技術報文

(昭和 57 年 11 月 29 日受理)

染色堅ろう度汚染等級判定の
統計的手法による検討

大阪府立工業技術研究所 汐 崎 久 芳

A STUDY OF THE JUDGEMENT TO STAIN-FASTNESS
OF DYEINGS BY STATISTICAL METHOD

By Hisayoshi Shiozaki

(Osaka Prefectural Industrial Research Institute
Leather Laboratory, Suita-shi, Osaka, Japan)

The staining rating number estimated by Gray Scale was analyzed by the use of successive categories theory in order to give objective validity to the judgement on the stain-fastness of dyeings. The rating number of stained cloth specimens, which were rubbed on black leathers, was judged twice according to Gray Scale by nineteen technical experts. The visual judged data, which was an ordinal scale, were converted to an interval scale by the successive categories to determine the ranges of each Gray Scale steps. The color difference, ΔE , were correlated with the visual interval scale converted. The relationship between the visual interval scale and the color difference was calculated by the use of regression analysis and is expressed in the following form

$$\hat{S} = A + B \exp(C \times \Delta E)$$

where $\hat{S}$ is an estimated value from each Gray Scale steps on the visual interval scale, C is a constant when the correlation coefficient between S and $\exp(C \times \Delta E)$ becomes the maximum, and A and B are the regression coefficients, respectively. The correlation coefficient of 0.999 was obtained. The ranges between each Gray Scale steps were determined on the ΔE scale by the use of the above equation. It should be noted that these ranges enable the judgement on fastness of dyeings to give objective validity. The visual interval scale showed a non-linear relationship to Munsell value scale due to the difference in the quality of stimulus detected between both scales. That is, the Munsell value scale depends on the luminous reflectance, on the other hand, the visual interval scale is attributed to the color difference between stained and unstained cloths. It was found that the visual interval scale was suitable for Weber-Fechner's law.

(Received November 29, 1982)

1. 緒 言

染色堅ろう度は JIS で規定されているグレースケールを用いて視感的に判定される。この視感的判定は判定者個人の感覚にもとづく主観的判断で、判定結果には必然的に差異が生じる。色に対する主観の差異は色彩学の分野で広く研究されているが、人間の知覚を対象としているので複雑な問題を含んでおり、未だ完全な解決策は得

られていないのが現状である。

染色堅ろう度の客観的判定に関する研究は数多く報告されている^{1~8)}。しかし、そのいずれもが客観的判定のためのパラメーターの設定に重点が置かれており、その基礎となるべき人間の視感の構造についてはほとんど考察されていない。マンセル表色系等を用いて人間の視感を解析しようとする試みも多くなされている^{9~20)}。しかし、グレースケールについては検討されていない。

著者は染色堅ろう度汚染等級の判定結果を系列カテゴリ法²¹⁾を用いて分析し、視感的に等間隔な尺度を構成した。この尺度上におけるグレースケールの位置を決定し、機器による測色結果と対応させることにより、汚染等級を測色結果から判定できる基準値を設定した。

2. 実験方法

市販の黒色革を革の染色摩擦堅ろう度試験方法 (JIS K 6547) に従い、摩擦回数を変えて汚染白布 29 点を作成し、判定の基礎試料とした。汚染等級の判定は、汚染用グレースケールを用いて JIS L 0801 の方法に従い、19 名 (非熟練者も含む) の判定者により 2 回繰返して行った。なお、判定者は近畿地区の公設試験研究機関の研究員である。測色は日立カラーアナライザ 307 形および 607 形で行った。

3. 結果および考察

染色堅ろう度の判定は官能検査の一種で、一般に官能検査により得られる尺度は、名義尺度、序数尺度、距離尺度および比例尺度の四つに分類できる。判定により得られる等級値は、順序のみを規定する序数尺度と考えるべきで、等間隔性を表わす距離尺度ではない。測色計から得られる測色値は距離尺度である。故に、染色堅ろう度判定を測色値と対応させるには、判定結果を距離尺度に変換する必要がある。著者は、系列カテゴリ法を用いて序数尺度を距離尺度に変換し、得られた距離尺度と測色結果との相関を検討した。

3.1 因子分析

判定結果を解析する場合、異常値の棄却が必要である。ここでは異なった基準で汚染等級が判定された場合を異常値とした。異常値を示す判定者の検出には判定者を変数とする因子分析を用いた。結果を表 1 に示す。

因子の抽出は第 2 因子までとした。表 1 の寄与率から第 1 因子が全判定者に共通な判定基準であると考えられる。それ故に、第 1 因子に対する因子負荷量が小さい判定者は、共通の判定基準から偏った基準により汚染等級の判定をしているものと判断され、No. 21, 22, 23, 24, 27 および 28 の判定者による判定結果を除去した。除去して得られた判定結果の度数分布を表 2 に示す。

3.2 系列カテゴリ法

系列カテゴリ法とは、序数尺度データを用いて距離尺度を構成する方法であり、距離の基礎は弁別閾値である。系列カテゴリ法を適用するにはデータが正規分布であることが要求されるので、正規分布か否かを検定し、試料 No. 6, 9, 12, 19 および 20 を棄却した。正規分布検定はスネデカーの方法²²⁾を用いた。

Table 1. Factor loadings of panelists calculated by the factor analysis.

Panelist No.	Factor loading	
	1 st	2 nd
1	0.97	-0.08
2	0.99	-0.04
3	0.97	-0.09
4	0.97	-0.11
5	0.97	-0.09
6	0.95	-0.13
7	0.95	-0.10
8	0.95	-0.11
9	0.90	-0.21
10	0.91	-0.24
11	0.94	0.01
12	0.96	-0.02
13	0.96	0.01
14	0.97	0.01
15	0.97	-0.07
16	0.93	-0.14
17	0.94	0.12
18	0.94	0.11
19	0.98	-0.06
20	0.98	-0.03
21	0.89	0.36
22	0.89	0.39
23	0.85	0.05
24	0.88	0.00
25	0.98	-0.13
26	0.96	-0.15
27	0.86	0.48
28	0.90	0.39
Contribution	24.70	0.94

選別された判定結果を用いて系列カテゴリ法による距離尺度の構成を行い、汚染用グレースケール各等級の距離尺度上における位置および幅を決定した。得られた尺度を S_c 尺度と呼ぶことにし、表 3 に示した。

表 3 において、1 級の上限值と 1-2 級の中心値が逆転しているが、これは表 2 からわかるように、1 級と判定されたケースは 1 回しかなく、中心値および上限値がこの 1 個の判定値のみで決定されたために生じた誤差によるものと考えられる。この誤差は、1-2 級の尺度幅が異常に小さい原因ともなっている。系列カテゴリ法による距離尺度化の有意性は χ^2 検定を用いて行われる。

$$\chi_0^2 = \frac{N \sum (\sin^{-1} \sqrt{P} - \sin^{-1} \sqrt{P'})^2}{821} \quad (1)$$

ここで P は表 2 から計算される累積実測比率、 P' は系列カテゴリ法で推定される累積期待比率、 N は判定者数である。(1) 式で得られた χ_0^2 は 161.7 であった。自由度は 161 なので、 $\chi^2(161, 0.40) = 165.1$ および $\chi^2(161, 0.50) = 160.5$ との比較より、系列カテゴリ法を用いて距離尺度化を行ってもさしつかえないと判断できる。

表 3 において、4-5 級の幅がかなり大きいのが、これ

Table 2. Frequency distribution of the judgement to color fastness to rubbing.

Sample No.	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	Average ^{a)}
1						1	8	13		4.3
2						3	3	13	3	4.3
3							7	13	2	4.4
4		7	10	3	2					2.2
5			12	4	6					2.1
6		16	4	2						1.8
7				8	12	2				2.9
8			6	9	5	2				2.4
9		3	16	1	2					2.1
10							2	16	4	4.5
11							2	15	5	4.6
12						1	1	17	3	4.5
13							10	12		4.3
14				8	5	8	1			3.3
15					6	7	7	2		3.5
16				1	4	13	2	2		3.4
17	1	1	13	5	2					2.4
18		2	13	6	1					2.2
19			12	8	1	1				2.1
20			13	7			2			2.3
21		2	8	10	2					2.6
22				2	9	9	2			3.4
23			1	9	5	6	1			2.9
24			1	9	8	3	1			2.8
25				8	8	6				3.2
26			7	7	7	1				2.8
27		3	13	6						2.1
28			8	11	3					2.4
29			8	10	4					2.6

^{a)} Average value of the judgement.

Table 3. Sc-scale calculated by the method of successive categories.

Rating number ^{a)}	Upper limit of category	Width of category	Center value of category
1	0.65		0.00
1-2	1.01	0.36	0.57
2	2.56	1.55	1.86
2-3	3.69	1.13	3.08
3	4.72	1.03	4.21
3-4	5.94	1.22	5.07
4	6.81	0.87	6.25
4-5	8.77	1.96	7.57
5			9.07

^{a)} Gray Scale for assessing staining.

は次の理由による。5級と判定されるのは白布と白布の汚染部分との色差が弁別閾値以下の場合である。1-4-5級の等級値は、汚染用グレースケール各号の色差を見本として、白布と汚染部分の色差の程度を判定されて与えられるものであり、白布の汚染部分とグレースケール色票とを直接比較して与えられるものではないと考えられる。故に、汚染白布の色差が4-5級の色差よりも

小さくても、白布と汚染部分とが弁別でき、4-5級と判定される場合がある。その結果4-5級と判定される場合が増えて、そのカテゴリ幅が広くなる。もし、4-5級の幅を他と同程度にしようとするなら、5級にも多少の色差をもたせることが必要であろう。

系列カテゴリ法を用いると、汚染白布試料の S_c 尺度での値はメジアンとして得られる。

色差 $\Delta E(U^*V^*W^*)$ と判定結果の平均値および系列カテゴリ法で得られるメジアンとの関係をそれぞれ図1および図2に示した。図1および図2にはグレースケール各色票についても点綴した。これらの図より、(2)式が近似できる。

$$\ln(S-a) = b - C \times \Delta E \quad (2)$$

これを(3)式の形に変換し、 S と $\exp(-C \times \Delta E)$ との相関係数が最大となるときの C の値を求めた。

$$S = a + \exp(b)$$

$$\times \exp(-C \times \Delta E) \quad (3)$$

ここで S はグレースケール等級番号 N もしくは表3の S_c 尺度中心値であり、 N については4-5級、3-4級、2-3級および1-2級はそれぞれ4.5, 3.5, 2.5および1.5

● Gray Scale for assessing staining
○ Average value shown in Table 2

Fig. 1. Relationship between the color difference, $\Delta E(U^*V^*W^*)$, and the rating number. Solid lines were calculated by regression analysis.

● Gray Scale for assessing staining
○ Staining magnitude calculated by the method of successive categories

Fig. 2. Relationship between the color difference, $\Delta E(U^*V^*W^*)$, and Sc -scale. The visual data were converted to an interval scale, Sc -scale, by the method of successive categories. Solid lines were calculated by regression analysis. Staining magnitude was obtained as median.

と読みかえるものとする。a および $\exp(b)$ は回帰係数として求められる。得られた結果を下に示す。

$$\hat{N} = 0.550 + 4.51 \exp[-0.0678 \Delta E(U^*V^*W^*)] \quad (4)$$

$$\hat{Sc} = -0.733 + 9.82 \exp[-0.0805 \Delta E(U^*V^*W^*)] \quad (5)$$

ここで色差 $\Delta E(U^*V^*W^*)$ は実測値、 $\hat{N}$ および $\hat{Sc}$ はそれぞれ N および Sc の推定値を示す。(4)式および(5)式から得られる曲線を図1および図2に示した。

汚染白布試料についても(3)式の形を近似し、各係数を求めた。

$$\hat{N} = 1.83 + 3.07 \exp[-0.0983 \Delta E(U^*V^*W^*)] \quad (6)$$

$$\hat{Sc} = 1.14 + 7.61 \exp[-0.0991 \Delta E(U^*V^*W^*)] \quad (7)$$

ここで $\hat{N}$ は判定の平均値の推定値、 $\hat{Sc}$ はメジアン の推定値である。(6)式および(7)式から得られる曲線も図1あるいは図2に示した。

図1および図2の低い等級部分において、汚染白布試料に対する判定結果が、(4)式および(5)式の曲線からずれているのが認められる。この誤差の原因としては次の2点が考えられる。まず第1に、本来なら1級未満とすべき試料に対して、1級の判定をした場合、1級程度の汚染を示す試料には1-2級と判定してしまう可能性があることと、一般に判定者は極端な評価を行いたがらない傾向があることである。低い等級における誤差を防

Table 4. Correlation coefficients between N or Sc and $\hat{N}$ or $\hat{Sc}$.
 $\hat{N}$ or $\hat{Sc}$ were calculated by eq. (4)~(9).

Sample	eq. (4) or (6)	eq. (5) or (7)	eq. (8)	eq. (9)
Gray scale ^{a)}	0.9993	0.9997	0.9992	0.9997
Stained samples	0.9498	0.9536		

^{a)} Gray Scale for assessing staining.

^{b)} eq. (4) and (8): N =Rating number
eq. (5) and (9): Sc =Center value shown in Table 3

eq. (6): N =Average value of judgement to stained samples

eq. (7): Sc =Median calculated by the method of successive categories

Table 5 Range of the each category (rating number) of Gray Scale on ΔE scale.

Rating No. ^{a)}	Range on $\Delta E(AN)$	Range on $\Delta E(U^*V^*W^*)$
1	$22.96 \leq$	$24.18 \leq$
1-2	$20.06 \leq < 22.96$	$21.19 \leq < 24.18$
2	$12.50 \leq < 20.06$	$13.28 \leq < 21.19$
2-3	$9.14 \leq < 12.50$	$9.72 \leq < 13.28$
3	$6.77 \leq < 9.14$	$7.20 \leq < 9.72$
3-4	$4.52 \leq < 6.77$	$4.79 \leq < 7.20$
4	$3.15 \leq < 4.52$	$3.33 \leq < 4.79$
4-5	$0.59 \leq < 3.15$	$0.59 \leq < 3.33$
5	< 0.59	< 0.59

^{a)} Gray Scale for assessing staining.

ぐ意味で、1級未満という等級を加えるべきであろう。

JIS L 0805 で規定されているグレースケール各号の色差 $\Delta E(AN)$ についても同様に近似的な式を求めた。

$$\hat{N} = 0.586 + 4.47 \exp[-0.0727 \Delta E(AN)] \quad (8)$$

$$\hat{Sc} = -0.678 + 9.76 \exp[-0.0861 \Delta E(AN)] \quad (9)$$

(4)式~(9)式から得られる推定値と、各々対応する実際の値との相関係数を表4に示す。

表4からは、染色堅ろう度判定に平均値を用いた場合と Sc 尺度を用いた場合との間に差は認められない。しかし、 Sc 尺度の利点は各カテゴリーの幅が決定されていることにある。つまり(5)式あるいは(9)式に表3の上限值を代入することにより、色差 ΔE 尺度上における各カテゴリーの範囲が計算できるのである。結果を表5に示す。表5を用いて測色値から染色堅ろう度汚染等級値が決定できる。ただし、前述したように低い等級値に関しては今後の検討が必要である。

3.3 マンセル無彩色軸との相関

Sc 尺度と、マンセル無彩色軸および寺主らの色濃度値 $C^{*6-8)}$ との整合性について検討した。

マンセル明度値 V は視感反射率 Y (%) から JIS Z 8721 付表 2 を用いて求められる。あるいは修正明度関数²³⁾ (10) 式に Y (%) を代入しても計算できる。

$$Y = 1.1913V - 0.22532V^2 + 0.23351V^3 - 0.02483V^4 + 0.0008194V^5 \quad (10)$$

色濃度値 C^* による解析を行っている寺主は、マンセル明度値と C^* 値との関係も報告している²⁴⁾。それによると、マンセル明度値 V と C^* 値の関係は下式で与えられる。

$$C^* = 0.03 \times 2^{\frac{10-V}{2}} \quad (11)$$

まず著者は汚染用グレースケール各色票の測色を行ったので、結果を表 6 に示す。JIS L 0805 では、汚染用グレースケール 5 号の色票の視感反射率は $85 \pm 2\%$ と規定されており、表 6 の測色結果は許容範囲内である。表 6 に示す C^* 値と Sc 尺度との関係を図 3 に示す。

図 3 から、 C^* 値と Sc 尺度は曲線関係を示し、 Sc 尺度と C^* 値とが一致していないことがわかる。染色堅ろう度汚染等級判定は白布と汚染部分間の色差を問題とするものであり、 Sc 尺度とは、その判定における視感距離尺度である。ところが、 C^* 値は着色布相互間の色差を基に構成されており、寺主らは汚染等級判定における視感的な等間隔性や距離といった点については言及していない。また、寺主の汚染用グレースケールについての測色値⁶⁾ が表 6 の結果とは異なっている。以上の 2 点が不一致の原因と考えられる。

図 3 には表 6 から得られる Sc 尺度とマンセル明度値との関係も示した。マンセル明度値 V は $0 \leq V \leq 10$ であるが、 C^* 値から求めた明度値 V は 10 以上の値も示した。

図 3 において、視感反射率 Y (%) から求めたマンセル明度値 V の Sc 尺度に対する点綴は曲線関係を示し、 Sc 尺度とマンセル明度値との不一致が認められる。この原

- Munsell value calculated from eq. (11) by using C^* value
- Munsell value calculated from eq. (10) by using luminous reflectance
- C^* value shown in Table 6

Fig. 3. Relationship between Munsell value or depth value C^* and Sc -scale of Gray Scale for assessing staining.

因としては、各試料およびグレースケール色票の背景の影響が考えられる。H. Takasaki²⁵⁾ や C. C. Semmelroth²⁶⁾ が試料の設置された背景の明度の影響について検討しており、明度関数も提案している。しかし、いずれの明度関数を用いても Sc 尺度とマンセル無彩色軸との不一致を合理的に説明できなかった。そこで著者はこの不一致の原因を次のように考えた。

前述したように、汚染に対する染色堅ろう度判定は、5 級以外については白布と汚染部分との色差の程度をグレースケール各号の色差を見本として判定するものであ

Table 6. Result of colorimetry of Gray Scale for assessing staining.

Rating number ^{a)}	Luminous reflectance Y (%)	Spectral reflectance at 660 nm (%)	C^* value ^{b)}	$\Delta E(U^*V^*W^*)$	$\Delta E(AN)$
1	28.865	27.8	2.7121	33.17	31.29
1-2	40.777	39.5	1.9132	23.83	22.65
2	51.410	50.1	1.4056	16.93	16.16
2-3	60.324	59.2	1.0602	11.85	11.34
3	66.295	65.3	0.8604	8.70	8.34
3-4	71.056	70.5	0.7054	6.28	6.07
4	75.435	75.0	0.5807	4.18	4.20
4-5	79.638	79.4	0.4661	2.18	2.11
5	84.338	85.1	0.3268		

^{a)} Gray Scale for assessing staining.

^{b)} C^* value were calculated from the following equation

$$C^* = 28 \left(\frac{(1-R)^2}{2R} \right)^{0.495}$$

where R is spectral reflectance at 660nm.

り、汚染部分の明度とグレースケール各号の明度とを比較するものではないと考えられる。この考え方にWeber-Fechnerの法則(12)式の適用を試みた。

$$R = C \log \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (12)$$

ここで S は刺激、 S_0 は刺激閾値そして R は刺激 S を受けたときの反応の大きさである。上述の考え方に従うと、刺激 S は汚染の程度であるから $S = 84.338 - Y$ である*。つまり、5級が刺激無しであり、1級の刺激が最大と考えるわけである。刺激閾値 S_0 に対応する反応 R は0(ゼロ)であるが、これは Sc 尺度上では表3の4-5級の上限度8.7718である。これらのことから次式の形で回帰分析を行った。

$$8.7718 - Sc = C \ln \frac{84.338 - Y}{S_0} \quad (13)$$

得られた結果を(14)式に示す。

$$8.7718 - \hat{Sc} = 3.2082 \ln \frac{84.338 - Y}{3.8182} \quad (14)$$

得られた相関係数は0.992であった。このことから、 Sc 尺度は(14)式の形にするとWeber-Fechnerの法則を満たすと考えられ、 Sc 尺度が精神物理学的には妥当な尺度であると考えられる。

マンセル無彩色軸は(12)式に基づく方法によっても構成されているが、刺激 S には Y (%)を用いている。この刺激 S の性質の差が Sc 尺度とマンセル無彩色軸との不一致の原因であると考えられる。

4. ま と め

染色堅ろう度汚染等級の判定結果を系列カテゴリ法を用いて分析し、人間の視感尺度上におけるグレースケール各等級の位置および幅を決定した。得られた視感尺度を Sc 尺度と呼ぶことにした。 Sc 尺度を用いて、各等級の範囲を色差 ΔE の値で得た。結果を表5に示した。表5を用いることにより客観的な染色堅ろう度判定が可能となる。

Sc 尺度はマンセル無彩色軸に一致しなかったが、それは刺激の質が異なるためであると考えた。 $\hat{Sc}$ 尺度は汚染に対する染色堅ろう度判定以外には用いられない。

今後の検討課題としては、種々の色差式を用いた検討や、従来の1~5級に、1級未満等のカテゴリを加えた判定を行い、尺度の両端、特に低い等級範囲についての検討が必要と考えられる。

以上の研究に御協力いただいた兵庫県皮革工業指導所、和歌山工試皮革分場および奈良工試の研究員各位に深謝します。また、論文をまとめるにあたり種々御教示いただいた、大阪府立大学工学部北尾悌次郎教授に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 大萩成男, 谷 正博; 染色工業, **28**, 41 (1980)
- 2) S. V. Vaeck; *J. Soc. Dyers Colour.*, **94**, 301 (1974)
- 3) M. G. King and I. Seltzer; *ibid.*, **90**, 281 (1974)
- 4) R. S. Sinclair; *ibid.*, **91**, 188 (1975)
- 5) R. McDonald; *ibid.*, **90**, 189 (1974)
- 6) 寺主一成; 織学誌, **36**, T-260 (1980)
- 7) 寺主一成, 本馬達夫; 織学誌, **37**, T-205 (1981)
- 8) 寺主一成; 染色工業, **30**, 61 (1982)
- 9) H. Wright; *J. Opt. Soc. Amer.*, **55**, 1650 (1965)
- 10) Y. Sugiyama and H. Wright; *ibid.*, **53**, 1214 (1963)
- 11) Y. Sugiyama and H. Wright; *ibid.*, **54**, 75 (1964)
- 12) E. Coates, S. Day, J. R. Provost and B. Rigg; *J. Soc. Dyers Colour.*, **88**, 186 (1972)
- 13) C. Alder, K. P. Chaing, T. F. Chong, E. Coates, A. A. Khalili and B. Rigg; *ibid.*, **98**, 14 (1982)
- 14) H. R. Davidson; *J. Opt. Soc. Amer.*, **43**, 581 (1953)
- 15) E. Coates, S. Day, J. R. Provost and B. Rigg; *J. Soc. Dyers Colour.*, **88**, 69 (1972)
- 16) E. Coates, K. Y. Fong and B. Rigg; *ibid.*, **97**, 179 (1981)
- 17) C. E. Helm; *J. Opt. Soc. Amer.*, **54**, 256 (1964)
- 18) T. Indow and T. Uchizono; *J. Exp. Psychol.*, **59**, 321 (1960)
- 19) T. Indow and K. Kanazawa; *ibid.*, **59**, 330 (1960)
- 20) D. I. Morley, R. Mann and F. W. Billmeyer; *J. Soc. Dyers Colour.*, **91**, 229 (1975)
- 21) 田中良久; 「心理学的測定法」, 東京大学出版会, p. 151 (1980)
- 22) 畑村又好, 奥野忠一, 津村善郎共訳; 「スネデカー統計的方法」, 岩波書店, p. 183 (1966)
- 23) 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, p. 129 (1980)
- 24) 寺主一成; 織学誌, **35**, T-548 (1979)
- 25) H. Takasaki; *J. Opt. Soc. Amer.*, **56**, 504 (1966)
- 26) C. C. Semmelroth; *ibid.*, **60**, 1685 (1970)

* 84.338 はグレースケール 5 号の視感反射率