

歯科医学における色彩の科学

橋 口 綽 徳

松本歯科大学 陶材センター (主任 橋口綽徳 教授)

Color Science in Dentistry

HIROYOSHI HASHIGUCHI

Porcelain Center, Matsumoto Dental College

(Chief : Prof. H. Hashiguchi)

I. はじめに

歯科診療室で歯科治療の際における色の選定に関しては、難しい数々の問題がある。その状況の中で術者も患者も満足出来る restoration が自信をもって得られるかどうか、また患者の口腔内歯牙の色を完全に正しく Technician に伝える事が、はたして出来るであろうか。歯科治療を求め大勢の患者にとって、自分の姿をより良くしたいという願いが、機能を復元する必要より以上に強く要望される場合が多々ある。美学的に満足させたいと思うなら、その患者生来の歯の形、構造、色、そして位置的關係を細かく注意し理解していなければならない。しかし、歯牙の形が最も大切であることは誰でも注意するが、最も注意を欠いていたのが色である。そのため、何となく違和感をもたれたり不満足をもたらず原因となっていたのである。そこで歯科医師、歯科技工士が色彩科学の理解を深め、それを歯科医学にうまく応用させてほしいという願いを込めて、色彩の科学についてまとめてみたいと思う。

restoration の素材の色と、もとの歯の色を合わせる時に生じる問題は、基礎的な色彩科学の知識

を理解すれば、容易に解決されると思う。色彩の科学は決して新しく開発されたものではないが、まだ完成されたものではない。色の神秘は古来多くの人が感じ理解を深めようとして来た。1666年 Isaac Newton¹⁾は太陽の光がプリズムを通る時スペクトルが出来ることを知った。1801年 Thomas Young の唱えた3原色説、R. Franklin の1892年に発表した学説、Adams や M. Miller の段階説あるいは帯説(1922~1944)などに展開し学説が追加され修正されて来た。そして彼らはこれらの現象をさらに研究し、今日概念とさほど違わない、色の混合の原則について発見し、またさまざまな色が自分達の作品を理解してくれる人々に影響を与えていたこと。そして、自然の中で観察したことをキャンバスに再生する技術を習得した者達に、美を後世に記録する事を認識させた。

産業の進歩を通して色彩科学も進歩し、織物や染色工業、そして後の食料、プラスチック製造者の要求にこたえ、色彩に関する知識は未熟な方法から高度な技術科学へと発展したのである。色彩自体の表現方法は、現在では色相、彩度、明度の三つの組合せがあり、1913年 CIE²⁾ (Commission International de l'Eclairage) で決定された XYZ

表色系, また1948年 R. S. Hunter が提案したもので Hunter の Lab 表色系あるいは1964年 CIE が推奨し, JIS にも規定された等色差空間の UVW 表色系がある。

歯科医学がより科学的に色彩をとりあげる必要を感じたのは, 比較的遅かった。そして残念な事には, 今だに専門技術において自由に操れるような段階に達していない。1930年に Dr. Clark E. B.¹⁹⁾は, 歯科医学界のもつ知識の未熟さに気づき, いかにして色彩科学を歯科医学, 色の問題解決に応用するかをわかりやすく書き著した。Clark の言っている多くの事は, 色彩について歯科医師は多くを学ばなければならないが, 歯科医学の分野では色彩について何故か学ぼうと殆んどせず, また色彩現象を理解し, 科学的レベルで取り扱わなければならないという事実を, 受け入れようともしない。患者を上手に治療するために必要なのは科学の応用であり, それを応用する事により色を合わせる時に生じる問題を解決する事が出来るのである。これは治療の他の各方面が科学に頼っているのと同じ事である。

さらに最近では, 1973年 Dr. Sproull, R. C.⁴⁾が spectro photometry を用いて本来の歯の色の範囲を制定した。Sproull の業績は歯科医学に色彩科学を近代的に取り入れた最初の人である。その間歯牙の修復物の色調の変化について検討もなされ,⁵⁾⁻¹⁸⁾1975年橋口は国際照明委員会 CIE¹⁹⁾によって1913年に決定された XYZ 三刺激値表示方法で測定出来る, Micro Color Computer の改良によって狭い口腔内に於て, 歯牙の極めて微小部分を測定する事を可能とした²⁰⁾。次いで眼での色の判定条件を一定に整えられる積分球の研究をまとめ積分球診療室²¹⁾を作製した。

色彩科学が歯科医学において系統的に論じられれば, 臨床技術は改善されてくると思う。技術習得というのは知的発達とは違って, その教育段階の身体的関わり合いが必要とされている。これは音楽家が知識だけでなく, 能力や練習が必要とされているのと同じで, 色合わせには知識と同時に, 実際に関わりをもつことが必要とされているのである。色が見えるだけではなく, それは認識されなければならない。認識は行動に移されなければならない。簡単にいえば, 色彩が我々のためになるなら, 我々はそれに取り組みなければならないの

である。

II. 色彩の科学²²⁾

色彩の研究がかなり複雑になるのは, 科学・美術, 双方の分野にまたがるためである。この場合この二分野をきちんと切り離して, 考えなければならない。

それは科学の不変で制限的な拘束力が美術の主観的側面にもあると誤って伝えられるおそれがあるためである。色彩について述べている分野において, 同じ現象を説明するのに種々な用語が使われている。その結果, 正確な伝達が妨げられ, 色彩科学をもっとよく理解しようと努力している人達を教育するにも面倒な事が起こっている。

色彩の知識はまだ不完全であって, ある権威ある教本では次のように述べられている。

「色彩の科学は, 知識を一体化したものというよりは, 今後の研究調査の過程である。」この科学は, 目下変身のさなかにあり, 新しい要素が現われ伝統的な要素が明らかになるにつれて, 変化していく。色彩は, 刺激・受容器, そして受容器によって伝達される衝動の判断が必要である。この3つの要素はそれぞれ, 物理学, 精神物理学, 心理学の各領域と関連をもっている。

心理学の領域は多分に主観的である。色の刺激の判断とは, 現在入って来る刺激についてだけでなく意識あるいは潜在意識の中の知識に影響されているといっても良い。そこには強い心理学的連想があって, それが個々の色の反応と結びつく。精神物理学の領域は, 客観と主観の結合したものでいくぶん研究が困難である。しかしながら, 物理学的領域は全く客観的で, 色彩の現象について学び始めるには最良の場であろう。色彩の学問は多くの要素に関わるものであって, 複合体の全体

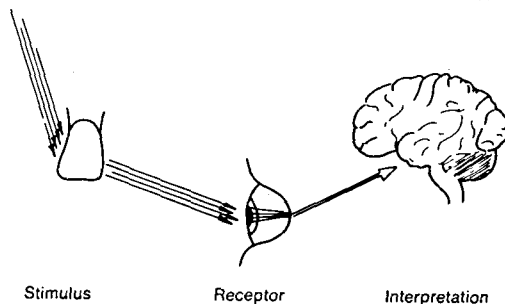


図1：光の情報処理

像をとらえずに1つの側面を研究するなら、何であれその研究は不完全である。

我々の生活を見渡すと、まわりの環境は色彩をあらわす言葉で描写されているといってもそれは概して大ざっぱなもので、赤、青、緑などというように色の名を示すにとどまっている。ところが一方で、ものを色の名で呼ぶ時は、ある特定の広く知られている実在のもの、しかも外観がかなり標準的なものに結びつける。この例はたやすく見つけられる。たとえば、スカイブルー、グラスグリーン(草のあお)、カナリアイエロー、または血の赤といったものさえある。その他の色の名は、おそらく不明瞭で、ある名称を聞いてもその言葉が表わしている特定の色は、耳新しくてわからないだろう。ふじ色 (mauve)、さくらんぼ色 (cerise)、ノミ色 (puce) などといった色の名前には、あまりピンとこないかもしれない。歯科医学における共通の問題点は、色彩の手引き(見本)の中に見つからない色は、人に説明出来ないという事である。このために生じた失敗に、多くの歯科医師は対処してこなければならなかったのであった。

色には、主要な特質(これを通常 dimension 要素と呼ぶ)が3つある。固体は、長さ、幅、深さといった物質形態の3要素のおかげで論理的に、かつ事実側に定義される。これと同じように、色相(hue)、明度(Value)、彩度(chroma)といった色彩の3つの要素のおかげで、色は固体の場合と同じくらい精密に名前がつけられるようになっている。さらに上の研究に進む前に、このように色を定義づけた3つの物質を理解する事が絶対必要である。色彩科学の他の分野では必ずしも同じ名称を用いている訳ではないが、概念は普遍である。

(1) 色相 (hue)

まず第1の要素である色相は、単なる色の名として定義される事が多い。これは赤、黄、青のような名や、もっと工夫のこらされた何百もの語が表わしている要素である。色相は“色”という言葉自体が使われる時に意味しているものである事が多い。たとえば草が緑色だというかわりに、さらに正確に述べて草の色相が緑だといってもさしつかえないのである。しかしながら、このような簡単な色相の定義は、その概念を完全に理解する必

要がある場合には不十分である。色相をもっと正確に定義すると、「観察者が、光体エネルギーの様々な波長を意識するに従っておこる感覚の性質」という事になる。この定義は一見あいまいで的をついてないように思われるかもしれないが、実はそうではなく、どちらかといえば非常に適切でしかも意味が深い。つまり言っている事はこうである。何か起ると(これが刺激だが)それによって見ている者(機械であれ人であれ)は、特定の刺激によって何かが描写されるのを見ている事に気づくのである。その刺激というのは、特定の波長、あるいは一群の波長の光体エネルギーなのである。電磁波によって生じたスペクトルの光線エネルギーには多くの種類があって、そのエネルギーのタイプと有効性は波長によって決まる。従って波は短いもので1 nanometer (nm)ないし millimicron ($1/1,000,000$ mm) から、最も長い360マイルに及ぶものまで広範囲にわたっている。この電磁波によって生じたスペクトルにおけるエネルギーとしては、一般的に、テレビ電波、ラジオ電波やX線などがあげられる。この問題で最も重要なのは、380 nm から780 nm にわたる波長の範囲で、これは網膜を刺激して色相への反応をひきおこす。この刺激を与える事が出来るのは範囲内の波長だけである。というのは、受容器すなわち目が他の波長には感応しやすすくないからである。さらに言えば、呼び起こされる色相の感覚は、ある特定の波や波の組み合わせに左右される。天然の色相は、一般的な名称で言えば、紫、青、緑、黄、橙、赤の順序で並んでいる。この順序を覚えるのは重要な事である。なぜならば、これが後に出て来る多くの概念の基礎だからだ。波長と周波数は相互に逆の関係にある。波長が長ければ周波数は少ない。だから、肉眼で見えるスペクトルよりも短い波長は紫外線(あるいは ultrafrequency)、長い波長は赤外線と名付けられている。これら2つのグループには特殊な ranges がある。肉眼で見えるスペクトルのすぐ下の紫外線は一般に娯楽街や新奇の場所で見出される“black light”の周囲で見うけられ、有害ではない。しかし、より短い紫外線は bacteriocidal, fungicidal, そしておそらく発癌物質を含んでいると思われる。

380 nm から780 nm にわたる、紫外線と赤外線の間、目に見えるスペクトルの範囲では、特定

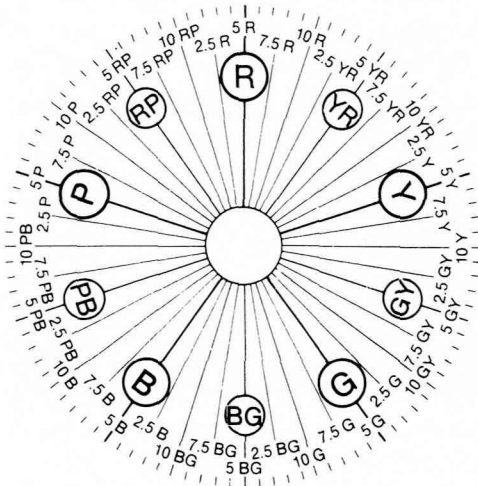


図2：色相の記号と相互の関係，マンセル色相環

の色相に区別するはっきりとした分離は実際のところ行われていない。すなわち、青と緑、黄と橙の間に、はっきりと境界を設定する事は出来ないのである。むしろ、紫が青に、青が緑に、緑が黄にといったように、微妙な混合や連続があるといった方が良い。だから色相の名称は、ある特定の実在を定義するというよりも、色相の範囲を定義しているのだという事がわかる。色相名称は、この色相という要素の理解を助けたというよりも妨げた方が多かったのである。色相は、波長によって決まる色彩の性質であり、普通、色彩の族名 (family name) で定義される。

(2) 明度 (value)

物質の形態の3つの要素は、完全に分離する事が出来る。長さ、幅とも深さともはっきり異なっている。同様に色相や彩度から独立しているのが明度である。明度は、brightness, lightness, brilliance と呼ばれる事もある。

明度とは、ある色の相対的に見た白さや黒さの事である。時にこれは誤まって「灰色の量(濃さ)」と定義されるが、明度は量ではなく質を表わすものである。1つの色の明度は、それを同じくらいの明るさにした灰色と比べるとわかる。明度の低い色は黒に近い、明度の高い色はより白に近い。(図3)は明度の段階を示している。

色のついた景色や事物を一次元の価値だけにしぼって解釈する事はよくある。白黒写真や白黒テ

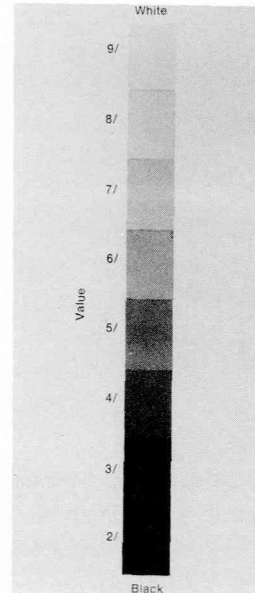


図3：明度段階

レビは、明度が唯一の観点となる一般的な例であろう。事物は、はっきり識別出来るけれども、色相と彩度を欠いている。

灰色の質を示す明度が、歯科における色彩適合において問題になるとは、普通思われないかもしれない。しかし、おそらくこれが、歯科医師や歯科技工士にとって最も重要な色の要素であろう。歯と restoration の明度が合っていれば、色相や彩度の微妙な違いには気がつかないのが普通である。これに対し、その逆は成り立たない。それゆえ、明度を他の要素と区別出来る事が重要であり、また、色合わせにとって大きな障害ともなりうる相互の違いを発見し、調整出来る事が大切となっている。

(3) 彩度 (chroma)

第3の要素は、彩度または saturation と名付けられている。色相から独立している明度とは異なり、彩度は色相がある所にだけ現われる。色相の濃さまたは強さをさしている。図4では明度と色相は同じだが色彩の強度が増していく。強い色彩は、高い彩度あるいは saturation を示す。彩度と saturation とは専門的にいうと同じではないのだが、今は両者を交替で使う事にする。私達は色相・明度・彩度を理解し総合して、決まりきった色彩概念にしていかなくてはならない。

(4) 色彩の配列

色彩の3つの要素が表面的にでも理解出来たなら、これを使って色彩を互に関連づける事が出来る。色彩の配列が必要である事は、長い間あらゆる努力がなされる中で認識されて来た。歯科医学においては、正確な色彩配列が大いに欠けており、「色彩の手引き」は合理的というより経験的なものにとどまっていた。たとえば「色彩の手引き」が合理的に配列されているならば、65番色と67番色を混ぜれば66番色が出来てであろう(実際には、こんな事は絶対にないのだが)。そうすれば、歯科医師や歯科技工士は手引きにのっていない色を説明しようとする時に、「62番よりも少し灰色がかった色」とか、「65番にもう少し黄色がかった色」などと言わずにすむのだ。歯科医学を離れた分野では、「理想的配列体系」を求めて多くの方式が進歩して来た。このような方法にはみな欠点があるが、歯科医学の習得と成就に最も良いのは、アルフレッド・H・Munsellによって案出されたものである。マンセルは1858年ボストンに生まれ、油絵と色彩感覚によって国際的に名を成した。彼は後に、マンセル色彩表示法(Notation)として知られる方法を案出したが、これは秩序正しい方法で色彩の3つの要素を関連づけるものであった。さらに、彼の表示法はこの色の配列に数字で表わした目もりをつけている。基準局(the Bureau of Standards)が重さや距離の測定のために標準的尺度を定めているように、マンセル方式も標準的指示や色彩描写の方法を規定している。波長の変化によって記録された色相の移り変わりは、色彩の名称による色の区別を、どんなに明らかで不動なものであれ無視している。だからマンセルは、任意に10の色相(Hues:⊕原語によるマンセルの表示では、色相・明度・彩度を皆大文字で書き始めている。)を選び、それぞれ赤・橙・黄・黄緑・緑・青緑・青・青紫・紫・赤紫と名づけた(図2)。マンセルの選んだ方法は整然として論理だったものである。色相は任意的にはなく、全てスペクトルの順序に従って配置されている。たとえば黄色は青緑と青の間に置く事は出来ない、というのも、波長によれば黄色は黄赤と黄緑の間に来なければならないからだ。10という数は10進法の基礎であるから、色相が10あるというのは都合が良い。色相はさらに、それぞれ10の部分

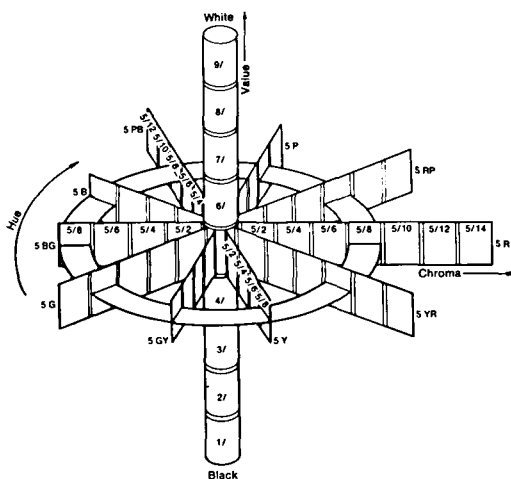


図4：マンセルの色彩空間における色相，明度，彩度等級色彩の3要素図式

に分けられる。例えば、黄-1は黄赤-10のとなり、黄-10は黄緑-1のとなりといった具合になる訳である(図2)。従って黄緑と緑と黄赤の間にある黄-5は、この方式では最も純粋な黄色の色相という事になる。10の色相のうちの5番目のもの(incrument)が最も純粋な訳である。マンセルはさらに、これらの10の部分それぞれ小數第2位まで細分化した。そのおかげで、緑7.55とか青3.15などの色相が定義できるわけである。これらの数字は独断的に色を区別するのではなく、明確な色相を表わしている。マンセルは同様に明度の要素も10の部分に分け、10を最も白く最も明るいもの、5を中位の灰色としている。そうすると明度1は最も低い明度で、明度9のものは高い明度である事になる。さらに10の明度段階はまたそれぞれ百分され、色相の測定法と同じく、互いに区別がつけられている。

明度と色相の測定法を統合すると、それぞれの色相の様々な明るさに注目する事が出来る。これは車軸(明度の軸にあたる)に車輪(色相環にあたる)を上下にすべらせるのに似ている。車輪が軸の一番下にある時は色相は暗く(明るくなく)、車輪が上の方に行くとも明るさが増す。この事は前に述べたように、色相を同等の明るさの灰色と質的に関係づける定義に従ったものである(図4)。

第3の要素である彩度も同様に測定される。明度の軸は色相を全く持たないので(明度には灰色

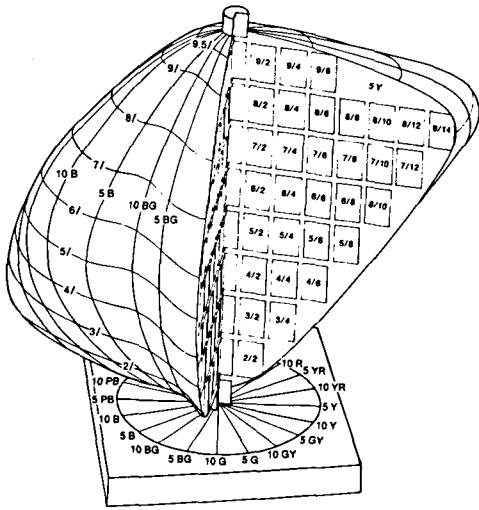


図5：マンセル色立体（5 Y）

しかない)ので、彩度はゼロである。色を加えられるにつれ彩度の記録は上がって来る。色相や明度の表示法とはちがって、彩度の目もりは終りが無制限で、その限界は用いることの出来る colorants によって制限されるだけである。もう一度車軸のたとえにもどるが、彩度は車輪の幅にあたり軸の部分の部分をゼロとして、高い彩度はこの地点から放射状に広がっていく(図4)。それでもうこの3つの要素には、個別にでも同時にでも変化を加える事が出来る。そしてマンセル色彩表示法によって無数の色彩を表わす事が出来るのである。そうすると、5 Y 6/4というのは、黄—5で明度が6、彩度が4の色を正確に表わしている。(図5)

III. 色彩の混色と異性²³⁾

色は、あらゆる時代を通じて人間を魅惑してきた。原始時代の工人たちでさえ、最後には、ほら穴の絵画から後の絵画、陶器、織物にいたるまで、様々な作品に色彩をおり込んだ。アリストテレスは色彩について考察し、“contaminant”として書に著した。色彩がよりよく理解されるようになったのは、比較的最近になってからのことである。色の起源について、集中した研究を初めて行なった科学者は、Isaac Newton (1642-1727)である。ニュートンは日光を照射するにあたって窓のよりの戸に穴をあけ、ガラスのプリズムに光線をとおして、光が投影される面に色のスペクトルをつ

くった。解りきったことでは満足せず、今度はそのスペクトルの一部から光線を照射し、別のプリズムに光線を通して、光がさらに細かい成分に分かれるかどうかを見てみた。このことが不可能だと解ると、ニュートンはいくつかの重大な推論をたてることができた。第一に気づいたことは、色と光は本質が同じだということだった。ニュートンは、色が発する理由(電磁波によって起こるエネルギーの波)については十分に理解していなかったが、彼のもっていた概念は、現代の量子論にいくらか似たものだった。著者「光学(Optiks)」の中でニュートンは2つの深い所見を述べている。「定理1—色の異なる光は屈折の角度も異なる。」「定理2—太陽の光は異なった屈折をする複数の光線から成り立っている。」ニュートンはまた、太陽の白色光が一組の色光から成り立っていること、さらにこれらの色光が同質のもので混合するとその結果は予測がつくことをはじめて観測した。

(1)加算混合 (Additive Color Mixing)

白色光をもたらす色光の混合を「加算色」と呼ぶ。ここで非常に重要なのは、これが光にだけあてはまり、絵の具の方法にはあてはまらないことである。ある純粋な色光が混合されると白色光ができる。ここで必要なのは、いずれも純粋な赤、緑、青の3色で、これらは「加算色 (the additive primary colors)」と呼ばれている。赤に青を加えると青みがかった赤の色相を生ずることに注目していただきたい。この色は正しくは「magenta(アニリン赤)」と名づけられている。青に緑を混ぜると「cyan」という名の色相が生まれる。赤と緑が混ぜられると「Yellow」ができる。この、magenta, cyan, Yellow が「加算二次色相 (the additive secondary hues)」である。3つの加算原色が全部あわさると白色光が生じる。このことは、加算色が光だけにあてはまるにも拘らず、色彩混合の全てを理解する上では基礎となることを意味している。原色が正反対の二次色と組み合わせると、また白色光が生じることがわかる。だから、赤にcyan(緑と青の混合)、緑にmagenta(青と赤の混合)や、青に黄(緑と赤の混合)といった組み合わせは、それぞれ白色光をもたらす訳である。原色と、反対の二次色との組み合わせは、補色として知られている。2つの原色の光が混合されれば

いつでも二次色が生じるだけでなく、二次色の方がより明るい色だということにも注目していただきたい。このことは2つの色光が加えられると光の量が多くなることから論理的に予想がつく。究極的明るさである白は、3つの原色が全て組み合わせるとできる。

(2)減算混合 (Subtractive Color Mixing)

白色光 (完全なスペクトルの光) がフィルターを通されると、ある波長は吸収され、最後にフィルターに入ったときの光のスペクトル含有量 (あるいは容量) は減ってしまう。それゆえ、フィルターから出てくる光は、そういった特定の波長を欠いている。このことが減算混合の基礎である。減算混合は、加算混合の逆にすぎないから、同じようにして明確に説明される。減算混合の3つの原色色相は magenta, cyan, Yellow であり、加算方式の二次色相にあたる。

加算の概念は光にだけあてはまり、減算の概念は透明なフィルターや絵の具にあてはまる。

減算原色 (subtractive primary) とその二次的色彩 (secondary colors) に関しても同じ補色の理論が成り立つ。

(3)部分色 (Partitive Color) の概念

加算及び減算混合の理論は、色彩科学の基礎を成している。加算原色 (the additive primaries) の赤、緑、青と、減算原色の cyan, magenta, Yellow に加え、第3組目の原色がある。すなわち、心理学的な原色である。心理学的原色 (the psychologic primary colors) には、赤、緑、青、そして黄色がある。色彩の複合が、今まで述べたような物理的概念だけでなく、心理学的または精神物理学的考察に関わりをもつ。それならば、心理学的には4つの原色が存在するという事実を受け入れるのは難しくはない。

さらにいえば、全ての色彩の作用が純粋に加算、減算原色によって成されると考えるのは、正直すぎる。純粋な減算方式は、用いられる色素が色を通すとき、すなわち、不透明でないときのみにあてはまる。この一見単純な制約のもとでもこれを満たさないものは多い。たとえば印刷業者のインクや画家の水彩絵の具が、この限定的な前提を満たしているのに対して、歯科の ceramic metal 酸化物 (oxide) の colorants はこれにかなっていない。colorant が半透明か否かをみる検査は、黒の

背景に標本を置いて行う。もしも標本が消えたら、それは半透明であり、消えなければ不透明なのである。Robert. C. Sproulls 博士は metal ceramic の陶材と colorants を黒いオベークの上で焼き、その不透明さを証明した。このような色彩系統が、加算・減算の色彩理論や、いずれの純粋な原理とも合わない場合、それらは両方式のある面を伴って反応を示すであろう。このような色彩の作用は「部分色」と名づけられている。部分色を最も明確に示している実例は、おそらく点描巧 (the pointillistic technique) と呼ばれる油絵の表現方法で、それを観察すればよく解かるであろう。小さな色の点がキャンバスに描かれ、遠くから見ると、点はひとつひとつになって色を形成し、意図した形を描く。このようにして減算色は目で加えていて混合することができ、部分色混合の規則に従うことができる。新聞のカラーの漫画は一連の点によってできているが、その点のうち、近くで見ると重なっているものがあるかもしれない。これもこの現象の示す例だと言えよう。遠くから見ると、目でひとつひとつがもう識別できない位、色は融け合って灰色のように見える。青と黄色は、減算の法則に従えば緑をつくる。ところが、青と黄色が補色の灰色をつくる場所を見ると、加算の原理があてはまることになる。減算の補色を混合して加算の結果が生まれるということは「部分色」の代表的な例だと言える。この現象はまた、加算空間色融合 (additive spatial color fusion) とも名付けられている。

歯科技術において色彩を扱う場合には、厳密な減算原理に従うという教えを固く守ってきたために、長年の間、進歩が妨げられ、歯科に関する書物には誤りがたえない。加算及び減算の原理は、歯科医学における色彩の問題に色彩科学を応用する基礎である、と考える。しかしながら、そこで用いられる技術を加算、減算いずれかの純粋な例として考えると、誤解を招くし、誤りになる。観察される現象や我々が用いる技術の中には、加算、減算混合の例外として、また、部分色理論の正統性を証明するものとしてしか理解することができないものもある。

(4) Special Reflectance

色彩とは、多少の差はあれ異なった波長を吸収する物質だと言うことができる。というのは、普

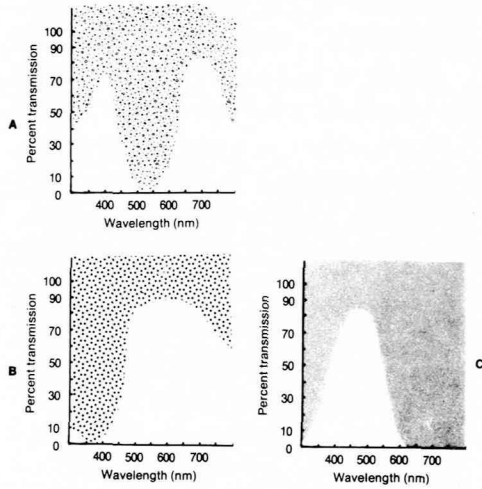


図6：スペクトル反射曲線1

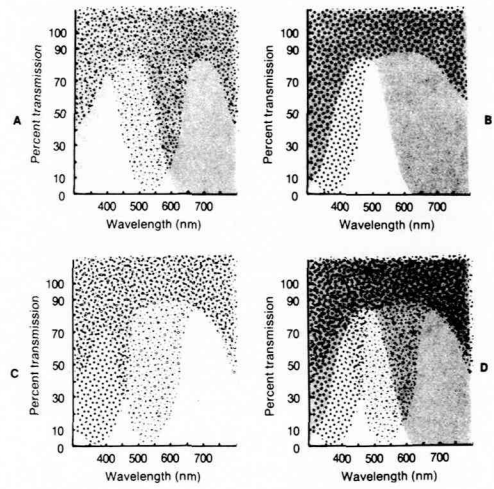


図7：スペクトル反射曲線2

通、色は何か物体にぬったりつけられたり、あるいは物が元来もっているものだと考えられていて、light reflectanceの結果として起こるものだと考えられていない。減算色は色を通さない固体にもあてはまる。レモンにあたる光のことを考えてみよう。その光のうち、ある波長は吸収され、そのために目には見えない。反射する波長は主に黄色である。これらが目に入り、レモンは黄色として認知される。もっと正確に言えば「色とは物体の性質ではなく、どちらかといえば物体から我々の目に入ってくる光の性質なのである。」この概念を理解するには、単に物体から反射されるだけでなく物体に付帯する光のスペクトル含有量について考察することが必要である。もしも、ある特定の波の帯域が資料に欠けていたり部分的に不足したりしていたら、それが物体から反射されないのは明らかである。

ここまでは、量の等しいあらゆるスペクトルの波長でできている光についてのみ考察してきた。このように完全な資料はめったにないものである。日光でさえ、釣り合いのとれた波長が全範囲にわたっていつでも得られるわけではない。太陽光線も、大気というフィルターを通らなければならないからである。なるほど晴天の青さは大気という particulate な媒体を通じて、光がちらばった証拠なのである。

資料に特定の波の帯域「色相の範囲 (hue range)」がない場合、その帯域が反射されないのは明らかである。

完全なスペクトル光線を橙色のフィルターに通す。フィルターは、紫、青、緑の領域のスペクトルを吸収し、赤と黄色を伝導する。この光が、黄色を吸収する物体に焦点をあわせると、反射された光は赤として認知される波長をもち、その物体は赤いということになる。フィルターが青や緑のいずれか、または両方の帯域を通すと、その物体はそれらの色のスペクトルも反射できないことがわかるであろう。その結果としてその物体は赤くは見えない訳である。

これらの考えと歯科の処置との関連を説明すると、この段階では「歯は何色なのだろうか。」という質問がもちあがってくるかもしれない。これに対する唯一の正解は「どんな光のもとでか。」ということではなければならない。すると、最終的に選ばれた色と、処置を行なうときに使用する光との関係について考え始めるだろうと思う。

光の物理的性質は、波長と反射（または伝導）の百分比を2つの座標として、図表にすることができる。図6-Aは、伝導の最高点が410から700nmにわたる光を表わしている。この赤と青の組み合わせはmagentaとして知覚される。模様をついた領域は光の吸収される部分を、無地の領域は伝導される、すなわち目に見える部分を表わしている。図6-Bは、最高点が475~700nmの範囲にわたる黄色の色相を示している。また、Cが表わしているのは、475nm周辺の波長を伝導するcyanの色相である。これらスペクトル—reflectance曲線は、

色彩の「特徴(signature)」としてはたつき、その光の特徴を絶対的に定義づけている。不透明な物体には reflectance 曲線ができ、一方半透明な物体には「伝導曲線」ができることを指摘しておかなければならない。通過しない光は吸収され、これは「スペクトル吸収」と呼ばれる。このような曲線も図表に表わすことができる。

減算混合をより徹底的に理解するために、前に使った3原色のアセテートを取り出し再検査してみよう。図7-Aは、cyanとmagentaの混合を示している。cyanのもつ緑が、magentaの赤を防げ、青だけが残る。図7-Bではcyanとyellowを混合している。yellowはcyanから青を吸収し、緑が残る。図7-Cはmagentaとyellowの混合である。yellowはここでもまた青を吸収し、赤が残って伝導される。図7-Dに見られるように、この3つを全て混合すると、色はほとんど完全に吸収され黒が出来る。それでも多少の光が伝導されるのは、フィルターが純粋なものでないためであり、その事は図7のDに無地の領域が残っていることで立証されている。

スペクトルの吸収・伝導・反射(reflectance)の簡単な例としては、幻燈機の中のカラーライドがスクリーンに写し出す像を見るときのことを考えてみるとよい。幻燈機の電球の出す光のうちには、ライドの中の色素を通りぬけることができないものもある(スペクトル吸収)。幻燈機から外へ出ていく光(スペクトル伝導)はスクリーンに写し出され、そこから見ている者の目に届く(スペクトル反射)。この際、光の損失やゆがみが最小であることが望ましい。スペクトル曲線は、反射(reflectance)、伝導、吸収に対応して現われる。スペクトル曲線を用いると、平常な人が色相を見たときの反応をあらかじめ知ることができる。

(5)異性(Metamerism)

色は必ずしも単純な波の形によって生じるものではなく、優勢な波長は、いくつかのある波の帯域の相互作用から生まれてくる。むしろ、こういう具合に色ができることの方が多いのである。たとえば「緑」というのは、560nm周辺の純粋な波の帯域から生ずるだけでなく、cyanとyellowの混合でもありうる。一見して同じように見える色が、異ったスペクトル曲線から生じることもあるため、ある色を見てその色のスペクトルの性質が

どんなものであるかを知ることにはできない。このことが色をあわせるときに面倒な問題を引き起こす。色のついた2つの物体で同じスペクトル曲線をもつものは、どんな光の中で見るかという事とは無関係に、常につきあう。ところが、色のついた2つの物体でも同じスペクトルの成分をもたないものは、光の条件が異なると、つり合ったり合わなかったりするかもしれない。図8は、2つの緑色の生地(生地)のスペクトル曲線である。これらの生地は、スペクトルの構造が甚だしく異なっているにもかかわらず、ある光の条件下では完全につり合うようだ。しかし、部屋のあかりに、短い波長が不足している場合を考えてみよう。(よくある例としては赤外線灯のような白熱電球があげられよう。)Aの素材は、もうBの素材とはつり合わない。なぜならば、Aには短い波長が大量になければならないからである。このことは色合わせにおいては、よく知られている問題で、「異性」と呼ばれている。定義によれば、スペクトル曲線は異なるが特定の光のもとでは同じ色に見えるような物体の組は、異性の特徴を示し、これらの色の組は「異性体」と呼ばれる。

店では組み合わせのよい服を何着か選んだのに、あとで違った光の条件のもとで見たら、合わずにがっかりするという問題には、多くの人が出くわしている。異性は、歯科の色彩選択においてもまた、問題点なのである。なぜならば、エナメルと陶材(あるいは樹脂)は常に異なったスペクトル曲線をもち、決して本当に合うことがないからである。図9は、分光光度計によって決定された、シェイド・ガイドVITA LUMIN B-4のスペクトル曲線である。この色は、目に見えるスペ

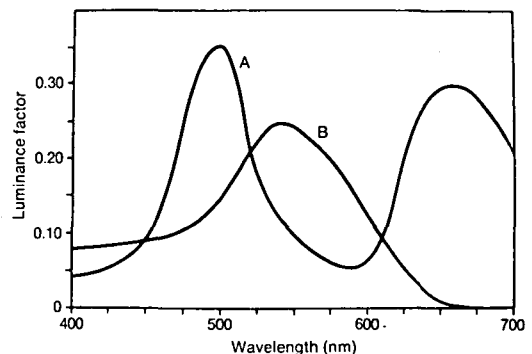


図8：異性体グラフ

クトル全域に及ぶ波長からつくられる。そして本当の色を見るためには、その色が反射することのできる波の帯域が、投影される光の中になければならない。異性は、色彩選択の中でも複雑な要素であり、現時点では、それを認識し説明を付けることができるだけで、まだその解決策はない。患者に理解させなければならないことは、自分のrestorationが他人ほどうまく合わないこともあるが、これは「失敗」ではなく「偶然に起こってしまうこと」だということである。

IV. 色覚 (Color vision)

色覚の研究は生理学、解剖学、化学、物理学、心理学的に各分野から研究がなされている。

目の機能は光が入ると光を感じる細胞(受容器)がキャッチして、その細胞を通して受けとった情報を転換し、判断やその反応を司さどる脳の中枢(The higher centers)へ伝導、その情報は転換され判断(処理)される。

光は角膜を通じて目に入る。角膜の奥には房水があり、目に入った光の量は虹彩で調節され、2組の敏感な筋肉が、必要に応じて収縮したり膨張

したりする。毛様体筋は水晶体を変形させて、距離に応じて目の焦点を変える役割を果たす。光は水晶体からゼリー状のガラス体へ移る。この屈折率はだいたい水の屈折率にほぼ等しい。後部表面には一列に並んだ網膜層があり、像の焦点を合わせるのはこの上にあり、この様に色覚の機構は筋肉組織の調整による。網膜は桿状体 (rods) と円錐 (cones) の感光体 (光受容体) があり、これらの感光体に到達する光は、光化学反応をへて神経衝動 (nerve impulses) に転換され、視神経と神経索を通して脳に送られる(図10)。そこでシナプスは別の神経単位に連結されて、大脳皮質の後頭葉に送られる。ここで情報が判断(処理)され、刺激-受容-判断の連鎖ができあがる。桿状体細胞は、明るさの違いや、全色盲や、光の弱い段階での視覚を判断する。円錐は色覚における主要な媒介者で、強い光の段階でのみ作用する。(photopic conditions) 桿状体は円錐より数が多く、その比は19対1だが、中心窩の遠く離れたところに見られる。これを実証するには、目を細くしてみると彩度と区別することができ、色相の判断には作用しないで、明度の判断だけが影響することが判

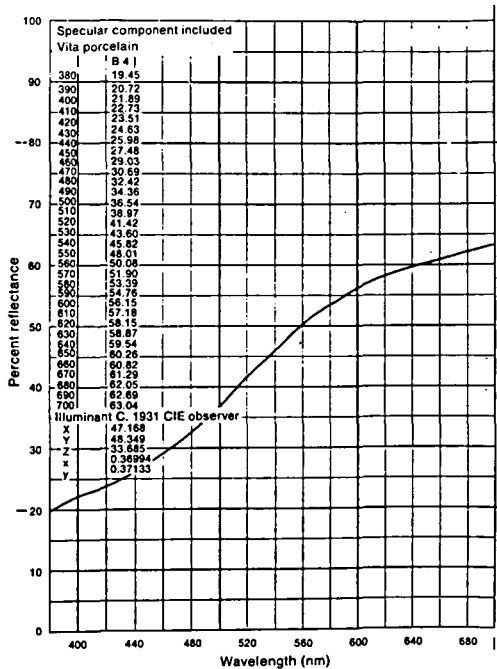


図9：VITA LUMIN B-4の陶材のスペクトル曲線

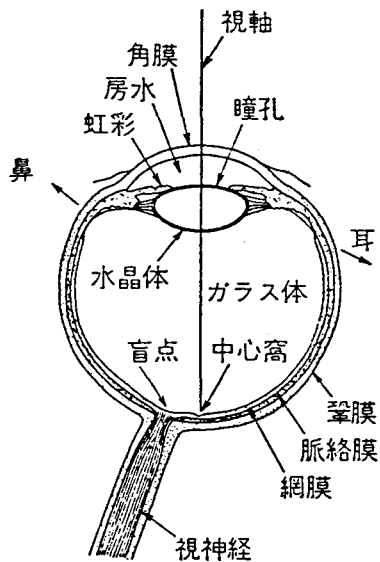


図10：右目の水平断面

る。

円錐には3つの型があり、²⁸⁾それぞれの型が感光性の色素を含有し、その色素には反応する感度の範囲がある。これらの区域は、青(444nm)緑(535nm)と赤(570nm)ですなわち、色の受入れは加算の原色によるものである。それゆえ、人間の視覚系統は加算色の方式を通じて色を認知できるわけである。

全色盲、すなわち無色の視覚では、桿状体の化学的視紅によって伝達が媒介され、光のエネルギーが神経エネルギーに転換されるにつれていくつかの化学変化がおこるのは、低分子量の蛋白質である。上皮細胞色素から出るビタミンAは、視紅の再循環体系の一部である。

異常色覚 (Abnormalous Color Vision)

異常色覚をわけると

- ①正常な色覚は三色性色覚(trichromatic)3つの感光性色素の混合から生ずる
- ②全色盲(monochromation)
- ③第一色弱(赤色弱)型色覚者
- ④第二色弱(緑色弱)型色覚者
- ⑤原色のうち2色しか見えない。

赤色盲者、緑色盲者、第三色盲(紫色盲、青黄色盲)

以上の様な異常色覚欠陥が歯科医師の中に確認されることは重要なことである。

歯科の学生はよく、組織学や病理学で細胞組織(tissues)や細胞を鏡検する。それができるとどうかは色彩の認知にかかっていることが多い。異常色覚を矯正するのは不可能であるが、顕微鏡の集光レンズの下にあるフィルタ・ホルダにはまっている、赤やmagentaのフィルタを使えば補うことができる。又、特殊なコンタクトレンズを使用し、異常色覚の補矯を日常的に行なうことができる。又、正常な色覚者によって訓練も受けられ、一度それがわかれば、それを補うための処置ができ、正常な色彩認知のできる者と一緒に行動することができる。新しい理論としては、Dr. Ketel Nakanishi³⁰⁾と彼の同僚たちは、網膜と呼ばれる物体はビタミンAからできているが、4つのタイプの色彩メッセージ、すなわち、赤・緑・青・白黒のいずれの認知にも責任を負うことができる。網膜は桿状体や円錐と化学的に結びつき、黒や白、或いは色の刺激に対する感受性をつくる。

眼の蛋白質は網膜をとり囲み、それにそって負の電荷をみだす。異なった波長の光に対する(微)分子(molecules)の感度は、これらの負の電荷の数と位置によって説明することができる。遺伝学上の欠陥のために円錐中の蛋白質の機能は変化することによって、異常色覚をなおすことができるのではないかと思うと述べている。

負の残像

多くの色覚現象は色の選択や変更において臨床的影響を及ぼす、この様な現象の一つに負の残像がある。ある人が一つ、或いは、いくつかの色を十分時間をかけて見ると、これらの色相を知覚する能力は次第におとろえる。

即ち、物体や写真をじっと見ると、細胞は、長く見ていた刺激に適應し、今までじっと見つめていた色から目を移したり、とじたりすると、補色の残像が現われ、刺激とは反対の色に見える。このように特定の色相を認知する能力が衰えることを「色相適應(hue adaptation)」と言う。

それと同時に、目は適應した領域を補充する色相により感じやすくなる。これを色相過敏(hue sensitive)という。口紅は歯の外見を変えることができるが、非常に強い赤色は赤の知覚力を衰えさせることによって歯を緑色っぽく見せることができる。

天然の歯をシェイド・ガイドと比べようとしたら、restorationがとなりの歯とつり合うかどうかを見てみると、色相適應は早くも問題となり、正確に色を分析する能力が失われる。色を比べて見る時は、5秒以上も継続して見てはいけない。じっと見たあとは中位の青色カードに目を移して視覚を青に適應させ、黄色に敏感になるようにする。このようにして我々は目を正確な受容器として保ち、脳に伝達させる情報や判断をあやまらせない様にする。

口腔内において時々、黄色い物体が青い下地のそばや、またその中に置かれると黄色は明るく、青色は濃く見えることがある。この現象を同時的対比(simultaneous contrast)という。

臨床処置にもう一つ影響を及ぼす現象に、明度対比の現象がある。となりの部分と明度が違うとき、たとえば暗い場所のとなりに明るい場所があるとき、明るい部分は、ぼんやりと、よごれて見

える。このような条件のもとでは疲れやすいから、働く場所は平均に、そして十分に照らされていないなければならない。

色を確実に判断するには、視覚がどのようなしくみであるか、なぜ変異や異常が生じるのかということを理解することが必要である。このような知識があれば、色彩科学と歯科技術はやりがいがあり、興味深くなる。又、この知識がないと色の選択や修正することは不可能となる。

V. 色彩選択のための環境づくり

色彩は物体の特徴ではなく、光が物体から反射され目に入る光の特徴である。積分球のモデルをターナー色彩製ネオカラー9色を用い内装して見ると、完成した時は思った色に出来ているのに、採光すると変化をきたす。これは積分球の内装の時の回りの光と光源の波長の違いによるものである⁴⁰⁾。これは歯科治療の porcelain の restoration にも影響する。歯科医師も患者も出来ばえに満足し、色合いも最高だと、互いに納得する。ところが翌日になると患者から苦情の電話がかかって来る、これは光源が変わったために、歯の外観も変わってしまった訳である。この異性は光源が変わる事だけでなく、見る人に変化が起こる事によっても生ずる事がある。色というのは、刺激—受容—判断の中で起こる現象である。ある物体が何色かを知るためには、その物体を十分なスペクトル光で照らす事が絶対必要である。変化しやすい物の範囲を限定するには、次の公式で表わす。

[スペクトルエネルギーの分布区域(distribution)]×[スペクトル反射]×[スペクトル反応]=
[色への刺激]

(1) スペクトルエネルギー分布区域(distribution)

誰でも様々なタイプの蛍光灯や、白熱球、日光そして、ろうそくの火に至るまであらゆる種類の光源に親しんでいる。しかし色を合わせたり選択したりするのに完璧な光源はない。太陽でさえも完全ではなく問題がある。照明のために光源を選ぶ時は、最も良いものを選び、その限界を認めた上で使用せねばならない。光源の評価には3つの主な指標、即ち色彩の温度とスペクトル曲線と、色彩の rendering 指数がある。

(a) 色彩の温度

発光体の色の温度とは、その発光体の色にする

のに必要な温度(ケルビン絶対温度で示す)まで黒い発光体を熱して出来た色と、光源の色が等しいと考える事によって引き出される数字である。このような黒い物体は、熱せられるにつれて次々と一連の色彩変化がおこる。まず、それは赤く輝き、それから橙、黄、白と変わり、最後には青になる。ところが人工の光源は実際のところ、それと同じ色になっている黒い物体の温度と、同じ温度の熱を発する訳ではない。だから、この温度は“correlated color temperature”(相関色彩温度)または“apparent color temperature”(見かけの色彩温度)と呼ぶ方が適切である。たとえば、ろうそくの光は200 K の apparent color temperature で輝き、クオーツランプは約3200 K、そしてうす曇りの空は約5500 K から5600 K で輝く。色彩の選択と色合わせに適した光源には、うす曇りの空の apparent color temperature が必要で、約5500 K ぐらいでなければならない。色をより良く演出するために特別に作られたものは良いが、cool white のような普通の蛍光灯はこの基準に達していない。ケルビン温度が低いと、スペクトルの赤い部分が優勢になる。ケルビンの温度が上がるにつれて、青の含有量も増加する。約5000 K で、スペクトルはいくらかつりあいとれて来る。

(b) スペクトル曲線

蛍光性光源のスペクトル成分については、色彩温度は何も関係していない。そこでこのような情報はスペクトル反射曲線から得る事が出来るのだが、これが意味を持つのは、標準的な日光のスペクトル反射曲線になぞられた場合のみである。標準の日光とは、ワシントン D.C のうす曇りの空で、6月の12~13時の間に見られるものだと考えられている。明らかに、これは最も普通に考えられている日光でもなく、手軽な光源でもまずない。日光は極めて変わりやすく、広くゆきわたっている概念とは逆に、色合わせをするのに適した基準ではない。日光は、一日の時間や一年の季節や、雲がおおっている量や、大気汚染の程度によって変化する。標準の日光のスペクトル反射曲線は、図11-Aに示してある。これを図11-Bに出ている cool white の含有量と比べてみると良い。この光源ではエネルギーが黄色の帯域に集中し、均等で適切な光源では全くない。図11-Cのように、色を矯正したり補ったりした蛍光灯でも、標準の

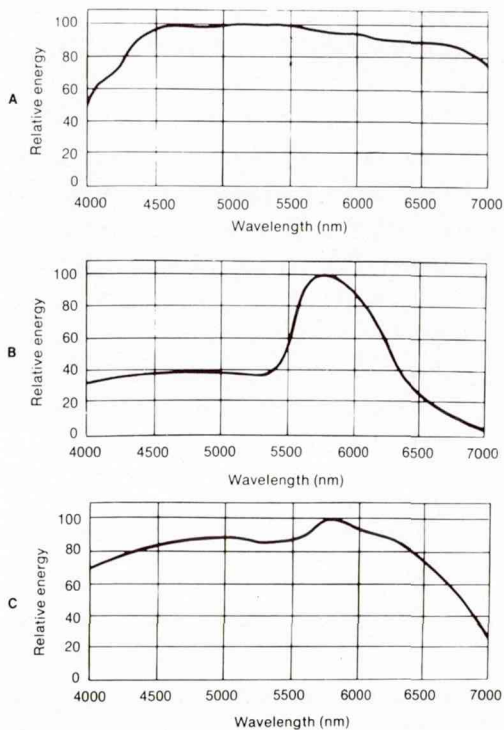


図11：光のスペクトル

Aのスペクトル曲線：屋外で測った天然の標準的日光

Bのスペクトル曲線：cool whiteの蛍光灯

Cのスペクトル曲線：色彩矯正をした蛍光灯

(Preston, J.D., Ward, L., 及び Bobrick, M 共著の“Light and lighting” in the dental office, Dent. chin. north am. 22(3); 438, July1978発行より)

日光の曲線を正確に描くわけではないけれど、cool whiteよりは著しく優れている³²⁾。このような蛍光灯は全くたやすく手に入るし、診療室の照明としては優良なものである。さらに、3つ目の助変数(媒介変数)である色彩の rendering 指数を評価すると、このような蛍光灯の使用がますます支持されるようになる。

(c) 色彩の rendering 指数 (CRI)

色彩の rendering 指数は、色度の図から引き出される(図12)。この図は代数的に導き出すもので、第3の要素である明度がある。色相はみな周囲に形成されている事に注意してもらいたい。中央の、すべての色相が完全に均等になっているところが

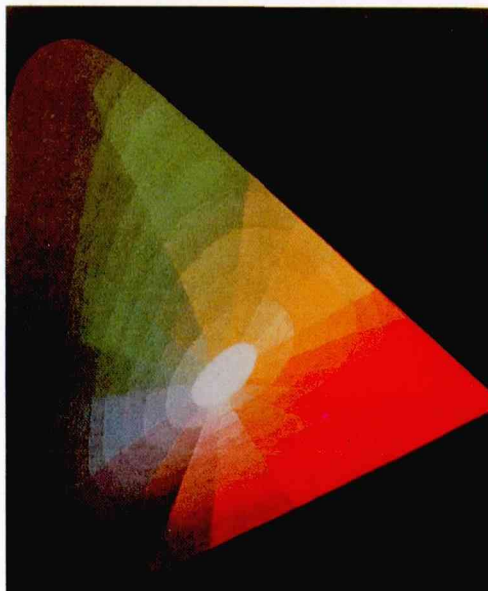


図12：色度図

等エネルギー点 (the equal energy point), すなわち色合わせのための完全な光源である。ここの色彩 rendering 指数を100とする。その他の光源は皆、指数が100以下で、これはこの中央からどの位離れているかによって決まる。色合わせには、色彩の rendering 指数が90かそれ以上である必要がある。また、注意してほしいのは、他の光源はみな色相の方に向かって等エネルギー点から離れていなければならないという事と、光源はたとえわずかであっても、ある色相が優勢になるという事である。中心に等エネルギー点のある円上のどの点も、完全な色彩の rendering 指数である100から等距離にあるので、多くの光源の色彩 rendering 指数が同じである事はありうるが、それぞれの色相は異なる (図12)。

蛍光灯の色彩 rendering 指数を見出すのは必ずしも容易ではないが、十分に色を矯正した蛍光灯を生産している会社へ行けば、すぐに色彩 rendering 指数が手に入る事がわかった。おそらく、色彩 rendering 指数は、色彩を評価する時に使う光源の長所を調べるのに、最も適した唯一の指標であろう。しかし色彩温度とスペクトル曲線についても考えてみるべきである。完全なスペクトル光源があれば、色合わせの手順が改善されるだけでなく、口内組織の色や皮膚の色合いや、診療室の装飾も適切に演出されるのである。

(2) 光の量

今までは光の質の事だけを考えてきたが、光の量もまた重要である。どの位の光が必要かを決定するには、多くの要因について考えてみなければならない。³³⁾³⁴⁾ エネルギーを保存するといっても、効率を良くするのに十分な光の量とのつり合いがとれていなければならない。歯科の診療室や実験室の光量の研究は、今までほとんどなされていないが、今までの研究調査によれば、効率と十分な照明とはまさに相互関係にある事が一貫して証明されている。歯科の operator (手術室) では、最低150個のフィート燭光が設わっているべきで、この数字はおそらく実験室の場合にもあてはまるだろうといわれている。天井までの高さが8フィート(約2.44m)で、床面積100平方フィート(約9.29 m²)の operator を照らすには、色を矯正した4フィート(約1.22m)の蛍光灯12本が最低必要である。これは最小限であって、拡散レンズ(diffusing lenses)は、まず適切に調達したら、きれいにしておき、ランプは製造者が勧めるように周期的にとりかえる事はもちろんである。

(3) スペクトル reflectance (反射)

十分な光の質と量を供給する事によってスペクトルエネルギーの分布区域(distribution)を統制したら、今度は2番目の要素であるスペクトル reflectance について考えてみなければならない。光が光源からまっすぐに物体へ届くことは、めったにない。なぜならば、光は一たび光源を離れると、散乱し、多くの面から反射されるからである。今までに示されてきたように、表面にあたる光は普通、反射される光とは異なる。それは、エネルギーがいくらか吸収されてしまうために、質(スペクトルの分布区域)、量ともに変化しているからである。光度の水準を維持し、エネルギーの保存を助けるには、主な反射面は全て高い明度を持つものでなければならない。Bobrik, Hall³³⁾が勧めるところによれば、最大限に光を反射させるには、天井は少なくともマンセル明度が9であり、そして出来る限り白くする事が良いと指摘されている。壁や棚の正面といったような、他の主な反射物は皆、マンセル明度を最低でも7にし、彩度を4以下にするのが良い。エネルギーの保存(maintenance)もひとつの要因であるから、壁の低い部分や床はそれ程明るくする必要はないが、彩度の

水準は低くするべきである。カウンターの上部、ことに仕事をする領域から離れたところにあるものは彩度は6までであっても良いだろうが、明度は7かそれ以上を確保するべきである。これらの助変数(媒介変数)をもっと良く目で見えるためには、これらの段階の明度や彩度を持つ色札を使ってみる事を、お勧めしたい。その他の反射面で非常に重要なのは、歯科医師と歯科衛生士の衣服だけでなく、患者の衣服と前かけ(bib)である。これらのものは色を合わせる領域とすぐ隣り合っており、光のスペクトル(light spectra)を曲げる事の出来る主要な反射物である。歯の色合わせをするには、理想として部屋や周囲の色にくすんだ灰色やパステルブルー(落ち着いたうす青)が勧められている。

(4) スペクトル反応

例の等式における第3の要素は、スペクトル反応である。この要素は、精神物理学と心理学の側面を取り扱っているために、その支配力は前の2つの要素よりも主観的である。IV(章)では、視覚の生理機能について述べ、3つの加算原色を感じやすい3つのタイプの円錐がある事を指摘した。光のエネルギーは視覚色素の組織を通じて化学エネルギーに転換される。色に焦点を合わせると、視覚色素は再生されるよりも速く消耗してしまい、識別力は失われる。しかしながら同時に、補色の知覚力も高められる。

この認識力の喪失は、「色相適応」と呼ばれ、補色認知が増進する事は、「色相過敏」と呼ばれている。色彩見本を患者の歯列にたとえてみる時には、この状況を歯の場合にもあてはめてみる事だ。色を評価する時間が長くなる程、見る人の識別力は衰える。繰り返して言うと、色相適応を減らすには、見る間隔を5秒に限るべきである。歯の色の認知力は、適度な彩度と明度をもった青いカードに焦点を合わせる事で高められる。青は、歯の色の範囲に対する補色として適度なもので、視覚を正確に維持する上で効果的な助けとなる。スペクトルエネルギーの分布区域やスペクトル反射や、スペクトル反応といったものは、統制する必要がある。これを認識する事は、色を合わせたり統制したりする作業を改善するために、絶対に必要な第一歩である。

ここで、さらに進んでいくつかの事を考えてみ

なければならない。というのは、他の実際的な3つの要素が、色彩統制という歯科の持つ問題の解決を阻んでいるからである。これらの3つの要素は次のとおりである。まず、変異性 (variability)。これは、光の方向と量と質が一定でないためにおこる。次に変動制 (mobility)。患者は静止状態にある訳ではないから、周囲の環境も常に変化するのである。そして、耐久性。美しい restoration は、美しいだけでなく、無事に役目 (それに、para-function) を果たさなければならないからだ。それらの要素を認識する事は、さらに異性を認識する事になる。前にも述べているように、この問題は解決出来るものではないが、何らかの埋め合わせをしなければならない。刺激に影響する要素を統制すると、ある基準線が出来、その中に本物の色彩が観られる。最も合う色がみつかったから、他の状況下でもこの「組み合わせ」が成り立つかどうかを評価するには、他の光源の下で、この組み合わせがどうなるかを調べてみるべきである。白熱灯と cool white の蛍光灯は、どちらも最も一般的に用いられている光源だから、互いに補い合って使うと良い。2つの色について考慮中で、どちらがどちらより優れている訳でもない場合は、照明の変化に一番良く耐える方を使用すべきである。色のつり合いが最も大切だと信じている患者には、光もまた主要な要素である。モデルやテレビ、映画に出ている人たちならば、映画撮影で使われるクォーツランプのもとで、鑑識眼を最も鋭くして、色合わせをするだろう。同様に、販売員や事務職員などという人達にも、それ特有の照明状況があり、そのもとで最高の色合わせが出来る事を期待しているのである。

異性が主要な要素である時はいつでも、その問題を患者に説明してから何色を選ぶかを話し合っただけで済まさない。一般的には、塗料店の一隅を思い出すかもしれない。そこでは、色のついた3枚の鏡にひとつの光源から光があてられて使われており、塗料の見本を合わせようとするいろいろな照明の条件に似せている。客の求めている環境に最も良く似た鏡が選ばれると、今度は手に入る塗料の色と、組み合わせられる色とを、その鏡の前で比べてみる。患者は平素からこのような場面にお目にかかる事が出来るのだから、これを自分達の状況とを結びつけて考えれば、歯科の問題を

理解出来るようになるかもしれない。塗料を売る側は、異性が色彩の選択に影響を及ぼす事を期待しており、彼らにとって助変数は、歯科にみられるようにさし迫って必要なものではない。

実際的な問題は、白熱灯、蛍光灯のうちいずれかをどのようにして用意するかである。白熱灯は、卓上灯や、歯科の operatory lamp を使っても構わないから、比較的たやすく用意出来る。しかし、operatory lamp には非常に多くの種類があり、filtration によって相当ケルビン温度を上げたメーカーもある。しかし、どれもまだ必要とされている色彩温度や色彩 rendering 指数には達していない。歯科の診療室には、色を矯正した照明が完全に備わっていない事が多く、普通の cool white の光源をつけただけになっている事もある。色を見るために、こういう場所に患者を連れていく事があるかもしれないのだが、実験室については、もっと簡単に問題が解決される。それは複数の光源のもとで比べる際に、ほんの少しの面積しか必要ないからである。つまり、間に divider のついた2つの蛍光灯のセットが手に入るからなのである。これはほとんど場所もとらず、望みどおりの照明条件のもとで、完成した restoration と色彩見本を比べる事が出来る。このあかりを、歯科医師が最初の段階で色を選ぶのに使ったのと同じ蛍光灯ととりかえて用いても構わない。

色を合わせるために環境を整備する事は本来の歯を模写して restoration をつくる上でより良い成果をあげるための、重要な一段階である。最初は費用がかかっても、長く利用出来るし、気持ち良く使える上、効果的な照明であるという報いがある。だから、照明に投資する価値は十分あると思う。

5) 光源と照明の種類³⁵⁾³⁶⁾

① 白色電球

白色電球は1802年 Humphry Dany が白熱現象を実験で行ったのが始まりで、その後多くの研究と開発により実用化され、1959年に General Electric Co. の E. G. Zubler が石英ガラス球内のタングステンフィラメントを使用して不活性ガスとともに微量のよう素を封入した両端子形のよう素電球を初めて実用化した。その後、よう素電球は臭素 (Br₂) 塩素 (Cl₂) および化合物などにおきかえられハロゲン電球として発展した。

② 標準光源

1931年のCIE（国際照明委員会）において色を議論する照明光として、4種類の標準光源を決定した。

標準光A：光源の色温度2856 Kでガス入りタングステン電球で規定された電圧で点灯した状態の照明。

標準光B：特別に定められたフィルターをかけて色温度4870 Kでちょうど平均的な正午の日光の昼光。

C光源：色温度が約6774 Kに近似する昼光で、A光源にBの場合よりさらに青味のついたフィルターをかけて作製した光源。

D光源：色温度が約6504 Kに近似する昼光、日中の平均の光を表わし、最も重要な照明と思われる。

現在では主にA光源とD光源が代表光源として使用されている。

③ 蛍光ランプ

白熱電球より効率が高い事、光が拡散光で柔らかく、線光源で光の分布が一様であり、照明器具によっては広く面光源にも利用出来る事、寿命が長く、熱対射も少ない。蛍光ランプは昼光色(D)色温度6500 K, 白色(W) 4500 K, 温白色(WW) JISおよびCIEで色度図上で色度許容範囲が、規定されている。

6) 積分球の球面内の相互反射²¹⁾

反射率が一樣な完全拡散性の球面内に光源を置くと、球面上の1点(x)における照度E(x)は、光源の直射照度E₀(x)と球面内の相互反射による相互反射照度E_kとの和

$$E(x) = E_0(x) + E_k$$

である。直射照度E₀(x)は一般には球面上の位置に無関係に一定となる。球面全体の光度は半径R, 球面の反射率ρ, 光源の全光束をF, 光源から受ける照度E₀(y), 球面上の1点P(y), を含む微小面dSとすると

$$E_1 = \frac{\rho}{S} \int_s E_0(y) dS = \frac{\rho}{S} F$$

で、第1回の反射度は、球面上P, Qの位置には無関係に一定である。そこで第2回の反射による直射照度E₂は、式中のE₀(y)の代わりにE₁を置き換えれば

$$E_2 = \frac{\rho}{S} \int_s E_1 dS = \frac{\rho^2}{S} F$$

となり、同じようにして第3回, 第4回, ……第n回の反射による直射照度E₃, E₄, ……E_nはそれぞれ

$$E_3 = \frac{\rho^3}{S} F, E_4 = \frac{\rho^4}{S} F, \dots \dots E_n = \frac{\rho^n}{S} F$$

したがって相互反射照度E_kは、反射回数をn→∞とする直射照度の無限級数

$$E_k = \sum_{n=1}^{\infty} E_n = \frac{F}{S} \sum_{n=1}^{\infty} \rho^n = \frac{F}{S} \left(\frac{\rho}{1-\rho} \right)$$

となり球面上の位置には無関係に一定である。

したがって球上の1点における全照度E(x)は

$$E(x) = E_0(x) + \frac{F}{S} \left(\frac{\rho}{1-\rho} \right)$$

となる。

以上の論理により積分球標準光を調べるため、MODEL SF65 D-A型(スガ試験機製作)(図14, 写1)を使用し、大型模型積分球内でD₆₅光源とA光源を点灯し、完全拡散光を作り、光量を測定したところ、均等な柔らかい光である事が解った²¹⁾。次いで積分球診療室の小型模型を作製して、内面をルチールタイプ酸化チタン工業学的白色塗料を内装して、D₆₅光源に最も近似した標準光源を使用、点灯、完全拡散照明光を作り得た。次いで積分球内、外の照度と疲労度について測定して見たが、積分球内での照度は疲労度を少なくする効果があったと思う。

積分球内壁の色(ターナー色彩製ネオカラー色の9色を使用)による照度と疲労度並びに心理学

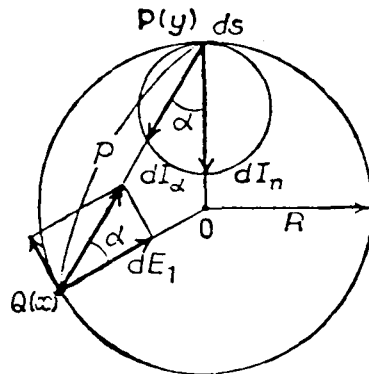


図13：球面内の相互反射

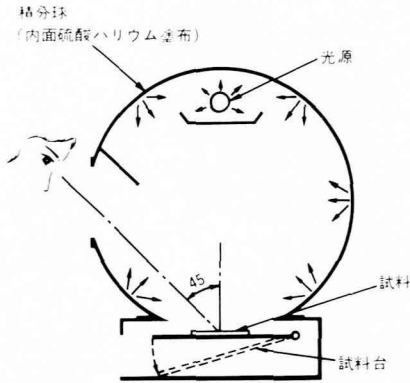


図14：積分球の構造

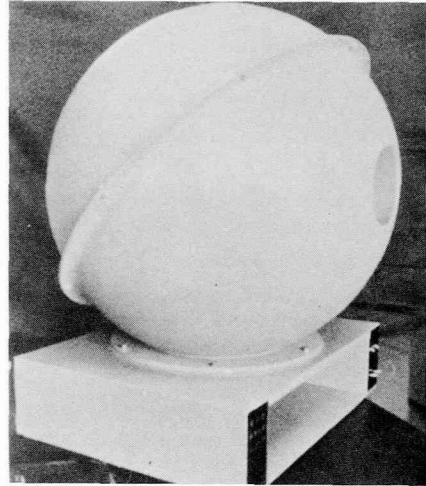


写真1：積分球 SF65D-A 型

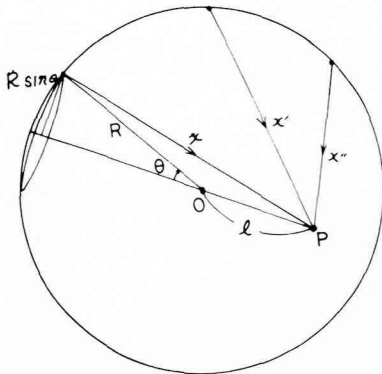


図15：積分球解析図(1)

半径 $l=CR$ の球面上の任意の一点 P での照度 $E(l)$

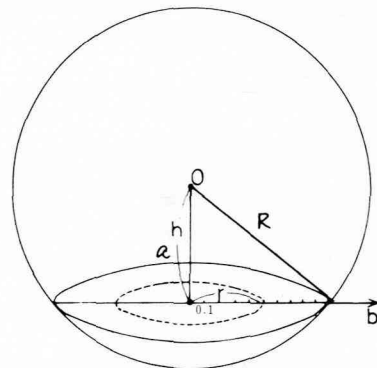


図16：積分球解析図(2)

的観察を行ったところ、ルチルタイプ酸化チタン工業学的白色は積分球内において等乱反射率が高く、照度が最も高い値を示し、明るい均等な柔らかい光を得られる事が出来、心理的、生理的に安定感があり、歯科診療室に最も適した環境をかもし出す事が判った⁴⁰⁾。

7) 積分球内の照度の物理学的観察²¹⁾

積分球模型の実験の結果から、積分球診療室に応用するため、この照度の物理学的関係を考案して見た。

$$\begin{aligned}
 E(l) &= \int_0^\pi \frac{\pi I}{x^2} 2\pi R \sin\theta R d\theta \\
 &= \int_0^\pi \frac{2\pi IR^2 \sin\theta}{R^2 + l^2 + 2Rl \cos\theta} d\theta \\
 &= \frac{2\pi IR}{l} \ln \left(\frac{R+l}{R-l} \right)
 \end{aligned}$$

球の中心か O から垂直に 1 だけ下がった点へ、その点を通る水平面の上部の球面から与えられる光

による照度 E_{up} と下部の球面から与えられる照度 E_{lo} は

$$E_{up} = E_{lo} = \frac{1}{2} E(l)$$

球の中心か O から h だけ下がった位置にある水平面上の照度、図の点線の半径 r のリング上における照度はみな等しい。図の r と h で決まる 1 つのリング上における照度 $E(h, r)$ は

$$E(h, r) = \frac{2\pi IR}{\sqrt{h^2 + r^2}} \ln \left(\frac{R + \sqrt{h^2 + r^2}}{R - \sqrt{h^2 + r^2}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 h &= a R \\
 r &= b \sqrt{R^2 - h^2} = b \sqrt{1 - a^2} R
 \end{aligned}$$

として $h/R = a$ $r/\sqrt{R^2 - h^2} = b$ の割合の位置で決まるリング上の照度 $E(a, b)$ は

$$E(a, b) = \frac{2\pi I}{\sqrt{a^2 + b^2 - a^2 b^2}} \ln \left(\frac{1 + \sqrt{a^2 + b^2 - a^2 b^2}}{1 - \sqrt{a^2 + b^2 - a^2 b^2}} \right)$$

の式であらわされる。

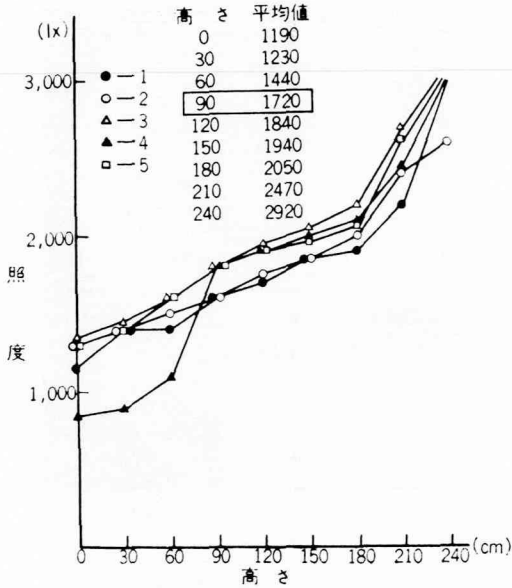


図17：積分球診療室の全回路点灯光量

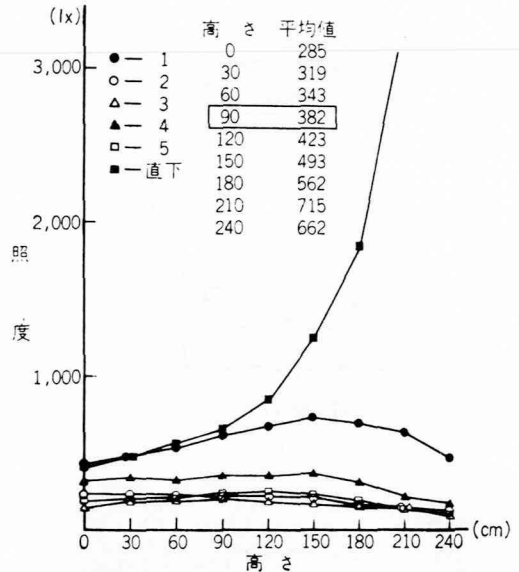


図18：陶材センター技工室1のパルック光源点灯

積分球診療室内の光学的研究^{21), 37~41)}

積分球内の相互反射と物理学的基础実験と式により観察したところ、照度は拡散された自然に近い、影の出来ない、昼光の均一なやわらかい光である事が判り、積分球診療室を設計し、作製した。

積分球診療室の設計

〔仕様〕照明室寸法 床はφ4200 mm、広さが13.85 m²、高さは部屋の中央で3000 mm、積分球診療室の床は積分球の中心点より750 mm 下方、積分球のRは2250 mm、内壁にルチールタイプ酸化チタン工業学的白色塗料を塗装。

〔照明光源〕①ランプ台11基、表と裏に酸化チタン白色塗料を塗装、②ランプの種類、A光源（ハロゲン）、D光源（昼光色）、CIE 基準 D₆₅光源、③配電盤は照明室外部に設置し、点灯、灯数調整及び点灯電圧調整を行う、④換気扇：照明室中央の天井に設置1基。

積分球診療室における昼光色蛍光灯、標準光源 D₆₅点灯においては照度はバラツキがなかった。全回路点灯においては少しのバラツキはあったが均等な光であった(図17)。技工室においてはどの蛍光灯点灯においてもバラツキが見られ、直下、中央と高く、コーナーは全体に低い数値を示した(図18)。この積分球診療室を用い臨床に応用し効果を挙げている⁴²⁾⁴³⁾。

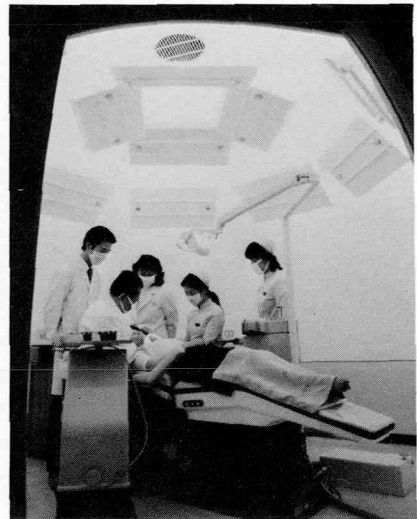


写真2：積分球診療室（陶材センター）

VI. 歯の色合わせ

自然の歯を合成樹脂や porcelain を使って restoration することは多くの困難があり、日常の臨床では不本意ながら妥協をせざるをえない場合に遭遇する事がある。そこで最初に考えなくてはならない事は、まず機能上の要求と生理的な適応を考えねばならない。たとえ美的成果をあげる可能性にある場合でも、これら2つの要素により制限が加えられることがあろう。また機能上の要求

や物理的拘束によって課せられる制限を克服するために、ごまかしたり偽装したり、幻覚をうまく使ったりして、その結果、満足のいくような美しさを達成しなければならないことがある。

樹脂と陶材の製造技術は異なるが、美学的基礎の原則は似ている。

まず最初に金属焼付ポーセレンについて取り上げ考えてみると、金属の枠組を型どり仕上げ表面を適度にきれいにして不透明のオベークをぬる。これは表面の陶材と性質は似ている。ただし錫やジルコニウムやチタンの酸化物のように、より溶けにくい酸化物を加えて、材料を不透明にする。それを均等にぬって焼かなければならない。この不透明な物を使うことは、これを使うことによって色彩の変化や特徴により真実味が発揮でき、表面の陶材をいかすものである。製作物の作成の基本的な問題としては、製造の手順そのものではなく、色を開発するために必要な陶材の粉を選ぶことにあたる。

歯の色を選ぶときに使う色の基準は shade guide である。今まで多くの目的のためにアクリリック樹脂や珪酸塩、合成の充填物とたくさんの見本が開発されてきた。

陶材の色見本の中には義歯用、pontic 用、ジャケット冠や焼付ポーセレンのためのものもあり、その他多用途のために作られたものもある。しっかりした色彩の基準を作るには、見本の色が広い範囲で作らなければならないし、そして見本の色と色との間の隔たりはひとりひとりの間の適度の個人差ができるくらいのものでなければならない。あまり見本が多すぎると具合が悪いし、また少なすぎると役に立たない。歯の色彩見本は系統的に作られていないしきちんと整って配列されていない。見本の色は天然歯に見られるような色の範囲に広がっているわけでもない。それに色と色の間隔のとり方が理にかなっていることはほんのまれでしかない。

人間の歯の色の範囲は、すでに Sproull, R. C. らによって、分光光度計を使って計測され、橋口らによる Micro-Color-Computer の測定値によって計測済みである。分光光度計はスペクトル中の全ての波長について光の量を測定し、正確に色彩分析をする。この人間の歯の色の範囲は、色相では 7.5 YR から 2.7 Y, 明度では 5.8 から 8.5,

そして彩度では 1.5 から 5.6 の間に広がっている。もっと最近の別な分光光度計による系数は、この範囲よりわずかに大きくなっている。今日手に入るシェイドガイドはどれも歯の色の範囲を網羅していない。しかしこのデータは抜去した歯牙を対照にしている、生活歯ではない。

橋口らは Micro-Color-Computer を考察し抜去歯牙、生活歯を測定しシェイドガイドと比較検討しつつある。それによると前記した、積分球診療室における肉眼的測定値は D_{65} + 昼光光源と全回路光源と変化させても変化はなく、天然歯とシェイドガイドの測定値はかなりのばらつきがあった。

以上のようなわけで現在における色彩選択の技術は、正確な「色彩基準」が歯科医学のために開発されるまで目下のところ不十分といって良い。色彩現象をより良く理解するには総合的色彩現象を理解し、目と心を訓練して見える物を正確に認知すること、系統の違う陶材はそれぞれに合った特定の色見本と共に使うように造られているので、色を選択したり、その色のことを伝えたりするときは、その特定の色見本を使うべきである。

たとえば、VITA LUMIN の見本は VMK68 の陶材に、そして BIOFORM の見本は Biobond の陶材にそれぞれ使うべきなのである。異種のはスペクトル反射曲線が異なるからである。理想としては VMK68 を使用するなら、VMK68 で作ったシェイドガイドを使うべきである。

色の見本に書かれた色相、明度、彩度をよく見て、どのようにそのシェイドを修正して歯の色にもっときちんと合わせるのか、その方法が決まれば、もっと精密に適切な opaque や body や stain が選べるだろう。ある特定の色が合わなければ色相、明度、彩度のそれぞれに、またはどこかに偏差があるかどうかを調べ、偏差のある要素に関して最初の色と違う色を表から選び、合わせている歯とその色とを比べてみる事である。

色を選択する順序

照明の状態を正しくしておくことは色彩選択にとっては根本的な必要条件であり、また周囲の環境も管理されていなければならない。

色を合わせる歯はまず清潔にし、徹底的にきれいにし、食物やタバコの汚れ付着物を取り除き、患者が習慣的にいつも汚れている人は、きれいに

する習慣をつけ restoration を挿入する約束の日にはもう一度磨く、また女性の患者には口紅を落とすようにし、色が選ばれたあとは、口紅をつけてもう一度色の具合を調べてみるのがよい。

視覚反応を統制する色相適応は、色覚をゆがめることがあるのでじっと見てはいけない。5秒間見比べれば十分だから、そのあとは目を休め、青い物をじっと見つめて視覚を敏感にしなければならない。見本と歯を比べるときは最初の印象が一番良い。しかし青い色は口の外で見比べるときに背景として使うべきではなく、使うのはまた視覚を敏感にさせるときだけに限る。青い色を背景として使うと黄色い歯を見る視覚が破壊される。このことは部分色の理論である程度まで説明できる。背景として使うには白が一番良い。はっきりしなければならないことは、偏差 (deviation) が少しでもあるかどうかということ、そしてその偏差が色相、明度、彩度のどれに存在しているのかということである。そうすれば、その色の組み合わせが患者に喜ばれるものかどうかを本当に公正に決定することになる。

色相、明度、彩度がどれ位い違っているかを見定めるには、明度の比較から始めるのが一番良い。まず見かけの違いに注目し、それから目を細めて見よう。桿状体細胞が明るさを受容する器官で主として目の周囲にあるので、目を細めてみると網膜に入ってくる光の量が減少し、視覚を黄斑から defocus するので、このことは桿状体の、円錐の視覚に対する割合を増大させる。目を細めて見るときに色合わせをしている歯と見本との間に大きな差がある場合は、明らかに明度が異なっているのである。注意すべきことは、色見本用の歯の明度が本物よりも高いか、それとも低いかということである。

色相について決めなければいけないのは、色の見本が比べる歯の色と同じか、或いはそれより黄色っぽいか、また赤っぽい、ということである。自然の歯の色の範囲は黄赤と黄色の領域内であるから、その他には何も決定する必要がない。第3番目として最後に比べることは、考慮中の2色の相対的彩度を明らかにすることである。

実際には多くの色見本は配列の仕方が非論理的であり、ある見本の歯が患者に喜ばれるような歯の助変数 (parameter) を満たすことが出来ないとい

きは、相当に吟味して、色相・明度・彩度の必要条件を最も満たすシェイドを、みつけることが必要であろう。3つの要素のうち2つは厳密に自然の歯に近づいていなければならない。そして重要な順に並べると選択するときの順序と同じで、まず明度それから色相、そして最後に彩度という順番になる。見本の歯と、色合わせをする歯とを同じ平面に置くべきである。こうすることにより周囲を照らす光は見本と歯牙に当って両者から同様に反射され歯頸部や incisal edges でおさえて、他の歯と同じような姿勢であるようにすべきである。また乾いた状態と濡れた状態の両方で色調を見るべきでむらなく反射できるようにする。濡らして比べてみるのが最も大切である。

色を合わせるときは決して記憶をたよりにしてはいけない。色の記憶というものは極めて変わり易く当てにならないものである。色合わせには慎重に論理的に取り掛からなければ失敗する⁵⁴⁾。

求められた基準を最もみたしているシェイドを選んだら、技工は精密に、不注意は許されない。また管理をきちんとして焼成すべきである。どんな色見本を使っても合うものがないことがよくある。この時は、技工作業の時か、または試適や装着の約束の日に歯科医師が修正しなければならない。どの明度とも合わない場合は、実際の歯より高い明度を選ぶべきである。減算色の原理を通じて明度を低くすることは、高くすることよりもずっとたやすい。彩度は低めのものを選ぶべきである。色相は黄色を強くするか、赤を強くするか、のいずれかの方向に変えられる。しかし黄色に修正する方が容易であり、この方が colorant がより強いためである。明度が高めの色や彩度が低めの色を選ぶと決めるのは、修正をする意志と能力があるときだけに限る。

VII. 色の機械的測定法

① 三刺激値 XYZ

XYZ系は1931年 CIE の決定に基づくもので、3種類の感光機構をもち、これをスペクトル刺激値と名付けた。

物体の色は照明する光源の分光分布 P、試料の分光反射率 P_λ、および人間の眼の特性・スペクトル刺激値 $\bar{x}\lambda$, $\bar{y}\lambda$, $\bar{z}\lambda$ の3つの要素の積によって数値が表わされている。

$$X = K \int_{380}^{780} P\lambda \cdot \bar{x}\lambda \cdot \rho\lambda \cdot d\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} P\lambda \cdot \bar{y}\lambda \cdot \rho\lambda \cdot d\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} P\lambda \cdot \bar{z}\lambda \cdot \rho\lambda \cdot d\lambda$$

この三刺激値は色の表示基本であり、この式は分光反射率（分光光度計により測定）をもとにして三刺激値 XYZ を求める事を示すものである。

② 歯科用 Micro Color Computer の開発⁴⁴⁾

色を測定する必要がある分野は現在極めて広く、歯科界においても、口腔内の歯牙、粘膜、齲蝕、歯科用材料、金属、その他多くの材料を測る上において測色計は欠く事が出来ない。

今まで使用されてきた Color-Meter は大規模な装置で、歯科用には不適當であり、細部を測定することは出来なかった。そこで1973年頃から橋口らは口腔内を測色出来る Micro Color Meter (computer) を考案した。この開発された装置は従来の測色計では測定出来ない、極めて微小面の測定が出来、その上小型化され性能が良く、0.5 mm ~ 5 mm に検知部を絞りを、ガラスファイバーを長く伸ばし、簡単に口腔内に挿入し、歯の色の測定および齲蝕歯の明度の測定等に適當になった。

本器は測定検知部、計測部および、光源用電圧

装置に分かれ、電圧の安定性があり、検知部はフレキシブルなガラスファイバーと、受光器の組合せからなり、計測部は L. S. I. (大規模集積回路) を用いたコンピューターを内蔵しているので、測定時間は僅か0.5秒で XYZ, xy を同時に表示する事が出来る。この機構は人間が試料を見て色を知覚する原理と全く同一の方法とすることができる。受光器は4種類あり、歯牙、陶歯測定 (φ 3 m/m) 用2種類と、口唇・皮膚測色用2種類 (φ 5 m/m, φ 2 m/m), 明度用 (φ 0.5 m/m) があり、容易に取付け交換が出来る。この機械の特長を列記すると、1. 微小面が測定可能、2. 口腔

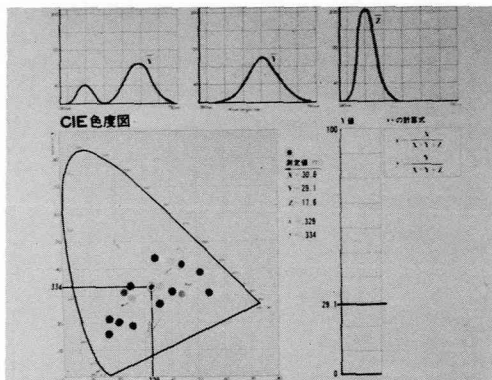


図19: スペクトル三刺激値

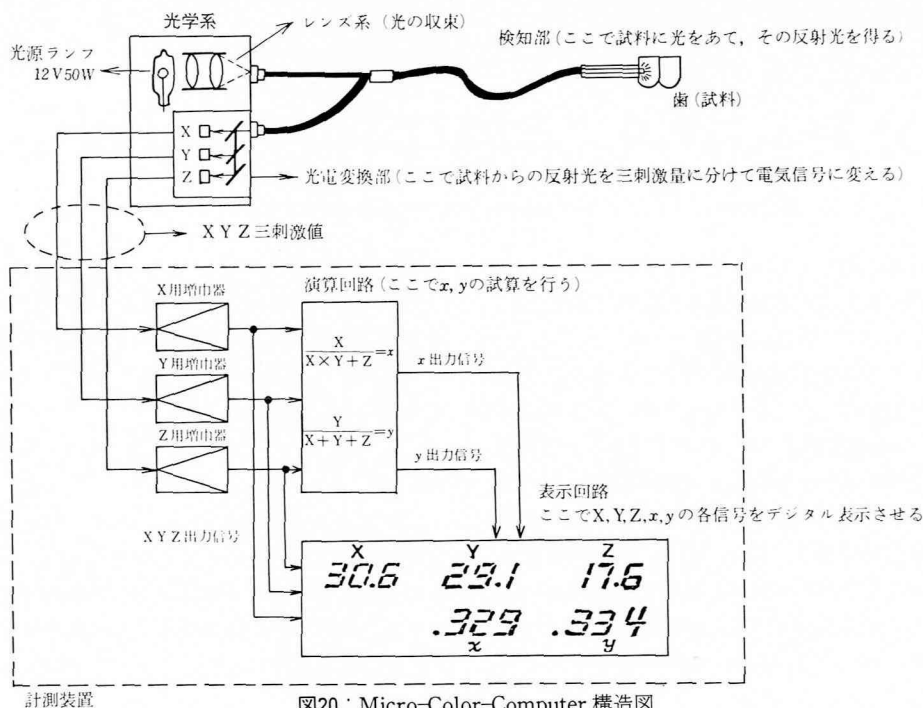


図20: Micro-Color-Computer 構造図

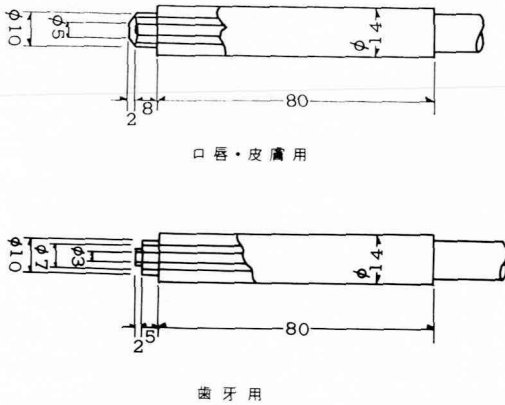


図21：受光器（歯牙用，口唇・皮膚測定用）



写真3：Micro-Color-Computer CDE-CH-4(直読測色)

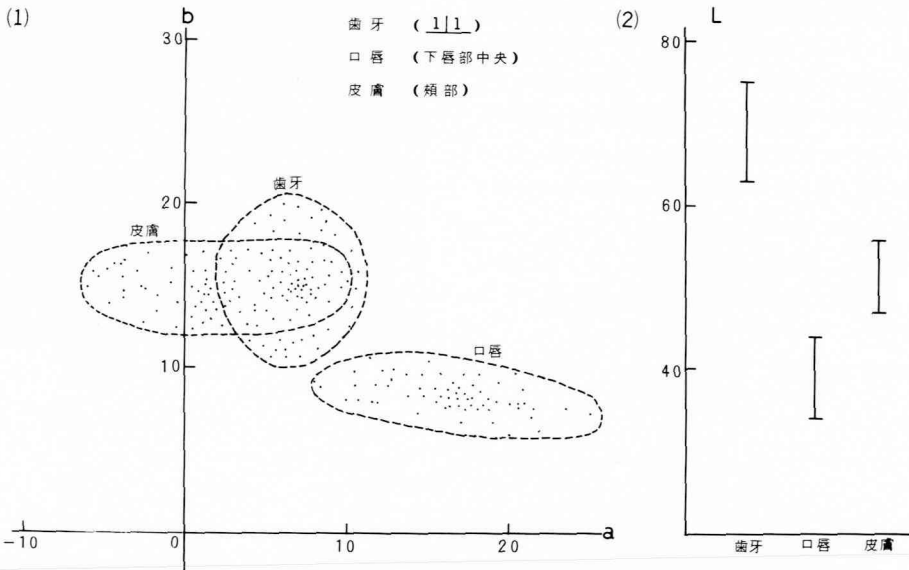


図22：歯牙，口唇，皮膚の Hunter 色度図(1)色度 (2)明度（橋口らの測定値）

内の測定が可能，3. コンピューターを採用し，測定時間は短かく高精度であり，4. 測定値 XYZ, xy をデジタルで同時表示出来る。

今までの Color Meter は XYZ の測定のみで，xy の同時測定は不可能であったが，この Micro Color Computer は XYZ, xy の値を0.5秒で同時に測定出来る。φ 0.5 m/m の検知部は，臼歯部の細部まで Y の値を測定する事が出来る。これにより齲蝕歯を探知し，歯牙，粘膜，歯牙補綴物の充填物の色を簡単に判定する事が可能になった。そこで，この Micro Color Computer を用い1976年から橋口らにより口腔内の色彩の解明に着手した(44)~(51)。

③ Yxy による表示

スペクトル刺激値 XYZ は色を表わす数値であるが，XYZ 値だけでは三次元のどんな色か判らない。したがって次の式より XYZ を変換し座標点をもとめる。

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

この x, y の値を色表示の基本である xy 色度図に入れこみ色彩を表わすことが出来る。xy 軸に垂直な方向に明るさ Y の軸があり，立体系の表色系となる。馬蹄形をした曲線は，各波長のスペクトル光の色度の軌跡で，色彩はすべて曲線内の座標点で示される。

④ 色差の表示方法

色は三次元の空間において、標準色と試料色の座標点間の幾何学的な距離の差を表わしたものである。

その色差公式は、色差表示方法として4種類ある。

(a) L*a*b*表色系による色差式：CIEが1976年に推奨した、知覚的にほぼ均等な歩度をもつ色空間における色差式

(b) L*u*v*表色系による色差式：CIEが1976年に推奨した色空間における色差式

(c) アダムスニッカーソンの色差式：マンセルバリュー関数を基礎として、E. Q. Adamsが1942年に提案した座標系に基づく色差式

(d) ハンターの色差式：1948年、R. S. Hunterが提案した色差式

$$L = 10 Y^{1/2}$$

$$a = 17.5 (1.02 X - Y) / Y^{1/2}$$

$$b = 7.0 (Y - 0.847 Z) / Y^{1/2}$$

L：明度指数

a, b：色度指数

Hunter 色差

$$\Delta E(\text{Lab}) = [(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2]^{1/2}$$

⑤ 測色値

色の器械光学的測定的应用は、色彩管理面から、工業界、医学界、薬剤、食品部門などあらゆる方面に応用され、測色されている。

ここにおいては、歯科関係の測色値を2, 3紹介して見たいと思う。まず資料をMicro Color Computerで測定、ハンター色差式でLabを求め、Lab座標点を求める。

歯牙(1|1)：aは2.0~11.0, bは10.0~20.5の領域を示し、Lは63.0~75.0の間にある。

口唇：aは8.0~26.0, bは6.0~11.0の領域にあり、Lは34.0~44.0の間にある。

皮膚：aは-8.0~10.0, bは12.0~18.0の領域にあり、Lは47.0~56.0の間にある(図21, 22)。

VIII. 口腔内restorationの美的修正

形状(外観)と表面の決定は、色そのものよりも重要である。形状や輪郭をコントロールすることは絶対必要である。これは美学的満足を得るためだけでなく、歯根骨膜の健康と維持のためでも

ある。いろいろな人の著作が示しているところによると歯頸部周辺が最も注意すべきで、歯の歯頸部の組織から萌出してくる部分は平らな形がよいという。これは合理的な生理学の概念であるが、それには機械的な要求と美学的な制約を伴う。陶材では輪郭をつけ過ぎてはならないが、色彩を描き出すためには幾分かの大きさが必要であり、耐久力を考慮すると、金属にも十分に空間がなければならぬ。これによって歯の調整や上部のデザインに関して一定の要求が出てくる⁵⁸⁾。

唇面は歯の指紋のようなもので、形、色共に満足に出来ても表面のきめが適切でないともまわりの自然の歯と調和しない。また歯の唇面からの光の反射は生気を帯び人工との区別をつけさせない力をもつ。

その表面を左右するのは線条や溝、切れ目や裂溝をどのように上手に刻みこむかではなく、最後のglazeにかかってくる。その場合、焼成温度、焼成時間、焼成回数などにより反射度が変化してくるため、この最後の仕事は歯科医師が仕上げるのが最も良い。

表面での光の反射力は、見かけの明度(明るさ)に影響を及ぼすので色彩と関係がある。光が滑らかな物体の表面にあたると、光の多くは表面反射があり、滑らかで光沢のある表面が明るく見えるのは、表面に投射される光が吸収や拡散による損失も殆どなく見る人に反射されているからである。

表面がでこぼこである場合(主に唇側)光は散乱し見る人の方へ直接反射される光の量は減少してしまふ。表面に光沢がなくむしろもっている場合、光は吸収される。表面が光沢なく滑らかでないときは、そこから反射する光の量はごく僅かである。

投射する光の最初の量は、以上4つの状況のいずれでも同じだったかもしれないが、外観は各々異なるであろう。

表面の形態学を考えると、光は平面から反射する時は曲面からのときと反射の仕方が違う。歯にはさまざまな移行部があるので外形は唇面やembrasuresやincisal edgeの向きやtransifional Line angles(移行線角度)の形態をどのように処置するかによって影響をうける。

Ponticsにおいて正しい歯の形を作り出すこと

は難しい、というのは反対側の歯を複写することは出来ず、その歯の間隔が一定しないからである。

光の反射を調整すれば、大きさや形に対して幻覚をひきおこすことが出来る。平らで明るい歯は実際より大きめに見え、それに対し、表面がより曲線的で移行線角度が丸く焼成した restoration は見かけが小さくなる。歯列弓の中でより目立つ位置にあるものは、より lingually などところにあるものより明るく見える。この形態、きめ色の相互関係がもとで、歯科医師の技術面での指導が必要となる。そしてまたこのことは、患者の望む restoration をつくりあげるために椅子の傍らで最後の手直しをするのは歯科医師の責任だと思う。

IX. ま と め

歯科診療に於ける色彩の問題は、目下最大の課題となっている。充填物、補綴物は色彩の合致なくして、十分な満足患者に与える筈がない。色彩を物理学、精神物理学、心理学の各領域から追求することが可能であり、その総合的研究が必要とされている。或面で、物理的考察と心理学的考察がくいちがう場合もある。例えば、物理学的原色とは、赤、緑、青であるのに対し(加算色)、心理学的原色は、赤、緑、青、に黄色を加える。アリストテレスに始まり、ニュートンによって、スペクトルに関する理論から現代の量子論に近い意識にまで達せられた。ニュートンは色の異なる光は屈折の角度も異なる。太陽の光は異なる屈折をする複数の光線から成り立つ。太陽の白色光が一組の色光から成り立っている。等の基本的発見をした。加算混合、減算混合、部分色、異性体、色彩の温度については各項で述べた。Thomas Young 博士によって、色は明度、色相と彩度で示される事が発見された。以後色が数値で現わされるようになり、徐々にその秘密がヴェールを脱ぎ出した。光が電磁波である以上物の色は、光が反射し、吸収されない波長のもののみ、その物体の色となる。その際光源の明度の高さがおのずから要求されてくる。太陽光線が明度の高い光源と考えられていたのは昔の話で、現在は D_{65} 昼光色が最も理想とされている。光源を発した光はその瞬間、発散、屈折、反射のため、そのままの量は得られない。そのため光源を発した光をなるべくそのまま用いる方法を考案するのが最高である。積

分球診療室はその一つの試作である。この中では、歯牙の色彩が最も理想的な状態で認識される。歯科医学における色彩科学を紙面の関係上各論にふれることなく総括してみた。

参 考 文 献

- 1) Newton, I. (1955) Dover Publications, Inc. (based on ed. 4, 1730) Optiks, New York.
- 2) Wyszecki, G. (1970) Development of New CIE standard Sources for Colorimetry. *Farbe*, 19: 43.
- 3) Clark, E. B. (1931) The color problem in dentistry. *Dent. Dig.* 37: 499, 571, 646, 732, 815.
- 4) Sproull, R. C. (1973) Color matching in dentistry, Part II. *J. Prosthet. Dent.* 29: 556-566.
- 5) Caul, H. J. and Schoonover, C. (1953) The color Stability of direct filling resin. *J. Amer. dent. Ass.* 47: 443-452.
- 6) Hunter, R. S. (1958) Photoelectric color difference meter. *J. opt. Soc. Amer.* 48: 985-995.
- 7) 総山孝雄, 岩本次男, 平野忠彦, 金井尚三, 奥田礼一, 本村和義 (1962) レジン充填の臨床成績ならびにケイ酸セメント充填との比較. *歯科器材誌*, 8: 101-115.
- 8) 平野忠彦 (1964) レジン充填の変色について (その1, 化学的変色). *日歯保誌*, 7(1): 25-32.
- 9) 平野忠彦 (1968) レジン充填の変色について (その2, 有機色素による変色). *口病会誌*, 35(2): 272-281.
- 10) 関根 弘, 石井 恒, 遠藤義弘, 岡田京子, 平井泰征 (1968) 陶材歯冠の色沢に対する合着用セメントの色調の影響について. *歯科学報*, 68: 1362-1367.
- 11) Lee, H. L, Swartz, M. L. and Smith, F. F. (1969) Physical properties of four Thermosetting dental restorative Resins. *J. dent. Res.* 48: 526-534.
- 12) 山本昌雄, 沢野征一郎, 滝本伸枝, 中沢省三, 松井 昌 (1970) 新しいコンポジットタイプのエポキシ系充填材料 "Yarbon-A69" についての実験的研究, 第二報 色調安定性について. *广大歯誌*, 2: 139-154.
- 13) 山本昌雄, 滝本伸枝, 沢野征一郎, 中沢省三, 松井 昌 (1970) 新しいコンポジットタイプのエポキシ系充填材料 "Yarbon-A69" についての実験的研究(第三報変色性について). *广大歯誌*, 2: 155-160.
- 14) 福田和彦, 竹村金造, 岩崎 直, 滝内春雄(1971) コンポジットレジンの色調. *日歯保誌*, 14: 30-35.
- 15) 坂田多喜雄, 山崎正隆, 杉山優子, 須田信之, 奥

- 田礼一, 和久本真雄 (1972) ファイバーカラーメーターの保存領域での応用. 日歯材器誌, 27: 37-42.
- 16) 草柳英二(1976)保存修復材 PALAKAV に関する測色的研究. 歯科学報, 76: 483-524.
- 17) 久光 久, 酒井彬博, 横山尚人, 高山恭一, 岩久正明 (1977) コンポジットレジンの変色に関する研究. 日本歯保誌, 20: 149-153.
- 18) 有近徳幸(1979)保存修復材 Pile-A に関する測色的研究. 歯科学報, 79: 1489-1490.
- 19) 須賀長市 (1977) 耐候光と色彩. スガ試験機株式会社, 東京.
- 20) 橋口緯徳 (1977) 歯科医学領域におけるマイクロカラーコンピューターの役割. スガ・テクニカル・ニュース, (64): 5-6.
- 21) 橋口緯徳 (1980) 積分球標準光源に関する研究. 松本歯学, 6: 179-188.
- 22) Jack D. Preston, Stephen F. Beren (1980) Color Science and Dental art. The Mosby Co. St. Louis.
- 23) Thomas Y. (1973) Optical Society of America, Committee on colorimetry. The science of color, Crowell Co., Publishers.
- 24) Munsell, A. H (1936) A color Notation, Baltimore. Munsell Color co., Publishers.
- 25) Sproull, R. C. (1979) Personal communication.
- 26) The Color Tree (1965) Inter Chemical Corp. 43. New York.
- 27) Judd, D. B., Wyszecki G. (1963) Color in business, science and industry. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- 28) Land, E. H. (1977) The Retinex theory of color vision. Sci. Amer. 237 (6): 108.
- 29) Rushton, W. A. H. (1975) Visual pigments and color blindness. Sci. Amer. 64.
- 30) Nakanishi, K., and associates (1979) Hydroretinals, hydrorhodopsins, An external point, charge model for wave length regulation in visual pigments, Through space electrostatic effects in electronic spectral. J. Amer. Chem. Soc., 101(23): 7082-7088.
- 31) Billmeyer, F. W., Saltzman, M. (1966) Principles of color technology. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- 32) Bergen. S., and Mac Casland, J. (1977) Dental operatory lighting and tooth color discrimination. J. Amer. Dent. Ass. 94: 130.
- 33) Bobrick, M., Hall, G. (1968) Improved illumination of the dental treatment room, U. S. A. F. School of Aerospace Medicine. Brooks AFB Tex.
- 34) Preston, J. D., Ward, L. C., Bobrick, M. (1978) Light and lighting in the dental office. Dent. Cli. of North Amer. 22(3): 431-451.
- 35) 重台五郎 (1978) 基礎照明工学. 東明社, 東京.
- 36) 茶木 清 (1979) 色の測定について. DE60: 34-39.
- 37) 橋口緯徳, 田村 睦, 坂口賢司, 長野朱実, 神津瑛(1980)積分球診療室の光学的研究, 第1報 積分球診療室の作製とその照度について. 松本歯学, 6: 189-202.
- 38) 坂口賢司, 谷内秀寿, 伊比 篤, 宮川 崇, 橋口緯徳 (1981) 積分球診療室の光学的研究, 第2報 積分球診療室と技工室照度の比較. 日歯技誌, 2: 119-123.
- 39) 橋口緯徳, 谷内秀寿, 長野朱実, 宮川 崇, 伊比篤(1981)積分球診療室の光学的研究, 第3報 積分球内照度と疲労度について. 松本歯学, 7: 87-94.
- 40) 橋口緯徳, 長野朱実, 伊比 篤, 宮川 崇, 谷内秀寿 (1981) 積分球診療室の光学的研究, 第4報 積分球内壁の色による照度と疲労度並びに心理的観察について. 松本歯学, 7: 221-229.
- 41) 坂口賢司, 谷内秀寿, 伊比 篤, 汲田 健, 宮川崇, 橋口緯徳 (1982) 積分球診療室の光学的研究, 第5報 積分球内と技工室の照度および疲労度について. 日歯技誌, 3: (発刊予定)
- 42) 橋口緯徳, 山本真也, 汲田 健, 吉田潤一郎, 有賀 功, 矢ヶ崎 崇 (1982) 交通事故による歯牙外傷に対する前歯部修復の3例. 松本歯学, 8: 121-126.
- 43) 橋口緯徳, 神津 瑛, 伊比 篤, 松井啓至, 米山清志, 山西一郎, 原 俊 (1982) 歯牙外傷に対する前歯部修復の2例. 松本歯学 8: 127-131.
- 44) 橋口緯徳, 須賀長市, 益田善任, 平川昭二(1980) 口腔内の色彩に関する研究, 第1報 歯科用マイクロカラーメーターの考案と陶歯の色の測定. 松本歯学, 6: 59-67.
- 45) 橋口緯徳, 神津 瑛 (1980) 口腔内の色彩に関する研究, 第2報 抜去歯牙の色彩. 松本歯学, 6: 68-73.
- 46) 橋口緯徳, 田村 睦, 長野朱実, 須賀長市, 益田善任, 平川昭二 (1980) 口腔内の色彩に関する研究, 第3報 口腔内の測定値. 松本歯学, 6: 74-80.
- 47) 橋口緯徳, 神津 瑛, 坂口賢司, 伊比 篤, 宮川崇, 長野朱実 (1981) 口腔内の色彩に関する研究, 第4報 光の構成と陶歯の色. 松本歯学, 7: 77-86.
- 48) 橋口緯徳, 神津 瑛, 山本真也, 坂口賢司, 伊比篤 (1981) 口腔内の色彩に関する研究, 第5報 Dental Color Analyzer による歯牙の色彩と肉眼的測定値について. 松本歯学, 7: 205-220.
- 49) 橋口緯徳, 長野朱実, 伊比 篤, 汲田 健(1982)

- 口腔内の色彩に関する研究, 第6報 Micro-Color-Computer 受光器改良と陶歯の色. (1) VITA-LUMIN, 松本歯学, 8: 77-86.
- 50) 橋口緯徳, 伊比 篤, 汲田 健, 長野朱実(1982) 口腔内の色彩に関する研究, 第7報 Micro-Color-Computer による陶歯の色(2) TRU-BYTE-BIOFORM, SHOFU-REAL 陶歯. 松本歯学, 8: 87-99.
- 51) 橋口緯徳, 神津 英, 田村 睦, 山本真也, 坂口賢司, 伊比 篤 (1982) 口腔内の色彩に関する研究, 第8報 歯牙における Micro-Color-Computer と肉眼的測定値との比較. 松本歯学, 8: 100-107.
- 52) Lemire, P. A., Burk, B., (1975) Color in dentistry. Bloomfield, Conn., J. M. Ney Co.
- 53) Marui, M. (1963) J. Jpn. Stomatol Soc, 35: 412.
- 54) Culpepper, W. P. (1970) A comparative study of shade matching procedures. T. Proshet. Dent, 24: 166-173.
- 55) Bergen, S. (1975) Master's thesis. New York Univ.
- 56) Stein, R. S., Kuwata, M. (1977) A dentist and dental technologist analyze current ceramometal Procedures. Dent. Clin. of North Amer. 21: 729.
- 57) Eissman, H., Radke, R., Noble, W. (1971) Physiologic design criteria for fixed dental restorations. Dent. Clin. of North Amer. 15: 611.
- 58) Burch, J. G. (1971) Ten rules for developing crown contours in restorations. Dent. Clin. of North Amer. 15: 611.
- 59) Preston, J. D. (1977) Rational approach to tooth preparation for ceramometal restorations. Dent. Clin. of North Amer. 21: 613.
- 60) 潤田和好, 腰原 好, 片岡保夫, 羽賀通夫(1965) 陶材の色彩学的研究 (第1報). 補綴誌, 9: 173-181.
- 61) 潤田和好 (1966) 陶材の色彩学的研究 (第2報). 補綴誌, 10: 242-247.
- 62) 桑山則彦 (1970) 歯科用陶材の研究 (粉末と焼結体の色調について). 医器材研報, 4: 89-95.
- 63) 中川喜晴, 丸山剛郎, 下総高次 (1972) 陶材補綴におけるシェイドセレクション (色調選択) に関する研究, 第1報 各種シェイドガイドの構成分析について. 補綴誌, 16: 144-157.
- 64) 吉田 皓 (1972) 陶材の色に関する測色的研究. 補綴誌, 16: 245-267.
- 65) Committee on Colorimetry Optical Society of America (1953) The Science of Color Thomsy. Crowell Co. New York.
- 66) Rossi, Bruno (1967) Optics Addisonwesley. Publishing Co., Inc. London.
- 67) Skinner, E. W. (1967) スキンナー 歯科材料科学. 医歯薬出版, 東京.
- 68) 色彩科学協会 (1966) 色彩科学ハンドブック (3版). 南江堂, 東京.
- 69) 金子隆芳 (1970) 色の科学 (2版). みすず書房, 東京.
- 70) Wyszecki, G. and Stiles, W. (1967) Color Science, John Wiley & Sons.
- 71) Judd, D. H. and Wyszecki, G. (1975) Color in Business, Science and Industry 3rd ed, John Wiley & Sons.
- 72) Baumgratner, W. J., Weis, R. P. and Reyher, J. L. (1969) The diagnostic value of redness ingingivitis. J. Periodont. 37: 294-297.
- 73) Committee on Colorimetry Optical Society of America (1953), The Science of Color Thomsy. Crowell Co, New York.
- 74) 川上元郎 (1978) 色の常識. 日本規格協会, 東京.
- 75) 照明学会編(1979) Lighting Handbook. オーム社, 東京.
- 76) 大山松次郎(1980) 新編照明講義案(第2報). オーム社, 東京.
- 77) 小堀富次雄 (1977) 照明システム基礎と応用. 東海大学出版会, 東京.
- 78) 角取猛司 (1978) 照明設計の実際と考え方. 東京電機大学出版局, 東京.
- 79) 奥田 毅, 真室哲雄 (1971) 基礎物理学中巻. 内田老鶴園新社, 東京.
- 80) 真鍋満太 (1968) アルミナス補強ポーセレンジャケットクラウンとその着色の考究とシェイドの選択. 日歯評論, (307): 546-555.
- 81) 山本 真 (1982) カラーアトラス ザ・メタルセラミックス. クインテッセンス出版, 東京.
- 82) 羽賀通夫 (1972) 歯の色を測る. 補綴臨床, 5: 119-122.
- 83) 指宿真澄, 加藤愛子, 浅岡一馬, 今井基泰(1977) バイオブレンドシェードガイドの色調に関する研究. 補綴誌, 20: 546-550.
- 84) 丸山剛郎, 中川喜晴 (1979) 色調選択. 補綴臨床別冊, 補綴の診療計画とその診査, 152-159.