



SMILE:

電子飛跡検出型コンプトンカメラによる MeVガンマ線天体探査実験

京都大学 高田淳史

谷森達, 窪秀利, J. D. Parker, 水本哲矢, 水村好貴,
澤野達哉, 中村輝石, 松岡佳大, 古村翔太郎, 中村祥吾,
小田真, 岸本哲郎, 竹村泰斗, 宮本奨平, 身内賢太郎, 黒澤俊介

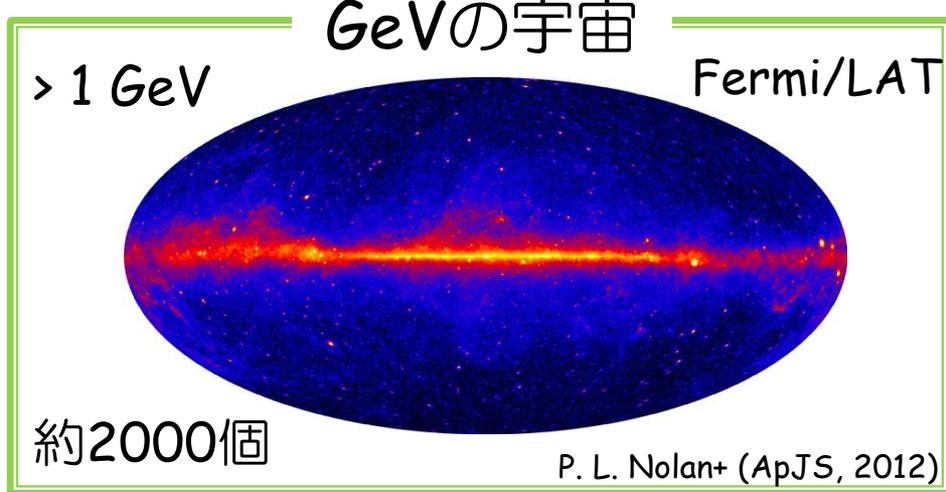
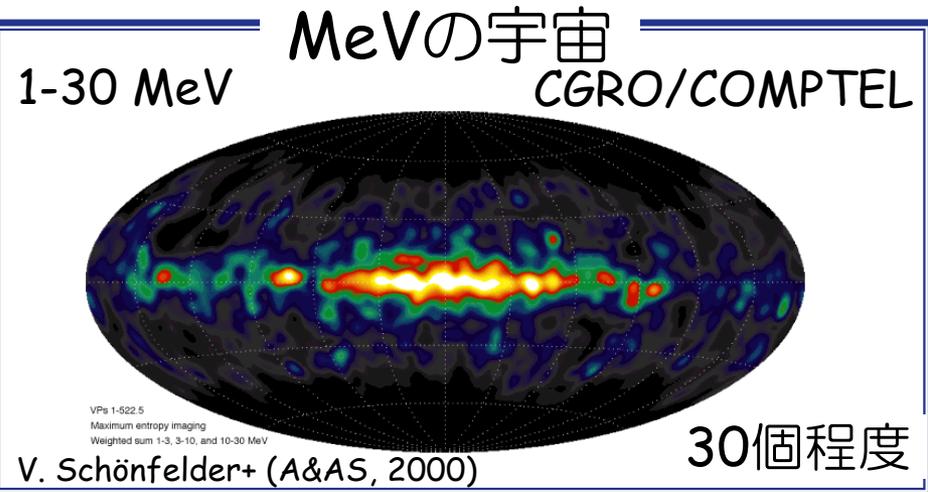
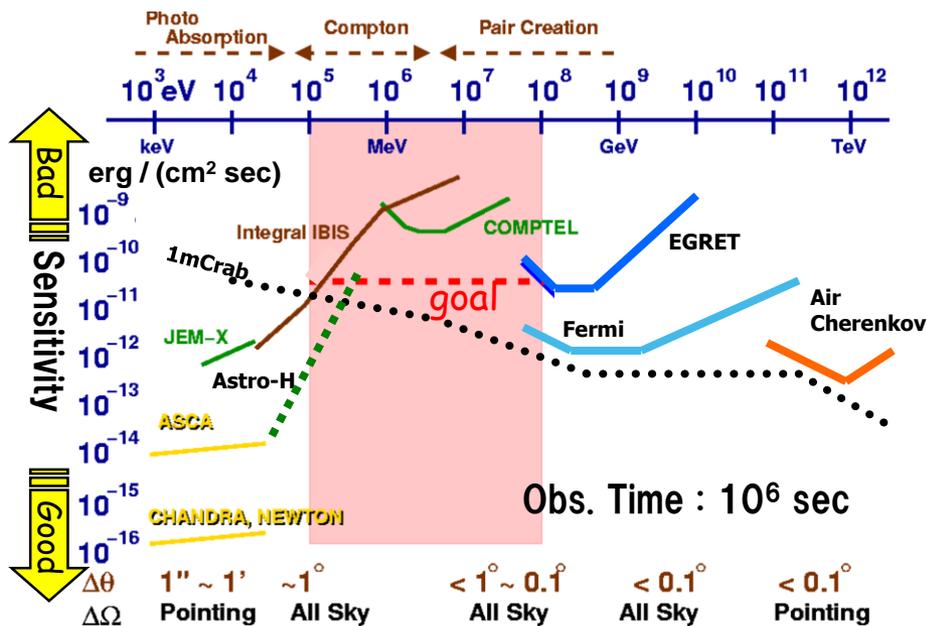
MeV天文学

ラインガンマ線

◆元素合成 超新星残骸, 銀河面

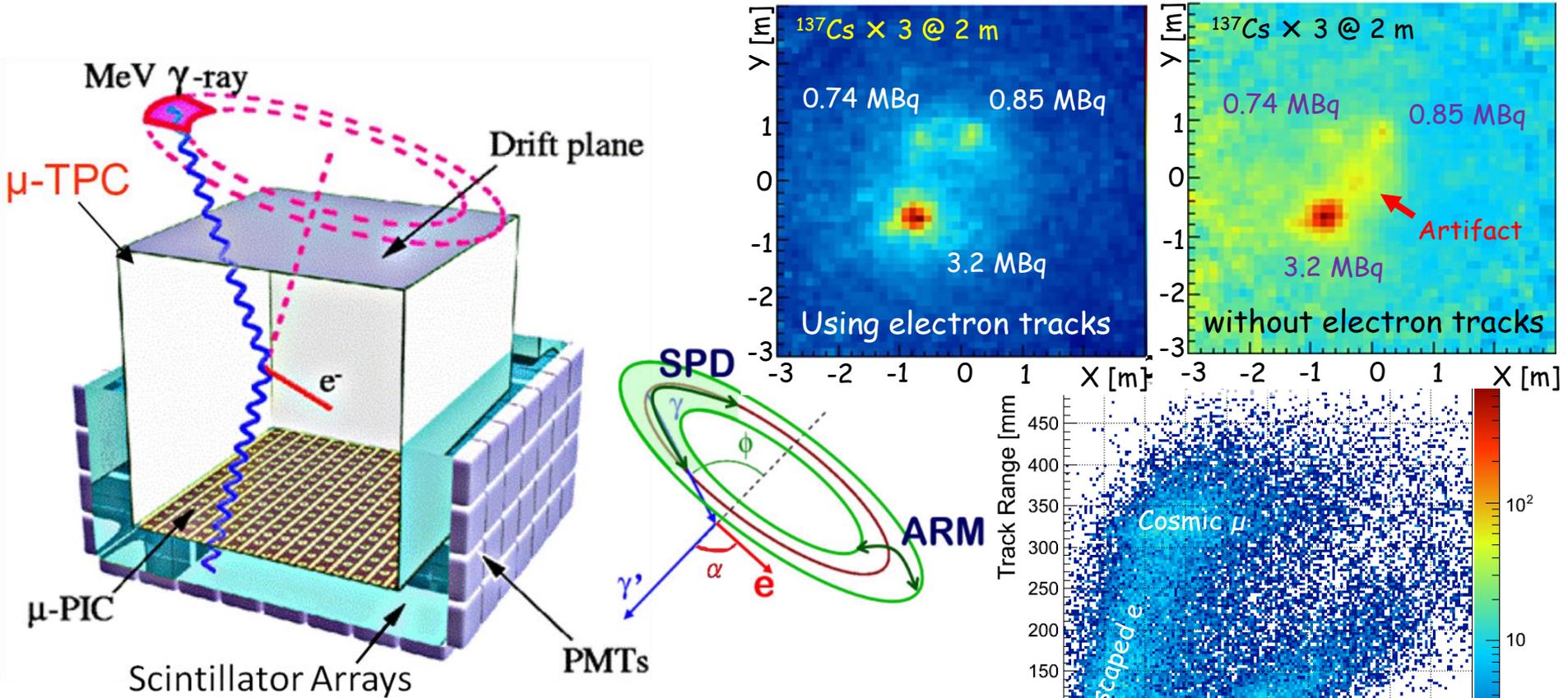
連続スペクトル

- ◆粒子加速 活動銀河核のジェット
- ◆強い重力場 ブラックホール
- ◆遠方宇宙 活動銀河核の分類, ガンマ線バースト
- ◆その他 ガンマ線パルサー, 太陽フレア



MeV領域の観測 ⇒ 確立したイメージング方法が無い
雑音が多く観測が難しい

電子飛跡検出型コンプトンカメラ



ガス飛跡検出器

反跳電子のエネルギーと3次元飛跡

シンチレーションカメラ

散乱ガンマ線のエネルギーと吸収点

- 反跳方向取得による高品質イメージ
- エネルギー損失率による粒子識別
- α 角によるコンプトン運動学テスト
⇒ 強力な雑音除去能力

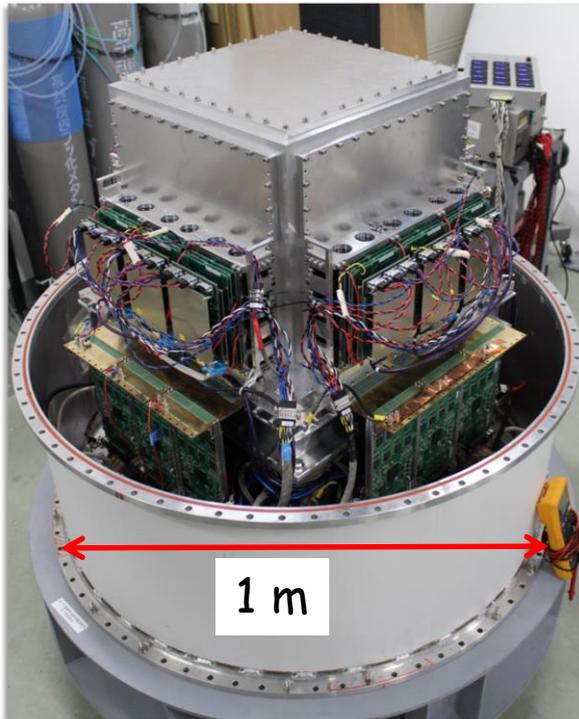
SMILE-II Flight Model

- ガンマ線画像取得
- かに星雲・Cyg X-1の観測
- (30cm)³の検出器



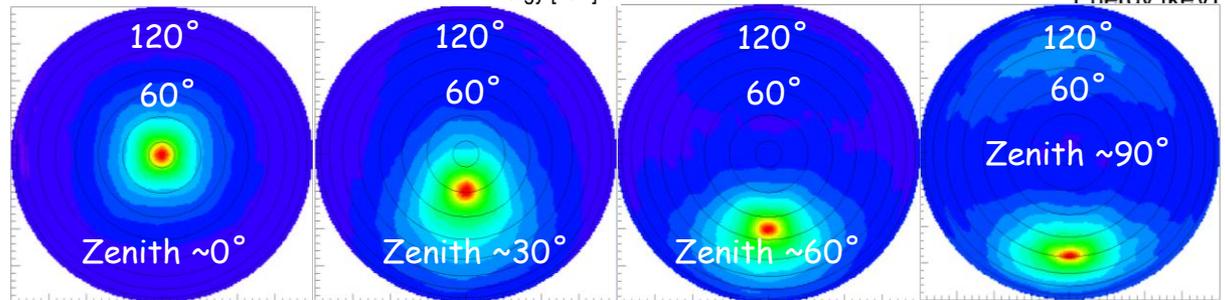
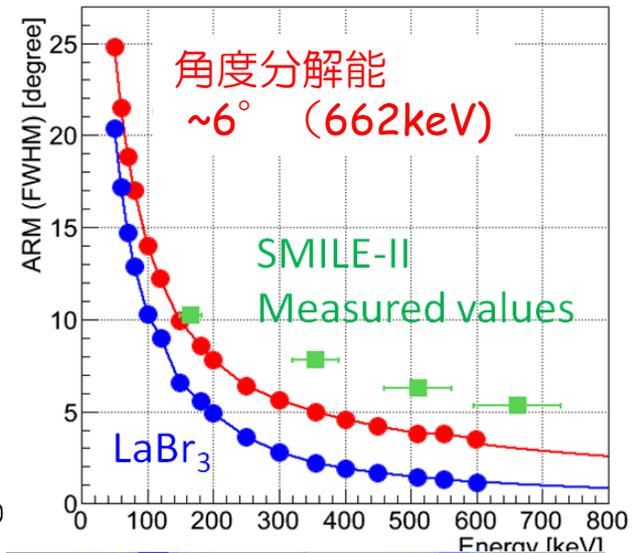
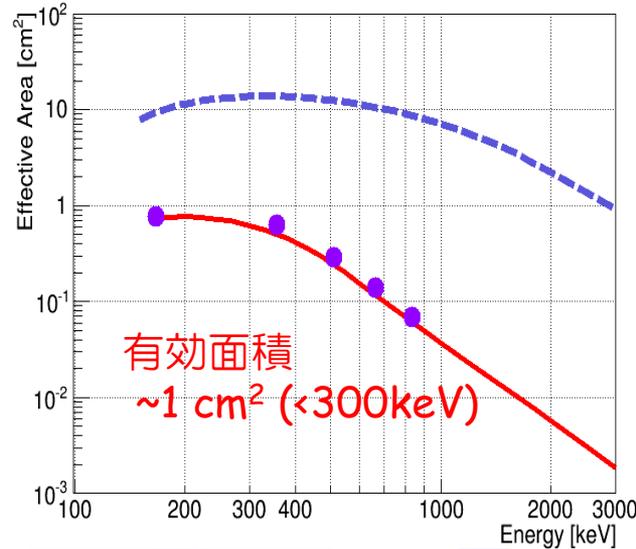
高度~40km数時間でかに星雲観測を
3 σ 以上の有意度で観測

⇒ 要求値：有効面積 >0.5 cm²
角度分解能 <10度



Weight: ~250kg + α
Power: ~250W

実測値



要求性能はクリア済！

「ガス」検出器であることについて

	ガスTPC		半導体
	Ar 1 atm	CF ₄ 3 atm	Si
電子の数	18	42	14
密度	1.78 mg/cm ³	10.9 mg/cm ³	2.33 g/cm ³
厚み	300 mm		0.5 mm×32層
散乱確率 300 keV	0.507 %	3.26 %	32.5% (1層：1.22 %)
散乱確率 600 keV	0.386 %	2.48 %	25.8 % (1層：0.930 %)
幾何面積	30×30 cm ²		5×5 cm ²
散乱有効面積 300 keV	4.56 cm ²	29.3 cm ²	8.13 cm ²
散乱有効面積 600 keV	3.47 cm ²	22.3 cm ²	6.46 cm ²

「ガスだから有効面積が小さい」は間違い！！

微弱線源を用いた測定

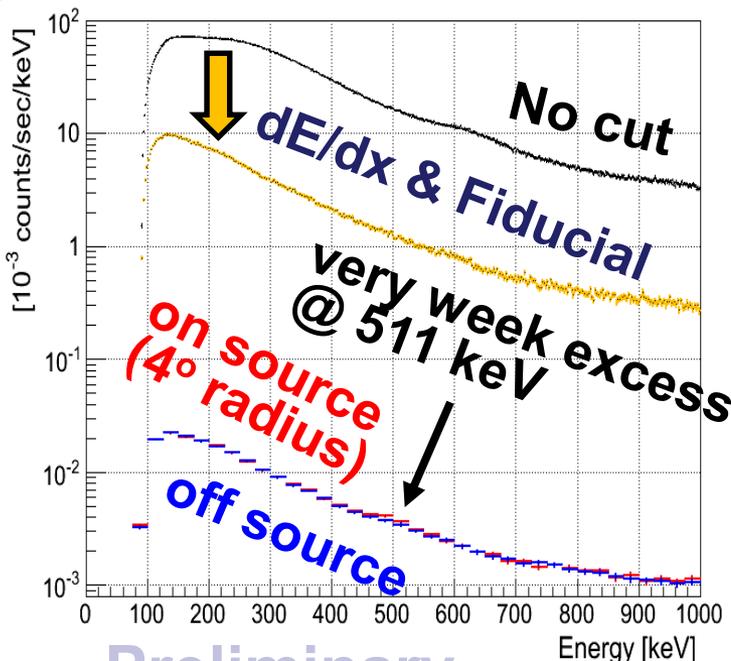
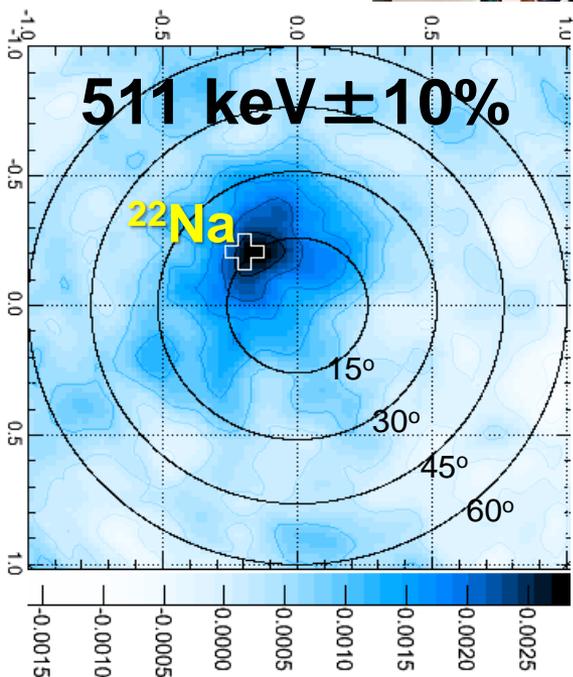
^{22}Na

鉛2mmで遮蔽
(27 kBq 相当)

S/N

Crab予想: ~ 0.02

微弱線源: $0.005 \sim 0.01$



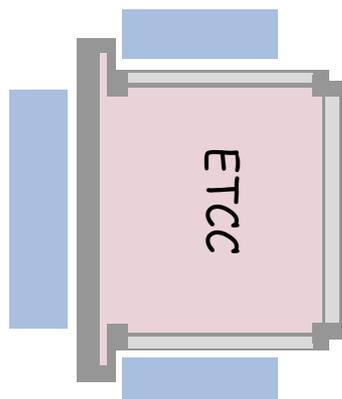
Crab-S/Nの0.5倍以下で

- 撮像試験に成功!
- 系統誤差 ($\pm 30\%$) で線源強度一致

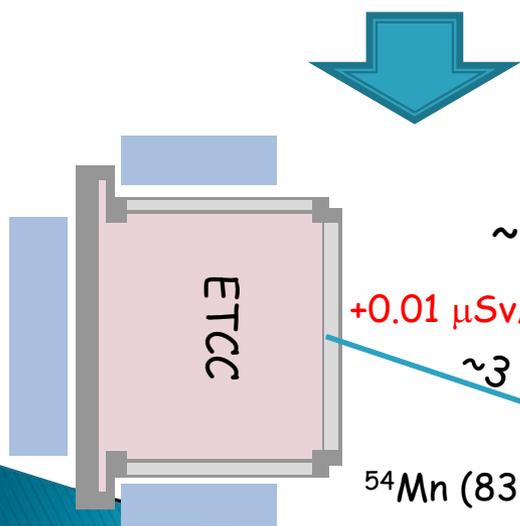
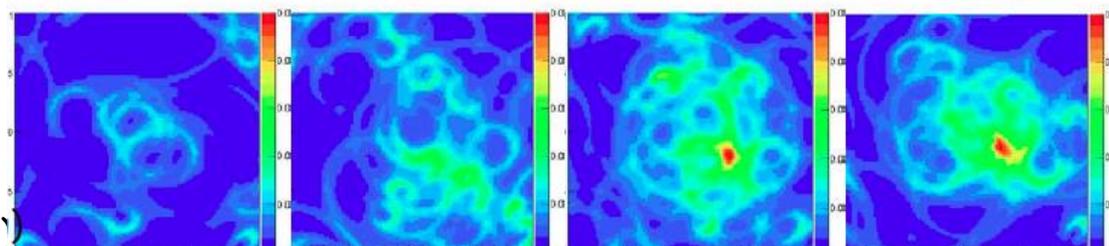
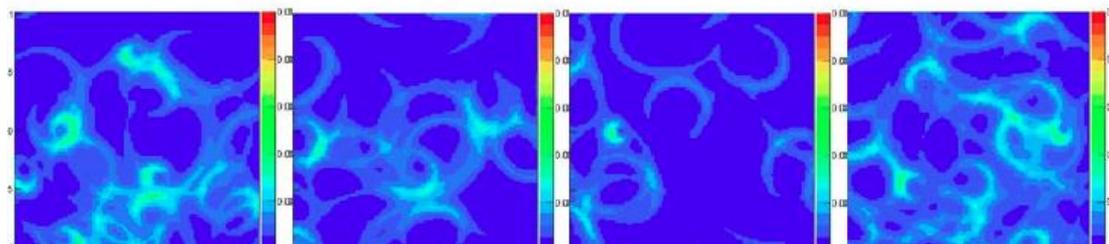
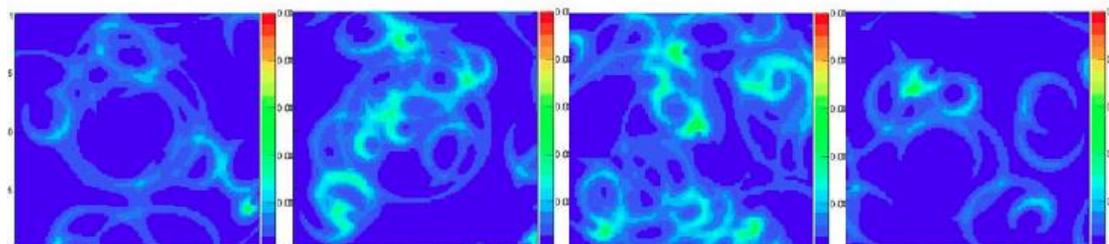
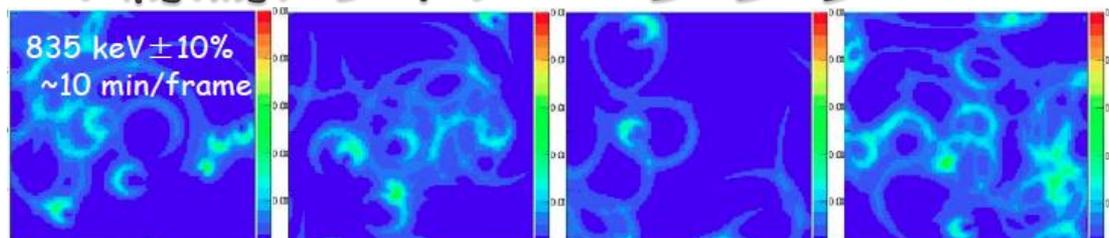
低S/Nでの
定量性を確認

Preliminary

時間変動するガンマ線源のイメージング



~3 hours
No source



~20 min

+0.01 $\mu\text{Sv/h}$

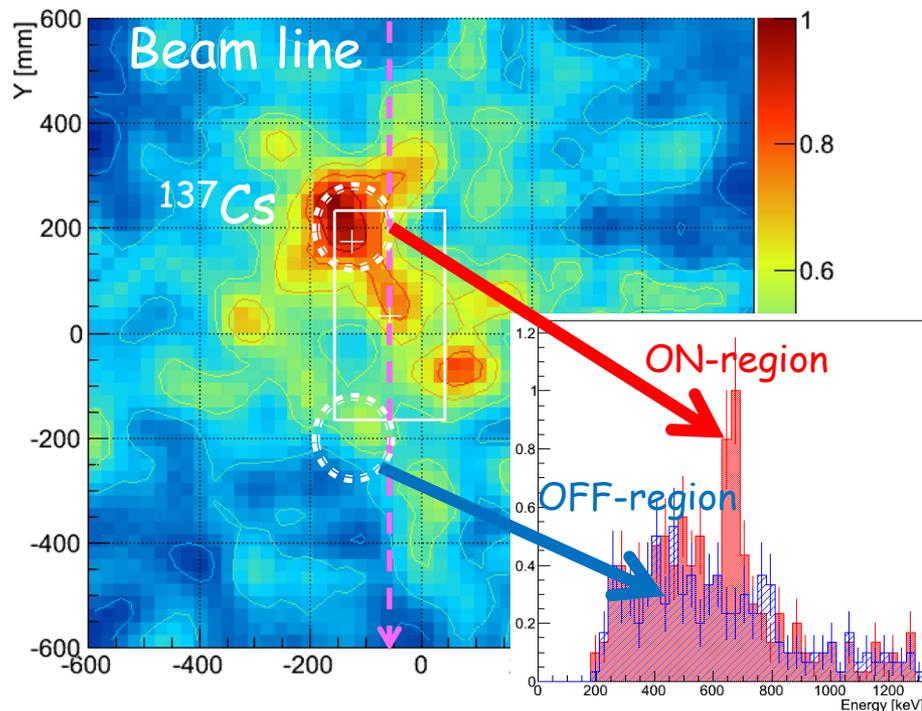
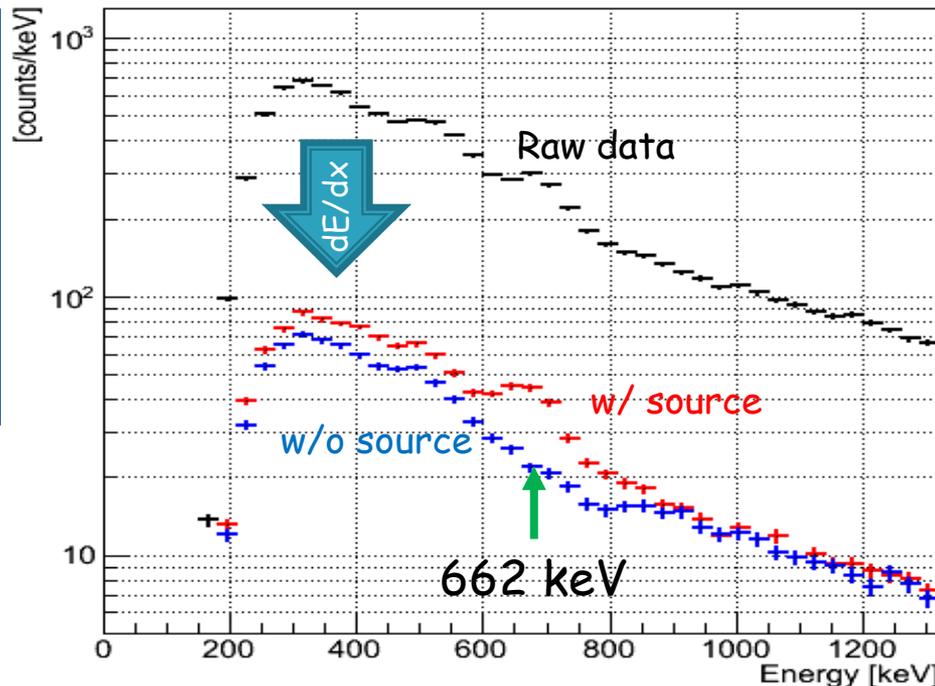
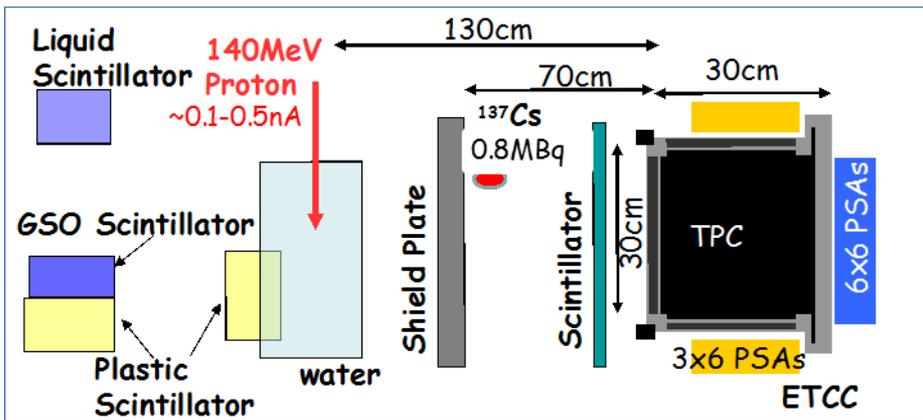
~3 m

^{54}Mn (835 keV, 1 MBq)

1 MBq @ 3 mのガンマ線源

⇒ 10分で 3σ の優位度で検出!

高雑音環境下におけるガンマ線観測



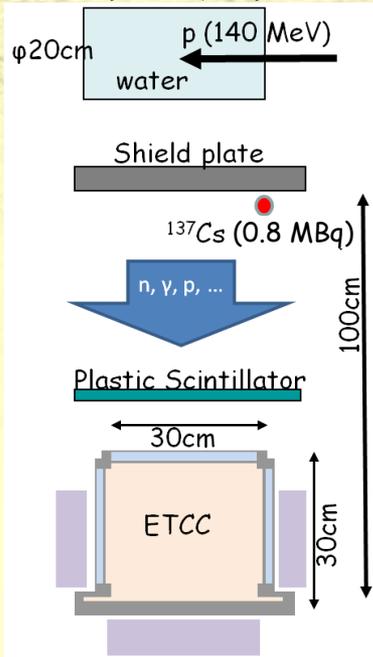
140 MeV陽子を水ターゲットに照射
 ⇒ ガンマ線・中性子・陽子などの高雑音環境

- エネルギーと画像の取得に成功
- 検出効率は低雑音環境とほぼ同じ

ETCCの雑音除去能力の高さを証明

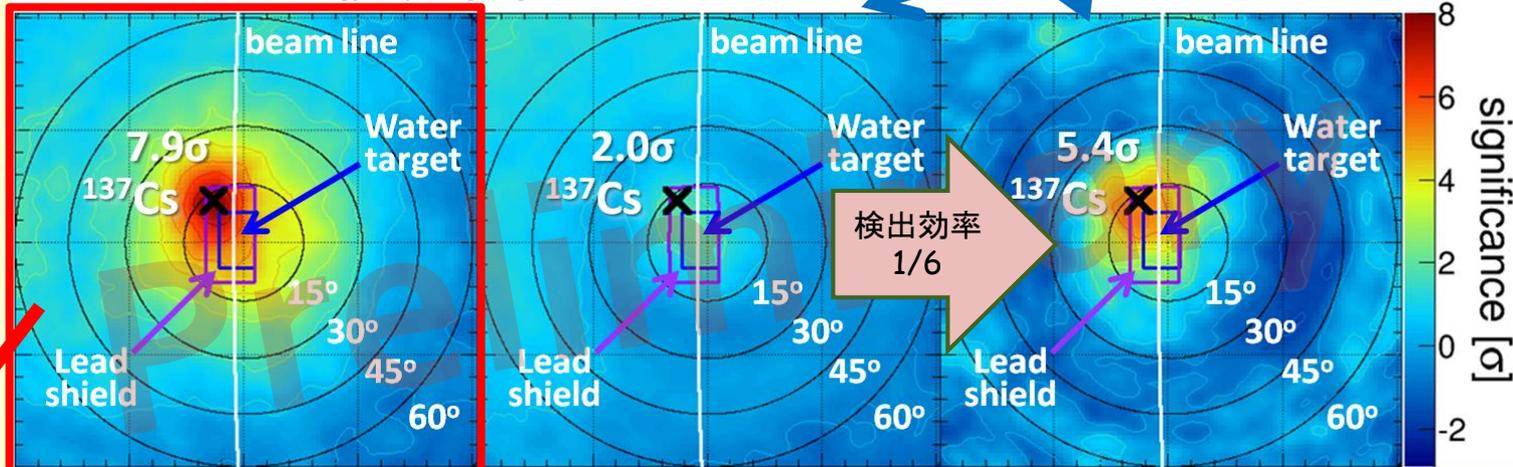
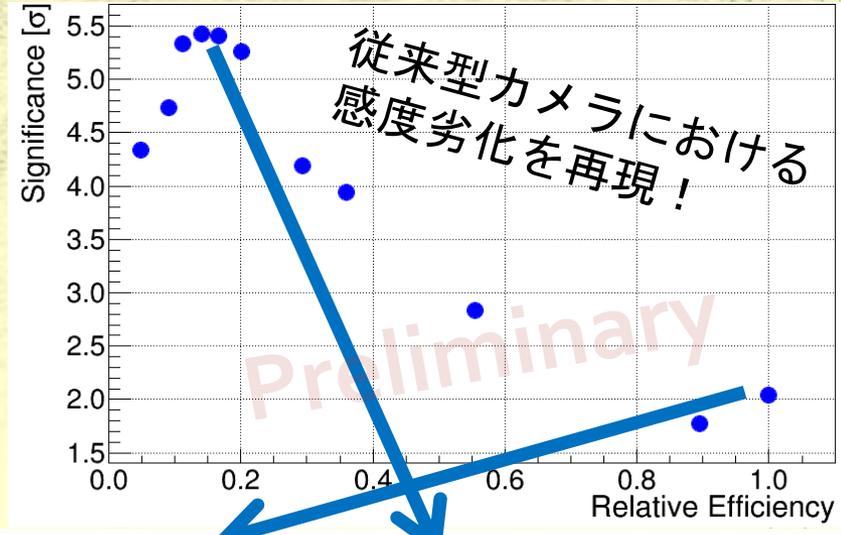
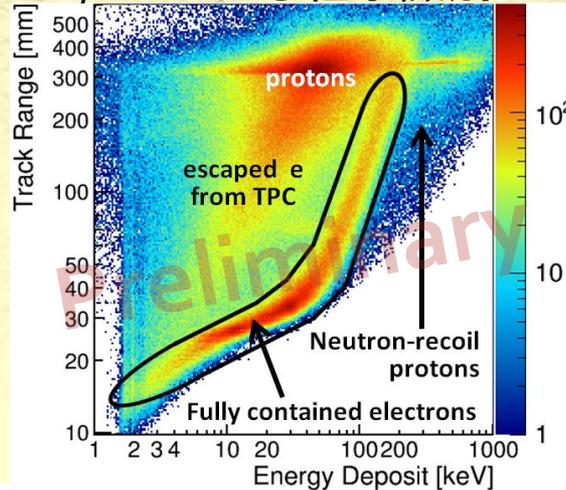
従来型コンプトンカメラにおける感度劣化

セットアップ



$n/\gamma \div 1/3$ 程度の中性子も発生

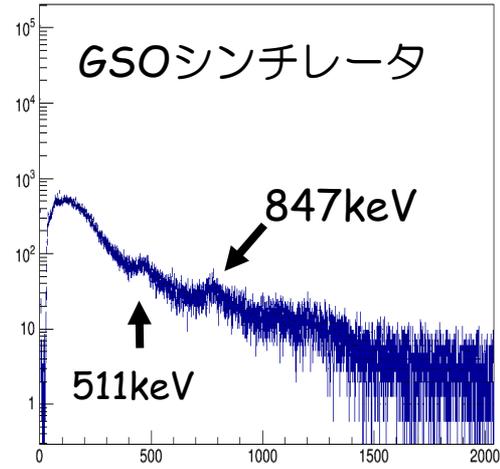
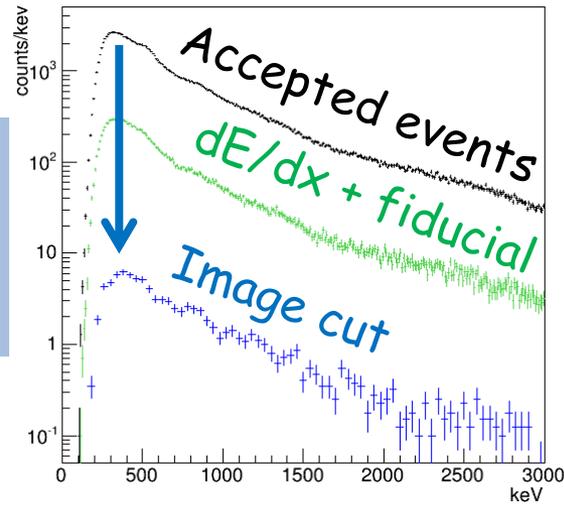
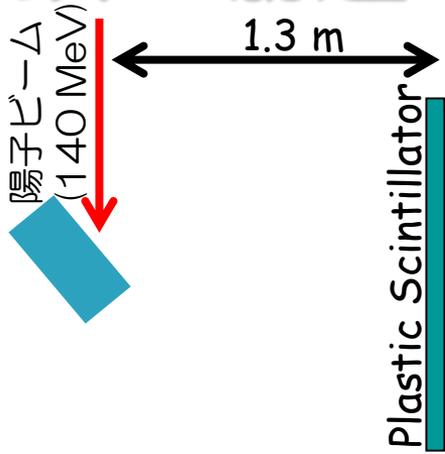
dE/dX による粒子識別



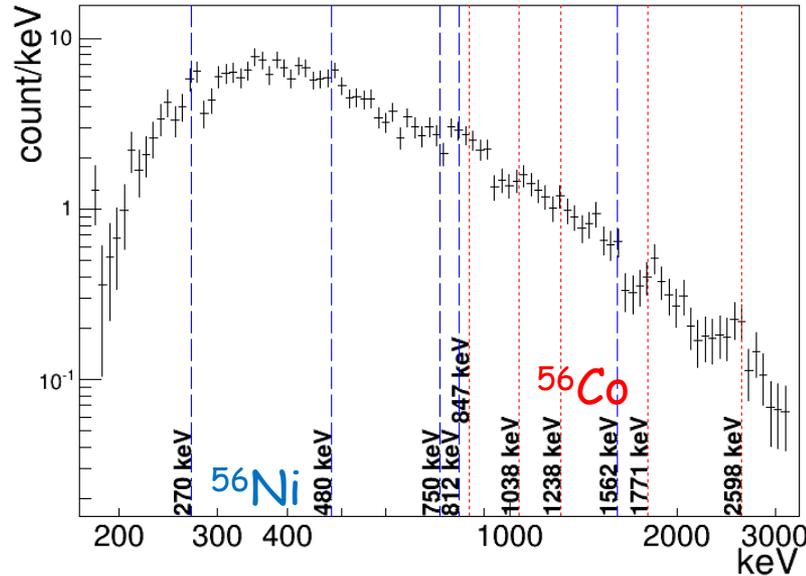
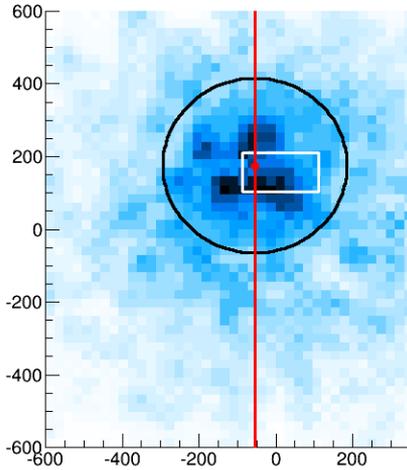
SMILE-II 実機は
高雑音環境で有効面積を保持できた!

電子飛跡未使用
+ Energy Deposit selection
(検出効率犠牲)

鉄の励起ガンマ線観測



map1



陽子ビームを鉄ターゲットに照射

^{56}Fe の励起ガンマ線を検出

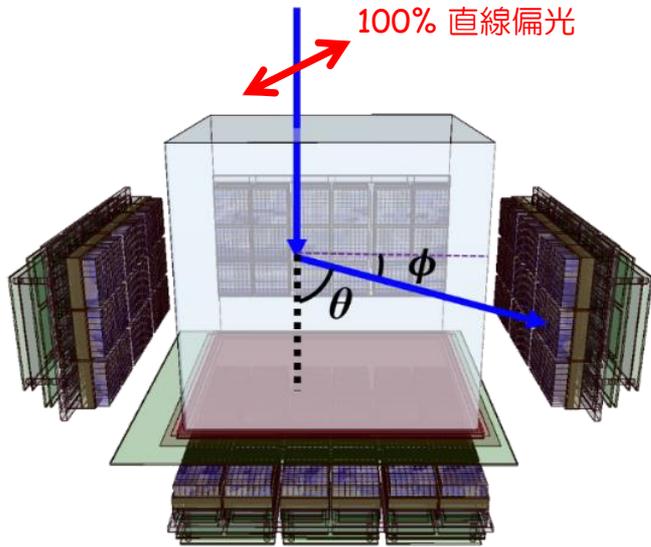


Ia型超新星爆発

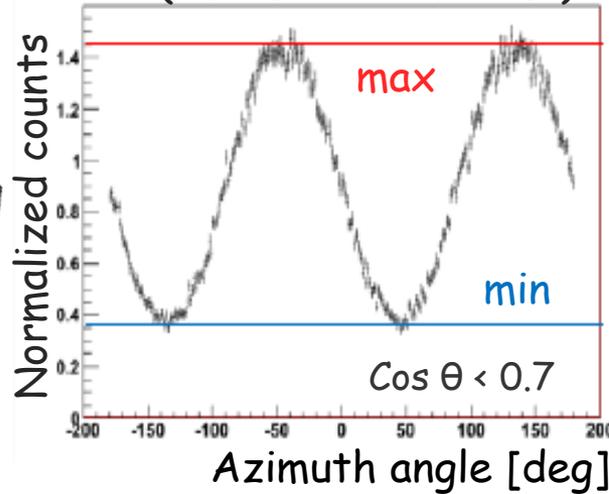
⇒ $0.6M_{\odot}$ の ^{56}Ni が生成

核ガンマ線の検出に期待

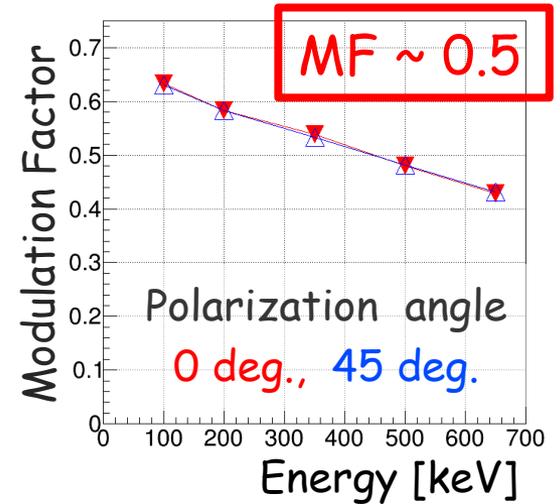
ガンマ線偏光測定の可能性



モジュレーション曲線
(幾何学効果の補正後)



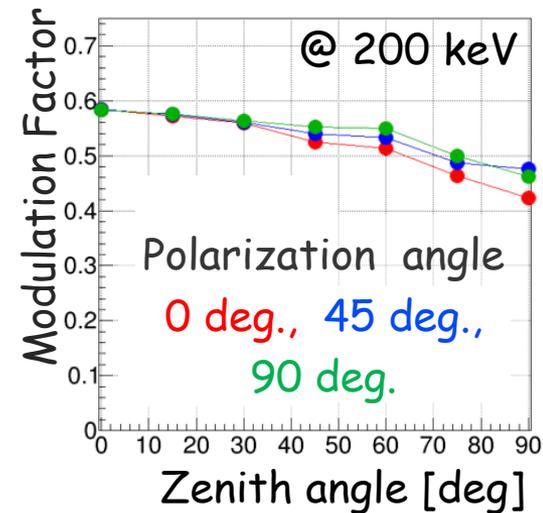
エネルギー依存性



SMILE-II+ SMILE-III
(~4 cm²) (~10 cm²)

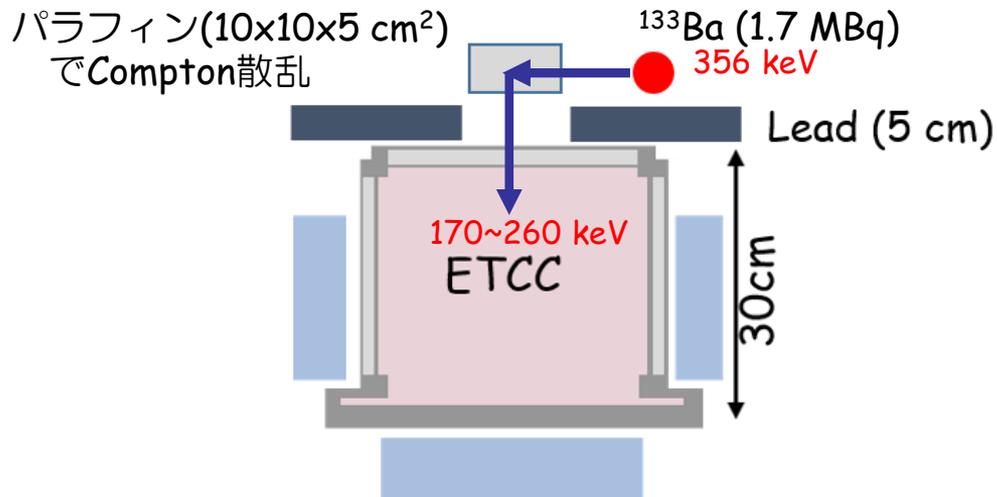
➡ 40% 20%

➡ 20% 10%
➡ 60% 30%



- かに星雲: 3σ 検出最少偏光度
中緯度, 高度40 km, 10時間飛翔
- GRBs: 10⁻⁶ erg/cm²/s (2-3 GRBs/月)
10⁻⁷ erg/cm²/s (~10 GRBs/月)
極域, 高度40 km, 1ヶ月飛翔

ガンマ線偏光測定の実証実験

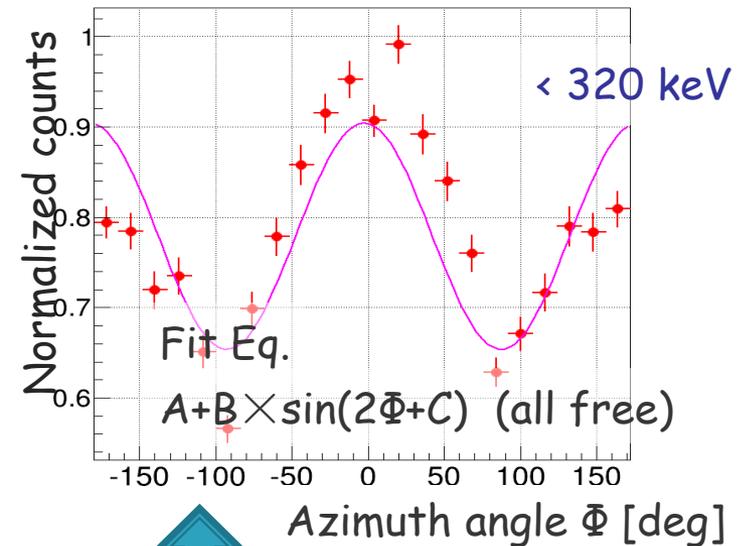


パラフィン中で $\sim 90^\circ$ の散乱
⇒ 偏光度 $\sim 40\%$ (G4 simulation)

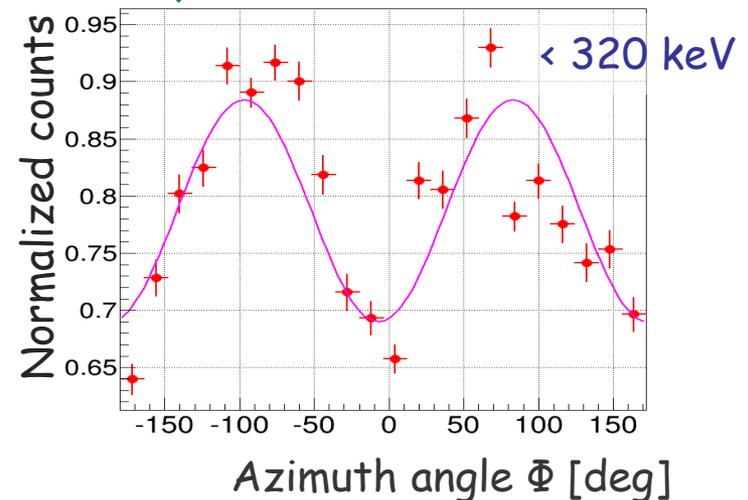
Signal : BG = 0.08 : 1

低いSN比で偏光の検出に成功

2015年1月末にSPring-8でビーム試験を予定



90° 回転



まとめ

- ▶ MeVガンマ線天文学の開拓に必須な
低雑音化と高精度イメージ取得に成功
- ▶ ガス検出器であることにデメリットはない
- ▶ かに星雲観測を目的とした次期気球実験SMILE-II
要求値 有効面積： $>0.5 \text{ cm}^2$ 角度分解能： $<10^\circ$
現状値 有効面積： $\sim 1 \text{ cm}^2$ 角度分解能： $\sim 6^\circ$
高度40 km 3時間で 5σ の有意度で観測可能
かに星雲観測は必須 Ft. Sumnerでの観測を計画中
SMILE-II+ Ar 2 atm, GSO 3 R.L. $\rightarrow 4 \text{ cm}^2$, 偏光観測も可
- ▶ 大量の雑音下においても検出効率を落とさずにガンマ線を観測可
- ▶ SMILE-IIIへ
CF₄ 3 atm + GSO (3 R.L. & 面積拡大) $\Rightarrow >10 \text{ cm}^2$
気球でも新しい物理の探索が可能に