

MeVガンマ線天体観測に向けた電子 飛跡検出型コンプトンカメラ開発

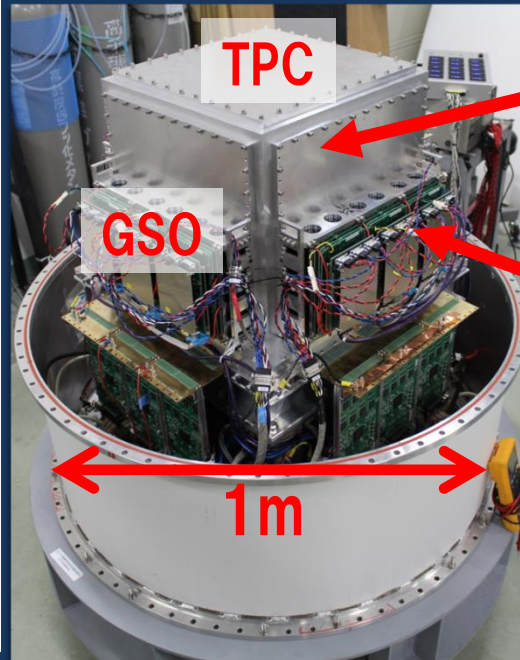
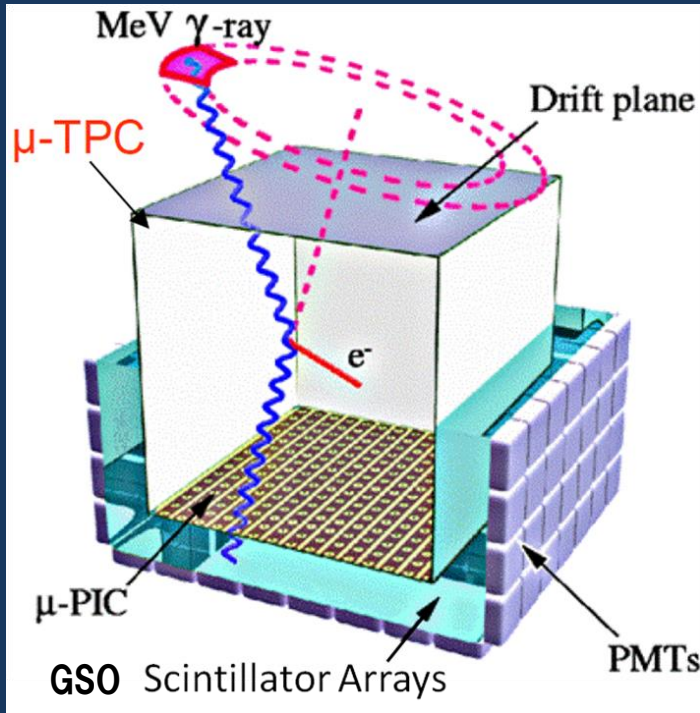
水本哲矢^A

谷森達^A、窪秀利^{A, B}、Parker Joseph^A、水村好貴^A、友野大^A、
岩城智^A、澤野達哉^A、中村輝石^A、松岡佳大^A、古村翔太郎^A、中村祥吾^A、
小田真^A、園田真也^C、身内賢太郎^D、高田淳史^E、岸本祐二^F、株木重人^G、
黒澤俊介^H、田中真伸^{B, I}、池野正弘^{B, I}、内田智久^{B, I}

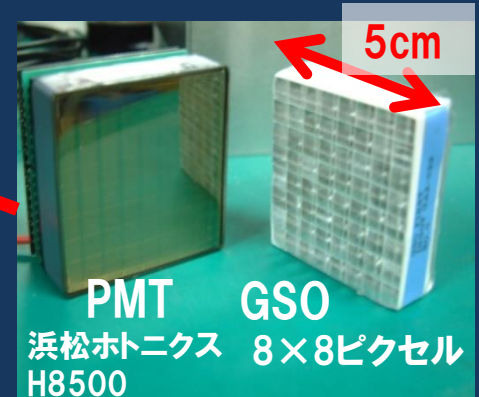
京大理^A Open-It^B 京大工^C 神戸大理^D 京大生存圏研^E
KEK放射線科学センター^F 東海大医^G 東北大金属研^H KEK素核研^I

電子飛跡検出型コンプトンカメラ ETCC

SMILE-II FM用ETCC



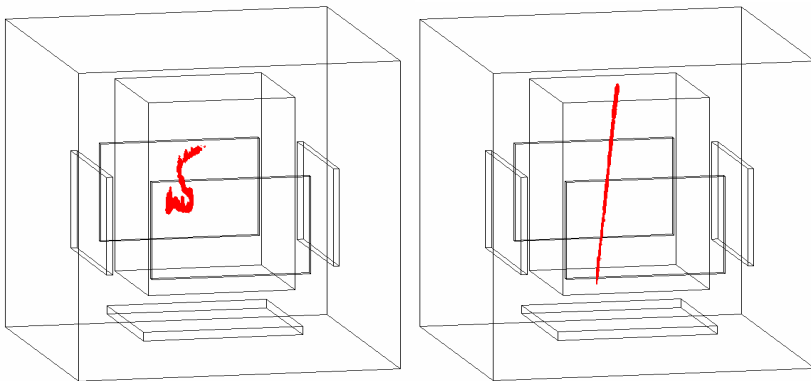
Ar (95%) + isoC4H10 + CF4
1気圧



GSOシンチレータアレイ
& 64ch PMT

electron track

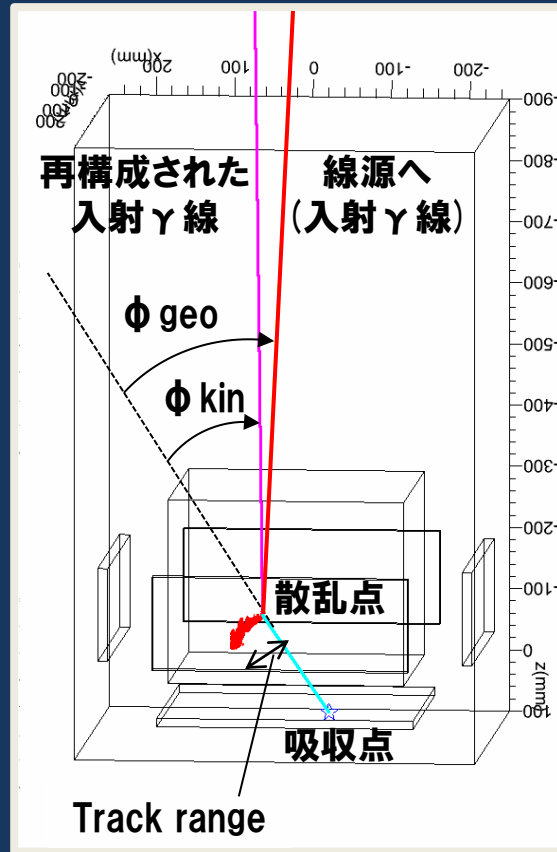
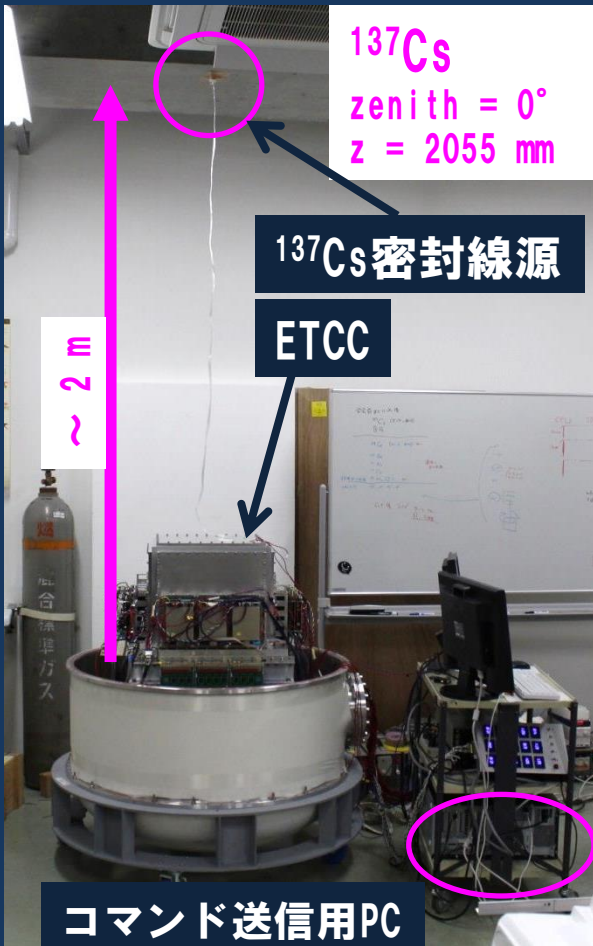
muon track



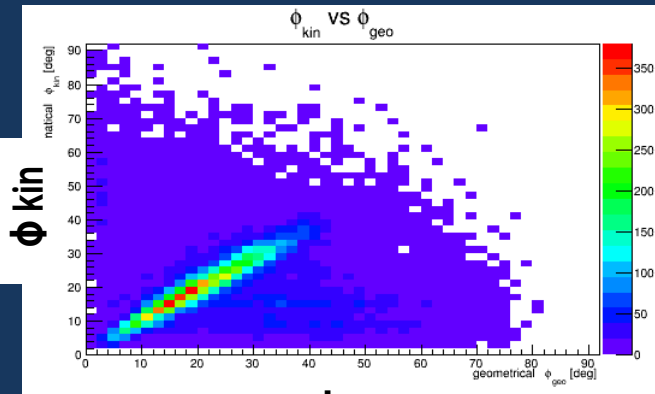
- ガンマ線がコンプトン散乱
- ガス飛跡検出器 μ -TPC
⇒反跳電子の3次元飛跡とエネルギー
- シンチレーションカメラ
⇒散乱ガンマ線の吸収点とエネルギー

光子毎に到来方向、エネルギーを取得
高いバックグラウンド除去性能
広い視野(~ 3 str)

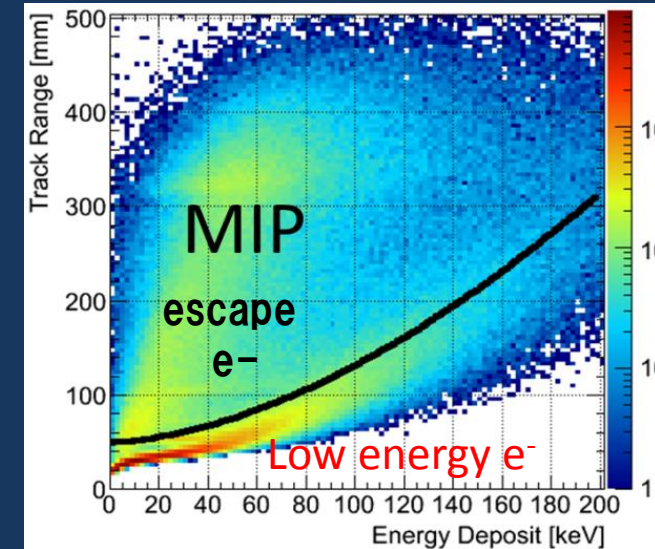
ガンマ線の再構成



1イベント毎に入射 γ 線を再構成できる

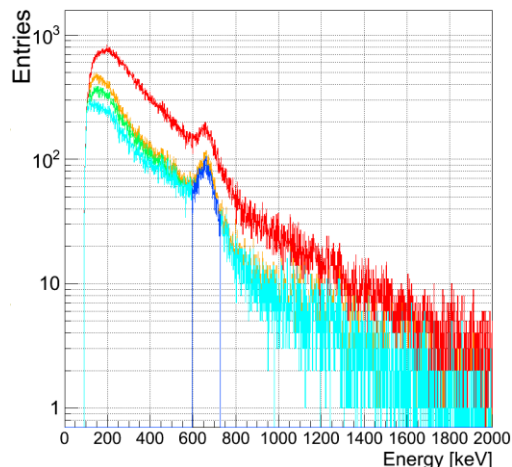


散乱点、吸収点、エネルギーが正しくとれていれば ϕ_{kin} と ϕ_{geo} の相関が見える

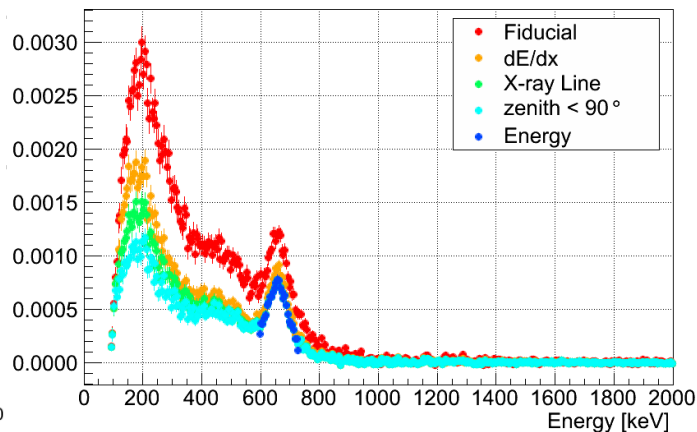


宇宙線 μ 粒子等のMIPとコンプトン散乱由来の低エネルギー γ とは dE/dx 分布が異なる

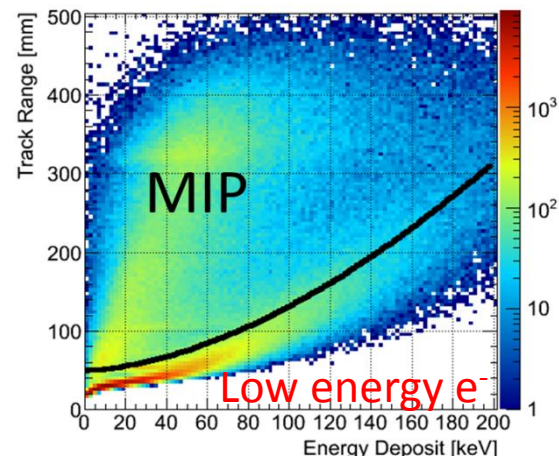
ガンマ線の再構成 (^{137}Cs zenith 15°)



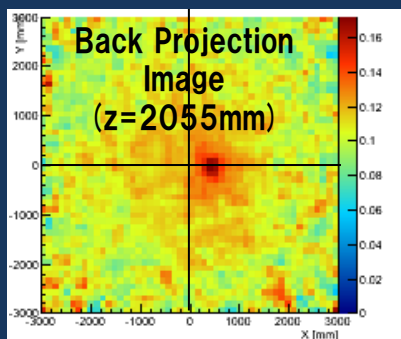
エネルギースペクトル (BG引き前)



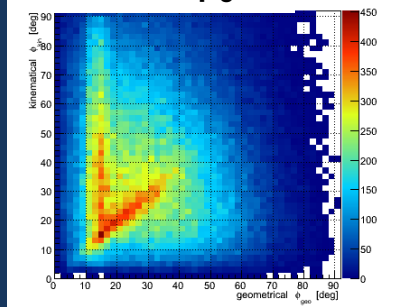
エネルギースペクトル (BG引き後)



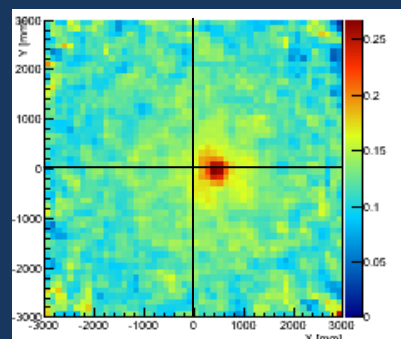
dE/dx 分布



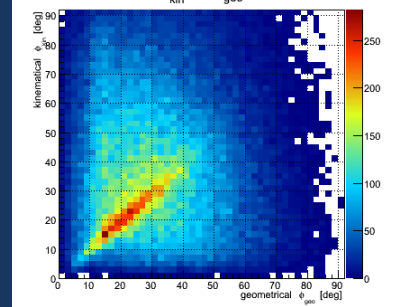
Φ_{kin} vs Φ_{geo}



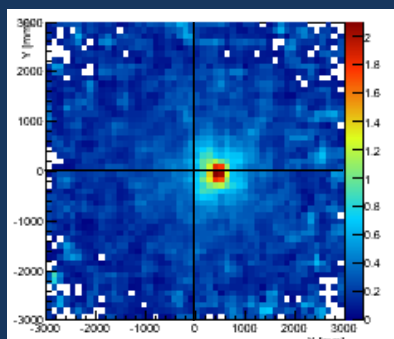
dE/dx
カット



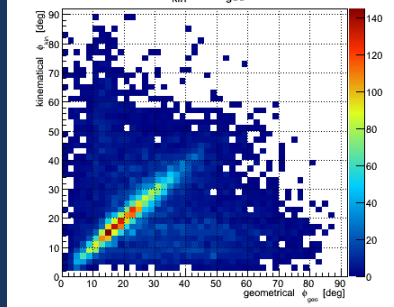
Φ_{kin} vs Φ_{geo}



Energy
カット



Φ_{kin} vs Φ_{geo}

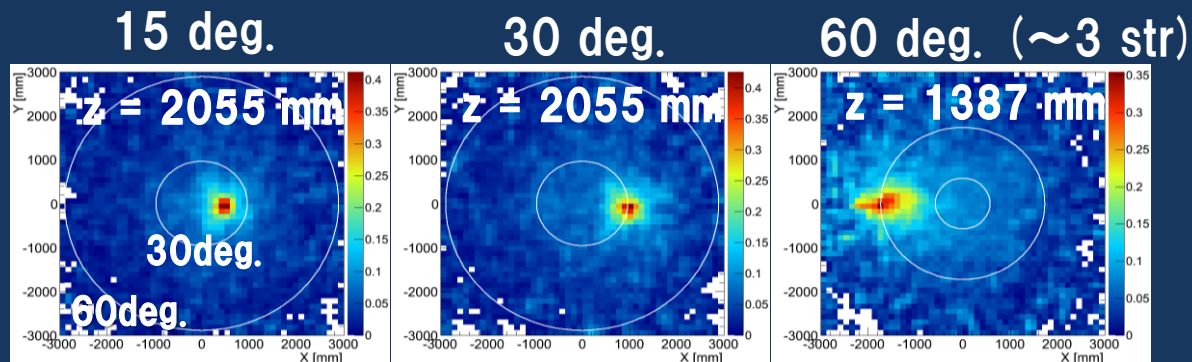
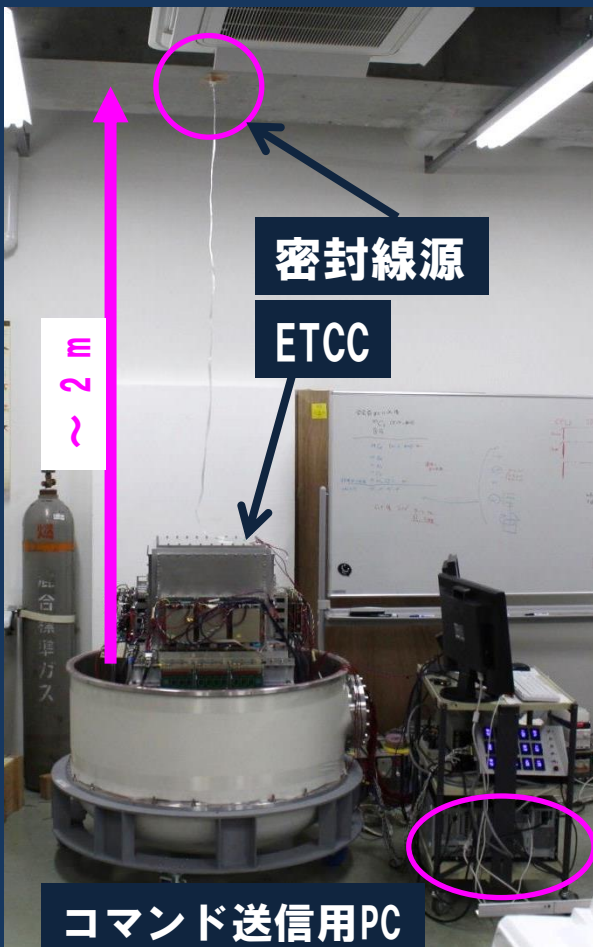


• dE/dxカットで突き抜けイベントやmuonイベント等の雑音除去ができる。

• Φ_{geo} と Φ_{kin} の相関がでており、入射ガンマ線の再構成が綺麗にできている。

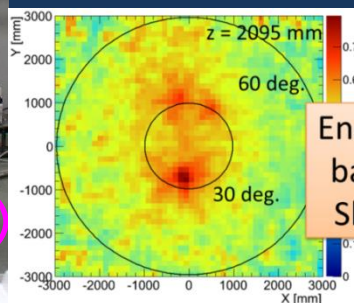
ガンマ線の再構成 (複数線源、位置の変更)

• ^{137}Cs 線源の位置を変えて測定

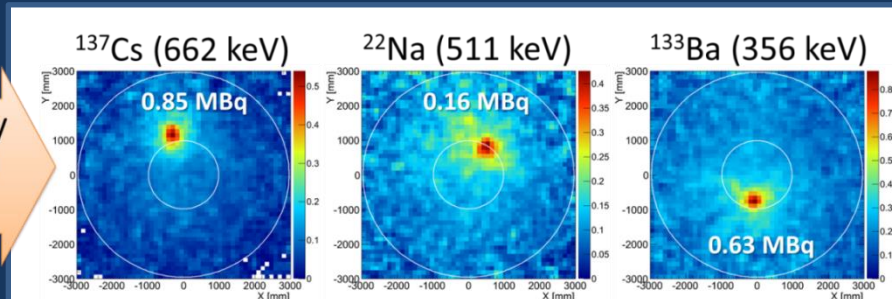


→ 到来ガンマ線のzenith方向の変化を確認

• 複数の線源を置いて測定 (^{137}Cs 、 ^{22}Na 、 ^{133}Ba)



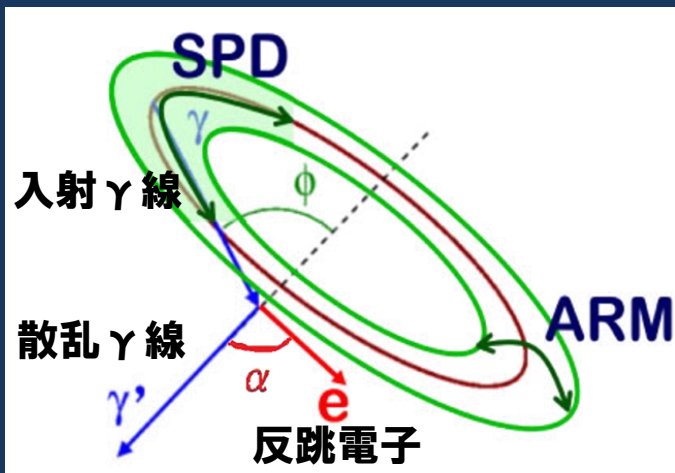
Energy band Slice



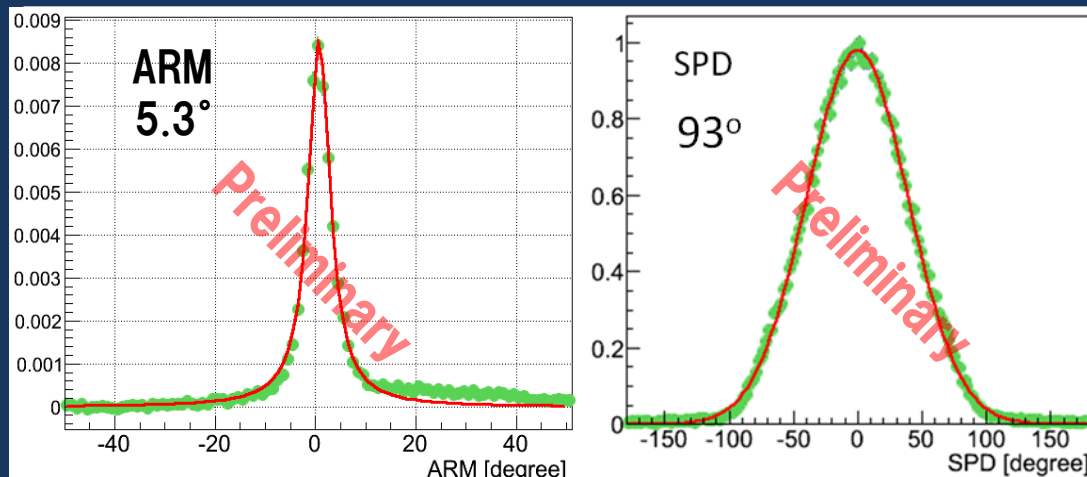
dE/dx
カット後

→ 複数の線源イメージの識別に成功

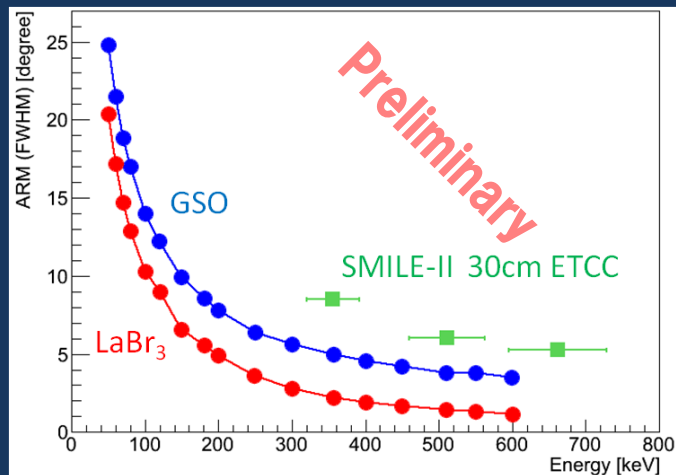
(30cm)³ETCCの角度分解能



ARM … 散乱角の決定精度
 SPD … 散乱平面の決定精度



662 keVでのARMとSPDの分布 (測定結果)



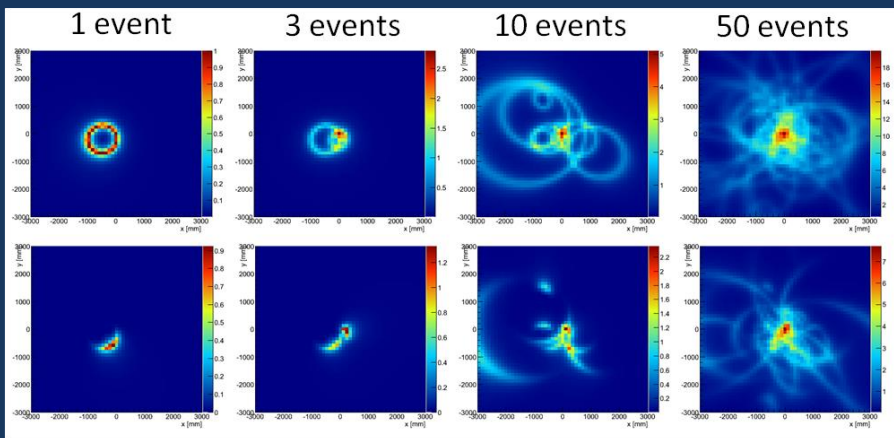
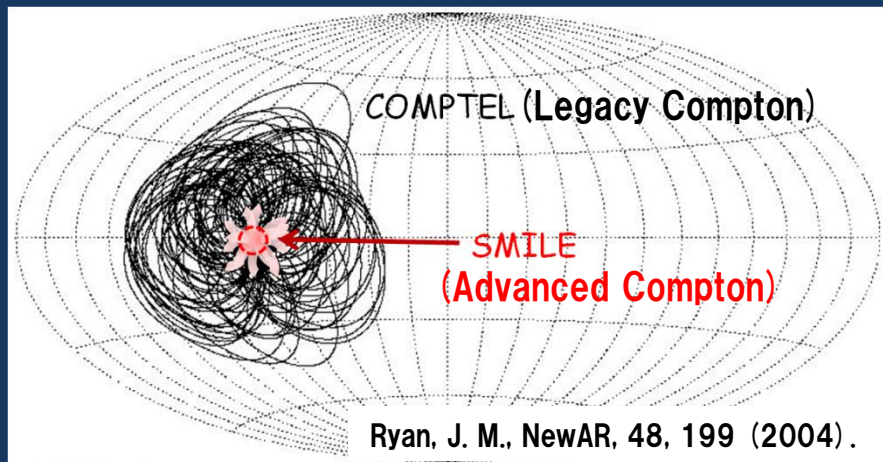
ARMのエネルギー依存性 (実測値 (緑) とシミュレーション結果 (青))

→ARMは測定器の原理限界に近い値を達成している。
 SPD 93° は他検出器と比べて非常に良い値

例：カリフォルニア大のグループは100 keV以下で
 SPD 200度以上と報告
 (D. H. Chivers et al., 2010 IEEE NSS Conference Record)

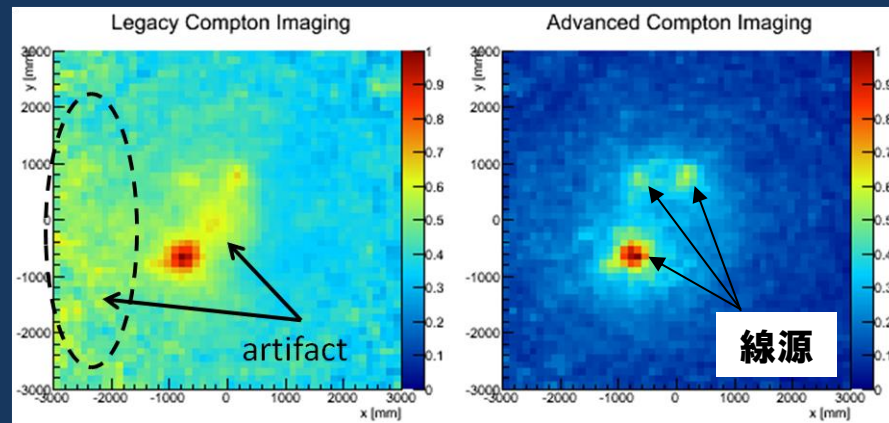
SPDの有効性

反跳電子の反跳方向の情報を用いることで、SPDに応じた円弧状に入射 γ 線の到来方向を決定することができる。



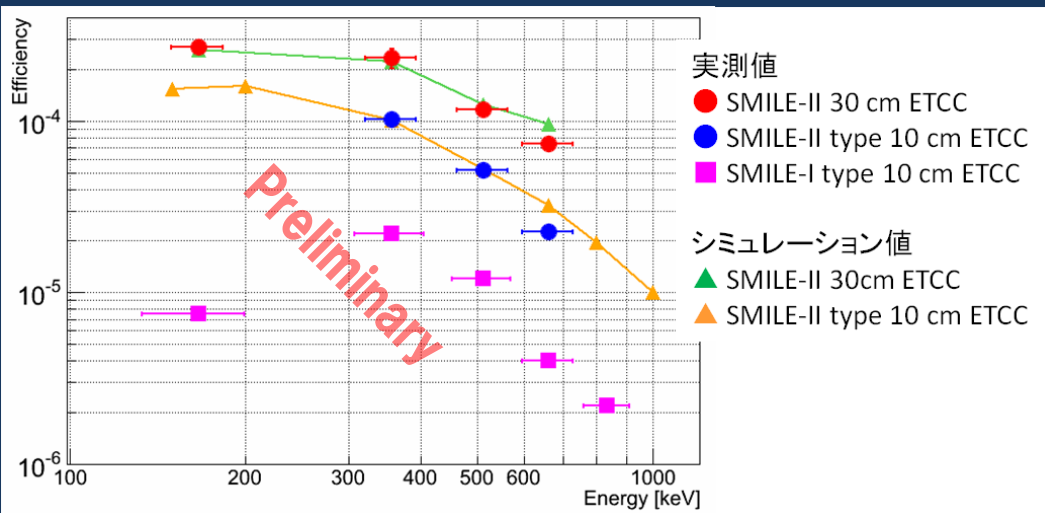
上段：リングを重ね合わせた場合
(Legacy Compton)
下段：円弧を重ね合わせた場合
SPD=200° としている。
(Advanced Compton)

COMPTTELにより観測された γ 線バースト
(GRB910505)のイメージにSMILE ETCCで測
定した場合のイメージ予想を重ねたもの



電子の反跳方向がわかるため、SPDを考慮できる。
→SPDを考慮することで高コントラストのイメージ
が描ける。

検出効率、今後のSMILE計画に向けて



シミュレーションと測定のEfficiencyがよく一致、エネルギー依存性がよく再現できている。

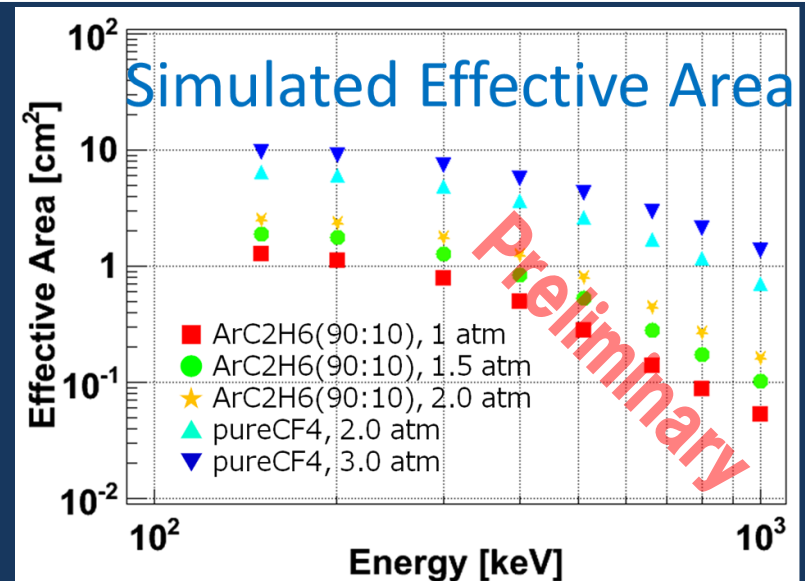
→シミュレーションにより検出器の性能の正確な予想が可能になった

検出効率のエネルギー依存性
(GSOシンチレータアレイは底面のみで計算)

今後のSMILE計画に向けた検出器の検討項目

- シミュレーションで最適なガスの種類、ガス圧を計算、実機で確かめる
→さらなる検出効率の向上を目指す

- TPCをプラスチックシンチレータで囲む、GSOシンチレータの厚みを増やす等の検討
→より高エネルギーまで測定できるようにする。



まとめ

- Effective Areaを目標の $\sim 1\text{cm}^2$ を達成
- 662keVでの角度分解能ARM $\sim 5.3^\circ$
- SPD $\sim 93^\circ$ (世界最高)
- コンプトン散乱事象を100%検出可能になった
→シミュレーションと一致するようになった
- dE/dxカットで連続ガンマに有効な雑音除去が可能
- 良いSPDにより画質の良いイメージングが可能になった
- ガス種、ガス圧の調整で $\sim 10\text{cm}^2$ 以上の可能性が出た