

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：32661

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2013

課題番号：21500108

研究課題名(和文) 解剖学的統計モデルを用いた顔のCG表現

研究課題名(英文) Anatomy-based CG representation of human faces

研究代表者

新谷 幹夫 (SHINYA, Mikio)

東邦大学・理学部・教授

研究者番号：50339199

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：頭蓋顎顔面骨形状から顔面形状を推定することは、コンピュータグラフィックス、法医学、臨床医学などにおいて重要な課題である。本研究では、頭部CTデータから頭蓋顎顔面骨と顔面形状データベースを構築し、統計的性質を分析した。分析法としては、主値解析および独立成分分析を用いた。さらに、両者間の推定技術を開発し、推定精度を幾何学的側面・認知的側面から実験的に評価した。推定法としては線形推定および空間変形法を検討した。

研究成果の概要(英文)：Reconstructing facial shapes from skull shapes is very important in forensic science and plastic and reconstructive surgery as well as computer graphics. In this study, we constructed three-dimensional database of both facial surface and cranio-maxillo-facial bones. This was performed by fitting the template bone surfaces to the specified feature points. We then applied the principal component analysis (PCA) to 64 sample bone shapes extracted from CT data. The analysis indicated that the bone shapes can be well represented by just 35 principal components. Further, we applied the independent component analysis (ICA) and compared the results with those from PCA. Based on these analyses, we introduced linear estimation to reconstruction between skulls and faces, and enabled reconstruction from partial skull data. We also confirmed that better performance can be obtained from linear estimation than from previous methods using special deformation methods.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：コンピュータグラフィックス 頭蓋顎顔面骨 顔面形状 主値解析

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 形状の統計モデル

形状の推定やマッチング、変形などの処理には、統計モデルの利用が有効である。統計モデルでは、元データの形状を同一位相のメッシュ(テンプレートメッシュ)などでフィッティングすることで形状をベクトルとして表現している。こうして得られる多数のベクトルに主値解析(PCA)などを適用し、固有空間を構築する。通常、固有空間は元データの空間よりも低次元であり、推定や変形などの処理を効果的に行うことができる。

これまで、CG 応用では顔、全身、足などの統計モデルが構築され、有効性が示されている。また、医学応用においても、心臓、肝臓、脳などの臓器の統計モデルが報告されている。頭蓋骨に関しては、穴があるなど位相的・幾何学的に複雑なために統計モデルの整備が遅れていたが、応募者らによりフィッティングの方法論が確立し、統計モデルの構築が進められている。しかしながら、頭蓋骨と顔形状との対応を扱う統計モデルの研究は行われていない。

### (2) 解剖学ベース力学シミュレーション

頭蓋骨上に表情筋が分布し、これらが収縮することにより顔が変形する。すなわち、頭蓋骨と筋の形状をモデル化すれば、力学特性を仮定して、その運動および変形をシミュレーションにより求めることができる。近年のシミュレーション技術の進展に伴い、リアルな表情変化を生成できるようになり、実用化が有望視されている。

しかしながら、リアルなシミュレーションを実行するためには、顔形状に加えて矛盾のない頭蓋骨形状を作成する必要がある、実用上の妨げとなっている。

### (3) 顔面復元

頭蓋骨から生前の顔を推定することは、犯罪捜査や歴史学の分野で重要である。現状では、職人芸的な手法でクレイモデルを作ることなどが行われているが、計算機上で対話的に推定を支援するシステムも提案されている。自動的な推定に関しては、CT 像のデータベースを利用した試みも報告されているが、十分な精度は得られていない。これは使用しているデータベースが十分構造化されておらず、対応付けや統計処理が適切でない、などの点によるものと考えられる。

## 2. 研究の目的

顔のコンピュータグラフィックス(CG)表現はCG分野の中心的研究課題の一つであり、詳細化・高精度化が常に求められている。顔は、頭蓋顎顔面骨(以下、頭蓋骨とよぶ)上に筋・脂肪層があり、表皮で覆われている。したがって、この解剖学的構造を効率的・高精度にモデル化することが顔のリアルな表現に重要である。本研究では、代表者らが構築している3次元頭蓋骨統計モデルと顔形

状を対応させることにより、顔の解剖学的統計モデルを構築する。このモデルを解析することにより、

① 顔形状から顔面骨形状の推定

② 顔面骨形状から顔形状の推定

に関する方法論を展開する。この結果を応用し、力学シミュレーションによる顔のアニメーション生成、解剖学的知見を加味した、加齢・肥満などによる顔の変形処理などの実現を目指す。

## 3. 研究の方法

本研究では、顔の解剖学的統計モデルの構築とCGへの応用を実現するため、以下のように研究を進める。

### (1) 特徴点指定システム

現状では通常のディスプレイで顔の表示を行い、マウスで特徴点の指定を行っている。しかしこの方式では、形状の微妙な凹凸や縫合線(割れ目)などの把握が難しく、操作性や指定精度が制限されている。そこで、

① 立体表示ディスプレイを用いた3次元表示

② 触覚提示装置を用いた触覚フィードバック

の利用を検討する。まず、両デバイスを組み込むように、特徴点指定システムを修正する。この際、処理速度の低下が予想されるので、実時間性が確保できるように、システム設計に留意する。次いで、システムの評価を行う。立体表示・触覚提示の有無による指定時間の変化などを測定する。

### (2) 顔の特徴点データベースの構築

上記指定システムを用いて、CTデータベースより顔の特徴点を指定し、顔の特徴点データベースを作成する。作成されたデータベースを解析し、特徴点として追加すべき点、特徴点から削除すべき点、などを検討する。

### (3) 頭蓋骨統計モデルの統計分析

作成した頭蓋骨データの相関・分散を解析する。また、主成分分析・独立成分分析を行う。これらの結果を踏まえ、顔形状・頭蓋骨形状変換に有用と考えられる特徴点を抽出する。

### (4) 顔形状の統計分析

得られた顔形状データに対して、主成分分析や独立成分分析を施し、統計的な性質を明らかにする。これらの知見に基づき、顔形状から顔面骨形状を推定する推定法を構築する。顔面骨形状と相関の低い顔形状の成分を分析し、顔面骨から顔形状推定の際の問題点を検証するとともに、解剖学的な意義付けも検討する。

### (5) 顔面形状推定アルゴリズム

開発した顔形状から顔面骨形状の推定法を基に、推定実験を行う。実験結果を分析し、推定能力を考察する。また、単に幾何学的な精度だけでなく、心理実験などを通して人間

の顔認識空間における推定能力も検討する。  
(6) その他の派生的研究  
顔面骨および顔形状の造形出力の検討データベース内の顔面骨および顔形状などを詳細に検討するには、3Dプリンタ技術を用いた実体造形が有効であると考えられ、効果的な処理法の検討を行う。また、固有解析を応用し、豚の顔認識の研究も行う。

#### 4. 研究成果

##### (1) 特徴点指定システム

3Dデータベースの登録、更新において特徴点の対話操作が必要である。この3次元対話操作において、3次元表示、触覚デバイスなどのマルチモーダル処理の導入を行い、評価した。その結果、指定時間には顕著な向上は認められなかったが、指定精度の改善が観測された。

##### (2) 顔面形状データベースの構築

###### ①顔面形状CTデータの分析

3次元頭蓋顔面骨データベースは、①CT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、現在70サンプルのデータが格納されている。このうち、CTデータは濃度値を格納したボクセルデータなので、閾値を適切に設定すれば顔面形状データが得られる。閾値を調整しつつ、データベース内のサンプルを表示して観察したところ、目を閉じているサンプルが多いこと、口の開閉が不統一であること、眉毛・毛髪は判別できないこと、などが明らかとなった。

###### ②顔面形状特徴点の選定

顔面形状の特徴点としては、顔面骨形状に基づく解剖学的特徴点、顔認識などを目的とした表情論的特徴点がある。目・瞳や眉毛などは表情論的には重要な特徴点であるが、前述のようなCTデータの特性上、安定に抽出することが困難である。そこで、本研究では、解剖学的特徴点を中心に、図1に示す30点を特徴点として選定した。昨年行った3次元頭蓋骨形状の主成分分析によると、顔面骨の次元数が30次元強である。顔面の特徴空間は30点×3次元であるので、次元数的には顔面骨の推定に十分であるといえる。

###### ③顔面特徴点指定システム

頭蓋顔面骨特徴点指定システムを改良し、顔形状特徴点指定システムを実装する予定であったが、対象形状のボクセル数増加に伴う記憶・処理系の問題、対象形状の位相に伴うアルゴリズム的問題などが判明した。そこで、アルゴリズム・実装の改善法を検討し、システムを再設計した。

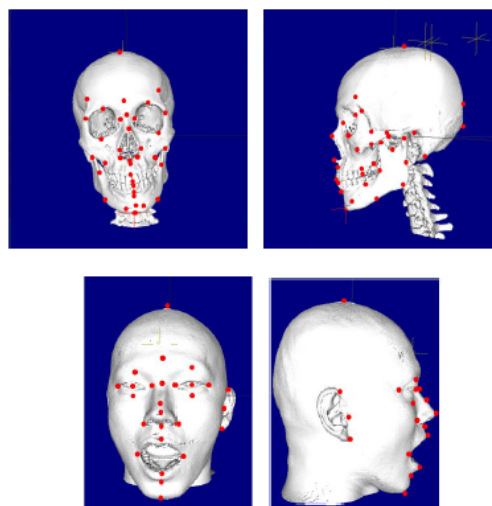


図1 頭蓋顔面骨および顔形状の特徴点

④顔面形状データベースの構築 3次元頭蓋顔面骨データベースは、CTデータ、メッシュデータ、特徴点データの3階層から構成され、現在64サンプルのデータが格納されている。これに加え、同一のCT画像に対して顔面形状データベースを作成した。まず閾値を調節し、雑音除去などを行った後、CTデータとして格納した。次いで、顔形状特徴点指定システムにより対話的に特徴点を設定し、特徴点データとした。さらに、プレートメッシュをフィッティングさせ、メッシュデータを構成した。

##### (3) 3次元頭蓋顔面骨形状の統計分析

64サンプルのデータに対して、以下の解析を行った。

###### ①メッシュデータの主値解析

特徴点データの主値解析を行い、固有空間の次元数が36次元程度であることが判明した。また、メッシュデータ(3279頂点)に関しても主値解析を行った。その結果を図2に示す。図のように次元数は32次元とやや少なくなることが判明した。これは、特徴点は冗長性が比較的低い顔面部に多く配置されているのに対し、メッシュ頂点は均一に配置され、冗長性の高い後頭部の影響が強いためと考えられる。主成分ベクトルを図3に示す。

###### ②独立成分分析

特徴点データおよびメッシュデータに対して、独立成分分析を行い、部位の個人間変動に関して統計的に独立な成分を抽出した。分析アルゴリズムとしては、収束が早いとされるFastICA法を用いた。独立成分ベクトルを図4に示す。独立成分に関するヒストグラムを取ったところ、尖度の高いことが認められ、独立性の高い成分が抽出されていると考えられる。

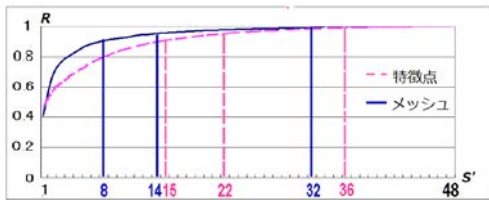


図2 頭蓋骨の累積寄与率

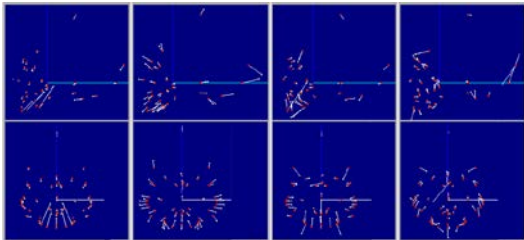


図3 主成分ベクトル

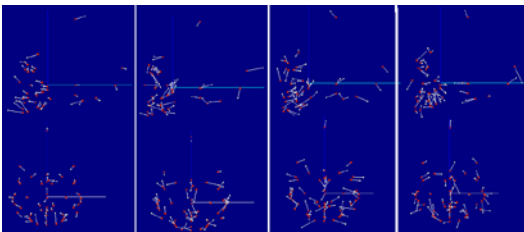


図4 独立成分ベクトル

#### (4) 顔形状の統計分析

得られた顔形状データに対して、統計分析を行った。顔面骨特徴点と顔面特徴点に主成分分析を施したところ、有効次元数はほぼ同程度であることが示された(図5)。このことから、少なくとも特徴点レベルでは、双方向での推定が可能であることが期待できる。

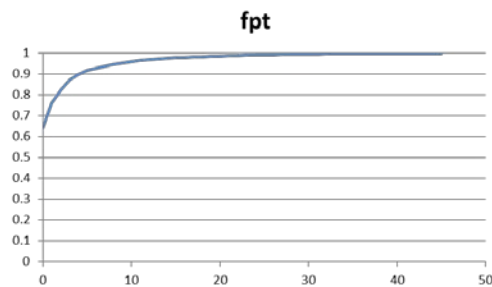


図5 顔形状の累積寄与率

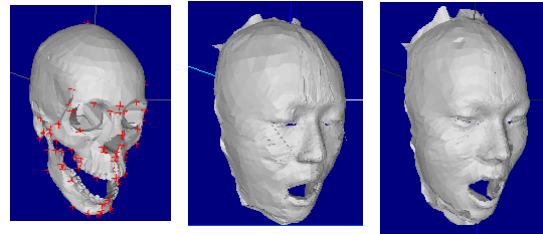
#### (5) 顔形状推定アルゴリズム

##### ①アルゴリズム

上記知見に基づき、主成分を用いた推定法を検討し、処理系の設計および実装を行った。顔面骨形状から顔面形状の推定処理 3次元頭蓋顔面骨データベースと顔面形状データベースを用いて、顔面骨特徴点から顔面骨形状を推定する処理系を実装した。推定アルゴリズムとしては、主値解析を用いた最小自乗推定法を用いた。データベースから1サンプルを取り除いて学習し、その結果を用いて未知サンプルを推定した (leave-one-out 法)。

結果の1例を図6に示す。

②評価実験 推定された頂点座標とデータベースに登録された頂点座標の距離を求め、誤差評価を行った。その結果、推定誤差は6.2mmであった。比較のため、thin-splineを用いたClaesの手法を用いて、同様の実験を行ったところ、誤差は6.8mmであった。t検定を行ったところ、1%水準での有意差が認められた。



入力頭蓋骨 推定顔形状 実際の顔形状  
図6 推定例

③心理実験 推定された顔形状とオリジナルの顔形状を被験者に表示し、どの程度似ているか5段階評価で答えさせた。この結果を表1に示す。「似ている」(3.0)より高い平均3.22という評価が得られた。

表1 推定形状の評点

	提案法	Claes 法
平均	3.22	2.82
標準偏差	1.16	1.17

#### (6) 派生的研究

##### ①豚の顔画像の解析

当該システムの主値解析の基本関数を用いて、豚の顔画像認識実験を行った。認識アルゴリズムとしては固有空間法を用いた。その結果、97.5%の認識率が得られた。

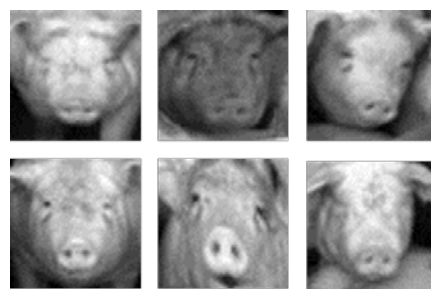


図7 豚の顔画像の例

##### ②3D造形

溶解樹脂堆積法による3Dプリンタの低価格化に伴い3D実体モデルの作製が身近になった。しかし、効率的なモデルには、堆積方向の決定や分割作製などのノウハウが必要であり、非専門家でも容易にきれいな3Dプリントを低コストで製作できる環境が求められている。本報告では、平行平面分割による作製を対象とし、分割位置、分割平面数、堆積方向の最適化を行った。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 57 件)

①Satoshi Nakajima, Mikio SHINYA, Michio SHIRAIISHI, Hidetsugu KATSURAGAWA, Motonobu KAWASHIMA, Kunio KONDO, Practical CG-based Video Materials for Tai Chi Chuan Self-study, 査読有, IIEEJ Trans. on IEVC, 2014, (Accepted).

②Mikio Shinya, Yoshinori Dobashi, Kei Iwasaki, Michio Shiraiishi, Tomoyuki Nishita, A Simplified Plane-Parallel Scattering Model for Densely Distributed Objects such as Foliage, the Journal of Information Processing, 査読有, vol. 21, No. 2, 2013, pp. 349-357, DOI: 10.219/ipsjip.21.349,

③ Naoki WADA, Mikio SHINYA, Michio SHIRAIISHI, Pig Face Recognition using Eigenspace Method, ITE transaction on MTA, 査読有, vol 1. No. 4, 2013, pp. 328-332

④細矢 絵美, 新谷 幹夫, 白石 路雄、銅板表札風画像の製作シミュレーション、映像情報メディア学会誌、査読有, Vol. 67, No. 1, 2013, J27-J31

⑤谷 早織, 新谷 幹夫, 白石 路雄, 林 明照, 丸山 優、頭蓋顔面骨形状の多変量解析、日本シミュレーション外科学会誌、査読有, vol. 20, No. 4, 2-13, 2013, pp. 100-107

⑥林 明照, 荻野晶弘, 新井麻衣子, 岡田恵美, 中道美保, 大西 清: 笑いの質に着目した新しい顔面神経麻痺評価法. Facial N Res Jpn, 査読有, Vol. 33, 2013, pp. 51-53

[学会発表] (計 40 件)

①Satoshi Nakajima, Optimal Subdivision of Geometric Models for 3D FDM printers, IWAIT2014, Bangkok, 2014, Jan. 6.

②Emi Okada, MULTIVARIATE ANALYSIS OF CRANIOFACIAL BONE SHAPES; PRINCIPAL COMPONENT AND INDEPENDENT COMPONENT ANALYSES, SMIT2013, September 4th-6th, 2013, Baden-Baden, Germany.

③Naoki WADA, Pig Face Recognition using Eigenface Method, IWAIT2013, Nagoya, 2013, Jan 8<sup>th</sup>.

④ Satoshi Nakajima, Development and Evaluation of a Tai Chi Chuan CG Videotext

for Head Mounted Displays, IWAIT2013, Nagoya, 2013, Jan 8<sup>th</sup>.

⑤ Hotaka Kawase, Smoothing Hand-drawn Strokes by Adaptive Moving Average for Illustration Tracing Tasks, IWAIT 2012, Ho Chi Minh, Vietnam, 2012, Jan. 9<sup>th</sup>.

[図書] (計 8 件)

①林 明照、佐瀬道郎, 克誠堂出版、背側中手動脈皮弁. ORTHOPLASTIC SURGERY 四肢再建手術の実際, 2013, (平瀬雄一・矢島弘嗣編), pp247-250

②丸山 優, 大西 清, 文光堂, 皮弁・フラップの分類 深部血管系からの分類. 形成外科診療プラクティス 皮弁外科・マイクロサージャリーの実際 (百束比古編), 2010, p2-7

③大西 清, 丸山 優, 克誠堂, 女性化乳房の治療. 形成外科アドバンスシリーズⅡ-5 乳房・乳頭の再建と整容 最近の進歩 第2版 (矢野健二編著) p258-266, 2010

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

新谷 幹夫 (SHINYA, Mikio)  
東邦大学・理学部・教授  
研究者番号: 50339199

### (2) 研究分担者

丸山 優 (MARUYAMA, Yu)  
東邦大学・医学部・名誉教授  
研究者番号: 00101931

林 明照 (HAYASHI, Akiteru)  
東邦大学・医学部・教授  
研究者番号: 30218557

### (3) 連携研究者

該当なし