

測色の歴史と発展(2)

前号より続く

3.3 DIN 色票

ドイツ工業規格 DIN 6164 規格に 1955 年に規格化された色票で、オストワルト表色系を基本に、均等色空間の実現を目指して、色相 T、飽和度 S、暗度 D の 3 つの属性によって配列されている。色相は 1 から 24 までの数字で表し、黄色の 1 から色相順位に並べられているが、色相環の反対は必ずしも補色関係にはなっていない。飽和度は無彩色の 0 から 7 まで、暗度は理想的な白を 0 に、理想的な黒を 10 にして、色の表示を表している。

3.4 その他の色票

National Color System は 1979 年にカラーアトラスとして、「人の視覚は、赤-緑・黄-青・黒-白の 3 つの反対色に対応する機能を持つ」というヘリングの反対色説を基にスウェーデンの心理学者ヨハンソンを中心に心理的尺度で作られた表色系で、スウェーデン規格、ノルウェーやスペインの規格にも採用されている。その他に、英国工業規格に採用されている BS 5252 建築用色彩コーディネーションなどがある。日本でも、日本塗料工業会の塗料の色見本帳を始め産業界では独自の色見本を作り、採用している。

4. 色の数値化の基本

文頭で説明したように、感覚的な色を数値化する試みは、CIE(国際照明委員会)の勧告に基づいて行われ、1931 年に近代測色学の基礎を築いた最初の 5 つの勧告⁶⁾がなされた。

勧告 1、4、5 : CIE 1931 測色標準観測者(等色関数)と測色座標系の確立。

勧告 2 : 3 種の標準光源(A、B および C)の定義。

勧告 3 : 試料を測定するための照明および観測の条件、酸化マグネシウム面という形式で反射率の標準。

4.1.1 等色関数

CIE 測色標準観測者は、1924 年に CIE で採用されていた明所視比視感度関数と Guild および Wright によって行われた実験を基にして、形は異なるが等価な 2 組の等色関数によって定義された。第 1 の等色関数 $\bar{r}(\lambda)$ 、 $\bar{g}(\lambda)$ 、 $\bar{b}(\lambda)$ は原刺激として、波長 700.0nm(R)、546.1nm(G)、435.8nm(B) のスペクトル刺激をとって、等エネルギースペクトルの色度座標がすべて等しくなるようにその単位を調整したもので表された(等エネルギースペクトルとは、波長の関数としての放射の分光密度が一定である刺激を言う)。第 2 の等色関数 $\bar{v}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ は実用測色により便利に利用できるように、変数の係数はすべての波長において負にならないように、同時に、等色関数 $\bar{v}(\lambda)$ を $V(\lambda)$ (CIE) 標準分光視感効率と同一のものとするように選定された。 $V(\lambda)$ (CIE) 標準分光視感効率を、JIS Z 8105 : 色に関する用語では下記のように定義している。

標準的な分光視感効率又は比視感度として、CIE において合意された値。明所視における標準分光視感効率又は標準比視感度と暗所視における標準分光視感効率又は標準比視感度の 2 種類がある。

量記号 : $V(\lambda)$ (明所視の場合)

$V'(\lambda)$ (暗所視の場合)⁶⁾

4.1.2 RGB 等色関数

光の 3 原色である赤、緑、青の光を同一の白色面に同時に当てると、加法混色により、あらゆる色を作り出すことができる。図 9 に加法混色したときの色の合成図を示す。赤と青を加法混色するとマゼンタ、青と緑を加法混色するとシアン、緑と赤を加法混色するとイエローになる。

3 色の光量を絞りでいろいろ変化させ、目標の等エネルギースペクトルの単色光の試料の色と隣り合わせで同時比較し、その時の R (700.0nm)、G (546.1nm)、B

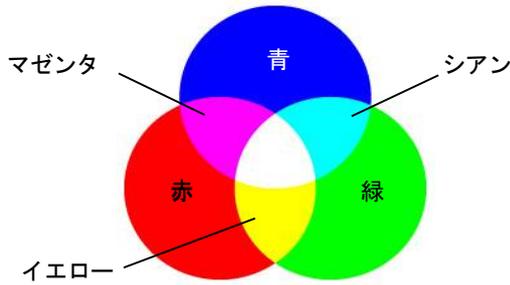


図9 加法混色時の色の合成

(435.8nm)の量を波長ごとに測定した結果がRGB等色関数になる。

CIE 1931 測色標準観測者の等色関数の第1のセット⁵⁾ ($\bar{r}(\lambda)$ $\bar{g}(\lambda)$ $\bar{b}(\lambda)$)は、Wright(1928~1930)及びGuild(1931)の実験結果から導かれたものである。実験では、総勢17名の観測者が視角2°の視野において、波長範囲約400~700nmのスペクトルの単色光刺激を赤、緑、青の光で図10に示すように、加法混色された白色面の色と等エネルギースペクトルで照射された白色面の色を比較して、単色光刺激を用いたときに得られるであろう結果になるように(数学的に)変換された。

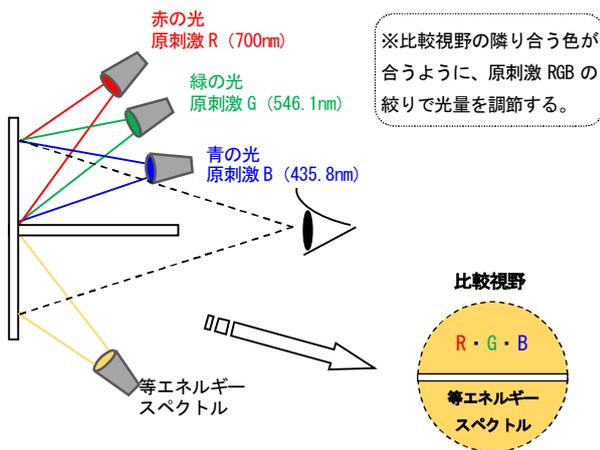


図10 等色実験の原理図

この等色関数は、明所視の順応状態で、視角(見ている物体の左右または上下の両端が眼に対して張る立体角)が約1°から約4°までの視野に関して、正常色

覚を持つ観測者の等色関数を代表するものである。等色実験の過程では、光の合成では等色できない光が見つかった。550nmより波長の短い緑や青の光では、等エネルギースペクトルに原刺激の赤を加えないと緑と青の光の合成で等色させることが不可能であった。つまり、人間が赤を感じる器官には若干青の波長にも反応すると考えられる。これにより光学原理で考えられる三原色と、感覚で捉えられる三原色の間にはずれがあることが分かった。

表1にCIE 1931標準観測者の等色関数 $\bar{r}(\lambda)$ $\bar{g}(\lambda)$ $\bar{b}(\lambda)$ と波長の間を、図11にそのグラフを示す。

表1の数値で550nmより短い波長域では、原刺激Rの感度は「-」領域になっていることが分かる。また原刺激Gにおいては435nmより短い波長域、原刺激Bにおいては550nmから655nmの領域でより短い波長域で「-」領域になっている。

ここで視角 η とは、図12に示すように対象物を見る時の目の角度、つまり観測者の目に対する視野を表し、2°の場合、対象物の大きさは、50cm離れたところから、直径1.7cmの大きさを見ることになる。

4.1.3 CIE 1931 測色標準観測者の等色関数

等色関数の第2のセット($\bar{x}(\lambda)$ $\bar{y}(\lambda)$ $\bar{z}(\lambda)$)は、第1のセット($\bar{r}(\lambda)$ $\bar{g}(\lambda)$ $\bar{b}(\lambda)$)から実用測色により便利に利用できるように勧告された。色彩学者Juddらは第1のセットを基に、線形変換を含み、全ての変換係数は全波長域で $\bar{x}(\lambda)$ $\bar{y}(\lambda)$ $\bar{z}(\lambda)$ が負にならないように、また等色関数の内の $\bar{y}(\lambda)$ を $V(\lambda)$ と同一にすることを提案した。JIS Z 8781-1 CIE 測色標準観測者の等色関数

(ISO 11664-1:2007)では、第1のセットから第2のセットへは次のような過程で変換した。

17名の観測者について第1のセット($\bar{r}(\lambda)$ $\bar{g}(\lambda)$ $\bar{b}(\lambda)$)の結果を平均し、さらに $\bar{r}(\lambda)$ $\bar{g}(\lambda)$ $\bar{b}(\lambda)$ 等色関数に適当に係数を乗じて加えたときに、CIE標準光視感効率(標準比視感度) $V(\lambda)$ に等しくなるようにわず

表 1 CIE 1931 標準観測者の等色関数

波長 (nm)	$\bar{r}(\lambda)$	$\bar{g}(\lambda)$	$\bar{b}(\lambda)$
380	0.00003	-0.00001	0.00117
385	0.00005	-0.00002	0.00189
390	0.00010	-0.00004	0.00359
395	0.00017	-0.00007	0.00647
400	0.00030	-0.00014	0.01214
405	0.00047	-0.00022	0.01969
410	0.00084	-0.00041	0.03707
415	0.00139	-0.00070	0.06637
420	0.00211	-0.00110	0.11541
425	0.00266	-0.00143	0.18575
430	0.00218	-0.00119	0.24769
435	0.00036	-0.00021	0.29012
440	-0.00261	0.00149	0.31228
445	-0.00673	0.00379	0.31860
450	-0.01213	0.00678	0.31670
455	-0.01874	0.01046	0.31166
460	-0.02608	0.01485	0.29821
465	-0.03324	0.01977	0.27295
470	-0.03933	0.02538	0.22991
475	-0.04471	0.03183	0.18592
480	-0.04939	0.03914	0.14494
485	-0.05364	0.04713	0.10968
490	-0.05814	0.05689	0.08257
495	-0.06414	0.06948	0.06246
500	-0.07173	0.08536	0.04776
505	-0.08120	0.10593	0.03688
510	-0.08901	0.12860	0.02698
515	-0.09356	0.15262	0.01842
520	-0.09264	0.17468	0.01221
525	-0.08473	0.19113	0.00830
530	-0.07101	0.20317	0.00549
535	-0.05316	0.21083	0.00320
540	-0.03152	0.21466	0.00146
545	-0.00613	0.21487	0.00023
550	0.02279	0.21178	-0.00058
555	0.05514	0.20588	-0.00105
560	0.09060	0.19702	-0.00130
565	0.12840	0.18522	-0.00138
570	0.16768	0.17087	-0.00135
575	0.20715	0.15429	-0.00123
580	0.24526	0.13610	-0.00108

波長 (nm)	$\bar{r}(\lambda)$	$\bar{g}(\lambda)$	$\bar{b}(\lambda)$
585	0.27989	0.11686	-0.00093
590	0.30928	0.09754	-0.00079
595	0.33184	0.07909	-0.00063
600	0.34429	0.06246	-0.00049
605	0.34756	0.04776	-0.00038
610	0.33971	0.03557	-0.00030
615	0.32265	0.02583	-0.00022
620	0.29708	0.01828	-0.00015
625	0.26348	0.01253	-0.00011
630	0.22677	0.00833	-0.00008
635	0.19233	0.00537	-0.00005
640	0.15968	0.00334	-0.00003
645	0.12905	0.00199	-0.00002
650	0.10167	0.00116	-0.00001
655	0.07857	0.00066	-0.00001
660	0.05932	0.00037	0.00000
665	0.04366	0.00021	0.00000
670	0.03149	0.00011	0.00000
675	0.02294	0.00006	0.00000
680	0.01687	0.00003	0.00000
685	0.01187	0.00001	0.00000
690	0.00819	0.00000	0.00000
695	0.00572	0.00000	0.00000
700	0.00410	0.00000	0.00000
705	0.00291	0.00000	0.00000
710	0.00210	0.00000	0.00000
715	0.00148	0.00000	0.00000
720	0.00105	0.00000	0.00000
725	0.00074	0.00000	0.00000
730	0.00052	0.00000	0.00000
735	0.00036	0.00000	0.00000
740	0.00025	0.00000	0.00000
745	0.00017	0.00000	0.00000
750	0.00012	0.00000	0.00000
755	0.00008	0.00000	0.00000
760	0.00006	0.00000	0.00000
765	0.00004	0.00000	0.00000
770	0.00003	0.00000	0.00000
775	0.00001	0.00000	0.00000
780	0.00000	0.00000	0.00000

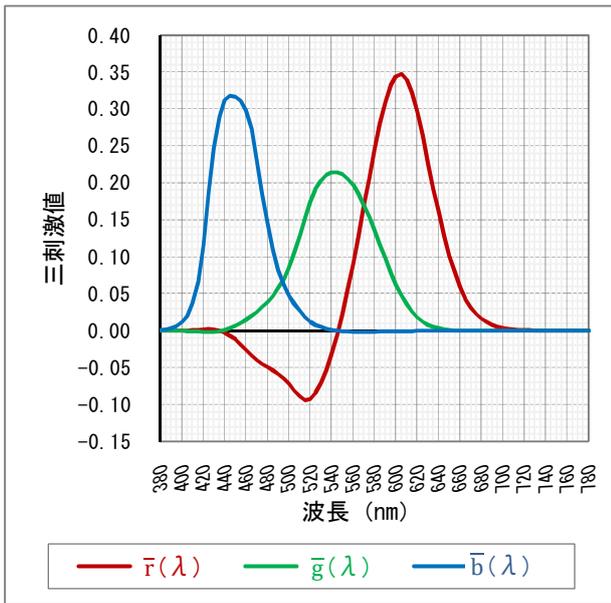


図 11 CIE 1931 標準観測者の等色関数 $\bar{r}(\lambda)$ $\bar{g}(\lambda)$ $\bar{b}(\lambda)$

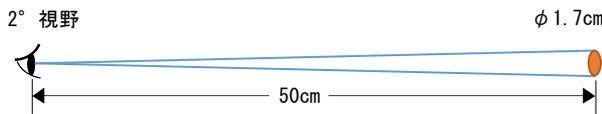


図 12 CIE 1931 標準観測者の視角

かな数値の調整を行った。

加算に用いた係数の比は 1.0000 : 4.5907 : 0.0601 であって、この比は原刺激 R、G、B の単位量の相対輝度に等しい。これから CIE 1931 等色関数を次の式で定める。

$$\bar{x}(\lambda) = [0.49 \bar{r}(\lambda) + 0.31 \bar{g}(\lambda) + 0.20 \bar{b}(\lambda)] n$$

$$\bar{y}(\lambda) = [0.17697 \bar{r}(\lambda) + 0.81240 \bar{g}(\lambda) + 0.01063 \bar{b}(\lambda)] n$$

$$\bar{z}(\lambda) = [0.00 \bar{r}(\lambda) + 0.01 \bar{g}(\lambda) + 0.99 \bar{b}(\lambda)] n$$

ここに、 n は規準化の定数で、次で与えられる。

$$n = V(\lambda) / [0.17697 \bar{r}(\lambda) + 0.81240 \bar{g}(\lambda) + 0.01063 \bar{b}(\lambda)]$$

$\bar{x}(\lambda)$ $\bar{y}(\lambda)$ $\bar{z}(\lambda)$ の数値において、波長範囲 360~400nm 及び 700~830nm の数値は補外値である。

変換特性に関しては次の点が記載されている。

- ・第 1 に、 $\bar{y}(\lambda)$ 関数が $V(\lambda)$ 関数と同一なものではない。
- ・第 2 に、 $\bar{x}(\lambda)$ $\bar{y}(\lambda)$ $\bar{z}(\lambda)$ の値は全スペクトル域で正值でなければならない（これに対して $\bar{r}(\lambda)$ $\bar{g}(\lambda)$ $\bar{b}(\lambda)$ では、原刺激 R、G、B で等色するとき単色光刺激の飽和度を減ずる必要があるので、ほとんどの波長域でその一つが負値となる）。
- ・第 3 に、 $\bar{z}(\lambda)$ の値が 650nm 以上の波長域で 0 でなければならない。
- ・第 4 に、 $\bar{x}(\lambda)$ の値が約 505nm の波長で 0 に近くななければならない。
- ・第 5 に、 $\bar{x}(\lambda)$ 及び $\bar{y}(\lambda)$ の値が短波長端で小さくなければならない。
- ・第 6 に、三刺激値 X、Y、Z の等量の和によって等エネルギースペクトル（白色光）が定められなければならない。また、 $\bar{y}(\lambda)$ は $V(\lambda)$ と一致するので、三刺激値 Y は輝度に比例する。

【参考文献】

- 5) 測色 第 2 版 CIE 標準：測色用の光 測色標準観測者 Publication CIE No.15.2 (1986) COLORIMETRY, SECOND EDITION, Publication CIE No.S001 and No.S002 (1986), CIE STANDARDS: COLORIMETRIC ILLUMINANTS, COLORIMETRIC OBSERVERS JCIE 翻訳出版 No.7
- 6) JIS Z 8105 : 色に関する用語
- 7) Colour スガ試験機 (株) 技術資料