

星取県の分光観測用波長校正ユニット

TORIHICO

操作マニュアル (Ver. 0.0)

2024年8月29日

米子高専科学部

目次

1. TORIHICO について
 - 1.1 TORIHICO の構造
2. 観測方法
 - 2.1 スペクトルの撮像
 - 2.2 波長較正用スペクトルの撮像
 - 2.3 フラットの撮像
 - 2.4 分光標準星の撮像
3. 解析方法
 - 3.1 波長較正
 - 3.2 分光感度補正
4. 付録
 - 4.1 分光標準星一覧
 - 4.2 Ne-Xe ランプ輝線一覧

1. TORIHICO について

星取県の天体分光観測用波長校正ユニット「TORIHICO」は、鳥取県教育委員会の令和 6 年度とっとり夢プロジェクト事業補助金の交付を受けて、米子高専科学部が製作した波長校正ユニットであり、以下の特徴を持っている。

- ・アマチュア天文家が簡単に自作できるよう、3D プリンタで製作したパーツ (CAD データは公開) と既製パーツを多用し、工作を最小限にとどめたこと。
- ・市販の Ne-Xe ランプを波長校正用光源とし、天体分光観測時に極めて容易に波長校正用スペクトルの撮像ができること。
- ・市販の白熱電球をフラット光源に、因州和紙をディフューザーとし、簡単な関数で分光感度補正関数が表せるようにしたこと。
- ・既製パーツを利用しているため、米子高専科学部が令和 5 年度に開発した天体観測用分光器「TORIHIME」だけではなく他の分光器にも接続可能であること。

以上の特徴により、TORIHICO を利用するとスペクトルの波長校正や分光感度補正が極めて容易となり、天体分光観測の効率が向上すると考えられる。

1.1 TORIHICO の構造

図 1.1.1 に TORIHICO の外観を、図 1.1.2 に TORIHIME と接続して分光観測を行う場合の写真を示す。TORIHICO はビクセンのフリップミラーを利用して、Ne-Xe ランプやフラットランプの光を分光器の光軸上に導くものである。そのため、波長校正用スペクトルやフラット撮像が簡単に行えるだけでなく、VEGA や DSS-7 といった TORIHIME 以外の分光器にも接続して使用することができる。



図 1.1.1 TORIHICO の外観



図 1.1.2 TORIHICO を TORIHIME に接続

2. 観測方法

2.1 スペクトルの撮像

まず、スペクトルを 0 次のスペクトルに切り換え、スリットをスリットビューワーとする。そして、図 2.1.1 のように観測天体を視野内に導入し、ヘアライン上の視野中央に合わせる。次に、スリットを $250\mu\text{m}$ スリットとし、天体がスリットの中央にとらえられていることを確認する。

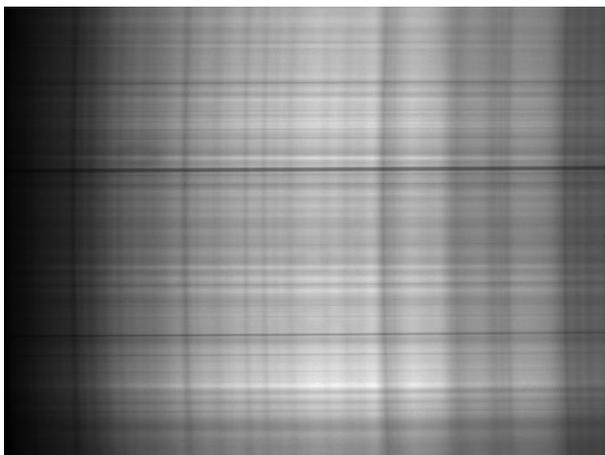


図 2.1.1 スリットビューワー画像
中央の縦線がヘアライン

このとき，もしスリットが傾いていたら，カメラを回転させてスリットが画角の縦軸方向と平行になるように調整する．続いて，スペクトルを 1 次のスペクトルに設定し，観測に適したスリットを選択する．

- ・ 50 μm スリット：天体が暗く，長時間露光が必要な観測で使用
- ・ 30 μm スリット：50 μm と 15 μm スリットの中間的な観測で使用
- ・ 15 μm スリット：視線速度を正確に求めるなど，精度が必要な観測で使用

観測天体のスペクトルを撮像する(図 2.1.2)．このとき，もしスペクトルの波長の分散方向が画角の横軸に対して傾いていたらスリットと回折格子の溝が平行になっていない証拠である．そこで，スリットに対して回折格子を回転させてスペクトルの分散方向が画角の横軸方向と平行になるように設定する．観測天体のスペクトルの撮像後望遠鏡に蓋をして，同じ露光時間でそのダーク画像を撮像する．



スペクトルの波長の分散方向が画角の横軸に対して傾いていたらスリットに対して回折格子を回転させてスペクトルの分散方向が画角の横軸方向と平行になるように設定する（実際は観測前に地上の風景や青空で設定しておく）

図 2.1.2 月のスペクトル画像

2.2 波長較正用スペクトルの撮像

天体のスペクトル撮像後，波長較正用スペクトルを撮像する．なお，小型望遠鏡の場合望遠鏡の方向が変わると接眼部のたわみも変化するため，天体ごとに波長較正用スペクトルを撮像する必要がある．具体的には，望遠鏡の駆動装置を一旦停止して，図 2.2.1 のように TORIHICO の接眼部に Ne-Xe ランプを入れ，ミラーの角度を 45° にして撮像する．もちろんダークも撮像する．図 2.2.2 に Ne-Xe ランプのスペクトルを示す．中央の山より短波長側が Xe の，長波長側が Ne の



図 2.2.1 左 : Ne-Xe ランプ 右 : TORIHICO に Ne-Xe ランプを取りつけた写真

輝線である。3.1 節の波長較正では、すべての輝線を使うと正確に波長較正が行えるが、短波長側 3 本、長波長側 4 本程度の輝線を選んで波長較正を行っても十分な精度で波長較正が行える。

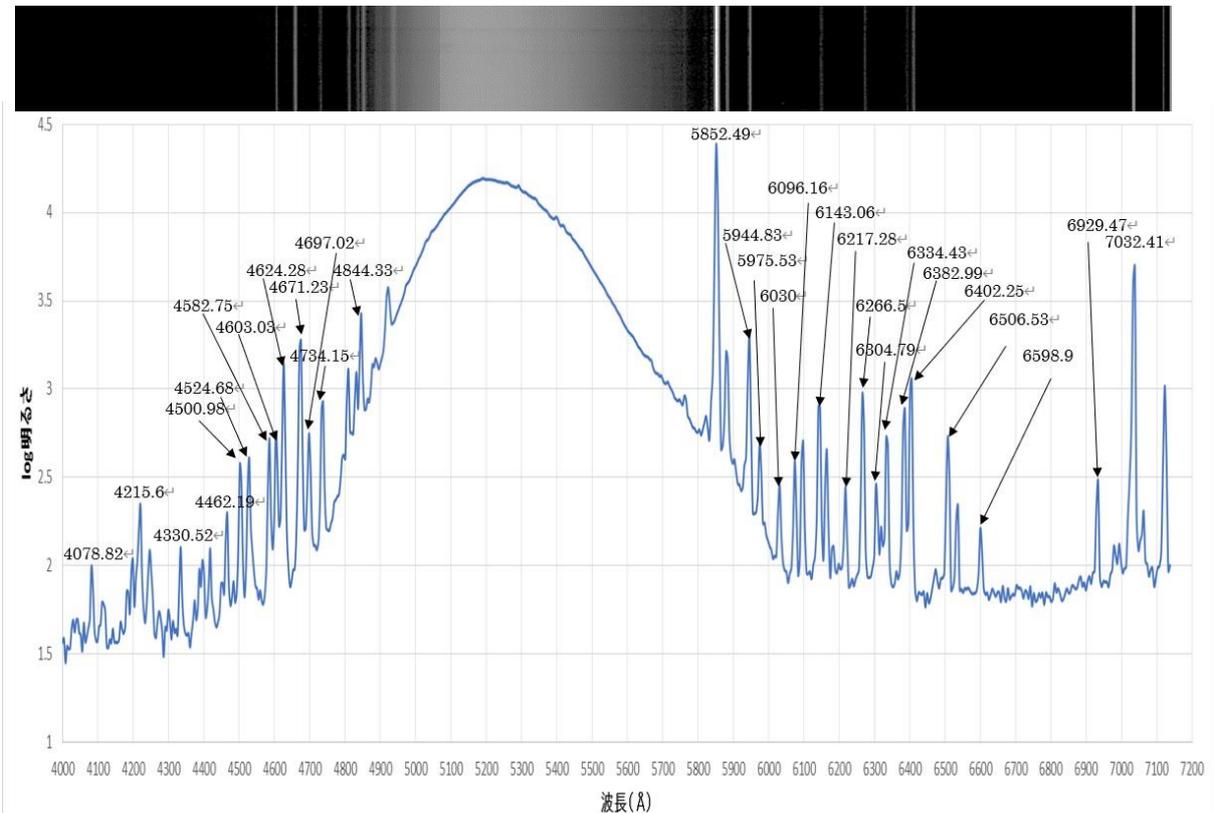


図 2.2.2 Ne-Xe ランプのスペクトル 図中の数値は波長 (Å)

2.3 フラットの撮像

小型望遠鏡の場合、接眼部のたわみ的问题により、フラットも天体ごとに撮像する必要がある。具体的には、図 2.2.3 のように TORIHICO のフラット光源を入れ、ミラーの角度を 45° にして撮像し、その後フラットダークも撮像する。フラット光源のスペクトルを図 2.2.4 に示す。図 2.2.4 のように、フラット光源は白熱電球であるため、そのスペクトルは $2\sim 3000\text{K}$ のプランク関数に近いものになると考えられる。その結果、長波長側の明るさは十分だが短波長側の明るさが暗く、



図 2.2.3 左：フラット光源 右：TORIHICO にフラット光源を取りつけた写真

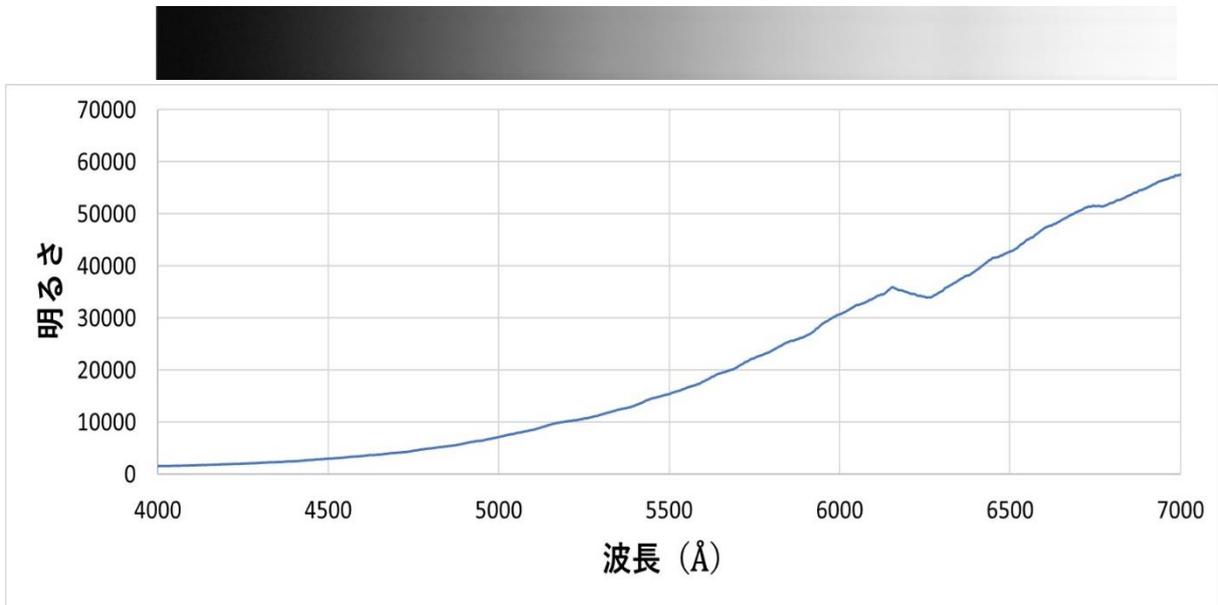


図 2.2.4 フラット光源のスペクトル

分光感度補正の際の誤差の原因となる．そこで，短波長側での誤差の発生を軽減するためフラットは十分な明るさで撮像し，さらに複数コマ撮像して平均をとったほうが良い．

2.3 分光標準星の撮像

観測天体からの光は地球大気を通過しており，そこで吸収・散乱を受けている．地球大気による吸収・散乱は天体からの光が通過した距離，つまり天体の地平高度に依存する．そのため，厳密な分光観測では（特に観測天体の地平高度が低い場合は），観測天体より地平高度が高い分光標準星と低い分光標準星といったように，複数の分光標準星を選択する必要がある．しかし，大まかなスペクトルの形状がわかれば十分な観測では，観測天体と地平高度が同程度の分光標準星を一つ選択するだけでも良い．

分光標準星のスペクトルの撮像は観測天体の撮像と同じように行う．つまり，スリットをスリットビューワーとして 0 次のスペクトルに設定する．そして，分光標準星を視野内に導入し，ヘア

ライン上の視野中央に合わせる。次に、スリットを $250\mu\text{m}$ スリットとし、分光標準星がスリットの中央にとらえられていることを確認する。

続いて、スペクトルを 1 次のスペクトルとし、観測天体と同じスリットを選択して分光標準星のスペクトルを撮像し(図 2.2.5)、スペクトルのダーク画像を撮像する。なお、一般に観測天体と分光標準星の方向は相当異なるので、撮像時の接眼部のたわみも異なると考えられる。そのため、分光標準星においても観測天体と同様に波長校正用光源のスペクトルやフラット画像を撮像する必要がある。



図 2.2.5 分光標準星ベガのスペクトル

3. 解析方法

3.1 波長校正

通常、天体のスペクトル画像は、図 2.1.2 のように横軸を波長の分散方向、縦軸をスリットの長さ方向にとって撮像する。したがって、横軸のピクセル座標 nx が波長の何 \AA に相当するかを表す換算式を求める必要がある。この換算式を求める操作を「波長校正」という。

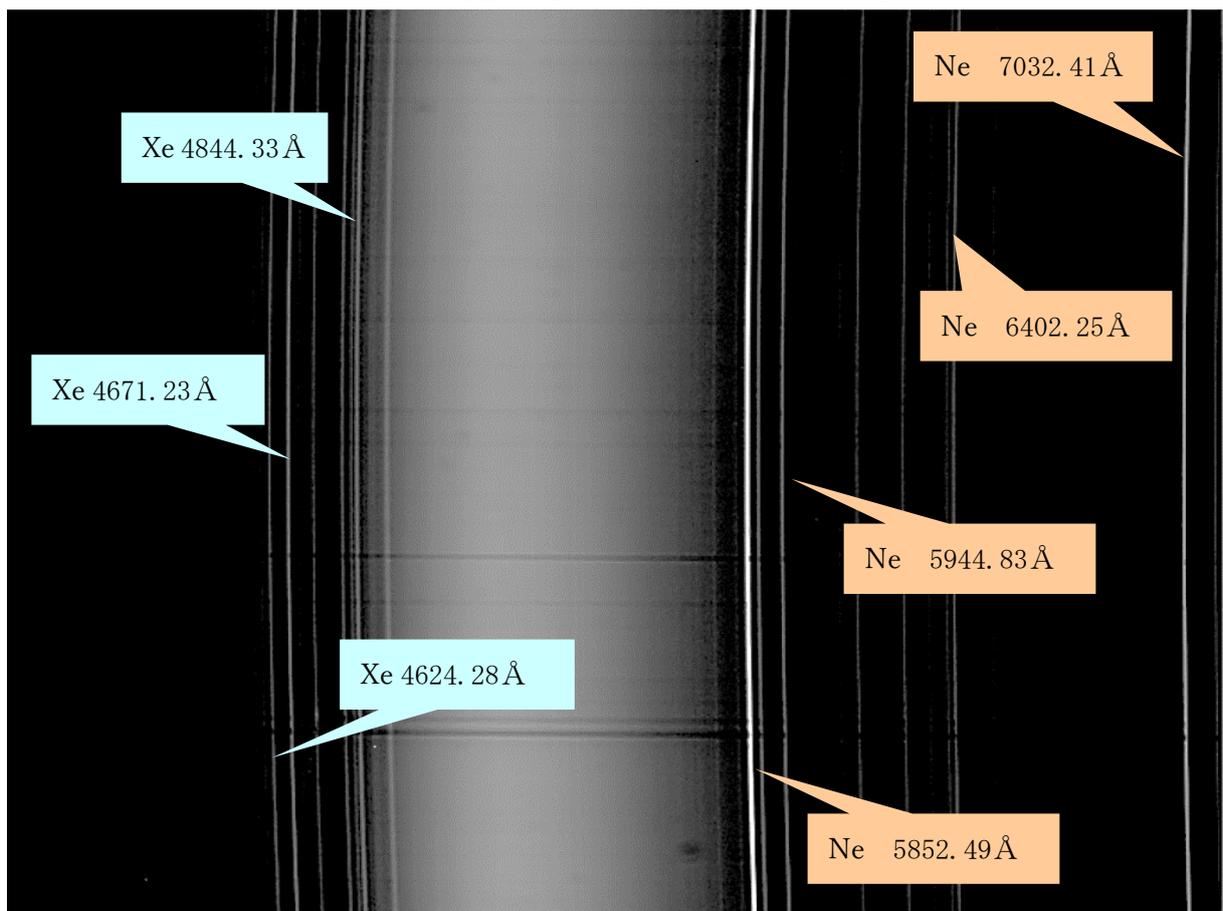


図 3.1.1 Ne-Xe ランプのスペクトル

波長校正は図 3.1.1 のような観測時に撮像された波長校正用光源のスペクトルを利用して行うが、このスペクトル画像を詳しく見ると光源の輝線がわずかに短波長側に凸に湾曲している。こ

これは画像の上下端では天体から来た光がスリットに対して斜めに入射することによって生じる現象である。つまり、ピクセル座標を波長 λ に換算する式は、横軸 nx だけではなく縦軸のピクセル座標 ny にも依存した関数となる。

以下ではマカリィとエクセルを使って、まずスペクトル線の湾曲を無視した平均的な波長較正の換算式を求め、続いて湾曲も考慮した厳密な換算式を求める方法について記述する。

① 波長較正用の輝線の選択

図 2.2.2 のように、Ne-Xe ランプの輝線は多数存在する。すべての輝線を使うと波長較正は正確に行えるが作業が煩雑になる。一方、経験によれば TORIHIME の波長較正の換算式は nx の 2 次関数で精度良く表せる。したがって、適当な間隔をあけて、短波長側、長波長側それぞれ 4 本程度の輝線を選べば十分な精度で波長較正が行える。なお、通常は画像の左側が短波長、右側が長波長であるが、ここでは練習のために左右が逆になった場合の例を示す。

② 波長較正（輝線の湾曲を無視する場合）

波長較正用光源のスペクトル画像は、図 3.1.1 のようにわずかに短波長側に凸に湾曲している。したがって、精密な測定ではこの湾曲も考慮した波長較正を行う必要がある。しかし、その作業は多少煩雑であるため、ここでは第 1 ステップとしてスペクトル画像の平均的な波長較正の換算式を求める。

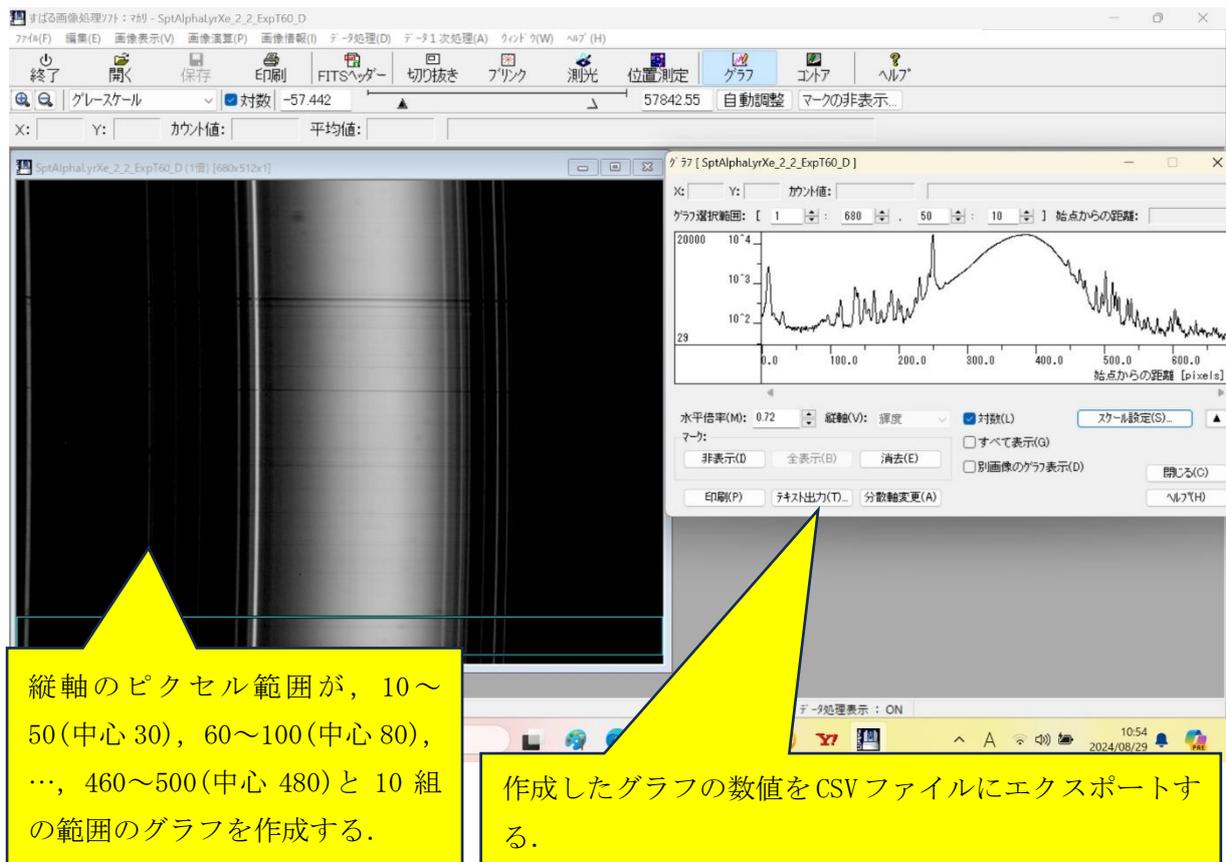


図 3.1.2 マカリィのグラフコマンドでグラフの数値を CSV ファイルにエクスポートする

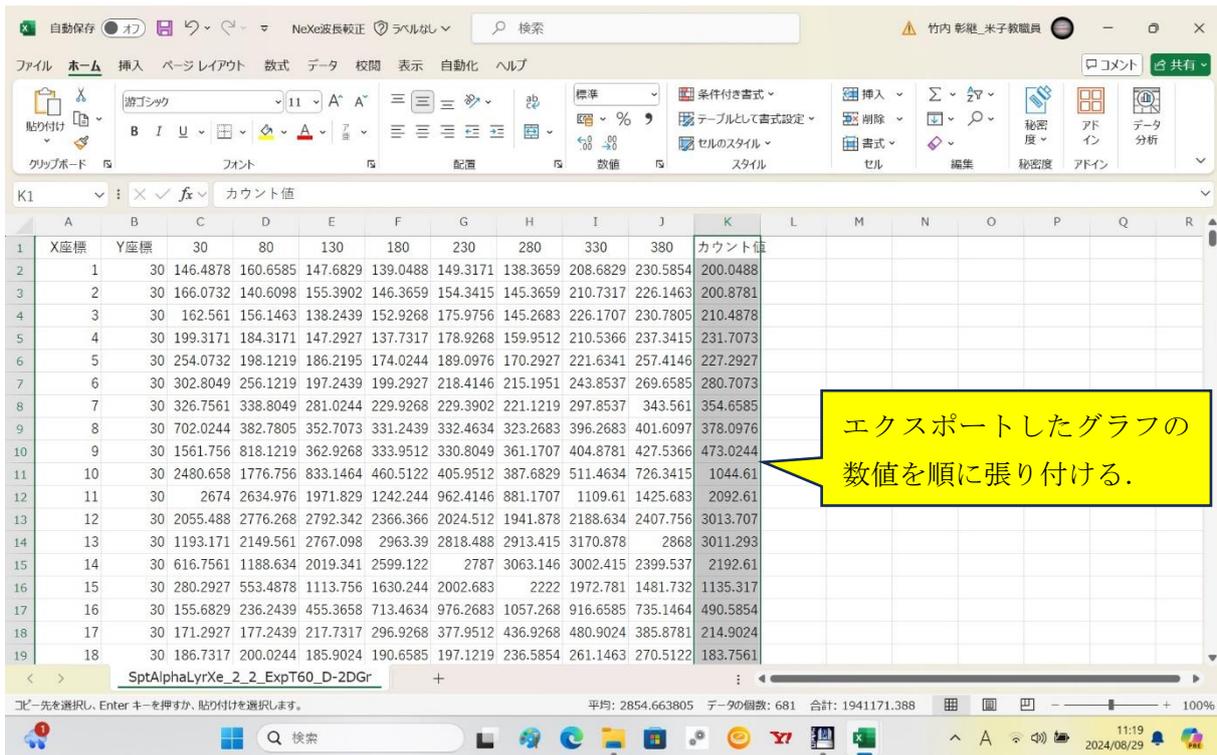


図 3.1.3 エクスポートしたグラフの数値をエクセルファイルに順に張り付ける

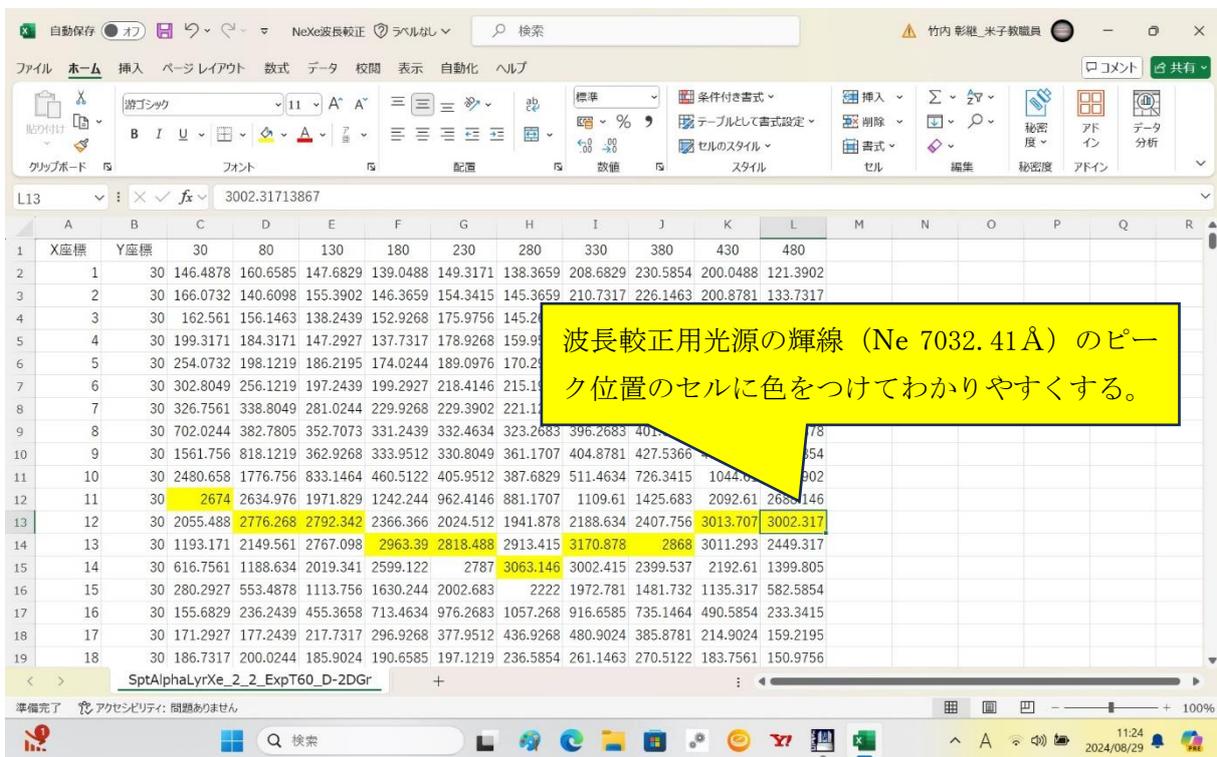


図 3.1.4 波長較正用光源の輝線のピーク位置のセルに色をつける

この例では、波長較正用光源のスペクトル画像の縦軸のピクセル数が 512 ピクセルなので、縦軸のピクセル範囲が、10~50(中心 30), 60~100(中心 80), 110~150(中心 130), ..., 410~450(中

心 430), 460~500(中心 480)と 10 組の範囲のグラフを作成し, その数値を CSV ファイルにエクスポートする(図 3. 1. 2).

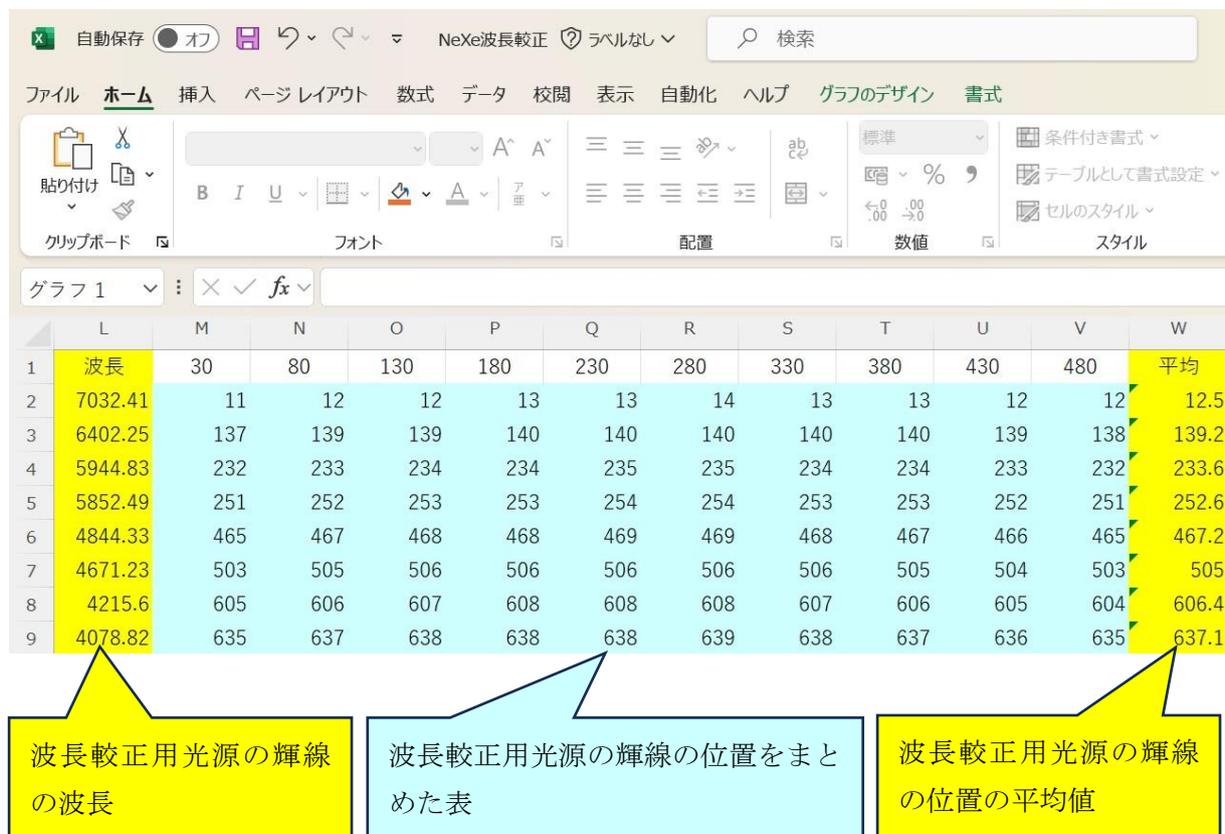


図 3. 1. 5 波長校正用光源の輝線のピーク位置を表にまとめてその平均値を求める

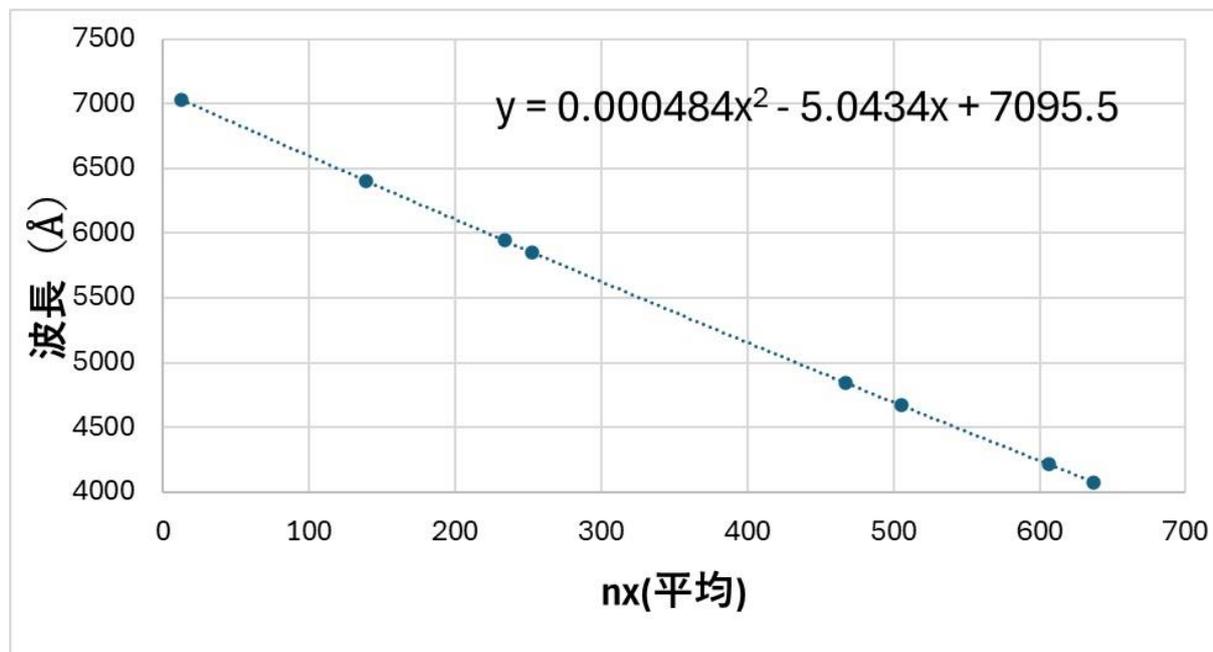


図 3. 1. 6 輝線の位置の平均値を横軸に, その波長を縦軸にとったグラフ
このグラフから本分光器の波長分散がほぼ線形であることがわかる

続いて、エクセルのファイルを開き、それに先程エクスポートした 10 組のファイルを順に貼りつける(図 3.1.3)。そして、エクセルファイルを見て波長較正用光源の輝線の位置(横軸でのピクセル位置)を探し出し、その場所のセルを着色する(図 3.1.4)。本来ならば輝線の位置はその線輪郭にガウス関数などをあてはめて求めるのが正しいが、ここでは単に最大値の場所を「輝線の位置」とした。

図 3.1.4 より、明らかに輝線の位置は短波長側(この例では横軸のピクセル座標 nx の大きい側)に凸に湾曲している。そこで、各波長較正用光源の輝線の位置を表にまとめ、その平均値を求める(図 3.1.5)。次に、先程求めた輝線の位置の平均値を横軸に、その波長を縦軸にとってグラフ化する。するとほとんど直線状のグラフが得られるが、これがスペクトル画像の平均的な波長較正の換算曲線である。このことから本分光器の波長分散がほぼ線形であることがわかる(図 3.1.6)。グラフが右下がりなのは画像の左側が長波長、右側が短波長の画像を解析したためである。なお、このグラフを詳細に調べると、わずかだが直線からのずれが存在することがわかる。そこで、換算式を nx の 1 次方程式から 2 次方程式に次数を上げると、そのずれは画期的に減少し、十分な精度で波長と横軸のピクセル座標 nx の関係を表すことができる。これが平均的な波長較正の換算式である。今回求めた平均的な波長較正の換算式を(1)式に示す。

$$\lambda = An_x^2 + Bn_x + C \quad \dots (1)$$

ただし、 $A=0.000484 \text{ \AA}$ 、 $B=5.0434 \text{ \AA}$ 、 $C=7095.5 \text{ \AA}$ である。

③ 波長較正 (輝線の湾曲を考慮する場合)

(1)式はあくまでスペクトル画像の平均的な波長較正の換算式にすぎない。図 3.1.1 を見ても、明らかに波長較正用光源のスペクトルは短波長側に凸に湾曲している。

波長	30	80	130	180	230	280	330	380	430	480	平均
11	-1.5	-0.5	-0.5	0.5	0.5	1.5	0.5	0.5	-0.5	-0.5	12.5
12	-2.2	-0.2	-0.2	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	-0.2	-1.2	139.2
13	-1.6	-0.6	0.4	0.4	1.4	1.4	0.4	0.4	-0.6	-1.6	233.6
14	-1.6	-0.6	0.4	0.4	1.4	1.4	0.4	0.4	-0.6	-1.6	252.6
15	-2.2	-0.2	0.8	0.8	1.8	1.8	0.8	-0.2	-1.2	-2.2	467.2
16	-2	0	1	1	1	1	1	0	-1	-2	505
18	-1.4	-0.4	0.6	1.6	1.6	1.6	0.6	-0.4	-1.4	-2.4	606.4
19	-2.1	-0.1	0.9	0.9	0.9	1.9	0.9	-0.1	-1.1	-2.1	637.1
20 平均	-1.825	-0.325	0.425	0.8	1.175	1.425	0.675	0.175	-0.825	-1.7	

図 3.1.7 波長較正用光源の輝線の位置からその平均値を引いた値の表

そこで、第 2 ステップとしてスペクトル線の湾曲も考慮した換算式を求める。まず、図 3.1.7 のようにエクセルで波長較正用光源の輝線の位置からその平均値を引いた表を作成し、そのグラフを描く(図 3.1.8)。すると、図 3.1.8 の横軸は画像のスリット方向のピクセル座標 ny で縦軸は各波長較正用光源の輝線スペクトルの湾曲(平均値からのずれ)のグラフとなっている。

図 3.1.8 から、各波長較正用光源の輝線の湾曲には (nx に依存した) 系統的なずれはなく、それらの位置は同じ ny の 2 次曲線上にあり、その曲線からのずれはあくまで輝線位置の読み取り誤差で、 ± 0.5 ピクセル程度と推測できる*。(※波長に換算すると $\pm 2.5 \text{ \AA}$ 程度の誤差)

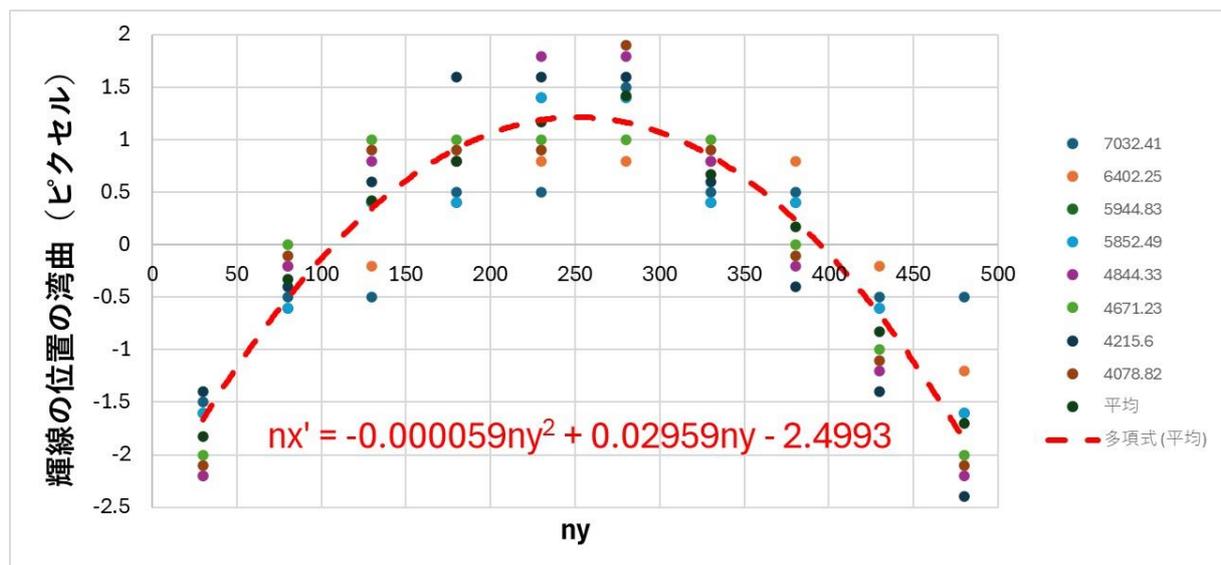


図 3.1.8 スリットの長さ方向のピクセル座標を横軸に輝線位置の湾曲を縦軸にとったグラフ

したがって、輝線位置の湾曲 n'_x は(2)式のようにあらわせる。

$$n'_x = an_y^2 + bn_y + c \quad \cdots (2)$$

ただし、 $a=0.000059$, $b= - 0.02959$, $c=2.4993$ である。

以上のことから、スペクトル画像の平均的な波長較正の換算式は(1)式で与えられ、平均からのずれ(すなわちスペクトル線の湾曲)は(2)式で与えられることから、求める波長較正の換算式は、(3)式と(4)式で与えられることが分かる。

$$n'_x = n_x + an_y^2 + bn_y + c \quad \cdots (3)$$

$$\lambda = An_x'^2 + Bn_x' + C \quad \cdots (4)$$

ただし、 $A=0.000484 \text{ \AA}$, $B=5.0434 \text{ \AA}$, $C=7095.5 \text{ \AA}$ であり、 $a=0.000059$, $b= - 0.02959$, $c=2.4993$ である。

3.2 分光感度補正

撮像された天体のスペクトルは、ダーク画像を減算することにより CCD の暗電流を除去し、フラット画像で割り算することにより光学系の周縁減光や CCD の感度むらなどを補正する。

しかし、フラット画像は通常ハロゲンランプなどの光を白板に反射させて撮像するため、天体のスペクトルの波長依存性はその影響を受けることになる。そのため、天体のスペクトルの波長依存性を正しい分布に補正する必要がある。この補正のことをスペクトルの「分光感度補正」という。

スペクトルの分光感度補正は、観測時に観測対象となった天体の近傍にある「分光標準星」を撮像し、それを既知のスペクトル強度と比較して波長ごとの補正係数を求め、その補正係数を観測対象の天体のスペクトルにかけることによって行う。

なお、分光標準星とは長年の観測でスペクトルが時間変動しないことが分かっている、波長ごとのスペクトルの強度が精密に測定され数値化されている恒星のことであり、そのスペクトルデータは、例えば ESO (European Southern Observatory) の分光測光標準星スペクトルデータベース

<https://www.eso.org/sci/observing/tools/standards/spectra/stanlis.html> を利用すると入手できる。

しかし、分光標準星のデータベースに掲載されているスペクトルデータと我々が観測で波長付けしたスペクトルでは一般に波長の値も波長のステップも異なっている。そのため、波長ごとの補正係数を求める際に相当煩雑な作業を行わねばならなくなる。

このとき、グラフを自動で読み取り数値化するソフト「Graphcel」を利用するとスペクトルの分光感度補正が非常に簡単に行える。Graphcel はフリーのソフトであり、簡単に入手できる。そこで、以下では Graphcel を用いたスペクトルの分光感度補正について紹介する。

① ESO の分光測光標準星のデータベースを開く。

比較的明るい分光標準星が赤経の順でリストアップされている。

図 3.2.1
ESO の分光測光標準星データベース

②ESO の分光測光標準星データベースから適当な分光標準星を選択する。

例として「おおぐま座 γ 星 (HR4554)」を選択し、ここをクリックするとデータの FTP サイトに飛べる※。

※星によっては FTP サイトに飛べないものがある。その場合いったん①に戻り、カシオペア座 δ 星 (HR153) かくじら座 δ 2 星 (HR718) を選択すれば③の FTP サイトに飛べる。

図 3.2.2

例としておおぐま座 γ 星を選択

③適当な分光標準星を選択する。

おおぐま座 γ 星を意味する「fhr4554.dat」をクリックする。「f」はフラックスの意

図 3.2.3

例としておおぐま座 γ 星を選択

④おおぐま座 γ 星のスペクトルデータが表示される。

おおぐま座 γ 星のスペクトル。左は波長 (\AA)、中央は $\text{erg/cm}^2/\text{s}/\text{\AA} \times 10^{16}$ 単位の、右はミリジャンスキー単位のスペクトルのエネルギーフラックスであ

図 3.2.4

おおぐま座 γ 星のスペクトルデータ

⑤数値表を Windows アクセサリの「メモ帳」にコピー，保存する。

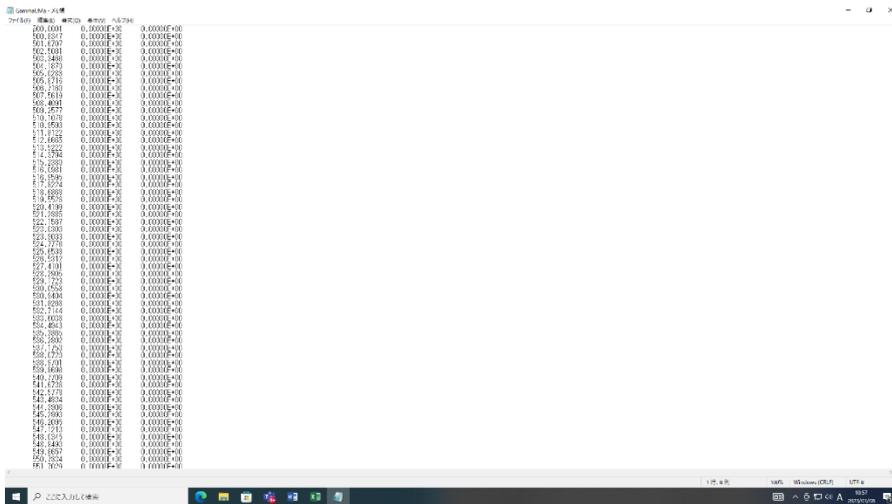


図 3.2.5
おおぐま座 γ 星のスペクトルを「メモ帳」にコピー

⑥「メモ帳」で保存したテキストファイルをエクセルで開く。

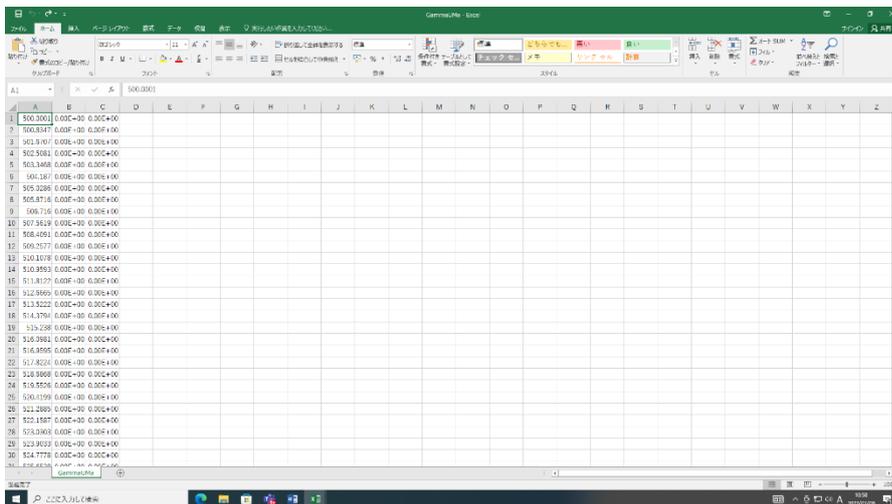


図 3.2.6
メモ帳で保存したテキストファイルをエクセルで開く

⑦エクセルで横軸が波長，縦軸がスペクトル強度のグラフを描く。このとき，横軸の波長の範囲は観測での波長の範囲に合わせておく。

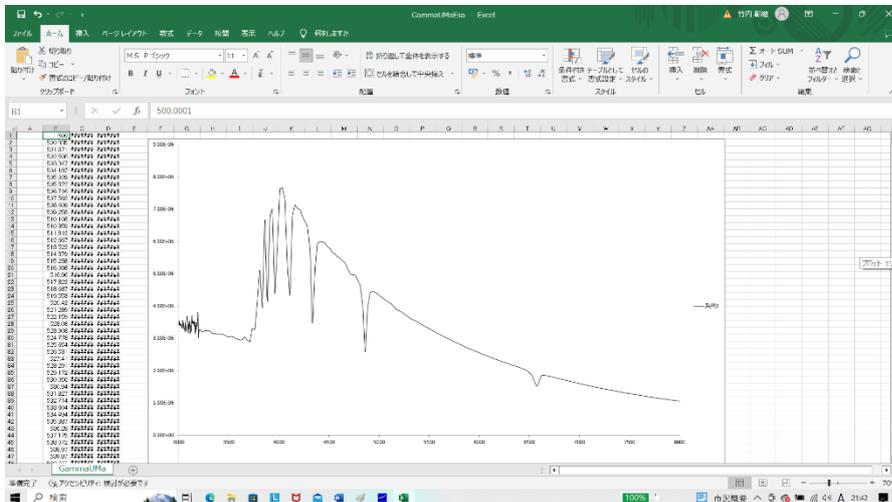


図 3.2.7
エクセルでスペクトルデータのグラフを描画

⑧描いたグラフを Windows アクセサリの「ペイント」に張り付ける。

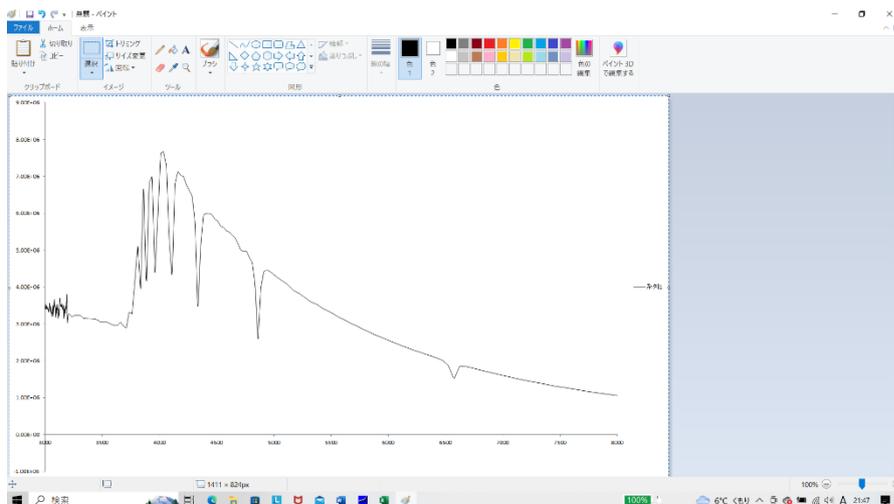


図 3.2.8
エクセルのグラフをペ
イントに張り付け

⑨ペイントの「図形の選択」で「四角形選択」を選び、下図のようにグラフの部分だけを選択し、jpg ファイルとして保存する。

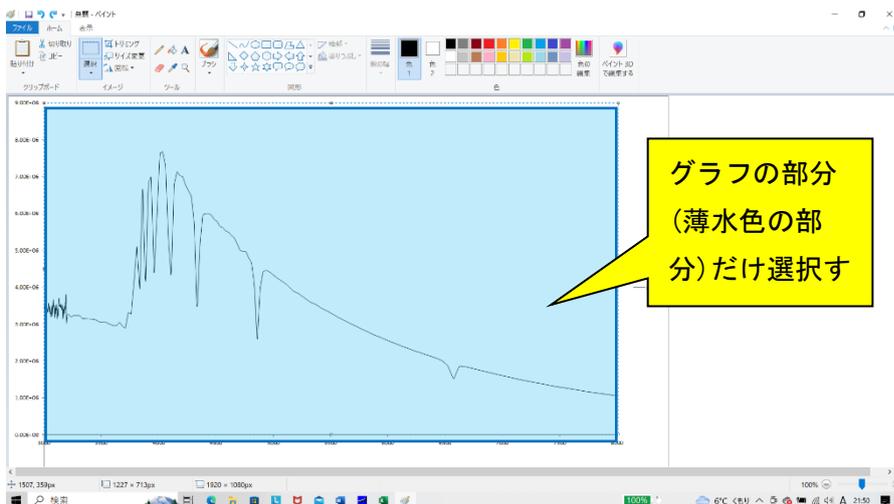


図 3.2.9
グラフの部分だけ選択

⑩保存した jpg ファイルを Graphcel で開く。グラフの横軸の「最大値(Å)」、「最小値(Å)」、「横軸方向の分割数」、「縦軸の最大値」、「最小値」を入力し、グラフを数値化する。

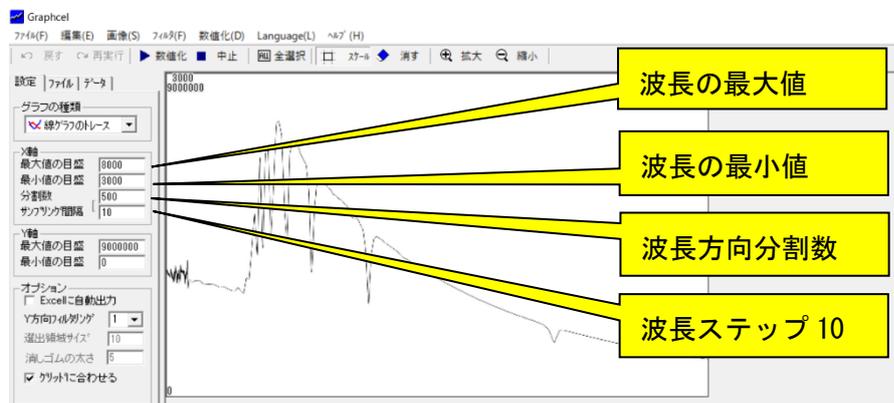


図 3.2.10
Graphcel の操作画面

⑪数値は自動でエクセルファイルにエクスポートされるので、そのファイルに適切な名称（ここでは GammaUMaESO.xls）を付けて保存する。

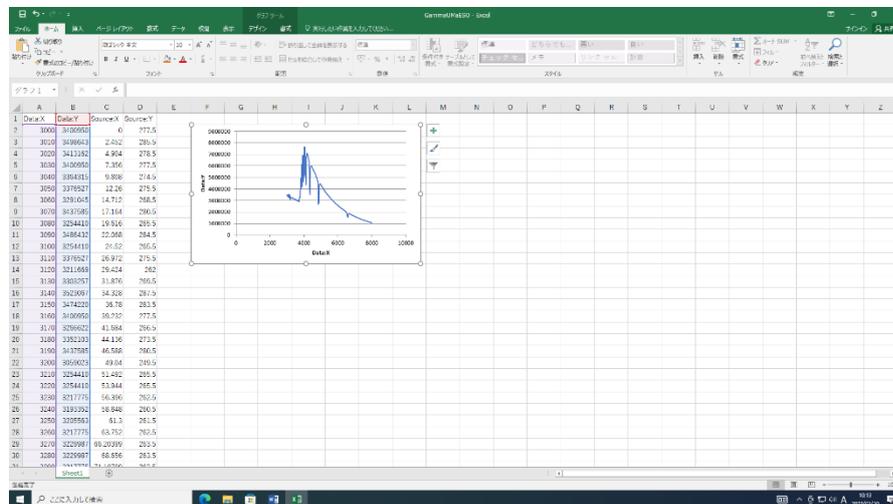


図 3.2.11
上 : Graphcel でグラフを数値化
下 : 数値化したエクセルファイル

⑫続いて、観測時に撮像し、ダーク・フラット処理を行った分光標準星のスペクトルのグラフを描く。

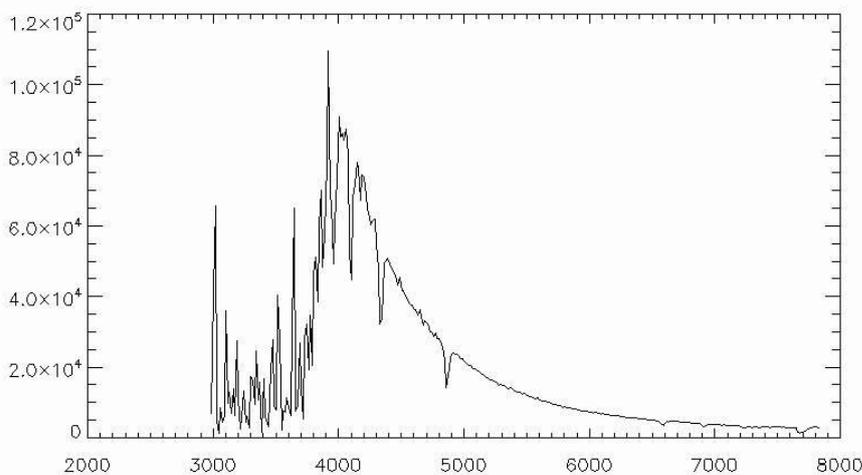


図 3.2.12
観測した分光標準星のスペクトルのグラフ

⑬描いたグラフを「ペイント」の画面に張り付ける

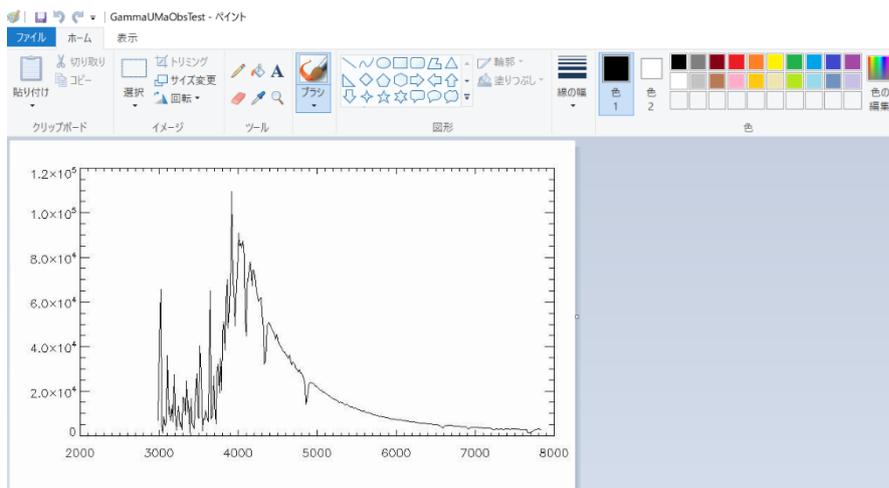


図 3.2.13
グラフをペイントに張り付け

⑭ペイントの「図形の選択」で「四角形選択」を選び、下図のようにグラフの部分だけを選択し、jpg ファイルとして保存する。

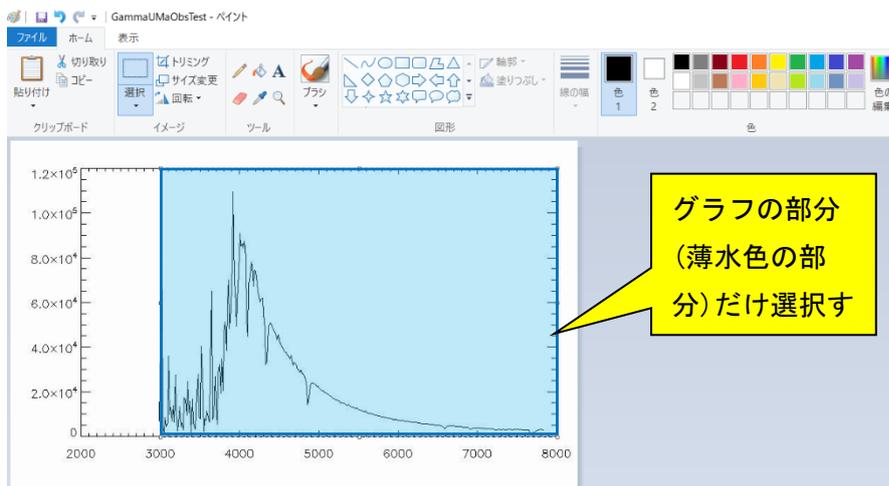


図 3.2.14
グラフの部分だけ選択

⑮jpg ファイルを Graphcel で開き、グラフの横軸の「最大値(Å)」、「最小値(Å)」、「横軸方向の分割数」、「縦軸の最大値」、「最小値」を入力し、グラフを数値化する。ただし、横軸の最大値、最小値、横軸方向の分割数は先程と同じ値にする。

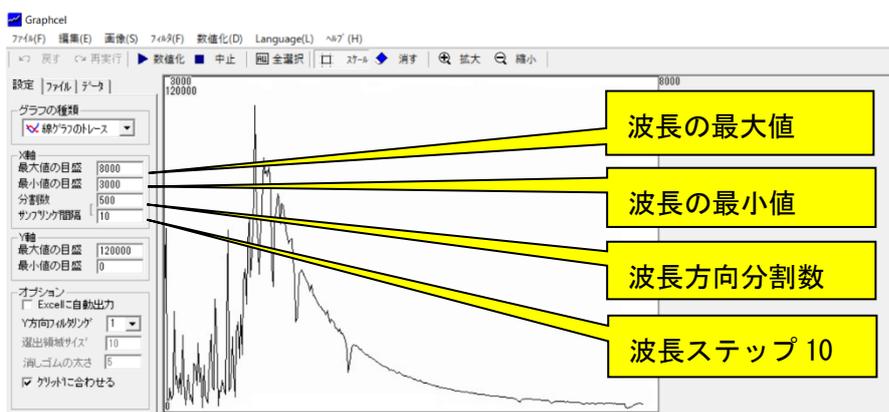


図 3.2.15
Graphcel の操作画面

⑩数値は自動でエクセルファイルにエクスポートされるので、そのファイルに適切な名称（ここでは GammaUMaObs.xls）を付けて保存する。

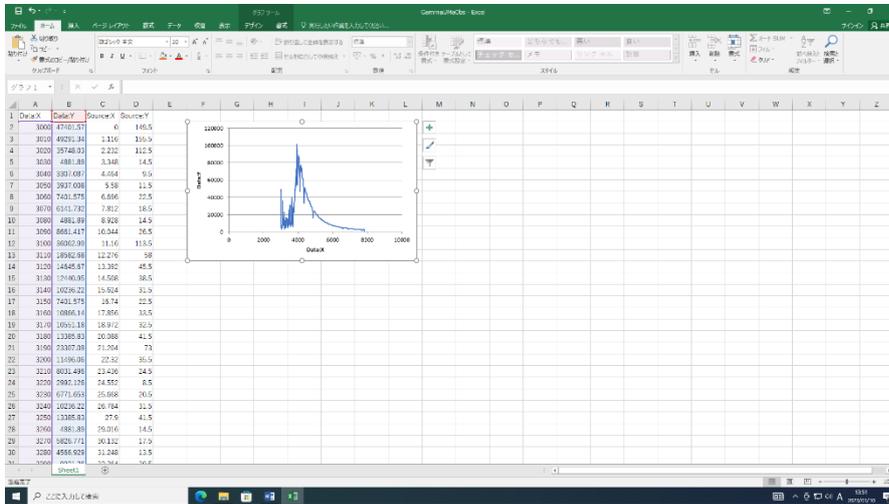
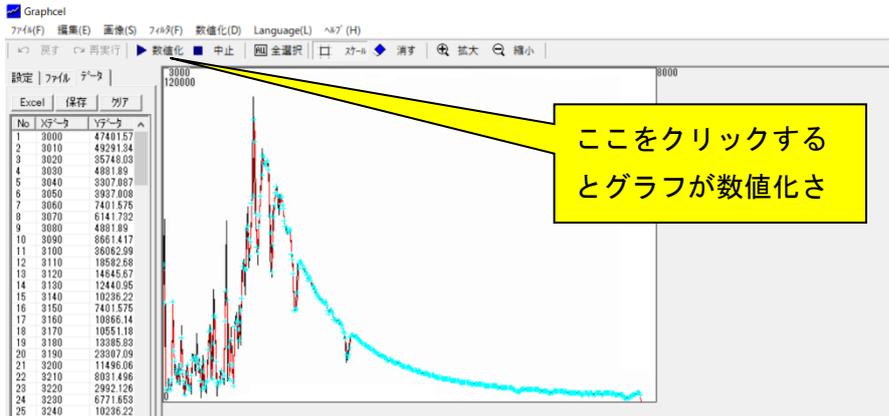


図 3. 2. 16

上：Graphcel でグラフを数値化
下：数値化したエクセルファイル

⑰GammaUMaESO.xls と GammaUMaObs.xls を合体させて、スペクトル強度の比をとり、波長ごとの補正係数、つまり分光感度補正関数を求める。

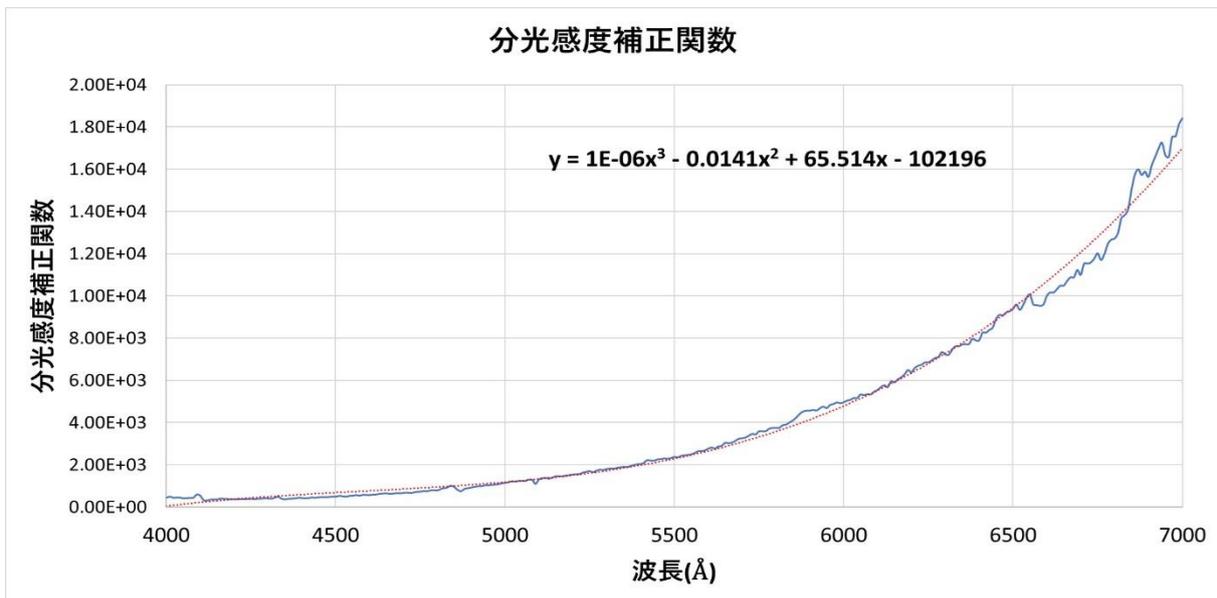


図 3. 2. 17 補正係数の波長依存性 赤線は近似曲線

⑱分光感度補正の例

以下、分光感度補正の例を示す。図 3.2.18 は撮像したアークトゥルスに分光感度補正を行ったものである。アークトゥルスは K0 型の巨星で表面温度は約 4300K とされている。一方、太陽の表面温度は約 5800K でスペクトルのピークは 5000Å 付近にある。そこで、単純にウィーンの変位法則を適用するとアークトゥルスのスペクトルのピークは 6700Å 付近にあることになるが図 3.2.18 ではピークは 6400Å 付近にあり、温度は 4500K になり、ほぼ正しい値が求めた。このことから分光感度補正が正しく行われていることが分かる。

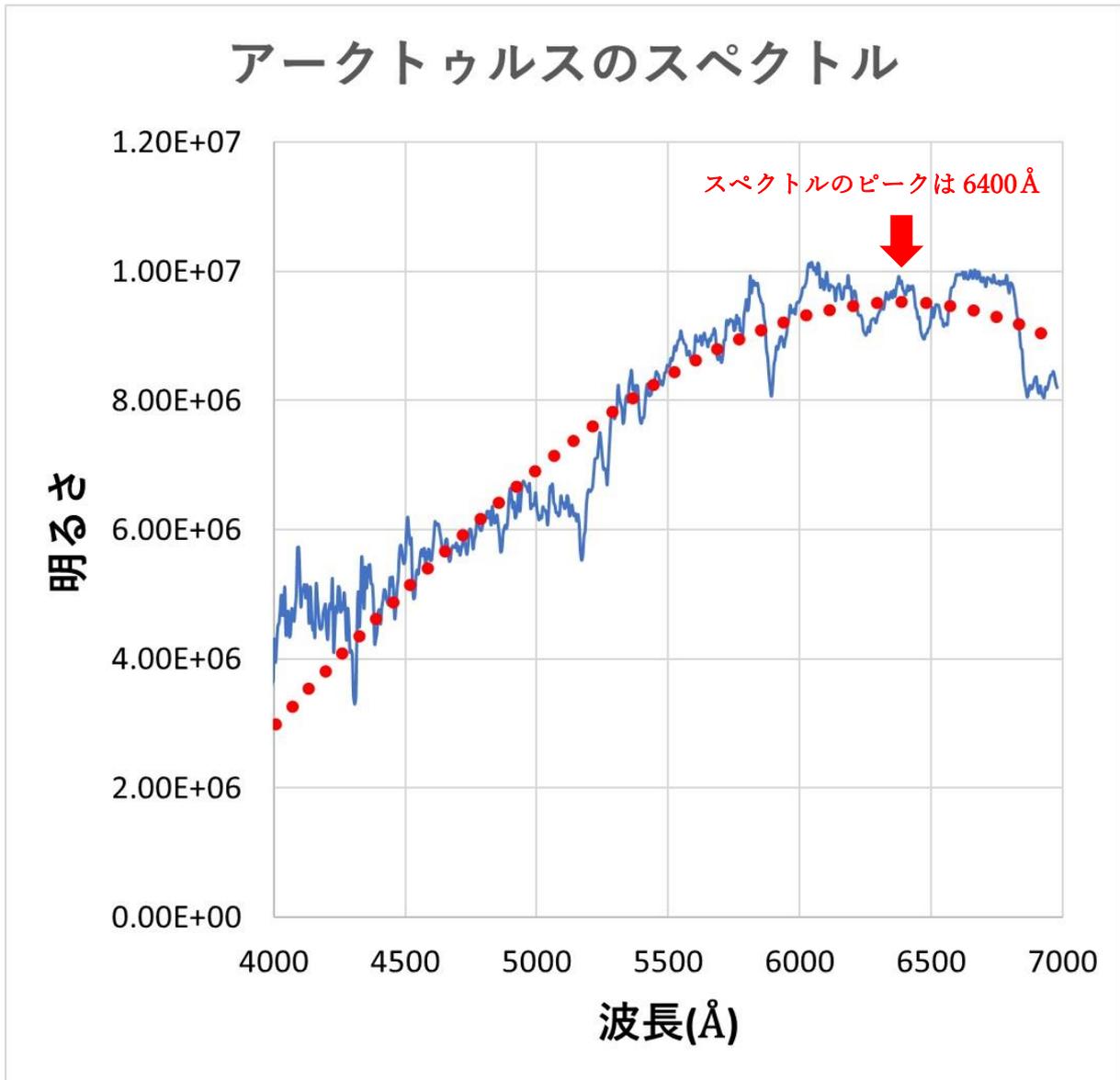


図 3.2.18 アークトゥルスのスペクトル。スペクトルのピークは 6400Å 付近にあり、表面温度は 4500K と推測され、現実の 4300K に近い値が求めた。

4. 付録

4.1 分光標準星一覽表

HR9087	00 01 49.42	-03 01 39.0	5.12	B7III	
G15B-100	00 33 54.32	-12 07 57.1	14.89	dG-K	
HR153	00 36 58.30	+53 53 48.9	3.66	B2IV	ζ Cas
CD-34d241	00 41 46.92	-33 39 08.5	11.23	F	†
BPM16274	00 50 03.18	-52 08 17.4	14.20	DA2	Mod.
LTT1020	01 54 49.68	-27 28 29.7	11.52	G	
HR718	02 28 09.54	+08 27 36.2	4.28	B9III	ξ² Ceti
EG21	03 10 30.98	-68 36 02.2	11.38	DA	
LTT1788	03 48 22.17	-39 08 33.6	13.16	F	
GD50	03 48 50.06	-00 58 30.4	14.06	DA2	
SA95-42	03 53 43.67	-00 04 33.0	15.61	DA	
HZ4	03 55 21.70	+09 47 18.7	14.52	DA4	
LB227	04 09 28.76	+17 07 54.4	15.34	DA4	
H22	04 12 43.51	+11 51 50.4	13.86	DA3	
HR1544	04 50 36.69	+08 54 00.7	4.36	A1V	π² Ori
GD71	05 52 27.51	+15 53 16.6	13.03	DA1	
G191-B2B	05 05 30.62	+52 49 54.0	11.78	DA1	
HR1996	05 45 59.92	-32 18 23.4	5.17	O9V	Mod.
LTT2415	05 56 24.30	-27 51 28.8	12.21		
HILT600	06 45 13.33	+02 08 14.1	10.44	B1	
HD49798	06 48 04.64	-44 18 59.3	8.30	O6	Mod.
HD60753	07 33 27.26	-50 35 03.7	6.70	B3IV	Mod.
G193-74	07 53 27.40	+52 29 35.7	15.70	DA0	
BD+75d325	08 10 49.31	+74 57 57.5	9.54	O5p	
LTT3218	08 41 32.37	-32 56 32.9	11.86	DA	
HR3454	08 43 13.46	+03 23 55.1	4.30	B3V	η Hyd
AGK+81d266	09 21 19.06	+81 43 28.6	11.92	sdO	
GD108	10 00 47.33	-07 33 31.2	13.56	sdB	
LTT3864	10 32 13.90	-35 37 42.4	12.17	F	
Feige34	10 39 36.71	+43 06 10.1	11.18	D0	
HD93521	10 48 23.51	+37 34 12.8	7.04	O9Vp	
HR4468	11 36 40.91	-09 48 08.2	4.70	B9.5V	θ Crt
LTT4364	11 45 42.92	-64 50 29.5	11.50	C2	
HR4554	11 53 49.83	+53 41 41.1	2.44	A0V	Mod. γ UMa

Feige56	12 06 47.25	+11 40 12.7	11.06	B5p	
HZ21	12 13 56.42	+32 56 30.8	14.68	DO2	
Feige66	12 37 23.55	+25 04 00.3	10.50	sdO	
LTT4816	12 38 50.94	-49 47 58.8	13.79	DA	
Feige67	12 41 51.83	+17 31 20.5	11.81	sdO	
GD153	12 57 02.37	+22 01 56.0	13.35	DA1	
G60-54	13 00 09.53	+03 28 55.7	15.81	DC	
HR4963	13 09 56.96	-05 32 20.5	4.38	A1IV	
HZ43	13 16 21.99	+29 05 57.0	12.91	DA1	
HZ44	13 23 35.37	+36 08 00.0	11.66	sdO	
GRW+70d5924	13 38 51.77	+70 17 08.5	12.77	DA3	
HR5191	13 47 32.44	+49 18 48.0	1.86	B3V	Mod.
CD-32d9927	14 11 46.37	-33 03 14.3	10.42	A0	
HR5501	14 45 30.25	+00 43 02.7	5.68	B9.5V	
LTT6248	15 39 00.02	-28 35 33.1	11.80	A	
BD+33d2642	15 51 59.86	+32 56 54.8	10.81	B2IV	
EG274	16 23 33.75	-39 13 47.5	11.03	DA	
G138-31	16 27 53.59	+09 12 24.5	16.14	DC	
LTT7379	18 36 26.29	-44 18 33.0	10.23	G0	
HR7001	18 36 56.33	+38 47 01.1	0.00	A0V	
HR7596	19 54 44.80	+00 16 24.6	5.62	A0III	
LTT7987	20 10 57.38	-30 13 01.2	12.23	DA	
G24-9	20 13 56.05	+06 42 55.2	15.72	DC	
HR7950	20 47 40.55	-09 29 44.7	3.78	A1V	
LDS749B	21 32 15.75	+00 15 13.6	14.67	DB4	
BD+28d4211	21 51 11.07	+28 51 51.8	10.51	Op	
G93-48	21 52 25.33	+02 23 24.3	12.74	DA3	
BD+25d4655	21 59 42.02	+26 25 58.1	9.76	O	
NGC 7293	22 29 38.46	-20 50 13.3	13.51	V.Hot	
HR8634	22 41 27.64	+10 49 53.2	3.40	B8V	
LTT9239	22 52 40.88	-20 35 26.3	12.07	F	
LTT9491	23 19 34.98	-17 05 29.8	14.11	DC	
Feige110	23 19 58.39	-05 09 55.8	11.82	D0p	
GD248	23 26 06.69	+16 00 21.4	15.09	DC	

θ Vir

η UMa

α Lyr

ε Aqu

ζ Peg

4.2 Ne-Xe ランプ輝線一覧

