

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03908

研究課題名（和文）超新星残骸X線データの解析手法で迫る超新星親星・爆発機構の包括的研究

研究課題名（英文）Study of explosion mechanism of supernovae with X-ray spectroscopic imaging

研究代表者

馬場 彩 (Bamba, Aya)

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・准教授

研究者番号：70392082

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：星の死の際の爆発「超新星爆発」の残骸である「超新星残骸」は、星間空間に熱エネルギーや運動エネルギー、重元素や宇宙線などを供給する宇宙の多様性の源である。本研究では、超新星残骸の観測から超新星爆発の多様性に迫ることを目的としている。本研究では、超新星残骸中の数千万度のプラズマから発せられる特性X線のドップラーマップを描くことで、天体の膨張の非等方性を測定した。その結果、複数のIa型超新星残骸で非等方な膨張を測定した。これは、非等方に分布する星周物質を仮定すると良く説明できることから、様々な爆発機構を持つIa型爆発のいずれでも星周物質が存在する可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超新星爆発とその残骸は、宇宙空間に熱エネルギーや重元素、宇宙線などを供給する宇宙の多様性の源であるだけでなく、宇宙膨張測定の標準光源に使用されるなど、宇宙理解に極めて重要な天体である。本研究はその多様性に焦点を当てたものである。超新星残骸近辺に星周物質が普遍的に存在する可能性を示した本研究は、超新星残骸進化や星周物質からの爆発起源特定の研究可能性に一石を投じたことになる。

研究成果の概要（英文）：Supernova remnants, the remnant of the explosions when stars die, are a source of diversity in the universe, providing heat energy, kinetic energy, heavy elements, and cosmic rays to interstellar space. The purpose of this study is to explore the diversity of supernova explosions through observations of supernova remnants. We measured the anisotropy of the expansion of the source by drawing Doppler maps of characteristic X-rays emitted from the plasma at tens of millions of degrees in supernova remnants. As a result, anisotropic expansion was measured in several Type Ia supernova remnants. This is well explained by assuming an anisotropically distributed circumstellar material, indicating the possibility of the existence of circumstellar material in any Type Ia explosion with various explosion mechanisms.

研究分野：X線天文学

キーワード：超新星残骸 X線天文学 超新星爆発 元素組成 特性X線 宇宙線加速

1. 研究開始当初の背景

超新星爆発は星の死の際の大爆発で、熱エネルギーや重元素、宇宙線などを宇宙空間に供給する、いわば宇宙の多様性の源である。また、最大光度が一定であるとされていることから宇宙論的距離測定にも標準光源として使われている。しかし、超新星爆発にどのような多様性があるのか、その多様性によって星間空間に与える影響に違いがあるのかはまだ分かっていない点も多い。

2. 研究の目的

超新星残骸は新星爆発の残骸であり、秒速数千キロの爆風が衝撃波を形成し、爆発噴出物や掃き集められた星間物質・星周物質は数千万度のプラズマとなって X 線帯域で熱的制動放射や特性 X 線、宇宙線電子由来のシンクロトロン放射などで輝く。これを利用して、超新星残骸からどのように重元素や宇宙線が供給されるのかを知ることが出来る。本研究では、(1) 特性 X 線のドップラー効果を利用して特に Ia 型超新星残骸の膨張の多様性が Ia 型超新星爆発の起源解明につながるのか、(2) シンクロトロン X 線を利用して超新星残骸の環境調査が出来るのか、の解明を目指した。

3. 研究の方法

前述したように、我々は超新星残骸の X 線観測を利用して超新星爆発の起源解明や環境特定を行うことを目的とする。現行の Chandra, XMM といった現行の X 線宇宙衛星のデータを用いた解析に加え、2023 年 9 月に打ち上げられた X 線宇宙衛星 XRISM での観測予測も行った。

4. 研究成果

我々は以下に述べるような様々な成果を創出した。以下に項目ごとに詳細を述べる。

(1) 超新星残骸特性 X 線のドップラー偏移を用いた非等方膨張測定と星周物質の観測

Kepler の超新星残骸は知られている Ia 型超新星残骸の中で最も若いものの一つであり、非等方な形状をしていることで知られている。我々は Chandra 衛星のデータを用い、鉄の特性 X 線の場所ごとのドップラー偏移及び拡がり調べた。等方的膨張ならば鉄輝線の中心エネルギーはどこでも一定で、超新星残骸中心に行くほど輝線幅は広がるはずである。しかし、Kepler の超新星残骸中心部では鉄輝線は有意に赤方偏移しており、また輝線幅も広がっていないことを示した(業績 1, 図 1 参照)。これは超新星爆発の爆発噴出物が我々から遠ざかる方向に非等方に膨張し、現在星周物質とぶつかっていることを示している。また、XMM-Newton 衛星で観測した同超新星残骸の RGS データからも同様の示唆を得て、爆発噴出物の三次元構造を示した(業績 2)。

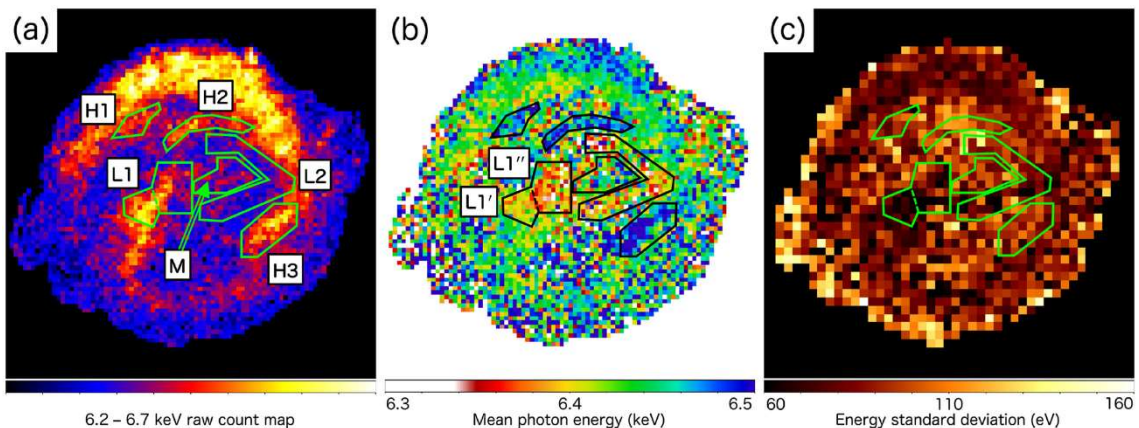


図 1: Kepler の超新星残骸の(a) 鉄輝線強度マップ、(b)中心エネルギーマップ、(c) 輝線幅マップ (業績 1)。

我々は Kepler での知見をもとに、Kepler と同様に若い Ia 型超新星残骸である Tycho の超新星残骸でも膨張の等方性の調査を行った。Tycho の超新星残骸は Kepler に比べて丸い形状をしており、今までにも一部を除いて比較的等方的な膨張が示唆されている。これは、Single degenerate 起源が示唆されている Kepler とは違い、Double degenerate 起源の証拠であるという論説もある。今回のドップラー偏移・膨張測定から、我々は Tycho でも非等方に分布する星周物質にぶつかっている示唆を得た(業績 3)。

なお、本研究の過程で、現行の主流宇宙 X 線検出器である X 線 CCD のエネルギー分解能では、同手法をとれる天体が非常に限られており、これ以上の研究は難しいことも分かってきた。2023 年 9 月に打ち上げられた XRISM 衛星に搭載されている高いエネルギー分解能を誇る Resolve はこの突破口となり得る。実際我々は SN1987A の Resolve 観測で爆発噴出物と星間物質両方の Doppler 情報を得られることをシミュレーションにより示しており(業績 4)、今後の期待が高ま

る。

(2) 環境の違いが作る宇宙線加速効率の違いの探査

超新星残骸周辺環境の調査は超新星爆発の型推定に役立つだけでなく、衝撃波での宇宙線加速効率にも影響を与える。衝撃波での加速効率は、周辺環境密度が低く大きな衝撃波速度が保たれるほうが大きくなるのか、周辺環境密度が高く乱流磁場が増幅されるほうが大きくなるのか決着がついていなかった。実際に我々も、TeV ガンマ線のみで輝く超新星残骸 HESS J1534-571 が熱的 X 線では暗いことを示し、この天体の周辺環境はそれほど高密度ではないことを示している(業績 5)。

我々は超新星残骸 RCW86 北東部に着目した。この領域では効率の良い加速が起こりシンクロトロン X 線が強い部分と熱的成分のみで輝く部分が隣り合っており、周辺環境と加速効率の関係を調べるのに最適だからである。我々は XMM-Newton の観測を利用し、細かい filament ごとのスペクトルを精査した。その結果、熱的 X 線とシンクロトロン X 線の比とシンクロトロン X 線のべきに相関があることを発見した(業績 6)。特に CO や HI と相関のあるところは熱的 X 線がシンクロトロン X 線に比べて明るく、シンクロトロン X 線のべきも大きかった。これは、RCW86 北東部では周辺環境密度が低いほうが加速効率がよいことを示した結果である。周辺環境密度が高く加速効率が高いような現象は、周辺環境の密度勾配が高く clumpy な場合にのみ磁場増幅が起こるのではないかという推測も行っている。

(3) 星の死にまつわるその他の新たな知見

我々は超新星爆発が残す中性子星や白色矮星についても新たな知見を得た。若い中性子星は明るいパルサー星雲を持ち、宇宙線電子成分を供給すると言われている。従ってパルサー星雲からのシンクロトロン X 線スペクトルの理解はパルサー星雲がどのような加速電子を宇宙空間に供給するかの理解につながる。我々は硬 X 線観測に秀でた NuSTAR 衛星と従来の軟 X 線観測を得意とする衛星のデータを組み合わせることで、明るいパルサー星雲の広帯域 X 線スペクトル解析を行った。その結果、いずれのパルサー星雲でも 10keV 付近にスペクトルの折れ曲がりがあることを示した(業績 7)。現在までのパルサー星雲スペクトルモデルではこの折れ曲がりの説明することは出来ず、今後の研究が必要である。また、この折れ曲がりのエネルギーは中心パルサーの年齢やスピンドウンエネルギーとはあまり相関がなく、X 線放射効率と折れ曲がりの急峻さに一番大きな相関があることが分かった。これはスペクトルの折れ曲がり为天体の個性に由来していることを示唆している可能性があり、今後の研究が待たれる。

また我々は、白色矮星も自転周期が早くて強磁場の場合、中性子星パルサーのように宇宙線電子成分加速源になり得るのではないかという仮定のもと、近年発見された強磁場短自転周期白色矮星 ZTF J1901+14 の X 線解析を行った。その結果、我々は 3.5σ レベルの X 線の検出に成功した(業績 8)。これは世界で初めての単独白色矮星からの X 線の発見である。この白色矮星のスピンドウンエネルギーに対する X 線放射効率は $1e-3$ 程度であり、これは中性子星パルサーの X 線放射効率と同等である。つまり、白色矮星も中性子星と同様に宇宙線電子成分の供給源になり得ることを示した結果である。また、ZTF J1901+14 は現在まで発見されている白色矮星の中で最も重いもののひとつである。この天体の起源として、白色矮星同士の合体で重い白色矮星が生まれ、半径が重力によって小さくなるために自転速度も上がり、磁場はダイナモ機構によって増幅されたというシナリオがある。このような天体は Ia 型超新星爆発や重力波源候補として重要であるが、現在までほとんど見つかっていない。我々の成果は、X 線広域探査がこのような白色矮星-白色矮星合体によって生まれた重い白色矮星の探査に有効である可能性を示している。

引用文献

1. Tomoaki Kasuga, Toshiki Sato, Koji Mori, Hiroya Yamaguchi, Aya Bamba, “Asymmetric expansion of the Fe ejecta in Kepler’s supernova remnant”, PASJ, 70, 88 (2018) doi: 10.1093/pasj/psy085
2. Tomoaki Kasuga, Jacco Vink, Satoru Katsuda, Hiroyuki Uchida, Aya Bamba, Toshiki Sato, John, P. Hughes, “Spatially Resolved RGS Analysis of Kepler’s Supernova Remnant”, ApJ, 915, 42 (2021) doi: 10.3847/1538-4357/abff4f
3. Hiroyuki Uchida, Tomoaki Kasuga, Keiichi Maeda, Shiu-Hang, Lee, Takaaki Tanaka, Aya Bamba, “Three-dimensional Velocity Diagnostics to Constrain the Type Ia Origin of Tycho’s Supernova Remnant”, ApJ, 962, 159 (2024) doi: 10.3847/1538-4357/ad1ff3
4. Sapienza, Vincenzo, Miceli, Marco, Bamba, Aya, Orlando, Salvatore, Lee, Shiu-Hang, Nagataki, Shigehiro, Ono, Masaomi, Katsuda, Satoru, Mori, Koji, Sawada, Makoto, Terada, Yukikatsu, Giuffrida, Roberta, Bocchino, Fabrizio, “Probing Shocked Ejecta in SN 1987A: A Novel Diagnostic Approach Using XRISM-Resolve”, ApJL, 961, L95 (2024) doi: 10.3847/2041-8213/ad16e3
5. Nguyen-Dang, N. T., Pühlhofer, G., Sasaki, M., Bamba, A., Doroshenko, V., Santangelo, A., “XMM-Newton observation of the TeV-discovered supernova remnant

HESS J1534-571” , A&A, 26, 679 (2023) doi: 10.1051/0004-6361/202346448

6. Aya Bamba, Hidetoshi Sano, Ryo Yamazaki, Jacco Vink, “On the influence of shock-cloud interactions on the nonthermal X-ray emission from the supernova remnant RCW 86” , PASJ, 75, 1344 (2023) doi: 10.1093/pasj/psad075
7. Aya Bamba, Shinpei Shibata, Shuta J. Tanaka, Koji Mori, Hiroyuki Uchida, Yukikatsu Terada, Wataru Ishizaki, “Spectral break of energetic pulsar wind nebulae detected with wideband X-ray observations” , PASJ, 74, 1186 (2022) doi: 10.1093/pasj/psac062
8. Aya Bamba, Yukikatsu Terada, Kazumi Kashiya, Shota Kisaka, Takahiro Minami, Tadayuki Takahashi, “On the X-ray efficiency of the white dwarf pulsar candidate ZTF J190132.9+145808.7” , PASJ, in press (2024) arxiv: 240414722

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計30件（うち査読付論文 29件 / うち国際共著 15件 / うちオープンアクセス 18件）

1. 著者名 Tamba Tsubasa, Odaka Hirokazu, Bamba Aya, Murakami Hiroshi, Mori Koji, Hayashida Kiyoshi, Terada Yukikatsu, Mizuno Tsunefumi, Nobukawa Masayoshi	4. 巻 74
2. 論文標題 Simulation-based spectral analysis of X-ray CCD data affected by photon pile-up	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 364 ~ 383
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psab131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Terada Yukikatsu, Miwa Yuya, Ohsumi Hayato, Fujimoto Shin-ichiro, Katsuda Satoru, Bamba Aya, Yamazaki Ryo	4. 巻 933
2. 論文標題 Gamma-Ray Diagnostics of r-process Nucleosynthesis in the Remnants of Galactic Binary Neutron-star Mergers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 111 ~ 111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac721f	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sapienza Vincenzo, Miceli Marco, Bamba Aya, Katsuda Satoru, Nagayoshi Tsutomu, Terada Yukikatsu, Bocchino Fabrizio, Orlando Salvatore, Peres Giovanni	4. 巻 935
2. 論文標題 A Spatially Resolved Study of Hard X-Ray Emission in Kepler 's Supernova Remnant: Indications of Different Regimes of Particle Acceleration	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 152 ~ 152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac8160	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Takashima Satoshi, Odaka Hirokazu, Yoneda Hiroki, Ichinohe Yuto, Bamba Aya, Aramaki Tsuguo, Inoue Yoshiyuki	4. 巻 1038
2. 論文標題 Event reconstruction of Compton telescopes using a multi-task neural network	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 166897 ~ 166897
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2022.166897	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Katsuragawa Miho, Lee Shiu-Hang, Odaka Hirokazu, Bamba Aya, Matsumura Hideaki, Takahashi Tadayuki	4. 巻 938
2. 論文標題 On the Formation of Over-ionized Plasma in Evolved Supernova Remnants	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 23 ~ 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac8cf9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Shimoda Jiro, Ohira Yutaka, Bamba Aya, Terada Yukikatsu, Yamazaki Ryo, Inoue Tsuyoshi, Tanaka Shuta J	4. 巻 74
2. 論文標題 X-ray line diagnostics of ion temperature at cosmic ray accelerating collisionless shocks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1022 ~ 1040
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac053	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Bamba Aya, Shibata Shinpei, Tanaka Shuta J, Mori Koji, Uchida Hiroyuki, Terada Yukikatsu, Ishizaki Wataru	4. 巻 74
2. 論文標題 Spectral break of energetic pulsar wind nebulae detected with wideband X-ray observations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1186 ~ 1197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac062	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Abe, S., Bamba, A., et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Multi-wavelength study of the galactic PeVatron candidate LHAASO J2108+5157	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tamba Tsubasa, Odaka Hirokazu, Tanimoto Atsushi, Suzuki Hiromasa, Takashima Satoshi, Bamba Aya	4. 巻 944
2. 論文標題 Orbital- and Spin-phase Variability in the X-Ray Emission from the Accreting Pulsar Centaurus X-3	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 9~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acadde	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yeung Paul K H, Bamba Aya, Sano Hidetoshi	4. 巻 75
2. 論文標題 Multiwavelength studies of G298.6?0.0: An old GeV supernova remnant interacting with molecular clouds	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 384~396
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psad006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Fujita Yutaka, Bamba Aya, Nobukawa Kumiko K., Matsumoto Hironori	4. 巻 912
2. 論文標題 X-Ray Emission from the PeVatron-candidate Supernova Remnant G106.3+2.7	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 133~133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abf14a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Suzuki Hiromasa, Bamba Aya, Shibata Shinpei	4. 巻 914
2. 論文標題 Quantitative Age Estimation of Supernova Remnants and Associated Pulsars	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 103~103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abfb02	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kasuga Tomoaki, Vink Jacco, Katsuda Satoru, Uchida Hiroyuki, Bamba Aya, Sato Toshiki, Hughes John P.	4. 巻 915
2. 論文標題 Spatially Resolved RGS Analysis of Kepler ' s Supernova Remnant	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 42 ~ 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abff4f	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamane Y., Sano H., Filipovi? M. D., Tokuda K., Fujii K., Babazaki Y., Mitsuishi I., Inoue T., Aharonian F., Inaba T., Inutsuka S., Maxted N., Mizuno N., Onishi T., Rowell G., Tsuge K., Voisin F., Yoshiike S., Fukuda T., Kawamura A., Bamba A., Tachihara K., Fukui Y.	4. 巻 918
2. 論文標題 Associated Molecular and Atomic Clouds with X-Ray Shell of Superbubble 30 Doradus C in the LMC	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 36 ~ 36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0adb	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Suzuki H., Plucinsky P. P., Gaetz T. J., Bamba A.	4. 巻 655
2. 論文標題 Spatial and temporal variations of the <i>Chandra</i> ACIS particle-induced background and development of a spectral-model generation tool	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A116 ~ A116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202141458	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Suzuki Hiromasa, Bamba Aya, Yamazaki Ryo, Ohira Yutaka	4. 巻 924
2. 論文標題 Observational Constraints on the Maximum Energies of Accelerated Particles in Supernova Remnants: Low Maximum Energies and a Large Variety	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 45 ~ 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac33b5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tamba Tsubasa, Odaka Hirokazu, Bamba Aya, Murakami Hiroshi, Mori Koji, Hayashida Kiyoshi, Terada Yukikatsu, Mizuno Tsunefumi, Nobukawa Masayoshi	4. 巻 74
2. 論文標題 Simulation-based spectral analysis of X-ray CCD data affected by photon pile-up	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 364 ~ 383
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psab131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 413.馬場 彩、浅井 歩、石川 遼子、佐藤 浩介、信川 正順、野村英子、古澤 久徳、町田 真美	4. 巻 2021年11月号
2. 論文標題 天文学会男女共同参画20年の歩み 天文学会アンケートから学ぶ	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 天文月報	6. 最初と最後の頁 688-695
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Saito Mariko, Yamauchi Shigeo, Nobukawa Kumiko K, Bamba Aya, Pannuti Thomas G	4. 巻 72
2. 論文標題 X-ray emission from the mixed-morphology supernova remnant HB9	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa042	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Suzuki Hiromasa, Tamba Tsubasa, Odaka Hirokazu, Bamba Aya, Hagino Kouichi, Takeda Ayaki, Mori Koji, Hida Takahiro, Yukumoto Masataka, Nishioka Yusuke, Tsuru Takeshi G.	4. 巻 979
2. 論文標題 Development of the detector simulation framework for the Wideband Hybrid X-ray Imager onboard FORCE	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 164433
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2020.164433	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Suzuki Hiromasa, Bamba Aya, Yamazaki Ryo, Ohira Yutaka	4. 巻 72
2. 論文標題 Study on the escape timescale of high-energy particles from supernova remnants through thermal X-ray properties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa061	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kasuga Tomoaki, Odaka Hirokazu, Hatauchi Kosuke, Takashima Satoshi, Tamba Tsubasa, Aizawa Yuki, Hashiba Soichiro, Bamba Aya, Zhou Yuanhui, Tamagawa Toru	4. 巻 6
2. 論文標題 Artifact-less coded aperture imaging in the x-ray band with multiple different random patterns	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.JATIS.6.3.035002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sano H., Plucinsky P. P., Bamba A., Sharda P., Filipovi? M. D., Law C. J., Alsaberi R. Z. E., Yamane Y., Tokuda K., Acero F., Sasaki M., Vink J., Inoue T., Inutsuka S., Shimoda J., Tsuge K., Fujii K., Voisin F., Maxted N., Rowell G., Onishi T., Kawamura A., Mizuno N., Yamamoto H., Tachihara K., Fukui Y.	4. 巻 902
2. 論文標題 ALMA CO Observations of Gamma-Ray Supernova Remnant N132D in the Large Magellanic Cloud: Possible Evidence for Shocked Molecular Clouds Illuminated by Cosmic-Ray Protons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abb469	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Bamba Aya, Watanabe Eri, Mori Koji, Shibata Shinpei, Terada Yukikatsu, Sano Hidetoshi, Filipovi? Miroslav D.	4. 巻 365
2. 論文標題 Low X-ray Efficiency of a Young High-B Pulsar PSR J1208?6238 Observed with Chandra	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astrophysics and Space Science	6. 最初と最後の頁 178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10509-020-03891-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nagayoshi Tsutomu, Bamba Aya, Katsuda Satoru, Terada Yukikatsu	4. 巻 73
2. 論文標題 Detection of the hard X-ray non-thermal emission from Kepler ' s supernova remnant	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 302 ~ 312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa121	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sawada Makoto, Tachibana Katsuhiro, Uchida Hiroyuki, Ito Yuta, Matsumura Hideaki, Bamba Aya, Tsuru Takeshi Go, Tanaka Takaaki	4. 巻 71
2. 論文標題 Ionization age of iron ejecta in the Galactic Type Ia supernova remnant G306.3-0.9	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz036	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Watanabe Eri, Shibata Shinpei, Sakamoto Takanori, Bamba Aya	4. 巻 486
2. 論文標題 A high magnetic field radio pulsar survey with Swift/XRT	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5323 ~ 5334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz1162	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Watanabe Haruka, Bamba Aya, Shibata Shinpei, Watanabe Eri	4. 巻 71
2. 論文標題 XMM-Newton spectrum of the magnetar CXOU J171405.7-381031	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz066	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tamba Tsubasa, Bamba Aya, Odaka Hirokazu, Enoto Teruaki	4. 巻 71
2. 論文標題 Temporal and spectral X-ray properties of magnetar SGR 1900+14 derived from observations with NuSTAR and XMM-Newton	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz073	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Suzuki Hiromasa, Bamba Aya, Enokiya Rei, Yamaguchi Hiroya, Plucinsky Paul P., Odaka Hirokazu	4. 巻 893
2. 論文標題 Uniform Distribution of the Extremely Overionized Plasma Associated with the Supernova Remnant G359.1-0.5	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 147 ~ 147
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab80ba	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Aya Bamba
2. 発表標題 Understanding shock-cloud interaction on the supernova remnant RCW86 with Athena
3. 学会等名 The third scientific conference dedicated to the Athena X-ray observatory (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 馬場彩
2. 発表標題 RCW 86東部のX線・分子雲観測を用いた衝撃波-分子雲相互作用と宇宙線加速の関係の検証
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Aya Bamba
2. 発表標題 Particle acceleration on shocks of supernova remnants
3. 学会等名 High-resolution X-ray spectroscopy of cosmic plasmas (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aya Bamba
2. 発表標題 Understanding the origin of supernova remnants with plasma diagnostics
3. 学会等名 50 years astronomical X-ray spectroscopy in the Netherlands (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 馬場彩
2. 発表標題 超小型衛星を用いたX線天文観測
3. 学会等名 宇宙理工学連携研究機構シンポジウム「宇宙理工学の現状と未来を語る (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馬場彩
2. 発表標題 パルサー星雲広帯域スペクトルの系統解析
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馬場彩
2. 発表標題 単独白色矮星パルサーの探索作戦
3. 学会等名 2021年冬季「中性子星・超新星残骸及び関連天体」研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馬場彩
2. 発表標題 超新星残骸RCW86東部における分子雲とX線放射の比較
3. 学会等名 SNR workshop 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Aya Bamba
2. 発表標題 Electromagnetic observations of neutron stars
3. 学会等名 Workshop on Frontiers of Nuclear Structure and Nuclear Astrophysics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aya Bamba
2. 発表標題 X-ray study of supernova remnants as remnants of supernovae ”
3. 学会等名 Tsinghua University Colloquium series (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馬場彩
2. 発表標題 X線・ガンマ線観測による高エネルギー宇宙線の起源とその加速機構の解明
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会米沢富美子賞記念講演（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馬場彩
2. 発表標題 新しい超新星残骸をパルサーから探せないか
3. 学会等名 超新星残骸リモート研究会 2020
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馬場彩
2. 発表標題 パルサー星雲X線スペクトルの解釈
3. 学会等名 中性子星および関連現象 -興味ある課題を検討しよう-
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馬場彩
2. 発表標題 若い強磁場中性子星PSR J1208-6238のX線光度への強い制限
3. 学会等名 日本天文学会春期年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aya Bamba
2. 発表標題 Observational study of Nonthermal phenomena on SNR shocks
3. 学会等名 Supernova Remnants II: An Odyssey in Space after Stellar death (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoaki Kasuga
2. 発表標題 Doppler velocity measurement of Fe ejecta in Kepler ' s SNR
3. 学会等名 Supernova Remnants II: An Odyssey in Space after Stellar death (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiromasa Suzuki
2. 発表標題 A systematic study on escaping of cosmic rays from SNR shocks through observations of thermal X-ray plasmas
3. 学会等名 Supernova Remnants II: An Odyssey in Space after Stellar death (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aya Bamba
2. 発表標題 Recent progress on X-ray study of supernova remnants as remnants of supernovae
3. 学会等名 X-ray Astronomy 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aya Bamba
2. 発表標題 Gender equality activities in astronomical society of Japan
3. 学会等名 Astronomy for equality, diversity and inclusion (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 馬場彩
2. 発表標題 多様性の源: 超新星残骸
3. 学会等名 2019年度第49回天文・天体物理夏の学校 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 馬場彩
2. 発表標題 SKA超新星残骸観測で迫る超新星爆発多様性
3. 学会等名 SKA Japanシンポジウム2019「SKA Japanこれまでの10年とこれからの10年」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 馬場彩
2. 発表標題 FORCEで見る超新星残骸での宇宙線加速
3. 学会等名 高感度・広帯域X線天文衛星FORCEで探る高エネルギー宇宙 (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

馬場研ホームページ
<http://energetic-universe.phys.s.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
オランダ	Amsterdam University	SRON		
米国	NASA	CfA	Columbia University	他10機関
イタリア	Palermo University			
ドイツ	MPIK	Friedrich-Alexander- Universitat		