

マイクروسコープを用いた輝度及び輝度分布の推定法

Estimation Method for Luminance and Distribution Using a Microscope

坂 上 ち え 子
SAKAGAMI Chieko

マイクロ스코ープを用いた輝度及び輝度分布の推定法

Estimation Method for Luminance and Distribution Using a Microscope

坂 上 ち え 子
SAKAGAMI Chieko

Summary

It is indispensable to understand the luminance distribution to evaluate the visual environment. However, it is difficult to measure the luminance of the extremely small aspect of the woven cloths by goniophotometer. Therefore, we investigated the methods of calibration of the luminance by analyzing the image data that was taken with digital microscope camera that installed a polarizing filter. On the shooting condition, the angle of incident light was 45 degrees, and angles of receiving light of reflection in the same plane of incidence were five types; 0,15,30,45 and 60 degrees. In addition, by adjusting the polarizing direction of the filter, we recorded two components of the lights reflected from the experiment samples. This report describes the methods of calculating the effective luminance by using two kinds of nonlinear functions; exponential function and weibull function.

Keywords; *microscope, luminance, nonlinear function*

1. はじめに

布を見て受ける印象は、紙や金属など他の物とは異なる。それは、布を構成する織組織からの光が異方反射するためである¹⁾³⁾。しかし、変角光度計など反射を測定する機器は、2度あるいは5度視野範囲の平均測定値であるため、その測定結果からは、布の織目からの反射特性を捉えることができない。また、反射を測定する機器は、相対的な反射率を示すだけであるため、物体からの物理的反射の特徴は捉えられるが、私たちの目がどのように布を見ているかの情報は乏しい。人間の視覚特性に基づき、物体からの反射状態を適切に評価するには輝度分布の測定が必要である。なぜなら、輝度とはある面から人間の目に入る光の強さを表すため、ある面の輝度分布を解析することにより、人が見ている反射状況や光環境を正確に把握することができるからである。しかし、その輝度計も2度あるいは5度視野範囲を測定するため、室内外空間のような広い範囲では点計測となり、布の織組織の特徴を捉えられるような微小な範囲での測定は困難である。

そこで、布の微小面を把握するために、デジタルマイクロSCOPEで布の織組織を拡大撮影し、その撮影画像のピクセル値データを輝度値へ較正することで測定可能となる簡易測定システムの構築を試みたい。このシステムが提供する輝度分布やデータを解析すれば、人がどのように布を見ているのか、あるいは様々な布から人はどのような印象を受けるのかを理解する手掛かりが得られる。しかし、ピクセル値を輝度値に変換する手法は確立されておらず、まだ研究の

途上である。

これまで、微小面ではなく照明環境など広い空間の輝度分布を点測定となる輝度計を使用せず、デジタルカメラを用いて視環境の輝度を測定する研究が行われてきた。しかし、一般にデジタルカメラで撮影した画像は、画素ごとにRGB各 256 階調のデジタル情報として記録されるため、輝度と同値ではない。また、デジタルカメラによってダイナミックレンジも異なるため、晴天で明るい外環境を撮影する場合など、各カメラで明るさに差異のある画像が取得される。さらに、レンズの周辺減光特性も考慮して、画像データを取り扱わなければならない。そのため、正射影カメラから始まり⁴⁾、デジタルカメラの画像データから輝度へ較正する研究がこれまでに数多く行われてきた⁵⁾⁻⁸⁾。

今回は、デジタルカメラの一つであるデジタルマイクロscopeの撮影画像データから輝度へキャリブレーションできる簡便な方法を試行し、微小面の輝度測定システム構築の足掛かりを得たい。

2. 方法

2.1 輝度測定方法

2.1.1 測定機材とその配置

測定に用いた機材は、デジタルマイクロscope (Dino-Lite Plus) と輝度計 (KONICA MINOLTA LS-100)、測定した試料は、濃度 15 段階構成のグレイスケールチャート (Edmond Optics Japan) で、1 段階ずつ測定した。図 1 の通り、黒の吸光シートを背景にグレイスケールを設置し、グレイスケールの中心に焦点が合うようデジタルマイクロscopeも輝度計も高さを揃えてセッティングした。すべての試料の上部には、撮影の参照体として同じグレイスケールの最も明るい段階 (反射率 81%) を添付して測定した。測定試料からの距離は、デジタルマイクロscopeが 8cm、輝度計が 100cmであった。

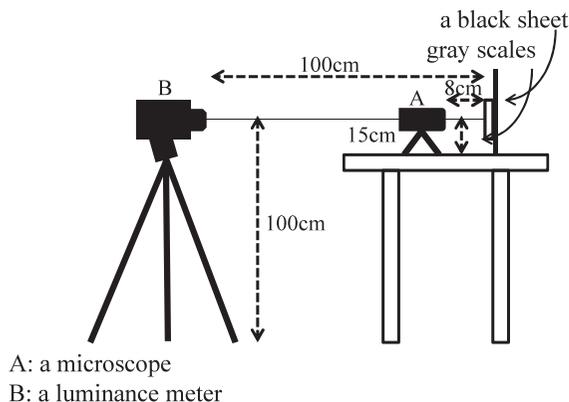


Fig. 1 Measurement system ; instruments .

2.1.2 測定条件

光源は 27 ワットの蛍光灯 (Panasonic FPL27EX-N) を用いた。試料から 30cm の位置に置き、光源が試料より大きいので、測定箇所効率良く光が当たるよう光源の上下を黒の吸光シートで囲った。また、測定機材と装置全体の周囲を黒の吸光シートで覆い、光源以外の雑光線はシャッ

トアウトされるよう留意した。試料表面での照度は 700lx であり、試料および参照体のグレースケール全体でほぼ均等な照度になるよう調整された。

反射光を鏡面反射光成分 (Specular Reflection, 以下, S と記述) と拡散反射光成分 (Diffuse Reflection, 以下, D) に分離して測定

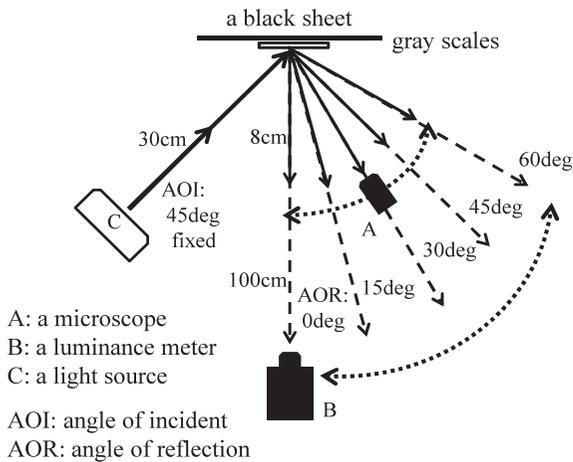


Fig. 2 Measurement system ; angles .

を行うため、光源には偏光フィルタのp方向 (偏光が入射面に平行) を、デジタルマイクロSCOPEと輝度計には偏光フィルタのp方向、またはs方向 (偏光が入射面に垂直) をそれぞれ取り付けて測定した。つまり、光源側にp方向、受光器側にもp方向の偏光フィルタを取り付けて測定した場合、鏡面反射光と拡散反射光 (以下, S+D) が同時に受光器に入射することになる。それに対し、光源側にp方向、受光器側にはs方向の偏光フィルタを取り付けて測定し

た場合、拡散反射光のみが受光器に入射することになる。

測定角度は図2に示す通り、光源から試料への入射角度を45度に固定し、受光 (測定) 角度はデジタルマイクロSCOPE、輝度計ともに、0度 (法線方向) から60度まで15度間隔とした。先行研究では、その目的から光源を正面から直接測定しているが、今回は、三次元形状を持った布表面の微小な面における輝度を推定する測定システムの構築が目的であるため、布からの反射が異方性であることを考慮して受光角度を5種類とした。

測定ではまず、デジタルマイクロSCOPEの倍率を20倍に設定し、撮影により各段階のグレースケール試料の画像データを取得した。次に、輝度計を使用し、MINOLTA校正標準によって輝度を測定した。

2.2 解析方法

2.2.1 画像データの処理

まず、デジタルマイクロSCOPEで撮影した全デジタル画像は、画素ごとにピクセル値を詳細に分析しなければならないため、加工がされていない非圧縮画像データであるBMP形式で保存した。デジタルマイクロSCOPEに限らず、カメラで撮影して取得した画像は、レンズの性質上、画像中心と周辺部では入射光量に違いが出てくる。そのため、各試料を撮影し、保存したデジタル画像のすべてにおいて、画像中心部となる撮影 (測定) 焦点の周囲38pixels × 50pixels範囲と直近にある参照体の10pixels × 10pixels範囲のピクセル値の平均を画像ソフト (Image J) によって取得した。なお、このデジタルマイクロSCOPEの画像はカラー画像であるが、

試料は無彩色のグレイスケールであるため、R、G、Bの各画素値はほぼ同値である。よってこの値を以下、ピクセル値と記述する。

2.2.2 フィッティング方法

まず、5段階の受光角度ごとに15段階のグレイスケール試料を入れ替えて、さらにそれぞれについて、鏡面反射光成分+拡散反射光成分(S+D)と拡散反射光成分のみ(D)とに分離してピクセル値と輝度値を取得し対応させた。ただし、取得したデジタル画像のピクセル値は、対象物と背景等との関係によって自動補正されることが多い点を考慮しなければならない。自動

Table 1 Correspondence of the pixel value and the luminance value in the gray scale(reflectance 81%).

reflected light	reflected angle (degree)	average pixel value	luminance value (cd/m ²)	reflected light	reflected angle (degree)	average pixel value	luminance value (cd/m ²)
D	0	118.50	8.35	S+D	0	122.55	9.29
D	10	117.13	8.32	S+D	10	123.21	9.45
D	20	114.88	8.38	S+D	20	125.63	9.93
D	30	115.70	8.36	S+D	30	134.22	11.06
D	40	120.75	8.31	S+D	40	149.22	13.50
D	45	124.04	8.21	S+D	45	154.87	14.11
D	50	124.50	8.10	S+D	50	149.83	13.00
D	60	108.25	7.53	S+D	60	126.96	10.17

D; Diffuse reflectance, S+D; Specular reflectance + diffuse reflectance.

補正される以前のピクセル値を算出するためには、基準となる参照体のピクセル値を求めなければならない。予備測定で求めた今回参照体として用いたグレイスケール(反射率81%)の受光角度ごとのDとS+Dのピクセル平均値は表1の通りである。この表には参考として、輝度計で計測した輝度値も対応させているが、このピクセル平均値を参照体の基準ピクセル値(L)とする。これとデジタルカメラで撮影し取得したデジタル画像にあるそれぞれの参照体グレイスケールのピクセル値(V)から、自動補正された試料画像のピクセル値(P1)に対する自動補正以前のピクセル値(P2)を式(1)により較正(算出)した。試料が無彩色であるため、較正の多くは微小で、最も大きい較正でもL/Vが0.89であった。

$$P2 = P1 \times (L/V) \quad \dots(1)$$

式(1)により較正されたデジタル画像のピクセル値と測定した輝度値のフィッティングには解析ソフト(Origin.8.1 OriginLab Corporation)を用い、それぞれに最適な関数式とパラメータを解析した。

2.3 輝度推定方法

2.3.1 試料の測定方法

フィッティングの解析結果によって正しく輝度値が算出されたかを確認するために、布を試料として輝度値の推定を試みた。測定装置については「2.1.1 測定機材とその配置」に示した配置と同じであるが、デジタルマイクロスコープの撮影画像から輝度値を推定することが目的の測定であるため、機材はデジタルマイクロスコープのみとした。試料とした布は普段使用される頻度の高い繊維と組織を選択し、未染色の原布とした。試料布の諸元は、表2の通りである。マーセル加工をした平織の綿（以下、S1と記述）、朱子織の綿（S2）、平織の絹（S3）、平織のナイ

Table 2 Details of 4 experiment samples.

sample label	material/ processing	woven pattern	density (end× pick/cm)	thickness (mm)	direction
S1-A1	cotton/ mercerization	plain	52×28	0.22	warp
S1-A2					weft
S1-A3					bias
S2-A1	cotton	satain	34×52	0.28	warp
S2-A2					weft
S2-A3					bias
S3-A1	silk	plain	54×40	0.12	warp
S3-A2					weft
S3-A3					bias
S4-A1	nylon	plain	46×34	0.12	warp
S4-A2					weft
S4-A3					bias

ロン（S4）はいずれも各繊維 100%とした。布はその織組織のために表面形状が平滑ではない。そのため、装置に設置する布の方向で、反射光量やその状態が異なると予想される。よって、4種類の布試料はいずれも、経方向（以下、A1と記述）と緯方向（A2）、バイアス方向（A3）に設置して、それぞれ測定を行った。また、グレイスケール試料と同様に、参照体となるグレイスケール（反射率 81%）を試料上部に添付して測定（撮影）した。測定条件も、「2.1.2 測定条件」に示した光源、受光角度、反射光の分離方法と同じとし、デジタルマイクロスコープの倍率を 20 倍にして測定（撮影）を行った。

2.3.2 試料の輝度推定方法

デジタルマイクロスコープで撮影した試料布のデジタル画像すべてについて、焦点個所を中心に視覚 2 度相当の範囲（縦 38pixels×横 50pixels、実寸：0.24cm×0.31cm）と横方向が視覚 5 度相当の範囲（縦 8～10pixels×横 128pixels、実寸：約 0.05cm×0.8cm）のピクセル値を既述の画像ソフトで取得した。なお、視覚 5 度範囲の縦 8～10pixelsは、織り糸 1 本分におおよそ相当

する。

それらのピクセル値を「2.2.2 フィッティング方法」に示した式 (1) によりすべて較正し、フィッティングによって得られた関数式とパラメータによって輝度値を算出し、推定した。さらに、推定した輝度値をグラフにし、その輝度分布によって布からの反射の状態を視覚的に確認した。

3. 結果

3.1 ピクセル値－輝度の対応特性

予備測定においては、濃度値最小 0.09 から最大 1.5 まで 0.1 刻みの 15 段階（反射率では、3～81%）構成のグレイスケールチャートを 1 段階ずつ測定したが、偏光フィルタによって光量が減少したため、マイクロ스코プでも輝度計でも正確に 15 の段階を刻む結果が得にくかった。そのため本測定では、最も暗い濃度と最も明るい濃度、加えてその間を 1 段階づきとし、合計で 8 段階のグレイスケールをデジタルマイクロSCOプと輝度計で測定した。さらに、「2.2.2 フィッティング方法」で示した式 (1) によりピクセル値を較正して、輝度値を対応させた。以下、最も暗い濃度のグレイスケールを No.1 とし、明るくなる順に、No.3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 とラベル付けする。

参照体グレイスケールの測定ピクセル値、式 (1) により較正されたデジタル画像の測定ピクセル値、さらに測定輝度値を D と S+D で整理した結果は表 3 にまとめた通りである。

また、x 軸を較正したピクセル値、y 軸を輝度値とし、No.1 から No.15 までの対応結果を示した散布図が、図 3（受光角度 0 度）、図 4（受光角度 45 度）、図 5（受光角度 60 度）である。いずれも、上図を D、下図を S+D とした。さらに、すべての図には、ピクセル値と輝度値を回帰分析した結果を図中に示している。

受光角度 15 度と 30 度での結果は 0 度に近かったため、受光角度 0 度の結果のみとした。図 3 では一見、D も S+D もピクセル値と輝度値の対応が線形に見えるが、回帰分析し、回帰式により求めた結果を直線グラフにして重ねると D も S+D も、No.9 や No.11 が直線上にはないことが明らかとなり、ピクセル値と輝度値の対応は非線形であることが分かる。また、この回帰式から算出される値は 0 から開始させることができないことも示された。

受光量が最も多い受光角度 45 度での結果（図 4）は顕著で、D と S+D の対応関係はそれぞれで全く異なる上に、各試料の対応関係をピクセル値・輝度値 0 から No.15 まで示すと、それらは非線形であることが明らかとなった。とくに S+D の対応点は、S 字カーブ上にあることが分かる。また、D も S+D も線形フィッティングである回帰式を用いてのキャリブレーションでは、ピクセル値 0 を輝度値 0 とすることはできずマイナス値となることが示された。さらに、S+D では、50 以下のピクセル値を輝度値にキャリブレーションすることは回帰式では難しいことが明らかとなった。

受光角度 60 度（図 5）では、45 度での結果のように明らかな S 字カーブの対応関係ではないが、

マイクロスコープを用いた輝度及び輝度分布の推定法

Table 3 Results that the pixel value corresponded to the luminance value on the gray scale(81-3%).

labels	D			S+D		
	pixel value of reference	pixel value of gray scale	luminance value of gray scale (cd/m ²)	pixel value of reference	pixel value of gray scale	luminance value of gray scale (cd/m ²)
receiving angle; 0deg						
No.1	123.74	0.00	0.18	128.65	0.00	0.54
No.3	117.36	0.10	0.29	126.77	0.01	0.71
No.5	122.88	0.38	0.81	121.69	0.04	1.08
No.7	129.26	0.64	1.16	125.25	1.34	1.47
No.9	129.57	21.18	2.72	130.97	26.31	3.34
No.11	131.04	64.09	5.44	132.38	69.18	6.59
No.13	134.92	94.36	6.46	134.51	99.42	7.23
No.15	134.69	122.86	7.74	136.29	127.20	8.94
receiving angle; 15deg						
No.1	124.94	0.00	0.17	126.58	0.00	0.94
No.3	116.25	0.10	0.29	130.69	0.15	1.15
No.5	124.00	0.26	0.78	126.19	0.21	1.46
No.7	132.27	1.29	1.15	133.74	6.83	2.07
No.9	131.23	24.84	2.67	139.41	37.38	3.89
No.11	133.33	63.86	5.39	143.21	75.24	6.81
No.13	134.02	93.88	6.35	143.21	104.61	7.68
No.15	133.99	120.98	8.35	142.54	131.18	10.26
receiving angle; 30deg						
No.1	126.49	0.00	0.20	135.05	7.01	2.17
No.3	119.11	0.10	0.29	139.82	19.09	2.93
No.5	127.76	1.16	0.66	136.34	16.20	2.93
No.7	138.70	14.31	1.11	145.52	33.78	3.23
No.9	134.51	41.61	2.47	152.57	66.48	5.34
No.11	140.36	73.09	5.28	154.38	93.32	8.80
No.13	139.26	98.11	6.59	157.06	115.12	10.33
No.15	138.65	123.41	8.32	153.14	142.29	11.03
receiving angle; 45deg						
No.1	155.65	44.28	0.21	176.64	59.77	3.39
No.3	156.74	59.58	0.34	173.83	64.92	4.02
No.5	122.70	12.67	0.67	161.10	72.73	4.22
No.7	152.24	56.84	1.00	173.33	82.82	5.67
No.9	125.55	50.24	2.47	156.88	92.90	7.09
No.11	113.48	90.25	5.12	151.97	112.61	10.44
No.13	218.85	111.63	6.26	185.80	135.17	11.59
No.15	155.10	129.19	8.20	183.58	158.02	14.11
receiving angle; 60deg						
No.1	128.11	6.97	0.20	137.91	4.29	0.62
No.3	117.89	0.06	0.26	139.85	1.02	0.63
No.5	127.94	8.03	0.66	138.24	5.80	1.00
No.7	142.62	27.20	0.97	145.70	22.26	1.43
No.9	138.64	48.59	2.09	150.52	56.11	3.14
No.11	148.35	70.26	4.69	156.32	82.31	6.73
No.13	147.35	86.59	5.41	158.07	102.66	7.57
No.15	146.04	105.85	7.63	156.70	125.62	10.52

ピクセル値と輝度値の対応は非線形であることは明確である。また、受光角度による受光量変化（減少）の影響で、受光角度 0 度や 15、30 度とは異なり、回帰式から算出される値を 0 に近

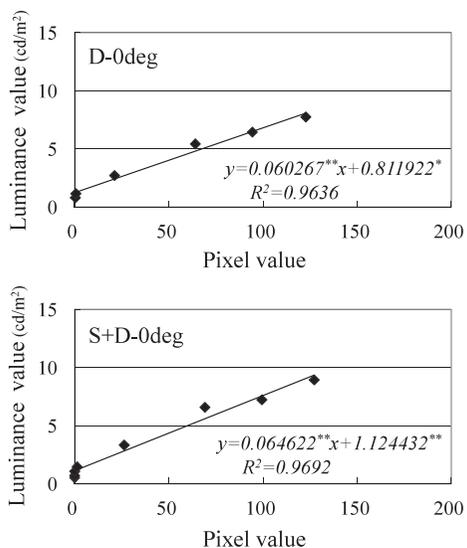


Fig. 3 Correspondence of the pixel value and the luminance value in the gray scale; 0deg.

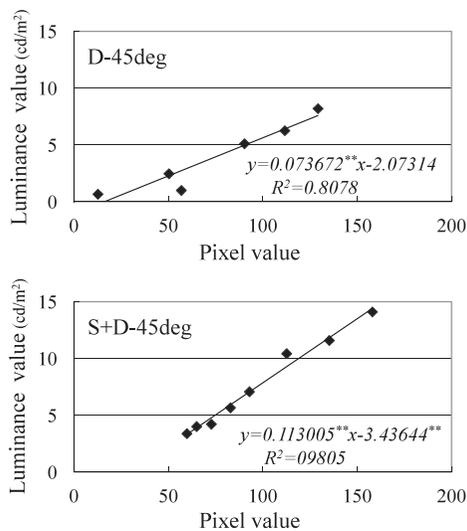


Fig. 4 Correspondence of the pixel value and the luminance value in the gray scale; 45deg.

マイクروسコープを用いた輝度及び輝度分布の推定法

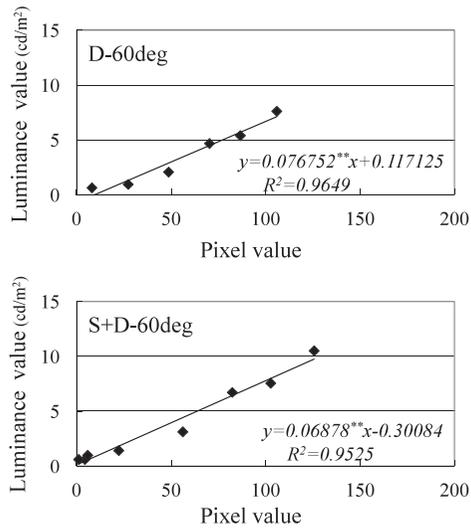


Fig. 5 Correspondence of the pixel value and the luminance value in the gray scale; 60deg.

い値から開始させることは可能であるが、DとS+Dでピクセル値と輝度値の対応関係に差異が現れた。S+Dでは受光角度0度や15、30度のDやS+Dと同様、130程度のピクセル値を得ることができたが、Dでは、100以上のピクセル値をデジタル画像からデータ取得することができなかった。つまり、今回の測定で最も受光量が少なかったのは、受光角度60度のDであることも明らかとなった。

3.2 フィッティング結果

以上、ピクセル値と輝度の対応特性を分析した結果から、デジタル画像のピクセル値を輝度値にキャリブレーションする際に用いる式が、回帰式では不十分であることが明らかになった。また、受光角度や偏光フィルタの装着状態によって受光量も異なることが示されたため、反射光はDとS+Dのいずれにおいても、受光角度ごとに非線形フィッティングを行うこととした。

フィッティングに使用した解析ソフトには、数多くの関数を実装されている。極端な例として、今回測定したピクセル値と輝度の対応にGauss関数を用いてもフィッティングは収束する。しかし、今回のピクセル値と輝度の対応特性とGauss関数によるフィット曲線は全く合致しないため、正しいキャリブレーションは行われなかったことが予測できる。そこで、多くの関数のうち、前述の対応特性に近いフィットカーブを示すExponential（指数）関数とWeibull（ワイブル）関数をフィッティング関数として選択した。ただし、いずれの関数にもパラメータの数が少しずつ異なる多くの関数式が準備されており、これらすべての関数を用いてフィッティングを試行した。

Table 4 Results that fitted by estimated function expressions.

expression labels	function expressions	D-0deg	D-15deg	D-30deg	D-45deg	D-60deg
Exponential	$y=y_0+ Ae^{rx}$	○	○	○	○	×
ExpLinear	$y=Pl e^{-x/P^2} + P3 + P4x$	×	×	×	○ $\chi^2 \downarrow$	×
Wiebull	$y=y_0+b/a((x-c)/a)^{b-1} \exp\{-((x-c)/a)^b\}$	×	×	×	×	×
Swiebull1	$y=A(1-e^{-(k(x-xc))^d})$	○ $\chi^2 \downarrow$	○ $\chi^2 \downarrow$	○	○	×
Swiebull2	$y=A-(A-B)e^{-(kx)^d}$	○	○ $\chi^2 \downarrow$	○	○	○
expression labels	function expressions	S+D-0deg	S+D-15deg	S+D-30deg	S+D-45deg	S+D-60deg
Exponential	$y=y_0+ Ae^{rx}$	○	○	○ $\chi^2 \downarrow$	○ $\chi^2 \downarrow$	×
ExpLinear	$y=Pl e^{-x/P^2} + P3 + P4x$	×	×	×	×	×
Wiebull	$y=y_0+b/a((x-c)/a)^{b-1} \exp\{-((x-c)/a)^b\}$	×	×	×	×	×
Swiebull1	$y=A(1-e^{-(k(x-xc))^d})$	○ $\chi^2 \downarrow$	○ $\chi^2 \downarrow$	○ $\chi^2 \downarrow$	○ $\chi^2 \downarrow$	○
Swiebull2	$y=A-(A-B)e^{-(kx)^d}$	○	○ $\chi^2 \downarrow$	○	○ $\chi^2 \downarrow$	○

主なフィッティングの結果は表 4 に示す通りである。収束したフィッティングには「○」を、収束しなかったフィッティングには「×」を記入した。なお χ^2 二乗が減少し、とくにフィッティングが適したと考えられる結果には「 $\chi^2 \downarrow$ 」を記した。D, S+D ともにすべての受光角度でフィッティングが収束したのは、Wiebull関数の中のSwiebull2 関数のみで、Swiebull1 関数では受光角度 60 度のD以外で収束した。

そこで、デジタル画像のピクセル値から輝度値へ正確なキャリブレーションが行われているかを確認するために、Swiebull2 関数の関数式である式 (2) と算出された各パラメータを使い「2.3.2 試料の輝度推定方法」で示した方法により布試料の輝度分布を確認した。そのうち、S1 (マーセル加工した平織の綿布) のA2 (緯方向) について、受光角度 30 度と 45 度の結果を図 6 に示す。

$$y = a - (a - b) \times \exp(- (k \times x)^d) \quad \dots(2)$$

受光角度 30 度での結果を示す上図ではS+D, 受光角度 45 度の下図ではDのキャリブレーション結果が明らかに正確でないことが分かる。前者では輝度 11(cd/m²), 後者では 8(cd/m²)以上の値を示さず、平らな棚状のグラフとなった。

受光角度 30 度の結果については、Wiebull関数やSwiebull2 関数のフィット曲線がS字カーブを示す関数式であるためだと考えられる。つまり、受光角度 45 度以外のS字カーブではない非線形応答特性の受光角度 (0 度, 15 度, 30 度, 60 度) においては、Wiebull関数以外の関数によってフィッティングしなければならないことが明らかである。しかし、Exponential関数ではDもS+Dも 60 度でフィッティングが収束しなかった。そのため、表 3 の結果を再度検討したところ、60 度はその角度により受光量が減少したため、DもS+Dも、最も暗いNo.1 と次に暗いNo.3 のグレイスケールの反射状態に差が現れず、ピクセル値が逆転する結果となったことが分かつ

マイクروسコープを用いた輝度及び輝度分布の推定法

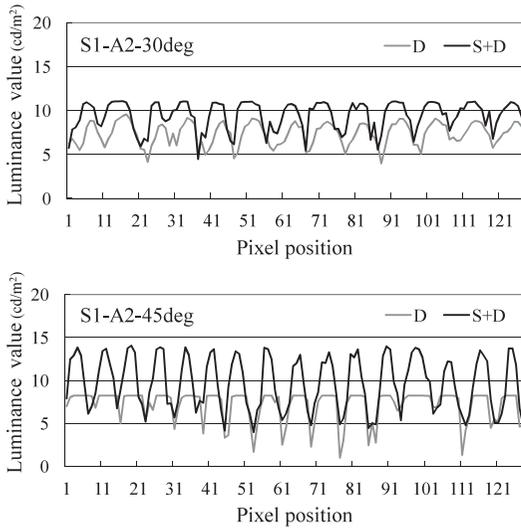


Fig. 6 Results of luminance value that calculated from the function expression ; “SWeibull2”.

た。さらに、同じ結果をフィッティングさせても、Swiebull2 関数では結果が収束したが、Exponential関数では収束しなかったため、表4の結果となってしまった。

また、受光角度45度の結果については、同じS字カーブのフィット曲線を持つWiebull関数でも、パラメータが異なる関数式であるSwiebull2 関数では、キャリブレーションが正しく行われなかったことが示された。さらに、Exponential関数によってもフィッティングを収束させることはできたが、受光角度45度のみ、算出されたパラメータの正負が逆となり、Exponential関数式によるフィッティング

カーブは図4に示した応答とは全く異なる結果が現れた。

そこで、表3に示した受光角度60度の結果のうち、DもS+DもNo.3のピクセル値、輝度値ともに外れ値として除外し、再度Exponential関数によるフィッティングを試みたところ、DもS+D

Table 5 Parameters that estimated by the fitting function expressions.

labels	parameters-Exponential			statistics	
	y_0	A	R_0	adjusted R^2	
D-0deg	9.78642	-9.19211	-0.0116	0.9856	
D-15deg	15.58037	-15.00449	-0.00575	0.9829	
D-30deg	2093.753	-2093.495	-3.11E-05	0.9913	
D-60deg	5259.757	-5260.295	-1.37E-05	0.9436	
S+D-0deg	11.89588	-10.98666	-0.00973	0.9866	
S+D-15deg	55.49827	-54.22446	-0.00133	0.9859	
S+D-30deg	918.2735	-916.8128	-7.78E-05	0.9621	
S+D-60deg	6547.168	-6547.211	-1.20E-05	0.9527	
labels	parameters-Swiebull1			statistics	
	A	xc	d	k	adjusted R^2
D-45deg	509.9062	-20.62358	1.60961	5.09E-04	0.9823
S+D-45deg	15.38088	-28.28063	3.07072	0.00709	0.9805

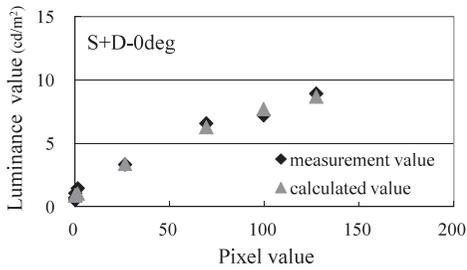
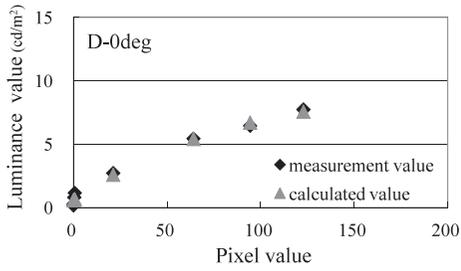


Fig. 7 Correspondence of the measurement value and the calculated value on calibration; 0deg.

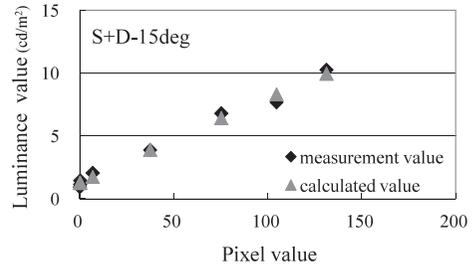
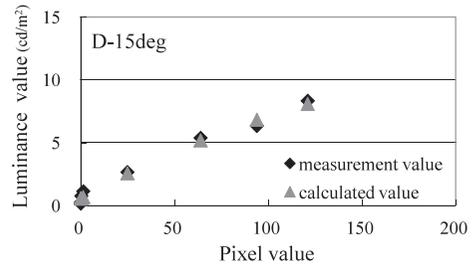


Fig. 8 Correspondence of the measurement value and the calculated value on calibration; 15deg.

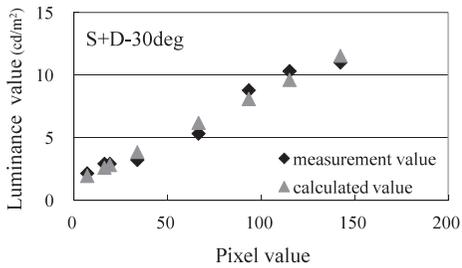
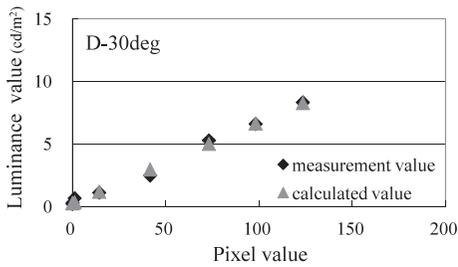


Fig. 9 Correspondence of the measurement value and the calculated value on calibration; 30deg.

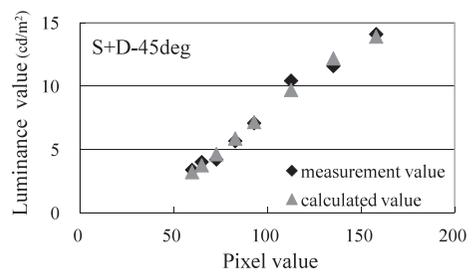
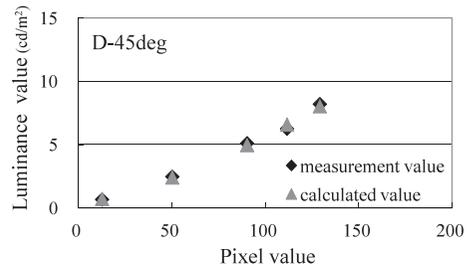


Fig. 10 Correspondence of the measurement value and the calculated value on calibration; 45deg.

マイクروسコープを用いた輝度及び輝度分布の推定法

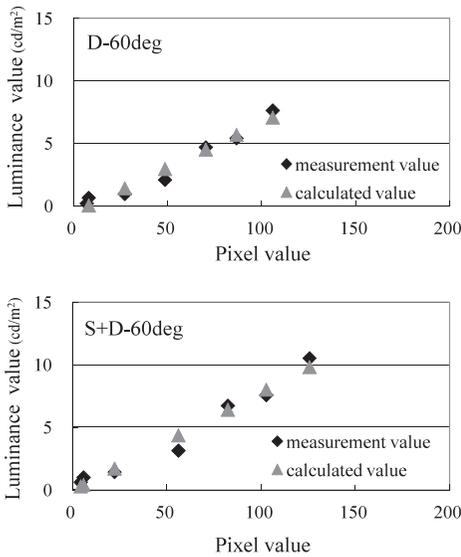


Fig. 11 Correspondence of the measurement value and the calculated value on calibration; 60deg.

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

$$y = A \times (1 - \exp(-(k \times (x - x_c))^d)) \quad \dots(4)$$

「3.1 ピクセル値－輝度の対応特性」に示したグレイスケールNo.1 からNo.15 までのピクセル値－輝度値の対応結果を観測値（図3 から図5 に示された散布点）、キャリブレーション結果を算出値（理論値）として、受光角度ごとにグラフにした結果が図7 から図11 である。

いずれの受光角度も観測値と理論値との残差が少ない結果となった。これは、単回帰式では得られないデジタル画像のピクセル値と輝度値の非線形応答が考慮された理論値がExponential関数式とSwiebull1 関数式によって算出されていること、つまり、正確なキャリブレーションが行われたことが示唆されたものである。

3.3 輝度分布の推定結果

再度、キャリブレーションの結果について布試料の輝度分布で確認した。まず、Swiebull2 関数式でキャリブレーションした結果（図6）と比較するために、図12 に、マーセル加工した平織綿布の緯方向（S1-A2）の受光角度30 度と45 度について、Exponential関数式とSwiebull1 関数式でキャリブレーションした結果を示す。

も結果が収束した。そのため改めてピクセル値と輝度値との非線形応答特性を考慮し、受光角度0 度、15 度、30 度、60 度はExponential関数、45 度はWiebull関数のうちSwiebull1 の関数式によってフィッティングを行うこととした。

算出されたパラメータは表5 の通りである。いずれも、修正済み決定係数（ R^2 ）が0.9 以上となり、精度の高いフィッティングが行われたことが示された。そこで、改めてExponential関数の関数式である式（3）とSwiebull1 関数の関数式である式（4）、さらに、算出された各パラメータを使い、8 段階のグレイスケールを撮影（測定）し、較正したピクセル値から輝度値へのキャリブレーションを行った。

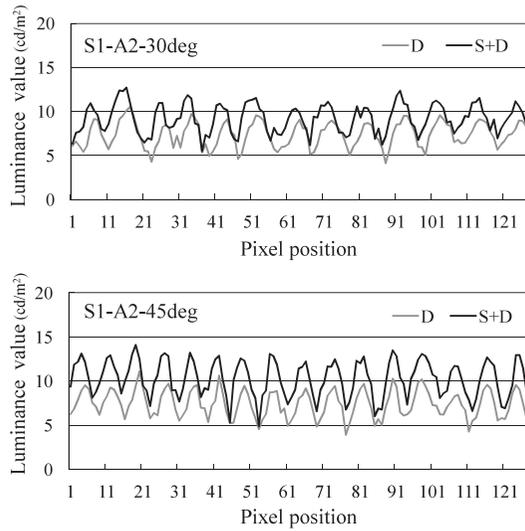


Fig. 12 Results of the luminance value that calculated from the function expressions ; “Exponential” and “SWeibull1”.

既述した通り，図 6 は数値の漸次増加が見られない不自然なグラフ形状であった。それに対し，図 12 では，30 度も 45 度も輝度分布の幅に上限（あるいは下限）が現れず，良好なキャリブレーションが行われたことが推察できる。

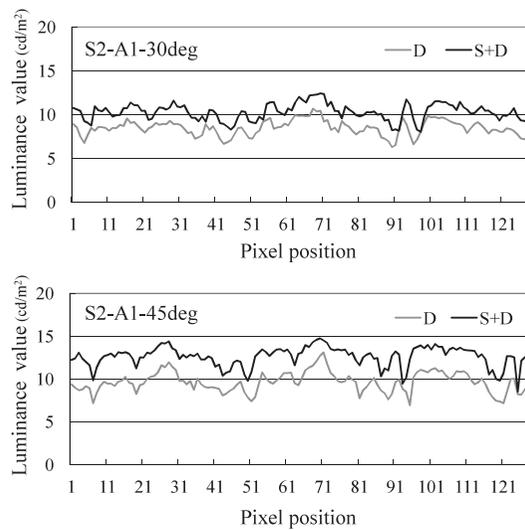


Fig. 13 Results of the luminance value that calculated from the function expressions ; “Exponential” and “SWeibull1”.

マイクروسコープを用いた輝度及び輝度分布の推定法

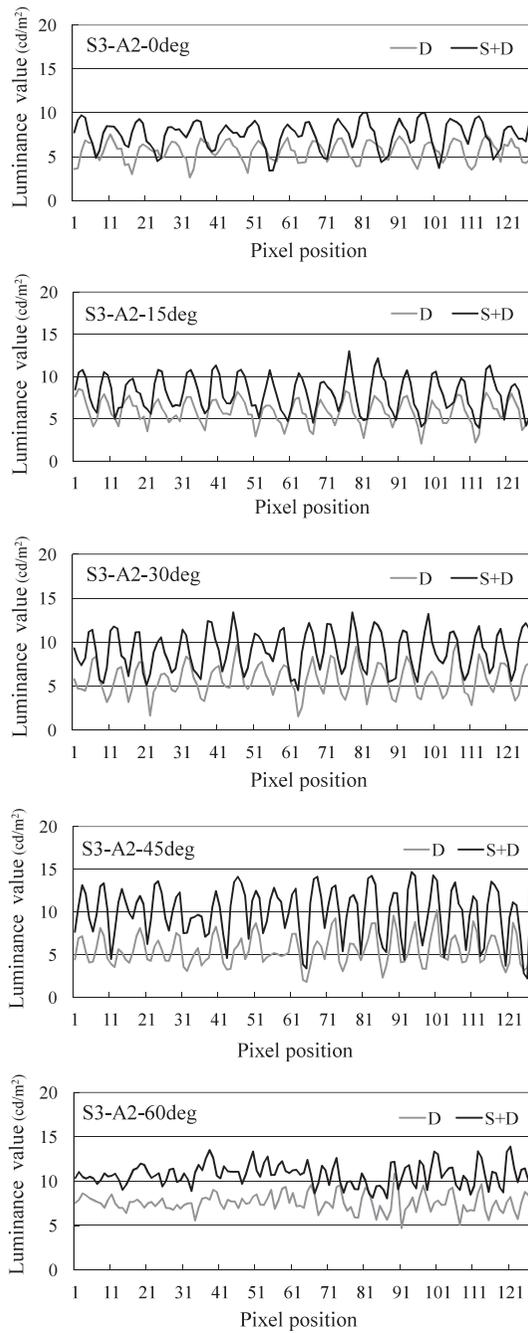


Fig. 14 Results of the luminance value that calculated from the function expressions ; “Exponential” and “SWeibull1”.

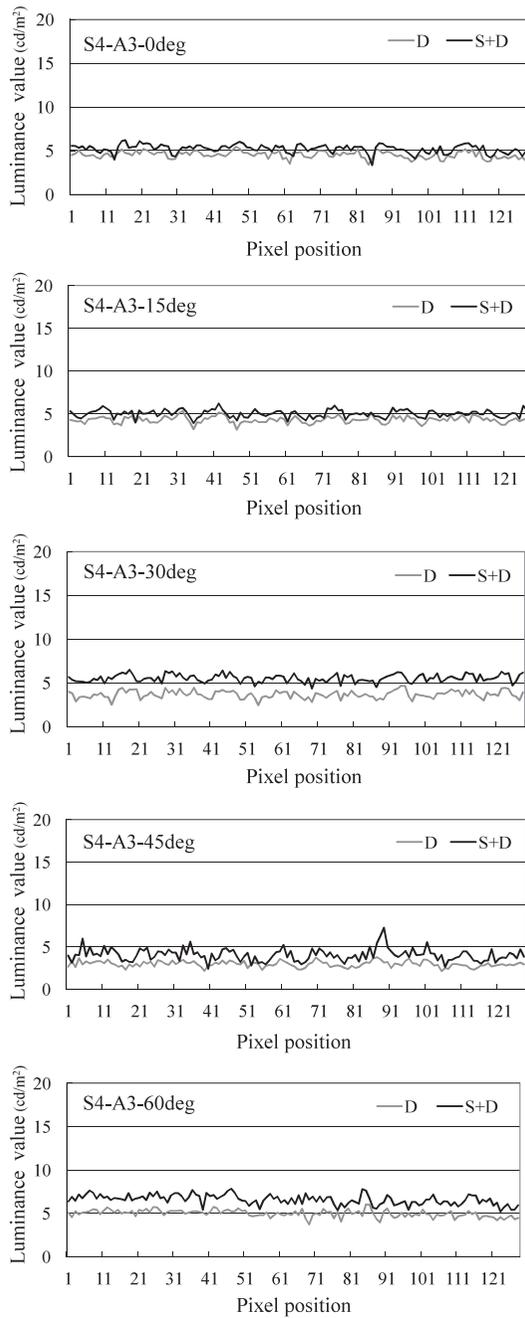


Fig. 15 Results of the luminance value that calculated from the function expressions ; “Exponential” and “SWeibull”.

マイクロスコープを用いた輝度及び輝度分布の推定法

また、同じ試料布で設置方向が異なる場合 (S1-A1) の結果は図 13 に示す。繊維の太さや繊維組織により試料の設置方向で反射の状態が異なるため、図 12 とは全く輝度分布が異なるが、図 13 については、繊維からの反射状況が分かるような輝度の細かい変化も明らかにされ、ここからもキャリブレーションに最適の関数が選ばれていることが分かる。

さらに、図 14 には平織の絹の緯方向 (S3-A2)、図 15 には平織のナイロンのバイアス方向 (S4-A3) について、5 受光角度それぞれの結果を示す。

前者は輝度分布の差が大きい結果、後者は逆に差が小さい結果であるが、いずれについても、明らかに不自然な分布形状を示した図は見当たらない。ピクセル値に対応する輝度値が大きい、あるいは小さい変化にも対応可能なキャリブレーションであることが明らかとなった。

4. おわりに

今回は、未染色布 (白) の輝度分布を確認したことで、デジタル画像のピクセル値から輝度値へのキャリブレーションについて良好な結果を得ることができ、マイクロスコープを使用して布の輝度を測定するシステムの基礎データとなった。しかし、布は染色されたりプリントされたりすることが多く、彩色された布がどのように人の目に見えるかを捉えるためには、デジタル画像の画素ごとの R、G、B 各値の処理が問題となる。RGB 各値からグレイレベルへの一般に知られている変換式はあるが、それがピクセル値から輝度値へのキャリブレーションに有効であるかの検証は行われていない。今後、煩雑な手続きを取らずに最適な理論値が得られる手法の確立を目指したい。

引用文献

- 1) 篠田博之、藤枝一郎：「色彩工学入門」、森北出版、pp.34-37、2007
- 2) 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、pp.726-728、1998
- 3) 坂上ちえ子：染色布の分光反射と色度変化、鹿島短紀要、第 60 号、pp.3-18、2009
- 4) 中村洋：正射影カメラによる輝度および輝度分布の測定、日本建築学会論文報告集、第 243 号、pp.73-79、1976
- 5) 大井尚行：普及型デジタルスチルカメラを用いた輝度分布計測システムの構築、日本建築学会大会学術講演概要集、pp.409-410、2000
- 6) 木村均、野口太郎：デジタルカメラを用いた実行輝度の現場測定に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第 551 号、pp.23-27、2002
- 7) 鎌田慎也：デジタルデータの分布分析—デジタル画像からの輝度分布分析、UNISYS TECHNOLOGY REVIEW、第 87 号、pp.78-87、2005
- 8) 中山真之、原昌康、古賀靖子：デジタルカメラ輝度分布測定システムについて、日本建築学会九州支部研究報告、第 44 号、pp.17-20、2005