

## JEM 曝露部における高エネルギー電子、 $\gamma$ 線観測計画 (CALET)

### －「高エネルギー宇宙線計測」ワーキンググループ報告－

早稲田大：鳥居祥二，奥平修，小平聡，清水雄輝，長谷部信行，晴山慎，宮島光弘，宮地孝，山下直之  
 JAXA 宇宙科学研究本部：上野史郎，齊藤芳隆，高柳昌弘，冨田洋，西村純，福家英之，山上隆正  
 神奈川大：奥野祥二，立山暢人，田村忠久，日比野欣也 東大宇宙線研：塩見昌司，滝田正人，湯田利典  
 東工大：垣本史雄，常定芳基，寺沢敏夫 青学大：小林正，吉田篤正，山岡和貴  
 横国大：片寄祐作，柴田槇雄 芝工大：笠原克昌，吉田健二 弘前大：市村雅一，倉又秀一  
 放医研：内堀幸夫，北村尚 立教大：村上浩之 神奈川県立大：古森良志子 埼玉大：水谷興平

## Report on the Working Group "High Energy Cosmic Ray Observation"

*S. Torii\*, O. Okudaira, S. Kodaira, Y. Shimizu, N. Hasebe, M. Hareyama, M. Miyajima, T. Miyachi, N. Yamashihta*

Waseda University, 3-4-1, Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8555

\*Email: torii.shoji@waseda.jp

*S. Ueno, Y. Saito, M. Takayanagi, H. Tomida, J. Nishimura, H. Fuke, T. Yamagami*

Institute of Space and Astronautical Science, JAXA, Sagami-hara, Kanagawa 229-8510

*S. Okuno, N. Tateyama, T. Tamura, K. Hibino*

Kanagawa University, Yokohama, Kanagawa 221-8686

*S. Shiomi, M. Takita, T. Yuda*

Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo, Kashiwa, Chiba 277-8582

*F. Kakimoto, Y. Tsunesada, T. Terasawa*

Tokyo Institute of Technology, Meguro-ku, Tokyo 152-8551

*T. Kobayashi, A. Yoshida, K. Yamaoka*

Aoyamagakuin University, Sagami-hara, Kanagawa 238-8522

*Y. Katayose, M. Shibata*

Yokohama National University, Yokohama, Kanagawa 240-8501

*K. Kasahara, K. Yoshida,*

Shibaura Institute of Technology, Omiya, Saitama 330-8570

*M. Ichimura, S. Kuramata*

Hirosaki University, Hirosaki, Aomori 036-8561

*Y. Uchihori, H. Kitamura*

National Institute of Radiological Sciences, Inage-ku, Chiba 263-8555

*H. Murakami*

Rikkyo University, Toshima-ku, Tokyo 171-8501

*Y. Komori*

Kanagawa University of Human Sciences, Yokosuka, Kanagawa 238-8522

*K. Mizutani*

Saitama University, Urawa, Saitama 338-0825

Abstract: We report the activities on the working group "High Energy Cosmic Ray Observation". We have been developing the CALET instrument on-board the Japanese Experiment Module/ Exposed Facility, JEM/EF, of the ISS. We are successfully developing the instruments, and carried out a balloon flight of the proto-type in 2006. The working group hosted two meetings in Japan and two international meetings in US and China to subscribe for the AO of JEM/EF missions by JAXA.

Key Words: Cosmic Rays, International Space Station, Astrophysics, High Energy

## 1. はじめに

我々が国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験モジュール曝露部 (JEM/EF) に搭載を計画している CALET (Calorimetric Electron Telescope) では、高エネルギー宇宙線、特に電子 (1GeV-10TeV)、ガンマ線 (20MeV-数TeV)、及び 1000TeV 領域に及ぶ陽子、原子核の観測により、宇宙線の加速、伝播を総合的に解明することを目的としている<sup>1)</sup>。さらに、これらの観測によって、暗黒物質の探索、ガンマ線バーストの検出、太陽モジュレーションの探知を同時に実施する。

本研究チームでは、平成 10-12 年度と平成 13-15 年度の二回にわたり、日本宇宙フォーラム (JSF) の公募地上研究制度による研究費の配分を受け、ISS を利用した高エネルギー宇宙線観測に関する研究開発を実施した。この研究では、ISS 曝露部の次期宇宙科学ミッションとして、高エネルギー電子、ガンマ線観測を主な目的とした CALET の概念設計と装置要素技術開発を行った。そして、最終評価において、以下のような判断をいただいている。「科学的意義が高く ISS にふさわしい内容で、よくまとまった研究であると判断されました。検出器、エレクトロニクスについても開発が進み、その検討も着実に進んでいます。ISS 搭載にむけてもっと具体的な実験に以降することを希望します。」

この要望にそって、平成 16 年度以降は、搭載装置の構造設計、プロトタイプの開発、製作を実施している。その結果、現段階では、ISS 軌道上、打ち上げ時における装置適合性の解析も終了し、総重量が 2.0 トンの大型ミッションとしての成立性が、概念設計レベルで確認されている。

## 2. 研究内容

今年度の CALET ミッションにむけての研究実施内容としては、プロトタイプ検出器の気球実験による装置性能実証が挙げられる。検出器部分は解像型カロリメータ部 (Imaging Calorimeter, IMC) と全吸収カロリメータ部 (Total Absorption Calorimeter, TASC) から構成される。プロトタイプ検出器の構造を図 1 に示す。

プロトタイプの IMC はタングステン (W) 板と 1mm 角のシンチレーション・ファイバー (SciFi) ベルトから構成される。SciFi を X 方向、Y 方向にそれぞれ 128 本ずつ並べたものを 1 層とし、合計で 4 層、SciFi を 1024 本使用している。SciFi からのシグナルを高速で読み出すため、専用に開発した 64 チャンネルマルチアノード PMT (浜松ホトニクス, H7546) と、VLSI (IDEAS, VA32HDR14) を用いたフロントエンド回路 (FEC) を使用している。これにより、入射粒子飛跡の高精度測定及び粒子識別が可能となる。

TASC は 25mm×25mm×300mm の BGO シンチレータで

構成される。1 層に 4 本、XY 方向交互に 6 層 (13.4 r.l.) 並べ、24 本使用している。読み出しにはフォトダイオードを使用している。粒子の全エネルギーを吸収することで高い精度でエネルギーを決定でき、細分化してあるので検出器中でのシャワー発達の様子を知ることができる。

トリガーシステムとして 2 層のプラスチックシンチレーター (S1, S2) 及び BGO 一層目 (B) を PMT 読み出しによって使用する。このプロトタイプ検出器は ISS 搭載用 CALET の 1/64 スケールモデルであり、有効面積は約 21cm<sup>2</sup>sr である。

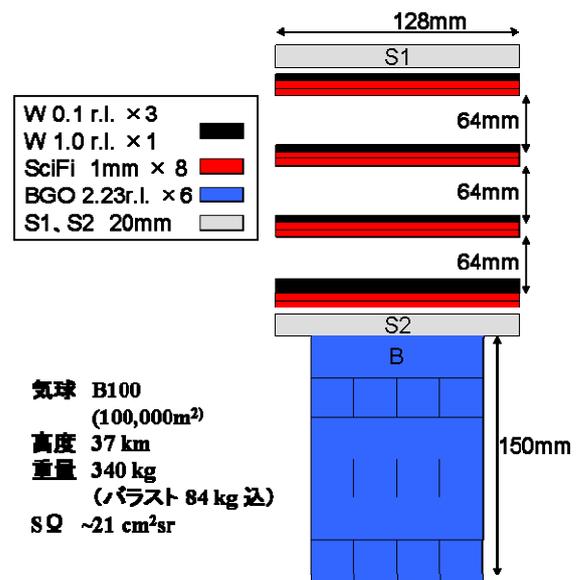


Fig.1 Schematic side view of the CALET prototype detector for balloon experiment.

平成 18 年 5 月 31 日、JAXA 三陸大気球観測所において電子、ガンマ線観測を実施した。午前 6 時の放球後約 2 時間で高度 35km に到達し、高度 35-37km で約 4 時間の観測データが得られた。そして、約 6 時間のフライトの後、装置は気球から切り離され無事海上回収されている。

上昇中の観測データから電子・ガンマ線トリガーレートの高度変化が求められており、トリガーシステムの正常な動作が確認されている。さらに、各トリガーモードに相応したシャワーイメージが観測され、IMC、TASC ともに正常に動作していることも確認されており、装置の性能実証という所期の目的を達成している。

今回の観測では、高度 35km 以上でガンマ線トリガーのイベントが 17,000 例、電子トリガーのイベントが 5,600 例得られている。これらのイベントについて、まず粒子の入射方向を IMC、TASC のシャワーイメージから決定し、陽子バックグラウンドの除去、エネルギーの決定を行い、電子、ガンマ線 flux の導出を行うデータ解析が現在進行中である。

### 3. ワーキンググループの活動成果

本WGでは、上記の気球観測実験を含む装置開発に加えて、研究成果を国内外での会議で発表<sup>2)~7)</sup>を行っている。さらに、計画推進のため宇宙科学研究本部宇宙理学委員会へWG提案を行って、JEM曝露部搭載機器WGとして「JEM-CALAT」WGの承認を受けている。このことにより、CALET計画はJAXAの予算配分をうけて、正式に科学観測としての計画がスタートしている。平成18年11月にはJAXAから、“「きぼう」日本実験棟船外実験プラットフォーム、第2期利用に向けた候補ミッション募集(AO)”がリリースされた。これに応募して、2013年頃のミッション実現に向けて以下のような準備を進めている。

まず、本WGに対する旅費の支援により、国内において延べ50名程度の参加により、2回のWG会合を開催している。平成18年7月の第1回目の会合では、宇宙理学委員会でのWG承認をうけて、CALET計画の今後の展開について、検討を行った。そして、平成19年1月の会合では、AOに対するCALET提案書に不可欠な国外研究機関を含む任務分担を検討した。

国外研究機関との調整としては、平成18年7月にCOSPARの開催された北京において、Kick-off Meetingを開催し、JAXAのJEM/EF第2期計画の方針を国際共同研究の研究者に衆知するとともに、共同研究に関する基本合意を得ている。さらに、平成19年1月には米国デンバー大学において、NASA/GSFCをはじめとする米国側主要研究者(4機関)と共同開発計画の基本方針について合意を得た。そして、各機関のCALETへの参加意思表明と研究分担を明らかにするためのLetter of Interest (LOI)の作成を行っている。

現在、国内のメンバーは宇宙線、X線、太陽磁気圏分野の専門家を中心に15機関41名である。国外メンバーは、米国(NASA/GSFC他4機関)、イタリア(フィレンツェ大学他3機関)、中国(紫金山天文台)から、いずれも衛星、気球観測に十分な経験を有する研究者31名が参加している。

### 4. 今後の活動方針

JAXAのAOでは、CALETのような「大型ペイロード」では、国際的な調整によるUp-mass resourceの確保などの方策が、提案採択後の当初2年間(平成19,20年度)の検討段階で求められている。このため、NASA、ESAなどISS参加の宇宙機関との調整が不可欠であり、米国、欧州の研究者の参加により、装置開発の共同分担を含めて、これらの調整を進めていく予定である。そして、開発段階(平成21年度から4年間を想定)を経て、2013年頃の打ち上げを目指している。図2に想定される、JEM/EFにおけるCALETの設置図を示す。

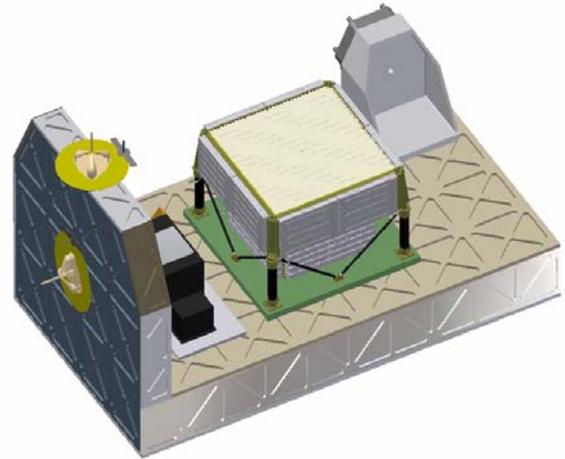


Fig.2 Schematic View of the CALET detector on JEM/EF pallet.

#### 参考文献

- 1) Torii, S., et al., CALET for High Energy Electron and Gamma Ray Measurements on ISS, Nuclear Physics B (Proc. Suppl.) 150, 345 (2006).
- 2) Torii, S., et al., The CALET Project on ISS/JEM, Space Part (Beijing) (2006), to be published in Nuclear Physics B.
- 3) Torii, S., et al., CALET Project for International Space Station, COSPAR E1.7-0026-06 (2006), to be published in ASR..
- 4) Torii, S., et al., Observation of High Energy Electrons Using CALET Prototype by Long Duration Ballooning, COSPAR (Beijing), PSB1-0028-06 (2006), to be published in ASR..
- 5) Yoshida, K., et al., Dark Matter Search with the CALET Detector on-board ISS, COSPAR (Beijing), H02.1-0010-06 (2006), to be published in ASR..
- 6) Yoshida, K., et al., Cosmic-ray Electron Spectrum above 100GeV from PPB-BETS Experiment in Antarctica, COSPAR (Beijing), PSB1-0032-06 (2006), to be published in ASR..
- 7) Torii, S., et al., The CALET Project for ISS/JEM and Japanese Vehicle, 2nd International Workshop on High Energy Astrophysics (Seoul) (2006)