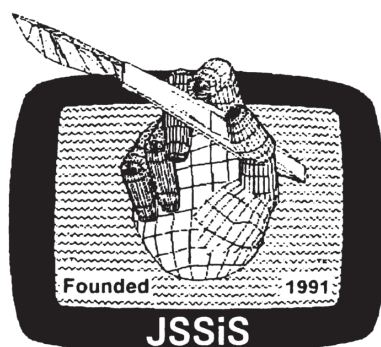


VOLUME 22 NUMBER 4
SEPTEMBER 2015
110-130

日本シミュレーション外科学会会誌



第 22 卷 第 4 号
2015 年 9 月号

Journal of The Japan Society for Simulation Surgery

日本シミュレーション外科学会会誌
Journal of The Japan Society for Simulation Surgery

第 22 卷 第 4 号 2015 年 9 月号

Vol. 22 No.4 September 2015

目 次
CONTENTS

総 説

3 次元頭蓋顎顔面骨データベースとその応用	3
新谷 幹夫	
計算解剖学と計算機支援診断・治療	11
清水 昭伸	
会則	19
会誌投稿規定	21

3次元頭蓋顎顔面骨データベースとその応用

新谷 幹夫

東邦大学理学部情報科学科

A 3D Database of the Cranio-maxillo-Facial Bones and its Applications

Mikio Shinya

Department of Information Science, Faculty of Science, Toho University

Abstract

Three-dimensional databases of cranio-maxillo-facial bones are expected to become a new powerful resource for simulation surgery in the plastic and reconstructive surgery area, and it is very important to develop an efficient and accurate database construction system. About ten years ago, the author started a project collaborated with the plastic and reconstructive surgery laboratory at Toho University and has developed a 3D database of cranio-maxillo-facial bones and facial shapes. This article describes the constructed database, a computer system developed for its construction, some results of statistical analyses, and reconstruction of facial shapes from skull shapes using the database.

Key words : 3次元データベース、頭蓋顎顔面骨、統計モデル、顔面推定

【1 はじめに】

3次元形状処理技術・計測技術の発展により、人体各部位の3次元データベース構築の研究が進められ、様々な分野に応用されている¹⁻⁴⁾。シミュレーション外科領域においても、統計モデルを構築し、手術ナビゲーションや術前計画などへ応用することが期待されている。10年ほど前、東邦大学では理学部情報科学科のコンピュータグラフィックス研究者と医学部形成外科のグループが共同研究を開始し、3次元頭蓋顎顔面骨データベースの構築およびその応用を推進している⁵⁻⁸⁾。本稿では、この共同研究の成果を中心に、3次元頭蓋顎顔面骨データベースの構築・統計分析・推定処理などを解説する。

構築しているデータベースは、

- ①ボクセルデータ：CT画像から抽出した骨表面の点（ボクセル）の集合
- ②メッシュデータ：変形テンプレートの三角形メッシュのデータ
- ③特徴点データ：指定された特徴点の位置座標のデータ

の3階層からなり、現在66名の健常者が登録されている。構築においては、まずCTデータに閾値処理・雑音除去処理を行いボクセルデータを作成する。次の

で、対話的に特徴点を指定し、テンプレートメッシュをフィッティングすることで、メッシュデータを生成する。フィッティング処理には、複雑な位相構造を持つ顔面骨形状に対応できるよう、Voronoiベースの変形処理を開発して適用した。また同様の手続きにより、顔面表面形状データベースも作成した。

構築したデータベースを用いて多変量解析を行い、頭蓋顎顔面骨形状に関する基礎的知見を得た。まず、主成分分析を行ったところ、特徴点データは35次元、メッシュデータは30次元前後の自由度であることが判明した。さらに、主成分を利用して顔面骨/顔面表面形状間の推定実験を行ったところ、良好な結果が得られた。

【2 頭蓋顎顔面骨・顔面3次元データベース】

構築されたデータベースは、

①ボクセルデータ、②メッシュデータ、③特徴点データ、の3階層から構成される。ボクセルデータは元データに最も近い高解像度のデータであるが、サンプル間の対応が取れていないので、統計処理を行うには不向きである。特徴点データはサンプル間の対応が完全に取られているので、特徴点の分散や相関などの解剖学的な統計処理が可能である。また、メッシュデータは密な形状を表し、形状推定処理などの利用に適している。入力されるデータはCTのボクセルデータなので、適当な閾値処理により、顔面形状と頭蓋顎顔面骨形状が抽出され、両者の3Dデータベースが構築できる（図1a, b）。

〒274-8510 千葉県船橋市三山2-2-1
TEL 047-274-1277 FAX 047-274-1277
E-mail : shinya@is.sci.toho-u.ac.jp

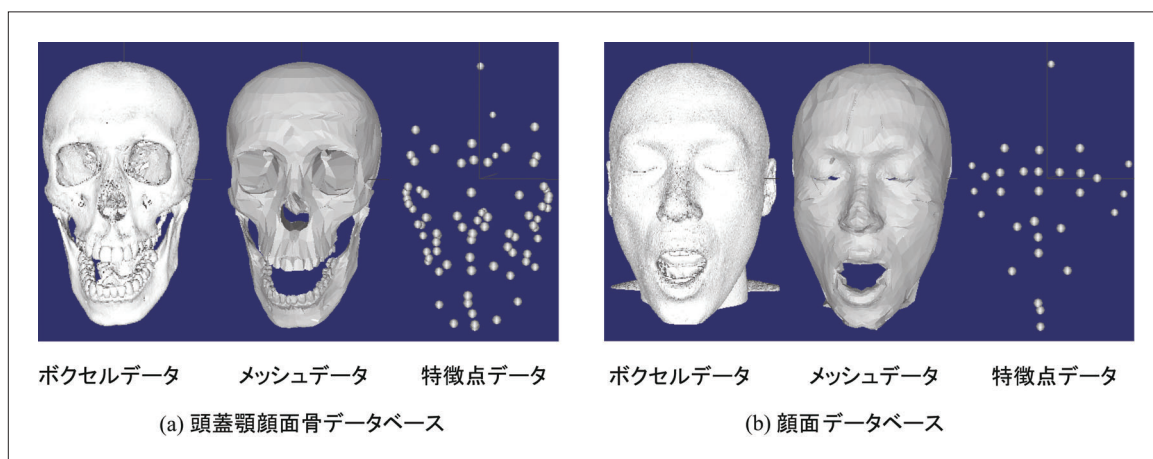


図1 データベースの3階層

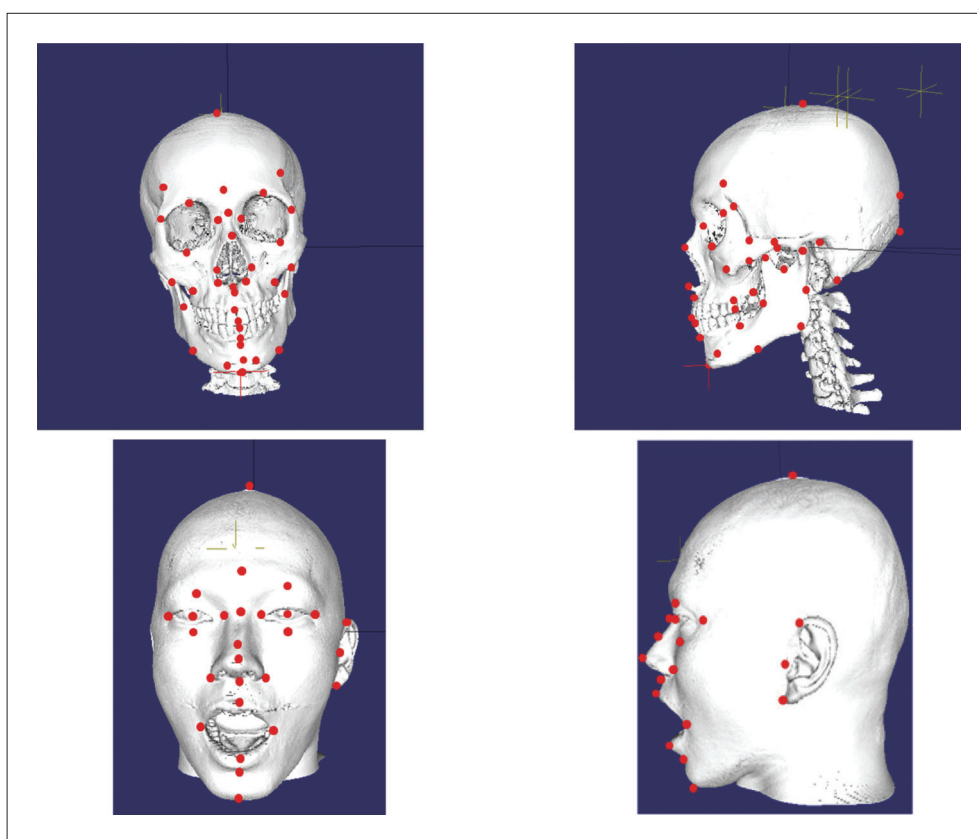


図2 特徴点

2.1 CT データ

使用した CT データの撮影条件等は以下の通りである。

使用機種

X線 CT 装置 Toshiba Aquilion 16

ワークステーション ZAIOSOFT Quarla

撮影条件

管電圧 120 KV 管電流 250 mA

スライス厚 0.5 mm ヘリカルピッチ 11

画像再構成間隔 1 mm

フィルター関数 FC 10

下顎から頭頂部まで画像作成

匿名・暗号化した CT データを CD で受け渡し、作業用 PC にダウンロードした。その後、閾値処理により顔面形状データと頭蓋顎顔面骨形状を抽出する。

2.2 特徴点データ

解剖学的・幾何学的に重要な点を特徴点とした。頭蓋顎顔面骨形状に対して 53 点、顔面形状に対しては 30 点を特徴点として用いた (図 2)。図 2 に示される

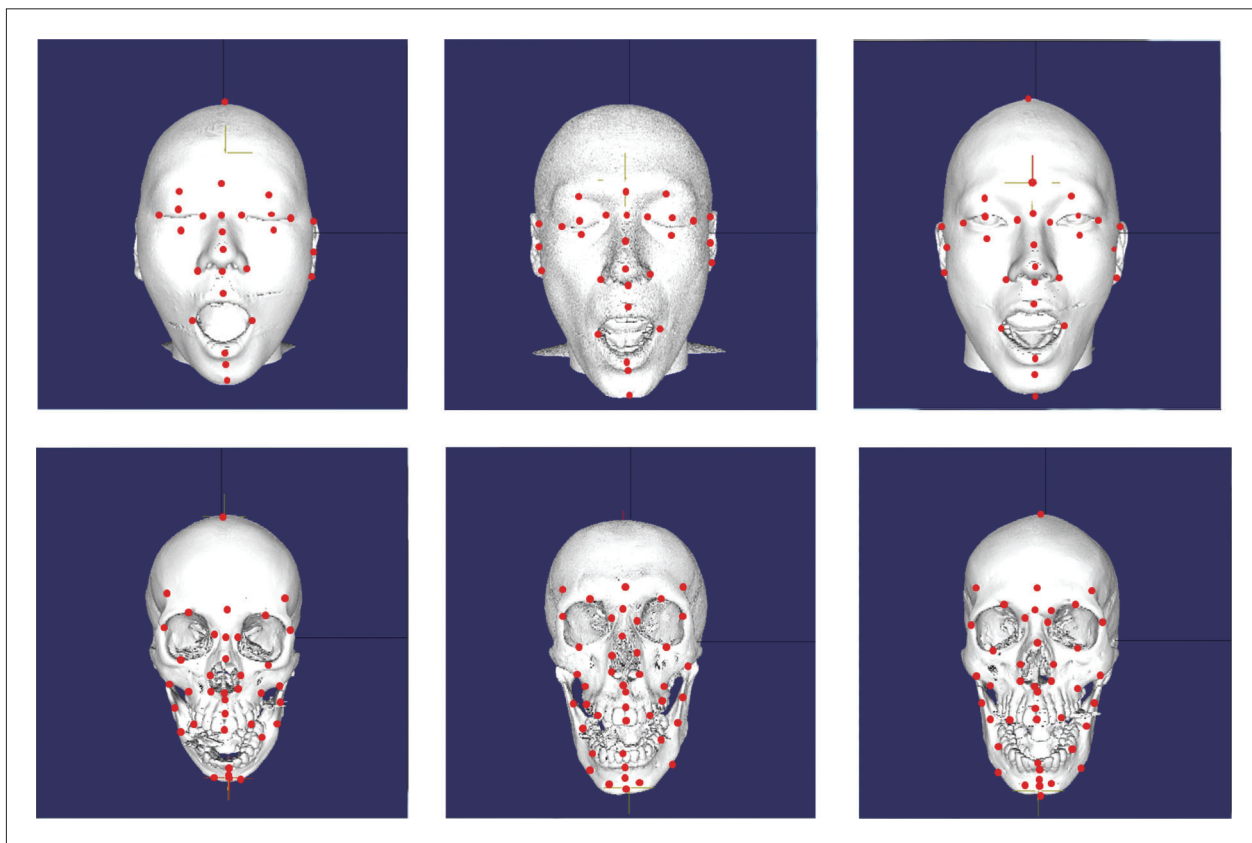


図3 CT・特徴点データの例

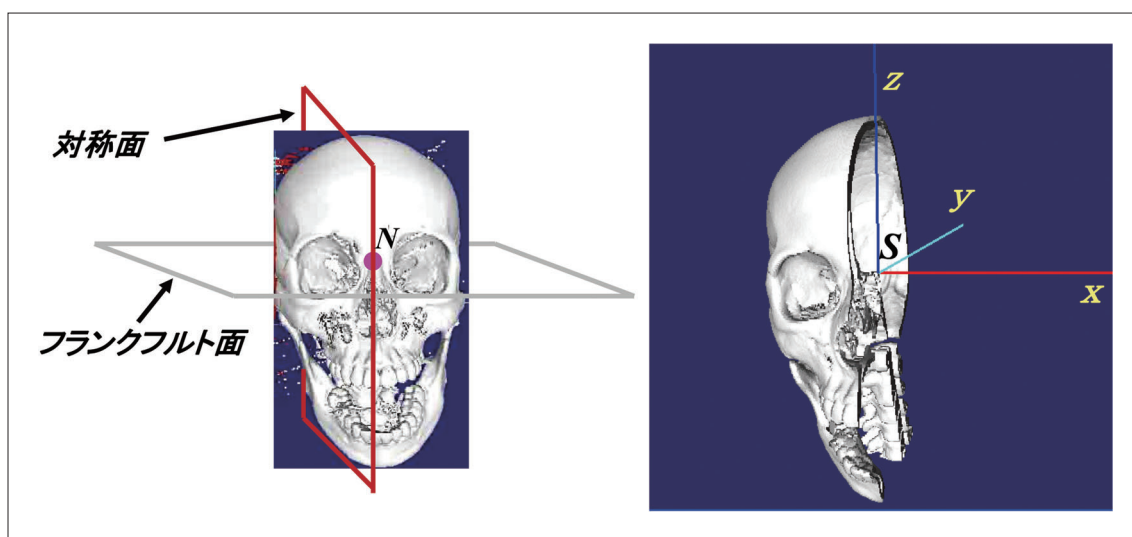


図4 使用する座標系

ように、特徴点は顔面部に多く設定されている。CT・特徴点データベースの一例を図3に示す。

用いる座標系は、まず、対称面としてフランクフルト面に垂直で鼻根点(N)、トルコ鞍中心点(S)を通る面を設定し、対称面とフランクフルト面との交線を z 軸方向とし、フランクフルト面上で z 軸に垂直な

方向を x 軸、対称面上で z 軸と垂直な方向を y 軸とする。また原点はSとした(図4)。

2.3 メッシュデータ

メッシュデータは3279頂点、6552の三角形から構成されており、CTデータの骨表面とよく一致してい

ることが確認されている⁷⁾。一例を図 1a, b に示す。

【3 システム構成】

本章では、データベース構築システムの構成を概説する。本システムは、前処理系、特徴点指定処理系、特徴点自動追加処理系、テンプレート変形処理系、の 4 つの処理系から構成される (図 5)。

3.1 前処理

前処理では、CT 値の閾値の設定、撮影台、散乱ノイズの除去を行い、ボクセルデータを作成する。まず閾値を、対話的に増減させて表示画像を観察しながら決定する。ついで、撮影台を除去する。これは、顔面骨、下顎骨の任意の 1 点ずつをマウスにより指定し、これらの点に接続しないボクセル領域を除去することにより行う。最後に、散乱ノイズが顕著な場合は、細め処理の後に太め処理を行い、この軽減を図る (図 6)。

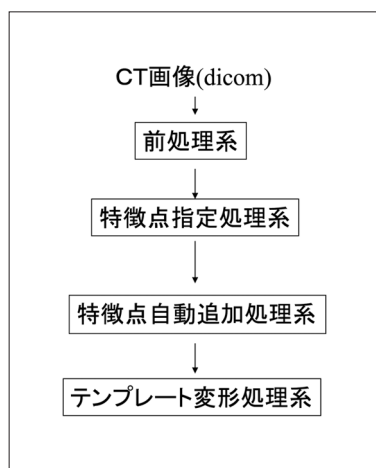


図5 システム構成

3.2 特徴点指定

特徴点の指定は、マウスクリックにより対話的に行う。特徴点指定処理系では、左側に CT 像、右側にテンプレートモデルを表示し、テンプレート上には指定すべき特徴点をプロットしている。また、特徴点のシンボルを画面下方に表示している。オペレータは、特徴点が記入されている実体模型を随時参照しながら、CT 像上にマウスクリックし、特徴点を順次指定してゆく。システムが提供する機能としては、回転・移動・拡大/縮小などの幾何変換などの他、断面の表示などがある。また、特徴点の移動が少なくなるよう、指定の順番を配慮した。

3.3 変形処理

テンプレート変形処理系では、指定された特徴点の位置に合うように、テンプレートモデル全体を変形させる。この処理で要求される性質としては、

- 1) 複雑な形状を処理できること
- 2) 特徴点の影響が局所的であること
- 3) 変形が連続であること

の 3 点があげられる。性質 1) は頭蓋顎顔面骨では、面の凹凸など幾何学的に複雑であるのみならず、穴やトラス部分が複数存在したり、上顎洞前壁の CT データが欠落することがあるなど、位相的にも複雑であるので重要である。また、性質 2) は近傍の特徴点のみにより変形が決まるように、性質 3) はモデルの連続性を保存するために必要である。これら 3 つの性質を満足する変形法として Voronoi ベース変形法⁶⁾を適用した。

Voronoi 領域は以下のように定義される。ある領域 (テンプレートモデル) 上に複数の点 (特徴点) が指定されたとき、ある点 x_i の Voronoi 領域は、他のどの点よりも x_i に近い領域として定義される。Voronoi 領域は距離のみにより定義されるので、位相関係の複

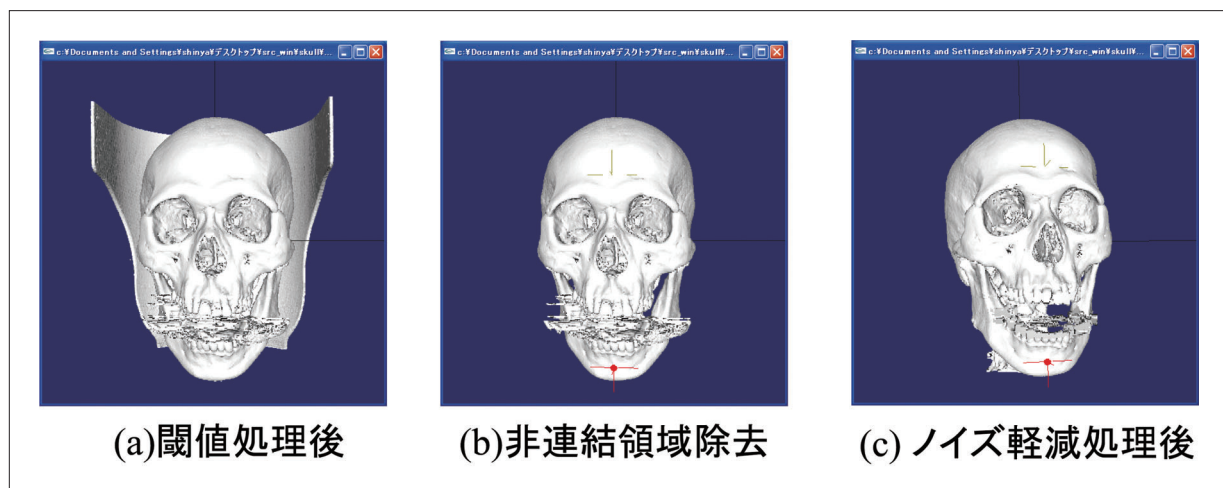


図6 前処理の例

雑に依らず安定に算出できる。Voronoi 領域内の各点は、隣接する特徴点の位置を線形補間することにより変形する。これにより、連続性と局所性も保証される(図7)。

3.4 特徴点自動追加処理

Voronoi ベース変形法は、特徴点が疎な部位や曲率が大きい部位で誤差が大きくなる⁷⁾。特徴点を増加させれば誤差が軽減されるが、これ以上の指定作業負荷の増大は避けたい。そこで、誤差が大きい頭蓋骨上部・下部、眼窩辺縁部などに、以下のように特徴点をボクセルデータの形状処理により自動追加した(図8)。

3.5 作業時間と精度

変形したメッシュモデル頂点と CT データ表面との差を誤差とし、その平均誤差とサンプル間の標準偏差を表1に示す。特徴点追加により、誤差が2.1 mm から1.4 mm に減少し、有効性が確認された。変形処理

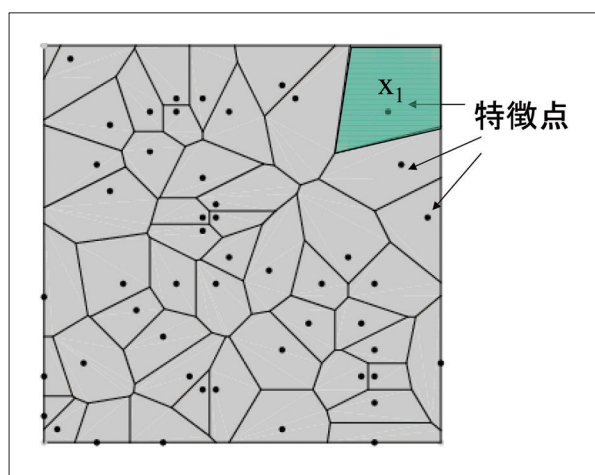


図7 Voronoi 領域

によって得られたメッシュデータの頂点位置の平均を求めることにより、平均形状を表すメッシュデータが得られる。

データベース作成に要した作業時間を表2に示す。表のように、1 サンプルあたり顔面データ作成には平均18分、頭蓋顎顔面骨には19分が費やされた。これは、撮影時間などと同程度であり、許容される負担であると考えている。

【4 データの統計解析】

頭蓋顎顔面骨データに対して統計処理を行った。まず、特徴点の分散を図9に示す。図では、x, y, z 軸方向の分散を楕円体で表示している。2章で述べたように、原点はトルコ鞍中心点(S)、鼻根点(N)はy軸上に固定されている。このため、Nの分散は小さく、離れた特徴点では大きくなる傾向がある。

主成分分析は、データの分散が最大になる各特徴点の方向(第1主成分)、これに直交する方向の中で分散が最大となる成分(第2主成分)などを求める手法で、データ圧縮などに有効である。2次元での概念図を図10に示す。図のように、分散が最大となる方向が第1主成分となり、これと直交する方向が第2主成分となっている。

次数の高い主成分は変動の少ない成分なので、比較的少数の主成分を足し合わせることで、元の形状を近似することができ、データ量やその後の処理を少なく抑えることができる。図11に例を示す。図では、平均顔に主成分を順次足してゆき、顔形状を合成してゆく。図のように、主成分数を増加すると元の形状に近づき、n=40ではかなり近い形状が得られる。

特徴点データおよびメッシュデータの累積寄与率を求めた。累積寄与率とは、上位n個の主値で元のデータを何%表せるか示したもので、100%に近いほど表

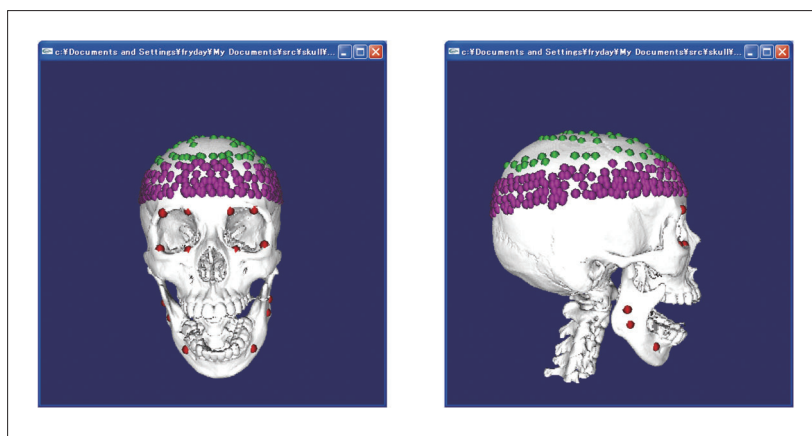


図8 自動追加される特徴点

現能力が高いことを示す。その結果を図 12 に示す。特徴点データでは、主成分数 15 で 90%、22 で 95%、36 で 99% となり、特徴点データ空間の自由度は 35 次元程度であることが示された⁸⁾。また、メッシュデータの累積寄与率は主成分数 8 で 90%、14 で 95%、32 で 99% となり、メッシュデータの自由度は 30 次元程度であると考えられる。メッシュデータの自由度が低く観測されたのは、冗長性の高い後頭部に多数の頂点が存在するためと考えられる。

【5 形状の推定】

形状のデータベースと主値分析の結果を用いて、例えば顔面形状から骨形状などの「最もありそうな」形状を推定することができる。推定方法には様々なものが提案されているが、線形推定が単純で柔軟性が高い。入力する特徴点（例えば骨の特徴点）などの座標を

並べて、N次元ベクトルXをつくる。ただし、x, y, z すべての座標である必要はない。同様に推定したい点（例えば、顔形状メッシュ頂点）の座標を並べてM次元ベクトルYをつくる。線形推定では、N×M行列Pをデータベースから求めておき、未知データXに対して、

$$Y = PX$$

により推定形状Yを求める。行列Pは、データベース内のn対のベクトルXi, Yi (i=1, ..., n)に対して、自乗誤差

$$e = \sum_i (Y_i - PX_i)^2$$

が最少になるように決める。この算出は、前述の主値分析を用いて次元圧縮した後に行うと、効率的に行うことができる。図 13 に骨特徴点から顔形状を推定した例を示す。図のように、元形状の視覚的特徴が再現されることが視認できる。

【6 まとめ】

本稿では、東邦大学で開発を進めている 3 次元頭蓋顎顔面骨・顔面形状データベースを解説した。細く長く続けてきた研究であるが、やっと推定処理などが可能な状況となってきた。今後ともデータベースの拡充

表 1 誤差と標準偏差

	誤差(mm)	標準偏差(mm)
追加前	2.1	0.198
追加後	1.42	0.112

表 2 作業時間

作業	入力数	総作業時間(分)	平均作業時間(分)
頭蓋顎顔面骨前処理	95	285	3
頭蓋顎顔面骨特徴点指定	95	1520	16
顔面前処理	95	190	2
顔面特徴点指定	95	1520	16

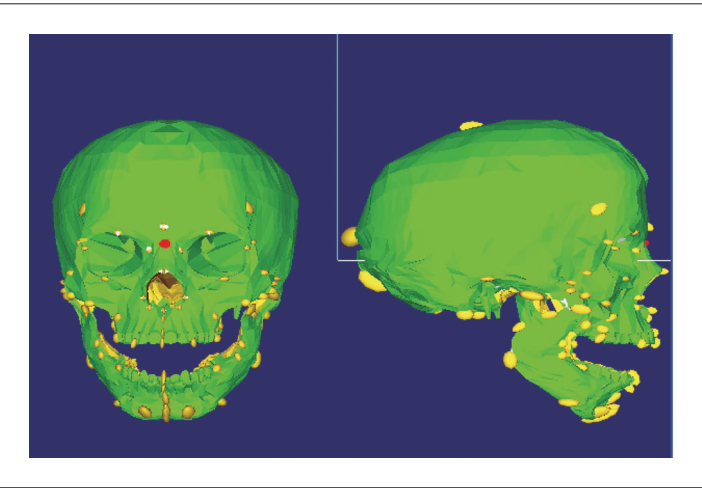


図 9 特徴点位置の分散

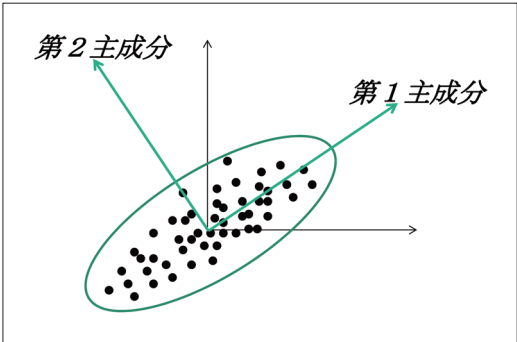


図 10 主成分の概念図

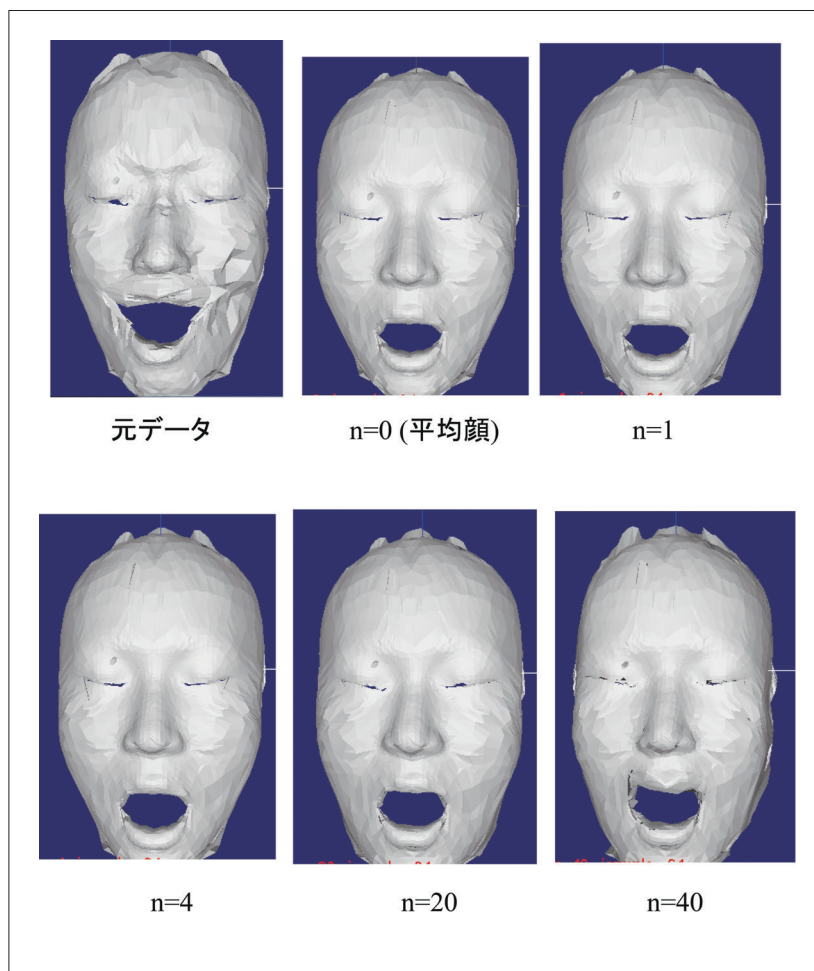


図 11 主成分による顔形状の合成

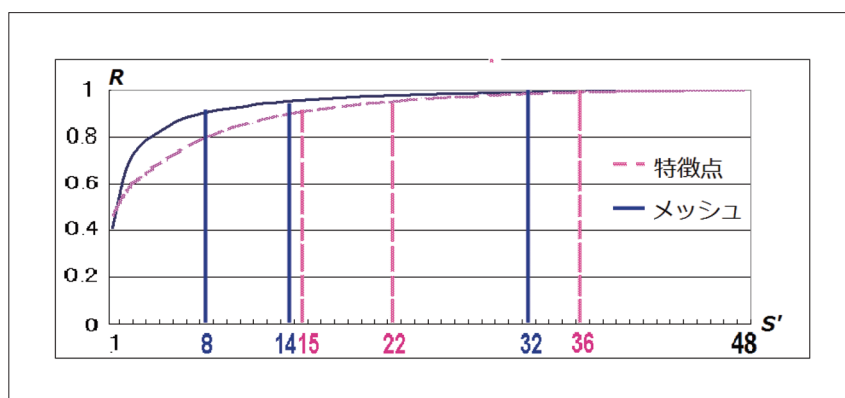


図 12 累積寄与率 (R)

を続けるとともに、手術計画支援、術後の定量評価などの臨床応用を目指してゆきたい。

謝 辞

共同研究者である林明照教授、丸山優名誉教授、大西清教授および東邦大学医学部形成外科教室の諸氏、

データ提供に協力いただいた被験者の皆様に深謝する。また、システムの開発およびデータベース構築に尽力いただいた東邦大学理学部・白石路雄准教授、修士研究・卒業研究として研究に携わった半沢裕太氏、谷早織氏、福井拓人氏に感謝する。尚、本研究の一部は科研費 (23135528) の助成を受けたものである。

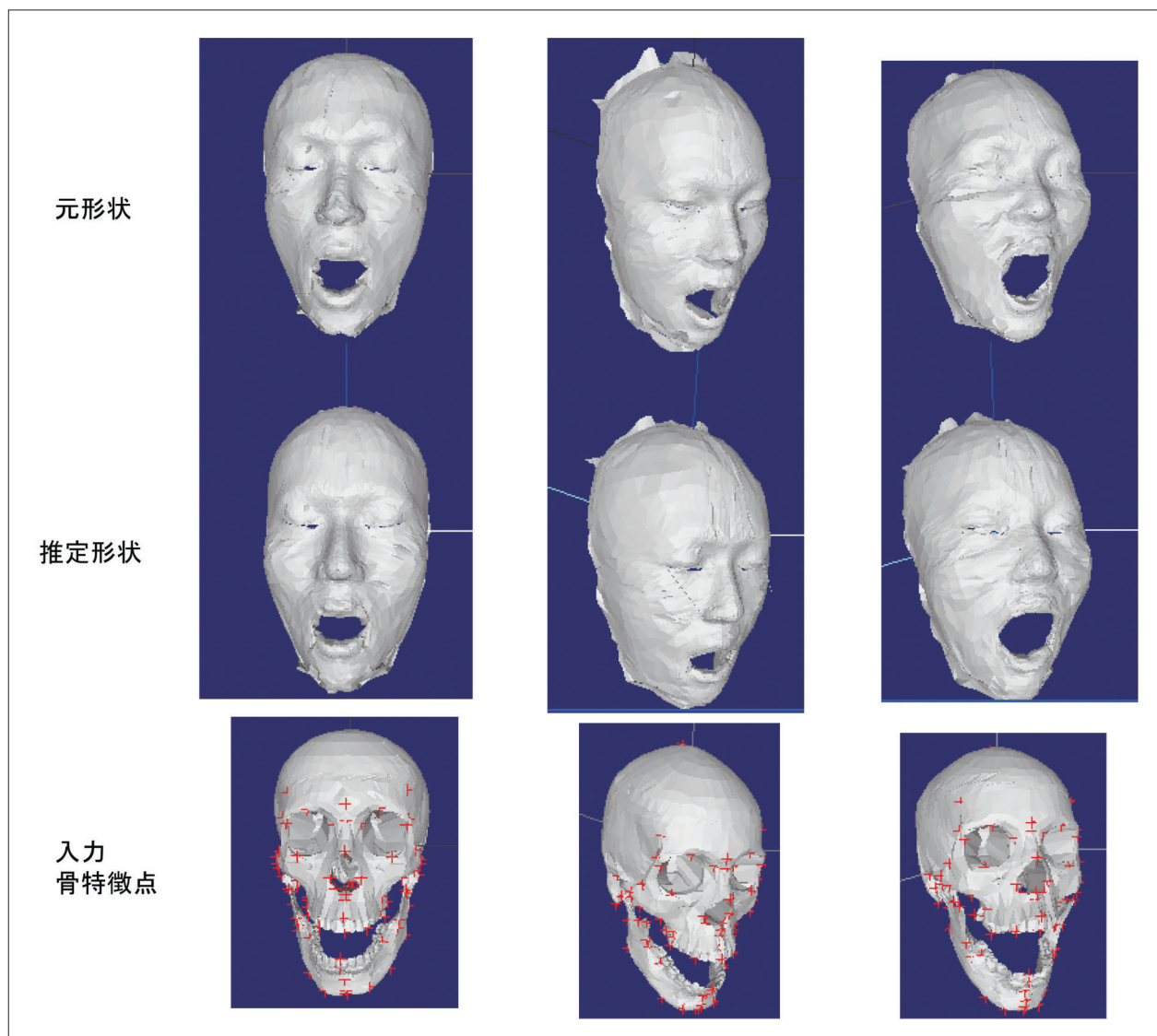


図 13 骨特徴点からの顔形状推定例

文 献

- 1) Kamojima S, Miyata N, Ota J (2004) Identification of Position and Orientation of Hand Bones from MR Images by Bone Model Registration. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Proc : 2021-2027
- 2) Lamecker H, Lange T, Seebaß M (2004) Segmentation of the liver using a 3D statistical shape model. ZIB Preprint : 04-09
- 3) Rueckert D, Frangi AF, Schnabel JA (2003) Automatic construction of 3-D statistical deformation models of the brain using nonrigid registration. IEEE Trans Med Imaging 22 : 1014-1025
- 4) Frangi AF, Rueckert D, Schnabel JA et al (2002) Automatic construction of multiple-object three-dimensional statistical shape models : application to cardiac modeling. IEEE Trans Med Imaging 21 : 1151-1166
- 5) 新谷幹夫, 白石路雄, 林明照ほか (2007) 3次元頭蓋顎顔面骨データベース構築システムの基本構想. 日シミュレーション外会誌 15 : 15-20
- 6) 新谷幹夫, 白石路雄, 林明照ほか (2008) エッジベース測地距離を用いた頭蓋顎顔面骨モデルのメッシュ変形処理. 情報学論 49 : 497-502
- 7) 新谷幹夫, 白石路雄, 林明照ほか (2008) 3次元頭蓋顎顔面データベース構築におけるテンプレート変形処理の改良. 日シミュレーション外会誌 16 : 83-88
- 8) 谷早織, 新谷幹夫, 白石路雄ほか (2012) 頭蓋顎顔面骨形状の多変量解析. 日シミュレーション外会誌 20 : 100-107

計算解剖学と計算機支援診断・治療

清水 昭伸

東京農工大学大学院工学研究院

Computational Anatomy and its Application to Computer-aided Diagnosis and Surgery

Akinobu Shimizu

Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

Abstract

This paper describes outline of a research project on “Computational Anatomy for Computer-Aided Diagnosis and Therapy : Frontiers of Medical Image Sciences (computational anatomy in short)” which was from fiscal year 2009 to 2013, and supported by the Grant-in-Aid for Scientific Research on Priority Areas from the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), Japan. This project aimed to establish a new discipline which provides a mathematical and computer science framework to deal with anatomy, such as organs, in a human trunk. Major achievements are categorized as follows : (1) representation and construction theories for computational anatomy models, (2) fundamental technologies for computational anatomy models and their application to complete image understanding, (3) applications of computational anatomy models to computer-aided diagnosis and surgery. This paper presents several outcomes : complete understanding of anatomical structure in a CT volume, applications to computer-aided diagnosis and surgery in a clinic. We expect that such outcomes should contribute to advanced medicine, basic biomedical research, medical education, and information science. The final section of this paper briefly describes the successor of the computational anatomy project, or multidisciplinary computational anatomy project supported by MEXT Japan from fiscal year 2014 to 2018.

Key words : 医用画像、計算機断層撮影、統計モデル、人体解剖、計算機支援診断・治療

【1 はじめに】

CT 像などの医用画像からコンピュータを用いて臓器を認識する処理は、医用画像に基づく診断支援や治療支援のためには欠かせない重要な処理である。また、これらの処理では、臓器の形状などに関する事前知識が重要な役割を果たすことがよく知られており、最新のアルゴリズムのほとんどは形状に関する事前情報を利用することによって高い精度を達成している¹⁾。しかし、その一方で、人体の臓器は図 1 に示す通り個人差があり、この形状の違いが認識処理を難しくし、実用化に必要なより高い精度を達成するための障壁になっている。

人体の臓器や組織の形状などの統計的変動を数理的に記述する研究は計算解剖学 (Computational Anatomy) と呼ばれ、歴史的にはまず欧米で脳を対象に発展してきた²⁾。これに対してわが国では、体幹部の

臓器を中心に医用画像処理の研究が広がったことが背景にあるため、計算解剖学も体幹部臓器を対象とした研究から始まった。

本稿では、文部科学省の科学研究費補助金の助成を受けて 2009～2013 年度に実施された「医用画像に基づく計算解剖学の創成と診断・治療支援の高度化」(領域代表：小畑秀文 (現 国立高等専門学校機構 理事長。元 東京農工大学 学長)) について述べる³⁾。このプロジェクトでは、成人の体幹部臓器を撮影した CT 像を主な対象として、体幹部臓器の計算解剖モデルが構築され、臓器認識に応用された。またその結果を用いた診断支援や治療支援に関する研究が進められた。以下では、研究領域や計算解剖学の概要の説明に続いて、このプロジェクトの主な成果の概要について述べる。詳細については研究成果報告書⁴⁾、および、学会誌や商業誌の特集号^{5,6)}などを参照されたい。また、最後の節では、計算解剖学の後継プロジェクトである多元計算解剖学について簡単に紹介する。

【2 研究領域概要】

研究領域の全体像は図 2 に示す通りである。研究項

〒184-0012 東京都小金井市中町 2-24-16
TEL 042-388-7478 FAX 042-388-7478
E-mail : simiz@cc.tuat.ac.jp

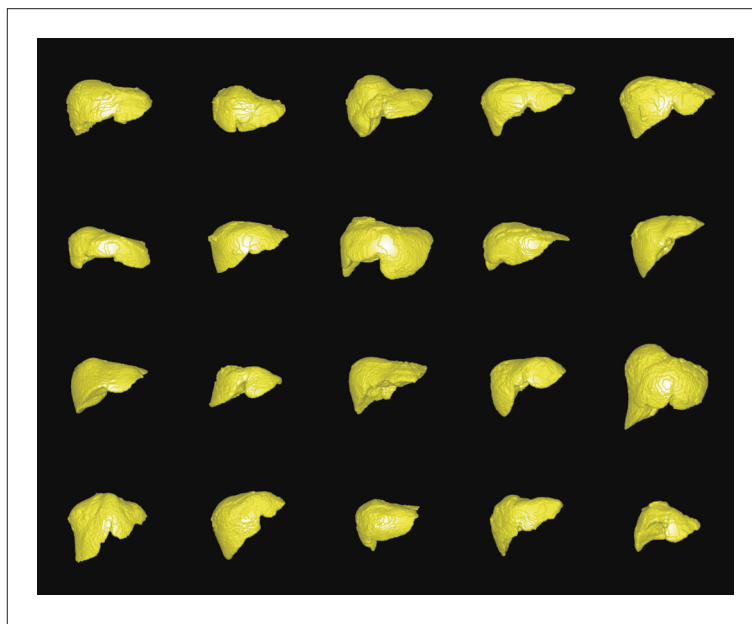


図1 臓器形状の個人差
25名の肝臓形状の3次元表示。個人によって肝臓の形状が大きく異なっている。

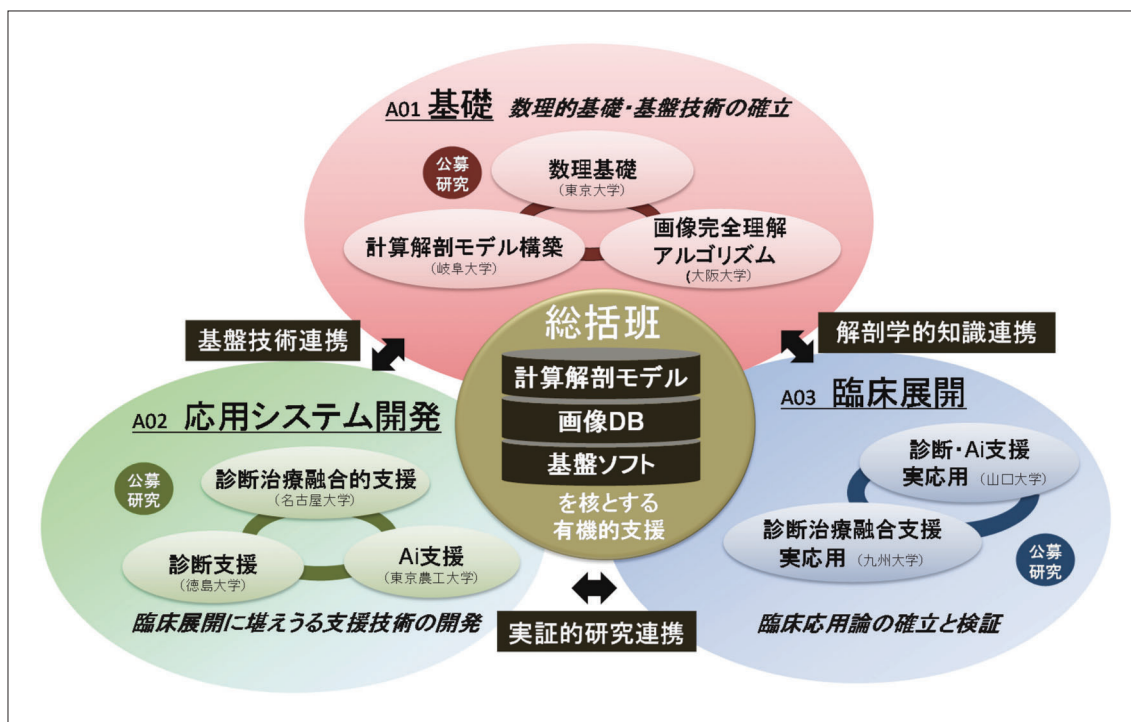


図2 研究領域の全体像
研究領域全体は、基礎、応用システム開発、臨床展開の3つの研究項目によって構成される。

目は A01～A03 の3つであり、各項目は3つないし2つの計画班から組織される。最初の項目 A01 は基礎であり、数理基礎、計算解剖モデル構築、画像完全理解アルゴリズムの研究・開発を目指す3つの計画班からなる。2つ目の A02 は応用であり、計算解剖学の基盤の上で、診断治療融合的支援、診断支援、およ

び、死亡時画像診断 (Autopsy Imaging ; Ai) 支援に関する研究を行う3つの計画研究班からなる。最後の A03 項目は臨床展開を目的として、診断治療融合支援の実応用、また、Ai も含む診断支援の実応用を行う班からなる。また、2010～2011 年度と 2012～2013 年度の2年間の公募研究を募集し、前半は15班。後



図3 計算解剖学の学理の基本構造

計算解剖学は、計算解剖モデルの構築、医用画像完全理解、それらの臨床応用展開を目指し、その学理は、モデルの表現論と構築論、基盤技術論、応用技術論、実応用論から構成される。

半は10班の研究組織が参加した。さらに、領域全体をカバーする組織として総括班を設置し、その内部にデータベース構築WG、融合促進WG、人材育成WG、学理構築WGなどを組織し、領域全体の研究方針の決定や計画班や公募班の間の研究交流の促進を図った。その他、領域全体が第三者的にも正しい方向に運営されていることを担保するために、内外の著名な研究者による諮問委員会を組織し、毎年開催した国際シンポジウムでは諮問委員から意見を募り、次年度の領域運営に反映させた。

以下では、まず、計算解剖学とそこで構築された計算解剖モデルの概要について述べる。その後、主な研究成果である医用画像完全理解のプロトタイプシステム構築、診断治療を高度化する計算解剖モデルの革新的臨床応用の2点について説明した後、総括班活動についてもいくつか紹介する。

【3 計算解剖学と計算解剖モデル】

計算解剖学とは、図1に示した臓器形状の統計的変動を表現可能な数値モデル（計算解剖モデルと呼ぶ）を構築し、それに基づいて医用画像の完全理解や、臨床応用・展開を目指す新しい学術領域である。またこの3つの目的を達成するために、モデル表現論、モデル構築論、基盤技術論、応用技術論、実応用論を学理

の基本構造と位置づけ、これらの各論を既存の様々な学問と関連づけて具体的に構築した（図3参照）。なお、計算解剖学に関する世界的な研究の流れの中における本プロジェクトの特色は、欧米を中心に進められてきた研究は脳を主な対象としてきたが、本プロジェクトでは形態やトポロジーなどの特徴が異なる体幹部臓器を主対象としている点である。

図4に、構築した計算解剖モデルの一例を示す。図4(a)は、図1の肝臓を対象にLevel Set分布モデルと呼ばれる計算解剖モデルを構築した例であり、形状の統計的変動を表現するパラメータ（ここでは第一主成分軸に沿ったパラメータ）を変化させて様々な形状の肝臓を表現したものである。モデルにはこのようなパラメータが複数存在し、それらを組み合わせることによって図1の任意の肝臓の形状が表現できる。また、与えられた形状と平均形状との間の偏差の評価や、仮想的な肝臓形状の生成なども、計算解剖モデルの重要な特徴である。具体的なモデル化の方法は多数存在するが¹⁾、ここで示したモデル化の方法は、肝臓だけでなく他の臓器や複数臓器にも容易に拡張可能であり、図4(b)には上腹部臓器に対して、二つのパラメータを用いて様々な形状を生成した結果を示している。

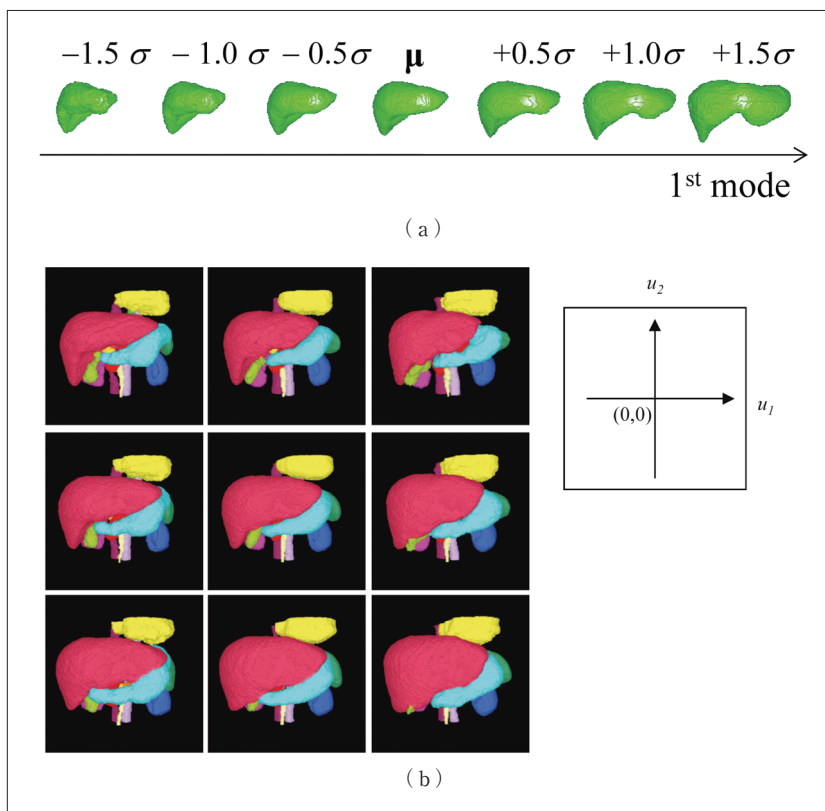


図4 肝臓と上腹部臓器の形状モデルの例

- (a) 肝臓の形状モデルの第一主成分パラメータを 0.5σ 刻みで変化させて生成した形状。左葉方向の個人差がモデル化されている。
- (b) 上腹部の主要臓器の形状モデルの第一と第二主成分パラメータを 1σ 刻みで変化させて生成した形状。隣接臓器同士で互いに関連しながら統計的に変動する複数の臓器形状が表現されている。

【4 主な研究成果の概要】

4.1 医用画像完全理解のプロトタイプシステム構築

体幹部 CT 像から、その内部にある主要な臓器を網羅的に認識するプロトタイプシステムを開発した。このシステムでは、まず、与えられた画像から A01-1 が開発した解剖学的ランドマーク検出システムによって臓器や組織の表面に定義したランドマークを認識する⁷⁾。続いて、そのランドマーク認識結果を用いながら、A01-3 によって開発された処理により各臓器を囲む最小直方体（バウンディングボックス）を認識する⁸⁾。さらに、上記のすべての成果と、臓器形状の精密な計算解剖モデルを組み合わせることで、体幹部の複数臓器を精密に認識する⁹⁾ (A01-2)。最終的にはこれらに、体幹部骨格筋 (A01-3)¹⁰⁾、股関節周辺の骨格筋 (A01-2)¹¹⁾、肺野内の葉間裂などの内部構造 (A02-1)¹²⁾、および腹部血管やリンパ (A02-2)¹³⁾ などの認識結果を統合して、体幹部の主要臓器をほぼ網羅する画像理解が可能になった (図5 参照)。これらの処理では、総括班で作成したデータベース (4.3 節参照) とそれを用いて構築した計算解剖モデル、具体的

には、臓器形状の統計モデルや、ランドマークやバウンディングボックスに関する統計モデルなどを利用することで処理の高精度化を達成した。

4.2 診断治療を高度化する計算解剖モデルの革新的臨床応用

1) 診断支援応用

肺や肝臓などの診断支援技術の高度化を達成した。ここでは、前出の臓器認識処理の上に、疾患表現法・認識法を新しく開発・追加することで高精度化を達成した。特に A02-1 では、肺がん、肺気腫、および肝臓疾患を対象とする計算機支援診断のプロトタイプを開発し、大規模データベースによる評価も実施し、次世代の革新的診断支援の基盤を構築した¹⁴⁾。

2) 融合支援応用

A02-2 が高精度に獲得された解剖構造の情報に基づいて、安全で確度の高い手術支援と手術ナビゲーション手法を実現し、その手法に対する臨床的な有効性を A03-2 において確認した¹⁵⁾。このような連携研究は領域内において推進され、上記以外にも、体幹部

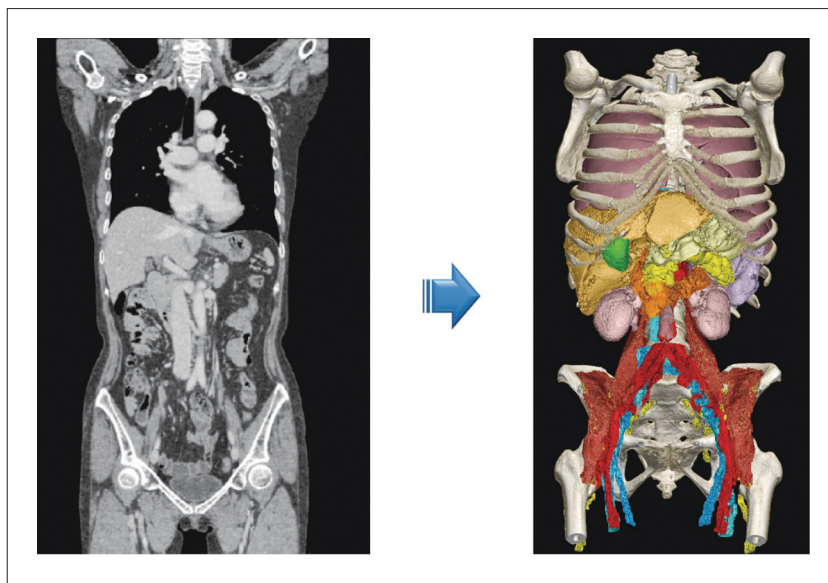


図5 医用画像の完全理解の例
左の3次元CT像から体幹部の主要臓器を網羅的にコンピュータを使って認識した例。

CT像からの腹部臓器や血管などの器官の網羅的認識結果、腫大リンパ節の検出結果を組み合わせることで、診断治療を融合的に支援するシステムが実現された¹⁵⁾。

3) 死亡時画像診断支援

本プロジェクトの特徴の一つとして、世界に先駆けて死後の人体を対象とした診断支援に関する研究に取り組んだ点が挙げられる。まず、A02-3は、死後の臓器変形を統計的にシミュレーションする方法を提案した¹⁶⁾。また、シミュレーションした形状ラベルを用いて死後臓器の計算解剖モデルを構築し、そのモデルを用いた死亡時CT像からの肝臓や肺の認識処理を開発した^{17,18)} (図6参照)。さらに、これらの臓器認識結果から、死亡時画像診断として重要な死因と死後経過時間の推定処理を開発した。この推定処理の研究には、A02-3とA03-1が連携して取り組んだが、具体的にはA02-3が提案する上記の処理によって死亡時CT像から肺と肝臓を認識し、そこからA03-1がテクスチャ解析と機械学習に基づいて死因と死後経過時間を推定するアルゴリズムを構築した¹⁹⁾。

以上4.1と4.2の内容は計画班の5年間の主要成果を総合的に述べたものであるが、それ以外にも公募班において計画班の研究を補完する研究が実施されたことを補足しておく。詳細は文献⁴⁻⁶⁾などを参照されたい。

4.3 総括班活動

1) データベース

計算解剖モデルの設計と、作成したモデルや画像処理アルゴリズムなどの評価を目的として、領域内で共

通に利用可能なデータベースを構築した。具体的には、徳島大学と国際医療福祉大学の協力を得て、体幹部を主対象としたセットA (100症例、140ボリューム)、上腹部を対象としたセットB (100症例、400ボリューム)、計200症例540ボリュームのX線CT像のデータベースを構築した。造影条件は、セットAは61%が非造影で残りが造影 (主に門脈相) である。また、セットBは全症例、非造影、早期相、門脈相、晚期相の4時相から構成される。また、臓器領域の正解も作成した。これは、計算解剖モデルの構築や、アルゴリズムなどの評価のために必須であるが、この作成の作業は一般に容易ではない。そこで、正解領域の作成を支援するソフトを開発した。またこのソフトを、次に紹介する共通プラットフォームPLUTO上のプラグインとして領域内に配布し、作業をすべての計画班で分担して行った。最終的には、セットAは最大19ラベル (右肺、左肺、心臓、大動脈、食道、食道内腔、肝臓、胆嚢、胃、胃内腔 (空気)、胃内腔 (空気以外)、脾臓、右腎臓、左腎臓、下大静脈、門脈・脾静脈・上腸間膜静脈、膀胱、前立腺/子宮)、セットBは門脈相のみを対象として11ラベル (心臓、大動脈、肝臓、胆嚢、胃、脾臓、右腎臓、左腎臓、下大静脈、門脈・脾静脈・上腸間膜静脈、膀胱) の正解領域を完成させた。

2) 共通ソフトウェア基盤

研究領域内の研究連携の加速を目的とし、すべての計画班と公募班の研究成果の共有と統合化のための医用画像処理共通基盤プラットフォーム (PLUTO) を整備した。このプラットフォームの上に、前出の臓器正解領域作成支援ツールなどの汎用的なプラグイン

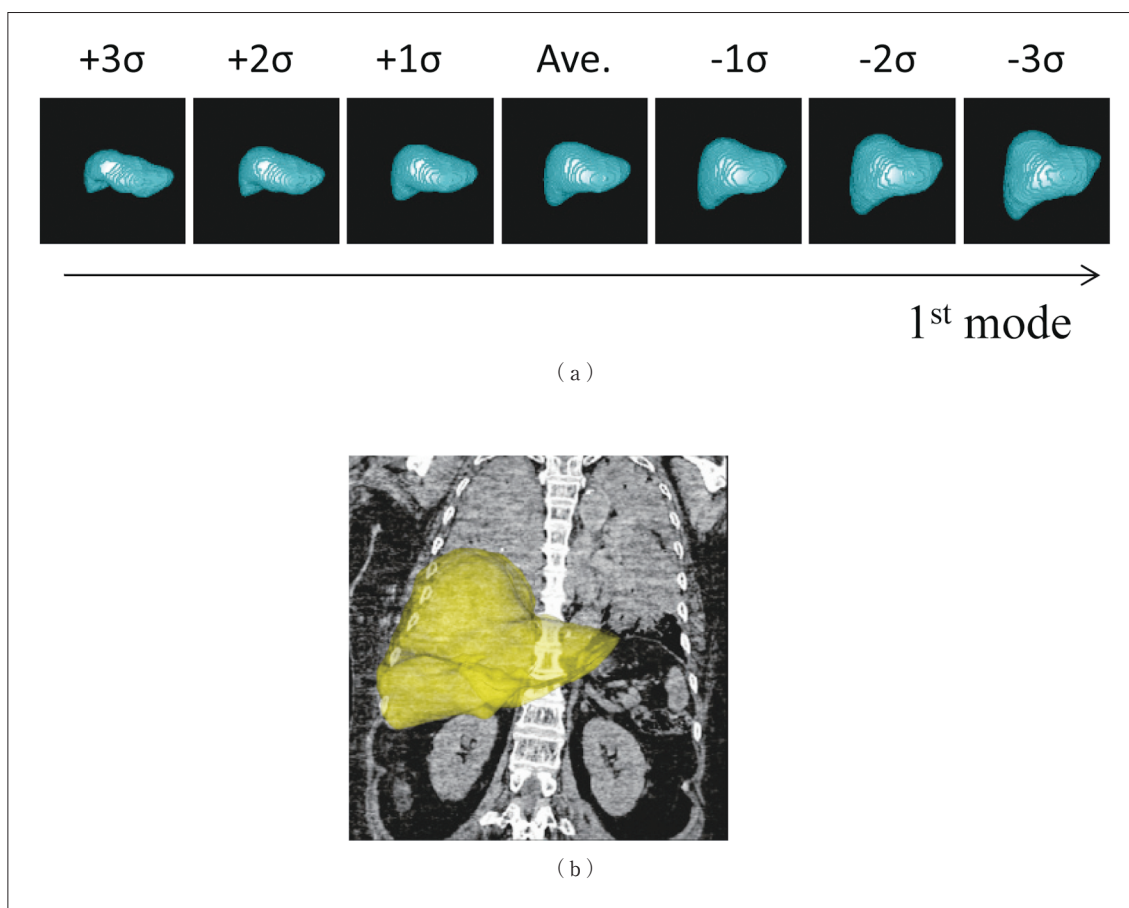


図6 死後画像における肝臓のモデルと肝臓認識結果

- (a) 死後人体内の肝臓の形状モデルの第一主成分パラメータを 0.5σ 刻みで変化させて生成した形状。生体の形状モデル (図4(a)) と異なり、右葉上部の挙上の様子が表現されていることが分かる。
- (b) 死後変化や病変などによって形状や濃度値が生体と大きく異なるケースでも正確にコンピュータが認識している。

14 個を開発し、領域内で共有した。また、PLUTO プラグイン開発支援のための開発講習会を複数回開催するとともに、現在もホームページを通じて公開している²⁰⁾。

3) 教科書

新しい学術領域としての計算解剖学の学理の基礎、およびその研究成果を英文教科書としてまとめる執筆作業を進めている。また、Springer 社より発刊することも決定しており、現在、出版に向けての最終調整を実施している。これは、計算解剖学のコアとなる現時点での最新の成果の集大成であるが、研究領域終了後の継続的な研究 (例えば、次に述べる多元計算解剖学など) により、計算解剖学全体の学理が完成に近づくと考えられる。

【5 多元計算解剖学】

上記の計算解剖学の学理は、主に成人の体幹部 CT 画像を対象として構築してきた。しかし、実際の臨床現場では、CT 画像以外に様々な医用画像情報をもとに

統合的に判断して診断や治療が行われている。診断治療の高度化と革新的医療の確立には、多種多様な医用画像情報、すなわち多元情報の統合が必要となり、従来の計算解剖学を図7のように、空間、時間、機能、病理の4軸に沿って拡張することが重要となる。そこでこの拡張を目的として、2014年度より新たな新学術領域研究として「医用画像に基づく計算解剖学の多元化と高度知能化診断・治療への展開」(略称:多元計算解剖学。2014~2018年度)が立ち上げられた²¹⁾。2015年度は31の公募班も参加することが決まっており、計画班と連携しながら計算解剖学の多元化が大きく進められる予定である。

【6 むすび】

本稿では、文部科学省科学研究費補助金による助成を受けて実施された「医用画像に基づく計算解剖学の創成と診断・治療支援の高度化」(2009~2013年度)における研究活動について紹介した。計算解剖学は、工学と医学だけでなく、数学、物理学、情報学などの複数の分野と連携しながら発展を続けている。体幹部



図7 計算解剖学と多元計算解剖学の関係

多元計算解剖学は、従来の計算解剖学を、空間、時間、機能、病理の4軸に沿って拡張したものである。

についての計算解剖学は日本が世界の最先端を走っているが、空間、時間、機能、病理の4軸に拡張する多元計算解剖学のプロジェクト（2014～2018年度）は、この基盤をさらに強固なものとするための重要な役割を担うと期待されている。

謝 辞

本稿で紹介した内容は文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究（研究領域提案型）「医用画像に基づく計算解剖学の創成と診断・治療支援の高度化」（2009～2013年度）において得られた成果であり、計画班、公募班、総括班の方々に深謝します。

文 献

- 1) 清水昭伸（2012）Part II 第1章2.1 セグメンテーション. 医用画像工学ハンドブック, 尾川幸一, 清水昭伸, 工藤博幸編, pp.414-436, 日本医用画像工学会, 東京
- 2) Grenander U, Miller MI (1998) Computational anatomy : an emerging discipline. Q Appl Math LVI (4) : 617-694
- 3) 計算解剖学 HP <http://www.comp-anatomy.org/wiki/>
- 4) 小畑秀文（2015）医用画像に基づく計算解剖学の創成と診断治療支援の高度化. 科学研究費助成事業 新学術領域研究 研究成果報告書
- 5) 小畑秀文（2014）特集：医用画像に基づく計算解剖学の創成と診断治療支援の高度化. INNERVISION 29 : 2-65
- 6) 小畑秀文（2013）特集/計算解剖学－画像数理, 応用システム, 臨床応用の最前線－. MED IMAG TECH 31 : 261-316
- 7) Hanaoka S, Masutani Y, Nemoto M et al (2012) An Improved Multiple Anatomical Landmark Detection Method With Combinatorial Optimization And Mada-boost-Based Candidate Likelihood Determination. in Proc. International Symposium on Computer-Assisted Radiology and Surgery (CARS) 2012 : S330-S331
- 8) Zhou X, Ito T, Zhou X et al (2014) A universal approach for automatic organ segmentations on 3D CT images based on organ localization and 3D GrabCut. Proc. of SPIE Medical Imaging 9035 : 90352V-1-90352V-8
- 9) Okada T, Linguraru MG, Hori M et al (2013) Abdominal Multi-organ CT Segmentation Using Organ Correlation Graph and Prediction-Based Shape and Location Priors. Med Image Comput Comput Assist Interv 16 (Pt 3) : 275-282
- 10) Kamiya N, Zhou X, Chen H et al (2013) Model-based approach to recognize the rectus abdominis muscle in CT images. IEICE Transactions on Information and Systems E96-D : 869-871
- 11) Yokota F, Takaya M, Okada T et al (2012) Automated muscle segmentation from 3D CT data of the hip using

- hierarchical multi-atlas method. 12th Annual Meeting of CAOS-International Proceedings : 30-32
- 12) 松廣幹雄, 鈴木秀宜, 河田佳樹ほか (2013) 胸部マルチスライス CT 画像における葉間裂抽出法. 電子情報通信学論誌, J96-D : 834-843
 - 13) Feuerstein M, Glocker B, Kitasaka T et al (2012) Medias-tinal atlas creation from 3-D chest computed tomography images : application to automated detection and station mapping of lymph nodes. Med Image Anal 16 : 63-74
 - 14) 河田佳樹, 仁木登 (2013) 計算解剖モデルに基づく診断支援 - 肺がんのコンピュータ支援予後予測 -. MED IMAG TECH 31 : 287-291
 - 15) 森健策 (2013) 計算解剖モデルに基づく診断・治療の融合的支援 - 「メタ解剖情報」に基づく診断・治療支援 -. MED IMAG TECH 31 : 292-298
 - 16) Saito A, Shimizu A, Watanabe H et al (2014) Statistical Shape Model of a Liver for Autopsy Imaging. Int J Comput Assist Radiol Surg 9 (Issue 2) : 269-281
 - 17) Saito A, Shimizu A, Watanabe H et al (2013) Automated liver segmentation from a CT volume of a cadaver using a statistical shape model. Int J Comput Assist Radiol Surg 8 (Suppl 1) : S48-S49
 - 18) Saito A, Okata S, Shimizu A et al (2014) Automated lung segmentation for autopsy imaging using graph cuts with a statistical shape model. Int J Comput Assist Radiol Surg 9 (Suppl 1) : S37-S38
 - 19) 木戸尚治 (2014) 計算解剖モデルの診断支援とオートブシー・イメージング支援応用. INNERVISION 29 : 29-32
 - 20) プルート HP <http://pluto.newves.org/trac>
 - 21) 多元計算解剖学 HP <http://www.tagen-compana.org/>

日本シミュレーション外科学会会則

1991年11月12日設立

第1章 総 則

第1条（名称）

本会は、日本シミュレーション外科学会（The Japan Society for Simulation Surgery）と称する。

第2条（事務局）

事務局を、東京都新宿区大久保2-4-12 新宿ラムダックスビル(株)春恒社内におく。

第2章 目的と事業

第3条（目的）

本会はシミュレーション外科の進歩、発展につとめると同時に会員相互の親睦と知識の交換に貢献することを目的とする。

第4条（事業）

本会は、前条の目的を達成するために以下の事業を行なう。

1. 学術集会、講演会など
2. 内外の関連団体との連絡、連絡など
3. 印刷物の刊行など
4. その他必要な事項

第3章 会 員

第5条（会員および入会）

会員は、本学会の目的に賛同するもので、正会員、名誉顧問、顧問、名誉会員、準会員、賛助会員をもって構成する。

1. 正会員は、医師、それ以外の研究者で所定の入会申込み書式に従い、別に定める入会金および当該年度の会費を添えて本学会事務局に申込み、理事会の承認を受けたものとする。
2. 名誉顧問、顧問は、本学会に貢献のあったものから理事長が推薦し、理事会の承認を受けたものとする。ただし本人の承諾を得なければならない。
3. 名誉会員は、本学会に特に貢献のあったものの中から理事長が推薦し、理事会、評議員会の議を経て、総会で承認を受けたものとする。ただし、本人の承諾を得なければならない。
4. 準会員は、学生で入会手続きは前項に準ずる。
5. 賛助会員は、個人、法人または任意団体で推薦により理事会で承認を得たものとし、入会手続きは前項に準ずる。

第6条（退会と除名）

6. 会員が退会しようとするときは、退会届けを理事長に提出し、理事会の承認を得る。
7. 会員が次の項目に該当する時は、理事会、評議員会の議を経て除名することが出来る。
 - 1) 本会の目的に反し、会員として適当でないもの。
 - 2) 会費を2年以上滞納したもの。

第4章 役員及び評議員

第7条（役員）

1. 本会に次の役員をおく。
2. 会長1名。理事長1名。理事若干名。および監事2名。

第8条（理事および監事）

理事および監事は、評議員会において評議員の中から選出し、総会で承認を受ける。

第 9 条 (会長)

1. 会長は、評議員会において選出し、総会において承認を受ける。
2. 会長は、年 1 回の学術集会を主催する。

第 10 条 (理事長)

1. 理事長は、理事の互選により選出する。
2. 理事長は、本会を代表し、理事会、評議員会ならびに総会を招集し、その議長となり会務を統括する。

第 11 条 (役員の任期)

1. 理事および監事の任期は 2 年とするが重任を妨げない。ただし連続 2 期を越えないものとする。
2. 会長の任期は 1 年とし、前年度学術集会終了時から、当年度学術集会終了時までとする。

第 12 条 (評議員および評議員会)

1. 本会は、評議員をおく。評議員は理事会で選考し理事長が委嘱する。
2. 評議員の任期は 2 年とし重任を妨げない。但し理由なく任期中の評議員会を欠席した場合は再任をおこなわない。

第 13 条 (幹事)

事務局に幹事をおく。幹事は事務局事務を担当し、理事会、評議員会に出席する。

第 5 章 会 議**第 14 条 (理事会)**

1. 定例理事会は、通常総会前に開催するが、理事長は必要に応じて招集することが出来る。
2. 理事会は、理事の 3 分の 2 以上の出席を要する。
3. あらかじめ委任状を提出したものは出席とみなす。

第 15 条 (評議員会)

1. 定例評議員会は、通常総会前に理事長が招集する。
2. 評議員会は、評議員の 3 分の 2 以上の出席を要する。
3. あらかじめ委任状を提出したものは出席とみなす。
4. 名誉顧問、顧問は、評議員会に出席し意見を述べることができるが決議には参加しない。

第 16 条 (総会)

年 1 回定例総会を開催する。総会は正会員をもって構成する。

第 6 章 会費および会計**第 17 条 (入会金および年会費)**

1. 会員は、所定の入会金と年会費を納入する。ただし名誉顧問、顧問、名誉会員は、会費を免除する。
2. 既納の会費は、いかなる理由があっても返却しない。
3. 入会金は 5,000 円。年会費は正会員 5,000 円、準会員 2,000 円、賛助会員 30,000 円以上とする。

第 18 条 (会計)

1. 本会の経費は、会費および寄付金、その他の収入を持って充てる。
2. 本会の会計年度は、毎年 9 月 1 日から 8 月 31 日までとし、会計業務は株式会社春恒社に委託する。

付 則**第 19 条 (会則の変更)**

本則の変更は、理事会ならびに評議員会において審議し総会において承認を求める。

第 20 条 (会則の発効)

本会則は、1991 年 11 月 12 日から実施する。
改正会則は、1993 年 11 月 20 日から実施する。
改正会則は、2003 年 4 月 2 日から実施する。
改正会則は、2013 年 4 月 1 日から実施する。
改正会則は、2014 年 11 月 15 日から実施する。

日本シミュレーション外科学会会誌投稿規定

1. 投稿資格

- 1) 本誌への投稿者は、本学会会員に限る。
- 2) 論文は、シミュレーション外科の進歩発展に寄与する独自性のあるもので、他誌に未発表のものに限る。ただし、編集委員会が認めた場合はこの限りではない。

2. 論文の採否、修正

論文の採否は、編集委員会で決定する。必要に応じて書き換え修正を求めたり、編集委員会の責任において修正を行うことがある。

3. 邦文論文投稿規定

- 1) 原稿は、ワードプロセッサを使用し、A4 版用紙に、横書き、26 字×26 行で印字する。英数字は、可能な限り半角文字を使用する。英数字に限り 1 行の文字数は制限しないが、見やすく印字する。上下左右の余白は、3～5 cm とし、行間が狭くならないように注意する。文体は漢字混じり平仮名邦文とし、原則として常用漢字および現代かなづかいを使用する。
- 2) 原稿は、オリジナル 1 部、コピー 2 部、計 3 部を提出する。これと共に、3.5 インチフロッピーディスクまたは CD-R に、MS-DOS テキストファイル、または、マッキントッシュ Teach Text 書類として保存したものを 1 枚提出する。ファイル名は、半角英数字大文字で、“著者のイニシャル”+“投稿年月日”+“(ピリオド)”+“TXT” (例：TF 940228. TXT) とする。提出した原稿、フロッピーディスクは、原則として返却しない。また、紛失などの事故に備えて、著者はフロッピーディスクのコピーを保管する。
- 3) 原稿は、第 1 ページに、表題名 (邦文、英文)、キーワード (5 つ以内)、第 2 ページに、著者名 (邦文、英文)、所属 (邦文、英文)、連絡先 (郵便番号、住所、電話番号、FAX 番号、E-mail アドレス)、論文別冊請求先 (郵便番号、住所)、希望別冊部数、第 3 ページ以降に、英文抄録、本文、文献、図表の説明文、図表の順序とする。フロッピーディスクもこの順序とする。改ページは不要である。
- 4) 英文抄録は、本文の全体を含む内容で、300 words 以内とする。
- 5) 図表は、そのまま印刷できる鮮明なものを用意する。図表は、台紙には貼らず、裏面にラベルを貼付し、天地を明確にして、図表の番号、著者名を記入する。図表の説明文は、別紙に、図表の番号とともにまとめて印字する。また、図表の大きさが、ページの全幅 (17 cm) か半幅 (8 cm) かの指定を併記する。オリジナルは 1 組。2 組は鮮明であればコピーでよい。コピーする場合は、A4 版用紙にコピーし、図表の番号を下方に記す。
- 6) 外国人名、地名など、邦訳しにくい用語は外国語を用いても構わない。年号は西暦とする。

7) 文献の書き方

配列は引用順とし、本文中の引用箇所には肩番号 (例：1)) を付ける。著者が 3 名までは全員、4 名以上のときは 3 名までを書き、以降は「ほか」または「et al」を付ける。雑誌名は、Index Medicus、または、医学中央雑誌の表記に従い略記する。外国語の雑誌は前者を、日本語の雑誌は後者を優先する。

a. 雑誌

著者名 (発行年) 表題名. 雑誌名 巻：ページ

(例) 養父孝乃介, 田嶋定夫, 今井啓介ほか (1993) 頭蓋底・眼窩部の 3 次元実体モデルの切削法における分割作製法. 日頭蓋顎顔面外会誌 9：7-11

Kato A, Yoshimine T, Hayakawa T et al (1991) A frameless, armless navigational system for computer-assisted neurosurgery. J Neurosurg 74：845 - 849

b. 単行本

著者名 (発行年) 書名. ページ, 発行所, 発行地

(例) 千代倉弘明 (1985) ソリッドモデリング. pp 123, 工業調査会, 東京

Fujino T (1994) Simulation and computer aided surgery. pp 123, John Wiley and Sons, Chichester

c. 分担執筆

著者名 (発行年) 題名. 書名 (版), 編集者名, ページ, 発行所, 発行地

(例) 横井茂樹 (1992) シミュレーション外科と VR. 人工現実感生成技術とその応用 (初版), 岩田洋夫編, pp 137-156, サイエンス社, 東京

Kuboki Y, Yamaguchi H, Ono I et al (1991) Osteogenesis induced by BMP-coated biomaterials: Biochemical principles of bone reconstruction in dentistry. The bone-biomaterial interface (1st Ed), edited by Davies JE, pp127-138, Tronto University Press, Tronto

8) E-mail での投稿も以下の要領で受け付ける。

表題名 (邦文, 英文), キーワード (5つ以内), 著者名 (邦文, 英文), 所属 (邦文, 英文), 連絡先 (郵便番号, 住所, 電話番号, FAX 番号, E-mail アドレス), 論文別冊請求先 (郵便番号, 住所), 希望別冊部数, 英文抄録, 本文, 文献をテキストファイルにして, 作製した OS およびソフトウェアとそのバージョンを明記し添付文書 (ファイル名は前記 3-2) に準ずる。) として送付 (Microsoft Word で作製したものであれば Word ファイルのままで添付可)。図表および写真 (説明文を含む) は別のメールに添付ファイルとし, 作製した OS およびソフトウェアとそのバージョンを明記し, 写真に関しては JPEG 形式にして添付すること。オリジナルを損なわないようにするため, 図表は A4 用紙に印刷したものを, 写真はキャビネ版とし裏に著者名を記載したものを各 1 部, 説明文を含み別に簡易書留便で郵送すること (他の原稿およびフロッピーディスクは郵送不要)。

4. 欧文論文投稿規定

欧文にても投稿をうけつける。全般的原稿様式は邦文投稿規定に準じる。

投稿前に当該外国語学専門家による十分な推敲が望ましい。

5. 掲載費

1) 掲載論文は、でき上がり 4 ページまでは無料とするが、それ以上は実費 (1 ページ超過につき 2 万円) を著者負担とする。なお、でき上がりのページ数は、表題が 1/3 ページ、英文抄録、本文、文献が原稿 4 枚で 1 ページ、図表 (半幅) が 6 枚で 1 ページを目安とする。

2) 別冊は、100 部を単位とし、実費を著者負担とする。

(参考: 8 ページまで 100 部 11,000 円、9~12 ページまで 100 部 23,000 円)

3) カラー写真など、特に費用を要する印刷は、実費を著者負担とする。

6. 著作権

本誌に掲載された論文の著作権 (= 著作財産権, Copyright) は、日本シミュレーション外科学会に帰属する。

7. 投稿規定の変更

以上の投稿規定は、編集委員会の責任において必要に応じて変更することがある。

8. 投稿原稿の送り先

1) 図表が折れないように注意して、簡易書留便で郵送する。

〒169-0072 東京都新宿区大久保 2-4-12

新宿ラムダックスビル 9 F (株) 春恒社内

日本シミュレーション外科学会

電 話 03-5291-6231 FAX 03-5291-2177

2) E-mail 投稿先: jssis-office@umin.ac.jp

編集委員長: 朝戸 裕貴

編集委員: 今井 啓介、大西 清、小坂 正明、小林 正弘、千代倉弘明、貴志 和生、高井 信朗、

根本 匡章、榎 宏太郎

日本シミュレーション外科学会会誌
Journal of The Japan Society for
Simulation Surgery
第 22 巻 4 号
2015 年 9 月 30 日発行
定価 2,500 円
年間購読料 5,000 円

発行人：丸山 優（東邦大学医学部形成外科学名誉教授）
編集委員長：朝戸 裕貴（獨協医科大学形成外科教授）
編集委員：今井 啓介（大阪市立総合医療センター形成外科部長）
大西 清（東邦大学医学部形成外科学教授）
小坂 正明（福岡山王病院形成外科部長／国際医療福祉大学大学院教授）
小林 正弘（慶應義塾大学看護医療学部教授）
千代倉弘明（東京工科大学メディア学部教授）
貴志 和生（慶應義塾大学形成外科）
高井 信朗（日本医科大学整形外科）
根本 匡章（東邦大学医学部脳神経外科学講師）
横 宏太郎（昭和大学歯学部矯正科教授）

発行所：日本シミュレーション外科学会
〒169-0072 東京都新宿区大久保 2-4-12
新宿ラムダックスビル
電話 03-5291-6231
FAX 03-5291-2176
印刷所：株式会社 春恒社
〒169-0072 東京都新宿区大久保 2-4-12
新宿ラムダックスビル
電話 03-5291-6231
FAX 03-5291-2176

複写をご希望の方へ

日本シミュレーション外科学会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター((社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はありません(社外頒布目的の複写については、許諾が必要です)。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3 F
FAX : 03-3475-5619 E-mail : info@jaacc.jp

複写以外の許諾(著作物の引用、転載、翻訳等)に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、日本シミュレーション外科学会(学会事務局 E-mail : jssis-office@umin.ac.jp)へお問い合わせください。