

太陽の低分散分光観測による黒点温度の波長依存性についての研究

川口市立高等学校 天文部:渡部風香(高2) 足利重幸 小川蒼生 熊谷衣真 志垣颯都 鈴木武琉
鈴木真南斗 高玉涼花 中村葵 兵頭蒼生 本間朝陽 丸石芽衣菜(高1)

要旨と研究背景

我々は、学校で所有している分光器を活用した研究に取り組んでいる。太陽黒点は静穏領域と比べて強力な磁場の影響で温度と輝度が低くなる。昨年度の研究から太陽の周縁減光には波長依存性があることが分かった。そこから、黒点の温度や輝度にも波長依存性があると考えた。その特性を調べるために日周運動を用いて太陽のスリットスキャン分光観測を行った。その画像をもとに黒点と静穏領域での波長ごとの輝度比を算出し、プランクの法則を用いて温度を求め、その波長依存性の関係について理論的に考察をした。

1.観測・解析方法

場所:埼玉県 川口市立高等学校屋上
日時:2026年1月22日 12:20~12:51(JST)
望遠鏡:屈折望遠鏡(口径60mm、焦点距離330mm、Sharpstar ED60)
減光フィルター:ND1000+ND8
分光器:低分散分光器 VEGA(昭和機械製作所、スリット幅10μm、R=1200)
カメラ:ZWO ASI 178MM
方法:スリットを南北方向に固定し、太陽の日周運動を利用して約9フレーム/秒でスリットスキャンした。

- ①観測データから周縁減光の影響が少ない中央部にある、最も暗い黒点の最暗部を抽出した(図1)。太陽直径の約1950秒角に対して、抽出した領域は約6秒角である。
- ②すばる画像処理ソフト”マカリ”[1]を用いて、①で抽出した黒点画像(図2)とそこから東西方向に±24枚離れた静穏領域の画像2枚をDark処理し、静穏領域については加算平均した。
- ③MS Excelを用いて理科年表[2]のおもな太陽吸収線の波長データと太陽スペクトルアトラス[3]を参照し、画像内のフラウンホーファー線を基に波長付けを行った(図2)。
- ④CMOS カメラの波長ごとの感度特性[4]から補正関数を導出し、黒点と静穏領域の輝度を感度補正した。
- ⑤静穏領域の500nmの輝度を1とした各波長の輝度比と、黒点/静穏領域の輝度比を出した(図4)。グラフの凹凸は、吸収線の影響である。
- ⑥理科年表[2]より、500nmにおける太陽中央部の光学的深さが1になる層(不透明になるところ)の温度を6520Kとした。プランクの法則(図3)を利用して、400~700nmにおける静穏領域の温度を波長ごとに求めた(図5)。また、その温度から400~700nmにおける黒点最暗部の温度を波長ごとに算出した(図5)。

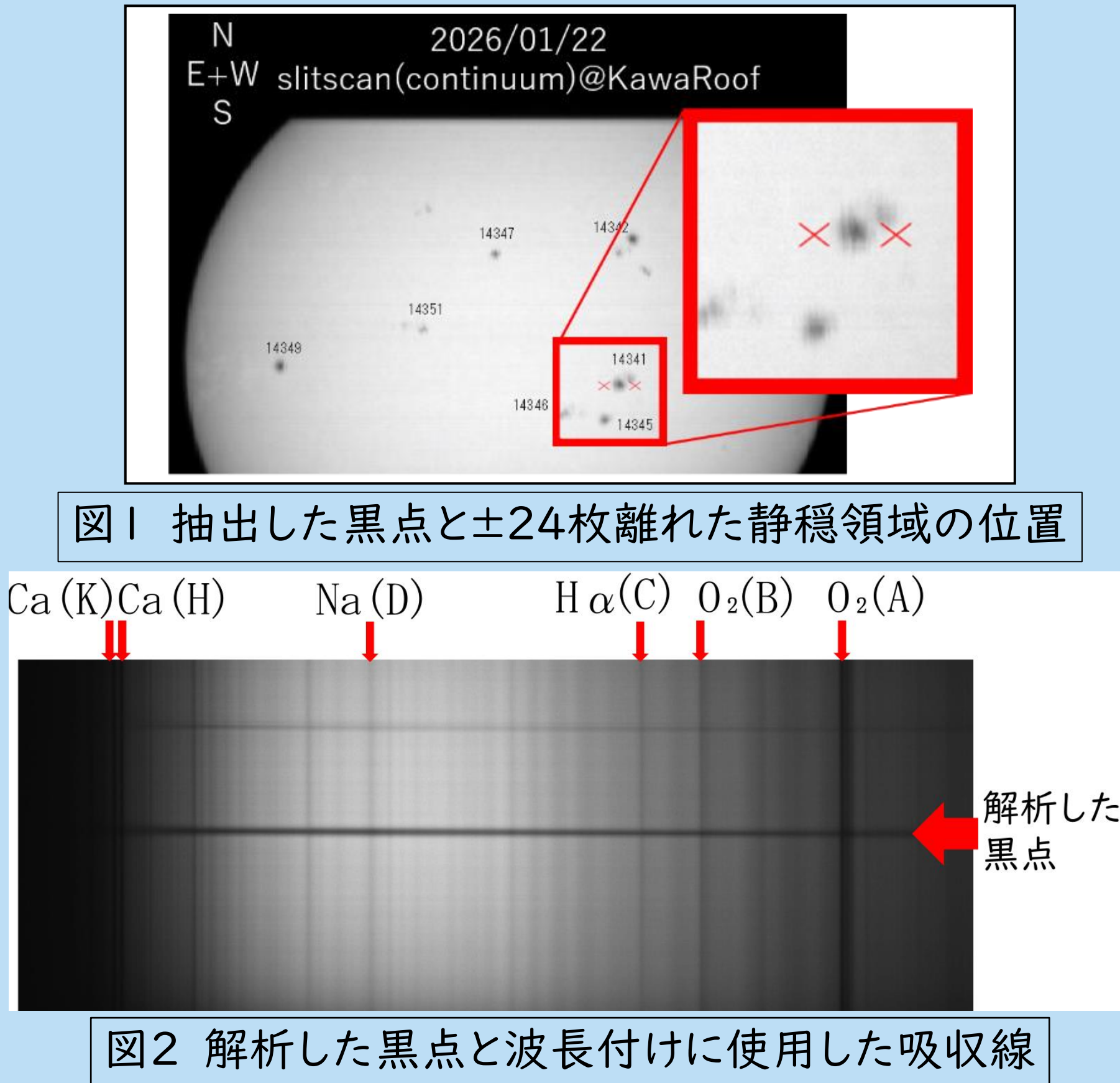


図1 抽出した黒点と±24枚離れた静穏領域の位置

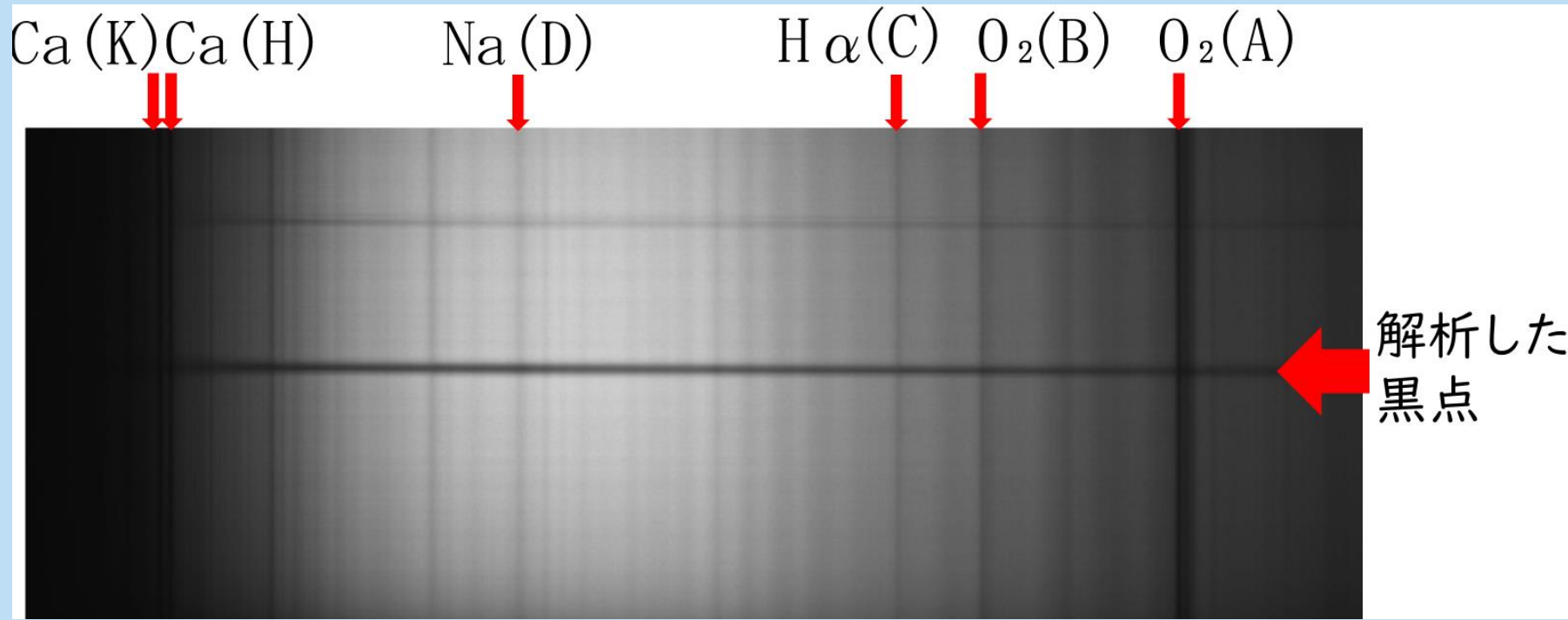


図2 解析した黒点と波長付けに使用した吸収線

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1}$$

プランクの法則[5]

エディントン・バルビエ近似より I_{500} を基準とした

求める波長の輝度比は $\frac{I}{I_{500}} = \frac{B_{\lambda}(T)}{B_{500}(T_{500})} = \frac{\left\{\exp\left(\frac{hc}{\lambda_{500}k \cdot 6520}\right) - 1\right\} \lambda_{500}^5}{\left\{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k \cdot 6520}\right) - 1\right\} \lambda^5}$ と表される

静穏領域の温度を求める式

エディントン・バルビエ近似より I_q を基準とした

黒点の輝度比は $\frac{I_s}{I_q} = \frac{B_s(T_s)}{B_q(T_q)} = \frac{\left\{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k \cdot T_s}\right) - 1\right\}}{\left\{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k \cdot T_q}\right) - 1\right\}}$ と表される

黒点の温度を求める式

I_{500} = 波長 500nm の輝度
 I = 求める波長の輝度
 I_q = 静穏領域の輝度
 I_s = 黒点の輝度
 $T = T_{500} \cdot X$
 $T_{500} = 6520 \text{ K}$
 $T_s = T_q \cdot X$
 $h = 6.62607015 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ (プランク定数)
 $c = 2.99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ (真空中の光の速さ)
 $k = 1.380649 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ (ボルツマン定数)

これらの式を用いてそれぞれ温度を求めた

図3 静穏領域と黒点の温度を求める式

2.結果

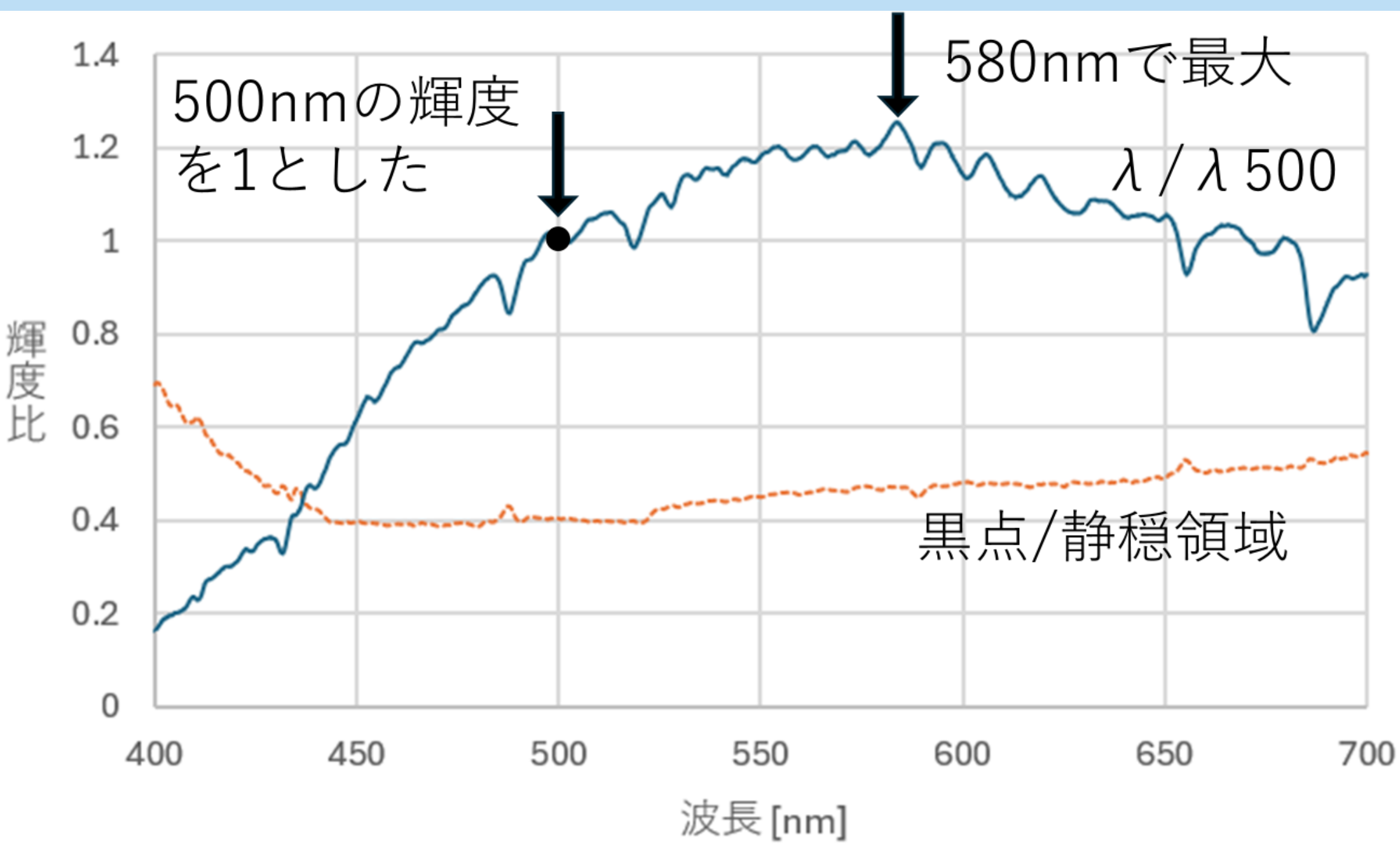


図4 波長ごとの黒点/静穏領域および静穏領域における λ / λ_{500} の輝度比

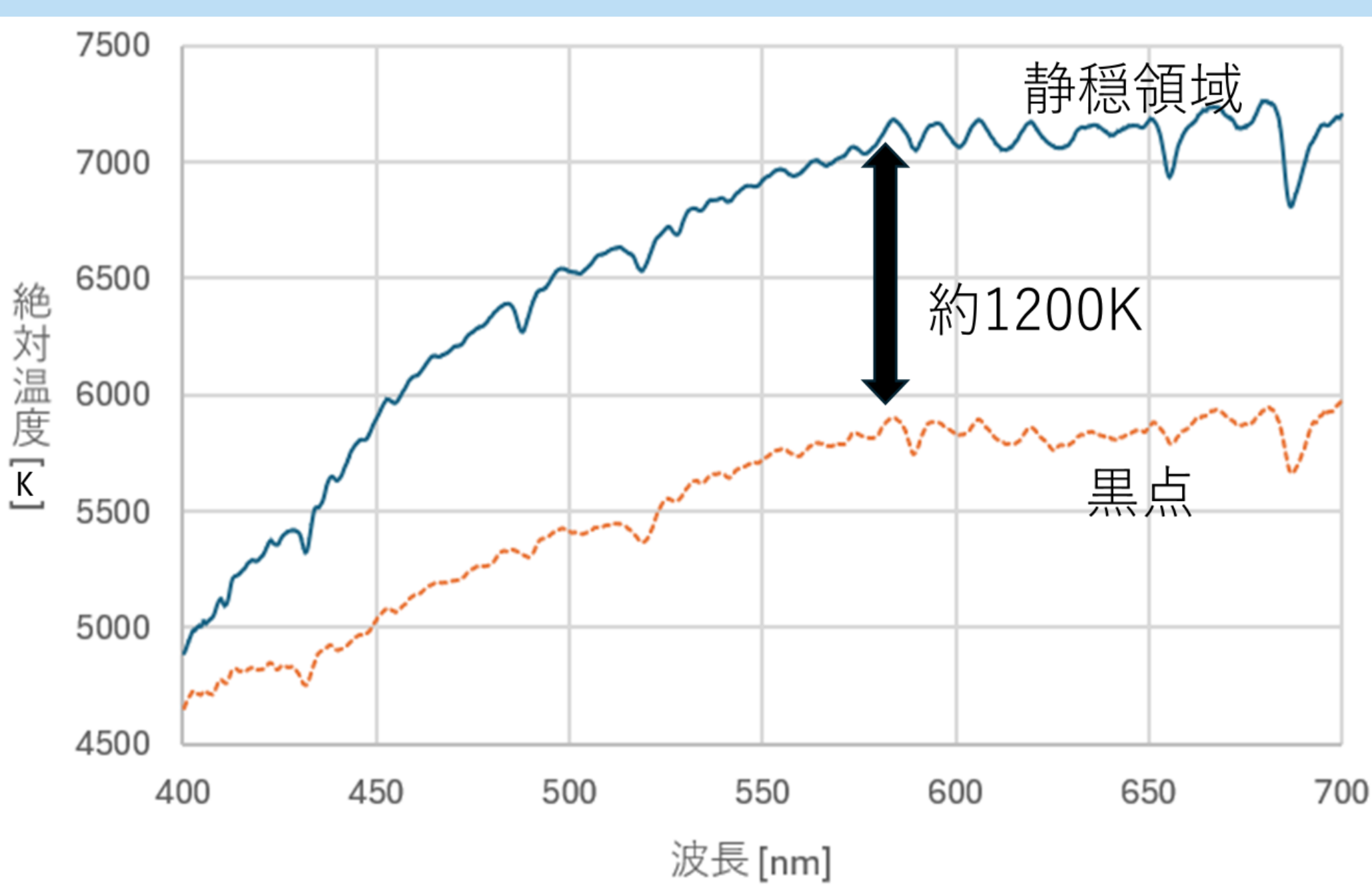


図5 波長ごとの黒点と静穏領域の温度

<図4について>

黒点/静穏領域

- ・450~525nmで最も輝度比が低くなっているのは、その波長が黒点で最も暗いからである。

<図5について>

静穏領域と黒点の温度について共通する性質

- ・400~580nmにかけて温度が高くなる傾向がある。
 - ・580~700nmでは大きな温度変化がない。
- 静穏領域と黒点の温度を比較して
- ・全波長域において、静穏領域の温度よりも黒点の温度の方が低い。
 - ・400~580nmに向けて徐々に温度差が大きくなる。
 - ・580~700nmでは温度差が約1200Kで一定になる。

3.考察

プランクの法則を用い、4500~7000Kにおける波長ごとの輝度比の変化をグラフ(図6)に表した。

<図4について>

静穏領域での λ / λ_{500}

結果のような580nm付近がピークとなる全体の傾向があるのは、プランクの法則に則っているためだと言える。図6より太陽温度を7000Kとすると、410nm付近をピークとするはずであるが、地球大気によるレイリー散乱などの影響でピークの波長が変動したと考えられる。

<図5について>

静穏領域の温度

図6より静穏領域の580~700nmにおいて、 λ / λ_{500} のグラフと7000Kのグラフの傾向が一致するため、地球大気の影響を受けていないことが考えられる。

今回の研究で黒点と静穏領域の温度差が短波長になるにつれ小さくなることはレイリー散乱などの地球大気の影響だと考えた。今後は輝度を補正して、黒点温度の波長依存性についてさらに明らかにしていきたい。

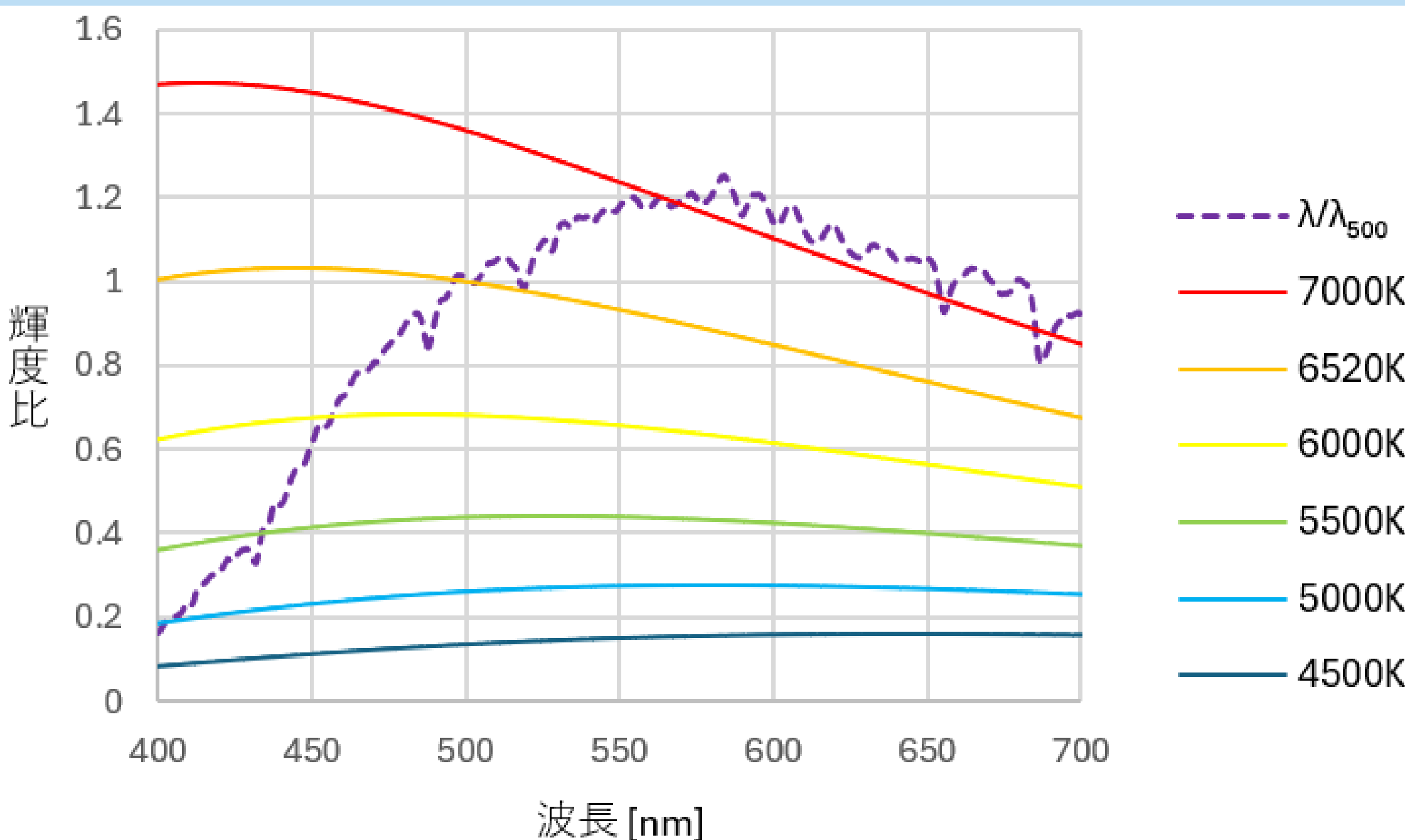


図6 各温度における波長ごとの輝度比の変化

参考文献

- [1]画像処理ソフト マカリ<https://makalii.mtk.nao.ac.jp/index.html.ja>
- [2]理科年表 2007年 国立天文台編
- [3]自作分光器による太陽観測(Ⅲ) ~アトラスと CaIIK ヘリオグラム~
https://seigakukan.sakura.ne.jp/g1/22_2017/23.2017.sakae.pdf
- [4] ZWO ASI 178MM データシート
<https://www.kyoei-osaka.jp/SHOP/zwo-asi178mm.html>
- [5]天文学辞典 <https://astro-dic.jp/>