

小望遠鏡による基礎観測実習

満田 和真

2011年2月1日

1 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 観測の基本技術を習得する。
また、更新した観測機器の性能を測定する。

2 概要

東大天文センターの 30cm カセグレン望遠鏡で星を撮影し以下のことを行う。

1. システム効率の算出
2. ピクセルスケールの算出
3. 等級原点の算出
4. 空の背景光の算出
5. 限界等級に関する考察

3 観測装置

数値等は本実習 Web ページ^{*1} による。

3.1 TCT30cm 望遠鏡

架台方式	焦点	口径	焦点距離
赤道儀	カセグレン	300mm	5000mm(F16.7)

3.2 CCD カメラ

Finger Lake Instrumentation 社製 Proline PL4021

フォーマット	アレイサイズ	ピクセルサイズ
2048 × 2048	15.2 mm × 15.2 mm	7.4 μm × 7.4 μm

^{*1} <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kmotohara/30cm/>

Full Well	Conversion Factor
40000 e^{-1}/pix	$\approx 1 e^{-1}/\text{ADU}$

3.3 フィルタ

駿河精機の市販品を用いた。解析においては、中心波長 525nm、帯域幅 150nm でバンドパスを方形近似した。

4 観測スケジュール

1. 11月25日 準備：望遠鏡、ドームの整備、ドームフラットの撮影
2. 12月02日 スカイフラットの撮影
3. 12月09日 CCDの位置の決定、観測
4. 01月06日 解析

5 スカイフラット

ドームフラットの撮影ではドームを均一に照らすことに難があり、均一の画像を得ることができなかった。しかし、そこで曇り空による夜光を利用して均一な画像を得ることができた。このスカイフラットをフラットとして画像処理に用いた。

6 CCDの位置の決定

CCDの位置は手作業によってあわせているため、どの程度正確にCCDが焦点面に乗っているか定かではない。木星を撮影し、最も鮮明に写る位置を探った。最終的に位置を確定したときに撮影した画像には木星の縞と衛星らしきものが2つ映っている。

7 観測

観測は

1. はくちょう座 α 星 デネブ
↓
2. はくちょう座 β 星 アルビレオ
↓
3. アンドロメダ座 α 星 アルフェラッツ
↓
4. ダークの撮影

の順に行った。なお晴天のためフラットは前回撮影したスカイフラットをフラットとして用いた。

8 観測結果と解析

8.1 アルフェラッツによるシステム効率の算出

システム効率を実際に観測されたカウント数と星の等級から求める。
アルフェラッツの等級は 2.06 等なのでフラックス密度は、

$$2.5 \log f_\nu = 2.5 \log 3.69 \times 10^{-9} - 2.06$$

により計算され、実際に望遠鏡に入るトータルフラックスは、

$$f_{AL} = 3.69 \times 10^{-9} \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \pi \times 1500 \times 10^{\frac{2.5}{2.06}}$$

となり、

$$f_{AL} = 5.9 \times 10^{-11} \text{ J}$$

ここで、望遠鏡の口径 $D = 0.3\text{m}$ 、フィルターは中心波長 525nm、帯域幅 150nm とした。
また、波長 525nm の光子 1 個のエネルギーは

$$E_p = \frac{hc}{\lambda} = 3.7 \times 10^{-19} \text{ J}$$

であるので、望遠鏡に入る光子の数は

$$s_i = \frac{f_{AL}}{E_p} = 1.5 \times 10^8$$

一方、アルフェラッツを撮影して得られたカウント数は $N = 8.7 \times 10^6$ であり、積分時間 0.5 秒、資料*2 から Conversion Factor $C = 1$ であるから、発生した光子数は

$$n_i = N \times \frac{1}{0.5} \times C = 1.7 \times 10^7$$

したがってシステム効率 η は

$$\eta = \frac{n_i}{s_i} = 0.11$$

となる。

8.2 アルビレオによるピクセルスケールの算出

アルビレオは $\theta = 34.51\text{arcsec}$ 離れた実視連星である。アルフェラッツは CCD 上のピクセルにして、 $d = 126\text{pix}$ 離れている。従ってこのシステムのピクセルスケールは

$$S_p = \frac{\theta}{d} = 0.27\text{arcsec}/\text{pix}$$

となる。

*2 <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kmotohara/30cm/camera/1005.pdf>

8.3 等級原点の算出

等級原点 Z_{mag} は、あるシステムで1秒間の露出で1カウントの信号を生じさせる天体の等級のことである。今、2.06等のアルフェラッツから1秒間に 1.7×10^7 のカウントが得られている。したがって、このシステムの等級原点は

$$Z_{mag} = 2.06 + 2.5 \times \log 1.7 \times 10^7 = 20.1$$

となる。

8.4 空の背景光の算出

アルフェラッツの画像データで、星の映っていない領域 $700 \times 700 \text{pix}^2$ から0.5秒の積分で 8.6×10^3 カウントが得られた。ここで、

$$700 \times 700 \text{pix} = 700 \times 700 \times 0.27^2 \text{arcsec}^2$$

となるので、光の量 n_{sky} は

$$n_{sky} = \frac{8.6 \times 10^3 \times 2}{700 \times 700 \times 0.27^2} = 0.47 \text{photons/s/arcsec}^2$$

また、これを等級に直すと、

$$Z_{sky} = 2.06 + 2.5 \times \log \frac{1.7 \times 10^7}{0.47} = 21.0 \text{mag/arcsec}^2$$

8.5 限界等級の算出

m個のピクセルについてのノイズは

$$N_{noise} = (n_i t + m n_{sky} t + m n_{dark} t + m N_{read}^2)^{1/2}$$

となるが、ここでは積分時間一秒あたり、 arcsec^2 あたりで $S/N = 5$ となる n_i を求める。まず、 1arcsec^2 に相当する画素数 m は

$$m = \frac{1}{0.27^2} = 13.7 \text{pix}$$

また、後述するがこの観測では $n_{dark} \approx 0$ としている。さらに資料*3から $N_{read} = 12e^-/\text{pix}$ を採用すると、限界等級の算出は、

$$5 = \frac{n_i}{(n_i + 13.7 \times 0.46 + 13.7 \times 0 + 13.7 \times 12^2)^{1/2}}$$

を解けば良い。これを解くと

$$n_i \approx 240 \text{photons/s/arcsec}^2$$

*3 <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kmotohara/30cm/camera/1005.pdf>

これを等級に直すと、

$$Z_{lim} = 2.06 + 2.5 \times \log \frac{1.7 \times 10^7}{240} = 14.2 \text{mag/arcsec}^2$$

となる。一応積分時間 100 秒でも計算しておくとして、

$$5 = \frac{n_i \times 100}{(n_i \times 100 + 13.7 \times 0.46 \times 100 + 13.7 \times 0 + 13.7 \times 12^2)^{1/2}}$$

を解いて

$$n_i \approx 0.25 \text{photons/s/arcsec}^2$$

限界等級は

$$Z_{lim} = 2.06 + 2.5 \times \log \frac{1.7 \times 10^7}{0.25} = 21.6 \text{mag/arcsec}^2$$

9 ダークとバイアスに関する考察

この実習ではダークとバイアスを観測の最後に取得したが、結果に不審な点が見られた。まずバイアスは、カウント数の変動で値が負にならないよう調整している値であってほぼ一定のはずである。またダークは温度が一定の場合カウント数は時間に比例して増えるはずである。

ところが、今回得られた結果ではダークのカウント数が積分時間に比例して減るといった現象が見られた。以下にデータを示す。

データ	バイアス	ダーク 0.1 秒	ダーク 0.5 秒
平均カウント数	2324	2350	2326
温度 [K]	228.8	261.5	233.6
		ダーク 1 秒	ダーク 100 秒
		2320	2089
		230.4	228.8

それぞれの画像のヘッダ情報から、積分時間などの操作手順を誤ったということではなく、温度依存性も原因とは考えにくい。ダークのカウント数が積分時間に比例して減るといった現象の原因は全くわからないが資料をあたっているとバイアスは時間変化するという記述^{*4}があったが定かではない。この結果を見ると時間に比例してカウント数が減少するような「ダークカレント」のようなものがあるのか、いずれにせよ案電流の効果は毎秒 2 カウントすなわち $2e^-/s/pix$ 程度で小さいと考えた。実際、資料^{*5}によれば 230K 程度では $1e^-/s/pix$ 程度である。

以上のことから、解析でのダーク引きはすべてバイアスフレームを用いて行った。

以上

^{*4} <http://1601-031.1.hiroshima-u.ac.jp/hbs/CCDcamera/andor-test/main.html>

^{*5} <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kmotohara/30cm/camera/KAI-4021ProductSummary.pdf>