

# PoGOLite 気球実験の 2013 年パスファインダーフライトの

## 状況と 2016 年の再フライトへ向けて

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 Esrange 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。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  $0.1^\circ$  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。現在はロシアからゴンドラをスウェーデンに移動し、回収した観測データの詳細解析を実施している。今フライトでは 3 日間しか偏光観測を実施できなかったため、2016 年の夏季に再度フライトを行い、5 日以上長期観測の実施をスウェーデン宇宙公社に提案中である。

### 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 (low/hard 状態で Crab と同程度のフラックス時のみ観測可能)」、太陽フレアから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。

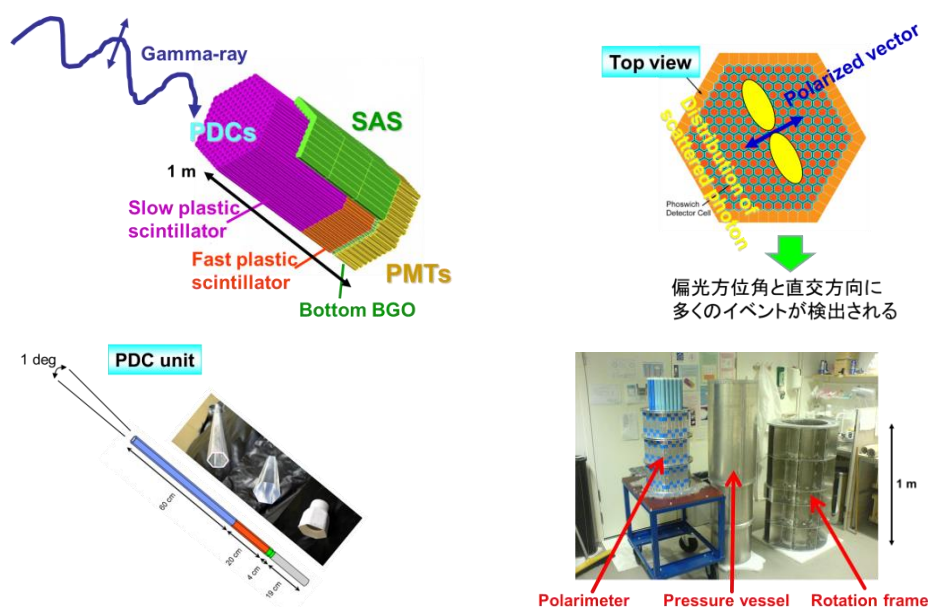


図 1：(左上) PoGOLite 検出器の概要、(右上) コンプトン散乱を利用して偏光を検出する概念図、(左下) PDC ユニットの概要、(右下) 実際に製作した偏光検出器。

### 3. 2013 年パスファインダーフライトの解析状況と今後

PoGOLite 気球実験は、2013 年 7 月 12 日にスウェーデンのキルナにある Esrange 気球実験場から放球された。ロシア政府から上空をフライトする許可が下りていたため、カナダ上空、ベーリング海峡を経て、7 月 26 日にロシアのノリリスク近郊に降ろされるまで、14 日間のフライトに成功した。図 2 がこの間のフライトの軌跡である。7 月 26 日以降は、風向きが北極点に向かう方向になり、この日を逃すと、次の陸地は回収が困難なグリーン

ランドとなり、また最悪は陸地に到達できずに北極海に落ちてしまう危険性があったため、この地点で気球を降ろす判断がなされた。

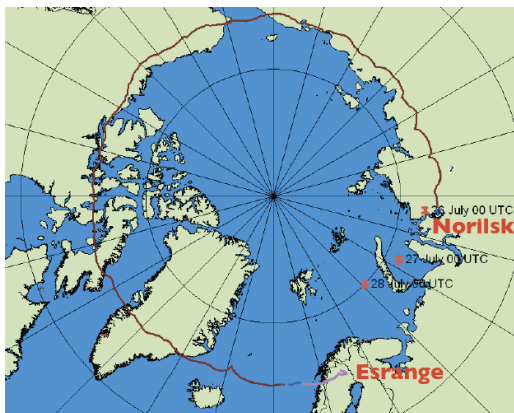


図 2 : 2013 年 7 月に放球した PoGOLite の 14 日間のフライトの軌跡。スウェーデンの Esrange から放球され、ロシアのノリリスク近郊に着陸した。

今回のフライトでは、偏光計の電源系のトラブルにより、天体の観測時間は最初の 3 日間しか確保できなかった。この原因については、電源系で利用している機器に不具合が生じていたことが判明したため、この機器の製造元・スウェーデン王立工科大学・スウェーデン宇宙公社の共同チームが次回のフライトに向けての対策を検討中である。

姿勢制御系については、14 日間に渡って動作させ続けることに成功した。図 3 は、ある 6 時間に間に観測した天体を示している。ある天体をスタートラッカーで補足し続けることができれば、観測方向 (RA, Dec) が一定になり、この図の上で一直線となる。PoGOLite のメインターゲットである Crab もほぼ定常的に観測できていることが分かる。

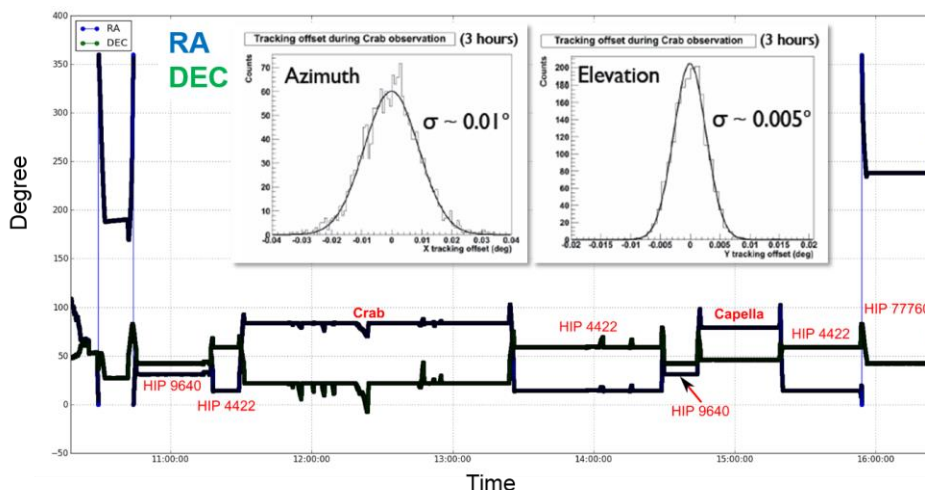


図 3 : スタートラッカーで姿勢制御をかけている間の実際の観測方向 (RA, Dec) と、Crab 観測時の実際の天体の位置からのズレ (方位角と仰角方向)。

内側にあるヒストグラムは、Crab を観測中の 3 時間に、実際の Crab の天体位置とスタートラッカーが観測していた方向のズレを、方位角と仰角方向それぞれについて示している。どちらについても、PoGOLite の要求精度  $\pm 0.1^\circ$  よりも 1 桁良い精度を達成できていたこ

とが分かった。

偏光計が動作していた3日間のデータから、Crabの方向を観測していた時間帯の全データを利用して作成したライトカーブが図4である。イベントは、偏光解析に利用できる1イベントが2ヒットもしくは3ヒットを起こした信号のみで作成している。この結果、PoGOLiteで検出したライトカーブは、同じエネルギー帯域で観測している「すざく」衛星で検出されたCrabのライトカーブ(33ミリ秒周期)と一致していることが分かる。また、この「すざく」衛星のライトカーブをテンプレートにして、残留大気が最小になる(Crabの仰角が最大となる)時間帯でのイベントレートは、約2 counts/sであり、これは打ち上げ前にGeant4によるモンテカルロシミュレーションで予想していたCrabのカウントレートとほぼ一致する。

以上の姿勢制御系の情報と偏光計で実際に観測したCrabのカウントレートから、上空で温度環境が異なる状況でも、スタートラッカーと偏光計の視線方向は大きく歪むことなく観測が行えていたと考えられる。偏光情報については定量的なバックグラウンドの評価を行っている段階である。

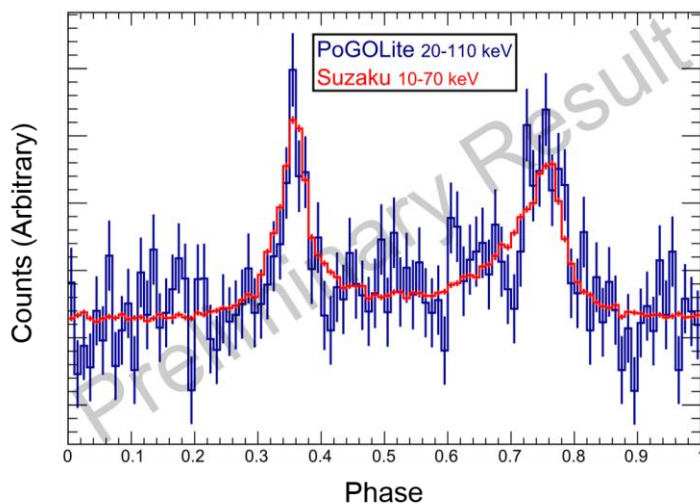


図4: PoGOLiteで観測したCrabのライトカーブ。2ヒットか3ヒットのイベントのみを利用。比較対象として、「すざく」衛星HXD-PIN検出器のデータを重ねてある。

2013年の観測ではCrabの方向を正常に観測できていることは分かったが、Crabの観測時間は2日分しかなかった。そこでPoGOLiteチームでは、2016年夏季に再フライトを提案中である。この際には電源系の不具合を解消してより長時間の観測を実現することに加え、読み出し回路の向上、検出部の長さの最適化を行うことで、バックグラウンドをより下げた偏光計での観測を目指している。

## 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>