

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：32702

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24740191

研究課題名(和文)高エネルギー宇宙線観測装置 CALET による電子・陽電子観測のための研究

研究課題名(英文)Development of CALET for the observation of cosmic-ray electron and positron

## 研究代表者

清水 雄輝 (Shimizu, Yuki)

神奈川大学・工学部・准教授

研究者番号：60434320

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、国際宇宙ステーション搭載の高エネルギー宇宙線観測装置CALET(Calorimetric Electron Telescope)による全電子(電子+陽電子)の観測のための準備研究並びに初期観測データの解析を行った。観測装置に用いるシンチレータや光検出器等の要素レベルでの特性評価試験、UVパルスレーザーを用いたフライト実機の較正試験等を実施し、観測開始後のデータ解析に必要な較正データの取得を行った。2015年8月の打ち上げ後は、初期運用段階で取得した観測データを解析し、TeV領域を含む高エネルギー電子候補イベントを検出した。

研究成果の概要(英文)：The calorimetric electron telescope (CALET) is a space-based observatory of high energy cosmic rays on the international space station. The detector have been developed and currently placed on the exposure facility of KIBO Japanese experiment module. We have measured the characteristics of detector elements such as scintillators, photo-detectors and readout electronics. In addition, calibration of the detector flight model with a UV pulsed laser system has been conducted. After launching in August 2015, high energy cosmic rays have been observed during the initial operation of the CALET. Analyzing the observed data, we have obtained primary electron candidate events including a few events above 1TeV.

研究分野：宇宙線物理

キーワード：宇宙線 電子

### 1. 研究開始当初の背景

太陽系外から到来すると考えられる GeV 以上の高エネルギー宇宙線の観測はこれまで、気球・衛星による直接観測、より高いエネルギー領域においては大気シャワーを利用した間接観測により行われてきた。しかし、宇宙線観測の主要な課題の一つである宇宙線起源は、現在に至るまで解明されていない。宇宙線起源解明の有力な手段として、一次電子観測がある。電子は高エネルギーであるほどシンクロトロン放射等によりエネルギーを失いやすく遠方から地球近傍まで到達できない反面、地球近傍に源があった場合、その影響が TeV 以上のエネルギースペクトルに顕著に現れると予想される。このような TeV 以上の一次電子観測が可能な実験として、CALET (Calorimetric Electron Telescope) 計画がある。

CALET は、国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」船外実験プラットフォームに搭載する高エネルギー宇宙線観測装置である。CALET は、宇宙線加速源の同定、暗黒物質の間接観測を主な目的としており、主要な測定対象である電子 (1GeV-20TeV) に加え、線 (10GeV-20TeV)、陽子・原子核 (数十 GeV-1000TeV) の測定も可能である。CALET は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) において平成 22 年 4 月に開発移行された。

最近の一次電子・陽電子観測における話題として、エネルギースペクトルの数百 GeV 領域における観測値が従来の拡散モデルによる期待値に比べ有意に大きいという結果がある。CALET により、前述の TeV 領域の電子観測に加え、近傍パルサーあるいは暗黒物質の崩壊・対消滅との関連が示唆される数百 GeV 領域の観測を行うことが可能である。

### 2. 研究の目的

本研究は、前述の高エネルギー宇宙線観測装置 CALET による、宇宙線中の全電子 (電子 + 陽電子) の測定を目的としている。数百 GeV から TeV のエネルギー領域の電子を測定するためには、1000 ~ 10000 倍存在する陽子のバックグラウンドイベントの弁別が必要である。CALET では、ホドスコープ型のカロリメータを用い、宇宙線によって作られるカスケードシャワーの発達を詳細に測定することによって、電子・陽子の識別を可能としている。一方、軌道上の限られたリソース制約 (搭載重量、サイズ、電力、通信等) の中で所期の観測精度を実現するためには、計算機シミュレーションを利用した装置観測性能の評価および最適化に加え、設計・製造段階からの実機の実機特性評価が必要である。CALET による電子測定の準備研究として、宇宙線相互作用のシミュレーションおよび検出器の評価・較正試験を実施し、電子検出性能の向上・最適化を図る。また、研究計画期間内に行われる軌道上初期運用にて取得される観測データを解析し、数百 GeV から

TeV のエネルギー領域の電子イベントの測定を実施する。

### 3. 研究の方法

CALET による電子観測精度の向上・最適化のためには、観測装置を構成するシンチレータ、光検出器、信号読み出し回路を含む検出器の性能評価が必要である。CALET の検出器は複合型のカロリメータであり、プラスチックシンチレータからなる電荷測定器、約 7000 本のシンチレーティングファイバー (SciFi) とタングステン板からなる解像型カロリメータ、約 200 本の PbWO<sub>4</sub> (PWO) シンチレータからなる全吸収型カロリメータから構成される。検出器各チャンネルの軌道上観測データの解析に利用するための較正データを、模擬パルス信号を用いた回路部試験や宇宙線ミュオンを利用した試験によって取得する。また、特に全吸収型カロリメータはエネルギー決定及び陽子バックグラウンド除去において重要な役割を担い、約 6 桁に及ぶ測定ダイナミックレンジの検証が要求される。そのため、上記の試験に加え、UV パルスレーザーを用い、高エネルギー宇宙線信号を模擬した end-to-end 較正試験を行うこととした。開発した UV パルスレーザー照射システムを図 1 に示す。

観測装置打ち上げ後、研究計画期間内に初期運用フェーズでの観測データが取得できる。地上試験および軌道上で取得したデータを用いて各チャンネルの較正を行う。この較正データおよび計算機シミュレーションに基づくデータ解析によって、カスケードシャワー発達の詳細な測定から入射粒子のエネルギーの決定及び粒子種の選別を行い、多数の陽子バックグラウンドを含む観測データ中から高エネルギー電子候補イベントを選別する。



図 1 UV パルスレーザー照射システム

### 4. 研究成果

地上における CALET の製造・組立段階において、模擬電気信号および宇宙線ミュオンを利用したシンチレータ、光検出器および読み出し回路についての特性評価試験を実施し、各チャンネルのノイズレベルや、軌道上観測データの較正に用いるための基礎データを取得した。これらのデータを計算機シミュレーションに取り込み、高エネルギー宇宙線が検出器に入射した際に発生する相互作用および検出器応答の再現精度向上を図った。また、全吸収カロリメータの end-to-end 較正試験に用いる UV パルスレーザーシステムの開発を行った。全吸収カロリメータを構成する  $\text{PbWO}_4$  シンチレータの端面から UV パルス光を照射し、シンチレーション光を発生させることによってカスケードシャワー発生時の光信号を模擬する。シンチレータへの高エネルギー宇宙線入射時の信号を模擬し、要求される 6 桁の測定ダイナミックレンジでの較正が可能なることを確認した。レーザーのパルス出力を 8ch に分岐することで、フライト実機の較正試験を効率的に実施した。各  $\text{PbWO}_4$  シンチレータチャンネルの較正例を図 2 に示す。

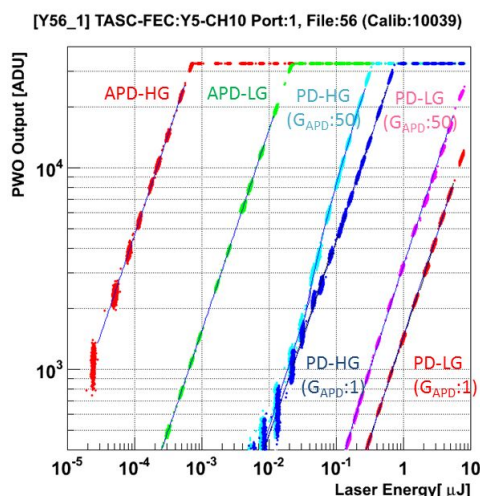


図 2 全吸収カロリメータの較正例

2015 年 8 月に、HTV5 号機による CALET の打ち上げおよび国際宇宙ステーション日本実験棟船外実験プラットフォームへの設置が行われた。その後、CALET はチェックアウトフェーズにおける地上との通信および機器の動作確認試験を経て、観測運用フェーズへと移行した。観測初期段階にて数か月間、10GeV のトリガー設定にて宇宙線の観測を行った。地上での取得データの解析によって、陽子バックグラウンドイベントを弁別、電子イベントを選別してエネルギー決定を行った。結果として、10GeV から TeV 領域における一次電子候補イベントを取得した。また、TeV 以上のエネルギーを持つ候補イベントを

数例検出した(図 3)。

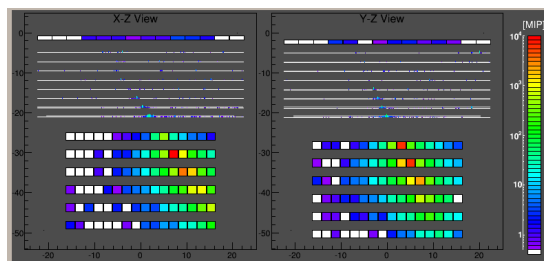


図 3 TeV 電子候補イベント例

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

T. Niita, S. Torii, Y. Shimizu 他 (12 人中 11 番目), A balloon experiment using CALET prototype (bCALET-2), *Advances in Space Research*, 55, Issue 2, pp. 753-760, 2015, 査読有

DOI:10.1016/j.asr.2014.10.038

仁井田多絵, 鳥居祥二, 小澤俊介, 笠原克昌, 村上浩之, 赤池陽水, 植山良貴, 伊藤大二郎, 苅部樹彦, 近藤慧之輔, 九反万里恵, 田村忠久, 吉田健二, 片寄祐作, 清水雄輝, 福家英之, 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, 宇宙航空研究開発機構, 研究開発報告, JAXA-RR-11-008, pp. 17-46, 2012, 査読有  
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009477742>

〔学会発表〕(計 6 件)

鳥居祥二, 浅岡陽一, 清水雄輝, 他 (28 人中 8 番目), CALET 軌道上観測の初期運用報告, 日本物理学会, 第 71 回年次大会, 東北学院大学泉キャンパス, 2016 年 9 月 19 日

大和啓一, 鳥居祥二, 清水雄輝, 他 (14 人中 11 番目) CALET 観測模擬データを用いた軌道上観測条件の最適化研究, 日本物理学会, 2015 年秋季大会, 大阪市立大学杉本キャンパス, 2015 年 9 月 26 日

塚原一樹, 鳥居祥二, 小澤俊介, 浅岡陽一, 金子翔伍, 山村咲弥, 大和啓一, 田村忠久, 片寄裕作, 清水雄輝, 他 CALET チーム, CALET の TASC 性能試験用レーザー照射システムの開発, 第 14 回宇宙科学シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所相模原キャンパス, 2014 年 1 月 9-10 日

清水雄輝, 及川 幸揮, 佐野伊彦, 他 (20 人中 1 番目), CALET フライトモデル試験の概要, 日本物理学会, 2014 年秋季大

会，佐賀大学本庄キャンパス，2014年9月19日

清水雄輝，及川幸揮，佐野伊彦，他（20人中1番目），CALETのカロリメータプロトフライトモデル開発報告，日本物理学会，2013年秋季大会，高知大学朝倉キャンパス，2013年9月22日

清水雄輝，及川幸揮，遠藤美穂，他（15人中1番目），CALETカロリメータ構造モデル試験，第12回宇宙科学シンポジウム，宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所相模原キャンパス，2012年1月5-6日

〔図書〕（計 0件）

〔産業財産権〕

出願状況（計 0件）

取得状況（計 0件）

〔その他〕

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

清水 雄輝（SHIMIZU, Yuki）

神奈川大学・工学部・准教授

研究者番号：60434320