

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23244024

研究課題名(和文) 広帯域X線観測を用いた質量降着ブラックホールの研究

研究課題名(英文) Studies of Mass-Accreting Black Holes through Broad-Band X-Ray Observations

研究代表者

牧島 一夫 (Makishima, Kazuo)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20126163

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 37,100,000円、(間接経費) 11,130,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙X線衛星「すざく」と全天X線監視装置MAXIを用い、質量降着するブラックホール天体を観測することで、以下の成果を得た。(1)低光度でのX線放射を説明する「円盤とコロナ」の描像を強化した。(2)はくちょう座X-1がスパイク状に変動する際、スペクトルの急激な変化を見出した。(3)活動銀河核の一次硬X線放射が、性質の異なる2成分からなることを発見し、単一成分とする長年の知見を覆した。(4)熱的コンプトン過程の統一描像を構築し、ULXの中質量ブラックホール説を強化した。(5)実験室では、「すざく」の後継機として2015年度に打上げ予定のASTRO-H衛星に向け、搭載装置の開発実験を進めた。

研究成果の概要(英文)：Through X-ray observations of mass-accreting black holes with the Suzaku satellite, and the MAXI experiment onboard the International Space Station, we obtained the following results. (1) We successfully reinforced the disk-corona view that describes emission from these objects when their accretion rate is relatively low. (2) Rapid spectral changes were detected from Cygnus X-1 as it displays spiky fast variations. (3) We discovered that the primary hard X-ray emission from Active Galactic Nuclei in fact consists of two distinct components, and revised previous view that regards the emission as a single component. (4) Comparing black holes with accreting neutron stars with weak magnetic fields, a unified description of thermal Comptonization process was constructed. (5) In collaboration with many domestic and foreign institutions, as well as industries, we developed the Soft Gamma-Ray Detector, to be put onboard ASTRO-H which is scheduled for launch in 2015 as a successor to Suzaku.

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：X線 線天文学

キーワード：ブラックホール 宇宙X線 「すざく」 MAXI ASTRO-H コンプトン散乱

1. 研究開始当初の背景

1970年代、小田稔らにより「はくちょう座 (Cyg) X-1」がブラックホール(BH)であると指摘されて以来、おもにガスが降着するさい発生するX線を手掛りに研究が進められ、宇宙に様々な質量のBHが存在することが確実になってきた。質量降着率が高いときに発現するHigh/Soft状態では、降着物質の解放する重力エネルギーがいかんにして放射に変換されるかの理解が進み、その中で日本はつねに世界をリードする成果を挙げて来た。他方で、質量降着率が低い時に現れるLow/Hard状態は理解が遅れており、エネルギー転換の機構には未解明の部分が多い。ここを解明することは、恒星質量BHと活動銀河核(AGN)の類似性を強める上でも重要である。

2005年7月に打ち上げられたX線衛星「すざく」は、0.3-10 keVをカバーするX線CCDカメラ(XIS)とX線望遠鏡(XRT)に加え、10-600 keVを受け持つ硬X線検出器(HXD)を搭載し、Low/Hard状態を中心に、BHの研究に新たな地平を拓きつつある。さらに2009年夏、国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」に全天X線監視装置MAXIが搭載され、「すざく」と相補的な特徴を活かし、BH新星の出現監視などに威力を発揮し始めた。

こうして「すざく」とMAXIの2機が揃い踏みする現状は、質量降着するBHを総合的に理解する絶好のチャンスである。その成果は、2015年に「すざく」の後継機として打ち上げ予定のASTRO-H衛星に引き継がれる見通しであり、この三機の連携は、日本がこの重要な研究分野で引き続き世界の第一線を牽引する上で重要である。

2. 研究の目的

- (1) おもにLow/Hard状態に注目し、X線データを用い、質量降着するBHにおけるX線・ガンマ線の放射領域の幾何形状や配置を特定すること。とくに「すざく」の初期観測などで示唆された、「円盤-コロナ描像」を強化すること。
- (2) BH天体のLow/Hard状態で見られる、ランダムな強度変動の機構に迫ること。
- (3) 恒星質量BHとAGNの間の類似性を一段と強化すること。とくに、セイファート銀河などの典型的なAGNが、BH連星のHigh/SoftとLow/Hard状態のどちららに対応するか、明らかにすること。
- (4) ASTRO-H衛星に向け、搭載予定の軟ガンマ線検出器(SDG)の開発を遂行すること。SGDは50-600 keVの広帯域を受け持つコンプトン望遠鏡で、BH研究の鍵となる。

3. 研究の方法

(3-1) 観測的手法

- (1) 「すざく」の公開データなどを利用し、

ブラックホール連星、ULX、AGNの解析を進め、また「すざく」に対し新たな観測提案を行う。

- (2) MAXIを用いて、新たなブラックホール天体の出現などを監視し、必要に応じて「すざく」に緊急観測を提案する。
- (3) 国内の中口径の光学望遠鏡を組織し、AGNのX線と可視光の同時観測を新しい視点に基づき実施する。
- (4) ブラックホール天体と中性子星連星との比較研究、AGNとブラックホール連星の比較など、横通しの研究を行う。

(3-2) 実験的手法

- (1) ASTRO-H SDG装置のうち、とくに我々が責任分担している、アクティブシールドの開発を遂行する。これは多くの他機関と共同研究となる。
- (2) 同様に、SGDの熱設計および機構設計の高度化と検証を遂行する。

4. 研究成果

(4-1) 観測的な成果

(4-1-1) 円盤-コロナ描像の強化

諸外国での先行研究や我々自身の「すざく」によるCyg X-1の初期観測から、Low/Hard状態では光学的に厚い降着円盤が最終安定軌道より外側で途切れて高温降着流(コロナと呼ばれる)になり、円盤からの軟X線がコロナにより熱的コンプトン散乱を受けて、100 keV以上にまで延びる硬X線連続成分が生じると考えられてきた。本研究では研究協力者の山田真也(理研PD)らを中心に、「すざく」によるCyg X-1の25回の観測データを解析し、この描像を強化した[1, 4, 11, 28, 33, 42, 52, 56]。またMAXIで発見したBH新星XTE J1752-223からも類似な結論が導かれた[9]。

(4-1-2) ランダム時間変動 [5, 33, 35, 50, 56]

我々は山田らを中心に、Low/Hard状態にあるCyg X-1のスパイク状の強度変動を解析し、高温コロナがBHに落ち込むにつれスペクトルが軟化するが、最後の0.1 secでコロナが急激に加熱されることを突き止めた。もし中心に硬い表面があれば、そこで熱化した放射がコロナを冷やすため今回の観測を説明できないので、中心には「表面がない」、つまりブラックホールがあることを意味する。2013年4月4日、理化学研究所が主導、東京大学理学系研究科が副主導で、「ブラックホールに落ち込む最後の1/100秒の解明へ」と題して、この成果を新聞記者発表した。

(4-1-3) AGNのX線放射の新描像

本研究の最大の成果は、大学院生の野田博文らの活躍により、セイファート銀河などAGNからのX線放射の描像が、根底から革新されたことである。従来これらの天体のX線

スペクトルは、図 1(上)のように理解され、高温コロナから熱的コンプトン散乱で出て来る一次成分は図の緑のように、単一の power law (PL) であると仮定されていた。これに対し我々は、時間変動を利用した C3P0 と呼ばれる解析方法を開発し、Mkn 509、NGC 3516、NGC 3227、IC4329A などの「すぎく」データを解析した結果、以下の画期的な成果を導き、描像を図 1(下)のように一新した。

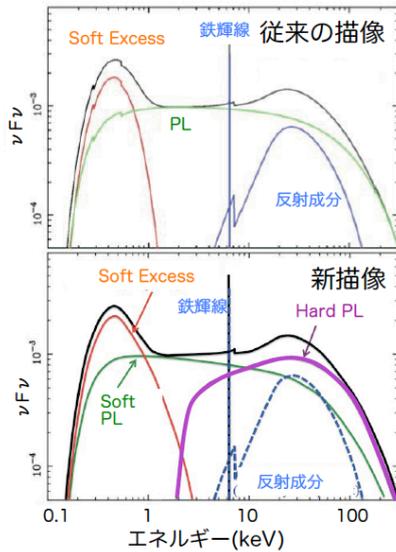


図 1: (上)従来の AGN スペクトルの理解。(下)本研究の成果。紫の hard PL が重要。

- (1) 2 keV 以下に見られる soft excess は、低温で濃密な電子雲によるコンプトン成分であり [2, 7, 10, 29, 43, 53]、相対論的 Fe-L 蛍光輝線では解釈できない。
- (2) 数 keV~100 keV の X 線一次連続成分は、変動が速くソフトな Soft PL と、変動が遅くハードで吸収の強い hard PL という、異なる 2 成分から成る [3, 7, 14, 16, 18, 23-25, 27, 29, 30, 37, 44, 49]。後者は従来、知られていなかった。
- (3) AGN には、soft excess, soft PL, hard PL という、少なくとも 3 つの異なる熱的コンプトン X 線成分の発生場所がある [7, 25, 27, 29, 49]。この考えは Multi-zone コンプトン描像と呼べる。
- (4) エディントン光度比が高い天体では soft PL が、低い天体では hard PL が卓越する傾向にある [25]。前者は BH 連星の High/Soft 状態、後者は Low/Hard 状態に対応すると見られる。
- (5) Hard PL を考慮すると、20-40 keV に見られるコンプトンの山は減少し、反射物体の立体角も $\sim 2\pi$ と妥当になる [3]。
- (6) 以上の見直しに伴い、相対論的に広がった Fe-K 輝線の兆候は消失し、多くの AGN が Kerr BH であるという、諸外国で喧伝されている主張は根拠を失う。

(4-1-4) AGN の X 線と光同時観測 [16]

野田らは名寄「ピリカ」、木曾シュミット、西はりま「なゆた」、広島「かなた」など、国内の中口径望遠鏡を総動員し、NGC 3516 の可視光と「すぎく」との同時観測を 1 年にわたり実施した。その結果、X 線の hard PL 成分が可視光強度に良く正相関すること、他方 soft PL はおそらく可視光と相関なしに単独に変動することを明らかにした。従来の X 線と可視光の同時観測で、相関が良い場合も悪い場合もあったのは、soft PL と hard PL を区別しなかった(そのような概念が無かった)ためと考えられる。

この結果と (4-1-3) の成果を合わせて考えると、hard PL は理論的に予想されている Radiatively Inefficient Accretion Flow (RIAF) に相当する可能性が高い。

(4-1-5) 熱的コンプトン過程の統一的記述 [13, 15, 21]

我々は BH 連星、AGN、ULX 天体 [22, 34, 36] などの降着 BH に加え、降着型の弱磁場中性子星 (LMXB) [8, 26, 31, 32, 40] における熱的コンプトン過程を統一的に考察した。その結果、従来からこの過程を記述するのに用いられてきた y パラメータに加え、電子温度 T_e と種光子温度 T_s の比 $Q \equiv T_e/T_s$ を新たなパラメータに導入することが極めて有用であることを発見した。詳細は以下の通りである。

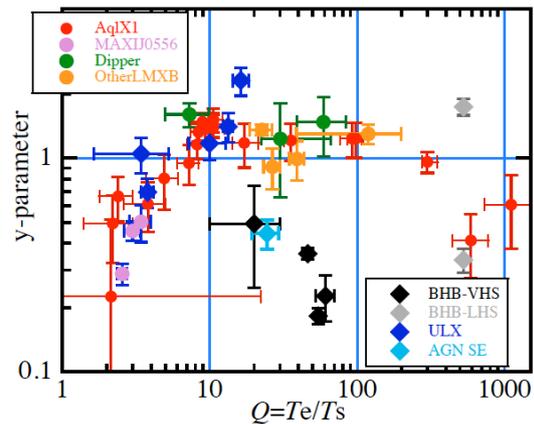


図 2: BH 天体 (黒、灰色、青、水色) と LMXB (赤、ピンク、緑、オレンジ) における熱的コンプトン過程を、 (Q, y) 平面に表したもの。種光子は、BH では円盤からの放射、LMXB では中性子星の表面放射と仮定している。

- (1) 図 2 に示すように、LMXB は (Q, y) 平面上で、質量降着率を反映してほぼ一次元に分布するのに対し、BH 天体は二次元に散らばる。これは降着率に加え、BH 質量、放射効率など、独立なパラメータの数が多いためと解釈できる。

- (2) LMXB の場合、Low/Hard 状態は $Q > 10$ 、High/Soft 状態は $Q < 7$ と、一意的に分離する。すなわち Q は優れた状態指標となり、光度と違って距離の不定性に影響されず、また増光時と減光時のヒステリシスも除去できる。
- (6) 状態遷移のさい LMXB はプロット上を極めて急激に動くが、軌跡は連続である。すなわち二次の相転移と見なせる。
- (3) LMXB のうち系をほぼ真横から見ている dipping 天体(緑のデータ点)は、同じ Q でも y が系統的に大きい可能性がある。これはコロナが扁平なことを示唆する。
- (4) ULX 天体でも、Power-Law 状態と円盤放射の状態は、LMXB の状態遷移と良く似た挙動を示す[22, 34, 36]。
- (5) 数個の ULX の間で、 Q の遷移が起きる光度は数十倍もばらつく。これは ULX の質量が同程度の分散をもつことを示唆し、中質量 BH 天体という解釈を強める。
- (7) BH 連星の Very High 状態と ULX (PL 状態)はともに $10 < Q < 100$ の中間状態を占めており、何らかの共通な物理が働いている可能性がある。

(4-2) 実験開発における成果

我々は、国内の多くの研究機関・大学や企業と連携することで、SGD 装置[20, 41]、およびそれと併せて *ASTRO-H* に搭載される硬 X 線イメージャー (HXI) 装置[17]の開発製作を行い、以下の成果を達成した。

(4-2-1) アクティブシールド部の開発

PD の内山秀樹、院生の鳥井俊輔、笹野理、中野俊男、西田瑛量らの研究協力者により、大型 BGO 結晶シンチレータおよびアパランシェフォトダイオード (APD) を用いた、SGD および HXI のアクティブシールド部の開発が進められた[38, 48]。機械環境試験、熱サイクル試験、光量測定などを経て、所定の機能を達成できた[19, 47]。院生の村上浩章と小林翔悟は、衛星の 1 次噛合わせ試験に貢献した。

この開発の過程で笹野らは、高い屈折率をもつ BGO シンチレータにおける、蛍光光子の内部伝搬と集光効率に関する知見を大幅に深めることができた[6, 38, 54]。

(4-2-2) SGD の熱設計 [45, 51, 55]

SGD の主検出部は、半導体 (Si および CdTe) のストリップ素子を高密度で積層し、 -20° 程度に冷却しなければならないが、高圧電源や読み出し用の ASIC が発熱源となる。またシールド部も BGO の発光量を上げ APD のリーク電流を減らす必要があるが、ここでもプリアンプの発熱などが問題となる。さらに SGD は衛星構体の外側に搭載されるため、直射日光やその地球による反射、また地球赤外線に晒され、その熱的環境はきわめて厳しい。

そこで我々は野田を中心として、SGD の熱設計を鋭意進めた。それまでの設計に加え、グラフィート薄シート、銅の柱、アルミの箱などを追加することで、主検出部の伝熱経路を強化し、またそれを検証する熱数学モデルの開発や、実験室実験を繰り返した。その結果、放射冷却を用いて目標とする低温環境を満たす SGD の熱設計を完成することができ、試作品の実測などで検証することができた。

外部との熱機械インタフェースに関しても担当企業と協力し、放射断熱材の最適化、SGD と衛星の取り付けインタフェースの機械的および熱的な設計、SGD の熱放射板の対振動設計とその試験などに、成果を上げた。

(4-2-3) その他の成果

大学院生の櫻井壮希らは、SDG および HXI に用いられる搭載 CPU ソフトウェアおよび FPG のロジック開発、さらには地上系ソフトウェアの開発に参加し、大きな貢献を行った[46]。さらに中野や小林を中心に、HXI 主検出部の開発検証[17]にも参加した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 12 件)

※[7] を除き、すべて査読あり

- [1] Yamada, S., Makishima, K., Done, C., Torii, S., Noda, H. & Sakurai, S.: “Evidence for a Cool Disk and Inhomogeneous Coronae from Wide-band Temporal Spectroscopy of Cyg X-1 with Suzaku”, *Publ. Astron. Soc. Japan* **65**, ID 80, 21pp (2013) [DOI: 10.1093/pasj/65.4.80]
- [2] Noda, H., Makishima, K., Nakazawa, K., Uchiyama, H., Yamada, S. & Sakurai: “The Nature of Stable Soft X-Ray Emissions in Several Types of Active Galactic Nuclei Observed by Suzaku”, *Publ. Astron. Soc. Japan* **65**, ID 4, 18 pp (2013) [DOI: 10.1093/pasj/65.1.4]
- [3] Noda, H., Makishima, K., Nakazawa, K. & Yamada, S., “A Suzaku Discovery of a Slowly Varying Hard X-ray Continuum from the Type I Seyfert Galaxy NGC 3516”, *Astrophys. J.* **771**, id 100, 13pp (2013) [DOI 10.1088/0004-637X/771/2/100]
- [4] Yamada, S., Torii, S., Mineshige, S., Ueda, Y., Kubota, A., Gandhi, P., Done, C., Noda, H., Yoshikawa, A. & Makishima, K.: “Highly Ionized Fe-K Absorption Line from Cygnus X-1 in the High/Soft State Observed with *Suzaku*”, *Astrophys. J. Lett.* **767**, id. L35, 6 pp (2013) [DOI: 10.1088/2041-8205/767/2/L35]
- [5] Yamada, S., Negoro, H., Torii, S., Noda, H., Mineshige, S. & Makishima, K.: “Rapid Spectral Changes of Cyg X-1 in the Low/Hard State with *Suzaku*”, *Astrophys. J. Lett.* **767** id. L34, 5 pp (2013) [DOI: 10.1088/2041-8205/767/2/L34]
- [6] Sasano, M., Nishioka, H., Okuyama S., Nakazawa K., Makishima K., Yamada S., Yuasa

T., Kataoka J., Fukazawa Y., Hanabata Y. & Hayashi K.: "Geometry dependence of the light collection efficiency of BGO crystal scintillators read out by Avalanche Photo Diodes", *Nuclear Instr. Meth. Phys. A* **715**, 105-111 (2013) [DOI: 10.1016/j.nima.2013.03.022]

[7] Noda, H., Makishima, K., Nakazawa, K. & Yamada, S.: "Model-Independent Decomposition of Broad-Band *Suzaku* Spectra of AGNs into Primary Continuum and Secondary Components", *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, **84** 707-710 (2013)[DOIなし]

[8] Sakurai, S., Yamada, S., Torii, S., Noda, H., Nakazawa, K., Makishima, K. & Takahashi, H.: "Accretion Geometry of the Low-Mass X-Ray Binary Aquila X-1 in the Soft and Hard States", *Publ. Astron. Soc. Japan* **64**, ID 72, 12 pp (2012) [DOI: 10.1093/pasj/64.4.72]

[9] Nakahira, S., Koyama, S., (6名), Makishima, K., (28名): "A Spectral Study of the Black Hole Candidate XTE J1752-223 in the High/Soft State with MAXI, *Suzaku*, and Swift", *Publ. Astron. Soc. Japan* **64**, ID13, 12pp (2012) [DOI: 10.1093/pasj/64.1.13]

[10] Noda, H., Makishima, K., Yamada, S., Torii, S., Sakurai, S. & Nakazawa, K.: "Suzaku Studies of Wide-Band Spectral Variability of the Bright Type I Seyfert Galaxy Markarian 509", *Publ. Astron. Soc. Japan* **63**, 449-458 (2011) [DOI: 10.1093/pasj/63.sp3.S925]

[11] Torii, S., Yamada, S., Makishima, K., Sakurai, S., Nakazawa, K., Noda, H., Done, C., Takahashi H. & Gandhi, P.: "Spectral and Timing Studies of Cyg X-1 in the Low/Hard State with *Suzaku*", *Publ. Astron. Soc. Japan* **63S**, S771-S783 (2011) [DOI: 10.1093/pasj/63.sp3.S771]

[12] Yamada, S., Makishima, K., Nakazawa, K., et al.: "Improvements in Calibration of GSO Scintillators in the *Suzaku* Hard X-Ray Detector", *Publ. Astron. Soc. Japan* **63S**, S645-S656 (2011) [DOI: 10.1093/pasj/63.sp3.S645]

[学会発表] (計 44 件)

[13] Makishima, K., Zhang, Z., Noda, H., Toii, S., Skurai, S., Kobayashi, S., Ono, K., Nakazawa, K., Sugizaki, M., Yamada, S. and Kawaguchi, T.: "A Unified Compilation of Thermal Comptonization Processes in Accreting Objects", *Suzaku-MAXI Conference: Expanding the Frontiers of the X-ray Universe*, 2014 February 19-22 (愛媛大学)

[14] Makishima, K.: "AGN Studies from *Suzaku* to ASTRO-H" (invited), *International Conference on "Black holes, jets and outflows"* [invited], 2012 October 14-18 (Kathmandu, Nepal)

[15] 牧島一夫, Zhang, Z., 野田博文, 鳥井俊輔, 櫻井壮希, 小林翔悟, 小野光, 中澤知洋ほか: 「降着コンパクト天体の熱的コンプトン過程の新しい考察: 『すざく』の結果」、日本天文学会春季年会、2014年3月19日-22日 (国際基督教大学、東京都)

[16] 野田博文, 峰崎岳夫, 牧島一夫, 諸隈智貴ほか: 「X線と可視光の同時観測で迫るNGC 3516セントラルエンジンの構造」、同上

[17] 小林翔悟, 村上浩章, 笹野理, 櫻井壮希, 中澤知洋ほか: 「ASTRO-H衛星搭載硬X線撮像検出器(HXI)の統合試験における半導体両面ストリップ 主検出部の応答調査」、同上

[18] 三宅克馬, 野田博文, 山田真也, 牧島一夫: 「IC4329Aにおける時間変動を用いたモデル依存しない成分分解(2)」、同上

[19] 村上浩章, 小林翔悟, 櫻井壮希, 笹野理, 鳥井俊輔, 中澤知洋ほか: 「ASTRO-H衛星搭載硬X線撮像検出器のアクティブシールド機能の検証」、日本物理学会春の年会、2014年03月27日-30日 (東海大学、神奈川県)

[20] 渡辺伸, 田島宏康, 深沢泰司, (17名), 中澤知洋, 牧島一夫, 内山秀樹ほか: 「ASTRO-H衛星搭載軟ガンマ線検出器(SGD)の開発」、第14回宇宙科学シンポジウム、2014年01月09日-10日 (宇宙科学研究所、相模原市)

[21] 牧島一夫, Zhongli Zhang, 野田博文, 鳥井俊輔, 櫻井壮希, 小林翔悟, 小野光, 中澤知洋, 山田真也: 「『すざく』で観測した降着型天体における熱的コンプトン過程の系統的解析」、同上

[22] 小林翔悟, 牧島一夫, 中澤知洋: 「『すざく』による近傍ULX天体M33 X-8のスペクトルとその時間変動」、日本天文学会秋季年会、2013年09月10日-12日 (東北大学)

[23] 牧島一夫, 野田博文, 中澤知洋, 三宅克馬, 山田真也: 「活動銀河核のセントラルエンジンの理解に向けて」、同上

[24] 三宅克馬, 野田博文, 山田真也, 牧島一夫: 「IC4329Aにおける時間変動を用いたモデル依存しない手法による成分分解」、同上

[25] 野田博文, 牧島一夫, 三宅克馬, 山田真也: 「『すざく』で調べる活動銀河核セントラルエンジンからの硬X線信号」、同上

[26] 小野光, 鳥井俊輔, 櫻井壮希, 中澤知洋, 牧島一夫: 「『すざく』でみたハード状態の中性子星連星 GS 1826-238」、同上

[27] Noda, H., Makishima, K. et al.: "Model-Independent Decomposition of Broad-Band *Suzaku* Spectra of AGNs into Primary Continuum and Secondary Components", *X-ray Astronomy: Towards the Next 50 Years*, 2012 October 1-5 (Milano, Italy)

[28] Yamada, S., Makishima, K., et al.: "Inhomogeneous coronae and a stable disk of Cyg X-1 revealed with *Suzaku*", *Half a Century of X-ray Astronomy*, 2012 September 17-21 (Mykonos Island, Greece)

[29] Noda, H., Makishima, K. et al.: "A novel picture for the central engine of Seyfert galaxies: multi-zone Comptonization corona near the central black hole", *The 39th COSPAR Scientific Assembly*, 2014 July 14 (Mysore, India)

[30] 野田博文, 牧島一夫, 山田真也, 中澤知洋: 「時間変動から分解する巨大ブラックホール近傍からの複数の一次X線放射」、日本天

文学会2013年春季年会、2013年03月20日-23日 (埼玉大学)

[31] 櫻井壮希、中澤知洋、牧島一夫ほか:「低質量X線連星MAXI J0556-332のX線スペクトルの時間変動とその放射モデル」、同上

[32] 鳥井俊輔、牧島一夫、山岡和貴、山田真也:「『すざく』による低質量中性子星連星GS1826-238の観測」、同上

[33] 山田真也、牧島一夫、鳥井俊輔:「『すざく』衛星を用いたブラックホール連星Cygnus X-1のハード状態のスペクトル成分とその時間変動の最新成果」、同上

[34] 小林翔悟、中澤知洋、野田博文、牧島一夫、磯部直樹:「『すざく』によるULX天体Holmberg IX X-1の観測(2)」、同上

[35] 鳥井俊輔、中澤知洋、牧島一夫、野田博文、櫻井壮希、山田真也:「『すざく』で観るCyg X-1のソフト状態におけるスペクトルの時間変動」、日本天文学会2012年秋季年会、2012年09月19日-21日 (大分大学)

[36] 小林翔悟、牧島一夫、中澤知洋、野田博文、磯部直樹:「『すざく』衛星によるULX天体HOLMBERG IX X-1の観測」、同上

[37] 野田博文、櫻井壮希、山田真也、中澤知洋、牧島一夫:「X線時間変動のみから抽出するAGN反射スペクトル:『すざく』の結果」、同上

[38] 西田瑛量、牧島一夫、中澤知洋、内山秀樹、笹野理ほか:「ASTRO-H衛星に搭載するアクティブシールド用BGO試験の現状」、同上

[39] 牧島一夫:「宇宙X線観測の50年 / 50 years of cosmic X-ray observations」、2012年09月11日-14日 (京都産業大学)

[40] 櫻井壮希、中澤知洋、牧島一夫ほか:「『すざく』で解明された弱磁場中性子星 Aql X-1における降着流の幾何」、同上

[41] 深沢泰司ほか:「ASTRO-H衛星搭載軟ガンマ線検出器の開発状況」、同上

[42] Torii, S. *et al.*: “The *Suzaku* View of Cyg X-1 over the Two Spectral States”, *Exploring the X-ray Universe: Suzaku and Beyond*, 2011 July 21 (Stanford University)

[43] Noda, H. *et al.*: “*Suzaku* Studies of the Origin of Soft X-ray Excess in Markarian 509”, *ibid*

[44] Noda, H. *et al.*: “*Suzaku* Discovery of a New Variable Component in MCG-6-30-15”(poster), *The X-ray Universe 2011*, 2011 June 27-30 (Berlin, Germany)

[45] 野田博文、内山秀樹、中澤知洋ほか:「次期X線衛星ASTRO-H搭載の硬X線撮像検出器の熱設計」、日本物理学会2012春季大会、2012年3月26日 (関西学院大学)

[46] 櫻井壮希、中澤知洋、牧島一夫ほか:「次期X線衛星ASTRO-H搭載硬X線撮像検出器におけるイベントデータ処理機能の検証」、同上

[47] 鳥井俊輔、笹野理、中澤知洋ほか:「X線衛星ASTRO-H搭載の硬X線撮像検出器におけるアクティブシールド機能の検証」、同上

[48] 笹野理、西岡博之、奥山翔ほか:「APDによる衛星搭載用大型BGO結晶の測定」、同上

[49] 野田博文、牧島一夫、中澤知洋、山田真也:「X線天文衛星ASTRO-Hで確立するAGNセントラルエンジンの新描像」、日本天文学会2012春季年会、2012年3月22日 (龍谷大学)

[50] 山田真也、牧島一夫、玉川徹ほか:「ASTRO-H衛星とX線偏光衛星GEMSで迫るブラックホールの激しい時間変動の起源」、同上

[51] 野田博文、内山秀樹ほか:「次期X線天文衛星ASTRO-H搭載硬X線撮像検出器の熱設計」(ポスター)、第12回宇宙科学シンポジウム、2012年1月5日 (JAXA相模原キャンパス)

[52] 鳥井俊輔、牧島一夫、山田真也ほか:「『すざく』を用いたハード/ソフト状態におけるCygX-1の系統解析」、日本天文学会2011秋季年会、2011.9.21 (鹿児島大学)

[53] 野田博文、牧島一夫ほか:「『すざく』で迫るI型セイファート銀河Markarian509の軟X線超過の起源」、同上

[54] 笹野理、西岡博之、奥山翔ほか:「Avalanche Photo Diodeを用いた大型BGO結晶での集光効率の測定」、日本物理学会2011秋季大会、2011年9月17日 (弘前大学)

[55] 野田博文、牧島一夫、中澤知洋ほか:「X線衛星ASTRO-H搭載軟γ線検出器の熱設計」、同上

[56] 山田真也、牧島一夫、鳥井俊輔:「『すざく』衛星によるブラックホール連星 Cygnus X-1 の最新成果」、同上

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

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