

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

天文部：櫻井 優輝 江口 真由美 小倉 遙河 小泉 翔愛 佐々木 健人 寺原 直希 中根 陽輝 (高2)
渡部 風香(高1) 【川口市立高等学校】

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。

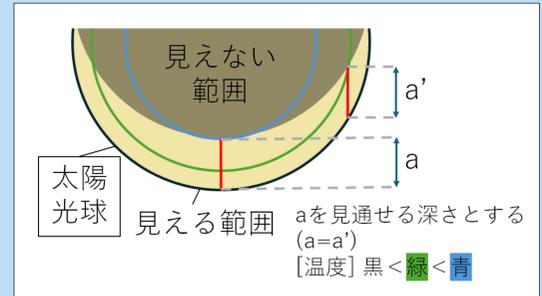


図1 太陽の観測範囲

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)
RI (近赤外領域観測時)
カメラ:ZWO ASI 178MM

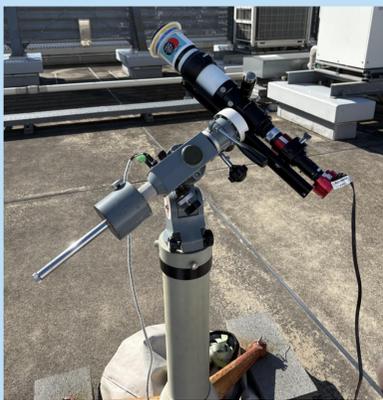


図2 観測の様子

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50nm毎に求めた。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)。

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、波長ごとに太陽の中央部の温度 T を算出した。さらに、太陽の温度と深さの関係を表した先行研究論文 [2] (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8)。

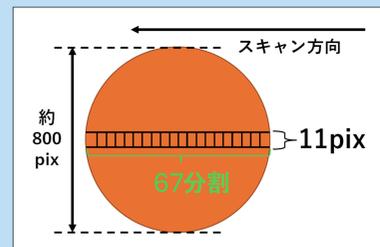


図3 太陽の解析方法

プランクの公式

$$B_{\lambda}(T) = \frac{(2hc)^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{e^{(hc/\lambda kT)} - 1}$$

$\frac{I_{limb}}{I_0}$ が $\frac{B_{\lambda}(T_{limb})}{B_{\lambda}(T)}$ に相当するものとする

$$\frac{I_{limb}}{I_0} = \frac{B_{\lambda}(T_{limb})}{B_{\lambda}(T)} = \frac{(2hc)^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{e^{(hc/\lambda kT_{limb})} - 1} = \frac{e^{(hc/\lambda kT)} - 1}{e^{(hc/\lambda kT_{limb})} - 1}$$

T = 中央部の温度 (求めたい温度)
 T_{limb} = 周縁部の温度 (深さ0km)
 $B_{\lambda}(T)$ = 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 プランクの公式とその定数

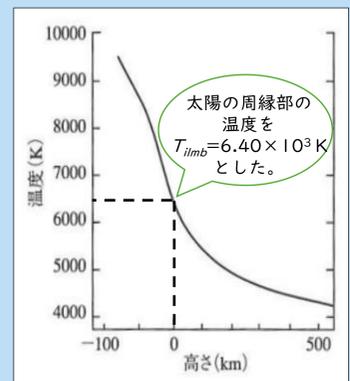


図5 太陽の温度と深さのグラフ [2]

2. 結果

①の結果

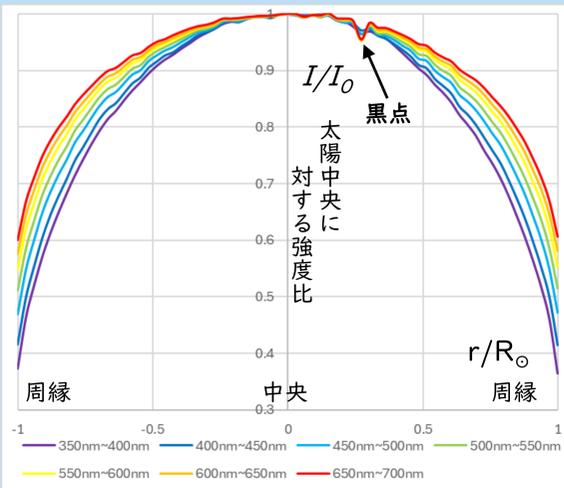


図6 可視光領域での太陽の半径比(r/R_{\odot})と各波長のスペクトルの相対強度(I/I_0)のグラフ

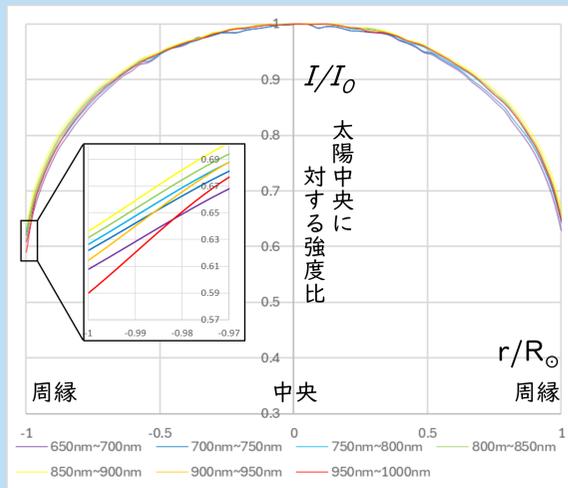


図7 近赤外領域での太陽の半径比(r/R_{\odot})と各波長のスペクトルの相対強度(I/I_0)のグラフ

- 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る。
- 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。

②の結果

可視光領域	温度 [$\times 10^3$ K]	深さ [km]	近赤外領域	温度 [$\times 10^3$ K]	深さ [km]
	6.40	光球表面 0		6.40	光球表面 0
			7.42	650~700	19.9
			7.44	700~750	20.1
			7.44	750~800	20.3
			7.47	800~850	20.7
			7.48	850~900	21.1
7.48	650~700	21.0			
7.50	600~650	21.4			
7.52	550~600	21.8			
7.56	500~550	22.5			
7.59	450~500	23.2			
7.60	900~950	23.3			
7.66	400~450	24.6			
7.67	350~400	24.7			
			7.69	950~1000	25.1

図8 波長ごとの見通せる深さと温度の模式図

- 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す。
- 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。

3. 考察

- 太陽の中央から周縁に向けてスペクトル強度の減衰があり、短波長になるほど周縁減光が大きくなるという波長依存性が、可視光領域だけでなく近赤外領域においても900nmまでの範囲で見られた。
- 図9より減光の様子に乱れがあるのは、太陽表面の現象のためと考えられる。
- 近赤外領域で可視光領域と逆の傾向が見られたのは、負水素イオン(H^-)の束縛-自由遷移(b-f)による影響と考えられる。(図10)
- 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影響しているのではないかと考える。

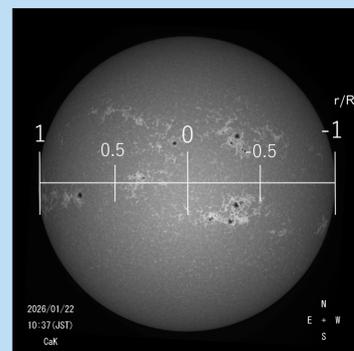


図9 観測時の太陽(CaK)

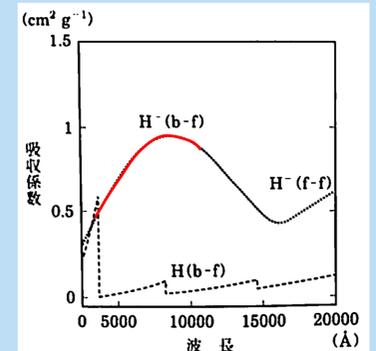


図10 イオンの吸収係数(点線)の波長に対する依存性(6000K) [3]

参考文献

- [1] 天文学辞典 <https://astro-dic.jp/>
- [2] Gingerich, Noyes, Kalkofen and Cuny, Solar Physics 18,347(1971)
- [3] 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)