色 彩 管 理 と 測 色 計

平 井 敏 夫*

1. 色 彩 管 理

色は見れば誰にでもすぐ理解できる。日常生活に余りにも密着しているので、改まって「色」について説明する必要もないだろう。しかし、「十人十色」のたとえではないが、同じ色を見ても、人によってその受け止めかたが違うかもしれない。

「危険」を表わす安全標識の色は黄赤[だいだい(橙)]であるが、その色を見たからといって、必ずしも「危険」を思い出してはくれない。「みかん」の色を想像する人もいるだろうし、「子供の洋服」の色を思い浮かべる人もいるだろう。

ソ連の宇宙飛行士ガガーリンが初めて宇宙から地球を見て、その情景を「地球は青かった」という言葉で、地上の人々に伝えてくれた。当時は、それがどんな青なのか想像する人々によって違ったであろう。今では、人工衛星から送られて来る画像情報で、どんな青なのかをよく知っている。このように、色の情報伝達があいまいであったにせよ、われわれはそれなりに満足して生活している。

色はわれわれの生活に、美しさや潤いを、また、さまざまな変化や、楽しく豊富な情報をもたらしてくれる。色はそんな機能をもっている。

その色が、上記のようにおおまかであっても問題が起らない場合もあるが、少しでも違ってしまうと重大な問題になってしまうこともある。

たとえば、統一されたユニット家具の色が不揃いでは見苦しいし、印象が悪い。修理に出した自動車が色違いで仕上がって来たら、苦情となる。スリッパの色が左右不揃いだったら買う気も起きない。菓子パンでも焼き加減で売れ残りが出る。折角、開発した新製品でも色が好

まれないので売れ行きが悪くなる。……

現代の産業構造は分業化や専門化が進み、また、自動化が発達しているので、多くの製品は機械と人、人々との協調によって生産され、販売されていく。従って、これらの間でのコミュニケーションがうまく図られないと、円滑な産業活動は望めない。

企業において、製品を企画し、製造し、販売していく過程で、それぞれの担当者は「どんな色にしようか」、「どのように作ろうか」、「どうやって売り込もうか」、「どんな反響があるだろうか」等等を考えながら行動をしている。つまり、各担当者はそれぞれに色彩予測、色彩設計、調色管理、色彩調査などを行いながら業務を遂行している。

色彩管理(color control)はこれらの行為を全社的な視点で統括し、作戦的に「製品の色」をコントロールする技術的手段・体系をいう。言い換えれば、製品についての色彩の統合的活用方法であるといえよう。

2. 工業製品の色の役割

「色彩管理とは色彩の統合的活用である」。この文章は1961年に発行された図書「色彩管理」(日刊工業)の書き出しである¹⁾。その目的はユーザーを満足させるよい色を作り出すことにある。では、よい色とはどんな色なのであろうか。

企業活動から見て、沢山売れるのはよい製品である。お客も気に入っているから買うのである。だから、よい製品を作ろうとするのである。色についても同じことがいえる。よい色とは売れる色である。お客も気に入って

[氏名]ひらい としお

[現職]標準化事業担当理事[趣味]ゴルフ[経歴]昭和31年新潟大学工学部工業化学科卒、(財)日本色彩研究所に入所、色票製作及び色彩工学の研究に従事、第一研究部長を経て現在に至る。照明学会、日本色彩学会等会員。

昭和 60. 7. 18 受理
Color Control and Colorimeter
Toshio HIRAI

* (財)日本色彩研究所
東京都港区西麻布 3-1-19 六本木小山ビル (〒106)

いる色である。だから、よい色を作ろうとするのである。よりよい色を作ろうとする企業姿勢が色彩管理の第一歩といえるだろう。

2.1 製品の機能

一個の製品は、常に、二つの機能を持っているといえる。一つはその製品が、そもそもある目的で使用されるために備えている本来的な、実用的な機能である。たとえば、コップである、机である、時計である、照明である、家屋である、自動車である、橋である、…といったその対象物の名称が示している機能である。その機能はお客が自由に選べないので、非選択的機能ともいわれている。

もう一つはより使いやすい、より美しい、より楽しい、より高級な、より好ましいなどといった感情に訴えかける付加価値的な機能である。これを情報的機能という。この機能はお客が自由に選ぶことができるので、選択的機能とも呼ばれている。

2.2 情報的機能

人は視覚、聴覚、臭覚、味覚、触覚の五感を持っている。お客はこれら五感を働かせて、製品を選び、そのよしあしを判断して買う。つまり、情報的機能がお客の感覚を刺激して、購買動機を誘い、製品が売れていく原因になっているのである。

ところで、製品におけるお客の関心は、時間の経過や価値観の変遷につれて、実用的機能から情報的機能へと移っていく傾向にある(図-1)。

たとえば、衣服は人が外界の刺激から身を守るために作ったのが実用的機能であるが、現代では、社会的な規律のために、楽しみのために、あるいは、自己の価値を高めるために、などといった情報的機能の役割の方が主になっている。

工業社会の花形である自動車も二十数年前では、乗用車のほとんどは黒かダーク調の色であったが、今日では、それらは特殊な車にしか見られなくなった。もちろん、内装の色や乗り心地についても格段の違いがある。住宅についても、建造物についても、このような例題は枚挙に暇がないが、これらはみな製品の情報的機能をレベルアップするために、生産者側と使用者側とが一体となって努力して来た結果だといえる。

今後、ますます高度な情報社会、大量の同時流通社会が進展していくにつれて、製品の情報的機能によせるお客の関心は多様化され、個性化され、複雑化されていくであろうし、製品に対する社会の価値観の移り変わりも加速化されていくものと思われる。

図-1 お客の関心度の変化

2.3 製品の視覚的品質

米国のある調査結果によれば、お客の購買動機を起こさせる直接の原因は五感のうちで、視覚によるものが全体の83%以上を占めているそうである²⁾。また、企業内での五感を対象にした製品検査で、視覚による検査を30%の割合で重視しているという報告もある³⁾。いうまでもなく、情報的機能のなかで、視覚に関係するのが色彩の機能である。

さて、生産する立場では、製品の機能を維持し、また高めようと行動する。こうした行為を実践するための技術的手段の体系を品質管理(quality control)というが、管理の対象が情報的機能ならばそれを製品の情報的品質と呼んでもよいだろう。

製品の視覚的品質を整え、向上させていくには品質に関する表現を標準化して、関係者間のコミュニケーションを十分によくしておく必要がある。学術・研究や産業分野の国際会議ではコミュニケーションを円滑に行うために、用語の定義、表現の方法、測定・検査の手段等を標準化することから始める習わしになっている。コミュニケーションの規模の大きさにかかわらず大切な知恵だと思われる。

色は目で見るものである。誰でもが自由に見ることができる。そして、すぐに理解できるものである。また、色は照明環境によって違って見える。見かたによっても違って見える、という知識は誰でもが知っている。だから、色を見る環境や見かた、表現方法を標準化しておかなければ物の色が「この色だ」と決められないのである。

標準化された色の見かたや色表示の方法はいささか複雑であるかもしれないが、知識だけではなく、実践できるようにすることが大切である。

3. 測色データの活用

色彩管理のなかで、測色器機を用いて製品の色を計量

化し、色差の管理をする方法が普及している。

測色器械は定められた条件で、試料に光をあて、その反射光や透過光の強さを計測し、JISなどに規定された方法で計算して、たとえば、 L^* 、 a^* 、 b^* のような三つの数値で一つの色を表示するようになっている。つまり、色の測定値は三次元の座標系（色空間）の位置を定めているのである。

また、目標色（target color）と試料色（sample color）との色差の値は、この座標上の二点間の幾何学的距離を計算して、色差 ΔE^* で表示する。そして、この色差値を使って、製品の色差管理を行うのが最もポピュラーな方法となっている。

試料色が目標色と一致しているかどうかを色差値で調べて、その違いの程度によって、色の合否だけを判断する色差管理の場合はよいが、それだけでは測色したデータを十分に活用しているとはいえない。

何故かという、色差の大小を比べて色の検査することも大切であるけれども、製品の色彩設計、調色管理、色彩調査等にも測色データを広く活用できるからである。たとえば、製造工程においては目標色に対して試料色がどのように違っているのかを目で見た感じかた（色相差・明度差・彩度差）と対応させた情報として知りたい場合も多いし、また、調色工程における色修正の手立てやロット管理を行う上での色材の「ききぐあい」をチェックしたい場合もある。

あるいは、測色データを三属性表示や系統色名に置き換えることによって、製品の色を分類して、原材料の在

庫管理などの調整に役立て得ることもあるし、マーケットの色彩調査や製品の色彩設計にも活用できることもある⁴⁾。

このように、色差だけでなく、分光（立体角）反射率や L^* 、 a^* 、 b^* 等の測色値を使いこなすことによって、全社的に幅広く、有効に活用することができる。測色データを情報としてファイリングし、コンピュータ技術と併用すれば、CCM (computer color matching) や CCS (computer color search)、あるいはまた、CAD/CAM (computer aided design/computer aided manufacture) などへと充実した活用が期待されるのである。

4. 事例について

色彩管理に活用されるこうした応用面の中で、調色に関する幾つかの事例を紹介する。

4.1 偏色判定方法

調色作業は、目標色とその許容差が決まっていれば、作ろうとしている色をその範囲に誘導することによって完了する。しかし、目標色と試料色とを較べて「色差が大きい」ならば色を修正しなければならない。そのためには、試料色が目標色からどのように偏っているのかを正確に判断する必要がある。この判断が正確にできないと、色修正の手だてを誤り、修正作業を何回も繰り返さなければならないので、いつまでも作業が終わらない。このように、色対の色の偏りを判断する行為を「偏色判定」という。

(1)

(2)

図-2 偏色判定図のディスプレイの事例

(1) は目標色 (5R 6/8) を測定したときの偏色判定図

(2) は試料色を測定したときの偏色判定図。図から、試料色が目標色に対して「黄みに偏り、明るく、僅かにあざやか」であると判断する。

誰でもが、色を色相、明るさ、あざやかさの三属性に分解して感じることができるのだから、この感覚を利用して偏色判断をするのが便利である。感覚的に三属性を判断するためには、慣れるまで、ある程度の訓練をする必要があるけれども、短期間ですぐにできるようになる。また、測色値はこの感覚と対応がとれているので、偏色判定を測色器械に肩代わりさせて作業の能率化を図ることができる。測色データを使って、目標の色へ誘導していく調色方法を偏色判定方法という。(財)日本色彩研究所では1953年ごろ、OSA色票を製作するときに偏色判定方法を開発した⁵⁾。その後、設備や方法が改善されてはいるが、現在でも、標準色票の製作などに欠かれない手段になっている^{6)~7)}。

この方法は偏色判定図の上で行う。偏色判定図は目標色に対して試料色がどのような位置にあるかを、たとえば、明度指数(L^* 値)とクロマチックネス指数(a^* , b^* 値)に分けて図示したものである。丁度、航空機の自動着陸誘導装置のディスプレイ方式に似ている(図-2)。

偏色判定図は、直交座標系である L^* , a^* , b^* などの表色系を解析幾何学的に極座標系へ変換して表現したものである。この方法をプログラミングして、コンピュータに入れ、測色器械とオンラインさせて、偏色判定をさせることもできる。また、測色器械に内蔵させた CRT に偏色判定図を表示させる機種も実用化されている。

4.2 計量調色方法

与えられた色見本を見て、その色がどんな原色から構成されているか、または、どんな原色を使って作ればよいのか、を的確に判断することは難しい。

たとえば、原色Aと原色Bを混色して作った色をFとする。混色した色Fを見て、元の原色Aと原色Bを推測するには、色材を扱う経験の積み重ねが必要である。

$$F \rightarrow A+B$$

何故かという、Fらしき色は原色Aと原色Bの組み合わせ以外でも作ることができるので、どの原色の組み合わせがよいのかが分かりにくい。原色の着色力など「ききぐあい」が分からないと組み合わせの加減が分かりにくい。また、一度混色した原色はもとにもどすことができないし、不必要な原色を使ったために、色を合せることが不可能になってしまうことにもなる、などの問題があるからであろう。

しかし、原色Aと原色Bのそれぞれの色(または、色あし)を見て、その混色で作れるであろう色の系列 F_n を推定することはそれほど難しくない。

$$F_n \leftarrow A+B$$

そこで、常備している色材について、あらかじめ、原

色の組み合わせや配合比などを決めて混色しておき、色が順次変化していく様子を表わしておく。これを活用することによって、試料色を作るための原色を推定することが容易になる。このような手法を使って調色するのを計量調色方法という。

いろいろな原色を混色して色の変化をカラーチャートや測色値などで表わした図や表を定量混色ネットという(図-3)。

このように、常備の色材を系統的に、かつ、定量的に混色して作ったカラーチャートや色見本集を色材混合体系(colorant mixture system)という。

計量調色方法の考え方は、色や測色値とその配合量との対応をデータベースにして、目標色に近似する色を検索する手段が基本になっているので、定量混色ネットは必ずしも系統的に作られている必要はない。過去に作った色とその配合量をデータとしてファイルしておき、これを混色ネットにして、効率的な検索システムと併用して行えばよい。最近ではコンピュータを利用して検索を行う方法がとられている。

このような検索方法を CCS という。なお、定量混色ネットは、Kubelka-Munk の理論を基にして混色計算によって作ることもできる。

4.3 メタメリズムの評価

一枚の色紙を半分に切って、これを並べて見ると同じ色に見える。当然、色材も同質である。ある色と等しく見える色を、別の色材の混色で作ることもできる。たとえば、オレンジ色は黄と赤の混色でできるし、緑は黄と青で作ることができる。

前者のような色対の関係にある色をアイソメリズム(isomerism)といい、後者のような関係にある色をメタメリズム(metamerism)という。

アイソメリズムの関係にある色は分光分布が同質なので、どんな照明の下で見ても「同じ色」に見える。メタメリズムの関係にある色は特定の照明の下では視覚的に等しく見えても、分光分布が異なるために、別の照明の下では違った色に見えることがある(図-4)。

一般に、調色の比色作業は北窓日光や標準照明装置の下で行われる。この場合、目標色が試料色と異なる材料の色見本であったり、始めて作る色であるならば、この比色方法で合格しているか否かを判定していても問題は起こらない。しかし、目標色が、将来、製品として組み合わせられる部品を代表する見本であったり、また、過去に調色したことのあるロットを代表する見本であるときは注意をする必要がある。その理由は、ユーザー側で製品同士を見比べられることが多いので、メタメリズムの現

注記) 横軸は a^* , 縦軸は b^* . Rf, Ol...は原材料の種類. Yc-Ol(10)は Yc を 90, Ol を 10 混合したもの. ○印は明青色系列 ●は暗青色系列を示す.
図の外側の目盛は、色相記号で、原点と結ぶ線がその色相線に近似する。

図-3 定量混色ネットの事例

L^* , a^* , b^* 表色系で表わした定量混色ネットの例

象が起きていると色違いのクレームのつくことがあるからである。

その対策として、標準照明の下で比色するとともに、もう一つ別の照明の下で比色を行い、両照明下で色差のないことを確認しておくようにするとよい。たとえば、北窓昼光下で調色し、更に、電灯光下で比較する。両照

明下で、目標色と試料色とに色差が少なければ、メタメリズムの程度も少ないと判断するのである。このように二つの光源を用いて比色しながら調色する方法を二光源調色方法という。この方法の実用的な照明装置として、色評価用蛍光ランプと電球とを内蔵させた簡易型の照明装置も市販されている⁹⁾。

a) 橙と赤+黄の等色

b) 自然の色と人工の色の等色

図-4 メタメリズムの関係にある色対の分光分布の差

目標色と試料色との間で、メタメリズムがどの程度発生するかを定量的に予測できれば調色作業や色検査作業をする上で都合がよい。

メタメリズムの評価方法は昨年 JIS に制定された。その方法の概略はつぎのとおり。

- 1) 目標色と試料色を準備する。
- 2) 基準照明光に標準の光 D_{65} を用いて測色する。
- 3) 試験照明光に標準の光 A を用いて測定する。
- 4) 目標色と試料色の基準照明光における三刺激値から補正係数を計算し、試料色の試験照明光での三刺激値を補正する。
- 5) 試験照明光での、目標色の三刺激値と補正した試料色の三刺激値を L^* , a^* , b^* に変換して、色差 ΔE^* を計算する。

6) その値を条件等色指数といい、 M で表わす。

7) 条件等色指数はつぎのように表示する。

例 1. $M_{10} (D_{65} : A) = 2.0$

例 2. $M (D_{65} : A, F_0) = (4.3, 3.8)$

たとえば、 $M_{10} (D_{65} : A) = 5.2$ ならば、目標色と試料色とを 10 度視野条件で、標準の光 D_{65} の下で完全に色差を 0 に合わせたとしても、標準の光 A の下では色差が 5.2 程度発生するであろうという意味の推定値である。

なお、試料照明光は標準の光 A のほかに、必要に応じて一般形白色蛍光ランプ (F_0)、三波長帯形蛍光ランプ、(F_{10}) あるいは、演色改善形昼白色蛍光ランプ (F_8) などを用いることもある。詳しくは JIS を参照されたい。

最近、測色器械の中にこの評価計算が組込まれている機種も市販されている。分光反射率の測定値があれば計算で求まる。

4.4 金属感をもつ色の評価方法

表面に金属感をもっている製品がある。たとえば、メッキを施した表面、アルマイト加工をした表面、アルミ

図-5 可変角測色計によるソリッド・グレイとメタリック・シルバーの相対光度分布 (Y 値) の比較

M: 無光沢, S: 半光沢, G: 高光沢のソリッド面

C₀: 荒目, M_e: 中目, F₁: 細目のアルミ粉

ニウム片などの微粒子を混ぜて塗装した表面などである。これらの表面の色を管理するとき、通常の測色条件による色の評価だけでは十分ではない場合がある。これらの表面について、受光角を変えて相対光度分布を調べてみると金属感をもたない材料の表面と著しい違いが見られる。図-5 の事例はソリッド・グレーとメタリック・シルバーを比較したものである⁹⁾。図-5 は入射角が45度の照明条件における測定結果であるが、受光角が0度近傍のとき、双方ともほぼ同じ反射率を示し、また、受光角が45度の正反射率も同様に高い値(図では省略)を示している。つまり、明度指数(図ではY値)と鏡面光沢度(Gs(45))はほぼ同じである。しかし、受光角0度を境にして、一側の受光角で見ると、メタリック・シルバーはソリッド・グレーに較べて暗く見えるが、+側の受光角で見ると、メタリック・シルバーはソリッド・グレーに較べて明るく見える。観察する角度の僅かな差によって、双方の明るさが逆転して見えることが分かる。

一般に、色は色材層内からの拡散反射光によって生じる視知覚の属性であり、光沢は表面からの正反射光や散乱光によって生じる視知覚の属性であると説明されている。しかし、金属感をもった表面では、拡散反射光と正反射光の他に方向性をもった拡散反射光があると考えられる。もちろん、目にはこれらの光が混じり合って感じられている。

従って、金属感をもつ表面の色を管理するためには、規定条件における測色値と規定条件における光沢値の他に、もう一方向以上からの方向性拡散反射光を捉えておく必要がある。たとえば、45度の照明条件では、0度受光(色)、45度受光(光沢)、30度受光(金属感)のようである。

このようなニーズに対応するために、通常の測色器械を可変角にした応用器械も市販されている。

5. 色に関する日本工業規格

色彩計画、調色管理、色彩検査、色彩調査など色彩管理を全社的に進めていく上において、色彩についての諸事項を標準化しておくことは大切なことである。そのためには、「色のJIS」を活用すると便利である。

そこで、現在、制定されているJISの中で色彩管理に役立つと思われる主なものを次に示す。なお、内容については、各々のJIS規格票あるいはJISハンドブック(色彩)などを参照されたい。

1) 色彩用語

JIS Z 8105 色に関する用語

JIS Z 8113 照明用語(改正案検討中)

JIS Z 8120 光学用語

2) 色の表示方法

JIS Z 8110 光源色の色名

JIS Z 8102 物体色の色名(改正案検討中)

JIS Z 8721 三属性による色の表示方法

JIS Z 8701 XYZ表色系及び X_{10} Y_{10} Z_{10} 表色系による色の表示方法

JIS Z 8729 L^* a^* b^* 表色系及び L^* u^* v^* 表色系による物体色の表示方法

JIS Z 8730 色差表示方法

3) 色に関係する測定方法及び評価方法

JIS Z 8724 光源色の測定方法

JIS Z 8725 光源色の分布温度及び色温度の測定方法(改正案検討中)

JIS Z 8726 光源の演色性評価方法

JIS C 7612 照度測定方法

JIS C 7614 輝度測定方法

JIS Z 8720 測色用の標準の光及び標準光源

JIS Z 8902 キセノン標準白色光源

JIS Z 9112 蛍光ランプの光源色及び演色性による区分

JIS Z 8723 表面色の比較方法

JIS Z 8722 物体色の測定方法

JIS Z 8719 物体色の条件等色度の評価方法

JIS Z 8741 光沢度測定方法

JIS Z 9080 官能検査通則

6. あとがき

エレクトロニクス技術のめざましい進展によって、最近の測色器械は多彩な機能を備えたものが多くなってきた。また、パーソナルコンピュータの普及も著しい。製品の色彩管理をするのには大変便利になったように思われる。しかし、それらの機能を使い分けて、十分に活用するためには、測色器械が計測してくれるデータの意味をよく理解しておく必要がある。

色を計量的に管理するとはいっても、製品の色は、最終的には、目で見て判断されるものである。従って、測色値は色を製作していく過程における管理手段なのである。測色値に頼り過ぎると、目をつぶって色を見ているようなことになりかねない。

色は誰でもが自由に見ることができ、理解することができる。そして、それが「色」なのである。しかし、色の見かたを標準化することによって、色の見えかたが定まり、それによって、色を数値的に扱えるのであり、ま

た, 器械を人の代わりにして, 色彩管理に活用できるのである。

あえて, このような常識的なことを述べた理由は, 測色器械が便利になると測色値にこだわり過ぎるようになる恐れがあるからである。つまり, 標準化されていない条件で見た色は測定できないし, また, 見ることのできない色を測定しても意味がないといいたいのである。

文 献 (JIS 関係を除く)

- 1) (財)日本色彩研究所編: 色彩管理, 日刊工業新聞社 (1963)
- 2) (財)日本色彩研究所編: 色彩管理, II 版 (財)日本色彩研究所 (1973)
- 3) 日科技連官能検査委員会: 官能検査ハンドブック, 日科技連 (1962)
- 4) (財)日本色彩研究所編: 調査用カラーコード (改訂版), 日本色研事業 (1970)
- 5) 川上元郎他: OSA 系色票の試作研究 (1), 日本色研技術部報告, No. 7 (1954)
- 6) 川上元郎他: 色彩研究, 1 (1954) 2, 10 (1963) 14
- 7) G. Kawakami, T. Hirai: *J. Light & Vis. Env.*, 2 (1978)
- 8) 川上元郎, 星 正幸: 色彩研究, 15 (1968) 54
- 9) 平井敏夫: 色彩学会誌, 1 (1984) 21