

※ \_\_\_\_\_ (事務局が記入)

継続

## 恒星の低分散分光観測における新しい強度補正方法について

川口市立高等学校

天文部 富田 涼介 菅原 環 杉村 優生子(高2) 井上 湧 江口 真由美 小倉 遙河  
小泉 翔愛 櫻井 優輝 佐々木 健人 寺原 直希 中根 陽輝 了馬 健貴(高1)

### 抄録

我々は恒星の分光観測に取り組んでいる。2022年に先輩が先行研究<sup>(1)</sup>において分光標準星によるスペクトルの強度補正を行ったが、ターゲット恒星と分光標準星の地平高度をそろえることは困難であった。そこでスペクトル強度と地球大気の厚さには反比例のような関係があるとし、補正係数を求めてより正確な強度補正を行う方法を考えた。

### 1. 研究の背景と目的

通常、恒星の正確なスペクトルプロファイルを得るにはターゲット恒星と地平高度を揃えて観測した分光標準星により強度補正する必要がある。しかし、分光標準星は暗いものも多く、我々が使える機材で観測できる明るい恒星は限られる。そこで、地球大気による影響を関数化できれば明るい分光標準星とターゲット恒星の地平高度を揃えることができ強度補正をより正確にできると考えた。本研究の目的はその補正関数を決定することである。

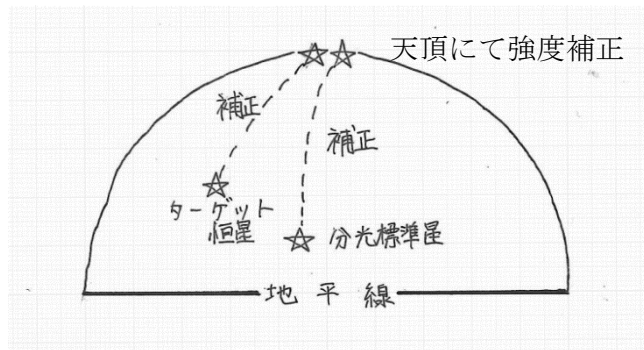


図1 補正関数を用いた強度補正方法

### 2. 方法

一晩かけてある恒星のスペクトルを一定時間間隔で観測し地平高度とスペクトルの形状の変化を求めた。

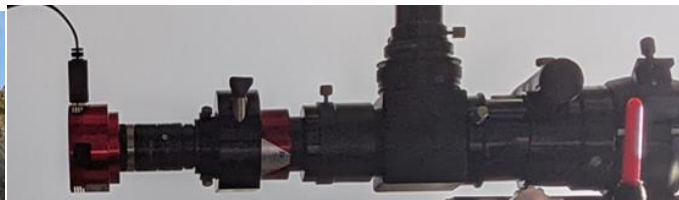
<観測日時・場所・機材>

2024年1月5日21時21分8秒～1月6日2時6分28秒(JST)、  
埼玉県立大滝げんきプラザに設置されている天文台。

口径16cm F12.5の屈折望遠鏡(図2)に低分散分光器VEGA(図3)を装着したもの  
(ともに昭和機械製作所製)を使用。



図2 観測に使用した屈折望遠鏡



↑ カメラ ↑ 分光器 ↑ 望遠鏡

図3 低分散分光器と  
カメラ ZWO ASI 178MM(14bit モノクロ)

<観測対象>

ペルセウス座の2等星\*Algol ( $\beta$  Per)

※この星は食変光星で等級が周期的に変化するが露光時間が短いため、変光による影響は無視できると判断した。

<観測方法>

望遠鏡に取り付けた分光器のスリットの中心に Algol が入るように調整を行いながら 15 分毎にそのスペクトル、ダーク、波長補正用基準光源の順でデータを取得した。

(地平高度 72° から 24° まで)

<解析方法>

(1) 画像処理

- ・観測によって得た画像(図 4)を「すばる画像処理ソフト：マカリ」によってダークフラット補正をする。
- ・その画像からスペクトル強度を「マカリ」のグラフ機能で csv ファイルとして出力する。
- ・その csv ファイルを「MS エクセル」でスカイ減算や基準光源(図 5)を用いた波長付けを観測データごとに行った。

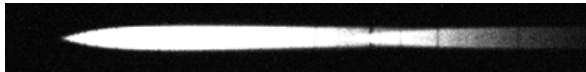


図 4 Algol のスペクトル画像



図 5 基準光源(水銀アルゴン)

(2) 補正関数を求める

図 6-1, 図 6-2 は縦軸がスペクトル強度、横軸が地球大気の厚さを表している。地球大気が薄くなるほどスペクトル強度は強くなり、地球大気の厚さが増すほど強度が弱くなるので、反比例のような式で表せると考えた。(注1 地球大気の厚さの求め方) よって、強度を求める式を

$$Y=K/(x-\alpha)\cdots (A) \quad (Y=\text{強度}, x=\text{地球大気の厚さ [km]})$$

とおき、係数(k, α)を観測結果からエクセルのソルバー機能(注2)で決定した。

この係数(k, α)は一般的なものであり観測日時や条件によって変化しないと考える。

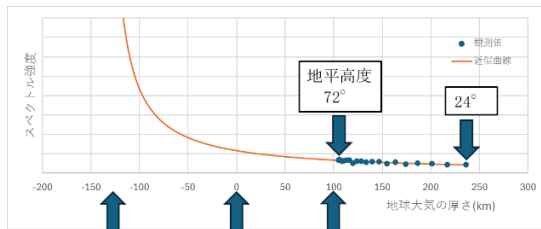


図 6-1 400~410nm における補正関数(A)

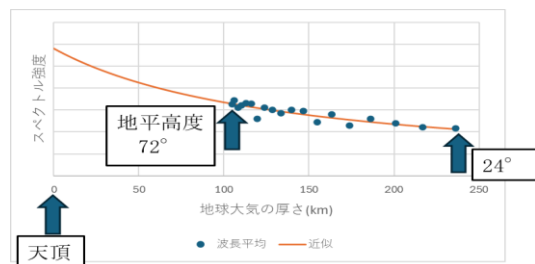
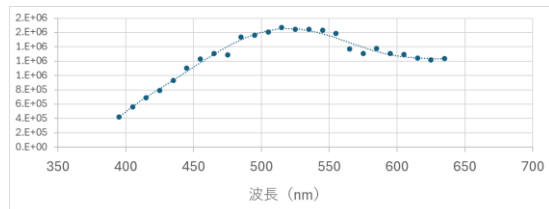


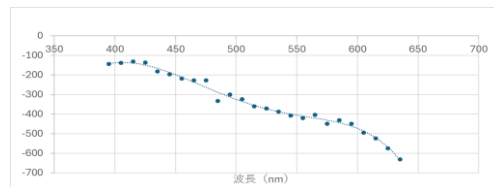
図 6-2 図 6-1 の拡大図

<補正係数 k, α>



$$y = -3E-07x^6 + 0.0008x^5 - 1.0594x^4 + 715.22x^3 - 269431x^2 + 5E+07x - 4E+09$$

図 7 K の近似関数



$$y = 7E-14x^6 - 2E-09x^5 + 4E-06x^4 - 0.0031x^3 + 0.9851x^2 - 105.16x - 3239.5$$

図 8 α の近似関数

補正係数 K, α の波長に対する値は図 7, 8 で示すように 6 次関数による近似が最も適していたことから、この関数を用いて各波長(10nm ごと)での補正係数を決定した。

注1 地球大気の厚さ  $X$  の求め方  
 地球の半径=6400km  
 地球大気=100km ( $\theta = 90^\circ$  のとき)  
 としたとき、地球大気の厚さ (=  $x$ )  
 余弦定理より  
 $\cos(\theta + 90) = \frac{x^2 + 6400^2 - (6500)^2}{2 \cdot 6400 \cdot x}$   
 $-\sin \theta = \frac{x^2 - 1290000}{12800x}$   
 $x = -6400 \sin \theta + \sqrt{40960000 \sin^2 \theta + 1290000}$

図9 観測者と恒星の位置関係  
 $X$  : 地球大気の厚さ  
 $\theta$  : 地平高度  
 $O$  : 観測者

注2 MS エクセル アドイン・ソルバー方法手順  
 I : 地平高度別で 380~700nm の範囲を 10nm 毎に区切り、その範囲でのスペクトル強度の平均を求める。  
 II : ある範囲 (例えば 500~510nm) での波長平均と地球大気の厚さの関係をグラフ化する。  
 III : そのグラフに近似できるような(A)式の  $K, \alpha$  の値を最小二乗法によって求める。

(3) 天頂にてスペクトル強度補正

2022年1月5日に先輩が行った観測データを今回の補正方法を用いて再解析してみた。その際リゲルとベテルギウスの地平高度が異なるため(2)で求めた補正係数により、2つの星の地平高度を天頂に揃えた。強度補正後のベテルギウスのデータが図13である。(観測時間と地平高度  $\alpha$  Ori : 22:05 JST, 60.4度 /  $\beta$  Ori 22:51 JST, 44.2度)

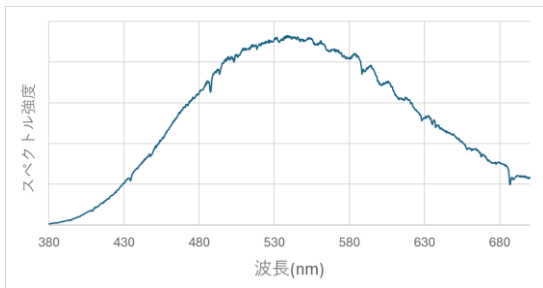


図10  
観測データ  $\beta$  Ori

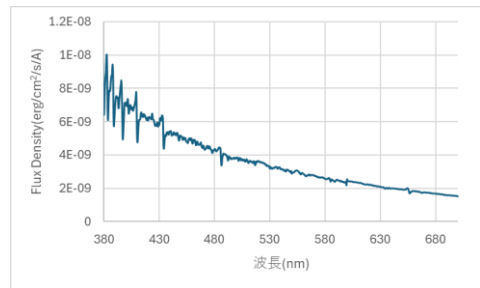


図11 標準データ  
 $\beta$  Ori

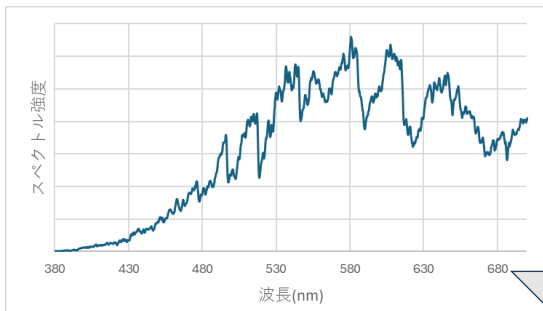


図12  
観測データ  $\alpha$  Ori

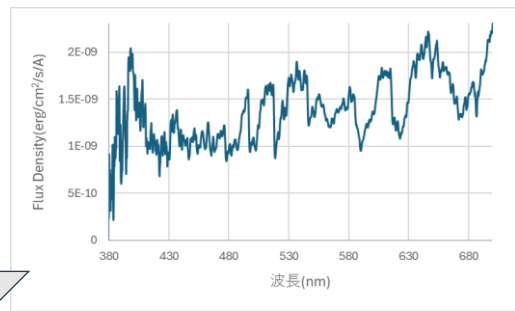
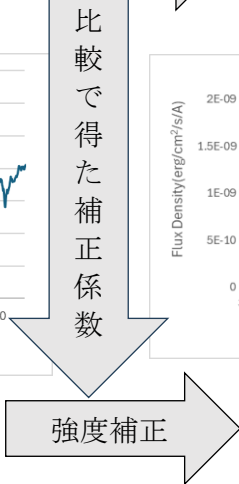


図13 強度補正後  
 $\alpha$  Ori



### 3. 結果

#### $\alpha$ Ori スペクトルの先行研究(i)と本研究(ii)の比較

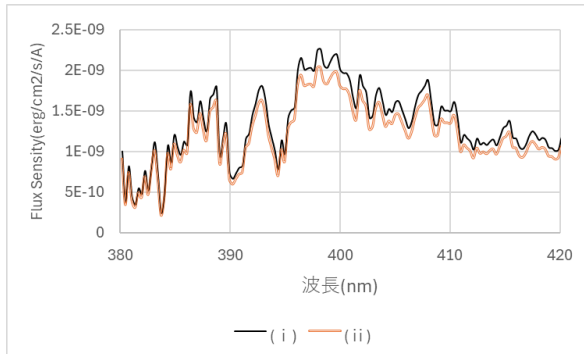


図 14 短波長(380~420nm)

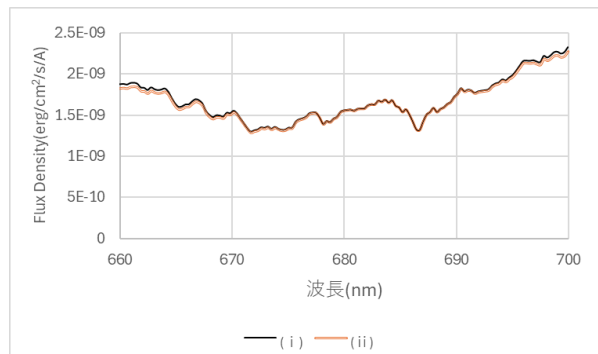


図 15 長波長(660~700nm)

先行研究<sup>(1)</sup>(i)と本研究(ii)の結果を比較すると、短波長(図14)では差が明らかだが長波長(図15)では差がほとんど見られないことが分かった。

### 4. 考察

図14、15のスペクトル強度の差について、先行研究<sup>(1)</sup>(i)の方法では分光標準星( $\beta$  Ori)とターゲット恒星( $\alpha$  Ori)のデータが同地平高度ではないため、地球大気によるレイリー散乱が大きく影響する短波長で、地球大気による影響を十分に補正することができなかったからだと思われる。短波長の差が大きいのはその影響が大きくなる範囲によるものと考えた。

### 5. 結論

本研究では大気による影響を補正する係数を割り出し、実際に強度補正することができた。今後は今回(10nm 毎)より細かく(例えば 1nm 毎)に補正係数を求め、精度を高めるとともに、K,  $\alpha$  の値に汎用性があるか検証を行いたい。

### 6. 参考文献

- (1)2022 年科学展 川口市立高等学校 天文部「恒星のスペクトル型における観測的研究」
- (2)理科年表(2019)
- (3) Kirisciunas et al. 2017, PASP, 129:054504  $\beta$  Ori (分光標準星データ)

### 7. その他

本研究は2022年に先輩が行った先行研究「恒星のスペクトル型における観測的研究」に基づいて行った。