測色の歴史と発展(4)

前号より続く

木村哲也
須賀茂雄

4.2　光の定義

1931 年の CIE 第 8 回大会で、3 種類の標準光源 A、B および C が定められた [11]。標準光源 A はタングステン電球による屋内照明、標準光源 B は直射太陽による照明、標準光源 C は平均昼光による照明を代表していた。

標準光源 A：絶対温度が 2856K の完全放射体からの光で、人工光源としては相関色温度 2856K に点灯したガス入りタングステン電球。

標準光源 B：相関色温度約 4900K の太陽の直射光を意図する光で、人工光源としては、A 光源と Davis および Gibson の規定の溶液フィルター2 種 B1 と B2 を組み合わせた光。現在は廃止されている。

標準光源 C：相関色温度約 6800K の平均昼光の相当する光で、人工光源としては、A 光源と Davis および Gibson の規定の溶液フィルター2 種 C1 と C2 を組み合わせた光。

色温度とは、ある放射の色度が一致したとき、その放射の色度を黒体の温度で表示したもので、黒体軌跡上で対応する絶対温度である。相関色温度はその色度点が黒体軌跡上の点に一致しないとき、その放射に輝度が最も近い黒体の温度をいう。

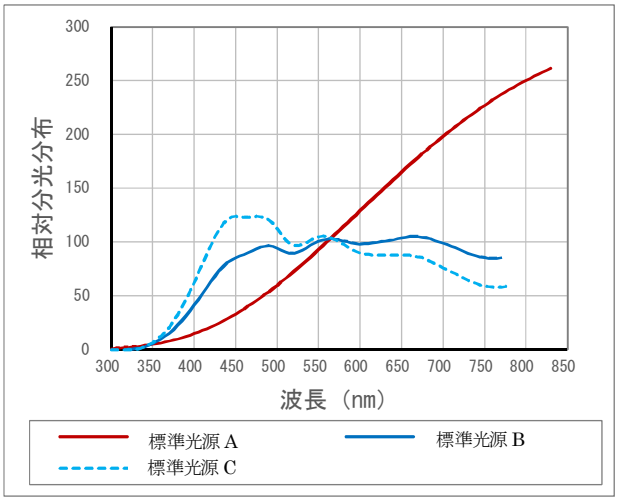

図 22　標準光源 A、B、C の相対分光分布

表 4　Davis および Gibson の規定の溶液フィルター

標準光源 B 用	溶液　B1	硫酸銅（$CuSO_4 \cdot 5H_2O$）	2.452g
		マンニット（$C_6H_8(OH)_6$）	2.452g
		ピリジン（C_5H_5N）	30.0ml
		蒸留水を加えて	1000.0ml
	溶液　B2	硫酸コバルト・アンモニウム（$CoSO_4(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$）	21.71g
		硫酸銅（$CuSO_4 \cdot 5H_2O$）	16.11g
		硫酸（濃度　1.835g・ml^{-1}）	10.0ml
		蒸留水を加えて	1000.0ml
標準光源 C 用	溶液　C1	硫酸銅（$CuSO_4 \cdot 5H_2O$）	3.412g
		マンニット（$C_6H_8(OH)_6$）	3.412g
		ピリジン（C_5H_5N）	30.0ml
		蒸留水を加えて	1000.0ml
	溶液　C2	硫酸コバルト・アンモニウム（$CoSO_4(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$）	30.58g
		硫酸銅（$CuSO_4 \cdot 5H_2O$）	22.52g
		硫酸（密度　1.835g・ml^{-1}）	10.0ml
		蒸留水を加えて	1000.0ml

ここに標準光源 B および C に用いる Davis および Gibson の規定の溶液フィルターを**表 4** に示す。

標準光源Aが各溶液フィルターを透過した後の各光の相対分光分布を**図 22** に示す。

その後 1963 年に、CIE 標準の光を、もっと適正に自然昼光の種々相を代表するよう補足するための十分な根拠が得られたと判断し(CIE 1963)、色温度および相関色温度で光の分光分布を表す方式を推奨した。

CIE 1960 uv 色度図上で、その放射の色度点から黒体軌跡上に垂線を下ろし、その交点を絶対温度として求める。この垂線を等色温度線と呼ぶ。相関色温度から等色温度線を求め、x−y 色度図上に変換した図を**図 23** に示す。

逆数(相関)色温度は、10^6 を色温度または相関色温度で割った値で、SI 単位では MK^{-1}(従来は、mired)を用いる。(相関)色温度はどの照明光に対しても約 5.5mired

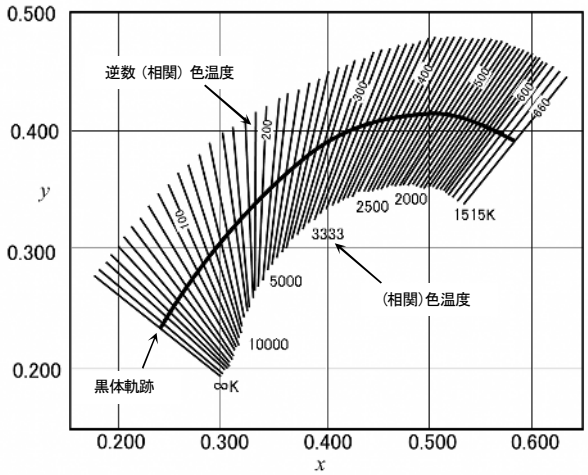

図 23　黒体軌跡と等色温度線
（図中、上の数値は逆数色温度を示す）

異なれば識別できる。逆数(相関)色温度は加法則が成立するので、カラー写真等に用いる色温度変換フィルターを選択するときによく用いられる。**図 24** に変換図を示す。変換前後の(相関)色温度 T_1 と T_2 を結べば簡単に色温度変換フィルターの逆数(相関)色温度 MK^{-1}（mired)が分かる。例えば、変換前の(相関)色温度 T_1=6000K を変換後の(相関)色温度 T_2=3000K に変換する場合は、各々の点を結び逆数色温度上の数値を読み取る。この場合、約 170MK^{-1}（mired）の色温度変換フィルターを用いれば良いことが分かる。

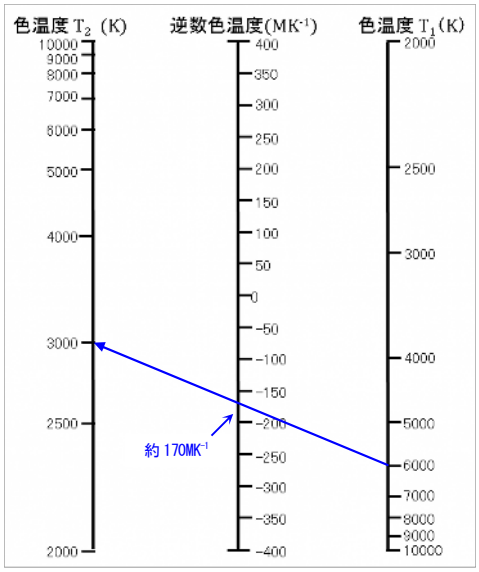

図 24　色温度変換フィルターの変換図

日常生活で目にする発光体の例を**表 5** に示す [12)13)14)]。

表 5　発光体と相関色温度 [12)13)14)]

発光体	温度(K)
ろうそく	1670
エチルアルコール	1970
ブンゼン燈(空気を十分入れて)	2070
水素	2170
アセチレン	2770
一酸化炭素および酸素	2870
水素および酸素	3070
アセチレンおよび酸素	4070
タングステンランプ	2860
純カーボンアーク	3800
満月	4100
日の出 2 時間後の太陽	4600
薄曇りの太陽光	5300
晴天	6000～6500
曇天	7000
快晴の青空	10000～12000

また、白熱電球は印加電圧を上げていくと赤色から黄色、白色へと発光色が変化する。光源の色と温度の関係を**表 6** に示す [12)]。

表 6　光源の色と温度 [12)]

光源の色	温度(℃)
初期の赤熱	500
暗赤熱	700
桜赤熱	900
鮮明なる桜赤熱	1000
橙黄熱	1100
鮮明なる橙黄熱	1200
白熱	1300
眩い白熱	>1500

※絶対温度（K）＝摂氏温度（℃）＋273.15

1964 年に CIE では、標準の光に関して、300～830nm の領域の物理的データとして相対分布を定義した。蛍光物質について、より正確に測色を行う必要が強くなってきていたので、従来の可視部 360～830nm の範

囲[15]を近紫外部まで波長範囲を拡げた。また、CIE標準光源BおよびCは特に紫外部において太陽光や昼光を適正に代表していないと判断された。

Publication CIE No.15.2 Colorimetry, Second Edition(1986 年発行)では、「source（光源）」と「illuminant（光)」との用語の区別が行われた。

「光源」は、ランプや太陽、空のように光の物理的放射体を指し、「光」は、特定な分光分布をいい、必ずしも光源から直接出ることを必要とせず、また光源によって実現されることも必要としないものを指す。1931年に勧告された「standard sources（標準光源)」という用語は、測色用の光として「standard illuminant（標準イルミナント、標準の光)」という用語に変更して勧告された。また、「光」を相対分光分布で規定し、ついで「光源」を規定するとの勧告が行われ、光源は改良が行われる見込みがあるため、二次的なものと考えられるとされた。

この流れにより、CIE の測色用標準イルミナントは下のような式で表されるようになった。

standard illuminant A（標準イルミナント A)：

相対分光分布は下記の式で定義される[16]。

$$S_A(\lambda)=100\left(\frac{560}{\lambda}\right)^5\times\frac{\exp\frac{1.435\times10^7}{2848\times560}-1}{\exp\frac{1.435\times10^7}{2848\times\lambda}-1}$$

λ：nm 単位の波長

指数関数項：1931 年における CIE 標準イルミナント A の最初の定義に起因して規定される定数

この分光分布は、波長 560nm で値 100 に基準化される。人工光源としては、色温度 2856K のガス入りタングステンランプで実現でき、紫外部まで必要とするときは、石英のバルブにする必要がある。

standard illuminant D65（標準イルミナント D65)：

D65 の相対分光分布は、300nm～830nm の波長範囲の 1nm 間隔で示されている数値によって定義されている。Judd、MacAdam、Wyszecki による昼光の実験的測定に基づき、波長範囲 300nm～700nm の実測値と 300nm～330nm および 700nm～830nm の補外値で与えられている。相関色温度はおよそ 6500K である。現時点では、CIE として人工光源として推奨するものはないとの見解である。

【参考文献】

11)測色　第 2 版　CIE 標準：測色の光　測色標準観測者
12)理科年表　国立天文台
13)光源　原田常雄著
14)パナソニック　ランプカタログ
15)JIS Z 8120　光学用語
16)CIE Technical Report (CIE 15:2004 3rd Edition) COLORIMETRY