

Polarisに向けたガンマ線バースト偏光度検出器の基礎開発

郡司修一¹、星野利典¹、佐々木大悟¹、坂野光成¹、米徳大輔²、村上敏夫²、三原建弘³、林田清⁴、谷津陽一⁵、岸本祐二⁶、谷森達⁷、片岡淳⁸、水野恒史⁹、高橋弘充⁹、門叶冬樹¹、窪秀利⁷、他Polarisワーキンググループ

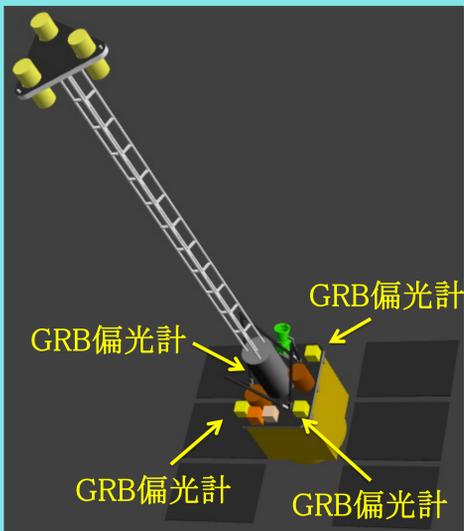
¹山形大学、²金沢大学、³理研、⁴大阪大学、⁵東工大、⁶KEK、⁷京都大学、⁸早稲田大学、⁹広島大学

検出器開発の背景

ガンマ線バースト(GRB)は宇宙最大の爆発現象であり、今までの観測から少なくとも2つのタイプ(ロングバーストとショートバースト)が存在する事が分かっている。継続時間が比較的長いロングバーストは極超新星起源であり、継続時間が比較的短いショートバーストはコンパクトな天体の合体現象だと考えられているが、その詳しいエネルギー輻射メカニズムの解明には至っていない。もしGRBのエネルギー輻射メカニズムが詳細に解明されれば、高エネルギー天文学の重要課題である「宇宙ジェットの駆動機構」が理解できるだろう。また、ピークエネルギーと光度・全エネルギーなどの相関は放射メカニズムに関与しているはずで、物理的解明が必須である。これらの相関関係は宇宙の暗黒時代を探るための次世代の標準光源として利用できるかもしれない。

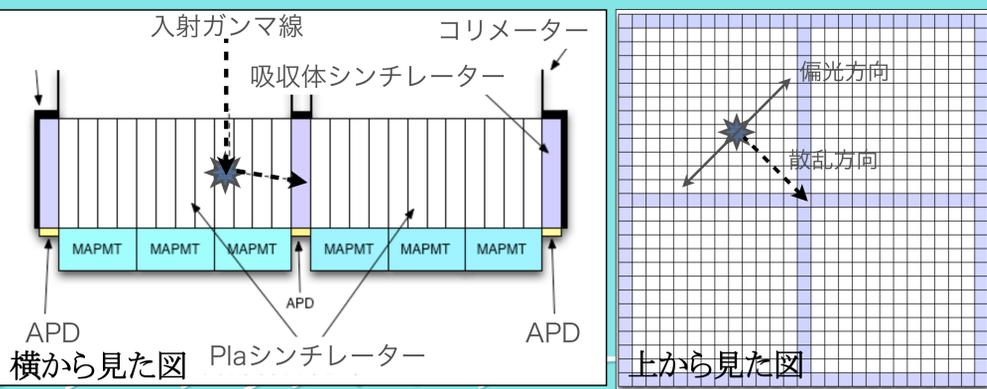
GRBのガンマ線発生メカニズムとして、現在シンクロトロン放射によるモデルと膨張する黒体の表面からフォトンが散乱されて出てくるモデル(Photosphere Model)の2つが存在する。どちらが正しいかを調べるには偏光観測が大きな鍵を握る。なぜならシンクロトロン放射の場合には、最大70%程度の偏光が観測されるが、Photosphere Modelではそのような大きな偏光は観測されづらいからである。以上の重要性から2010年までにRHESSI衛星やINTEGRAL衛星がGRBの偏光観測を行ってきたが、検出器が偏光観測に特化されていなかったために精度の良い観測を行うことができなかった。そこで金沢大、山形大、理研により、有効面積は小さいが偏光観測に特化したGamma-ray Burst Polarimeter(GAP)を開発し、IKAROS衛星に搭載して観測を始めた。GAPは約1.5年の間に30個程度のGRBを観測し、そのうち3例のGRBに対して精度の良い偏光観測を実現した。そのうち2例のGRBでは70%程度の偏光度を示し、残りの一例では偏光度は低い(~30%)ものの偏光方向が途中で90度近く変化するという現象が観測された。以上の事から、シンクロトロン放射モデルの方が観測をよく説明するが、残念ながら3例では断定には至らない。またガンマ線はジェット状に放射されると考えられており、偏光情報はそのジェットの開き角や見込み角と相関を持つはずである。これらの角度はGRBの光度を正確に決定する上で非常に重要なパラメーターとなるが、3例の観測ではデータが圧倒的に足りない。そこでより大型で高性能のGRB偏光度検出器を開発しPolaris衛星に搭載することで、GRBの輻射メカニズムや宇宙ジェットの駆動機構を明らかにする事を計画している。

小型衛星プロジェクトPolaris



Polaris衛星は、偏光観測に特化した小型衛星プロジェクトである。3台の望遠鏡の焦点面には、数keVに感度を持ったガスイメージング偏光計と数10keVに感度を持った散乱型イメージング偏光計が設置されている。ガスイメージング偏光計は、X線がガス検出器で光電吸収される際に、放出された電子の飛跡を検出する事で偏光情報を取得する。散乱イメージング偏光計は、プラスチックシンチレーターで散乱された硬X線の散乱方向を検出し、その散乱方向により入射硬X線の偏光情報を取得する。
ガンマ線バースト偏光度検出器はベースとなる衛星本体の4隅にそれぞれ違った方向を向いて取り付けられている。

GRB偏光度検出器



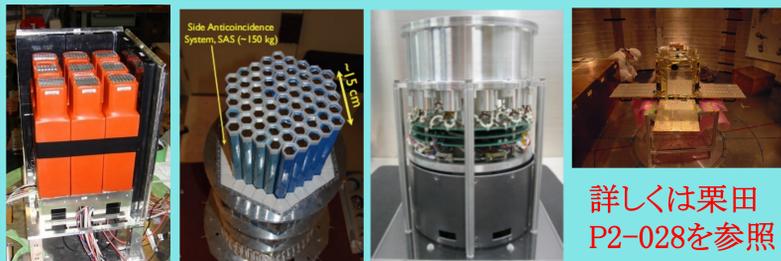
セグメント化されたプラスチックシンチレーターの周りをセグメント化された吸収体シンチレーターが囲んでいる。ベースのデザインではプラスチックシンチレーターからの信号はマルチアノード光電子増倍管(MAPMT)で読み出す予定。また吸収体シンチレーターからの信号はベースのデザインではアバランシフोटダイオード(APD)で読み出す予定。入射ガンマ線がいずれかのプラスチックシンチレーターに入ると、ガンマ線は散乱されて、吸収体シンチレーターで吸収される。散乱位置と吸収位置から入射ガンマ線の2次元的な散乱方向を検出し、偏光情報を取得する。検出効率は60keVで20%程度、偏光解析能力はOn-Axisで50%程度。また検出器にはバックグラウンドを減らすために、パッシブシールドやコリメーターが設置されている。検出器の視野は半値幅で±45度程度である。

技術 ↑ 継承

PHENEX PoGOLite

GAP

TSUBAME



日本で開発されてきた偏光度検出器。PHENEXとPoGOLiteは気球搭載用の検出器でCrab等の観測を目的としている。
詳しくは栗田 P2-028を参照

技術的カギ

APD等の半導体光検出器の採用:

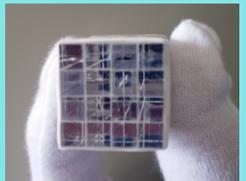
ベースのデザインでは、吸収体シンチレーターからの光はAPDで読み出す予定である。宇宙でのAPDの使用はCuteプロジェクトによって東工大がすでに技術実証を行っており、TSUBAME衛星でも採用されている。またMPPCはまだ宇宙で使用された事が無いが、現在金沢大学でその基礎試験を行っており、状況次第ではMAPMTの代わりに採用する予定である。



APDを組み込んだTSUBAMEの偏光計

結晶配列技術:

デザイン中の検出器では小さな結晶を規則正しく配列し、さらに一本一本の結晶には、反射材を取り付けて光を光学デバイスに導く必要がある。京都大学はESRという反射材でそれを実現し特許を取得している。また大阪大学では実際にプラスチックシンチレーターにその技術を採用して基礎実験を行っている。

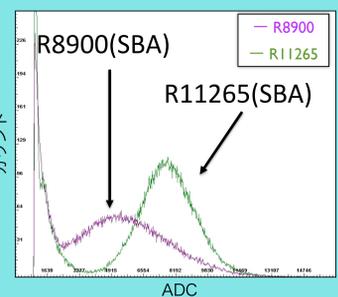


セグメント化された結晶

光電子増倍管の性能向上:

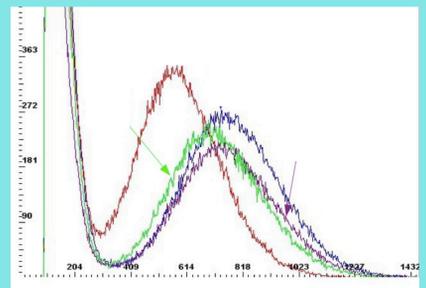
小型衛星の振動に耐えられ、かつ従来よりも量子効率の高い光電面を持ったMAPMTの採用を検討している。大阪大学ではウルトラバイアルカリ(UBA)のMAPMTのテストを行っており、山形大学では小型衛星のために耐震化を施したスーパーバイアルカリ(SBA)のMAPMTのテストを行っている。右図は耐震化済みのSBAのR8900とSBAのR11265のスペクトルである。将来的にはR11265のUBAの採用を検討する。

プラスチックシンチに22keVの照射



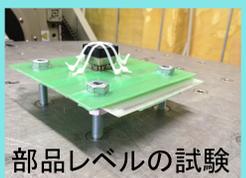
プラスチックシンチレーターの開発:

検出器の検出効率の向上やエネルギーレンジを低エネルギー側に伸ばすためには、プラスチックシンチレーターの発光量を増やす以外方法はない。そのため山形大学ではプラスチックシンチレーターの開発に取り組んでいる。右図は22keVを照射した時のエネルギースペクトル。赤が従来品。その他は現在開発中のもの。青いスペクトルが一番発光量大きい。現時点で従来品に比べ30%光量がアップした。



耐震化技術:

金沢大学が主に開発を行った偏光度検出器GAPは、耐震化に関してすでに実績がある。また東工大のTSUBAMEは現在開発中の偏光度検出器に構造が似ているため、さらに実績を積み上げることとなる。また新しく採用する部品レベルの耐震化試験は山形大学が現在行っている。



部品レベルの試験

シールド技術とシミュレーション:

広島大学はPoGOLiteプロジェクトを通じて、シールド技術の開発を行ってきた。また日本でいち早くGeant4に偏光を組み込んだという実績があり、バックグラウンドを考慮したフルシミュレーションを行う技術はすでに確立されている。右図はGeant4で作った検出器のジオメトリである。

