

広視野低雑音MeVガンマ線 コンプトンカメラを用いた **SMILE-II** システムの改良

水村 好貴
(京都大学)

岩城智, 岸本哲朗, 古村翔太郎, 窪秀利, 松岡佳大,
宮本奨平, 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, 竹村泰斗,
谷森達, 友野大(京都大学), 身内賢太郎(神戸大学)

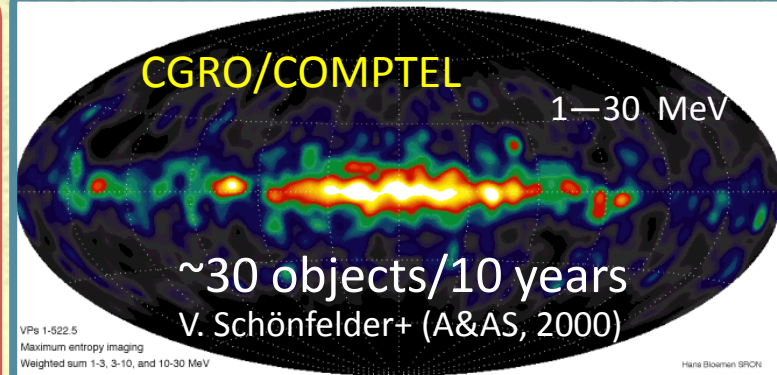


MeVガンマ線天文学

興味深いサイエンスの宝庫

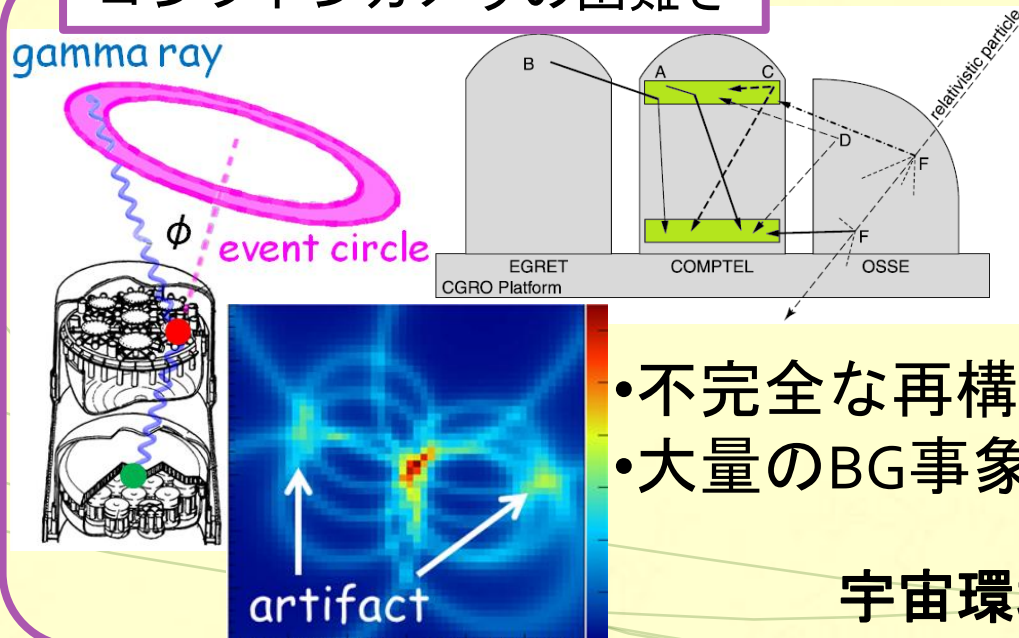
- **宇宙の進化**: 最遠方GRB, MeV背景放射の非等方性
- **元素合成**: SNR, 銀河面
- **宇宙線加速**: AGNジェット
- **強重力場での物理**: BH降着円盤, π^0
- **その他**: 太陽フレア, γ 線パルサー, Ia型超新星の爆発機構

これまで最高感度の全天探索



観測データの品質がまだ不十分

コンプトンカメラの困難さ



COMPTEL 以降の挑戦!!

LXeGRIT

方針: 有効面積を拡大
結果: Crab検出失敗(10 σ 予想)

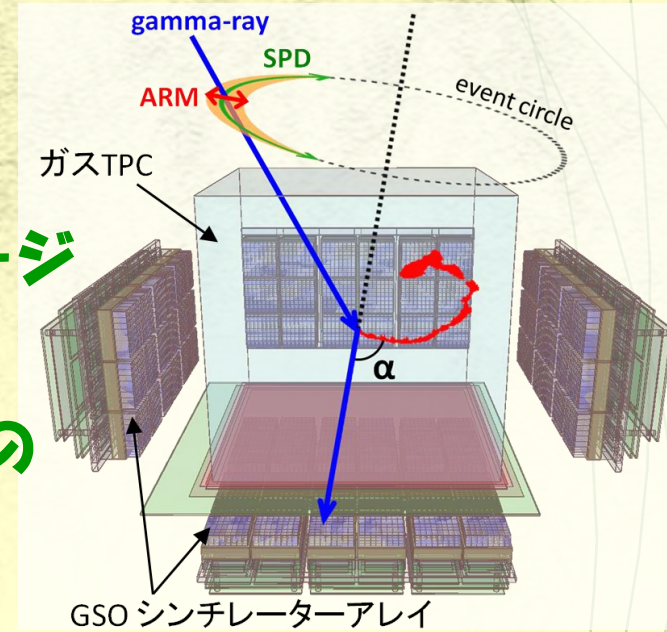
NCT

方針: Energy分解能を改善
結果: Crab検出成功
(event数が予想の1/6)

宇宙環境で深刻な**感度&定量性の劣化!**

Electron-Tracking Compton Camera (ETCC)

反跳電子の3次元飛跡を測定
(新たに3つの物理量を測定)



① Compton散乱平面の決定: SPD

→ 散乱事象の完全な再構成

高品位イメージ

② 粒子のエネルギー損失率: dE/dX

→ 粒子識別 + 電子の非脱出保証

③ 散乱 γ 線と反跳電子の開き角: α 角

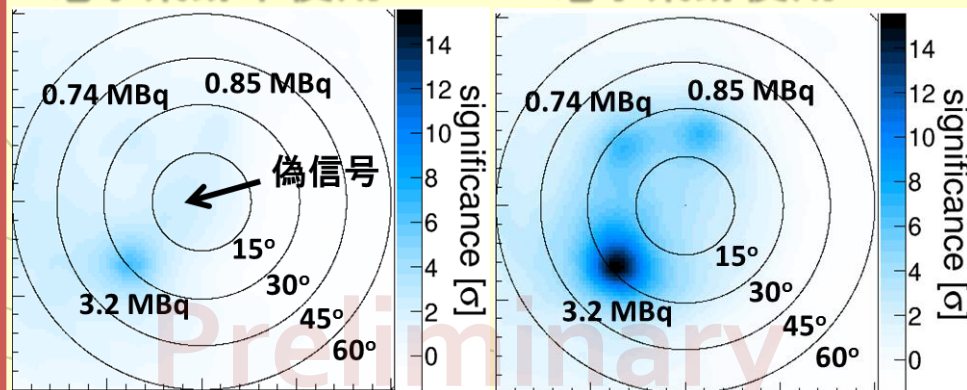
→ コンプトン運動学のテスト

高効率の
BG除去

^{137}Cs 線源 x 3つの撮像結果: $(30\text{ cm})^3$ ETCC

電子飛跡未使用

電子飛跡使用



検出有意度 約3倍改善

ガス散乱体で有効面積を
確保できるのか!?

散乱確率 \propto 散乱体内の電子数

$(50\text{ cm})^3$ TPC + 3気圧Xe(or CF_4)ガス

⇒ 理想系で $>100\text{ cm}^2$ @ 1 MeV

前段階として気球実験
SMILE を推進中

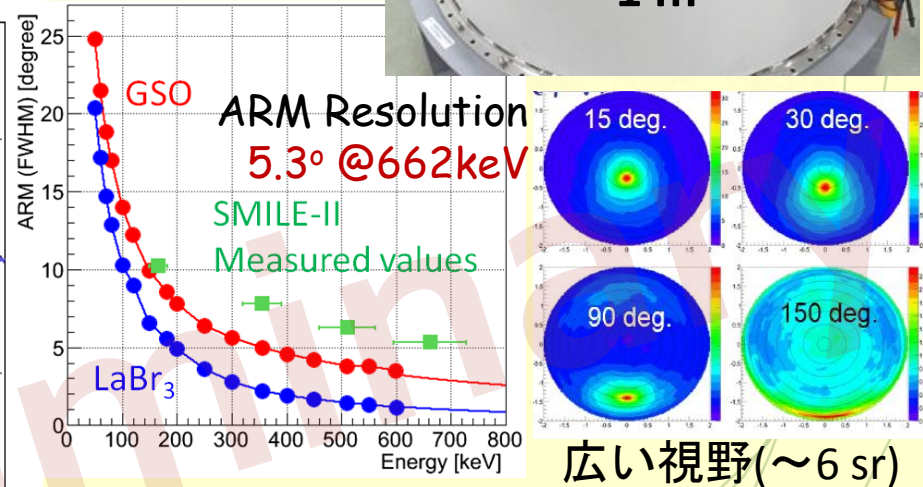
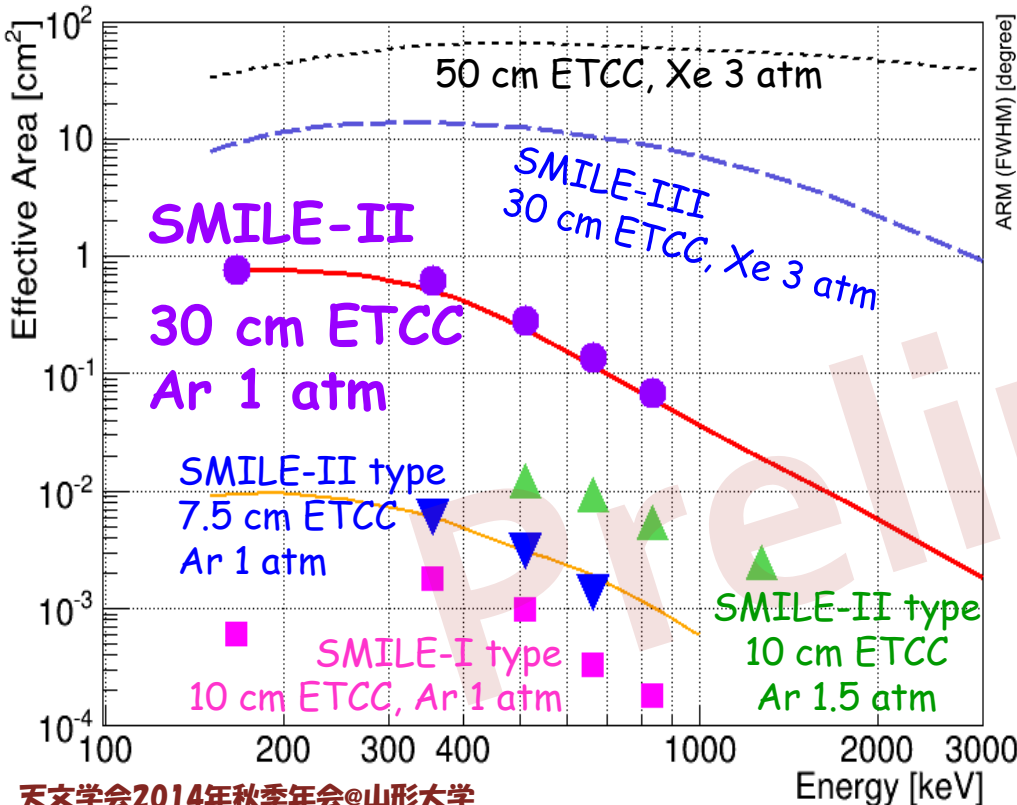
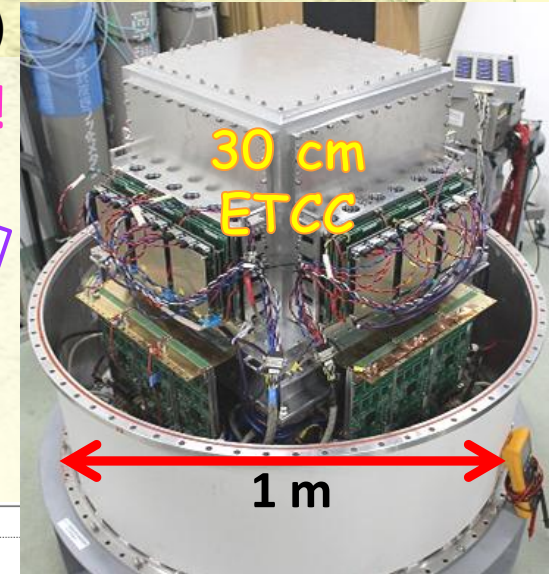
SMILE と 30 cm ETCC 実機性能

(Sub-MeV gamma-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiment)

- ◆ SMILE-I: 上空でのBG除去確認 2006年に成功!!
- ◆ SMILE-II: 天体撮像能力の実証
 - 数時間の Crab 気球観測で 5σ 撮像を目指す
 - 有効面積: $0.7 \text{ cm}^2 @ 300 \text{ keV}$
 - 角度分解能(ARM): $5.3^\circ @ 662 \text{ keV}$
- ◆ SMILE-III: 長時間気球での科学観測

現在推進中

要求性能
達成済み!!

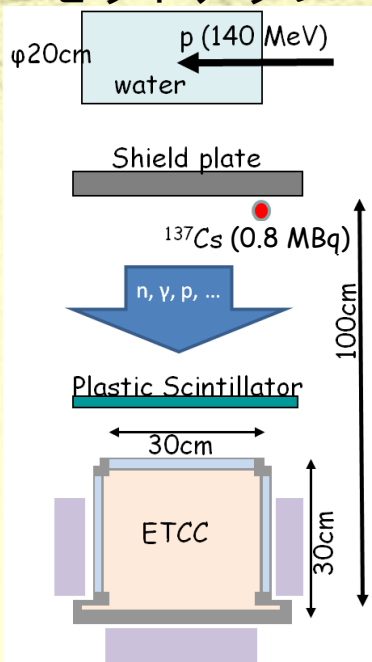


- 従来型コンプトンカメラが感度を落とす仕組みの再現
- 偏光ガンマ線の挑戦的測定

従来型コンプトンカメラにおける感度劣化

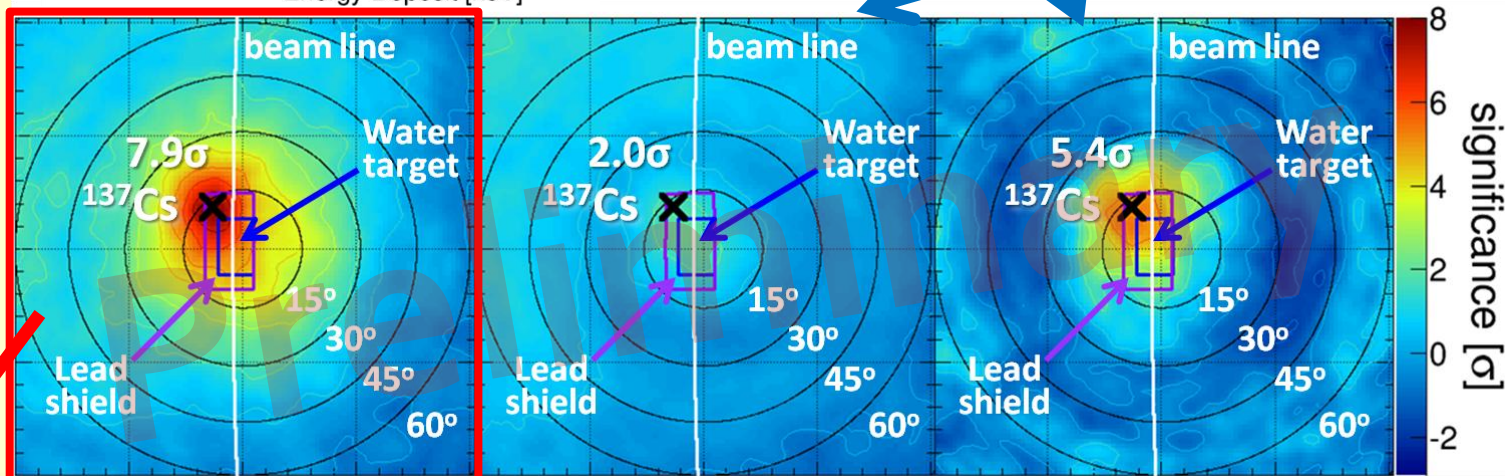
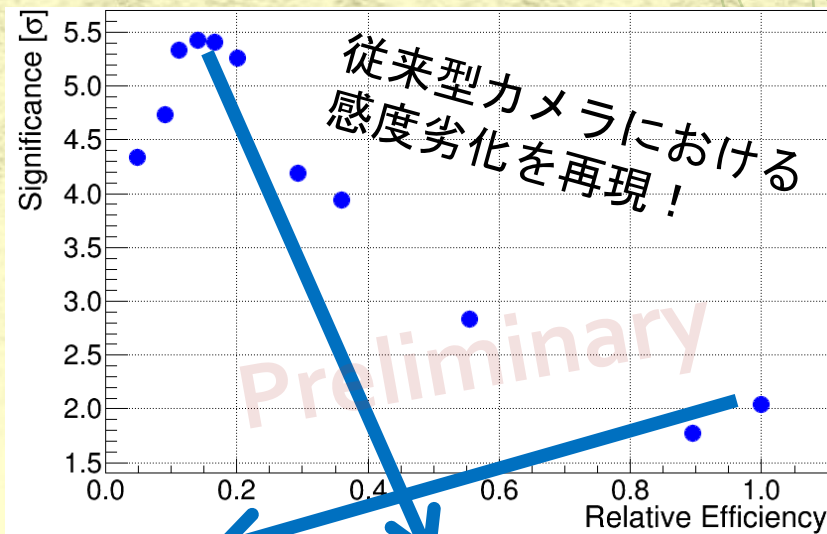
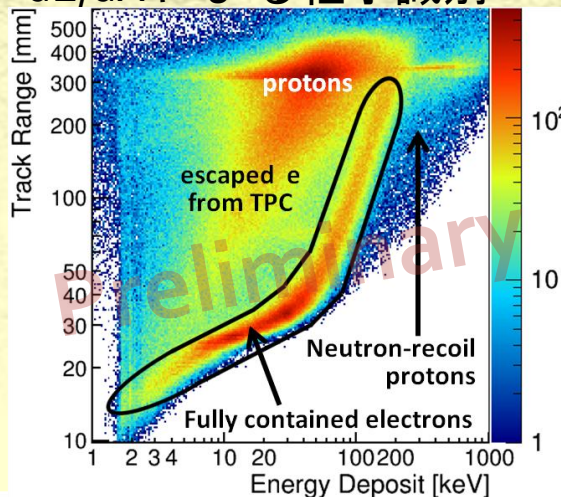
140 MeV 陽子ビームを水に照射し 擬似宇宙環境を再現 (@RCNP)

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



電子飛跡**使用**

電子飛跡**未使用**

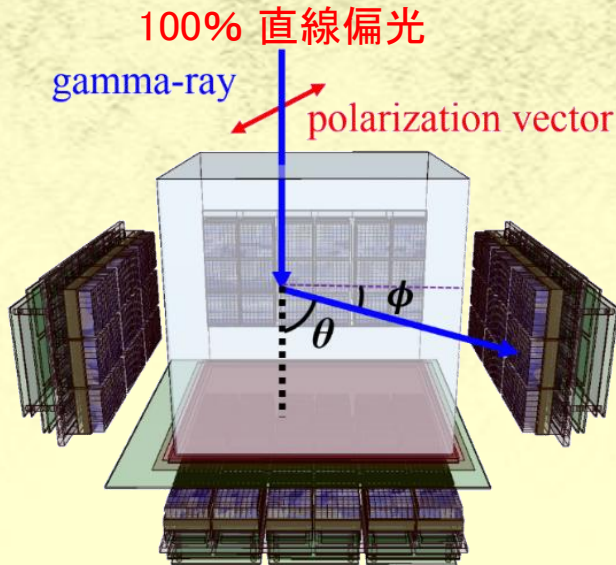
電子飛跡未使用
+ Energy Deposit selection
(検出効率犠牲)

SMILE-II 実機は
高雑音環境で**有効面積を保持できた!**

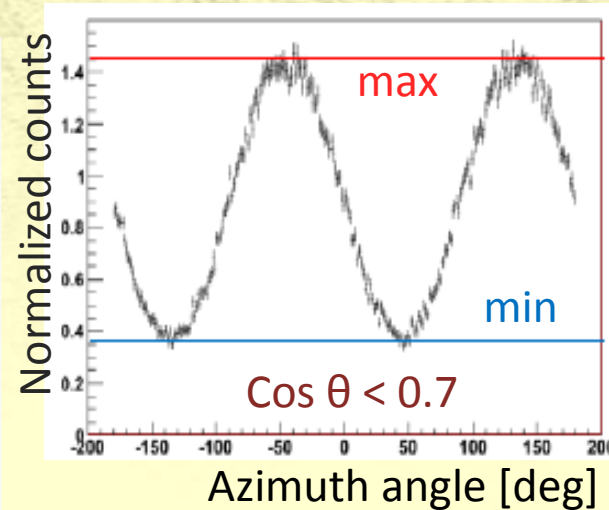
ETCCによる偏光ガンマ線の測定

～ SMILE-II からの発展を想定した基礎研究 ～

まず、シミュレーション

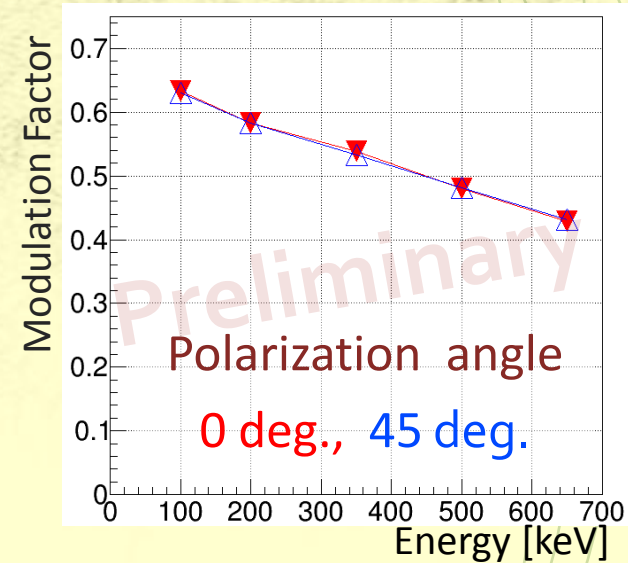


モジュレーションカーブ
(geometry corrected)



$$\text{Modulation Factor (MF)} = \frac{\text{max} - \text{min}}{\text{max} + \text{min}}$$

エネルギー特性



MF > 0.5 (< 400 keV)

3σ 偏光検出感度 (Minimum Detectable Polarization)

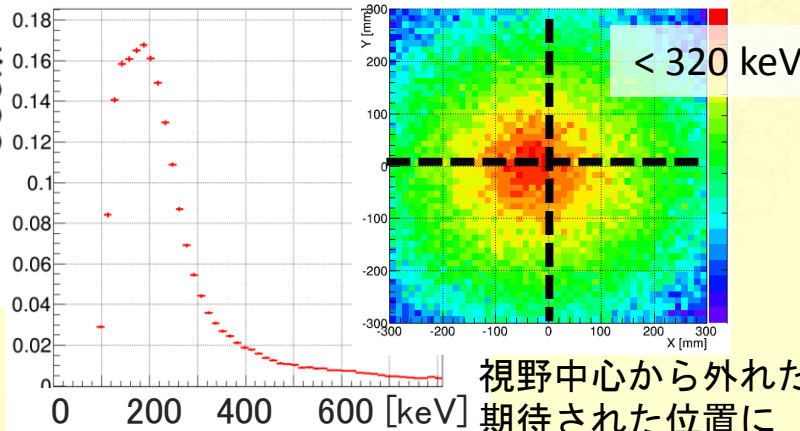
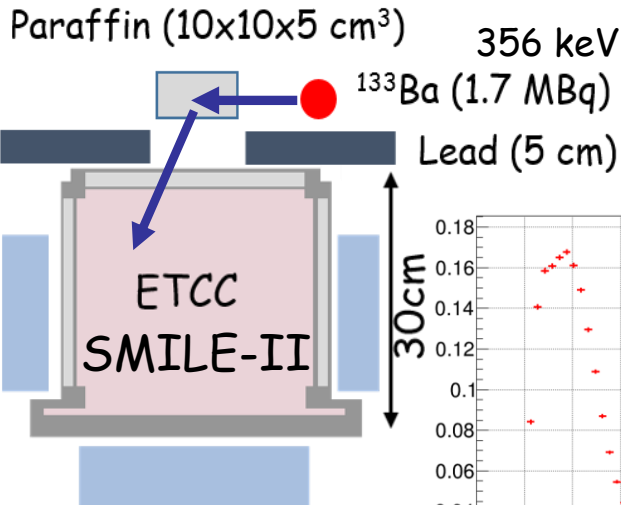
- ◆ 半日程度の短時間気球: 中緯度, 高度 40 km, 10時間飛行
Crab: **~20%** Cyg X-1: **~30%**
- ◆ 極域周回長時間気球: 極域, 高度 40 km, 1ヵ月飛行
GRB: 10^{-6} erg/cm²/s (2-3 GRBs/month): **~8%**
 10^{-7} erg/cm²/s (~10 GRBs/month): **~30%**

SMILE-III
想定

ETCCによる偏光ガンマ線の測定

～ SMILE-II からの発展を想定した基礎研究 ～

実験室で測定してみる！



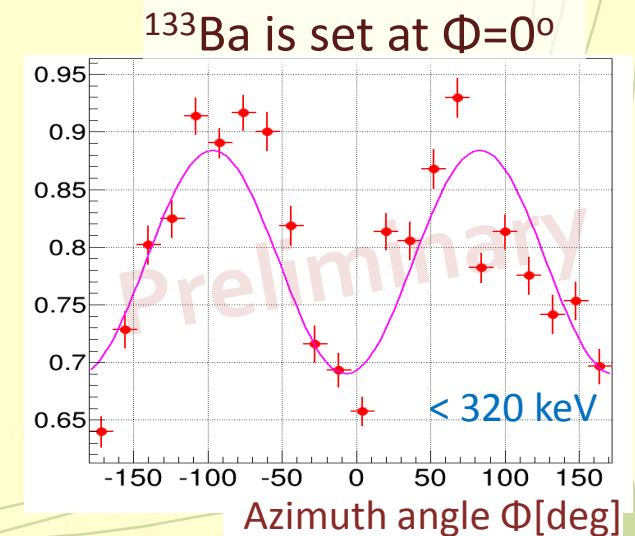
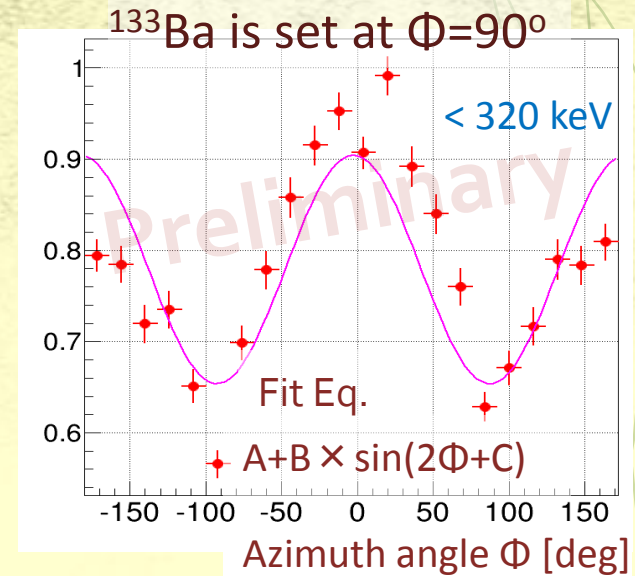
視野中心から外れた期待された位置に画像ピーク出現

Compton effect

パラフィンで散乱されたガンマ線は、約 40% の偏光度 (by Geant4 simulation)

Signal : BG = 0.03 : 1

SMILE-II 実機 (30 cm)³ ETCC で、低 S/N のガンマ線偏光を検出！！



2015年1月に、SPring-8でのガンマ線偏光測定実験を予定

まとめ

◆ SMILE-II 搭載 (30 cm)³ ETCC

Crab観測(1日飛行, 5 σ 検出)の要求性能達成済み

有効面積: 0.7 cm² @ 300 keV

角度分解能: 5.3° @ 662 keV

◆ 従来型コンプトンカメラの苦戦理由を再現・理解

高雑音環境で、有効面積とS/Nのトレードオフ

ETCCは有効面積を保持しつつ撮像可

◆ ガンマ線撮像偏光計としての第一歩

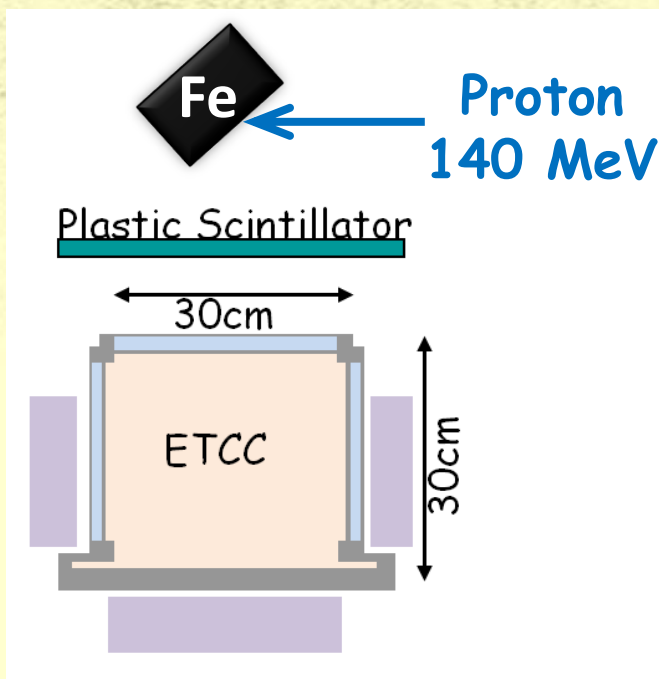
シミュレーション: MF > 0.5 (< 400 keV)

実測: 実験室の低S/N(~ 0.03)環境で偏光検出!

SPring-8で2015年1月に偏光観測能力の定量評価予定

鉄ターゲットからのガンマ線検出試験

鉄に陽子ビームを直接照射
ETCC前面にシールド無し



^{56}Ni と ^{56}Co からの
ガンマ線ラインを検出！？

詳細な結果と、
シミュレーション study を
物理学会にて報告予定

