

小望遠鏡による基礎観測実習

欠畑 賢之

(学生証番号 S62006)

2007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の技術を学ぶ。それと同時に、以下のような作業を通して「限界等級」についての理解を深める。

- 観測から望遠鏡/カメラシステムのシステム効率を出す
- 限界等級を算出する
- 実際に観測を行って、その限界等級が得られるかを調べる

2 観測結果とその解析

2.1 システム効率

まず始めに、望遠鏡/カメラシステムのシステム効率を求める。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」のことである。

天体から望遠鏡に入射した光子数を s_i (個/s) とすると、

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

ただし、

D : 望遠鏡の口径

F_λ : 天体からのフラックス

λ : フィルターの中心波長

$\Delta\lambda$: フィルターの波長範囲

また、CCDで生じた電荷の個数を n_i (e^- /s) とすると、

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

ただし、

N : 画像上でのカウント

f_{conv} : コンバージョンファクター

t : 積分時間

これらより、システム効率 η は

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

で求まる。

明るさが分かっている星を観測することで、理論から s_i 、観測から n_i を求め、システム効率を求めることが出来る。

今回観測した星は、 $\chi Cas (M = 4.7)$ と Cas 付近の星 ($M = 6.1$) の二つである。また、観測に用いた望遠鏡/カメラシステムのパラメータは以下の通りである。

$$D = 30(\text{cm}), \quad \Delta\lambda = 0.2(\mu\text{m}), \quad \lambda = 510(\text{nm}), \quad f_{\text{conv}} = 3.8$$

さらに、天体からのフラックス F_λ は絶対等級を M とすると、

$$F_\lambda = 3.92 \times 10^{-12} \times 10^{-0.4 \times M} (\text{J/cm}^2/\mu\text{m/s}) \quad (4)$$

と書けるので、これらを (1) 式に代入すると、

$$s_i = 1.42 \times 10^{9-0.4 \times M} \quad (5)$$

となる。

観測結果とそれから求まるシステム効率を以下の表にまとめる。

表1 システム効率

絶対等級 M	積分時間 t	カウント N	観測値 n_i	理論値 s_i	効率 η
4.7	1 s	367054	1394805.2	18755871	7.4%
6.1	1 s	124165	471827	5155708	9.2%
6.1	3 s	391180	495495	5155708	9.6%

2.2 限界等級

次に、上の結果からこのシステムの限界等級を求める。限界等級は一般的には S/N という量で測る。

S/N は、

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

のように書くことが出来て、これがある一定の値を超えれば検出できたとする。ここで N_{noise} とはノイズ成分のことで、 m 個のピクセルに広がった像を検出する場合、

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

と書ける。ここで、

n_{sky} : 単素子あたりの検出された背景放射の光子数

n_{dark} : 検出器の単素子あたりの暗電流

N_{read} : 検出器からの単素子あたりの読み出しノイズ

である。

今回は、 $S/N=5,10,30$ の場合について、(3),(5),(6),(7) 式から n_i と限界等級を求めた。
なお計算する際は、上の観測結果から、

$$n_{sky} = 570, \quad n_{dark} = 0, \quad N_{read} = 32.3, \quad m = \pi \times 3^2 = 28.26$$

として、さらに積分時間は 3s、検出効率は $\eta = 9.6\%$ とした。(次にやる実際の限界等級を求める際に、星像が半径 3 ピクセル内に広がっているとして計算しているので、 m をそのように変更して計算し直してみた。)

表 2 限界等級

S/N	n_i	s_i	限界等級
5	469	4886	13.6
10	946	9860	12.9
30	2943	30660	11.6

2.3 実際の限界等級

本当は上で求めた限界等級の星を選び出して観測するはずだったが、天候不良のため出来なくなった。そこで、最初に観測した際にたまたま写っていた暗い星について S/N を調べてみた。

使ったデータは、6.1 等級の星を積分時間 3 秒で観測した画像である。そこに写っていた暗い星 ($M=11.9$) を IRAF で解析してみると、

$$\text{カウント } N = 1390 \longrightarrow n_i = 1760, \quad M_{err} = 0.071$$

であった。この M_{err} から S/N を求めると、 $S/N=15.8$ となった。また、(3),(5),(6),(7) 式より $S/N=15.8$ のとき $n_i = 1511, M = 12.3$ なので、理論値と観測値は比較的近い値になったと思う。

3 実習の感想

今年度の実習の中で、実際に星の観測を行ったのはこの実習だけだったのでとてもおもしろかったです。大きな望遠鏡を使って観測するのは初めてだったので、一つ一つの作業がすごく新鮮でした。おそらく今回のように手で望遠鏡を動かして観測するということはないと思うので、いい経験になりました。結局 1 回しか観測が出来なかったのが残念です。

今回の実習を通して、ノイズや S/N など観測にとって重要な概念を学ぶことが出来ました (あと天気的重要性も)。また、IRAF の基本操作についても学ぶことが出来ました (僕は IRAF を使うのは今回が初めてでした)。これから天文学の研究に進む上で必要となる知識を得ることが出来たという意味でもいい経験になりました。