

X線CT画像に基づく歯周組織の個体別モデリング (画像のサブピクセル化による形状平滑化)

Individual Finite Element Modeling of Periodontal Tissue
based on X-ray CT Images
(Smoothed expression of object region using sub-pixel boundaries)

小関道彦¹⁾, 宮下智弥²⁾, 伊能教夫³⁾, 槇宏太郎⁴⁾

Michihiko KOSEKI, Tomoya MIYASHITA, Norio INOU and Koutaro MAKI

¹⁾博士(工学) 信州大学繊維学部 (〒 386-8567 長野県上田市常田 3-15-1, koseki@shinshu-u.ac.jp)

²⁾学士(工学) 信州大学大学院工学系研究科 (〒 386-8567 長野県上田市常田 3-15-1)

³⁾工学博士 東京工業大学大学院理工学研究科 (〒 152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

⁴⁾歯学博士 昭和大学歯学部 (〒 145-8515 東京都大田区北千束 2-1-1)

It is quite important to grasp mechanical condition of the periodontal tissue composed of teeth, membranes, and an alveolar bone for orthodontic treatment. So, accurate patient-specific stress analyses of the tissue are expected in the orthodontic field. However, current medical x-ray CT images are insufficient to generate precise FE model of the periodontal tissue because of the low resolutions. This paper proposes a simple sub-pixel imaging method that produces smooth contours of teeth.

Key Words : Biomechanics, Periodontal Tissue, Patient-specific model, X-ray CT.

1. はじめに

歯列矯正では、歯に装着したワイヤの弾性力を利用し、歯根膜および歯槽骨の力学状態を変化させることによって歯の移動を実現している。このため、矯正治療中の歯列の力学状態を正確に数値解析するためには、歯・歯根膜・歯槽骨からなる歯周組織を適切にモデル化する必要がある。本稿では、X線CT画像に基づく歯周組織の個体別モデリングにおける課題を指摘し、CT画像に対して簡便なサブピクセル化を施すことによって滑らかな空間表現を実現する方法について報告する。

2. 歯周組織をモデル化する際の課題

筆者らはこれまで、X線CT画像に基づき骨体の個体別有限要素モデルを構築する手法について検討を行ってきた [1]。本手法では、X線CT画像によって与えられるモデリング対象領域のボクセル空間に、直接的に節点を配置することによりメッシュ分割を実施している。このため、複雑な生体組織の形状をCADモデル化することなく有限要素モデルを構築できるという特長がある。

本研究では、筆者らが提案するモデリング手法を歯周組織に適用する。しかし、医療用X線CT画像の分解能は、歯周組織の個体別有限要素モデリングには不十分であるという問題がある。一例として、実際に臨床で用いられている図1に示すX線CT画像では、 220×220 mmの範囲を 512×512 pixelで表現している。これより、この画像の空間分解能は約 $430 \mu\text{m}/\text{pixel}$ であると

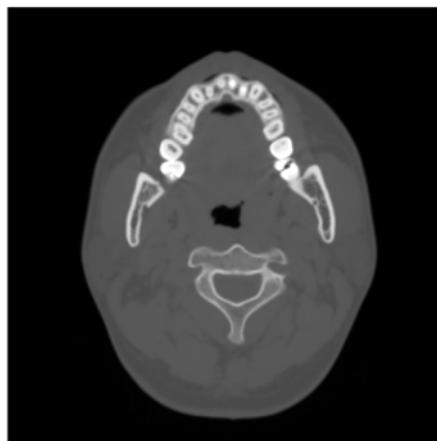


図-1 ヒト頭部のX線CT画像。

計算される。一方、ヒトの歯根膜の厚さは約 $200 \mu\text{m}$ 程度であるため、このCT画像からは歯根膜の形態を判別することは困難である。また、このように少ない画素数では、実際にはなめらかな曲面で構成する生体組織がガタガタに表現されてしまう。

3. X線CT画像のサブピクセル化

上述の問題を解決するため、CT画像をサブピクセル化して空間分解能を向上させる方法を考案した。これは、1つの画素(ピクセル)を縦横にそれぞれ2等分割して、4つのサブピクセルとするものである。このと

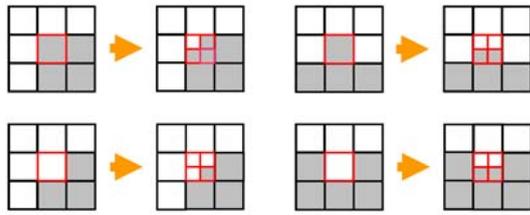


図-2 サブピクセル化パターンの例.

き、注目する画素の周囲 3×3 pixel の範囲を調べ、そのパターンに従ってサブピクセルの値を決定する。パターンの一例を図 2 に示す。

このサブピクセル化手法を繰り返し適用した結果を図 3 および図 4 に示す。図 3(a) および図 4(a) はそれぞれオリジナルの画像を拡大表示したものであり、図 3(b) はサブピクセル化手法を 2 回適用した場合、図 4(b) はサブピクセル化手法を 4 回適用した場合である。これにより空間分解能の値は、オリジナルの画素サイズ (約 $430 \mu\text{m}/\text{pixel}$) に対し、図 3(b) では約 $107 \mu\text{m}/\text{pixel}$ 、図 4(b) では約 $27 \mu\text{m}/\text{pixel}$ となり、歯の表面形状を平滑化して表現することが可能となった。

さらに、図 4 に示した解像度が縦横 16 倍となった画像に対して歯根膜領域の付加を試みた (図 5)。ここでは、8 画素分の厚さ (約 $215 \mu\text{m}$) の歯根膜を歯の表面に付加している。本来の X 線 CT 画像では画素サイズよりも薄いため画像表現されていない歯根膜を、サブピクセル化することにより滑らかに表現することが可能となった。

4. 考察

本稿で提案したサブピクセル化手法は、歯周組織本来の形態を正確に再現することを目的とするものではない。正確に歯周組織の形態を把握するためには、産業用マイクロフォーカス X 線 CT 装置などの空間分解能がさらに高い測定機器を利用することも有用である。しかし、被写体サイズや X 線被曝量の観点から、それらの装置では摘出した組織にしか適用することができず、現状では生体組織の高解像な三次元医用画像を得ることは困難である。また、これまでも様々なサブピクセル化手法が提案されているが、三次元医用画像に適用する際には膨大な量の画像を扱う必要があり、処理時間が問題になると予想される。

このような背景から、本研究では本来の分解能から類推される被写体の形態を、できるだけ簡便な方法で算出することを目的とした。今後、本提案手法で算出される形態と本来の被写体の形態を定量的に比較して、本提案手法の妥当性について検証したい。そして、得られる高分解能 X 線 CT 画像に基づく有限要素解析を実施したいと考えている。

謝辞: 本研究の一部は、科学研究費補助金 基盤研究 (B)(課題番号 21300187) によって行われた。

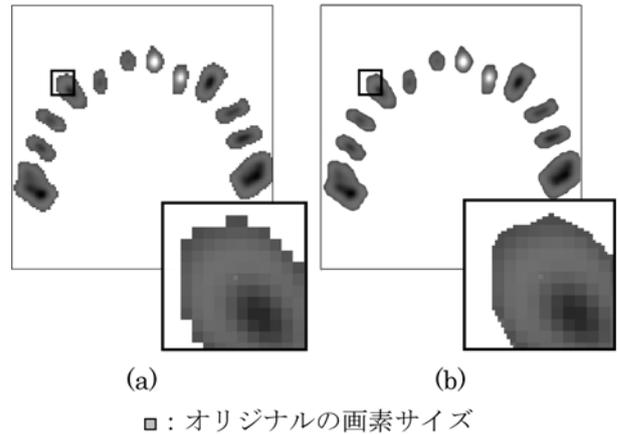


図-3 縦横 4 倍の解像度 (分解能: 約 $107 \mu\text{m}/\text{pixel}$).

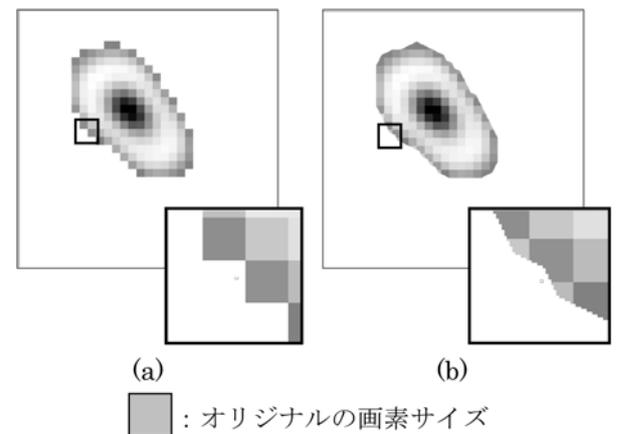


図-4 縦横 16 倍の解像度 (分解能: 約 $27 \mu\text{m}/\text{pixel}$).

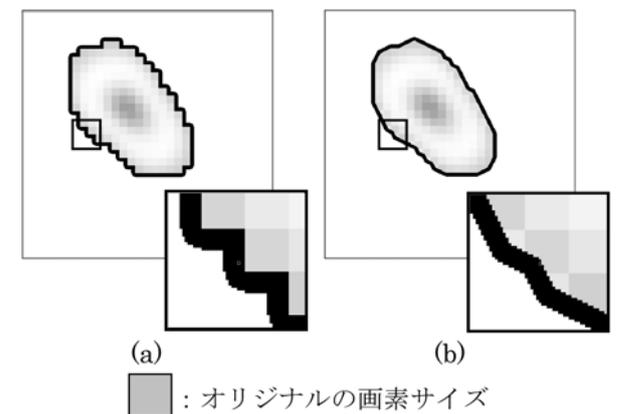


図-5 歯根膜領域の付加.

参考文献

- 1) 小関道彦・上西雅也・伊能教夫・榎宏太郎: X 線 CT 画像に基づく骨体の個別別モデリング手法に関する研究 (骨形態を考慮した要素分割手法の提案); 日本機械学会論文集 C 編, **72**-717, (2006), 1470-1477.