

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 10 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03915

研究課題名（和文）X線回折格子を用いた重力崩壊型超新星の爆発機構の解明

研究課題名（英文）Explosion Mechanism of Core-collapse Supernovae Using X-ray Diffraction Grating

研究代表者

内田 裕之（Uchida, Hiroyuki）

京都大学・理学研究科・助教

研究者番号：60589828

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）：研究期間中に予定通りRGSで銀河系内外の超新星残骸を観測し、炭素・窒素輝線の分光を行った。結果として例えばRCW103の窒素酸素比から親星の質量だけでなく、回転速度や対流のオーバーシュートなど、爆発前の星の状態を明らかにすることができ、恒星進化モデルを使った手法の確立も行った。他の残骸に応用可能であり、また以上の研究で派生的に電荷交換反応や共鳴散乱などを多数発見し、十分な成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、星がなぜ超新星爆発を起こすのか、どのような星が爆発し中性子星を残すのか、という天文学上の重要な問いの一つに、爆発前の星が残した星風の元素量から明らかにする新手法を提案している。結果として、星風に含まれる窒素や酸素の比から、爆発前の星の質量や回転速度、また対流の状態（星の内部状態）まで明らかにできることを示せた。いずれも、既存の研究では推定が困難で得ることの難しかった情報である。今年度日本が打ち上げるXRISM衛星は、窒素や酸素の輝線をこれまでにない精度で検出することができるため、上記の根源的な問いに答えられる手法を確立した点で本研究は大きな意義がある。

研究成果の概要（英文）：As planned during the research period, we observed supernova remnants in the Galaxy and LMC/SMC with the RGS and performed spectroscopy of carbon and nitrogen emission lines. As a result, for example, the nitrogen-oxygen ratio of RCW103 revealed not only the mass of the progenitor but also the state of the star before the explosion, such as rotational velocity and convective overshoot, and we were able to establish a method using a stellar evolution model. The method is applicable to other remnants, and the above studies have been sufficient to discover a number of derivative charge exchange reactions and resonant scattering.

研究分野：X線天文学

キーワード：X線天文学 超新星残骸 恒星進化 超新星爆発

1. 研究開始当初の背景

大質量星が超新星爆発を引き起こすメカニズムは現在もわかっておらず、天文学上の重大な未解決問題である。ここ数年の大きな進展として、重力崩壊型の爆発に成功する3次元シミュレーションが報告されるようになった。それらの研究によると、例えば星の質量の僅かな違いが爆発の成否を左右する。しかし、こうした質量依存性が観測事実とどのように整合するかは、まだ十分に検証されていない。

申請者は、爆発前の星(親星)の質量の違いが、恒星の比較的外層で蓄積される、炭素・窒素・酸素(これらはCNOサイクルの合成元素である)の生成量に反映される点に注目した。本研究では、超新星残骸で衝撃波加熱された星周物質の元素量を測定し、炭素・窒素・酸素の組成比を恒星進化モデルと比較することで、親星の性質を制限する新しい手法を提案する。炭素・窒素・酸素などの輝線はX線帯域にあるが、従来のCCD検出器ではエネルギー分解能が不足するため、特に低エネルギー側の炭素・窒素を検出することが難しい。そこで本研究では、X線回折格子データ(XMM-Newton衛星搭載)を用いて、CCDより1桁以上良いエネルギー分解能で超新星残骸を観測する。特に大小マゼラン雲など見かけの大きさがコンパクトな超新星残骸を観測することで、X線回折格子のエネルギー分解能の劣化を抑え、これまで難しいとされてきた炭素・窒素・酸素の組成比を初めて網羅的に測定する。

2. 研究の目的

重力崩壊型の超新星爆発モデルを特徴づけるのは、爆発前の親星の外層で大量に生成する炭素・窒素・酸素(CNO)、および中心付近で生成する鉄(Fe)の組成比と空間分布である。ほとんどの先行研究は鉄など中心付近で生成される重元素の組成比に注目してきた。一方、本研究ではこれまで困難と考えられてきた、炭素・窒素・酸素の組成比と恒星進化モデルが予測するこれらの元素量との比較を行うことで、その生成量を左右すると考えられる親星の質量・回転速度・金属量などの諸パラメータの制限を行うことを目的とする。この手法を多数の超新星残骸に対して適用することで、これまで観測的に不明だった、「爆発する星」の親星の性質を系統的に明らかにし、大質量星が爆発する条件を明らかにする。

観測手法として本研究では、反射型回折格子分光装置による軟X線精密分光に着目する。この装置は、イオン価の異なるK殻輝線群(Ly α , β , He α , β , など)を高いエネルギー分解能で検出でき、それらの輝線強度とプラズマの温度・電離状態から、従来主流のCCD検出器より正確な組成比の測定が行える。爆発理論が予測する組成比は、各研究グループによって異なるので、これを観測的に検証することで、重力崩壊型の爆発機構の解明に新たな突破口を開くことが本研究の目的である。またこの手法を確立することで、CCDよりエネルギー分解能の優れた次世代検出器マイクロカロリメータなどを搭載した将来の衛星ミッション(日本のXRISMやヨーロッパ主導のAthena、NASAが計画しているLEMなど)で、本研究を飛躍的に発展させるための素地を作っておく。

3. 研究の方法

本研究では、X線回折格子(天体の視直径の大きさに応じてエネルギー分解能が劣化する)で炭素・窒素輝線の分光検出が行えるように、視直径が数分角に収まる大小マゼラン雲の超新星残骸、および銀河系内でもコンパクトな構造を持つ超新星残骸を研究対象とする。これらの超新星残骸の全てのX線回折格子の観測データを使って、個々の天体の炭素・窒素・酸素の組成比を測定する。

初年度は、大小マゼラン雲にある重力崩壊型のうち、特に明るいN132DとE0102-72を対象を絞る。次に、この研究手法を大小マゼラン雲で観測されたすべての超新星残骸に適用する。また、銀河系内の超新星残骸のうち、比較的コンパクトな構造を持つものを選定し、同様の手法でRGSによる分光観測を行う。また、親星質量による窒素・酸素の組成比の違いを明らかにするため、恒星進化や超新星爆発理論の専門家と共同で、恒星進化モデル計算を駆使して、観測と比較可能なモデルを構築し、超新星残骸の観測値から実際に親星の質量などの具体的な情報の制限を試みる。

4. 研究成果

研究計画で予定していた複数の超新星残骸について、X線回折格子を用いた解析研究を行い、複数の天体で学生を主著とする査読論文を出版した。たとえば、銀河系外の超新星残骸 J0453.6-6829 で異常に強い禁制線を発見し、また他波長の観測と併せて電荷交換反応の可能性が高いことを示した。さらに、銀河系内の超新星残骸 G296.1-0.5 でも同様のスペクトルを複数箇所で見出し、さらに電波観測から分子雲とシェルが接触している証拠を発見したため、電荷交換反応を強く裏付ける証拠を得た。これらの天体で計画通り炭素・窒素・酸素輝線の初検出ができ、さらにそれらの元素組成比を測定することに成功した。これらの結果から、我々の予想通り、窒素が酸素に対して過剰＝衝撃波加熱された星周物質が起源であることを初めて明らかにした。

さらに、研究期間中に予定通り X線回折格子で銀河系内外の超新星残骸を観測し、炭素・窒素輝線の分光を行った。結果として例えばマグネターを有する RCW103 の窒素酸素比から親星の質量だけでなく、回転速度や対流のオーバーシュートなど、爆発前の星の状態（親星パラメータ）を明らかにすることができた。これによって、RCW103 の親星質量や回転速度を、これまでの研究にない精度で制限することができた。また、本研究では、恒星進化の理論研究者と共同研究を行うことで、炭素・窒素・酸素の元素量から親星パラメータを定量的に制限するロバストな手法を確立した。また、同じく銀河系内の G292 の観測から、上記の手法を適用することで、この天体の起源が単独星ではあり得ず連星の片方が爆発したことを強く示唆することを明らかにした。

以上の研究は査読論文として RCW103 は出版し、G292 は1ヶ月以内に査読誌に投稿予定である。さらに、これらの研究および研究手法をまとめた査読論文を、主著論文として今月中に出版予定である。この論文で明らかにしたように、これまで炭素・窒素・酸素の組成比を測定できた超新星残骸は限られるが、我々が本研究の X線回折格子解析で明らかにしたものが多い。ここで明らかにした手法は、炭素・窒素・酸素輝線さえ検出できれば、他の多くの超新星残骸にも適用可能であり、近い将来の発展が見込める。特に、2023年に日本が打ち上げた XRISM 衛星に搭載のカロリメータや、それに続く近い将来の大型 X線天文ミッションで、さらに大規模な系統研究が行え、研究当初に提起した問題「どのような恒星が重力崩壊に至るか」の解明につながる大きな展開が見込めると期待する。

以上の研究では、学生の主著も含めて10編前後の査読論文を発表することができ、招待講演含めた多数の学会・研究会での成果発表を行うなど、十分な成果を上げることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 20件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Tanaka Takaaki, Okuno Tomoyuki, Uchida Hiroyuki, Yamaguchi Hiroya, Lee Shiu-Hang, Maeda Keiichi, Williams Brian J.	4. 巻 906
2. 論文標題 Rapid Deceleration of Blast Waves Witnessed in Tycho 's Supernova Remnant	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L3 ~ L3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abd6cf	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 Kodama Ryota, Tsuru Takeshi Go, Tanaka Takaaki, Uchida Hiroyuki, Kayama Kazuho, Amano Yuki, Takeda Ayaki, Mori Koji, Nishioka Yusuke, Yukumoto Masataka, Hida Takahiro, Arai Yasuo, Kurachi Ikuo, Kohmura Takayoshi, Hagino Kouichi, Hayashida Mitsuki, Kitajima Masatoshi, Kawahito Shoji, Yasutomi Keita, Kamehama Hiroki	4. 巻 986
2. 論文標題 Low-energy X-ray performance of S01 pixel sensors for astronomy, "XRPIX"	5. 発行年 2021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 164745 ~ 164745
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2020.164745	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 -
1. 著者名 Hayashida Mitsuki, Hagino Kouichi, Kohmura Takayoshi, Kitajima Masatoshi, Yarita Keigo, Oono Kenji, Negishi Kousuke, Tsuru Takeshi G., Tanaka Takaaki, Uchida Hiroyuki, et al.	4. 巻 7
2. 論文標題 Proton radiation hardness of x-ray S01 pixel sensors with pinned depleted diode structure	5. 発行年 2021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.7.3.036001	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 Okon Hiromichi, Tanaka Takaaki, Uchida Hiroyuki, Tsuru Takeshi Go, Seta Masumichi, Kokusho Takuma, Smith Randall K.	4. 巻 921
2. 論文標題 Investigation of the Physical Origin of Overionized Recombining Plasma in the Supernova Remnant IC 443 with XMM-Newton	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 99 ~ 99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac1e2c	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 Koshiba Y., Uchida H., Tanaka T., Amano Y., Sano H., Tsuru T. G.	4. 巻 -
2. 論文標題 High resolution X-ray study of supernova remnant J0453.6 - 6829 with unusually high forbidden-to-resonance ratio	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 -
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, Hitomi; Yamaguchi, Hiroya; Ishida, Manabu; Uchida, Hiroyuki; Plucinsky, Paul P.; Foster, Adam R.; Miller, Eric D.	4. 巻 900
2. 論文標題 Plasma Diagnostics of the Supernova Remnant N132D using Deep XMM-Newton Observations with the Reflection Grating Spectrometer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	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) 10.3847/1538-4357/aba524	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 Williams, Brian J.; Katsuda, Satoru; Cumbee, Renata; Petre, Robert; Raymond, John C.; Uchida, Hiroyuki	4. 巻 898
2. 論文標題 RGS Observations of Ejecta Knots in Tycho's Supernova Remnant	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	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) 10.3847/2041-8213/aba7c1	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 Uchida, Hiroyuki; Tanaka, Takaaki; Amano, Yuki; Okon, Hiromichi; Tsuru, Takeshi G.; Nakajima, Hiroshi; Noda, Hirofumi; Hayashida, Kiyoshi; Matsumoto, Hironori; Hanaoka, Maho; Yoneyama, Tomokage; Okazaki, Koki; Asakura, Kazunori; et al.	4. 巻 978
2. 論文標題 Optical blocking performance of CCDs developed for the X-ray Astronomy Satellite XRISM	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A	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) 10.1016/j.nima.2020.164374	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 H. Okon, M. Imai, T. Tanaka, H. Uchida, T. G. Tsuru	4. 巻 72
2. 論文標題 Probing cosmic rays with Fe Ka line structures generated by multiple ionization process	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 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa055	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 T. Tanaka, T. Okuno, H. Uchida, H. Yamaguchi, S. H. Lee, K. Maeda, B. J. Williams	4. 巻 906
2. 論文標題 Rapid Deceleration of Blast Waves Witnessed in Tycho 's Supernova Remnant	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal Letters	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) 10.3847/2041-8213/abd6cf	査読の有無 無
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 T. Tanaka, H. Uchida, H. Sano, T. G. Tsuru	4. 巻 900
2. 論文標題 Shock-Cloud Interaction in the Southwestern Rim of RX J1713.7-3946	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal Letters	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) 10.3847/2041-8213/abaef0	査読の有無 無
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 T. Okuno, T. Tanaka, H. Uchida, F. A. Aharonian, Y. Uchiyama, T. G. Tsuru, M. Matsuda	4. 巻 894
2. 論文標題 Time Variability of Nonthermal X-ray Stripes in Tycho's Supernova Remnant with Chandra	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	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) 10.3847/1538-4357/ab837e	査読の有無 無
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 Okuno, Tomoyuki; Tanaka, Takaaki; Uchida, Hiroyuki; Aharonian, Felix A.; Uchiyama, Yasunobu; Tsuru, Takeshi Go; Matsuda, Masamune	4. 巻 -
2. 論文標題 Time Variability of Nonthermal X-ray Stripes in Tycho's Supernova Remnant with Chandra	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	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 Okon Hiromichi, Tanaka Takaaki, Uchida Hiroyuki, Yamaguchi Hiroya, Tsuru Takeshi Go, Seta Masumichi, Smith Randall K., Yoshiike Satoshi, Orlando Salvatore, Bocchino Fabrizio, Miceli Marco	4. 巻 890
2. 論文標題 Deep XMM-Newton Observations Reveal the Origin of Recombining Plasma in the Supernova Remnant W44	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 62 ~ 62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab6987	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 Sano H., Matsumura H., Yamane Y., Maggi P., Fujii K., Tsuge K., Tokuda K., Alsaberi R. Z. E., Filipovi? M. D., Maxted N., Rowell G., Uchida H., Tanaka T., et al.	4. 巻 881
2. 論文標題 Discovery of Shocked Molecular Clouds Associated with the Shell-type Supernova Remnant RX J0046.5?7308 in the Small Magellanic Cloud	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 85 ~ 85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2ade	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 Hagino Kouichi, Oono Kenji, Negishi Kousuke, Yarita Keigo, Kohmura Takayoshi, Tsuru Takeshi G., Tanaka Takaaki, Uchida Hiroyuki, Harada Sodai, Okuno Tomoyuki, Kayama Kazuho, Amano Yuki, et al.	4. 巻 66
2. 論文標題 Measurement of Charge Cloud Size in X-Ray SOI Pixel Sensors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 1897 ~ 1905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNS.2019.2920281	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 -
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 -

1. 著者名 Kayama K., Tsuru T. G., Tanaka T., Uchida H., Harada S., Okuno T., Amano Y., Hiraga J. S., et al.	4. 巻 14
2. 論文標題 Subpixel response of SOI pixel sensor for X-ray astronomy with pinned depleted diode: first result from mesh experiment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 C06005 ~ C06005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/14/06/C06005	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 Harada Sodai, Tsuru Takeshi Go, Tanaka Takaaki, Uchida Hiroyuki, et al.	4. 巻 924
2. 論文標題 Performance of the Silicon-On-Insulator pixel sensor for X-ray astronomy, XRPIX6E, equipped with pinned depleted diode structure	5. 発行年 2019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 468 ~ 472
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.09.127	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 Hayashi Hideki, Tsuru Takeshi Go, Tanaka Takaaki, Uchida Hiroyuki, Matsumura Hideaki, Tachibana Katsuhiro, Harada Sodai, Takeda Ayaki, Mori Koji, et al.	4. 巻 924
2. 論文標題 Evaluation of Kyoto's event-driven X-ray astronomical SOI pixel sensor with a large imaging area	5. 発行年 2019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 400 ~ 403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.09.042	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 Yuki Amano, Hiroyuki Uchida, Takaaki Tanaka, Liyi Gu, and Takeshi Go Tsuru	4. 巻 -
2. 論文標題 Evidence for Resonance Scattering in the X-ray Grating Spectrum of the Supernova Remnant N49	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	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 Takuto Narita, Hiroyuki Uchida, Takashi Yoshida, Takaaki Tanaka, and Takeshi Go Tsuru	4. 巻 -
2. 論文標題 Progenitor constraint with circumstellar material for the magnetar-hosting supernova remnant RCW 103	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 内田裕之
2. 発表標題 精密X線分光と電離非平衡プラズマ -- 近年の超新星残骸の研究成果を中心に
3. 学会等名 天文・天体物理若手の会夏の学校 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内田裕之ほかXRISM/Xtendチーム
2. 発表標題 X線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X 線撮像装置の開発の現状 (9)
3. 学会等名 日本物理学会 第 77 回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内田裕之
2. 発表標題 ドップラー解析 による Tycho ' s SNR の膨張構造の測定
3. 学会等名 SNR Workshop 2022
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内田裕之
2. 発表標題 X 線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X 線撮像装置 (Xtend) の開発の現状 (4)
3. 学会等名 日本天文学会2020年秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroyuki Uchida
2. 発表標題 High Forbidden-to-resonance Line Ratio of O VII Discovered from the Cygnus Loop
3. 学会等名 Frascati Workshop 2019: Multifrequency Behaviour of High Energy Cosmic Sources XIII (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内田裕之、田中孝明、尾近洸行、山口弘悦
2. 発表標題 NuSTAR 衛星による 超新星残骸 W44 の拡散硬 X 線成分の観測
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki Uchida
2. 発表標題 SNR Shock-Molecular Cloud Interactions: RP and CX
3. 学会等名 Collaborative Meeting on SNRs between Japan and USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki Uchida
2. 発表標題 High Resolution Grating Spectroscopy of Galactic and Extragalactic SNRs with RGS onboard XMM-Newton
3. 学会等名 Celebrating 20 years of Chandra (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki Uchida
2. 発表標題 Optical Blocking Performance of CCDs Developed for the X-ray Astronomy Satellite XRISM
3. 学会等名 HSTD12 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内田裕之
2. 発表標題 X線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載 軟X線撮像装置 Xtend の 開発の現状 (3)
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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