

PoGOLite 気球実験の 2013 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、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。今年度（2013 年）7 月 12 日～26 日の 14 日間におよぶフライトに成功し、高度 34~40 km でスウェーデンからカナダ上空を経てロシアまで、北極圏を周回した。この間、姿勢制御については要求精度 0.1° を 1 桁上回る十分な精度でコントロールすることができた。一方で、硬 X 線偏光計は 3 日目に電源系に動作しなくなり、3 日間の観測データしか取得できていない。現在はゴンドラがまだロシア国内にあり、詳細なデータ解析はゴンドラがスウェーデンに戻って着次第、実施する予定である。

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、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。

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、15 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。

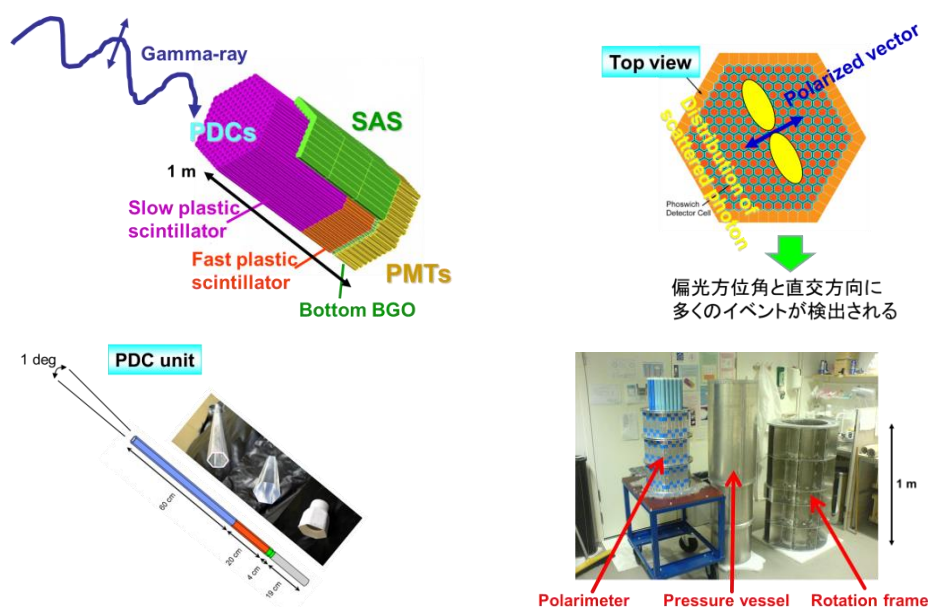


図 1：(左上) PoGOLite 検出器の概要、(右上) コンプトン散乱を利用して偏光を検出する概念図、(左下) PDC ユニットの概要、(右下) 実際に製作した偏光検出器。

3. パスファインダーフライトのこれまでの状況と今後

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、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 のリークによって科学観測は行えず、2012 年は悪天候によりそもそも放球することができなかった。2013 年は、2012 年からほぼフライトレディーな状態のままで Esrange 気球実験場に保管されていた検出器とゴンドラを 6 月に再立ち上げし、6 月末に再びフライトレディーな状態にすることができた（6 月は、「かに星雲」が太陽と同じ方向に重なって観測できないため、放球しない）。最終的なゴンドラの総重量は 1.7 トンであった。7 月になってロシア政府から上空をフライトする許可が下りたため、天候に恵まれれば北極圏を周回する準備が整った。そして 7 月 12 日、ついに気球を放球することに成功した。放球の際の様子を図 2 に載せる。図 3 と 4 は、その後カナダ上空、ベーリング海峡を経て、7 月 26 日にロシアで降ろされるまでのフライトの軌跡と残留大気の振る舞いである。



図 2：(左) 2013 年 7 月 12 日、放球直前の PoGO Lite。(右) 放球直後。

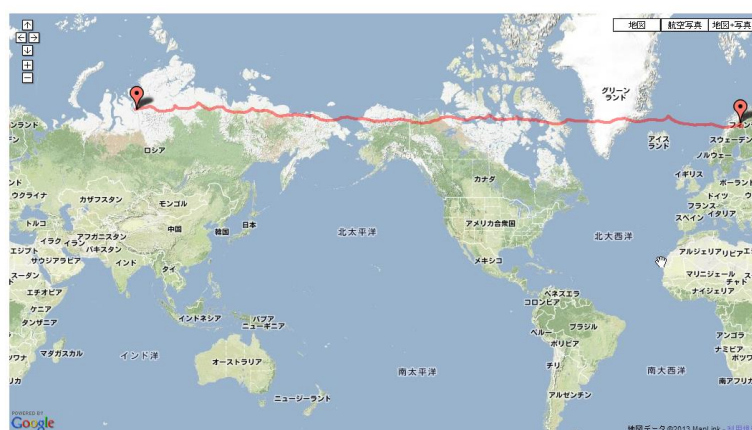


図 3：14 日間の PoGO Lite のフライトの軌跡。

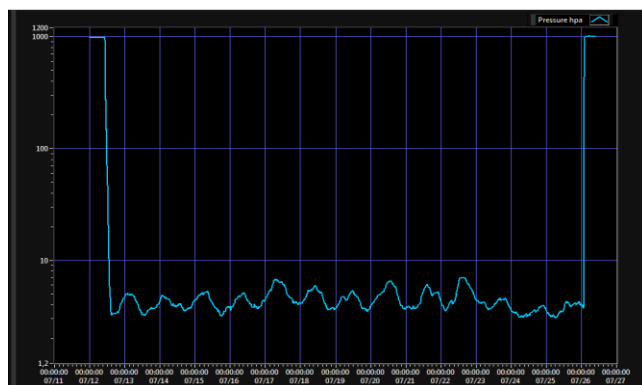


図 4：フライト中の残留大気。高度は日中の高い時で 40 km、夜間の低い時には 34 km 程度で飛んでおり、高度に応じて残留大気は 3~7 g/cm² であった。

PoGOLite チームでは、今回のフライトでは偏光計の電源系のトラブルにより、観測時間が 3 日間しか確保できなかったことから、再度の放球を検討している。今後はまず、ロシアにあるゴンドラが戻って着次第、不具合の原因を究明しその対策を施す予定である。

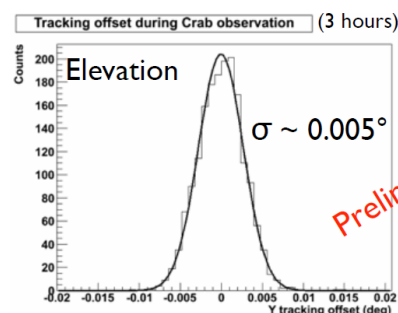
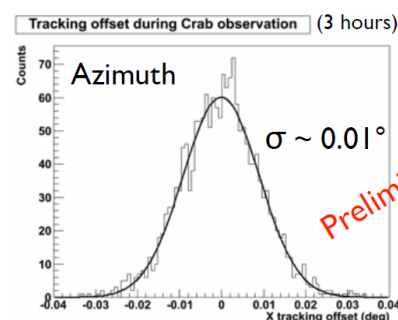
4. フライト中の姿勢制御系の動作

フライトデータが保存されている SSD も、ゴンドラとともにまだロシアにあるため、偏光計で観測した天体信号について詳細なデータ解析は行えていない。そこで今回は、フライト中に実際に測定した姿勢制御系の動作についてのみ報告する。

DST Control 社によって製作された PoGOLite の姿勢制御系は、図 5 (左) のようになっている。姿勢制御の要求精度は、偏光計の視野サイズ (1°) から決まる 0.1° である。指向観測の際には、差動 GPS だけで約 0.1° の位置まで到達した後、冗長系となっている 2 台のスタートラッカーのうち 1 台を利用し、その情報をフィードバックすることで詳細な姿勢制御を行う。図 5 (右) は、実際に「かに星雲」を観測している際に、スタートラッカーで検出された姿勢のズレである。Azimuth、Elevation とともに要求精度を 1 桁上回る十分な性能が達成できていることが分かる。



図 5 (左) : PoGOLite の姿勢制御系。差動 GPS、地磁気計、2 台のスタートラッカーから構成される。(右) : フライト中、「かに」星雲を観測している際の 3 時間にわたって測定した Azimuth、Elevation それぞれの指向精度。



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>