

太陽の周縁減光における波長依存性についての観測的研究

川口市立高等学校天文部：櫻井 優輝 江口 真由美 小倉 遙河 黒澤 怜 小泉 翔愛
佐々木 健人 寺原 直希 中根 陽輝 (高3) 渡部 風香 (高2)

要旨と研究背景

太陽の周縁減光とは、中央部から周縁部に向けて太陽が徐々に暗くなる現象である。図1に示すように、太陽の中央部では光球から深い層まで見通すことができ、より高温の層からの光を観測できる一方、周縁部では浅い層までしか見通すことができないため、比較的低温の層からの光しか観測できない。そこで私たちはスリットスキャン分光観測を行い可視光領域においては、周縁減光に波長依存性があることを確認した。また、その結果から黒体放射に関する法則に基づいて波長ごとの太陽中央部の温度を求め、その見通せる深さについて可視光から近赤外領域にかけて理論的に考察した。

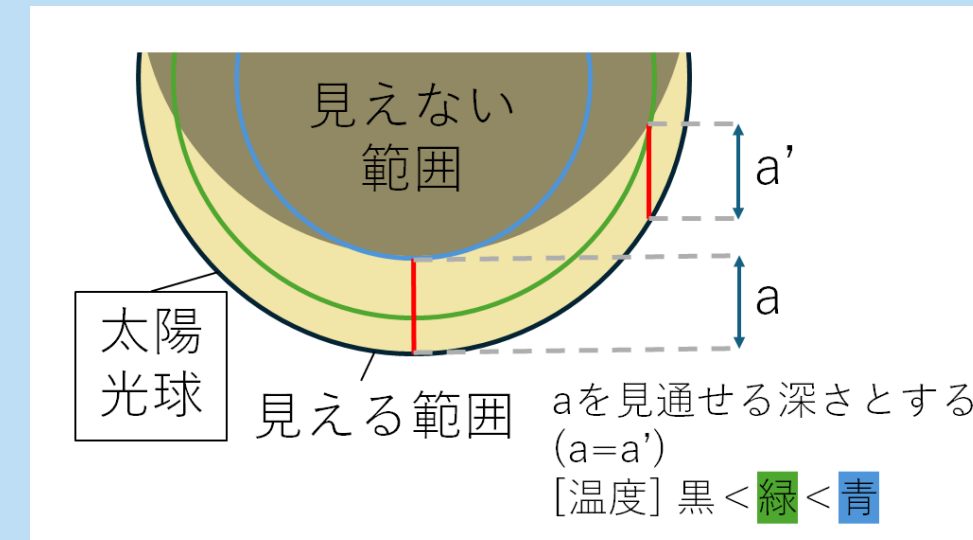


図1 太陽の観測範囲

1. 観測・解析方法

場所:埼玉県川口市 川口市立高等学校屋上
日時:2026年3月24日 12:27~14:05 (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 RI (近赤外領域観測時)
分光器:低分散分光器 VEGA (昭和機械製作所)
カメラ:ZWO ASI 178MM

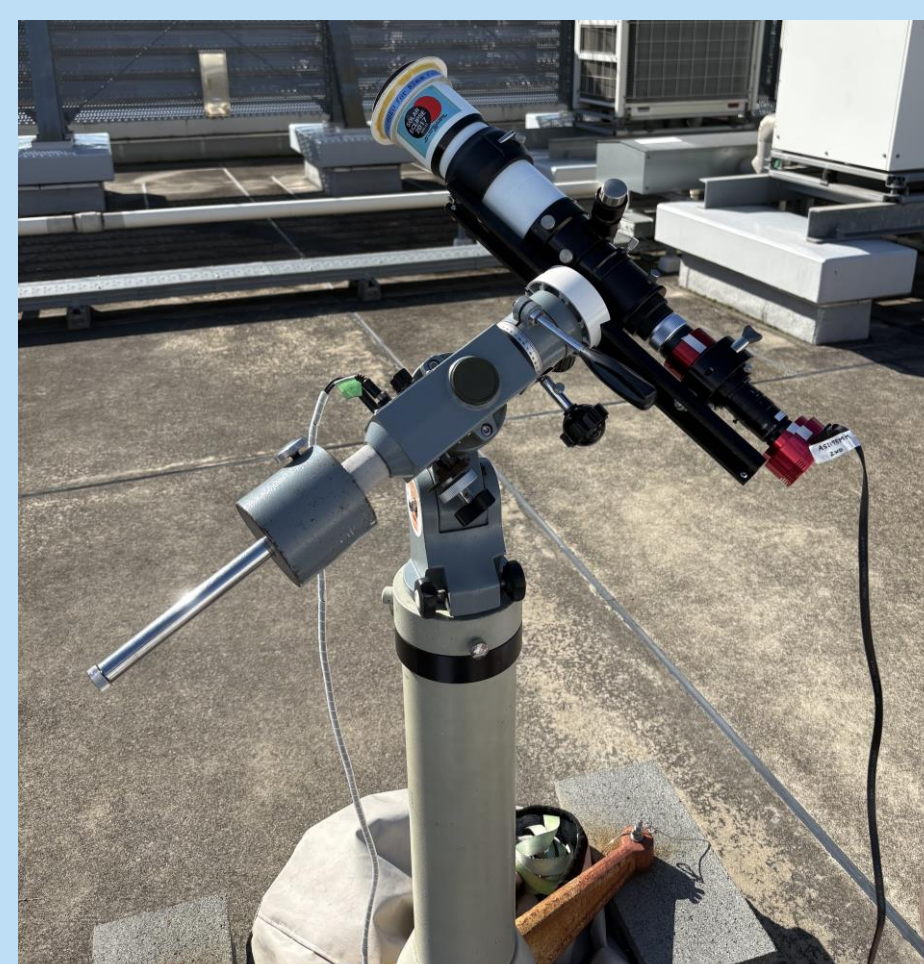


図2 観測の様子

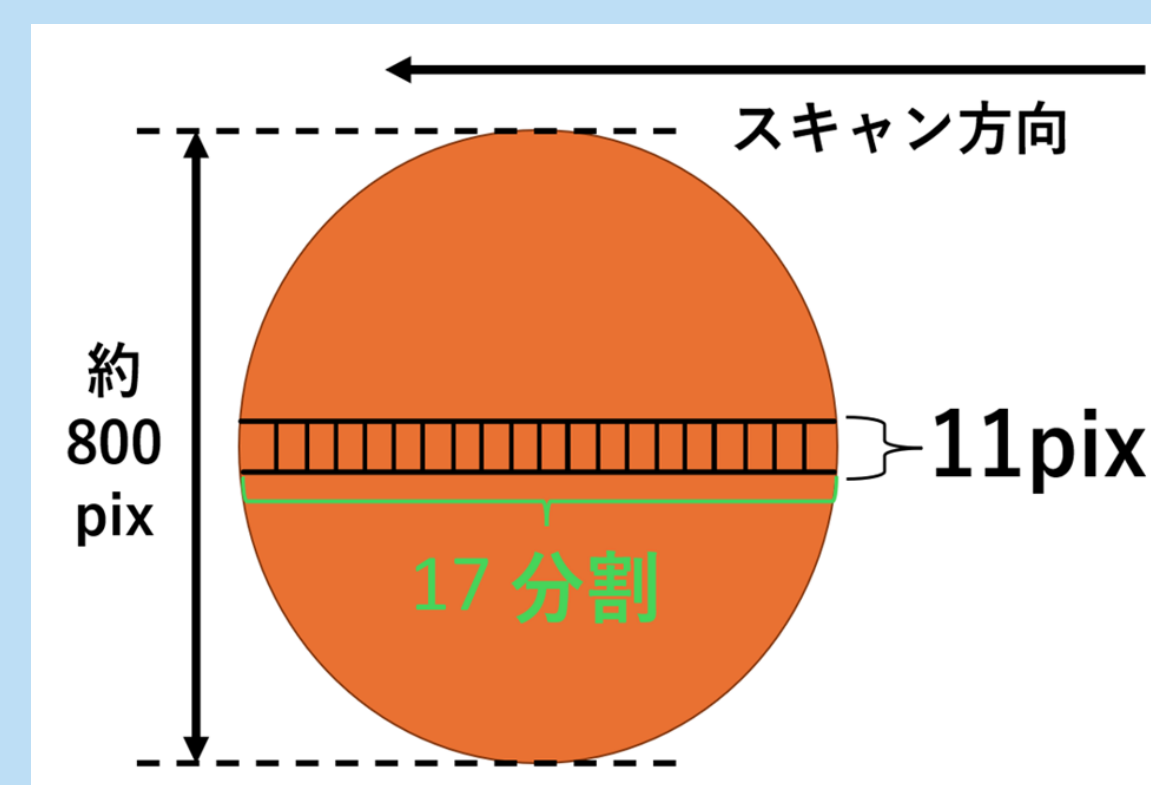


図3 太陽の解析方法

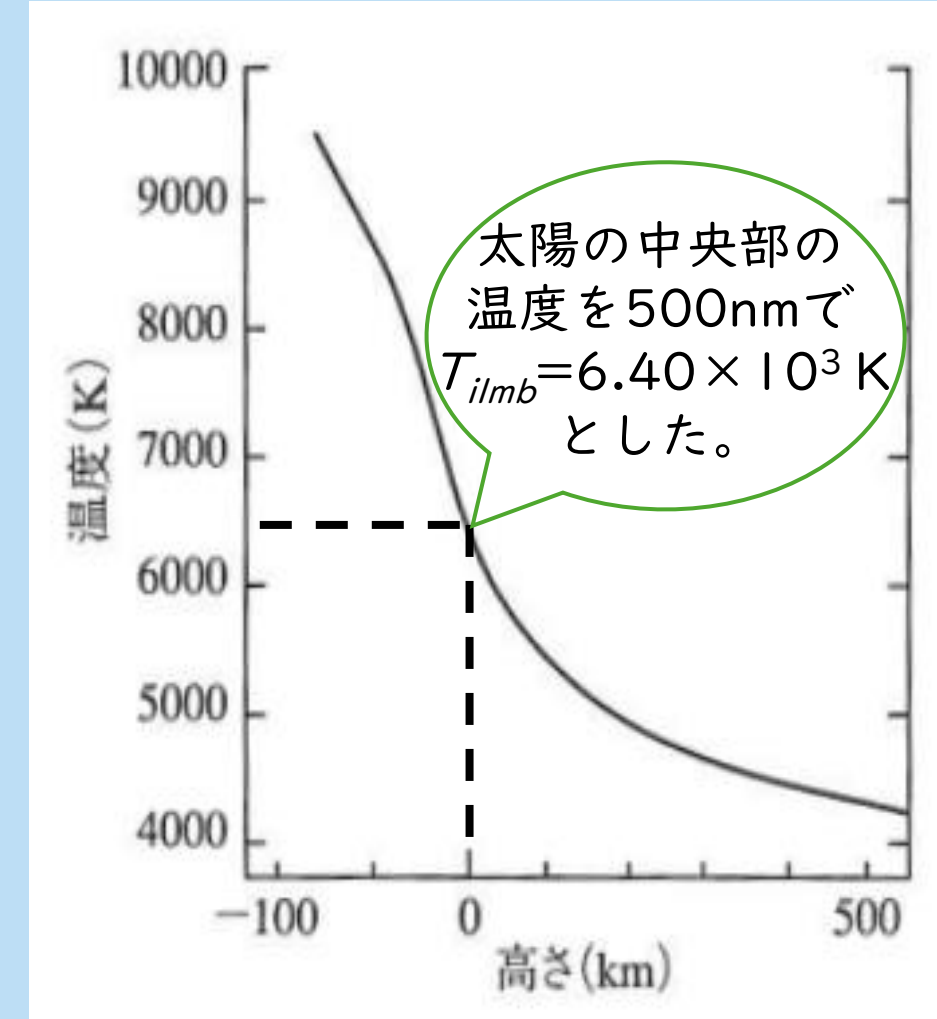


図5 太陽の温度と深さのグラフ [4]

① 太陽の日周運動を利用してスリットスキャンしたデータを図3のように17分割した領域でスペクトルの平均強度を可視光領域では350nm から700nmまで、近赤外領域では650nmから1000nmまでを5回ずつ観測し、50nm毎に平均して求めた。その後、それぞれの波長におけるスペクトル強度の最大値を1として、周縁減光の割合をグラフに表した(図6,図7)。また500nm~550nm、800nm~850nmにおける信頼区間95%の標準誤差を示した(図8,図9)。

② 太陽の中央部と周縁部の強度比を①で導き出したスペクトルデータを利用して求めた。その後、プランクの公式 [1] (図4)を利用して各波長のスペクトル強度 I を放射強度 $B_\lambda(T)$ に相当するものと考え、500nmにおける太陽中央部の光学的深さが1になる層の温度を6400K [2] とし、475~525nmにおける I 及び I_0 から太陽周縁部の温度を算出した。太陽周縁部の温度は波長によらず一定と考え、各波長帯における太陽中央部の温度を求めた。さらに、太陽の温度と深さの関係を表した先行研究論文 [4] (図5)を用いて観測できる波長ごとの太陽の中央部の見通せる深さを導出した(図10,図11)。

太陽大気における局所熱力学平衡(LTE)を仮定すると、源泉関数 S_λ はプランク関数 $B_\lambda(T)$ に等しい。

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

エディントン・バルビエ近似 [3] によれば、中心に対する観測強度比は $\frac{I_{limb}}{I_0} = \frac{B_\lambda(T_{limb})}{B_\lambda(T)}$ と表される。

$$\frac{I_{limb}}{I_0} = \frac{B_\lambda(T_{limb})}{B_\lambda(T)} = \frac{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT_{limb}}\right) - 1}$$

Tについて解く

$$T = \frac{hc}{\lambda \ln\left\{1 + \frac{1}{R} \left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda T_0}\right) - 1\right]\right\}}$$

T = 中央部の温度 (求めたい温度)
 T_{limb} = 周縁部の温度
 $B_\lambda(T)$ = 温度 T (K), 波長 λ (m) における分光輝度
 $h = 6.62607015 \times 10^{-34}$ J·s (プランク定数)
 $c = 2.99792458 \times 10^8$ m/s (光の速さ)
 $k = 1.380649 \times 10^{-23}$ J/K (ボルツマン定数)

図4 温度の算出方法

2. 結果

①の結果

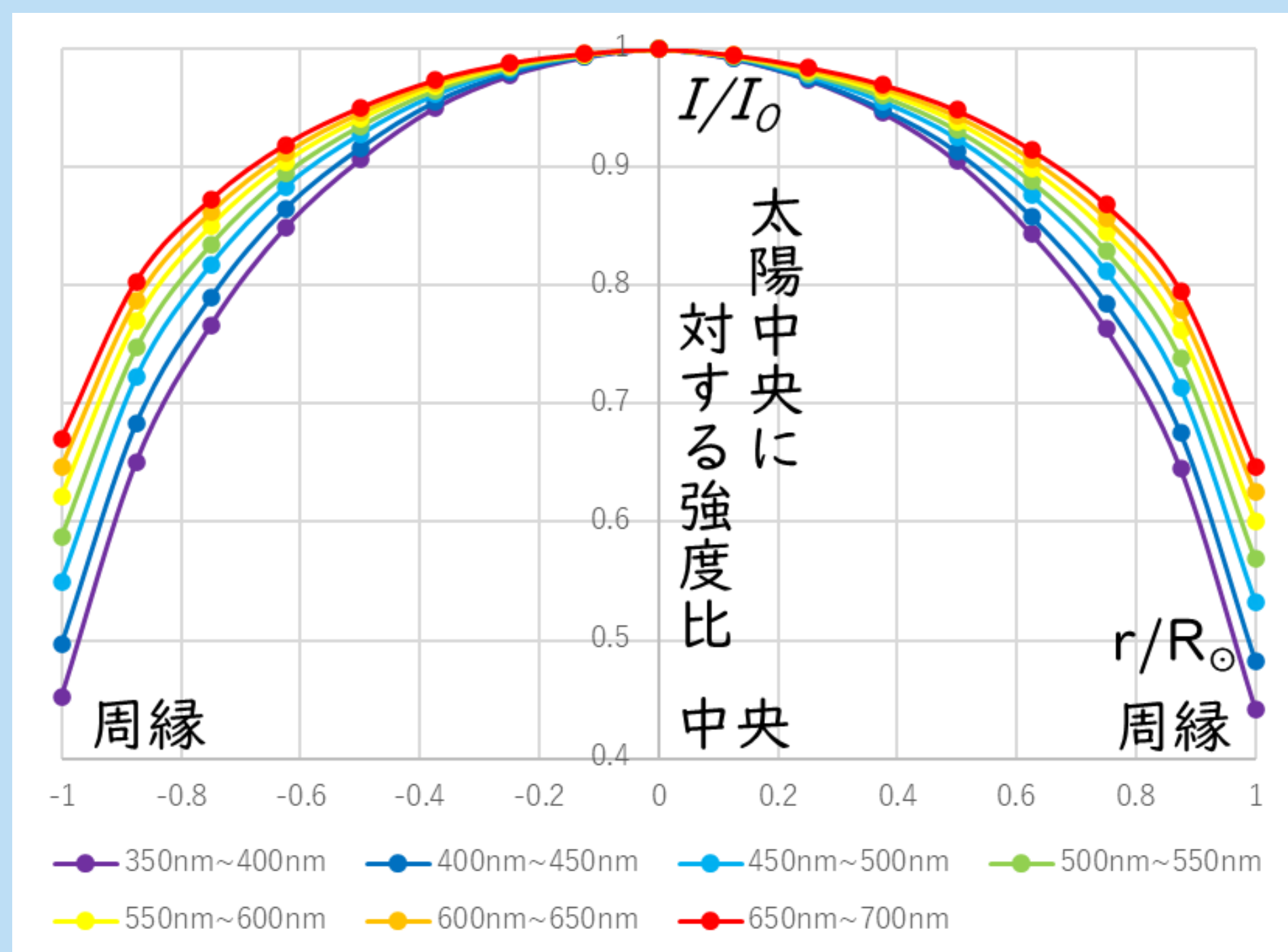


図6 可視光領域での太陽の半径比(r/R_\odot)と各波長のスペクトルの相対強度(I/I_0)のグラフ

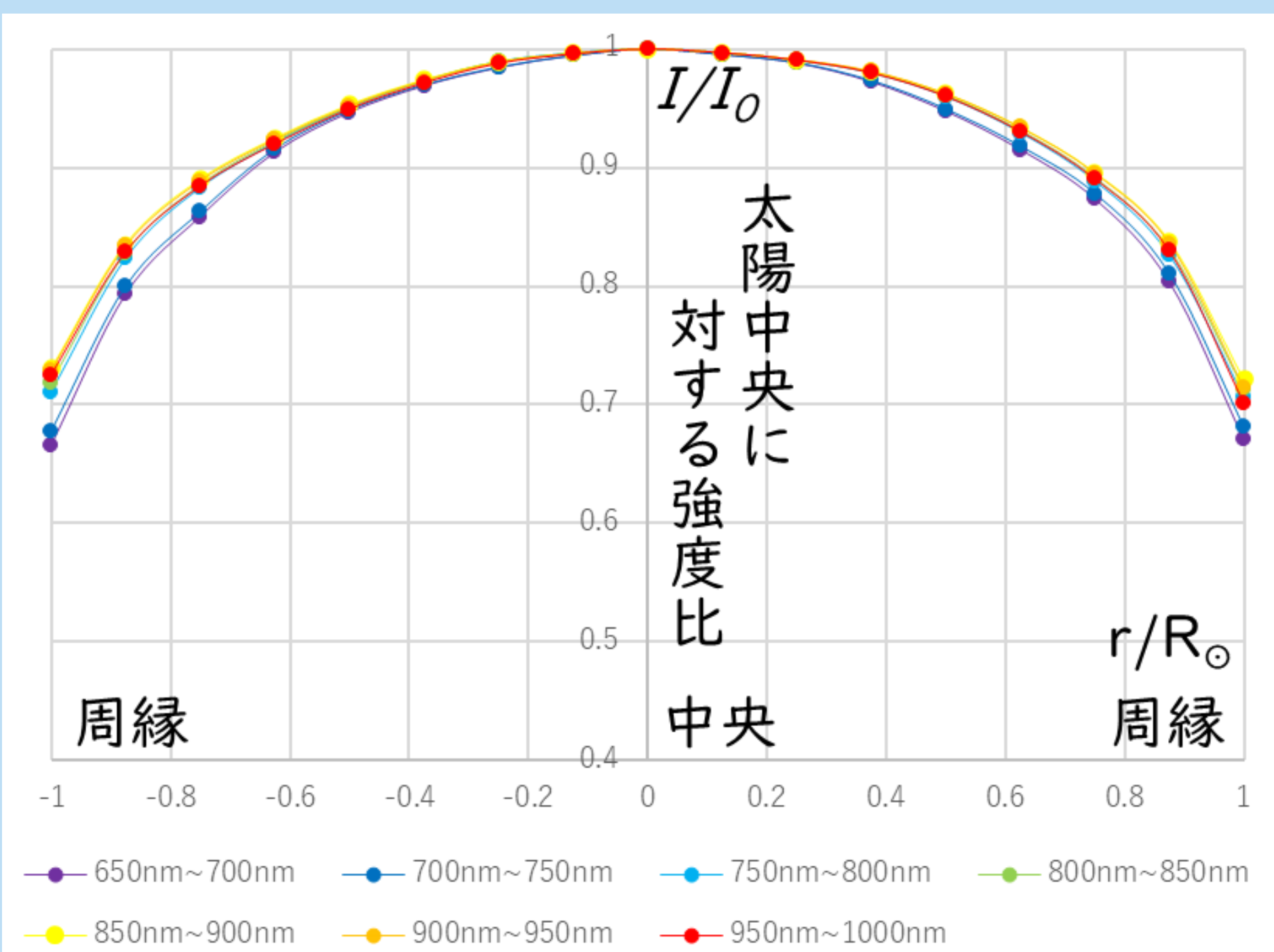


図7 近赤外領域での太陽の半径比(r/R_\odot)と各波長のスペクトルの相対強度(I/I_0)のグラフ

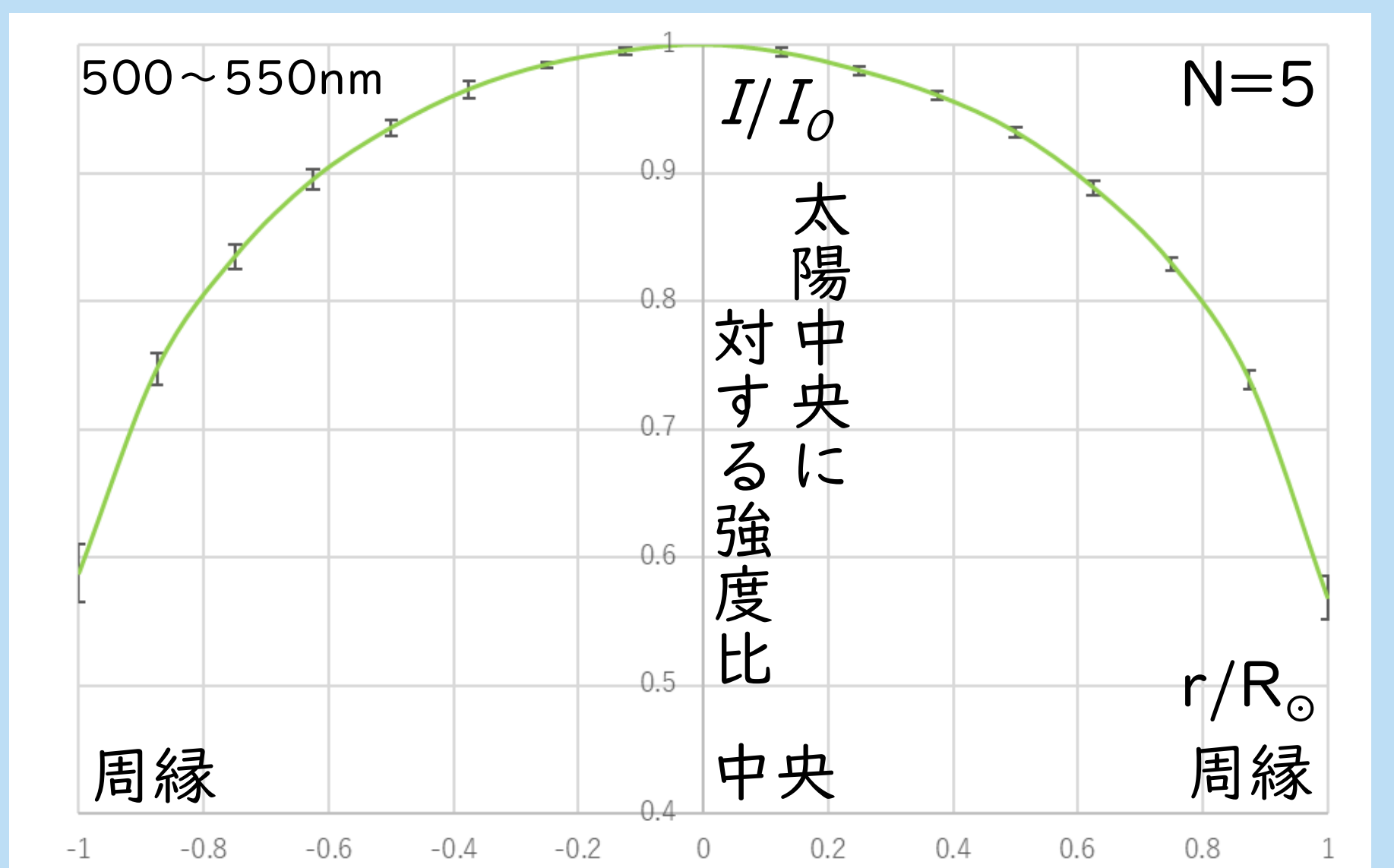


図8 図6の500nm~550nmにおける信頼区間95%の標準誤差

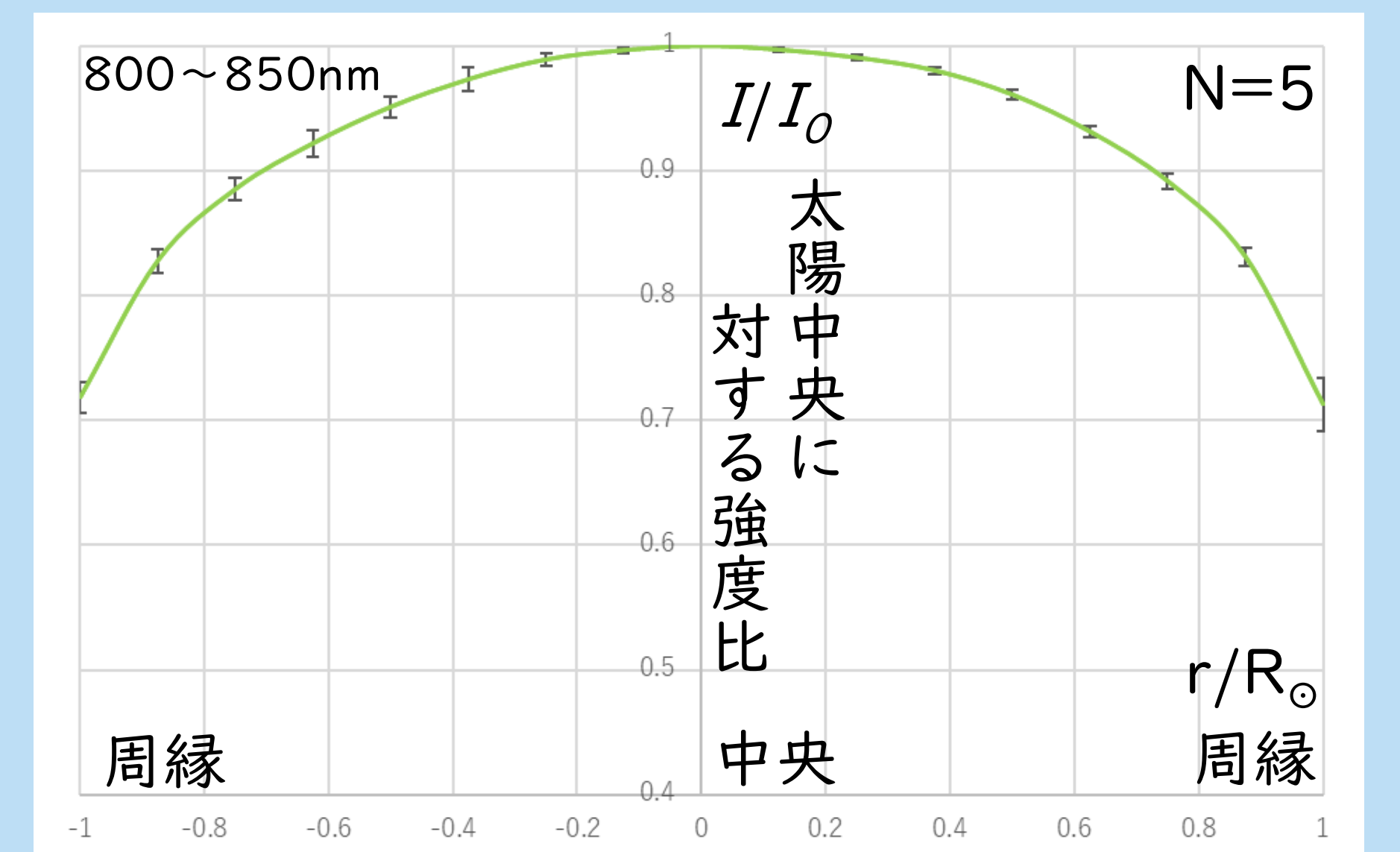


図9 図7の800nm~850nmにおける信頼区間95%の標準誤差

②の結果

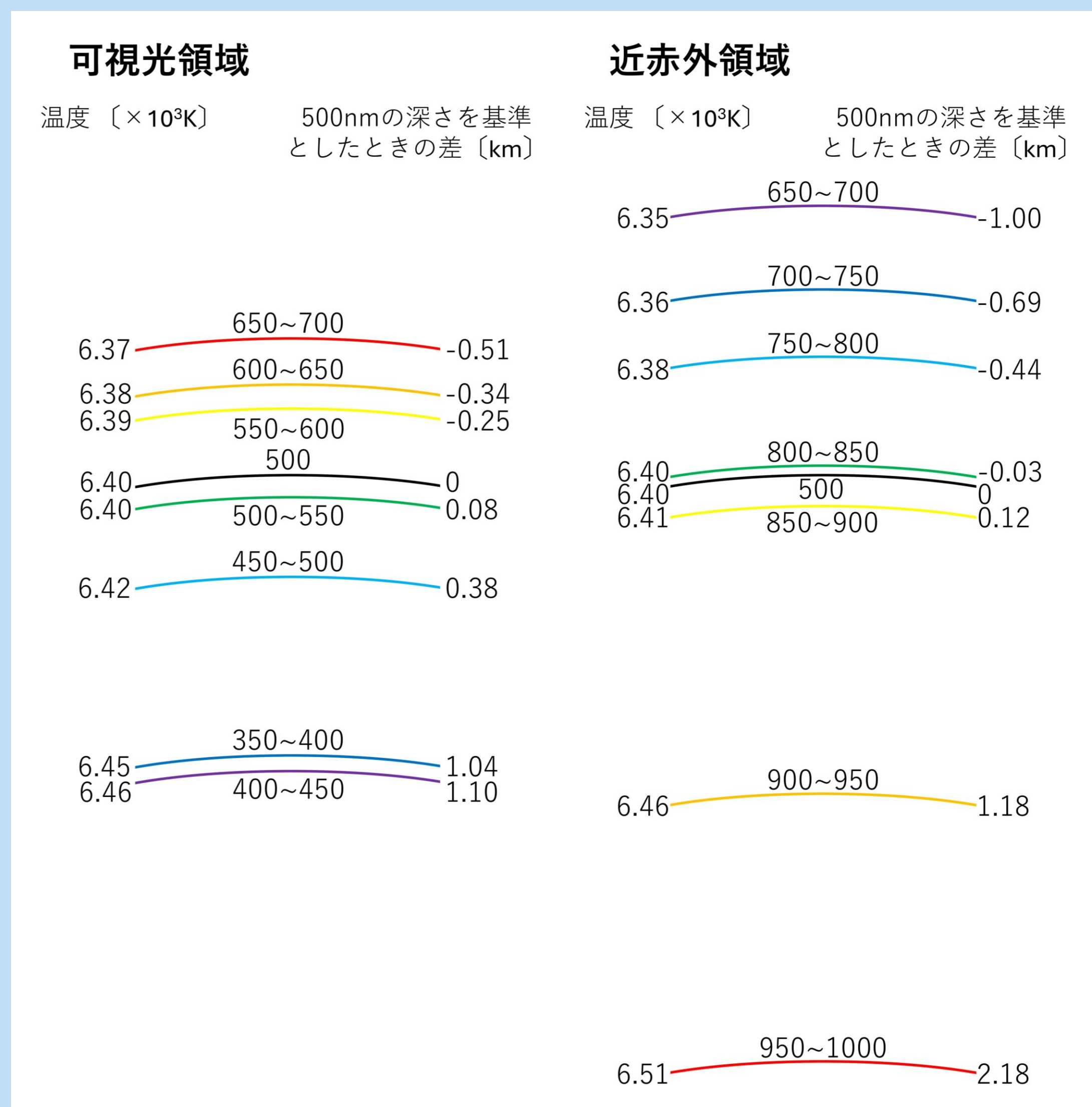


図10 波長ごとの温度と見通せる深さの模式図

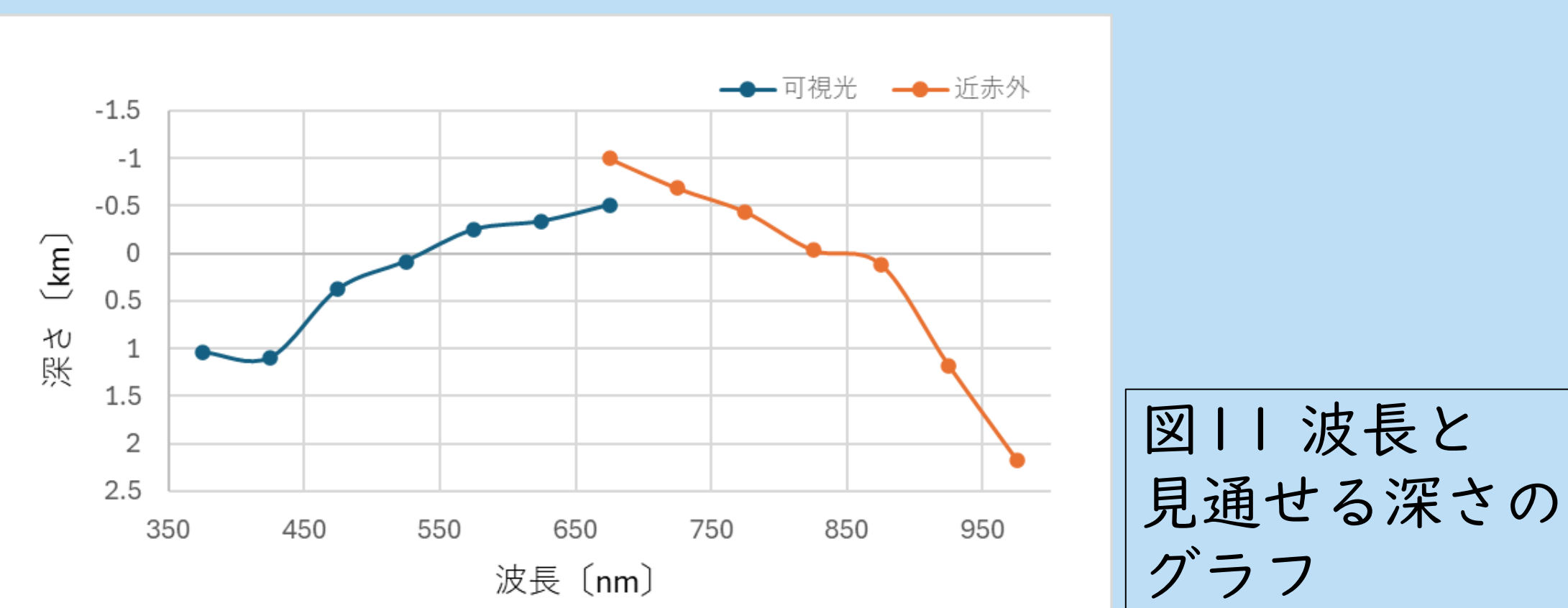


図11 波長と見通せる深さのグラフ

3. 考察と今後の展望

- 太陽の周縁部に近づくにつれどの波長帯も強度が弱くなっていて、短波長のほうが長波長に比べスペクトル強度の減衰が大きくなる傾向がある。
- 可視光領域では波長が短くなるほど、温度が高くなり見通せる深さが増し、近赤外領域では波長が長くなるほど、温度が高くなり見通せる深さが増す傾向がある。
- 近赤外領域で波長ごとの温度と深さの関係に可視光とは逆の傾向が見られるのは、負水素イオン(H^-)の束縛-自由遷移(b-f)による影響の可能性がある(図12)ため、波長依存性に関してはウィーンの変位則に加えて、負水素イオンの吸収が関与しているのではないかと考える。
- 今後は、太陽の黒点の減光の様子における波長依存性についても研究したい。

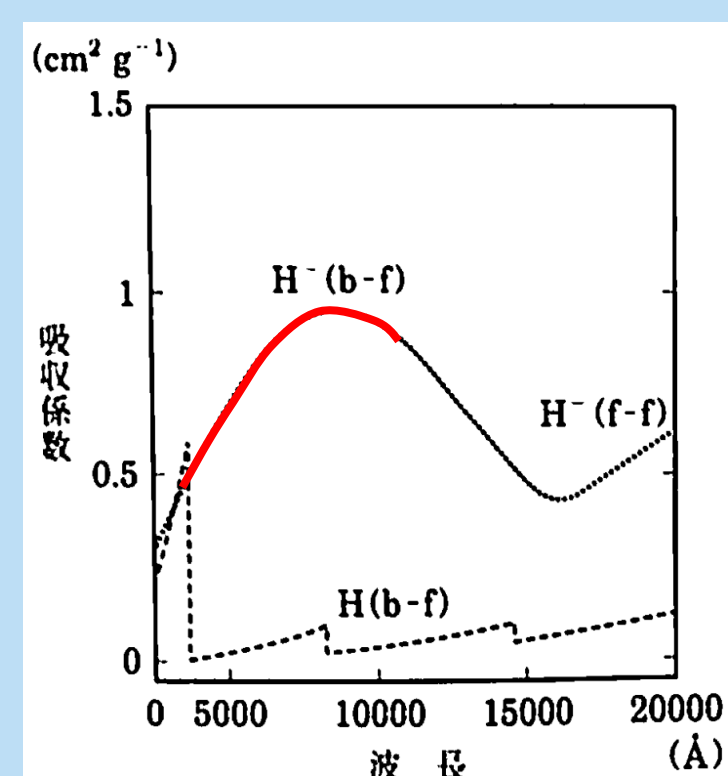


図12 イオンの吸収係数(点線)の波長に対する依存性(6000K) [5]

参考文献

- [1] 天文学辞典 <https://astro-dic.jp>
 [2] 福江純・沢武文・高橋真聡編、『極・宇宙を解く』、恒星社厚生閣、2020
 [3] Peter Foukal, Solar Astrophysics p48, 49
 [4] Gingerich, Noyes, Kalkofen and Cuny, Solar Physics 18, 347 (1971)
 [5] 野本憲一、定金晃三、佐藤勝彦『恒星』シリーズ現代の天文学[第2版]第7巻p113、日本評論社(2025)