

2024.07.31 なゆたUM

精密偏光観測装置POPOの 開発状況

高橋 隼
(兵庫県立大学)

支援: 兵庫県立大学 特別研究助成金、住友財団 基礎科学研究助成、国立天文台 共同開発研究、
ひょうご科学技術協会 学術研究助成、日本学術振興会 科研費基盤C

POPO開発計画

- 海外では「高速位相変調」という技法を用いて、 10^{-6} (ppm) 台の偏光度検出精度を達成する装置が実用化されている (PlanetPol, HIPPI, POLISHなど)
- HIPPI 等をモデルとして、高速位相変調型の装置 POPO (POLarimeter for Precision Observations) を開発する
 - 目標精密度は、直線偏光度で ppm 台、円偏光度で~10 ppm
 - 高速「位相変調&光検出」→ 秒以下の時間分解能も達成可
- HIPPIで使われる光電子増倍管 (PMT)は空間分解能を持たないという欠点あり
- 近年、CMOSカメラ等の高速カメラの進化は著しい
- ➡ POPOでは、光検出器をPMTから高速カメラに置き換え、撮像機能を持たせることを目指す

POPOは (高い検出精度 or 高い時間分解能) and 撮像機能を持つ特徴的な装置になる

先行装置: HIPPI (Bailey+ 2015)

液晶位相変調器 (LCM)

- ・ 直線偏光2成分に位相差を与える
- ・ 「位相差なし」 「半波長の位相差」 (偏光方位回転) を数100Hzで切り替え

Aperture

Filter Wheel

Collimating Lens

Wollaston Prism

Field Lens

Fabry Lenses

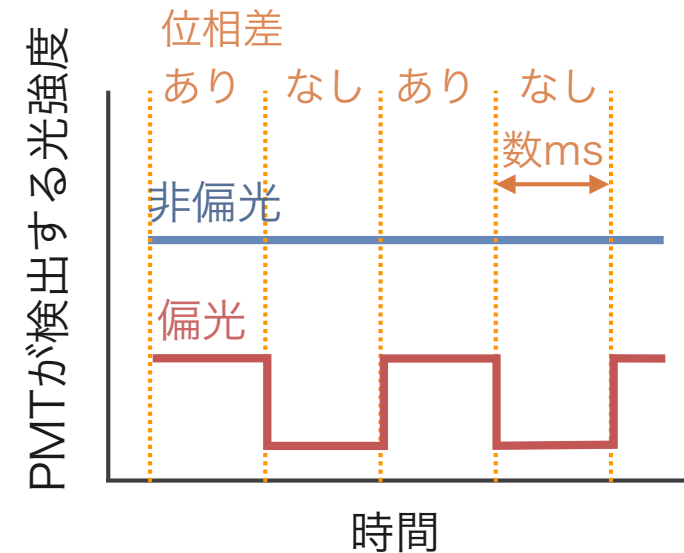
光電子増倍管(PMT)

※ 位相変調以上の光検出速度が必要なので、通常のCCDは不適

Rotating Section

PMT

PMT



光強度時系列の「段差」から偏光度を求める

(測定は1光路で完結)

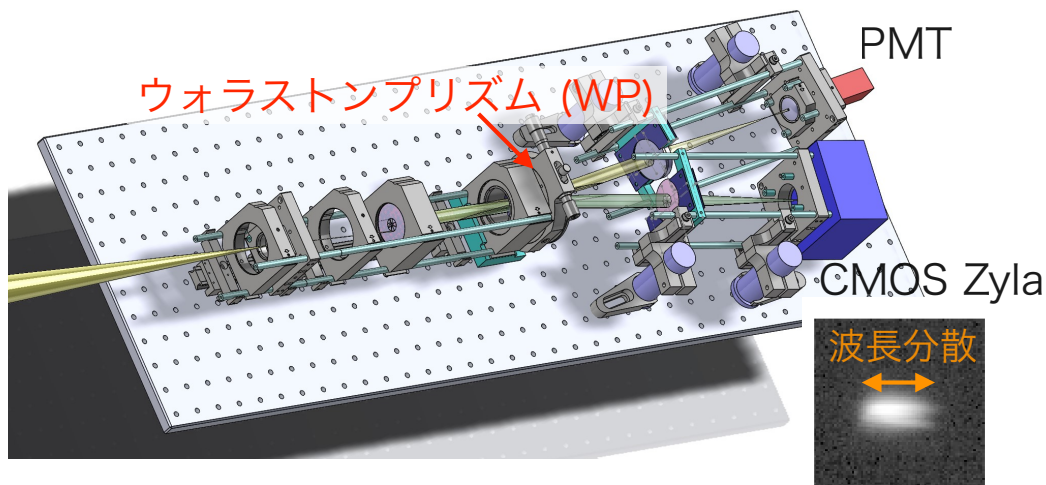
開発の進捗

- 2019年頃から構想・準備
- 2021年度: (第1段階) 円偏光観測機能なし、撮像機能なしの装置として開発・ファーストライト
- 2022年度: (第2段階) 部分的な撮像装置化、円偏光観測機能の追加
- 2023年度~現在
 - 完全な撮像装置化
 - 光学系の改良
 - 円偏光観測の性能評価

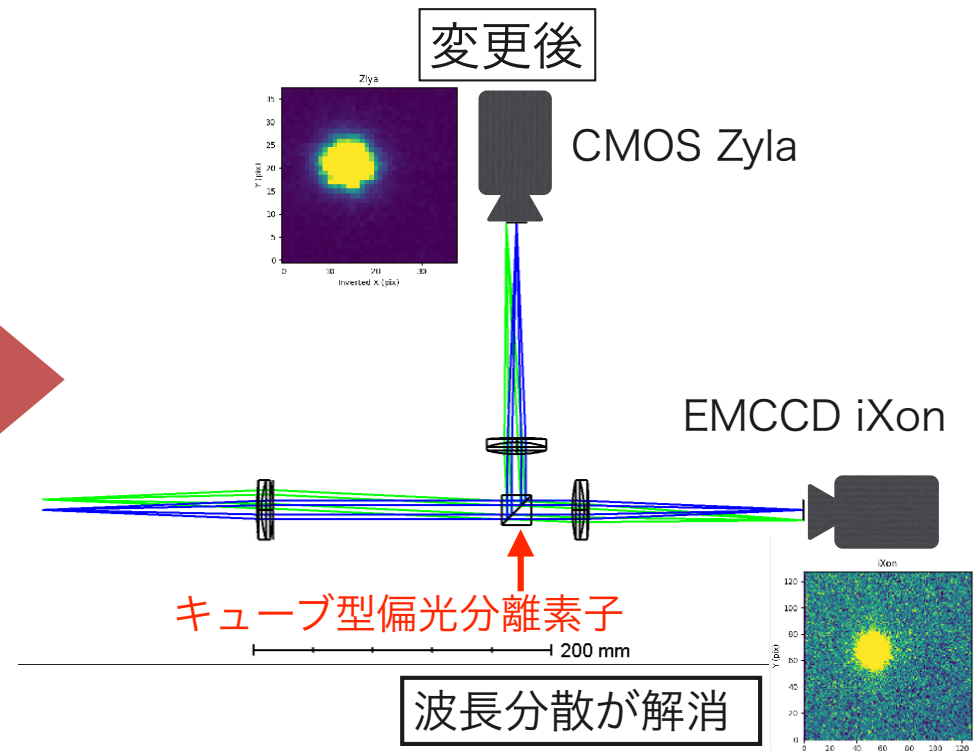
完全撮像装置化 & 光学系改良

- CMOSカメラ"Zyla"に加え、EMCCDカメラ "iXon" を設置。
 - 2系統の光学系の両方で、撮像観測ができるようになった。
- この際、偏光分離素子をウォラストンプリズム(WP)からキューブ型素子に交換した。
 - WPでは2光線の分離角度が小さく、2台のカメラが収まらない
 - WPの分離角度に波長依存性があり、像が波長分散してしまう

変更前



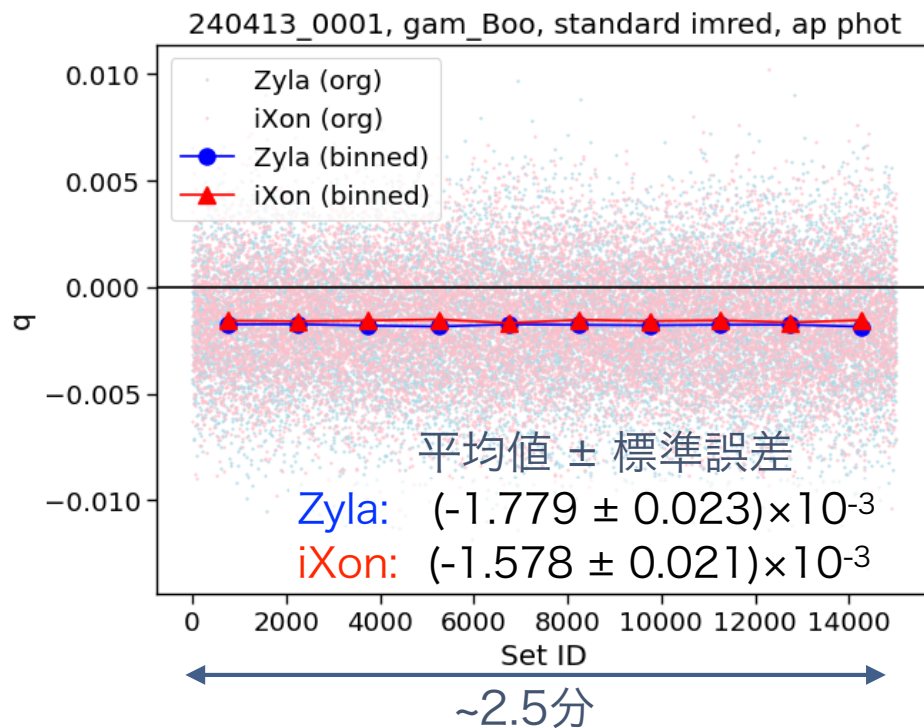
変更後



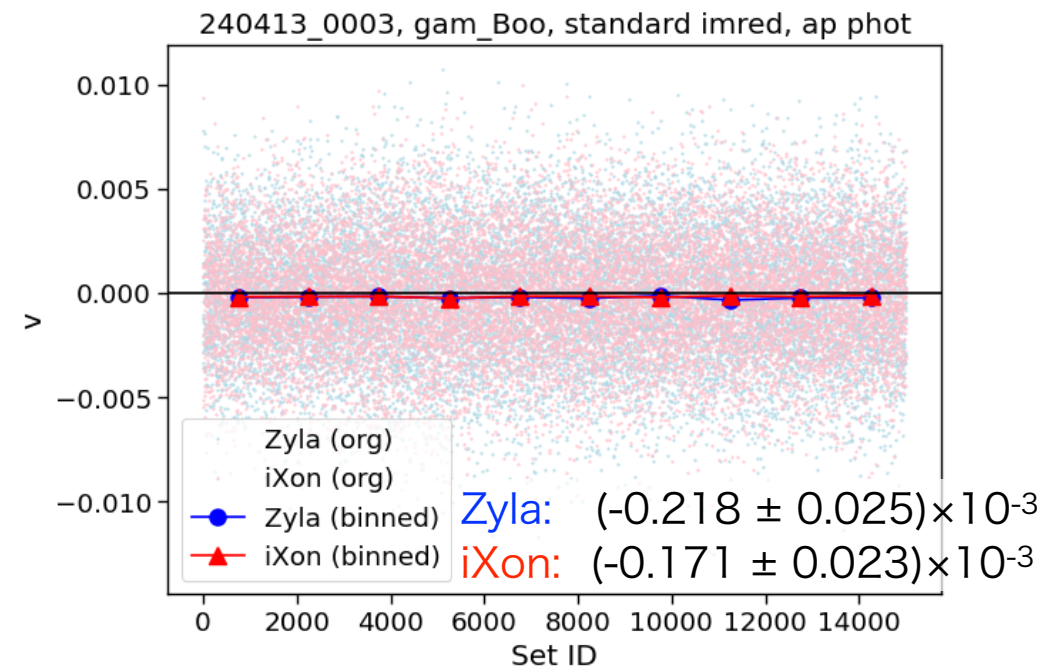
試験観測1: 無偏光星

- 天体: β UMa (R=2.3 mag)
- 観測設定: 200 fpsで2.5分間連続

Stokes q (直線偏光)



Stokes v (円偏光)

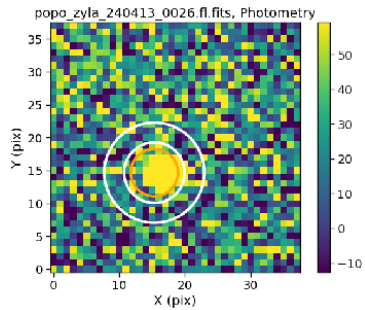


- 2台のカメラで整合的な測定値が得られた (ただし、有意な系統誤差あり)
- 円偏光観測でも直線偏光と同等 (~20 ppm) の標準誤差が得られた

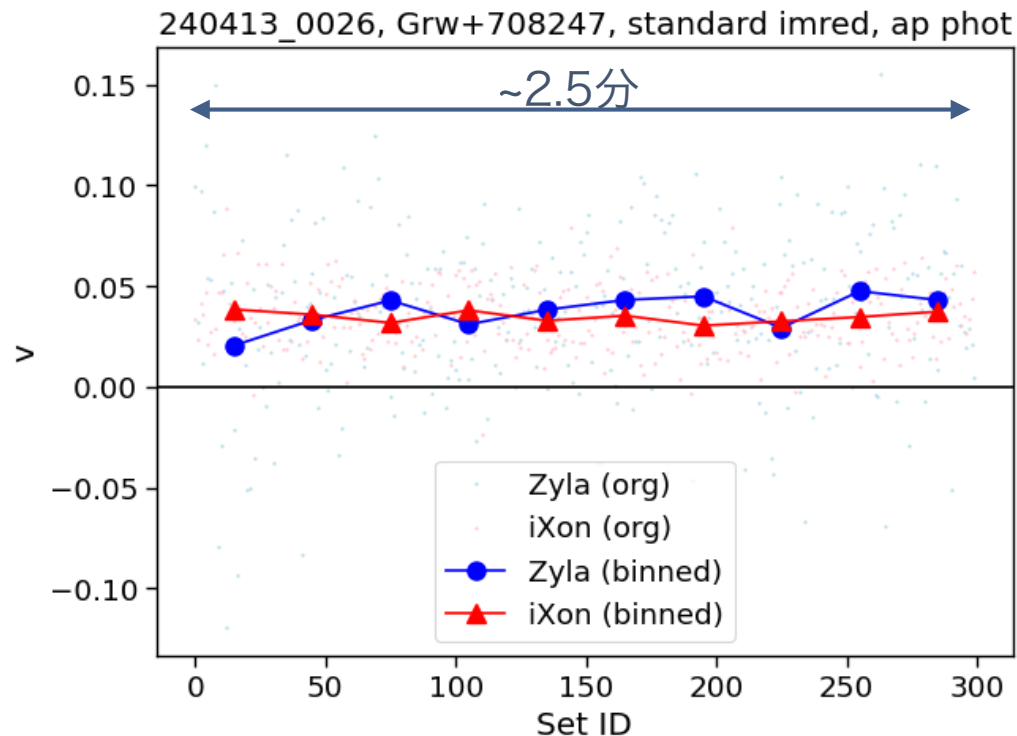
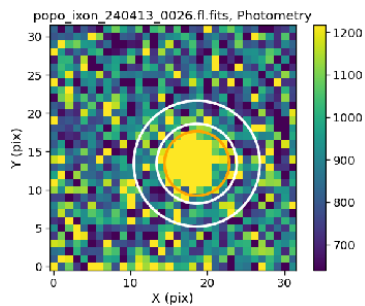
試験観測2: 円偏光星

- 天体: Grw +70 8247 (R=13.5 mag)
 - 強く円偏光していて、なおかつ、円偏光度が長期間にわたり安定していることが知られる白色矮星
 - 円偏光度 $|v| = 3\%$ 強 (West 1989)
- 観測設定: 2 fpsで2.5分間連続、(iXon) 電子増倍x100

Zyla



iXon



Zyla: $(3.7 \pm 0.2)\%$
iXon: $(3.5 \pm 0.1)\%$

文献値とおおよそ整合的な値が得られた

進捗まとめと今後

- 円偏光観測機能の追加と撮像装置化が完了した。
- 円偏光観測でも直線偏光と同等の標準誤差が得られることを確認した。
- 既知の円偏光星に対して、文献値と整合的な測定値が得られることを確認した。
- 観測の利便性を高めるため、さらに軽微な改良を行う。
 - Stokes u 観測の効率化: 現状では装置全体を光軸周りに45度回転させる必要がある。光学系最前面に半波長板を挿入/退避する機構を導入する。
 - 多色装置化: 現状ではRバンドのみ。B, V, I バンドフィルターを加える。
- 今年中に試験観測を行い、今年度中に科学観測を開始したい。
- 内部での運用の後、できるだけ早く、共同利用や大学間連携への提供を開始したい。