

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 9 日現在

機関番号：17601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24740167

研究課題名(和文) X線観測で探るパルサー星雲からの拡散宇宙線電子陽電子

研究課題名(英文) An X-ray study of cosmic ray electrons and positrons from pulsar wind nebulae

研究代表者

森 浩二 (MORI, KOJI)

宮崎大学・工学部・准教授

研究者番号：00404393

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：パルサー星雲は宇宙の電子陽電子加速器として知られていますが、そこから加速された電子陽電子が宇宙線として拡散していく様子はよくわかっていませんでした。高エネルギーの電子陽電子はX線を放射するので、その様子を調べるにはX線観測が最適です。本研究では地球から最も近傍に位置するパルサー星雲である「ベラパルサー星雲」をX線で観測し、パルサー周辺の複雑な構造の周囲にほぼ等方的に拡がっていく成分が存在することを明らかにしました。また、この他にも、パルサー星雲候補の発見や、ケプラーの超新星爆発を引き起こした星の金属量の推定などをおこないました。

研究成果の概要(英文)：Pulsar wind nebulae (PWNe) are known as cosmic electron-positron accelerators. However, it has been unclear how the accelerated electrons and positrons escape from the pulsar and diffuse into surrounding space. Since such high energy particles emit X-ray, X-ray observation is the best probe to tackle this issue. In this study, we performed X-ray observations of the Vela PWN, which is the nearest to us. We found that there is a yet unknown component prevailing almost isotropically in addition to already known complex structure around the pulsar. We also discovered new PWN candidates and estimated a metallicity of the progenitor of Kepler's supernova.

研究分野：X線天文学

キーワード：パルサー星雲 宇宙線電子陽電子 超新星残骸

1. 研究開始当初の背景

パルサーから開放されるエネルギーの大部分は、「パルサー風」と呼ばれる磁化した相対論的電子陽電子の形で持ち出される。このパルサー風がパルサーの周囲に形成するプラズマ雲を「パルサー星雲」という。パルサー星雲はさらにその周囲をイジェクタに囲われており、その進化はイジェクタの構造変化に大きく左右される。超新星爆発後 1,000 年程度までは、自由膨張するイジェクタ内部でパルサー風も広がっていく。一方で、爆発後 10,000 年にもなると、逆行衝撃波により中心部に押し戻されたイジェクタが、パルサー星雲を圧縮し始める。後者の典型例がベラパルサー星雲である。ベラ周辺では分子雲が北部に濃く分布しており、逆行衝撃波の圧力は北部のほうが高い。そのため、パルサー星雲は南に押し出され、パルサーに対して非対称に歪められている。このように、逆向きに押し寄せるイジェクタとの相互作用が始まる爆発後 10,000 年のタイムスケールで、パルサー星雲の大局的な進化は止まると考えられていた

一方で、我々はこれまでに、複数のパルサー星雲の X 線観測をおこなってきた。その過程において、パルサー星雲が爆発後 10,000 年を経た後でも、時間の経過と共に徐々に広がっていることを発見した。さらに我々は、電波で定義されるベラパルサー星雲領域の外部を「すざく」衛星で観測し、そこから有意な非熱的 X 線放射を検出した。電波放射で規定されるパルサー星雲の従来の境界を越えて、パルサー星雲が広がっている様子を捉えたということである。

ここまでが研究開始当初の背景であった。

2. 研究の目的

我々のそれまでの結果を素直に解釈すれば、パルサー星雲を構成するプラズマには 2 成分あると考えるのが自然であった。1 つはこれまでの観測結果を説明する既知の成分であり、もう 1 つは我々の結果を説明する未知の成分である。2 成分あること自体は、多波長観測からも示唆されていた。よって、これまでの我々の研究をさらに発展させるべく、本研究ではパルサー星雲の 2 成分構造の解明を目的とした。

3. 研究の方法

観測研究の対象として、パルサー星雲の代表天体であるベラパルサー星雲を選んだ。また、関連して、他のパルサー星雲やパルサー星雲候補、超新星残骸も研究の対象とした。

ベラパルサー星雲については、「すざく」衛

星を用いた X 線観測を軸とした。パルサー星雲からの非熱的放射と、パルサー星雲と相互作用するイジェクタからの熱的放射を同時に捉えることができるのは X 線帯域のみである。また、研究開始時に稼働中の大型 X 線天文衛星の中では「すざく」のバックグラウンドが最も低く安定しており、本研究で対象とするような暗く広がった放射を捉えるには最適である。また、我々は打ち上げ時から「すざく」搭載 X 線 CCD カメラ XIS の機上校正を一貫して担っており、その性能を最大限引出すことができるノウハウを有していた。

また、ベラパルサー星雲は、最も近傍に位置するパルサー星雲であり詳細な観測が可能である。一方で、ベラパルサー星雲を覆うベラ超新星残骸は直径 8 度もあるため、一度に観測をおこなうことは困難である。特に、「すざく」衛星搭載の X 線 CCD カメラの視野は 0.3 度平方なので、必然的に複数回の観測が必要になる。そのため、毎年、観測提案をおこない、パルサーから特定の方向に絞って、視野をずらしながら観測領域を延長していく手法をとることとした。

4. 研究成果

本研究における成果は大まかに、ベラパルサー星雲に関する成果と、その他の天体に関する成果にわけられる。以下、順にそれらをまとめる。

(1) ベラパルサー星雲に関する成果

我々はベラパルサーを中心として、特定の方向を選び、放射状にマッピング観測をおこなった。方角は西部、北部、北東部、東部、南部であり、それぞれパルサーから 2 度の範囲まで観測をおこなった。また、他目的で観測されたベラ超新星残骸の観測もあわせて解析をおこなった。

我々はこの観測を通して、非熱的な硬 X 線放射がパルサーから 2 度離れた領域まで広がっていることを明らかにした。表面輝度は、パルサーから離れるに従い、徐々に下っていくこともわかった。硬 X 線スペクトルはベキ関数でよく近似でき、パルサーから離れるに従い、徐々にベキの値が大きくなる。値としてはベラパルサー近傍で 1.5 程度で、2 度離れたあたりでは 3 程度である。これらの観測結果は、この硬 X 線放射が背景天体やベラ超新星残骸の衝撃波加速に起因するものではなく、パルサーに起因するものであることを示している。表面輝度やベキのパルサーからの距離依存性については、方角に対する依存性は見られなかった。まとめると、ベラパルサーからは、ほぼ等方的に半径 2 度の領域に渡って、パルサー風が拡散している様子が明ら

かになった。これは、ベラパルサー星雲を囲うベラ超新星残骸のイジェクタの分布には異方性があることと対照的である。また、GeV, TeV 放射と空間的に一致する様子は確認できなかった。

(2) その他の天体に関する成果

ベラパルサー星雲の観測の他にも、その他の関連天体の観測的研究も並行しておこなった。

まず、TeV ガンマ線で発見され他波長では同定が進んでいなかった HESS J1427-608 に着目し、解析を進めた。これはパルサー星雲からの電子・陽電子の拡散が TeV ガンマ線帯域で多数存在する未同定天体の正体でないかと推測したからである。「すざく」衛星による観測をおこない、初めて HESS J1427-608 から X 線放射を検出した。一方で、パルサー星雲とは断定するには観測結果が不十分であり、超新星残骸からの非熱的放射である可能性も残った。パルサー星雲候補という観点では、ベラ超新星残骸と並ぶ進化した重力崩壊型超新星残骸の代表例である白鳥座ループからもパルサー星雲候補を発見した。

また、パルサー星雲のもう一つの代表例であるかに星雲に関しては、硬 X 線のスペクトルが時間的に変動しているという示唆を得た。

超新星残骸に関しては、「すざく」衛星によるケプラー超新星残骸の長時間観測から、爆発を引き起こした星の金属量が太陽の 3 倍近くあったことを明らかにした。これについては、新聞発表をおこなうとともに、学会誌に記事を寄稿した。さらに、超新星残骸 Puppis A について、イジェクタの高分散スペクトルを取得し、その運動学を明らかにした。パルサー星雲をその内部に持つ超新星残骸 G292.0+1.8 については、チャンドラ衛星と「すざく」衛星による観測をおこなった。前者からは逆行衝撃波がパルサー星雲の極近傍に迫っていること、後者からは初めて Fe K 輝線を検出した。

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 10 件)

1 ``X-Ray Ejecta Kinematics of the Galactic Core-Collapse Supernova Remnant G292.0+1.8'' , Bhalerao, J., Park, S., Dewey, D., Hughes, J.P., Mori, K., Lee, J.-J. 2015, ApJ, 800, 65(10p.) 査読有

2 ``Asymmetry in the Observed Metal-rich Ejecta of the Galactic Type Ia Supernova Remnant G299.2-2.9'' , Post, S., Park, S.,

Badenes, C., Burrows, D.N., Hughes, J.P., Lee, J.J., Mori, K., Slane, P.O. 2014, ApJ, 792, 20(6p.) 査読有

3 ``A Deep Chandra Observation of Oxygen-rich Supernova Remnant B0049-73.6 in the Small Magellanic Cloud'' , Schenck, A., Park, S., Burrows, D.N., Hughes, J.P., Lee, J.J., and Mori, K. 2014, ApJ, 791, 50(8p.) 査読有

4 ``Suzaku discovery of Fe K-shell line from the O-rich SNR G292.0+1.8'' , Kamitsukasa, F., Koyama, K., Tsunemi, H., Hayashida, K., Nakajima, H., Takahashi, H., Ueda, S., Mori, K., Katsuda, S., and Uchida, H. 2014, PASJ, 66, 648(8p.) 査読有

5 ``How large is the Vela pulsar wind nebula in X-rays? '' , Mori, K., Katsuda, S., Hiroyuki, U., and Hiroshi, T. 2014, Proceedings of Suzaku-MAXI 2014, 52(2p.) 査読無

6 ``Spectral Variation of Hard X-Ray Emission from the Crab Nebula with the Suzaku Hard X-Ray Detector'' , Kouzu, T., Tashiro, M.-S., Terada, Y., Yamada, S., Bamba, A., Enoto, T., Mori, K., Fukazawa, Y., and Makishima, K. 2013, PASJ, 65, 74(11p.) 査読有

7 ``Dynamics of X-Ray-emitting Ejecta in the Oxygen-rich Supernova Remnant Puppis A Revealed by the XMM-Newton Reflection Grating Spectrometer'' , Katsuda, S., Ohira, Y., Mori, K., Tsunemi, H., Uchida, H., Koyama, K., and Tamagawa, T. 2013, ApJ, 768, 182(9p.) 査読有

8 ``A Super-solar Metallicity for the Progenitor of Kepler's Supernova'' , Park, S., Badenes, C., Mori, K., Kaida, R., Bravo, E., Schenck, A., Eriksen, K.A., Hughes, J.P., Slane, P.O., Burrows, D.N., and Lee, J.J. 2013, ApJ, 767, L10(5p.) 査読有

9 ``High-resolution X-Ray Spectroscopy of the Galactic Supernova Remnant Puppis A with XMM-Newton/RGS'' , Katsuda, S., Tsunemi, H., Mori, K., Uchida, H., Petre, R., Yamada, S., Akamatsu, H., Konami, S., and Tamagawa, T. 2012, ApJ, 756, 49(7p.), 査読有

10 ``Discovery of a Pulsar Wind Nebula Candidate in the Cygnus Loop'' , Katsuda, S., Tsunemi, H., Mori, K., Uchida, H., Petre, R., Yamada, S., and Tamagawa, T. 2012, ApJ, 754, L7(5p.), 査読有

〔学会発表〕(計 8 件)

1 「軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画 NGHXT」、森浩二、他 25 名、日本天文学会 2015 年春季年会、2015 年 3 月 18 日～3 月 21 日、大阪大学

2 「「チャンドラ」衛星による超新星残骸 RCW 86 南西端の再観測」、勝田哲、森浩二、大平豊、他 11 名、日本天文学会 2014 年秋季年会、2014 年 9 月 11 日～9 月 13 日、山形大学

3 「X 線精密分光で明らかにする Puppis A SNR 爆発噴出物の運動学」、勝田哲、大平豊、森浩二、他 4 名、日本天文学会 2013 年秋季年会、2013 年 9 月 10 日～9 月 12 日、東北大学

4 「すざく衛星に搭載された X 線 CCD カメラ XIS における NXB 強度の時間変動の調査」、尾崎駿介、磯田依里、吉留大貴、森浩二、XIS チーム、日本天文学会 2013 年秋季年会、2013 年 9 月 10 日～9 月 12 日、東北大学

5 「すざく衛星搭載の X 線 CCD カメラ XIS における 1/4 window option 付データのゲイン補正方法の確立」、吉留大貴、瀬治山勇、富加見千代、森浩二、XIS チーム、日本天文学会 2013 年秋季年会、2013 年 9 月 10 日～9 月 12 日、東北大学

6 「X 線天文衛星すざくおよびチャンドラを用いた小マゼラン星雲中の超新星残骸 0049-73.6 と 0103-72.6 の観測」、甲斐春菜、森浩二、他 3 名、日本天文学会 2013 年春季年会、2013 年 3 月 20 日～3 月 23 日、埼玉大学

7 「白鳥座ループ超新星残骸中のパルサー星雲候補の発見」、勝田哲、常深博、森浩二、他 4 名、日本天文学会 2012 年秋季年会、2012 年 9 月 19 日～9 月 21 日、大分大学

8 「Pulsar and Pulsar Wind Nebulae as Supernova Remnants」、森浩二、SNSNR12 超新星と超新星残骸の融合研究会、2012 年 10 月 15 日～17 日、国立天文台

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森浩二 (MORI KOJI) 宮崎大学・工学部
電子物理工学科・准教授
研究者番号：00404393

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：