

小望遠鏡による基礎観測実習 (2011 年度)

今村 優一
(学生番号 05112001)

2012 年 1 月 31 日

概要

東大天文センターにある 30cm カセグレン望遠鏡と CCD カメラを使った基本的な天体観測を行う。これを通して望遠鏡の使用方法や CCD 観測の基本事項等、天体観測に必要な基本事項を学ぶ。

1 目的

今回の実習では特に、限界等級に関する理解を深める。限界等級、つまりどれほど暗い星まで観測できるのかということ、実際の観測を通して予測し検証する。

2 限界等級

限界等級とは観測されうる最も暗い星の等級のことをいう。この限界等級は観測する装置の性能、観測時間、そして観測されるとはどういうことなのかによって異なってくる。ここでは、限界等級とはどういうものなのかを述べていく。

2.1 システム効率

まず、観測装置の性能の評価として重要なのが、システム効率である。システム効率とは、星から発せられ望遠鏡に入った光子のうち、CCD に電荷として検出されたものの割合のことである。

天体から望遠鏡に入った光子の数を s_i (個/s) とすると、

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

と書ける。ここでは、 D (cm) が望遠鏡の口径、 F_λ ($erg/cm/\text{\AA}$) は天体からのフラックス、 $\Delta\lambda$ (\AA) はフィルターの波長範囲である。

また、CCD で生じた電荷の個数 (n_i 個/s) は

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

と書ける。ここでは、 N (個) が画像上でのカウント、 f_{conv} がコンバージョンファクター、 $t(s)$ が積分時間である。

以上を用いて、システム効率 η は

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

と表される。

2.2 S/N

次に考えなくてはならないのは S/N である。これはノイズに対する信号の大きさの比である。光が検出されたというのは、これがある一定の値を超えたということをいうのである。この値をどう設定するかによって、限界等級は変化してくる。S/N は

$$\frac{S}{N} = \frac{n_i t}{N_{noise}} = \frac{\eta s_i t}{N_{noise}} \quad (4)$$

と書ける。この N_{noise} とはノイズ成分、 $t(s)$ は積分時間のことである。ノイズ成分は CCD が複数素子で、画像が m 個のピクセルに広がっている場合には、以下のように表すことができる。

$$N_{noise} = \sqrt{n_i t + m n_{sky} t + m n_{dark} t + m N_{read}^2} \quad (5)$$

$n_{sky}(e^-/s/pix)$ は単素子あたりの検出された背景放射の光子数、 $n_{dark}(e^-/s/pix)$ は検出器の単素子あたりの暗電流、 N_{read} は検出器からの単素子あたりの読み出しノイズである。今回の実習では S/N が 5 を超えたら、光が検出されたと考える。

3 観測装置

今回使用した望遠鏡、CCD、フィルタの基本データを記す。データは実習のホームページによる。

3.1 望遠鏡

30cm カセグレン望遠鏡を用いた。口径 30cm、焦点距離 5000mm (F16.7)、プレートスケールは 41arcsec/mm である。架台は赤道儀である。

4 観測

システム効率を求めるための観測は、ペガスス座 星のマルカブとカシオペア座 星のシェダルについて行った。これらの星のデータを以下に示す。

名前	V バンド等級	赤経	赤緯
マルカブ	2.49	23h04m45.7s	+15 °12 18.9
シェダル	2.24	00h40m30.5s	+56 °32 14.5

表 2: マルカブとシェダルの明るさと位置

また、実測される限界等級を求めるための観測は、シェダルの近傍の領域について行った。

5 解析

5.1 1 次処理

CCD で取得した画像をそのまま使って、観測量を計量することはできない。それは主に

- バイアスが存在しており、光を当てない状態でも一定のカウントが存在する
- CCD の各素子は同じ光の強度に対しても、一様な反応を示さない

という二つの理由があるからである。そのためこれらを解決するための画像処理が必要なのである。まずは得られた画像からバイアスを取り除き、その後 CCD のを反応度合を表すフラットと呼ばれる画像で割る。フラット画像とは、同じ強度の光に対する CCD の各素子の反応を示したもので、全体は 1 に規格化されている。これにより計量できる画像になるのである。

5.2 システム効率の算出

画像処理を行って得られた値からシステム効率を計算する。入射光子数を計算するにあたって必要な数値は望遠鏡のデータより口径 $D=30(\text{cm})$ 、V バンドの 0 等級のフラックス $f_\lambda = 3.69 \times 10^{-9}(\text{erg}/\text{s}/\text{cm}^2/\text{\AA})$ 、フィルタの透過率を考えて入射光の波長中心 $\lambda = 5250(\text{\AA})$ 、波長幅 $\Delta\lambda = 1600(\text{\AA})$ 。星からのフラックス F_λ は、その星の V バンド等級 M_V を用いて

$$F_\lambda = f_\lambda \times 10^{-\frac{2}{5}M_V} \quad (6)$$

となる。

CCD で生じた電荷数を計算するのに必要な数値はコンバージョンファクター $f_{conv} = 0.95$ である。

これらの値を用い、マルカブとシェダルに関して入射光子数、CCD で生じた電荷数を計算し、システム効率をそれぞれ出す。まとめたのが以下の表である。

名前	s_i (個/s)	n_i (個/s)	η
マルカブ	1.11×10^8	7.44×10^6	0.067
シェダル	1.42×10^8	1.12×10^7	0.079

表 3: マルカブとシェダルの観測結果と得られたシステム効率

以上のようにシステム効率を得られたが、やや異なった値となった。これは画像の計量の仕方により影響する部分もあると思われるが、マルカブとシェダルを観測した日は異なるため、大気の状態等の違いも影響していると考えられる。これから議論する実測の限界等級に関しては、シェダル近傍を観測しているため、今回のシステム効率 η の値としてはシェダルを観測して得られた 0.079 を採用したいと思う。

5.3 限界等級の推定

限界等級を推定するには、 S/N が 5 になるときの s_i をもとめ、それをフラックスに換算して求める。 $S/N = 5$ として s_i に関して解くと、

$$s_i = \frac{25\eta t + \sqrt{(25\eta t)^2 + 100\eta^2 t^2 (mn_{sky} t + mn_{dark} t + mN_{read}^2)}}{2\eta^2 t^2} \quad (7)$$

今回は n_{dark} と n_{sky} に関しては 0 であると仮定して議論を進める。また積分時間は 120 秒で観測したため $t = 120$ 、実習のホームページより $N_{read} = 12(e^{-r.m.s./pix})$ あとは画像が広がる大きさであるが、これは 120 秒で積分したときに最も暗い星はアパーチャー半径 $6pix$ 以内に収まっていたということから、 $m = 36\pi = 113(pix)$ として考える。これらを代入して計算すると $s_i = 68.6$ となる。(1) 式を逆算すれば F_λ は計算でき

$$F_\lambda = \left(\frac{2}{D}\right)^2 \frac{h\nu s_i}{\pi\Delta\lambda} \quad (8)$$

であるから、 $F_\lambda = 2.29 \times 10^{-16}$ となる。これをさらに V バンド等級 M_V に変換しなくてはならないが、それは F_λ を用いることにより

$$M_V = -2.5 \times \log \frac{F_\lambda}{3.69 \times 10^{-9}} \quad (9)$$

で求めることができる。ゆえに、今回限界等級として、 $M_V = 18.0$ を得る。

5.4 測光

限界等級を調べるために、シェダル近傍に存在した星を測光した。そのために等級原点 Z_{mag} を求めた。等級原点とは、あるカメラシステムにおいて、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。例えば、 M 等級の星を t 秒間露出した時、 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

$$Z_{mag} = M + 2.5 \times \log \frac{N}{t} \quad (10)$$

となる。今回はシェダルの 1 秒積分の値を用いて計算することで $Z_{mag} = 19.9$ が得られた。測光する際、これを元に星の等級が計算される。この結果得られた、最も暗い星は $Z_{mag} = 15.2$ 、 $S/N = 10.1$ の星であった。

6 考察

測光をした際に最も暗い星が 15.2mag で $S/N=10.1$ であったということは、さらにそれよりも暗い星があったとしても、到底 18.0mag には及ばない領域でしか観測できなかったということである。実際、 $S/N=10$ になる等級の予測値は計算すると $M_V = 17.2$ になるのである。

実測の値が予想値よりもはるかに明るいところで止まっているのは、 $n_{sky} = 0$ の仮定がおかしかったと思われる。解析するにあたって n_{sky} を無視したのは失敗であった。予想値よりも 2mag ずれているのは約 1 桁違うということであり、ノイズ成分に対する背景光の寄与は大きい。特に積分時間を長くして観測すればするほどその寄与は大きくなる。120 秒積分ということで予想外の大きなずれが生じてしまった。機会があればその解析も行い予測値の改良を行いたい。

7 感想

今回の実習は望遠鏡を自分の手で動かし、良いデータを取れるように試行錯誤を重ねながら天体を観測するという、天文学の最も大切な部分を体験できて非常に良かったし、純粋に楽しかったです。ただ、観測が楽しかったのはまた別に、いろいろと勉強不足なところや、るといったところや IRAF 等の解析をする道具をもっと使いこなせるようになりたかったという思いもあり、このまま終わってしまうのはもったいないような気がします。実習の期間を通じて本原先生には大変お世話になりました。ありがとうございました。