

ガンマ線バースト偏光検出器の シミュレータ開発と応答確認

金沢大学大学院 自然科学研究科
数物科学専攻 修士課程1年
宇宙物理学研究室
森原 良行

平成22年8月30日

1 概要

ガンマ線バースト (Gamma-Ray Burst : GRB) は、数秒から数100秒の短時間に、非常に速い時間変動を伴ったガンマ線が遠方宇宙から飛来する天体現象である。

GRBは1日に約1回の頻度で起こっており、宇宙ではありふれた現象である。GRBの一回の爆発あたりの総エネルギーは 10^{52} ergにも達すると考えられており、この値は、超新星爆発時における電磁波の総エネルギーが 10^{48} erg程度であることと比べても十分に大きく、宇宙最大の爆発現象であると考えられている。

現在、GRBを記述する理論モデルとしては、相対論的火の玉モデル (Fireball Model) がある。このモデルでは大質量星が崩壊してブラックホールを形成する際に高速な物質流 (ジェット) を形成すると考える。その後、物質流同士、または物質流と星間物質との衝突によって作られた衝撃波中で加速された電子が、衝撃波内に生成された磁場に巻きつきシンクロトロン放射で明るく輝くというものである。

しかし、観測的によってこの Fireball Model もシンクロトロン放射も検証されておらず、GRBの放射機構や磁場構造も未だ明らかになっていない。シンクロトロン放射による電磁波は系の磁場に対して垂直に偏光

しているため、もし磁場が揃っていれば GRB は強く偏光したガンマ線を放出することになる。

GRB の偏光度はその放射機構や磁場構造と密接に結びついているため、偏光度を測定することによって火の玉モデルの検証をすることができると考えている。

ガンマ線光子は地球の大気で散乱されるため、ガンマ線の偏光情報を取り出すためには宇宙空間での観測が必要になる。我々の研究室では 2010 年 5 月 21 日に H2A ロケット 17 号機で種子島宇宙センターから打ち上げられた小型ソーラー電力セイル実証機 (Interplanetary Kite-craft Accelerated by Radiation Of the Sun : IKAROS) に、偏光検出器 (Gamma-ray burst Polarimeter : GAP) を搭載し、世界初の GRB 偏光測定を狙う。GAP はコンプトン散乱の散乱異方性を用いて偏光を測定する、散乱型の検出器である。そのため、検出器の応答は複雑になり、得られるデータから偏光度や偏光方向を求めるためにはシミュレーションにより応答を確認することが必須となる。

本研究ではシミュレータの開発を行い、様々な偏光情報を持つガンマ線に対する検出器の応答を調べた。また、シミュレーションにより得られた検出器の応答から GRB の偏光度、偏光方向を測定する方法について述べる。

2 シミュレータ開発

GAP はコンプトン散乱の散乱異方性を用いて、ガンマ線の偏光を測定する、散乱型の偏光検出器である。

散乱型の検出器は観測するエネルギーにより応答が変化するため、単純に検出器の応答から偏光情報を取り出すのは大変困難である。GRB の偏光情報 (偏光度、偏光方向) を求めるためには様々な条件でのシミュレーションと実際の観測データを照らし合わせる事が必要となる。そのため、シミュレーションによって検出器の応答を調べることは必要不可欠であり、重要な意味をもつ。

以前我々の研究室で GAP のシミュレーションが行われていることあったが、その際は EGS によるシミュレーションが行われていた。その際、GAP の構造モデルが詳細に作成されていなかったため、私たちは新たに GEANT4 によるシミュレータの開発を行った。

まずは、GAPの構造モデルを作成し、様々なエネルギー、偏光情報をもつガンマ線を入射出来るようにした。

2.1 GEANT4

今回使用した Geant4 は、物質中を素粒子が通過する際の反応をシミュレーションするためのソフトウェアである。科学分野、医療、宇宙の分野はもちろん、高エネルギー加速器や、核物理学の領域でも使用されている。

2.2 構造モデル

シミュレーションを行うにあたり、GEANT4を用いて、GAPの三次元構造モデルの作成を行った。

構造モデルの作成では、偏光検出のもっとも重要な部分となる、プラスチックとCsIのシンチレータはもちろん、アルミのケースや、太陽フレアなどを防ぐ鉛のシールド、光電子増倍管や回路基板などの構造モデルとして取り込んだ。

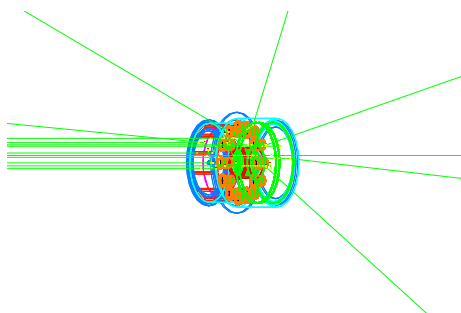


図 1: GEANT4で作成した構造モデルにガンマ線を入射させているもの材質ごとに色を変えて表示している。緑色の線が入射光子の軌跡、黄色い点は光子が反応した場所を示している。

図 1 に示したように、細部まで GAP の構造を再現することで、GAP の応答をより正確にシミュレーションできるようにした。

3 シミュレーションの応答

開発したシミュレータでは、様々な偏光度を持つガンマ線を入射させることができる。

以下に様々な条件下でシミュレーションを行った際の GAP の応答をみる。

3.1 偏光度

GAP の正面から偏光度の異なるガンマ線を入射させた際、応答がどのように変化するかをみる。

結果は図 2 のようになった。偏光度 100% ,50% ,0% のガンマ線を GAP の正面から入射させている。モジュレーションファクター M 、検出効率 η は以下の通り。

$$M = 0.3002 \pm 0.0067 \quad (1)$$

$$\eta = 0.1689 \quad (2)$$

50% 偏光のガンマ線に対するモジュレーション M' は

$$M' = 0.1459 \pm 0.0054 \quad (3)$$

なので偏光度 Π は、

$$\Pi = \frac{M'}{M} = 0.486 \pm 0.021 \quad (4)$$

となり、誤差の範囲内で偏光度 50% だと決定できた。

3.2 斜め入射 (無偏光)

実際に GRB が発生した際、GAP には斜めからガンマ線が入射してくることが予想できる。そのため斜めからガンマ線が入射した際に角度によって GAP がどのような応答を示すかをみる。

図 3 に示すように、無偏光のガンマ線を角度を変えて入射させた。正面から入射したものはフラットなのに対し、斜めから入射したものはフラットではなく、歪な形状になっている。200 度付近が高くなり、0 度付近が低くなっていて、sin カーブを描いている。

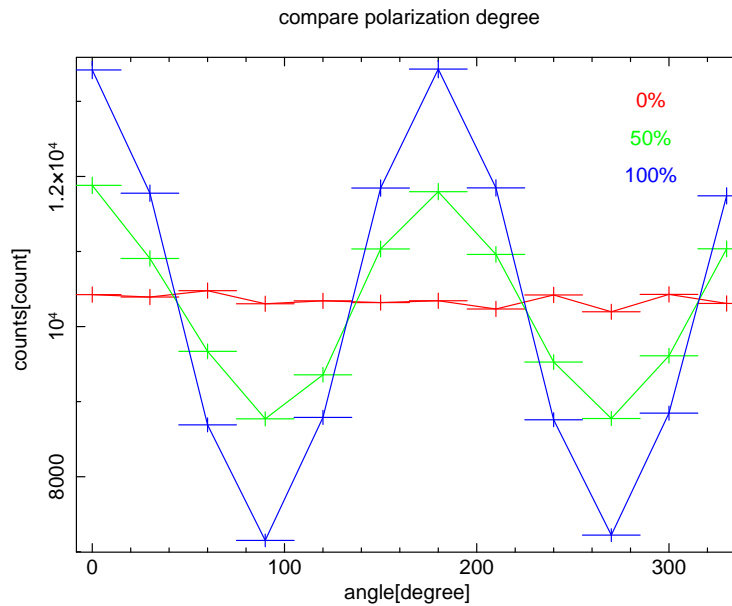


図 2: 正面からのシミュレーション 半径 8cm の円形状で GAP の全面に 100keV のガンマ線を降らせた。赤：無偏光 (偏光度 0%) , 緑：偏光度 50% , 青：偏光度 100% 。無偏光は非常に高い精度でフラットになっている。偏光度によってモジュレーションの振幅が変化しているのが良く分かる。偏光度が大きいほど振幅も大きくなる。

GAP は底面と側面に鉛のシールドを施している。そのため、入射角度が大きくなるとその影響が出てくる、その他にも、LD,UD と入射角度によっても応答が変わることが考えられる。

3.3 斜め入射 (偏光)

斜めから偏光したガンマ線が入射した際にどのような応答が得られるかをみる。

斜め 25 度 ($\theta = 25$) で 60% 偏光したガンマ線を入射させると図 4 のような応答が得られた。

斜めから偏光したガンマ線を入射させると (図 4 赤)、正面から偏光したガンマ線を入れたもの (図 4 青) が、斜め無偏光のベースライン (図 4 緑) の上に乗るような形になることが分かる。この様に、GAP の応答は様々な状況により大きく変化する。このため、シミュレーションによって応

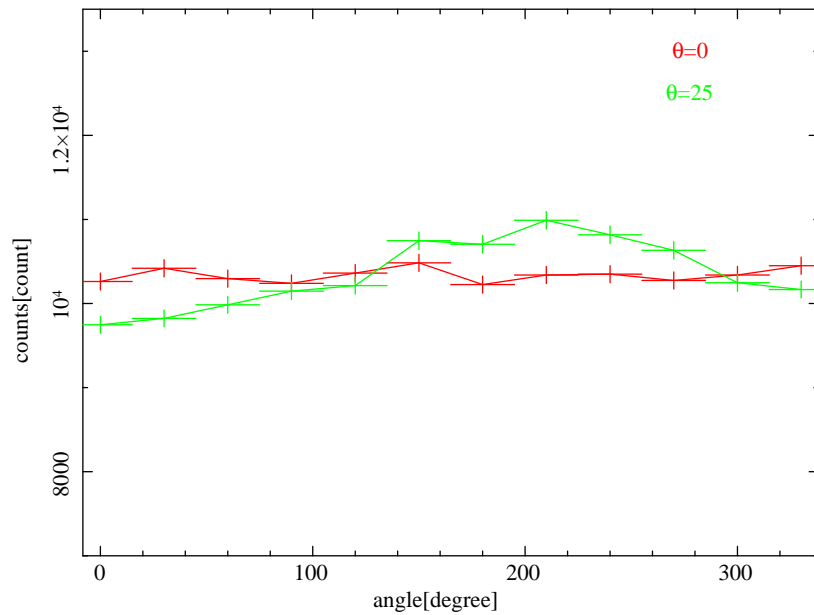


図 3: 斜めからのシミュレーション 赤：無偏光 (偏光度 0%) 正面, 緑：無偏光 (偏光度 0%) 斜め 25 度。

答を見るのはたいへん重要になる。

4 まとめ

GAP は定常運用を始めた 7 月 4 日から 8 月 30 日までに 8 つの GRB を観測している。今後はこれらの GRB についてシミュレーションを行い偏光度について議論していく。

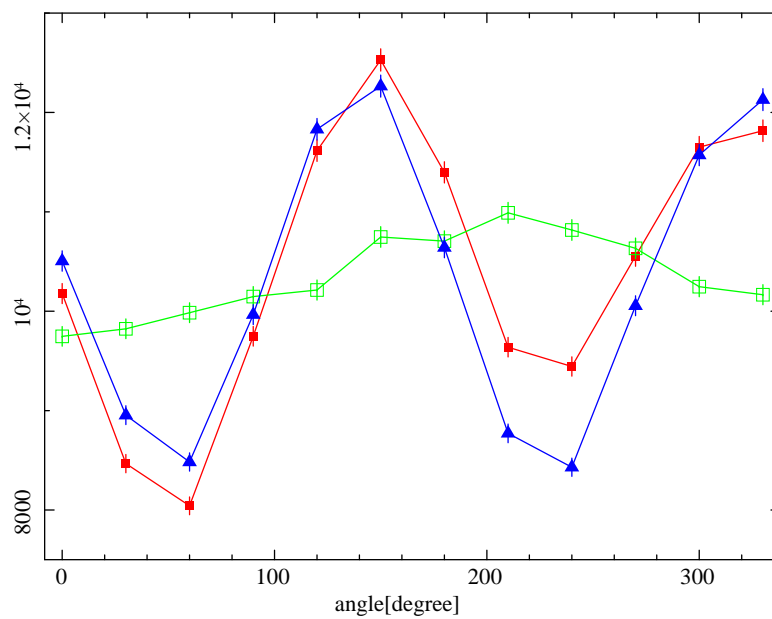


図 4: 斜めからのシミュレーション (2) 赤: 偏光度 60% , 斜め 25 度, 緑: 無偏光 (偏光度 0%) 斜め 25 度, 緑: 偏光度 60%, 正面。
赤のプロットは青のプロットが緑のベースラインに乗るようになっている。