

# 基礎天文学観測実習

## 「小望遠鏡による基礎観測実習 ~ 東京でどこまで観測できるか? ~」

### レポート課題

東京大学理学部天文学科  
(学籍番号 05-122010)  
吉原健太郎

平成 25 年 2 月 3 日

#### 概要

東大天文センターの 30cm カセグレン望遠鏡を用い、CCD カメラによる基本的な天体観測を行い、望遠鏡の基本操作、天体観測の基本事項、および CCD 観測の基本技術の習得を目指す。

## 1 目的

適当な星を観測することにより望遠鏡のシステム効率を求め、そこから限界等級を算出する。また、最初に観測した星付近で長時間露光をおこない、観測の限界等級を求め、計算値と比較する。今回は観測天体として  $\tau$  Cygni ( $\alpha = 21^{\text{h}}14^{\text{m}}47.35^{\text{s}}$ ,  $\delta = +38^{\circ}02'39.6''$ , V 等級 3.74) を選んだ。

## 2 システム効率

システム効率とは、望遠鏡に入射した光子が実際に望遠鏡の素子、今回の場合は CCD において電荷となって検出される割合のことを指す。天体から望遠鏡に入射する光子数  $s_i$  [ $\text{s}^{-1}$ ] は、望遠鏡の口径を  $D$  [ $\text{cm}$ ]、天体からのフラックスを  $F_\lambda$  [ $\text{J s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{\AA}^{-1}$ ]、フィルターの波長範囲を  $\delta\lambda$  [ $\text{\AA}$ ] とすれば、

$$s_i = \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2 \frac{\delta\lambda F_\lambda}{h\nu} \quad (1)$$

また、CCD で検出される電荷の個数  $n_i$  [ $\text{s}^{-1}$ ] は、積分時間  $t$  [ $\text{s}$ ] の画像上でのカウントを  $N$ 、コンバージョンファクターを  $f_{\text{conv}}$  として

$$n_i = \frac{N f_{\text{conv}}}{t} \quad (2)$$

このとき、システム効率  $\eta$  は

$$\eta = \frac{n_i}{s_i} \quad (3)$$

で求められる。

また、V 等級 0 の天体からのフラックスを  $F_{\lambda,0}[\text{Js}^{-1}\text{m}^{-2}\text{\AA}^{-1}]$ 、天体の V 等級を  $m$  とすると

$$\begin{aligned} F_{\lambda} &= F_{\lambda,0} \\ &= 3.69 \times 10^{-9} \cdot 10^{-m/2.5} \end{aligned} \quad (4)$$

今回の観測では、口径  $D = 30\text{cm} = 0.30\text{m}$ 、フィルターの中心波長  $\nu = 5250\text{\AA}$ 、波長範囲  $\delta\lambda = 1500\text{\AA}$ 、積分時間  $t = 1\text{s}$ 、 $m = 3.74$  である。

観測から  $N = 865007.5$ 、実習 Web よりコンバージョンファクター  $f_{\nu} = 0.947$  であったので、ここから  $\eta$  を求めると

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{N f_{conv}/t}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \frac{\delta\lambda F_{\lambda}}{h\nu}} \\ &= \frac{865007.5 \cdot 0.947/1}{\pi \cdot 0.15^2 \cdot \frac{1500 \cdot 3.69 \times 10^{-12} \cdot 10^{-3.74/2.5}}{6.628 \times 10^{-34} \cdot 5250 \times 10^{-10}}} \\ &= 0.2484 \dots \end{aligned} \quad (6)$$

より、システム効率は 2.48% となった。

### 3 等級原点

等級原点とは、カメラシステムにおいて 1 秒間の露出につき 1 カウントの信号を生じさせる天体の等級のことである。

ある  $M$  等の星を  $t$  秒間露出したときに  $N$  カウントの信号が検出されたとすると、等級原点  $Z_{mag}$  は

$$Z_{mag} = M + 2.5 \log \frac{N}{t} \quad (7)$$

で求められる。

今回の観測では  $N = 865007.5$ 、 $t = 1\text{s}$ 、 $m = 3.74$  であるから、

$$\begin{aligned} Z_{mag} &= 3.74 + 2.5 \log \frac{865007.5}{1} \\ &= 18.5825 \dots \end{aligned} \quad (8)$$

より、等級原点は 18.58 等である。以後、これを apphot での測光のパラメータとして使用する。

### 4 背景光

天体の写っていない部分における、CCD に入射する光の量は  $1\text{pix}^2$  あたり 60 秒露光で 1352.90 カウントであった。過去のレポートよりこのシステムのピクセルスケールは  $S_p = 0.2718\text{arcsec}/\text{pix}$  であるから、1 平方秒角あたりの毎秒の光量は

$$n_{sky} = \frac{1352.90}{0.2718^2 \cdot 60} \times \frac{1}{\nu} \quad (9)$$

$$= 12307[\text{photons}/\text{s}/\text{arcsec}^2] \quad (10)$$

また、V 等級  $S_{mag}$  で表すと

$$\frac{1352.90}{0.2718^2 \cdot 60} = 10^{(Z_{mag} - S_{mag})/2.5} \quad (11)$$

$$S_{mag} = 18.583 - 2.5 \log 305.22 \quad (12)$$

$$= 12.37 \dots [\text{mag}/\text{arcsec}^2] \quad (13)$$

である。

## 5 限界等級

### 5.1 限界等級の算出

限界等級はシステムが観測できるもっとも暗い等級のことである。今回は 60s の観測で  $S/N$  が 10 以上となる等級とする。

$S/N$  比算出の式は

$$S/N = \frac{n_i t}{N_{noise}} \quad (14)$$

$$= \frac{n_i t}{\sqrt{n_i t + m n_{sky} t + m n_{dark} t + m N_{read}^2}} \quad (15)$$

ここで

$m$  : 像の広がったピクセルの個数

$n_{sky}(e^-/s/pix)$  : 単素子あたりの検出された背景放射の光子数

$n_{dark}(e^-/s/pix)$  : 検出器の単素子あたりの暗電流

$N_{read}(e^- r.m.s./pix)$  : 検出器の単素子あたりの読み出しノイズ

今回、*iraf* での測光アパーチャ半径を 10 としたので  $m = 100\pi$  である。今回、暗電流によるノイズは無視した。

実習 Web より  $N_{read} = 12.61$ 、また前節より  $n_{sky} = 1352.90/60 = 22.55$  であるため、 $S/N = 10$  となる時

$$10 = \frac{60n_i}{\sqrt{60n_i + 100\pi \cdot 60 + 100\pi \cdot 12.61^2}} \quad (16)$$

である。この式を整理すると

$$36n_i^2 - 60n_i - 475875.889 = 0 \quad (17)$$

$$n_i = 114.142 \dots \quad (18)$$

となる。ゆえに、限界等級  $L_{mag}$  は

$$L_{mag} = 18.583 - 2.5 \log 114.14 = 13.439 \quad (19)$$

となる。

## 5.2 等級誤差と理論値

iraf での測光により得られる等級誤差の値から、 $S/N$  比の観測値を算出する方法を考える。ある天体の観測値が  $V$  等級  $M$ 、等級誤差  $\Delta M$  としたとき、入射フラックスを  $F(M)$  とすると、 $S/N$  比は

$$S/N = \frac{F(M)}{\Delta F} \quad (20)$$

$$= \frac{F(M)}{F(M + \Delta M) - F(M)} \quad (21)$$

$$= \frac{1}{F(M + \Delta M)/F(M) - 1} \quad (22)$$

$$= \frac{1}{10^{-\Delta M/2.5} - 1} \quad (23)$$

と求められる。

## 5.3 比較

$\tau$ Sygni の観測の際に 60 秒露出した画像を用い、暗い星の等級と等級誤差から  $S/N$  比の理論値を求め、観測値

$$S/N = \frac{60n_i}{\sqrt{60n_i + 100\pi \cdot 60 + 100\pi \cdot 12.61^2}} \quad (24)$$

と比較する。

表 5.3 にその値を示す。

表 1: 60 秒露光での限界等級

等級 M	等級誤差 $\Delta m$	S/N(観測値)	S/N(理論値)	カウント値 60ni
10.471	0.013	84.0192	137.930	105135.9517
12.318	0.050	22.2186	27.2660	19184.53382
12.495	0.061	18.3036	23.2322	16298.63561
12.962	0.089	12.7061	15.1992	10601.10779
13.170	0.107	10.6553	12.5732	8752.885562
13.238	0.116	9.86870	11.8164	8221.503583
13.441	0.143	8.10353	9.81555	6819.479849

ここから、限界等級の観測値はおよそ 13.23 等であると読み取れる。

また、参考として 120 秒露光した観測での値を表 2 に示す。限界等級の理論値は 13.84 等である。ここから、限界等級の観測値はおよそ 13.64 等であると読み取れる。

表 2: 120 秒露光での限界等級

等級 M	等級誤差 $\Delta m$	S/N(観測値)	S/N(理論値)	カウント値 120mi
12.745	0.055	20.2448	26.8819	25892.93291
12.959	0.064	17.4695	22.1283	21260.88048
13.268	0.084	13.4318	16.6951	15994.88957
13.448	0.096	11.8171	14.1634	13551.30893
13.643	0.115	9.95000	11.8494	11323.51464
13.815	0.140	8.26600	10.1226	9664.541294
14.116	0.188	6.28961	7.68159	7324.555027
14.339	0.209	5.71094	6.26003	5964.598927

## 6 考察

今回はシステム効率が過去の同システムを用いた観測よりも 5 倍ほど小さくなっている。これは観測当日、付近に濃い霧が発生していたことと無関係ではないだろう。これにより、入射光の散乱の影響で低効率の観測となったものと考えられる。

また、限界等級については理論値と観測値での差がほぼ 0.2 等と、かなり近い値が出ている。この差は 120 秒露光観測においてもほぼ同じ値となっており、フラックスにすれば  $10^{0.2/2.5} = 1.202$  倍の差が生まれている。鏡の汚れ、CCD の誤差など様々な原因が考えられるが、比較観測をしていないため定かではない。