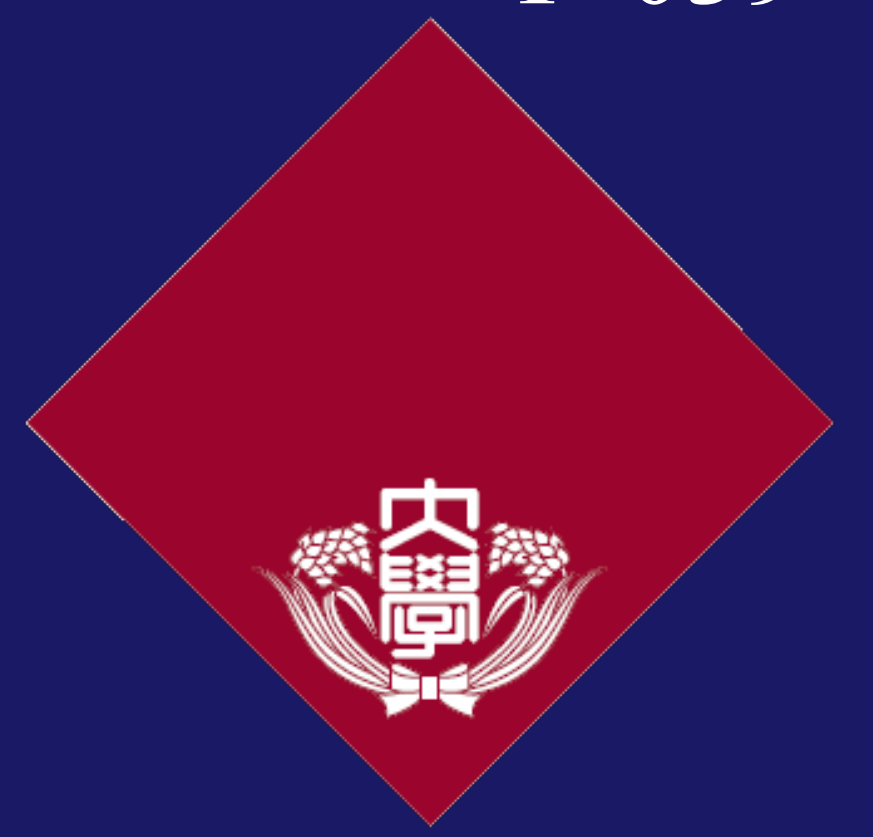




# CALETにおけるトランジェントガンマ線観測システム

吉川康太<sup>1</sup>, 佐藤郁也<sup>1</sup>, 田中瑞樹<sup>1</sup>, 藤田峻<sup>1</sup>, 浅岡陽一<sup>2</sup>, 鳥居祥二<sup>1,2</sup>, 小澤俊介<sup>1</sup>, 森正樹<sup>3</sup>, 他CALETチーム

1: 早稲田大学先進理工, 2: 早稲田大学理工研, 3: 立命館大学理工



CALETは、国際宇宙ステーション(ISS)の日本実験棟船外プラットフォームに設置された宇宙線観測装置であり、ガンマ線トランジェントの観測も重要な科学目的の一つである。トランジェント事象の探索には速報性が重視されるため、突発天体由来のガンマ線イベントを自律的に検出するシステムの開発を行っている。本発表では、トランジェントガンマ線の候補イベントの選別手法、及びトランジェント事象を自動探索するシステムについて報告する。

## CALET概要

### ■ CALETの検出器構造

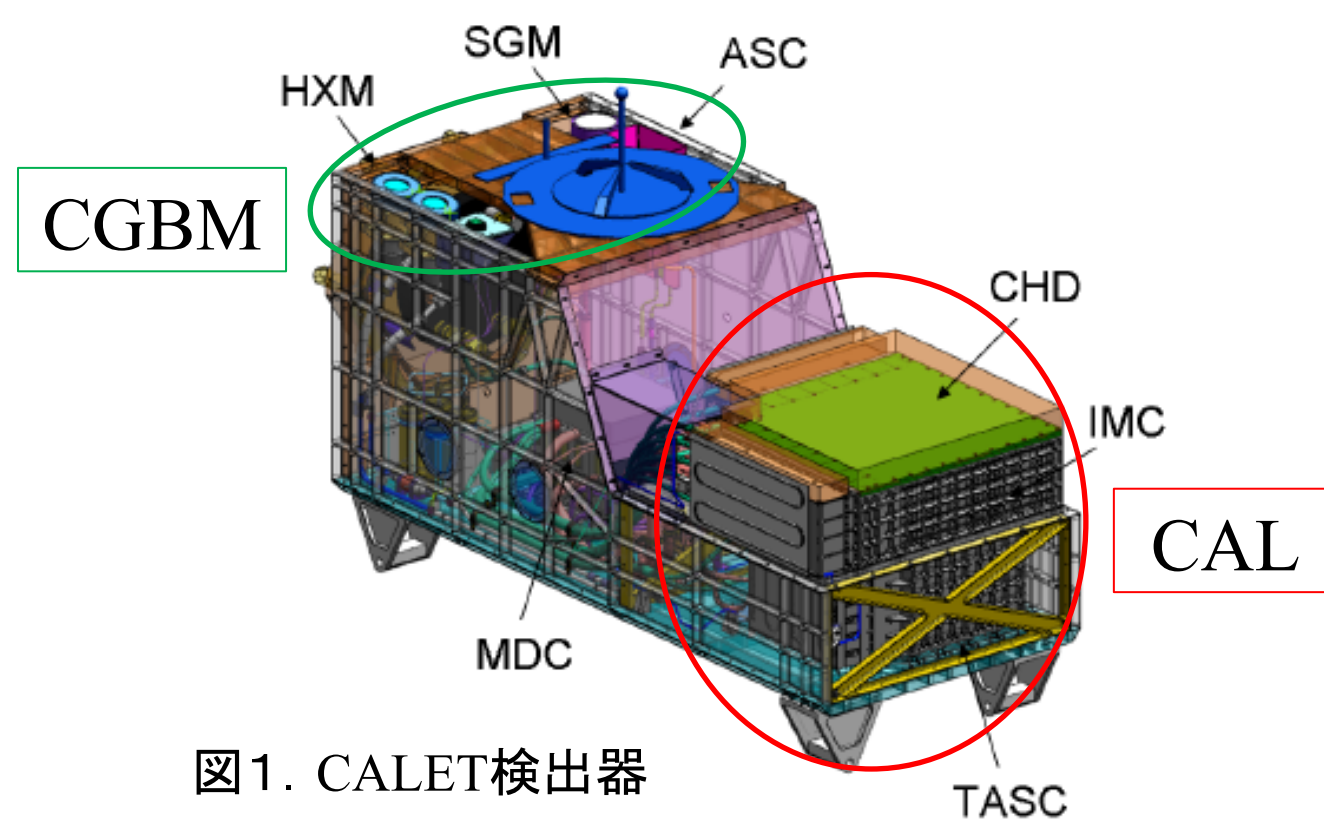


図1. CALET検出器

### ■ CGBM (CALET Gamma-ray Burst Monitor)

常時カウントレートをモニターし、急激に増加した場合CALにトリガーシグナルを送信する

- HXM(Hard X-ray Monitor)  
7keV~1MeVのGRBモニター
- SGM(Soft Gamma-ray Monitor)  
100keV~20MeVのGRBモニター

### ■ CAL (Calorimeter)

30 $X_0$ の物質質量を持つ解像型カロリーメータ

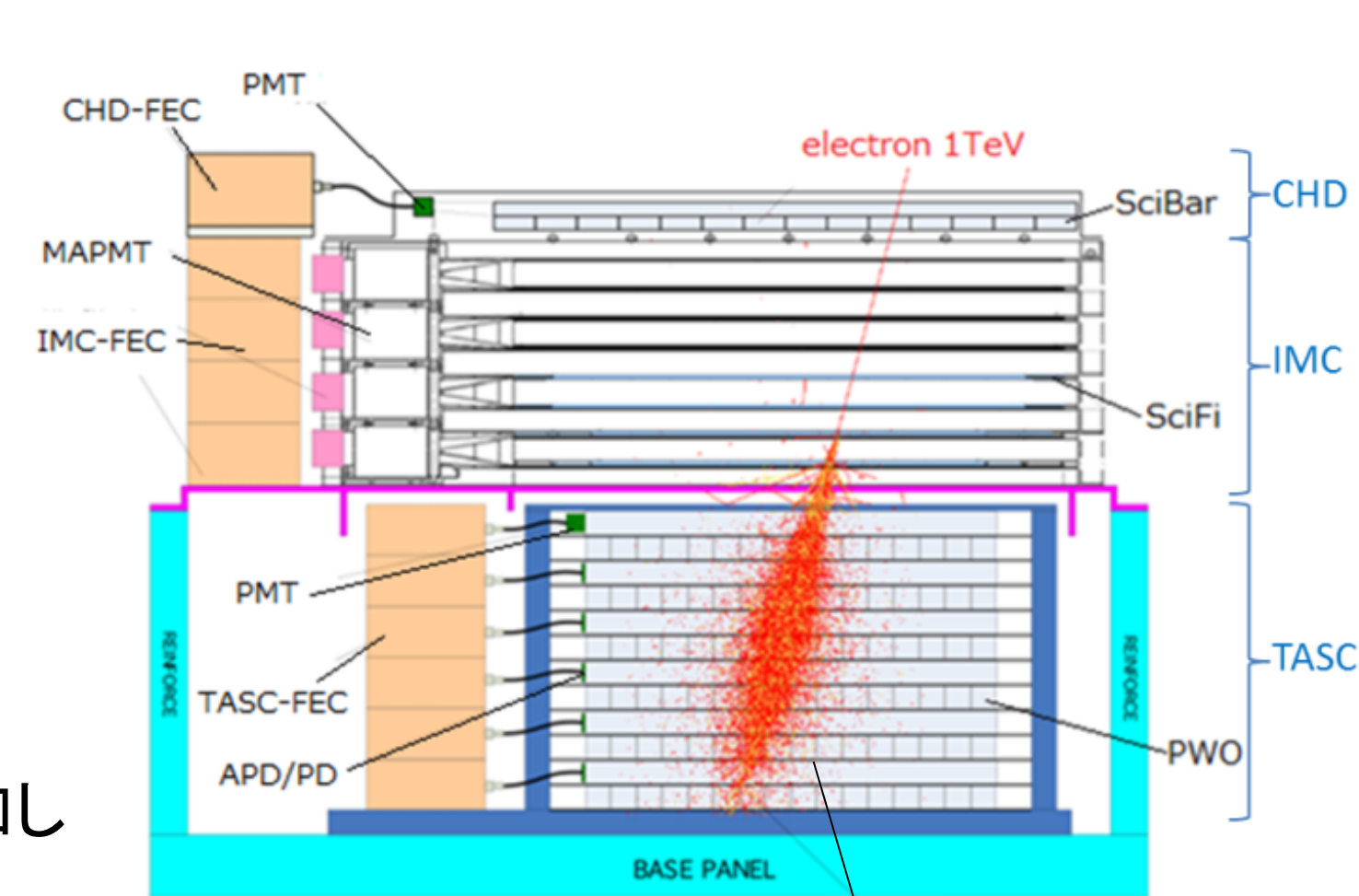


図2. CALの模式図

1TeV電子のシャワーの例  
TeV領域において高い吸収率(95%)

### CHD (Charge Detector)

- プラスチックシンチレータ
- 電荷識別

### IMC (Imaging Calorimeter)

- SciFi + タングステン板(3 $X_0$ )
- シャワー軸の再構成
- シャワー初期発達の可視化

### TASC (Total Absorption Calorimeter)

- PWO(27 $X_0$ )
- 数GeV~1000TeV領域のエネルギー測定

### ■ CALETにおけるトリガーシステム

- HE (High Energy Shower Trigger)
  - 高エネルギー電子(10GeV~20TeV)
  - 高エネルギーガンマ線(10GeV~10TeV)
  - 原子核(10GeV~1000TeV)
- LE (Low Energy Shower Trigger)
  - 極地方の低エネルギー電子(1GeV~10GeV)
  - GRBによるGeVガンマ線(1GeV~)
- Single Trigger
  - 装置較正用イベント
- Heavy Ion Trigger
  - $z = 2$ 以上の原子核成分
  - HE, LE, Singleの各モードに対して設定

## ガンマ線選別

CALでガンマ線を検出する際、(1)CHDに信号が存在しない (2)電磁シャワー発達を起す の2つが大きな特徴となる(図3)。

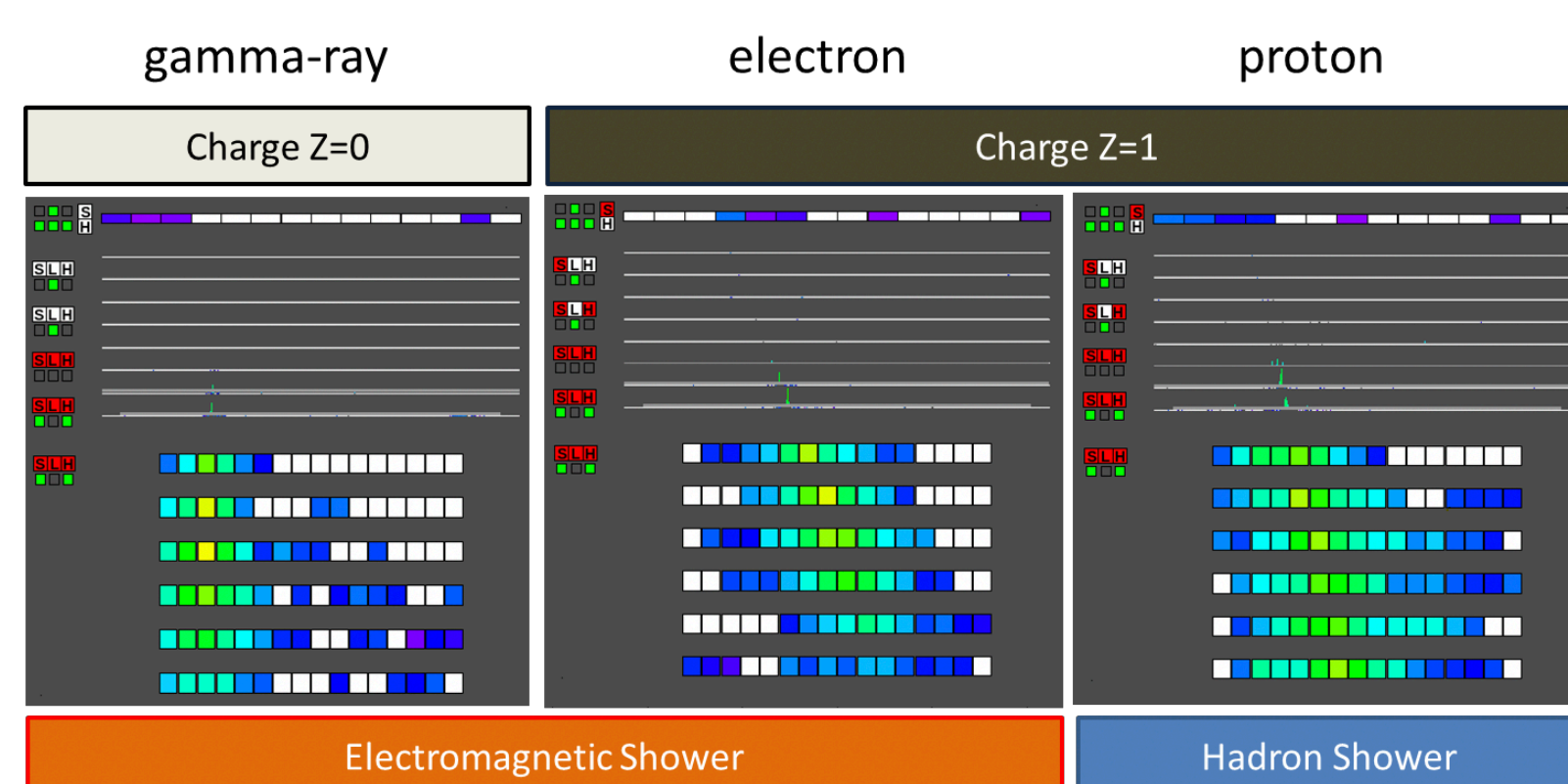


図3. 100GeVイベントの入射(左:ガンマ線 中:電子 右:陽子)

### ■ ガンマ線選別条件

1. オフライン LE Trigger
2. 幾何条件
  - CHD+端2cmを除くTASC X1
3. トラッキング クオリティ
  - トラックの使用点数 > 2
  - シャワー開始点
  - TASC最上層のエネルギー損失の重心
4. 電磁シャワー選別
  - シャワー形状(図4)
  - TASCでのシャワーの横拡がり $R_E$ 、全体に対する最下層のエネルギー損失の比 $F_E$
  - IMC最下層におけるシャワー集中度
5. CHDによる電荷識別(図5)
6. FOVカット(図6)
  - ISS構造物による遮蔽を考慮

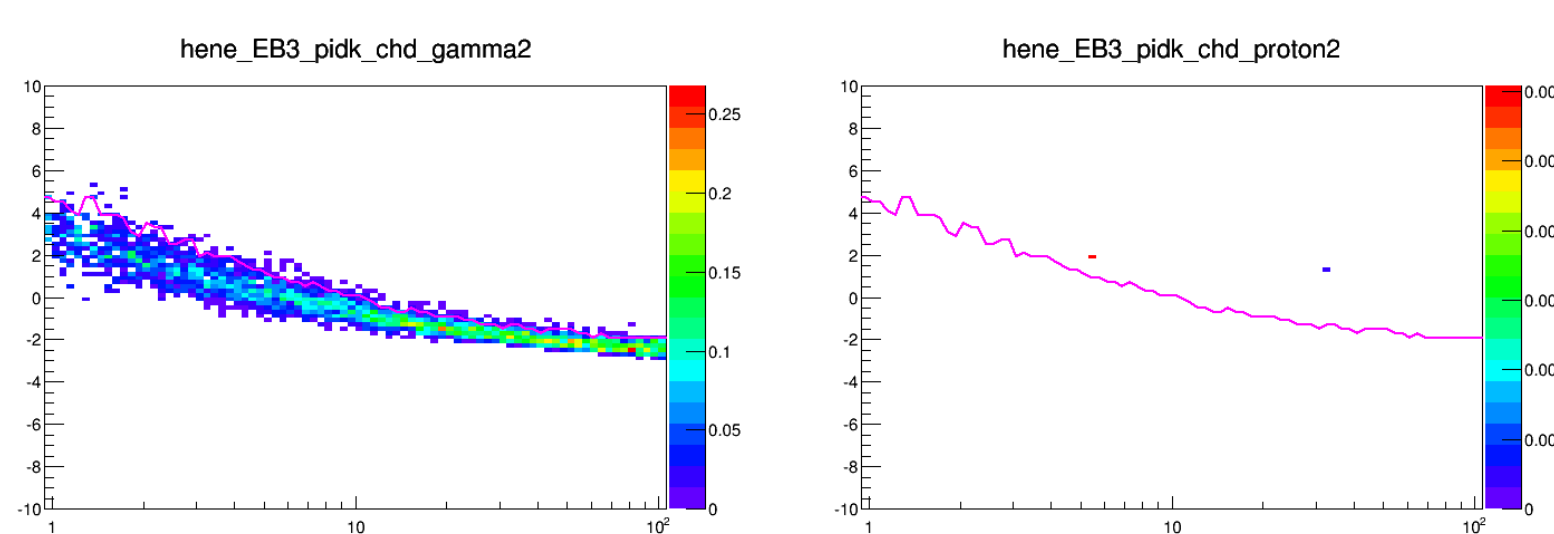


図4.  $K = \log_{10}(F_E) + 0.5R_E$  の分布図(左:ガンマ線 右:陽子) シミュレーションデータで作成

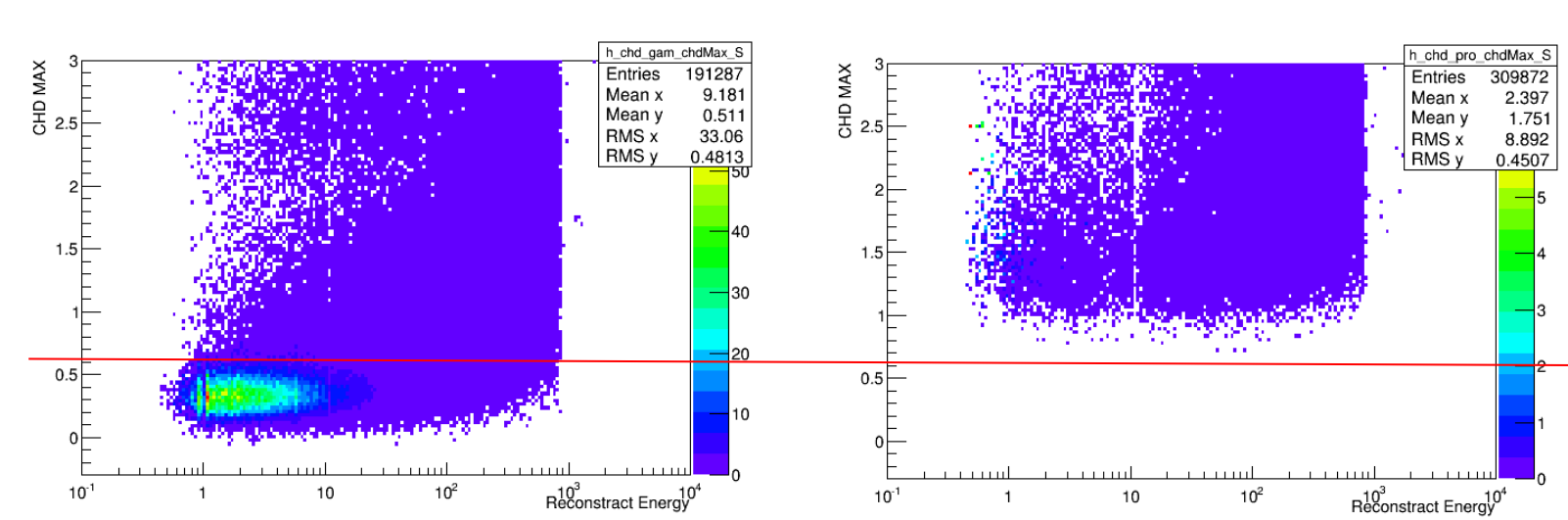


図5. CHDの最大発光チャンネル(左:ガンマ線 右:陽子) シミュレーションデータで作成

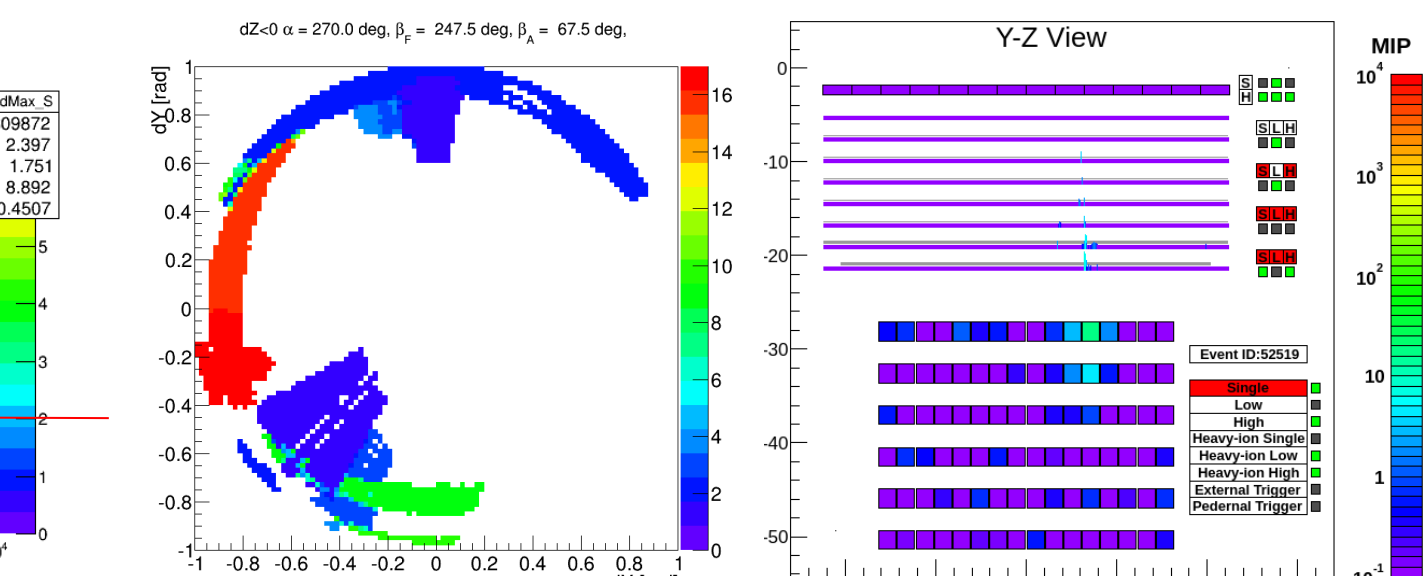


図6. CALET視野上のISS構造物

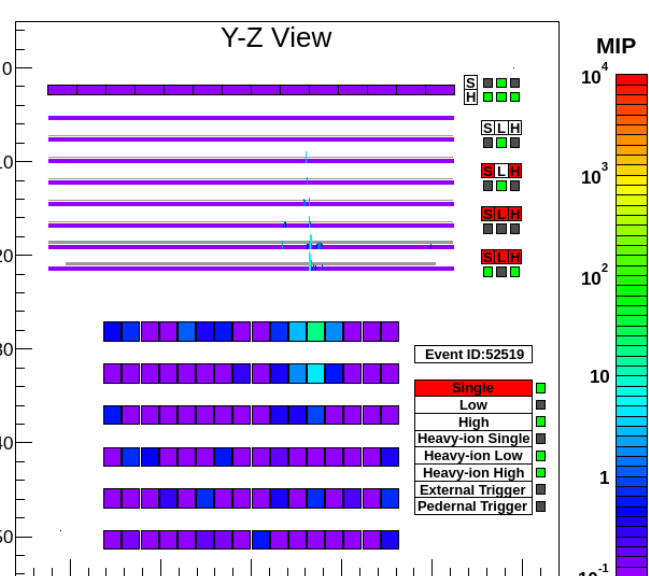


図7. ガンマ線候補イベント

## ガンマ線候補イベントの同方向判定

トランジェントガンマ線を観測した場合、得られるイベントはほぼ同方向からのものであることが期待される。

CGBMトリガーがシグナルを発した際のLE run中にCALでガンマ線を角度精度以内に複数事象観測した場合を同方向イベントと判定する(図8)。(現在、PSF(Point Spread Function)を利用した同方向判定法を開発中)

### ■ 同方向判定方法

1. 同LE run中のガンマ線選別後のイベントについて、任意の2イベントの角度差 $\Delta\theta$ を全て算出する
2. 角度差 $\Delta\theta > \Delta\theta_{68}$ を満たすイベントの組を同方向と判定する
  - $\Delta\theta_{68}$ は角度誤差分布で68% containmentとなる角度(図9、10)
  - $\Delta\theta_{68}$ はトラック使用点数とエネルギーに依存するが、2イベントの内大きい値を使用

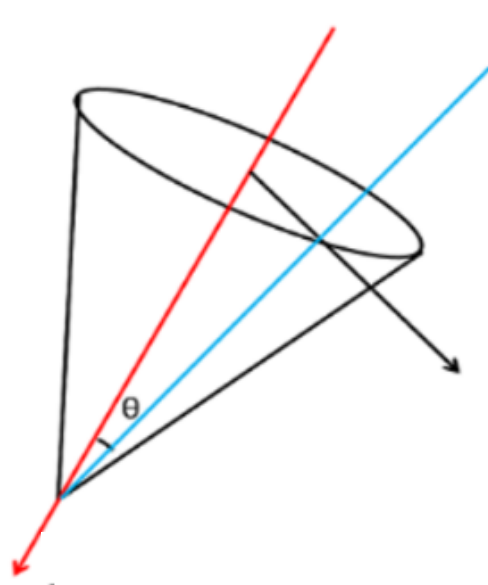


図8. 同方向判定

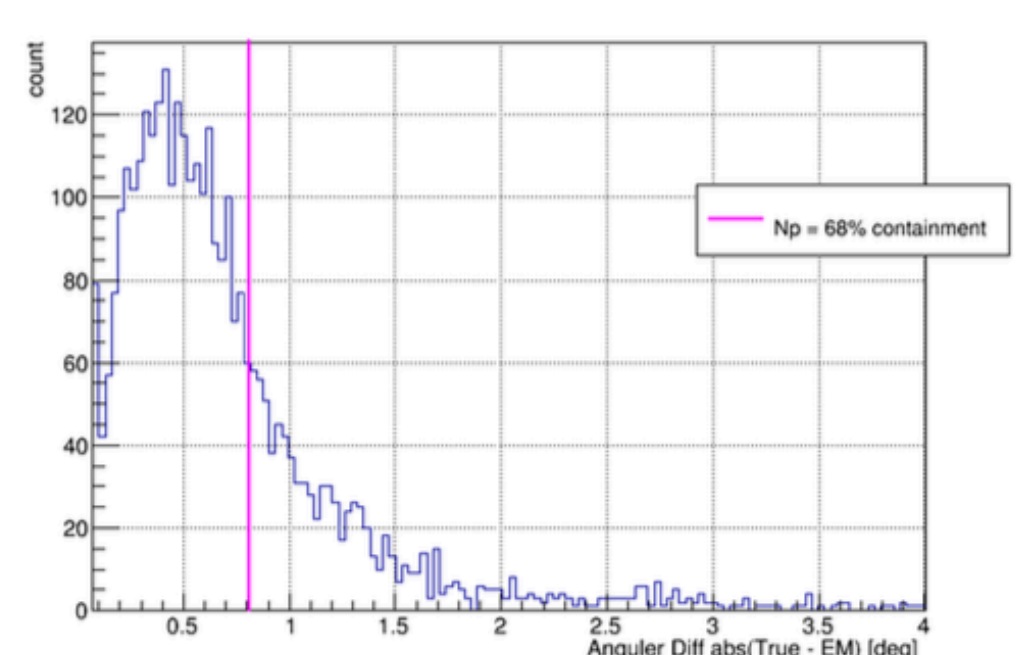


図9. ガンマ線(3.6~5.63GeV,候補点3点)の角度誤差分布 シミュレーションデータで作成

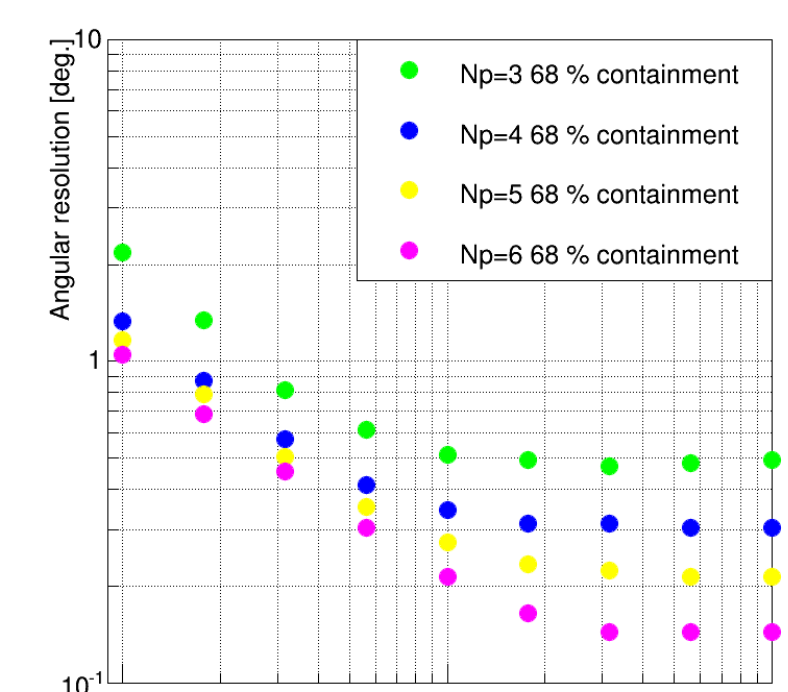


図10. 角度分解能のエネルギー依存性 シミュレーションデータで作成

## ガンマ線選別、同方向判定の感度

1. 典型的なGRB fluxをFermi-LATのカatalogから仮定 ref:M. Ackermann et al.,ApJS 209 (2013) 1  
 $J(E, t) = AE^{-2}t^{-1} [\text{sec}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{GeV}^{-1}]$  ( $t = [0.1, 100] \text{sec}, E = [0.1, 100] \text{GeV}$ )
2.  $J(E, t)$ で作成したGRB由来のガンマ線シミュレーションイベントを軌道上実観測データに混合
  - 仮定するGRBの方向はCALET天頂方向に対し5°以内になるように設定
3. ガンマ線選別、同方向判定を行い、観測期待値を導出

### ■ 現実的なフラックスを仮定( $A = 0.003 [\text{GeV cm}^{-2}]$ )

- GRB090510 (scaled to  $z=0.09$ )を仮定(図11)し、100回試行
- 同方向イベント数:  $5.0 \pm 2.5$  (図12)

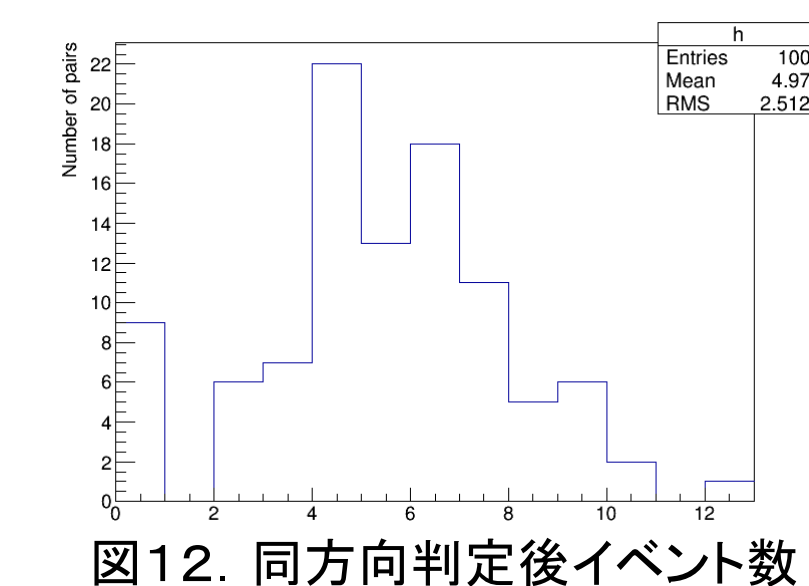


図12. 同方向判定後イベント数

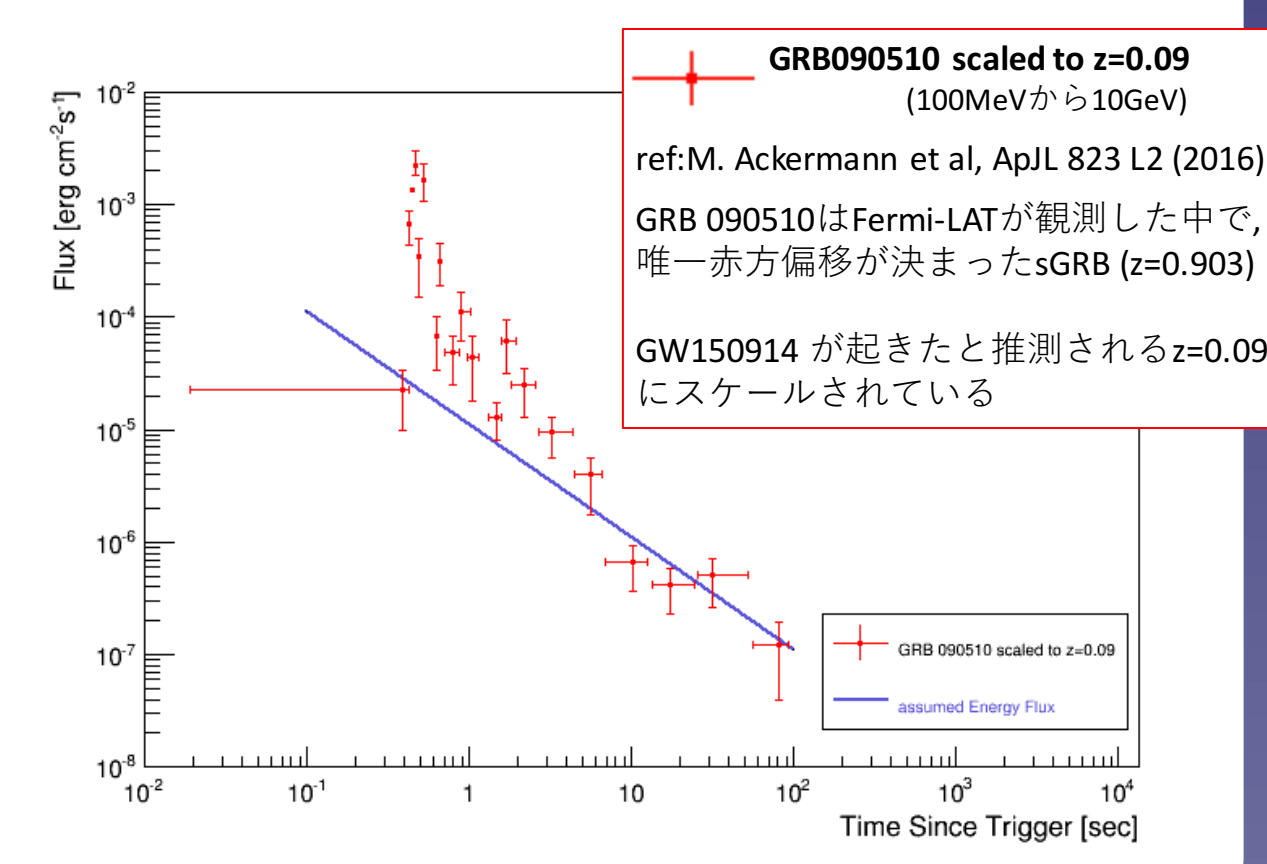


図11. 仮定したFluxとGRB090510 (scaled to  $z=0.09$ )

## トランジェントガンマ線観測システム

### ■ 概要

CGBMがトリガーシグナルを発した際、連動してエネルギー閾値を約10GeVから約1GeVに下げ、低エネルギーガンマ線の観測(LE run、10分間)が始まる。取得された10分間の中にはトランジェントガンマ線が含まれている可能性があるため、この間のデータに対する探索の速報性が重要となる。そのため、トランジェントガンマ線を自動的に探索するシステムの開発を行った。

- |                   |                        |                                   |
|-------------------|------------------------|-----------------------------------|
| 1回/hour<br>自動的に実行 | 1. Level0データをJAXAから受信  | 1時間に1ファイル受信                       |
|                   | 2. Level1データ作成         | 1時間分を作成                           |
|                   | 3. LE run中のLevel2データ作成 | LE run中のみのデータを用いることでL2データへの変換を高速化 |
|                   | 4. ガンマ線候補イベント選別        |                                   |
|                   | 5. 同方向イベント探索           |                                   |

### ■ 稼働状況

2017/10/06から稼働開始→2017/10/31まででLE run 1678回、ガンマ線候補979イベント、同方向ペア5個検出(図14)

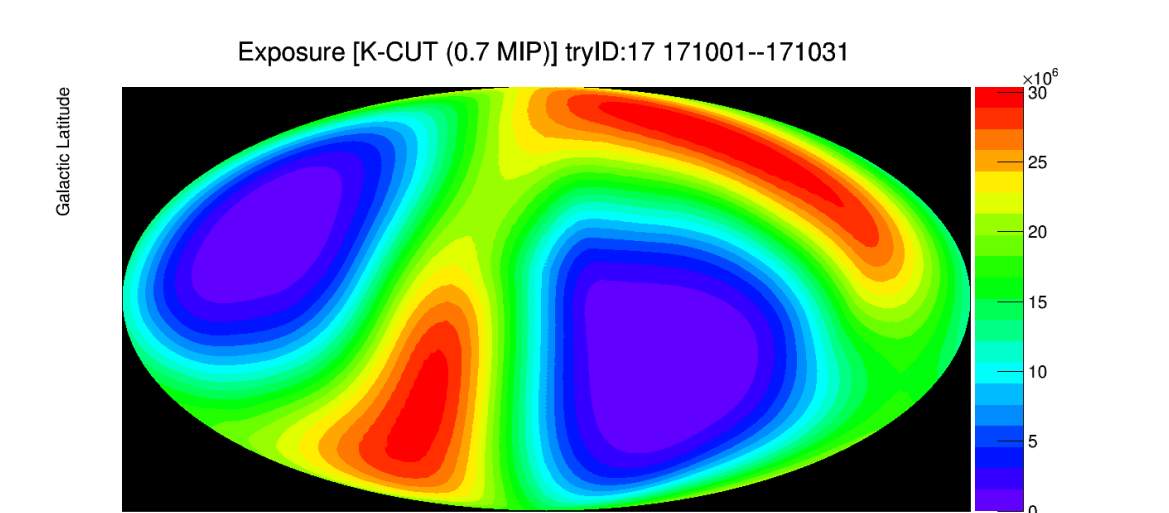


図13. Exposure(2017/10)

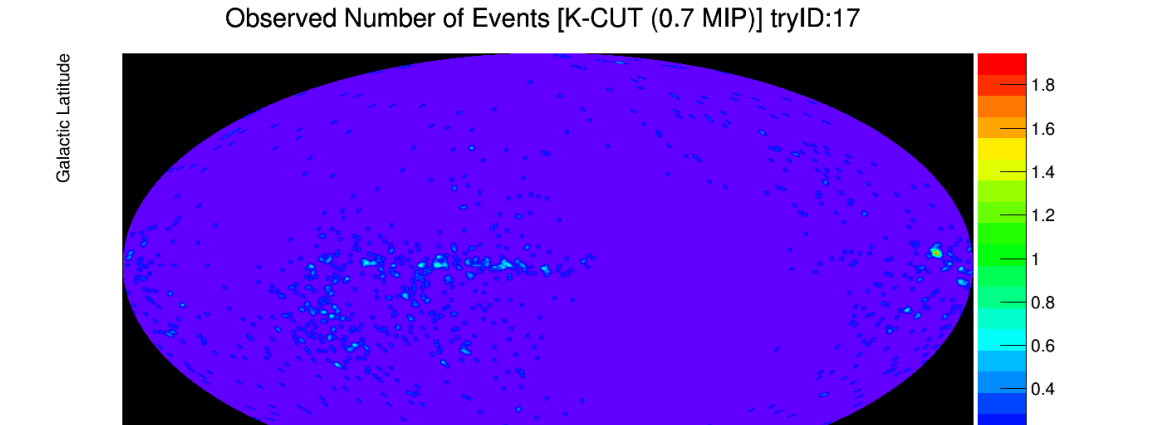


図14. 自動検出したガンマ線候補イベント(2017/10/06-31)

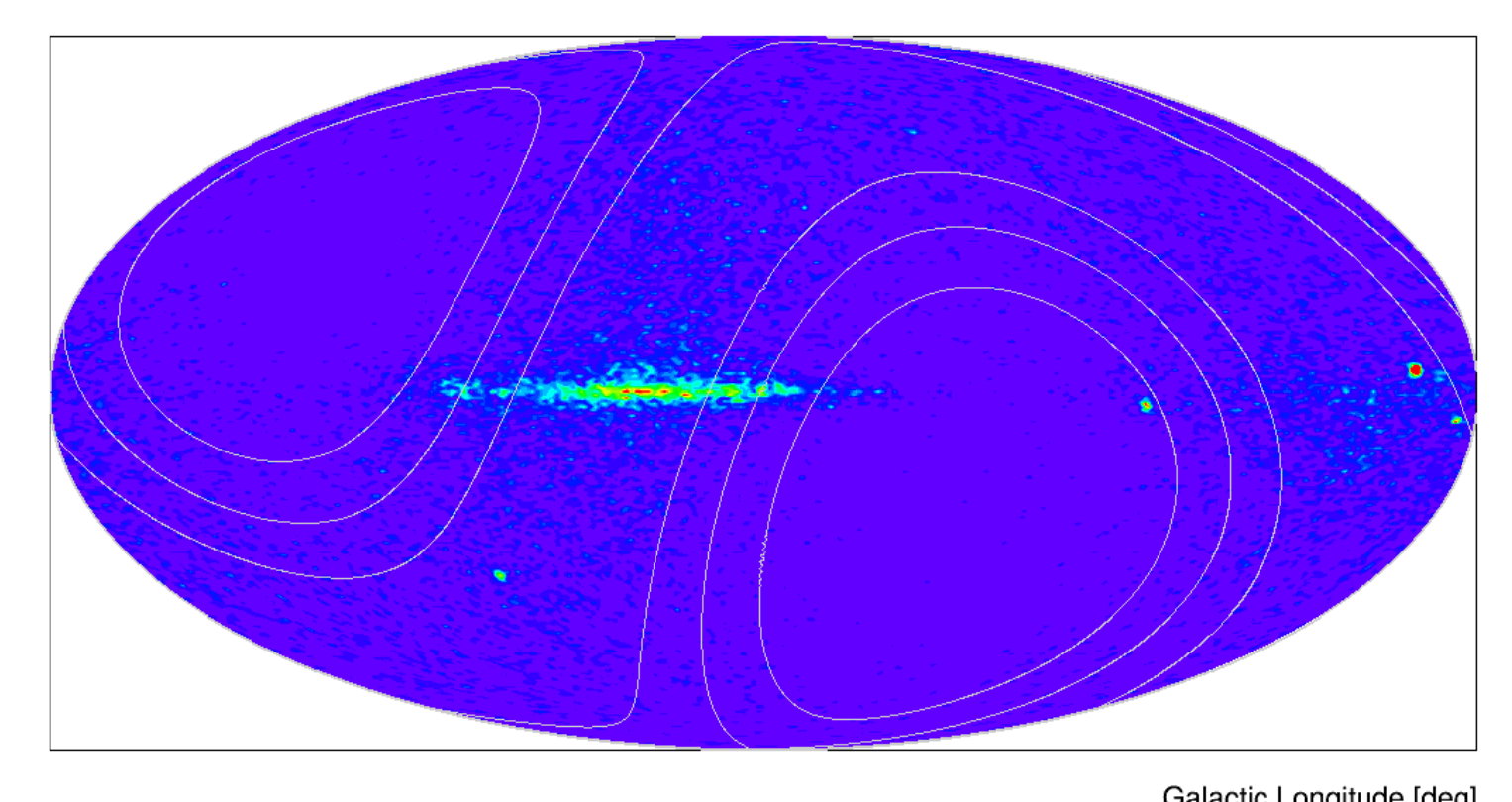


図15. LE run中のガンマ線候補イベント (2015/10-2017/10, 33608events)

## まとめ

- ガンマ線選別: 主に電磁シャワー選別、CHDによる電荷識別
- 同方向判定: 2イベントの角度差がシミュレーションデータで決めた角度分解能以内
- トランジェントガンマ線検出のため、ガンマ線選別と同方向判定をリアルタイムで自動的に行うシステムを開発した