

宇宙地球科学基礎ラボ(地球物理) 太陽光スペクトル

学籍番号 25B13519

氏名 湯朝朗央

グループ B8

本レポートで使用する写真について

観察した様子を撮影した写真について、特に断りのないものはトリミング以外の加工を行っていない、撮影したままの写真である。トーンカーブなどを調整し輝線を見やすく加工した写真を用いる場合は、その都度説明する。

1 簡易分光器による目視観測について

1.1 ナトリウムランプの観察

簡易分光器の回折格子の格子定数を測定したい。このためには、波長が既知である線スペクトルを観察する必要がある。この実験ではナトリウムランプを用いた。ナトリウムランプは人工光源であり、励起されたナトリウム原子が基底状態に戻る際に発する特定の波長の光を利用している。

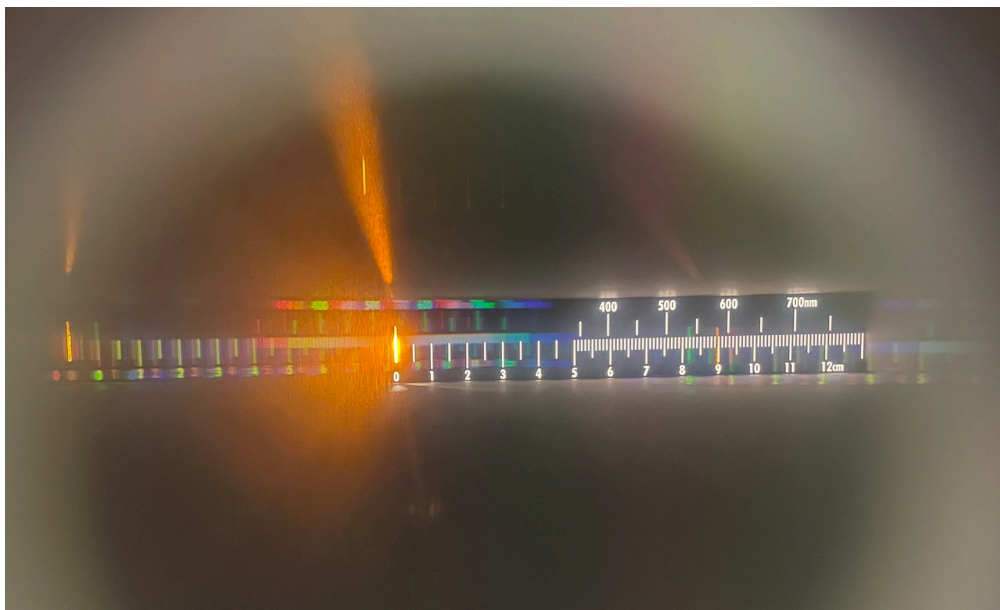


Figure 1: ナトリウムランプの線スペクトル

より、ナトリウムの線スペクトルは、約 8.90cm の位置にあることがわかる。

1.2 蛍光灯のスペクトル観察

ナトリウムランプとは異なる別の人工光源として、蛍光灯も用いた。蛍光灯のスペクトルには、緑色の輝線が観察される。これは、蛍光灯内に封入された水銀の蒸気由来である。

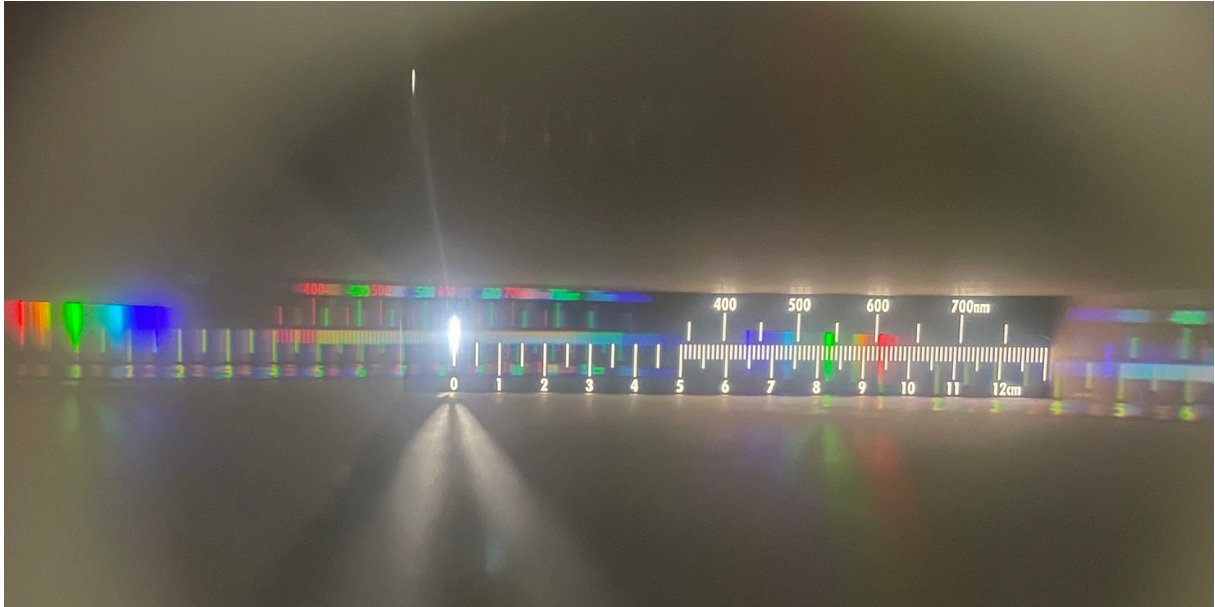


Figure 2: 蛍光灯の線スペクトル

より、蛍光灯の線スペクトルは、約 8.22 cm と測定した。

ここに、蛍光灯の仕組みを補足する

1.3 太陽光スペクトルの観察（暗線データの取得）

簡易分光器のスリットを、空の明るい部分に向け、暗線を観察する。初回の実験日は比較的曇りであったため、雲を通して太陽を直接見た。

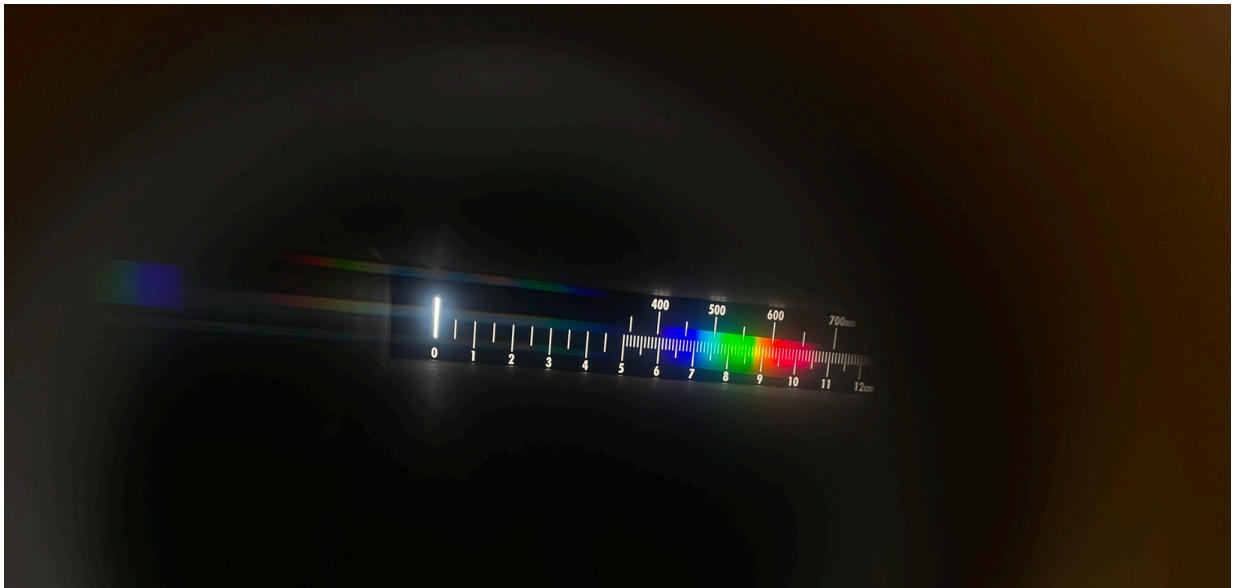


Figure 3: 太陽光スペクトルの暗線

のままだと、暗線の位置は分かりにくい。これをわかりやすくするため、明るい部分の明るさの差が拡大されるようにトーンカーブを調整し、次の画像を作成した。

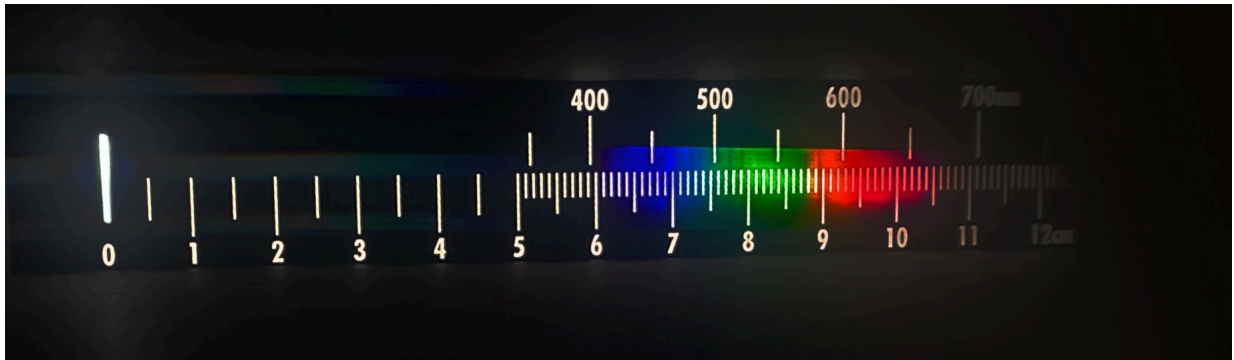


Figure 4: 太陽光スペクトルの暗線（加工済み）

の画像から以下の値を読み取った。

63.8, 70.2, 72.4, 77.5, 79.0, 89.5 mm

暗線の位置に矢印を描いた図は、次のとおりである。

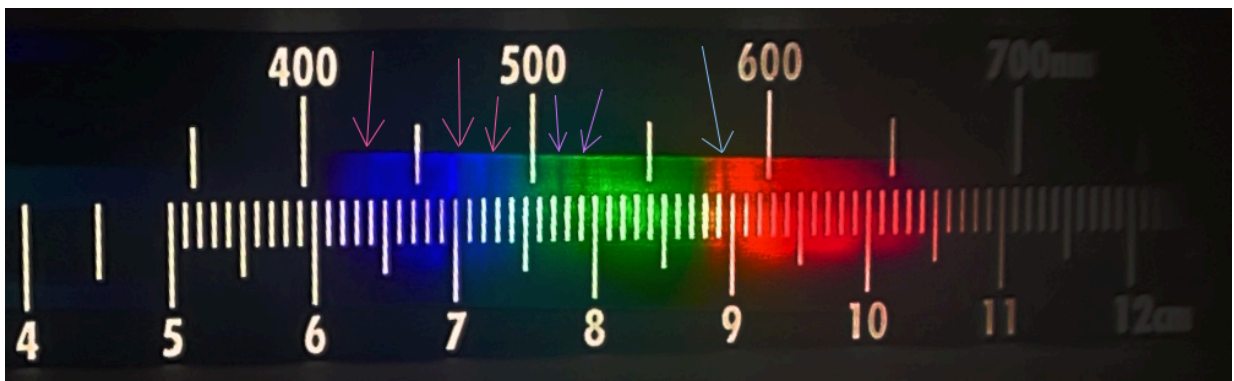


Figure 5: 太陽光スペクトルの暗線（矢印付き）

2 簡易分光器の観察結果の考察

2.1 なぜスペクトルが見えるのか

簡易分光器は、回折格子を用いて光を分散させる。回折格子での屈折率は波長によって異なるため、目に入る同じ方向から来た光は、あたかもそれぞれの色の光が別々の方向からやってきているかのように見える。また、スリットを通すことで、位相がそろった光を得ることができる。細かい計算は次の項で説明する。

2.2 S と波長の関係式

気が向いたら図を書いてここに入れる。

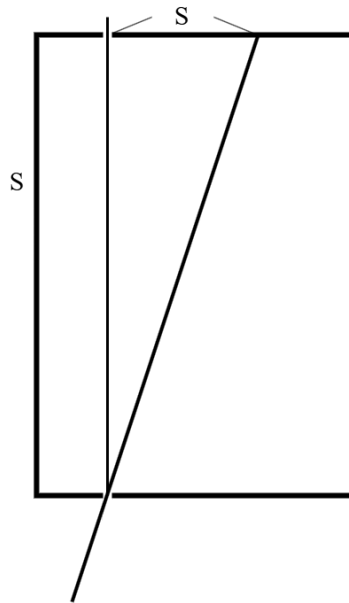


Figure 6: 簡易分光器の構造

隣り合う光の航路差は、図の AC' に対応する。光の航路が回折格子となす角を θ , 線スペクトルの波長を λ , 回折格子の格子定数を d とする。

$$\sin \theta = \frac{S}{\sqrt{l^2 + S^2}}$$

と

$$\sin \theta = \frac{n\lambda}{d}$$

が成立する。ここで、今回観察した範囲で見える干渉は1次のもののみであるので、 $n = 1$ である。

よって、

$$\frac{S}{\sqrt{l^2 + S^2}} = \frac{\lambda}{d}$$

上の式を S について解く。

$$\begin{aligned} S^2 \times d^2 &= \lambda^2 \times (l^2 + S^2) \\ S^2 \times (d^2 - \lambda^2) &= \lambda^2 \times l^2 \\ S &= \frac{\lambda l}{\sqrt{d^2 - \lambda^2}} \end{aligned}$$

この式は、輝線の現れる位置 S が、波長 λ に依存する関数であり、 λ の違いを、輝線の位置の違いといし観察できることを示している。

2.3 格子間隔を推定する

S の測定結果と、 λ の既知の値を表にまとめると、次のようになる。

	S [cm]	λ [nm]
ナトリウムランプ	8.90	589.294
蛍光灯	8.22	546.074

これを用いて、格子定数 d を求める。

```
import numpy as np

l = 240 # 既知, 240mm
type_list = ["ナトリウムランプ", "蛍光灯"]
S_list = [89.7, 82.1] # mm
lambda_list = [589.294, 546.074] # nm
d_list = []

for i in range(2):
    S = S_list[i]
    wavelength = lambda_list[i]
    print(f"{type_list[i]}")
    print(f"S: {S} mm, λ: {wavelength} nm")
    d = wavelength * np.sqrt((l ** 2 + S ** 2)) / S
    print(d)
    d_list.append(d)
    print("")

mean_d = np.mean(d_list)
print(f"格子定数の平均値: {mean_d}")
```

出力結果は次のようになった。

```
ナトリウムランプ
S: 89.7 mm, λ: 589.294 nm
1683.232113169226

蛍光灯
S: 82.1 mm, λ: 546.074 nm
1687.1366276950605

格子定数の平均値: 1685.1843704321432
```

この結果より、格子定数 d の値として、 $1.685 \times 10^3 \text{ nm}$ を用いることにする。測定した二種類の光源について、少し違いがある。この理由として、そもそもの測定誤差に加え、輝線が幅を持っていることによる影響も考えられる。

回折格子に記載されていた格子数は、1mm あたり 600 本であった。したがって、格子定数 d は、 $d = \frac{1\text{mm}}{600} \approx 1.6667 \times 10^3 \text{ nm}$ となるため、20nm 程度の誤差があることになる。誤差は測定値の約 1.2% 程度であるため、許容範囲内だと考えられる。

2.4 太陽光スペクトル暗線の波長の推定

測定した太陽光スペクトルの暗線の位置を用いて、暗線の波長を推定する。求める Python のソースコードと、出力結果は次のとおりである。格子定数 d は、先ほど求めた値を用いる。

```
import numpy as np

def calc_labmda(distance, S, l):
    print("距離:", S, " 暗線の波長:", (distance*S)/np.sqrt(S**2 + l**2))
l = 240
S_list = [63.8, 70.2, 72.4, 77.5, 79.0, 89.5]
distance = 1.685e3

for S_item in S_list:
    calc_labmda(distance, S_item, l)
```

```
距離: 63.8 暗線の波長: 432.8944923931373
距離: 70.2 暗線の波長: 473.0418991401229
距離: 72.4 暗線の波長: 486.6472813362649
距離: 77.5 暗線の波長: 517.7876787632752
距離: 79.0 暗線の波長: 526.8380770596013
距離: 89.5 暗線の波長: 588.7583699493543
```

2.5 太陽光スペクトルの暗線の波長の推定

理科年表と比べる。めんどいので後回し

3 レーザーポインターによる回折実験

上で求めた格子間隔を確認するため、レーザー光を用いた回折実験を行った。

図のように、レーザー光源、回折格子を固定し、スクリーンに向けてレーザー光を照射する。スクリーン上に現れる輝線の位置をホワイトボードに記録し、回折した幅を用いて格子定数を計算する。

$\lambda = d \frac{x}{\sqrt{l^2 + x^2}}$ である。赤は、76.2 cm、緑は、60.6 cm、だった。よって、波長はは次のように計算できる。

赤

$$\bullet \lambda = 1.685 \times 10^3 \times \frac{76.2}{\sqrt{76.2^2 + 179^2}} \approx 658.030 \text{ nm}$$

緑

$$\bullet \lambda = 1.685 \times 10^3 \times \frac{60.6}{\sqrt{60.6^2 + 179^2}} \approx 538.242 \text{ nm}$$

これらはどちらも、赤と緑の光の波長として適切である。よって、格子定数 d の値の妥当性が分かる。

4 分光光度計による測定

分光光度計の操作手順

4.1 蛍光灯スペクトルについて

4.2 ナトリウムランプのスペクトルについて

4.3 太陽光スペクトルについて

4.4 太陽光スペクトルの概形

4.5 太陽光の全体スペクトル

4.6 近赤外領域のスペクトル

5 分光光度計による太陽光スペクトルの考察

6 さらなる考察

7 感想