



WFGS2偏光モードの開発

川上碧、戸塚都、高橋隼、伊藤洋一（兵庫県立大学）

1.広視野グリズム分光撮像装置 (Wide Field Grism Spectrograph 2)

名古屋大学が開発した可視光分光撮像装置 (Uehara et al., 2004)。ハワイ大学2.2m望遠鏡で運用されていたが、2017年に兵庫県立大学西はりま天文台に移管され、2mなゆた望遠鏡のカセグレン焦点で運用されている。

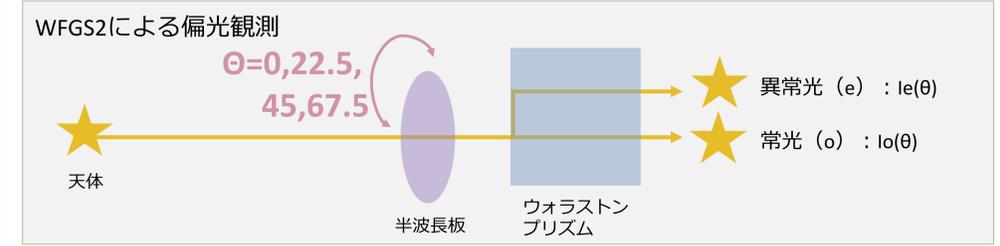
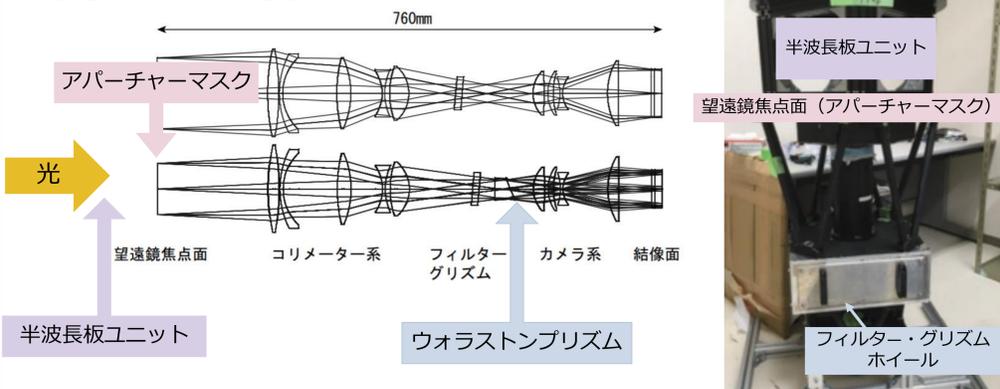
基本性能

項目	内容
波長域	380-970nm
サイエンスカメラ	種別: 冷却CCDカメラ 製品: FLI PL23042-1-B ピクセル数: 2048(H)×2064(V) ピクセルサイズ: 15 μm × 15 μm
撮像視野	6.76分角 × 6.81分角
ピクセルスケール	0.198秒角/pixel
フィルター	広帯域: g', r', i', z', B(new), V, Rc(new), Ic 狭帯域: wide-Hα (有効波長: 651.5 nm / 波長幅: 25 nm) オーダーカット: LWP (透過波長 > 470 nm)
波長分解能	R~300(グリズム = g300)



↑WFGS2

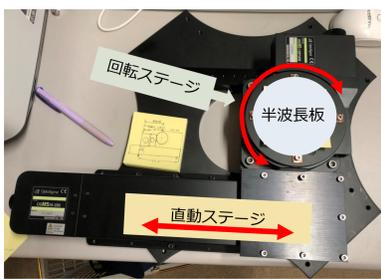
2.偏光モードの光学系



3.偏光撮像モードの開発

A.半波長板ユニット

偏光観測では4方向の偏光成分の明るさが必要となる。半波長板の角度を0,22.5,45,67.5°に回転させるための回転ステージを取り付けた。また、偏光モードと撮像・分光モードを切り替えるため半波長板を出し入れさせる直動ステージを取り付けた。



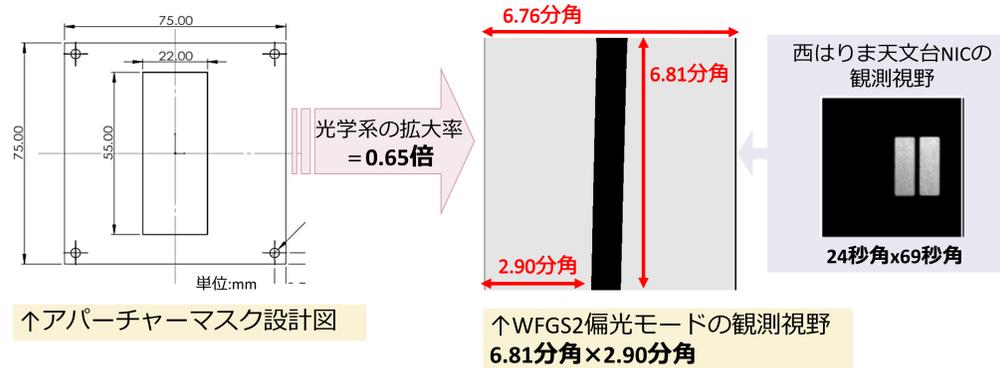
↑半波長板ユニット

B.ウォラストンプリズム (偏光分離素子)

ウォラストンプリズムは入射光を二つの直交する直線偏光成分に分離するプリズムである。今回は方解石ウォラストンプリズムを使用した。また、プリズムを取り付けるためのホルダーの製作をした。

C.アパーチャマスク

ウォラストンプリズムによって分けられた像を検出器上で重なることなく結像させるために、望遠鏡焦点面にアパーチャマスクを取り付けた。マスクの大きさは光学系の拡大率によって決定した。



↑アパーチャマスク設計図

↑WFGS2偏光モードの観測視野
6.81分角×2.90分角

References

- Schmidt et al., 1992, AJ, 104, 1563
- Uehara et al., 2004, SPIE., 5492, 661
- 高橋, 2019, Stars and Galaxies, 2, 3

4.偏光の導出

天体画像の明るさ(flux)から偏光度Pと偏光方位角θを計算する。

偏光は横軸をq、縦軸をuとしたQU平面で表すことができる。qは0°-90°方向の偏光、uは45°-135°方向の偏光を表す。この時、偏光度Pは原点から観測点までの距離、偏光方位角θは偏光度の直線とx軸のなす角の半分で表される。

直線偏光のストークスパラメーターの導出には以下の式を用いた。

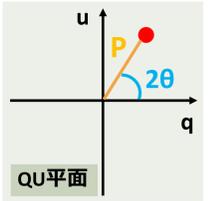
$$R_q = \sqrt{\frac{I_{e,0^\circ} I_{o,45^\circ}}{I_{o,0^\circ} I_{e,45^\circ}}}, R_u = \sqrt{\frac{I_{e,22.5^\circ} I_{o,67.5^\circ}}{I_{o,22.5^\circ} I_{e,67.5^\circ}}}$$

$$q = \frac{1 - R_q}{1 + R_q}, u = \frac{1 - R_u}{1 + R_u}$$

q,uより、偏光度P,偏光方位角θは以下のように表される。

$$P = \sqrt{q^2 + u^2}$$

$$\tan(2\theta) = u/q$$



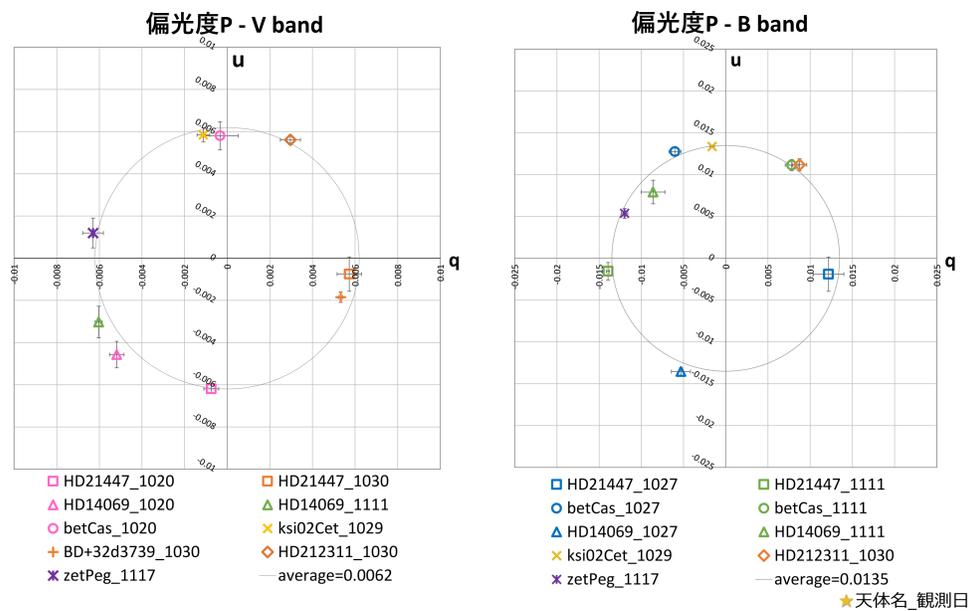
5.性能評価

望遠鏡や装置によって発生する偏光を器械偏光という。これを評価するために無偏光標準星を観測した。無偏光標準星とは一般には偏光度が0.1%以下の星である。

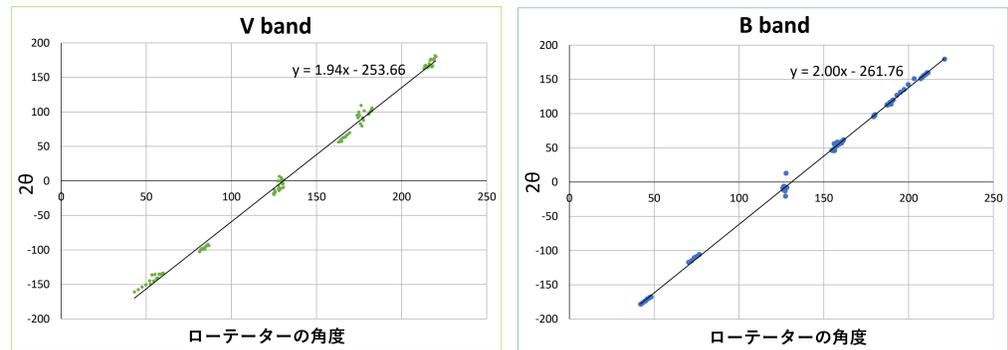
また、偏光度の正確性を評価するために、強偏光標準星を観測し、偏光度の誤差と等級・積分時間の関係を求めた。

観測は西はりま天文台2mなゆた望遠鏡を用いて行われた。2020/10/20~2020/11/17までの6夜、V(550nm),B(440nm)バンドで無偏光標準星を7天体、強偏光標準星を4天体観測した。観測天体はSchmidt et al. (1992)の天体リストより選択し、V等級2.27~10.34等の天体である。

●無偏光標準星の解析結果を以下に示す。



器械偏光はVバンドで0.62±0.04%、Bバンドで1.35±0.08%であることが分かった。また、偏光方位角はカセグレン焦点の装置ローテーターの角度に依存して変化することが分かった。



●また、強偏光標準星の解析から、偏光度の誤差σ_Pと等級m・総積分時間Tの関係調べた。

例)

- V等級10mag、総積分時間500secの時、総カウント数は1.0e+8、偏光度の誤差は0.04%
- V等級15mag、総積分時間1200secの時、総カウント数は2.4e+6、偏光度の誤差は0.20%

↓強偏光標準星の偏光度Pと偏光方位角θ

バンド	天体名	P 観測値 %	P 文献値 %	θ 観測値 (°)	θ 文献値 (°)
V	HD19820	4.789±0.010	4.787±0.028	114.45±0.08	114.93±0.17
	BD+59d389	6.633±0.034	6.701±0.015	97.52±0.09	98.09±0.07
	BD+64d106	5.540±0.019	5.687±0.037	97.58±0.18	96.63±0.18
	HD204827	5.523±0.014	5.322±0.014	58.30±0.05	58.73±0.08
B	HD19820	4.690±0.037	4.699±0.036	114.96±0.21	115.70±0.22
	BD+59d389	6.272±0.044	6.345±0.035	98.18±0.21	98.14±0.16
	BD+64d106	5.557±0.057	5.506±0.090	98.20±0.34	97.15±0.47
	HD204827	5.658±0.019	5.648±0.022	57.85±0.18	58.20±0.11