

論文

黒色度について—綿布—

Blackness -Cotton clothes-

内田 洋子 Hiroko Uchida

倉敷市立短期大学 Kurashiki City College

Abstract

The blackness of the cotton clothes was investigated. The first, the black cotton samples were made, and it experimented on the blackness order to cotton of 18 samples by visual evaluation. As a result, it has been understood that not the factor that only the darkness of the sample decides the blackness but also the chroma and hue are related. Next, it experimented by using "Methods for visual comparison of surface colours"(JIS Z 8723) how three attributes of them were related to the blackness. Consequently, the chroma feeling is perceived easily to the evaluation of the black than the brightness feeling of the sample and it had been guessed that the blackness is felt blacker for sample with the lowest lightness and the lowest chromaticity. The blackness formula B in the cotton clothes was made basing these as follows.

$$B=L^*_{10}+2\cdot\text{SQRT}(a^{*2}_{10}+b^{*2}_{10})$$

Here, L^*_{10} : the L^*_{10} of the sample. a^*_{10} and b^*_{10} : a^*_{10} and b^*_{10} of the sample.

The correlation of the blackness formula and visual evaluation were 0.91.

keywords: black appearance in cotton clothes, blackness, blackness formula, visual evaluation.

要 旨

綿布の黒さについて調査を行った。まず、黒布試料を作製し、18試料の黒布に対し、視感評価により黒色度順位の実験を行った。その結果、試料の暗さだけが黒色度を決定する要因ではなく、彩度や色相も関係していることが分かった。次に、それらの三属性が黒色度にどのように拘わっているかについて、「表面色の視感方法」(JIS Z 8723)を用いて実験した。結果として、黒色の評価には試料の明るさ感より彩度感の方が知覚されやすく、また明度も色度も低い方がより黒く感じられていることが分かった。これらのことを踏まえて、綿布における黒色度式を以下のように試作した。

$$B=L^*_{10}+2\cdot\text{SQRT}(a^{*2}_{10}+b^{*2}_{10})$$

ここで、 L^*_{10} : 試料の L^*_{10} 値。 a^*_{10} 、および b^*_{10} : 試料の a^*_{10} 値および b^*_{10} 値。

この黒色度式と視感評価との相関は0.91であった。

キーワード: 綿布の黒さの見え、黒色度、黒色度式、視感評価

1. はじめに

黒は流行に関係なく衣服やインテリアなどの色として根強い人気を集めている。繊維などの物質を黒色に染めるものには、かしわ 榲、あらかし 粗榥、あかめ 椎、がしわ 赤芽榲、め 山漆、で 白膠木、しんじゅ 神樹、いた 板屋、かえで 楓、れんげ 蓮華、つつじ 躑躅、やしや 水木、ぶし 矢車附子、われも 桂、こう 吾亦紅、やまもも ログウッド、びんろう 五倍子、はげ 櫨、ちよう 丁今蓼、し 待宵草、やまもも 楊梅、びんろう 濱椰子、などが古くから染料として用いられてきた。黒といっても薄墨色のようなグレーから濃茶・濃紺のような色も黒に含まれていたもので、その色域は広い。合成染料が登場し、人の識別能力以上の色が作られている現在でも、光を完全に吸収する物質はまだ存在しないので、物体色における黒はいかほどかの明度・いずれかの色相および若干の彩度を有する色といえる。

黒に対する研究はそれほど多くはない。例えば、篠森らは両眼隔離黒みマッチング法を用い、周辺白色光における、中心色光の輝度及び彩度により誘導される黒み量の調査をしている^{1),2)}。また前報では本報と異なる52種の綿黒布試料を作成し、この中から18試料を選択し、30人の被験者が順位法により試料のランク付けを行った。その内の上位8位までの試料に対して一対比較を行い、順位法での結果とほぼ一致していたので、順位法が視感評価方法として有用であることを確認した。さらに、明度が低くて純度の低いことが黒の条件であるが、明度が高くて純度の低い方がより黒く知覚されるという結果を得た。³⁾

衣服に利用される黒布はまだ十分に黒くなく、各メーカーはより黒く知覚される黒、好まれる黒を求めることに余念がない。しかし黒さを評価する方法も確立されていないため、メーカーは現物を視感評価する方法に頼っている。もし、簡単に黒色度を定量化できる方法があれば便利である。そこで、今回はより黒い試料を得るためにカチオン化剤とカセイソーダで染着率を高めた綿黒布試料を作製し、30人の被験者に対して各人の持つ黒のイメージが同じであるのかどうか、またより黒く感ずる黒とはどのような色であるのか、といった視感評価実験を行った。さらにそれらの結果を基に、綿黒布の黒色度を表す黒色度式を試作した。

2. 実験

綿布に対し数種の染料を用いて染色したものを試料とした。次にこの試料を測色し、多数ある試料布から実験に供する試料を選択し、北空昼光のもとで

視感評価を行った。評価法は順位法および表面色の視感方法の色差評価等級法によるカテゴリー評価基準に基づいている。その結果から各試料の順位及びメトリック明度・メトリック色度を得た。

2.1 試料布の作成

染料は下記に示す住友化学製反応染料の5種を用いた。

- ①Sumifix Black B 150% gran
- ②Sumifix Black EX conc. gran
- ③Sumifix HF Yellow 3R gran
- ④Sumifix HF Red G gran
- ⑤Sumifix Navy 2G gran

①と②は黒色染料として市販されているものであるが、実際には多種の染料を合成して作られたものである。今回の実験では様々な色味をわずかに持つ黒色試料が必要であったので、①と②の黒色染料のみで染色した試料と、①・②をベースにしてさらに③～⑤の有彩染料を加えた試料の両者を作成した。

吸着用染色機ミニカラー REX-C900 ((株)理化学工業製)を用いて、染色を行った。この染色機は任意の温度に設定したPEG溶液(ポリエチレングリコール)の中に、染液と試料布を入れた金属製ポットをセットして回転させながら染色するもので、斑のない染色をすることができる。ポットの数8個あり、1回に8色の染色が可能である。

試料布は日清紡績社製の綿布を用いた。前報³⁾では思ったほどの黒さを得られなかったので、染着性を考慮して40番手の綿布にかなり強いシルケット加工を施し、染色を行った。1試料布の重さ10g、大きさは約18×40cmである。

染色条件は反応染料の一般的な染色法に則って、以下の通りである。

被染布	10g
浴比	1 : 15
芒硝	100g/l
染色温度	60℃
染色濃度	85種

染色方法はFig.1の手順に従って染色を行った。染色試料数は全部で85種となった。

2.2 試料の測定

試料の測定にはX-Rite SP64(積分球方式 D18° 光学系ダブルビーム方式 干渉フィルタ分光)を用い、試料布は4つ折にして(18×10cm)測色を行った。

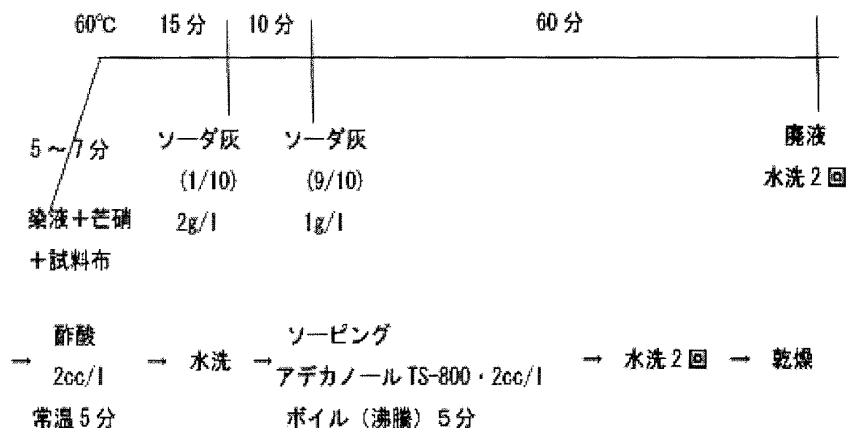


Fig.1 試料布の染色方法

Table1 用いた試料の染色濃度と L^*_{10} , a^*_{10} , C^*_{10} 値

試料名	染料濃度 (o.w.f.)	L^*_{10}	a^*_{10}	b^*_{10}	C^*_{10}
A	B10%, Y2%	14.88	0.24	-0.39	0.46
B	B5%	17.54	0.28	-2.38	2.40
C	B8%	16.05	0.77	-0.74	1.07
D	B10%, Y1%, N1%	14.52	0.87	-0.84	1.21
E	BB10%, Y2%	17.14	-1.19	-1.28	1.75
F	B9%, R1%	15.97	1.23	-0.22	1.25
G	BB10%, Y1.5%	16.06	-0.92	-1.08	1.42
H	B12%	15.01	0.58	-2.99	3.05
I	B9.5%, Y0.5%	16.01	0.81	-0.04	0.82
J	B9%, Y1%	16.1	0.59	0.03	0.59
K	B7%, Y3%	16.78	-0.22	0.58	0.62
L	B6%, Y4%	17.26	-0.57	1.24	1.36
M	B15%	13.98	1.28	-0.99	1.62
N	B12%	14.26	1.25	-1.04	1.63
O	B8%, Y1%, N1%	16.11	0.53	-0.34	0.63
P	B6%, Y2%, N2%	16.73	0.16	-0.25	0.30
Q	B9.5%, R0.5%	15.44	2.11	-1.5	2.59
R	B9%, Y1%	15.57	1.57	-1.41	2.11

表中、

BB: Sumifix Black

B 150% gran

B: Sumifix Black

EX conc. gran

Y: Sumifix HF

Yellow 3R gran

R: Sumifix HF

Red G gran

N: Sumifix Navy

2G gran

2.3 試料の選択

各試料を視感評価および測色値から分類し、全試料の中から18種の試料を選択した。用いた試料の染色濃度と L^*_{10} , a^*_{10} , b^*_{10} , C^*_{10} 値をTable1に、色度図をFig.2に示す。

2.4 照明光源

午前8時30分～午後4時頃までの北空屋光の下で実験を行った。実験中の照度は約3000-5000lxである。

2.5 被験者

被験者は19～21歳にかけての学生30人(女性)で、石原式色盲検査表の一部を用いて色覚が異常でないことを確認した。

2.6 観察条件

試料布(18×40cm)を4つ折にし(18×10cm)、試料に対しほぼ0度の方向から観察した。

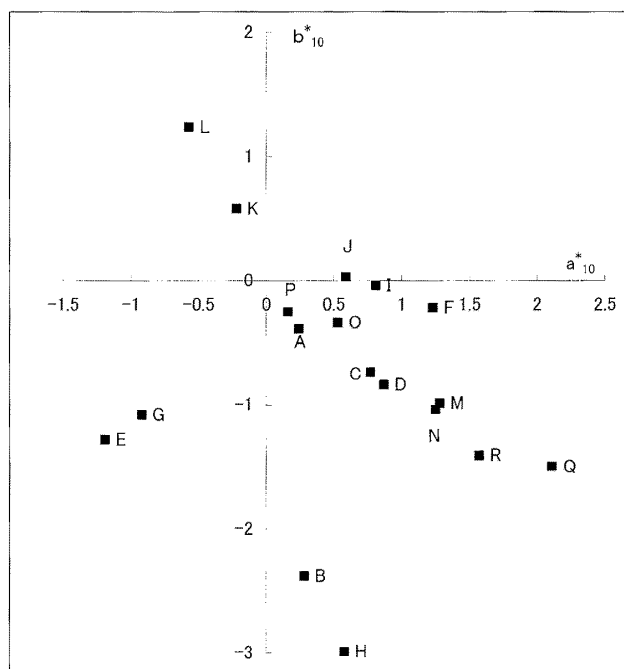


Fig.2 試料布の色度図

2.7 背景

試料の背景にはA2の大きさの黒羅紗紙を用い、その上で評価した。なお、黒羅紗紙の測定値は $L^*_{10}=28.41$ 、 $a^*_{10}=-1.08$ 、 $b^*_{10}=1.09$ である。

2.8 実験方法

2.8.1 順位法

ランダムに試料を置き、被験者はまずざっと黒い順に並べる。次に、最も黒い順から2試料を被験者の前に置き、どちらが黒いかを判断する。より黒くない方を残し、次の試料と比較する。順位が逆転したときは、元に戻ってより黒い方を探し順位を決める。これを繰り返して全試料の順位を決定した。繰り返し実験は4回である。

2.8.2 表面色の視感比較方法

本来ならば、均等色空間上、明度が一定で純度が等歩度に並んだ試料群とか、逆に純度が等しく明度が段階的に異なる試料群というような試料を容易に作成することができれば良いのであるが、実際にはかなり難しい。色空間内で非常に局部の試料を作ろうとしているため、CCMの利用も不可能であった。そこで、順位法で用いた試料に対し、各被験者が最も黒いとイメージする黒色から、どの程度色相・明度・彩度が離れているか、その色差成分を記録した。評価方法はJIS Z 8723「表面色の視感比較方法」⁴⁾の附属書Bを参考にし、評価の基準をTable2に示す。色相は赤・緑、青・黄を対とし、赤あるいは黄方向を+、緑および青方向を-として、それぞれ5段階法で評価した。明度はイメージに対して明るければ+、暗ければ-を付し、それぞれ5段階とした。例えば明るさにおいて、最も黒いイメージからかなりの著しい明るさの差があると感じたときは+4という評価となる。彩度においても同様で、黒のイメージに対して鮮やかさを感じれば+、鮮やかでなければ-を付し、それぞれ5段階設けた。

3. 結果および分析

3.1 順位法

4回の繰り返し実験結果に対し、Kendallの順位の一貫の係数Wを求め、Friedmanの検定で再現性の有無を調べた。その結果、全被験者の一致の係数は $W=0.971\sim0.780$ の間にあり、カイ二乗値が $66.0\sim53.0=\chi^2_0>\chi^2(17,0.05)=27.59$ で、有意であった。従って試料間には被験者が何らかの一致性を持って判定できる黒さの差があるといえ、被験者の

繰り返し評価に差が無く、再現性のよいことが分かった。次に、順位法で得られた値は尺度評価でないで、4回の繰り返し実験の結果を正規化順位⁵⁾に変換した。これは毎回試料が得た順位に対し重み付けをし、尺度値にする方法で、本実験の場合、数値の大きい方がより黒いことを示す。結果を、Table3に示す。

正規化順位から被験者の視感評価間の相関を調べた。18試料における相関係数の有意水準は0.59 ($\alpha=0.01$)である。この有意水準を基にして被験者を大別した。なお、他のグループにまたがる場合は相関係数の高いグループに属することとした。その結果、次の3グループに分けることができた。

①被験者1,2,3,4,5,6,7,8,9,14,15,16,17,19,22,26,28,30 (60%)

②被験者10,20,21,23,27,29 (20%)

③被験者11,12,13,18,24,25 (20%)

グループ毎の正規化順位値を平均し、試料の L^*_{10} 値及び C^*_{10} 値との相関をとった。Table4は3つのグループの平均正規化順位と全員の平均正規化順位、最終欄は各試料の最大値と最小値の差を記したもので、特に差の大きい数値には網掛けをしている。Table5はTable4の各グループの視感評価値と試料の L^*_{10} 値及び C^*_{10} 値との相関係数を示したものである。各グループの順位付けの特徴を調べた結果、①グループは C^*_{10} 値と相関し、明度の低さより純度が低い黒をより高く評価する、②グループは L^*_{10} 値との相関が高く、 L^*_{10} 値の低い試料をより黒いと判断する、③グループはTable4の最終欄から①・②グループで高評価の紫み系の試料C,M,Nの評価が低く、逆に青緑みの黒の試料G,Eの評価が比較的高い、ということが分かった。

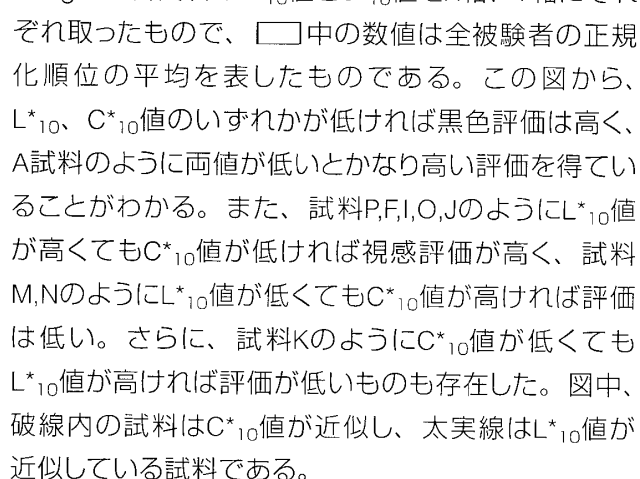
Fig.3は各試料の L^*_{10} 値と C^*_{10} 値をX軸、Y軸にそれぞれ取ったもので、中の数値は全被験者の正規化順位の平均を表したものである。この図から、 L^*_{10} 、 C^*_{10} 値のいずれかが低ければ黒色評価は高く、A試料のように両値が低いとかなり高い評価を得ていることがわかる。また、試料P,F,I,O,Jのように L^*_{10} 値が高くても C^*_{10} 値が低ければ視感評価が高く、試料M,Nのように L^*_{10} 値が低くても C^*_{10} 値が高ければ評価は低い。さらに、試料Kのように C^*_{10} 値が低くても L^*_{10} 値が高ければ評価が低いものも存在した。図中、破線内の試料は C^*_{10} 値が近似し、太実線は L^*_{10} 値が近似している試料である。

Table6はFig.3の破線および太実線で囲んだ近似

Table2 視感評価における評価基準

評価値	明度・彩度
0	知覚できない程度の差
1	ごくわずかで、やっと知覚できる最小の差
2	わずかであるが、明らかに知覚できる差
3	ほどほどの差だが、はっきりと知覚できる差
4	かなりの著しい差
5	極端な差

Table3 順位法における視感評価結果(正規化順位)

試料	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
被1	9.2	1.9	4.5	4.5	5	4	5.3	2.7	7.1	6.3	6	5.8	4.7	4.5	8.1	6.6	1.9	2.1
被2	9.4	3.1	5.6	6.1	3.3	4.7	3.6	3.6	7.2	7.2	2.5	1.4	5	5	8	6.1	3.9	4.2
被3	9.3	2	6.6	7.4	3.1	6.1	3.6	1.8	7.1	6.1	4.2	3.9	5.5	5.3	6.6	4.7	2	4.7
被4	9.1	2.7	5.3	7.1	4	5	4.2	4	6.3	6	4.7	1.1	4.7	7.1	7.6	6	2.2	2.9
被5	9.2	1.6	4.7	7.6	4.2	4.2	4.7	2.7	5.3	6	4.7	4.2	7.6	7.1	6	5.5	1.9	2.7
被6	8.4	2.4	4.7	4.5	7.4	4.2	7.1	2.6	5	4.7	7.9	6.6	4.5	4.2	6.1	6.3	1.3	2.1
被7	9.1	2.4	5.8	6.3	1.4	5	3.2	4	7	8.1	4	1.9	5.3	5.5	6.8	5.5	3.7	5
被8	9.2	0.8	6.3	7.3	4.7	5.5	5.3	2.7	7.3	6.6	4.7	3.7	4.2	4.2	6.6	5.5	2.7	2.7
被9	9.3	2.6	4.5	7.4	4.2	6.1	4.2	2.3	6.1	5.8	5.3	5.3	6.9	5.8	6.3	4.7	1	2.2
被10	8.8	0.9	4.7	8.3	2	6	3.2	4.7	5	6	4	3	7	7	6	4.2	4.2	4.7
被11	10	2.4	5.5	6.4	7	7.3	6.4	3.7	2.4	2.9	3.7	4.4	3.3	2.4	4.7	5.1	5.9	6.4
被12	8.5	4.2	1.7	6.6	6.6	7.4	8.1	2.1	6.2	5.5	3.3	4.2	3.3	2.3	5.4	5.2	5.8	3.3
被13	8.7	0.7	1.7	5.2	5.7	7.7	6.7	4	6.7	5.7	4.2	4.2	2.7	3.7	6.7	5.7	6.4	3.7
被14	9.1	2.3	5.3	5.8	3.9	5	3.9	3.4	6.9	6.4	3.9	3.1	6.4	5.8	8	6.4	1.2	3.4
被15	7.2	2	4.5	4.5	8.5	4.2	6.9	2	6.9	6.6	6.6	5.3	4.7	3.9	7.2	5	1.5	2.6
被16	9.2	3.1	5.3	6.6	2.9	5	2.9	3.7	6.6	7.9	3.7	1	5.3	5.5	7.1	6.3	4.2	3.7
被17	9.4	1.4	6.6	8.3	4.5	4.2	4.7	3.6	6.6	5.8	5.8	5	3.9	3.9	5.8	5.5	1.2	3.6
被18	9	4.4	1.5	5.4	5.4	6.7	7.3	2.9	4.4	5.7	2.9	3.9	3.1	2.4	6.1	8.3	6.3	4.4
被19	9.2	0.8	4	7.1	4.2	4	6.8	3.2	5.5	6.3	4.5	5.3	5.5	5.8	7.3	5.8	1.9	2.9
被20	9.2	1.1	6.3	8.1	2.7	6.3	4.5	4	5	4.5	4	2.4	6.8	6.6	5.8	2.9	4.5	5.5
被21	8.9	0.9	5.5	8.3	3.7	4.7	4	4.7	5.8	5.5	2.4	2.7	7.1	7.1	5.5	5.8	4.2	3.2
被22	9.2	1.9	4	6.8	4	5	4.5	2.4	6.6	6.3	5	4.5	7.6	6.3	6.6	5.3	1.9	2.4
被23	9.2	1.8	5	7.9	1.6	6.1	3.9	3.9	6.1	5.8	3.9	2.6	7.1	7.1	5.5	4.7	3.7	3.9
被24	8.4	1.5	1.5	5	5	7.1	8.6	3.3	5.9	5.3	4.2	3.7	2.4	4.2	6.6	5.9	6.2	5
被25	9.7	2.6	1.8	5.6	5.6	6.2	7.4	4.4	3.8	3.8	4.4	4.4	2.6	2.6	6.2	7.4	7	4.4
被26	9.3	0.7	4.5	7.7	4.5	4.7	5.8	2.6	5.8	6.3	5.5	4.5	5	4.5	6.6	6.9	2.9	2.3
被27	8.7	0.8	4.7	8.7	2.6	6.3	3.9	2.9	6.6	5.8	4.7	4.2	6.3	5.8	6.3	5	2.9	3.7
被28	9	2.4	6.3	6.8	4.2	3.9	4.7	2.4	6.3	6.6	4.7	4.2	5	5.3	7.9	6.3	1	2.9
被29	6	1.4	5.3	8.4	1.4	7.1	3.2	3.2	6	5.8	4	3.7	8.6	6.8	5	4	5	5.3
被30	9.2	0.8	6	7.6	2.9	5	3.2	3.4	6.3	6.3	4.5	4.2	5.3	5.5	7.6	6.6	4	2.7
平均被験者	8.9	1.9	4.7	6.8	4.2	5.5	5.1	3.2	6	5.9	4.5	3.8	5.2	5.1	6.5	5.6	3.4	3.6

Table4 各グループ及び全員の平均正規化順位

試料	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
第1グループ	9.0	1.9	5.2	6.7	4.2	4.8	4.7	2.9	6.4	6.4	4.9	4.0	5.4	5.3	7.0	5.8	2.3	3.1
第2グループ	8.4	1.2	5.4	8.2	2.3	6.0	3.8	4.1	5.6	5.5	3.7	2.9	7.3	6.9	5.6	4.3	4.3	4.5
第3グループ	9.1	2.6	2.3	5.7	5.9	7.1	7.4	3.4	4.9	4.8	3.8	4.1	2.9	2.9	6.0	6.3	6.3	4.5
全員の平均(平均被験者)	8.9	1.9	4.7	6.8	4.2	5.5	5.1	3.2	6.0	5.9	4.5	3.8	5.2	5.1	6.5	5.6	3.4	3.6
最大と最小の差	0.7	1.4	3.1	2.5	3.6	2.3	3.6	1.2	1.5	1.6	1.2	1.2	4.4	4.0	1.4	2.0	4.0	1.4

Table5 試料の L^*_{10} 値及び C^*_{10} 値と各グループの視感評価との相関

	①グループ	②グループ	③グループ	全平均
L^*_{10} 値	0.318	0.824	0.013	0.404
C^*_{10} 値	0.828	0.386	0.357	0.753

試料における ΔL^*_{10} 値と ΔC^*_{10} 値を表したものである。例えば、 C^*_{10} 値が近似している試料M,Nの場合、試料Mの方の L^*_{10} 値が0.28低いので、視感評価では高評価を得ている。 L^*_{10} 値も C^*_{10} 値も低い方が黒いと考え、 L^*_{10} 値が近似する試料では、GとC、FとC、IとJ、OとJは視感評価が逆転しており、 ΔC^*_{10} 値が0.35以下の8組の内、逆転は4つにのぼることから、黒さの判別がしづらくなっていることが予想される。ただし、グループ①、②の評価はほぼ順当であり、グループ③の試料Cに対する評価が極端に低いことが逆転の原因であるともいえる。そこで、グループ①、②のみにおける評価をみると試料G=4.25、試料F=5.4、試料C=5.3となる。ここで、試料GとF、GとCは順当となるが、試料FとCは逆転となった。この試料FとC間の ΔC^*_{10} 値は0.18である。一方、 C^*_{10} 値が近い場合は相対的に L^*_{10} 値の低い試料の方の黒色評価が高い。しかし、OとJ試料間では ΔL^*_{10} 値が0.01で逆転しているので、僅差では識別されにくい可能性がある。色相の影響が出ているのかもしれない。

これらのことから、①黒色度評価の要因として試料の C^*_{10} 値が低いこと・ L^*_{10} 値が低いことが重要であり、② L^*_{10} 値の近似の試料間では ΔC^*_{10} 値が小さいとき（本報では全被験者において ΔC^*_{10} 値が0.35以内、グループ①、②を対象とすると ΔC^*_{10} 値は0.18以内）、また C^*_{10} 値が近似試料の場合には ΔL^*_{10} 値が小さい（本報では0.01以内）と黒色順位が判別されにくいことが推測される。

3.2 表面色の視感方法

Table 7は全被験者の試料に対する明るさ評価、彩度評価、色相（赤・緑）（黄・青）評価の結果をそれぞれ平均したものである。さらにその赤・緑の値をx軸、黄・青の値をy軸とし、両値の交点を試料の色相点と考え、中心の原点と結んだ線をその試料の視感的色相角とした。一方、試料の $L^*_{10}a^*_{10}b^*_{10}$ 表色系における色度点と原点を結んだ線を測定値の色相角とし、視感評価の色相角と比較検討した。なお、いずれもx軸の+方向の軸を色相角0°とし、時計回りとは逆方向へ角度が増加する。

Table 7の明るさ評価の平均と試料の L^*_{10} 値との相関係数は0.52（ $r \geq 0.59$ で相関）で、相関していない。各被験者の明るさ評価と L^*_{10} 値との間で相関を示したのは、約20%の被験者であった。また、試料の Y_{10} 値と各被験者の視感評価との相関値もほぼ同じ数値を示した。Fig. 4は縦軸に各試料に対する全被験

者の明るさ感の平均、横軸に試料の L^*_{10} 値を表した図である。ただし、明るさ感と L^*_{10} 値のそれぞれの最小値をゼロ、最大値を1として規準化した数値を用いている。この図から、試料の L^*_{10} 値を基準とすると、互いの試料との関係において、暗く見える試料はD,A,O,J,I,P,R,C,F,Kで、逆に明るく見える試料はG,M,N,H,Qである。また、 L^*_{10} 値の高いB,E,L試料は明るさ感評価でも高い。D,A,O,J,I,P,R,C試料の方が L^*_{10} 値の最も低いM試料より暗いと知覚されている。相対的に C^*_{10} 値の低い試料は他の試料の関係において暗いと評価され、 C^*_{10} 値の大きい試料は明るく見えやすいことが推測される。

Fig. 5は試料に対する全被験者の彩度感の平均を縦軸に、試料の C^*_{10} 値を横軸に示したもので、これもそれぞれの最小値をゼロ、最大値を1として規準化した。視感評価では C^*_{10} 値の最も低いP試料よりA,C,D,I,O試料の彩度感が低い。このことは C^*_{10} 値が低くても L^*_{10} 値が高い試料では彩度感が実際より高く知覚される事が考えられる。一方、 C^*_{10} 値の高いE,B,H,Q試料は彩度感も高いことがわかる。とはいえ、被験者の平均彩度評価と試料の C^*_{10} 値との相関は0.863という高相関で、黒色において、明るさ感より彩度感の方が測色値に近い知覚をしていることが伺える。

Table 4の全被験者の平均色相角と測色値から得た試料の色相角の相関は0.40で相関していない。Fig. 6の実線は被験者の各試料に対する色相角の平均を、また破線（'記号付記）は測定値による試料の色相角を表したものである。この図から試料B,D,F,H,N,Rは視感評価と測定値がかなり近いが、試料A,O,Pはほぼ反対色相にずれている。それ以外では、試料C,E,G,I,Jの差が大きく、赤み系統の試料はオレンジ方向へ、青緑み系統の試料は緑み方向へずれていることが分かる。

Fig. 7はFig. 6の視感評価における色相角（実線）の図上に視感の彩度評価の平均を●印で示したもので、この●印の位置が全被験者の視感評価における色度の平均ということになる。純度及び彩度における尺度が測定値と視感評価値では異なることを考慮しながらFig. 2の色度図と比較すると、L,K試料を除き、全体的に第3・4象限にある試料が第1・2象限の方向にずれていることが分かる。特に第3象限にある純度の低い試料A,O,Pが揃って第2象限の黄緑みにずれている。殆どの試料において、背景色に対する対比

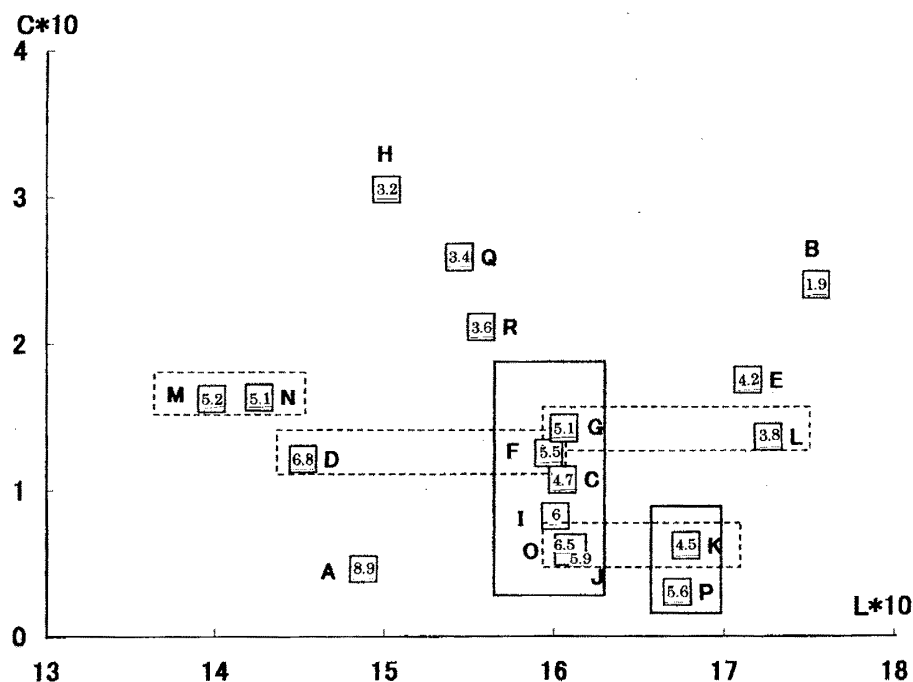


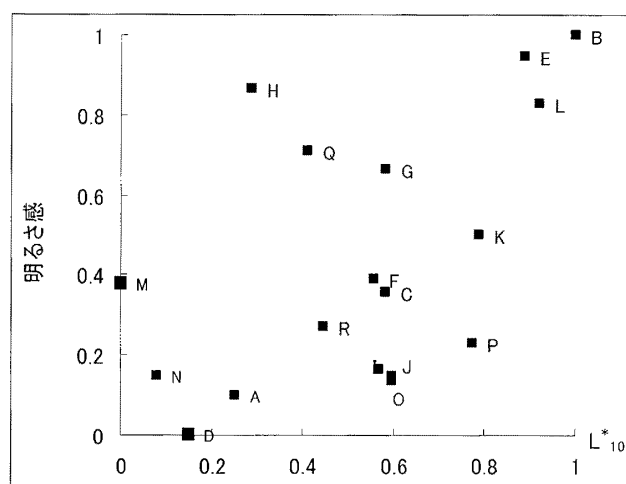
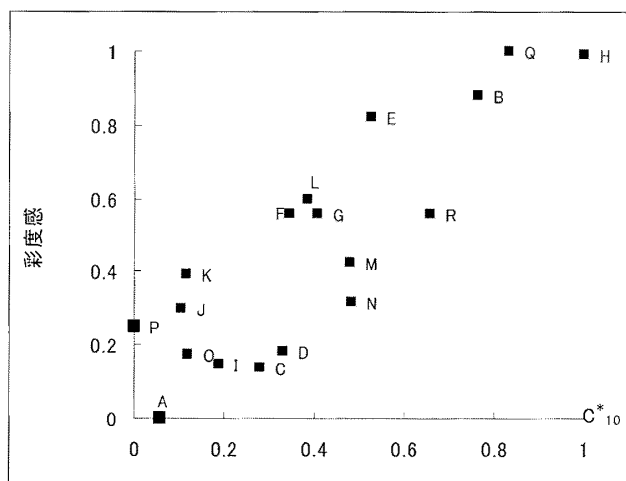
Fig.3 試料の正規化順位(平均)

Table6 L^*_{10} 値、 C^*_{10} 値の近似試料間の ΔL^*_{10} 値と ΔC^*_{10} 値

L^*_{10} 値 が 近 似		C^*_{10} 値 が 近 似	
試料	ΔC^*_{10} 値	試料	ΔL^*_{10} 値
G と F	0.17	F と J	0.66
G と C	0.35	C と I	0.25
G と I	0.6	C と O	0.44
G と O	0.79	C と J	0.48
G と J	0.83	I と O	0.19
F と C	0.18	I と J	0.23
F と I	0.43	O と J	0.01
F と O	0.62	K と P	0.32

Table7 表面色の観察方法による評価結果(全被験者の平均)

試料	明るさ 評価	彩度評価	色 相 赤・緑	色 相 黄・青	色相角 視感	色相角 測定値
A	0.258	0.208	-0.1	0.008	175.5	301.9
B	1.526	1.592	0.042	-1.708	271.7	276.7
C	0.617	0.425	0.250	0.025	5.5	316.1
D	0.117	0.500	0.400	-0.275	325.7	316.2
E	1.450	1.500	-1.942	0.275	172	227.1
F	0.667	1.083	1.333	-0.133	354.5	349.8
G	1.050	1.083	-1.742	0.117	176.5	229.7
H	1.333	1.767	0.092	-1.967	272.8	280.9
I	0.350	0.442	0.300	0.25	39.5	356.9
J	0.325	0.617	0.167	0.233	54.3	2.97
K	0.825	0.825	-0.775	0.550	144.8	110.5
L	1.283	1.150	-1.417	0.708	153.6	114.6
M	0.650	0.875	0.567	-0.725	308.4	322.3
N	0.325	0.708	0.675	-0.458	325.9	320.4
O	0.308	0.483	-0.083	0.142	120.7	327.6
P	0.450	0.600	-0.525	0.308	149.7	302.6
Q	1.117	1.783	1.392	-0.567	337.9	324.6
R	0.500	1.083	0.642	-0.533	320.6	318.1

Fig.4 試料の明るさ感と L^*_{10} 値Fig.5 試料の彩度感と C^*_{10} 値

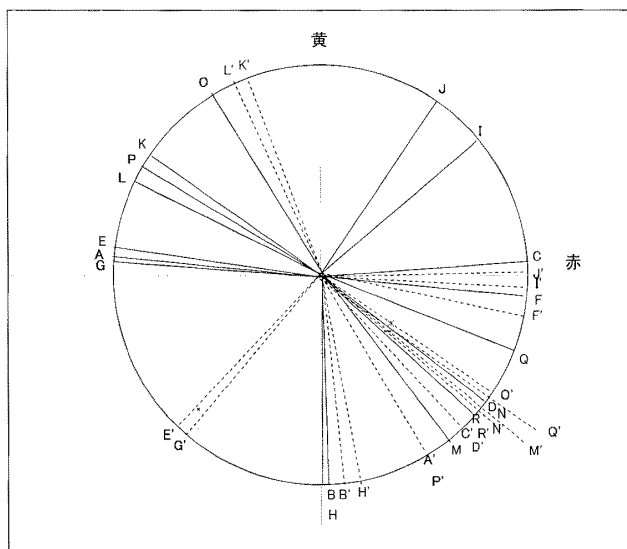


Fig.6 視感評価と測定値の色相差

効果とは異なる視覚現象が生じているといえる。これらが単なる偶然であるのか、背景色による別の視覚効果であるのか、あるいは測定による物理的黒色点と視感的黒色点がずれているためなのか、という疑問が生ずる。そこで、試料に対する背景色の視覚効果を調査するために追加実験を行った(以下、2.の実験を本実験、後述する実験を追加実験と称する)。

背景色は本実験で用いた黒羅紗紙と黒画用紙($L^*_{10}=27.55$ 、 $a^*_{10}=0.56$ 、 $b^*_{10}=0.88$ 、大きさA2)とし、用いた黒布サンプルの測色値をTable8に、サンプルと背景色の色度図をFig.8に示す。この内、サンプル3,6,11,22,37は本実験で用いた試料(3→本実験では、6→P、11→L、22→D、37→H)である。被験者は6名であるが本実験と同じ被験者はいない。追加実験は北窓昼光の下、本実験と同じ表面色の視感比較方法(2.8.2)で行い、4回ずつの繰り返し実験をし、その平均を算出した。結果をTable9、Fig.9～11に示す。Fig.9は測色によるサンプルの色相と、それぞれの背景色におけるサンプルの視感的色度を表す。*の付いた線が測色におけるサンプルの色相、'の付いていない数値および●は黒羅紗紙を使用した場合の視感的色度、'の付いた数値および○は黒画用紙の場合のサンプルの視感的色度である。この図から、サンプル4はいずれもほとんど差がないが、それ以外では背景色が異なるとサンプルの色が多少変化して見えることがわかる。黒画用紙の場合の方が若干青みの方向へ色相がずれ、彩度感がわずかに低くなっているサンプルが多い。もし測色的黒色点と視感的黒色点が異なるとしても背景色による影響が

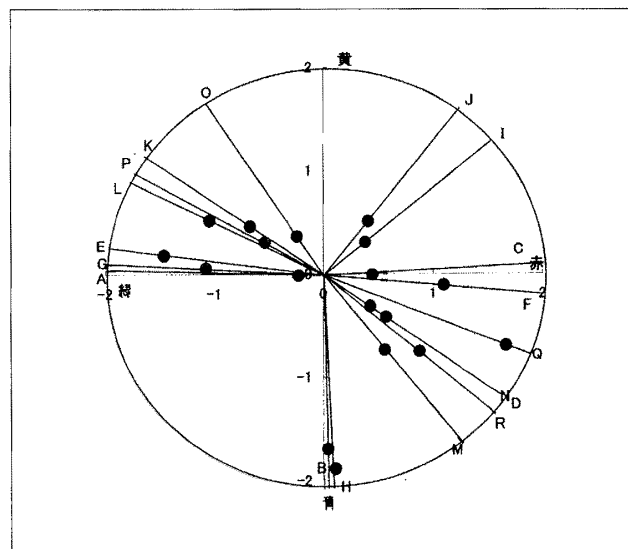


Fig.7 平均被験者の各試料に対する色度感

Table8 背景の相違による黒の見えに使用したサンプルと背景色の色度座標

サンプルNO.	染料濃度 (o.w.f.)	L^*_{10}	a^*_{10}	b^*_{10}	色相角
サンプル3	B9.5%, Y0.5%(本論ではI)	16.01	0.81	-0.04	356.9
サンプル4	B10%	15.86	0.89	-0.37	337.6
サンプル6	B6%, Y2%, N2%(本論ではP)	16.73	0.16	-0.25	302.6
サンプル7	B9.5%, R0.5%	15.80	1.10	-0.08	355.9
サンプル11	B6%, Y4%(本論ではL)	17.26	-0.57	1.24	114.6
サンプル22	B10%, Y1%, N1%(本論ではD)	14.52	0.87	-0.84	316.1
サンプル26	B10%, Y1%, N1%, PADあり	16.25	-0.49	-2.86	260.6
サンプル37	B12%, PADなし(本論ではH)	15.01	0.58	-2.99	280.9
黒羅紗紙		28.41	-1.08	1.09	90.6
黒画用紙		27.55	0.56	0.88	57.3

*PAD：浸透剤使用

無いならば、試料は同じ色に見えるはずである。しかし、実際には背景色の効果は明白で、眼が背景色に順応していた可能性がある。その場合、視感的無彩軸が背景色の方に寄ると考えられる。Fig.10-(1)は黒羅紗紙における試料の視感評価を示したもので、黒羅紗紙の測色値と視感評価の尺度が異なっていることを承知した上で、黒羅紗紙の測色値を図内に併置させた。今、仮に眼の順応により視感的無彩軸を黒羅紗紙の方へ破線のように移動させたとすると、殆どの試料が測色値に近い色相となる。また、Fig.7の本実験の視感的色度に同様の破線を挿入したものがFig.10-(3)である。こちらも色相の視感評価が測色値に近くなっている。一方、Fig.10-(2)は黒画用紙の場合で、黒羅紗紙の時と同じ比率で黒画用紙の方向に無彩軸を破線で挿入したもののだが、移動する前よりずれが増加している。結局、今回の実験では残念ながら結論は出せなかった。背景色効果についての調査が本報の目的ではないので、これ以上追求はしないが、なぜそうなるかについては今後さらに

Table9 背景色を変えた場合の黒サンプルの視感評価

黒 羅 紗 紙							黒 画 用 紙							両背景色 の色相 角の差
試料	色相 緑 赤	色相 青 黄	色相角 (度)	測色色相 角との差	明るさ 評価	彩度 評価	試料	色相 緑 赤	色相 青 黄	色相角 (度)	測色色相 角との差	明るさ 評価	彩度 評価	
3	0.65	0.35	28.2	31.3	0.45	0.45	3'	0.65	0	0	3.1	0.6	0.35	28.2
4	1.4	-0.55	338.7	1.1	0.56	0.7	4'	1.15	-0.5	336.7	0.9	0.6	0.7	2
6	-0.8	0.3	159.7	142.9	0.8	0.7	6'	-1.35	-0.1	184.1	118.5	0.85	0.7	24.4
7	1.95	0.25	7.2	11.3	1	1.45	7'	1.4	-0.1	355.5	0.4	0.7	1	11.7
11	-2.9	1.1	159.5	44.9	1.4	1.35	11'	-2.85	0.3	171	56.4	1.5	1.05	11.5
22	0.7	-0.65	312.5	3.6	0.45	0.7	22'	0.55	-0.7	308.5	7.6	0.65	0.65	4
26	-0.95	-2.1	245.4	15.2	1	1.75	26'	-0.65	-2.3	253.3	7.3	1.1	1.8	7.9
37	0.3	-2.25	277.4	3.5	1.6	1.85	37'	0.2	-2.6	274.3	6.6	1.75	1.9	3.1

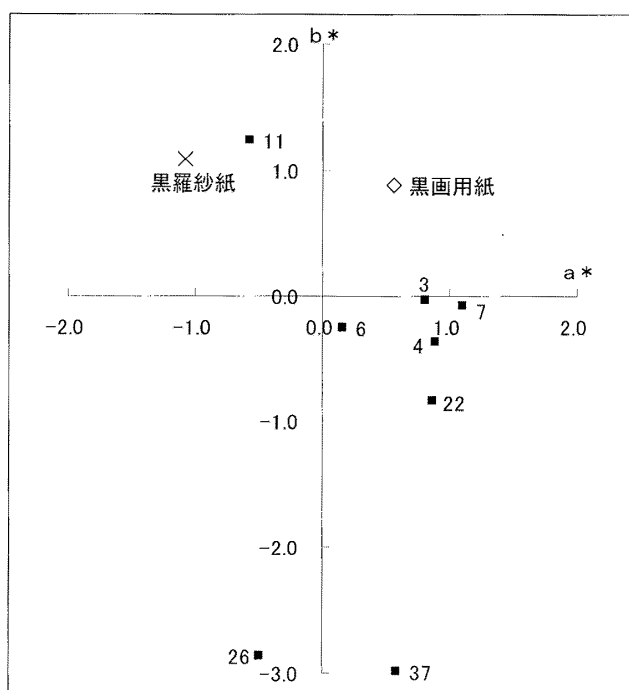


Fig.8 サンプルと背景色の色度座標

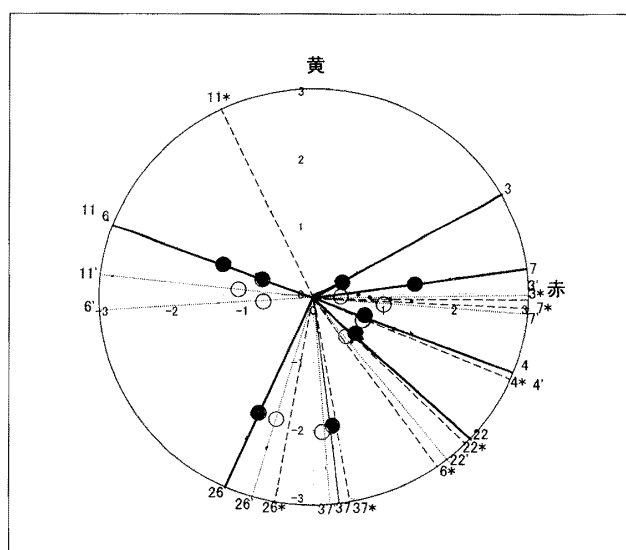


Fig.9 測色による色相と色度感の差

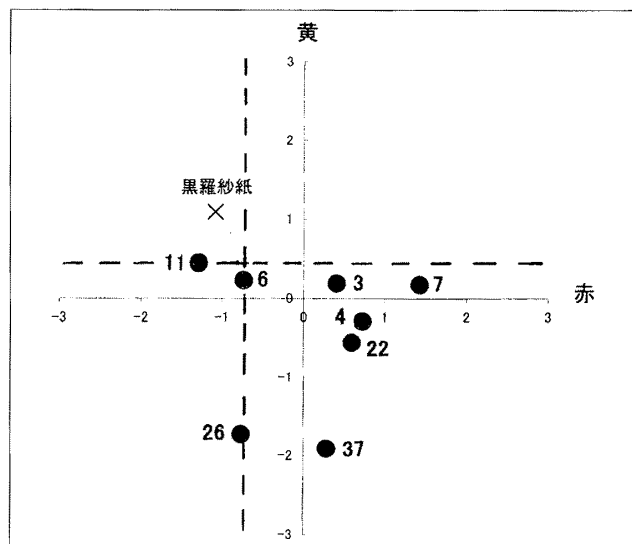


Fig.10-(1) 背景色効果を考慮した色度感(黒羅紗紙)

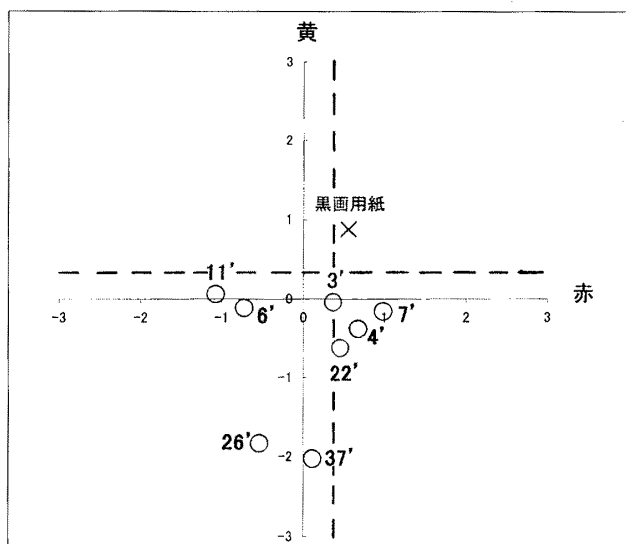


Fig.10-(2) 背景色効果を考慮した色度感(黒画用紙)

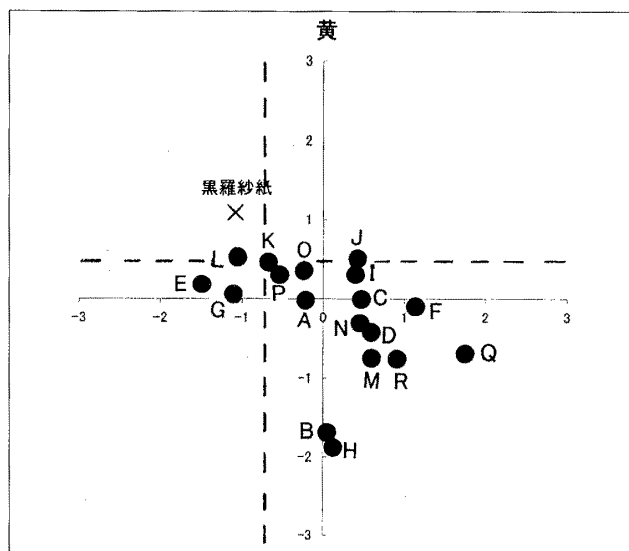


Fig.10-(3) 背景色効果を考慮した色度感(本実験)

第3象限・第4象限の色度を持つ背景色による実験が必要である。Fig.11は両背景色における明るさ感を示したものであるが、黒画用紙においてほとんどのサンプルが黒羅紗紙の場合より高い。これは黒画用紙の L^*_{10} 値が黒羅紗紙より若干低いため、対比現象の発生を感じさせるが、この明度の差が色相のずれにも関係しているのかもしれない。

本実験・追加実験の結果から、

- ① C^*_{10} 値が低いと明るさが低く、 C^*_{10} 値が高いと明るさも高く知覚される。
- ② L^*_{10} 値が高いと彩度感が高い。
- ③背景色が変わると試料の見えが変化する。

4. 黒色度式

三刺激値の Y_{10} 値や L^*_{10} 値が低いほど、色は黒に近づき、完全吸収面で真っ黒となる。その完全吸収面でゼロとなり数値が高くなるほど黒色点から離れるタイプの式を作成したいと考えた。

4.1 システム

式の形態として、四則計算でできる程度に単純で、電卓でも算出できるようなものの方が現場では利用しやすい。黒色度に拘わる因子は明るさと色度であり、均等色空間($L^*_{10}a^*_{10}b^*_{10}$ 色空間)において、黒色点からの差の形式を取ればよいと考えた。 L^*_{10} 値や C^*_{10} 値が低いほど黒とすると、原点は $L^*_{10}=0, C^*_{10}=0$ となる。

黒色度式は、

$$B = L^*_{10} + \text{SQRT}(a^{*2} + b^{*2}) \quad (1)$$

となる。黒色度指数Bはゼロに近いほどより黒い。今

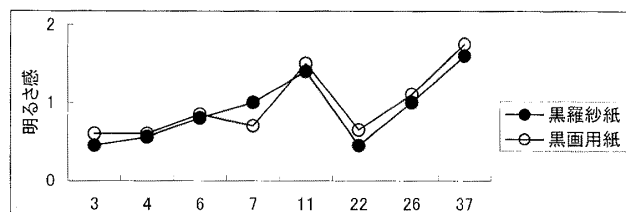


Fig.11 明るさ感の差

Table10 黒色度式(1)・(2)と視感評価の相関

黒色度式	相関係数
式(1) $f=1$	0.8323
式(2) $f=1.2$	0.8656
式(2) $f=1.4$	0.887
式(2) $f=1.6$	0.8999
式(2) $f=1.8$	0.9069
式(2) $f=2$	0.9098
式(2) $f=2.1$	0.9101
式(2) $f=2.2$	0.91
式(2) $f=2.3$	0.9094
式(2) $f=2.4$	0.9084
式(2) $f=2.6$	0.9057
式(2) $f=3$	0.8985
式(2) $f=10$	0.8143

回の実験で明るさよりも彩度感覚の方が測色値に近いことが分かった。また、綿布の場合、 L^*_{10} 値がどうしても13から17付近で比較的高いのに比べ、 C^*_{10} 値はゼロ近辺のものも作製できる。この2点から、 C^*_{10} 値に重み付けをした方がより視感評価に近づくと推測される。そこで、式(1)を、

$$B = L^*_{10} + f \cdot \text{SQRT}(a^{*2}_{10} + b^{*2}_{10}) \quad (2)$$

ここで f は重み係数である。 f 値をいくりにするかが問題であったので、 f の数値をさまざまに変えて、今実験で用いた試料のそれぞれの黒色度指数と視感評価との相関を調べた。その結果、Table10に示すように f が2.1のとき最も相関が高いことが判明した。しかし、 f が1.8から2.6まではどの数値をとっても大差なく、小数点以下第3位より小さい数値の相関係数の信頼性も乏しいと思われる。そこでもっとも単純に f 値を2とすると、式(2)は、

$$B = L^*_{10} + 2 \cdot \text{SQRT}(a^{*2}_{10} + b^{*2}_{10}) \quad (3)$$

となる。

5. 考察

前報では明度が高くても純度が低ければ視感的黒色度は低いという結論であった。今回の実験でも Fig.3から、例えばA,D,M,Nの試料群、E試料とL試料、あるいはO,I,F,G,R,H,Qの試料群のように、試料間の ΔL^*_{10} 値が1以内であれば、多少 L^*_{10} 値が高くても C^*_{10} 値が低いと視感的により黒く知覚される傾向にあると推定される。

L^*_{10} 値が近似の試料間では ΔC^*_{10} 値が0.18以内であると黒色度の判別がしづらい結果となったが(グループ①,②)、Fig.3の試料GとFは ΔC^*_{10} 値が0.17であるのに順当に評価できているので、もう少し ΔC^*_{10} 値が小さいところまで判別できるのではないかと思われる。また、 C^*_{10} 値が近似試料の場合には ΔL^*_{10} 値が0.28では順当に評価できるが(試料MとN)、0.01付近になると黒色順位が判別されにくいので、この間に判別可否の箇所があると思われる。

フォーマルウェアは繊維の黒色度が販売量に多大な影響を及ぼす。あるメーカーでは、より黒い色の繊維を作るため、黒の上にさらに紺色で染色をした商品がヒットしている。和服地では赤黒より青黒の方が好まれ高価でもある。色相も黒色度の重要なファクターであるといえよう。本実験において、赤みのJ試料より紫みのO試料の方の黒色度評価が高いのは、あながち偶然ではないのかもしれない。

黒のイメージについては全被験者の実験結果が全く同じではないので三者三様といえる。しかし、いずれのグループも C^*_{10} 値と L^*_{10} 値が低いほど黒色度は増すという大筋において相違はない。

白色度の評価には視感反射率や450nm付近の放射輝度率を白色度指数とする方法、色差方法、蛍光輝度率から算出する方法、CIE白色度式のように被験者の好む色相まで考慮する方法など、多岐にわたって提案されている。今回もそうした様々な方法を試み、最終的に式(3)が視感評価との相関が良いので、利用できるのではないかと思われる。

6. まとめ

今回の調査で、

- ①黒の判断として C^*_{10} 値が低いこと、 L^*_{10} 値が低いことが重要
- ② L^*_{10} 値の近似の試料間では ΔC^*_{10} 値が小さい、また C^*_{10} 値が近似試料の場合には ΔL^*_{10} 値が小さいと黒色順位が判別されにくい

③ C^*_{10} 値が低いと明るさが低く、 C^*_{10} 値が高いと明るさも高く知覚される。

④ L^*_{10} 値が高いと彩度感が高い。

⑤ 背景色が変わると試料の見えが変化することが分かった。

今後、ウールや絹、ベルベット、漆黒など材質が異なった場合にも、試作した黒色度式が利用できるものであるかどうか、そして、最も黒いと感ずる色と好みの黒が同じ色であるかどうかについて調査をしていきたい。また、観察条件による黒色評価、さらに今回の式では黒の色域を限定することができないが、黒の閾値の研究も必要になると思われる。

7. 謝辞

多くの被験者の方々、また試料の測定に際してオフィス・カラーサイエンスの大住氏にご協力をいただきましたことを深く感謝いたします。

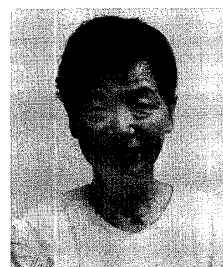
参考文献

- 1) K.Shinomori et al. : Spectral mechanisms of spatially induced blackness : data and quantitative model, J.Opt.Soc.Am.A, vol.14-2, pp372-387, (1997)
- 2) 篠森ら : 周辺白色光によって中心色光に誘導される黒みの測定、光学、vol.21-5、(1992)
- 3) 内田 : 綿布における黒色について、倉敷市立短期大学研究紀要、第42号、(2005)
- 4) JIS Z 8723 「表面色の視感比較方法」付属書B (規定) 色差評価等級法、(2000)
- 5) J.P.Guilford : Psychometric Methods, McGRAW-HIKLL, BOOK COMPANY, INC., (1954)

(投稿受付日 : 2007年3月6日)

(掲載決定日 : 2008年1月17日)

著者紹介



うちだ ようこ
内田 洋子

1984年 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
博士(学術)
現在、倉敷市立短期大学准教授