

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	Soheila Abdollahi
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 ①・② 項該当		
論文題目			
Deep Morphological and Spectral Studies of Supernova Remnant CTB 37A with <i>Fermi</i> -LAT (<i>Fermi</i> ガンマ衛星 LAT による超新星残骸 CTB 37A の形状とスペクトルの詳細研究)			
論文審査担当者			
主 査	教 授	深澤 泰司	
審査委員	教 授	小 嶋 康史	
審査委員	教 授	志 垣 賢太	
審査委員	准教授	水野 恒史 (宇宙科学センター)	
審査委員	准教授	高 橋 弘充	
〔論文審査の要旨〕			
<p>宇宙には、ほぼ光の速さで走り回る宇宙線と呼ばれる高エネルギー粒子が存在しており、地球にも随時降り注いでいる。その主成分は陽子であり、他にも電子、ヘリウムなどのイオンが含まれる。これらの中には、地上の加速器では到達できないほどの高エネルギーを持つものがあり、その起源と加速機構は解明されていない、加速候補として、星が爆発した後に残される超新星残骸が考えられている。超新星残骸は、爆発した際の爆風が周囲の星間物質の中を超音速で進む際に衝撃波を形成し、衝撃波を挟んでフェルミ一次加速の機構により、粒子加速をしていると考えられている。実際に、過去の X 線と TeV ガンマ線の観測により、TeV のエネルギーを持つ高エネルギー電子の放射が観測されたため、電子の加速は確認されていた。一方、2008 年に観測を開始した GeV ガンマ線観測衛星フェルミにより、宇宙線の主成分である陽子からの GeV ガンマ線が確認され、陽子加速の確認も進みつつある。しかし、超新星残骸によっては電子の放射しか観測されない場合もあり、超新星残骸で一般にどのように粒子加速が行われているのかは依然として統一的な見解は得られていない。そのために、さらなるガンマ線での超新星残骸の観測が必要である。</p> <p>本論文では、超新星残骸の 1 つである CTB 37A という超新星残骸について主にフェルミ衛星のガンマ線データの解析を行い、他波長の情報を合わせてガンマ線放射の形状とスペクトルをこれまで以上に詳細に調べ、この超新星残骸における粒子加速について考察したものである。この超新星は電波や X 線では過去に多数観測が行われ、周囲の星間物質の様子や近傍のパルサー星雲についての様子が比較的良好に理解されている。そのため、ガンマ線での観測により、粒子加速でその環境でどのように起こっているのか調べるための情報がそろっているのが利点である。この超新星残骸からのガンマ線放射は過去の報告では検出が確認されたものの、ガンマ線放射の形状やスペクトルは、統計不足のために明確には得られておらず、その放射起源も不明であった。そこで、本論文ではフェルミ衛星の 8 年間に蓄積されたデータを用いて統計を稼いだものを解析した。解析は標準的なデータリダクションで行われた。まず、放射の形状を調べるため、形状について点源、2 次元ガウス分布、一様円盤を仮定して最尤法を用いて解析したところ、$\sigma=0.12$ 度のガウス分布で</p>			

よく再現できることがわかり、確かに広がったガンマ線放射であることがわかった。放射の位置と広がり、電波の構造と矛盾しないため、超新星残骸からのガンマ線放射であると言えた。次にスペクトルを導出するため、ガンマ線の応答関数を考慮しながら位置の 2 次元とエネルギーの 3 次元情報を用いて、データとモデルを最尤法で再現した。その結果、10GeV 付近でカットオフをもつスペクトルが得られた。これは、TeV ガンマ線のスペクトルとは連続的につながらないため、TeV ガンマ線は超新星残骸ではなく近傍のパルサー星雲からの放射であることがわかった。

次に得られたガンマ線スペクトルと電波、X 線の情報を合わせて、放射起源をさぐるために、超新星残骸周辺の星間物質の密度の情報を考慮しながら、最初に加速された粒子からの放射とともに、減速後に再度加速される粒子についてエネルギー輸送の方程式を解き、得られた粒子のエネルギー分布から放射を計算した。さらに、加速された粒子が星間物質と衝突して生じる 2 次粒子からの放射も計算した。入力された粒子の全エネルギー、星間物質の密度や磁場などは他観測から得られた値を用い、エネルギー輸送におけるタイムスケールなどもそれから計算したものを用いて self consistent なモデルを立てた。その結果、フリーパラメーターは、超新星残骸周辺における星間物質の体積に占める割合だけである。それにもかかわらず、この 1 つのパラメーターのみでデータを再現することができた。その結果、ガンマ線放射は最初に加速された粒子の寄与は小さく、再加速された粒子からの放射が支配的であることがわかった。これは、この超新星残骸が密度の濃い分子雲と強く衝突していることに起因する。本論文で開発したモデルは、他の超新星残骸のガンマ線放射機構を理解するために有用であり、今後多数の超新星残骸にも適用されて、超新星残骸における粒子加速の統一描像の理解につながると期待される。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認める。

公表論文

S. Abdollahi, J. Ballet, Y. Fukazawa, H. Katagiri, B. Condon, 2020, “On the Origin of the Gamma-Ray Emission toward SNR CTB 37A with Fermi-LAT”, *The Astrophysical Journal*, Volume 896, Issue 1, id.76, 11pp (DOI: 10.3847/1538-4357/ab91b3)

参考論文

S. Abdollahi (1th), 150 people (Fermi-LAT collaboration), 2020, “Fermi Large Area Telescope Fourth Source Catalog”, *The Astrophysical Journal*, Volume Supplement Series 247, id.33, 37pp

S. Abdollahi (1th), 90 people (Fermi-LAT collaboration), 2017, “Cosmic-ray electron-positron spectrum from 7 GeV to 2 TeV with the Fermi Large Area Telescope”, *Physical Review D*, Volume 95, id.082007, 16pp

Mizuno, S. Abdollahi, Y. Fukui, K. Hayashi, A. Okumura, H. Tajima, H. Yamamoto, “Quantifying the Interstellar Medium and Cosmic Rays in the MBM 53, 54, and 55 Molecular Clouds and the Pegasus Loop Using Fermi-LAT Gamma-ray Observations”, *The Astrophysical Journal*, Volume 833, Issue 2, article id. 278, 19pp