

〔原著〕 松本歯学 35 : 1~7, 2009

key words : マイクロCT—人歯3次元モデル—ボクセルモデル

## 人歯3次元モデルの作成 —ボクセルモデル—

永沢 栄<sup>1,2</sup>, 小幡 明彦<sup>3</sup>, 新井 嘉則<sup>1</sup>,  
吉田 貴光<sup>1,2</sup>, 黒岩 昭弘<sup>4,5</sup>, 伊藤 充雄<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>松本歯科大学 大学院 硬組織疾患制御再建学講座

<sup>2</sup>松本歯科大学 歯科理工学講座

<sup>3</sup>松本歯科大学 歯科矯正学講座

<sup>4</sup>松本歯科大学 大学院 顎口腔機能制御学講座

<sup>5</sup>松本歯科大学 歯科補綴学第I講座

Construction of the three dimensional human tooth models —Voxel model—

SAKAE NAGASAWA<sup>1,2</sup>, AKIHIKO OBATA<sup>3</sup>, YOSHINORI ARAI<sup>1</sup>,  
TAKAMITSU YOSHIDA<sup>1,2</sup>, AKIHIRO KUROIWA<sup>4,5</sup> and MICHIO ITO<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Hard Tissue Research, Graduate School of Oral Medicine,  
Matsumoto Dental University*

<sup>2</sup>*Department of Dental Materials, School of Dentistry, Matsumoto Dental University*

<sup>3</sup>*Department of Orthodontics, School of Dentistry, Matsumoto Dental University*

<sup>4</sup>*Department of Oral and Maxillofacial Biology, Graduate School of Oral Medicine,  
Matsumoto Dental University*

<sup>5</sup>*Department of Removable Prosthodontics, School of Dentistry, Matsumoto Dental University*

### Summary

Using a 3-dimensional micro-CT (R-mCT, Rigaku), X-rays of 35 human teeth extracted during orthodontic treatment were taken at intervals of 0.125 x 0.125 x 0.125 mm, and 3-dimensional human tooth models were constructed. The models were visualized using numerical data-visualization software (Micro-AVS ver.8.1, KGT), and display conditions were evaluated, resulting in the following conclusions :

1. Regarding the database of 3-dimensional models, voxel model type data were considered appropriate.
2. Three-dimensional images, which can be used to observe the internal structure, are useful for learning dental students.
3. Simulated treatment becomes possible using the haptick device and 3-dimensional data. This modality was considered very useful clinical practice for students.
4. When data for the finite element method are produced based on these data, various

analyses become possible, and researchers can also effectively use these data.

5. If human tooth 3-dimensional data become widely available, various types of usage will be possible ; therefore, accumulation of further data on carious, abnormal, and deciduous teeth is necessary to expand the data set.

## 緒 言

現在のコンピュータ技術の進歩はめざましく、各種解析やシミュレーションプログラムがパーソナル・コンピュータによって手軽に利用可能となっている<sup>1-3)</sup>。

これ等のソフトウェアを使用すれば、補綴物の最適設計や仮想治療実習が可能であり、歯学教育ならびに歯科研究の発展が期待される<sup>4-5)</sup>。しかしながら、人歯ならびに口腔内の3次元データが無いために容易には実行できないのが現状である。

一方、アメリカでは、U. S. National Library of Medicine の主催で、1986年から人体の完璧な解剖図を3次元映像としてデータベース化する Visible Human Project が既に進行中であり、人体の3次元データが着々と蓄積され、医学のみならず様々な分野から注目を集めている<sup>6)</sup>。

そこで、研究者や学生が自由に使用できる3次元人歯データベースの構築を目的とし、ボクセルによる3次元モデルの構築を行った。

## 材料および方法

矯正治療等により過去に抜去され、個人が同定できるものではない人歯35本を、3次元マイクロCT (R-mCT, Rigaku) にて $0.125 \times 0.125 \times 0.125$  mm 間隔でX線撮影し、1歯あたり約300枚の断層画像 (図1 A) を得た。

断層画像の、歯の実質および歯髄腔のみを画像処理ソフトウェア (Photoshop ver 7.0, Adobe) の切抜きとバッチ処理機能により自動的に取り出し、断層画像のアーチファクト (図1 B) を、同ソフトウェアを使用して手作業により消去した (図1 C)。

得られた画像を、ボリュームデータ作製ツール (ImgToVol ver 2.5, KGT) を用いて構造型データに変換し、数値データ可視化ソフトウェア (Micro-AVS ver 8.1, KGT) により可視化した。

これらの作業は、パーソナル・コンピュータ (Endeavor TM 7500, エプソン) を使用して行った。

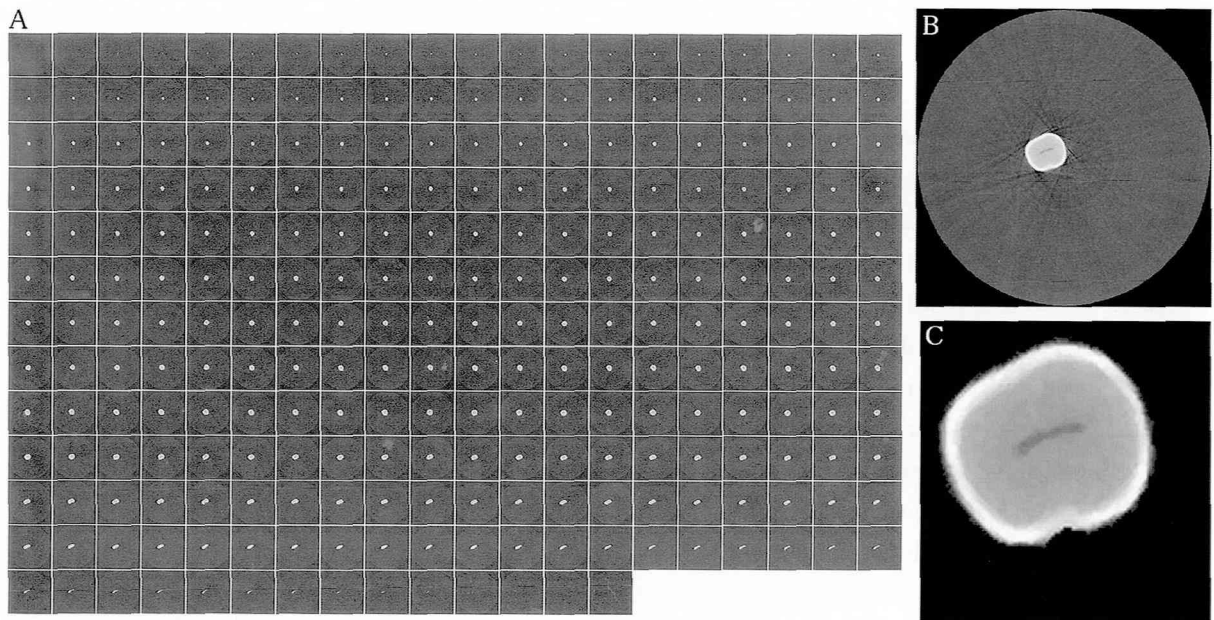


図1: 画像の前処理. A: 3次元マイクロCTにて撮影した約300枚の断層画像, B: アーチファクト除去前の画像, C: モデル作製に使用した画像.

結 果

3次元モデル作成上、最大の問題点と考えられた断層画像のアーチファクトの除去は、1歯当たり60分程度で可能であり、研究者レベルとしては実用範囲内であった。また、歯の実質および歯髓腔のみ（1画像150×150ピクセル程度）を取り出すことにより、3次元画像の回転、拡大なども、リアルタイムで行うことが可能となった。

可視化した全35本の人歯を図2に示す。1ボクセルのサイズが0.125×0.125×0.125mmと比較的大きいにもかかわらず、形状を確認するには十分な解像度であった。

Micro-AVSは、比較的安価なソフトウェアであるが、等数値面表示、ボリュームレンダリング、等数値ボリュームなど多くの機能を有した非常に優れたソフトウェアであり、物体の色彩や透明度を変えることや、切断して表示することが可能であった。

上顎右側第二小白歯の像を、図3A~Hに示す。CT値（1~255）により青から赤へ色分けし半透明化した画像からは、象牙質の内部構造と思われる粒状を呈する像が観察された（図3A）。

一定のCT値以上の部分のみを表示させ、切断すると、象牙質に象牙細管よりもはるかに大きな

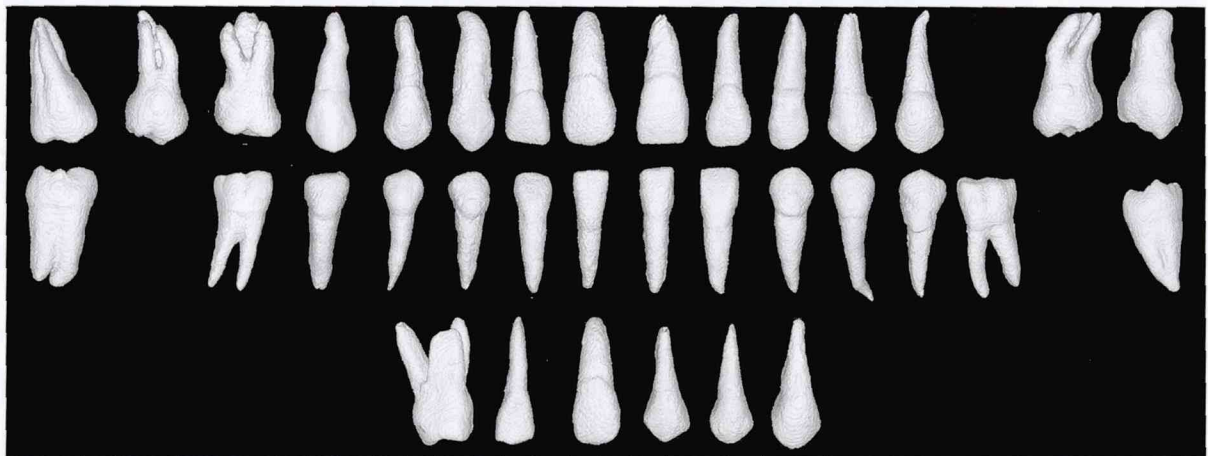


図2：可視化した35本の人歯。

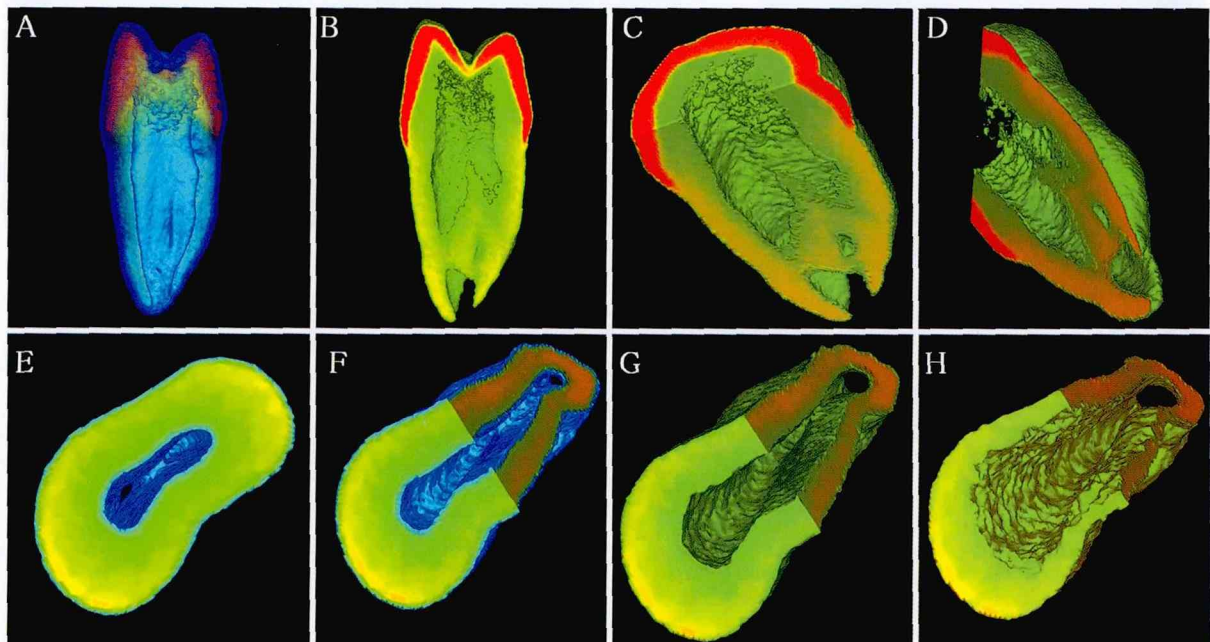


図3：上顎右側第二小白歯の画像。A：半透明化，B-D：切断とCT値が象牙質以上の部位の抽出，E-H：歯根部。

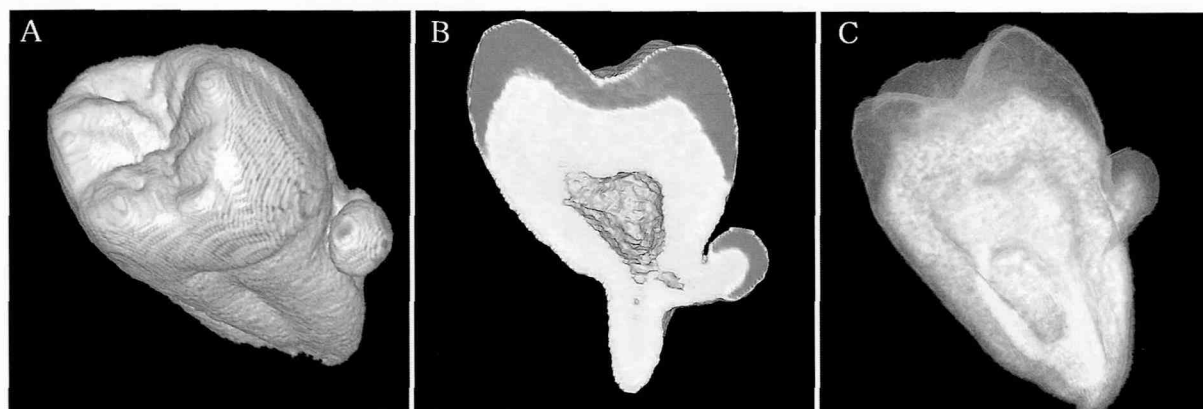


図4：上顎右側第三大臼歯の画像。A：通常表示，B：断面表示，C：半透明表示。

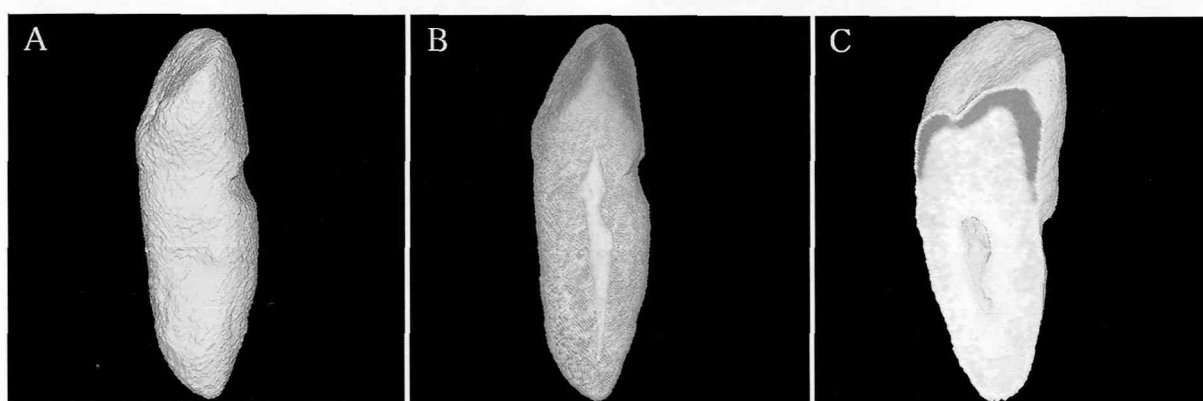


図5：上顎左側犬歯の画像。A：通常表示，B：半透明表示，断面表示。

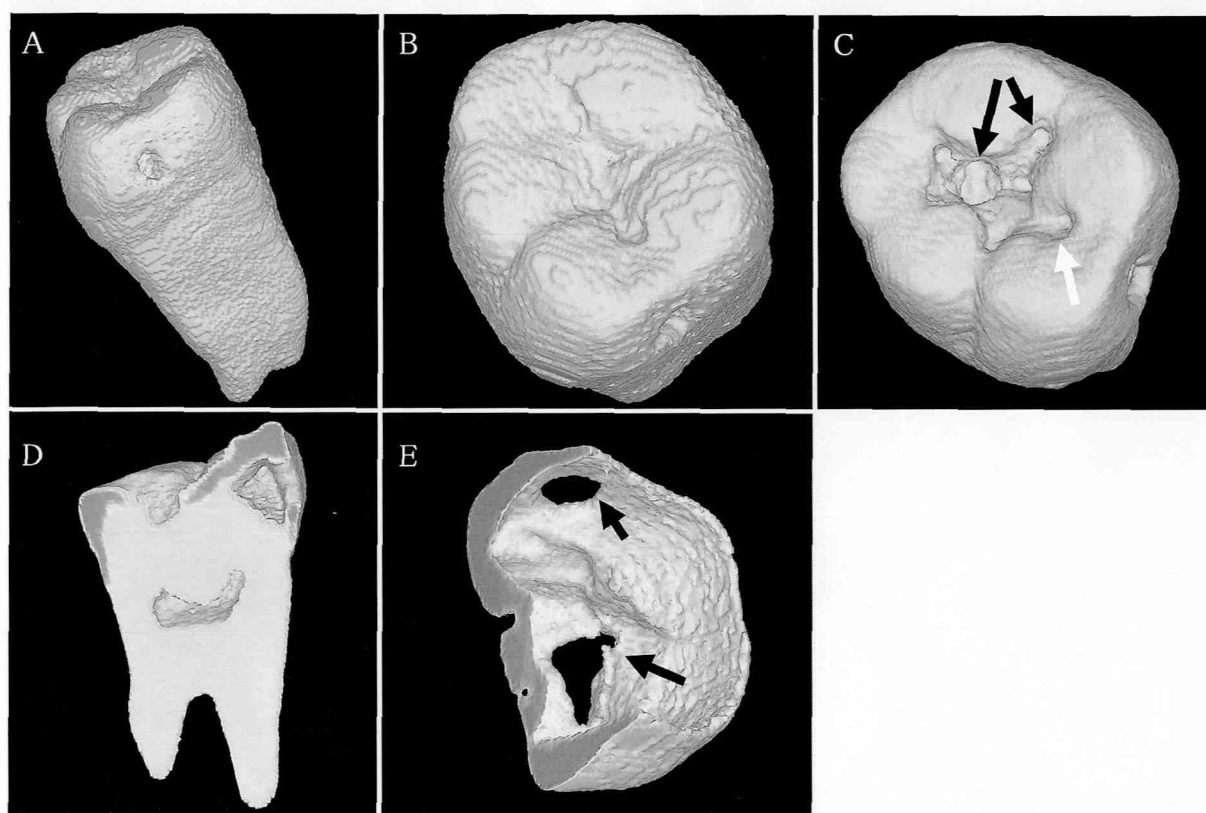


図6：下顎左側第一大臼歯の画像。

枝状の構造が存在することが明らかとなった (図 3 B, C, D).

同様にして歯根部を観察すると、歯髄腔の立体構造や、頬舌側の象牙質の X 線不透過度が高く近遠心側より機械的強度が高いであろうこと、等の部位による差異が良く理解できた (図 3 E, F, G, H).

上顎右側第三大臼歯の像を図 4 A~C に示す。この歯の歯根部には球形のものが付着している (図 4 A)。形状的にはエナメル滴と思われたが、切断すると、球形の部分には歯髄が接続しており癒合歯である事が明らかとなった (図 4 B)。さらに、半透明化した像からは歯髄のつながり方を立体的に捉えることが可能であった (図 4 C)。

上顎左側犬歯の像を図 5 A~C に示す。この歯には楔状欠損が存在するが (図 5 A)、刺激に対する代償作用として歯髄腔への象牙質の添加が観察される (図 5 B, C)。また、楔状欠損に関しては咬合力による歯牙崩壊が原因とする説<sup>9)</sup>もあるが、欠損部にひび割れが集中するような傾向は認められなかった。

下顎左側第一大臼歯の像を図 6 A~E に示す。この歯の近心には齲蝕が存在するが (図 6 A, B)、表示する CT 値の閾値を上げると窩洞が現れレジン充填が施されていることが明らかとなった (図 6 C)。また、窩洞形成時のバーの形態 (黒矢印) も観察でき、二次齲蝕の進行状況も観察することが可能であった (白矢印)。さらに切断すると、齲蝕の進行状況が (図 6 D)、エナメル質のみを取り出すと (図 6 E)、エナメル質の損傷状態 (黒矢印) も明らかとなった。

### 考 察

コンピュータによる 3 次元表示モデルとしては、面の集合として立体を捉えるサーフェースモデルと 3 次元の立方体要素の集合として捉えるボクセルモデルが存在する<sup>7)</sup>。形状を表示するのみであれば、サーフェースモデルは一般的にデータ量が少なくコンピュータに対する負荷も少なく優れたモデルである。しかしながら、物体内部の情報を持たないために内部状態を観察することはできない。これに対し、ボクセルモデルはデータ量が大きく、コンピュータに対する負荷も大きなも

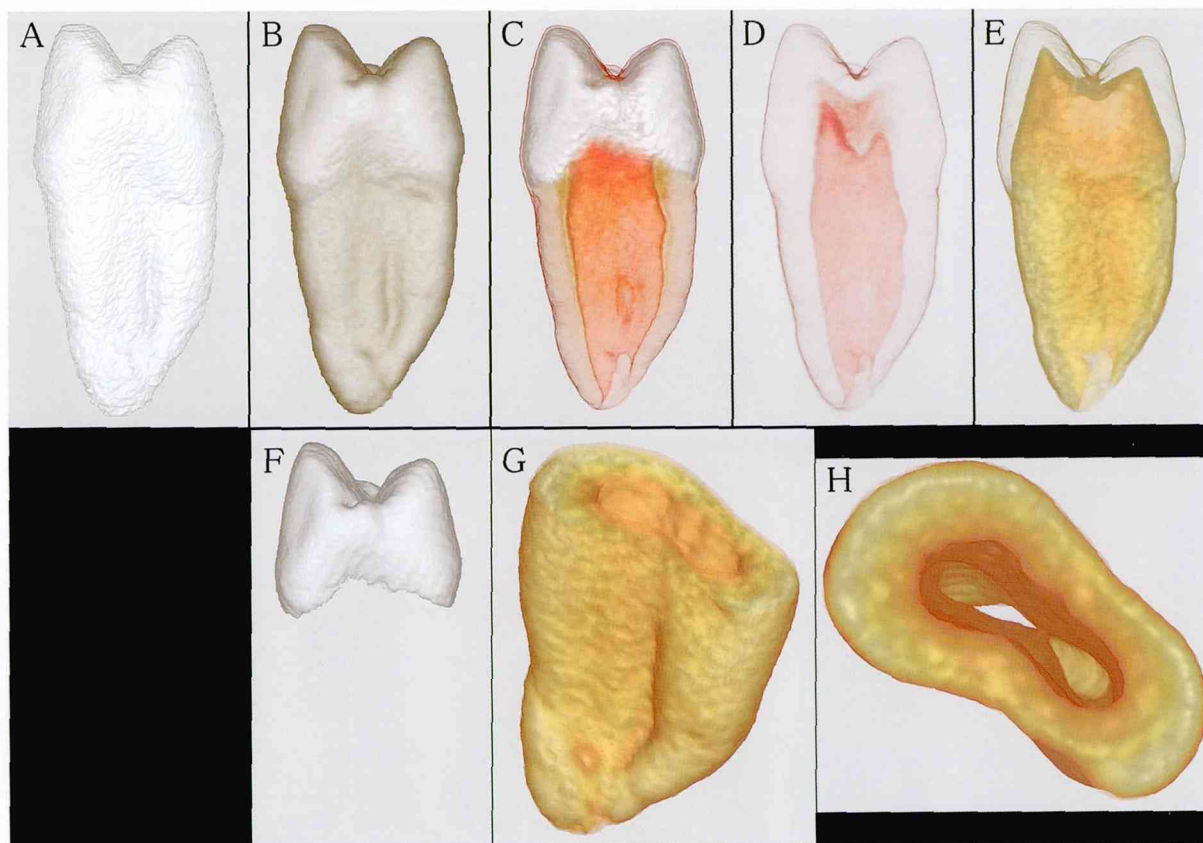


図 7 : 3 次元モデルにおける、サーフェースモデルとボクセルモデルとの差異 (上顎右側第二小臼歯)。

のとなる。CTのデータも3次元空間に配置されておりボクセルモデルと考えることができる。つまり、ボクセルモデルはCTの情報をもっとも損なうことなく3次元表示が可能という利点を持っている。図7A~Hに上顎右側第二小白歯を例にとり、サーフェスモデル(図7A)とボクセルモデル(図7B~H)との違いを示す。サーフェスモデル(図7A)では外形を表示することができるのみであるが、ボクセルモデルでは外形を表示する(図7B)のみならず、象牙質部分を透明にしてエナメル質と歯髄のみの表示(図7C)、歯髄のみの表示(図7D)、象牙質のみの表示(図7E)や、エナメル質のみを表示することが可能である(図7F)。また、象牙質のみの断面(図7G)や、歯髄腔(図7H)を観察することも可能である。さらに、STLファイル(光造型用の標準ファイル形式)に変換すれば、ANSYS、NASTRANなどの市販有限要素法用の要素データを容易に作成することが可能である(図8)。

内部情報を維持しているボクセルモデルでは、CT値の上昇が石灰化度の上昇に対応していると考えられることから<sup>8)</sup>、さらに興味有る知見を得

ることも可能である。上顎左側中切歯において、表示するCT値の閾値を歯髄から象牙質上限まで徐々に変化させて表示した画像を図9A~Nに示す。閾値の上昇に伴って、歯髄腔から枝のような立体構造を持った象牙質が成長して行くかのように観察される。この現象は、象牙質が均一なものではないことを示しており、象牙質の強度や象牙質に対する接着性を議論する場合には、考慮すべきものと思われる。

以上、研磨切片のように任意断面を抽出するこ

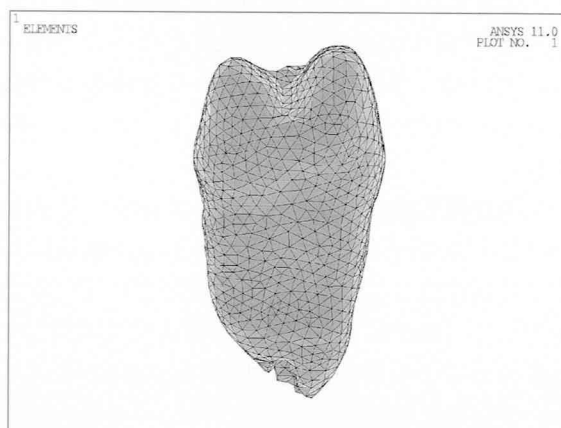


図8: 本モデルより作製した有限要素メッシュ。

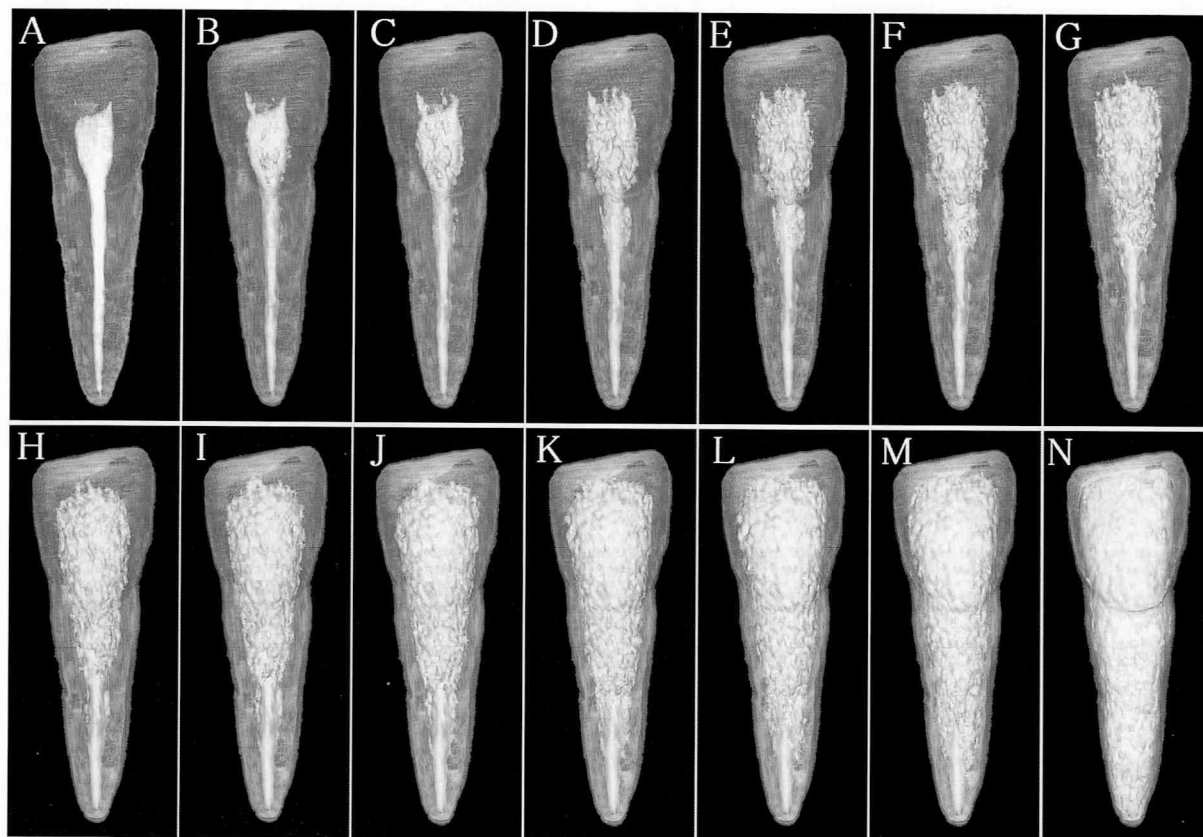


図9: CT値の表示閾値を歯髄から象牙質上限まで順次(A~N)変化させて表示した画像(上顎左側中切歯)。

とが可能である, 内部構造を3次元的に観察可能である等の観点から, 人歯3次元モデルとしてはボクセルモデルが適切であると考えられる。

### 結 論

矯正治療等により抜去された35本の人歯からマイクロCTを用いて, 人歯3次元モデルを構築し, 表示条件などについて検討した結果以下の結論が得られた。

1. 3次元モデルのデータベースとしてはボクセルモデル形式のデータが適切と考えられる。
2. 内部構造をも観察可能な3次元画像は, 歯学部学生の学習に有用である。
3. ハプティックデバイスと3次元データを使用すれば, 仮想治療が可能であり, 学生の臨床実習にも極めて有用であると考えられる。
4. このデータを基に有限要素法用のデータを作成すれば, さまざまな解析が可能と成り, 研究者にとっても利用度が高いものと思われる。
5. 人歯の3次元データを, 誰もが自由に使うことが出来れば, 多種多様な用途が開けるものと思われ, う蝕歯や, 異常歯, 乳歯などの収集が今後必要と考えられた。

なお, 本データは [http://st-intra.mdu.ac.jp/shigakubu/e\\_learning/download/micro\\_avs/ct.html](http://st-intra.mdu.ac.jp/shigakubu/e_learning/download/micro_avs/ct.html) において既に公開している。

### 文 献

- 1) Ferrari M, Sorrentino R, Zarone F, Apicella D, Aversa R and Apicella A (2008) Non-linear viscoelastic finite element analysis of the effect of the length of glass posts on the biomechanical behaviour of directly restored incisors and surrounding alveolar bone. *Dent Mater J* **27**: 485-98.
- 2) Nagasawa S, Hyano K, Niino T, Yamakura K, Yoshida T, Mizoguchi T, Terashima N, Tamura K, Ito M, Yagasaki H, Kubata O and Yoshimura M (2008) Nonlinear stress analysis of titanium implants by finite element method. *Dent Mater J* **27**: 633-9.
- 3) 松山雄喜 (2008) 有限要素法を用いたルートキーパー R の破折に関する研究. *松本歯学* **34**: 137-47.
- 4) Yau HT, Tsou LS and Tsai MJ (2006) Octree-based virtual dental training system with a haptic device. *Computer-Aided Design & Applications* **3**: 415-24.
- 5) 若林一道, 竹重文雄, 絹田宗一郎, 宇高朋宏, 中村隆志, 矢谷博文, 莊村泰治 (2007) 歯科へのハプティックデバイスの応用 (第17報) オブジェクト間力覚感知システムの応用. *歯材器* **26**: 120.
- 6) [http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible\\_human.html](http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html)
- 7) 千葉則茂 (1990) レイトレーシング CG 入門, 初版, 114, サイエンス社, 東京.
- 8) Carter DR and Hayes WC (1977) The compressive behavior of bone as a two-phase porous structure. *J Bone Joint Surg Am* **59**-A: 954-62.
- 9) 陳 克恭, 三宅清美, 庄野庸雄, 寺下正道 (2000) くさび状欠損の発生にかかわる咬合の影響 - 歯軸方向に生じる歯頸部のひずみ-. *日歯保誌* **43**: 870-6.

- 1) Ferrari M, Sorrentino R, Zarone F, Apicella D, Aversa R and Apicella A (2008) Non-linear