

軟ガンマ線撮像気球実験

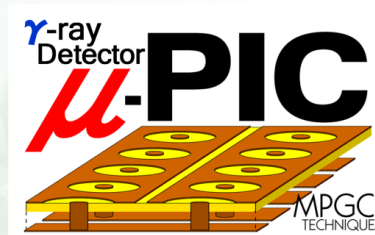
SMILE-II搭載の電子飛跡検出型 コンプトンカメラの改良



水村 好貴

(京都大学 宇宙総合学研究ユニット/理学研究科)

岩城智, 古村翔太郎, 窪秀利, 松岡佳大, 水本哲矢,
中村輝石, 中村祥吾, 小田真, Parker Joseph,
澤野達哉, 園田真也, 高田淳史, 谷森達,
友野大(京都大学), 株木重人(東海大学),
黒澤俊介(東北大学), 身内賢太郎(神戸大学)

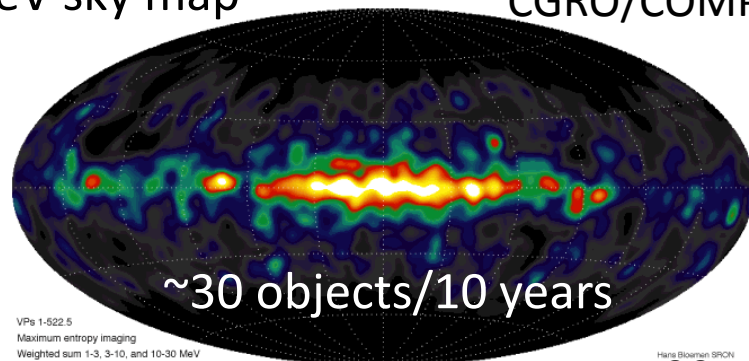


MeVガンマ線天文学

- 元素合成: SNR、銀河面
- 宇宙線加速: AGNジェット
- 強重力場での物理:
BH降着円盤, π^0
- 宇宙の進化: 最遠方GRB、
MeV背景放射の非等方性
- その他: 太陽フレア、
ガンマ線パルサー

MeV sky map

CGRO/COMPTEL

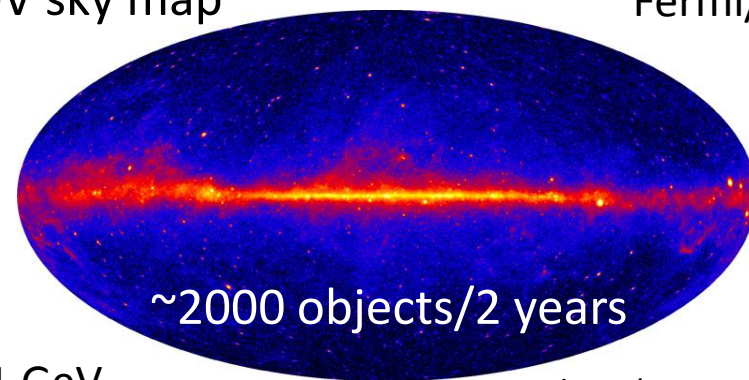


V. Schönfelder+ (A&AS, 2000)

1-30 MeV

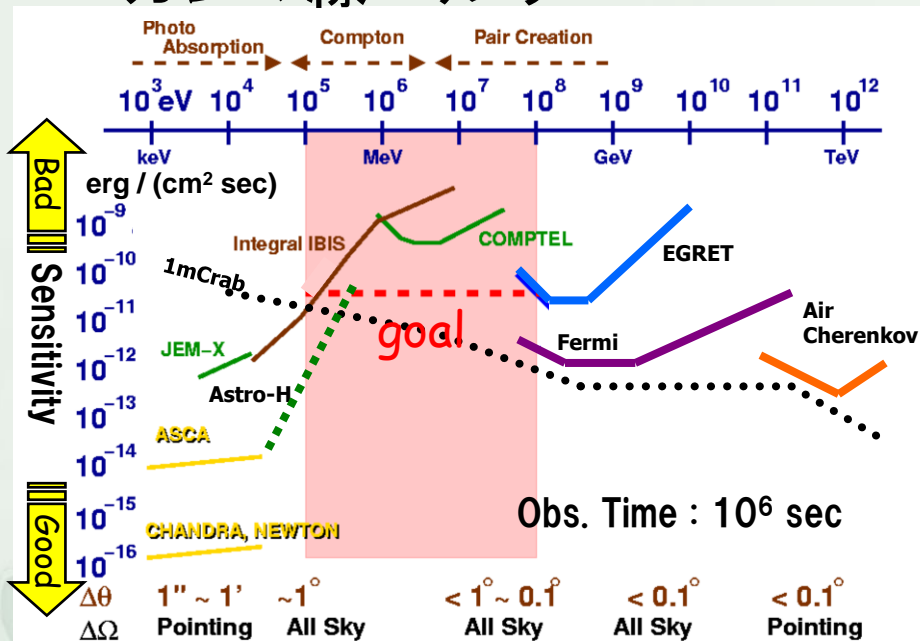
GeV sky map

Fermi/LAT



> 1 GeV

P. L. Nolan+ (ApJS, 2012)



次世代のMeVガンマ線望遠鏡には

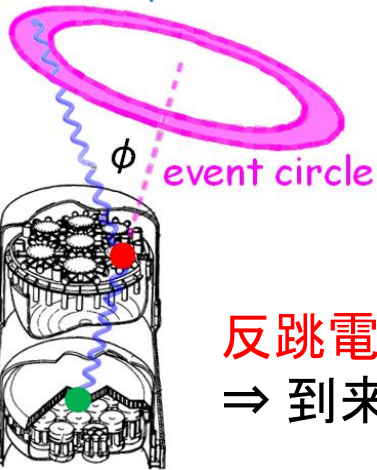
広帯域
広い視野
高品質イメージ

が必要！

従来型コンプトンカメラの課題

- 大量のバックグラウンド
- コンプトン散乱の不完全な再構成

gamma ray



COMPTTELの使用物理量

- ◆ トータルのエネルギー
- ◆ 散乱ガンマ線のベクター
- ◆ ガンマ線の散乱角 ϕ
- ◆ 二点間の時間差 (TOF)

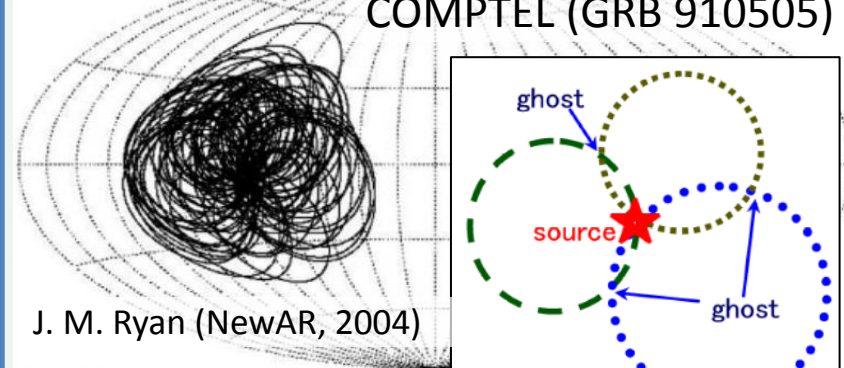
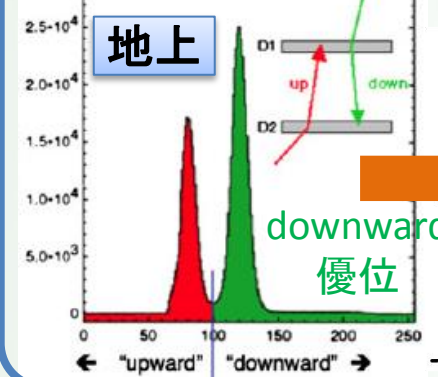
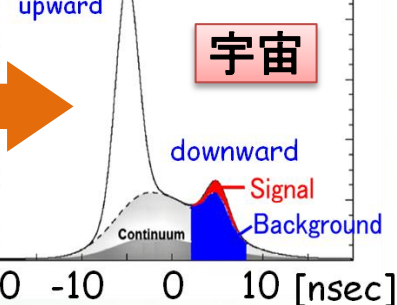
反跳電子の方向を測定できず
⇒ 到来方向を円環へ制限のみ

■ これまでのコンプトンカメラの挑戦

装置	有効面積	結果	備考
COMPTTEL	20-30 cm ²	~30天体	感度2桁落ち
LXeGRIT	20 cm ²	Crab ×	10 σ 検出予想
NCT	3-9 cm ²	Crab ○	event数 1/6

COMPTTELの苦闘

COMPTTEL (GRB 910505)

P. von Ballmoos+
(Exp. Astron., 2012)G. Weidenspointner+
(A&A, 2001)

➡ 宇宙環境で、深刻な
感度・定量性の劣化!!

電子飛跡検出型コンプトンカメラ(ETCC)

■ 反跳電子の3次元飛跡を取得

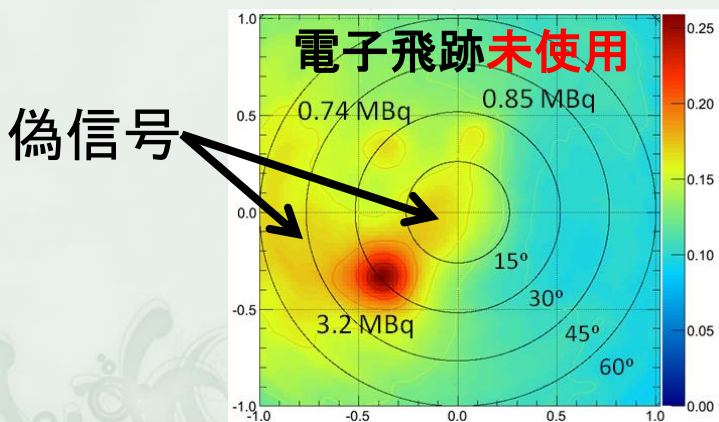
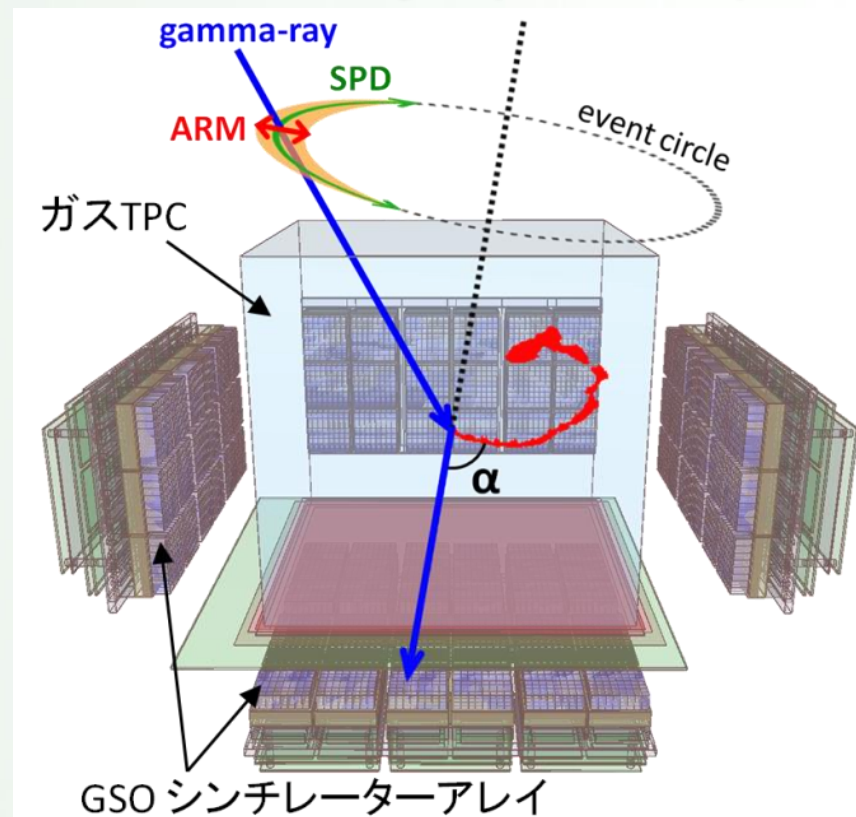
- 新たに3つの物理量を測定
 - 反跳電子の向き(2パラメータ)
 - 荷電粒子のエネルギー損失率 dE/dx

■ 高品質なガンマ線イメージ

- 円弧での到来方向制限

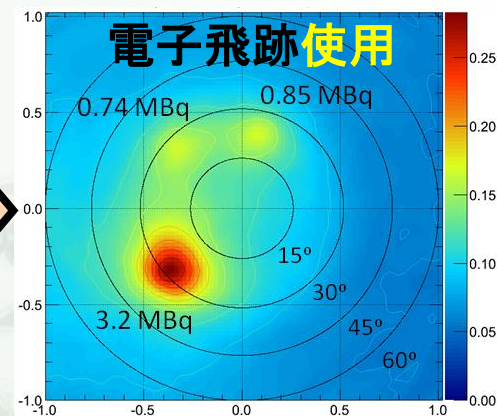
■ バックグラウンドの高効率除去

- dE/dx による粒子識別
- α 角による運動学テスト



^{137}Cs 線源3つの
実測再構成画像

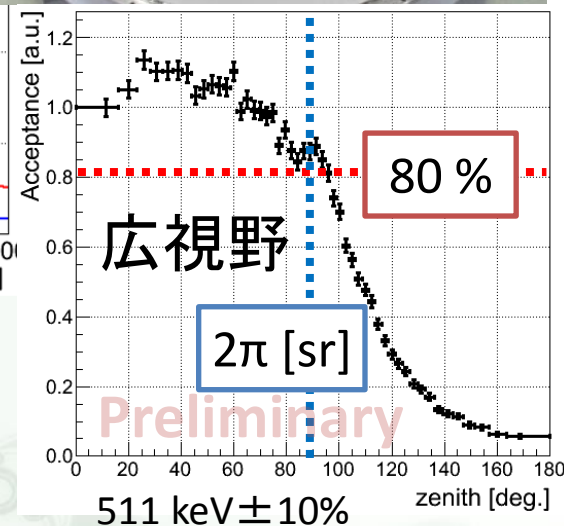
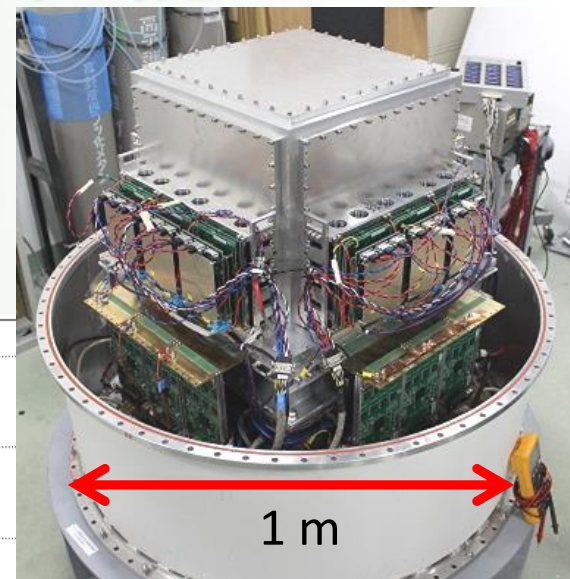
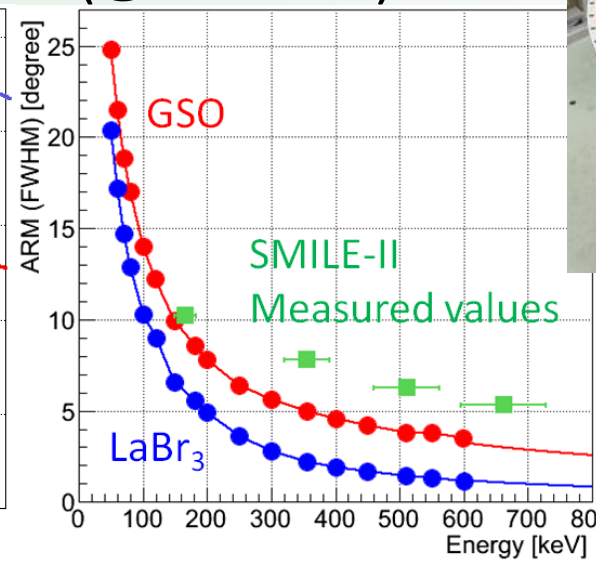
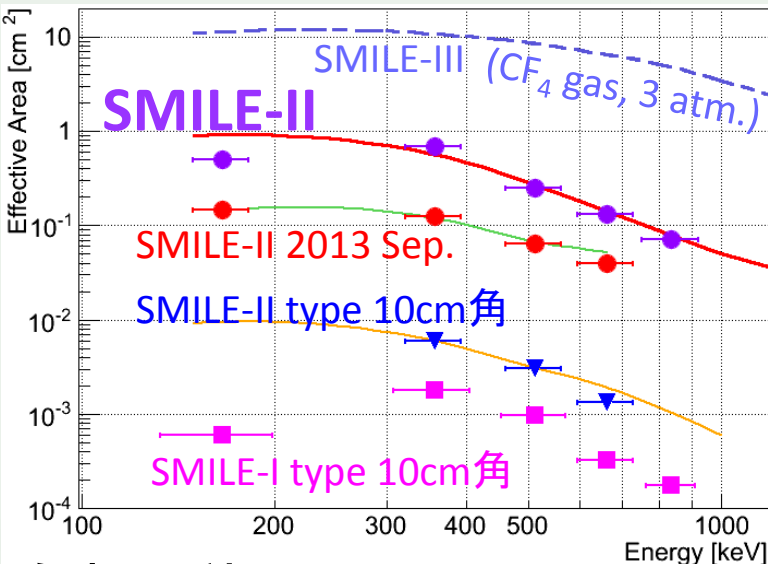
- ◆ コントラスト2-3倍改善
- ◆ 偽信号の抑制



SMILE-II 搭載 ETCC の性能

SMILE-II 軟ガンマ線撮像気球実験

- ETCC による天体ガンマ線撮像能力の実証
- 要求性能: 有効面積 $> 0.5 \text{ cm}^2$ (@ 300 keV), ARM $< 10^\circ$ (@ 662 keV)



有効面積 0.7 cm^2 (@356 keV) ARM 5.3° (@662 keV)

Crab 観測の要求性能を達成!!

⇒ Crab を 4時間 で 5σ 検出可能

SMILE-III ガス種・圧力の変更 + シンチレーター増強で 10 cm^2 の有効面積

疑似宇宙(高雑音)環境での撮像 **世界初!!**

高雑音環境で、SMILE-II ETCCは撮像能力を保てるか？

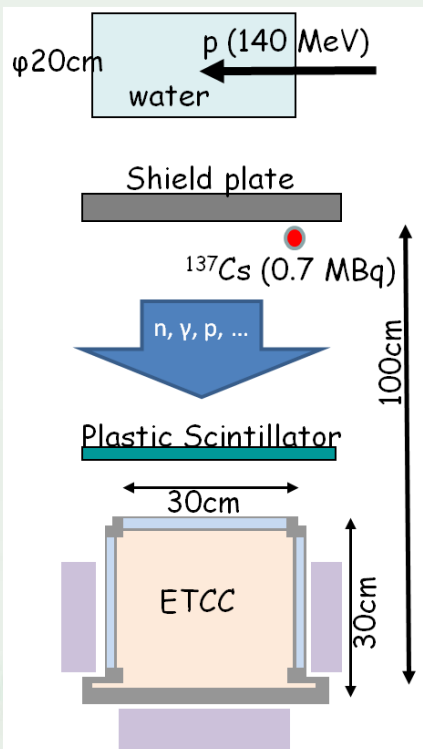
陽子ビームを水に照射し、大量のガンマ線、中性子、荷電粒子を生成



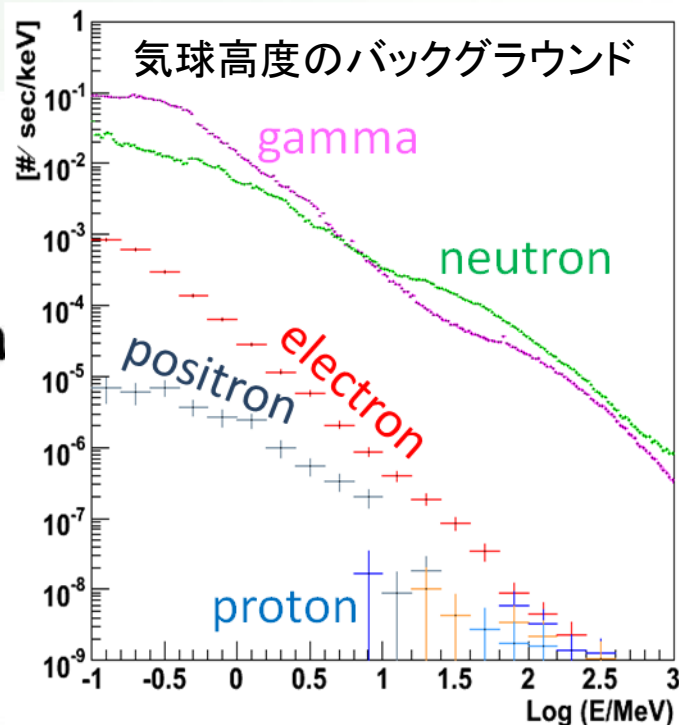
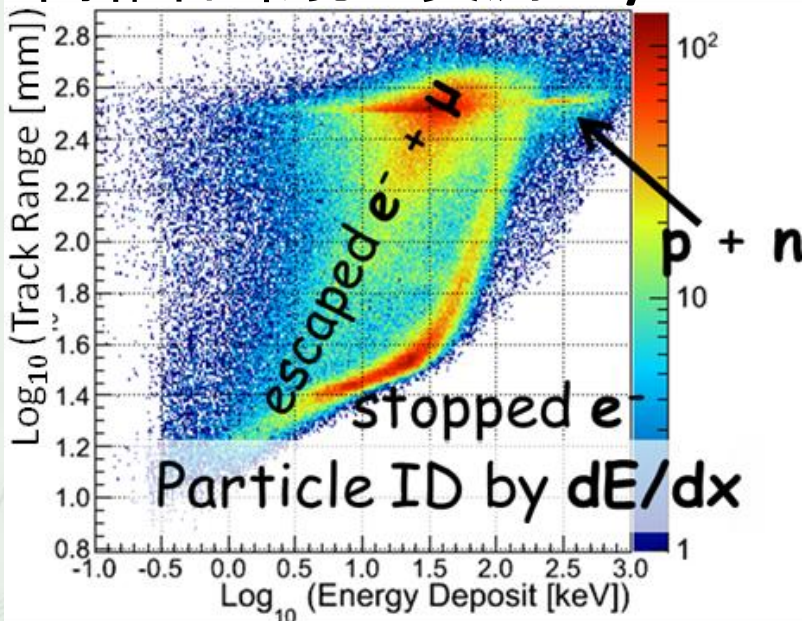
140 MeV Protons

気球高度(40 km)の予測に対し、

- 約5倍の高雑音環境
- 同程度のガンマ線・中性子比(3:1)



高雑音環境の実測 dE/dx

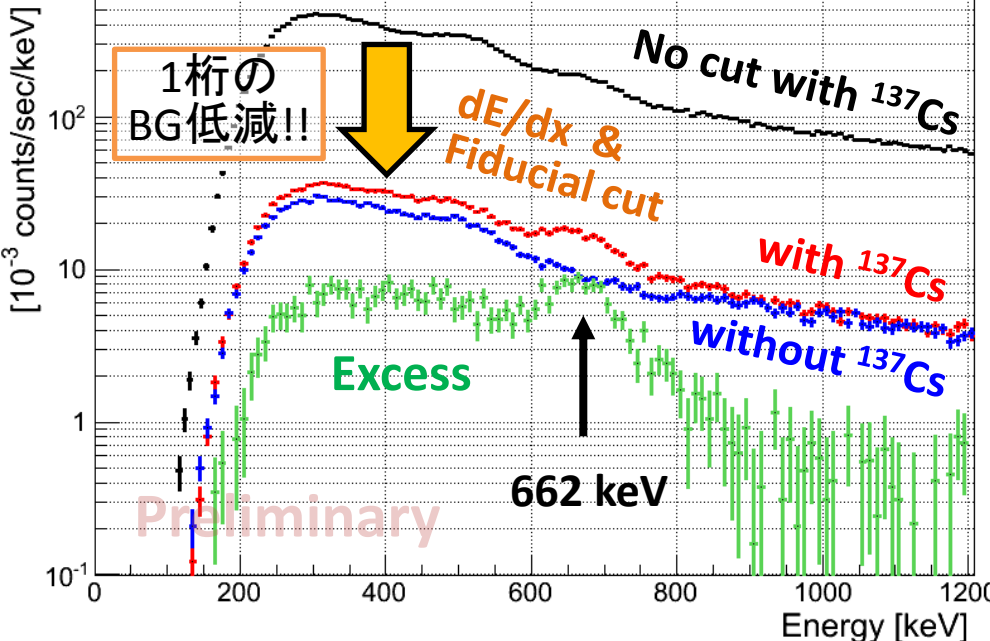
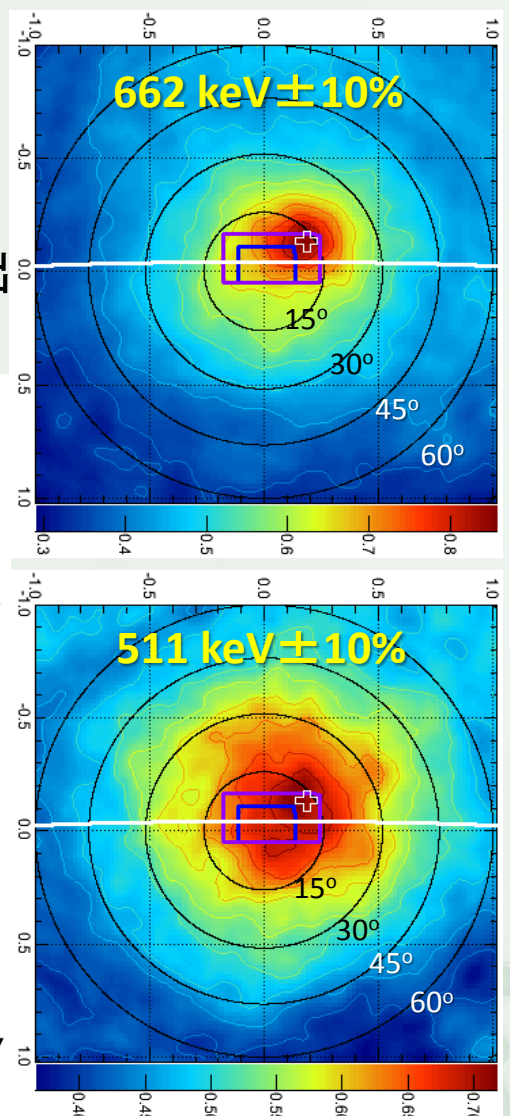
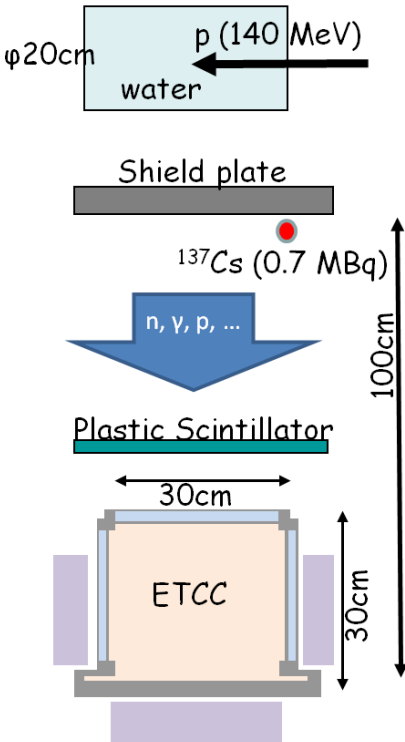


荷電粒子を高効率で弁別可能

疑似宇宙(高雑音)環境での撮像 世界初!!

高雑音環境で、SMILE-II ETCCは撮像能力を保てるか？

チェック用線源 (^{137}Cs , 662 keV)を正しい位置で検出



高雑音環境(気球実験BG × 5倍)

- 撮像試験に成功!
- 系統誤差(±30%)で線源強度一致

気球高度で 定量的な観測が可能!!

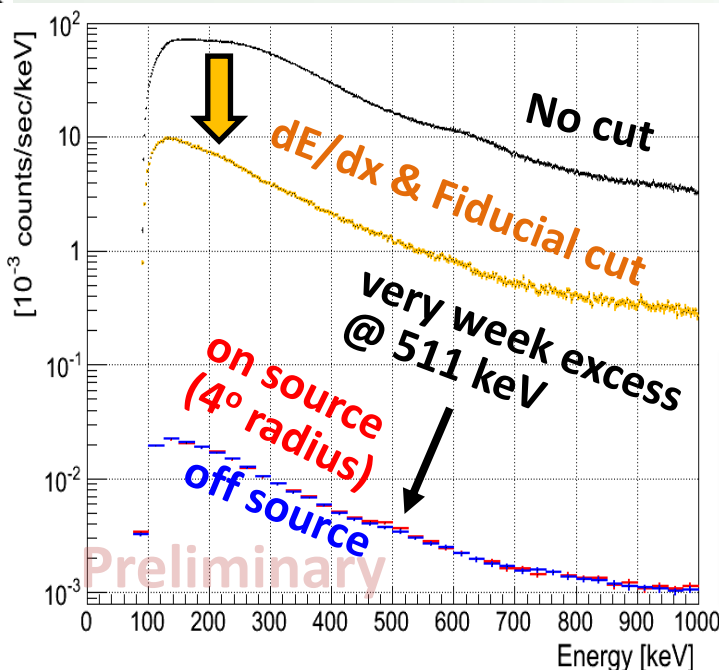
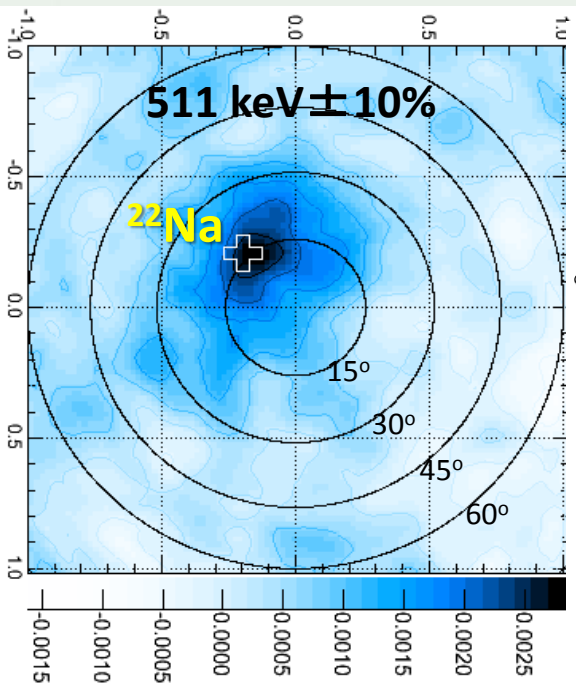
Crab観測を模した低S/N環境での撮像

低S/Nの観測対象を、SMILE-II ETCCは撮像できるか？

鉛2mmで遮蔽した ^{22}Na
(27 kBq 相当)

Crab 観測予想: S/N \sim 0.02
実験setup: SN = 0.005 \sim 0.01

⇒ Crab観測の半分以下



超微弱線源

(Crab-S/Nの0.5倍以下)

- 撮像試験に成功！
- 系統誤差(±30%)で線源強度一致

低S/Nでも
定量測定可!!

まとめ

■ SMILE-II 電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC)

⇒ Crab観測の**要求性能を達成** (4時間, 5σ 検出)

- 有効面積 = 0.7 cm^2 (@356 keV), ARM = 5.3° (@662 keV)

■ 地上で「**気球実験でのCrab観測**」の模擬試験

➤ 気球実験の**5倍の高雑音環境**

- 電子飛跡情報による強力なノイズ低減に成功

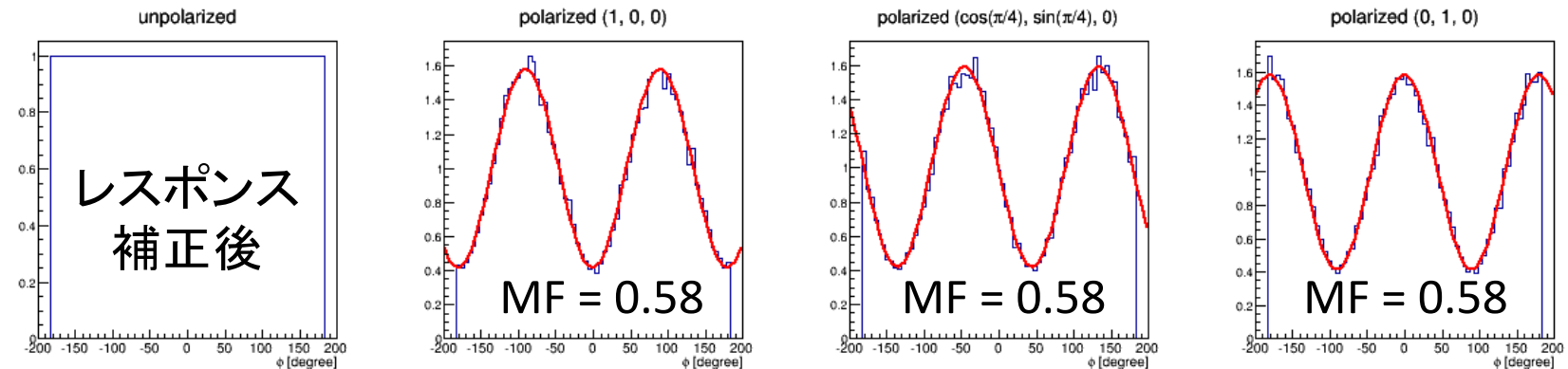
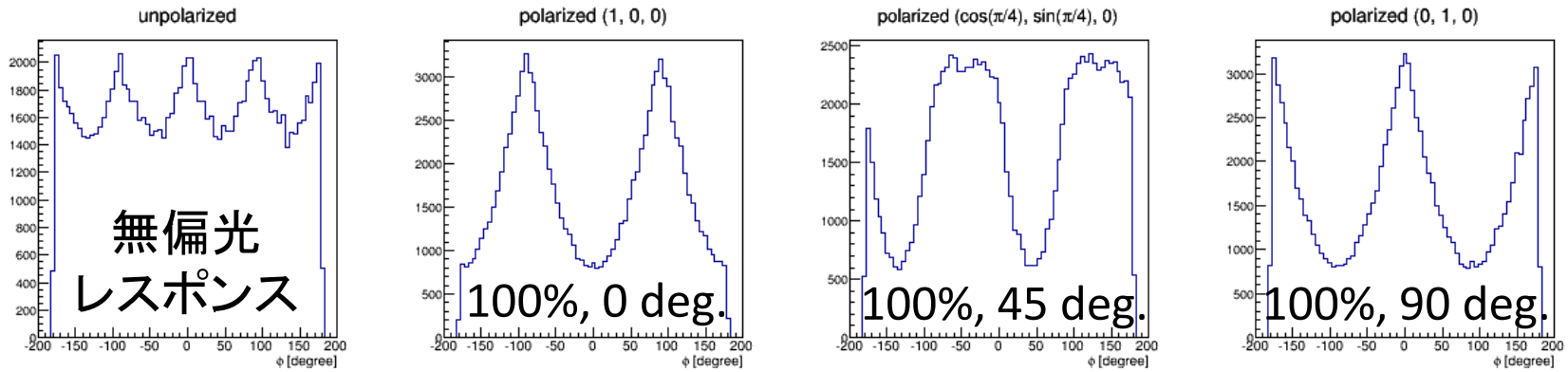
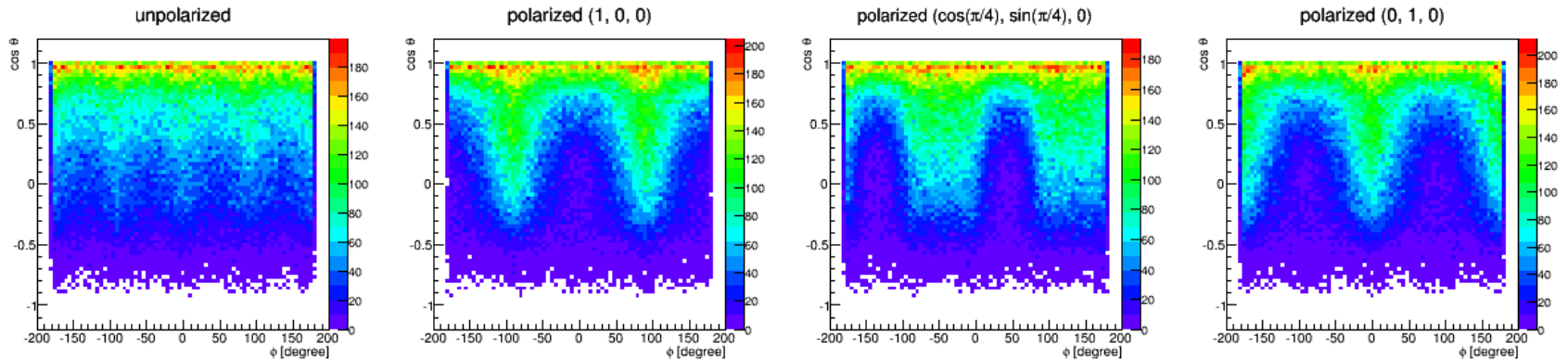
➤ Crab観測の**半分以下の低S/N測定**

⇒ **定量的な測定能力を実証** (系統誤差 $\pm 30\%$ 程度)

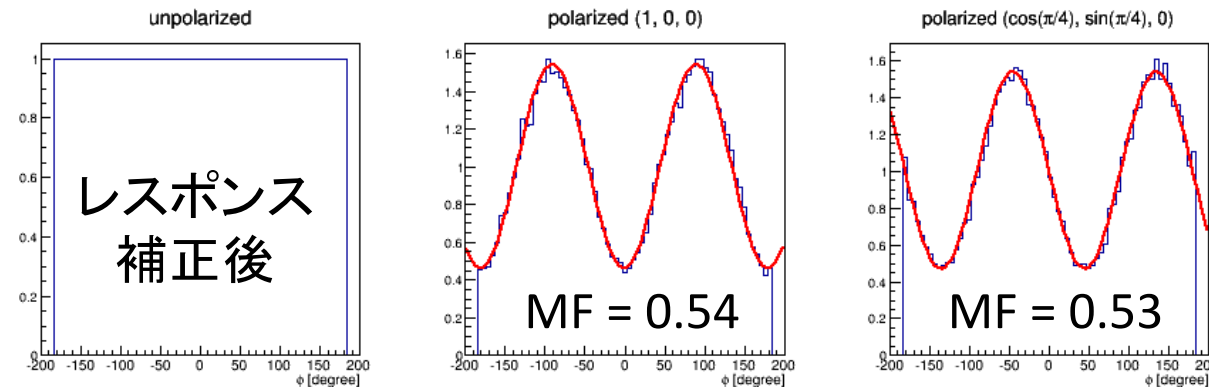
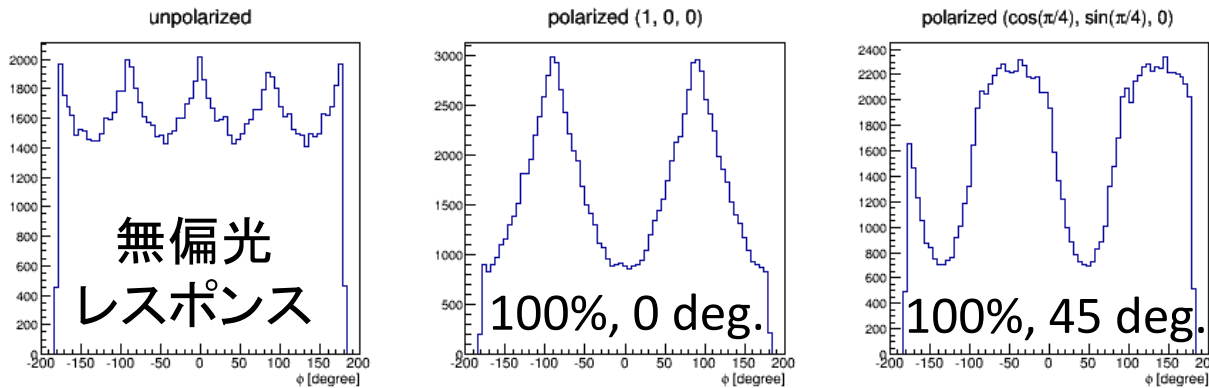
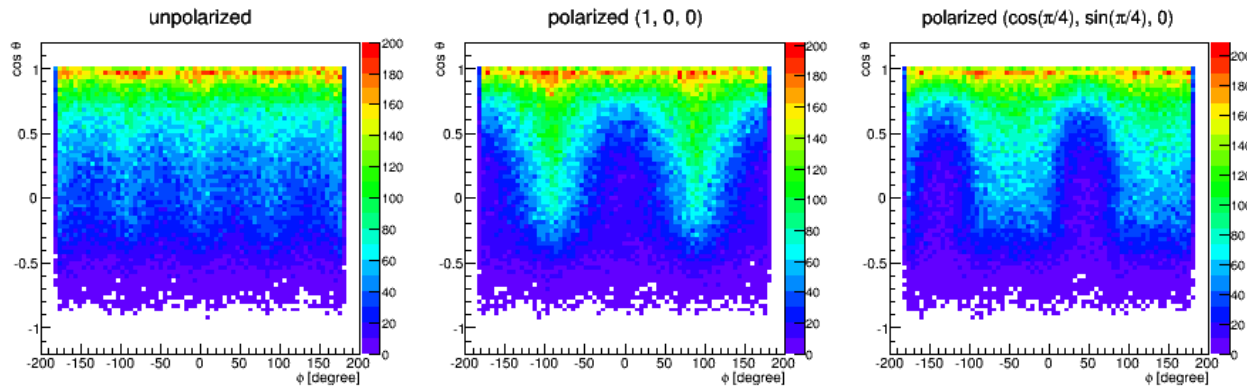
衛星提案には、気球実験での実証が必要
現在、米国などと交渉中



偏光ガンマ線への応答性能 (200 keV)



偏光ガンマ線への応答性能 (350 keV)

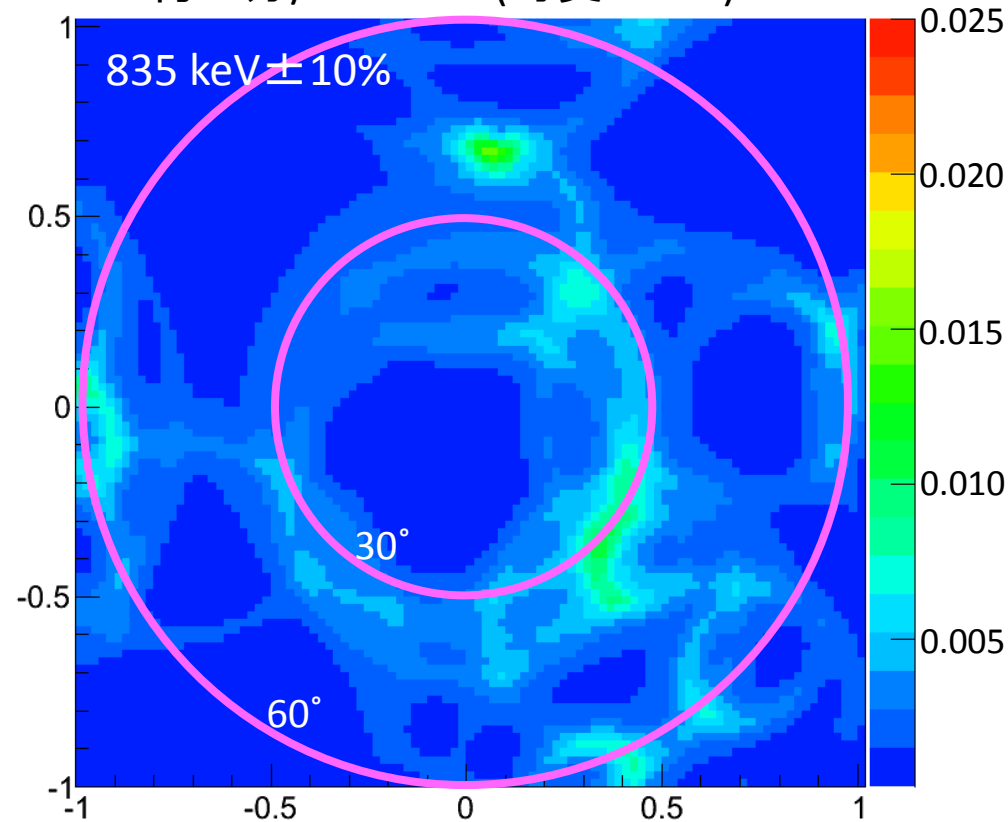


詳細は、
物理学会@東海大
にて発表します
(3/30, 古村, 30aTK-3)

突発ガンマ線イベントの検出

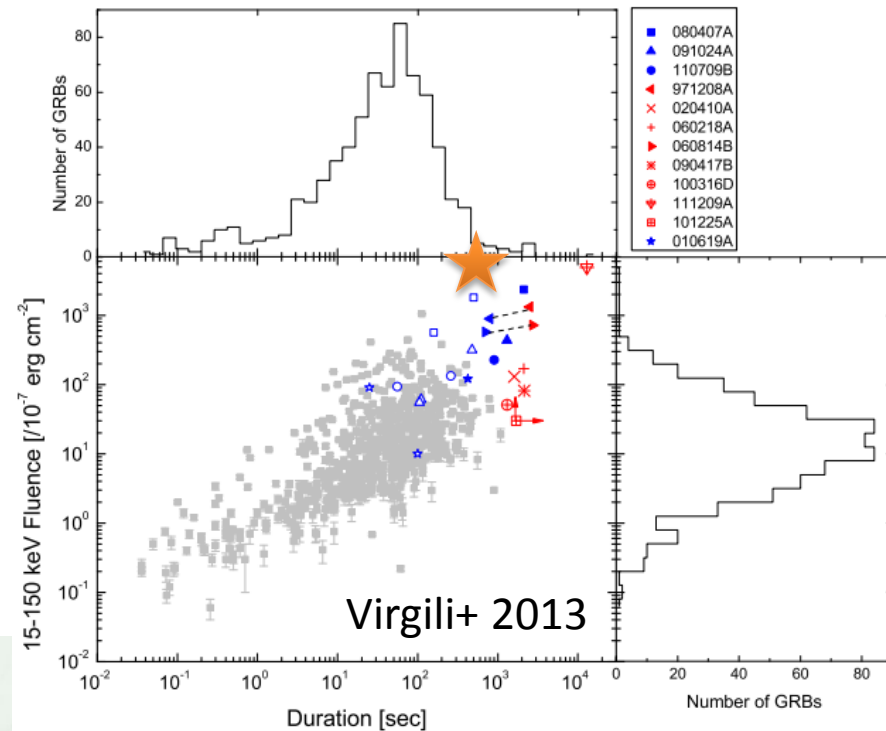
BG測定中にバースト現象が!?

約10分/フレーム (可変レート)

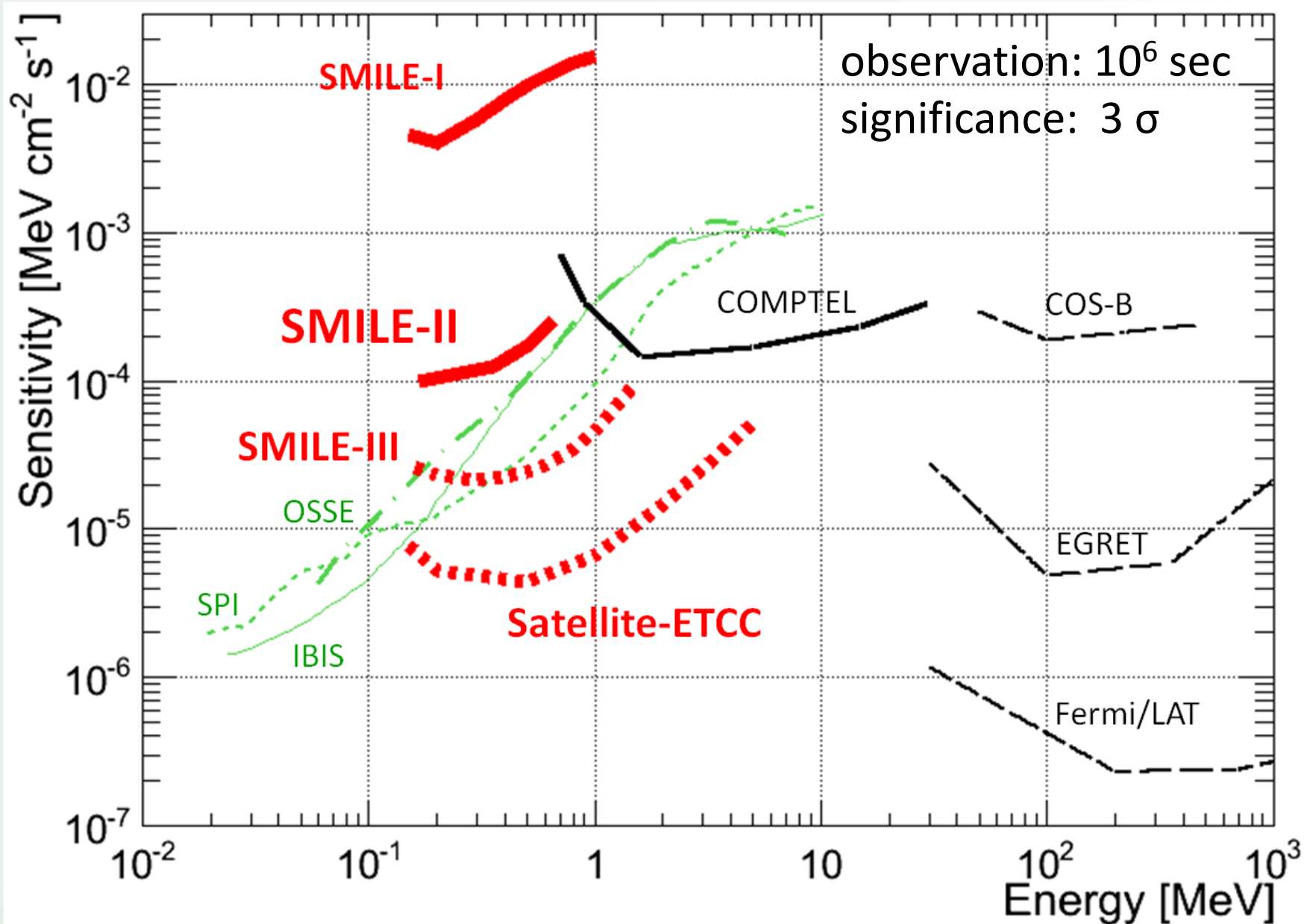


密封線源⁵⁴Mnの納品確認だった
(1 MBq, 3 m distant from ETCC)

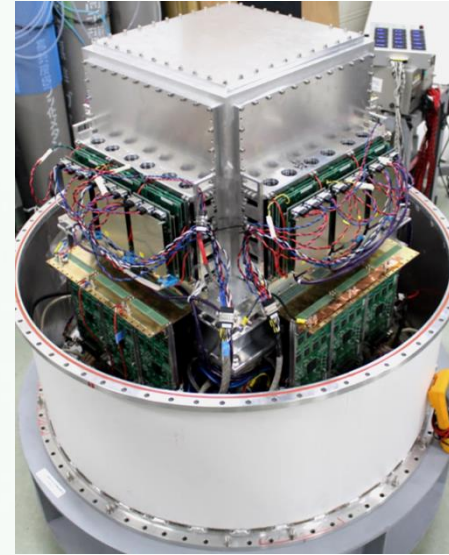
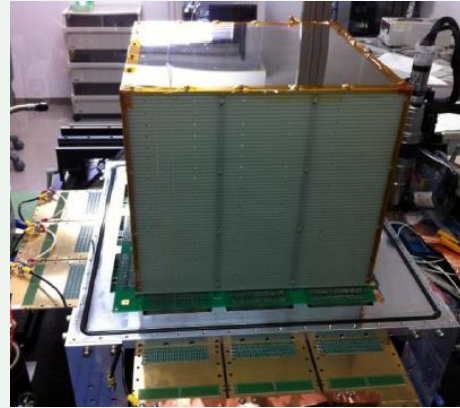
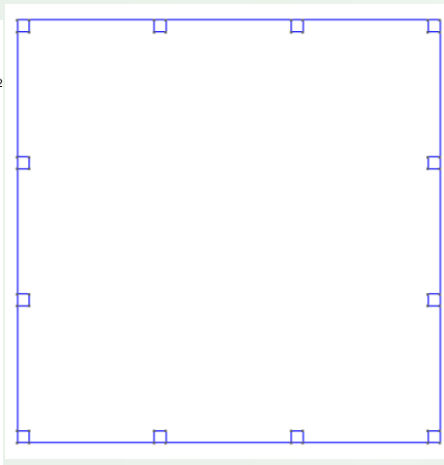
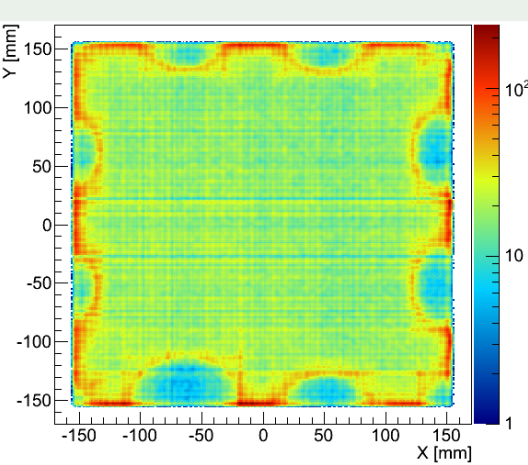
10分継続のGRBに見立てると
Fluence $\sim 7 \times 10^{-4}$ erg/cm²



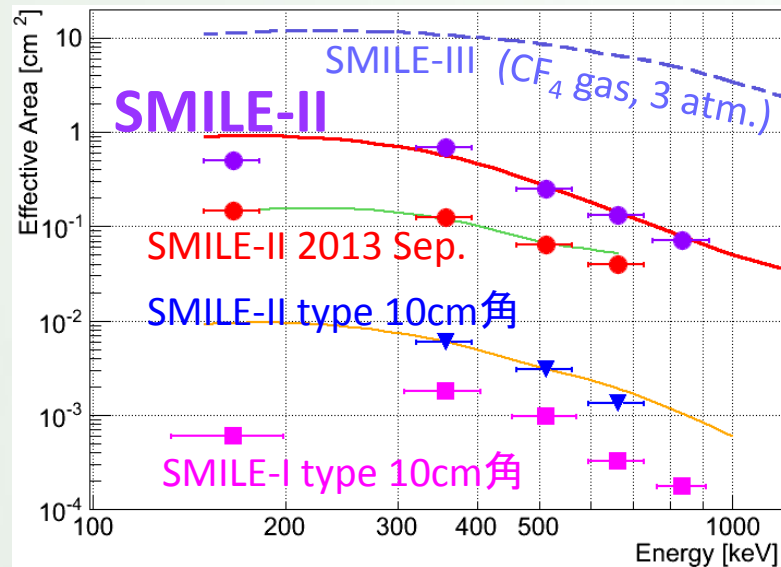
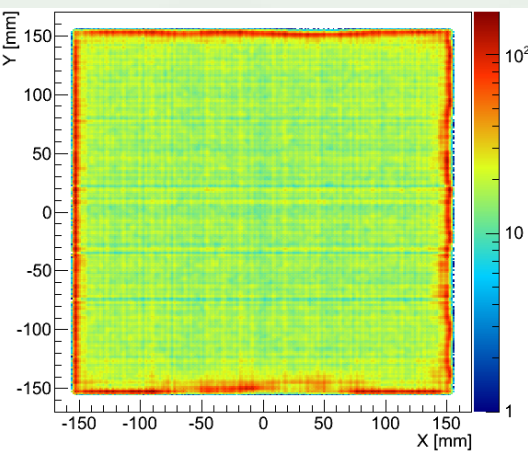
SMILE計画の感度曲線



電子トラッカー改良 & 側面PSAの導入



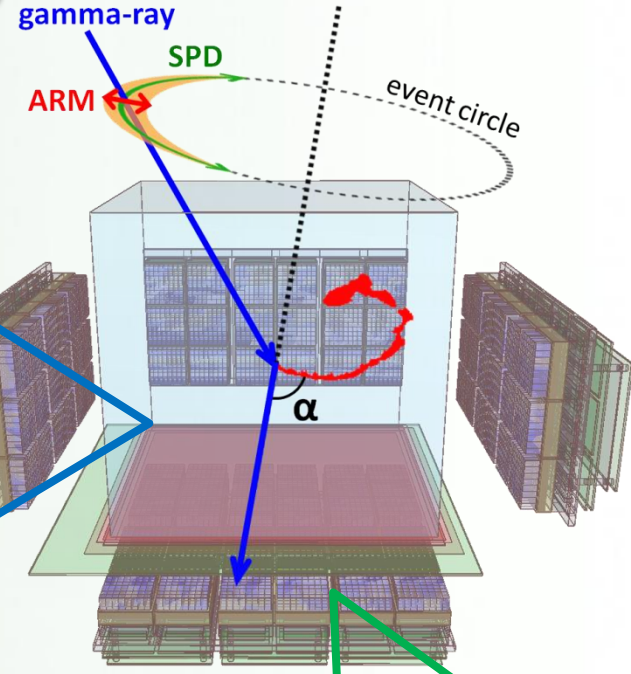
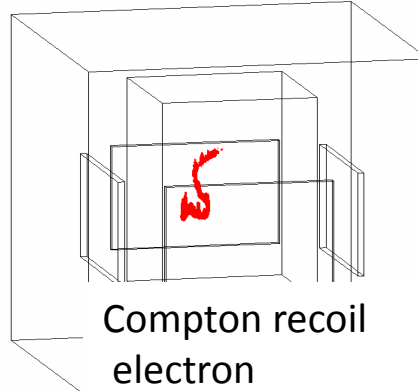
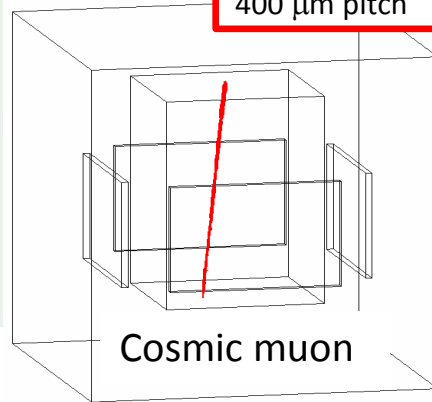
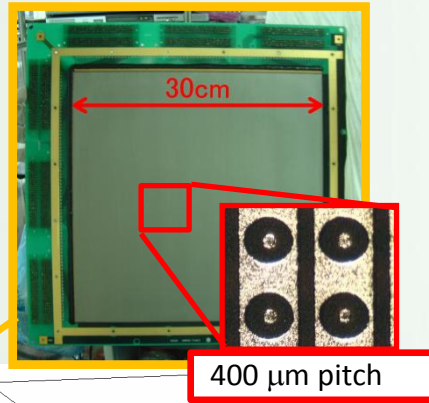
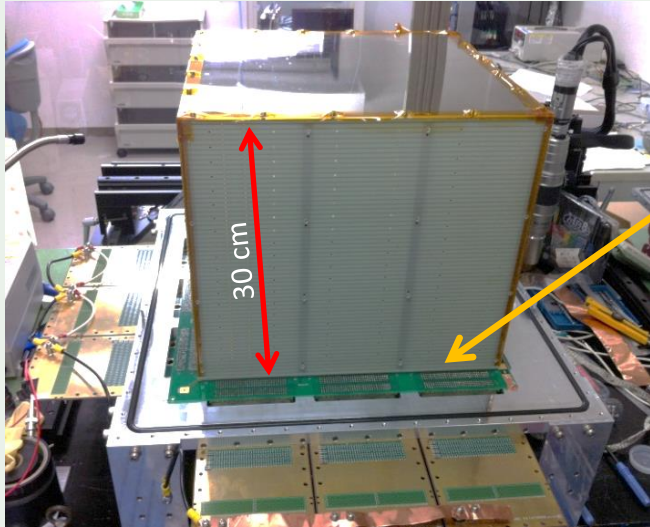
電場歪みを大幅に改良！



検出器の構成

Electron Tracker

Gaseous Time Projection Chamber



Absorber

