歯 牙 の 色 に つ い て

(特にその色彩発現に関する基礎的研究)

羽 賀 通 夫*

1 緒 論

歯科補綴学における二つの大きな目的は、咀嚼機能の回復と外貌の再現とである。近來は審美的要求もまた進んで、より自然なより調和された補綴物が要求されるに至つた。中でも外貌を左右するのは、前歯部においてであり、その配列、傾斜、形態、大きさは極めて重要な要素であるが、さらに、これに歯牙の色彩の調和がなければ、その自然観は望めない。しかし現状においては、人工歯の色調必ずしも満足すべきものではない。そこでわれわれが抱く望みは、各個形成的、自由色彩的で、しかもより自然歯の色彩に近い人工歯を得ることである。そのためには自然歯の色彩機構の解明から出発しなければならない。年令的にも歯牙の色彩が変化していくことは临床上観察されるところであり、また歯牙の色と顔の色との調和などいろいろの問題がある。

一方歯牙の色の研究は、単に補綴学のみならず、治療学、衛生学、法医学的にも極めて興味ある問題である。例えば、歯髄失活後、歯質の変色を見ることがあり、アマルガムその他の金属充填、補綴物装着等によつても変色する。齲蝕に罹患しにくい歯牙は白いといわれ、軽度の斑状歯は唇面に白濁がある。歯牙の汚染による着色も興味ある問題である。法医学的にも、湿潤状態にあつた歯牙と乾燥状態の歯牙とは色彩が違い、加熱された歯牙は有機質の炭素化から象牙質等が変色する。色彩よりの年令推定も比重の研究とともに意義のある問題である。

歯牙の色調に関する研究は古く、これに関する幾多の報告もあるが、これ迄の方法を通覧すると大体次の2つに分けることができる。その一つは、種々な色調の段階をもつ Shade Guide を用いて、これを口腔内において天然歯牙と比較対照しつゝ、その階調を決定する方法である。この方法によれば極く簡単に、且つ多数例を統計的に観察することができる。そしてこれによる報告が多く、本邦でも古くは額田⁹⁾、谷向¹⁴⁾、山井¹⁵⁾、佐藤¹³⁾ら

の業績がある。近年、中沢¹⁰⁾、芳賀¹⁾らは歯別、年令別、人種別等の統計的観察をなし、また宮越⁷⁾らは色彩学を導入し、独自の統計処理によつて、年令による歯牙色調の推移を報告している。しかしその反面、肉眼的な比色に依存しているため、測定者の色彩感覚の個人差はもとより、測定時の心理或いは肉体的影響、また光源の種類、天候の状態などの諸条件によつて著しい影響を受けるであろうことは、石川⁸⁾も指摘しているところである。近來長足の進歩を遂げつゝある電子工学の導入によつて、極めて客観的に色彩を把握する方法が可能になつた。石川は三原色フィルターを通して、資料の反射光線を光電管に把えて、電氣的に測定する装置を試作している³⁾。更に宮越、小杉、影山、河辺、奥津らは自記分光光度計によつて陶歯冠の測色の研究を發表している⁷⁾。これら分光器、光電管を使用して色彩を物理的に測定する方法は、既に1931年 Commission International de l'Eclairage (C.I.E.; 国際照明委員会)によつて、一応その大系がまとめられ、多くの実験にもとづいて、測色の方法が確立されている。そして織布、紙、薬品、化粧品、塗料、食料品などの色彩測定に多く応用されているところである。ところがこれを歯科について応用して、歯牙の色、歯齦の色などの測定を行う段になると、種々なる問題が生じる。先づ資料の測色面積が極めて小さいことである。一般の物体色を測定する場合には、例えば、 $3 \times 3 \text{ cm}$ という問題のない面積が得られるが、歯牙については同じ前歯唇面においても、部位によつて色調が一定していないために、測色が可成の小面積に限られる。またどの小部分をとつても完全な平面が得られないこともその一つである。

しかし測色上最も根本的な問題となつてくるのは、われわれの目に入ってくる歯牙の色が、決して紙や塗料のような表面色でもなければ化学薬品のような透明色でもなく、また単なる粉体のような乱反射による白色でもない。いわば半透明体であり、且つ微結晶粉体の集合としての珪瑯質に覆われた象牙質色であるということから、普通物体色と同時に歯牙の色彩を測定したり論じたりすることができない。

* 東京歯科大学補綴学教室(主任 北村勝衛教授)

* 東京歯科大学物理学教室(主任 金井昌邦教授)

われわれは以上の諸点を考慮しつゝ、分光光度計を試作し、実験に際しては被測定面に以下に述べるような工夫を加えて測定し、その結果を比較検討したところ、見るべき結果が得られたのでここに報告することとした。

2 実験方法

本実験をおこなうに際しては、歯牙の測色に適するような分光光度計を試作した。第1図にその機構を示している。

第1図Aは分光透過率測定装置、同Bは分光反射率測定装置である。先づ光源 La (30w Tungsten lamp) から出た光束を Lens L_1 によつて平行光束とし、Prism P を通して分光し、Cylinder lens L_2 によつて Slit S_1 に焦点を結ばせ、P の回転にしたがつて任意の波長の光束を S_1 より取り出す。次に光量調節用の Variable Slit S_2 を通した後、再び Cylinder lens L_3 によつて平行光束とし、更に Lens L_4 を通して資料 Sa に投射する。そして反射率測定の場合には、普通物体色測定の際におこなわれているように、被測定面に 45° の方向から投射し、法線方向の反射光をとらえて光電管 P. H. に導入した。ここに使用した光電管はマツダ MS-9 S 増倍管

で、電源に 90.5 Volts 積層乾電池 10コを使用した。この9段増巾に際し、電源に電池を使用したのできわめて安定した増巾がおこなわれた。そして最後の段の Plate 電流を検流計で読みとり、各波長ごとに Sample と Standard との比、すなわち規約反射率を測定した。分光反射率測定に際して用いた標準白色面には、写真印画紙の定着済みの白色面を使用した。これは硫酸バリウムをゼラチン膜で固定したもので、測色法の規約にあつている。

ところで、歯牙に投射された光が反射されてわれわれの目に入つて色彩感覚をおこさせる場合、その反射光を次のように区別して考えた。すなわち表面反射光による表面色、正反射方向への反射光、珥瑯質内部における散乱光、最も有機質に富む珥瑯象境界部における境界色、および象牙質そのものの象牙質色とである。

測定に用いたのは抜去した上顎中切歯で、歯牙表面沈着物を除去し、乾燥しないように注意して保存したものを使用した。測定部は唇面中央部で比較的平坦面を有する部分を選んだ。

第1実験

光沢をもたない黒紙に直径 1 mm の孔をあけ、前記したように規定した方向から直径約 1 mm の光束を投射して分光反射率を測定した (第2図A)。

第2実験

今度は歯面中央に黒紙の衝立を立て、歯面を左右に区分した。そして、一方の歯面の衝立に接した部分に、直径約 1 mm の細光を投射すると、珥瑯質内部において光の散乱がおこり、歯牙全面が明るく輝く。その散乱光を他の半面からとつて分光測光をおこなつた (第2図B)。

第3実験

つぎに黒紙に直径 5 mm の孔をあけ、上記の測定部分だけを露出させ、その中央に直径約 1 mm の光束を投射し、その反射率を測定算出した (第2図C)。

第4実験

黒紙に第3実験と同じ直径 5 mm の孔に、その全面にわたる光束を照射して、法線方向への反射光を測定した (第2図D)。

第5実験

以上は全く象牙質が裏装されている珥瑯質、すなわち歯牙そのものの歯面についておこなつたが、次に象牙質を除去して珥瑯質のみにした場合について、第4実験と同様の条件でおこなつた (第2図E)。

第6実験

次には象牙質のみについて第4実験と同条件で測定し

た、この場合には象牙質面を平面にした(第2図F)。

第7実験

珪藻質を研磨して約 5μ の厚さとし、直径1mmの小孔を使用して分光透過率曲線を求めた(第2図G)。

第8実験

第7実験と同条件で象牙質分光透過率曲線を求めた(第2図H)。

以上第1～第6実験によつて、資料物体の表面が拡散反射面の場合に資料のスペクトル反射率と標準白色面のスペクトル反射率との比即ち規約反射率が測定される。

3 実験結果

第1実験～第8実験より得られた分光反射率曲線並びに透過率曲線を第2図に示す。

4 考 察

歯牙の表面に光が投射された場合に、その一部は表面反射する。これがいわゆる光沢である。しかし、これは測定時、正反射方向を避けることによって大部分は除外できるが、表面は完全な平面でなくて、無数の凹凸があ

図 2

るため、測定方向への反射も当然含まれる。また珪瑯質内に入りこんだ光は、その結晶粒子によって散乱をおこす。そこで、第1実験は極く表層での粉体の乱反射としての散乱光のみを捕え、珪瑯質内部で繰り返えし散乱された光は黒紙によって除外できるように計画した。これによつて捕えた光は有機質の少い珪瑯質表層における散乱で、しかも長く珪瑯質内にとどまることなく外部に反射された光である。その結果は(第2図A)の如くで、反射率はほとんど各波長について一定である。これは色度ではほとんど白色であることから、珪瑯質の微結晶粒の乱反射として理解される。

次に珪瑯質の一部に細い光束を投射すると珪瑯質内で散乱を繰り返えして、珪瑯質内全面に広く拡がり、全体が明るく輝くのを経験した。それは内部散乱光で、これだけを捕える目的で計画したのが第2実験であるが、測定の結果波長増加とともに反射率の上昇を見、およそ630~640m μ 附近で最高となっている。

この両者を組み合わせる意味から、広い面に小光束を投射した第3実験をおこなつた。すなわち小光束投射による表層での散乱、すなわちあまり散乱を繰り返えずことなく外部に反射されてきた光(第1実験)と、珪瑯質内を繰り返えし散乱してきた光(第2実験)との総合を捕えるのが目的であつた。その結果が(第2図C)で、明らかに第1、第2実験から得た結果の中間形である。

以上一連の実験(第1~第3)は同一歯牙、同一部位についておこなわれたもので、これより珪瑯質内での表層反射と深部散乱との相違が明らかとなつた。

ところで第6実験として、象牙質そのものの分光反射率を測定して(第2図F)のような結果を得たが、これは第2実験の傾向と大変酷似している。このことから珪瑯質深部散乱には象牙質の影響が強く現われていることがわかつた。また第8実験によつて象牙質の分光透過率曲線(第2図H)が分光反射率曲線(第2図F)と傾向を同じくしていることが明らかとなつた。反射光と透過光とに本質的な相異がないということは、象牙質結晶粒子の充填密度の小なることと、有機質含有量の大きいことから考えて、象牙質色は含有されている有機質によるものと考えることができる。

次に第3実験における状態のまゝ、光束のみを拡げ、直径5mmの露出歯面全面にわたる光を投射してその反射率を計算した。その結果が第4実験の(第2図D)である。図に見るように短波長側にやゝ下る部と、長波長側に凸部があらわれている。

ところで第2実験(第2図B)における深部での散乱であるが、その基底部には珪瑯境界層を介して象牙質が

密着しており、前記したように象牙質色が充分影響していると思ふ。そこで、裏装された象牙質を裏から除去して珪瑯質のみとして、第4実験と同条件で分光反射率を測定したのが第5実験で、第2図Eに見るような曲線が得られた。この曲線は象牙質の影響を受けていないところの珪瑯質内部散乱光とみて差支えないと思う。

この曲線は次の二つに分けて考えることができる。先づ左側(短波長側)の半分で、波長の減少と共に上昇している部分であるが、これは明らかに珪瑯質結晶粒子のレーリー散乱であつて、

$$I = \frac{\pi^2 V^2}{e^2 \lambda^4} \left(\frac{\epsilon - \epsilon'}{\epsilon'} \right) \frac{1 + \cos^2 \theta}{2}$$

但し I: 散乱光の強さ

θ : 観測方向

e: 粒子から観測点迄の距離

V: 粒子の体積

ϵ : 粒子の電媒常数

ϵ' : 基質の電媒常数

の式に従うものであろう。すなわち散乱光は波長の減少とともに増大する。そして、この散乱光は広い反射面を測定した第5実験についてのみ捕えられるところであつて、小面積の反射光(第1実験)および透過光(第7実験)については見られないことも実験結果と一致する。また右側(波長側)の半分においては、600m μ よりやや長波長側において一つの凸部が現われている。これは珪瑯質分光透過率曲線(第2図G)にも同じ部位に現われていることから、これは珪瑯質に含有されている有機質によるものと思われる。珪瑯質は本来有機質量は極めて小さいが、この第5実験によつて得た反射光は珪瑯質内部で散乱を繰り返えしつゝ通過した光で、有機質の影響も強く出ることと、象牙質有機質色も同じ傾向で現われていることから理解できるところである。

そこで第4実験(第2図D)に戻ると、通常物体の測色をする場合には、物体表面全体に光束が投射される。その方法に従つて測定されたのがこの実験で、丁度前記した第1、第5、第6実験で得られた曲線の合成されたような曲線と考えることができる。

以上のことを基礎として次の諸事実が説明できる。例えば、乾燥歯牙は湿潤のものより白く見えるのは、乾燥によつて珪瑯質表面の粉体反射による白色が強調されるためであらう。また斑状歯の白濁も同様である。

一般に色彩は色度、彩度、明度の3つの要素であらわされるが、そのうち色度というのは色の種類のことで、彩度はその色の濃さをいひ、明度は白色から灰色を経て

黒に至る明るさの段階をいうのである。宮越ら⁸⁾は色度曲線が10才から30才迄年令的にほとんど変化なく、以後次第に赤調に傾くといふ、芳賀ら⁹⁾は Shade Guide による統計的観察で、加齢と共に色度が黄色化(切端)ないし褐色化(歯頸部)を確認している。これは比重が30才位迄はほとんど変化せず¹²⁾、以後加齢と共に増大することと一致するのは、象牙質色の変化に関連して興味ある問題である。この30才以降の歯牙の色度と比重の変化とは、一つの老化現象と考えられ、上皮の老化の場合と同様にメラニン色素或は鉄イオンの沈着との関連も考えられるところである。

また、歯牙の色には沈着物の影響がある。尾上¹¹⁾、金井⁶⁾らがおこなった高分子及び金属イオンの透過性から予想されるように、煙草によるタール、歯垢の変性物、各種金属イオンなどに歯質内沈着によっても色彩の変化がおこるであろう。それらが歯質のどの部分の変色にもとづくかの決定は今後の研究にまたねばならない。

また加藤⁴⁾、宮越ら⁸⁾は乳歯期は白色に近く、若年には青色調から壮年期の赤色調に移行していくことを観察しているが、これは珪瑯質の結晶粒子が増齢と共に大きさを増す⁵⁾ことから、レーリー散乱によつて青紫色部分が減少することと考えあわせることによつて理解される。

また金属の充填或いは金属などの補綴物を装着した場合に、歯質に変色を来す場合がある。これは金属イオン Mg, Co, Ag などの滲透による黒化ないしそれらのイオンにより蛋白酵素が活性化されておこつた珪象境界ないし象牙質の変色と考えられる。また抜髄歯の変色は臨床経験するところであるが、有機質の変性による変色にもとづくものと思われるが、これらの問題の解決は今後の研究にまたねばならない。

5 総 括

われわれは歯牙の測色に適するように分光光度計を試作し、歯牙の反射光並びに透過光についての諸性質を検討したが、その結果は次のようにまとめることができる。

- 1) 珪瑯質の極く表層における分光反射率曲線はほぼ水平(白色)である。
- 2) 珪瑯質内での散乱光は象牙質の影響を強く受けている。
- 3) 象牙質における反射光と透過光の分光分布は類似している。
- 4) 象牙質を除去した珪瑯質のみの散乱光は、レーリー散乱と有機質色の組み合わせと考えられる。

5) 珪瑯質透過光には上記の散乱光が見られず、有機質の影響のみが観察される。

以上のことから「珪瑯質表面反射色は、乱反射による粉体の白色に類似し、また珪瑯質内部よりの光は、これに微粒子による散乱光と、通過する距離の増大による蛋白質色とが添加されたものである」と理解することができ、また、象牙質はほとんど含有蛋白質色であると思われる。

稿を終るにあたり、終始御鞭撻と御校閲とを賜つた北村勝衛教授、ならびに直接御指導戴いた金井昌邦教授に謹んで感謝の意を表し、また御協力下さつた金光秀明、浮谷実、橋本脩の諸氏並びに教室員各位に深謝する。

(本論文要旨は昭和32年2月7日 口腔衛生学会第7回関東地方会で発表した)

ON THE COLOUR OF TEETH (ESPECIALLY ON ITS BASIC THEORY) MITIO HAGA

Department of Prosthetic Dentistry, Tokyo
Dental College (Prof. K. Kitamura)

Laboratory of Medical Physics, Tokyo Dental College
(Prof. M. Kanai)

Summary

The author has made an experimental research of teeth colour and explained the basic theory of them.

Natural teeth are seen as a transparent white due to the colour of enamel and dentine, the former consisting of its surface colour and the one of inner layer.

The colour of inner layer has the more amount of scattering light caused by small particles of calcium phosphate and yellowish orange of protein contained in enamel tissue.

Dentine colour is same as its protein colour above mentioned in transparent one and in reflected one.

From these points of view, many phenomenons of teeth colour will be understood, for example, dried teeth are more white than wet ones.

In these experiments the author used the spectrophotometric analysis of teeth colour, but it was not necessary to calculate its principal wave length.

文 献

- 1) 芳賀, 安藤: 歯牙の色沢について, 日本口腔科学会雑誌, 3 (3), p208, 昭29.

- 2) 芳賀, 安藤, 未高, 佐久間: 歯牙色沢の加令的变化について, 齒科学報, 56 (6), p1, 昭31.
 - 3) 石川: 反射光線による歯牙及び歯肉色の比色法に関する研究, 日本齒科医師会學術會議誌, 1950, p67, 昭25.
 - 4) 加藤: 歯牙の色沢の年令的变化について, 医学と生物学, 39 (5), p156, 昭31.
 - 5) 加藤: 歯質の理学的性質と年令との關係, 日本口腔科学會雜誌, 5 (4), p403, 昭31.
 - 6) 金井, 丸山: 歯牙硬組織イオン透過に関する綜合的研究 (1), 口腔科学會雜誌, 3 (4), p245, 昭29.
 - 7) 宮越, 小杉, 影山, 河辺, 奥津: 日本人歯牙色調に関する研究 (1), 口腔病學會雜誌, 22 (2), p42, 昭30.
 - 8) 宮越, 小杉, 影山, 河辺, 奥津: 日本人歯牙色調に関する研究 (2), 口腔病學會雜誌, 22 (2), p47, 昭30.
 - 9) 額田: 結核患者口腔検査報告 (2) 歯牙 (中切齒) の形状並に色沢, 臨床齒科, 14 (11), p51, 昭17.
 - 10) 中沢, 茂木, 相沢: 各個人における齒冠色調の濃淡について, 日本齒科医師会學術會議誌, p99, 昭24, 1949.
 - 11) 尾上: エナメル質の透過性に関する研究, 日本口腔科学會雜誌, 3 (2), p65, 昭29.
 - 12) 鹿野: 歯牙比重の法医学的研究, 日本法医学雜誌 11 (2), p202, 昭32.
 - 13) 佐藤: 邦人歯牙色沢, 口腔科学, 3 (12), p21, 昭10.
 - 14) 谷向: 歯牙色調の研究 (1) (會), 台灣医学会雜誌, 39 (6), p141, 昭15.
 - 15) 山井: 支那人歯牙色調の研究, 臨床齒科, 8 (12), p107, 昭11.
-