原	著
---	---

歯冠の透明感覚尺度の構成

森 山 旭

東京医科歯科大学歯学部高齢者歯科学講座（指導：長尾正憲教授）

（1994 年 9 月 30 日 受付）

Psychophysical Scaling of Translucent Sensory Measurement of Tooth Crowns

Noboru Moriyama

Department of Geriatric Dentistry, Faculty of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University
(Director : Prof. Masanori Nagao)

The purpose of this study is to investigate the translucent sensory measurement as a basic study for developing the translucent sensory scale (Haze Guide) of tooth crowns. Seven subjects with normal visual sensation were examined to search for the translucent sensory interval of uncertainty using methods of limits, and 3 panels were selected from this result and prepared for further experiments. Fact-findings of the translucent senses were performed on these 3 panels using the magnitude estimation method and the absolute judgement method. With these methods we were able to construct the translucent sensory measurement and to establish the ranges of Haze scores and magnitude of each step and a permitted limit of each Haze tab, which should be possessed with the tooth crown translucent sensory scale.

The results were as follows :

1. The translucent senses were well adapted to the Stevens power law of modality characteristic exponent. The exponent was 1.74.
2. Standard light translucent sensory guide for tooth crowns were in the range between 25.2% and 91.9% at Haze values. Eighteen steps were arranged within this range, and when the Haze difference was taken larger at lower Haze values and the difference was taken smaller accordingly at higher values, the visual sensation came to achieve an equally appearing interval of translucency.

I. 緒 言

歯冠色の研究が進む一方で、人工歯のリアリティのための要件については、光透過性と光沢の2要素が不可欠という指摘はなされても¹⁻⁷⁾、研究方法が確立されていないために遅々として進んでいない。多くの歯冠色の研究報告のなかで、加藤⁸⁾のみは切端部について独特の見解を明らか

にした。すなわち、上顎前歯の歯冠切端側1/3については、色の3属性の計測を行ったが、外観に及ぼす歯の個性は色違いよりも、透明性の違いのほうが大きいとした。その後、指宿⁹⁾が単独で歯冠用の透明感のガイドを開発する基礎的な実験を行ったが、実用の域には達しなかった。

透明感という視覚情報を感覚を起こさせる原刺激の特性として捉えるか、刺激によって起こされ

た結果としての感覚の側で評価するかの違いは実験の大きな岐路であるが、臨床的には感覚の側で捉えるほうがわかりやすく、しかも研究成果を臨床に直接反映させやすいと考えた。そこで、視感比色法における標準色票に相当するガイド（歯冠用標準光透過票，ヘーズガイド）を開発する基礎的な研究として、透明感の感覚尺度について検討した。

II. 方法および材料

本実験は大別して2つからなる。第1実験は透明感覚尺度を具体化するために、7人の被験者についてその透明感覚を実験心理学の極限法¹⁰⁾により調査し、刺激に対する主観的等価点と不確定範囲を求め、第2実験に必要な官能検査パネルを選出した。第2実験は歯冠用標準光透過票（ヘーズガイド）の理論値と許容ヘーズ差を明らかにすることである。そのためには、選出した官能検査パネルについて、やはり実験心理学の手法であるマグニチュード推定法¹¹⁾を用いてヘーズ値と透明感の大きさを、また絶対判断法¹²⁾を用いてヘーズ値と透明感を言葉で表現した場合のカテゴリーの整合性について調査した。以上の実験をもとに、透明感感覚尺度を構成し、歯冠用標準光透過票を作成する際のヘーズ値の範囲とステップ、許容ヘーズ差を求めた。

1. 第1実験 ヘーズの弁別閾

官能検査の手法の一つである、極限法を用いた。すなわち、テスト用カードは、図1に示すような1辺15 cmの正方形をした明度7の無彩色を背景にして、中央には1×1 cmの窓がある。その窓の裏面に、刺激となるポリプロピレン・シートが貼ってある。右の窓を標準刺激として、左の窓は系列刺激を順次提示する。初めは、左右のヘーズ値（曇価）の違いを一目で識別できるほど大きくしてある。しかし、順次系列刺激のヘーズ値を標準刺激に近づけて行くと、あるところでその違いがわからなくなるところがあり、そこで打ち切る。

実験は、テスト法になれるために1度練習した

図1 極限法によるヘーズ差識別テスト用カードの一例。右の窓は標準刺激、左の窓は比較刺激。微少なヘーズ違いのものから大差までの系列刺激を用意した

後、同一被験者に対して上昇系列と下降系列の2回を1セットとして同一日に2セット行い、3日間で合計6セット行った。1度目は系列刺激を標準刺激よりヘーズ値が高いほうから順に低めて行くように変化させ、2度目は逆にヘーズ値の低いほうから高めて行くようにした。たとえば、1度目の実験では次のように被験者に指示する。「左のほうが右より明らかに不透明になっています。そうですね」と確認させた後、「それでは、これから左のほうの不透明度を順に変えて行きますから、左右が等しくない時は等しくない、わからないあるいは確かに等しいと感じる時は、わからないとか等しいといって下さい」。

半透明の物体としては、薄手の0.02 mm厚のポリプロピレンシートを十数枚と厚手の0.5 mm厚のものを数枚用意し、適宜重ね合わせてヘーズ値を変えるようにした。薄手のシートは1枚でヘーズ値が1.0%前後、厚手のものは同じく20.0~40.0%である。これらのシートを重ね合わせた時に、ヘーズ値は単純に加算されるのではなく、加算した値より低く複雑に変化するので、刺激を変えるごとに測定器に掛けてヘーズ値を確認した。標準刺激のヘーズ値は、5.0%から10%違いで85.0%まで9段階用意した（表1）。

表 1 標準刺激に対する各被験者の不確定範囲

		標準刺激									
		目標値	85.0	75.0	65.0	55.0	45.0	35.0	25.0	15.0	5.0
		実測値	85.3	75.6	66.4	56.5	45.9	35.6	26.5	13.4	6.1
被 験 者 (男 M 女 F 年 齢)	A (M. 50)	上	86.1	75.6	67.0	57.4	46.9	37.2	28.5	18.4	14.6
		下	85.0	74.4	65.5	55.5	44.9	33.5	24.0	8.8	3.1*
		PSE	85.6	75.0	66.3	56.5	45.9	35.4	26.3	13.6	—
		RAN	1.1	1.2	1.5	1.9	2.0	3.7	4.5	9.6	—
	B (F. 33)	上	85.8	76.6	67.0	57.4	48.1	37.2	28.5	18.4	24.3
		下	84.7	75.3	65.3	55.1	43.5	33.5	23.7	6.3	3.5
		PSE	85.3	76.0	66.1	56.8	45.8	35.4	26.1	12.4	13.9
		RAN	1.1	1.3	1.7	2.3	4.6	3.7	4.8	12.1	20.8
	C (M. 30)	上	85.8	74.4	67.4	57.4	48.1	37.2	29.4	17.9	17.9
		下	84.3	72.6	65.3	55.1	43.5	33.7	22.5	6.3	3.1*
		PSE	85.0	73.5	66.4	56.8	45.8	35.5	26.0	12.1	—
		RAN	1.5	1.8	2.1	2.3	4.6	3.5	6.9	11.6	—
	D (M. 25)	上	85.8	76.6	67.0	57.4	46.9	37.2	28.0	17.9	14.6
		下	84.6	75.3	65.5	55.5	44.6	33.5	23.4	7.9	3.1*
		PSE	85.2	76.0	66.3	56.5	46.2	35.4	25.7	12.9	—
		RAN	1.2	1.3	1.5	1.9	2.3	3.7	4.6	10.0	—
	E (F. 25)	上	87.2	76.6	67.4	57.7	48.1	37.2	29.4	18.4	25.1
		下	85.0	75.0	65.3	55.5	43.5	33.5	22.5	6.3	3.5
		PSE	86.1	75.8	66.4	56.6	45.8	35.4	26.0	12.3	14.3
		RAN	2.2	1.6	2.1	2.2	4.6	3.7	6.9	12.1	21.6
	F (F. 22)	上	85.8	76.0	67.0	57.4	46.9	36.8	28.5	16.4	17.9
		下	84.8	75.0	65.3	55.5	44.9	33.5	24.0	7.9	3.1*
		PSE	85.3	75.5	4.2	56.5	45.9	35.2	26.3	12.2	—
		RAN	1.0	1.0	1.7	1.9	2.0	3.3	4.5	8.5	—
	G (M. 18)	上	86.1	76.6	67.0	57.4	47.9	38.6	28.5	18.4	18.4
		下	84.4	74.6	64.6	54.2	43.5	32.6	21.5	4.9	3.1*
		PSE	86.3	75.6	65.8	55.8	45.7	35.6	25.0	11.7	—
		RAN	1.7	2.0	2.4	3.2	4.4	6.0	7.0	13.5	—
	全被験者	上	87.0	76.6	67.4	57.7	48.1	38.6	29.4	18.4	25.1
		下	84.3	72.6	64.6	54.2	43.5	32.6	21.5	4.9	3.1*
		PSE	85.7	74.6	66.0	56.0	45.8	35.6	25.2	11.7	—
		RAN	1.4	1.5	1.9	2.2	3.5	3.9	5.6	11.1	—

*印はテスト資料の最低ヘーズ値であるために、実際の下弁別閾はこの値より低いと考えられる。上：上方弁別閾，下：下方弁別閾，PSE：主観的等価点，RAN：不確定範囲，ただし，全被験者欄の RAN は各被験者の平均値

実験の環境は、視感比色を行う場合に準じて、日本色研事業(株)製標準型比色検査照明器 CS 802 型を用いた(図 2)。この照明器は上部に 4 本の 20 W 超高演色型蛍光灯が設置されており、資料をほぼ 2,000 ルクスの明るさで真上の方向から下向きに照明する。なお、正面の壁は黒色であり、左右と底面は明度 7 の無彩色である。実験に際して、被験者はテストカードを照明器内に、上方からの照明光束に対して 45 度、しかも自分の視線に対して正対するように保持して観察する(図 3)。

被験者は 18~50 歳の男女 7 名であり、特に色覚異常はない視覚の健常者である。

図 2 日本色研事業(株)製標準型比色検査照明器 CS 802 型。内部に極限法ヘーズ差識別カードを保持して観察する。照明光はフィルターにより上部から垂直方向に照射する

図 3 観察者の視線と光束がテストカードとなす角度。JIS Z 8723 表面色の観察方法に準拠し、カードと光束は 45 度、カードと眼は 90 度

2. 第 2 実験

1) マグニチュード推定法

極限法のカードと同様の構造であり、ヘーズ値 55.0% (実測値 56.5%) を基準刺激とし、不透明感指数 40 とする。これと併置して提示刺激があり、基準刺激との不透明感の違いを比例的に評価し、指数を口答させる。提示刺激のヘーズ値は 5.0% を最低として、10% 違いで 85.0% まで 9 種ある。提示刺激のテスト順はヘーズ値の大きさには無関係でランダムである。被験者は、極限法の成績で選ばれた 3 名のパネルで、実験環境は極限法の場合と同じである。

2) 絶対判断法

極限法カードの系列刺激を取り除き、標準刺激だけにしたものを用いた。透明感のカテゴリーを 7 段階(表 2)に言葉で表した用紙を目の前に置き、手渡されたカードの刺激がカテゴリーのいずれに相当するかを口答する。被験者ならびに実験環境はマグニチュード推定法の場合と同一である。このテストは、同一人に 1 日 1 回、5 日にわたって計 5 回行った。

表 2 絶対判断法による尺度カテゴリー

カテゴリー
1. ほぼ透明といえる
2. 透明感が非常に強い
3. 透明感がはっきりある
4. 中ぐらいの透明感である
5. 透明感が少ない
6. 透明感が非常に少ない
7. ほぼ不透明といえる

3) ヘーズの測定

各資料の測定は、スガ試験機(株)製直読ヘーズコンピュータ HGM-2 DP 型(図 4, 5)を用いた。このヘーズメーターは、直径 25 mm 以上の大きさの資料を本体内に入れ、スイッチを入れるだけで、全光線透過率、拡散光透過率、平行光線透過率、ヘーズ値を全自動的に演算部で算出し、プリ

図4 スガ試験機(株)製直読ヘーズコンピューター
HGM-2 DP 型。測定時間は5秒以内

ントアウトする。

III. 結 果

1. 上方弁別閾, 下方弁別閾, 不確定範囲

人の官能には、不確定範囲（不定帯）といわれるものがあり、この範囲のなかで刺激を変えても官能はその変化を知覚できない¹³⁾。本実験においては、ヘーズ値の大きいほうから小さいほうへ変えていった場合に透明性が等価と知覚した、あるいは違いが分からなくなった時の値が上方弁別閾であり、ヘーズ値を低いほうから高いほうへ変えていった時の値が下方弁別閾である。この両方の

値の間では、その被験者は標準刺激との違いを知覚することはできないことになり、その幅を不確定範囲という。

全被験者について、9種類の標準刺激に対する各測定値を表1に示す。用意した系列刺激の最低が3.1%であり、下方弁別閾を調べる場合の5.5%の標準刺激については、最も離れた刺激のこの価でも見分けがつかなかった被験者が5人（A, C, D, F, G）いた。これらの被験者の場合は、下方弁別閾は3.1%以下であるが詳細は不明で、不確定範囲は求められない。不確定範囲の大きさは、低ヘーズ値のものほど大きく、高ヘーズ値になるにつれて小さくなるという傾向が被験者全員に共通しているが個人差は大きい。すなわち、ヘーズ値50%以上の高ヘーズについては、不確定範囲の平均は被験者A, Fが1.4, Dが1.5, Bが1.6, Cが1.9, Eが2.0, Gが2.3であった。一方、ヘーズ値50%未満の低ヘーズについては、Fが4.6, Aが5.0, Dが5.2, Bが6.3, Cが6.7, Eが6.8, Gが7.7であり、高ヘーズに対して成績のよい者は低ヘーズに対しても好成績であった。主観的等価点と実測値のずれが小さく、しかも不確定範囲の幅が狭い者A, D, Fを成績優秀として、次の標準光透過票作成のための官能検査パネルとして選出した（表1, 3）。

図5 ヘーズメーターの模式図

表3 ヘーズ値別不確定範囲

被験者	高ヘーズ値の平均 不確定範囲(%)	低ヘーズ値の平均 不確定範囲(%)
A	1.4	5.0
B	1.6	6.3
C	1.9	6.7
D	1.5	5.2
E	2.0	6.8
F	1.4	4.6
G	2.3	7.7

高ヘーズ：55, 65, 75, 85%

低ヘーズ：45, 35, 25, 15%

2. マグニチュード推定

先の実験により、ヘーズ差の識別能力が優れていた3名の官能検査パネルを対象として行ったマグニチュード推定法の実験結果を表4に示す。ヘーズ値55.0%は基準刺激であり、その不透明感の指数を40とするように指示した。ただしスコアの上限、下限については、パネルが自由に感覚に

基づいて評価するのであり、特に取り決めはしていない。ただし、不透明感が感覚的に2倍大きいと感じればスコアは80とし、3倍ならば120、半分なら20と比率で表すように指示してある。

3人のパネルの合計15回のテストから中央値を求め、それぞれの刺激(S)に対するマグニチュード推定値(R)とした。SとRの関係を図6、7に示す。グラフの横軸は刺激Sの対数を取り、縦軸は反応Rであるが、図6では普通目盛りに、図7では対数目盛りにとってある。図6において結果はほぼ二次曲線となり、図7においてはほぼ直線的になった。

3. 絶対判断

同じ3人のパネルについて、9種類の資料の透明感を7つのカテゴリー(表2)に分類するテストを行った。カテゴリー標識番号はデータ整理上必要で、パネルには番号のないものを提示した。番号がついていると、比率尺度や間隔尺度と勘違いしかねないからである。各パネルが5回づつ、延べ15回の実験結果の平均値を求めて、その刺激

表4 ヘーズ刺激に対するマグニチュード推定

		目標値	85.0	75.0	65.0	55.0	45.0	35.0	25.0	15.0	5.0
		実測値	85.3	75.6	66.4	56.5	45.9	35.6	26.5	13.4	6.1
パ ネ ル	A	1	90	70	50	40	30	15	10	3	1
		回 2	90	65	50	40	25	20	10	3	1
		3	90	70	60	40	30	15	10	5	1
		数 4	90	70	60	40	30	15	10	5	1
		5	90	60	55	40	20	20	10	5	1
	D	1	85	75	60	40	30	15	8	2	1
		回 2	90	80	65	40	30	15	10	4	1
		3	90	80	70	40	20	10	5	2	1
		数 4	100	90	75	40	25	10	5	3	1
		5	100	90	65	40	30	15	5	3	1
	F	1	95	70	50	40	30	20	10	5	2
		回 2	90	85	50	40	30	20	10	5	3
		3	90	85	40	40	25	15	10	3	1
		数 4	85	80	45	40	20	15	10	3	1
		5	95	75	40	40	20	15	10	5	1
	中央値		90	75	55	40	30	15	10	3	1

図 6 ヘーズとマグニチュード推定との関係を片対数軸で表示

図 7 ヘーズとマグニチュード推定との関係を両対数軸で表示

表 5 ヘーズ刺激に対する各被験者の絶対判断の結果

		提示した標準刺激 (S)									
		目標値	85.0	75.0	65.0	55.0	45.0	35.0	25.0	15.0	5.0
		実測値	85.3	75.6	66.4	56.5	45.9	35.6	26.5	13.4	6.1
パ ネ ル	A	1	7	6	5	5	3	3	3	2	1
		回 2	7	6	6	4	3	3	2	1	1
		3	6	6	5	4	4	3	3	2	1
		数 4	6	6	5	5	4	3	3	2	1
		5	6	5	5	4	3	3	2	1	1
	D	1	6	6	5	5	4	3	3	2	1
		回 2	6	6	5	5	4	3	3	2	1
		3	6	5	5	4	4	3	2	2	1
		数 4	7	6	6	4	3	3	2	1	1
		5	7	6	5	5	4	3	2	1	1
	F	1	7	6	5	5	4	3	3	2	1
		回 2	7	6	4	4	3	3	3	2	1
		3	7	6	5	3	3	3	2	1	1
		数 4	7	6	5	3	3	3	2	1	1
		5	7	6	4	4	3	3	2	1	1
	平均値 (J)		6.6	5.9	5.0	4.3	3.5	3.0	2.5	1.5	1.0

に対する反応Jとした(表5)。この尺度カテゴリーは、言葉で表現されていても透明感という連続した感覚を対象としており、尺度カテゴリーにつけた数字は表6に示すような単なる名義尺度や順序尺度ではない。したがって、小数点以下の数値が算出されても意味をもつ。

IV. 考 察

歯冠色を目視で測るように、歯の光透過性を観察者が視覚を頼りに測ることができるのであろうか。本研究は主観的な透明感の感覚の大きさと、その測定に用いる透明感の感覚尺度について考察する。感覚・知覚を科学の1現象として捉えようとする、測定ということが必然となる。すなわち、測定対象となる量があり、この量をなんらかの計測法あるいは計測機器を用いて測定しなければならない。一般の計測器は、量を数で現すために用いられるものであり、そこでは問題になっている量と得られた数の間には1対1関係が存在しなければならない。測定とはこのようにある量と数との間に一義的な対応関係を確立する方法である。したがって、歯冠の光透過性を測定できるかどうかということは、歯冠の光透過性という物理的な量に対して、透明感という感覚量を数で対応させるかどうかという問題に帰着する。

1. 官能検査パネルについて

官能的に測定または検査、評価する人を官能検査パネルまたはパネリストという¹⁴⁾。官能検査パネルは官能的品質特性の測定機器の役割を果たさなければならないので、問題点の最大のものは感覚の個人差である。この個人差には生理的能力の個人差と心理的能力の個人差がある。生理的能力には、感覚器の先天的、後天的欠陥がある場合は論外として、刺激閾や弁別閾で表される知覚の鋭敏さの程度をはじめ、類似刺激の種類によっても鋭敏さが変わらないことが要求される。また、心理的能力としては判断基準の妥当性と安定性がある。標準・限度見本が与えられれば、その見本からの差を検出する能力と、差を定量的に評価する判断が妥当でなければならない。また、日時を

変えても同じ対象に対しては、同じ判断基準を維持し、偏りのない評価ができる安定性も要求される。

検査パネルを選択するための一つの基準は、生理的能力である。人間の官能の生理的能力を数量的に捉える方法は、その人の刺激閾あるいは弁別閾を測定することが必要になる。刺激閾は検査パネルが感じることができる最小の量であり、弁別閾は刺激の強さを変化させた時に、その変化を感じる最小の差ということになる。視感比色法による測色では、標準色票を用意して対象と色が等価な色票を探してその対象の色としている。透明感も視覚情報の一つであり、ヘーズ値が異なる何種類かの標準ヘーズ票(ヘーズ・スケール)からなるヘーズガイドを用意して、視感によって対象物のヘーズ値を測定することは可能と思われる。このような場合には、刺激閾よりも弁別閾の小さな検査パネルが能力が優れていることはいうまでもない。本実験では、後に標準ヘーズ票を作成するときに範囲をどうするか、ステップをどれほどにして1組のヘーズ票を構成すべきかという情報を得るための協力者になることから、被験者のなかから最も成績のよいものを選び出さねばならない。

2. パネルのヘーズ差識別能を測る極限法 (method of limits)

標準刺激と増加または減少する比較刺激を実験者があらかじめ決めておき、順番に一つずつ提示してパネルに比較させ、やはりあらかじめ決められた選択肢、すなわち「違いがある」または「違いがわからない」、「等しい」のいずれか反応を選択させる。透明感の弁別閾を測定する場合に、一定の透明度(ヘーズ)のプラスチック・シートを標準刺激として、またそれより明らかに透明なプラスチック・シートを比較刺激として提示され、透明度に違いがあるかどうかを識別する。違いがあると認めた場合、これよりわずかに透明度の低いものを次の比較刺激として提示する。このようにして標準刺激は変わらないが、比較刺激が徐々に不透明になって行き、パネルが「違いがわから

ない」とはじめて応えた時点でこの刺激系列を打ち切る。この場合は、透明感でいえば下降系列(下降刺激)であり、ヘーズでいえば上昇系列(上昇刺激)である。

求める測定値は反応が変化した前後の2つの刺激の間にあると考えられるので、2つの刺激の中央値を算出し、その系列の測定値とする。そして、上昇、下降両系列の測定値の平均をもって求める主観的等価点 (point of subjective equality : P. S. E.) (ときに判断値と呼ぶ)とする¹⁰⁾。なお、この方法は極小変化法 (method of minimal changes)とも呼ばれるように、刺激は必要な限り少しづつ変化させることが重要であり、本実験においては、ポリプロピレンシートで調整して1度の変化量を最大でヘーズ値1.0%にとどめた。また、上昇別閾と下弁別閾の間の範囲はヘーズ値を変えても透明感に変化がないことから不確定範囲(不定帯)といえる。実験から得られた9種の標準刺激に対する不確定範囲の大きさをグラフに示すと図8のようになる。不確定範囲は5.0%の場合に計算不能であったので、それを除外すると15.5%の最低ヘーズ値の場合に11.1%と最大で、ヘーズ値が高くなるにつれて小さくなり、85.3%の最高ヘーズ値の場合は1.4%と最小にとどまっ

図8 ヘーズ値に対する不確定範囲の大きさ

た。

極限法は刺激閾、弁別閾、主観的等価値のいずれの測定にも用いることができる。この方法の最大の特徴は刺激の変化が小から大、あるいはその逆の大から小へと段階的に行われる点である。したがって、被験者は刺激がどのように並んでいるかを容易に知ることができるので、手のうちの多くの部分が被験者に知られていることから、半知手続き (method with part knowledge) と呼ばれている¹⁰⁾。そこで、系列刺激の何番目の刺激で判断が変化したかを被験者にわかりにくくするために、小から大、大から小への2種類の系列を用いるとともに、各系列のスタート点を被験者により、また上昇、下降各6回づつ繰り返し実験においていろいろに変化させた。このようにして、半知の程度を減ずることによって、実験結果の正当性を高めている。なお、弁別閾を求める実験では、同じ刺激に対して常に一定の反応を示さないのが常である。6回づつの繰り返しにより、上昇別閾、下弁別閾とも測定値が6個得られるが、最終的には50%弁別できる場合の刺激の変化量をもって弁別閾とする。

この方法には実験手続き上避けられない誤差が存在する。すなわち、恒常誤差 (constant error) として実験慣れによる誤差 (error of habituation) と期待誤差 (error of expectation) を含んでいると考えられる¹⁰⁾。慣れの誤差は、被験者が慣れにより同一の判断を不当に繰り返し、普通より遅く変化に気が付くという傾向から生じる。しかし、この誤差は小から大、大から小への両方向の刺激変化において、その大きさが等しく出ると考えられることから、上昇系列と下降系列の2方向の刺激変化の平均値を求めることによって互いに相殺されているはずである。期待誤差は、被験者が系列中の変化が今度こそ起こるはずだとか、まだまだ起こらないだろうと期待する傾向から生じる。被験者にこの期待要因が作用すると、系列中の変化が普通より早く出たり、遅く出たりするが、この誤差も慣れの誤差の場合と同様に、小から大、大から小への2方向の刺激変化を用いることに

よって相殺することができると思われる。

被験者のなかから、優秀な識別能をもっているとするための条件は、①PSE（主観的等価点）と実測値との差が小さいこと、②不確定範囲が狭いことである。①のPSEと刺激の真の値との差については、ほとんど被験者間に差はみられないが、②の範囲については個人差が大きい（表1）。本実験の成績から、被験者A, D, Fを官能検査パネルとして選出した。

3. 歯の透明感の測定法について

歯冠を観察した時に、歯冠表面が光で照射されると、一部はその表面で反射されるが、残りはエナメル質に入射する。この入射光は、歯冠内部で吸収されて減衰するもの、散乱によってその方向を変えるものなどに分かれるが残りのものが内部反射によって再び入射面に逆戻りし、表面から外へ出て反射光として観察者が認めるところとなる。こちら側の光が物体を通過するということは、物体の向う側からの光もこちらへ通過するという、すなわち光が逆進するということで物体の透過光を感知し、透明感がでる。

口腔内の歯の場合は、エナメル質そのものだけでなく、エナメル層に隣接した象牙質の色が透過して観察されたり、切端付近の象牙質の裏打ちのないところでは、口腔内の暗さを透視することから歯冠の透明感が生じる。それらを定性的、定量的に分析することは、理論的にはクベルカ・ムンク¹⁵⁾の理論によって可能ではあるが、実際面では現段階では実現していない。そこで著者は、目視によって歯の透明感の定量的計測を行うことが試みられるべきであると考えた。それは、視感比色法によって物体の色の測定を行うことと同様であり、まず必要なものは標準色票に相当する標準光透過票である。これは、あらかじめ透明度（またはヘーズ値）の判明しているものを数種用意しておき、目視によって測定対象と当価なものを選び出し、その価をもって対象の透明度（または曇り度）とする。また、等価なものがない場合には、目測補間法によって測定値を求める。

光透過性のエナメル質や象牙質で構成されてい

る歯冠も、確かに透明度を考えることができる。透明度は物質内を通過する光の量を主として考えるものであるが、その逆に、どれほど光が通りにくいかということに主眼を置くヘーズ(haze)（曇り値）という概念がある。この両者は、裏表の関係であり、ヘーズ値が低いということは透明性が高いということと同じになる。

1) 感覚の測定

感覚の測定ということになると、生理学的な立場と心理学的な立場に分かれるが、臨床に則して本実験は多分に心理学的な手法によるところが多い。心理学的な立場から、Stevens¹⁶⁾は感覚には質的な感覚と量的な感覚があるとし、それぞれメタセティック連続体 (metathetic continuum) およびプロセティック連続体 (prothetic continuum) と区別して呼んでいる。たとえば、前者には音の高さがあり、後者には明るさ、重さ、音の大きさなどがある。メタセティックなもの例として音の高さについてみると、音の高さの違いとは物理的な刺激の周波数の違いである。周波数の違いは、蝸牛基底膜の異なる場所を興奮させ、このように刺激の変化が異なる場所の興奮につながるような場合がメタセティックすなわち質的であり、定量的な測定に不向きとなる。一方、音量は音の物理的な強さの増減に対応していて、蝸牛基底膜の同一の場所の興奮の増減に対応しているから、感覚の計量が可能となる。

マグニチュード推定法はStevensが考案した方法で、人間は自分の感覚を量的に把握できると仮定し、感覚量を定量的に報告させる方法である。被験者には標準刺激（ときに modulus と呼ばれる）と比較刺激（系列刺激）の2種が提示され、被験者は標準刺激に対する比較刺激の感覚量を両者の比として報告する。標準刺激の大きさを100とか10と仮定するといった決まりはないが、5～85%までの一通りの全系列を通じて同じ値としなければならない。そこで、比率計算に都合のよい端数のない数値として40にするよう指示した。標準刺激は全刺激系列の提示に先立って一つだけ（1回だけ）提示され、被験者が記憶した結果を

もとに行われる場合もあるが、本実験では比較刺激に対して毎回併置させて提示した。これは記憶の変容によって判断の基準が変わることを防ぐためである。標準刺激は系列刺激の刺激強度の範囲のほぼ中央にとるのが一般的であるが、本実験は歯冠の透明感ということがねらいであるために、ヘーズ値 50% よりも若干歯のヘーズ値の領域に寄せて、55% を標準刺激とした。しかし、現実の刺激は 55% に調整することが結果的にできず、実測値は 56.5% であった。また、刺激の 1 ステップごとの変化量は 10% と感覚量の最小単位 of j.n.d. (just noticeable difference, 丁度可知差異, 最小可知差異) より十分大きくとった。

結果の処理については、被験者が報告した数値をそのまま心理量と仮定し、全パネルの中央値を求めたところ、標準刺激と 8 種の変化刺激に対してヘーズ値の高いほうから順に 90, 75, 55, 40, 30, 15, 10, 3, 1 となった (表 4)。

2) 測定と尺度

歯冠を目視で観察する場合に知覚する歯の透明感が測定の対象となるある量をもつものであるか

どうかについては議論の余地は残るが、われわれの主観的経験からみて、感覚のみが測定対象となるある量をもつものと考えられる。したがって、測定は透明感と数字との対応関係を確立する方法を探すことから始まる。そのためには、尺度が必要になる。尺度は、どのような規則を当てはめるかによって型が決まることになり、一般的な型として名義尺度および順序尺度、間隔尺度、比例尺度の 4 つが挙げられる¹⁷⁾ (表 6)。

ヘーズ値は、次の式によって計算される物理的な値であり、比例尺度である。

$$\text{ヘーズ (曇り価) (\%)} = Td / Tt \times 100$$

$$Tt = Td + Tp$$

Td: 拡散光透過率 (%)

Tt: 全光線透過率 (%)

Tp: 平行光線透過率 (%)

以上からわかるように、ヘーズとは資料を透過した全光線透過光量に含まれる拡散光透過光量の割合である。したがって、透明な資料ほど平行光線透過量の割合が多く、拡散光量の割合が少なく、不透明な資料の場合はその割合が逆になる。しか

表 6 尺度の種類と特徴

名義尺度 nominal- scale	分類した対象や事象の命名に数字を用い、数字による対象や事象の同定を可能にする。特定の数字と特定の対象は常に等しい対応関係にある。これらの数字は順序や大小関係を表すものではない。	機器の型式番号 運動選手の背番号
順序尺度 ordinal- scale	順位をつけることが可能な場合、その順位に対応させて割り当ててつくり出された尺度。大小・優劣などの関係を表すが、順位間の差の大きさについては情報を提供しない。	マラソンの着順 石のモースかたさ
間隔尺度 interval- scale	分割尺度ともいわれ、その尺度の原点は比例尺度とは違い、任意に定義される。したがって、この尺度間の差あるいは距離のみが意味をもつ。	体温計の目盛り
比例尺度 ratio- scale	ある一定の大きさを基準にして、他のすべての大きさをそれとの比の形で表したものの。尺度値の原点が絶対的なゼロ点として定義される。	重さ・長さの目盛り

し、歯冠の透明感に限って考えると、この感覚を表す尺度は、摂氏や華氏で表される温度感覚の目盛りのように用いられるものであり、間隔尺度を構成するように思える。したがって、刺激の物理的な大きさと感覚の大きさの間の関係の法則としての精神物理的法則を見い出すために、FechnerあるいはStevensの式のどちらによってより正確に説明されるかを吟味する。

(1) Fechnerの対数法則

Fechnerは刺激の物理的な大きさ S と感覚の大きさ R との間に成立する法則として次式を提唱した。

$$R = a \log S + b \quad (1 \text{ 式})$$

ここで a, b は定数である。この式はFechnerの法則(Fechner's law)あるいはjnd尺度(Fechner's scale)と呼ばれ、 R は $\log S$ の1次関数になることを予想する。Fechnerの法則はWeberの法則から誘導されている。このWeberの法則とは、感覚における丁度可知差異(jnd, ΔS)は刺激の物理的大きさ S と比例して大きくなるというものである。Fechnerは1単位のjndを刺激に加えるごとに感覚は一定の大きさに大きくなると仮定した。このFechnerの仮定とWeberの法則から(1)式は導出される。

(2) Stevensのべき関数

一方、Stevensは、刺激の物理的大きさ S と感覚の大きさ R との間の精神物理的法則として、

$$R = kS^n \quad (2 \text{ 式})$$

なるべき関数を提唱した。

ここで、 k と n は定数である。Stevensは数多くの感覚様相において(2)式の関係が成り立つことを見出し、しかも、それぞれの感覚特性は刺激 S のべき指数 n の値によって表されることを明らかにした。

この(2)式の両辺の対数をとると、

$$\log R = \log k + n \log S \quad (3 \text{ 式})$$

となる。この式は縦軸に $\log R$ をとり、横軸に $\log S$ をとってグラフを書くと勾配 n の直線になることを意味している。

マグニチュード推定法の実験結果の表4をもと

に、 R と $\log S$ の関係、 $\log R$ と $\log S$ の関係を図6と図7に示す。図7よりマグニチュード推定法の実験結果は $\log R$ と $\log S$ の間に明らかに直線関係が認められる。しかし、図6では R と $\log S$ の間には直線関係ではなく、下に凸の曲線関係となっている。これらのことは、刺激をヘーズ値で表した透明感の感覚は、(1)式に示されるFechnerの法則では R と $\log S$ は1次関数であり、グラフは直線的になるはずである。したがって、本実験結果はFechnerの法則への当てはまりは不十分であり、Stevensの(2)式のべき法則のほうがよく当てはまることを示している。なお、図7の回帰直線の式は次のようになる。

$$\log R = -1.4372 + 1.7396 \log S$$

これより、Stevensのべきの値 n は1.74である。

3) 標準光透過票の範囲とステップ

評定尺度法(rating scale method, 絶対判断法)という手法がある。この心理尺度は、ある評価に関して一次元の心理連続体が存在すると仮定される。この心理尺度は感覚尺度であると仮定され、この尺度を刺激強度の物理値によって構成しようと試みるものである。

パネルは提示された刺激に対する反応を、数段階に分けられた反応尺度上の1段階を選択するという方法によってなされる。この反応尺度は仮定された心理尺度であり、連続体のうちいくつかの段階を言語で表したものとなる(表2)。これらの選択肢は、独立した7つの項目があるのではなく、透明性を感じる心理連続体上の7つの点を示したものとする。さらに、便宜上この7つの点は等間隔であると仮定して反応を求める。この仮定は、反応を行うパネルにも前もって十分知らしめておく。評定尺度は連続体であるが、被験者は提示された選択肢以外の点は選択できない。このためパネルの感じる心理量がある選択肢と次の選択肢の中間に存在する場合がある。しかし、パネルは中間の値を選択することが許されず、どちらか近いほうを選択することを強制されることになる。この点に関しては、試行の繰り返しによる選択率に

反映され、選択確率が2つの選択肢にほぼ同数(同率)に分かれるような刺激強度は、両者の間に心理評定量があると考えられる。

臨床においては、ポーセレン・ワークの技工指示書などの記載において、「切端部の透明感を少なく」といった言葉でその程度を表現している。パネルの絶対判断の結果(表5)をみると、その絶対判断はほとんどの透明度についてカテゴリーの標識番号が3と4というように2種出てくる。これは、パネルが違えば判断が異なるという個人差とともに、同一パネルでも試行日が違えば判断が異なるいわゆる日間変動を表している。特に、ヘーズ値が50, 60代の歯の透明感で中心的な値については、透明感がはっきりある、中ぐらいの透明感である、透明感が少ないの3種、あるいは、中ぐらいの透明感である、透明感が少ない、透明感が非常に少ないの3種も登場している。このことは透明感を伝達するのに、言葉だけではほとんど正確を期待できないということになり、臨床的なスケールの早い完成が待たれることの証明になる。

歯冠用標準光透過票の光学的な設計基準は、範囲の決定とステップの大きさである。まず、範囲については、歯冠の場合は「透明感がはっきりある」ところから「ほぼ不透明といえる」まであればよい。絶対判断の結果をみると(表5)、ヘーズ値13.4%のものは、カテゴリー標識番号の1と2であり、平均1.5ということは、歯冠用としては透明性が強すぎる。26.5%についてはカテゴリー標識番号2と3であり、「透明感がはっきりある」という評価が出てくる。そこで、標準光透過票の最低ヘーズ値としてはこの付近にすればよい。また、高ヘーズのものは、実験中最高のヘーズ値である85.3%でも標識番号は7のほかに6が出て、平均は6.6にとどまっている。したがって、もう少し高ヘーズ値のものまで用意するほうがよい。

次に、ステップの大きさについては、隣り合う標準光透過票の不確定範囲が重ならないように、ヘーズ差をとることと視感的に均等ヘーズ差、すなわちマグニチュード推定法の実験をもとに間隔尺度となるように揃えることである。不確定範囲

は、その中央に主観的等価点があり、それから高ヘーズ値側と低ヘーズ値側に均等に分布していると考えられる。したがって、不確定範囲の2分の1の大きさまでは、完成した一連の標準光透過票にヘーズ値差があっても、識別できないことから許容範囲とする。この許容範囲の大きさについては、図8から読み取れる。以上の条件を満たすように、表5および図8から目標とするヘーズ値、許容範囲を決定した(表7)。

表7 標準光透過票の理論値と許容差

番号	ヘーズ値	許容差	番号	ヘーズ値	許容差
1	25.2	2.8	10	67.1	1.0
2	31.8	2.2	11	70.5	0.9
3	37.5	1.8	12	73.8	0.9
4	42.6	1.5	13	77.1	0.9
5	47.3	1.3	14	80.2	0.8
6	51.7	1.3	15	83.2	0.8
7	55.9	1.2	16	86.2	0.8
8	59.8	1.2	17	89.0	0.7
9	63.5	1.1	18	91.9	0.7

4. 残された問題点

1) 写像性について

透明感を左右する因子としては、光透過性のほかに写像性がある¹⁸⁾。写像性というのは、透かしてみえる像の鮮明度のことである。これは像のボケ具合という表現が日常なされているものであるが、同じヘーズ値のものであっても、その物体を通してみえる向う側のものの輪郭の鮮明さに違いが出ることが多い(図9)。そのようなことは、単に写像性という物理的な特性からだけでなく、半透明物体と向う側のものとの距離によっても違いが出る。一般的には、密着しているほうが、離れているよりは像が鮮明になる。歯冠の透明感については、その後方の物体の形をみるということを考慮する必要はなく、写像性の問題はひとまず先送りをした。しかし、写像性の関わる物理的な光学的な特性が全く透明感に無関係であるという証

図9 写像性の違いの実例。上の横長は素通し。左下は写像性が低く、右下は写像性がよい。ヘーズ値は左下54.8、右下は54.4とほぼ同じ

明はなく、いずれ手をつけなければならないと考えている。

2) 視感による計測誤差

(1) 個人差

不確定範囲の幅に個人差が大きいことは、表1に明らかになっている。また、絶対判断についても、同一人が試行のたびに一定の刺激に対して違った評価をすること、そのうえ評価が他人と異なることが問題になる(表5)。これら一連の問題は、視感比色法で測色する場合にも問題視されている。透明感の識別能も色弁別の場合と同じように類似した能力を磨くことによって、期待される能力にトランスファーする学習効果が大きく働いていると仮定すれば、トレーニングによってある程度の成績の向上は期待される¹⁹⁾。しかし、透明感の場合は、どのようなトレーニングが効果的であるか全く知られていない。絶対判断法の実験のように、対象をどのカテゴリーに分類するかという操作においては、もともと価値付けには個人差があるものである。それを専門にしている人が判断したからとか、大勢の人の納得が得られたからといったことが正しいことの保証にならないものであり、個人差が誤差であると決めつけてかかれないうであろう。しかし、価値付けが一律でない場合に誤差が入っていると、当てにならないと思う

人が多いのは現実問題である。大勢の人の感じ方が一様であると仮定すること、また一様な結果が得られないからといってそれを一様になるようにする方法を考えることなどが重要ではなく、人々がさまざまな感じ方をして、幾通りかの質感をもつことを肯定して詳細を明らかにすることにも力を注がねばならない。

(2) 錯視

心理学の1派であるゲシュタルトの研究者には、形の組み合わせや色の組み合わせによって種々の視覚上の錯覚(錯視現象)が起こることを明らかにしている²⁰⁾。実際に、彼らが指摘しているとおりにモデルをつくると、確かに透明性のないものどうしの組み合わせでも透明感を覚える²¹⁾。このような現象は色彩の場合にはよく起こり、色の対比現象、同化現象などといわれるものがそれである。色彩に関するこれらの心理現象については解明が進んでいるが、透明感のほうについては研究者も少なく、特に定量的なものは手がついていない。

(3) 標準光透過票の色調

歯冠用の標準光透過票を試作する時に、色味を付けないでつくるか、なんらかの歯に似せた色調でつくるか迷うところである。透明性を目視で観

図10 試作した歯冠用標準光透過票(臨床的呼称はヘーズ・ガイド)。表7に示した理論値に基づき許容ヘーズ差以内に調整した。材料は試作品のためアクリリックレジ。隣り合う各タブの間には、視覚的に均等な透明感の差が得られた

察するということは、対象のものをみるということである。このものをみるということは、そのものの色をみるということと同じになる。したがって、透明感を観察する場合に、標準光透過票と対象歯の色も同時に視覚に入る。ところが、天然歯の色調が様でないことは臨床家ならば知らない人はいないし、実際に学術報告も数多い。そこで、幅広い天然歯の色調のいずれにすれば測定しやすいのか、歯冠用標準光透過票と測定対象の間の色差が透明感にどれほど量的に影響するかは全く不明である。しかし、指宿²²⁾によると、標準光透過票の色調が透明感に及ぼす影響は、両者が極端に離れていなければ定性的、定量的に無視できるとしている。確かに、指宿と著者が共同で試作したもの(図 10)をみる限り、色の 3 属性にばらつきはあっても透明感の等差級数的配列に違和感はない。したがって、標準光透過票の色調については今後の問題には違いないが、無彩色でも歯のような色調がつけられていても問題はないようである。しかし、無用に歯との色差が大きな色をつけるべきではない。

V. 結 論

1. 透明感という感覚は、Fechner の法則よりも Stevens の法則によく適合する。Stevens のベキ指数 1.74 を得た。したがって、透明感はプロセティック連続体と考えられる。

2. 歯冠用標準光透過票は、ヘーズ値 25.2~91.9% の範囲で用意し、その間を 18 ステップで構成し、低ヘーズのものは 1 ステップのヘーズ差を大きくとり、高ヘーズになるにつれて段階的にヘーズ差を小さくすると視覚的に均等ヘーズ差になる。すなわち、間隔尺度が得られる。

3. 透明感、個人差だけでなく同一人の場合も日間変動する。透明感を 7 段階に分けて言葉で表現すると、人によって 2 段階ぐらゐの開きがある。

謝 辞

稿を終えるにあたり、ご懇篤なるご指導とご校閲を

賜りました長尾正憲教授に深甚の感謝を捧げますとともに、終始懇切丁寧なご教授とご指導を賜りました指宿真澄非常勤講師(フィフティー・リミテッドカンパニー)に心より感謝いたします。また、多大なご協力を下さいました教室の皆様に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Perston, J. D. and Bergen, S. F.: Color Science and Dental Art. St. Louis, 1980, Mosby, 51-71.
- 2) Lemire, P. A. and Burk, B.: Color in Dentistry. Hartford, 1975, Ney, 50-58.
- 3) McLean, J. W.: The Science and Art of Dental Ceramics vol.1 The Nature of Dental Ceramics and Their Clinical Use. Chicago, 1979, Quintessence, 122-129.
- 4) McLean, J. W.: The Science and Art of Dental Ceramics vol.2 Bridge Design and Laboratory Procedures in Dental Ceramics. Chicago, 1980, Quintessence, 21-44.
- 5) Preston, J. D.: Current status of shade selection and color matching. Quintessence International 16: 47-58, 1985.
- 6) Baur, A. J.: Die problematik der farbwahl und farbubermittlung. Die Quintessenz der Zahntechnik 12: 1323-1332, 1986.
- 7) 指宿真澄: 歯冠色のアート. 東京, 1991, 而至歯科工業 (株), 16.
- 8) 加藤愛子: 歯冠色の構成に関する色彩学的研究. 補綴誌 20: 570-584, 1977.
- 9) Ibusuki, M.: Discrimination threshold for translucent difference of Teeth. 昭歯誌 10: 62-65, 1990.
- 10) Guilford, J. P. (秋重義治): 精神測定法. 東京, 1959, 培風館, 126-145.
- 11) 中村和夫: 感覚尺度構成. 心理学研究 36: 202-211, 1965.
- 12) 柿崎祐一: 現代の心理学 1 知覚判断. 東京, 1974, 培風館, 16-22.
- 13) 三浦 新, 和仁皓明, 吉村 功: 工場における官能検査の進め方. 東京, 1966, 日科技連出版社, 104.
- 14) 佐藤 信: 官能検査入門. 東京, 1978, 日科技連出版社, 153.
- 15) Kubelka, P. and Munk, F.: Ein beitrag zur optik der farbanstriche. Zeitschr. f. techn. Physik 12: 593-601, 1931.
- 16) 中谷和夫: 尺度構成法. 八木 寛監修: 計量心理学(講座心理学, 第 2 巻). 東京, 1969, 東京大学出版会, 147.
- 17) 中島義明: 実験心理学の基礎. 東京, 1992, 誠信

- 書房, 80-86.
- 18) 須賀長市: 耐候光と色彩. 東京, 1988, スガ試験機 (株), 291-316.
- 19) Ibusuki, M.: The color of gingiva studied by visual color matching Part I. Experimental studies on the discrimination threshold for color difference and effect of training. Bull Tokyo Med Dent Univ 22: 249-261, 1975.
- 20) Kanizsa, G.: Organization in Vision. New York, 1979, Praeger Publishers, 151-169.
- 21) 指宿真澄, 森山 旭: 光硬化性練和液を用いた多色築盛法の標準化とその臨床応用 (II) ジーセラ オービットの色調分析. Quintessence of Dental Technology 19: 211-226, 1994.
- 22) 指宿真澄: Personal communication. 1994, 9, 10.