

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H00696

研究課題名（和文）X線偏光観測による回転するブラックホールの時空構造の解明

研究課題名（英文）Elucidation of blackhole spacetime with spin through polarization observation of X rays

研究代表者

郡司 修一（Gunji, Shuichi）

山形大学・理学部・教授

研究者番号：70241685

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,600,000円

研究成果の概要（和文）：IXPEはX線領域でエネルギー、時間、イメージと同時に偏光情報を取得できる世界初の衛星である。この衛星のソフトウェア開発に貢献しつつ、観測によって得られた様々な天体のデータを解析した。特にVelaパルサー星雲の解析からは、かにパルサー星雲に比べて2倍ほど偏光度が高く、非常に磁場が揃っている事を明らかにした。またブラックホール候補である4U1957+115に対しては偏光のエネルギー依存性の解析を行い、ブラックホールのスピンを推定した。推定されたスピンの値は、過去の別の方法で推定されたスピンの値とコンシステントであり、偏光のエネルギー依存性がスピンの情報を引き出すのに役立つという事を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今まで高エネルギー天体を観測する場合、そのエネルギー、時間、イメージの取得がメインであり、その3つの情報から天体で起こる物理を解明してきた。しかしIXPE衛星によりさらに第四番目の偏光という情報も同時に取得されるようになり、今までにはない新しい情報が得られるようになった。これは偏光をプローブとした新しい高エネルギー宇宙物理学を拓いた事を意味し、学問的意義は非常に大きい。またその偏光観測から、今まで理論的に予想されていなかった多くの発見がなされ、より詳細な偏光観測が必要である事も同時に示せた。特にパルサーウインドネビュラの磁場構造やブラックホールのスピンに関する研究を大きく前進させた。

研究成果の概要（英文）：IXPE is the first satellite in the world capable of obtaining polarisation information as well as energy, time and image in the X-ray domain. While contributing to the development of software for this satellite, we analysed data from various objects obtained through observations. In particular, the analysis of the Vela pulsar nebula revealed that its polarisation is twice as high as that of the Crab pulsar nebula and that its magnetic field is very well aligned. The energy dependence of the polarisation of the black hole candidate 4U1957+115 was analysed and the spin of the black hole was estimated. The estimated spin values were consistent with those estimated by other methods in the past, showing that the energy dependence of polarisation is useful for extracting spin information.

研究分野：高エネルギー宇宙物理学

キーワード：X線偏光 IXPE衛星 パルサーウインドネビュラ ブラックホールのスピン

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1960年代に産声を上げたX線天文学は、X線のエネルギー、時間、イメージの情報を利用することで大きな進歩を遂げてきた。しかしながら、X線はもう一つ重要な情報を持っている。それは偏光情報である。精度の高い偏光観測が実現されれば、パルサーウインドネビュラ等の広がった天体の磁場構造やブラックホールの角運動量の測定など沢山の物理を引き出せると考えられてきた。しかし、1970年代にOSO-8と呼ばれるブラッグ反射を原理としたX線偏光観測衛星が打ち上げられたが、かに星雲全体の偏光度を決めるという成果しか得られなかった。そのため、偏光観測は一度そこで途絶えてしまった。しかし2000年にガスイメージング偏光計という新しい技術が登場し、原理的に以前のブラッグ反射の偏光計に比べて100倍近く偏光感度を向上させられる事が分かった。またこのガスイメージング偏光計の技術を使うと、偏光に対する感度を向上させられるばかりでなく、エネルギースペクトル、タイミング、イメージングの他の3つのパラメータも同時に取得できるため、この技術を使った衛星計画が提案された。その一つがIXPE衛星である。IXPE衛星はまさにX線が運ぶ全ての情報を取得できるX線天文衛星であり、NASA/MSFCとイタリアのグループがリードしていた計画である。この計画に研究代表者である郡司も2017年から参加しており、この衛星が打ち上げられれば多くの天体に対して有為な偏光観測が実現できる事が期待できた。

2. 研究の目的

以上の事から、IXPEで使用されるソフトウェアの開発に貢献し、衛星が打ち上がった暁にはブラックホールやパルサーウインドネビュラのデータを解析する事を考えていた。特に自分はブラックホールのスピンを偏光観測から調べる方法に大きな興味を持っていた。ブラックホールの周りには、降着円盤と呼ばれる温度が数千万度の円盤が存在している。この程度の温度になると、X線が円盤から放射される。通常熱的な放射では、出てくるX線は偏光していないと思われるが、チャンドラセカールの以前の計算から、降着円盤を斜めから観測すると最大で11%程度の偏光(偏光方向は回転軸に垂直)が観測される事が分かっていた。そして、エネルギーの高いX線は降着円盤の内側から放出され、強い重力場を通り抜けて地球にやってくるため、その偏光方向が乱れる事、また非常にブラックホール近傍から出てきたX線は、強い重力場によってX線が再び降着円盤に戻され、散乱されて観測者に届く事が予言されていた。このような事が起こると、偏光方向はエネルギーの低いX線と丁度90度異なる事が予言される。このようにブラックホールから出てくるX線の偏光度や偏光方向はエネルギーに依存して変化すると考えられており、さらにブラックホールの角運動量もその変化の様子に影響を与えたと考えられてきた。そのため、もしこの偏光度や偏光方向のエネルギー依存性を正確に観測すれば、ブラックホールのスピンの情報を引き出せるはずなので、我々はそれを研究の目標に据えていた。

3. 研究の方法

我々は打ち上げ前からイタリアを主体として開発されてきたixpeobssimというIXPEのシミュレーターを一般公開が始まる前から使わせてもらい、ソフトウェアのバグ出しに貢献すると同時に使い方を習得した。また実際にデータが出てきて解析を行う際に、理論モデルでのフィッティングが必要になる。そこで我々は、すでに理論家によって計算されたシミュレーションデータをテーブルという形で取り込み、結果のフィットを行えるような枠組みの開発を行った。

そして2021年12月に衛星が打ち上がった後は、観測データの解析を行い、以下の天体に関しての解析を他のIXPEチームと独立して行った。

4. 研究成果

我々は以下の4天体について独立に解析を行い、以下の様な研究成果を得た

・かに星雲とかにパルサーの解析

IXPEで観測されたかに星雲のデータを解析し、星雲全体の平均偏光度が20%程度になる事をまず確かめた。これは以前のOSO-8での観測とコンシステントであった。次にかに星雲の偏光マップを作り、どの部分が偏光度が高くどの部分が偏光度が低いのかを調べた。その結果、以前に山形大学の柴田達による理論的研究から示唆されていた結果と同じ様な傾向を見つけた。しかし偏光マップを描いてみると、それが必ずしもジェット軸に対称でない事が分かり、これが何から生じているのかという疑問が生じた。そこで研究分担者の水野がその原因をさらに深掘りし、かに星雲に存在するフィラメントなどが影響している可能性を提案した。

またかにパルサーのフェーズ毎の偏光度を調べてみた結果、必ずしも信頼度が非常に高いわけではないが、パルスピーク付近で15%の有為な偏光が観測された。そしてフェーズに従って、偏光方向が素早く変化するという現象も観測された。このようなデータはパルサーのどこからX線が放出されているのかという放射メカニズムに大きな制限を付けられるため非常に意義深い。以上の結果は、Nature Astronomyに2023年4月に掲載された。

・Vela パルサー星雲の解析

かに星雲と同様に我々は Vela パルサー星雲の偏光解析も行った。まず非常に大きなインパクトがあったのが、平均偏光度がかに星雲の 2 倍程度高かった事である。そして、局所的に見ると 70%に近い偏光度が得られている。これはシンクロトロン放射の限界的な偏光度であり、Vela パルサー星雲では非常に磁場が綺麗に揃っている事が分かった。それと同時にかに星雲と Vela パルサー星雲の平均偏光度の違いがどこから来るのかという大きな疑問も新しくこの研究によって生み出された。

以上の結果は、Nature に 2022 年 12 月に掲載された。

・4U 1957+115 と LMC X-3 の解析

4U1957+115 という天体はブラックホール候補天体であり、我々が観測を行っていた時期は丁度 High/Soft 状態にあった。High/Soft 状態にあるという事は降着円盤からの輻射が優勢であり、ブラックホールのスピンの観測に向いている。またこの天体のインクリネーションアングル(回転軸に対してどれだけ傾いた方向から観測を行っているかを示す角)は、70 度程度と非常に大きく、それもスピンの観測に向いている。そこで、エネルギーに対して偏光度や偏光方向がどのように変化するのかを解析から求めた。フラックス的な問題で、それほど有為な結果は得られなかったが、偏光のエネルギー依存性は明らかにブラックホールが高いスピンを持っている事を示唆した。確かに別の方法で求めたスピンの推定値ともコンシステントであった。

一方 LMC X-3 は大マゼラン星雲に存在する天体であり、インクリネーションアングルも 70 度近い値をもっていると考えられている。そして観測を行ったときは同様に High/Soft 状態であり、同様にスピンを調べるのに向いている状態であった。そこでエネルギーに対しての偏光度や偏光方向の依存性を調べてみたところ、明らかに先ほどの 4U1957+115 とは違っている事が分かった。理論モデルでのフィットを行ってみると、どうやらスピンの 4U1957+115 よりもかなり低いという結果が得られた。別の方法で求めた先行研究でも同様に LMC X-3 はスピンの小さいという結果が得られているため、これもコンシステントな結果が得られたと言える。

以上 2 つの天体からはスピンの情報を得ることはできたが、残念ながら統計的な問題により高い精度での観測は行えなかった。しかし偏光観測によりブラックホールのスピンを明らかにできる可能性を示したという意味では大きな進歩を与えたと言える。

4U1957+115 の成果は Astronomy & Astrophysics に掲載された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 17件 / うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 管佑真、郡司修一、水野恒史、高橋弘充	4. 巻 117-6
2. 論文標題 IXPE衛星が観測したブラックホール候補天体	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 天文月報	6. 最初と最後の頁 360-369
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 -

1. 著者名 渡邊瑛里、水野恒史、郡司修一	4. 巻 117-4
2. 論文標題 IXPE衛星でみたパルサー星雲	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 天文月報	6. 最初と最後の頁 233-241
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 -

1. 著者名 玉川徹、郡司修一、三石郁之	4. 巻 117-4
2. 論文標題 ようやく切り拓かれたX線偏光天文学	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 天文月報	6. 最初と最後の頁 222-232
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 -

1. 著者名 Ferrazzoli Riccardo et al.	4. 巻 945
2. 論文標題 X-Ray Polarimetry Reveals the Magnetic-field Topology on Sub-parsec Scales in Tycho 's Supernova Remnant	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 52 ~ 52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acb496	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 Capitanio Fiamma et al.	4. 巻 943
2. 論文標題 Polarization Properties of the Weakly Magnetized Neutron Star X-Ray Binary GS 1826?238 in the High Soft State	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 129 ~ 129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acae88	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 Zane Silvia et al.	4. 巻 944
2. 論文標題 A Strong X-Ray Polarization Signal from the Magnetar 1RXS J170849.0-400910	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L27 ~ L27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/acb703	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 Middei Riccardo et al.	4. 巻 942
2. 論文標題 X-Ray Polarization Observations of BL Lacertae	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L10 ~ L10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aca281	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 Xie Fei et al.	4. 巻 612
2. 論文標題 Vela pulsar wind nebula X-rays are polarized to near the synchrotron limit	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 658 ~ 660
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-022-05476-5	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 Ursini F et al.	4. 巻 519
2. 論文標題 Mapping the circumnuclear regions of the Circinus galaxy with the Imaging X-ray Polarimetry Explorer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 50 ~ 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac3189	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 Tsygankov Sergey S et al.	4. 巻 941
2. 論文標題 The X-Ray Polarimetry View of the Accreting Pulsar Cen X-3	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L14 ~ L14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aca486	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 Lioudakis Ioannis et al.	4. 巻 611
2. 論文標題 Polarized blazar X-rays imply particle acceleration in shocks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 677 ~ 681
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-022-05338-0	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 Marshall Herman L. et al.	4. 巻 940
2. 論文標題 Observations of 4U 1626-67 with the Imaging X-Ray Polarimetry Explorer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 70 ~ 70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac98c2	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 Doroshenko Victor et al.	4. 巻 6
2. 論文標題 Determination of X-ray pulsar geometry with IXPE polarimetry	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 1433 ~ 1443
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-022-01799-5	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 Marinucci A et al.	4. 巻 516
2. 論文標題 Polarization constraints on the X-ray corona in Seyfert Galaxies: MCG-05-23-16	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5907 ~ 5913
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac2634	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 Di Gesu Laura et al.	4. 巻 938
2. 論文標題 The X-Ray Polarization View of Mrk 421 in an Average Flux State as Observed by the Imaging X-Ray Polarimetry Explorer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L7 ~ L7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac913a	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 Vink Jacco et al.	4. 巻 938
2. 論文標題 X-Ray Polarization Detection of Cassiopeia A with IXPE	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 40 ~ 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac8b7b	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 Ehlert Steven R. et al.	4. 巻 935
2. 論文標題 Limits on X-Ray Polarization at the Core of Centaurus A as Observed with the Imaging X-Ray Polarimetry Explorer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 116 ~ 116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac8056	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 Saito Y., Gunji S., Nakamori T., Mihara T., Yonetoku D., Sawano T., Kurosawa S., Kodaira S.	4. 巻 70
2. 論文標題 Irradiation Tests of Silicon Photomultipliers for Use in Space	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 150 ~ 155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNS.2022.3162788	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 Krawczynski Henric et al.	4. 巻 378
2. 論文標題 Polarized x-rays constrain the disk-jet geometry in the black hole x-ray binary Cygnus X-1	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 650 ~ 654
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.add5399	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 Taverna Roberto et al.	4. 巻 378
2. 論文標題 Polarized x-rays from a magnetar	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 646 ~ 650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.add0080	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 Martin C. Weisskopf et al.	4. 巻 8
2. 論文標題 The Imaging X-Ray Polarimetry Explorer (IXPE): Pre-Launch	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JATIS	6. 最初と最後の頁 1-30
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

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 郡司修一 他
2. 発表標題 IXPE衛星による初期科学観測
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水野恒史 他
2. 発表標題 IXPE衛星による「かに星雲・パルサー」のX線偏光観測
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊瑛里 他
2. 発表標題 カニ星雲を用いたChandraとIXPEのジョイント解析による偏光解析手法の開発
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 寺島政伸 他
2. 発表標題 Polarization measurement of GRB Afterglow by IXPE
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 管佑真 他
2. 発表標題 IXPEを用いたブラックホールスピンの決定方法
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上小林 他
2. 発表標題 Crab Pulsarを用いたIXPE衛星のEncircled Energy Fractionの評価
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 玉川徹
2. 発表標題 X線偏光観測衛星 IXPE への参加現状 (7)
3. 学会等名 日本天文学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 玉川徹
2. 発表標題 X線偏光観測衛星 IXPE の現状 (1)
3. 学会等名 日本天文学会 2022年春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 寺島政伸
2. 発表標題 IXPE衛星におけるガンマ線バースト残光の観測クライテリア
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 郡司修一
2. 発表標題 IXPE衛星によって開かれるイメージングX線偏光観測
3. 学会等名 日本物理学会 2022年春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊瑛里
2. 発表標題 カニ星雲を用いたChandraとIXPEのジョイント解析による偏光解析手法の開発
3. 学会等名 日本物理学会 2022年春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 寺島政伸
2. 発表標題 山形大学におけるIXPE衛星の観測シミュレーション
3. 学会等名 2022年宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 郡司修一
2. 発表標題 X線偏光観測衛星IXPEの現状
3. 学会等名 高エネルギー宇宙連合研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 郡司修一
2. 発表標題 X線偏光衛星IXPEの開発の現状
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺島政伸
2. 発表標題 IXPE衛星によるGRB afterglowの偏光観測シミュレーション
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 郡司修一
2. 発表標題 日本チームによるIXPE衛星の偏光観測シミュレーションの現状
3. 学会等名 宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 玉川徹
2. 発表標題 X線偏光観測衛星IXPEへの参加現状
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryuya Yamamoto
2. 発表標題 Simulation Study of IXPE Capability for the Crab Nebula and Supernova Remnants
3. 学会等名 Astropol
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 郡司修一
2. 発表標題 X線偏光衛星IXPEの開発の現状
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺島政伸
2. 発表標題 IXPE衛星によるGRB afterglowの偏光観測シミュレーション
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 郡司修一
2. 発表標題 日本チームによるIXPE衛星の偏光観測シミュレーションの現状
3. 学会等名 宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 玉川徹
2. 発表標題 X線偏光観測衛星IXPEへの参加現状
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryuya Yamamoto
2. 発表標題 Simulation Study of IXPE Capability for the Crab Nebula and Supernova Remnants
3. 学会等名 Astropol (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

IXPE衛星によってペラバルサー星雲から究極的に強く偏光したX線が観測されました
<https://www.sci.yamagata-u.ac.jp/news/detail/996/>
モンスター級のガンマ線バーストに対してX線の偏光観測をIXPEが世界で初めて実現しました
<https://www.sci.yamagata-u.ac.jp/news/detail/1038/>
IXPE衛星による強磁場星(マグネター)の観測結果がScience誌に掲載されました
<https://www.sci.yamagata-u.ac.jp/news/detail/988/>
IXPE衛星によってブラックホールからX線の偏光が初めて観測されました
<https://www.sci.yamagata-u.ac.jp/news/detail/989/>
X線偏光撮像衛星IXPEによるかに星雲の観測結果がNature Astronomyに掲載されました
<https://www.sci.yamagata-u.ac.jp/news/detail/1039/>

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
研究分担者	水野 恒史 (Mizuno Tsunefumi) (20403579)	広島大学・宇宙科学センター・准教授 (15401)	
研究分担者	北口 貴雄 (Kitaguchi Takao) (30620679)	国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・研究員 (82401)	
研究分担者	三石 郁之 (Mitsuishi Ikuyuki) (90725863)	名古屋大学・理学研究科・講師 (13901)	
研究分担者	林田 清 (Hayashida Kiyoshi) (30222227)	大阪大学・理学研究科・准教授 (14401)	削除：2021年11月12日

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