

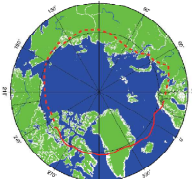
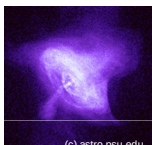
高橋弘充、松岡正之、米谷光生、水野恒史、深沢泰司 (広島大)、M. Axelsson, M. Jackson, M. Kiss, W. Klamra, M. Kole, S. Larsson, P. Mallol, M. Pearce, F. Ryde, S. Rydström (Royal Institute of Technology)、G. Olofsson, H-G. Floren (Stockholm University)、釜江常好、G. Madejski (SLAC)、田島宏康 (名古屋大、Stanford大)、金井義和、河合誠之 (東工大)、片岡淳 (早稲田大)、郡司修一 (山形大)、勝田隼一郎、高橋忠幸 (JAXA/ISAS)、G. Varner (University of Hawaii)、PoGOLiteチーム

概要

Polarized Gamma-ray Observer (PoGOLite) は、25~80 keV 帯域において、200 mCrab のフラックスをもつ天体から10%の硬X線・軟γ線偏光を検出できる検出器である [1][2][6]。日米欧で共同開発しており、2011年6-7月にスウェーデンから放球し、北極を周回する約17日間のフライトを目指している。

強い磁場や散乱によって生じる偏光は、X線・ガンマ線帯域においても、中性子星やブラックホール、超新星残骸、活動銀河核などにおける高エネルギー放射機構を研究する上で非常に強力な観測手法と考えられている。しかしながら、現在までに有意な偏光の検出が報告されている天体はカニ星雲のみであり、その観測帯域も OSO-8衛星による数 keV と、INTEGRAL 衛星による 数百 keV の2帯域のみに限られている。こうした中で、最近になって本格的なX線・ガンマ線偏光検出器の開発が世界中で進められている (PHENEX, GEMS, ASTRO-H, Polaris ...)。我々の PoGOLite 気球実験は、今夏に2週間以上の長時間フライトを行うことで、世界に先駆けてカニ星雲とCyg X-1からの偏光検出を目指している。

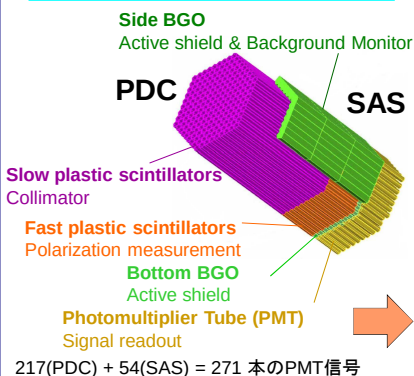
Cyg X-1 (ブラックホール連星系) カニ星雲 (パルサー) 北極を周回する軌道 (~17日)



PoGOLite 検出器

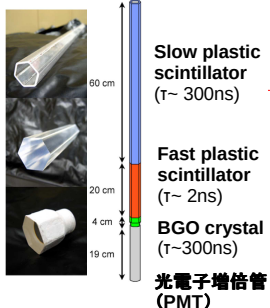
偏光を検出するために、PoGOLite では天体からの信号が検出でコンプトン散乱した際に生じる散乱角の異方向性を検出する。主検出部は 217 本の **well-type phoswich detector cells (PDCs)** から成り、コンプトン散乱の散乱位置と光電吸収の位置を検出する。1本の PDC は、主検出部の fast プラスチックシンチレータと、シールド部である slow プラスチック、BGO シンチレータから構成される。また周囲には、54 本のBGOシンチレータ **side anti coincidence shield (SAS)** とパッシブな**ポリエチレンのシールド**を配置し、それぞれ荷電粒子や視野外からのガンマ線、中性子によるバックグラウンド信号を除去する。

The detector array of PoGOLite



217(PDC) + 54(SAS) = 271 本のPMT信号

PDCの構造



気球高度 ~40 km

検出器バックグラウンド

- 荷電粒子
- 大気ガンマ線
- 中性子

予想レート: 数百 Hz/ユニット

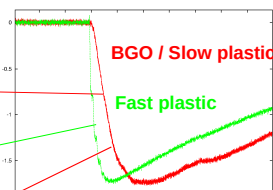
バックグラウンドの低減が重要

- 波形弁別可能なフォスウィッチ構成
- BGOアクティブシールド
- ポリエチレンシールド (パッシブ)

pathfinder フライト in 2011

- 61 PDCs + 30 SAS + 1 中性子検出器 = 92 本のPMT信号
- キルナ (スウェーデンの北部) から放球

プリアンプ出力波形



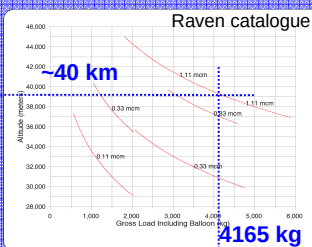
25-80 keVの偏光情報 (コンプトン散乱) を感度良く検出するため、デジタル回路における波形弁別により、Fast プラスチックシンチレータのみで反応した信号だけを取得する。

予想高度 (pathfinder flight) ~40 km

●Scientific payload (instrument, polyethylene, gondola, ACS, power, etc.) = ~1700 kg

●Total suspended weight (comms, rigging, parachute, ballast, etc.) = ~1900 kg

●Total flight weight (incl. balloon) = ~4165 kg



SpaceWireに基づいたデータ取得系

PoGOLite のデータ取得系は、SpaceWire通信規格に基づいて設計されている [4][5]。12枚のFADC ボード (1ボードあたり8本のPMT信号を処理) は、PMTプリアンプ出力をデジタル信号に変換した後、波形弁別処理を行う。またDIOボードが取りまとめる他ボードからのveto信号の情報を加味し、データを取捨選択する。FADCボードに一時保存された波形データは、ルーターと SpaceWire-to-GigabitEthernet を経由して、外部のPCから読み出される。このデータ取得系では数 kHz の読み出しスピードが実証されており、数十 Hz (veto信号などでバックグラウンドを除去した後) と予想される天体信号に対し、十分な性能を持ち合わせている。

SpaceWire components

FADC board



- 1枚で8本のPMT信号を処理する。ハードウェアもソフトウェアも、PDC と SAS で共通。

Digital I/O board



- 1枚のDIO ボードで、全体のトリガー信号と veto 信号から、データの取捨選択を行う。

Router board



SpaceWire-to-GigabitEthernet



- SpaceWire 通信と外部のイーサネットをつなぐ。

組み上がった回路

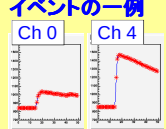


SpaceWire interface [3]

- New global standard of the communication interface for scientific missions.
- High speed (2~400 Mbps)
- Low power consumption, low noise
- High reliability
- Easy access from CPU by Remote Memory Access Protocol (RMAP)

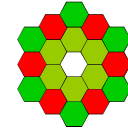
偏光X線ビームを照射@KEK-PF

検出したガンマ線イベントの一例



コンプトン散乱と光電吸収イベントのペア

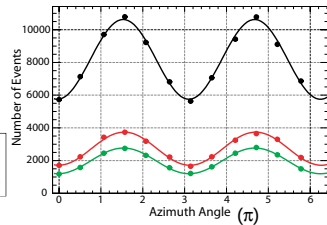
- 50 keV のペンシルビーム (90% 偏光) を中心ユニットに照射。
- 中心からの距離に応じてモジュレーションカーブを作成。
- 得られた測定結果は、GEANT4 モンテカルロシミュレーションの予想と ~5% 以内で一致。



Measured MF for each group

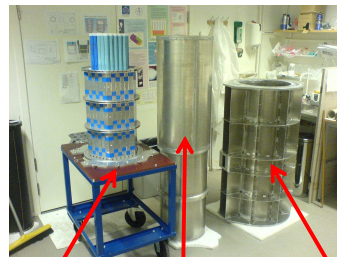
- Inner 6 units: 31.3 ± 0.4%
- Outer 12 units: 37.9 ± 0.7%
- 40.2 ± 0.8%

モジュレーションカーブ



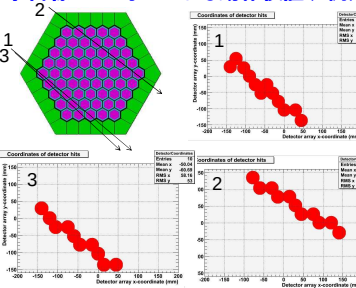
Combined MF over 3 groups: 34.1 ± 0.3%

今夏の pathfinder フライト用に完成した検出器

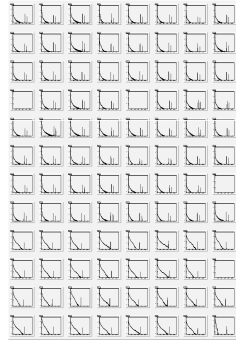


Polarimeter Pressure vessel Rotation frame

宇宙線ミューオンによる動作検証 (3例)

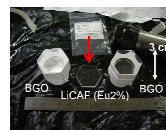


健康診断用エネルギースペクトル (全92本のPMTから正常な出力)



大気中性子モニター (熱中性子検出器) [7]

- PoGOLite では、ポリエチレンで減速された熱中性子が周囲に存在
- ${}^{6}\text{LiCaAlF}_6$ (Eu 2%) シンチレータで熱中性子を観測
- 上下を主検出部と同型のBGOシンチレータではさんだフォスウィッチ構成



検出器は正常に動作しており、今後ゴンドラに組み上げた上で、打ち上げ前の最終動作確認を行う。

REFERENCES

1. T. Kamai et al., "PoGOLite - A high sensitivity balloon-borne soft gamma-ray polarimeter" 2008, Astroparticle Physics, 30, 72-84
2. T. Mizuno et al., "High Sensitivity Balloon-Borne Hard X-Ray/Soft Gamma-Ray Polarimeter PoGOLite" 2007, Nuclear Science Symposium Conference Record, 2538-2544
3. T. Takahashi et al., "Space Cube 2 - An Onboard Computer based on Space Cube Architecture", 2007, 1st International SpaceWire conference
4. T. Tanaka et al., "Data Acquisition System for the PoGOLite Astronomical Hard X-ray Polarimeter" 2007, Nuclear Science Symposium Conference Record, 445-449
5. H. Takahashi et al., "Data Acquisition system of the PoGOLite Balloon Experiment" 2008, International SpaceWire Conference 2008
6. M. Jackson et al., "PoGOLite - a high sensitivity balloon-borne soft gamma-ray polarimeter". 2009, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, 449-453
7. H. Takahashi et al., "A Thermal-Neutron Detector with a Phoswich System of LiCaAlF_6 and BGO Crystal Scintillators Onboard PoGOLite", 2010, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record