

平成22年 5月26日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19740143  
 研究課題名（和文） GeVガンマ線観測による超新星残骸における宇宙線加速機構の研究  
 研究課題名（英文） Study of cosmic-ray acceleration in supernova remnants using observation of GeV gamma rays

## 研究代表者

片桐 秀明 (KATAGIRI HIDEAKI )  
 広島大学・大学院理学研究科・助教  
 研究者番号：50402764

研究成果の概要（和文）：日米欧で共同開発したフェルミ衛星によって、星が死ぬ時の大爆発である超新星の残骸「W28」周辺をギガ電子ボルトの高エネルギーガンマ線で観測した。その結果、W28 に付随する密度の高いガスに空間的に対応した放射を発見した。ガンマ線データを詳細に調べた結果、高エネルギーの原子核「宇宙線」が超新星残骸で加速されガスと反応している徴候を捉えた。本研究によって、今後宇宙線の加速・拡散過程を理解する上で有用となるデータが得られた。

研究成果の概要（英文）：We observed the supernova remnant W28 with the Large Area Telescope (LAT) on board the Fermi Gamma-ray Space Telescope and found GeV gamma-ray emission from the molecular clouds around W28. The gamma-ray data are well modeled with emission due to interactions between cosmic rays accelerated in the SNR and dense molecular gas, which provides new constraints on understanding particle acceleration and release in the dense medium.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	0	1,400,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	420,000	3,220,000

研究分野：ガンマ線観測

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：GeVガンマ線、超新星残骸、フェルミ（GLAST）、宇宙線

## 1. 研究開始当初の背景

地球に降り注ぐ高エネルギーの宇宙線（主成分は陽子）がどこでどのように加速されているかは、宇宙線が発見されて以来 100 年たった今でも解決していない大問題である。本研究代表者は TeV ガンマ線望遠鏡 CANGAROO-II により TeV ガンマ線を放射する超新星残骸 (SNR) の発見をした (Katagiri et al. 2005)。さらに、HESS グループによって 8 個の SNR から TeV ガンマ線が検出された (申請当時)。これによって SNR で数 TeV~100TeV の粒子が加速されているという一般的な描像を確立されたと言える。しかし、これらのガンマ線は宇宙線の主要成分である陽子起源のものなのか、宇宙線電子によるものなのかはよく分かっていなかった。加速粒子種を決めるには宇宙線陽子からの放射が卓越する GeV のエネルギー領域のスペクトルが決定的である。これまでも CGRO 衛星の EGRET 検出器等により観測が行われていた。しかし、角度分解能や検出感が悪いため天体の同定および詳細なスペクトルの導出が困難であった。

## 2. 研究の目的

本研究は、宇宙線起源の有力候補である超新星残骸 (SNR) のうち、TeV ( $10^{12}$  eV) のガンマ線が検出されており粒子を加速している兆候を示すものに対して、ガンマ線衛星 GLAST (フェルミに改称) を用いて GeV ( $10^9$  eV) 付近のエネルギー領域のスペクトルをこれまでの数 10 倍の感度で求める。これにより、加速されている粒子が陽子かどうかを判別し、SNR がどの程度宇宙線加速に寄与しているのかを明らかにする。

## 3. 研究の方法

超新星残骸 (SNR) における加速粒子種を決定するためには、(1) EGRET 検出器の数 10 倍の検出感度で TeV ガンマ線が検出されている SNR を GeV ガンマ線観測、(2) SNR の電磁波での多波長スペクトルを理論モデルと比較することが必要である。

(1) EGRET 検出器の数 10 倍の検出感度で TeV ガンマ線が検出されている SNR を GeV ガンマ線観測

加速粒子の存在を示唆する TeV ガンマ線が検出された SNR は現在 10 天体ある。フェルミ衛星打ち上げ後、いくつかの SNR に対応すると思われるガンマ線源が見つかったが、その中で TeV の放射が観測されているものは W28 という SNR であった。本研究代表者は、特にこの W28 に焦点を当ててデータ解析を行った。この天体は SNR と分子雲の相互作用領域で TeV ガンマ線が検出されているため、

宇宙線の主要成分である陽子の加速源の最有力候補天体の 1 つであった。①広がった天体であり、かつ②銀河面の背景放射が強いため、通常の解析は難しい。そこで以下のような手法を開発した。

### ① 広がった天体の解析

フェルミ衛星の標準解析は、天体が点源であることを仮定している。しかし、SNR のような天体に対してはこの仮定を適用することができない。天体の広がりを評価するため、様々なサイズのディスク状の分布で天体からの放射を近似して様々な天球上の位置を仮定して最尤法でデータのフィットを行い、尤度分布を求めた。その結果、尤度が最大となるディスク形状の大きさ・位置を天体の広がりを示す最適なモデルとした (下図参照)。

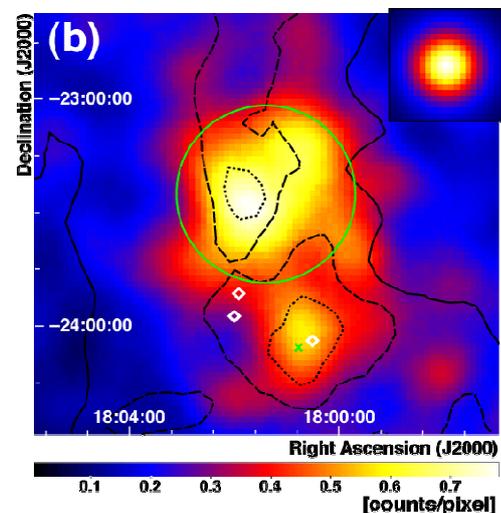


図1 フェルミ衛星 LAT 検出器で得られたガンマ線の強度分布 (エネルギーは 2-10GeV)。緑の円は、データ解析により求めたガンマ線の広がりの大きさ (ディスク状を仮定)。黒の等高線は一酸化炭素の分子線の強度でガス密度の高いところを示す。右上の差込図は LAT の角度分解能を示している (発表論文①)。

### ② 銀河面背景放射が与える影響

ガンマ線スペクトルの導出には、銀河面の背景放射もモデル化してデータのフィットをしなければならない。このモデルと真の背景放射の分布のずれが、スペクトルの不定性となる。本研究代表者は、W28 近傍の銀河面背景放射のデータとモデルを比較し、そのずれによるスペクトルのずれを定量的に見積もった。

(2) SNR の電磁波での多波長スペクトルを理論モデルと比較

宇宙線加速の理論モデルは現在も研究が

進行中であり、最新の進展を踏まえた理論を適用することが必要となる。SNR での粒子加速の理論家で研究協力者である山崎と宇宙線からの放射スペクトルモデルを議論した。

以上によって得られた GeV ガンマスペクトルを加えた多波長スペクトルとモデルを比較することで宇宙線加速粒子の種類を決定した(下図)。また同時に宇宙線の加速に使われたエネルギーを算出した。

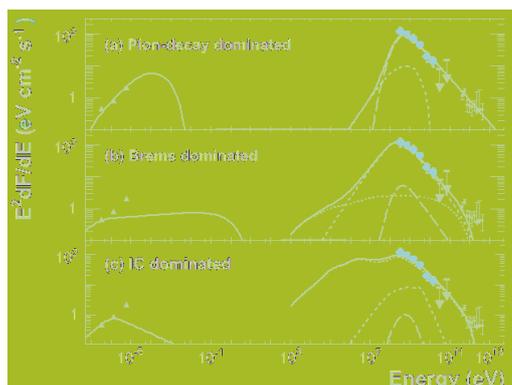


図2 超新星残骸W28の多波長スペクトル(横軸がエネルギー、縦軸が電磁波のエネルギーフラックス)。エネルギーが  $10^{10}$  eV 付近にある赤い点が本研究で得られたデータ。3種類の典型的な放射モデルでデータを再現し、放射機構を議論している(発表論文①)。

#### 4. 研究成果

上記3の方法で得られた空間分布およびエネルギースペクトルを用い放射機構の議論を行った。その結果、ガンマ線の放射はW28で加速された宇宙線陽子が分子雲中のガスと衝突する際に生ずる中性パイオンの崩壊ガンマ線で最も自然に説明できることを示した。即ち、本研究の目的であるSNRで加速されている粒子種を決定し、宇宙線に注入される総エネルギーを求めることができた。さらに、分子雲と超新星残骸の位置関係がガンマ線のエネルギー分布と相関している可能性を示唆する結果を得た。1つの解釈として分子雲までの宇宙線の拡散の仕方に違いがある可能性がある。これはW28のように位置関係が異なる分子雲がいくつも付随していることによって得られた初めての結果である。本研究によって、今後宇宙線の拡散過程を理解する上で有用となるデータが得られた(発表論文①)。尚、衛星打ち上げが遅れたこと、空間的広がりや銀河面放射等の系統誤差の見積りに時間を要したことから、複数の天体について論文

化を進められず、体系的な研究まではできなかったことを付記しておく。

#### 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5件)

- ① Abdo, A. A., et al. for the Fermi-LAT Collaboration (Corresponding authors: H. Katagiri, H. Tajima, T. Tanaka, Y. Uchiyama) “Fermi Large Area Telescope Observations of the Supernova Remnant W28 (G6.4-0.1)” Accepted for publication in the *Astrophysical Journal* 査読有, 2010, 掲載決定
- ② Yamazaki R., Kohri K., Katagiri H. “Gamma-ray spectrum of RX J1713.7-3946 in the Fermi era and future detection of neutrinos” *Astronomy and Astrophysics*, Volume 495, Issue 1, 2009, pp.9-13 査読有
- ③ Matsumoto Hironori, Uchiyama Hideki, Sawada Makoto, Tsuru Takeshi G., Koyama Katsuji, Katagiri Hideaki, Yamazaki Ryo, Bamba Aya, Kohri Kazunori, Mori Koji, Uchiyama Yasunobu “Discovery of Extended X-Ray Emission from an Unidentified TeV Source, HESS J1614-518, Using the Suzaku Satellite” *Publ. Astron. Soc. Japan* 60, No. SP1, S163-S172 (2008) 査読有
- ④ Takahashi Tadayuki, Tanaka Takaaki, Uchiyama Yasunobu, Hiraga Junko S., Nakazawa Kazuhiro, Watanabe Shin, Bamba Aya, Hughes John P., Katagiri Hideaki, Kataoka Jun, Kokubun Motohide, Koyama Katsuji, Mori Koji, Petre Robert, Takahashi Hiromitsu, Tsuboi Yoko “Measuring the Broad-Band X-Ray Spectrum from 400eV to 40keV in the Southwest Part of the Supernova Remnant RXJ1713.7-3946” *Publ. Astron. Soc. Japan* 60, No. SP1, S131-S140 (2008) 査読有
- ⑤ H. Katagiri, H. Yoshida, T. Mizuno, H. Takahashi, Y. Fukazawa, T. Ohsugi “GLAST simulation study of an extended TeV-emitting supernova remnant for the origin of cosmic-ray nuclei” THE FIRST GLAST SYMPOSIUM. AIP Conference

Proceedings, Volume 921, pp. 397-398  
(2007). 査読なし

[学会発表] (計5件)

- ① 片桐 秀明、田島 宏康、山崎 了、他  
FERMIチーム 口頭発表 「フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡による超新星残骸W28の観測およびガンマ線放射機構の考察」  
日本天文学会 (広島大学、2010年3月25日)
- ② 片桐 秀明、田島 宏康、山崎 了、他  
FERMIチーム 口頭発表 「フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡による超新星残骸W28の観測」  
日本天文学会 (山口大学、2009年9月15日)
- ③ 片桐 秀明、田島 宏康、山崎 了、他  
FERMIチーム 口頭発表 「フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡による超新星残骸W28の観測」  
日本物理学会 (甲南大学、2009年9月11日)
- ④ 片桐 秀明、水野 恒史、他FERMIチーム  
口頭発表 「フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡による、拡散 $\gamma$ 線放射の観測」  
日本天文学会 (大阪府立大学、2009年、3月)
- ⑤ 片桐 秀明、他GLASTチーム 口頭発表  
「ガンマ線天文衛星GLASTの現状と期待される成果」  
日本物理学会 (北海道大学、2007年9月24日)

[その他]

ホームページ等

<http://www-heaf.hepl.hiroshima-u.ac.jp/glast/100324press/100324pressW28.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

片桐 秀明 (KATAGIRI HIDEAKI )  
広島大学・大学院理学研究科・助教  
研究者番号：50402764

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：