



硬X線偏光検出器 PoGOLite 気球実験の現状と今後

高橋弘充、河野貴文、水野恒史、深沢泰司(広島大)、釜江常好(東京大)、田島宏康(名古屋大)、片岡淳(早稲田大)、高橋忠幸(ISAS/JAXA)、河合誠之(東工大)、M. Chauvin, M. Kiss, M. Kole, E. Moretti, M. Pearce, S. Rydström (Royal Institute of Technology)、H-G. Floren (Stockholm University)、PoGOLite チーム

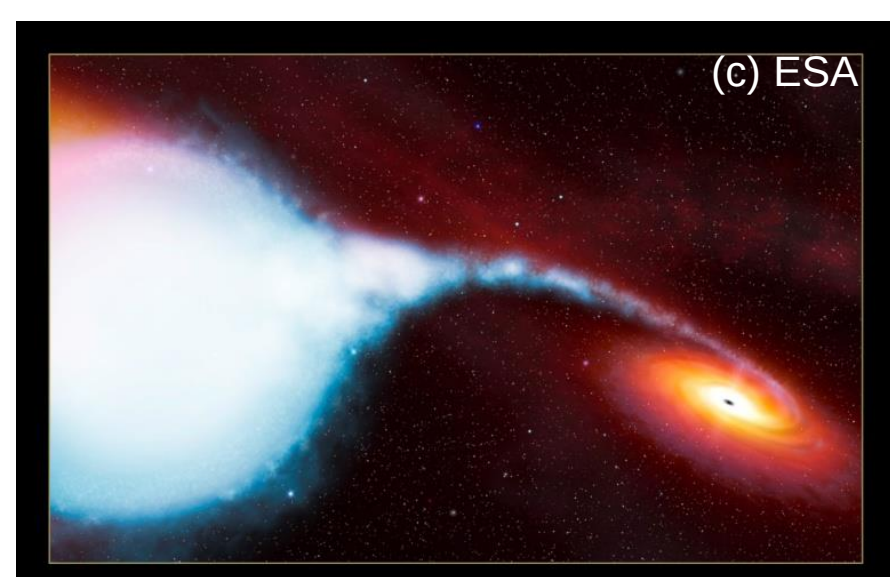
PI: Mark Pearce (スウェーデン王立工科大学) (www.particle.kth.se/pogolite)

概要

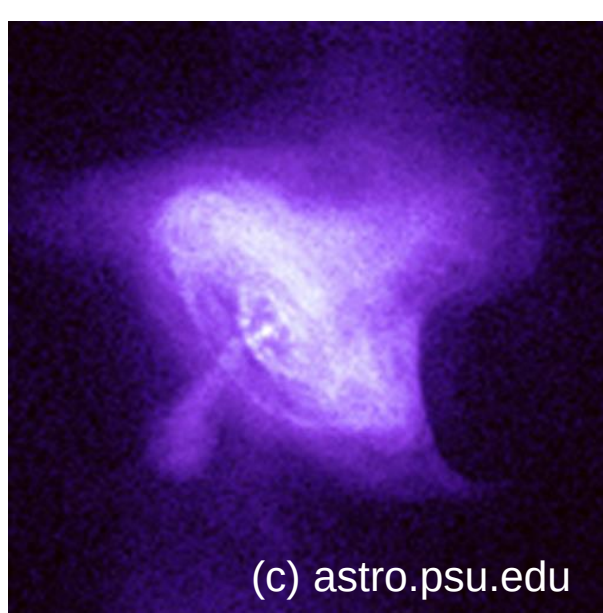
Polarized Gamma-ray Observer (PoGOLite) は、25~80 keV 帯域において、200 mCrab のフラックスをもつ天体から10%の硬X線・軟γ線偏光を検出できる検出器である [1][2][6][8]。日米欧で共同開発したパスファインダーモデルは、2013年7月12日にスウェーデンのキルナ市から放球に成功した。スウェーデンからカナダ、アラスカ、ロシアの上空まで14日間かけて世界で初めて北極圏を周回するフライトを続け、7月26日にロシアに着陸した。この14日間にわたって姿勢制御系は順調に動作し、目標性能の0.1° 以内の精度を達成できた。一方で、偏光計は最初の3日間の動作の後、電源系のトラブルが生じてしまった。カニ星雲やCyg X-1を観測したデータの解析は、現在進行中である。

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事例は、GAP検出器による明るいガンマ線バースト、OSO-8衛星による数 keV でのカニ星雲の観測と、INTEGRAL衛星による数百 keV でのカニ星雲と Cyg X-1 の観測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, ASTRO-H, GEMS, Polaris ...)。

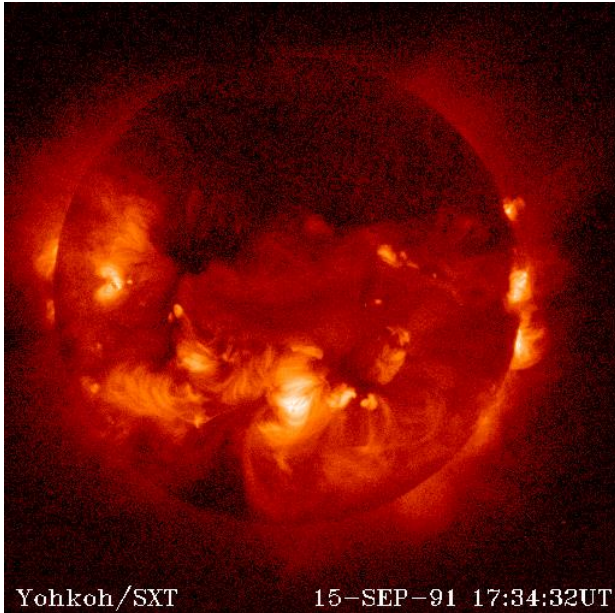
Cyg X-1 (ブラックホール連星系)



カニ星雲 (パルサー)



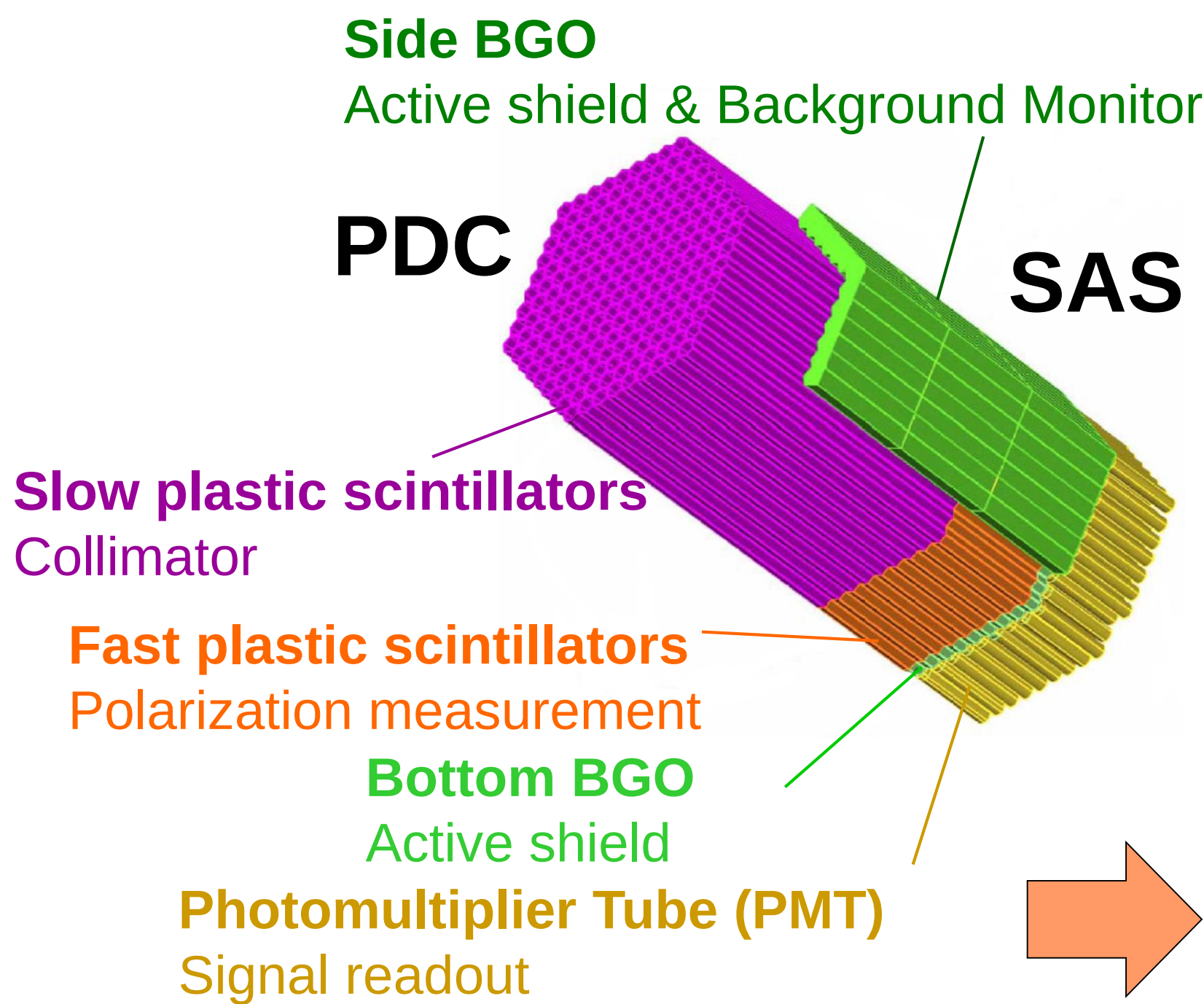
太陽フレア



PoGOLite 検出器

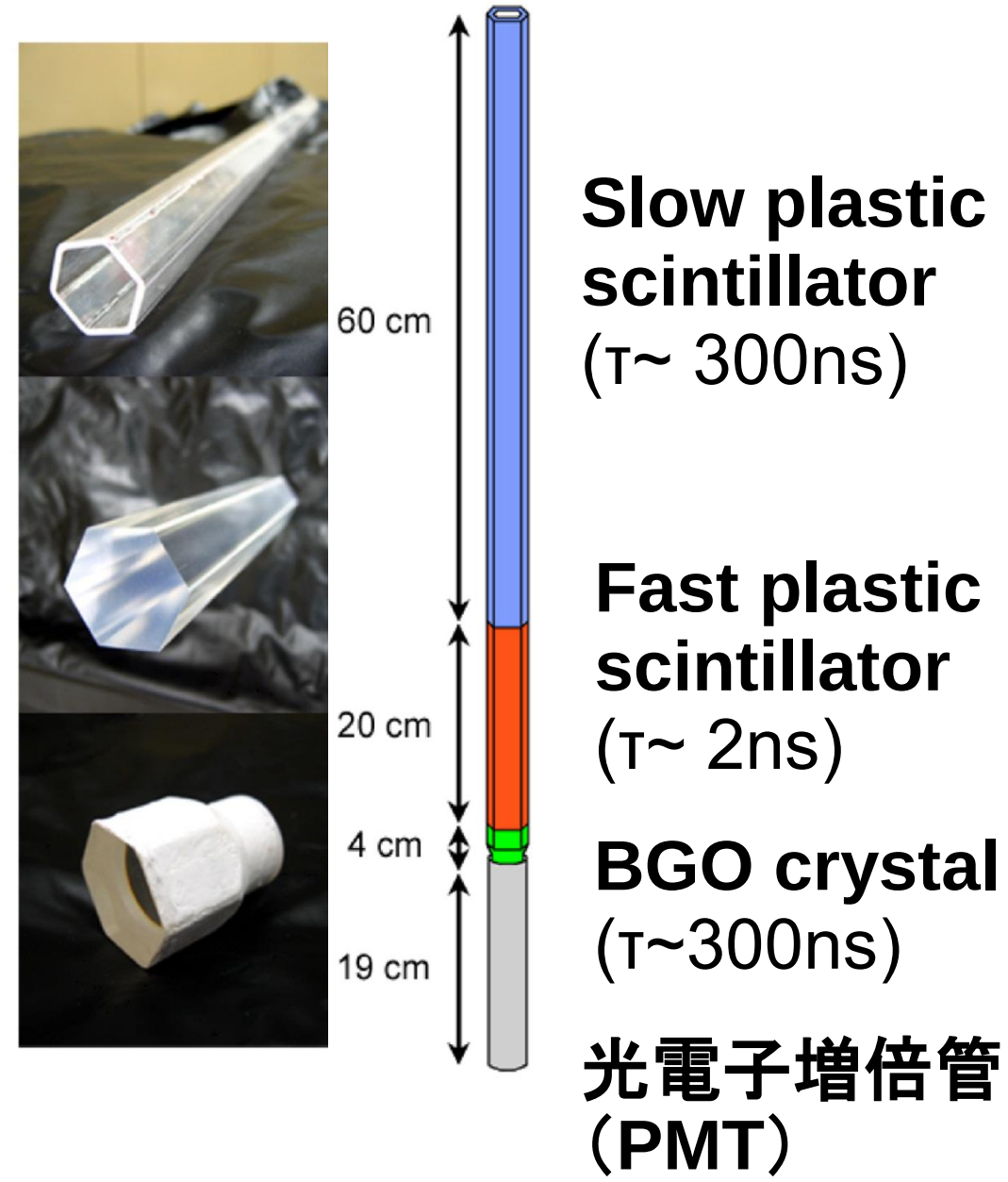
偏光を検出するために、PoGOLiteでは天体からの信号が検出でコンプトン散乱した際に生じる散乱角の異方性を検出する。主検出部は 217 本の **well-type phoswich detector cells (PDCs)** から成り、コンプトン散乱の散乱位置と光電吸収の位置を検出する。1本のPDCは、主検出部の fast プラスチックシンチレータと、シールド部である slow プラスチック、BGO シンチレータから構成される。また周囲には、54 本のBGOシンチレータ **side anti coincidence shield (SAS)** とパッシブな**ポリエチレンのシールド**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

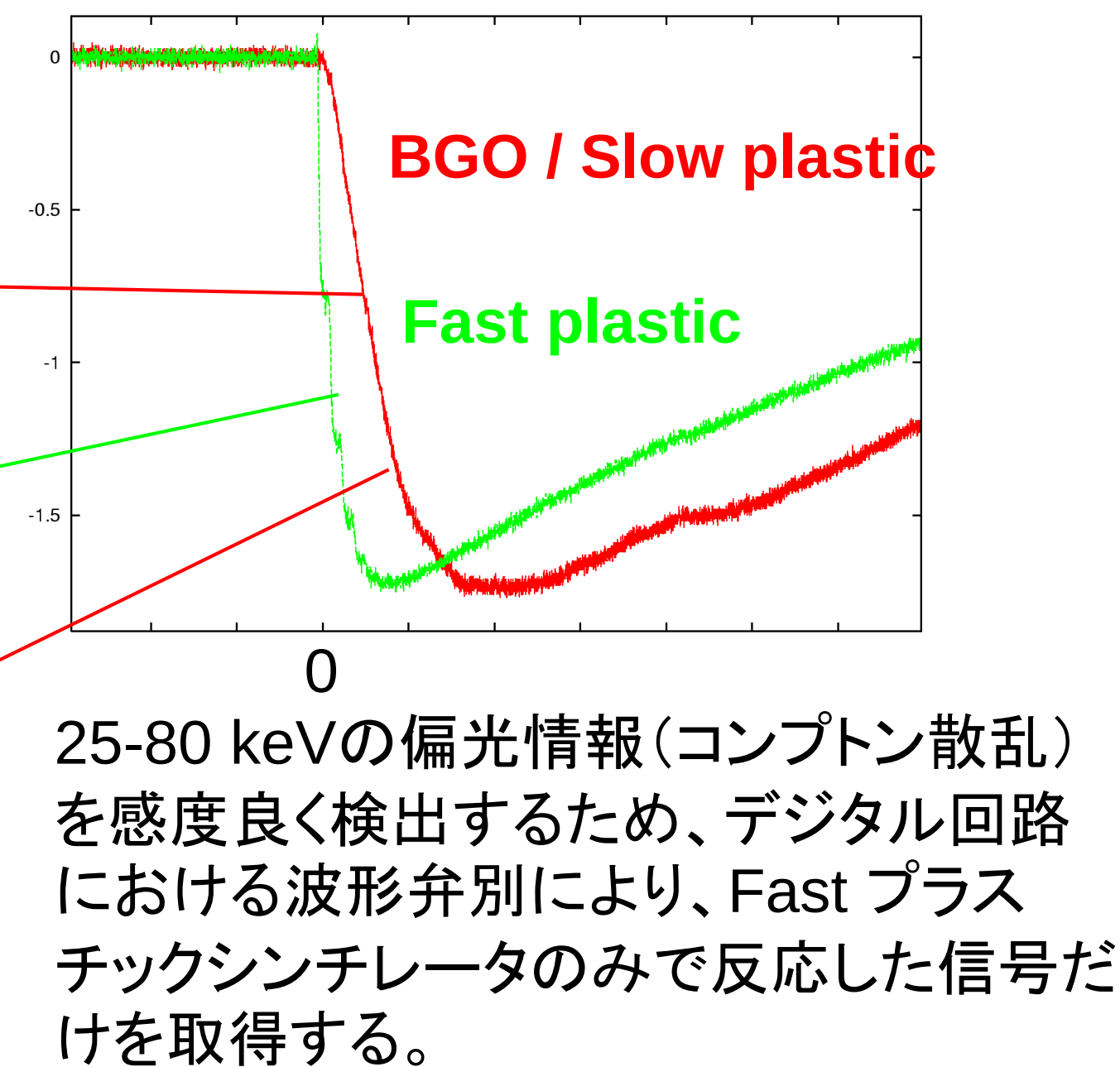


- 217(PDC) + 54(SAS) = 271 本のPMT信号
- 主要なバックグラウンド源である大気中性子のフラックスをモニターする熱中性子検出器も搭載

PDCの構造

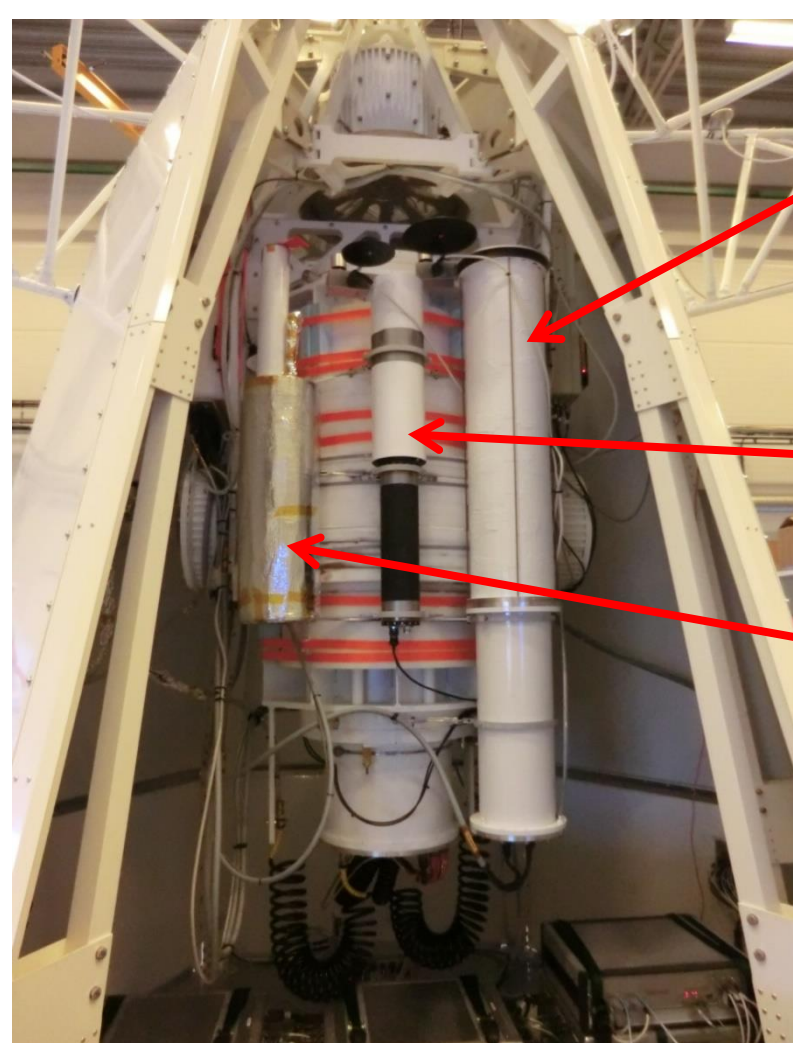


プリアンプ出力波形



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。

パスファインダーフライトのゴンドラ



“STM” star tracker (2.57 x 1.92 deg)

“STR” star tracker (5.0 x 3.7 deg)

Aurora monitor unit

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-GigabitEther 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

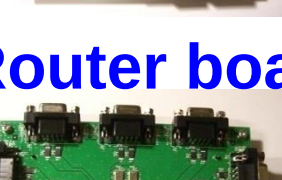
FADC board



- 1枚で8本のPMT信号を処理する。高圧電源の調整も行う。ハードウェアはPDCとSASで共通。



Router board



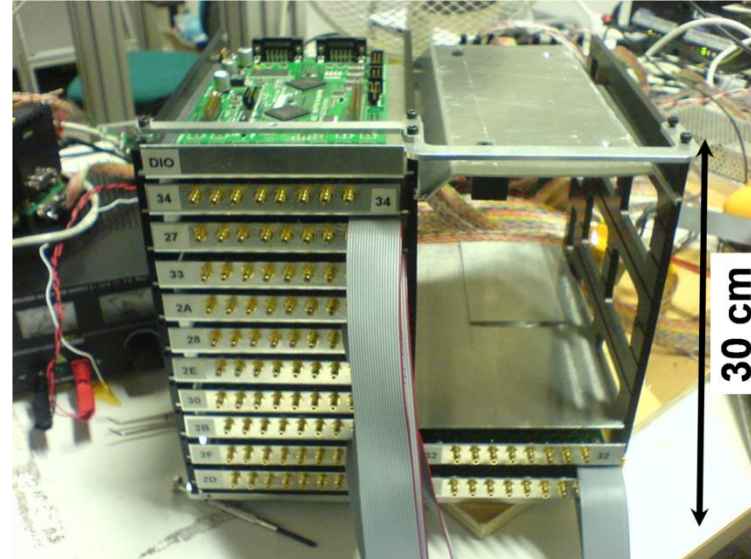
- 1枚のDIOボードで、全体のトリガー信号と veto 信号から、データの取捨選択を行う。

SpaceWire-to-GigabitEther



- 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]

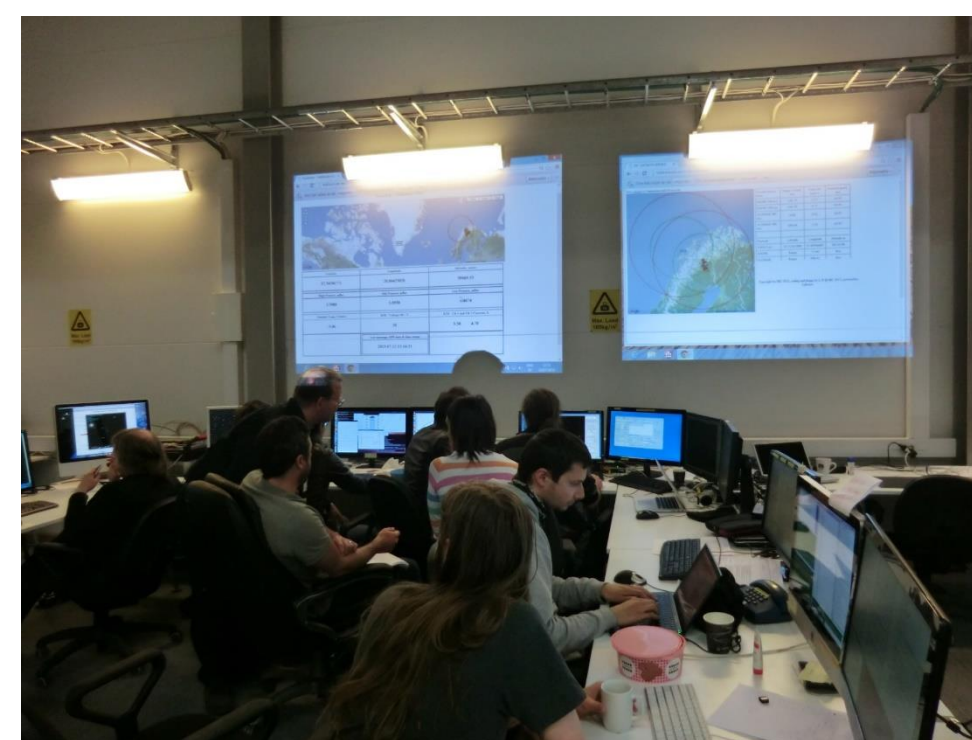
- New global standard of the communication interface for scientific missions.
- High speed (2~400 Mbps)
- Low power consumption, low noise
- High reliability
- Easy access from CPU by Remote Memory Access Protocol (RMAP)

PoGOLiteの放球(2013/7/12~7/26 : 14日間)

放球(2013/7/12)@スウェーデン・キルナ

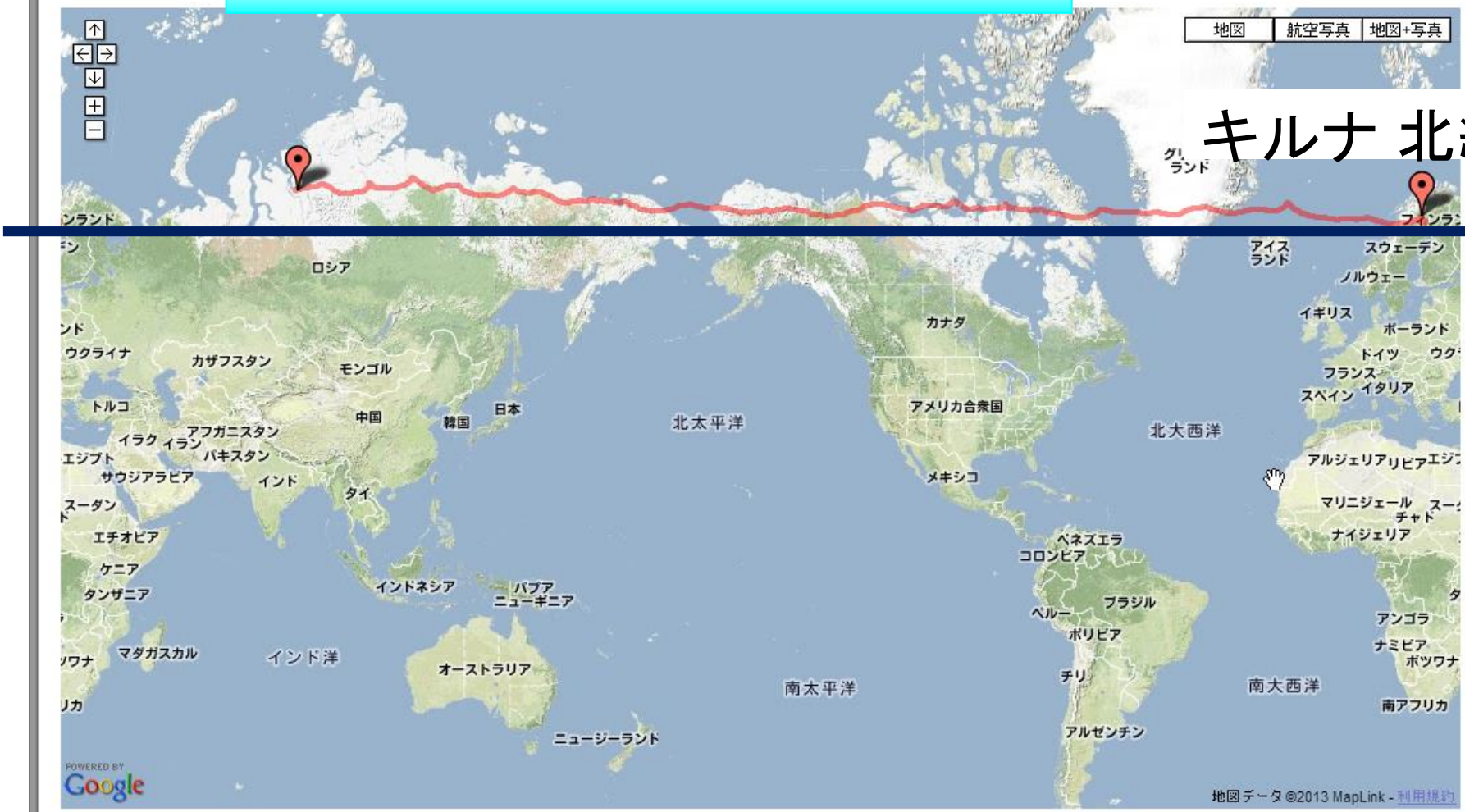


運用中の様子



Esrance気球実験場から放球に成功。同実験場から、その後の運用を E-link (Esrance実験場の高速データ通信) とIridium衛星で行った。

14日間のフライトの軌跡



着陸(2013/7/26)@ロシア・ハリリスク近郊



高度は、日中で最高 39~40 km、夜間の最低値でも 36 kmに到達。

7月末の風向きが北へ行く予報で、気球が北極海へ出て行ってしまう可能性が高まったため、ロシア国内で着陸させた。

ゴンドラは、2013年末にロシアからスウェーデンへ輸出手続きが完了。

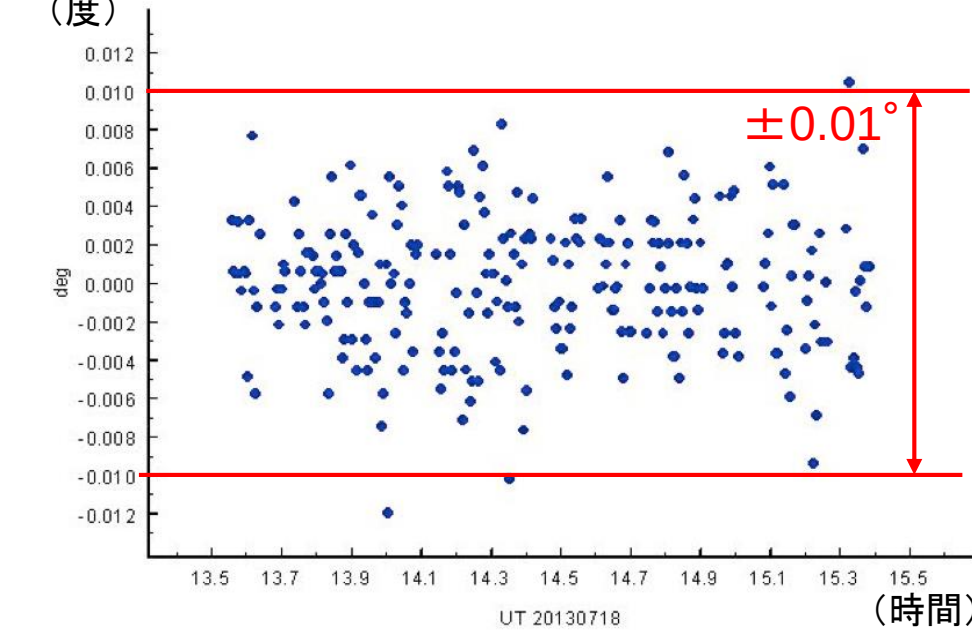
2014年1月に、検出器や観測データなどがチームの手元に戻ってくる(本格的なデータ解析は、これから)。

姿勢制御系の指向精度



- 姿勢制御は14日間にわたって動作要求性能の0.1° 以内の指向性を十分に達成(OK)
- 偏光検出器は最初の3日間は正常に動作、電源系にトラブルが発生した(原因はゴンドラが戻り次第、究明する)

カニ星雲を観測時の姿勢揺らぎ



スタートラッカーで検出した可視ガイド星の揺らぎをプロットしている。

REFERENCES

- T. Kamae et al., "PoGOLite - A high sensitivity balloon-borne soft gamma-ray polarimeter" 2008, Astroparticle Physics, 30, 72-84
- T. Mizuno et al., "High Sensitivity Balloon-Borne Hard X-Ray/Soft Gamma-Ray Polarimeter PoGOLite" 2007, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, 2538-2544
- T. Takahashi et al., "Space Cube 2 - an Onboard Computer based on Space Cube Architecture", 2007, 1st international SpaceWire conference
- T. Tanaka et al., "Data Acquisition System for the PoGOLite Astronomical Hard X-ray Polarimeter" 2007, Nuclear Science Symposium Conference Record, 445-449
- H. Takahashi et al., "Data Acquisition system of the PoGOLite Balloon Experiment" 2008, International SpaceWire Conference 2008
- M. Jackson et al., "PoGOLite - a high sensitivity balloon-borne soft gamma-ray polarimeter". 2009, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, 449-453
- H. Takahashi et al., "A Thermal-Neutron Detector with a Phoswich System of LiCaF6 and BGO Crystal Scintillators Onboard PoGOLite", 2010, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record
- M. Pearce et al., "Balloon-borne hard X-ray polarimetry with PoGOLite" 2012, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record