



SMILE67: 宇宙観測におけるETCCの内部 背景事象の研究

池田智法 (京大理)

高田淳史, 阿部光, 小林滉一郎, 田原圭祐, 吉川慶, 荻尾真吾, 津田雅弥,
吉田由良, 水村好貴A, 中森健之B, 黒澤俊介c, 澤野達哉D, 濱口健二E, 森
正樹, 櫛田淳子, 谷森達

京大理, JAXAA, 山形大B, 東北大c, 金沢大数物D, メリーランドE, 立命館
大F, 東海大G

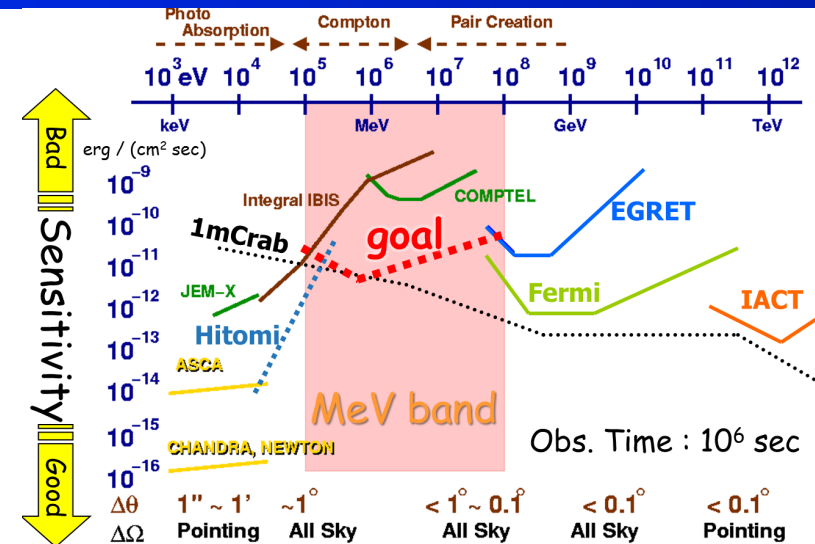
日本物理学会2023年春季大会

MeVガンマ線天文学



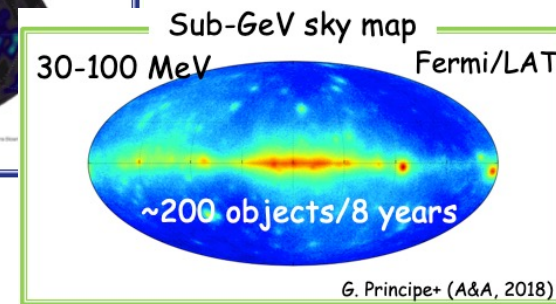
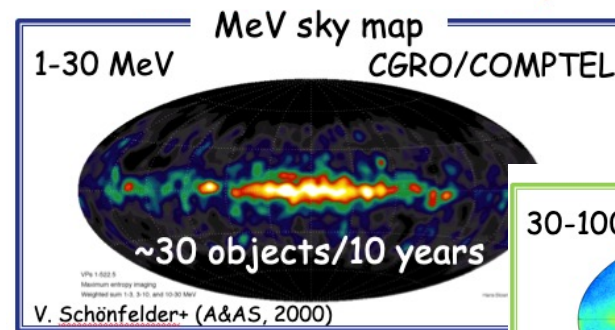
◆ ライン成分：

- $e^\pm$ (0.5MeV)
 - 陽電子の起源は？
- $^{56}\text{Ni}/^{56}\text{Co}$ (0.85/1.2MeV)
 - 超新星爆発での元素合成の直接探査
 - ライトカーブから爆発機構が解明
- ^{26}Al (1.8 MeV), ^{60}Fe (1.1/1.3 MeV)
 - 銀河系内での物質循環



◆ 連続成分：

- 系内拡散ガンマ線
 - 1-50 MeVの放射起源は？
- 系外拡散ガンマ線
 - 起源となるAGNの種族は？
- GRB、pulsar、magnetar、太陽フレア、..etc.



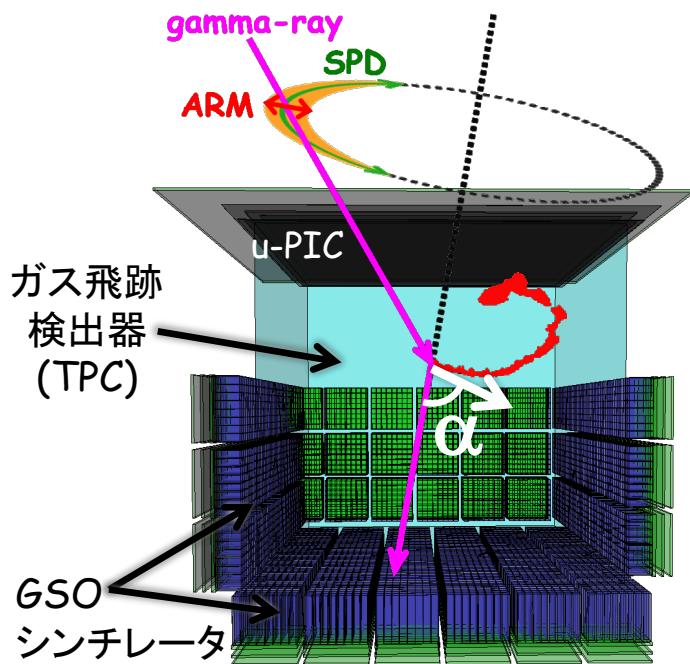
次世代MeVガンマ線望遠鏡への要請

2023/3/25

JPS2023年春季大会

- 数百keV~100MeVの広帯域
- 全天探査のための広い視野
- 高S/Nの鮮明な画像

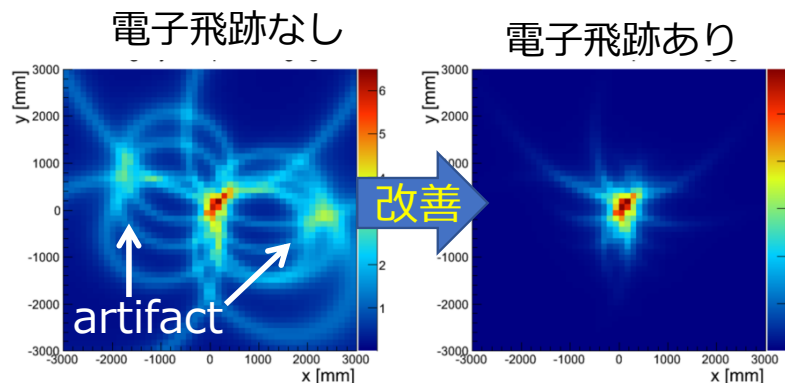
電子飛跡検出型コンプトンカメラ(ETCC)



- ガス飛跡検出器(TPC+GEM+ μ -PIC)
 - ・ 反跳電子のエネルギー+飛跡
- GSOシンチレータアレイ
 - ・ 散乱ガンマ線のエネルギー+吸収点

検出事象ごとに
コンプトン散乱を完全に再構成

- ✓ 到来方向とエネルギーを一意に決定
 - 従来コンプトンカメラにはなかったSPDを用いて、完全なPSFを定義
- ✓ 広視野(~3 sr)
- ✓ 冗長性のある雑音除去能力
 - コンプトン散乱運動学テスト(α 角)
 - 粒子識別(dE/dx)



Mizumura et al. 2014

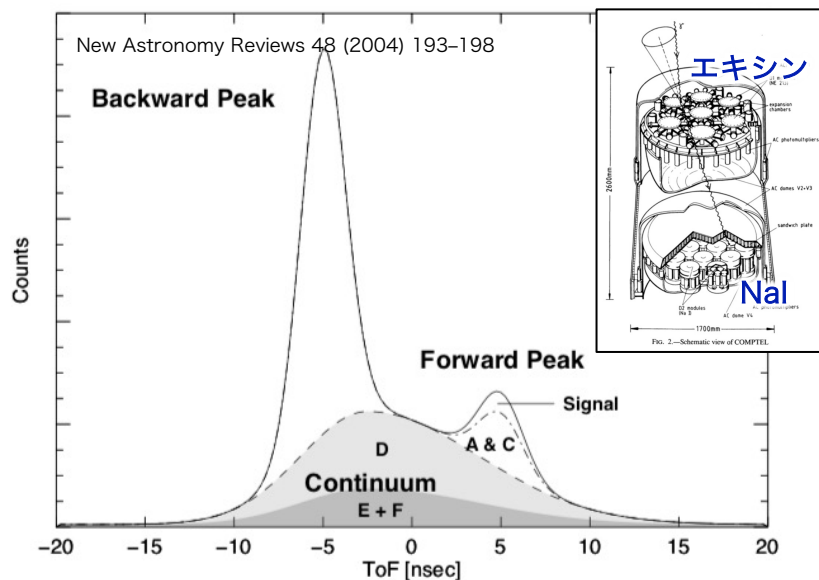
MeVガンマ線の真の撮像分光が可能

MeV ガンマ線観測におけるBG



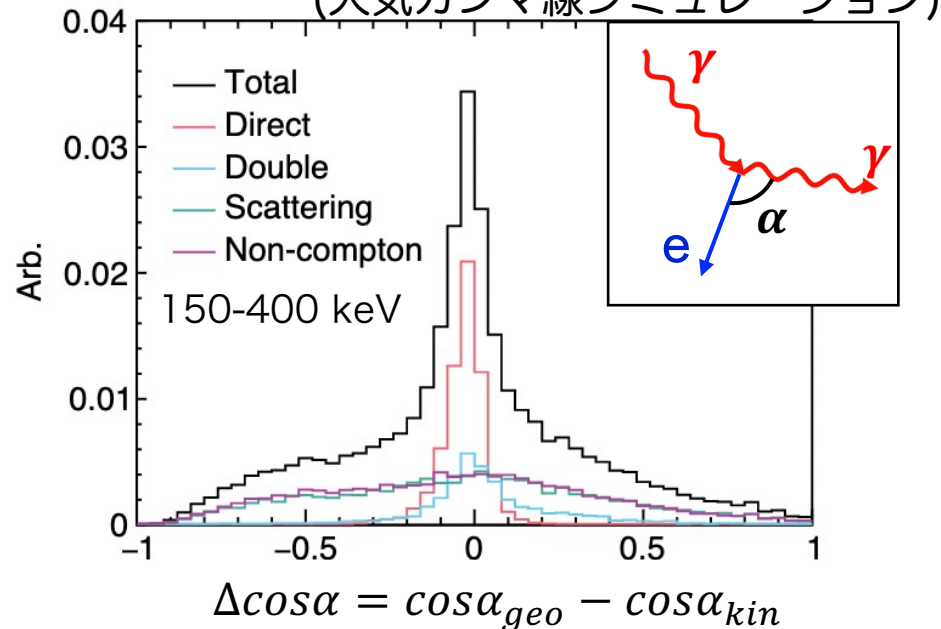
- ✓ 宇宙環境下でのMeVガンマ線観測では、**背景事象(BG)**が多い!
 - ・ 大気ガンマ線、宇宙線と装置との相互作用によるガンマ線、内部BG、etc...
- 強力なBG除去能力が必要→COMPTELではTOF、ETCCでは**アルファ運動学**

COMPTELのTOF分布

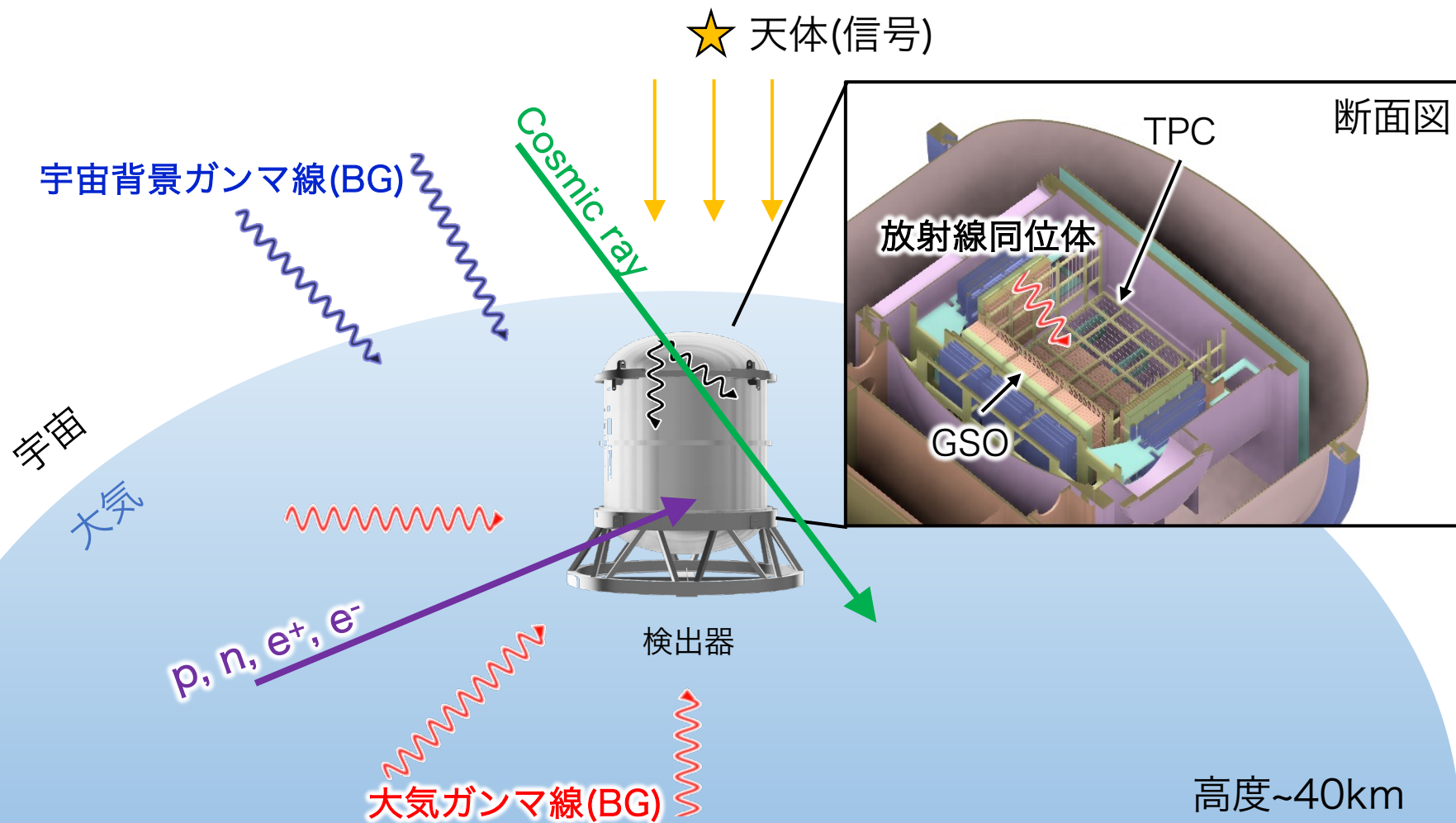


ETCCの $\Delta\cos\alpha$ 分布

(大気ガンマ線シミュレーション)



気球実験環境におけるBG



➤ Geant4シミュレーションとSMILE-2+フライトデータからBGの理解を進める

大気ガンマ線BGのシミュレーション

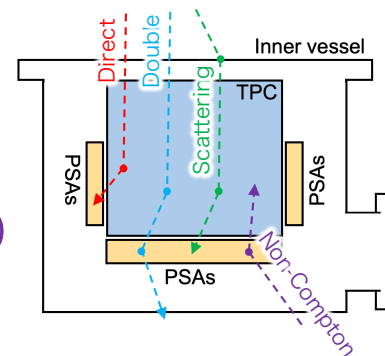


✓ 大気ガンマ線BGはETCCでどの様に見えるのか?→MCシミュレーションで理解

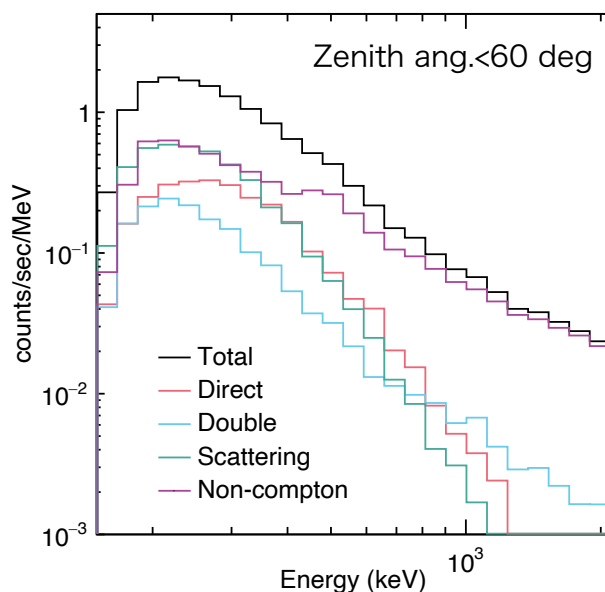
- 大気ガンマ線のモデル：Lingモデル (1975)

- 反応過程：

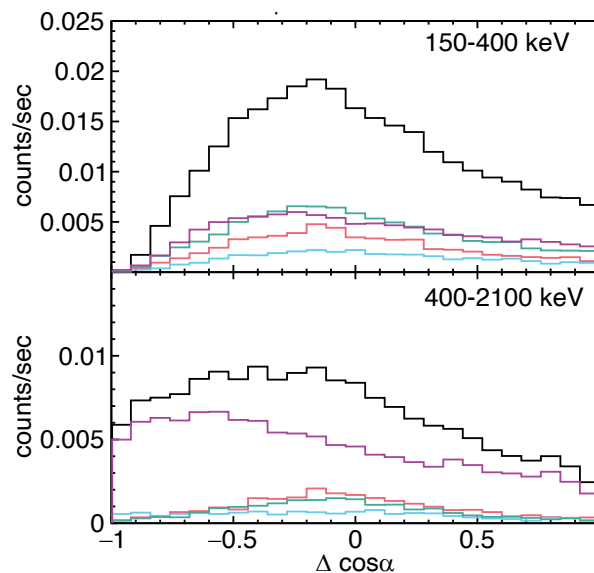
Compton-like event：直接反応(Direct)、散乱反応(Scattering)
non-Compton event：多重散乱反応(Double)、非コンプトン反応(Non-Compton)



エネルギースペクトル



$\Delta \cos \alpha$ 分布



➤ 400keV以下はコンプトンイベント優勢

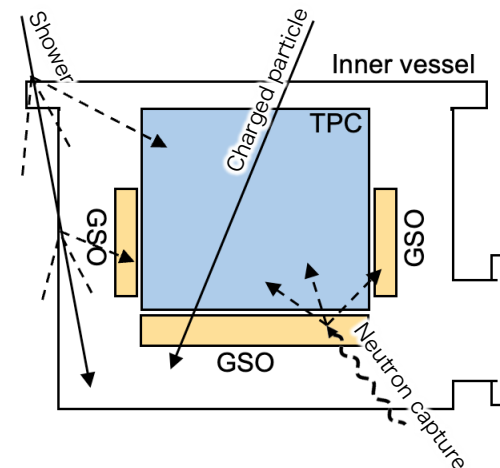
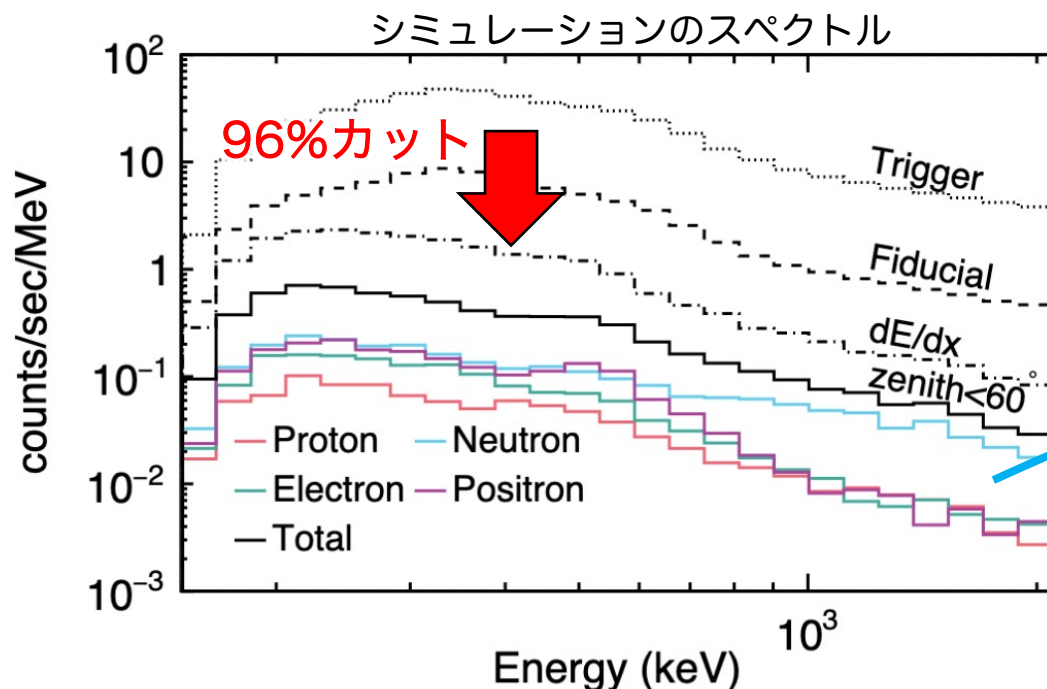
➤ 400keV以上はNon-Comptonイベント優勢←下からのガンマ線の影響大

宇宙線由来のBG

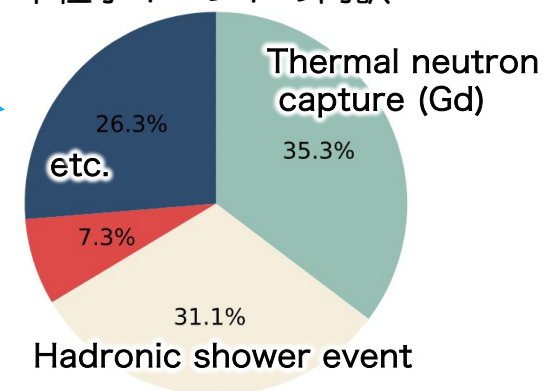


✓ 宇宙線によるBGはETCCでどの様に見えるのか?→MCシミュレーションで理解

- 宇宙線/2次粒子のモデル：PARMA (Sato, 2015)
- 入射粒子：proton, neutron, electron, positron



中性子イベントの内訳



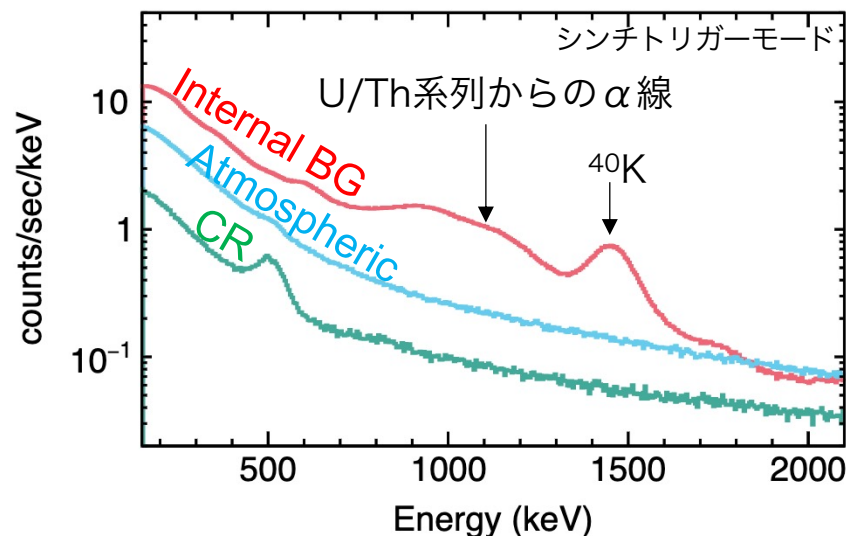
- 荷電粒子イベントはTPCのトポロジカルな情報で96%カット可能
- 600keV以上は中性子イベントが支配的(特にGSO(Gd)での捕獲反応)

内部BGと偶発事象

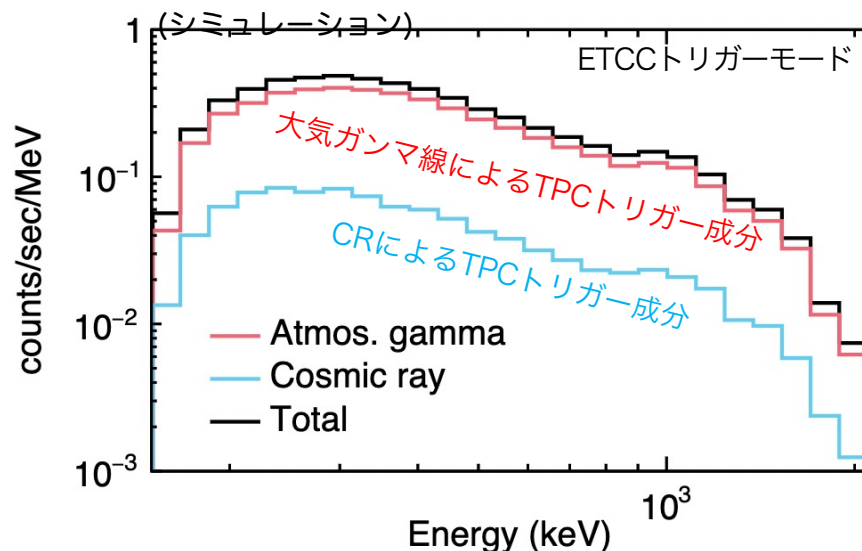


- ✓ GSOシンチレータにU/Th系列不純物が多く含まれていた(2022JPS春季大会)
- ✓ PMTのガラスにも4.2ppmの40Kが含有
- 気球実験環境でもPSAトリガーを発光するのは主に内部BG
- TPCとのコインシデンス幅(10us)で偶発的にトリガーがかかる

シンチレータのスペクトル



内部BGによる偶発事象のスペクトル

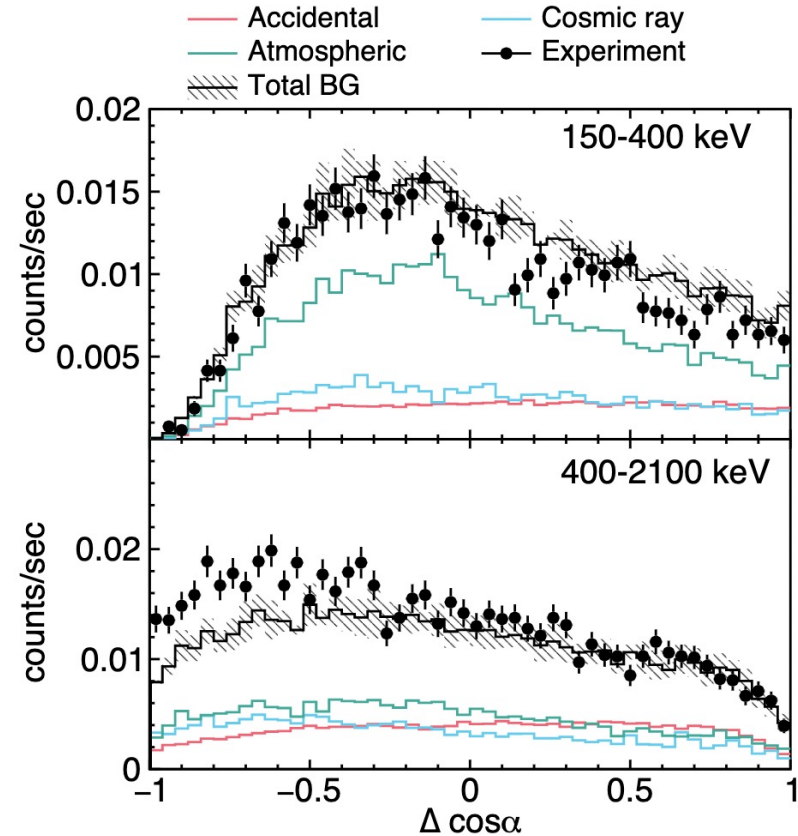
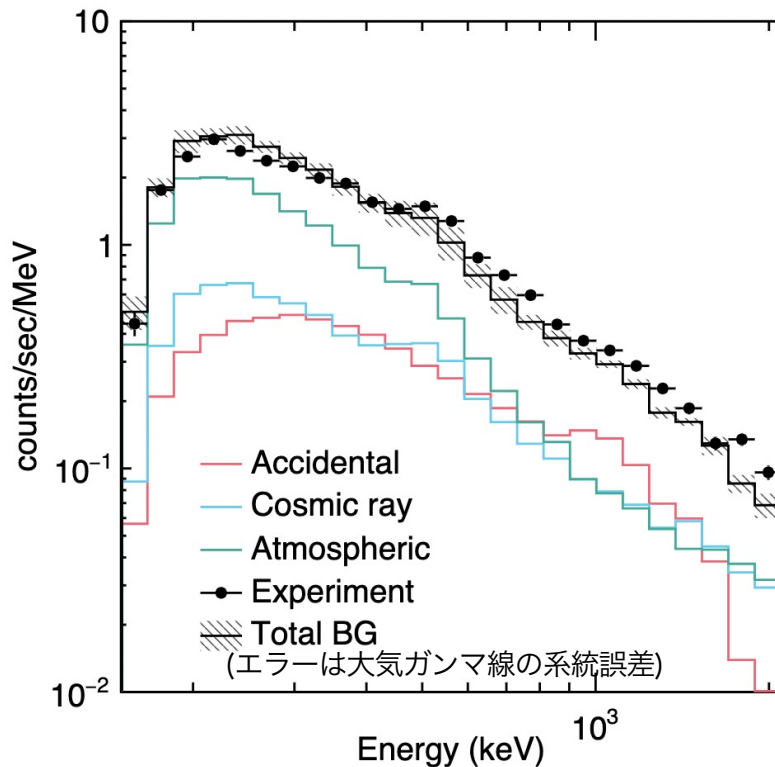


- 偶発事象スペクトルはシンチレータ内部BGと同様、1MeV付近の構造に大きく寄与する→実験前には予想していなかったBG成分

フライトデータとの比較

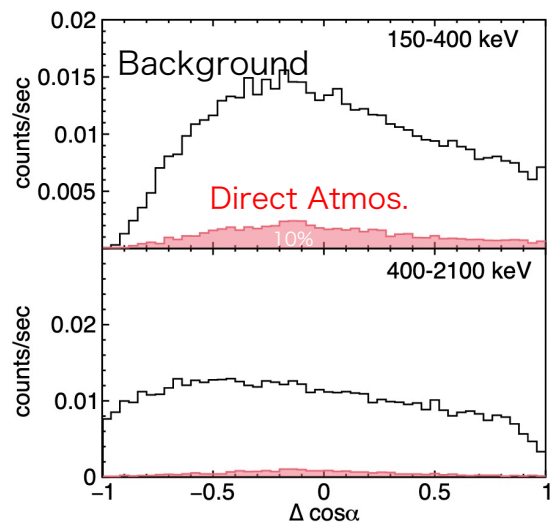


✓ SMILE-2+(2018)のフライトデータと比較

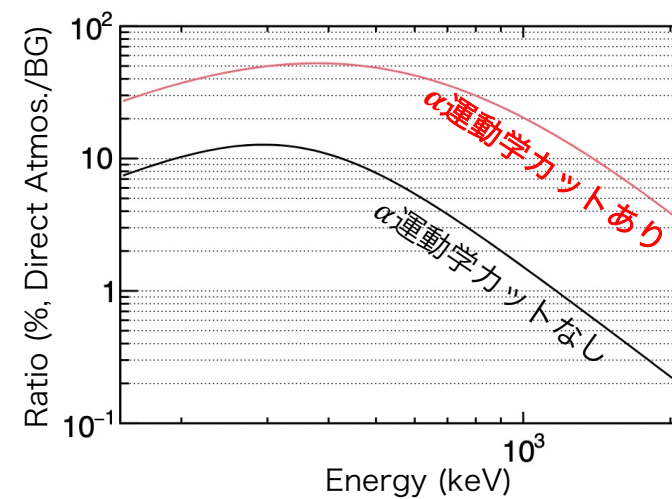
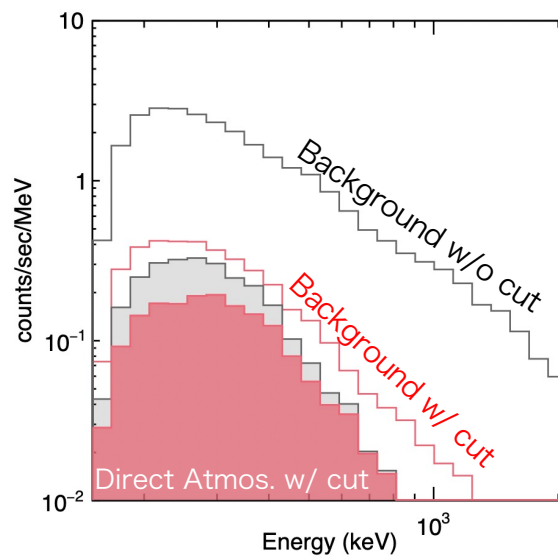
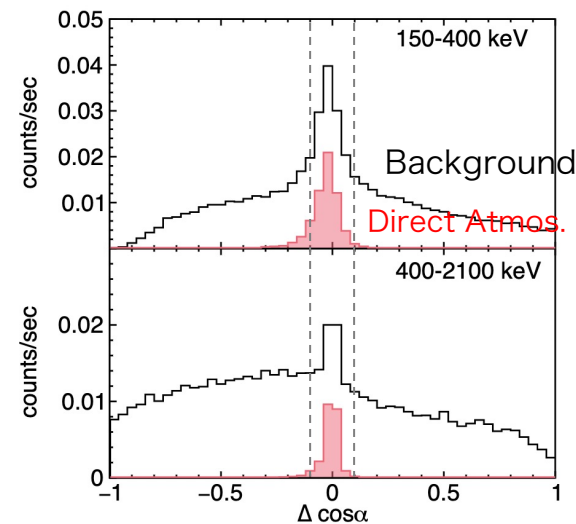
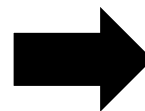


- 400keV以下はよく説明できているが、400keV以上では不一致
 - $\Delta\cos\alpha$ 分布から非コンプトンなBGだと推測

最後に



電子の多重散
乱原理限界



まとめと今後



■ SMILE-2+のフライトデータとシミュレーションからバックグラウンドを見積もった

- 大気BGは非コンプトンイベントが優勢
 - CF₄ガスに変更して、ガスTPCでの光電吸収確率を下げる
- 宇宙線BGは中性子BGが支配的
 - 荷電粒子はアンタイで除去、中性子BGは今後も課題
- 偶発事象はシンチの内部放射が支配的
 - GAGGへの移行を検討
 - 光検出器(SiPM)のスクリーニング
- 400keV以上で説明しきれていないBG成分が残存

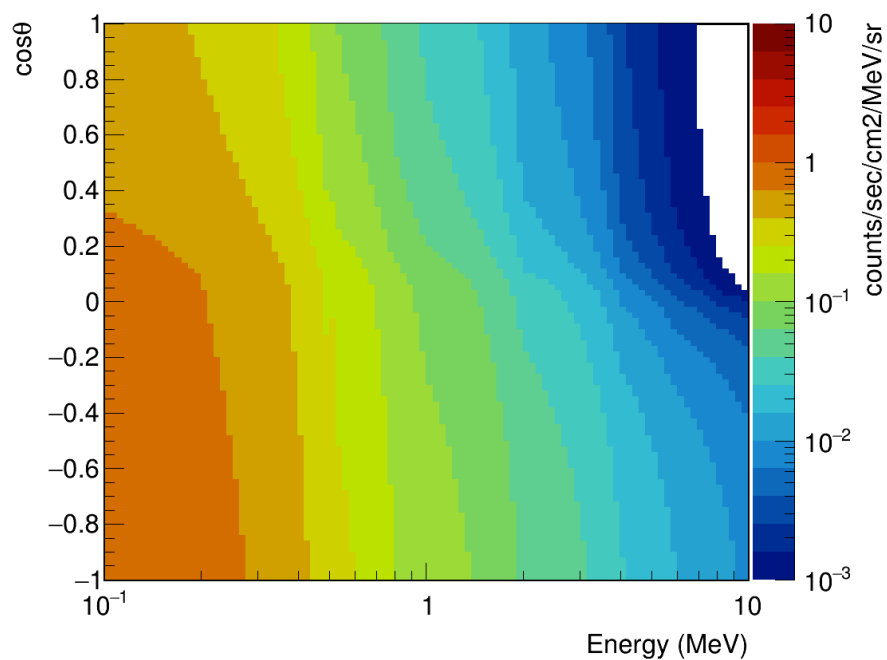


Back up

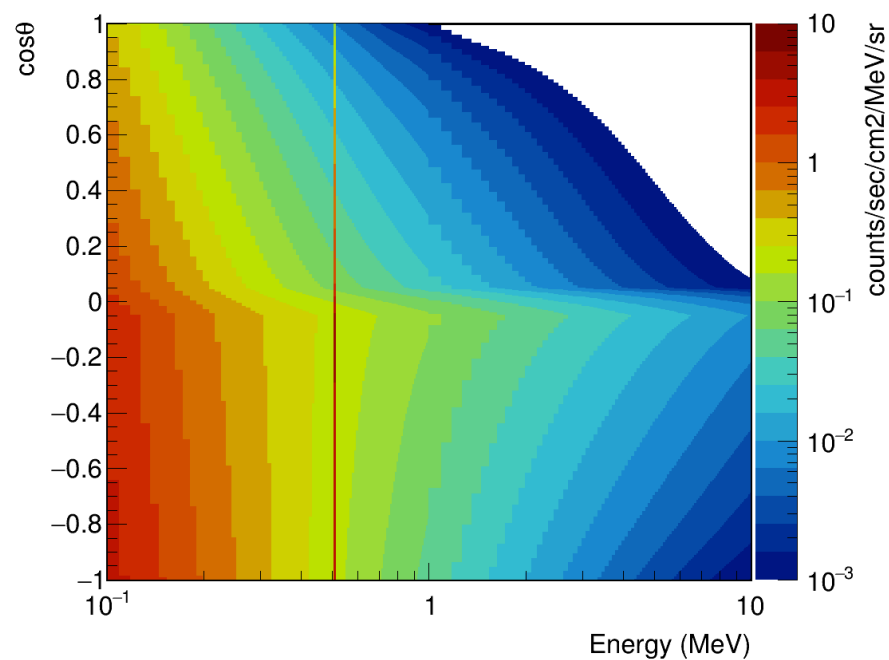
大気ガンマ線モデル



Lingモデル



PARMAモデル



PARMAの宇宙線/2次粒子モデル



大気ガンマ線の上方成分



CF₄ガスの特性



SMILE-3



電子の飛跡決定精度



GSOシンチ内部BG調査

