

高エネルギー電子・陽電子観測による暗黒物質・ 近傍加速源の探索

Search for dark matter and cosmic-ray nearby sources
by observing high energy electrons and positrons

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、高エネルギー電子・陽電子の直接観測による暗黒物質と宇宙線近傍ソースの探索を目的として、飛翔体を用いた長期間観測を実施する。これまでに実施した気球実験 (bCALET) での装置開発・観測実験の実績をもとに、国際宇宙ステーション搭載装置 (CALET) の要素技術開発・性能実証試験を実施して、2014年から5年間の軌道上での観測を目指す。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙線 (実験)

1. 研究開始当初の背景

宇宙線電子・陽電子成分の衛星と気球の観測結果から、陽電子が電子+陽電子に占める割合 (陽電子比) のエネルギーに伴う増大が 10・100 GeV の領域で観測され、それに符合する電子+陽電子エネルギースペクトルの異常 (“過剰”) が 600・800 GeV の領域で報告された。これらは、以下に述べるように近傍加速源や暗黒物質の存在を示唆するものであり、多くの理論的解釈が試みられている。

2. 研究の目的

宇宙線成分中の電子 (+陽電子) は、数 100 GeV 以上では加速源までの距離が 1 kpc 以下となり寿命が 10 万年以下となる。このため、これらの条件を満たす加速源の候補天体 (パルサー、超新星残骸) は非常に数が限られ数例となる。その結果、高エネルギー領域でのエネルギースペクトルに特徴的な構造が現れる。また、暗黒物質 (WIMP) の対消滅や崩壊で電子・陽電子が生成されると、WIMP の質量に相当するエネルギー領域に “過剰” が期待される。「研究当初の背景」述べた観測結果は、これらの “異常” を示唆するものとして大きな注目を集めている。そのため、我々は未開拓な TeV 領域まで観測領域を拡大して、近傍加速源・暗黒物質の探索を目指すことを研究の目的としている。

3. 研究の方法

高エネルギー電子の観測では、観測時に “雑音” となる陽子・原子核成分の高精度な

除去と優れたエネルギー測定が不可欠である。さらに、エネルギーの増大にともない電子フラックスが急激に減少するため、TeV 領域での観測を実現するためには、大型装置による長時間観測が必要となる。そのため、我々は宇宙線シャワーの可視技術を駆使して、電子観測に最適化したカロリメータを開発し、気球実験による技術開発・性能実証実験を経て、国際宇宙ステーション (ISS) において5年間の観測を行うことを計画した。

4. これまでの成果

これまでに長時間気球又は ISS で TeV 領域に至る高エネルギー電子・陽電子の観測を実現する観測装置の開発とプロトタイプによる気球実験を実施している。

平成21年度は、研究実施計画に従って ISS 搭載用装置 CALET (CALorimetric Electron Telescope) の気球搭載用プロトタイプ 2 号機 (bCALET-2) を開発・製作して、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の北海道大樹航空宇宙実験場において観測実験を行った。気球飛翔は、8月27日に行われ高度 35 km のレベルフライトで観測を予定通りに実施した。この観測によって、1 GeV 以上のトリガーで約 12,000 例の宇宙線イベントを取得している。

bCALET-2 は CALET の約 1/4 のスケール (GF: 320 cm²sr) であり、今回の実験の目的は CALET の技術実証を 1・100 GeV の電子 (及び大気ガンマ線) 観測によって行うことであった。そのため、装置は CALET とほぼ同じ

構造のイメージング・カロリメータ (IMC) と全吸収型カロリメータ (TASC) で構成されている。IMCは 4096 本のシンチファイバー (1mm角) を 64 アノードPMTで読み出し、TASCでは 60 本のBGO (2.5cm×2.5cm×30cm) を 4 ケタ以上のダイナミックレンジでPIN-PDで読みだしている。このような多チャンネル読み出し技術が気球実験で実証されたことは世界的にもあまり例がなく、観測の成功はCALETの技術実証として非常に大きな意義を持つと考えられる。

bCALET-2 のデータ解析はこれまでに終了しており、論文としてまとめてJAXA研究開発報告 (査読付) に投稿して受理されている。

気球実験では不可能な TeV 領域における電子の高精度観測により、宇宙線近傍加速源及び暗黒物質の探索を行うために、これまでに ISS 日本実験棟「きぼう」での CALET ミッションの提案を行い、平成 23 年度に正式に JAXA のプロジェクトとして承認を受けた。一方、長時間気球実験の実施は気球飛行の技術的問題から、CALET の打ち上げ時期である平成 25 年 (現在の予定は平成 26 年) より以前には実施できないことが判明したため、CALET ミッションにより研究目的をより迅速かつ確実に達成する事とした。現在は、bCALET の技術開発を活用して、CALET の要素技術開発及び機能試験モデル (BBM) の製作・性能試験を国外研究者とも共同で実施し、概念設計・基本設計フェーズを終了している。CALET の外観を、1TeV の電子が入射した場合のシャワーの発達状況を示すシミュレーションとともに、図 1 に示す。なお、CALET の観測や技術開発の内容は、国内外の学会で発表するとともに査読雑誌にて発表している。

5. 今後の計画

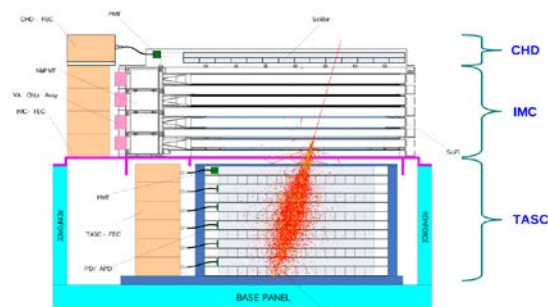


図 1: CALET の概念図と電子 1TeV 電子シャワーのシミュレーション例。検出器サイズは約 45cm×45cm の面積で、高さは 50cm。

平成 24 年度は、CALET コンポーネントの単体レベルでの性能評価試験を実施するとともに、CALET 装置構造の熱構造モデル (実機

と同じサイズ) と読み出し回路 (前置回路) の BBM を用いた性能検証モデルを製作し、重イオン、及び陽子・電子のビーム実験を CERN において実施する。

平成 25 年度は搭載装置のインテグレーション・環境試験を JAXA において実施して、平成 26 年の打ち上げとその後 5 年間の観測を目指す。そして、データ解析により、暗黒物質・近傍加速源の研究成果を発信する。図 2 に CALET による 5 年間の観測予測を、近傍加速源 (Vela 等) による寄与が TeV 領域にある場合の理論予測に基づいて示す。

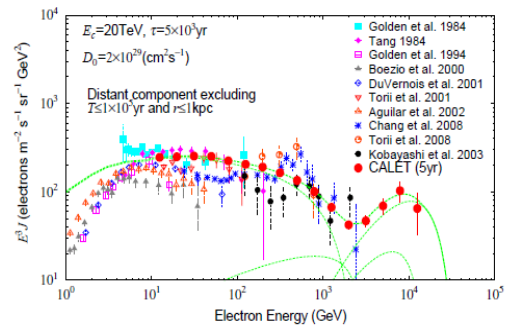


図 2: 電子エネルギースペクトル ($\times E^3$) の CALET による 5 年間の観測予測。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

・気球搭載型 CALET プロトタイプ

(bCALET-2) による電子・ガンマ線観測: 仁井田多絵、鳥居祥二、小澤俊介、笠原克昌、田村忠久、吉田健二、片倉祐作、福家英之、他、宇宙航空研究開発機構研究開発報告 (査読有) (印刷中)

・ Beam test performance of a scintillator-based detector for the charge identification of relativistic ions: P.S. Marrocchesi, S. Ozawa, S. Torii et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **659** (2011) pp.477-483.

・ Overview of the CALET Mission to the ISS: S. Torii, for the CALET collaboration, Proceeding of International Cosmic Ray Conference, Vol. 6 (2011) pp.344-347.

・ The science objectives for CALET: K. Yoshida for the CALET Collaboration, Proceeding of International Cosmic Ray Conference, Vol. 6 (2011) pp.360-363.

・ Simulated performance of the calorimetric electron telescope (CALET) experiment: Y. Akaike, K. Kasahara, S. Torii, T. Tamura et al., Advances in Space Research **45**, pp. 690-697 (2010).

ホームページ等

<http://www.crlab.rise.waseda.ac.jp/>

email: torii.shoji@waseda.jp