

分野	太陽放射と地球放射
関連科学分野	光の性質
関連環境問題	地球温暖化

1. 物体の表面温度とエネルギー密度～ステファン＝ボルツマンの法則

0K(絶対零度)ではない物体は、その表面温度に応じて電磁波を放射しています。すべての電磁波を吸収して、すべてを放射する理想的な物体を黒体と呼びます。黒体の放射する電磁波を黒体放射と呼びます。黒体の放射する電磁波は単一の波長ではなく幅を持って分布しています。黒体からの放射の波長に対するスペクトル(分光放射輝度)は次の式で与えられます。

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} = B(\lambda) \quad (W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot m^{-1})$$

$h = 6.63 \times 10^{-34} (J \cdot s)$: プランク定数

$c = 299,792,458 (m/s)$: 光速

$k = 1.38 \times 10^{-23} (J/K)$: ボルツマン定数

λ : 波長(m)

T : 絶対温度(K)

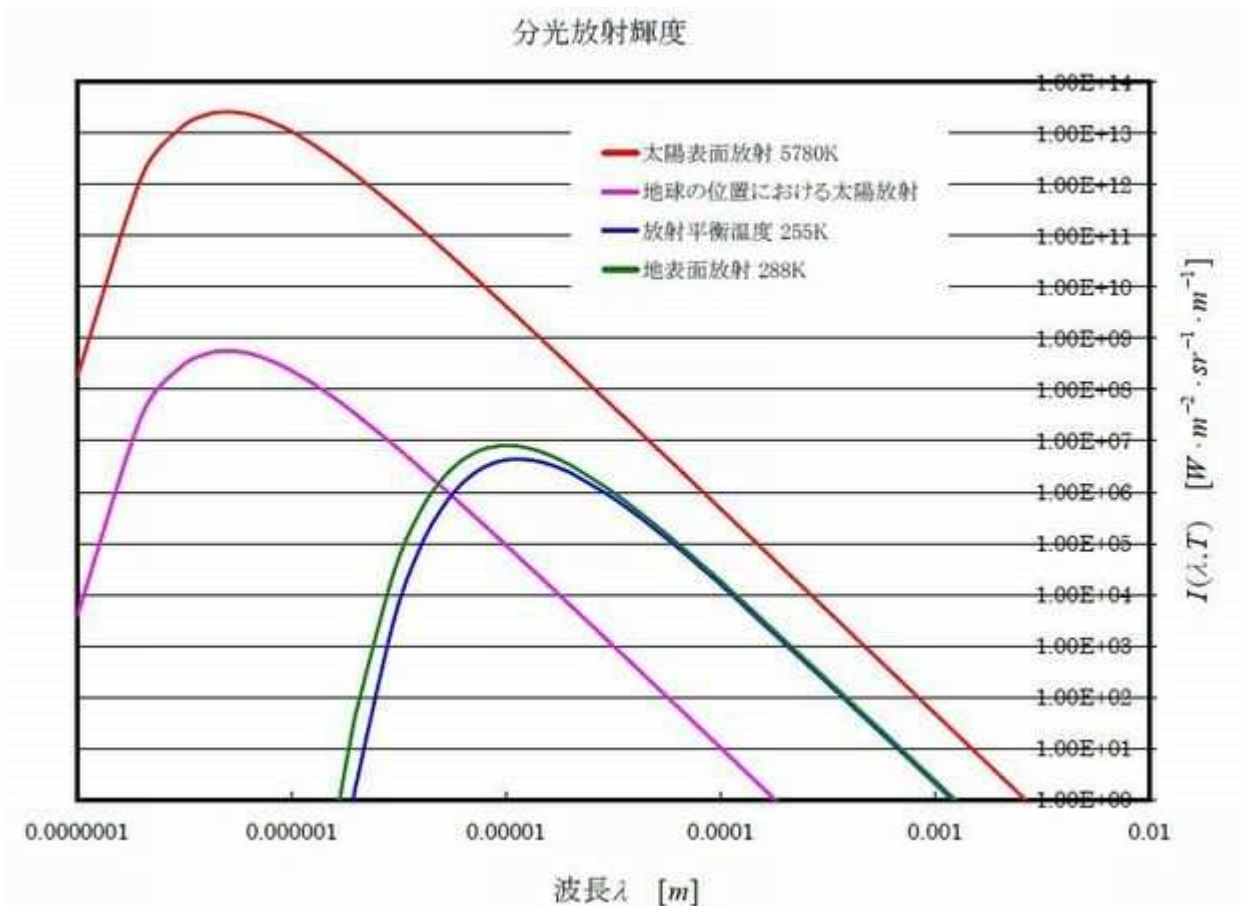
上式を積分して、黒体から放射される全ての波長帯域についてエネルギーを積算して、黒体の単位面積あたりのエネルギー密度を与える法則が「ステファン＝ボルツマンの法則」です。

$$s = \sigma \cdot T^4 (W/m^2)$$

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = 5.67 \times 10^{-8} (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}) \quad : \text{ステファン＝ボルツマン定数}$$

$T(K)$: 物体の表面温度

ステファン＝ボルツマンの法則を用いることで、任意の表面温度の物体から放射されるエネルギー密度を推定することができます。

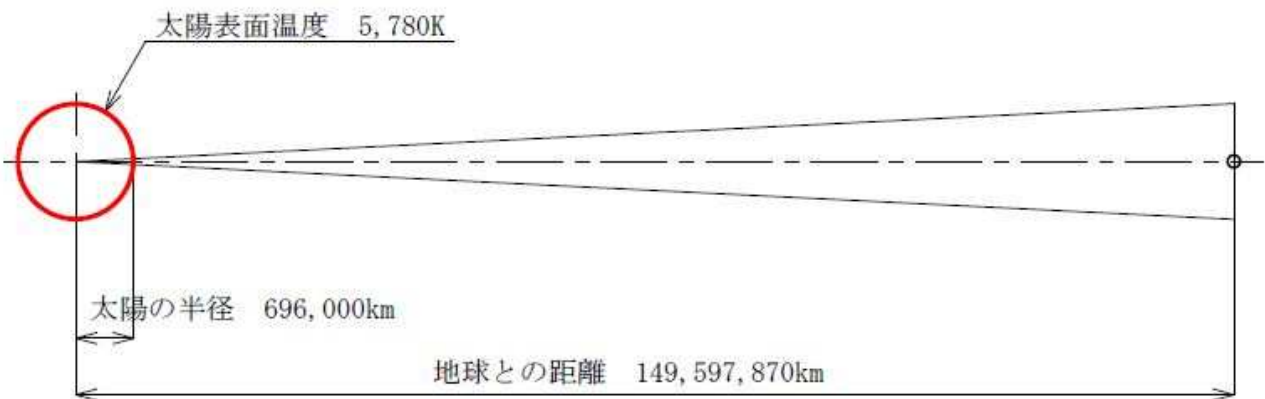


上図に分光放射輝度の分布を示します(両対数目盛なので注意)。太陽放射は $0.6\mu\text{m}$ 付近を中心とする可視光線を中心分布し地球放射は $10\mu\text{m}$ 付近の赤外線を中心とする帯域に分布しています。

2. 太陽放射

太陽の表面温度は $5,780\text{K}$ 程度です。ステファン=ボルツマンの法則から、太陽表面のエネルギー密度は次の通りです。

$$5.670 \times 10^{-8} \times 5,780^4 = 63,284,071.5 \text{ (W/m}^2\text{)}$$



太陽と地球の距離は 149,597,870km、太陽の半径は 696,000km なので、地球の位置における太陽放射に対して垂直な面の受けるエネルギー密度は次のように求めることができます。

$$63,284,071.5 \text{ (W/m}^2\text{)} \times (696,000 \div 149,597,870)^2 \doteq 1370 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

これを太陽定数と呼びます。太陽定数は観測値として **1366(W/m²)**としています。

3. 地球の放射平衡温度と地球表面放射

地球の位置で太陽放射に直交する面が受ける太陽放射のエネルギー密度は 1366(W/m²)です。地球の受け取る太陽放射の合計は地球の半径を r として $1366\pi r^2$ (W)です。これを地球の表面全体に均一に分配すると、平均的なエネルギー密度は次の通りです。

$$1366\pi r^2 \div (4\pi r^2) \doteq 341.5 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

大気や地表面で太陽放射の 30%程度は反射されるために、地球を温める有効太陽放射は次の通りです。

$$341.5 \times 0.7 = 239.1 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

この有効太陽放射を黒体がすべて吸収し、暖められた黒体がすべてを放射すると仮定した場合の黒体の表面温度 = 地球の放射平衡温度を求めると次の通りです。

$$T = \{239.1 \div (5.670 \times 10^{-8})\}^{1/4} \doteq \mathbf{255(K)}$$

これは、地球の気温が安定している場合、地球表面は平均的に表面温度 255K の黒体に対応する電磁波を放出していると考えられることを示しています。

しかし、実際には地球の温度分布には場所によって大きな幅があるため、様々な放射が起こっています。例えば、地球の平均的な表面温度は 15°C = 288K 程度なので、放射エネルギー密度は次の通りです。

$$5.670 \times 10^{-8} \times 288^4 = 390 \text{ (W/m}^2\text{)}$$