

# 2008年度 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？～

内山瑞穂 (学生番号 082003)

平成 21 年 1 月 26 日

実習日時：11/17-1/5  
実習場所：東大天文センター  
担当教員：本原

## 概要

センター内の 30cm カセグレン望遠鏡を用いてシステム効率から東京における限界等級の算出、及びその検出を試みる。

今年度は一度観測を行った後鏡洗浄を行い、システム効率がどれほど向上するかも検証した。

## 1 望遠鏡のシステム効率を求める

### 1.1 原理

望遠鏡のシステム効率とは、

『理論的に求められる望遠鏡に天体から入射した光子の数のうち、CCD で実際に電荷となり検出されたものの割合』

のことである。

具体的な数式を、以下に示す。

まず、天体からやってくる光子の数 ( $s_i$ (個/s)) は

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

である。ここで、

$D$  : 望遠鏡の口径

$F_\lambda$  : 天体からのフラックス

$\Delta\lambda$  : フィルターの波長範囲

となっている。

又、CCD で生じた電荷の個数 ( $N_i(e^-/s)$ )

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

である。ここで

$N$  : 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

となっている。以上の式を用いるとシステム効率  $\eta$  は

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

という式で求められる。

## 1.2 観測天体の選択

観測天体は目視及びガイドスコープを用いて望遠鏡の視野内に入れなければならないので、3等級程度までの天体の近くにある5・6等級の天体を観測してシステム効率を測ることになった。

具体的には、今回はカシオペア座の $\beta$ 星の傍にある6等級の星を観測することにした。星の選定には天文センターのパソコンに入っていたソフトウェアを用いた。

また、観測にあたりフィルターを使用した。駿河精機のS76-KG65-1とS76-VG6を組み合わせてV-Bandの代わりにしている。

## 1.3 観測・及びその結果

観測時間と同時間積分したダークフレームで補正を行った後、IRAFを使って天体のカウント数を計測した。以下に積分時間とカウント数の表を示す。(いずれもアパーチャー半径は7ピクセル)

積分時間(秒)	カウント数
1.0	87278
2.0	187818
3.0	275001

今回は一秒あたりのカウント数の中央値である3秒積分の数値を用いる。すると、(1)・(2)・(3)の式より、 $\eta = 2.6\%$  を得る。ここで、

$$0 \text{ 等級での } F_{0\lambda} = 3.92 \times 10^{-12} (w/cm^2/\mu m)$$

$$\Delta\lambda = 160(\mu m)$$

$$f_{conv} = 1.31(e^-/ADU)$$

$$D = 30(cm)$$

として計算を行った。

また、m 等級での  $F_\lambda$  の値は 0 等級での値  $F_{0\lambda}$  を用いて

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

であることを利用した。

さて、これを基にすると、等級原点は

$$Z_{mag} = 6.0 + 2.5 \times \log \frac{n_i}{t} \quad (5)$$

の式より  $Z_{mag} = 18.4$  と求められる。これらの値を使って、更に次章に挙げる限界等級を求めていく。

## 2 限界等級

### 2.1 原理

『一定の時間で、一定の S/N 比を超えると天体が検出できた』とみなす事が出来る。

値の設定は様々だが、今回は検出時間 10 秒で S/N 比が 5 を超えれば検出できたと設定しよう。この時、この条件をクリアする最大の等級が限界等級である。具体的な数式を以下で追っていく。

S/N 比を算出する式は

$$\begin{aligned} S/N &= \frac{n_i t}{N_{noise}} \\ &= \frac{\eta s_i t}{N_{noise}} \end{aligned} \quad (6)$$

である。更に複数素子の場合ノイズ成分  $N_{noise}$  は

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

である。ここで、

$m$ : 像の広がったピクセルの個数

$n_{sky}$  ( $e^-/s/pix$ ): 単素子あたりの検出された背景放射の光子数

$n_{dark}$  ( $e^-/s/pix$ ): 検出器の単素子あたりの暗電流

$N_{read}$  ( $e^- r.m.s./pix$ ): 検出器の単素子あたりの読み出しノイズ

である。

これらの値を用いて限界等級を以下で計算しよう。

### 2.2 限界等級の算出・観測天体の選定

まず (6) 式の  $N_{noise}$  の値を、天体の画像としての大きさを半径 10 ピクセルと仮定して計算する。これによりおおよそ  $m=314$  となる。そしてこれらのうち暗電流によるノイズは他のものに比べて十分に小さいので今回は無視する。

さて、 $n_{sky}$  の値は一章で用いた画像の天体が写っていない領域のカウント数はおおよそ 260 であった。これにコンバージョンファクターを乗じて  $n_{sky} = 350$  を得る。更に、実習用 Web ページのデータから  $N_{read} = 32.3$  とわかる。これらの値を代入し、(5) 式にこの値を用いると、 $s_i$  に関する方程式が得られる。これにより  $s_i = 16020$  ここで、(4) 式は (1) 式から  $F_\lambda$  を

$s_i$  に変えても成立する。これと  $s_{0i} = 1.15 \times 10^9$  を用いて計算するとおおよそ 12.1 等級となる。これが理論的に算出した限界等級である。

これを基にして観測天体を選出する。ALADIN を用いてなるべく B 等級と R 等級の値が等しく、且つ明るい天体と同視野に入るものを選ぶ。今回はカシオペア座の  $\beta$  星付近の 12 等級の天体と、 $\eta$  星付近のそれぞれ 11 等級と 10 等級の計 3 天体を検出対象とした。

また、観測に先立ちシステム効率の向上のために主鏡を洗浄した。

### 2.3 観測・及びその結果

バイアスフレーム、ダークフレーム、更にフラットフレームによる補正を画像に対して行った後、まずはシステム効率がどれだけ変化したかを計算した。

$\beta$  星を用いたところ、天体のカウント数は 0.1 秒間で 39400 であった。これより  $n_i = 516140$  一方、 $s_i = 1.38 \times 10^8$  である。これより、 $\eta = 0.037$  を得た。よって、主鏡の洗浄によりシステム効率がおおよそ 1.4 倍になった事がわかった。

更に、10 秒積分の画像を調べたところ、10 等級の天体は確認できたが、11 等級と 12 等級の天体は検出出来なかった。また、10 等級の天体は等級の誤差が  $\pm 0.1$  等級であり、フラックスの値にこれを変換した上で S/N 比を計算すると 13 となった。

### 3 考察

前章からわかる通り、予想していた天体を今回の観測では検出できなかった。以下、この章ではその原因を主に考察する。

まず、10等級で実測されたS/N比がかなり小さかったので理論値を計算し比較した。結果、背景光の明るさを予想理論値を出した時点での値で計算すると50とかなり大きい、更に背景光を実測値に変更して計算し直すと44と多少少なくなったが依然おおよそ3倍程度の開きがある事がわかる。この原因を考察する。

まず、実際の画像には明確に視認できる背景光の勾配があった。望遠鏡のCCDに望遠鏡の広報から建物などの照明光が入ったものと思われる。これにより画像で背景光が強く入った部分は暗い天体を検出しにくくなる。また、照明の強さが時間によって変動するためか、画像同士の単純な引き算では勾配を取り除くことは出来なかった。来年度はカーテンを用いて背景光を可能な限り遮断する対策する必要があるだろう。

次に、背景光のむらの分布は正規分布を想定しているが、この想定からだいぶ実測値が外れていると理論値どおりのS/N比が得られなくなる。実際、分散の値は、ツールで確認した背景光部分の面積におけるピクセルの数をNとすると、想定される値は $\sigma = \sqrt{N}$ であるはずだが、実測値はこの3倍程度であった。これが今回の観測で限界等級にあたる天体を検出できなかった最も大きな理由であろう。原因はフラットフレームが手作りで不均一であったことと、やはり先述したように背景光に大きな勾配があったことが挙げられる。フラット作りもまた来年度からの課題だろう。望遠鏡の筒の先にキムワイプを被せた状態で懐中電灯の光を撮影したが、更に工夫と改良が必要と思われる。

もう一つ、今回暗い天体を検出できなかった理由の一つに撮像方法がある。例年は、一枚対象天体を撮影した後、少し場所をずらして撮影することで背景光を引き、対象天体の発見を用意にできるようにしていた。今回はそれを行わなかったため、対象天体が視認できなかった可能性が高い。現に、昨年度は洗浄していない主鏡を用いた観測で12等級の天体をこの方法を用いて検出することができていた。S/N比もこの処理を行えばある程度大きくなるだろう。例えばシステム効率が高くなっても、検出器の使い方やデータ処理のやり方次第で得られる結果にかなりの差が出てしまうことがわかった。

また、今回の観測は追尾は電動だが、天体を視野に入れるのは手動だった。このため、最初の観測では誤った天体を観測していた可能性がある。途中でそれに気付いたためシステム効率を計算する天体を探す時は正しい天体を観測することができたが、観測においてはこういった基礎的な間違いを以降起こさないように注意したい。

## 4 感想

東京という都心の夜空を観測する。とりわけ、手動で天体を入れるタイプの望遠鏡で観測する、というなかなか今ではできないような観測を今回の実習で行うことができ、とても貴重な体験ができました。

実際に観測をしてみると、ガイドスコープに天体を入れる時点で最初はかなり大変でしたが、慣れてくると「こう動かせばあの天体が見れるはず」といった見当もつけやすくなれるようになりました。少し前の時代にはこうやって観測していたんだ、ということが身を持って体験できました。同時に、遠隔操作や座標を入れると天体をきちんと視野に入れてくれる現在の仕組みの有難みもひしひしと感じました。

観測では上述したようにミスもありましたが、本当に貴重な体験ができました。実習の指導を担当して下さった本原先生、不手際や知識不足の多い状況の中、丁寧に教えてくださってどうも有難うございました。観測中は物凄く寒いですがやりがいのある実習なので、是非光軸系の修理をして来年以降もこの実習を継続して頂けたらと思います。