

日本天文学会2022年秋季年会

# 硬X線偏光観測気球実験XL-Calibur搭載 CZT半導体検出器の性能評価

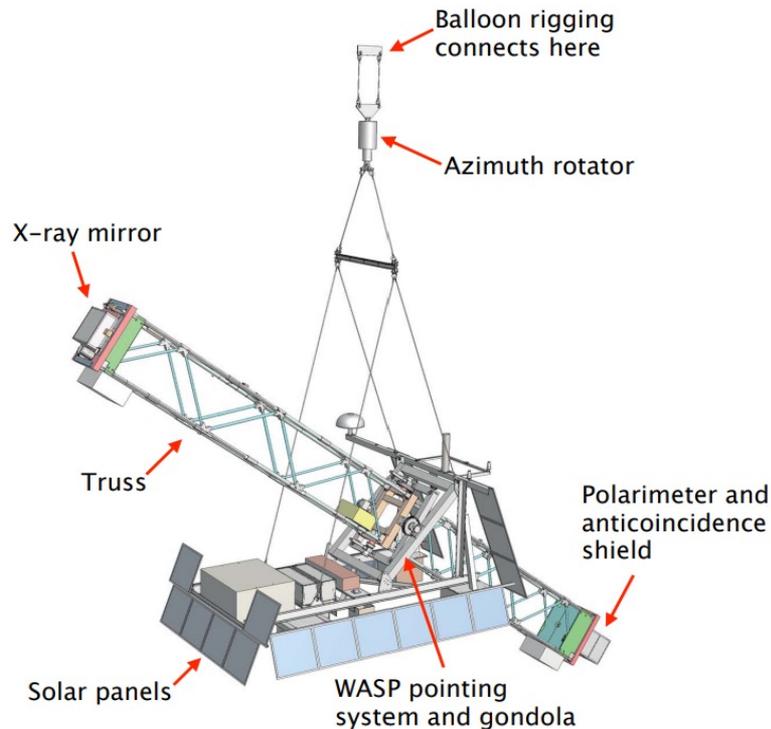
阪本菜月 (広島大学M1)

高橋弘充、水野恒史、深澤泰司 (広島大学)、内田悠介 (東京理科大学)、  
前田良知、石田 学 (宇宙科学研究所)、峯田大靖、鴨川航、松本浩典、林田清、  
常深博 (大阪大学)、宮澤拓也 (沖縄科学技術大学院大学)、栗木久光 (愛媛大学)、  
古澤彰浩 (藤田医学大学)、玉川徹、北口貴雄 (理化学研究所)、岡島崇 (NASA/GSFC)、  
Henric Krawczynski(ワシントン大学)、Fabian Kislak(ニューハンプシャー大学)、  
他 XL-Calibur チーム



# XL-Calibur

世界最高感度の硬X線偏光観測を目指す**気球実験**



ピクセル数が多い(**1088チャンネル**)

2022年7月12日-7月18日の期間フライト

Crab / Cyg X-1 の観測

硬X線領域(**15-80 keV**)

- ~15 keV 大気による吸収のため観測不可
- 80 keV~ ブラッグ反射のため観測不可

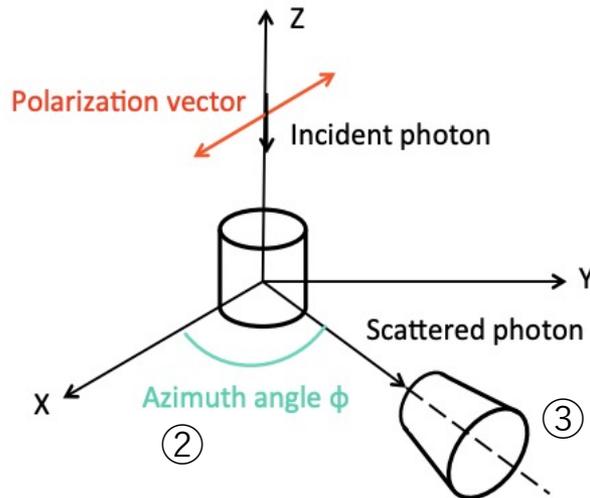
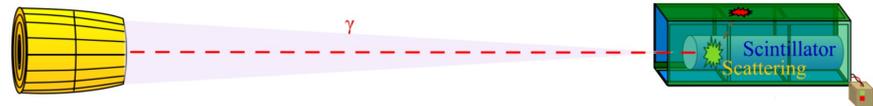
IXPE(**2-8 keV**)と同時観測を目指す

# 偏光検出の原理

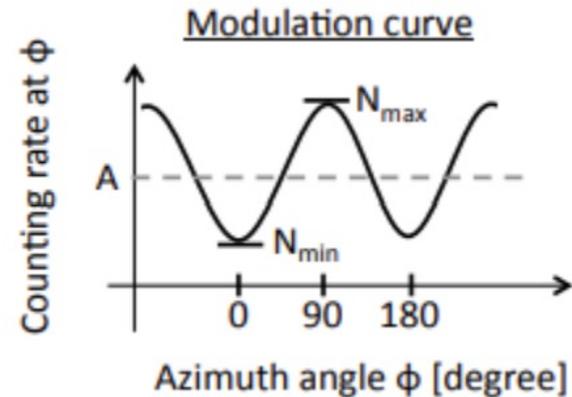
## ①偏光を捉える

硬X線望遠鏡

半導体検出器



検出器の模式図



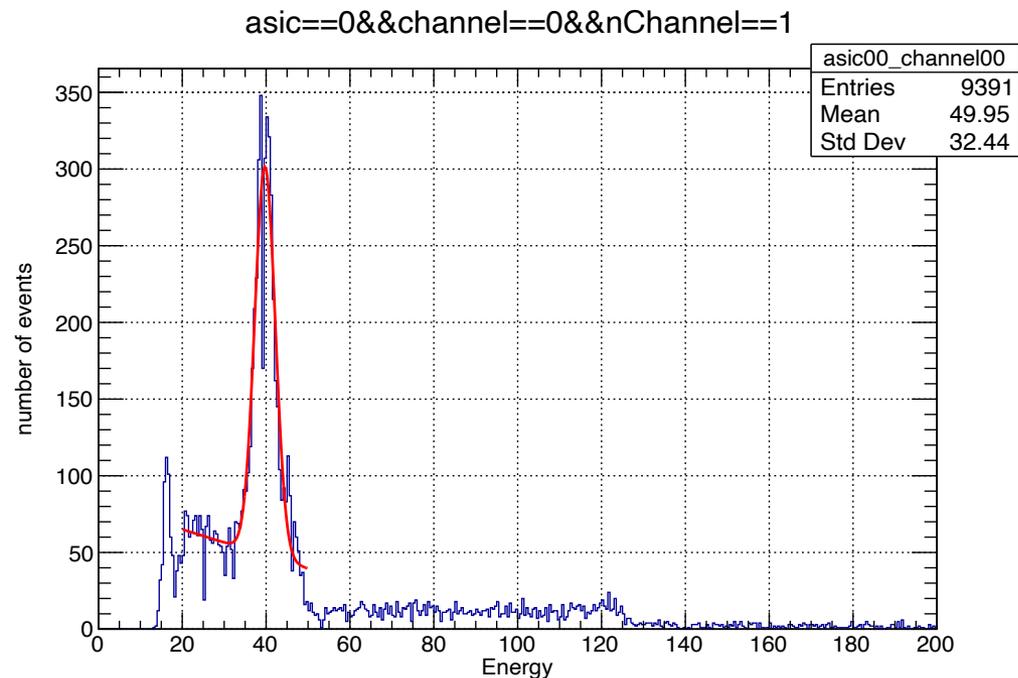
②入射方向と垂直な方向に  
コンプトン散乱しやすい  
(クライン仁科の式)

③散乱光の異方性を利用し、  
偏光度と偏光角を調べる

(参照)枝廣育実, 修士論文「ASTRO-H衛星搭載 軟ガンマ線検出器コンプトンカメラを用いた偏光ビーム試験」

# 目的

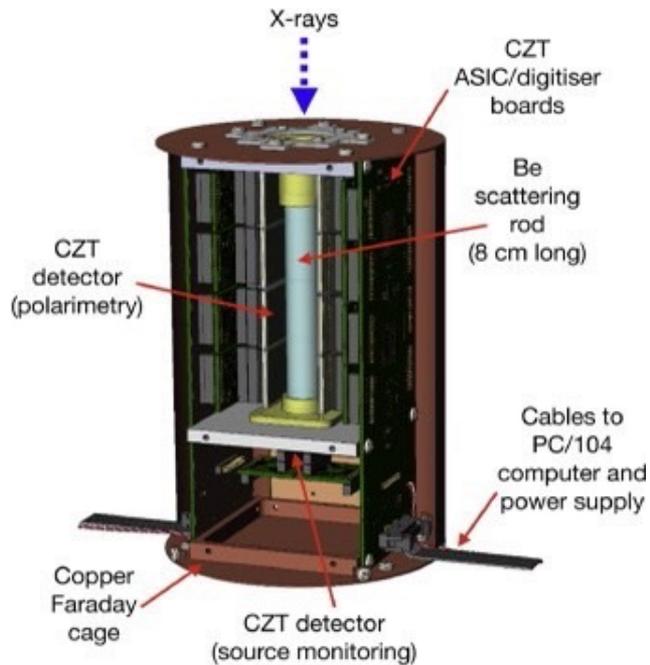
大気による吸収のため、15 keVより低いX線は観測されない



1ピクセルで得たエネルギースペクトルの例

**観測下限のしきい値が何 keVであるのかを確認する**

# CZT半導体検出器

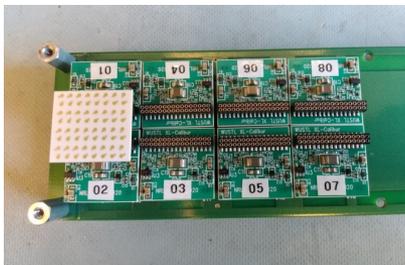


円柱Be(直径：12 mm)の周囲に  
CZT検出器(2.5 mm角×1088 ピクセル)

望遠鏡で捉えた硬X線を集光



**CZT：17枚**



・ CZT 1枚と、ASIC 2枚がセットになっている  
→ **ASIC：34枚**

・ ASIC 1枚に32ピクセルのチャンネルがある  
→ **合計：32ピクセル×34枚 = 1088チャンネル**

# 観測

Run #	Config	Start (UTC date)	Start Time (UTC 24 hr)	Run Time (mins)	Rates (Hz)	
11884	903	2022, July 12	06:45	15:00	179.3	Crab
11885			07:00	15:00	176.7	
11886			07:15	14:59	181.9	

作成したファイル

データ取得時間

観測天体

フライト期間(7/12-7/18)中、およそ15分間隔で検出器のデータを取得

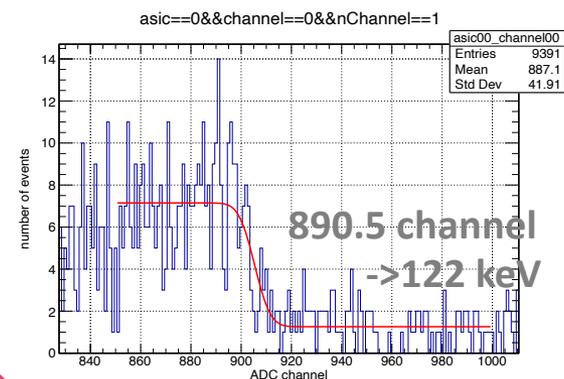
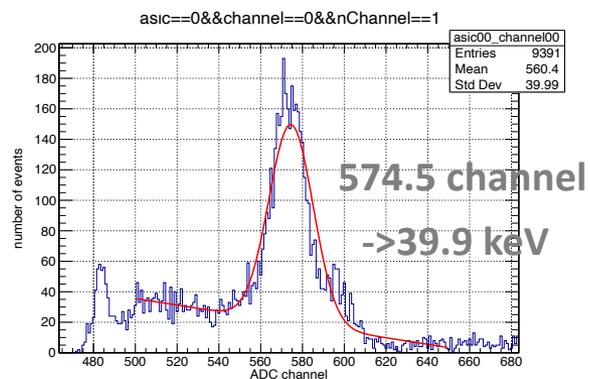
Ratesは、アクティブシールドで除去していない状態のため、～170 Hzとなっている(天体信号は数 Hz)

作成された480ファイルを、20ファイルずつ足し合わせて解析  
→24期間

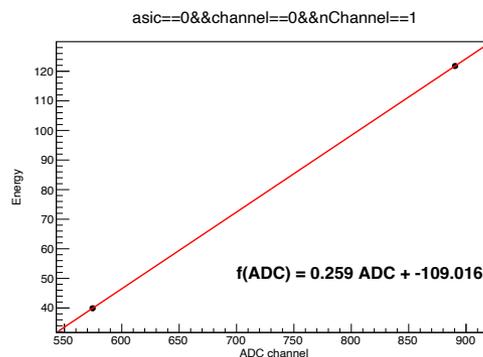
# 解析方法

ADC channel -> Energyの係数変換を行う

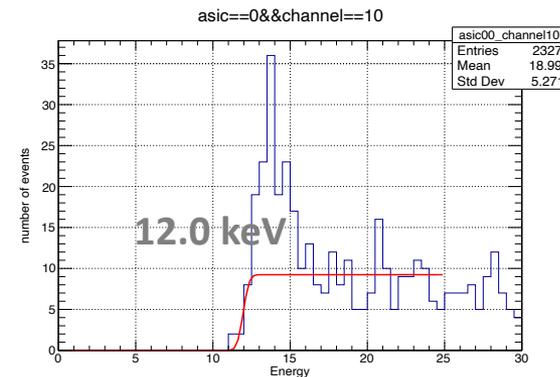
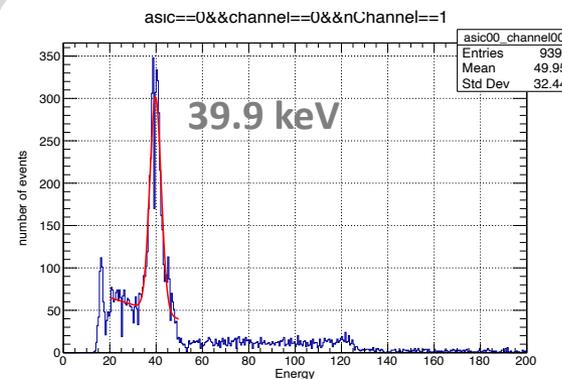
## ADC



## Calibration



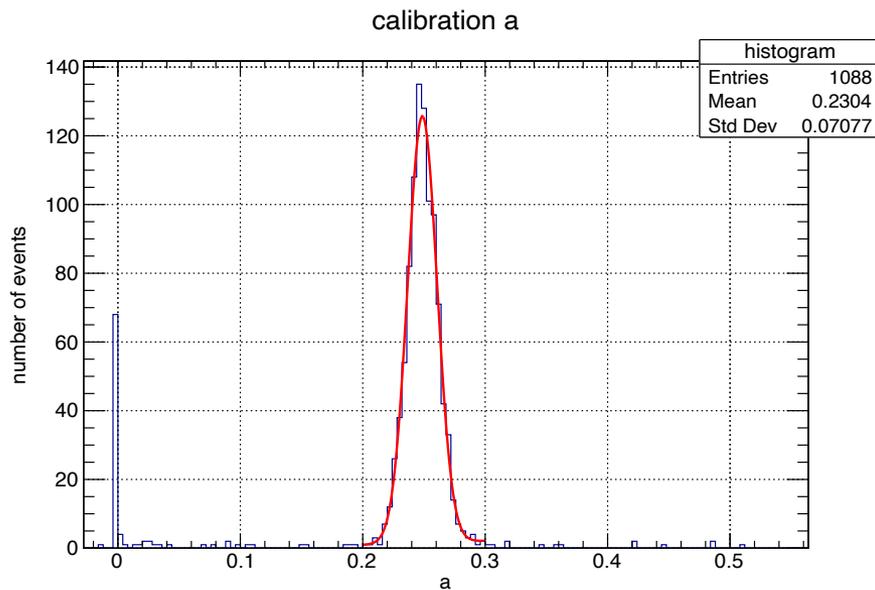
## Energy (keV)



※較正直線までは  $^{152}\text{Eu}$   $\gamma$ 線源のデータを使用

# 較正直線の分布

## 較正直線の傾き



- 較正直線のフィッティング結果

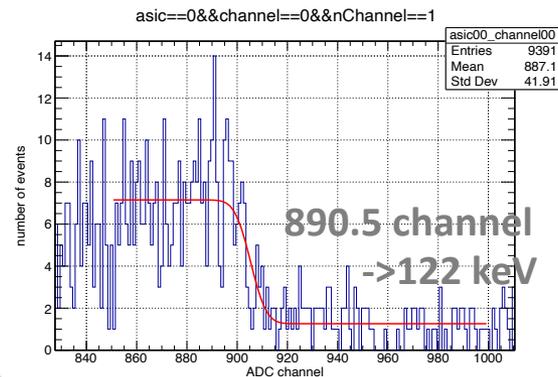
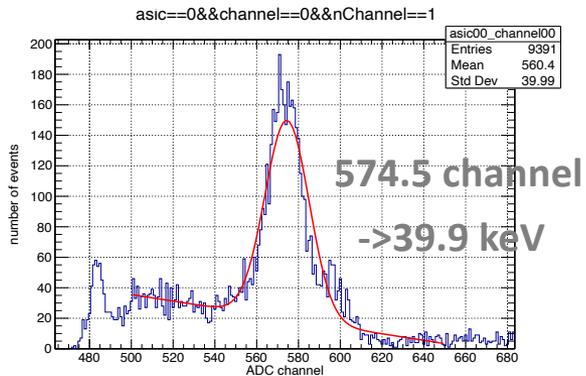
no event	80 cases	} 1088
too few events	2 cases	
122 keV fitting failure	24 cases	
unknown	4 cases	
others	978 cases	

- 全体の**97.2%**は正しく作成できている
- 傾きおよび切片の分布がまとまっていることを確認した

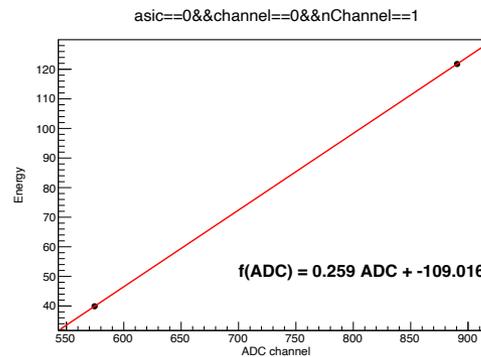
# 解析方法

ADC channel -> Energyの係数変換を行う

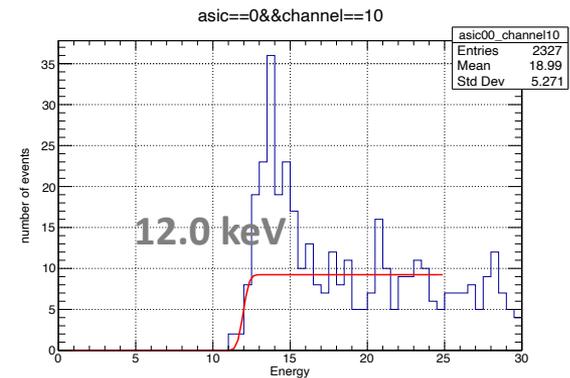
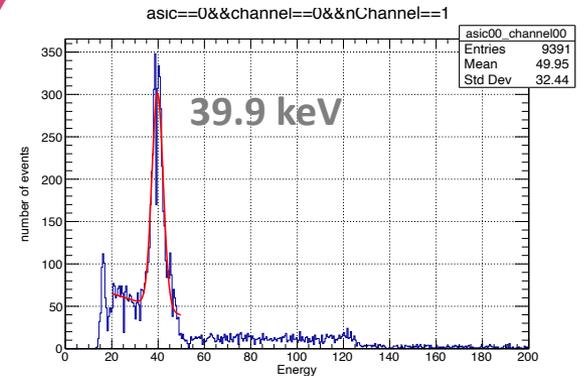
ADC



Calibration



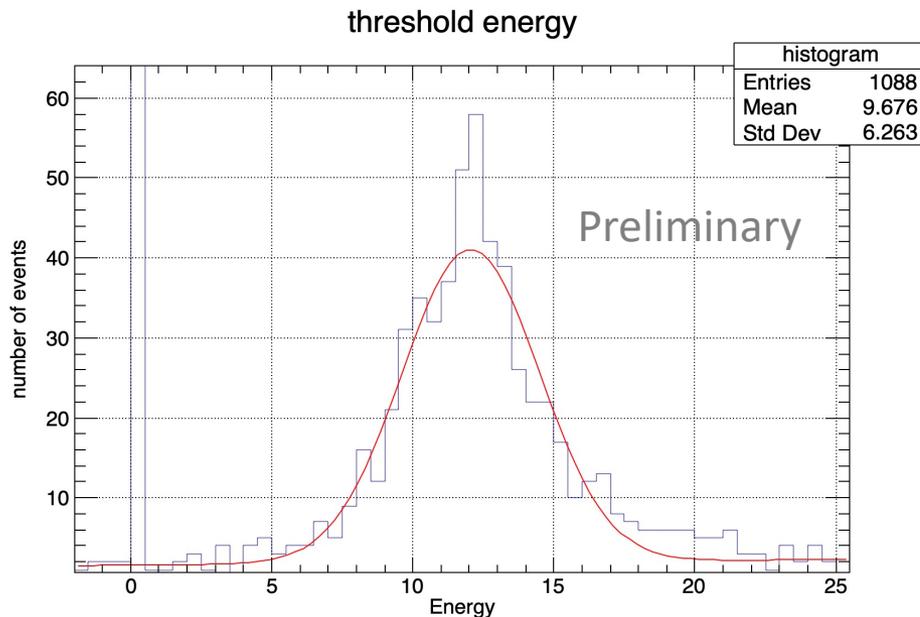
Energy (keV)



※較正直線までは  $^{152}\text{Eu}$   $\gamma$ 線源のデータを使用

# しきい値の確認(信号の下限)

Energy(keV)



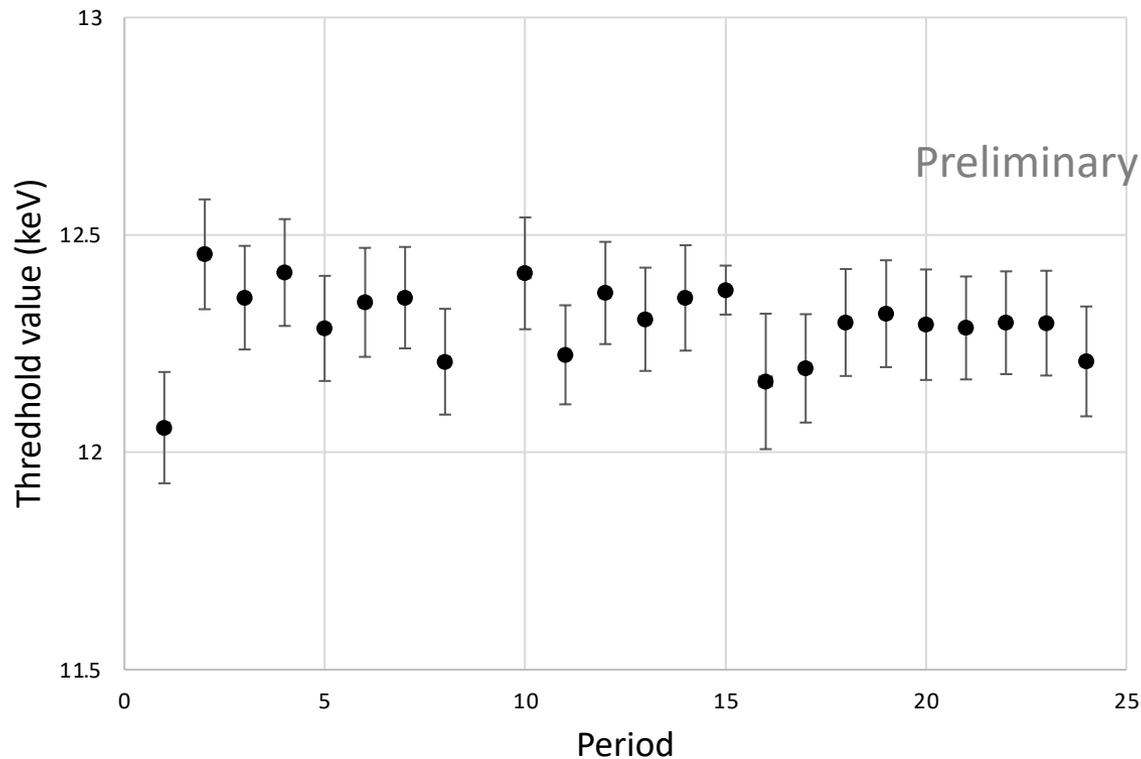
- ・ 検出器がoffになっているものや現時点ではフィットできていないもの  
→0 keVに詰めた(182 pixel)

- ・ 検出器の目指す観測帯域は15-80 keV  
→低エネルギー側に存在するノイズを除去しても、15 keV付近にあることを確認する

検出器のしきい値のフィッティングを行うと、ピークは**~12 keV**に位置

# 期間ごとのしきい値

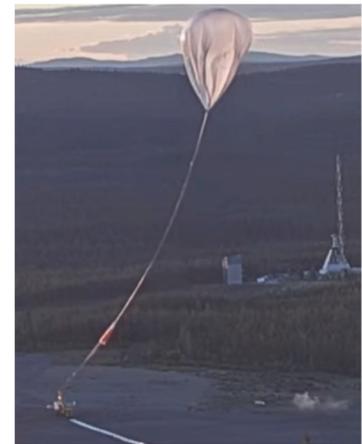
しきい値の変化



- 全期間にわたり、全体の性能は変化していない
- 姿勢や外部温度などの変化による影響を今後詳細に調べる

# まとめ

XL-Caliburは、世界最高感度の硬X線偏光観測を目指す**気球実験**  
偏光を観測する検出部は、**1088**ピクセルの**CZT**検出器で構成される  
フライト期間(7/12-7/18)中、検出器の**しきい値**を導出した  
全期間にわたり、全体の性能は変化していないことが確認された  
定量的な評価を進める

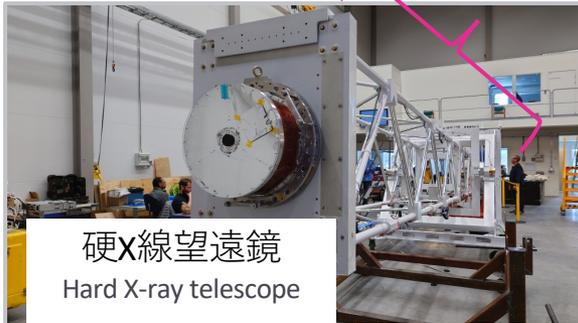


# 付録

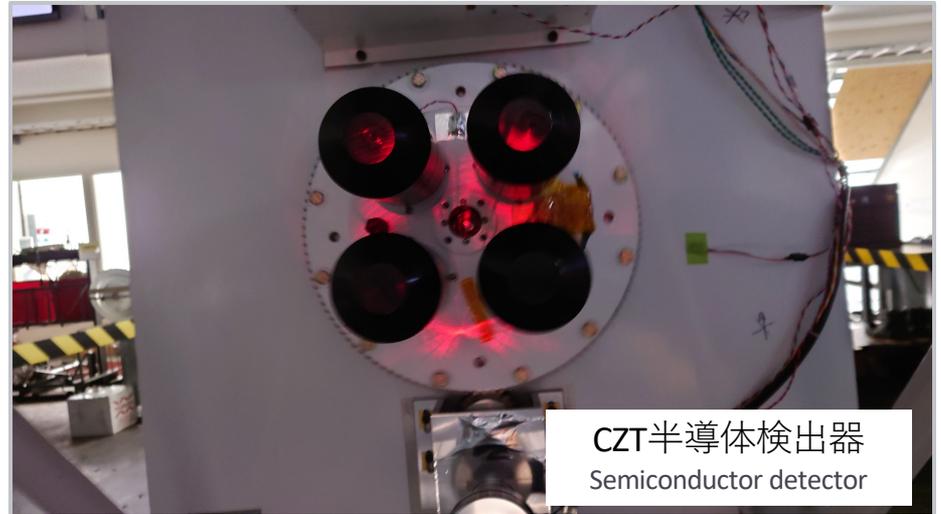
# 焦点位置の確認(in Sweden)



12 m



硬X線望遠鏡  
Hard X-ray telescope



CZT半導体検出器  
Semiconductor detector

- 検出器に可視光レーザーを当て、焦点位置を確認している。

# ASIC, CZT

## ASIC Number

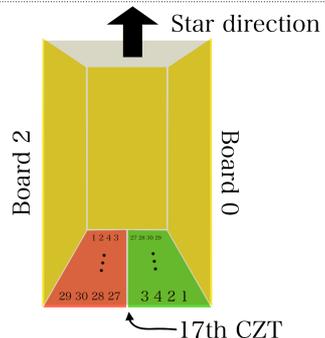
Board 0	Board 1	Board 2	Board 3
0 1	16 17	32 33	48 49
2 3	18 19	34 35	50 51
8 9	24 25	40 41	56 57
10 11	26 27	42 43	58 59
12		44	

CZTの4面には、上図のようにASICが並んでいる。

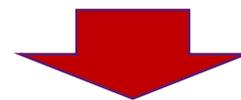
## CZT - ASIC channel map

↑ Star direction

1	2	4	3	27	28	30	29
7	0	6	5	24	26	25	31
11	9	10	8	20	22	21	23
15	13	14	12	16	18	17	19
19	17	18	16	12	14	13	15
23	21	22	20	8	10	9	11
31	25	26	24	5	6	0	7
29	30	28	27	3	4	2	1



- 順番通りに並んでいない。
- 側面だけでなく、最下面にも1枚のCZTがついている。



1088個分の解析のため、2進数の利用など工夫