

コーデッドマスクを用いた 高赤方偏移ガンマ線バースト 撮像検出器の基礎開発

金沢大学 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

若島 雄大

ガンマ線バーストで探る初期宇宙

ガンマ線バースト (GRB : Gamma-Ray Bursts)

- ☒ 大量のガンマ線を放射する宇宙最大の爆発現象
- ☒ 時間とともに暗くなる残光(X線、可視、電波など)を伴う
- ☒ 短時間であるが極めて明るく輝く
- ☒ 多くは遠方宇宙(赤方偏移 $z > 1$ 以上)で発生する
(分光観測された最大赤方偏移: GRB090423 $z = 8.2$)



宇宙最大の爆発現象”GRB”で初期宇宙を探ることができる

- ☒ 第一世代星の誕生
 - ☒ 宇宙再電離
 - ☒ 重元素合成
 - ☒ 星形成歴
- etc ...

過去のGRBの観測例 - GRB050904 (z=6.3) -

観測された残光のスペクトルから

- ☒ 中性水素の割合が
 $n_{\text{HI}}/n_{\text{H}} < 0.17$ (68% C.L.)
 < 0.6 (90% C.L.)
であることがわかった



z = 6.3 で電離は進んでいる

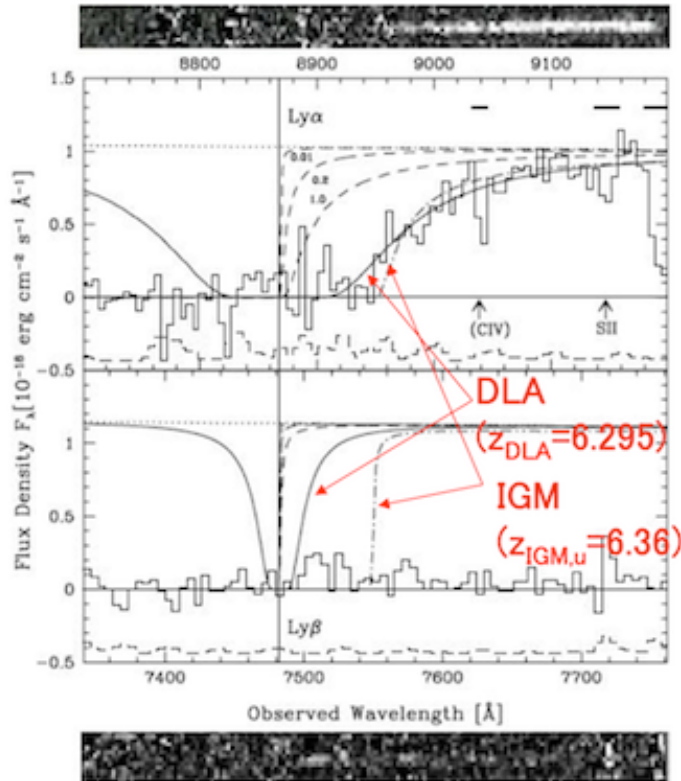
- ☒ スペクトルの吸収線から炭素や酸素などの重元素組成を測定



初期宇宙の詳細な物理状態を知るためには、地上大型望遠鏡による明るい残光の高分散スペクトルを取得する必要がある

but ガンマ線は大気で吸収されるため、人工衛星上でGRBの検出、GRBの到来方向を決定し、その情報を地上に送らなければならない

金沢大学では人工衛星上でhigh-z GRBを検出、到来方向を決定するための検出器を開発している

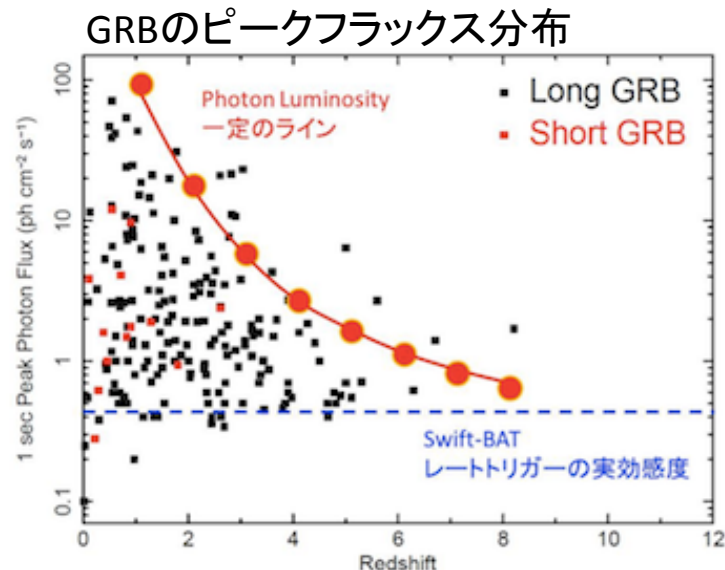
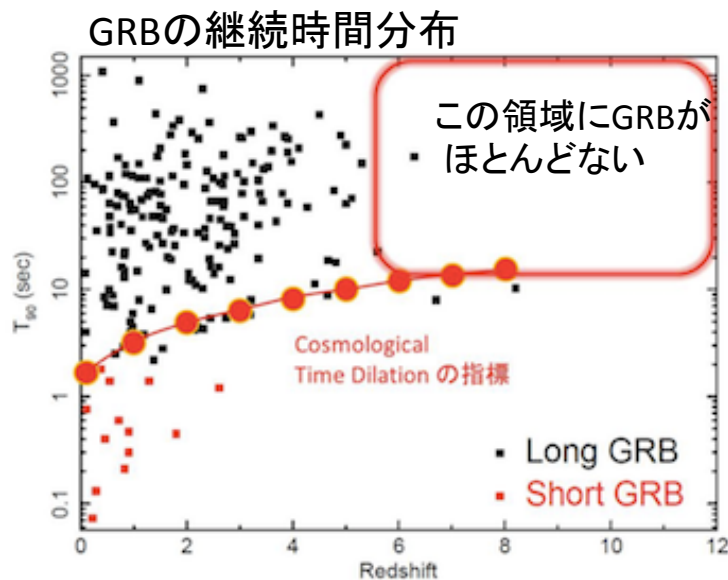


すばる望遠鏡によるGRB発生から
3.4日後の残光のスペクトル

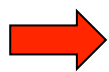
Kawai et al. 2005, Totani et al. 2005

Swift-BATの観測成果

Swift衛星：2003年に打ち上げられ、GRBの監視、自動追尾でのX線、紫外線、可視光の観測を行なっている



- ⊗ high-zで発生したイベントは時間膨張(time dilation)の効果で必ず継続時間が長くなるはずだが、最も遠い2例はかなり短時間のイベントであった。(左図)
- ⊗ z=1で最も明るいGRBがz=8で発生した場合でも、Swift-BATのレートトリガー(カウントレートの増加によるトリガー)の実効的な感度と同等になり、検出が難しくなる。(右図)



Swift-BATが観測したhigh-zのイベントは、いずれもバースト中の最も明るい時間帯のみしか検出できていない可能性が高い。

高い頻度でhigh-z GRBを検出するには

- ⊗ Swift-BATのエネルギーレスショルド(15keV)よりも低いエネルギー帯で観測する
- ⊗ レートトリガーだけでなくイメージングトリガーを充実させる

ことが重要である

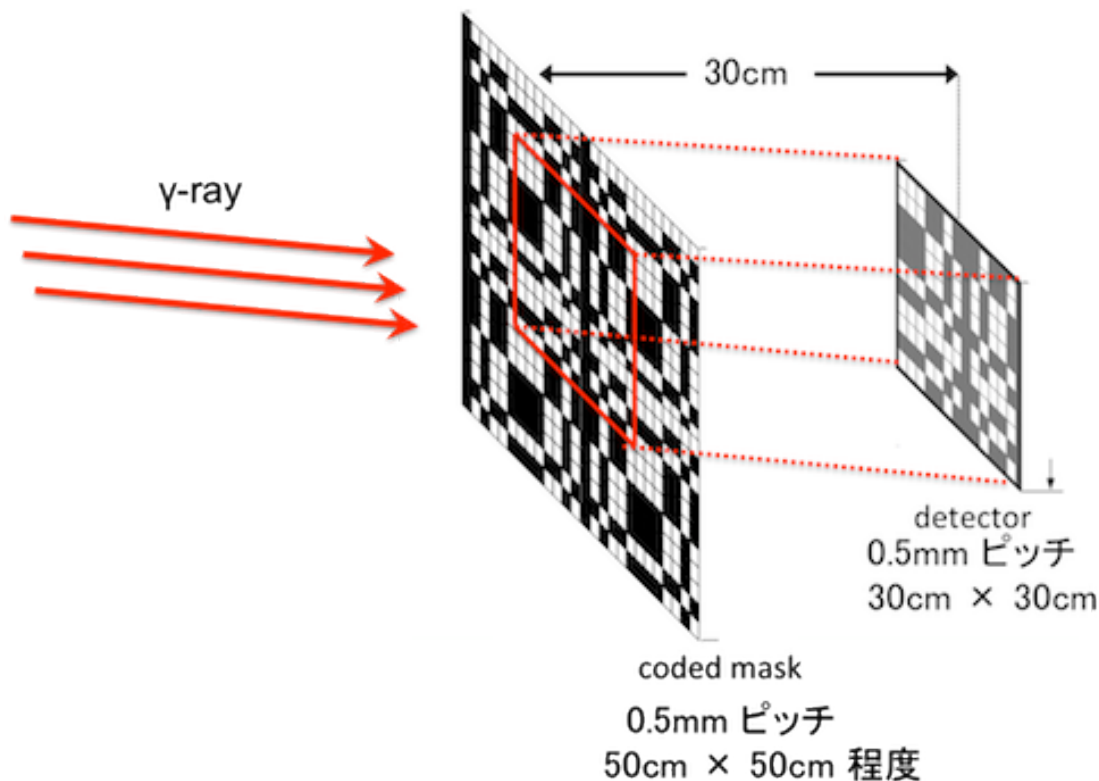
金沢大学ではこれらの要求を満たすGRB検出器を開発中

GRB撮像検出器の開発

GRBの到来方向決定:

コーデッドマスク + CdTe撮像検出器

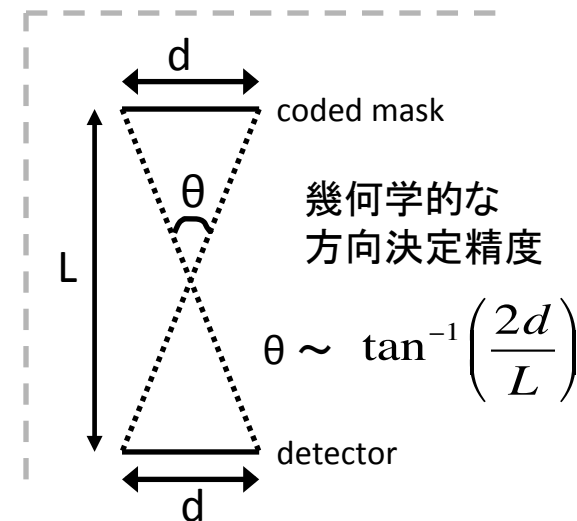
検出器上に投影されるマスクの影(各素子のカウントの分布)とマスクパターンとの相互相関をとることで、GRBの到来方向が決定できる



左図のように配置した場合

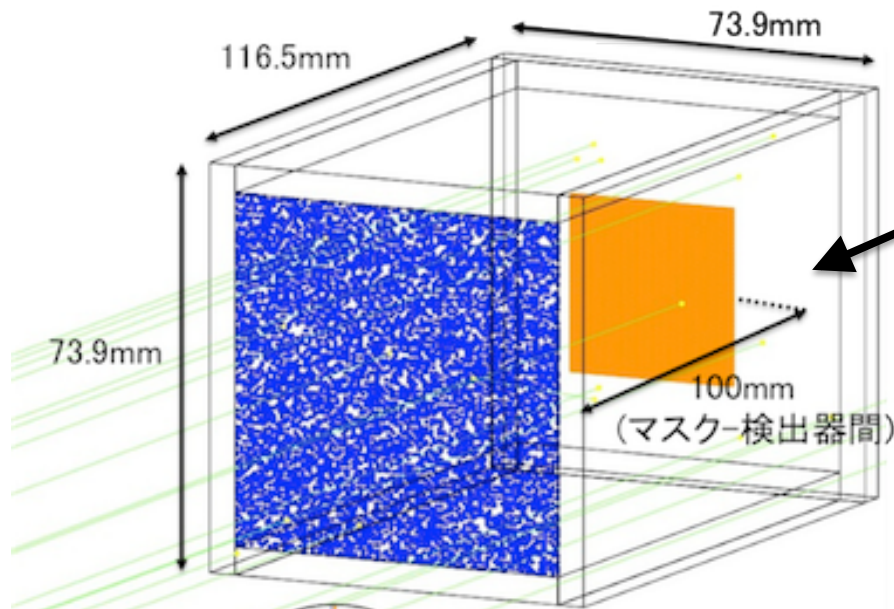
- ✓ 幾何学的な方向決定精度
11 arcmin
- ✓ 光子統計による重みづけで
4 arcmin
の方向決定精度を達成できる

Swift-BATと同程度の
方向決定精度



ガンマ線イメージング

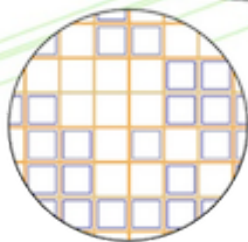
粒子シミュレーションソフトGeant4を使用してイメージングを行った



検出器の周囲を鉛の壁で囲い、
コーデッドマスク以外の面から
入射しないようにする

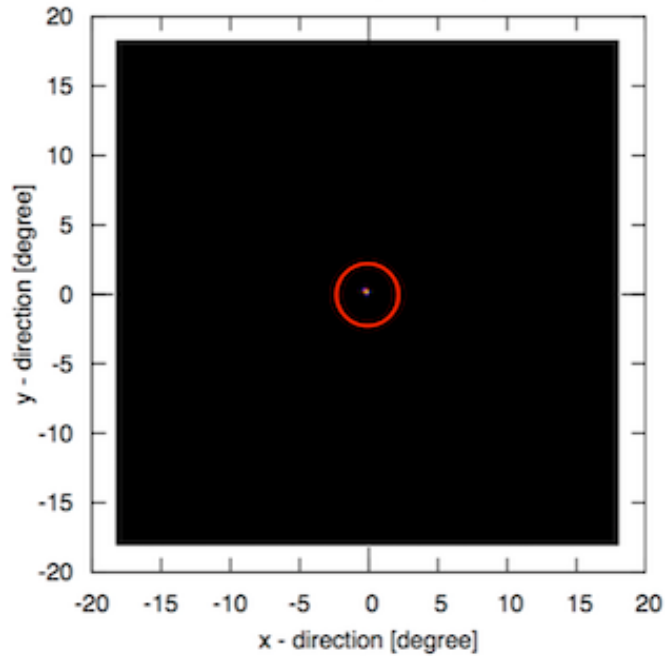
Geant4シミュレーターのジオメトリ

- 青: ランダムコーデッドマスク
タングステン 128 × 128 0.5mmピッチ
- 橙: CdTe撮像検出器
ピクセル型 64 × 64 0.5mmピッチ
- 緑: 光子 (平行光線)

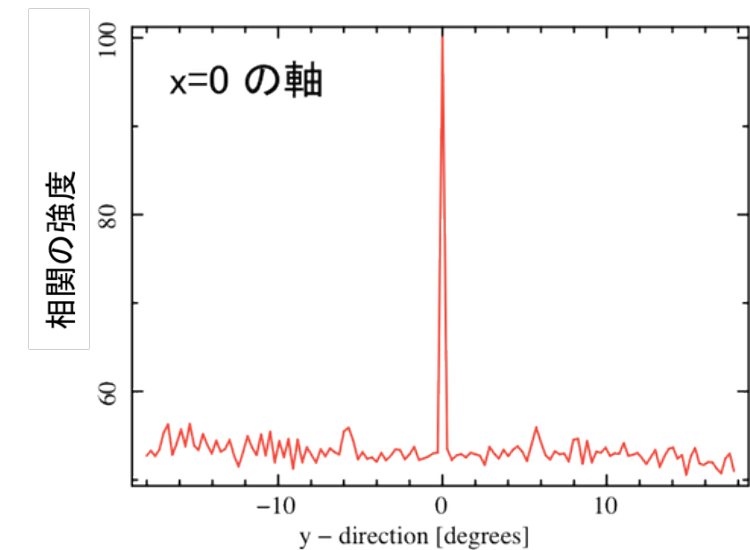
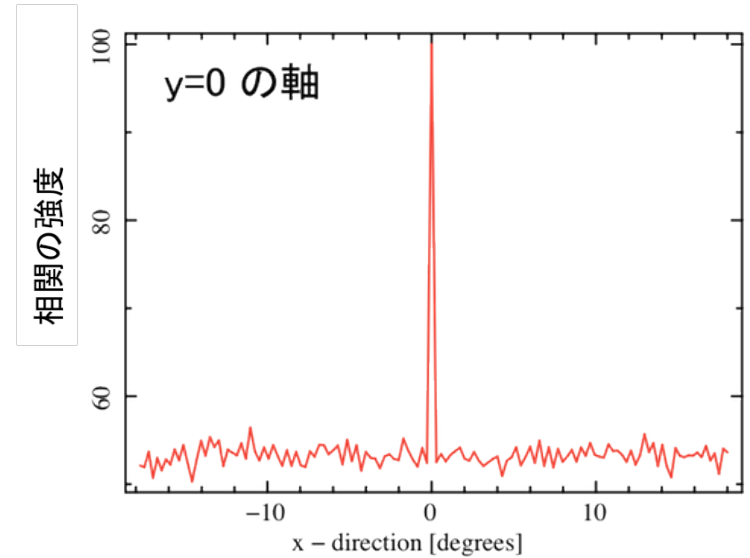


正面から見た検出器(拡大図)

正面から入射させた場合

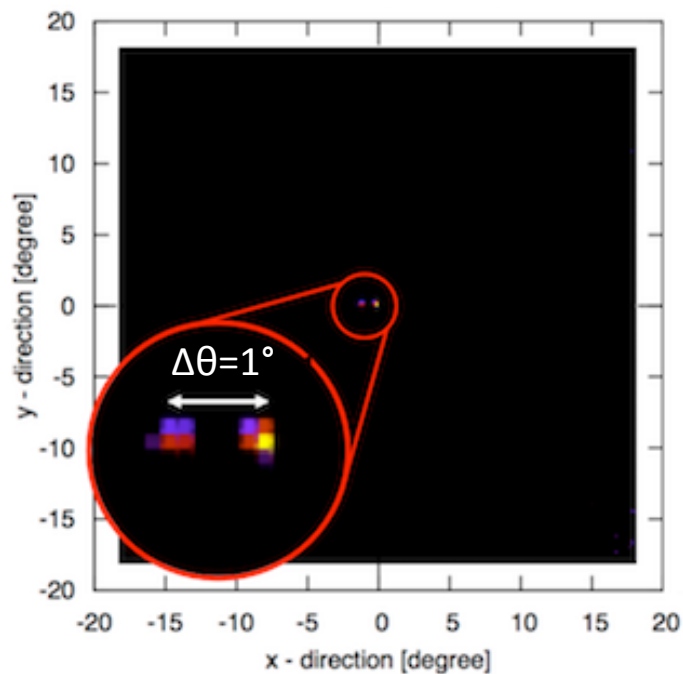


- ・上図の中心に像が再合成されている
- ・マスクパターンと検出器上のカウントが中心(0°)で最も強く相関している(右図)

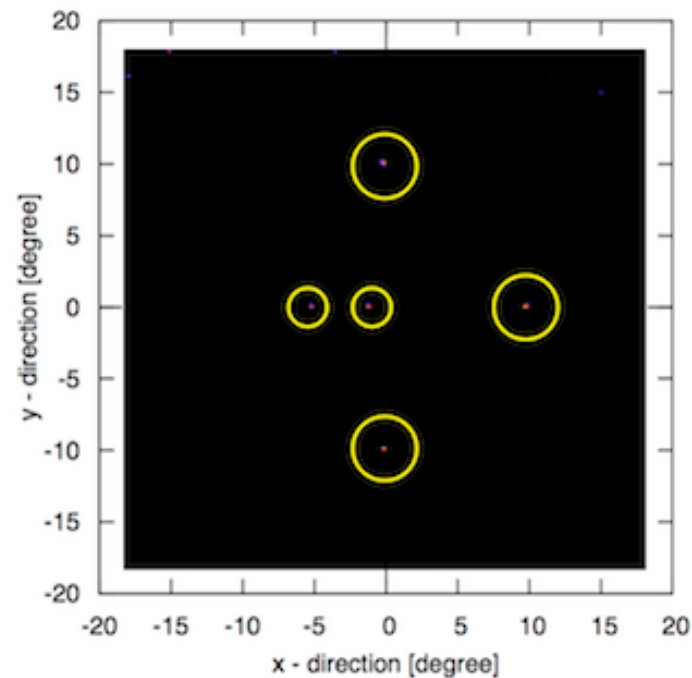


$x=0, y=0$ でのマスクパターンと
検出器上のカウントの相関の強さ

複数の点源を入射させた場合



近接した点源も分離して再合成することができる



複数の点源も分離して再合成することができる

CdTe両面ストリップ検出器

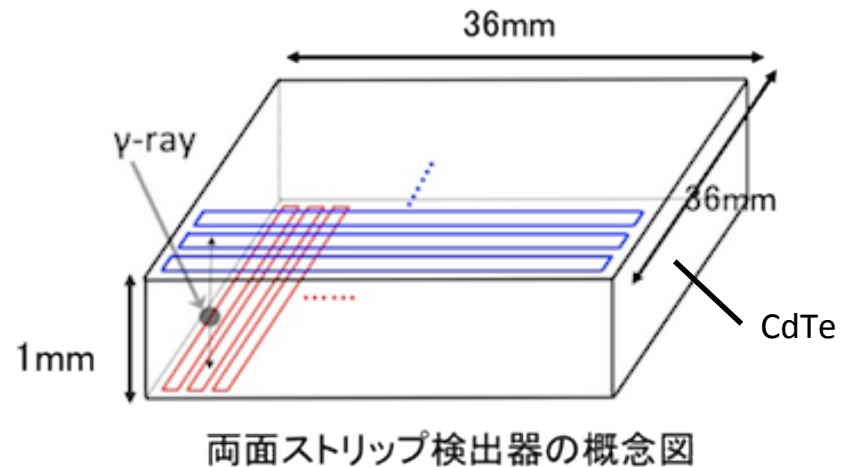
CdTeウェハの表裏に

表 X 方向 (0.5mm × 32mm × 64本)

裏 Y 方向 (0.5mm × 32mm × 64本)

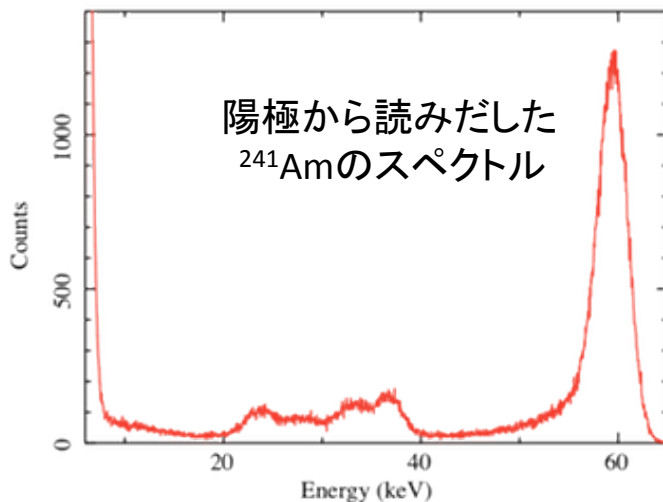
の電極ストリップを配置する

- ❑ 読み出しは 128ch だが、実効的には 4096画素の2次元撮像検出器として機能する



現段階では...

陽極側、陰極側それぞれ1信号ごとの読み出しは確認したが、全ての信号を同時に読み出すことは出来ていない



❑ FWHM = 3.4keV (@59.5keV)

❑ エネルギー閾値 = 8keV



改善が必要

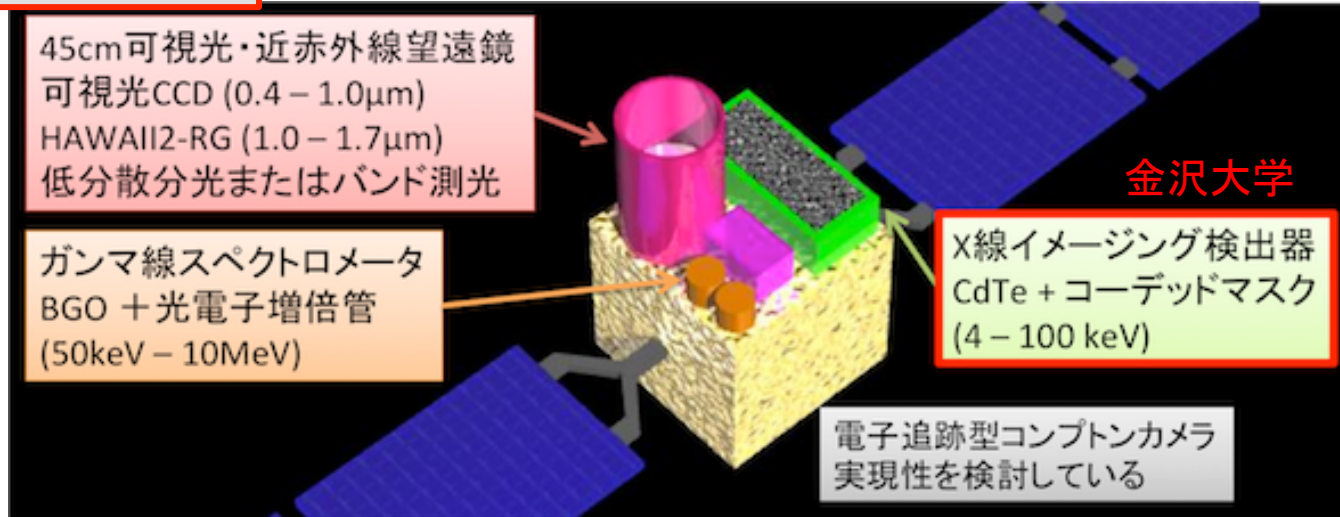
今後は

- ✓ エネルギー閾値を4keVに下げる
- ✓ 全ての電極の同時読み出し
- ✓ イメージング実験

将来の衛星計画

ガンマ線バーストを用いた初期宇宙探査計画

HiZ-GUNDAM (High-z Gamma-ray bursts for Unraveling the Dark Ages Mission)



観測の流れ

- (1) GRB 検出とリアルタイムアラート
- (2) 自律制御で姿勢を変え、数分以内に追観測を開始
- (3) 近赤外線望遠鏡で粗い赤方偏移の同定 (high-z GRB の同定)
- (4) ガンマ線スペクトロメータで 3桁に渡る詳細スペクトルの測定

**地上大型望遠鏡と協力して $z > 10$ における
GRB残光の高分散スペクトルを取得**

まとめ

☒ Swift-BATと同程度の方向決定精度を持ち、より低いエネルギー（より高い感度）で観測するGRB撮像検出器を開発中

☒ CdTe両面ストリップ検出器

- ・全電極からの同時読み出しはできていない
- ・1電極ごとの信号読み出しを確認 (陰極、陽極ともに)
FWHM = 3.4keV (@59.5keV)
エネルギー閾値 = 8keV

今後の課題

☒ CdTe両面ストリップ検出器の性能を改善させる

☒ 全電極の同時読み出しを実現し、coded mask を使用したイメージング実験を行う

参考URL : <http://astro.s.kanazawa-u.ac.jp/~yonetoku/hiz-gundam/>