

# 小望遠鏡による基礎観測実習 (2004 年度)

平成 16 年 12 月 7 日

## 1 この実習の目的

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います。望遠鏡の基本操作法、赤経・赤緯に基づいた天体観測の基本事項、および CCD 観測の基本技術の一通りを習得することを目指します。

毎年、具体的なテーマを一つ決めて、CCD カメラや望遠鏡の改良を行い、感度の向上をはかる。思った感度向上が得られているかを観測を通して検証することにより、天体観測において最も重要な量の一つである「限界等級」について理解を深めてもらいたいとおもいます。

2004 年度の観測実習では、カメラ/望遠鏡のパラメータから限界等級を計算した上で実際の観測を行って、その限界等級が実現できるかを体験する... 予定だったのですが、そのまえにまずカメラ/望遠鏡のパラメータを出す必要があります。

というわけで今年は

観測から望遠鏡/カメラシステムのシステム効率を出す

を目標に進めます。さらに、このシステム効率がわかれば画像データ 1 ビットが何等級に相当するか (conversion factor) も分かりますので、それも同時に計算してもらいます。

その上で、余力があれば

- 空の明るさを測定
- 限界等級の計算
- 限界等級の実測試験

を行いたいと思います。

なお、望遠鏡等のマニュアル/資料などは

<http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/~kmotohara/30cm/>  
にありますので、事前に目を通しておいてください。

## 2 限界等級

### 2.1 システム効率とは

単純に言ってしまうと、

『望遠鏡に入射した星からの光子のうち、CCD で電荷となって読出されたものの割合』

。

ということで、

天体から望遠鏡に入射した光子数 ( $s_i$ )

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

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

CCD で生じた電荷の個数  $n_i$

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

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

とすると、システム効率  $\eta$  は

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

で求まる。

### 2.2 限界等級 (単素子による検出の場合)

それをふまえた上で、限界等級はどのように定義されるかであるが、一般的には  $S/N$  という量で測る。すなわち、ノイズに対して信号がどの程度来ているかを評価し、それが一定の値を超えれば検出できた、ということにする。通常光赤外では  $S/N = 5$  をこえれば検出できた、とすることが多い模様。

で、その  $S/N$  は

$$\begin{aligned} S/N &= \frac{n_i t}{N_{\text{noise}}} \\ &= \frac{\eta s_i t}{N_{\text{noise}}} \end{aligned} \quad (4)$$

のように書ける。ここで  $N_{\text{noise}}$  はノイズ成分、 $t$  は積分時間。ノイズ成分は入射光子のポアソンノイズと検出器からの読出しノイズでほぼ占められており、

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

と書ける。ここで、 $n_{\text{sky}}$  は単素子あたりの検出された背景放射の光子数、 $n_{\text{dark}}$  は検出器の単素子あたりの暗電流、 $N_{\text{read}}$  は検出器からの単素子あたりの読出しノイズ。

ここまでは、検出器が単一素子の場合を考えた。それでは、CCDのように複数の素子に星像が結像する場合はどうなるのか？

### 2.3 限界等級 (複数素子による検出の場合)

複数素子の場合には複数の素子からのノイズを考慮する必要があるが、それらは統計的に処理すればいい。すなわち、 $m$  個のピクセルに広がった像を検出する場合、ノイズ成分  $N_{\text{noise}}$  は

$$N_{\text{noise}} = \sqrt{mn_i t + mn_{\text{sky}} t + mn_{\text{dark}} t + mN_{\text{read}}^2} \quad (6)$$

となる。

## 3 CCD カメラ

### 3.1 CCD について

- CCDの動作原理は<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~iwamuro/LECTURE/OBS/detector.html>を参照。1
- データについて具体的には西浦版『可視光域データ・リダクション法』を参照。

## 4 観測

### 4.1 観測する星の選出

[http://mthamilton.ucolick.org/techdocs/standards/standards\\_intro.html](http://mthamilton.ucolick.org/techdocs/standards/standards_intro.html) から選びましょう。

等級は場合によっては “Allen’s Astrophysical Quantities” を参照する必要があるかもしれません。

### 4.2 キャリブレーションデータの取得

#### 4.2.1 バイアスとダーク

CCD カメラマニュアル参照。

#### 4.2.2 フラット

望遠鏡鏡筒前面をに白い紙を置き、懐中電灯で照らして取得。数枚とる必要があるだろう。

## 5 データ解析

### 5.1 IRAF の操作

- まず、作業するディレクトリで  
mkiraf  
を実行
- ds9  
を実行して画像ビューワーを立ち上げる
- cl  
で IRAF を立ち上げる。

以下、IRAF の様々なコマンドたち。() で囲った引数は必須、[] はオプション。オプションは一部しか書いていないので、詳しいことは

epar (command) で引数のチェック  
help (command) でヘルプ  
などでチェック。

主なコマンドは以下のようなものがある。詳しくは参考リンクを見るか、聞いてください。

- display (filename) (frame) [fi+] [zr-] [zs-] [z1=xxxxx] [z2=xxxxx]  
画像を ds9 の (frame) に表示する。  
  
fi+で全画面表示。  
zr- zs-とすると自動スケールが off になって、z1=xxxx z2=xxxx で表示スケールを指定する必要がある。
- imexam (filename)  
画像の統計量を調べる
- imcombine (filelist) (output)  
(filelist) で指定したファイルをすべてたし合わせて平均する (オプションで和にもできる)。(filelist) は
  - \* filename1,filename2,filename3,...  
のようにコンマで書き連ねるか、
  - \* ファイル名リストを羅列した filename.list のようなファイルを用意して  
@filename.list  
のように指定してもいい。
- imarith (filename1) (+-\*/) (filename2) (output)  
(filename1) と (filename2) の加減乗除 (+-\*/) を行う。
- imexam [filename]  
(filename) で指定したファイルの性質をインタラクティブに調べる。ds9 上にカーソルを持って行き、そこでキーボードを操作することによって実現する。たとえば、
  - \* a カーソル位置にあるピークの統計を調べる。FWHM、フラックス、バックグラウンドレベルなど。

- \* e カーソル位置のコントラストを描く。
- \* z カーソル位置周辺のピクセルの値の一覧を出す。
- \* m カーソル位置周辺のピクセルの統計値を計算する
- \* q 終了

等

## 5.2 解析の実際

西浦版『可視光域データ・リダクション法』を参照。

実際に行うことは、

- データのバイアス引き、ダーク引き、フラットフィールドを行う
- imexam で星からのフラックス量を算出。
- それを電子数に換算して  $n_i$  を算出
- それと計算から出る  $s_i$  を比較してシステム効率と conversion factor を出す

という流れになる。