

平成23年 3月 25日現在

機関番号： 82401

研究種目： 研究活動スタート支援

研究期間： 2009～2010

課題番号： 21840060

研究課題名（和文）

非熱的超新星残骸の系統的観測による衝撃波後方での磁場増幅機構の解明

研究課題名（英文）

A systematic observational study of magnetic amplification mechanisms at post shock regions in non-thermal supernova remnants

研究代表者

山口 弘悦 (YAMAGUCHI HIROYA)

独立行政法人理化学研究所・玉川高エネルギー宇宙物理研究室・基礎科学特別研究員

研究者番号： 00513467

研究成果の概要（和文）：

低密度星間空間中に存在する超新星残骸について詳しく調査したところ、磁場増幅の兆候はほとんど得られなかった。宇宙線加速に衝撃波と星間雲の相互作用が重要な役割を果たす可能性が示唆される。一方、分子雲に付随する2つの超新星残骸から、再結合状態にある熱的プラズマを世界で初めて発見した。一般的な超新星残骸の熱的プラズマは常に電離進行状態にある。したがってこれは超新星残骸の進化に関するこれまでの理解を大きく覆す重要な成果である。

研究成果の概要（英文）：

We observed several supernova remnants (SNRs) in a low-density interstellar medium, and found no evidence of magnetic amplification at the post shock region. It is suggested that the interaction between the SNR's shock and interstellar cloud has an important role in cosmic-ray acceleration. In addition, we discovered recombining plasmas in a couple of SNRs, for the first time. Since SNRs are normally observed to have ionizing plasmas, these results are particularly surprising and changing our understanding of the SNR's evolution.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,050,000	315,000	1,365,000
2010年度	940,000	282,000	1,222,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,990,000	597,000	2,587,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：

X線天文学、宇宙線加速、超新星残骸

1. 研究開始当初の背景  
近年、一部の超新星残骸から、短時間で強度

変動するシンクロトロンX線が発見され、少なくともそれらの超新星残骸の衝撃波後方では星間磁

場 (1-10  $\mu\text{G}$  程度) が 100 倍以上にまで増幅されていることが示された。これにより、超新星残骸が knee energy 以下の宇宙線の主要な加速源であることが極めて有力になった。しかしながら磁場の増幅機構は未だ解明していない。

## 2. 研究の目的

増幅機構の候補として「宇宙線加速に伴う非線形効果」が考えられているが、一部を除く多くの超新星残骸では同様の現象が確認されておらず、疑問の余地が残る。一方、「周囲の星間雲と衝撃波の相互作用」を増幅の起源とする別のシナリオも提案されており、現時点で得られている観測事実はむしろこちらの説を支持する。そこで本研究では、様々な環境にある超新星残骸を系統的に観測して星間雲と磁場増幅の関連性の有無を調べ、いずれの説が支配的かを決定づける。

## 3. 研究の方法

X線衛星「すざく」やChandraを用いて様々な環境下にある超新星残骸を系統的に観測する。シンクロトロンX線の強度変動を測定し、星間雲密度との相関を調べる。また、熱的プラズマ成分の周囲のガス密度の良い指標になるので、その解析も詳しく行う。

## 4. 研究成果

分子雲が付随しない低密度星間空間中に存在する超新星残骸について詳しく調査したところ、磁場増幅の兆候はほとんど得られなかった。宇宙線加速に衝撃波と星間雲の相互作用が重要な役割を果たす可能性がより強く示唆される。

一方、多重超新星爆発などによる効率的な宇宙線加速の存在が示唆される大マゼラン星雲のスーパーバブルにも注目し、非熱的X線の探査を行った。先行研究において非熱的X線の存在が報告されていた N11 および N51D の2天体を「すざく」で観測し、詳細なスペクトル解析を行った。その結果、いずれの天体からも有意な非熱的X線は検出されず、上限値でも過去に報告された値よりはるかに低いことが判明した。強い磁場による短時間での強度変動も疑われたが、先行研究と同じデータを再解析したところ、非熱的X線は全く存在しないことが明らかになった。過去の誤った結果はいずれも不正確なバックグラウンドの見積りに起因すると考えられる。

以上に加えて、分子雲に付随する2つの超新星残骸 IC443, W49B の熱的スペクトルから、放射性再結合に伴う強い連続X線成分を世界で初めて発見した。これはプラズマが再結合(電離過剰)状態にあることを明確に示す。これまで、一般的な超新星残骸の熱的プラズマは常に電離進行状態にあることが理論的に予測されており、観測事実もこれに矛盾しな

い結果が得られていた。したがって今回の結果は超新星残骸の進化に関する従来の理解を大きく覆す重要な意味を持つ。なお、再結合プラズマが発見された2天体からは、いずれも分子雲と相互作用した高エネルギー宇宙線陽子からの GeV/TeV ガンマ線が検出されている。それらとの関連性の理解が今後の課題となる。

## 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8件)

① Possible Charge-exchange X-ray Emission in the Cygnus Loop Detected with Suzaku  
S. Katsuda et al., (including H. Yamaguchi)  
Astrophysical Journal,  
Vol. 730, p. 24-36, 2011  
査読あり

② Expansion Velocity of Ejecta in Tycho's Supernova Remnant Measured by Doppler Broadened X-ray Line Emission  
A. Hayato, H. Yamaguchi et al.,  
Astrophysical Journal,  
Vol. 725, p. 894-903, 2010  
査読あり

③ Searching for Diffuse Nonthermal X-Rays from the Superbubbles N11 and N51D in the Large Magellanic Cloud  
H. Yamaguchi, M. Sawada, and A. Bamba  
Astrophysical Journal,  
Vol. 715, p. 412-420, 2010  
査読あり

④ Suzaku View of Supernova Remnants  
H. Yamaguchi and K. Koyama  
Memorie della Societa Astronomica Italiana,  
Vol. 81, p. 382-387, 2010  
査読あり

⑤ X-Ray Measured Dynamics of Tycho's Supernova Remnant  
S. Katsuda, R. Petre, J.P. Hughes, U. Hwang, H. Yamaguchi, A. Hayato, K. Mori, and H. Tsunemi  
Astrophysical Journal,  
Vol. 709, p. 1387-1395, 2010  
査読あり

⑥ Suzaku Discovery of The Strong Radiative Recombination Continuum of Iron from the Supernova Remnant W49B  
M. Ozawa, K. Koyama, H. Yamaguchi, K. Masai, and T. Tamagawa

Astrophysical Journal Letter,  
Vol. 706, p.L71-L75, 2009  
査読あり

⑦ Discovery of Strong Radiative  
Recombination Continua from the Supernova  
Remnant IC443 with  
Suzaku

H. Yamaguchi, M. Ozawa, K. Koyama, K. Masai,  
J.S. Hiraga, M. Ozaki, and D. Yonetoku  
Astrophysical Journal Letter,  
Vol. 705, p.L6-L9, 2009  
査読あり

⑧Suzaku Spectroscopy of Vela Shrapnel B,  
H. Yamaguchi and S. Katsuda  
Astrophysical Journal,  
Vol. 696, p.1548-1553, 2009  
査読あり

[学会発表] (計 8 件)  
全て研究代表者による発表

①New Insight into SNR Evolution Revealed  
by the Discovery of Recombination X-Rays  
COSPAR 38th Scientific Assembly,  
2010/07/23, Bremen, Germany

② Developments of Porous Plug Phase  
Separator and Superfluid Film Flow  
Suppression System for Soft X-ray  
Spectrometer (SXS) on Board ASTRO-H  
International Cryogenic Engineering  
Conference 23,  
2010/07/22, Wroclaw, Poland

③「すざく」・XMM-Newton によるスーパーバ  
ブル N11 と N51D の観測  
日本天文学会 2010 年春季年会,  
2010/03/25, 広島大学

④ Discovery of recombining plasmas in  
mixed-morphology SNRs: recent Suzaku  
spectroscopy and future prospects  
High-resolution X-ray spectroscopy: past,  
present, and future,  
2010/03/17, Utrecht, Netherlands

⑤New Epoch of SNR Science from Suzaku to  
Astro-H: High-Resolution Spectroscopy of  
Recombination X-Rays  
Exploring Supernova Remnants and Pulsar  
Wind Nebulae in X-rays: before and after  
ASTRO-H,  
2010/02/18, Kanagawa, Japan  
招待講演

⑥「すざく」による超新星残骸 IC443 からの放射  
性再結合連続 X 線の発見  
日本天文学会 2009 年秋季年会,  
2009/09/14, 山口大学

⑦Discovery of strong radiative  
recombination continua from IC443  
The Energetic Cosmos: from Suzaku to  
Astro-H,  
2009/07/01, Otaru, Japan

⑧SNRs from ASCA to Suzaku  
Frascati Workshop 2009,  
2009/05/29, Vulcano, Italy  
招待講演

[図書] (計 2 件)

①「すざく」が見た若い Ia 型超新星残骸  
山口弘悦  
天文月報 2010 年, 103 巻, 1 月号, p.43-52  
査読あり

②「すざく」が暴いた激動の過去ー超新星残骸に  
おける再結合プラズマの発見  
小澤碧、山口弘悦  
天文月報 2011 年, 104 巻, 2 月号, p.58-66  
査読あり

[産業財産権]  
○出願状況 (計 0 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 0 件)

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

[その他]  
ホームページ等  
<http://cosmic.riken.jp/hiroya/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 弘悦 (YAMAGUCHI HIROYA)  
独立行政法人理化学研究所・玉川高エネルギー  
宇宙物理研究室・基礎科学特別研究員  
00513467

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし