Objectification of Colour Judging ^{UDC} 535.65

Kazuko YAMAMOTO
Nippon Paints Co., Ltd.

Abstract

As the accuracy of paint colour demanded becomes high, it becomes necessary to adopt a numerical and objective method in place of the conventional sensuous and subjective methods of colour determination. In the present report several problems pertaining to colour measurements were discussed, and the possibility of the application of colour difference meters was studied.

Although it is impossible to measure colour itself with a colour difference meter, it is possible to represent numerically the colour difference between two similar colours. It was found that the instrument has to be warmed up sufficiently before any measurements are made, and that the kinds of substrate and the conditions of film preparations have to be specified in order to obtain reproducible results. In view of the practical aspects of paint application and of colour difference measurements, it appears that the reasonable value of colour difference to standardize is E-2.

* Minami Shinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo

色判定方法の客観化について UDC 535.65

山 本 和 子

要 旨

色が広く一般に使用されるようになるにつれて、色の良否判定に対する使用者の要求は次第にシビアなものになってきている。したがって塗料の色管理も従来の官能的、主観的な方法から数値的、客観的な方法に移行することの必要性が痛感されるにいたっている。本報告では塗料の色を判定するに当たって生じるいくつかの問題点について論じ、あわせて測定器使用の可否について検討を行なった。すなわちハンター型色差計を塗料規格面に取り入れる場合の器差による測定値のバラツキその他について測定を行ないつぎのような結論を得た。

- 1) ハンター型色差計は色の絶対測定を行なうのに使用することは不適當であるが、近似色間の色差を数値化して表示する目的には使用できる。
- 2) ただしこの場合、事前に十分計測器が定常状態にあることを確認する必要がある。
- 3) 色を比較するのに用いる試験片を作成する際は、下地の材質、塗装条件などをはっきり規定しておく必要がある。
- 4) 塗料の実用性および測定の妥当性からも判断して、塗料規格内に取り入れる色差値としては $\Delta E=2$ 程度が適當と判断される。

1. は じ め に

塗料の色は被塗物の美化に大きな影響を与えるので使用者側の関心も高く、塗料の色管理はメーカーにとって重要な仕事のひとつとなっている。しかしながら常に、全く同じ色を作り出すことは不可能であって、求められた色に対してできるだけバラツキの少ない(色差の小さい)ものが提供されるように管理することがメーカーとして必要な技術となってくる。色管理をしていくための良否の判定は、従来から主として視感による官能検査によって行なわれてきたが、この方法は個人差、環境差などによる判断差を生じることが多く、しばしば問題を起こしていた。色管理をきびしく実施するためにはまず、誰もがいつでも同一物に対して同じ判断を下せることが前提となるが、視感による官能的色判定にはさきに述べたような問題点があり、このため実用的でかつ客観的な判定方法の確立の必要性が生じてきた。

色管理に関する問題は複雑多岐にわたっていて容易に解決できる問題ではないが、本報告では判定を実施する上での問題点と、客観的判定方法の一手段としてのハンター型色差計による色差判定について検討した結果を述べる。

2. 色判定に影響を与える問題点

過去の経験に基づいて色判定に影響を与えると考えられる諸点をあげると、①試験片作成上の問題、②比較対象上の問題、③判定上の問題、の三つに大別される。

2・1 試験片作成上の問題

同一塗料を用いても、次の条件差により色の差を生じることがある。

- 1) 使用試験板の材質差……ブリキ、ガラス、鉄、紙など。
- 2) 塗装方式差……ハケ塗り、ドクターブレード塗り、吹付け塗りなど。
- 3) 塗装時における使用塗料の粘度差……希釈の仕方
- 4) 試験片の塗膜厚の差
- 5) 乾燥条件差……乾燥のスピード、乾燥時の温度および湿度など。

2・2 比較対象上の問題

色の判定は必らず標準品と比較して行なうが、比較する対象によってはつぎのような問題がある。

- 1) 標準品と試料との塗料品質の差……顔料、ビヒクルの種類や組成が異なる。
- 2) 標準塗片と試験片(色判定用塗片)との作成条件差……塗装方法、乾燥方法、作成時期などが異なる。
- 3) 標準塗片と試験片との使用試験板の材質差
例 紙とブリキでは素地の影響が異なる。

昭 42. 8. 2 受理

* 日本ペイント株式会社

東京都品川区南品川 4-1-15

4) 標準塗片の経時変化……きず, よごれ, 光沢減少, 変色など。

5) 光沢差……つぎのような光沢差があると色判定は幻惑される。

a. 塗料品質が異なる場合の標準塗片と試験片との光沢差。b. 経時した標準塗片と作成したての試験片との光沢差。(同一塗料品質の場合)

2.3 判定上の問題

現在一般に用いられている色判定方法は, 主として視感による方法と計測器による方法とであるが, それぞれつぎのような問題のあることが認められている。

2.3.1 視感判定

視感判定は色の差を精細に見分けることができるといふ利点があるが, その色の差を数値的に表現することはむずかしく, また個人差, 環境差を生じやすい。つぎに視感覚の個人差について行なった実験の一例を示す。

「実験例」

1) 目的 同一塗板の判定についての個人差の確認

2) 実験条件

a. 試料塗板

No.1 7.5BG 4/2 標準との色差(ΔE)1.2のもの

No.2 7.5BG 4/2 標準との色差(ΔE)0.1のもの

No.3 5PG 8/1 標準との色差(ΔE)0.4のもの

備考 ここでいう ΔE はハンターの色差式より求めたものである。($\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$)

b. 測定者 色彩弁別テスト合格者 20 名。c. 測定場所 一定場所の直接光でない自然光の下で d. 測定回数 午前, 午後, 一日 2 回で 3 日間, 合計 120 回 (2×3×20) e. 調査方法 アンケート方式により標準との色変化傾向感および差の認識程度を調査

3) 結果 上記の条件で実験した結果はつぎのとおりであった。

a) 標準に対する試料塗板の色変化傾向感は, 色差(ΔE)の大小にかかわらず, 個人によりかなりの差がある。(図-1 参照) b) 標準に対する試料塗板の差の認識程度は個人による差はあるが, 平均的にみた場合色差の大小の区別はなされている。(図-2 参照) c) 同一塗板であっても午前と午後では感覚差のあることが推察できる。(図-3 参照) d) 色変化傾向感は図-1 で明らかとなおり色差 ΔE の大きいものは小さいものに比べて判定が同傾向となりやすく視感判定と ΔE 判定との間に併行関係があることが推察できる。

2.3.2 計測器判定

計測器を使用すれば数値化ができるので, 客観的判定

図-1 官能検査による色変化傾向感

図-2 官能検査による色差の認識感

図-3 No.3 塗板 (ΔE 0.4) の午前と午後の色差の認識感

ができる利点があるが反面つぎのような問題点がある。

- 1) 計測器の種類が異なれば, 同一塗板であっても, ちがった数値を示すことがある。
- 2) 色空間は立体的であるため, 同じ数値の色差であっても方向が異なれば, 視感との間にずれを生じることがある。(同一色差式で算出したものでも)

しかしながら, 計測器の種類を統一してその機能が十分発揮できるように管理をよくすれば, 実用になかった数値による客観的色判定が可能と考えられたので, 引き続きその検討を行なった。

3. ハンター型色差計による色差判定

色を数値管理するには, $L \cdot a \cdot b$ から求めた ΔE で表示ができるハンター型色差計がもっとも簡便で実用的であると現在は考えられている。よってここでは, ハンター型色差計の器差と測定値のパラッキ幅について検討した結果を報告する。すなわち, 各所で使用しているハンター型色差計の器差によるパラッキ幅の調査, および器

差によるバラツキ幅が無視できるかどうかも確認する目的で、同一塗板の $L \cdot a \cdot b$ 値の繰り返し測定および二つの近似色色差の繰り返し測定の実験を行なった。

3.1 同一塗板の $L \cdot a \cdot b$ 値の繰り返し測定

赤, 青, 黄の三色について同一不変色板の $L \cdot a \cdot b$ 値を実験計画法 (枝分れ実験) に基づいて5カ所で使用している5台の色差計を用いて繰り返し測定を実施した。

その結果は表-1に示されているとおりで、各色とも測定器間および測定日間に差のあることがわかった。

なお色別、測定器別の測定値の平均 ($\bar{x}$) とバラツキ範囲 (3シグマ) は表-2, 表-3 のとおりであった。上で得られたように同一塗板の $L \cdot a \cdot b$ 値の測定に際しても

a. 測定器間および日間変動がある。

表-1 分散分析結果 ($n=190$)

赤について

要因	L	a	b	$F_{\phi_2}^{\phi_1}(0.01)$	$F_{\phi_2}^{\phi_1}(0.05)$
測定器間	5.42**	22754.06**	11.72**	4.43	2.87
日間	2014.22**	6.75**	23.41**	2.70	2.10
時間	1.30	0.04	0.56	2.29	1.79

青について

要因	L	a	b	$F_{\phi_2}^{\phi_1}(0.01)$	$F_{\phi_2}^{\phi_1}(0.05)$
測定器間	1284.37**	9177.88**	5666.82**	4.43	2.87
日間	2.91**	0.45	1.53	2.70	2.10
時間	0.01	3.06	2.71	2.29	1.79

黄について

要因	L	a	b	$F_{\phi_2}^{\phi_1}(0.01)$	$F_{\phi_2}^{\phi_1}(0.05)$
測定器間	1690.72**	107.80**	3146.17**	4.43	2.87
日間	1.71	0.004	3.40**	2.70	2.10
時間	1.14	1.68	0.38	2.29	1.79

備考 本実験の因子としては次のものを取り上げた。

1. 測定器 (対応のある変量)
2. 日 (対応のない変量)
3. 時間 (対応のない変量)
4. 測定者 (対応のない変量)

表-2 測定器別 $L \cdot a \cdot b$ 測定値の [$\bar{x}$]

色 データ 色差計 No.	赤			青			黄		
	$\bar{x}_L$	$\bar{x}_a$	$\bar{x}_b$	$\bar{x}_L$	$\bar{x}_a$	$\bar{x}_b$	$\bar{x}_L$	$\bar{x}_a$	$\bar{x}_b$
1	33.2	56.8	18.9	49.7	2.1	19.5	86.7	13.0	38.2
2	27.7	71.6	14.4	46.5	5.8	-15.4	84.1	-7.8	43.1
3	34.8	54.1	17.7	49.1	1.0	-20.4	86.3	-11.3	40.1
4	33.0	68.2	20.0	48.6	-4.1	-20.7	84.6	-3.4	40.6
5	28.0	72.9	14.1	47.3	8.0	-17.8	84.1	-9.5	43.1

($n=各 30$)

b. 各測定器の測定値や再現精度 (バラツキ幅) には相当の差がある。

ことが判明した。したがってハンター型色差計は、通常いわれているように二つの近似色間の色差の判定に用いるのが適当と考えられた。

3.2 二つの近似色色差の繰り返し測定

ハンター型色差計は二つの近似色色差測定に用いるのが適当と推察されたので、ここでは近似色の色差を測定した時の色差計の器差や再現精度を調査するため、メーカーの異なる3台のハンター型色差計を用いて赤, 青, 黄の三色について近似色色差を繰り返し測定した。その結果は表-4に示されているように 1) 繰り返し測定によって求められた色差 (ΔE) の平均値 ($\bar{x}$) から判断すれば三色とも器差によるデータ差はほとんどない。

2) 再現精度については測定器による差があり、本実験でのバラツキ幅は $C < A < B$ の順序であった。

測定器により、バラツキ幅に差を生じているのは、本実験では測定環境がそれぞれ異なっていたことと、色差計によっては、いくらか定常性の保持に疑義があったことなどの原因のためと想像され上記結果がそのまま測定器構造上の問題に基づくものとはいうことはできない。すなわちバラツキ幅のもっとも小さい色差計Cは理想的条件下 (恒温室) での測定であり、バラツキ幅のもっとも大きい色差計Bは図-4に示されるとおり、AおよびCに比べて定常性が保持されていたかどうかに疑いがある。したがって定常性の保持された色差計を使用して、一般条件下で測定した場合に期待できる再現精度は、測定器の構造から考えてA程度のバラツキ幅であろうと考えられる。

4. 色差計による塗料の色管理

以上に述べた検討の結果から、ハンター型色差計は色の絶対値測定用としての使用は困難であるが、近似色間の色差を数値化して表示する目的には十分使用できると判断され、今回、国鉄より諮問を受けて設置された日本車両工業協会の塗料研究会でも上記の趣旨の答申を国鉄に対して行なった。ただし塗料規格などの中にこの種の計測器を取り入れる場合は注意を必要とする幾つかの問題があり、上記研究会の報告書

表-3 測定器別測定値 $L \cdot a \cdot b$ のバラツキ範囲 (± 3 シグマ)

色 色差計 No.	赤				青				黄			
	$\pm 3\sigma_L$	$\pm 3\sigma_a$	$\pm 3\sigma_b$	$\pm \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_a^2 + \sigma_b^2}$	$\pm 3\sigma_L$	$\pm 3\sigma_a$	$\pm 3\sigma_b$	$\pm \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_a^2 + \sigma_b^2}$	$\pm 3\sigma_L$	$\pm 3\sigma_a$	$\pm 3\sigma_b$	$\pm \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_a^2 + \sigma_b^2}$
1	0.40	0.63	0.40	0.85	0.29	0.73	0.29	0.84	0.24	0.68	0.48	0.87
2	0.36	0.85	0.21	0.94	0.49	0.21	0.25	0.62	0.25	0.20	0.21	0.38
3	0.33	0.77	1.80	1.99	0.19	0.42	0.19	0.50	1.27	0.80	0.75	1.67
4	0.63	2.64	0.54	2.77	0.47	0.50	0.45	0.82	0.60	0.78	0.57	1.26
5	0.64	2.34	0.34	2.45	0.34	0.41	0.47	0.71	0.19	0.42	0.07	0.47

(n=各 30)

図-4 器種別色差 (ΔE) 測定値のヒストグラム
の一例 (赤について)表-4 赤青黄三色の ΔE の $\bar{x}$ とバラツキ範囲 [s]

色	A		B		C	
測定値	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
赤	1.73	0.13	1.78	0.24	1.81	0.06
青	1.71	0.07	1.63	0.15	1.49	0.04
黄	3.75	0.11	3.74	0.33	3.78	0.04

備考 1. 測定法: 試験片と標準との ΔE をランダムに
1日4回以上の繰り返しを行ない
5日間つづけた。

2. 測定場所: 色差計A, B 通常の実験室
色差計C 恒温室 (20°C) }
で測定した。

の中では以下に述べるような諸点について適切な取り扱いを実施に際して考慮するよう要望している。

4.1 ハンター型色差計の定常性の確認

3.2の器差検定の結果, 色差計で ΔE を測定するためには測定器が定常状態にあるかどうか, が問題となることが判明した。そこで測定に先立ち色差計の定常性を確認するため, 次の2点についてチェックをする必要がある。

1) 色標準板 (不変色板で, できれば3原色を用いるとよい) の $L \cdot a \cdot b$ 表示値と実際の測定値との差が2以内にある。

2) 二つの近似色色差の繰り返し (連続的) 5回の測定値のR (最大値と最小値の差) が0.2以内である。上記チェックの結果異常がなければ定常状態にあるとし試験板の測定を開始してよい。

備考 チェック項目は AS TMD-1365-55 Tなどを参考として決めた。

4.2 色標準の設定

色判定を色差 (ΔE) で行なうためには色標準が必要であるが, この標準としては, 1) カラーカードを使用する。2) 承認板 (使用者からあらかじめ承認を受けた塗料の塗り板) を使用する。の2方法が考えられる。カラーカードを標準としたときは視感で大体一致しているようにみえても

カラーカードと実際納入塗料との組成が異なる。

カラーカードと試験片との塗料条件が異なる。

などの理由で大きな規格値を設定することが必要となる。実際納入塗料について一例を示すと, 図-5ののとおりで, 特にハイディングの悪い有機顔料などを使用したものは, 膜厚により試験板の材質の影響を受けて色差 (ΔE) が大きく変化する。

なお色によっては試験板材質や膜厚変化の影響を受けにくいものもあるのでその例を図-6に示す。

他方承認板を標準に用いた場合は, メーカーごとに標準板が設定されるので, 承認手続などの幾分のわずらわしさはあるが標準板と納入塗料の組成や塗装条件を同じ

図-5 赤2号の試験板材質別・膜厚別の ΔE 変化 (カラーカードに対して)

備考: ガラス板の ΔE が小さいのは、ガラス板に塗った色でカラーカードにあわせているためである

図-6 ブルー2号の試験板 材質別 膜厚別の ΔE 変化 (カラーカードに対しての)

くすることが可能であり色差を小さく規制することができる。上記について比較検討した結果、承認板を色標準とする方が実状になかった適切な方法であると考えられる。

4.3 試験片作成条件の明確化

同じ塗料を用いても試験片作成条件が異なると色差を生じるのでつぎのように条件を規制する必要がある。

- 1) 試験板の材質 承認板と同一とする。例 JIS-G-3303 SPTEC-50 プリキ板使用
- 2) 希釈シンナー SA 448 フタル酸樹脂エナメル用シンナー (吹付け用)
- 3) 吹付け時の塗料粘度 フォードカップ No. 4 で 25 ± 1 秒 (20°C)
- 4) 膜厚 (乾燥)

隠ぺい力の大きなもの	0.04~0.05 mm
隠ぺい力の小さなもの	0.06~0.075 mm
- 5) 塗り回数 規定膜厚になるよう2回以上塗り重ねる。塗り重ねのインターバルは

1回目と2回目の間	約 18 時間以上
-----------	-----------

2回目と3回目の間 約6時間以上

- 6) 塗装方法 JIS-K-5400 3.5(2) 吹付塗りによる
- 7) 塗膜の乾燥 塗装終了後塗板を温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $73 \pm 5\%$ の恒温恒湿室中に水平に48時間放置

4.4 色差 (ΔE) による色判定方法の設定

現在実際に支障なく使用されている塗料の色のバラツキ調査の結果や塗料製造時の入手原料および顔料分散状態などのバラツキを考慮すれば、国鉄で現在使用している外部用20色についての色差は、定常状態にあるハンター型色差計を用いて、4.3の条件で作成した試験片と色標準 (承認板) を使用すれば ΔE は2以内におさえることが可能である。またこの程度の色差値を設定すれば塗料を使用する上で大きな支障は生じないと考えられる。

5. あとがき

限られた分野でしか論じられなかった色彩に対する関心が近時工業界方面にも大いに高まり、色彩提供者である塗料メーカーに対する要求は、ますますきびしくなっている色の良否判断は初めにも述べたように大部分が視感で行なわれているが視感覚は識別能力は高いが周囲の条件にまどわされやすい欠点があり、しばしば同一物に対してちがった判定を下すことがある

例: 同一塗料を塗ったものでも形の大小や、塗ったものが置かれている背景などの差により異なった色感をもつ。

したがって芸術的感覚を楽しむものは別として工業的に使用される場合の色判定は、誰でもがいつでも同一物に対してはあるバラツキ範囲内で同じ判断が下せるような合理的方法でなければならない。合理的客観的判定法としては、数値管理のできる計測器判定の方が適切であり本稿では各種計測器の中からもっとも簡便で実用的なハンター型色差計による ΔE 判定を取り上げた次第である。なお ΔE 判定に際しては定常性の維持された色差計を使用することが、測定上の重要ポイントである。しかし現在の色差計はその器機構造上から考えて精度維持には細心の注意を払う必要がある。この点に関しては器機を改良することにより、管理の手間を省きしかも目的精度の維持も可能と考えられるので是非器機メーカー側での改良検討をお願いしたい。

文 献

- 1) 車輛用塗料および同試験方法の規格の研究報告 日本鉄道車輛工業協会
- 2) 測色の理論と測定: 「染料と薬品」第9巻第10号 (1964) 別刷
- 3) ASTM-D-1365-55 T