

立教大学学術推進特別重点資金(立教SFR)
個人研究
2013年度研究成果報告書

研究代表者	所属・職名	氏名
	理学部物理学科・准教授	内山 泰伸 印
研究課題	高エネルギーガンマ線観測とフェルミ加速理論の融合で解明する宇宙線の起源	
研究期間	2013年度	
研究経費	(支出金額) 890000 円 / (採択金額) 890000 円	
研究の概要(200~300字で記入、図・グラフは使用しないこと)		
<p>宇宙線の発見から100年以上が経過したが、その起源は宇宙物理学における未解決問題として残されている。銀河宇宙線の起源として有力な仮説は、超新星残骸の衝撃波においてフェルミ加速の機構が有効に働き、宇宙線が加速されているという学説である。本研究は、銀河宇宙線の解明を目指して、超新星残骸のX線ガンマ線観測研究を推進し、同時に観測と加速理論の深いレベルでの融合を追求するものである。超新星残骸における宇宙線加速の機序を解明することを通して、太陽圏そして宇宙の様々な天体で発現する粒子加速現象を理解する基礎を築く事も目的とする。</p>		

キーワード(研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入)

[宇宙線] [非熱的放射] [超新星残骸]

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

超新星残骸の衝撃波に存在する超高エネルギー電子の証拠は、日本のあすか衛星によってシンクロトロン X 線放射が発見されたことにより、はじめて得られた(Koyama et al. 1995, Nature 378, 255)。さらに米国のチャンドラ衛星による X 線観測で、衝撃波で電子が加速されると同時に、乱流磁場が増幅されていることが明らかになった(Uchiyama et al. 2007, Nature 449, 576)。一方、地上チェレンコフ望遠鏡 H.E.S.S.によるテラ電子ボルト(TeV)の超高エネルギーガンマ線の観測では、ガンマ線領域で初めて超新星残骸の「撮像」が可能になり、ガンマ線天体観測が大きく飛躍した(Aharonian et al. 2004, Nature 432, 75)。そして 2008 年に打ち上げられたフェルミガンマ線宇宙望遠鏡は、ギガ電子ボルト(GeV)のガンマ線観測に画期的な進展をもたらしつつある。このように、宇宙線の超新星残骸起源説の検証が、近年急速に進展している。

本研究代表者はフェルミ国際チーム超新星残骸ワーキンググループにおいて中心的な役割を果たし、研究代表者らの成果は、米国サイエンス誌によって「ブレイクスルー・オブ・ザ・イヤー2013」の一つに選ばれ、国際的な注目を集めている。

現在の加速理論には第一原理から決定できないパラメータが多く含まれ、超新星残骸の観測から得られる知見が理論の発展に極めて重要な役割を果たす。特に銀河系内の若い超新星残骸ティコは、理論との詳細な比較をすることに適している天体である。

超新星残骸ティコからのガンマ線は、主に高エネルギー陽子と水素原子核とが衝突することで作られる中性 π 中間子が、ガンマ線に崩壊したものだと考えられる。ガンマ線観測から加速粒子の総量を推定することができる。一方、シンクロトロン X 線の観測からは電子の最大加速エネルギー、(宇宙線加速に伴って増幅された)磁場、衝撃波における拡散係数と言った量を推定できる。本研究では、チャンドラ衛星によって得られた超新星残骸ティコの X 線データを解析し、シンクロトロン X 線放射の経年変化を調べた。その結果、衝撃波近傍のシンクロトロン X 線放射の強度に年スケールでの時間変動が見られることをはじめて明らかにした。

研究成果の概要 (つづき)

我々は、すでに2つの超新星残骸 (RX J1713.7-3946 および カシオペア A) において、局所的なシンクロトロン X 線の時間変動を発見していたが、今回は Ia 型超新星の残骸であるティコにおいても、同様の現象が見られることが明らかになった。超新星残骸という「準定常的」な天体において、粒子加速を反映した局所的な時間変動があることを示し、新しい研究領域を開拓したという意義を持つ。

さらに、局所的な時間変動の観測と相補的なアプローチとして、積分スペクトルの時間変動の探査も実施した。超新星残骸の半径や衝撃波速度の変化に対するシンクロトロン X 線放射の依存性を定量化することで、加速の最大エネルギーについての知見を得ることを目的としている。この研究目的に最適な天体として我々は G1.9+0.3 に注目した。この超新星残骸は天の川銀河において最も若い超新星残骸として知られている。

Chandra による 2007 年と 2009 年の観測から G1.9+0.3 のシンクロトロン X 線放射の空間積分フラックスが 2.4 年の間に 4.1% (統計誤差の範囲は 1.7–6.6%) も増加したことが判明している (Carlton et al. 2011)。これは、G1.9+0.3 が現在、シンクロトロン X 線の積分フラックスが増加するフェーズにあることを示す。系内で 2 番目に若い超新星残骸カシオペア A でさえ減光する進化フェーズにあり、G1.9+0.3 は増光フェーズを観測できる銀河系内で唯一の例となっている。我々は、2011 年に Suzaku 衛星によって G1.9+0.3 を観測した結果得られたフラックスと、2009 年の Chandra 衛星による観測結果を比較し、 $7.5\% \pm 1.8\%$ の増光を確認した。電子の最大エネルギーがシンクロトロン損失で制限されている場合と比べて、超新星残骸の年齢で最大エネルギーが制限されている場合は、フラックス増加率は大きくなるため、今回の我々の結果は後者を支持すると解釈できる。しかし、異なる衛星間の比較には系統誤差があるため、明確な結論を下すのは難しい。今後、Suzaku 衛星による追観測を実施し、今回の測定を確認することが必要である。

研究発表 (研究によって得られた研究経過・成果を発表した①～④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください)

①雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)

②図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)

③シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)

④その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

(1) 雑誌論文

1. Yuan, Y., Funk, S., Johannesson, G., Lande, J., Tibaldo, L., & Uchiyama, Y. "Fermi-LAT Detection of a Break in the Gamma-Ray Spectrum of the Supernova Remnant Cassiopeia A"
The Astrophysical Journal, 779, 117, 2013

(4) その他

[国際会議、ワークショップでの招待講演]

1. "フェルミ衛星による銀河系内 TeV ガンマ線天体の研究"
(招待講演) 内山泰伸
CTA ワークショップ, 宇宙線研究所, 2013 年 9 月 4 日
2. "Gamma-ray Observations of Supernova Remnants with Fermi"
(招待講演) Y. Uchiyama
East Asian Meeting on Astronomy, Taiwan, October 15, 2013
3. "Cosmic-ray Acceleration in Supernova Remnants"
(招待講演) Y. Uchiyama
X-ray-CTA Link Meeting, Hakone, Japan, November 4-6, 2013
4. "Supernova Remnants and Physics of Shock Acceleration"
(招待講演) Y. Uchiyama
HXI-SGD Workshop, Hiroshima, Japan, February 24-25, 2014
5. "X-ray and Gamma-ray Observations of Cosmic Accelerators"
(招待講演) Y. Uchiyama
The 7th International Workshop Very High Energy Particle Astronomy, Kashiwa, Japan, March 19-20, 2014