

可視光マルチスペクトル撮像装置 MSIの性能評価

渡辺 誠, 高橋幸弘, 渡部重十, 佐藤光輝, 福原哲哉, 濱本 昂(北海道大)
e-mail: mwata@ep.sci.hokudai.ac.jp

1.はじめに

北海道大学惑星宇宙グループでは、北海道名寄市に設置した1.6m Pirka望遠鏡のカセグレン焦点用観測装置として、可視光マルチスペクトル撮像装置MSI(Multi-Spectral Imager)を開発した。この装置は、電子増倍型CCD(EMCCD)カメラと液晶波長可変フィルターとを搭載し、主に太陽系内惑星の多波長の狭帯域スペクトルイメージを効率よく取得することを目的としている。また、フィルターホイールも備えており、通常の広帯域フィルターや狭帯域フィルターも使用可能である。

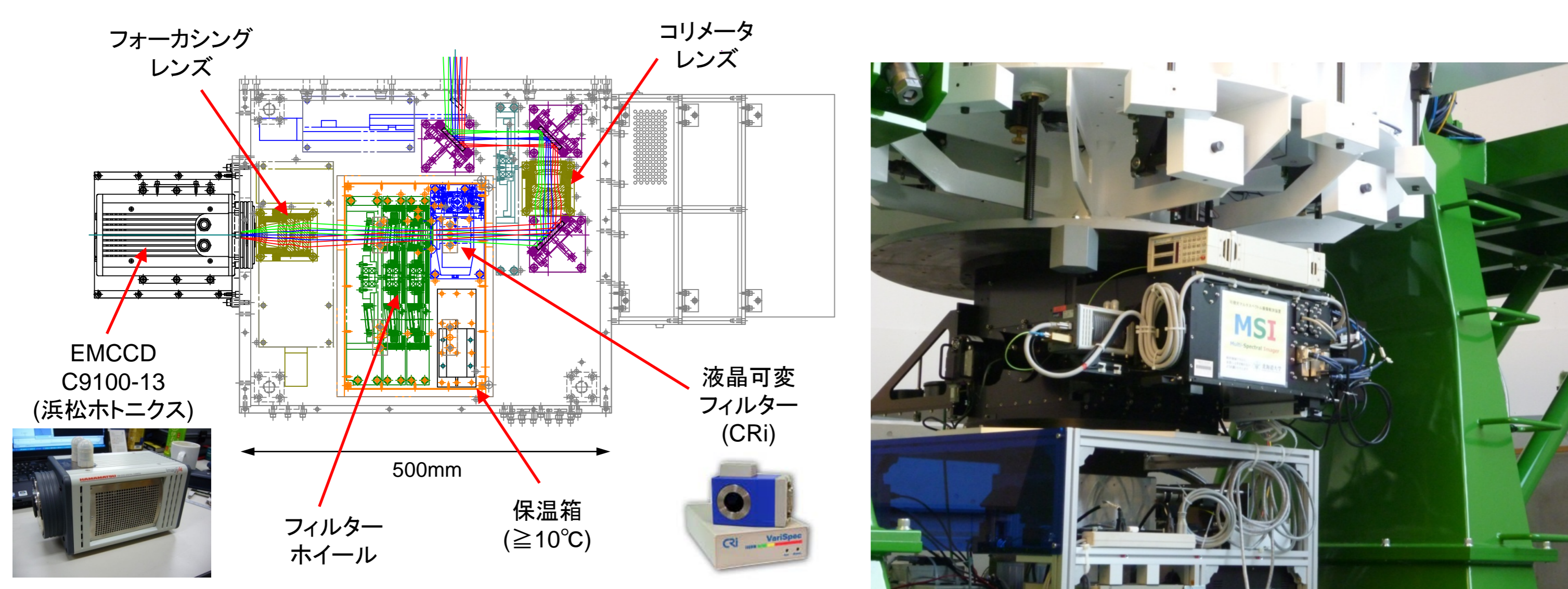
MSIは、開発の初期段階として液晶可変フィルターのみを搭載した状態で、2011年2月にファーストライト観測に成功した。その後、2011年4月と7月とにフィルターホイールを順次追加しUBVRcIcバンドでの観測も可能となった。

ファーストライト観測やその後の試験観測では、スループットやノイズ評価、限界等級などの性能評価を行い、ほぼ所定の性能が出ていることが確認できた。MSIによる名寄の夜空輝度や大気減光率の測定については、測光夜に恵まれなかったためか、他の日本のサイトに比べ大きな大気減光率しか得られておらず、引き続き観測が必要である。

2. MSIの概要

主な仕様

波長域	0.36-1.05 μm
視野	3.3分角 x 3.3分角 (0.389秒角/pixel)
フィルター	液晶可変フィルター x 2台 VIS: 400-720nm, $\Delta\lambda \sim 10\text{nm}$ (@650nm) SNIR: 650-1100nm, $\Delta\lambda \sim 10\text{nm}$ (@900nm) 狭帯域フィルター H α ($\lambda = 2\text{nm}$), 360, 365, 370, 380, & 390nm ($\Delta\lambda = 10\text{nm}$) 広帯域フィルター: U, B, V, Rc, Ic
検出器	浜松ホトニクス C9100-13 (CCD素子: E2V社 電子増倍型背面照射フレームトランスファCCD CCD97)
読み出しモード	EMCCDモード, Normal CCDモード
有効ピクセル数	512 x 512 (ピクセルサイズ: 16 μm x 16 μm)
ピクセルクロックレート	EMCCDモード 0.69MHz, 2.75MHz, 11MHz Normal CCDモード 0.69MHz, 2.75MHz
EMゲイン	4x ~ 1200x
冷却方式・温度	電子冷却(空冷), -65 $^{\circ}\text{C}$



3. 検出器の性能評価

読み出しノイズ & 暗電流

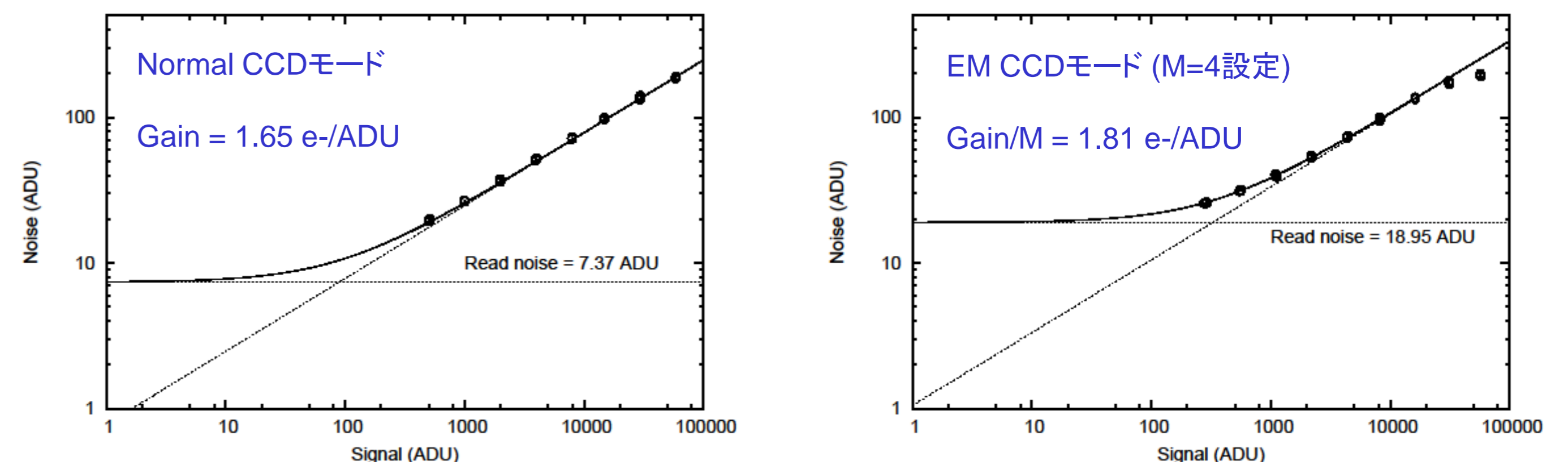
バイアスフレームから読み出しノイズを測定し、カタログの典型値より1.2-1.6倍ほど大きいものの、ほぼ所定の値であることを確認した。長時間積分フレームから暗電流の測定を行い、約0.01e-/sとカタログ値どおりであることを確認した。

読み出しモード	ピクセルクロックレート	フルフレーム読み出し時間	読み出しノイズ(カタログ値) 入力換算	読み出しノイズ(実測値) 出力換算	読み出しノイズ(実測値) 入力換算
Normal	0.69 MHz	0.488 s	8 e-		13 e-
Normal	2.75 MHz	0.122 s	17 e-		21 e-
EM	0.69 MHz	0.488 s	8 e-	39 e-	12 e-
EM	2.75 MHz	0.122 s	20 e-	92 e-	29 e-
EM	11 MHz	0.031 s	25 e-	118 e-	37 e-

3. 検出器の性能評価(つづき)

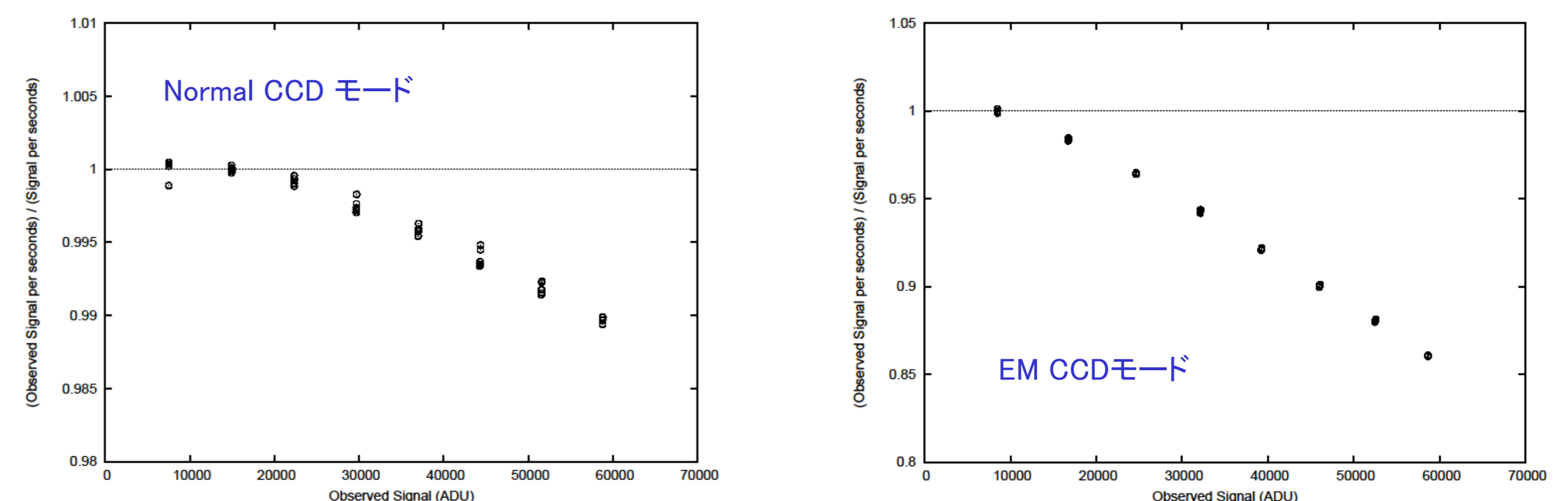
AD変換係数(Gain)

ドームフラットフレームを用い、Photon Transfer CurveからAD変換係数(EMモードではAD変換係数/EMゲインの値)を求めた。カタログ値はNormal CCDモードでは1.4、EM CCDモードでは5.8/4=1.45(EMゲインM=4の場合)であり、いずれものモードに対しても、若干高いものの、所定の値が確認できた。



リニアリティ

リニアリティの測定では、Normalモードでは十分に良いリニアリティ(<約1%)が確認できたが、EMモードではリニアリティが悪いことが判明した。



4. システムスループット

標準星の観測からシステムスループットを測定し、見積値と比較した。大気透過率の見積値には、三鷹の典型値(理科年表)を使用した。BとRcバンドで若干の差が見られたもののほぼ所定通りのスループットが確認できた。

バンド	大気透過率(見積値)	望遠鏡スループット(見積値)	装置光学系スループット(見積値)	量子効率(カタログ値)	システムスループット(大気+望遠鏡+装置) 見積値	システムスループット(大気+望遠鏡+装置) 測定値
B	0.67	0.69	0.45	0.65	0.13	0.18
V	0.78	0.78	0.62	0.92	0.35	0.35
Rc	0.80	0.80	0.51	0.91	0.29	0.26
Ic	0.90	0.63	0.45	0.70	0.18	0.17

5. 限界等級

測定したシステムスループットなどから限界等級が以下のように求められた。

バンド	有効波長(μm)	夜空輝度(見積値) ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$)	限界等級 (mag)	
			Normal CCDモード 60秒露出	EM CCDモード 0.031秒露出 EM Gain = 400
B	0.44	21.5	19.9	13.9
V	0.55	20.4	19.9	14.2
Rc	0.64	20.1	19.7	14.1
Ic	0.80	18.8	18.7	13.1

60秒積分, S/N=10, Seeing=2", Aperture=4" を仮定

6. 大気減光率・夜空輝度

標準星の観測から大気減光率を求めたが、三鷹より2倍ほど大きな値となった。観測夜が測光夜でなく正しく測定できていない可能性があり、そのため、夜空輝度も低く見積もっている可能性がある。引き続き観測が必要である。

バンド	有効波長(μm)	大気減光率(三鷹) ($\text{mag}/\text{airmass}$)	大気減光率(測定値) ($\text{mag}/\text{airmass}$)	夜空輝度(測定値) ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$)
B	0.44	0.44	0.78	21.8
V	0.55	0.27	0.47	20.7
Rc	0.64	0.24	0.57	20.3
Ic	0.80	0.12	0.27	19.0