

平成 22 年 5 月 25 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19740168

研究課題名 (和文) X 線観測衛星「すざく」を用いた宇宙 X 線背景放射の高感度探査

研究課題名 (英文) High sensitive study of Cosmic X-ray Background with Suzaku

研究代表者

寺田 幸功 (TERADA YUKIKATSU)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：90373331

研究成果の概要 (和文)：本研究の目的は、宇宙のあらゆる方向から飛来する謎の X 線放射 (CXB) の起源を探ることにある。CXB は硬 X 線の領域で最もエネルギー密度が高いため、硬 X 線で世界最高感度を誇る「すざく」搭載の硬 X 線検出器 (HXD) を用いた観測を行った。本研究により、HXD のノイズ成分の推定精度が向上し、その感度が最大限に有効活用できるようになった。さらに、HXD を用いて CXB の硬 X 線スペクトルを精密に測定することに成功し、活動銀河核説の検証を行った。

研究成果の概要 (英文)：The main purpose of this research is to search for an origin of the Cosmic X-ray background emission (CXB), which comes from everywhere in the universe. The origin is a long standing mystery. We have observed the CXB emission in the hard X-ray band, where the energy density of the CXB becomes at peak. We used the hard X-ray detector, HXD, onboard Suzaku, which has the highest sensitivity in the world. With this research, the systematic errors of estimation of the noise events of the HXD were reduced to make the best use of its sensitivity. We have successfully measured the hard X-ray spectra of the CXB, and tested the model of the active-galactic-nuclei origin.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,100,000	0	1,100,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	570,000	3,570,000

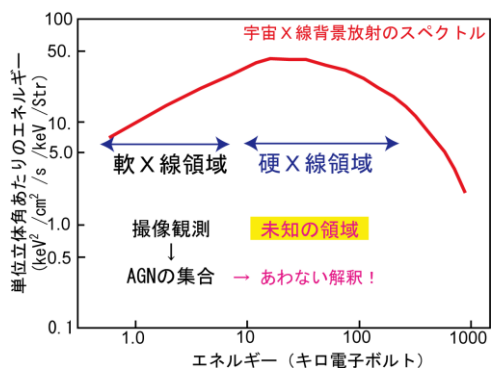
研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙物理

1. 研究開始当初の背景

X線で宇宙をみると、天空のあらゆる方向から正体不明の背景天体「宇宙 X 線背景放射 (Cosmic X-ray background; CXB) が検出される。有名な 3K 宇宙マイクロ波背景放射とは別物で、全天が X 線でぼんやりと輝いている謎の放射である。CXB の起源は、1962 年に、ノーベル物理学賞受賞者のジャコーニらによるロケット実験で X 線宇宙物理学が幕を開けて以来の謎として残された。



上図のように、CXB は、30 キロ電子ボルト付近に強度ピークをもつエネルギー分布を示している。その分布の裾野である 10 キロ電子ボルト以下の軟 X 線領域では、ドイツのローサット衛星や日本の「あすか」衛星などの先行研究、および、現在稼働中のチャンドラ衛星による高空間分解能 X 線観測によって、CXB は次々に暗い X 線点源に分解されていった。その多くは光学同定され、意外と我々の近くにある活動銀河核 (AGN; 中心に活発な巨大ブラックホールを有する銀河) であると判明した。一方で、おもに CXB が放射されている硬 X 線領域では、この種族の重ね合わせではスペクトルが合わず、何が起源なのかは謎とされてきた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、CXB の主な放射領域である 10 ~ 100 キロ電子ボルトの領域において、X 線衛星「すざく」を用いた高感度な硬 X 線探査を行い、硬 X 線領域における AGN 仮説の検証を行うことである。

CXB の正体を探るとい研究テーマの重要性は、単なる謎解きだけにあるのではない。AGN 説が正しければ、CXB は、過去から現在に至る AGN の進化過程をすべて積算した放射として、逆に、銀河の進化論の情報を引き出せる。近傍、(すなわち、現在に近い) 銀河の中心部には、必ず巨大ブラックホールが

潜んでいるという観測事実を考えるに、銀河の生成過程をおう事は巨大ブラックホールの成長記録を追う事にも直結する。すなわち、本研究の第二の目的は、AGN の進化過程のモデルに迫ることである。

3. 研究の方法

本研究では、「すざく」に搭載した硬 X 線検出器 (HXD) を用いて、CXB の硬 X 線観測を行った。HXD は、研究代表者らが宇宙研、東大、広島大ほかと協力し開発した分光装置であり、10 ~ 600 キロ電子ボルトの X 線帯域で、過去最高の感度を誇る検出器である。

研究手法としては、まず、1. HXD の検出感度を向上させ、次に、2. CXB の硬 X 線スペクトルの精密測定を行なう。

1. は、HXD の感度を決定するのは、非 X 線バックグラウンド (NXB) と呼ばれるノイズ成分の推定精度であるため、検出器開発グループと綿密に情報交換しながら、数値計算を用いて精度を上げつつ、実データを用いて経験的に微調整を行う。さらにこの較正情報を世界の観測者に公開すべく、米国 NASA GSFC のアーカイブセンターの技術者との調整等も行う。

2. は、HXD で CXB の硬 X 線スペクトルを測定し、AGN 起源説が予測する放射モデルとの比較を行う。データは、「すざく」HXD の観測データを用い、軟 X 線でしか検出されない暗い天体の公開データを主に用いる。検証は、全天で積分したスペクトルに対して行うだけでなく、各視野毎に検出されるフラックスのゆらぎを用いて、視野に入らざらぬ AGN の天体数の制限をつけることを試みる。

4. 研究成果

本研究で、研究手法 1 に示した「すざく」HXD の感度向上の試みを、広島大学をはじめとする HXD 検出器開発チームと共に行った。結果、3~5% であった NXB の推定精度を 1% にまで引き下げる事に成功した。これにより、HXD の感度が、標準光源である「かに星雲」の 100 分の 1 を大きく切るレベルに達した事を示している。この向上は、おもに、10 から 70 キロ電子ボルトのエネルギー帯域の仕事である。

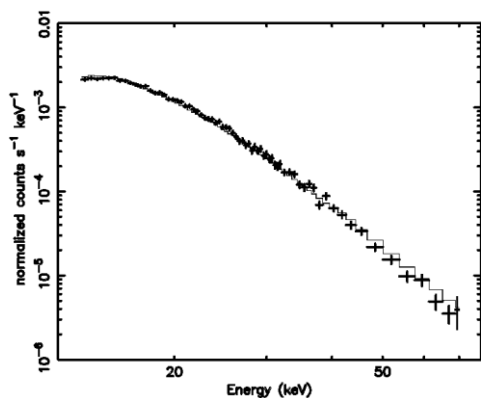
70 から 100 キロ電子ボルトの帯域では、NXB の推定精度は既に 1% を切るレベルであったが、波高値から入射エネルギーに換算するときの直線性に問題があったため、東京大

学をはじめとするHXD検出器開発チームとの作業により、直線性を補償しデータとして利用できる手法を確立した。これらの改善により、合計10～100キロ電子ボルトの帯域で、HXDの分光性能が格段に向上した。

本研究によるHXDの較正情報は、研究代表者が中心となってまとめ、米国NASAのアーカイブセンターの技術者・研究者と調整を行い、平成21年度末に、全世界に公開された。この成果は、NASA内部の衛星ミッションレビューでも取り上げられ、評価が得られている。また、日本内部でも、代表者らが中心となり進めている「すぎく」ヘルプデスクを継続し、ユーザーのサポート等も行った。具体的には、研究期間中に三度の解析マニュアルの改訂を行い、上記の較正情報を取り入れた他、解析に関する質問78件に対応した。

研究手法2に示されたCXBの硬X線スペクトルをHXDで取得したところ、平均スペクトルとして、約10%の精度で求めることができた。本研究課題の支援を得て、複数の国際会議に参加し、ヨーロッパのINTEGRAL衛星や米国のSwift衛星で得られた最新のCXBスペクトルとは比較する機会をもったところ、我々の測定は他の機器の結果とは大きく矛盾しないことが分かった。解釈として、硬X線帯域では、通常のAGNよりも青い(硬い)スペクトルをもつ天体でないと説明がつかない点でも結果は一致している。

さらに、HXDの視野毎のCXBフラックスのばらつきを測定し、視野内に入るであろうANGの個数に制限を与える試みを行った。有効面積の小さいHXDでは、検出した光子の統計的揺らぎが卓越してしまい、有意な結論には至っていないものの、将来のX線衛星であるASTRO-HやIXOに搭載する観測装置の性能要求値を示す仕事につながった。



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 25 件)

1. J. S. Hiraga, Y. Kobayashi, T. Tamagawa, A. Hayato, A. Bamba, Y. Terada, R. Petre, H. Katagiri, H. Tsunemi, “Search for Sc-K Line Emission from RX J0852.0-4622 Supernova Remnant with Suzaku” Publications of the Astronomical Society of Japan 61(2):275-281 2009, 査読有
2. T. Tamagawa, A. Hayato, S. Nakamura, Y. Terada, A. Bamba, ほか 16 名, “Repository Suzaku Observations of Tycho’s Supernova Remnant” Publications of the Astronomical Society of Japan 61(Sp. Iss. 1):S167-172 2009 査読有
3. Y. Fukazawa, T. Mizuno, S. Watanabe, M. Kokubun, H. Takahashi, N. Kawano, S. Nishino, M. Sasada, H. Shirai, T. Takahashi, T. Yamasaki, T. Yasuda, A. Bamba, M. Ohno, T. Takahashi, M. Ushio, T. Enoto, T. Kitaguchi, K. Makishima, K. Nakazawa, Y. Uehara, S. Yamada, T. Yuasa, N. Isobe, M. Kawaharada, T. Tanaka, M. Tashiro, Y. Terada, K. Yamaoka, “Repository Modeling and Reproducibility of Suzaku HXD PIN/GSO Background” Publications of the Astronomical Society of Japan 61:S17-S33 2009, 査読有
4. R. Nakamura, A. Bamba, M. Ishida, H. Nakajima, R. Yamazaki, Y. Terada, G. Puhlhofer, S. J. Wagner, “Repository The Nature of a Cosmic-Ray Accelerator, CTB37B, Observed with Suzaku and Chandra”, Publications of the Astronomical Society of Japan 61:S197-S207 2009, 査読有
5. K. Yamaoka, Y. Terada (35/43, ABC order), “Design and In-Orbit Performance of the Suzaku Wide-Band All-Sky Monitor”, Publications of the Astronomical Society of Japan 61:S35-S53 2009, 査読有
6. M. Ishida, S. Okada, T. Hayashi, R. Nakamura, Y. Terada, K. Mukai, K. Hamaguchi, “Suzaku Observations of SS Cygni in Quiescence and Outburst”, Publications of the Astronomical Society of Japan 61:S77-S91 2009, 査読有
7. G. Anzolin, D. de Martino, M. Falanga, K. Mukai, J. M. Bonnet-Bidaud, M. Mouchet, Y. Terada, M. Ishida,

- “Broad-band properties of the hard X-ray cataclysmic variables IGR J00234+6141 and 1RXS J213344.1+510725”, *Astronomy and Astrophysics* 501:1047-1058 2009, 査読有
8. Y. Maeda, Y. Uchiyama, A. Bamba, H. Kosugi, H. Tsunemi, E. A. Helder, J. Vink, N. Kodaka, Y. Terada, Y. Fukazawa, and 19 coauthors, “Suzaku X-Ray Imaging and Spectroscopy of Cassiopeia A”, *Publications of the Astronomical Society of Japan* 61:1217-1228 2009, 査読有
 9. S. Naik, T. Dotani, Y. Terada, M. Nakajima, T. Mihara, M. Suzuki, K. Makishima, K. Sudoh, S. Kitamoto, F. Nagase, T. Enoto, and H. Takahashi, “Broadband X-Ray Spectroscopy of A0535+262 with Suzaku”, *Astrophysical Journal* 672(1):516-523 2008, 査読有
 10. Y. Terada, T. Mihara, F. Nagase, L. Angelini, T. Dotani, T. Enoto, S. Kitamoto, T. Kohmura, M. Kokubun, T. Kotani, K. Makishima, S. Naik, M. Nakajima, S. Sugita, K. Sudoh, M. Suzuki, H. Takahashi, D. Yonetoku, and A. Yoshida, “Suzaku observations of cyclotron resonances in binary X-ray pulsars” *Advances in Space Research* 40:1485-1490 2008, 査読有
 11. S. Naik, T. Dotani, N. Kawai, M. Kokubun, T. Anada, M. Morii, T. Mihara, T. Enoto, M. Kawaharada, T. Murakami, Y. Nakagawa, H. Takahashi, Y. Terada, and A. Yoshida, “Suzaku Observation of the Anomalous X-ray Pulsar CXOU J164710.2-455216”, *Publications of the Astronomical Society of Japan* 60(2):237-244 2008, 査読有
 12. Y. Terada, T. Hayashi, M. Ishida, K. Mukai, T. Dotani, S. Okada, R. Nakamura, S. Naik, A. Bamba, and K. Makishima, “Suzaku discovery of hard X-ray pulsations from a rotating magnetized white dwarf, AE Aquarii”, *Publications of the Astronomical Society of Japan* 60(2):387-397 2008, 査読有
 13. A. Bamba, H. Yamaguchi, K. Koyama, J. Hiraga, S. Holt, J. Huges, H. Katagiri, J. Kataoka, S. Katsuda, S. Kitamoto, M. Kokubun, H. Matsumoto, E. Miyata, K. Mori, H. Nakajima, M. Ozaki, R. Petre, A. Sekiguchi, T. Takahashi, T. Tanaka, Y. Terada, H. Tomida, Y. Tsuboi, M. Tsujimoto, H. Tsunemi, Y. Uchiyama, M. Ueno, S. Watanabe, “Oxygen line mapping of SN 1006 with Suzaku”, *Advances in Space Research* 41:411-419 2008, 査読有
 14. Y. Terada, M. Ishida, M. Mukai, T. Dotani, K. Makishima, S. Naik, T. Hayashi, S. Okada, R. Nakamura, and T. Enoto, “Possible Suzaku detection of non-thermal X-ray signals from a rotating magnetized white dwarf”, *Advances in Space Research* 41:512-517 2008, 査読有
 15. A. Bamba, Y. Fukazawa, J. Hiraga, J. Huges, H. Katagiri, M. Kokubun, K. Koyama, E. Miyata, T. Mizuno, K. Mori, H. Nakajima, M. Ozaki, R. Petre, H. Takahashi, T. Takahashi, T. Tanaka, Y. Terada, Y. Uchiyama, S. Watanabe, and H. Yamaguchi, “Suzaku wide-band observations of SN 1006”, *Publications of the Astronomical Society of Japan* 60(Sp. Iss. 1):S153-S161 2008, 査読有
 16. Y. Terada, T. Enoto, R. Miyawaki, Y. Ishisaki, T. Dotani, K. Ebisawa, M. Ozaki, Y. Ueda, L. Kuiper, M. Endo, Y. Fukazawa, T. Kamae, M. Kawaharada, M. Kokubun, Y. Kuroda, K. Makishima, K. Masukawa, T. Mizuno, T. Murakami, K. Nakazawa, A. Nakajima, M. Nomach, N. Shibayama, T. Takahashi, H. Takahashi, M. S. Tashiro, T. Tamagawa, S. Watanabe, M. Yamaguchi, K. Yamaoka, and D. Yonetoku, “In-orbit timing calibration of the hard X-ray detector on board Suzaku”, *Publications of the Astronomical Society of Japan* 60(Sp. Iss. 1):S25-S33 2008, 査読有
 17. M. Ohno, Y. Fukazawa, T. Takahashi, K. Yamaoka, S. Sugita, V. Pal’ shin, T. Sakamoto, G. Sato, K. Hurley, D. Frederiks, P. Oleynik, M. Ulanov, M. Tashiro, Y. Urata, K. Onda, T. Tamagawa, Y. Terada, M. Suzuki, and S. Hong, “Spectral properties of prompt emission of four short gamma-ray bursts observed by the Suzaku-WAM and the Konus-wind”, *Publications of the Astronomical Society of Japan* 60(Sp. Iss. 1):S361-S373 2008, 査読有
 18. T. Enoto, K. Makishima, Y. Terada, T. Mihara, K. Nakazawa, T. Ueda, T. Dotani, M. Kokubun, F. Nagase, S. Naik, M. Suzuki, M. Nakajima, and H. Takahashi, “Suzaku Observations of Hercules X-1 : Measurements of the Two

- Cyclotron Harmonics”, Publications of the Astronomical Society of Japan 60 (Sp. Iss. 1):S57-S68 2008, 査読有
19. Kotoku, K. Makishima, Y. Matsumoto, M. Kohama, Y. Terada, and T. Tamagawa, “Effects of Compton scattering on the Gamma Ray Spectra of Solar flares”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 59, p.1161-1174 (2007), 査読有
 20. Y. Terada, T. Mihara, F. Nagase, L. Angelini, T. Dotani, T. Enoto, S. Kitamoto, T. Kohmura, M. Kokubun, T. Kotani, K. Makishima, S. Naik, M. Nakajima, S. Sugita, K. Sudoh, M. Suzuki, H. Takahashi, D. Yonetoku, and A. Yoshida, “Suzaku observations of cyclotron resonances in binary X-ray pulsars”, Advances in Space Research, Vol. 40, Issue 10, pp. 1485-1490 (2007), 査読有
 21. K. Mukai, M. Ishida, C. Kibourne, H. Mori, Y. Terada, K. W. Chan, and Y. Soong, “An Apparent Hard X-Ray Decline of CH Cygni”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 59, 177 (2007), 査読有
 22. M. Kokubun, K. Makishima, T. Takahashi, Y. Terada (10/58 名) et. al, “In-Orbit Performance of the Hard X-ray Detector on Board Suzaku”, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 59, Issue SP1, pp. S53--S76 (2007) 査読有
 23. T. Takahashi and Y. Terada (64/70 名, 上記以降 ABC order) et. al, “Hard X-ray Detector (HXD) on board Suzaku”, Publications of the Astronomical Society of Japan, vol. 59 Issue SP1, pp. S35--S51 (2007), 査読有
 24. K. Mitsuda, M. Bautz, H. Inoue, Y. Terada (120/143 名, 上記以降 ABC order), “The X-ray Observatory Suzaku”, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 59 Issue SP1, pp. S1-S7 (2007), 査読有
 25. R. K. Smith, M. W. Bautz, R. J. Edgar, R. Fujimoto, K. Hamaguchi, J. P. Hughes, M. Ishida, R. Kelley, C. A. Kilbourne, K. D. Kuntz, D. McCammon, E. Miller, K. Mitsuda, K. Mukai, P. P. Plucinsky, F. S. Porter, S. L. Snowden, Y. Takei, Y. Terada, Y. Tsuboi, and N. Yamasaki, “Suzaku Observations of the Local and Distant Hot ISM”, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 59, Issue SP1, pp. S141-S150 (2007), 査読有

[学会発表] (計 19 件)

1. 寺田幸功, 原山淳, 馬場彩, 石田学, 堂谷忠靖, 林多佳由, 中村良子, 牧島一夫, 向井浩二, 新田敦子, Okkie de Jager, Paula Chadwick, Stefan Wagner, David Buckley 「「すざく」、H. E. S. S.、可視光による白色矮星バルサーの多波長同時観測」日本天文学会 2010/03/26 広島大学
2. 寺田幸功, 原山淳, 馬場彩, 石田学, 堂谷忠靖, 林多佳由, 中村良子, 牧島一夫, 向井浩二, 新田敦子, Okkie de Jager, Paula Chadwick, Stefan Wagner, David Buckley, 「可視・X線・TeV 多波長同時観測を通じた白色矮星における粒子加速の検証」日本物理学会 2010/03/20 岡山大学
3. 寺田幸功、原山淳、石田学、馬場彩、林多佳由、塩野目雄、向井浩二、牧島一夫 「「すざく」、第二の白色矮星バルサー発見か?」日本天文学会 2009/09/14 山口大学
4. Y. Terada, M. Ishida, K. Makishima, K. Mukai, T. Dotani, A. Bamba, T. Hayashi, A. Harayama, K. Morigami, S. Okada, R. Nakamura, and S. Naik “Systematic surveys of the non thermal emission from white dwarfs with Suzaku and INTEGRAL”, The X-ray Astronomy 2009/09/07, イタリア・ボローニャ
5. Y. Terada, M. Ishida, A. Bamba, K. Mukai, K. Makishima, A. Harayama, T. Hayashi, T. Shionome, and K. Morigami, “Discovery of possible non-thermal emission from AM Hercules in the very low state with Suzaku - The second white dwarf pulsar ?? - “ The Energetic Cosmos, from Suzaku to ASTRO-H 2009/06/29 北海道・小樽
6. 寺田幸功 “Suzaku Timing calibration”, the 4th IACHEC meeting, (高エネルギー天文衛星校正観測会議) 2009/04/27 湘南国際村
7. 寺田幸功、ほか13名、「「すざく」ヘルプデスク、ゲスト観測者サポートの三年」第9回宇宙科学シンポジウム 2009/01/06 宇宙科学研究本部/JAXA
8. 寺田幸功, “H. E. S. S. and Suzaku collaboration, White Dwarfs”, The HESS and Suzaku Collaboration Meeting 2008/09/26 ドイツ・ハイデルベルグ
9. 寺田幸功、ほか10名、「強磁場激変星みずがめ座 AE 星の降着流変動」日本天文学会 2008/09/11 岡山理科大
10. 寺田幸功ほか10名, “Suzaku Observation of a White Dwarf as a new

- Candidate of Cosmic-ray Origin” The Heidelberg GAMMA08 Symposium 2008/07/07 ドイツ・ハイデルベルグ
11. 寺田幸功、ほか 10 名, “Suzaku Observation of a White Dwarf as a new Candidate of Cosmic-ray Origin” The X-ray Universe 2008/05/30 スペイン・グラナダ
 12. 寺田幸功ほか 10 名, “Suzaku observation of spinning white dwarfs” The INTEGRAL-Suzaku Swiss-Japan Workshop 2008/04/16 宇宙科学研究本部/JAXA
 13. 寺田幸功、ほか9名, “Suzaku Discovery of Hard X-ray Pulsations from the Rotating Magnetized White Dwarf, AE Aquarii” The 10th High Energy Astrophysics Division (HEAD) Meeting, American Astronomical Society (米国天文学会・高エネルギー宇宙部門) 2008/03/30 米国・ロサンゼルス
 14. 寺田幸功、ほか30名, 「「すざく」衛星搭載硬X線検出器(HXD) 広帯域全天モニタ部の現状(V)」日本天文学会 2008/03/25 東京オリンピックセンタ
 15. 寺田幸功, “The current status, performance, and calibration plan of the HXD onboard Suzaku”, The 3rd NASA Suzaku Users Meeting 2007/12/13 米国・カリフォルニア
 16. 寺田幸功、ほか9名, “Suzaku Discovery of Hard X-ray Pulsation from the Rotating Magnetized White Dwarf, AE Aquarii”, The Suzaku X-ray Universe 2007/12/10 米国・サンディエゴ
 17. 寺田幸功、ほか9名, 「「すざく」による白色矮星からの非熱的パルス放射の発見」高エネルギー宇宙連絡会 第8回研究会 「超新星とその残骸」 2007/10/18 青山学院
 18. 寺田幸功、ほか 30 名, 「X 線パルサーを用いた「すざく」衛星 硬 X 線検出器の時刻較正 (II)」日本物理学会 2007/09/23 北海道大学
 19. 寺田幸功 “Timing Calibration of Suzaku HXD on the simultaneous campaign of Crab” The 2nd IACHEC meeting (高エネルギー天文衛星校正観測会議) 2007/05/09, 米国・サンディエゴ

〔図書〕 (計 1 件)

1. Y. Terada and T. Dotani, “The International X-ray observatory and future X-ray missions, expected for pulsars and their Systems”, Editor Diego, F. Torres, Book Title “The High Energy Emission from Pulsars”, Springer 出版 (ISSN: 1570-6591), 総ページ数未定、2010 年 in press.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

該当なし

○取得状況 (計 0 件)

該当なし

〔その他〕

(すざく、白色矮星パルサー発見・記者会見)

- http://www.heal.phy.saitama-u.ac.jp/~terada/01work/press_release2008/index_j.html
- http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2007/whitedwarf_pulsar.html
- <http://www.astro.isas.jaxa.jp/suzaku/flash/2008/0117/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺田 幸功 (TERADA YUKIKATSU)
埼玉大学・理工学研究科・准教授
研究者番号: 90373331

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし