

CALET ガンマ線バースト モニター Hard X-ray Monitor コリメータ 透過率を考慮した有効面積の計算

川久保 雄太 (青山学院大学大学院 理工学研究科)

Abstract

2014 年の夏に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に搭載予定の高エネルギー宇宙電子線ガンマ線観測装置 CALET は主検出器であるカロリメータと青山学院大学吉田研究室が中心となって開発している CALET ガンマ線バーストモニター (CGBM) によって構成される。CGBM は 7 keV ~ 1 MeV の X 線を対象とする硬 X 線モニター (HXM) と 100 keV ~ 20 MeV のガンマ線を対象とする軟ガンマ線モニター (SGM) から構成され、現在、HXM、SGM 共にフライト品の製造が始まり、地上校正試験を行う段階にある。現在稼働中のガンマ線バースト観測衛星によるガンマ線バーストの観測では 10 keV 以下の観測データが少ない。一方 CGBM(HXM) は 10 keV 以下の X 線にも感度があるためガンマ線バーストの 10 keV 以下の観測データを得られると期待されている。しかし 10 keV 以下の X 線領域では銀河中心の明るい天体や宇宙 X 線背景放射、太陽 X 線などのバックグラウンドの寄与が無視できない。特に銀河中心の明るい X 線源からの寄与は観測への影響が大きく、HXM では対策としてコリメータによって視野を絞り大角度からのバックグラウンドの寄与を軽減している。コリメータが 10keV 以下の X 線透過率を抑え、かつ 10 keV 以上の X 線に対して可能な限り透明であるという要求を満たしているかの確認を含め、天体から来る X 線を観測する際にコリメータが与える影響を知っておくことは極めて重要である。本研究ではコリメータ素材である Vespel SP-1 の板の透過率を測定し、測定した結果を元にコリメータの入射角度毎の有効面積を計算した。計算した結果、天頂角で 60 度入射角の場合でコリメータがない場合の有効面積を 100%とした時、8.1 keV で 52%、32.1 keV で 94%となりコリメータへの要求を満たしていることがわかった。

1 Introduction

1.1 CALET の概要

CALorimetric Electron Telescope (CALET) は 2014 年夏に打ち上げ予定で国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」船外実験プラットフォームに搭載予定の高エネルギー宇宙電子線観測装置である。CALET の目的は高エネルギー宇宙線電子線成分、 γ 線のエネルギーや到来方向を観測し、宇宙線の起源の解明、暗黒物質の探査などである。CALET には宇宙線観測のためのカロリメータと 7 keV ~ 20 MeV の γ 線観測のための CALET ガンマ線バーストモニター (CGBM) によって構成される。

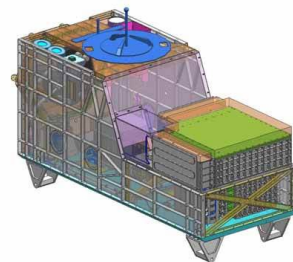


図 1: CALET の全体図

1.2 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 (CGBM) は 7 keV ~ 1 MeV の X 線を対象とする硬 X 線モニター (Hard X-ray Monitor) と 100 keV ~ 20 MeV の γ 線を対象とする軟ガンマ線モニター (Soft Gamma ray Monitor) の 2 つシンチレーション検出器から構成され、現在、HXM、SGM 共にフライト品の製造が始

まり、地上校正試験を行う段階にある。
SGMは高い阻止能を持つBGO結晶を用いた検出器であり50 keVから20 MeVのガンマ線を検出することが出来る。BGO結晶はSuzaku衛星WAMやFermi GBMなどで使用されており宇宙観測において実績がある。

HXMは大きな光量収率を持ち、分解能の高いLaBr₃(Ce)結晶を用いた検出器であり、7 keVから1 MeVの硬X線を検出することが出来る。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。

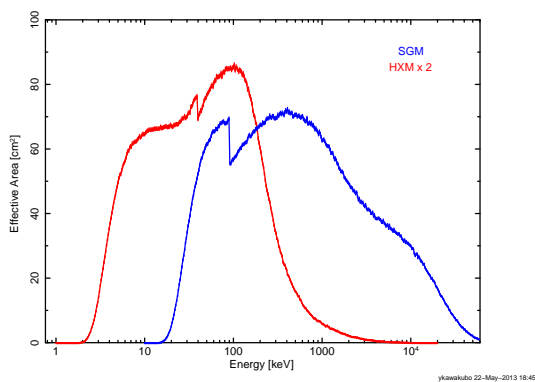


図 2: CGBMの有効面積 青:SGM 赤:HXM2 台

表 1: CGBMのスペック

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	68cm ²	82cm ²
視野	約 45 度	ほぼ全天

1.3 CGBMの観測対象とバックグラウンド

CGBMの観測対象はその名の通り、ガンマ線バーストである。特にHXMは10 keV以下のX線に感度を持っており現在稼働中のガンマ線バースト観測衛星での観測データが少ない10 keV以下のX線での観測が期待できる。しかし、10 keV以下のX線領域には銀河中心のX線で明るい天体、太陽からのX線、宇宙X線背景放射の寄与などのバックグラウ

ンドも増大することが考えられる。HXMの特徴である10 keV以下の大きな有効面積をいかにするためには、このバックグラウンドへの対処が必要不可欠である。そこでHXMでは軟X線に対しては不透明なコリメータを取り付け、大角度入射の軟X線を低減させる。

そのためHXMのコリメータはDuPont社のVespel SP-1というポリイミド素材を用いる。円形の検出部分を囲むような円い壁のような形状をしており、側方から入射する明るい天体からの光子を遮る。コリメータの素材を決めるにあたってコリメータへの二つの要求を満たしている必要があった。

その要求は

- 10 keV以下のX線透過率が小さく軟X線の遮蔽効果が大きいこと。
- 10 keV以上のX線に対しては可能な限り透明であること。

である。ポリイミド以外に金属やポリカーボネイトなどの材質も検討されたが上記の要求と宇宙観測の実績からポリイミドを採用した。

2 HXM コリメータ素材 Vespel SP-1 X線透過率測定

先に述べたようにHXMには10 keV以下の軟X線が大角度から入射する効果を軽減するためコリメータがついている。そのためコリメータの観測への影響を知っておくことは極めて重要である。そこでコリメータの観測への影響を知るための前段階として、素材であるVespel SP-1のX線透過率をX線発生装置とSiドリフト検出器を用いて測定した。

2.1 Vespel SP-1 について

Vespel SP-1はDuPont社によって開発された耐熱性樹脂でありポリイミドによって出来ている。Vespel SP-1のサンプルピースの仕様を表2に示す。実験においてコリメータ実物ではなくVespel SP-1サンプルピース(板)を用いた理由はコリメータの円柱型の形状が実験を行う上での不便であったためである。

表 2: Vespel SP-1 サンプルピースの情報

組成	密度 [g/cm ³]	厚み [mm]
C ₂₂ H ₁₀ O ₅ N ₂	1.425	3.837

2.2 実験方法

図 3 に実験のセットアップ図を示す。2 次 X 線発生装置から出た X 線を Si ドリフト検出器を検出するという単純なセットアップである。2 次 X 線発生装置は真空チェンバー内に複数の 2 次ターゲットがあり、1 次 X 線発生装置 (1 次ターゲット:W) によって発生させた X 線を 2 次ターゲットに当てることによって種々の特性 X 線を発生させることが出来る。ビーム出口の直径は 0.2mm である。Vespel の板はビーム出口と Si ドリフト検出器の間に貼り付けた。このセットアップで Vespel SP-1 がある場合とない場合のスペクトルを取得し、6 から 30 keV の X 線透過率を求めた。

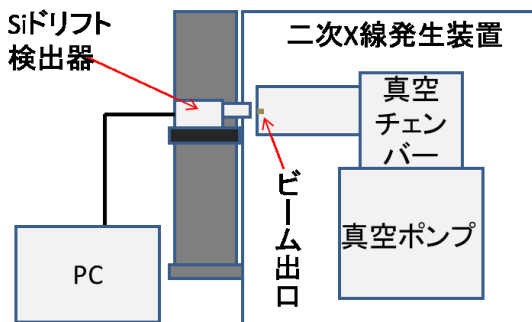


図 3: 実験セットアップ

2.3 実験結果

上のセットアップで取得したスペクトルの例として X 線発生装置で発生させた Ag ターゲットを用いた時の X 線スペクトルをを図 4 に示す。横軸が Energy[keV]、縦軸がカウント数である。青い線で書かれたものが Vespel SP-1 が不在の場合のスペクトル、赤が Vespel SP-1 がある場合のスペクトルである。図 4 のスペクトルを見る限り、Vespel Sp-1 がある場合だけに見える輝線は確認出来ない。したがって観測に影響を与えるような物質、つまりスペクトルの形を

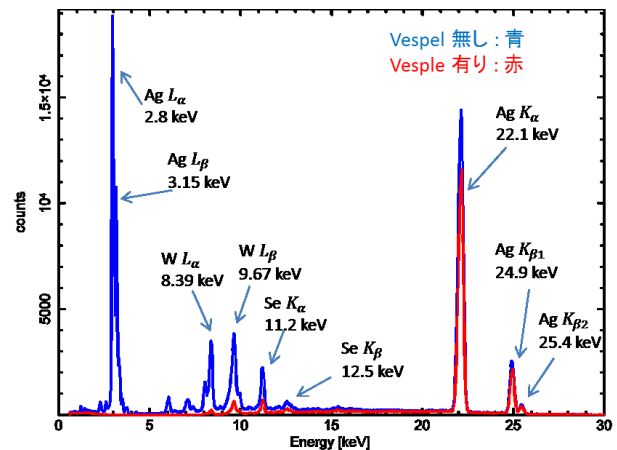


図 4: X 線発生装置で発生させた 2 次ターゲット Ag を用いたときの X 線スペクトル。測定時間 9000sec 青:Vespel なし 赤:Vespel あり W の特性 X 線は 1 次ターゲットによる特性 X 線である。また Se の特性 X 線は Ag の隣に配置されている 2 次ターゲット Se によるものである。

歪める原因となるような物質は Vespel Sp-1 に含まれていないといえる。

取得したスペクトルから Vespel SP-1 の X 線透過率を求めた結果を図 5 に示す。横軸が Energy[keV]、縦軸が透過率である。青い点が取得したスペクトルから求めた測定点であり、赤い線が表 2 を元に計算した計算値である。

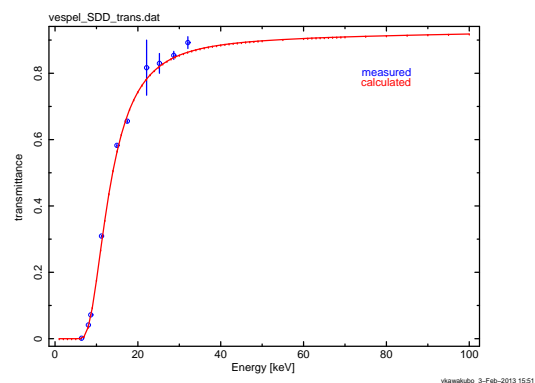


図 5: Vespel SP-1 透過率 青:測定点 赤:計算値

図 5 を見ると計算値と測定値がよく合っていることがわかる。

3 HXM コリメータ透過率を考慮した有効面積の計算

コリメータの素材である Vespel SP-1 の透過率測定の結果を元に、コリメータの透過率を考慮した角度毎の有効面積の計算を行った。計算において仮定した条件を以下に示す。計算を行うには実際のコリメータの形状は複雑であり、コリメータの形状を簡略化し、複数の実物とは異なる仮定を置いている。また簡略化したコリメータのイメージを図 6 に示す。

- 天体からの光子は平行で一様。
- 入射 X 線は 6 keV から 32 keV の Vespel 透過率実測値を得たエネルギー
- コリメータの幾何学的な厚みは結晶の直径に対して十分小さいとして無視した。
- 今回の計算で用いる X 線エネルギーは 32 keV 以下とエネルギーが低いため散乱の寄与は小さい。そのため散乱して結晶に入る光子は無視した。
- コリメータを透過して入る X 線に対しては、Vespel 透過率測定の結果を用いて補正を加えた。
- 入射光子の角度範囲は天頂角を θ として 0 度から 90 度。
- 結晶側面の部分は X 線に対して完全に不透明。
- 結晶の検出効率率は 100%。

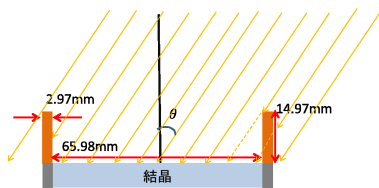


図 6: 計算のために簡略化したコリメータ

以上の条件でコリメータ透過率を考慮した有効面積を計算した結果を図 7 に示す。横軸が天頂角 θ 、縦軸が天頂角 0 度の時の有効面積を 1 として規格化した有効面積である。青い線 (赤い線と重なって見えない) がコリメータが X 線に対して完全に不透明な場合の計算結果、灰色の線はコリメータがない場合の

計算結果である。コリメータがない場合でも有効面積は天頂角を θ とすると $\cos\theta$ に従って変化する。

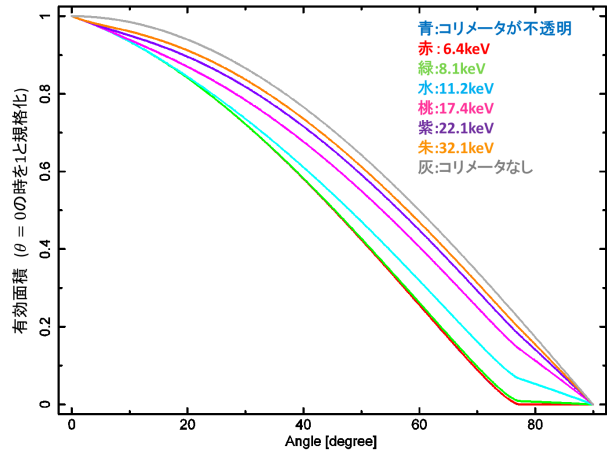


図 7: コリメータ透過率を考慮した有効面積

$\theta \geq 77.3^\circ$ ではコリメータを透過せずに入射する成分は 0 になり、透過成分のみが残る。透過成分は X 線エネルギーが高いほど大きくなり、有効面積の変化はエネルギーが大きいほど $\cos\theta$ に近づく。天頂角で 60 度でコリメータがない場合の有効面積を 100%とした時、8.1 keV で 52%, 32.1 keV で 94% となりコリメータへの要求を満たしていることを確認した。

4 まとめ

HXM コリメータ素材である Vespel SP-1 の板の透過率を測定した結果を元に各角度、各エネルギーでの有効面積を計算した結果、天頂角 60 度でコリメータがない場合の有効面積を 100%とした時、8.1 keV で 52%, 32.1 keV で 94% となりコリメータへの要求を満たしていると言えることがわかった。

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] Glen F.Knoll 「Radiation Detection and Measurement」 日刊工業新聞社