

## 小型衛星 PolariS 搭載用 X 線撮像偏光計の開発 Development of the X-ray Imaging Polarimeter for the Small Satellite PolariS

林田 清<sup>1,\*</sup>, 定本真明<sup>1</sup>, 上司文善<sup>1</sup>, 吉永圭吾<sup>1</sup>,  
郡司修一<sup>2</sup>, 坂野光成<sup>2</sup>, 片桐惇<sup>2</sup>,

岸本祐二<sup>3</sup>, 三原建弘<sup>4</sup>, 杉本樹梨<sup>4</sup>, 高木利紘<sup>4</sup>, 他 PolariS Working Group

<sup>1</sup>大阪大学理学研究科, 〒560-0043 豊中市待兼山町 1-1

<sup>2</sup>山形大学理学部, 〒990-8560 山形市小白川町 1-4-12

<sup>3</sup>高エネルギー加速器研究機構, 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

<sup>4</sup>理化学研究所, 〒351-0198 和光市広沢 2-1

Kiyoshi Hayashida<sup>1,\*</sup>, Masaaki Sadamoto<sup>1</sup>, Fumiyoshi Kamitsukasa<sup>1</sup>, Keigo Yoshinaga<sup>1</sup>,

Shuichi Gunji<sup>2</sup>, Mitsunari Sakano<sup>2</sup>, Jun Katagiri<sup>2</sup>,

Yuji Kishimoto<sup>3</sup>, Tatehiro Mihara<sup>4</sup>, Juri Sugimoto<sup>4</sup>, Toshihiro Takagi<sup>4</sup>,

and the PolariS Working Group

<sup>1</sup>Osaka University, 1-1 Machikaneyama-cho, Toyonaka, 560-0043, Japan

<sup>2</sup>Yamagata University, 1-4-12 Koshirakawa-cho, Yamagata, 990-8560, Japan

<sup>3</sup>KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

<sup>4</sup>RIKEN, 2-1 Hirosawa, Wako, 351-0198, Japan

### 1 はじめに

X 線天体の偏光観測は、宇宙空間の磁場や高密度星まわりの降着円盤の構造など、直接撮像不可能な対象を探る手段として、X 線天文学の創生期から重要視されてきた。1970 年代には、超新星残骸かに星雲からの軟 X 線放射の偏光が検出され[1]、人工衛星による系統的な X 線偏光探査も実施された[2]。しかし、1980 年代以降の汎用 X 線天文衛星では、撮像、スペクトル観測に重点がおかれ、偏光観測に進展はなかった。

2000 年代に入りこの状況が大きく変化している。新しいタイプの X 線天文用偏光計が開発され、硬 X 線偏光計を搭載した気球実験 PHENEX[3]をはじめとした観測が実施されるようになった。100keV-1MeV の軟ガンマ線領域では、ヨーロッパの INTEGRAL 衛星が、かに星雲[4]、白鳥座 X-1[5]の偏光検出に成功している。日本のグループが開発した、偏光検出器 GAP[6]はソーラーセイルミッション IKAROS に搭載され、ガンマ線バーストの偏光検出に成功している[7]。このような状況の中、我々は、2010 年代後半の打ち上げを目標に、X 線ガンマ線偏光観測に特化した小型衛星 PolariS[8]の実現を目指して開発をすすめている。

### 2 PolariS 衛星と硬 X 線撮像偏光計

PolariS は、2013 年夏に初号機(SPRINT-A)が打ち上げられる JAXA 小型衛星シリーズの 1 台として、国内を中心に海外からの参加者を含めて約 30 名のワーキンググループで、デザインを検討している。

他の SPRINT-A さらに他の小型衛星候補と同様、小型衛星標準のバスシステムの上に、PolariS 独自のミッション部を搭載する形となる。PolariS の第一の目標は、かに星雲の 1/100 以上の数 10 個の天体から硬 X 線領域(10-80keV)での偏光をはじめ検出することである。このために、焦点距離 6m の硬 X 線反射望遠鏡を 3 台、伸展式光学台とともに搭載する。それぞれの焦点面には、シンチレータと位置検出型光電子増倍管(MAPMT)で構成され、コンプトントムソン散乱の異方性を利用する、散乱撮像偏光計を設置する。この散乱撮像偏光計のプロトモデルの性能評価が、本実験課題 2012G733 の目的である。PolariS 衛星は、偏光測定のためシステム誤差を最小限におさえるために、衛星全体を 0.1RPM の速度で回転する。X 線天体の直線偏光度、偏光方向をエネルギーの関数として測定するのが目的である。

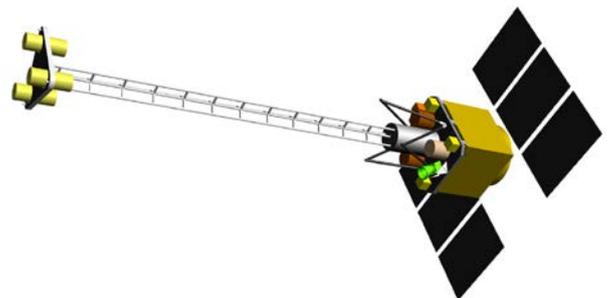


図 1 : PolariS 衛星全体図 6m 伸展式光学台を伸展した状態。

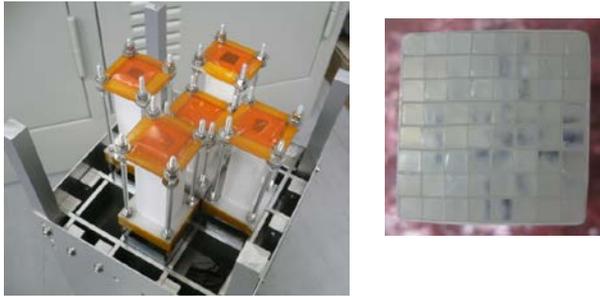


図2 : PolariS 散乱撮像偏光計プロトモデルシンチレータブロックと MAPMT のユニット 5 台で構成している(最終的には9 台に拡張する予定)。

PolariS 散乱撮像偏光計の中心の1 台にはプラスチックシンチレータ柱を 8x8 個組み合わせたブロック(右図が MAPMT への接地面)が使われており、周辺の4 台は GSO シンチレータ柱とプラスチックスペーサを 4x4 個組み合わせたブロックが使用されている。MAPMT 1 個の断面サイズは 30mmx30mm。X 線は中心ユニットのプラスチックシンチレータに入射し、ある確率で散乱、反跳電子の信号を発生するとともに、散乱 X 線が GSO シンチレータで吸収される。これによって X 線入射位置と散乱方向がわかるというのが、この偏光計の原理である。

## 2 実験

PolariS 撮像偏光計プロトモデルへの KEK PF BL14A における単色偏光 X 線照射実験は、これまで、2012 年 12 月と 2013 年 6 月に実施している。

いずれの実験でも、ビーム偏光度の測定(較正)を実施している。X 線ビームの偏光度は Be ターゲットと CdTe 検出器を回転ステージに設置して、回転し、散乱 X 線強度の角度依存性を測定することによって実施した。

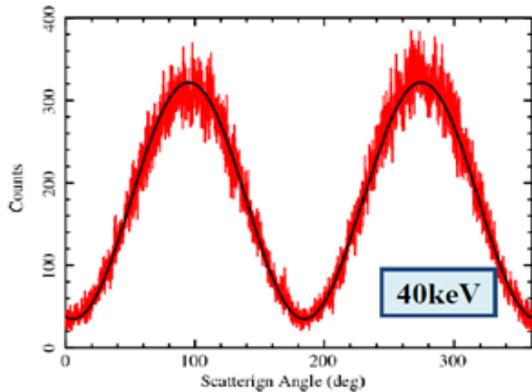


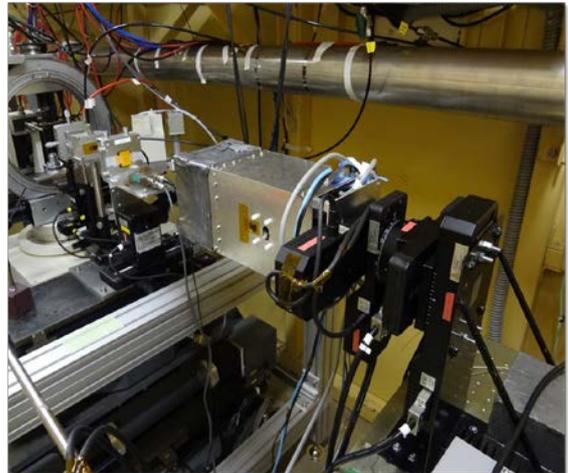
図3 ビーム偏光度の較正の一例 Ex=40keV の場合(2013 年 6 月実験)。CdTe 検出器の回転角度によって、散乱位相角が決まる。角度の関数としての CdTe 検出器のカウントレートが 180 度周期のモジュレーションしていることがわかる。これから、このエネルギーでのビーム偏光度を  $80.4 \pm 0.4\%$  と見積も

った。2 回の実験で較正したのは、10,15,18.5,20,30,40,60,80keV の単色化 X 線ビームである。エネルギーによって偏光度が異なるが 67% から 84% 程度の間の値を得ている。

PolariS 偏光計の性能指標としては、Modulation Factor M と呼ばれる量とともに、検出効率も重要である。そのため、ビーム強度をモニターするため、CdZnTe 検出器をビーム挿入式で用いた。このとき適切な強度(数 1000Hz 以下)になるように、W,Cu,Mo などのフィルタを使用した。適切なフィルタの調査も実験の一貫である。

以上の較正のあと、PolariS 偏光計を回転ステージに取り付け、ペンシルビームを、偏光計をビーム軸まわりに 360 度回転させ、性能評価のデータを取得した。PolariS 衛星では衛星全体を視線軸まわりに 0.1RPM の速度で回転させる。今回の実験でも速度はより遅いが、偏光計を回転させながらデータを取得した。

図4 : PolariS 偏光計への単色 X 線ビーム照射。



偏光計は回転させながら測定する。実際の測定では偏光計全体を暗幕でおおっている。

## 3 結果および考察

PolariS 偏光計プロトモデルの実験システムでは、各イベント毎に合計 128ch の MAPMT の信号を全てデジタル化し保存している。データ選別、再合成のアルゴリズムの改良も、2012G733 の実験課題の目的のひとつであり、現在も解析を継続している。

しかしながら、QL 解析では、偏光計の性能指標のひとつである Modulation Factor に関しても、ビームラインの単色 X 線の偏光度に関して 50-60% の値を得ており、PolariS 偏光計プロトモデルが基本的には、このエネルギー範囲で偏光計として動作することを実証できた。詳細解析で、検出効率を最適化するなどの作業をすすめている。

## 4 まとめ

PolariS 衛星搭載を目的にした、散乱撮像偏光計のプロトモデルに対して、KEK PF BL14A にいて単色偏光 X 線を照射する実験を行った。ビーム偏光度、

強度の較正、偏光計のアライメントなどの実験手順に関して、2回の実験を通して確立した。QL解析では、偏光計の偏光測定性能に関してはほぼ期待どおりであることを確認しており、今後、さらにデータ処理の面での最適化をすすめたい。

#### 謝辞

実験にあたっては、BL-14A 担当の岸本俊二先生はじめ PF スタッフにお世話になりました。また、山形大学、門叶冬樹氏には一部の装置をお借りしました。ここに感謝致します。

#### 参考文献

- [1] R. Novick et al., *Astrophys. J.* **174**, L1 (1972)
- [2] M.C. Weisskopf et al., *Astrophys. J.* **208**, L125 (1978)
- [3] S. Gunji et al., *Proc. of SPIE* **6686**, 18.1 (2007)
- [4] A.J. Dean et al., *Science* **321**, 1183 (2008)
- [5] P. Laurent, *Science* **332**, 1126 (2011)
- [6] D. Yonetoku et al., *Publ. Astron. Soc. Japan* **63**, 625 (2011)
- [7] D. Yonetoku et al., *Astrophys. J.* **743**, L30 (2012)
- [8] K. Hayashida et al., *Proc. of SPIE* **8443**, 4 (2007)

\* hayasida@ess.sci.osaka-u.ac.jp