

μ -PICを用いた MeV γ 線コンプトンカメラの開発

京都大学 宇宙線研究室

M1 松岡 佳大

目次

- 現在までのMeV γ 線測定
- 検出器の紹介
- SMILE計画
- 現在自分が行っている実験の紹介

MeV γ 線で見える天体现象

超新星爆発時に合成され 同位体元素からの核 γ 線 (^{56}Ni , ^{60}Co)
ブラックホールの降着円盤内側での π^0 の崩壊に伴う放射

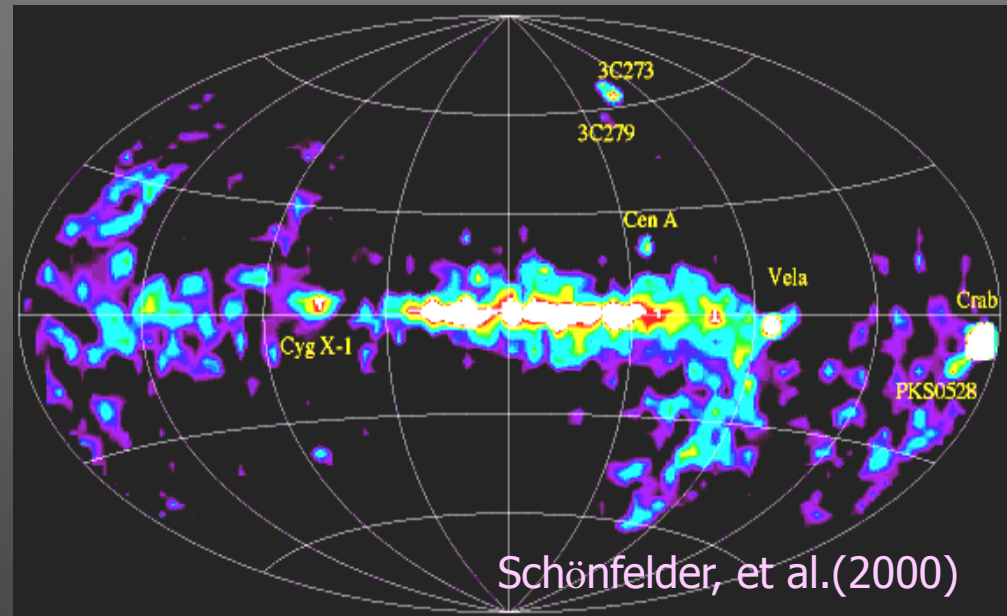
COMPTELによる結果

定常的なMeV γ 線天体 32個

GRB ソース 約30個



予想される感度は
得られなかった。



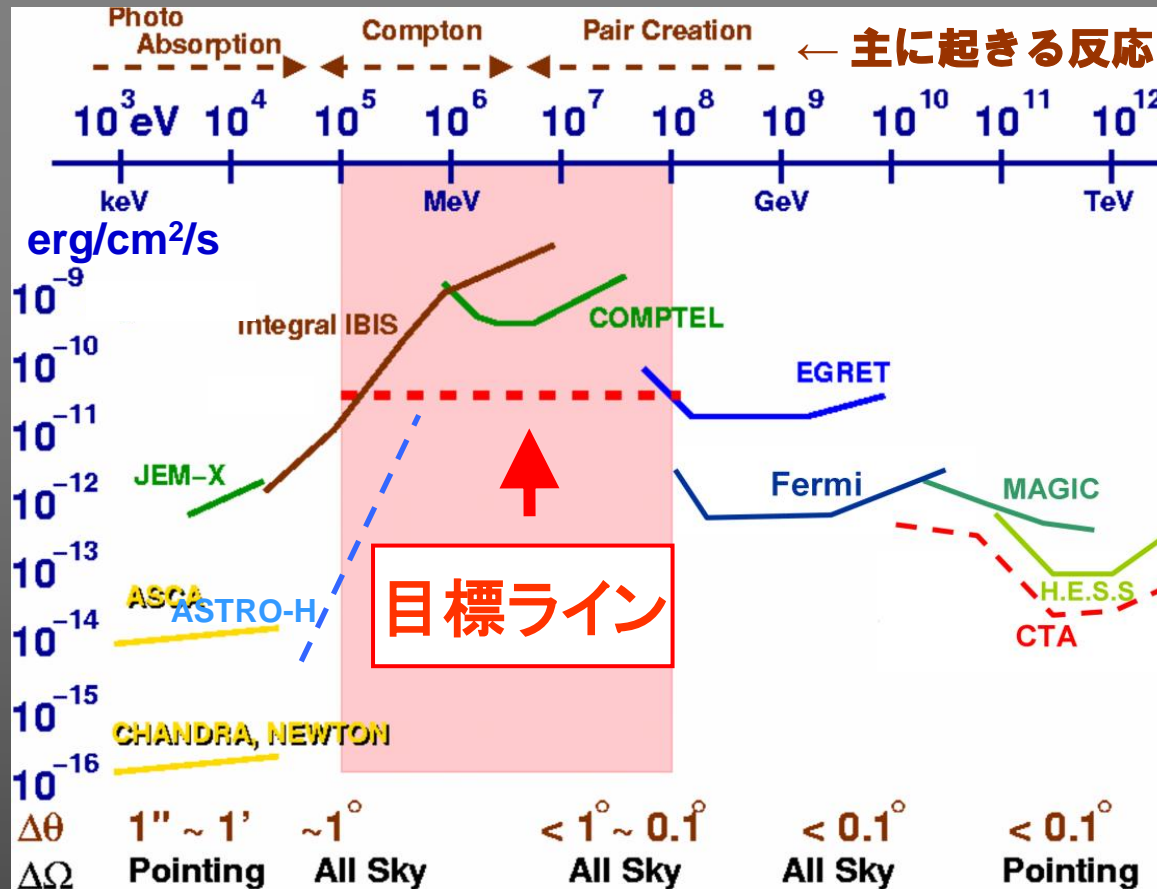
COMPTELによる全天マップ

(1~30MeV)

CGRO衛星搭載(1991)

主なX、 γ 線検出器のエネルギーバンドと感度

感度
悪
↓
良



- 到来方向の決定が困難
- 光子数が少ない
- バックグラウンドが多い

MeV γ 線コンプトンカメラの開発

γ 線 \rightarrow 反跳電子 + 散乱 γ 線

● μ -TPC (μ PICを用いたTPC)

\Rightarrow 反跳電子の飛跡とエネルギー

● シンチレータ・アレイ

\Rightarrow 散乱ガンマ線の吸収点とエネルギー

1光子毎にコンプトン散乱を再現

- 1光子 \Rightarrow 到来方向 + エネルギー
- 大きな視野 ($\sim 3\text{str}$)
- 強力なバックグラウンド除去能力

運動学的に

$$\cos \alpha_{\text{kin}} = \left(1 - \frac{m_e c^2}{E_\gamma} \right) \sqrt{\frac{K_e}{K_e + 2m_e c^2}}$$

MeV γ -ray

Drift plane

μ -TPC

(ガス検出器)

e^-

μ -PIC

シンチレータ・アレイ

PMTs

ETCC Electron-Tracking Compton Camera

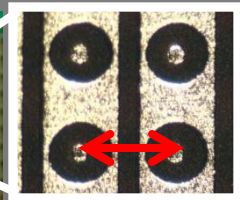
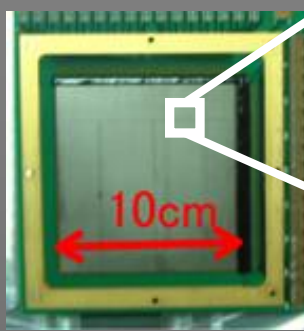
幾何学的に

$$\cos \alpha_{\text{geo}} = \vec{g} \cdot \vec{e}$$

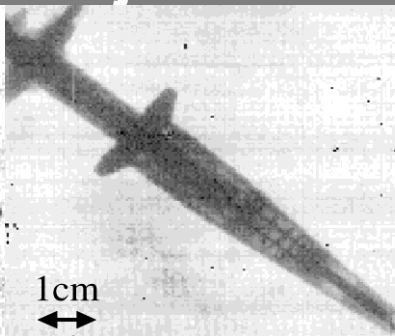
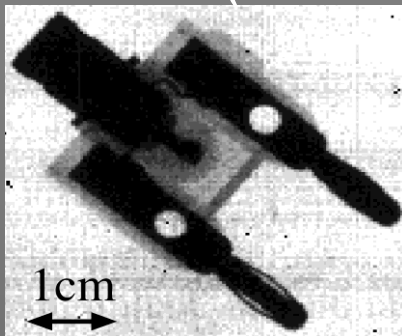


μ-TPC

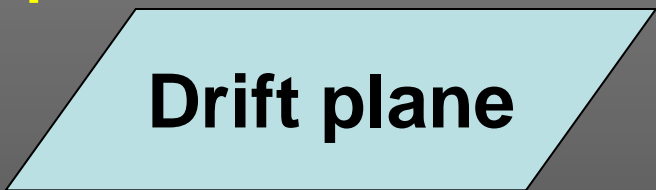
μ-PIC(Micro Pixel Chamber)用いた
TPC(Time Projection Chamber)



400μm ピッチ
256ストリップ



μ-PIC

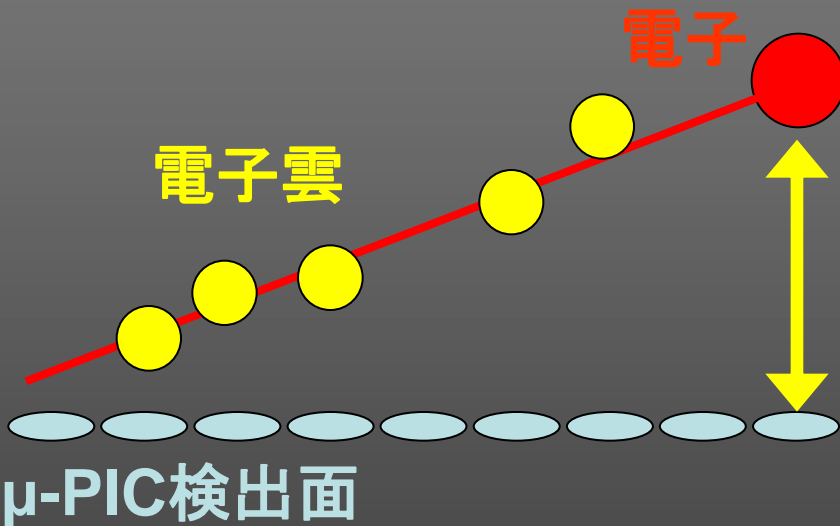


電場

カソード

アノード

256 x 256 = 65536 ピクセル



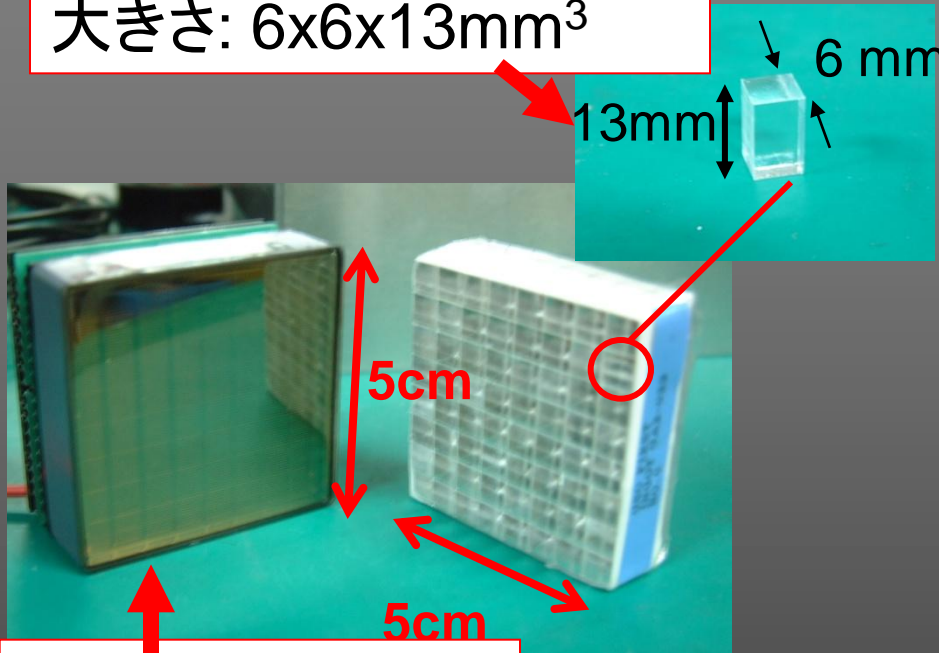
到達時間の差が高さの差に相当

反跳電子の

飛跡 と エネルギー を取得

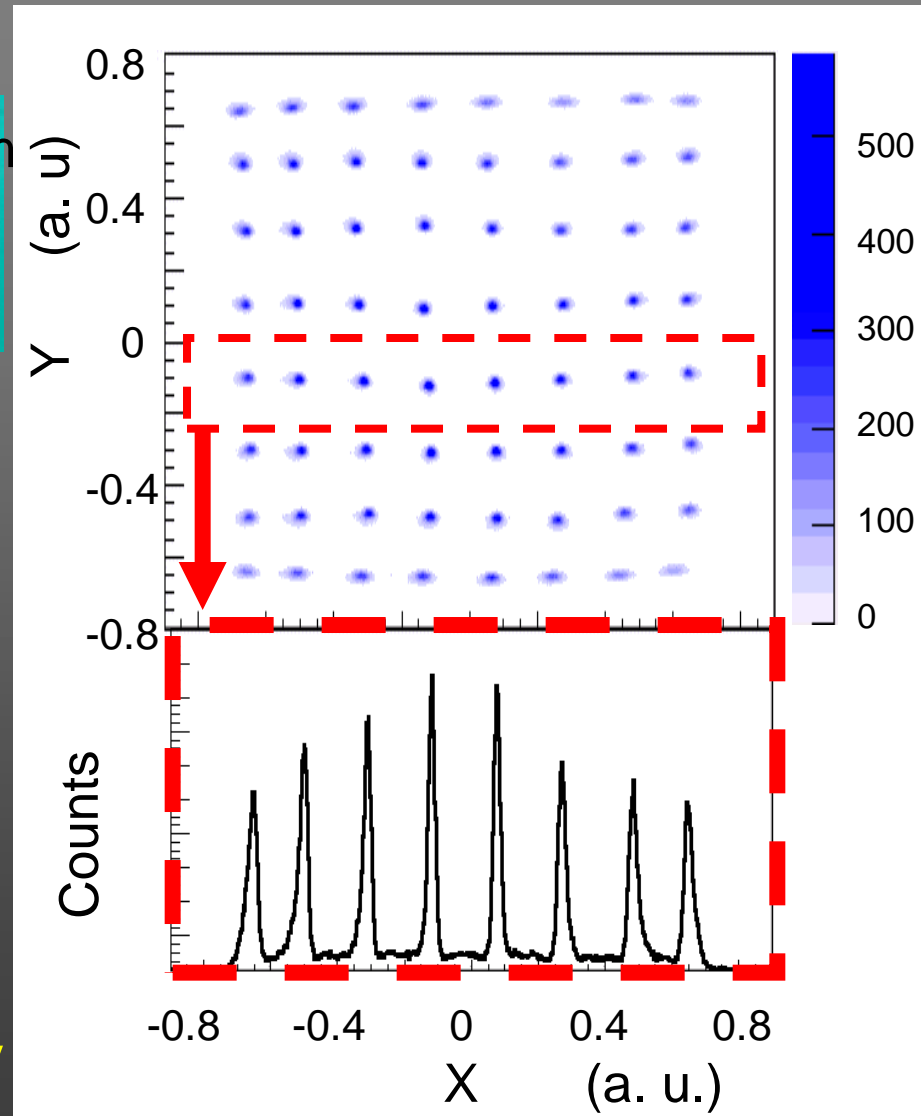
シンチレータ・アレイ

GSO(Ce) 8x8 ピクセル
大きさ: $6 \times 6 \times 13 \text{ mm}^3$



光電子増倍管
HPK H8500 8x8

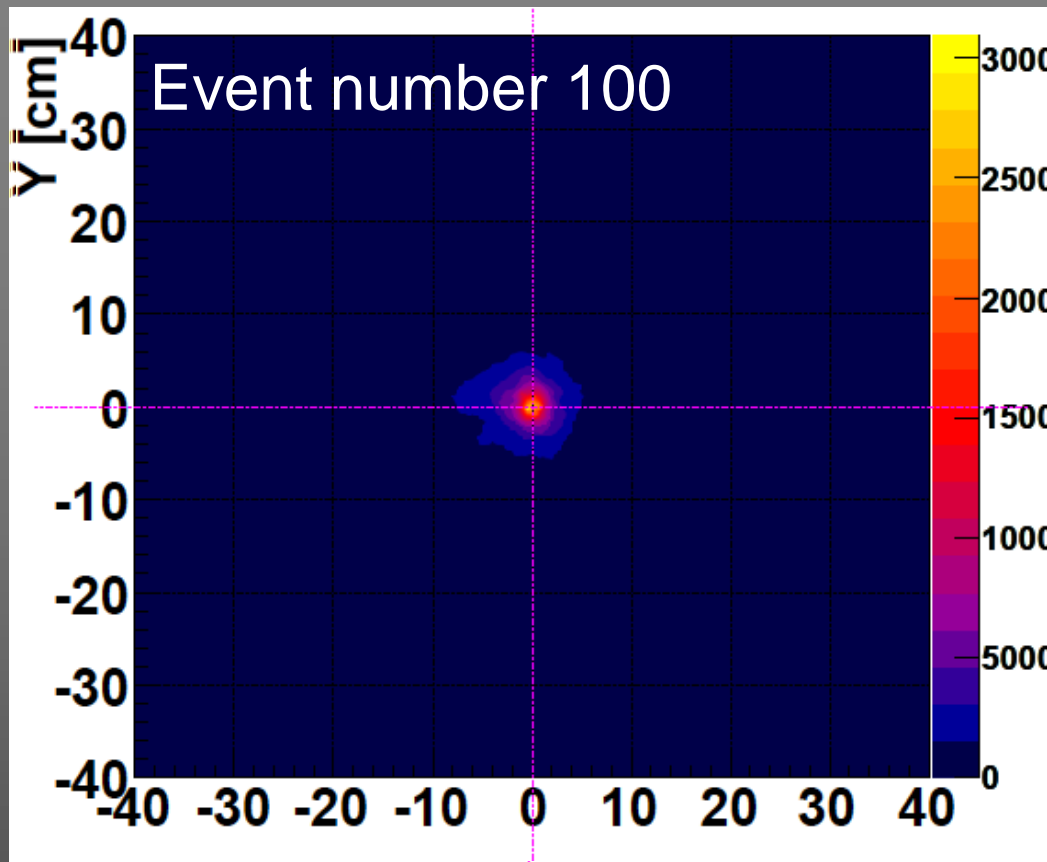
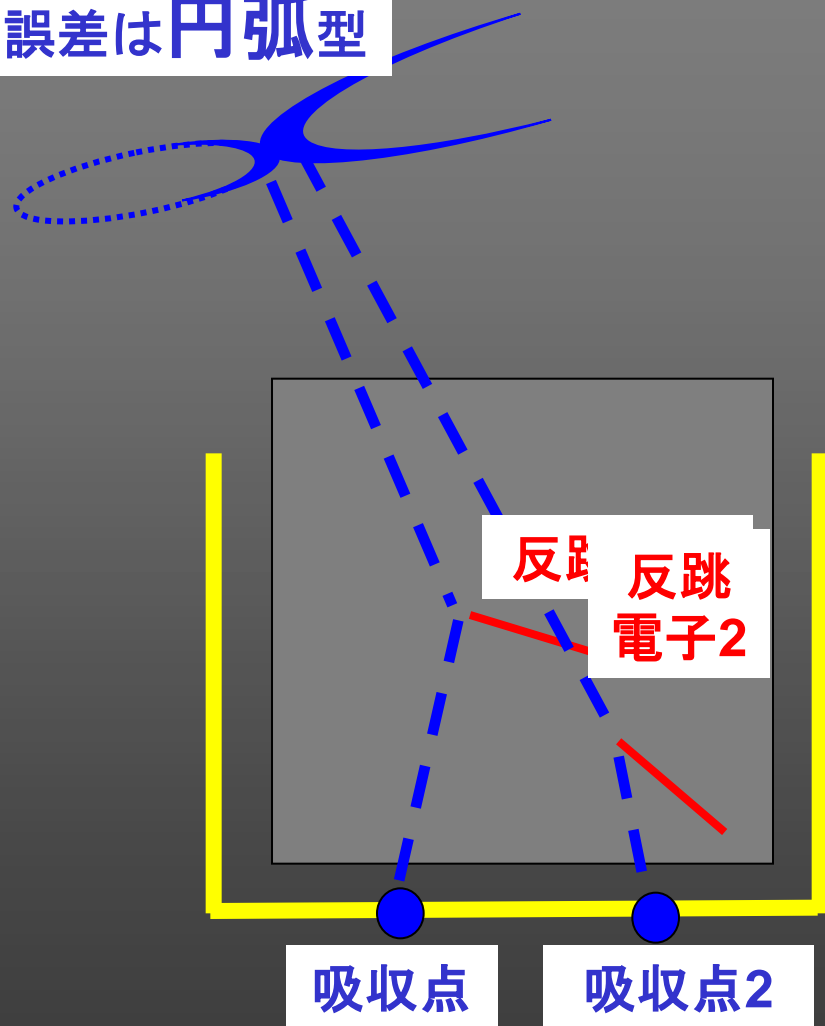
測定可能エネルギー: $0.08 - 1 \text{ MeV}$
エネルギー分解能: $10.5\% @ 662 \text{ keV}$



2次元イメージング (全面照射 ^{137}Cs)

コンプトン散乱の再構成

誤差は円弧型



^{133}Ba

少ない光子数で

到来方向の決定が可能！

SMILE計画 *Sub-MeV gamma-ray Imaging* *Loaded-on-balloon Experiment*

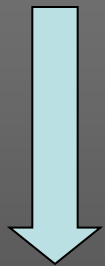
(10cm)³ ETCC @三陸 (2006/9/1)



動作試験

・宇宙背景・大気ガンマ線測定に**成功！！**

(30cm)³ ETCC @ 日本 6時間 (2012~)



・明るい天体(Crab or Cyg X-1等)の観測
⇒検出効率・有効面積拡大、省電力化が必須

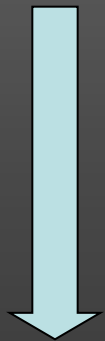
(40cm)³ ETCC (201?~)

スーパープレッシャー気球~10日間

0.1-100MeV コンプトン/対生成モード

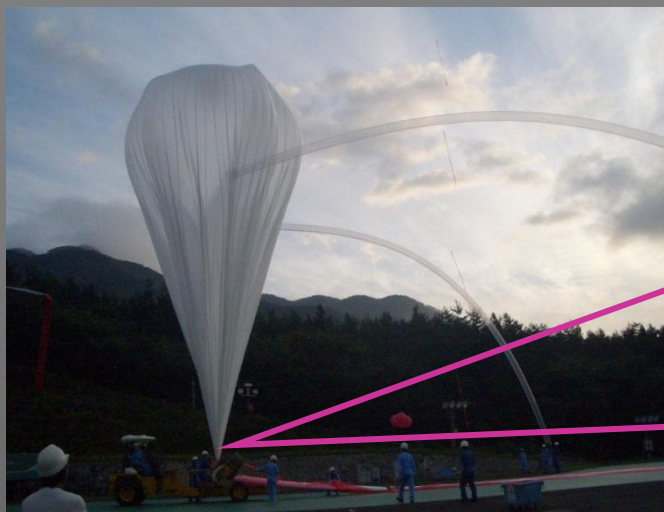
・銀河面・中心の観測

⇒大型化、対生成モード原理実証が必要

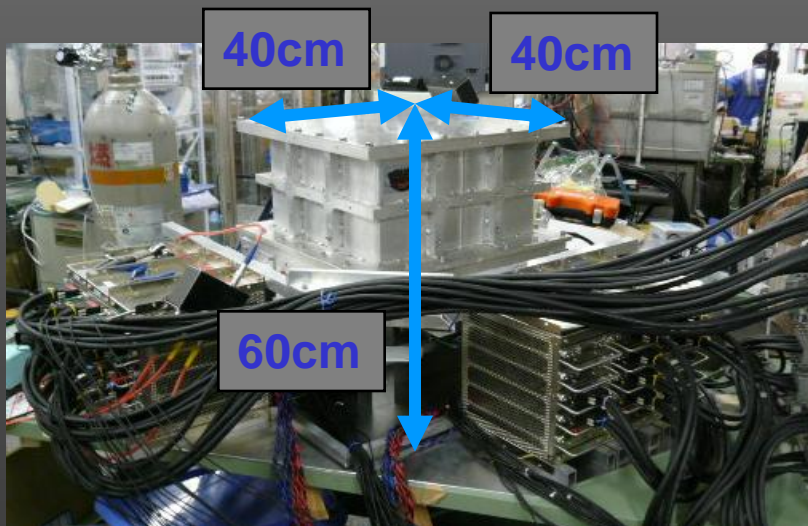
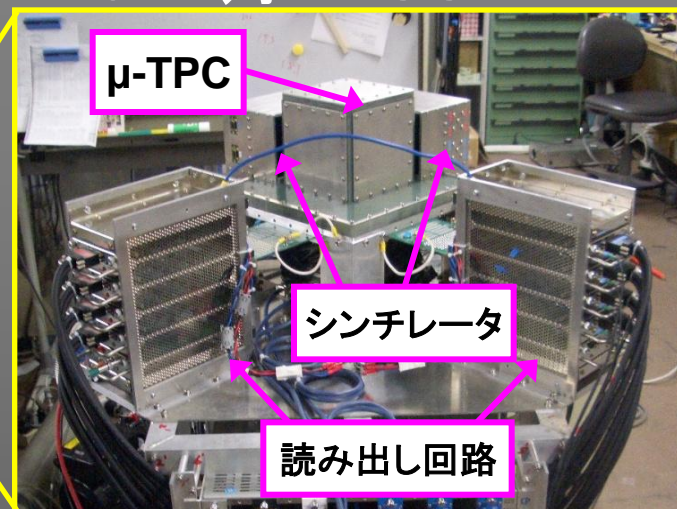


(50cm)³ ETCC 衛星に搭載し全天サーベイ

SMILE I と その後の改良点



10cm角 ETCC



30cm角 ETCC

検出効率の向上

- 大型化 - 10cm角 → 30cm角
- 封入ガス - $\text{Ar} + \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{CF}_4$ を追加
- 省電力化
- エレクトロニクスの改善
- 800 μm ピッチ 読み出し

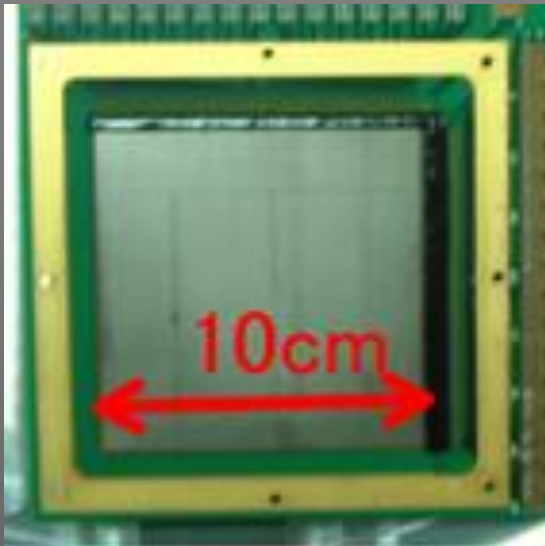
μ -PICの 800 μ mピッチ読み出しの検証

2ストリップごとにまとめる

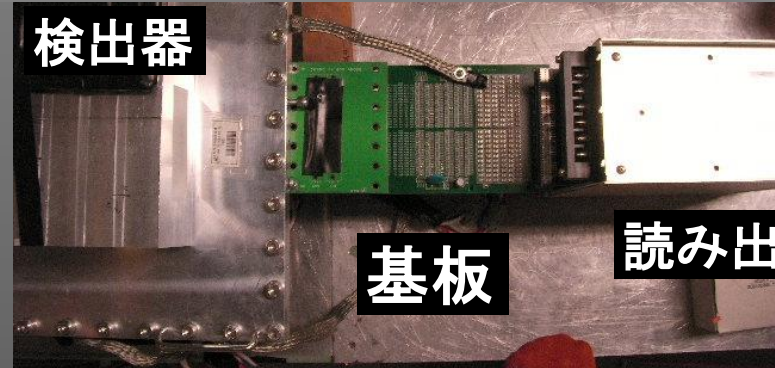
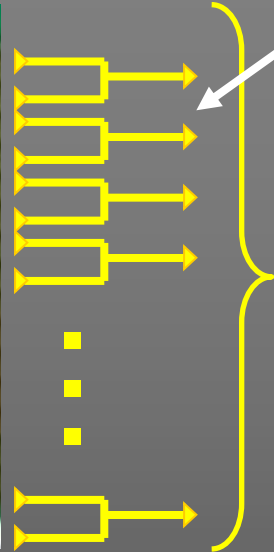
256ストリップ
400 μ m



128ストリップ
800 μ m

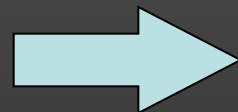


10cm \rightarrow 256ストリップ



その後の読み出し回路がすべて半分になり、電力消費を大幅に削減できる。

位置分解能が変わるはず...



どの程度変化するか検証

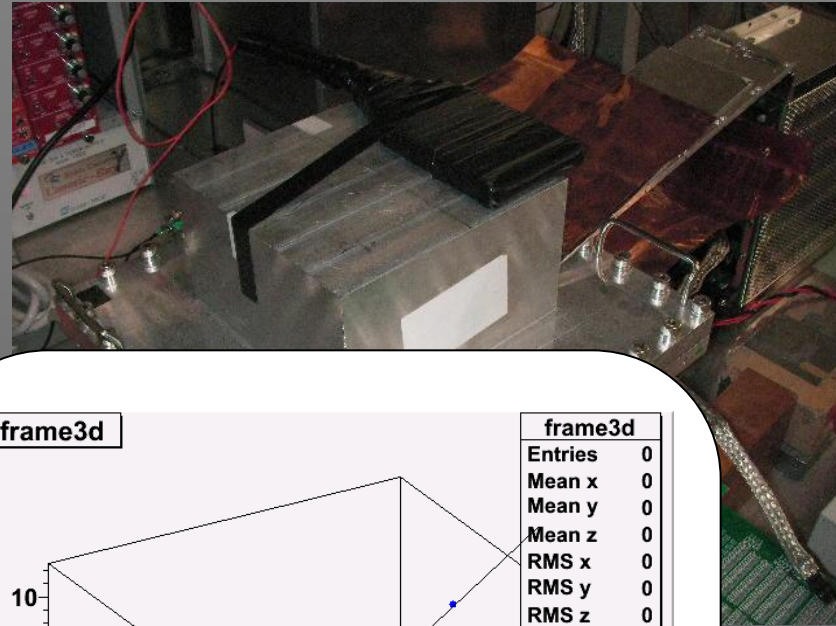
位置分解能の測定

ミュオン測定

μ -TPC

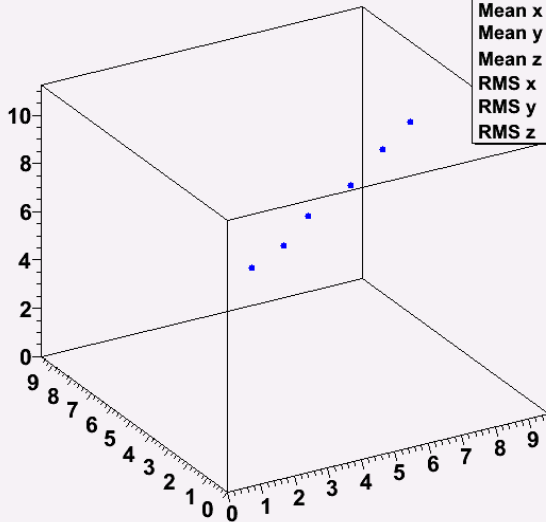
ミュオン

プラスチックシンチ



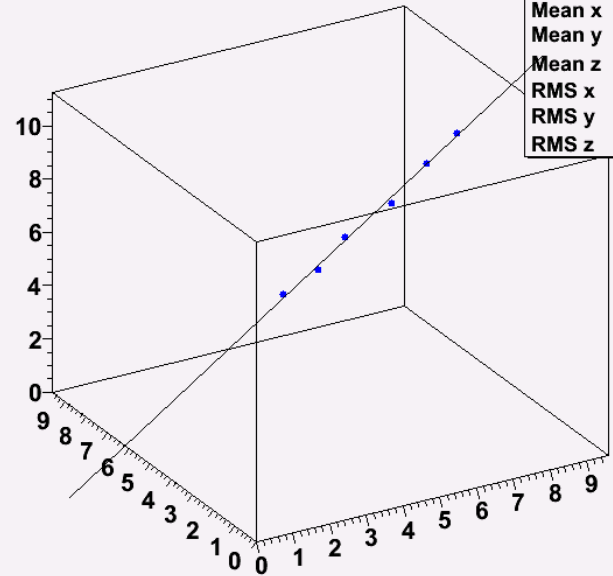
frame3d

frame3d	
Entries	0
Mean x	0
Mean y	0
Mean z	0
RMS x	0
RMS y	0
RMS z	0



frame3d

frame3d	
Entries	0
Mean x	0
Mean y	0
Mean z	0
RMS x	0
RMS y	0
RMS z	0



トラッキングに成功！！



現在、フィッティング直線との差から位置分解能を解析中

まとめ

- MeV γ 線天文学
 - 未開拓な領域であり、新たな発見の場
- コンプトンカメラの開発
 - 電子の飛跡の取得により、到来方向を一意に決定
- SMILE計画
 - 動作実験に成功(2006)
 - 次回放球に向け、さまざまな改良
- 800 μm ピッチ読み出しの検証
 - ミューオンのトラッキングに成功
 - 位置分解能の解析へ

おしまい