

< 原稿種別 >

論文

< 和文題名 >

利用可能データに応じた 3 次元頭部モデルの構築とその応用

< 英文タイトル >

3D Head Model Construction According to Available Data and Its Applications

< あらまし >

本稿では、目的に応じて必要とされるモデル精度及び利用可能な入力情報を考慮し、適応的・選択的に 3 次元頭部モデルを構築する手法を提案する。頭部モデルの構築には、顔の解剖学的構造を考慮し、顔のダイナミクスを物理計算によってシミュレーション可能な階層構造をもったモデルを標準モデルとして用いる。モデル構築の際に利用できる入力情報は、顔画像、X 線画像、3 次元形状スキャナ、及び 3 次元 CT とし、これらから抽出した形状特徴情報を利用して標準モデルを変形することにより、個人の頭部モデルを構築する。ここでは、それぞれ正面・側面顔画像からのモデリング、X 線画像と顔画像からモデリング、X 線画像と 3 次元スキャナを用いた頭部のモデリング手法について述べ、構築したモデルを顔の動的な変形シミュレーションに応用した例を示すことにより、本手法の有効性を示す。

< Summary >

We propose an adaptive head modeling method which can be selective according to the purposes and available input resources. In each case, we utilize the generic head model for the head reconstruction, which is constructed based on the facial anatomy and the hierarchical structure. This model is capable of simulating a facial dynamics by the physics-based computation. For the head reconstruction, we account for the input resources as facial images, X-ray images, 3D-CT, and 3D Digitizer. The proposed methods are the photogrammetric technique using two directional facial images and X-ray images, the combination of the 3D digitizer and X-ray images. Using the extracted shape information from those inputs, the generic head model is flexibly deformed to match the target head so that it is useful for wide aims. A facial dynamics simulation and a facial surgery simulation are introduced as the concrete applications.

< 和文キーワード >

顔のモデリング, 顔の物理モデル, 顔画像合成, 顔の動的シミュレーション

< 英文キーワード >

Facial Modeling, Physics-based Face Model, Facial Image Synthesis, Facial Dynamics Simulation

1. まえがき

テレビ電話・遠隔地会議などの知的画像通信[1]、仮想空間内でのリアルな人物像表現を実現するため、顔形状のモデリングは重要な要素技術となっている。医療分野においては、CT やMRI から得られた情報から、頭部の3次元画像を合成、可視化して治療、診断に役立てるといった試みがなされている[2]。また、心理学における顔の印象評価実験などにも顔のCGモデルと表情合成技術が効果的に利用されるようになってきている。このように、顔のモデリング及び顔画像合成は、工学にとどまらず、顔に関わる情報処理を扱う広範な学際分野において重要な技術となっている。

一般的な顔のモデリング手法は、二段階の処理によって実現されている。まず、顔画像などから顔構成部品の輪郭線や特徴点等、モデリングに必要な顔形状特徴を抽出する(特徴抽出処理)。次に得られた形状特徴情報を利用し、あらかじめ用意された顔の幾何学モデルを変形する(モデル変形処理)ことで、目的とする人物の3次元顔形状を表現する。

最も簡単な手法は、多方向から撮影した顔画像から得られる顔の輪郭線形状・特徴点座標など、各画像での2次元情報を統合することで顔の3次元形状を再現するもので、主に正面・側面2枚の顔画像を利用する手法が提案されている[3][4]。この手法では、形状データが得られない部分では、その形状を補間によって求めるため、顔の3次元形状を完全に再現することはできないが、比較的容易な処理で顔モデルを作成することができる。

一方、より高精度の顔モデルを作成するために、非接触3次元形状入力装置から得た3次元形状データが利用される。3次元スキャナでは、顔面の3次元形状とそれに対応したテクスチャ情報が同時に得られるため、正確な3次元顔モデルの構築と顔画像の合成が可能である。例えば、Leeらは、高分解

能の3次元形状スキャナを用いて人物頭部のモデリングを行い、現実感の高い表情アニメーションを合成している[5]。

また、近年では顔表面形状のみならず、筋肉や骨格など顔面皮下組織までも含めた頭部のモデリングを行い、医療分野における画像診断や治療プランの立案などに用いることを目的とした研究も進められている。Kochらは、MRIデータを元に頭部の有限要素モデルを作成し、顔面外科手術のシミュレーションへと適用している[6]。また、三谷らは3次元CTのデータから精巧な頭部モデルを構築し、顔面麻痺状態のシミュレーションを行うシステムを提案している[7]。これらの研究においては、信憑性のあるシミュレーションを行うために、より高精度なモデルが必要とされている。




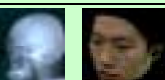
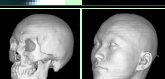
モデリングを行う際には必要とされる精度やデータ量、処理コストなどを考慮しつつ、それぞれの目的に適合した手法を選択する必要がある。

筆者らは、これまで主に医学的な応用を目的とし、解剖学的知見に基づいた人物頭部の物理モデルについて研究してきた[8][9]。[8]では、3次元CTデータを用いたモデリング手法を提案し、筋肉・骨格の運動とそれによって表出される表情との関連性について検討した。

本論文では、上述のモデルを標準モデルとして利用し、目的に応じて必要とされるモデル精度及び利用可能な入力情報を考慮して適応的・選択的に3次元頭部モデルを構築する手法を提案する。形状情報を獲得するための入力を顔画像、X線写真、3次元スキャナ、3次元CTとし、これらから抽出した形状データを単独あるいは複数組み合わせることで、用途に応じたモデリング手法を選択的に用いる。表1に提案するモデリング手法とそれらの特徴を示す。ここでは、特に正面・側面から撮影した2枚の顔画像を用いる方法と、正面顔画像と正面・側面2枚のX線規格画像を組み合わせる方法を中心に述べ、これらの手法によって構築されたモデルを具体的なアプリケーションに適用した例を示す。

表1. 頭部モデリング手法

Table1. A variety of modeling method

Input Resources	Obtainable Information		Accuracy
	Facial shape	Skull shape	
Facial images (frontal & side) 	feature points contours	-	<div style="text-align: center;"> <p>Low</p>  <p>High</p> </div>
X-ray images Facial image 	feature points contours	feature points contours	
3D Digitizer X-ray images 	surface	feature points contours	
3D CT 	surface	surface	

2. 標準頭部モデル

本章では、後述するモデリング手法において、頭部の初期形状として用いる標準頭部モデルの概要及び表情生成機構について述べる。

2.1 階層構造モデルの構成

・顔表層モデル

顔表層モデルは、頭部 3 次元 CT データから得た点列群をもとに三角形パッチを構成していくことで作成した。CT 撮影には CT-W3000(日立メディコ)を用い、CT データから点列データへの変換には Mimics(株)シーディアイを使用した。パッチを構成する各辺は全て非線型パネの性質を有しており、弾性係数を変化させることで皮膚の弾性を再現することが可能である。また、本モデルでは顔の部位毎に皮膚の張力特性を変化させている[8]。モデルを構成する点は 751 個、ポリゴン数は 1288 である(図 1 (a))。

・筋肉モデル

顔面筋は骨格から起始し、皮膚に付着するといった形態をとっており、これらの収縮運動によって顔表面に複雑かつ微妙な表情を生み出している。本モデルでは、表情表出に関わっている顔面筋を非線型パネとして表し、その弾性係数によって筋肉の強度を再現している。顔面筋は大きく放射状筋と輪状筋に分類できるが、放射状筋は骨格と皮膚を結ぶ直線状のパネで、輪状筋の場合はパネを輪状に結合することでその形態を再現する。現在のところ、放射状筋としては前頭筋・頬筋群など 12 種類を、輪状筋としては眼輪筋・口輪筋の 2 種類をシミュレートしている(図 1(b))。各筋肉の強度を表す弾性係数については、表情生成実験を通して得られた経験的な値を用いている。また、筋肉の走向については解剖学に基づき、標準的な位置に配置した。

・骨格モデル

骨格形状モデルには既存のポリゴンモデル(米 ViewPoint 社製, 5072 点, 7757 ポリゴン)を用いた(図 1(c))。このモデルは頭蓋、上下歯列、下顎の 4 つの部分から構成されており、下顎部は各軸周りの回転運動、平行移動など、自由度の高い顎運動の再現が可能である。

・軟組織モデル

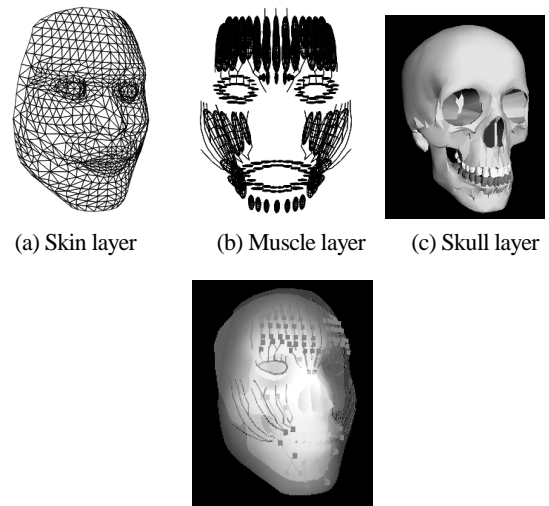
骨格と皮膚の間に位置する軟組織として、骨格上特徴点の近傍面に対する法線方向(顔表面に向かう向き)にばねを配置することで、顔表層 - 骨格モデル間の隙間をうめ、筋肉・骨格運動時に顔表層の特徴点群が滑らかに動くようにしている。

これら顔表層・筋肉・骨格・軟組織の結合関係を図 2 に示した。顔表層・筋肉・骨格の接続関係は全て顔表層モデルと骨格モデ

ルを結ぶそれぞれの特徴点番号で定義されており、個人の頭部形状にフィッティングを行った後でも、標準的な表情筋の配置が行われるようになっている。

・統合頭部モデル

上述の骨格モデル、顔表層モデルを重ね合わせ、両者の間に筋肉、軟組織層を挿入することで、図 1(d)に示すような階層構造をもった 3 次元頭部モデルを構築した。



(d) Integrated head model
図 1. 3 次元頭部モデル
Fig.1 3D head model

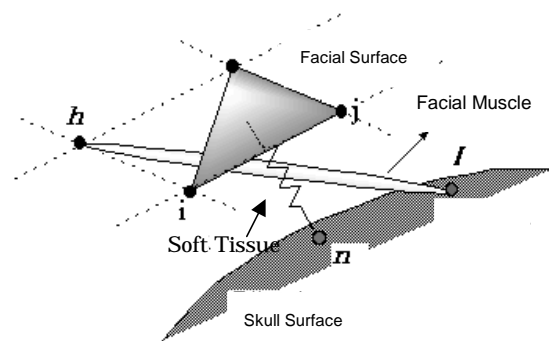


図 2. 顔の階層構造
Fig.2 Hierarchical structure of a face

2.2 表情生成機構

本モデルでは、顔面筋の収縮運動と骨格運動の 2 つの物理的要因によって表情を生成する。顔面筋の収縮による表情生成では、各筋肉の収縮程度をパラメータ化した筋肉収縮率を与え、それに伴う顔面の変形過程を式(1)の運動方程式を解くことで算出する。筋肉収縮率 C_r は、筋肉が最も縮んだ状態を 100%と定義した際の筋肉の収縮程度であり、顔面にマーカを貼付して各

筋肉の最大収縮時の長さを求め、収縮率決定時の基準とした[8]。また、骨格運動による顔面変形は、各軸まわりの下顎骨の回転角、及び各軸に沿った平行移動量をパラメータとして与え、同じく式(1)の運動方程式を解くことで実現する。

$$m_i \frac{d^2 r_i}{dt^2} = - \sum_{i,j} k_{ij} (c_r) (r_i - r_j) + m_i g - R \frac{dr_i}{dt} \quad (1)$$

ここで、 r_i, r_j はそれぞれ皮膚モデル上の特徴点*i*とそれとバネでつながった特徴点*j*の位置ベクトル、(1)式の右辺の第1項は弾性力、第2項は重力を、そして第3項は粘性項を表している。なお、 R は粘性定数である。弾性係数 k_{ij} の値は筋肉収縮率 C_r によって2段階に変化させ、皮膚及び筋肉の非線形性を近似している[8]。

本モデルを用いて生成した表情画像の例を図3に示す。この表情は前頭筋群の収縮と下顎の回転運動によって生成されたものである。このように、本モデルは筋肉の収縮程度と骨格の運動をパラメータとして与えると、その後の時系列の表情生成過程を物理計算によって算出し、顔面運動を再現することができる。“笑顔”、“怒り”、“悲しみ”、“驚き”などの基本的な表情については、予め行った表情生成実験により、各部位(特に頬と額)における顔面筋群の収縮パラメータ・セットを定義しており、モデルを構築後、詳細なパラメータ設定なしでも表情生成が可能となっている。

本論文では、後述する3、4章のモデリング手法において、この頭部モデルを初期形状モデルとして用いることとする。



(a) Muscular and skeletal action (b) Generated face

図3. 表情生成例

Fig.3 The example of facial expression

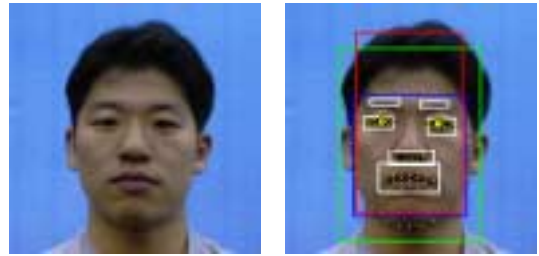
3. 正面・側面顔画像を用いたモデリング

ここでは、最も簡易なモデリング手法として、正面・側面より取得した2枚の顔画像から抽出した形状特徴を利用した顔モデルの構築方法について述べる。

3.1 正面顔画像からの特徴点抽出

正面顔画像より目、鼻、口、顔輪郭線上にのる特徴点を自動抽出する。特徴点は、左右目輪郭上に各12点、鼻の下部の輪郭

上に5点、口輪郭線上に17点、顔輪郭線上に17点の計63点であり、全ての点について顔表層モデル上の特徴点と対応付けがなされている。これらの座標データより顔部位のフィッティングを行うことができる。なお、顔特徴点の自動認識には、IPAのフリーソフトウェア[11]を利用している。図4に入力した顔画像と特徴点の自動認識結果を示す。



(a) Input image (b) Output image

図4. 正面顔画像からの特徴点抽出

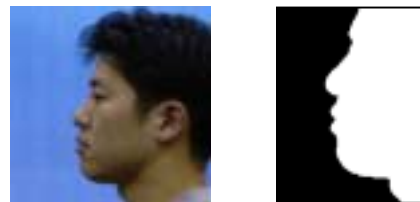
Fig.4 Feature points extraction from a frontal image

3.2 側面顔画像からの特徴抽出

正面顔画像から抽出した特徴点データとあわせて、側面顔画像から得られる横顔の輪郭情報を用い、モデルのフィッティング精度を高める。まず、入力画像から肌色領域を抽出し、横顔のシルエットを抜き出す(図5)。次に、輪郭線に沿った曲率 C_s を(2)式によって算出する

$$C_s = \frac{dD_s}{ds}, \quad D_s = P_{i+1} - P_i \quad (2)$$

ここで、 P_i, P_{i+1} は輪郭線上の隣り合う点の位置ベクトル、 s は線素ベクトルである。これにより、曲率値の符号が変化する点を横顔輪郭上の特徴点として抽出し、フィッティングに用いる。横顔特徴点の抽出例を図6に示す。



(a) Input image (b) Output image

図5. 側面顔画像からの輪郭線抽出

Fig.5 Contour extraction from a profile image

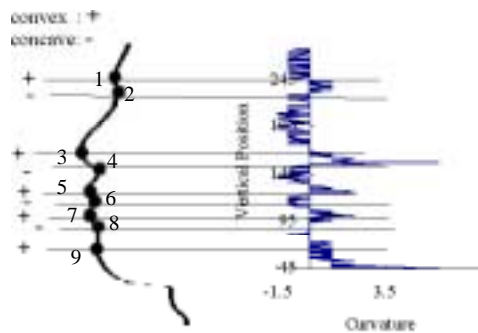


図 6. 横顔特徴点の抽出

Fig.6 Feature points extraction from a facial profile

3.3 フィッティング結果

3.2において得られた顔特徴点の3次元座標データを用い、対応する顔表層モデルの特徴点を変形する。その他の特徴点については、近傍の対応特徴点の3次元的な移動量及び方向を元に、線形ベクトル補間によって移動量を決定している。図7に正面・側面顔画像を用いた顔モデルのフィッティング結果を示す。なお、この手法では骨格形状の情報は得られないため、骨格のフィッティングに関しては、顔の縦横幅・奥行きから骨格モデルに大まかなサイズ変換を施し、顔表層モデルと擬似的に重ね合わせている。そのため、本来の顔・骨格の位置関係を正確に再現することは困難であるが、手入力なしで容易に顔モデルを構築できるという利点がある。

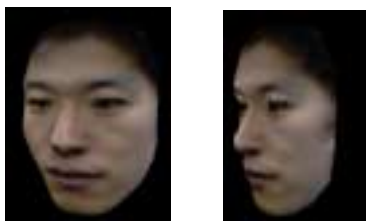


図 7. 顔モデル構築結果

Fig.7 Reconstructed face model

4. X線画像を用いたモデリング

本章では、正面・側面2方向より撮影した頭部X線規格画像(セファログラム:以下、セファロ)と正面顔画像から得られる顔・骨格形状情報を用いた頭部モデル構築法について述べる。

4.1 解剖学的計測点の設定

同一の計測点が正貌・側貌セファロ画像上にそれぞれ投影されていれば、各画像上での2次元座標を統合することでその計測点の3次元座標が得られる。この手法はセファログラム3次元計測法として既に報告されている[12][13][14]。本手法では、セファロ画像上にプロットして得られる各計測点の3次元座標をこの計測法により取得し、骨格と顔形状のフィッティングを

行う。計測点は骨格輪郭線上に21点(うち解剖学的計測点13点)顔輪郭線上に21点(うち解剖学的計測点10点)それぞれ選定し、これらに対応する特徴点を骨格、顔モデル上から選択した。計測点の抽出は、読みこんだ正貌・側貌セファロ画像上でマウスをクリックし、順次計測点をプロットすることで行った。図8にセファロ上にプロットされた計測点を示す。

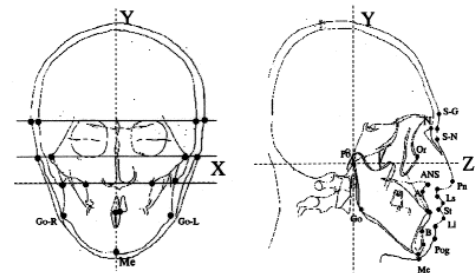


図 8. セファロ画像上の解剖学的計測点

Fig.8 Measurement points on the cephalograms

4.2 計測点座標の取得

・拡大率の修正

セファログラムは図9に示すようにイヤーロッドによって頭部を固定し、X線源、被写体、撮像面間の距離を一定に固定した状態で撮影される。被写体上の計測点 A_o はセファロ画像上では拡大された像として投影される(図9中 A_{LAT})。したがって、 k の拡大率が変化する。求めるべき被写体上の計測点の3次元座標を (x_o, y_o, z_o) とし、側貌セファロ上での座標を (y_{LAT}, z_{LAT}) とすると、拡大補正式は以下ようになる。

$$y_o = y_{LAT} \times \frac{L_1 + k}{L_2}, \quad z_o = z_{LAT} \times \frac{L_1 + k}{L_2} \quad (3)$$

k は各計測点によって決まる値で、Y軸上にある計測点では $k=0$ である。それ以外の点における k の値については、山崎らの人類学的計測に基づく日本人の平均値を参照した[12]。

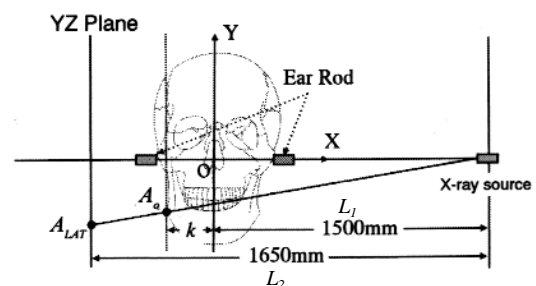


図 9. 側貌セファログラム撮影時における画像の拡大

Fig.9 Expanded image taken from a lateral view

・正貌セファロ撮影時の回転補正

正貌セファロ撮影時には、頭部をイヤーロッドで固定してはいるものの、図 10 のように X 軸まわりの回転が生じる可能性があるため、補正処理を施す必要がある。セファロ画像水平軸 (Z 軸) とイヤーロッドと眼窩下縁点 (Or) を結ぶ線分のなす角度を θ とし、正貌セファロ上での座標を (x_{PA}, y_{PA}) とすると y_{PA} は次式より求められる。

$$y_{PA} = \frac{L_2(L_1+k)(z_{LAT} \sin \theta + y_{LAT} \cos \theta)}{L_1L_2 + (L_1+k)(z_{LAT} \cos \theta - y_{LAT} \sin \theta)} \quad (4)$$

・正貌セファロからの x_{PA} 値の取得

$Y=y_{PA}$ の直線を正貌セファロ上に表示し、その直線と骨格・顔表面輪郭線との交点をプロットすることで、各計測点の x_{PA} 値を得る。最後に、 x_{PA} を式(5)に代入することで、最終的な計測点の 3 次元座標 (x_o, y_o, z_o) を求める。

$$x_o = x_{PA} \times \frac{L_1 + z_o}{L_2} \quad (5)$$

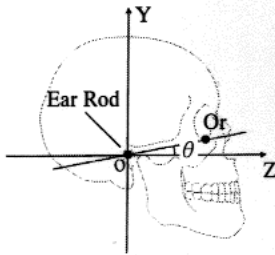


図 10. 正貌セファログラム撮影時における頭部の回転
Fig.10 Head rotation in capturing a frontal cephalogram

4.3 フィッティング方法

・セファロ計測点データによる変形

セファロ画像から抽出した計測点の 3 次元座標データを利用し、標準頭部モデルを変形する手法について説明する。

まず、頭部の幅のフィッティングを行う。図 11 中の x_1, x_2 はそれぞれ骨格輪郭上の計測点における幅を示している。この 2 つの線分の長さ標準モデル上の対応する部分の長さ ($x_{1(std)}, x_{2(std)}$) の比を各計測点において求め (x_{r1}, x_{r2})、モデルの特徴点 i における変換倍率 x_{ri} を次式の線形補間によって求め、特徴点を移動する。 S_n は補間のステップ数である。

$$x_{ri} = \frac{i x_{r2} + (S_n - i) x_{r1}}{S_n} \quad (6)$$

次に、頭部の高さ及び奥行きをフィッティングを行う。図 12 に示すように、頭部を 3 つの部分(下顎前部、後部、上顎以上前部)に分け、それぞれの部分において変形を行う。2 点の計測点

における変位量 p_1, p_2 を用い、次式の線形補間によってモデルの各特徴点における移動ベクトル r_i を求め、モデルを変形する。

$$\Delta r_i = \frac{i p_2 + (S_n - i) p_1}{S_n} \quad (7)$$

・顔特徴点による変形

セファログラムからは顔の輪郭形状の情報しか得られないため、目や鼻、口など顔構成部位については 3.1 で述べた顔特徴点を正面の顔面規格画像から抽出し、フィッティングを行う。

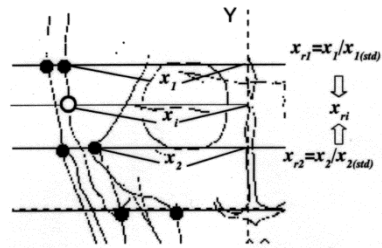
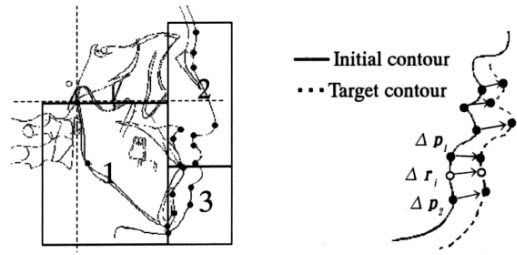


図 11. 頭部の幅のフィッティング
Fig.11 Fitting of the width of the head



(a) Area division (b) Vector interpolation

図 12 頭部の高さ・奥行き方向のフィッティング
Fig.12 Fitting of the height and depth of the head

4.4 フィッティング結果

上述の手法により、X 線画像から抽出した計測点データと正面顔画像から抽出した顔特徴点を用い、頭部形状のフィッティングを行った結果を図 13 に示す。

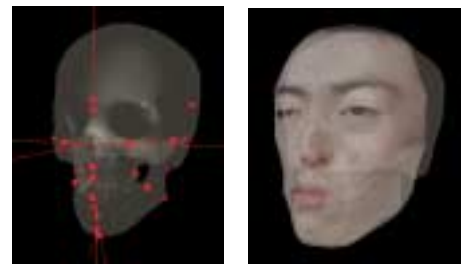


図 13. 骨格及び顔表面のフィッティング結果
Fig.13 Fitting results of a skull and a face

5. 3次元ディジタイザによるモデリング

次に、3次元ディジタイザ及びX線画像を組み合わせたモデル構築手法について説明する。

顔表面については非接触3次元形状入力装置(VIVID700, MINOLTA)を用いて顔表面の形状情報を点列データにて取得し、その後表面の3次元曲率値から形状の複雑さを判定、形状変化の激しい部位については細かく、滑らかな部分については粗くポリゴンを構成する一般的なポリゴン・リダクションを施し、適当な特徴点数の顔表層モデルを構築する。この際、ユーザは任意の特徴点数を指定可能で、それによってリダクションを行う際の曲率閾値が変化する。

骨格形状については前章で述べたX線画像を用いたモデリングを行い、骨格モデルを構築する。この手法では、3Dディジタイザにより、高精度の3次元顔表層モデルを構築できるが、X線画像より作成した骨格モデルとを正確に合わせて、両者の位置関係の整合性をとる必要がある。図14に3次元スキャナによって取得した顔表層モデルを示す。



図14. 3次元スキャナにより取得した顔面形状

Fig.14 Facial modeling using 3D scanner

6. 3次元CTデータからのモデリング

提案手法の中では最も精度の高い3次元CTデータを用いたモデリング手法について述べる。

まず、CT撮影により頭部の断層画像を得る。これらの画像列に対して、X線の透過度の違いを利用したしきい値処理とアーチファクトの除去を行い、骨格と軟部組織を分離する。そして、これらの断層画像を統合して3次元のボクセルデータを得る。尚、これらのデータ処理にはPC版セグメンテーションソフトMIMICS(Materialize, Belgium)を用いた。

次に、ボクセルデータをCADの点列データに変換する。この段階で、点列データは一定間隔で、ポイント数は約25K個である。この点列データの中から、顔の部位毎にサンプリング間隔を指定することで、目・口の部分は細かく、頬などの滑らかな部分は粗くといったような特徴点のサンプリングが可能となっている。この後、マニュアルで細かな部分の調整を行い、最終

的な皮膚、骨格形状のポリゴンモデルを得る。

最後に、筋肉の起始点と付着点を骨格モデル、皮膚モデルの特徴点の中からそれぞれ指定し、表情筋にあたるパネを配置することで、階層構造をもった人物頭部の3次元形状モデルを構築する。この手法では、顔表層と骨格の位置関係が正確に再現でき、提案手法の中では最も解剖学的に精細なモデルを構築することが可能である。

7. 顔変形シミュレーション

3,4章で述べた2つの手法により構築したモデルを用い、以下のようなシミュレーションを行った。

7.1 表情動画像からの筋肉運動の分析

正面・側面顔画像を用いてフィッティングした顔モデルを用い、顔筋運動の分析を行った。この処理の流れを図15に示す。

被験者の表情動画像を撮影し、生成される表情アニメーションと実際の表情動画像を比較しながら筋肉収縮率、弾性係数などのパラメータを変化させる。図16に2人の被験者の表情合成画像(微笑み)と、その際の筋肉の様子を示す。この実験結果では、両者の皮膚・筋肉弾性係数を同一の値に設定し、頬の筋肉群にそれぞれ筋肉収縮率を与え、モデルの生成表情画像と実際の表情画像が近いものになるよう、目視によって確認しながらパラメータの調整を行った。その結果、被験者Aの場合の方がより大きな筋肉収縮が起こっていることが、モデルの筋肉収縮パラメータより明らかになった。

このように、本モデルでは顔表面に表出される表情から顔の内部状態を推測する、また、逆に顔内部の組織の運動によって生成される表情をシミュレートすることが可能である。

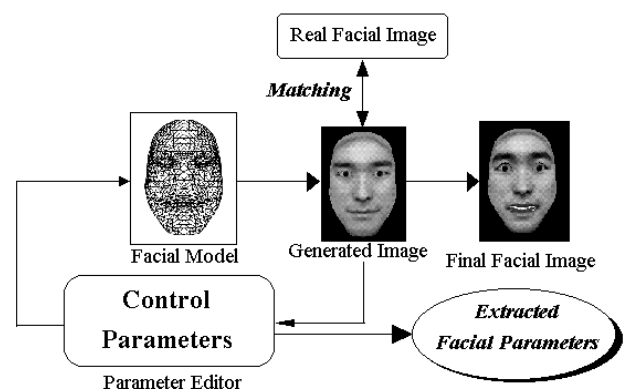


図15. 表情画像からの顔面運動パラメータの推定

Fig.15 Facial parameters estimation from facial expression images



(a) 被験者 A



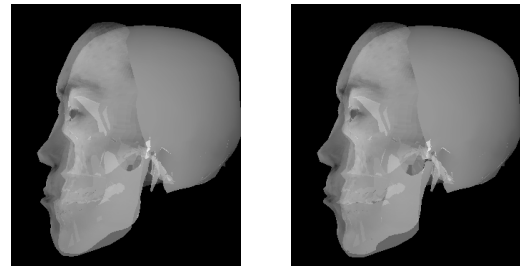
(b) 被験者 B

図 16. 生成された表情画像と顔の内部状態
Fig.16 Generated facial images and the internal state

7.2 顔面外科手術シミュレーション

X線画像を用いた手法により、術前の顎変形症患者の頭部モデルを構築し、手術後の顔面形状変化を予測するシミュレーションを行った。この実験では、突出している下顎骨部分を後方に移動した際の顔形状変化をシミュレーションした。図 17 に術前のモデルと術後のシミュレーション結果を示す。

本手法による予測結果は、若干の誤差を含んではいるものの、実際の術後顔輪郭と比べて比較的良好な結果が得られている。手術計画の立案と術後の予測については、従来は医師が正貌・側貌セファロから顔輪郭形状の平面的な予測を行ったり、経験に基づいて骨格の立体像を予測するなど、主観的な判断による場所が大きかった。本手法は術後の顔の 3 次元的な変形を、頭部の解剖学的な構造を考慮に入れたモデリングを行った上で物理計算によって予測するものであり、任意視点からの頭部 3 次元画像の可視化が可能である。また、正面・側面の X 線写真からの頭部立体モデルの構築手法は、精度の問題はあるものの、CT を利用する場合に比べて簡便かつ安全であり、幅広い臨床応用が期待できる。



(a) 術前

(b) 術後

図 17. 手術シミュレーション結果
Fig.17 Simulation result of facial surgery

7. むすび

必要とされるモデル精度及び利用可能な入力情報に応じて、適応的・選択的に 3 次元頭部モデルを構築する手法について述べた。形状情報を獲得するための入力を顔画像、X線写真、3次元スキャナ、3次元CTとし、これらから抽出した形状データを単独あるいは複数組み合わせて用いることで、用途に応じたモデリング手法を選択することが可能である。また、これらの手法によって構築されたモデルを顔面運動の解析、顔面外科手術シミュレーションに適用した例を挙げ、本手法の有効性を示した。

今後はモデリングの精度を定量的に評価するとともに、医学分野を中心としたアプリケーションの検討を行う。

謝辞 あり

参考文献

- [1] 崔 昌正, 原島 博, 武部 幹 : “顔の 3 次元モデルに基づく表情の記述と合成,” 信学論(A), vol.J73-A, no.7, pp.1270-1280, July 1990.
- [2] N.Suzuki : “Planning system and support system for surgery using virtual reality,” Proceedings of the First International Symposium on Computer Aided Surgery, pp.20-21, 1994.
- [3] M.Gotla, Z.Huang : “Minimalist Approach to Facial Reconstruction,” Proceedings of the 5th International Conference on Multi Media Modeling (MMM'99), pp.377-387, Ottawa, 1999.
- [4] B.Dariusz, S.B.Kang, K.Waters : “Spatio temporal analysis of face profiles: Detection, segmentation, and registration,” Proceedings of the 3rd International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG'98), pp.248-253, Nara, 1998.

- [5] Y.Lee, D.Terzopoulos, and K.Waters : "Realistic Modeling for Facial Animation," In Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH96), pp.55-62, 1996.
- [6] R.M.Koch et.al : " Simulating Facial Surgery Using Finite Element Models, " In Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH96), pp.421-428, 1996.
- [7] 三谷ひかる, 今野立也, 田中一郎他 : " 顔面神経麻痺の外科的治療の支援計画システム, " 日本コンピュータ支援外科学会誌, vol.4, no.1, pp.1-5, June. 1996.
- [8] 青木義満, 橋本周司 : "解剖学的知見に基づく顔の物理モデリングによる表情生成, " 信学論 (A), vol.J82-A, no.4, pp.573-582, April 1999.
- [9] 青木義満, 橋本周司 : " 顔の物理モデルと計測への応用, " 第2回パターン計測シンポジウム, pp.31-36, Oct. 1997.
- [10] Y.Aoki and S.Hashimoto : "Physical Facial Model based on 3D-CT Data for Facial Image Analysis and Synthesis," Proc. of the Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition '98, Nara, pp.448-453, April, 1998.
- [11] T.Yokoyama, et al : "Extracting Contours and Features from Frontal Face Images," The Journal of the Institute of Image Information and Television Engineers, Vol.53, No.11, pp.1605-1614, 1999.
- [12] 山崎俊恒, 岩澤忠正 : "頭部における下顎の立体的位置および形態の研究," 日矯歯誌, vol.40, no.2, pp.20-227, 1981.
- [13] 宮島貴博, "口腔・顎・顔面における統合的3次元計測系開発のための基礎的研究," 阪大歯学雑誌, vol.41, no.1, pp.167-187, 1996.
- [14] B.Grayson et al. : "The Three-dimensional Cephalogram: Theory, technique, and clinical application," Am J Orthod Dentofac Orthop, vol.94, no.4, pp.327-337, Oct. 1988.
- [15] 土屋雅文, 吉田建美, 足立 敏 他 : "骨格性下顎前突症に対する外科的矯正治療前後の軟組織側貌変化について - 手術前後の変化を中心として -, " 日矯歯誌, vol.42, no.2, 1983.
- [16] Y.Aoki and S.Hashimoto : " Simulation of Postoperative 3D Facial Morphology using Physics-base Head Model, "Proc. of Multi Media Modeling ' 99, Ottawa, pp.335-349, Oct. 1999.
- [17] T.Brown and A.H.Abbott : "Computer-assisted location of reference points in three dimensions for radiographic cephalometry," Am J Orthod Dentofac Orthop, vol.95, no.6, pp.490-498, June. 1989.
- [18] D.Terzopoulos and K.Waters : "Analysis and Synthesis of Facial Image Sequences Using Physical and Anatomical Models, " IEEE Trans PAMI, vol.15, no.6, pp.569-579, June 1993.
- [19] 長谷川 修, 森島 繁生, 金子 正秀 : "「顔」の情報処理, " 信学論(D), vol.J80-D- , no.8, pp.2047-2064, Aug. 1997.
- [20] 原島 博, 他 17 名 : " 感性擬人化エージェントのための顔情報処理システムの開発, "平成 8 年度テーマ別年次総括報告書, IPA(情報処理振興事業協会), March 1997.
- [21] 飛田、田所、村上 : "時間関数に基づく顔表情生成法の一検討, " 映像情報メディア学会誌、Vol.52, No.5, pp.757-763, 1998.