

織物の反射率の重ね枚数依存性について

富士香菜子, 酒井哲也, 酒井豊子*

(共立女子大学家政学部, *放送大学教養学部)

平成6年8月1日受理

Dependency of Fabric Reflection on Piling Number of Sample Pieces

Kanako FUJI, Tetsuya SAKAI and Toyoko SAKAI*

Faculty of Home Economics, Kyoritsu Women's University, Chiyoda-ku, Tokyo 101

** The Faculty of Liberal Arts, University of the Air, Mihama-ku, Chiba 261*

When the whiteness of a fabric is measured, the test piece used generally piles up with two or three sheets of fabric. However, the reason for this piling remains unclear.

This paper examines the effect of the number of piled up fabrics of a test piece on its apparent reflectivity, which is closely connected to its whiteness, using an analytical model. Eight plain weave fabrics provided by Nakao Filter Co.Ltd. were prepared as samples. They were undyed and made of different fiber species. Using a color analyzer model CA-35, produced by Murakami Color Laboratory Co.Ltd., the reflectional spectra of the test pieces in the visible light range were measured as a function of the number of piled fabrics.

The results showed that the apparent reflectivity of test pieces increased as the number of piled up fabrics increased, then gradually tended to saturate for all wave lengths, with faster saturation rates being observed for lower wave lengths and violet colors. Experimental data were further analyzed under a simplified assumption of the optical behavior of fabric layered into a test piece. Thus, characteristic coefficients of reflection and transparency were estimated for each sample. Previous values ranged from about 40% to 50%, while later values were about 90%. Moreover, it seemed that the characteristics of reflection were determined by two components; one might be from the surface area of a fabric, the other from its interior.

(Received August 1, 1994)

Keywords: whiteness 白度, coefficient of reflection 反射率, saturation 飽和, piled fabrics 重ねた織物, coefficient of transparency 透過率, plain weave fabrics 平織物.

1. 緒 言

織物の白色度を光学的反射法によって計測する場合、試料織物を2枚ないし3枚程度重ねて行うのが、普通である。例えば、蛍光増白度の視感判定に関するJIS L 0807 (蛍光増白度スケール)¹⁾、JIS L 0887 (蛍光増白耐光堅ろう度試験方法)²⁾では、スケールは2枚重ねで構成されていること、試料織物は1枚もしくは薄く透ける場合には2枚以上重ねて用いること、などが指示されている(但し、これらの規格は平成6年2月に廃止)。しかし、何枚重ねるのが妥当であるかについては、特に基準はないようである。

最近、生野ら³⁾は、白色度が試料織物の重ね枚数と

ともに増加し、やがて飽和して一定値に収束することを指摘しているが、現象論的な考察の範囲にとどまっているように思われる。本研究においても同様な現象に遭遇し、光学的測定の基本になる織物の反射率、透過率あるいは吸収率などと重ね枚数の関係を系統的に検討した結果、白色度の重ね枚数依存性を定量的に議論しうることを見いだした。以下に報告する。

2. 実 験

(1) 試 料

実験用試料織物として、中尾フィルタ(株)製の平織物(無地)を購入した。使用されている繊維は、綿、絹、

Table 1. Specification of sample

Sample fabric	Yarn type		Yarn density (Number of yarns/2.54 cm)		Yarn count (Tex)		Fabric thickness (mm)	L* measured with one sample fabric
	Warp	Filling	Warp	Filling	Warp	Filling		
Cotton	spun yarn	spun yarn	32.4	28.2	17.5	18.3	0.276	82.2
Silk	filament yarn	filament yarn	59.8	40.2	4.0	7.2	0.122	79.0
Wool	spun yarn	spun yarn	29.3	26.5	18.9	16.6	0.289	72.3
Rayon	filament yarn	filament yarn	35.9	23.5	13.3	13.8	0.160	76.5
Acrylic	spun yarn	spun yarn	32.6	27.8	16.0	13.9	0.258	74.8
Nylon	filament yarn	filament yarn	57.8	37.5	6.0	5.5	0.126	69.6
Polyester	filament yarn	filament yarn	82.7	70.7	16.0	13.9	0.111	72.9

羊毛, ビスコースレーヨン, アクリル, ナイロン, ポリエステルの7種で, いずれの織物も無加工品とされている。それぞれの織物の仕様については, Table 1 に示す。

(2) 装 置

試料織物の光学的特性の測定は, 高速分光光度計 CA-35 型装置 (株村上色彩技術研究所製) によって行った。光学条件は白色光拡散照明 8° 受光である。測色面積は, 8 × 16 mm である。この装置は, 試料織物を適当な支持板に載せて積分球の窓に密着させ, 織物表面に投射した光の反射強度を計測するものである。

織物の支持板として, 黒色で低反射率のものと白色で高反射率のものを用意し, 同一試料織物についてそれぞれの支持板に対する可視域分光反射率曲線を求めた。両支持板に対する結果を比較することにより, 試料織物の反射率, 透過率, 吸収率などを推定した。

3. 実験結果および考察

Fig.1 は, 黒色支持板を用い, 試料織物 1 枚で得られた分光反射率曲線の数例を示している。Fig.1 から

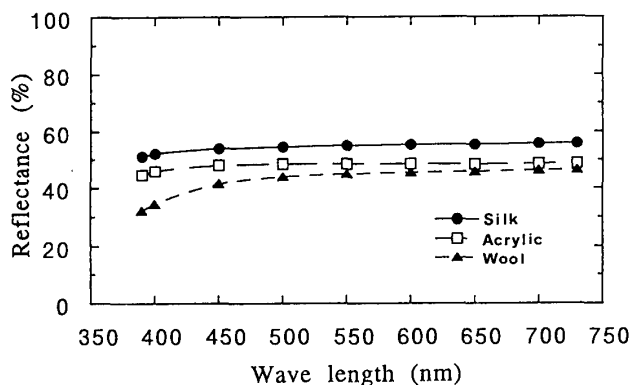


Fig. 1. Plottings of reflectance against wave length

明らかなように, 反射率は可視光の範囲 (390~730 nm) でほぼ一定の単調な曲線を与えるが, いずれの試料においても紫外域近傍でわずかながら反射率の低下が見られる。羊毛織物では短波長側における反射率の減少が明瞭である。このような結果は, 通常の繊維で作られた織物は, 特に着色されなければ, やや黄味を帯びた白色を呈することを意味する。

黒色支持板を用い, 試料織物の重ね枚数を増やすと, Fig.2 に見られるようにすべての波長において分光反射率は増大するが, 飽和して一定値に収束する傾向を示している。Fig.3 は, 特定波長の分光反射率について重ね枚数との関係を示している。特定波長としては, ある程度可視域を代表できるように, BLUE の 450 nm, 視感度の最も大きい GREEN の 550 nm, および RED の 650 nm を選んだ。Fig.2 と Fig.3 を比較すると, 前者に見られる傾向が後者ではより分かりやすい形で示されていると思われる。以下の議論では特定波長の分光反射率を対象とする。いずれにせよ, 明らかに白色度も重ね枚数を増せば増加し, 飽和して一定値に収束することが明白である。

一方, 白色支持板を使用した場合は, 試料織物の分光反射率として大きな値が観測され, しかも重ね枚数を増やすと Fig.4 にみられるように枚数とともに減少し, 次第に一定値に収束する。この収束値は, 黒色支持板を用いた時に得られる収束値と一致する。また, 反射率の収束値は, 短波長側ほど低く, 収束に至る。重ね枚数も短波長側ほど少ない枚数で収束に至る。

支持板自体の分光反射率を比較すると, 白板のそれはほぼ 94% で黒板の約 4% よりかなり大きい。このことから, 白色支持板を用いた場合には織物の吸収を受けた後, 織物を透過した光の大部分が反射され, 織物からの反射光に重畳して大きい反射率を与えるもの

織物の反射率の重ね枚数依存性について

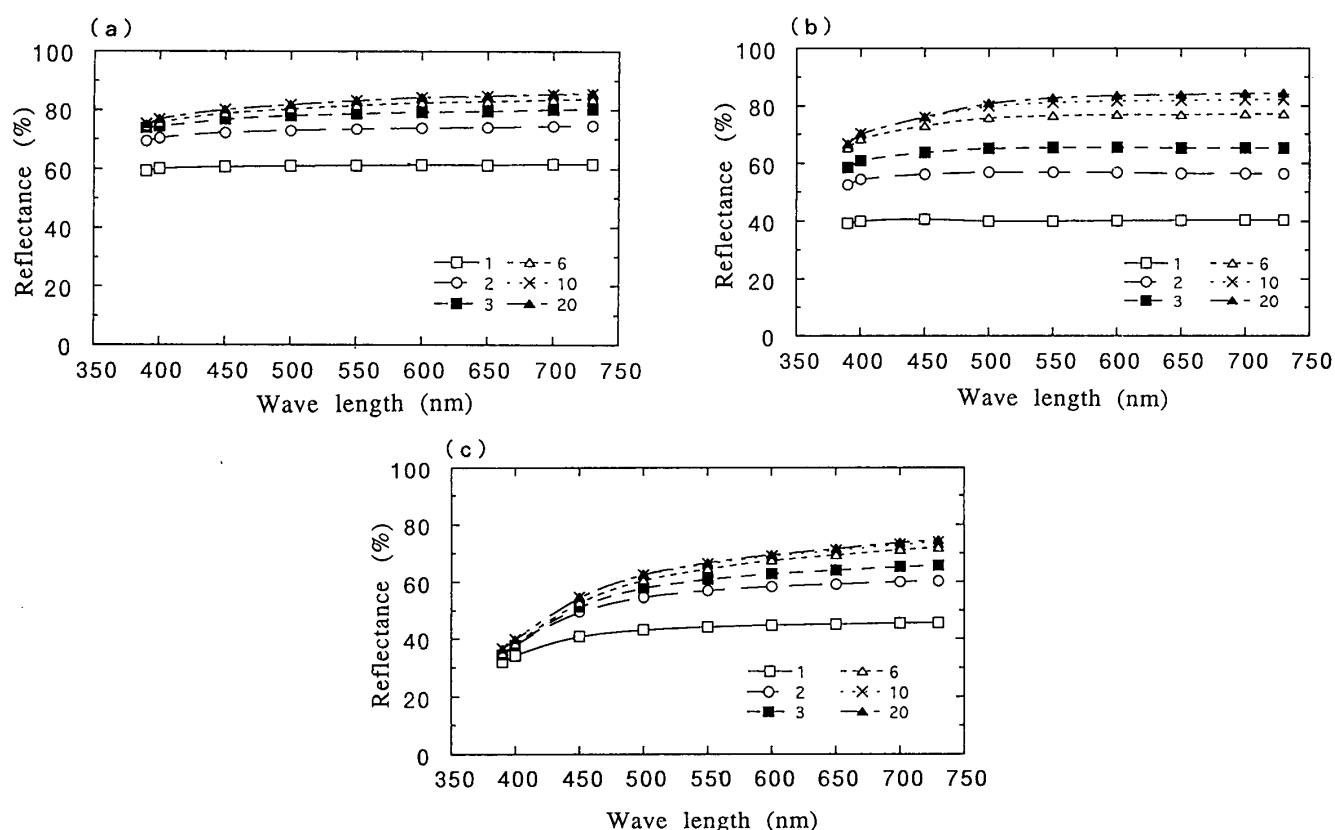


Fig.2. Plottings of reflectance against wave length for test piece with a varied number of piled fabrics
a: Cotton. b: Nylon. c: Wool.

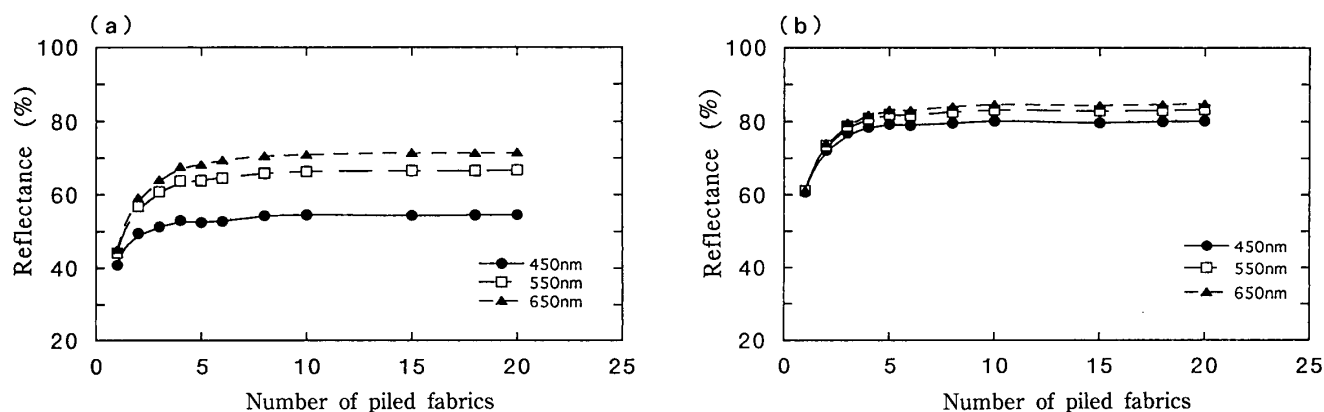


Fig.3. Plottings of reflectance against piling number of fabric for different wave lengths

a: Wool. b: Cotton.

と考えられる。したがって、白色支持板からの反射光が重ねられた織物を透過する際にすべて吸収され、織物表面に達し得なくなれば、観測される反射率は一定値を示すはずであると考えられる。他方、黑色支持板からの反射光は極めて小さく、この場合は、重ねた下部の試料織物からの反射光が重ねた試料織物から観測される反射率を高めていくものと推定される。したがっ

て、最下部の織物からの反射光が試料表面に達する前にすべて吸収される程度の重ね枚数になれば、当然、一定の反射率を示すものと考えられよう。

ここで上述の推論に従って、数種の試料織物の分光反射率、透過率などの評価を試みる。初めの入射光を I_0 とし、1枚目の織物からの反射光を R_1 、吸収を受けた後に生じる1枚目の織物からの透過光を T_1 とす

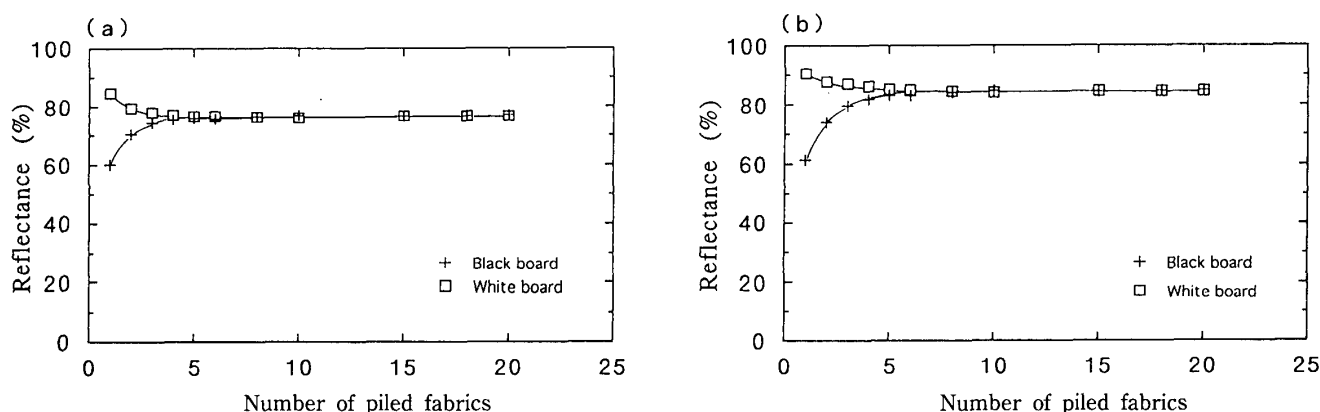


Fig.4. Plottings of reflectance against piling for test pieces with black board and white board

a: Cotton 400 nm. b: Cotton 650 nm.

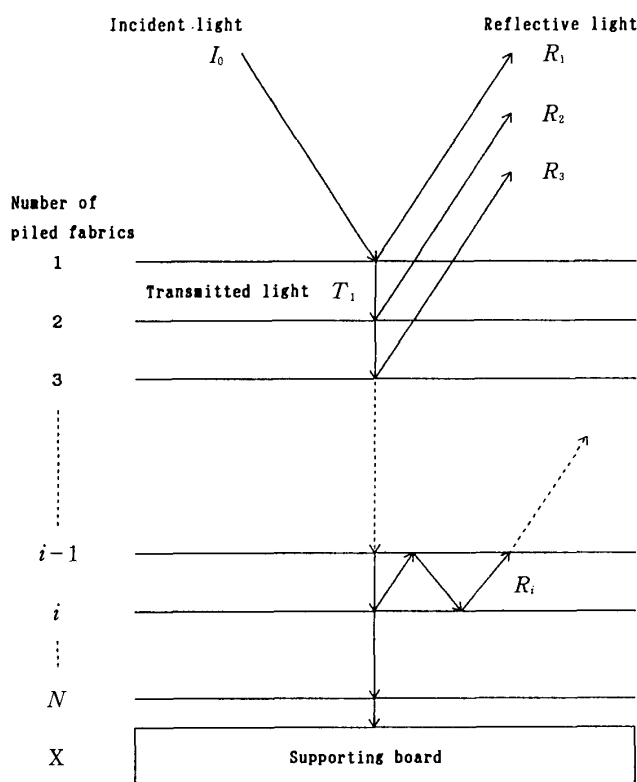


Fig.5. Course of incident light and reflective light

る (Fig.5). 反射率を a , 反射分を差し引いた入射光量に関する透過率を b とすると, 1 枚目の織物の反射光および透過光は, 次のように表せる.

$$\begin{aligned} R_1 &= a \cdot I_0 \\ T_1 &= b \cdot I_0 \cdot (1-a) \end{aligned} \quad (1)$$

次に, N 枚の織物を重ねた時の i 番目の織物における入射光を I_{i-1} , 反射光を R_i , 透過光を T_i とおくと, 次の関係式が得られる.

$$R_i = a \cdot I_{i-1}$$

$$\begin{aligned} T_i &= b \cdot (I_{i-1} - R_i) \\ &= b \cdot (1-a) \cdot I_{i-1} \end{aligned} \quad (2)$$

ただし, a の反射率, b の透過率は, 通常それらが用いられる場合と異なった内容を含んでいる. すなわち, 織物のような複雑な織物集合体における光反射現象は, 巨視的に均一な物体におけるそれとかなり異なっていると思われる. ここでは 1 枚の織物を光学的なブラックボックスとみなし, 入射光, 反射光, 透過光などについてはどのような過程を経たかを無視して, 結果としてそれぞれの方向で観測される光量で与えるものとした.

さらに, 反射光 R_i はすべて $i-1$ 番目の織物に入射していく, と仮定した. 実際には Fig.5 のように i 番目の織物からの反射光は $i-1$ 番目の織物に反射され, それがまた i 番目の織物に反射され, といった具合に多重の反射を繰り返した後 $i-1$ 番目の織物に入射する等, 様々な場合が想定される. 反射光 R_i は, このような経路の光をすべて含んでいるという意味である.

このような仮定に立って上式を処理すると, N 枚重ねた織物からの反射光量 $R(N)$ は次式の様に表せる.

$$\begin{aligned} R(N) &= R_1 + R_2 \cdot b + R_3 \cdot b^2 + \cdots \\ &\quad + R_N \cdot b^{N-1} + R_x \cdot b^N \\ &= I_0 \cdot a + I_0 \cdot (1-a) \cdot b^2 \cdot a \\ &\quad + I_0 \cdot (1-a)^2 \cdot b^4 \cdot a + \cdots \\ &\quad + I_0 \cdot (1-a)^{N-1} \cdot a \cdot b^{2(N-1)} \\ &\quad + I_0 \cdot (1-a)^N \cdot a_x \cdot b^{2N} \end{aligned} \quad (3)$$

ただし, a_x は白色あるいは黒色支持板の反射率である. 得られた式に白色および黒色支持板を用いた時の測定値を代入し, 連立方程式として解けば, a および b を決定することができる.

まず, 反射率の測定値を使い, (3) 式から a および

織物の反射率の重ね枚数依存性について

Table 2. Coefficients of reflection (a) and transparency (b) calculated from analytical equation and experimental data

Piling number of fabrics	Rayon		Polyester		Wool	
	a	b	a	b	a	b
1	0.488	0.891	0.430	0.940	0.433	0.750
2	0.431	0.843	0.387	0.930	0.401	0.713
3	0.400	0.860	0.353	0.931	0.384	0.711
4	0.393	0.856	0.327	0.934	0.375	0.710
5	0.362	0.872	0.309	0.934	0.369	0.712

b を重ね枚数に対して求めた結果例を Table 2 に示す。 b は重ね枚数による特徴的な変化を示さなかったが、 a は重ね枚数の増加とともにかなり明瞭に減少、飽和する傾向をみせることから、織物 1 枚あたりの透過率 b については、重ね枚数によらず一定値をとると仮定した。その一定値としては、上述計算値の平均値を用いることとした。次いで、一定とおいた b に対して、測定反射率に最も近い計算値を与える織物 1 枚あたりの反射率 a を求めた。

Table 3 は、上述の b の平均値を用いて数種の織物に対して導いた織物 1 枚あたりの a の値を、重ね枚数の関数として示している。織物の反射率は 0.4~0.5、特に透過率は 0.9 前後と高い値となっている。また、ここでも a の値は重ね枚数とともに減少、飽和の傾向にあることが分かる。当然であるが、Table 3 のパラメータを使い、(3)式から算出した反射率は、Table 4 のように実測値と良好な一致を与える。

1 枚目の織物と 2 枚目以降の織物の状態を考えると、後者では重ね合わせた部分の織物表面の状態は前者の

それと大きく異なることが想像され、反射率 a の変化は表面の差異に基づくことも考えられる。例えば、 a のうちいくらかは 1 枚目の開放表面に基づくとし、推定される a は開放表面の効果 A を重ね枚数で平均化したものと 2 枚目以降の内部効果 B の和であると仮定すると、次式のようなになる。

$$A/n + B = a \quad (4)$$

A : 開放表面の効果, B : 内部効果, n : 枚数。

まず、上式を Table 3 の反射率データに適用し、最小自乗法の意味で最適な A , B を求めた。ついで A , B を使って反射率の重ね枚数に対する織物 1 枚あたりの変化を求めると Table 5 のようになり、Table 3 の結果とかなりよい近似を与えることがわかる。この結果によれば、開放表面の効果は全体の反射率の 20~30%程度と考えられる。いずれにせよこれらの問題を正確に処理するためには、一層の基礎的な検討が必要と思われるが、白色度の重ね枚数依存性について提案したモデルは第 1 次近似として十分有効なものと考えられる。

Table 3. Coefficient of reflection (a) at 550 nm calculated from analytical equation and experimental data with mean value of coefficient of transparency ($\bar{b}$)

Piling number of fabrics	Coefficient of reflection (a)		
	Rayon	Polyester	Wool
1	0.491	0.431	0.439
2	0.420	0.386	0.400
3	0.393	0.351	0.379
4	0.379	0.327	0.369
5	0.364	0.309	0.363
Coefficient of transparency ($\bar{b}$)	0.871	0.934	0.719

Table 4. Comparison of reflectances calculated to those observed

Sample fabric	Piling number of fabrics	Calculated	Observed
Cotton	1	0.613	0.612
	2	0.731	0.735
	3	0.787	0.787
	4	0.809	0.808
	5	0.819	0.819
Rayon	1	0.509	0.507
	2	0.642	0.648
	3	0.716	0.719
	4	0.758	0.762
	5	0.775	0.775
Wool	1	0.455	0.450
	2	0.580	0.580
	3	0.627	0.629
	4	0.648	0.650
	5	0.658	0.659

Table 5. Estimated components from open surface (A) and from inside (B) for coefficient of reflection

	Rayon	Polyester	Wool
Component from open surface (A)	0.154	0.144	0.094
Component from inside (B)	0.339	0.295	0.347
Piling number of fabrics			
1	0.491	0.431	0.439
2	0.412	0.355	0.392
3	0.386	0.329	0.376
4	0.372	0.317	0.368
5	0.364	0.309	0.363

4. 結 語

織物の白色度を光学的反射法によって計測する場合、試料織物を何枚重ねるのが問題となっている。そこで、基本となる織物の反射率、透過率あるいは吸収率などと織物の重ね枚数の依存性を系統的に検討することを試み、 L^* 値が70~80%程度の織物について次のような結果を得た。

黒色支持板を用いて、可視光の範囲(390~730 nm)で分光反射率を測定すると、7種の試料のいずれもほぼ一定の単調な曲線を与え、紫外域近傍でわずかながら反射率の低下が見られる。試料の重ね枚数を増やすとすべての波長において分光反射率は増大するが、飽

和して一定値に収束する傾向を示す。白色支持板を使用した場合は、試料織物の分光反射率は大きな値が観測され、重ね枚数を増やすと反射率は枚数とともに減少し一定値に収束する。この収束値は、黒色支持板を用いた時に得られる収束値と一致する。

黒色支持板からの反射光は極めて小さく、重ねた試料織物の下部からの反射光が重ねた試料織物から観測される反射率を高めていくものと推定される。したがって、最下部の織物からの反射光が試料表面に達する前にすべて吸収される程度の重ね枚数になれば、一定の反射率を示すものと考えられる。このような推論に従って、1枚の織物の反射率、透過率と重ねた試料織物か

織物の反射率の重ね枚数依存性について

ら観測される反射率との関係式を求めた。白色支持板および黒色支持板を用いて得られた反射率の結果を関係式に代入し、織物 1 枚あたりの反射率 a 、反射成分を差し引いた入射光量に対する透過率 b を求めた。550 nm に対する反射率は 0.4～0.5 前後、透過率は 0.9 前後であった。例えば、反射率が 0.4、透過率が 0.9 であれば、入射光量 1 の場合、反射光量は 0.4、透過光量は $(1-0.4) \times 0.9 = 0.54$ 、吸収光量は $1-0.4-0.54=0.06$ となることを意味する。当然、反射光量 + 吸収光量 + 透過光量 = 1 となる。

また、反射率は開放表面からの反射成分と内部表面からの反射成分との和であり、前者が全体の 20～30

%を占めるものと推定された。

本研究の概要は(社)日本家政学会第 46 回大会 (1994) において発表した。

引用文献

- 1) 日本規格協会：JIS L 0807-1971 (蛍光増白度スケール)
- 2) 日本規格協会：JIS L 0887-1975 (蛍光増白耐光堅ろう度試験方法)
- 3) 生野晴美, 駒城素子, 中島利成：家政誌, 43, 935～941 (1992)