第七十三巻第四号　人類学雑誌　昭和四十年十二月

双生児の一資料における皮膚反射率の測定*

尾本恵市

緒言

ヒトの皮膚色を純客観的且つ簡便に記録する方法として，比較的小型の光電反射計による皮膚反射率の測定は現在のところ最も適当な手段と考えられる。ヒトの皮膚色変異に特に重要な役割を果しているのは表皮基層のメラニン色素であることは，今日広く認められている（EDWARDS & DUNTLEY, 1939)。メラニンは可視光部では特に著しい吸収帯を持たず，HARRISON & OWEN (1959) によれば，どの波長部にても反射率の逆数とメラニンの濃度との間に比例関係が認められる。従つて，メラニン量の変異のみを問題とするなら，適当な波長部における反射率値を測定すればよいと考えられる。

本研究の目的は，簡便な光電反射計を用いて双生児における皮膚反射率の測定を行い，ヒトの皮膚色変異の双生児法による分析への可能性を調査することである。

資料

皮膚反射率の測定は，東京大学附属中学校入学応募者（1960年2月測定），及び中学校，高等学校在校生（1960年4月測定）の双生児につき行つた。資料の年令，性，卵性**の別による構成を表1に示す。いずれも東京都下に住む中流家庭に由来し，組内で生活環境の甚だしく相違する双生児組はないものと信じられた（内村祐之編：双生児の研究，I～III，1954—1960参照)。

Tab. 1
Age, sex and zygosity composition of the sample.

Age groups (years)	MZ		DZ		PZ
	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀	♂♀
I (12)	14	18	4	0	9
II (13—15)	18	18	2	2	2
III (16—18)	13	15	3	3	2
Total	45	51	9	5	13

MZ: monozygotic, DZ: dizygotic, PZ: unlike-sexed twin pairs.

測定部位としては，従来の研究者によりほぼ一致して最適と認められている上腕内側及び，これと比較しうる露出部位としての上腕外側に主眼を置き，調査時間の許す場合には額，手背，胸，肩などを追加した。よごれ，外傷，疾患等のためデータ処理に当り不適当と考えられる個体は除外した。日焼けの影響は本資料に関して少くとも非露出部位にては極小と見做された。

* 本研究は昭和36年度の東京大学生物系研究科修士論文として提出されたものの一部である。
** 双生児研究班の多元類似診断法による決定に従う。

方 法

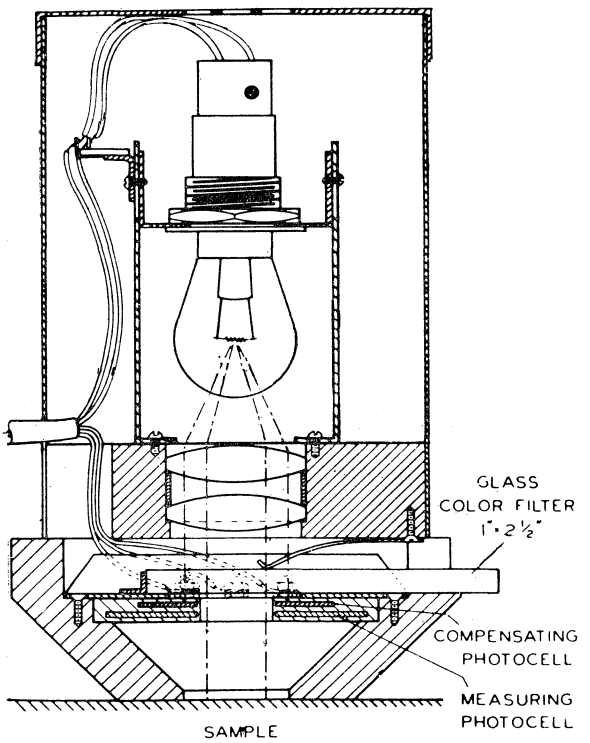

Fig. 1 Search unit of the Photovolt Photoelectric Reflection Meter.

測定には Photovolt 光電反射計*(LASKER, 1954; DE KLEINE, 1955; GARN, 1956) を使用した。この装置は特に簡便を旨として設計されてあり，米国では多方面の商品の色彩規格化試験などに利用されている。本体の電流計と定電圧装置にコードで接続する測定管（図1）の先端には直径約 20 mm の円孔があり，これを被測定物に密着させ拡散反射率を測定する。反射率は理論的には純白 MgO 断面に対する試料の反射百分率で表わされるが，本研究では反射率 68%（日本色彩研究所測定）の白色エナメル板を標準とした。光沢の影響は光源を正しく調節固定することにより防止できる。

フィルターとしては C. I. E.（国際照明委員会）にて定められた表色系への換算に便利な三刺激値フィルター（コハク色，緑色及び青色）を使用した。しかし，（1）予備的調査として標準マンセル色票（日本色彩研究所，1957）を上記3枚のフィルターにて測定した場合，マンセル表色系による理論値と実測値との一致度は必ずしも満足すべきものではなかつた。一方，反射率値間の差を問題とする場合には，測定器の固有誤差が消去されるため，測定はより有効であると考えられる。（2）上記3枚のフィルターによる測定値間には，ヒトの皮膚反射率に関するかぎり高い相関がみられる。以上の理由により，3測定値のうち今回は緑色フィルターによる値のみを使用した。このフィルターの分光特性は正常人の眼の視感度曲線に近似し，これによる測定値は視感反射率（luminous reflectance）とも呼ばれ，色の3要素の一である明度を与える。図2にこのフィルターの分光特性曲線を，日本人の皮膚分光反射率曲線（日立自記分光光度計にて測定）と共に示す。フィルターの最大透過部（550—560 mμ）がヘモグロビンの吸収帯とほぼ一致している故，測定値に対する血流変化の影響が懸念される。しかし，このフィルターの透過波長巾は極めて広く，ヘモグロビン量の僅かな変化に対しては特に鋭敏ではないと見做される。いずれにせよ，測定の際には皮下血流に影響を与えるような要因には充分注意を

* Photovolt Photoelectric Reflection Meter (Mod. 610), Photovolt Corp., New York.

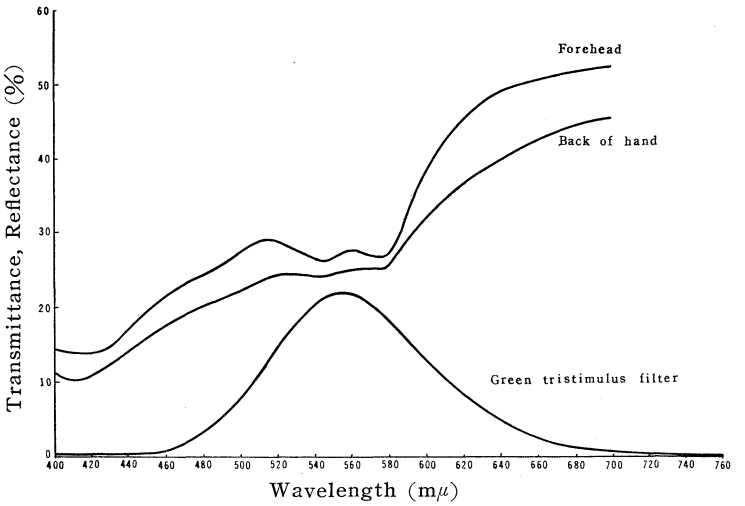

Fig. 2 Transmission of the green tristimulus filter compared with reflectance curves of normal human skin (a male Japanese), recorded by a HITACHI recording spectrophotometer.

払う必要がある。

同じ測定器を使用した GARN et al.(1956) 及び LEE & LASKER (1959) によれば，連続した測定における再現性は良好である。筆者の行つた予備試験の結果によれば，同一表面を連続2度測定した場合の測定値間の平均偏差は，人体皮膚色に近い標準色票（日本色彩研究所，1958）に対し 0.5%，また生体では上腕内側で 1.0% を越えないと推定された。

双生児における明度の類似度の分析には OSBORN & DE GEORGE (1959) に従い簡単な分散分析を用いた。双生児各組の測定値を x_{i1}, x_{i2}; $\bar{x}_i$ をその平均（$i=1\cdots\cdots n$; n: 双生児組数）とするとき，平均組内分散（s_1^2）及び，無関係者組の組内分散推定としての平均組間分散（s_2^2）は次式にて与えられる。

$$s_1^2=\frac{\Sigma\ (x_{i1}-x_{i2})^2}{2n},$$

$$s_2^2=\frac{2\left[\Sigma\bar{x}_i^2-\frac{(\Sigma\bar{x}_i)^2}{n}\right]}{n-1}。$$

二卵性双生児が少数のため，s_2^2 は一卵性双生児について算出した。分散値の比較は分散比により，危険率 5.0%，2.5%，1.0% 及び 0.5% にて検定した。

結果及び考察

1. 測定部位，年令，性による明度の差異

表2は資料における皮膚明度の変異を知るために，全員を I: 中学校入学応募者（12才），II: 中学在校生（13—15才），III: 高校在校生（16—18才）の3群に分け，視感反射率測定値の平均を求めたものである。全体として明度平均値は，森及び徳橋（1956）の東芝光電色沢計による研究のうち，同年令の群における結果とよく一致し，異なる装置を用いたデータの間でも明度の比較が可能であることを示している。群 I における測定部位別の明度の差異を検定した結果，次のような順位が得られた。明度の高い部位より：

♂　IA=C≫F=S>OA≫BH

♀　IA=C≫F>S≫OA>BH。

Tab. 2 Mean values of the luminous reflectance.

	n	Group I Mean(%) ±S. E.	n	Group II Mean(%) ±S. E.	n	Group III Mean(%) ±S. E.
Forehead	♂ 43	28.1±0.42				
	♀ 44	28.6±0.36				
Back of Hand	♂ 39	22.2±0.34				
	♀ 44	24.1±0.45				
Outer Upper Arm	♂ 43	25.8±0.38	34	25.1±0.62	35	27.3±0.81
	♀ 45	25.5±0.40	27	28.9±0.70	34	29.8±0.45
Inner Upper Arm	♂ 43	32.6±0.43	34	32.2±0.59	35	33.1±0.68
	♀ 45	33.3±0.43	27	36.0±0.51	34	36.3±0.39
Shoulder	♂ 43	27.0±0.46				
	♀ 45	27.2±0.43				
Chest	♂ 43	32.2±0.48				
	♀ 45	32.6±0.46				

但し，F：額，C：胸，S：肩，IA：上腕内側，OA：上腕外側，BH：手背；等号は有意差なし，一重不等号は（P＝0.05），二重不等号は（P＝0.01）にて有意差のあることを示す。即ち順位は男女共通であり，測定した部位のうちでは上腕内側と胸が明度最大で，額と肩，上腕外側と続き，手背は明度最小である。この順位も森及び徳橋（1956）の結果とほぼ一致する。元来ヒトの全身皮膚における一次的メラニン沈着の程度は部位により異り，性ホルモンの影響を強く受ける特殊な部位を除けば，一般に体幹部では背面が胸腹面より，また四肢では伸側面が屈側面よりもメラニン量多く，従つて反射率は低い（EDWARDS & DUNTLEY, 1939）。このような部位差は既に小児において明瞭で（徳橋，1956；GARN et al., 1956），また現代人の日常生活における身体各部の露出程度と必ずしも平行しない故，遺伝的に決定されたメラニン量分布の傾向に従うものと考えられる。

次に，上腕内側の明度平均値につき，資料の年令層及び性による差を検定した結果次のような関係が認められた。

♂ Ⅰ＝Ⅱ＝Ⅲ
‖ ∧ ∧
♀ Ⅰ＜Ⅱ＝Ⅲ

但し，不等号は（P＝0.05）における有意差を，等号は有意差のないことを意味する。
資料数は充分とはいえないが，本資料に関する限り，女子では小学校から中学校へかけての時期（12才～13—15才）に皮膚の明化が起り，あまり変化のない男子との間に中学生以上の年令では有意差が生ずることが暗示される。一般に女子の皮膚明度は男子のそれよりも大であることが知られているが，その差の原因の一に性ホルモンの影響が考えられる。GARN et al.（1956）は米国白人における研究で，身体の性的成熟に伴う皮膚反射率増加を認めている。本研究の結果もこのような思春期における変化を反映するものではないかと考えられ，しかもその変化は，本資料の年令期に関しては女子の側でより顕著であることが推定される。

Tab. 3 Mean variances and F-ratio tests for luminous reflectance.

Outer Upper Arm		n	Variance	F-ratio	P
♂	s_ε^2	—	0.500		
	s_1^2 (MZ)	43	1.616	3.23	<.005
	s_1^2 (DZ)	9	10.500	6.50	<.005
	s_2^1 (MZ)	43	27.413	2.61	>.05
♀	s_ε^2	—	0.500		
	s_1^2 (MZ)	44	1.091	2.18	<.005
	s_1^2 (DZ)	5	10.300	9.44	<.005
	s_2^2 (MZ)	44	31.053	3.01	=.05
	s_1^2 (PZ)	11	9.318		
Inner Upper Arm					
♂	s_ε^2	—	0.500		
	s_1^2 (MZ)	43	1.064	2.01	<.005
	s_1^2 (DZ)	9	8.056	7.57	<.005
	s_2^2 (MZ)	43	26.755	3.32	<.05
♀	s_ε^2	—	0.500		
	s_1^2 (MZ)	44	0.886	1.77	<.005
	s_1^2 (DZ)	5	8.900	10.05	<.005
	s_2^2 (MZ)	44	17.535	1.97	>.05
	s_1^2 (PZ)	11	8.409		

s_ε^2: mean measurement error variance estimated from the 1% level of measurement error in the difference of two readings (degree of freedom: ∞), s_1^2: mean intra-pair variance, s_2^2: mean interpair variance calculated from the means of monozygotic twin pairs, n: number of twin pairs.

表2によれば，男子においては女子におけるよりも若干おくれて明度増大が起つている可能性も暗示されるが，このような問題の解明には思春期前後における個体追跡的研究が必要であろう。

2. 双生児組における皮膚明度の類以度

前節までに示されたように，本研究に使用しえた資料は皮膚明度変異の双生児法による分析にとり理想的というには程遠い。即ち資料数，特に二卵性双生児組数が少く，また資料の年令期は思春期前後の可成り急激な皮膚明度変化の影響下にあるものと思われる。従つてここでは，得られた分散値の比較により，皮膚明度の変異の遺伝的成分について一応の目安を得るに留め，それ以上の処理（例えばいわゆる遺伝率の推定など）は行わなかつた。

先ず入学応募者（群Ⅰ）と在校生（群Ⅱ）とを別個に，上腕外側及び内側の明度の平均組内分散（s_1^2）並びに平均組間分散（s_2^2）を求めてみる。s_1^2, s_2^2 共に群Ⅱにおいて，群Ⅰにおけるよりもやや大となる傾向が認められるが，その相違は分散比によれば危険率5%で有意ではない。従つて，分散値に関する限り，群Ⅰと群Ⅱとの間の年令，生活環境，測定の時期などの相違は認められない。両群を合わせた場合の分散値と分散比の検定を表3に示す。平均組内分散に含まれる測定誤差部分を推定するため，再現性テストで推定された2測定値間の偏差の上限（1.0%）より得られる測定誤差分散 0.5 を，測定部位及び性に無関係な一定の値と一応考え，平均測定誤差分散（s_ε^2）の期待値として用いた。* この値（自由度∞）を一卵性双生児の平均組内分散と比較すれば，その相違は

* $s_\varepsilon^2=\frac{\Sigma d^2}{2n}$, d: 2度の測定値間の差；n: 測定組数。

高度に有意である。このことは，若し測定誤差が1%のレベルで押さえられるなら，測定が双生児法による分析にとつて充分精密であることを示している。平均組内分散を卵性別に比較すれば，二卵性双生児では一卵性双生児の分散の 6—10 倍に達し，相違は高度に有意である。これにより皮膚明度の変異における強い遺伝性要因が推定される。二卵性双生児の分散が特に大で，部分的に異性双生児組の分散を越えていることは，資料が少ないことによる偶然であろう。即ち，本資料の二卵性双生児組には著しく明度の異なる組が含まれている（例：No. 19 ♂♂，上腕内側における両児間の明度の差 7.0%）。これに対し，一卵性双生児の組では明度の差は 0～4.0% の範囲に含まれる。

一方，二卵性双生児の平均組内分散と平均組間分散とを比較すると，予想されるように常に後者，即ち無関係者組の分散が大である。しかしその分散比は必ずしも有意ではない。若しこれが事実であれば，兄弟間にみられる皮膚明度の差は第三者間のそれとあまり違わないことになる。しかし前述のように，二卵性双生児の平均組内分散はやや過大である可能性があるので結論は下しえない。平均組間分散としては資料数の点で一卵性双生児における値を使用したが，卵性によりこの分散値に著しい相違があるとは考えられない。

次に上腕の両部位間にて平均組内分散を比較すれば，一般に外側における分散がやや大である。これは，この部が内側に比して外因性の要因の影響をうけ易いことと関係がありそうであるが，分散比は有意とはならない。

Tab. 4 Sex comparisons of the mean intrapair variances in monozygotic twins.

	n	Variance	F-ratio	P
Outer Upper Arm	♂ 43 ♀ 44	1.616 1.091	>1.48	>.10
Inner Upper Arm	♂ 43 ♀ 44	1.064 0.886	>1.20	>.10

終りに，一卵性双生児における平均組内分散を男女間で比較することにより，環境の影響における性差が推定しうるものと考えられる。表4によれば分散はいずれも男性においてやや大であるが，分散比の検定（両側検定）の結果有意な差は認められない。しかし，若し二次的メラニン沈着の影響が大であるような時期又は部位において測定が行われた場合には，分散の性差は増大することが予想される。

一方，表3にて異性双生児の平均組内分散が同性の二卵性双生児の分散と同程度であることは，二卵性双生児の分散が過大となつている可能性の他に，異性双生児組の大半が明度の性差の顕著でない中学校応募者群に属していることによつて説明される。

総　　括

皮膚色変異の遺伝的成分を分析する目的の一環として，双生児の一資料（12—18才）について Photovolt 光電反射計により皮膚の視感反射率（明度）を測定した。有効に測定しえた双生児組数は一卵性 77，同性二卵性 14、異性 11 であつた。測定部位としては上腕内側及び外側に主眼を置いた。連続2測定値間の平均偏差は1%以内と推定される。

得られた結果は漸定的なものだがおよそ次のように要約される。

1) 皮膚明度は身体部位により著しく，また性により若干相違する。しかし，これらの要因

が一卵性双生児の平均組内分散に与える影響は僅かで，測定の時期（2月—4月）において少くとも上腕両部位の明度に対する非遺伝性変異が極小に近いことを示している。

2） 2測定値間の測定誤差による平均偏差が1%以内に保たれれば，測定は双生児法の適用にとり充分精密である。

3） 二卵性双生児の平均組内分散は一卵性双生児の分散を大巾に上回り，分散比は高度に有意で，皮膚明度の変異における強い遺伝的要因の存在を示す。これに対し，平均組間分散との分散比は必ずしも有意でない。

4） 思春期に伴う変化の一と考えられる皮膚明度増大は特に女子において12才より13—5才の間に稍々顕著に起つているかのようにみえる。この変化は平均組内分散に対しては有意な差を与えない。この問題の解決は思春期前後における個体追跡的調査に俟たねばならない。

謝　　辞

本研究に当り終始懇篤な指導を与えられた鈴木尚教授，並びに測定装置使用の便宜を計られ，且つ有益な教示を賜つた日本色彩研究所の川上元郎博士に対し，茲に謹んで感謝の意を表したい。

文　　献

甘利光正，1955： 光電色沢計による日本人小学校児童の皮膚色調及び光沢について．東邦医誌，2：8-14.

BARNICOT, N. A., 1958: Reflectometry of the skin in southern Nigerians and in some mulattoes. Hum. Biol., 30: 150-160.

DE KLEINE, E. H., 1955: Photoelectric determination of skin color. Plastic & Reconstr. Surg., 15:176-185.

EDWARDS, E. A. and DUNTLEY, S. Q., 1939: Pigments and color of living human skin. Am. J. Anat., 65: 1-33.

古沢　晴，1955： 光電色沢計による日本人中学生徒の皮膚色調及び光沢について．東邦医誌，2：19-28.

GARN, S. M., SELBY, S., and CRAWFORD, M. R., 1956: Skin reflectance studies in children and adults. Am. J. Phys. Anthrop., 14: 101-117.

GOLDZIEHER, J, W. et al., 1951: Chemical analysis of the intact skin by reflectance spectrophotometry. Arch. Derm. & Syph., 64: 533-548.

金子丑之助，1935： 邦人顔面皮膚色調に就て．解剖誌，8：365-496.

川上元郎，吉田貞雄，1956： Photovolt 色度計の測定値と分光測定値との偏差について．色彩研究，3(2)：1-6.

HARRISON, G. A. and OWEN, J. J. T., 1956: The application of spectrophotometry to the study of skin colour inheritance. Acta gen. (Basel), 6: 481-484.

———, 1964: Studies on the inheritance of human skin colour. Ann. Hum. Genet., 28: 27-37.

LASKER, G. W., 1954: Photoelectric measurements of skin color in a Mexican Mestizo population. Am. J. Phys. Anthrop., 12: 115-122.

———, 1954: Seasonal Changes in skin color. Am. J. Phys. Anthrop., 12: 553-557.

LEE, M. M. C., and LASKER, G. W., 1959: The sun-tanning potential of human skin. Hum. Biol., 31: 252-260.

LERNER, A. B., 1955: Melanin pigmentation. Am. J. Med., 19: 902-924.

森於菟 他，1954： 光電色沢計による日本人青年男女学生の皮膚色調及び光沢調査，東邦医誌，1：38-44.

森於菟，徳橋正，1956： 健康日本人皮膚色調及び光沢の年令別計測結果とその比較考察．人類誌，65(1)：1-19.

OSBORNE, R. H., and DE GEORGE, F. V., 1959: Genetic basis of morphological variation. Harvard Univ. Press.
高水武夫, 1956; 光電色沢計による日本人老人の皮膚色調及び光沢の計測. 東邦医誌, 3(2/3): 11-19.
徳橋 正, 1956: 日本人小児皮膚色調及び光沢についての研究 (1-2). 解剖誌, 31(2): 157-181.
内村祐之編, 1954-1960: 双生児の研究. 日本学術振興会.
VON VERSCHUER, O., 1925: Die Wirkung der Umwelt auf die anthropologischen Merkmale nach Untersuchungen an eineiigen Zwillingen. Arch. f. Rassen-u. Gesellschaftsbiol. 17: 149-164.
WALSH, R.J., 1963: Variation of melanin pigmentation of the skin in some Asian and Pacific peoples. J. Roy. Anthrop. Inst., 93: 126-133.
WEINER, J. S., 1964: A spectrophotometer for measurement of skin colour. Man, 51: 152-153.

(東京大学理学部人類学教室)

Measurements of Skin Reflectance in a Japanese Twin Sample

Keiichi OMOTO

The luminous reflectance of the skin has been measured in a sample of 87 monozygotic, 14 dizygotic (like-sexed) and 11 unlike-sexed twin pairs aged from 12 to 18 years, using the Phtovolt photoelectric reflection meter (Mod. 610). Measurements were taken with the green tristimulus filter designed to represent lightness of colours, on the outer and inner surfaces of the upper arm, to which those on the forehead, chest, shoulder and back of the hand were occasionally added.

Although the number of dizygotic twin pairs in the sample was not satisfactorily large, the following conclusions may be drawn tentatively from the results obtained.

1. The measurement technique is sufficiently sensitive in determining the extragenic influences on monozygotic twin pairs, if the deviation due to measurement error in two successive reflectance readings can be kept within 1.0%.
2. The comparison of mean monozygotic and mean dizygotic intrapair variances provides a highly significant difference, indicating a strong genetic component in the variability of the skin lightness. On the other hand, the mean interpair variance obtained from monozygotic twin pairs usually reveals no statistically significant increase over the mean dizygotic intrapair variance.
3. The lightness mean values differ markedly between body areas and, in the higher age groups, between both sexes, the female being significantly lighter. The mean intrapair variances, however, do not seem to be affected seriously by these factors.
4. It was suggested that an increase in skin reflectance values, probably due to the puberty changes of the endocrine status, may take place more markedly and slightly earlier in females (12-15 years) than in males (13-18 years). No significant difference of the mean intrapair variances was found, however, in both sexes between lower and higher age groups. A longitudinal twin study during the pre-puberty period may help to solve the problem.

Department of Anthropology, Faculty of Science, The University of Tokyo