

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：32686

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14749

研究課題名（和文） $^{44}\text{Ti}$ 専用硬X線望遠鏡で明らかにする銀河系内陽電子の起源研究課題名（英文） $^{44}\text{Ti}$  telescope for revealing the origin of positrons in the Milky Way

研究代表者

佐藤 寿紀 (Sato, Toshiki)

立教大学・理学部・助教

研究者番号：60825975

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の大目的は、Ia型超新星から $^{44}\text{Ti}$ を直接観測し、約80年続く宇宙の謎である銀河系内の陽電子起源の解明をする事である。銀河系内の陽電子起源として近年有力視されている、白色矮星の核暴走爆発「Ia型超新星」から、その陽電子の供給源でもある $^{44}\text{Ti}$ を観測するため、観測技術開発と観測研究を進めてきた。 $^{44}\text{Ti}$ 検出技術としては、 $^{44}\text{Ti}$ 崩壊ガンマ線である68, 78 keVのエネルギー帯に感度の高い望遠鏡の作製とその望遠鏡を用いた気球実験を提案した。観測研究として、 $^{44}\text{Ti}$ の代わりとなる安定Tiの観測から、陽電子起源に迫る新手法を提案できたと言える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回の研究で得られた成果で最も注目すべきは、「安定Ti」の初めての観測である。Ia型超新星・重力崩壊型超新星の両超新星の残骸で、我々のグループは初めてこの安定Tiを観測した。この安定Tiは、当初の目的であった $^{44}\text{Ti}$ と同じ場所で合成される元素である。 $^{44}\text{Ti}$ の場合、崩壊した際のガンマ線を観測する必要があるため、崩壊し切ると観測できなくなる。一方で、安定Tiであれば、プラズマ化されていれば長く観測できるため、様々なターゲットに応用できることを意味する。このように、直接的に $^{44}\text{Ti}$ を観測するだけでなく、同領域でできる元素にも着目する新手法を開拓できたのは、学術的価値が高いと言える。

研究成果の概要（英文）：The major objective of this research is to directly observe  $^{44}\text{Ti}$  from Type Ia supernovae and elucidate the origin of positrons in our Galaxy, a mystery that has continued for about 80 years. The  $^{44}\text{Ti}$  detection technique involves the development of a telescope sensitive to  $^{44}\text{Ti}$  decaying gamma rays in the 68 and 78 keV energy range, and the development of a new telescope that can detect the  $^{44}\text{Ti}$  in the 68 keV and 78 keV energy range. The construction of a telescope with high sensitivity to  $^{44}\text{Ti}$  decay gamma rays in the 68 and 78 keV energy range and balloon experiments using the telescope have been proposed. As an observational study, we have proposed a new method to approach the origin of positrons from the observation of stable Ti, which is a substitute for  $^{44}\text{Ti}$ .

研究分野：X線天文学

キーワード：超新星残骸 崩壊ガンマ線 陽電子 硬X線望遠鏡

## 1. 研究開始当初の背景

1932年、宇宙線の飛跡を霧箱で観測中に、正電荷を帯びた粒子「ポジトロン」が発見され、これがディラックによって予言されていた電子の反物質「陽電子」の存在証明となった。しかし、この発見から約80年経った今でも、宇宙のどこでこれらの陽電子が生成されているか分かっていない。近年では、ガンマ線観測技術の飛躍的進化によって、銀河内の511 keV放射(電子-陽電子対消滅)のマッピングが可能となり、意外にも「銀河バルジ」方向に沿って陽電子が多く生成されている事が分かり始めている(Weidenspointner+08など)。通常は、銀河面に沿って多くの物質が集まり、星形成が活発に行われている(多くの若い星が生まれ死んでゆく)が、この511 keV放射はそれに反して、古い星で構成されているバルジ方向に広がるため、陽電子起源の何らかの鍵がこの空間分布にあると考えられている。

銀河系内の陽電子起源として近年有力視されているのが、白色矮星の核暴走爆発「Ia型超新星」である。現在、Ia型超新星がどのようにして爆発に至るかについても論争が続いているが、その中でも、連星を成している相手の星から白色矮星にヘリウムが降着する場合、 $^{44}\text{Ti}$ を大量に生成するIa型超新星になると考えられている(Woosley & Weaver 94など)。 $^{44}\text{Ti}$ は崩壊する過程でベータ崩壊を起こすため、陽電子供給源となる。この爆発モデルでは、ヘリウムが積もり核燃焼を起こすと、その衝撃波が中心核の核暴走を引き起こし、Ia型超新星になると考えられており、この時、ヘリウム層の核燃焼過程で多くの $^{44}\text{Ti}$ が合成される。このような特殊なIa型超新星によって大量生産される $^{44}\text{Ti}$ (一度の爆発で約0.03太陽質量:他の超新星より二桁以上多い合成量)は、バルジ方向へ広がる511 keV放射の構造と放射強度をうまく説明できることから、銀河内の陽電子供給源の最有力候補となっている(Crocker+17)。

そして2017年には、このヘリウム層への着火の瞬間が初めてIa型超新星の観測で発見され、そのスペクトルにはTiの吸収線もあることから、この特殊な爆発モデルの妥当性が観測的に証明された(Jiang+17)。

## 2. 研究の目的

本研究の大目的は、Ia型超新星から $^{44}\text{Ti}$ を直接観測し、約80年続く宇宙の謎である銀河系内の陽電子起源の解明をする事である。現在、Ia型超新星の残骸として10数の天体が天の川銀河内・マゼラン雲内に確認されており、目的達成のためにまず、これらの天体からの $^{44}\text{Ti}$ 崩壊ガンマ線検出と陽電子供給量を正確に見積もる事が最優先事項である。もし、大量の $^{44}\text{Ti}$ (約0.03太陽質量)を生成するIa型超新星を発見できれば、陽電子供給源としての最も強い証拠になる。これらの目的達成に向け、この若手研究では、 $^{44}\text{Ti}$ 崩壊ガンマ線検出に世界の先陣を切って挑むための「望遠鏡開発研究」と「超新星残骸の観測研究」を同時に進めてきた。

## 3. 研究の方法

【望遠鏡開発】本研究において、 $^{44}\text{Ti}$ 崩壊ガンマ線に高感度の観測機器が必要不可欠であるが、そもそも、10 keV以上に感度のある硬X線望遠鏡を用いた宇宙観測に成功しているのは、日本と米国のみである。我々は、ひとみ衛星搭載のブラック反射を用いた硬X線望遠鏡の開発を実際に行ない、衛星軌道上で5-80 keVのかに星雲からの硬X線の集光・イメージングに成功してきた。そして、これらの開発で培った技術で硬X線望遠鏡を改良し、 $^{44}\text{Ti}$ 崩壊ガンマ線(68, 78 keV)に感度のピークを持つ望遠鏡の作製を目指してきた。理想的には、ブラック反射を利用している多層膜ミラーの設計値を調整するだけで、 $^{44}\text{Ti}$ の崩壊線が存在する60-80 keV帯域の有効面積を増やした「 $^{44}\text{Ti}$ 専用望遠鏡」を製作できる。更に、この望遠鏡とガンマ線カロリメータを組み合わせた気球実験の構想を進めている。NuSTAR衛星の検出器では、80 keVでエネルギー分解能が約1000 eVだったのに対し、ガンマ線カロリメータでは約50 eV程度(約1/20)が実現できるため、これまで問題であったバックグラウンドとの完全な切り分けが可能となり、桁違いの輝線検出感度が実現できる。例えば、もし系内に存在する若いIa型超新星残骸(ティコやケプラーなど)が、 $^{44}\text{Ti}$ を大量生成するIa型超新星の名残であった場合、半日程度(数10 ks)の気球観測で100個(=10%の統計誤差)の崩壊ガンマ線を検出でき、それらの観測によってIa型超新星が銀河内の陽電子起源であるかの検証が可能になる。

【観測研究】気球観測とは異なる観測手法からIa型超新星内の $^{44}\text{Ti}$ の合成を議論し、陽電子供給源としての検証を行うことを目指した。気球実験で検出を目指す $^{44}\text{Ti}$ は、半減期が60年程度なので、爆発後1000年を超えるような天体では、検出が難しくなる。そこで申請者は、 $^{44}\text{Ti}$ 崩壊後の $^{44}\text{Ca}$ の合成量とその分布に着目し、古い超新星残骸においても $^{44}\text{Ti}$ を大量生成するIa型超新星であった証拠をつかめると考えた。通常のIa型超新星の場合、爆発時に生成される安定なCaは0.002-0.02太陽質量程度であり(Maeda+10)、陽電子供給源となるようなIa型超新星

の古い残骸の場合はこれに  $^{44}\text{Ti}$  崩壊後の約 0.03 太陽質量の  $^{44}\text{Ca}$  が加わった元素量(0.03-0.05 太陽質量)になるはずである。X線観測では、各元素からの輝線放射を捉える事で元素量を測定でき、かつ、広がりを持つ超新星残骸であればその空間分布も調査できる。陽電子供給源として考えられている Ia 型超新星の理論研究では、 $^{44}\text{Ti}$  は超新星の表面近くで合成されると考えられているため(Fink+10)、通常の超新星残骸では外側に存在する Si や S よりも、さらに外側に大量の Ca が分布すると考えられる。つまり、他の Ia 型超新星より Ca が多く存在し、その Ca が外側に分布するような特殊な超新星残骸を見つけられれば、陽電子供給源として考えられているタイプの Ia 型超新星である可能性が極めて高い。このような、崩壊後の  $^{44}\text{Ca}$  に着目した研究は皆無であった。

#### 4. 研究成果

【望遠鏡開発について】まず、計算を元に、これまでの硬 X 線望遠鏡の感度を超える  $^{44}\text{Ti}$  専用望遠鏡を製作できる事を示した。Ni, Pt, C などを組み合わせた多層膜ミラーを用いれば、この  $^{44}\text{Ti}$  望遠鏡は、過去のどの硬 X 線望遠鏡よりも 60-80 keV 帯域で有効面積が大きく、現在  $^{44}\text{Ti}$  に最も感度のある NuSTAR 衛星の約 1.5 倍以上の有効面積を 1 台の望遠鏡のみで実現できる(NuSTAR 衛星には 2 台望遠鏡が搭載されている)。研究期間中、コロナウィルスの蔓延によって、開発研究の多くがストップしてしまったものの、気球計画を進めるため概念設計や簡単な基礎開発を進めた。2019 年から 2020 年の間は、NASA/GSFC にて、2020 年からは立教大学、宇宙科学研究所にてミラー基盤開発や多層膜付けの研究を進めてきた。現状として、望遠鏡自体の作製は完了していないものの、技術を徐々に確立し、この望遠鏡を用いた気球実験の概念をまとめ、査読論文として発表した。現在も、この気球計画は米国ニューハンプシャー大学や NASA/GSFC との共同研究として継続的に進めており、数年から 10 年以内の実現を目指している。今回の研究期間で、このコンセプトを固められた事が最も大きな成果となった。

【観測研究】課題達成に向け、いくつかの超新星残骸の観測研究を行った。まず、Ia 型超新星の残骸(ケプラーの超新星残骸)の膨張速度を Chandra 衛星のグレーティング観測で測定し、その三次元構造に迫った(Matthew et al. 2020, ApJ, Kasuga et al. 2021, ApJ)。加えて、Ia 型超新星の残骸の構造と超新星シミュレーションの構造を直接比較できる手法を開発した(Sato et al. 2019, ApJ)。これらの構造研究以外にも、超新星残骸内の元素組成に着目し、その爆発機構へ迫る研究を行なった(Sato et al. 2020a,b)。加えて、Ia 型超新星残骸 3C 397 から Ti と Cr を検出し、爆発中心の密度の推定に成功した(Ohshiro et al. 2021, ApJL 受理)。理論研究とも協力しながら、様々な爆発モデルを残骸まで発展することに成功した(Ferrand et al. 2021, ApJ)。また、 $^{44}\text{Ti}$  と同時に作られる安定 Ti (=  $^{48}\text{Ti}$ )を超新星残骸 Cassiopeia A から発見し、Nature 誌で発表した。また、超新星残骸 Cassiopeia A のジェット構造からも、安定 Ti を発見し、その構造の爆発機構への影響を議論し、論文にまとめ(Ikeda et al. 2022, PASJ)、PASJ 誌の表紙を飾った。これらの研究で開拓した安定 Ti は、Ia 型超新星でも同様に  $^{44}\text{Ti}$  と同じ場所で安定 Ti ができるものである。線力ロリメータを用いた観測だけでなく、X 線帯域で安定 Ti を探査することで、新たな視点から本研究を進めることができる事を提示できたと言え、当初の手法と違う視点から課題解決に挑める糸口を見つけられたという点で、非常に価値のある研究成果を残せたと考えている。これらの成果は、論文のみならず国内外でプレスリリースも行い、注目度の高い研究となった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ikeda Takuma, Uchiyama Yasunobu, Sato Toshiki, Higurashi Ryota, Tsuchioka Tomoya, Yamada Shinya	4. 巻 74
2. 論文標題 Discovery of stable titanium at the northeastern jet of Cassiopeia A: Need for a weak jet mechanism?	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 334 ~ 342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psab130	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, 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 Sato Toshiki, Maeda Keiichi, Nagataki Shigehiro, Yoshida Takashi, Grefenstette Brian, Williams Brian J., Umeda Hideyuki, Ono Masaomi, Hughes John P.	4. 巻 592
2. 論文標題 High-entropy ejecta plumes in Cassiopeia A from neutrino-driven convection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 537 ~ 540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-021-03391-9	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 Ferrand Gilles, Warren Donald C., Ono Masaomi, Nagataki Shigehiro, Roepke Friedrich K., Seitzzahl Ivo R., Lach Florian, Iwasaki Hiroyoshi, Sato Toshiki	4. 巻 906
2. 論文標題 From Supernova to Supernova Remnant: Comparison of Thermonuclear Explosion Models	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 93 ~ 93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abc951	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 Hirai Ryosuke, Sato Toshiki, Podsiadlowski Philipp, Vigna-Gomez Alejandro, Mandel Ilya	4. 巻 499
2. 論文標題 Formation pathway for lonely stripped-envelope supernova progenitors: implications for Cassiopeia A	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1154 ~ 1171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa2898	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 Tomoya Tsuchioka, Yasunobu Uchiyama, Ryota Higurashi, Hiroyoshi Iwasaki, Shumpei Otsuka, Shinya Yamada, and Toshiki Sato	4. 巻 912
2. 論文標題 On the Origin of the Asymmetry of the Ejecta Structure and Explosion of G350.1-0.3	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 131 ~ 131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abf2bd	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 Millard Matthew J., Bhalerao Jayant, Park Sangwook, Sato Toshiki, Hughes John P., Slane Patrick, Patnaude Daniel, Burrows David, Badenes Carles	4. 巻 893
2. 論文標題 An Ejecta Kinematics Study of Kepler 's Supernova Remnant with High-resolution Chandra HETG Spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 98 ~ 98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab7db1	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 Sato Toshiki, Yoshida Takashi, Umeda Hideyuki, Nagataki Shigehiro, Ono Masaomi, Maeda Keiichi, Hirai Ryosuke, Hughes John P., Williams Brian J., Maeda Yoshitomo	4. 巻 893
2. 論文標題 A Subsolar Metallicity Progenitor for Cassiopeia A, the Remnant of a Type IIb Supernova	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 49 ~ 49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab822a	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 Sato Toshiki, Yoshida Takashi, Umeda Hideyuki, Nagataki Shigehiro, Ono Masaomi, Maeda Keiichi, Hirai Ryosuke, Hughes John P., Williams Brian J., Maeda Yoshitomo	4. 巻 893
2. 論文標題 A Subsolar Metallicity Progenitor for Cassiopeia A, the Remnant of a Type IIb Supernova	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 49 ~ 49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab822a	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 Maeda Yoshitomo, Iizuka Ryo, Hayashi Takayuki, Sato Toshiki, Nakaniwa Nozomi, Takeo Mai, Suzuki Hitomi, Ishida Manabu, Ikeda Shiro, Morii Mikio	4. 巻 71
2. 論文標題 Concept for an X-ray telescope system with an angular resolution booster	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 97 ~ 97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz081	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 Sato Toshiki, Hughes John P., Williams Brian J., Morii Mikio	4. 巻 879
2. 論文標題 Genus Statistic Applied to the X-Ray Remnant of SN 1572: Clues to the Clumpy Ejecta Structure of Type Ia Supernovae	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 64 ~ 64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab24db	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 Kislat Fabian, Toshiki Sato他	4. 巻 9
2. 論文標題 ASCENT: a balloon-borne hard x-ray imaging spectroscopy telescope using transition edge sensor microcalorimeter detectors	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems	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) 10.1117/1.JATIS.9.1.014002	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 Li Wenshuai、Toshiki Sato他	4. 巻 1240
2. 論文標題 High-sensitive XANES analysis at Ce L2-edge for Ce in bauxites using transition-edge sensors: Implications for Ti-rich geological samples	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Analytica Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 340755 ~ 340755
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aca.2022.340755	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 Ichinohe Yuto、Sato Toshiki	4. 巻 946
2. 論文標題 Spatiotemporal Characterization of Cassiopeia A	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 87 ~ 87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acafe0	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 Millard Matthew J.、Park Sangwook、Sato Toshiki、Hughes John P.、Slane Patrick、Patnaude Daniel、Burrows David、Badenes Carles	4. 巻 937
2. 論文標題 The 3D X-Ray Ejecta Structure of Tycho's Supernova Remnant	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 121 ~ 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac8f30	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 Tsuchioka Tomoya、Sato Toshiki、Yamada Shinya、Uchiyama Yasunobu	4. 巻 932
2. 論文標題 X-Ray Studies of the Inverted Ejecta Layers in the Southeast Area of Cassiopeia A	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 93 ~ 93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac6e63	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 Hayakawa Ryota, Yamada Shinya, Suda Hirotaka, Ichinohe Yuto, Higurashi Ryota, Sakemi Haruka, Machida Mami, Ohmura Takumi, Katsuda Satoru, Uchiyama Hideki, Sato Toshiki, Akamatsu Hiroki, Axelsson Magnus	4. 巻 74
2. 論文標題 X-ray hot spots in the eastern ear of the supernova remnant W50 and the microquasar SS433 system	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 510 ~ 520
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac011	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3件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Toshiki Sato
2. 発表標題 X-ray Clumpy Structures in Type Ia Supernova Remnants
3. 学会等名 Collaborative Meeting on Supernova Remnants between Japan and USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 寿紀
2. 発表標題 超新星 Cassiopeia A の不完全 Si 燃焼層での中性子過剰度の推定
3. 学会等名 天文学会 春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 寿紀
2. 発表標題 非対称な超新星残骸 W49B におけるチタン欠乏
3. 学会等名 天文学会 春季年会
4. 発表年 2023年



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

「宇宙のものさし」の異端児？ 最も高密度な白色矮星による超新星爆発の痕跡を特定  
<https://www.rikkyo.ac.jp/news/2021/06/mknpps000001n9ul.html>  
大質量星の超新星エンジンをX線観測で解明  
[https://www.riken.jp/press/2021/20210422\\_1/index.html](https://www.riken.jp/press/2021/20210422_1/index.html)  
Bubbles With Titanium Trigger Titanic Explosions  
[https://chandra.harvard.edu/press/21\\_releases/press\\_042121.html](https://chandra.harvard.edu/press/21_releases/press_042121.html)  
Supernova simulations reveal how ...  
[https://www.riken.jp/en/news\\_pubs/research\\_news/rr/20210326\\_1/index.html](https://www.riken.jp/en/news_pubs/research_news/rr/20210326_1/index.html)  
The Clumpy and Lumpy Death of a Star  
<https://chandra.si.edu/photo/2019/tycho/>  
The Latest Look at "First Light" from Chandra  
<https://chandra.si.edu/photo/2019/firstlight/>  
Clumpy structure in remnant  
[https://www.riken.jp/en/news\\_pubs/research\\_news/rr/20191011\\_2/index.html](https://www.riken.jp/en/news_pubs/research_news/rr/20191011_2/index.html)

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
---------	---------