

3D 似顔絵フィギュア製作の実用化の試み

藤原孝幸[†] 輿水大和[†] 藤村恒太^{††}
藤田悟朗^{††} 野口孔明^{††} 石川猶也^{††}

デジタルカメラで撮影した顔画像を全自動で立体的にデジタル化する技術と、3次元的な顔の特徴点を抽出してデフォルメする技術について提案する。複数のデジタルカメラの通常撮影、シルエット投影撮影とパターン光照射撮影から顔の色彩と凹凸情報を取り込み、自動抽出可能な44特徴点から構成される82パッチにより頭部を3次元モデル化した。顔の3次元データから目、鼻、口などの部分顔領域を抽出し、その領域から得られる特徴点を用いることで複数の顔画像間での対応が実現できた。そして、複数の顔モデルからデータ間の平均をとった平均顔を基準顔として生成し、それを比較対照として全周3D似顔絵を生成した。また、この技術を用いた似顔絵のフィギュア製作の可能性を示した。

Practical Application of the 3D Facial Caricature Figure Generation

TAKAYUKI FUJIWARA,[†] HIROYASU KOSHIMIZU,[†] KOUTA FUJIMURA,^{††}
GOROU FUJITA,^{††} YOSHIAKI NOGUCHI^{††} and NAOYA ISHIKAWA^{††}

This paper proposes a method for modeling 3D face from 2D facial images captured from the surrounding 2D cameras by which the color texture and surface shape information of the face are synchronously measured. And 3D facial caricaturing method is proposed by using the 3D (the polygon data) face model. Automatic method for extracting regions of the facial parts is technically proposed, and the feature points are extracted from those regions. We propose the mesh model composed of 44 feature points and 82 meshes to cover a head. To generate the caricature from this polygon data, the individuality feature is defined in value by the difference of the feature points between the input face and the mean face, which was defined from the average of many input faces. And, we proposed the successive method for producing the 3D figure of human facial caricature.

1. はじめに

マシンビジョンが人間、特に人の顔に向けられ始め¹⁾、新しい顔メディアの認識・生成の技術が注目されている²⁾。本稿は、特に似顔絵生成に向けた3D顔画像解析法としての実用化に関する研究である。

似顔絵作家やイラストレータは、顔の特徴や個性を巧妙にとらえ、それを巧みに表現した似顔絵を描く^{3),4)}。彼らの観察過程は、顔の形状、大きさ、顔の目鼻立ち、顔色、さらには喜怒哀楽といった顔の特徴を的確につかみ、これらの特徴をデフォルメすることにより、様々な表現方法で最終的には感性豊かな似顔絵として描いていると思われる^{4),5)}。当研究室で研究

している似顔絵生成システムは、人物の顔画像をコンピュータで認識することで人物の特徴的な部分をとらえ、その部分を誇張させた似顔絵を線画で表現している。この2次元版似顔絵生成システムをPICASSOと呼び、時間軸上における表情のモーションの似顔絵生成⁶⁾、横顔の似顔絵生成⁷⁾などの拡張を行ってきたが、本稿は、3次元の似顔絵生成に関する実用化法について述べる。

顔表面の凹凸を利用することで、個人性情報抽出の表現の幅が広がることが期待できると考えられる。同様な3D顔画像解析の試みもこれまでも行われてきたが⁸⁾、個人性特徴抽出と似顔絵に注目したものはなく、特徴点抽出の自動化に成功した例もない。また、顔の3Dモデルの生成や平均顔生成を試みた例もあるが^{9),10)}、特徴点は人手でドラッグして決めていて、画像解析による自動化を行っていない。顔のテクスチャに着目して自動化された手法¹¹⁾もあるが、この手法では、後頭部などを含む頭部全体のモデルへ対しての応

[†] 中京大学情報科学部
School of Computer and Cognitive Sciences, Chukyo
University

^{††} 三洋電機株式会社
SANYO Electric Co., Ltd.

用はなされておらず、正面の顔（額から顎まで）を処理の対象としている．本稿では、3D 顔モデルを対象にした顔部品領域の自動抽出法¹²⁾を導入し、そこから得られた少数の特徴点群から生成した三角パッチを用いることによって、個人性特徴をより明確に反映させた 3D 似顔絵生成法を提案する．本手法による 3D 似顔絵は、十分に良好であったので、その概要を報告する．

また、顔データを取得するための機器は 3D モデリングシステム Pierimo（三洋電機）³⁾を用いる．このシステムを用いることにより、3 次元の顔データを取得するうえで困難であった、後頭部など髪の毛を含む 3D モデルを導入することが可能となった．

以下、本稿では、2 章で似顔絵における空間次元の意義について考察し、また PICASSO システムの原理と 3 次元への拡張の方針を概説する．次いで 3 章では 3D 顔モデルの取得の方法を示し、4 章では 3D 顔画像からの特徴点の自動抽出法とそれより生成される平均顔について述べる．5 章では、3D 似顔絵生成の実験を行い、6 章で実際に製作された顔フィギュアを紹介する．

2. PICASSO システムにおける似顔絵生成原理

コンピュータが認識し、人物の特徴的な部分をとらえ、誇張させ似顔絵を呈示するというシステムが、本研究のテーマ PICASSO である．この PICASSO の似顔絵生成例を図 1 に示す．この図は、複数の顔データ間で座標値の平均をとって生成した平均顔 S_{2D} と入力顔 P_{2D} から、似顔絵 Q_{2D} を生成することを示している．似顔絵 Q_{2D} は、入力顔 P_{2D} に平均顔 S_{2D} との差 ($P_{2D} - S_{2D}$) を個人性特徴と考え、それに誇張率 b 倍したものを加えることで生成する．この PICASSO の似顔絵生成式は、式 (1) のように示される．

次に 3D 似顔絵生成の流れと原理を説明する．まず得られた画像に対して若干の前処理のあと顔部品認識を行う．また、PICASSO システムで似顔絵を作る際には平均顔が必要となるので、2D-PICASSO と同様に複数のデータから、後述する方法で 3D 平均顔を生成する．3D 似顔絵生成の概念図を図 2 に示す．これは、3 次元情報を持っている平均顔 S_{3D} と入力顔 P_{3D} から、3D 似顔絵 Q_{3D} を生成することを示すものである．2 次元での似顔絵生成と基本原理は同様であり、式 (2) のように示される．

3D 似顔絵生成用に新たに利用するデータは、顔の表面形状のデータである．このサーフェスデータを

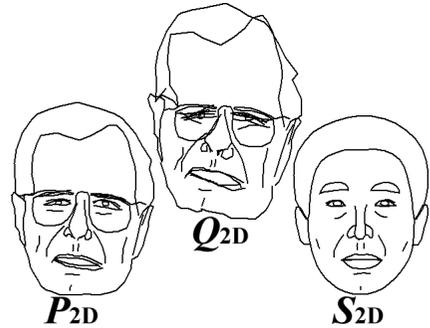


図 1 2D-PICASSO システムの似顔絵生成例
Fig. 1 Principle of 2D-PICASSO system.

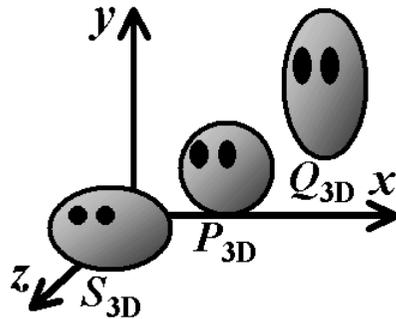


図 2 3D 似顔絵生成の基本原則
Fig. 2 General idea of the 3D facial caricaturing (3D-PICASSO).

いることにより、人間の顔の特徴を凹凸の変化で観察することが可能となった．2D-PICASSO では、目や鼻などの大きさは、単に縦横方向に拡大・縮小して表現した似顔絵を生成していたが、3D-PICASSO ではさらに高さを誇張することによって 2D-PICASSO にはない表現効果が期待できる．

$$Q_{2D} = P_{2D} + b \cdot (P_{2D} - S_{2D}). \quad (1)$$

$$Q_{3D} = P_{3D} + b \cdot (P_{3D} - S_{3D}). \quad (2)$$

3. 3D 顔モデルの取得

図 3 に示すように、360 度の円周状に配置した計 28 台のデジタルカメラの中心に人が入り、通常撮影と光照射撮影から顔の色彩と凹凸情報を取り込む．

撮影は約 2.4 秒で完了し、取得した大量の画像セットから PC により約 10 分で自動的に 3D (立体) 化データが構成される¹³⁾ (図 4)．実際の処理は、16 台のカメラで通常撮影をし、シルエット法で全体のボクセルデータを生成する．2 台のスライドプロジェクタと 6 台ずつのペア、計 12 台のカメラでアクティブ多眼ステレオ法による表面の詳細な凹凸を構成し 3 次元モデリングする．数種の出力フォーマットを持つが、



図3 多眼3D撮影装置“ピエリモ”内部
(三洋電機(株)VB推進室)

Fig. 3 Inside view of the Pierimo system.
(Copyright©. Sanyo Electric Co., Ltd.)



図4 顔の3Dモデリング原理

Fig. 4 Outline of 3D facial modeling.

本稿では Sense8 NFF フォーマットを採用し、3万ポリゴンまで圧縮されたデータを用いる。また、図3で得られた通常撮影の画像を使ってテクスチャマッピングすることにより、通常は扱いが困難であった髪の毛も含めたリアルな3D形状が生成できる。

4. 顔特徴の自動抽出と平均顔の生成

似顔絵生成の際、データ間の比較を行うため、特徴点はそれぞれ同じ個所に配置する必要がある。また、3次元的に人の頭部全体を表現するうえで、3D顔部品の特徴を示す個所に特徴点が配置されなければならない。初期には2D-PICASSOの331特徴点を参考にして、189点、343ポリゴンで構成されるモデルを構

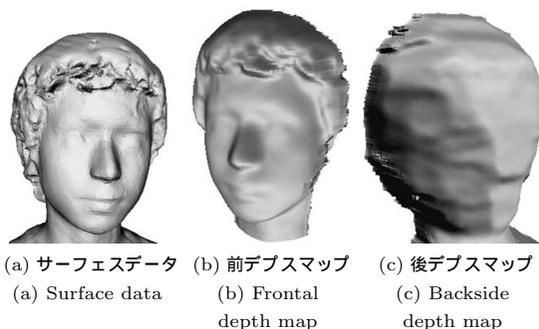


図5 前後方向における顔のデプスマップの例
Fig. 5 3D facial mode with depth map.

築したが、特徴点の抽出自動化が困難であった¹⁴⁾。部分顔領域のみでデフォルメする手法¹⁴⁾も提案されたが、部分顔領域から構成される特徴点を用いて顔全体にメッシュを自動生成する手法¹²⁾を提案して、顔全体を誇張し、特徴点抽出を自動化する可能性が確かめられた。これらの手法により、目、鼻、口の部分領域、顎の輪郭を特徴とすることで、効果的なデフォルメが実現されているので、本研究においてもこれらの特徴点抽出法の考え方のとおり、以降の手法を構築した。

4.1 データの前処理

3章で得られる3D顔データは、3万個のポリゴンで頭部表面上を覆う形の顔データとなる。このポリゴンデータに対し、後述する画像処理の実装を簡単にするため、顔の前方と後方にZバッファをとり画像を生成する。図5に示すように、顔の後ろと前に分けた2つのデプスマップを生成し、この3D顔画像に対して特徴点抽出の処理を行い、生成される特徴点列より頭部全体を覆う特徴的な顔モデルを生成する。

4.2 鼻頂点から上下への極点の抽出

4.2, 4.3節で示す距離画像は、説明を簡単にするため、画面の左上すみを原点にとり、横をX軸、縦をY軸とする。最初に抽出される特徴点は、前側の距離画像で最大値の x, y 座標を鼻頂点 (x_{max}, y_{max}) とする。次に、鼻頂点から上側・下側にY軸上を走査して、図6に示すようなローカルな極点の上側 $(x_{max}, y_u^{(U)})$ $(U=1,2)$ と下側 $(x_{max}, y_b^{(B)})$ $(B=1,2,\dots,5)$ を求める。上側の2点は鼻から落ち込んだ点と額の点を示し、下側の2, 3, 4番目の点はそれぞれ、唇の凸、凹、凸を示す。これらの極点が、各顔部品の領域の特徴点を抽出するために使われる。

4.3 鼻、口、目領域の特徴点抽出

鼻領域の上下の境界は $y_u^{(1)}$ と $y_b^{(1)}$ とした。また、左右の境界は、鼻頂点 x_{max} からX軸方向に距離値勾配の微分を走査して、設定された閾値以下の座標を

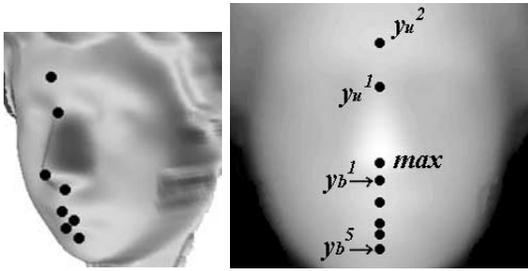
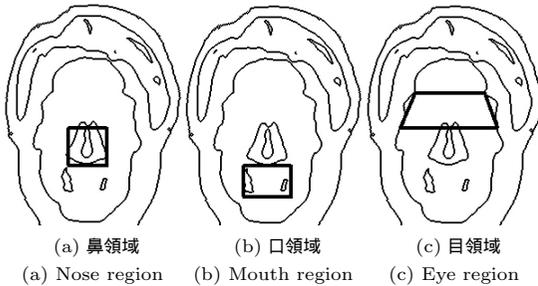


図6 局所的な極点

Fig. 6 Examples of the local peaks.



(a) 鼻領域 (b) 口領域 (c) 目領域
(a) Nose region (b) Mouth region (c) Eye region

図7 目、口、鼻領域の例

Fig. 7 Locations of the facial parts region.

鼻領域の端 $x_{(L,n)}, x_{(R,n)}$ とした．鼻領域を式 (3) で定義し，これらを図 7(a) に示す．

口領域の上下の境界は $y_b^{(1)}$ と $y_b^{(5)}$ とした．また，左右の境界は， $y_b^{(3)}$ から X 軸方向に距離値勾配の微分を走査して，設定された閾値以下の座標を口領域の端 $x_{(L,m)}, x_{(R,m)}$ とした．口領域を式 (4) で定義し，これらを図 7(b) に示す．

目領域の境界は，上側を $y_u^{(2)}$ とし，下側が鼻頂点と $y_u^{(1)}$ の中間点の $y_u^{(0.5)}$ とした．左右の境界は， $y_u^{(2)}$, $y_u^{(0.5)}$ から左右に距離値勾配の微分を走査して，設定された閾値以上の座標をそれぞれ， $x_{(L,eU)}$ と $x_{(R,eU)}$, $x_{(L,eB)}$ と $x_{(R,eB)}$ になる．目領域を式 (5) で定義し，これらを図 7(c) に示す．

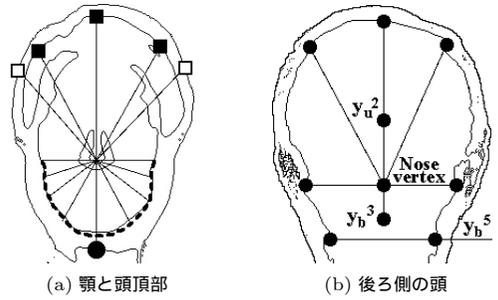
$$\{(x, y) \mid x_{(L,n)} \leq x \leq x_{(R,n)}, y_u^{(1)} \leq y \leq y_b^{(1)}\}. \quad (3)$$

$$\{(x, y) \mid x_{(L,m)} \leq x \leq x_{(R,m)}, y_b^{(1)} \leq y \leq y_b^{(5)}\}. \quad (4)$$

$$\{(x, y) \mid x_{(L,eB)} \leq x \leq x_{(R,eB)}, y_u^{(0.5)} \leq y \leq y_u^{(2)}\}. \quad (5)$$

4.4 頭部と顎の特徴点の定義

顎の輪郭，頭部なども顔形状の特徴を表す個所である．顎の輪郭線をほぼ等間隔で得るため，顎の特徴点は鼻頂点から放射状に距離値勾配の微分を走査して，設定された閾値以上となる個所を抽出する．図 8(a)，



(a) 顎と頭頂部 (b) 後ろ側の頭
(a) Frontal side of the head (b) Back side of the head

図8 頭部と顎の特徴点の例

Fig. 8 Feature points of the face contour.

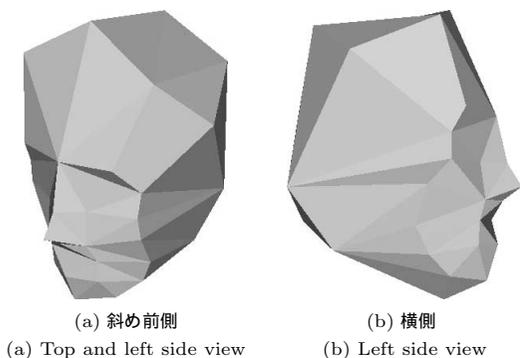
図 8(b) では鼻頂点を原点としたデカルト座標系とし，図 8(a) で示す破線の個所に，X 軸 ($\pm x$), Y 軸 ($-y$), $y = x$ ($-x$), $y = -x$ ($+x$), $y = 2x$ ($-x$), $y = -2x$ ($+x$), $y = 1/2x$ ($-x$), $y = -1/2x$ ($+x$) を走査 (括弧内の方向) する．また，図 8(a) で喉の特徴点 ● は顎の点から Y 軸上の距離値勾配の微分を走査して，設定された閾値以下の座標として定義する．頭部の輪郭を表現するために，頭部の特徴点 ■ は鼻頂点から Y 軸 ($-y$), $y = 2x$ ($-x$), $y = -2x$ ($+x$) を走査して凸の極点で距離値が最も高い座標として定義する．特徴点 □ は $y = x$ ($-x$), $y = -x$ ($+x$) を走査して，顔画像の端を用いる．

後ろ側の距離画像は，前側の距離画像の鼻頂点とローカルな極点 $y_u^{(1)}, y_b^{(3)}, y_b^{(5)}$ を用いて，図 8(b) に示すように求める．すなわち，鼻頂点から X 軸 ($\pm x$), Y 軸 ($-y$), $y = 2x$ ($-x$), $y = -2x$ ($+x$) を距離値勾配の微分を走査して，設定された閾値以上の座標を，後ろ側の頭頂部の特徴点として定義する．また， $y_b^{(5)}$ から左右に距離値勾配の微分を走査して，設定された閾値以上の座標を後頭部の特徴点として定義する．これらは頭部全体を覆うように配置され，頭髮の形状が著しく変化し，誇張の際に位置の逆転が生じる現象を抑制するように配置されている．

4.5 特徴的な顔モデルの生成と特徴点抽出精度

前節で抽出された特徴点を用い，図 9 に示すような総数 44 特徴点で構成した 82 面からなる三角パッチの特徴的な顔モデルを生成する．それぞれの点が抽出されたポリゴンデータの凹凸を反映したのとなつて

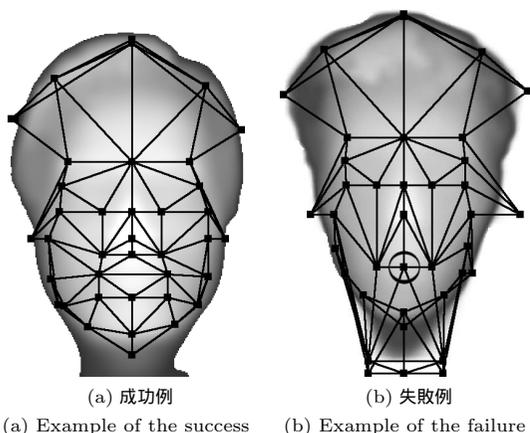
文献 10), 11) の手法では 2 次元の輝度情報に対し特徴点選択を行っている違いはあるが，文献 10) においては額から顎までの顔表面を 495 本のポリゴンで覆い，眉，目，鼻，口を半自動抽出化し，特徴点としている．また，文献 11) では，顔内部の画素すべてを，システムが有する 3D 顔データとマッチングする手法のため，計算コストが膨大であり，また，顔の内部部品を明確に選択している手法ではない．



(a) 斜め前側 (b) 横側
(a) Top and left side view (b) Left side view

図 9 三角パッチの生成例

Fig. 9 Generation of the triangular patches.



(a) 成功例 (b) 失敗例
(a) Example of the success (b) Example of the failure

図 10 特徴点自動抽出の実験結果

Fig. 10 Result of the feature points extraction.

いる．特徴点抽出からの三角パッチ自動生成の実験結果例を図 10 に示す．本実験での特徴点抽出時の閾値処理は，各特徴点で固定閾値を用いた．図 10 (a) は成功例であるが，図 10 (b) は ○ の個所のローカルな極点 $y_b^{(1)}$ が検出できなかったため，鼻領域，口領域の検出に失敗した例である．

また，本手法における抽出精度を図 11 と表 1 で示す．図 11 に 7 特徴点の誤検出を示す．この実験でも，各特徴点に固定閾値を用いた．点 II および点 IV は，左右への走査の違いだけであるため，それぞれの合計とする．55 人の実験データに対し目視により，おおよそ正しい位置であるかそうでないかを判定した（表 1）．目領域の誤検出が 5 例，鼻領域の誤検出が 2 例，口領域の誤検出が 8 例で，全体の抽出精度は 73% となった．点 I, III, V はローカルな極点の誤検出の結果で，点 II, IV は距離値勾配の変動が微小だったため誤検出となった．また，誤検出への対策のため，システム運用上，マウスイベントで特徴点位置を修正する GUI

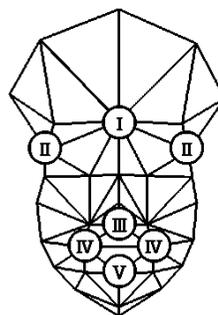


図 11 特徴点の誤検出発生位置

Fig. 11 Examples of the failure.

表 1 抽出精度 (55 データ)
Table 1 Accuracy of extraction (55 data).

特徴点 (図 11)	I	II	III	IV	V
誤検出数	2	3	2	3	5
誤検出率	4%	5%	4%	5%	9%

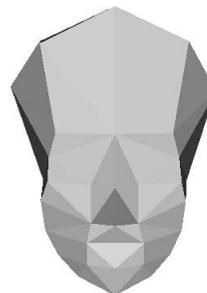


図 12 3D 平均顔の例

Fig. 12 Generation of the mean face.

も備えている¹²⁾．

4.6 平均顔の生成

複数の顔データから得られる特徴点列に対して，式 (6) において座標値の標本平均を計算し，図 12 に示すような，三角パッチで表現された 3D 平均顔を生成する．この平均顔は 10 名の男性の顔データから生成した結果である．

$$\begin{aligned}
 x_{(m,j)}^S &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{(m,j)}^i, \\
 y_{(m,j)}^S &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{(m,j)}^i, \\
 z_{(m,j)}^S &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_{(m,j)}^i, \\
 (m = 1, 2, \dots, 82, j = 1, 2, 3). \quad (6)
 \end{aligned}$$

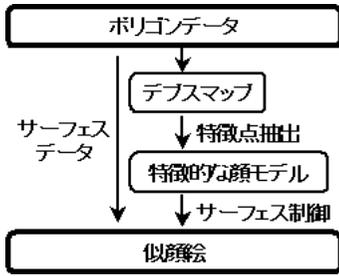


図 13 3D 似顔絵生成処理の流れ
Fig. 13 Flow of 3D-PICASSO system.

5. 似顔絵の生成

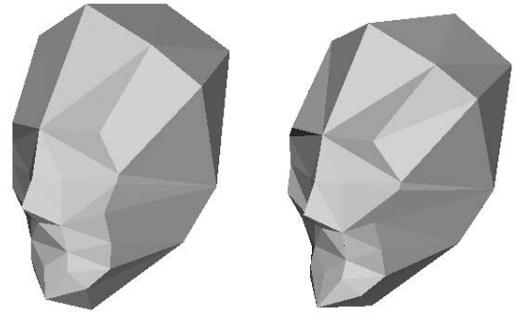
4 章までで得られた特徴的な顔モデル，平均顔を using して似顔絵を生成する．図 13 に示すように，各ポリゴンデータと対になる特徴的な顔モデルの三角パッチを用いる．似顔絵はその入力顔の特徴点列と平均顔の特徴点列とで計算し，それをもとにサーフェスデータとして生成される．

5.1 特徴的な顔モデルとポリゴンデータの対応方法

入力顔 P の特徴点列 $(x_{(m,j)}^P, y_{(m,j)}^P, z_{(m,j)}^P)$ と，平均顔 S の特徴点列 $(x_{(m,j)}^S, y_{(m,j)}^S, z_{(m,j)}^S)$ をもとに， b を誇張率として式 (7) の中割り法を用いて，似顔絵 Q の特徴点列 $(x_{(m,j)}^Q, y_{(m,j)}^Q, z_{(m,j)}^Q)$ を求め，似顔絵の特徴的な顔モデルを生成する．一般的に，誇張率 b は正の値が代入され， $b = 1$ で入力顔と平均顔の差がそのまま重みとなるが，負の値を代入することで，入力顔から平均顔へのモーフィングとなる．また，特徴点列がそれぞれの顔部品領域より構成されているため，鼻だけなど，任意の顔部品のみ誇張なども可能である．しかし，本システムにおける似顔絵生成原理を適用するため，平均顔との差を用い，顔部品ごと誇張の度合いが異なる個人性特徴を得ることを式 (7) により実現している．

$$\begin{aligned} x_{(m,j)}^Q &= x_{(m,j)}^P + b \cdot (x_{(m,j)}^P - x_{(m,j)}^S), \\ y_{(m,j)}^Q &= y_{(m,j)}^P + b \cdot (y_{(m,j)}^P - y_{(m,j)}^S), \\ z_{(m,j)}^Q &= z_{(m,j)}^P + b \cdot (z_{(m,j)}^P - z_{(m,j)}^S), \end{aligned} \quad (m = 1, 2, \dots, 82, j = 1, 2, 3). \quad (7)$$

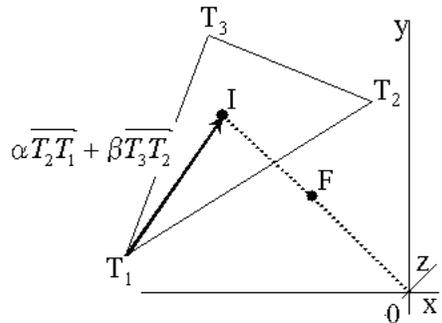
実際の処理では，図 14 の例に示すように似顔絵三角パッチをあらかじめ生成しておく．図 14 (b) の顎の先が誇張され，すでにこのデータにおける特徴を取得していることが確認できる．また，データ間の位置を正規化するために，両耳を通る顔を前後に別ける面を xy 平面とし，鼻頂点からの垂線との交点を原点とする，原点と 1 つの三角パッチで構成する三角錐内



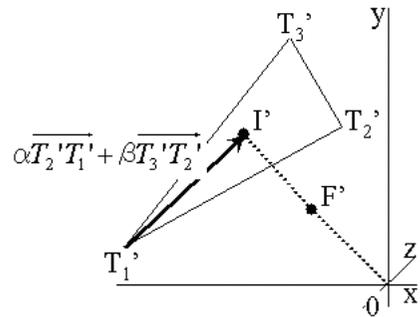
(a) 入力顔三角パッチ (b) 似顔絵三角パッチ
(a) Triangular patches of the input face (b) Triangular patches of the caricature

図 14 三角パッチ変形の例

Fig. 14 Example of the triangular patches deformation.



(a) 入力顔の三角パッチ
(a) Triangular patch of the input face

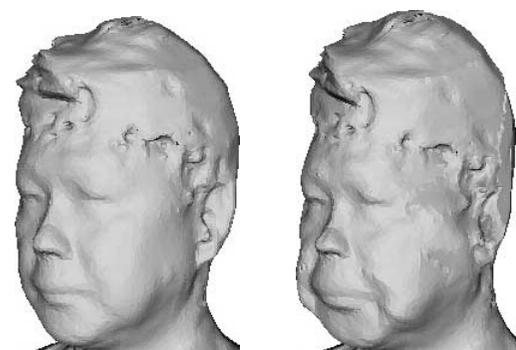


(b) 似顔絵三角パッチ
(b) Triangular patch of the caricature

図 15 誇張のアルゴリズム

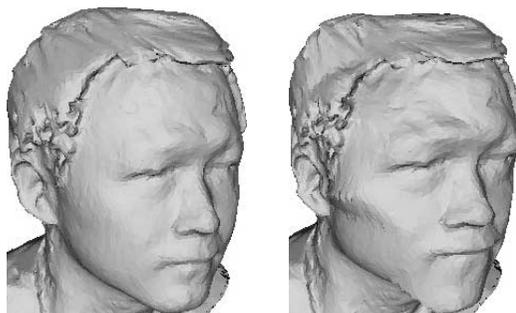
Fig. 15 Exaggeration algorithm.

部に，およそ 200 点のサーフェスデータの頂点があり，三角パッチの変形に対応し，内部の頂点をアフィン変換することで似顔絵のサーフェスデータが計算される．図 15 に，サーフェスデータを制御するアルゴリズムを示す． $T_1T_2T_3$ は任意の入力顔の特徴点三角パッチで， $T_1'T_2'T_3'$ はそれを式 (7) で計算した特徴点



(a) 入力顔
(a) Input face

(b) 入力顔
(b) Input face



(c) デフォルメ後
(c) Caricature

(d) デフォルメ後
(d) Caricature

図 16 サーフェスモデルの似顔絵生成の例

Fig. 16 Full 3D facial caricature.

三角パッチとする．図 15 (a) では点 F を入力顔サーフェスデータの任意の頂点とする．直線 OF の延長線上で三角パッチの交点 I が式 (8) で求まり，点 I の入力顔三角パッチ内での位置が式 (9) で求まる．これら α, β, γ の値は三角錐 $OT_1T_2T_3$ での点 F の位置を示すパラメータであり，似顔絵三角パッチの三角錐に代入することで F を変換できる．図 15 (b) で，式 (10) により似顔絵三角パッチ内の点 I' が求まり，式 (11) によりデフォルメ後の任意の頂点 F' が求まる．

$$\vec{OI} = \gamma \vec{OF}. \quad (8)$$

$$\vec{OI} = \vec{OT}_1 + \alpha \vec{T}_2 + \beta \vec{T}_3. \quad (9)$$

$$\vec{OI}' = \vec{OT}_1 + \alpha \vec{T}_2' + \beta \vec{T}_3'. \quad (10)$$

$$\vec{OF}' = \vec{OI}' / \gamma. \quad (11)$$

5.2 似顔絵の生成例

図 12 の平均顔を用い，式 (7) における誇張率 b を 1.5 として図 16 に示すような似顔絵を生成した．また，この誇張率 1.5 という値は 2D-PICASSO においては過剰な誇張であるが，3D-PICASSO では許容範囲内の値である．結果から見られるように，頬の膨ら



(a) 入力顔
(a) Input face

(b) デフォルメ後
(b) Caricature

図 17 テクスチャを含めた似顔絵の例

Fig. 17 Full 3D facial caricature with texture.



図 18 負の値を誇張率に代入し似顔絵生成した例

Fig. 18 3D caricature with negative deformation.

み (図 16 (b)) や痩け (図 16 (d))，口の形，目の周辺，鼻の形状などが良好に誇張されていることが分かる．

図 16 (a), (b) で示したサーフェスモデルのデフォルメに，テクスチャを含めた似顔絵を図 17 に示す．テクスチャを含めたデフォルメにおいても良好な結果が示されているが，現在の特徴点自動抽出法においては顔の凹凸情報のみを用いているために，テクスチャがサーフェスデータに合わせて変形しているだけである．濃度情報 (色情報) を用いた処理を加えることで，目や眉の効果的なデフォルメが今後期待される．

また，図 18 は図 16 (a) を入力顔として誇張率を -0.8 にした結果である．誇張率 b を負の値にすることで，似顔絵を平均顔に近づけるという試みを示した．この実験では平均顔の構成母集団において年配者を多くサンプルとしたため，入力データに対して全体的に丸みを持った実験結果となった．今後，様々な母集団から構成される複数の平均顔をシステムに供給することによって，本システムの利用の幅が膨らむと考えられる．

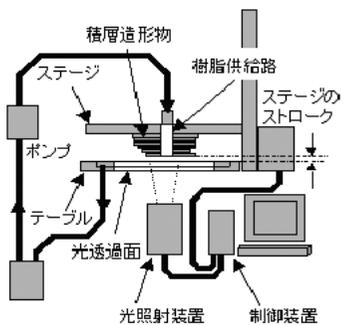


図 19 光造形装置
Fig. 19 Solid figure modeling device.

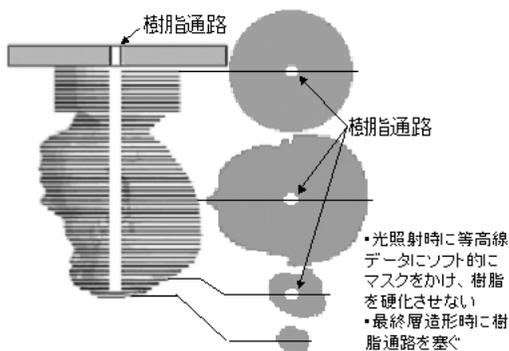


図 20 積層断面
Fig. 20 Mechanism.

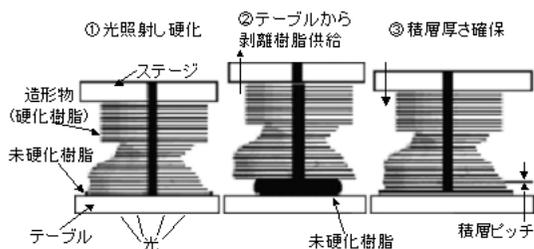
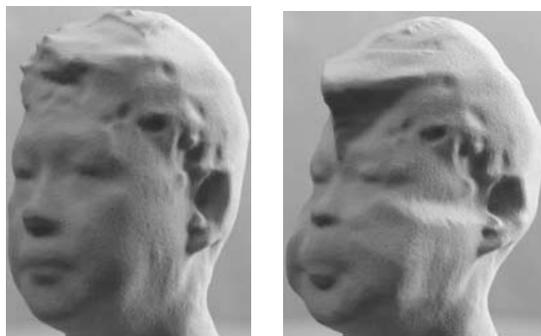


図 21 積層造形の原理
Fig. 21 Principle of figure modeling.

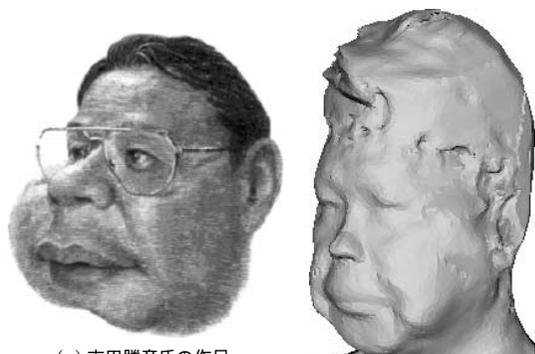
6. 似顔絵フィギュアの製作

3Dデータとして立体化され、さらには似顔絵化された顔形状を専用の立体造形装置で造形する¹³⁾。本システムでは光硬化性樹脂を用いた積層造形法を採用している。図 19 に光造形装置の概要を示す。また、図 20 に積層断面を、図 21 に積層造形の原理を示す。積層断面を下部からの照射光で一括露光し、さらに樹脂供給機構を独自開発したことにより、市販の光造形装置の約 1/20 の時間で造形物を得ることができる。図 22 に 5.2 節の図 16 (a), (b) の 3D フィギュアを製



(a) 入力顔 (a) Input face
(b) デフォルメ後 (b) Caricature

図 22 光造形による似顔絵フィギュア製作
Fig. 22 Example of the caricatured figure.



(a) 吉田勝彦氏の作品 (a) Illustration by Mr. Katsuhiko Yoshida
(b) 3D-PICASSO の作品 (b) Work by 3D-PICASSO

図 23 似顔絵作家の作品との比較
Fig. 23 Comparison with the illustrator.

作した写真を示す。これらのフィギュアは高さがおおよそ 3~4 cm となっており、モニタ上で 3D モデルを表示するのは違った、立体的な顔メディアを提供できる新たな可能性を示すことができた¹⁵⁾。また、図 22 に示すフィギュアの光造形による加工時間は 1 体につき約 40 分である。

7. 考 察

本システムで生成される似顔絵の有用性を示すため、似顔絵作家の作品と比較した例を図 23 に示す。顔の下部のふくらみ、鼻と唇の関係など、きわめて類似した 3D 的なデフォルメが観察できる。本システムの基本原理レベルでの妥当性を裏付けるものとして、これは希少価値の高い注目すべき結果であると考えている。なお、本人が 3D 計測装置の前に来ないとデータが取得できない特殊性と、似顔絵作家に無制限に多数の作品を描いてもらうことが一般的には困難なため、この

類似性を統計的に評価することは、今後の興味ある課題としたい。

8. おわりに

本稿ではデジタルカメラを用いた 3D モデリングの技術と、そのシステムから得られるポリゴンデータからデプスマップを自動生成し、そのデプスマップから顔特徴点を自動的に得て似顔絵を生成し、さらに顔フィギュアを作成する手法を提案し、実用的にもその有効性を確認した。また、4 章、5 章に示した手法の各処理時間は、特徴点抽出が 0.04 秒、似顔絵生成におけるデフォルメの処理が 0.97 秒 (CPU: Pentium4 2 Ghz, RAM: 512 MB) と高速化に成功している。しかし、以下のような課題が残る。

顔特徴抽出の前処理として、デプスマップを生成するより以前の計測の段階で、被験者は必ずしもシステムの想定した座標系に適した座り方をしない。ほぼすべてのデータに関して、ロール、ピッチ、ヨーの傾きが少なからず生じている。現在はこの傾きを目視によって修正する GUI を用意しているが、誇張の際、傾きを誇張するという現象が見受けられるため、今後この修正作業の自動化の試みが必要であると考えられる。この課題は、頭 (頭部) の軸を表す基準線、基準面を導入する課題ともいえる。この場合、顔の軸を定義して、ポリゴンデータから個々の顔の軸を求めるロバストなアルゴリズムが要請される。これに成功すれば、その軸に対して傾きを正規化することで、特徴点抽出の精度の向上や、平均顔、似顔絵の品質をより高めるなどが期待できる。

また、本稿で述べた新しい技術をもとに、すでに実用化され始めている¹⁵⁾。今後の課題となる項目へ取り組むことで、さらなる展開が期待される。

謝辞 似顔絵作品の提供と有益な討論を賜る、サントリー (株) デザイン部吉田勝彦氏、東京新聞中川陽氏に深く感謝する。

本研究の一部は文部科学省科研費 (10835022)、IMS 国際共同研究プログラム HUTOP プロジェクト、文部科学省ハイテクリサーチセンター研究助成の支援による。記して謝意を表す。また興水研究室の関係各位に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 日本顔学会第 7 回公開シンポジウム, 日本顔学会 (1998).
- 2) 興水大和, 坂上勝彦: 画像処理検査技術の今後の趨勢—町に出るマシンビジョン, 画像ラボ (創

刊 100 号特大号, 特集: これからの画像処理技術), Vol.9, No.4, pp.1-8 (1998).

- 3) 興水大和: 似顔絵のコンピュータ生成, 映像情報メディア学会誌 (小特集: 人体と顔の画像処理), Vol.51, No.8, pp.1140-1146 (1997).
- 4) 山藤章二 (私信): 主観によるデフォルメ (1998).
- 5) 中川 陽: 似顔絵マシン初の手合わせ, 東京新聞, 夕刊 (1998.3.26).
- 6) 富永将史, 林純一郎, 村上和人, 興水大和: 表情表出過程における動きの似顔絵生成の試み, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-D-II, No.8, pp.1856-1866 (1998).
- 7) 林純一郎, 村上和人, 興水大和: 横顔を用いた似顔絵自動生成システムの実現, *Proc. SII'97*, pp.105-110 (1997).
- 8) 顔特集, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-D-II, No.8 (1997).
- 9) 金子正秀, 長谷川修: 顔画像処理技術とその応用に関する最近の研究動向 (招待), テーマセッション「顔画像処理技術とその応用」, 平成 11 年電気学会電子・情報・システム部門大会 (1999).
- 10) IPA 研究成果: 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.
<http://www.tokyo.image-lab.or.jp/aa/ipa/>
- 11) Blanz, V. and Vetter, T.: A Morphable Model For The Synthesis of 3D Faces, *Proc. SIG-GRAPH'99*, pp.187-194 (1999).
- 12) Fujiwara, T., Nishihara, T., Tominaga, M., Kato, K., Murakami, K. and Koshimizu, H.: On the Detection of Feature Points of 3D Facial Image and Its Application to 3D Facial Caricature, *Proc. 3DIM'99*, pp.490-496 (1999).
- 13) 藤原孝幸, 興水大和, 松本幸則, 藤田悟郎, 石川猶也: 3D モデリングシステムの活用, *VSMM 2000*, ID7-28 (2000).
- 14) Kondo, T., Murakami, K. and Koshimizu, H.: From Coarse to Fine Correspondence of 3-D Facial Images and its Application to 3-D Facial Caricaturing, *Proc. 3DIM'97*, pp.283-288 (1997).
- 15) 日経産業新聞 (2001.5.16).

(平成 13 年 9 月 5 日受付)

(平成 14 年 3 月 8 日採録)

(担当編集委員 日浦 慎作)



藤原 孝幸

1976年生。1999年中京大学情報科学部卒業。2001年中京大学大学院情報科学研究科修士課程修了。現在、同研究科博士後期課程に在籍。2次元、3次元の顔画像処理と顔認識、似顔絵生成システムへの利用の研究に従事。



奥水 大和(正会員)

1948年生。1970年山梨大学工学部電気工学科卒業。1975年名古屋大学大学院博士課程修了。工学博士。その後、名古屋大学工学部助手、名古屋市工業研究所勤務を経て、1986年中京大学教養部教授、1990年同情報科学部教授、1994年同大学院情報科学研究科教授(併任)。画像処理、パターン認識、コンピュータビジョン、視覚の人工知能とそれらの産業応用の研究に従事。電気学会、電子情報通信学会、人工知能学会、計測自動制御学会、日本顔学会、映像情報メディア学会、他各会員。



藤村 恒太

1962年生。1985年神戸大学工学部システム工学科卒業。1987年同大学大学院修士課程修了。同年三洋電機(株)入社。以来、パターン認識、画像解析、3次元モデリングの研究に従事。現在、同社ハイパーメディア研究所・ヒューマンインタフェース研究部主任研究員。電子情報通信学会会員。



藤田 悟朗

1965年生。1988年同志社大学工学部機械工学科卒業。1990年同大学大学院修士課程修了。同年、三洋電機(株)入社。3DCADモデリング技術、射出成形解析技術、光造形応用技術、集塵機の研究開発をへて、3Dモデリング装置の開発に従事。現在、同社メカトロニクス研究所・ロボティクス研究部主任研究員。日本機械学会会員。



野口 孔明

1970年生。1993年東北大学工学部精密工学科卒業。1995年同大学院修士課程修了。光造形応用技術、洗濯機、3次元モデリング技術の企画、研究、開発に従事。現在、三洋電機(株)VB推進室3D・Mプロジェクト主任研究員。



石川 猶也

1961年生。1986年大阪府立大学大学院修士課程修了。同年、三洋電機(株)入社。3次元CAD/CAM/CAEを活用した介護ロボット、ライン検査ロボットの設計、金型解析、光造形応用技術の開発に従事。日本顔学会会員。