Factors Affecting Color of Cut Pile Carpets

Ikuko Hirai* and Toshihiro Gunji**

Abstract

In the color matching of cut pile carpets, a prediction of the color of carpets is made from the color of cross-sectional and longitudinal surfaces of yarns constituting a carpet. Generally, it is known that the color of a cross-sectional surface of yarns is deeper than that of a longitudinal surface of yarns. A "pompon" of the color sample of cut pile carpets was used as a sample.

Firstly, a color difference between the cross-sectional and longitudinal surface of yarns was measured with a spectrophotometric colorimeter. It has been found that the color of carpets were very susceptible to illuminance.

Secondly, a procedure was discussed to predict the color perceived with eyes. A color of cross-sectional surface of a "pompon" was measured with a non-contact photoelectric colorimeter by varying a degree of surface illuminance of a sample. It was found that the visual color of cross-sectional surface of a "pompon" agreed with the Y value of illuminance of longitudinal surface of yarns, when a surface illuminance of a sample was 750 lx.

Finally, the variation of illuminance in a "pompon" was measured with an illumination sensor inserted into a "pompon". In order to examine the illuminance inside carpets, a comparison of measured value inside carpets to an illuminance calculated by a "pompon model" was made by changing the position of a sensor. When the angle of incidence was equal to zero degree, the light entered more deeply into the "pompon". The degree of illuminance decreased about 50% at 5mm down and about 90% at 10mm down from the surface of a "pompon".

Key Words : Cut Pile Carpet, Color Measurement, Pompon, Color Matching, Illuminance

(Received Dec. 4, 1997)

(Accepted for Publication May 11, 1999)

カットパイルカーペットの色に及ぼす因子について

平井 郁子*, 軍司 敏博**

1. 緒言

従来、カットパイルカーペットの色だしは、経験的に糸側面集合体の色と糸断面集合体の色から、カーペットの色を予測して行われている。一般にカーペットの糸断面集合体の色は、糸側面集合体の色よりも濃色になるといわれている¹⁾。そこで、糸側面集合体の色と糸断面集合体の色に生じる色差の不便さをなくしたカーペットの色だし方法を得ることを目的に実験を行った。

まず、糸側面集合体の色と糸断面集合体の色の間には、どのくらいの色差が生じているかを、カット

パイルカーペットの色見本のボンテンを試料として多光源分光測色計を用いて測色した。

次に視覚で見るカーペットの色に最も近い色を予測するために、実際にカーペットを見る場合を想定して、ボンテンの表面照度を変化させ、非接触色彩色差計を用いて測定を行った。

さらに、上記2つの測定結果から明るさがカーペットの色に影響すると考えられたため、カーペット内部の明るさがカーペット表面からの深さにより、どのように変化するかを、2本のカーペット糸間を拡大し、モデル化した「ボンテン・モデル」を想定して照度変化を計算で求めた。また、ボンテン内

*Member, Institute of Human Living Sciences Otsuma Women's University, Chiyoda-ku, Tokyo, 会員 大妻女子大学人間生活科学研究所, 東京都千代田区三番町, **Member, Otsuma Women's University, Chiyoda-ku, Tokyo, 会員 大妻女子大学, 東京都千代田区三番町

Fig. 2 Illuminance measurement method of inside pompon

図2にはボンテン内部の照度測定方法を示した。ボンテン表面を1500 lxの照度にしたとき、ボンテン内の照度センサーの深さをボンテン表面から①0 mm、②5mm、③10mmと変化させ、ボンテン内の照度変化を測定した。

測定器は、試作微小面照度測定ユニット（村上色彩研究所製）を使用した。試作微小面照度測定ユニットの仕様は、受光面サイズ：2.4mmφ、波長範囲：320nm～730nm、フォトセンサー：浜松フォトニクス製フォトダイオード S1133である。

3. 結果および考察

3.1 糸側面集合体と糸断面集合体の測色

ボンテン720色中、R (Red), YR (Yellowish Red), Y (Yellow), GY (Greenish Yellow), G (Green), BG (Blueish Green), B (Blue), PB (Perpleish Blue), P (Purple), RP (Redish Purple)の色相において、各色相の間である5H (4.5～5.5H)に近いボンテンについてのH・V/C, L*, a*, b*, ΔL*, ΔE*_{ab}の測色値の平均を表1に示す。ここでΔL*は、糸側面集合体のL*値と糸断面集合体のL*値の差である。ΔE*_{ab}は、糸側面集合体と糸断面集合体の色差である。

また、表2は、JIS L 0805汚染用グレースケールの測色値および5級（白）と各級との明るさの差ΔL*、色差ΔE*_{ab}の値を求めたものである。

- 表1の測色結果から次のことがわかった。
- ①すべての色のカーペットについて、L*の値は、糸側面集合体よりも糸断面集合体の値の方が低く、濃色である。特にP, G, BG, PBでは、明るさの差ΔL*がやや大きな傾向が見られる。
 - ②糸側面集合体と糸断面集合体との明るさの差ΔL*と色差ΔE*_{ab}との間には、高い相関(r = 0.967)が得られた。
 - ③彩度Cと色差ΔE*_{ab}との間には、相関(r = 0.468)は得られなかった。
 - ④カーペットの糸側面集合体と糸断面集合体の明度差ΔL*の平均値：11.91および色差ΔE*_{ab}の平均値：12.78は、JIS L 0805汚染用グレースケールの2-3級(ΔL*：12.10, ΔE*_{ab}：12.34)に相当する。
- 以上のことから、カーペットの糸側面集合体の色

Table 1 Results of color measurement of longitudinal surface and cross-sectional surface of yarns

Sample	Position	H・V/C	L*	a*	b*	ΔL*	ΔE* _{ab}
R	Longitudinal surface	4.91R・3.15/7.92	32.34	35.29	16.19		
	Cross sectional surface	6.89R・2.40/6.86	24.65	31.17	14.92	7.69	8.98
YR	Longitudinal surface	5.05YR・6.18/4.10	63.44	10.94	20.89		
	Cross sectional surface	3.75YR・5.02/4.84	51.67	15.25	22.49	11.77	13.34
Y	Longitudinal surface	4.99Y・6.67/2.22	68.22	-1.81	16.62		
	Cross sectional surface	4.61Y・5.69/2.71	66.75	-1.19	19.51	9.82	11.10
GY	Longitudinal surface	5.09GY・5.70/3.53	58.65	-12.38	21.89		
	Cross sectional surface	5.44GY・4.57/3.81	47.04	-13.05	21.47	11.61	12.32
G	Longitudinal surface	4.94G・4.76/3.28	49.03	-17.31	5.91		
	Cross sectional surface	5.03G・3.42/3.06	35.11	-15.26	4.13	13.92	14.51
BG	Longitudinal surface	4.96BG・4.92/2.79	50.74	-13.55	-2.14		
	Cross sectional surface	5.42BG・3.68/2.82	37.85	-13.05	-2.84	12.89	13.24
B	Longitudinal surface	5.18B・4.85/2.46	49.93	-7.02	-8.07		
	Cross sectional surface	5.43B・3.66/2.38	37.66	-6.37	-8.29	12.27	12.69
PB	Longitudinal surface	4.95PB・4.93/2.70	50.74	0.64	-10.72		
	Cross sectional surface	4.98PB・3.70/2.72	38.05	0.99	11.77	12.69	13.17
P	Longitudinal surface	5.08P・4.25/3.41	43.83	11.12	-11.07		
	Cross sectional surface	4.29P・2.90/2.90	29.83	10.43	-11.03	14.00	14.40
RP	Longitudinal surface	5.06RP・4.11/5.75	42.33	26.00	-3.81		
	Cross sectional surface	7.01RP・2.91/4.44	29.87	21.40	-1.84	12.46	14.08
Average	Longitudinal surface	4.95/3.82	50.93				
	Cross sectional surface	3.80/3.65	39.85			11.91	12.78

Table 2 Results of color measurement of Gray Scale for assessing staining

Grade	H · V / C	L *	Δ L *	a *	b *	Δ E * _{ab}
5 White	7.25Y · 9.22 / 0.34	93.27	—	-0.75	2.98	—
4 - 5	9.43Y · 9.02 / 0.27	91.29	1.98	-0.75	2.38	2.07
4	9.36Y · 8.82 / 0.25	89.35	3.92	-0.68	2.17	4.00
3 - 4	3.72GY · 8.60 / 0.19	87.15	6.12	-0.77	1.59	6.28
3	5.92GY · 8.37 / 0.16	84.92	8.35	-0.76	1.16	8.55
2 - 3	1.24G · 7.98 / 0.14	81.17	12.10	-0.85	0.58	12.34
2	1.86BG · 7.44 / 0.15	75.91	17.36	-0.90	0.08	17.60
1 - 2	1.78B · 6.68 / 0.22	68.46	24.81	-0.84	-0.48	25.05
1	8.05B · 5.62 / 0.34	57.84	35.43	-0.73	-1.10	35.66

と糸断面集合体の色の差は、彩度よりも、明るさが大きくかかわっていることがわかる。

これは、糸断面集合体の測色値が、糸の断面のみでなく、糸と糸との陰影および糸の光吸収が明るさに影響しているものと考えられる。また、色差は、JIS L 0805の汚染用グレースケールの2-3級に相等する。このことから糸側面集合体の測色値と糸断面集合体の測色値には、明るさに差があることが理解できる。

3.2 試料面照度を変化させた場合の測色

ボンテン（三原色：3種、ニュートラル色：3種）の糸側面集合体と糸断面集合体の測色値を表3に示し、照度を変化させた場合の測色結果を表4に示す。3.1糸側面集合体と糸断面集合体の測色の実験結果および考察から、カーペットの色に明るさが大きく影響していることがわかった。そこで、照度変化とボンテンの明るさY値との関係をグラフにしたものを図3に示す。図3から照度を200 lx～1500 lxまで変化させた場合、照度を下げるとボンテンの

Y値も比例して低下することがわかった。

また、ボンテンの糸側面集合体の明るさY値と、照度750lxで非接触でボンテンの真上から測色したときの明るさY値とを比較した結果を表5に示す。糸側面集合体の明るさY値は、ボンテンの照度を、500 lxと1000 lxの中間の750 lxにして、非接触で測色したときの明るさY値に相当することがわかる。

この結果から、ボンテンの表面照度を約750 lxにして、真上から見たときのボンテンの色は、ボンテ

Fig. 3 Relationship between surface illuminance of pompon and Y value

Table 3 Results of color measurement of pompon
(Three primary colors and achromatic colors)

Sample	Position	H · V / C	X	Y	Z	x	y
R 288070	Longitudinal surface	5.03R · 3.95 / 10.64	19.16	11.68	6.17	0.5178	0.3157
	Cross sectional surface	6.84R · 2.94 / 9.34	10.90	6.29	2.53	0.5529	0.3188
G 767030	Longitudinal surface	6.26G · 5.71 / 2.38	23.16	26.79	28.74	0.2943	0.3404
	Cross sectional surface	8.50G · 4.23 / 2.95	11.10	13.60	14.80	0.2810	0.3442
B 648050	Longitudinal surface	5.02B · 5.52 / 4.24	21.54	24.84	39.51	0.2508	0.2892
	Cross sectional surface	5.30B · 4.04 / 4.59	10.32	12.27	22.61	0.2283	0.2715
N 0000 Black	Longitudinal surface	4.74RP · 1.71 / 0.19	2.44	2.44	2.93	0.3125	0.3126
	Cross sectional surface	4.05Y · 1.05 / 0.03	1.25	1.28	1.49	0.3117	0.3178
N 5000 Gray	Longitudinal surface	1.14P · 4.87 / 0.29	18.40	18.65	22.63	0.3085	0.3125
	Cross sectional surface	8.45PB · 3.59 / 0.45	9.40	9.49	11.98	0.3045	0.3075
N 8000 White	Longitudinal surface	9.21Y · 7.21 / 0.44	44.82	46.10	50.81	0.3162	0.3252
	Cross sectional surface	8.56Y · 6.20 / 0.54	31.51	32.46	34.98	0.3185	0.3280

Table 4 Results of color measurement of pompon as a function of illuminance

Sample	Illuminance	H · V / C	X	Y	Z	x	y
R 288070	1500 lx	4.51R · 5.61 / 19.29	49.11	25.70	10.01	0.579	0.303
	1000 lx	5.63R · 4.79 / 16.79	33.90	17.90	5.76	0.589	0.311
	500 lx	8.25R · 3.56 / 12.47	16.78	9.32	2.06	0.596	0.331
	200 lx	5.94R · 2.35 / 9.48	7.88	4.13	2.19	0.555	0.291
G 767030	1500 lx	1.51G · 7.90 / 1.95	51.60	57.30	58.64	0.308	0.342
	1000 lx	0.25PB · 6.52 / 4.72	33.76	36.50	60.09	0.259	0.280
	500 lx	3.39BG · 4.73 / 2.05	15.26	17.40	20.88	0.285	0.325
	200 lx	2.10PB · 3.57 / 3.78	8.97	9.70	18.23	0.295	0.322
B 648050	1500 lx	2.40PB · 7.64 / 7.04	49.75	53.00	100.31	0.245	0.261
	1000 lx	8.24GY · 6.67 / 2.05	34.58	38.40	36.11	0.317	0.352
	500 lx	4.12GY · 4.83 / 3.02	16.14	18.30	12.61	0.343	0.389
	200 lx	2.10PB · 3.57 / 3.78	8.97	9.41	18.23	0.245	0.257
N 0000 Black	1500 lx	2.62R · 2.78 / 0.96	6.00	5.64	6.32	0.334	0.314
	1000 lx	4.73YR · 2.15 / 1.11	3.73	3.53	3.34	0.352	0.333
	500 lx	0.37Y · 1.28 / 1.29	1.72	1.64	1.16	0.381	0.363
	200 lx						
N 5000 Gray	1500 lx	5.45RP · 6.67 / 3.19	41.41	38.40	45.68	0.330	0.306
	1000 lx	5.22R · 5.60 / 2.37	27.36	25.60	27.04	0.342	0.320
	500 lx	8.79YR · 4.00 / 2.07	12.40	12.00	9.30	0.368	0.356
	200 lx	0.74RP · 3.05 / 1.41	7.36	6.78	9.08	0.317	0.292
N 8000 White	1500 lx	7.50YR · 10.0 / 1.00	152.82	151.00	151.00	0.336	0.332
	1000 lx	7.31YR · 9.88 / 0.33	100.55	99.40	88.16	0.349	0.345
	500 lx	1.60Y · 7.21 / 4.39	46.20	46.20	28.86	0.381	0.381
	200 lx	4.41R · 5.24 / 0.66	22.14	22.00	25.26	0.319	0.317

Table 5 Comparison of Y value between longitudinal surface and cross-sectional surface of pompon

Sample	Y value longitudinal surface of pompon	Cross-sectional surface of pompon *
R 288070	11.68	13.61
G 767030	26.79	26.95
B 648050	24.84	28.35
N 0000 Black	2.44	2.59
N 5000 Gray	18.65	18.80
N 8000 White	46.10	72.80

* Non-contact color measurement method : 750 lx

ン糸側面集合体の色に近いことがわかる。
また、糸側面集合体の Y 値を 2 倍にした値は、ボンテンの表面照度を1500 lx にして、非接触で測色した Y 値とほぼ一致することがわかった。例えば、表 5 のボンテン番号 N5000 Gray の糸側面集合体の Y 値：18.65の 2 倍の値は、表 4 の1500 lx で、非接触で測色した Y 値：38.40に近い値となる。つまり、我々が普通1500 lx の明るさで、カーペットを見ているものと同じ色のカーペットの色だしをする場合、カーペット糸の色の Y 値を 1/2 に下げた値に色だしをすればよいことになる。

但し、White だけ、非接触で測色したボンテンの Y 値が大きな値を示しているのは、相互反射が大きいためと考えられる。この点については、さらに検討を加えてみたい。

3.3 ボンテン内部の照度

表 6 にボンテン内部の深さが変化した場合の照度

測定結果を示す。図 4 にボンテン内部の深さと照度の関係をグラフにしたものを示す。表 6 と図 4 からボンテン内部の照度は、表面からの深さが下がるほど照度も低下することがわかる。ボンテンの表面 1500 lx から 5mm 下がった深さの照度は、400 lx～750 lx、特に色相や彩度に左右されない Gray は、459.15lx となり、69.4%の照度低下率となる。また、表面から10mm 下がった深さの照度は、150 lx 以下の照度を示すことがわかった。このとき、Gray は 44.25 lx となり、97.1%の照度低下率を示している。つまりボンテン内照度は、表面から 5mm 下がると50%以上低下し、10mm 下がると90%以上低下することがわかった。

図 5 に 2 本のカーペット糸間を拡大し、モデル化した「ボンテン・モデル」を示し、入射角と反射角の位置関係を示す。また、表 7 にボンテンの深さ d を 10mm、ボンテン糸開き幅 W を0.5mm～2.0mm、最初の入射・反射角 θ₁ を垂直入射 (90° - α/2)、

Table 8 Reflection rate of light as a function of incidence-receiving angle

Sample	* 30° -30°	40° -40°	45° -45°	50° -50°	60° -60°	70° -70°
N0000 Black	4. 5 (%)	5. 6 (%)	6. 3 (%)	7. 6 (%)	11. 5 (%)	15. 1 (%)
N5000 Gray	28. 5 (%)	34. 0 (%)	36. 1 (%)	40. 0 (%)	47. 0 (%)	54. 3 (%)
N 8000 White	57. 7 (%)	66. 0 (%)	70. 1 (%)	72. 0 (%)	75. 8 (%)	78. 3 (%)
White Reflectance Standard	100. 0 (%)	100. 0 (%)	100. 0 (%)	100. 0 (%)	100. 0 (%)	100. 0 (%)

* (Incidence angle - Receiving angle)

Fig. 6 Influence of incidence-receiving angle on reflection rate of light

ンの表面に向かって逆方向に反射する。

入射角 θ_1 が 60° の場合は、反射深さ d_n が 45° のときよりも大きくなっている。同様に、ボンテン糸間幅 W が大きくなるにつれて、ボンテン内での反射深さ d_n は大きくなる。

入射・反射角が小さければ、ボンテン内での反射深さ d_n は、ボンテン糸開き幅 W が大きく影響する。ボンテン糸開き幅 W が小さければボンテン内での反射深さ d_n も小さく、ボンテン糸開き幅 W が大きければボンテン内での反射深さ d_n も大きくなる。

入射・反射角が大きければ、ボンテン糸開き幅 W にボンテンの反射深さ d_n はあまり影響されず、ボンテン内部へと光が進入することがわかる。

次に、表 8 にゴニオフォトメータにより測定したニュートラル色（白、灰、黒）3 種類のボンテンについて、入射・受光角を各々 30° 、 40° 、 45° 、 50° 、 60° 、 70° としたときの光反射率の関係を示す。また、これらの測定結果を図 6 に示す。表 9 にボンテン糸開き幅 W : 1.0mm のときのボンテン内光反射角 $\theta_1 \sim \theta_7$ のそれぞれの角度、反射深さとその角度における反射率を示す。

ボンテン内の光の反射条件については、図 5 に示すボンテン内の 2 本のカーペット糸間を拡大し、モデル化した「ボンテン・モデル」を用いて以下のように計算を行った。

X-X' は、ボンテンの表面位置を示し、 α はボンテン内の糸と糸の開き角を示す。

Table 9 Relationship between reflection angle reflection depth from surface and reflection rate of light inside pompon

Sample	θ 1= 45° d 1=0.86	θ 2= 39.27° d 2=1.51	θ 3= 33.54° d 3=2.00	θ 4= 27.82° d 4=2.36	θ 5= 22.09° d 5=2.62	θ 6= 16.36° d 6=2.80	θ 7= 10.63° d 7=2.89
N0000 Black	6.0%	0.3%					
N5000 Gray	36.0%	11.7%	3.5%	1.0%			
N8000 White	70.0%	45.6%	27.8%	15.3%	7.2%	2.7%	0.7%
Sample	θ 1= 60° d 1=1.43	θ 2= 54.27° d 2=2.44	θ 3= 48.54° d 3=3.17	θ 4= 42.82° d 4=3.72	θ 5= 37.09° d 5=4.12	θ 6= 31.36° d 6=4.43	θ 7= 25.63° d 7=4.66
N0000 Black	11.5%	1.0%	0.1%				
N5000 Gray	47.0%	20.2%	7.9%	2.8%	0.9%	0.3%	0.1%
N8000 White	75.8%	56.1%	39.8%	27.1%	17.1%	9.7%	5.1%
Sample	θ 1= 87.14° d 1=6.59	θ 2= 81.41° d 2=7.89	θ 3= 75.68° d 3=8.44	θ 4= 69.95° d 4=8.74	θ 5= 64.23° d 5=8.93	θ 6= 58.50° d 6=9.05	θ 7= 52.77° d 7=9.14
N0000 Black	19.5%	3.6%	0.6%	0.1%			
N5000 Gray	67.0%	41.5%	24.1%	13.0%	6.5%	3.0%	1.3%
N8000 White	83.0%	67.6%	54.5%	43.0%	33.3%	25.2%	18.4%

θ 1 ~ θ 7: Reflection angle of light, d 1 ~ d 7: Reflection depth from surface of light (mm)

光源とボンテンとの位置関係は、光源の高さを h 、ボンテンの深さを d 、ボンテン糸開き幅を W とする。図5に示す角 α 、 β は、次の式で求めることができる。

$$\alpha = 2 \tan^{-1}(W/2d)$$

$$\beta = 2 \tan^{-1}(W/2h)$$

実験値と比較するためボンテンの深さ d を10mm として、ボンテン糸開き幅 W を0.50mm~2.75mm と変化させると、 α は2.87°~15.67°となる。

図5から入射角と反射角の位置関係は、入射角を $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ (n : 正整数)、反射角 $\theta'_1, \theta'_2, \theta'_3, \dots, \theta'_n$ (n : 正整数) とすると、 $\theta_1 \sim \theta_n$ は反射の法則から $\theta = \theta'$ となり、

$$\theta_1 = (180^\circ - \alpha - \beta)/2$$

$$\theta_2 = (180^\circ - 3\alpha - \beta)/2$$

$$\vdots$$

$$\theta_n = \{180^\circ - (2n-1)\alpha - \beta\}/2 \quad (1)$$

となる。

何回反射するかは、(1) 式で、 $\theta_n < 0$ となる n から求められる。すなわち、 n が

$$n > (180^\circ - \beta + \alpha)/2\alpha \quad (2)$$

のとき、光は表面に向かってもどってくる。ここでは、7 回 ($n=7$) までの正反射角 $\theta_1 \sim \theta_7$ を求める。

ボンテン表面 ($X-X'$) からの反射深さを $d_1, d_2, \dots, d_n$ とする。 d_n は下記の式で求められた。

図7の入射角と反射角の位置関係(拡大図)において、 D は光の反射位置、 d は光の反射位置の深さを示す。

$$D'_n M_n = \chi_n \text{ とすると、} \Delta D'_n M_n D_{n+1} \text{ より、}$$

$$M_n D_{n+1} = \chi_n \cdot \tan(90^\circ - \alpha/2)$$

であり、 $\Delta D_n M_n D_{n+1}$ より

$$M_n D_{n+1} = (W - 2 \sum \chi_i - \chi_n) \cdot \tan(\theta_n - \alpha/2)$$

Fig. 7 Relationship between incidence angle and receiving angle (Magnification)

である。一方

$\sum \chi_i = \sum (d_n - d_{n-1}) \cdot \tan(\alpha/2) = d_n \cdot \tan(\alpha/2)$ となる。したがって、 χ_n および d_n は、以下のようになる。

$$\chi_n = \frac{(W - 2d_{n-1} \cdot \tan(\alpha/2)) \cdot \tan(\theta_n - \alpha/2)}{\tan(90^\circ - \alpha/2) + \tan(\theta_n - \alpha/2)}$$

$$d_n = \frac{(W - 2d_{n-1} \cdot \tan(\alpha/2)) \cdot \tan(\theta_n - \alpha/2) \cdot \tan(90^\circ - \alpha/2)}{\tan(90^\circ - \alpha/2) + \tan(\theta_n - \alpha/2)} + d_{n-1}$$

但し、 $d_0 = 0$ とする。

また同様の方法で、ボンテンの真上から光が垂直入射した場合の入射角を $(90^\circ - \alpha/2)$ とし、入射角 $\theta_1 \sim \theta_n$ およびそのときのボンテン表面からの深さ $d_1 \sim d_n$ を求める。

次に表7に示すボンテン内での光反射角のように、「ボンテン・モデル」内を光が角度を変化させて入射-反射を繰り返すと考えられる。そのため、3種類のボンテンのカーベット糸を平行に並べ、糸に対して平行に光を入射したときの入射・反射角が30°、40°、45°、60°のときの正反射光量をゴニオフォトメータ⁵⁾(村上色彩研究所製 GP-IR 型)で測定し、「ボンテン・モデル」内のそれぞれの入射角に代入して反射率を求めた。このとき、それぞれの角度における標準白板の正反射率を100%とした。また、この反射率をグラフに描き、上記以外の角度については、グラフから反射率を求めた。

計算式(1)、(2)から求めたボンテン内の光反射角 $\theta_1 \sim \theta_7$ のボンテン糸開き幅 $W = 1.0\text{mm}$ とし、求めた反射率を代入して、光の反射・吸収量からボンテン内部の光反射特性を検討した。ボンテン糸開き幅 W は、糸密度によっても変化するので、ここでは実際のカーベットを想定して W を1.0mmとして検討した。

表9よりボンテンの真上から光を垂直入射させた場合を除いて、ボンテン表面から5mm下がった深さでは光が到達する以前に、ほとんどの光は反射吸収される。特に Black は、2~3回の反射で光はほとんど吸収される。ボンテンの真上から光を垂直入射した場合は、表面から約9mm下がった深さまで、光が反射しながらボンテン内を進む。このとき、ボンテン表面から6.59mm下がった深さで、計算から、Black : 19.5%, Gray : 67.0%, White : 83.0%の反射率となる。

光が垂直入射 $(90^\circ - \alpha/2)$ 、45°、60°で入射した場合の入射光量の寄与率は45%、32%、23%と求めら

れる。但し、このときの入射光量全体を100%とする。入射光量の寄与率は、例えば、真上から光が入射した場合、次のように求めた。 $\cos 0^\circ / (\cos 0^\circ + \cos 45^\circ + \cos 60^\circ) \approx 0.45$ となり寄与率を45%とした。45°, 60°も同様に求めた。次に表9に示した計算値から求めたボンテンの表面から6.59mm下がった深さの光反射率に、垂直入射 ($90^\circ - \alpha/2$) の寄与率45%を乗ずると、Blackの光吸収率は、91.2%となり、明るさは132 lxとなる。同様にGrayは、光吸収率69.9%で、明るさは、452 lx、Whiteは、光吸収率62.6%で明るさは561 lxとなる。

また、表面から9.14mm下がった深さでは、Blackは、光が吸収されてしまう。Grayは、反射率1.3%、Whiteは、18.4%となるが、ボンテンの表面から6.59mm下がった深さの光反射率と同様、入射光量の寄与率45%を乗ずると、Grayの光吸収率は、99.4%となり、明るさは9 lxとわずかである。Whiteは、光吸収率が91.72%となり、明るさは124.2 lxとなる。

計算値と実測値の誤差は、計算値を単一光として入射光寄与率という方法で検討したことによると考えられる。Blackは、ほぼ光が吸収され、Whiteでも80%吸収されてしまうことになる。実際に光は、垂直入射 ($90^\circ - \alpha/2$)、45°, 60°とその他の角度から光が入射し、反射を繰り返している。また、糸開き幅 W もランダムな組み合わせであり、その反射位置の深さは、表7のように変化する。今回、計算上では、White, Gray, Blackのニュートラル色についてのみ検討したが、カーペットの色によっても、様々に変化すると考えられる。入射角度、入射位置、糸開き幅、色などを考慮して、全体の入射光を考えれば、ボンテン表面から5mm下がった深さの明るさは、実測値の様に約50%吸収されたことになる。

4. 結 論

本研究において次のようなことがわかった。

- 1) カーペットの糸側面集合体の色よりも、糸断面集合体の色が濃色なのは、彩度よりも明るさがカーペットの色にかかわる。
- 2) 我々がカーペットを見るときは、糸の断面だけでなく、糸と糸の陰影など、トータルとしてカーペ

ットを見ている。つまり、この陰影および光吸収がカーペットの色が糸側面集合体よりも、濃色に見える要因として考えられる。

- 3) 我々が実際にカーペットを見るように非接触で、ボンテン表面照度を750 lxで測色した場合、Y値は糸側面集合体の明るさに相当することがわかった。
- 4) カーペットの内部の明るさを、ボンテン・モデルを用いて、計算から照度変化を求めてみると、光の入射角が大きいほど、ボンテン内部へ光は進入せず、表面から5mmの深さまでに、反射吸収されてしまう。真上から光を入射した場合が最もボンテン内部に光は進入する。それは、特にカーペット糸のY値が大きいものほど顕著であることがわかった。
- 5) 照度センサーを用いてボンテン内部の照度を測定した場合、センサーの深さをボンテン表面から下げるほど照度も低下し、5mm下げると約50%、10mm下げると約90%低下することがわかった。実際に我々がカーペットを見る場合、光はあらゆる角度から入射・反射を繰り返し、糸の陰影および光の吸収が行われている。これらが影響し合った状態を我々はカーペットの色として知覚している。そのため、明るさY値とカーペットの色は、大きく関係していることが確認された。

本研究は、日本繊維機械学会第49回、第50回年次大会研究発表会で発表した内容を主にまとめたものである。

参考文献

- 1) Japan Carpet Association ; "Carpet Handbook" p. 64, Japan Carpet Association, (1992)
- 2) Isikawa, Yobiko, Nezu, Mishima, Sakai and Kato; Technology Research Institute of Osaka Prefecture Report 6 (1973)
- 3) T. Gunji, K. Nihira and T. Tuboi ; J. Text. Mach. Soc. Japan (Japanese Ed), 24, T33 (1971)
- 4) Color Science Association of Japan ; "Sinpan Sikisai Kagaku Handbook", University of Tokyo Press, (1980)
- 5) I. Maekawa, T. Gunji and T. Tuboi ; J. Text. Mach. Soc. Japan (Japanese Ed), 35, T117 (1982)
- 6) H. Hasunuma ; "Kotaku", Corona Publishing Co. LTD. (1961)
- 7) T. Uehara ; "Hikari to Shomei eno Sasoi", Nihon Riko Shuppankai, (1994)