

東広島天文台 観測装置開発状況

2009年岡山ユーザーズミーティング

広島大学 宇宙科学センター 川端弘治

広島大学

広島大学

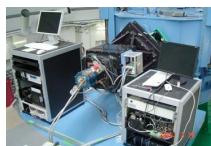
開発装置リスト

- HOWPol(1露出型広視野偏光撮像器)
 - 2008年11月より観測開始、2009年5月よりGRBスタンバイ、10月より広視野偏光撮像稼動予定
- HONIR(可視赤外線同時カメラ)
 - 2009年2月に赤外1チャンネル撮像のファーストライト、現在は調整、開発を継続
- 高速分光器(京大嶺重氏科研費)
 - 2008年7月完成、2009年2月制御ソフト完成

2

HOWPol: 1露出型広視野偏光撮像器

Hiroshima One-shot Wide-field Polarimeter



小松智之、田中祐行、千代延真吾、
永江修、川端弘治
中屋秀彦（国立天文台）

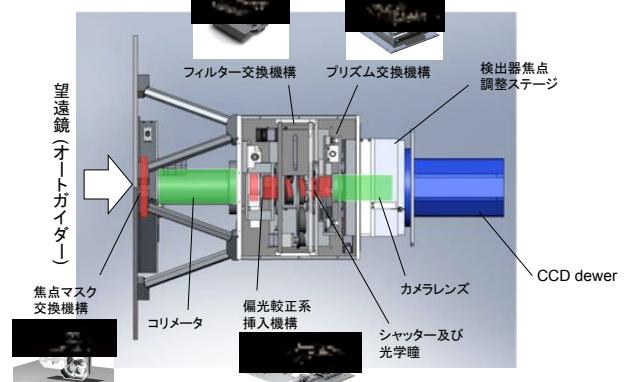
2008年11月より観測開始(GRBモードは2009年5月より)

波長域	450nm-1100nm
観測モード	広視野撮像(15° circle) 偏光撮像(1露出型 7×7分角視野 / 1×15分角) Swift/BATのガンマ線バースト位置誤差をカバー 分光 ($\lambda/d, \lambda^2$ 600 - 2300)、偏光分光
検出器	2k-4k back-illuminated, fully-depleted CCDs (浜ホト) 2ヶ

3

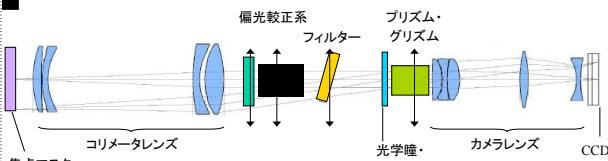
広島大学

HOWPol筐体の構造と駆動機構の配置



光学系

広島大学



最終F値	F/6.9
光学瞳像の直径	φ23.9mm
光学瞳像の収差 (80% encircled energy)	<52μm at 450 < λ < 1100nm <32μm at 600 < λ < 1000nm
透過率	>38% at 450 < λ < 1100nm
カメラレンズの焦点距離	148mm
収差(80% Encircled Energy)	<30μm(0.6 arcsec) at 450 < λ < 1100nm
ピクセルスケール	0.30 arcsec / pixel

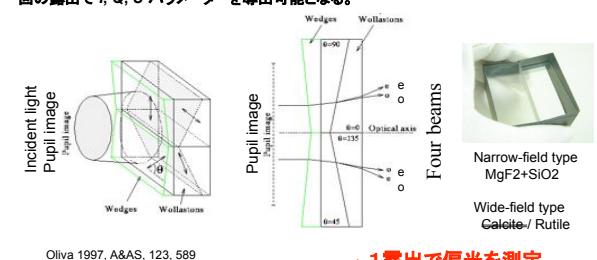
5

Double wedged Wollaston prism

広島大学

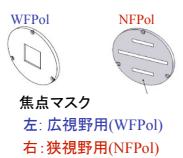
通常、Stokes I, Q, U パラメーターを導出するためには半波長板・偏光素子の方位角を回転させて撮影した2-4枚の露出を必要とする。

しかし、「Double wedged Wollaston prism」(Oliva 1997) を瞳像位置に置けば、一回の露出で I, Q, U パラメーターを導出可能となる。

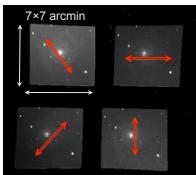


→ 1露出で偏光を測定

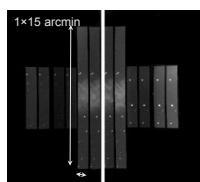
1 露出偏光モードでの像フォーマット



焦点マスク
左: 広視野用(WFPol)
右: 狹視野用(NFPol)



広視野用の取得画像例 (Calcite WFWoI 使用)

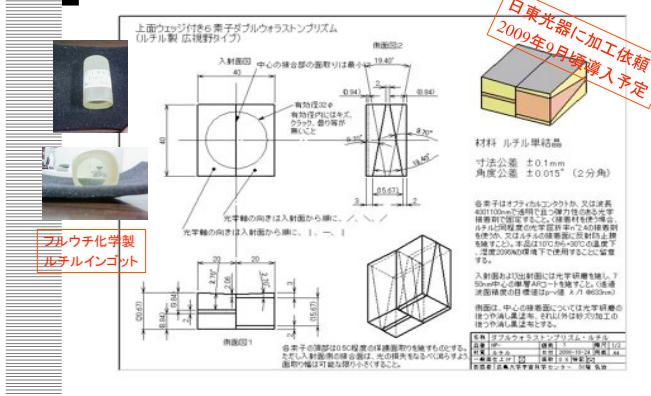


狭視野モードの取得画像例

広視野モード(WFPol) 色収差大 ボンツ線バースト(位置誤差大)用

狭視野モード(NFPoL)
色収差小
一般観測向け

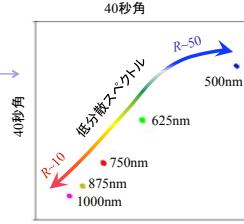
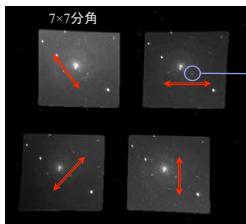
現在製作中のプリズム(科研特定領域)



科 二千二型結果

・成績
導入予定

期待される取得画像とスポットダイアグラム

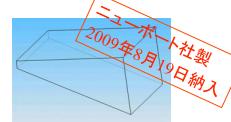


- ・ 7×7 分角視野の4方位(0, 45, 90, 135度)の直線偏光像 →
1露出で Stokes I, Q, U を導出
 - ・ルチル($n \sim 2.4$)の色分散を積極的に利用した低分散分光
→ 偏光分光測光 ($R = \lambda / \Delta \lambda = 10 - 50$) を同時に
 - ・限界等級: 10分 $\Delta\mu=0.2\%$ で $R = 13.3$ 等 (R filterを通すと 14.2等)
(スカイ輝度17.5等/ arcsec^2 、FWHM 3")

分散素子 グリズム

低分散型

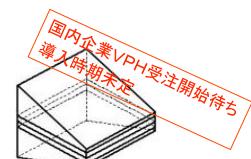
ブリズム：BK7 頂角25.67°
 格子数：420本/mm 620nmブレーズ
 オーダーソートフィルター：64R
 波長域：450–1050nm (620nm中心)
 波長分散：平均 2.45Å/pixel
 分解能(2.3秒角格子 slit)：18.8Å
 $\lambda/\Delta\lambda \sim 330$ $\Delta v \sim 910 \text{ km/s}$



ニューポート社製
2009年8月19日納入

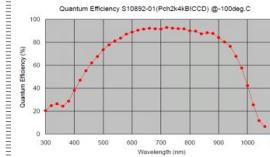
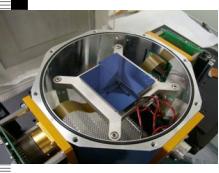
高分散型

プリズム: ZnSe 頂角 $20^\circ \times 2$
 VPH格子: 1579本/mm
 波長域: 600-790nm (688nm中心)
 分解能(2.3秒角幅slit):
 $\lambda/\Delta\lambda \sim 2300$ $\Delta\lambda \sim 130\text{nm}$



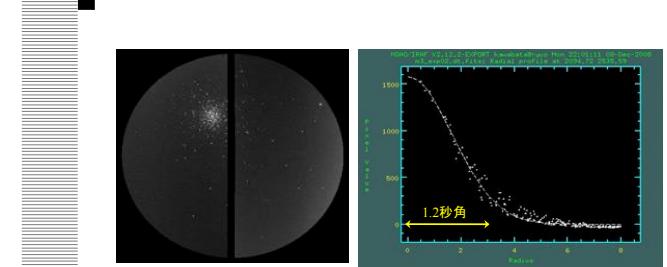
10

HPK CCD performance (Science grade)



- ・すばるS-Cam/FOCAS/HSCと同類
 - ・冷却・温度制御 -100°C
 - ・読み出し系: Messia5/M-front2
(中屋ほか 2006)
 - ・ゲイン: 2.23e-/ADU
 - ・読み出しノイズ: ~5e-/pixel @ 133kHz
 - ・リニアリティずれ: 1%未満(<6万ADU)
 - ・Blurring effect: <0.5pixel@450nm
 - ・ダーク: ~13e-/pixe/hour @-100°C
(datasheet <1e-/pix/hour@-100°C)
 - ・読み出し時間 (133kHz, 4ポート)
20sec(1x1), 9sec(2x2), 4sec(4x4)
GRBモード

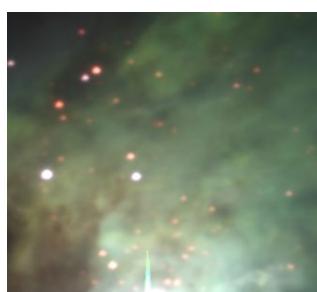
球状星団の短時間露出：結像性能



球状星団 M3 Rバンド2秒露出
視野全面にわたり 半値幅 1.1-1.2秒角



R (z'+Y'バンド), G (Rバンド),
B (V'バンド)の3色合成



z' +Y'バンドで多数の星が
写り込んでいる
完全空乏型CCD(空乏層
圧200μm)の威力

13

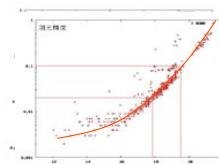
撮像モードの効率と限界等級

Photometric nightにおける実測効率
(大気吸収、望遠鏡反射率含む)

$B = 7.5\%$
 $V = 20.4\%$
 $R = 30.0\%$
 $I = 27.7\%$

限界等級(撮像)

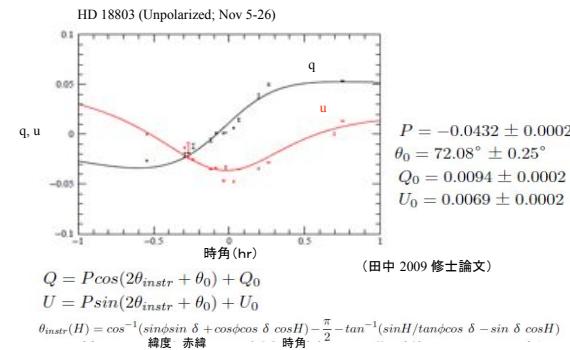
表 4.4: 限界等級 (BVR バンド 100 秒露出、I バンド 50 秒露出)



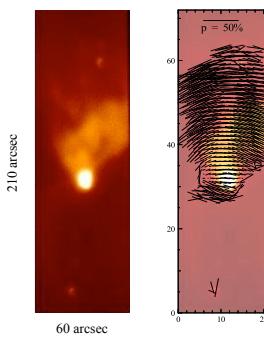
設計値(100秒 $\Delta R=0.02$ 等で18.2等)
と0.3等誤差で一致

14

器械偏光の時角依存性



R Mon の偏光撮像



Herbig Be星+反射星雲

NFPolモード
Rバンド 120秒×4フレーム
3秒角×3秒角ごとに偏光導出

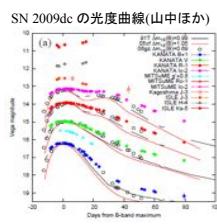
星雲部:
同心円状の偏光パターン
外側の方が偏光度が大きい
(反射星雲の特徴)

中心星付近:
揃った偏光ベクトル
星間偏光と同じメカニズムの偏光?

15

現状と今後のまとめ

- 撮像モード** - 快調に活躍
 - 限界等級 $R=21.0$ 等 (10分 $\Delta R=0.1$ 等)
 - 実効シーケンスサイズ 2~2.5'' (追尾誤差込)
- 偏光撮像モード** - 器械偏光調査中
 - 4%器械偏光の安定性 → 較正法確立
 - 1露出型と4露出モードの違い
 - 広視野1露出型(GRB用)の始動(9月~)
- 分光モード** - 9月より低分散モード始動
 - $R=380, 450\sim1050$ nm BK7グリズム
 - 高分散($R=2300$)も検討中
- 制御ソフト** - unixからの一元処理可能!
 - 望遠鏡への命令も含んだ半自動観測を実行中
 - GRB即時対応観測も実施中(5月~、実効2回)
 - 分光が動き出すので、そろそろオートガイドのソフトも整備して使いやすいたい
- 解析ソフト** - 偏光較正法が確立したら

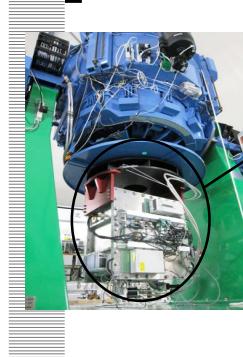


16

HONIR

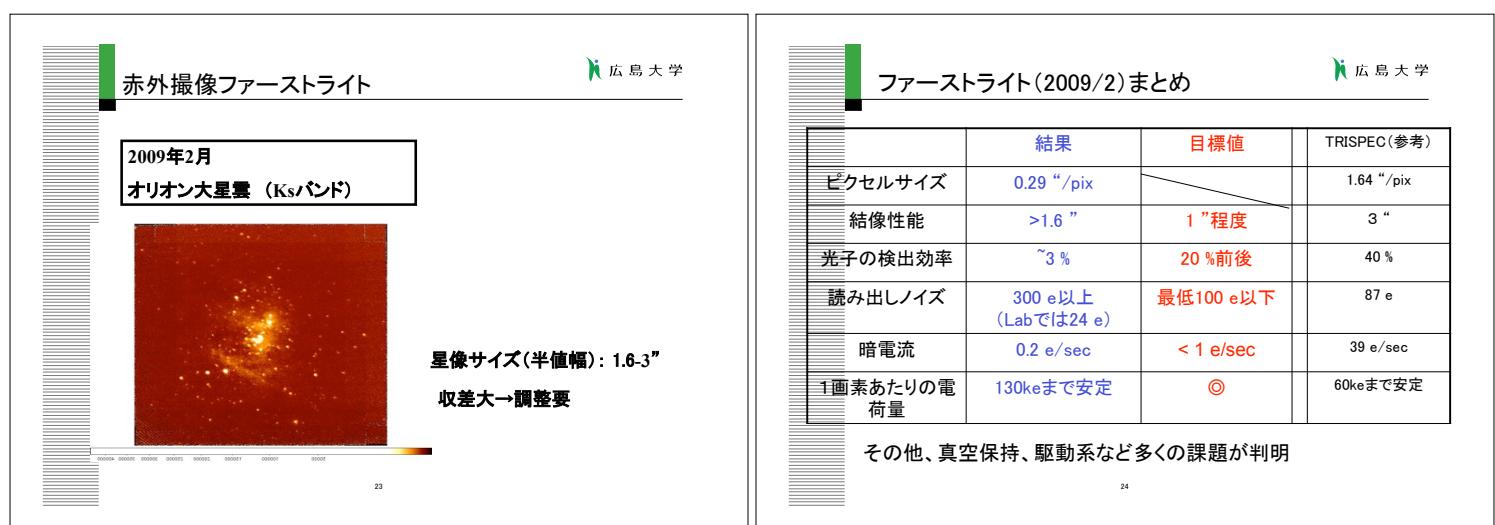
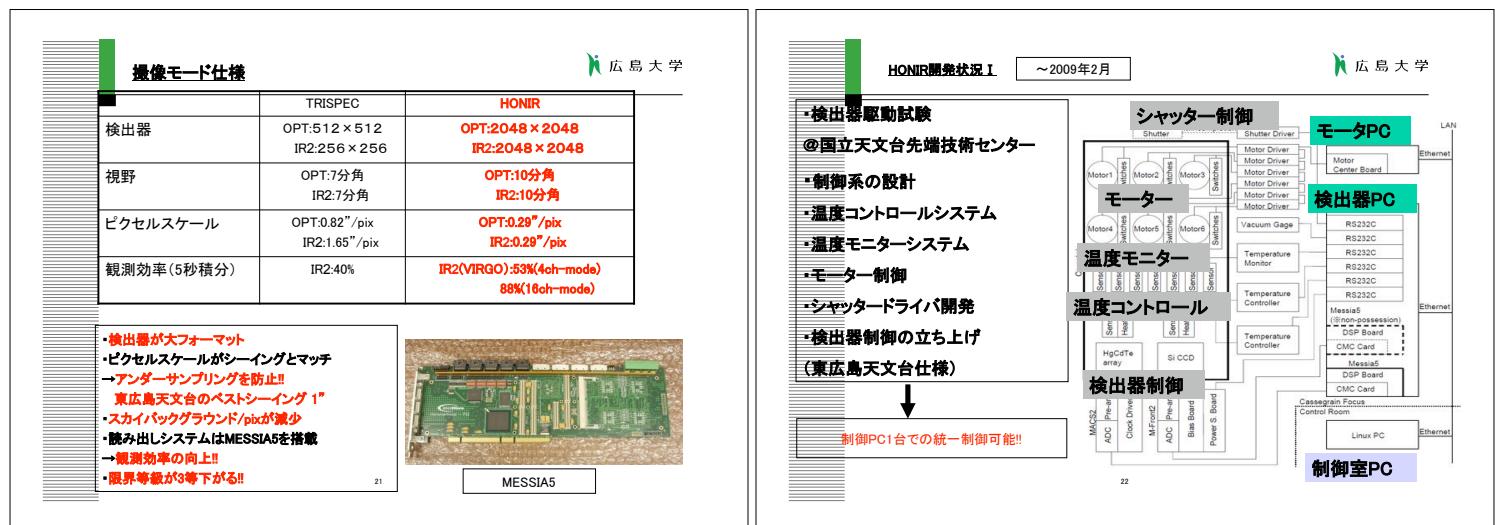
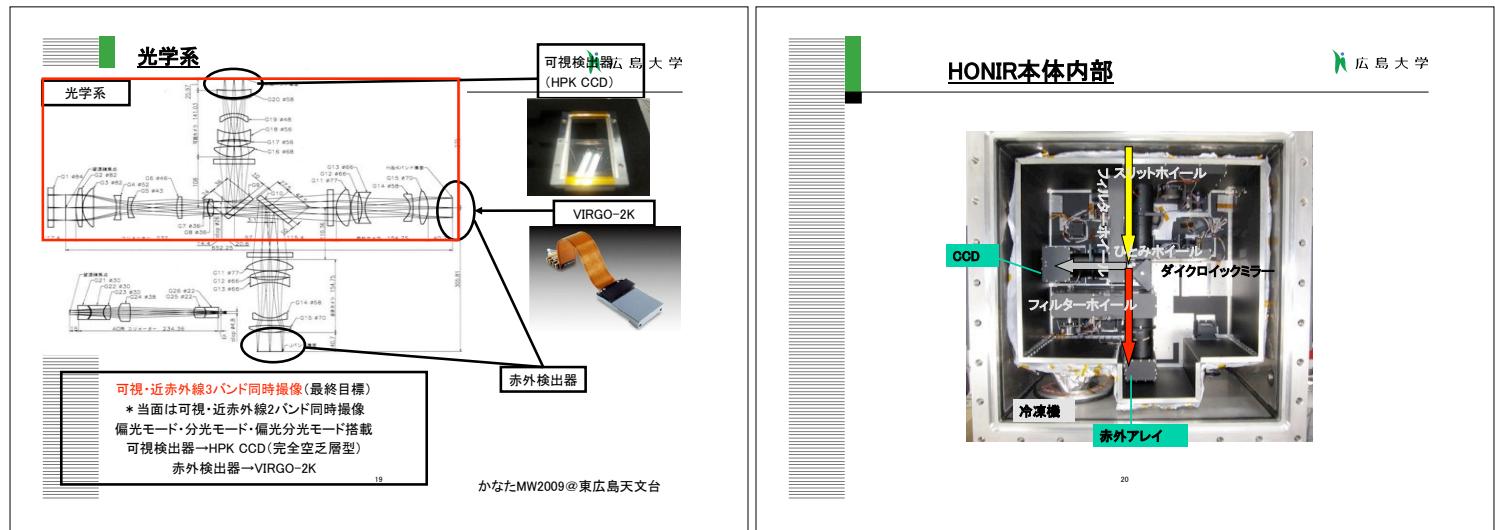
HONIR(Hiroshima Optical&Near-Infrared Camera)

- 現在開発中の可視・近赤外同時撮像装置
- 偏光／分光／偏光撮像／偏光分光モード



山下卓也、宮本久嗣、中屋秀彦、川端弘治
先本清志、小松智之、笹田真人

17



2009年4月以降の進捗

広島大学

残りの開発アイテム

分光、偏光モードの導入(光学素子設計、製作)
Optチャンネルの同時駆動
シャッター設計と導入、半波長板機構との同架



不具合事項の解決

レンズ・トレインの再芯出し、冷却時の保持・調整
真空保持(アウトガス源、真空漏れ等 原因追究)
冷却駆動系(モーター改造、位置決め機構)
センサー読み取り(白金抵抗取り付け部改良、位置ステータス)
検出器(IR)ノイズ対策

25

HONIR まとめ

まとめ

- IR検出器、可視検出器の読み出しシステムの完成
(同時読み出しはこれから)
- 今年2月にIRチャンネルのみのファーストライトを実行
- 真空保持、冷却駆動、光学系の調整など多くの課題
- 課題を克服しつつ、残りの開発アイテムを進めている
 - 2チャンネル同時観測、分光・偏光モードの設計、実装など

今年中に2バンドでの同時撮像観測をめざす
来年度中に2バンドでの全モード実装(完成)

26

高速分光器

広島大学

最速で 36 frame/sec (no-bin, full frame) の連続撮像が可能な高速
CCDカメラで分光観測を行うことを目的とした装置

観測対象:

- ブラックホール連星、激変星での
 -連続光SED
 -輝線flux
 の短時間変動(~ 0.1–10 sec)
- 必要な分散
 超低分散(R~20)
 低分散(R~150)

製作は嶺重(京大)の科研費

嶺重慎、野上大作、磯貝瑞希、川端弘治、小松智之、植村誠

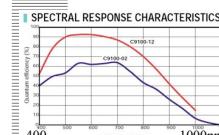
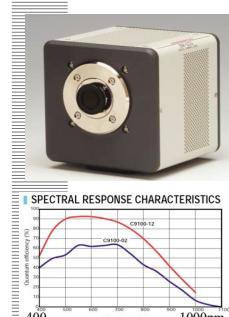
27

必要な分散

高速CCDカメラ

広島大学

c2v社の電子増倍(EM)・背面照射・frame transfer型 CCD (CCD87)を使って浜松ホトニクスと共同で開発されたEM-CCD カメラ(C9100-12)



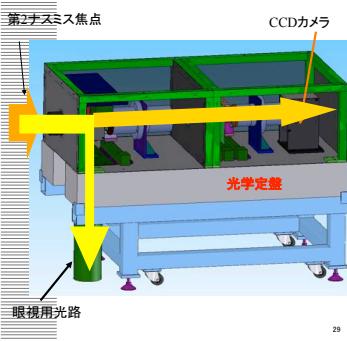
ピクセル数	512×512
ピクセルサイズ	16μm×16μm
露光時間	27.1 msec~10 sec
最速frame rate	35.8 frame/sec (No-bin, full-frame)
電子増倍(EM)	4 ~ 2000 (可変)
カメラヘッド	真空封じ切り・ベルチエ冷却+空冷
冷却温度	-50°C (@0~30度)
読み出しノイズ	100 [e-]
変換係数	23 [e-/ADU]
A/Dコンバータ	14 bit
飽和電荷量	400,000 [e-]
限界等級	20 mag @かなた望遠鏡(1.5m) (±0.2mag, 最長の10秒露光, 電子増倍率:最小)

28

高速分光器 全体像

広島大学

サイズ: 1100x600x864mm



- ・装置は第2ナスマスに設置。
- ・HOWPolと同じ光学系で直透過型の構造
- ・眼視光学系と共存
- ・全ての光学素子は光学定盤上に設置
- ・土台にはキャスターと固定具、位置決めピン(3本)を装着

装置の移動・再設置が比較的容易に行える

29

高速分光器 全体像

広島大学

固定マスク
(視野を絞る15' ⇒ 2.6')



分散素子

- ・素子プリズム
- ・グリズム

フィルター(3x2)

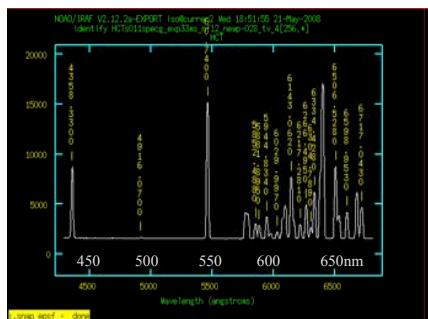
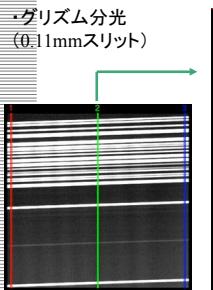
- ・広帯域B、V、Rc
- ・ロングバスCC405

ト(3種類)

- ・φ0.9mm(=10")丸穴、
0.2mm(=2.2")スリット
- ・0.11mm(=1.2")スリット

CCDカメラ
0.31"/pix

○波長較正ランプのスペクトル像



効率測定

測光分光標準星 HR5501 (B9.5V,
Vmag=5.673, Z~40°)

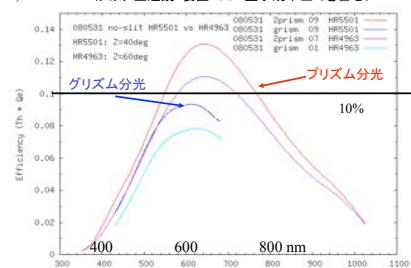
スリットレス分光

プリズム分光
グリズム分光



大気・望遠鏡・装置・CCD量子効率全てを含む)

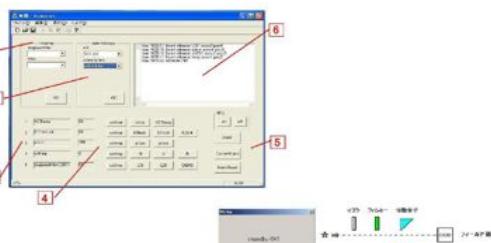
(大気・望遠鏡・装置・CCD量子効率全てを含む)



プリズム: ~13%(@λ=640nm)

グリズム: ~ 9%(@λ=610nm)

制御ソフトウェア



39 小松(2009 広島大卒論)

高速分光器まとめ

積分時間: 27.1ms ~ 10 sec

観測視野: 2.6' x 2.6' (撮像モード) (0.31''/pix)

2.2" x 2.6' (0.2mmスリット分光)

1.2" x 2.6' (0.11mmスリット分光)

	2要素プリズム	グリズム
マスク	スリットレス(素通し)	0.2mm(=2.2")スリット
観測波長域	400–800nm	430–690nm
波長分解能(R)	73–9	114–180
系全体の効率	最大13%	最大9%
限界等級(※)	15.7mag	12.4mag

※積分時間10秒、電子増倍率最小(4倍)、λ=550nmでS/N=10

開発装置リスト

- HOWPol(1露出型広視野偏光撮像器)
 - 2008年11月より観測開始、2009年5月よりGRBスタンバイ、10月より広視野偏光撮像稼動予定
- HONIR(可視赤外線同時カメラ)
 - 2009年2月に赤外1チャンネル撮像のファーストライト、現在は調整、開発を継続
- 高速分光器(京大嶺重氏科研費)
 - 2008年7月完成、2009年2月制御ソフト完成