

2012年度基礎天文学観測
「小望遠鏡による基礎観測実習」レポート

氏名：島本 早也佳 (学生証番号 05122004)

平成 25 年 1 月 31 日

1 実習の目的

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うことで、望遠鏡の基本操作法、赤経・赤緯に基づいた天体観測の基本事項、および CCD 観測の基本技術の一通りを修得する。

2 概要

東大天文センターの 30cm カセグレン望遠鏡で星を撮影し以下のことを行う。

- システム効率の算出
- 等級原点の算出
- 空の背景光の算出
- 限界等級の算出と測定値との比較

3 観測装置

数値等は本実習 Web ページによる。(http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kmotohara/30cm)

3.1 TCT30cm 望遠鏡

| 焦点 | 口径 | 焦点距離 | プレートスケール |
|--------|-------|---------------|----------------|
| カセグレン式 | 300mm | 5000m (F16.7) | 41 (arcsec/mm) |

3.2 CCD カメラ

Finger Lake Instrumentation 社製 Proline PL4021 で、中に Kodak の KAI-4021 というインターレース CCD が入っている。CCD の仕様は以下の通りである。

| フォーマット | アレイサイズ | ピクセルサイズ | Full Well |
|-------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| 2048 × 2048 | 15.2mm × 15.2mm | 7.4 μ m × 7.4 μ m | 40,000e ⁻ /pix |

3.3 フィルタ

青緑透過フィルタ S76-VG6 と赤外線カットフィルタ S76-KG5-1 の 2 枚を重ねて V-band フィルタの代用とする。それぞれの波長ごとの透過率をグラフに表したものを以下に示す。

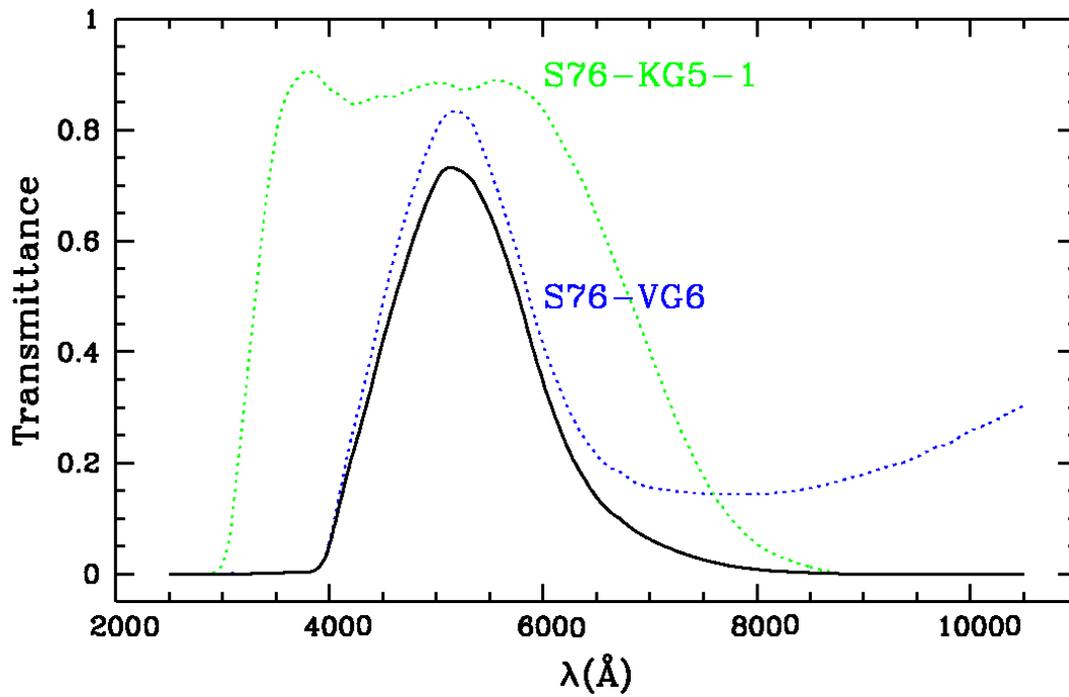


図 1: フィルタの透過率

4 観測スケジュール

1. 10月23日 ガイダンス、望遠鏡の掃除
2. 11月06日 望遠鏡の修理
3. 11月16日 観測
4. 12月14日 解析
5. 12月21日 解析

5 観測

はくちょう座 ϵ 星ギェナーを観測した。フラットとダークを撮影し忘れてたため、1班のデータをコピーして使用した。

6 観測結果と解析

6.1 システム効率の算出

システム効率とは、望遠鏡に入射した星からの光子のうち CCD で電荷となって読み出されたものの割合である。天体から望遠鏡に入射した光子の数は

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

で定義される。ここで、 D は望遠鏡の口径 (この場合 30cm)、 F_λ は天体からのフラックス、 $\Delta\lambda$ はフィルターの波長範囲である。SIMBAD のデータによるとギエナーは可視等級 2.48 なので、フラックスに変換すると

$$\begin{aligned} F_\lambda &= F_0 \times 10^{-\frac{m_V}{2.5}} \\ &= 3.69 \times 10^{-9-\frac{m_V}{2.5}} \\ &= 3.7586 \times 10^{-10} \quad [\text{erg/s/cm}^2/] \end{aligned} \quad (2)$$

これと、 $c = 2.998 \times 10^8 [\text{m/s}]$, $h = 6.63 \times 10^{-27} [\text{erg} \cdot \text{s}]$, 読み取ったフィルター中心波長 $\lambda = 510 [\text{nm}]$, 波長幅 $1500 []$ を代入すると、天体から望遠鏡に入射した光子の数は

$$\begin{aligned} s_i &= \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \frac{\lambda \Delta\lambda}{hc} \times 3.7586 \times 10^{-10} \\ &= 2.6568 \times 10^{-7} [\text{erg/s/}] \times \frac{510 \times 10^{-9} \times 1500 [\text{m} \cdot]}{6.63 \times 10^{-27} \times 2.998 \times 10^8 [\text{erg} \cdot \text{s} \cdot \text{m/s}]} \\ &= 2.6568 \times 10^{-7} [\text{erg/s/}] \times 3.8487 \times 10^{14} [/\text{erg}] \\ &= 102252261.6 \quad [/s] \end{aligned} \quad (3)$$

また、CCD で生じた電荷の個数は

$$n_i = \frac{N f_{conv}}{t} \quad (4)$$

で定義され、ここで N は画像上でのカウント、 f_{conv} はコンバージョンファクター、 t は積分時間である。読み取った値 $N = 2066650$, $f_{conv} = 0.947$, $t = 1 [\text{s}]$ を用いて、

$$n_i = 2066650 \times 0.947 = 1957117.55 \quad [/s] \quad (5)$$

これらのことから、システム効率

$$\eta = \frac{n_i}{s_i} = \frac{1957117.55}{102252261.6} \sim 0.019 \quad (6)$$

システム効率が予想以上に低くなってしまったのは、観測時曇っており霧がかかっていたことが原因と考えられる。

6.2 等級原点の算出

等級原点 Z_{mag} とは、あるカメラシステムで 1 秒間の露出で 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。上記のデータより、等級が 2.48 等の星を 1 秒露出したときに 1957118 カウントの信号が検出されたとしてこのカメラシステムでの等級原点を求めると

$$Z_{mag} = 2.48 + 2.5 \times \log 1957118 \sim 18.2 \quad (7)$$

6.3 空の背景光の算出

星の写っていない領域に入射している光の量を算出する。星の写っていない領域から sky のカウントを読み取る。今回 5 つの部分を選び、その平均値を取った。データから読み取った値はそれぞれ 2857, 2878, 2854, 2868, 2881 であり、平均は 2867.6。よって、1 秒、1 平方ピクセル辺りに入射する光の量は

$$\frac{2867.6}{120} \sim 23.897 [e^-/\text{pix}^2/\text{s}] \quad (8)$$

先輩方のレポートによると、ピクセルスケールは $0.2718[\text{arcsec}/\text{pix}]$ であるので光の量を arcsec^2 辺りに直すと

$$23.897[e^-/\text{pix}^2/\text{s}] \times \left(\frac{1}{0.2718}[\text{pix}/\text{arcsec}] \right)^2 \sim 323.48[e^-/\text{s}/\text{arcsec}^2] \quad (9)$$

また、光の量を上で求めた等級原点を用いて等級に直すと、

$$n_{\text{sky}}/1 = 100^{(Z_{\text{mag}} - Z_{\text{sky}})/5} \quad (10)$$

$$Z_{\text{sky}} = Z_{\text{mag}} - 2.5 \log(323.48) \sim 11.9[\text{mag}/\text{arcsec}^2] \quad (11)$$

背景光が明るい値になってしまったのは、出ていた霧、霽によって街の明かりが散乱されたからだと考えられる。

6.4 限界等級の算出とデータとの比較

天体観測では、S/N という量を定義し、ノイズに対して信号がどの程度来ているかを評価し、それが一定の値を超えれば検出出来たとすることが多い。S/N=10 が望ましいが、今回は S/N=5 で検出出来たとする。S/N は

$$S/N = \frac{n_i t}{N_{\text{noise}}} \quad (12)$$

で書ける。 N_{noise} はノイズ成分、 t は積分時間である。ノイズ成分は入射光子の Poisson ノイズと、検出器からの読み出しノイズでほぼ占められており、 m 個のピクセルについてのノイズは

$$N_{\text{noise}} = \sqrt{n_i t + m n_{\text{sky}} t + m n_{\text{dark}} t + m N_{\text{read}}^2} \quad (13)$$

となる。ここで $\sqrt{n_{\text{sky}}}$ は単素子あたりに検出された背景放射の光子の数、 $\sqrt{n_{\text{dark}}}$ は検出器の単素子辺りの暗電流、 N_{read} は検出器からの単素子辺りの読み出しノイズである。今回、 $n_{\text{dark}} = 0$ とし考えないことにする。ここでは積分時間 120 秒あたり、 arcsec^2 あたりで S/N=5 となる n_i を求める。まず、 1arcsec^2 に相当する画素数 m は

$$m = \frac{1}{0.27^2} = 13.7\text{pix} \quad (14)$$

また、この観測では $n_{\text{dark}} \sim 0$ としている。

さらに資料 (<http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kmotohara/30cm/camera/1005.pdf>) から、 $N_{\text{read}} = 12e^-/\text{pix}$ を採用すると、限界等級の算出は、

$$5 = \frac{120 \times n_i}{(120 \times n_i + 13.7 \times 323.5 \times 120 + 13.7 \times 0 + 13.7 \times 12^2)^{1/2}} \quad (15)$$

を解けばよい。これを解くと

$$n_i \sim 30.55\text{photon}/\text{s}/\text{arcsec}^2 \quad (16)$$

これを等級に直すと、

$$n_{\text{lim}} = 2.48 + 2.5 \times \log \frac{1957118}{30.55} \sim 14.5 \quad (17)$$

これを、観測データから得られる等級誤差から求めた S/N 比と比較する。等級誤差をメモし忘れてしまったので、選んだ点の等級と S/N 比のみを表にする。

| | | | | | | | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 等級 | 13.443 | 12.738 | 13.092 | 12.956 | 13.291 | 13.003 | 12.543 | 12.285 | 11.999 | 11.586 |
| S/N 比 | 4.265 | 8.61 | 5.83 | 6.696 | 4.75 | 6.23 | 10.049 | 12.335 | 16.448 | 22.62 |

以上において、積分時間 120 秒のデータを用い、測光時のアパーチャーは 10 とした。この表と比較すると、観測データからの S/N 比 5 での限界等級は大まかに 13.2 前後であるといえる。計算結果と 1 等ほどの差が出てしまった。計算値については、上で求めた背景光が明るかったことが計算結果に表れていると思われる。また、測光データの等級誤差から S/N 比を出すとき、私は

$$\text{信号 } s_i = A \times 10^{-0.4m} \quad (18)$$

$$\text{ノイズ } \Delta s_i = A \times 10^{-0.4(m-\Delta m)} - A \times 10^{-0.4(m+\Delta m)} \quad (19)$$

$$(20)$$

として

$$S/N = \frac{A \times 10^{-0.4m}}{A \times 10^{-0.4(m-\Delta m)} - A \times 10^{-0.4(m+\Delta m)}} = \frac{1}{10^{0.4\Delta m} - 10^{-0.4\Delta m}} \quad (21)$$

の式に当てはめたが、これがそもそもいけなかったのかもしれない。他の計算方法で確かめてみようと思ったが、生憎等級誤差をメモし忘れていたため、具体的な計算が出来なかった。

7 感想・意見、謝辞

長いようで短い観測実習でした。国立天文台に足を運ぶのは初めてで、何もかも分からないことだらけでしたが、本原先生の熱いご指導のおかげで、得るものが多い実習となりました。理解が遅く、ペアの吉原君や本原先生には多大なご迷惑をおかけしてしまつてすみませんでした。東京でも思ったより星が見えることに驚き、また 30cm 望遠鏡を自分で動かしてターゲットに合わせて観測するという初めての体験が出来、今回の実習は本当に楽しかったです。初めて観測しようとしたときに望遠鏡が壊れているのには衝撃を受けましたが(電源を切り忘れたせいで申し訳ありませんでした)、貴重な経験が出来ました。ご指導ありがとうございました。