

MeVガンマ線背景放射の放射起源解明に向けた 電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡内在放射線の精密測定

京大理 高田淳史
池田智法

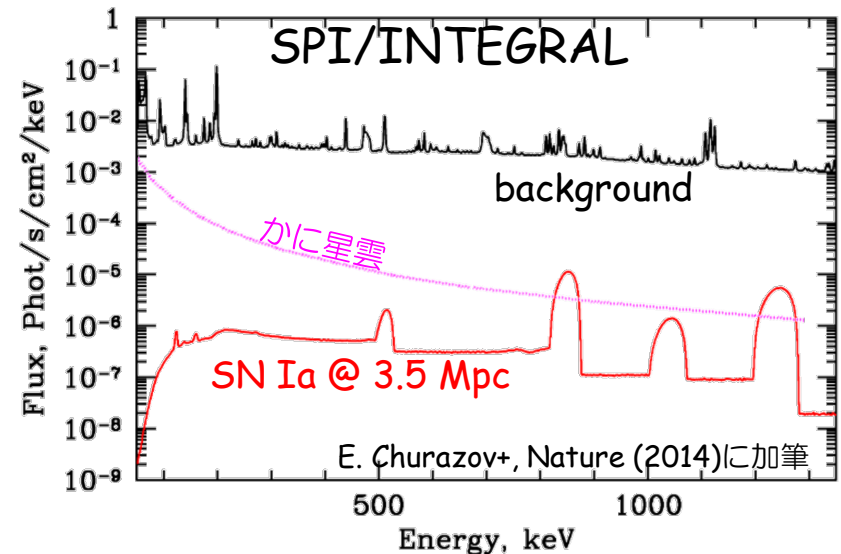
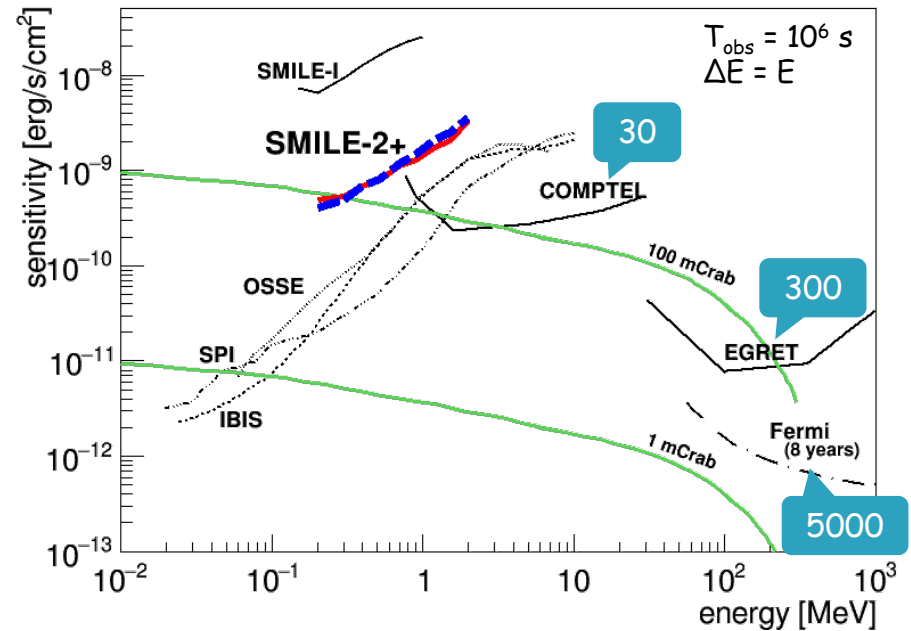
MeVガンマ線天文学とその現状

➤ ラインガンマ線

- 短寿命な放射性同位体
 $^{56}\text{Ni}/^{56}\text{Co}$, ^{44}Ti
⇒ 元素合成の現場
- $\sim 10^6$ 年な放射性同位体
 ^{26}Al , ^{60}Fe
⇒ 元素の拡散の様子
- 電子陽電子対消滅線
- $^{12}\text{C}^*$, $^{16}\text{O}^*$ の脱励起線
⇒ 低エネルギー宇宙線

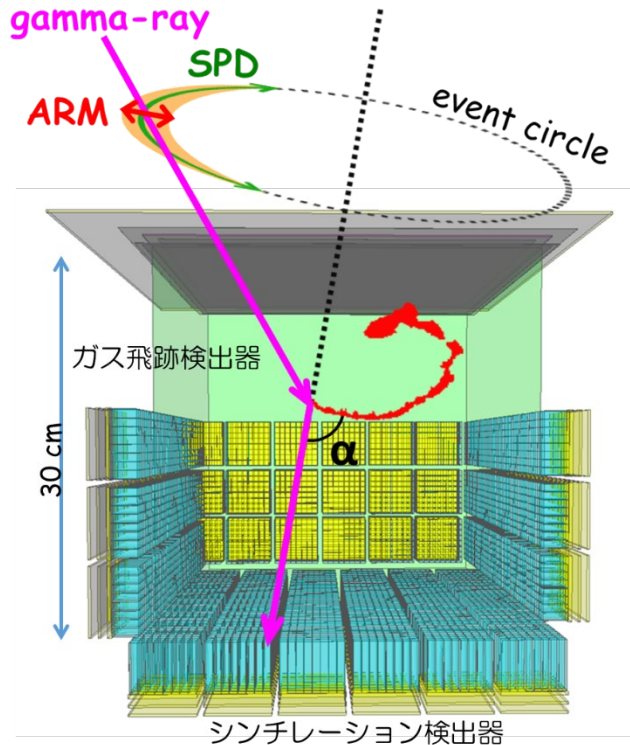
➤ 連続成分

- シンクロトロン + 逆コンプトン
- π^0 -decay
⇒ 粒子加速
- Hawking放射 ($\sim 10^{16-17}$ g)
- 暗黒物質の対消滅
⇒ 新物理の探索



感度向上には大幅なS/N改善が必須

電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡 (ETCC)



➤ ガス飛跡検出器

反跳電子の飛跡とエネルギー

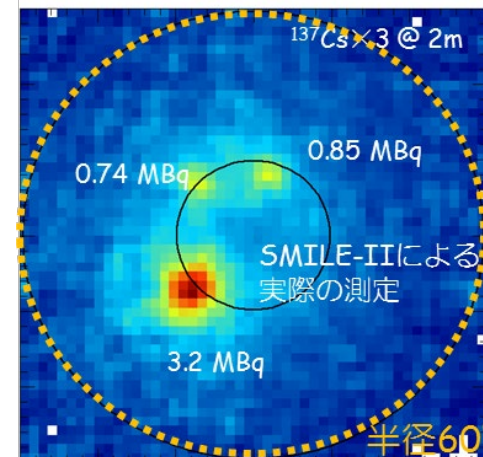
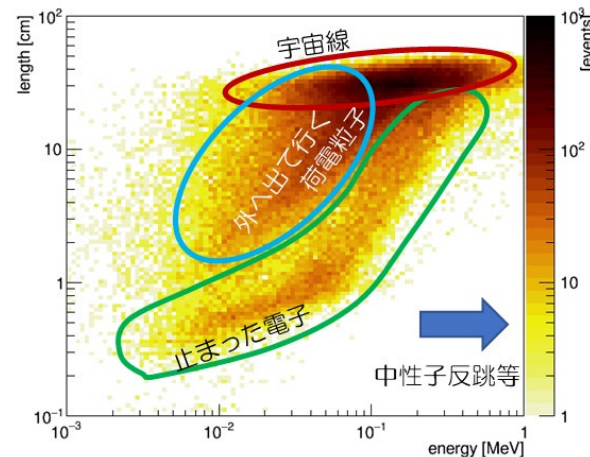
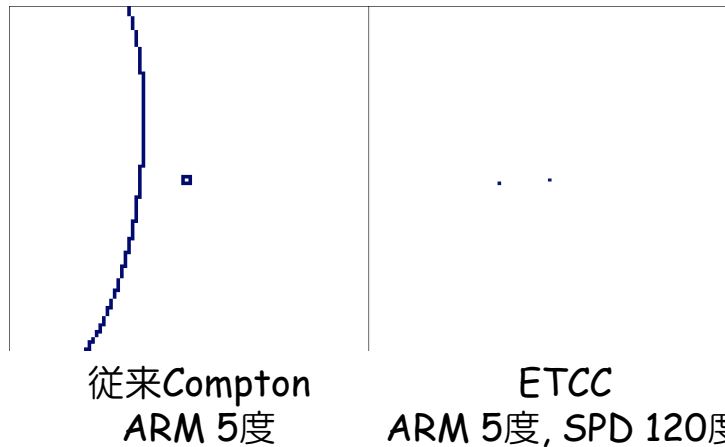
➤ ピクセルシンチレータアレイ

散乱ガンマ線の吸収点とエネルギー



運動量保存則により検出事象毎に
入射ガンマ線を完全に再構成

- 到来方向は天球上の一点に
⇒ 観測領域外のガンマ線は排除
ON-OFF観測が可能に
- α 角による運動学テスト + dE/dx による粒子識別
⇒ ガンマ線以外の雑音除去



Sub-MeV/MeV gamma-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiments

✓ SMILE-I (2006年, 三陸, 4h)

- 宇宙拡散/大気ガンマ線の観測
- dE/dx を用いたBG除去

有効面積 1 mm²

Xe + Ar 1 atm

A. Takada+, ApJ (2011)

✓ SMILE-2+ (2018年, Alice Springs, 26h)

- 銀河中心領域 ($\sim 10\sigma$), かに星雲 ($\sim 4\sigma$)を検出
- 単純なON-OFF法でスペクトル取得

有効面積 1 cm²

Ar 2 atm

T. Tanimori+, J. Phys CS (2020)

A. Takada+, ApJ (2022)



Now

➤ SMILE-3

有効面積 5~10 cm²

CF₄-base 3 atm

- 長時間気球を用いた科学観測
 - 銀河中心領域 ⇒ e^\pm 対消滅線・系内拡散ガンマ線
 - 銀河面 ⇒ ^{26}Al ・ ^{60}Fe
 - 高銀緯領域 ⇒ 系外拡散ガンマ線・GRB
 - かに星雲・Cyg X-1・CenA・新天体探査
- 数年に1度程度の頻度で複数回の気球観測

南半球：
SPB @ 中緯度
ZPB @ 南極
(NASA)
ZPB @ 中緯度
(JAXA)
北半球：
ZPB @ 中緯度 (NASA)
ZPB @ 高緯度 (SSC, NASA)

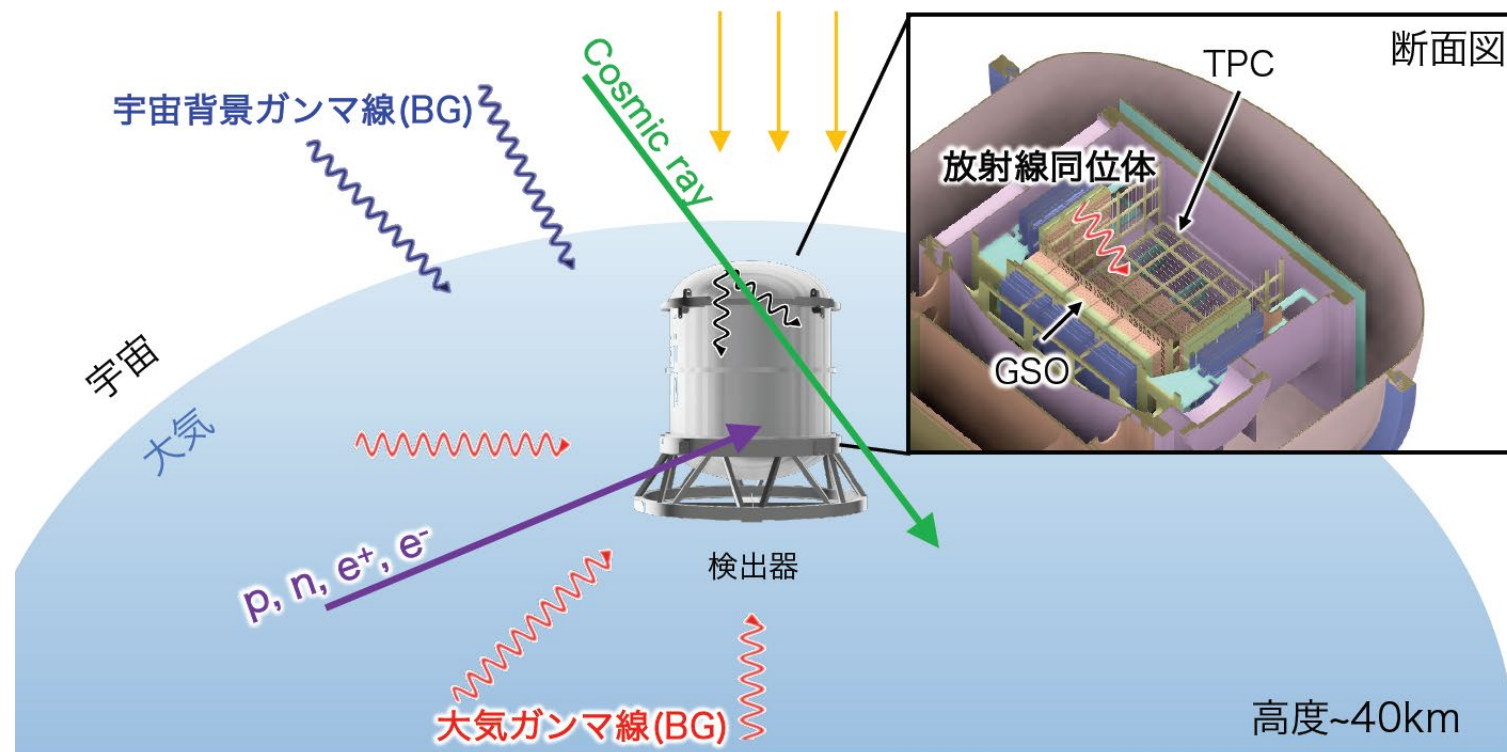


➤ SMILE衛星

mCrabの感度で全天長期観測 ⇒ MeVガンマ線天文学の時代へ

気球高度における雑音事象

★ 天体(信号)



① 大気ガンマ線

⇒ 宇宙線と大気の相互作用
高度が低いほど増加
宇宙線が多いと増加

② 装置由来雑音

⇒ 宇宙線や2次宇宙線と
装置との相互作用
高度が低いほど増加
宇宙線が多いと増加

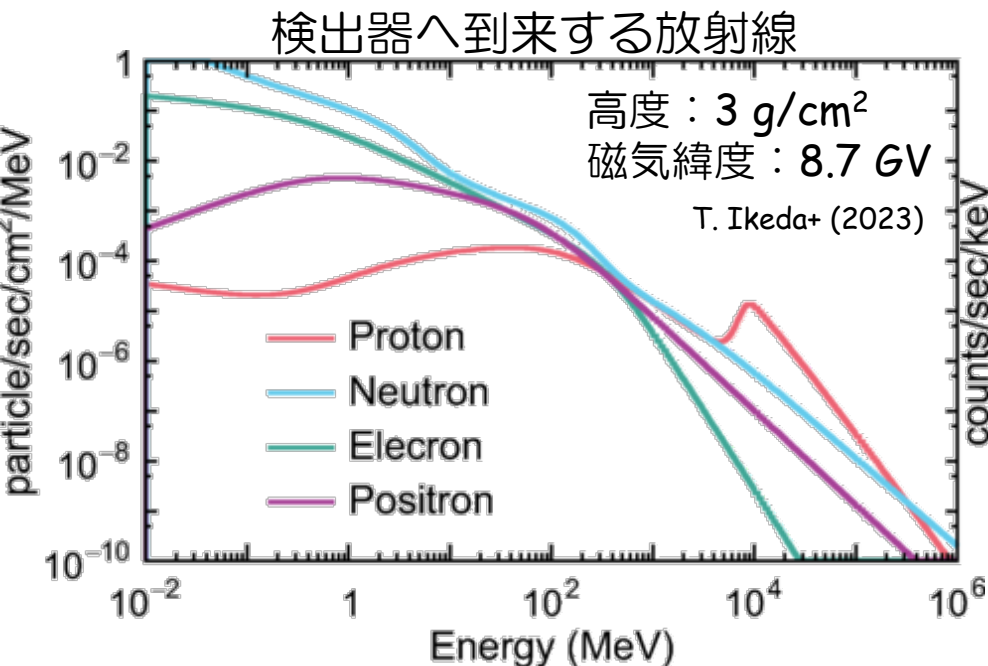
③ 内在放射性同位体

⇒ 放射化しなければ
地上実験でも存在

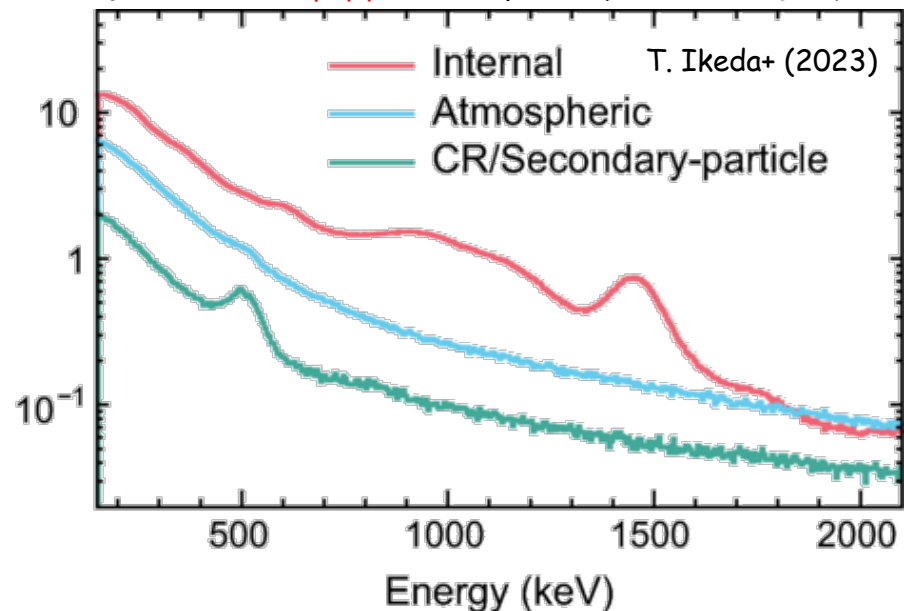
①・②は宇宙線強度に対して正の相関 ⇒ 地磁気緯度によって雑音量が変化

放射線環境の見積もり

PARMA/EXPACS (Sato+, 2015) ⇒ ETCCのシミュレータ (Geant4)



シンチレータ単体のエネルギースペクトル



- GSO内部のU/Th
- PMTの窓の⁴⁰K

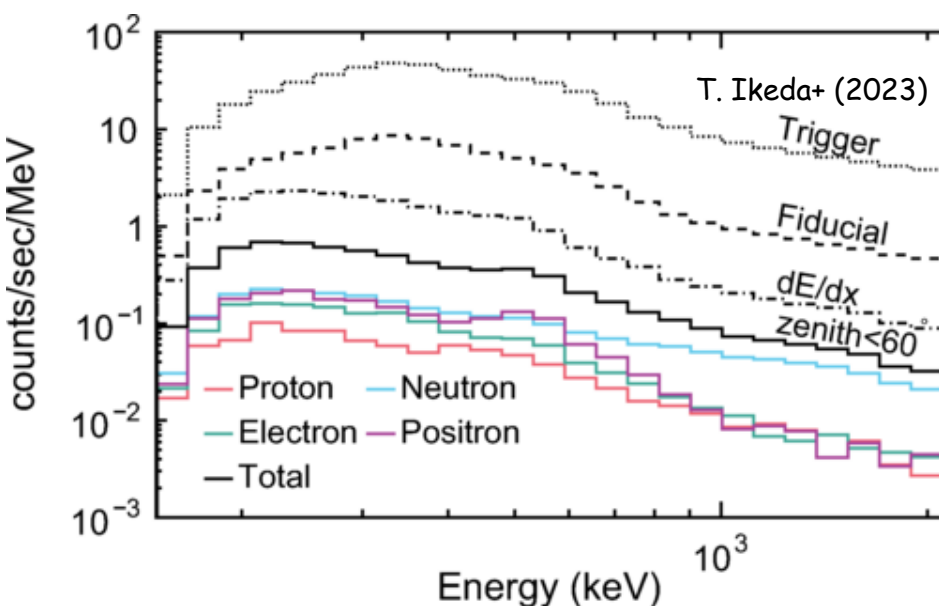
ICRR地下のGe検出器で確認
⇒ ETCCのシミュレータへ反映

➡ 予想以上に多く混入
偶然同時計数の種

➡ 気球高度でのBG事象を評価

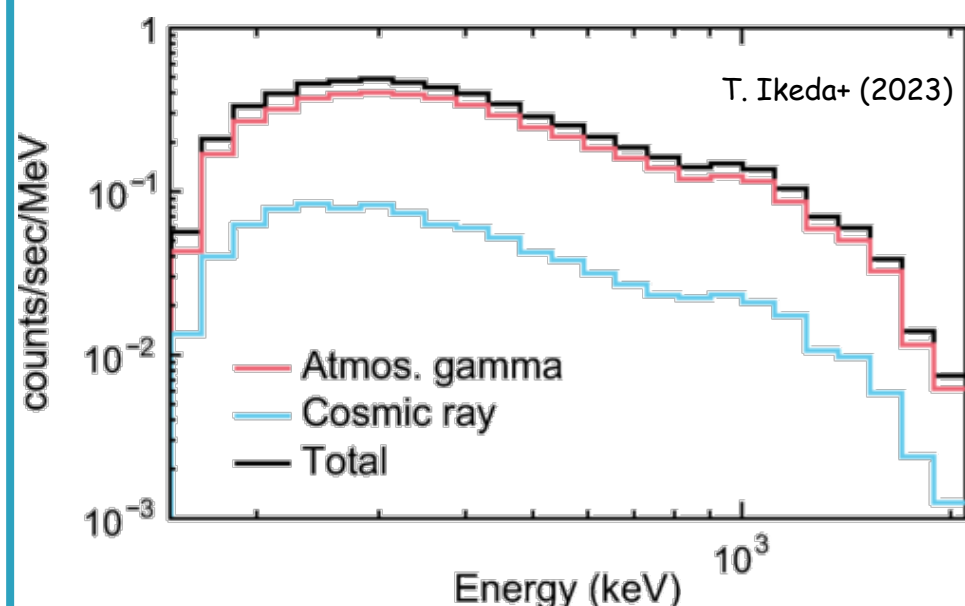
BG事象のシミュレーション

宇宙線由来のBG事象



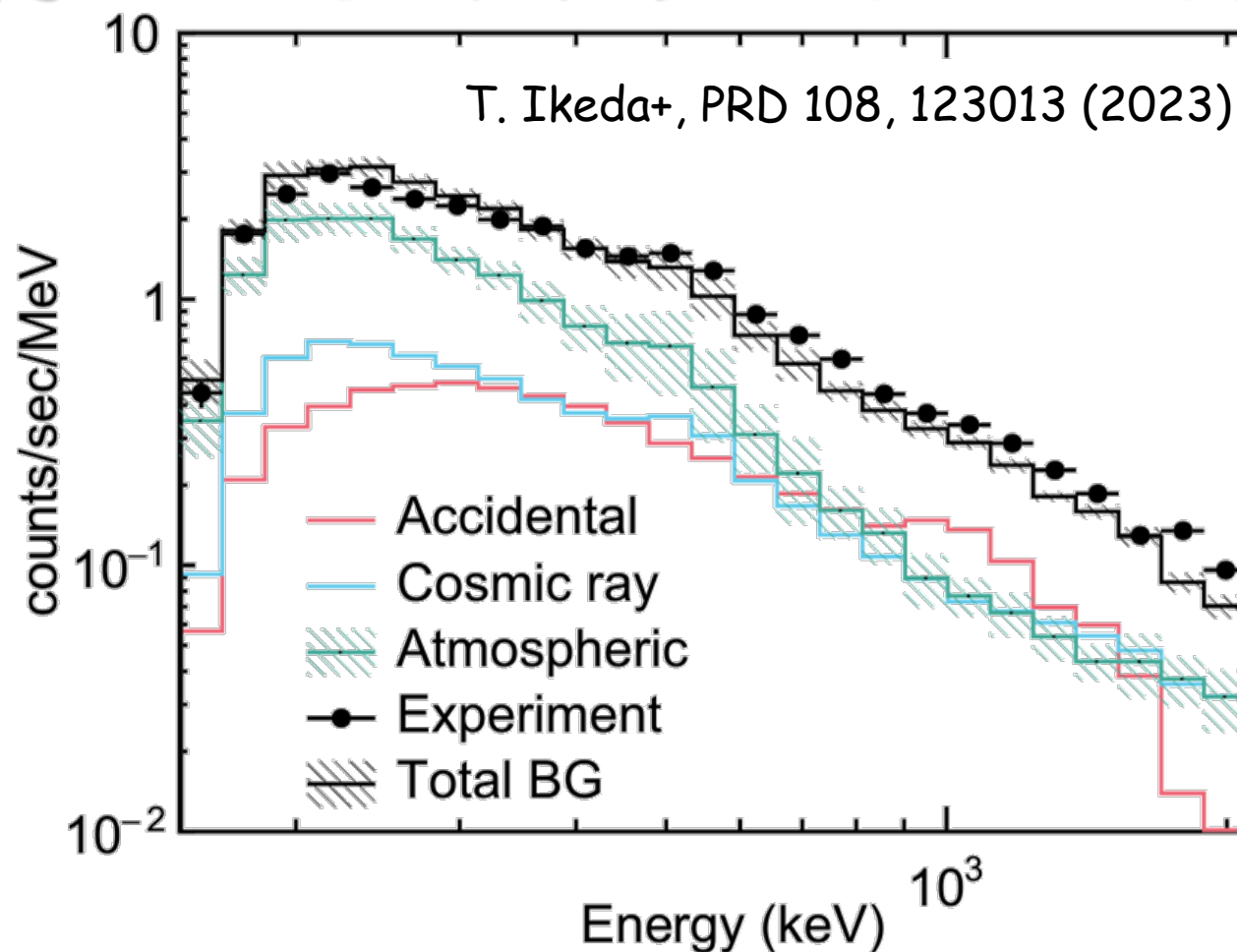
- 宇宙線由来事象の **~97%** は ETCCのevent selectionで**cut**
- 高エネルギー側 (> 0.6 MeV)で中性子事象が支配的
- SMILE-Iと同様の結果

偶発BG事象



- シンチ：内在RI
TPC：大気ガンマ線
⇒ 偶発事象の主成分
- 1 MeV付近にbump構造を形成

実際のフライトデータとの比較

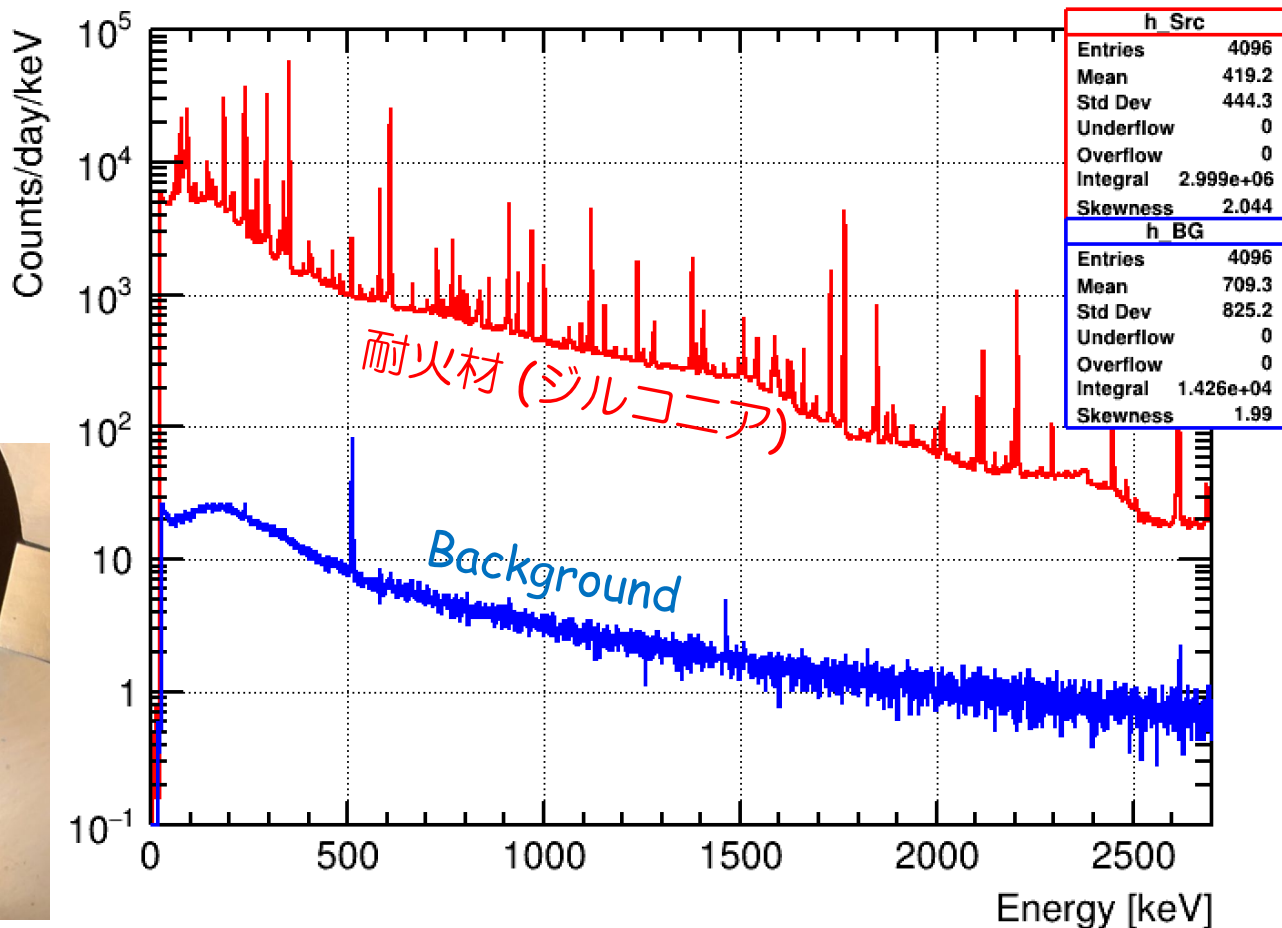


- フライトデータ \approx 大気ガンマ線 + 宇宙線由来BG + 偶発BG
- $< 0.7 \text{ MeV}$ は大気ガンマ線 \cdot 1 MeV 付近は偶発BGが優位

U/Thの混入経路

2022年度報告より	U上流	U中流	U下流	Th	Lu-176	U-235	K-40
Gd_2O_3	$< 2.1 \times 10^3$	< 18	$< 8.4 \times 10^3$	< 42	$(1.5 \pm 0.1) \times 10^2$	$< 3.6 \times 10^2$	-
GSO	$(8.6 \pm 0.4) \times 10^3$	< 71	$< 9.8 \times 10^3$	< 72	$(1.7 \pm 0.2) \times 10^2$	$< 2.9 \times 10^2$	-

- 測定済の Gd_2O_3 からGSOを製作
⇒ 結晶にはUが存在
- 耐火材として使用されるジルコニアからの混入が疑われる



まとめ

- 2022/2023年度のICRR地下Ge測定
 - ⇒ ETCCシミュレータへ反映
 - 2018年気球実験のBG事象について改めて検証
 - T. Ikeda+, PRD 108, 123013 (2023)
- SMILE-2+のBG事象
 1. 大気ガンマ線 (主成分)
 2. 偶発BG事象 (~ 1 MeVで顕著)
 - ⇒ 内在RI (シンチ) + 大気ガンマ線 (TPC)が主
 3. 宇宙線由来のBG
- 混入経路はおそらく製作過程 ⇒ 耐火煉瓦か？
- 次期フライトSMILE-3の部材についても順次確認中

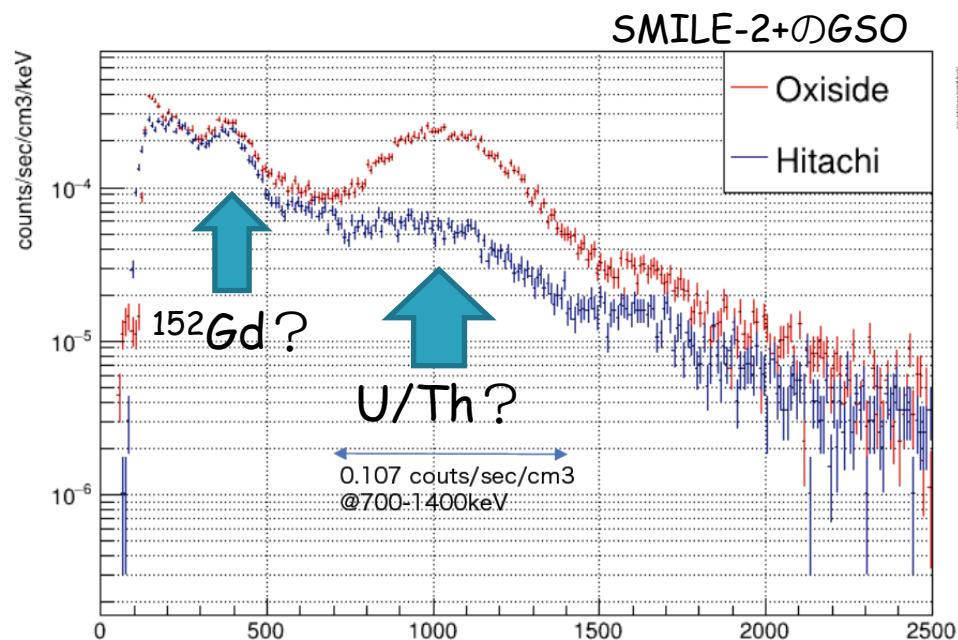
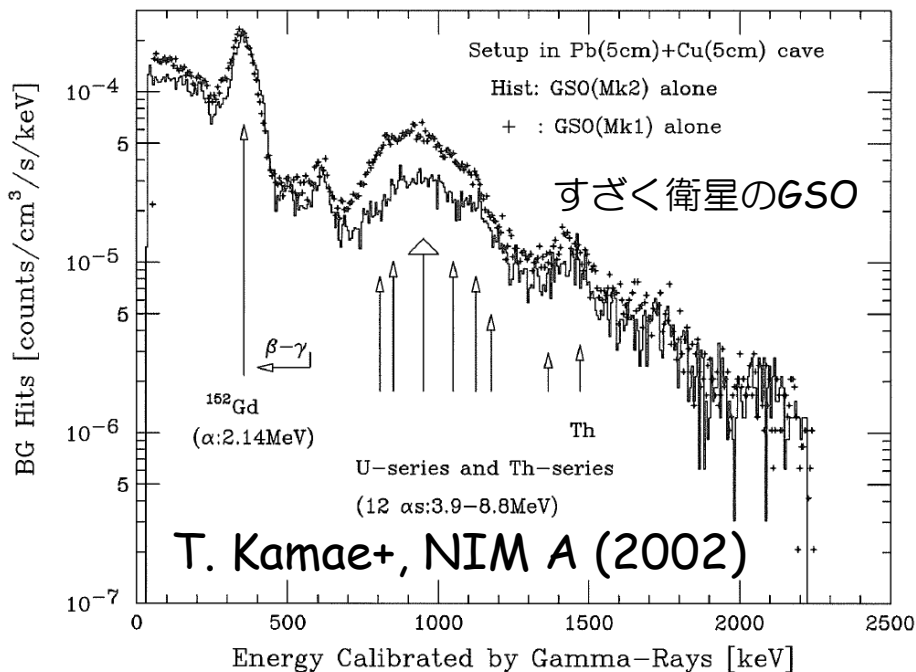
Thank you for your attention!

<http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp>



GSOシンチレータの内在RI

Radioactive Contamination in GSO



- すざく衛星の建設時にも同様の問題
⇒ るつぼの改良 + スクリーニングで抑えた
- U/Th, ^{152}Gd と思われるものは確かに存在
⇒ U/Thがやたらと多い & 個性の幅が大きい
- ETCCでの動作では ^{40}K も検出している
⇒ PMT?



- どこに 何が どの位?
- SMILE-3以降では抑えたい