



# 「ひとみ(ASTRO-H)」搭載軟ガンマ線検出器における軌道上バックグラウンドの理解

大野雅功, 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 北口貴雄, 田中康之, 勝田隼一郎, 河野貴文, 幅田翔, 岡田千穂, 大橋礼恵, 寺前拓人, 田中晃司 (広島大学), 高橋忠幸, 国分紀秀, 渡辺伸, 佐藤藤朗, 佐藤理江, 太田方之, 内田悠介, 都丸亮太, 米田浩基 (ISAS/JAXA), 小高裕和 (SLAC/KIPAC), 中澤知洋, 村上浩章 (東京大学), 田島宏康 (名大ISEE), 木下将臣, 山岡和貴, 林克洋 (名古屋大学), ほかに「ひとみ」JHXI/SGDチーム

「ひとみ(ASTRO-H)」搭載軟ガンマ線検出器(SGD)は、狭視野多層半導体コンプトンカメラとBGOアクティブシールドを組み合わせる独自のコンセプトにより極限までバックグラウンドを低減し、高感度観測を実現する。本研究で高感度観測の鍵をにぎる天体信号とバックグラウンド信号の選別条件について、実際に軌道上で得られたバックグラウンドデータの理解を通して最適化する手法を開発した。コンプトン散乱角や検出位置など、複数のパラメータから非線形な分類的な特徴を総合的に行うために、非線形機械判別的手法を適用し、天体信号と分類されるイベントの特徴を調べることで、シグナルノイズ比を向上させる分類条件が見つかる可能性を示した。

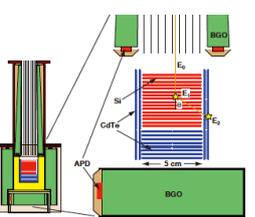
## 1. イントロダクション

「ひとみ」搭載軟ガンマ線検出器(SGD)[1]

- SiCdTe多層半導体コンプトンカメラ
- コンプトン運動学+シールド→極低バックグラウンド
- コンプトン散乱方位角の異方性からガンマ線偏光観測
- 多層半導体コンプトンカメラとしては初の軌道上運用

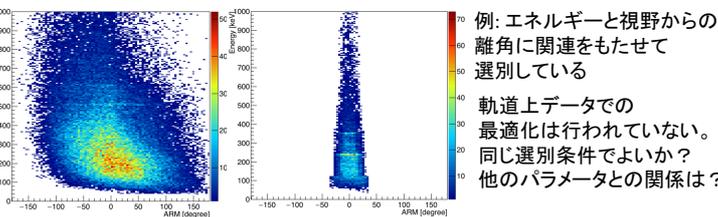


天体信号とバックグラウンドを適切に区別することが高感度ガンマ線観測、偏光解析の鍵になるが、そのためには、膨大なパラメータ組み合わせ(検出エネルギー、コンプトン散乱角、視野からの角度、ヒット間距離、ヒット位置.. Etc) からもっとも適したものを選ぶ必要がある。



現状の手法 (初期カット)

視野からの離角を用いてバックグラウンドの除去を行うが、エネルギー、ヒット間距離の依存性を考慮したカットになっている。

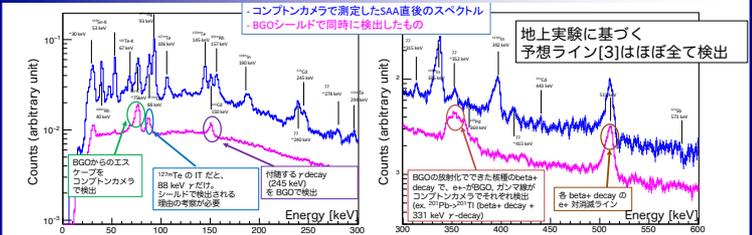


初めて取得した軌道上データを詳細に調べ、より良い選別条件を調べる

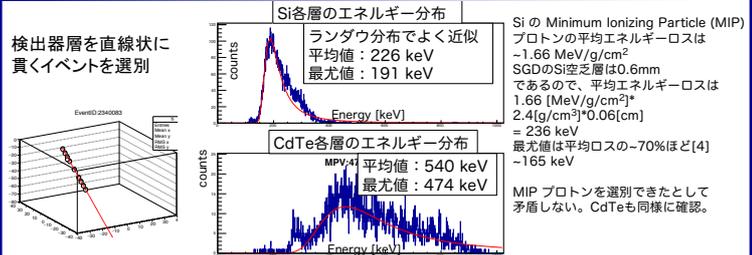
## 2. 観測された軌道上バックグラウンドの特徴

軌道上では、検出器及び周辺物質の放射化や高エネルギー粒子通過によるバックグラウンドが生じる。放射化ではライン構造を生じ、粒子通過では特徴的なヒット分布になると予想される。これらの特徴を詳細に調べることで、イベント選別に利用できる。

### 放射化による輝線構造とシールド効果



### 粒子バックグラウンドのエネルギー分布



放射化、粒子バックグラウンドともに地上での予測や上空における粒子分布でよく説明できる。今後特徴的なパラメータを探り、イベント選別最適化につなげる

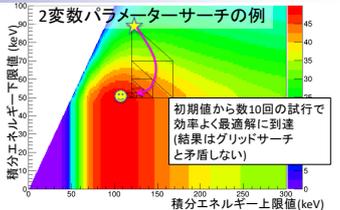
## 3. 多変量解析によるSGDイベント選別の最適化

従来は、限られたパラメータでイベント選別の最適化を行ってきた。複数パラメータ間の非線形な相関を考慮して、イベント選別を最適化する必要がある。ここで軌道上データを調べることで、そのようなイベント選別の最適化を多変量空間から行う方法を調べる。

### ベースライン解析: 単純なBoxcutサーチ

$$\text{FOM (Figure of Merit)} = \frac{S_{sim}}{\sqrt{S_{sim} + B_{data}}}$$

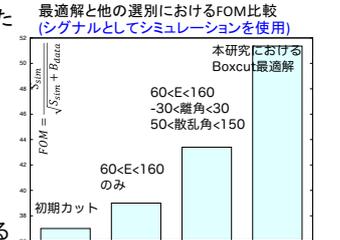
$S_{sim}$ : シグナル(Crabのスペクトルパラメータを想定したシミュレーションデータ)  
 $B_{data}$ : 観測した軌道上バックグラウンドデータ



上記目的関数をパラメータ数+1パターン計算し最も成績の悪い解を、より良くなる方向に移動させ続け、効率良く最適解に収束(SIMPLEX法)

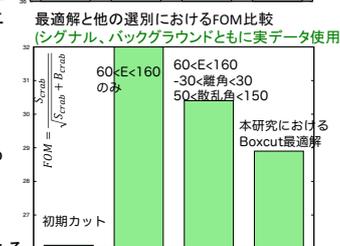
10次元パラメータ空間に拡張し、最適解を得たパラメータ

パラメータ	最適解
検出エネルギー	50 - 100 [keV]
コンプトン散乱角	60 - 160 [deg]
視野からの離角	-56 - 56 [deg]
ヒット間距離	0 - 58 [mm]
最初のヒット位置	0 - 32 [mm]



シグナルとしてCrabシミュレーションを想定するとBoxcut最適解は初期カットよりもFOMが向上  
→ Boxcut最適解の選別条件を実際のCrab観測データに適用した。

Boxcut解が必ずしも最適とならなかった  
個々のパラメータのBoxcutだけでは不十分であることを示唆していると考えられる



この結果をベースラインとしつつ、パラメータ間の非線形な関係性を見出し、より効率の良い選別条件を探し出す必要がある。

## 4. まとめと今後の課題

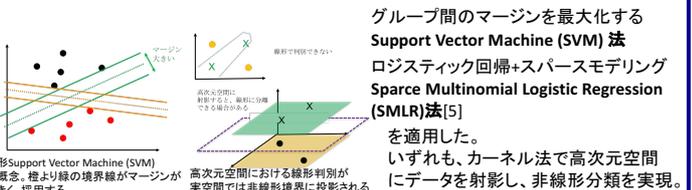
「ひとみ」搭載半導体多層コンプトンカメラSGDのイベント選別の最適化を初めて軌道上で観測したバックグラウンドデータの理解を通じて試みた

- 放射化及び粒子バックグラウンドを調べ、バックグラウンドの理解を進めた  
→ ラインエネルギーやヒット分布などの特徴量からイベント選別を今後検討する
- 多変量パラメータから非線形な相関を考慮したイベント最適化手法を開発している  
→ 線形探索では不十分でも、非線形イベント分類から最適な選別条件が見いだせる可能性。今後イベント分類を詳細に調べ、物理的な選別条件を調べる。

### 多変量解析アプローチ: 非線形機械判別を用いたイベント選別

関連性が明確でないデータセットから、多変量パラメータ間の非線形な関係性を見出すのは非常に困難。

- 非線形な機械判別によりシグナルとバックグラウンドを分類し、FOMが改善した分類結果から、物理的な判別基準を探し出す

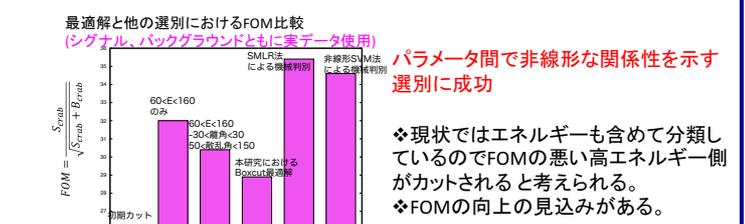
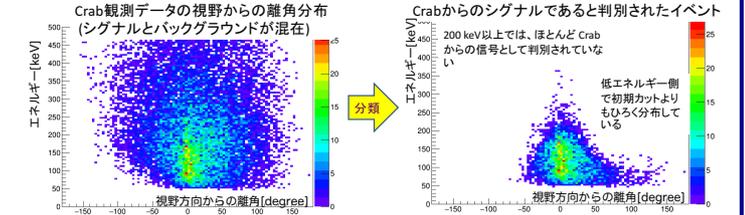


### 判別手順(1) ラベル付きデータで判別基準を学習、テストデータで検証

学習データ(シミュレーション、バックグラウンド+バックグラウンド観測データ)を入力し、別のテストデータで検証したところ  
二通りの方法それぞれで $\sim 85\%$ の正答率を得た

	BGD(SMLR/SVM)	SIGNAL(SMLR/SVM)
BGD (input)	4090:3934 正解	922:1102 失敗
SIGNAL (input)	572:493 失敗	4415:4524 正解

### 判別手順(2) 学習した判別器で、Crabを観測した実データを分類



今後、分類されたパラメータの分布を詳細に調べ、物理的に解釈できる選別条件になるか調べる

## references

- [1] S. Watanabe, et al., Proc. SPIE 9905E, 13, (2016)
- [2] Y. Ichinohe, et al., NIMPA, 806, 5 (2016)
- [3] T. Mizuno, et al., Proc. SPIE 77323C, 8 (2010)
- [4] J. Beringer, et al., Phys. Rev. D 86, 010001 (2012)
- [5] B. Krishnapuram, et al., IEEE Trans. 27, 6 (2005)