

## 定量的四次元モデル「Virtual Anatomia」の 開発とその応用

鈴木直樹, 服部麻木, 村内達也, 奥健太郎, 杉浦真

近年、医用画像技術の進歩により、ヒトの詳細な内部構造データを計測することが可能になってきた。しかしこれまで人体構造のデジタルデータベースは少なく、医学研究、医学教育を目的としたものが少数存在するのが現状である。今回開発した Virtual Anatomia に搭載された人体モデルは、「生きているヒト」の 600 余りのパーツから構成される。また解剖学的形状を持つだけでなく、心動脈や全身骨格の動態も四次元データとして合わせ持つモデルでもある。本モデルはヒトの形態計測から動態解析まで、様々な研究分野において研究材料として扱うことができる。

### Development of a four dimensional human model “Virtual Anatomia”

Naoki Suzuki, Asaki Hattori, Tatsuya Murauchi,  
Kentaro Oku and Makoto Sugiura

This paper describes about a digital human model “Virtual Anatomia”. This model has three dimensional human inner structures and time sequential (four dimensional) motion data (shape of beating heart and skeletal motion). This model was reconstructed from MRI datasets of whole body. Using a viewer we developed, a user can observe the human model interactively and measure the volume and the area of the organ models. Virtual Anatomia will be able to be applied to medical research and various engineering field. In this paper, we report the measurement and reconstruction process of the human inner structures and functions of our developed viewer.

### 1. はじめに

X 線 CT や MRI といった画像診断装置の発達で、切開することなくヒトの内部構造を詳細に計測することを可能にした。しかしそのデータ量は膨大であり、以前はグラフィックワークステーションなどの高価な装置でしか、可視化することが難しかった。近年のコンピュータ技術の発展により、これらの大容量のデータを比較的安価な装置で高速に可視化することが可能になった。またバーチャルリアリティ (Virtual Reality) 技術の発展により、可視化されたヒトの内部構造を直感的、かつインタラクティブに扱うこともできるようになった。しかしこれまで人体の三次元的なデータベース[1-7]は少なく、医学研究、医学教育を目的としたものが少数存在するのが現状である。例えば米国の National Library of Medicine の Visible human project による遺体の三次元データセット等が挙げられる。これらのデータセットは遺体を用いているため、様々な処置を施したとしても生きている状態と同じ三次元構造を得ることが困難な部位があった。また拍動する心臓といった時系列に三次元形状が変化する部位の形状データ、すなわち四次元データを合わせもった全身のデータセットは、まだ存在しないのが現状であり、医学領域のみならず、工学の分野でも詳細な内部構造をもった人体の三次元モデルが必要とされている。

われわれのグループでは、手術シミュレーションシステムや術中ナビゲーションシステムといった外科手術支援システムの開発を行ってきた[8,9]。そしてこれらの研究開発の中で必要となる、患者の内部構造モデル再構築技術についても併せて行ってきた[10,11]。その技術を応用し、生きているヒトの全身の断層画像データを用いることで、詳細な解剖学的形状を持ち、かつ心臓の内部や全身骨格の動態も四次元データとして合わせ持つ人体モデルの開発を行なった。また専用のビューアを併せて開発し、インタラクティブな観察だけでなく、様々な計測、および解析を行なうことが可能な「Virtual Anatomia」を完成させることができた。

本稿では、この Virtual Anatomia の開発過程とその機能について述べる。

### 2. 四次元人体モデルの開発

四次元人体モデルの開発では、生体画像データの計測を行なった後、画像データから各臓器形状のセグメンテーションを行ない、内部構造をモデリングした。また被験者の骨格モデルを駆動するための動作データの計測も行なった。

#### 2.1 生体画像データの計測

Virtual Anatomia では、生きているヒトの全身の断層像から内部構造の再構築を行なうため、X 線 CT のような被爆という侵襲性を持つ装置を用いることはできない。そ

こでわれわれは、MRI (Eclips 1.5T (株) 島津製作所製) を用いて計測を行なった。また被験者は、健康診断や心電図などの医学的所見を検討し、さらにデータ計測時に想定される環境において安定した計測を行うことのできる健康な女性一名を選考した。MRI で計測した項目は以下の通りである。

- ・ MRI 撮像 (頭頂部から足底まで)
- ・ 血管造影による MR Angiography
- ・ 心電図同期による心臓冠状断像
- ・ 頭部精細 MRI 矢状断像 (開眼時, 閉眼時 1 回ずつ)
- ・ 頭部 MR 精細血管像

また通常の MRI 検査では、MRI 診断装置のベッドに直接寝て計測を行なうが、そのままでは被験者の身体の背面がつぶれてしまい、解剖学的な形状が不自然になってしまうため、撮像前に被験者本人の体表面形状に合わせたカプセルを作製し、被験者がカプセルに入った状態で計測を行なった。計測したデータの詳細は以下の通りである。

- ・ 全身の断層像: スライス厚 2mm 840 枚
- ・ 全身の血管に関する断層像: MR Angiography スライス厚 2mm 854 枚
- ・ 頭部に関する断層像: スライス厚 1mm 256 枚 (開眼・閉眼 1 回ずつ)
- ・ 頭部の血管に関する断層像: MR Angiography スライス厚 1mm 249 枚
- ・ 心臓に関する断層像: 心電図同期下でスライス数 20 枚 15 フェーズ撮像

## 2.2 各臓器形状のセグメンテーション

Virtual Anatomia において臓器の体積等の計測を可能にするためには、対象となる臓器や血管などの領域を、その臓器が存在する全スライスにおいて領域を決定する処理、セグメンテーションが必要となる。

セグメンテーションを行なった部位は、以下の通りである。

解剖学的要素

- ・ 体表面
- ・ 骨格系
  - 頭部, 歯, 頸部, 体幹部, 上肢, 下肢
- ・ 骨格筋系
  - 頭部, 体幹部, 上肢, 下肢
- ・ 脳・内臓系
  - 頭部 (大脳, 小脳など), 胸部 (肺, 気管など), 腹部 (胃, 肝臓, 結腸など)
- ・ 血管系
  - 頭部, 体幹部, 臓器内部

セグメンテーションを行なうにあたり、臓器境界の区別がつかない臓器間領域に関しては、専門医の所見によって臓器境界線を設け、各臓器のセグメンテーションを行った。セグメンテーションの処理の結果、MRI 画像データは 600 余りの領域に分割された。

## 2.3 被験者動作データの計測

被験者の骨格モデルを駆動させるため、光学式三次元位置計測システム (VICON612, Vicon Motion Systems 社製) を用いたモーションキャプチャを行なった。

計測では、解剖学的な特徴があり、かつ骨格に対して皮膚のずれが少ない体表面上の点を 34 点設定し、プラスチック製の赤外線反射マーカを被験者に貼付した。光学式三次元位置計測システムでは校正済みの 9 台の高速赤外線カメラを用いて、被験者の体表面上の赤外線反射マーカを撮影することで、約 4m 四方の空間内での被験者動作に対して各マーカの三次元位置を計測することが可能である。動作中の各マーカの位置座標と、被験者の MRI 画像から抽出したマーカの骨格に対する相対的な位置関係をもとに、全身の各関節の関節角度変化を算出した。動作データのフレームレートは、120 frame/sec である。

## 3. Virtual Anatomia ビューアの開発

Virtual Anatomia では専用のビューアを開発し、インタラクティブに任意の視点からモデルの観察ができるだけでなく、各部位の解剖学的名称を表示させる機能、各モデルの体積等を計測する機能、動作に伴う骨格系の動態を表示する機能等を持たせた。

### 3.1 インタラクティブなモデルの観察

開発したビューアを用いることにより、骨格および骨格筋系、内臓系、血管系をあわせ、600 パーツ余りのパーツから構成された複雑な人体の構造をインタラクティブに任意の視点で観察できるようにした。心臓に関しては、心臓が拍動する際の内部の動態変化もリアルタイムに観察可能である。また複数の平面により断面を形成してモデルを分割し、分割されたモデル内部を観察することも可能である。図 1 に体表面を半透明表示し、内部構造を観察できるようにした表示例を示す。図 2 に平面により上半身を分割して表示した例を示す。

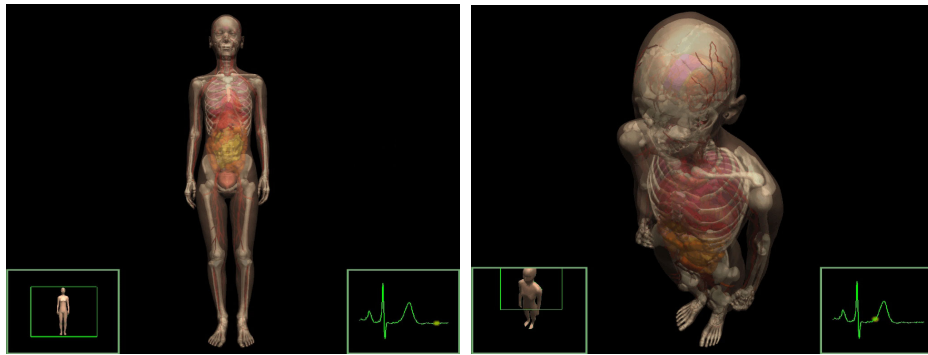


図1 モデル表示例

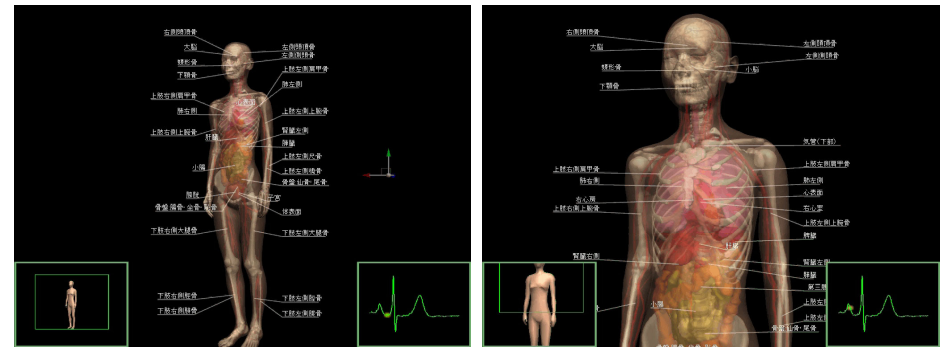


図3 解剖学的名称を表示した例

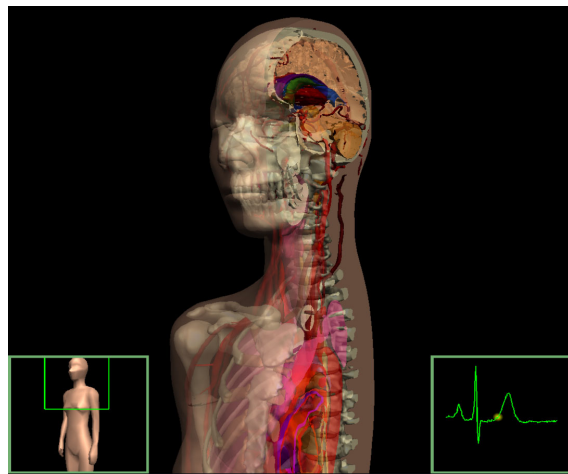


図2 断面によりモデルを分割して内部を表示した例

### 3.2 解剖学的名称の表示

モデルの観察に際しては、各モデルの解剖学的名称を日本語および英語で表示できる機能（アノテーション機能）を持たせた。また、一つのモデルに対して複数の解剖学的名称を持つ部位（肝臓の場合、右葉、左葉、肺の場合、上葉、中葉、下葉、肺尖など）もあるため、それらも必要に応じて表示できるようにした。図3に解剖学的名称を表示させた例を示す。

### 3.3 モデルの体積、面積、距離計測

モデルを表示した際に、モデルの体積、面積、距離計測を合わせてできるようにした。計測は、複数の平面により分割されたモデル上でも行なえるようにした。図4に肝臓のモデルを平面により分割し、分割した肝モデル表面から肝内血管までの距離計測を行なっている様子を示す。



図4 断面により肝モデルを分割し、肝表面から肝内血管までの距離計測を行なっている様子

### 3.4 動作に伴う骨格系動態の表示

モーションキャプチャによって得られた被験者の動作データを用い、骨格モデルを駆動することで、歩く、走る、スクワットなど、様々なヒトの運動時の骨格の動態を表示できるようにした。この際もインタラクティブに任意の視点から観察することが可能である。図5に歩行動作のデータにより骨格モデルを駆動した例を示す。

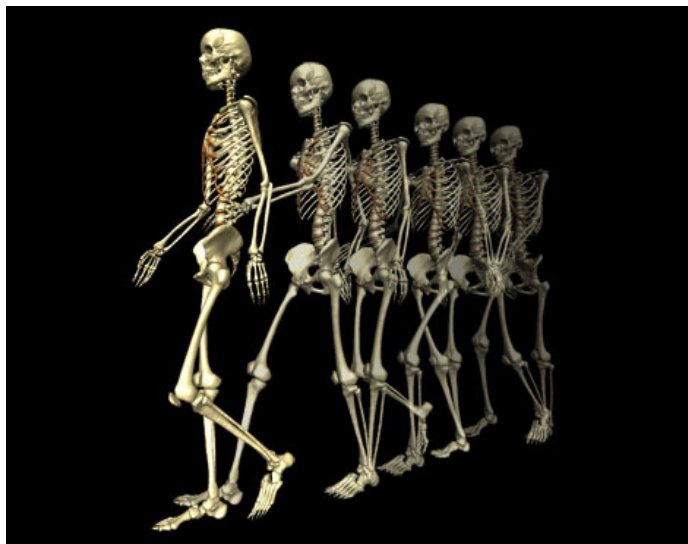


図5 骨格モデルの歩行動作表示例

## 4. まとめ

全身のMRIデータセットを用い、生きているヒトの全身の詳細な三次元形状を持つ人体モデルを構築することができた。また拍動する心臓やヒトの運動などの四次元的な形状変化も合わせ持つ、四次元人体モデルとして利用することができるようになった。また専用のビューアを開発することにより、インタラクティブな観察だけでなく、様々な計測が可能になり、医学教育、研究だけでなく、ヒトを対象とする様々な分野において研究材料として扱うことができるようになった。

今後は、より詳細な内部構造モデルの追加だけでなく、性別や年齢等のバリエーションを増やし、より幅広い分野で利用可能なシステムの開発を行っていきたいと考える。

## 参考文献

- 1) Spitzer V, Ackerman MJ, Scherzinger AL, Whitlock D, The Visible Human Male: A Technical Report, Journal of the American Medical Informatics Association 1996, 3(2), 118-30
- 2) Ackerman MJ, Yoo TS, The Visible Human Data Sets (VHD) and Insight Toolkit (ITk): AMIA 2003 Symposium Proceedings 2003, 773
- 3) Ackerman MJ, Build for Future Technology. When Building for the Future: A Lesson from the Visible Human Project, Journal of the American Medical Informatics Association 1996, 3(4), 300-1
- 4) <http://www.voxel-man.de/>
- 5) Uhl JF, Park JS, Chung MS, Delmas V, Three-Dimensional Reconstruction of Urogenital Tract From Visible Korean Human, THE ANATOMICAL RECORD PART A 2006, 893-9
- 6) Zhou ZM, Fang CH, Huang LW, Zhong SZ, Wang BL, Zhou WY, Three dimensional reconstruction of the pancreas based on the virtual Chinese human—female number 1, Postgrad. Med. J 2006, 82, 392-6
- 7) <http://www2.nict.go.jp/pub/whatsnew/press/h17/060328/060328.html>
- 8) Suzuki S, Suzuki N, Hattori A, et al. (2004), Sphere-Filled Organ Model for Virtual Surgery System, IEEE Transactions on Medical Imaging, 23(6), 714-22.
- 9) Hattori A, Suzuki N, Hayashibe M, Suzuki S, Otake Y, Tajiri H, Kobayashi S (2005), Development of a Navigation Function for an Endoscopic Robot Surgery System, Medicine Meets Virtual Reality 13: 167-71.
- 10) 鈴木直樹, 服部麻木, 富永英義, 浦野義頼, 高機能多目的三次元人体モデル (digital dummy) の製作とその応用 (第二報), 第18回IPA技術発表会 1999
- 11) 富永英義, 鈴木直樹, 高機能多目的三次元人体モデル (digital dummy) の製作とその応用, IPA 成果報告書 2000