

各種表色系の計算式

2010.05.27

アドバンテック研究所

代表 村上 彰

XYZ 表色系 (CIE 1931)

CIE で 1931 年に採択した等色関数、 $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ に基づく三色表色系である。(2°視野 XYZ 表色系ともいう)

観測視野が視角 4°以下の場合に適用する。XYZ 表色系における、反射による物体色の三刺激値 X、Y、Z は次の式によって求められる。

$$X = k \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Y = k \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Z = k \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$k = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}$$

ここで、

$S(\lambda)$: 色の表示に用いる標準の光の分光分布

$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$: XYZ 表色系における等色関数

$R(\lambda)$: 分光立体角反射率

$X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 表色系 (CIE 1964)

CIE で 1964 年に採択した等色関数 $\bar{x}_{10}(\lambda), \bar{y}_{10}(\lambda), \bar{z}_{10}(\lambda)$ に基づく三色表色系である。(10°視野 XYZ 表色系ともいう)

観測視野が視角 4°を超える場合に適用する。 $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 表色系における反射による物体色の三刺激値 $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ は次の式によって、求められる。

$$X_{10} = k \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Y_{10} = k \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Z_{10} = k \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$k = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) d\lambda}$$

ここで、

$S(\lambda)$: 色の表示に用いる標準の光の分光分布

$\bar{x}_{10}(\lambda), \bar{y}_{10}(\lambda), \bar{z}_{10}(\lambda)$: $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 表色系における等色関数

$R(\lambda)$: 分光立体角反射率

Yxy 色度図

三刺激値 X、Y、Z から、例えば XYZ 表色系では色度座標 x 、 y 、 z は次の式によって定義される。

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} = 1 - x - y$$

$X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 表色系の色度座標は X_{10}, Y_{10}, Z_{10} を用いる。

L*a*b*表色系 (CIE 1976)

CIE が 1976 年に定めた均等色空間の 1 つである。次の三次元直交座標を用いる色空間を L*a*b*色空間といい、この色空間を用いた表色系を L*a*b*表色系または CIELAB 表色系 (シー・アイ・イー・エル・エー・ビーまたはシーラブと呼ぶ) という。

明度指数 : L^*

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16$$

クロマティックネス指数 : a^* 、 b^*

$$a^* = 500 \left\{ \left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right\}$$

$$b^* = 200 \left\{ \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right\}$$

ただし、

$$\frac{Y}{Y_n} > 0.008856$$

$$\frac{X}{X_n} > 0.008856$$

$$\frac{Z}{Z_n} > 0.008856$$

ここで、

X、Y、Zは試料のXYZ表色系における三刺激値である。X₁₀Y₁₀Z₁₀表色系についても同様の式で計算する。X_n、Y_n、Z_nは完全拡散反射面の三刺激値。X/X_n、Y/Y_n、Z/Z_nに0.008856以下のものがある場合は、以下の左式に対応する立方根の項をそれぞれ右式（→の後の式）に置き換えて計算する。

$$\left(\frac{X}{X_n}\right)^{1/3} \rightarrow 7.787 \frac{X}{X_n} + \frac{16}{116}$$

$$\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3} \rightarrow 7.787 \frac{Y}{Y_n} + \frac{16}{116}$$

$$\left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{1/3} \rightarrow 7.787 \frac{Z}{Z_n} + \frac{16}{116}$$

L*a*b*表色系における座標L*、a*、b*の差であるΔL*、Δa*、Δb*によって定義される2つの試料（色刺激）の間の色差である。量記号はΔE*abで表わす。（色差：CIE 1976）

$$\Delta E^*ab = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

[注] CIELAB (L*a*b*表色系) は、色を、明度L*とクロマネティクス指数a*、b*からなる均等色空間上の座標で表したものである。これは、人の目の色覚を基準に計算式が定義されたが、色によっては、色差ΔE*abと人の目による評価が異なるという問題があった。つまりこれは、人の目の色識別域の形状が、CIELABで定義されている色差範囲ΔE*abやΔa*b*の形状と、大きく異なっているために起こるものである。

L*u*v*表色系 (CIE 1976)

CIEが1976年に定めた均等色空間のひとつで、次の三次元直交座標を用いる色空間をL*u*v*色空間といい、この色空間を用いた表色系をL*u*v*表色系またはCIELUV（シー・アイ・イー・エル・ユー・ブイ）表色系という。

明度指数：L*

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3} - 16 \quad \text{ただし、}\frac{Y}{Y_0} > 0.008856$$

$$\text{クロマティクネス指数：} u^*, v^* \\ u^* = 13L^*(u' - u'_0) \quad v^* = 13L^*(v' - v'_0)$$

ここで、Yは三刺激値のYまたはY₁₀で、また、u'、v'はCIE 1976 UCS色度座標である。Y₀、u'₀、v'₀は完全拡散反射面のYおよびu'v'座標である。

$L^*u^*v^*$ 表色系における座標 $L^*u^*v^*$ の差である ΔL^* 、 Δu^* 、 Δv^* によって定義される2つの試料（色刺激）の間の色差である。量記号は ΔE^*_{uv} で表わす。

$$\Delta E^*_{uv} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2}$$

UCS 色度図 (CIE 1976)

CIE で 1976 年に定められた。色度図上の全ての個所において、輝度の等しい色の感覚差が図上の幾何学的距離にほぼ比例するように意図して目盛を定めた色度図である。(均等色度図)

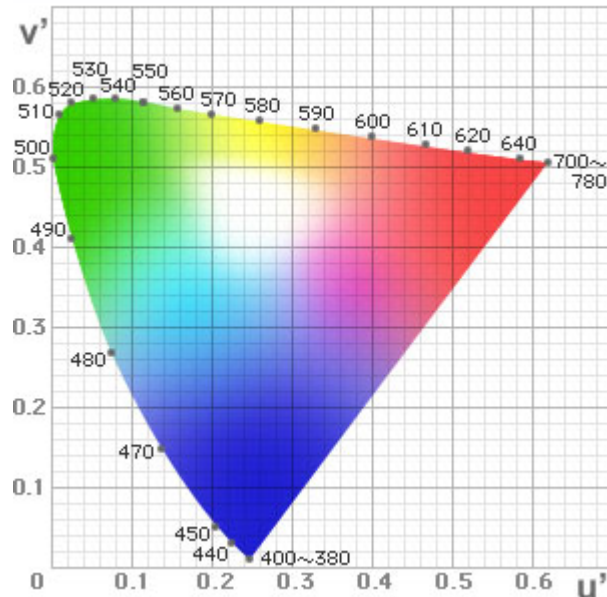
XYZ 表色系の三刺激値 X、Y、Z または色度座標 x, y から次の式によって得られる $u'v'$ の直交座標を指す。

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} = \frac{4x}{-2x + 12y + 3}$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} = \frac{9y}{-2x + 12y + 3}$$

$X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 表色系については、同様の式によって得られる。 u'_{10} 、 v'_{10} の直交座標を用いる。

CIE1976 UCS色度図 (2°視野)



ΔE_{94} 色差式 (CIE 1994)

$L^*a^*b^*$ 表色系(CIE LAB)の明度、彩度、色相(L^*C^*h)をマンセル表色系の目視感に合わせて補正するための色差式で、CIE の技術委員会が 1994 年に提案したものである。

$$\Delta E_{94} = \sqrt{(\Delta H^*/S_H)^2 + (\Delta L^*/S_L)^2 + (\Delta C^*/S_C)^2}$$

ここで、

$$S_L = 1$$

$$S_C = 1 + 0.045C^*$$

$$S_H = 1 + 0.015C^*$$

L^*C^*h

明度指数 L^* は、 $L^*a^*b^*$ 表色系の L^* と同じである。Metric Chroma (彩度) C^* と Metric Hue-Angle (色相角) h を次の式により求める。

Metric Chroma (彩度) : $C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$

Metric Hue-Angle (色相角) : $h = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$ (degree)

a^* 、 b^* は $L^*a^*b^*$ 表色系のクロマティクネス指数である。Metric Hue-Difference (色相差) は ΔH^* である。

$L^*a^*b^*$ 表色系における色差基準色のデータを (L_t^* 、 a_t^* 、 b_t^*)、試料の測定値を (L^* 、 a^* 、 b^*) とし、また 2 つのデータ間の色差を ΔE^*_{ab} とすると、次の計算式で求める。

ここで、

$$H^* = \sqrt{(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2} = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 - (\Delta C^*)^2}$$

$$\Delta L^* = L^* - L_t^*$$

$$\Delta C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} - \sqrt{(a_t^*)^2 + (b_t^*)^2} = C^* - C_t^*$$

ハンター-Lab 表色系

光電色彩計 (刺激値直読方法) で直読するのに便利なものとして、ハンター(R.S.Hunter)が 1948 年に提案した均等色空間を用いた表色系である。標準の光 C で照明した表面色については、次の式で求める。

$$L = 10Y^{1/2}$$

$$a = \frac{17.5(1.02X - Y)}{Y^{1/2}}$$

$$b = \frac{7.0(Y - 0.847Z)}{Y^{1/2}}$$

各観察条件における関係式は次式に示す。

$$L = 100 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/2}$$

$$a = 175 \left\{ \frac{0.0102X_0}{(Y/Y_0)} \right\}^{1/2} \left\{ \left(\frac{X}{X_0} \right) - \left(\frac{Y}{Y_0} \right) \right\}$$

$$b = 70 \left\{ \frac{0.00847Z_0}{(Y/Y_0)} \right\}^{1/2} \left\{ \left(\frac{Y}{Y_0} \right) - \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \right\}$$

ここで、

X、Y、Z : XYZ 表色系または $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 表色系の三刺激値

X_0 、 Y_0 、 Z_0 : 完全拡散反射面の三刺激値

ハンターの色差式

ハンター-Lab 表色系における L、a、b の差である ΔL 、 Δa 、 Δb によって定義される 2 つの試

料の間の色差式である。量記号は ΔE_H で表わす。

$$\Delta E_H = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

マンセル表色系

マンセル(A.H.Munsell)の考案による色票集に基づき、1943年に米国光学会(Optical Society of America)の測色委員会で尺度を修正した表色系である。

マンセルヒュー (H:色相)、マンセルバリュー (V:明度)、マンセルクロマ (C:彩度) によって表面色を表わす。

表示方法は、HV/Cの順に表わす。

有彩色: 色相 明度/彩度(H V/C) (例)

5R 5/14

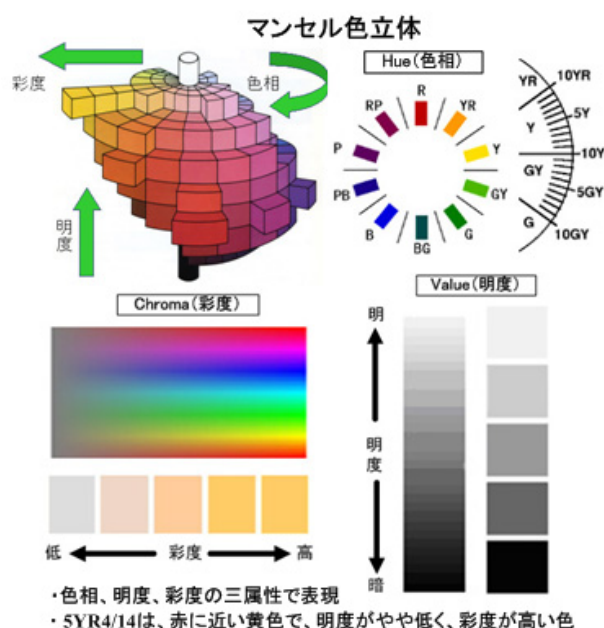
無彩色: N+明度を表す数字 (例) N3

5R 4/14(H: 5.0、V: 4.0、C: 14.0)、

読み: ごあーるよんのじゅうよん

また、マンセル色相環は、現在実用と

して用いられているものとして 10色相(Y, YR, R...)のそれぞれを4分割にした40種、または2分割にした20種がある。



CIE 2000

L*a*b*表色系の弱点である測定結果と視感評価との相違を補正した最も新しい式差式です。明度差 ΔL^* 、彩度差 ΔC^* 、色相差 ΔH^* をもとに、重係数 (S_L , S_C , S_H) やパラメトリック係数と呼ばれる定数 (K_L , K_C , K_H) などの補正を加え、以下のように算出します。

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L \cdot S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C \cdot S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H \cdot S_H}\right)^2 + \left\{R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C \cdot S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H \cdot S_H}\right)\right\}}$$

ここで、

$$L' = L^* \quad a' = a^* (1 + G) \quad G = 0.5 \left(1 - \sqrt{\frac{\overline{C}_{ab}^{*7}}{\overline{C}_{ab}^{*7} + 25^7}} \right)$$

$$b' = b^* \quad C' = \sqrt{(a')^2 + (b')^2} \quad h' = \tan^{-1} \left(\frac{b'}{a'} \right)$$

重係数の値は、以下の式での算出が定義されている。

$$s_L = 1 + \frac{0.015(\bar{L}'-50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}'-50)^2}} \quad S_C = 1 + 0.045\bar{C}' \quad S_H = 1 + 0.015\bar{C}'T$$

$$T = 1 - 0.17 \cos(\bar{h}'-30) + 0.24 \cos(2\bar{h}') + 0.32 \cos(3\bar{h}'+6) - 0.20 \cos(4\bar{h}'-63)$$

また、RT（ローテーション関数）の値は、以下の式での算出が定義されている。

$$R_T = -\sin(2\Delta\theta)R_C \quad \Delta\theta = 30 \exp\left\{-\left(\frac{\bar{h}'-275}{25}\right)^2\right\}$$

$$R_C = 2\sqrt{\frac{\bar{C}'^7}{\bar{C}'^7 + 25^7}}$$

ここで、色相角と θ の単位は、度(°)を使用する。

CIE2000色差式では、4°以上のサンプルの大きさが推奨されているので、10度視野を使用する。

注1：記号の上にバーの付加している値は、2色の色差対の平均値を表す。

注2：パラメトリック係数 K_L 、 K_C 、 K_H は、試験条件によって異なり、標準条件下では、全て1に設定する。

以上