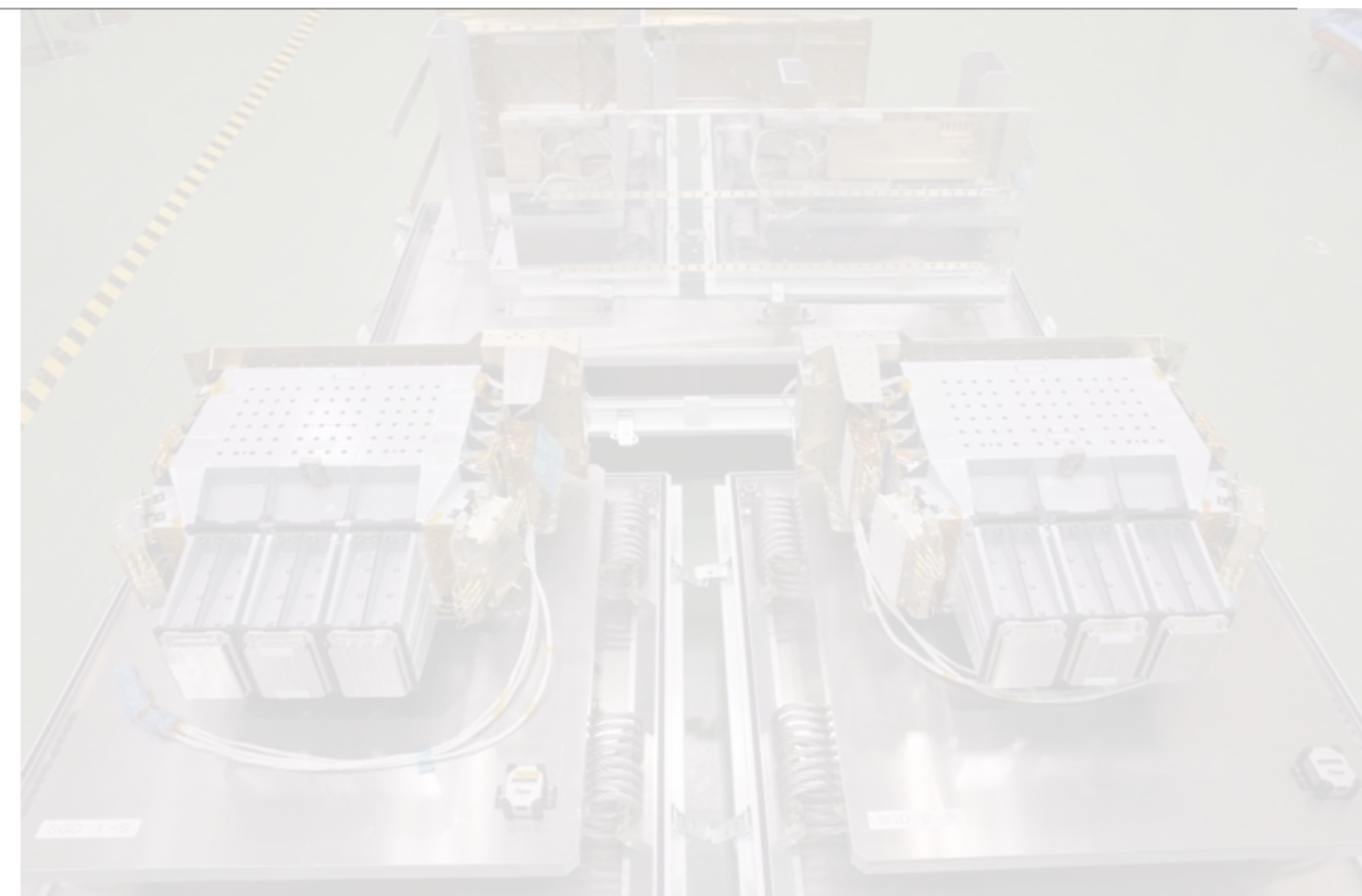
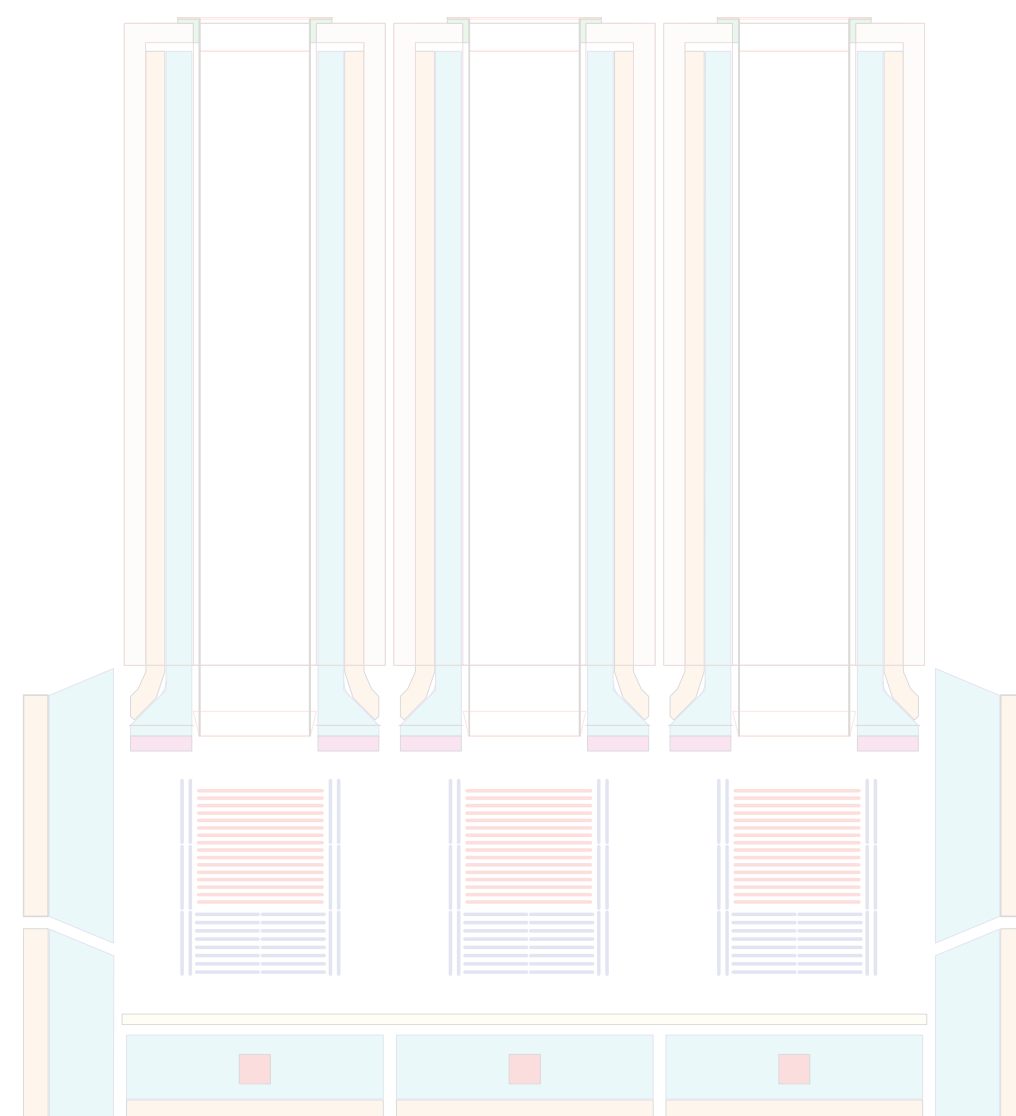


ASTRO-H (ひとみ) 衛星SGDの成果

(軌道上で初めて実現した半導体コンプトンカメラ)

渡辺 伸 (ISAS/JAXA)



ASTRO-H SGD

ASTRO-H observational capabilities

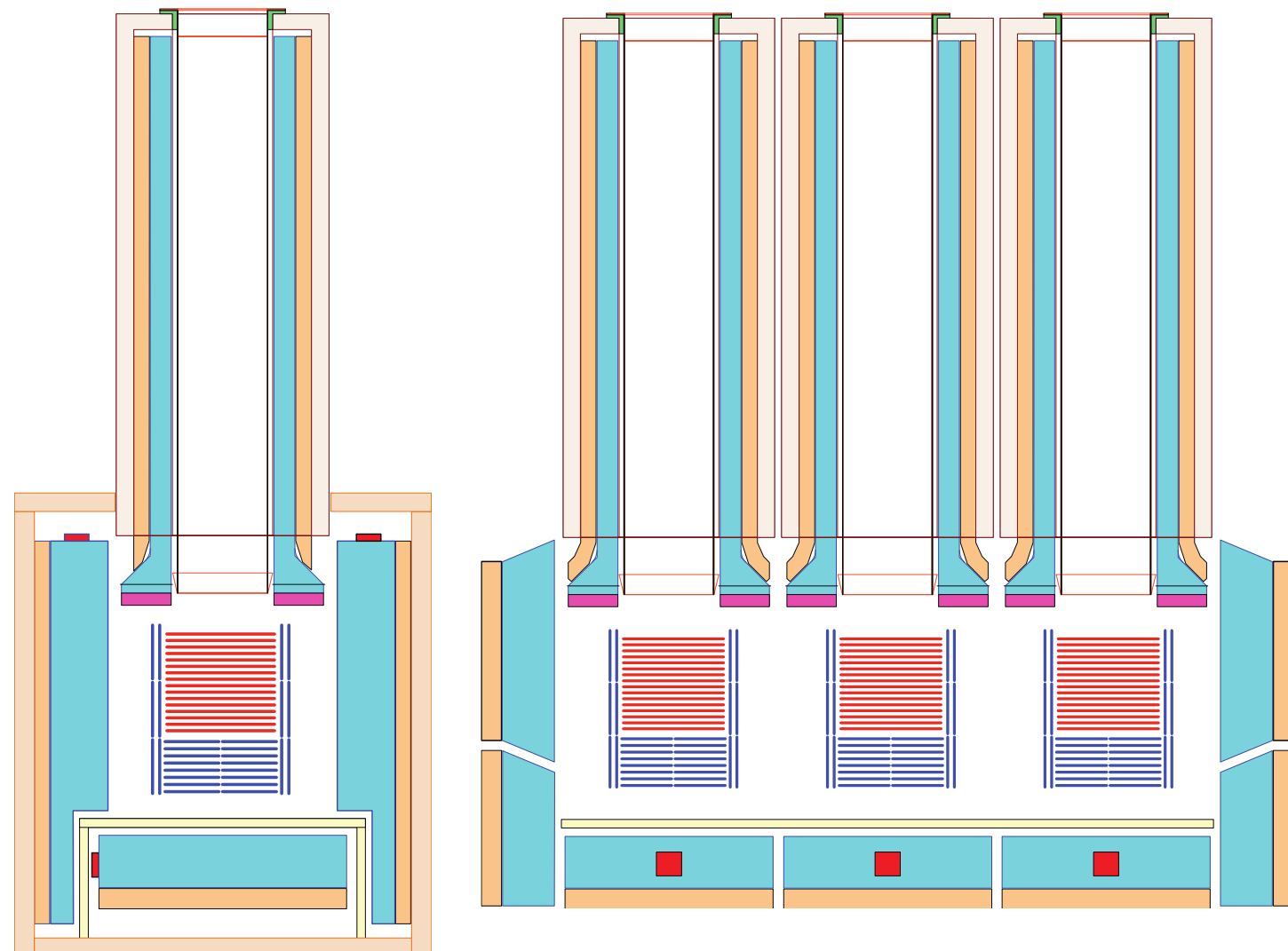
1. ---Hard X-ray imaging spectroscopy---
2. ---The micro-calorimeter observation---
3. **The most sensitive wide-band observation over an energy range from 0.3 to 600 keV.**

SGD: Soft Gamma-ray Detector

60--600 keV sensitive observation

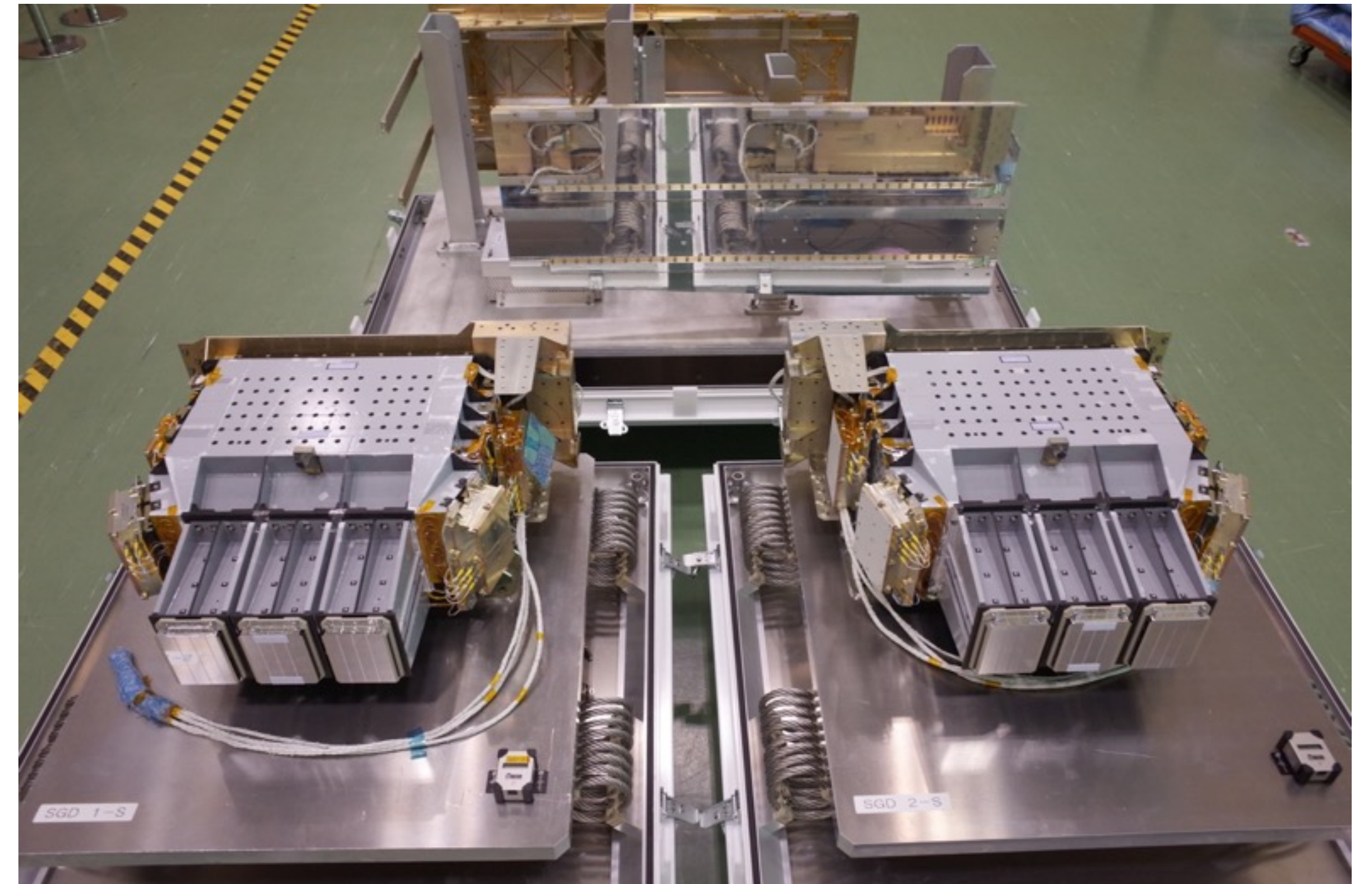
To achieve low background observations,

New concept: Narrow FOV Compton Camera



SGD-
DPU,
DE,
AE

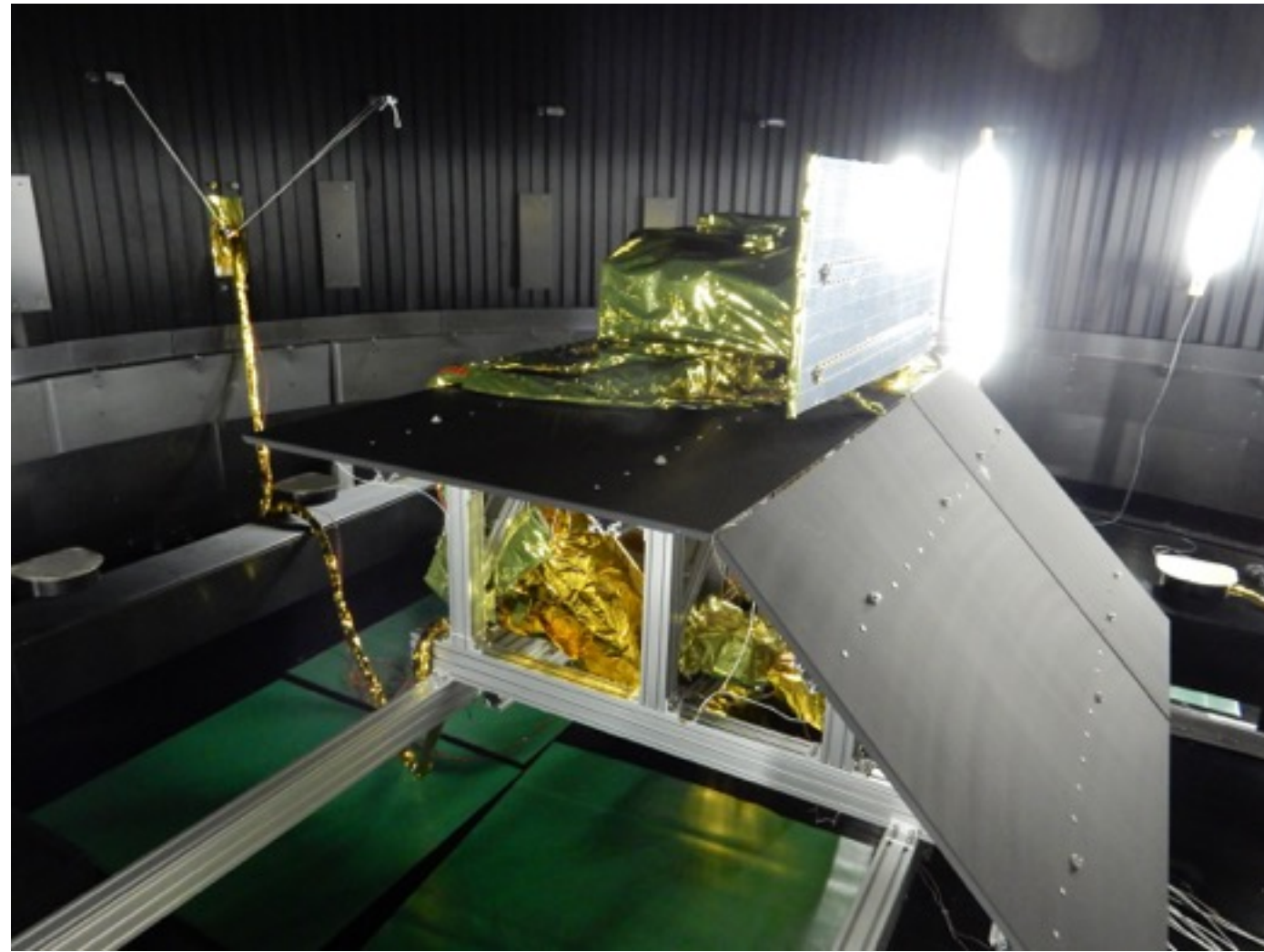
SGD-S (with SGD-S radiator)



開発の記録(1)

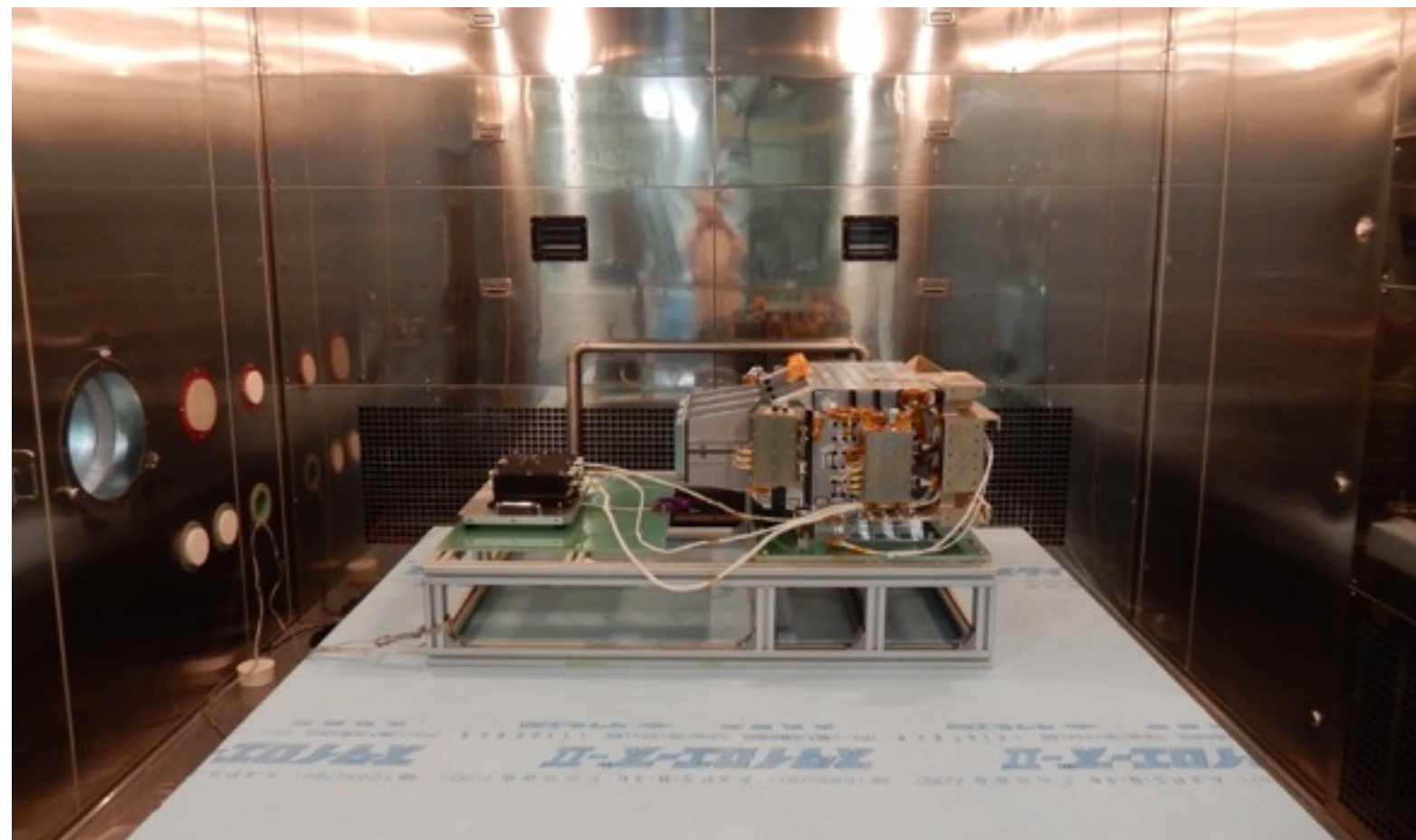
SGDサブシステム試験
2014/11—2015/3

単体熱真空試験



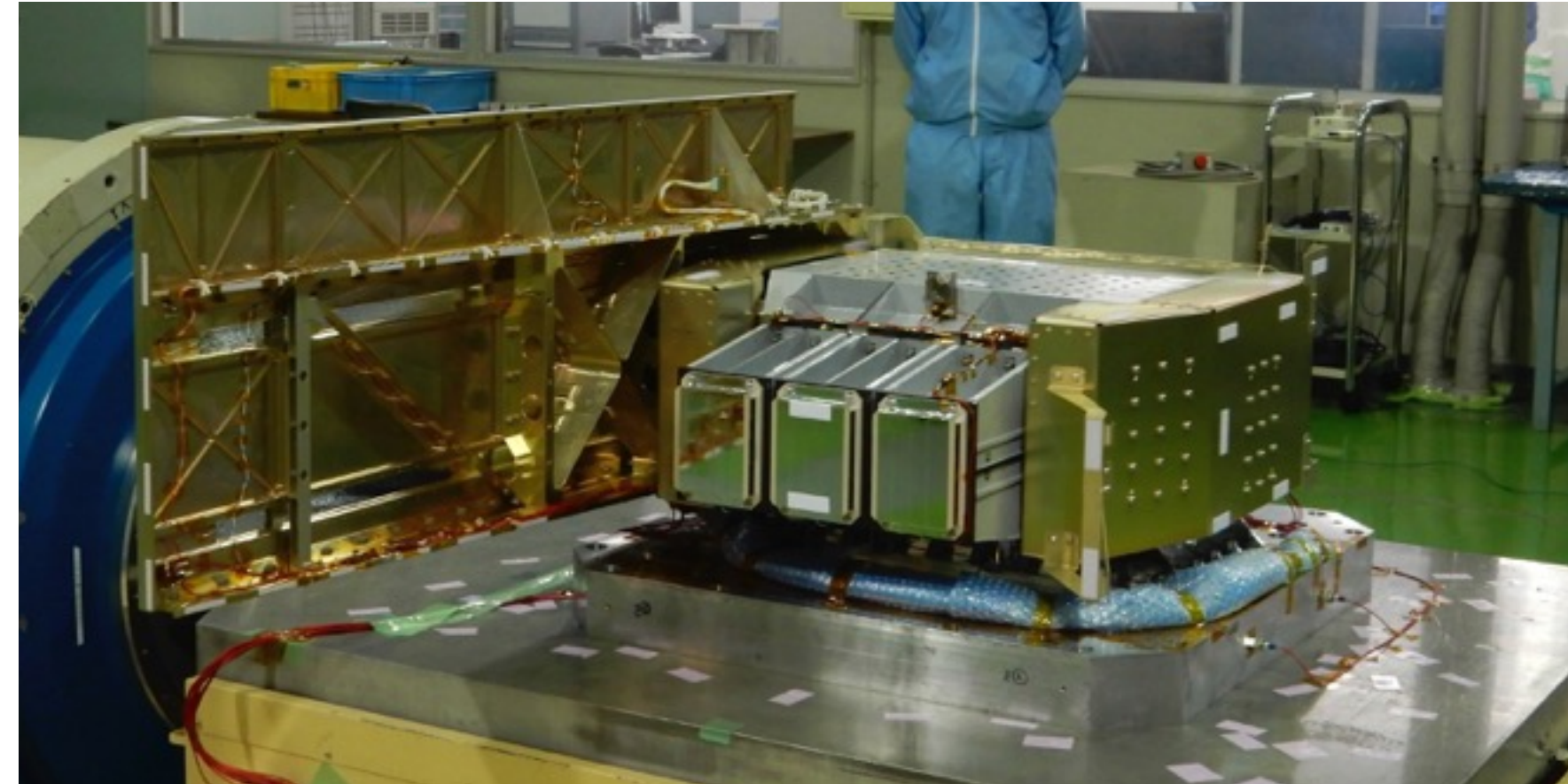
SGD1: 2014/12, SGD2:2015/1

性能確認試験（線源キャリブレーション）



SGD1: 2014/11-12 SGD2: 2015/2

振動試験



SGD1: 2015/1, SGD2: 2015/2-3

音響試験

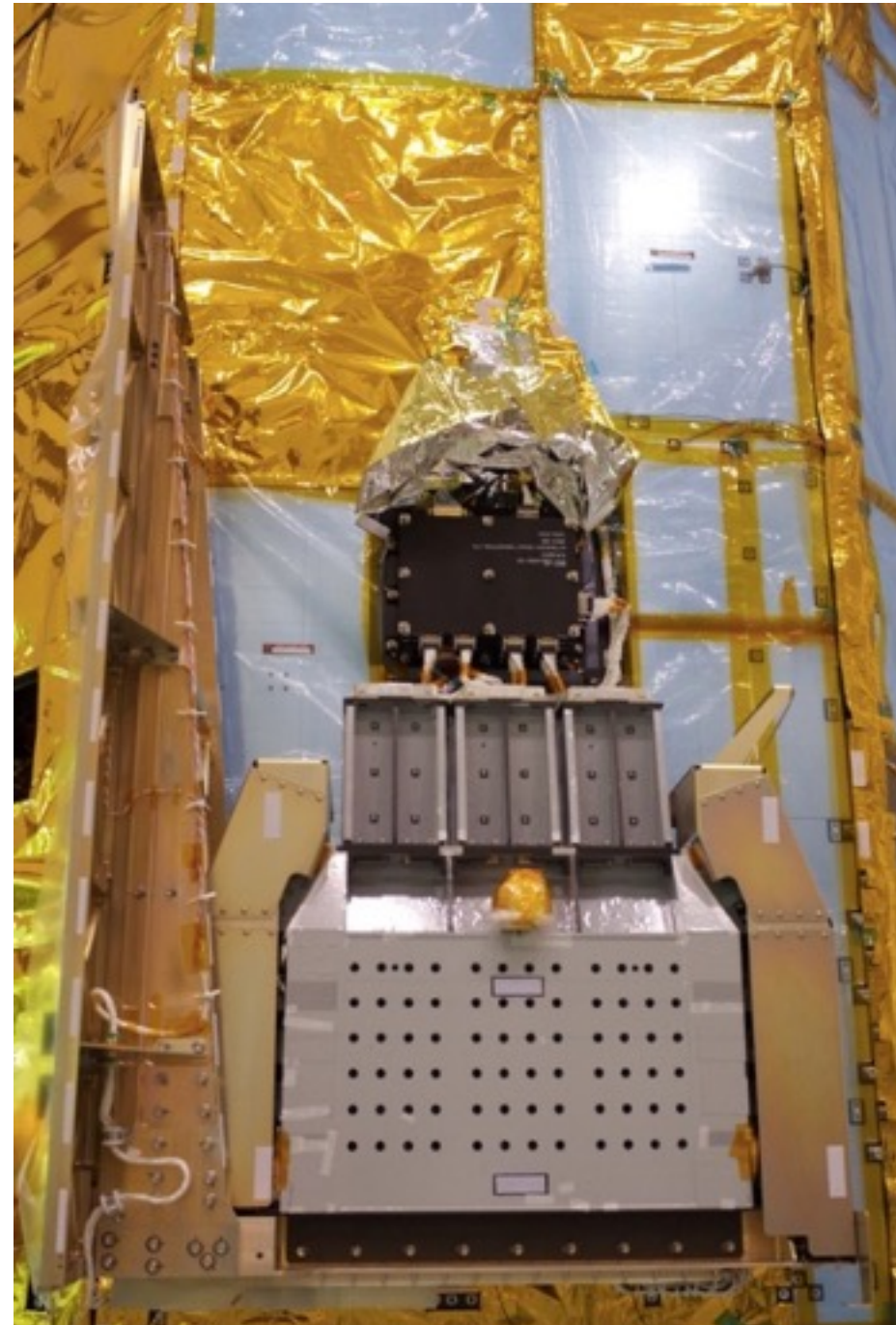


SGD1: 2015/1

SGD2: 2015/2

開発の記録(2)

SGD1-S, AE



SGD2-S, AE

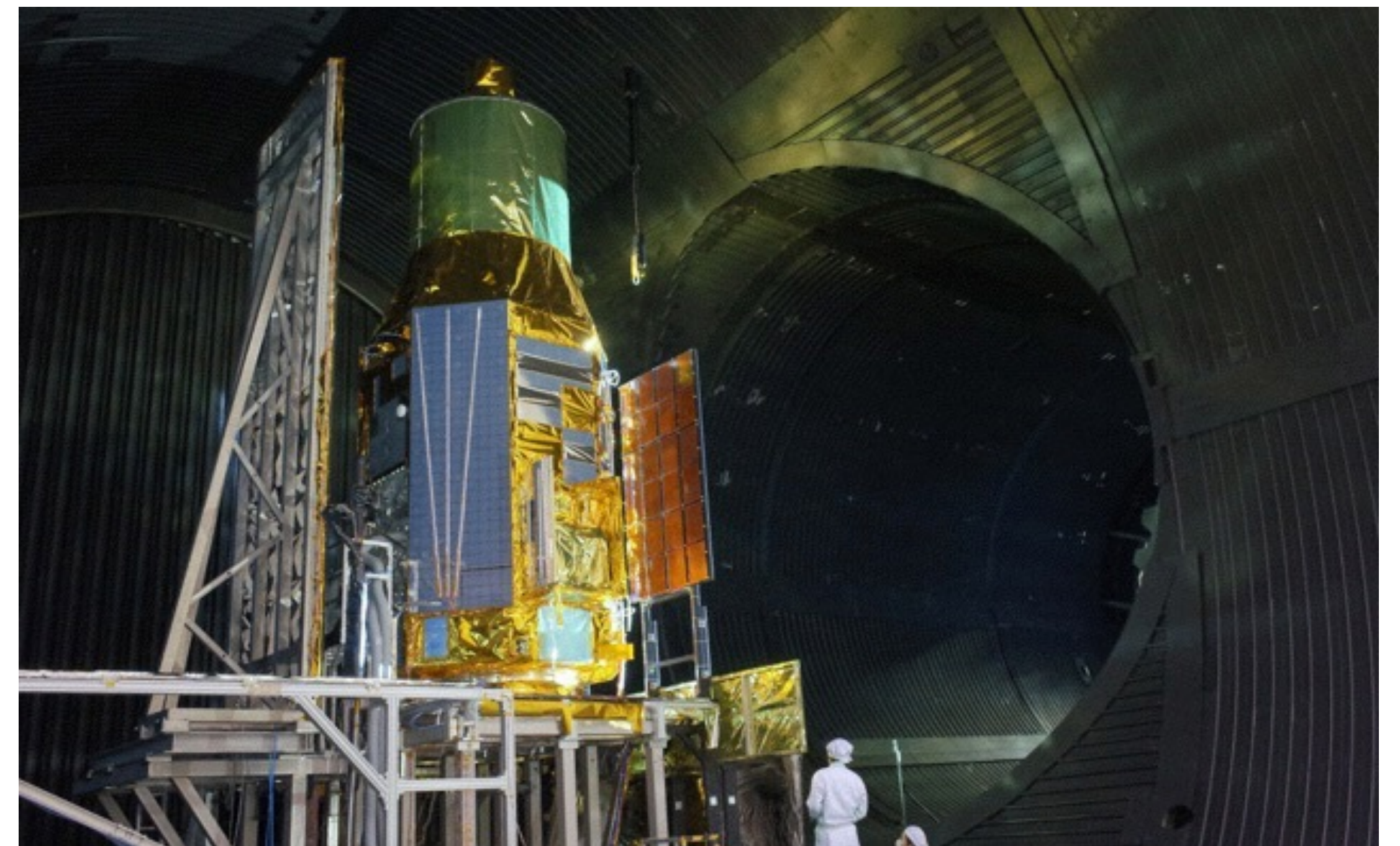


2015/4: 衛星への組み付け

衛星のサイドパネルに組み付け

衛星熱真空試験(2015/6-2015/7)

地上でのバックグラウンドデータ
を取得。およそ600ksec分。



軌道上でのSGD立ち上げ運用

17 Feb. 2016: ASTRO-H Launch,
28 Feb. 2016: EOB deployment

- Mar. 1 SGD **DE**, **DPU** power on, initialization, **AE** power on
- Mar. 3–13 SGD-S temp. setting/heater setting change($0^{\circ}\text{C} \rightarrow -25^{\circ}\text{C}$)
- Mar. 15–24 **SGD-S** power on, **H.V.** up operation, Mode change to the nominal observation



SGDコンプトンカメラでの観測

	Mar. 20	21	22	23	24	25
Target	G21.5-0.9			RXJ1856.5-3754		Crab
SGD1CC1	Nominal Mode(Normal 1)					
SGD1CC2	Nominal Mode(Normal 1)					
SGD1CC3	Nominal Mode(Normal 1)					
SGD2CC1	Nominal Mode(Normal 1)					
SGD2CC2					Nominal Mode	Si Only
SGD2CC3					Nominal Mode	Si Only

Crab observation: ~5 ks(dead-time corrected).

note: CdTe H.V. of SGD2 CC2,CC3 was set to 0V due to one noisy channel in the CdTe detector of SGD2 CC2. Only Si signals were obtained from these two Compton cameras.

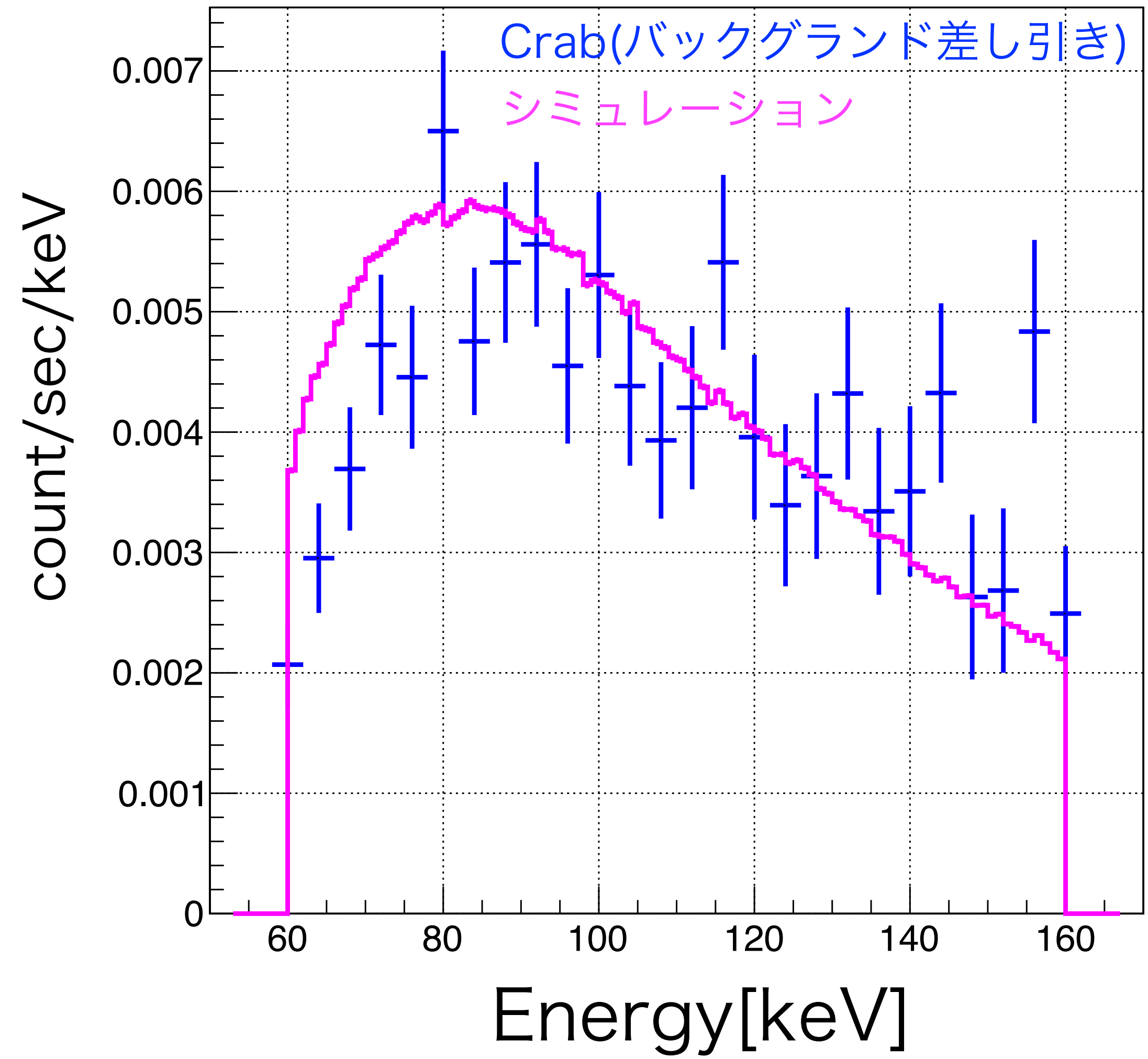
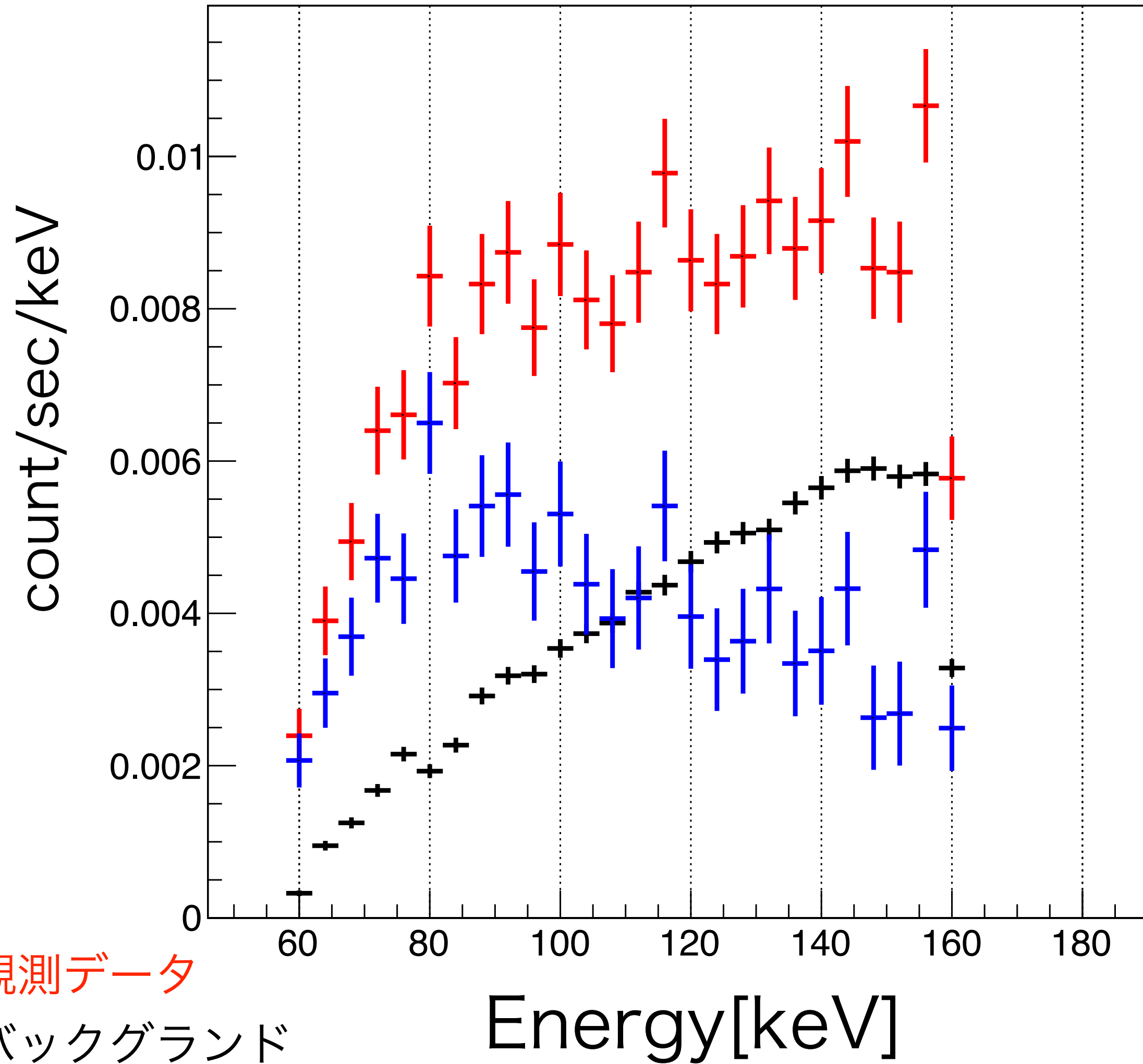
The data before the maneuver to Crab is useful for background study.

SGD1CC1: ~5days, SGD1CC2, CC3: ~4days

SGD2CC1: ~2days, SGD2CC2,3 ~1 day

Crab観測

天体からのガンマ線を観測できたのは”かに星雲”のみ(観測時間~5ksec)[論文準備中]



天体(開口部)からのガンマ線に対しては設計通りの検出効率

SGDのコンセプト

New concept: Narrow FOV Compton Camera

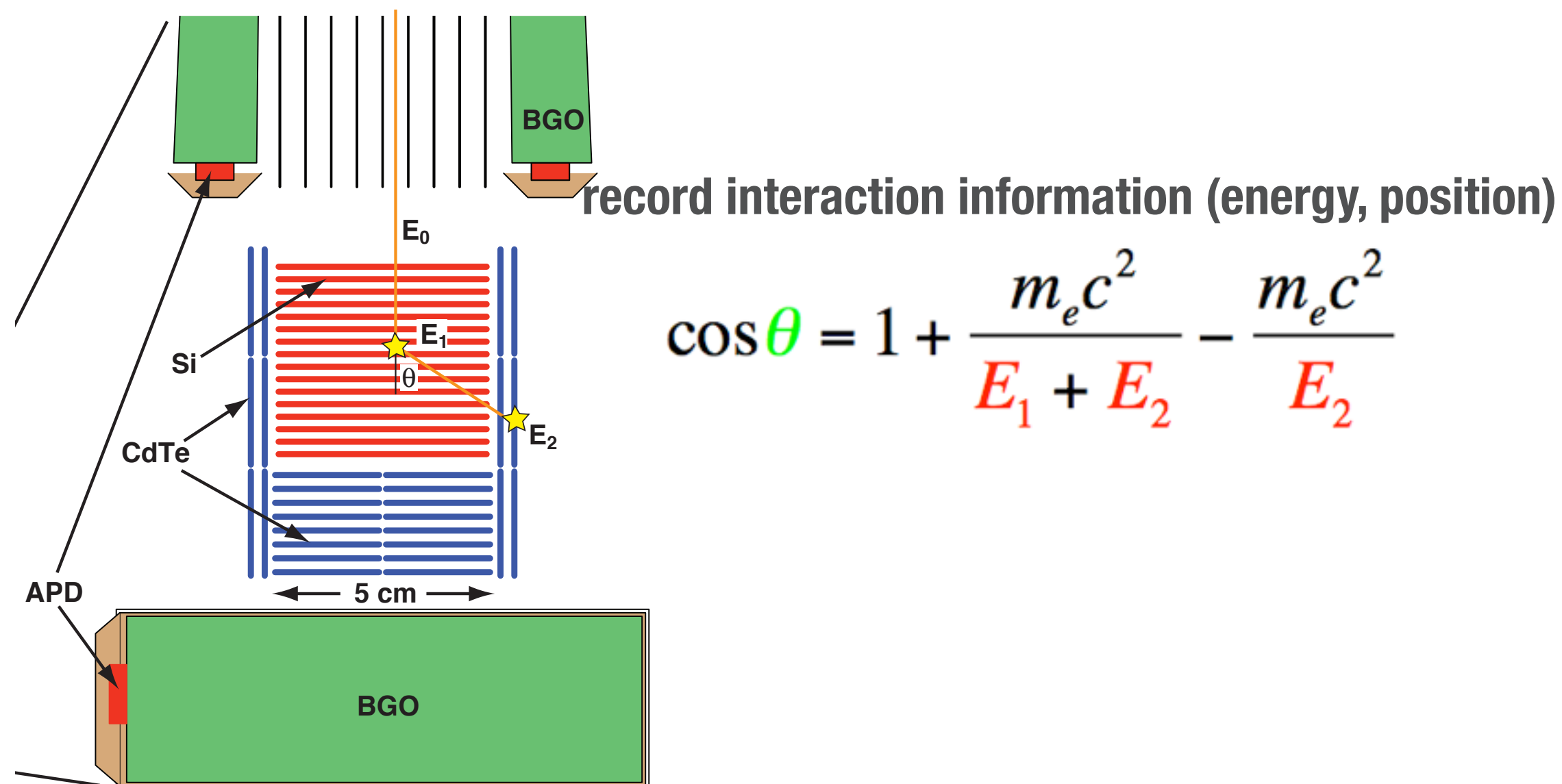
Suzaku HXD concept

(narrow FOV, BGO active shield, fine collimator)
+ new: Si/CdTe semiconductor Compton camera

井戸型のBGOアクティブシールドとファインコリメータで
すざくHXDと同じ水準の低バックグラウンドを実現。
さらに主検出部を単体の検出器からコンプトンカメラに置き換え、
さらなる低バックグラウンド化。

コンプトンカメラでバックグラウンド除去：
ガンマ線のみコンプトン散乱（反応の情報を記録し、
コンプトン散乱の関係から外れるものを除去）

散乱角の情報（求めたコンプトン散乱角の情報から
開口部以外から入射したものを除去）



$$\cos \theta = 1 + \frac{m_e c^2}{E_1 + E_2} - \frac{m_e c^2}{E_2}$$

SGDコンプトンカメラへの要求性能と設計思想

SGD観測性能に対する要求

- Effective Area: $> 20 \text{ cm}^2 @ 100 \text{ keV}$
- Energy Resolution: $< 2 \text{ keV (FWHM) @ 60 keV}$ or $< 2\% \text{ (FWHM)}$
- Energy Range: 60—600 keV

Si-CdTe Compton camera constraint

size: $\sim 10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ (detection area $\sim 5 \times 5 \text{ cm}^2$)

number: 6 (in total ASTRO-H)

power: $< 5\text{-}6 \text{ W/Camera}$

Si:

detection area $> 5 \times 5 \text{ cm}^2$

total thickness $\sim 2 \text{ cm}$ (50% interaction efficiency @100 keV)

32 layers (0.6 mm thick devices)

CdTe:

covering 50% solid angle of Si part

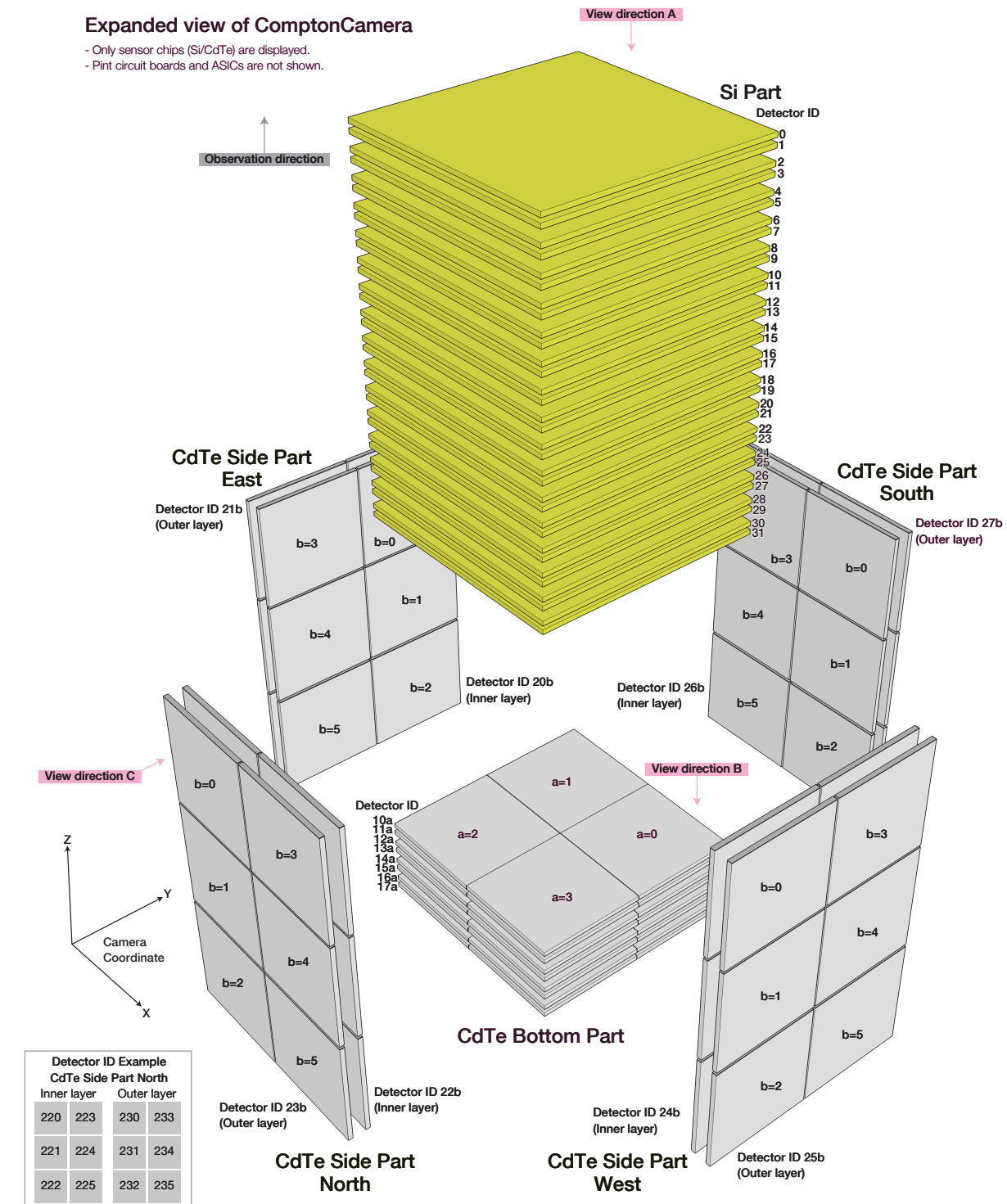
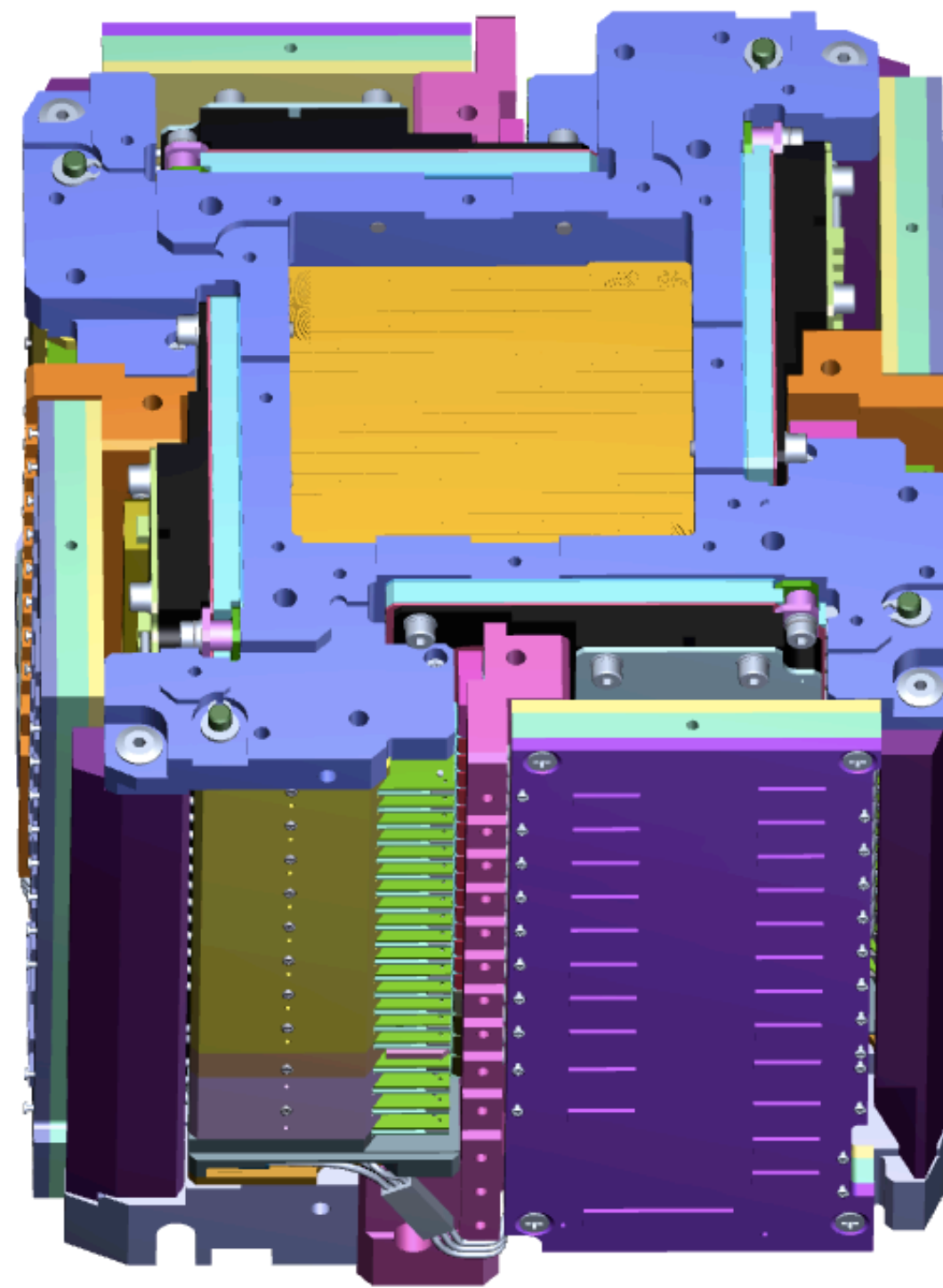
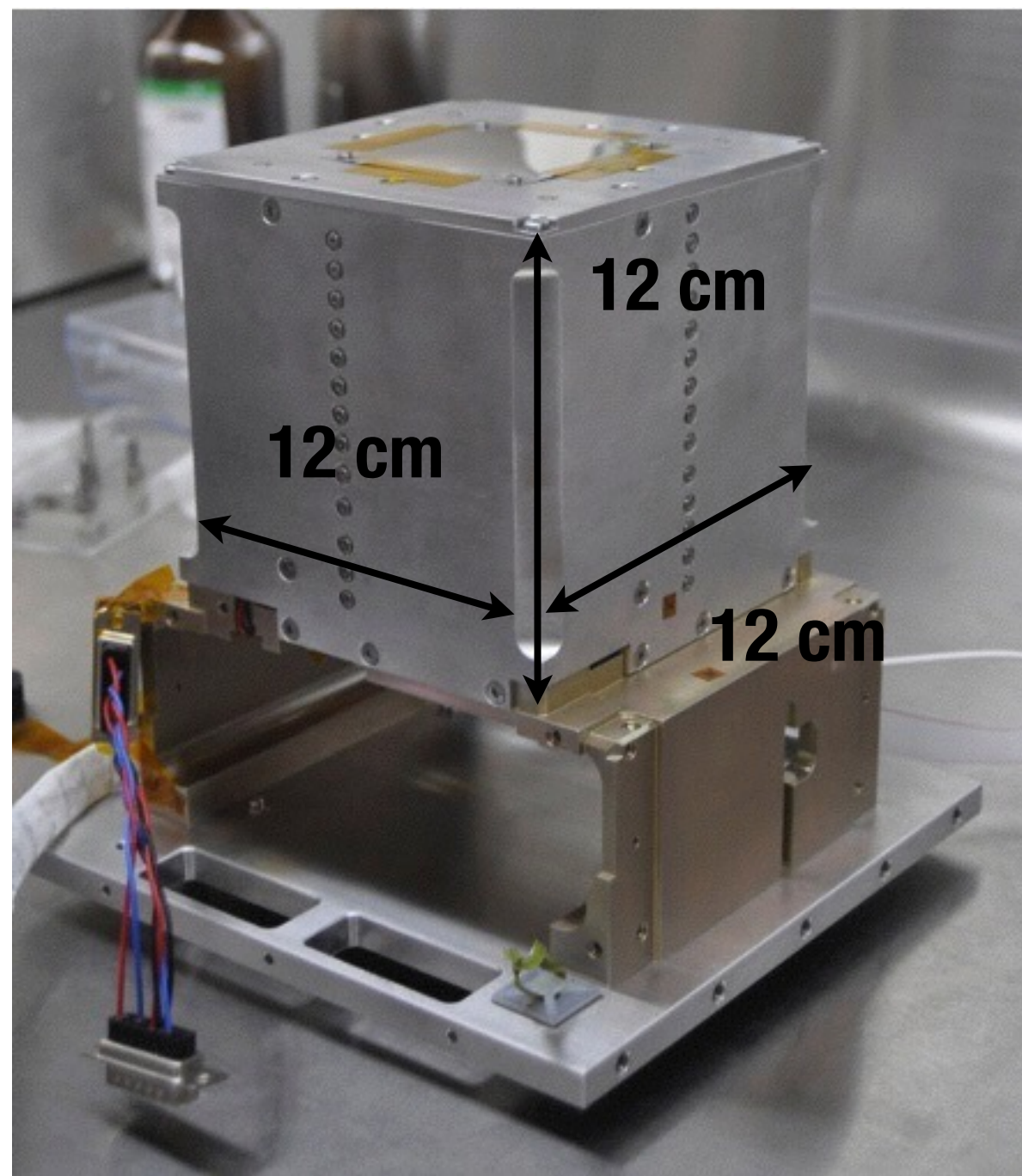
ASIC: readout

only digital I/O (inc. internal ADC)

low power ($> 10000\text{ch} \rightarrow < 0.5\text{mW/ch}$)

noise performance 100--200e-(ENC) (with a capacitance of several pF)

SGDコンプトンカメラのデザイン



- 32 layers of 0.6 mm thick Si Pad
- 8 layers of 0.75 mm thick bottom-CdTe Pad
- 2 layers of 0.75 mm thick side-CdTe Pad
- 3.2 mm pitch pads for Si and CdTe
- Readout channels: 13312 ch / 1 Compton Camera

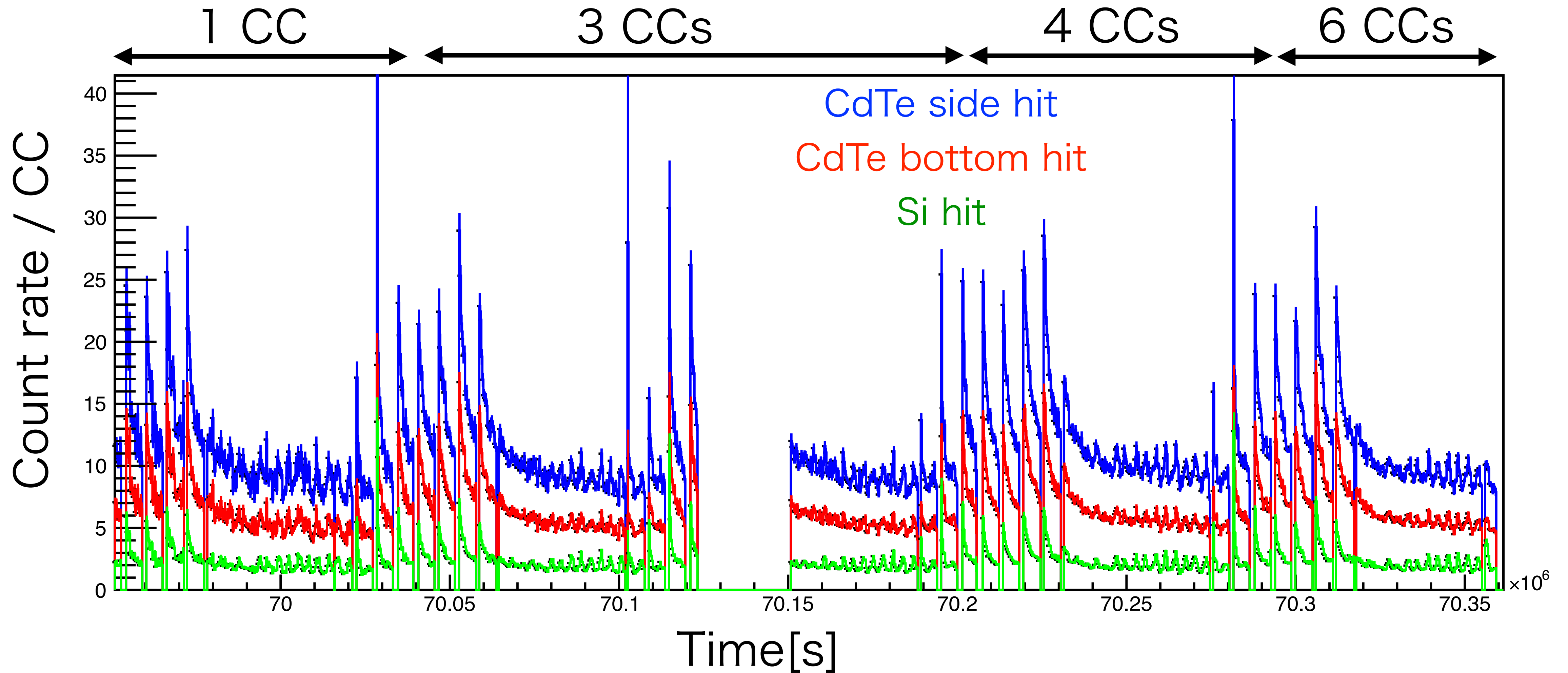
50cm³ Si
40cm³ CdTe

Si検出器とCdTe検出器を高密度に実装
低消費電力で良いエネルギー分解能

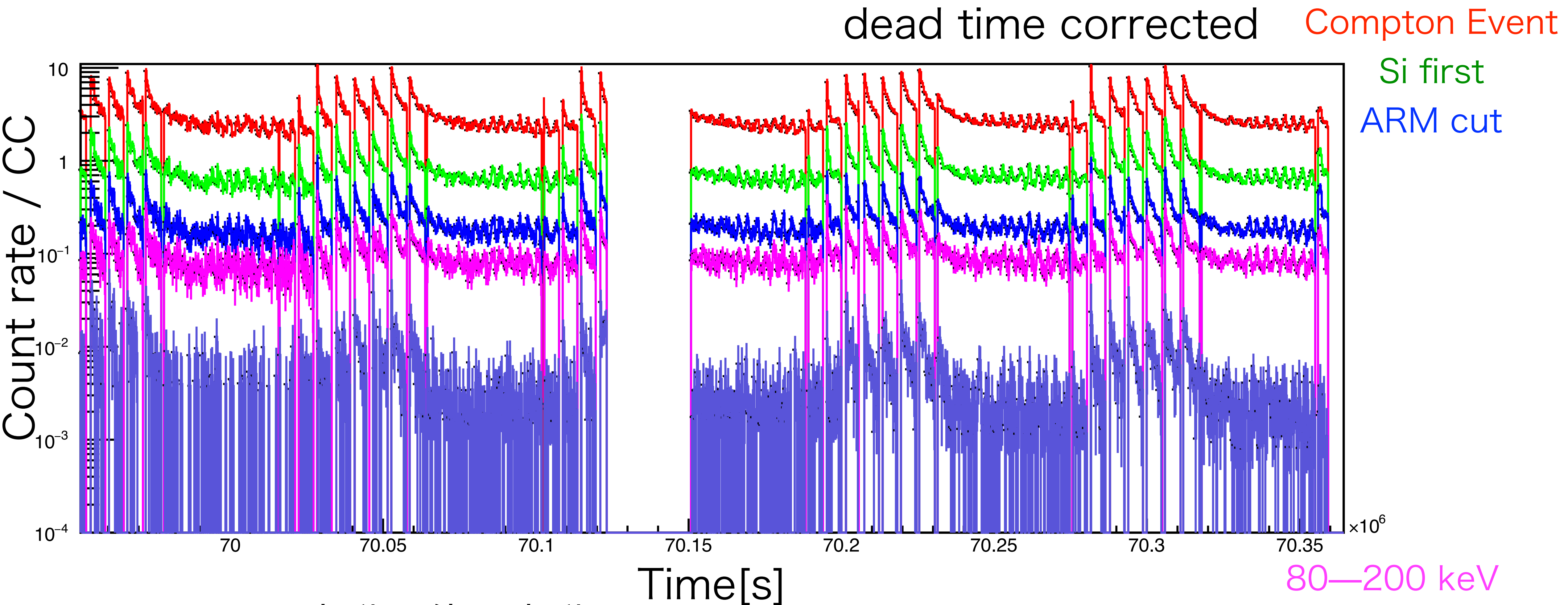
バックグラウンドイベントライトカーブ

コンプトンイベントではなく各検出器で
シグナルがあったイベント

dead time corrected



コンプトンイベントライトカーブ

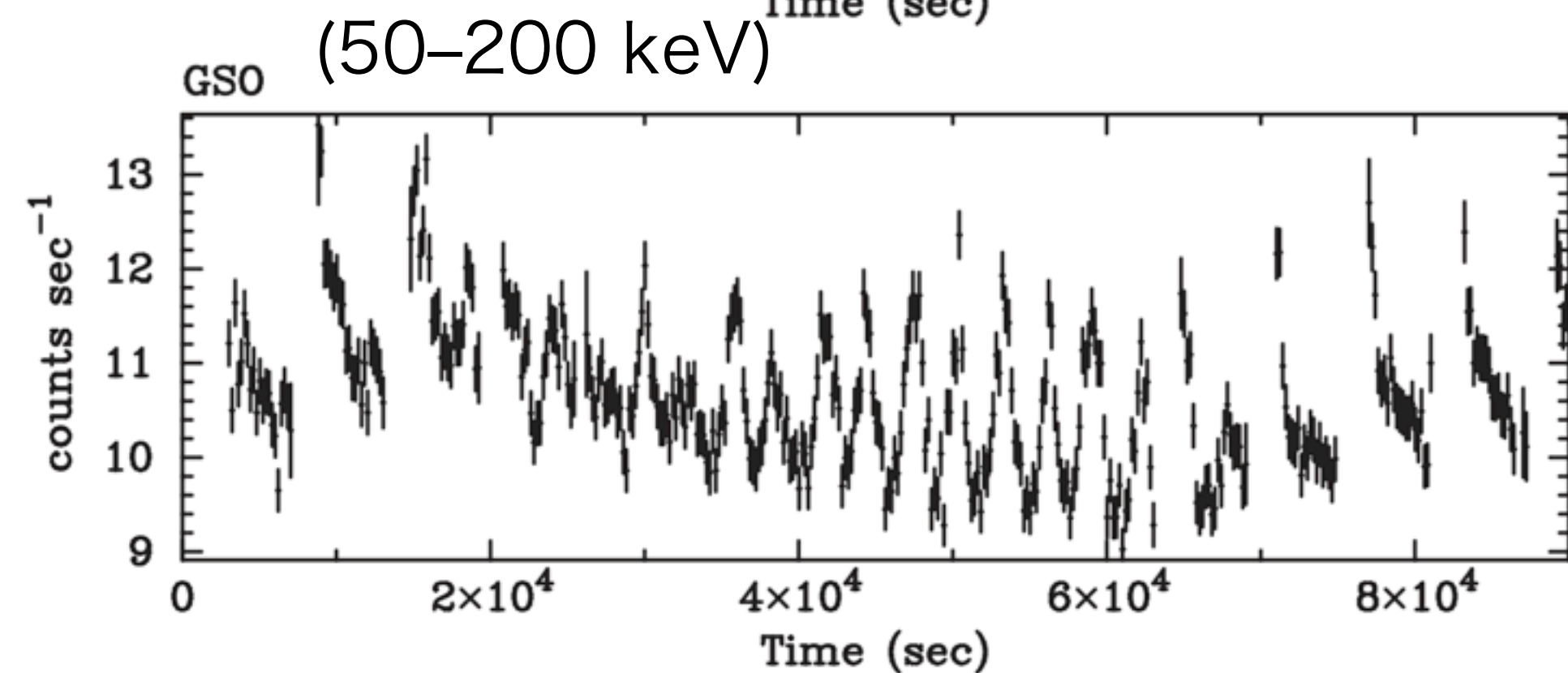
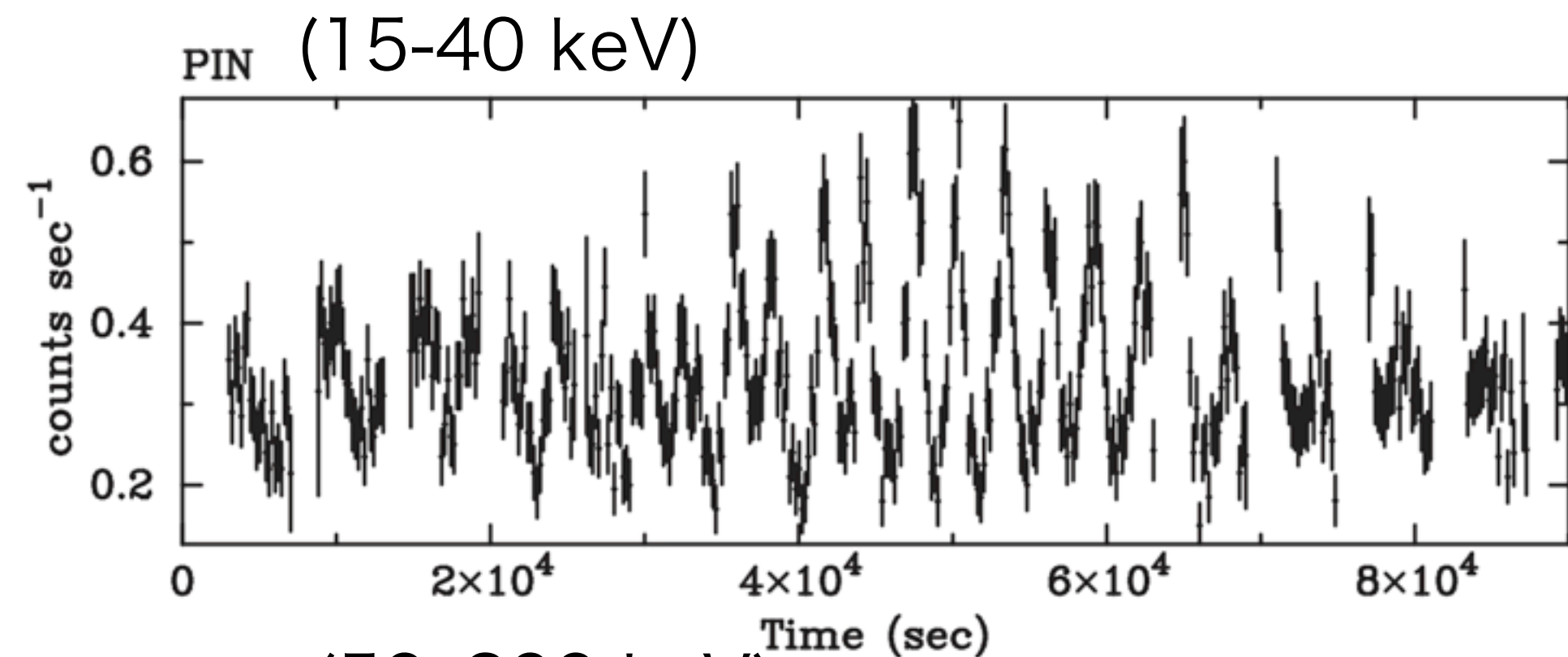


CORの変動に伴う変動

SAA通過に伴う大きな増加と経過時間に伴う減少

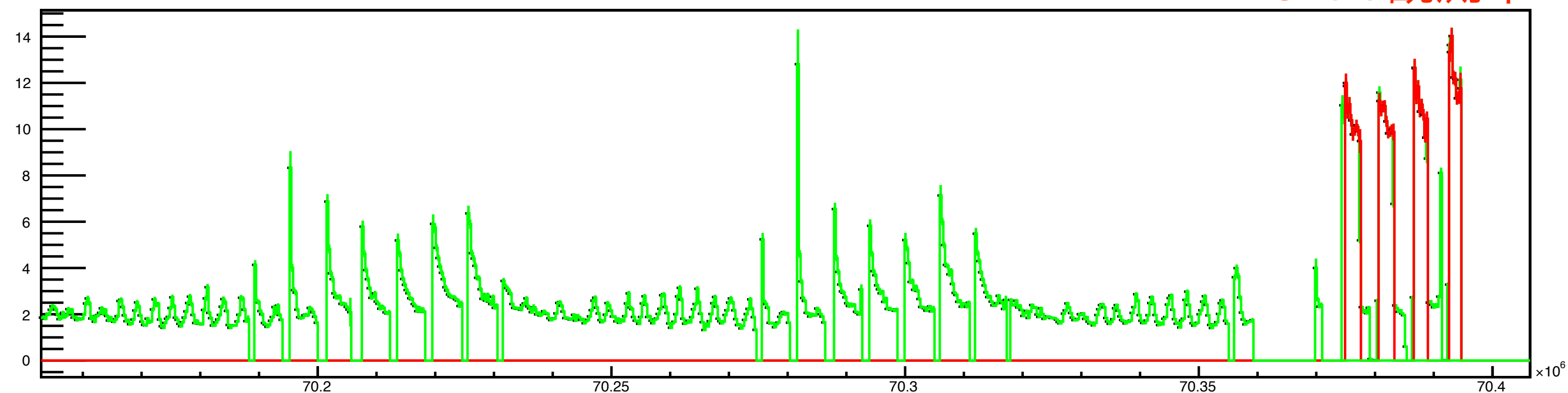
すざくHXDとの比較

HXD (Fukazawa et al. 2009)



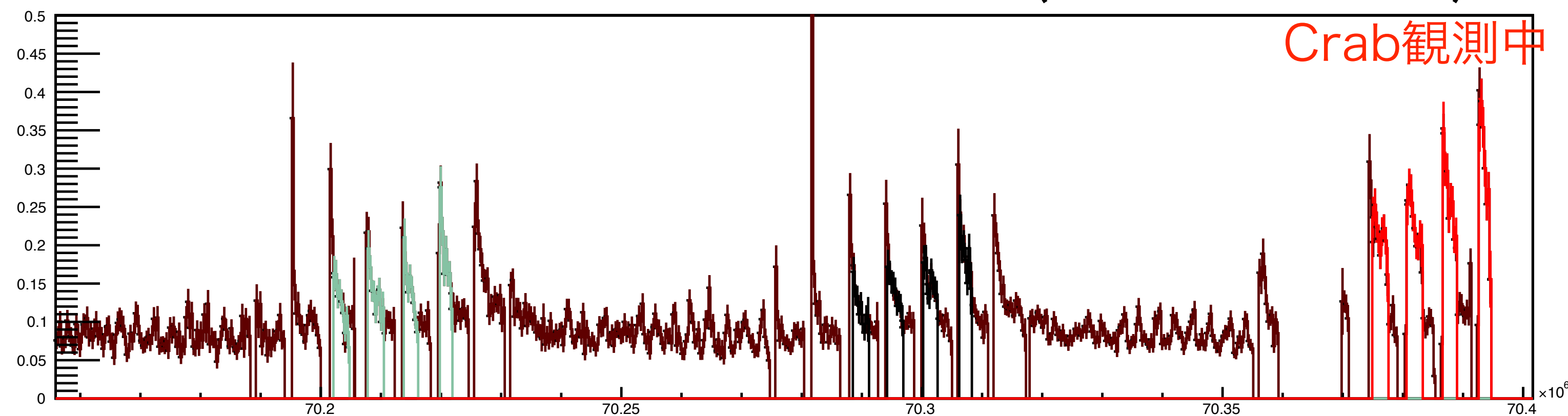
Si hitイベント

Crab観測中



コンプトンイベント 80-200 keV (セレクション後)

Crab観測中



すざくHXDに比べて、SAA通過後の増分の割合が大きい。

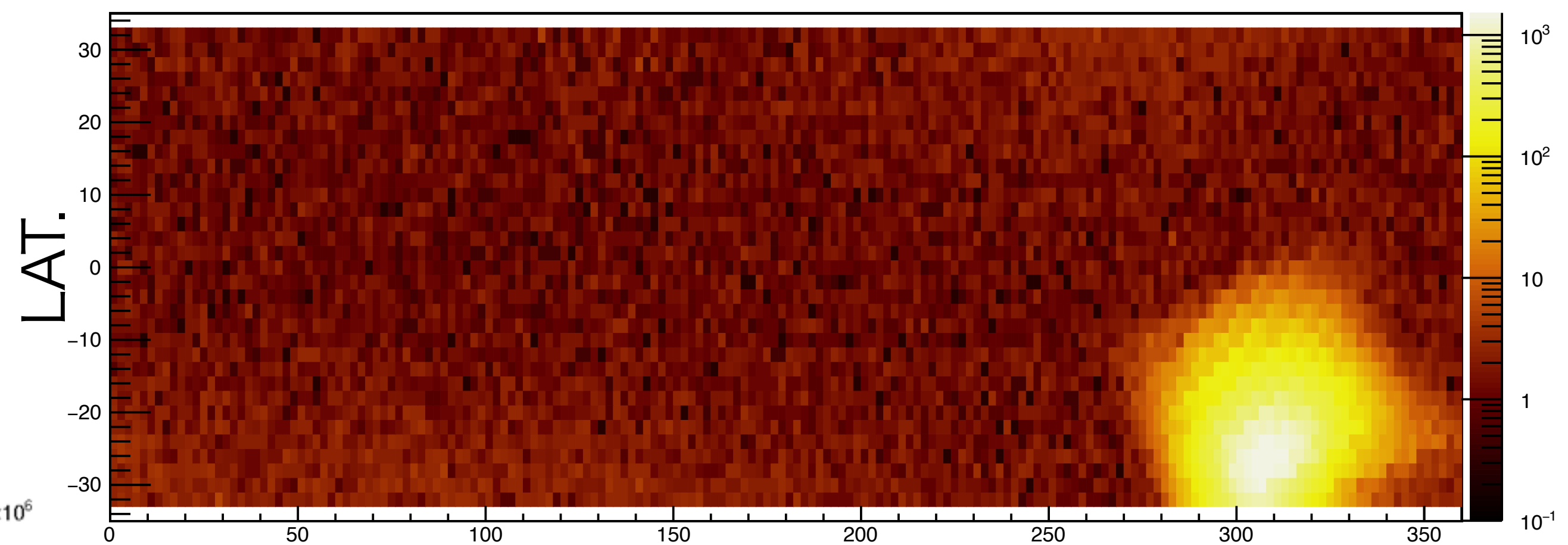
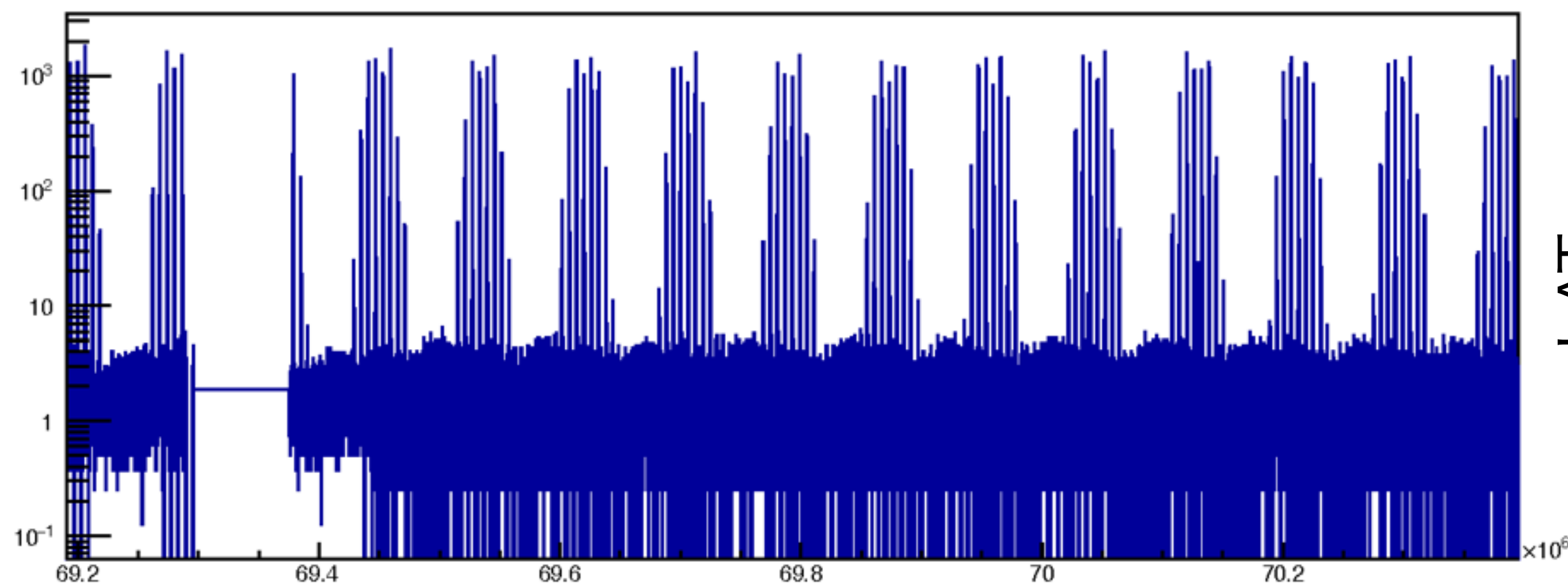
(コンプトンカメラ内物質の放射化。短期成分が多い。)

BGOシールド内の放射線環境

cnt/s

ASTRO-H HXI APD (Particle Monitor)

cnt/s



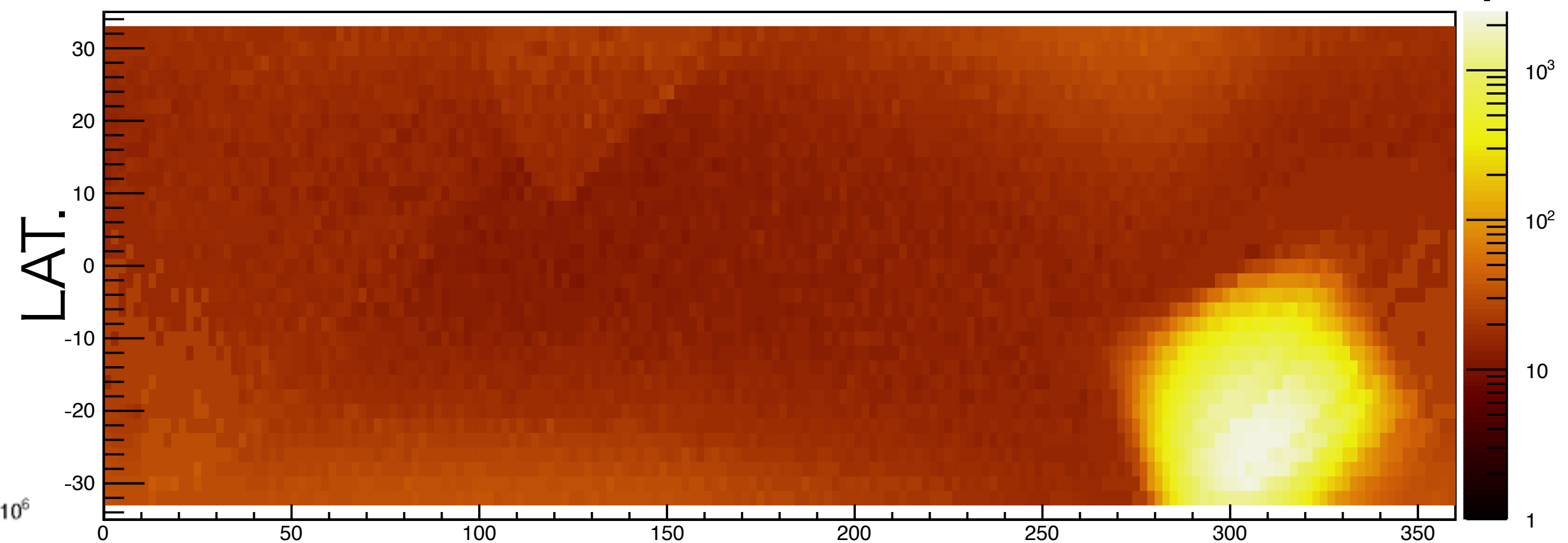
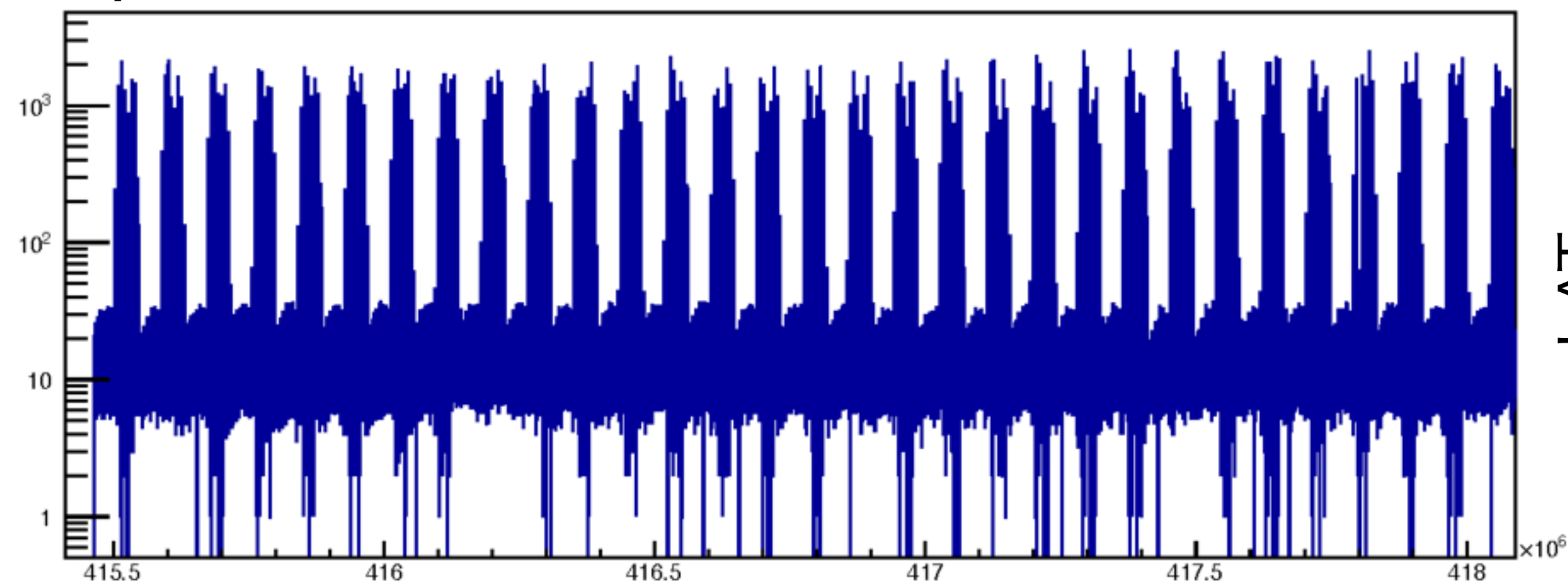
cnt/s

pinudrate_long_u02

HXD PIN UD

map_rate_up_w02

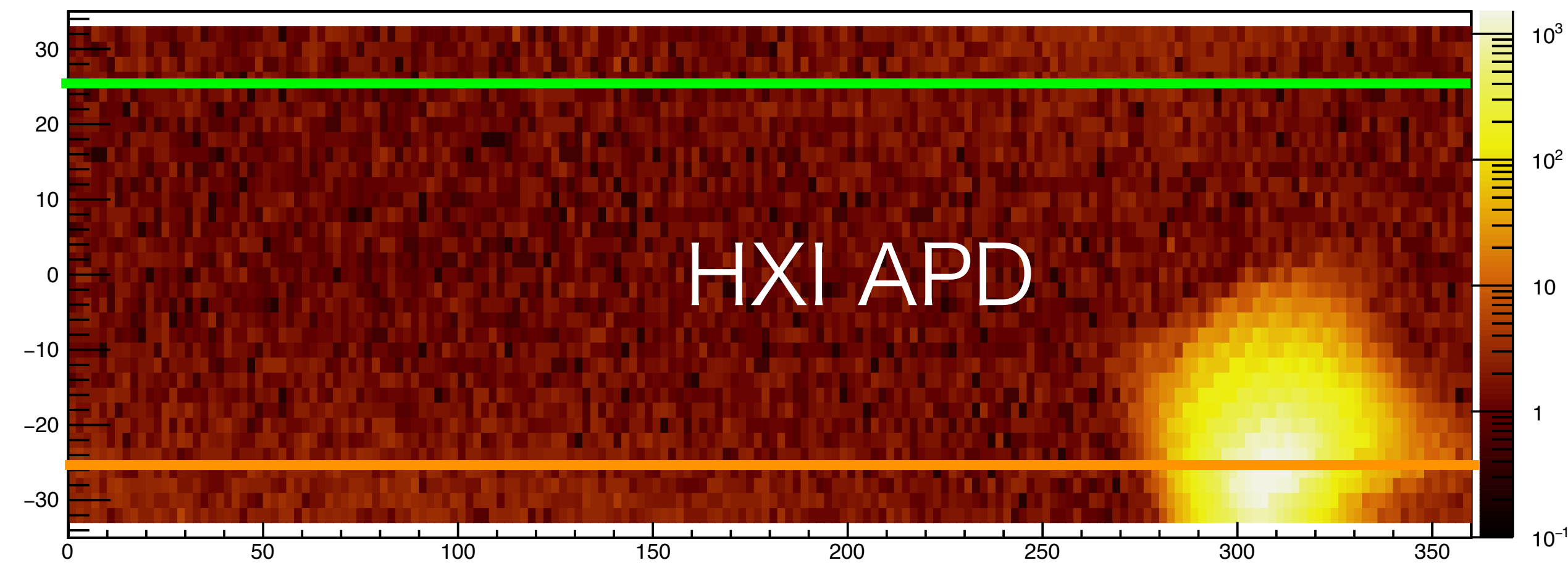
cnt/s



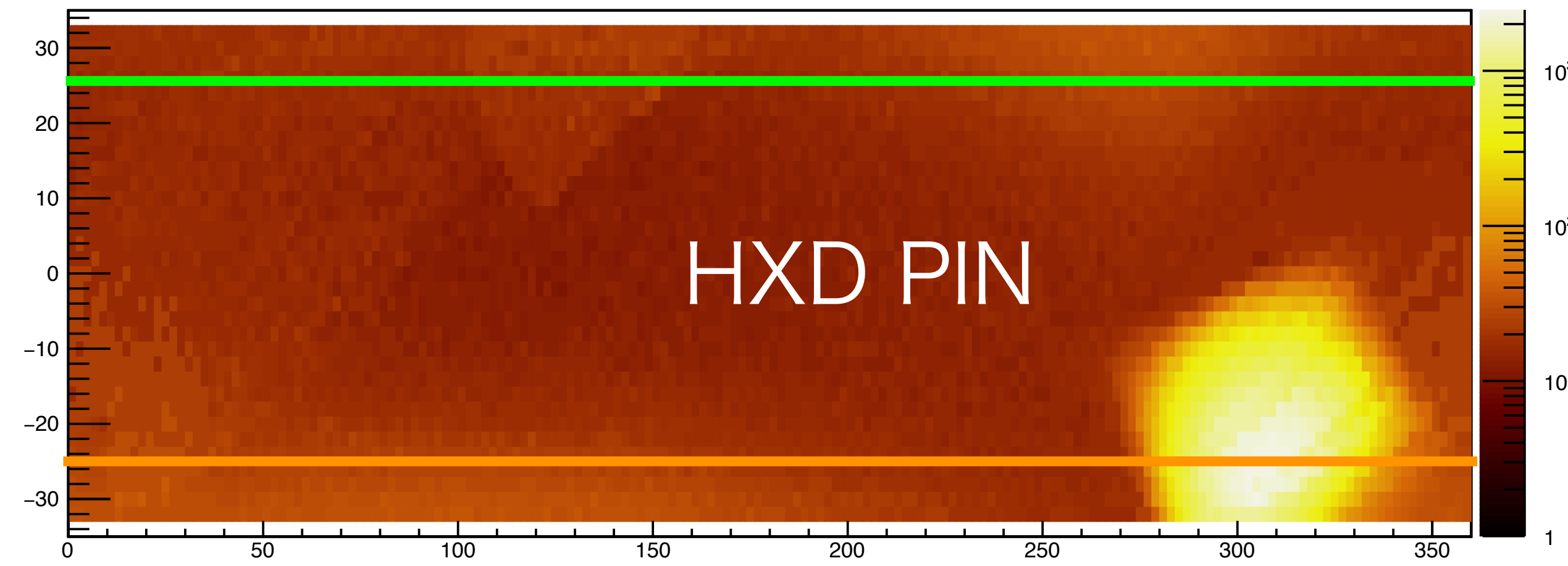
LON.

BGOシールド内の放射線環境

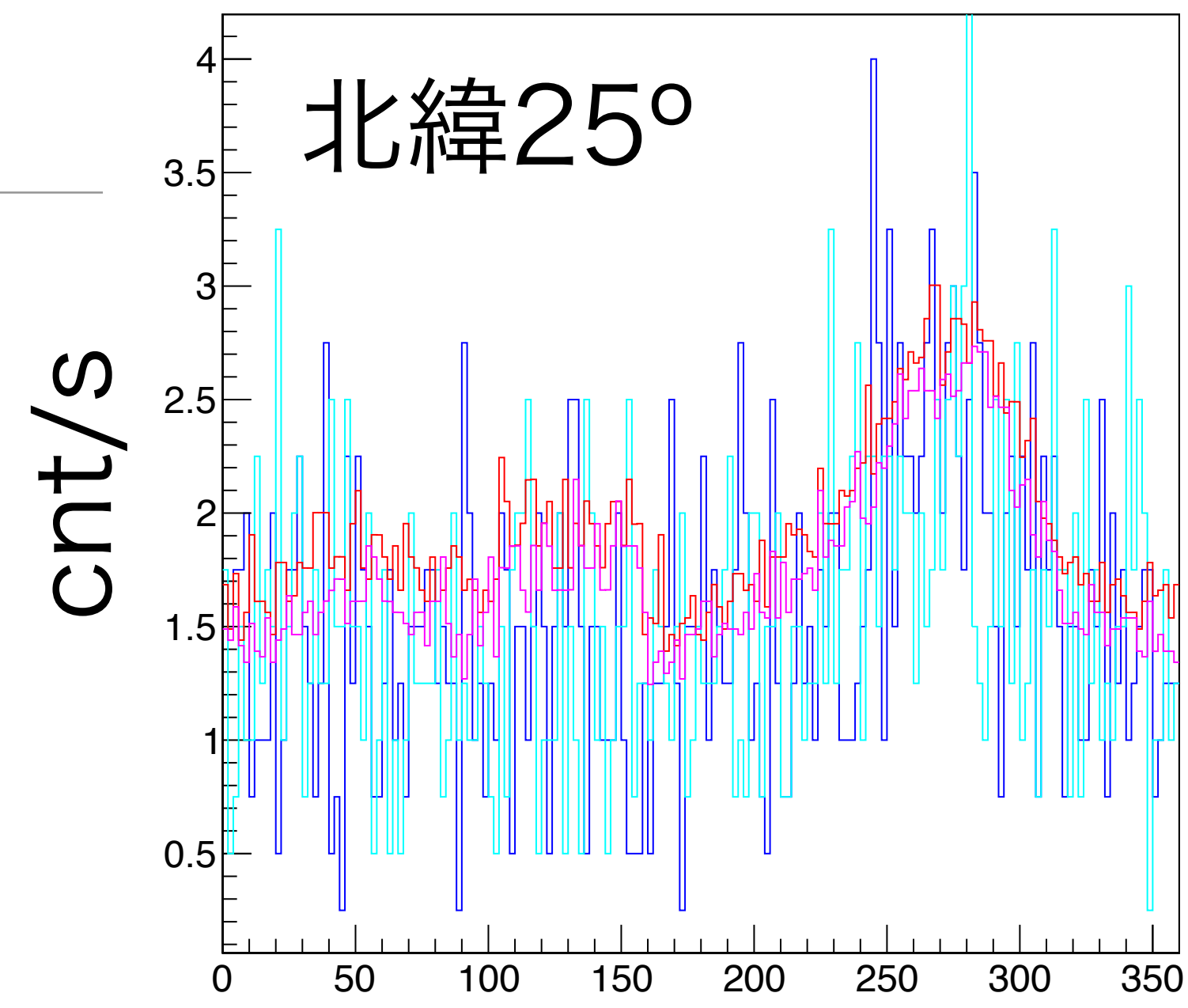
map_rate_hx1_up



HXI APD



HXD PIN



北緯25°

HXI1 APD

HXI2 APD

PIN W02

PIN W22

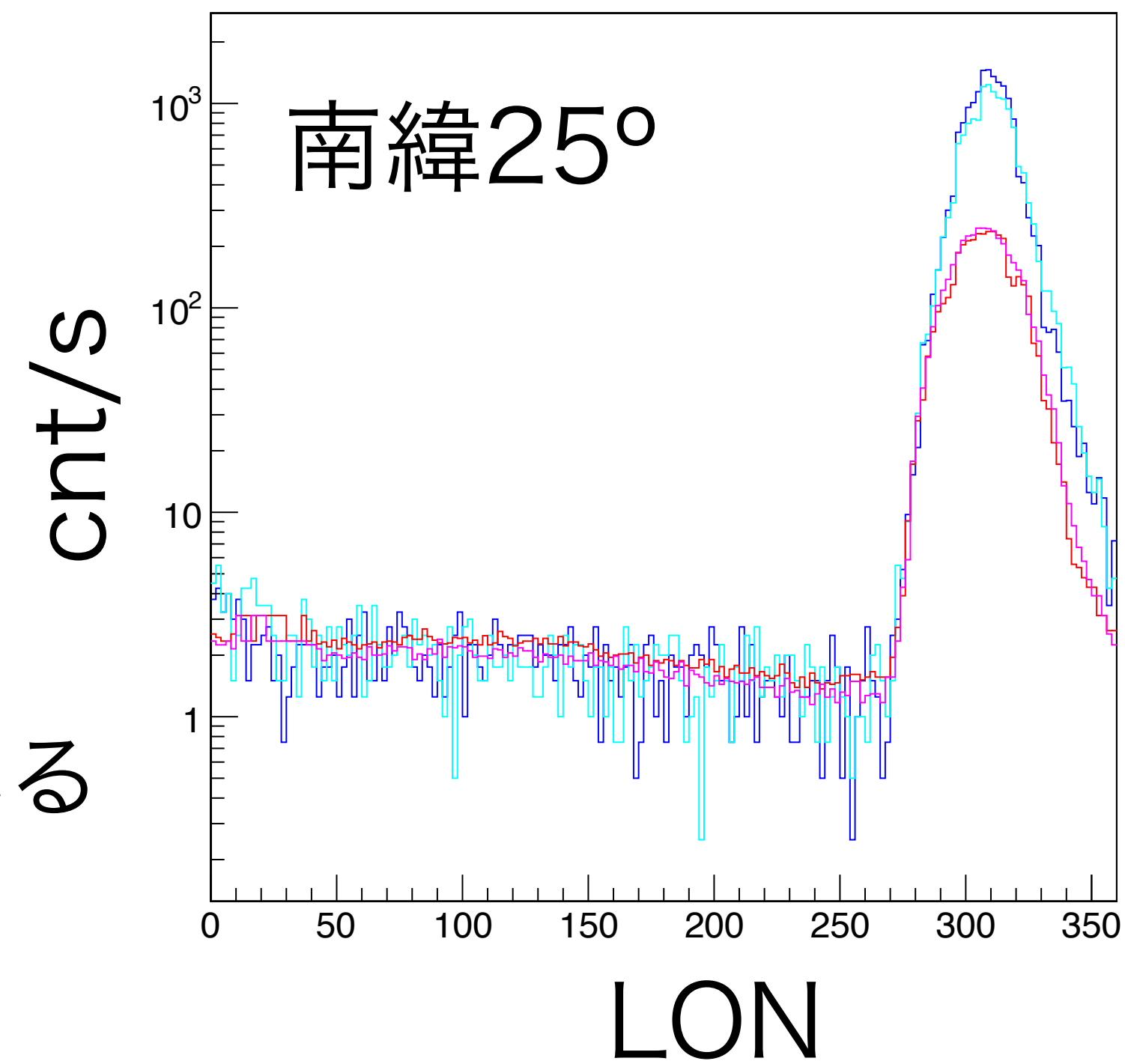
HXI APD:

1cm x 1cm

HXD PIN:

1.6cm x 1.6cm x 4個

面積でスケール



南緯25°

LON

HXDに比べ、SAA陽子を3-4倍多く被曝している可能性。BGOの厚さ、軌道条件(高度)が原因？

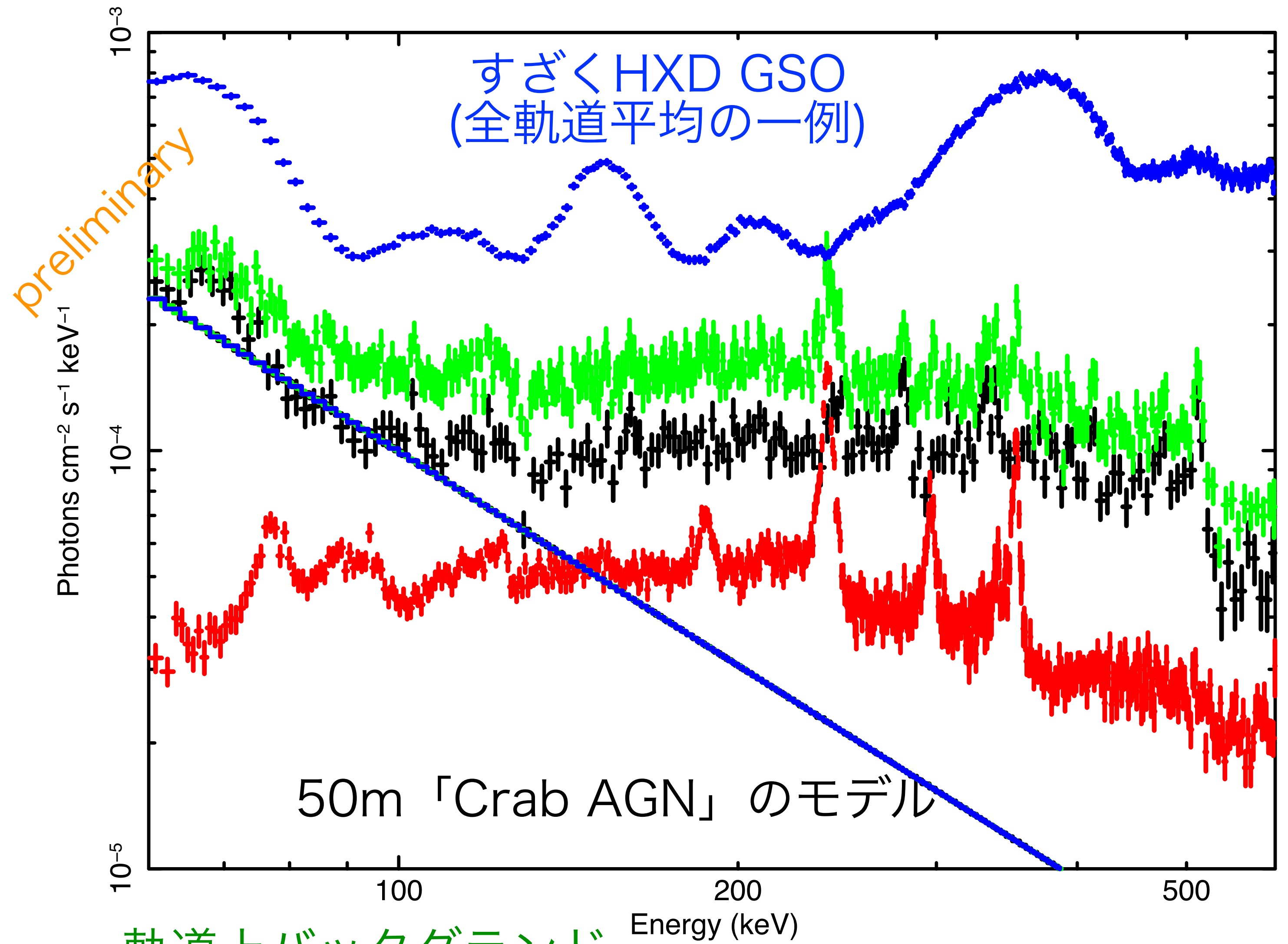
Non-SAAパスでのバックグラウンド

Unfolded Spectrum

軌道上増加分：数時間より長い時間スケールの放射化ガンマ線起因。

地上でのバックグラウンド：コンプトンカメラ内の物質に含まれている自然放射性物質。(電子基板、アルミ部材など)

軌道上での放射化ガンマ線を減らせると次は、混入自然放射性物質が課題



軌道上バックグラウンド

地上でのバックグラウンド (衛星熱真空試験)

軌道上増加分

SGDバックグラウンドの特性

- SAA通過後のバックグラウンドの増分がすざくHXDと比較して大きい。
 - 放射化物質からのガンマ線が起因の可能性が高い。
 - ガンマ線バックグラウンドは、散乱角の情報で除去するが、方位角方向の情報はないため、ある割合で残る。
 - 放射化の短期成分が多い。コンプトンカメラ内のパッシブな物質が起因？
 - 主検出部のSAA陽子の被曝量がすざくHXDと比較して、3-4倍多い可能性がある。
 - BGOシールドがリソースの関係でHXDよりも薄くなっている。
 - 軌道高度が20kmほど、ひとみ衛星の方が高い。
- 地上でも計測していたバックグラウンドも無視はできない。
 - コンプトンカメラ内の物質に混入している自然放射性物質が原因。電子回路基板、アルミ部材に含まれる。

半導体コンプトンカメラ(Si/CdTe)の今後

- SGDと同じものの再製作は可能。
 - SGDと同じ感度で得られる重要なサイエンスは？
 - リソースを少し割けるならば、factorでバックグラウンドを下げられる可能性あり。
 - バックグラウンドを1桁下げるには、SAAを通らない赤道軌道を使い、さらに、使用する物質のコンタミを減らす必要がある。
 - 気球は放射化バックグラウンドを下げられるという点で、有望だが、大気ガンマ線バックグラウンドがどうか？
- 別の方向性は、半導体コンプトンカメラで電子トラッキング。（米田講演）
 - 入射方向を1イベントで一意に決められ、ガンマ線起因のバックグラウンドを下げられる可能性。
 - SGDのコンプトンカメラの大面積や高効率を得ることは困難。
 - 狭視野 or 広視野。広視野の場合は、電子トラッキングしかないと思う。