

基礎天文学観測 1,2 テーマ7 本原先生担当分  
「小望遠鏡による基礎観測実習」

理学部天文学科 3年 森 珠実  
(学生証番号 05092009)

平成 22 年 1 月 12 日

## 概要

東大天文センターの 30cm カセグレン望遠鏡を用いて、5 日にわたって CCD カメラにより基本的な天体観測、解析を行った。望遠鏡の基本操作、天体観測の基本事項、および CCD 観測の基本技術の習得が最終的な目標であった。具体的には、2 日に分けて、観測を行い、全部で 5 天体とその周辺画像を撮影、解析することができた。まず、最初の観測から、簡単な解析を行い、システム効率、限界等級を求めた。そして、2 回目の観測によって、この限界等級が正しいかどうかを確認した。

## 1 観測

## 1.1 観測装置の特徴

観測装置について、実習用 HP からまとめた。

## 1. 30cm 望遠鏡

## (a) 鏡筒

30cm 反射望遠鏡、カセグレン式焦点を持つ。ガイド望遠鏡 (青い筒) とファインダー望遠鏡 (白い筒) がついており、これで星を導入する。表 1 にこの望遠鏡の特徴をまとめた。

表 1: 鏡筒の特徴

口径	D= 300[mm]
焦点距離	5000[m] (F16.7)
プレートスケール	41 [arcsec/mm]

## (b) 架台

ニコン製 (?) のドイツ式赤道儀。ハンドセットで制御可能。

## 2. CCD カメラ

Spectra Source Instruments 社製 MCD-1000。中にある CCD は SITe 社の SI-502AB という裏面照射の CCD である。CCD の仕様は表 2 の通り。

## 3. 制御 PC

富士通 FM-V + Windows 98 と CCD カメラの TEC コントロールユニットを併せて使用。

## 4. フィルター

標準のフィルターシステムのフィルタは特注品になってしまうし、高くても手が出ないので、駿河精機の表 3 にあるようなフィルタを 2 枚重ねて、だいたい V-band のフィルターの代用とする。このときの感度曲線は図 1 のよう。

表 2: CCD カメラの特徴

フォーマット	512 x 512	
アレイサイズ	12.3[mm] x 12.3[mm]	
ピクセルサイズ	24[um] x 24[um]	
Full Well	250,000 [e-/pixel]	
読み出しノイズ	$\approx 10$ e-	at180[K]
暗電流	12.75 [e-/sec/pixel]	at 240[K]
	0.0046 [e-/sec/pixel]	at 160[K]
量子効率	68[%]	at 450[nm]
	75[%]	at550[nm]
	80[%]	at650[nm]
CTE	0.99999	
出力数	2	
Conversion Factor	1.3 [e-/ADU]	2007 年度実習結果
読み出しノイズ	32.3 [e-]	at261[K], 現ハワイ観測所の表さん実測
暗電流	9 [e-/sec/pixel]	
ピクセルスケール	0.99["/pixel]	望遠鏡に取り付けた際のパラメータ
視野	8.45['] x 8.45[']	

表 3: フィルター

青緑透過フィルタ	S76-VG6
赤外線カットフィルタ	S76-KG5-1

## 1.2 第一回観測 (12月4日)

初日の事前セミナーなどを終え、観測を始めて行ったのは12月4日であった。この日は雲が多く、特に夜からは雲が多く流れていた。この観測は雲の晴れ間1時間ほどの間におこなったものである。

観測天体としては、4天体を撮影することに成功した。それぞれ、OBJECT 1、2、3、4とおく。これらの詳細は、表4に記載。(以下、詳細な値は全て Aladin Sky Atlas から引っ張ってきている。)これらの星は全てカシオペア座の星で、なぜこれらを選択したかという、望遠鏡の周りは木々が生い茂り、高い位置の星でないといけない天文センター方面の空は、明るすぎて選択不可能。明るすぎる星ではサチレーションを起こす、などの理由からである。観測時間ごろにこれらの条件と合致し、かつ、探しやすく、手動で導入するのが平易なものとすると、これらの星たちだったのである。

観測は、手動で星を導入、CCDで撮影、積分時間、天体の位置は適当であるかの確認ののち、位置を移動させて何回か撮影(スカイ引きのため)、それを4天体に対し繰り返した。最後に、それまでに撮影した画像の積分時間に対応する dark frame、それと flat 校正のための flat frame と bias frame を撮影した。このときの観測記録をまとめたものが、表5となる。天体の撮影の際には、multi

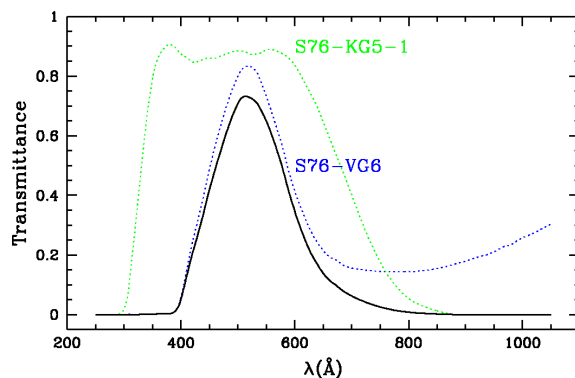


図 1: フィルターの波長による感応曲線

frame という、連続的に何枚もの画像を撮影してくれるツールを主に利用した。

おかしな迷光があったのだが、鏡筒からの照り返しであり、段ボール箱で光を抑えると、消えた。multiframe 2-1 からはそれに気づきその分の迷光は消した。また、multiframe 1-2 ~ 4,7 と 2-1,2 は条件が良くないので解析には使用しなかった。ので、改めて、multiframe 1-1,5,6 を multiframe 1-1,2,3 として、multiframe 2-3,4 を multiframe 2-1,2 として置く。

表 4: 12月4日の観測天体

OBJECT 名	天体	RA	DEC	Vmag[mag]	備考
OBJECT1	Cas $\epsilon$	01:54:23	+63:40:12.4	3.342	
OBJECT2	Cas $\eta$	00:49:06.29	+57:48:54.7	3.45	二重星
OBJECT3	HIP 2854	00:36:08.31	+54:10:06.4	5.075	横に暗い星あり
OBJECT4	Cas $\zeta$	00:36:58.28	+53:53:48.9	3.666	

### 1.3 第二回観測 (12月23日)

23日に、4日に行った観測の解析を最後まで、一通り行い、システム効率、限界等級を大雑把に求めた。(この導出、詳しい値の説明は次章に譲る。)ここで求めた限界等級が、確かであることを調べるため、限界等級あたりの暗い星を撮影することを考える。もちろん手動で導入することは難しいので、観測可能な領域で、明るい星の横に、ちょうど限界等級辺りの星があるような状況を探す。この星たち間の距離は、frame がだいたい  $7' \times 7'$  であることから、だいたい  $4'$  以内に収めたい。

そこで見つけたのが、ぎょしゃ座の  $\beta$  星近くの 10.6 等級の星である。大北君の計算によると、だいたい 10.8[mag] で積分時間 10[s] に対し、 $S/N=10$  となる、とあったのでちょうどよい天体に思えた。(私は 1[s] での値しか求めていなかったが、このとき求めた限界等級は 10.4[mag]、大北君は、10.2[mag] だった。)そして、これらの星の間の距離は  $3'$  程度で、十分近い。条件によく合致していたので、この星の辺りを観測することにした。天体の詳細は、表 6 にまとめた。

実際の観測であるが、表 7 にまとめた。まず、1[s] で撮影して、だいたいの感触を見てから 10[s] で位置をずらし、一枚ずつ撮影していった。その直後 darkframe を撮影し、観測を終了させた。天

表 5: 12月4日の観測記録

group 名	frame 数	OBJECT	$t_{exp}$ [s]	天気	備考
multiframe 1-1	4	OBJECT1	0.1	雲間から	一番いい天気
multiframe 1-2(不使用)	8	OBJECT1	0.1	雲り	ひどい雲
multiframe 1-3(不使用)	8	OBJECT1	0.1	雲り	ひどい雲
multiframe 1-4(不使用)	4	OBJECT1	0.1	雲り	ひどい雲と PC の光
multiframe 1-5( 1-2)	8	OBJECT1	0.1	雲なし?雲間から	
multiframe 1-6( 1-3)	8	OBJECT1	0.1	雲なし?雲間から	位置ずらす
multiframe 1-7(不使用)	8	OBJECT1	0.1	雲がかすめた	再度位置ずらす
biasframe	5	bias	0	関係ない	
darkframe	5	dark	0.1	関係ない	0.1[s] 用
multiframe 2-1(不使用)	4	OBJECT2	0.1	雲なし?雲間から	星 frame 外. 以下迷光減
multiframe 2-2(不使用)	4	OBJECT2	0.1	雲なし?雲間から	星 frame 外
multiframe 2-3( 2-1)	4	OBJECT2	0.1	白っぽい空	
multiframe 2-4( 2-2)	4	OBJECT2	0.1	白っぽい空	位置ずらす
multiframe 3-1	4	OBJECT3	1.0	白っぽい空	積分時間変えた
multiframe 3-2	4	OBJECT3	1.0	白っぽい空	位置ずらす
multiframe 4-1	4	OBJECT4	0.1	白っぽい空	
multiframe 4-2	4	OBJECT4	0.1	白っぽい空	位置ずらす
flatframe	8	flat	20	関係ない	ドームに光あて撮影
darkframe	5	dark	1.0	関係ない	1.0[s] 用
darkframe	5	dark	20.0	関係ない	20.0[s] 用

気は快晴で、雲ひとつなく、東京にしてはかなりよく星が見えていたように思える。解析には結局 frame aur は用いなかった。

表 6: 12月23日の観測天体

OBJECT 名	天体	RA	DEC	V band magnitude[mag]	備考
OBJECT5	Aur $\beta$	05:59:31.72	+44:56:50.8	1.896	サチった
OBJECT6	BD+ 1328B	05:59:42.90	+44:59:13.0	10.6	

表 7: 12月23日の観測記録

group 名	frame 数	OBJECT	$t_{exp}$ [s]	天気	備考
frame aur(不使用)	1	OBJECT5,6	1.0	快晴	いい天気
frame aur-1	1	OBJECT5,6	10.0	快晴	積分時間変化、むらあり
frame aur-2	1	OBJECT5,6	10.0	快晴	積分時間変化、むらあり
frame aur-3	1	OBJECT5,6	10.0	快晴	位置ずらす、むらあり
frame aur-4	1	OBJECT5,6	10.0	快晴	位置ずらす、むらあり
frame aur-5	1	OBJECT5,6	10.0	快晴	位置ずらす、むらあり
frame aur-6	1	OBJECT5,6	10.0	快晴	位置ずらす、むらあり
darkframe	3	dark	10.0	関係ない	10.0[s] 用

## 2 解析 1

### 2.1 画像処理

12月4日の観測データを用いて、システム効率、限界等級を求める。

まず、画像の処理を行う。flat,bias,darkframeは何枚か撮ったものを見て、まずいものがあれば除き、大丈夫なようなら全てを足し合わせ、平均をとったものを、それぞれの frame とする。

#### 1. 画像から dark frame を引き算

天体の画像から、それに対応する dark frame を引き算。これにより、暗電流による寄与が消える。

#### 2. flat frame を作成

flat frame から、bias frame を引き算。この画像の平均カウント数をもって、この画像を割り算し、あまりカウント数が変わらないような flat frame を作成。

#### 3. flat frame で画像を割り算

上で述べた flat frame でもって、dark を除いた画像を割り算。これで、画像は flat 校正された。

#### 4. 位置をずらした画像同士を引きあう

以上のような画像で、位置が同じもの同士を足し合わせ平均をとった frame を作成。これが、天体の位置をずらした画像にたいしては、sky frame となりうる。よって画像から、このような sky frame を引いたものが、最終画像である。(たとえば OBJECT2, 3, 4 は一度しか位置

をずらしていないので、もう一方の group の flat 校正された画像の平均画像を、引きあう、という形になる)

図 2、3 にスカイ引きした天体の画像の一例をあげておく。

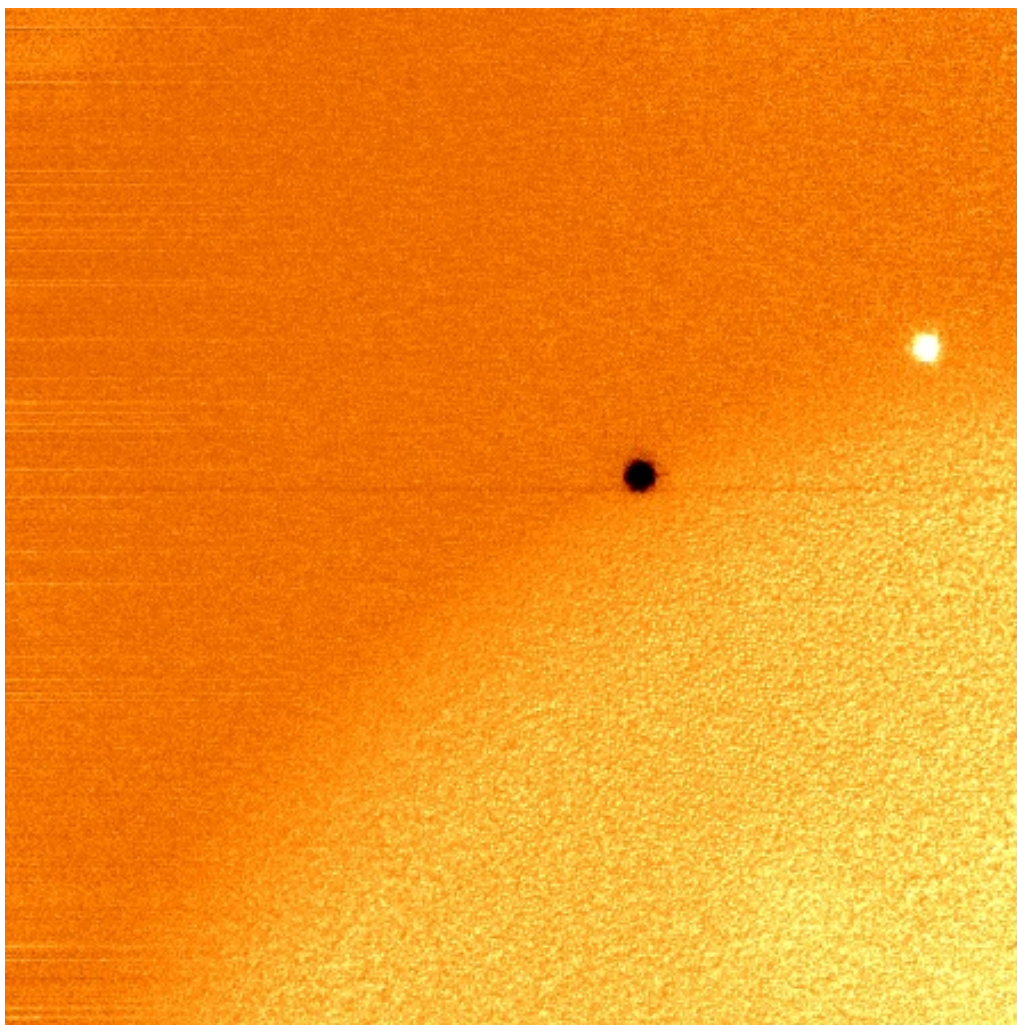


図 2: OBJECT1 のスカイ引き画像の一例 (multiframe1-1 1)

以上のような作業を、天体毎、group 毎に、おかしな frame が混じっていないか確認しながら進めていく。最終画像が得られたら、測光を行う。

## 2.2 測光

ここまでの作業で、あまりに星の frame 数が多いので、天体を分担して、行うことにした。私は、OBJECT1 と 3 を解析した。

測光は phot コマンドを用いて行う。aperture 半径は MOFFAT の 3 倍程度、annulus 半径は MOFFAT の 5 倍程度になるよう余裕をもって設定した。この作業により、天体の画像毎に、撮影した天

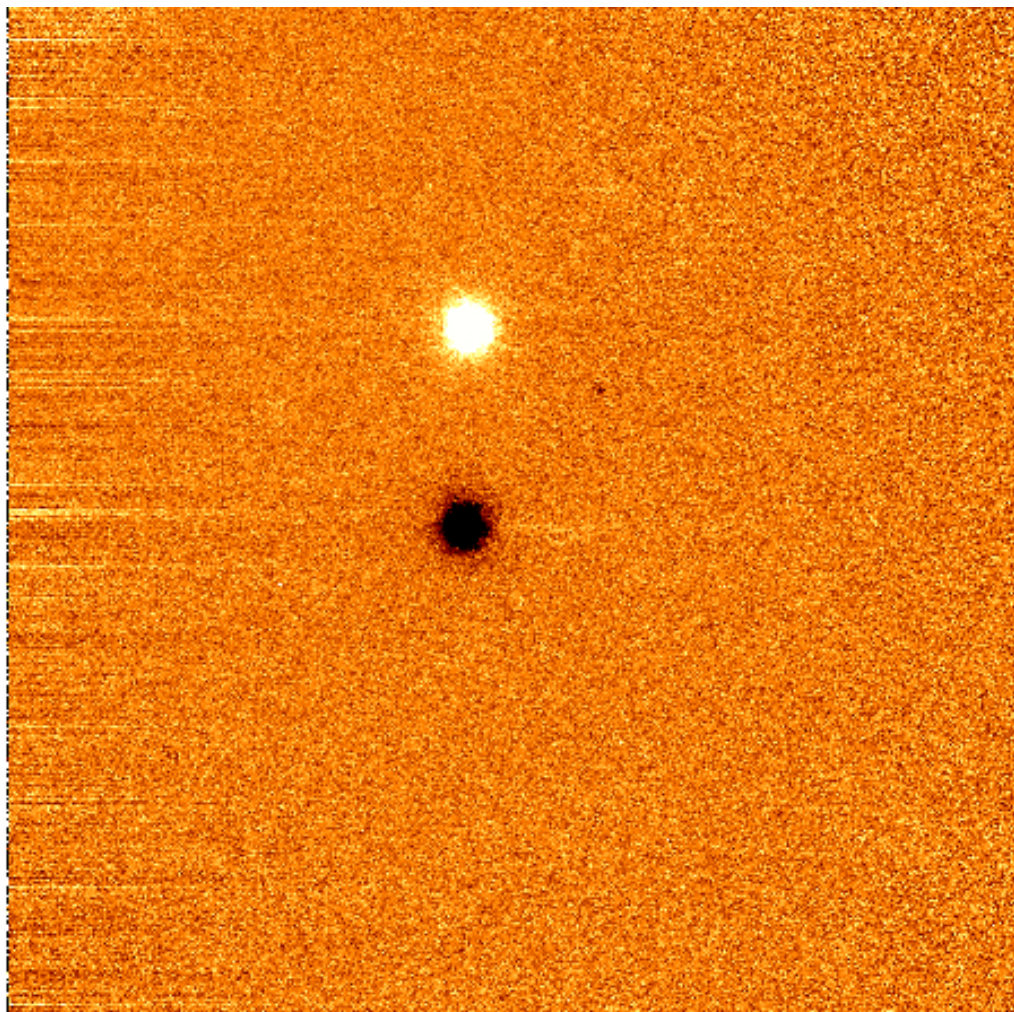


図 3: OBJECT3 のスカイ引き画像の一例 (multiframe3-1 1)

体のカウント数が得られる。これをまとめたのが、表 8。OBJECT1 に対して 20 個、OBJECT3 に対して 8 個のデータが存在する。

### 2.3 システム効率

システム効率とは、「望遠鏡に入射した星の光子のうち、CCD 上で電荷となって読みだされたものの割合」であるから、天体から入射する光子数  $s_i$  [1/s] と、CCD 上で生じる電子数  $n_i$  [e-/s] の比、

$$\eta = \frac{n_i}{s_i} \quad (1)$$

と表せる。天体から入射する光子数  $s_i$  と、CCD 上で生じる電子数  $n_i$  は、それぞれ、以下のように表せる。ただし、 $D$  [m]:望遠鏡の口径,  $F_\lambda$  [w/m<sup>2</sup>]:天体からのフラックス,  $\Delta\lambda$ :フィルターの波長範



図,  $f_{conv}$ [e-/ADU]:コンバージョンファクター,  $t$ [s]:積分時間,  $N$ [ADU]:画像上のカウント数とする。

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

$$s_i = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \frac{\Delta\lambda F_\lambda}{h\nu} \quad (3)$$

ここで、等級の定義から、

$$F_\lambda = F_0 \cdot 10^{-\frac{m}{2.5}} \quad (4)$$

と表せる。ただし、 $F_0=3.66 \times 10^{-2}$ [W/m<sup>2</sup>] である。これらの式を合わせると、

$$\eta = \frac{\frac{N \cdot f_{conv}}{t}}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \frac{\Delta\lambda F_0 \cdot 10^{-\frac{m}{2.5}}}{h\nu}} \quad (5)$$

となる。これに、具体的な値を代入していけばよい。実習 HP や、過去のレポートから、2桁程度までの値を出すと、 $D=30$ [cm], 中心波長  $\lambda = 520$ [nm]  $\Delta\lambda=170$ [nm] (これは波長感度曲線の図 1 から読み取った),  $f_{conv}=1.3$ [e-/ADU] となる。また、 $t$ [s] と  $N$ [ADU] は、表 8 のように、データそれぞれで異なるのでそれぞれ、代入していく。これにより得られたシステム効率データにより、微妙に異なる。これをまとめたのが、表 8 の、システム効率の段落である。multiframe1-1 でのシステム効率が異様によいが、これは、この group を撮ったときの天気が一番良く、そのあとはだいたい同じくらいうす雲がかかっていたためではないかと考えた。平均の値は 0.03657...、だいたい 3.6[%] 程度であるので、ひとまずこれを、求めるシステム効率とする。

## 2.4 限界等級

システム効率もとまったので、今度は限界等級を求める。

複数素子による検出の場合、 $m$  個の画素に広がった天体の  $S/N$  を考える。ノイズ成分は、入射光子 (これは天体の光も、暗電流の光も、スカイの光も含まれる) のポアソン分布と、読み出しノイズで占められており、 $n_{sky}$ [e-/s/pixel]、 $n_{dark}$ [e-/pixel] を、それぞれ、検出される、単素子辺りの、背景放射の光子数、暗電流とし、読み出しノイズ  $N_{read}$ [e-r.m.s/pixel] とすれば、

$$N_{Noise} = \sqrt{n_i t + m(n_{sky} + n_{dark})t + mN_{read}^2} \quad (6)$$

となる。シグナル  $S = n_i$  だから、

$$S/N = n_i t / N_{Noise} = \frac{n_i t}{\sqrt{n_i t + m(n_{sky} + n_{dark})t + mN_{read}^2}} \quad (7)$$

ここで、限界等級は、 $S/N=10$  となるような天体の等級であるとする。積分時間  $t=10$ [s] の場合を考える。 $m$  を半径 5[pixel] の円内の領域とし、 $n_{sky}$ [e-/s/pixel]、 $n_{dark}$ [e-/pixel]、 $N_{read}$ [e-r.m.s/pixel] に具体的な値を代入する。それぞれ、表 2 から、温度は 260[K] 程度であると考えられるので、 $n_{dark}=9$ [e-/pixel]、 $N_{read}=32.3$ [e-r.m.s/pixel] とする。また、背景光のカウントから  $n_{sky}$  は、だいたい 130[e-/s/pixel] とした。これらを  $S/N=10$  に代入し、 $n_i$  について解く。二次方程式になるので、 $n_i$  が正という条件を用いて、

$$n_i t = \frac{100t + \sqrt{100^2 t^2 + 4t^2 \cdot 100 \cdot m((n_{sky} + n_{dark})t + N_{read}^2)}}{2t^2} \quad (8)$$

となる。これで得られた値をシステム効率 (ひとまず 0.036 とした) でわれば、天体からの入射光子数が得られる。式 (3) にこれを代入し、天体からのフラックスを求め、

$$F_{\lambda} = \frac{h\nu s_i}{\Delta\lambda\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2} \quad (9)$$

等級の式から、このフラックスに相当する等級が求められる。

$$m = -2.5 \log_{10}\left(\frac{F_{\lambda}}{F_0}\right) \quad (10)$$

ここで、計算を行うと、 $t=10$ [s] に対応する  $S/N=10$  となるような等級は、およそ  $m\sim 12.4$ [mag] であった。実際に観測したときその場で求めた値とは割と違うが、おそらく計算ミスであろう。ちなみに、 $t=1$ [s] での  $S/N=10$  となるような等級は、およそ  $m\sim 10.3$ [mag] であった。

## 3 解析 2

12月23日に取得したデータを解析する。

### 3.1 画像処理、測光

前章と同じく dark 引き、flat 校正、sky 引きを行った。目印の天体である OBJECT5 は、もちろんサチレーションを起こしており、これを目印にしなから位置をずらしていった。sky 引きをすると、幾つかのかすかな星が見えてくる。めばしいものを 6 つ選んで、測光し、S/N 比を求めた。これらを OBJECT21、OBJECT22、OBJECT23、OBJECT24、OBJECT25、OBJECT26 とする。これらの天体は後に Aladin Sky Atlas と比較した結果、OBJECT21 が、OBJECT6 と一致することが分かり、ここから、カウント数を比較することで、だいたいの等級を出すことが可能。逆にいえば他の星は、正確な等級のデータがない、ということである。測光は phot で行った。S/N 比を出す際は、aperture 半径を MOFFAT の同程度 5 にし、annulus をその 3 倍の 15 にして、全ての天体の測光を行った。(case (1)) (S/N を求める際には、mag error を求めればよい。この、mag error というのは、phot コマンドが勝手に等級を出してくれるのだが、その誤差である。このでてくる等級は零等級を正しく与えていないので、正しいものではないが、mag error はそれだけで、誤差と信号の比を与えてくれる。これの詳しい導出は後述する。) また、天体の画像上の総カウント数を出す場合は、解析 1 と同じように、前者を MOFFAT の 3 倍、後者を 5 倍として行った。(case (2)) それぞれの結果を表 9 にまとめた。

解析をしていくうちに分かったことだが、frame aur-6 は他の frame から得られるデータから大きくずれたデータを出し、存在するはずの(他の幾枚かの frame では見えている)星が見えなかったりとおかしな点が多かったので、解析対象からはずした。

以下、図 4、5、6、7、8 に、スカイ引きした天体の画像をのせた。おぼろげに見える星 OBJECT21、OBJECT22、OBJECT23、OBJECT24、OBJECT25、OBJECT26 を、それぞれのフレームで見えるもの毎に、丸で囲んである。

### 3.2 S/N 比確認

mag error から、S/N 比を求める。まず、一応等級として与えられたものを  $Z[\text{mag}]$  とする。すると、等級の定義から、

$$S \pm N \propto 10^{-\frac{Z \mp \text{magerror}}{2.5}} \quad (11)$$

$$S \propto 10^{-\frac{Z \mp \text{magerror}}{2.5}} \quad (12)$$

と分かる。両者を引いて、S でわると、

$$N/S \propto \frac{1}{10^{\frac{\text{magerror}}{2.5} - 1}} \text{ or } 1 + \frac{1}{10^{\frac{\text{magerror}}{2.5} - 1}} \quad (13)$$

となる。これから、だいたい S/N は、 $\frac{1}{10^{\frac{\text{magerror}}{2.5} - 1}}$  から  $1 + \frac{1}{10^{\frac{\text{magerror}}{2.5} - 1}}$  の間の値をとることが分かる。これを、各天体毎に求めたのが、表 10 の S/N である。

また、星のだいたいの等級は、フラックスの比と、画像の総カウント数の比が一致することから、等級が分かっている OBJECT21 のフラックス、カウント数を  $F'$ 、 $N'$ 、求めたい OBJECT のフラッ

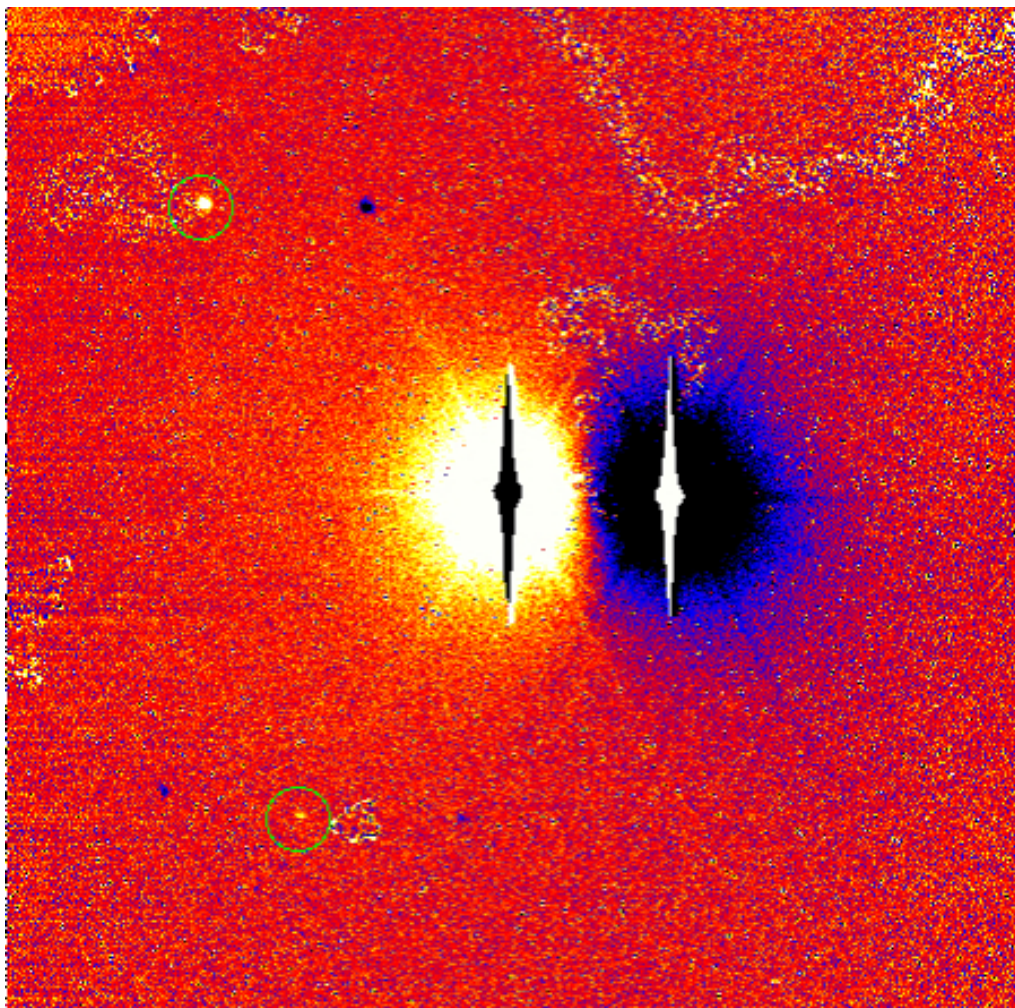


図 4: スカイ引きした画像 (frameaur-1)

クス、カウント数を  $F$ 、 $N$  とすれば、

$$m = -2.5 \log\left(\frac{F}{F_0}\right) = -2.5 \log\left(\frac{F'}{F_0}\right) - 2.5 \log\left(\frac{F}{F'}\right) = -2.5 \log\left(\frac{N}{N'}\right) + 10.6 \quad (14)$$

となる。これを、各天体毎におこなったのが、表 10 の magnitude である。これで、だいたいの  $S/N$  比と magnitude の関係は分かった。 $S/N=10$  の辺りは確かに、 $12.2-4[\text{mag}]$  辺りになり、大雑把な計算はだいたい正しかったであろうことが予想される。

ところで、システム効率であるが、天気がかなりよかったので、前回も晴れ間では増えていたことから、システム効率がふえているかもしれない、ということで、同じように測定してみたところ、表 11 のようになった。これによると、システム効率は逆に下がっていた。よって、 $S/N=10$  となるような限界等級もシステム効率の変化から修正が必要となる。解析 1 でしたのと同じように、 $0.025$  のシステム効率では、限界等級は少し明るくなり、 $12.0[\text{mag}]$  となる。これは、実際の値より少し明るく、実際はもう少し暗いので、評価の過程で、いずれかの値を過大評価、もしくは、過小評価してしまった、ということが考えられるが、一番あり得そうなのが、読み出しノイズ、暗電流のカウントの

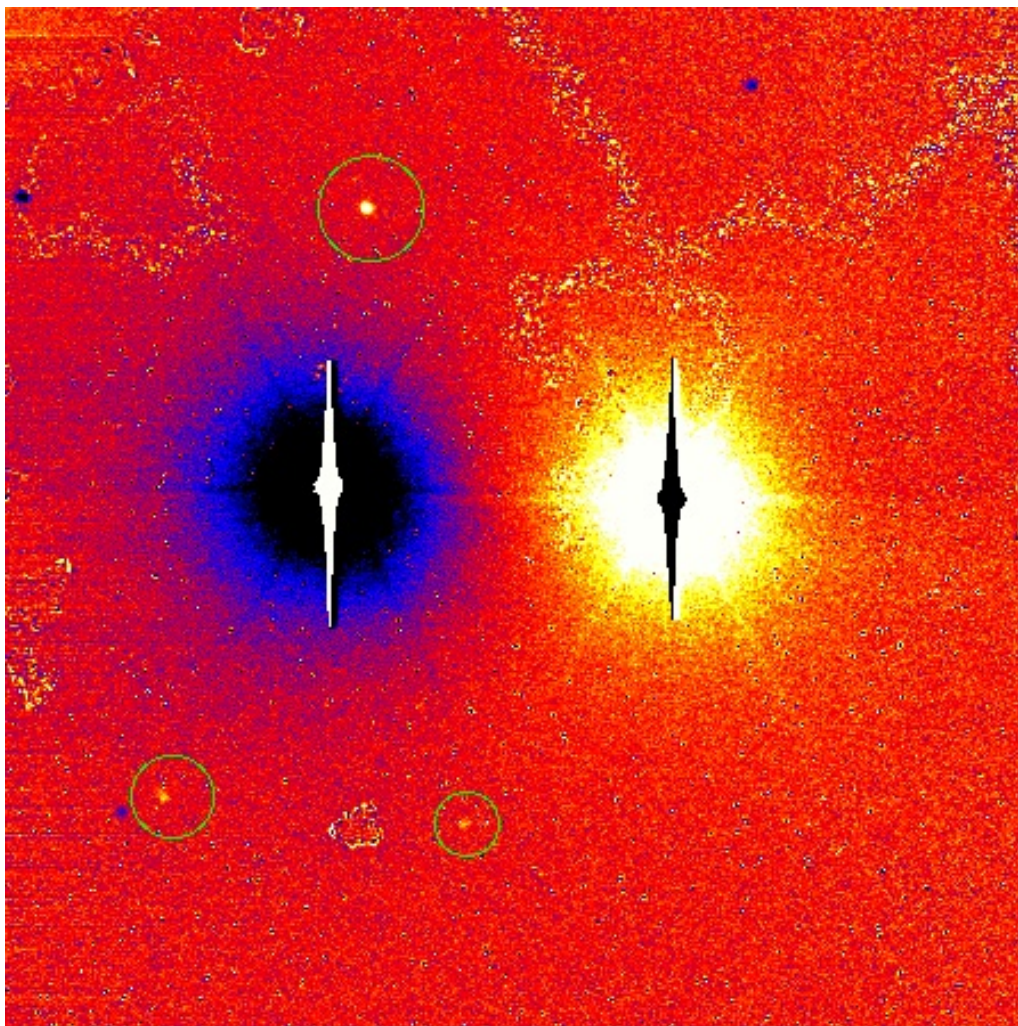


図 5: スカイ引きした画像 (frameaur-2)

過大評価である。HP にのっているものをそのまま使ったが、装置が動いている温度がそれを測定した時の温度と等しい、というのも難しい話である。実際はその値らが少し小さいと考えられることから、温度も若干低かったのであろう。ちなみに、少々煩雑になってしまったので、表 12 に S/N 比について、まとめておいた。

具体的に、どの程度、小さかったのか大雑把に考えてみよう。 $n_{sky}, n_{dark}, N_{read}^2$  のみによる、実験値からのずれ、とみる。限界等級が 12.3[mag] となるように、逆から今まで行った計算をたどっていくと、式 (8) の  $(n_{sky} + n_{dark})t + N_{read}^2$  ( $t=10[s]$ ) の部分が考えていた値の 6 割程度であればよい、ということがわかる。 $(n_{sky} + n_{dark})t$ 、 $N_{read}^2$  どちらも同程度の寄与なので、どちらも 6 割削減、といたいところだが、 $(n_{sky} + n_{dark})t$  は主に  $n_{sky}t$  に占められており、これが 6 割も減らされるようなことはおかしい、というのが背景のカウント数から実験的に分かっている。よって、こちらの項を変えることはしない。すると、 $N_{read}$  の仮においた値がだいぶ違うのではないかとということがわかってくる。ここで、 $(n_{sky} + n_{dark})t + N_{read}^2$  ( $t=10[s]$ ) が 6 割程度になるような、 $N_{read}$  を変化さ

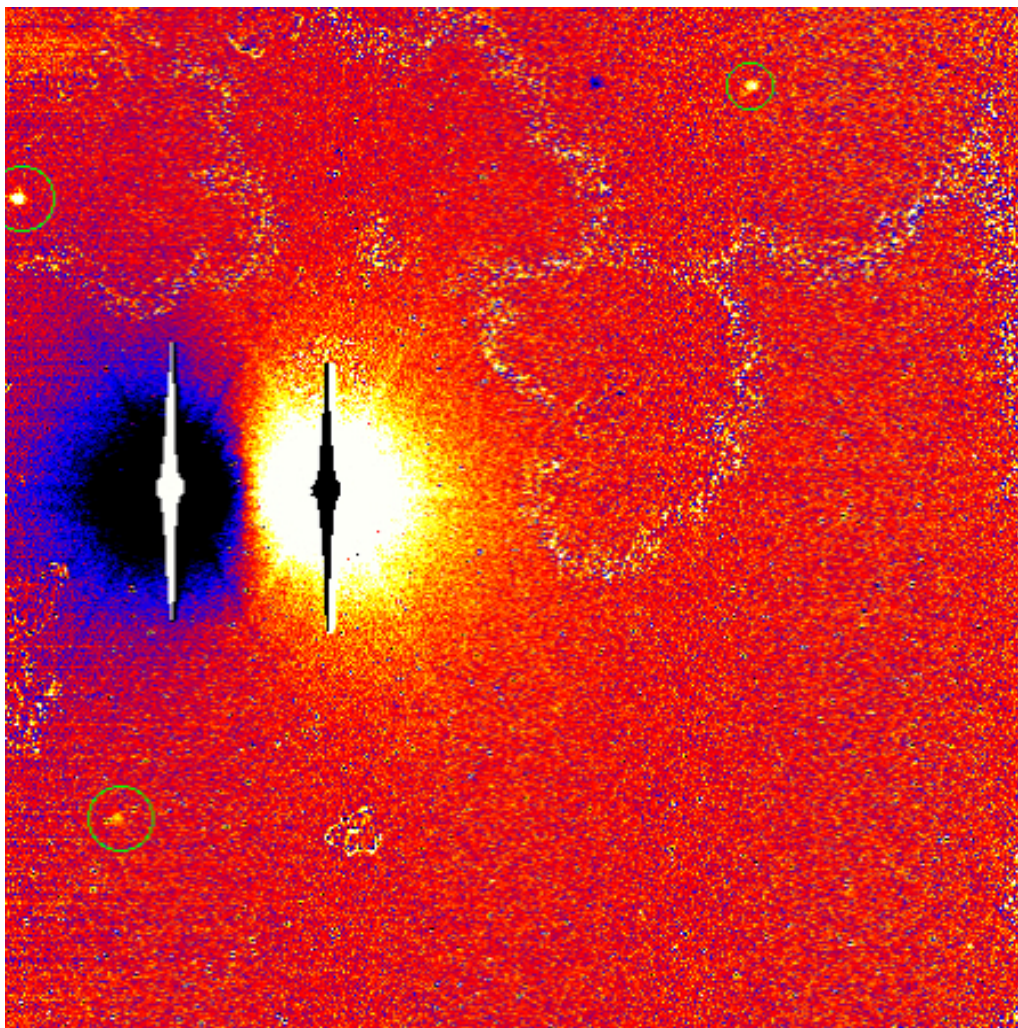


図 6: スカイ引きした画像 (frameaur-3)

せると、それは、 $10.7[\text{e-r.m.s./pixel}]$  という値になる。元の値の 3 分の 1 程度が、今回の観測での、読み出しノイズの適当な値なのかもしれない。

### 3.3 システム効率の謎

以上の観測結果からは、システム効率が  $0.022 \sim 0.046$  と、大きな範囲を持ってでてきた。これは一体どういうことなのだろう。もしかしたら、 $0.044$  あたりの少し大きい値をとる group は (multi frame 1-1) 余計な波長域の光が強く、それがシステム効率を上げたのか、とも考えたが、それはおかしい。なぜなら、その後、同じ天体の group (multi frame1-2.3) が  $0.035$  あたりのシステム効率を出しているからだ。そして、2 日目、システム効率は  $0.025$  あたりまで落ちてしまった。1 日目の星が全て余計な波長域で光を出していたとは考えにくい。よって、同じ時間帯に撮ったものが、同じようなシステム効率をたたき出していることから、これは観測状況に依存しているものと考えられ

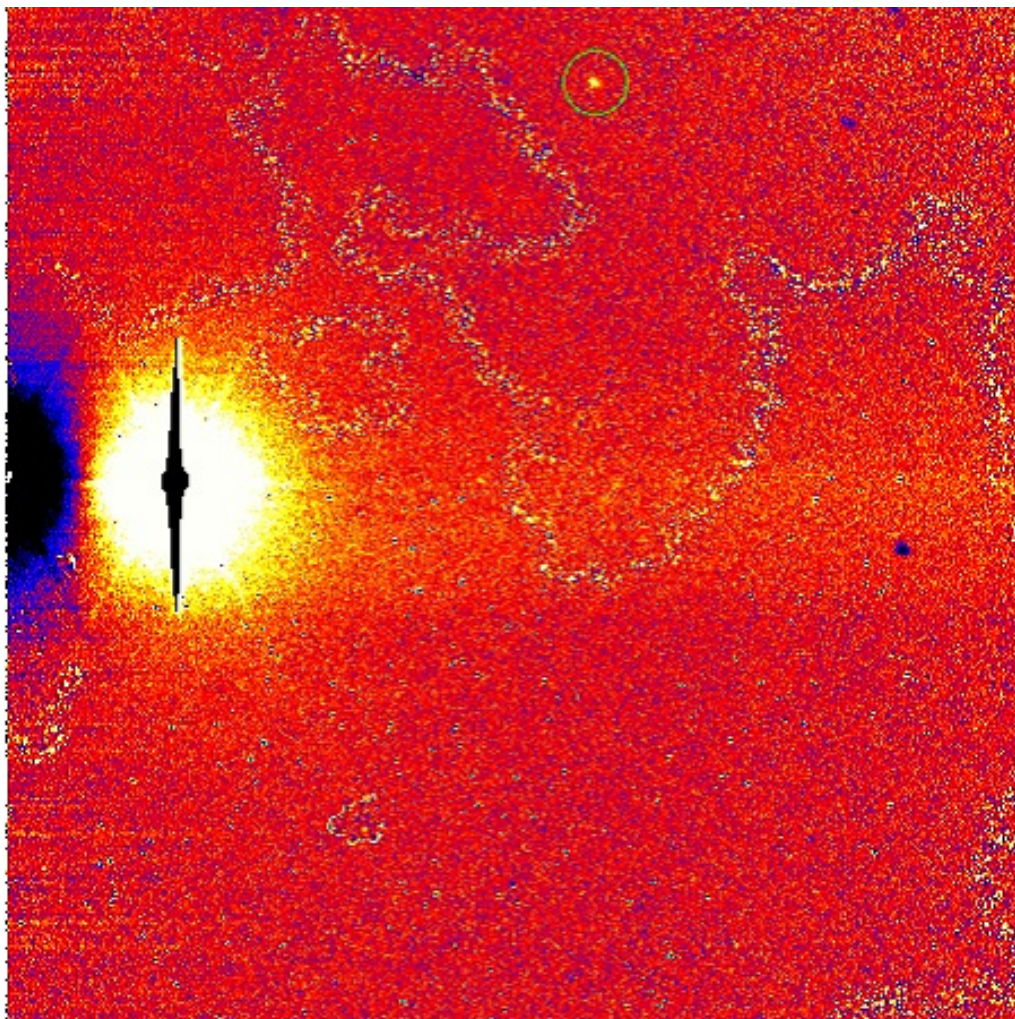


図 7: スカイ引きした画像 (frameaur-4)

る。そして、それは天気が良い方がむしろ悪かったという事実から、大気の透過率のような空の状況よりむしろ、望遠鏡本体の問題なのではないだろうか。特に、2日目の観測では、画像におかしなむらがある、など、内部であまりよくない状況（おそらく CCD がはずれかかっている？）が起きていると考えられる。このむらは、途中からでてきたのもあって、途中で内部に何かが起きたのだろう。私は、望遠鏡内部の透過率や装置状況によって、システム効率が変わったのではないかと考える。その変化はオーダーの変化はなくファクターで2以内の違いであり、今までの実習で出されたシステム効率もだいたいその範囲に入る。もしかしたら、システム効率をきちんと上げるには、内部をしっかり見てみるのがよいのかもしれない。

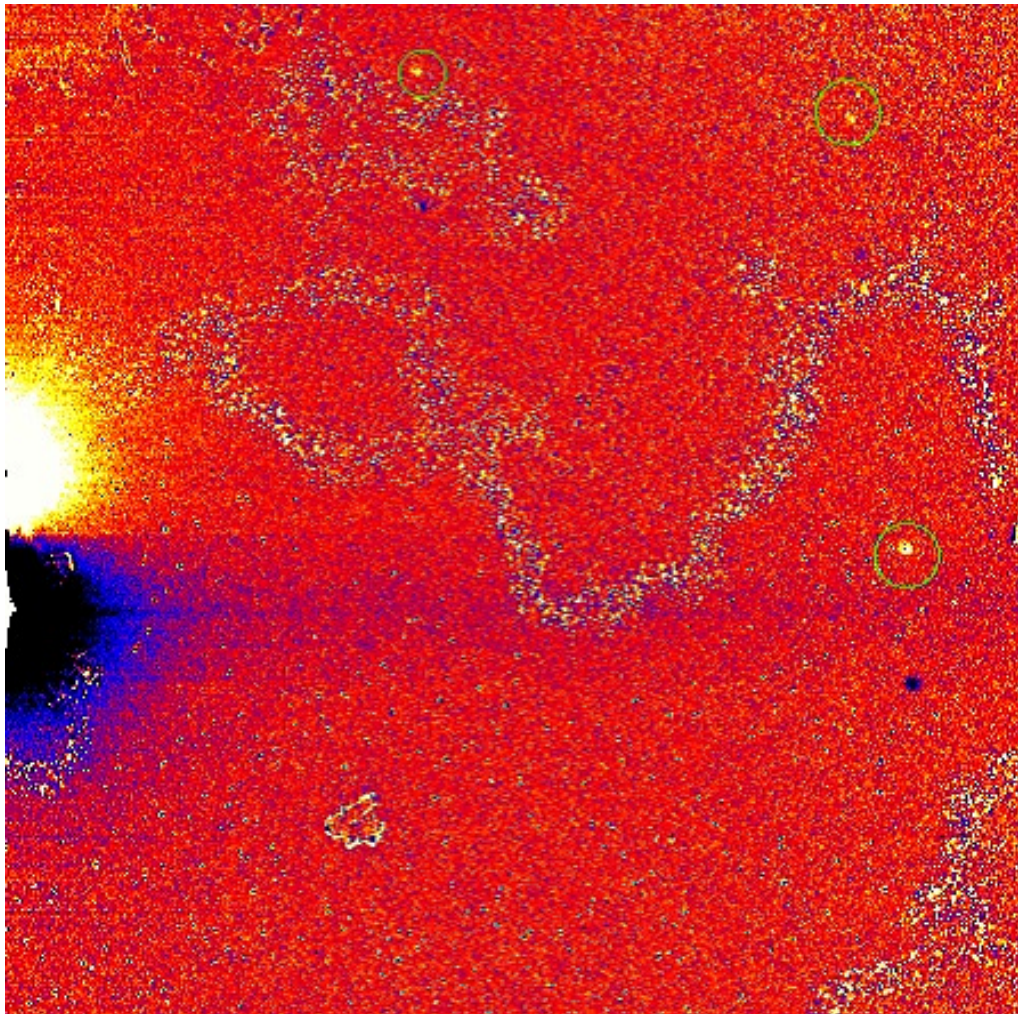


図 8: スカイ引きした画像 (frameaur-5)

## 4 終わりに

解析 1 までは割ときっちりマニュアル通り進められていたが、解析 2 は最後のほうに行けばいくほど、厳密性の欠けた議論になっていったのが、少々残念である。限界等級を確かめる観測のとき、もう少し適当なところを撮影していれば、もう少し、厳密な話ができただろうなあ、と少し残念にも思う。が、この撮影も、たくさん名前もよくわからないかすかな天体がたくさん撮れ、天体観測チックで面白かった。小望遠鏡を使用するというのも、そんなに機会のないことなので、楽しかった。中高の部活でも、このくらいことができたら面白いのになあとったりもした。

この実習は、話の方向を理解しながら行うことができたのと、かつ天候にも恵まれたため、流れに乗りながら進めることが、特に、出来たと思う。非常に勉強になった。それもこれも、先生と TA の方、そしてペアの大北君のおかげなので本当に感謝している。

それでは、5 日間ありがとうございました。



表 8: 12月4日の観測結果

group 名 番号	天体	積分時間	画像上の天体のカウント数	システム効率
multiframe1-1 1	OBJECT1	0.1	189369.4	0.0460725
multiframe1-1 2	OBJECT1	0.1	1832088.8	0.0460725
multiframe1-1 3	OBJECT1	0.1	189103.3	0.0445736
multiframe1-1 4	OBJECT1	0.1	190276.8	0.0460077
multiframe1-2 1	OBJECT1	0.1	155219.4	0.0462932
multiframe1-2 2	OBJECT1	0.1	145042.1	0.037764
multiframe1-2 3	OBJECT1	0.1	143526.3	0.0352879
multiframe1-2 4	OBJECT1	0.1	138149.9	0.034919115
multiframe1-2 5	OBJECT1	0.1	141034.1	0.033611068
multiframe1-2 6	OBJECT1	0.1	145149.7	0.034312777
multiframe1-2 7	OBJECT1	0.1	150174.5	0.035314078
multiframe1-2 8	OBJECT1	0.1	151833.4	0.036536583
multiframe1-3 1	OBJECT1	0.1	165621.9	0.036940184
multiframe1-3 2	OBJECT1	0.1	15879.3	0.040294846
multiframe1-3 3	OBJECT1	0.1	162654.3	0.003863341
multiframe1-3 4	OBJECT1	0.1	164458.5	0.039572846
multiframe1-3 5	OBJECT1	0.1	171465.1	0.040011797
multiframe1-3 6	OBJECT1	0.1	176149	0.041716462
multiframe1-3 7	OBJECT1	0.1	174166.3	0.042856028
multiframe1-3 8	OBJECT1	0.1	161999.4	0.042373649
multiframe3-1 1	OBJECT3	1	267533.6	0.039413513
multiframe3-1 2	OBJECT3	1	284451.6	0.0321152
multiframe3-1 3	OBJECT3	1	286655.2	0.034146
multiframe3-1 4	OBJECT3	1	292987	0.0344106
multiframe3-2 1	OBJECT3	1	274640.2	0.0329682
multiframe3-2 2	OBJECT3	1	268004.6	0.0321717
multiframe3-2 3	OBJECT3	1	271410.1	0.0325805
multiframe3-2 4	OBJECT3	1	273298	0.0328071
				mean 0.036575182

表 9: 12月23日の観測結果

frame 名	天体	積分時間	mag error(@ case(1))	画像上のカウント数 (@ case(2))
frame aur-1	OBJECT21	10.0	0.022	13699.95
frame aur-1	OBJECT22	10.0	0.116	2485.887
frame aur-2	OBJECT21	10.0	0.021	11642.888
frame aur-2	OBJECT22	10.0	0.100	2677.801
frame aur-2	OBJECT23	10.0	0.092	04174.217
frame aur-3	OBJECT21	10.0	0.022	undetected
frame aur-3	OBJECT22	10.0	0.124	1466.215
frame aur-3	OBJECT24	10.0	0.071	3132.893
frame aur-4	OBJECT24	10.0	0.072	3837.974
frame aur-5	OBJECT24	10.0	0.122	3351.716
frame aur-5	OBJECT25	10.0	0.045	10806.86
frame aur-5	OBJECT26	10.0	0.221	1398.023

表 10: 12月23日の観測天体の S/N 比と magnitude

frame 名	天体	mag error(@ case(1))	カウント数 (@ case(2))	S/N	Vband mag[mag]
frame aur-1	OBJECT21	0.022	13699.95	48.8-49.8	10.6
frame aur-2	OBJECT21	0.021	11642.888	52.2-53.2	10.6
frame aur-3	OBJECT21	0.022	undetected	48.8-49.8	10.6
frame aur-1	OBJECT22	0.116	2485.887	8.9-9.9	12.4
frame aur-2	OBJECT22	0.100	2677.801	10.3-11.3	12.2
frame aur-3	OBJECT22	0.124	2490.232	8.3-9.3	12.3
frame aur-2	OBJECT23	0.092	4174.217	11.3-12.3	11.7
frame aur-3	OBJECT24	0.071	3132.893	14.8-15.8	12.0
frame aur-4	OBJECT24	0.072	3837.974	14.6-15.6	11.8
frame aur-5	OBJECT24	0.122	3351.716	8.4-9.4	12.0
frame aur-5	OBJECT25	0.045	10806.86	23.6-24.6	10.7
frame aur-5	OBJECT26	0.221	1398.023	4.4-5.4	12.9

表 11: 12月23日の観測におけるシステム効率

frame 名	天体	積分時間	画像上のカウント数 (@ case(2))	システム効率
frame aur-1	OBJECT21	10.0	13699.95	0.0266776
frame aur-2	OBJECT21	10.0	11642.888	0.0226720
				mean 0.0246748

表 12: 限界等級まとめ

S/N	t[s]	システム効率	限界等級	備考
10	1.0	0.036	10.3	計算値
10	10.0	0.036	12.4	計算値
10	10.0	0.025	12.0	計算値
about10	10.0	about0.025	12.2-12.4	実測値