

小望遠鏡における基礎観測実習

石塚将斗

(学生証番号 05-132002 天文学科 3年)

レポート作成日 2014/1/22

1 概要

今回の実習では、東大天文センターにある 30cm カセグレン望遠鏡を用いて CCD カメラを使った観測の基礎を学ぶ。実際にやることは

- 光学系のシステム効率を求める。
- 等級原点を求める。
- 背景光の明るさを求める。
- 限界等級を求める

観測バンドはすべて V バンドで行う。

また今回は、前回までの実習で見られた周期的なノイズを取り除くために、USB アイソレータを用いたノイズの軽減も試みる。

2 原理

2.1 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 CCD で検出される割合のことであり、以下のように求められる。入射した光子数を s_i 、CCD で検出された光子数を n_i とすると、システム効率 η は

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

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

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

と求められる。なお、 D は望遠鏡の口径、 N はカウント数、 t は積分時間である。 f_{conv} はコンバージョンファクターであり、1 カウントにつきどのくらいの電子を検出しているか、という値である。今回は大沢先輩のレポートより

$$f_{conv} = 0.94 \quad (4)$$

として扱うことにする。

2.2 等級原点

等級原点 (Z_{mag}) とは、ある光学系で 1 秒間に 1 カウントを生じさせる天体の等級である。これは等級の分かっている天体を観測することで求められ、等級を Z 、生じたカウントを N 、積分時間を t とすると、

$$Z_{mag} = Z + 2.5 \log \frac{N}{t} \quad (5)$$

と求めることができる。

2.3 限界等級

限界等級とは、その光学系で検出できる等級であり、 S/N が一定以上になる等級である。求められる S/N は観測する波長や目的によって異なるが、5 や 10 とすることが多い。今回は 10 として考える。ノイズの種類としては入射光子 (背景光を含む) のポアソンノイズ、読み出しノイズ、暗電流によるノイズがある。天体が m ピクセルに写っており、ノイズのカウントを N_{noise} とすれば、そのノイズは統計的に

$$S/N = \frac{n_i t}{N_{noise}} \quad (6)$$

$$N_{noise} = \sqrt{n_i t + m n_{sky} t + m n_{dark} t + m N_{read}^2} \quad (7)$$

となる。今回は、読み出しノイズは大沢先輩のレポートから

$$N_{read} = 12 \quad (8)$$

として考える。

3 使用機器

実習に使用した機器は以下の通りである。

CCD:Finger Lake Instrumentation 社製 Proline PL4021

フォーマット	2048 x 2048
アレイサイズ	15.2mm x 15.2mm
ピクセルサイズ	7.4um x 7.4um
Full Well	40,000 e-/pix
読み出しノイズ (@ 180K)	-
暗電流	-
量子効率	55% (@ 500nm) 40% (@ 600nm)
CTE	>0.99999
Conversion Factor	-

フィルタについては、青緑透過フィルタ S76-VG6 と赤外線カットフィルタ S76-KG5-1 を組み合わせて V バンドフィルタとして用いる。フィルタの透過率の波長特性は次図のようになっている。

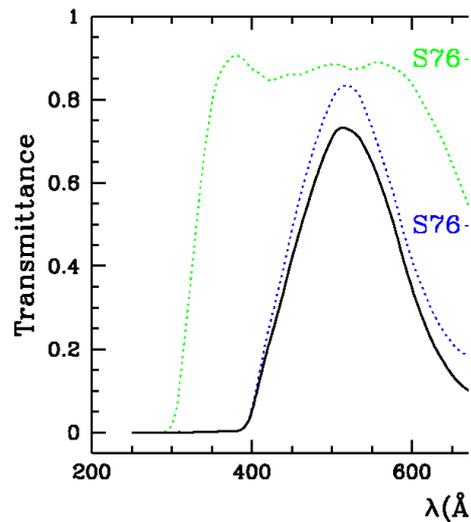


図 1: 使用したフィルターの透過率

4 結果

観測は 2013 年 12 月 6 日に行った。天気は快晴であった。今回選んだのは HIP398A という天体で、V バンド等級は hipparcos 衛星のカタログから 6.6 等である。このような画像を位置をずらして

4枚取った。お互いに引くことで簡単に星のカウントを取り出すことができる。露出時間はすべて30秒とした。

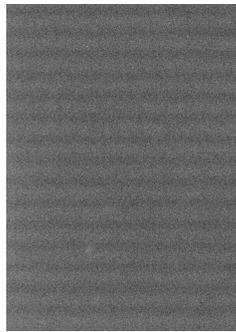


図 2: HIP398A

またダーク画像、バイアス画像も20枚ずつ取り、その平均をダーク、バイアスとした。

5 解析

まずシステム効率を求める。HIP398A から望遠鏡に入射する光子の数を考える。フィルタの透過波長域 $\Delta\lambda$ を 450nm から 600nm の差 150nm として

$$s_i = \frac{1}{h\nu} \left(\frac{30}{2} (cm) \right)^2 \pi 30 (s) F_\lambda \Delta\lambda f_{conv} \quad (9)$$

$$= 6.71 \times 10^7 \quad (10)$$

次に検出された光子の数は、`iraf` の `epar phot` コマンドを用いて測定した。この星のカウントは 6369246 であったので、

$$n_i = 6369246 f_{conv} \quad (11)$$

$$= 5.99 \times 10^6 \quad (12)$$

であるから、システム効率は

$$\eta = \frac{n_i}{s_i} = 0.089 \quad (13)$$

となった。

次に、等級原点を求める。HIP398A の等級とカウントから、

$$\begin{aligned} Z_{mag} &= 6.6 + 2.5 \log 6369246/30 \\ &= 19.9 \end{aligned} \quad (14)$$

と求められた。空の明るさについては、ダークとバイアスを引いた後の画像のうち、星がない部分の平均を取ることで求めることができる。iraf の imstat コマンドを用いて求めたところ、得られた画像の背景のカウントの平均値は 687 であったので、

$$n_{sky} = 687/30(s) = 22.9(ADU/s/pix^2) \quad (15)$$

となり、ここから背景光の明るさを $[photons/s/arcsec^e]$, $[mag/arcsec^2]$ で表す。この望遠鏡のピクセルスケールは $0.27(arcsec/pix)$ であるので、

$$22.9/0.27^2 * 0.94 = 295(photons/s/arcsec^2) \quad (16)$$

となる。一方等級は、等級原点が分かっているから、

$$19.9 - 2.5 \log 295 = 13.7(mag/arcsec^2) \quad (17)$$

となる。かなり明るい空であるが、撮影した時間が 8 時程度であり、天文台や周囲の住宅の照明が原因だと考えられる。

最後に、限界等級について考える。ダークによるノイズは $1e^-/s$ 程度であることがダーク画像から分かったので、読み出しノイズや空のノイズに比べて 2 乗和では十分小さいと考えられる。よって今回はダークによるノイズは無視する。S/N が 10 となる等級は、30 秒露光で、天体が 100 ピクセルに広がっているとすると、

$$10 = \frac{\eta 30(s) s_i}{\sqrt{30(s) \eta s_i + 30(s) 100(pix) n_{sky} + 100(pix) N_{read}^2}}$$

となるので、これを満たす s_i から等級を求めればよい。

フラックスは

$$F_\nu = \frac{h\nu}{\Delta\nu} \frac{1}{\pi} \left(\frac{2}{30}\right)^2 s_i \quad (18)$$

から求まり、フラックスのゼロ点として文献値

$$mag = -2.5 \log F_\nu + 2.5 \log 3.63 \times 10^{-20} \quad (19)$$

を用いる。これより、30 秒積分、S/N=10 での限界等級 $Mag(10,30)$ は

$$Mag(10,30) = 15.1 \quad (20)$$

となった。

6 結論

今回の実習では、USB アイソレータを用いたノイズの軽減を試みたが、画像に生まれる謎の三角関数的ゆらぎノイズは除去できなかった。また空が明るく、星を見つけるのに苦労した。しかし、同じ星をずらして撮像し、何枚かの処理画像の値を平均することで、今回求めた数値は比較的信頼できるのではないかと考えられる。

しかし、今回一番問題となったのは、望遠鏡を制御するリモコンである。北方向のスイッチを押すと北に動き続けてしまい、目標の星に望遠鏡を向けるのに非常に手間取った。限界等級を算出した後、確認のため追加観測を行おうとしたが、望遠鏡が制御できなかったため諦めざるを得なかった。分解してみたところ、おそらくリモコンの部品自体が消耗していたためである。ここを直すことで、かなり実習の効率は上がるだろう。次年度は、まずリモコンの修理をするべきだと思う。

7 感想

自分で大きな望遠鏡を動かして観測するというのは初めての経験で、とても楽しかったです。なかなか天候が悪く、寒い季節の観測になってしまいけっこう大変でしたが、いい経験になりました。ありがとうございました。