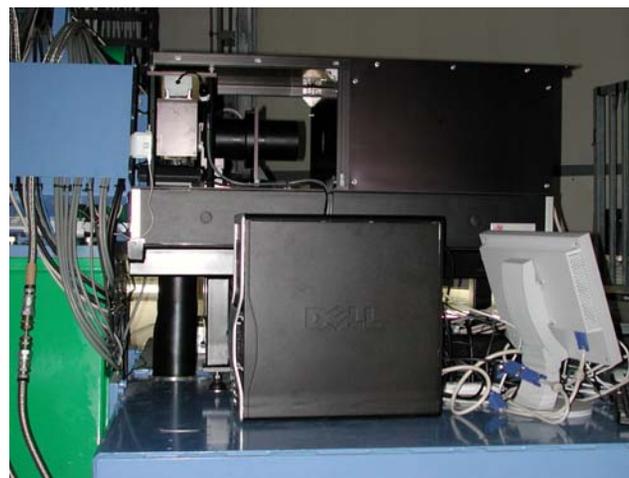
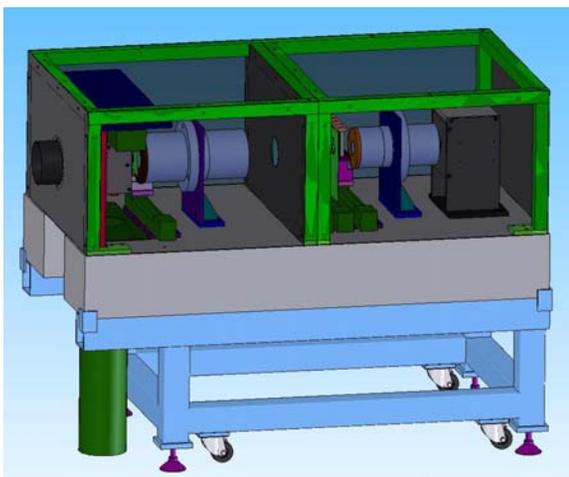


# 高速分光システムの開発 III



磯貝 瑞希( 国立天文台  
石垣島天文台 )、嶺重 慎、野上 大作(京都大)、川端 弘治、植村 誠、  
大杉 節、山下 卓也、永江 修、新井 彰、山中 雅之、宮本 久嗣、上原 岳士、笹  
田 真人、田中 祐行、松井 理紗子、池尻 祐輝、先本 清志、小松 智之、 深沢  
泰司、かなた望遠鏡チーム(広島大)

# ○高速分光システムとは？

最速で **35.8 frame/sec** 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光学システム

観測対象：

ブラックホール連星、激変星での

- ・連続光SED ← 超低分散分光 ( $R \sim 20$ )
- ・輝線flux ← 低分散分光 ( $R \sim 150$ )

の短時間変動( $\sim 0.1 - 1 \text{sec}$ )

かなた望遠鏡  
@広島大学  
東広島天文台



製作は嶺重(京大)の科研費

(19年度基盤B「高速分光システムでとらえるブラックホール粒子加速の現場」)  
を財源

装置はかなた望遠鏡の第2ナスミス焦点に設置(眼視装置と共存)

# ○高速CCDカメラ

e2v社の電子増倍(EM)・背面照射型 frame transfer 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	<b>512 × 512</b>
ピクセルサイズ	16 μ m × 16 μ m
露光時間	<b>27.1 msec ~ 10 sec</b>
最速frame rate	<b>35.8 frame/sec</b> (No-bin)
電子増倍(EM)	4 ~ 2000 (可変)
カメラヘッド	真空封じ切り・ペルチェ冷却+空冷
冷却温度	-50°C (@0~30度)
読み出しノイズ	100 [e-]
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)

# ○ 製作項目

## 光学系:

**HOWPoI(可視広視野一露出型偏光撮像器)の(予備の)レンズ群を使用**

### ◎分散素子

- ・超低分散用( $R \sim 20$ ) ⇒ 2素子プリズム
- ・低分散用( $R \sim 150$ ) ⇒ グリズム



**2007秋年会で発表**

### ◎筐体

- ・フィルター 5種類(BVR, ロングパス2種類(L38, GG495))
- ・波長較正用光路
- ・マスク/スリット 3種類(丸穴 $\phi 0.9\text{mm}$ 、スリット2種類(幅0.11, 0.20mm))



**2008春年  
会で発表**

○制御ソフト(各素子切替)

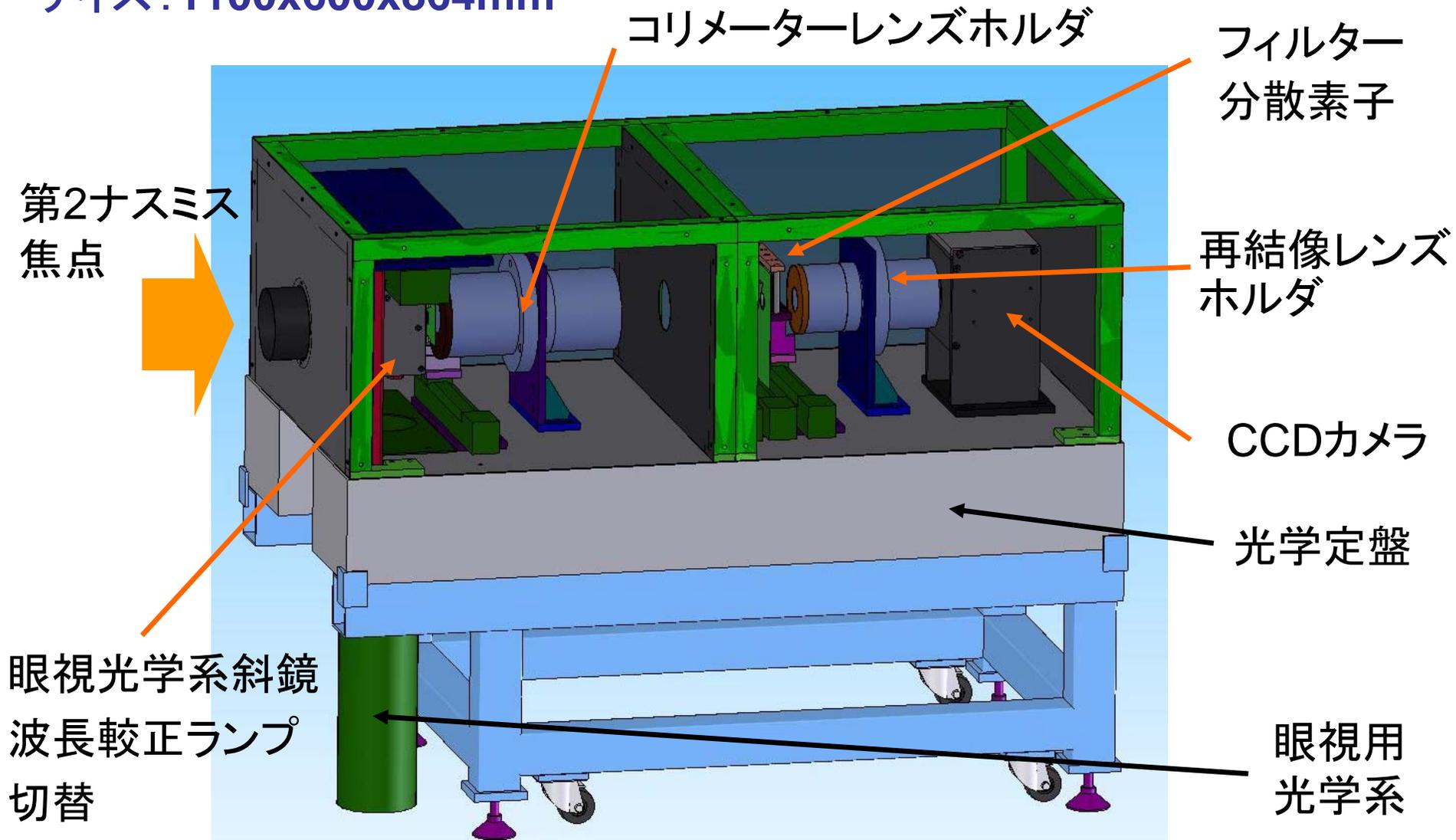
**性能評価**

○観測支援

○整約支援ソフト

# ○ 高速分光器 全体像

サイズ: 1100x600x864mm



# ○ 性能評価

今回発表する性能評価の項目：

- ・CCDカメラ位置調整(=フォーカス調整、スリット像)結果
- ・人工光源(HgNe)スペクトル像、波長同定
- ・フラット画像
- ・マスクスリット用電動アクチュエータ位置再現精度
- ・**系全体の効率(大気・望遠鏡・装置・CCD量子効率)**
- ・**限界等級**

# ○効率測定

## 系全体の効率

測光分光標準星 HR5501

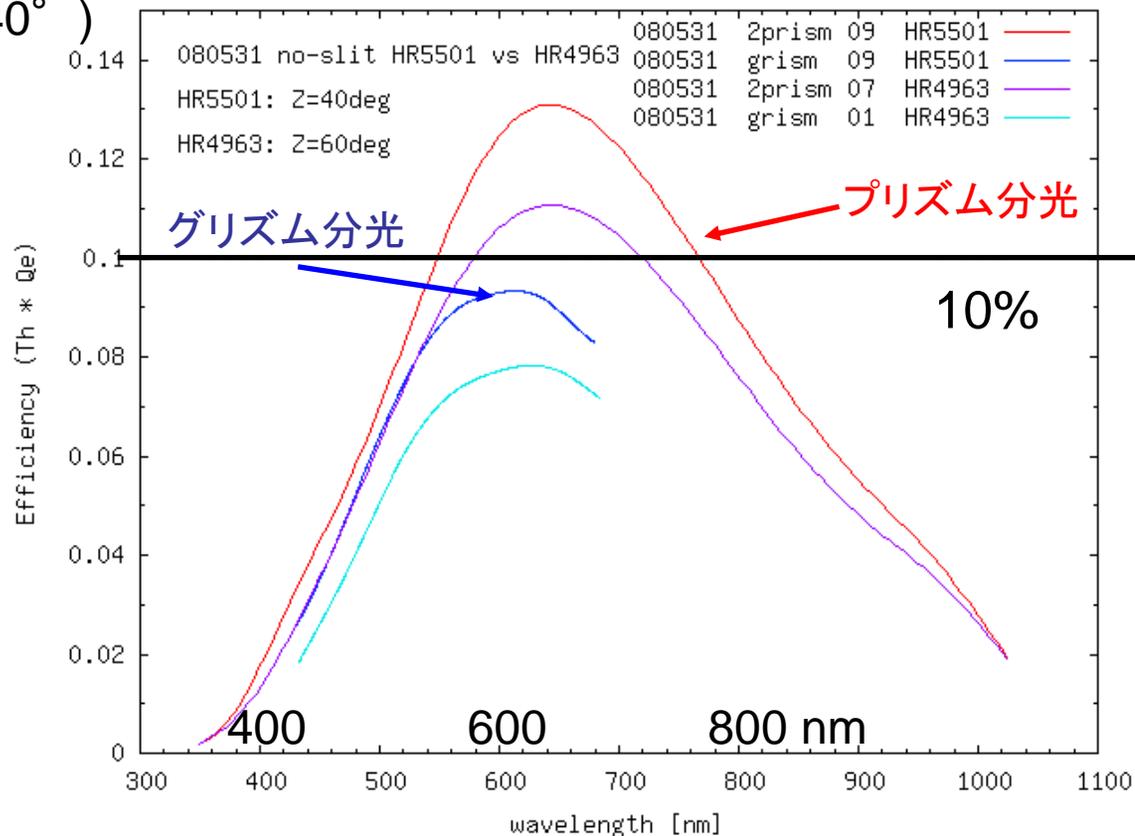
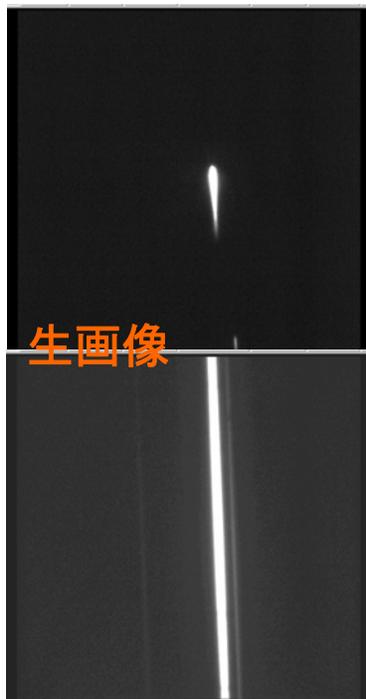
(B9.5V, Vmag=5.673, Z~40°)

(大気・望遠鏡・装置・CCD量子効率全てを含む)

プリズム分光

グリズム分光

スリットレス分光



大気・望遠鏡・装置・CCD量子効率全てを含めた効率のピークは

プリズム: ~13%(@ λ =640nm)

グリズム: ~ 9%(@ λ =610nm)

# ○限界等級の推定

EM-CCDの

$$S/N = g N a / ( 2 g (N a + D) + r^2 )^{0.5}$$

**N** = カウント(HR5501の測定値)

**a** = scale factor (限界等級算出のため)

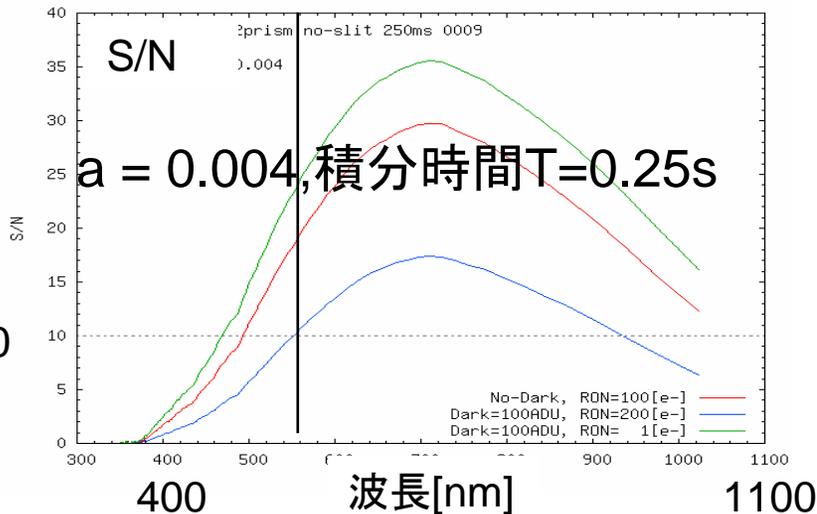
**g** = 変換係数 = 23 [e-/ADU] (浜ホト提供)

**D** = ダークカウント = 57.5 [e-/pix/s] (実測値)

**r** = 読み出しノイズ = 200 [e-/frame] (実測値)

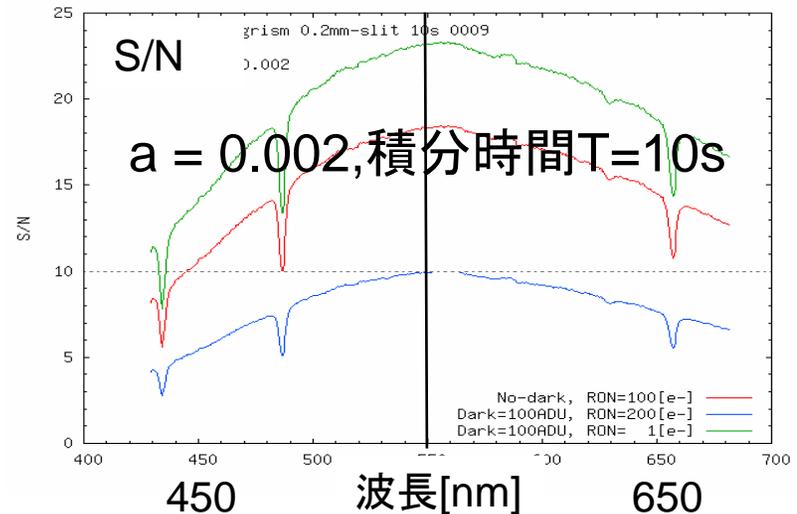
HR5501の観測スペクトルを用いて、 $\lambda = 550\text{nm}$ で $S/N=10$ となるよう $a$ を調整

プリズム分光(スリットレス)



限界等級 =  $5.673 - 2.5 \log\{a/(10/T)\}$   
**15.7 mag**

グリズム分光(0.2mmスリット)



**12.4mag**

(10秒積分,  
電子増倍率=最小)

# 〇まとめ

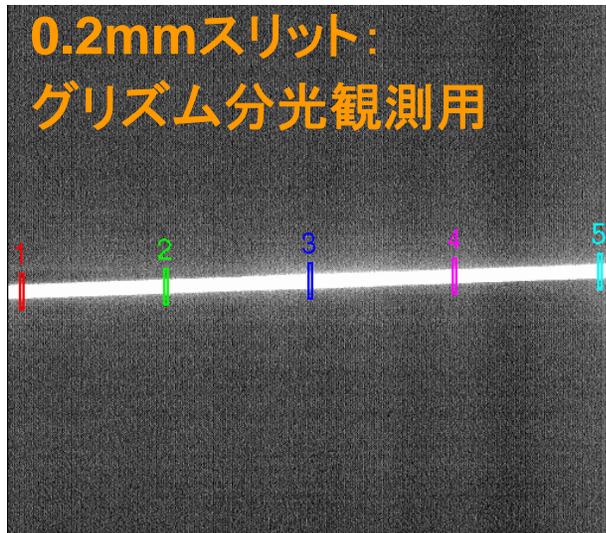
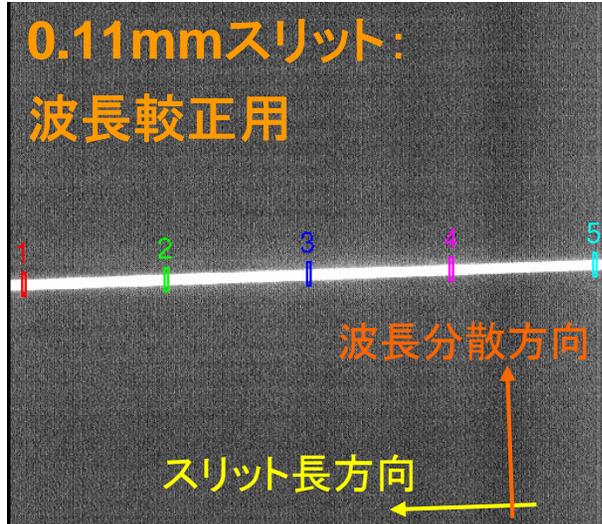
積分時間: 27.1ms ~ 10 sec

観測視野: 2.6' x 2.6' (撮像モード) (0.31"/pix)

	2素子プリズム	グリズム
マスク	スリットレス(素通し)	0.2mmスリット
観測波長域	360~1000nm	430~690nm
波長分解能	6~80nm	4nm
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)

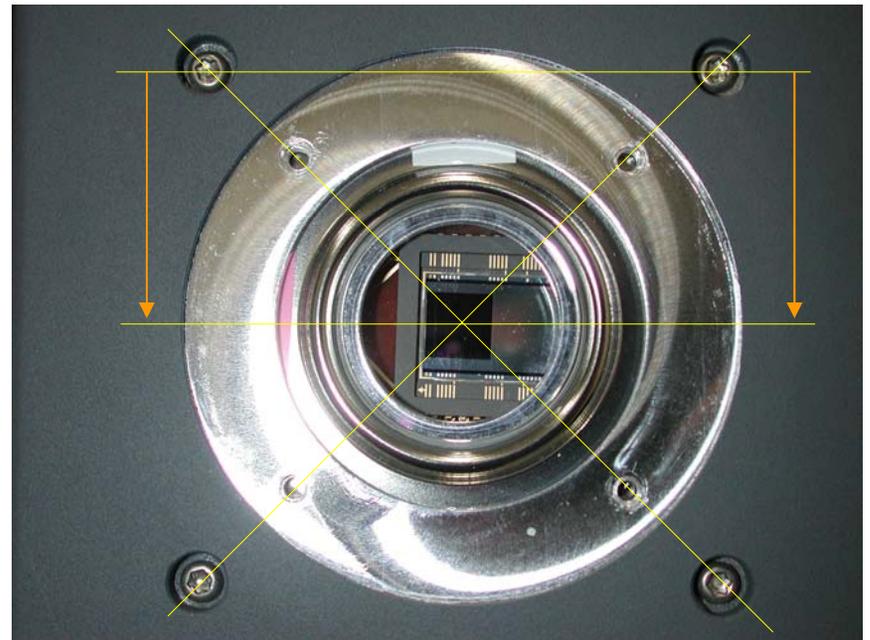
# ○ スリット像



スリット像が傾いている

( $17.5/500\text{pix} = 3.5\%$  → 角度で2度)

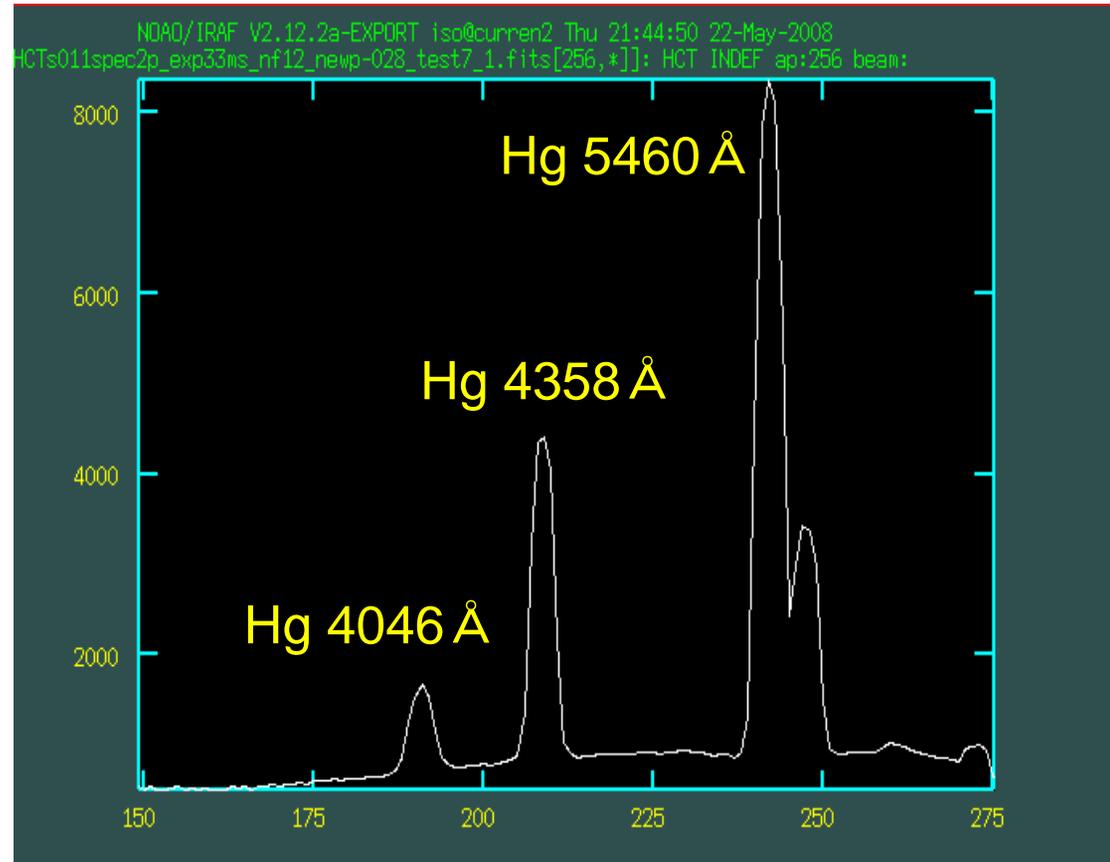
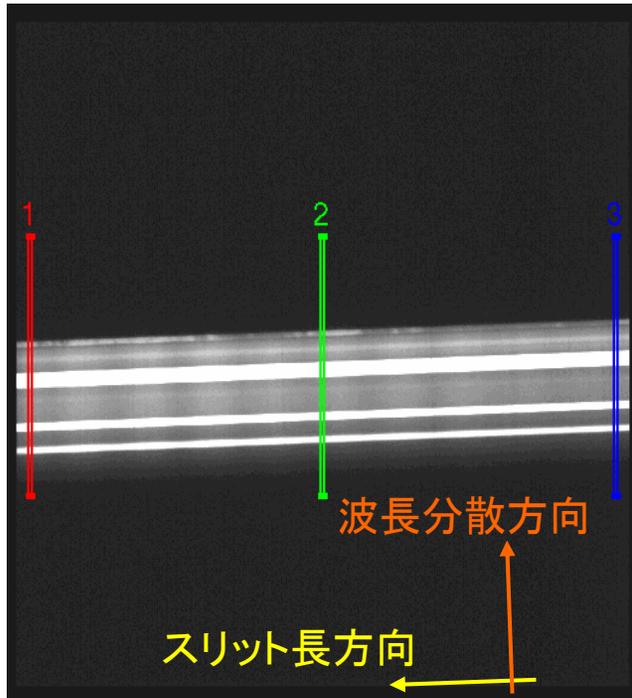
CCDカメラ拡大画像



チップが回転している(2度)

# ○ スペクトル画像 プリズム分光

人工光源(HgNe)の  
スペクトル画像



波長較正に使える輝線は3本のみ

# ○プリズム分光観測の波長較正法

ZEMAXの計算値(結像位置) を使用

$$\text{関数} = a/|b+x|^d + c + ex$$

$$a = 2227.07$$

$$b = -279.986$$

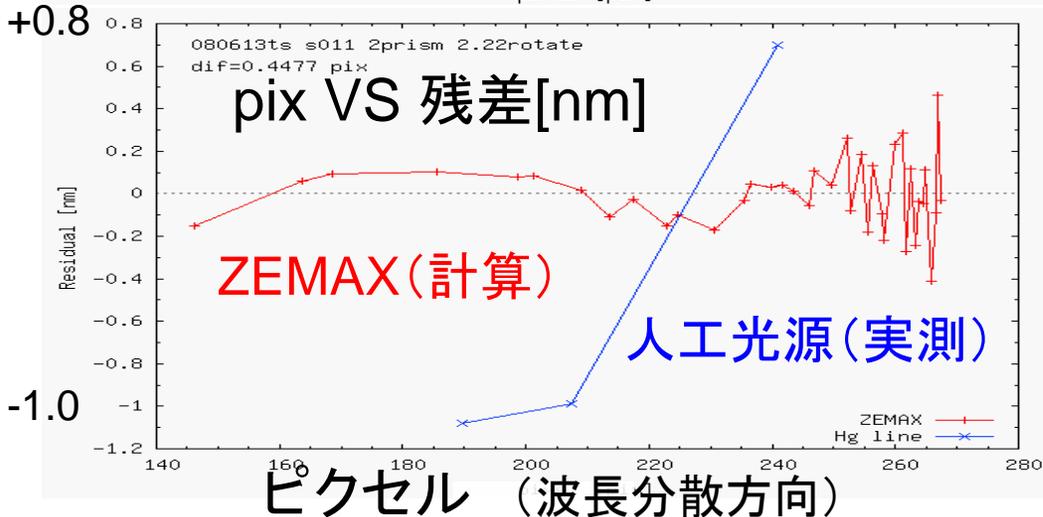
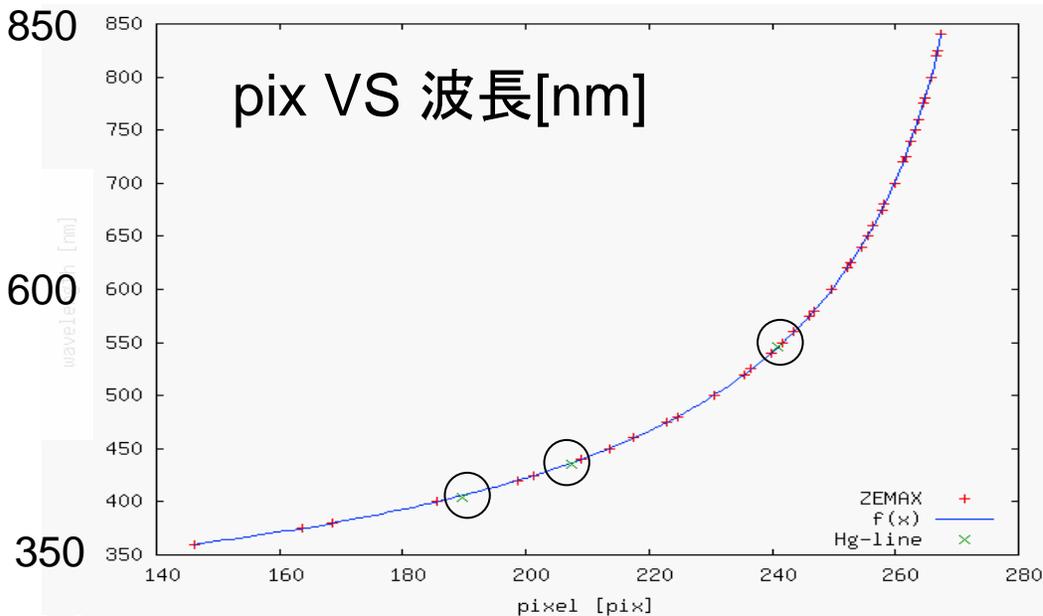
$$d = 0.3662$$

$$c = 29.3246$$

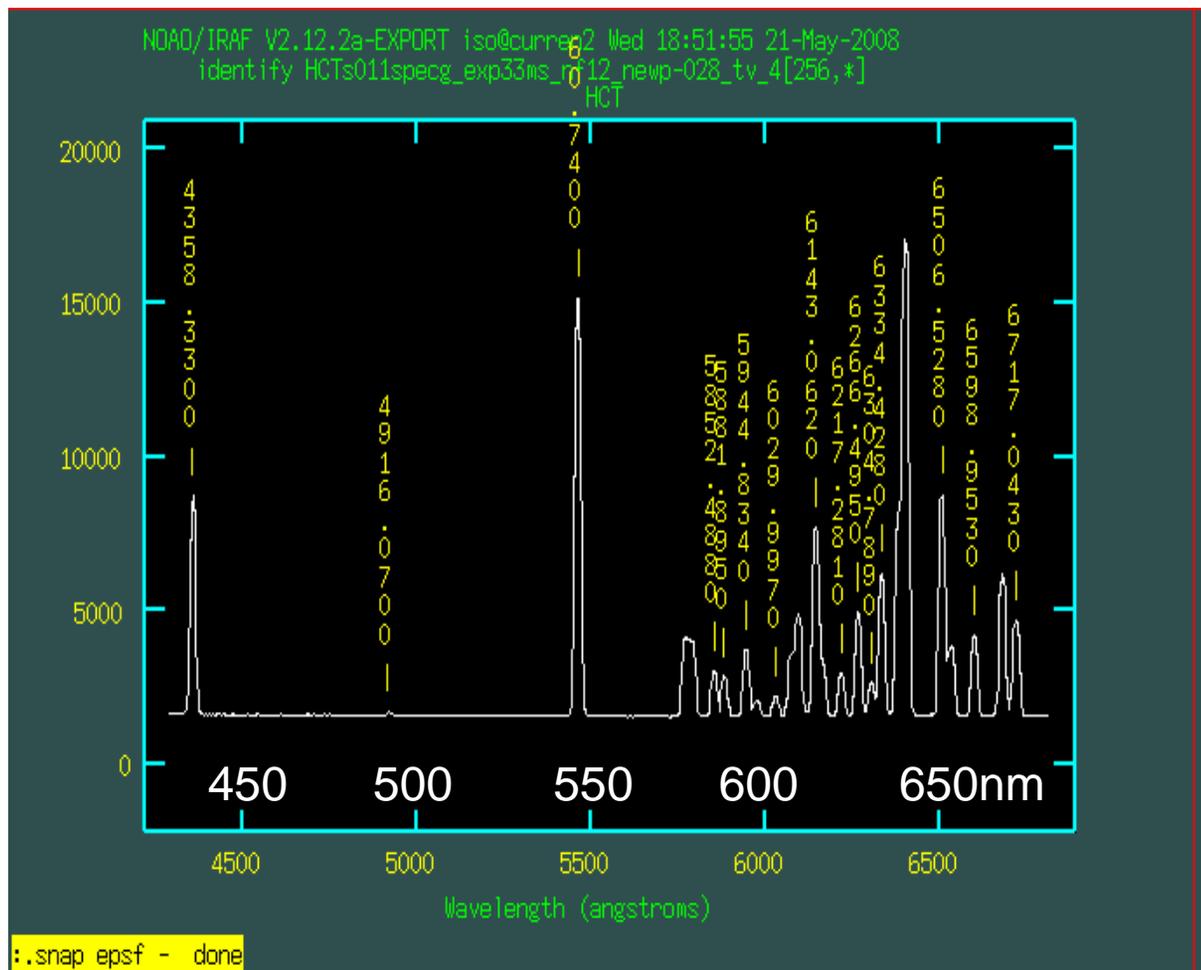
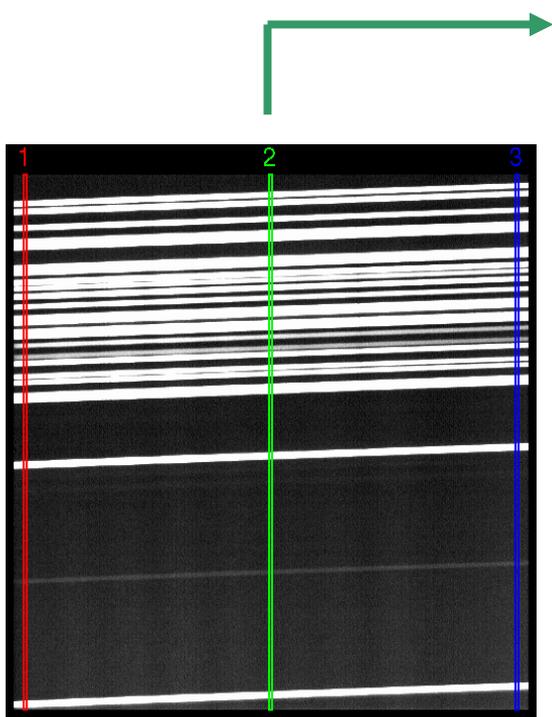
$$e = -0.2725$$

Hg輝線の残差は最大で  
1.0nm程度

輝線天体(HII領域、PNe)の  
観測による検証が必要



# ○スペクトル画像 グリズム分光



取得可能波長域: 430-680nm

波長fitに使える輝線は15本

# ○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素子プリズム	グリズム
マスク	スリットレス(素通し)	0.2mmスリット
観測波長域	360~1000nm	430~690nm
波長分解能	6~80nm	4nm
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)