

フェルミガンマ線宇宙望遠鏡による超新星残骸の観測

杉山重実

茨城大学大学院理工学研究科理学専攻物理系高エネルギー宇宙物理グループ

概要

フェルミガンマ線宇宙望遠鏡 (Fermi Gamma-ray Space Telescope、フェルミ衛星) は、日米欧の国際協力によって開発されたガンマ線天文衛星である。主要なガンマ線検出器である Large Area Telescope (LAT) は、20MeV-300GeV のエネルギー領域で、約 3 時間おきに全天をサーベイ観測している。観測対象となる天体は、超新星残骸・パルサー・活動銀河核 (AGN)・ガンマ線バースト (GRB) など多岐にわたっていることで、運用開始以来大きな功績をあげていると共に、さまざまな現象の解明等高エネルギー天文学を牽引する衛星として成果をあげている。この中で、恒星の一生の最期となる現象である超新星爆発によって超新星残骸 (SNR) が生成され、SNR 生成に際し生じる衝撃波によって、フェルミ加速と呼ばれるメカニズムで宇宙線が高エネルギーまで加速されるという機構が提唱されており、銀河系内の宇宙線加速源の候補として有力視されている。フェルミ衛星は、この加速機構の証拠となる GeV ガンマ線をこれまでに多数の SNR から検出しており、解明に向けて重要な観測機である。今回のポスターではこれまでに観測・研究された、超新星残骸に関する結果の一部について紹介する。

1 フェルミ衛星によるガンマ線観測

フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡 (フェルミ衛星) は、日米欧の国際協力により開発されたガンマ線天文衛星である。ガンマ線検出器として、Large Area Telescope (LAT) と Gamma-ray Burst Monitor (GBM) を搭載しており、LAT では 20 MeV-300 GeV のエネルギー領域をこれまでで最高の感度で観測することを実現している。一方 GBM では 8 keV-30 MeV のエネルギー領域で、主に突発的現象を観測している。観測対象となる天体は、パルサー・活動銀河核・ガンマ線バースト・超新星残骸など多岐にわたっており、ガンマ線バーストなど高エネルギー現象の解明等にさまざまな成果をあげている。フェルミ衛星は 2008 年 6 月 11 日に打ち上げられて以来約 4 年、サーベイ観測を継続中である。2011 年 7 月には 2 年カタログが公開され、2 年間の観測で検出された天体の数は 1800 を超えている。現在、取得されたデータは逐次公開されており、フェルミチームからは多くの論文が発表されている。フェルミ衛星ではガンマ線だけではなく他波長との連携も行われており、高エネルギー天文学を牽引する衛星となっている [1]。

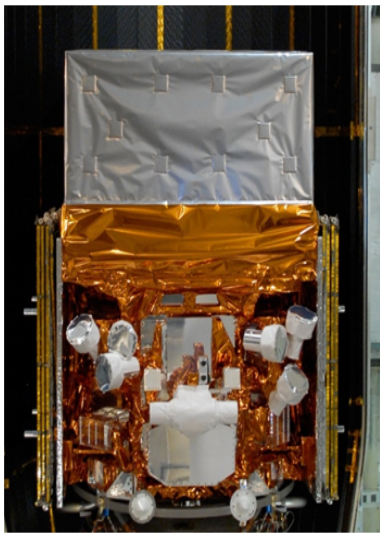


図 1: Fermi 衛星の検出器
上部は LAT であり、下部は GBM である。

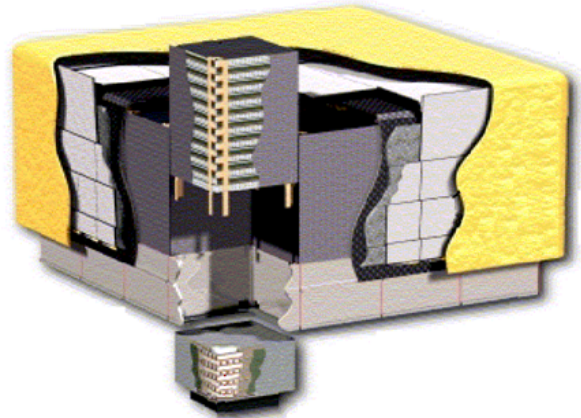


図 2: LAT 検出器

中央にあるのはトラックで、多重シリコンストリップ検出器を搭載し電子対の飛跡を測定し、ガンマ線の到来方向を再構成する。下の部分が CsI(Tl) シンチレータで、電子対のエネルギー測定し、ガンマ線のエネルギーを再構成する。

2 超新星残骸 (SNR) と最新の観測結果

超新星爆発は大質量星が一生を終えるときに起こす大規模な爆発現象であり、爆発後は星の外層が爆風となり超音速で膨張していく。この超音速の爆風は星間空間に衝撃波を形成し、星間ガスが熱せられる。このガスが超新星残骸 (Supernova remnant, SNR) となる。この衝撃波は粒子を光速近くまで加速できることなどから、超新星残骸は宇宙線 (Cosmic Ray, 主に陽子) の加速源と考えられている。

宇宙線が放射するガンマ線の放射過程として宇宙線原子核と星間物質中の原子核の相互作用によるパイ中間子崩壊による説 (ハドロン起源) や宇宙線電子と宇宙背景放射などとの逆コンプトン散乱による説 (レプトン起源) などの議論があり、パイ中間子崩壊のガンマ線の観測で、宇宙線の主成分の陽子を検出することが、宇宙線陽子の主要な起源の解明で重要となる。また、加速された宇宙線の星間空間への拡散過程についてもよく分かっておらず、多くの議論がなされている。

今回はフェルミ衛星における SNR の、最新の観測結果を 2 例紹介する。

2.1 RX J0852.0-4622 の観測 [2]

RX J0852.0-4622 は年齢が 1700~4300 年程度、距離は 750 pc とされる SNR である [3]。RX J0852.0-4622 はこれまでに X 線 (ROSAT[4])、TeV ガンマ線 (CANGAROO[5][6], H.E.S.S.[7][8]) などによる観

測がされており、今回の Fermi 衛星による GeV ガンマ線の結果 (図 3) と合わせ、ガンマ線放射がハドロン起源かレプトン起源のいずれであるかという検証を行った (図 4)。結果ハドロン起源のモデルと良く当てはまった。一方でレプトン起源のモデルも Fermi 衛星のエネルギー領域のうち硬いスペクトルでのモデルを予測したところ、誤差の範囲でデータとモデルがフィットできるという結果が得られた。

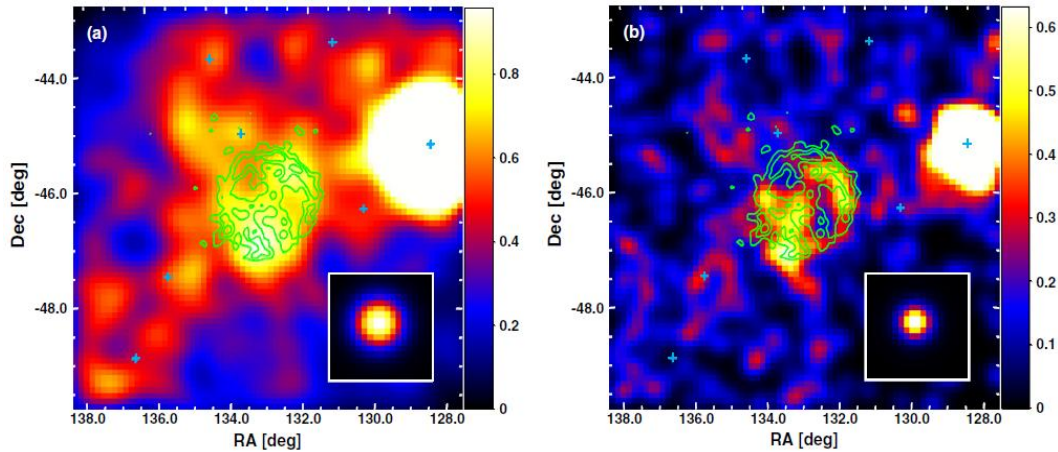


図 3:

(a) はエネルギー領域が $> 5\text{GeV}$ の、(b) は $> 10\text{GeV}$ の RX J0852.0-4622 周辺のガンマ線カウントマップ。十字点はフェルミ衛星のカタログに記載された天体を示し、特に右側で強く光っているのは Vela pulsar である。中心の緑色の線は H.E.S.S. による RX J0852.0-4622 のコントアであり、右下はそれぞれの点光源の広がりを示す。

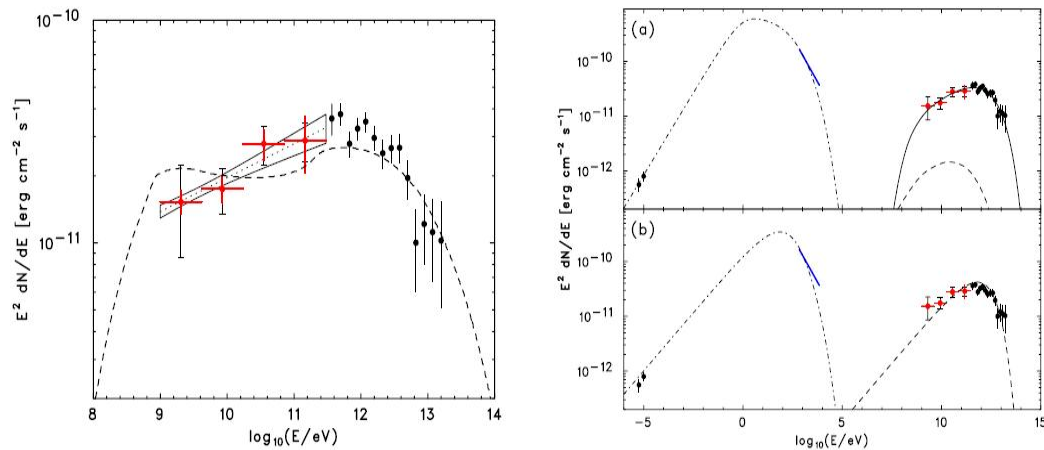


図 4:

左側は Fermi 衛星 (エネルギー領域は $1\sim 300\text{ GeV}$) と H.E.S.S. の観測による Spectral Energy Distribution (SED)。赤点が Fermi 衛星によるもの。蝶型に囲まれた部分は最尤法によりフィットさせたべき型関数の 68% 誤差の領域を示す。破線はパイ中間子崩壊スペクトル。

右側は広帯域での SED で、破線のうち (a) はハドロン起源モデルの、(b) はレプトン起源モデルを示す。左側の黒点は電波領域、青線は X 線フラックスの見積もりであり、実線はパイ中間子崩壊、破線は逆コンプトン散乱、点鎖線はシンクロトロン放射のモデルである。逆コンプトン散乱も、誤差を考慮すればフィットしているとみられる。

2.2 W44 の観測 [9]

W44 は年齢が 10,000 年程度と中年の SNR であり [10]、周辺の分子雲と一部衝突していることがわかっている [11]。W44 周辺のフェルミ衛星による解析を行ったところ、周辺でガンマ線が強い部分があり (図 5 の SRC-1, SRC-2)、これらのスペクトル解析の結果と宇宙線拡散のモデルを比較したところ、W44 から

解放された宇宙線が近傍の分子雲に衝突したものであること (図 6)、そしてスペクトルがパイ中間子崩壊によるモデルと良く当てはまったことから、ハドロン起源によるものと示唆される結果が得られた (図 7)。

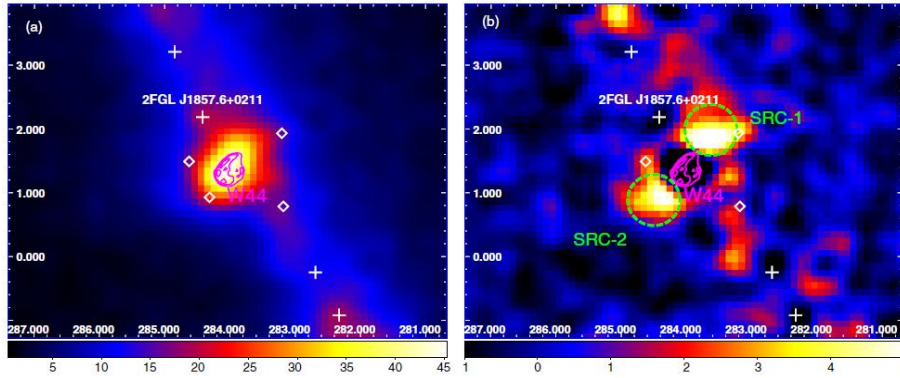


図 5: W44 のガンマ線マップ

(a) : 2-100 GeV における、W44 周辺のガンマ線カウントマップ。座標は赤道座標。中心にあるマゼンタの線は電波による W44 のコントアである。十字点および◇点はフェルミ衛星のカatalogに記載された天体を示し、うち「2FGL J1857.6+0211」はパルサー「PSR B1855+02」と同定される。

(b):(a) のカウントマップから、銀河拡散放射、背景放射、2FGL 天体、W44 のフィッティングさせたモデル成分を引いたもの。W44 周辺でガンマ線が強い 2 つの部分、この論文では SRC-1, SRC-2 と称している。

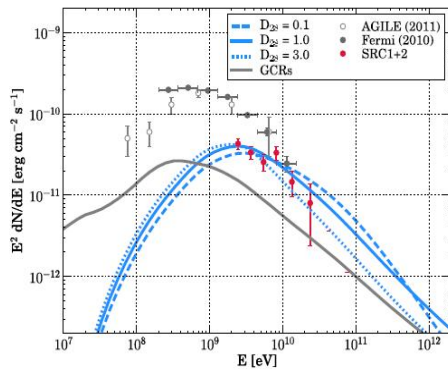


図 6:

W44 を囲む分子雲からのガンマ線放射スペクトルのモデル。SRC-1 と SRC-2 は統一して赤点で示す。このスペクトルは、W44 から逃げた宇宙線により分子雲でパイ中間子崩壊によるガンマ線放射を示唆している。青線は拡散の 3 つのモデル「ケースを、灰色の曲線は、周辺の巨大分子雲により生成されたガンマ線スペクトルを示す。

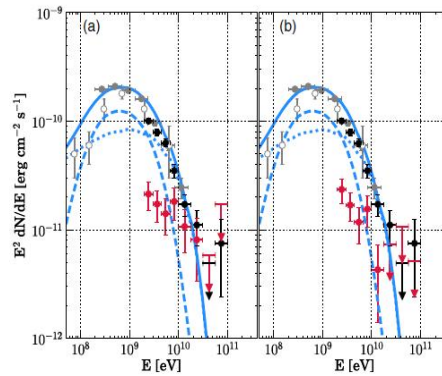


図 7:

フェルミ衛星により観測されたスペクトル。赤点は (a)SRC-1(b)SRC-2 を、黒点は W44 のスペクトルを示す。また白丸は AGILE (Astro- rivelatore Gamma a Immagini LEggero) により観測されたスペクトルを示す。点線のカーブはパイ中間子崩壊によるガンマ線放射の、破線は制動放射からのガンマ線放射のモデル曲線を示す。点線と良くフィットしているのが分かる。

3 まとめと今後の予定

フェルミ衛星による SNR のこれまでの観測から、宇宙線加速源については本ポスターで報告した SNR の他にも、SNR の解析結果が出されており (例えば [12])、「ハドロン起源」が優勢となっている。また、W44 のように近傍分子雲からのガンマ線放射は、SNR から解放された宇宙線に起因するという結果もいくつか得られている [13][14]。

現状フェルミ衛星により検出された SNR は数を増やしていく中で、さまざまなケースの SNR の観測ができるほか、フェルミチームとして SNR カタログを検討しているなど、これから SNR に関する議論が活発となると期待される。

私は宇宙線の起源問題について興味をもっており、SNR についてフェルミ衛星のデータなどを解析していき、宇宙線起源問題について解明に近づけるよう、今後の研究に取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

- [1] Nolan P., et al., 2012,ApJ 199,31
- [2] Tanaka T., et al., 2011,ApJ 740,L51
- [3] Katsuda S., et al., 2008, ApJ, 678, L35
- [4] Aschenbach B., 1998, Nature, 396, 141
- [5] Katagiri H., et al., 2005, ApJ, 619, L163
- [6] Enomoto R., et al., 2006, ApJ, 652, 1268
- [7] Aharonian F., et al., 2005, A&A,437, L7
- [8] Aharonian F., et al., 2007b, ApJ,661,236
- [9] Uchiyama Y., et al., 2012,ApJ 749,L35
- [10] Wolszczan A., et al., 1991, ApJ, 372, L99
- [11] Seta M., et al., 2004, AJ 127, 1098
- [12] Abdo A. A. et al. 2010, ApJ, 722, 1303
- [13] Ajello M., et al., 2012ApJ...744...80A
- [14] Abdo A. A. et al. 2010 ApJ 718 348