

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

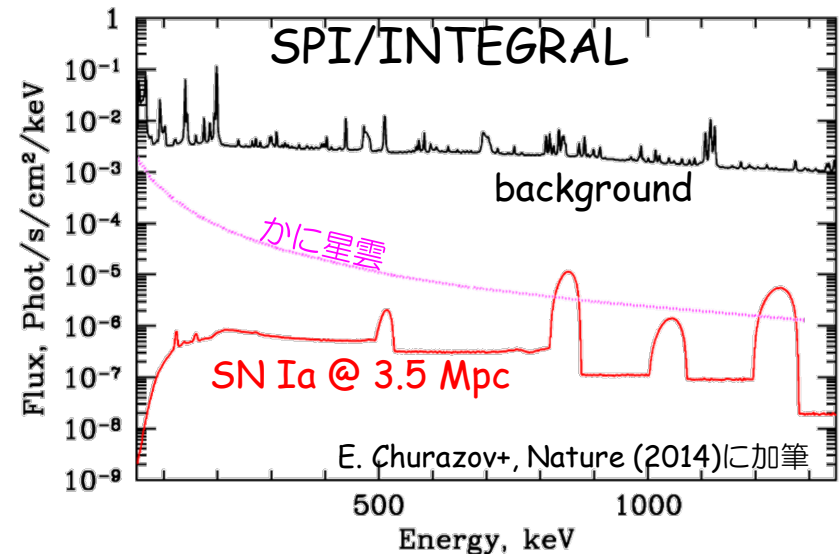
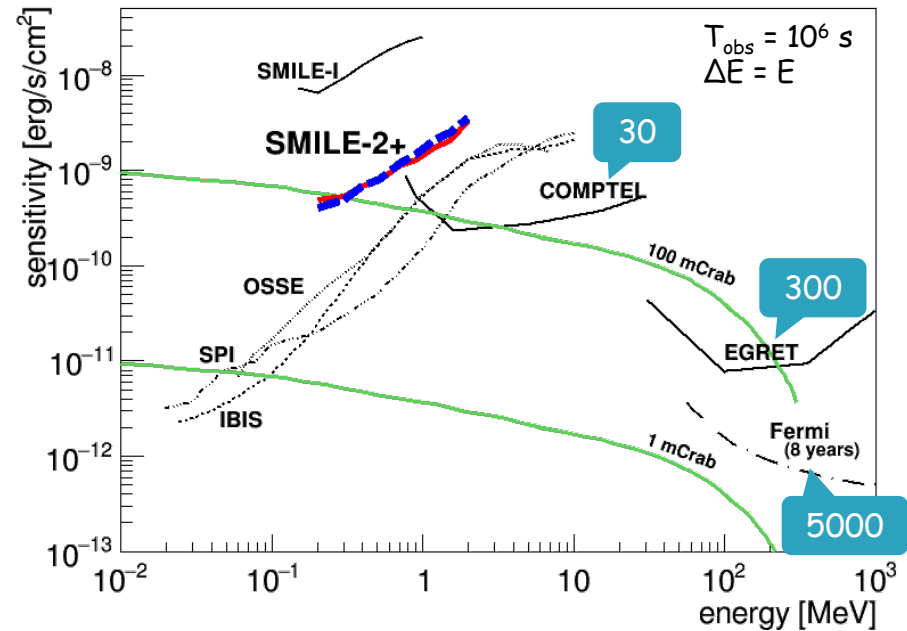
MeVガンマ線天文学とその現状

➤ 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

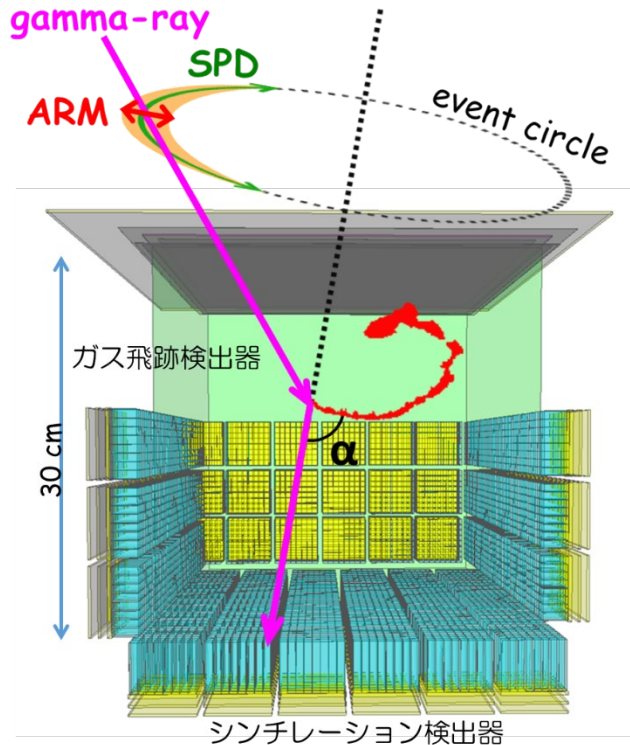
➤ 連続成分

- 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

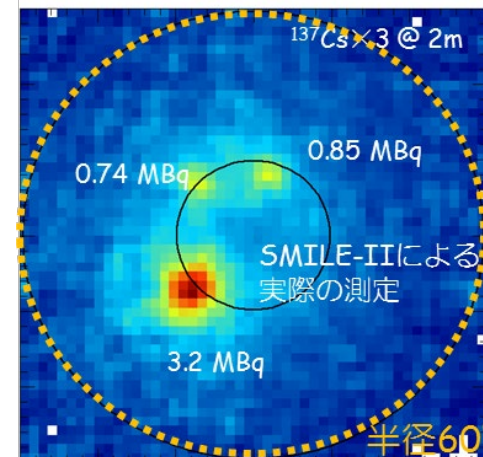
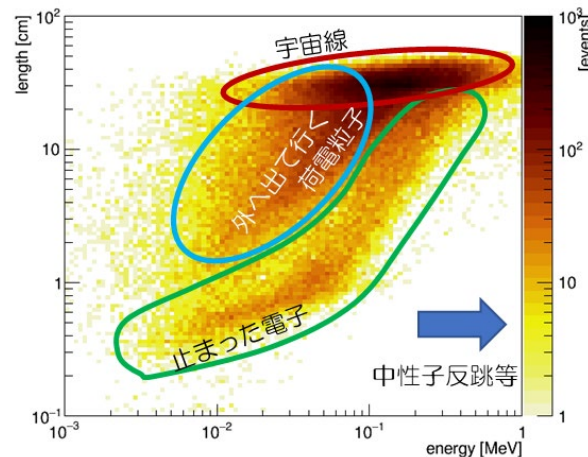
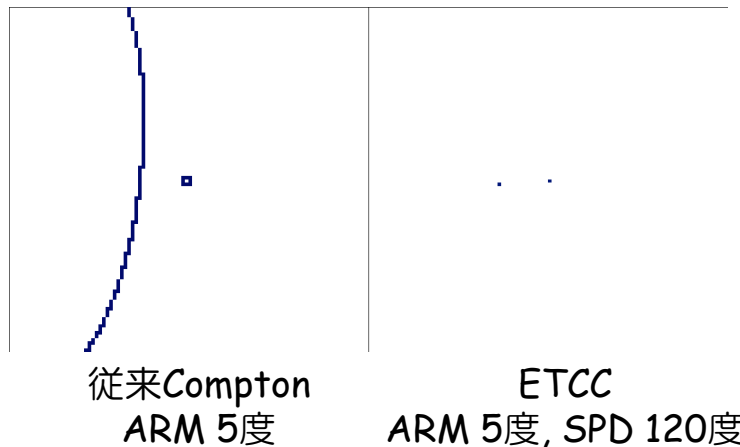
➤ ピクセルシンチレータアレイ

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+, arXiv:2107.00180



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

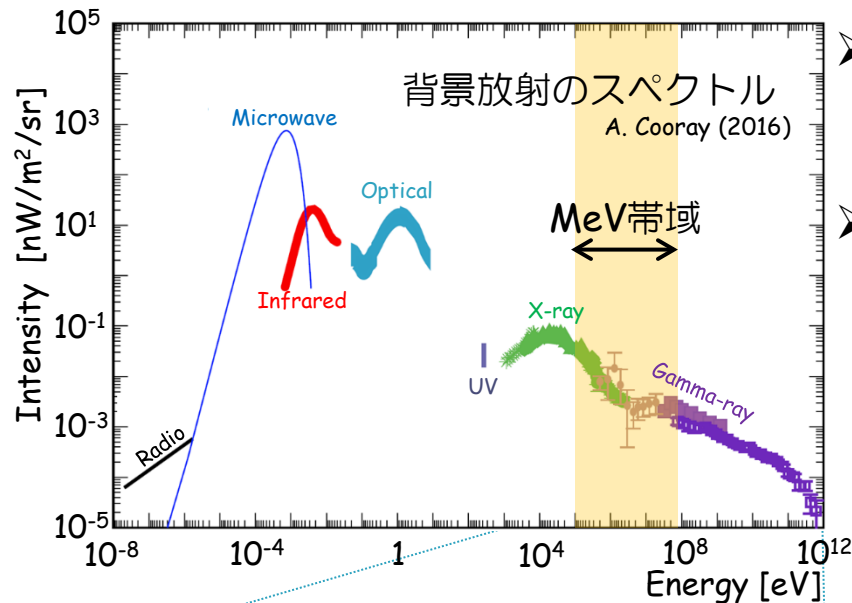
南半球：
SPB @ 中緯度
ZPB @ 南極
(NASA)
ZPB @ 中緯度
(JAXA)
北半球：
ZPB @ 中緯度 (NASA)
ZPB @ 高緯度 (SSC, NASA)



➤ 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

MeVガンマ線背景放射



➤ MeVガンマ線帯域 ($10^5 \sim 10^8$ eV)においても一様等方に到来する放射が存在

➤ 放射起源は未解明

- 活動銀河核

- Seyfert銀河

Y. Inoue+ (2013, 2019)

- FSRQ

M. Ajello+ (2009)

- 遠方のIa型超新星爆発

P. Ruiz-Lapuente+ (2016)

- 物質起源

- 暗黒物質

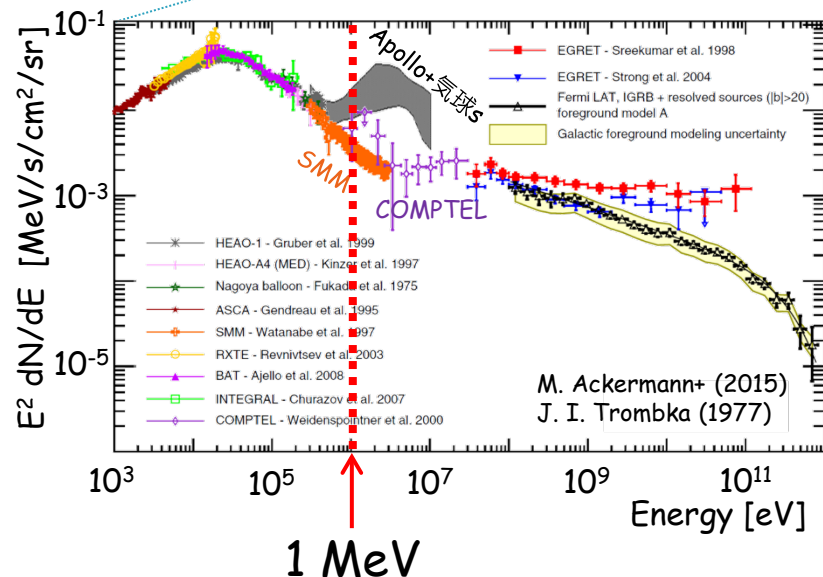
K. Ahn+ (2005)

- 原始ブラックホール

B. J. Carr+ (2010)

⇒ 天文学・物理学の双方へ

大きな情報をもたらすと期待される



➤ これまでの観測

- Apollo 15/16

~MeVに大きなbump

- COMPTEL

bump構造は装置由来?

- SMM

GeVと繋がらない

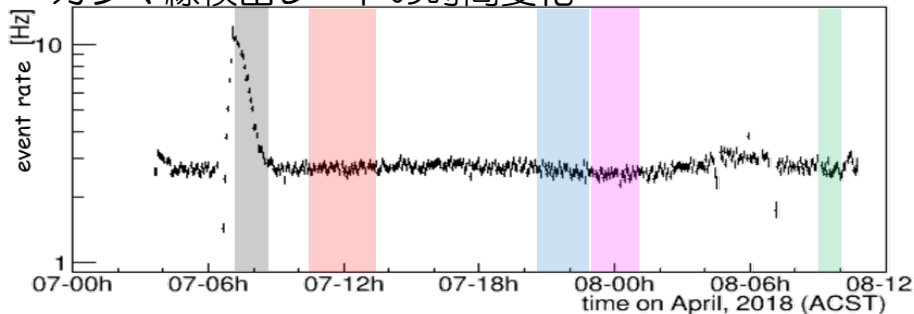
- 多数の気球実験

Apolloを支持する傾向

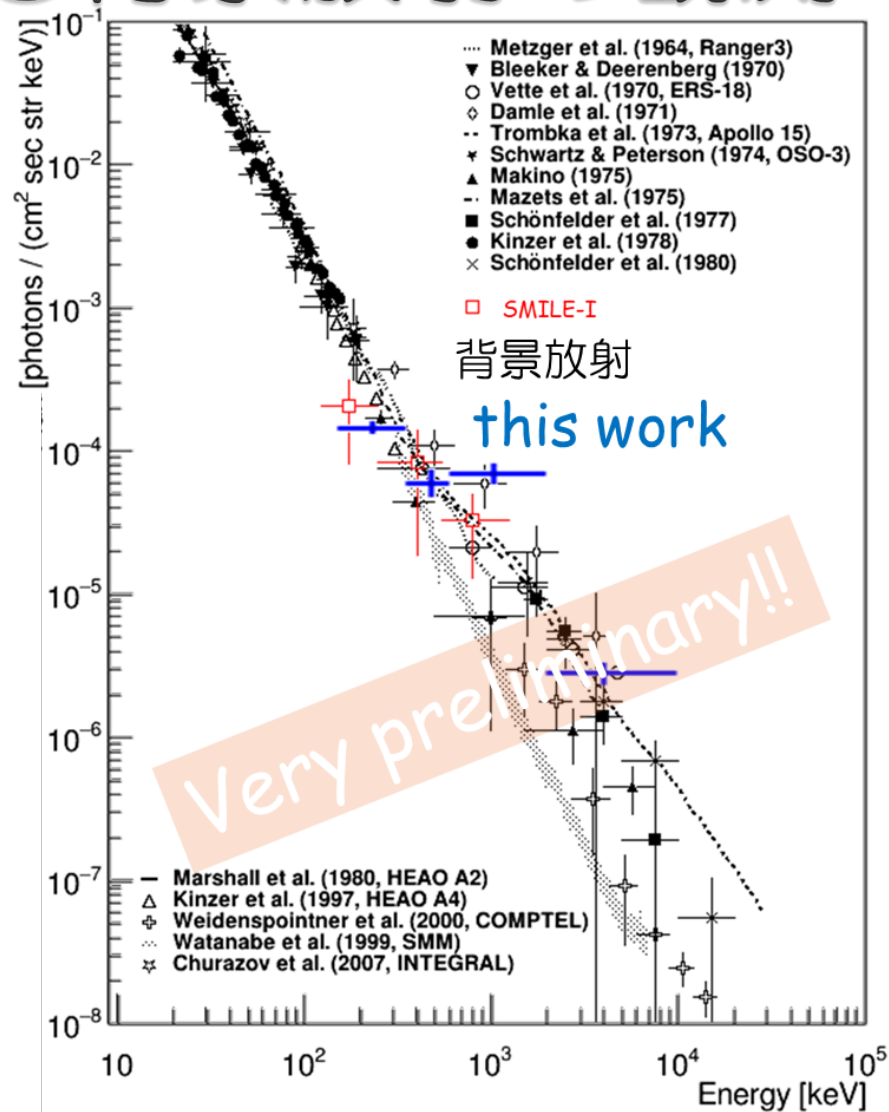
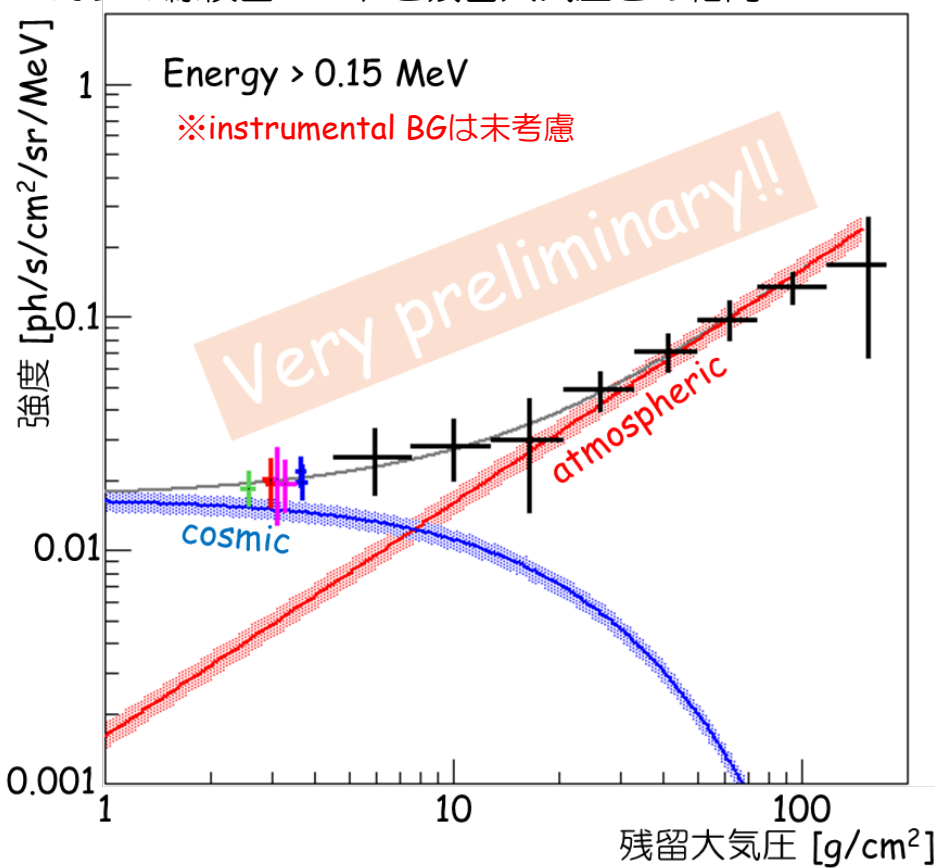
⇒ 観測には大きな不定性が残っている

SMILE-2+による背景放射の観測

ガンマ線検出レートの時間変化



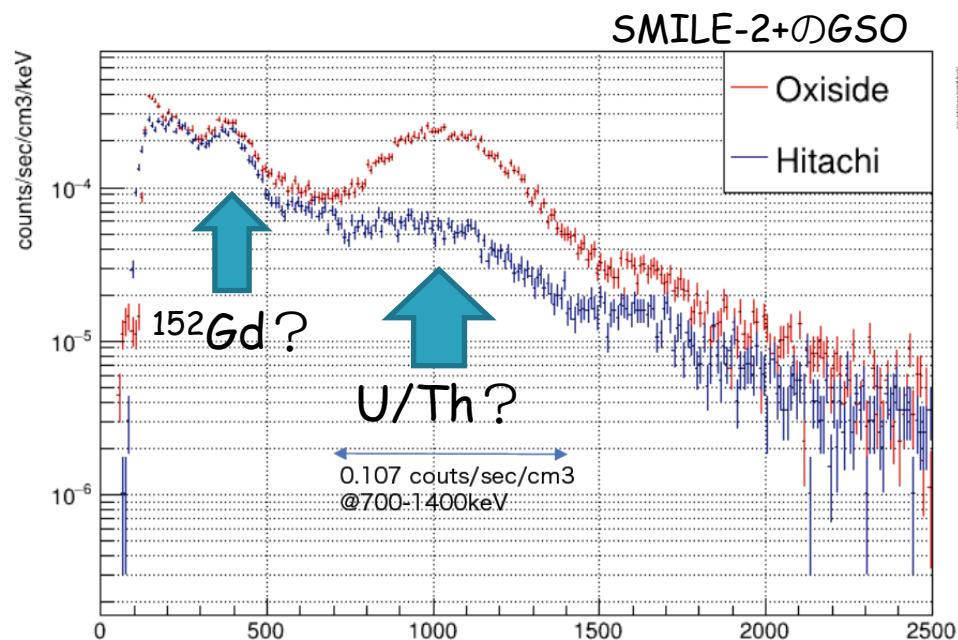
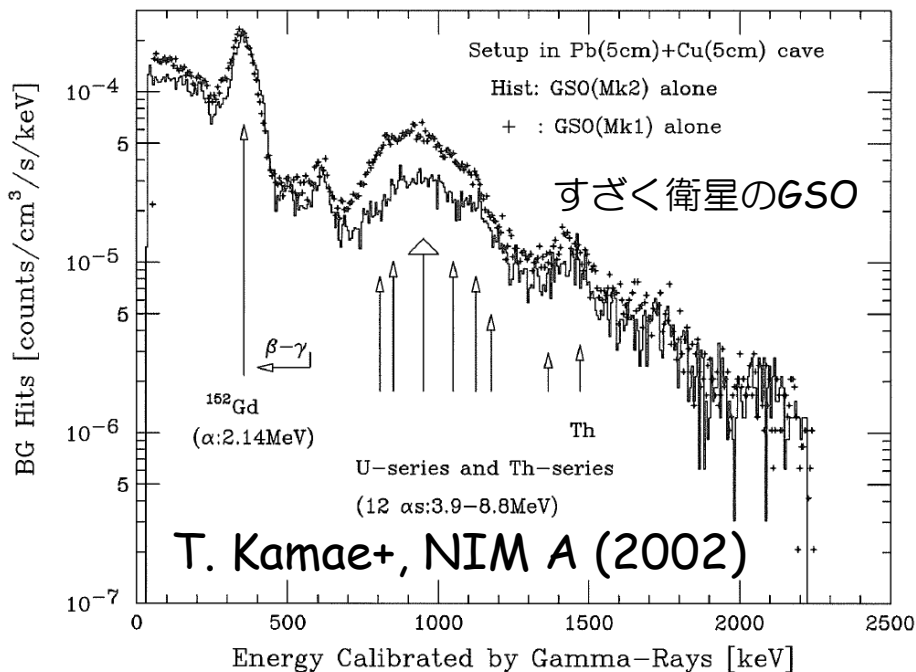
ガンマ線検出レートと残留大気圧との相関



~1 MeVで大幅に超過してしまっている

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?



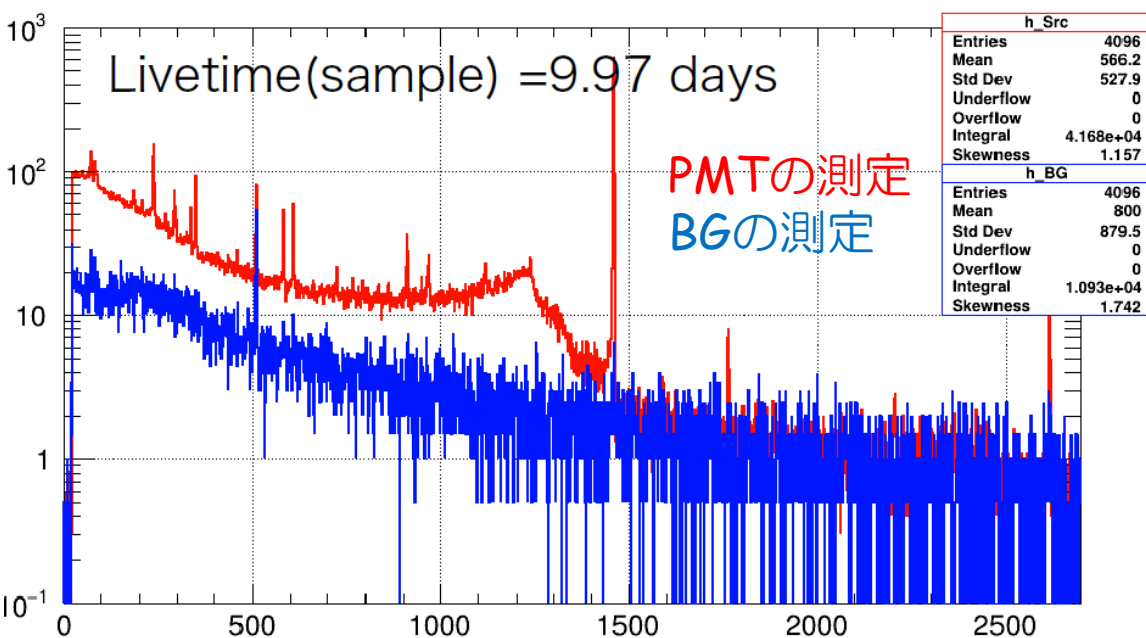
- どこに 何が どの位?
- SMILE-3以降では抑えたい

柏地下での測定

共同研究予算：30万円 (旅費)

⇒ 全額執行済

	U上流	U中流	U下流	Th	Lu-176	U-235	K-40
Oxide製	$< 5.6 \times 10^3$	< 70	$< 5.0 \times 10^3$	< 86	43 ± 19	$< 1.1 \times 10^3$	-
Oxide製 (@神岡)	$(3.4 \pm 0.4) \times 10^3$	< 15	$< 8.0 \times 10^3$	< 3.7	89 ± 5	$(1.5 \pm 0.9) \times 10^2$	< 26
日立化成製	$< 4.1 \times 10^2$	< 44	-	< 36	$(2.5 \pm 0.1) \times 10^3$	$< 3.6 \times 10^2$	-
Gd ₂ O ₃	$< 2.1 \times 10^3$	< 18	$< 8.4 \times 10^3$	< 42	$(1.5 \pm 0.1) \times 10^2$	$< 3.6 \times 10^2$	-
Oxide製 (専用炉)	$(8.6 \pm 0.4) \times 10^3$	< 71	$< 9.8 \times 10^3$	< 72	$(1.7 \pm 0.2) \times 10^2$	$< 2.9 \times 10^2$	-



- U上流が特に多い
- ¹⁷⁶Luの存在も確認
⇒ ¹⁷⁶Luは材料由来
U系は製造過程で混入
- PMTから顕著な⁴⁰K



これらを考慮した
機器由来backgroundを計算中

まとめ

- ▶ MeVガンマ線天体観測実験SMILE：
 - 広視野 + 低雑音な電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡
 - 2度の実証実験 ⇒ 天体観測が可能なことを実証済
- ▶ 2018年のSMILE-2+
 - ~1 MeVにbump構造 ⇒ GSO内在のRIが原因と特定
⇒ 系外拡散ガンマ線の起源解明に大きく影響
将来計画における検出感度もlimitする
- ▶ 次期計画SMILE-3以降
 - 検出器まわりを構成する物質の選定も重要に
⇒ 引き続き地下施設を利用させてください

Thank you for your attention!

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

