

基礎天文学観測 レポート

小望遠鏡による基礎観測実習 ～東京でどこまで観測できるか？～

聖川昂太郎

05-162007

理学部天文学科 3年

観測実施日 2016年11月18日,11月25日,12月16日

2017年1月31日 火曜日

1 実習の目的

本実習ではタカハシ社 μ -210 を用いて適当な恒星を撮像し，限界等級を求めた。

2 観測

2.1 観測機器

上述の望遠鏡，タカハシ社 μ -210 (口径 $D = 210\text{mm}$ ，焦点距離 $f = 2415\text{mm}$) に CCD カメラ，Finger Lake Instrumentation 社 Proline PL4021 (ピクセルサイズ $7.4\mu\text{m} \times 7.4\mu\text{m}$) を設置し観測した。上記データよりピクセルスケールは，

$$\frac{7.4 \mu\text{m}/\text{pix}}{2415 \text{ mm}} = 0.632 \text{ arcsec}/\text{pix}$$

である。実習で用いたフィルタは B,V,R,I であるが，以下では I バンドでの解析について記す。Web から得られるフィルタの透過率，及び CCD の量子効率のデータを図 1 にプロットし，これから中心波長 $\lambda_{\text{eff}}^{(I)}$ ，半値全幅 $\Delta\lambda^{(I)}$ ，平均透過率 $T_{\text{eff}}^{(I)}$ を求め，表 1 に纏めた。

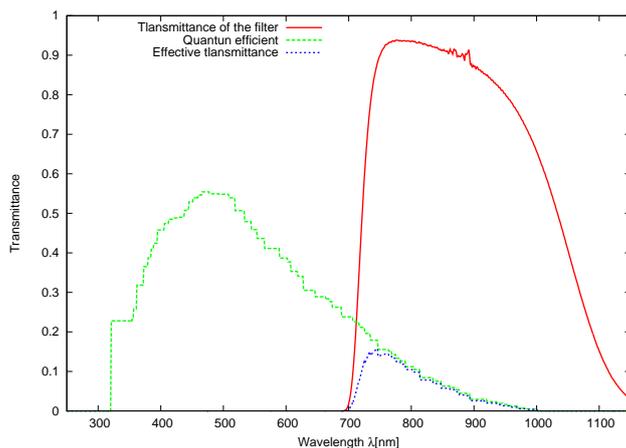


図 1 I バンドの実効透過率

中心波長 $\lambda_{\text{eff}}^{(I)}$	796nm
半値全幅 $\Delta\lambda^{(I)}$	96nm
平均透過率 $T_{\text{eff}}^{(I)}$	0.127

表 1 本システムにおける実効透過率の評価

2.2 観測天体

11 月下旬から 12 月上旬の 19 時前後に三鷹市から容易に観測できる天体として α Per，及び γ Cet を選んだ。加えて後者は，用いた全てのフィルタにおける等級データが存在する点でも本実習の観測天体として相応しい。

3 解析

3.1 ピクセルスケール

得られた画像からもピクセルスケールを求めた。図 2 に示された恒星間の距離をそれぞれの赤経赤緯から計算すると 769.9arcsec であり、一方画像上の距離は 1224.3pix であった。これよりピクセルスケールは、

$$\frac{769.9 \text{ arcsec}}{1224.3 \text{ pix}} = 0.629 \text{ arcsec/pix}$$

ピクセルサイズと鏡筒の焦点距離から求めた値 0.632arcsec/pix に対する相対誤差は 0.47% となる。尚、ここで用いた赤経赤緯はフリーソフトウェア Stellarium に掲載されている J2000.0 分点のものである。

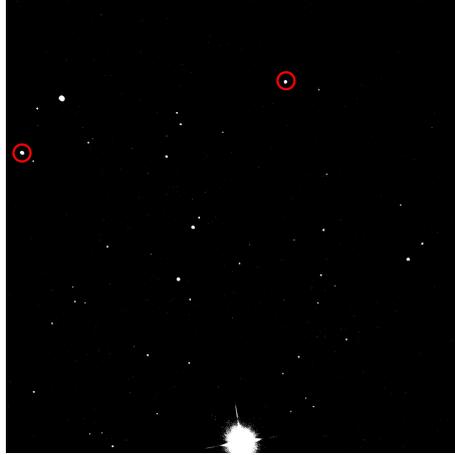


図 2 α Per 下部中央付近に位置する星が α Per. 赤い丸で囲んだ恒星をピクセルスケールの計算に用いた。赤経赤緯は左側の恒星で (3h26m3.1s, 49°47'54.3''), 右側で (3h25m18s, 49°37'20.7''). 一方ピクセルでの座標はそれぞれ (72,691), (1254,372).

3.2 システム効率

本実習では積分時間 $t = 1\text{s}$ で γ Cet を 20 回撮像した。この内前半 10 回と後半 10 回では視野内の別の位置に星を収めたが、後半の画像からバイアスを引くと負のカウントが多く見られたため解析には用いなかった。IRAF で測光し得られたカウント値を単純平均すると $N_{\gamma\text{Cet}}^{(1)} = 5.43 \times 10^5 \text{ADU}$ となり、単位時間あたりに CCD で生じた電荷の個数は、

$$n_i = \frac{N_{\gamma\text{Cet}}^{(1)} f_{\text{conv}}}{t} = 5.14 \times 10^5 \text{ e}^-/\text{s}$$

但し $f_{\text{conv}} = 0.947\text{e}^-/\text{ADU}$ はコンバージョンファクターである。

γ Cet の I バンドでのフラックス $F_{\gamma\text{Cet}}^{(1)}$ は I バンドでの等級 $m_{\gamma\text{Cet}}^{(1)} = 3.32$, 及び Vega の I バンドでのフラックス $F_{\text{Vega}}^{(1)} = 1.11 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$ を用いて

$$F_{\gamma\text{Cet}}^{(1)} = F_{\text{Vega}}^{(1)} 100^{-m_{\gamma\text{Cet}}^{(1)}/5} = 5.22 \times 10^{-10} \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$$

と計算できる。 $m_{\gamma\text{Cet}}^{(1)}$ の値は simbad に、 $F_{\text{Vega}}^{(1)}$ は本原教官から拝領した資料に記載されている値を使用した。これより単位時間あたりに天体から望遠鏡に入射した光子数は、

$$s_i = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \frac{\Delta\lambda^{(1)} F_{\gamma\text{Cet}}^{(1)}}{h\nu^{(1)}} = 6.94 \times 10^6 \text{ photons/s}$$

但し h は Planck 定数で, $\nu^{(1)}$ は $\lambda_{\text{eff}}^{(1)}$ から求めた. これよりシステム効率は,

$$\eta = \frac{n_i}{s_i} = 0.074 \text{ e}^-/\text{photons}$$

3.3 等級原点

等級原点は単位時間あたりに単位カウントを生じさせる等級を意味し, $n_i \propto s_i \propto F_\lambda$ なので

$$Z_{\text{mag}}^{(1)} = m_{\gamma\text{Cet}}^{(1)} + 2.5 \log_{10} \frac{N_{\gamma\text{Cet}}^{(1)}}{t} = 17.7 \text{ mag}$$

3.4 空の背景光

複数枚の画像における sky のカウント値の平均は $N_{\text{sky}}^{(1)} = 15.1 \text{ ADU}/\text{pix}^2 = 37.8 \text{ ADU}/\text{arcsec}^2$ であったため, CCD で生じた背景光由来の電荷の数は $n_{\text{sky}} = 35.8 \text{ e}^-/\text{s}/\text{arcsec}^2$. よって光子数は,

$$s_{\text{sky}} = \frac{n_{\text{sky}}}{\eta} = 4.84 \times 10^2 \text{ photons}/\text{s}/\text{arcsec}^2$$

等級は,

$$Z_{\text{mag}}^{(1)} - 2.5 \log_{10} \frac{N_{\text{sky}}}{t} = 13.8 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$$

3.5 限界等級

星が検出できたか否かということは以下の式で定義される S/N を用いて評価する.

$$S/N = \frac{n_i t}{N_{\text{noise}}}$$

但し,

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

ここでは $S/N \geq 5$ となれば検出できたとし, 限界等級を求める. 星の広がりには適当に $m = 100 \text{ pix}^2$ とし, 積分時間は $t = 1 \text{ s}$ とする. また背景光の明るさは前述の通り $n_{\text{sky}} = 14.3 \text{ e}^-/\text{s}/\text{pix}^2$ で, 暗電流は $n_{\text{dark}} \sim 0 \text{ e}^-/\text{s}/\text{pix}^2$ とした. 読み出しノイズについては本実習の web ページに掲載されている試験レポート (大沢氏) より $N_{\text{read}} = 12.6 \text{ e}^- \text{ r.m.s.}/\text{pix}^2$ とした. 以上より,

$$n_i = 6.70 \times 10^2 \text{ e}^-/\text{s}$$

これを等級で表すと,

$$Z_{\text{mag}}^{(1)} - 2.5 \log_{10} \frac{n_i}{f_{\text{conv}}} = 10.6 \text{ mag}$$

となる.

次に, 今回観測した γCet について S/N を求めてみる. $n_i \propto s_i \propto F_\lambda$ より,

$$S/N = \left| \frac{F_\lambda}{\delta F_\lambda} \right| = \left| \frac{F_\lambda}{F_\lambda + \delta F_\lambda - F_\lambda} \right| = \frac{1}{|100^{-\delta m/5} - 1|}$$

但し δF_λ , δm はそれぞれフラックス, 等級の誤差である. IRAF で測光した際に得られた等級誤差はどの画像においても 0.002 であったので,

$$S/N = 5.43 \times 10^2$$

となる。一方理論値は、IRAF で測光した際に採用したアパーチャーから星の広がりを $m = 700$ とし

$$S/N = 6.45 \times 10^2$$

と求まる。理論値に対する相対誤差は 16% となっており、この原因の一つは等級の誤差が一桁ということにある。即ち、IRAF で測光した際に得られる等級誤差は端数処理が行われているため、上記の誤差 $\delta m = 0.002$ は $0.0015 < \delta m < 0.0024$ と解釈すると、

$$4.53 \times 10^2 < S/N < 7.24 \times 10^2$$

となり理論値はこの範囲に収まっている。