

広島大学

硬X線偏光検出器PoGOLite気球実験 2012年パسفアインダーフライト

高橋弘充(広島大)

米谷光生、河野貴文、水野恒史、深沢泰司(広島大)、釜江常好(東京大)、片岡淳(早稲田大)、田島宏康(名古屋大)、高橋忠幸(ISAS/JAXA)、河合誠之(東工大)、M. Pearce、M. Jackson、M. Kiss、M. Kole、E. Moretti、S. Rydstrom(KTH)、G. Madejski(SLAC)、PoGOLite チーム

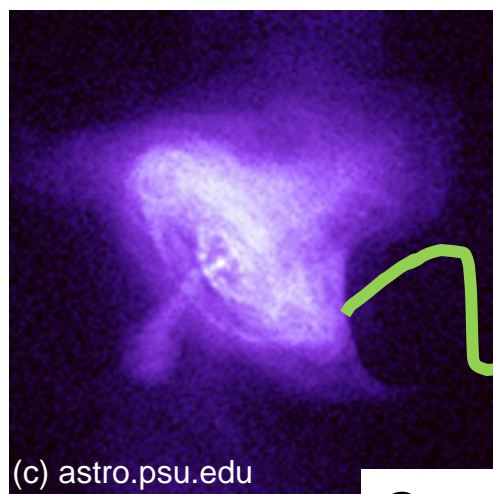
PI: Mark Pearce (スウェーデン王立工科大学)
(www.particle.kth.se/pogolite)





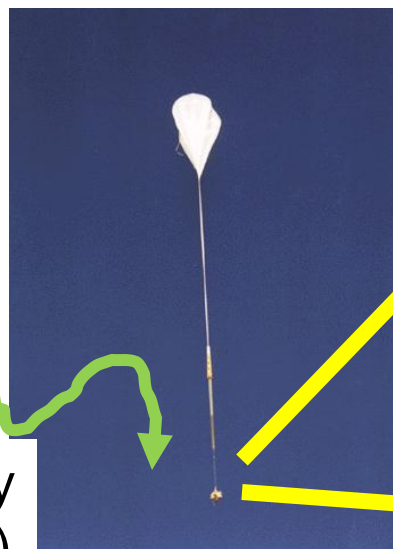
X線・ガンマ線 偏光観測

- **偏光**測定 (イメージ、タイミング、スペクトルとは異なる情報)
=> パルサーやブラックホール、活動銀河核、ガンマ線バーストなどにおける
高エネルギー現象の研究で重要
- しかしながら、**これまでにX線・ガンマ線の偏光が検出された天体は
かに星雲** (2.6/5.2 keV と 200 keV 以上) と **Cyg X-1** (600 keV 以上) のみ
- 他のエネルギー帯域、他の天体の偏光観測が必要不可欠
PHENEX, PoGOLite, GEMS, ASTRO-H, PolariS ...

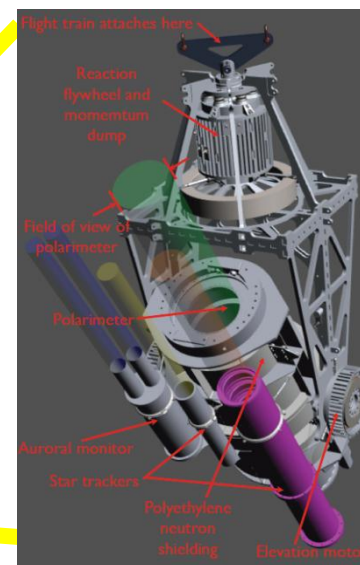


(c) astro.psu.edu

Gamma-ray
(25-80 keV)



~40 km

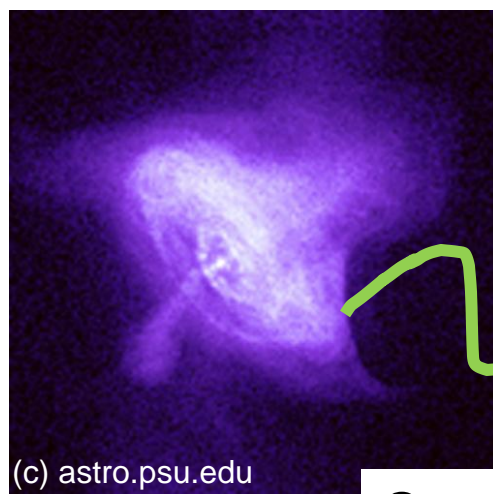


Weight (wo ballast) : ~2000 kg₂
Power : ~300 W (Instrument)
~200 W (Gondola, etc.)



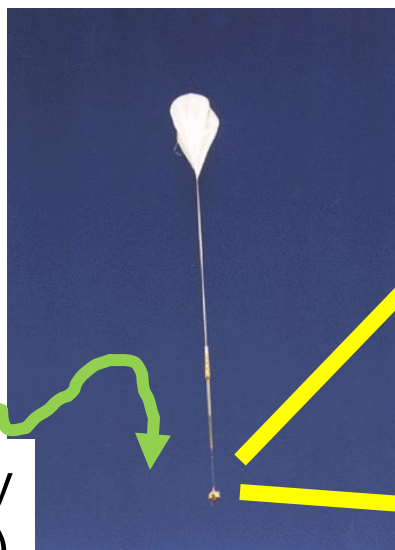
Polarized Gamma-ray Observer (PoGO Lite)

- **PoGO Lite 気球実験は、25-80 keV の帯域で、200 mCrab の天体から 10% の偏光を検出する能力を持つ。**
- 日米欧の国際共同プロジェクト。
- スウェーデンのキルナから放球し、かに星雲と Cyg X-1 を観測。

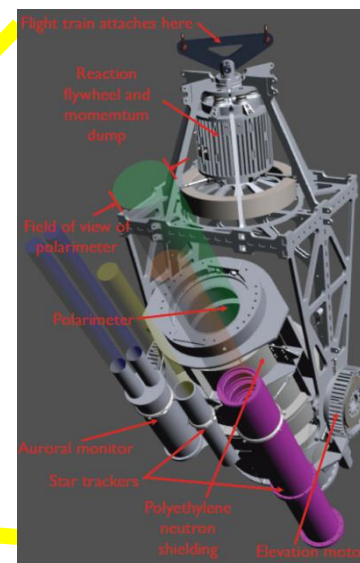


(c) astro.psu.edu

Gamma-ray
(25-80 keV)



~40 km

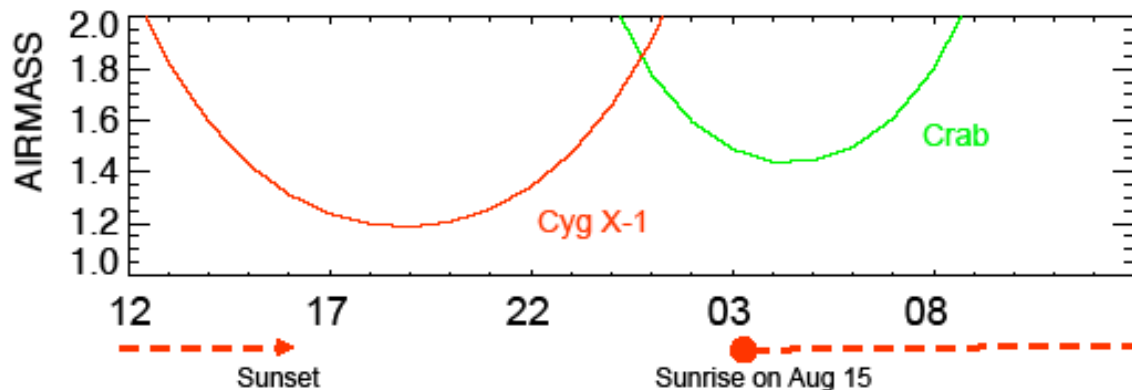


Weight (wo ballast) : ~2000₃ kg
Power : 300 W (Instrument)
+ 200 W (Gondola, etc.)

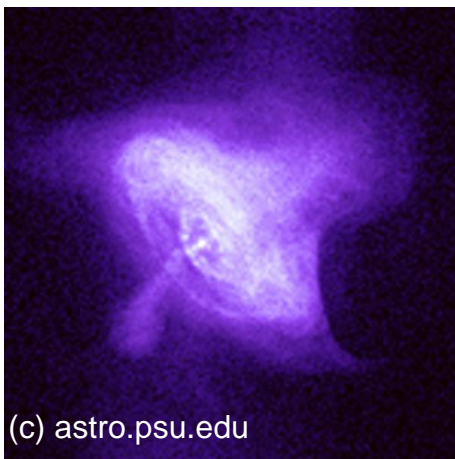


Pathfinder Flight from Sweden

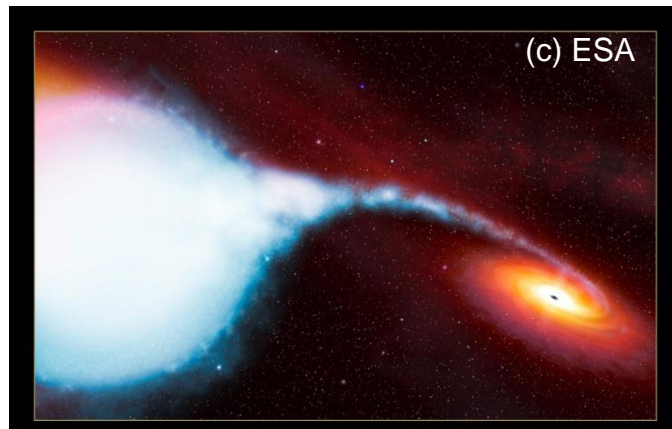
Flight Plan (1-day long)



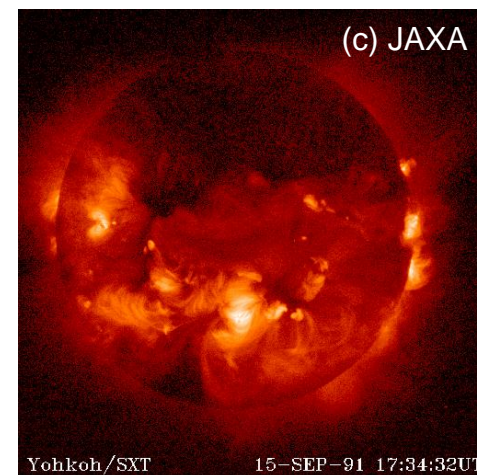
Crab nebula (Pulsar)



Cyg X-1 (Black hole binary)



Solar flare



PoGOLite の特徴

- 大面積、(それなりの)低バックグラウンド => 明るい天体から偏光の検出
- 長時間の連続観測(最長~2週間): 高い統計、天体の変動(かに星雲も変動)



PoGO Lite の放球記録

- 2010年夏： 1-2 日間のフライト@スウェーデン、キルナ上空



しかしながら、2010年4月にオーストラリアであったNASAの放球失敗の事故を受けて、延期されていた。

- 2011年7月6日 23:57(UTC) 放球成功 @キルナ
フライトはカナダまでの約5日間を予定していた。



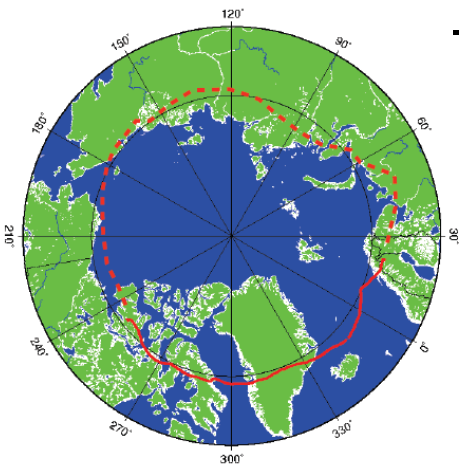
しかしながら、気球からHeがリークするという不測の事態により、約5時間で地上へ戻ってきた。我々の検出器自身は上空でも正常に動作した。

- 2012年7月：北極圏を周回する2週間のフライト@キルナ



しかしながら、悪天候のために打ち上げ機会に恵まれず。。。

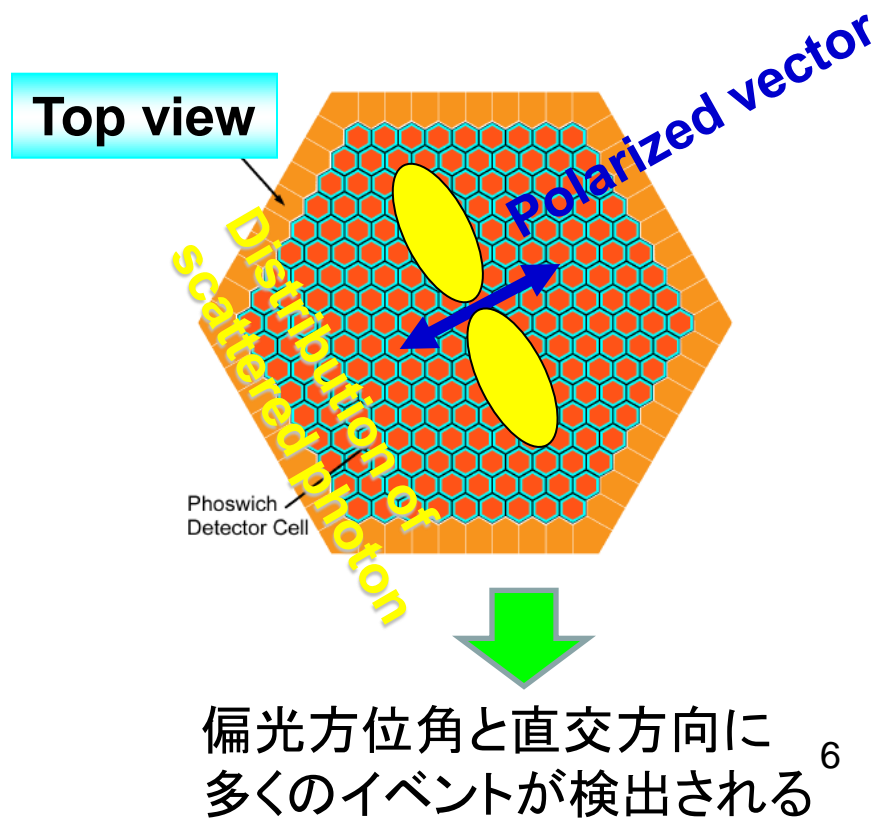
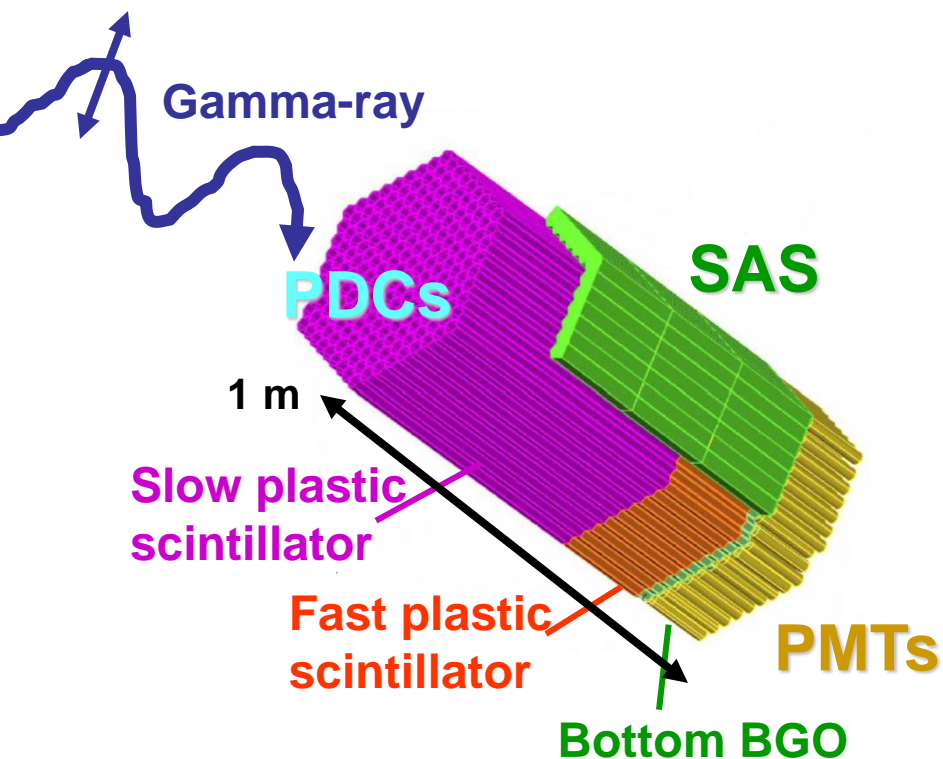
検出器を1年間保管し、来年夏に再チャレンジ





偏光検出

- **PoGOLite** ではコンプトン散乱を検出し、その散乱角の異方性から偏光を検出
主検出部(PDC)は 217 ユニット(本番観測)、61 ユニット(パスファインダーフライト)
- 検出器自身の系統誤差、大気中性子フラックスの異方性をキャンセルするため、観測中は検出器が 5 分で1回転する。



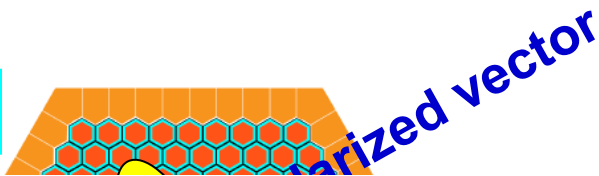


偏光検出

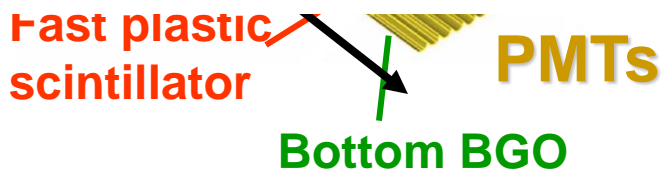
- **PoGOLite** では**コンプトン散乱**を検出し、その散乱角の異方性から偏光を検出
主検出部(PDC)は 217 ユニット(本番観測)、61 ユニット(パスファインダーフライト)
- 検出器自身の系統誤差、大気中性子フラックスの異方性をキャンセルするため、観測中は検出器が 5 分で1回転する。



Top view



- バックグラウンドモニターとして、**熱中性子シンチレータ検出器**を搭載
- データ取得系には **SpaceWire 規格** (ASTRO-H などでも利用) を利用



偏光方位角と直交方向に
多くのイベントが検出される



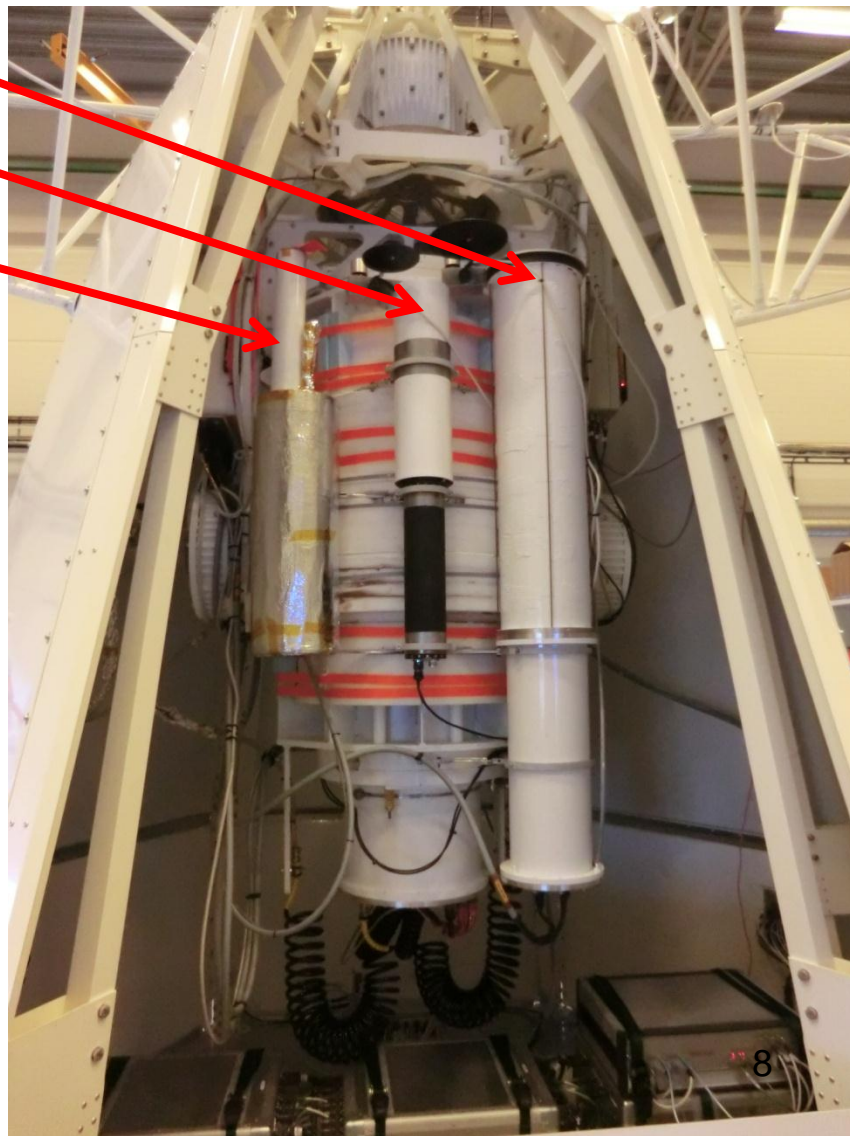
ゴンドラ

“STM” star tracker (2.57 x 1.92 deg)

“STR” star tracker (5.0 x 3.7 deg)

Aurora monitor unit

偏光計





昨年度からの変更

2011年

2012年



- ・偏光計、姿勢制御系、スタートラッカー: 変更なし
- ・太陽パネルを4面から2面へ
 - 観測天体は、かに星雲(太陽方向)、Cyg X-1(反太陽方向)なので問題なし
 - (その他の軽量化を合わせて) 2000 kg => 1750 kg へ減量化に成功



昨年度からの変更

2011年

2012年



- ・偏光計、姿勢制御系、スタートラッカー: 変更なし
- ・太陽パネルを4面から2面へ
 - 観測天体は、かに星雲(太陽方向)、Cyg X-1(反太陽方向)なので問題なし
 - (その他の軽量化を合わせて) 2000 kg => 1750 kg へ減量化に成功



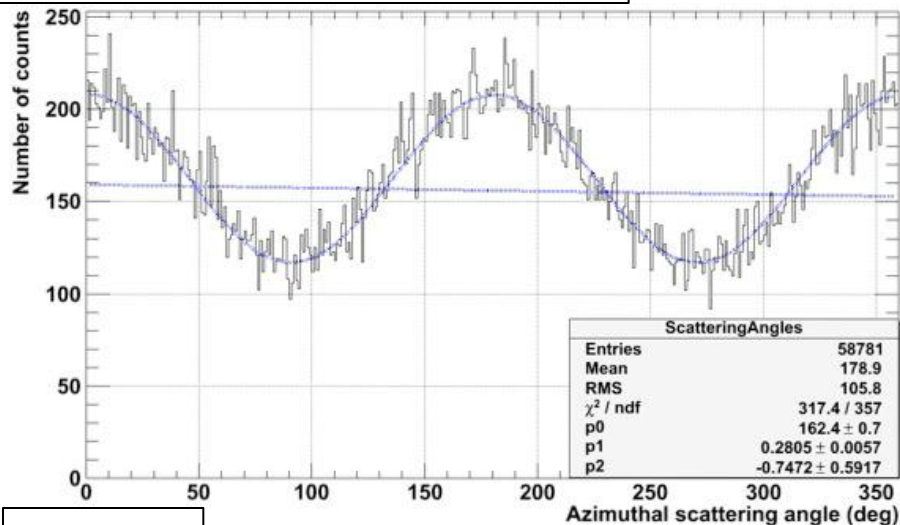
放球前のキャリブレーション

- 1ヶ月間のキャリブレーション時間ができた
- フライトを模擬した運用 (E-link: 無線LAN並み、iridium: 衛星電話)
マニュアル、オート
- ^{241}Am 線源 (60 keV) を用いたモジュレーションファクター、角度
応答
- GPS 情報による時刻付けの検証 (外部検出器と宇宙線の同期)

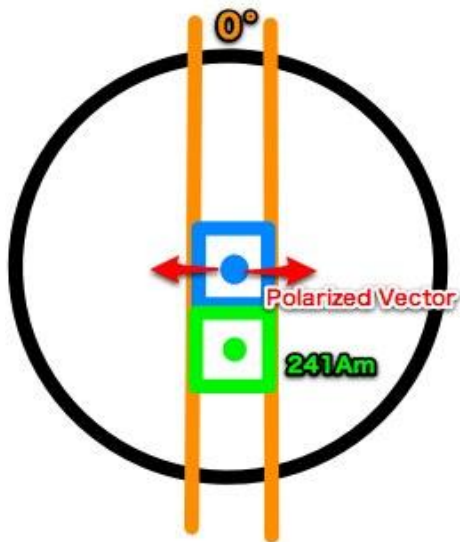
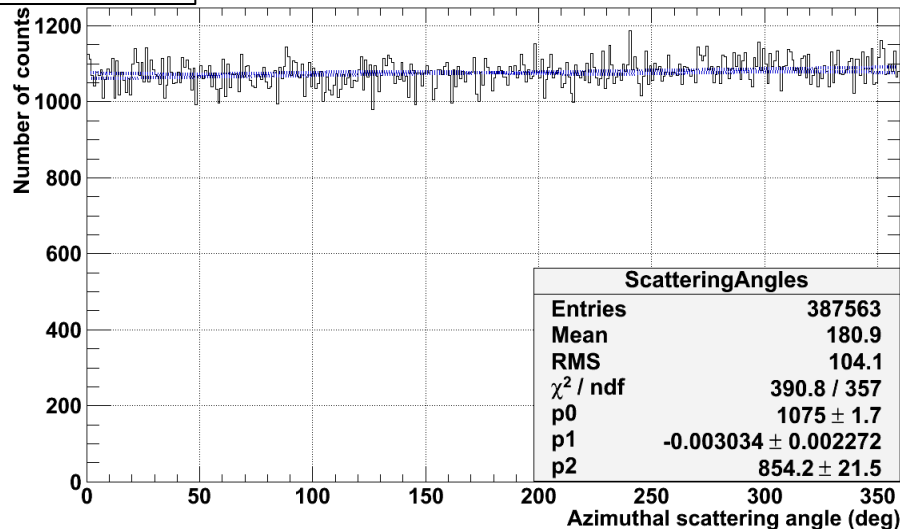


放球前のキャリブレーション(偏光度)

偏光度 (~90%): MF ~30%



無偏光

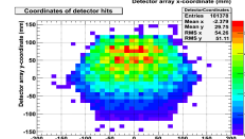
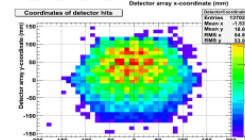
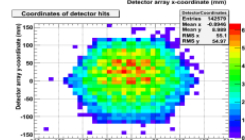
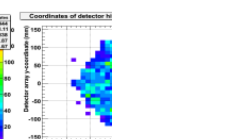
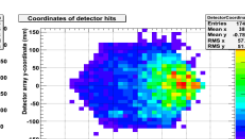
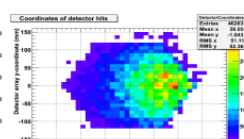
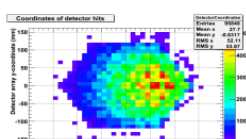
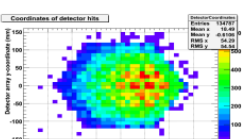
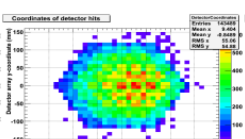
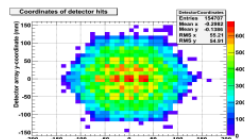
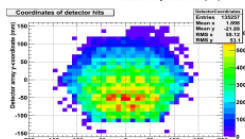
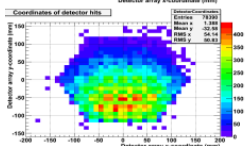
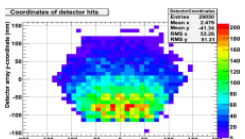


- 241Amの散乱光を61ユニットのうちの1ユニットに全面照射
- ビーム試験でペンシルビームを照射した場合と、ほぼ同じモジュレーションファクターが得られた。
- 2週間以上にわたって、(ほぼ)連続動作に成功



放球前のキャリブレーション(角度応答)

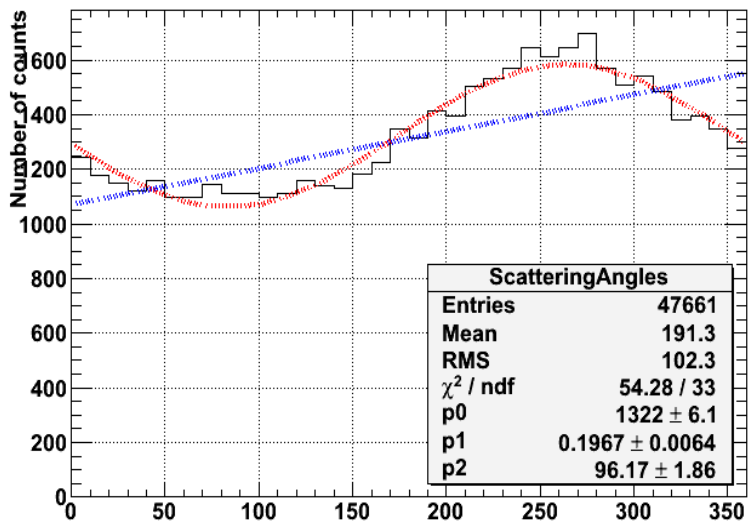
- 241Am 線源を 10m 離れた位置から照射
ゴンドラを姿勢制御して、カウントレートの変化をチェック
- カウントレートの現象は、コリメータの応答と予定通り



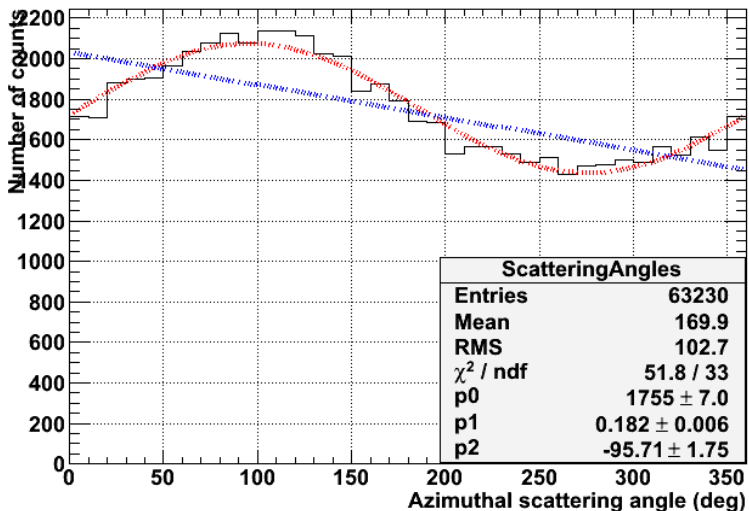


放球前のキャリブレーション(角度応答)

無偏光: 視野 1.5° オフセット

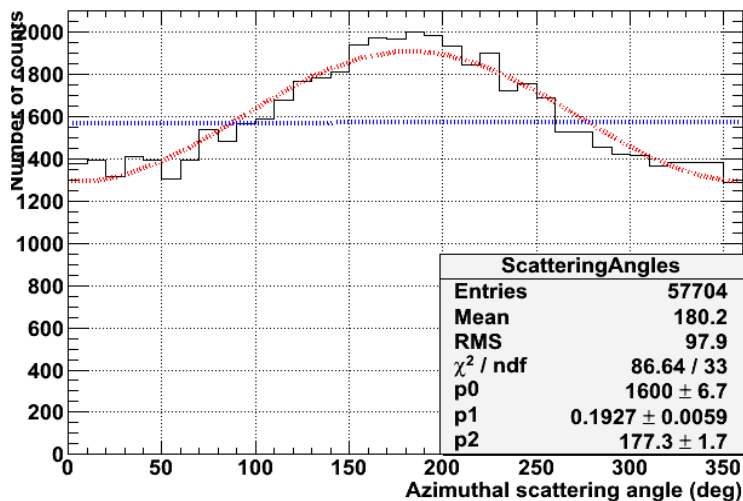


Distribution of scattering angles



- 視野中心と天体の方向がズレると、360° 周期のモジュレーションがどの程度生じるかを実測した
- 0.5° 以上ずれると、目で見えるような寄与となるが、姿勢制御は数分角なので、問題ない

Distribution of scattering angles





まとめ

- PoGOLite パスファインダー検出器 (61 ユニット) は、25-80 keV において 1 Crab の天体から 8.5% 偏光を検出できる能力がある。
- この夏フライトレディー状態ではあったが、悪天候のためスウェーデンのキルナから放球することはできなかった。
実機をもちいて1ヶ月キャリブレーションを行うことができた。
- 我々は来年夏に、北極を周回する軌道で再チャレンジの予定である。

