Color Science Association of Japan

日本色彩学会誌　VOLUME 27 NUMBER 4 2003

シリーズ解説<表色系> 第11回（最終回）

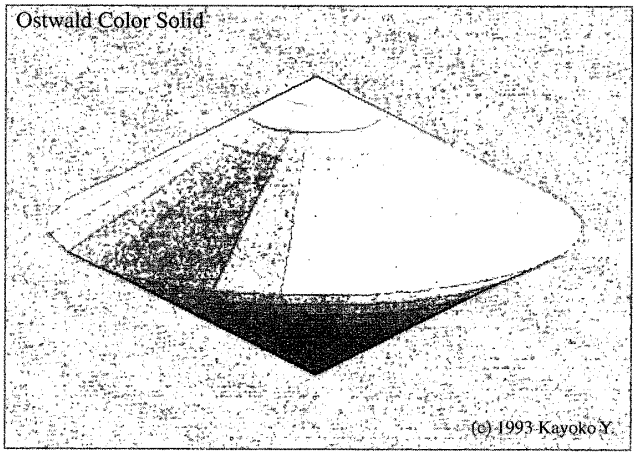
“ひとつの古典的な表色系— Ostwald表色系(その2)”

A Classical Color System : The Ostwald Color System (II)

小林光夫　KOBAYASI, Mituo　電気通信大学　The University of Electro-Communications

Wilhelm Friedrich Ostwald［1853-1932］は，物理化学，数学，哲学など広汎な研究を遂げ，1909年にノーベル化学賞を授与された学者です．後年は色彩学，美学の研究に没頭し，配色や色彩調和を科学的に扱うための表色系を発案しました．これがOstwald表色系です．

Ostwald表色系は，測色的根拠をもちながら，いわゆるヒュー・トーンシステムとしての実用色票系でもあり，少し前までは色彩計画，色彩教育の場で広く利用されていました．日本でも，カラーコーディネータ検定関連の書物には必ずといっていいほど紹介されていますので，ご存知の方も多いと思います．しかし，Ostwald表色系がどのように構成されたのか，Ostwaldの表記法が示す色はどんな色か，*XYZ*三刺激値が与えられたときOstwaldの表色値ではどう求めるのかなどについて，きちんと書かれたものは少ないので，そのへんについてやや詳しく述べてみることにします．そのためには，数学的な展開が必要となる場面がありますが，そこは証明ぬきに事実だけをお認め願うことにして，進めさせていただきます．



1 Ostwaldの表色系

Ostwaldは，色をその見え方により無関係色（unrelated color）と有関係色（related color）に分けました．無関係色とは，たとえば空の色とか，暗い中に照らされた紙片の色のように，対比する物のない色，他に関連する物なくそれだけで見える色のことです．有関係色は，他の物との関連で見える色，いわゆる物体色のことです．オリーブ，茶，灰などの色は有関係色には存在しますが，無関係色には存在しません．

世の中のほとんどの色は有関係色として存在しますので，Ostwaldは，表色系を作る際に有関係色を対象としました．そして，有関係色を表わすには，Munsell表色系のように色相と明度・彩度によるよりも，NCSのように色相と白み・黒み・色みによるほうが，色彩分析や色彩設計などの応用の場面では使いやすいと考えました．またOstwaldは，色は心に生じる心理的なものであることは十分承知していましたが，色を規定するのに，NCSのように心理的な概念にのみよるのではなく，心理物理的な概念との対応を定めることが実用上重要であると考えました．

以下に，どのようにして物体色の*XYZ*三刺激値といった心理物理量を，色相や白み・黒み・色みといった感覚量に関連づけたかを，見てみることにします．なお，Ostwald表色系では，光源はC光が想定されていることに，注意しておきます．

1.1 色相環

色相の決め方は，次のようです．NCSと同様に，E.Heringの四原色を念頭に置き，まず4つの原色（primary color），黄（Y），赤（R），青（B），緑（G）を決めます．ただし，“補色”の概念を入れ，黄（yellow）

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

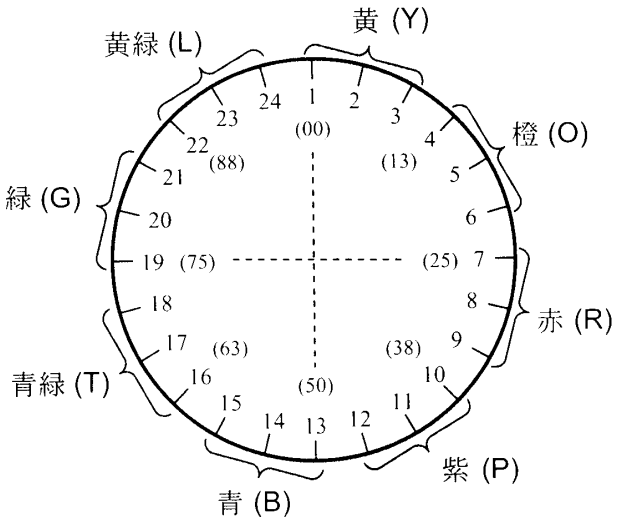


図１　基本色相の細分と色相番号（かっこ内は 100 色相版の色相番号）

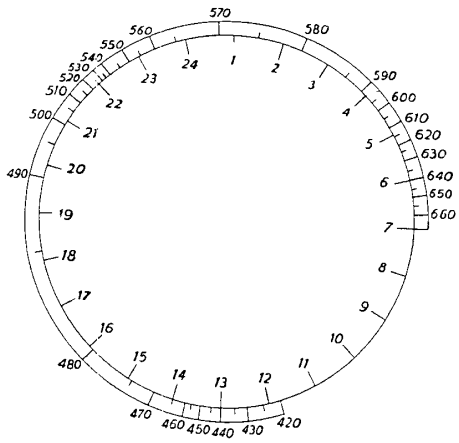


Fig. 6.

図２　Ostwald による色相と波長の対応図 [2]

の補色となる青は，少し紫みを帯びた青（ultramarine blue）とし，赤（red）の補色となる緑は，青みがかった緑（sea green）としました．つぎに，この４原色に，中間の色相，橙（orange, O），紫（purple, P），青緑（ice blue / turquoise, T），黄緑（leaf green, L）を加え，８基本色（elementary color）を定めます．

さらに各基本色相を細分し，初期には十進法にちなみ色相環全体で 100 色相を定めました（100 色相版）．これは後に，配色の便を考え，各基本色相を三分し色相環一周を約数の多い 24 色相としています（24 色相版）．図１に，基本色相を三分した 24 色相と色相番号の対応を示しました．かっこ内は 100 色相版のおよその色相番号です．[1]

これで，色相番号と色とのおよその対応は定まりましたが，心理物理的な量との対応はどう定めるのでしょうか．今日の文献で，この対応について書いてるものを探しましたが，見つかりませんでした．また，Ostwald 表色系を分析した C.E.Foss の論文 [3] にも，Ostwald 自身が示したものは見当たらないと記されています．しかし，Ostwald の著書 [2] には，色相と主波長の対応を示す図［Fig.6, p.85］（図２として再掲）が載っていますし，Ostwald の飽和色をもとにして，色相と主波長の対応を定めるための理論 [pp.113～] ― セミクローム理論（semichrome theory）[2] ― も載っています．そこで以下では，この理論に従って，色相番号と主波長の対応を求めてみることにします．

図３をご覧ください．まず，492.3nm（$= \lambda_{\overline{R}}$：スペクトル色度の長波長側収束波長の補色波長）を遷移波長とする右台型の分光反射率の飽和色を，色相番号１の黄と定めます．そして，その心理物理補色である飽和色，すなわち同じ遷移波長をもつ左台型の分光反射率の飽和色を，色相番号 13 の青とします．これにより，色相番号１の主波長は 571nm，色相番号 13 の主波長は 463nm と定まります（a1）．つぎに，こうして定めた色相番号１（黄）と 13（青）の各主波長を遷移波長とする凸型および凹型の分光反射率の飽和色により，それぞれ色相番号 19 の緑および色相番号７の赤を定めます．これらの主波長および補色主波長は，それぞれ 510.5nm と 510.3c nm となります（a2）．[3]

以下同様に，567.1nm（$= \lambda_{\overline{V}}$：スペクトル色度の短波長側収束波長の補色波長）を遷移波長とする右台型の飽和色および左台型の飽和色により，それぞ

1　24 色相版の色相 h（$1 < h < 25$）から 100 色相版の色相 h_{old}（$0 < h_{old} < 100$）への間の変換は，

$$h_{old} = \frac{100}{24}(h-1)$$

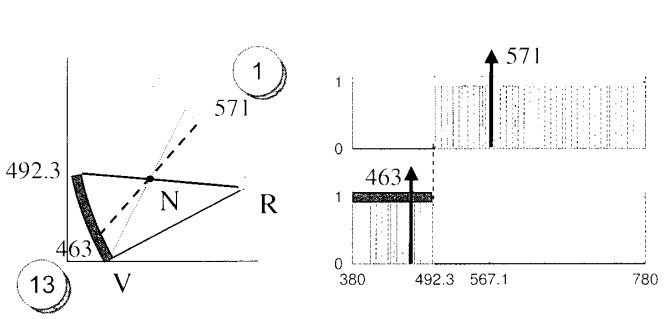
で与えられます．色相を整数で表すわためには，変換結果を四捨五入します．

2　Ostwald の飽和色を呈する光は，分光分布が可視波長範囲のほぼ半分を占める光（semichromatic light，半色光）であることから，この名で呼ばれる．

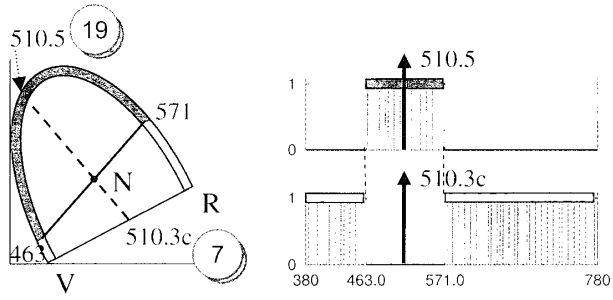
3　ほんとうは両者同じになるはず．違いは計算誤差．

NII-Electronic Library Service

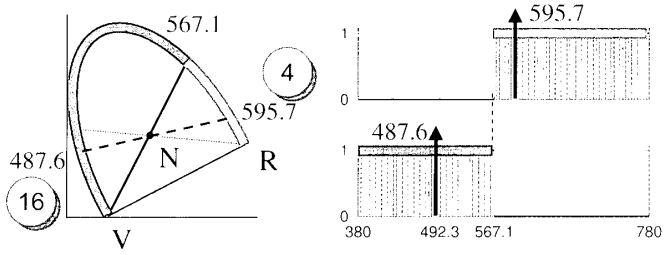
Color Science Association of Japan



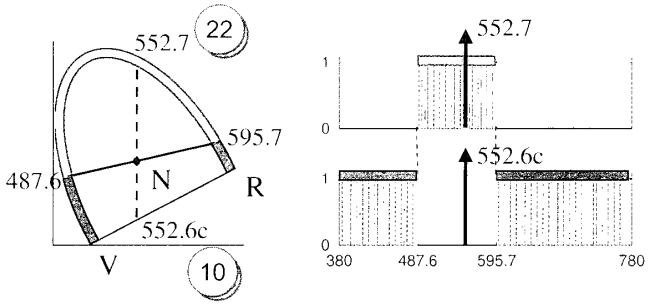
(a1) 色相番号1（黄）および13（青）の主波長



(a2) 色相番号19（緑）および7（赤）の主波長



(b1) 色相番号4（橙）および16（緑青）の主波長



(b2) 色相番号22（黄緑）および10（紫）の主波長

図3　“セミクローム理論”による基本8色相の主波長の計算

れ色相番号4の橙と16の青緑を定め（b1），ついで色相番号4と16の主波長（595.7nm，487.6nm）を遷移波長とする凸型および凹型の飽和色により，それぞれ色相番号22の黄緑および10の紫を定めます（b2）．

こうして定めた8色相から24色相への細分は，隣接基本色相を与える飽和色を均等に内分して定めます．この内分は，*XYZ*色空間内における線形補間とします．たとえば色相番号1と4の飽和色の刺激値を1：2に内分すると，色相番号2が得られるといった具合です．Ostwaldは，このアルゴリズムを内的対称性の原理（principle of inner symmetry）と呼んでいます．

以上の理論に従い形式的に計算した24色相の主波長を，表1の左欄に示します．

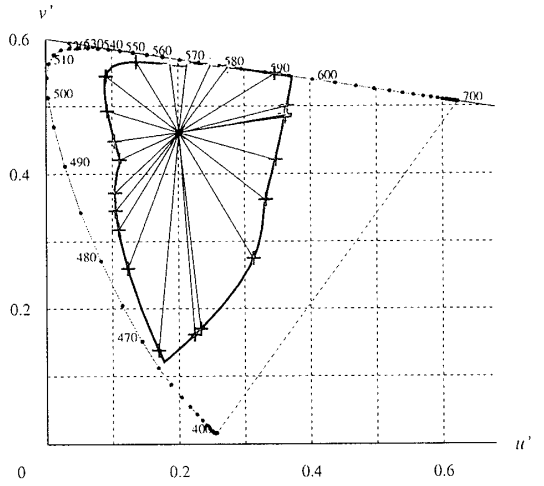
Ostwaldの色相-波長の対応図（図2）から読みとれる波長と，われわれの計算値はかなり違っています．Ostwaldはスペクトル色度の収束波長をおよそ420 nmおよび670nmとしたようですし，当時はスペクトル軌跡も現在のものと違っていたかもしれません．したがって，このような違いが生じても不思議はありません．

表1　24色相と主波長との対応

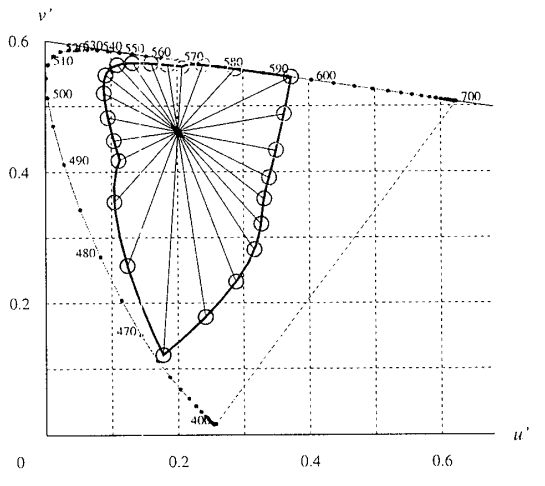
色相番号 h	理論による計算値	色票（色調 pa; Ostwald Lab.,1935）の測色値				
	主波長	主波長	p_e	x	y	Y
1	571.0	572.6	76.4	0.4265	0.4846	72.2
2	576.4	577.6	77.8	0.4544	0.4612	61.7
3	583.9	582.3	77.4	0.4784	0.4367	50.8
4	595.7	587.4	79.0	0.5074	0.4137	40.8
5	638.6	593.4	78.5	0.5333	0.3860	31.0
6	498.7c	601.7	76.1	0.5570	0.3537	20.7
7	509.7c	616.9	64.5	0.5516	0.3158	13.0
8	526.6c	494.5c	52.5	0.4816	0.2659	12.2
9	543.4c	507.7c	59.9	0.3946	0.2071	9.1
10	552.7c	545.0c	61.5	0.3450	0.1802	7.9
11	560.7c	557.6c	59.5	0.2881	0.1587	6.8
12	566.6c	402.0	57.9	0.2300	0.1359	5.8
13	463.0	464.4	74.7	0.1805	0.1085	6.9
14	475.8	472.7	70.3	0.1740	0.1435	9.6
15	482.6	478.9	63.6	0.1738	0.1921	12.5
16	487.6	482.6	58.6	0.1760	0.2247	13.9
17	491.9	485.2	53.3	0.1810	0.2565	13.5
18	498.4	487.9	49.2	0.1846	0.2849	14.0
19	510.3	490.2	46.4	0.1870	0.3084	13.8
20	527.2	493.7	41.1	0.1945	0.3428	14.1
21	543.5	503.4	32.2	0.2116	0.4137	16.0
22	552.7	543.4	39.8	0.2869	0.4826	26.5
23	560.7	556.3	59.3	0.3319	0.5141	44.5
24	566.6	566.0	70.2	0.3843	0.5036	61.8

NII-Electronic Library Service

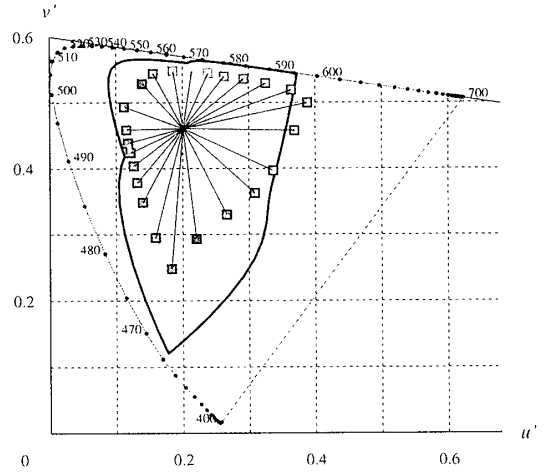
Color Science Association of Japan



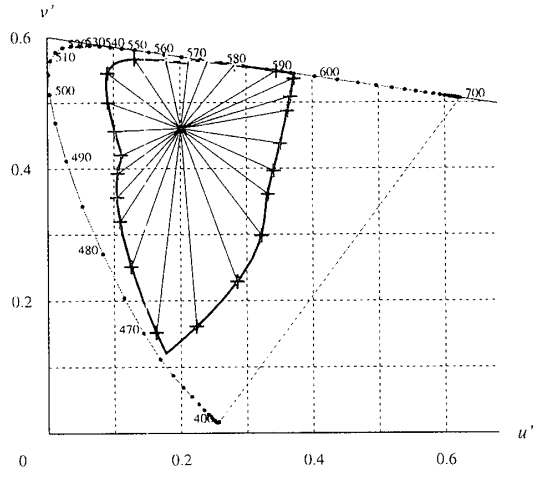
(a) Ostwaldの色相-波長対応図から読み取った24色相



(b) セミクローム理論および線形補間により求めた24飽和色



(c) 色票集（Ostwald Lab.,1935）の24色（色調pa）



(d) Ostwaldの色相-波長対応図から読み取った基本8色相をもとにして，線形補間により計算した24飽和色

図4　$u'v'$色度図における24色相の位置

Ostwaldの考え方にそって作られた色票集がいくつかあり，Fossの論文[3]には，そのうち三つの代表的な色票集の測色結果から得られた主波長が載っています．これら3者の値は相互に似通っていますが，Ostwaldの色相-波長の対応図から読みとれる値ともセミクローム理論にもとづく計算値ともやはり異なります．三つの色票集のうちもっとも後のもの（Ostwald Lab., 1935）のデータを，表1の右欄に挙げます．このデータは，各色相の中でもっとも鮮やかな色票（色調記号pa:後述）の測色データです．

図4に，Ostwaldの色相-波長の対応図から読みとった24色相の飽和色(a)，セミクローム理論から計算した24飽和色(b)，Fossによる測色データ(Ostwald Lab., 1935)の24色(c)，および，Ostwaldの図から読みとった8基本色相をもとに内的対称性の原理を適用して計算して得た24飽和色(d)を，いずれも均等色度図である$u'v'$色度図上にプロットして示します．色相の分割の様子は，(a)，(b)，(c)いずれも相互に異なりますが，(c)と(d)は少し似ています．このことから，色票集では，実用的観点から色相環の等歩度性を考え，Ostwaldの色相-波長の対応図をもとに修正をほどこしたものとも考えられます.[4] 以降では，色相と主波長

[4] Ostwaldの色相と主波長図における基本色の主波長は，相互に補色波長とならない対がいくつかあります．また，Fossによる色票の測色値における基本色の主波長も，相互に補色とならないことが指摘されています．文献[2]によると，Ostwaldは，色相環における心理的な補色や等歩度性を考慮し，いろいろな実験を行なった結果，基本色の主波長を定めたふしがあります．

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

の対応として，色票集のデータ（表1右欄）を採用することにします．

1.2 色三角形

（1）刺激量三角形

さて，感覚量としての白み・黒み・色みを，XYZ 刺激値から算出することにします．そのためには，まず刺激値のレベルで白み・黒み・色みに対応する量を作らねばなりません．

図5（a）をご覧ください．XYZ 色空間の中で，与えられた色Fと同じ色相（主波長）の飽和色Cを考えます．理想の白色（反射率1の色）をW，理想の黒色（反射率0の色）をBとすると，Fは点W, B, Cを通る平面上の一点となります．Bは色空間の原点に当ります．

図5（b）に示すように，点W, B, Cで定まる平面上で考えてみると，色Fを表わす色ベクトル $\overrightarrow{\mathrm{BF}}$ は，飽和色の色ベクトル $\overrightarrow{\mathrm{BC}}$ と白ベクトル $\overrightarrow{\mathrm{BW}}$ の合成により

$$\overrightarrow{\mathrm{BF}}=c\overrightarrow{\mathrm{BC}}+w\overrightarrow{\mathrm{BW}} \qquad (1)$$

と表わせることがわかります．ここに，c は色Fに含まれる飽和色の割合（飽和色成分）を，w は色Fに含まれる白色の割合（白色成分）を表わしています．

同様に，点Wを基点とする色ベクトル $\overrightarrow{\mathrm{WF}}$ を考えると，

$$\overrightarrow{\mathrm{WF}}=c\overrightarrow{\mathrm{WC}}+b\overrightarrow{\mathrm{WB}} \qquad (2)$$

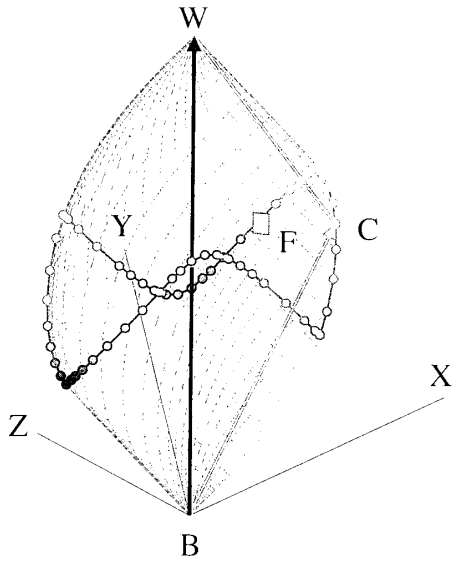
のように表わせることがわかります．ここに，c は色Fに含まれる飽和色の割合（飽和色成分）であり，先ほどの c とまったく同じです．b は色Fに含まれる黒色の割合（黒色成分）を表わします．

なお，直線BFがWCと交わる点を $\mathrm{F_1}$ とするとき，

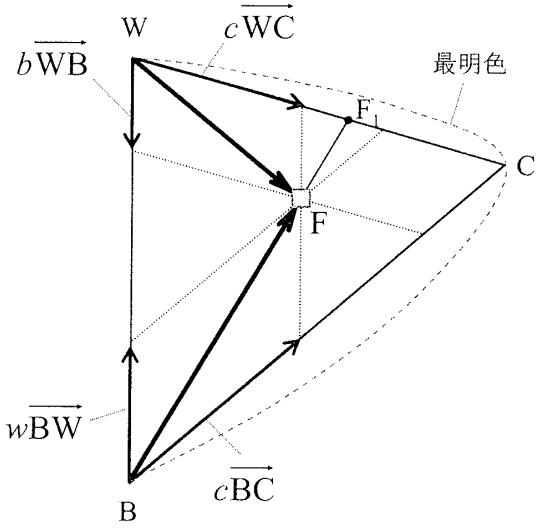
$$p_{\mathrm{O}}=\frac{\mathrm{WF_1}}{\mathrm{WC}}=\frac{c}{w+c} \qquad (3)$$

は，色ベクトル $\overrightarrow{\mathrm{BF}}$ の方向がどの程度飽和色ベクトル $\overrightarrow{\mathrm{BC}}$ に近いかを表わします．この p_{O} は，Ostwald純度（Ostwald purity）と呼ばれます．Ostwald純度が等しい色は，色ベクトル $\overrightarrow{\mathrm{BF}}$ の方向が同じになることから，xy 色度座標が等しくなります．

ここで，上の二つの式（1），（2）と，ベクトル $\overrightarrow{\mathrm{BF}}$，



（a）XYZ色空間（黒網は最明色軌跡，虹色線はOstwaldの飽和色）



（b）点W,B,Cを通る平面上の図

図5　与えられた色Fと同一色相上の白色W，黒色B，および飽和色Cの関係

$\overrightarrow{\mathrm{WF}}$，$\overrightarrow{\mathrm{BW}}$ 間の関係

$$\overrightarrow{\mathrm{BF}}=\overrightarrow{\mathrm{BW}}+\overrightarrow{\mathrm{WF}}$$

を用いて簡単な計算を行なうと，白色成分 w，黒色成分 b，飽和色成分 c の間に

$$w+b+c=1 \qquad (4)$$

が成り立つことがわかります．この式（4）から，色F

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

は，図6に示すように[5]，一つの三角形に対する重心座標が（w, b, c）である一点で表わすことができます（第9回，Vol.27, No.2, p.62）．

白色W，黒色B，および飽和色Cは，重心座標ではそれぞれ（1, 0, 0），（0, 1, 0），（0, 0, 1）と表わされるので，三角形の頂点に位置することになります．この三角形は，色の刺激値の成分で構成されていますので，ここでは刺激量三角形と呼ぶことにしましょう．[6]

図5（b）をもう一度ご覧ください．Cが飽和色であることから，点Fは点Cより必ず無彩軸BWに近い位置にきます．したがって，色Fの飽和色成分cは1（＝100%）を超えることはありません．ところが，最明色の色域は，一般には△WBCより大きくなりますので，色によっては点Fが線分WCの上側にいったり（$b < 0$），線分BCの下側にきたり（$w < 0$）することがあります．ただし，このときでも式（4）は成り立ちます．刺激量三角形では，$b < 0$や$w < 0$となるとき，点Fは色三角形の外側に出ることになります．

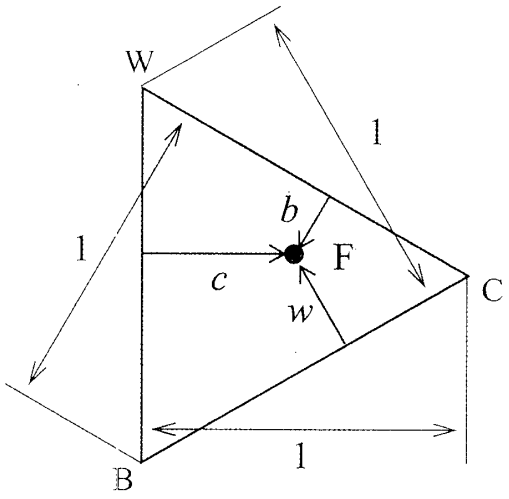
与えられた色の刺激値成分w, b, cを計算するには，次のようにします．与えられた色F，白色W，および同色相の飽和色Cの三刺激値をそれぞれ(X, Y, Z)，(X_W, Y_W, Z_W)，および(X_C, Y_C, Z_C)とするとき，式（1）から

$$\begin{cases} X = wX_W + cX_C, \\ Y = wY_W + cY_C, \\ Z = wZ_W + cZ_C \end{cases} \tag{5}$$

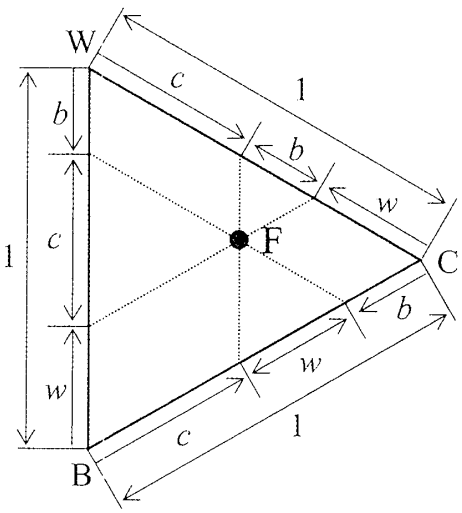
が成り立ちますので，これをw, cについて解けば

$$\begin{cases} w = \dfrac{XY_C - YX_C}{X_WY_C - Y_WX_C}, \\ c = -\dfrac{XY_C - YX_C}{X_WY_C - Y_WX_C} \end{cases} \tag{6}$$

が得られます．[7] この分母は，ベクトル$\overrightarrow{BW}$と$\overrightarrow{BC}$が平行になることがありませんので，0とはなりません．したがって，上の式（6）でwとcは計算できることになります．bは，$b = 1 - w - c$により計算します．



（a）三角形の各頂点W,B,Cから対辺への垂線の長さを1とすれば，点Fから各辺への垂線の長さで，図のようにw,b,cが表せます．



（b）三角形の各辺の長さを1とすれば，点Fを通り各辺に平行な直線が各辺を切取る切片の長さで，図のようにw,b,cが表せます．

図6　刺激量三角形と重心座標（w, b, c）

5　図6では，重心座標の意味をわかりやすく図解するために，三角形を正三角形としましたが，ほんらいは正三角形である必要はありません．平面上の（任意の形状の）三角形を△WBCとし，原点をOとします．この平面上の任意の一点Fに対し，w, b, cを$w + b + c = 1$を満たす適当な実数として，ベクトル表記で

$$\overrightarrow{OF} = w\overrightarrow{OW} + b\overrightarrow{OB} + c\overrightarrow{OC}$$

が成り立つようにできます．点Fと(w, b, c)は1:1に対応しますので，(w, b, c)を点Fの座標とみなすことができます．なお，w, b, cがいずれも正のときは，点Fは重みを(w, b, c)とする△WBCの重心を表わしています．これが，(w, b, c)を“重心座標”と呼ぶ理由です．

6　Ostwaldの著作［2］では，解析的三角形（analytical triangle）と呼んでいます．

7　式（5）は二つの未知数w,cについての三つの1次式が成り立つことを述べていますが，点F(X, Y, Z)と点W(X_W, Y_W, Z_W)と点C(X_C, Y_C, Z_C)は同一平面上にありますので独立な式は二つとなり，未知数の数と合うことになります．

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

(2) 感覚量三角形

色の刺激値成分 w, b, c は，人間の感覚的な量ではありません．たとえば，視感反射率 $Y=50$ (%) の無彩色の白色成分は $w=0.5$ (=50%) となりますが，この無彩色は白み50%の灰色感覚を与えるかというとそうではなく，もっと白みの多い感覚を与えます．[8]

Ostwaldは，刺激量から感覚量を得るのに，“感覚量は刺激量の対数に比例する”というFechnerの法則を用いることを考えました．

[Fechnerの法則]

人間が刺激の変化に気がつくかつかないかは，一般に，刺激の大きさに依存します．たとえば，暗いところでは光量が少し変化しただけでも気がつきますが，明るいところでは光量をある程度変化させないと気がつきません．

心理学者のE.H.Weber［1795-1878］は，刺激の弁別は刺激の変化量そのものによるのではなく，刺激の変化量の刺激量に対する比—Weber比と呼ばれる—によって決まるという法則を見出しました．後に，物理学者のG.T.Fechner［1861-1887］は，この法則をもとに，感覚量の変化はWeber比に比例するとし，“感覚量は刺激量の対数に比例する”という法則を数学的に導きました．この法則は，Fechnerの法則と呼ばれます．この法則はまた，Weberの法則をもとにしているので，Weber-Fechnerの法則と呼ばれることもあります．

いきなり有彩色の場合を考えるのはむずかしいので，まず無彩色の場合について考えてみます．無彩色は，白色成分と黒色成分のみからなり，視感反射率が白色成分に相当します．白色成分 w が与える白み感覚を w' とし，白色成分が非常に小さい値 w_0 (>0) のときの白み感覚を $w'=0$ とすれば，Fechnerの法則から，k (>0) を比例定数として

$$w'=k\log(w/w_0) \qquad (7)$$

が得られます（導出は省略）．logの底はe(≒2.71828でも10でも何でもかまいません．

ところで，式(7)の右辺は，対数関数の性質から，w を0に近づける ($w\to 0$) と発散 ($w'\to-\infty$) してしまいます．これは，刺激があまりに小さすぎると，もはやFechnerの法則は成り立たず，破綻をきたしてしまうことを意味しています．実際の物では，視感反射率が3%以下となることはまれであり，まして1%以下となるような物はめったにありません．そこで，Ostwaldは，実質的な“黒”を与える w の値を w_0 とし，それより小さい刺激は考えないことにしました．すなわち，Fechnerの法則は $w_0\le w\le 1$ の範囲で通用するとしたのです．白色成分が最大値 $w=1$ をとるときの白み感覚を $w'=1$ (=100%)と定めるならば，$k=1/\log(1/w_0)$ となるので，式(7)から白色成分 w と白み感覚 w' の関係式

$$w'=\log(w/w_0)/\log(1/w_0) \qquad (8)$$

が得られます．

黒色成分 b と黒み感覚 b' の関係は，次のようにして得られます．無彩色は有彩成分をもちませんから，白色成分 w と黒色成分 b の和は常に1(=100%) です．また，無彩色は色み感覚を与えませんから，白み感覚 w' と黒み感覚 b' の和も1(=100%) としてよいでしょう．したがって，$w=1-b$ および $w'=1-b'$ が成り立ち，w と w' については式(8)が成り立つので

$$b'=1-\log((1-b)/w_0)/\log(1/w_0) \qquad (9)$$

が得られます．これが，黒色成分 b と黒み感覚 b' の関係式です．w の最小値が w_0 であることから，b のとりうる値は $1-w_0$ 以下に制限されます．

図7に，$w_0=0.03$ (=3%) として，無彩色の刺激量と感覚量の関係を図示します．線分WBの左側の目盛りは等歩度の白色成分を表わし，線分W'B'の右側の目盛りは等歩度の白み感覚を表わしています．線分W'B'には左側にも目盛りがあり，これはWB上の白色成分値が白み感覚としてはどの程度になるかを表わしています．目盛りの左側に添えた数値は，いずれも白色成分値(%)です．この図から，たとえば白色成分20%の無彩刺激は，白み感覚がおよそ0.54(=54%)の灰色を呈することがわかります．

これでやっと有彩色についての刺激量と感覚量の関係が導けるところにきました．以降，簡単のため，白み感覚，黒み感覚，色み感覚を，単に白み，黒み，色

[8] $Y=50$ の灰色色票のMunsell明度は，およそ $V=7.5$ となります．たとえば，第6回[Vol.26, No.2]の図8あるいは図11のグラフから，確認して下さい．

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

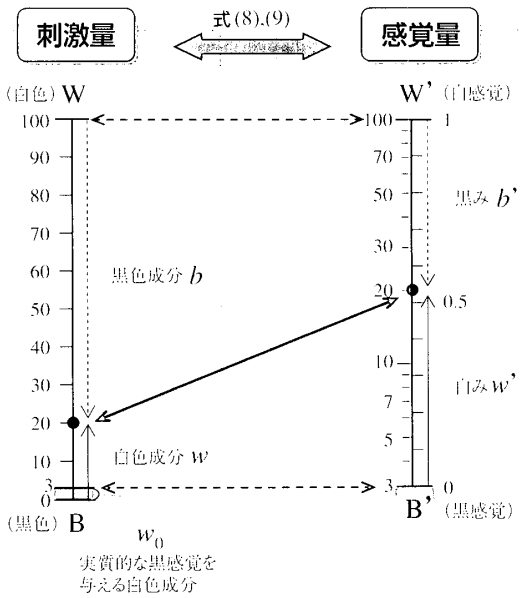


図7　無彩色の刺激量と感覚量の関係

みということにします．

有彩色の色感覚は，色相を固定すれば，白み w' と黒み b' と色み c' で構成されるものと考えられます．したがって，どのような色についても

$$w'+b'+c'=1\,(=100\%) \qquad (10)$$

が成り立つとしてよいでしょう．有彩色の白みと黒みについても式(8)および式(9)が成り立つものとし，式(4)：$w+b+c=1$ が成り立つことを思い起こせば，式(10)から簡単な考察により

$$c'=\log(1+c/w)/\log(1/w_0) \qquad (11)$$

が得られます．c のとりうる値は，b と同様0以上 $1-w_0$ 以下に制限されます．

以上で，色の白色成分，黒色成分，飽和色成分といった“刺激量”（w, b, c）から，白み，黒み，色みといった“感覚量”（w', b', c'）を構成することができました．

式(10)が成り立ちますので，(w', b', c') は一つの三角形 W'B'C' に対する重心座標とみなせます．この三角形を，感覚量三角形と呼ぶことにしましょう[9]．

図8に，刺激量三角形と感覚量三角形の関係を示します．図7と同様に，$w_0=0.03$ としました．どちらの色三角形においても，辺 WC および W'C' の下側の数値は白色成分(%)を，辺 BC および B'C' の上側の数値は黒色成分(%)を表わしています．図8から，たとえば白色成分20%，黒色成分50%（，したがって飽和色成分30%）の有彩刺激は，白みがおよそ0.54，黒みが

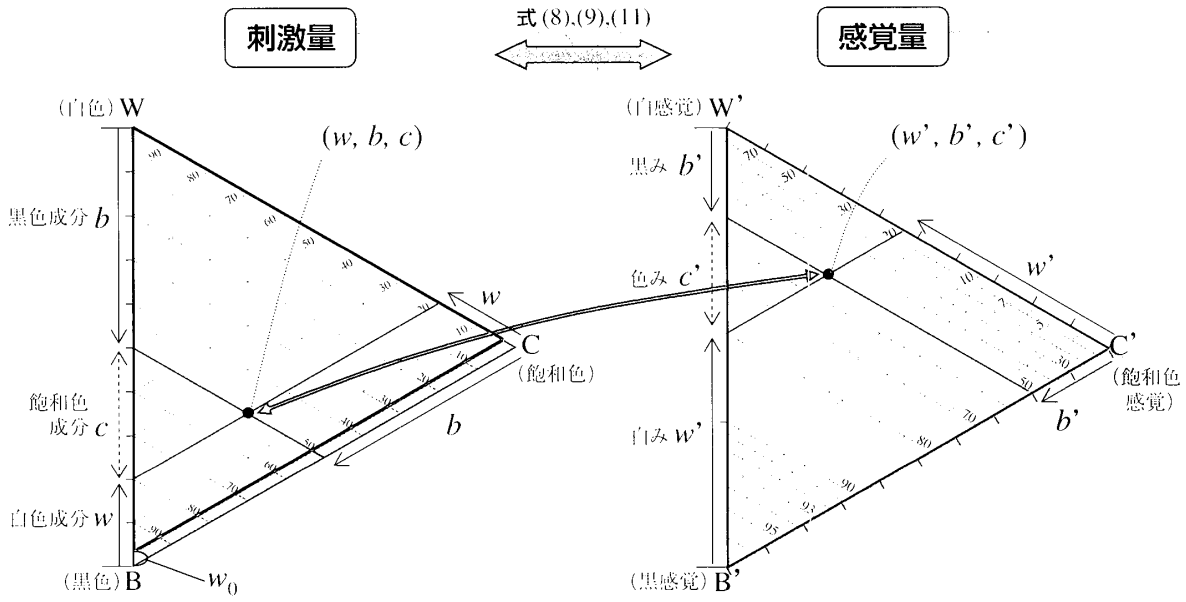


図8　刺激量三角形と感覚量三角形との関係

9　Ostwaldの著作［2］では，対数的三角形（logarithmic triangle）と呼んでいます．

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

刺激量 (w, b, c) と感覚量 (w', b', c') の相互変換アルゴリズム

白色成分の最小値 w_0 をあらかじめ与えておく．

(a) $(w, b, c) \rightarrow (w', b', c')$ 変換

$w_0 \le w \le 1$，$0 \le b \le 1-w_0$，$w+b+c=1$ なる (w, b, c) に対し，

$$w' = \log(w/w_0)/\log(1/w_0),$$
$$b' = 1-\log((1-b)/w_0)/\log(1/w_0),$$
$$c' = \log(1+c/w)/\log(1/w_0)$$
$$(=1-w'-b') \qquad (12)$$

とする．対数の底は任意でよい．じっさいには，計算しやすい e (≒2.71828) や 10 とするのがよい．

(b) $(w', b', c') \rightarrow (w, b, c)$ 変換

$0 \le w' \le 1$，$0 \le b' \le 1$，$w'+b'+c'=1$ なる (w', b', c') に対し，

$$w = w_0^{1-w'},$$
$$b = 1-w_0^{b'},$$
$$c = w_0^{b'} - w_0^{1-w'}$$
$$(=1-w-b) \qquad (13)$$

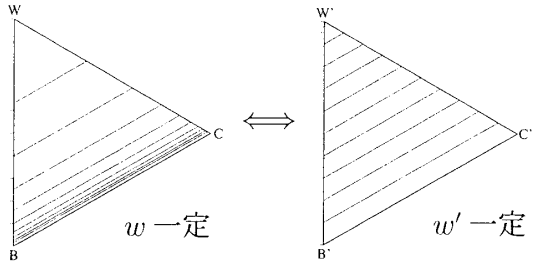
とする．w_0^x の計算は，指数関数を用い $w_0^x = \exp(x \log_e w_0)$ によるのもよい．

およそ 0.2 (，したがって色みがおよそ 0.26) の有彩感覚を与えることがわかります．

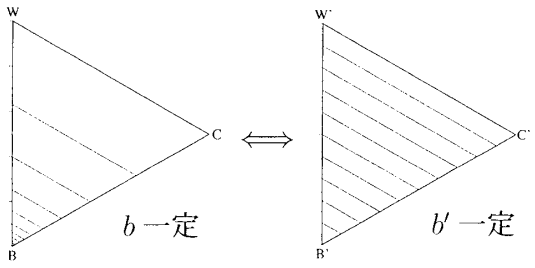
白み一定の色，黒み一定の色，色み一定の色は，それぞれ等白系列 (iso-tint series)，等黒系列 (iso-tone series)，等純系列 (iso-chrome series) と呼ばれ，配色や色彩調和を考える上で重要であるとされています．等純系列は別名，陰影系列 (shadow series) とも呼ばれます．

等白系列，等黒系列，等純系列は，感覚量三角形では，それぞれ辺 B'C'，W'C'，W'B' に平行な直線となります．これらに対応する刺激量三角形上の軌跡はどうなるでしょうか．式 (8) および (9) から，白み w' が一定であれば w が一定，黒み b' が一定であれば b が一定，であることが容易にわかります．したがって刺激量三角形でも，等白系列と等黒系列は，それぞれ辺 BC，WC に平行な直線になります．(このことは，図 8 でも確かめられます．) 色み c が一定の場合は，式 (11) から，c/w が一定となることがわかります．c/w が一定であれば，オストワルト純度 $p_O = c/(w+c)$ も一定となります．したがって等純系列は，刺激量三角形では Ostwald 純度が一定の軌跡，すなわち点 B を中心とする放射状の直線に移ることがわかりました．図 9 に，これらの関係を示します．

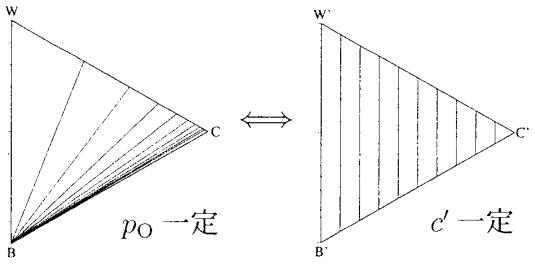
感覚量三角形 W'B'C' で，辺 W'C' 上の色は黒みを含みません．黒みを含まない色 (あるいは黒みのごく少ない色) は，明清色 (light clear color, 明澄色) と呼ばれます．白みを含まない辺 B'C' 上の色 (あるいは辺 B'C' に近い白みのごく少ない色) は，暗清色 (dark clear color, 暗澄色) と呼ばれます．これらの清色 (clear color) と 無彩色 (辺 B'W' 上, neutral color) に囲まれた濁った色は，濁色 (broken color, 破色) と呼ばれます (図 10)．



(a) 白み一定 (等白系列)



(b) 黒み一定 (等黒系列)



(c) 色み一定 (等純系列)

図 9　等歩度の感覚量に対する感覚量一定の軌跡 (左：刺激量三角形，右：感覚量三角形)

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

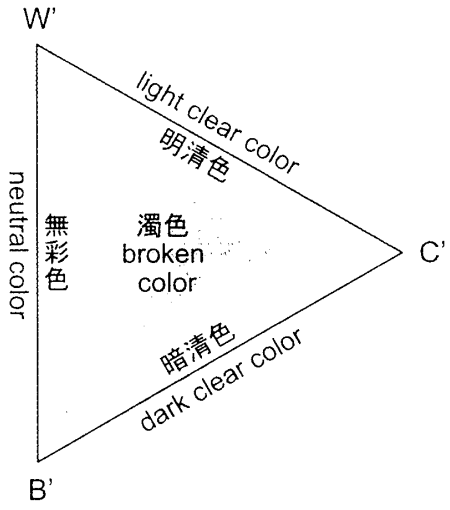


図10　清色と濁色

(3) 色調の記号表記

感覚量（w', b', c'）は，色の明暗，濃淡，清濁など，色相を問わずに色の調子を表わす量です．この量を“色調”と呼ぶことにします．白みw'，黒みb'，色みc'は連続量ですから，色調はほんらい無限に存在するのですが，近い色調どうしは一つの色調で代表し，有限個とした方が使いやすいでしょう．Ostwaldは次のようにして，有限個の色調をアルファベットで表わすことにしました．

白色成分の最小値（白み感覚0を与える）として，$w_0 = 0.01$（＝1%）を採用します．この値は，実際に得られるもっとも黒らしい黒の白色成分値（視感反射率）に相当しています．表2左欄に示すように，白み感覚の0～1の間を20等分し，各区間の代表値（区間両端の平均値）をアルファベットのaからuで表わします（jは使いません）．この白みの代表値を表わすアルファベットを，白み記号と呼ぶことにしましょう．表2右欄は，左欄の白みに対応する白色成分の値です．白色成分の値は，わかりやすさのため，小数ではなくパーセントで表記しました．白みの代表値に対応する白色成分値は，区間両端の白色成分値の幾何平均となります．

同様にして，表3左欄に示すように，黒み感覚の0～1の間を20等分して，各区間の代表値をやはりアルファベットのaからuまでで表わします．黒みの代表値を表わすアルファベットを，黒み記号と呼ぶことにします．表3右欄には，左欄の黒みに対応する黒色成分の値（%）を示しました．

これで，まずは，感覚的に等歩度な白みや黒みの代表値を有限個のアルファベットで表わすことがで

表2　白みの記号表記と対応する白色成分の値

白み w' 区分点	代表値	記号	白色成分 w(%) 代表値	区分点
1.00				100.00
	> 0.975	a	89.13 <	
0.95				79.43
	> 0.925	b	70.79 <	
0.90				63.10
	> 0.875	c	56.23 <	
0.85				50.12
	> 0.825	d	44.67 <	
0.80				39.81
	> 0.775	e	35.48 <	
0.75				31.62
	> 0.725	f	28.18 <	
0.70				25.12
	> 0.675	g	22.39 <	
0.65				19.95
	> 0.625	h	17.78 <	
0.60				15.85
	> 0.575	i	14.13 <	
0.55				12.59
	> 0.525	k	11.22 <	
0.50				10.00
	> 0.475	l	8.91 <	
0.45				7.94
	> 0.425	m	7.08 <	
0.40				6.31
	> 0.375	n	5.62 <	
0.35				5.01
	> 0.325	o	4.47 <	
0.30				3.98
	> 0.275	p	3.55 <	
0.25				3.16
	> 0.225	q	2.82 <	
0.20				2.51
	> 0.175	r	2.24 <	
0.15				2.00
	> 0.125	s	1.78 <	
0.10				1.58
	> 0.075	t	1.41 <	
0.05				1.26
	> 0.025	u	1.12 <	
0.00				1.00

表3　黒みの記号表記と対応する黒色成分の値

黒み b' 区分点	代表値	記号	黒色成分 b(%) 代表値	区分点
0.00				0
	> 0.025	a	10.87 <	
0.05				20.57
	> 0.075	b	29.21 <	
0.10				36.90
	> 0.125	c	43.77 <	
0.15				49.88
	> 0.175	d	55.33 <	
0.20				60.19
	> 0.225	e	64.52 <	
0.25				68.38
	> 0.275	f	71.82 <	
0.30				74.88
	> 0.325	g	77.61 <	
0.35				80.05
	> 0.375	h	82.22 <	
0.40				84.15
	> 0.425	i	85.87 <	
0.45				87.41
	> 0.475	k	88.78 <	
0.50				90.00
	> 0.525	l	91.09 <	
0.55				92.06
	> 0.575	m	92.92 <	
0.60				93.69
	> 0.625	n	94.38 <	
0.65				94.99
	> 0.675	o	95.53 <	
0.70				96.02
	> 0.725	p	96.45 <	
0.75				96.84
	> 0.775	q	97.18 <	
0.80				97.49
	> 0.825	r	97.76 <	
0.85				98.00
	> 0.875	s	98.22 <	
0.90				98.42
	> 0.925	t	98.59 <	
0.95				98.74
	> 0.975	u	98.88 <	
1.00				99.00

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

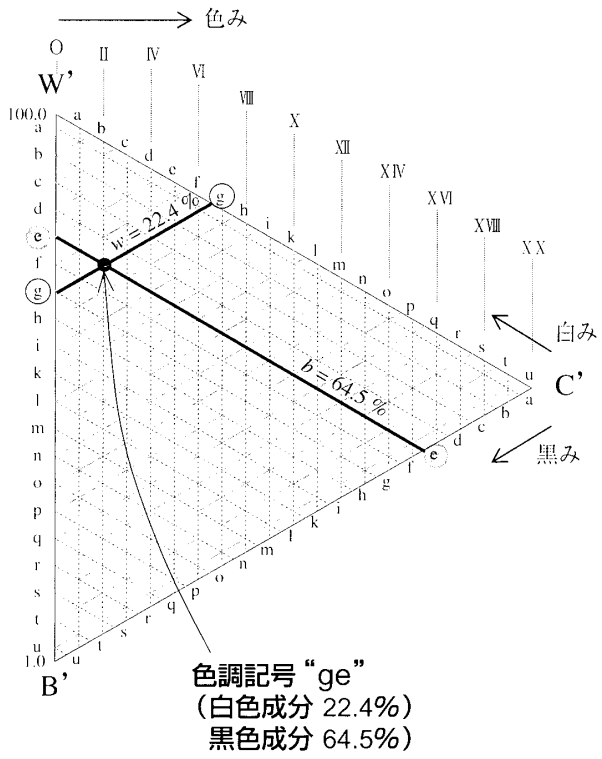


図 11　感覚量三角形と色調の記号表記

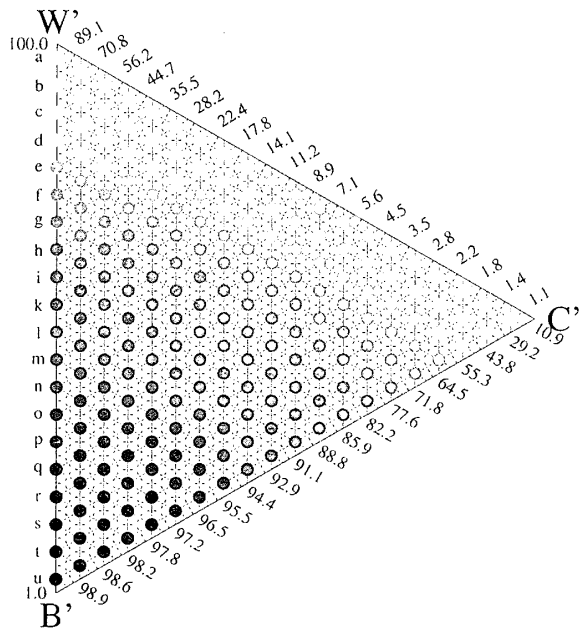


図 12　210 色調版の代表色調（$w_0 = 0.01$．辺 W'C' および B'C' 上の数値はそれぞれ白色成分および黒色成分の値）

きました．また，白みや黒みの代表値の，白色成分値や黒色成分値を知ることができました．同じアルファベットが，白みと黒み（あるいは白色成分と黒色成分）では，違う値を表わすことに注意します．

この白み記号および黒み記号を組み合わせると，それぞれの代表値で指定された代表色調を表わすことができます．図 11 に示すように，たとえば白み記号 g と黒み記号 e を組み合わせた "ge" は，白色成分 22.4%，黒色成分 64.5%（，したがって飽和色成分 13.1%）の代表色調を表わします．代表色調を表わす白み記号と黒み記号の組を "色調記号" と呼ぶことにします．先頭の文字が白みを，2 番目の文字が黒みを表わします．

代表色調の色みは，無彩色を O，有彩色は無彩軸の近いほうから I, II, III, ・・・ のように，ローマ数字で表記します．たとえば，代表色調 ge の色みは II ということになります．

与えられた任意の色調は，それにもっとも近い代表色調の色調記号で表わすことにします．これが，Ostwald による色調の記号表記です．

このようにして表わせる色調の数は，図 11 を参照していただくとわかりますが，

〔色調記号の割り当てアルゴリズム〕

i) 刺激量 (w, b, c) から 感覚量 (w', b', c') を計算する．

ii) 白み記号 α に対応する白みの代表値を w'_α，黒み記号 β に対応する黒みの代表値を b'_β とし，$c'_{\alpha\beta} = 1 - w'_\alpha - b'_\beta$ とおくとき，

$$d_{\alpha\beta} = |w' - w'_\alpha| + |b' - b'_\beta| + |c' - c'_{\alpha\beta}|$$

が最小となる (α, β) を選び，色調記号を $\alpha\beta$ とする．

無彩色では

aa から uu まで 20 種，

有彩色では，等白系列で考えると

白み b の列：ba の 1 種，

白み c の列：ca, cb の 2 種，

・
・
・

白み u の列　：ua, ub, ・・・, ut の 19 種，

合計　　：1 + 2 + ・・・ + 19 = 190 種

あることになります（全 210 色調）．色相の数を 24 に限れば，表わせる色数は

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

$190 \times 24 + 20 = 4580$色

となります．これだけの数の色が表わせれば，（白色成分や黒色成分が負となる色は表現できない欠点はありますが，）ふつうの色表記には充分といえましょう．ここでは，この表記法を210色調版と呼ぶことにします（図12）．

Ostwaldの色表記では，有彩色は，色相番号（小数は四捨五入）につづけて色調を記号を書いて表わします．たとえば，色調が色相番号7の赤で，色調がgeの色は，“7ge”のように書きます．無彩色は，色相がありませんので，色調記号だけでaa, bb, ・・・, uuのように表わします．これらはそれぞれa, b, ・・・, uのように1文字で表してもよいことになっています．

Ostwaldは，ふだんの色表記に用いるのならもっと少ない色数でよいと考え，代表色調の数を減らすことを考えました．無彩色では白色成分が3%以下のものは非常に少ないことを考慮し，記号aからpまでの部分を採用し，q以下の部分を切り捨てることにしました．これは，白み感覚0を与える白色成分の値w_0を，あらためてpとqの境目の値 $w_0 = 0.0316$（表2より）とし，白み感覚 0～1を15等分することに相当します．[10] これで色調の数を120に減らせました（120色調版）．

これでも多い場合は，さらに色調の数を減らすために，1つおきの記号a, c, e, g, i, l, n, pの8種を用いて代表色調を表わすと，色調の数は

無彩色：8種，

有彩色：1＋2＋・・・＋7＝28種．

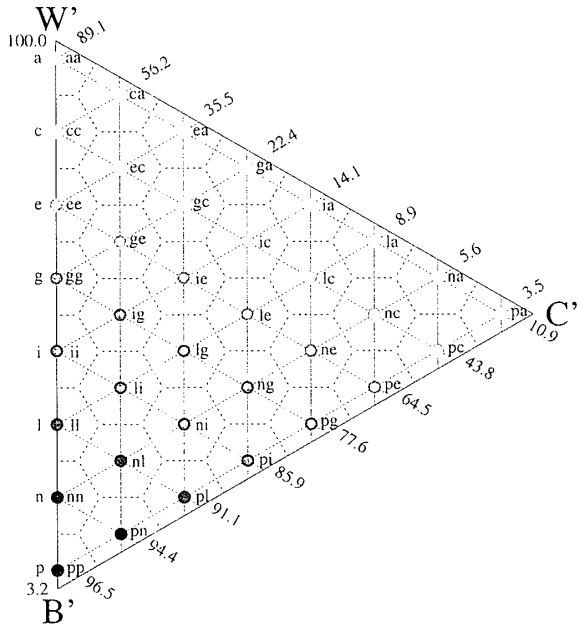


図13　36色調版の代表色調（$w_0 = 0.0316$．辺W'C'およびB'C'に添えた数値はそれぞれ白色成分および黒色成分の値）

となります（全36色調）．色相を24色相とすれば，表わせる色数は

$28 \times 24 + 8 = 680$色

です．これが，もっとも簡略な表記法の“36色調版”です．図13に，36色調版の色調記号と代表色調の位置を示しました．図中の六角形網は，各代表色調で表わされる色調の範囲（勢力圏）を示しています．[11]

36色調版で表記できる色数680色は，第9回“色名による色表記”でとりあげたISCC-NBSの267色，

表4　6つの色のXYZ三刺激値，主波長，Ostwaldの色相，純度，刺激量，および色表記

色名	XYZ三刺激値 X	Y	Z	主波長 λ_d	色相 h	刺激量 (%) w	b	c	純度 p_O	Ostwald色表記 210色調版[1]	36色調版[2]
赤	21.95	11.70	4.63	624.2	7.1	-2.9	65.3	37.6	1.08	7 -d	7 -c
黄	55.03	57.62	4.46	576.3	1.8	3.2	30.2	66.6	0.95	2 pb	2 pa
緑	5.46	11.70	8.66	509.0	21.2	1.5	82.1	16.5	0.92	21 th	21 -g
青	8.78	11.70	29.42	483.1	16.2	3.6	75.2	21.3	0.86	16 pg	16 pg
紫	16.74	11.70	31.04	561.1c	11.3	8.8	72.5	18.7	0.68	11 lf	11 lg
灰	18.90	19.27	22.77	—	—	19.3	80.7	0.0	0.00	hh	gg

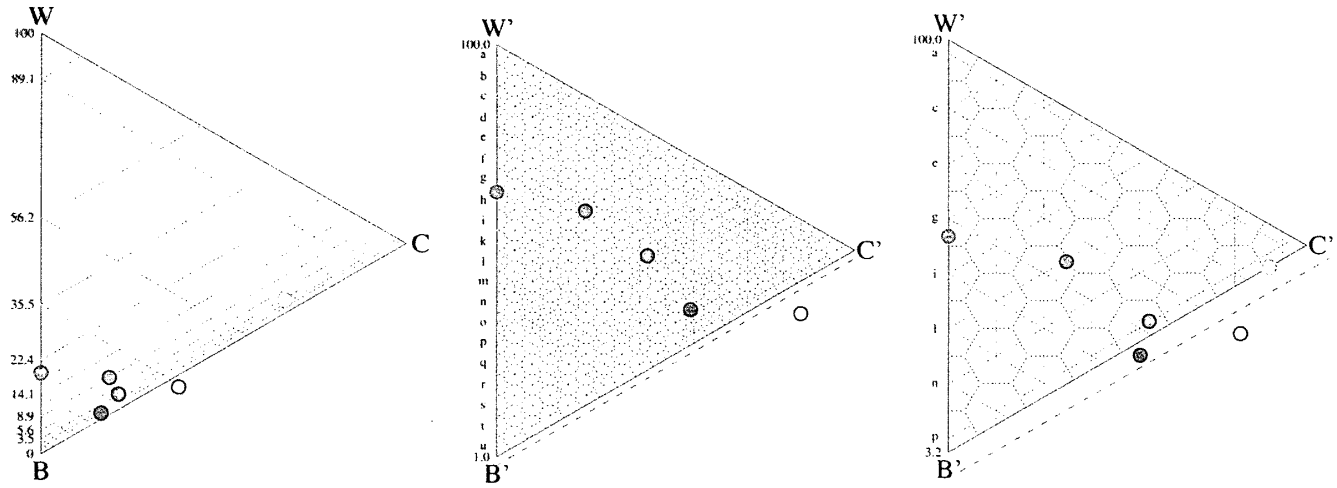
[1] $w_0 = 0.01$,　[2] $w_0 = 0.0316$.

[10] $w_0 = 0.01$の場合と$w_0 = 0.0316$の場合では，同じ(w,b,c)に対し(w',b',c')の値が異なります．ただし，同じ白み記号や黒み記号に対するwやbの値は変わりません．たとえば，白み記号aの白色成分値はどちらの場合も89.1%です．

[11] Ostwald表色系に準拠して作られた色票集カラーハーモニーマニュアル[4]のカラーチップは，奇しくも6角形をしていますが，興味深いことです．

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan



(a) 刺激量三角形

(b) 感覚量三角形
(210色調版，$w_0 = 0.01$)

(c) 感覚量三角形
(36色調版，$w_0 = 0.0316$)

図14　色三角形上の6色

JISの小分類における350色，PCCSの201色に比べ多めですが，Ostwaldは，ふつうにはこの色調表記を薦めたようです．

表4に，例として前回用いた6つのMunsell色票（Vol.27, No.3, p.188, 表1）に対する，XYZ三刺激値，主波長，Ostwaldの色相，刺激量，純度，およびOstwaldの色表記を挙げます．表中のOstwald色表記の色調記号に“-”印がありますが，これは感覚量三角形では表現できない白みを表わしています．wの値がw_0未満となることから確認して下さい．（表現できない黒みがあれば，それも“-”で表わすことにします．）このように，表現できない色が存在すること，とくに負または0の白色成分をもつ色が表現できないことがOstwaldの表色系の大きな欠点とされていますが，これは刺激量と感覚量との変換に，Fechnerの法則にもとづく対数関数を使ったことに起因しています．

図14に，表4の6色を刺激量三角形と感覚量三角形にプロットした図を示します．

なお，表現範囲を超えた色は，そのままでは感覚量三角形にプロットできないのですが，ここでは情報を失いたくありませんので，感覚量への変換を少し修正することによって，[12] 三角形の外側の位置にプロットしました．感覚量三角形の辺B'C'下の破線は，$w = 0$の位置を表わしています．

1.3 色立体

感覚量三角形を無彩色軸（B'W'軸）のまわりに各色相ごとに配すると，NCSの色立体と同じ二重円錐形の，Ostwald色立体が構成されます（図15）．[13]

色立体内の一点は，色相hと色調（w', b', c'）で指定される色感覚を表わすことになります．ただし，色調は数値で表わすよりも，アルファベット2文字で表わすほうがなじみやすいので，色立体内の位置は，色相番号と色調記号で指定されることがほとんどです．なお，前節で述べたことから，Ostwaldの色立体で

---

[12] kを適当な定数として，

$$w' = \begin{cases} \log(w/w_0)/\log(1/w_0), & w \geq w_0, \\ k(w - w_0), & w < w_0, \end{cases}$$

$$b' = \begin{cases} 1 - \log((1-b)/w_0)/\log(1/w_0), & b < 1, \\ 1 - k((1-b) - w_0), & b \geq 1, \end{cases}$$

とし，c'は$c' = 1 - b' - w'$で計算します．こうすれば，$w' < 0$や$b' > 1$の範囲まで$w' + b' + c' = 1$が成り立つので，感覚量三角形に感覚量(w', b', c')をプロットすることができます．（本稿の計算では，$k = 2$としています．）

[13] 三角形を刺激量三角形とすれば，刺激量の色立体も作ることはできますが，3次元空間の立体としての意味することが少ないので，ふつうは感覚量の色立体だけを考えます．

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

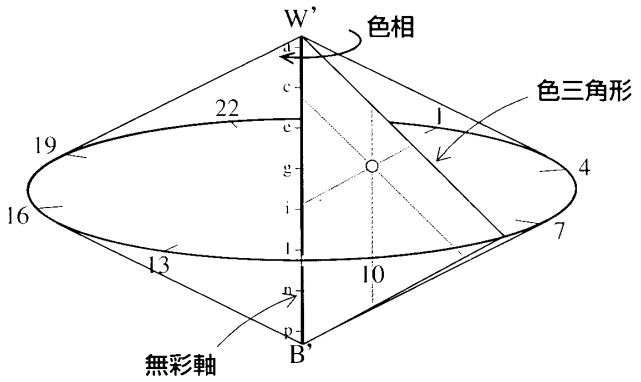
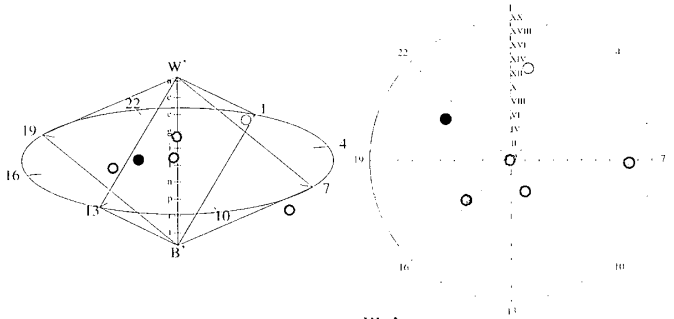
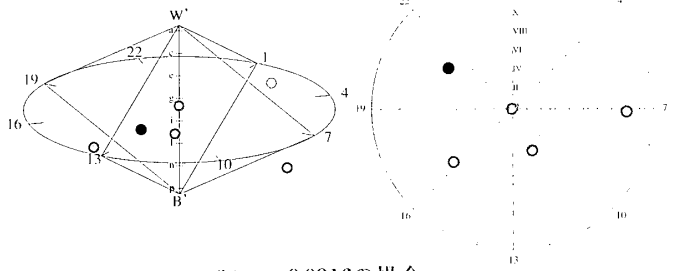


図 15　Ostwald の色立体



(a) w_0=0.01の場合



(b) w_0=0.0316の場合

図 16　色立体と色円

は表わせない色が存在することになりますが，以降では，感覚量への修正された変換を用い，すべての色を表現できるようにしておきます．

Ostwald の色立体を無彩軸の方向から眺めると，色円（color circle）が見えます．色円は，半径方向が色み，円周方向が色相を表わしています．

Ostwald の色空間は，3次元の色立体以外に，2次元の色円と色三角形を組み合わせて表現されることもあります．図 16 は，表 4 に示した 6 色の，色立体および色円における位置を示したものです．

XYZ 三刺激値と Ostwald 表色値との変換アルゴリズム

(a) *XYZ* → Ostwald 表色値変換

i) 入力値 (X, Y, Z) から (Y, x, y) を求める．

ii) 波長に対するスペクトル色度座標の表（たとえば JIS Z 8701 参考付表 1）を用いて，色度座標 (x, y) の主波長（ないし補色主波長）λ を求める．

iii) 飽和色の主波長と三刺激値の対応表（前回，Vol.27, No.3, p.194 の表 3）を引いて，主波長 λ に対する飽和色の三刺激値 (X_C, Y_C, Z_C) を求める．（ちょうど λ に対する波長が表中になければ，λ をはさむ二つの波長を求め，それぞれ対応する三刺激値を補間して (X_C, Y_C, Z_C) を求める．）

iv) 式 (6) により w, c を求める．$b = 1 - w - c$ とする．

v) 式 (12) により，w', b', c' を求める．

vi) (w', b', c') に最も近い代表色調の白み記号 α および黒み記号 β を求める．

vii) 色相番号と主波長の対応表から，主波長 λ に対応する色相 h を求める．（ちょうど λ に対する波長が表中になければ，λ をはさむ二つの波長を求め，それぞれ対応する色相を補間して h を求める．）

viii) 色相 h と色調記号 $\alpha\beta$ を出力する．

(b) Ostwald 表色値 → *XYZ* 変換

i) 色相 h と色調記号 $\alpha\beta$（白み記号 α，黒み記号 β）を入力する．

ii) 色相と主波長の対応表を引いて，色相 h に対応する主波長 λ を求める．

iii) λ に対する飽和色の三刺激値 (X_C, Y_C, Z_C) を，対応表（前回，Vol.27, No.3, p.194 の表 3）から求める．

iv) 表 2 および表 3 から，白み記号 α および黒み記号 β それぞれが表わす，白色成分の代表値および黒色成分の代表値を求め (w, b) とする．$c = 1 - w - b$ とする．

v) 式 (5) により *XYZ* を求め，出力する．

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

2 Ostwald表色系の色票集

与えられた色の刺激量（w, b, c）は，平均混色によってその色を再現するときの白色・黒色・飽和色の混色比率と考えることができます．ところで，現実の色材では，白色成分100%の理想の白，黒色成分100%の理想の黒，あるいは飽和色成分100%の理想の飽和色は，作ることができません．そこで，実用色票では，色調がaaの“現実の白”（$w = 89.13\%$, $b = 10.87\%$），色調がppの“現実の黒”（$w = 3.55\%$, $b = 96.45\%$），および色調がpaの“現実の飽和色”（$w = 3.55\%$, $b = 10.87\%$）を平均混色することによって，先に定めた代表色調の色を再現することを考えました．このときの混色比率をあらかじめ計算しておけば，たとえばMaxwellの回転混色器を使って，望みの色を再現することができます．また逆に，ある色をMaxwellの回転混色器を使って等色したときに，その混色比率から色調を知ることができます．

現実の白および現実の黒の白色成分の値を，それぞれw_2（たとえば89.13%）およびw_1（たとえば3.55%）とすれば，現実の白と黒と飽和色の混色比率（w_r, b_r, c_r）は，理想の白と黒と飽和色の混色比率（w, b, c）から

$$w_r = \frac{w - w_1}{w_2 - w_1},$$
$$b_r = \frac{b - (1 - w_2)}{w_2 - w_1}, \qquad (14)$$
$$c_r = \frac{c}{w_2 - w_1}$$

によって計算できます．

表5に，36色調版の代表色調における（w, b, c），および$w_1 = 0.0355$, $w_2 = 0.8913$として式(15)から計算した（w_r, b_r, c_r）の値を示します（数値はいずれも%で表わしてあります）．この表から，たとえば色調ieは，現実の白と黒と飽和色を12.4%, 62.7%, 25.0%の比で平均混色すれば作れることがわかります．

なお，このように白色成分の上限w_2と下限w_1が決まっている場合は，表現できる色の範囲はさらに狭まり，白色成分が$w_1 \le w \le w_2$, 黒色成分が$1 - w_2 \le b \le 1 - w_1$の範囲の色しか表わせないことになります．

Ostwaldの考え方にそって，いくつも実用色票集が作られました．カラーハーモニーマニュアル［4］も，著名なその一つです．ただし，多くの色票集において，色票の実際の色は，理論で定められる色とはかなり違っているようです［3, 4, など］．

表5　理想および現実の白色・黒色・飽和色混色比

色調記号	理想の混色比 (%)			現実の混色比 (%)		
	w	b	c	w_r	b_r	c_r
aa	89.1	10.9	0.0	100.0	0.0	0.0
ca	56.2	10.9	32.9	61.6	0.0	38.4
ea	35.5	10.9	53.6	37.3	0.0	62.7
ga	22.4	10.9	66.7	22.0	0.0	78.0
ia	14.1	10.9	75.0	12.4	0.0	87.6
la	8.9	10.9	80.2	6.3	0.0	93.7
na	5.6	10.9	83.5	2.4	0.0	97.6
pa	3.5	10.9	85.6	0.0	0.0	100.0
cc	56.2	43.8	0.0	61.6	38.4	0.0
ec	35.5	43.8	20.8	37.3	38.4	24.2
gc	22.4	43.8	33.8	22.0	38.4	39.6
ic	14.1	43.8	42.1	12.4	38.4	49.2
lc	8.9	43.8	47.3	6.3	38.4	55.3
nc	5.6	43.8	50.6	2.4	38.4	59.1
pc	3.5	43.8	52.7	0.0	38.4	61.6
ee	35.5	64.5	0.0	37.3	62.7	0.0
ge	22.4	64.5	13.1	22.0	62.7	15.3
ie	14.1	64.5	21.4	12.4	62.7	25.0
le	8.9	64.5	26.6	6.3	62.7	31.0
ne	5.6	64.5	29.9	2.4	62.7	34.9
pe	3.5	64.5	31.9	0.0	62.7	37.3
gg	22.4	77.6	0.0	22.0	78.0	0.0
ig	14.1	77.6	8.3	12.4	78.0	9.7
lg	8.9	77.6	13.5	6.3	78.0	15.7
ng	5.6	77.6	16.8	2.4	78.0	19.6
pg	3.5	77.6	18.8	0.0	78.0	22.0
ii	14.1	85.9	0.0	12.4	87.6	0.0
li	8.9	85.9	5.2	6.3	87.6	6.1
ni	5.6	85.9	8.5	2.4	87.6	9.9
pi	3.5	85.9	10.6	0.0	87.6	12.4
ll	8.9	91.1	0.0	6.3	93.7	0.0
nl	5.6	91.1	3.3	2.4	93.7	3.8
pl	3.5	91.1	5.4	0.0	93.7	6.3
nn	5.6	94.4	0.0	2.4	97.6	0.0
pn	3.5	94.4	2.1	0.0	97.6	2.4
pp	3.5	96.5	0.0	0.0	100.0	0.0

3 Ostwald色空間における色分布の例

Ostwald色空間の特徴を視覚的に把握するために，まず，Munsell表色系の基本5色相（Y, R, P, B, G）の色票の色を，Ostwald色空間（$w_0 = 0.01$）へプロットしてみます（図17）．色円の図から，R,Y,P,B,Gの各色相がほぼOstwaldの色相番号1, 7, 11, 16, 21に対応していることがわかります．色三角形からは，白色成分が3%以下（白みの記号g, r, s, …）の色もかなりあること，さらには白色成分が負のものもあることがわかります．

つぎに，NCSの基本4色相（Y,R,B,G）の色票の色を，同様にOstwald色空間（$w_0 = 0.01$）へプロットします（図18）．やはり色円から，NCSの色相R,B,Gはそれぞれ Ostwaldの色相番号7, 15, 21にほぼ対応してい

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

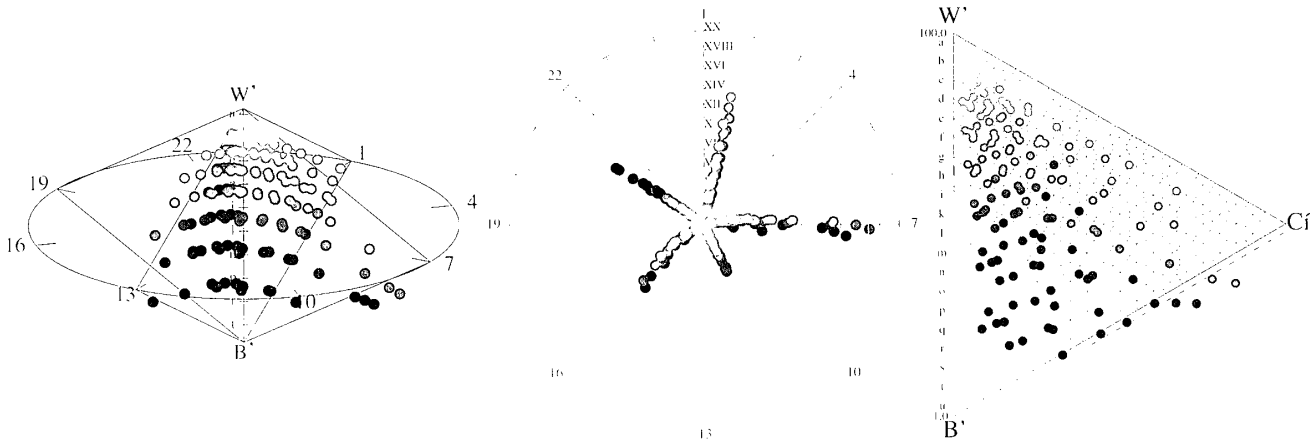


図 17　Ostwald 色空間（$w_0 = 0.01$）における，Munsel 基本 5 色相の色分布

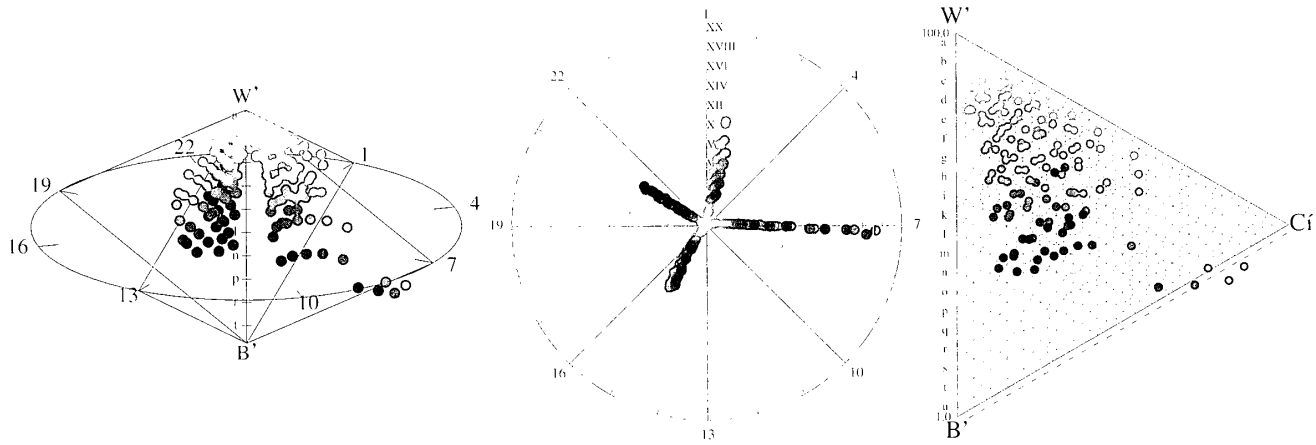


図 18　Ostwald 色空間（$w_0 = 0.01$）における，NCS 基本 4 色相の色分布

ることがわかります．Y は，色相番号 2 より若干 1 に近い方向になっています．色三角形からは，NCS の色票の白色成分はほとんど 3% 以上あり（白みが a ～ p の範囲のものがほとんどであり），それを下まわる色は（Munsell 色票よりも）少ないことがわかります．

少し古いものですが，和田三造による色名総鑑（博美社，初版 1931）[5] という 171 色の日本の伝統色からなる色票集があります．（この色票集については，本誌 Vol.24, No.4, pp.244 ～ に児玉晃氏が書かれた PCCS 誕生のいきさつの中に，その位置づけが記されています．）顔料で彩色された色片ごとに，色名が日本語（ひらがな，漢字），英語，中国語で記され，さらに Ostwald 表色値（120 色調版）が付されています．この Ostwald 表色値は，解説書によると，Maxwell の回転円板混色器を用いて測色されたものであり，基準とした白，黒，および黄，橙，赤，青，緑の混色比率が表の形で記載されています．（紫は基準の色とするには不安定であり，青と赤の混色のほうが良好な結果を得たそうです．）

色名総鑑に記載されている Ostwald の表色値を，Ostwald 色空間にプロットしてみます（図 19 (a)）．また，色票を測色して得た XYZ 三刺激値から Ostwald の表色値に変換した値を，Ostwald 色空間にプロットしてみます（図 19 (b)）．記載値は色調記号 a から p までで表わされていますので，$w_0 = 0.0316$ としました．当然のことながら，記載値は色三角形上に規則正しく並んでいます．

これに対し測色値は，色円でみると，とくに赤以外の色相で色みが少ないことや，色三角形からは，やはり白色成分が 3% 以下ものが存在すること，さらには白色成分が負となるものも存在すること，がわかります．

＊ ＊ ＊

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

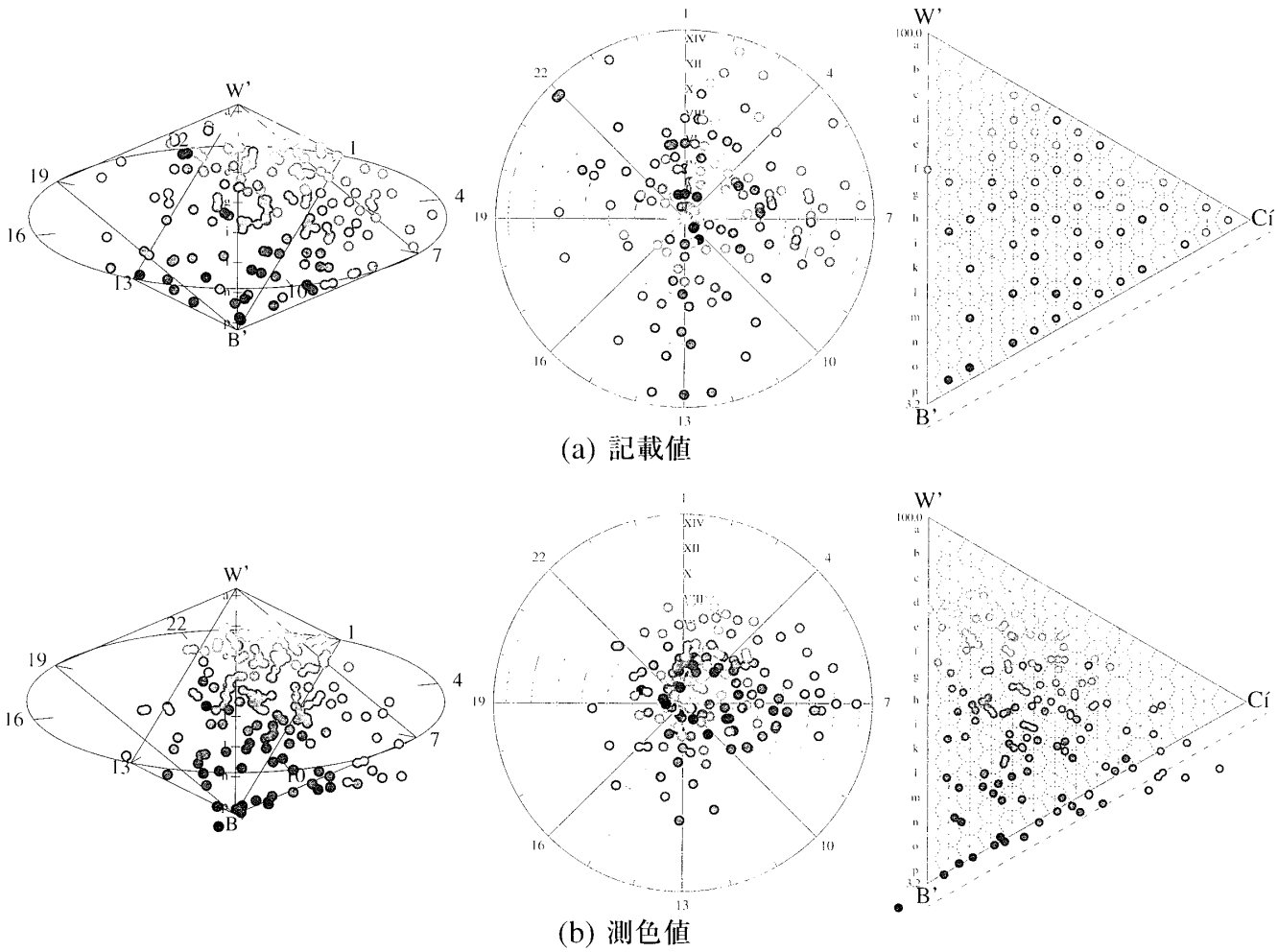


図19　Ostwald色空間（$w_0 = 0.0316$）における，和田三造：色名総監色票の色分布

紙幅も尽きましたので，このへんで筆を置くことにします．2年半を超える長きにわたり，紙面を割かせていただきましたことを，深く感謝します．現在実用されている表色系を使う立場から整理して解説せよ，とのご下命により執筆を始めましたが，書き進むうちに，当初簡単に考えていたことが，じつはたいへん深い内容をもち，私の手に負えないのではないかと危惧いたしました．毎回，可能なかぎり原典に当り，表色系開発者の考え方にそって，数値や図表をあらたに作成しました．こうすることによって，筆者自身がずいぶんと勉強させていただきました．ただし筆力不足で，思考や事実が読者によく伝わらなかったのではないか，と心配です．書き足りないことも，たとえば，10度視野の観測者，色のみえモデル，OSA-UCSなどたくさんあります．また，重要なことを書き残していないか，恐れます．

表色系の意味，成り立ち，相互の関連などを，できるだけ論理的に，あいまいなく記述すること，さらに表色値の計算を行うときに必要な情報を正しく過不足なく提供すること，数学的に首尾一貫しているが，高等な数学を使わずとも理解できるようにすること，表や図版などはすべてコンピュータを用いて，正しく計算し見やすく作図すること，色刷り図版の色再現はできるだけ正確に行うことなど，心がけたことは盛り沢山ですが，結果はご覧のとおりです．読者諸賢の叱責をお待ちします．

補遺

原稿を書き終えてから，J. Scott Taylorによる Ostwald Color Album [7] という色票集を手にする機会にめぐまれました．この色票集には出版年が記されていませんが，Ostwaldの著作リスト [6] によれば，1932年出版と推察され，しかもFossの論文 [3] によれば，この色票集は表1にとりあげた色票（Ostwald

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

Lab.,1935)と同じ印刷によるものと思われます.

色票を測色し,Ostwald色空間にプロットしたものを,図20に示します.色票の実際の色は,経年変化もあるとは思いますが,理論的に定められる色とはやはりかなり違っていることがわかります.

謝辞

執筆にあたり,たいへん多くの方にお世話になりました.とくに,今回のOstwald表色系に関しては,文化女子大学の北畠耀先生は,Ostwaldの表色系に関する貴重な邦書[1]を入手してくださいました.夙川学院短期大学の緒方康二先生は,Ostwaldの原著およびその英訳[2],OSA誌におけるOstwald特集の記事,Fossの論文[3]など,多くの文献を教えてくださいました.カラープランニングセンターの永田泰弘先生は,カラーハーモニーマニュアル[4]および和田三造氏の色票集[5]を利用させてくださいました.慶応義塾大学の前田富士男先生は,色彩学研究に関するOstwaldの著作リスト[6]をくださいました.文星芸術大学の小町谷朝生先生は,Ostwald Color Albumの測色を許してくださいました.深く感謝いたします.

執筆全般を通じて,電気通信大学色彩情報学研究室研究員の吉識香代子さんには,表色値変換プログラムの作成,データのチェック,図表の作成など技術面だけでなく,論理のチェック,文章の推敲なども含め,たいへんお世話になりました.国立歴史民俗博物館の鈴木卓治さんには,色再現に関する文献や規格を教えていただきました.元電気通信大学大学院生の小川佳美,高橋良両君には,本解説中の色空間図版作成や表色値変換に用いたソフトウェア"Colorcel"の開発に,骨身を惜しまず協力していただきました.深く感謝いたします.

最後になりましたが,本解説の機会を与えてくださいました学会誌編集委員の皆様,および遅筆の私をただただ暖かく見守ってくださった永田泰弘編集委員長と八木橋利昭事務局長に,深く感謝いたします.

参考文献

[1] 佐藤昌二:(オストワルド)色彩学通論,成武堂,S17(1942).

[2] W.Ostwald(J. Scott Taylor 訳):Color Science, Part I, Winsor & Newton, 1931.
[W.Ostwald : Farbkunde, Leipzig, 1923の公式英訳書.]

[3] C.E.Foss : Analysis of the Ostwald Color System, JOSA, Vol.34, No.7, pp.361-381(1944).

[4] Color Harmony Manual , Container Corporation of America, 1948.

[5] 和田三造(編):色名総鑑(増訂版),博美社,1935.

[6] I. Brückner and K. Hansel : Wilhelm Ostwald-Bibliographie zur Farbenlehre, Mitteilungen,Sonderheft 7, Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft zu Großbothen e.V., 1999.

[7] J. Scott Tayor : Ostwald Color Album, Winsor & Newton.

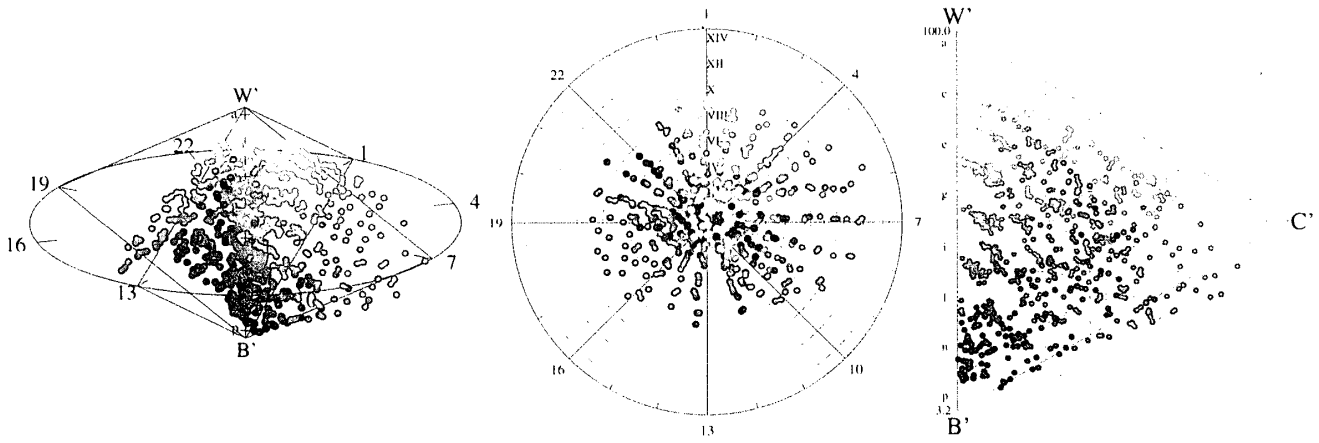


図20　Ostwald色空間($w_0 = 0.0316$)における,Ostwald Color Album(1932)の測色データの分布

NII-Electronic Library Service