

## 機器 13c 国際宇宙ステーション搭載高エネルギー電子・ガンマ線観測 実験 CALET ガンマ線バーストモニターの現状報告

青山学院大学理工学部  
物理数理学科吉田研究室学部 4 年  
原拓生

### **0. Abstract**

国際宇宙ステーション上の日本実験棟船外実験プラットフォーム「きぼう」第 2 期利用 高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET)における観測装置の一つである、ガンマ線バーストモニター(GBM)について発表を行う。CALET は、2013 年打ち上げ予定の GeV-TeV 領域の高エネルギー電子、ガンマ線観測装置であり、特に宇宙からの高エネルギー電子の起源解明や暗黒物質からの信号検出を目的とする。観測装置として高エネルギー電子・ガンマ線観測のための主検出器であるカロリメータ(CAL)をもち、CAL のガンマ線バースト(GB)観測を補助する 7 keV-20 MeV に感度をもつ GBM が付加されている。GBM は、青山学院大学吉田研究室を中心として開発が進められており、シンチレーターに新しい LaBr<sub>3</sub>(Ce)結晶と BGO 結晶を使用することで、X 線からガンマ線の広い領域のエネルギースペクトル測定を行う。GeV 領域の GB 観測は現在 Fermi によって行われてきているが、まだまだ十分とはいえない。特に keV-GeV 領域の広帯域スペクトル測定を行い、GB 放射の起源に迫ることが狙いである。本講演では、開発フェーズにある CALET 計画の概要、GB 観測の現状、と GBM の開発の現状について報告する。

### **1. 高エネルギー電子、ガンマ線観測装置 CALET**

#### **1.1 ミッション目的**

宇宙には超新星や活動銀河核などの想像を絶する特異な天体や宇宙を満たす暗黒物質などがあり、未解明の現象が多く残されている。これらは謎に包まれた高エネルギー宇宙線源の候補である。CALET は高エネルギー電子(10 GeV~10 TeV)やガンマ線(数 GeV~数 TeV)やガンマ線バースト (7 KeV~20 MeV) 等の観測を行い、惑星間空間から銀河系外にいたる全宇宙の領域で、高エネルギー宇宙現象の解明を目指す。

## 1.2 ミッション概要

2013年夏国際宇宙ステーション(ISS)きぼうモジュール搭載予定である CALET は、全天 X 線観測装置 MAXI 等続く ISS 曝露部 第 2 期ミッションである。未開拓な高エネルギー領域での宇宙線観測を実現するため、先駆的検出技術と最新の電子技術を駆使したイメージング機能を持つカロリメータ (CAL) により、粒子の種類、到来方向、及びエネルギーの測定を行う。加えて、独立した観測機器であるガンマ線バーストモニタ (GBM) により広いエネルギー範囲でガンマ線バーストの観測を行う。軌道上の宇宙線観測装置として、2 年以上(目標は 5 年間)の高統計かつ高精度な観測で、ミッション目的を達成する。上記に示したように、CALET は様々な観測が可能であるか、その中でも青山学院大学吉田研究室ではガンマ線バースト観測を補助する、ガンマ線バーストモニタ(GBM)の開発を担当する。

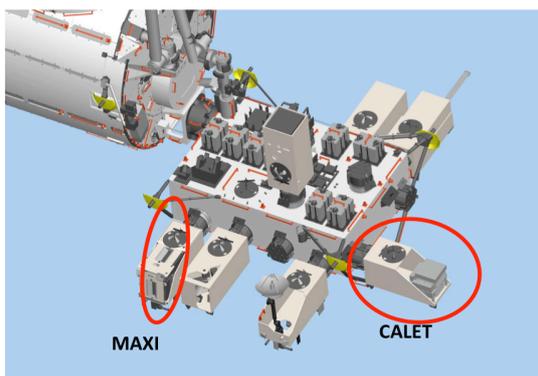


図1.1 きぼうにおけるCALETの搭載位置

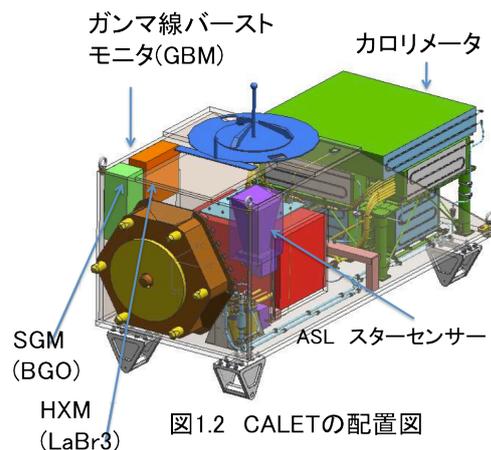


図1.2 CALETの配置図

## 1.3 実施チーム

研究代表者：早稲田大学 鳥居 祥二

装置開発：JAXA／早稲田大学

参加機関：青山学院大学、神奈川大学、横浜国立大学、芝浦工業大学、東京大学宇宙線研究所、NASA など

## 2.CALET によるガンマ線バースト(GRB)の観測

### 2.1 ガンマ線バースト(GRB)

ガンマ線バーストは宇宙のある方向から 1 日に数回程度、数秒から数 10 秒の間

に膨大なエネルギーをガンマ線領域を中心とする電磁波で放出する現象であり、人類が見る事の出来る宇宙最遠の天体である。最も明るいガンマ線バーストでは 50-300keV の光子の数は 100[photon/cm<sup>2</sup>/sec]にも達する。またガンマ線バーストに付随して、10例を超える GRB から GeV を超えるエネルギーを持つガンマ線光子も検出されている。

## 2.2 CALET による観測

CALET(CALorimetric Electron Telescope)の CAL(図 2.2 早稲田大学 CALRT, HP より)は、Fermi-LAT と似たタワー型の構造をもち(図 2.1)1 GeV-20 TeV の高エネルギー電子、数 GeV-数 TeV のガンマ線測定を行うことが狙いである。ガンマ線の感度は CGRO/EGRET と同等であり、GRB 観測を行うことが可能。TASC はシンチレータに阻止能が高い PWO を用いる事で軽量化をはかることに成功した。

表 2.1 GRB 観測のために必要なパラメータ

	CAL	GBM
エネルギー	数 GeV- 数 TeV	7 keV-20MeV
有効面積 (cm <sup>2</sup> )	1200 cm <sup>2</sup>	~100 cm <sup>2</sup>
視野	~ 2 str.	2str.(HXM) 全天(SGM)

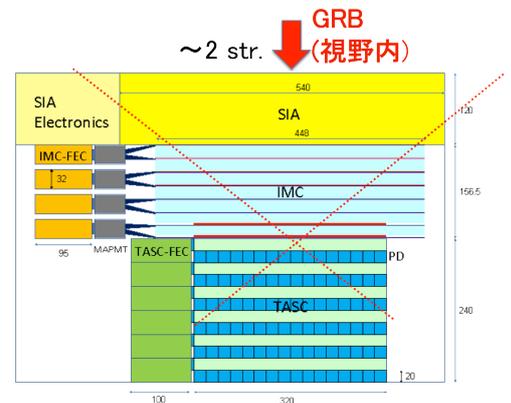


図2.2: CALET-CALを横から見た図

さらに CALET は、ガンマ線バーストモニタを(GBM)を搭載しており CAL 視野内のイベントについて、CAL と GBM 合わせて 7 keV~数 TeV の超広帯域スペクトルを取得する。

## 2.3 CALET で明らかにするサイエンス

従来観測されてきたレンジ 10 KeV~10 MeV では、200 MeV に折れ曲がりを持つ2つのべき関数で近似されてきており、シンクロトロン放射が有力であった。しかし、Fermi の GeV ガンマ線観測により従来の描像に合わない

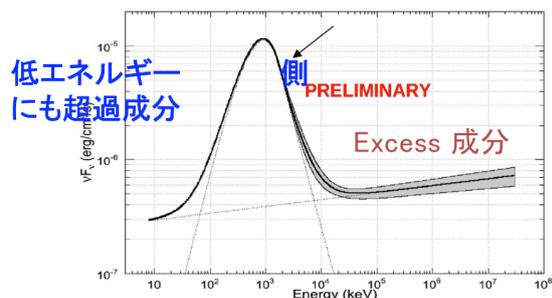


図2.3.2 Fermiで観測されたスペクトル

GeV 超過成分の存在が明らかになってきた。出来るだけ広い X 線波長で同時に観測し、GRB 輻射機構を解明する重要性が高まっている。

### 3.ガンマ線バーストモニタ(GBM)

#### 3.1GBM への要求

高いエネルギー分解能をもつ LaBr3 を宇宙機器としてほぼはじめて搭載する GBM は、CAL がカバーできない X 線・軟ガンマ線領域 (7 keV – 20 MeV) のカバーかつ、CALET-CAL と同じ視野(天頂角から 45 度) をカバーが求められる。GBM に GRB 判定回路を装備し、GRB 判定された場合には event-by-event のデータを 10 Mbyte のメモリに一時的に保存する。通常時は時間分解能、または、エネルギー分解能の粗いデータを出力する。GRB の絶対時刻精度は 1 msec 以内とする。GRB と判定された場合、CAL のエネルギー閾値を数 GeV に変更し、数 GeV 以上からのガンマ線の検出を狙う。また、ASC (スターセンサー) の可視光画像を同時に取得し、可視光フラッシュ現象を検出する。

#### 3.1GBM 概要

表 3.1GBM の性能表

	HXM	SGM
検出器	LaBr3(Ce)+PMT	BGO(+プラスチックシンチレータ)+PMT
台数	3	1
エネルギー (Goal)	7 - 1000 keV (3 - 3000 keV)	100 keV – 20 MeV (30 keV – 30 MeV)
有効面積(cm <sup>2</sup> )	135 cm <sup>2</sup> (3 台)	81 cm <sup>2</sup>
エネルギー分解能	~3%@662 keV	~12%@662 keV
視野	天頂~50 度(2 str.)	ほぼ全天 4πstr.
時間分解能	トリガー時: 1 ms (イベントデータ) 通常: 1/8 s or 4 s (モニターデータ)	

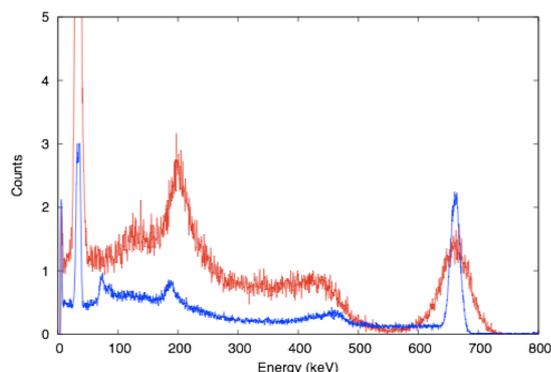
#### 3.2 硬 X 線モニタ

硬ガンマ線モニタにはシンチレータとして LaBr3(Ce)結晶が用いられており φ70 mm x 0.5 inch、Saint Gobain Crystals 社製である。また 10keV 以下の X

線に感度をもたせるためベリリウム窓を使用している。LaBr<sub>3</sub>(Ce)は光量、エネルギー分解能、時間特性に非常に優れたシンチレータであるが、強い潮解性あり、また宇宙使用実績はほとんどない等の問題がある。

比較的大きな結晶にも関わらず優れたエネルギー分解能を実現しており、図3.2を見ると、の赤線のNaI(Tl)に比べて顕著に青線のLaBr<sub>3</sub>は分解能が高くなっているのがわかる。シンチレータでエネルギー閾値は4keV程度と、NaI(Tl)の6keVを上回る。これまでLaBr<sub>3</sub>の大型結晶+薄いBe窓の検出器モデル製作、性能評価また、LaBr<sub>3</sub>の陽子・ガンマ線照射テストを行い性能評価を行ってきた。

図3.2 LaBr<sub>3</sub>結晶による<sup>137</sup>Csのスペクトル



### 3.5 軟ガンマ線モニタ(SGM)

硬ガンマ線モニタにはシンチレータとしてBGO (Bi<sub>4</sub>Ge<sub>3</sub>O<sub>12</sub>)結晶が用いられ、φ4 inch x 3 inch、ウクライナ製である。BGOはガンマ線阻止能に優れたシンチレータであり、宇宙使用実績も非常に豊富である。現在、荷電粒子除去能力を持たせるためプラスチックシンチレータで囲う案を検討中である。これまで光電子増倍管(PMT)としてHamamatsu R6233-01MODを使用すること、HXMと同じPMTを用いるためライトガイドで集光する事が決定しており、BGO+プラスチックシンチレータのテストモデル作成し現在試験中である。

### 3.5 今後の課題

今後、HXM、SGMにおける構造設計、熱真空、振動・衝撃試験、長期ランニング試験等の検証を行っていく予定である。SGMをプラスチックシンチレータで囲った際の波高弁別方法の決定、PMTの耐震化、検証、ブリーダー、プリアンプ回路詳細設計、高圧電源の選定、熱真空試験も課題として残されている。

## 4. 謝辞

本原稿は筆者が2010年度第40回天文天体物理若手夏の学校において発表した研究成果をまとめたものである。本発表を行うにあたり、吉田篤正教授・山岡和貴助教に深謝の意を表します。吉田篤正教授には様々な指導や助言をい

ただき、山岡和貴助教授にはあらゆる面においてアドバイスをいただき、全面的にサポートして頂き大変お世話になりました。また、数多くの指導・アドバイスしていたいた中平聡さんを中心とした研究室の先輩方に大変感謝しております。最後にこのような有意義な発表の機会を得た事は天文天体物理若手夏の学校事務局によりました。ここに深謝の意を表します。