

## 指数関数による布微小面の反射率算出法の検討

How to Calculate the Reflectivity of Micro-Features  
of Woven Fabric by Means of Exponential Functions

坂 上 ちえ子

SAKAGAMI Chieko

## 指数関数による布微小面の反射率算出法の検討

How to Calculate the Reflectivity of Micro-Features  
of Woven Fabric by Means of Exponential Function

坂上 ちえ子  
SAKAGAMI Chieko

summary

The methods of calibration to reflectance from the pixel value of the digital image of woven fabric taken by the microscope were investigated in this study. The author tried to fit the known reflectance of a gray scale chart to the pixel value of a digital image by using the nonlinear function. The reflectance per a pixel was calculated by exponential function and the parameter which were obtained by these results. In addition, those results and the measurement results of the spectrophotometer were compared and verified, and the parameter of exponential function was determined. The reflectance from the micro geometry of woven fabric was able to be calculated with the adapted parameter.

Keywords; *woven fabric, microscope, reflectance, nonlinear function, parameter*

### 1. はじめに

前報<sup>1)</sup>において、布の微小面をマイクロスコープで撮影し、デジタル画像のRGB画素の平均値を輝度値へキャリブレーションする方法を検討して良好な変換値が得られた。ただし、試料とした布はキャリブレーションに必要な要因を絞り込むために、繊維や織組織が異なる無染色の原布（白布）を用いた。

しかし、布は通常、染色やプリントにより色や柄が表出しており、原布の輝度は人が布を見ている状態を把握することには有用であるが、輝度だけでは色や柄のある布の表面反射特性を明らかにすることは難しい。それは、人が「色」を認識する仕組みの中で、物体表面からの分光反射率が色認識に大きく寄与するためである。よって、布の反射特性を捉えるためには、布表面の反射率を解析することも必要となる。ただし、デジタルカメラはメーカーや機種によりそれぞれ自動的に色補正や露出補正がされ、それが企業独自の方法である場合が多い。そのため、分光感度を400の波長すべてにおいて計測、補正した後、反射率を算出した場合は誤差が生じる恐れがある。そこで、今回も前回と同様、キャリブレーションにおける誤差要因を除外するために、試料は無染色布を選択し、微細な布表面の反射率を算出する方法を検討することとした。

布の反射率は白布でも染色布でも、変角分光測色計を使用すれば計測は可能である。ただし、縦と横がそれぞれ4～5cm程度の平面の平均値となる。いくつかの種類ですでに計測され明らかになっている<sup>2)</sup>が、フランネルや富士絹の白布で60～70%、木綿や麻の白布で40～70%と

その値に幅がある。それは、布を構成する繊維によって光の吸収や反射が異なる上に、表面が織組織による三次元形状となっているため、そのジオメトリによって平滑面とは相違する反射が現れるためである。また、物体表面の構造や材質によって、反射光成分の鏡面反射と拡散反射の割合が異なるため、様々な材質（繊維）で織製される布では一義的な測定値を得ることが困難である。さらに、反射角度ごとの配光特性（変角光度分布）<sup>3)</sup>も考慮しなければ布の反射特性を解明することはできない。

今回も前回と同様、布表面からの反射光を詳細に把握するために拡大撮影が可能なデジタルマイクロスコープを用いて布の微小面を計測（撮影）し、そのデジタル画像の画素値を 1pixel ずつ反射率にキャリブレーションするための簡便な方法を検討した。

## 2. 方法

### 2.1 測定 1

測定 1 として、デジタル画像のピクセル値から反射率を算出するのに適した指数関数式のパラメータを算定するための測定を行った。

#### 2.1.1 試料

濃度 15 段階構成のグレースケールチャート（Edmond Optics Japan 53712-H）を試料とした。予備測定において、15 種類のうち、とくに高濃度のグレースケールを段階的、直線的に記録することは困難であった。そこで、測定値を安定させるために、15 段階の中で 1 番目と 15 番目、さらに間を 1 段階おきとし、合計 8 段階を測定した。また、このグレースケールチャートの最も明るい段階（反射率 81%）を参照体とし、本報告のすべての測定で必ず試料に添付した。

#### 2.1.2 測定方法

測定は、受光器側にデジタルマイクロスコープ（Dino-Lite Plus）、光源側に 27 ワットの蛍光灯（Panasonic FPL27EX-N）を設置して、8 倍に拡大したデジタル撮影画像を取得した。光源からの入射角度は 45 度に固定し、受光（撮影）角度は、0 度から 60 度まで 15 度間隔とした。また、反射光を分離するために、光源側に偏光フィルタの P 方向、受光器側に P または S 方向を取り付けて、反射光が鏡面光と拡散光（以下、S+D 成分と記す）の画像と拡散光（以下、D 成分と記す）のみの画像の 2 種類を 1 試料に対して得た。試料と光源の距離は 30cm、試料と受光器の距離は 8cm とし、前報と同様、試料面の照度はムラなく一定に保たれ、雑光線は吸光シートにより遮断された。

#### 2.1.3 解析方法

撮影した画像は前報と同様、非圧縮画像データである BMP 形式で保存し、まず、画像の焦点にあるグレースケール部分とその直近にある参照体それぞれにおいて、 $10 \times 10$  pixels（約  $0.07 \times 0.07$  cm）範囲のピクセル値を画像解析ソフト（Image J 1.33u, 1.42q）により取得した。なお、

## 指数関数による布微小面の反射率算出法の検討

本報告の撮影画像はデジタルカラー画像であるため、R、G、Bの各画素値はいずれも独立して0から255の値を有しているが、測定試料はいずれも無彩色であるため、以下、R、G、B画素値の平均値をピクセル値と記述する。また、デジタルカメラは自動露出機能を備えているため、予備測定で求めた参照体の基準ピクセル値（S）と試料に添付された参照体の計測ピクセル値（M）、さらに式（1）により自動補正後のピクセル値（x2）を補正前のピクセル値（x1）に較正した。

$$x1 = x2 \times (M / S) \quad \dots(1)$$

次に、受光角度（0、15、30、45、60度）と反射成分（S+D成分、D成分）ごとに、取得し較正されたピクセル値とグレースケールチャートの既知の反射率を対応させ、解析ソフト（Origin 8.1）を使用して、非線形曲線フィッティングを試み、指数関数式のパラメータを得た。

### 2.2 測定 2

測定 2 として、算定した指数関数パラメータがデジタル画像のピクセル値から反射率を算出するのに適しているかを検証するための測定を行った。

#### 2.2.1 試料

3種類の平織布を試料とした。諸元は表 1 に示す。繊維は天然繊維と合成繊維があるが、組織はすべて平織とした。そのため、織組織による表面形状より各繊維の光学特性の違いが反射に影響を及ぼすと予想される。

Table 1 Details of 3 experiment samples.

sample label	material/ processing	woven pattern	density (end× pick/cm)	thickness (mm)
S1	cotton/ mercerization	plain	52×28	0.22
S2	silk	plain	54×40	0.12
S3	polyester *thin cloth	plain	40×30	0.08

#### 2.2.2 測定方法

測定には、変角分光測色システム（村上色彩研究所 GCM-4 型）を用いて、測定 1 と同様、光源からの入射角度を 45 度に固定し、受光角度は 0 度から 60 度まで 15 度ずつ変角させて分光反射率を計測した。ただし、試料の設置方向は、測定 1 と 2 では異なる。測定 1 の試料は紙製で、ほぼ平滑面であるため測定台での設置方向を変える必要はない。それに対し、測定 2 の試料は布であるため、経糸と緯糸が交錯して構成される表面形状は観察方向で光の反射に相違が現れ

る。そのため、入射光軸と試料布法線を含む入射面は 0 度、45 度、90 度と変化させた。つまり、試料布を経方向と緯方向、バイアス方向に設置して、それぞれで測定した。また、D65 光源 - 2 度視野の条件で測定を行った。

### 2.2.3 解析方法

まず、変角分光測色システムで試料の反射率を求めた。このシステムでは、390nm から 730nm まで、波長 10nm ごとの反射率データが得られるため、3 試料 (S1, S2, S3)、2 成分 (S+D 成分, D 成分)、5 受光角度 (0 度、15 度、30 度、45 度、60 度)、3 設置方向 (経方向、緯方向、バイアス方向) のそれぞれで、390nm から 730nm までの分光反射率を計測し、その平均値を反射率とした。また、無彩色であるため、式 (2) により明るさを示す Y (ラージワイ) も求めた。

$$Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) d\lambda \quad \cdots(2)$$

次に、測定 1 と同じ測定 (撮影) 方法と条件で試料布の拡大デジタル画像を取得した。受光角度は 5 段階 (0, 15, 30, 45, 60 度)、反射成分は 2 種類 (S+D 成分, D 成分) であったが、設置方向は既述の通り、布表面の特徴を勘案して 3 種類とした。画像は BMP 形式で保存し、画像焦点付近の 8 ~ 11pixels × 128pixels (約 0.04cm × 0.43cm) 範囲とその直近にある参照体の 10 × 10pixels (約 0.03 × 0.03cm) 範囲のピクセル値を画像解析ソフトにより取得した。なお、縦の 8 ~ 11pixels 範囲は布を構成する織糸 1 本分に相当する。測定 1 で示した式 (1) により、取得したピクセル値は自動露出補正前のピクセル値に較正した。その較正ピクセル値 (x) と測定 1 で算定したパラメータ (y<sub>0</sub>, A, R<sub>0</sub>)、指数関数式 (3) により、試料布微小面の反射率 (y) を 1pixel (約 0.003 × 0.003cm) ずつ算出した。

$$y = y_0 + A \times \exp(R_0 \times x) \quad \cdots(3)$$

変角分光測色システムでは、反射光を S+D 成分と D 成分に分離することはできないが、測色システムで測定した結果と指数関数式によって算出した結果を比較し、受光角度ごとの変化やその挙動を検討してパラメータの検証を行った。

## 3. 結果

### 3.1 ピクセル値と反射率の応答結果

今回用いたグレースケールチャートの既知の反射率を 15 段階のチャートで示したものが図 1 である。濃度から換算して 3% ~ 81% に相当し、その変化は対数変移している。また、グレースケールチャートを測定し較正した 8 段階のピクセル値と図 1 の反射率を受光角度ごとに対応させた結果は図 2 の通りである。

指数関数による布微小面の反射率算出法の検討

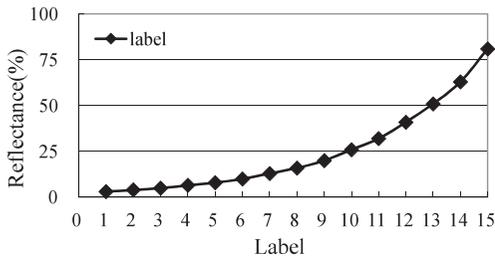


Fig.1 Reflectance of a gray scale chart.

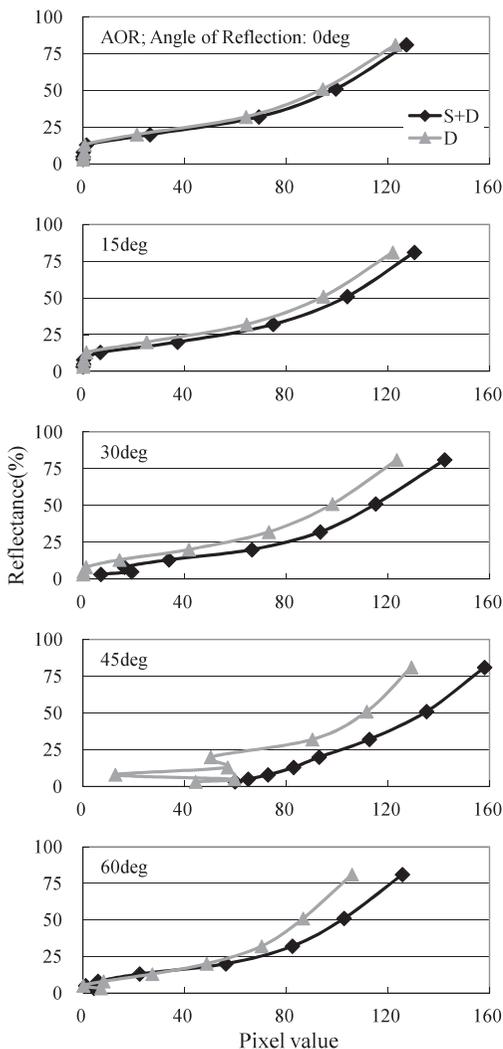


Fig.2 Correspondence relation between reflectance and a pixel value; Gray scale chart.

一般に受光器の応答特性は非線形であることが知られているが、本報告の結果においても非線形応答が認められた。ただし、その線形は受光角度で多少の違いが現れた。D成分については、それぞれの受光角度で大きな相違は見られず、0、15、30度はほぼ同じカーブとなった。45、60度は他の角度と少し異なり、60度で反射率81%に対応するピクセル値が低くなった。S+D成分については、0、15、60度のカーブはほぼ同じとなったが、45度のみカーブの形状が大きく異なり、反射率に応答するピクセル値が顕著に高くなった。また、各受光角度におけるS+D成分とD成分の応答の違いは、0、15度ではほぼ同じとなり、30、60度では、反射率の高い3段階(label-11、13、15)でS+D成分とD成分のカーブに違いが現れた。さらに受光角度45度ではS+D成分とD成分のカーブが平行に見えるほど形状が異なった。

これらの結果は、S+D成分とD成分の反射の特徴を示すものである。正反射方向である受光角度45度では、鏡面反射成分(S成分)が最も大きくなるため、図2のようにグレースケールチャートの濃度に関係なく、S+D成分とD成分に差が現れたと考えられる。また、45度から15度変化させた受光角度30、60度では、45度でのS成分15度分に相当する量が同様に減少していることは明らかであるため、濃度の低いグレースケール(label-11、13、15)ではS成分が検出されやすくなった。そのため、S+D成分とD成分の差が出現したと考えられる。

### 3.2 フィッティング結果

図 2 に示した反射成分と受光角度ごとの応答結果に対し、非線形曲線フィッティングを行った。使用した解析ソフトには、解析のための関数が数多く実装されている。図 2 の応答カーブは、いずれも Exponential (指数) 関数のフィットカーブを示したため、Exponential 関数をフィッティング関数として選択した。ただし、Exponential 関数にもパラメータ数が異なる数種類の関数式がある。パラメータが増すほどフィッティングは良好になると予測できるが、計測誤差もフィッティングする可能性が出てくるため、「2.2.3 解析方法」に示した Exponential 関数式とパラメータにより解析を行った。

解析の結果、5 受光角度、2 成分すべてにおいて  $\chi$  二乗が減少し、フィッティングが良好に収束した。得られたパラメータは表 2 の通りである。いずれも、修正  $R^2$  が 0.85 以上となり、統計的にも有意であることが明らかとなった。なお、受光角度 45 度の D 成分での応答結果の外れ値は除外して解析している。

前報では、輝度を算出するためのパラメータを検討したが、5 受光角度 (0, 15, 30, 45, 60 度) と 2 反射成分 (拡散成分, 鏡面+拡散成分) で計測したピクセル値と輝度値の応答をフィッティングして、それぞれで良好なパラメータを得た。しかし、拡散成分の反射率は理論的には受光角度の余弦定理に則って変化し、鏡面成分は正反射方向が最大値となり正反射角度の値を頂点として対称となる受光角度に従って変化するため、1 つのパラメータで 5 受光角度と 2 反射成分の反射率を算出することが可能であると予測する。そのため、前報の輝度算出と同様に、受光角度と反射成分それぞれのパラメータで算出した場合、図 3-1、3-2、4-1、4-2 のように明らかな錯誤が生じる。

Table 2 Calculated parameters of function for nonlinear fitting by AOR and reflection components.

AOR	parameters of the Exponential function			adjustd $R^2$	label
	$y_0$	A	$R_0$		
D-0deg	72363.51671	-72357.27523	-7.43400E-06	0.93304	pm1
D-15deg	80212.09230	-80206.27876	-6.76192E-06	0.93232	pm2
D-30deg	104362.81953	-104359.89441	-5.17092E-06	0.91297	pm3
D-45deg	93010.56707	-93007.06619	-5.12973E-06	0.85571	pm4
D-60deg	127334.84441	-127334.13013	-4.79686E-06	0.84282	pm5
S+D-0deg	83564.72789	-83558.90802	-6.16625E-06	0.92585	pm6
S+D-15deg	96470.64130	-96466.22889	-5.21946E-06	0.91751	pm7
S+D-30deg	95984.85641	-95989.85714	-5.34840E-06	0.88537	pm8
S+D-45deg	-22.27617	10.95689	1.41700E-02	0.99899	pm9
S+D-60deg	113775.16856	-113774.91951	-4.64033E-06	0.86577	pm10

図 3-1 と 3-2 は試料 S1 (綿・平織)、図 4-1 と 4-2 は試料 S2 (絹・平織) の結果で、図 3-1 と 4-1 は、表 2 の D-0deg, D-15deg, D-30deg, D-45deg, D-60deg に示したパラメータによって各受光角度の S+D 成分と D 成分の反射率を算出し、図 3-2 と 4-2 は、受光角度と反射成分それぞれで

指数関数による布微小面の反射率算出法の検討

表 2 の各パラメータを使用して反射率を算出した結果である。図 3-1 では受光角度 45 度において、図 3-2 では 5 受光角度とも S+D 成分と D 成分の挙動が反転した。つまり、S+D 成分は拡散反射成分をベースに鏡面反射成分が加算されたと考えられるため、加算分は受光角度によって異

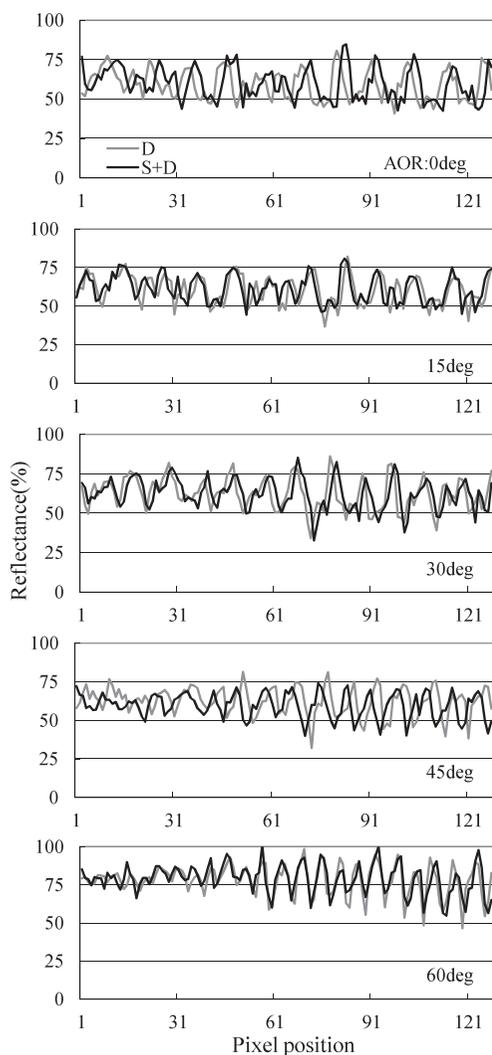


Fig.3-1 Calculated reflectance of weaving yarn; S1, warp, pm1-pm5.

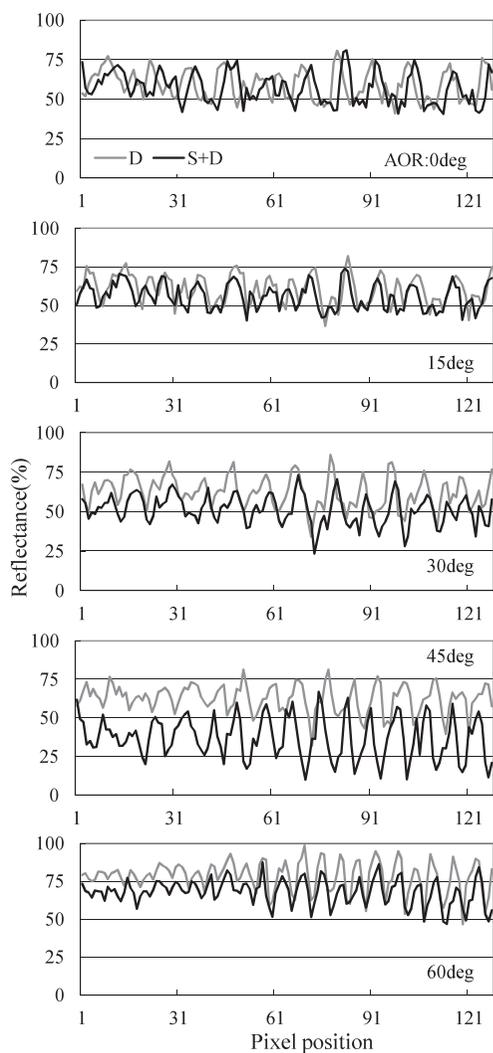


Fig.3-2 Calculated reflectance of weaving yarn; S1, warp, pm1-pm10.

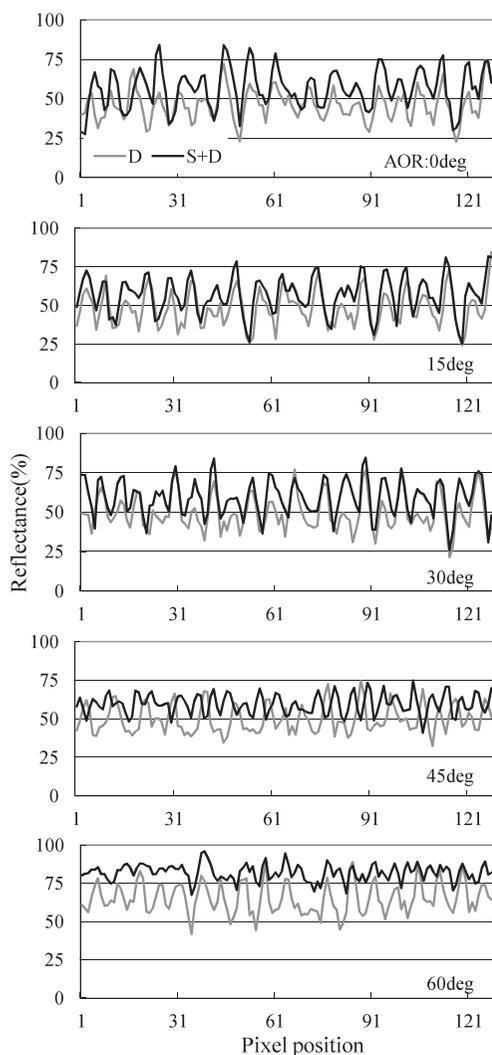


Fig.4-1 Calculated reflectance of weaving yarn; S2, warp, pm1-pm5.

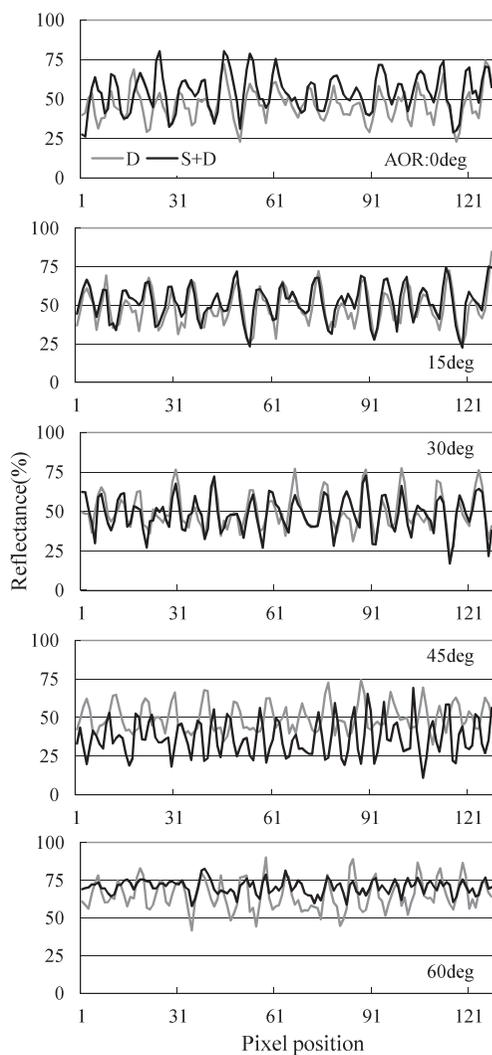


Fig.4-2 Calculated reflectance of weaving yarn; S2, warp, pm1-pm10.

なるが、必ずD成分よりS+D成分の反射率は値が高くなければならない。しかし、図3-1と3-2では逆の結果が現れた。図4-1と4-2では、図4-2の受光角度45度の結果以外にD成分とS+D成分の逆転が見られなかった。しかし、光沢のある絹では、S+D成分とD成分の反射率の差は正反射方向の受光角度45度を中心に30、60度でも現れることが予想されるが、図4-2ではその差が認められなかった。よって、表2のパラメータの中で、さらに最適な反射率算出のためのパラメータを取捨選択する必要がある。

### 3.3 検証結果

適切なパラメータを検討するにあたり、まず、3種類の試料布（S1：綿平織，S2：絹平織，S3：ポリエステル平織）を変角分光測色システムで測定した。3設置方向（経，緯，パイアス方向），5受光角度（0，15，30，45，60度）ごとの分光反射率平均とYの結果は表3の通りである。先に示した通り，このシステムは反射光を鏡面成分と拡散成分に分離することはできないが，一般的には分光反射率を測定する機器では鏡面反射光を除外し，拡散光のみが検出されて反射率が示される。しかし，予備実験を行った結果，鏡面反射光が完全には除外されておらず，鏡面成分を含んだ反射率であることを明らかにしている。そのため，分光測色システムとの比較はD成分のみ，あるいはS+D成分のみとせず，D成分とS+D成分ともに行った。また，3試料布，3設置方向とも，正反射方向の45度を超えた60度において反射率平均とYともに最大値を示した。

次に，検証のために各パラメータの組合せを検討した。測定1における反射率とピクセル値の応答関係を考慮して，表4に示すP1からP3の組合せによって各試料布の反射成分と受光角度それぞれにパラメータを適用させて反射率を算出した。なお，各パラメータにラベル付けしたpm1からpm10は表2に示したものである。その中で，パラメータの組合せP1による各成分の算出反射率の結果は表5の通りである。表3と表5の値を比較すると試料布によっていくらかの相違はあるが，ここまでの反射率算出の手続きを再検討しなければならないような大きな誤差はP2とP3での結果も含めて見出せなかった。

最後に，分光測色システムの計測結果と各パラメータによって算出した反射率を比較した。その結果は表6に示すが，表中の数値は受光角度0度の値を100として，受光角度の変角に伴う反射率の変化を割合で示したものである。

Table 3 Measuring results of the reflectance of woven fabric by the spectrophotometer.

direction	AOR	S1		S2		S3	
		reflectnce (%)	Y	reflectnce (%)	Y	reflectnce (%)	Y
warp	0deg	62.78	63.26	53.22	54.16	39.50	39.65
	15deg	66.65	67.15	61.06	62.09	44.54	44.72
	30deg	72.49	73.11	69.40	70.58	52.52	52.90
	45deg	80.10	80.79	80.55	81.93	61.12	61.70
	60deg	87.54	88.00	92.92	94.19	76.77	77.51
weft	0deg	62.39	62.85	63.71	64.77	35.66	35.73
	15deg	68.52	69.03	65.27	66.35	40.76	40.94
	30deg	76.74	77.35	70.76	71.96	53.01	53.45
	45deg	87.22	87.97	81.54	82.93	58.98	59.58
	60deg	97.23	97.77	97.66	98.95	75.07	75.80
bias	0deg	61.89	62.35	59.82	60.82	32.11	32.17
	15deg	67.50	67.99	62.54	63.60	39.56	39.70
	30deg	75.30	75.88	67.79	68.93	43.17	43.49
	45deg	85.61	86.32	77.70	79.02	49.20	49.73
	60deg	95.83	96.36	92.88	94.12	62.78	63.42

Table 4 Combination of parameters.

factor	AOR	P1	P2	P3
D	0deg	pm3	pm1	pm3
	15deg	pm3	pm2	pm3
	30deg	pm3	pm3	pm3
	45deg	pm4	pm4	pm4
	60deg	pm3	pm5	pm5
S+D	0deg	pm3	pm1	pm3
	15deg	pm3	pm2	pm3
	30deg	pm3	pm3	pm3
	45deg	pm3	pm5	pm5
	60deg	pm3	pm5	pm5

Table 5 Results of the reflectance calculated by each parameter.

direction	AOR	(%)					
		S1		S2		S3	
		D; P1	S+D; P1	D; P1	S+D; P1	D; P1	S+D; P1
warp	0deg	55.99	56.64	42.88	53.72	27.58	37.56
	15deg	57.28	58.04	45.21	53.74	34.71	51.06
	30deg	62.18	62.19	49.77	59.07	38.91	57.66
	45deg	62.43	66.24	49.86	66.32	36.36	59.68
	60deg	71.27	72.00	59.88	74.69	46.20	69.16
weft	0deg	59.13	59.78	46.06	56.87	30.82	40.76
	15deg	60.44	61.20	48.30	56.88	37.76	54.18
	30deg	62.18	62.19	49.77	59.07	38.93	57.66
	45deg	62.43	72.38	49.86	72.47	36.36	64.96
	60deg	78.08	78.90	65.18	81.95	49.70	75.69
bias	0deg	55.99	56.64	42.88	53.72	27.58	37.56
	15deg	57.28	58.04	45.21	53.74	34.71	51.06
	30deg	62.18	62.19	49.77	59.07	38.91	57.66
	45deg	62.43	72.38	49.86	72.47	36.36	64.96
	60deg	78.08	78.90	65.18	81.95	49.70	75.69

試料S1については、バイアス方向で、P1からP3のいずれの組合せもパラメータで算出した反射率の値が測色システムで計測した反射率を下回ったが、経方向と緯方向では、P3の組合せのパラメータによるS+D成分の結果が測色システムの計測反射率の変化と同様の挙動となった。試料S2については、経方向において、P1からP3のいずれの組合せもパラメータでの算出反射率が測色システムの計測反射率を下回ったが、緯方向とバイアス方向では、D成分とS+D成分において組合せP3のパラメータによる算出反射率の変角に伴う変化が、測色システムで計測した反射率の変化に近似していた。試料S3では、P1の組合せのパラメータによる算出反射率も値が近かったが、3方向ともS+D成分のP3のパラメータによる算出反射率が測色システムの計測反射率の受光角度による変化により近かった。

指数関数による布微小面の反射率算出法の検討

Table 6 Comparison between the measurement results by the spectrophotometer and the results calculated by parameters.

		(%)						
S1	A	D; P1	S+D; P1	D; P2	S+D; P2	D; P3	S+D; P3	
AOR;0deg		-	-	-	-	-	-	
direction;	15deg	106.17	102.31	102.47	102.22	102.38	102.31	102.47
warp	30deg	115.47	111.07	109.79	105.16	104.04	111.07	109.79
	45deg	127.58	111.51	116.95	105.59	121.08	111.51	127.79
	60deg	139.45	127.30	127.11	132.05	131.98	139.45	139.29
0deg		-	-	-	-	-	-	-
	15deg	109.83	105.92	104.51	105.59	104.28	105.92	104.51
weft	30deg	123.00	117.30	113.56	110.72	107.34	117.30	113.56
	45deg	139.80	115.74	123.23	109.26	127.32	115.74	134.70
	60deg	155.85	143.91	141.96	149.14	147.37	158.00	155.91
0deg		-	-	-	-	-	-	-
	15deg	109.05	103.72	104.90	103.52	104.66	103.72	104.90
bias	30deg	121.65	109.93	110.54	103.91	104.53	109.93	110.54
	45deg	138.32	111.14	117.17	105.05	120.93	111.14	127.88
	60deg	154.84	135.53	132.97	140.49	137.84	148.63	145.76
S2	A	D; P1	S+D; P1	D; P2	S+D; P2	D; P3	S+D; P3	
AOR;0deg		-	-	-	-	-	-	
direction;	15deg	114.73	105.43	100.02	104.87	100.01	105.43	100.02
warp	30deg	130.40	116.08	109.95	108.05	103.86	116.08	109.95
	45deg	151.35	116.27	123.44	108.23	127.42	116.27	134.89
	60deg	174.59	139.66	139.03	141.51	144.09	152.02	152.53
0deg		-	-	-	-	-	-	-
	15deg	102.45	107.62	99.28	106.87	99.35	107.62	99.28
weft	30deg	111.06	117.68	105.57	109.30	100.09	117.68	105.57
	45deg	127.98	120.09	116.18	111.54	120.37	120.09	126.97
	60deg	153.29	153.35	134.74	155.42	140.29	167.34	147.98
0deg		-	-	-	-	-	-	-
	15deg	104.55	102.25	100.47	102.09	100.42	102.25	100.47
bias	30deg	113.33	106.35	103.53	100.23	97.71	106.35	103.53
	45deg	129.90	103.75	114.62	97.78	117.80	103.75	124.83
	60deg	155.27	135.10	137.53	139.38	142.27	147.89	150.75
S3	A	D; P1	S+D; P1	D; P2	S+D; P2	D; P3	S+D; P3	
AOR;0deg		-	-	-	-	-	-	
direction;	15deg	112.77	125.83	135.94	122.50	132.93	125.83	135.94
warp	30deg	132.98	141.06	153.53	126.31	141.47	141.06	153.53
	45deg	154.74	131.82	158.92	117.98	159.38	131.82	172.97
	60deg	194.36	167.49	184.15	161.25	185.70	180.17	201.53
0deg		-	-	-	-	-	-	-
	15deg	114.31	138.58	135.25	134.08	132.63	138.58	135.25
weft	30deg	148.66	152.26	143.13	136.57	132.87	152.26	143.13
	45deg	165.39	130.29	140.56	116.86	141.85	130.29	152.81
	60deg	210.53	179.05	170.52	173.50	173.33	193.44	186.72
0deg		-	-	-	-	-	-	-
	15deg	123.20	126.03	131.58	122.10	127.46	126.03	131.58
bias	30deg	134.43	131.78	133.26	116.04	118.64	131.78	133.26
	45deg	153.23	130.83	147.81	115.20	140.16	130.83	157.43
	60deg	195.49	183.65	184.88	173.48	177.53	197.02	199.40

[Note] A; The measurement results of the spectrophotometer.

## 3.4 パラメータ

グレースケールチャートのピクセル値とその反射率の応答関係, ならびに試料布の検証結果により得たデジタル画像のピクセル値から反射率を算出するための指数関数式のパラメータを表 7 に示す。

Table 7 Suitable parameters for calculating reflectance.

reflection: AOR	parameters of the Exponential function			label
	$y_0$	A	$R_0$	
D:0deg	104362.81953	-104359.89441	-5.17092E-06	pm3
D:15deg	104362.81953	-104359.89441	-5.17092E-06	pm3
D:30deg	104362.81953	-104359.89441	-5.17092E-06	pm3
D:45deg	93010.56707	-93007.06619	-5.12973E-06	pm4
D:60deg	127334.84441	-127334.13013	-4.79686E-06	pm5
S+D:0deg	104362.81953	-104359.89441	-5.17092E-06	pm3
S+D:15deg	104362.81953	-104359.89441	-5.17092E-06	pm3
S+D:30deg	104362.81953	-104359.89441	-5.17092E-06	pm3
S+D:45deg	127334.84441	-127334.13013	-4.79686E-06	pm5
S+D:60deg	127334.84441	-127334.13013	-4.79686E-06	pm5

反射面が完全均等拡散面であれば, 反射率は 1.0 となり, 反射角方向への反射光の放射輝度は一定となる。しかし, 布は繊維の種類により反射率も異なる上, 織組織による形状のため表面全体の反射量が一定とはならないことが予想される。さらに, デジタルカメラやその画像のピクセル値の特性も勘案して, 反射率導出のためのパラメータを求めなければならない。単純な比較はできないが, 変角分光測色システムの計測結果との検証も試みて明らかにした表 7 の結果を用いて, 試料布の織糸 1 本分について 1pixel ごとの反射率を算出した。試料 S1 (綿平織) の経方向を図 5, 試料 S2 (絹平織) の経方向を図 6 に示す。

試料 S1 については, 先に他のパラメータでの結果を図 3-1 と 3-2 に示した。図 3-1 では受光角度 45 度, 図 3-2 では 5 受光角度とも S+D 成分と D 成分の逆転を既述したが, 図 5 ではそれが正された。また, 試料 S2 については, 図 4-1 も 4-2 も S+D 成分と D 成分の逆転と鏡面反射光量の不適を指摘したが, 図 6 ではそれらの点が改まり, 適正だと考えられる鏡面反射光量も抽出された。

他の設置方向についても, パラメータによる明らかな誤りは見出されなかった。図 7 に試料 S1 (綿平織), 図 8 に S2 (絹平織), 図 9 に S3 (ポリエステル平織) のバイアス方向, 受光角度 0, 30, 60 度の結果を示す。これらは設置方向がバイアスであるため鏡面反射光の抽出が正反射方向に限られ, その量も多くはなかったが, いずれも, 成分の逆転などは現れず, 適切な反射率換算が行われたと考えられる。

指数関数による布微小面の反射率算出法の検討

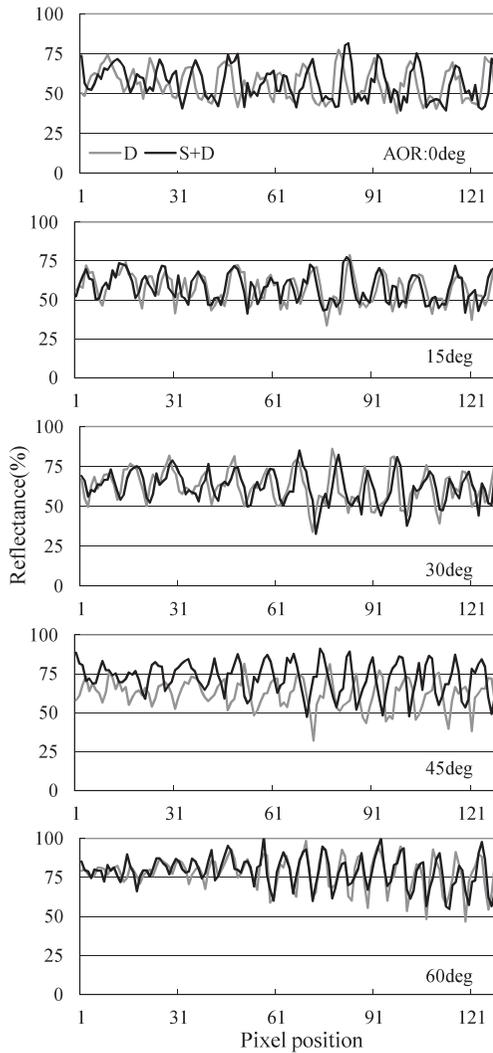


Fig.5 Calculated reflectance of weaving yarn; S1, warp, P3.

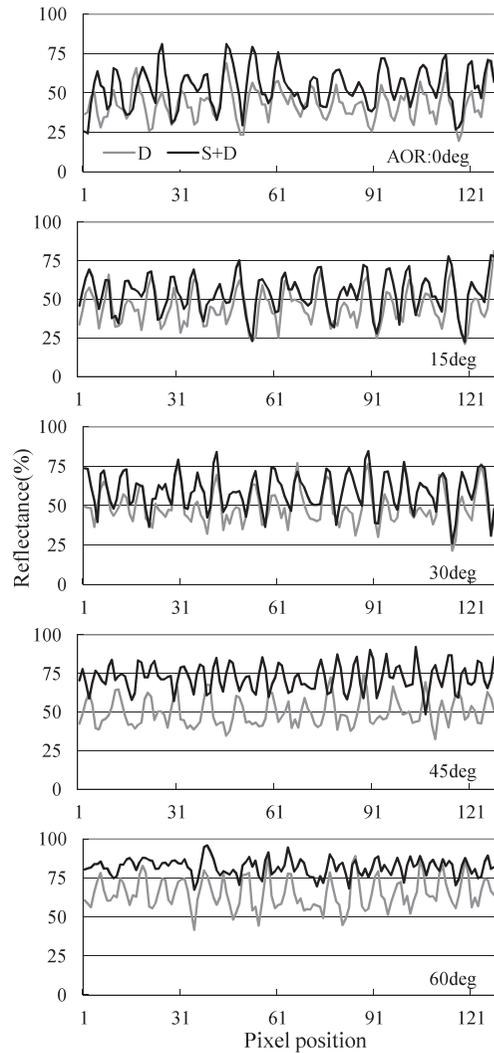


Fig.6 Calculated reflectance of weaving yarn; S2, warp, P3.

#### 4. おわりに

今回、平滑な面ではない布について、その表面形状が明らかになるよう拡大撮影したデジタル画像のRGB画素平均値から反射率へキャリブレーションする簡便な方法を検討した。その結果、指数関数式と受光角度ごとに適切なパラメータを用いて、1pixelという微小面の反射率を算出し、微細な布表面の強度分布において良好な結果を得ることができた。

これらの強度分布は無染色布（白布）における結果であるが、染色された布の分光反射率は染色された色によって、変角に伴い強度分布に変化が見られることを既に示している<sup>4)</sup>。また、

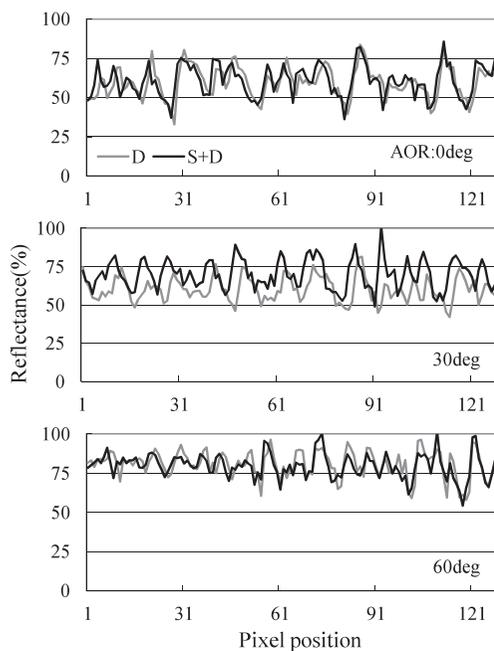


Fig.7 Calculated reflectance of weaving yarn; S1, bias, P3.

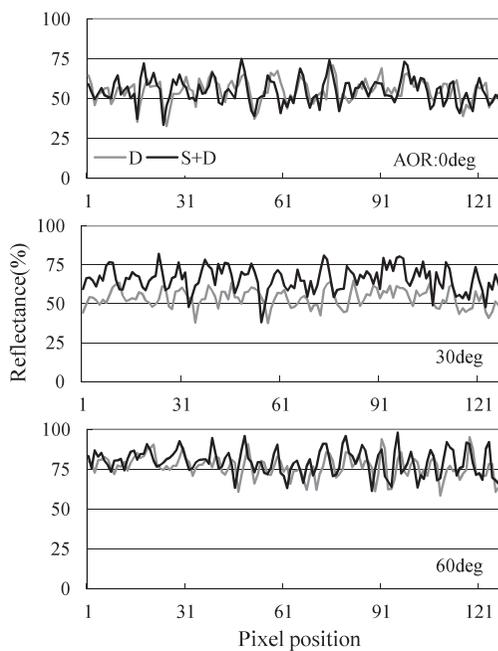


Fig.8 Calculated reflectance of weaving yarn; S2, bias, P3.

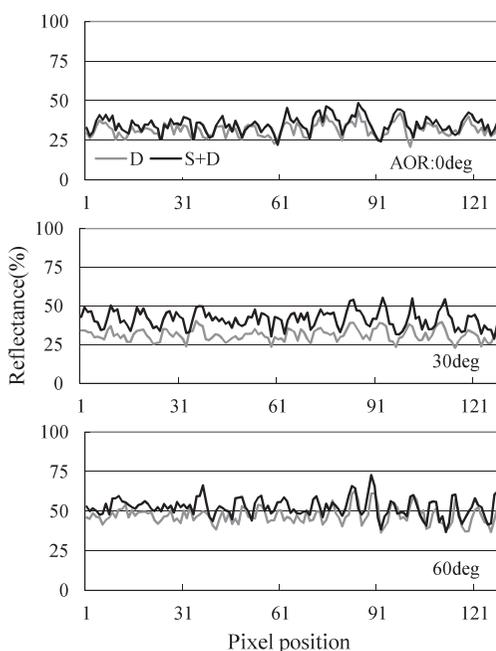


Fig.9 Calculated reflectance of weaving yarn; S3, bias, P3.

デジタル画像はCRTカラーモニタ（ディスプレイ）を使用して映し出されているため、染色された布を検討する場合は、ディスプレイ独自の彩色特性を測定し、ガンマ補正などが必要であることも知られている<sup>5)</sup>。よって、今回の白布における反射率算出法を起点として、色の再現方法を検討することが今後の課題である。そして、その成果によって、現実感を伴った彩色布の画像再現が可能になると考える。

なお、本報告の一部を日本色彩学会第1回秋の大会（2013年11月16日、倉敷市民会館）でポスター発表した。

引用文献

- 1) 坂上ちえ子：マイクロスコープを用いた輝度及び輝度分布の推定法，鹿県短紀要，第 63 号，pp.1-17，2012
- 2) 建築学大系編集委員会：「建築学体系 22 室内環境計画」，彰国社，pp.212-213，1976
- 3) 篠田博之，藤枝一郎：「色彩工学入門」，森北出版，pp.34-37，2007
- 4) 坂上ちえ子：染色布の分光反射と色度変化，鹿県短紀要，第 60 号，pp.3-18，2009
- 5) 武田祐樹，豊田伸作，松田悠，田中弘美：多視点画像の反射光解析に基づく布の異方性反射モデリング，情報処理学会研究報告，pp.41-46，2003