

# $\mu$ -PICを用いた30cmETCCの開発状況

京都大学 宇宙線研究室 小田真

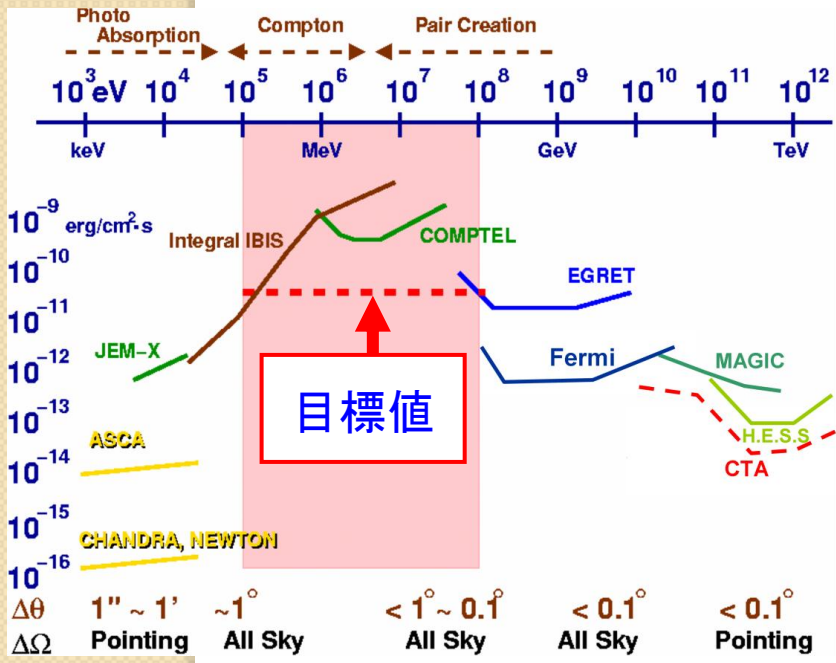
## 目次

- MeVガンマ線天文学
- 電子飛跡検出型コンプトンカメラETCC
- ガス飛跡検出器 $\mu$ -TPC
- ETCC性能
- 性能試験
- まとめ



Open source consortium of Instrumentation

# MeVガンマ線天文学

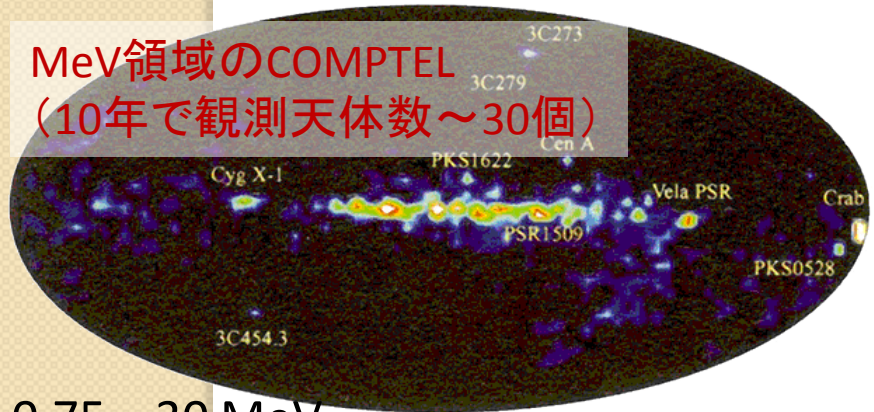


他の領域に比べ圧倒的に感度が悪い

## 原因

- ・コンプトン散乱優位で検出が難しい
- ・機器や大気との相互作用から生じるガンマ線などのバックグラウンドが多い
- ・X線、紫外線よりガンマ線はフラックスが小さい

MeV領域のCOMPTEL  
(10年で観測天体数~30個)



0.75—30 MeV  
Schönfelder, et al.(2000)

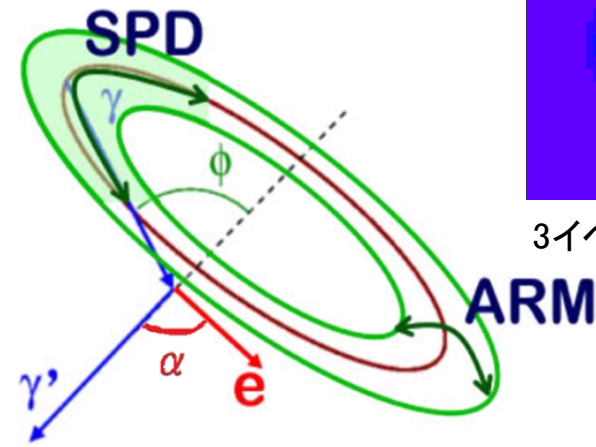
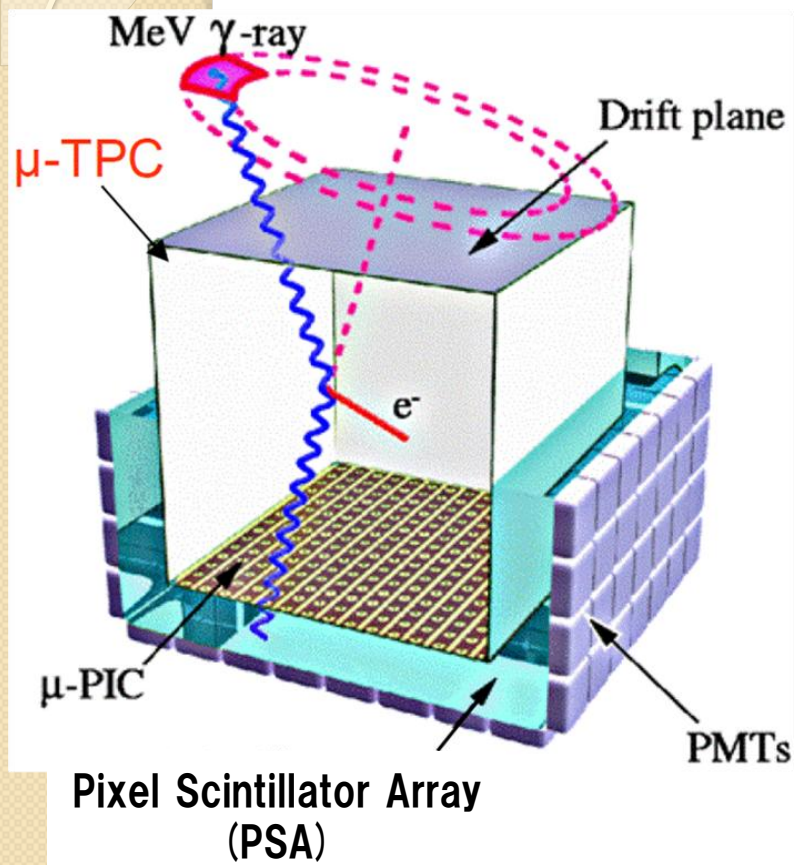
## 気球実験SMILE-II

目的: ETCCのイメージング性能の検証

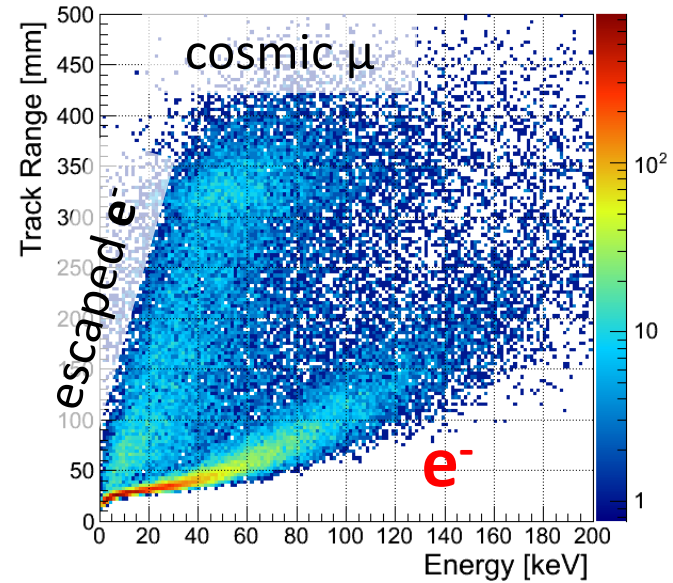
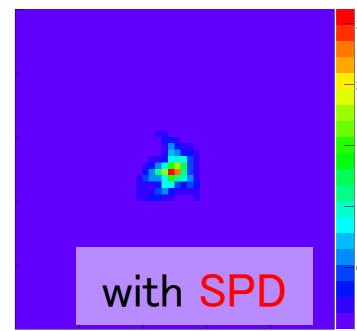
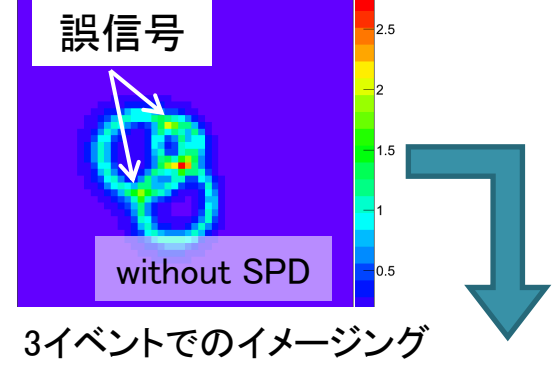
- 検出器: 30cm角ETCC
- 高度: 40km
- 観測時間: 数時間
- エネルギー範囲: 0.1-1.5MeV

高度~40km数時間でかに星雲観測を $3\sigma$ 以上の有意度で観測  
⇒ 要求値: 有効面積  $> 0.5 \text{ cm}^2$  角度分解能  $< 10$ 度

# 電子飛跡検出型コンプトンカメラETCC



ARM: 散乱角 $\phi$  の決定精度  
 SPD: 散乱平面の決定精度



電離損失  $dE/dX$  分布

ガス検出器  $\mu$ -TPC  
 ⇒ 反跳電子のエネルギーと3次元飛跡  
 GSOシンチレーションカメラ(PSAs)  
 ⇒ 散乱ガンマ線のエネルギーと吸収点



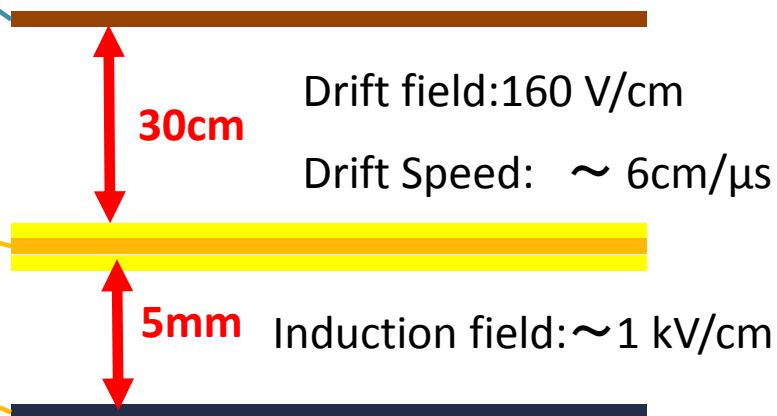
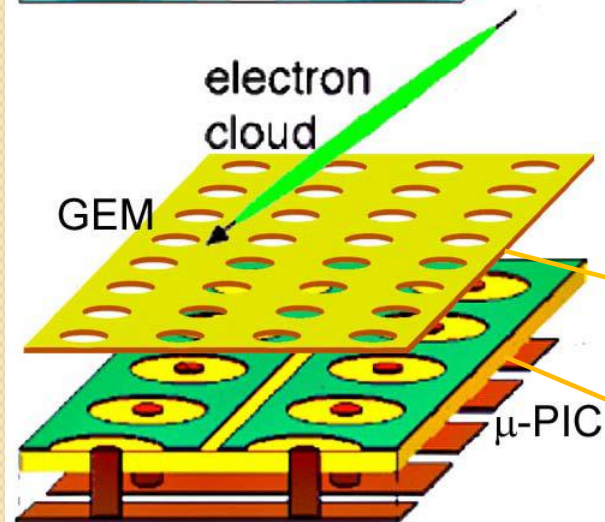
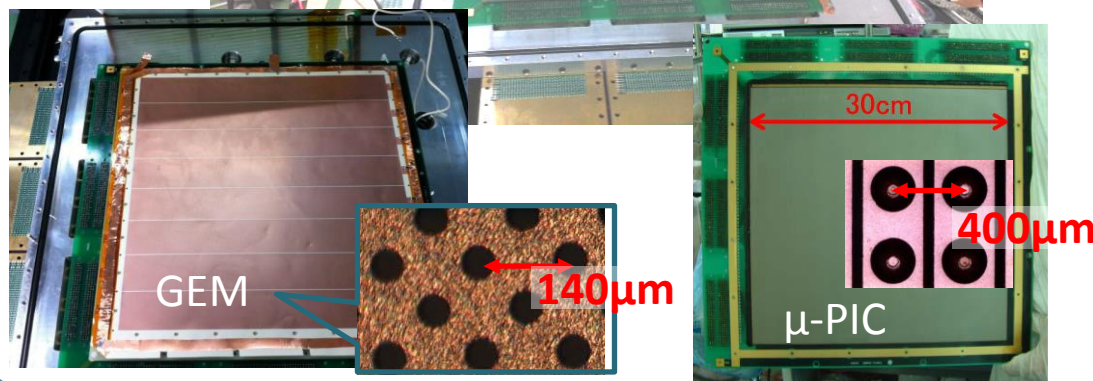
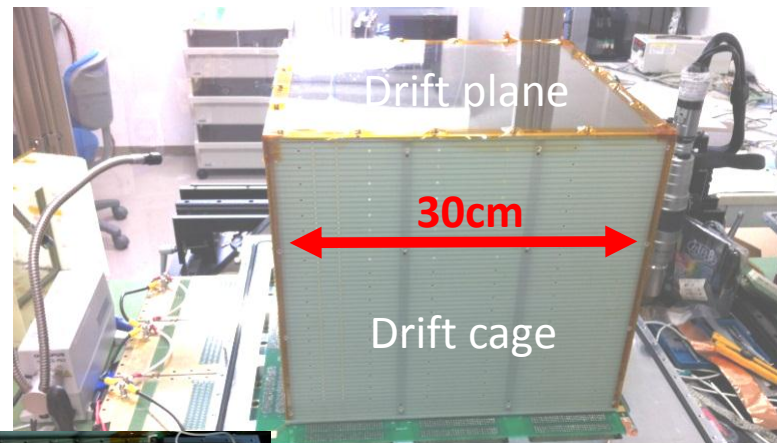
# ガス飛跡検出器 $\mu$ -TPC

## 使用ガス

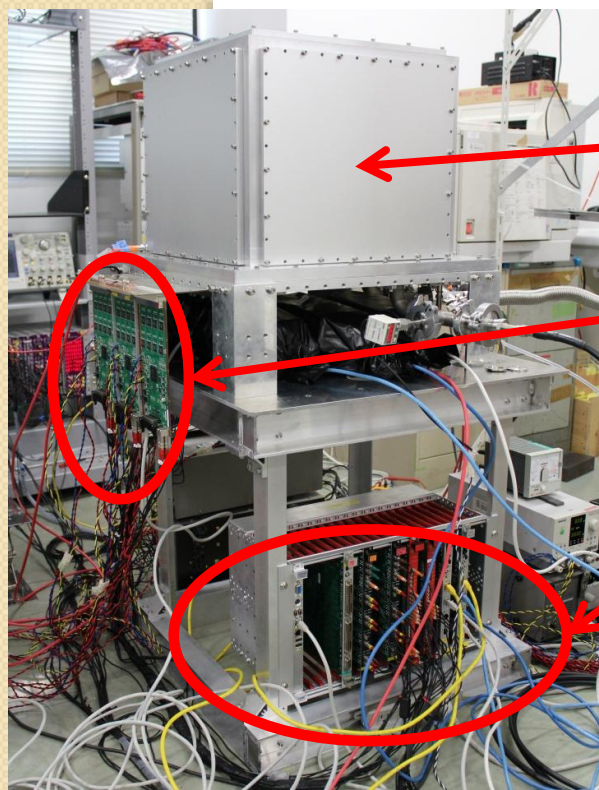
Ar/CF<sub>4</sub>/iso-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>(95/3/2)

1 atm、封じ切り

- ・高ゲイン
- ・速い Drift speed



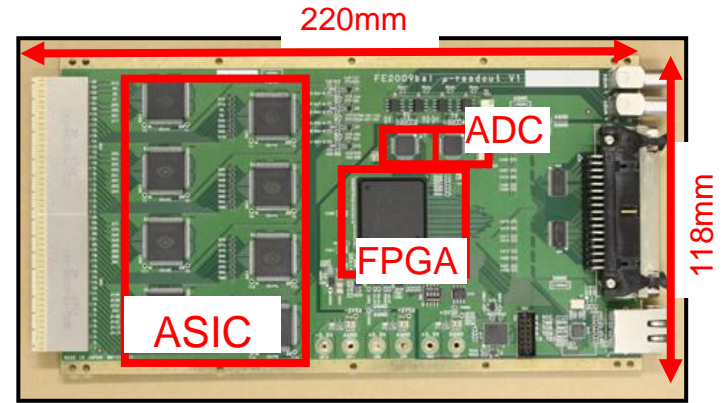
# μ-TPC: データ読み出し



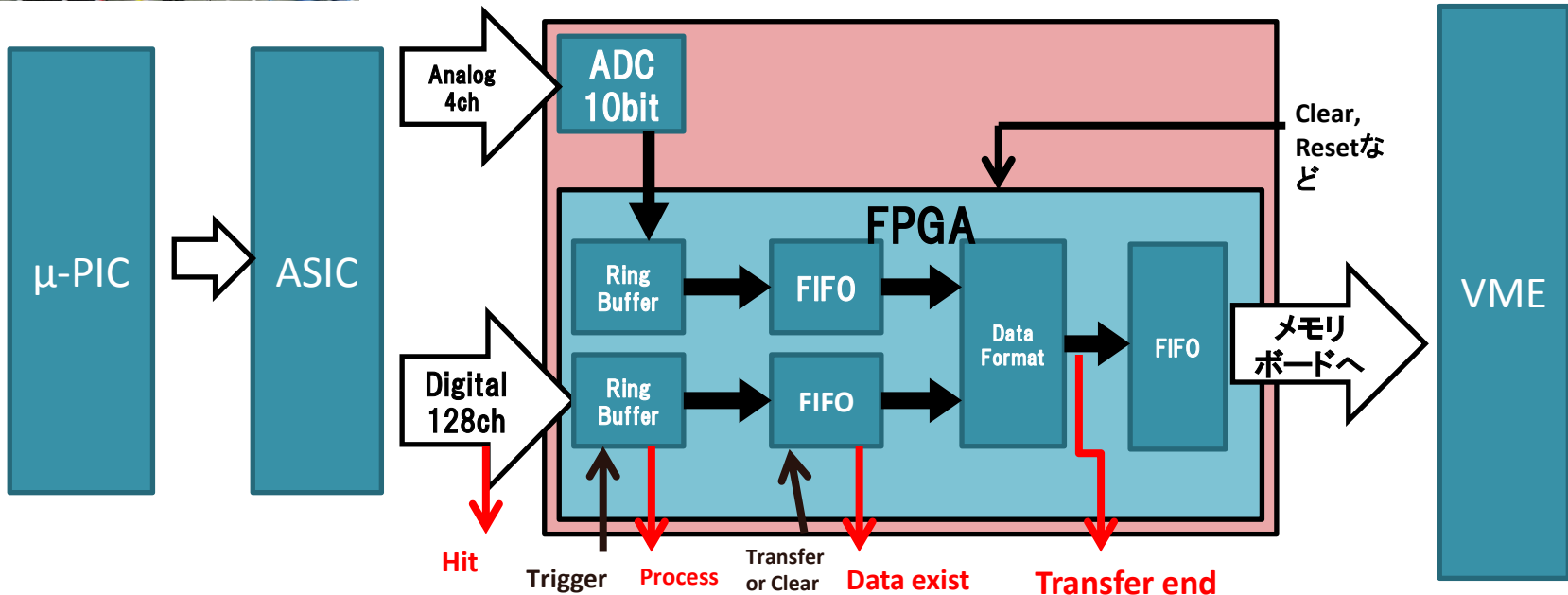
30cm TPC  
ガス容器

μ-PIC信号  
読み出し回路×3枚

VME

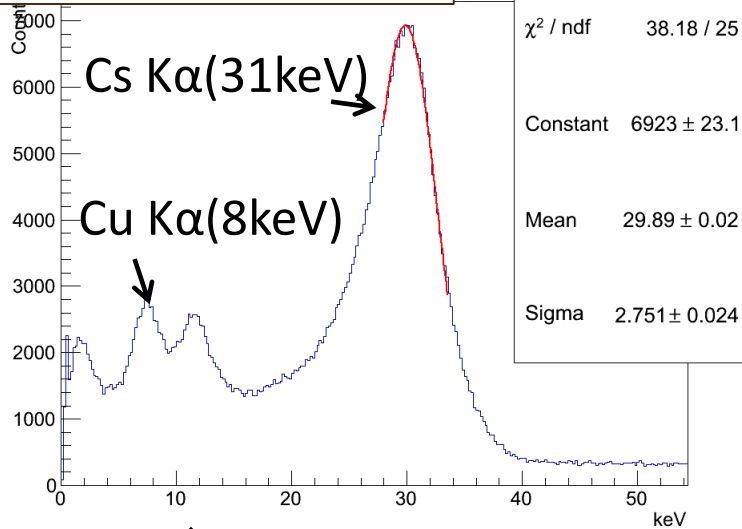


ボード1枚あたり、128stripのhit dataと4ch分  
(1chは32stripの合計)のFADC波形データを取り  
出せる



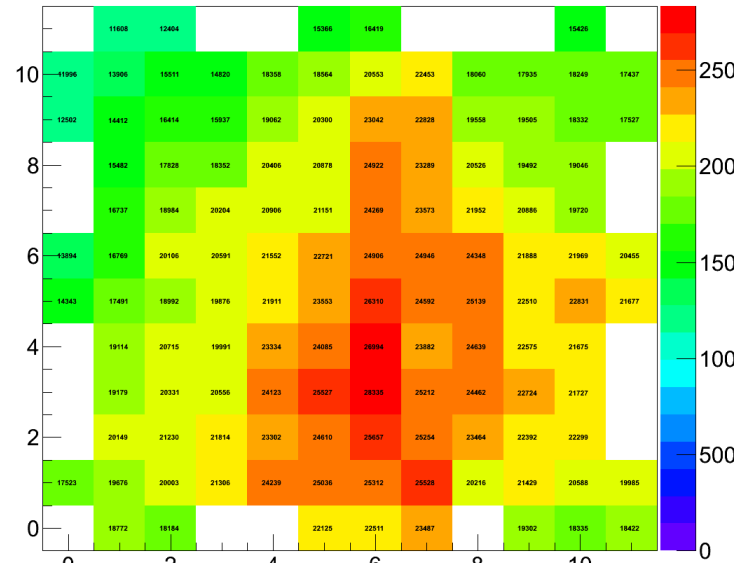
# μ-TPC: データ測定

133Ba線源のスペクトル

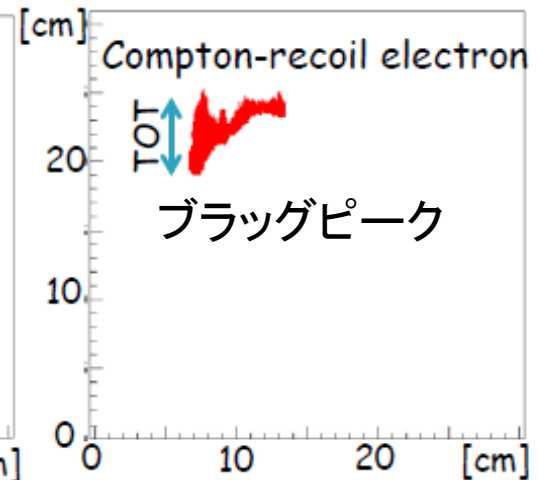
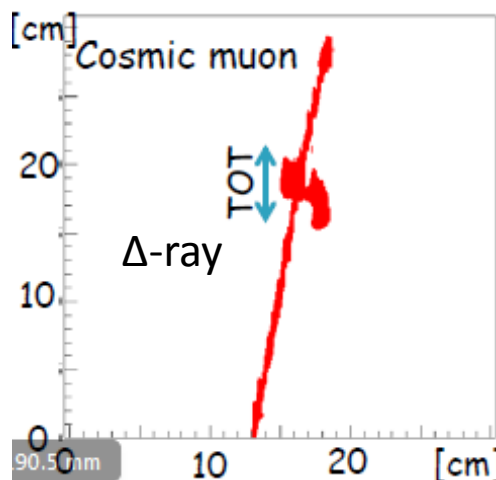
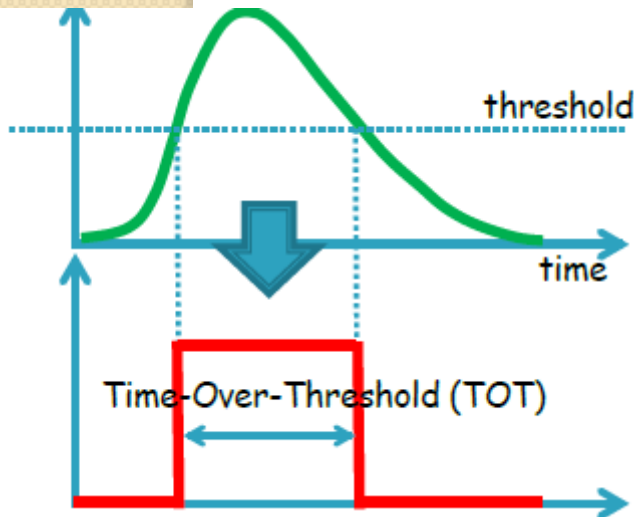


エネルギー分解能: FWHM21%

Gain

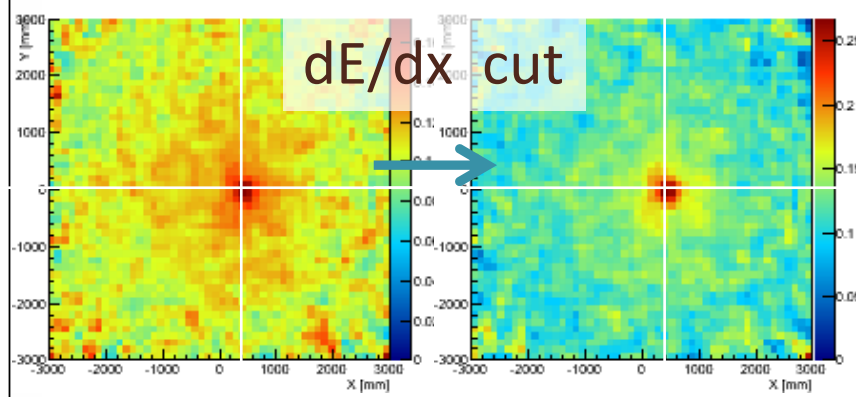
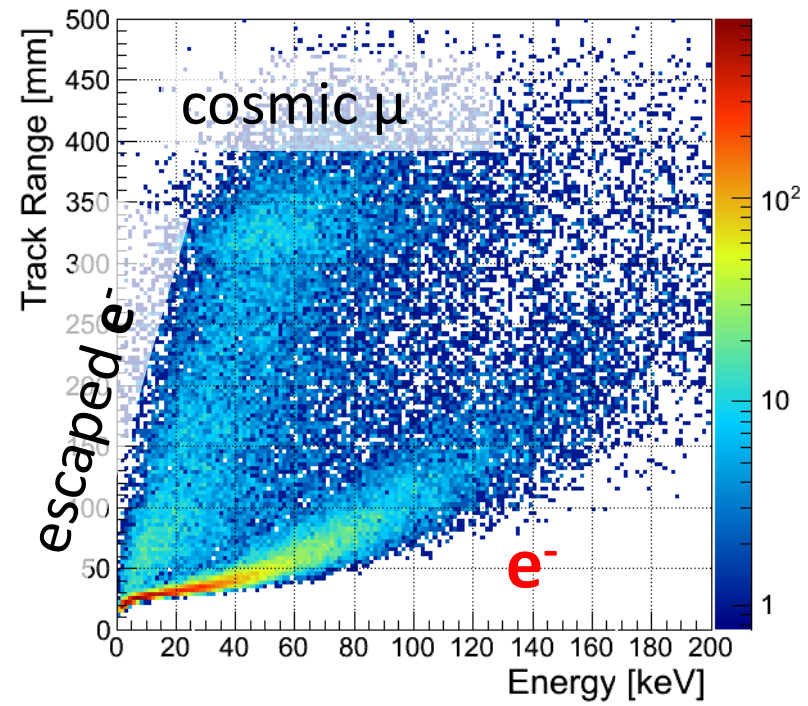
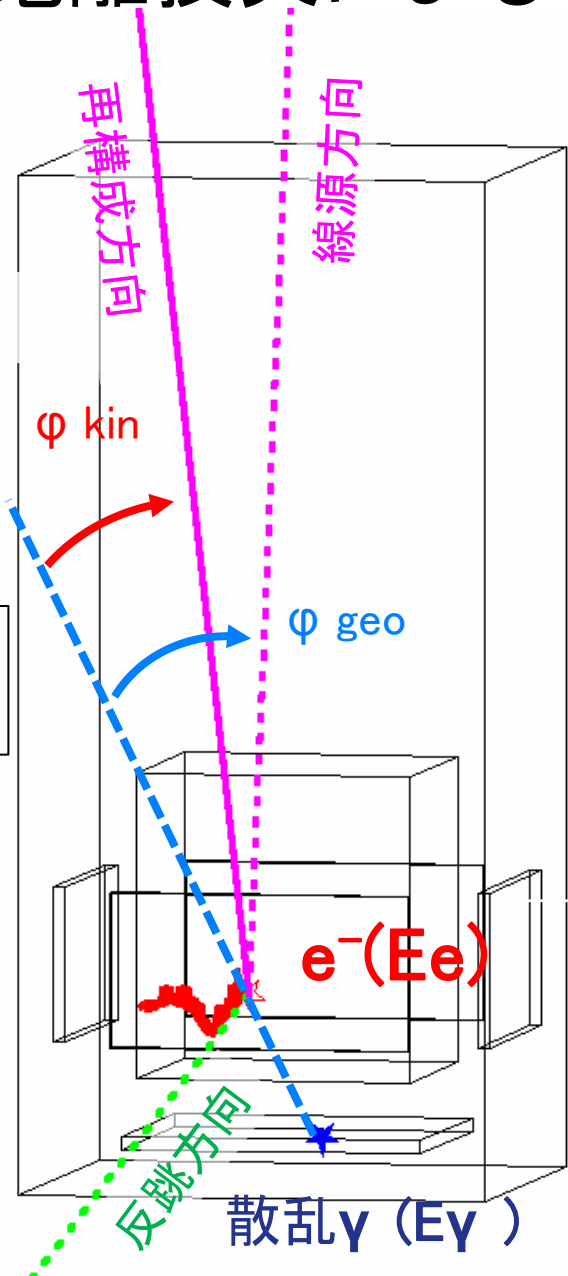
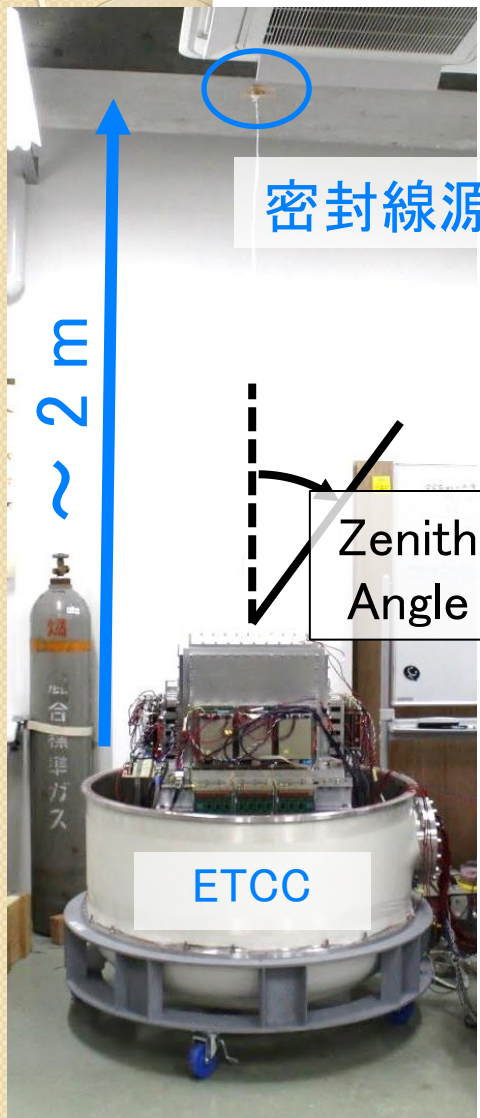


ゲインの一様性: RMS16%



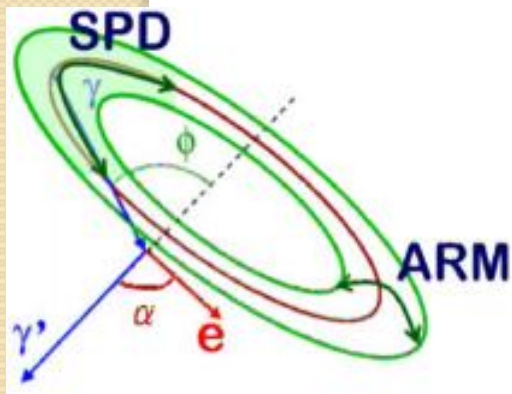


# ETCCの性能:電離損失による雑音除去



→効率的に  
バックグラウンドを除去

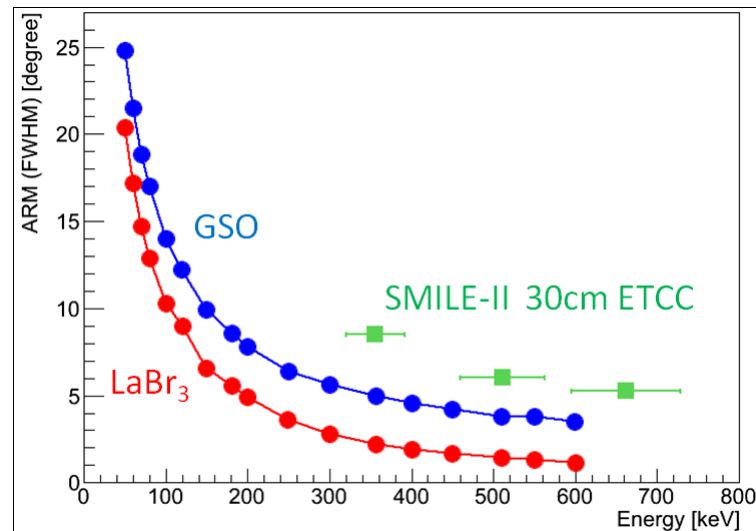
# ETCCの性能: 電子飛跡によるコンプトン散乱の再構成



ARM: 散乱角の決定精度  
SPD: 散乱平面の決定精度

ARM 5.3 deg

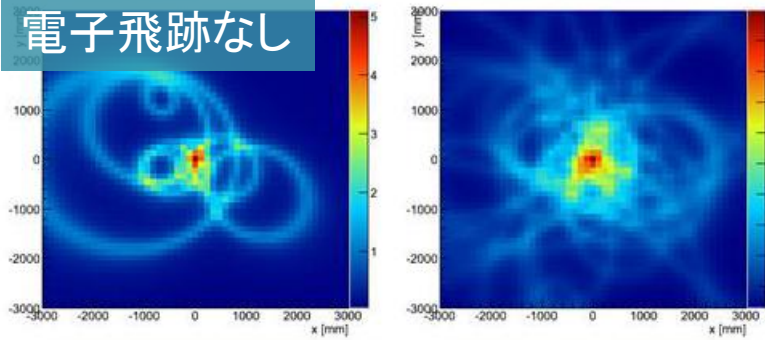
SPD 93 deg



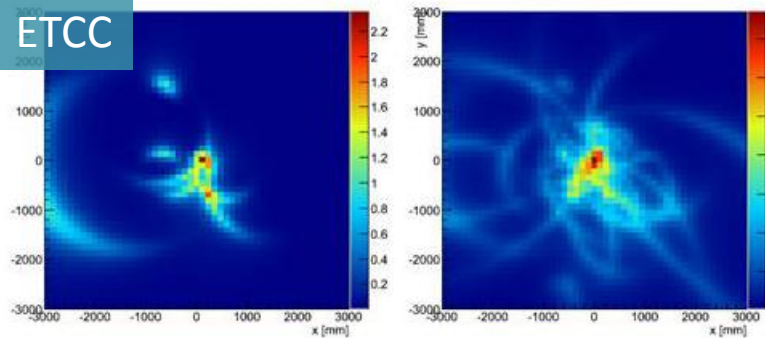
10 events

50 events

電子飛跡なし



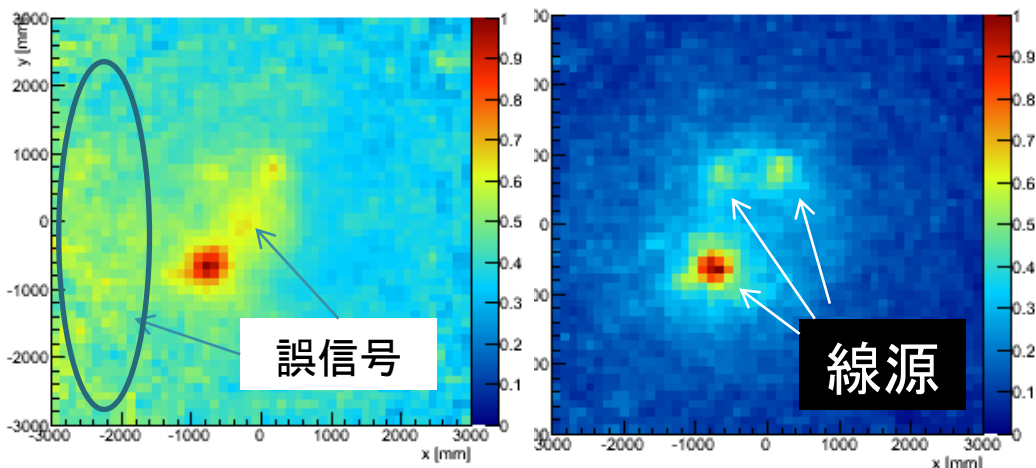
ETCC



$^{137}\text{Cs} \times 3$  (3.2MBq, 0.85MBq, 0.74MBq)

Legacy Compton Imaging

Advanced Compton Imaging

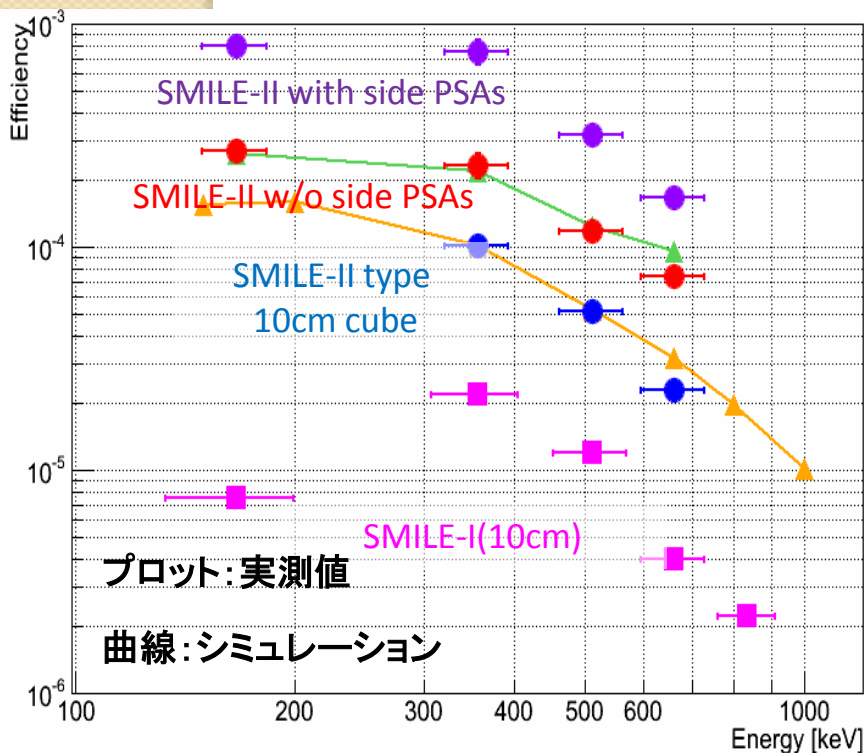


→高いコントラストでの撮像が可能(~4倍)



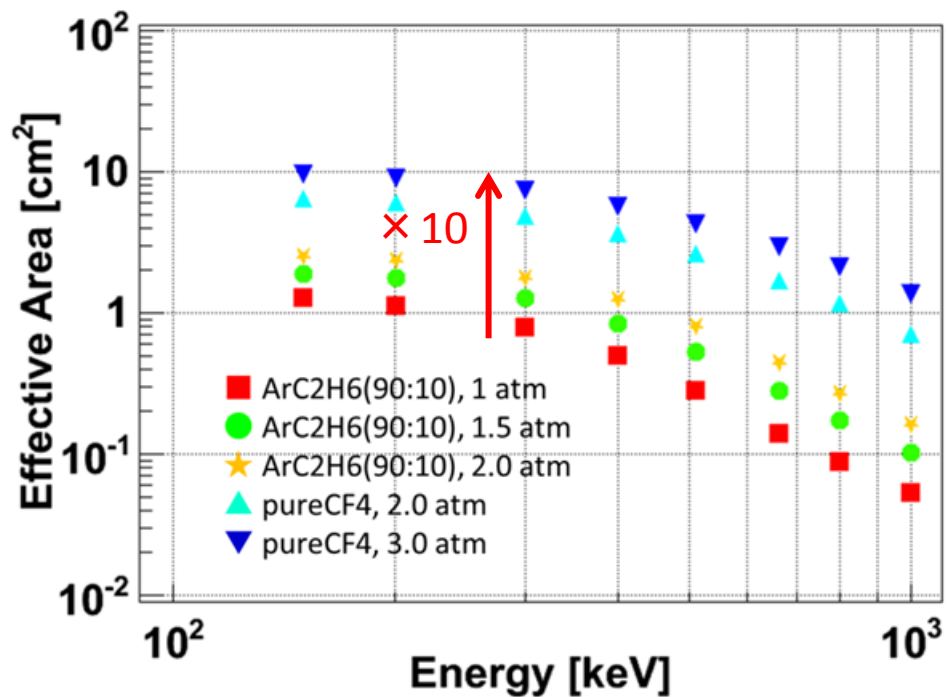
# ETCCの性能：有効面積

## 検出効率



- ガス飛跡検出器の改良＋大面積  
⇒ 検出効率を10倍改善
- 物理simulationとほぼ一致  
⇒ Compton事象を~100%捉えている

## ガス種と気圧による検出効率のシミュレーション

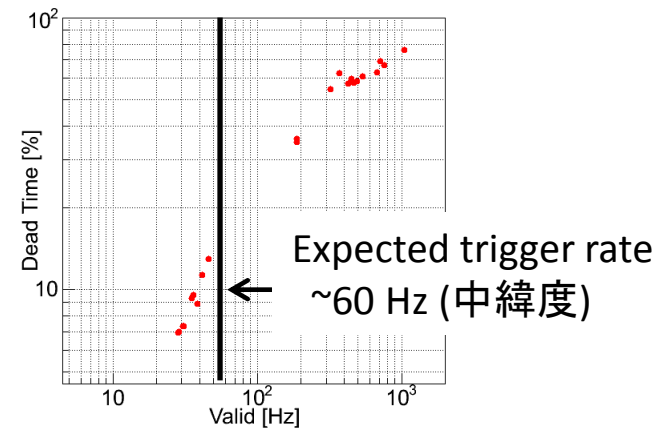
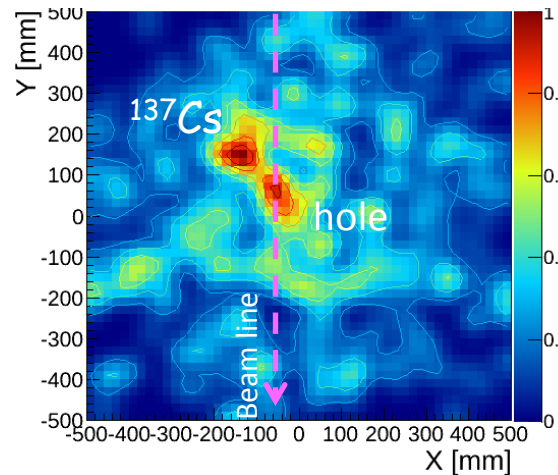
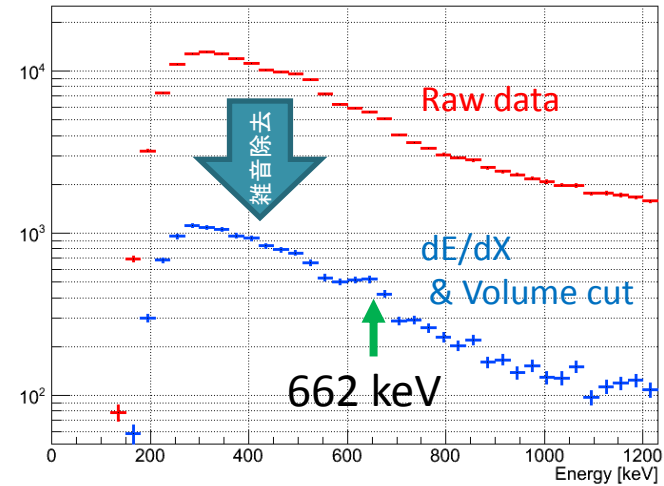
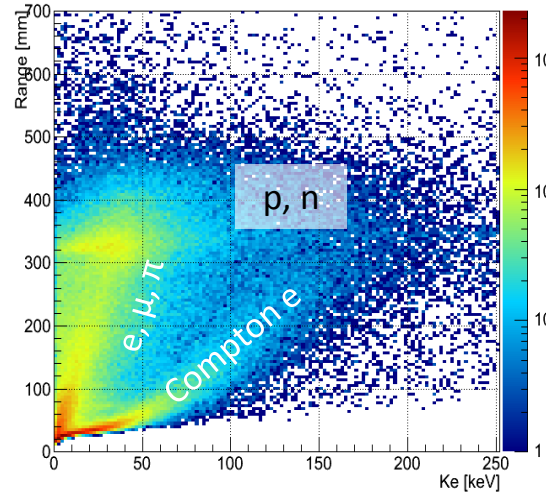
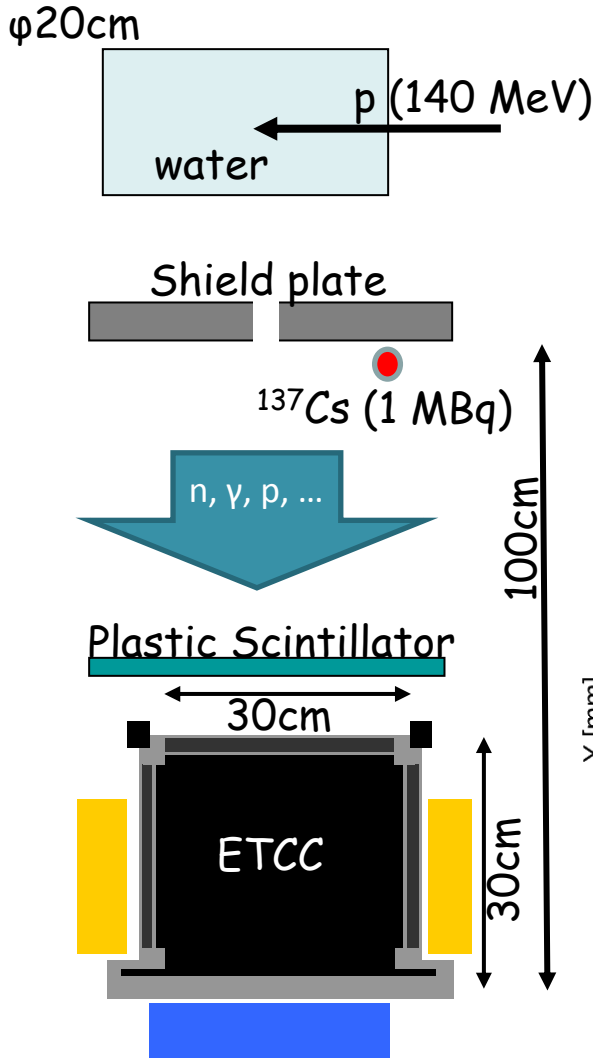


→ガスの選定により  
さらに10倍の有効面積が期待される

# 高雑音環境下でのガンマ線観測

@ 阪大RCNP

陽子ビームを用いて高レート・高雑音環境を作成  
 ⇒ Checking sourceが検出可能か？



# 弱線源(疑似Crab)のイメージング

□ 線源:  $^{22}\text{Na}$

□ Zenith = 26 deg.

□  $z = 2095$  [mm]

□ 31 kBq

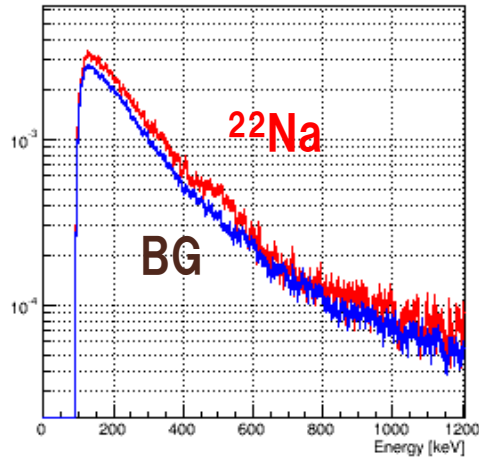
□  $511 \text{ keV} \pm 10\%$ での

Event数 =  $1.2 \times 10^3$  (26h)

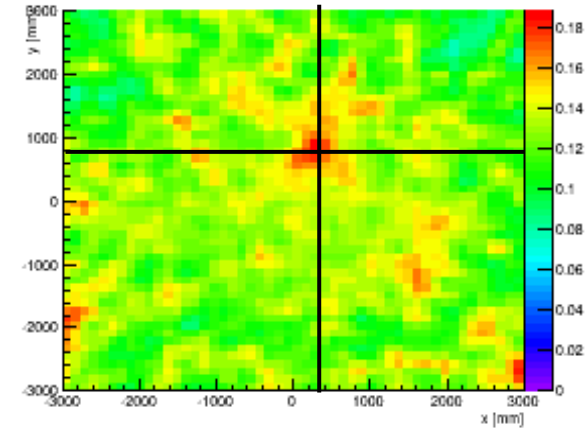
□  $S/N = 0.019$

気球で予想されるCrabの  
S/N比の数倍程度

電場の歪みのため  
 $\mu$ -PICの半分の領域のみ使用  
(現在は改善)

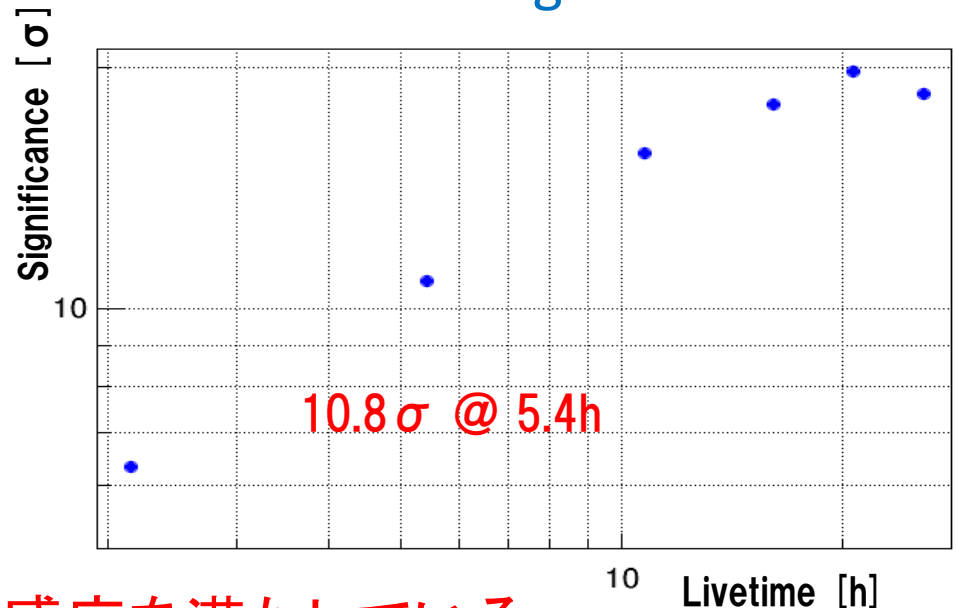


dE/dx後のスペクトル



$511 \text{ keV} \pm 10\%$  での  
Advanced Compton Image

## Lifetime vs . Significance



→ 気球実験で要求される感度を満たしている

# まとめ

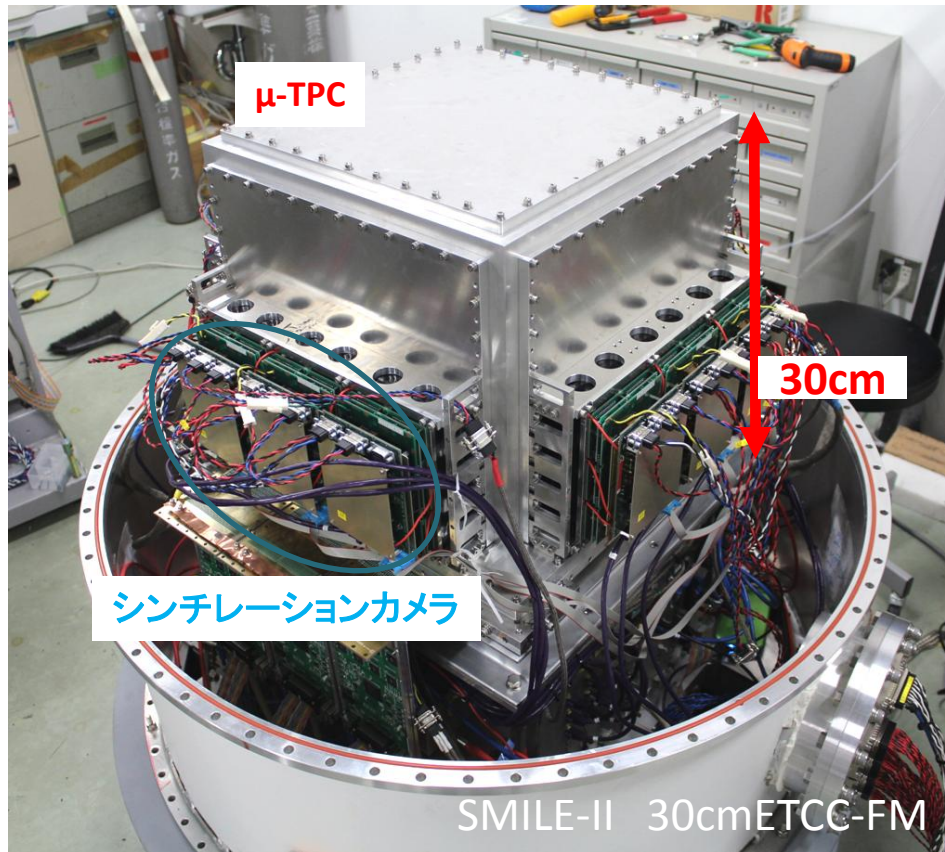
- ・30cm角TPC全面において、エネルギー分解能FWHM21%(@31keV)、ゲインの一様性RMS16%を実現
- ・高計数率環境下で5日間の連続運転に成功
- ・ETCCとして、 $dE/dx$ による粒子識別によって効率よく雑音除去できることを確認
- ・検出効率が単純な物理シミュレーションと一致
  - コンプトン散乱のイベントを~100%検出可能
- ・ガスの選定によって10倍程度の検出効率増加が見込まれる
- ・高雑音化の環境においても、線源を観測可能なことを確認
- ・大量のトリガーレートに対してデッドタイムを小さく抑えられている
- ・かに星雲程度のSN比であれば、数時間の観測で現状 $3\sigma$ の感度
  - 電場の歪みの改善で $5\sigma$ の感度に改善



ありがとうございました

# 1. 電子飛跡検出型コンプトンカメラETCC

Electron Tracking Compton Camera



シンチレータ: GSO

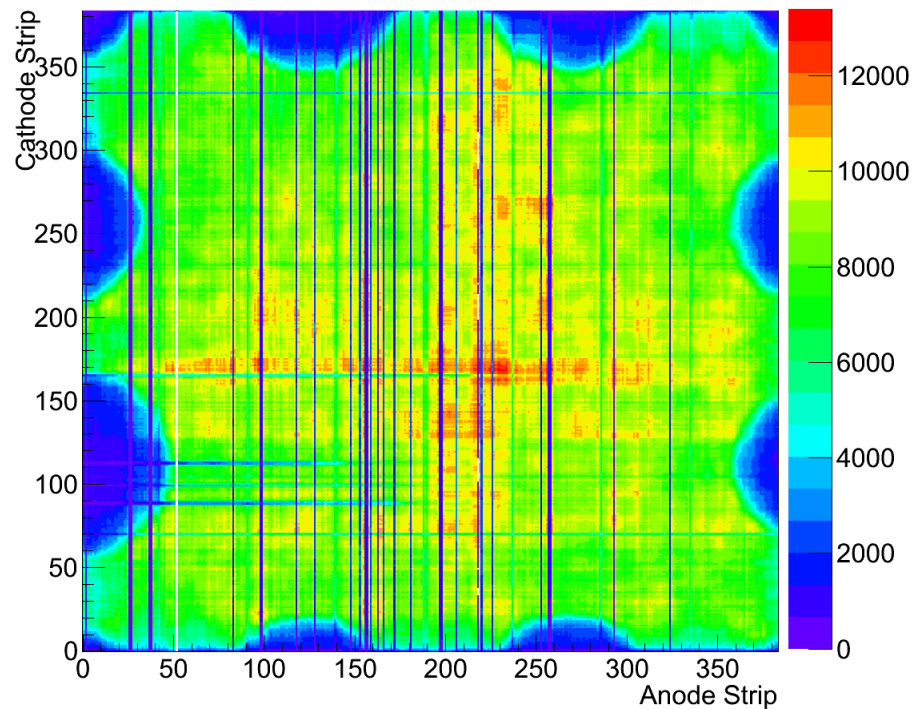
ピクセルサイズ:  $6 \times 6 \times 13 \text{ mm}^3$

ピクセル数: 6912

## 2. ガス飛跡検出器 $\mu$ -TPC: Hit分布

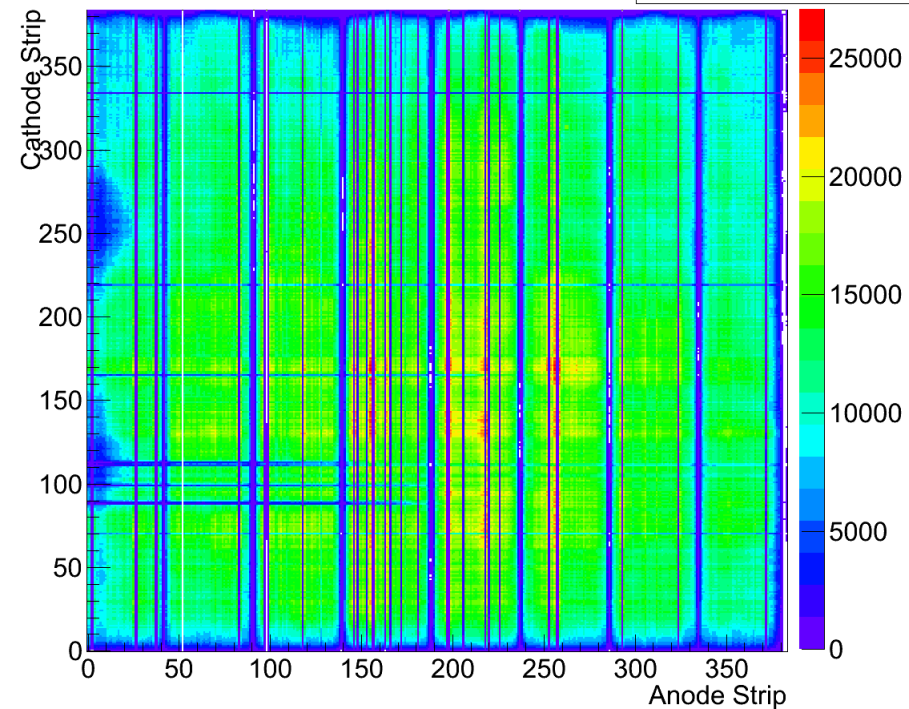
Coincidence\_XY

Entries 1.066239e+09



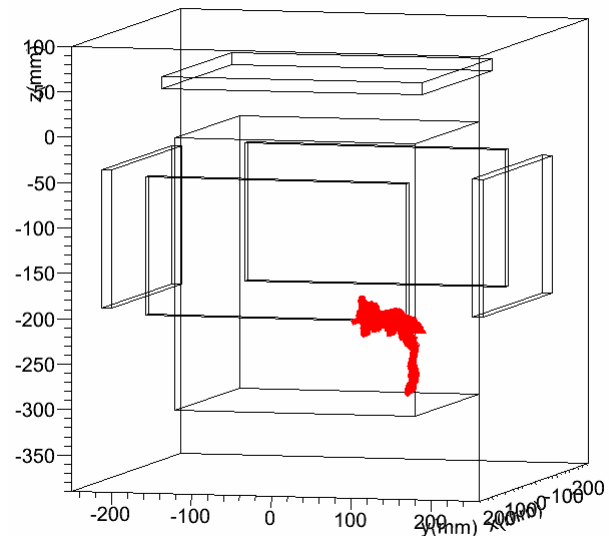
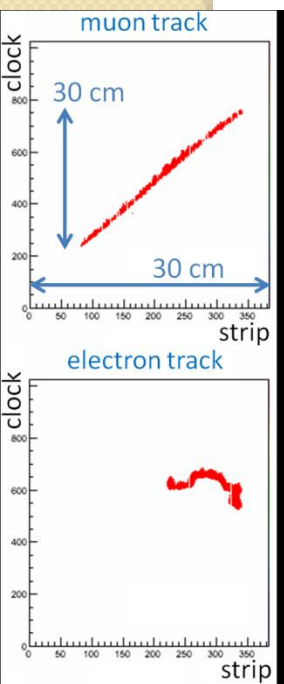
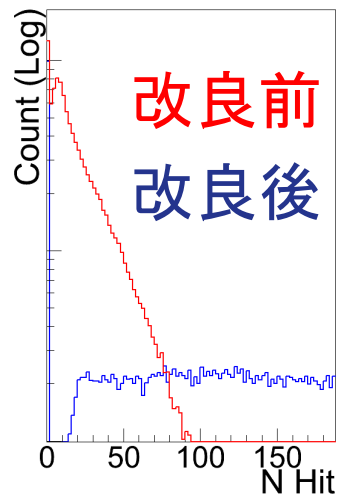
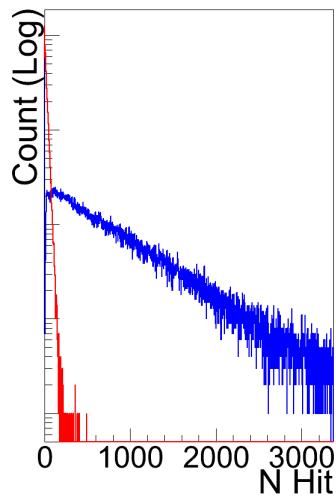
Coincidence\_XY

Entries 1.558511e+09



# 3. ETCCの概要

Electron Tracking Compton Camera



上: e-飛跡

下:  $\mu$ 飛跡

