

小型衛星搭載用 GRB 偏光度検出器の基礎性能試験 Basic Performance of the GRB polarimeter for small satellites

郡司修一^{1,*}, 中森健之¹, 岸川達哉¹, 片桐惇¹, 老川由馬¹, 上田達也¹, 高倉美華¹

¹山形大学理学部, 〒990-8560 山形市小白川 1-4-1 2

Shuichi Gunji^{1,*}, Takeshi Nakamori¹, Tatsuya Kishikawa¹, Jun Katagiri¹, Yuma Oikawa¹,
Tatsuya Ueda¹, and Mika Takakura¹

¹Faculty of Science, Yamagata University, 1-4-12 Koshirakawa Yamagata, 990-8560, Japan

1 はじめに

ガンマ線バーストは宇宙で最も激しい爆発現象である。1日に1回程度、全天の何処かで発生し、数十秒間程度(短いものは数ミリ秒)の間に大量のガンマ線が振ってくる。そのガンマ線のエネルギーは、太陽が一生かかって放出するエネルギーに匹敵する。今まで数千というガンマ線バーストが観測されてきたが、未だにこの様な高エネルギー現象がどのような物理プロセスで生じるのかは未解明の問題である。今までガンマ線バーストの観測は主にエネルギースペクトルとタイミング情報を取得して行われてきたが、偏光情報の取得が非常に大切だということが分かってきた。実際自分が開発に参加した GAP というガンマ線バースト偏光度検出器は 2010年に打ち上げられ、3例のガンマ線バーストの偏光を観測した。そしてその実験結果から、磁場によるシンクロトロン放射でガンマ線が放出されている可能性が高いという事を突き止めた。しかし、わずか3例では決定的な事が言えず、photosphere モデルという別のモデルもまだ完全に否定されている訳では無い。またシンクロトロンモデルが正しいとしても、その磁場の形状まで調べる事ができていない。そのため今後より多くのガンマ線バーストに対して偏光観測を行う事が必要である。そこで研究代表者は、NASA/MSFC や国内外の研究機関と共同で、次世代のガンマ線バースト偏光度検出器プロジェクトである LEAP(Large Effective Area Polarimeter for gamma-ray bursts)を立ち上げた。LEAPによってガンマ線バーストの観測が行われれば、今までよりも一桁多い数のガンマ線バーストの偏光観測が行え、ガンマ線バーストのエネルギー輻射メカニズムの解明に大きく役立つはずである。そこで現在開発している LEAP の Bread Board Model(BBM)を BL14A の偏光ビームで照射し、どの程度の性能が得られるかを実験的に調べるのが、本研究の目的である。

我々は数回に渡って検出器の性能を調べる実験を行う予定であるが、2014年12月に行われた実験は、その第一回目の実験である。検出器には Avalanche Photodiode(APD)という検出器が使われており、比較的ノイズに弱いため、今回は検出器がビームライン

で安定に動作するかをまず確かめ、ビームラインの基礎的なキャリブレーションを行う事を目的とした。

2 検出器

LEAP は多くのモジュール型検出器によって構成されており、一つのモジュールは以下の図の様なものである。左の図が上から見た図であり、右の図は斜め後ろから見た図である。

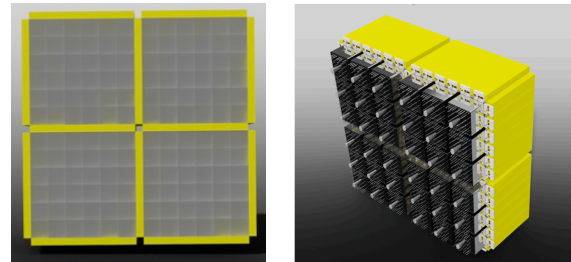


図 1: LEAP 検出器の 1 つのモジュールの概念図。左が上から見た図で、右が斜め後ろから見た図である。

この検出器はコンプトン散乱の異方性を利用した偏光度検出器であり、セグメント化されたプラスチックシンチレーターとセグメント化された GAGG シンチレーター[1]で構成されている。正面から見た図の灰色で示されている箇所がプラスチックシンチレーターで、黄色で示されている箇所が GAGG シンチレーターである。またプラスチックシンチレーターからの信号はマルチアノード光電子増倍管で取得され、GAGG からの信号は APD によって取得される。入射ガンマ線がプラスチックシンチレーターに当たるとコンプトン散乱を起こし、そのガンマ線は GAGG シンチレーターのどれか一つで吸収される。この散乱位置と吸収位置を検出することで、ガンマ線の散乱方向を決定できる。またこの散乱方向から偏光情報を取得できる。Geant4 を使ったシミュレーションからは 60keV で 25%程度の検出効率と 39%程度のモジュレーションファクターを獲得する事ができると予想されている[2]。本当にこの性能を持っているかを今回から始まる一連の実験で明らかにする予定である。

まず我々は 1 モジュール全体を作る前に 1 モジュールの 4 分の 1 のサイズの BBM を作成した。図 2 は BBM の検出器本体を撮った写真である。

また図 3 は読み出し回路と取り付け時の写真である。

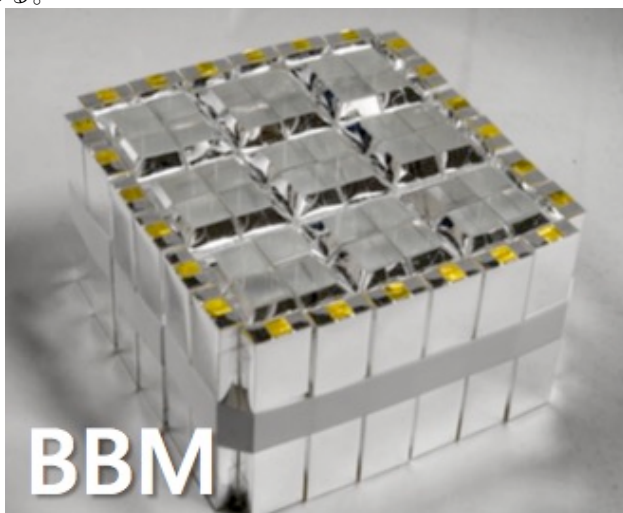


図 2 : BBM の検出器本体部分の写真、シンチレーターが反射材で巻かれている事が分かる。

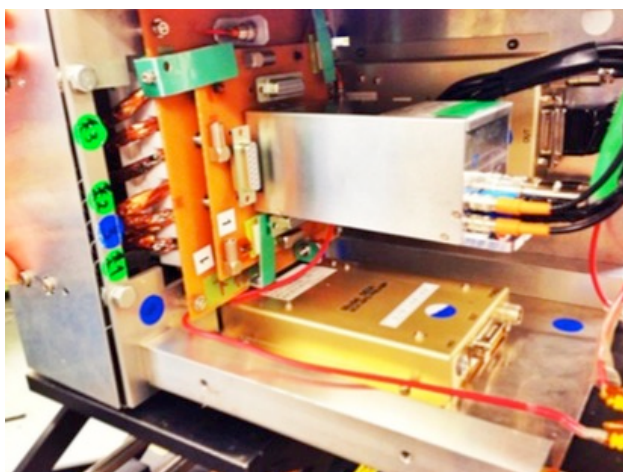


図 3 : 回路や DAQ が BBM の検出器本体に取り付けられた図。

3 実験

この検出器のデータ収集レートは、現在精々数 10kHz である。そこでまずはビームラインに置かれている電離箱のデータによって現在どの程度のビームが検出器に当たっているのかを調べておく必要がある。そこで、ビームラインにまずレートキャリブレーション用の NaI(Tl)検出器を設置し、その NaI(Tl)検出器でビームのレートを測定しつつ、電離箱の値をモニターした。この実験は適宜ビームラインに減衰板を置く事で、幅広いレートに渡って実験を行った。その時のデータが以下の図 4 である。横軸が NaI(Tl)で受けたビームのレートであり、縦軸が電離箱からの出力である。この様に電離箱からのデータを見ていけば、検出器に当たるビームレートを逆算できる事がまず確かめられた。またビームの偏光度をトムソン散乱計を使って測定した。その結果、

80keV でおおよそ 85%程度偏光している事が確認できた。

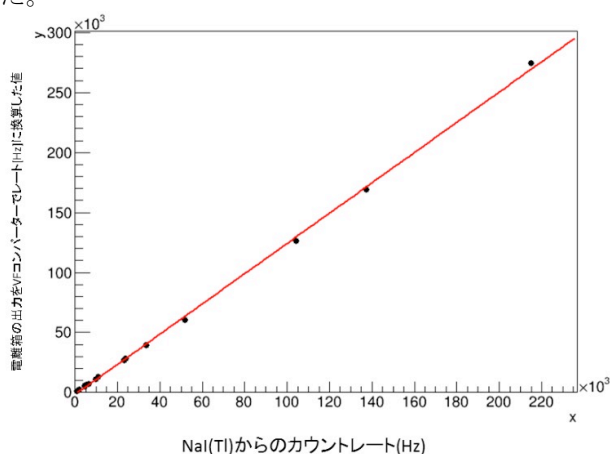


図 4 : ビームレートのキャリブレーション実験。横軸は NaI(Tl)検出器のレートであり、縦軸が電離箱からの出力である。よく比例していることが分かる。

最後に BBM 検出器をビームラインに設置し、偏光ビームを照射する実験を行おうとしたが、APD からの出力からのノイズが非常に大きく、BBM に偏光ビームを照射する事ができなかった。我々は読み出し回路の基板の設計から回路部品の実装まで行っているが、その一部に間違いがあった事が実験途中で発見された。また APD の読み出し回路が非常にノイズ的に不安定であるという問題点も本実験で浮かび上がってきた。現在は回路基板を新たに設計し直し、さらに APD の読み出し回路に関して改良を行うことで、ノイズの問題も解決された。

4 まとめ

今回の実験ではビームのキャリブレーション(レートと偏光度)が行われ、BBM からは有意なデータを取得できなかったが、問題点が明らかになり、すでに改良もされている。次回の実験までに BBM を完全に作り直し、性能評価をしたいと考えている。

謝辞 (オプション)

本実験で使用された検出器は科学研究費補助金基盤研究 B と山形大学 YU-COE(E)の経費によって製作された。

参考文献

- [1] M. Sakano, T.Nakamori, S. Gunji, and et al., "Estimating the radiative activation characteristics of a Gd₃Al₂Ga₃O₁₂:Ce scintillator in low earth orbit", Jinst, 2014, Vol.9 pp10003-10013
- [2] S. Gunji et al. "The development of gamma-ray burst polarimeter for a small satellite", SPIE, 9144, doi: 10.1117/12.2054708 (2014, July)

* gunji@sci.kj.yamagata-u.ac.jp