

〔論 文〕

## 医用画像からの3D人生体モデルの開発

足立 康志\*・牧之内顕文\*

Development of a 3D digital human body model using its medical images

Yasushi Adachi, Akifumi Makinouchi

## Abstract

The necessity of the human body model database on the living body. A lot of provided image data is not a living body. However, the living body whole body map of the Japanese doesn't exist for now. Therefore, we provide of the CT and MR medical image from Riken. Development of human body model to create the living body and whole body.

## 1. 始めに

生体人体を基にした人体地図データの必要性が高まっている。DigitalHuman Project など、生体ではない画像データの提供はすでに行われており、それらのデータを用いた3D解剖図などは市販されている。しかし、日本人の生体全身地図は今のところ存在しない。そのため、われわれは日本人の生体全身地図を作成するため、理化学研究所で行われている生体力学シミュレーションプロジェクトからCT、MR医用画像の提供を受け、生体全身地図を作成するための人生体モデルの開発を行う。

## 2. 背景

米国人死体からの人体モデルはすでに存在するが、それらのデータは（死体の）解剖学的モデルの域にとどまっている。臓器、血管などが持つ情報は死体と生体では大きい相違点があり、死体モデルは生体シミュレーションを行う目的には適していない。例えば、血流を維持している状態と、血流がなくなっている状態では血管を含む視覚的構造が明らかに違うことに加え、臓器を記録するCTスキャナやMRIのデータも変化してしまうという問題点がある。そのため、生理学的シミュレーションを伴う手術シミュレーションのためには生体モデルの開発が必要不可欠である。

また、大腿骨関節などの力学的シミュレーションのための関節モデルに関する研究は例があるが、人体全体の力学シミュレーションを目指す人生体ボリュームモデルは存在しない。すなわち、筋肉、腱、内臓などの構造、形状、重量などを要素とした全身の力学シミュレーション可能な形状モデルは存在しない。現在では、主要な骨格構造と簡易的な重心、質量を用いたスケルトン（骨格）モデルが、人の簡単な動作シミュレーションに用いられているのみである。人生体を3次元ボリュームモデルとして、筋肉の形状、骨格の関係などを精密にデータ化することが出来れば、医学・医療分野での応用範囲は広い。

## 3. 人体地図データ

人体地図を作成するためには、元となるデータが必要である。医療機関などで、CT、MRIのデータは常に使われているが、公開するためには個人情報や著作権を考慮しなくてはならず、どのようなデータでも使えるとは限らない。また、全身の画像で公開されている物は多いとは言えず、商用に公開されている物はすでに表示用に加工されており、表示以外のデータが削除されている。そのため、医療関係

\* 情報ネットワーク工学科  
平成20年8月4日受理

者ではない我々が使用できる原画像データは限られている。(表1) このうち、今回は理化学研究所の協力を得て、VirtualHumanRIKEN 画像データの提供を受けて、このデータを使用することにした。

- a. Virtual Human RIKEN (理化学研究所)  
生体、男性のみ、CT, MR (図1)
- b. VisibleHuman (米国国立衛生研究所)  
死体、男性女性、カラー写真 (図2)

表1. 公開されている原画像データ



図1. VirtualHumanRIKEN

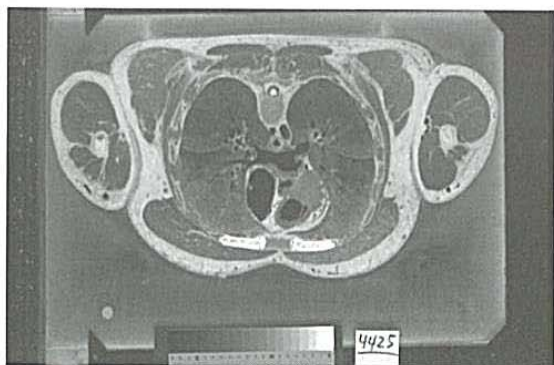


図2. VisibleHuman

#### 4. 使用するデータ形式

データ名: Virtual Human RIKEN  
 供給元: 理化学研究所  
 画像種類: CT, MRI断層画像  
 データ形式: 16BitIntegerDICOM  
 スライス幅: 0.98 mm/slice  
 スライス枚数: 1725枚  
 解像度 左右方向 0.98mm/Boxel  
 解像度 前後方向 0.98mm/Boxel

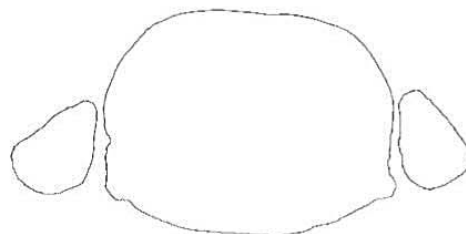


図3. CT画像と輪郭形状の抽出

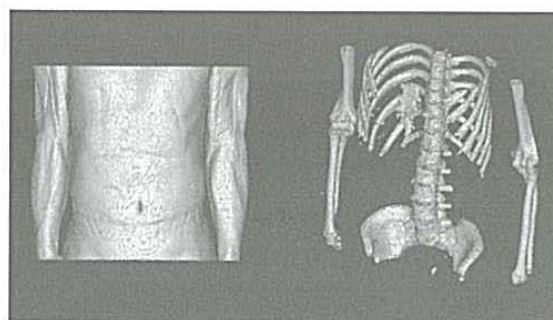


図4. 3次元化した皮膚画像と骨格画像

#### 5. 人体地図作成の手順

- (1) MRI, CTスキャナによる人体断面画像を画像処理ツールを用いて、セグメンテーションを行い、各組織を切り出す。(図3は輪郭形状のセグメンテーション例) その作業の効率化のために、新しい半自動セグメンテーションツールの開発を行う。この作業についてはすでに着手しており、学会発表を行っている。
- (2) 医学者の監修を得て、切り出した画像データを各部位のサーフェスモデルに電子的に再構成する(このために、久留米大学医学部の解剖学教室の先生方に共同研究者として指導をいただいている)。  
 ボリュームとサーフェスの両モデルの統合を目的として、  
 (A) 人体サーフェスモデルを作成する。  
 (B) 人体サーフェスモデルの基本的な構造を基



にして、骨格、筋肉、腱などのサーフェスモデル化を行う。(図4は皮膚および骨格サーフェスモデル例)

- (C) 臓器、血管などのサーフェスモデル化を行う。
- (3) 血管や組織によっては画像として判別できない部分がどうしても発生する。判別できない部分は、解剖学の知識によって補完し、画像情報と照らし合わせてモデル化する。
- (4) 切り出した各部位のポリウム、サーフェスモデルのデータベース化を行うため、部位同士の力学的、又は生理的機能の関係を記述する。
- (5) ポリウムモデルとサーフェスモデルの両方を使った新しい人生体(ひとせいたい)3次元の視覚化技術を開発する。
- (6) 骨、筋、腱などのモデルを元に運動シミュレーションを検討する。ポリウムモデルとサーフェスモデルに、医学的知識による組織特性データを加えることにより、各部位の負担や限界を計算することが可能と考えている。
- (7) また、皮膚、筋肉、臓器、血管などをポリウムモデルとそれぞれの臓器のサーフェスモデルから、手術シミュレーションのためのモデルを検討する。

## 6. 画像セグメンテーション

### 6.1 画像の分析

理化学研究所から提供を受ける人体画像は、男性の頭頂部から足先までの断面である。図5は胸部の断面画像をコントラスト調整したものである。上部画像がCT画像、下部が1/3付近の線で示された部分の濃淡値である。

CT画像特有のノイズや臓器の内部構造に起因する細かい濃淡の変化が認められる。臓器に対するセグメンテーションを行う場合、これらの微小変化を取り除かなければならない。

とくに臓器の内部構造に現れる微小変化は臓器の形状情報の一種でもあり、ノイズと同等の手法で取り除くことは出来ない。

### 6.2 セグメンテーション手法

主要なセグメンテーション手法では、領域拡張法、WaterShed法、クラスタリング法などがあり、よく使用されているのは領域拡張法である。これは実際に使用されている3次元医用画像システムで使用

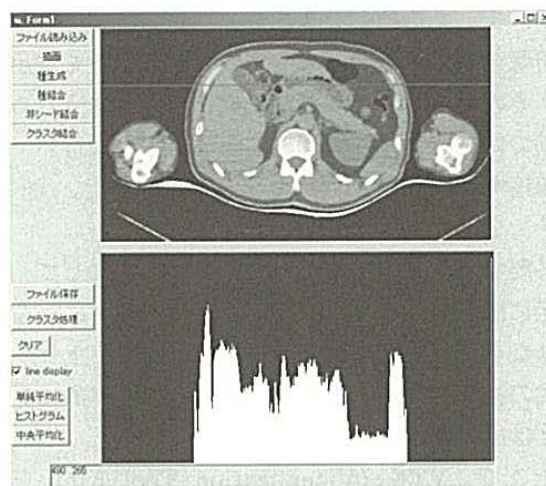


図5. 画像特徴の解析

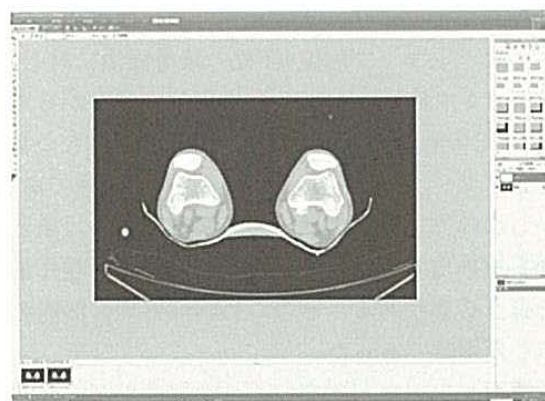


図6. 個別部位の抽出

されているが、複雑な人体画像の抽出を行う場合、かなり高度なテクニックと作業工数を必要とする。そのため、作業効率化のために、我々はいくつかのセグメンテーション手法を試してみたが、完全に自動化することは出来なかった。そのため、領域拡張法とクラスタリング法を併用し、適切な領域を手動で確定する半自動手法を用いることで、セグメンテーションを行っている。

また、それらの開発と平行して、比較的容易な部分のセグメンテーションを手動で行っており、先行して3次元化の作業も進めている。(図6)

## 7. 人体画像の3次元化

市販の画像処理ソフトウェアを用いてセグメンテーションを行い、3次元化するための手順について説明する。



### 7. 1 半自動セグメンテーション

市販の画像処理ツールを用いて輪郭や骨を検出する。その際に不必要な部分を検出してしまうため、手動で修正を行う。処理は断層画像ごとに行い、適宜隣接する含嗽画像と照合しながら作業した。(図7)

### 7. 2 3次元可視化

必要な部分を抽出した画像データを元にして、3次元に確認することの出来る可視化データにしなくてはならない。この画像データはまだビットマップ形式の画像の集まりであり、そのまま立体的に見ることは出来ない。

そこで、VTK (Visualization Tool Kit) を用いてビットマップの積層画像の可視化ソフトウェアを作成した。このソフトウェアを用いてレンダリングを行うことにより、3次元化可視化は可能となったが、ビットマップ画像400枚の積層画像に対して、レンダリング時間が約20分と実用的ではなかった。本来、PCの画像処理は画像処理用のLSIがもつレンダリングツールが処理するため、かなり高速である。しかしこの作業ではボリューム画像から、対象となる画素を抽出する作業と、外部、内部の分離作業などを行う必要がある。そのため画像処理の機能を使うことが困難であった。

医療用ソフトウェアをいくつか試みたが、非常に高価であり、また、その後の3次元画像の合成には向かないことが判り、使用を断念した。(図8、9)

### 7. 3 3次元データへの変換

最終的にはコンピュータ上で人体の動作や加工が可能な形式に変更しなければならない。3次元モデル作成ソフトウェアには様々な物があるが、我々はAutoDesc MAYA、Blender、SensAble ClayToolsを使用している。これらのソフトウェアで利用できる形式に変換することで、これらの様々な機能を利用できる。しかし現状ではボリューム画像データを3次元データとしては直接は使用できない。そのため、何らかの方法で、これらの利用できるデータ形式に変換する必要がある。(図10)

### 7. 4 3次元データの問題点

ボリューム画像データを直接3次元化する容易な方法が存在しなかったため、我々は2種類の方法で、変換を試みた。

#### A 線形データから3次元への変換

A1. bitmap画像をInkScapeソフトウェアでラス

ターデータ形式に変換

- A2. ラスターデータを一枚一枚、MAYA3Dソフトウェアに読み込ませ、位置を調節して配置
- A3. 隣接するラスターデータの線同士を面で結合し、3次元データにする。

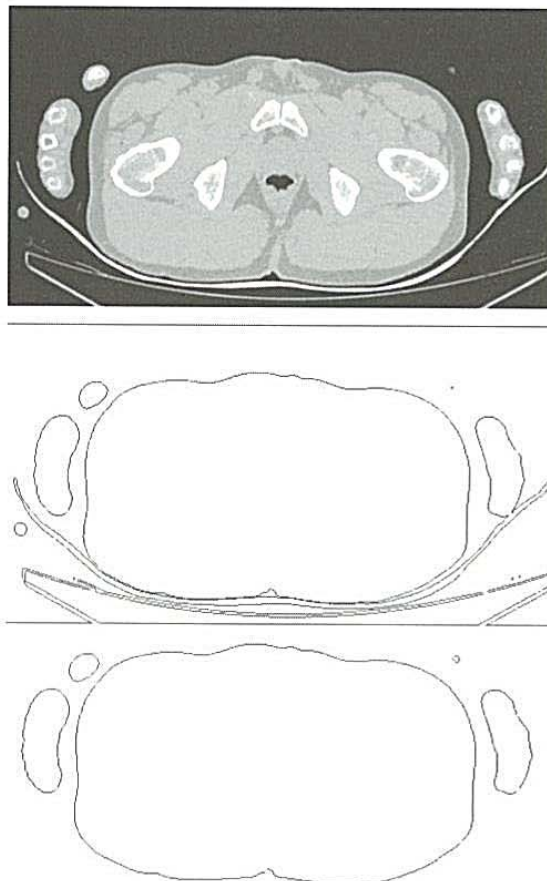


図7. 手動修正作業の一例



図8. 3次元可視化画像(足)

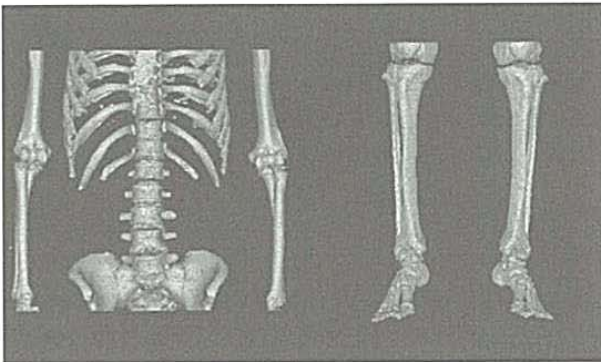


図9 マテリアライズ Mimics



図10. 2次元→3次元

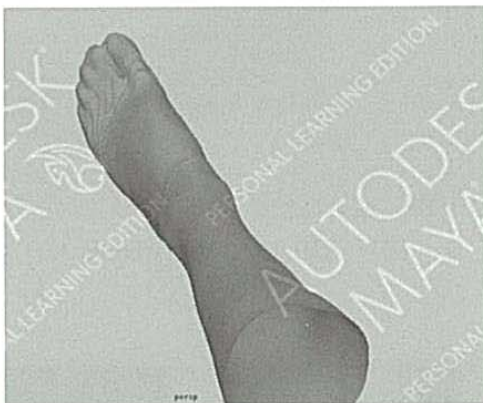


図11. AutoDesc MAYAによる合成

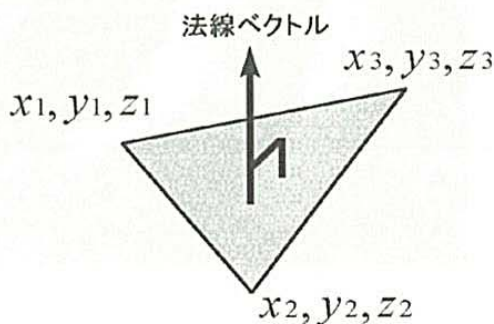


図12 STL triangle Polygon

#### STLファイル

```
// 法線ベクトル
facet normal 0.00000 0.00000 1.00000
outer loop // 頂点の座標値
// X Y Z
vertex 2.50000 2.50000 -0.62500
vertex -2.50000 -2.50000 -0.62500
vertex 2.50000 -2.50000 -0.62500
endloop
endfacet
```

図13. STL データフォーマット

これらの作業には非常に手間が掛かり、線の結合でも、複雑な部分では適切な結合にならなかった。そのため修正作業も非常に時間が掛かった。また、結合や最適化の際に細かい部分の形状が失われることが多かった。(図11)

#### B. ビットマップデータからポリゴンへの直接変換

- B1. bitmapを積層、適切な閾値で2値化してボクセルボリュームデータを作成する。
- B2. ボクセルごとのTriangleポリゴンを作成する。
- B3. 3次元ソフトウェアでポリゴンを結合し、頂点の最適化を行う。

この方式では、ボクセル単位でのポリゴンを生成するため、非常に膨大なポリゴン数となる。全体のほぼ4分の1のビットマップ400枚からポリゴンを生成した場合、200万ポリゴンが生成された。ポリゴンの形式はSTLフォーマットを用いた。(図12、13)

この方式では多量のポリゴンが生成され、多くの場合3次元ソフトウェアでは処理できないということが問題となる。MAYAもBlenderも読み込むことは可能であったが、最適化などの処理を加えると、処理しきれなくなってしまう。そのため、ポリゴン最適化ソフトウェアを用いて、ポリゴン数を減らすことで、何とか処理を続行することが出来た。(図14、15)



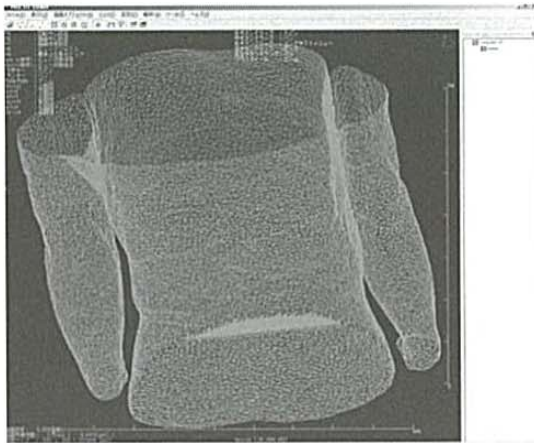


図14. 生成されたポリゴン



図16. PhantomOMNI

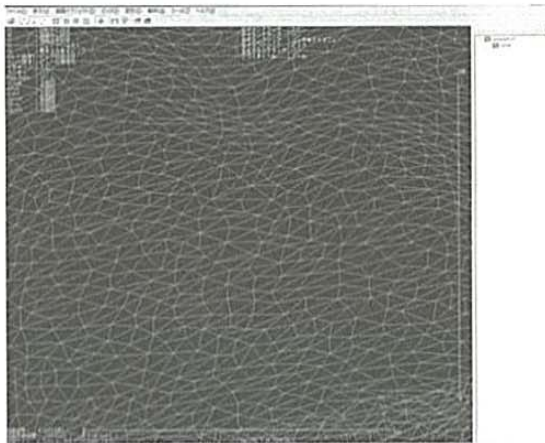


図15. ポリゴンの最適化

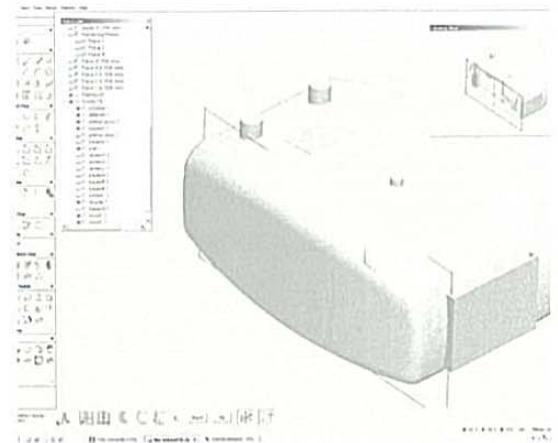


図17. SensAble ClayTools

## 8. 触感インターフェースによる人体データの利用

生成された3次元人体データを用いて、教育や医学現場で利用するための第1段階として、反力操作機器を使った、デジタル人体模型の制作を試みた。今回用いたのは、PhantomOMNI 触感インターフェースとSensAble ClayTools ソフトウェアである。(図16、17)

これらのシステムは、面と頂点で構成された一般の3次元ソフトウェアと違い、Clayモデルである粘土のような操作感を前提としている。そのため、表面だけのデータではなく、厚み方向にもデータが存在しており、内部構造を持つ人体データとの整合性がよい。3次元加工した人体データをこのシステムで操作した結果、空間的な触感を確認することが出来た。(図18)

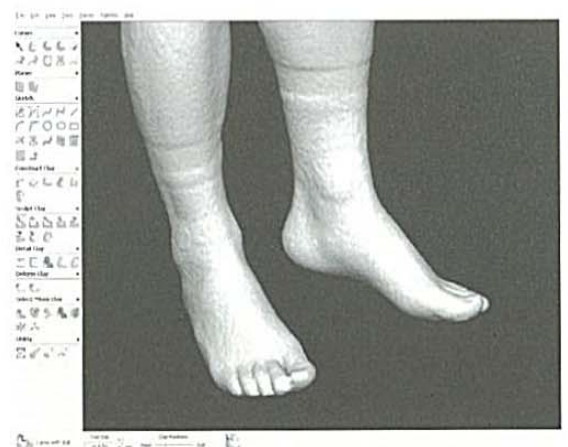


図18. 人体のクレイモデル

## 9. 終わりに

人手を前提とした人体地図データの作成を開始し、一部のデータは使用が可能になり始めている。半自動化セグメンテーションツールによる臓器抽出の効率化をはかり、より多くの臓器や骨、血管などのデータ化を進める予定である。そして、この計画を進めて、これらのデータを公開し応用範囲の広いものとして使える環境を整備したいと考えている。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、九州大学の金子邦彦先生、理化学研究所の横田秀雄先生に並々ならぬご協力を頂きました。厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 武本智子他、生体フルカラー連続断面画像からの組織自動抽出法に関する研究、理化学研究所生体力学シミュレーションシンポジウム、平成16年3月24日
- [2] 井上貴央他、カラー人体解剖学、西村書店、ISBN4-89013-305-4
- [3] 神尾 敏弘、赤穂 昭太郎、元吉 文男：“クラスター例からの学習 --- クラスタ属性の利用”、人工知能学会論文誌、Vol.18、No. 2、pp.86-95 (2003)
- [4] 足立康志、牧之内顕文、生体医用画像を用いた3D人体地図の作成、第60回電気関係学会九州支部連合大会、2007/09/18
- [5] 足立康志、牧之内顕文、生体人体画像を用いたセグメンテーション手法に関する研究、第60回電気関係学会九州支部連合大会、2007/09/18

- 例1、人体表面データ（サーフェスデータのみ）  
汎用画像処理ソフト（PhotoShop使用）  
簡易処理 3分/枚 詳細分離 10分/枚
- 例2、内臓データ（例、肺、肝臓）  
ほかの内臓との重なりを分離できず  
CT,MRIの併用、解剖学書との照合  
処理時間 30分～1時間以上

表2. 半自動画像処理作業時間