

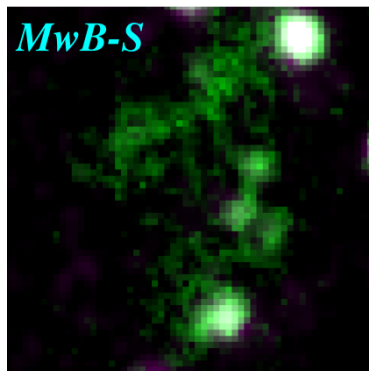
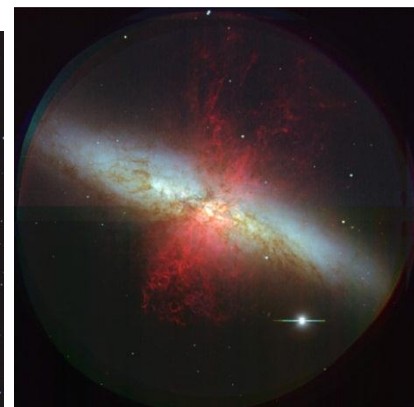
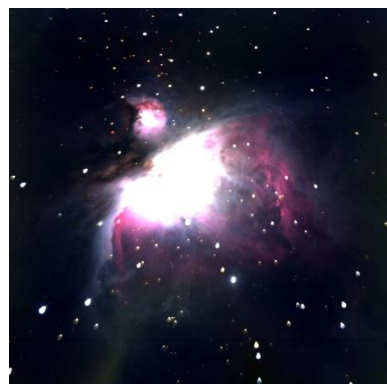
天文データ解析概論

～もし天2012に向けて～

by 2011年度観測班：チーム48÷2

0、天体観測序論

天文における天体観測とは(イメージ)



- ~~「きれいな天体に望遠鏡を向けて覗き込んで見る」~~
: **間違ったイメージ!**

天文における天体観測とは(現実)

- 「目」ではなく、「カメラ」

目のデメリット・・・①一瞬の画像しか見れない(光を貯められない)

②見れる波長域(色)が限られてる

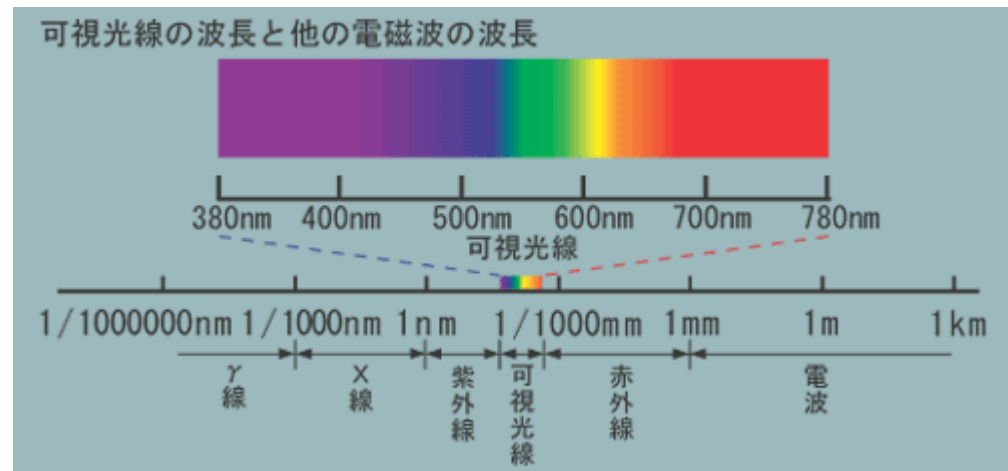
カメラのメリット・・・①長時間露出により、光を貯められる

②目では見れないような光(赤外線、紫外線、電波
、、etc)も観測可能

③画像を保存できる

=> 観測後、**データ処理**をしてより見易くできる

※天文の観測波長域



撮像と分光

天文の観測には大きく分けて2種類



- 撮像

: 普通に(?)「天体の写真をとること」

ただし色々な天体以外の光(ノイズ)も乗っかる

=> 取り除かないといけない

データ処理
(この後、詳しく)

- 分光

: 「天体の光を波長毎に分ける」

分光画像のデータ処理は”撮像の場合と同じ作業 + α ” !

(補足) データ”処理”とデータ”解析”

よく使う言葉だが、境界はあいまい。人によって違う。

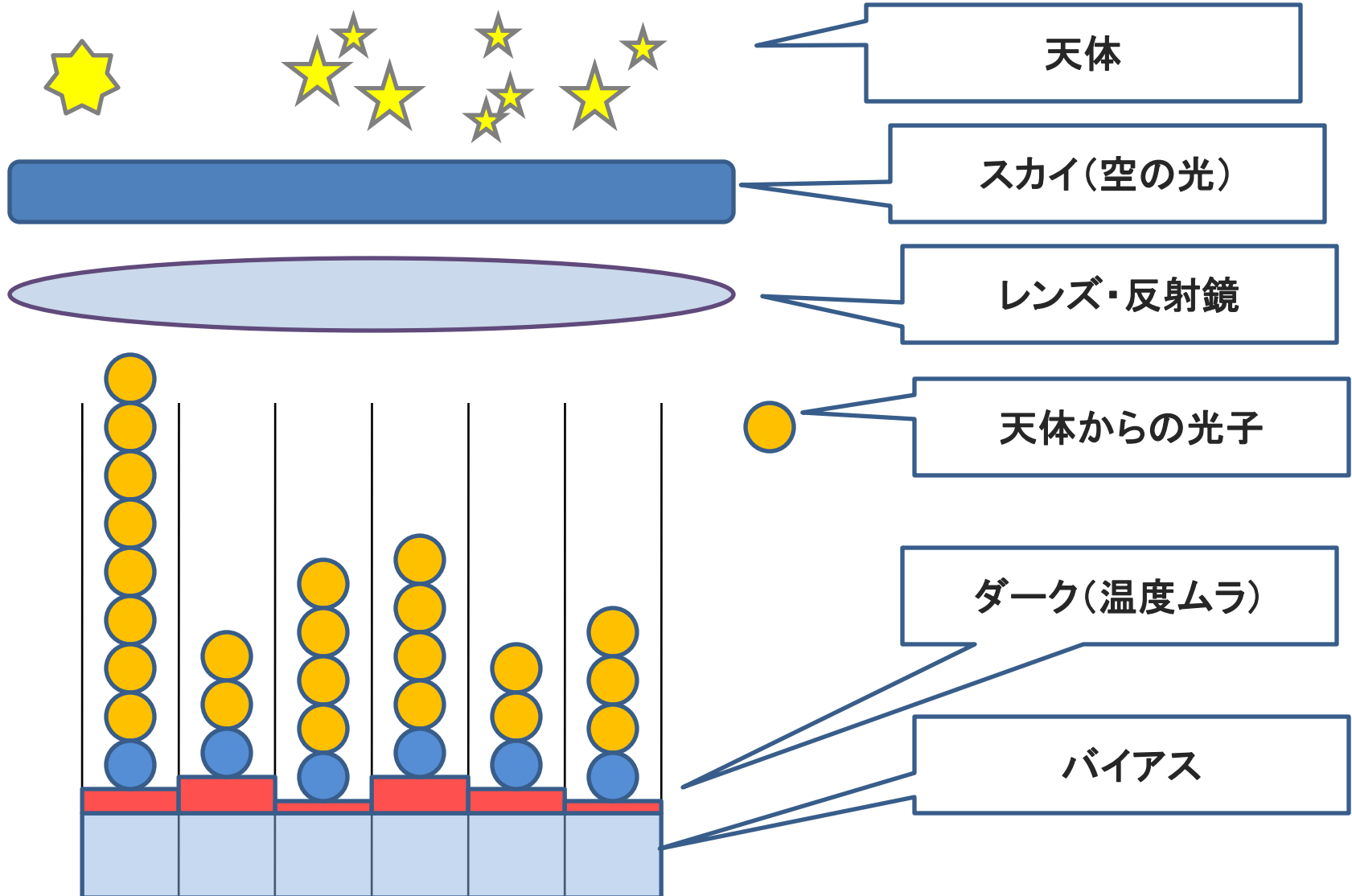
※ここでは(馬渡式)

- ・(一次)処理・・・観測生データからいろいろなノイズを取り除き、すぐ物理量を取り出せるデータにする作業
(例)dark引き、flat割、sky引き、重ね合わせ、測光ゼロ点決め
波長較正など
- ・解析・・・処理済画像から、天体の物理量を抽出する作業
(例)天体の検出位置、測光、色を求める、
輝線を出す元素の同定、など

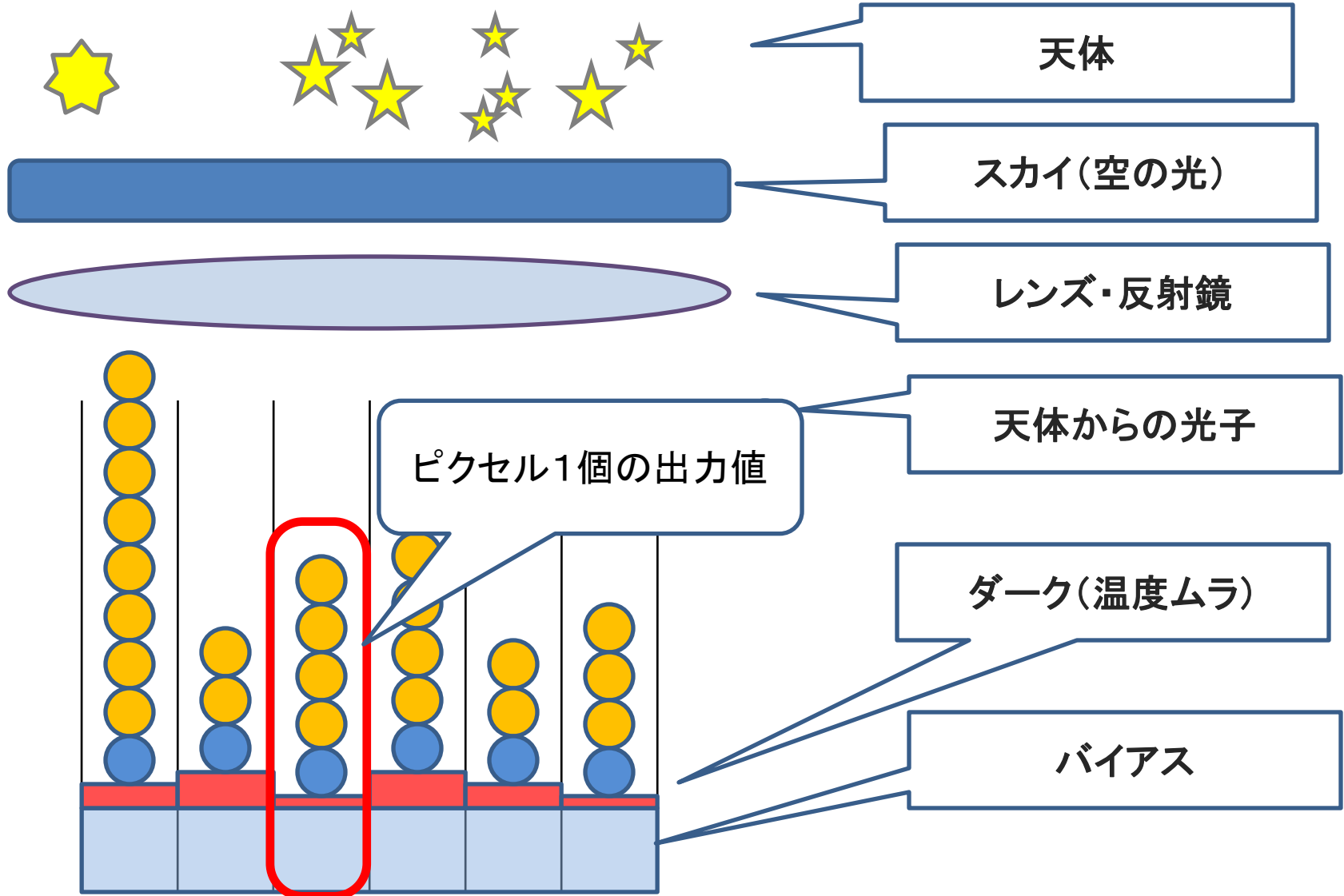
撮像データ解析資料

大野 & 本間

CCDによる出力データのイメージ



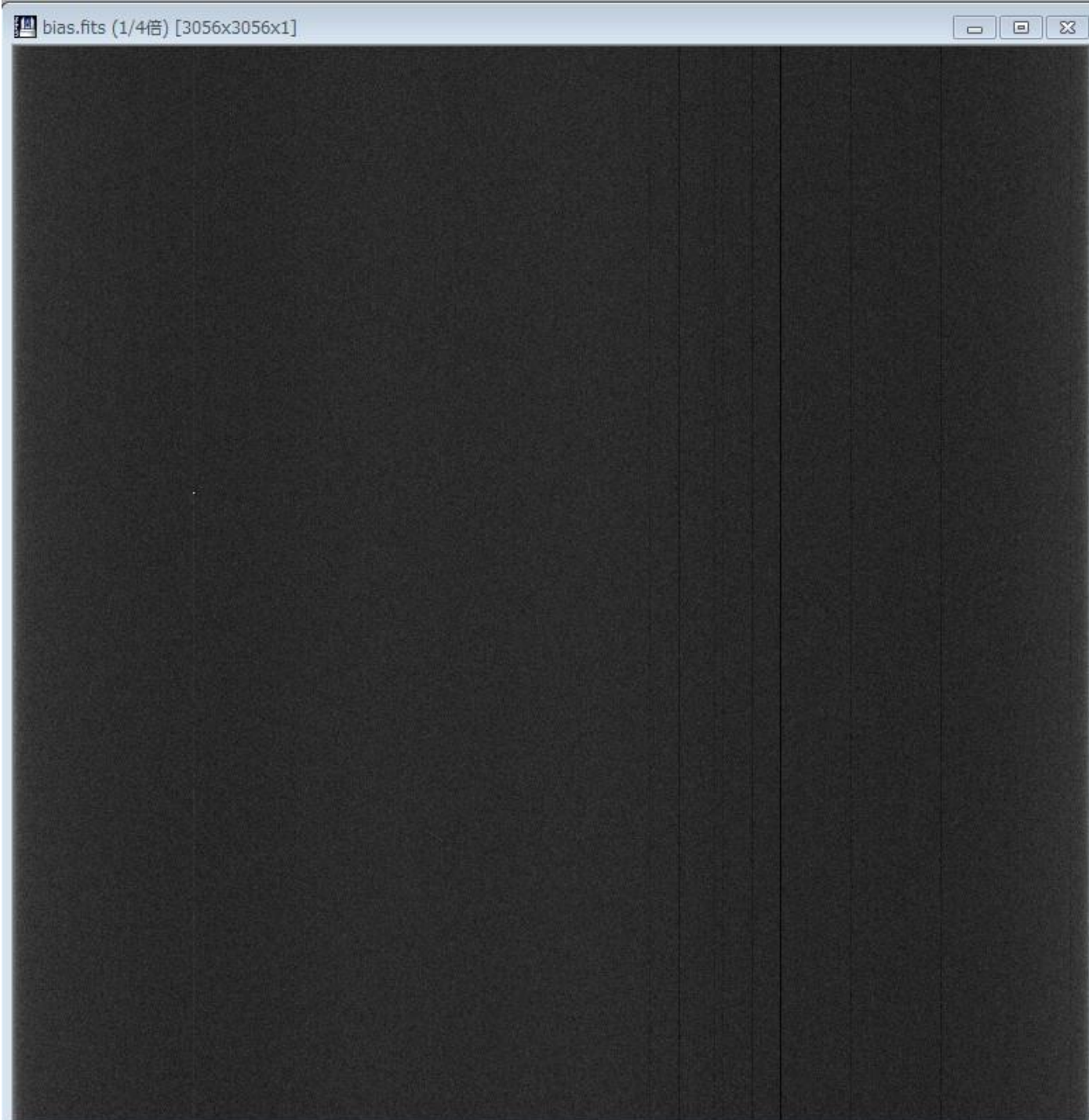
CCDによる出力データのイメージ



バイアス引き

- 天体からの光のみを取り出したいので、人為的に底上げしてある「バイアス」を画像データから引く。
- 「バイアス」は、出力値が負の値を示さないようにあらかじめ CCD に乗せられている値で、時間に依らず常に一定。
- 「バイアス」を得るためには、露出ゼロ秒で画像を撮ればよい。

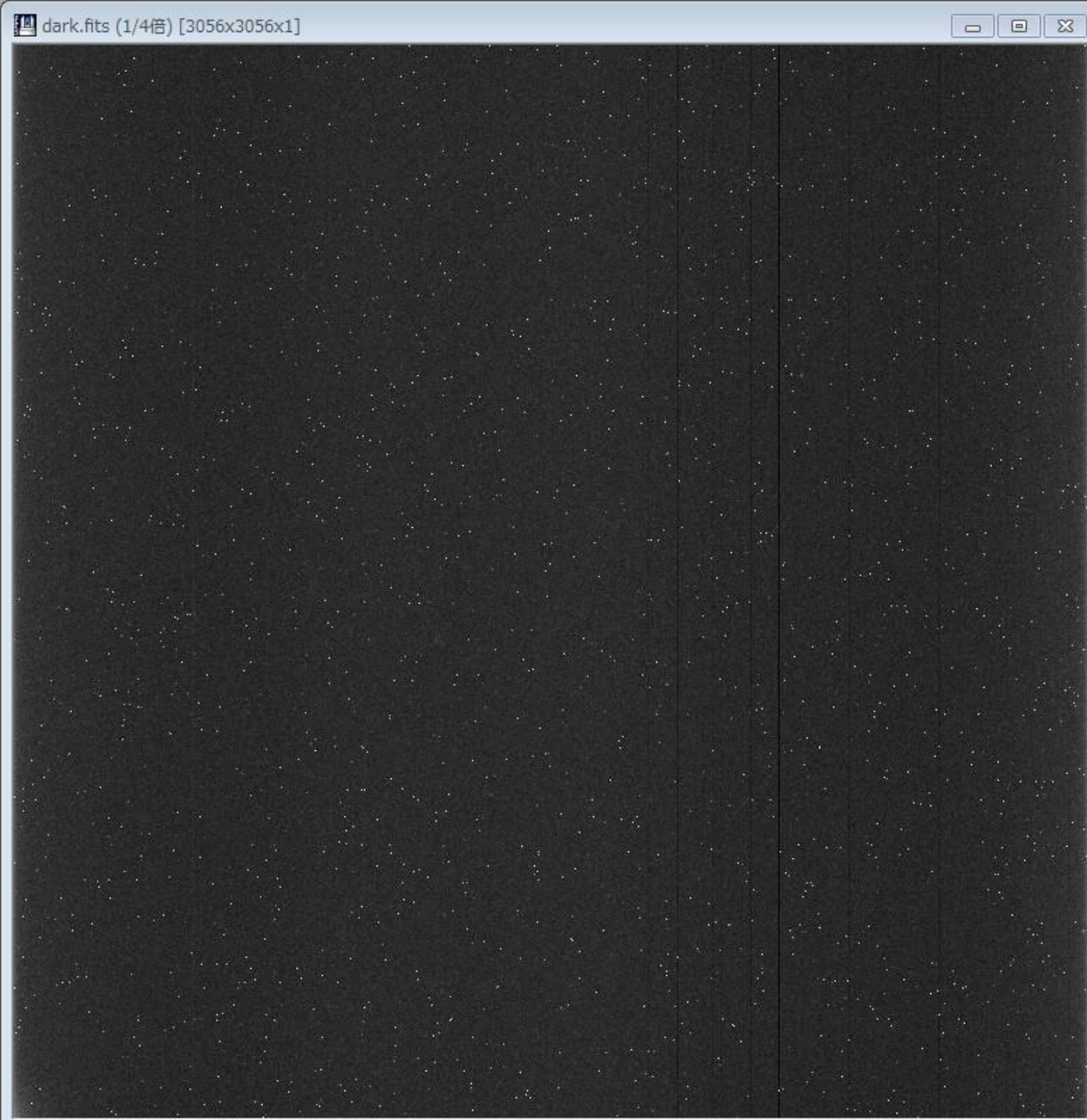
バイアス画像



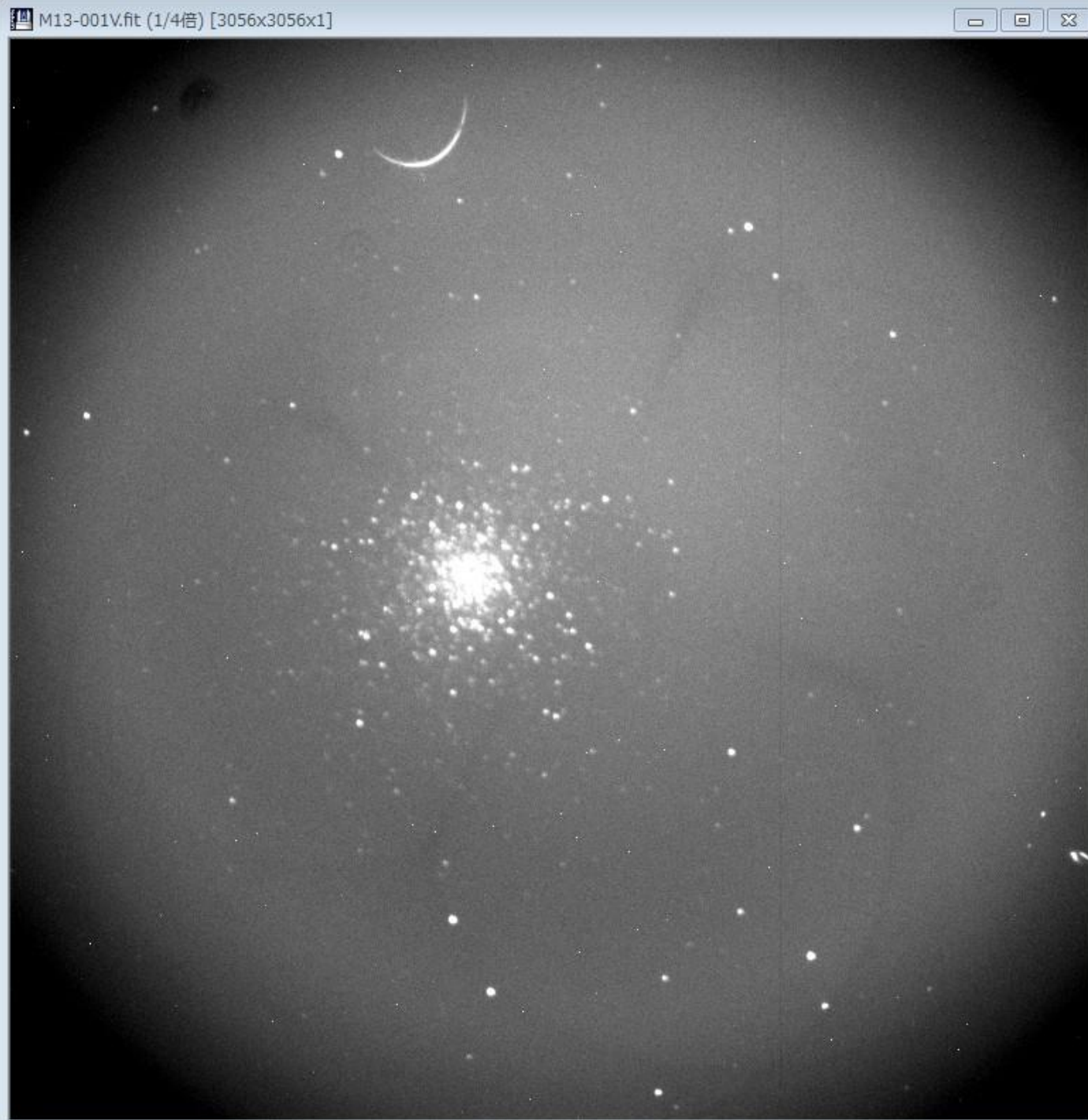
ダーク(暗電流)引き

- 「ダーク」は、各ピクセルの持つ温度によって発生する電流のコト。
 - カメラを露出している間、ずっと暗電流が流れ続ける。
 - CCDを冷却することで、「ダーク」は抑えられる。
 - 「ダーク」は、カメラのシャッターを閉じて、天体の露出時間と同じ時間撮影することで得られる。ただし画像にはバイアスも含まれている。
- ⇒ 実際の作業では、ダーク画像を引くことでバイアスも引いたことになる。

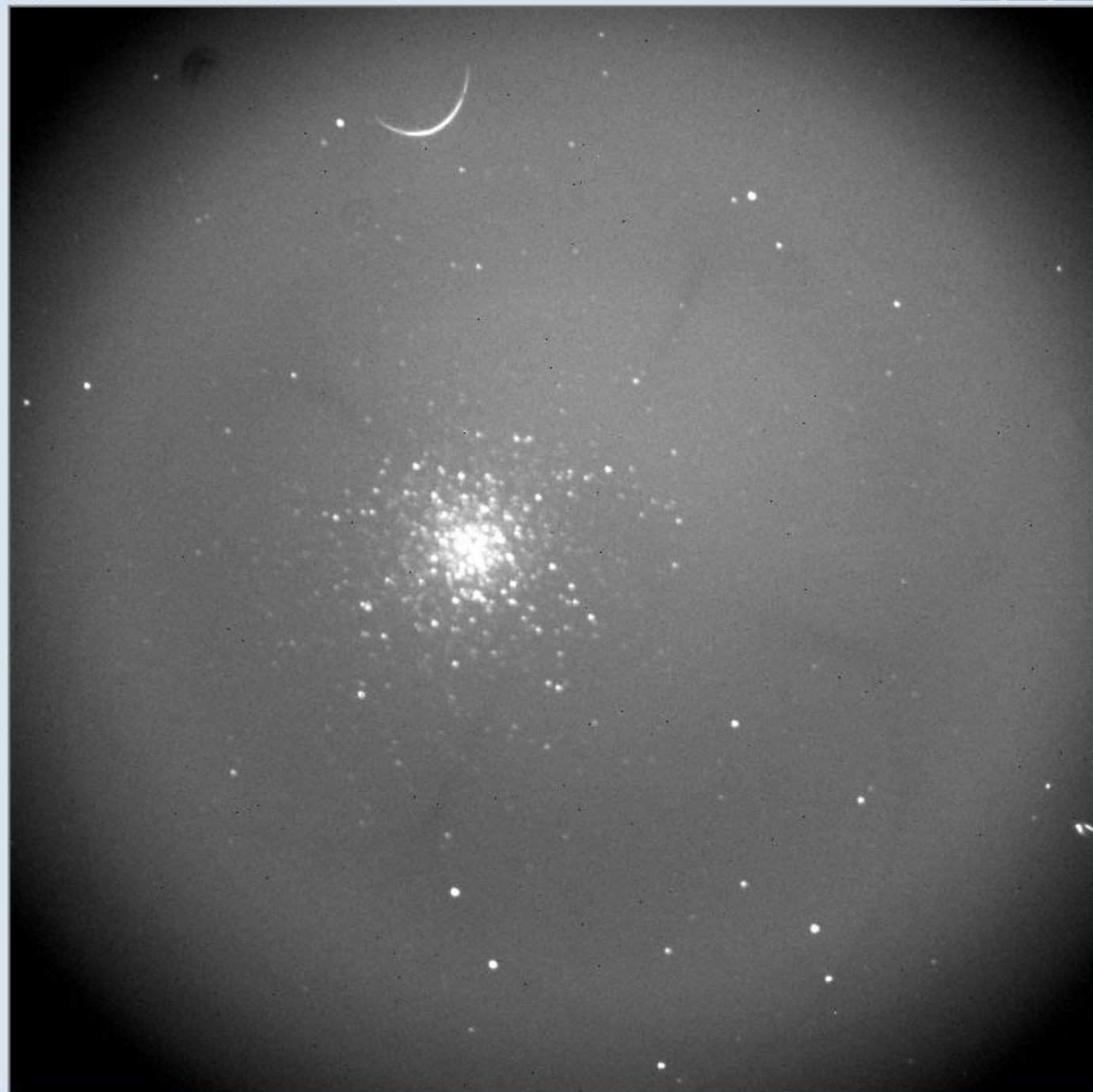
ダーク画像



生データ
(M13, V band)



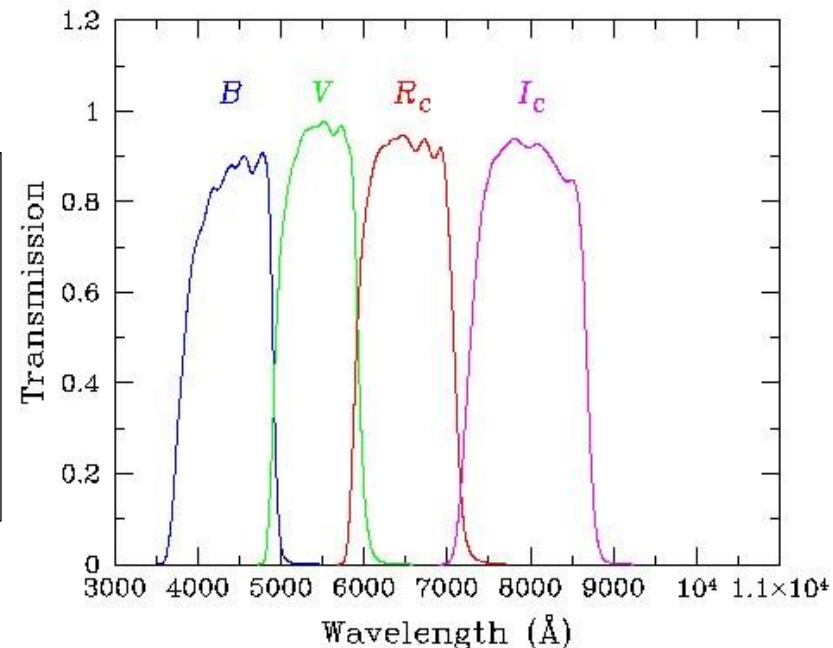
バイアス・
ダーク引き
(M13, V band)



ここで注意点

- 撮像の際には「フィルター」が使われる。
- フィルターは波長感度がそれぞれ違うため、使うときは一次処理用の画像もそれぞれのフィルターで取らなくてはならない。

- フィルターを使わない処理用画像：
バイアス、ダーク
- フィルターを使う処理用画像：
フラット



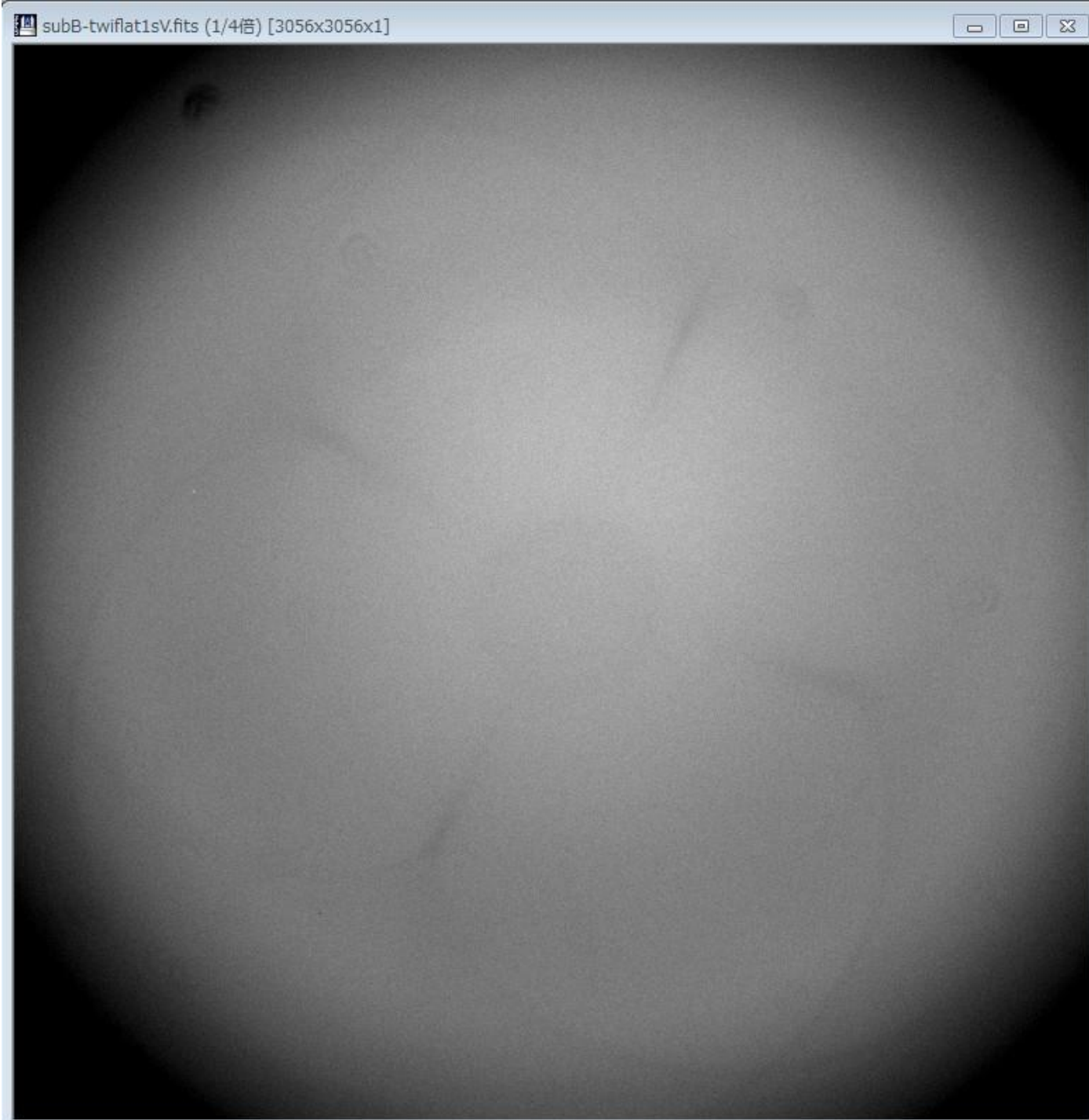
フラット割り

- 天体の光は、レンズ・反射鏡をってからCCDに入るため、CCDの中心ほど光が集まりやすい。
- 望遠鏡の光学系によって、集まり方が異なる。
- 「フラット」は、一様な光を数秒撮影することで得られる。
- 光の集まりやすいピクセルと、集まりにくいピクセルの差を補正する目的がある。

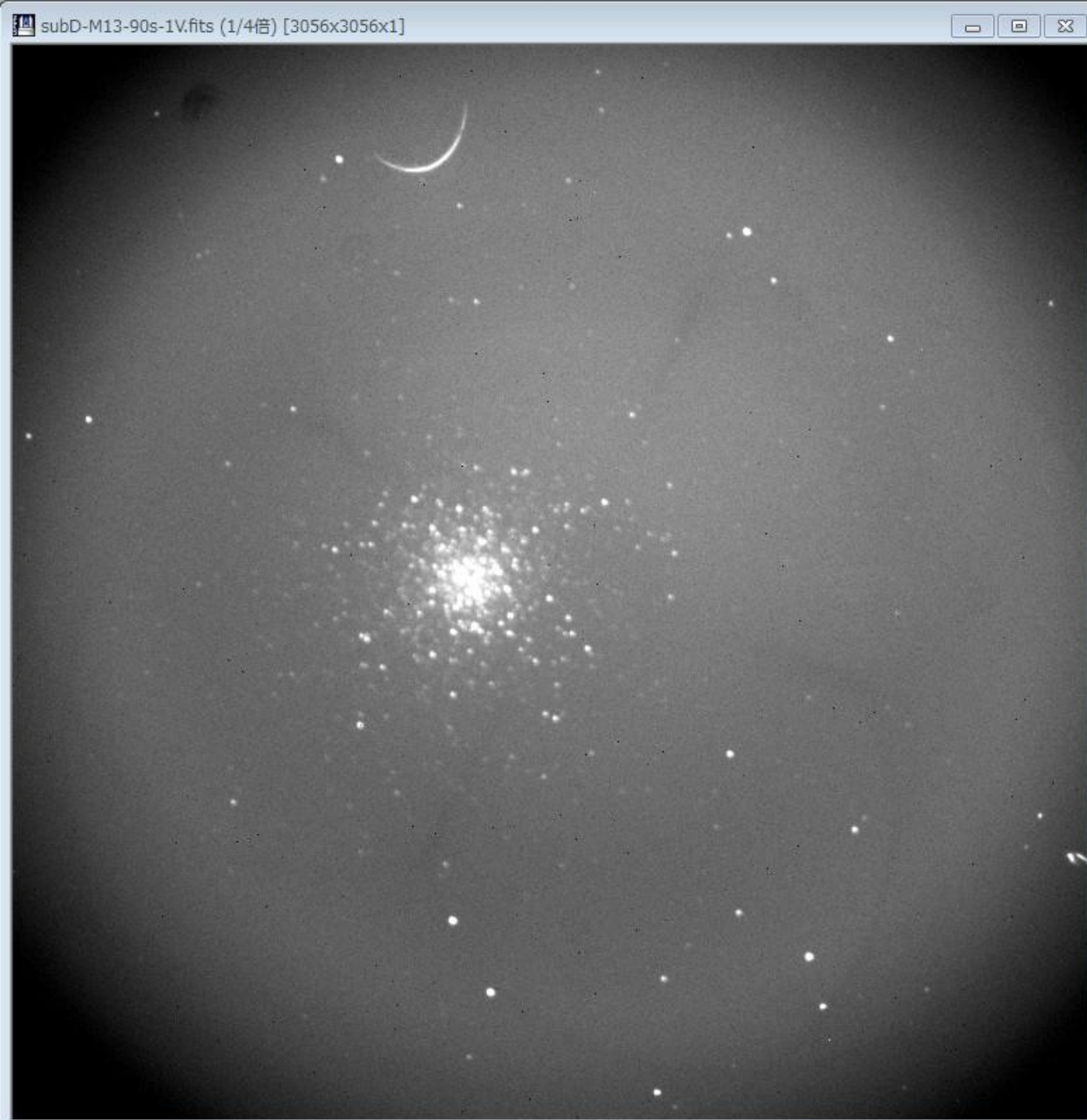
“フラット画像”の種類

- 一様な光を得る方法は複数ある。
 - ドームフラット：
ドーム内に光を当てて撮る方法。
 - トワイライトフラット：
日の出直前 or 日の入り直後の、やや明るい空を撮る方法。
 - スカイフラット：
夜空を撮る方法。 何らかの形で星の光を除去する必要がある。
- 今回の観測ではドームフラットは使えない。

フラット画像
(トワイライト,
V band)



バイアス・
ダーク引き
(M13, V band)



フラット割り
(M13, V band)



スカイ引き

- データ画像には空の光が乗っているため、純粋な天体の出力値を得るために空の光を引く（スカイを引く）必要がある。
- ここでは、画像全体からある一定の値（スカイの平均値）を引く。



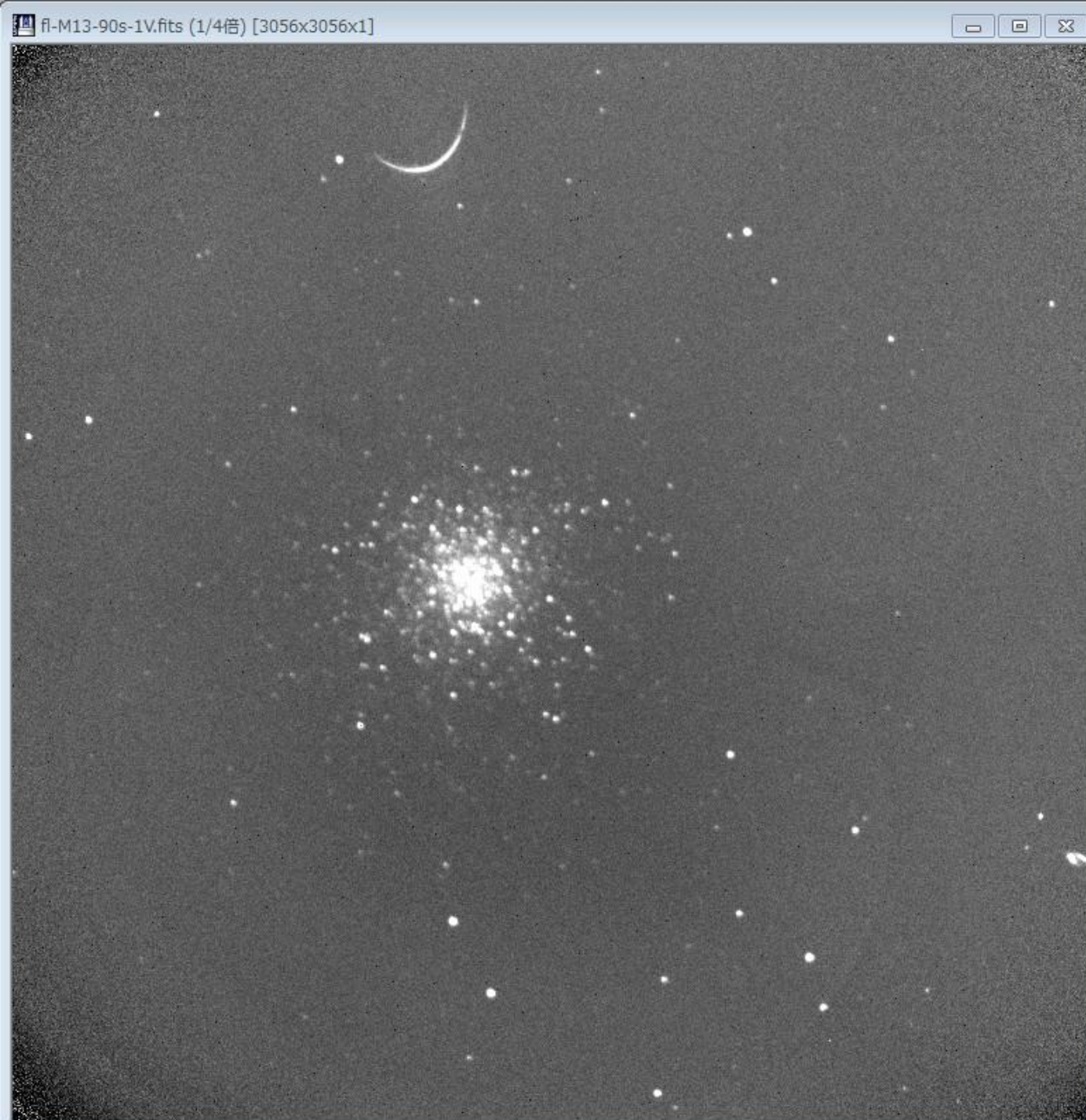
スカイ引き前(左)と、スカイ引き後(右)の画像。
画像全体から定数を引いただけなので、目立った
違いはない。
ただし右図の場合、暗い部分のカウント値は平均的
にゼロとなっている。

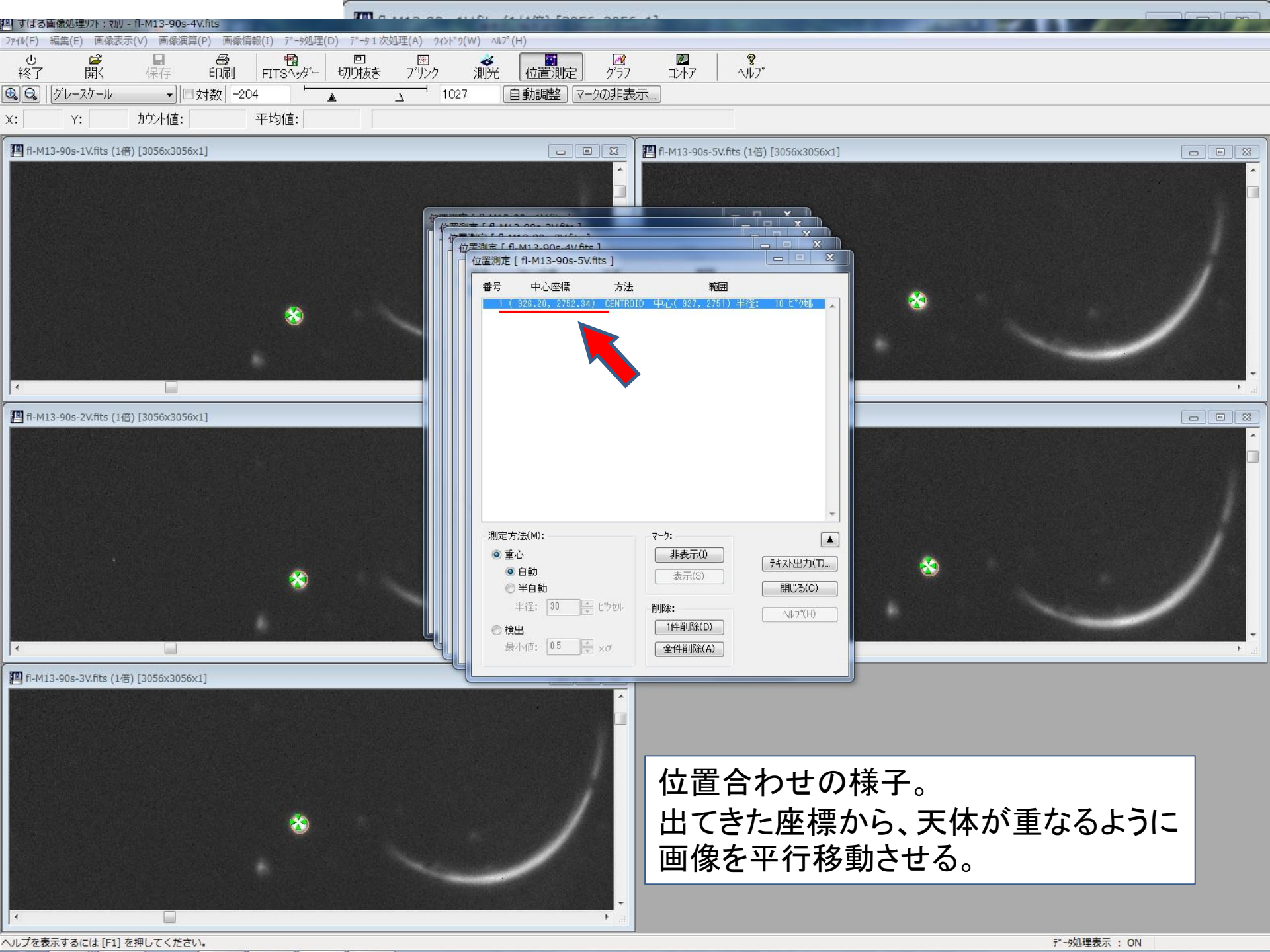
ここまでで・・・

- 撮像した各画像に対して、必要な補正は終了している。
- 画像には、天体から届いた光とノイズが検出されていると考えられる。
- 次に、ノイズの影響を抑えつつ、天体の光を多く集める(S/N 比を上げる)方法を説明する。

天体の位置合わせ

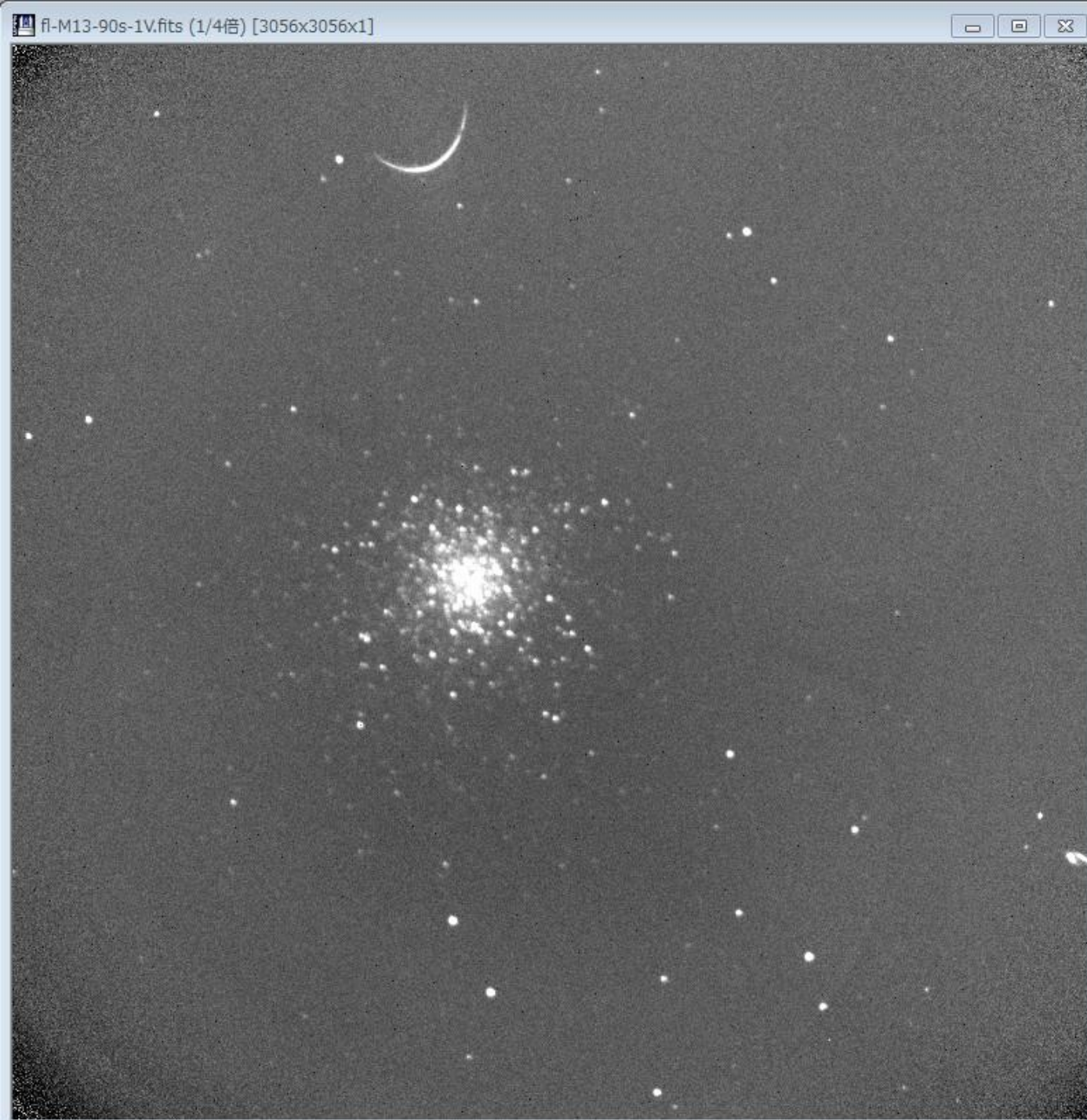
- 天体の光は同じ場所から出ているのに対して、ノイズはランダムに発生しているため、画像をたくさん足し合わせることでS/N比は上がる。
- 天体の位置は、地球の自転、望遠鏡の追尾性能などによって微妙にずれる。更に人為的にズラしたりもする(ディザリング)。
- 各画像間で、天体の位置を合わせなくてはならない。





位置合わせの様子。
出てきた座標から、天体が重なるように
画像を平行移動させる。

フラット割り
スカイ引き後
(M13, V band)



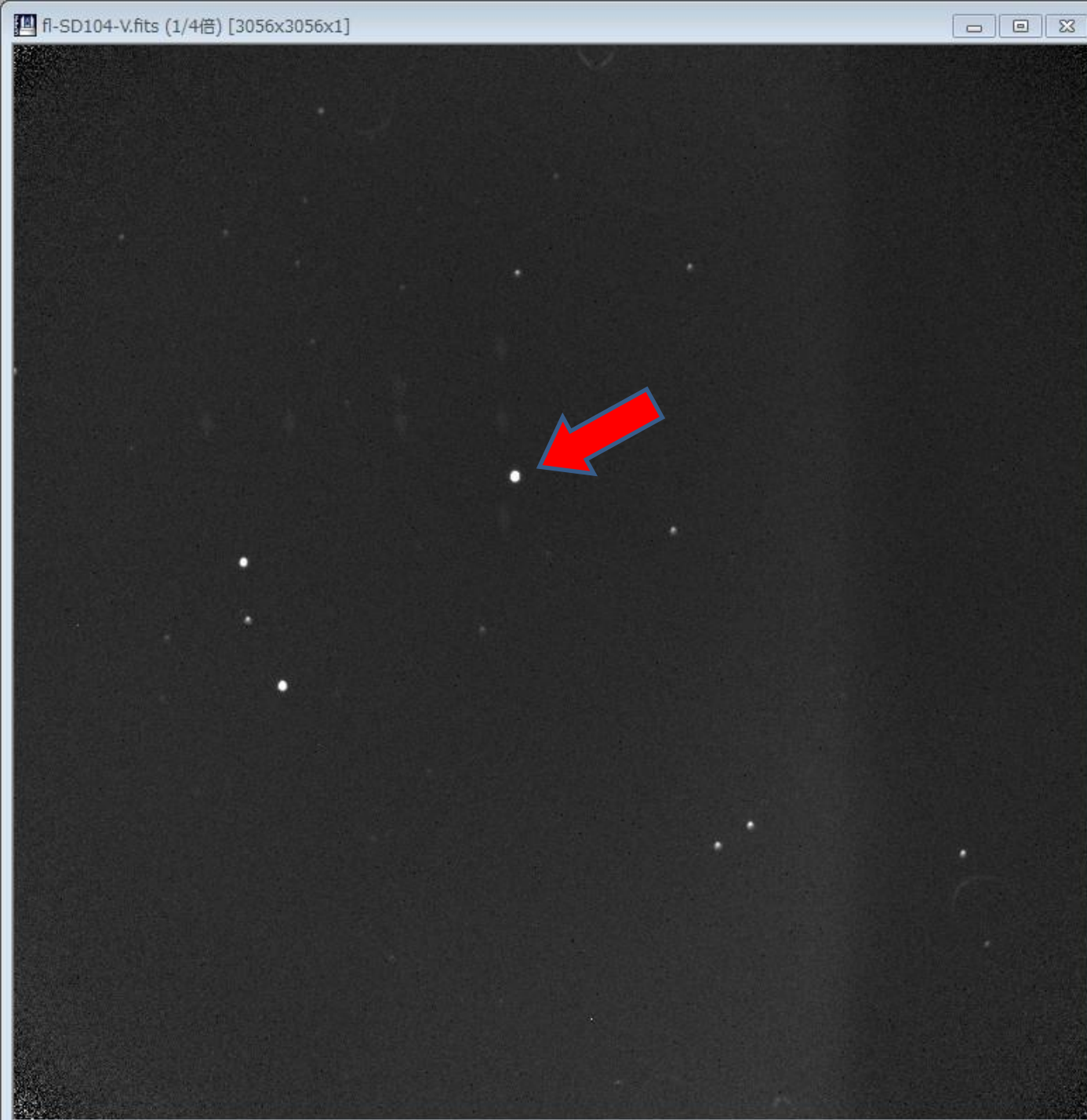
重ね合わせ
(M13, V band,
5枚)



測光

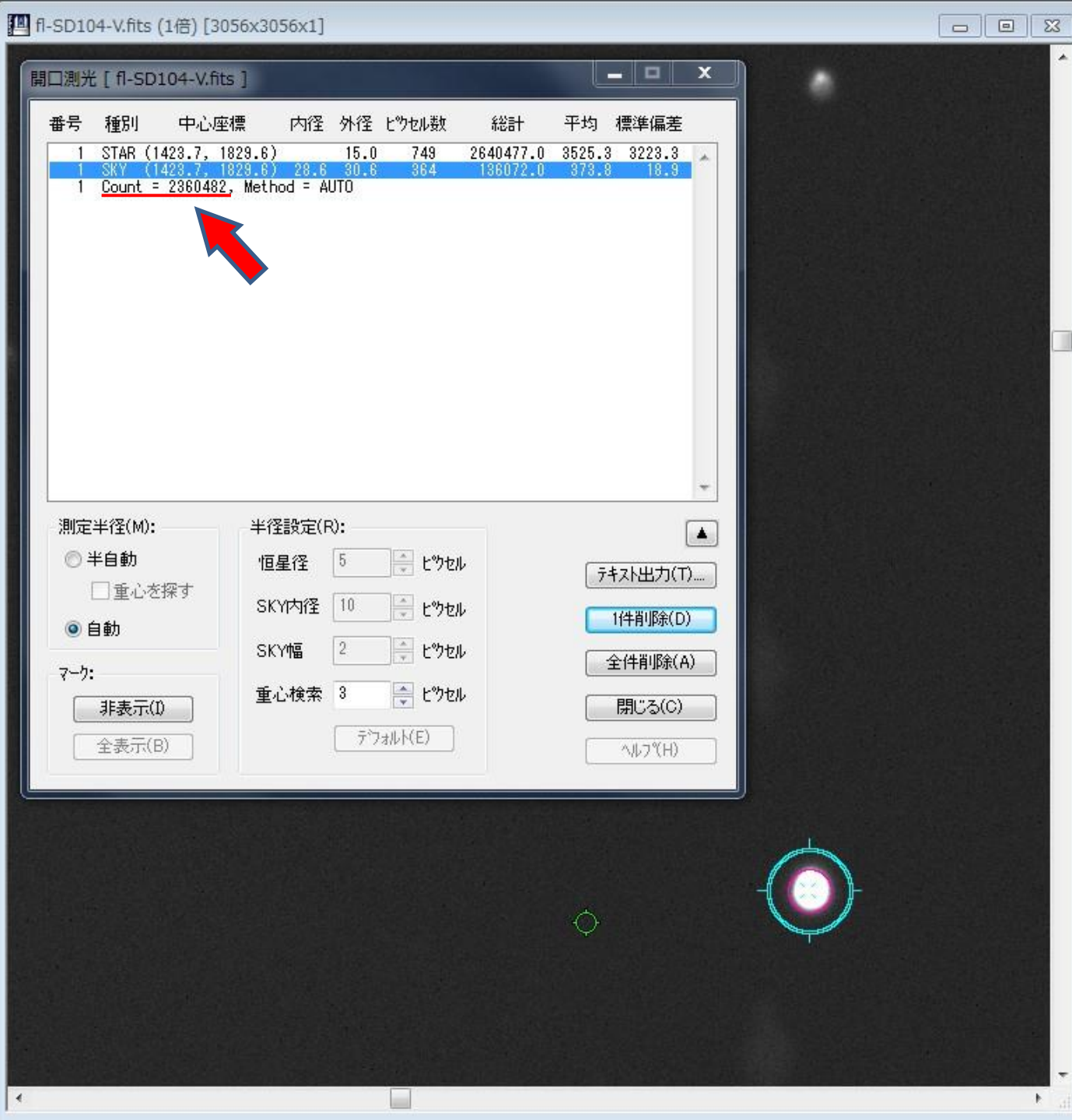
- できたデータはただの数字なので、天体の等級と対応させる必要がある。
- まず、等級の分かっている星（標準星）の画像上でのカウント値を求める。
- 今回は、「開口（aperture）測光」を用いる。

標準星 SA104-306
V mag = 9.370



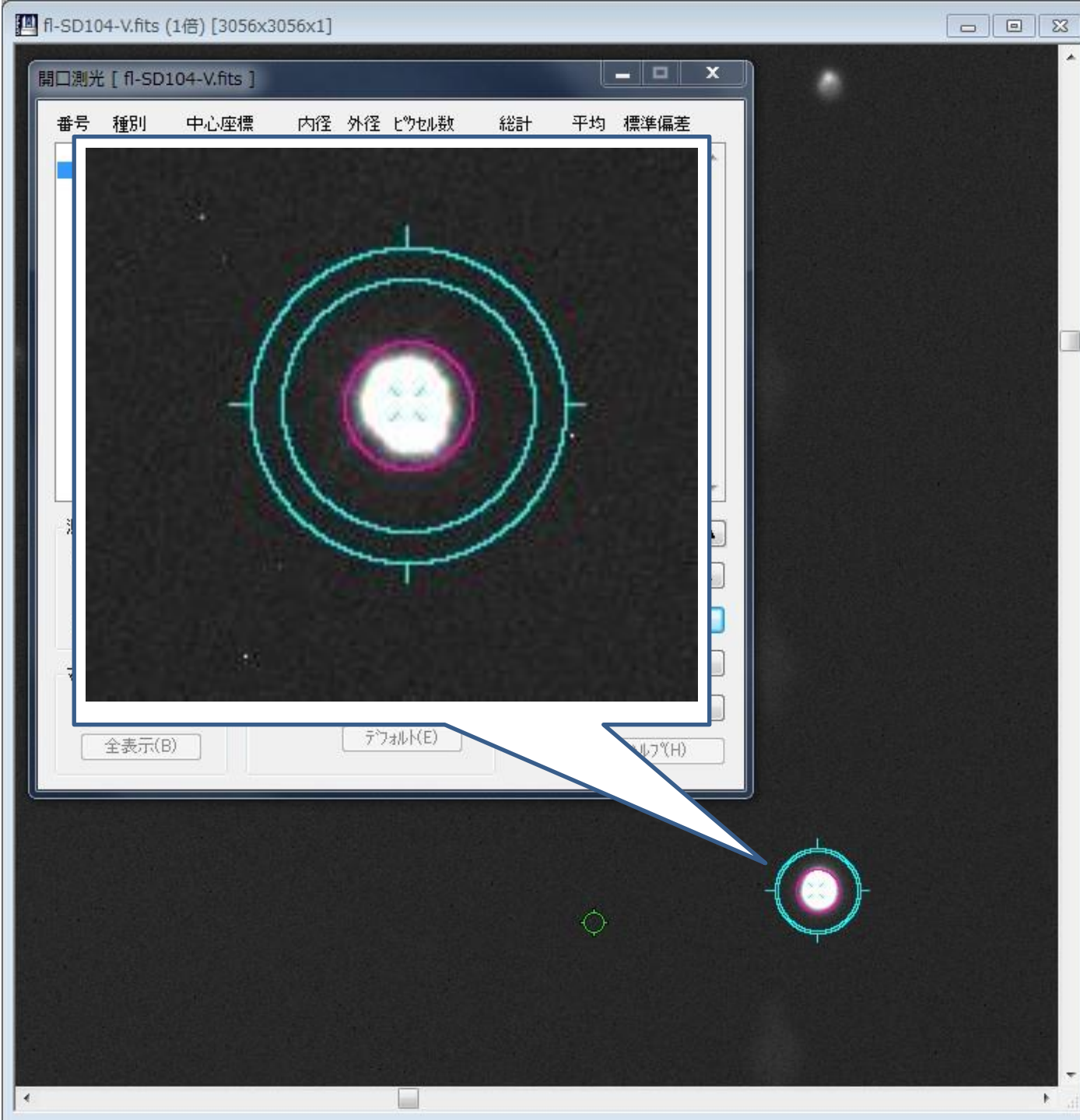
標準星 SA104-306
V mag = 9.370

標準星のカウント
値が表示される。
これを基にして、他
の天体の等級が分
かる。



標準星 SA104-306
V mag = 9.370

標準星のカウント
値が表示される。
これを基にして、他
の天体の等級が分
かる。



測光 ～Makalii の出す値～

- 開口測光は、開口（赤い円内）に含まれる全フラックスで等級を求める方法。
- Makalii では、赤い円の周りに水色の円環が現れる。これは、天体のカウント値がどのくらいスカイの上に乗っているかを測るもので、天体の純粋なカウント値を自動で求めてくれる。
- つまり、測光モードで標準星をクリックするだけでよい。

測光 ～ゼロ点の求め方～

- 標準星のカウント値が分かったら、それを用いて任意の天体の等級が分かる。

$$\begin{aligned} m_{obj} &= m_{std} - 2.5 \log_{10} \left(\frac{C_{obj}/t_{obj}}{C_{std}/t_{std}} \right) \\ &= -2.5 \log_{10}(C_{obj}) + \underbrace{\left[m_{std} + 2.5 \log_{10}(C_{std}) + 2.5 \log_{10} \left(\frac{t_{obj}}{t_{std}} \right) \right]} \end{aligned}$$

この値を「ゼロ点」と呼ぶ。

標準星のカウント値を基にして、天体のカウント値と等級を対応させるための定数である。

※標準星画像と天体画像の積分時間の違いに注意！

まとめ ～観測手順～

- **ダーク画像を、目的天体と同じ露出時間で複数撮る。**

バイアスも含まれているので、バイアス画像を撮る必要は今回はありません。使うフィルターに対応させる必要もありません。

- **フラット画像を、使うフィルターに対応させて複数撮る。**

スカイフラットもしくはトワイライトフラットを用います。観測スタッフが取得したものを2班で共有した方が効率的？

- **標準星を、使うフィルターに対応させて撮る。**

目標天体と高度が近い星をなるべく選んでください。撮る枚数は標準星の明るさで判断してください。

- **目標天体を、適切な露出時間で複数撮る。**

天体がサチらない露出時間で、複数撮ってください。多いほど精度は上がりますが、時間対効果は減っていきますので、時間の無駄にならないように注意してください。

まとめ ～解析手順～

- **各生データからダーク画像を引く。**

ダーク画像が複数あるときは、足し合わせて平均をとってから使ってください。生データの露出時間と同じ時間のダーク画像を使ってください。

- **次に、フラット画像で割る。**

データ画像で使ったフィルターと同じフラット画像を使ってください。

- **次に、スカイを引く。**

複数枚画像を足し合わせる場合はスカイ引きが必要です。一枚しか画像がない場合には、Makaliiでの測光の時に引くだけでも問題ありません。

- **最後に、各画像の位置を合わせて、足し合わせる。**

同じフィルターの画像を足し合わせてください。

- **必要に応じて、天体の等級を測る。**

データ画像と同じ処理をした標準星の画像で測光してください。

2、データ処理・解析 分光観測編

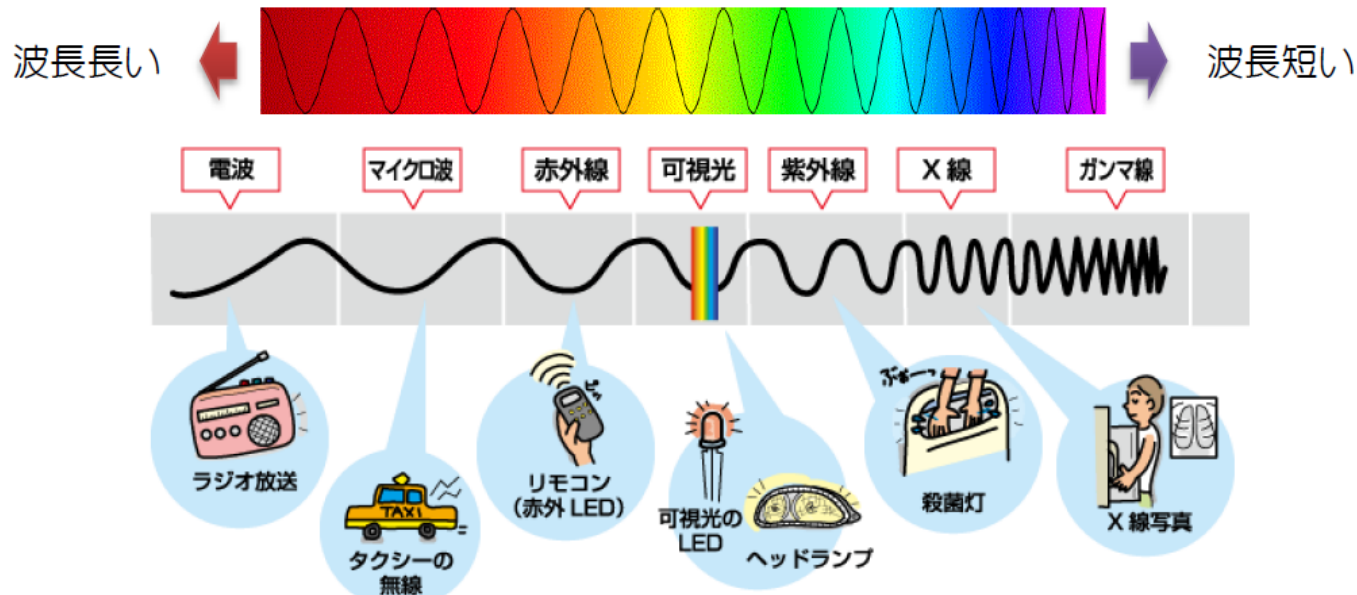
馬渡

光＝色んな波長の光の寄せ集め

－光ってどんなもの？－

光とは電磁波の一種で、約450～700nm (1nm=1/1000000000m)の波長帯の目に見える電磁波を「可視光」と呼びます。電磁波というように光は波の性質を持っています。普段目にすることが多い太陽の光などは、あらゆる波長の光の組み合わせで出来ています。そして、光を波長毎に分けて表したものを、「スペクトル」と呼びます。

電磁波の種類



撮像で捉えている光はいろいろな色の光の寄せ集め

(フィルターの波長域における積分値)

分光＝光を分ける

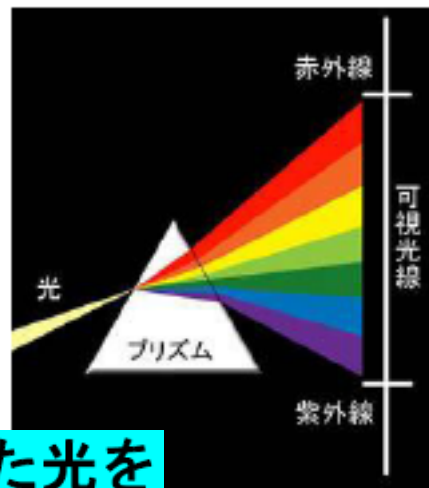
－分光って何をするの?－

分光とは、「光を波長ごとに分解」することです。分光の方法は色々ありますが、例を一つげると、プリズムに光を通すことです。波長毎に屈折率が異なるので、プリズムに光を通すと、プリズムから出てくるとき色が分かれて見えます。この分かれた光を見ることによって、どの色の光(どの波長の光)がどのくらいの強さなのかということが分かります。つまりある波長だけが強い光があるとすると、分光によってその部分だけ強く見えるので、その光の特徴を捉える事が出来るというわけです。

「プリズム」

(左)プリズムと分光された光

(右)光を分光した実際の写真



分光器は、1か所から出た光を色ごとに分けてやる装置です。

撮像と分光スペクトルの対応

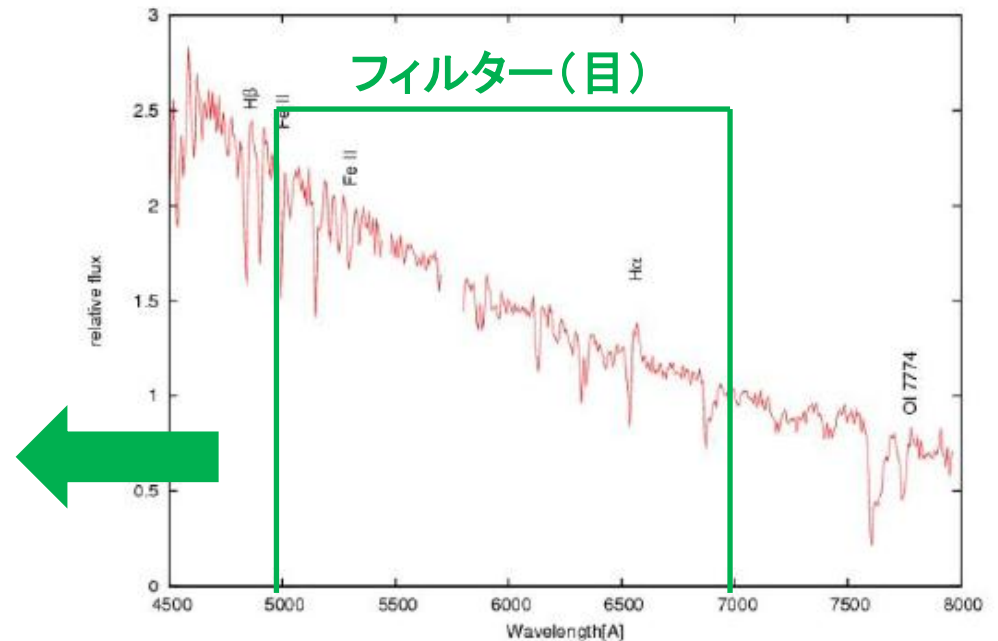
撮像で捉えている光はフィルターの波長域における積分値

M31 アンドロメダ銀河

撮像画像

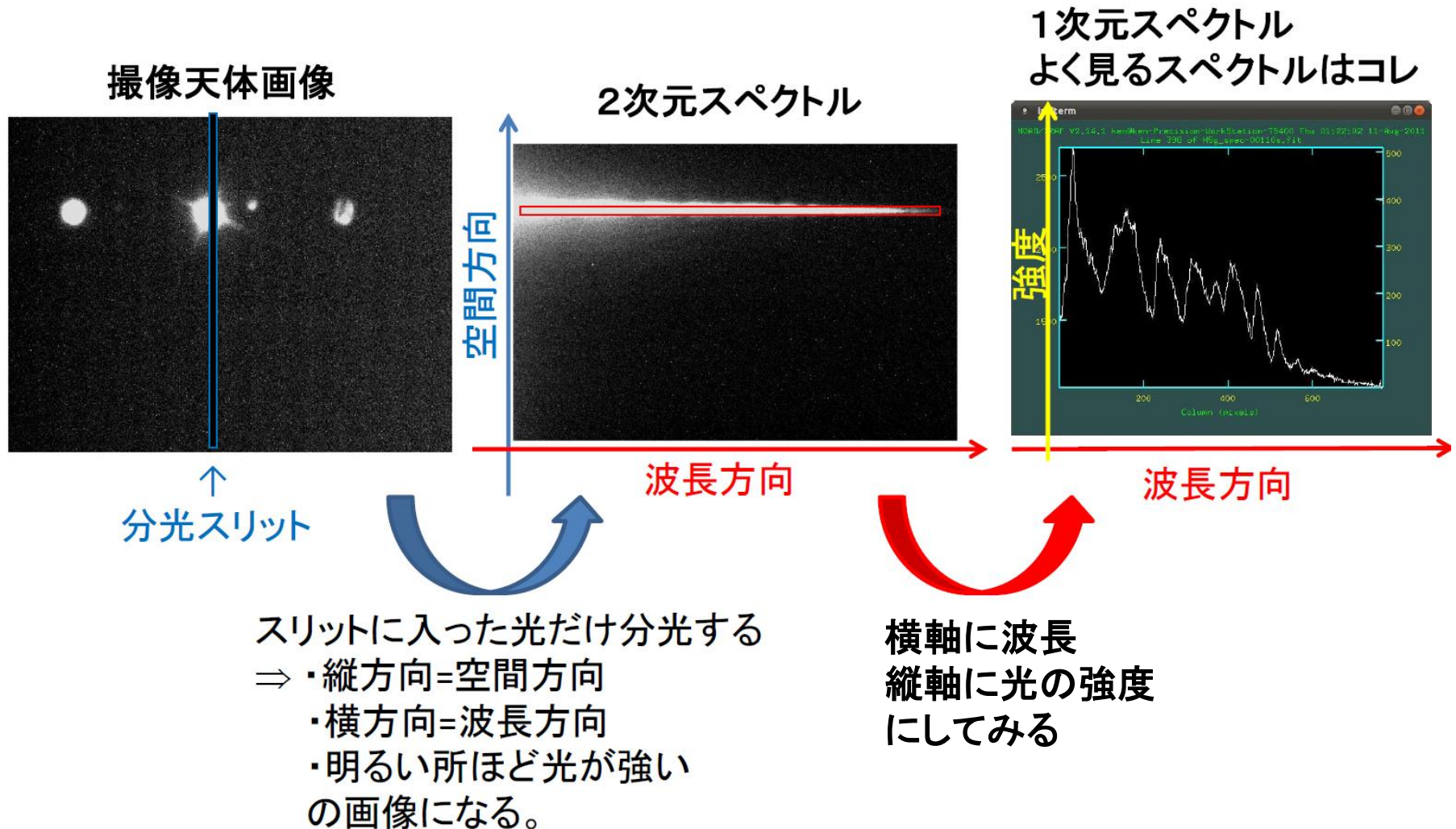


スペクトル



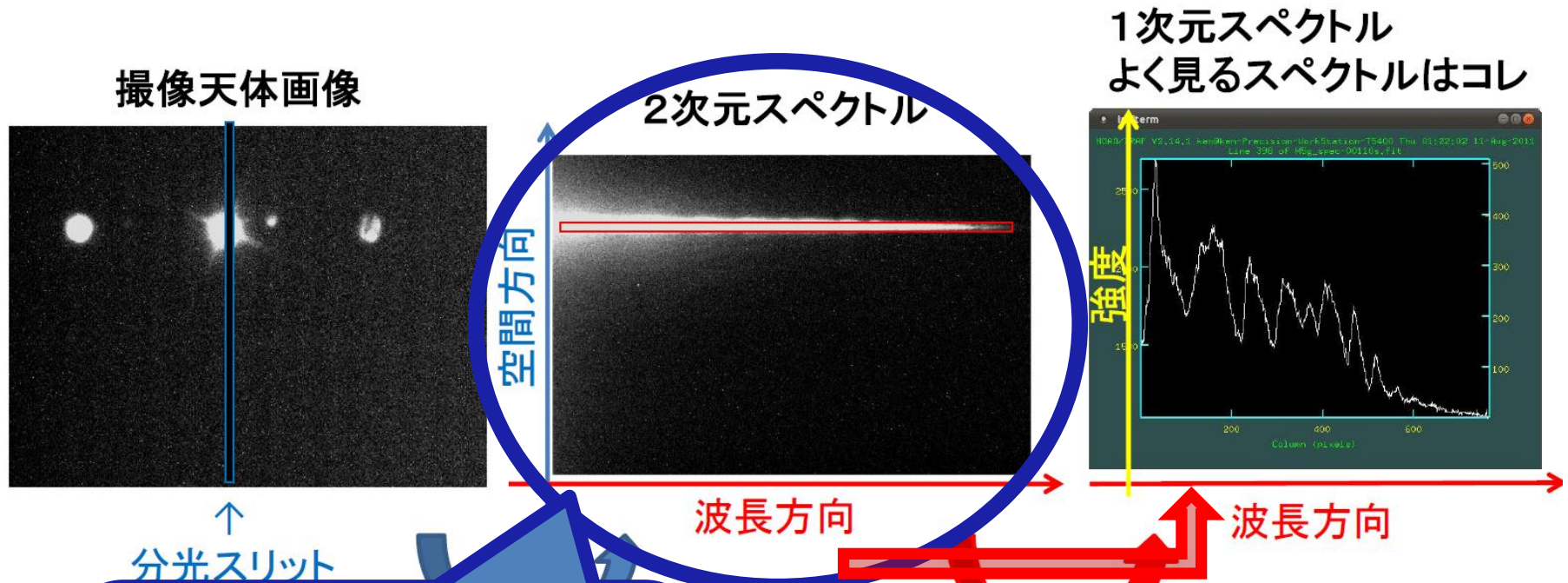
撮像と分光スペクトルの対応

より実践的・観測的イメージ



分光におけるデータ処理の必要性

より実践的・観測的イメージ



ただし、観測から得られたスペクトルは本来の天体のスペクトルとは違う！

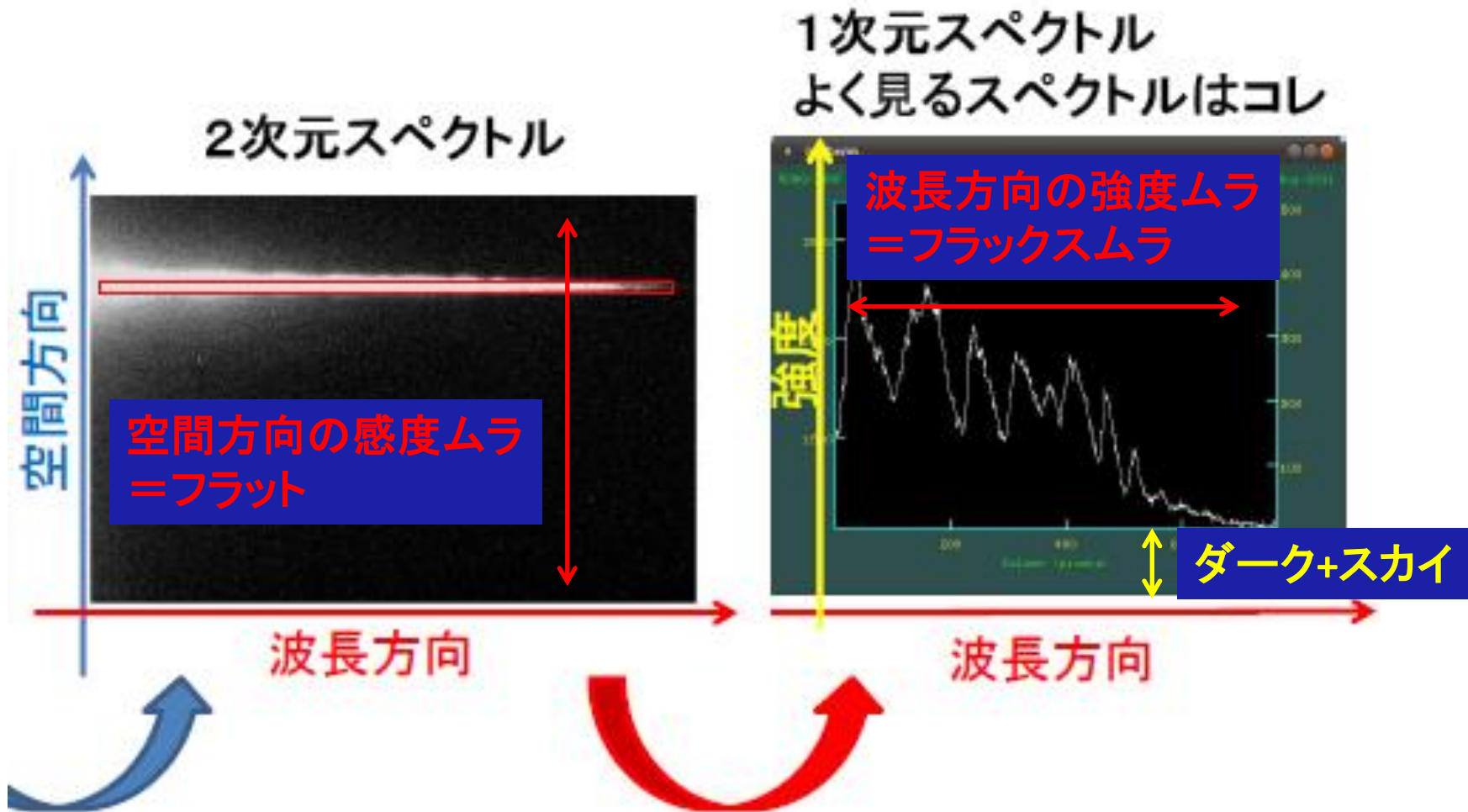
地球大気の影響や装置のノイズを取り除かないと一次元スペクトルも間違ってしまうorz

データ一次処理

横軸に光の強度
にしてみる

分光スペクトルに乗るノイズ

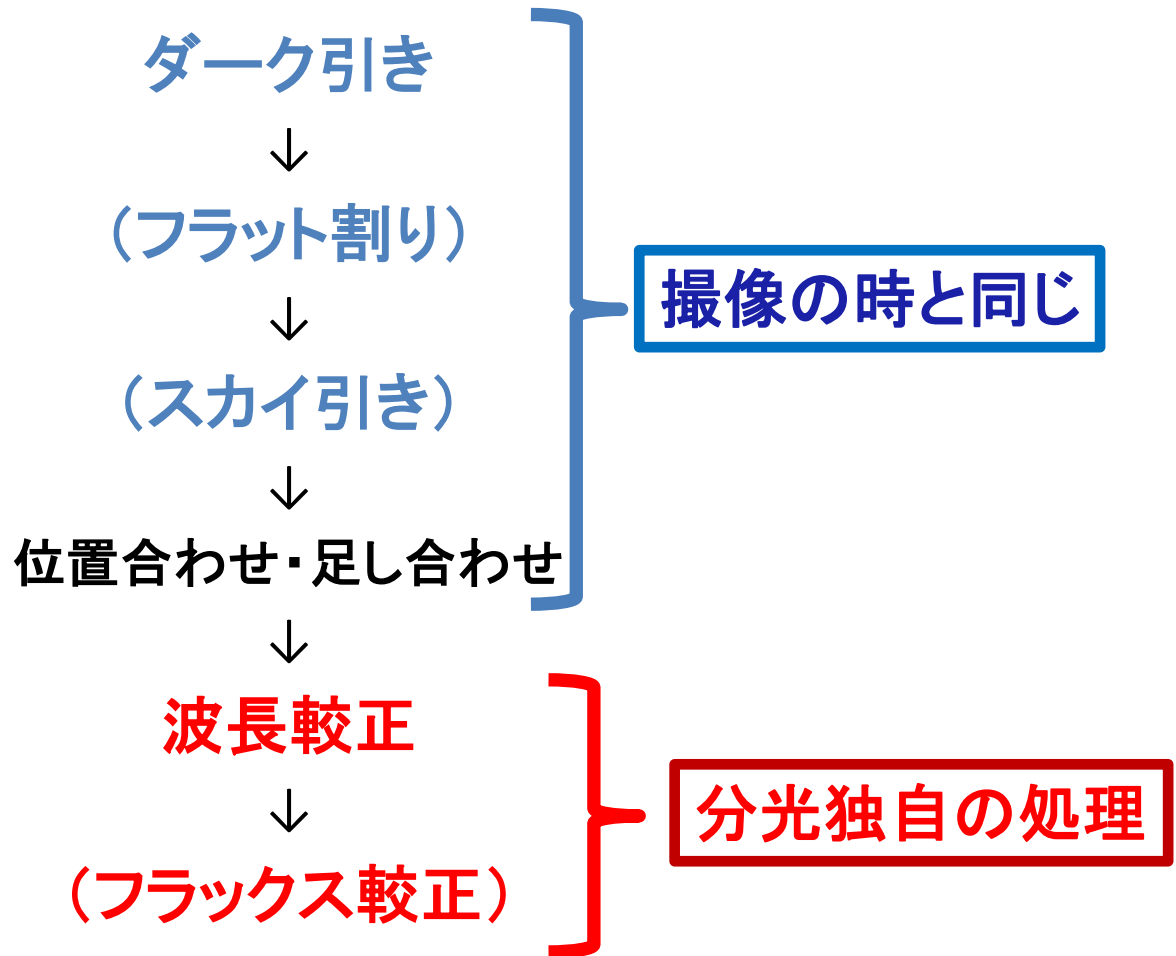
黄：撮像の時と同じ、赤：分光独自



分光データ一次処理

・フローチャート

※カッコ書きは天体や
知りたい物理量によって
やる必要がないかも
しれない作業

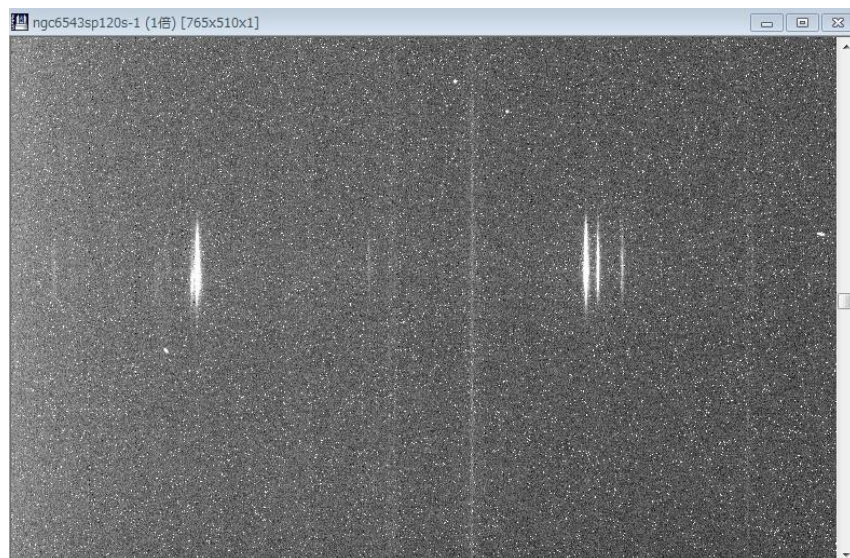


※どこかで「一次元化」が入る (今回はフラット割とスカイ引きの間)

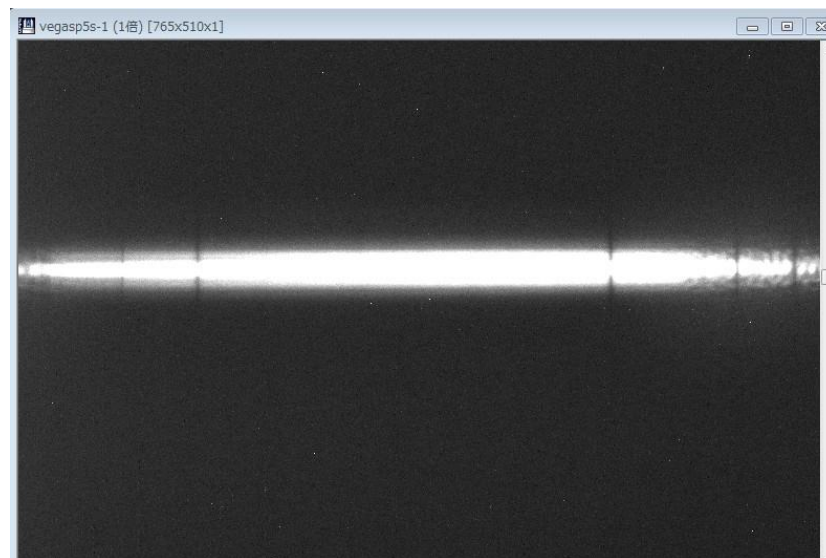
分光データ一次処理

生画像

: NGC6543(キャッツアイ星雲)



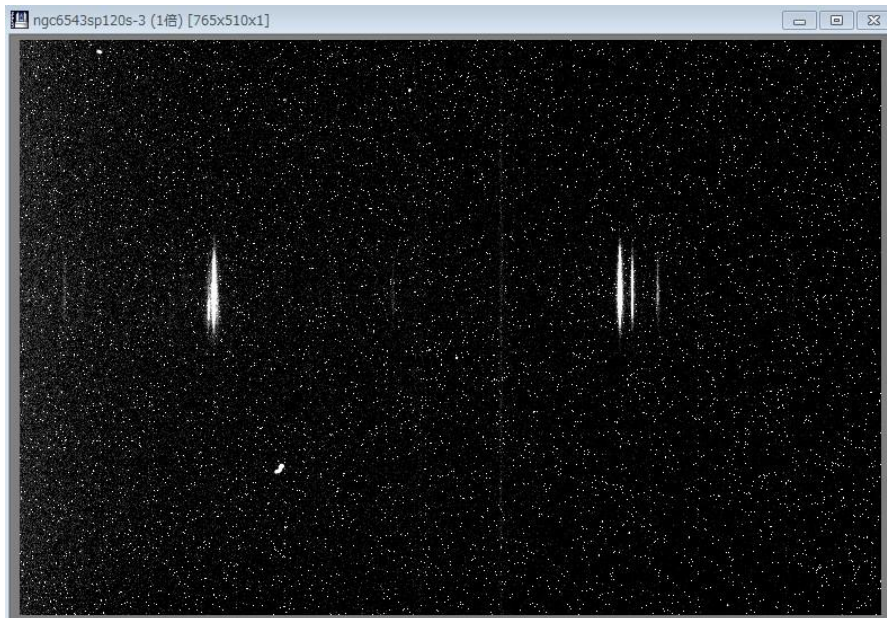
vega(標準星)



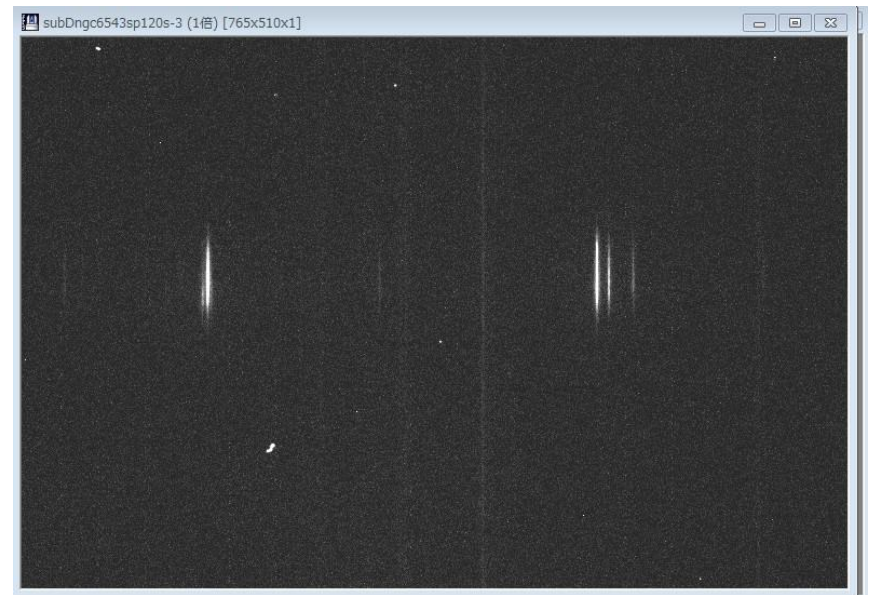
分光データ一次処理

①ダーク引き

: 撮像の時と同じだが、今回使う分光用CCDカメラ(SBIG/ST-7)は撮像用カメラ(Apogee-Alta-U9000)よりダーク貯めやすいのでより重要！



ダーク引き前



ダーク引き後

分光データ一次処理

②フラット割り

: 撮像の時は画像のx軸y軸の両方とも空間方向だったが、分光の場合はx軸は波長方向であり、空間方向はy軸だけ

=> フラット画像で感度ムラが直せるのは空間方向(y)だけ!

フラット(トワイライトorスカイordーム)が一様光であるのは空間方向だけ!

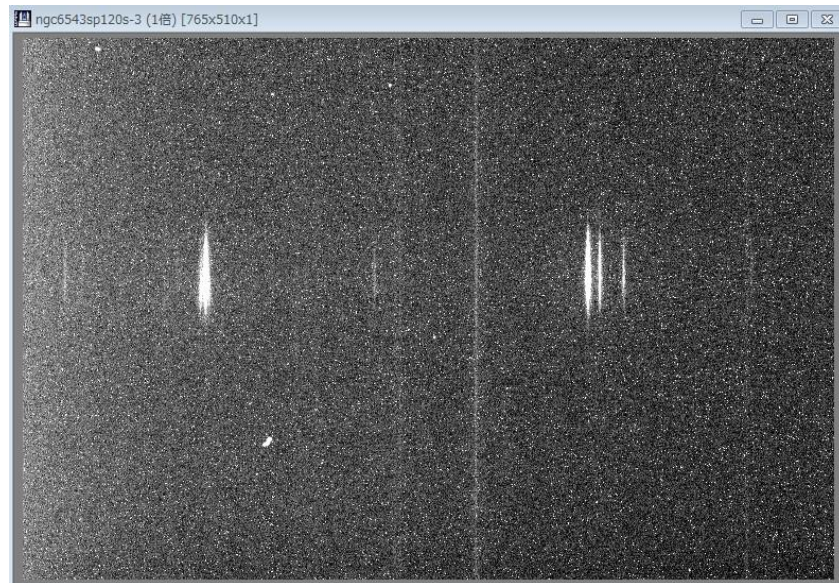


<= フラット画像

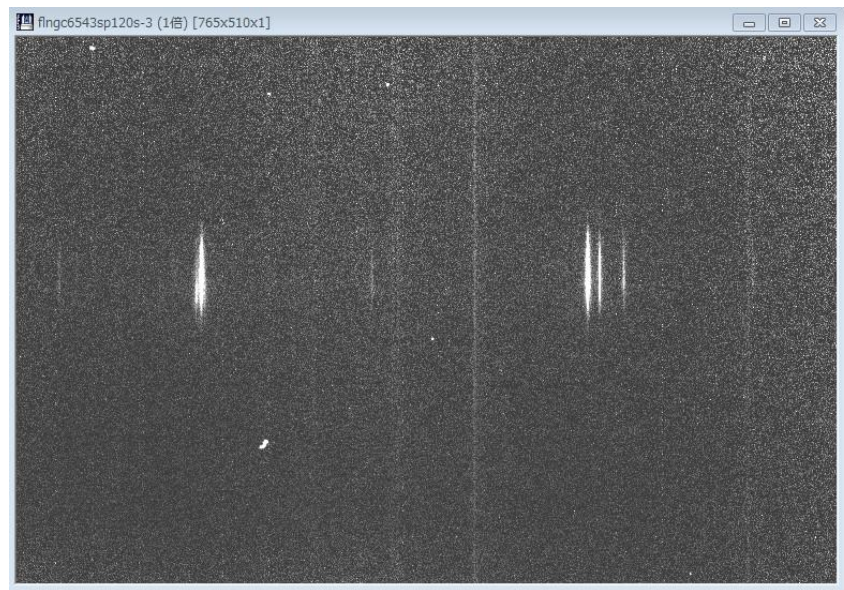
=> 波長方向の感度ムラを直したければ⑤**フラックス補正**で

※逆に広がった天体でなければフラット割りは重要でないからやらなくていいかも

分光データ一次処理



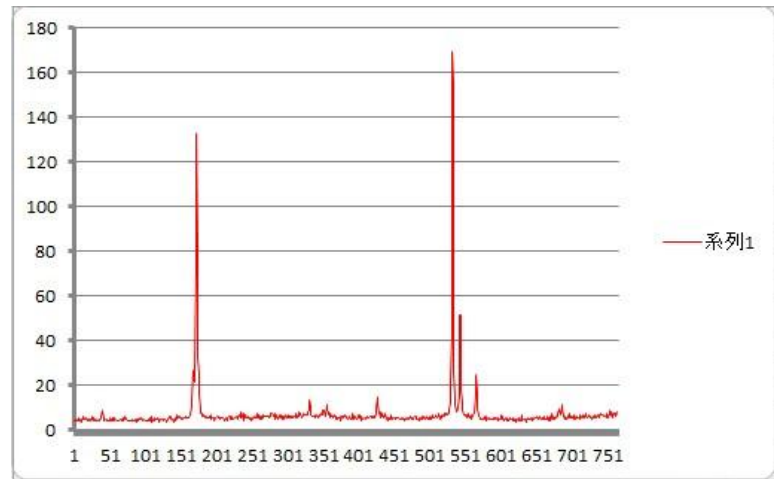
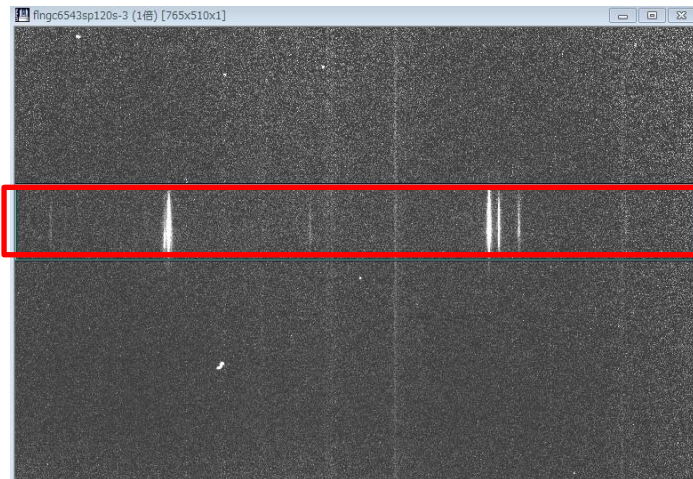
フラット割り



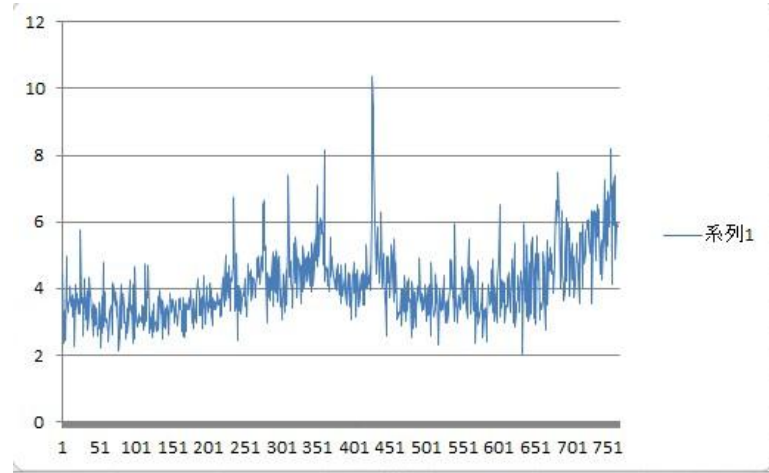
分光データ一次処理

2.5 一次元化

: 2次元スペクトルから適当なy座標の行にだけ注目して横軸を波長(pix)、縦軸を明るさにする



天体の
1次元
スペクトル



スカイの
1次元
スペクトル

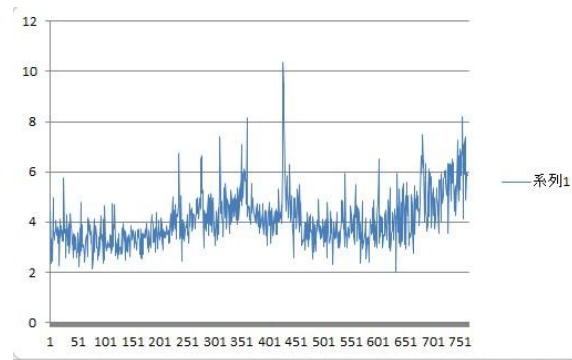
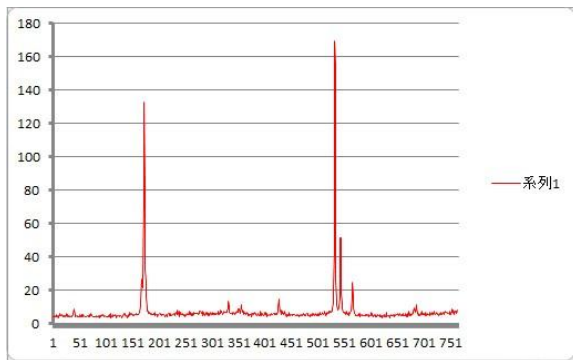
分光データ一次処理

③スカイ引き

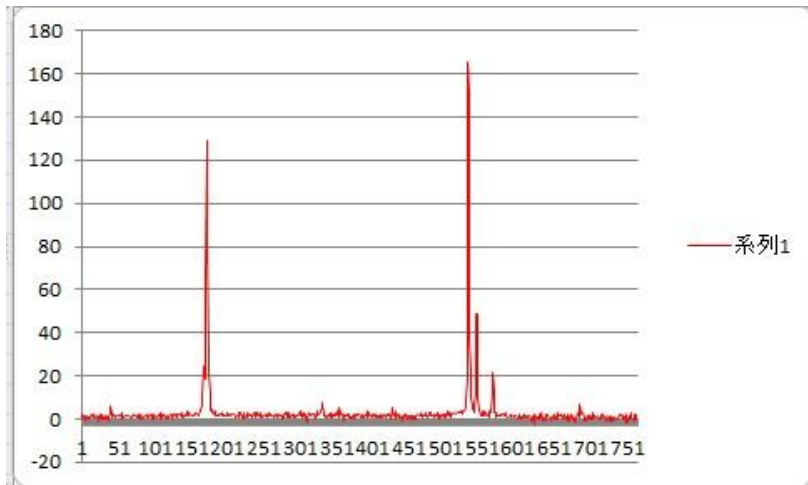
: スリット为天体光以外の部分 = スカイ

ただし撮像の時と違ってスカイが波長毎に違う

$$\Rightarrow \text{obj}(\lambda) - \text{sky}(\lambda)$$



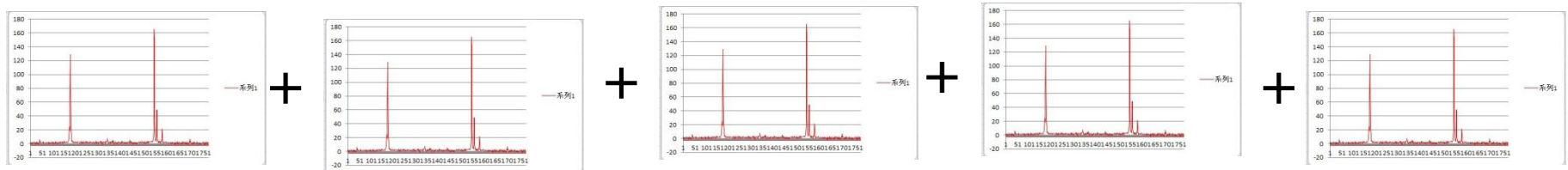
=



分光データ一次処理

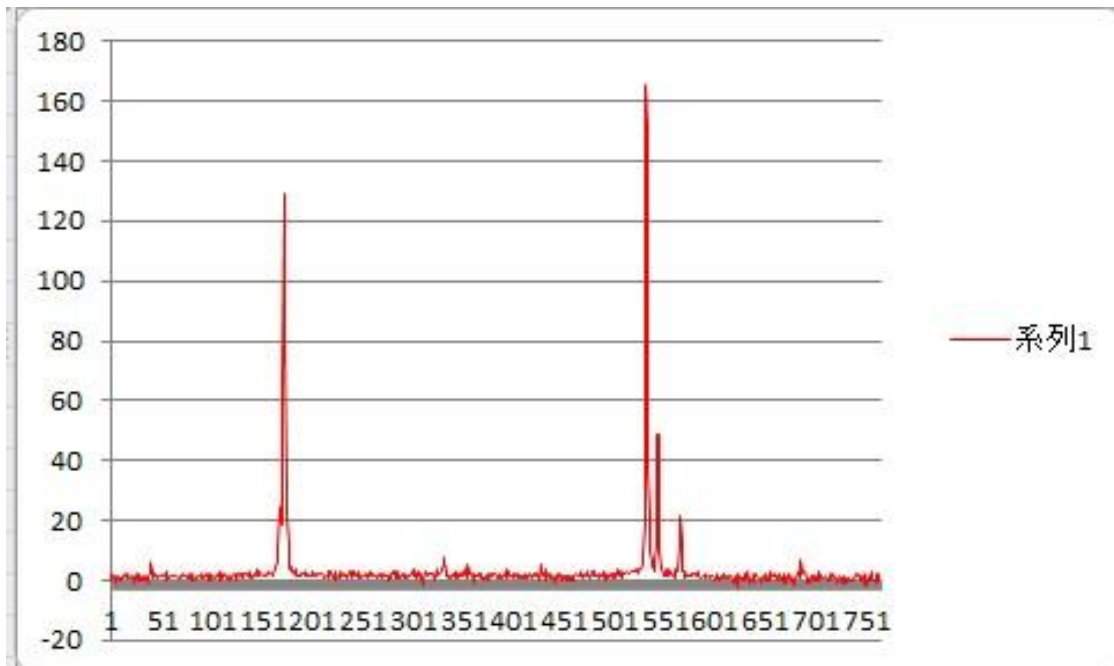
④足し合わせ

: 1次元化したスペクトルを足し合わせてS/Nアップ↑↑



5

=



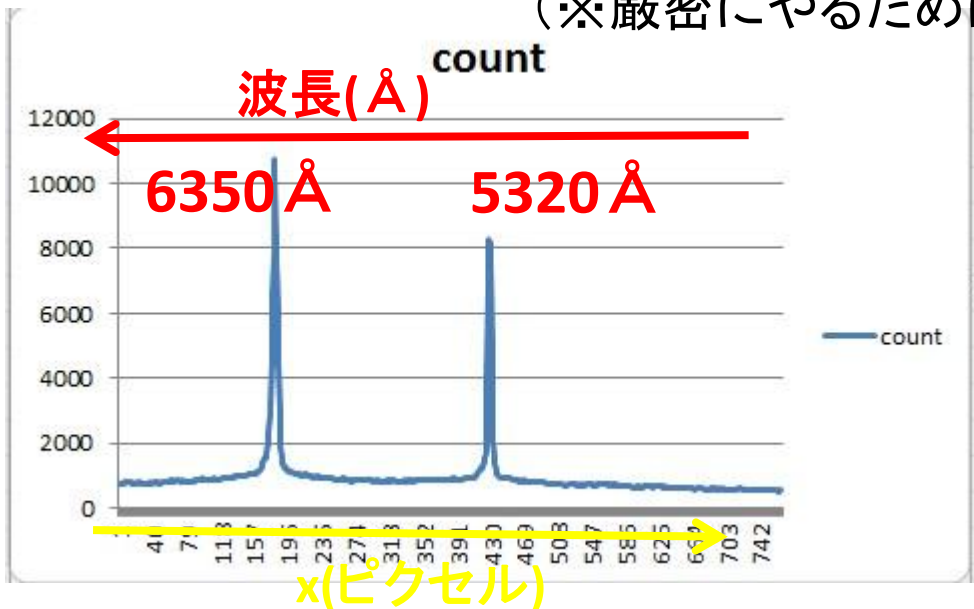
分光データ一次処理

⑤波長校正

: x軸(横軸)がピクセルになっているのを波長に直す

=> 観測前にとってる**コンパリソン**フレームを使う

(※厳密にやるためには結局、ベガ使った方がいい・・・)



ピクセル(pix)=>波長(Å)の変換式
:「波長=a×ピクセル+b」
のa,bを求める！(ST-7の場合、a<0)

コンパリソン:

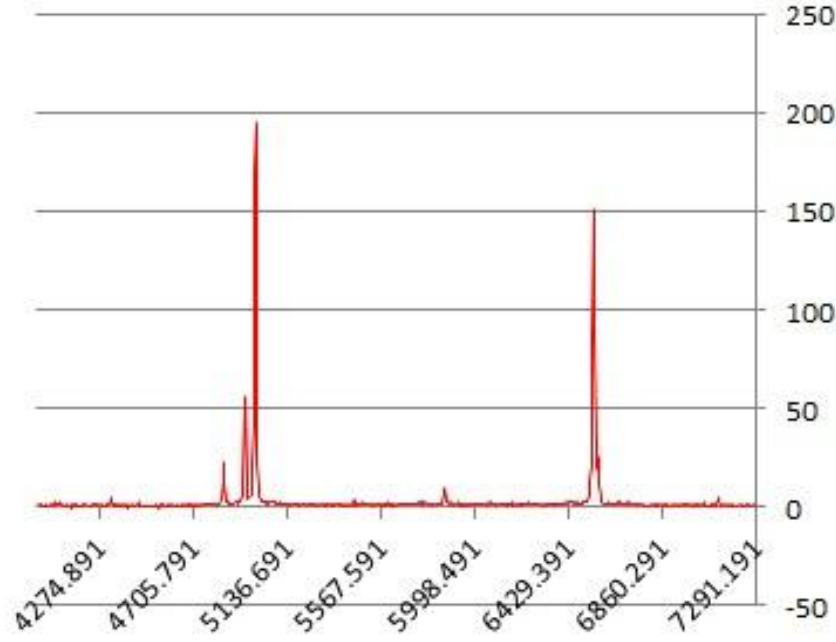
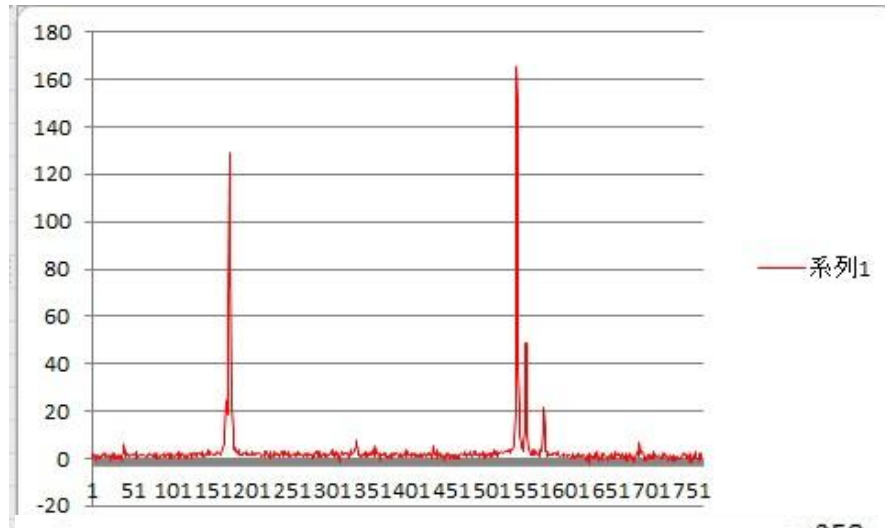
元々波長のわかってる光

(特徴的な輝線を持つ光)

を分光器に入れて取った画像

分光データ一次処理

「波長= $a \times \text{ピクセル} + b$ 」をオブジェクトフレームに適用



$a = -4.153$
 $b = 7097$

横軸が波長(Å)
になった

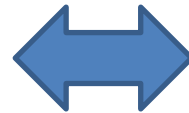
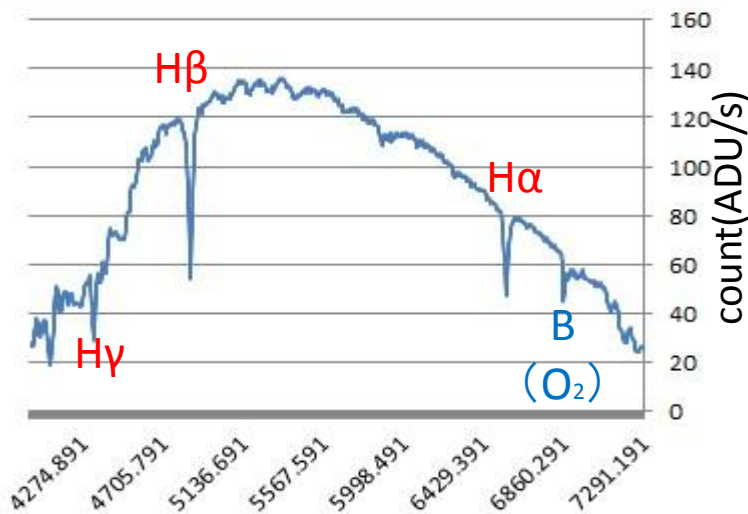
分光データ一次処理

⑥フラックス補正

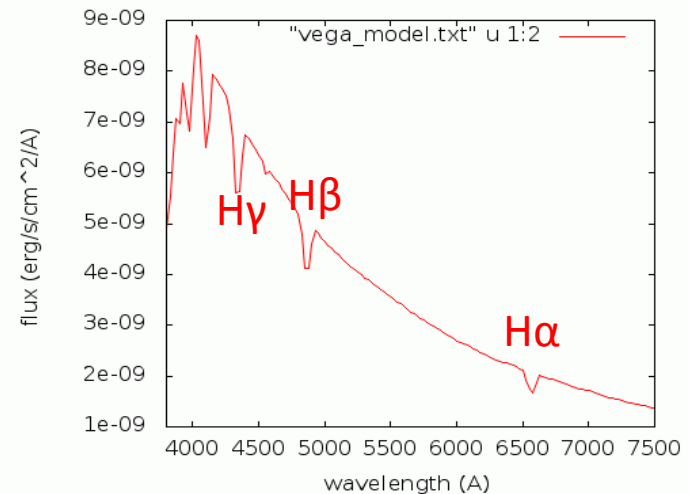
:まだ波長方向の感度ムラが残っている。

=>分光標準星(本来のスペクトルが分かっている星)を使う

波長較正まで行った観測スペクトル



本来のスペクトル

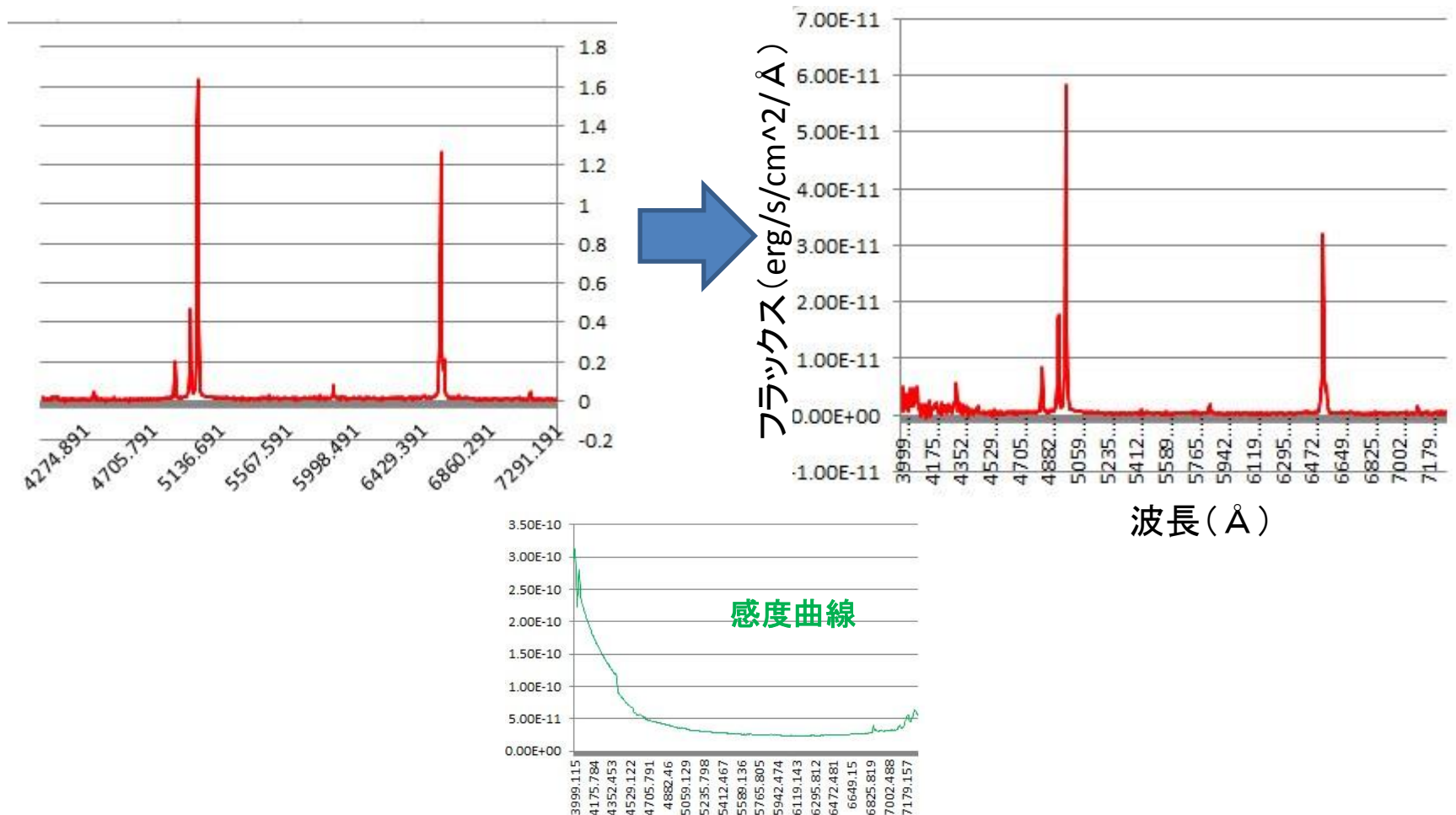


観測されたスペクトルと本来のスペクトルを比べて、変換式:
「本物フラックス(λ) = $f(\lambda) \times$ 観測フラックス(λ)」
の $f(\lambda)$ を求める ※観測スペクトルを1秒あたりにしとくこと

(L. Colina et al. 1996
Instrument Science Report CAL/SCS-08)

分光データ一次処理

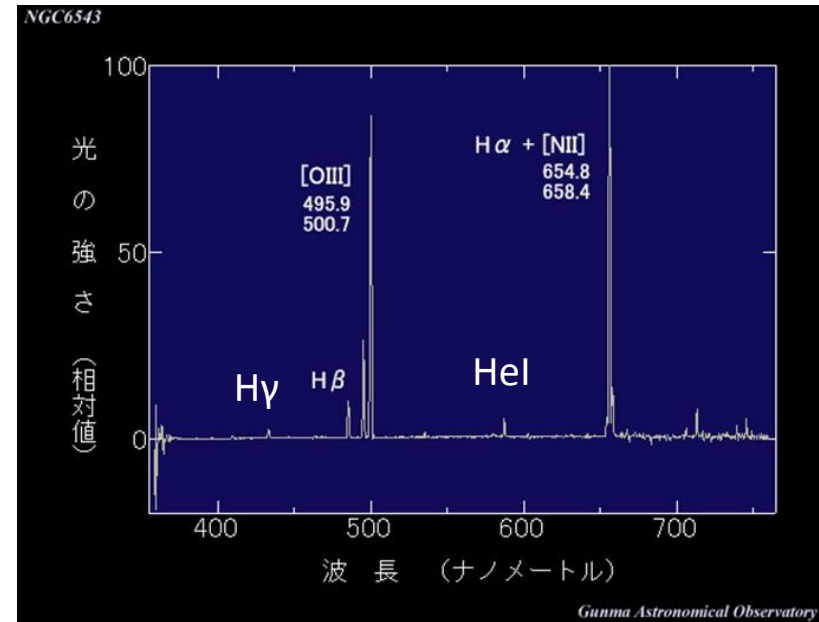
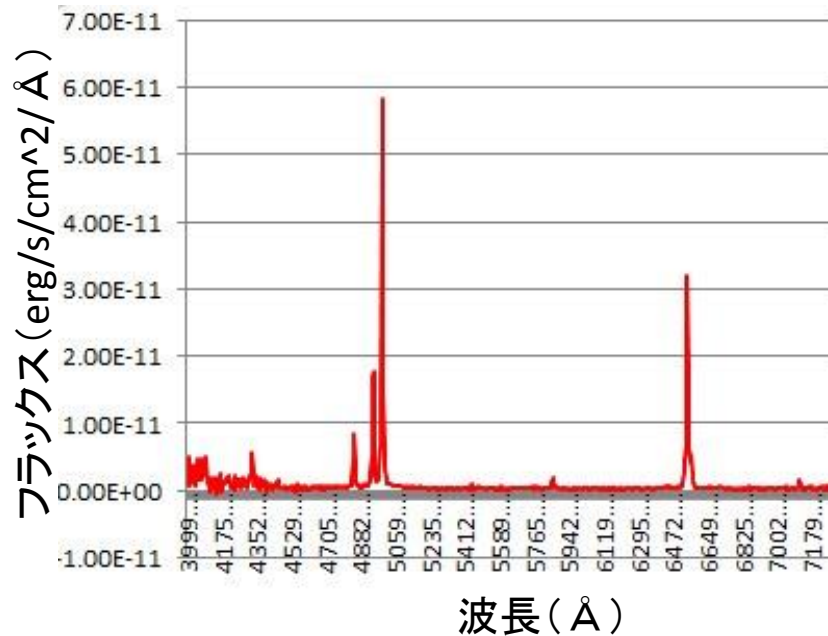
オブジェクトの観測スペクトルに $f(\lambda)$ を掛け算
=>オブジェクトの本物スペクトル！



分光スペクトルの解析例

(1)元素組成の同定

: 輝線がある場合はその輝線の波長から何の元素がその天体に付随するか分かる



参考: 群馬天文台で撮られたスペクトル

H α (6563 \AA)と[OIII](5010 \AA , doublet)、H β (4861 \AA)、H γ (4340 \AA)、HeI(5876 \AA)確認

=>水素と酸素、ヘリウム原子が天体に付随

分光スペクトルの解析例

(2)天体の速度の推定

: 輝線がある場合はその輝線の波長と、本来あるべき波長がずれている場合がある

=> 天体が動いているため、ドップラーシフトにより輝線の波長がズレた

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \iff v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

※今回使う分光器は高分散でも波長分解能 $\Delta\lambda \sim 10 \text{ \AA}$

=> $v \sim 600 \text{ km}$ 以上の速度の天体しか速度の推定ができない

分光スペクトルの解析例

(3) 輝線強度や強度比

: スペクトル中の複数の輝線の強度の比から、様々な物理状態が分かる (e.g. 銀河が星を一年でどれくらい作っているか？ 元素組成比など)



$$\text{SFR}(M_{\odot} \text{ yr}^{-1}) = \frac{L(\text{H}\alpha)}{1.26 \times 10^{41} \text{ ergs s}^{-1}} .$$

(Kennicutt+98)

※難しい物理

フラックス補正をしっかりとしないとできない

データ処理まとめ

・撮像データ

観測データ

= バイアス + 積分時間 ×

[ダーク + フラット × (天体光 + スカイ)]

を複数枚

・分光データ

観測データ

= バイアス + 積分時間 × [ダーク +

フラット(空間、波長方向の2種類) × (天体光 + スカイ)]

を複数枚

更に横軸をピクセルから波長に直す

この天体光だけを
抜き出すための作業
が「データ処理」

3、MAKALII実習編

馬渡・本間・大野