

小望遠鏡による基礎観測実習レポート

橋場 康人
(学生証番号 s092008)

平成22年1月30日

概要

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った。その観測データから望遠鏡のシステム効率と限界等級を求める。

1 システム効率

1.1 システム効率とは

天体から望遠鏡に入射した光子のうち、CCDカメラで電荷となって読出されたものの割合のこと。

1.2 システム効率を求める式

天体から望遠鏡に入射した光子の数を s_i (個/s) とすると、

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

D : 望遠鏡の口径
F_λ : 天体からのフラックス
Δλ : フィルターの波長範囲

と表わせる。また、CCDで生じた電荷の数を n_i (e⁻/s) とすると、

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

N : 画面上でのカウント
f_{conv} : コンバージョンファクター
t : 積分時間

と表わせる。以上の式を用いて、システム効率 η は、

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

で求められる。

1.3 実際にシステム効率を求める

1.3.1 s_i を求める

今回用いた望遠鏡とフィルターから、

$$\begin{aligned} D &: 30(\text{cm}) \\ \lambda &: 500(\text{nm}) \\ \Delta\lambda &: 160(\text{nm}) \end{aligned}$$

が決まる。また、 m_v 等級の F_λ は、0 等級の $F_{0\lambda}$ を用いて、

$$F_\lambda = 10^{-0.4m_v} F_{0\lambda} \quad (4)$$

と表わせる。今回観測した天体はカシオペア座 β 星で $m_v = 2.27$ 等級。また、調べによると、 $F_{0\lambda} = 3.55 \times 10^{-9} (\text{erg/s/cm}^2/\text{\AA})$ より、 F_λ は、

$$F_\lambda \simeq 4.38 \times 10^{-16} (\text{J/s/cm}^2/\text{nm}) \quad (5)$$

となる ($1\text{erg}=10^{-7}\text{J}$)。以上と、 $h = 6.62 \times 10^{-34} (\text{J} \cdot \text{s})$ を式 (1) に代入して、 s_i は、

$$s_i = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \frac{\lambda \Delta\lambda F_\lambda}{ch} \quad (6)$$

$$= 3.14 \times \left(\frac{30}{2}\right)^2 \times \frac{500 \times 10^{-9} \times 160 \times 4.38 \times 10^{-16}}{2.99 \times 10^8 \times 6.62 \times 10^{-34}} \quad (7)$$

$$\simeq 1.33 \times 10^8 (\text{個/s}) \quad (8)$$

と求まる。

1.3.2 n_i を求める

今回の観測では、同じ天体を、少しずつ位置を変えて、3箇所それぞれ4枚ずつ、露出時間 $t = 0.1(\text{s})$ で連続して撮影した。

最初の位置で撮影したデータをそれぞれ A1、A2、A3、A4。2回目の位置で撮影したデータをそれぞれ B1、B2、B3、B4。3回目の位置で撮影したデータをそれぞれ C1、C2、C3、C4 とする。それぞれのデータは、IRAF を用いてフラットフィールドニングを行い、背景光と CCD 自体の影響を除去するため、違う位置に天体が映っているデータを平均して引く処理を行った (A1~4 は B のデータ平均を、B1~4 は C のデータ平均を、C1~4

は B のデータ平均を引いた)。それぞれのデータで、スカイを引いた apertur 内のフラックスカウントは以下のようになった。

	FWHM	apertur	annulus	フラックスカウント
A1	5.19	12 (15) (16) (17)	18	402914.2 (411187.8) (413274.3) (414557.2)
A2	5.47	12	18	371258.7
A3	5.31	12	18	372604.7
A4	5.89	12	18	396478.2
B1	6.49	13 (15) (17)	20	402119.2 (411409.4) (416464.1)
B2	4.46	10	15	344341.9
B3	7.51	15	20	356736.6
B4	6.01	15	20	375156.9
C1	10.34	21 (22) (23) (25) (27)	32	439166.8 (439332.2) (441505.5) (441910.2) (443363.5)
C2	7.29	16	25	364837.7
C3	6.18	15	20	393447.1
C4	6.15	15	20	378281.8

表 1

それぞれのデータのフラックスカウントを平均すると、 $N = 383111.98(\text{ADU})$ になる。また、過去のレポートをもとに、 $F_{conv} = 1.31(e^-/\text{ADU})$ とする。以上を式 (2) に代入して、 n_i は、

$$n_i = \frac{383111.98 \times 1.31}{0.1} \quad (9)$$

$$\simeq 5.01 \times 10^6 (e^-/s) \quad (10)$$

と求まる。

1.3.3 システム効率 η を求める

式 (3) に (8)、(10) を代入して、 η は、

$$\eta = \frac{5.01 \times 10^6}{1.33 \times 10^8} \quad (11)$$

$$= 0.0376691 \quad (12)$$

$$\simeq 0.038 \quad (13)$$

と求まる。

2 限界等級

2.1 限界等級とは

S/N(ノイズに対して信号がどの程度来ているか)を評価したとき、それが一定の値を超える最大の等級のこと。通常光赤外では、 $S/N = 5$ を超えれば検出できた、とすることが多い。

2.2 S/Nの式

S/Nの式は、

$$S/N = \frac{n_i t}{N_{noise}} \quad (14)$$

また、 N_{noise} は、

$$N_{noise} = \sqrt{n_i t + m n_{sky} t + m n_{dark} t + m N_{read}^2} \quad (15)$$

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
 m : 像の広がったピクセル数

と表わせる。

2.3 実際に限界等級を求める

2.3.1 N_{noise} を求める

まず、 n_{sky} を求める。今回の観測では、曇の空を露出時間 $t = 10(s)$ で撮ったデータを、フラットフレームとしてダーク処理を行った。 $1pixel$ の平均カウントが、 $N = 10432(ADU)$ になったので、式(2)より、 n_{sky} は、

$$n_{sky} = \frac{N f_{conv}}{t} \quad (16)$$

$$= \frac{10432 \times 1.31}{10} \quad (17)$$

$$\simeq 1366(e^-/s/pix) \quad (18)$$

と求まる。次に、 n_{dark} であるが、これは他に比べ小さいので、 $n_{dark} \simeq 0$ とする。

また、 N_{read} は、過去のレポートを参考に $N_{read} = 8.4(e^-/pix)$ とする。

最後に、 m であるが、表1の $apertur$ の平均が $14(pix)$ なので、 $apertur$ 面積と同じ m は、

$$m = \pi \times 14^2 \quad (19)$$

$$\simeq 615(\text{pix}) \quad (20)$$

と求まる。露出時間 $t = 0.1(\text{s})$ として、以上を式 (15) に代入して、 N_{noise} は、

$$N_{noise} = \sqrt{n_i \times 0.1 + 615 \times 1366 \times 0.1 + 0 + 615 \times 8.4^2} \quad (21)$$

と求まる。

2.3.2 n_i を求める

S/N=5 と設定して、式 (14) に (21) を代入すると、式 (14) は、

$$5 = \frac{n_i \times 0.1}{\sqrt{n_i \times 0.1 + 615 \times 1366 \times 0.1 + 0 + 615 \times 8.4^2}} \quad (22)$$

となり、変形すると、

$$n_i^2 - 250n_i - 3.185 \times 10^8 = 0 \quad (23)$$

と 2 次方程式になるので、これを解いて n_i は、

$$n_i = 35819.0121 \quad (24)$$

$$\simeq 3.6 \times 10^4 (e^-/s) \quad (25)$$

と求まる。

2.3.3 s_i を求める

式 (3) に (12) と (24) を代入すると、 s_i は、

$$s_i = \frac{n_i}{\eta} \quad (26)$$

$$= \frac{35819.0121}{0.0376691} \quad (27)$$

$$= 950885.7951 \quad (28)$$

$$\simeq 9.5 \times 10^5 (\text{個}/s) \quad (29)$$

と求まる。

2.3.4 F_λ を求める

式 (6) にそれぞれの値と (28) を代入すると、

$$950885.795 = 3.14 \times \left(\frac{30}{2}\right)^2 \times \frac{500 \times 10^{-9} \times 160 \times F_\lambda}{2.99 \times 10^8 \times 6.62 \times 10^{-34}} \quad (30)$$

よって、 F_λ は、

$$F_\lambda \simeq 3.33 \times 10^{-18} (\text{J/s/cm}^2/\text{nm}) \quad (31)$$

と求まる。

2.3.5 限界等級 m_v を求める

式 (4) に $F_{0\lambda} = 3.55 \times 10^{-9} (\text{erg/s/cm}^2/\text{\AA}) = 3.55 \times 10^{-15} (\text{J/s/cm}^2/\text{nm})$ と (31) を代入すると、

$$3.33 \times 10^{-18} = 10^{-0.4m_v} \times 3.55 \times 10^{-15} \quad (32)$$

よって、限界等級 m_v は、

$$10^{0.4m_v - 3} = 1.066066 \quad (33)$$

$$0.4m_v - 3 = 4.066066 \quad (34)$$

$$m_v = 10.165165 \quad (35)$$

$$\simeq 10 \quad (36)$$

と求まる。

3 考察

限界等級を求める際、 n_{sky} を曇の空を露出時間 $t = 10(s)$ で撮ったデータを用いて $n_{sky} \simeq 1366(e^-/s/pix)$ として計算を行ったが、天体を撮った時の n_{sky} は、もう少し小さかったと考えられる。そこで、 $n_{sky} \simeq 250(e^-/s/pix)$ として限界等級を求めてみたところ、

$$n_i \simeq 2.4 \times 10^4 (e^-/s)$$

$$s_i \simeq 6.5 \times 10^5 (\text{個}/s)$$

$$F_\lambda \simeq 2.27 \times 10^{-18} (\text{J/s/cm}^2/\text{nm})$$

$$m_v \simeq 11$$

となった。これより、限界等級は $m_v \simeq 10$ よりもう少し大きい考えられる。

4 感想

一度だけの観測でしたが、自分達で望遠鏡を動かして、実際に天体の画像を撮影するという貴重な体験ができて良かったです。

お忙しい中、何度も時間を割いて頂き、丁寧に指導して下さいまして有難うございました。