(色材, 58 [1] 32-44. 1985)

調 色 (色 あ わ せ)

富 田 久 和*・太 田 義 彦*

は じ め に

近年, プラスチックス, 染料, 顔料あるいは塗料といった色材の分野に「コンピューター・カラー・マッチング (CCM)」が広く導入され, 「第2の CCM 時代の到来」とまでいわれている。

塗料においては, 未だ大部分が目視調色によっているといっても過言ではないように, 現実には目視調色あるいは計量調色によりながら, 他方で CCM によせる期待は少なからぬものがあるというのが現状のようである。

私たちは, この中で, 特に CCM にたずさわる者の一人として, 一方で従来から行われて来た調色法について触れながら, CCM の理論あるいはその実際の使用状況等について述べる。

1. 調 色 の 基 礎

1.1 色材の混色

一般に2つ以上の色を混ぜ合わせて, 別の色をつくることは「混色」と呼ばれる。その混色については, 加法混色と減法混色があることはよく知られるところである。

(イ) 加法混色

図-1 に加法混色の例を示す。加法混色では3原色光

昭和 58.9.12 受理

The industrial Color Matching

Yoshihiko OHRA and Hisakazu TOMITA

* ナトコペイント(株)技術部

愛知県西加茂郡三好町大字打越 (〒470-02)

〔氏名〕 とみた ひさかず

〔現職〕 ナトコペイント(株)技術
部第2技術課解析グループ係長〔経歴〕 昭和 47 年名古屋大学工
学部卒業, 同年ナトコペイント
(株)入社後現在に至る。

赤 (**R**), 緑 (**G**), 青 (**B**) の混合強変比を変えて色をつくり出すことができる (図-1-(1))。

加法混色には, カラーテレビのブラウン管のように微小な点の集合による混色である経時加法混色 (同図 (4)), あるいはシマ模様のコマがつくり出す混色 (同時加法混色) などがある (同図 (2))。

また, 特殊なプリズムを用いる方法 (Brodhum の扇板) も提案されている (同図 (3))。

(ロ) 減法混色

減法混色は, 白色光を色フィルターを通してスクリーンに投影する際, 色フィルターの濃度, 組合せによってつくり出される混色法をいう。

図-2 はエロー (**Y**), マゼンダ (**M**), 及びコバルトブルー (**C**) の色フィルターの組合せによって, それぞれ赤, 青, グリーンの色を混色している状況をスペクトルからとらえたものである。

色材における混色もどちらかといえば, 減法混色といわれるが, 実際の混色は色材の特性もあり, その扱いは複雑なものになるといわれている。

1.2 色彩の定量化

色材における混色とは, その多くの場合が, 「見本色」と同じ色になるように混色するということであり, 「色合せ」あるいは「調色」といわれる。

ここにいう「見本色」とは, 塗料であつたり, 印刷であつたり, プラスチックス, 皮靴, 陶器……とあらゆるものが対象であり, その表面状態, 隠ぺい状態, 形状, 艶, メタリック感……と各種各様である。

〔氏名〕 おおた よしひこ

〔現職〕 ナトコペイント(株)技術
部第2技術課, CCM 担当〔趣味〕 映画鑑賞 〔経歴〕 昭和
51年名古屋大学工学部卒業, ナト
コペイント(株)に入社, 現在に至
る。

図-1 加法混色の例

図-2 減法混色における透過率の変化

こうした意味もあって, 色材分野における「定量化」は, 「マンセル色票」にみられるように, 視感量として取扱われ, H (色相), V (明度), C (彩度) のように心理物理量として定量化が進められてきたといえる。

一方, 色彩学, 照明学分野での研究は, 従来の3原色赤, 青, 緑 (R, B, G 系) に対して, 新たに XYZ 系による色の表示法を提案した (1931 年 CIE)。

これは, 視感感度や RGB 系の問題点が考慮された三刺激値 (Tristimulus Values) $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ (図-4) を設定し,

$$\begin{aligned} X &= K \int_{380}^{780} P_{\lambda} \cdot \bar{x}_{\lambda} \cdot \rho_{\lambda} \cdot d\lambda \\ Y &= K \int_{380}^{780} P_{\lambda} \cdot \bar{y}_{\lambda} \cdot \rho_{\lambda} \cdot d\lambda \\ Z &= K \int_{380}^{780} P_{\lambda} \cdot \bar{z}_{\lambda} \cdot \rho_{\lambda} \cdot d\lambda \end{aligned} \quad (1)$$

但し

$$K = 1 / \int_{380}^{780} P_{\lambda} \cdot \bar{y}_{\lambda} \cdot d\lambda$$

λ : 波長 P_{λ} : 波長 λ における光源の分光分布

ρ_{λ} : 波長 λ における試料の分光反射率

$(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$: スペクトル三刺激値

によって与えられる値で色を表示, 定量化しようとするものであった。

こうした理論的な研究と共に並行して進められたのが「色の測定」すなわち「測色」法及び装置の開発である。

詳細は, 成書によっていただきたいが, 色の定量化, 表示法及び測色器については, 1948 年, R. S. Hunter により「等色空間をもつ表色法」と「直読色彩計」とが発表されて, 大きく進んだといえる。

「等色空間をもつ表色法」とは, 「Hunter の Lab 」としてあまりにも有名である。

〈Hunter の Lab 系による色の表示〉

$$\begin{aligned} L &= 10 Y^{1/2} \\ a &= 17.5 (1.02 X - Y) / Y^{1/2} \\ b &= 7.0 (Y - 0.847 Z) / Y^{1/2} \end{aligned} \quad (2)$$

色が (L, a, b) 値によって特定されると共に, 更に2つの色の「ちがいの程度」を

$$\Delta E = \{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2\}^{1/2}$$

図-3 マンセル表示にもとづく色立体

図-4 CIE (1931) で決められた三刺激値

とあらわし, 「色差 (Color Difference) ΔE 」として定量化されるに至った。

1.3 混色の定量的扱い

(1) 表色系を用いた調色の定量化

色の定量的な扱いが, 色材の特性上きわめて複雑になるとしながらも, 一定の物理量として特定化され, 定量化された「表色系」あるいは「色差式」は, 広く調色の分野で応用されている。

色を比較するだけでなく, 調色配合そのものを定量化しようという考え方の一つが塗料分野で用いられる「計量調色法」といわれるものである。

図-5 計量調色ネットの例

図-6(a) K-M 理論の考え方

これは、あらかじめ各原色を白、黒（又は原色、白、黒の三色）と各種の比率（重量比又は容量比）で混合したサンプルをつくり測色する。

得られた値を、同一表色系のうえにプロットし、混合比と表色系との関係図をつくり、この図から逆に未知の色を測色することによって配合を定量的に求めようというものである。

図-5 は、「Hunter Lab」の表色系において、 $L \div 60$ の色を $a-b$ 座標上にプロットしたものである。

これを体系的に整備したものが「計量ネット」と称されている。

この方法は、直読測色計の改良の他、Hunter ら以後に急速に改善された表色系（特に空間の等色性に関して）によって、相当の精度が与えられると共に、目視との相関というメリットをもっている。

〈CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 表色系〉

$$\begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_0)^{1/3} \quad Y/Y_0 > 0.01 \\ a^* &= 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}] \\ b^* &= 200[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}] \end{aligned} \quad (3)$$

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

図-6(b) サンダーソン補正の考え方

(ロ) 光学的物理量を用いた調色の定量化

(a) 基礎理論

1931 年、心理物理量としての色の三刺激値 X, Y, Z が定められると前後して、色材に対する光学的物理量としてあつかう考え方の一つとして Kubelka や Munk らによって二定数理論 ($K-M$ 理論) が発表された。

これは図-6(a) にみるように、色材における「色の発現」が、可視域の各波長に対する吸収と散乱によって決まるとし、その色の分光反射率 R 、吸収係数 K 、散乱係数 S という物理量を定義した。

この $K-M$ 理論は、図-6(a) に示す考え方に基づいて式を解き、かつ、色材の厚み (x) が十分ある ($x \rightarrow \infty$) すると、その時の反射率 R_∞ は

$$R_\infty = 1 + (K/S) - [(K/S)^2 + 2(K/S)]^{1/2} \quad (4)$$

$$\text{又は} \quad K/S = \frac{(1-R_\infty)^2}{2R_\infty} \quad (5)$$

にまとめられるとした。

このように、 $K-M$ 理論は、“色”を反射率という物理量から一義的に決定するうえで画期的な考え方であった。

この考え方が、調色の定量化、強いては今日の CCM の基礎理論になるうえで重要な式は、

$$(K/S)_M = \frac{C_1 K_1 + C_2 K_2 + \dots + C_i K_i}{C_1 S_1 + C_2 S_2 + \dots + C_i S_i} \quad (6)$$

によって与えられた Duncan の加成式である (1940 年)。つまり、いくつかの原色を混合した場合、混合色の吸収係数と散乱係数の比 ($(K/S)_M$) は、原色の吸収係数あるいは散乱係数の単純な加成式で求められることを示した。

1942 年になると Saunderson によって、表面での反射があるいは内部での反射を考慮すると、実測した反射率 R' と $K-M$ 理論でいう反射率 R との間には、

$$R' = k_1 + \frac{R(1-k_1)(1-k_2)}{1-k_2 R} \quad (7)$$

k_1 : 表面反射係数 k_2 : 内部反射係数

の関係が存在するという報告がなされている(図-6-(b))。

(b) 定量的調色への展開

式(5), (6), (7)は, 測色から混合色の反射率予測までを理論的にあつかうことを可能にしている。

まず, この一連の式を用いて調色を定量化するためには, 各原色の吸収係数, 散乱係数が求められねばならない。これは, 異なる2つの原色及びその混合色をつくることによって容易に求められる。すなわち,

1. 2つの原色 1, 2 及び混色比率が $C_1+C_2=1,000$ になるように混合された試料の分光反射率を測定する。

2. Saunderson 補正式及び $K-M$ 式を用いて, それぞれの色の (K/S) 値を求める。

3. Duncan の式によれば,

$$(K/S)_M = \frac{C_1 K_1 + C_2 K_2}{C_1 S_1 + C_2 S_2} \quad (8)$$

であり, 混色試料をそれぞれ4種類作成し, 各々について連立方程式を解けば, K_i, S_i は決定される。

あるいは又, 式(8)を以下のように変形し

$$= \frac{(K/S)_1 + (C_2/C_1)(K_2/S_1)}{1 + (C_2/C_1)(S_2/S_1)} \quad (9)$$

さらに $(S_2/S_1) = (S_2/K_2)(K_2/S_1)$ を代入すると

$$(K/S)_M = \frac{(K/S)_1 + (C_2/C_1)(K_2/S_1)}{1 + \frac{(C_2/C_1)(K_2/S_1)}{(K/S)_2}} \quad (10)$$

但し

$(K/S)_M$: 混色の (K/S) 値

$(K/S)_i$: 原色 i の (K/S) 値

となって, それぞれの原色の (K/S) 値及び一つの混色試料の $(K/S)_M$ 値から, 相対値としての (K_2/S_1) , (S_2/S_1) を求めることもできる。

色材によっては, 染料のように光学的性質上, その散乱係数がほとんど $S_i \approx 0.0$ であるような場合もあるが, こうした場合, 式(8)は

$$(K/S)_M \doteq \frac{C_1 K_1 + C_2 K_2}{C_1 S_1} = (K/S)_1 + (C_2/C_1)(K_2/S_1) \quad (11)$$

$(K/S)_1$: ベースの白や素材などの (K/S) 値

と容易に (K_2/S_1) 値を求めることも可能である。

こうして原色の吸収係数, 散乱係数が求められれば, 逆に配合未知の見本色の測定により,

$$\frac{C_1 K_1 + C_2 K_2 \cdots C_i K_i}{C_1 S_1 + C_2 S_2 \cdots C_i S_i} \approx (K/S)_x \quad (12)$$

又は

$$C_1 (K/S)_1 + \frac{C_2}{C_1} (K_2/S_1) + \cdots C_i/C_1 (K_i/S_1) \approx (K/S)_x \quad (13)$$

$(K/S)_x$: 未知色の (K/S) 値

C_i : 濃度比 ($C_1+C_2+\cdots+C_i=1,000$)

の式を解くことによって, 各原色の配合比率を求めることができる。

(C) コンピューターカラーマッチングへの展開

$K-M$ 理論の展開から, ある見本色の配合を予測するに当っては,

(1) 配合をどのような考え方で求めるか。

(2) 求められた配合による調色予測と見本色とをどのように比較するか。

(3) 調色予測により見本色とちがっていたらどのように補正するか。

が決まらなければならない。特に(1)は, その配合予測の全てを左右する意味で重要である。

配合決定の考え方は, 簡単にいえば,

(イ) (一定の環境下で) 見た色が一致する。

(ロ) 反射スペクトルが一致する。

に大別され, 前者を「メタメリックマッチ」, 後者を「アイソメリックマッチ (又は, スペクトラ・マッチ)」と呼ぶ。

<メタメリック・マッチ法>

図-8にその系統例を示す。この方法は, 配合の変化を三刺激値 XYZ の変化としてとらえ, 見本色の三刺激値と調色予測配合のそれが一致するように配合を決める方法である。つまり,

1. 配合の初期値の三刺激値をとる。
2. 配合の微小変化に対する三刺激値をとる。
3. 見本色の三刺激値と比較する。
4. 微小変化させた時の値をつかって補正する。

という流れで, (2)~(4)をくり返して配合を決定する。

この方法は, 処理としては比較的簡易であるが,

(イ) 使用できる原色数が限定される。

(ロ) 光源メタメリズムを残す(図-7)

といった問題を残す。

図-7 メタメリックのマッチによるスペクトルの不一致

図-8 CCM における計算系統図 (メタメリックマッチング)

<アイソメリックマッチ法>

これは、400 nm から 700 nm の可視域においてその反射スペクトルが一致するように配合を決定しようとするものである。すなわち、

$$\sum_{\lambda=400}^{700} (\Delta R_{\lambda}) = 0$$

の条件を満足させる配合によって、調色品は見本色との光源メタメリズムをなくすることができる。しかし実際に反射率が全く一致することはまれであって、これを満足できる配合は決定できない。

そこで今日の CCM は

$$\sum_{\lambda=400}^{700} (\Delta R) \rightarrow 0 \quad \Delta R: \text{反射率の差}$$

かつ $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z) \rightarrow 0$ 又は $\Delta E \rightarrow 0$

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$: 三刺激値の差

であるような配合を予測させている (準アイソメリックマッチ法)。

いずれにしてもこれらの計算式は大変なもので、実作業にはとても応用できるものではない。

コンピュータの発達と普及は、これらの処理を即時に行い、実用化させると共に、理論そのものの補強へと発展させていったといえる。

2. 作業

2.1 調色の基本作業

調色とは、いくつかの原色を混ぜあわせることによって、見本色と同じ色をつくり出す作業をいい、

- (1) 見本色の確認…色, 艶, メタリック…
- (2) 原色の予測推定…色, 諸物性, 色数…
- (3) 原色配合比の推定…ベース, 原色…
- (4) 混合 (投入), かくはん…粗調色
- (5) サンプル作成…塗板, 成型板, 染色…
- (6) 比較, 判別…色差, 艶…
- (7) 微混合, かくはん…微調色又は補正調色

のような作業段階に分けられる。

実際の作業は、適宜この段階を組み合わせたり、くり返したりしながら、迅速、正確な調色が行われる。この作業がどのように行われるかによって、便宜上

- (イ) 目視調色
- (ロ) 計量調色
- (ハ) CCM 調色

などのように分類されることがある。

しかし、色は最終的には、人が目で見て「同じだ」とか「ちがっている」と判断されることが多いことや、個々の作業が同時に進められたり、汎用測色器の普及等々複雑な要因で明確に分けてあつかうことも少なくなりつつある。

この項では、始めに目視調色に触れながら、計量調色について述べ、CCM 調色については、以下の項でとりあげることにする。

2.2 目視調色

これは文字通り、調色作業を全て作業者の注視力にたよるところであり、作業者が見本色を目で見て、経験と勘あるいは“コツ”にたよりながら原色の選定をし、順次原色を加えながら調色するものである。

目視調色の場合は、

1. ベース又は最も多く含まれていると予測されるものを(塗料などの場合は、仕上量の7～8割)投入する。
2. 見本色のうち最も強く感ずる色の原色を加える。
3. 次に強く感ずる色の原色を加える。
4. ある程度、色が合ってきたら黒で明るさを合わせる。

が基本作業となり、あとは順次この作業を組み合わせ、見本色と“一致”するまでくり返す。

目視調色は十分な経験によって、その作業者が「この原色は、白に混ぜるとどういう傾向になるか」ということをつかんでいることが迅速、正確のよりどころであると同時に、どこでも、すぐに作業にとりかけられるという手軽さもある。

最近では、全体としては目視にたよって調色を進めながら、最終段階であるとか、作業者に十分な経験がない場合などに直読色差計を用いて、色差や偏色方向を判定させるなどとしている。(図-10)

目視調色は、

○見本の形状、光沢、大きさにかかわらず“色”の確認ができる。

○特に機器を必要とせず、いつでもどこでもできる。

○データや資料を必要としない。

ため、広く重宝がられている反面、

○目で見える環境による色差があらわれやすい。

○作業者の“クセ”が現われ、特定色につよいが全体となると相当の経験が必要となる。

○予測した原色で“調色できる”という確証がなく、場合によってはすべて始めからやり直しということになる。

○最終量がつかめず、ロス等が出る場合が多い。

などの問題を含んでいる。

2.3 計量調色

調色作業の中で、

1. 色材の混合、投入を全て秤量して行う。
2. 色の判定、表示を測色計等によって数値化すること

図-9 調色工程の流れ図

図-10 偏色判定図

とによって、調色作業の単純化、未熟練度のカバーあるいは時間短縮をはかろうとするのが計量調色法である。ここでは、先にあげた計量ネットによる方法を紹介する。

(1) 計量ネットの作成

すでに 1.3. (イ) で述べたように、まず原色に白、黒及びグレーを加えた混色試料を作成し、測色後、各明度ごとに軽理して、図-5 のようにプロットする。

更に、隣り合った原色同士も配合比をかえた混色試料をつくり、同様にネットをつくりあげる。

(2) 混色ネットを用いた計算

図-11 は、オレンジ及びエラーを原色とする混色ネットの一部である。図中、

点A

○重量配合比 エラー/白/黒/＝20/70/10

○表色値 $L_Y^* = 61.91$ $a_Y^* = -3.69$ $b_Y^* = 17.51$

点B

○重量配合比 オレンジ/白/黒＝40/59/1.0

○表色値 $L_0^* = 61.19$ $a_0^* = 32.52$ $b_0^* = 21.99$

となっている。 $L_Y^* \approx L_0^*$ 考え、以下計算を進める。

今、ある未知色を同じ系で測定したところ

$(L^*, a^*, b^*) = (61.3, 10.0, 19.00)$

であった。これは、 a^*-b^* 座標上、点Pとなり偶然 AB 直線上の位置となった。そこで、

$$\frac{AP \text{ 間の距離}}{AB \text{ 間の距離}} = \frac{27.0}{70.5} = 0.383 \quad (14)$$

を求め、以下次のようにして配合比を求める。

○オレンジの量 (C_0)

$$\begin{aligned} C_0 &= (\text{点Aのオレンジの量}) \\ &+ 0.383 \times \{(\text{点Bのオレンジの量}) \\ &- (\text{点Aのオレンジの量})\} \\ &= 0 + 0.383 \times 40 = 15.32 \end{aligned} \quad (15) \quad (15')$$

○エラーの量 (C_Y)

$$\begin{aligned} C_Y &= (\text{点Aのエラーの量}) \\ &+ 0.383 \times \{(\text{点Bのエラーの量}) \\ &- (\text{点Aのエラーの量})\} \\ &= 20 - 0.383 \times 20 = 12.34 \end{aligned} \quad (16) \quad (16')$$

○白の量 (C_W)

$$\begin{aligned} C_W &= (\text{点Aの白の量}) \\ &+ 0.383 \times \{(\text{点Bの白の量}) \\ &- (\text{点Aの白の量})\} \\ &= 70 + 0.383 \times 11 = 65.79 \end{aligned} \quad (17)$$

○黒の量 (C_B)

$$C_B = (\text{点Aの黒の量})$$

図-11 計量ネットによる配合計算法

$$\begin{aligned}
 &+0.383 \times \{(\text{点 B の黒の量}) \\
 &- (\text{点 A の黒の量})\} \\
 &= 10 + 0.383 \times 9 = 5.55
 \end{aligned} \quad (18)$$

これより、未知色の配合は

$$\text{オレンジ/エロー/白/黒} = 15.32/12.34/65.79/5.55 \quad (19)$$

として求められる。

この結果に基づいて、実際に調色してみたところ

$$L^* = 61.77 \quad a^* = 13.97 \quad b^* = 20.03$$

と図中点Mとなった。

幾分のズレはあるが、見本色に近い色を計算によって配合予測することができる様子がわかる⁴⁾。

(3) 計量ネットの応用

この方法は、(2)で述べたように、全く色材への知識がなくても、データにもとづいて調色ができるという利点がある。

計量ネットについても、一定のマニュアルをつくれれば一つの原色について作成する試料も適当な数で済ませることもできる。

また、この方法は、「新しい原色」の調色特性を知ったり、新しい人材を養成する際、その色材の調色特性を正確に教育する欠かせない基本でもあろう。

3. コンピューターカラーマッチング (CCM)

1.3.(ロ)の項で、CCMの基礎的なところをのべたので、ここでは、CCMが実際にどのようにつかわれるかについて塗料における使用例をあげながら述べることにする。

3.1 基礎データの作成

(イ) 白及び黒の基礎データの作成

白、黒及び一定の比率で混合されたグレーの試料を準備し、

$$(K/S)_M = \frac{(K/S)_W + (C_B/C_W)(K_B/S_W)}{1 + \frac{(C_B/C_W)(K_B/S_W)}{(K/S)_B}} \quad (10')$$

但し $(K/S)_M$: グレーの (K/S) 値

C_W, C_B : 白及び黒の配合比率 ($C_W + C_B = 1.0$)

によって、 (K_B/S_W) や (S_B/S_W) を求める。

塗料における CCM は、多くの場合 $S_W = 1,000$ としているため、その相対値として、

K_W : 白の吸収係数 K_B : 黒の吸収係数

S_B 及び S_W : 黒の散乱係数

が求められることになる。

(ロ) 原色の基礎データの作成

(ロ-1) TWO-Constant 法の場合

(a) 原色の $(K/S)_i$ 値を用いる場合

白、原色及び白と原色との混合色を測色し、式 (10') を用いて、原色の K_i, S_i ($S_W = 1.00$ に対する相対値) を求める。

(b) 原色と白、原色と黒の混合色から求める場合

白と原色を C_W, C_{Wi} ($C_W + C_{Wi} = 1.0$) で混合し、黒と原色を C_B, C_{Bi} ($C_B + C_{Bi} = 1.0$) に混合した試料の測色から K_i, C_i を求める。つまり、

$$(K/S)_{MWi} = \frac{C_W K_W + C_{Wi} K_i}{C_W S_W + C_{Wi} S_i}$$

$$(K/S)_{MBi} = \frac{C_B K_B + C_{Bi} K_i}{C_B S_B + C_{Bi} S_i}$$

を解いて求める。その一例を表-1に示す。

(ロ-2) Single-Constant 法の場合

これは先にものべたように (1.3.(ロ)-(b)), 用いるベース、素材の散乱係数に対して、原色の散乱係数が十分小さい場合に用いられる (インク、染料など)。

3.2 CCM による測色と配合予測

CCM のソフトは、各メーカーによってノウハウとされ、顔料・プラスチック・染料あるいは塗料などと対象とする色材によってその光学的特性に対する処理、考慮に差があるため実際の操作はきわめて多様である。

(イ) 見本色の測色

CCM における測色は、分光光度計とコンピューターがオンライン化されており、全てコンピューター操作の一つとして行われる。

測色は 400 nm から 700 nm の可視領域で 16 点 (20 nm ごと)、又は 31 点 (10 nm ごと) のデジタル値として記憶され、その処理時間は 3~7 秒である。

(ロ) 使用原色の推定

塗料の場合、通常調色に用いられる原色は、白、黒を入れて 3~6 色で、最も多いのは白、黒の他に 2 原色を

表-1 数値化された原色の例 (白の散乱係数 $S=1,000$ とした時の相対値)

1) チンチングブラック					
波 長(nm)	吸収係数	散乱係数	波 長(nm)	吸収係数	散乱係数
400	1.220	0.109	560	1.801	0.085
420	1.134	0.071	580	1.901	0.091
440	1.213	0.072	600	2.015	0.096
460	1.292	0.074	620	2.141	0.099
480	1.400	0.075	640	2.279	0.099
500	1.486	0.079	660	2.418	0.101
520	1.588	0.081	680	2.563	0.101
540	1.686	0.084	700	2.709	0.107
2) オキサイドレッド					
波 長(nm)	吸収係数	散乱係数	波 長(nm)	吸収係数	散乱係数
400	1.242	0.158	560	1.071	0.244
420	1.131	0.095	580	0.509	0.365
440	1.208	0.097	600	0.228	0.402
460	1.265	0.100	620	0.150	0.398
480	1.340	0.105	640	0.127	0.393
500	1.380	0.116	660	0.109	0.389
520	1.415	0.130	680	0.088	0.388
540	1.383	0.160	700	0.067	0.382
3) オキサイドエロー					
波 長(nm)	吸収係数	散乱係数	波 長(nm)	吸収係数	散乱係数
400	1.117	0.178	560	0.021	0.137
420	0.796	0.128	580	0.012	0.133
440	0.530	0.136	600	0.011	0.129
460	0.407	0.129	620	0.013	0.126
480	0.373	0.130	640	0.015	0.125
500	0.276	0.137	660	0.015	0.124
520	0.148	0.143	680	0.014	0.123
540	0.057	0.142	700	0.011	0.123

用いる調色である。

CCM に対して、使用原色がわかっている場合は、その原色を、不明の場合は、使用されていると思われる原色を適当な数だけ選んで入力してやる必要がある。

(ハ) 許容色差の入力

調色予想したものがどの程度見本色に一致している必要があるのか、その許容範囲はどれだけかを入力する。

CCM は、多くの場合、複数光源 (たとえば C 光源と A 光源とか) における光源メタメリズムをチェックするので、それぞれの許容色差の入力が必要である。

(ニ) 出力条件の入力

「何 kg の配合か」「重量比か容量比か」「データはどこへ出力するか」など、そのシステムによって出力条件が各種設定されており、必要に応じて入力する。

以上の操作によって演算はスタートする。

たとえば、白、黒、エロー及び赤の 4 色から

$$L^*=86.64 \quad a^*=2.00 \quad b^*=16.35$$

の「クリーム」色を計算させると、3～5 秒で終る。

表-2 は、同じ色を

エロー：3 種類、ブルー、赤、黒、白：各 1 種類から「ベスト 5」の配合を計算させた例である。比較的色彩差の小さいもの、かつ光源メタメリズムの少ないもの順に並びかえられたうえ、出力されてくるまで 35 秒～50 秒というレベルで処理された。

3.3 試し調色と補正調色

一般に 3.2) で予測された配合は「ファーストショット」とよばれ、

○見本色と基本データとの色材のちがいによる誤差

表-2 クリーム色に対する予測配合例 ($L^*=86.64$ $a^*=2.00$ $b^*=16.35$)
(DED, DEF 及び DEA は D 光源, F 光源及び A 光源での予想色差を示す)

原 色 名	重量配合比	DED	DEF	DEA
例1) YELLOW #1	38.683			
RED	3.367			
Blue	1.908			
White #1	956.042	0.0	0.3	0.2
Total	1000.000			
例2) YELLOW #1	38.029			
Black	1.995			
RED	1.395			
White #1	958.580	0.0	0.4	0.1
Total	1000.000			
例3) YELLOW #2	30.559			
RED	5.009			
Blue	2.432			
White #1	962.001	0.0	0.5	0.4
Total	1000.000			
例4) YELLOW #2	29.918			
Black	2.523			
RED	2.458			
White #1	965.101	0.0	0.3	0.8
Total	1000.000			
例5) YELLOW #3	28.309			
Black	1.843			
RED	5.029			
White #1	964.818	0.0	0.8	0.4
Total	1000.000			

○使用原色のロットブレによる誤差

○分光器, 測色環境による誤差

を含むうえ, 塗装, 着色, 成型といった誤差も含んでくる。CCMでは、「ファーストショットは試し調色」と考え、補正調色するのが好ましい(「ファーストショットの精度をいかにあげるか」という問題は別のようである)。

表-3 は, この補正調色の一例である。

この「クリーム色」は, 始め「旧配合」によって, 色差が ($\Delta E=0.1$) と予想されたが, 実際につくってみたら, $\Delta E=2.3$ となった。

表中 1) は, そのクリーム色をどのように手直ししたら良いかをプログラム (AUTO CORRECTION) で行われた例で, 一定量添加すれば色差 $\Delta E=0.1$ になると予測した。同じ 2) は, 仮りに 179.6g とって, エローを 4.5g, 白を 8g 添加したらどうなるかを入力して計算予測させたものである。

表-4 は, 同様にしてマッチングを行った例である。また図-12 は, このマッチングがスペクトラマッチであることを示す一例である。また, 「定数理論」のちがいの例として参考のため図-13 をあげる。

3.4 CCM の活用について

以上に CCM を用いる調色 (主として塗料) について基本的なところを述べた。CCM については, その活用のメリット, あるいは残されている問題点などについて改めて検討する必要があるものの, 本文の例からも少なからぬメリットは感じていただけると思う。

最後に CCM について触れておきたいのは, CCM がその機能として, 一斉の調色をとりまく周辺, すなわち原色の品質管理, 計量仕込, 在庫管理, コスト管理……などと統一的にシステム化できるということである。つまり, 当然のことながら, CCM における配合比率の計算値に基づいて, 原色を配合するにしても, その用いる

表-3 CCM による補正プログラムの応用例

1) CCM 補正プログラムによる自動補正 (色差は補正前で $\Delta E=2.3$)						
原 色 名	添加量	添加比率	ファクター	旧配合	新配合	新配合比率
YELLOW #1	16.446	127.5	0.95	12.900	29.346	3.98
Black	1.848	142.2	0.79	1.300	3.148	0.45
RED	0	0	1.58	0.070	0.070	0.01
White	354.405	124.0	1.00	285.800	640.205	95.56
Total	372.699	124.2		300.070	672.769	

(この補正によって色差は $\Delta E=0.1$ になると予測)

2) あるオペレーターが加えた場合の予測 (色差 $\Delta E=1.3$)						
Batch Weight = 179.600						
YELLOW #2	4.500			Old and New Batch Sizes 179.600+12.500=192.100		
Black	0					
RED	0					
White	8.000					
Total	12.500			(これだけ加えると $\Delta E=0.7$ となると予測)		

表-4 CCM によるマッチング例

	1) ブルー		2) ブルーメタリック		3) ダークブルーメタリック		
	1st Shot	補正 (AUTO)	1st Shot	補正 (AUTO)	1st Shot	補 正 (AUTO 原色追加)	補正
配 分	ブ ル ー 7.73	8.28	ブ ル ー 39.58	46.58	ブ ル ー 89.46	89.46	90.32
	バイオレット 9.28	9.03	グ リ ー ン 3.74	2.65	レ ッ ド 0.74	0.74	0.99
	ブ ラ ッ ク 1.62	1.57	ブ ラ ッ ク 0.25	0.29	ブ ラ ッ ク 9.59	9.08	8.16
	ホ ワ イ ト 81.37	81.12	メ タ リ ッ ク 56.43	50.48	メ タ リ ッ ク 0.95	0.71	0.53
	色 差 2.2	0.3	色 差 2.9	0.4	色 差 3.5	2.6	0.3
	目 視 判 定 OUT	OK!	目 視 判 定 OUT	OK!	目 視 判 定 OUT	OUT	OK!

原色ロットによって色相や着色力にブレがあったり、原色が貯蔵中に色相や着色力の変化をきたせばやはり初期投入（ファーストショット）の精度を下げることになり、CCMの精度を維持するには原色の品質管理を軽視することはできない。こうした意味で、分光測色を基本にしたCCMは、その応用の一つとして、原色の品質管理を目的としたプログラムが準備されている。

また最近では、原色の投入をコンピューターに制御させ、省力化と共に人意的誤差を取り除こうとしたり、調色によって使用された原色、使用量の在庫からの「引き落とし」あるいは、調色試料のコスト算出などといった調色という業務にかかわる周辺の業務がコンピューターの使用を通じてシステム化されつつある。この辺は、むしろCCMメーカーあるいはディーラーの強調するところであるが、われわれ色材にかかわる者の側として今後検

討すべき課題だと思う。

4. お わ り に

取りあげた内容があまりに広範囲なため、内容に不十分なところを随所に残しているが、これについては参考、引用文献としてあげた成書等をご参照いただきたい。

また、本文をまとめるに当り、「計量ネット法」を始め、広く参考にさせていただいたり、引用させていただいたのが、日本色彩研究所の「カラーマッチング講習」のテキストである。

最後に、「テキスト」の参照、引用を快諾下さった日本色彩研究所、本文をまとめるに当って指導、援助をたまわった職業訓練大学の吉田豊彦教授に深く感謝致します。

図-12 CCMによるマッチング例

図-13 理論的あつかいの差によるマッチング精度

VCS

Computer Color System

LVDS

PDS

図-14 システム化される CCM[®]

参考・引用文献

- 1) 日本色彩学会編：新編色彩科学ハンドブック，東京大学出版会 (1980)
- 2) R. G. Kuehni : Computer Colorant Formulation, L. Books (1975)
- 3) 納谷嘉信：産業色彩学，朝倉出版 (1980)
- 4) 日本色彩研究所：「カラーマッチング専門コース」

講習会テキスト (1983)

- 5) T. G. Patton : Pigment Hand Book V-III, J. Wiley & Sons, Inc. (1973)
- 6) 須賀長市：耐候光と色彩 (1977)
- 7) 佐野和雄：色材, 52 [4], 186~194 (1979)
- 8) acs 社カタログ
- 9) 日本電色工業(株)カタログ