

# 光の基礎知識

## 1. 電磁波中の光の領域

電磁波の分類は一般的に以下のとおりである。

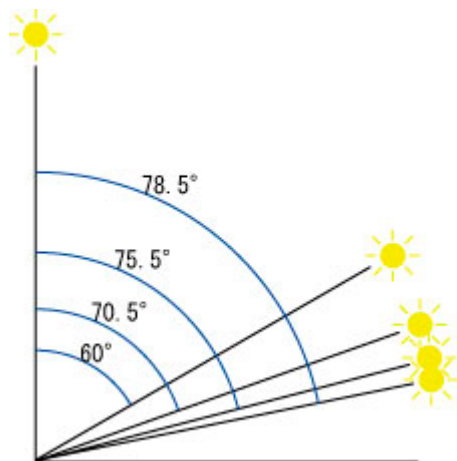
波長(nm)	名称	波長(nm)	名称
$\sim 10^{-5}$	宇宙線	$10^3 \sim 10^5$	マイクロウェーブ
$10^{-5} \sim 10^{-1}$	ガンマ線	$10^5 \sim 10^8$	レーダー波
$10^{-3} \sim 10^2$	X線	$10^8 \sim 10^{10}$	テレビ波
10~380	紫外線	$10^{10} \sim 10^{13}$	ラジオ波

一般的に、電磁波の波長と光の関係は以下のとおりである。

波長(nm)	色	波長(nm)	色	波長(nm)	色
10~380	紫外線	460~500	青緑	590~610	オレンジ
380~430	すみれ	500~570	緑	610~780	赤
430~460	青	570~590	黄	780~1000	赤外線

TIPS: 紫外線という表記は英名の Ultra Violet とは異なる意味になっている。Violet はすみれ色、紫は Purple である。紫色を分光するとすみれ色と赤の混合色であることがわかる。辞書では Violet を「青みがかった紫」、Purple を「赤みがかった紫」と書いていることもある。

## 2. 太陽の角度と輝度



太陽を直視する場合、太陽の角度とエネルギーおよび色温度の関係は、北米の青空(0.06~0.4)の下で以下のような観測結果が得られた。

角度	輝度(cd/m <sup>2</sup> )	色温度(K)
0	150,000	5,600
60	125,000	5,100
70.5	100,000	4,700
75.5	80,000	4,400
78.5	65,000	4,100

水平線に近づくほどエネルギー(輝度)が小さくなり、色温度が低くなることわかる。(太陽を直視すると目を傷めるので行わないこと)

昼光の平均の明るさは、雨天~曇天~晴天に渡っておよそ 1,000~10,000lx である。

また、太陽高度が下がると光が眼に届くまでに通過してくる空気層が長くなるため、光はより多くの散乱を受ける。このとき、大気の散乱は青い短波長側ほど大きいので、青成分が散逸し赤成分が残る。このため色温度が下がり赤っぽくなる。(昼の空が青く、夕日が赤い理由)

3. 色温度とエネルギーバランス

可視光域(400~700nm)でのエネルギーバランスをどのように解釈するかは以下のとおり。

6,000~6,500K	エネルギー分布×視感度のバランスが最も良好(人にとって最も白い光)
5,000K	エネルギー分布のバランスが最も良好(可視光域のエネルギー分布が最も白い光)

4. 太陽からの紫外線

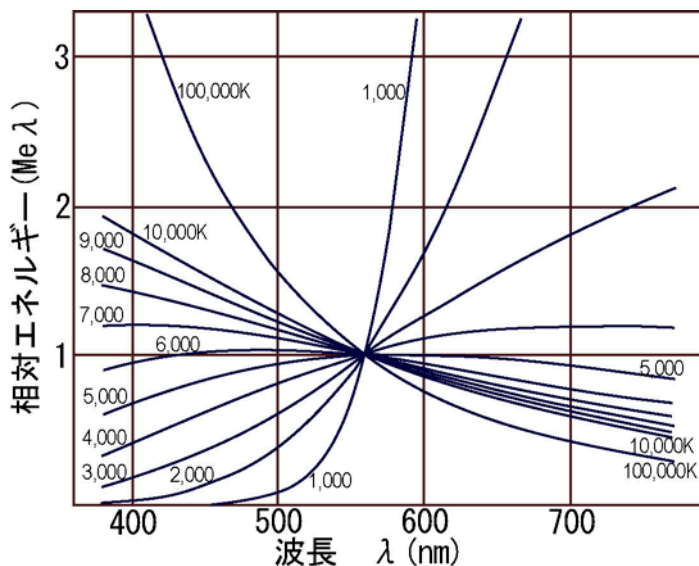
太陽光は約 6,000K の黒体放射から導かれるエネルギー分布によく従う光を発している。これに従い多量の紫外線も発しているが、地表に届くまでに大気による吸収で以下のように減少する。

NASA	300nm	310nm	320nm	330nm	340nm
大気圏外	514	689	830	1059	1074
地表	0	1	50	105	177

紫外線は3種に分類される。

名称	波長域(nm)	吸収要因
UV-A	320~400	大気。
UV-B	280~320	大気。
UV-C	190~280	オゾン層。

5. 黒体放射



Planc's Formula より色温度と分光エネルギー分布を関連付けられる。

$$M_{e\lambda} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/T\lambda} - 1} \quad \text{単位} = W / m^2$$

$$C_1 = 3.7418 \times 10^{-16}$$

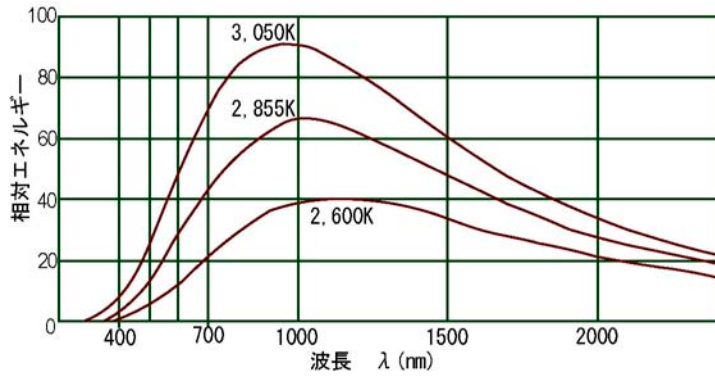
$$C_2 = 1.4388 \times 10^{-2}$$

実際の放射と黒体放射のずれを Emissivity と呼ぶ。

$$Emissivity = \frac{\text{物質の熱放射}}{\text{各温度での黒体放射}}$$

同一温度の物質と黒体では、その全放射エネルギーについて黒体のほうが大きい。物質の全エネルギーと等しい黒体放射エネルギーの温度で物質のエネルギーをあ

らわす。

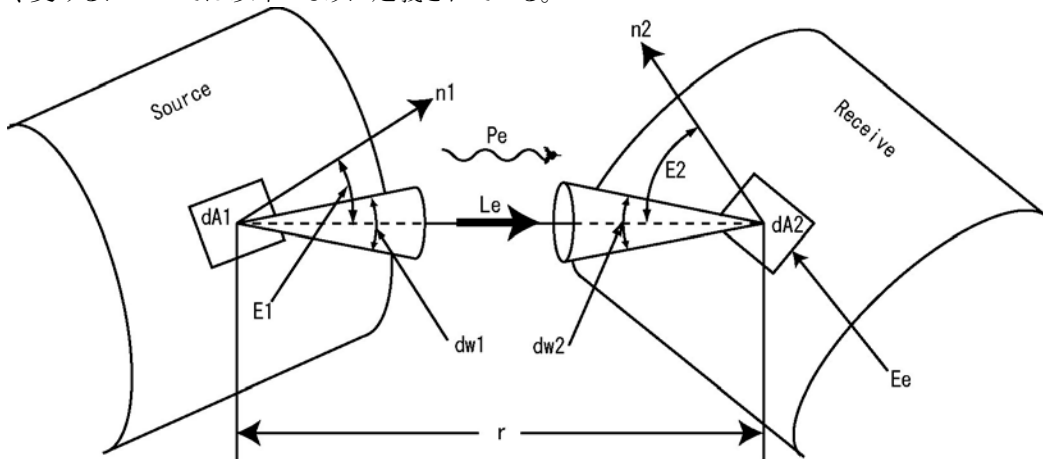


黒体放射に近い放射エネルギーを持つ物質は、カーボン、プラチナ、タングステンである。

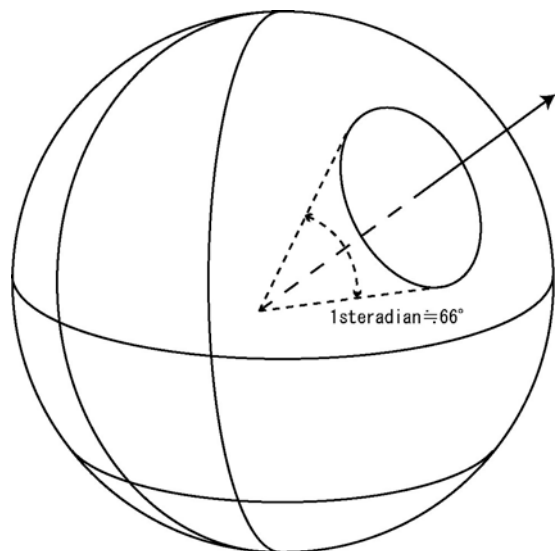
図はタングステンハロゲンランプ OSRAM64610 で電流量を変え色温度を変化させたときの相対分光放射特性である。

6. ラジオメトリック(Radiometric)

光を出す、受けるについては以下のように定義されている。

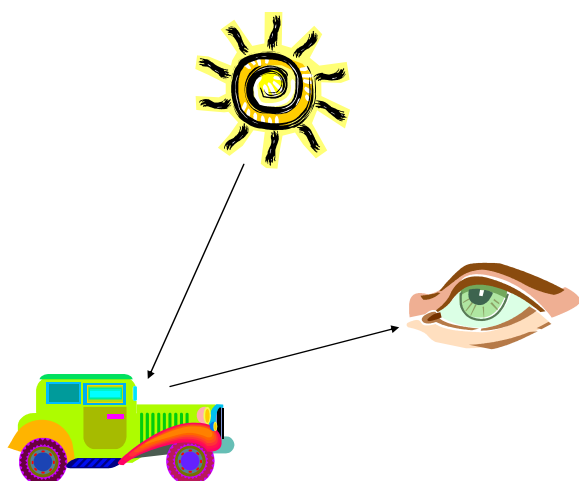


Radiant Energy	ソース面から放射される全エネルギー	単位(J)
Radiant Power	放射力	$Pe = \frac{Le \cdot dA1 \cdot \cos E1 \cdot dA2 \cdot \cos E2}{r^2}$ 単位(J/S = W)
Irradiance	Receive 側の微小面積が受ける放射エネルギー	$Ee = \frac{dPe}{dA2}$
Radiance	放射輝度	$Le = \frac{d^2 Pe}{dA1} \cdot \cos E1 \cdot dw1$ $= \frac{d^2 Ee}{dA2} \cdot \cos E2 \cdot dw2$ 単位(W/m <sup>2</sup> / steradian)
Illuminance	照度	$= \frac{\text{考慮中のポイントを面内に含む最小要素の入射光量}}{\text{その面の面積}}$
Luminance	輝度	$= \frac{\text{考慮中の面上の点での与えられた方向からの最小の要素の光度}}{\text{与えられた方向に垂直な表面に垂直に投影された面積}}$



Steradian とは、半径rの球の表面に面積が  $r^2$  の円を描いたときに、球の中心から円へ張る立体角。1 ステラジアンは約 66 度。

## 7. 視覚



視覚が発生するためには、照明光、物体、目が必要である。

太陽やランプを直接見て視覚が生じるのは、太陽やランプという物体を見ているためで、光軸から外れた角度の空間を見ている、宇宙空間で星の無いところを見ているのと同じく真っ暗である。

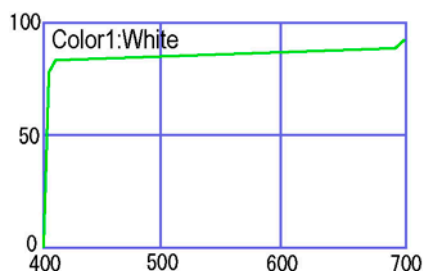
眼の網膜上で光を感知する組織は 2 種ある。桿体は暗いときに反応する組織で明るさしかわからない。錐体は SML の 3 種があり色分解ができる反面、暗いと反応できない。一般に S 錐体は ML 錐体より少ない。このため一般的に人の視覚は青に対する感度が低い。

可視光の波長範囲	400nm~700nm (ASTM では 380~780nm)
知覚できるエネルギー(Luminance)	$10^{-6} \sim 100,000 \text{ cd/m}^2$
錐体	色を感知できるが感度が低い。SML の 3 種ある。
桿体	感度は高いが色を感知できない(分色できない)。 $30,000 \text{ cd/m}^2$ でサチュレートする。
明順応視:Photopic	$3 \text{ cd/m}^2$ 以上のときは垂体で見ている。
中間順応視(薄明視):Mesopic	$10^{-3} \sim 3 \text{ cd/m}^2$ のときは垂体と桿体の両方で見ている。
暗順応視:Scotopic	$10^{-3} \text{ cd/m}^2$ 以下のときは桿体のみで見ている。

視覚には明暗順応と色順応という効果がある。

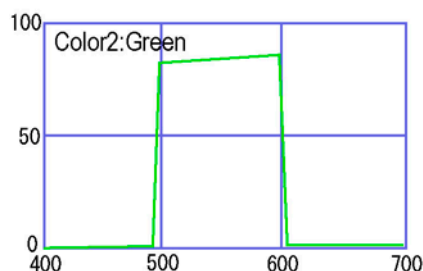
明暗順応は明るいところでも暗いところでも白は白く、黒は黒く見えるように感度調節を自動的に行っていることである。色順応は十分に明るい照明の色温度が 2,700K 以上どのように変わってもその下にある白色のものを白として感じることである。たとえば、赤っぽい照明下で視覚は赤の感度を下げ青の感度をあげる行動を自動的にとる。

8. 条件等色(メタメリズム)



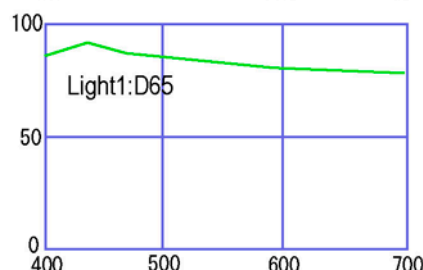
各々分光反射率の異なる物質の組み合わせで着色された色見本と生成物を並べて目視評価する場合、ある照明のもとで両者の色が一致して見えても、別の照明のもとでは異なって見えることがある。これを条件等色 (Metamerism) という。

左のグラフは、メタメリズムを説明するためのきわめて極端な例である。



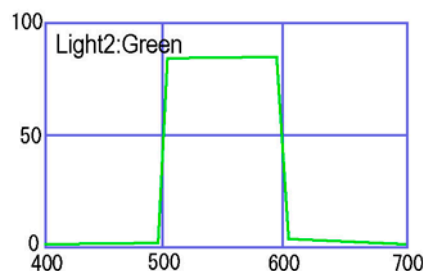
Light1:D65 照明下では、Color1:White は全域のエネルギーを反射し白に見える。また、Color2:Green は D65 照明の赤と青のエネルギーが吸収され緑に見える。

Light2:Green 照明下では、Color1:White に緑光があたりその全てを反射するため緑に見える。また、Color2:Green は照明された緑光のみを反射し緑に見える。



これは、もし照明が緑なら白色のサンプルも緑色のサンプルも両方とも緑色に見えてしまうというきわめて極端な例である。

これほど極端な例は少ないとしても、人が色を見る場合太陽の直射や日陰、タングステン電球、安物の Phosphor の少ない蛍光灯、高価な Phosphor の多い蛍光灯、最近の自動車のパルス Xe ヘッドランプなどなど非常に多くのバリエーションがある。



2つの物質の分光反射率が異なっても、照明条件によっては人の視覚の XYZ(三刺激値)が同じものになることが多々ある。XYZ が同じであれば人は同じ色と判断する。

しかし、分光反射率は色の絶対値でありこれが異なっていれば違う色である。

このように照明によって、本来異なる色が同じに見えたり違う色に見えたりすることをメタメリズムという。尚、分光反射率が同じ色はどのような照明下にあっても同じ色に見える。

9. 標準光源

いろいろな光源の色温度は以下のとおりである。

光源	色温度(K)	光源	色温度(K)
ろうそくの火	1,900	TL84 蛍光灯	4,100
夕暮れ光(Horizontal)	2,300	冷白色蛍光灯	4,150
ガス入りタングステン電球 40W	2,760	白色蛍光灯	4,500
標準の光 A	2,856	標準の光 B	4,874
ガス入りタングステン電球 100W	2,860	平均正午太陽光	5,035
ガス入りタングステン電球 1KW	3,000	昼光色蛍光灯ランプ	6,500
電球色蛍光灯(30U)		本曇りの空	
写真電球	3,400	標準の光 C	6,774
温白色蛍光灯	3,500	うす曇りの空	7,500
カーボンアークランプ	3,750	平均青空光	13,700

D6500 等、一目でわかるものは除く。

## D 光源と適合する工業規格

略号	名称	色温度(K)	用途	工業規格
D75	North Sky Daylight	7,500	隠蔽性材料	ASTM D1729
			綿布	ASTM D1684-90
			ダイヤモンドの等級付け	GIA Gem Trade LaboratoryD-Z grading system
D65	Average North Sky	6,500	分光視感特性	BS950, AS4004, JIS Z 8723, DIN6173, GM9220P, QS9000
			自動車の内装・外装	SAE J361, Detroit Color Council Bulletin No.3
D50	Noon Sky Daylight	5,000	グラフィックアーツ	ANSI PH2.30, ISO 3664

標準光源を設置する場合、その周囲の色の反射光の影響を最小にするため、天井、壁、床、色見台の色を無光沢の明るい無彩色にする必要がある。この条件を満たすことは難しいため、一般的にビューイングブース(ボックス)が用いられる。

## 標準光源の明るさ(平均値)

SpectralLight III		Judge II	
光源	照度(fc)	光源	照度(fc)
D65	136	D65	120
A	131	A	83
Cool White	99	Cool White	95
Horizontal	85	TL84	110

—以上。