

分光イメージング装置を用いた天然歯のグラデーションの数理解析

大阪大学歯学部附属病院

若林 一道

Recently, dental CAD/CAM materials with gradation have been developed and are expected to be used in the aesthetic zone. In clinical practice, it is essential for dental prosthesis to match the transparency and color tone of natural teeth in order to achieve good aesthetics. However, there have been no studies that have mathematically evaluated the change in color tone (gradation) of the entire crown of a natural tooth. The aim of this study is to analyze the gradation of natural teeth of $L^*a^*b^*$ values by functionalization. The maxillary right central incisor of 35 adults without a history of dental treatment, caries, and staining were selected as experimental subjects. The $L^*a^*b^*$ values of 30 points from the cervical to the incisal region were calculated using a spectral imaging device, and linear, quadratic, cubic, exponential, and logarithmic functions were approximated for each L^* , a^* , and b^* value. About L^* and b^* values, the cubic function was the best fit for all subjects. About a^* value, the cubic function was the best fit for 29 subjects and the exponential function was the best fit for 6 subjects. In this research, the gradation from the cervical to the incisor region of the maxillary central incisor was mathematically analyzed. The results of this study were considered to be useful for the evaluation of the gradation of natural teeth and for the development of new dental CAD/CAM materials with a gradation similar to that of natural teeth.

1. 緒 言

近年、グラデーションを付与したCAD/CAM用材料が開発され、広く臨床で用いられるようになった(図1)。歯科臨床において、天然歯と近似した色調を有する歯冠補綴装置を装着するためには、歯冠補綴装置と天然歯の色調が一致することが必要不可欠である¹⁾。これまで、天然歯や歯冠補綴装置の色調に関する研究では、特定の部位を計測して比較した研究報告が多く²⁻⁵⁾、歯頸部から切縁部にかけて、歯冠全体の色調の変化(グラデーション)を連続的に評価した研究は認められない。天然歯の色調と一致した歯冠補綴装置を作製するためには、天然歯の歯冠全体の色調を分析し、どのようにグラデーションが認められるかを客観的に解析することが必要である。

歯冠の部位の違いによる色調変化を連続的に評価するためには、歯冠全体の色調を正確に分析する必要がある。しかし、これまで、多くの研究で用いられてきた分光測色計や歯科用測色計は、測色の際に測色器を接触させる必要があり、加えて、特定の領域内においてのみの測色を行うため、立体物に対して正確に位置を規定して測色を行うことや、連続的な色の変化を観察することは不可能であった。

そこで、本研究では天然歯の連続的な色調を、正確に分析するため、分光イメージング装置を用いた測色器に着目した。

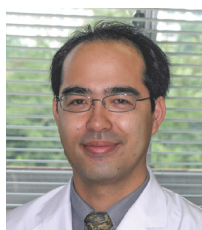
分光イメージングとは波長毎にデータを捉えることのできる液晶チューナブルフィルターと画素毎にデータを捉えることのできるCCDセンサーにより、画像としてデータを採取し、各波長における画像内のそれぞれの位置に対応した分光情報を解析可能にする技術である(図2)。分光イメージング技術は、非接触のまま精密に解析可能な特徴を生かし、歴史的遺跡の分析や、医科での検査、インク色の分析など様々な分野で応用されている⁶⁻⁸⁾。分光イメージング装置を用い、各ピクセルの分光情報を計測することで、選択領域におけるCIE Lab均等空間の $L^*a^*b^*$ 値、および、色を構成する3刺激値であるXYZ値を算出し、分布をグラフで表示したり、分光反射率を表示したりすることが可能となる。そのため、本装置は天然歯の歯頸部から切縁部にかけてのグラデーションを評価するのに有効であると考えられる。

本研究では、分光イメージング装置を用いて、天然歯の測色を行い、歯頸部から切縁部にかけての色調の変化(グラデーション)を比較することで、より審美性の高い歯科用材料開発への示唆を得ることを目的とし、天然歯の測色を行った。そして、グラデーションの程度を定量的に評価するため、色調の変化を数式にあてはめ、数理解析を行った。

2. 方 法

2.1. 天然歯の測色

計測対象者として、上顎右側中切歯に歯科治療歴やカリエス、着色を有しない健康な成人男女35名(男性12人、女性23人、平均年齢 24.7 ± 2.1 歳)を選択した。計測対象者の上顎歯列をシリコンゴム印象材(ジルデフィット、松風、京都)で印象採得したのち、石膏模型を作製した。



Mathematical analysis of gradation of natural teeth using a spectral imaging device

Kazumichi Wakabayashi

Osaka University Dental Hospital

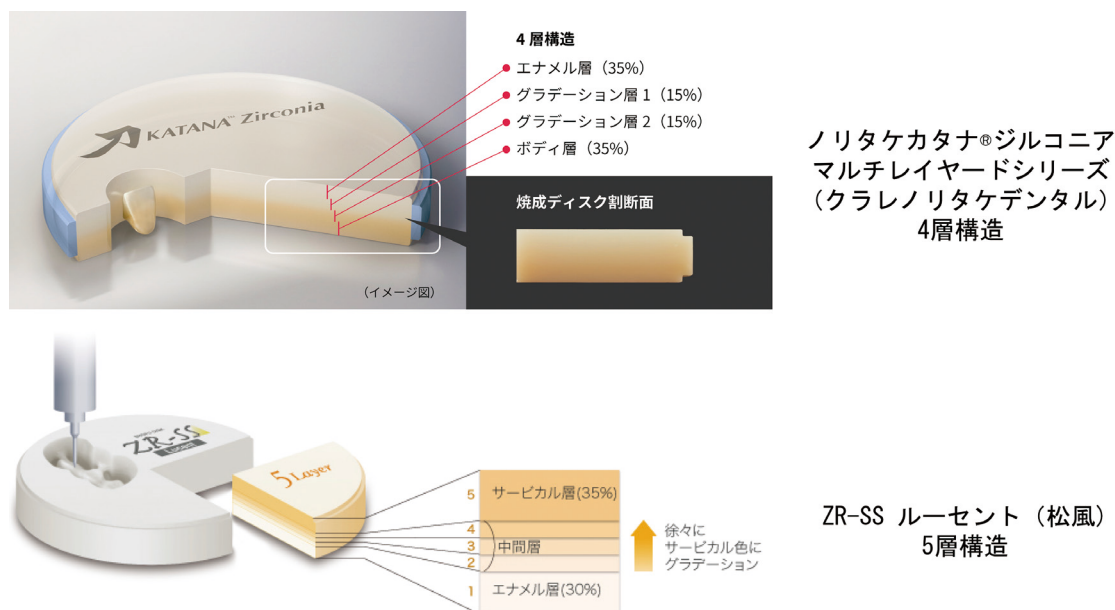


図1 グラデーションが付与された歯科用CAD/CAM材料 (図はメーカーの公式HPより引用)

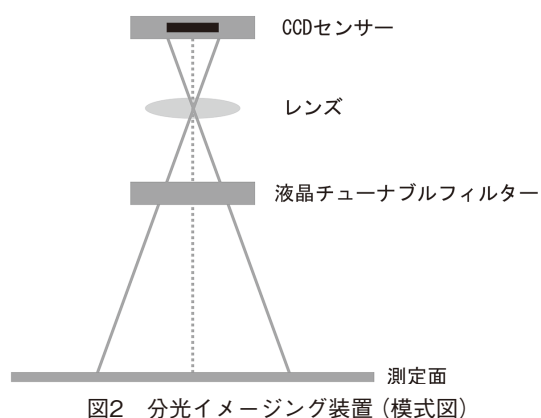


図3 計測対象者の上顎をシリコンゴム印象材で印象採得し、超硬石膏で石膏模型を作製した。作製した石膏模型で測定時に用いるマウスガードを作製した。



図4 測色時の様子



図5 測定範囲

作製した石膏模型を用いて、測定時に用いる上顎右側中切歯の唇側面のみ切り取った、厚さ2.0mmの白色および黒色のマウスガード(Erkoflex ピュアホワイトおよびディープブラック、ERKODENT、オーストラリア)を作製した(図3)。白色および黒色マウスガードを装着後、視覚実験用顎台に額および下顎を固定し、ソフト開口器(OptraGate、Ivoclar Vivadent、東京)で口唇を排除した状態で、分光イメージング装置(株式会社オフィス・カラーサイエンス、神奈川)を用いて測色を行った。測色の際には、測色計と天然歯の歯冠唇側面が平行となるように計測対象者の顔を固定し、カメラと対象歯の距離は17.5mmとなるように配置した。照明は人工太陽照明灯(SOLAX-iO、セリック株式会社、東京)を2台使い、照射角度は30度とした(図4)。分光イメージング装置を用いて歯冠全体の分光情報を採取後、測定したデータを専用解析ソフト(Image View、株式会社オフィス・カラーサイエンス、神奈川)を用いてL* a* b*値を取得した(図5)。

なお、本研究は大阪大学大学院歯学研究科倫理委員会の

承認下で実施した(承認番号: H30-E6)。

2. 2. グラデーションの数理解析

分光イメージング装置で測色し得られたデータから、歯頸部から切縁部にかけての30点のL*値、a*値、b*値を算出した。そして、算出した30点のL*値、a*値、b*値をグラフ上にプロットし、一次関数($y = ax + b$)、二次関数($y = ax^2 + bx + c$)、三次関数($y = ax^3 + bx^2 + cx + d$)、指数関数($y = ae^{bx}$)、対数関数($y = a + b \cdot \log(1 + M - x)$)の近似曲線を取り、残差平方和を用い、どの関数が最も適合しているか分析を行った(図6)。

$$\text{残差平方和} = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2$$

3. 結果

解析により得られたL*値、a*値、およびb*値のデータ

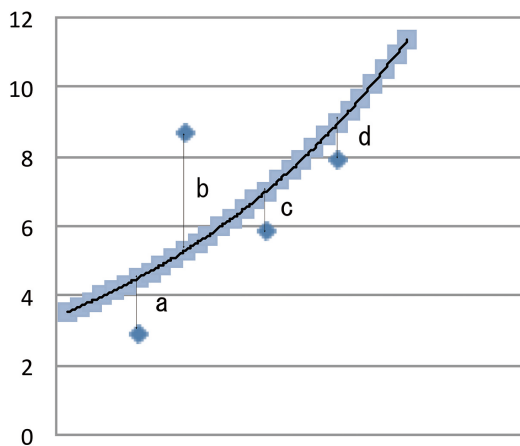


図6 残差平方和の算出方法

分布を図7に示す。L*値に関して、全ての計測対象者で+値(max: 80.37, min: 45.58)であった。その値は歯頸部から切縁部に向けて増加した後、減少した。a*値に関して、31名の計測対象者では、歯頸部から切縁部にかけて減少し続け、4名の計測対象者で、切縁部で増加しているのが認められた(max: 12.51, min: -4.74)。b*値に関して、31名の計測対象者では、歯頸部から切縁部にかけて減少し続け、4名の計測対象者で、切縁部で値が増加しているのが認められた(max: 31.42, min: -0.45)。加えて、全測定点1050点中999点で、a*値、b*値ともに+値であり、計測対象者17名で、計測対象者ごとに異なっているが、測定点の最多5点、最少1点において、a*値が-値、b*値+値であった。また、全計測対象者中1名において、2点でa*値が-値、b*値が-値であった。

回帰分析において、全計測対象者のうち、一次関数、二次関数、三次関数、指数関数、対数関数の中で、残差平方和が最も小さかった関数と人数を図8および表1に示す。L*値、b*値では、三次関数での残差平方和が全計測対象者で最も少なかった。a*値では、残差平方和が最も小さかった関数の計測対象者数は、三次関数が29名で、指数関数が6名であった。三次関数が最も適合していた計測対象者29名中18名は、全計測点で、a*値、b*値ともに+であった。残りの11名は、計測対象者ごとに異なるが、最多5点、最少1点で、a*値-、b*値+で、その他はa*値+、b*値+であった。指数関数が最も適合していた計測対象者6名中、5名においては、計測対象者ごとに異なるが、最多5点、最少2点が、a*値-、b*値+で、その他はa*値+、b*値+であった。残りの1名は、4点がa*値-、b*値+、2点がa*値-、b*値-、その他はa*値+、b*値+であった(図9)。

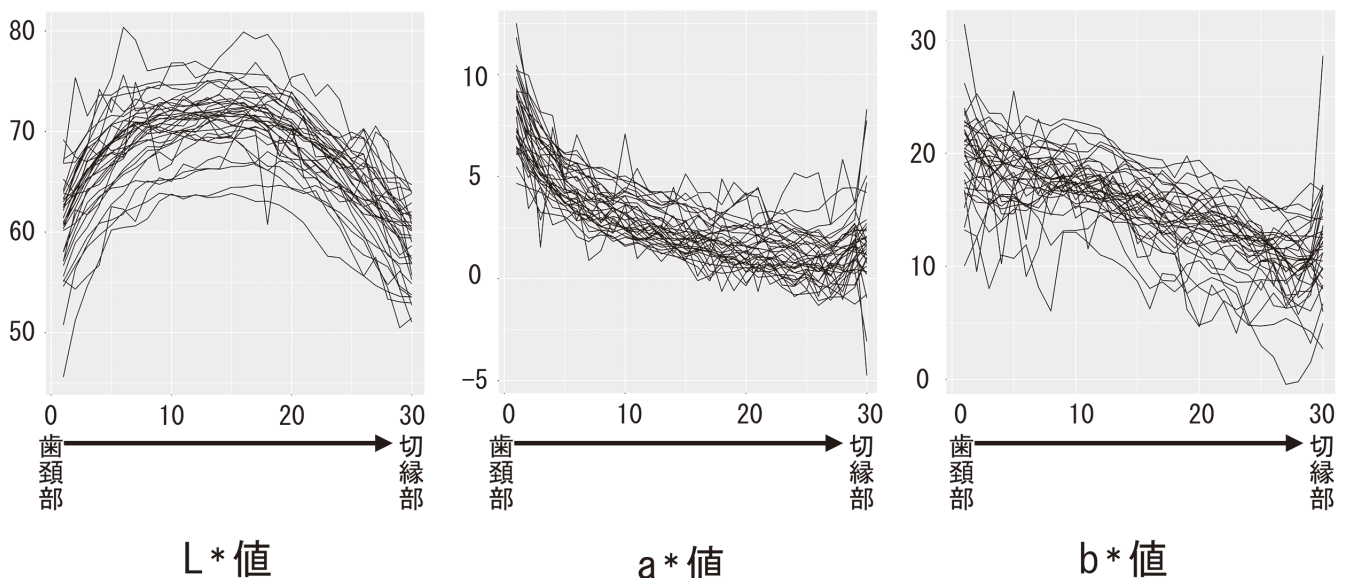


図7 データ分布

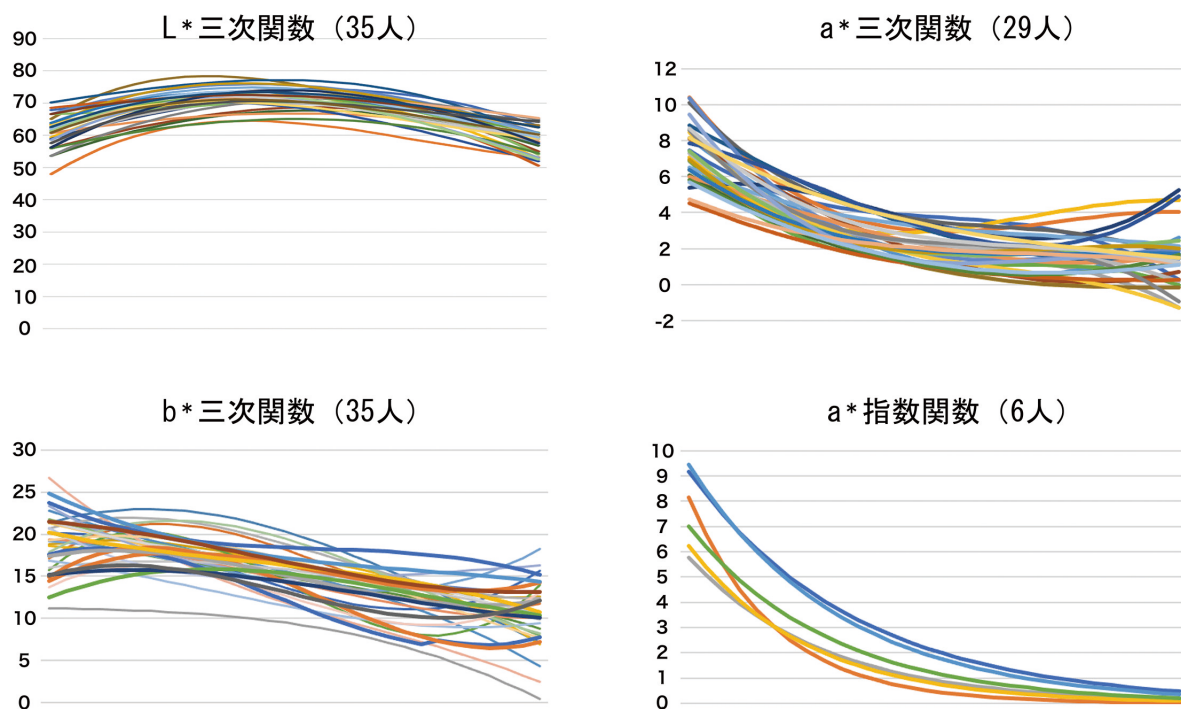


図8 全計測対象者のL*値、a*値、およびb*値に関数を当てはめた結果

表1 残差平方和が最も小さかった関数の計測対象者数

	L * 值	a * 值	b * 值
三次関数	35	29	35
指数関数	0	6	0

(單位：名)



18名

L*値：三次関数
a*値：三次関数、全て+
b*値：三次関数、全て+



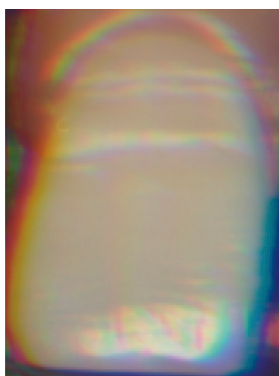
5名

L*値：三次関数
a*値：指数関数 数点で一、
b*値：三次関数、 全て+
全て+



11名

L*値：三次関数
a*値：三次関数、数点で一、
 その他は全て+
b*値：三次関数、全て+



1名

L*値：三次関数
a*値：指数関数
b*値：三次関数

a*值+、b*值+	2点
a*值-、b*值-	2点
a*值-、b*值+	4点

図9 実際の写真

4. 考 察

実験1. 分光イメージング装置を用いたグラデーション評価の有用性の検討

O'Brien ら⁴⁾やHasegawa ら⁵⁾は天然歯の歯頸部から切縁部にかけての部位間の色差を報告している。これらは特定の領域を測色し比較したものであり、歯冠の連続的な色の変化を捉えたものではない。そこで、本研究では試料全体の分光情報を採取することで、連続的な色調評価が可能な分光イメージング技術に着目した。これまで、分光イメージングを用いた歯の色調に関する研究は認められないため、分光イメージング装置のみで観察することのできる色の連続的な変化を測色し、数式を用いて天然歯のグラデーションの数理解析を行った。

天然歯に近似した歯冠補綴装置を作製するためには、口腔内における天然歯の歯頸部から切縁部にかけての色調変化を分析する必要がある。Wang ら⁹⁾はオールセラミッククラウンでは人工歯肉の有無により歯頸部付近の色調が異なり、歯頸部付近では明度と黄味が減少し、赤味が増加すると報告している。明度を示すL*値の歯頸部から切縁部にかけての変化は、歯頸部から切縁部に向けて三次関数的に増加した後、減少していた。天然歯において、歯頸部から切縁部にかけてL*値の変化は、歯冠断面における唇側面形態と相似しており、L*値は歯冠唇側面形状の影響を受ける可能性があると考えられた。これは、歯冠が有する曲面により、計測器と各計測点の距離や、角度に差が生じ、光の反射が異なることによる可能性が考えられる。

色相を示すa*値、b*値においては、a*値は、切縁部にかけて三次関数的、指数関数的に減少し、b*値は、三次関数的に減少した。a*値は+の値が赤色、-の値が緑色、b*値は+の値が黄色、-の値が青色を示すことから、歯頸部から切縁部にかけて赤味や黄味が薄くなっていく。これは、天然歯に関する歯肉色の影響を定量的に考察した研究はこれまでにないが、口腔内の色調に歯肉色が関与している可能性があることに加え、エナメル質、象牙質のベースとなる色調と比率や形態が複合的に関与し変化している可能性が考えられた。

5. 総 括

本研究により、上顎中切歯の歯頸部から切縁部にかけて色調変化を数理的に解析することができた。本研究結果は、

天然歯における色調変化の評価や、天然歯に近似したグラデーションを有するCAD/CAM用ブロック、ディスクの開発に有用であるものと考えられた。

謝 辞

本研究の遂行にご助力賜りました大阪大学大学院歯学研究科クラウンブリッジ補綴学分野 並河雅也君、株式会社オフィス・カラーサイエンス 大住雅之様、ならびに、ご支援いただきました公益財団法人コーセーコスメトロジー研究財団に、厚く御礼申し上げます。

(引用文献)

- 1) Baldissara P, Wandscher VF, Marchionatti AME, Parisi C, Manaco C, Ciocca L. Translucency of IPS e.max and cubic zirconia monolithic crowns. J Prosthet Dent., 120: 269-275 (2018)
- 2) Ueda K, Guth JF, Erdelt K, Stimmelmayer M, Kappert H, Beuer F. Light transmittance by multi-colored zirconia material. Dent Mater., 34: 310-314 (2015)
- 3) Kolakarnprasert N, Kaizer MR, Kim DK, Zhang Y. New multi-layered zirconias: Composition, microstructure and translucency. Dent Mater., 35: 797-806 (2019)
- 4) O'Brien WJ, Hemmendinger H, Boenke KM, Linger JB, Groh CL. Color distribution of three regions of extracted human teeth. Dent Mater., 13: 179-185(1997)
- 5) Hasegawa A, Motonomi A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color of natural tooth crown in Japanese people. Color Research and Application, 25: 43-48 (2000)
- 6) 田口智子, 大住雅之, 桐野文良. 光学的手法および表面微細構造解析による江戸時代銀貨の色彩の検討. 日本色彩学会誌, 38: 394-403 (2014)
- 7) Lu G, Fei B. Medical hyperspectral Imaging: a review. J Biomed Opt., 19: 10901 (2014)
- 8) Chlebda DK, Rogulska A, Lojewski T. Assessment of hyperspectral imaging system for colour measurement. Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc., 185: 55-62 (2017)
- 9) Wang J, Lin J, Seliger A, Gil M, da Silva JD, Ishikawa-Nagai S. Color effects of gingiva on cervical regions of all-ceramic crowns. J Esthet Restor Dent., 25: 254-262 (2013)

