

モンテカルロシミュレーションを用いた ASTRO-H 半導体コンプトンカメラの 放射化バックグラウンドの評価 (2)

○平木 一至、水野 恒史、深沢 泰司 (広島大)、
小高 裕和、佐藤 有、渡辺 伸、国分 紀秀、高橋 忠幸 (ISAS/JAXA)、
中澤 知洋、下浦 享 (東京大)、
中平 聡志 (青山学院大)、寺田 幸功 (埼玉大)、
田島 宏康 (名古屋大) 他HXI/SGDチーム

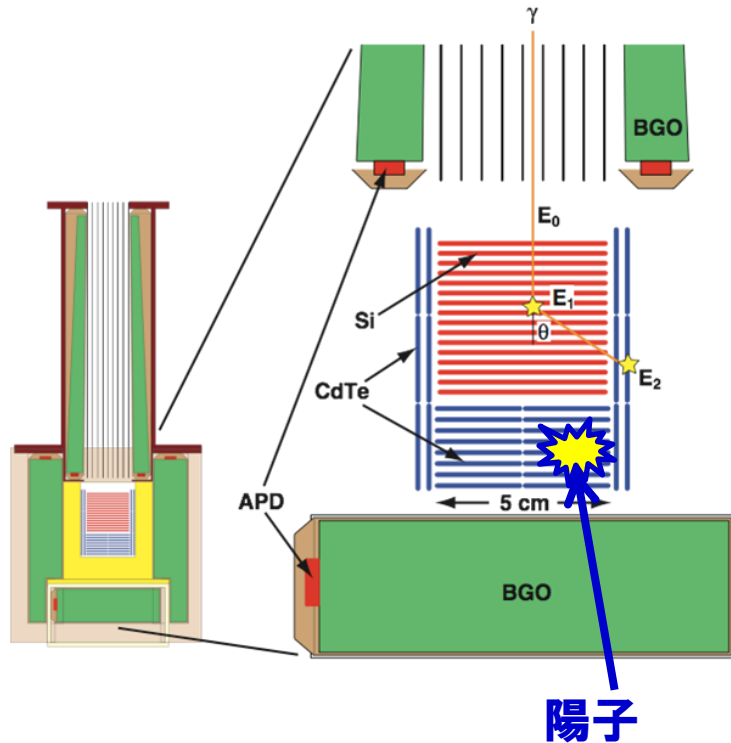
狭視野コンプトンカメラと軌道上バックグラウンド

軟 γ 線帯域では、天体信号は弱いのに、バックグラウンド (BG) レベルは高い
⇒ BGが検出器の感度を決める大きな要因

SGD: BGOアクティブシールド + コンプトン再構成

2つの技術を用いて徹底したBG除去を行い、高感度観測を目指している
これら徹底したBG除去技術でも、BGを完全には除去できない

○大気中性子弾性散乱および軌道上での放射化



SAA陽子によりBGOシールド、CdTe、Fine Collimator等の機器の元素が放射化
⇒**検出器自身がバックグラウンド源に**

軌道上での放射化BGを正確に見積もる



- 検出器デザインの決定
- 感度の評価

研究目的

SGDの軌道上バックグラウンド評価

南大西洋磁気異常帯 (SAA) を1日に9回通過する軌道をとる
SAAを通過する度に、数百 MeV程度の陽子が1000秒で約 10^5 個/cm²も降り注ぐ
→放射化を引き起こす原因に

このような衛星軌道での環境を模擬するには、
モンテカルロシミュレーションが最適

使用するシミュレーションツール: MGGPOD + Geant4

- 実績のある既存のフレームワークを組み合わせる
(Geant4ベースでのシミュレータも開発中; 2011年物理学会秋季年会 佐藤講演)
- ただし物理プロセスは、ユーザー自身で検証する必要がある
 - CdTe検出器は、宇宙環境では新しい素材
 - 従来よりはるかに高感度の観測を目指している

本研究の目的

地上実験データや文献と比較することで、
シミュレーションプログラム(物理プロセス)の検証を行い、
これを用いてバックグラウンドの評価やデザインの最適化を行う。

放射化バックグラウンドを見積もるには

放射化BGを次の3段階に分けてシミュレートすることで推定する

Step 1

陽子の照射によって生成される親核種のリストを作成、生成レートを計算



Step 2

崩壊によってできる娘核種のリストを作成、崩壊レートを計算



Step 3

検出器と核種との相互作用をモンテカルロシミュレーション

シミュレーターの検証・修正

Step1. 核種の生成

Step2. 生成された核種の崩壊の分岐比

Step3. 放射性同位体の崩壊のプロセス

CdTe放射化実験の再現

150 MeV単色陽子

厚さ 0.5 mm

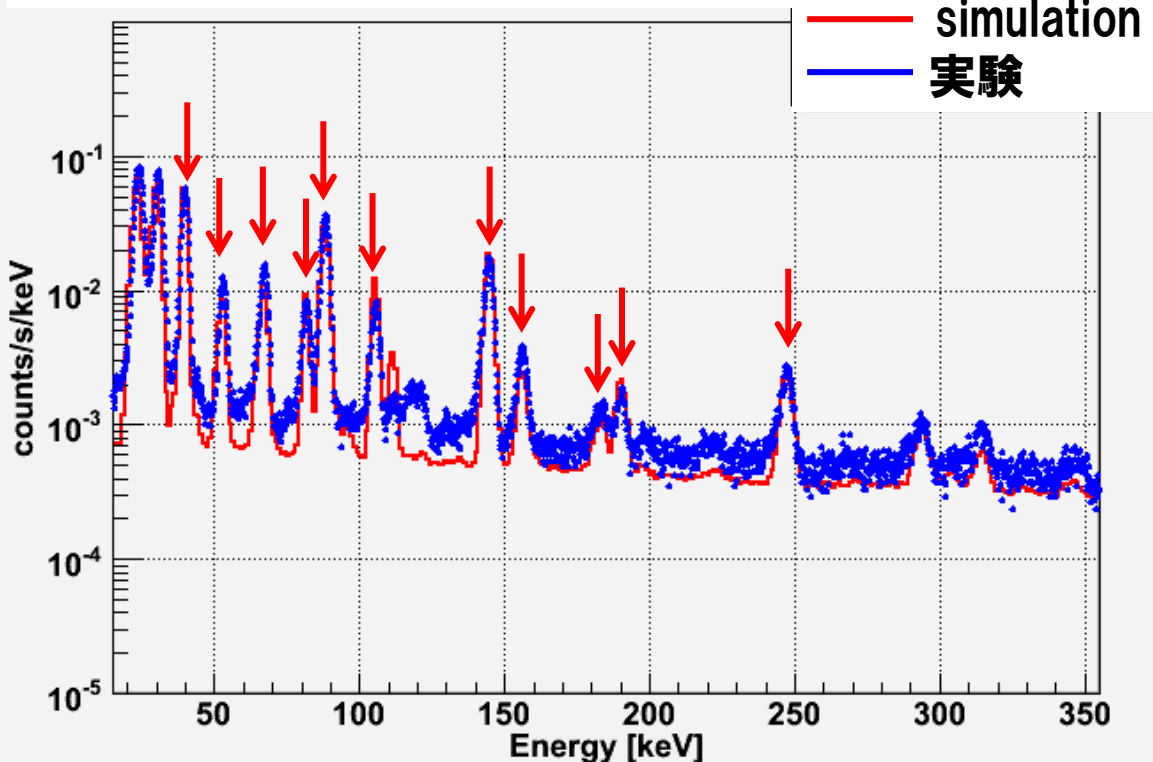
10 mm

10 mm

CdTe waferの放射化実験の再現
(Murakami et al. 2003)

- 数日から1ヵ月にわたり放射化BGのライン成分、連続成分を精度良く再現できている。
(長期BGの連続成分はfactor 2程度低い)

陽子照射18-40日後の放射化BGの平均

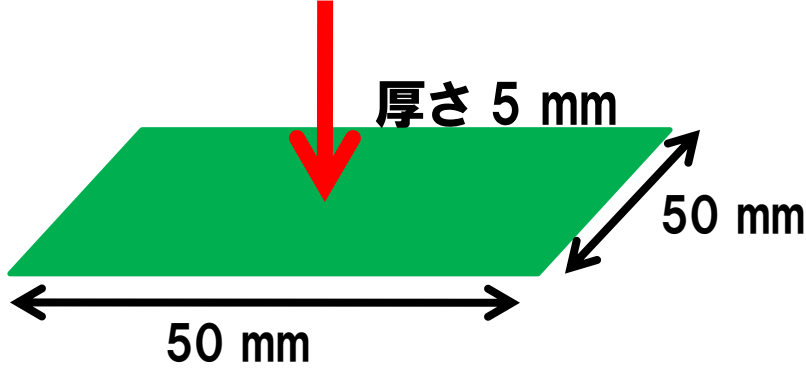


実験で同定されたライン

40 keV	^{103m}Rh
53 keV	^{119}Sb
67 keV	^{125}I
82 keV	^{121m}Te
87 keV	^{109m}Ag , ^{127m}Te
105 keV	^{129m}Te
145 keV	^{125m}Te
156 keV	^{101m}Rh
181 keV	^{100}Pd , ^{119m}Te
198 keV	^{111}In
247 keV	^{123m}Te

FC放射化実験の再現

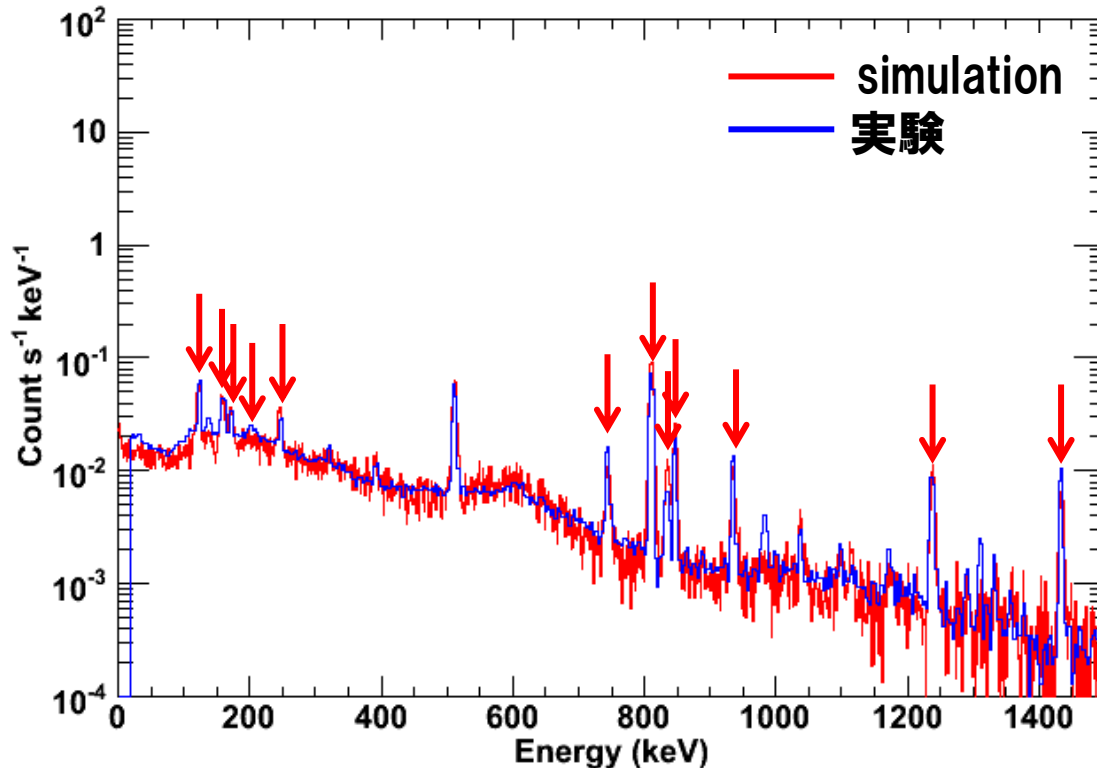
150 MeV単色陽子



FC放射化実験の再現 (中島他による測定)

- 半日から数週間にわたり、ライン成分、連続成分共に精度良く実験を再現できている。

陽子照射13日後の放射化BG



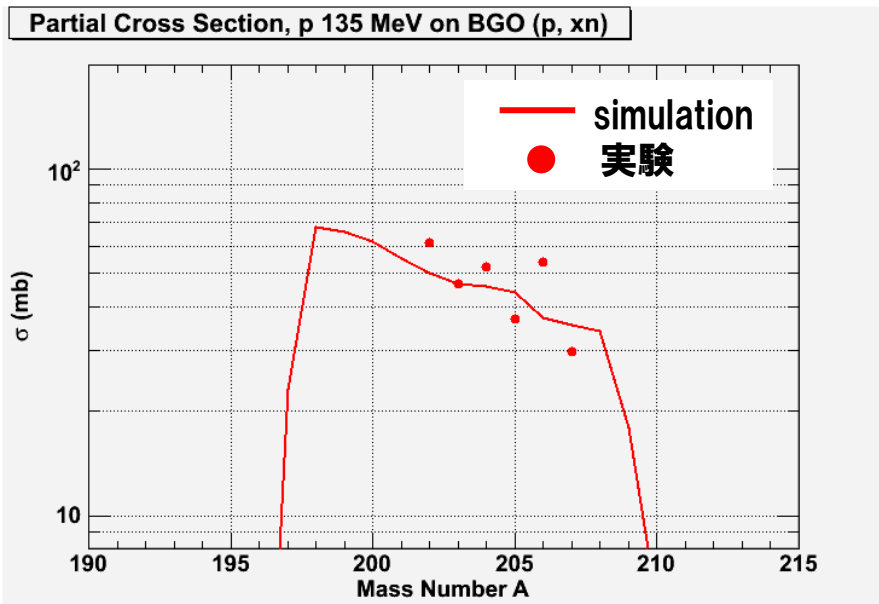
実験で同定されたライン

122 keV	^{57}Co
156 keV	$^{117\text{m}}\text{Sn}$
158 keV	$^{117\text{m}}\text{Sn}$
171 keV	^{111}In
245 keV	^{111}In
744 keV	^{52}Mn
810 keV	^{58}Co
834 keV	^{54}Mn
846 keV	^{56}Co
935 keV	^{52}Mn
1238 keV	^{56}Co
1434 keV	^{52}Mn

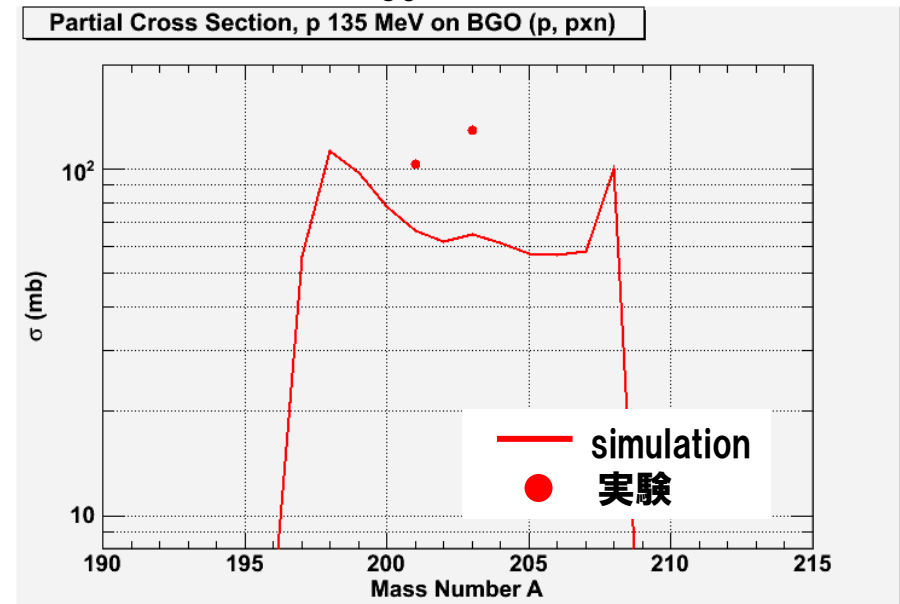
BGO放射化実験との比較

- BGO放射化実験との比較 (Kokubun et al. 1999)
 - 135 MeV陽子をBGOに照射したときの (p, xn) および (p, pxn) 反応の反応断面積
 - 核種の生成量はfactor 2で実験値を再現できている

(p, xn) 反応 ($_{84}\text{Po}$ の生成)



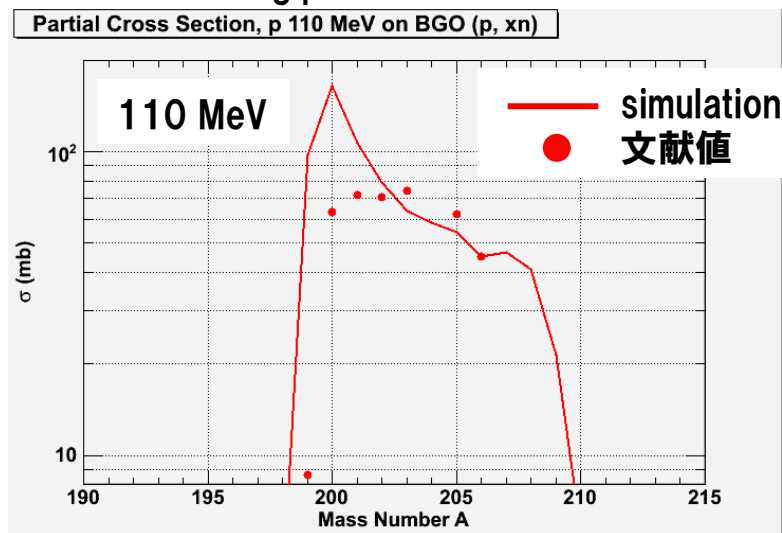
(p, pxn) 反応 ($_{83}\text{Bi}$ の生成)



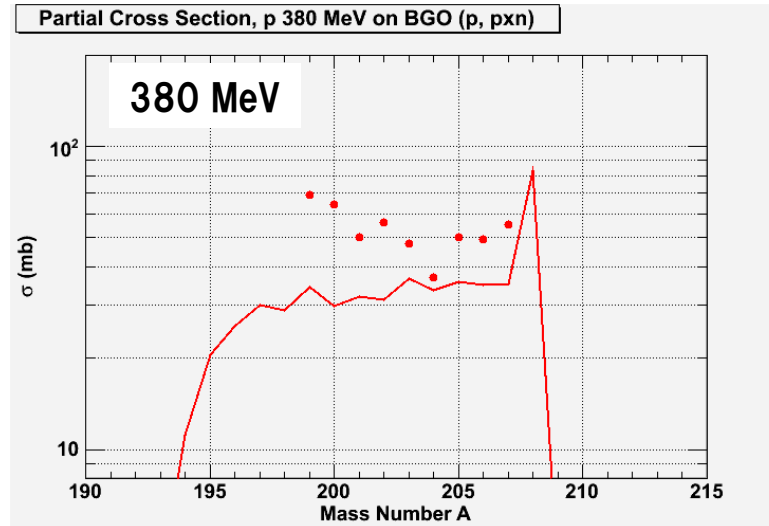
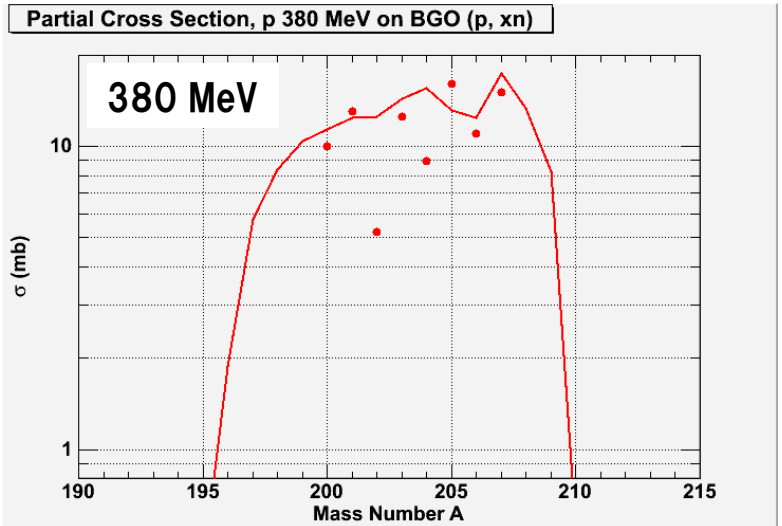
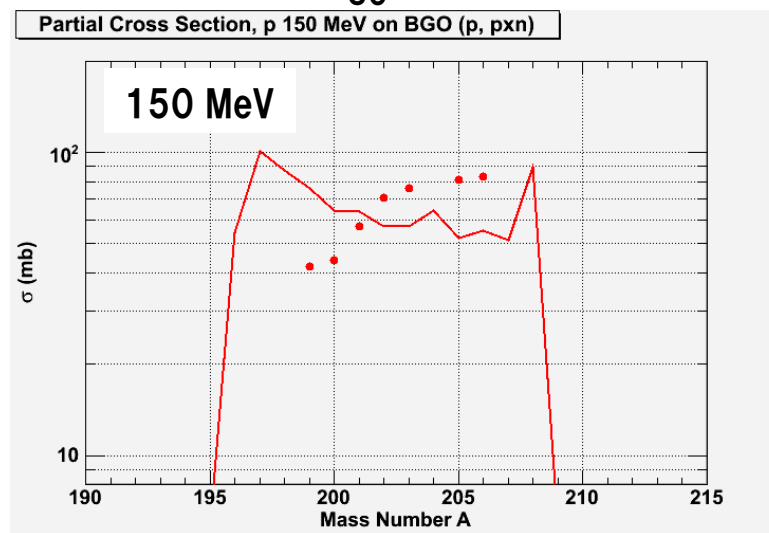
その他のエネルギーでの文献との比較

- シミュレーションはfactor 2で文献値 (Silberberg & Tsao et al. 1970) と一致

(p, xn) 反応 ($_{84}\text{Po}$ の生成)

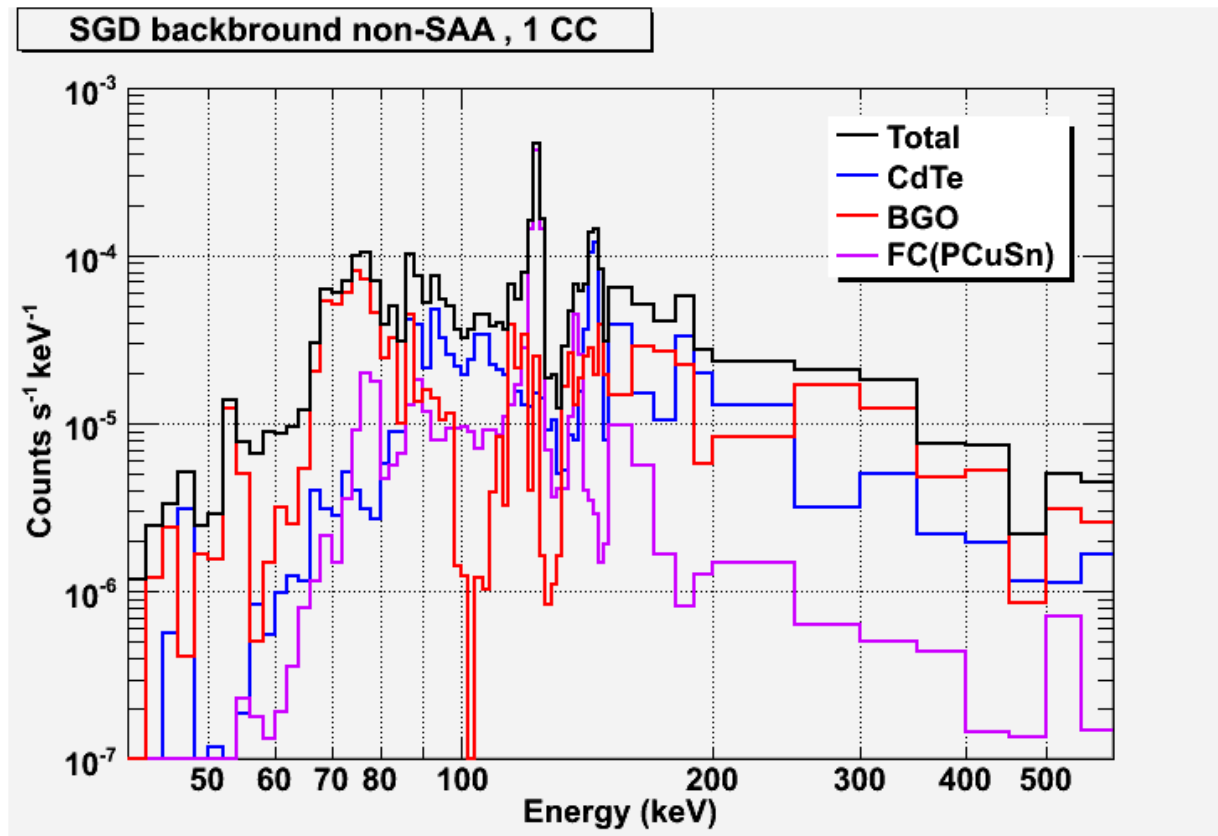


(p, pxn) 反応 ($_{83}\text{Bi}$ の生成)



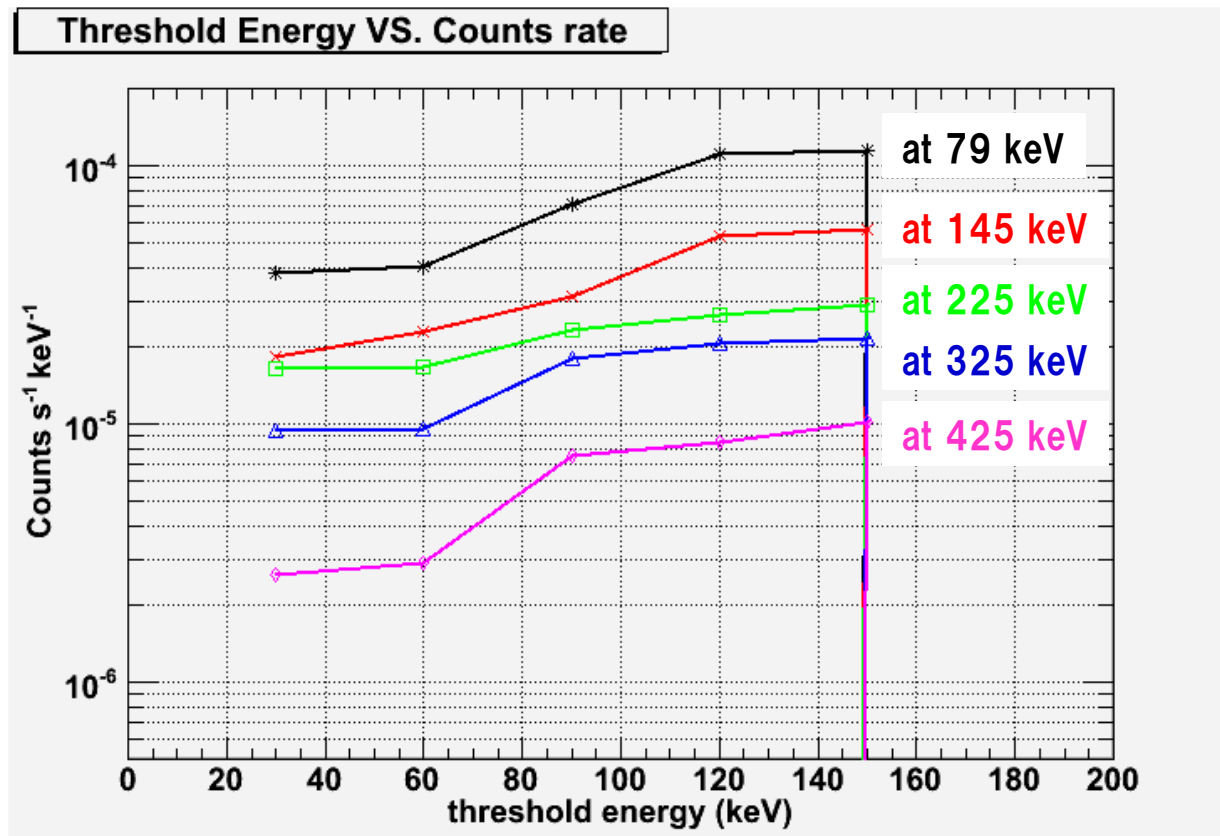
軌道上放射化BGの見積もり

- 軌道上放射化BG (コンプトンモード, SAA通過なし, BGOスレッショルド 90 keV)
 - 連続成分ではCdTe, BGOの放射化がBGに効く
 - ライン成分ではCdTe, BGOに加え、FCの放射化もBGに効く
(主要なラインと核種は地上放射化実験でも同定されている)



軌道上BGのBG0スレッシュヨルド依存性

- スレッシュヨルド VS. カウントレート
 - 60 keVまではスレッシュヨルドを下げるほどBGを低減できる
 - Biの蛍光X線 ($K\alpha$: 77.1 keV, $K\beta$: 87.3 keV) エスケープイベントを落とせるため



まとめ

地上実験と比較し、Geant4、MGGPODについて物理プロセスの検証・修正を行った。その結果、CdTe、FC、BGO、という検出器の構成要素の実験結果をおおむね再現できた

- CdTe
 - 数日から1ヵ月にわたり、ライン・連続成分共に地上放射化実験を再現。ただし、長期のBGでは連続成分が実験と比較してfactor 2程度低い。
- FC
 - 半日から数週間にわたり、ライン・連続成分共に地上放射化実験を再現。
- BGO
 - BGOの地上放射化実験および文献における核種の生成量をfactor 2程度の精度で再現。

軌道上バックグラウンドを予想

- 主成分はCdTeおよびBGO、ラインにはFCも効く。
- スレッシュホールド依存性を理解

今後の課題

- 短寿命核種の生成の検証
- CXBや大気ガンマ線の影響