

## 3.1 太陽大気の構造と磁気現象

### 3.1.1 太陽の基本定数と太陽大気の平均的構造

一本 潔 (京都大学)

(2020年2月23日受付、2021年5月31日公開)

太陽は宇宙においては標準的な恒星 (G 型星) である。直径は約 150 万 km、質量  $10^{30}$ kg、約 27 日の周期で自転する、主として水素とヘリウムからなるガス体で、表面重力は地上の 28 倍に及ぶ。水素の核融合反応によって太陽の中心部で発生した熱エネルギーは、半径の約 7 割程度まで放射で輸送され、その後対流運動によって表面まで運ばれる。光球の温度は約 5800K で、全球からは毎秒  $10^{26}$ J のエネルギーが光として放出されている。地球は太陽から約 1 億 5000 万 km の距離にあり、大気圏外で  $1.37\text{kW/m}^2$  のエネルギーを受け取っている (太陽定数)。そのエネルギーの大部分は近紫外-可視-近赤外域に含まれるが (図 1)、太陽から放射されるスペクトルは X 線から電波にかけての広範な範囲にわたる。総放射エネルギーの中で占める割合は小さいが、X 線から紫外線にかけての放射強度は太陽活動に伴う変化が大きく、地球の環境変動にとって重要な領域となる。

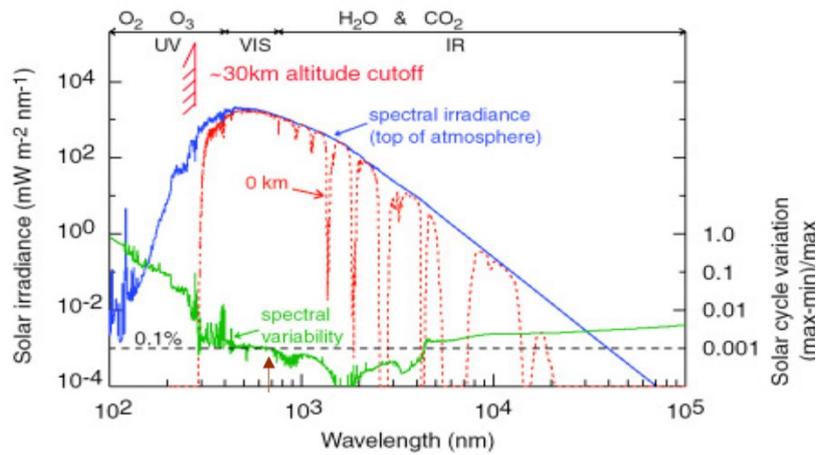


図 1. 太陽放射スペクトル。青い線は地球大気圏外、赤い線は地表でのスペクトルを示す。緑の線 (右側目盛り) は太陽周期活動に伴う変動の割合を示す。(Fröhlich and Lean, 2004)

可視から赤外域の太陽スペクトルには、太陽大気に含まれる様々な元素に対応した無数の吸収線スペクトルが存在する。吸収線は光を放出する光球大気の温度が高さと共に低下するために形成される。一方、190nm よりも短い波長では線スペクトルが輝線に転じる。このことは、光球よりも上空に、より温度の高い領域（彩層・遷移層）が存在することを物語っている。さらに軟 X 線放射は、100 万度を超える温度領域（コロナ）の存在を意味している。観測される太陽スペクトルを再現するように構築された平均的な太陽大気の温度・密度構造を図 2 に示す。ここで、高度（横軸）の原点は、慣例として波長 500nm 連続光の光学的深さが 1 となるところをとっている。対流層の上には大気温度が高度と共に低下する光球があり、大部分のエネルギーは近紫外、可視、赤外光としてここから放出される。約 500km の高さで温度は上昇に転じ、2000km 程度の高度まで約 1 万度の彩層が続く。彩層では密度が高度と共に約 4 桁減少するが、この間水素の電離が進み、電子密度は高さに対してほぼ一定となっている。彩層は H $\alpha$  線 (656.2nm) をはじめとする吸収係数の大きい吸収線や紫外域の輝線で観測することができる。高度約 2000km を境に温度は一気に 100 万度以上に上昇し、上空に軟 X 線や極紫外線を放射するコロナを形成する。彩層とコロナの境界領域は遷移層と呼ばれ、ここからは多様なイオンからの輝線スペクトルが放出される。

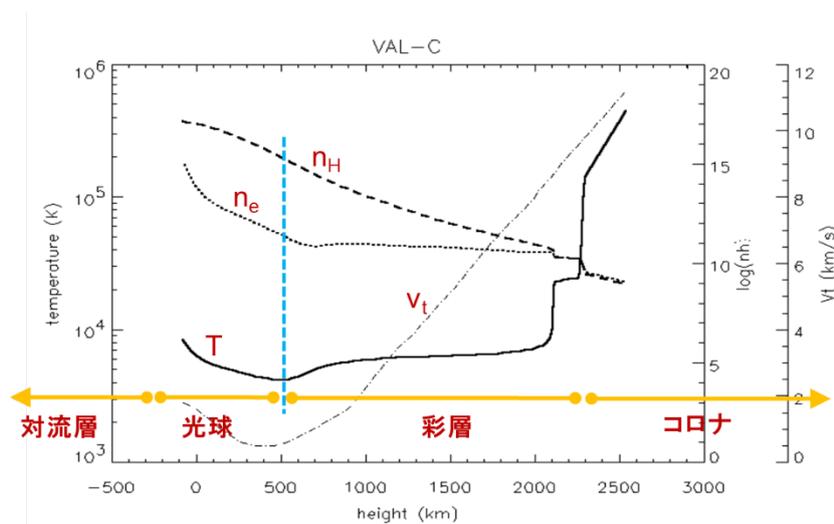


図 2. 太陽大気の平均的モデル (VAL-C; Vernazza, Avrett, & Loeser (1981) )

図 3 に異なる光で見た太陽像を示す。光球には黒点（群）が存在し、それらが強い磁場を介して彩層やコロナの明るい構造と繋がっていることが見て取れる。黒点を含み明るいコロナが存在する領域を活動領域、それ以外の領域を静穏領域と呼ぶ。静穏領域では光球はほぼ一様に輝いて見えるが、コロナには比較的小スケールのコロナ輝点や、暗くて大きなスケールのコロナホールといった構造が認められる。紫外線や X 線では局所的に明るい領域が存在するため、これらの波長では地球に届く放射強度が、太陽の自転に伴って約 27 日の周期で変動する。

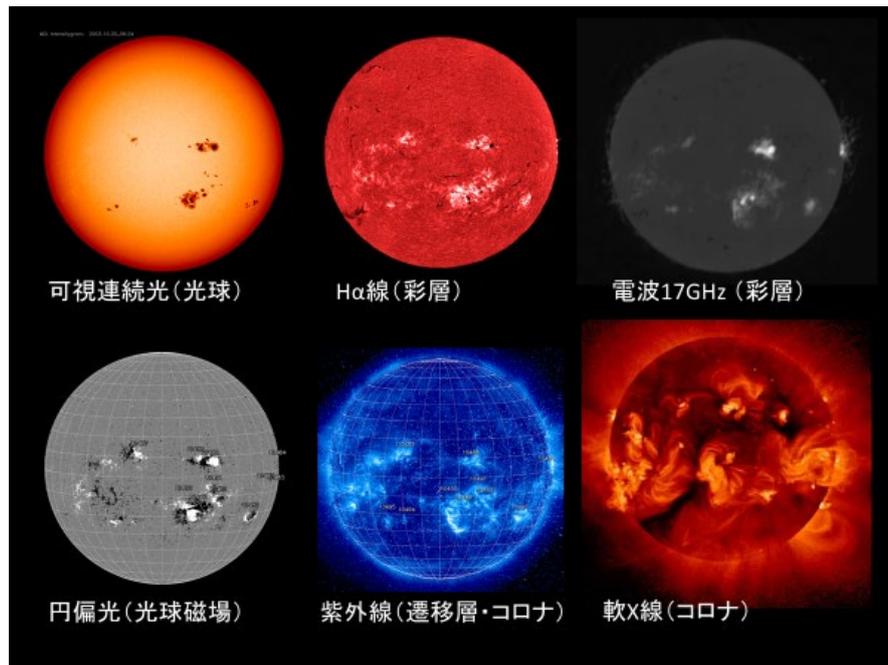


図 3. 異なる波長で見た太陽。左上から右へ、SoHO/MDI, 飛騨天文台/SMART, 野場山電波ヘリオグラフ, SoHO/MDI, SoHO/EIT 171A, (以上2003年10月30日), 右下:「ようこう」