

3次元シリコン半導体検出器を用いた 電子飛跡型コンプトンカメラの開発

加賀谷 美佳

仙台高等専門学校

片桐 秀明¹, 加藤 凌¹, 東城 直美¹, 鶴 剛², 武田 彩希³, 新井 康夫⁴

¹茨城大学, ²京都大学, ³宮崎大学, ⁴KEK

使途

新任のための研究費用：50万

使途

放射線源：10万

ノートPC：20万

直流電源：10万

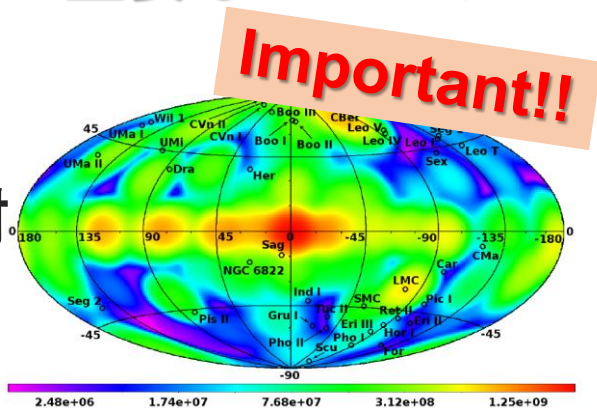
MPPC：5万

その他、消耗品：5万

Sub-MeV ラインガンマ線観測

Sub-MeV 領域のラインガンマ線観測は非常に重要なプローブ

- 超新星残爆発による元素合成の解明
- コンパクトな高エネルギー天体からの放射
- ダークマターの間接的な観測



Siegert et al. 2016

Sub-MeV, MeV 領域の観測は、バックグラウンドガンマ線の多さから観測が難しく、観測技術の開発や観測が遅れている。

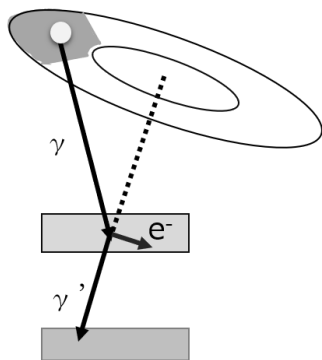
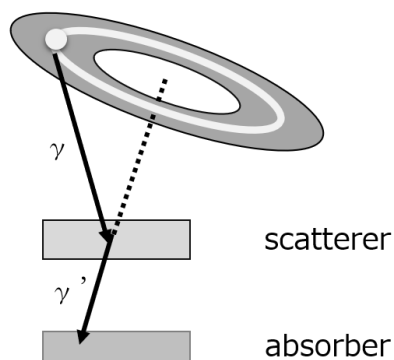
**Ex) INTEGRAL/SPI による銀河中心方向や天体の観測
⇒まだ観測例は多くない。**

本研究では 511 keV やその他 sub-MeV ラインガンマ線を観測するための検出器開発を目指す。

高エネルギー分解能電子飛跡検出型コンプトンカメラ

Classical Compton camera

Advanced Compton camera



Sub-MeV ガンマ線の領域には
コンプトンカメラが有効
広視野・高感度

古典的なコンプトンカメラ

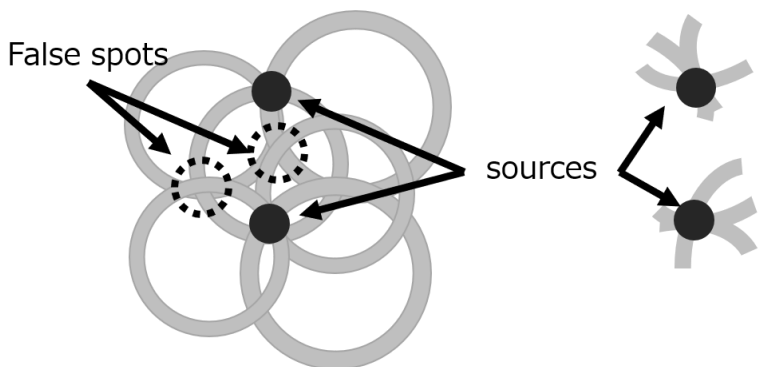
円環で到来方向を推定

円環の重なり⇒バックグラウンド大



電子飛跡型コンプトンカメラ

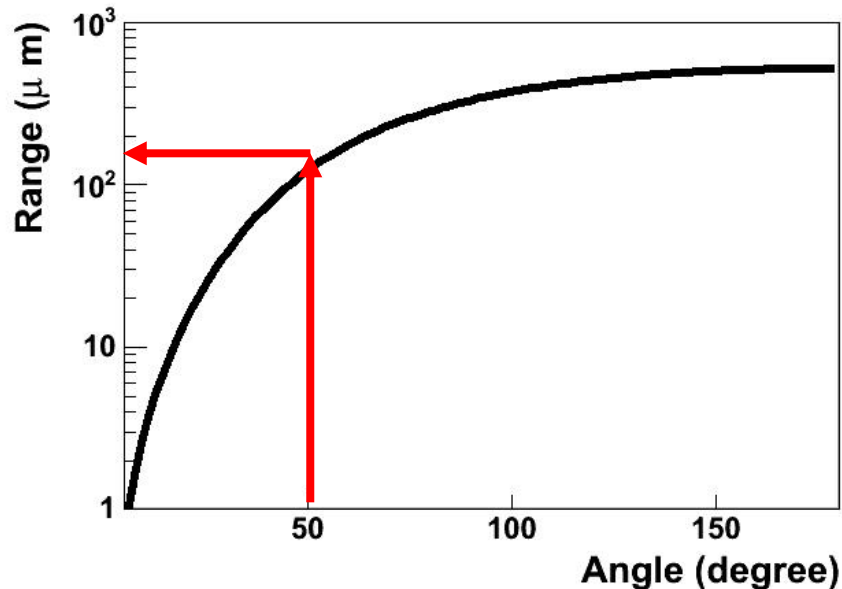
飛跡検出により到来方向を円弧で推定
バックグラウンドを低減



ラインガンマ線の検出にはエネルギー分解能の良い半導体が有効

511 keV の電子飛跡

シリコン中の 511 keV ガンマ線による電子飛跡



Calculated by H. Katagiri
based on Mukoyama 1976.

ex)

入射ガンマ線の散乱角: 50°
電子飛跡の長さ: $100\mu\text{m}$



飛跡の方向を捕らえるには、
ピッチの細かい(数十 μm 程度)半導体検出器が必要

KEK で開発された 3次元半導体検出器 (SOIPIX) に着目

SOIPIX は低消費電力、高速LSI を実現したSilicon-on-insulator (SOI) 技術を搭載したピクセル半導体検出器

XRPIX 2b

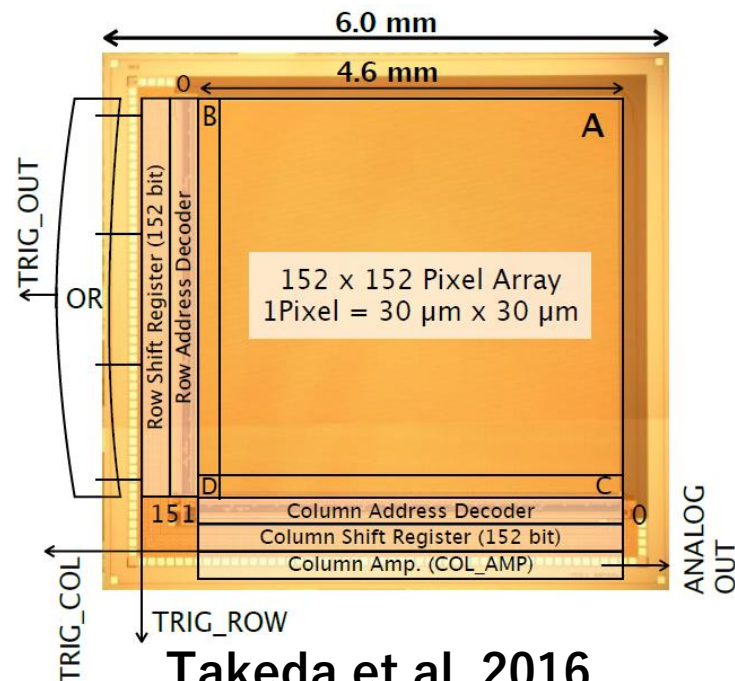
XRPIX シリーズの特徴

各ピクセルが比較器回路を保持、イベント検出時のトリガ情報をピクセルごとに出力することが可能

<XRPIX 2b>

XRPIX シリーズの中で最小のピクセルサイズ ($30\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m}$)

Characteristics	Value
Chip size	6.0 mm \times 6.0 mm
Pixel size	30 μm \times 30 μm
BPW size	12 μm \times 12 μm
Number of pixel	152 \times 152
Effective pixel	144 \times 144
Effective Area	4.3 mm \times 4.3 mm
Thickness of sensor	300 μm



Takeda et al. 2016

本研究の進捗状況

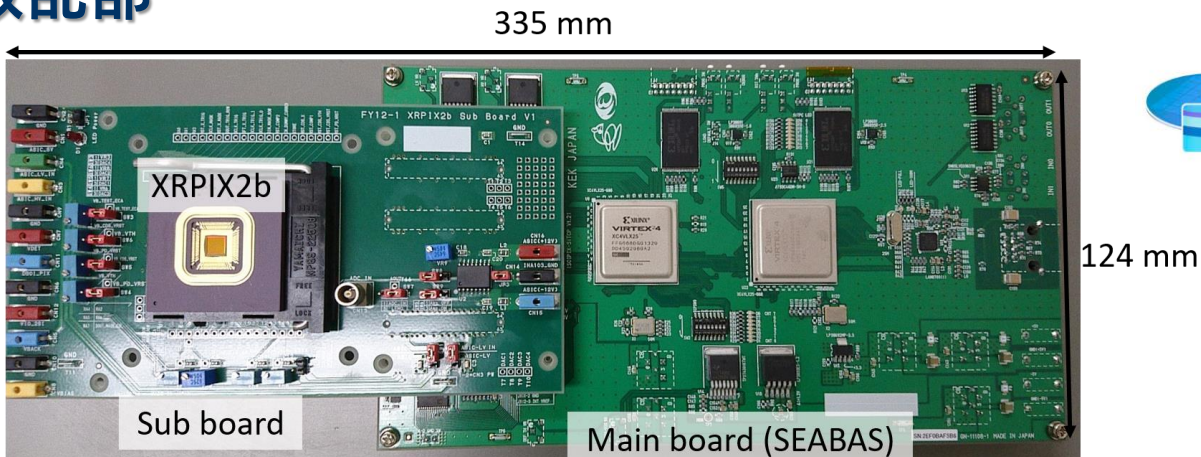
電子飛跡評価用のプロトタイプ検出器を開発
電子飛跡の検出能力を評価

511 keV ガンマ線の電子飛跡を検出できるか
XRPIX2b + CsI (TI) シンチレーション検出器を採用

1. XRPIX 2b とシンチレーション検出器の基本性能の評価
2. 散乱部と吸収部の同期のための読み出しシステムの開発
3. プロトタイプコンプトンカメラ製作
4. 511 keV ガンマ線の測定
5. データ解析

コンポーネント

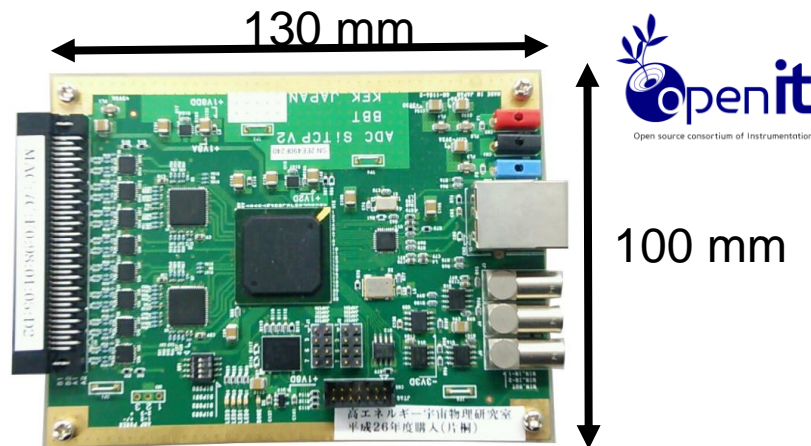
■散乱部



■吸収部



3.5cm cube Cs(Tl)



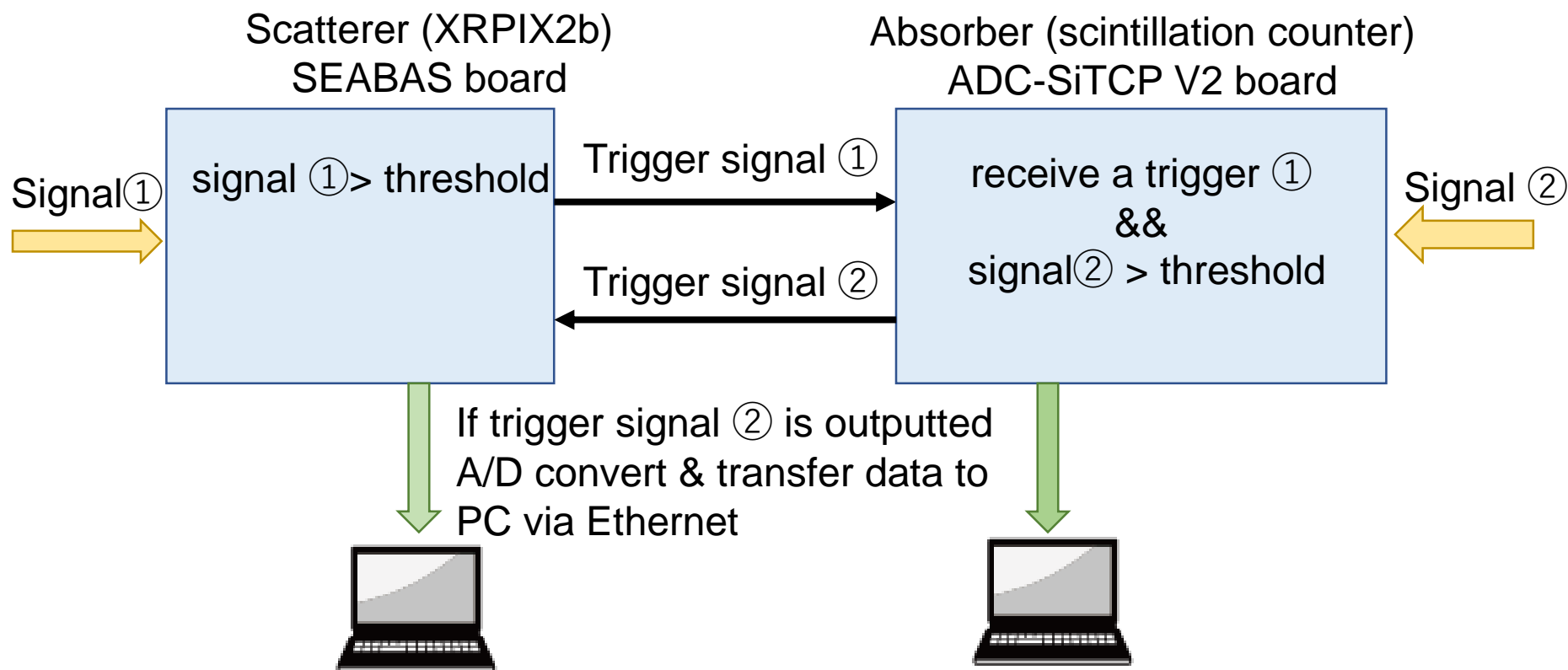
SiTCP-ADC V2 board

今回は光電吸収したエネルギーを検出できればよいため、検出効率を優先して結晶を採用

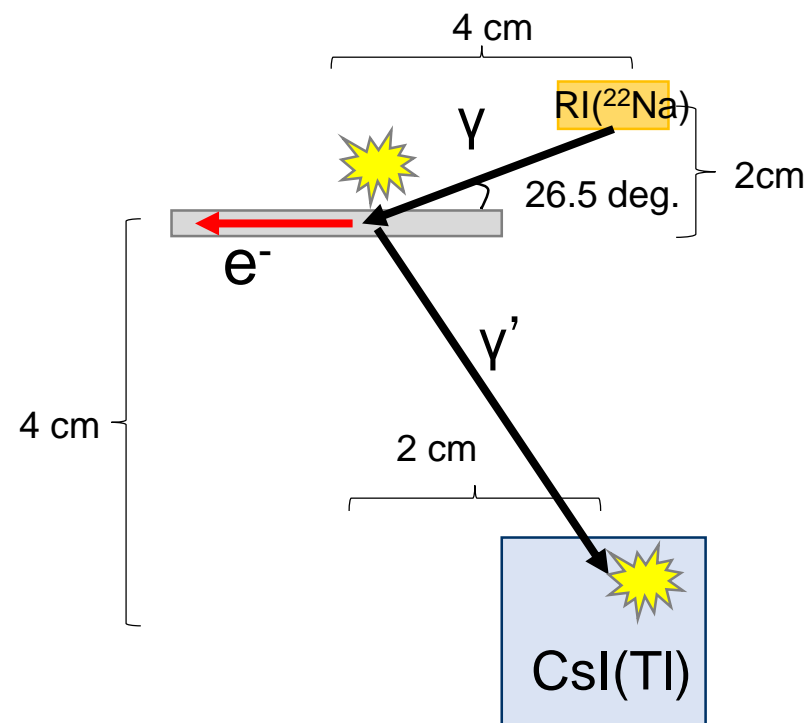
データ同期システム

各読み出しボードの FPGA ロジックを改良
コインシデンスイベントを取得するための同期システムを開発

(R. Kato, Ibaraki Univ.)



プロトタイプでの測定試験



測定条件

RI: ^{22}Na (511 keV)

線源の入射角度: 26.5 degrees

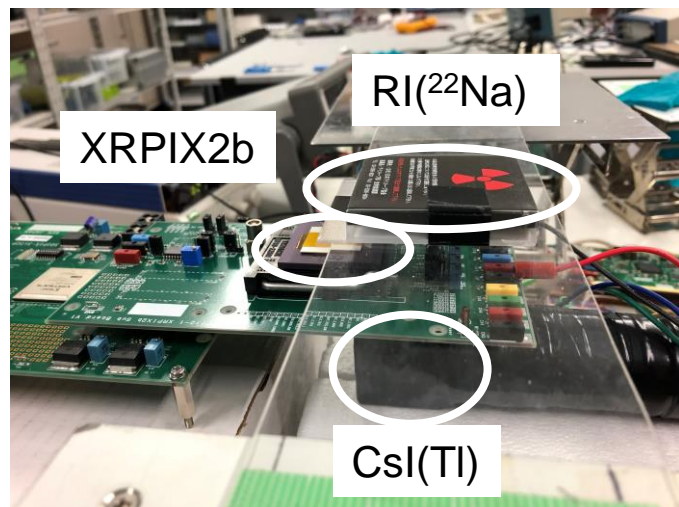
散乱角度: 90 degrees

予想される電子飛跡の長さ: $\sim 300\ \mu\text{m}$

温度: -20 度

バックバイアス電圧: 90 V

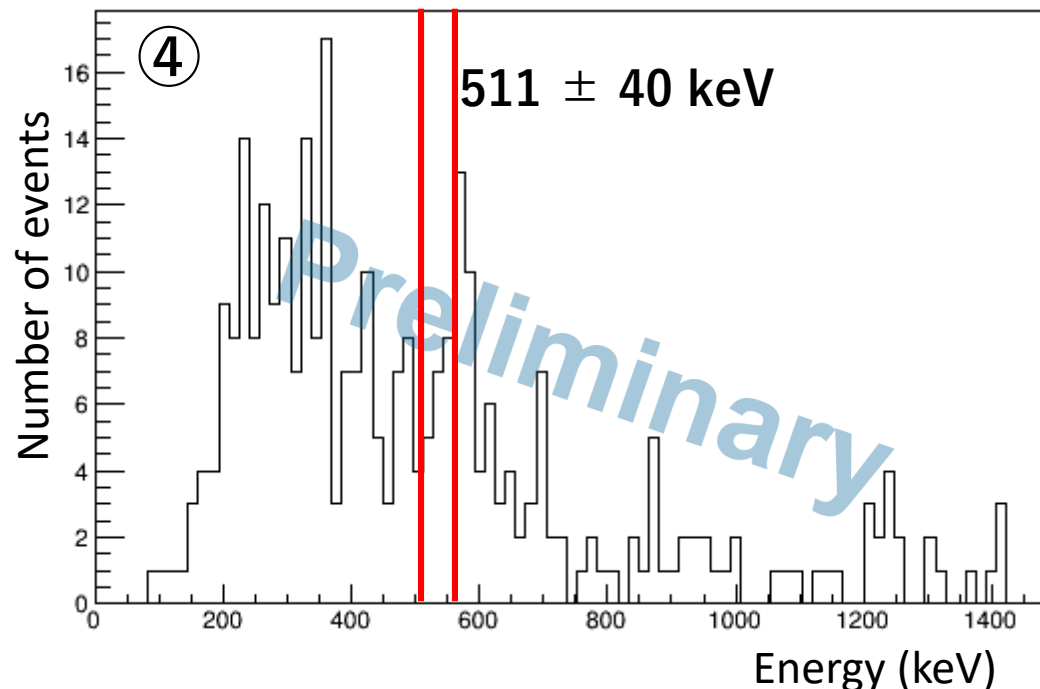
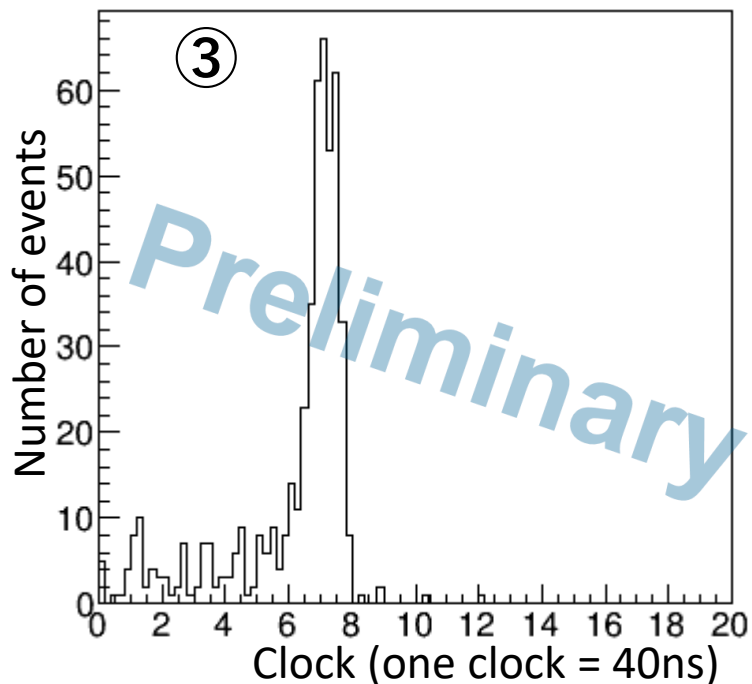
閾値: 40 mV



データ解析

以下の手法でイベントセレクション

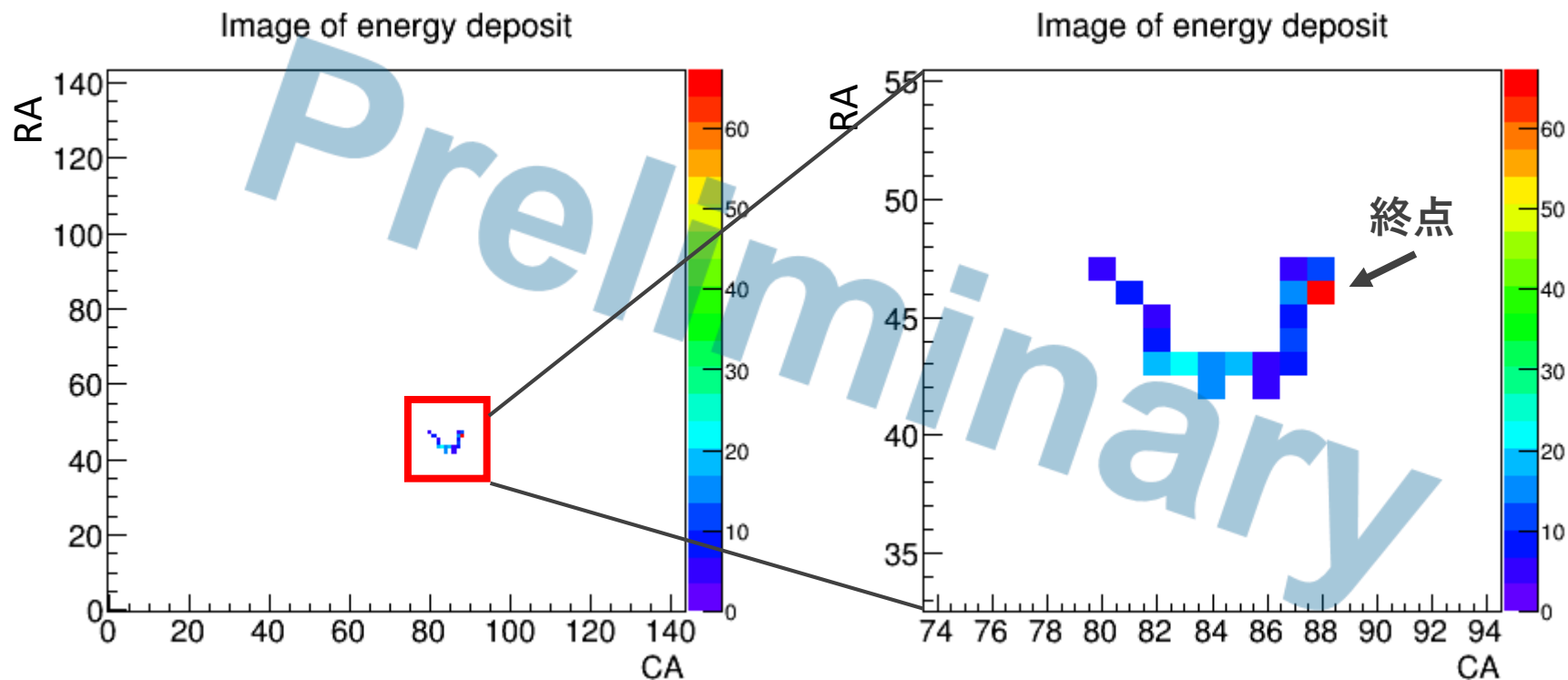
- ① クラスタ解析（隣り合ったピクセルが2ピクセル以上）
- ② 散乱部と吸収部のタイミング分布
- ③ エネルギーカット（ 511 ± 40 keV）



最終的に 7 イベントを選出

電子飛跡のイメージ

511 keV ガンマ線のコンプトン散乱による電子飛跡の検出に成功。



- 読み出しシステム、解析方法は今後も改良が必要
- 様々なエネルギーの線源で様々な散乱角度での評価を今後行う

まとめと今後の展望

Sub-MeV ガンマ線観測に特化した3次元半導体検出器を用いた 電子飛跡検出型コンプトンカメラを開発

- データ同期システムを開発し、プロトタイプを製作
- まだ改良は必要だが、コインシデンスイベントにおける電子飛跡の取得に成功

Future plan

- データ読み出しのシステムの改良
- 様々な入射角度・散乱角度での評価試験
- 解析方法の改良
- 飛跡の散乱方向を決定するための解析方法開発
- コンプトンカメラとしての測定・評価