

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔平成29年度研究進捗評価用〕

平成26年度採択分  
平成29年3月21日現在

高精度直接観測で探る高エネルギー宇宙線の加速と伝播

Research on the Acceleration and Propagation of Cosmic Rays by High-precision Direct Observation

課題番号：26220708

鳥居 祥二 (TORII SHOJI)

早稲田大学・理工学術院・教授



研究の概要 本研究では、国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」に搭載された宇宙線観測装置 CALET (Calorimetric Electron Telescope) により、世界に先駆けて本格的な高エネルギー宇宙線観測を実施している。CALET により、従来は困難であった高エネルギー領域での電子 (+陽電子) や陽子・原子核成分、及びガンマ線の高精度観測を実施して、近傍加速源及び暗黒物質の探索を行うとともに、加速・伝播機構について定量的な解明を目指している。

研究分野：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙線(実験)、高エネルギー電子、加速伝播、暗黒物質、超新星、ISS

1. 研究開始当初の背景

宇宙線の発見から100年以上が経過したにもかかわらず、その起源についてはいまだに謎が多い。高エネルギーの銀河宇宙線は、「超新星残骸における衝撃波によって加速され、銀河磁場によって拡散的に伝播して銀河外へ漏れだす」という”標準モデル”により理解できるように考えられていた。しかし、近年の観測精度の向上により、この”標準モデル”による期待とは異なり、10 GeV 以上の領域における陽電子比の増大と、100 GeV 以上の領域での電子+陽電子の過剰が観測されている。これらは相互に関連があり、標準モデルにはない電子と陽電子を対生成するプロセスの存在が示唆されている。これらの問題を解明するためには、より高精度の観測が不可欠である。

2. 研究の目的

高エネルギー宇宙線電子、原子核、ガンマ線を精密観測し、特にまだ観測例が少ない TeV 領域におけるデータを蓄積することにより、宇宙線物理学の基本的課題である加速・伝播機構について定量的な解明を目指す。特に高エネルギー電子は、銀河間空間におけるエネルギー損失が大きいいため、近傍の加速天体からのみ地球に到達するため、TeV 領域で特徴的なエネルギースペクトルを示すこと

が予想されており、観測に成功すれば荷電粒子観測による初めての加速天体の特定につながる成果が期待できる。

3. 研究の方法

高エネルギー宇宙線の高精度直接観測のために、日米伊の国際共同研究 (PI: 鳥居祥二) として、国際宇宙ステーション (ISS) 日本実験棟「きぼう」船外実験プラットフォームに搭載する CALorimetric Electron Telescope (CALET) を開発し、平成27年8月に打ち上げを行なった。その後、10月より観測を開始し、現在まで継続かつ安定的な観測が実施されている。CALET は、宇宙線・ガンマ線を観測する主検出器であるカロリメータとガンマ線バースト検出器で構成され、補助的な装置として GPS 受信機及びスターセンサが搭載されている。高エネルギー宇宙線が検出器内で反応を起こすと、各検出器要素の出力がデジタル化され記録される。観測データは、ISS から地上へ伝送され、NASA および JAXA つくば宇宙センターを経由して早稲田大学 CALET 運用センター (WCOC) にリアルタイムで送信されて蓄積される。ここで較正されたデータは国内外に配布され、国際共同研究チームとして解析を行い、観測した粒子の特徴を再構成して識別し、種別ごとにエネルギー分布や方向分布を

調べる。なお、突発的な現象であるガンマ線バーストや重力波イベントについては、即時的な解析が不可欠なため、Gamma-ray Coordinates Network (GCN)等を通じて研究者コミュニティへの通報を行っている。

#### 4. これまでの成果

CALET の観測は期待通りの軌道上性能を発揮して、ほとんど中断もなく順調な観測が実施され、装置の軌道上性能について十分な検証が行われている。(文献[1])。そして、これまでの約500日間の観測データによる初期のデータ解析結果が得られている。高エネルギー電子の観測においては、すでに10 GeVの候補イベントが100万例以上取得しており、TeV領域に及ぶエネルギースペクトルが得られている。現在、系統誤差などについて詳しいチェックを行っており、近いうちに公表できる予定である。

ガンマ線観測については、1 GeV以上のガンマ線について銀河内拡散成分の観測が順調に進んでおり、いくつかの点源(Crab, Geminga, Vela)が検出されているほか、Fermi等で報告されたCTA102のフレアーが観測されており期待通りの性能が発揮されている。また、ガンマ線バーストモニターによるトリガーに同期して低エネルギー(1 GeV)の観測を行っている。

陽子・原子核成分の観測では、原子番号1から40にわたって原子核を選別する電荷分解能が達成されており、数10GeV-1PeVの領域で核種ごとのエネルギースペクトルのデータ解析が進行中である。

また、当初の目的にはなかった突発的な現象に対応する以下のような観測に成功している。

(1) 平成27年11月10日に、ISSが夕方から夜にかけて磁気緯度の高い地域を通過する際に、数分間にわたって大量の放射線電子が降り注ぐ Relativistic Electron Precipitation (REP) 現象をISS軌道上ではじめて観測した。その準周期的な強弱の現れ方などから、電磁イオンサイクロ波により大気に振るい落とされたバンアレン帯の電子であると考えられる。このような現象は、人工衛星の帯電による障害や、中層大気のおゾン破壊の原因となるため、今後、宇宙天気予報や大気化学の研究に貢献できる。(文献[2])

(2) 米国のLIGOが2回目の重力波

GW151226を検出した同じ時期に、ガンマ線バーストモニターとカロリメータの視野が重なった方向にX線・ガンマ線を観測しなかったことにより、LIGO検出の重力波が考察されていたブラックホール合体であることと矛盾しない結果を得て、ApJLに発表している。(文献[3])

#### 5. 今後の計画

打ち上げから2年間の観測結果により、すでに当初に見込んでいた成果はほぼ達成できるといえるが、本研究期間の終了までには、約3.5年間の観測データを取得して、より統計精度の高いデータと、解析の高度化により、研究目的を達成できる見込みである。なお、CALETの観測は、平成29年の秋期に予定されているフルサクセス基準達成審査を経て、5年間の観測を実施する予定である。

#### 6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

[1] "Energy calibration of CALET onboard the International Space Station", Y. Asaoka, S. Torii, M. Mori, et al. (CALET collaboration), *Astropart. Phys.*, in press (2017)

[2] "CALET Upper Limits on X-ray and Gamma-ray Counterparts of GW 151226", O. Adriani, Y. Asaoka, M. Mori, S. Torii, et al. (CALET collaboration), *ApJ Letters* 829, L20 (2016)

[3] "Relativistic electron precipitation at International Space Station: Space weather monitoring by Calorimetric Electron Telescope", R. Kataoka, Y. Asaoka, S. Torii, T. Terasawa, S. Ozawa, T. Tamura, Y. Shimizu, Y. Akaike, M. Mori, *Geophysical Research Lett.* 43, 4119-4125 (2016)

[4] "A balloon experiment using CALET prototype (bCALET-2)", T. Niita, S. Torii, K. Kasahara, et al., *Advances in Space Research*, 55, 753-760 (2015)

[5] "CALET's sensitivity to Dark Matter annihilation in the galactic halo", H. Motz, Y. Asaoka, S. Torii and S. Bhattacharyya, *J. Cosm. Astropart. Phys.* 12, 047 (2015)

ホームページ等  
<http://calet.jp>