

CALET ガンマ線バースト モニター地上ソフトウェア開発の現状

瀬沼 一真 (青山学院大学大学院)

Abstract

2014 年度打ち上げ予定、現在開発中の宇宙電子線観測装置 CALET(CALorimetricElectron Telescope) は国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟「きぼう」に設置され、5 年間を目標として観測予定である。CALET には我々吉田研究室が中心となり開発中である CALET ガンマ線バーストモニター (CGBM) の搭載が決定している。CGBM は宇宙で最も明るい爆発現象の一つであるガンマ線バーストなど、宇宙での突発現象を、X 線、ガンマ線の領域で観測するシンチレーション検出器である。

CGBM で観測したガンマ線バーストを解析するためには解析ソフトウェアが不可欠である。既存ソフトウェアを利用するためには共通のデータ形式への変換が必要となる。また既存のソフトウェアが利用できない場合は新たに解析ソフトウェアを開発しなければならない。そこで、既存のソフトウェアをできるだけ利用できるように FITS 形式に変換するソフトウェアの開発をした。また観測したライトカーブ及びスペクトルからバックグラウンドを差し引くための新たなソフトウェアの開発も行った。本発表では開発したソフトウェアの詳細と実際の観測されたデータに開発したソフトウェアを適用した結果について報告する。

1 Introduction

ガンマ線バースト (Gamma-Ray Burst:GRB) は数秒から数百秒の間に莫大なエネルギーを主にガンマ線領域で放出する突発的な天文現象である。GRB は典型的に 50-300 keV 程度のガンマ線が観測され、最大約 $100 \text{ photon cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の光子が飛来する。この現象は 1967 年にアメリカの核実験監視衛星「VELA」によって偶然発見され、1973 年にアメリカのロスアラモス国立研究所の研究者が GRB は太陽系外からやってきているを突き止めた。1980 年代には日本の X 線天文衛星「てんま」や「ぎんが」の観測により、GRB が X 線の領域においても輝くことが示された。さらに、1990 年代はアメリカのコンプトンガンマ線観測衛星「CGRO」(Compton Gamma-Ray Observatory) に搭載された「BATSE」(Burst And Transient Source Experiment) の観測からバーストの継続時間が約 2 秒以下の短い GRB と約 2 秒以上の長い GRB が存在することが分かった。また、様々な方向を向いている検出器が検出するレートの違いから到来方向を数度の精度で決定し、GRB の空間分布が求められた。この観測の結果から GRB の空間分布が天球上に一様に分布していることが分かった。その後 1997 年にイタリアとオランダの X 線天文衛星「BeppoSAX」

に搭載されたガンマ線バーストモニターと広角 X 線カメラ (WFC) をもとに、バースト源の正確な位置を割り出すことに成功した。精度の高い位置の同定が可能になったため可視光や赤外線の大望遠鏡の追観測によって、バースト発生の数時間後あるいは数日後に可視光や電波の残光を検出することにも成功した。これら残光の分光観測により GRB の発生源は数十億から数百億光年もの遠方の宇宙で起こっている現象であることが解明されてきた。

2 CALET 計画

2.1 国際宇宙ステーション

国際宇宙ステーション (International Space Station : ISS) はアメリカ合衆国、ロシア、日本、カナダ、及び欧州宇宙機関が強力して運用している宇宙ステーションである。地球及び宇宙の観測、宇宙環境を利用した様々な研究や実験を行うための有人施設である。地上から約 400 km 上空の熱圏を秒速約 7.7 km で飛行し、地球を約 90 分で 1 周する。

2.2 CALET 概要

CALET とは「カロリメータ型宇宙電子線望遠鏡 (CALorimetric Electron Telescope)」の略である。CALET は 2014 年度に打ち上げられ、国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟モジュール「きぼう」の船外実験プラットフォームに取り付けられ、5 年間を目標として観測予定である。5 年間にわたり継続的に高エネルギー電子やガンマ線などの宇宙線を観測し、宇宙線の起源と加速伝搬の仕組みなど宇宙の基本的な性質を明らかにし、現在までに明らかにされていない高エネルギー宇宙現象・暗黒物質等の解明を目指している。CALET は大きく分けてカロリメータ (CAL) とガンマ線バーストモニター (CGBM) の 2 つの検出器で構成されている。(図 1) 一つは早稲田大学が中心となり開発を進めている CAL である。この検出器は高エネルギー宇宙線の観測を目的とし、入射粒子の電荷量を測定する電荷測定器 (CHD)、シンチファイバーとタングステンからなるシャワー可視型カロリメータ (IMC)、無機シンチレータ (PWO, PbWO₄) を用いた全吸収型カロリメータ (TASC) の 3 種類の機器で構成される。CAL は電子、ガンマ線、陽子、原子核などといった GeV から TeV までの高エネルギー粒子を観測する。もう一つは青山学院大学が中心となって開発を行っている CALET ガンマ線バーストモニターである。この検出器は 7 keV から 20 MeV のエネルギー範囲で GRB の観測を行う独立した検出器である。

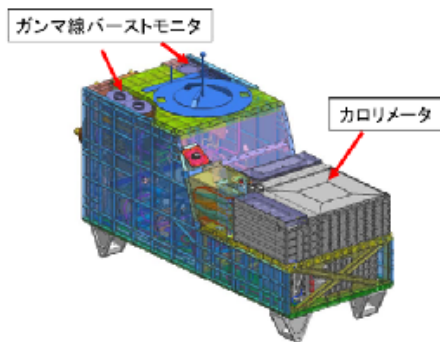


図 1: CALET の全体像。左手前の 2 台が HXM、右奥の 1 台が SGM

2.3 CALET ガンマ線バーストモニター

CALET ガンマ線バーストモニター (CALET Gamma Ray Bursts Monitor: CGBM) は 7 keV から 20 MeV のガンマ線観測を行うことで CAL での観測を強化する観測装置である。CAL では 1 GeV から 1000 TeV のエネルギー帯を観測するため、低エネルギー側を CGBM が補う。CGBM には 2 種類のシンチレーション検出器が搭載され、7 keV から 1 MeV までの感度を持つ硬 X 線モニター (Hard X-ray Monitor: HXM) を 2 台、100 keV から 20 MeV までの感度を持つ軟ガンマ線モニター (Soft Gamma-ray Monitor: SGM) 1 台から構成されている。HXM は高いエネルギー分解能を持つ LaBr₃(Ce) 結晶を用いた検出器である。宇宙観測装置に LaBr₃(Ce) 結晶を用いるのは CGBM が世界で初めてである。HXM は 10 keV 以下の X 線に感度を持っており、現在稼働中の GRB 観測衛星ではほとんど得られない 10 keV 以下の X 線での観測データを得られると期待されている。SGM には原子番号が大きく阻止能に優れ、宇宙での使用実績のある BGO 結晶を用いる。これら 2 種類の検出器により CGBM では 7 keV から 20 MeV までのエネルギー範囲で観測を行うことが可能となる。各検出器それぞれに浜松ホトニクス製の光電子増倍管 (PMT) が接続される。入射した光子がシンチレータにより光電子に変換され、PMT により光電子の数を増やす構造である。HXM, SGM それぞれの性能を以下に示す。(表 2)

また CGBM のフライトモデルで、検出器のエネルギー応答・位置依存・角度依存を調べる地上キャリアレーション試験が 2014 年 1 月に行われた。

表 1: CGBM の性能表

CGBM	HXM	SGM
シンチレータ	LaBr ₃ (Ce)	BGO
台数	2	1
観測帯域	7 keV-1 MeV	100 keV-20 MeV
有効面積	68 cm ²	82 cm ²
視野	天頂約 50 度	ほぼ全天

3 地上ソフトウェア体制

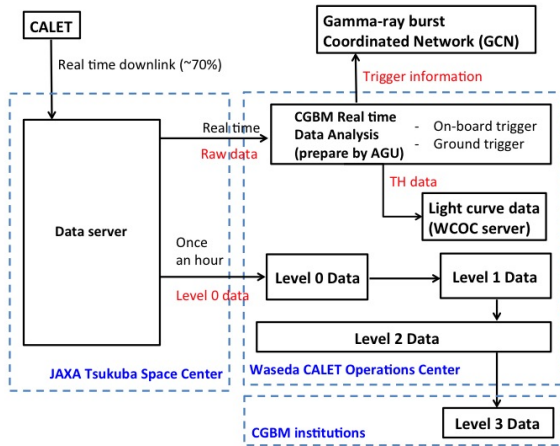


図 2: CGBM データフローの全体図

上の図 2 は、CGBM のデータの流れをまとめたものである。CALET データは JAXA 筑波宇宙センター (TKSC) にダウンリンクされる。TKSC のデータには 2 種類あり、一つは「生データ」と呼ばれるデータで、もう一つは「Level 0 データ」と呼ばれるデータである。Level 0 データは生データと異なりデータのチェックが施されている。生データはリアルタイムに、Level 0 データは 1 時間ごとに早稲田 CALET オペレーションセンター (WCOC) に送られることになっている。GRB トリガー速報はガンマ線バースト座標ネットワーク (GCN) を介して世界中に公開される。GRB トリガー速報を行うために、リアルタイムで送られてくる生データを解析する PC を WCOC に設置し、生データからオンボードのトリガー情報を抽出すると同時に時間履歴 (TH) データにアクセスする。これらのデータからトリガーの S/N 比を算出し、またライトカーブデータを作成する。外部からアクセス可能にするために WCOC 内部の Web サーバー上にライトカーブデータを置くことを計画している。Level 1 データは時間ソートされており、WCOC に TKSC から転送された Level 0 データから作成される。Level 1 データは青山学院大学の CGBM チームが用意した PC で Level 2 データ (FITS ファイル) に変換され、WCOC の Web サーバーから CGBM の共同研究者に公開される。CGBM データ

は FITS (Flexible Image Transport System) のファイル形式となる。現在の計画によると Level 1 データが WCOC で Level 2 データ (FITS ファイル) に変換され、エネルギー校正は Level 2 のファイルに適用される予定である。Level 1 から Level 2 へのデータ処理は WCOC 内に用意した PC において実行される自動パイプラインスクリプトによるプロセスである。次に Level 1 から Level 2 への変換の過程で処理されたライトカーブファイルとスペクトルファイルに、デッドタイム補正、ISS の障害補正、及びバックグラウンド除去のための様々なツールを適用し Level 3 データを作成する。Level 3 データを作成する作業のほとんどは、例えばバックグラウンド除去の際に適切なバックグラウンド間隔の入力などの人間の判断を必要とするため、Level 3 データ作成の自動化が困難になる可能性がある。現在の計画では、Level 2 データまでは自動的に作成し、Level 2 から Level 3 で手動による更なるプロセスを行う。

表 2: CGBM のデータの種類

	イベントデータ	モニターデータ	
		PH	TH
時間分解能	62.5 μ sec	4sec	1/8sec
チャンネル数	4096(\times 2)	512	8
時間範囲	トリガー時に出力	常時出力	

4 Background subtraction

バックグラウンドを正しく差し引くことは GRB のバーストの継続時間やバーストのフラックスを求めると非常に重要である。バックグラウンドとして X 線天体、太陽からの X 線、ガンマ線、宇宙 X 線背景放射、南大西洋異常帯、検出器の内在バックグラウンドなどが考えられる。

4.1 Background subtraction 概要

本研究においては、FITS ライトカーブデータからバックグラウンドを差し引く際に入力したライトカーブデータは BAT の GRB イベントデータを Extractor

を用いて変換した FITS ライトカーブデータを用いるものとする。バックグラウンドを差し引いたライトカーブデータの作成は以下のような手順で行った。

1. バックグラウンドの引かれていない生のライトカーブを表示する。
2. ユーザーがバーストの範囲を指定し、範囲を表示する。
3. 2 で指定された範囲を切り取り多項式フィッティングし、フィッティング結果と残差を表示する。
4. 3 で求めたフィッティング結果を見てベストフィットを選択し、結果をバックグラウンドとする。
5. 4 で求めたバックグラウンドを 1 のデータから引き算し、FITS として新たに保存する。

4.2 Background subtraction 結果

バックグラウンドが正確に引けているか、 T_{90} というバーストの継続時間の指標を用いて Swift チームが公開しているものと比較する。 T_{90} は GRB のバーストの継続時間の指標として用いられる数値の一つである。 T_{90} は、観測された GRB のバーストの全光子数の最初と最後の 5% を除いた 90% の光子数が含まれる時間で定義される。縦軸を Swift チームによる T_{90} 、横軸を Background subtraction による T_{90} をプロットしたグラフを以下に示す。(図 3)

図 3 から、 $y = x$ の直線から外れている GRB イベントがあることが見て取れる。これらの GRB イベントのライトカーブには、暗いバースト、バックグラウンドの変動が激しいといった特徴が見られた。

5 Conclusion

ライトカーブからバックグラウンドを差し引くソフトウェアを開発した。必ずしも今回検証した結果から、すべてのバーストのライトカーブで正しくバックグラウンドを差し引くことができないという結果になった。このことから更なる改善が必要である。また他にも検出器に温度依存があることから、校正を行うソフトウェア等の作成が求められる。

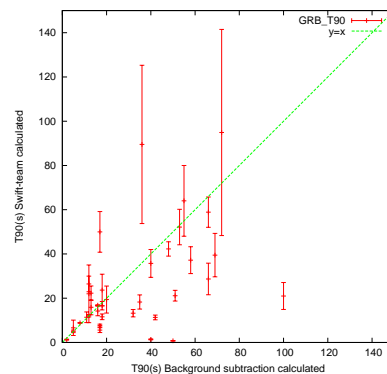


図 3: Swift チームによる T_{90} と Background subtraction による T_{90} の比較

6 参考文献

Reference

- [1] 早稲田大学 CALET Web サイト : <http://www.calet.rise.waseda.ac.jp/>
- [2] NASA CALET-Web サイト : <http://calet.phys.lsu.edu/>
- [3] NASA HEASARC-Web サイト : <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/>