



# 小型衛星MIST搭載

## 軌道放射線モニターCUBESの検出器開発



MIST衛星イメージ

MIST collaboration

内田和海, 中岡竜也, 高橋弘充、  
水野恒史, 深沢泰司 (広大理)  
他CUBESチーム(KTH)

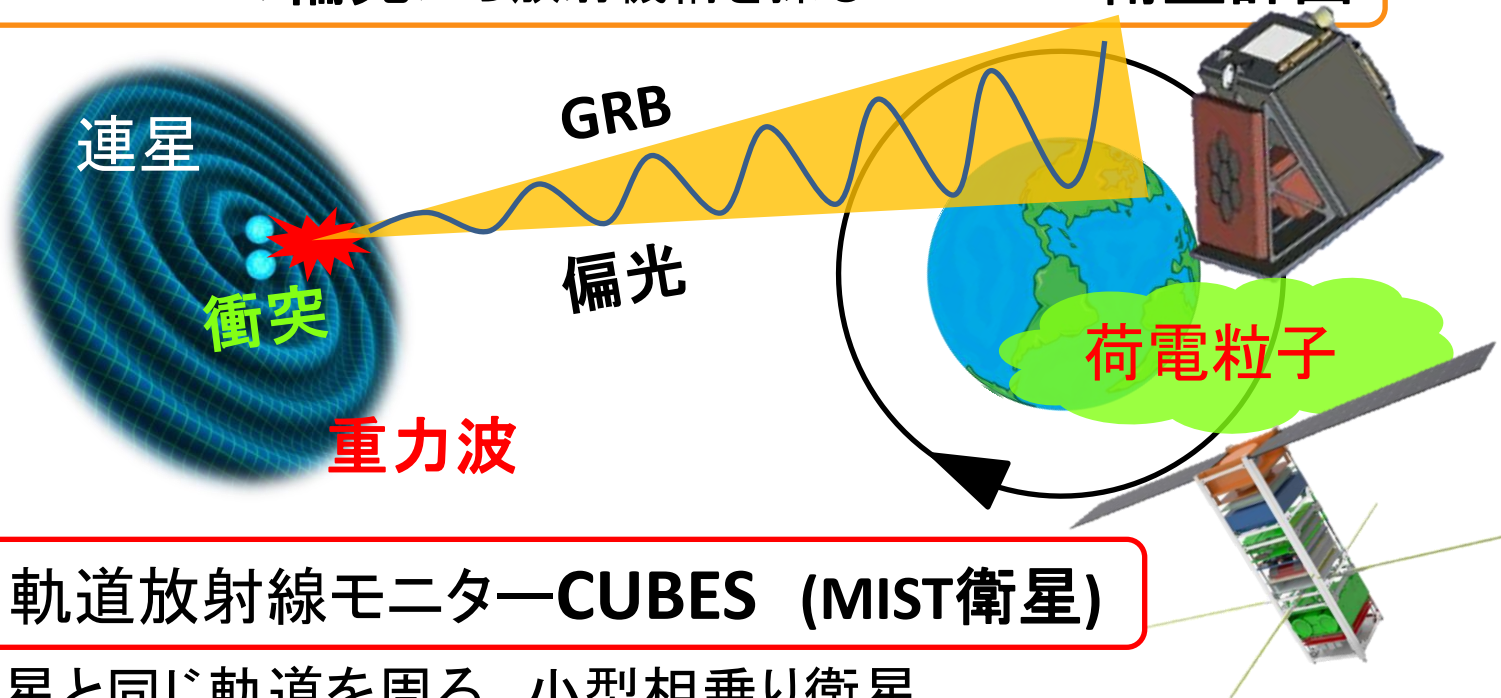
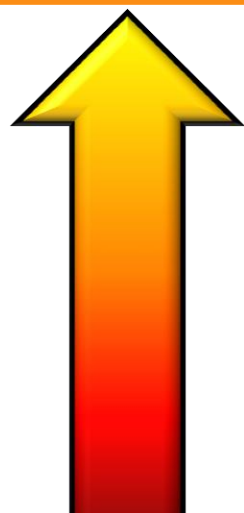
# 研究背景

## ガンマ線バースト(GRB)

- ・宇宙最大の爆発現象
- ・放射源は重力波源や超新星爆発とされている。

2020年末

GRBの偏光から放射機構を探るSPHiNX衛星計画

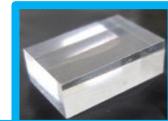


2018年中旬 軌道放射線モニター-CUBES (MIST衛星)

- ・SPHiNX衛星と同じ軌道を周る、小型相乗り衛星
- ・SPHiNX衛星の検出器で候補に挙がっているシンチレータを搭載

# CUBES検出器

MIST衛星:日瑞で共同開発



プラスチック  
シンチレータ



$\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$   
(BGO)

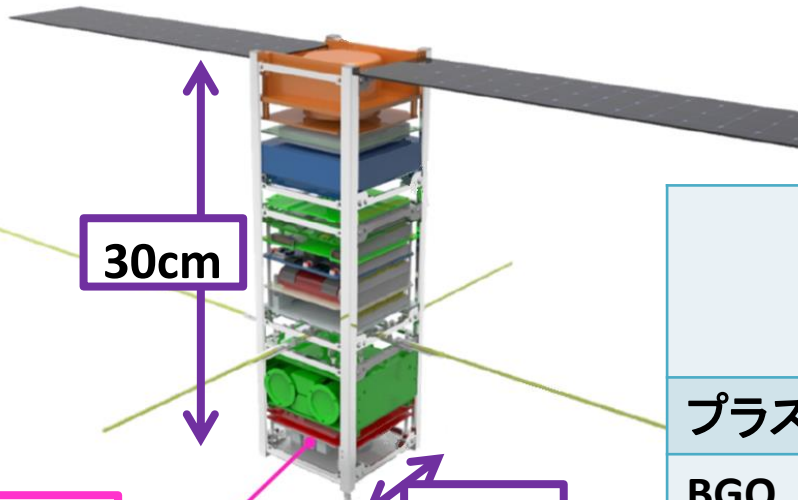


$\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$   
(GAGG)



Silicon  
Photomultipliers  
(Si-PM)

宇宙での  
使用経験が少ない

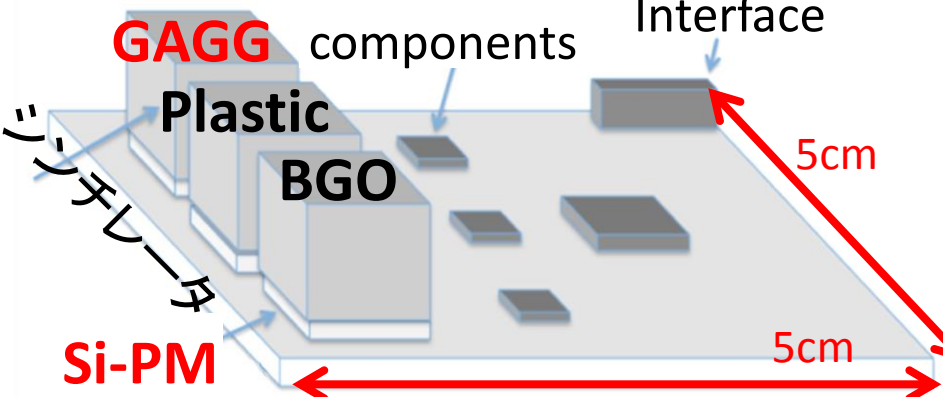


	減衰 時定数 (ns)	発光量 (photon /MeV)
プラスチック	2.2	10000
BGO	300	8000
GAGG	88	60000

CUBES

Electronic  
components

Interface

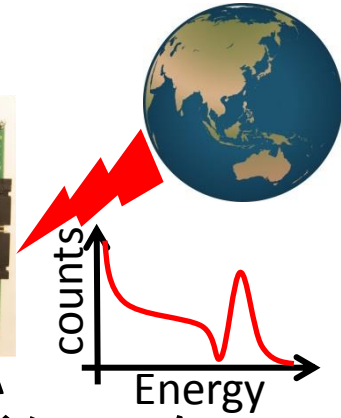
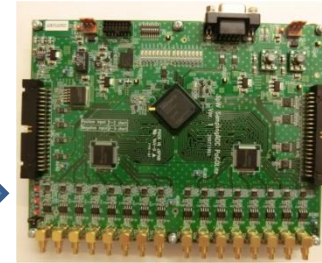
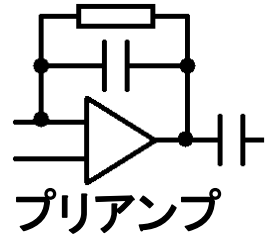
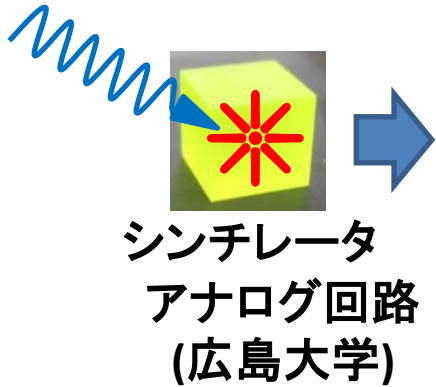


## CUBESの目的

- ・SPHiNX衛星軌道上での荷電粒子の分布を探る。
- ・GAGGとSi-PMの宇宙での可用性を調べる。

# 研究内容

ガンマ線や荷電粒子



デジタル回路  
(スウェーデン)

SPHiNX衛星は冷却可

## CUBES要求仕様

エネルギー帯域	Plastic scintillator : 100keV-200keV BGO,GAGG : 100keV-1MeV(max.2MeV)
処理速度	$10^4$ counts/sのレートに耐える
基板サイズ	50mm(L)×50mm(W)×15mm(H)
消費電力	CUBES全体で1W以下
温度(調整不可能)	$20 \pm 20^\circ\text{C}$
重量	0.08kg

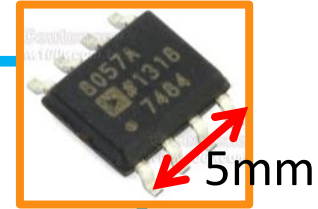
511keVが見たい

南大西洋異常帯  
以外では耐えうる

## 研究の目的と内容

- ・要求仕様に沿うアナログ回路の開発。
- ・GAGGの放射線耐性を調べるために、**31TBq**のガンマ線を照射する実験。

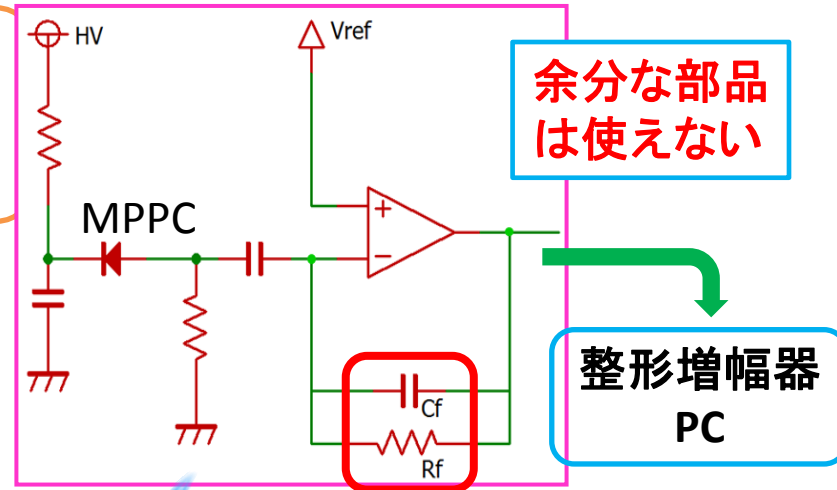
# アナログ回路の開発



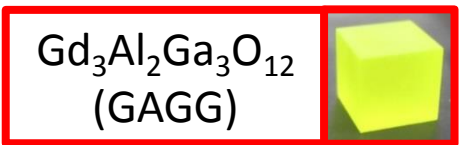
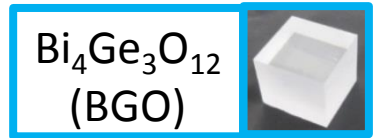
- 要求仕様から、使用するOPアンプを選定。  
→PoGOLite気球実験で用いている  
Analog Devices社の"AD8057ARZ"を使用。

- 回路を設計、SPICEシミュレーション、回路作成。  
→観測エネルギー帯域が観測できるように、回路定数を決める。

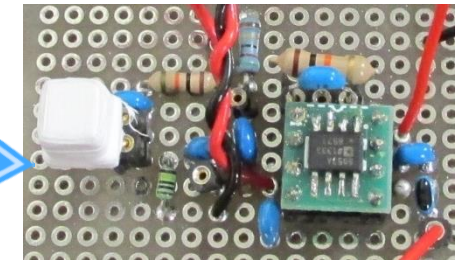
- 1.ゲイン( $C_f$ ):観測帯域でサチュレーションしない。
- 2.回路時定数( $=C_f \times R_f$ ):シンチレータの性能  
→高エネルギー分解能。



光量小⇒ゲイン大



光量大⇒ゲイン小



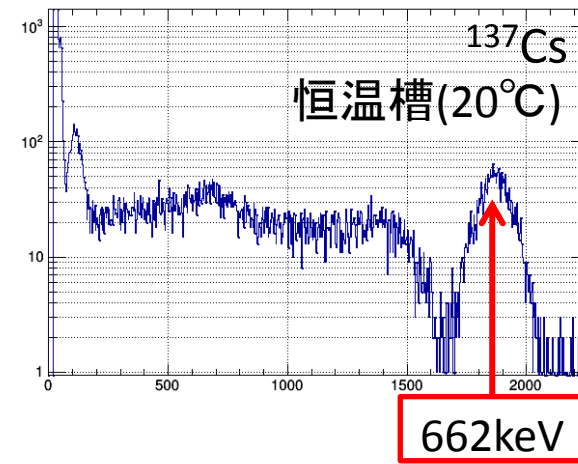
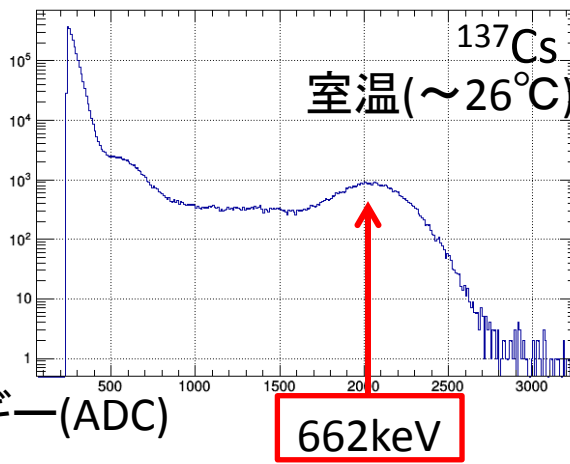
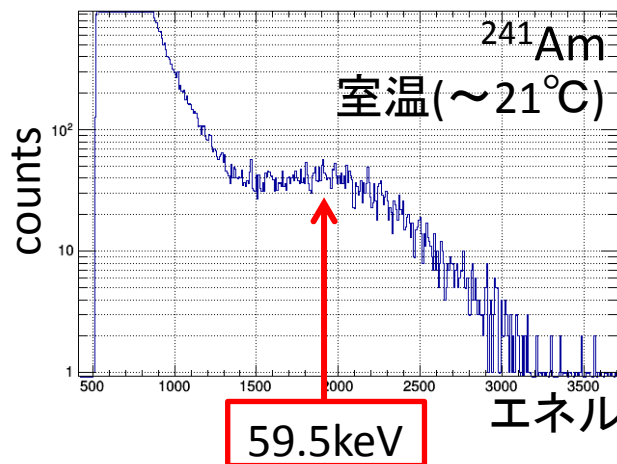
# アナログ回路の開発(結果)

プラスチックシンチレータ

BGO

GAGG

Cf(pF), Rf(kΩ)	100, 5.1	100, 39	560, 5
回路時定数(μs)	0.51	3.9	2.8



エネルギー分解能(%)	46 ± 3	19.9 ± 0.4	7.8 ± 0.3
-------------	--------	------------	-----------

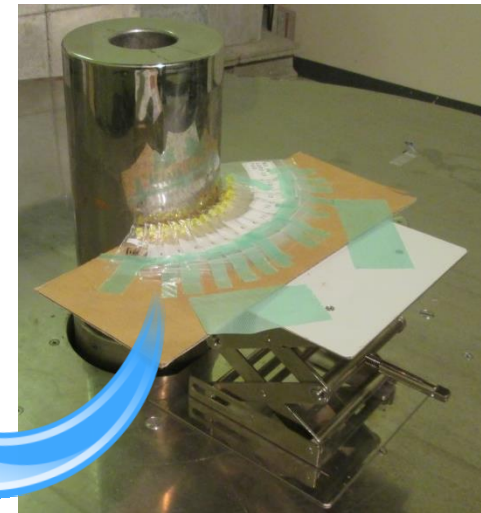
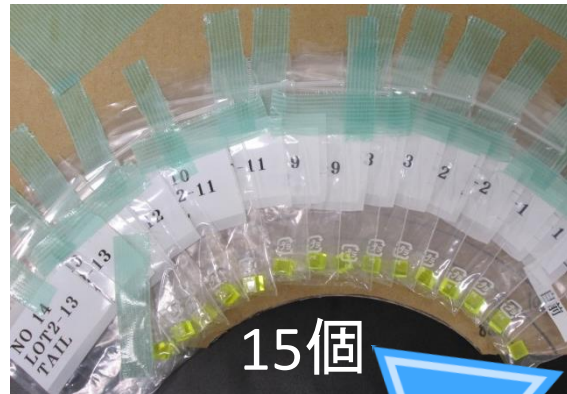
- ・室温でも、ある程度のエネルギー分解能。
- BGOとGAGGは511keV(電子陽電子対生成)のピークが見える性能。
- プラスチックシンチレータは100keV以上が観測可能。

# GAGGの放射線耐性

GAGGの切り出したインゴットによる違いや、インゴットの場所における放射線耐性の違いについての研究はこれまでされていない。

GAGGに31TBqの $^{60}\text{Co}$ のガンマ線を照射。

- 照射前測定
- 3h 1回目照射(180krad)
- 4h 1回目測定
- 24h 2回目照射(2.7Mrad)
- 2回目測定



宇宙での数千年分

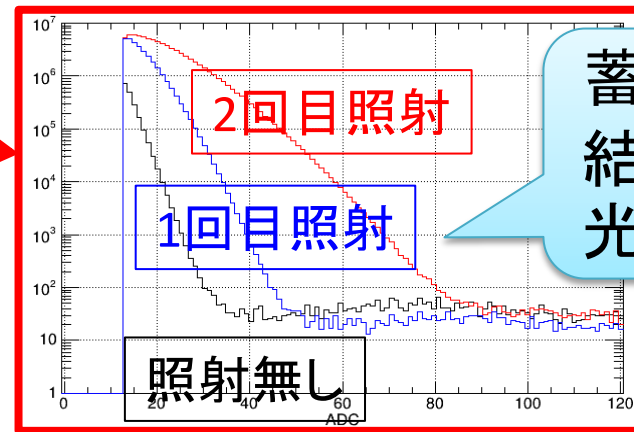
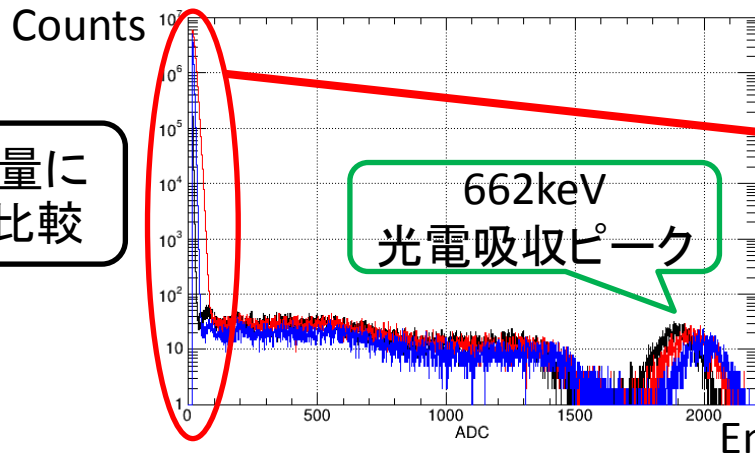
@広大工学部

## 測定条件

- GAGG結晶自体のバックグラウンドノイズ見たい  
→光電子増倍管を用いて恒温槽内(20°C)にて測定を行う。
- $^{137}\text{Cs}$ を照射して測定。

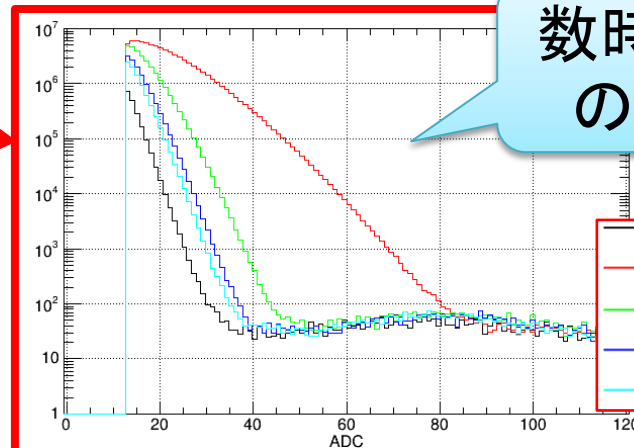
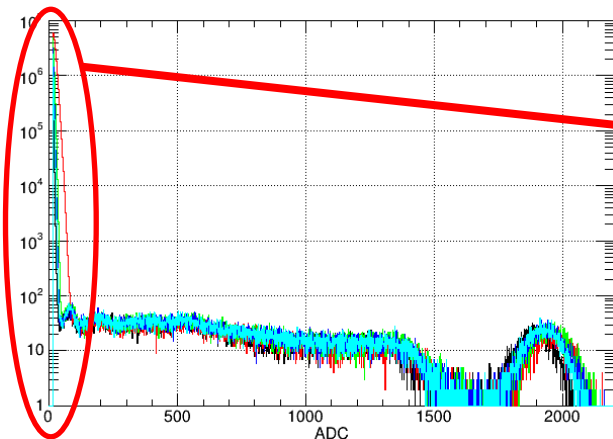
# GAGGの放射線耐性(一例)

照射量による比較



蓄光(GAGG結晶自体が光っている)

照射後の時間変化



数時間で元のレベル

実際のMIST衛星の運用は1年程度



使用予定GAGGは本ミッションにおいて十分な放射線耐性

# 結論

CUBES用のプリアンプ回路を開発し、3種類のシンチレータに対して、それぞれ回路パラメータを決定した。

プラスチックシンチレータ、BGO、GAGGのそれぞれの回路は、CUBESの制限(省スペース、省エネ、エネルギー分解能)を満たす。

GAGGシンチレータは放射線に対して、十分な耐性を持っており、本ミッション(CUBES/SPHiNX)で可用である。

## CUBES Schedule

- ・2016年末:EM実験
- ・2017年中:FMの開発
- ・2018年末:launch!





# Back up

# CUBES要求仕様

基板サイズ	50mm(L)×50mm(W)×15mm(H)
消費電力	1W以下
データ出力量	5MB/day
データフォーマット	各シンチレータのスペクトルを1分間に1回
温度(調整不可能)	20±20°C
重量	0.08kg
観測エネルギー帯域	プラスチックシンチレータ: 50keV-100keV(可能なら200keV) <sup>※1</sup> BGO,GAGG : 100keV-1MeV(可能なら2MeV) <sup>※2</sup>
処理速度	～1MHz <sup>※3</sup>

※1

SPHiNX衛星において、プラスチックシンチレータは散乱体として用いるため。

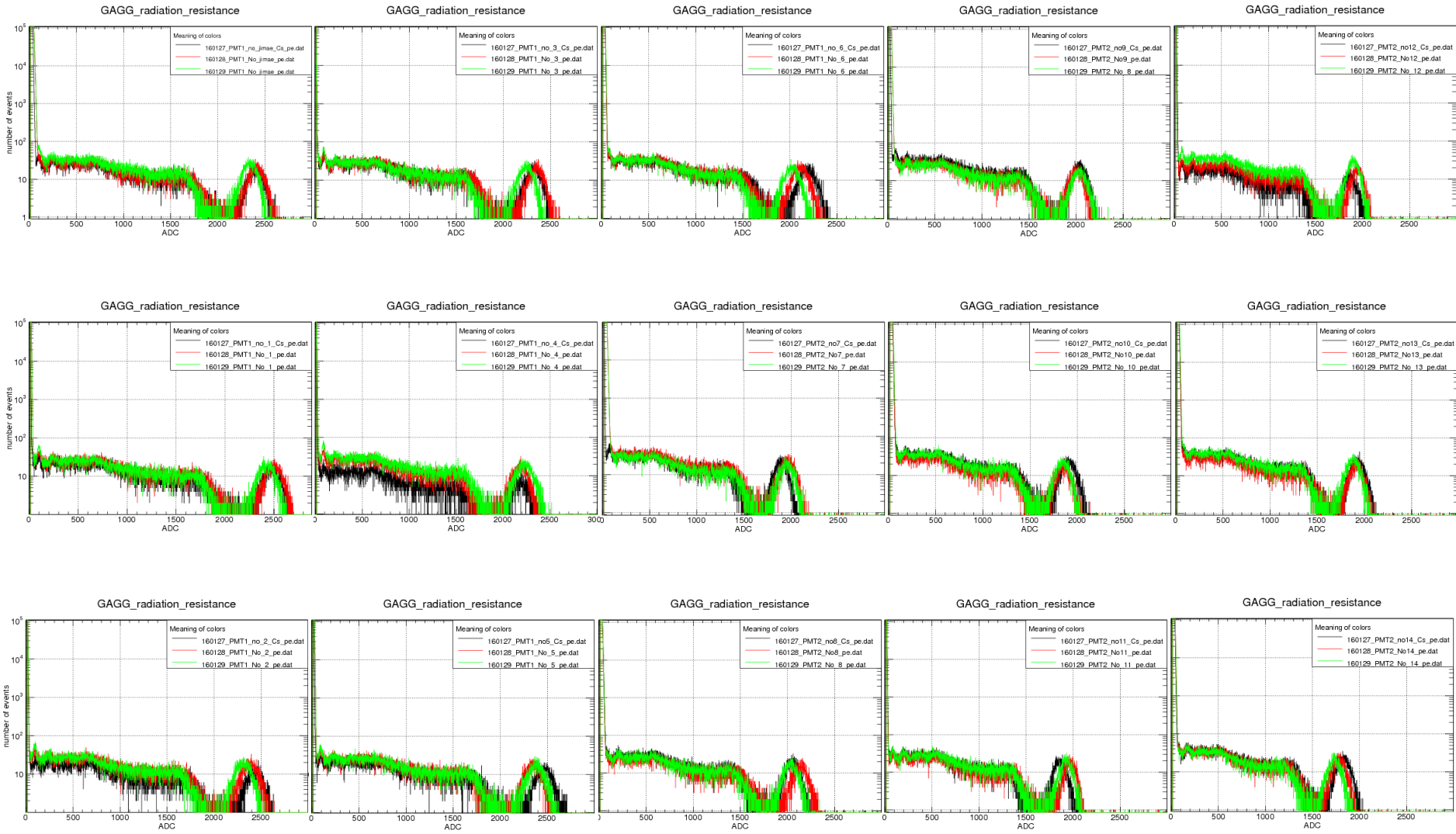
※2

SPHiNX衛星において、吸収体として用いるため。また、シンチレータの放射化によって生じる511keVの輝線を観測したいため、10%@662keVの分解能が必要。

※3

もっともハイレートな状況が予想されるSAA(南大西洋異常帯)中では、Cute-1.7+APD II 衛星(東工大)の観測により、カウント数が $10^6$ counts/secにも上るため。

# 結果



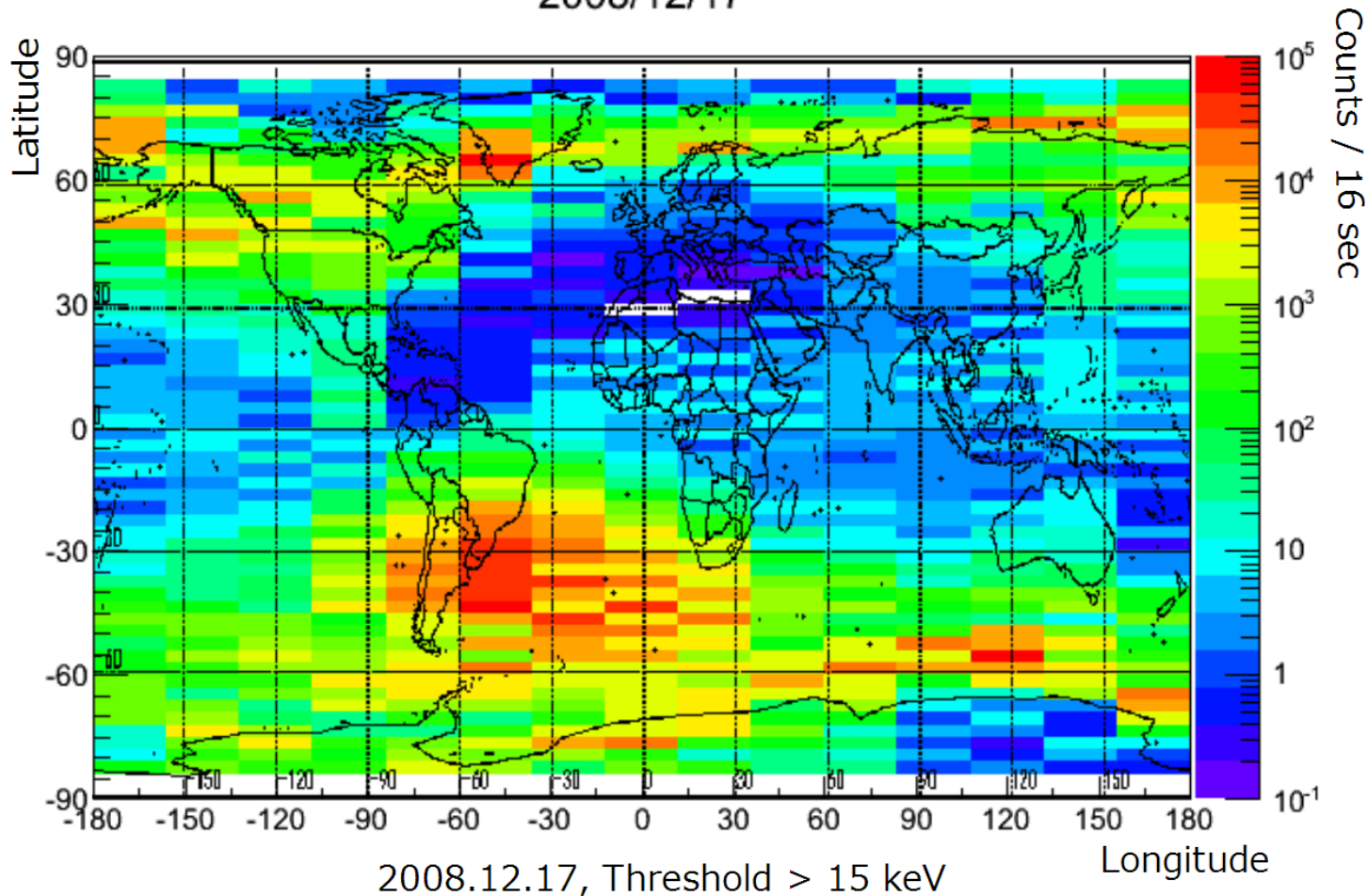
有意なピーク値の変化、インゴットによる違いは見られない。

# シンチレータ性能表

	GAGG	Tl:NaI	BGO
密度(g/cm <sup>3</sup> )	6.63	3.67	7.13
発光量(ph/MeV)	57000	39000	5000
減衰時定数(ns)	88	230	300
最大発光波長(nm)	520	415	480
潮解性	なし	あり	なし
融点(°C)	1850	651	1050

# 軌道上で予想される放射線量

2008/12/17



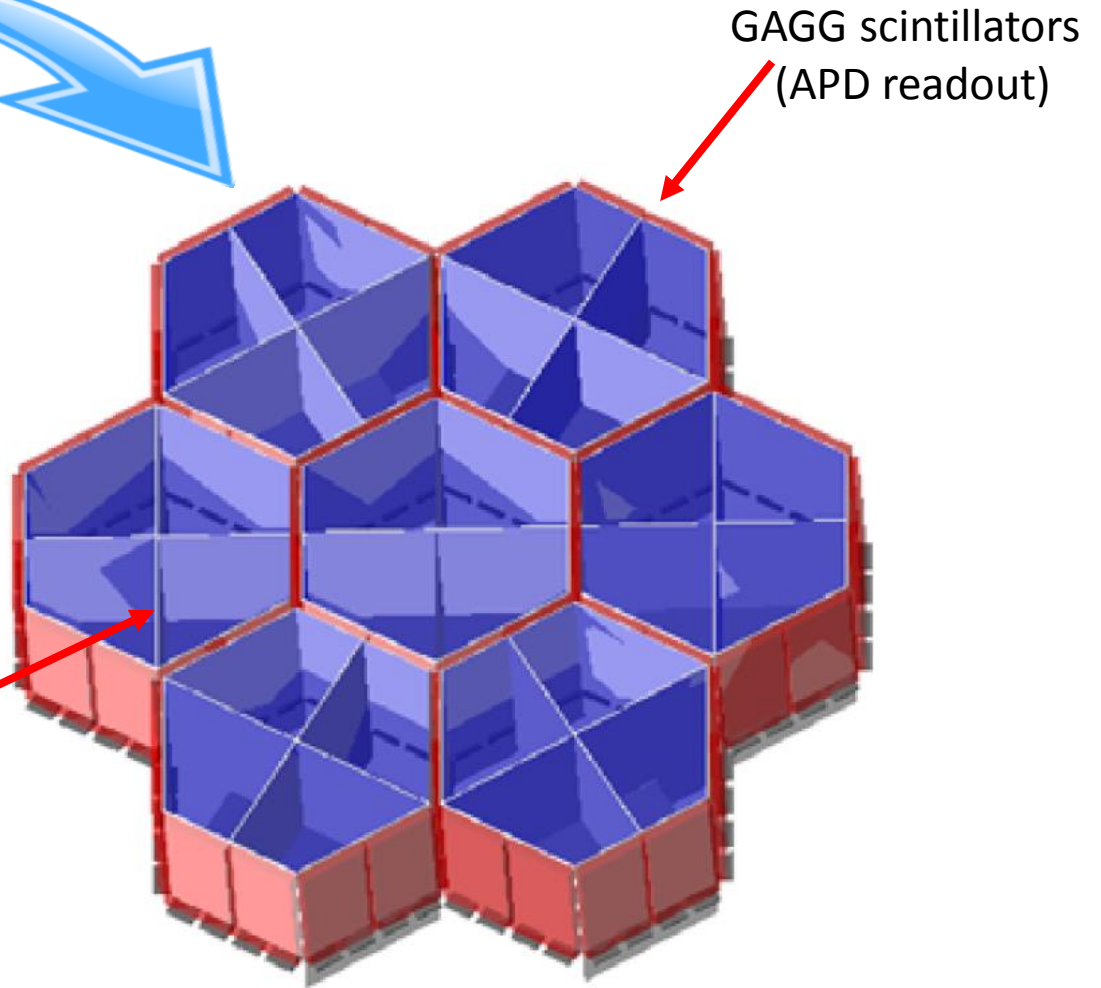
cute-1.7+APDII (東工大) が2008年12月17日に観測した軌道上における15 keV以上の荷電粒子の分布。SAA中では $10^4$ [counts/s]にも上るが、他の場所では少ない(数 counts/sec)

# SPHiNX偏光計



ミッション期間: ~1年間  
(10個以上の偏光データ)

Segmented  
Plastic scintillators  
(PMT readout)



GAGG scintillators  
(APD readout)