

国際宇宙ステーションにおける高エネルギー宇宙線観測 (CALET)

研究代表者 鳥居 祥二
(理工研/物理学科 教授)

1. 研究課題

宇宙線の研究は、粒子の生成・消滅という素粒子・原子核物理学と、粒子の加速・伝播という宇宙物理学の2つの側面を持っており、観測される宇宙線の組成やスペクトルは両者が複雑にからみあった現象である。そのため、宇宙線の正確な理解のためには、組成やスペクトルの高精度な観測により各々の側面を正確に切り分ける必要があり、地球に降り注ぐ宇宙線を大気の希薄な高い高度で直接捉えることが不可欠である。このような飛翔体を用いた宇宙線の直接観測は、これまでに国内外で様々な装置が考案されて実施されて来た。

本研究では、早稲田大学-JAXA の共同研究として、国際宇宙ステーション (ISS) 日本実験棟「きぼう」の船外実験プラットフォーム (JEM-EF) において高エネルギー宇宙線観測装置 CALET (Calorimetric Electron Telescope) により、日本初の本格的な宇宙線観測を宇宙空間で実施している。CALET により、従来の直接観測では得られなかった高エネルギー領域での全電子 (電子+陽電子) 成分 (1 GeV-20 TeV) と陽子・原子核成分 (数 10 GeV-PeV)、及びガンマ線 (1 GeV-10 TeV) の観測を高精度で行うことにより、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している。さらに、原因がまだ未解明な「陽電子・電子フラックスにおける”過剰”」や「陽子・ヘリウムスペクトルの”硬化”」といった、これまでの観測結果を高精度に検証し、それらの原因を解明することを目指している。宇宙物理学上の最大の謎である暗黒物質や新たな宇宙線加速源 (パルサー風星雲など) などが、それらの原因の有力な候補としてあげられているが、いずれの場合であっても起源が解明されれば宇宙物理学に大きなインパクトを与えることになる。さらに、本研究の主目的である、TeV 領域の全電子観測による近傍加速源 (SNR) の検出ができれば、初めて荷電粒子の加速源を直接的に検証が可能となり、加速と伝播について決定的な理解が得られる。

2. 主な研究成果

CALETは観測開始以来、現時点まで約1.5年以上に亘って極めて順調な観測が継続的に行われている。主要な観測モードである高エネルギー (>10 GeV) トリガーによる観測は、観測実時間 (live time) の割合が約85%で安定的かつほぼ一定の条件で予定通り行われており、これまでの総観測量は約3.7億イベントに達している。このような安定的運用に加えて、今年度は装置性能の長期変動を確実に補正することにより、観測の基礎となる軌道上データのエネルギー較正方法を確立し、(1) 電子エネルギー分解能 (>100 GeV): < 2%、(2) エネルギー測定領域: 1 GeV-1 PeV、(3) エネルギー測定系統誤差: 約1% 等、という所期の性能が達成されている (Astroparticle Physics, 2017)。

早稲田大学CALET Operations Center (WCOC) において、軌道上の観測データ (L1) からエネルギーなどの較正を行ったデータ (L2) を継続的に作成して、国内外の研究チームと共同してデータ解析を実施している。データ解析の結果とシミュレーション計算との比較により、入射粒子の電子/陽子識別や電荷決定を行い、電子及び陽子・原子核成分のエネルギースペクトルの初期的な結果が得

られている。電子(>10GeV)候補について150万イベント以上のデータが取得されており、所期の目的であるTeV領域に及ぶ観測が達成されている。陽子・原子核に関しては、主要な一次核について100TeV近辺までエネルギースペクトルが得られている。さらに、ガンマ線観測では、1GeVと10GeVのエネルギー閾値の観測で、銀河内拡散成分やVela, Crabなどの代表的なソースや変動天体(CTA102)が検出されている。

当初の観測目的にはなかった、宇宙天気予報に関連するRelativistic Electron Precipitationの観測 (Geophysical Research Letters, 2016)や、ガンマ線バーストモニタとカロリメータによるLIGOとのMOUに基づく重力波の同時観測 (Astrophysical Journal Letters, 2016)が実施されている。いずれも、安定的な運用によりCALETの性能がフルに発揮された結果として達成された成果であり、今後の観測において当該分野に対して大きな 貢献が期待できる。

3. 共同研究者

長谷部信行 (理工研/物理学科 教授)
 小澤俊介 (先進理工学部 物理学科 次席研究員)
 浅岡陽一 (理工研 次席研究員)
 笠原克昌 (芝浦工業大学 名誉教授 招聘研究員)
 田村忠久 (神奈川大学 工学部 教授 招聘研究員)
 清水雄輝 (神奈川大学 工学部 准教授 招聘研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- 1) "Energy calibration of CALET onboard the International Space Station", Y. Asaoka , Y. Akaike , S. Torii , et al. , Astropart. Phys., 91 (2017) 1-10.
- 2) "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 Letters, Volume 43, Issue 9, pp. 4119-4125.
- 3) "CALET Upper Limits on X-ray and Gamma-ray Counterparts of GW 151226" , O.Adriani, S.Torii et al., (CALET collaboration), ApJ Letters 829, L20, 2016.
- 4) "The CALET Mission on the International Space Station" , P.S.Marrocchesi, S.Torii et al., (CALET collaboration), Frascati Physics Series Vol. 64 (2016) .
- 5) "The CALorimetric Electron Telescope (CALET) for high-energy astroparticle physics on the International Space Station" , P.S.Marrocchesi, S.Tori et al., (CALET collaboration), Journal of Physics: Conference Series 632 (2015) 012023

4.2 総説・著書

該当なし。

4.3 招待講演

- 1) 「CALET の軌道上性能と初期成果」 鳥居祥二 (シンポジウム「宇宙線直接観測の成果と展望」招待講演)、日本物理学会第 72 回年次大会、大阪大学豊中キャンパス、2017 年 3 月 17-20 日

- 2) 「国際宇宙ステーションにおける宇宙科学観測」鳥居祥二、放射線プロセスシンポジウム、東京大学（駒場）、2016 年 11 月 8 日
- 3) "The CALorimetric Electron Telescope(CALET) : In-flight performance and preliminary results", S.Torii, TeV Particle Astrophysics, September 12-16, 2016 (CERN)

4.4 受賞・表彰

該当なし。

4.5 学会および社会的活動

- 1) National Geographic Channels 「大宇宙へ翔ける」TV 放映
- 2) 公開行事 武蔵野市寄付講座（亜細亜大学） 2016 年 11 月 23 日
「素粒子と宇宙の謎を探る～CALET：高エネルギー宇宙線観測～」
- 3) 早稲田宇宙科学観測所 公開セミナー（早稲田大学）2016 年 3 月 15 日
国際宇宙ステーション「きぼう」搭載 CALET による宇宙線観測—高エネルギー宇宙の謎に迫る—

5. 研究活動の課題と展望

CALET による観測はすでに 1.5 年以上を経過して、今後 JAXA との共同研究として 2020 年までの観測が予定されている。現在すでに初期的な成果がえられており、観測の主要目的である TeV 領域での電子観測による暗黒物質及び近傍加速源の探索が実施されている。宇宙科学観測として大変難しい課題である長期間に亘る安定的な軌道上運用が実現されており、WCOC における 24 時間体制による運用モニターや国際共同研究によるデータ解析も順調に実施されている。すでに主要な観測項目については初期的な結果が得られており、国内外の研究コミュニティから、本格的な成果の公表が強く期待されている。このため、2017 年度内には初期的な成果を国内外で公表するとともに、主要な雑誌に発表を予定している。今後の課題としては、鳥居が代表者として早稲田大学を中心に実施している JAXA との共同研究体制を維持しながら、研究継続を実現することにより所期の観測目的を達成することにある。