河は、ICM 中を運動するさい、電磁流体効果により ICM と強く相互作用し、その力学的エネルギーを ICM へ受け渡す。このエネルギーは ICM 中で熱化し、ICM の加熱や粒子加速を引き起こす。銀河の方は ICM からの動圧抵抗を受けてエネルギーを失い、環境効果を発現しつつ、宇宙年齢かけてポテンシャル中心へと落下する」と提唱するに至った (牧島他 2001)。

概算すると宇宙年齢の間に、銀河の運動エネルギーの数十%が ICM に受け渡され、ICM の放射冷却を止めるに必要な  $\sim 10^{43}$  erg/s の光度を供給できることになる。

本研究の目的は、銀河団を X 線や可視光で観測することにより、上記の仮説を検証し、あわせてこれら X 線観測を格段に進展させるべく、将来の観測装置の開発を行なうことである。

## 3. 研究の方法

本研究では、以下の 7 つ方法を通じ、上記の仮説の検証に挑戦して来た。

- A. 2005 年 7 月に打ち上げられた、日本 5 機目の宇宙 X 線衛星「すざく」の運用を支援し、搭載された硬 X 線検出器 (HXD) の軌道上較正を遂行する。同衛星は本研究にとって、主要な手段の一つである。
- B. 「すざく」などの X 線観測により、銀河団中の銀河が ICM を引きずりながら運動している証拠や、銀河の運動の熱化により ICM が加熱されている証拠を探索する。
- C. 我々の仮説の根底にある描像の 1 つは、中心銀河が磁気圏をもち、その内部に低温 ICM が、また外部に高温 ICM が捕捉されているという、「中心銀河コロナ」仮説である。その検証に挑む。
- D. ある種の銀河団では、相対論的電子がシンクロトロン電波を放射しており、銀河のエネルギーの散逸が電子を加速している可能性がある。そこで「すざく」HXD を用い、加速電子からの逆コンプトン放射を探索し、加速現場に迫る。
- E. 銀河は ICM 中の重元素と比べても、よりも中心に集中する傾向をもつ。これは銀

河が重元素を放出しつつ宇宙年齢かけて落下してきた可能性を示唆している。より詳細な観測を行う。

- F. 近傍の銀河団では、メンバー銀河は暗黒物質や ICM に比べ強く中心に集中している。そこで近傍から赤方偏移  $z \sim 1$  の銀河団までを統計的に調べ、遠方 (過去) に遡ると、銀河の空間分布がより広がり X 線の空間分布に近づくかどうかを探る。
- G. 上記 D. をさらに推進するため、「すざく」の後継機として 2014 年度に打ち上げ予定の *ASTRO-H* 衛星に向け、HXD を改良した撮像型硬 X 線検出器などを開発する。

## 4. 研究成果

3 の「研究の方法」で述べた A-G の項目に対応する形で、成果を述べる。総じて我々の仮説は、大幅に強化され、本研究は成功裡に目的を達成したと言える。

### A. 硬 X 線検出器 (HXD) の軌道上較正

HXD 装置は「すざく」を用いた銀河団の硬 X 線観測に必須なことから、その軌道上の較正を進めた。その結果、HXD バックグラウンドを精密 ( $\sim 1\%$ ) に再構成することに成功し、イベントの時刻付け精度を検証し、HXD-PIN 検出器のバックグラウンドの主因の 1 つが、大気中性子であることを突き止めた。

### B1. プラズマの引きずりと加熱

「すざく」CCD カメラ (XIS) の分光特性を活かし、理研などと協力し、緩和した銀河団 (ケンタウルス、ペルセウスなど) の各部分での鉄輝線エネルギーを精密 (0.2%) に測定した。その結果、ICM の視線方向のバルク運動は、音速を超えないことを突き止めた。引きずり効果のより高感度な探索は、*ASTRO-H* の X 線カロリメータで可能となる見込みである。

東理大、首都大、金沢大などと協力し、Abell 1060 銀河団を「すざく」で観測した結果、中心ではプラズマ温度が上昇していることを確認した。これは大多数の銀河団では中心でプラズマ温度が低下することと対照的である。Abell 1060 の中心では 3 つの大きな銀河が運動しており、それによるプラズマ加熱が起きている可能性がある。本研究の仮説を強化する結果である。

### C. 「中心銀河コロナ」描像の強化

*XMM-Newton*、「すざく」、*Chandra* などの X 線データを駆使し、中心で顕著な ICM の温度低下を示す代表的な銀河団である、ケンタウルスと Abell 1795 を研究した。その結果どちらの天体でも、中心付近では高温 ICM と、その約 1/2 の温度をもつ低温 ICM とが共存していることが確実となった。温度の異なるプ

プラズマが安定に共存するためには、銀河団の中心部分で大規模な磁気構造が存在することが不可欠であり、我々の提唱する「cD コロナ」描像が現実味をもったと言えよう。

#### D1. 銀河団からの非熱的放射の上限

広島大学、バージニア大学などと協力し、「すざく」HXD で数例の衝突型銀河団を深く観測した結果、非熱的放射は検出されず厳しい上限値を得た。よって過去に *BeppoSAX* 衛星が報告した「非熱的硬 X 線の検出」には、大幅な見直しが必要となった。これは本研究にとって、当初見込みとは異なるものの有利な材料である。なぜなら ICM 中の磁場は *BeppoSAX* の結果が要求する弱い ( $\sim 0.1 \mu\text{G}$ ) 値ではなく、ファラデー回転で示唆される値 (数  $\mu\text{G}$ ) が許され、本研究の展望が強化されるからである。他方「あすか」データの再解析から、ある種の銀河群では非熱的硬 X 線の徴候を得た。*ASTRO-H* で決着が得られよう。

#### D2. 超高温の熱的成分の発見 (新規事項)

「すざく」による衝突型銀河団 Abell 3667 の観測では、非熱的放射の代わりに、超高温 ( $> 15 \text{ keV}$ ) の熱的な放射を発見した (図 1)。また衝突からの時間経過がより長いと考えられる「みなみのさんかく座」銀河団では、ICM は等温であった。よって衝突で解放されたエネルギーが、有効にプラズマ加熱に費やされ、生成された超高温プラズマが一定期間は拡散せず、磁場で閉じ込められると示唆される。これは本研究の開始時点では想定していなかった新現象であり、磁気プラズマ効果の現れとして我々の仮説に有利に働く。超高温成分の空間分布は、*ASTRO-H* の観測を待つ。

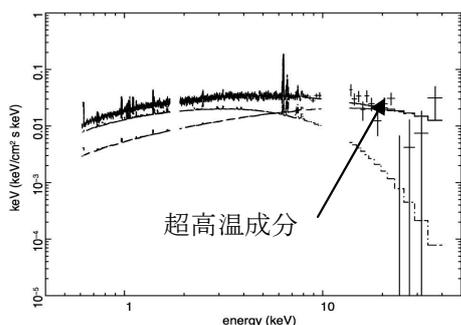


図 1 : 「すざく」で得た Abell 3667 のスペクトル (論文リスト[9])。

#### E. 重元素の中心集中

東京理科大や理研などと協力し、近傍の数例の銀河団を X 線分光し、ICM 中の Fe や Si は O や Mg より中心集中することを明らかにした。これは銀河団形成の初期に銀河が周辺まで分布し、そこで II 型超新星が頻発して O, Mg などを供給したが、宇宙進化とともに銀河が中心に集中し、より長時間かけて発生

した Ia 型超新星が Fe や Si を供給したと考えて説明できる。本研究の仮説を支持する。

NGC 1550 は、可視光では 1 個の楕円銀河だが、X 線では巨大なプラズマハローをもつ。この天体を *XMM-Newton* 衛星で X 線観測し、そこから重元素の空間分布を求め、可視光の公開データと比較したところ、プラズマ中の重元素は、その源であるメンバー銀河より、はるか外側まで広がることを発見した。これは宇宙年齢かけて銀河が ICM 中を中心に落下してきたことを示唆し、本研究の仮説を大きく強化する結果である。

#### F. 過去から現在にかけての銀河の中心落下

宇宙の過去から現在にかけ、銀河団のメンバー銀河が ICM 中を落下してきたことを証明するため、スローン・デジタル・スカイ・サーベイ、ハワイ大学 88 インチ望遠鏡、「すばる」望遠鏡などで観測された多数の銀河団の可視光画像を解析し、メンバー銀河の空間分布を定量化し、対応する X 線の広がりと比較を行ってきた。この作業はやや遅れたが、確かに予想される通り、遠方の銀河団ほど銀河が ICM の周辺まで分布する徴候が得られつつある。取りまとめに若干の時間を要するが、本研究の決定打となると期待される。

#### F. *ASTRO-H* 衛星搭載装置の開発

銀河団から期待される非熱的放射を検出するには、「すざく」HXD を越える感度が必要であることが判明した。そのため JAXA、広島大、埼玉大、理研、名大、早大、スタンフォード大などと協力し、次期 X 線衛星 *ASTRO-H* (2014 年に打上げの見通し) に向け、硬 X 線や軟ガンマ線で撮像の行なえる装置の開発を鋭意、行ってきた。

#### G. 関連する現象の研究 (新規事項)

研究の過程で我々は、ICM 中に生じうる電場の役割の重要性に気づき、静電場加速の好例として、雷雲に着目した。可般型の放射線検出ステーションにより日本海沿岸の冬季雷雲などを観測した結果、雷雲から来る顕著なバースト状のガンマ線放射を、5 季の間に合計 14 例も検出することに成功した。うち約半数は落雷とは相関せず、1-2 分もの長い継続時間をもつので、雷雲中の強い静電場により、電子が逃走加速を受けていると考えられる。これは新分野の誕生と言えよう。

いっぽう誘導電場の役割を探るため、超強磁場をもつ特殊な中性子星「マグネター」の「すざく」による観測を進めた結果、 $\sim 100 \text{ keV}$  に達する顕著な硬 X 線を 7 例の天体から検出することに成功した。これはマグネター磁気圏プラズマ中での粒子加速、超強磁場中でのガンマ線の 2 光子分裂など、興味深い物理を反映するものと考えられ、*ASTRO-H* の重要なテーマとなると期待される。

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 31 件)

1. Sato, K., Kawaharada, M., Nakazawa, K., Matsushita, K., Ishisaki, Y., Yamasaki, N. Y., & Ohashi, T.: "Metallicity of the Fossil Group NGC 1550 Observed with Suzaku", *Publ. Astr. Soc. Japan* **62**, 1445-1454 (2010)
2. Konami, S., Sato, K., Matsushita, K., (6 名), Makishima, K.: "Abundance Patterns in the Interstellar Medium of the S0 Galaxy NGC 1316 (Fornax A) Revealed with Suzaku", *Publ. Astr. Soc. Japan* **62**, 1435-1443 (2010)
3. Enoto, T., Nakazawa, K., Makishima, K., Nakagawa, Y. E., (8 名): "Suzaku Discovery of a Hard X-Ray Tail in the Persistent Spectra from the Magnetar 1E 1547.0-5408 during its 2009 Activity", *Publ. Astr. Soc. Japan* **62**, 475-485 (2010)
4. Kawaharada, M., Makishima, K., Kitaguchi, T., Okuyama, S., Nakazawa, K. & Fukazawa, Y.: "Suzaku Constraints on Soft and Hard Excess Emissions from Abell 2199", *Publ. Astr. Soc. Japan* **62**, 115-129 (2010)
5. Enoto, T., Nakazawa, K., Makishima, K., Rea, N., (2 名): "Broad-band Study with Suzaku of the Magnetar Class", *Astrophys. J. Lett.* **722**, L162-L167 (2010)
6. Finoguenov, A., Sarazin, C., Nakazawa, K., (2 名): "XMM-Newton Observation of the Northwest Radio Relic Region in A3667", *Astrophys. J.*: **715**, 1143-1151 (2010)
7. Enoto, T., Rea, N., Nakagawa, Y. E., Makishima, K., (5 名), Kokubun, M., (10 名): "Wide-band Suzaku Analysis of the Persistent Emission from SGR 0501+4516 During the 2008 Outburst", *Astrophys. J.*: **715**, 665-670 (2010)
8. Kawaharada, M., (3 名), Matsushita, K., Fukazawa, Y., Hamana, T., Miyazaki, S., Nakazawa, K. & Ohashi, T.: "Suzaku Observation of A1689: Anisotropic Temperature and Entropy Distributions Associated with the Large-scale Structure", *Astrophys. J.* **714**, 423-441 (2010)
9. Nakazawa, K., Sarazin, C., Kawaharada, M., (2 名), Makishima, K., (7 名): "Hard X-ray Properties of the Merging Cluster Abell 3667 Observed with Suzaku", *Publ. Astr. Soc. Japan* **61**, 339-355 (2009)
10. Kawano, N., Fukazawa, Y., Nishino, S., Nakazawa, K., Kitaguchi, T., Makishima, K., Takahashi, T., Kokubun, M., (5 名): "Constraint of Non-Thermal X-Ray Emission from the On-Going Merger Cluster Abell 3376 with Suzaku", *Publ. Astr. Soc. Japan* **61**, S377-S386 (2009)
11. Yamaoka, K., (以下順不同) Kokubun, M., Makishima, K., Nakazawa, K., *et al.*: "Design and In-Orbit Performance of the Suzaku Wide-Band All-Sky Monitor", *Publ. Astr. Soc. Japan* **61**, S35-S53 (2009)
12. Fukazawa, Y., (以下順不同) Kokubun, M., Enoto, T., Makishima, K., Nakazawa, K., *et al.*: "Modeling Reproducibility of Suzaku HXD PIN/GSO Background", *Publ. Astr. Soc. Japan* **61**, S17-S33 (2009)
13. Takahashi, I., Kawaharada, M., Makishima, K., Matsushita, K., (3 名), Kokubun, M., Nakazawa, K., (2 名): "X-ray Diagnostics of Thermal Conditions of the Hot Plasmas in the Centaurus Cluster", *Astrophys. J.* **701**, 377-395 (2009)
14. Wik, D. R., Sarazin, C. L., Finoguenov, A., Matsushita, K., Nakazawa, K. & Clarke, T.: "A Suzaku Search for Nonthermal Emission at Hard X-Ray Energies in the Coma Cluster", *Astrophys. J.* **696**, 1700-1711 (2009)
15. Enoto, T., Nakagawa, Y. E., Rea, N., Esposito, P., Götz, D., Hurley, K., Israel, G. L., Kokubun, M., Makishima, K., (11 名): "Suzaku Observation of the New Soft Gamma Repeater SGR 0501+4516 in Outburst", *Astrophys. J. Lett.* **696**, L122-L126 (2009)
16. Kawaharada, M., Makishima, K., Kitaguchi, T., Okuyama, S., Nakazawa, K., Matsushita, K., & Fukazawa, Y.: "A Galaxy Merger Scenario for the NGC 1550 Galaxy from Metal Distributions in the X-Ray Emitting Plasma", *Astrophys. J.* **691**, 971-983 (2009)
17. Tsuchiya, H., Enoto, T., Torii, T., Nakazawa, K., Yuasa, T., Torii, S., Fukuyama, T., Yamaguchi, T., Kato, H., Okano, M., Takita, M. & Makishima, K.: "Observation of an Energetic Radiation Burst from Mountain-Top Thunderclouds", *Phys. Rev. Lett.* **102**, id.255003 (2009)
18. Itoh, T., Yanagida, T., Kokubun, M., (5 名), Takahashi, T., Nakazawa, K., (3 名): "High Energy Resolution Hard X-Ray and Gamma-Ray Imagers Using CdTe Diode Devices", *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **56**, 777-782 (2009)
19. Tokoi, K., (4 名), Nakazawa, K., Matsushita, K., Kawaharada, M., (7 名): "Suzaku Observation of HCG 62: Temperature, Abundance, and Extended Hard X-Ray Emission Profiles", *Publ. Astr. Soc. Japan* **60**, S317-S332 (2008)
20. Terada, Y., Enoto, T., (以下順不同) Kawaharada, M., Kokubun, M., Makishima, K., Nakazawa, K., *et al.*: "In-Orbit Timing Calibration of the Hard X-Ray Detector on Board Suzaku", *Publ. Astr. Soc. Japan* **60**, S25-S34 (2008)
21. Matsushita, K., & the Suzaku SWG team: "Suzaku observations of clusters of galaxies", *Astr. Nach.* **329**, 139-142 (2008)
22. Tsuchiya, H., Enoto, T., Yamada, S., Yuasa, T., Kawaharada, M., Kitaguchi, T., Kokubun, M., Kato, H., Okano, M., Nakamura, S., & Makishima, K.: "Detection of High-Energy Gamma Rays from Winter Thunder clouds", *Phys. Rev. Lett.* **99**, id. 165002 (2008)
23. 牧島一夫: 「宇宙におけるプラズマ現象と長距離相互作用」、日本物理学会誌、2008年8月号 (Vol. 63, No. 8), 595
24. Ota, N., Fukazawa, Y., Fabian, A.C., Kanemaru, T., Kawaharada, M., Kawano, N., Kelley, R., Kitaguchi, T., Makishima, K., (7 名): "Suzaku Observations of the Centaurus Cluster: Absence of Bulk Motions in the ICM", *Publ. Astr. Soc. Japan* **59**, S351-S359 (2007)
25. Matsushita, K., Fukazawa, Y., Hughes, J., Kitaguchi, T., Makishima, K., Nakazawa, K., (4 名): "Suzaku Observation of the Metallicity

- Distribution in the Intracluster Medium of the Fornax Cluster", *Publ. Astr. Soc. Japan* **59**, S327-S338 (2007)
26. Kokubun, M., Makishima, K., Nakazawa, K., Kawaharada, M., et al.: "In-Orbit Performance of the Hard X-Ray Detector on Board Suzaku", *Publ. Astr. Soc. Japan* **59**, S53-S76 (2007)
  27. Sato, K., (5名), Kitaguchi, T., Kawaharada, M., Kokubun, M., Makishima, K., Ota, N., Nakazawa, K., (6名): "X-Ray Study of Temperature and Abundance Profiles of the Cluster of Galaxies Abell 1060 with Suzaku", *Publ. Astr. Soc. Japan* **59**, 299-317 (2007)
  28. Nakazawa, K., Makishima, K., & Fukazawa, Y.: "Hard X-Ray Properties of Groups of Galaxies as Observed with ASCA", *Publ. Astr. Soc. Japan* **59**, 167-183 (2007)
  29. Nakazawa, K., Kawano, N., Fukazawa, Y., Egawa, C., Kitaguchi, T., Kawaharada, M., Makishima, K., Ota, N., Tokoi, K., (4名): "Suzaku Survey for Non-Thermal Hard X-Ray Emission from Clusters of Galaxies", *Prog. Theor. Phys. Suppl.* **169**, 45-48 (2007)
  30. Sato, M., Miyawaki, R., Makishima, K., Takashima, T., Tanaka, T., Nakazawa, K., Takahashi, T., Shimura, N. & Ishibashi, H.: "A 1-Dimensional  $\gamma$ -ray Position Sensor based on GSO:CeScintillators Coupled to a Si Strip Detector", *Nucl. Inst. Meth. A* **579**, 239-242 (2007)
  31. Nakazawa, K., Takeda, S., (7名) & Kokubun, M.: "A High-Energy Resolution 4 cm-Wide Double-Sided Silicon Strip Detector", *Nucl. Inst. Meth. A*, **573**, 44-47 (2007)
- [学会発表] (計 35 件)
1. 稲田直久, 川原田円, 高橋芳太, 小波さおり, 牧島一夫: "Evolution of Galaxy Light Distribution in Galaxy Clusters", 日本天文学会・秋の年会 (2010年9月22-24日、金沢大学) T06a
  2. Senul, O. & Makishima, K.: "A study on thermal conditions at the central region of non-cD clusters of galaxies", 同上 T07
  3. 川原田円, (3名), 松下恭子, 深沢泰司, (2名), 中澤知洋, 大橋隆哉: "Abell 1689 銀河団周辺部の高温ガスの観測的研究", 日本物理学会・春の年会 (2010年9月11-13日、九州工業大学) 11aSG-2
  4. 牧島一夫: "『すざく』衛星で探る宇宙高温プラズマ", 日本地球惑星科学連合 2010年大会 2 学会合同プラズマ物理セッション I (2010年5月23日、幕張メッセ)
  5. 中島健太, 中澤知洋, 上田剛, 西岡博之, 牧島一夫, ほか: "ASTRO-H 衛星硬 X 線・軟ガンマ線検出器アクティブシールドの開発 (II): 機構開発", 日本物理学会・春の年会 (2010年3月20-23日、岡山大学) 20aBP-10
  6. 牧島一夫, 榎戸輝揚, 中川友進, 早藤麻美ほか: "『すざく』マグネター研究チーム: 『すざく』による超強磁場中性子星マグネターの X 線観測", 同上 20aBP-10
  7. 川原田円, 岡部信広, 中澤知洋, 滝沢元和, 梅津敬一: "『すざく』による Abell 1689 銀河団外縁部の高温ガスの研究", 日本天文学会・秋の年会 (2009年9月14-16日、山口大学), T06a
  8. 中島健太, 中澤知洋, 奥山翔, 山田真也, 牧島一夫: "『すざく』による Triangulum-Australis 銀河団の観測", 同上 T09a
  9. 西岡博之, 奥山翔, 中澤知洋, 山田真也, 榎戸輝揚, 湯浅孝行, 牧島一夫: "結晶シンチレータの光量シミュレータの開発", 同上 W62a
  10. 国分紀秀, 渡辺伸, 佐藤理江, 大野雅功, 高橋忠幸, 中澤知洋, 牧島一夫ほか: "次期 X 線天文衛星 ASTRO-H 搭載硬 X 線イメージャ (HXI) の開発の現状", 日本物理学会・秋季大会 (2009年9月10-13日、甲南大学) 10aSD-10
  11. 深沢泰司, (6名), 国分紀秀, 渡辺伸, 大野雅功, 牧島一夫, 中澤知洋ほか: "次期 X 線衛星 ASTRO-H 搭載軟ガンマ検出器 (SGD) の開発状況", 同上 10aSD-13
  12. 土屋晴文, 榎戸輝揚, 山田真也, 湯浅孝行, 川原田円, 北口貴雄, 国分紀秀, 加藤博, 岡野眞治, 牧島一夫: "2008 年度における冬季雷活動からの高エネルギー放射線の観測", 同上 10pSD-6
  13. Sarazin, C.L., Wik, D., Nakazawa, K., (4名), Kawaharada, M. & Takizawa, M.: "Non-Thermal and Thermal Hard X-ray Emission from Clusters of Galaxies", in *The Energetic Cosmos: from Suzaku to ASTRO-H* (invited; 2009年6月30日-7月2日、小樽)
  14. 湯浅孝行, 中澤知洋, 牧島一夫, 高橋忠幸, 能町正治, 高島健, 国分紀秀, ほか: "SpaceWire I/F を用いた衛星内時刻配信の検証", 日本物理学会・春の年会 (2009年3月27-30日、立教大学) 28pSH-7
  15. 土屋晴文, 榎戸輝揚, 鳥居建男, 中澤知洋, (6名), 牧島一夫: "高山における雷雲からの高エネルギー放射線の観測", 同上 30aSP-8
  16. 中澤知洋ほか: "次期 X 線天文衛星 ASTRO-H (ex-NeXT) 搭載硬 X 線イメージャ (HXI) の開発の現状 (III)", 日本天文学会・春の年会 (2009年3月24-27日、大阪府立大学) W61a
  17. 土屋晴文, 榎戸輝揚, 山田真也, 湯浅孝行, 川原田円, 北口貴雄, 国分紀秀, 加藤博, 岡野眞治, 中村聡史, 牧島一夫: "2007 年中における冬季雷雲からのガンマ線観測", 日本物理学会・秋の年会 (2008年9月20-23日、山形大学) 23aSH-12
  18. 上田剛, 榎戸輝揚, 中澤知洋, 三谷烈史, (7名), 牧島一夫: "小型衛星による雷ガンマ線検出をめざした地球起源ガンマ線カウンターの開発", 同上 22pSH-9
  19. 榎戸輝揚, 牧島一夫, 中澤知洋, 国分紀秀, 川原田円, 柴崎徳明, 古徳純一: "『すざく』衛星による AXP 4U 0142+61 の硬 X 線放射の観測", 同上 22pSH-8

20. 川原田円、北口貴雄、中澤知洋、牧島一夫、(3名)、松下恭子ほか：「『すざく』衛星による MS 1512.4+3647 銀河団の重元素の研究」、日本天文学会・秋の年会 (2008年9月11-13日、岡山理科大学) T07a
21. 中澤知洋、奥山翔、北口貴雄、深沢泰司、滝沢元和、井上進、牧島一夫：「X線衛星『すざく』が捉えた衝突銀河団 Abell 3667 銀河団における ICM 加熱と銀河間磁場」、日本物理学会・春の年会 (2008年3月22-26日、近畿大学) 23aZX-6
22. 中澤知洋：「『すざく』による衝突銀河団 A3667 のマッピング観測、「マクロでミクロな銀河団」研究会 (2007年10月24-26日、山形蔵王)
23. 牧島一夫：「高温で希薄な宇宙磁化プラズマと長距離相互作用」、日本天文学会・秋の年会 (2007年9月26-29日、岐阜大学) A220a
24. 榎戸輝揚、土屋晴文、(3名)、国分紀秀、川原田円、岡野眞治、加藤博、中村聡史、牧島一夫：「雷雲電場による粒子加速の地上観測」、同上 A109b
25. 川原田円、北口貴雄、中澤知洋、牧島一夫、深沢泰司：「『すざく』衛星による Abell 2199 銀河団の観測」、同上 T03a
26. 中澤知洋、川原田円、北口貴雄、奥山翔、滝沢元和、井上進、深沢泰司、牧島一夫：「『すざく』による Abell 3667 銀河団からの非熱的放射の探査」、同上 T02a
27. 奥山翔、武田伸一郎、安田創、中澤知洋、(8名)、牧島一夫：「硬 X 線の精密な撮像分光観測に向けた多層 DSSD システムの開発の現状」、同上 W75a
28. 牧島一夫：「宇宙におけるプラズマ現象と非熱的過程」、日本物理学会・秋季大会 (2007年9月21-24日、北海道大学) 23aEF-2 レビューセッション
29. 土屋晴文、榎戸輝揚、山田真也、湯浅孝行、川原田円、北口貴雄、国分紀秀、岡野眞治、加藤博、中村聡史、牧島一夫：「日本の冬季雷雲に付随した X 線およびガンマ線の観測」、同上 24aZJ-9
30. 国分紀秀、高橋忠幸、渡辺伸、中澤知洋、牧島一夫、寺田幸功、川原田円、他：「『すざく』衛星硬 X 線検出器 (HXD) 主検出部の現状 (IV)」、同上 22aZJ-2
31. 北口貴雄、川原田円、牧島一夫、太田直美、中澤知洋、国分紀秀ほか：「『すざく』衛星による銀河団からの硬 X 線放射の分光観測」、日本天文学会・春の年会 (2007年3月28-30日、東海大学) T01a
32. Nakazawa, K., (順不同)、Kawaharada, M., Makishima, K., (5名)：「Suzaku survey for Non-Thermal Hard X-ray Emission from Clusters of Galaxies」, in The Extreme Universe in the Suzaku Era (2006年12月4-8日、京都)
33. 太田直美、(2名)、牧島一夫、川原田円、北口貴雄、佐藤光、松下恭子、(3名)、中澤知洋ほか：「『すざく』衛星による Centaurus 銀河団中のガスバルク運動測定」、日本天文学会・秋季年会 (年九州国際大学、2006年9月19-21日) T04a
34. 松下恭子、大橋隆哉、鶴剛、深沢泰司、戸塚都、山崎典子、中澤知洋、田村隆幸、太田直美、浦田裕次、北口貴雄、牧島一夫ほか：「『すざく』衛星による Fornax 座銀河団の観測」、同上 T05a
35. 川埜直美、深澤泰司、北口貴雄、川原田円、国分紀秀、牧島一夫、中澤知洋ほか：「『すざく』衛星による銀河団からの非熱的硬 X 線放射の探査」、同上 T06a

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

牧島 一夫 (MAKISHIMA KAZUO)  
 東京大学・大学院理学系研究科・教授  
 研究者番号：20126163

### (2) 研究分担者

中澤 知洋 (NAKAZAWA KAZUHIRO)  
 東京大学・大学院理学系研究科・講師  
 研究者番号：50342621  
 (H19-H22)

平賀 純子 (HIRAGA JUNKO)  
 東京大学・大学院理学系研究科・助教  
 研究者番号：00446527  
 (H22)

稲田 直久 (INADA NAOHISA)  
 東京大学・大学院理学系研究科・特任研究員  
 研究者番号：20462658  
 (H22) (H21:連携研究者)

### (3) 連携研究者

国分 紀秀 (KOKUBUN MOTOHIDE)  
 独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授  
 研究者番号：50334248  
 (H20-H22) (H18-H19:研究分担者)

川原田 円 (KAWAHARADA MADOKA)  
 独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・宇宙航空プロジェクト研究員  
 研究者番号：50462677  
 (H20-H22)

児玉 忠恭 (KODAMA TADAYUKI)  
 大学共同利用機関法人自然科学研究機構・国立天文台・准教授  
 研究者番号：80343101  
 (H20-H22) (H18-H19:研究分担者)

松下 恭子 (MATSUSHITA KYOKO)  
 東京理科大学・理学部 准教授  
 研究者番号：50366423  
 (H20-H22) (H18-H19:研究分担者)