原著論文

歯の分光放射輝度率による色彩学的研究

—上顎前歯部について—

石崎 隆弘

Chromatic Research on the Spectral Radiance Factors of Teeth

— Maxillary Anterior Teeth —

Takahiro Ishizaki

Abstract : This research used the spectroradiometer (Pritchard Model 1980 B) to measure the spectral radiance factors of women's maxillary anterior teeth. The following conclusions were reached :

1. The spectral distributions of the anterior teeth were all similar at the cervical, middle, and incisal areas respectively. Their spectral distributions ran in parallel at an almost equal distance, with the curves for the central incisor at the top, below which were those for the lateral incisor and the canine, respectively.

2. The spectral distribution of each area of the central incisor, lateral incisor, and the canine showed their respective distribution curves. The trends of these curves were almost the same for all areas of each tooth.

3. The spectral distribution of each measured portion for women resembled the corresponding portion for men. However, with the central incisor, the spectral distribution curves for women were in a higher position than those for men. With the lateral incisor and the canine, the spectral distribution curves for men were in a higher position than those for women.

4. The spectral distribution of the cervical area showed some absorptional bands, which were identical to those of hemoglobin.

5. Research of the spectral distribution of natural teeth is judged to be helpful in resolving the problem of metamerism.

Key words : spectral radiance factor, spectral distribution, metamerism, color of natural teeth

I. 緒 言

日本大学大学院歯学研究科歯科臨床系専攻 (指導: 大木一三教授)

Nihon University Graduate School of Dentistry, Major in Prosthodontics (Director: Prof. Katsuzo Ohki)

昭和63年12月12日受付

審美補綴の必要性が高くなっている昨今, 歯科補綴物は, 生物学的理論に立脚した口腔の機能回復と同時に, 外貌を審美的に整復する要求が高くなっている. 特に外観に触れる前歯部では, 患者にとっても審美的整復を強

図1 分光放射測定装置システム

く要望する気運が高い。

この審美性の整備には、人工歯の形態および排列状態はもとより、自然感のある調和のとれた色彩¹⁾を回復することが重要である。特に残存歯がある場合、補綴物をその残存歯の色調に一致あるいは調和させることにより、自然感を得ることができる。しかし、日常臨床において調製された補綴物は、残存歯との間に色調の不調和が生じることがしばしばある²⁻⁴⁾。

かりに、診療室内で色合せて調製された補綴物と残存歯の色調が一致していても、自然光の下では、診療室と光源が異なることから、不調和が生ずることがあり、これは条件等色⁵⁾の現象といわれている。

また、シェードテイキングの際、残存歯とシェードガイドの色調に不一致がみられ⁶⁻¹³⁾、シェードの決定に困難をきたすことがある。これらの色の不一致および不調和を解決するためには、完全等色 (イソメリズム)^{13,14)}が必要である。この完全等色は、残存歯の分光反射特性 (分光分布)^{1,15,16)}と調製された補綴物あるいはシェードガイドの分光反射特性を一致させることによって得られる。一般に、物体に色がついてみえるのは、物体に入射した可視光の中から、ある波長の光が選択的に吸収され、吸収されなかった波長の光が反射して眼に入り、色感を生じさせるからである¹⁴⁾。

すなわち、選択的に吸収されなかった光が反射することを物体の反射特性といい、光を各波長に分け (分光)、反射特性を定量化したものが分光分布である¹⁷⁾。

歯の色彩を解明するため、多くの研究者が歯を測色し報告^{7,11,18-31)}を行っている。

当教室においても、一和多³²⁾、植田³³⁾、小林³⁴⁾らが自然歯の色彩について検討、報告している。しかし、これらの報告は、各種表色系を用いて自然歯の色の分布範囲を検討したものであり、自然歯本来の色を補綴物に再現するためには、自然歯の分光反射特性すなわち分光分布を求めることが重要と考えるが、これに関して検討したものは著者らの報告³⁵⁾をみるにすぎず、未だ不十分と思

われる。

そこで著者は、自然歯の分光反射特性をさらに詳細に検討することを目的として、女性の上顎前歯部を対象に検索し、著者ら³⁵⁾の同年代の男性の成績と比較、検討することにした。

II. 材料および方法

1. 材 料

1) 被験者

被験者は、日本大学歯学部学生、附属歯科衛生専門学校学生および歯科病院医局員で、全身的に健康な20歳代の女性34名 (平均24.2歳) である。

2) 被験歯

被験歯は、上顎左側中切歯、側切歯および犬歯で、齲蝕、充填物および着色などがなく、著しい歯列不正のない健全な歯である。

2. 方 法

1) 測定装置

本研究に用いた測定装置は、当教室の一連の研究で使用している分光放射測定装置 Pritchard Model 1980 B (PHOTO RESEARCH 社製) を中心としたシステムである^{36,37)} (図1, 2)。

照明用電源は、直流安定化電源 PAL 35-10 (菊水電子工業社製) である。

ランプは、12 V 50 W のダイクロイックハロゲンランプ¹⁵⁾ (近藤シルバニア社製) である。

被験歯の測定部位 (φ1.0 mm) の中心を通る法線に対し、光軸が左右45度の角度から照明し、被験歯の法線方向の反射光をオプティカルヘッド^{36,37)}で受光する³⁸⁾。本研究に必要な反射光は、オプティカルヘッド内のモノクロメータ^{15,39)}で分光され、短波長から長波長の光まで順にフォトマルチプライヤ¹⁵⁾に入光し、各波長ごとの分光放射輝度値が求められる。この値は、さらにコンソー

図 2

ルを経て、コンピュータ HP-9816 S (HEWLETT PACKARD 社製) に入力され、分光放射輝度率が算出される。求めた分光放射輝度率はサーマルプリンタ HP-2671 G およびグラフィクスプロッタ HP-7475 A にてプリントされる。

2) 測定方法

(1) 測定前準備

測定前にネオポリッシングクリーム（ネオ製薬工業社製）を用いティースブラシおよびラバーカップで被験歯の表面の付着物を除去し、さらに被験者自身にブラッシングを行わせた。

(2) 被験歯の位置設定

測定用ユニットに被験者を座らせ、測定装置三脚部より延長された、頭部規格固定装置³⁵⁾のバイトフォークを被験者に咬ませ、さらにヘッドレストで後方より押え、固定した。口唇は口唇開拡器リッパー（井上アタッチメント社製）を用い、照明の妨げにならないようにした。

測定装置三脚部より延長したアームには、照明用ランプが定位置で固定されているため、照明用ランプ、被験歯および測定装置の三者の位置関係は一定に保たれる。

(3) 測定部位

測定部位は図3に示すように、上顎左側中切歯、側切歯および犬歯（以後①、②および③と略す）の唇側面を歯頸部側から、歯頸部、中央部および切縁部（以後 C、M および I と略す）とし、各部位の近遠心的中央部を測定部位とした。

測定面積は直径 1.0 mm の円とし、歯面乾燥状態で分光放射輝度値を測定した。

(4) 標準白色面の測定

被験歯と同一条件で標準白色面の分光放射輝度値を測定する。

測定部位

①：中切歯 ②：側切歯 ③：犬歯
C：歯頸部 M：中央部 I：切縁部

図 3

(5) 分光放射輝度率の算出

次式より分光放射輝度率¹⁾を求める。

$$\rho = \frac{L_s}{L_R} \times 100$$

ただし

ρ (%)：波長 λ_n (nm) における分光放射輝度率 (Ratio)

L_s (Watts/Sr · m² · nm)：測定部位の λ_n における分光放射輝度値

L_R (Watts/Sr · m² · nm)：標準白色面の λ_n における分光放射輝度値

(6) 分光分布の表示

各波長ごとに分光放射輝度率の平均値を求め、平均値を結んで得られた曲線を分光放射輝度率分布（以後、分光分布と略す）とする。

(7) 測定条件

測定条件は以下のとおりである。

① 照明および受光の幾何学的条件^{37,38)}：45度 照明垂直受光

② 有効波長幅：10 nm

③ 波長間幅：10 nm

④ 測定波長：370～730 nm

以上の方法により、女性 34 名の分光分布を求め、著者ら³⁵⁾の求めた、同年代の男性 34 名の分光分布と比較、検討する。

III. 成 績

1. 歯別にみた分光分布

1) 中切歯

中切歯 (①) における、歯頸部 (C)、中央部 (M) お

表 1 中切歯 (I) の分光放射輝度率

齒頸部 (C)					中央部 (M)					切縁部 (I)				
女性			男性*		女性		男性*			女性		男性*		
波長														
nm	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.
370	16.4	6.4	12.3	5.6	21.8	5.8	19.0	5.9	22.0	6.7	19.5	6.8		
380	18.9	5.5	15.3	4.7	24.4	5.9	22.3	5.1	23.6	5.7	21.8	6.3		
390	19.6	5.3	15.9	4.7	25.0	5.6	23.1	5.3	24.2	5.7	22.3	6.3		
400	20.8	5.2	17.2	4.7	26.4	5.6	24.4	5.3	24.9	5.6	23.3	6.3		
410	22.2	5.4	18.7	4.7	27.8	5.7	26.1	5.3	25.7	5.4	24.3	6.4		
420	23.8	5.6	20.2	4.8	29.6	5.7	27.8	5.3	26.7	5.5	25.4	6.2		
430	25.4	5.5	21.9	5.1	31.3	5.7	29.6	5.3	27.6	5.4	26.4	6.2		
440	27.0	5.8	23.5	5.2	33.1	5.8	31.3	5.3	28.9	5.5	27.5	6.1		
450	28.5	5.9	24.9	5.4	34.5	5.8	32.8	5.4	29.6	5.5	28.5	6.0		
460	29.9	6.1	26.2	5.6	36.0	5.9	34.3	5.5	30.5	5.3	29.4	5.9		
470	31.7	6.4	27.8	5.9	37.9	6.0	36.1	5.6	31.4	5.5	30.7	5.9		
480	33.3	6.5	29.6	6.0	39.3	5.9	37.8	5.6	32.3	5.5	31.7	5.9		
490	35.0	6.8	31.3	6.2	41.1	6.0	39.6	5.7	33.3	5.5	32.7	5.8		
500	36.6	6.6	32.9	6.3	42.5	6.0	41.1	5.6	34.2	5.1	33.7	5.8		
510	38.7	6.6	34.4	6.3	43.9	6.2	42.8	5.7	35.0	5.2	34.1	5.7		
520	39.0	7.1	35.3	6.3	44.9	6.1	43.8	5.7	35.7	5.1	35.3	5.8		
530	39.2	7.1	35.8	6.4	45.6	6.1	44.8	5.7	36.3	5.1	35.9	5.7		
540	39.5	7.1	36.4	6.4	46.4	6.0	45.5	5.6	36.6	5.1	36.4	5.8		
550	40.4	7.3	37.6	6.4	47.4	6.2	46.7	5.6	37.1	5.1	37.2	5.7		
560	41.6	7.5	38.6	6.5	48.1	6.2	47.6	5.6	37.8	5.2	37.8	5.7		
570	41.9	7.5	39.0	6.5	48.7	6.2	48.1	5.6	38.3	5.1	38.2	5.7		
580	42.6	7.4	39.8	6.5	49.4	5.9	48.9	5.5	38.7	5.2	38.6	5.6		
590	46.4	7.5	43.1	6.5	51.5	6.1	51.0	5.7	39.8	5.3	39.7	5.9		
600	51.0	7.9	47.0	6.6	53.8	6.1	53.3	5.8	41.1	5.4	41.0	6.0		
610	54.2	8.0	50.1	6.8	55.4	6.1	55.0	6.0	42.2	5.5	42.0	6.2		
620	56.4	7.8	52.2	6.8	56.8	5.9	56.4	6.1	42.9	5.7	42.9	6.3		
630	57.9	7.8	54.0	6.8	57.8	5.9	57.6	6.2	43.7	5.6	43.7	6.5		
640	59.2	7.6	55.4	8.9	58.5	6.1	58.4	6.2	44.3	5.8	44.4	6.5		
650	60.7	7.5	56.9	6.7	59.7	6.0	59.4	6.1	44.8	5.8	44.9	6.5		
660	61.8	7.3	58.2	6.5	60.3	6.0	60.2	6.0	45.1	6.0	45.5	6.6		
670	63.0	7.1	59.5	6.3	60.9	5.9	60.8	6.0	45.7	6.1	45.9	6.8		
680	64.2	7.2	60.1	6.3	61.6	5.8	61.7	6.2	46.1	6.2	46.7	6.9		
690	65.2	6.7	61.7	6.1	62.2	5.4	62.3	6.0	46.4	6.1	47.0	6.9		
700	64.8	6.4	61.9	5.8	61.8	5.3	62.5	5.8	46.4	6.1	47.2	6.9		
710	63.8	7.5	60.6	6.3	61.0	5.8	61.7	5.8	46.0	6.4	46.9	7.0		
720	63.1	8.1	60.0	6.7	60.6	6.4	61.5	5.8	45.8	6.8	46.8	6.9		
730	63.2	7.4	60.2	6.6	60.9	6.5	61.8	6.0	46.0	6.9	47.2	6.9		

unit : %

* : 著者らの報告³⁵⁾ から引用

よび切縁部 (I) の分光放射輝度率の成績を表 1 に示し、
各々の分光分布を図 4 に示した。

C の分光分布は、380~510 nm まで直線的にかつ緩やかな傾斜で上昇し、510 nm で小さな峰をつくり、そこから 580 nm にかけてわずかに上昇する。この間に、540 nm に浅い谷と 560 nm に低い峰がみられる。そして

580 nm を変曲点とし、そこから 620 nm 付近にかけて急傾斜の上昇がみられ、ついで 700 nm まで再び緩やかな上昇曲線を描いた。

M の分光分布は、400~510 nm までほぼ直線的にかつ緩やかに上昇し、510 nm で小さな峰をつくり、そこから 580 nm にかけてわずかに上昇する。さらに 580 nm を

図 4 中切歯における分光分布

図 5 側切歯における分光分布

変曲点とし、そこからやや傾斜を強め、690 nm まで上昇する曲線を描いた。

I の分光分布は、580 nm において浅い谷がみられるが、370~730 nm まで緩い傾斜で、ほぼ直線的に上昇する曲線を描いた。

C と M の分光分布についてみると、370~580 nm までほぼ等間隔〔分光放射輝度率の差：平均 6.1% (S.D. 0.5%)〕で並行し、ついで、580~620 nm にかけて、C の分光分布が急傾斜で上昇して M の分光分布に接近し、630 nm で交差した後、680~730 nm にかけて再び等間隔〔差：平均 2.7% (S.D. 0.3%)〕で並行した。

また、M と I の分光分布についてみると、370~580 nm にかけて漸次分光放射輝度率の差が広がり、620~730 nm にかけてほぼ等間隔〔差：平均 14.9% (S.D. 0.6%)〕で並行した。

C と I の分光分布についてみると、370~460 nm にか

けて漸次差を狭め、470 nm で交差した後、510~580 nm までほぼ等間隔〔差：平均 3.4% (S.D. 0.4%)〕で並行し、そこから 640 nm にかけて漸次差を広げ、640~730 nm にかけて再び、ほぼ等間隔〔差：平均 17.2% (S.D. 1.2%)〕で並行した。

2) 側切歯

側切歯 (12) における C、M および I の分光放射輝度率の成績を表 2 に示し、各々の分光分布を図 5 に示した。

C、M および I の分光分布の傾向は、各々中切歯の C、M および I とほぼ同様であったが、分光分布がほぼ等間隔で並行している部分の分光放射輝度率の差が中切歯に比較し、やや狭く〔分光放射輝度率の差：C-M 370~580 nm：平均 5.5% (S.D. 0.7%), 680~730 nm 平均 3.4% (S.D. 0.2%)。M-I 620~730 nm：平均 11.9% (S.D. 0.6%)。C-I 510~580 nm：平均 1.2% (S.D. 0.4%), 640~730 nm：平均 14.9% (S.D. 1.2%)〕となってお

表 2 側切歯 (I2) の分光放射輝度率

歯頭部 (C)					中央部 (M)				切縁部 (I)			
女性			男性*		女性		男性*		女性		男性*	
波長												
nm	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.
370	15.3	7.8	15.0	5.8	22.7	6.7	19.9	6.4	23.6	5.3	24.0	6.6
380	17.6	6.5	16.8	5.8	23.7	4.8	22.0	5.7	24.2	4.6	25.2	6.0
390	18.2	6.3	17.0	5.8	23.9	4.4	22.1	5.7	24.2	4.2	25.4	6.0
400	18.8	6.2	17.8	5.8	24.5	5.1	23.1	5.7	24.5	4.2	26.0	6.2
410	19.7	6.3	18.8	6.0	25.7	5.4	24.4	5.8	25.1	4.2	26.9	6.3
420	20.9	6.5	20.2	6.0	26.9	5.6	25.8	5.7	25.9	4.3	27.7	6.1
430	22.2	6.6	21.7	6.2	28.2	5.8	27.3	5.8	26.6	4.2	28.5	5.8
440	23.6	6.8	23.2	6.4	29.6	6.0	28.8	5.8	27.4	4.3	29.6	6.0
450	25.0	7.1	24.5	6.5	30.7	6.2	30.4	5.7	28.1	4.4	30.3	5.8
460	26.3	7.1	25.9	6.6	31.8	6.3	31.5	5.9	28.9	4.4	31.4	6.0
470	27.7	7.3	27.4	6.8	33.1	6.6	33.1	6.0	29.7	4.4	32.2	5.9
480	29.1	7.5	28.9	6.8	34.5	6.7	34.6	5.9	30.4	4.4	33.1	5.9
490	30.7	7.6	30.6	6.7	34.7	5.3	36.2	6.0	31.1	4.5	34.0	6.0
500	32.1	8.0	32.0	6.9	36.8	7.0	37.6	6.1	31.7	4.6	34.2	6.8
510	33.2	8.0	33.7	6.9	37.9	7.2	39.8	5.8	32.3	4.6	35.5	5.8
520	33.9	7.9	34.1	6.8	38.7	7.2	39.9	6.0	32.8	4.5	36.0	5.8
530	34.1	8.0	34.5	6.8	39.3	7.4	40.8	6.0	33.3	4.4	36.5	5.7
540	34.5	8.1	34.8	6.9	39.8	7.4	41.6	5.9	33.7	4.5	37.0	5.7
550	35.2	8.0	35.9	7.2	40.8	7.5	42.4	6.0	34.2	4.6	37.6	5.7
560	36.6	7.6	37.0	7.2	41.5	7.6	43.6	6.0	34.6	4.5	38.2	5.7
570	36.5	7.8	37.3	7.2	41.9	7.6	44.2	6.0	34.9	4.5	38.6	5.7
580	37.0	7.8	38.0	7.4	42.4	7.6	44.9	5.9	35.3	4.6	38.8	5.6
590	40.8	8.1	41.6	7.3	44.5	7.9	47.1	6.0	36.3	4.7	40.0	5.6
600	45.3	8.2	46.0	7.5	46.7	8.1	49.6	6.1	37.1	5.5	41.3	5.8
610	48.0	8.1	49.1	7.7	48.5	7.9	51.7	6.1	38.5	5.2	42.3	5.8
620	49.7	8.1	51.3	7.8	49.7	7.9	53.2	6.2	39.2	5.3	43.2	5.9
630	51.9	7.6	53.1	8.3	50.8	8.0	54.4	6.2	39.7	5.5	43.9	5.9
640	52.8	7.9	54.7	8.3	51.6	8.1	55.8	5.7	40.4	5.6	44.6	6.0
650	54.2	7.8	55.8	8.7	52.4	8.1	56.4	6.1	40.8	5.7	45.1	5.9
660	55.2	7.6	56.7	8.7	53.0	8.2	57.1	6.1	41.2	5.7	45.5	6.0
670	56.1	7.6	57.5	8.9	53.5	8.3	57.7	6.3	41.4	5.7	45.9	6.1
680	57.1	7.6	58.4	9.3	54.2	8.3	58.5	6.4	41.9	5.9	46.8	6.1
690	58.0	7.2	59.1	9.0	54.5	8.1	58.9	6.2	42.3	5.8	46.5	6.1
700	57.7	7.7	58.8	8.9	54.4	8.4	58.7	6.3	42.0	6.0	46.2	6.2
710	57.6	7.7	58.9	8.8	54.2	8.3	58.8	6.4	41.9	5.9	46.5	6.2
720	58.1	7.5	59.8	8.3	54.7	7.9	59.4	5.7	42.2	5.6	46.8	6.0
730	58.7	7.2	60.7	8.6	55.1	7.8	60.2	5.6	42.5	5.6	47.4	5.7

unit : %

* : 著者らの報告³⁵⁾ から引用

り、また、分光分布の分布幅 (C、MおよびIの分光放射輝度率のうち最大値と最小値の差) も中切歯よりやや狭かった。

3) 犬歯

犬歯 (I3) における C、MおよびIの分光放射輝度率の成績を表3に示し、各々の分光分布を図6に示した。

C、MおよびIの分光分布の傾向は、中切歯および側切歯と同様であったが、分光分布がほぼ等間隔で並行している部分の分光放射輝度率の差が側切歯に比較し、さらに狭く〔分光放射輝度率の差 : C-M 370~580 nm : 平均 3.9% (S.D. 0.6%), 680~730 nm : 平均 0.7% (S.D. 0.3%), M-I 620~730 nm : 平均 11.8% (S.D. 1.0%)。〕

表 3 犬歯 (I3) の分光放射輝度率

歯頸部 (C)					中央部 (M)				切縁部 (I)			
女性			男性*		女性		男性*		女性		男性*	
波長												
nm	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.
370	12.6	6.6	13.0	6.3	17.2	5.9	17.3	5.0	17.5	4.9	19.1	7.2
380	14.3	5.0	14.8	5.6	18.5	5.3	19.2	4.8	19.0	4.7	19.2	6.1
390	14.7	5.0	14.7	5.4	18.9	5.5	19.0	4.8	19.0	4.9	19.9	5.9
400	15.2	5.1	15.2	5.4	19.4	5.6	19.5	4.9	19.4	4.9	20.3	5.7
410	16.2	5.3	16.0	5.5	20.3	5.7	20.5	5.7	19.9	4.9	20.9	5.9
420	17.2	5.4	17.1	5.4	21.2	5.7	21.3	5.2	20.3	4.3	21.7	6.0
430	18.4	5.4	18.4	5.8	22.2	5.6	22.4	5.3	21.3	5.1	22.4	5.9
440	19.7	5.5	19.7	5.9	23.5	5.6	23.6	5.3	22.1	5.0	23.3	6.0
450	20.8	5.6	20.8	6.0	24.4	5.6	24.7	5.4	22.7	5.1	23.9	6.0
460	22.1	5.8	21.8	5.9	25.6	5.7	25.8	5.4	23.3	5.1	24.8	6.0
470	23.5	5.8	23.2	6.3	26.8	5.7	27.1	5.4	24.2	5.0	25.7	6.2
480	24.9	5.9	24.8	6.5	28.1	5.7	28.4	5.4	24.9	5.0	26.6	6.1
490	26.3	6.0	26.3	6.7	29.5	5.9	29.9	5.5	25.7	5.0	27.5	6.2
500	27.8	6.3	27.9	6.5	30.9	6.1	31.2	5.6	26.6	4.9	28.4	6.2
510	29.0	6.4	29.1	6.5	32.2	6.2	32.7	5.6	27.3	5.0	29.2	6.3
520	30.4	7.5	30.0	6.9	33.3	6.2	34.0	5.5	28.0	5.1	29.9	6.1
530	30.6	6.9	30.8	7.0	34.4	6.4	35.1	5.7	28.8	5.2	30.7	6.2
540	30.9	7.0	31.3	6.9	35.3	6.6	36.1	5.8	29.4	5.3	31.4	6.2
550	32.1	7.0	32.5	7.0	36.5	6.6	37.5	5.8	30.1	5.3	32.3	6.3
560	32.6	7.1	33.6	7.0	37.5	6.7	38.6	5.9	30.8	5.4	33.0	6.3
570	33.4	7.3	34.0	7.2	38.3	6.8	39.5	5.9	31.3	5.5	33.6	6.3
580	34.1	7.3	34.8	7.3	39.2	6.9	40.5	5.9	31.9	5.5	34.3	6.3
590	37.3	7.2	38.0	7.4	40.9	7.1	42.5	6.1	33.0	5.7	35.4	6.3
600	40.9	7.3	41.8	7.8	43.0	7.2	44.7	6.3	34.2	5.9	36.7	6.4
610	43.3	7.4	44.8	8.2	44.8	7.4	46.6	6.5	35.2	6.0	37.8	6.4
620	45.3	7.4	47.0	8.6	46.1	7.5	48.1	6.5	36.2	6.3	38.8	6.6
630	46.8	7.3	48.8	8.8	47.2	7.5	49.5	6.6	36.8	6.6	39.9	6.7
640	48.0	7.4	50.3	8.8	48.3	7.6	50.8	6.8	37.2	7.1	40.6	6.7
650	49.2	7.4	51.4	8.8	49.4	7.8	51.7	6.9	38.1	6.9	41.4	6.7
660	50.1	7.5	52.3	8.9	50.0	7.8	52.5	7.1	38.6	7.0	42.0	6.8
670	50.7	7.4	53.0	9.4	50.6	8.0	53.1	7.4	39.0	7.1	42.3	7.0
680	51.6	7.5	54.0	9.7	51.2	7.9	54.0	7.7	39.5	7.2	43.0	7.2
690	52.5	7.5	54.4	9.6	51.9	7.7	54.4	7.5	39.8	7.3	43.4	7.0
700	52.2	7.8	53.9	9.8	51.7	8.3	53.8	7.9	39.1	8.5	42.9	7.3
710	52.7	8.1	54.0	9.7	51.8	8.4	54.1	7.9	38.8	9.4	43.1	7.4
720	53.6	7.3	55.7	8.6	52.4	7.7	55.6	7.1	39.7	8.3	44.1	6.9
730	54.0	6.8	56.9	8.4	53.2	7.5	56.9	6.8	39.9	8.0	44.9	6.8

unit : %

* : 著者らの報告³⁵⁾ から引用

C-I 510~580 nm : 平均 1.9% (S.D. 0.3%), 640~730 nm : 平均 12.5% (S.D. 1.2%) となっており, また, 分光分布の分布幅も側切歯より狭かった。

2. 部位別にみた分光分布

1) 歯頸部

歯頸部 (C) における各歯 (I1, I2 および I3) の分光分布を図 7 に示した。また, 図 7 に歯肉の分光分布もあわせて示した。

C の分光分布は, I1, I2 および I3 のいずれも類似した

図 6 犬歯における分光分布

図 7 歯頸部における分光分布

図 8 中央部における分光分布

図 9 切縁部における分光分布

曲線を描き、その高さは、 $11 > 12 > 13$ の順であった。

11と12の分光分布についてみると、370～510 nm にかけて漸次分光放射輝度率の差が広がり、510～730 nm にかけては、ほぼ等間隔で並行し、その差は平均 5.9% (S.D. 0.8%) であった。また、12-13の分光分布についてみると、580 nm でやや間隔を狭めるが、370～730 nm にかけて、ほぼ等間隔 [分光放射輝度率の差：平均 4.2% (S.D. 0.8%)] で並行した。

2) 中央部

中央部 (M) における各歯 (11, 12 および 13) の分光分布を図 8 に示した。

中央部の分光分布は、11, 12 および 13 のいずれも類似した曲線を描き、その高さは、歯頸部と同様に、 $11 > 12 > 13$ の順であった。

11と12の分光分布についてみると、370～530 nm にかけて漸次分光放射輝度率の差が広がり、530～730 nm にかけては、ほぼ等間隔で並行し、その差は平均 6.9% (S.D. 0.5%) であった。また、12-13の分光分布についてみると、370～520 nm にかけて、ほぼ等間隔 [差：平均 5.7% (S.D. 0.5%)] で並行し、そこから 580 nm にかけて間隔を狭めるが、580～730 nm にかけて再び等間隔 [差：平均 3.0% (S.D. 0.5%)] で並行した。

3) 切縁部

切縁部 (I) における各歯 (11, 12 および 13) の分光分布を図 9 に示した。

切縁部の分光分布は、11, 12 および 13 のいずれも類似した曲線を描き、その高さは、歯頸部および中央部と同様に、 $11 > 12 > 13$ の順であった。

11と12の分光分布についてみると、390～580 nm にかけて漸次分光放射輝度率の差は広がり、580～730 nm に

かけてほぼ等間隔 [差：平均 3.9% (S.D. 0.3%)] で並行した。また、12と13の分光分布についてみると、370～540 nm にかけてほぼ等間隔 [差：平均 5.3% (S.D. 0.5%)] で並行し、そこから 580 nm にかけて、やや間隔を狭めるが、580～730 nm にかけて再び等間隔 [差：平均 2.9% (S.D. 0.3%)] で並行した。

3. 性 差

各測定部位における男性の分光放射輝度率の成績を表 1, 2 および 3 に示した。なお、男性の成績は著者らの報告³⁵⁾から引用した。

1) 歯別にみた男女の分光分布

歯別にみた男女の分光分布を図 10 (中切歯), 11 (側切歯) および 12 (犬歯) に示した。

各歯において、女性の C, M および I の分光分布の傾向は男性のそれと類似していた。

11-M (図 10), 11-I, (図 10), 12-C (図 11) および 13-C (図 12) における女性の分光分布は、男性のそれとほぼ重なった。

12-M (図 11), 13-M (図 12) および 13-I (図 12) においては、女性の分光分布は短波長域から長波長域に向かって、男性のそれと分光放射輝度率の差がやや広がる傾向がみられ、女性の方が低い分光分布を示した。

また、11-C (図 10) および 12-I (図 11) における女性の分光分布は 370～730 nm にかけて、男性のそれとほぼ等間隔で並行し、分光放射輝度率の差は、11-C で平均 3.6% (S.D. 0.4%), 12-I で平均 3.2% (S.D. 1.2%) であり、11-C では女性の方が、12-I では男性の方が高い分光分布を示した。

図 10 中切歯における女性および男性の分光分布

図 11 側切歯における女性および男性の分光分布

図 12 犬歯における女性および男性の分光分布

図 13 歯頸部における女性および男性の分光分布

図 14 中央部における女性および男性の分光分布

2) 部位別にみた男女の分光分布

部位別にみた男女の分光分布を図 13 (歯頸部), 14 (中央部) および 15 (切縁部) に示した。

各部位において, 女性の 1, 2 および 3 の分光分布の傾向は男性のそれと類似していた。

C (図 13), M (図 14) および I (図 15) のいずれにおいても, 女性における 2 と 3 の分光分布の間隔は, 男性における 2 と 3 の分光分布の間隔と, ほぼ等しかったが, 1 と 2 の分光分布の間隔は女性の方が男性に比較し広がった。

IV. 総括および検討

1. 分光反射特性について

色を測定する目的には, ものとしての色の特性を調べ

ることと, 色の特性から得た情報によって, 色の再現化を計ることがあげられる。色の再現化を計るためには, 測色値が重要であり, 歯の色彩に関して, 従来多くの研究者が自然歯あるいは抜去歯を対象に測色を行い, 報告している。しかし, これらの報告は, 主に表色系を用いた歯の色の分布範囲の検討^{7,11,18-34)}であり, この方法は, 条件等色 (メタメリズム)^{13,40,41)} による色の再現の指標となりうるが, 完全等色 (イソメリズム)^{13,14)} のための指標とはなりえない。そこで, 自然歯本来の色を歯科補綴物に再現し, 条件等色を解決するためには, 自然歯の分光反射特性すなわち分光分布を反映させることが重要であると考え, その分光分布を求めることとした。

分光反射特性とは, 物体に光が照射された時, その光を選択的に反射させる物体の光学的性質のことであり, 分光反射特性を定量化したものが分光分布である。分光

図 15 切縁部における女性および男性の分光分布

分布は、分光光度計を用い、分光反射率または分光放射輝度率を測定することにより得られる^{40,41)}。しかし、従来の分光光度計は、口腔内などの微小面を非接触で測定することが困難であった。本研究で使用した分光放射測定装置 (Pritchard Model 1980 B) は、① 微小面 (φ 0.14 mm 以上) を非接触で測定できる、② 光源の分光組成の影響を受けない、③ 測定波長および測定波長間幅 (1, 5 および 10 nm) が選択できる、④ 各種標準の光の下での色の評価ができる、などの特徴をそなえており、前述した問題点をおぎない、分光放射輝度率を測定し、分光分布を検討することのできる装置であり、本研究上有効であると思われる。

2. 歯の分光分布について

従来の報告との比較は、測定対象、装置および方法などが異なるため困難である。

太田⁹⁾および指宿¹³⁾は、歯の分光分布についても述べているが、これは、抜去歯を対象に、積分球のついた分光測色器により求めた分光分布 (分光比反射率曲線) であるため、やはり比較することは難しい。しかし、その分光分布をみると、本研究で求めた中央部の分光分布と傾向が類似していた。

1) 歯別にみた分光分布

(1) 中切歯 (I) の分光分布

歯頸部 (C)、中央部 (M) および切縁部 (I) の分光分布は、いずれも傾向の異なる曲線を描いたことから、C、M および I の色調はそれぞれ異なると思われる。

C の分光分布は、M および I の分光分布に比較し、相対的に赤色域 (600 nm より長波長域) の分光放射輝度

率がかかなり高くなっているのが特徴的であった。一般に、歯頸部が赤味がかって見えるのは、このためと思われる。

また、中央部は、歯頸部に比較し明るく、また白っぽくみえるが、これは、M の分光分布は C の分光分布より青色域から黄色域 (370~600 nm) にかけて高くなっているためと思われる。M の分光分布を歯冠補綴物に反映させる場合、赤色域における分光分布を C のそれと同程度に保ちながら青色域から黄色域にかけての分光放射輝度率を高くすることが重要であり、それには、補綴物の材質およびこれに含まれる色剤の検討はもとより、構造についての検討が必要である。

I の分光分布は、起伏がなく、水平に近い単調な分光分布であることから、無彩色に近い色調を有することがわかる。これは、切縁部は透明性が高く、黒に近い口腔の背景が反映しているものと思われる。

また、求めた C、M および I の分光分布から以下のことが推測される。すなわち、歯頸部から切縁部に向かってみられる色調の変化を分光分布の変化でみると、まず歯頸部から中央部にいたっては、C の分光分布が 620 nm 付近を中心に、そこより短波長域では分光放射輝度率が徐々に高くなり、また 620 nm より長波長域では分光放射輝度率が徐々に低くなっていき、M の分光分布に近づく。そして、中央部から切縁部にいたっては、M の分光分布が 370 nm を軸に起伏を小さくしながら、回転するようなかたちで低くなっていき I の分光分布に近づくと思われる。

C、M および I の色の違いについて、中川¹⁷⁾および土屋²⁵⁾は、色相にはほぼ差はみられず、明度および彩度に差がみられたとし、加藤²⁶⁾は、色相および明度について

は差がほとんどみられず、彩度のみ部位差がみられるとしている。また一和多³²⁾は色相、明度および彩度のいずれにも部位差がみられたと報告している。

しかし、これらの報告は、心理メトリック量あるいは心理物理量により検討を行ったもので、物理量で検討を行っている本研究の成績と比較することはさける。

(2) 側切歯(12)の分光分布

12におけるC、MおよびIの各々の分光分布については、中切歯における同部位の分光分布と同様のことがいえるが、C、MおよびIの分光分布をまとめて『12の分光分布』としてみた場合、『11の分光分布』より『12の分光分布』の方が、分布幅(C、MおよびIの分光分布の最大ピークと最小ピークの差)がやや狭かった。このことから、CからIに向かってみられる色調の変化は、11より12のほうがやや小さいことがわかる。

(3) 犬歯(13)の分光分布

13におけるC、MおよびIの各々の分光分布については、中切歯における同部位の分光分布と同様のことがいえるが、『13の分光分布』は『12の分光分布』より分布幅が狭く、CからIに向かってみられる色調の変化は、12よりさらに小さいと思われる。

(2) 部位別にみた分光分布

(1) 歯頸部(C)の分光分布

従来、歯差について中川⁷⁾および加藤²⁶⁾は中切歯と側切歯にはほぼ差はなく、犬歯は別の色調であるとし、一和多³²⁾は、歯頸部について、中切歯、側切歯および犬歯間には色相と彩度の差はなく、明度にのみ差がみられたとしている。

11、12および13において、Cの分光分布はいずれも傾向が類似していたが、その高さは11>12>13で明らかに歯差がみられた。しかし、これらの分光分布は等間隔で並行したことから、11、12および13の色調は色空間において、ほぼ同一ベクトル上に存在し、その差は主に明度に表れると思われる。

そこで、6前歯を同時に歯冠補綴あるいは欠損補綴をする場合、以上のような分光分布傾向を補綴物に反映させることで自然感が出せるものと思われる。

また、生体の分光分布には酸化ヘモグロビン(415, 420および578 nm)、還元ヘモグロビン(556 nm)、メラニン(410 nm)、メラノイド(400 nm)、カロチンまたは皮下脂肪(482, 540~580 nm)などによる吸収帯^{42, 43)}がみられ、歯肉にも540 nmおよび580 nmを中心にヘモグロビンの吸収帯が、410 nmにメラニンの吸収帯がみられる⁴⁴⁾(図7)。歯頸部の分光分布には540 nm およ

び580 nmに谷がみられ、これらは歯肉あるいは歯髄の血液に含まれるヘモグロビンの影響による吸収帯であると思われる。このような生体のもつ吸収帯を、補綴物に再現することで、より自然感をもたせられると思われる。

(2) 中央部(M)の分光分布

11、12および13において、Mの分光分布はいずれも傾向が類似していたが、その高さは11>12>13で、歯差がみられた。さらに、これらの分光分布は、ほぼ等間隔で並行したことから、Cの分光分布と同様に11、12および13の色調は色空間において、ほぼ同一ベクトル上に存在し、その差は、主に明度に表れると思われる。

また、吸収帯に関してCの分光分布と比較すると、Mの分光分布は全体的になだらかな曲線を描いたうえ、540および580 nmでみられる谷の部分が小さいことから、Cと比較し、ヘモグロビンの影響が少ないことがわかる。

(3) 切縁部(I)の分光分布

11、12および13において、Iの分光分布はいずれも傾向が類似したうえ、ほぼ等間隔で並行し、その高さが11>12>13で、歯差がみられた点でCおよびMと共通した。しかし、CおよびMの分光分布と比較しIの分光分布は全体的に起伏がなく単調で、吸収帯が不明確であった。これは、測定部位としたIは、構造上象牙質が存在せず、エナメル質のみである場合が多く、歯髄および歯肉の影響が少ないためと思われる。

3) 性差

(1) 歯別にみた男女の分光分布

従来の研究によると、中川⁷⁾、潤田¹⁸⁾および土屋²⁵⁾および一和多³²⁾は、ほぼ性差はないとし、加藤²⁶⁾および佐藤²⁸⁾は一部で有意差を認めている。女性の分光分布と男性の分光分布を比較すると、11のMとI、12のCおよび13のCにおいて男女の分光分布はほぼ重なり、性差はないと思われるが、11のC、12のMとIおよび13のMとIにおいては分光分布に差がみられた。

(2) 部位別にみた男女の分光分布

11のC、12のMとIおよび13のMとIにおいては男女の分光分布に差がみられたが、11のCにおける男性の分光分布は12のCにおける男女の分光分布と、12のIにおける男性の分光分布は11のIにおける男女の分光分布とほぼ重なり、また、12のMにおける女性の分光分布は580 nmから短波長域では12のMにおける男性の分光分布と、580 nmから長波長域では13のMにおける男性の分光分布とほぼ重なり、さらに12のIにおける女性の分光分布は580 nmから短波長域では12のIにおける男性

の分光分布と、580 nm から長波長域では3のIにおける男性の分光分布とほぼ重なったことなどから、同名部位における女性と男性の分光分布の間には相関があるものと思われる。

3. 分光分布の応用について

残存歯を有する口腔内に、審美性補綴物を調製する際、残存歯と補綴物の色の不調和が生じる原因の1つに、条件等色(メタメリズム)があげられる^{5,13,40,41,45)}。条件等色とは、ある条件では等しい色にみえている物体色の対が、照明光や観測者の条件を変えることによって、等色しなくなることである。これは2つの物体色の分光分布が異なっているために起こる現象である。調色する場合、どの光源の下でも、色が合ってみえる完全等色(イソメリズム)が理想である^{13,14,41)}が、そのためには、調色試作品の分光分布と色見本の分光分布を一致させなければならない。

歯科臨床においては、残存歯の分光分布と審美性補綴物の分光分布が一致していることが望ましい。残存歯の分光分布と一致した補綴物を直接作製するには、コンピュータ調色(computer color matching: CCM)⁴¹⁾などを利用することにより可能と思われる。しかし、今現在歯科において、CCMは確立されていないので、これについて研究を進めていく必要がある。

完全等色は両者の構成材料や、組成が同一でない場合、困難なことがある。しかし、自然歯の分光分布に近似した分光分布をもつ原色材を使用して、審美性補綴物あるいはシェードガイドを作製することによって、条件等色の程度を小さくし、より完全等色に近いものを作製することは可能であると思われる。

以上のことから、本研究で求めた分光分布は、条件等色を解決し、より自然感のある審美性補綴物作製のための一助として有効であると思われる。

V. 結 論

自然歯に調和した審美性補綴物を調製することを目的とし、分光放射測定装置を応用して、20歳の女性34名の上顎左側前歯の分光放射輝度値を測定し、分光反射特性すなわち分光放射輝度率および分光放射輝度率分布(分光分布)について検討を加え、さらに、同年代の男性の成績と比較し、以下の結論を得た。

1. 部位別にみると、歯頸部、中央部および切縁部のどの部位においても、中切歯、側切歯および犬歯の分光

分布は類似し、ほぼ一定の間隔で並行していた。また、分光分布の高さは、中切歯>側切歯>犬歯の順であった。

2. 歯別にみると、中切歯、側切歯および犬歯のいずれの歯においても歯頸部、中央部および切縁部の分光分布は、それぞれ異なる特徴的な分布曲線を示した。また、歯頸部、中央部および切縁部の分光分布の傾向は、中切歯、側切歯および犬歯ともほぼ同様であった。

3. 各測定部位における女性の分光分布は、同部位における男性の分光分布と傾向が類似した。また、女性の中切歯における中央部と切縁部の分光分布、側切歯および犬歯における歯頸部の分光分布は、同部位における男性の分光分布とほぼ重なり、性差はみられなかった。

4. 歯頸部の分光分布には、吸収帯がみられ、ヘモグロビンの吸収帯と一致していた。

5. 自然歯の分光分布は、条件等色を解決し、より自然感のある審美性補綴物を調製するための一助となることが示唆された。

稿を終るにあたり、本研究に際して終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました日本大学歯学部大木一三教授に深甚なる謝意を表します。また、ご専攻の立場から懇切なるご教示をいただきました日本大学歯学部五十嵐孝義教授、森谷良彦教授、大橋正敬教授に心より感謝いたします。あわせて、終始多大なるご協力を頂きました(財)日本色彩研究所元香照夫氏、補綴学教室員各位、補綴学専攻大学院生各位ならびに被験者各位に感謝の意を表します。

本研究の一部は、第76回日本補綴歯科学会学術大会および、第19回日本色彩学会全国大会にて発表した。

文 献

- 1) JIS Z 8105 (1982) 色に関する用語。
- 2) 山本 眞: ザ・メタルセラミックス, 219~445, クインテッセンス出版, 東京, 1982。
- 3) Preston, J.D., Miller, L.L. and Rinn, L.A.: *Asthetische Richtlinien für die Rekonstruktive Zahnheilkunde*: 13~26, Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, 1980。
- 4) 横塚繁雄, 榎本 滋: 陶材焼付け製造冠の失敗要因(上)一症例から対策を考える一, 歯界展望, 44: 540~545, 1974。
- 5) 太田忠興: 各種の照明光源下における歯冠色の見えに関する研究, 口病誌, 50: 450~465, 1983。
- 6) 山崎信夫, 塩治 孜, 片山伊九右衛門: 歯冠色に関する研究 心理メトリック量を応用した歯冠色カラーチャートおよびシェードガイドの色彩域について, 補綴誌, 29: 289~300, 1985。

- 7) 中川喜晴：歯冠色分析に関する研究，補綴誌，19：109～130，1975.
- 8) 中川喜晴，丸山剛郎，下総高次：陶材補綴におけるシェードセレクション（色調選択）に関する研究 第1報 各種シェードガイドの構成分析について，補綴誌，16：144～157，1972.
- 9) 指宿真澄，加藤愛子，浅岡一馬ほか：パ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，20：546～550，1976.
- 10) 川瀬誓子：視感比色による陶材色の識別—光源および背景による影響，補綴誌，25：608～621，1984.
- 11) 橋口緯徳，神津 瑛，山本真也ほか：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，7：205～220，1981.
- 12) Sproull, R.C.: Color matching in dentistry. Part III. Color control, J Prosthet Dent, 31：146～154，1974.
- 13) 指宿真澄，太田忠興，木村益己ほか：歯冠色の条件等色に関する研究，補綴誌，27：1120～1128，1983.
- 14) 日本色彩学会編：新編色彩科学ハンドブック，1～9，25～27，83～143，183～255，501～528，823～913，東京大学出版会，東京，1980.
- 15) JIS Z 8113 (1976) 照明用語.
- 16) 渡会吉昭：分光分布と分光特性，Journal of the Illuminating Engineering Institute of Japan, 61：398～399，1977.
- 17) 元吞照夫：歯科と色彩の利用，QDT, 9：443～451，1984.
- 18) 潤田和好，大友孝恒，長岡義人ほか：天然歯並びに人工歯の色彩学的研究（第1報）健全天然歯について，東北歯大誌，7：27～51，1980.
- 19) 小塩博司，小木曾明，石田重晴ほか：デンタル カラー アナライザーによる成人上顎6前歯の歯冠色分析，岐阜歯学誌，9：248～255，1981.
- 20) 橋口緯徳，田村 陸，長野朱実ほか：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，6：74～80，1980.
- 21) 木村益己：下顎前歯部における歯冠色の色彩学的研究，補綴誌，28：1172～1186，1984.
- 22) 羽賀通夫：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），補綴誌，2：35～40，1958.
- 23) 羽賀通夫，浮谷 実，橋本 脩：歯牙の色について（特に象牙質の色彩学的研究），補綴誌，2：137～140，1958.
- 24) 伊藤年男，大久保忠義，花崎文一ほか：分光光度計の反射測定装置による歯牙の表面色測定について，口腔衛生誌，19：109～130，1975.
- 25) 土屋 深：前歯の色彩学的研究，歯科学報，73：87～120，1973.
- 26) 加藤愛子：歯冠色の構成に関する色彩学的研究，補綴誌，20：570～584，1976.
- 27) 丸井昌夫：歯冠色に関する研究 第2報 歯冠色と皮膚色との関連性，日病理会誌，35：422～440，1968.
- 28) 佐藤峰雄：邦人歯牙色澤に就いて，口腔科学，3：1278～1296，1935.
- 29) 宮越 等，小杉興三雄，影山六郎ほか：日本人歯牙色調に関する研究 第1報 自記分光光度計による Detachable Tooth Shade Guide (米国 S.S.W. 会社製) の色調分析について（基礎実験），口病誌，22：108～113，1955.
- 30) 山崎信夫：上顎前歯の色彩学的研究，日歯保誌，29：81～94，1986.
- 31) 宮村一弘，藤城鉄英，増田信武ほか：前歯部歯冠色調の分布—天然歯と人工歯の比較—，補綴誌，17：482～490，1974.
- 32) 一和多寿樹：歯に関する色彩学的研究—分光放射測定法による検討，補綴誌，30：652～664，1986.
- 33) 植田耕一郎：歯の分光放射測定法による色彩学的研究—上下顎前歯部について，補綴誌，31：352～362，1987.
- 34) 小林 公：歯の分光放射測定法による色彩学的研究—中，高年層の上顎前歯について—，補綴誌，32：439～448，1988.
- 35) 石崎隆弘，榎津徳弘，大木一三ほか：歯に関する色彩学的研究—分光放射輝度率による検討—，日大歯学，61：759～766，1987.
- 36) The Pritchard Model 1980 B Spectroradiometer Instruction Manual, 1～56, Photo Research, California, 1982.
- 37) Sato, Y., Ichiwata, T. and Ohki, K. et al: Study of Color in Prosthodontics Part I On Measuring Instruments, J Nihon Univ Sch Dent, 27：105～113，1985.
- 38) JIS Z 8722 (1982) 物体色の測定方法
- 39) JIS Z 8120 (1986) 光学用語
- 40) 納谷嘉信：産業色彩学，9～25，50～55，65～81，97～111，朝倉書店，東京，1980.
- 41) 川上元郎，児玉 晃，富家 直ほか編：色彩の事典，69～73，82，316～325，朝倉書店，東京，1987.
- 42) 金井 寛：生体物性 (7)，光学特性，医用電子と生体光学，47：48～57，1977.
- 43) 法水正文，武藤次郎，坊野馨二ほか：口唇粘膜色の光電色彩計系他による測定成績，日耳鼻，86：295～303，1983.
- 44) 武田友孝：歯肉の分光放射測定法による色彩学的研究—若年者の前歯部について—，補綴誌，31：363～370，1987.
- 45) Shotwell, J.L., Johnston, W.M. and Swarts, R.G.: Color comparisons of denture teeth and shade guides, J Prosthet Dent, 56：31～34，1986.