

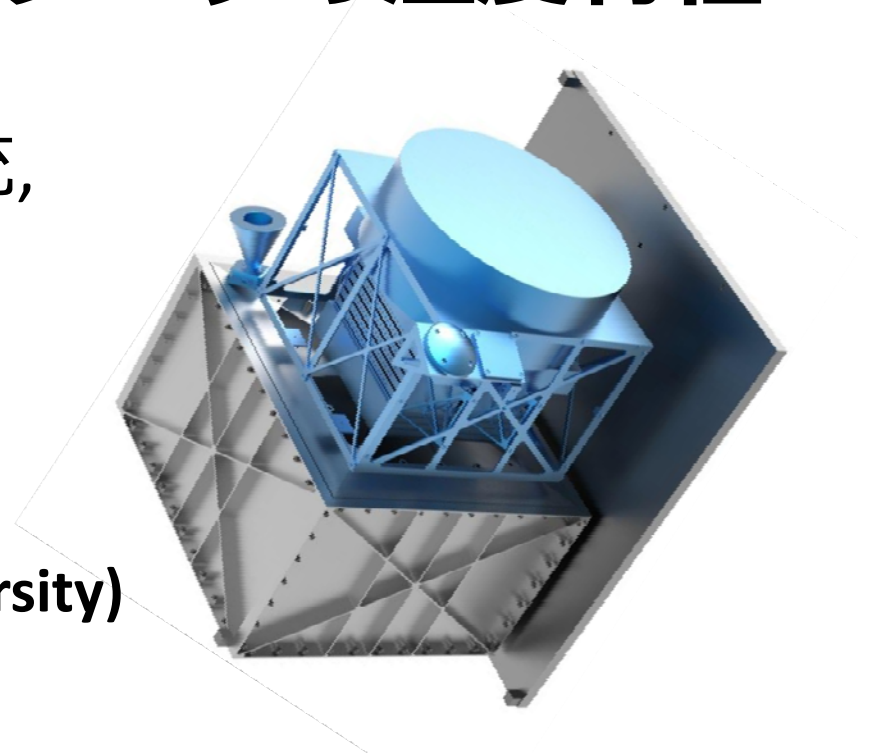


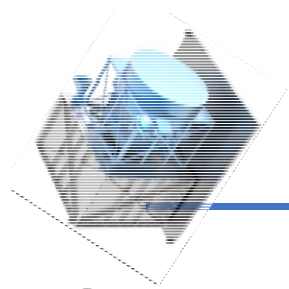
# ガンマ線バースト偏光観測衛星SPHiNX で用いるGAGGシンチレータの温度特性

**内田和海**, 鳥越健斗, 高橋弘充,  
大野雅功, 水野恒史, 深沢泰司  
(広島大), 山岡和貴(名大)  
ほかSPHiNXチーム(Sweden)

PI: Mark Pearce(KTH, AlbaNova University)

日本天文学会 2018年春季年会@千葉大





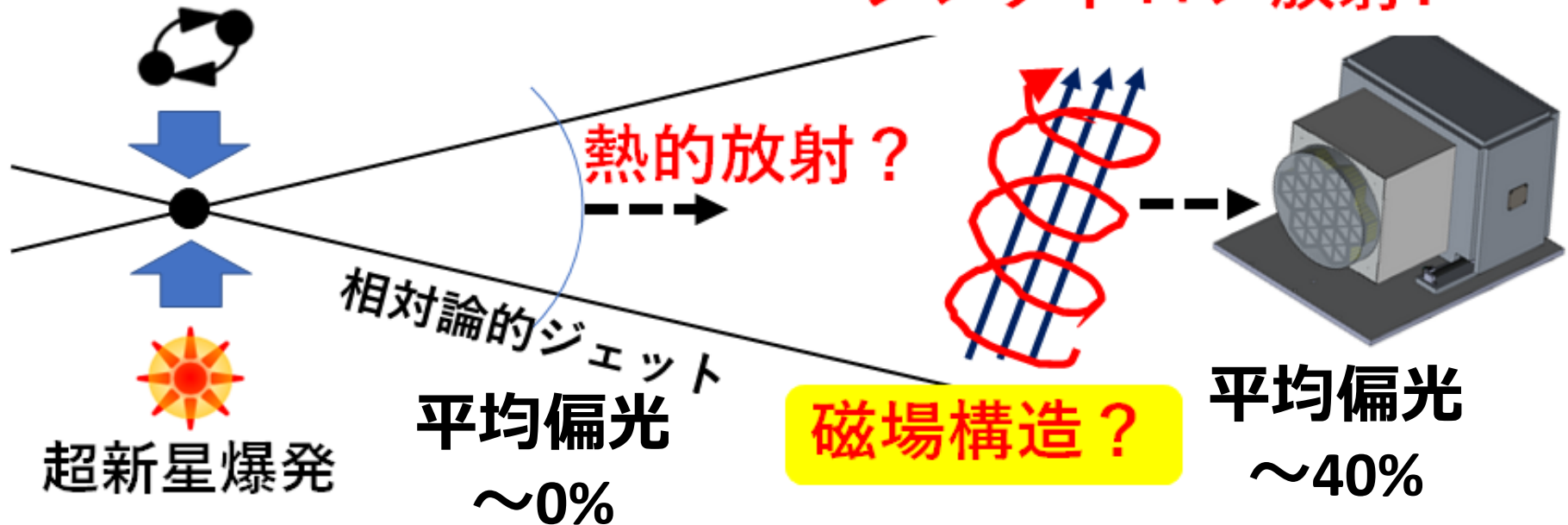
# ガンマ線バースト(GRB)

## Gamma-ray Burst :GRB

宇宙最大の爆発現象であり、発生頻度も高いが未だ謎が多い天体現象。特にジェット構造が謎。

中性子星/ブラックホール連星

シンクトロン放射?



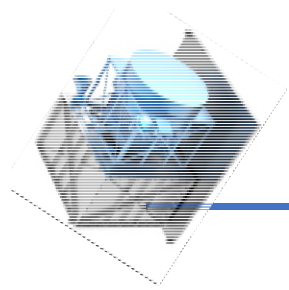
平均偏光  
~0%

磁場構造?

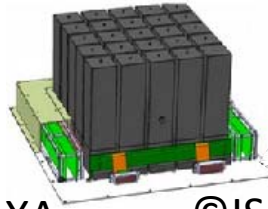
平均偏光  
~40%

ガンマ線の偏光観測で、モデルの切り分けが出来る

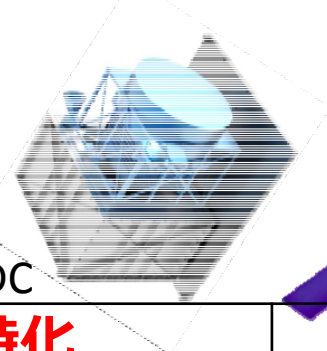
# 偏光観測の現状



©JAXA



©ISDC



©ISDC



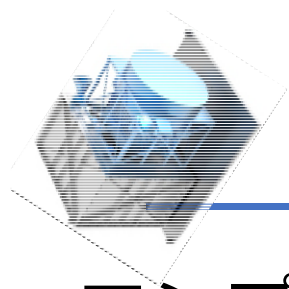
©ISRO

|              | 偏光観測に <b>特化</b> |        |                          | 偏光観測も <b>可能</b>              |                |
|--------------|-----------------|--------|--------------------------|------------------------------|----------------|
| 検出器          | GAP             | POLAR  | <b>SPHiNX</b>            | INTEGRAL                     | ASTROSAT       |
| 検出器重量        | 4 kg            | 30 kg  | <b>25 kg</b>             | 680 kg                       | 50 kg          |
| エネルギー帯域(keV) | 70-300          | 50-500 | <b>20-600<br/>低Eをカバー</b> | 200-800                      | 100-300        |
| 視野(度)        | ±45             | ±45    | <b>±60</b>               | ±4(fully coded)<br>±15(0になる) | ~半球<br>(マスク透過) |
| 偏光検出数        | 数               | 未報告    | <b>予想~10/年</b>           | 数                            | ~10            |

2021年予定

質の高いGRB偏光観測データを~10個

熱的放射  
or  
シンクロトロン



# 偏光観測の原理

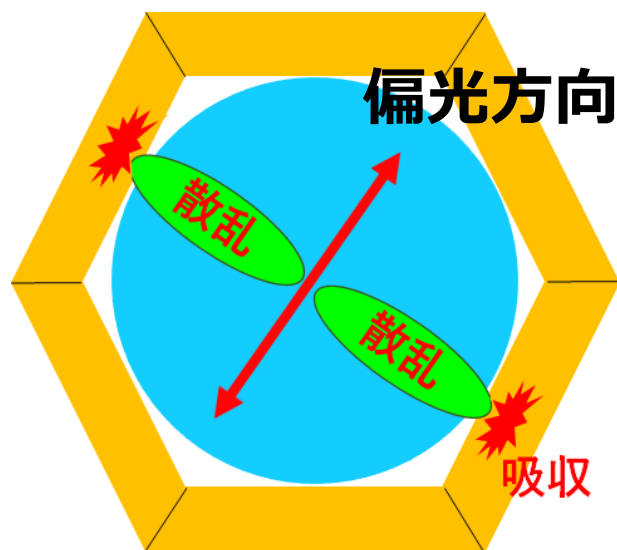
コンプトン散乱→偏光方向と垂直に散乱しやすい

コンプトン散乱しやすい物質(散乱体)

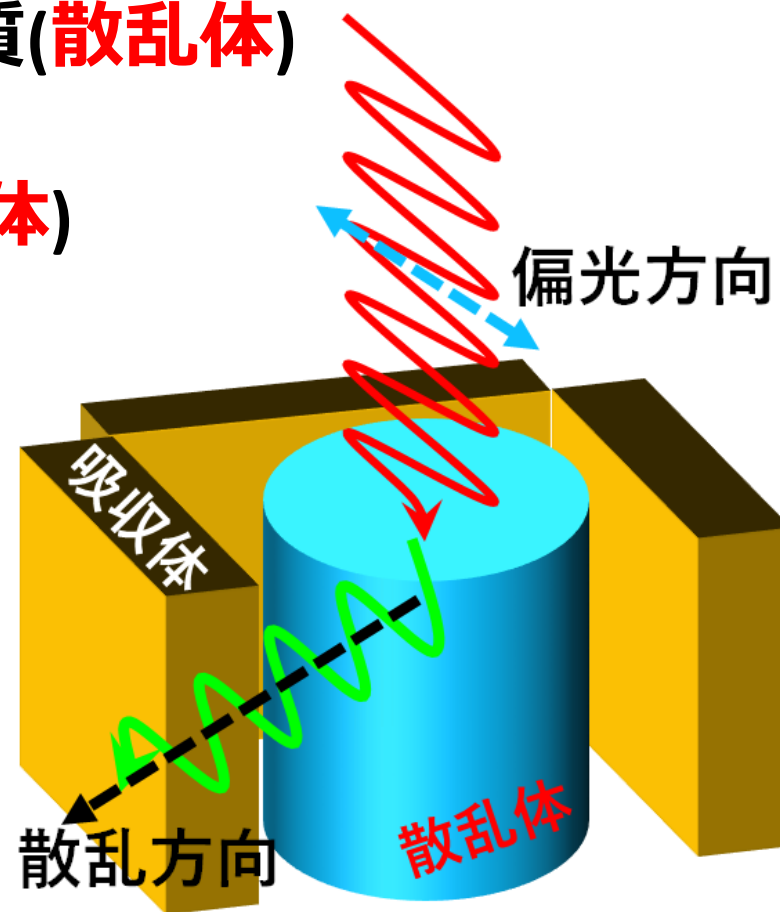
で散乱させたガンマ線を

光電吸収しやすい物質(吸収体)

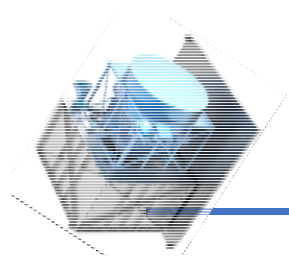
で吸収する。



Top view

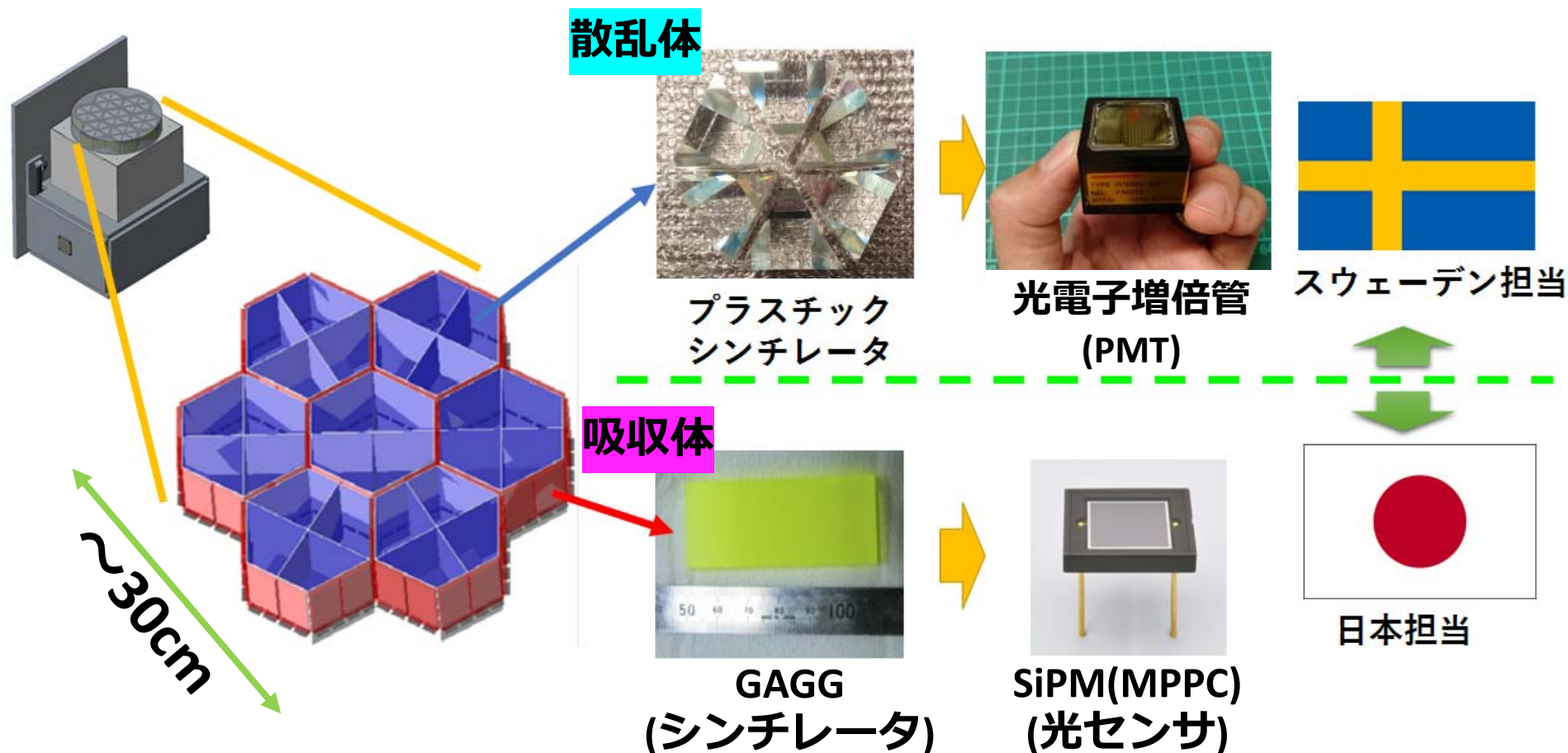


Quarter view

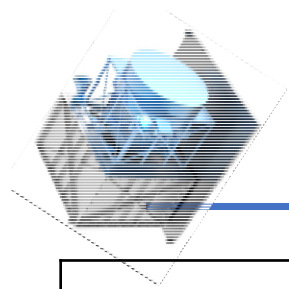


# SPHiNX衛星 偏光計

スウェーデンチームとの共同開発。気球実験PoGO+(旧PoGOLite)のチーム  
→かに星雲：Chauvin et al. 2017, 2018/はくちょう座X-1：投稿中

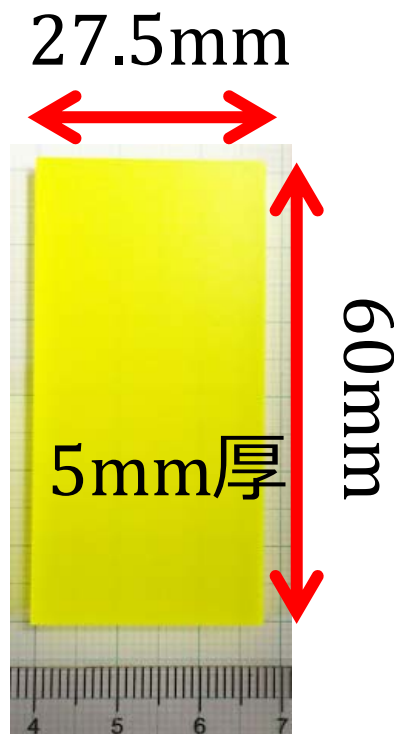


**GAGGの発光量の温度依存性について報告する。<sup>5</sup>**



# GAGGシンチレータ

|                              | CsI   | $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$<br>(BGO) | $\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$<br>(GAGG) |
|------------------------------|-------|--|--|
| 密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 4.53  | 7.13   | 6.36   |
| 発光量(photon/MeV)              | 56000 | 8000   | 60000  |
| 放射線耐性                        | ×     | ○  | ○  |
| 潮解性                          | 有     | 無  | 無  |



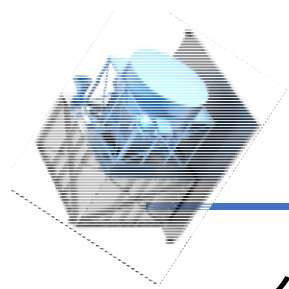
**発光量が大きく、放射線に強い！**  
比較的、最近開発されたシンチレータ

SPHiNX軌道上では、 $-4^\circ\text{C} \sim +40^\circ\text{C}$ もの温度変化

→ 詳細なGAGGの発光量の温度依存性は分かっていない。

温度によるGAGGの光量の変化は、MPPCの印可電圧で調整する。

→ **GAGG発光量の正確な温度依存性のデータが必要。**



# GAGG発光量の温度依存の測定

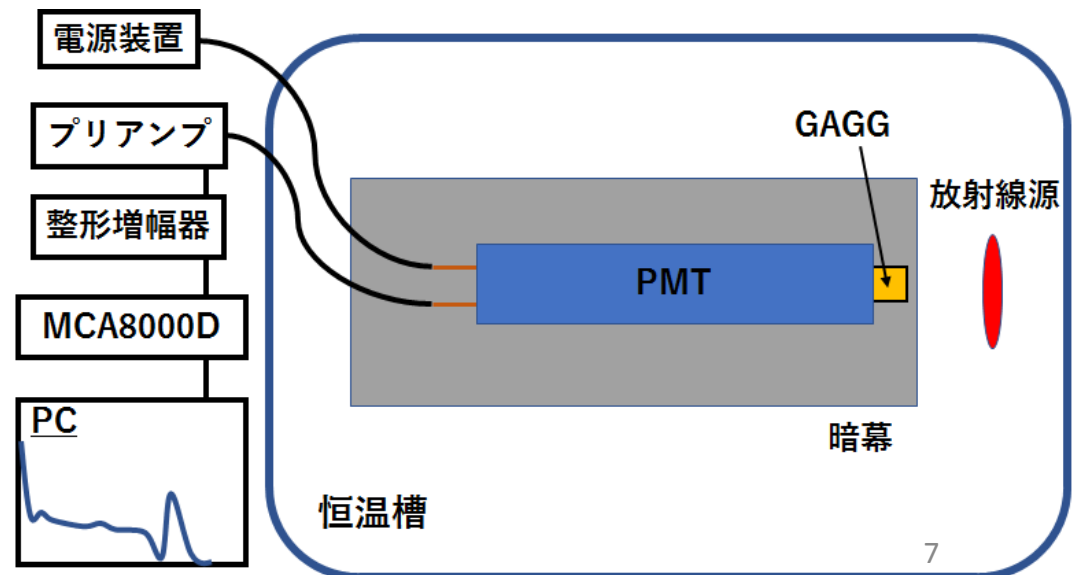
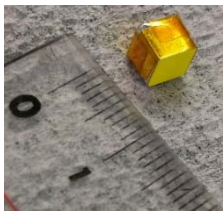
SPHiNX衛星の軌道上での温度変化： $-4 \sim +40^{\circ}\text{C}$

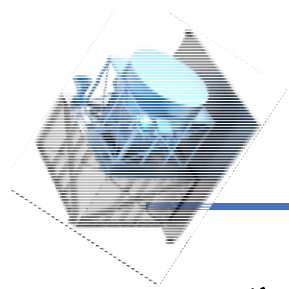
- $\pm 25, \pm 12.5, 0^{\circ}\text{C}$
- GAGGサイズ:  $5 \times 5 \times 5\text{mm}^3$
- 光センサ: PMT (Hamamatsu:R7899)

22.5~55 $^{\circ}\text{C}$ の温度範囲  
はスウェーデンチーム  
が測定済み

**→1p.eが確認できるため、正確な温度補正が可能**

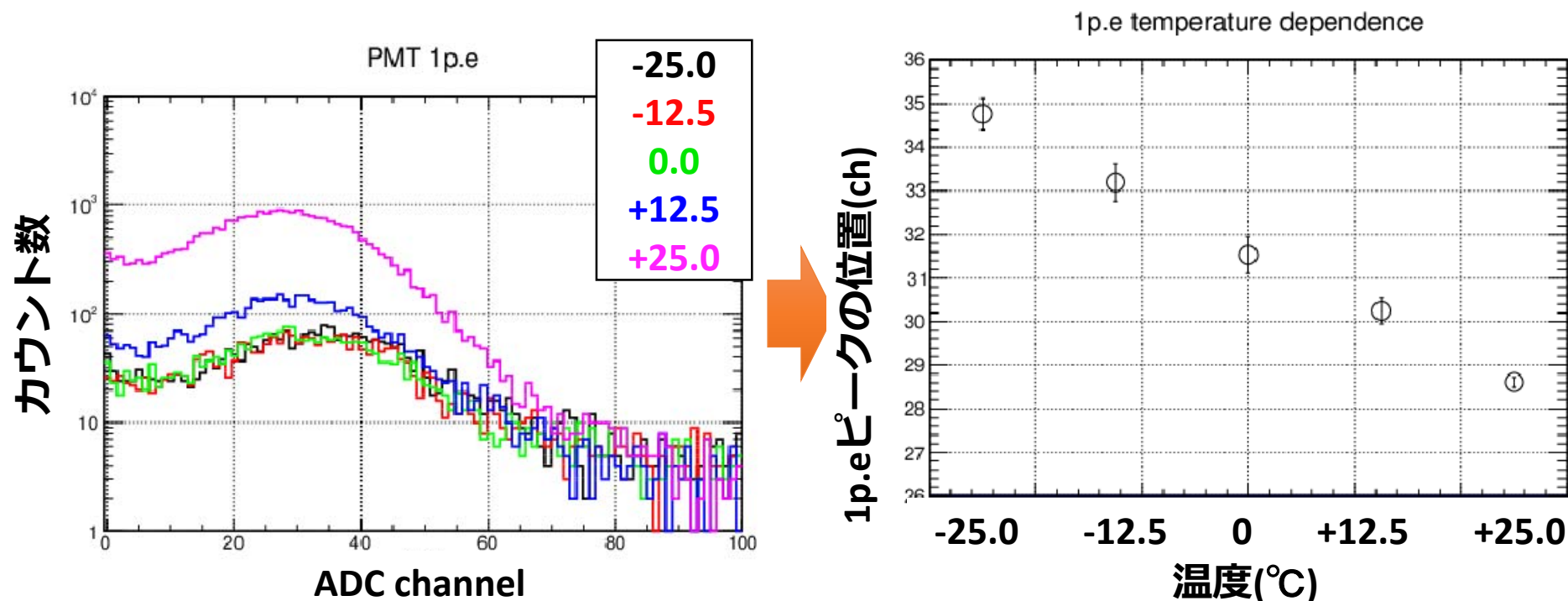
- $^{137}\text{Cs}$ を測定。662keV光電吸収ピークの変動を調べた



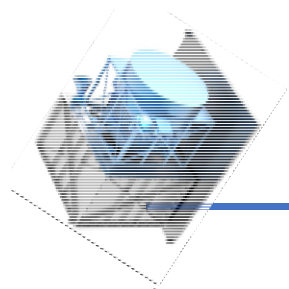


# GAGG発光量の温度依存

まず、PMTのゲインの温度依存を補正するためにGAGG無しで、1p.eピークの変動を調べた。

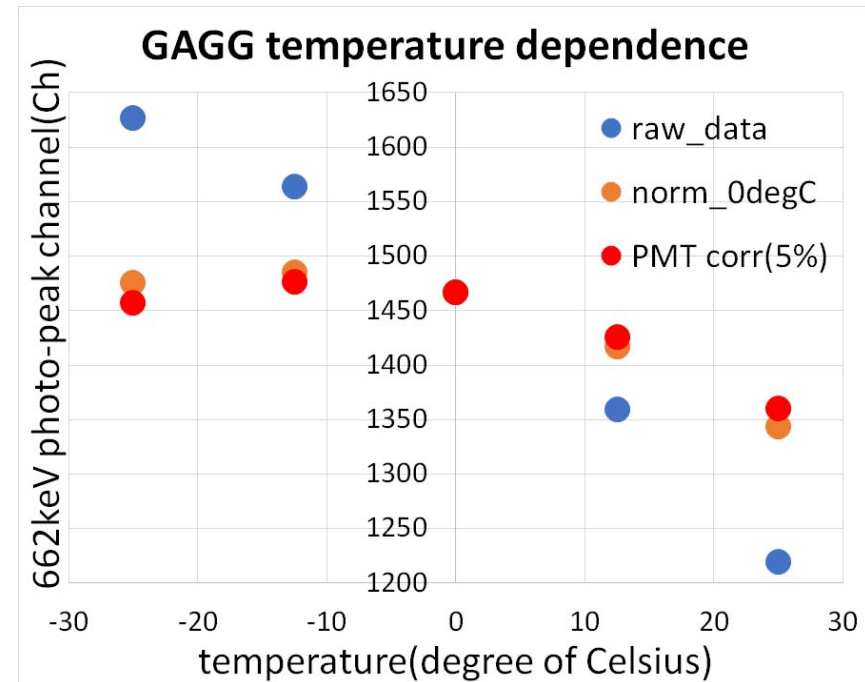
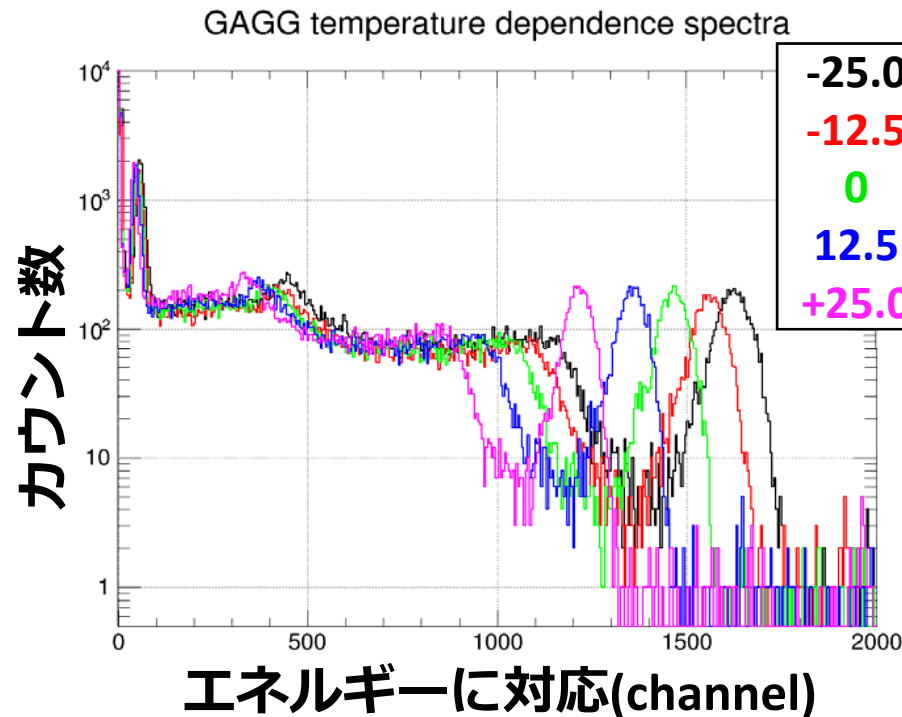


−25.0 → +25.0°Cの変化で、ゲインが約**18%減少**  
→同型のPMTで測定した先行研究とコンシステント



# GAGG発光量の温度依存

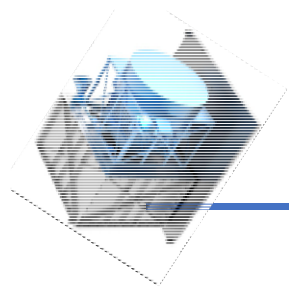
次に、GAGGを取り付けて $^{137}\text{Cs}$ を測定



50°Cの温度上昇で、**約7%の発光量の減少**

→MPPCの印可電圧(~0.7V)で調整可能

MPPCゲインの調整用のデータとして用いる



# まとめ

---

## **★ GAGGシンチレータの基礎特性評価**

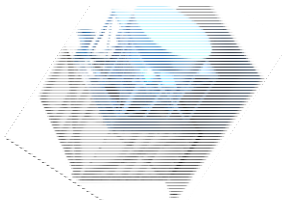
- ・ -25～+25°CでのGAGGシンチレータの温度特性を調べた。
- ・ その結果、MPPCの印可電圧の調整で十分、対応できる変化範囲( ~ 7%/50°C)であることが分かった。

## **★ SPHiNX開発タイムライン(採択された場合)**

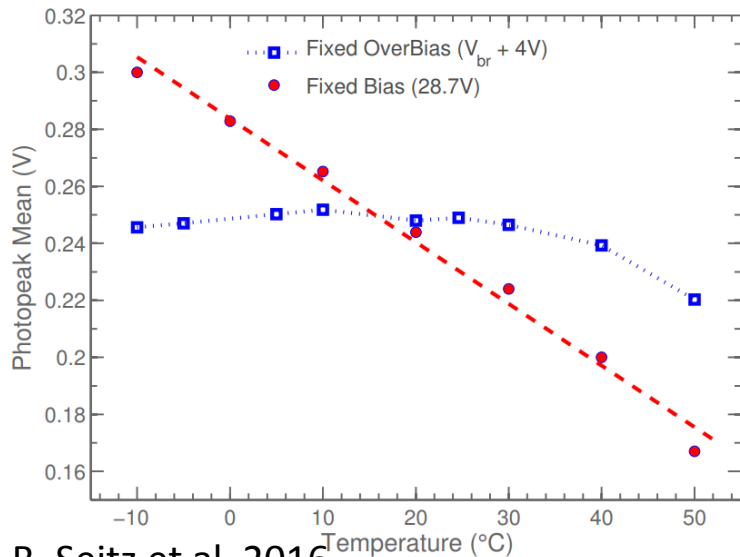
- 2018 -- 偏光計プロトタイプ開発**
- 2019 -- 実験室モデルで偏光試験@SPring-8**
- 2020 -- 打ち上げ品の製造**
- 2021～ Launch!**

***Thank you for your attention.***

# バックアップスライド

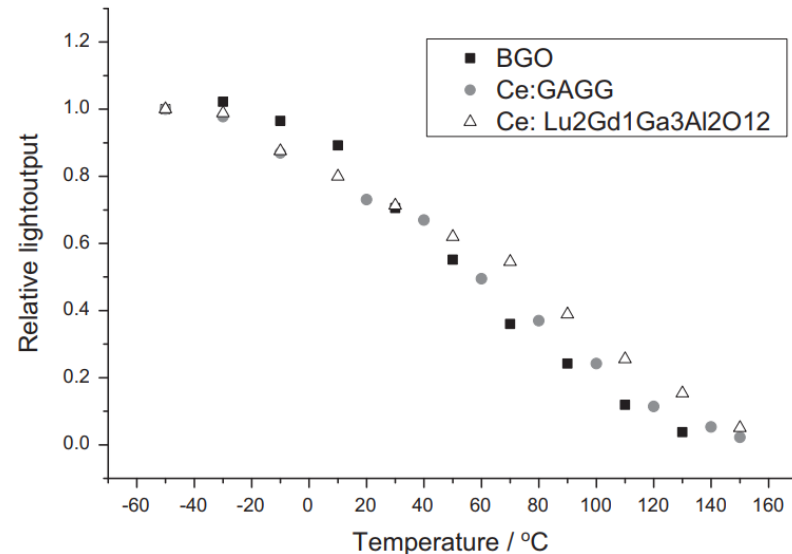


# GAGGの温度依存性の先行研究



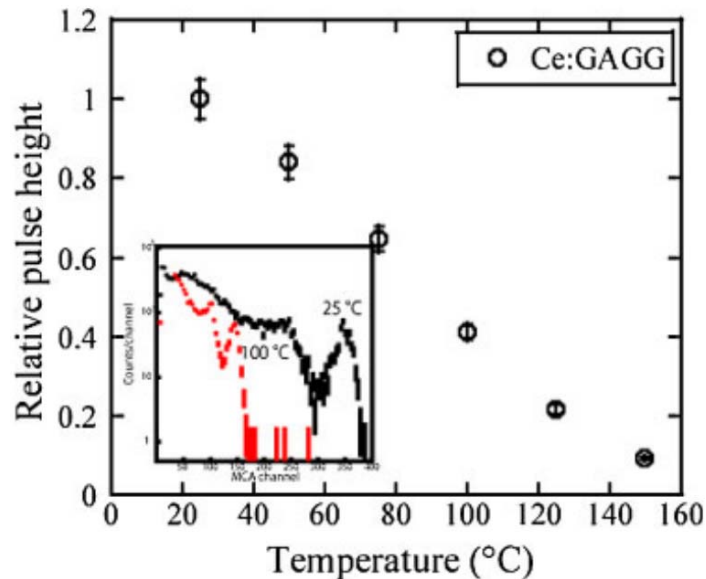
B. Seitz et al. 2016

MPPCでGAGGの温度依存性(-10°C~50°C)を測定



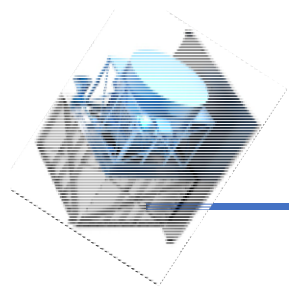
K. Kamada et al. 2015

PMTで温度依存性(-50°Cから150°C)を測定

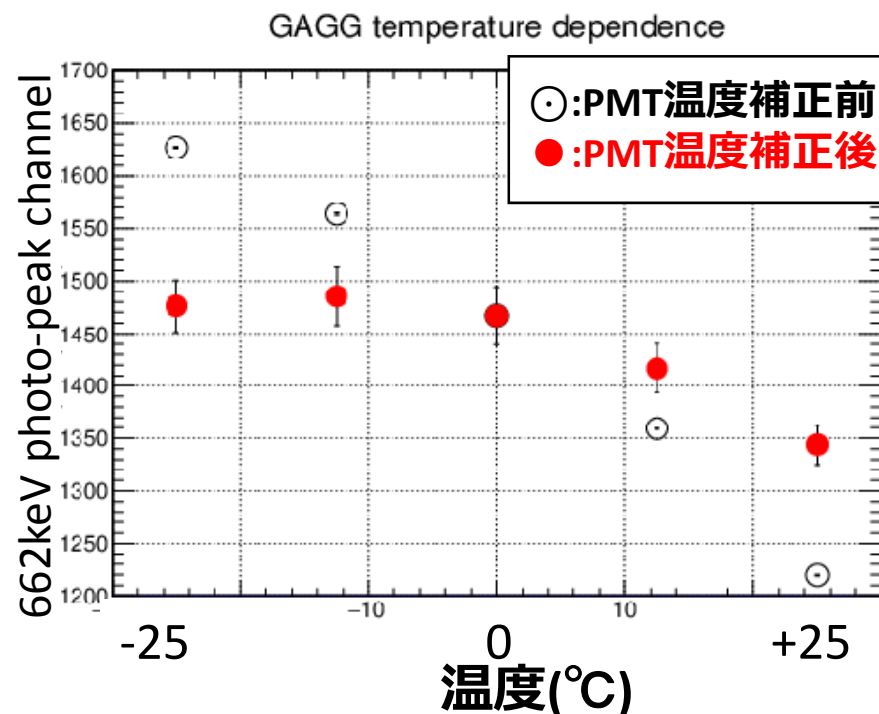
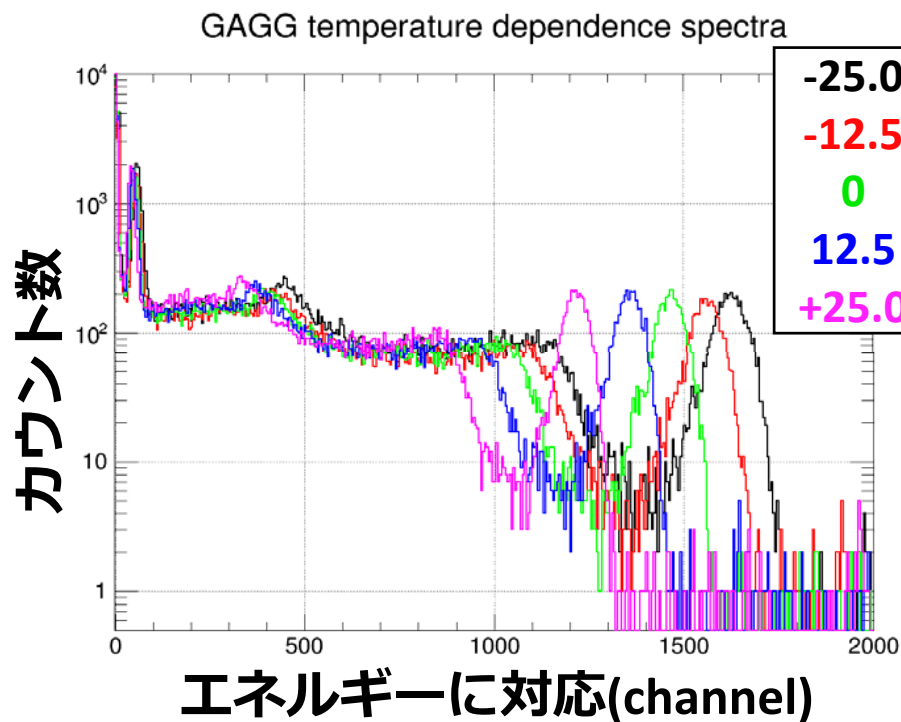


T Yanagita et al. 2013

PMTで温度依存性(25°Cから150°C)を測定

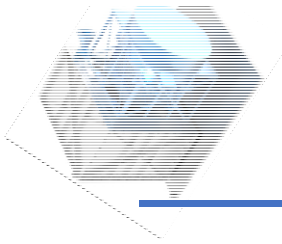


# GAGG発光量の温度依存



50°Cの温度上昇で、**約10%**の発光量の減少  
→MPPCの印可電圧(〜0.7V)で調整可能

MPPCゲインの調整用のデータとして用いる



# スウェーデンチームによるGAGG測定

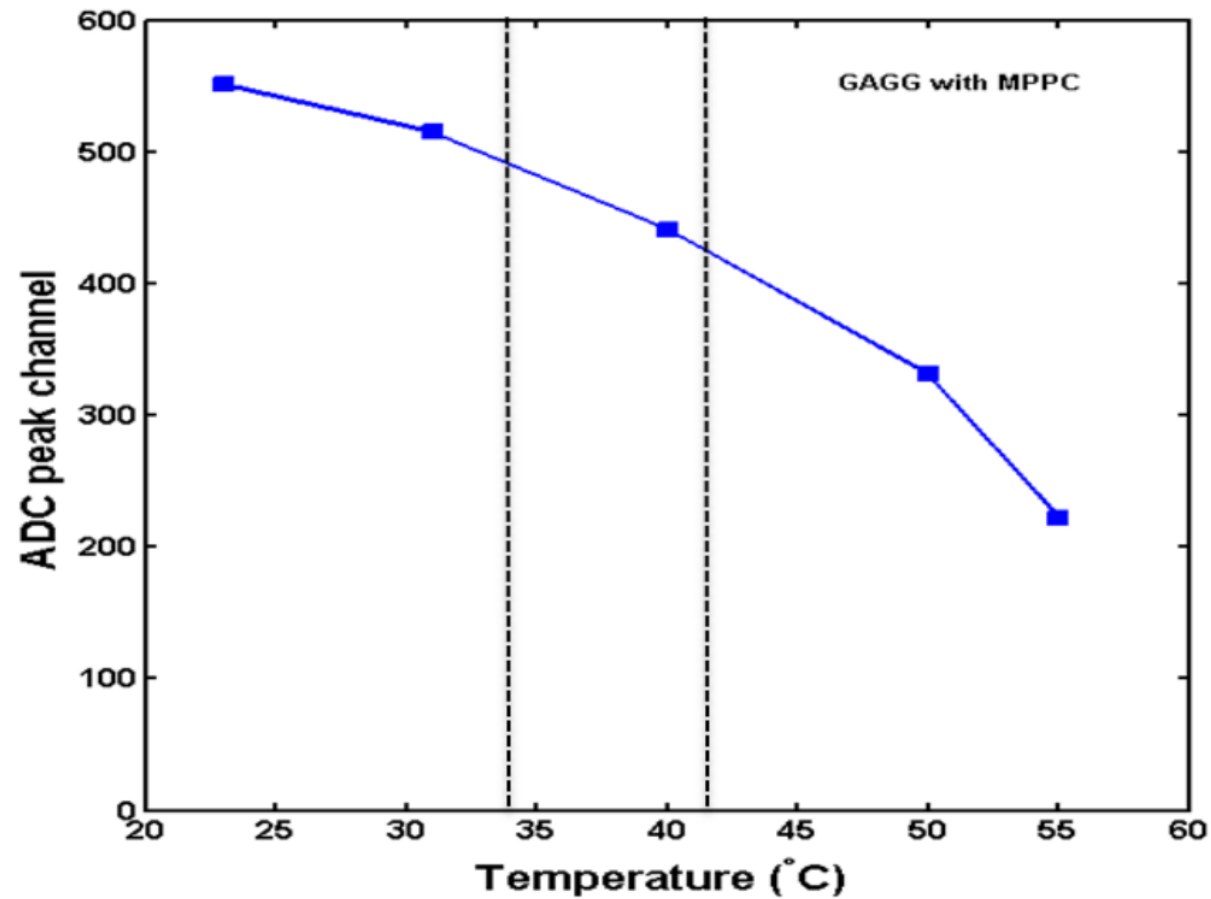
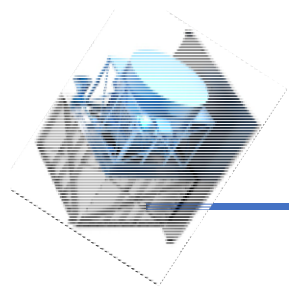
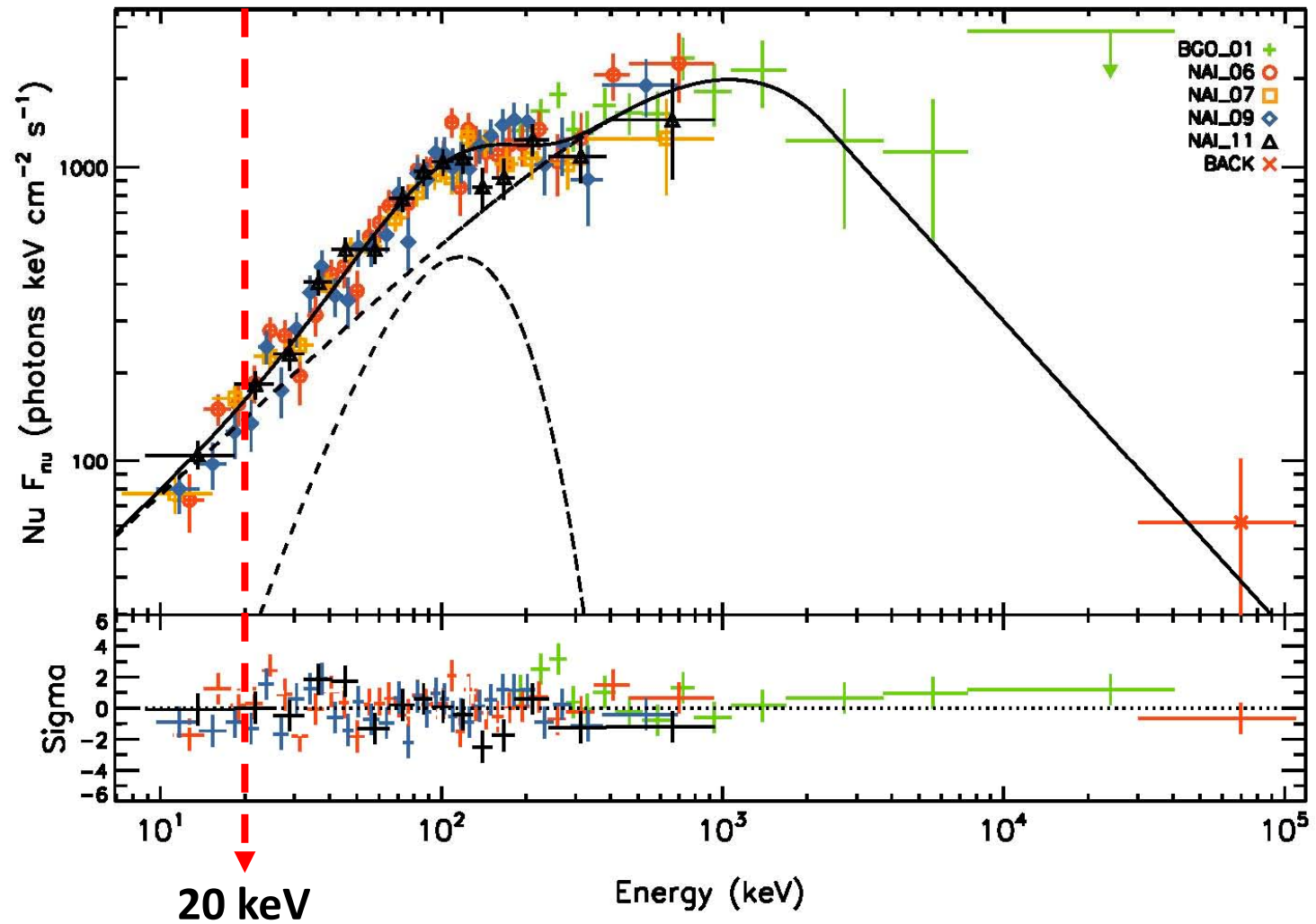
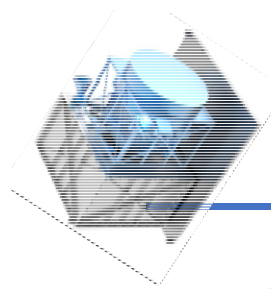


Figure 10 – Gain dependence on temperature for GAGG-MPPC read-out.



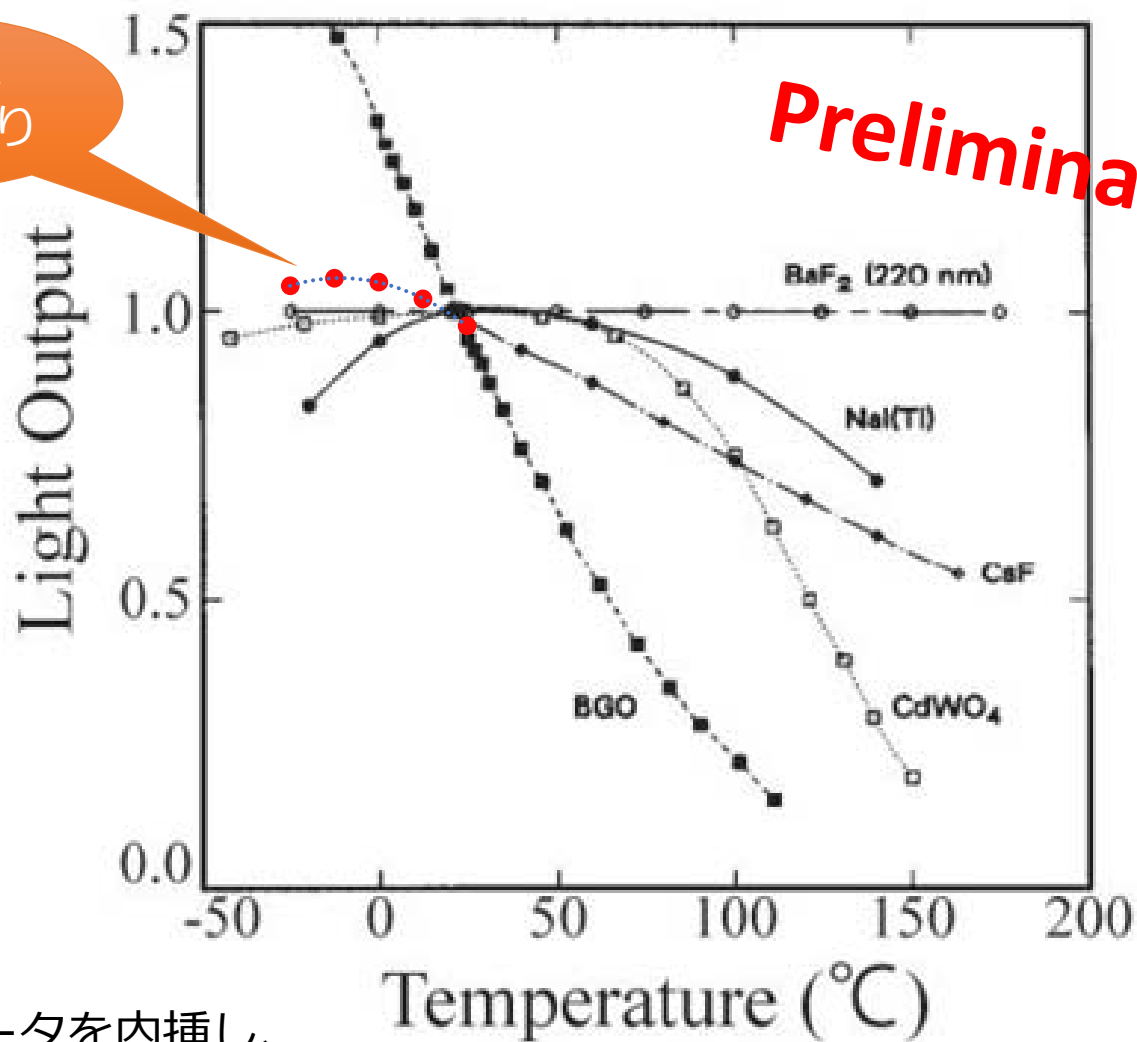
# ガンマ線バーストのSED



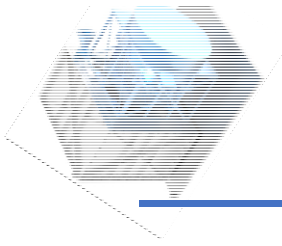


# シンチレータの発光量の温度依存性

GAGGは  
このあたり



20°Cの時のデータを内挿し、  
その値で規格化した相対光量



# PMTのゲイン温度依存性(先行研究)

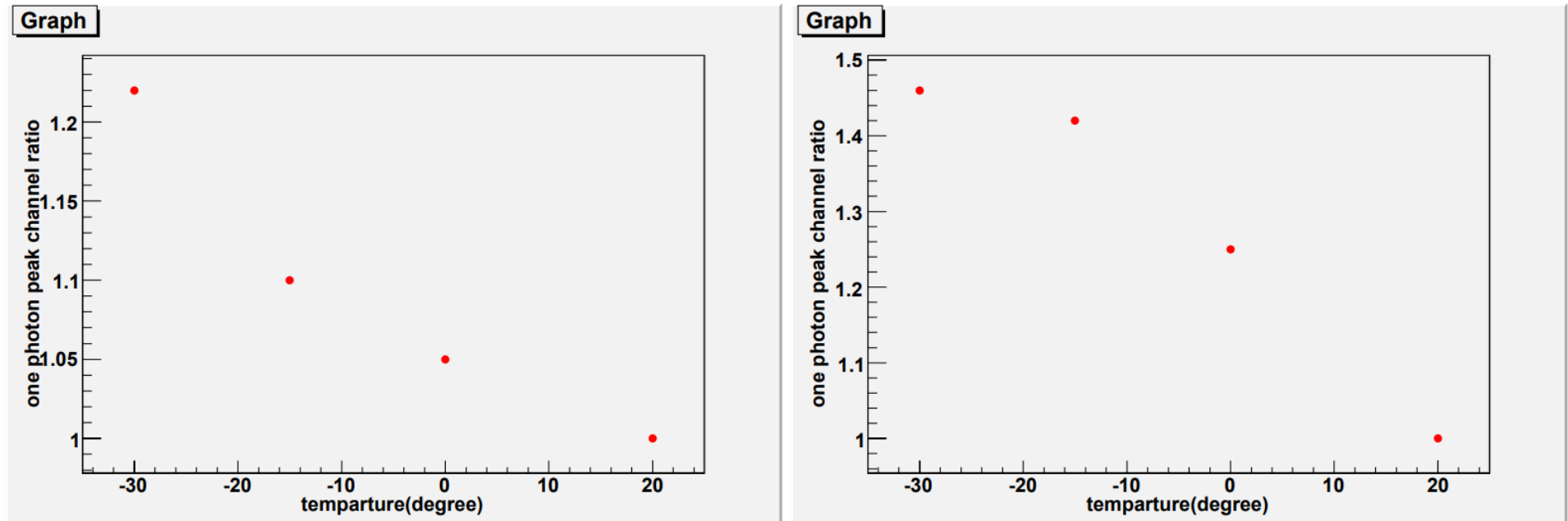
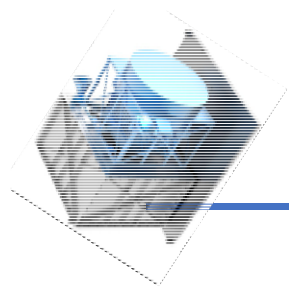
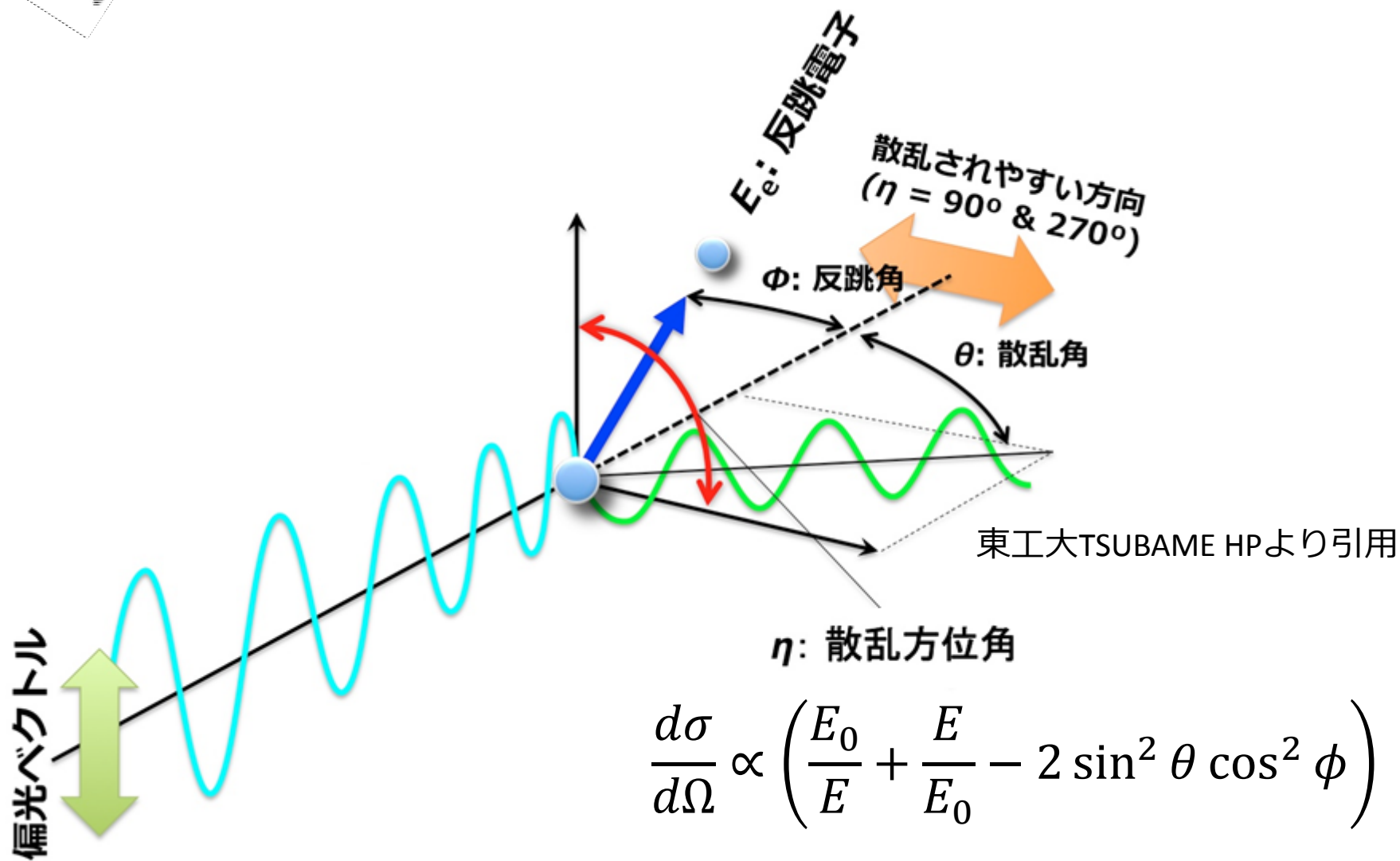


図 5.19: 各光電子増倍管のゲインの温度依存性。(左)ZL6500、(右)ZL6505。

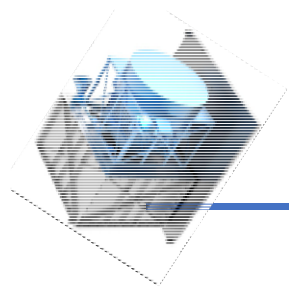
Hamamatsu R7899型で測定



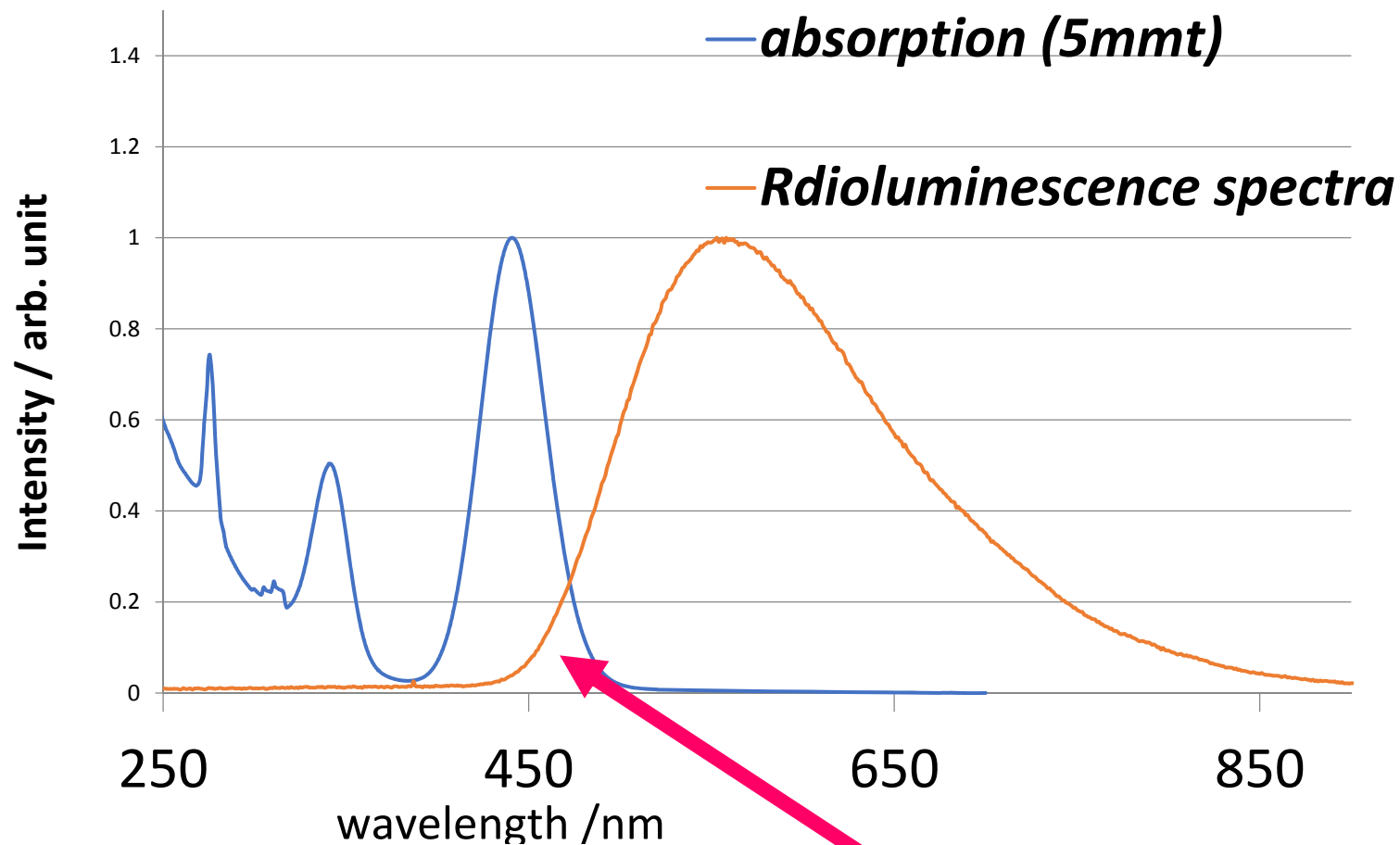
# 偏光観測原理



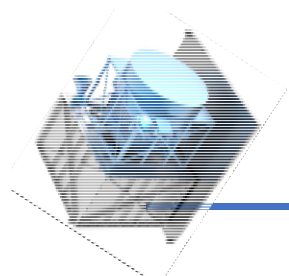
$\theta = 90^\circ$ で部分散乱断面積が最大



# GAGGの発光・吸収特性



オーバーラップ  
一部吸収される



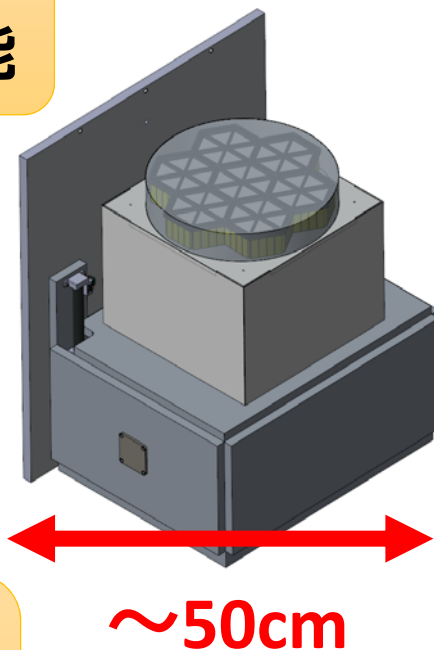
# SPHiNX衛星計画

**SPHiNX: Satellite Polarimeter for High eNergy X-rays**

10 GRB/年  
→統計的な議論が可能

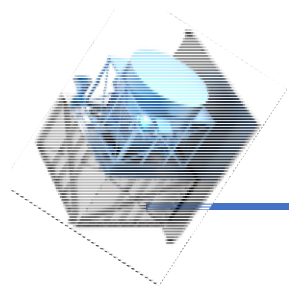
エネルギー帯域  
20 – 600 keV

視野角： $\sim 120^\circ$   
検出器有効面積:  $95\text{cm}^2$   
検出器重量: 25kg

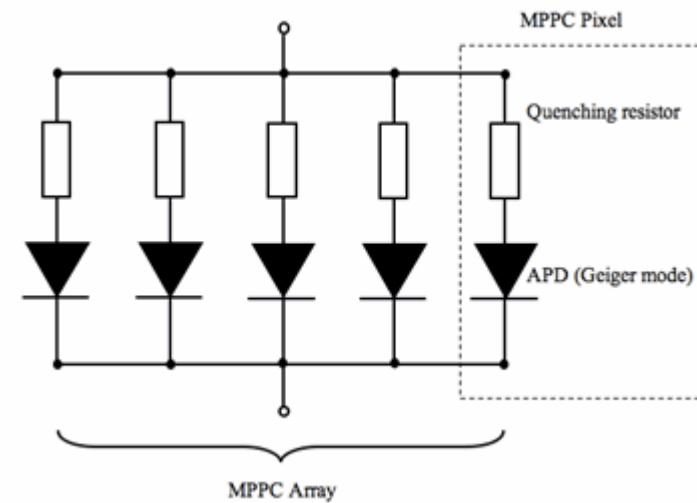
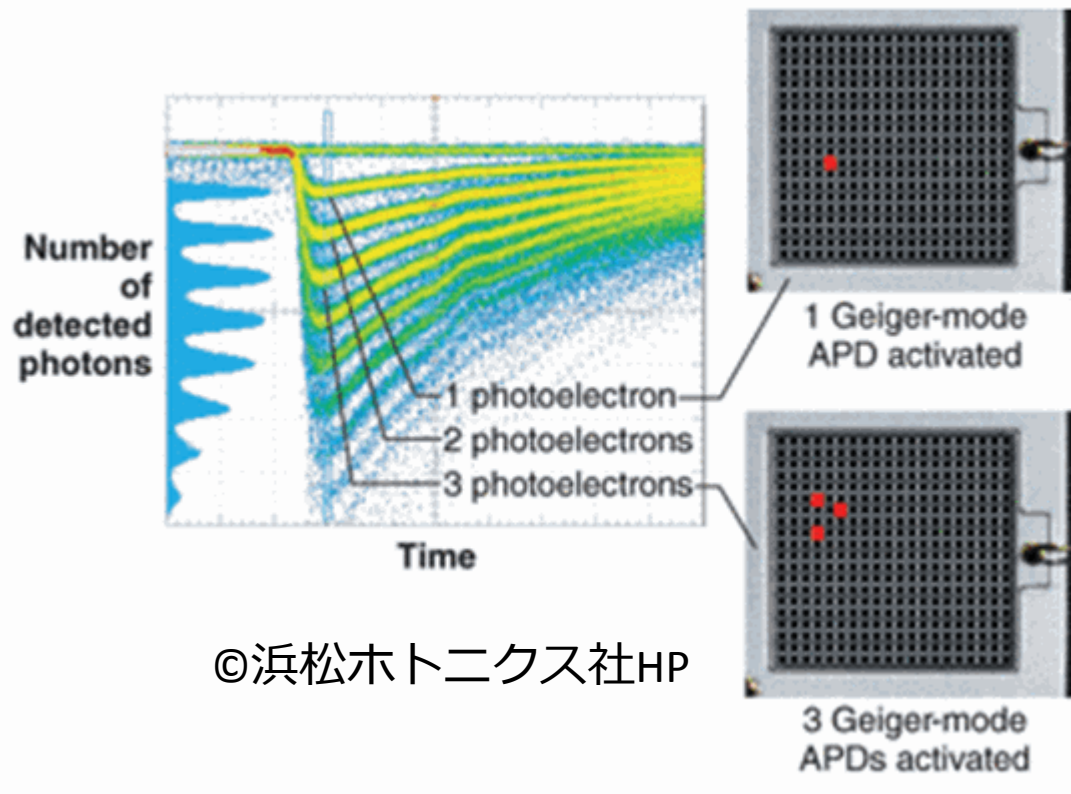


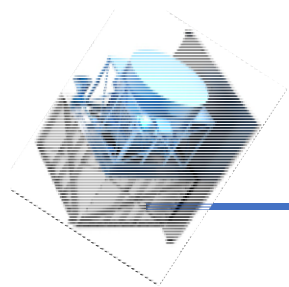
偏光検出能力  
(MDP):  $\sim 13.5\%$   
(明るいバースト時)

重力波  
フォローアップ観測



# Si-PMについて





# シンチレータ性能比較

| シンチレータ                  | Ce: GAGG | BGO  | Tl: NaI | Tl: CsI |
|-------------------------|----------|------|---------|---------|
| 発光量 (photon/MeV)        | 60000    | 8000 | 45000   | 56000   |
| 減衰時間 (ns)               | 88       | 300  | 230     | 1050    |
| 潮解性                     | 無        | 無    | 有       | 有       |
| 密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 6.63     | 7.13 | 3.67    | 4.53    |
| 発光波長 (nm)               | 520      | 480  | 415     | 550     |