2K CCD (Grade-3) のUバンド検出限界の評価

伊藤信成

1998 年 2 月 27 日

Abstract

2K CCD カメラの (Grade-3) のUバンドでの限界等級と量子効率を評価した。限界等級は 600sec 露出, S/N=10 で 14.3mag であった。また量子効率は〜0.4%であり、観測には使えないことがわかった。

1 目的

2K CCD カメラは広視野と短波長（Uバンド, $\lambda \sim 3700$ Å) での観測が可能とうい 2 つの特徴を備えたカメラとして、共同利用観測装置として公開する予定であったが、Grade-3 までのランクの検出器では必ずしも短波長での量子効率が保証されていないことがわかった。そこで実際の観測データを用い、現状の検出器のUバンドでの検出限界を評価し、科学的データとなり得る観測が可能か否か評価することを、このレポートの目的とする。

2 観測データ

今回用いたデータは 1998.02.05 に、標準星領域 (SA101) を撮像したものである。データの詳細は以下の通り。

	JST	exp. time	sec z
Frame 1	22:29	300sec	1.487
2	22:36	600sec	1.458
3	24:24	300sec	1.241
4	24:28	600sec	1.239
5	26:29	300sec	1.380
6	26:36	600sec	1.403

この他に露出時間 150sec の画像もあるが、星がほとんど写っていないので、解析には用いなかった。また、frame 5-6 も天候の悪化の影響が見られるため、解析には用いなかった。

3 解析・結果

測光には IRAF の apphot package を用いる apphot の parameter(抜粋) を以下に示す。

	For all regions
DATAMIN (Minimum Good Value)	1000.
DATAMAX (Maximum Good Value)	50000.
THRESHOLD (Detection Threshold)	50.
CTHRESHOLD (Centering Threshold)	50.
CBOXWIDTH (Centering Box Width)	5.
SALGORITHM (Aperture Shape)	centroid
ANNULUS (Sky Aperture Inner radius)	7.5(pix)
DANNULUS (Sky aperture Width)	5.
APERTURES (Aperture Width)	7.0(pix)
ZMAG (Zero point)	0.0

測光から得られた等級と aperture 内で積分されたカウント値との間には

$$u = -2.5\log(\frac{Count}{exp.time}) \tag{1}$$

の関係がある。
Through-Put を正確に求めるためには大気吸収の影響を補正してやる必要があるので、大気吸収係数を求める必要がある（今回はカラー項の補正は行なわない)。

$$U = u + C_{U,0} + k_U \times secz \tag{2}$$

最小自乗 fitting からゼロ点 $C_{U,0}$ と 大気吸収係数を求めると、

$$U = u + 16.204 - 0.702 \times \sec z \quad (\sigma = 0.12\mathrm{mag}) \tag{3}$$

という関係が得られる。分散が大きいのは S/N が足りないためと、カラー項を補正していないためと思われるが、大まかな限界等級を求めるにあたっては問題がない。式 (3) より、観測等級を標準等級へ変換できる。
そこで、露出時間が長く、画像の状態も良い（縞模様が出ていない）Frame2 を用い、そこに写っている星を IRAF の daofind タスクで検出し、apphot で測光を行なった。測光した星の数は 3500。各星の測光誤差を式 (3) を用いて変換した標準等級に対してプロットすることで、限界等級を評価することができる (Fig. 1)。限界等級を S/N=10($\sigma = 0.1$mag) と定義すれば、600sec でのUバンドの限界等級は 14.3mag となる。

4 考察

上述の観測結果を、Uバンド ($\lambda = 3700$ Å）の量子効率が 40%（カタログ値）であった場合の計算予測値と比較してみる。計算に用いる値は

補正板透過率	0.95
主鏡反射率	0.90
デュワー窓透過率	0.90
フィルター透過率	0.56
乾板ホルダーのケラレ	0.6
	総合透過率 0.25
望遠鏡口径	1.05m
Uバンド中心波長	3700 Å
Uバンドのバンド幅	520 Å
Uバンドの 0mag Flux	7.90×10^2 photons/cm^2/sec/ Å
Uバンドスカイ*	19mag/arcsec^2

*：半月期の値, 峰崎氏のレポート参照

透過率関連の項目は概略値だが、他バンドでの観測結果と計算値がほぼあっていることから、ほぼ正しい値であると考えられる。
検出器上での天体およびスカイからの信号 ($F_{obj},\ F_{sky}$) は以下の式で計算できる。

$$F_{obj} = F(0)\times10^{-0.4\times m_{obj}}\times\pi(D/2)^2\times\tau\times\Delta\lambda\times QE \ \ [\mathrm{e/sec}] \quad (4)$$

$$F_{sky} = F(0)\times10^{-0.4\times m_{sky}}\times\pi(D/2)^2\times\tau\times\Delta\lambda\times QE\times FoV \ \ [\mathrm{e/sec/pixel}] \quad (5)$$

ここで、$F(0)$ は 0mag Flux, D は望遠鏡口径, τはトータルの透過率, $\delta\lambda$はバンド幅, FoV は 1pixel の視野を表す。
一方、S/N は次式で計算できる。

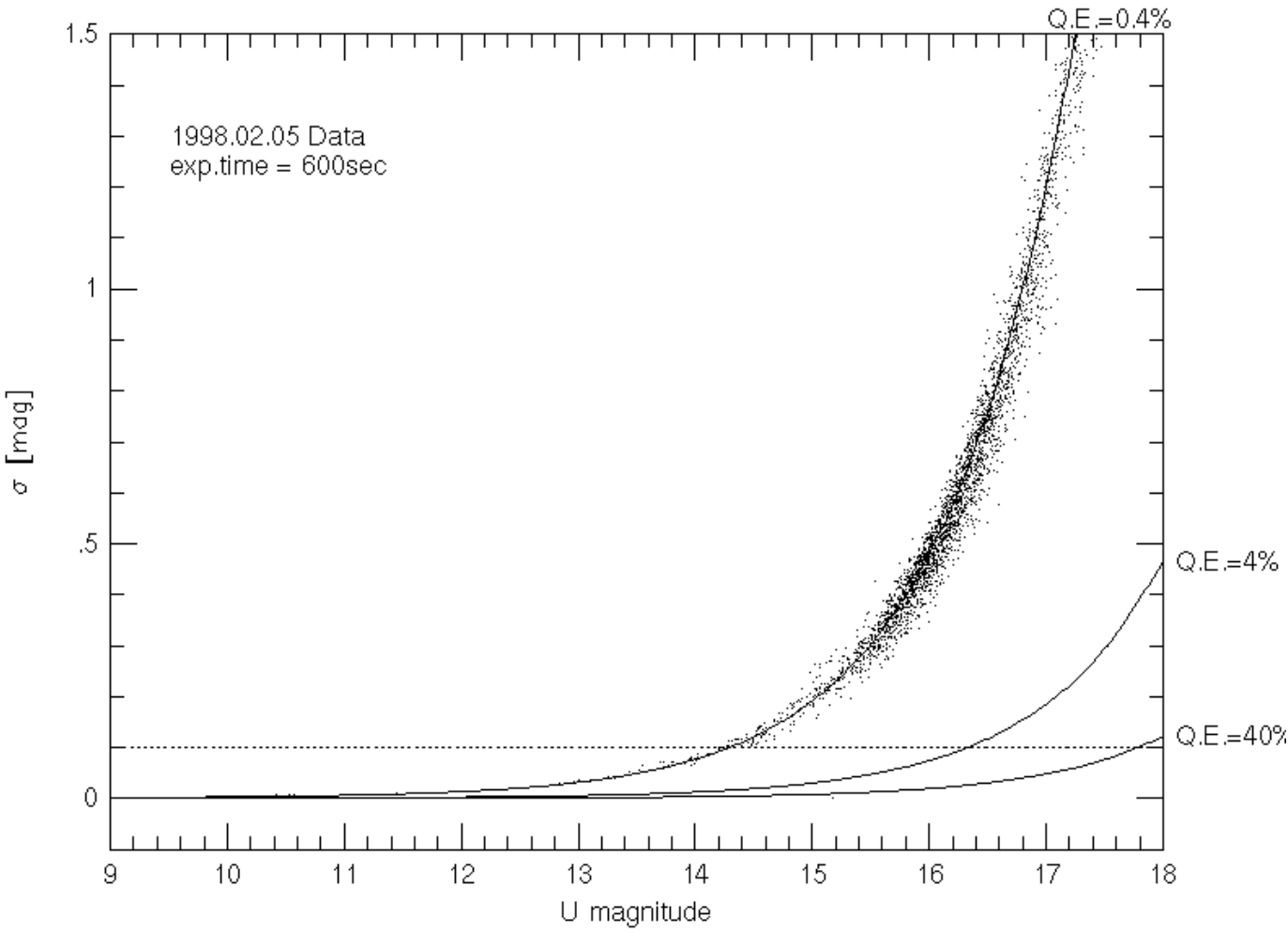
$$S/N = \frac{F_{obj}\times time}{\sqrt{N\times Nr^2 + F_{obj}\times time + N\times F_{sky}\times time}} \quad (6)$$

ここで N は星像を積分した pixel 数, Nr は読みだしノイズであり、$N = 175$pixel, $Nr = 26e$。量子効率 (QE) が 40%, 4%, 0.4%の場合の計算結果を Fig. 1 に重ねてみると、0.4%の場合が観測結果を最も良く再現している。しかし、QE=0.4%では量子効率がゼロであることに等しく、実際の観測では使えない。仮に透過率の評価が 2 倍間違っていたとしても、QE<1%であるので、観測に使えない事実は変わらない。

5 まとめ

2K CCD の Grade-3 Chip のUバンド (λ3700 Å) での量子効率を評価した。その結果、Uバンド帯での量子効率は 1 %以下であり、実際の観測にはほとんど使えないことがわかった。

Fig. 1


Q.E.=0.4%
1998.02.05 Data
exp.time = 600sec
1.5
1
.5
0
σ [mag]
Q.E.=4%
Q.E.=40%
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
U magnitude