

論文

布の表面幾何学的構造と光の反射特性

Effect of the Surface Geometry of the Fabrics on Reflection of the Light

李 沅貞 Wonjoung Lee Osaka City University
 佐藤 昌子 Masako Sato //

Abstract

The purpose of this study is to investigate the relations between the geometrical surface structure of the fabrics and the optical properties in reflected light. Eight kinds of cotton fabrics, oxford1, oxford2, oxford3, satin, twill, drill and knit dyed with five different colors of reacted dye and three levels of concentration of each dye were tested. The characteristics of reflected light from the surface of the fabrics were measured using goniospectrophotometer and goniophotometer.

The results were as follows:

- 1) The chromaticity and lightness of the fabrics change with the receiving angles at the condition of 45° of incident.
- 2) The luster of the fabrics should be influenced not only by the surface geometry of the fabrics but also by the fabric direction fixed on the apparatus.
- 3) Anisotropy of the surface of the fabrics were revealed by the reflected beam intensity.

要 旨

本研究は布の表面幾何学的構造が光の反射特性にどのように影響を及ぼすかを明らかにすることを目的としている。構造の異なる8種の綿布（オックスフォード、ブロード、サテン、ツイル、ドリル、メリヤス）を原布とし、反応性染料を用い、5色、各3水準の濃度に染色したものを試料布として実験した。布の表面反射特性を変角分光測色計、および変角光度計を用いて測定した。

その結果は次のようである。

- 1) 布の表面反射率、ならびに色度は入射角を45°と固定した条件において受光角度の変化に伴って変化する。
- 2) 布のラスターは布の表面の幾何学的特性ばかりではなく、布の測定方向によっても影響を受ける。
- 3) 布の織（編）構造による異方性は反射光強度によって推論しうる。

1. 緒言

物体色を視感測定するための色の物差しには、各種カラーオーダーシステムが規定するそれぞれの色票がある。代表的には修正マンセル色票、および、それに準拠して作成されたJIS標準色票、NCS (Natural Color System) などである。それらの色票は、いずれも樹脂顔料を紙やプラスチック製の台紙上に塗布して作成されており、あらゆる物体の色測定に用いられる。色票の表面性状としては光沢版とマット版があるが、光沢版が多く用いられている。

測定する物体の側からみると、天然繊維、合成繊維、糸、織物、編物、合成樹脂系や木質系の壁床材、コンクリートやスチール素材建物外壁、プラスチック成型品など、生活の中で眼にするモノは素材も表面性状も多種多様である。それらの物体を見てそのモノとしての知覚が生じるのは、言うまでもなく物体からの反射光による視覚情報であるが、反射光にはその物体の物質効果 (物質固有の屈折率、光吸収物質による選択的光吸収特性、透過特性など) と、表面幾何学などの構造効果 (散乱) の両方の結果が反映されている¹⁾。そのため、われわれはそのモノが何であるか、物体を同定し、その表面の色ばかりでなくテクスチャーまでも瞬時に識別知覚する。

ヒトの眼と脳はそのような様々な光情報から知覚を通じて総合判断する能力を有しているので、色票による物体色の視感測定においてしばしば色の判断に迷いが生じる。何故ならば、色票からの反射光とモノからの反射光の異なる2つの反射光成分から分光情報 (色) だけを分離して比較しなければならないからである。

主観に左右される視感測定に対し、客観的な色測定値を与える方法として色彩計などの心理物理的方法がある²⁾。この方法では、測定値の客観性を高めるため、測定の照明及び受光の幾何学的条件が規定されている。すなわち、照明は試料面の法線に対して光軸が $45 \pm 5^\circ$ の方向から行い、試料表面から反射した光を、法線とのなす角が 10° 以下 (0°) の方向で受光する (45° 照射/ 0° 受光)、あるいは、その逆 (0° 照射/ 45° 受光) と規定している。また、試料表面で反射した反射光が積分球内面で反射し、その反射光が異なる角度より再び試料面を照射する複屈折の影響を受けた反射光が受光器に取り込まれる設計になっている。

一方、表面色は表面からの拡散反射光に含まれる分光組成によって決まる。したがって、試料面の色は、

入射した光が完全拡散反射光として放出される標準白色板 (硫酸バリウム) の分光反射率に対して規準化した分光反射率から決定される方法が採用されている。しかしながら、このように機器として規定された測定条件においても、測定値にバラツキの問題は避けられない。それは、反射光が表面幾何学的な構造効果に影響されるためであり、織物などの不均質な表面では布を置く方向、重ね枚数などによっても異なる数値が測定される。

再び、明所視環境下、視感測定に規定された条件でモノを見ている状況を考えてみよう。モノを照射している入射光は、必ずその周りの環境物からの反射光の影響を受けている。これは、北窓日光、あるいは標準光源ブースにおいても避けられない影響である。例えば室内では、戸外の建物や樹木で反射して窓から差し込む自然光、および、その光が室内の壁、床、天井、調度品などに当たり、その表面でさらに相互反射を繰り返した結果の光であり、われわれは分光組成も照射角度も異なる複合光を受けたモノからの反射光を見ていることになる。

モノの表面を微細にみると、研磨したガラスや金属のように比較的平滑なものから数 μm 、あるいは数mmオーダーの凹凸まで、表面幾何学的性状はさまざまであり、同一素材であっても表面性状によって知覚色は異なる。これはヒトの視覚情報処理能力が精密機器をはるかに超える解像度をもっていることによると考える。ヒトの知覚量を数値化するため、表面の構造効果を考慮した色測定の研究が必要と考える。

織・編物は異形断面をもつ繊維集合体であり、加捻による糸の形成過程、たて糸とよこ糸が交絡して浮き糸と沈み糸となる織・編構造の生成過程によって表面幾何学的性状が異なり、しかも、染色によって色の制御が可能な試料である。織・編物は観察方向によってもたて糸とよこ糸の見える割合が変化することから三次元的に解析する試料として興味深い。近年では、画像表現において材質感を表現するため、布の構造と反射光の関係の解明が目目されている^{3),4)}。また、異形断面繊維の登場⁵⁾や塗膜、光輝材など^{6),7)}表面構造の多様化による各種表面の三次元的光学特性の解明の必要性が高まっている。

そこで、本研究は素材 (綿) が一定で表面幾何学的性状が異なる各種織・編物を原布とし、染色加工によって色を調色し作成した試料布を用いて、表面構造がどのように測色値に影響するかを、拡散反射特性なら

表1 原布の諸元とその略号

略号	織(編)名	組織	糸番手	厚さ	重さ	糸密度(本/cm)		カバーファクター(本/inch)		
			たて糸・よこ糸	(mm)	(mg/cm ²)	たて糸	よこ糸	K1	K2	Kc
Ox1	Oxford	変化平織	30S	0.26	14.2	45	32	20.9	14.8	24.6
Ox2	Oxford	変化平織	20S	0.32	17.9	34	48	19.3	27.3	27.8
Ox3	Oxford	変化平織	10S	0.50	25.4	20	30	16.1	24.1	26.3
Br	Broad	平織	40S	0.20	11.2	58	27	23.3	10.8	25.1
S	Satin	朱子織	40S	0.23	11.9	37	56	14.9	22.5	25.4
T	Twill	斜文織	30/2S	0.40	25.1	48	22	22.3	10.2	24.4
D	Drill	斜文織	40/2S	0.32	17.0	45	24	18.1	9.6	21.5
K	Knit	平編	40S	0.48	19.1	-	-	-	-	-

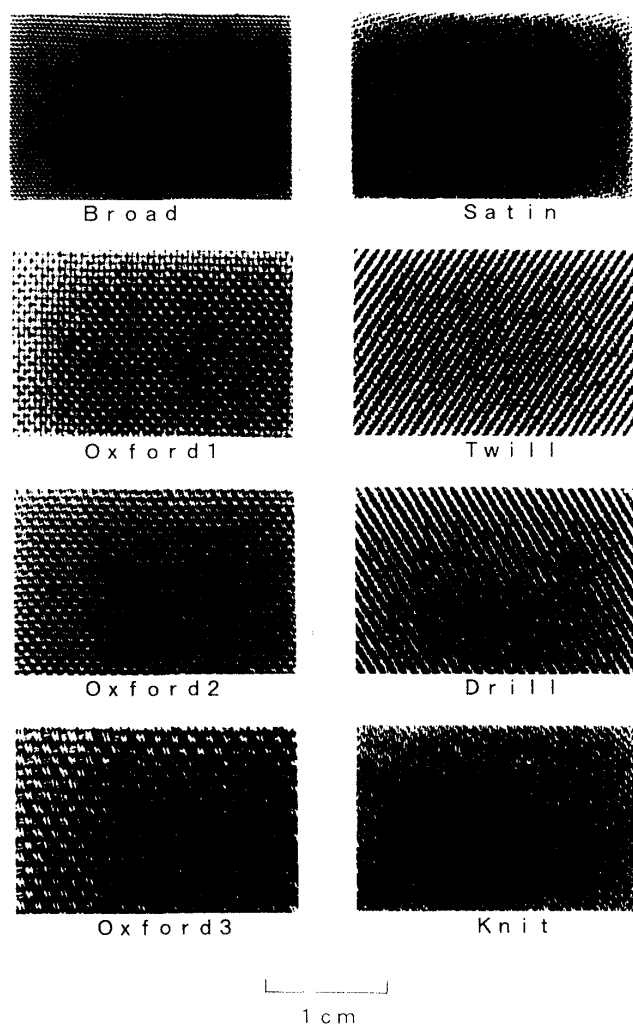


図1 原布の表面写真

びに正反射特性の三次元解析から検討した。以後、本研究では市販の綿白布を原布、原布を染色加工した布を試料布と称する。本報は、物理的測光量を中心に報告し、テクスチャーなどの心理量との対応についてはすでに報告している⁹⁾。

2. 実験

2-1. 原布の選定と試料布の作成

試料布は糸使いと織構造が異なる市販の8種の綿白布Oxford 1, Oxford 2, Oxford 3 (オックスフォード), Broad (ブロード), Satin (サテン), Twill (ツイル), Drill (ドリル), Knit (メリヤス)を原布として用いた。以下、布の織・編構造については、それぞれ、Ox1, Ox2, Ox3, Br, S, T, D, Kと略称する。表1はその原布の構造特性を、図1には表面写真を示す。Sはよこ朱子であり、よこ糸が浮き糸として布表面を被覆している。DとTはいずれも斜文織であるが斜文の方向が逆である。

8種の原布に、5色(赤(R), 黄(Ye), 緑(G), 青(B), 紫(P))のプロシオン型反応性染料(ブリリアントレッドM-GRN, エローM4G, グリーンM-2B, ブルーM-GR, バイオレットM-B(株田中直染料店)を用いて染色し試料布を作成した。

染色は原布を90mm×150mmの大きさに裁断し、規定濃度(o. w. f.)の染料に助剤(3%塩化ナトリウム)を添加して調製した浴比1:50の染浴中に1時間、30℃の条件で布を浸漬した後、5%の炭酸ナトリウムを添加して1時間、50℃の条件で処理し、染料を布に反応固着させた。未反応染料を10分間のソーピングで除去し、しわ等をなくし視感測定のための表面性状を調整し、かつ絞り率を一定にするため、マングルによる脱液の後、No. 2の濾紙の間に挟んで布の裏面よりアイロン処理を行い布を乾燥させた。同様の目的から、染色操作はバットを用い、拡布状で行った。なお、染料によって布への染着率が異なり、色濃度が異なるため、試料布は布の明度指数を表すY値でほぼ3水準(淡色, 中色, 濃色)になるように調整し、それぞれの濃度は0.1%~2.0% o. w. f.である。ただし、Ye(黄)は染液の染料濃度を5.0% o. w. f.まで高くして染着率を増しても反射率は低下せず、反射率の調整が

表2 諸試料の色諸元・YおよびL*a*b*

色	織・編名	Y	L*	a*	b*
R濃色	Ox1	21.06	53.02	52.33	11.06
	Ox2	21.66	53.67	51.68	9.93
	Ox3	23.22	55.30	52.10	9.85
	Br	20.99	52.94	49.76	8.94
	S	18.19	49.73	53.85	12.97
	T	23.58	55.67	55.75	12.55
	D	21.24	53.21	53.44	12.24
	K	20.95	52.90	56.76	14.36
	平均値	21.36	53.31	53.21	11.49
	標準偏差	1.09	1.18	1.74	1.54
G濃色	Ox1	23.29	55.37	-23.31	-7.42
	Ox2	25.03	57.10	-22.27	-5.65
	Ox3	25.61	57.66	-23.22	-5.67
	Br	24.84	56.92	-22.24	-6.71
	S	20.05	51.90	-23.95	-7.50
	T	30.51	62.09	-23.31	-7.04
	D	25.14	57.22	-22.87	-7.39
	K	23.12	55.20	-24.19	-7.13
	平均値	24.70	56.68	-23.17	-6.81
	標準偏差	1.91	1.89	0.53	0.60
B濃色	Ox1	22.51	54.56	-0.68	-26.70
	Ox2	23.57	55.65	-1.22	-24.72
	Ox3	24.11	56.20	-0.77	-26.43
	Br	22.11	54.14	-0.62	-26.04
	S	18.13	49.65	0.15	-28.83
	T	24.39	56.48	-0.57	-27.37
	D	22.20	54.24	-0.21	-27.48
	K	22.66	54.72	-0.22	-28.57
	平均値	22.46	54.46	-0.52	-27.02
	標準偏差	1.23	1.33	0.32	1.05
P濃色	Ox1	22.04	54.07	20.12	-25.76
	Ox2	24.36	56.45	19.76	-22.44
	Ox3	26.85	58.84	20.08	-22.68
	Br	23.01	55.08	19.41	-24.03
	S	18.67	50.30	22.07	-27.69
	T	29.52	61.23	19.88	-24.50
	D	25.05	57.13	19.63	-25.08
	K	25.25	57.32	20.56	-25.71
	平均値	24.34	56.30	20.19	-24.74
	標準偏差	2.33	2.36	0.56	1.32
Ye淡色	Ox1	58.37	80.94	-10.35	67.64
	Ox2	59.30	81.46	-9.89	65.19
	Ox3	67.13	85.57	-9.08	71.71
	Br	56.58	79.94	-10.70	62.99
	S	56.71	80.01	-10.15	70.37
	T	71.83	87.89	-9.76	72.83
	D	64.21	84.07	-10.31	68.26
	K	68.51	86.26	-8.91	77.73
	平均値	62.83	83.27	-9.89	69.59
	標準偏差	5.09	2.68	0.48	3.57

出来なかったため、平均Y=62.8の淡色水準のみである。全試料数はW（非染色原布）を加えて112枚であった。

全試料布の色諸元を变角分光測色システムGCMS-4によるJIS規定条件下（45°照射/0°受光方式）で測定した結果として示す^{注1)}。表2はR、G、B、Pの濃色とYeの淡色の色諸元を一例として示している。染色条件を一定にして染色しても、織・編構造により、同一染料内においてY（L*）および色度a*b*にバラツキが認められ、Y値の標準偏差は1.09~2.33であった（Yeを除く）。これは布の織・編構造によ

る染料吸尽率の違い、発色性の違いなどが関係していると考えられる。

2-2. 試料布の三次元变角分光測色

ヒトが物体を見ている状況を考慮し、光の照射角度（以後、本研究では物体への光の入射角度と称する）と受光角度（眼が見ている角度に対応する）を三次元的に変化させた場合の反射光の分光分布を計測した。（变角分光測色システムGCMS-4型：村上色彩㈱）

1) 入射光軸と試料法線を含む入射面にたて糸が平行となるように布を固定（以後は試料のたて糸方向固定法と称す）し、試料面の法線に対して45°入射し、受光角を-60°から60°の範囲で変化させて測定（図2-a）。

本装置では、試料固定台とランプハウス部分が規定角度設定に対して可動し、受光部が固定している。コンピュータ入力により、入射角度、受光角度を設定することにより、試料固定台とランプハウスが設定条件まで移動したのち、分光測色する。

2) 1)と同様の方法で試料布をよこ糸方向に固定した場合（本条件においては入射光軸と試料法線を含む入射面によこ糸が平行となる）

2-3. 反射光強度の三次元的測定

ヒトがモノの表面に光沢を感じ、あるいはその表面が滑らかか、凹凸があるかを判断する情報には正反射光の強度が関係するといわれる。凹凸があればあるほど入射した光は拡散、屈折を繰り返す結果、光は吸収され反射光強度が減衰する。

自動变角光度計GP-200型（村上色彩㈱）を用い

1) 試料布のたて糸方向を試料固定台の垂直方向に固定し、試料面の法線に対して45°入射し、受光角を0°から90°まで変化させた場合の光量（反射光強度）の変化を測定する（図2-b）^{注2)}。測定に用いる照明光源はハロゲンランプ（12V50W）であるが、变角による微小な光量変化を精度高く測定するために、図に示

注1) 变角分光測色システムGCMS-4では、試料測定前に、完全拡散面の標準白板によって基準化を行い、測定は図2-aに示すように参照白板と試料面とのダブルビーム法によって分光測色している。測色値Yは三刺激値XYZのYを表す。

注2) 自動变角光度計GP-200は、試料からの反射光に含まれる光の強度を測定するもので、感度調整はホトマル印加電圧調整によって行う。従って、2つ以上のサンプル間の相対比較を用いることができる。

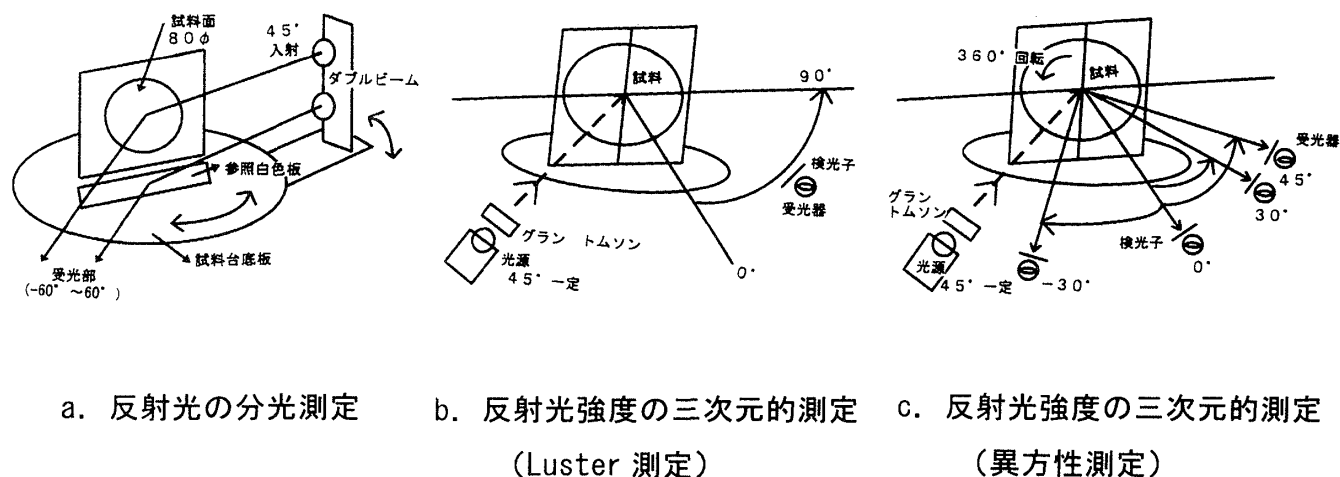


図2 三次元変角測定法

すように、入射光路にグラントムソンプリズムを挿入しP偏光をかけている。本装置では、光源部が固定されていて、試料固定台、および受光部が可動する。

ここで、受光角 0° の反射光強度は拡散光によるものであり、受光角 0° よりも反射光強度が高くなる角度においては、正反射光の光量が加算されていると推定される。正反射光量が最大になる角度で反射光強度が最大になる。

物体表面のLuster値を次式で定義する。

$$\text{Luster} = R_{\max} / R_0$$

ここに $R_{\max}$: 反射光強度の最大値

R_0 : 受光角 0° の時の反射光強度

2) 織物はたて糸とよこ糸の交絡によって製織されている。織組織によって布表面のよこ糸／たて糸の出現比率が異なるため、布のたて糸方向、バイアス方向、よこ糸方向からの入射方向によって反射光強度に変化があると予想される。そこで、布への光の入射角度と受光角度を固定（入射角 45° 一定／受光角 $-30^\circ, 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ の組み合わせ条件）しておき、布を 360° 面内回転させて反射光強度を測定した（図2-c）。

布の面内回転角度による反射光強度の変動の大きさを異方性と定義し次式により指標化した。

$$\text{異方性} = R_{\max} / R_{\min}$$

ここに $R_{\max}$: 反射光強度の最大値

$R_{\min}$: 反射光強度の最小値

3. 結果と考察

3-1. 受光角度による分光反射率の変化と色度の変化 (図2-a法)

1) 試料布の受光角度による分光反射率の変化

図3は入射角 45° に固定し、受光角を -60° から 60° に

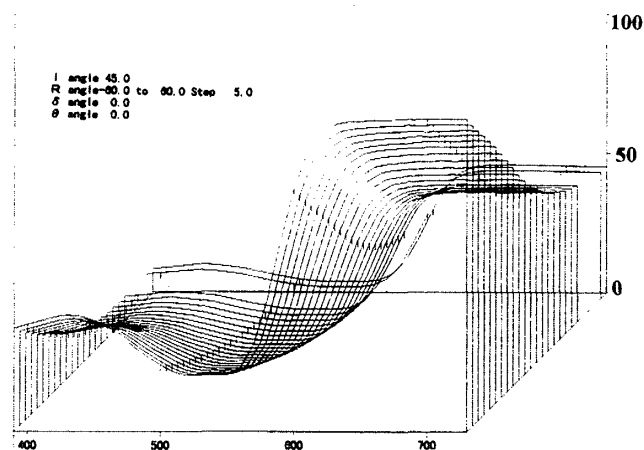


図3 受光角度による分光反射率の変化
SのR濃色試料布、たて糸方向、 45° 入射／ $-60^\circ \sim 60^\circ$ 受光

変化させた場合の変角分光光度計による反射光の分光分布の結果をSのR濃色試料布、たて糸方向を一例として示している。図から明かなように受光角の変化にしたがって分光分布の波長曲線の形状が変化し、かつ反射光量変化も認められる。

2) 受光角度を変化させた場合の試料布の色度変化
入射角 45° 、受光角を -60° から 60° に変化させた場合の分光分布の変化から $L^*a^*b^*$ 表色系における a^*b^* 色座標におけるクロマティックネス指数の変化を求めた。図4はたて糸方向に試料布を固定した場合の測定結果のうち、色別特性を示すため、 $Ox1$ を例として全5色の濃色試料布についてのクロマティックネス指数点の変化を示している。RおよびYeでは受光角度の変化によるクロマティックネス指数の変化量が大きく、Rでは、主として b^* 軸方向（黄み）の変動が、Yeでは a^* 軸、 b^* 軸の2次元的な変動が認められる。一方、G、B、Pでは比較的クロマティックネス指数の変化が小さい。これは拡散光成分であっても織

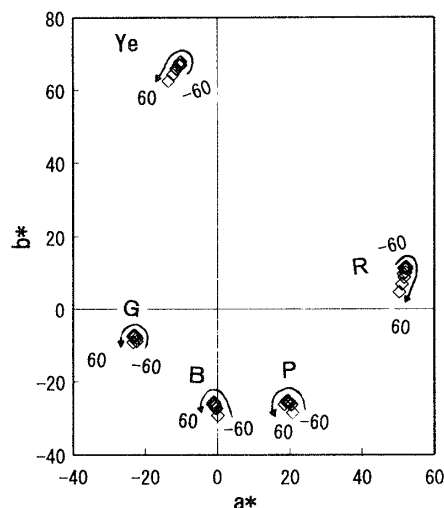


図4 a^*b^* 座標におけるクロマティックネス指数の変化
OX1濃色試料布, たて糸方向, 45°入射/−60°~60°受光

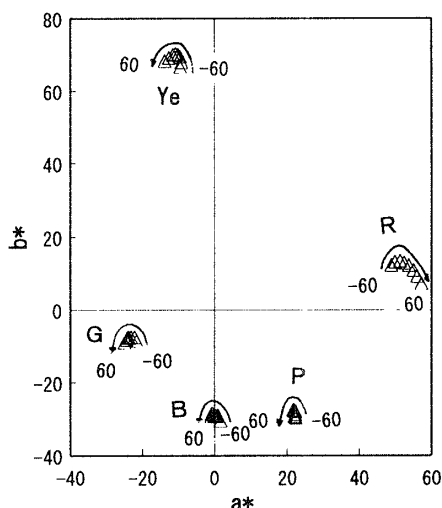


図5 a^*b^* 座標におけるクロマティックネス指数の変化
S濃色試料布, たて糸方向, 45°入射/−60°~60°受光

物のように構造効果の有する表面においては観測角度によって変化量が多い色と小さい色があることを示唆している。長波長域の反射光量が多いR, Yeに大きな変動が見られることから、特性波長の屈折率特性が関係しているのではないかと考える。

また、B以外の4色は、色測定の規定条件（0°受光）近傍の角度においてクロマティックネス指数に変曲点が認められた。図中に−60°→0°→60°の変化方向を矢印曲線で示している。

図5は朱子織のSについて、たて糸方向に固定した場合のクロマティックネス指数の変化の結果を示している。S試料布は前述のようによこ朱子であり、たて糸交絡点が多く、よこ糸がほぼ表面を被覆した構造の布である。クロマティックネス指数の変化の大きいRとYeにおいて、平織布OX1とは異なるクロマテ

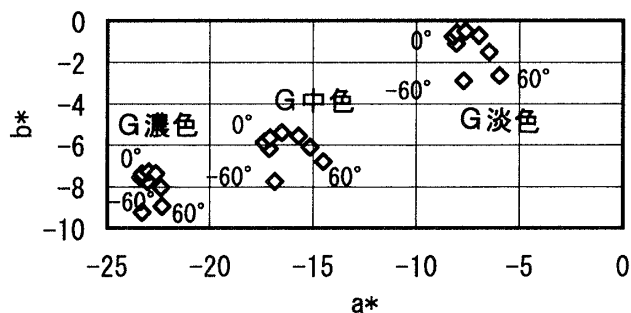


図6 試料布の色濃度が a^*b^* 色度図上のクロマティックネス指数の変化に及ぼす影響

OX1のG試料布, たて糸方向, 45°入射−60°~60°受光

ィックネス指数の変化が認められた。図を割愛するが、Br, OX2, OX3の結果はOX1と類似していた。

同一染料による布の色濃度の影響（色相が同じで明度が異なる）についてみると、図6のGの例で示すように、濃色から中色、淡色と L^* （明度指数）が高くなるにしたがって、受光角度に依存するクロマティックネス指数の変化のパターンが同じで全体として無彩色軸方向にシフトすることが明らかになった。他の色についてもほぼ同様の傾向が認められた。

3) 受光角度の変化による色差の変化

表面色を視感測定する場合、クロマティックネス指数の変化の違いと明度差を分離して測定することが難しく、われわれは色立体上の三次元的な評価を強いられる。そこで、受光角度の変化に伴う色刺激の変化を基準条件（0°受光）からの色差 ΔE^* として求めた。

図7および図8は、クロマティックネス指数の変化が最も大きく認められたR濃色試料布について、それぞれたて糸方向、よこ糸方向に布を固定した場合の8種の織・編構造の違いが色差に及ぼす影響について示している。いずれの試料布も基準条件（0°受光）からの角度差が大きくなるにつれて色差が大きくなるが、入射方向と異なる方向（0°→60°）のほうが、同方向の受光角度（0°→−60°）よりも色差変化が大きい。色差変化の中で、クロマティックネス差（ $\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}$ ）^{1/2}よりも ΔL^* が大きな変化を示していた。 ΔE^* の結果には、 ΔL^* の影響が大きいといえる。 ΔE^* への受光角度の影響については後述の自動変角光度計の結果とあわせ解析することにする。

これらの図では織・編構造の違いによる色差変化の大きさ順位についてのみ注目することにし、図7および図8をみると、平織のBr, OX1, OX2, OX3では布方向による色差変化が比較的小さいが、S, K, および、T, Dでは布の固定方向によって色差変化が

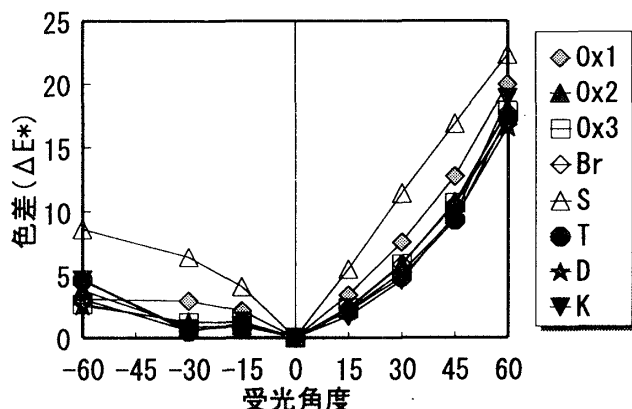


図7 織・編構造と受光角度が色差に及ぼす影響
R濃色試料布, たて糸方向, 基準条件: 45°入射/0°受光

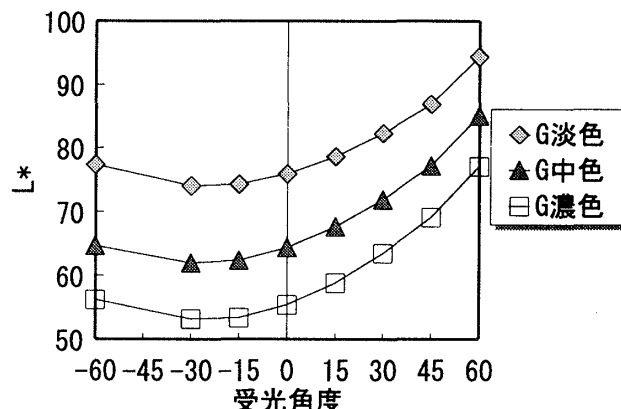


図9 色濃度と受光角度がL*に及ぼす影響
Ox1のG試料布, たて糸方向, 45°入射/-60°~60°受光

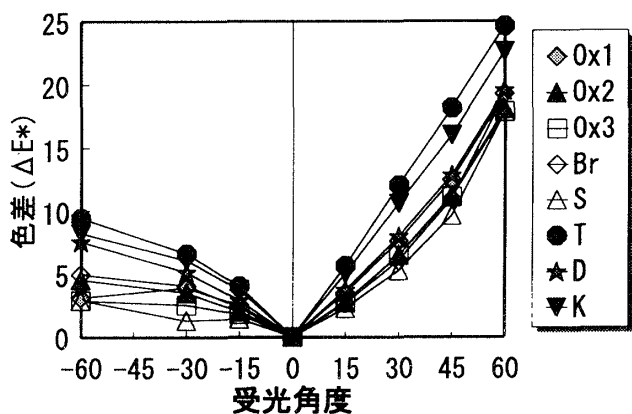


図8 織・編構造と受光角度が色差に及ぼす影響
R濃色試料布, よこ糸方向, 基準条件: 45°入射/0°受光

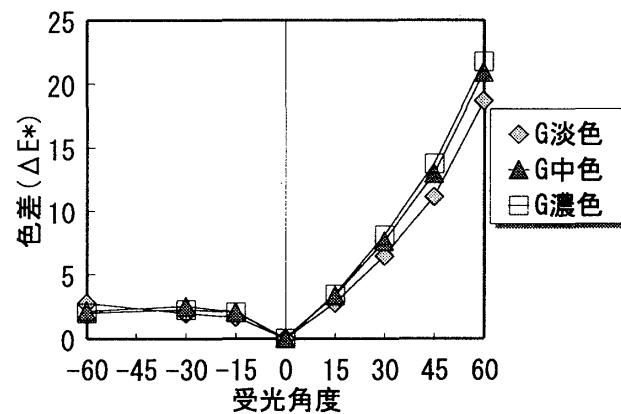


図10 色濃度と受光角度が色差に及ぼす影響
Ox1のG試料布, たて糸方向, 45°入射/-60°~60°受光

大きく、平織試料布に比べて相対的な順位が逆転するものがある。すなわち、布をたて糸方向で垂直固定して測定した場合の図7では、Sの色差変化が大きいのに比較して、図8では最も変化が小さい。一方、KやT、Dでは、よこ糸方向に垂直固定した場合のほうが色差変化量に大きな変動が認められた。したがって、浮き糸、沈み糸の割合がほぼ均等である平織のBr、Oxでは、たて糸、よこ糸の向きによる変化が見られなく、朱子織、斜文織、平編であるS、T、D、Kではたて糸方向と逆転する傾向が見られることから、色差は、布表面における入射光の糸方向（糸長軸方向、糸側面など）などの布表面の構造の影響を受けると言える。

図9は、Gについての色濃度がL*（明度指数）に及ぼす影響について示している。色濃度によってL*の差は大きく、-30°から角度が大きくなるにつれL*の値も大きくなる。また、図10は、Gについての色濃度が色差に及ぼす影響について示している（図6参照）。基準条件（0°受光）に正規化した色差で示しているので、色差に及ぼす色濃度の影響は小さい。従っ

て、濃度差による色差の変化にはL*の値が色差変化に大きく影響すると考えられる。

他の色についてもほぼ同様の結果が得られた。

3-2. 変角光度計による試料布のLusterと異方性

1) Lusterの評価

光沢度は一般的に正反射光強度の大きさによって指標化されている。金属のように表面が滑らかな場合は、入射角度と同じ角度の受光角度近辺において正反射光が最大となり他の角度に比較して特異的な反射光強度を示すことが知られている。しかし、織物や編物のように表面形状が非常に複雑なものでは、入射した光のほとんどが拡散されるため正反射光成分の測定が難しい。しかし実際には、この布には「光沢がある」とか「光沢がない」とか微妙な差を視覚評価することができる。

変角光度計は、図2-bに示すように、光束絞りを調整した入射光路にグラントムソンプリズムを置き、P偏光をかけることによって微小な反射光強度の変化をとらえる。測定するのは反射光強度（光量の指数）で

あるので、強度レベルは試料のYに大きく依存する。

染色した前述の5色、3水準（ただし、Yeは淡色のみ）の試料布の反射光強度に及ぼす受光角度の影響について測定した。同一織（編）布で色の違い、あるいは、色濃度の違いを比較すると、受光角度変化に対する反射光強度の曲線パターンは同じで、その強度レベルの変化だけが認められた⁹⁾。そこで、織・編構造の違いによるLuster値を比較するため、ほぼ反射率Y値が等しい原布（W）を用い、たて糸、よこ糸方向に固定した場合の影響について、入射角一定（45°）の条件で受光角を0°～90°まで変化させ、反射光強度の変化を測定した。

図11、図12は、それぞれ布をたて糸方向、よこ糸方向に固定した場合の受光角度による反射光強度曲線を示している。前述のように、布のように表面に凹凸のある構造では、0°の反射光は拡散光成分が、一方、受光角度が大きくなるにつれて正反射光成分が拡散光に加算されることにより反射光強度が増大するものと考えられる。同じ入射光量を受けても布により0°の値が異なるのは、原布WのY値が布によって異なるためである。たて糸方向では（図11）Sが入射角度の正反射角45°近傍において明らかなピーク値を示すことが認められる。Sほど明らかなピークではないが0°よりもわずかに反射強度が増大する布にK、および、Ox1、Ox2、Ox3、Brの平織布があり、そのピーク角度も布によって異なっている。一方、TやDの斜文織では、0°から角度の増大につれて徐々に反射光強度が低下することが認められる。

一方、よこ糸方向では（図12）、TやDの斜文織が45°近傍で最も高い明確な反射光強度の最大値をみせるのに対し、対照的に、Sではピークが見られず、また反射光強度も低い。K、および、Ox1、Ox2、Ox3、Brなどでは、布のよこ糸方向から受光して観測するほうがLuster値が大きくなることを示している。同様によこ糸が表面を被覆した状態のS、およびT、Dにおける特徴的な結果からも、Lusterの評価には糸の長軸方向よりも糸の側面から受光する条件において判定しやすいことが推定された。

つぎに反射光強度の0°に対するピーク値の比として算出したLuster値の結果を図13に示す。いずれの試料に対してもたて糸方向とよこ糸方向によって値が異なる。布間で光沢感を評価する場合、たて糸方向よりもよこ糸方向で違いが生じやすく比較が容易であることが本結果からも推定される。ほとんどの布は、

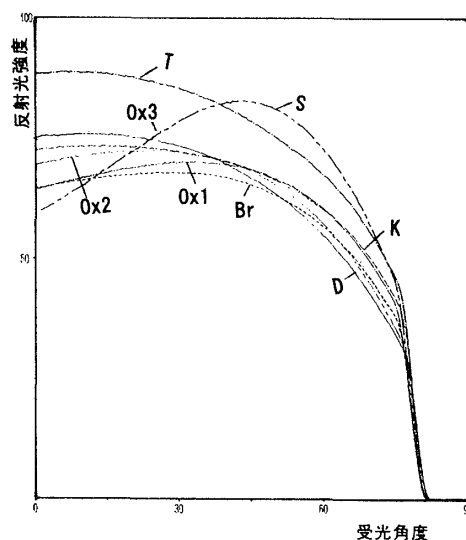


図11 原布の織・編構造と受光角度が反射光強度に及ぼす影響

45°入射/0°～90°受光、たて糸方向

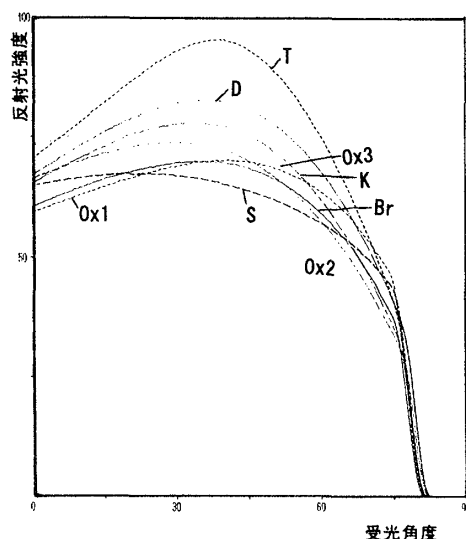


図12 原布の織・編構造と受光角度が反射光強度に及ぼす影響

45°入射/0°～90°受光、よこ糸方向

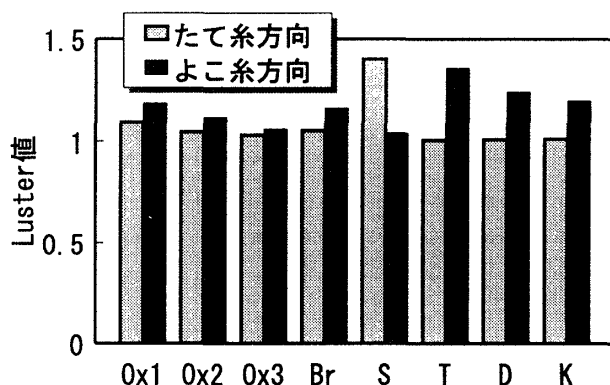


図13 原布の織・編構造とたて糸・よこ糸の方向性の違いがLuster値に及ぼす影響

たて糸方向よりもよこ糸方向からの入射条件でLuster値が大きいのに対し、Sはそれとは逆によこ糸方向より、たて糸方向でLuster値が大きい。

2) 異方性 (Jeffries法) の評価

布の場合、テクスチャーの特徴が見る方向によって異なることをよく経験する。これらは織物のたて糸とよこ糸が交絡することによる織物に特有の構造特性が視覚的異方性をつくり出していると考えられる。入射角を 45° と一定にし、受光角を -30° , 0° , 30° , 45° とそれぞれ組み合わせた固定条件において、織物試料を 360° 面内回転させた時の反射光強度の変化を測定した。

図14, 図15は、それぞれ受光角度 0° および -30° の結果を代表として示している。いずれの試料布も織構造に起因する光学的異方性が認められる。なお、織構造をもたない紙 (マット) を対照として測定したが、これらの光学的異方性は認めていない⁹⁾。

図16は受光角度を -30° から 0° , 30° , 45° と変化させた場合の原布の面内回転が異方性に及ぼす受光角度の影響についてまとめたものである。異方性は入射角度と同じ方位の負の受光角 -30° において大きくなっている。この傾向は色差の結果と逆の傾向である (図7, 8, 10参照)。Sは他の原布に比較して異方性は大きく、布を回転して観察することにより反射光強度が変化して光沢感を評価しやすいと推察される。一方、Tでは -30° 受光、あるいは 0° の方向から観察すれば反射光強度変化が大きく、光沢があるように感じられるであろうし、 30° , 45° 受光ではあまり評価されないであろう。

ヒトはモノを見た場合、反射光に含まれる様々な光学的特性からモノの表面に関する色、光沢、テクスチャーなど多くの情報を瞬時に読みとることが出来る。本研究では、織・編物の種々の構造特性と色を有する試料を用い、機器測定により三次元的に条件を分割した規定条件において、色、Luster, 異方性を測定した。その結果、入射角 45° の一定条件下においても受光角度によって織・編物構造に起因する複雑な現象がとらえられた。また、同一試料布であっても受光角度によって数値が異なることも明らかにした。ヒトはこれらの光学的効果を総合的、複合的に判断しているのではないかと考える。例えば、測色値が同じであっても、BrとSの区別を判別しうる。表面色ではなく物体の色として知覚するからではないかと考える。その反面、色票の色で織物や壁紙の色を視感測色する場合には困難がつきまとう。

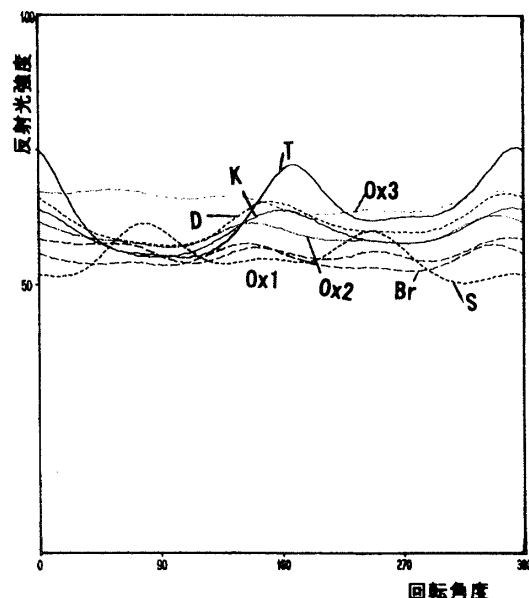


図14 反射光強度による原布の異方性
 45° 入射/ 0° 受光

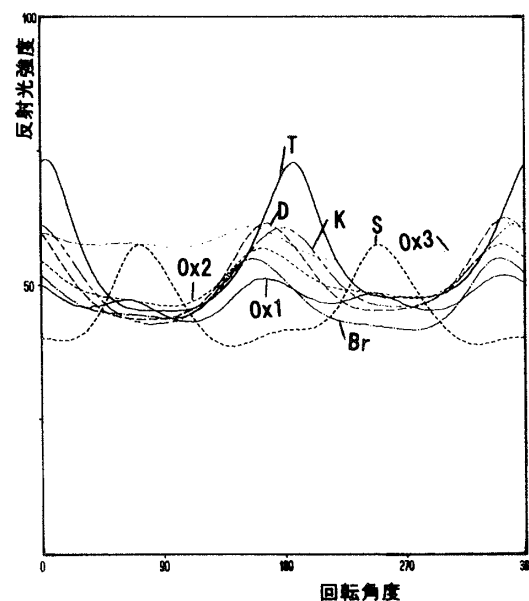


図15 反射光強度による原布の異方性
 45° 入射/ -30° 受光

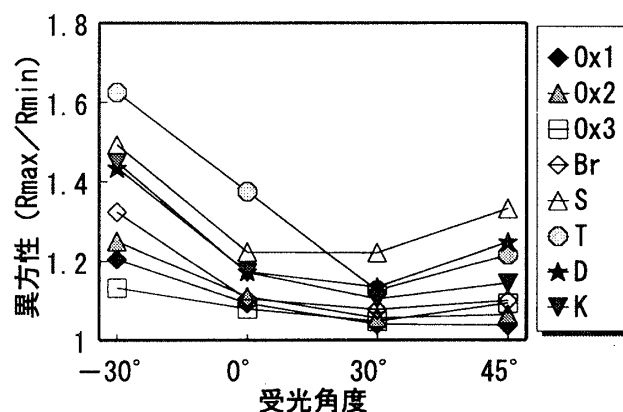


図16 原布の面内回転が異方性に及ぼす受光角度の影響
 45° 入射/ $-30^\circ \sim 45^\circ$ 受光

本研究では市販原布を用いたため、糸の太さ、撚り数、糸密度などの変数が内在する。今後は同じ糸を用い製織過程で発生する構造特性との関係についても検討し報告する予定である。

4. まとめ

(1)いずれの試料布も受光角度が変わると色度点が移動する。色度点の移動方向は織構造によって異なる。色別にみると、R、Yeの長波長において反射光量の大きい色では受光角度依存性が高い。

(2)受光角度の変化により L^* も変化する。 ΔE^* には L^* の影響が大きい。

(3)光沢の指標として求めたLuster値の結果から、S以外の試料布ではよこ糸方向で布を固定した場合に正反射光をとらえやすく、Sでは、逆にたて糸方向でとらえやすい。

(4)布には光学的異方性がある。Sでは回して観察すると光沢感を判別しやすい。Tでは受光角 -30° で回転させると判別しやすい。

参考文献

- 1) 南 茂夫：分光計測と色情報，第30回光学五学会関西支部連合講演会予稿集（1997）1-11
- 2) JIS Z 8722¹⁹⁹⁴：JISハンドブック 色彩，日本規格協会（1996）191-204
- 3) 安田孝美，横井茂樹：布独特の材質感を表現するシェーディング・モデル，NIKKEI COMPUTER GRAPHICS，2（1990）150-159
- 4) 江湖俊介，川上幸治二：コンピュータグラフィックスによる質感表現の研究，照明学会誌，79（1995）204-211
- 5) 山口新司：分光計測と色情報，第30回光学五学会関西支部連合講演会予稿集（1997）12-17
- 6) 松井美智子，桑野浩一，戸知俊彦，佐竹いずみ：塗膜のシルキー感，金属感の評価尺度，日本色彩学会誌，18（1994）80-81
- 7) 鈴木和彦，辻 紘良，馬場護郎，高木 淳，高岡 仁：3次元分光反射率の計測法，同上，17（1993）81-82
- 8) 李 沅貞，佐藤昌子：テクスチャー知覚に関する研究一布を例として一，日本生理人類学会誌 Vol. 3 No. 4.（1998）27-34
- 9) 李 沅貞，宮下佳奈，佐藤昌子：織物の構造特性とテクスチャーの知覚に関する研究（第3報），

日本色彩学会関西支部大会講演論文集，（1996）26-27

（受付日：1998年9月1日）

著者紹介



リー うおんじょん
李 沅 貞

1967年11月3日生
1994年金沢美術工芸大学大学院産業デザイン専攻修士課程修了，芸術学修士
日本色彩学会，日本繊維製品消費科学会，日本生理人類学会

現在大阪市立大学大学院生活科学研究科博士課程在籍
d94h203@life.osaka-cu.ac.jp



さとうまさこ
佐藤昌子

1941年3月4日生
1963年大阪市立大学家政学部被服学科卒業
日本色彩学会，日本家政学会，日本繊維学会，日本繊維製品消費科学会，日本照明学会，日本生理人類学会，日本ファジイ学会，ファッション環境学会

現在大阪市立大学生活科学部教授
学術博士
sato@life.osaka-cu.ac.jp