

可視赤外線同時カメラ HONIR : 偏光観測機能の搭載と性能評価



秋田谷 洋 (広島大学・宇宙科学センター) akitaya@hiroshima-u.ac.jp

森谷 友由希, 宇井 崇紘, 浦野 剛志, 川端 弘治, 伊藤 亮介, 神田 優花, 高木 勝俊, 大杉 節, 吉田 道利 (広島大学), 中島 亜紗美 (名古屋市科学館), 山下 卓也, 中屋 秀彦 (国立天文台)



1 HONIRについて

- 東広島天文台1.5-mかなた望遠鏡用の観測装置。可視 (0.5-1.0 μm)、近赤外線 (1.1-2.4 μm) の同時撮像・分光・偏光観測が可能 (Fig. 1, 2; Table 1; Sakimoto+12; Akitaya+14)。
- 2013年までに「撮像」「分光」機能を搭載し観測運用に提供した。
- 2014年1月に偏光素子を設置した。これにより、直線偏光の「偏光撮像」「偏光分光」観測が可能となった。
- 偏光度測定精度0.1%以下を目指している。
- 偏光観測機能の搭載とその性能評価について報告する。

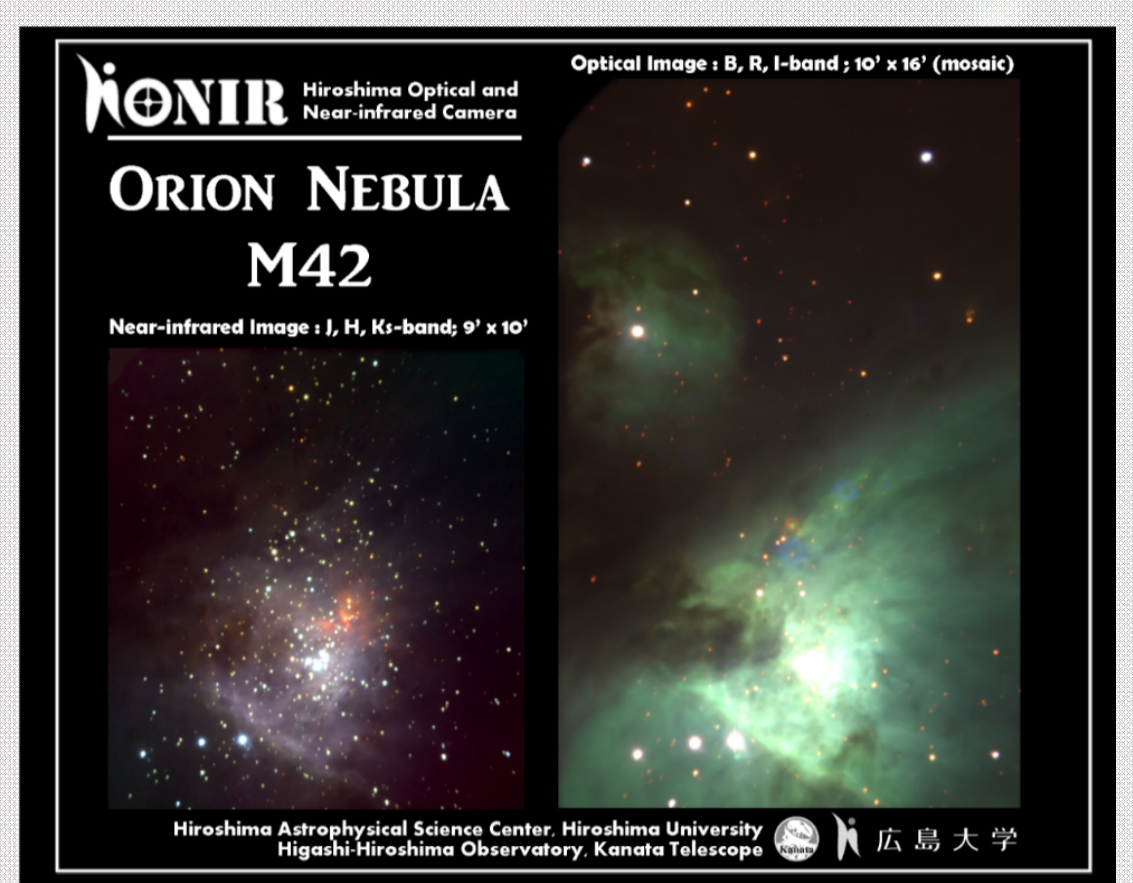


Fig. 2: M42の撮像観測例 (疑似三色合成)

Table 1: HONIRの基本性能

	Optical Arm	IR Arm #1(*)
波長 (μm)	0.5-1.0	1.15-2.40
Pixel Scale	10" × 10"	10" × 10"
視野	10" × 10"	10" × 10"
フィルター	B ⁽²⁾ , V, R _c , I _c , Y	Y, J, H, K _s
装置効率 (望遠鏡含)	4%(B), 21%(V), 20%(R _c , I)	21%(J), 29%(H), 21%(K _s)
スリット	1"3 (0.12 mm), 2"2 (0.2 mm), 6" (0.54 mm)	
分光		
波長帯 (μm)	0.4-1.0	1.1-1.4 1.5-2.4
グリズム	BK7 300 gr/mm	BK7 S-FTM16 180 gr/mm 120 gr/mm
分解能 Δλ (0.12mm slit)	440(V)-800(Z)	630(J) 570(H)-600(K)
偏光		
種類	完全空乏型裏面照射 CCD (浜松ホトニクス)	HgCdTe VIRGO (Raytheon)
フォーマット	2048 × 4096 pix; 15 μm/pix	2048 × 2048 pix; 20 μm/pix
制御系	Messia V + MFront2	Messia V + MACS2

(1) 将来は2 arms(1.15-1.35μm, 1.45-2.4μm) に分割予定
(2) 低効率

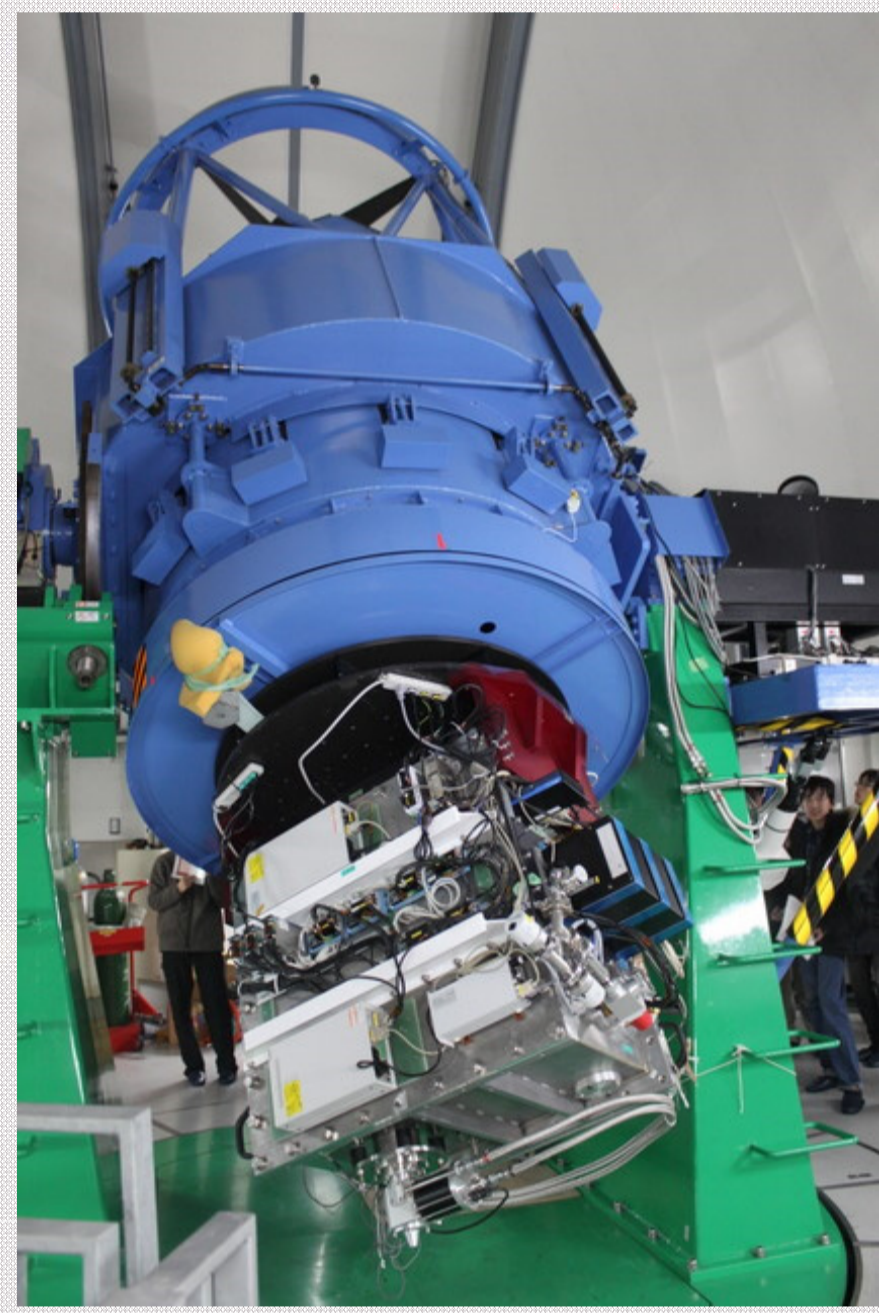


Fig. 1: かなた望遠鏡に装着されたHONIR

2 偏光観測用の光学系

偏光観測時には、以下の光学素子を光路に挿入する (Fig. 3)。

- Wollastonプリズム
 - 入射光を独立な直線偏光2光路に分離する
- 半波長板 (任意方位角に回転可能)
 - 入射光の偏光方位角を装置に対して回転させる
- 偏光観測用焦点マスク
 - 望遠鏡焦点像の約半分を掩蔽する

(A) Wollastonプリズム

Wollastonプリズム (日東光器; Fig. 4) の素材として、以下の理由からYLF (LiYF₃) を用いた。

- 0.5-2.4 μm 全体で良好な透過効率
- 複屈折性が大きい (= 常光 n_o と異常光 n_e の光線分離角度が大きくなる)
- 偏光分離角の波長分散が小さい (= 偏光撮像時の色収差抑制)
- 線熱膨張率の光軸間の差異が小さい (= 冷却サイクルにおけるプリズム貼りあわせの剝離・破壊を防止)
- 冷却下で使用された実績がある (~85K; Perrin+08)

(B) 半波長板

- Pancharatnam型 super-achromatic半波長板 (光学技研) (Fig. 5)
- (Si+MgF₂) × 3 = 6層構成、有効径: φ92 mm
- Retardance: 180 ± 9° @ 0.45-2.3 μm
- ステッピングモーターによる方位角回転 (ΔPA ~ 0.05°)

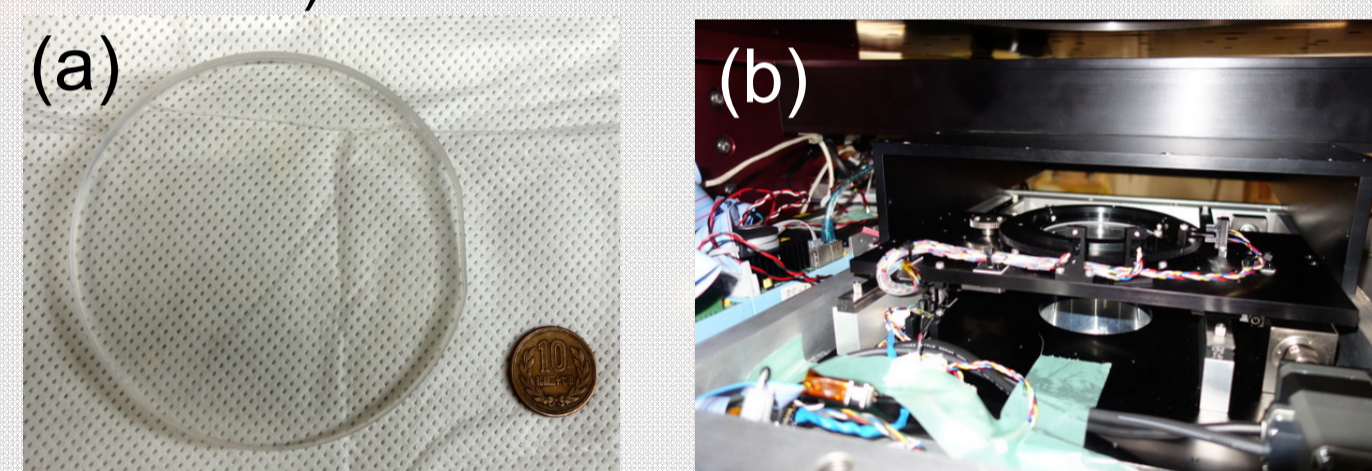


Fig. 5: (a) 半波長板、(b) 半波長板回転機構

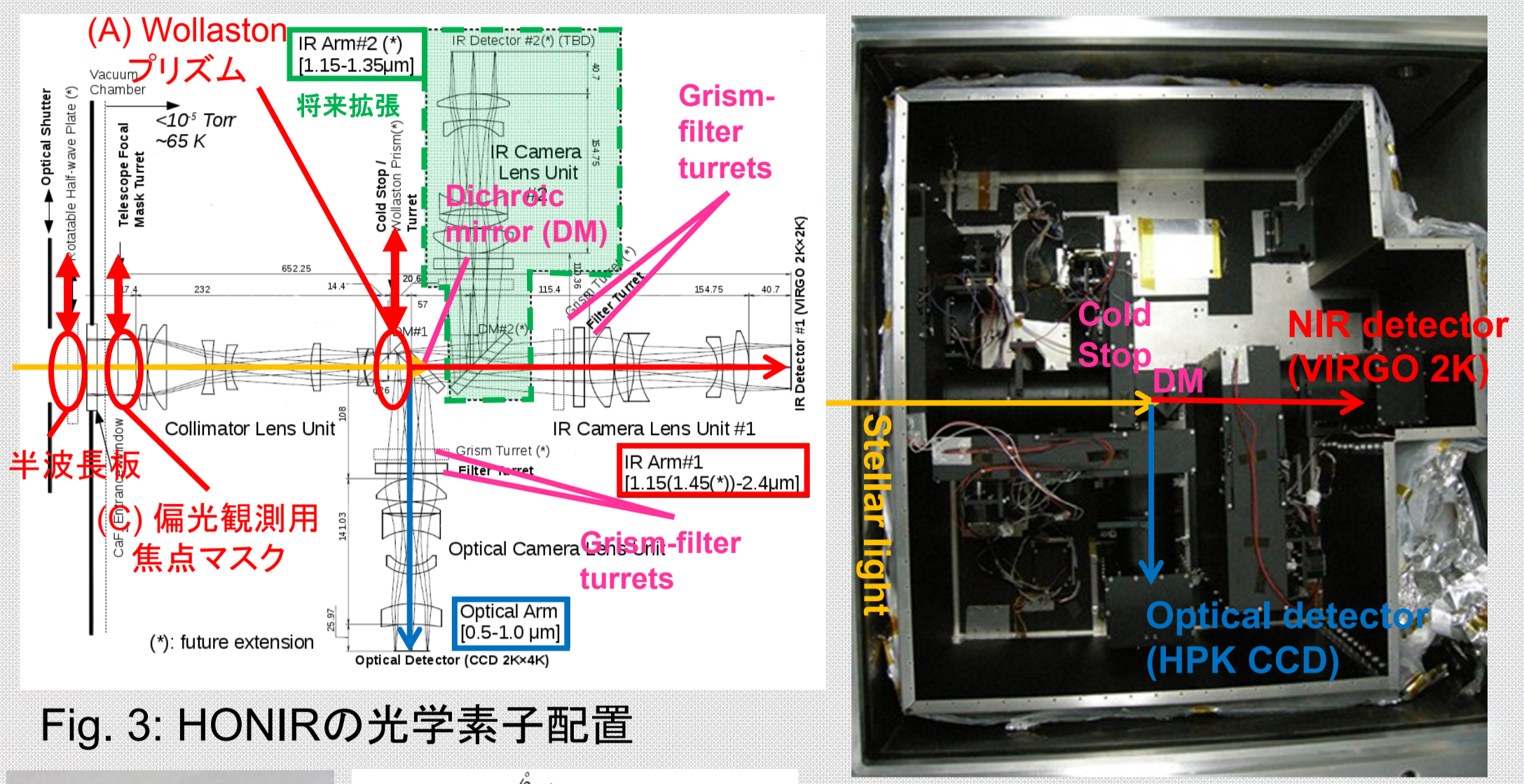


Fig. 3: HONIRの光学素子配置

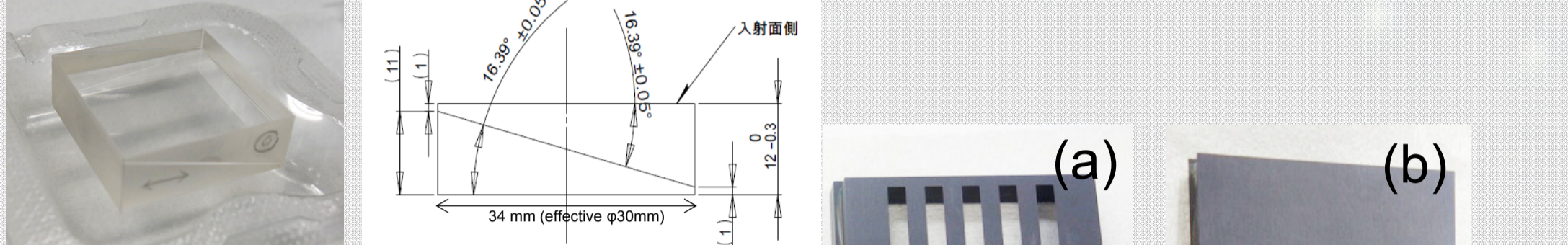


Fig. 4: YLF Wollastonプリズム

(C) 焦点マスク

Wollastonプリズムで分離した偏光2成分 (I_o , I_e) の像が検出器上で重ならないように、等間隔の離散的な開口またはスリットが設けられている (Fig. 6)。

- 偏光撮像用: 9.7" × 0.7" × 5 slots
- 偏光分光用: 2.2" × 45" × 5 slits (Δλ ~ 200-600)

スリット端での偏光生成を抑制するため、金属ではなく、マシナブルセラミックス「マセライトHSP黒 (有明マテリアル)」を用いた。

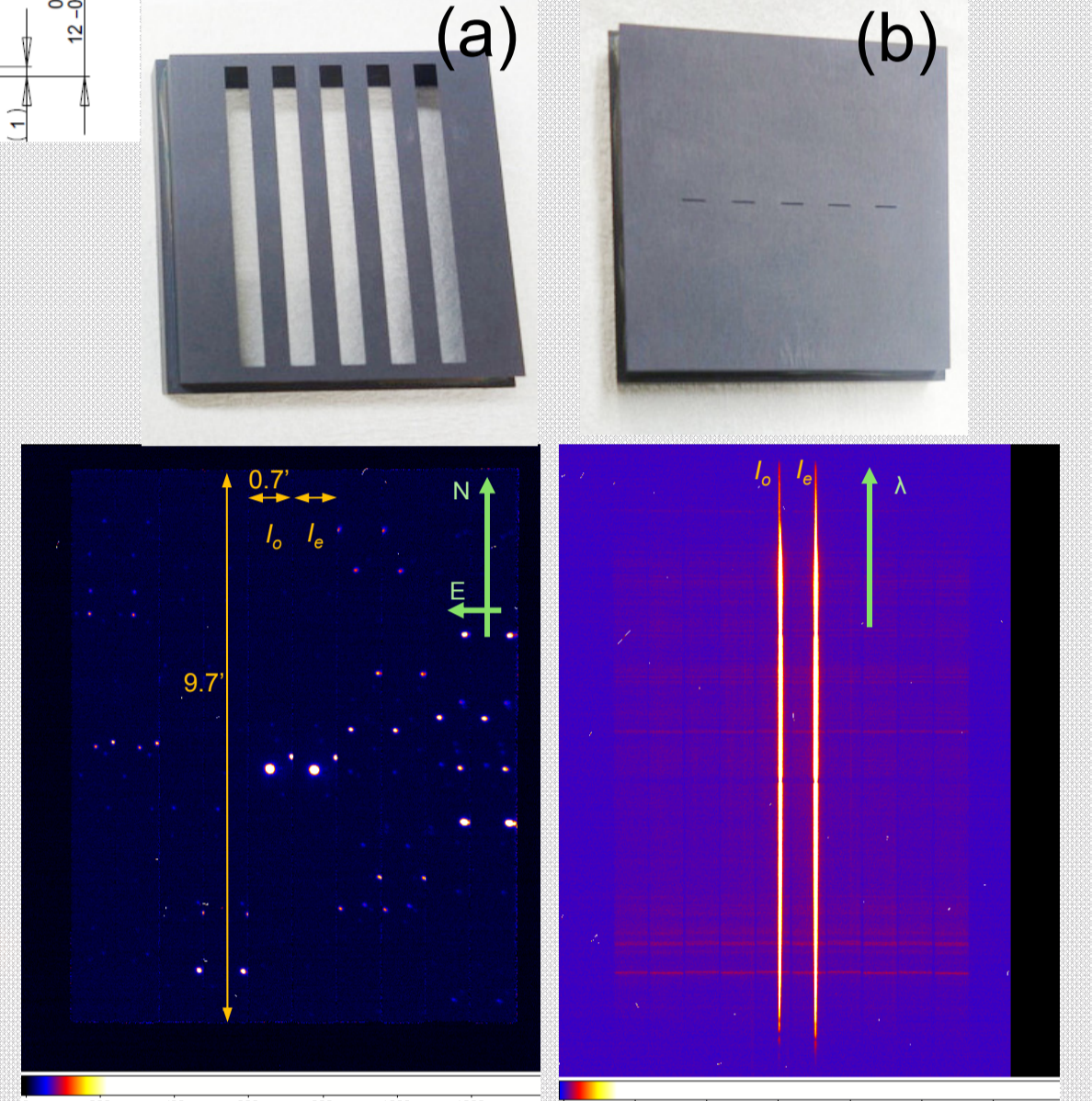


Fig. 6: 偏光観測用焦点マスク・スリットと実際の画像取得例。(a) 偏光撮像、(b) 偏光分光。

3 偏光観測性能評価

直線偏光測定手法: 検出器上に同時に結像される直線偏光2成分 (I_o および I_e) の画像もしくはスペクトルを、4つの半波長板方位角 (0.0, 45.0, 22.5, 67.5°) それぞれで取得。これらに右式 (Kawabata+99) を適用。偏光測定量 ($q = Q/I$ と $u = U/I$) を導出。

$$\frac{Q(\lambda)}{I(\lambda)} = \frac{1.0 - a_1(\lambda)}{1.0 + a_1(\lambda)}, \quad \frac{U(\lambda)}{I(\lambda)} = \frac{1.0 - a_2(\lambda)}{1.0 + a_2(\lambda)}, \quad a_1(\lambda) = \frac{\sqrt{\kappa(\lambda, 0.0)} \cdot \sqrt{\kappa(\lambda, 22.5)}}{\sqrt{\kappa(\lambda, 45.0)} \cdot \sqrt{\kappa(\lambda, 67.5)}}, \quad \kappa(\lambda, \psi) = \frac{I_o(\lambda; \psi)}{I_e(\lambda; \psi)}$$

(1) 器械偏光

- 無偏光標準星の観測により器械偏光を測定・評価した。

(a) 器械偏光の偏光度とその安定性

偏光撮像: V-Hバンドの偏光度 (p_{inst}) は ~0.05-0.09%, その変動は $\sigma_{p_{inst}} \sim 0.04-0.12\%$ 程度。B、K_sバンドでは $p_{inst} \sim 0.2\%$ および $\sigma_{p_{inst}} \sim 0.2-0.3\%$ であった。 (Fig. 7) 偏光分光: 可視波長域では、 $p_{inst} < 0.05\%$ および $\sigma_{p_{inst}} \sim 0.05\%$ 。近赤外線波長域では $p_{inst} \sim 0.2-0.3\%$ および $\sigma_{p_{inst}} \sim 0.2-0.3\%$ であった。 (Fig. 8)

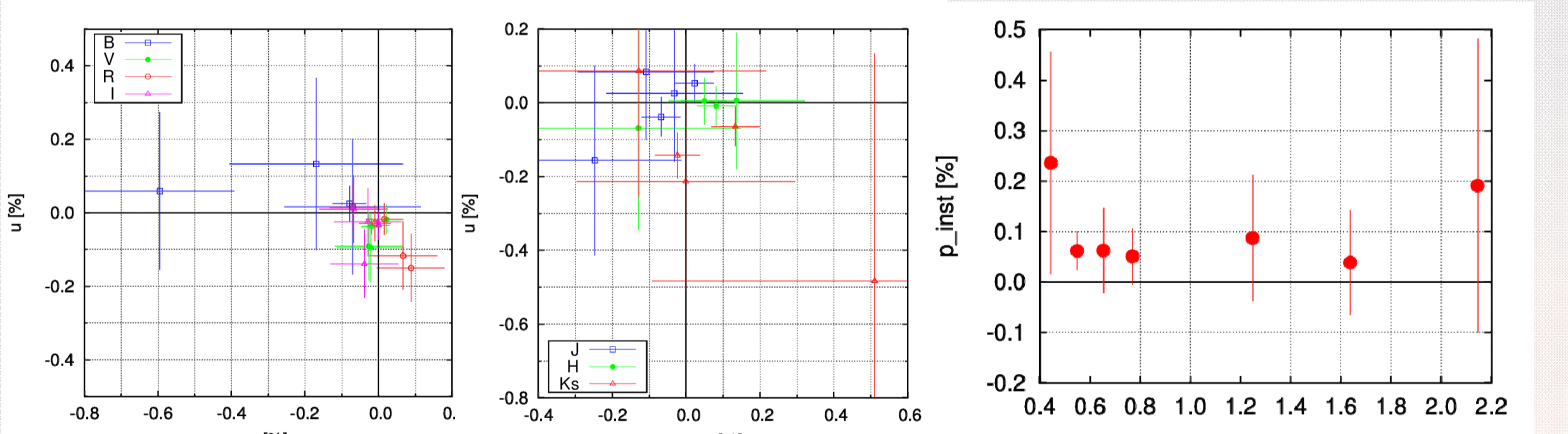


Fig. 7: 偏光撮像時の器械偏光。(a) 可視バンド、(b) 近赤外線バンド、(c) 器械偏光の大きさ (赤点) とその変動 (誤差棒)

(b) 視野内における分布

R_c および J_c バンド偏光撮像において、10分角視野内の器械偏光の分布を調査した (Fig. 9)。視野内の器械偏光の変動 (標準偏差)

- R_c バンド: ~0.10%
- J_c バンド: ~0.24%
- 可視光での器械偏光は小さく安定している。0.1%精度の偏光測定に大きな支障はない。
- 近赤外線およびBバンドで、器械偏光とその変動が大きい場合がある。より詳細な特性 (装置姿勢に対する依存性など) を調査し、器械偏光較正の精度を向上させる必要がある。

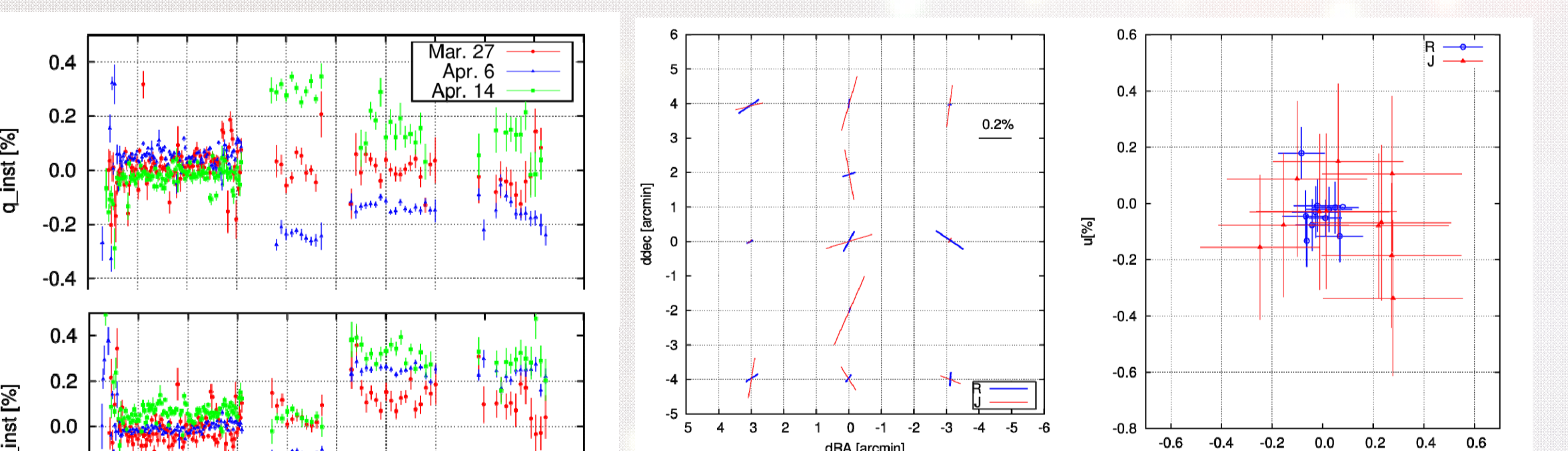


Fig. 9: 10分角視野内での器械偏光の分布

Fig. 8: 偏光分光観測時の器械偏光安定性。複数の観測日における無偏光標準星の q, u スペクトル

(2) 消偏光効果

- ワイヤーグリッド偏光フィルター越しの星 (100%偏光星) の観測から評価した。
- 入射光の偏光度が、短波長側で本来の値より大きく減らされて測定される (Fig. 10(a))。
- おそらくWollastonプリズムに用いているYLF結晶の特性 (複屈折性による偏光変換) に起因。
- 通常観測時の偏光度に対して補正が必要である。
- 最も消偏光効果が大きいBバンドにおける補正誤差は、p ~ 5% の天体に対して 0.1% 以下である。

(3) 偏光方位角

- 天球座標系に対する装置のオフセット角度は、偏光方位角が既知の強偏光標準星の観測から決定する。
- 複数の強偏光星から評価したオフセット角決定精度は ±0.1° 以内であった。
- 半波長板の光軸方位角は波長依存性をもつ (Fig. 10(b)); 偏光フィルター越し100%偏光星を用いて測定。通常観測時の偏光方位角に対して補正が必要である。

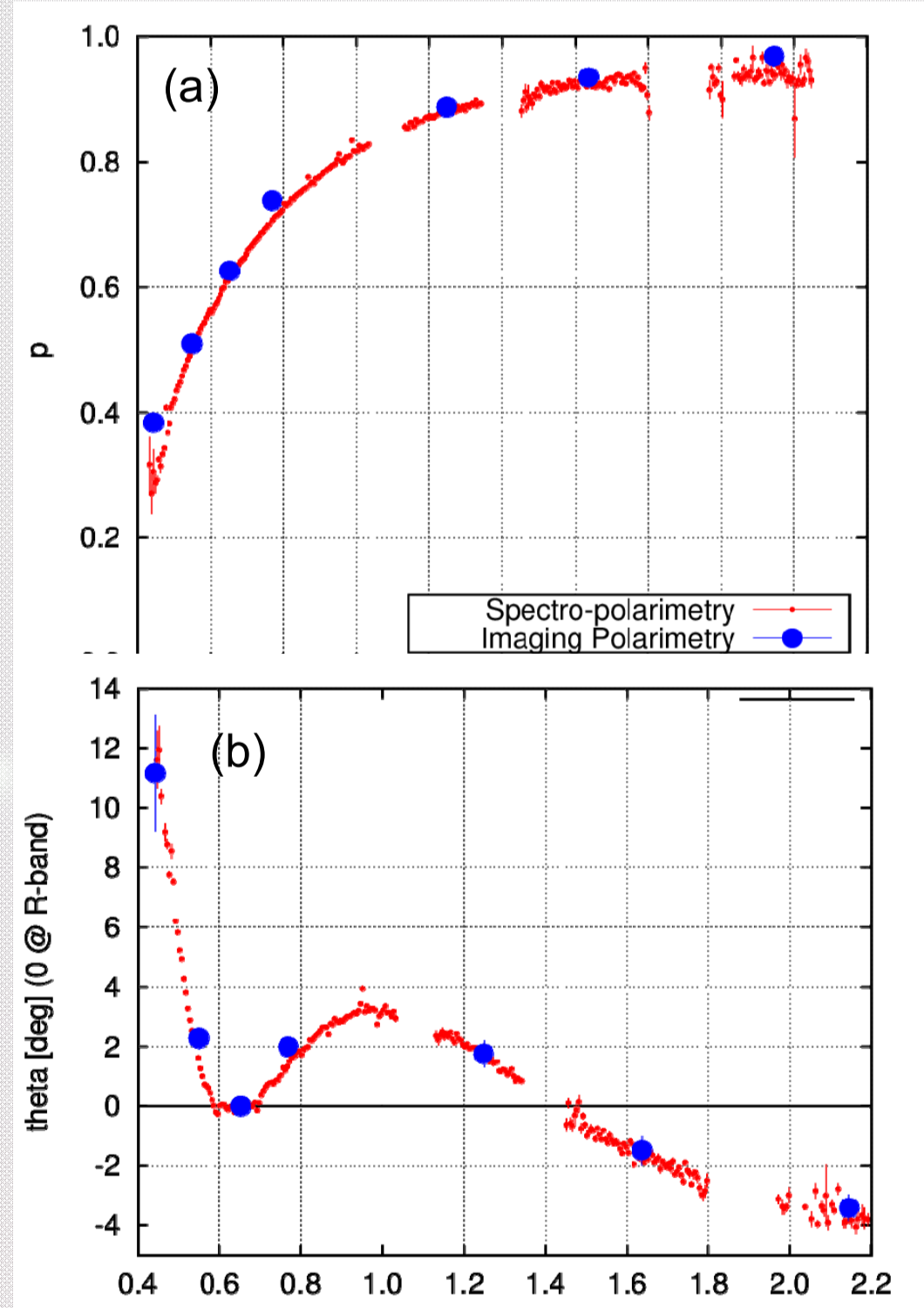


Fig. 10: ワイヤグリッド偏光フィルター越しの星 (100%偏光星) の (a) 偏光度波長依存性、(b) 偏光方位角波長依存性。赤: 偏光分光、青: 偏光撮像

4 初期観測

(1) 星間偏光

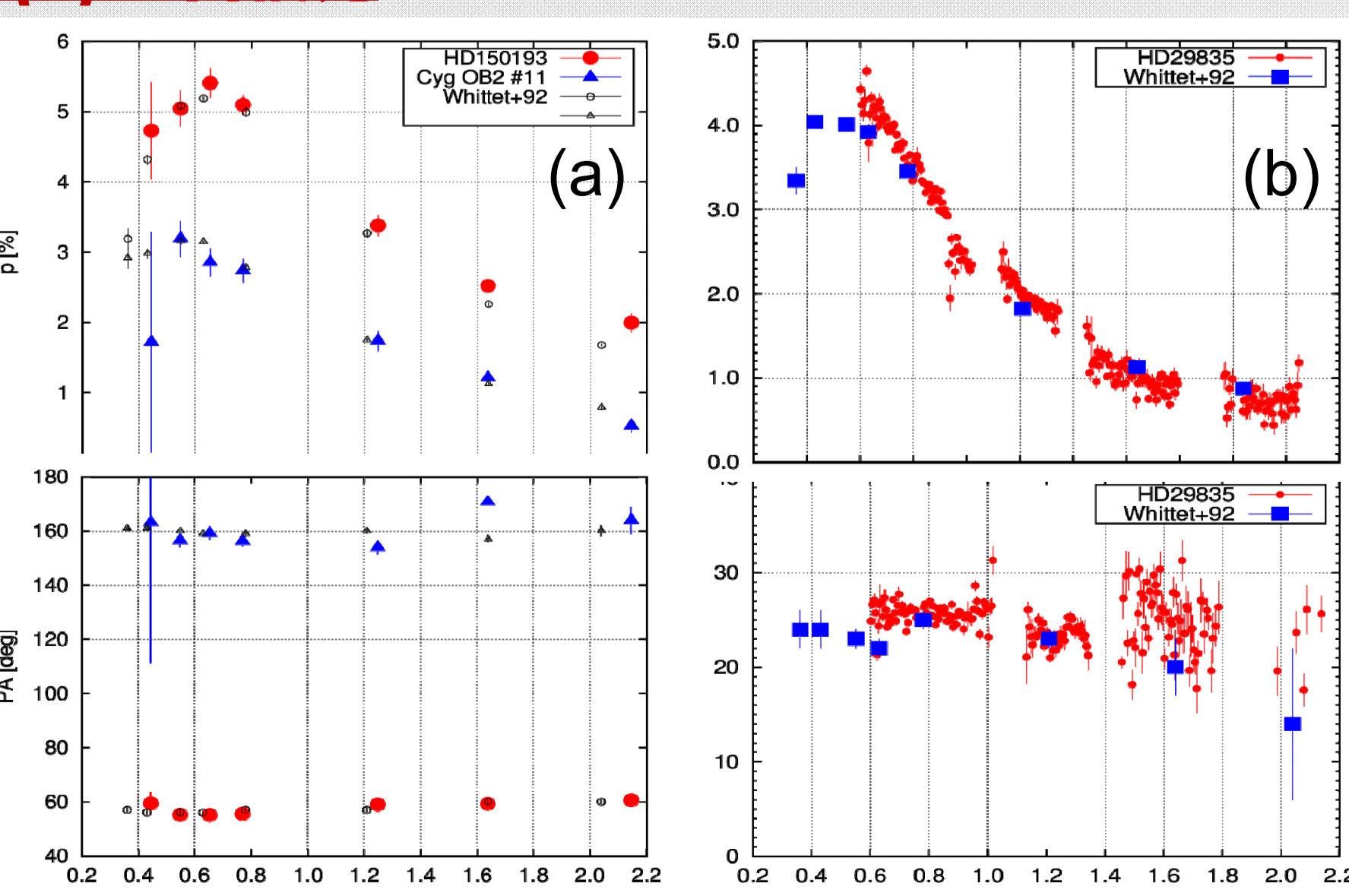


Fig. 11: 星間偏光の測定例。(a) 偏光撮像、(b) 偏光分光。Whittet+92による過去の偏光度・偏光方位角測定値も併せて示した。

(2) 超新星

- M82に発見された超新星 SN2014J
- B-K_s偏光撮像を実施。
- 短波長側で大きな偏光度。時間安定 → 偏光はM82中星間偏光が主。ダスト平均サイズが < 0.1 μm と非常に小さいことを示唆。

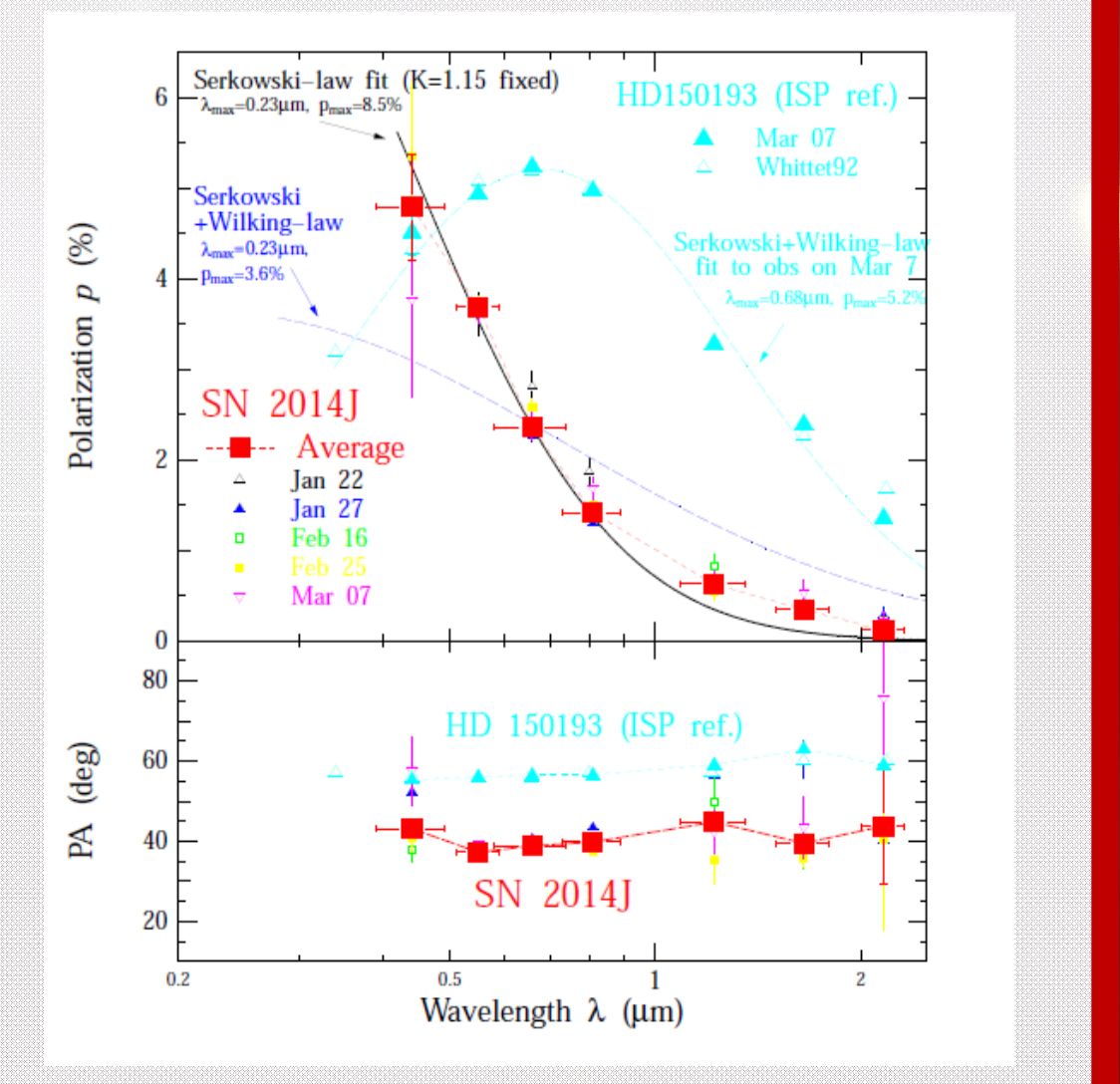


Fig. 12: SN2014Jの偏光撮像 (Kawabata et al. ApJL, submitted)

5 今後の開発方針

- 偏光観測精度・安定性の詳細調査 (→ 特に近赤外線での器械偏光の安定性と較正)
- より分散の高い偏光分光観測の実現 (R ~ 2000)
- 近赤外線アレイの16ch同時読み出しシステムの導入 (Ui et al. 2014; 本UM P10・宇井ほか)
- オートガイダーの導入
- 近赤外線armの追加 (→ 3バンド同時観測化)

References

- Akitaya et al. 2014, Proc. SPIE, 9147, 914740
- Kawabata, et al., PASP, 111, 898
- Perrin et al. (2008), PASP, 120, 555
- Sakimoto et al. 2012, Proc. SPIE, 8446, 844673
- Ui et al. 2014, Proc. SPIE, 9147, 91476C
- Whittet et al., 1992, ApJ, 386, 562

ポスターのコピー、HONIR SPIE論文など関連資料は以下QRコードから

