表 色

吉 田 豊 彦*

4. アイデアルカラー・オプティマルカラー

表面色の分光反射率分布は、単純な形をしたものではないが、これを箱型の分布で近似することができる。ある波長帯域では分光反射率が 1、その他では 0 という形である。これをアイデアルカラーという(図-1)。そしてこのアイデアルカラーは、その色度の色としては、最も明るい色である。そこで、このような色を最明色(オプティマルカラー)という。箱の波長の上限, 下限を変えないで、反射率を下げれば、色度は変わらないで明度が下がる。

箱の幅がせまくなれば、それだけ純度の高い色になるが、それだけ Y 値は下がる。すなわち明度は低くなる。箱の幅が広くなれば、当然、純度は下がるが明度は高くすることができる。あたりまえのことであるが、白と同じ明度をもち、しかも純度の高い色はあり得ないことがわかるであろう。

5. マンセル表示系

顕色系としては日本で最も広く用いられている表色系である。JIS Z 8721 三属性による色の表示方法がこれである。後述の修正したマンセル系と、まだ完全に修正系になっていない「Book of Color」の色票が併用されていた頃は、修正マンセル系と特に記していたが、現在では「修正」は外され、上記の JIS に採用されている体系に一本化されている。

マンセル表色系とは、創案者 Albert Munsell (1858~1918) の名をとって名づけられたもので、色を

色相 H, 明度 V, 彩度 C
の 3 つの属性で表わす。

マンセル表色系は非常に広く用いられているから、蛇足のようなではあるが、話の順序として H, V, C について記そう。

5.1 色相, Hue

色相とは JIS Z 8105 によれば、「赤, 黄, 緑, 青, 紫などのように特性づける色の属性」である。特にマンセル表色系における色相, という場合はマンセルヒュー Munsell Hue という。

マンセルヒューでは、赤, 黄, 緑, 青, 紫をそれぞれ R, Y, G, B, P で表わし、これを赤から青まで主波長が短くなるにしたがって、時計の針の方向に配列し、それぞれの中間は YR, GY, BG, PB, RP とする。さらにその 10 色をそれぞれ 10 等分すると、図-2 のような色相環ができる。

図-1 アイデアル・カラー

〔氏名〕 よしだ とよひこ
〔現職〕 職業訓練大学校教授
〔趣味〕 読書, 音楽(クラシックからイージーリスニングまで)
鑑賞 〔経歴〕 昭和 16 年東京高工(現芝浦工大)応化卒, 日本高級塗料株式会社入社, 17 年合併により日本油脂株式会社入社, 49 年 4 月より現職。工学博士。

昭和 59. 9. 17 受理
Colour Specification (2)
Toyohiko YOSHIDA

* 職業訓練大学校 塗装科
相模原市相原 1960 (〒229)

図-2 マンセル色相環

5.2 明度, Value

色を有彩色 Chromatic color と無彩色 Achromatic color に分ける。有彩色は、さえているか濁っているかの違いはあるにしても、いずれにしても色相をもつ色、無彩色は色相のない色、すなわち、白から灰を経て黒になる一連の色である。

無彩色は色相をもたないから当然彩度も 0 である。したがって、明るさだけで表わすことができる。無彩色を白から黒まで、感覚的等差になるようにならべると無彩色スケールができる。一番明るい白を明度 10、全く反射のない黒を 0 とし、10 段階に刻む、これがマンセルバリューである。マンセルバリュー V と Y の間には、次の関係 (マンセルバリュー関数) がある。

$$Y = 1.2219V - 0.23111V^2 + 0.23951V^3 - 0.021009V^4 + 0.0008404V^5$$

V と Y の変換には V 0.01 刻みの詳細な表が作られていて、JIS Z 8721 に採録されているから、それを用いれば (1) 式の計算をしなくてもすむ。目安としては、表-1 のように Y の値は V^2 よりも少し小さいところにある。感覚的には、白と黒のちょうどまん中あたりの $V=5$ が Y では 20% 程度しかないことを覚えておくとよい。

無彩色と同じように、有彩色の V も (1) 式できまる。

5.3 彩度, Saturation

マンセル表色系における彩度はマンセルクロマ Munsell chroma とよぶ。彩度とは、さえているか濁っているかの尺度で、さえている色を彩度が高いという。マンセル表色系では、無彩色はマンセルクロマ 0 である。

無彩色の白 ($V=10$) を上に、黒 ($V=0$) を下にした

表-1 V と Y の関係

V	Y %
10	102.56
9	78.66
8	59.10
7	43.06
6	30.05
5	19.77
4	12.00
3	6.555
2	3.126
1	1.210

図-3 マンセル色立体の構造

無彩色スケールを立てる。この周りに、色相環を水平にめぐらせる。そして、無彩軸から同じ明度の色を、色相環のその色相の方向に、「さえ」の程度が等感覚になるように並べて行く。これが、マンセル色空間である。水平に切れば等明度面、縦に切れば等色相面が表われる。

マンセル表色系では、有彩色は彩度が高くなるに従って無彩軸から外へ向って幹から枝がのびるようなのびて行くが、色相によって、最も彩度の高い色の彩度は違われ、その明度も違う。したがって、マンセル表色系による色立体は、ボールのような球でもコマのような形でもない。黄では高い $V=8$ に最高彩度があるのに対し、R では $V=4$ のあたりにくる (図-4)。これらの関係は、原色版で印刷すれば一目りょう然なのであるが、ここでは予算の都合で色刷でお目にかけられない。他書、たとえば文献 1) または 2) でご覧頂きたい。

5.4 マンセル表色系の成立³⁾

創案者 Albert H. Munsell (1858~1918) は画家、色彩教育者であった。色相環に 10 進法を採用することは既に 1901 年頃にきめられていた。マンセル色票の骨子となる “A Color Notation” や “Color Atlas” は 1902 年に

は骨組みができています。1904 年には MIT (Massachusetts Institute of Technology) で色体系について講演、討論している。彼の体系に基づく色票としては、1904 年頃から作られていたようであるが、まとまったものとしては、1915 年 “Atlas of the Munsell Color System” が出版されている。マンセル表色系は心理的等間隔性を指向して作られているが、回転円板や彼の作った光度計を用いてチェックした。1918 年、Munsell Color Co. が設立され、数年の間に Nickerson を始め、優れたスタッフが加わった。

1917 年 NBS は、“Atlas” “A Color Notation” について、次のような要望を発表した。

- (1) Value scale の標準化
- (2) 全ての色が物理的測定で規定されること
- (3) Atlas について測光及び測色の表示がなされること
- (4) Value の測定は標準の白に対して行われること
- (5) 命名法の統一

1929 年、“The Munsell Book of Color” が出版される。その後、マンセル色票は 10 種のものが発行されている。その色票は、数回にわたり、色彩学者によって測定されてその結果が報告された。Optical Society of America (OSA) でも、Munsell Co. の委嘱によってマンセル色体系の検討のために委員会を設けた。その測定結果の 1 例を図-5 に示す。これは、Munsell Book of Color の $V=5$ の色票をプロットしたものである。1943 年 OSA の小委員会は、S. M. Newhall, D. Nickerson, D. B. Judd の名で final report を発表した。これは Munsell Book of Color の色票の測定結果と、小委員会の多くの心理実験の結果を総合したもので、これによって、マンセルの体系は一つの色見本帳から、表面色の心理物理学的な体系となったといわれている。その報告の中では、

- (1) 図-4 に示したような等色相、等彩度の線のひずみを修正し、スムーズなものとした。
- (2) マンセル色票で作られている範囲だけでなく、表面色のだし得る色域全体にわたって、等彩度線を作った。
- (3) 明度関数を新しくした。
- (4) CIE の XYZ 系との対応をはっきりさせた。
- (5) それまでの色票に、この修正された曲線による新しい表示をつけた。

これが今日、われわれが用いているマンセル表色系であり JIS Z 8721 となっている。特に上記 (4) で記したように、XYZ 系との関係が確立されたことの意義は大

きい。色票は直接、その色を見ることができるし、理論的背景を知らなくても誰にでも「この色」とすぐにわかる便利なものである。しかし、どんな材料を用いて作られたものであっても、永久に変化しないものはまだない。うつろいやすいものであるし、多数の色票を継続的に作製して行く間には、基準となる色票との間にずれが生ずるのは止むを得ない。混色系である XYZ 系との関連が確立されたことによって、物理的測定から心理物理的表示 (XYZ)、さらに心理的表示 (HVC) をつなげることができたのである。

5.5 マンセル表色系の問題点

マンセル表色系は HVC それぞれに感覚的等歩度性をもたせているが、V1 ステップと C1 ステップでは同じではない。C=6 の色票では、

$$1V=4C=10H \quad (2)$$

であるという。

また、色相については、B~P~RP の部分では感覚的等歩度性が十分保たれていないともいわれる。

色相記号の R, Y, G, B, P は記号であって、5R, 5Y, 5G, 5B, 5P がそれぞれの色相の代表であるかという、必ずしもそうではない。B は多少 BG の感じがする。

6. オストワルト表色系

1923 年、ドイツの化学者 W. Ostwald によって創案された。

この体系では、すべての色は白色、黒色、純色の混合割合によって表わされる。白色量 (W)、黒色量 (B)、純色量 (C) の間には

$$W+B+C=1 \quad (3)$$

の関係がある。無彩色の場合は $C=0$ であるから、

$$W+B=1 \quad (4)$$

図-6 オストワルトの色立体の外観

図-7 オストワルトの色相環

表-2 オストワルト表色系における色相番号と主波長

色相番号	主波長 nm	色相番号	主波長 nm
1	573.0	12½	462.0
1½	575.6	13	469.0
2	578.8	13½	473.5
3	582.4	14	477.0
4	587.3	15	481.2
5	593.4	16	484.2
6	601.7	17	486.9
6½	607.9	18	489.2
7	616.5	19	491.4
7½	633.0	20	494.5
8	493.9c	21	501.3
9	500.0c	22	527.2
10	527.0c	23	554.3
11	554.5c	24	564.7
12	565.8c	24½	569.9

(1948 年版のカラーハーモニーマニュアルにおいて決定された 30 色相に対する主波長の規定。このデータは 1931 年 ICI 標準観測者及び標準光 C による。)

表-3 無彩色票の比反射率と a, p の面積比

記号	反射率	a の面積%	p の面積%
a	89.1	100	0
c	56.2	61.6	38.4
e	35.5	37.3	62.7
g	22.4	22.0	78.0
i	14.1	12.4	87.6
l	8.9	6.3	93.7
n	5.6	2.4	97.6
p	3.5	0	100

等色相面は W, B, C をそれぞれ頂点とする三角座標となる。これを無彩軸の周りに 1 回転すると、オストワルトの色立体ができ上がるわけで、したがって、マンセル色立体の外側がデコボコであるのに対しオストワルトの色立体は、コマ形である。

6.1 オストワルト色相環

基本の色として黄、緑、青、赤をとる。その中間を入れて 8 色とし、さらにそれを 3 分割して 24 色で色相環を形作る。色相番号と主波長を表-2 に示す。色相記号は次のとおりである。

Y : yellow O : orange R : red P : purple

UB : ultramarine blue T : turquoise SG :

sea green LG : leaf green

色相の分割法は、「内的対称性の原理」を適用した。すなわち、2つの色相番号の純色を混合したら、ちょうどその中間の色相番号の色となるようにしてある。中心軸に対称な位置の色相は補色となっている。

6.2 等色相面の構成

等色相面は、W, B, C を頂点とする正三角形をなす。三角座標の性質から、BC に平行な線上の色の系列は等白系列で、Wの含有量が等しく、WC に平行な線上の色の系列は、等黒系列でBの含有量が等しい。

オストワルト表色系も心理学的表色系であるから、物

図-8 オストワルト等色相面での記号

図-9 W, B, Cの混合比

理量=感覚というわけではない。この両者の関係として
オストワルトは「感覚量は刺激量の対数に比例する」

$$R = K \log(S/S_0)$$

R : 感覚量, S : 刺激量, S_0 : 刺激閾に対応する刺激量
というフェヒナー (Fechner) の法則によっている。灰色
系列の白色量と黒色量は表-3 のようで、無彩軸の記
号は a から p まで 8 段階 (アルファベット 1 つおき、但
し i と l の間は 2 つおきになっている) とってあり、面
積比とはマクスウェル回転混色盤上での面積比である。

オストワルト色立体での色の記号は、たとえば 7ie
というように表わす。7 は色相番号, ie は等色相面での
位置を示し、左が白色量, 右が黒色量を示す。その各箇
の色の W, B, C の比率は図-9 に記入してある。

6.3 マンセル vs オストワルト

マンセル表色系では、無彩軸から有彩軸の枝がのびて
ゆくような形をとっている。だから色立体の形は整った
ものではない。これに対してオストワルト表色系では、

等色相面は白色、黒色、純色を頂点とする三角形であ
る。だから W, B, C の比率が同じだから色相が違って
も反射率は同じ、というわけには行かない。つまりマンセ
ルの V, C に相当する概念はオストワルトにはないので
ある。デザインの立場から考えると、純色の彩度は等価
値と判断してとり扱われることが多いが、このような場
合は、オストワルトの方が扱いやすい。

オストワルトでは、同じ色相とは同じ主波長または補
色主波長をもつということである。したがって xy 色度
図上では、一つの等色相面は一本の線で表わされるが、
マンセルでは各明度ごとに別々の弯曲した線になる。こ
れは、同じ主波長でも純度が変れば心理的色相が変わる
というアブネー効果と波長が同じでも明るさによって心理
的色相が変わる (ベッセル・ブリュッケ効果) ためであ
る。このように、オストワルトは心理的等歩度性はフェ
ヒナーの式に委ね、形としてはすっきりしたものになっ
ている。マンセルは、形は不整であるが、感覚的等歩度

図-10 DIN 色票系の xy 座標

性を重視したといえるであろう。今日、工業技術的な面では、マンセル表色系が比較的多く用いられ、デザイナーにはオストワルト表色系の愛用者が多いように思われるのも、上記のような性格の反映と思われる。

7. DIN 表色系

ドイツ工業規格 DIN の表色系である。1945 年に一応完成して暫定規格となり、1955 年に正式規格となった。

DIN 表色系では明るさが変わっても、色相環は変らない。DIN 色相はオストワルトと同様に黄を No. 1 にと

って、時計の針の方向に 24 分割されている。色相は感覚的な分割であって、色相環の反対は必ずしも補色関係にはなっていない。

明度関数に関しては独特の表現をしている。

$$D = 10 - 6.1723 \log(40.7h + 1) \quad (5)$$

D は暗度 Dunkelstufe とよばれる。

$$h = \frac{y}{y_0} \quad (6)$$

y_0 は同じ色度座標の最明色の視感反射率である。(本稿の 4. 参照)

飽和度 Sättigungsstufe は、1～6 は実験的に見出されたもの、7, 8 は外挿によって求められたもの。その他は Mac Adams の UCS 色度図 (u, v -色度図) を用いて主波長線 (主波長のスペクトル軌道上の点と無形点とを結ぶ直線) または補色主波長線を、幾何学的に等間隔に分割したものである。

DIN 色票系では、色は Farbton (色相), Sättigungsstufe (飽和度), Dunkelstufe (暗度) で表示される。表示方法はたとえば (Farb 7.0 : 3.2 : 2.7) と記す。無彩色の場合は、その Dunkelstufe のみを (— : 0 : 3) のように記す。

文 献

- 1) 新編色彩科学ハンドブック, 日本色彩学会編, 東大出版会, 昭 55
- 2) JIS ハンドブック, 色彩, 日本規格協会, 1982
- 3) D. Nickerson: *Color Engineering*, 7 [5], 42 (1969)
- 4) 馬場護郎: *Color Space*, No. 19 (村上色彩技術研究所)