

PoGOLite 気球実験の 2012 年パスファインダーフライトの

状況と今後

高橋 弘充 (広島大) on behalf of PoGOLite Collaboration

スウェーデン王立工科大、ストックホルム大、DST Control、広島大、SLAC、早稲田大、名大、ISAS/JAXA、東工大、山形大、ハワイ大

1. はじめに

Polarized Gamma-ray Observer (PoGOLite : PI Mark Pearce スウェーデン王立工科大学) 気球実験の目的は、スウェーデンのキルナ市にある **Esrangle** 気球実験場から放球し、パルサー星雲やブラックホール天体を硬 X 線で観測してその偏光度と偏向角を測定することで、これらの天体における宇宙線加速と高エネルギー放射のメカニズムを明らかにすることである。昨年度 (2011 年) 7 月 6-7 日 (UTC) に初フライトを行ったが、この際は気球から He がリークするという不測の事態により高度 35 km までしか到達できず (予定高度は 39 km) 科学観測に十分なデータは得られなかった。我々 PoGOLite チームが製作した偏光検出器と姿勢制御系は上空でも正常に動作することを実証できたことから、今年度 (2012 年) も 6 月末にフライトの準備を整え、7 月の 1 ヶ月間にわたって放球の機会をうかがっていた。しかし残念ながら雨や強風などの悪天候のため放球チャンスには恵まれず、検出器を載せたゴンドラは現在も **Esrangle** 気球実験場に保管されている。我々は来年度こそは放球を成功させ本格的な科学観測を実施したいと考えており、2013 年は 5 月から放球の体制を整えておく予定である。フライトはスウェーデンからカナダまでの約 5 日間 (ロシアとの了解が得られれば、北極圏を周回してスウェーデンへ戻ってくる約 2 週間) を予定している。

2. 硬 X 線偏光検出器 PoGOLite

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・軟ガンマ線偏光を検出できる検出器である[1][2]。シンクロトロン放射や散乱プロセス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、非常に明るい天体現象であるガンマ線バーストを除いては、現在までに有意な偏光の検出が報告されている天体は「かに星雲」(パルサー星雲)と「はくちょう座 X-1」(ブラックホール連星系)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、SMILE、GEMS、ASTRO-H、Polaris 等)。我々の PoGOLite 実験は

数日以上の長時間フライトを行うことで、世界に先駆けて「かに星雲」と「はくちょう座 X-1」、太陽フレアからこのエネルギー帯域における偏光検出を目指している。

偏光計は、図 1 に示すように主検出部（PDC ユニット）をハニカム構造に並べており、天体からの X 線・ガンマ線がこれらのユニット間でコンプトン散乱と光電吸収を起こす際の散乱角の異方性を検出することで偏光を測定する。PDC ユニットの数は、本観測では 217 本を予定し、昨年度と今年度おこなったパスファインダー観測では 61 本である。バックグラウンドとなる荷電粒子や中性子、天体以外からの X 線・ガンマ線を除去するため、PDC ユニットは井戸型フォスウィッチ検出器（主検出部：Fast プラスチックシンチレータ、シールド部：Slow プラスチックシンチレータと BGO シンチレータ）にして視野を絞り、さらに周囲を BGO アクティブシールド（SAS ユニット）とポリエチレン製のパッシブシールドで覆う。ただし約 15 cm 厚のポリエチレンで覆っていても、いぜん大気中性子による弾性散乱がバックグラウンドの支配的な要因であることから、中性子フラックスを計測するためにポリエチレンで熱化された中性子を計測できる中性子シンチレータ検出器も搭載している。これら PDC、SAS、中性子検出器の信号処理には、ASTRO-H などの科学衛星で利用される SpaceWire 通信規格を用いている。また検出器自身の系統誤差をキャンセルするため、観測中は検出器全体を 5 分で 1 回転させる。

図 2 は、パスファインダーフライトで「かに星雲」を観測した際の予想感度と予想モジュレーションカーブである。PoGOLite 検出器が十分な S/N 比を達成していることから、6 時間の観測で「かに星雲」から偏光を有意に検出できると推定している。

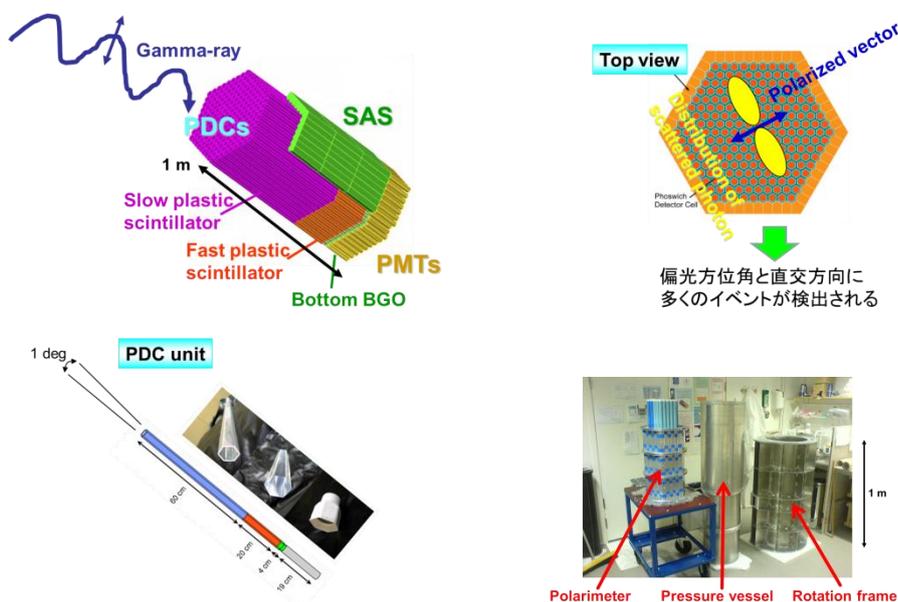


図 1：(左上) PoGOLite 検出器の概要、(右上) コンプトン散乱を利用して偏光を検出する概念図、(左下) PDC ユニットの概要、(右下) 実際に製作した偏光検出器。

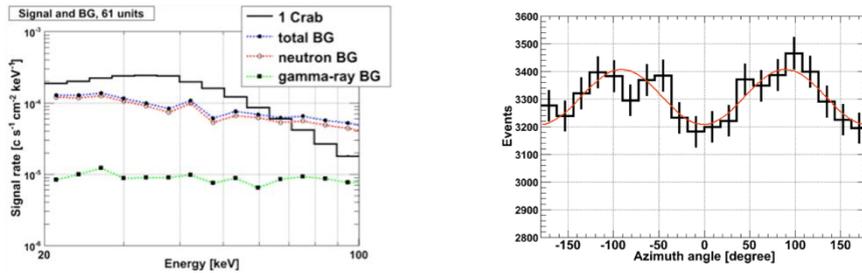


図 2：(左) PoGOLite パスファインダー検出器の予想感度、(右)「かに星雲」を観測した際の予想モジュレーションカーブ（観測時間：6 時間、Air mass：5 g/cm^2 、偏光度：20% 仮定）。

3. これまでのパスファインダーフライトの状況と今後

PoGOLite 気球実験のフライトは、当初 2010 年夏に 1-2 日間スウェーデン、キルナ上空で予定されていた。しかし、2010 年 4 月にオーストラリアで起きた NASA の放球失敗の事故を受け、この時の放球はキャンセルとなった。2011 年と 2012 年のパスファインダーフライトでは、図 3 に示す軌道でスウェーデンからカナダまでの約 5 日間のフライトを予定しており、1 日の中では「はくちょう座 X-1」、「かに星雲」、太陽フレア、バックグラウンド領域をそれぞれ数時間ずつ観測することを予定していた。しかし、2011 年は放球直後の気球からの He のリークによって、2012 年は悪天候によりそもそも放球することができず、まだ科学的な観測を行うことができていない。今年度に組み上げた検出器とゴンドラはほぼフライトレディーな状態のまま Esrange 気球実験場に保管されている。来年度は今年度よりも早い 4 月末までにゴンドラの動作確認を済ませておくことで、5 月と 7 月の 2 ヶ月間にわたって放球のチャンスを持つ予定である（「かに星雲」が太陽と同じ方向に重なって観測できない 6 月は放球しない）。フライト軌道は、北極を周回する約 2 週間の長期フライトに再々チャレンジする予定である。

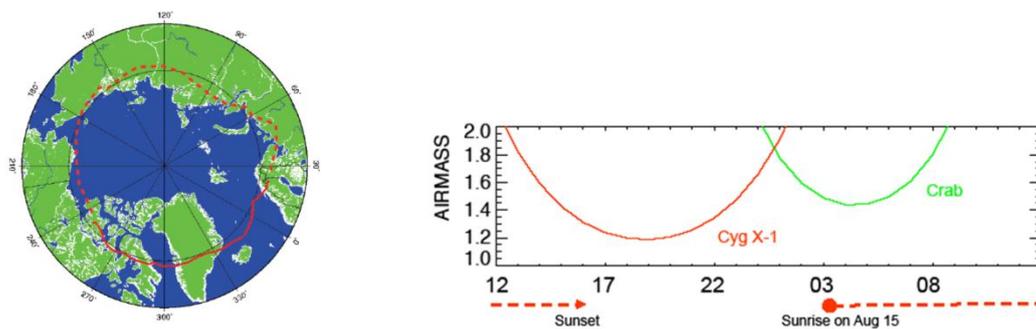


図 3：(左) スウェーデンからカナダまでのフライト軌道（点線は、さらにロシア上空を通り北極圏を周回してくる軌道）、(右) 1 日の観測スケジュール。

図 4 は 2011 年と 2012 年のフライト準備を整えた後のゴンドラの様子を比較している。両者の間で、上で説明した偏光計、姿勢制御系（方位角と仰角、GPS は差し渡し 8 m のブームの両端に取り付けられており 0.1° の精度で姿勢情報を取得）、視野の大きさが異なる 2

つのスタートラッカー（視野 $2.57 \times 1.92^\circ$ と $5.0 \times 3.7^\circ$ ）、オーロラ観測装置、偏光計のための放熱板（この写真では見えない裏側）には変更はないが、

- ・ 太陽パネル：おもな観測天体が太陽方向（「かに星雲」と太陽フレア）、反太陽方向（「はくちょう座 X-1」）に限られることから、4面から2面へと削減
- ・ 偏光計のバランスを調整することでダミーウェイトを削減

を変更したことにより、ゴンドラの総重量は約 2000 kg から 1750 kg へ減量されている。



図 3：放球直前の PoGOLite 検出器（左）2011 年（右）2012 年。電力は検出器系で 300 W、ゴンドラなどの姿勢制御系で 200 W であり、これをバッテリーと太陽電池で賄う。

今年度の放球を待ち続けた 1 ヶ月間は地上でキャリブレーション試験を行った。試験項目は、フライトを模擬した長期運用（無線 LAN 並みの通信速度をもつ E-Link によるマニュアル運用、衛星電話 Iridium を介したオート運用）、 ^{241}Am 線源（60 keV）をもちいた偏光計の性能評価（図 5 参照）、外部 GPS 装置による時刻付け情報の絶対評価である。

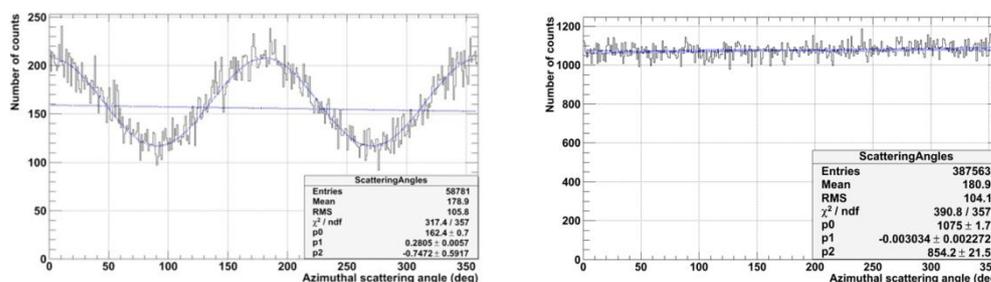


図 5：偏光計の中心に ^{241}Am 線源を照射して得た地上キャリブレーションデータ（左）偏光度（~90%）のガンマ線を照射した場合（右）無偏光のガンマ線を照射した場合。

参考文献

- [1] T. Kamae et al. “PoGOLite, A high sensitivity balloon-borne soft gamma-ray polarimeter” 2008, Astroparticle Physics, Volume 30, Issue 2, p. 72-84.
- [2] K. Mozsi et al. “Construction and laboratory tests of the PoGO-Lite prototype.” <http://www.particle.kth.se/~pearce/mozsi.pdf>