

小望遠鏡による基礎観測実習

佐々木 明
(学生証番号 s72005)

平成 20 年 1 月 31 日

1 実習の目的

小望遠鏡に CCD カメラを取り付けて東京の空を観測する。具体的には、観測から望遠鏡カメラシステムのシステム効率を求める、限界等級を計算する、観測によって計算して求めた限界等級と実際の限界等級との整合性を確認する、の 3 つの目的がある。

2 システム効率

天体から望遠鏡に入射した光子数を s_i 個 (/s) と書くと

$$s_i = \pi \frac{D^2}{4} \frac{\Delta\lambda F_\lambda}{h\nu} \quad (1)$$

CCD で生じた電荷の個数を n_i (e^- /s) と書くと

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

システム効率は

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

で定義される。

3 限界等級、S/N 比

観測から限界等級を決めるときに、S/N 比という検出すべき星からの信号がノイズ (その原因は後述) に対してどれくらい強いかが、という値を考える。S/N 比は

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

で定義される。今回の実習では S/N 比を 5, 10, 15 などと自分で決めて、その S/N 比での限界等級を計算してみた。

ノイズの原因には

- 背景光のゆらぎ $n_{sky}(e^-/s/pix)$ を単素子あたりの検出された背景放射の光子数として

$$\sqrt[2]{n_{sky}t} \quad (5)$$

- 読み出しノイズ

これは解析では

$$N_{read} = 7(e^- r.m.s./pix) \quad (6)$$

とする。

- ダークカレント $n_{dark}(e^-/s/pix)$ を検出器の単素子あたりの暗電流として

$$\sqrt[2]{n_{dark}t} \quad (7)$$

- 星そのもののノイズ

$$\sqrt[2]{n_i t} \quad (8)$$

等がある。

よってこれらを足し合わせるとノイズは積分時間を t として

$$N_{noise} = \sqrt{n_i t + n_{sky} t + n_{dark} t + N_{read}^2} \quad (9)$$

とできる。

4 データ解析の流れ、システム効率編

システム効率を求め、限界等級を計算するために、カシオペア座 γ のすぐ傍にある等級 6.4、赤経 0h0.5min 赤緯 +61°25' の星を 3 秒露出で撮影した。

IRAF を使って

- フラット作り
 - バイアス引き
 - フラット化 (8146 で割って規格化)

フラット化の終わった画像に meif— .fits と名前をつけた。

- 引き算同じ星を意図的に場所を少しずらして複数回撮像し、2 枚の写真の引き算をすれば、背景光を含まないカウントを知ることができる。meif— .fits のうち近くで取った 2 枚の写真を引き算したものを back— .fits とした。back1201.fits, back1202.fits, back2301.fits を以下の計算で使った。

5 システム効率の計算

実習で利用した望遠鏡・カメラでは

$$f_{conv} = 1.316 \quad (10)$$

数式 (1) に $D:30\text{cm}$, フィルタ特性として $\lambda:520\text{nm}$, $\Delta\lambda:100\text{nm}$

表 1: 各ファイルから計算したシステム効率の値

ファイル名	N(画像上でのカウント)	システム効率
back1201.fits	365409	0.071
back1202.fits	364695	0.067
back2301.fits	400667	0.073

以下の解析が必要な際には、中央値をとって、システム効率 $\eta:0.071$ とする。

6 限界等級の計算

観測結果と前の章で求めたシステム効率を基にこの望遠鏡 CCD カメラシステムでの限界等級を演習として求めてみる。

$\frac{S}{N}:15, t:10[\text{s}]$ での限界等級を計算してみる。ここではアパーチャー半径は 8pixel とした。式 (4) と式 (9) より

$$15 = \frac{0.071\pi \frac{30 \times 10^{-2}}{2}^2 100 \times 10^{-9} \times \frac{520 \times 10^{-9}}{hc} \times 10 \times F_\lambda}{\sqrt{n_{sky}t + 64\pi \times 49 + 0.071\pi \frac{30 \times 10^{-2}}{2}^2 100 \times 10^{-9} \times \frac{520 \times 10^{-9}}{hc} \times 10 \times F_\lambda}} \quad (11)$$

$$h:6.626 \times 10^{-34} \quad c:2.998 \times 10^8$$

ここで、実際の観測は 3 秒だったが、今限界等級を求めたいのは 10 秒露出した時なので、 $n_{pic}:3$ 秒露出した写真の星の写っていない場所の単位面積当たりのカウント

として

$$n_{sky}t = 1.316n_{pic} \times \frac{10}{3} \times 64\pi \quad (12)$$

である。

$$x = \eta s_i t \quad (13)$$

とおくと式 (11) は以下のような 2 次方程式に整理できる。

$$x^2 - 15^2x - 15^2 \times 64\pi \times n_{pic} \times \frac{10}{3} \times 1.316 + 49 = 0 \quad (14)$$

この方程式を解くと、 $F_\lambda(W/m^{-2}/m)$ が求まり、

$$m = -2.5 \log_{10} \frac{F_\lambda}{F_{0\lambda}} \quad (15)$$

$F_{0\lambda}: 3.92 \times 10^{-2}(W/m^{-2}/m)$ より限界等級 m が求められる。

実際には n_{pic} は meif1001.fits から星の写っていない点を任意に 5 か所選び、それら 5 か所のカウントの平均を取って $n_{pic}: 428.9$ とした。

計算すると限界等級 $m: 11.84$ となった。

7 限界等級を観測で確認

先の章で求めた限界等級を、実際に観測で確かめることになった。

カシオペア座 γ の付近にある限界等級に近い 1 1 等級から 1 2 等級位の星を aladin sky atlas で調べて、それらの星の検出を目指した。

ただし aladin sky atlas ではそれらの星の V 等級が与えられていなかったので V 等級: $(B1 \text{ 等級} + R1 \text{ 等級})/2$ という近似をした。

限界等級に近い星々を今は名前が分からないので A, B, C とする。上に延べた方法で aladin sky atlas から推定したそれぞれの星の V 等級は以下の通り。

A: 11.52 B: 11.73 C: 12.69

10 秒露出した。フォトメトリをした結果は以下の通り。

表 2: カウント、等級誤差など

星	(設定した) アパーチャー半径	カウント	等級誤差
A	10	8693.547	0.068
B	14	5691.269	0.141
C	14	5631.695	0.149

ここで、

- 10 秒露出のカウントをシステム効率の章で観測した 6.4 等と分かっている星のカウントと比べて、等級を算出する。そして aladin sky atlas の等級と比較する。
- 等級誤差から S/N 比を求めて、計算から求めた 10 秒露出した時の S/N 比と比較する。

7.1 等級の算出

6.4 等と分かっている星のフラックスのカウントとしては、3 つのファイルの平均値をとって 376924 とした。図 1 参照。すると、等級の定義から、フ

ラックスのカウンント f_i の星の等級 m_i は (ただし $i:A,B,C$)

$$m_i - 6.4 = -2.5 \log_{10} \frac{f_i}{376924} \quad (16)$$

この式から星 A,B,C の等級を出して、aladin sky atlas を基にした等級と比較すると以下ようになる。

表 3: 観測によって求めた等級と aladin の等級

星	観測から求めた等級	aladin 等級
A	10.50	11.52
B	10.95	11.73
C	10.96	12.69

ずれはあるが、等級の大小関係は同じになっていて、観測した最低限の意味はあったかも知れない。しかし、B 星と C 星の等級の差が二つの等級の推定方法で大きく食い違うなど、観測あるいは解析のどこかでミスをしている可能性がある。

7.2 等級誤差から S/N 比を求める

フラックスの定義から

$$f = f_0 \times 10^{-\frac{m \pm \Delta}{2.5} - m} \quad (17)$$

として $f \pm \Delta f$ なる Δf が求められる。実際の計算上は $\Delta m/2.5$ が十分小さいとしてテーラー展開した。ここで S/N 比とは、信号とノイズ (つまり、揺らぎ) の比であるから

$$S/N = \frac{f}{\Delta f} \quad (18)$$

と考えると、等級誤差から S/N 比を求めることができる。

また、システム効率の章に載っている式 4 式 9 等からそれぞれの星について予測される S/N 比を求めることができるので、(n_{sky} の値は 500 として計算した) それらと上で求めた S/N 比をまとめると、以下ようになった。

表から、このレポートの前半で求めた限界等級 11.84 よりある程度明るい星 A などは予想通り S/N 比 15 以上で受かっていることが分かった。

表 4: 観測によって求めた S/N 比と計算して求めた S/N 比

星	観測から求めた S/N 比	計算による S/N 比
A	16.0	15.0
B	7.70	8.87
C	7.29	3.67

8 感想

一応レポートは書いたのですが、まだ頭の中が全然整理されていません。一緒に観測した二人はいつもやること分かっててすごかったと思います。しかしこの実習を通して少しは IRAF に親しむことができました。何度も寒い中観測につきあって下さり、ありがとうございました。