

顔の3次元構造特徴を用いた似顔絵作成について

A method for caricatured portrait generation using three-dimensional facial features

島田英之 木村勝己 塩野 充
Hideyuki SHIMADA Katsumi KIMURA Mitsuru SHIONO

岡山理科大学 工学部 電子工学科
Department of Electronic Engineering, Okayama University of Science

Abstract As in ordinary methods for caricatured portrait generation by a computer, a human face is not processed as 3-D object but processed as 2-D image, those methods have two problems. The first is that the output result cannot represent the 3-D features of the person enough. The second is that, the caricatured portrait looked from arbitrary view angles cannot be generated. In this report, we propose a caricatured portrait generating method using 3-D facial features. At first, a 3-D facial model of a person is constructed from front and side surface images, and comparing it with the average facial model, the distorted facial model is generated by emphasizing its features. Finally the caricatured portrait is completed applying the texture mapping technique to the distorted facial model. Experimental result shows that rather good caricatured portraits can be generated using this method.

1. まえがき

1.1 似顔絵作成問題とは

新聞や雑誌などで見かける似顔絵は、その人物の実際の写真と比べて細部が省略されたうえに、時には幾何学的な性質さえ異なるほど変形されている。しかしそれにもかかわらず、巧妙に描かれた似顔絵は写真よりも強く見る者の直観に訴える場合が少なくない。このことより、似顔絵は、画像としてはそう多くない情報量の中に巧みに個人情報に織り込まれている、一種の記号であるといえる。そのため、ある程度本人らしい似顔絵が簡単に得られるならば、個人のアイコンとしてその利用価値は高いと思われる。

また、上述のことがらより、人間は人の顔を単なる画像として記憶しているのではなく、何らかの符号的な圧縮情報に変換して効率よく記憶しているものであり、上手に描かれた似顔絵はその符号に写真よりも近いのではないかという推測も可能である。ゆえに、似顔絵作成問題は、実用面のみならず、人間がどのようにして顔というパターンを符号化し、記憶し、認知しているかという認知科学としての問題にも深く関連していると考えられる。

1.2 顔の3次元構造特徴の重要性

実際の似顔絵については、真正面から描いたものよりも、斜め横から描いたものの方が圧倒的に多く見受けられる。また、写実的な肖像画において、描かれている顔の角度の統計が行われているが、写真が発達する以前の15-19世紀の肖像画には左右の斜め横にピークを持つ分布が見られ[1]、真正面の顔よりも、横顔の情報をも含んだ斜め顔の方が個性の反映の点では有利であることを示している。以上の事実より、正面顔だけでは個人の特徴を表現するには不十分であり、横顔の特徴も含めた顔面の3次元構造(以下、3D顔モデル)の特徴を個人の情報として用いる手法が最も自然かつ有効であると思われる。

1.3 種々の似顔絵作成手法

認知科学の問題に関連して、または実用的な立場から、種々の手法による似顔絵作成システムが提案されている[2-4]。しかし、これらのシステムの多くは、人間の顔の特徴を正面からしか捉えていないため、イラストとしてのバリエーションに限られるだけでなく、作成された似顔絵には個人の特徴の一部分しか反映され得ないという根本的な問題を抱えている。このために、村上らはこの問題の解決策として、複数の角度から撮影した顔画像からそれらに対応する2次元の線画の組を生成し、顔の角度の変化に伴って生ずる顔の各

部品間の隠蔽ルールに基づいて中間的な角度の似顔絵を合成するという手法を提案している[2]。しかし、この手法においても、顔を本来の3次元物体としては扱っていないため、個性の反映や描画角度の自由な変更という問題の本質的な解決には到っていない。

2. 3D顔モデルを用いた似顔絵作成手法

本稿では、上に述べた問題点を改善するために、3D顔モデルを用いた似顔絵作成法を提案する。

全体の処理のフローチャートを図1に示す。本手法は、相澤らによる分析合成符号化符号化[5]などで用いられている手法と共通した枠組みによるものである。

また、特徴強調の手法は種々存在するが、どの手法についても原理的には平均的な顔のパラメータからの

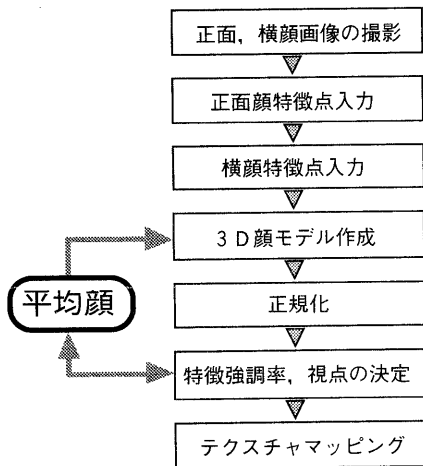
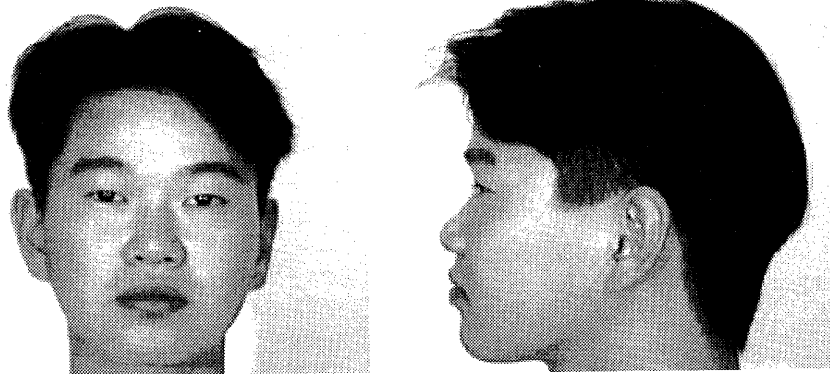


図1 本方式のジェネラルフローチャート



(a) 正面

(b) 側面

図2 正面および側面から撮影した顔画像

差をより拡大するという点で一致している。多数のサンプルから求めた平均顔ベクトルを G 、入力された個人顔ベクトルを P 、特徴強調率を a とすると、特徴強調後の顔ベクトル P' は次式で与えられる。

$$P' = (1 - a)G + aP \quad (1)$$

上式により、 $a=0$ で平均顔ベクトル、 $a=1$ で個人顔ベクトル、 $1 < a$ で特徴強調がなされた顔ベクトルが得られる。ここで、ベクトルにどのような情報を与えるか（例えば、顔の各構成要素の大きさや傾きなど）が問題となるが、本手法では Brennan による手法[3]を単純に3次元に対して拡張し、3D顔モデルの頂点座標列を個人顔ベクトルとして用いている。本手法で用いている3D顔モデルは合計218点の頂点で構成されているため、個人顔ベクトル P は次式で表される。

$$P = (P_1, P_2, \dots, P_{218}) \\ = (x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \dots, x_{218}, y_{218}, z_{218}) \quad (2)$$

2.1 顔画像入力

まず、TVカメラにより正面、側面の各顔画像のサンプリングを行う。画像は横256ドット×縦240ドット、256階調の濃淡画像である。撮影の際には照明を用い、また、のちに行う頭髮領域抽出処理の都合上、背景色は白とする。なお、耳や眉は不自然でない程度に露出してもらう。入力した画像例を図2に示す。

2.2 特徴点入力

次に、双方の画像について定められた特徴点の入力を行う。特徴点の個数は、正面顔、横顔それぞれについて69個、33個であり、図3の配置となっている。

特徴点の入力はマウスを操作して手動で行うが、精度、入力や修正のしやすさなどを考慮し、次の手順によって行われる。

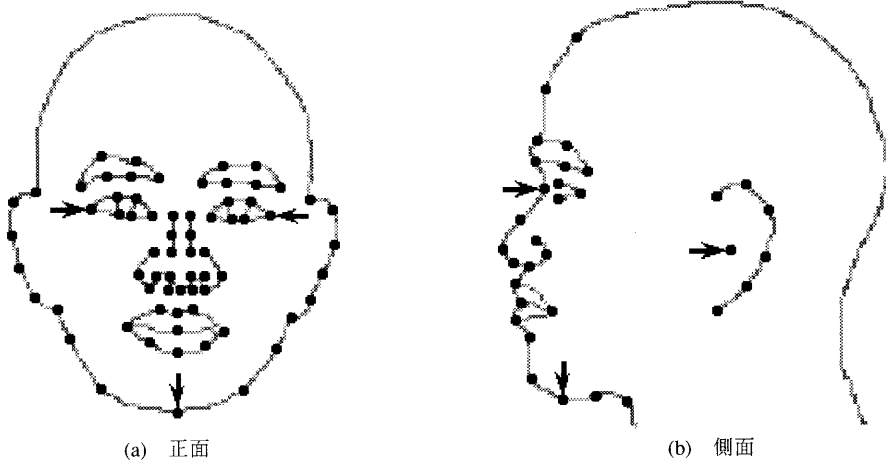


図3 特徴点の位置

- (1) 両目尻と顎の下の点の計3点（図3(a)の矢印の3点）を入力する．この3点に基づいて入力ガイド（平均的な顔の線画）をアフィン変換し，顔画像におおまかに重ね合わせて表示する．
- (2) マウスによる操作で入力ガイド上の特徴点を所定の位置に移動させる．ここでは，特徴点単位の移動と構成要素単位の移動を繰り返して作業を行う．
- (3) 横顔（同図(b)，矢印は同じ意味）についても同じ要領で特徴点の入力を行う．

2.3 個人の3D顔モデルの作成

本手法で用いている3D顔モデルは，頂点数218点，ポリゴン数400個で構成されている．

先に入力された特徴点列を用い，正面顔，横顔についてそれぞれ69元，33元の連立1次方程式を解いて特徴点以外の頂点座標を求める[6]．双方について求められた頂点座標を合成する際，y座標の値は正面顔のものを採用している．

作成された3D顔モデルに対しては，画像撮影時の変動を吸収して他人同士の差を際立たせるために，正規化処理が不可欠である．通常，両目の瞳の中心点など特定の点による正規化がよく用いられるが，顔の中に存在するある特定の点を基準にすることは個性の反映の面で望ましくない．そこで，なるべく顔の全体的特性を用いた正規化処理の手順を以下に述べる．

- (1) 3D顔モデルの全頂点の重心に原点を移動する．
- (2) 顔の垂直2等分線付近に存在する頂点についての慣性の主軸がy軸と平行になるように，原点を中心として全体を回転移動する．
- (3) 最後に，両目尻と鼻の下の点で構成される3角形の面積が一定になるように全体のスケールングを行う．

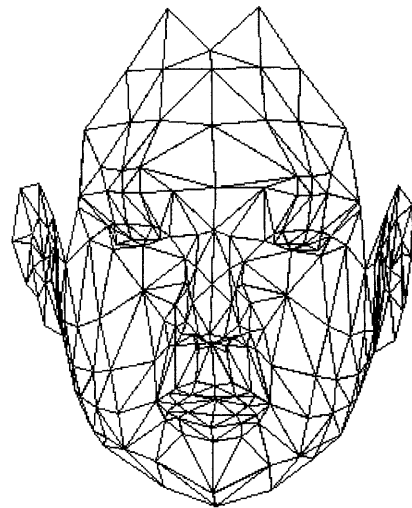


図4 個人3Dモデル例

以上の手順で作成された3D顔モデルの例を図4に示す．

2.4 イラスト作成

イラスト作成処理ではまず最初に，正面顔画像から頭髮領域を抽出する．ここでは，頭髮領域（黒髪とする）が有する性質，すなわち

- (i) 周囲より暗い領域である
 - (ii) 比較的均質な領域である
 - (iii) 画面内を占める面積の比率が大きい領域である
- という性質を利用し，以下のアルゴリズムで2値化の最適しい値 t^* を決定している．ここで， $f_t(x, y)$ は画像 $f(x, y)$ を t で2値化したときの値（実際は0または255）を表すものとする．

$$d(t^*) = \min_{a \leq t < b} d(t) \quad (3)$$

$$d(t) = \sum_x \sum_y f_i(x, y) - \sum_x \sum_y f_{i+\Delta t}(x, y) \quad (4)$$

実際の処理では、 $a=40$ 、 $b=180$ であり、 $\Delta t=20$ で大まかな範囲を推定した後に、 $\Delta t=2$ として最終的なしきい値を決定している。

2値化ののちに、輪郭追跡、輪郭の平滑化などの処理を経て、頭髮領域は黒の閉領域として抽出される。

次に、正面顔について先に入力された特徴点列を3次スプライン曲線で補間し、必要な部分は塗りつぶしを行い、顔のイラストを作成する。また、ほくろ、しわなど、その個人特有の要素は、必要に応じてマウスで加筆する。以上の手順により作成された顔イラストの例を図5に示す。なお、口の横にあるほくろは加筆したものである。また、イラストの作成は現時点では正面顔についてのみである。これは、正面顔と横顔についてのイラストを違和感なく合成することが現時点では困難であるという理由による。

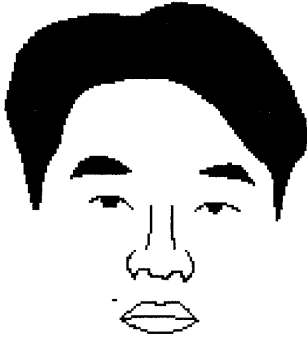


図5 顔イラスト例

2.5 強調率の決定

似顔絵としての表示に先立って、特徴強調率を決定する。錯視の概念の導入による誇張率の制御法が提案されているが[7]、本手法では、顔の全体的な状態を考慮するべきであるという考えから、以下に述べる決定法を用いた。

本手法で用いている3D顔モデルは、218点の3次元座標により構成される。ゆえに、各人の個人顔ベクトルは654次元超空間内に平均顔を中心として分布すると考えることができる。そこで、まず平均顔を原点とし、原点を中心とする半径Rの超球を仮定する。そして、全ての顔ベクトルはこの超球の表面に達するまで延長されるものとする(図6)。

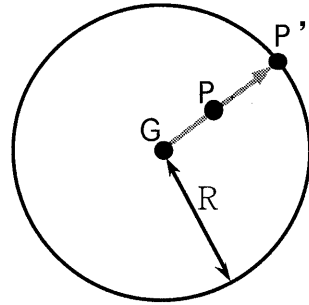


図6 強調率決定法概念図

このために必要な強調率 a' は次式で与えられる。

$$a' = \frac{R}{|P-G|} \quad (5)$$

2.6 視点の決定

さらに、作成された3D顔モデルをどのような視点から眺めるかを決定する。

まず、視点座標は図7のような座標系によって表現するものとする。なお、原点と視点の距離 d は、すでに3D顔モデルのスケールの正規化が行われていることから一定とする。

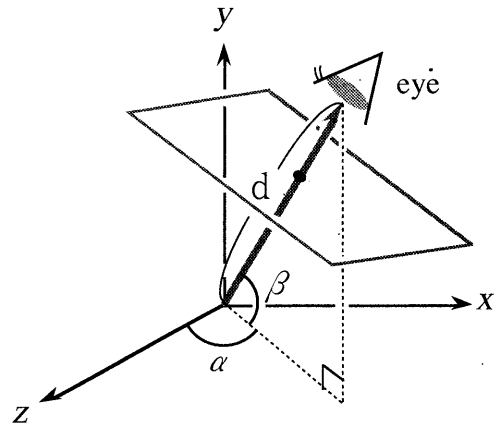


図7 視点を表現するための座標系

3D顔モデルを眺める視点の決定は、「平均顔と個人顔の差が最も際立つ視点」という基準により行う。この問題は、平均顔ベクトルと個人顔ベクトルの差ベクトルをある平面に投影したとき、その分散を最大にする投影面(最良近似面)を求めるという固有値問題に帰着する。以下に、この方法による視点決定の手順を述べる。

(1) 個人顔ベクトルと平均顔ベクトルの差ベクトルについて、顔の前面に重みをつけたベクトル \mathbf{D} を求める。このベクトルは次式で求められる。

$$\mathbf{D}_i = w_i (\mathbf{P}_i - \mathbf{G}_i) \quad (i = 1, 2, \dots, 218) \quad (6)$$

$$w_i = \begin{cases} 0 & \text{when } (\mathbf{P}_i)_z < 0 \\ \frac{(\mathbf{P}_i)_z}{|\mathbf{P}_i|} & \text{when } 0 \leq (\mathbf{P}_i)_z \end{cases} \quad (7)$$

(2) 次式、

$$\tilde{\mathbf{D}}^T \tilde{\mathbf{D}} \mathbf{x} = \lambda \mathbf{x} \quad (8)$$

$$\tilde{\mathbf{D}} = (\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \dots, \mathbf{P}_{218})^T \quad (9)$$

を満たす固有ベクトル \mathbf{x} を求める。

(3) 第1固有ベクトルと第2固有ベクトルによって張られる平面の法線ベクトルを求める。この法線ベクトルの方向が視線と一致するように視点を設定すればよい。 $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2$ がそれぞれ第1, 第2固有ベクトルを表すとすれば、視点を決定するパラメータ α, β は次式で与えられる。

$$\alpha = \arctan \frac{e_x}{e_z} \quad (10)$$

$$\beta = \arctan \frac{e_y}{\sqrt{e_x^2 + e_z^2}} \quad (11)$$

$$(e_x, e_y, e_z) = \text{sign} \{ (\mathbf{x}_1 \times \mathbf{x}_2)_z \} (\mathbf{x}_1 \times \mathbf{x}_2) \quad (12)$$

第1-第3, 第2-第3固有ベクトルの組から得られる視点についても同様の方法で求めることにより、合計3点の視点候補として求められる。

以上で求めた強調率と視点のパラメータを適用した3D顔モデルの例を図8に示す。

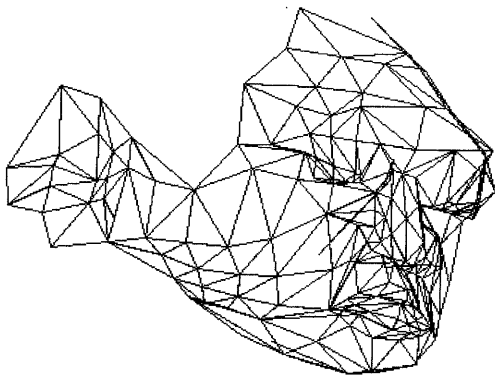


図8 強調率, 視点決定後の3D顔モデル

2.7 テクスチャマッピング

視点などのパラメータが決定した3D顔モデルに対して、2.4で作成されたイラストによるテクスチャマッピング処理を施す。原画像側の3角形ポリゴンの各頂点座標値を $(p_x, p_y), (q_x, q_y), (r_x, r_y)$, 3D顔モデル側の座標値を $(p'_x, p'_y), (q'_x, q'_y), (r'_x, r'_y)$ とし、原画像側の座標値を (x, y) , 3D顔モデル側の座標値を (x', y') とすると、変換式は以下のように表される。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x & q_x & r_x \\ p_y & q_y & r_y \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p'_x & q'_x & r'_x \\ p'_y & q'_y & r'_y \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

なお、頭髮はその多彩な3次元形状の再現が容易ではないため、現時点では生え際をマッピングするのみにとどまっている。

3. 似顔絵作成結果

以上で述べた手順により作成された似顔絵の例を図9に示す。各パラメータは、 $a=3.6, \alpha=-35^\circ, \beta=-11^\circ$ である。また、他の顔画像からの似顔絵作成結果についても、図10に4例示す。

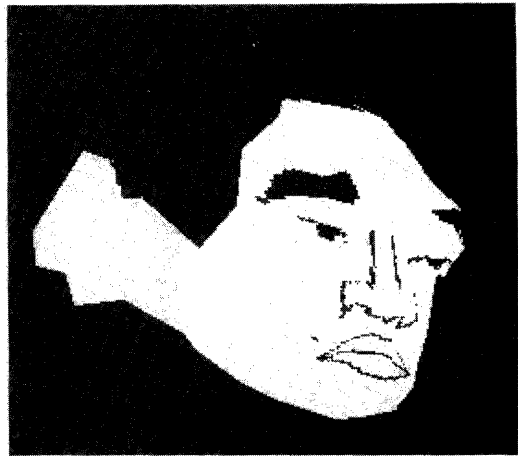
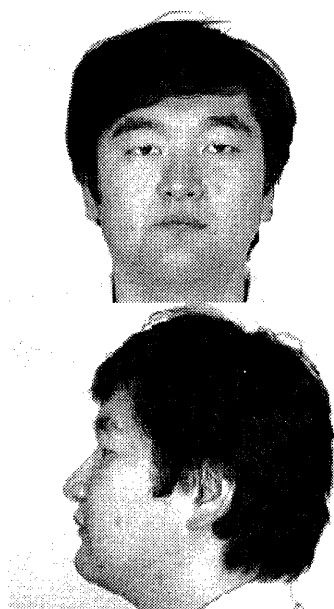
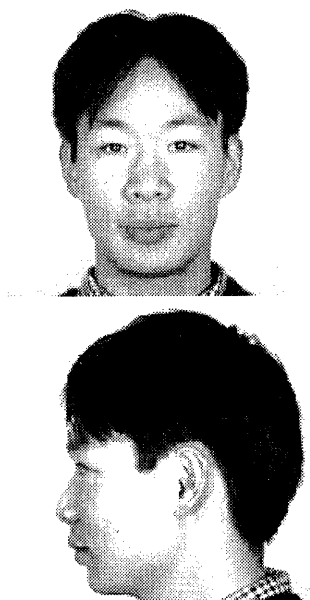


図9 似顔絵作成例

自動的に求められたパラメータが主観と一致しない場合は、オペレータがワイヤフレームモデルの段階でインタラクティブに各パラメータを調節し、マッピングを行うという手順を繰り返す。なお、本システムはX Window System上に構築されており、GUIとしてOSF/Motifを用いている。使用したコンピュータはワークステーションNWS-3860(20 MIPS)である。

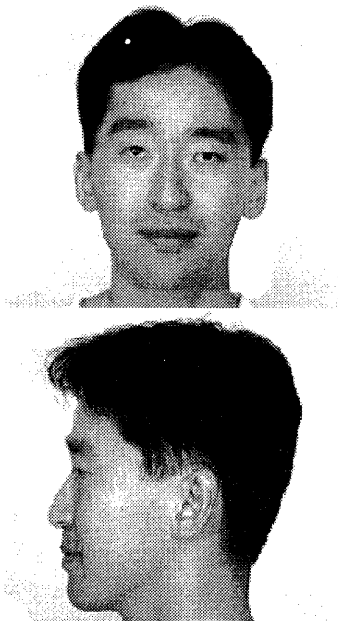


(a) $a=3.6, \alpha=27^\circ, \beta=-6^\circ$

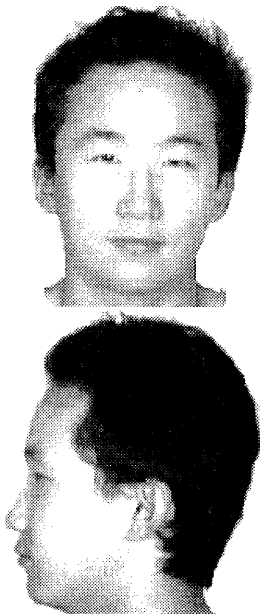


(b) $a=3.6, \alpha=11^\circ, \beta=2^\circ$

图 1 0 似顔絵作成例



(c) $a = 3.5, \alpha = -85^\circ, \beta = 1^\circ$



(d) $a = 3.5, \alpha = 0^\circ, \beta = 3^\circ$

(图 10 似顔絵作成例 続き)

4. 考察

似顔絵が似ているかどうかという評価は見る人の主観に強く依存するので、「似顔絵の出来」について安易に論じることはできない。しかし、あくまでも筆者らの主観の範囲内では、本手法によって同一人物の真正面、斜め横の似顔絵をそれぞれ描いて比較した時には、斜め横からの方が似て見える場合が多かった。また、似顔絵の、イラストとしての完成度については、素人には描くのが相当むずかしいような視点からでも描画が可能となったという点では当初の目的をかなり達成できたと考える。このことは、「イラストの出来」の枠にとどまらず、「似顔絵の出来」に対しても少なからず寄与していると思われる。

本手法では、強調率と視点の自動決定機構によって、あらかじめパラメータを設定することができる。しかし、どちらのパラメータについても、求められたパラメータがあまり適切でないと思われるケースが少なからず発生する。これは、必ずしも主観と一致しないごく単純な基準を用いていることが根本的な原因として考えられるが、その他に、

- (i) 個人顔ベクトルを平均顔ベクトルと比較するまでに、種々の過程で生じる誤差を十分に吸収できていない
- (ii) パラメータ決定の過程で、最終的にイラストとして描画した際に生じる隠蔽が考慮されていないなどの事柄が原因として推測できる。

また、本手法によって描かれた似顔絵の中には、実によく個人の特徴をとらえていると考えられるものと、パラメータをいかに調節しても似顔絵としては不出来な部類に属するものが存在する。同じ処理系においてこのような差が生じる原因として多くのことが考えられるが、本手法においては特に次の2点が大きな原因ではないかと考えられる。

- (i) 個人顔ベクトルが平均顔ベクトルに近いほどその差のベクトルに含まれる誤差の情報の割合は増大するが、そのようなベクトルでも強制的にある超球に達するまで延長される。
- (ii) イラストレータごとに画風が存在するように、本手法においても目や鼻の描き方に独特のくせがあり、対象とする人物によってはそれが不適当な場合がある。

しかし、本手法ではイラストをテキストチャとしてしか扱っていないために、基本的にどのような画風にでも変更可能である。また、テキストチャマッピングの技法の採用により、ほくろやしわなどの加筆に制約がないため、オペレータがシステムの操作に熟達するにしたがって質の高い似顔絵が得られる。これは、似顔絵作成を支援するシステムとしては大変有用な要素ではないかと思われる。

5. むすび

本稿では、3D顔モデルを導入することによる似顔絵作成手法について述べた。そして、実験の結果、

- (i) 個人の顔の3D構造特徴を用いることにより、よりよく個人を表現する似顔絵が作成可能となる
 - (ii) 似顔絵作成に対する3D処理の導入は、イラスト性の向上にとって大変効果的である
- という結果が得られ、本手法で用いた枠組は似顔絵作成と大変相性がよいことが判明した。しかし、現時点では問題も多い。少なくとも、実験の範囲では、
- (i) 個人の3D顔モデルが十分に正規化されていない
 - (ii) 顔をカバーする範囲が狭い、頭髮が十分に再現できないなど、3D顔モデル自体に不備がある
 - (iii) 自動決定された各パラメータはある単純な基準の上での目安にすぎず、必ずしも主観と一致しない
 - (iv) イラストを作成するときの「画風」が、対象とする人物にそぐわない場合がある
- などの問題が明らかとなり、改善が必要と思われる。

[参考文献]

- [1] Alan Baddeley (川幡政道 訳) : "記憶力 - そのしくみとはたらき", p.177, 誠信書房 (1989).
- [2] 村上和人, 中山 晶, 興水大和, 福村晃夫 : "似顔絵師システムPICASSO 一空間次元における任意角度の顔パターンデータの生成一", 信学技報 PRU91-17 (1991).
- [3] S.E.Brennan: "Caricature Generator: The Dynamic Exaggeration of Faces by Computer", LEONARDO, Vol.18, No.3, pp.170-178 (1985).
- [4] 石田 薫, 塩野 充 : "イラスト置換法による似顔絵作成システムの基礎実験", 信学技報 IE88-49, pp.95-102 (1988).
- [5] 相澤清晴, 原島 博, 斎藤隆弘 : "構造モデルを用いた画像の分析合成符号化方式", 信学論 (B-I), J71-B-I, 3, pp.200-207 (1989-03).
- [6] 秋本高明, 末永康仁 : "頭部の正面・側面像と基本3次元形状を用いた顔画像生成手法", 信学技報 PRU88-47 (1988).
- [7] 興水大和, 村上和人, 中山 晶, 福村晃夫 : "錯視を利用した似顔絵変形の自律的制御について", 1991年度人工知能学会全国大会, 15-8 (1991).