

可視赤外線同時カメラHONIR: 偏光・分光観測機能搭載に向けた開発



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

先本 清志、原尾 達也、笹田 真人、浦野 剛志、川端 弘治、吉田 道利、大杉 節(広島大学)、
中島 亜紗美(東京大学・国立天文台)、山下 卓也、中屋秀彦(国立天文台)

[1] Introduction

- 可視赤外線同時カメラHONIR(おにーる)は、東広島天文台かなた望遠鏡(口径1.5m)用に開発を進めている次期主力観測装置の一つである(図1)。
- 「3波長帯(可視x1・近赤外x2)同時」「撮像」「分光」「偏光撮像」「偏光分光」観測機能の搭載を目指している(表1,図2)。
- 2006年に開発を開始。2011年10月-2012年2月には「2波長帯(可視・近赤外)同時」「撮像」機能を搭載し、試験観測・科学研究観測を開始した(図3; 本年会講演V202a(先本)、V203a(原尾)も参照)
- 今後、2012年春～夏を目標に「分光」「偏光撮像」「偏光分光」機能を追加する。(将来的には、さらに近赤外1ch追加による計「3ch同時」化も目標であるが時期は未定。)

本講演では、これから追加する「偏光観測」「分光観測」機能に必要な新規光学素子の設計について報告する。



図1: 望遠鏡上の装置

表1: HONIRの主要な機能

使用環境	かなた望遠鏡(口径1.5m; F/12)・カセグレン焦点
撮像視野	10' x 10' (0.3"/pixel)
波長域	0.5-0.9μm / 1.15-1.35μm / 1.5-2.4μm (計3ch) (現状は0.5-0.9μm / 1.15-2.4μm; 計2ch)
検出器(可視)	浜松ホトニクス2K x 4K 完全空乏型CCD (15μm/pix)
(近赤外1ch目)	Raytheon VIRGO 2K x 2K HgCdTe array (20μm/pix)
(近赤外2ch目)	未定
分光機能(2012夏-)	λ/Δλ ~ 350 (0.5-2.5μm連続) (将来は中分散(λ/Δλ ~ 700)・超低分散(~30)も)
偏光測定機能(2012夏-)	直線偏光測定(Δp < 0.1%) LiYF ₄ 結晶Wollaston prism+ super-achromatic 半波長板

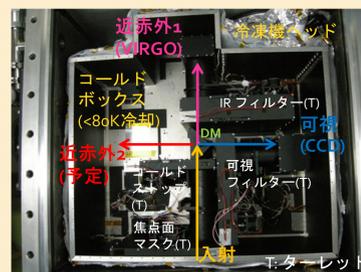


図2: 装置内配置

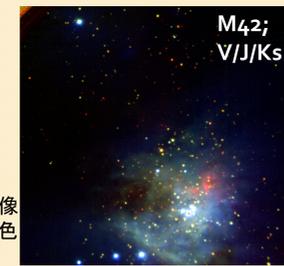


図3: 取得画像例(疑似3色合成図)

[2] 偏光観測機能

偏光観測のために、

- ✓ 半波長板(@望遠鏡焦点前; 任意方位角に回転可能): 入射光の直線偏光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): 視野の約半分を切り取る
- ✓ 偏光ビームスプリッタ(Wollaston prism)(@cold stop位置): 入射光を直交する直線偏光2成分に光路分離する

を設置する(図4)。

半波長板には、可視近赤外同時撮像分光装置TRISPEC(Watanabe+05)で使用実績のあるsuper-achromatic半波長板(図5)をそのまま用いる。

偏光ビームスプリッタには、主要な複屈折性物質(表2)を以下の条件で比較検討した結果、YLF(フッ化イットリウムリチウム; LiYF₄)材で構成されるWollaston prismを設計・製作して用いることとした(図6,7)。

- (1) 装置有効波長域(0.5-2.4μm)の透過率・大
- (2) 複屈折性の波長依存性・小(parameter Vの絶対値が可視・近赤外線とともに大きい) = 星像の色分散(偏光撮像時の星像伸び)を抑制するため
- (3) 偏光2成分の分離角($\propto \Delta n = |n_e - n_o|$)・大 = 広い視野(45°幅以上)の偏光2成分画像を検出器面で分離して結像させるため
- (4) サイズ制限を満たす(有効径φ30mm以上、かつ、最大34mm角・12mm厚) → 45°視野分離に必要な分離角はHONIRの場合 $\delta = 0.7126^\circ$ 。これを最大素子サイズで規定されるプリズム頂角 $\alpha \leq 16.39^\circ$ で実現するには $|\Delta n| > 0.0214$ が必要。
- (5) 85Kまでの冷却耐性あり(=線膨張率の軸差・小、冷却下使用実績あり) → Lick天文台IRCALにて5年間の冷却下使用実績有(図8)

これらに、600"x45"長方形開口を93"間隔にて5ないし6個並べた焦点マスク(図4左下)を併用することで、偏光2成分の同時撮像を行う。

複数の波長板光軸方位角(通常は0, 22.5, 45, 67.5°)にて一連の画像取得を行うことで、天体の直線偏光(Stokes parameters: I, Q, U)の空間分布を測定することが可能となる。

表2: 主要な複屈折性物質とその比較

材質	透過波長(μm)	常光屈折率n _o	複屈折性Δn=n _e -n _o	n _o , n _e 測定波長(μm)	V(0.6μm)(%)	V(2.2μm)(%)	熱膨張率の2軸差(×10 ⁻⁶)	総合評価
Calcite	0.21-2.1	1.66	-0.17	0.633	22	36	18.7	×
α-BBO	0.19-2.1	1.67	-0.12	0.532	30	33	-32	×
YVO ₄	0.45-3.4	1.9929	0.2225	1.55	11	547	-6.9	×
LiNbO ₃	0.50-3.8	2.146	0.074	1.3	8	67	-14.7	×
Rutile	0.55-4.3	2.454	0.256	1.5296	15	-29	-2.7	×
LiYF ₄ (YLF)	0.30-4.0	1.44845	0.02218	1.0	43	-264	3	◎
MgF ₂	0.13-7.0	1.37713	0.01176	0.6234	71	115	5.2	○
SiO ₂	0.20-2.4	1.54	0.009	0.633	31	45		△

赤: 非常に良い、茶: 良い

※ V=Δn(λ)/[Δn(λ-Δλ)-Δn(λ+Δλ)] (Δλ=0.1μm); 複屈折性の波長依存性の指標。|V|が大きいほど色分散小。



図5: TRISPEC用半波長板

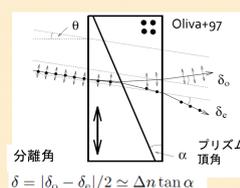
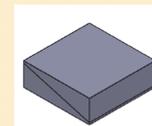


図6: 一般的なWollaston prismの構成



仕様
材質: LiYF₄(YLF)
頂角: 16.39°
使用温度: 80K
波長域: 0.5-2.4μm
波面精度: λ/2
Optical contact 又は接着材貼付
w/ARコーティング

偏光撮像時結像性能評価
・色分散星像伸び(V-band): 0.30-0.32"(約1pix相当)

図7: 設計したYLF製Wollaston prism

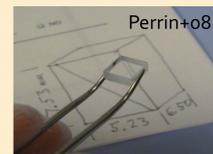
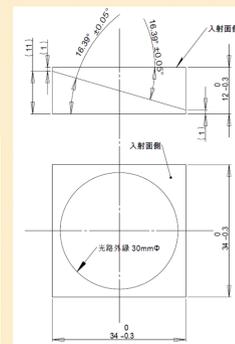


図8: IRCAL用YLF Wollaston prism

[3] 分光観測機能

分光観測には、

- ✓ 焦点面スリット(@望遠鏡焦点)
- ✓ グリズム(@各波長帯平行光路上)を設置する。

表3のような低分散観測用グリズム群を設計した。これらを幅0.2mm(2.2秒角相当)の焦点面スリット(図4左下)と併用する。これにより、R(=λ/Δλ)~350の分解能にて、HONIR観測波長帯全体にわたりほぼ途切れのない連続的な分光強度(又は分光偏光)スペクトルを取得する。

将来は、さらにR~700程度の中分散素子、および、R~30程度の超低分散素子の設計・設置も検討する。

表3: 分光素子の設計と分光性能

波長帯	波長域(μm)	分解能(R=λ/Δλ)	最大効率波長(μm)	材質	頂角(°)	溝数(gr/mm)	ブレイズ角(°)	格子形状(RGL社型番)	サイズ(HxWxB)(mm)	有効径(mm)
Optical	0.41-0.97	330	0.683	BK7	21.5	300	23	54-039R	51x51x21	47
IR1	1.07-1.43	354	1.232	BK7	23.5	180	23.9	54-870R	59x59x27	55
IR2	1.50-2.40	371	1.933	S-FTM16	22.5	120	26.7	54-831R	59x59x26	55

References

- ✓ Oliva et al. (1997), A&AS, 123, 179
- ✓ Perrin et al. (2008), PASP, 120, 555
- ✓ Watanabe et al. (2005), PASP, 117, 870