



測色の歴史と発展 (13)

前号より続く

木村哲也
須賀茂雄

5.6.4 U*V*W*の色差

1943年にMacAdamによって考案された1960 CIE-UCS 表色系に、Wyszeckiが1963年に明度軸を加えて完成し、1964年にCIEより推奨された。CIEが推奨した1960 CIE-UCS 色度図に、マンセルバリューの概念を導入して、三刺激値から簡単に変換可能である。1964 CIE-UCS 表色系および色差式を下記に示す。

1960 CIE-UCS 色度座標 u, v は、

$$u = 4x / (-2x + 12y + 3)$$

$$v = 6y / (-2x + 12y + 3)$$

または、 $u = 4X / (X + 15Y + 3Z)$

$$v = 6Y / (X + 15Y + 3Z)$$

均等色空間は、

$$W^* = 25Y^{1/3} - 17$$

$$U^* = 13W^*(u_1 - u_0)$$

$$V^* = 13W^*(v_1 - v_0)$$

U*V*W*の色差式を下記に示す。

$$\Delta E = (\Delta W^{*2} + \Delta U^{*2} + \Delta V^{*2})^{1/2}$$

$$\Delta W^* = W^*_1 - W^*_0$$

$$\Delta U^* = U^*_1 - U^*_0$$

$$\Delta V^* = V^*_1 - V^*_0$$

1970年に“U*V*W*系による物体色の表示方法”及び“色差表示方法”として制定されたが、CIE 1976 L*a*b*の色差の推奨により、2017年3月に廃止された。

5.6.5 CIE 1976 L*a*b*の色差

CIEが1986年に改定したPublication CIE 15.2に準じ、1995年に色の表示方法-物体色の色差として、色差

ΔE^*_{ab} 、 ΔE^*_{uv} を規定し、 X_{10} 、 Y_{10} 、 Z_{10} と $L^*a^*b^*$ 表色系を組み合わせせた a^*b^* 色相、 a^*b^* 彩度等を追加改定した。その後、2000年に測色関連のJISは、ISO/CIE 11664-4 Colorimetry - Part 4 : CIE 1976 L*a*b* Colour Space と整合させ、JIS Z 8781-4 測色-第4部 CIE 1976 L*a*b*色空間 として移行された。

CIE 1976 明度は、

$$L^* = 116f(Y/Y_n) - 16$$

CIELAB 1976 a*b*座標は、

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]$$

$$b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]$$

ここに、 $f(X/X_n) = (X/X_n)^{1/3}$

$$\text{if } X/X_n > (6/29)^3$$

$$f(X/X_n) = (841/108)(X/X_n) + 4/29$$

$$\text{if } X/X_n \leq (6/29)^3$$

$$f(Y/Y_n) = (Y/Y_n)^{1/3}$$

$$\text{if } Y/Y_n > (6/29)^3$$

$$f(Y/Y_n) = (841/108)(Y/Y_n) + 4/29$$

$$\text{if } Y/Y_n \leq (6/29)^3$$

$$f(Z/Z_n) = (Z/Z_n)^{1/3}$$

$$\text{if } Z/Z_n > (6/29)^3$$

$$f(Z/Z_n) = (841/108)(Z/Z_n) + 4/29$$

$$\text{if } Z/Z_n \leq (6/29)^3$$

CIE 1976 L*a*b*の色差式を下記に示す。

$$\Delta E^*_{ab} = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$$

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_0$$

$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_0$$

$$\Delta b^* = b^*_1 - b^*_0$$

CIELAB 1976 abクロマC*_{ab} (CIE 1976 a,b chroma) は、

$$C^*_{ab} = [a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$



CIELAB 1976 ab色相角 h_{ab} (CIE 1976 a,b hue-angle) は、

$$h_{ab} = \arctan(b^*/a^*)$$

また、クロマ差、色相角差、色差中の彩度の差は、下記の式による。

$$\Delta C^*_{ab} = C^*_{ab,1} - C^*_{ab,0}$$

$$\Delta h_{ab} = h_{ab,1} - h_{ab,0}$$

$$\Delta H^*_{ab} = 2(C^*_{ab,1} \cdot C^*_{ab,0})^{1/2} \sin(\Delta h_{ab}/2)$$

$$\Delta E^*_{ab} = (\Delta L^{*2} + \Delta C^*_{ab^2} + \Delta H^*_{ab^2})^{1/2}$$

5.6.6 CIE 1976 L*u*v*の色差

1964 CIE-UCS 表色系およびU*V*W*均等色空間の信頼性について疑問が提起され、CIEでは1964年以降、均等色空間および色差式の研究結果を検討し、結果を勧告した。

1960 CIE-UCS 色度座標 u、v は、分子の係数を変更し、U*V*W*の色差式は、変更されて下記のようになった。

CIE 1976 明度は、

$$L^* = 116f(Y/Y_n) - 16$$

CIELAB 1976 u'v'座標は、

$$u' = 4x/(-2x + 12y + 3)$$

$$v' = 9y/(-2x + 12y + 3)$$

$$u' = 4X/(X + 15Y + 3Z)$$

$$v' = 9Y/(X + 15Y + 3Z)$$

均等色空間は、

$$L^* = 116f(Y/Y_n) - 16$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_n)$$

$$v^* = 13L^*(v' - v'_n)$$

ここに、 $f(Y/Y_n) = (Y/Y_n)^{1/3}$

$$\text{if } (Y/Y_n) > (6/29)^3$$

$$f(Y/Y_n) = (841/108)(Y/Y_n) + 4/29$$

$$\text{if } (Y/Y_n) \leq (6/29)^3$$

ユークリッド距離は、

$$\Delta(u', v') = [\Delta u'^2 + \Delta v'^2]^{1/2}$$

$$\Delta u' = u'_1 - u'_0$$

$$\Delta v' = v'_1 - v'_0$$

CIE 1976 u、v 飽和度：

$$S_{uv} = 13[(u' - u'_n)^2 + (v' - v'_n)^2]^{1/2}$$

CIE 1976 u、v クロマ：

$$C^*_{uv} = (u^{*2} + v^{*2})^{1/2}$$

CIE 1976 u、v 色相角：

$$h_{uv} = \arctan(v^*/u^*)$$

CIE 1976 L*u*v*の色差式を下記に示す。

$$\Delta E^*_{uv} = (\Delta L^{*2} + \Delta u^{*2} + \Delta v^{*2})^{1/2}$$

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_0$$

$$\Delta u^* = u^*_1 - u^*_0$$

$$\Delta v^* = v^*_1 - v^*_0$$

CIELUV 1976 uv クロマ C^*_{uv} (CIE 1976 u,v chroma) は、

$$C^*_{uv} = [u^{*2} + v^{*2}]^{1/2}$$

CIELUV 1976 uv色相角 h^*_{uv} (CIE 1976 u,v hue-angle) は、

$$h_{uv} = \arctan(v^*/u^*)$$

また、クロマ差、色相角差、色差中の彩度の差は、下記の式による。

$$\Delta C^*_{uv} = C^*_{uv,1} - C^*_{uv,0}$$

$$\Delta h^*_{uv} = h^*_{uv,1} - h^*_{uv,0}$$

$$\Delta H^*_{uv} = 2(C^*_{uv,1} \cdot C^*_{uv,0})^{1/2} \sin(\Delta h_{uv}/2)$$

$$\Delta E^*_{uv} = (\Delta L^{*2} + \Delta C^*_{uv^2} + \Delta H^*_{uv^2})^{1/2}$$



5.6.7 CIE₉₄の色差

CIE₉₄は、CIEが1995年に暫定的に採用し、心理メトリック量の差 ΔL^* 、 ΔC^*_{ab} 、 ΔH^*_{ab} に重み付けを伴わせた色差式である。

CIE₉₄の色差式を下記に示す。

$$\Delta E_{94} = [(\Delta L^*/S_L)^2 + (\Delta C^*_{ab}/S_C)^2 + (\Delta H^*_{ab}/S_H)^2]^{1/2}$$

ここに、

$S_L=1$ (明度に関して、知覚される色差との相関を補正するための重み付け関数)

$S_C=1+0.045\bar{C}^*_{ab}$ (クロマに関して、知覚される色差との相関を補正するための重み付け関数)

$S_H=1+0.015\bar{C}^*_{ab}$ (色相差に関して、知覚される色差との相関を補正するための重み付け関数)

ΔL^* : $L^*a^*b^*$ 表色系における2つの物体色のCIE 1976 明度差

ΔC^*_{ab} : $L^*a^*b^*$ 表色系における2つの物体色のCIELABクロマ差

ΔH^*_{ab} : $L^*a^*b^*$ 表色系における2つの物体色のCIELAB色相差

$$\Delta H^*_{ab} = k[2(C^*_{ab,1} \cdot C^*_{ab,0} - a^*_1 \cdot a^*_0 - b^*_1 \cdot b^*_0)]^{1/2}$$

$C^*_{ab,1}$ 、 $C^*_{ab,0}$: 試料および基準とする色のabクロマの値

a^*_1 、 a^*_0 : 試料および基準とする色のa*座標の値

b^*_1 、 b^*_0 : 試料および基準とする色のb*座標の値

k: $a^*_1 \cdot b^*_0 \leq a^*_0 \cdot b^*_1$ の場合は、+1

$a^*_1 \cdot b^*_0 > a^*_0 \cdot b^*_1$ の場合は、-1

$\bar{C}ab$: $L^*a^*b^*$ 表色系における2つの物体色のabクロマの幾何平均の値 $(C^*_{ab,0} \cdot C^*_{ab,1})^{1/2}$

5.6.8 CMC (1:c)の色差

CMC (1:c) は、イギリスで1984年に開発され、イギリス規格のBS 6923に採用された³¹⁾ ³²⁾。また1995年に発行されたISO 105-J03 (Textiles – Tests

for colour fastness- Part J03 : Calculation of colour differences)に採用されていた色差式である。

CMC (1:c) の色差式を下記に示す。

$$\Delta E_{CMC}(1:c) = [(\Delta L^*/S_L)^2 + (\Delta C^*_{ab}/c S_C)^2 + (\Delta H^*_{ab}/S_H)^2]^{1/2}$$

分母の係数lおよびcは、丁度識別できるような色差の表示および完全拡散面に近似した物体の色差の表示を目的にする場合には、 $l=1$ 、 $c=1$ を用い、繊維分野での実地応用のような闊(しきい)値上の比較的大きい色差を目的にする場合には、 $l=2$ 、 $c=1$ を用いる。それぞれCMC(1:1)、またはCMC(2:1)と表記する。

$$S_L = 0.040975 \cdot L^*_0 / (1 + 0.01765L^*_0)$$

$L^*_0 \geq 16$ の時

$$S_L = 0.511$$

$L^*_0 < 16$ の時

$$S_C = [0.0618 \cdot C^*_{ab,0} / (1 + 0.0131C^*_{ab,0})] + 0.638$$

$$S_H = S_C(T \cdot f + 1 - f)$$

$$f = (C^*_{ab,0} / (C^*_{ab,0} + 1900))^{1/2}$$

$$T = 0.56 + |0.2 \cos(h_{ab,0} + 168^\circ)|$$

$$164^\circ < h_{ab,0} < 345^\circ$$

$$T = 0.36 + |0.4 \cos(h_{ab,0} + 35^\circ)|$$

$$h_{ab,0} \leq 164^\circ \text{ または } h_{ab,0} \geq 345^\circ$$

$$h_{ab,0} = \tan^{-1}(b^*_0/a^*_0)$$

S_L : 明度に関して、知覚される色差との相関を補正するための重み付け関数

S_C : クロマに関して、知覚される色差との相関を補正するための重み付け関数

S_H : 色相差に関して、知覚される色差との相関を補正するための重み付け関数

(次号へ続く)

【参考文献】

31) CIE 15:2004 3rd Edition

32) 照明学会誌 第87巻 第5号 2003