

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
立命館 岡知彦

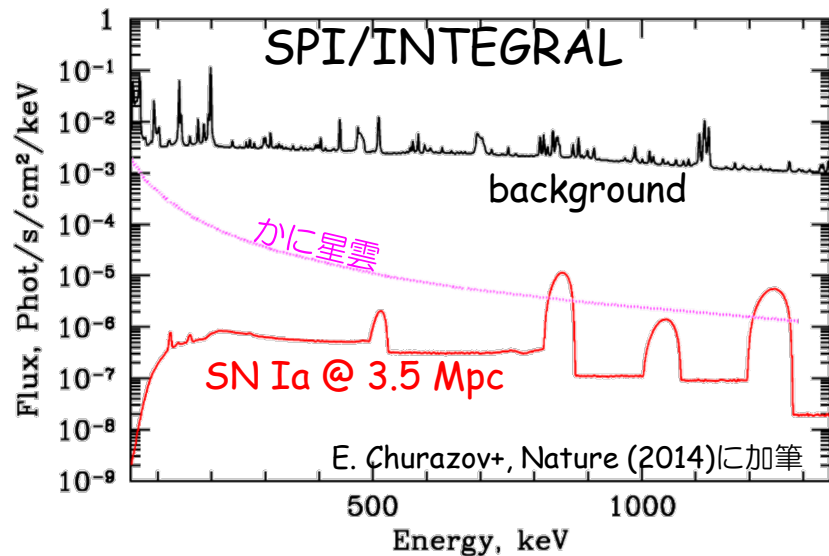
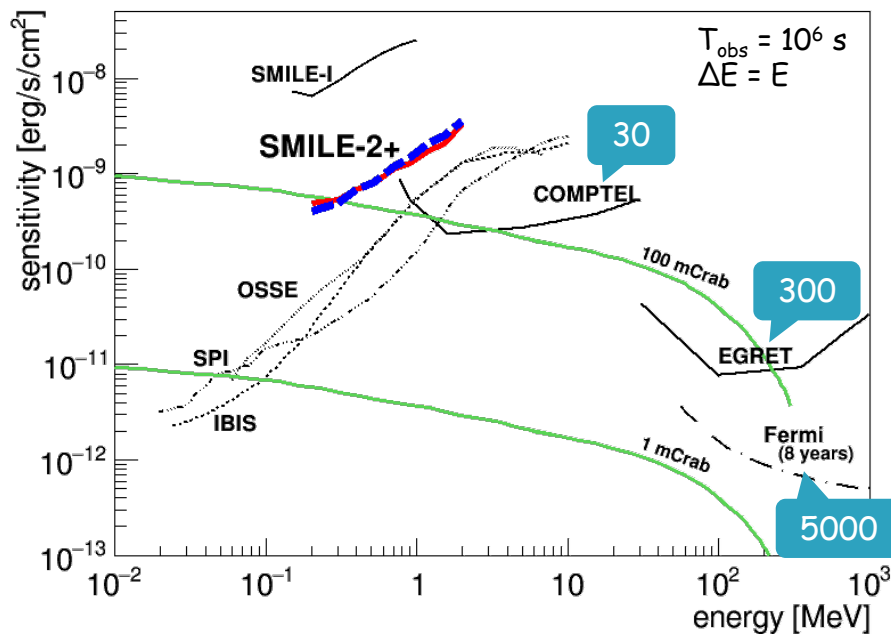
MeVガンマ線天文学とその現状

▶ 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

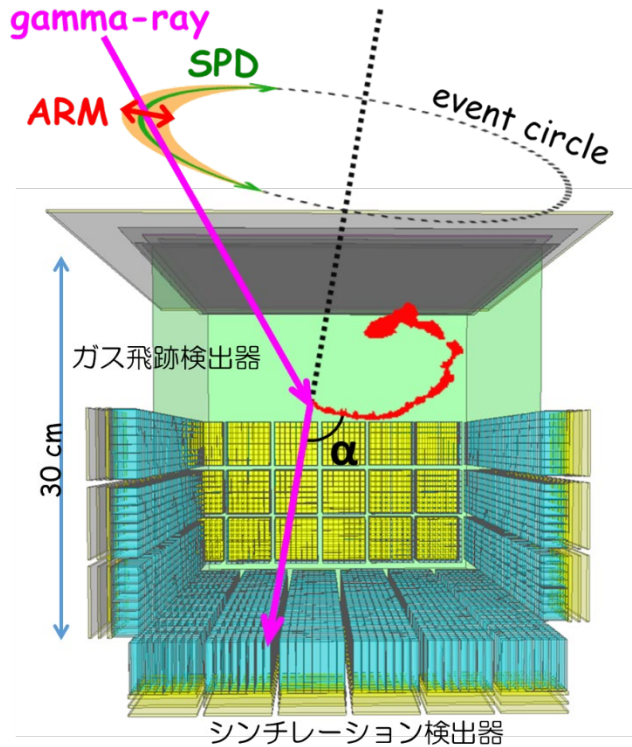
▶ 連続成分

- 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

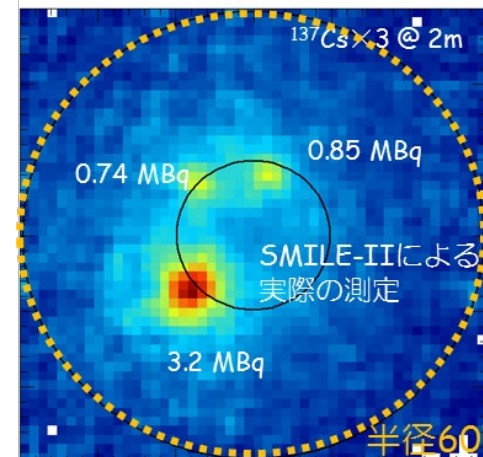
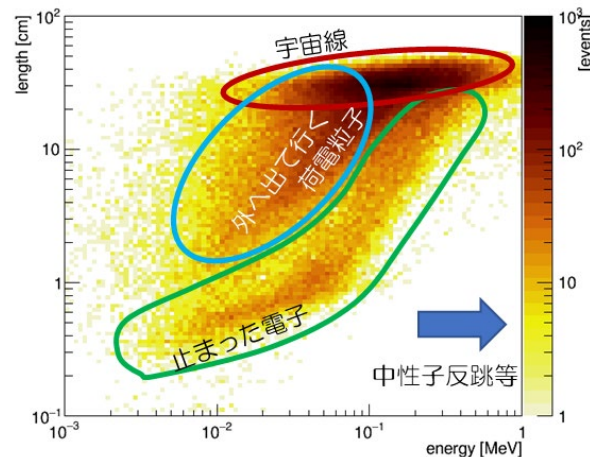
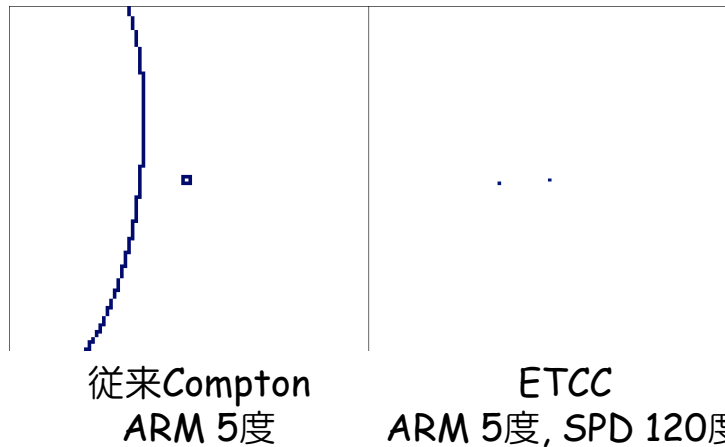
▶ ピクセルシンチレータアレイ

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 Experiment

2000

- SMILE-I:** (2006, 三陸, 4時間)
- ETCCの初フライト
 - MeVガンマ線背景放射と
大気ガンマ線を検出 [Takada+, 2011, ApJ]

2010

- SMILE-2+:** (2018, Alice Springs, 26時間)
- 2回目の気球実験
 - **天体初検出** [Takada+, 2022, ApJ]
 - 気球高度における雑音事象の詳細調査 [Ikeda+, 2023, PRD]
 - **背景放射観測**

2020



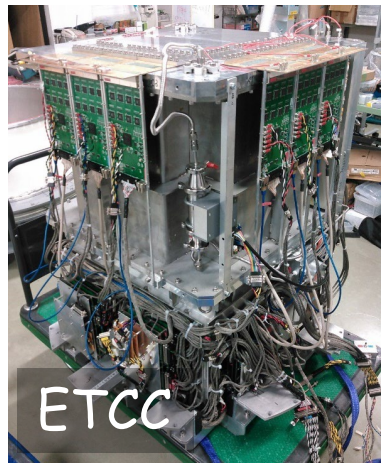
Now

- SMILE-3:**
- 科学観測
 - 複数回の気球実験を予定

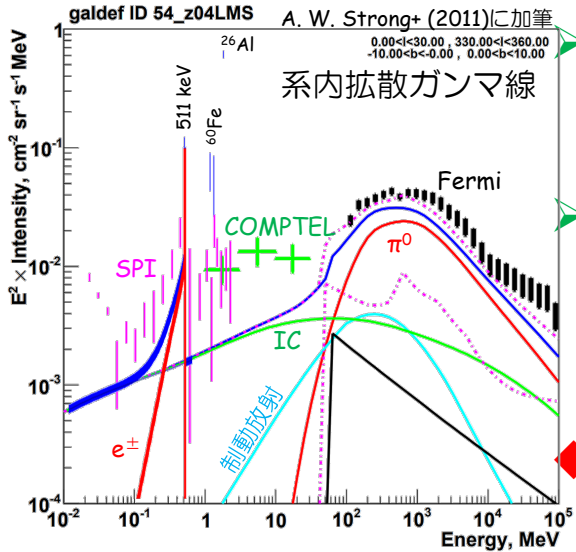
2030

ETCC衛星へ

SMILE Collaboration



銀河系内拡散ガンマ線とその起源



MeV帯域での連続成分

- ICで期待されるよりも強い
- MeVに特徴的な放射の存在

電子陽電子対消滅線

- 陽電子の起源は不明
- 空間分布モデルは他波長と異なる



暗黒物質

軽いWIMPの対消滅・崩壊
⇒ 電子・陽電子・ガンマ線

原始ブラックホール

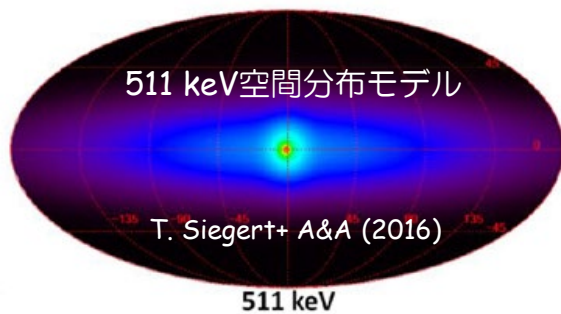
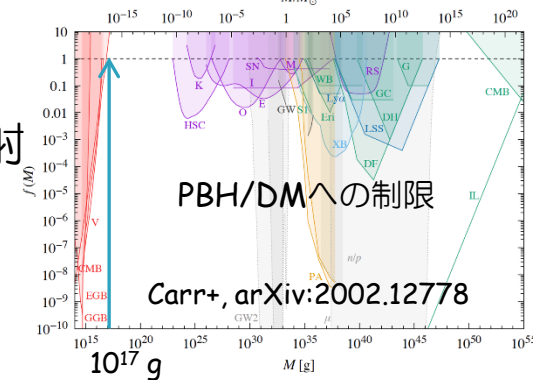
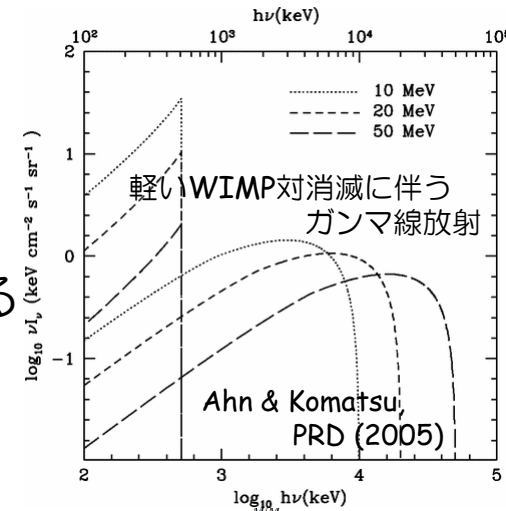
$\sim 10^{17}g \Rightarrow \sim MeV$ でHawking放射

天体の集合

MeV放射を持つ天体種族は不明

宇宙線と星間物質との相互作用

計算ではICよりも暗いはず



MeVガンマ線の空間分布は？

- DMの対消滅
- PBH, DMの崩壊
- 天体, CR-ISM

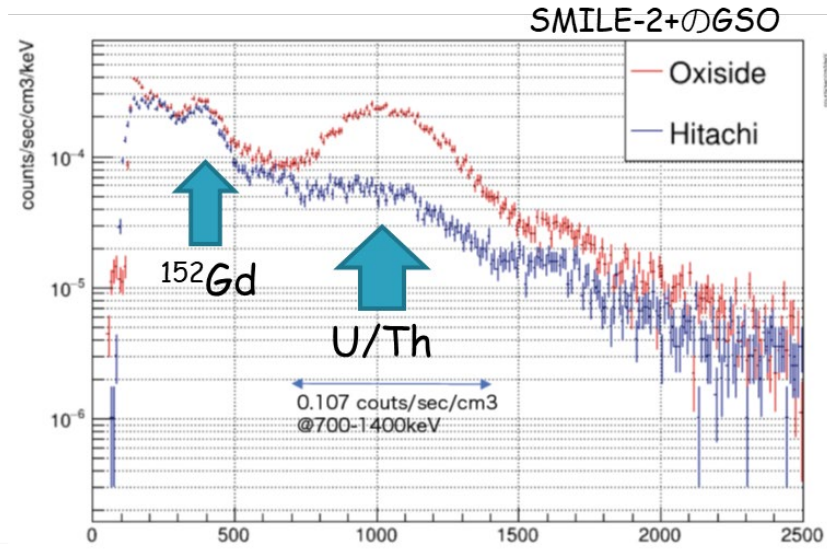
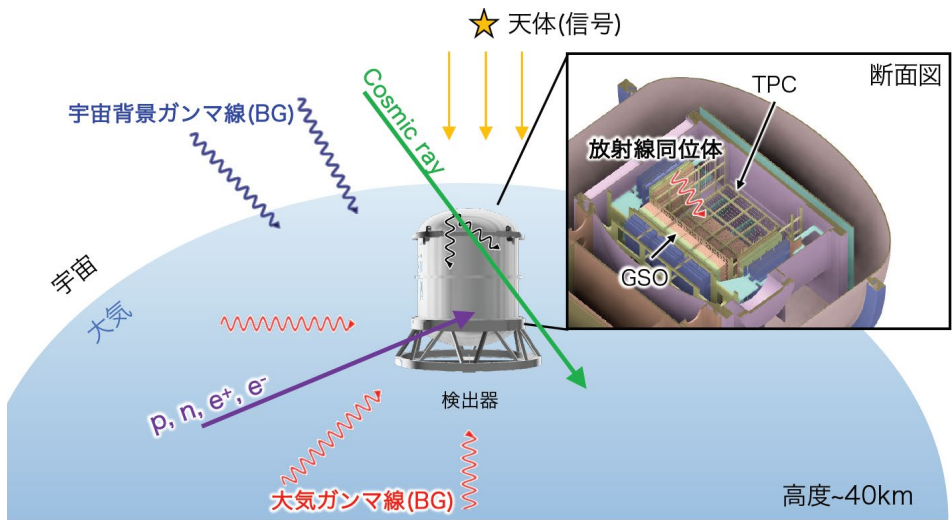
- \propto 密度の二乗
- \propto 密度
- 銀河面に集中

他の銀河でも
同様はず

系外拡散ガンマ線の起源は？

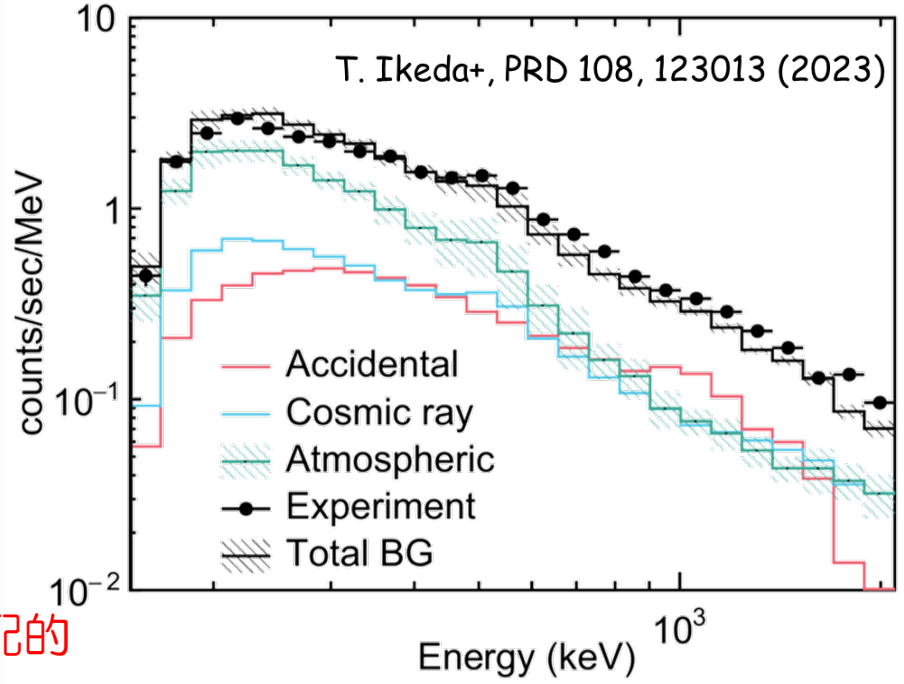
- AGN (Seyfert or FSRQ)
- 遠方のIa型SNe
- DM, PBH (近傍, 重い銀河)

SMILE-2+の背景事象



気球高度における背景事象

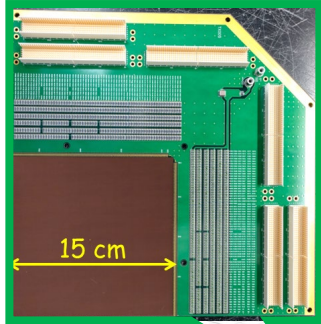
- 大気ガンマ線
 - ⇒ 宇宙線と地球大気の相互作用
- 装置由来の雑音
 - ⇒ 宇宙線と装置の相互作用
- 内在放射性同位体
 - ⇒ GSO内部のU/Th系からの α 線と大気ガンマ線が偶発同時計数



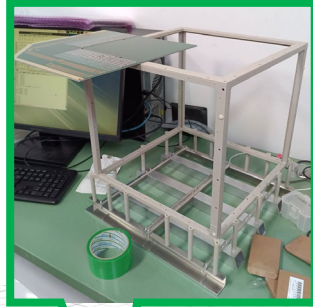
低エネルギー側では大気ガンマ線が支配的
 ~1 MeV付近では内在RI由来の偶発事象が支配的

SMILE-3への準備

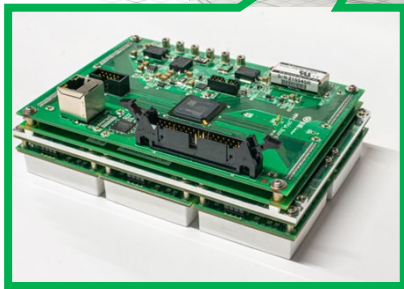
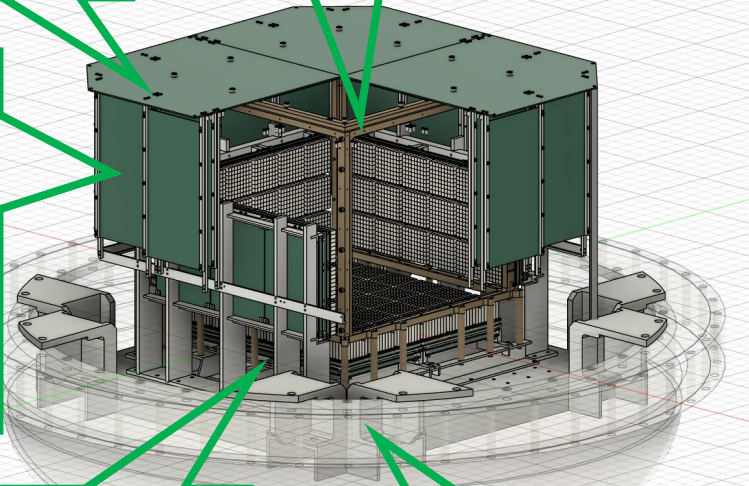
15 cm角TGV μ -PIC



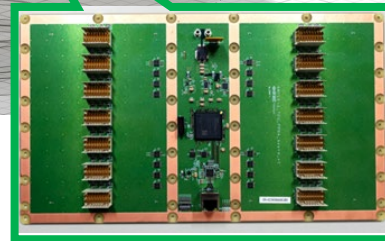
ドリフトケージ



TPC encoder



MPPC光読み出し回路



トリガー制御回路

➤ 各要素ごとの開発・試験が進行中

➤ シンチレータは
SMILE-2+のGSOを再利用
⇒ 前回同様に偶発事象が邪魔
今回は全てのピクセルに対し
予めBGを測定しておく

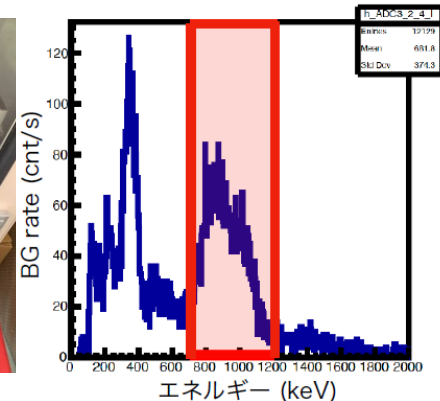
SMILE-2+

$(6 \times 6 \times 13 \text{ mm}) \times (8 \times 8 \text{ pixel}) \Rightarrow 72$ 個

$(6 \times 6 \times 26 \text{ mm}) \times (8 \times 8 \text{ pixel}) \Rightarrow 36$ 個

光学セメントを熱衝撃を加えて剥がし
再度アレイ化

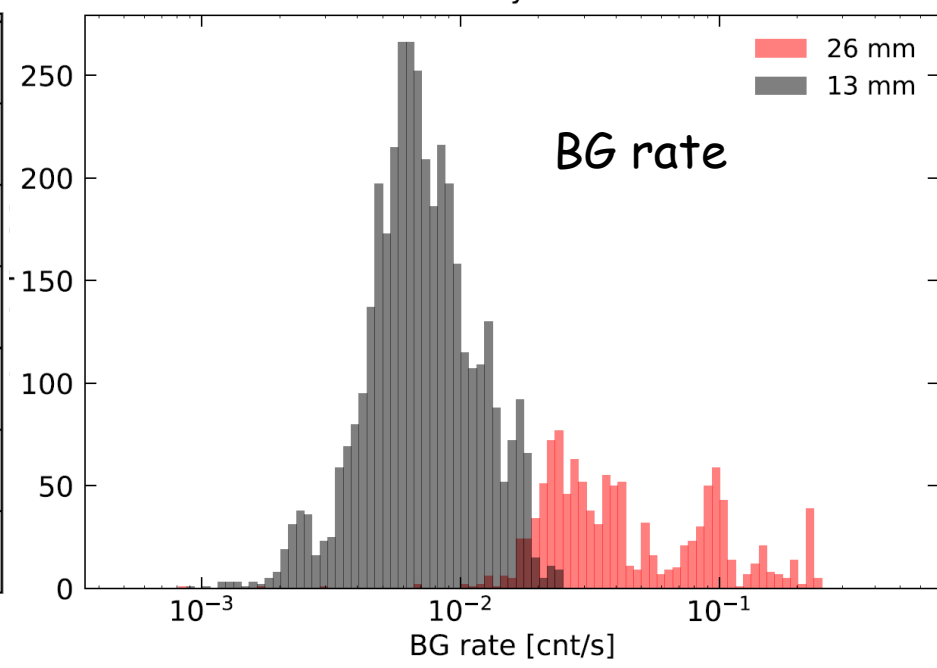
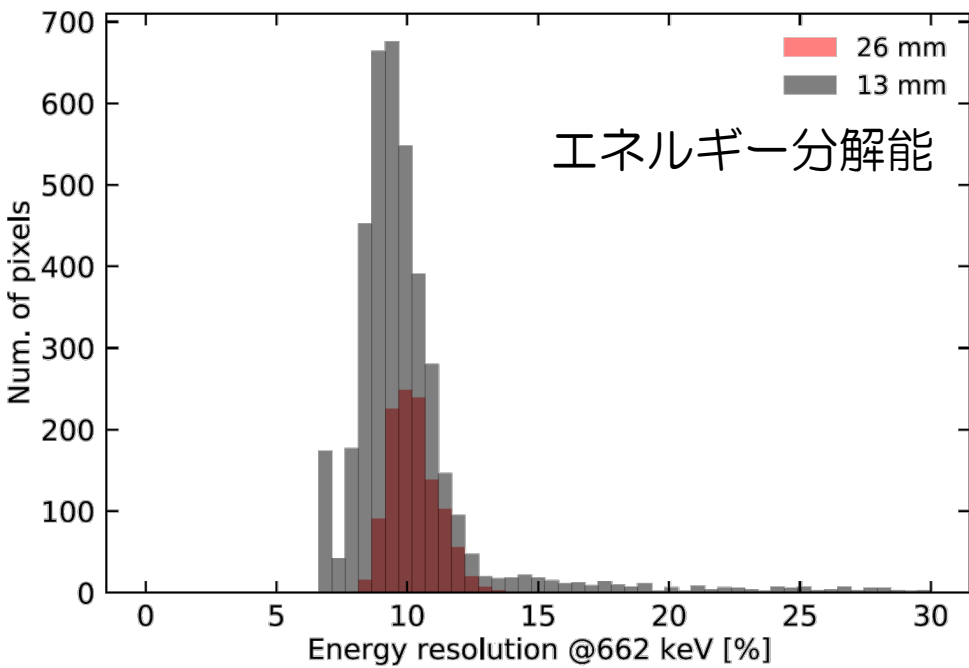
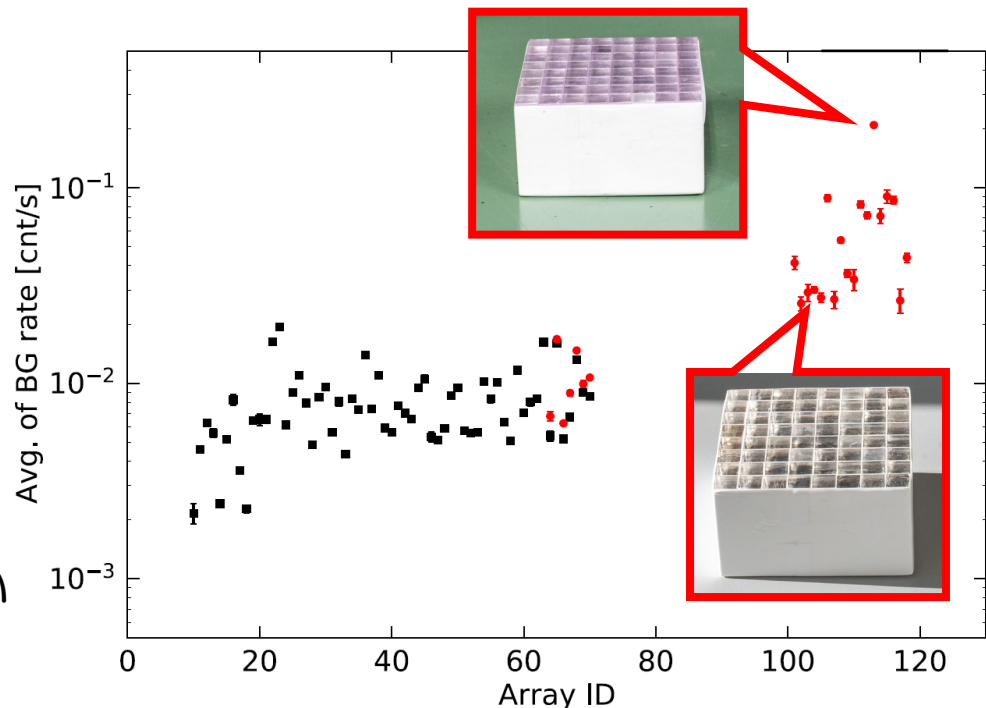
⇒ 各ピクセルのBG rateを測定



BG測定状況

13 mm厚 70アレイ (97%) を測定済
26 mm厚 18アレイ (50%)

- ◆ エネルギー分解能
大きく外れているものは少ない
13 mmと26 mmで違いは無い
- ◆ BG rate
体積比以上に26 mm厚がうるさい
赤みのあるピクセル？



まとめ

- 次期フライトSMILE-3のGSOシンチレータについてBGを評価中
 - 26 mm厚のGSOで体積比以上にU/Th系 α が多い
 - エネルギー分解能には大きな差は無い
 - GSOシンチレータの色とBGに相関？
- フライトに必要な最低数まであと少し
 - ⇒ 予備分も含めて評価
(なるべくBGが少ないものから選びたい)
- SMILE-2+による背景放射の解析も進行中

Thank you for your attention!
<http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp>

