



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

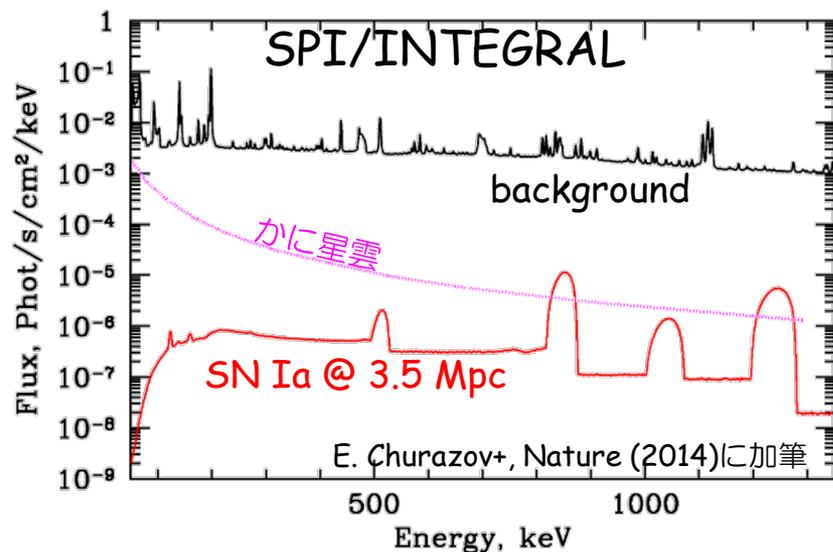
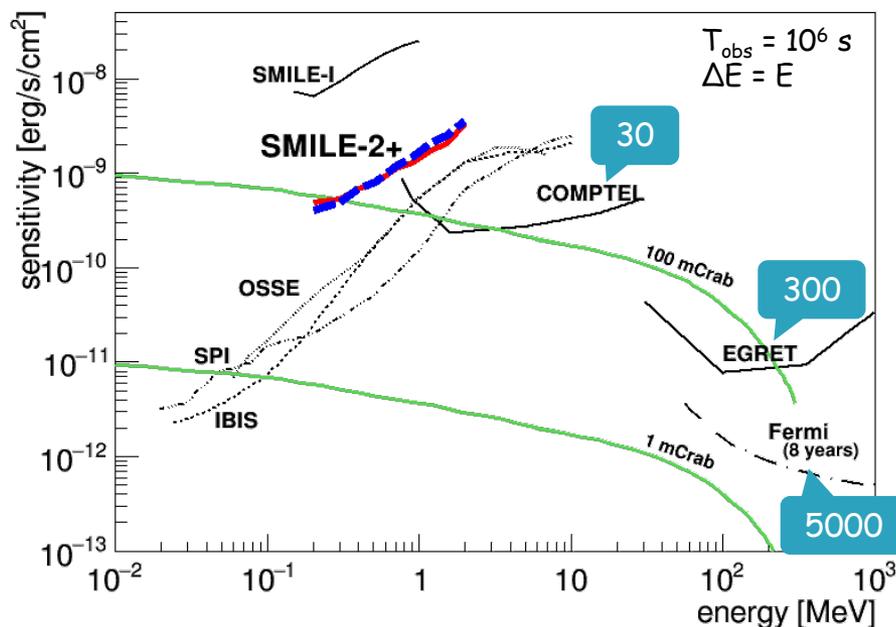
# MeVガンマ線天文学とその現状

## ▶ ラインガンマ線

- 短寿命な放射性同位体  
 $^{56}\text{Ni}/^{56}\text{Co}$ ,  $^{44}\text{Ti}$   
⇒ 元素合成の現場
- $\sim 10^6$ 年な放射性同位体  
 $^{26}\text{Al}$ ,  $^{60}\text{Fe}$   
⇒ 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

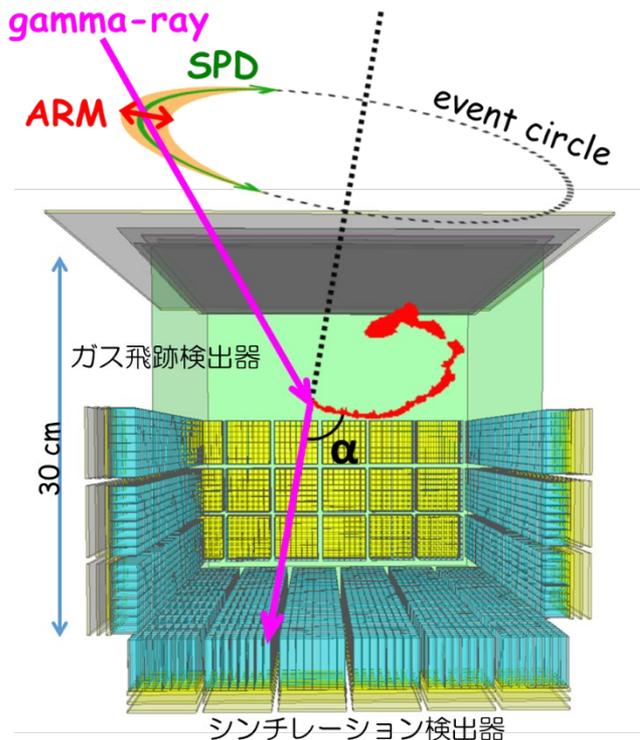
## ▶ 連続成分

- シンクロトロン + 逆コンプトン
- $\pi^0$ -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

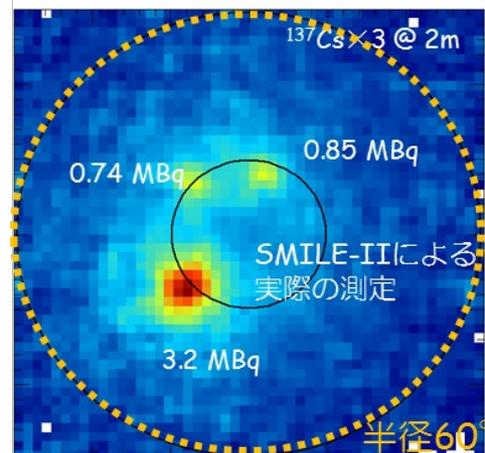
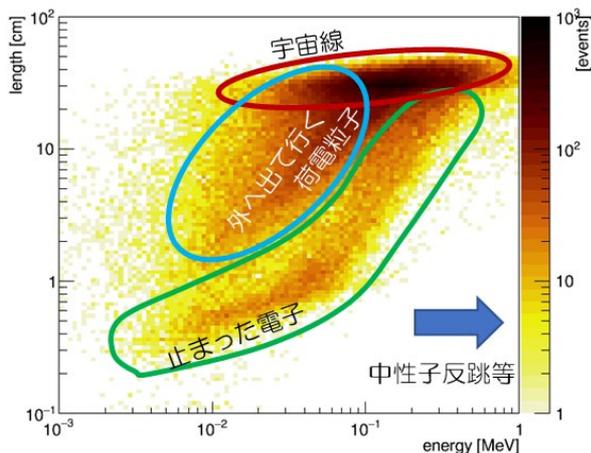
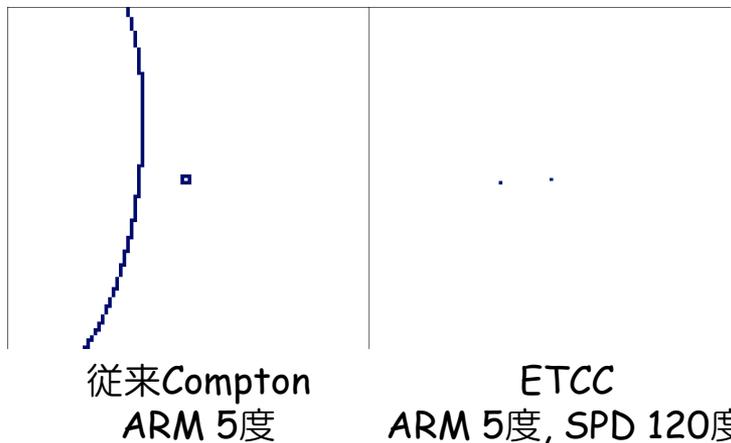
## ▶ ピクセルシンチレータアレイ

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
- $\alpha$ 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 mm<sup>2</sup>  
Xe + Ar 1 atm

A. Takada+, ApJ (2011)

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

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

有効面積 1 cm<sup>2</sup>  
Ar 2 atm

T. Tanimori+, J. Phys CS (2020)  
A. Takada+, arXiv:2107.00180



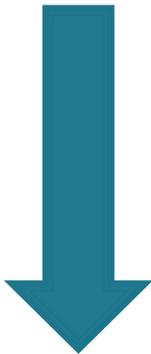
Now

## ➤ SMILE-3

有効面積 5~10 cm<sup>2</sup>  
CF<sub>4</sub>-base 3 atm

- 長時間気球を用いた科学観測
  - 銀河中心領域 ⇒ e<sup>±</sup>対消滅線・系内拡散ガンマ線
  - 銀河面 ⇒ <sup>26</sup>Al・<sup>60</sup>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

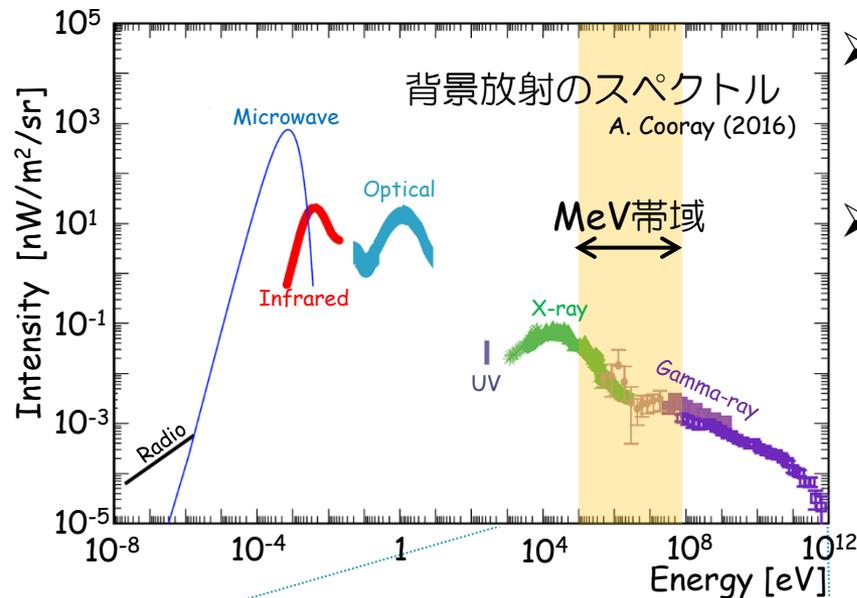
南半球：  
SPB @ 中緯度  
ZPB @ 南極  
(NASA)  
ZPB @ 中緯度  
(JAXA)  
北半球：  
ZPB @ 中緯度 (NASA)  
ZPB @ 高緯度 (SSC, NASA)



## ➤ 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

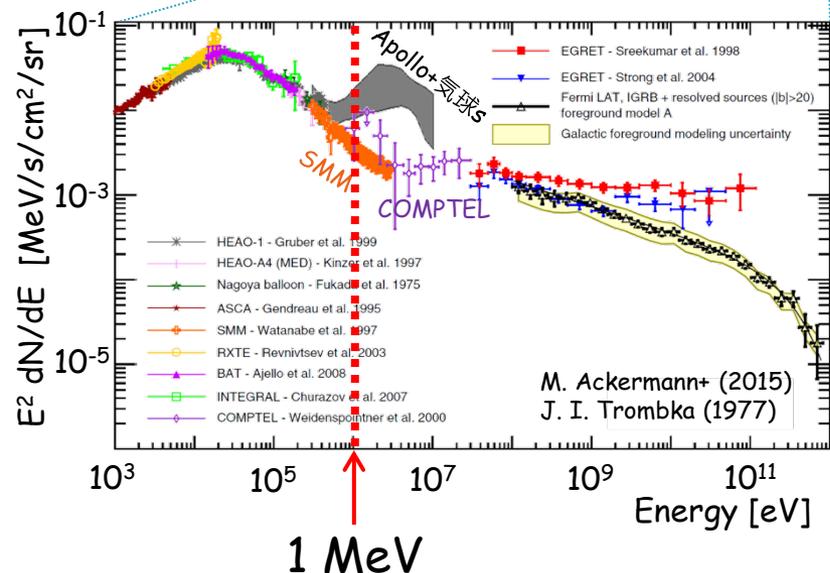
K. Ahn+ (2005)

- 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

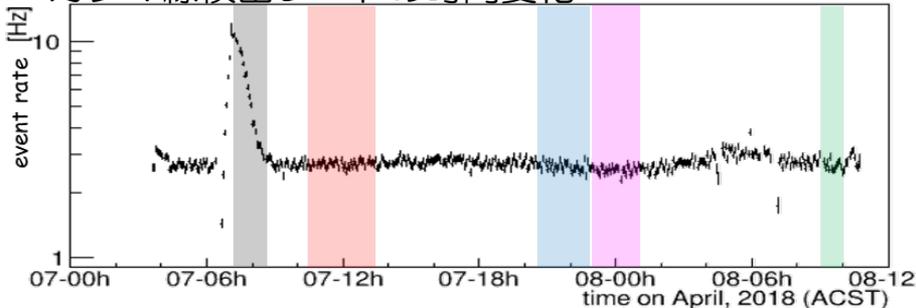
- 多数の気球実験

Apolloを支持する傾向

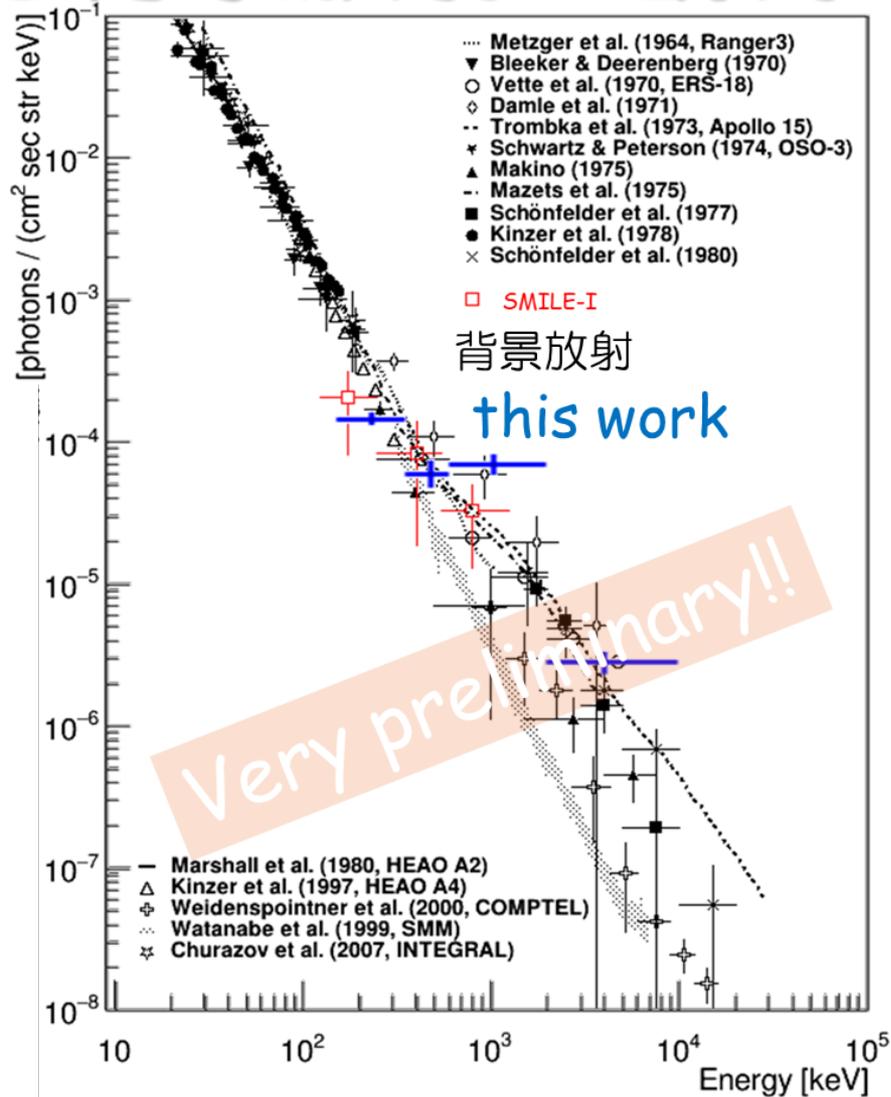
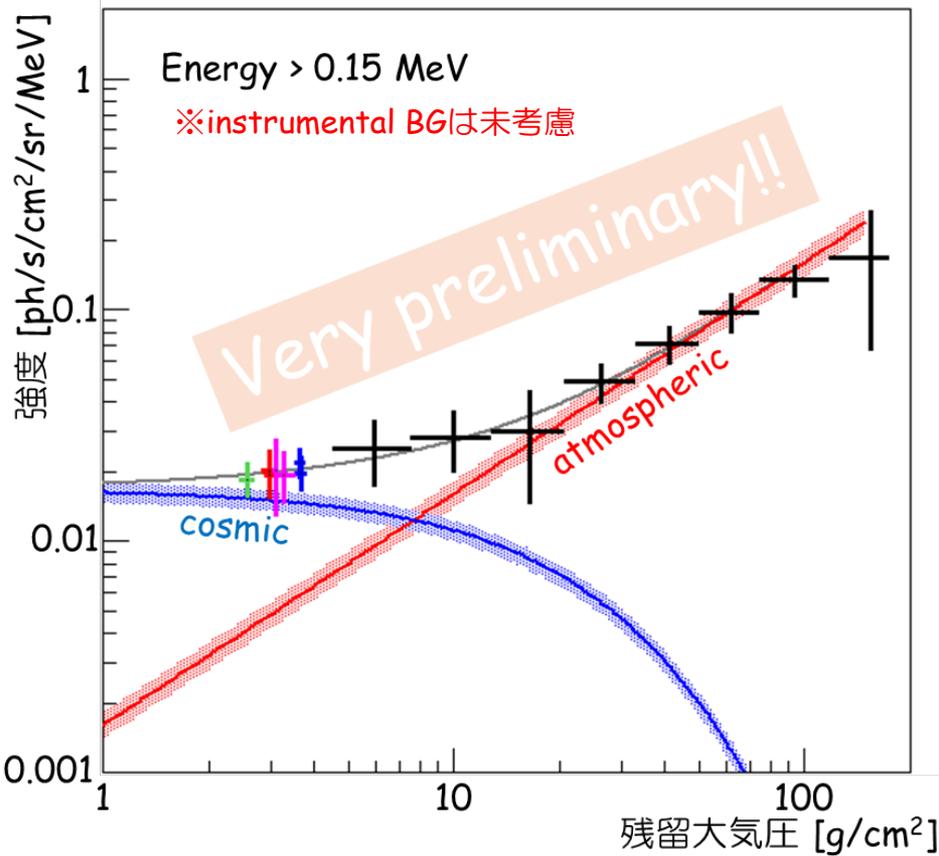
⇒ 観測には大きな不定性が残っている

# 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



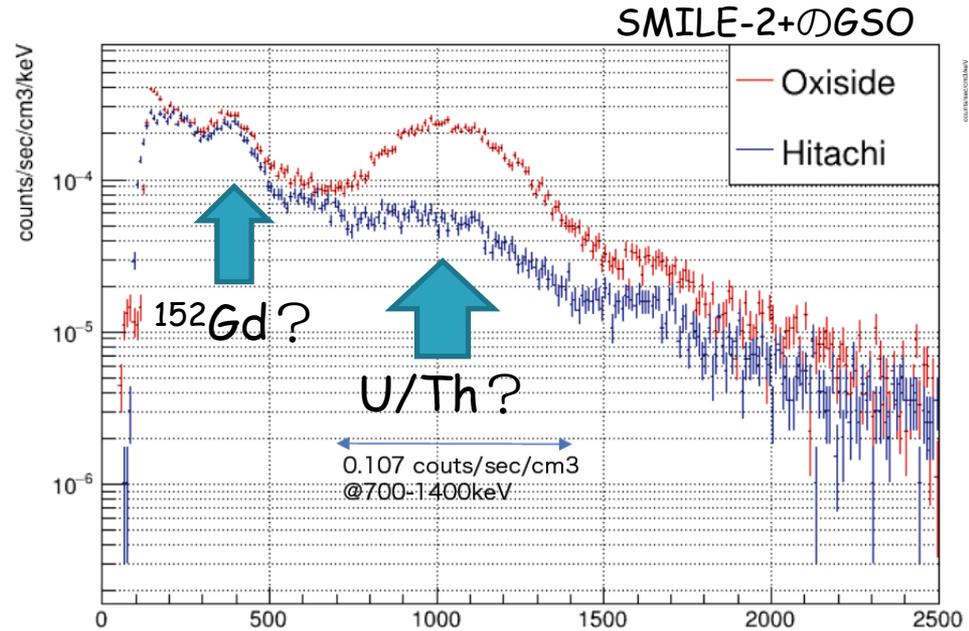
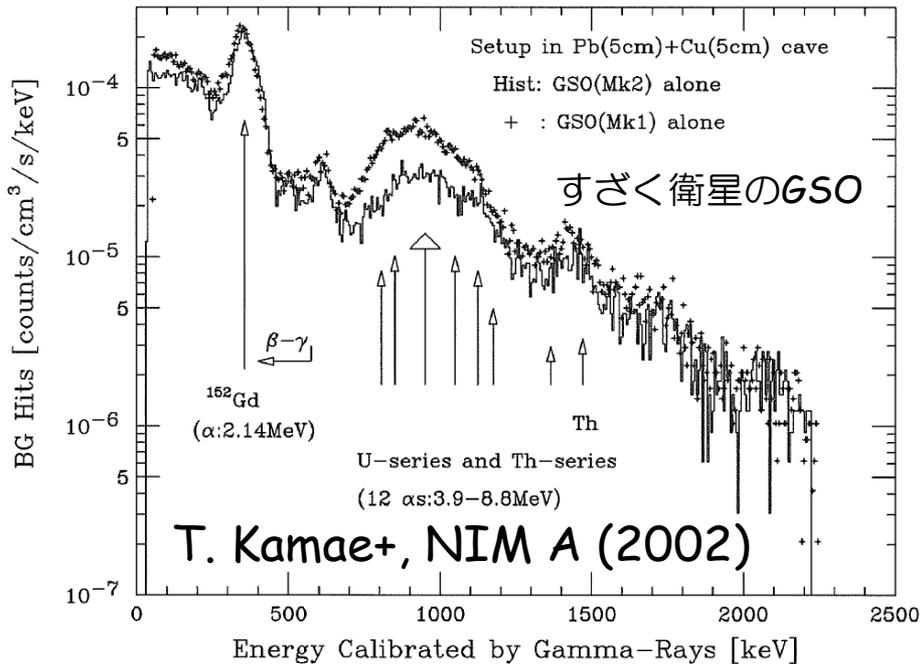
ガンマ線検出レートと残留大気圧との相関



~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,  $^{152}\text{Gd}$ 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 $^{40}\text{K}$ も検出している
  - ⇒ PMT?

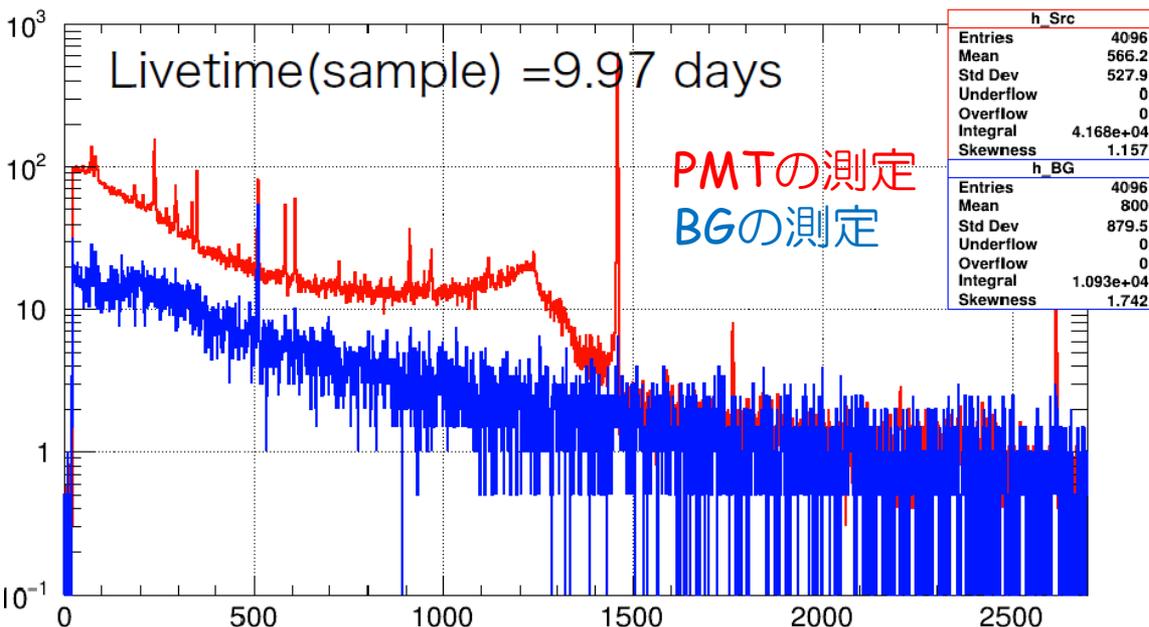


- どこに何がどの位?
- SMILE-3以降では抑えたい

# 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	$< 5.6 \times 10^3$	$< 70$	$< 5.0 \times 10^3$	$< 86$	$43 \pm 19$	$< 1.1 \times 10^3$	-
Oxide製 (@神岡)	$(3.4 \pm 0.4) \times 10^3$	$< 15$	$< 8.0 \times 10^3$	$< 3.7$	$89 \pm 5$	$(1.5 \pm 0.9) \times 10^2$	$< 26$
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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$< 2.1 \times 10^3$	$< 18$	$< 8.4 \times 10^3$	$< 42$	$(1.5 \pm 0.1) \times 10^2$	$< 3.6 \times 10^2$	-
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
- <sup>176</sup>Luの存在も確認  
⇒ <sup>176</sup>Luは材料由来  
U系は製造過程で混入
- PMTから顕著な<sup>40</sup>K



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>

