

# 加齢による顔の変化の予測画像の生成

島田 英之・西永 正孝・塩野 充・宮垣 嘉也

岡山理科大学工学部情報工学科

(1994年9月30日 受理)

## 1. まえがき

犯罪捜査などのモンタージュシステム、美容整形などのシミュレーションなどでは、顔画像の年齢変更の操作が必要とされる。例えば、モンタージュでは、犯人の若いころの写真から年をとったときの顔画像を合成したり、過去に誘拐された子どもの現在の顔を予測したりする場合に応用するというニーズが考えられる。

しかし、特に応用例を枚挙するまでもなく、顔の属性の何が年齢判断を生じさせるのかについては、興味深い問題として主に心理学の分野でさまざまな議論がなされてきた。その結果、顔から年齢を推定する要因は、

- 顔の輪郭形状
- 顔の目、鼻、口などの各構成要素の位置、形状
- しわの有無

などであると考えられている<sup>1)</sup>。コンピュータによりこれらの要因をシミュレートする方法として、二つのアプローチが提案されている。まず、カージオイド歪みを用いた手法<sup>2)</sup>では、カージオイド歪みという幾何関数を用いて顔の形状に変形を加え、幼年変化を予測するという手法を提案しており、かなり妥当な結果を得ている。一方、形状の変化だけでなく、皮膚の状態についても考慮し、老化にともなって形成されるしわの形状を放物線で近似するという手法も提案されている<sup>3)</sup>。しかし、この方法により作成された予測画像は、しわの形成される位置やしわの形などに不自然さが感じられるため、被験者の個人性が失われる危険性が高いと思われる。これは、老年変化という現象を人間が便宜的に定義したことが原因であると考えられる。

本研究では、年齢変化とともに顔に生ずる実際の現象を、老人の顔から形状成分と皮膚の濃淡成分について独立に抽出し、その情報を普遍的な老年変化の成分とみなして個人の顔の情報に加えるという手法を用いる。この手法によって、各個人の持っている特有の情報（眉、目、鼻、口などの大まかな位置やその形状）をできるだけ損なうことなく、加齢による変化を画像処理的にシミュレートすることを目的とする。

## 2. 顔画像の生成手法

複数の顔画像の合成などの演算を行う場合、当初は両眼の位置が一致するように顔画像の位置を合わせて、画素単位で演算を行うなどの方法が用いられていた。しかし、この方法では鼻、口、顔の輪郭などの位置にずれが生じ、結果として、得られた合成画像はかなりぼけたものになってしまう。そこで、あらかじめ一般的な顔の形状を有するモデル（顔モデル）を用意しておき、この顔モデルにより顔の形状を完全に一致させてから画素単位の演算を行うという、モデルベースの顔画像処理技術が最近ではよく用いられるようになった。以下では、この手法による顔画像処理手順について述べる。

### 2.1 顔の形状情報の取得

まず、カメラにより撮影した顔画像をイメージスキャナによりコンピュータに入力する。この画像は、縦240×横256ドットのモノクロ256階調の濃淡画像に変換される。

次に、顔画像について合計69点の特徴点列をマウスにより指定する。この特徴点列は、入力の際に比較的位置が定めやすく、かつ顔の表現にとって重要と思われる点を選択している。入力は、特徴点列をスプライン曲線により補間した顔の線画（以下、入力ガイドと呼ぶ）を用いて、次の順序により行われる。

- (1) ディスプレイに表示された正面の顔画像について、両目尻と顎の下端の合計3点をマウスにより指定する。この3点が入力ガイド上の対応する3点と一致するように、入力ガイドに Affine 変換を施し、顔画像に重ね合わせて表示する。この時点で、入力ガイドの大まかな位置や形状は顔画像に一致する。
- (2) 入力ガイド上の点を構成要素単位の平行移動により大まかに位置を合わせ、それぞれの構成要素に含まれる特徴点の位置の移動を行う。以下この操作を繰り返し、入力ガイドを顔画像に一致させる。

### 2.2 平均顔モデルのフィッティング

最終的な顔の形状は、あらかじめ用意された平均的な顔モデルを、前節で述べた方法で入力した特徴点によって個人の顔をフィットさせることによって得られる。

前節で説明した要領で取得した個人顔特徴点列をもとに、平均顔モデルの変形を行う。正面顔画像上で入力された69個の特徴点を  $(x_n, y_n)$  ( $n = 1, 2, \dots, 69$ ) とし、平均顔モデル上の対応する点を  $(i_n, j_n)$  とする。両者の間の Affine 変換を行うために最小二乗基準により推定された係数行列を  $A$  とすると、この変換によって  $(x_n, y_n)$  に対して得られた推定値  $(x'_n, y'_n)$  は次式で表すことができる。

$$X' = \phi A \quad (1)$$

ここで、

$$X' = \begin{pmatrix} x'_1 & y'_1 \\ x'_2 & y'_2 \\ \vdots & \vdots \\ x'_{69} & y'_{69} \end{pmatrix}, \quad \phi = \begin{pmatrix} 1 & i'_1 & j'_1 \\ 1 & i'_2 & j'_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & i'_{69} & j'_{69} \end{pmatrix} \quad (2)$$

である。また,

$$X = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ \vdots & \vdots \\ x_{69} & y_{69} \end{pmatrix} \quad (3)$$

として、実際の係数行列は次式によって得られる。

$$A = (\phi^T \phi)^{-1} \phi^T X \quad (4)$$

一次までの近似でとどめた理由は、二次以上の近似を行うと、特徴点と顔モデルの位置はより一致するが、逆に顔モデル全体が好ましくない変形を受けることによる。個人顔特徴点は69点の点列なので、69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。以下にその手順を説明する。

(I) 観測された移動ベクトルは、各特徴点に内在する、陽に得られた移動ベクトルとは異なる移動ベクトル（内部移動ベクトル）の合成の結果生じたものである。

(II) ある頂点の移動ベクトルは、すべての重み付けされた内部ベクトルの和である。

という仮定のもとで、陽に得られた移動ベクトルの位置関係に関する連立1次方程式を解くことによってモデル全体の移動ベクトルを算出する。以下では、次の記号を用いる。実際には、 $M = 218$ ,  $N = 69$  である。

- $G' = \{G'_i \mid i \in 1, 2, \dots, M\}$  : 平均顔モデル頂点列
- $\hat{G}' = \{\hat{G}'_j \mid j \in 1, 2, \dots, N\}$  : 平均顔モデル特徴点列
- $P = \{P_i \mid i \in 1, 2, \dots, M\}$  : 個人顔モデル頂点列
- $\hat{P} = \{\hat{P}_j \mid j \in 1, 2, \dots, N\}$  : 個人顔モデル特徴点列
- $V = \{V_i \mid i \in 1, 2, \dots, M\}$  : 頂点の移動ベクトル
- $\hat{V} = \{\hat{V}_j \mid j \in 1, 2, \dots, N\}$  : 特徴点の移動ベクトル
- $\tilde{V} = \{\tilde{V}_j \mid j \in 1, 2, \dots, N\}$  : 特徴点の内部移動ベクトル

この段階で既知なものは、 $G'$ ,  $\hat{G}'$ ,  $\hat{P}$  のみである。未知のものについては、前述の仮定より次の関係が得られる。

$$P = G' + V \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \sum_{j=1}^N \tilde{V}_j \cdot f(\hat{G}'_1, \hat{G}'_j) \\ V_2 &= \sum_{j=1}^N \tilde{V}_j \cdot f(\hat{G}'_2, \hat{G}'_j) \\ &\vdots \\ V_M &= \sum_{j=1}^N \tilde{V}_j \cdot f(\hat{G}'_M, \hat{G}'_j) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} \hat{V}_1 &= \sum_{j=1}^N \tilde{V}_j \cdot f(\hat{G}_1, \hat{G}_j) \\ \hat{V}_2 &= \sum_{j=1}^N \tilde{V}_j \cdot f(\hat{G}_2, \hat{G}_j) \\ &\vdots \\ \hat{V}_M &= \sum_{j=1}^N \tilde{V}_j \cdot f(\hat{G}_M, \hat{G}_j) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\hat{V} = \hat{P} - \hat{G}' \quad (8)$$

$$\left[ f(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \frac{C}{|\mathbf{X} - \mathbf{Y}| + C} \quad (C: \text{Constant}, 0 < C) \right]$$

上式より，式(7)の連立方程式を解けば  $\tilde{V}$  が得られ，結果的に個人顔モデル  $\mathbf{P}$  が得られる。定数  $C$  は，移動ベクトルから受ける影響の度合いを調整するためのものであり，実験的に定める。

平均顔モデルは実際には3次元空間内で定義されているため，厳密には，さらに奥行き ( $z$  軸方向) 情報が必要である。しかし，現状では，平均顔モデルが持つ奥行き情報を顔の大きさに応じて適当にスケールして用いている。必ずしも厳密ではないが，奥行き情報を与えることによって，あらゆる角度の顔画像を生成することが可能である。

### 2.3 顔モデル正規化

顔の正規化のための基準としては，両目の瞳の中心点などの点がよく用いられる。しかし，個人性が多く含まれると思われる部分を基準にして正規化を行うと，個人情報をおそれがある。そこで，本研究では，なるべく顔の全体的特性を用いた正規化処理を行った。以下に，手順の説明を行う。

#### (1) 位置に関する正規化

個人顔モデルの全頂点の重心に原点を移動する。

#### (2) 大きさに関する正規化

個人顔モデルの両目尻と鼻の下で構成される三角形の面積が，それに対応する基本形状顔モデルの三角形の面積と一致するように全体のスケールを行う。

## (3) 顔の傾きに関する正規化

モーメントにより顔の角度の正規化を行う。正面顔についての左右対称軸付近の点について、慣性の主軸の傾きを求める。 $m_{11}$  を上述の点の集合についての慣性相乗モーメント、 $m_{20}$ 、 $m_{02}$  は同じく  $x$  軸と  $y$  軸まわりの慣性モーメントを表すとすれば、慣性の主軸の傾き  $\theta_0$  は式(9)で求められる<sup>4)</sup>。

$$\theta_0 = \tan^{-1} \frac{2m_{11}}{m_{02} - m_{20}} \quad (9)$$

この軸が  $y$  軸と平行になるように、 $x$  軸と  $z$  軸まわりについて回転移動を行う。

## 2.4 テクスチャマッピング

複数の画像の合成や異なった形状への画像の変換を行う手法として、テクスチャマッピングの手法が用いられる。本実験では、顔画像を顔モデルに張り付ける際に、この技法を頻繁に用いている。以下に処理手順を説明する。

まず、顔画像内の任意の三角形の各頂点座標値を  $P(p_x, p_y)$ 、 $Q(q_x, q_y)$ 、 $R(r_x, r_y)$ 、それに対応する顔モデルの三角形の頂点座標値を  $P'(p'_x, p'_y)$ 、 $Q'(q'_x, q'_y)$ 、 $R'(r'_x, r'_y)$  とし、前者の三角形内の任意の座標値を  $(x, y)$  とし、後者の三角形内の任意の点の座標値を  $(x', y')$  とすると、三角形内部の任意の点の変換は式(10)のような Affine 変換式で表される。各三角形の頂点座標で作成された変換行列 (式(11)) は、頂点を含む三角形内部の全ての点を変換することができる。顔モデルの各三角形ごとに、スキャンラインコンバージョンにより三角形内部に含まれる全ての画素を順に走査し、以下の式に代入することによって、得られた顔画像内の座標点の濃度値と入れ替えを行い画像を作成する。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

ただし、

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_x & q_x & r_x \\ p_y & q_y & r_y \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p'_x & q'_x & r'_x \\ p'_y & q'_y & r'_y \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \quad (11)$$

## 3. 老年変化成分の抽出

前節で述べた顔画像の生成手法では、顔は、

- (1) 形状成分
- (2) 濃淡成分

の2成分からなると仮定した。これらの成分は必ずしも互いに独立してはいないが、人間の顔が、大まかには骨格と皮膚から構成されていることから、ある程度妥当と考えられる。そこで、以下ではそれぞれの成分について、老化に伴って変化する成分の抽出について述

べる。

### 3.1 平均老人顔の作成

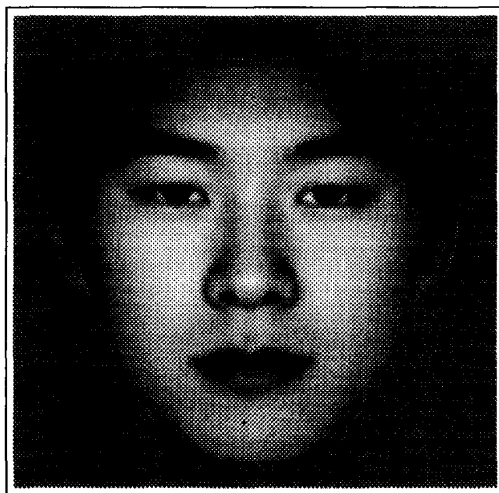
老年変化成分とは即ち、成人からの変化成分である。筆者らは過去に、顔に関する研究の一環として、平均成人顔、つまり、20歳代男性の平均的な顔形状、平均的な皮膚の様子を有する顔画像を作成した。そこで、今回新たに、平均老人顔を作成し、平均成人顔との差分を得ることにより、ある程度普遍的な老年変化成分を求めることができるのではないかと考えた。

平均老人顔は次の手順で作成した。

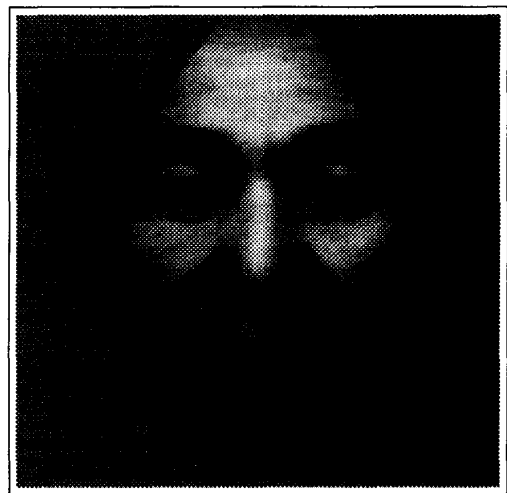
- (1) 老人の正面顔写真を収集する。これらの写真をイメージスキャナでコンピュータに入力し、それぞれの顔の形状情報を取得する。なお、収集した老人の写真は、合計15人、平均年齢59.4歳である。
- (2) それぞれの顔画像から形状情報を取得し、それを平均して平均老人顔モデルを作成する。
- (3) 写真の撮影環境の違いを吸収するために、各顔画像ごとに画像のうちで顔の部分の平均濃度を一定にそろえる。
- (4) 平均老人顔モデルに対し、全ての老人顔画像をマッピングし、画素ごとに濃度値の平均を求める。

### 3.2 老化に伴う形状変化成分の抽出

平均成人顔モデル、平均老人顔モデルはすでにこの時点でそれぞれ正規化されているため、両者のモデルの対応する頂点間の移動量を、老化に伴う形状変化成分として用いる。



(a) 平均成人顔画像



(b) 平均老人顔画像

図1 年代別の平均顔画像

### 3.3 老化に伴う濃淡変化成分の抽出

濃淡変化成分については、

- (1) 平均成人顔モデルと平均老人顔モデルの形状を一致させる。
- (2) それぞれのモデルにテクスチャマッピングを行う。
- (3) テクスチャマッピングされた各画像について HPF を作用させ、低周波成分を除去する。
- (4) 対応する画素間の濃度値の差分を求める。

という手順を用いて抽出する。HPF による低周波成分除去操作は、低周波成分は照明による大域的な雑音を含み、高周波成分は、しわなど老年変化を反映した成分を含むという考



(a) 人物A

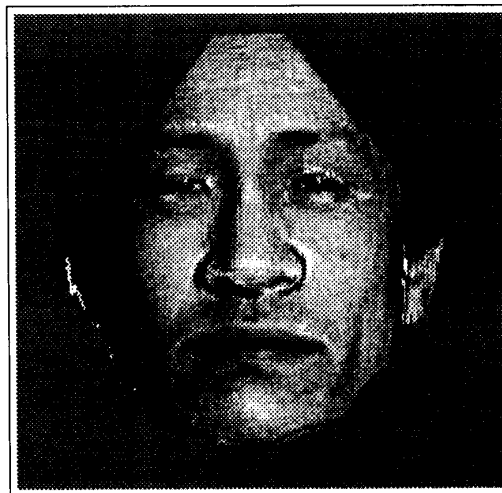


(b) 人物B

図2 成人顔原画像



(a) 人物A



(b) 人物B

図3 加齢による推定顔画像

えによるものである。

#### 4. 予測顔画像生成実験結果

平均成年顔画像, 平均老人顔画像をそれぞれ図 1(a),(b)に示す。また, 図 2(a),(b)に, 20 歳代男性の顔画像を, 図 3(a),(b)に, それぞれの顔の加齢後の予測画像を示す。

予測画像の顔の形状については, 目尻が下がる, 頬が垂れるなどの老人によく見られる特徴が反映されていることがわかる。また, 濃淡情報については, 平均老人顔を構成するサンプル数の不足のために十分に老年変化成分が抽出できているとはいえない, 額, 目尻, 頬などに特徴的なしわが現れている。実際に本手法による加齢の操作が有効であるかを判定するには, 多人数による主観評価を行うことが望ましいが, 少なくとも実験の範囲では, 予測画像は明らかに原画像よりも老人に近い, 本手法は十分に妥当性を有すると考える。

#### 5. ま と め

本実験より, 老化現象を顔の形状, 濃淡の各情報に分けてとらえることにより, ある程度パラメトリックに顔の年齢を変更できるという結論が得られた。しかし,

- 老化を線形な現象として扱っている
- 頭髪の変化が考慮されていない
- 平均老人顔を構成するサンプル数が不足している
- 生活環境などの外的要因が考慮されていない

などの問題のために, パラメータの値は老化の度合と必ずしも比例しない。今後, 多数のサンプルによる主観的評価実験などの結果を反映した手法の開発が望まれる。

#### 参考文献

- 1) 吉川左紀子, 益谷 真, 中村 真: 顔と心—顔の心理学入門—. サイエンス社 (1993).
- 2) L.S. Mark and J.T. Todd: The perception of growth in three dimensions. *Perception and Psychophysics*, **33**, pp. 193-196 (1983).
- 3) 中川雅通, 角 義恭, 登 一生, 前原文雄: 骨格モデルを用いた顔画像の年齢変化. 電子情報通信学会技術研究報告, **HC91-59**, pp. 39-46 (1991).
- 4) 手塚慶一, 北橋忠宏: デジタル画像処理工学. 日刊工業新聞社 (1985).



## Generation of One's Expected Aged Face Image

Hideyuki SHIMADA, Masataka NISHINAGA, Mitsuru SHIONO  
and Yoshiya MIYAGAKI

*Faculty of Engineering,  
Okayama University of Science,  
Ridai-cho 1-1, Okayama 700, Japan*

(Received September 30, 1994)

With the aging of people, the face is suffered slow changes. Therefore it is often difficult to search for the missing child. And this topic is the most interesting one as a topic of the cognitive science. In this paper, we propose a simple method to simulate the aging of the face. First, by adding many faces, two average faces; the younger one and the older one, are generated. Second, the component of aging of the face is extracted from the difference of two average faces. This component consists of the structure component and the texture component. Third, by adding this component to the subject person's face, a face that is simulated the aging is generated. By this model-based method, relatively natural aging is simulated.