

論文

蛍光増白布の白色度評価について

内 田 洋 子 ・ 福 田 保

Estimation of Whiteness of
Fluorescent Whitened Cloths

Hiroko Uchida, Tamotu Hukuda

Otsuma Women's University

Abstract

As the widespread use of fluorescent whitening agents has changed preference of the color of white materials toward bluish white region in color space, then the derivation of better whiteness formula was necessary. Whiteness of fluorescent whitened cloths were investigated. At first, cotton cloths were dyed at eight concentration steps by each of six kinds of fluorescent whitening agents. The spectral radiance factors of these whitened cloths under the xenon lamp were measured, and the rankings of whiteness of the samples were calculated by fourteen whiteness formulas. The visual rankings of whiteness of the samples were given by twenty six subjects.

Rank correlation coefficients between the calculated rankings and the visual rankings were calculated, but a good coincidence was not given. Finally, the modified CIE whiteness formula was proposed.

要 旨

蛍光増白剤の出現が白さの領域を広げて以来、白色度式の見直しが必要となってきた。そこで蛍光増白布の白色度について検討した。

まつ綿布を6種類のFWAを用いておのおの8段階の濃度で染色した。そしてそれらの増白布の分光放射輝度率をキセノンランプ下で測定した。さらに試料布の白色度順位を14の白色度式で計算した。一方、試料布の視感判定順位が26名の被験者により順位づけられた。

次に白色度式の順位と視感判定の順位の相関を求めた。しかしながら全く相関していなかった。そこで、CIE白色度式の変形したものを求めた。

1. 序

布や紙を白くする方法として以前から化学漂白や青味づけが行われてきた。前者は原布やパルプが持つ着色を漂白することにより反射率を高め、無彩色に近づけようとするものである。ところが短波長領域の反射率が他の波長の反射率ほど上昇しないため、結果として外観的に黄味を帯びることになる。後者は少量の青色染料を加えて短波長領域の反射率を相対的に高め、白くみせようとするものである。しかし可視波長部全域の反射率が低下するため、くすんだ青白さに仕上る欠点がある。

他方、白さを計測的に判定する試みが1935年頃から既に Judd¹⁾ や Mac Adam²⁾ により行なわれている。その後も研究は重ねられ、反射率や分光反射率の測定値をそのまま白色度にしようとする一波長法や二波長法、また完全拡散反射面からの色差を測定して白色度とする評価方法などが誕生した。ところが蛍光増白剤 (Fluorescent Whitening Agent, 以下 FWA という) の出現で、FWA を使用した物質の白色度はさまざまな白色度評価方法を用いても視感判定との一致という点で満足することはできなかったのである。

FWA の光学特性に触れておくと、その分子構造が紫外線エネルギー (200~400nm) の吸収により高エネルギーレベルの状態に転移する。しかし高エネルギーレベルでは不安定なので定常状態に復帰し、この時可視部の青い光 (400nm 付近) が蛍光として放射される。この青色光が物質の少し黄味があった反射光に加わって高反射率の青みを帯びた白色光となり、増白効果が非常に高められるのである。

この輝かしい白さをもつ FWA を使用した物質に対応させようとする白色度式が Allen³⁾, Hunter^{4),5)}, 福田⁶⁾らにより作られ、また 1982 年には CIE⁷⁾ が正式に CIE 白色度式を勧告している。さらに日本でも JIS 原案⁸⁾として白色度が審議されたことがあるが、まだ JIS になっていない。そこで CIE 白色度式をはじめとする 14 の白色度式を用いて視感判定と一致するかどうかを確かめ、白色度の評価方法について考えてみようと思う。

2. 実験

2.1. 試料作成

実験を行うに際し下記の方法で試料布を作成した。

2.1.1. 試料布

常法で精練・漂白した綿ブロード 40 番を実験に供した。Table 1 に布の諸元を示す。

2.1.2. FWA

青味系・赤味系・ニュートラル系の色味をもつ FWA 6 種を用いた。青味系：カヤホール 3BS (C. I. Fluorescent Brightening Agent 166), ブランコホール Z-BA liquid-5B (C. I. Fluorescent Brightening Agent 113), 赤味系：カヤホール A (C. I. Fluorescent Brightening Agent 84), カヤホール FB (C. I. Fluorescent Brightening Agent 86), ニュートラル系：カヤホール AS150 (C. I. Fluorescent Brightening Agent 90), ブランコホール Z-BA liquid (C. I. Fluorescent Brightening Agent 113)。

カヤホールは日本化薬社製、ブランコホールはバイエル社製でその組成はいずれも 4,4'-ジアミノスチルベンジスルホン酸の誘導体である。尚、ブランコホール Z-BA liquid-5B は Z-BA liquid に青色染料を加えたものである。

Table 1 試料布の諸元

番 手	40 番
組 織	平織
糸密度	縦 55 本/cm 横 26 本/cm
厚 さ	0.283 mm
製 造	中尾フィルター k. k.

2.1.3. 染色

以下の条件で染色を行い、試料布を作成した。

布 : 2.5g

濃度 : 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 % o. w. f.

浴比 : 1 : 50

無水芒硝 (Na_2SO_4) : 5.0 % o. w. f.

温度 : カヤホール 40°C, ブランコホール 70°C

時間 : カヤホール 40 分, ブランコホール 20 分

使用機械 : 大栄科学標準染色機 (冷却管使用)

染色後、残液吸光度を測定し染着率を求めた。

試料数は精練漂白布を含めて 49 である。

2.2. 試料布の分光放射輝度率の測定

Fig. 1 に示すように、キセノン標準白色光源 (ウシオ製) の下に右に標準白色板・左に試料を並べ、試料面に対して 45° の角度に設置した 2 つのレンズを通してそれぞれ標準板及び試料の表面が結像され、その一部からくる光を各々のオプティカルファイバーで導き、分光光度計で受光され、分光放射輝度率が測定される。同時に標準の光 D_{65} に対する試料の三刺激値及び色度座標が計算される。尚、使用したキセノン標準白色光源 (500W) は試料面の照度が約 6,500lx である。光源の分光分布の評価は JIS Z 8720 の付属書 (常用光源の分光分布の評価方法) によって 5 種類のメタリック・ペアについて、標準の光 D_{65} に対する可視条件等色指数 (MI_{vis}) を求めた。その結果 Table 2 に示すように $MI_{vis}=0.1359$ で、A 級の常用光源とみなすことができた。また視感判定においても測定に用いた光源と同一の光源を用いたので、蛍光を励起する紫外部エネルギーは全く同一であり、分光分布の測定にも視感判定にも同一の影響を与えると考え、蛍光条件等色指数 (MI_{uv}) は問題にらなかった (但し、キセノン標準白色光源の MI_{uv} は A 級にはならないようである。本論文では実在光源による分光放射輝度ないしは三刺激値より計算される白色度の数値と視感的な白さとの対応を求めようとするもので、 MI_{uv} が A 級に相当する常用光源のない現在、とりうる一つの方法であると考え)。そこで、本来ならばキセノン標準白色光源に対する試料の測定値を求めるべきであるが、標準の光 D_{65} にかわりうる光源として、その値を標準の光 D_{65} の近似値として扱うことにした。

Fig. 2 は Z-BA liquid の各濃度で染色した時の各布の分光放射輝度率、Table 3 は全試料の測定結果、それを色度図にプロットしたものが Fig. 3 である。

Fig. 3 のプロットに添えた数字は試料番号で、各染料で染色した試料に対し染色濃度の低い方から高い方に番号を付けてある。この図からいずれの染料も染色濃度が高まるにつれて色度点は青方向に動くが、ある点から緑の方向に曲ってゆくことがわかる。これはある程度以上の染料濃度に達すると染料の吸収が大きくなり、濃度消光により蛍光のピークが若干低くなると同時にピークの波長が少し長波長側にずれる。また短波長部の反射率も小さくなることによるものと考えられる。

2.3. 白色度の計算

2.3.1. 白色度式の選択

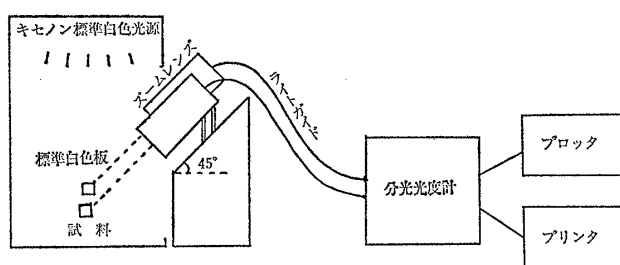


Fig. 1 分光放射輝度率測定構成図

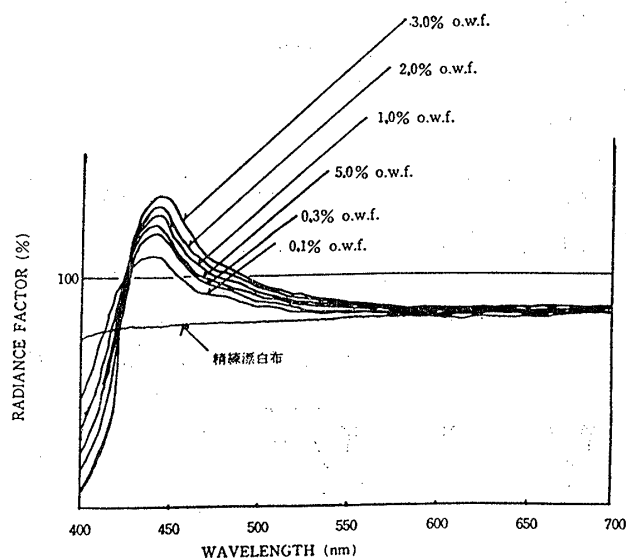


Fig. 2 Z-BA の各濃度で染色した各布の分光放射輝度率

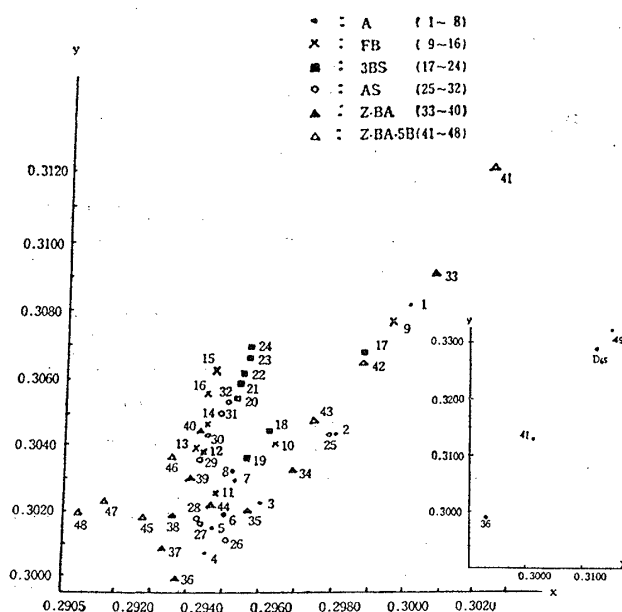


Fig. 3 試料布の色度点

Table 2 キセノン標準白色光源の分光分布評価結果

Sample	X_{10}	Y_{10}	Z_{10}	L_{10}	a_{10}	b_{10}	DE Rank
1 1	31.0779	24.7119	4.3392	56.7936	29.2288	56.9021	
1 2	31.0842	24.6796	4.3599	56.7619	29.3886	56.7394	0.2309
2 1	5.8547	4.5758	7.3944	25.4903	17.7879	-10.4081	
2 2	5.8546	4.5862	7.3616	25.5218	17.6513	-10.2328	0.2245
3 1	0.2673	0.9152	3.8383	35.6261	-1.9337	23.1548	
3 2	0.2924	0.8374	3.8574	35.6694	-1.8966	23.1203	0.0666
4 1	25.4116	26.1500	38.9468	58.1792	0.9977	-14.6773	
4 2	25.3826	26.1199	38.8481	58.1507	0.9987	-14.6059	0.0768
5 1	19.2494	15.8066	17.9332	46.7197	22.0328	-1.9566	
5 2	19.2203	15.7700	17.8826	46.6713	22.0943	-1.9366	0.0808
							0.1359 A

Table 3 試料布の測定

No.	X	Y	Z	x	y
1	81.85	84.04	106.87	0.3001	0.3081
2	82.02	83.75	109.44	0.2980	0.3043
3	83.01	84.75	112.72	0.2960	0.3022
4	84.14	85.92	115.63	0.2945	0.3007
5	83.10	84.99	113.85	0.2947	0.3014
6	83.24	86.67	114.09	0.2931	0.3052
7	83.24	85.38	113.29	0.2953	0.3029
8	83.34	85.59	113.64	0.2949	0.3029
9	82.11	84.30	107.61	0.2996	0.3076
10	83.12	85.26	112.09	0.2964	0.3040
11	83.61	85.80	114.24	0.2948	0.3025
12	83.20	85.89	113.00	0.2949	0.3045
13	83.35	86.09	113.88	0.2942	0.3039
14	83.21	86.06	113.25	0.2945	0.3046
15	83.85	87.10	113.53	0.2947	0.3062
16	83.40	86.52	113.29	0.2945	0.3055
17	81.59	83.77	107.73	0.2988	0.3067
18	82.44	84.73	111.18	0.2962	0.3044
19	82.31	84.63	111.78	0.2953	0.3036
20	83.14	85.99	112.47	0.2952	0.3054
21	82.45	85.40	111.36	0.2953	0.3059
22	83.04	86.04	112.01	0.2954	0.3061
23	83.11	86.28	112.04	0.2953	0.3066
24	83.47	86.66	112.27	0.2956	0.3069
25	82.34	84.11	109.99	0.2979	0.3043
26	81.60	83.26	111.68	0.2951	0.3011
27	82.02	84.03	112.59	0.2944	0.3016
28	82.52	84.60	113.25	0.2943	0.3017
29	82.16	84.72	112.30	0.2943	0.3035
30	82.05	84.78	111.81	0.2945	0.3043
31	82.27	85.12	111.41	0.2951	0.3053
32	82.26	85.08	111.59	0.2949	0.3050
33	82.31	84.57	106.77	0.3008	0.3090
34	83.58	85.36	112.56	0.2969	0.3032
35	83.43	85.20	113.51	0.2957	0.3020
36	84.51	86.28	116.91	0.2937	0.2999
37	84.26	86.41	116.55	0.2934	0.3008
38	84.27	86.64	116.14	0.2936	0.3018
39	83.89	86.45	114.93	0.2941	0.3030
40	83.88	86.71	114.30	0.2944	0.3044
41	81.00	83.52	103.15	0.3026	0.3120
42	81.78	83.90	108.09	0.2987	0.3065
43	82.14	84.17	109.92	0.2974	0.3047
44	81.90	84.00	112.08	0.2946	0.3022
45	81.75	84.30	113.25	0.2927	0.3018
46	80.88	83.67	111.06	0.2935	0.3036
47	80.09	83.00	111.60	0.2916	0.3022
48	79.56	82.57	111.33	0.2909	0.3019
49	76.53	80.53	85.42	0.3156	0.3321

白色度式として実際によく使用され、測色値(Y, x, y)から変換しやすく、優れていると思われる次の14の式を選択した。

- ① $W=Y$ (ASTM)
- ② $W=Z$ (ASTM, TAPPI)
- ③ $W=3.67Z-3Y$ (Taube)
- ④ $W=0.333Y+1.060Z-1.277X$ (Berger)

$$\textcircled{6} W = 100 - \left\{ \left[\frac{220.2(Y-Z)}{Y+0.242Z} \right]^2 + \left[\frac{100-Y}{2} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (\text{Hunter})$$

$$\textcircled{8} W = Y - 800(x - x_n) - 1,700(y - y_n) \quad (\text{CIE})$$

$$\textcircled{7} W = L - 3b \quad (\text{Hunter})$$

$$L = 10Y^{1/2}, \quad b = 7(Y - 0.919Z)/Y^{1/2}$$

$$\textcircled{8} W = 100 - \{(100-L)^2 + 10b^2\}^{1/2} \quad (\text{Hunter})$$

$$\textcircled{9} W = 100 - \{[3,000((\alpha - \alpha_n)^2 + (\beta - \beta_n)^2)^{1/2}]^2 + \left[\frac{100-Y}{2} \right]^2\}^{1/2} \quad (\text{Hunter-Judd})$$

$$\alpha = \frac{2.4266x - 1.3631y - 0.3214}{1.0000x - 2.2633y + 1.1054}$$

$$\beta = \frac{0.5710x + 1.2477y - 0.5708}{1.0000x - 2.2633y + 1.1054}$$

$$\alpha_n = -0.0052 \quad \beta_n = 0.008$$

$$\textcircled{10} W = (100 + Y)/2 - 2,000\beta \quad (\text{Fukuda})$$

$$\textcircled{11} W = 100 - \{(100 - Y)^2 + 9.5 \times 10^6 (\Delta S)^2\}^{1/2} \quad (\text{Selling})$$

$$u = 4X/(X + 15Y + 3Z), \quad v = 6Y/(X + 15Y + 3Z)$$

$$\Delta S \{(u - u_n)^2 + (v - v_n)^2\}^{1/2}$$

$$\textcircled{12} W = Y - 13.2Y(\Delta S) \quad (\text{Croes})$$

$$\textcircled{13} W = 9.53(\Delta Y_{MCA} + 19.19) \quad (\text{Stenius})$$

$$\Delta Y_{MCA} = 0.9 \frac{1-x-y}{1.089y} Y - 100$$

$$\textcircled{14} W = L - 3B + 3A \quad (\text{Croes})$$

尚，標準光源C向きに作られている白色度式に対しては，標準の光D₆₅用に修正して用いた。

2.3.2. 白色度の計算

上記の式に2度視野XYZ表色系の測色値を算入し，白色度の値を求め，それによる白色度式間の順位相関(Spearman, Kendall)を求めた。その結果，完全拡散反射面をより白いとする式(式⑥, ⑧, ⑨, ⑪, ⑫)と，蛍

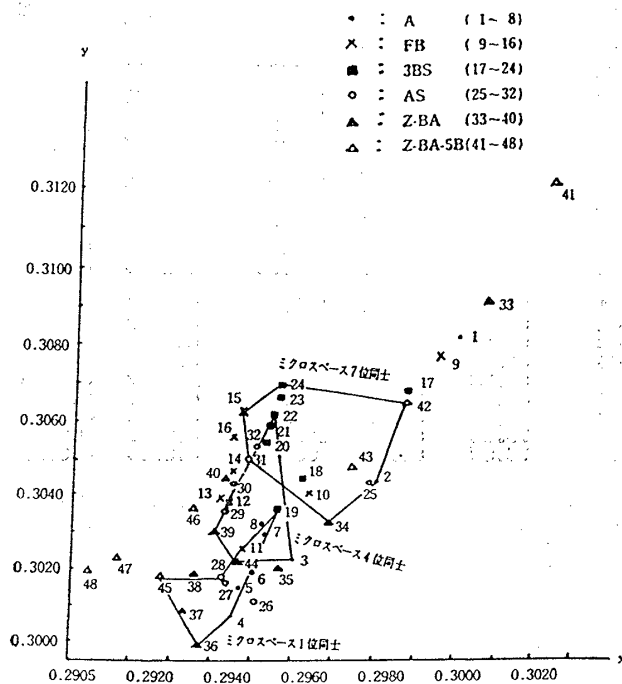


Fig. 4 一対比較法に用いた試料の色度図上の位置

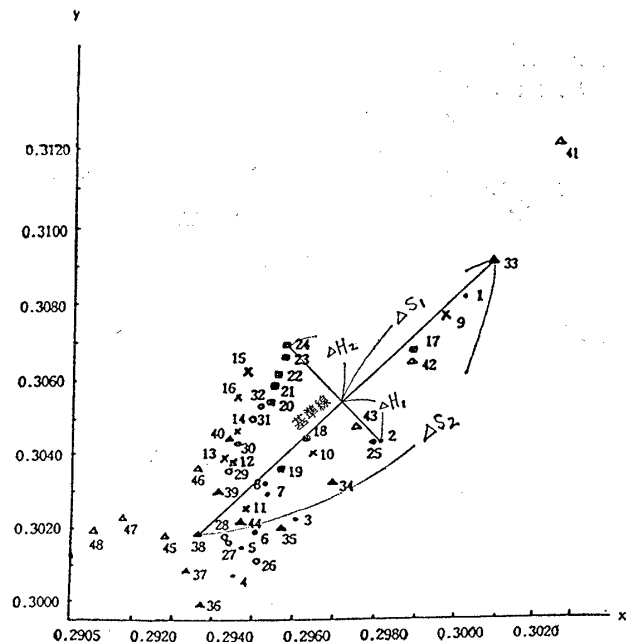


Fig. 5 視感判定と白色度式の関係

光強度の強い方をより白いとする式(式②, ③, ④, ⑥, ⑦, ⑩, ⑬, ⑭), 明度が高いものをより白いとする式(式①)に分類できた。特に前2者は全く逆の関係であった。

2.4. 視感判定による白さの評価

下記の3方法で視感判定を行い，白さの順位を求めた。いずれの場合も次の観察条件で行なっている。

光源：分光放射輝度を測定した時と同じキセノン標準白色光源を使用

被験者：26名(男7, 女19, 主に20~30才代で色覚正常者)

グレースケール：N-7, 開口2×4cm, 視角約2°

尚，被験者の疲労度についてはフリッカーテストを行い，実験前後に検査した。

2.4.1. 全試料を順位づける方法

試料をランダムに選び，2つの試料のうちの白い方を残す。

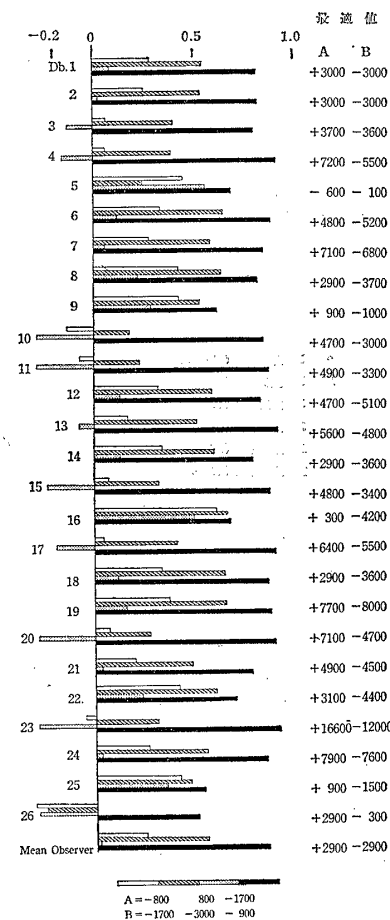


Fig. 6 CIE白色度式と各被験者の順位相関係数(スピアマン)

Table 4 視感判定による全試料の白さの順位

Sample No.	平均観測者	Sample No.	平均観測者
1	28.0	25	20.0
2	15.0	26	8.0
3	1.0	27	10.0
4	2.0	28	11.0
5	16.0	29	25.0
6	22.0	30	33.0
7	24.0	31	37.0
8	35.0	32	40.0
9	4.0	33	26.0
10	7.0	34	12.0
11	13.0	35	5.0
12	23.0	36	6.0
13	32.0	37	18.5
14	41.0	38	29.0
15	39.0	39	30.0
16	45.0	40	36.0
17	14.0	41	38.0
18	17.0	42	18.5
19	21.0	43	3.0
20	31.0	44	9.0
21	42.0	45	27.0
22	43.0	46	34.0
23	47.0	47	44.0
24	46.0	48	48.0

Table 5 視感判定と各白色度式間との順位相関

白色度式	Speaman	Kendall
①	-0.1859	-0.1309
②	0.1332	0.0969
③	0.2604	0.1853
④	-0.0150	-0.0085
⑤	-0.3172	-0.2465
⑥	0.2515	0.1904
⑦	0.2564	0.1938
⑧	-0.3222	-0.2465
⑨	-0.2025	-0.1717
⑩	0.2963	0.2142
⑪	-0.2775	-0.2227
⑫	-0.4273	-0.3163
⑬	0.1239	0.0867
⑭	0.6232	0.4608

ペースにおける試料の色度点である。

指定した2つの試料のうち右側に置いた試料が左側に比べて白ければ+1, 同じならば0, 白くなければ-1とする。判定回数は30回である。また別の実験として各ミクロススペース内で最も好む白を選んでもらった。

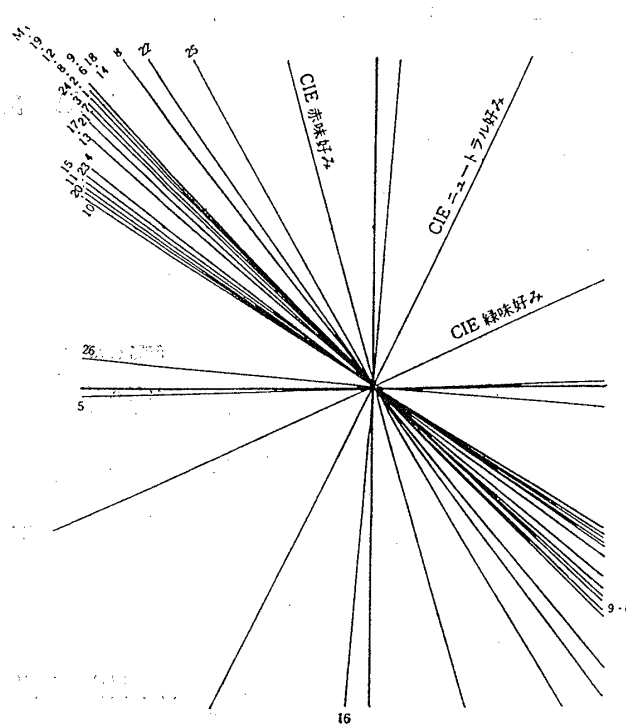
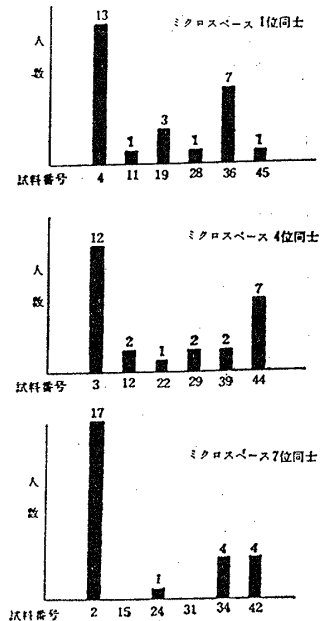
2.4.3. 染料ごとの順位法

各染料ごと(8試料)に精練漂白布を加えた9つの試料を白い順に並べてもらい, 順位評価を行った。

3. 結果及び分析

3.1. 全試料の順位づけ

被験者間の一致性が良く有意であった。そこで平均観測者の順位を求め(結果は Table 4)。各白色度式間との順位相関を調べた。Table 5 はその結果であるが, ほと

**Fig. 7** CIE 白色度式及び観測者の最適白色度式の勾配を示す直線群**Fig. 8** 一対比較のミクロススペース内での好み(人)

どの式が全く相関していないことがわかる。これらの中

では式⑭が比較的に関連しているが, 好相関とはいえない。そこで Fig. 5 において試料 33 と試料 38 を結んだ線を基準線 (この線は $\lambda d=470\text{nm}$ に近似する), さらに試料 33 を基準点とする。この時試料 2 と試料 24 を比較すると, 両試料の基準点からの彩度差 ΔS はほぼ等しく (ΔS_1), 色相差 ΔH はそれぞれ ΔH_1 と ΔH_2 であると考えられる。この場合の両試料における白色度式の白色度順位は相対的に大変近い順位を示しているのに, 視感判定の白さの順位はかなりの差 (その順位差 31 位) を表わしている。また試料 33 と試料 38 を比較すると両試料の彩度差 ΔS_2 ・色相差 $\Delta H=0$ と考えられ, その時の各白色度式の白色度順位は相対的に両極端の位置を占めるのに対し, 視感判定の白さの順位は大変近くなっている (試料 33 は 26 位, 試料 38 は 29 位)。つまり, 各白色度式の白色度順位は基準線に対して平行方向 (ΔS) に非常に高くウェイトを置くのに対し, 視感判定では基準線に対し直角の方向 (ΔH) にウェイトを高くおいて白さの順位をつけていることがわかる。さらに, ほぼ明度の等しい試料に対する被験者の判定評価について調べても同様のことが判明した。これらのことから, 被験者が視感的に白を選ぶ時色相を重要視していることがわかる。即ち被験者の色好みは白さを判定する上に大きな要因ということになる。種々の白色度式が視感判定と一致しないのは, この色好みということを見逃したためと考えられる。ところで CIE 白色度式のもとになった Ganz⁹⁾ の式は x, y の係数を変化させて色好みに対応しようとした唯一の白色度式である。この白色度式には赤味好み・緑味好み・ニュートラル好みがあり, それらと視感判定との順位相

Ob	A	FB	3BS	AS	Z-BA	Z-BA-5B
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						

(スピアマン) ■ 相関あり □ 相関なし

Fig. 9 各染料内の白色度 (CIE) と視感判定の順位相関 (スピアマン)

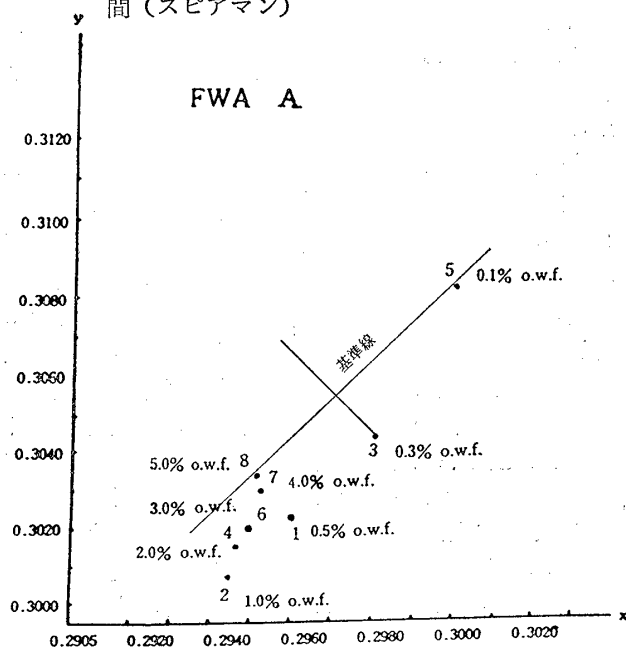


Fig. 10 各染料内の順位と染料濃度

関係を求めたものが Fig. 6 である。□がニュートラル好み ($A = -800$, $B = -1700$), ■が赤味好み ($A = 800$, $B = -3,000$), ▨が緑味好み ($A = -1,700$, $B = -900$) の場合との順位相関係数を表わしている。これにより赤味好みの場合が相対的に相関していることがわかる。そ

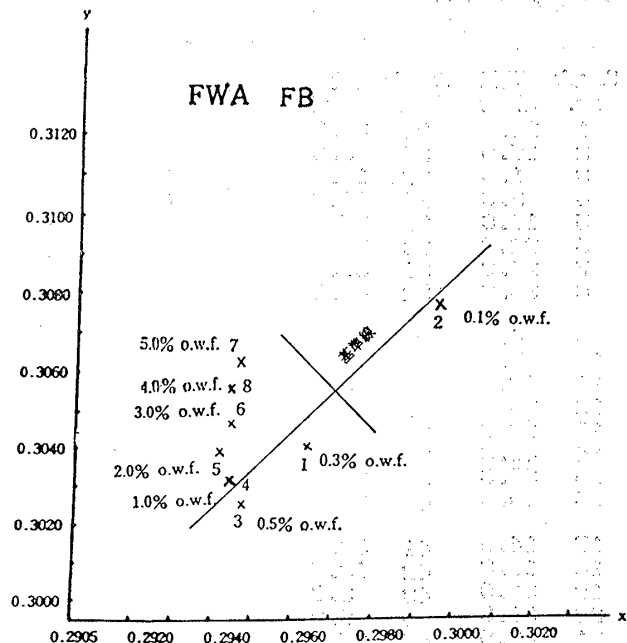


Fig. 11 各染料内の順位と染料濃度

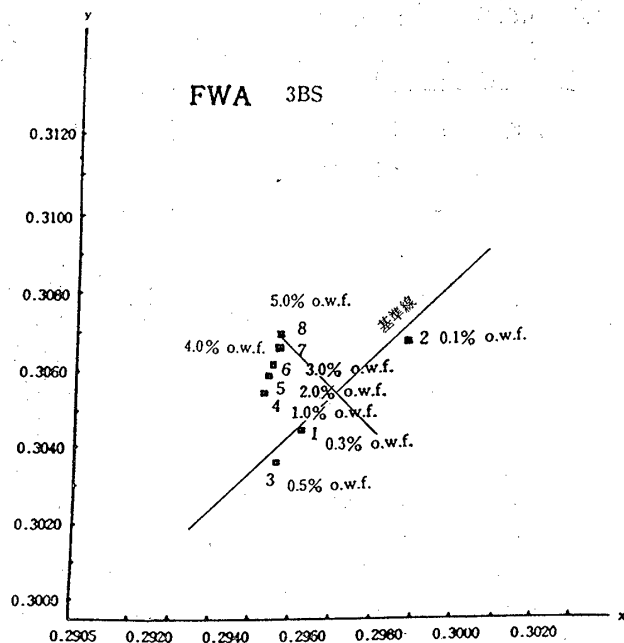


Fig. 12 各染料内の順位と染料濃度

こでより高い相関係数を得るため CIE 白色度式の $A \cdot B$ の数値を同時に少しずつ変化させ、各被験者の順位とできるだけ一致するような係数を探した。その結果が Fig. 6 の $A \cdot B$ 値である。またその時の順位相関係数が ■ である。平均観測者の $A \cdot B$ 値は $A = 2900$, $B = -2,900$ の時最もよく相関することが判明した。

次に CIE 白色度式は標準の光 D_{65} の色度点を通る 1 つの直線と平行な直線群を示し、その直線群の勾配は一定なので勾配が色好みに対応することになる。但し勾配 B/A は $A = 0$ のとき不能となるので、勾配の逆数 A/B を計算して各被験者が何色好みであるかを調べた。その

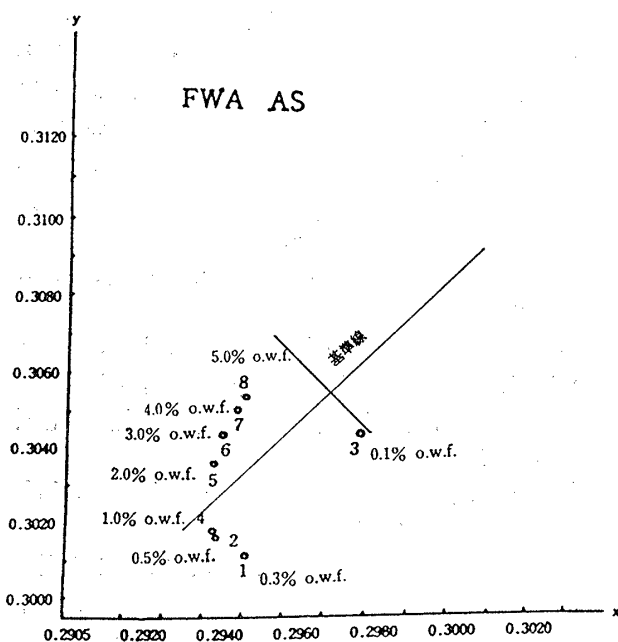


Fig. 13 各染料内の順位と染料濃度

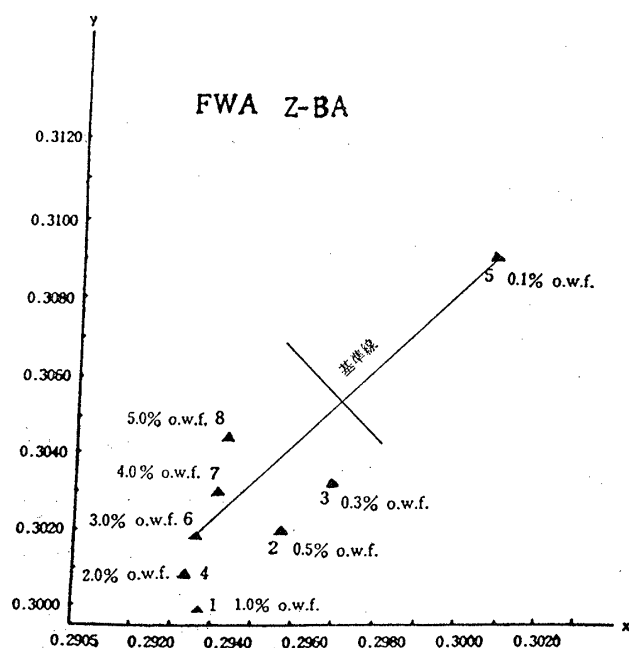


Fig. 14 各染料内の順位と染料濃度

結果 Fig. 7 に示すように ob5・16・26 以外はかなりの赤味好みであることがわかる。また ob5 は緑味好み, ob16 は青味好み, ob26 は極端な赤味好みであるといえ, 実に 92.3% の被験者が赤味好みであることが判明した。

32. ミクロスペース内の一対比較法

被験者間の一致性及び一意性の係数を求め有効であることを確かめてから, Scheffé の方法 (浦の変法) を用いて分散分析を行った。試料間・個人間が有意であったので信頼区間を求め, 順位づけを行った。結果は,
ミクロスペース 1 位同士 36>4=11>28>19>45

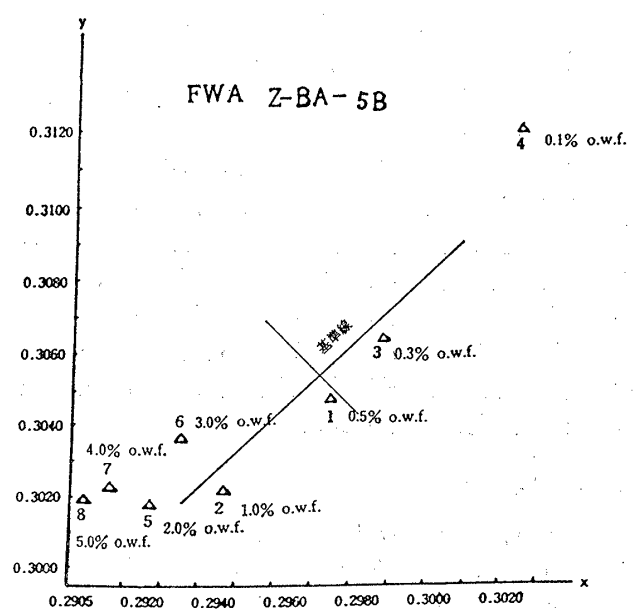


Fig. 15 各染料内の順位と染料濃度

ミクロスペース 4 位同士 3>44>12>29>39>22
ミクロスペース 7 位同士 2>42>34>31>15>24
であった。ここでも彩度差 ΔS より色相差 ΔH の方により高くウェイトが置かれて白さの順位がつけられていることがわかる。

次に被験者が各ミクロスペース内で好んだ白についてその結果を Fig. 8 に示す。この順位と上記の白さの順位がかなりよく一致しているので, 白さと好みの白との間に深い関連があるように思われる。

3.3. 染料ごとの順位法

被験者間の一致性を各染料ごとに求めたところいずれも有意であり, 偶然の順位づけとは考えにくいことがわかった。そこで各被験者の視感判定と CIE 白色度式の順位との順位相関係数を求めた。その結果を Fig. 9 に示す。被験者の中では ob5 が CIE 白色度式とよく一致しているが, 全く一致していない被験者は 9 名である。染料別にみせると AS や 3BS が比較的相関していることがわかる。Fig. 10~15 は各染料内の試料の色度点を CIE 色度図上にプロットしたもので, それぞれの試料には視感判定による白さの順位 (平均) と染料濃度を付記してある。また図中の直交線は Fig. 5 に記した基準線と同一のものである。この図からも視感判定では基準線に対して直角方向 (色相差 ΔH) にウェイトを置いて白さを順位づけていることがわかる。

3.4. その他の分析

3 種の実験結果の相違をみるため実験間の順位相関を求めたところいずれも非常に良い相関を示していた。従ってどの評価方法においても被験者の白色度概念が一定していたと考えられる。尚, フリッカー測定値は特別な疲労や異常を示していない。

その他実験の因子分析として光源の相違・試料の差・

性差・職業差などについて調べた。

光源の相違として天然光下との一致度を調べた（被験者3）が、好相関であったのでキセノン標準白色光源で問題はないと思われる。

次に CIE Technical Committee 1・3 の予備実験での試料色度点と1968年に発足した日本の白色度表示方法工業標準原案作成委員会の予備実験での試料色度点を求め本試料との差を検討したところ、蛍光増白布の白色度ということで本実験の試料は適当であると考えた。

また被験者間における性差は認められず、特に被験者中2名は30年来白布を扱う繊維関係者であるが、他の被験者との差は特別に見られなかった。

4. 結 論

白色度は従来のような反射率や色差では得られないことがわかった。それは色相差 ΔH ・彩度差 ΔS ・明度差 ΔY により量的変化をするが、単純にそれらを加えるだけでは得ることはできない。例えばZ値がほぼ等しい試料同士の視感判定順位を比較すると、Y値が非常に高い試料同士ではY値が低い方が白色度順位は高い。逆にY値が低い試料同士になるとY値が高い方が白色度順位は高くなっている。その境となるY値はどの位なのか、またZ値の領域などについてもさらに調査をする必要があろう。しかしいずれにせよ白色度にはY値やZ値が大きく関与していることは否めない。

さらに白色度には色好みが必要で、今回の実験では日本人はかなりの赤好みであることが判明した。結論としてキセノン標準白色光源での分光放射輝度率の値を標準の光 D_{65} の近似値としたことを前提にして、CIE 白色度式を

$$W = Y + 2,900(x - x_n) - 2,900(y - y_n)$$

$$x_n = 0.3127 \quad y_n = 0.3290$$

にすることを提案したい。

また染料の最適濃度については視感判定では相対的に低濃度を白いとしているので、染料の安全性あるいは損失という点からも over dyeing や極度な色味づけは避けるべきであることを付言したい。

参考文献

- 1) D. B. Judd : A method for determining whiteness of paper, I, Paper Trade J., **100**, TS-266 (1935); TAPPI, **18**, 392 (1935); II, Paper Trade J., TS-154 (1936); TAPPI, **19**, 359 (1936); Whiteness of light surface colors, J. Opt. Soc. Am., **31**, 462 (1931)
- 2) D. L. MacAdam : The specification of Whiteness, J. Opt. Soc. Am., **24**, 188 (1934)
- 3) E. Allen : Mode of action of fluorescent whitening agents and measurement of their relative efficiency, J. Opt. Soc. Am., **47**, 933 (1957); Am. Dyestuff Repr., **46**, 425 (1957)
- 4) R. S. Hunter : Photoelectric tristimulus colorimetry with three filters, N. B. S. Circ. C429 (1942)
- 5) R. S. Hunter : Description and measurement of white surfaces (A report of ISCC Subcommittee on Problem 19; A study of near white surfaces), J. Opt. Soc. Am., **48**, 597 (1958)
- 6) 福田 保 : 紙の白さについて, 四国工研会報, No. 11, 47 (1959)
- 7) CIE TC-1.3, The evaluation of whiteness, Publication CIE No. 15.2 (1982), No. 2, 39
- 8) 白色度表示方法工業標準原案作成委員会報告, 色科ニュース, **14**, No. 516, 25 (1968)
- 9) E. Ganz : Whiteness formulas : a selection; Appl. Opt. **18**, 1073 (1979)

(昭和62年4月10日受付)

* 本稿は大妻女子大学家政学部紀要第22号「蛍光増白布における白色度評価についての一考察」に、さらに修正加筆したものである。



うちだ ひろこ
内田 洋子

昭和24年12月28日生

昭和60年3月

大妻女子大学大学院修士課程家政学
研究科被服学専攻修了

大妻女子大学非常勤講師

昭和61年

国際服飾学会



ふくだ たもつ
福田 保

大正12年5月14日生

昭和22年9月 大阪帝国大学工学部
精密工学科卒

工業技術院大阪工業技術試験所及び
中国工業技術試験所長を経て、現在
大妻女子大学家政学部教授

日本色彩学会、照明学会、応用物理
学会、家政学会、国際服飾学会所属
工学博士（昭和36年）

現在、服飾におけるカラーアピラ
ランスの研究に従事。