金子 治 館 和男 花田千代美 田中宗男

The Color of The Skin and its Spectral Reflectance as a Function of Correlated Tristimulus Values

Osamu Kaneko, Kazuo Tate, Chiyomi Hanada and Muneo Tanaka

Spectrophotometric measurements on the colors of Japanese women's skins ranging from 19 to 47 years of age were carried out by means of the Hitachi Color Analyzer Model 607.

The color of each subject's skin was measured after the removal of any make-up.

- (1) The average colors of the skins (forehead, cheek and lower lip) in Munsell renotation system were 3.5 YR 6.0/3.8, 1.6 YR 6.3/3.9, 7.6 R 5.5/4.3, respectively.
- (2) A principal component analysis was made on the spectral reflectances of the skins; it was found that by the first three principal components, the variances of the spectral reflectances on the colors of the foreheads, the cheeks and the lower lips were explained at 98.1%, 97.2%, 98.0%, respectively.
- (3) From the mean of the spectral reflectances of the skins and their first three characteristic vectors, the spectral reflectance curves were reconstituted by the scalar multiples of the characteristic vectors as a function of correlated tristimulus values.

The figure of the reconstituted spectral reflectance curves was compared with the curve obtained by the practical measurement at the same tristimulus values.

They have shown good agreement.

- (4) The spectral reflectance curves of the metameric colors on the skins, in which a corresponding tristimulus values are the same but the spectral compositions are different, were reconstituted by the linear combination of the first six characteristic vectors and the mean spectral reflectance.

1. 緒 言

皮膚色の測定は、従来から数多くおこなわれてきた。その中でも、顔の各部位についてのデータ採取の報告¹⁻⁷⁾は数多くなされ、その結果、顔の各部位の色とその分布範囲は、ほぼ把握できるまでになっていると考えられる。しかしながら、個々の部位の分光反射率に関する実体把握は、まだ充分におこなわれていないようである。

一方メイクアップ化粧品の色調設計に際して、皮膚色

の分光反射率に関する詳細な情報は、必要不可欠な情報であると言える。

そこで、

① 個々の皮膚色の分光反射率を測定すると共に、それら分光反射率がどのような構成要素から成立しているかを明らかにする。

② 皮膚色の分布領域内の任意の点の分光反射率をすみやかに入手できる態勢を確立する。又、同一の3刺激値を示す皮膚色において、分光反射率の異なるケース、即ち、条件等色をおこしているケースについても、数学的に合成再現し、その中味を検討する。

ということを研究課題として、以下に記すような作業をおこない、若干の知見を得たので報告する。

資生堂研究所 横浜市港北区新羽町1050
Shiseido Laboratories

1050 Nippa-cho, Kohoku-ku, Yokohama-shi 233
Japan.

なお、本報では、皮膚色として、額・頬・唇の色を検討対象としているが、以下一括して「皮膚色」と称することにする。

2. データ採取：その実施内容

今回実施した皮膚色データ採取の、実施内容を表1に示す。

表1 データ採取：その実施内容の概略

1. パネル	資生堂女子社員 61~62人 (額・頬: 62人, 唇: 61人) 年齢 19~47才
2. 測定部位	額・頬・唇の3部位
3. 測定器	日立カラーアナライザー 607 型 n=3 (唇のみ1部 n=2)

結果として、380nm~780nm (10nm 間隔) 41 波長点の分光反射率データが、額・頬の色について、それぞれ、186個、唇の色について=179個、得られた。

なお、唇(下唇)の色の測定にあたっては、縦8mm 横20mmのマスクを積分球開口部にはりつけて測定を実施した。又、額・頬・唇の色の、いずれの測定の場合

も、メイクアップはすべておとした状態で、分光反射率を測定している。

3. 結 果

3.1 皮膚色の平均値とその分布範囲

得られた分光反射率データをマンセル値に変換して、その平均値を求めてみると、以下の如くであった。

額の色の平均値 3.5 YR 6.0/3.8

頬の色の平均値 1.6 YR 6.3/3.9

唇の色の平均値 7.6 R 5.5/4.3

その分布図を、図1として示す。

3.2 皮膚色の分光反射率を構成する基本成分の推定

図2に、今回得られた額の色の分光反射率の平均値とパネル(S.A)の額の色の分光反射率をしめす。

図2において、波長500nmにおける額の色の平均の分光反射率と、パネル(S.A)の額の色の分光反射率の差は、 $\Delta R_{500} = 10.2\%$ である。

ここでは、このような分光反射率差が、どのような構成要素から成り立っているかを検討する。

図2に示した分光反射率差が発生するにあたって「いくつかの構成要素が関与している」と仮定し、一般にこの分光反射率差を ΔR_i とすると、(1)式のかたちで書き

図1 今回得られた皮膚色の分布図(くり返し測定の平均値をプロット)

図2 額の色の分光反射率の平均値とパネル(S.A.)の額の色の分光反射率の実測値

あらわすことができる。

$$\Delta R_{\lambda} = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

ここで、 $x_1, x_2, \dots, x_n$ は基本成分（構成要素）を表わす。

ところで、(1)式で示した関数形の中味は未知である。ここでは線形構造を仮定し、こうした構造を考えた場合の反射率差 ΔR_{λ} を構成する基本成分を推定することにする。

この問題は、行列の固有値、固有ベクトルの問題に帰着する。即ち、主成分分析を行なえばよいことになる。

上記した主旨に従って、今回得られた皮膚色の分光反射率の、波長間分散・共分散行列の固有方程式を解いて固有値、固有ベクトル（本報では、以下この固有ベクトルのことことを、基本成分と称する）を求めた。

この場合、 ΔR_{λ} は次のような線形式で表示される。

$$\Delta R_{\lambda} = \sum_{i=1}^n M_i V_{i,\lambda} \quad (2)$$

ここで

M_i : 第 i 基本成分に対する重み

$V_{i,\lambda}$: 波長 λ における第 i 基本成分

故に、各パネルの、各波長における皮膚色の分光反射率は、一般に

$$R_{\lambda} = \bar{R}_{\lambda} + \Delta R_{\lambda} = \bar{R}_{\lambda} + \sum_{i=1}^n M_i V_{i,\lambda} \quad (3)$$

ここで

R_{λ} : 波長 λ における皮膚色の分光反射率

$\bar{R}_{\lambda}$: 波長 λ における皮膚色の分光反射率の平均値

と書きあらわすことができる。

今回採取した皮膚色の分光反射率の、波長間分散・共分散行列の固有値及び累積寄与率を表2に示す。

表2 固有値及び累積寄与率

	主成分	固有値	累積寄与率
額	1	268.6	87.9%
	2	19.5	94.3
	3	11.8	98.1
頬	1	217.6	82.4
	2	25.5	92.1
	3	13.5	97.2
唇	1	353.7	86.3
	2	33.7	94.5
	3	14.2	98.0

表2から、皮膚色の分光反射率の変動（個人差）は、2～3の主成分をとりあげれば、ほぼ説明ができることがわかる。

表2に示した個々の固有値に対応する固有ベクトル（前述したように本報における基本成分。なお、第1主成分を求めるための係数を第1基本成分。第2主成分を求めるための係数を第2基本成分。以下、第 i 主成分を求めるための係数を第 i 基本成分という）をグラフ化して図3に示す。図3には、第1基本成分、第2基本成分のみを图示した。

以上のことから、今回対象とした皮膚色の分光反射率の個人差は、図3に示した第1、第2（ないしは第3）基本成分のもちあわせ量（重み M_i ）が、個人ごとに異なることに基づくと考えて、ほぼ問題がないといえる。

いま仮に、第3基本成分までをとりあつかい対象とすると、(3)式は(4)式の如くとなる。

$$R_{\lambda} = \bar{R}_{\lambda} + M_1 V_{1,\lambda} + M_2 V_{2,\lambda} + M_3 V_{3,\lambda} \quad (4)$$

ここで

M_1, M_2, M_3 : 第1, 第2, 第3基本成分に対する重み

$V_{1,\lambda}, V_{2,\lambda}, V_{3,\lambda}$: 波長 λ における第1, 第2, 第3基本成分

図3 額, 頬, 唇の3部位の色を構成する基本成分

ここで, これら基本成分の発生が何に由来するのかを考えてみると, 第1基本成分はほぼ血液の色に起因すると思えるのが妥当であると思われる。

因に, 図3に示した第1基本成分にみられる吸収帯は酸化ヘモグロビンによってもたらされる吸収帯⁹⁾, 417 nm, 548 nm, 578 nm と一致する。

従って, 表2からわかるように皮膚色の分光反射率の変動(個人差)の82.4%~87.9%は, 血液の色の反映度合いをその源としていえることができる。

しかしながら, 第2, 第3基本成分の発生原因は, 今のところ不明である。

3.3 皮膚色の分光反射率の合成

緒言でも述べたように, 今回の, あるいは従来おこなわれてきた皮膚色の測定結果から, 皮膚色の分布範囲は把握できるわけだが, その分布領域の任意の1点の分光反射率は, 偶然にその1点にかさなる測定例がなければ知ることはできない。

ここでは, 皮膚色の分布領域内の任意の点の分光反射率がすみやかに入手できる態勢づくりの確立をはかる。

表2に示したように, 皮膚色の分光反射率の変動は, 第1, 第2, 第3主成分を取りあげることによって97.2%~98.1%, 説明できる。この説明量は非常に大きいと考えられるので, これら3つの主成分を用いて, 皮膚色

の分光反射率を合成することを考えた。なお, 3つの主成分を取りあげたもう1つの理由として, 後記する(8)式即ち3元1次連立方程式を解くことによって必要な値を求めようとしたことがあげられる。

分光分布の合成に関する報告としては, とともに任意の色度点と分光分布とを対応させた, CIE 合成昼光に関する Judd 等の報告⁹⁾, けい光灯の分光分布の合成に関する納谷等の報告¹⁰⁾がある。

ここでは, 皮膚色の分布領域内の任意の1点をしめす3刺激値 X, Y, Z と, 皮膚色の分光反射率の結びつけを考え, 当該皮膚色の分光反射率を合成する。

なお, 本報において対象としている皮膚色の中で, 唇の色の分光反射率の合成についてはすでに報告¹¹⁾した。他の皮膚色, 即ち額の色, 頬の色の分光反射率の合成もまったく同じ手順をとったので, 以下合成過程を再録する。皮膚色の3刺激値 X, Y, Z は, (5)式のかたちで書きあらわされる。

$$\left. \begin{aligned} X &= \sum E_{\lambda} R_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} d_{\lambda} \\ Y &= \sum E_{\lambda} R_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} d_{\lambda} \\ Z &= \sum E_{\lambda} R_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} d_{\lambda} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

なお, (5)式における E_{λ} は C 光源を, $\bar{x}_{\lambda}, \bar{y}_{\lambda}, \bar{z}_{\lambda}$ は1931年 CIE 標準観測者のスペクトル3刺激値を意味する。

(4)式を(5)式に代入すると、(6)式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} X &= \sum (\bar{R}_i + M_1 V_{1,i} + M_2 V_{2,i} + M_3 V_{3,i}) E_i \bar{x}_i d_i \\ Y &= \sum (\bar{R}_i + M_1 V_{1,i} + M_2 V_{2,i} + M_3 V_{3,i}) E_i \bar{y}_i d_i \\ Z &= \sum (\bar{R}_i + M_1 V_{1,i} + M_2 V_{2,i} + M_3 V_{3,i}) E_i \bar{z}_i d_i \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

(6)式は、(7)式のかたちに書きかえることができる。

$$\left. \begin{aligned} X &= X_0 + M_1 X_1 + M_2 X_2 + M_3 X_3 \\ Y &= Y_0 + M_1 Y_1 + M_2 Y_2 + M_3 Y_3 \\ Z &= Z_0 + M_1 Y_1 + M_2 Y_2 + M_3 Z_3 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ここで、 X_0 , Y_0 , Z_0 は皮膚色の分光反射率の 平均値
によってもたらされる 3 刺激値であり、 X_1 , Y_1 , Z_1 ,
 X_2 , Y_2 , Z_2 , X_3 , Y_3 , Z_3 は、第 1, 第 2, 第 3 基本成

分によってもたらされる 3 刺激値である。

例えば、 $X_1 = \sum V_{1,i} E_i \bar{x}_i d_i$ $Y_1 = \sum V_{1,i} E_i \bar{y}_i d_i$
 $Z_1 = \sum V_{1,i} E_i \bar{z}_i d_i$ である。

$X' = (X - X_0)$, $Y' = (Y - Y_0)$, $Z' = (Z - Z_0)$ において、
(7)式を書きかえて、(8)式とする。

$$\left. \begin{aligned} X' &= M_1 X_1 + M_2 X_2 + M_3 X_3 \\ Y' &= M_1 Y_1 + M_2 Y_2 + M_3 Y_3 \\ Z' &= M_1 Z_1 + M_2 Z_2 + M_3 Z_3 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

(8)式において、未知数は M_1 , M_2 , M_3 のみである。
そこで、 M_1 , M_2 , M_3 について、(8)式を解くと、(9)式
が得られる。

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \frac{X' Y_2 Z_3 + Y' Z_2 X_3 + Z' X_2 Y_3 - X' Z_2 Y_3 - Y' X_2 Z_3 - Z' Y_2 X_3}{X_1 Y_2 Z_3 + Y_1 Z_2 X_3 + Z_1 X_2 Y_3 - X_1 Z_2 Y_3 - Y_1 X_2 Z_3 - Z_1 Y_2 X_3} \\ M_2 &= \frac{Y' X_1 Z_3 + Z' Y_1 X_3 + X' Z_1 Y_3 - X' Z_1 Y_3 - Y' X_1 Z_3 - Y' Z_1 X_3}{X_1 Y_2 Z_3 + Y_1 Z_2 X_3 + Z_1 X_2 Y_3 - X_1 Z_2 Y_3 - Y_1 X_2 Z_3 - Z_1 Y_2 X_3} \\ M_3 &= \frac{Z' X_1 Y_2 + X' Y_1 Z_2 + Y' Z_1 X_2 - Y' X_1 Z_2 - Z' Y_1 X_2 - X' Z_1 Y_2}{X_1 Y_2 Z_3 + Y_1 Z_2 X_3 + Z_1 X_2 Y_3 - X_1 Z_2 Y_3 - Y_1 X_2 Z_3 - Z_1 Y_2 X_3} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

今回得られた 皮膚色の 分光反射率の平均値、並びに第 1, 第 2, 第 3 基本成分を表 3, 表 4, 表 5 に示す。

表 3 額の色の分光反射率の平均値並びに第 1, 第 2, 第 3 基本成分

WAVELENGTH (nm)	MEAN	V1	V2	V3
380	12.39	0.13042	-0.04441	0.28451
390	13.59	0.13462	-0.05876	0.26970
400	14.29	0.13215	-0.07267	0.23333
410	14.52	0.12456	-0.08207	0.19684
420	14.81	0.11968	-0.08756	0.16404
430	15.84	0.12467	-0.09589	0.14961
440	17.84	0.14020	-0.10794	0.14986
450	19.69	0.15106	-0.11262	0.17194
460	21.12	0.15680	-0.11234	0.18804
470	22.39	0.16114	-0.11006	0.18851
480	23.28	0.16205	-0.10668	0.18269
490	24.29	0.16527	-0.11194	0.17513
500	25.72	0.17131	-0.11547	0.14006
510	26.99	0.17569	-0.11363	0.07977
520	27.21	0.17420	-0.13684	-0.01076
530	26.11	0.16335	-0.17976	-0.10891
540	25.49	0.15675	-0.20814	-0.17550
550	26.08	0.15750	-0.21123	-0.21091
560	26.96	0.15982	-0.20709	-0.23043
570	26.78	0.15370	-0.23249	-0.28583
580	26.86	0.14918	-0.24161	-0.31403
590	32.79	0.17726	-0.16918	-0.28437
600	39.38	0.19790	-0.03469	-0.15461
610	43.85	0.20032	0.05478	-0.05036
620	46.59	0.19803	0.10543	-0.00110
630	48.50	0.19396	0.13470	0.01247
640	50.01	0.18923	0.15608	0.01392
650	51.25	0.18442	0.16895	0.00359
660	52.31	0.17811	0.17874	-0.00565
670	53.33	0.17129	0.18656	-0.00749
680	54.38	0.16433	0.19086	-0.00789
690	55.34	0.15701	0.19492	-0.00167
700	56.08	0.15017	0.20056	-0.00474
710	56.53	0.14298	0.20034	-0.01361
720	56.74	0.13689	0.19636	-0.02335
730	56.68	0.12991	0.19327	-0.04312
740	56.37	0.12550	0.18806	-0.06339
750	56.14	0.12141	0.18256	-0.09406
760	55.89	0.11737	0.17706	-0.11780
770	56.03	0.11331	0.17413	-0.12758
780	56.30	0.10725	0.17119	-0.12899

表 4 頬の色の分光反射率の平均値並びに第 1, 第 2, 第 3 基本成分

WAVELENGTH (nm)	MEAN	V1	V2	V3
380	14.62	0.15405	-0.11712	-0.32301
390	16.20	0.15916	-0.09730	-0.30386
400	17.23	0.15475	-0.06784	-0.27205
410	17.70	0.14335	-0.03416	-0.23025
420	18.15	0.13578	-0.00923	-0.19369
430	19.35	0.13933	0.00639	-0.18010
440	21.54	0.15476	0.02564	-0.17933
450	23.44	0.16769	0.03047	-0.16187
460	24.91	0.17509	0.03060	-0.14953
470	26.26	0.18029	0.02939	-0.13669
480	27.23	0.18232	0.03235	-0.12767
490	28.23	0.18329	0.03923	-0.11048
500	29.62	0.18488	0.05910	-0.08324
510	30.82	0.18778	0.08449	-0.05200
520	30.74	0.18416	0.13782	0.00032
530	29.14	0.17285	0.21008	0.05263
540	28.28	0.16397	0.25207	0.08415
550	28.94	0.16420	0.26059	0.09295
560	29.94	0.16562	0.26720	0.11245
570	29.34	0.16058	0.30872	0.14358
580	29.21	0.15813	0.32662	0.16921
590	36.23	0.18626	0.25738	0.17438
600	44.97	0.19690	0.06884	0.07203
610	50.39	0.19243	-0.06513	0.02559
620	53.33	0.18429	-0.12717	0.01007
630	55.22	0.17602	-0.15214	0.01420
640	56.65	0.16721	-0.17228	0.02279
650	57.77	0.16006	-0.17948	0.03755
660	58.72	0.15243	-0.18216	0.05083
670	59.54	0.14620	-0.18235	0.07226
680	60.34	0.14035	-0.18468	0.09154
690	61.04	0.13206	-0.17961	0.10621
700	61.56	0.12801	-0.17999	0.12554
710	61.82	0.12210	-0.17289	0.14385
720	61.85	0.11669	-0.16035	0.15831
730	61.63	0.11239	-0.14952	0.17390
740	61.26	0.10644	-0.13501	0.18757
750	61.01	0.10430	-0.12392	0.20257
760	60.72	0.10244	-0.11509	0.21333
770	60.87	0.10099	-0.10323	0.22749
780	61.06	0.09972	-0.09603	0.23913

表5 唇の色の分光反射率の平均値並びに第1, 第2, 第3基本成分

WAVELENGTH (nm)	MEAN	V1	V2	V3
380	15.22	0.05447	-0.01766	-0.20379
390	15.46	0.05381	-0.03041	-0.16456
400	15.39	0.05010	-0.04266	-0.12606
410	15.22	0.04620	-0.04764	-0.09142
420	15.16	0.04526	-0.05220	-0.07214
430	15.62	0.04845	-0.06418	-0.06949
440	16.60	0.05977	-0.09419	-0.08234
450	17.67	0.07129	-0.12102	-0.10156
460	18.52	0.08194	-0.14176	-0.11131
470	19.32	0.09070	-0.15472	-0.12050
480	19.81	0.10004	-0.16828	-0.11984
490	20.17	0.10647	-0.18208	-0.11430
500	21.01	0.11430	-0.19955	-0.10223
510	21.68	0.12196	-0.21649	-0.07899
520	21.40	0.11890	-0.23740	-0.02486
530	19.99	0.10104	-0.24369	0.04173
540	19.25	0.08911	-0.23618	0.08047
550	19.62	0.09134	-0.24146	0.09823
560	20.83	0.09861	-0.25402	0.10075
570	20.30	0.09281	-0.26249	0.12536
580	19.68	0.08357	-0.25954	0.18438
590	24.63	0.12774	-0.26992	0.12972
600	32.64	0.17710	-0.18328	-0.00184
610	39.10	0.20214	-0.07576	-0.12056
620	42.89	0.21129	-0.00114	-0.18973
630	45.73	0.21485	0.05475	-0.21815
640	47.88	0.21696	0.09242	-0.22003
650	49.57	0.21569	0.11958	-0.20345
660	50.85	0.21566	0.13706	-0.18316
670	51.93	0.21713	0.14888	-0.14203
680	52.99	0.21717	0.15190	-0.09206
690	53.97	0.21549	0.15620	-0.05512
700	54.63	0.21449	0.15360	-0.00901
710	54.88	0.21232	0.15135	0.03973
720	54.83	0.20950	0.13492	0.09386
730	54.58	0.20675	0.12625	0.14138
740	54.12	0.20613	0.10993	0.20404
750	53.74	0.20486	0.09352	0.25266
760	53.14	0.20083	0.08386	0.29543
770	52.78	0.20088	0.06539	0.32838
780	53.10	0.20787	0.04767	0.36001

個々の皮膚色について、それぞれ別個に、 $X_0, Y_0, Z_0, X_1, Y_1, Z_1, X_2, Y_2, Z_2, X_3, Y_3, Z_3$ を求めて(9)式に代入すると、(10), (11), (12) 式が得られる。

なお、(10), (11), (12) における3刺激値 X, Y, Z は、%表示である。

すでに知られている皮膚色の分布領域内の1点をしめす3刺激値 X, Y, Z から、当該部位の分光反射率を合成するには

- ① 当該部位の3刺激値 X, Y, Z を

額の場合には、(10)式に
 頬の場合には、(11)式に
 唇の場合には、(12)式に
 それぞれ代入する。

- ② 得られた M_1, M_2, M_3 を、(4)式に代入する。

以上の手順を踏むことによって、当該部位の分光反射率を合成することができる。

なお、実用に除しては、IBM call システムを利用している。

上記した方法に従って、個々の皮膚色の分光反射率の合成を試みたが、唇の色については前述したようにすでに報告したのでここでは、額、頬の色の分光反射率の合成例を図4、図5に示す。

額の色の分光反射率に関する M_1, M_2, M_3 を求める式。

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \frac{-0.043712X + 0.025274Y - 0.002530Z + 0.722444}{-0.003515} \\ M_2 &= \frac{-0.055502X + 0.047881Y + 0.007113Z + 0.200314}{-0.003515} \\ M_3 &= \frac{0.003117X + 0.008433Y - 0.011032Z + 0.094226}{-0.003515} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

頬の色の分光反射率に関する M_1, M_2, M_3 を求める式。

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \frac{-0.032566X + 0.016339Y - 0.000679Z + 0.668126}{-0.002803} \\ M_2 &= \frac{0.043887X - 0.037677Y - 0.004526Z - 0.221150}{-0.002803} \\ M_3 &= \frac{-0.027257X + 0.010918Y - 0.013883Z + 0.247803}{-0.002803} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

唇の色の分光反射率に関する M_1, M_2, M_3 を求める式。

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \frac{0.027158X - 0.012221Y - 0.007972Z - 0.292640}{0.001420} \\ M_2 &= \frac{0.015937X - 0.013166Y - 0.006057Z - 0.002568}{0.001420} \\ M_3 &= \frac{0.000719X + 0.007298Y - 0.010841Z + 0.031944}{0.001420} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

図4 分光反射率の系統的な相違に基づく頬の色の分類結果（左図）と当該分類領域の頬の色の分光反射率の合成例（右図）を示す。

図5 分光反射率の系統的な相違に基づく頬の色の分類結果（左図）と当該分類領域の頬の色の分光反射率の合成例（右図）を示す。

図4、図5の左側の図は、すでに報告¹¹⁾した、系統的な分光反射率の相違に基づく皮膚色の分類という方法によって、9つに分類した皮膚色の分類領域を大雑把に

示したものである。

ただし、それぞれの分類領域は、今回得られた皮膚色の分布範囲内におさまるように、中心方向に圧縮されて

いる。

又、圧縮の度合いも一率ではない。

右側の図は、左図 A, C, E, G の領域に該当する皮膚色の合成分光反射率をグラフ化したものである。

以上のようにして代表的な皮膚色とその合成分光反射率が得られた。

なお、本報においては額、頬、唇の色の分光反射率をそれぞれ別個の式を用いて合成しているが、1つにまとめることも当然可能である。

3.4 条件等色をおこしている皮膚色の分光反射率の合成

表2からわかるように、第1、第2、第3主成分によって説明される分光反射率の変動は、額・頬・唇の色に関して、それぞれ、98.1%、97.2%、98.0%と非常に高い。従って合成した分光反射率の再現性は、非常に高いと予測される。事実、実測することによって得られた皮膚色の3刺激値 X, Y, Z を用いて当該部位の合成分光反射率を求め、実測した分光反射率と対応させると、きわめて良好な一致をしめしていた。1例を図6に示す。

しかしながら、上記した数字からわかるように、1.9

%, 2.3%, 2.0% という分光反射率の変動は未説明量として残されている。

事実、個々のパネルについて基本成分のもちあわせ量 (M_i) を調べてみると、第4基本成分以下の基本成分のもち合せ量が比較的大きいパネルの存在が散見される。従って大部分の皮膚色の分光反射率は、第1、第2、第3基本成分から構成されているといえるが、中には、第4基本成分以下の基本成分が、分光反射率の構成要素として働いている皮膚色が存在していることになる。

このことは、3刺激値 X, Y, Z は同じだが、分光反射率の異なる皮膚色が存在することを意味している。

ここでは上記した未説明量として残されている変動部分もとりあげることによって、同じ3刺激値をもちながら分光反射率が異なるという皮膚色の実体を明らかにする。表6に第4主成分以下の固有値、寄与率をしめす。

表6からわかるように、第7主成分の寄与率は0.1%と小さい。そこでこれを無視するとして、ここでは第4、第5、第6主成分を検討対象とする。

第4、第5、第6主成分を求めるための係数、即ち、第4、第5、第6基本成分が関与することによって、分

図6 パネル (C.H.) の額の色の分光反射率曲線。実線は実測値、点線は合成値。

表6 固有値及び寄与率。()内は累積寄与率。

	主成分	固有値	寄与率
額	4	2.2	0.7 (98.8)
	5	2.1	0.7 (99.5)
	6	0.5	0.2 (99.7)
	7	0.2	0.1 (99.8)
頬	4	3.2	1.2 (98.4)
	5	2.1	0.8 (99.2)
	6	0.7	0.3 (99.5)
	7	0.4	0.1 (99.6)
唇	4	3.4	0.8 (98.8)
	5	2.2	0.6 (99.4)
	6	0.8	0.2 (99.6)
	7	0.5	0.1 (99.7)

光反射率がどうかわるかは、第4、第5、第6基本成分のもちあわせ量、 M_4 、 M_5 、 M_6 によって構成される3次元空間の任意の1点の分光反射率が同定できれば明らかにされる。勿論、 M_4 、 M_5 、 M_6 の値を設定することできまる M_1 、 M_2 、 M_3 の値も関与するわけで、正確には6次元空間の1点となるわけだが、ここではこのようなかたちで記述をすすめる。

このことは当然ながら、条件等色している無限個の分光反射率データが得られることを意味している。

図7 M_4 、 M_5 、 M_6 によって構成される3次元空間と今回合成した条件等色している分光反射率データの位置(●印)を示す。

M_4 、 M_5 、 M_6 によって構成される3次元空間は、3変量正規分布に従う楕円体となるわけだが、ここでは便宜的に、図7に示すように、 M_4 、 M_5 、 M_6 の変動の大きさを、縦、横、高さとした直方体として表示する。

M_4 、 M_5 、 M_6 の変動の大きさは、表6の固有値から求めることができる。即ち、第4、第5、第6主成分の固有値の平方根は、それぞれ M_4 、 M_5 、 M_6 の変動の標準偏差をあらわしている。但し、図7の M_4 、 M_5 、 M_6 の長さは実際の M_4 、 M_5 、 M_6 の大きさと比例させてない。

ここでは、これも便宜的に $\pm 2\sigma$ の値をもって、 M_4 、 M_5 、 M_6 の変動の大きさとする。

前述したように、同じ3刺激値 X 、 Y 、 Z をとる皮膚色の分光反射率データは無限個存在するわけだが、その代表例として M_4 、 M_5 、 M_6 が、それぞれ正負の最大値をとる26ケースに、 M_4 、 M_5 、 M_6 が共に零をとるケースを加え27計ケースの分光反射率を合成し、検討を加えることにする。

M_4 、 M_5 、 M_6 が任意の値をとるとき、 M_1 、 M_2 、 M_3 がどのような値をとるかということは、次の方法で求めた。

ここでは、第4、第5、第6基本成分も対象としているので、(4)式をかきかえて、(13)式とする。

$$R_{\lambda} = \bar{R}_{\lambda} + M_1 V_{1,\lambda} + M_2 V_{2,\lambda} + M_3 V_{3,\lambda} + M_4 V_{4,\lambda} + M_5 V_{5,\lambda} + M_6 V_{6,\lambda} \quad (13)$$

(5)式に、(13)式を代入し、(7)式にならって書きかえると(14)式の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} X &= X_0 + M_1 X_1 + M_2 X_2 + M_3 X_3 + M_4 X_4 + M_5 X_5 + M_6 X_6 \\ Y &= Y_0 + M_1 Y_1 + M_2 Y_2 + M_3 Y_3 + M_4 Y_4 + M_5 Y_5 + M_6 Y_6 \\ Z &= Z_0 + M_1 Z_1 + M_2 Z_2 + M_3 Z_3 + M_4 Z_4 + M_5 Z_5 + M_6 Z_6 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

次に

$$\left. \begin{aligned} X' &= (X - X_0 - M_4 X_4 - M_5 X_5 - M_6 X_6) \\ Y' &= (Y - Y_0 - M_4 Y_4 - M_5 Y_5 - M_6 Y_6) \\ Z' &= (Z - Z_0 - M_4 Z_4 - M_5 Z_5 - M_6 Z_6) \end{aligned} \right\} \text{と} \text{おいて}$$

(14)式を書きかえ、(8)式のかたちにする。このあと、 M_1 、 M_2 、 M_3 を未知数として(9)式をうるのは、前記したとおりである。

従って、3刺激値 X 、 Y 、 Z と M_4 、 M_5 、 M_6 の値を設定すれば、 M_1 、 M_2 、 M_3 がもとまり、これらを(13)式

に代入することで条件等色している皮膚色の分光反射率を合成することができる。

上記した手続きで、条件等色している分光反射率データ27ケースを各部位の皮膚色について合成した。

用いた3刺激値 X, Y, Z は、今回得られた額・頬・唇の色の分光反射率の平均値から求めた3刺激値 X, Y, Z である。これを表7に示す。

表7 条件等色している27ケースの分光反射率データを求める際に用いた3部位の3刺激値(%表示)

	X	Y	Z
額	32.50	29.99	23.57
頬	36.82	33.66	27.97
唇	27.87	24.22	21.10

得られた額の色に関する合成分光反射率のデータ例を図8に示す。

図8 条件等色としている額の色の分光反射率の合成例

図8に示した分光反射率の各波長点におけるふれ幅をみると、その大きさに違いがみられる。ここではこの点に着目して条件等色の発生原因を検討する。

合成した27ケースの分光反射率の各波長点における最大値、最小値をぬきだしグラフ化すると、図8に酷似した図が得られる。そこで新しく挿図することなしに図8で代用する。

まず図8において、反射率のふれ幅の大きい波長領域を短波長側からA, B, C, Dと名づけておく。次に、各波長点の分光反射率の関連性をみるために、380 nm～780 nm (20 nm 間隔) 間の21波長点に550 nm (酸化ヘモグロビン548 nmの吸収帯に近いので)の波長点を加えた計22の波長点の合成分光反射率データを主成分分析した。

バリマックス回転後の因子負荷量を基に各波長点における合成分光反射率の相関度合いを額の色についてみると、図9の如くとなる。なお、図9と酷似した図が頬、唇の色の合成分光反射率データについても得られている。

図9 第1, 第2主成分との相関係数(因子負荷量)を基に位置づけた各波長位置

図9から次のことが言える。

- ① 図8に示したA, C波長領域の分光反射率とB波長領域の分光反射率間には負の相関がある。
- ② A, B, C波長領域の分光反射率とD波長領域の分光反射率間には相関がなく、互いに独立である。

ところで、①に記した内容を模式化すると図10に示した2つの曲線(点線と実線)に集約される。

図10 条件等色している額の色の分光反射率曲線の典型的な形を模式化した図

図10に示した分光反射率曲線が発生する原因は主として、皮膚表面から血管網までの距離の個人差と皮膚色素の両者に由来する皮膚の光学特性（光の透過度や散乱度）の変化、並びに酸化ヘモグロビンによる吸収に起因すると推察される。

一方②の現象の発生原因は、①の現象の発生原因とは別個のものが作用していると考えられるが、その発生機軸は、いまのところ不明である。しかし、赤血球浮游液の反射特性の測定結果にみられる760nm近辺の吸収や赤血球濃度と反射率（660nm）の間に直線関係が成立しないという報告¹²⁾は興味深いものがある。更に水分による吸収¹³⁾とされるほぼ同じ波長域の吸収も同様に興味深い。

このようにみえてくると、皮膚色分布図上で明らかに異なる点に位置する皮膚色の個人差の発生原因と条件等色をおこさせる原因との間に、決定的に異なるものは見い出せない。今後更に解剖学的、組織学的立場からの検討が必要とされる。

4. ま と め

皮膚色（額・頬・唇）の分光反射率を測定すると共に線形式のかたちで分光反射率を表示することを試みた。

更に皮膚色の分布領域内の任意の点の分光反射率を合成できるようにした。

又、条件等色している皮膚色の分光反射率を合成し、その中味に吟味を加えた。

5. 参 考 文 献

- 1) A. Izawa : Acta Chromatica 2, 147 (1972)
- 2) 丸井昌夫 : 口腔病学会誌 35, 3 (1968)
- 3) 木曾山かね, 古元千鶴子, 鈴木朋次郎, 雲田直子 : 家政学雑誌 26, 57 (1975)
- 4) 木曾山かね, 永井垣子 : 家政学雑誌 26, 149 (1975)
- 5) 木曾山かね, 小関きみ, 鈴木朋次郎, 雲田直子 : 家政学会誌 : 26, 154 (1975)
- 6) 森 於菟, 徳橋 正, 松田直行, 渥美和郎, 米田政彌, 市川和子 : 東那医学会雑誌 3, 5 (1956)
- 7) 湯浅正治, 森田一二, 金子晶子 : 日本化粧品技術者会会誌 10, 34 (1976)
- 8) E. A. Edwards et al. : J. invest. Derm. 16, 311 (1951)
- 9) D. B. Judd et al. : J. Opt. Soc. Am. 54, 1031 (1964)
- 10) 納谷嘉信, 栗岡 豊, 側垣博明 : 照明学会雑誌 55 481 (1971)
- 11) 金子 治, 花田千代美, 田中宗男 : 日本色彩学会誌に投稿中
- 12) 谷 彰 : 四国医誌 14, 35 (1959)
- 13) J. A. Jacquey et al. : J. appl. Physiol. 8, 297 (1955)

(昭和53年6月12日受理)