(昭和53年7月24日受理)

染色物における色濃度の数値的表現について

京都工芸繊維大学工芸学部 寺主一成・大萩成男*

A STUDY ON TINCTORIAL VALUE OF DYED MATERIALS

By Kazushige Teraji and Shigeo Ohagi

(Faculty of Industrial Arts, Kyoto Technical University,
Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto)

Since basic studies of dyeing have been done so far mainly from the standpoint of physical chemistry with the major emphasis being placed on interpretation of dyeing phenomena itself, the amount of fixed dyestuff in dyed materials have been employed as one of the most useful parameters.

However, from the teleological viewpoint of dyeing it is needless to say that the tinctorial value of dyed materials is the most important factor for evaluation of dyeing.

The relation between the amount of fixed dyestuff and the tinctorial value of dyed material is expressed by, for example, K/S value. The K/S value, like amount of fixed dyestuff, is essentially an achromatic concept and may indicate effectively the relation between fixed dye amount and tinctorial value within a certain range of dye concentration, though it is totally useless when it is used to compare different colors with various hues.

Several methods to express tinctorial values have so far been proposed but it is hard to say they are used widely because of their complicated calculation procedures and limited range of application.

In this study, C^* value, which is the tinctorial value of dyed materials, was correlated with K/S value as follows:

$$C^* = m_H (K/S)^{n_H}$$

where m_H and n_H are constants determined experimentally from the hue.

C^* calculated by the above equation was found very useful for the evaluation of the tinctorial value of dyed materials including nylon jersey and wool.

(Received July 24, 1978)

1. 緒 言

染色の基礎的研究は、これまでほとんどが主として化学の立場から行われてきた。染色の物理化学的研究では、その速度論にしても平衡論にしても、色材の染着量がもっとも重要なパラメータとして用いられている。

物質としての色材の存在量や移動量などが、染色現象を定量的に理解するための重要な基本量であることに疑問の余地はないとしても、これは、染色することによってつくり出される染色物の第一義的な属性である色そのものの濃度と、必ずしも十分に対応するものとはいえない。

染色現象の方は物質によって定量化できるとしても、染色物については、染着量という物質量ではなく、視覚によって認識される色濃度という感覚量によって評価されなければならないところに、染色現象と染色物におけ

*現在の所属：和歌山県工業試験場染色部，和歌山市小倉60

Present address: Wakayama Prefectural Industrial Research Institute, 60, Ogura, Wakayama.

る評価の視点の相異がある。

感覚量としての色濃度の数値的表現については、GodloveのA値¹⁾、Rabeの θ 値²⁾、GallのB値³⁾、あるいはTaylorの R_{min} 値^{4,5)}などの提案があるが、前3者はその算出の手続きに、たとえば図式変換を含んでいたりと、色濃度レベルによっては異なった係数を使用しなければならないなどのこともあって、煩瑣であると同時に、その算出精度にも問題を残している。

そうしたこともあって、これらの色濃度表現方法は、標準染色濃度の規定や、染料の染色力の評価などに用いられることはあっても、染色加工の場において用いられることはまったく行われていない。

そして、染色量という物質量が、評価の基準として、必ずしも妥当なものとはいえない染色現象や染色物、たとえば捺染などの場合には、最大吸収波長帯の反射率から算出されるK/S値が無批判に用いられたりしているのが現状である。

しかし、K/S値は、色相という重大な色属性の一つが考慮されていないという点において、染色量とまったく同様の本質的な欠点をもつものであって、染色物の評価にひろく使用できるものとはいえない。

そこで、これまでの色濃度の表現に代る、色相要因が十分加味され、算出手続きも簡単で、しかも、これまでに提案された色濃度表現とも関連をもつ、新しい色濃度の算出方法を、実験的な手段によって作成することを検討した。

2. 実験方法

十分に精練漂白したナイロンジャージ布を、分散染料を用いて、各種の色相にわたり、染色濃度を变化させて染色した色票を作成し、これを色濃度段階設定のための基本試料とした。

これらの色票を作成するために使用した染料、および染色された色票群のAdams-Nickerson色度図上の分布は、表1および図1に示す通りである。

これらの色票群を各色相ごとに横一列に並べ、53名の20才代の正常な観測者たちによって、各自の視感的な色濃度感覚にもとづいて、各色票間の相互間隔を決定した。観測者たちはいずれも、事前に色濃度に関する定量的な訓練を受けてないので、色票間隔は各自のもつそれぞれの色濃度感覚にもとづくものである。相対的な間隔比は一部の例外を除いて、ほとんど同一性を示した。

Table 1. Dyestuffs used for dyeing of specimens.

Hue	Commercial Name	C.I. No.
Y	Cibacetyl Yellow 2GC	Disperse Yellow 3
YR	Kayalon Polyester Orange R-SF	Disperse Orange 73
R	Kayalon Polyester Brown GR-SE	Disperse Brown 1
RP	Samaron Pink FBL	Disperse Red 60
P-1	Kayalon Polyester Red Violet R-E	Disperse Violet 36
P-2	{ Cibacetyl Blue F3R Cibacetyl Red 2G	{ Disperse Blue 3 Disperse Red 17
PB	Samalon Blue FBL	Disperse Blue 56
B	Kayalon Blue 2GL-S	Disperse Blue 27
G	{ Cibacetyl Turquoise Blue G Cibacetyl Yellow 2GC	{ Disperse Blue 7 Disperse Yellow 3

Fig. 1. Plot of dyed specimens on Adams-Nickerson chromatic diagram.

Fig. 2. C^* scale for tinctorial strength. $C^*=0$ is equivalent to white and $C^*=10$ is equivalent to JIS 1/1 standard depths of shade.

色濃度の基準値としては、JIS, L-0808⁶⁾、0810⁷⁾および0812⁸⁾に規定されている標準染色濃度表を用い、濃度表1号(1/1濃度)マットが色濃度値 C^* で平均10に相当するものと定め、白($C^*=0$)から1/1濃度表($C^*=10$)を等間隔に区切るスケールを用意して色濃度値を視感決定した(図2)。

標準染色濃度表3号(1/6濃度)および5号(1/25濃

度)は、それぞれに参考値として示されている θ 値を考慮することなく、観測者たちの色濃度感覚に従って、上の色濃度スケール上に配置した。その結果、1/6濃度と1/25濃度は、後述するように、その θ 値から予想される位置と、いくらかずれることになった。

3. 結果と考察

測定結果のうち、R、Y、B色相に関するものを示すと表2の通りである。表中の θ 値は分光測色値からRabeの方法に従って算出されたものである。 K/S 値は次式によって算出した。

$$K/S = (1 - R_\infty)^2 / 2 R_\infty \quad (1)$$

この表から、視感色濃度 C^* と K/S 値を両対数グラフにプロットすると、図3が得られ、 $\log C^*$ と $\log (K/S)$ の間に直線関係の成立することが認められる。

この直線の勾配と、 $\log C^*$ 軸との交点の値は各色相ごとに異っているが、それらの関係は次式として一般化される。

$$C^* = m_H (K/S)^{n_H} \quad (2)$$

Table 2. Results of experiment (Y, R and B).

Yellow (Disperse Yellow 3)			
Dye conc. (g/l)	K/S (410 nm)	C^*	θ (Rabe)
.005	1.89	4.25	5.086
.01	3.17	5.20	5.765
.02	5.68	6.54	6.446
.04	7.88	7.43	6.729
.08	10.84	8.42	7.009
.16	12.65	8.95	7.084
.32	17.05	10.06	7.259
.64	19.45	10.59	7.383
Red (Disperse Red 60)			
Dye conc. (g/l)	K/S (526 nm)	C^*	θ (Rabe)
.0063	0.536	2.45	2.746
.0125	1.019	3.28	3.554
.025	2.03	4.47	4.509
.05	3.95	6.03	5.321
.1	7.83	8.20	6.536
.15	11.52	9.76	7.160
.25	17.40	11.76	7.619
.5	22.58	13.21	7.949
Blue (Disperse Blue 27)			
Dye conc. (g/l)	K/S (638 nm)	C^*	θ (Rabe)
.005	0.127	1.08	1.262
.01	0.282	1.60	2.226
.02	0.562	2.23	2.988
.04	1.383	3.45	4.050
.08	2.170	4.30	4.622
.16	4.050	5.81	5.552
.32	7.650	7.91	6.479
.64	15.040	10.98	7.234

Fig. 3. Relationship between K/S values and tintorial strength C^* values.

ここに、 m_H および n_H は各色相によって定まる値であって、前者を色濃度の色相係数、後者を色濃度の色相指数とよぶことにする。

測定された m_H および n_H の値を、Munsell色相環を切り開いて直線状に展開した軸に対してプロットすると、図4.1および図4.2のようである。試料色票のMunsell Hueは必ずしも5の値をとっていなかったが、曲線近似の誤差を考慮して、それぞれ5のところへプロットした。

m_H については5 PBを最大値、5 Yを最小値とする曲

Fig. 4.1. Transformation coefficient of hue to tintorial strength; m_H .

Fig. 4.2. Transformation index of hue to tintorial strength; n_H .

線, n_H については5Yを最大値, 5PBを最小値とする曲線を形成する山形の分布が得られ, これらは共に放物線で近似することが可能であると考えられた。

放物線による近似式は, Munsell 色相環を40等分に分割した場合に次の式となる。

$$m_H = a (\Delta H_{5PB})^2 + b \Delta H_{5PB} + c \quad (3)$$

$$a = -1.375 \times 10^{-3} \quad b = 5.775 \times 10^{-2}$$

$$c = 2.744$$

$$\Delta H_{5PB} = 0 \sim 20 \text{ (5 PBからのHue 差)}$$

$$n_H = p (\Delta H_{5Y})^2 + q \Delta H_{5Y} + r \quad (4)$$

$$p = -2.625 \times 10^{-4} \quad q = 1.103 \times 10^{-2}$$

$$r = 3.792 \times 10^{-1}$$

$$\Delta H_{5Y} = 0 \sim 20 \text{ (5 YからのHue 差)}$$

これらの式による計算値をMunsell 色相に対応させる

Table 3. Calculated values of m_H and n_H .

Munsell Hue	m_H	n_H
2.5 R	3.239	.463
5 R	3.262	.457
7.5 R	3.283	.451
10 R	3.301	.444
2.5 YR	3.316	.436
5 YR	3.328	.428
7.5 YR	3.338	.419
10 YR	3.345	.410
2.5 Y	3.349	.400
5 Y	3.350	.390
7.5 Y	3.349	.400
10 Y	3.345	.410
2.5 GY	3.338	.419
5 GY	3.328	.428
7.5 GY	3.316	.436
10 GY	3.301	.444
2.5 G	3.283	.451
5 G	3.262	.457
7.5 G	3.239	.463
10 G	3.213	.469
2.5 BG	3.184	.474
5 BG	3.152	.478
7.5 BG	3.118	.482
10 BG	3.081	.486
2.5 B	3.041	.488
5 B	2.998	.491
7.5 B	2.953	.493
10 B	2.905	.494
2.5 PB	2.854	.495
5 PB	2.800	.495
7.5 PB	2.854	.495
10 PB	2.905	.494
2.5 P	2.953	.493
5 P	2.998	.491
7.5 P	3.041	.488
10 P	3.081	.486
2.5 RP	3.118	.482
5 RP	3.152	.478
7.5 RP	3.184	.474
10 RP	3.213	.469

Fig. 5.1. Distribution of m_H on Munsell Hue Circle.

Fig. 5.2. Distribution of n_H on Munsell Hue Circle.

と表3となり, これらの値を色相環に対してプロットすると, 図5.1および図5.2が得られる。 m_H および n_H の値は, 近接する色相においては, きわめて近い値を示しており, 図4におけるプロットを各Hueの5においたことは, 全体的な認識を大きく変容させるものではないと考えられる。

図5は, m_H に関しては5Yで外側へ向ってもっとも大きく張り出し, 5PBにおいて内側へくびれ込んだ cardioid 曲線に類似するくびれ環構造を, また n_H に関しては m_H と逆に, 5PBで張り出し, 5Yでくびれ込んだくびれ環構造をもっていることを示している。

このような偏心くびれ構造は, 色相による色濃度知覚の根本的な相異にもとづくものであって, 色が感覚に与える特異性を示すものと考えられる。

表3の m_H および n_H を用いて, 測定値について C^* の計算値を, 別途にRabeの方法に従って算出された θ 値に対してプロットしたものが図6である。分布にはバラツキがあるが, 全体としてはよく対応しており, 特にこの中から色相Yと色相PBに関するものをとり出したの

Fig. 6. Relationship between C^* and Rabe's θ values of dyed specimens.

Fig. 7. Relationship between C^* and Rabe's θ of Y and PB plotted in Fig. 6.

Fig. 8. Transformed plot of Fig. 7 to logarithmic C^* scale.

が図7である。これら二つの色相は、まったく相反する補色関係にあるにもかかわらず、1本の曲線上に乗っていることが認められる。

この曲線は、 $\theta \sim \log C^*$ 図では図8のように、ほぼ直線とみることができると考えられるので、これから次の式が求められる。

$$\theta = 0.813 + 6.545 \log C^* \quad (5)$$

このことは、純視感的に設定された色濃度値 C^* が、

Fig. 9. Relationship between θ derived from C^* by eq. 2 and θ calculated by Rabe's method.

これとは、まったく別途に、色彩学的に視感色濃度値を定量化するために用意された θ 値と、近似的に変換できるような関係をもつ、同質の色濃度表現値であることを意味すると解釈できよう。

(5) 式で $C^*=10$ とおくと、 $\theta=7.36$ となり、最初に設定した JIS 標準染色濃度表 1 号 ($\theta=7.5 \pm 0.2$) を色濃度判定の基準としたことと対応している。

Rabe の方法によって求められた θ 値と、 C^* 値から (5) 式によって算出した θ 値との関係を、実験に用いた色票群について見ると図9の通りであって、両者の相関性は良いと考えられる。

4. 標準染色濃度表について

染料の染色堅ろう度が染色物の色濃度によって大きく影響されることは周知の通りであり、このため、染色堅ろう度試験を行うにあたっては、まず色濃度を一定にすることが必要であって、JIS および ISO では、このための標準染色濃度を規定している。

ISO の 1/1 濃度はマット試料の場合、 $\theta=7.47$ となるように作成されたものであり、JIS でも ISO にならって、 $\theta=7.5 \pm 0.2$ としている。

JIS の標準染色濃度表のマット試料について、1/1 濃度 20 種、1/6 濃度 20 種、1/25 濃度 14 種を測定し、これから Rabe の方法に従って求められた θ 値と、各色票の最大吸収波長における反射率値から (1) 式によって求めた K/S 値を、それぞれの Munsell 色相に従って、(3)、(4) 式からそれぞれ求められる m_H および n_H を用いて C^* 値に変換し、さらに (5) 式によって θ 値に直したものの関係を示すのが図10である。

JIS では、1/1 濃度マット色票が $\theta=7.5 \pm 0.2$ である

Fig. 10. Relationship between θ derived from C^* and Rabe's θ of standard depths of shade (JIS 1/1, 1/6, 1/25).

ことを示している以外には、 θ 値を明らかにしていないが、測定の結果からみれば、1/6 濃度や 1/25 濃度もまた ISO の規定とよく一致している。

図 10 からみるように、Rabe の方法で求めた θ 値と、 C^* 値から変換された θ 値は、1/1 濃度ではきわめてよい一致を示しているが、1/6 濃度および 1/25 濃度ではいくらかずれが認められる。

これは、前述のように、 C^* 値では、1/1 濃度色票を色濃度の基準値として用いただけで、それ以外の手続きはすべて視感によって決定していったのに対して、 θ 値の方は、1/1 濃度に対して等しい色濃度値を与えるように用意された計算方法を、そのまま 1/6 濃度や 1/25 濃度にも適用したものであって、 C^* 値が視感的等歩度性をもっているのに対して、 θ 値の方では、必ずしもそれが保証されていないことに原因すると考えられる。

5. C^* 値と θ 値の比較

C^* 値から (5) 式によって、かなりの精度で θ 値が誘導できることを述べたが、これらはもともと、その出発点を異にしているため広い範囲にわたって、厳密に変換が可能なのではないが、 C^* 値と θ 値の概略的な対応関係を知ることができよう。

そしてまた、 C^* 値も、これから θ 値を算出するための媒介値として用意したものではなく、それ自体を視感色濃度の表現値として考えたものである。

C^* 値は、比較的広い色濃度の範囲において、染色浴の初期染料濃度とよい相関性をもつようである。図 11 は本実験結果のうち、R、Y、B 色相に関するものを持っているが、 C^* 値の 4~11 の範囲、したがって、(5) 式で換算して求められる θ 値でいえば、4.75~7.63 の範

Fig. 11. Relationship between initial dye concentration (g/l) in dyeing bath and tinctorial strength. D_s is initial dye concentration (g/l) in dye bath.

囲において、かなり良好な直線関係をもっているように思われる。

これまで、繊維上の色材量に対して、それと関連する濃度値として、 K/S 値や、これに表面反射の補正を加えたりしたものを用いられてきたが、 K/S 値に、色相補正を加えた C^* 値もまた、色材量という物質と関連する感覚量として用いることができるものと思われる。

図 12, 13, 14 は代表的な赤、黄、青の色相をもつ酸性染料による羊毛の染色布に関して、染料濃度 (owf) と

Fig. 12. Comparison of C^* with θ and K/S (wool specimen dyed with Acid Red 35). D_s is dye concentration (owf). (r : Correlation coefficient)

Fig. 13. Comparison of C^* with θ and K/S (wool specimen dyed with Acid Yellow 44). D_s is dye concentration (owf). (r : Correlation coefficient)

Fig. 14. Comparison of C^* with θ and K/S (wool specimen dyed with Acid Blue 78). D_s is dye concentration (owf). (r : Correlation coefficient)

K/S 値, θ 値, C^* 値との関係を示したものである。図中の r は相関係数を示している。

6. 色相による色濃度順位

m_H および n_H が、色相環に対して偏心くびれ構造をもっているため、 K/S 値の大きさが変わると、色相による色濃度の大きさの順位が変化する。その様子は図 15 の通りである。

すなわち、最大吸収波長における反射率 $R_{\min}$ が小さく、したがって K/S 値が大きい色濃度の高いレベルにおいて

Fig. 15. Variation of tinctorial strength by difference of hue.

は、Y 色相がもっとも低い色濃度を感じさせ、R-P-B-G の色相域が高い色濃度を与えるが、 $R_{\min}$ が次第に大きくなって、 K/S 値が小さくなってくると、色濃度の差がだんだんなくなり、ついには淡色域において、Y 色相の方が PB 色相よりも大きい色濃度感覚を与えることが C^* 値によって示されている。

非常に淡い青色が、通常の場合に若干の黄味を含んでいる漂白布よりも、かえって白い感覚を与える青味付けの効果は、反射率曲線の形の問題もあるが、図 15 に示されるような低い色濃度域においては、色相による色濃度順位が、高い色濃度域とくらべて逆転するということも関係しているように考えられる。

7. 総 括

染色物の色濃度を数値的に表現する方法として、これまでに提案されていた、色の暗度と飽和度からベクトル合成的に算出される方法と異なり、 K/S 値に色相因子を加味して変換する方法を、視感判定をベースとする実験的手段によって構成することを試みた。

設定された色濃度値 C^* は、色濃度を表現する方法として、きわめて簡便であると同時に、これまでに提案され、もっともよく利用されている θ 値とも、ある程度の関連をもち、また染色における染料濃度との相関性のあることを確めた。

実験は原色を中心として行ったが、JIS 標準染色濃度表の示している基本 20 色に対しても、ほぼ妥当な数値を与えた。基本的な問題としては、無彩色に対して、どのように展開できる可能性があるかが残されている。

文 献

- 1) I. H. Godlove; *Amer. Dyestuff Repr.*, **43**, 685 (1954)
 - 2) P. Rabe; *Amer. Dyestuff Repr.*, **46**, 504 (1957)
 - 3) L. Gall, et al; *Die Farbe*, **14**, 342 (1965)
 - 4) M. E. Taylor; *Text. Chem. & Col.*, **2**, 149 (1970)
 - 5) P. G. Kuehni; *Text. Chem. & Col.*, **10**, 75 (1978)
 - 6) JIS, L-0808, 標準染色濃度表 1 号 (1971)
 - 7) JIS, L-0810, 標準染色濃度表 3 号 (1973)
 - 8) JIS, L-0812, 標準染色濃度表 5 号 (1973)
-