

# 印象変換ベクトル法にもとづく顔形状の個人差に応じた変形操作による3次元顔表情の生成

荒井, 雄大 / ARAI, Yudai

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

57

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

5

(発行年 / Year)

2016-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00013088>

# 印象変換ベクトル法にもとづく顔形状の個人差に応じた変形操作による3次元顔表情の生成

GENERATION OF 3D FACIAL EXPRESSIONS BY IMPRESSION TRANSFER VECTOR METHOD  
CONSIDERING INDIVIDUAL DIFFERENCE OF THE FACIAL SHAPE

荒井 雄大

Yudai ARAI

指導教員 赤松 茂

法政大学大学院理工学研究科応用情報工学専攻修士課程

Facial expressions play an important role in all facets of human communication, even in human-machine communications. Morphable 3D face model was introduced by learning from many 3D faces that display various expressions, with which each transformation of the 3D shape is described by changing just a few parameters. Moreover, an impression on personal attributes can be changed by controlling these parameters. In our previous works such parameter transformation suitable to generate facial expressions was proposed by introducing impression transfer vector. We proposed a new method for individually obtaining the transformation of the parameters for each input face on the basis of the positional relationships between the parameters of the input face and the discrimination boundaries defined by Support Vector Machine learning.

**Key Words** : facial expression generation, vector representation of 3D object, principal component analysis, morphable 3D model, dimensionality reduction, support vector machine

## 1. まえがき

特定クラスに属する物体の視覚パターンが示す多様性を少数のパラメータで表現するとともに、そのパラメータを人為的に操作することによってその視覚パターンから多くの観察者が共通して感受する高次の印象を自在に変換するモデルについては、人間のコミュニケーションにおいて重要な働きをする媒体である「顔」という3次元物体の視覚像を対象に、これまで多くの研究がなされてきた[1].

まず、2次元顔画像を形状と濃淡分布(テクスチャ)を表す多次元の特徴ベクトルとに分離して表現し、多数の顔画像から得られた特徴ベクトルに主成分分析を行うことによって、対応する固有値の大きい順に選ばれた上位主成分をパラメータとして顔パターンの多様性を表すことができるモーフィングモデルが提唱された[2].

さらに顔を3次元計測して得られた形状とテクスチャを表す特徴ベクトルにこの手法を適用することによって、顔のモーフィングモデルは3次元に拡張された[3].

本研究室では、このモーフィングモデルで定義された低次元のパラメータ空間において、2クラス間のパターン分類を定めるFisher線形判別法にもとづいて印象変換ベクトルを定義し、2次元顔画像に対して、性差など相対する2つの属性に関する印象の間で変換する手法を提案した[4]. さらにこれを顔の3次元モーフィングモデルに適

用し、顔がもつ3次元的な特徴を操作することで、性差などの人物属性の印象を変換する試み[5]を行うとともに、その発展形として任意の入力顔に対する印象変換の自動化を目指し、入力顔の3次元形状と3次元モーフィングモデルとの位置あわせによる対応付けにICPアルゴリズムを用いて自動化する試み[6]も行っている. これと並行して、多数の観察者によって顔画像から感受される「品性」に代表される高次の視覚的印象に対しSD法を用いて主観評定した結果から、印象変換ベクトル法を顔パターンの高次印象の変換に適用する試み[7]についても良好な結果が得られている.

これらの先行研究を踏まえて、本研究では、車のボディ形状という人工造形物に適用するだけでなく、顔形状に対して先行研究[8]で試みたように、多数の観察者の共通の感性としての視覚的な高次印象にもとづいて、3次元形状のデザインを行う手法[9]に寄与することを目指す基礎検討とSVMを用いた新たな印象変換手法の提案を行うことにした.

## 2. 実験方法

### (1) 3次元顔画像点群データの取得

NECエンジニアリング社製の3次元レンジファインダDanae-Rを用いて、10代後半~20代前半の大学生および大学院生40名の7種類の表情(真顔, 閉口笑顔, 開口

笑顔, a, i, u, o の各発話表情) を撮影し, 3次元顔表情データベースの構築を行った.

### (2) 正規化処理

3次元顔データは, 撮影された画素の位置座標 XYZ と, その画素が持つ RGB 値を持つ点群データとして表現される. 撮影した 3次元顔データは, 測定点数と向き・傾きが人物や表情毎に異なっているため, 特徴点に基づく正規化処理[8][10]を適用し, 意味対応付けを行った.

### (3) 主成分分析

7種類の各表情について, 特徴ベクトル  $\mathbf{X}_m$  を求め, 無表情顔の平均からの差分ベクトル  $\mathbf{S}_m$  を求める. 続いて各表情についての  $\mathbf{S}_m$  から共分散行列を求め, その固有値が大きいものから順に対応する固有ベクトルを並べた正規直交基底  $\mathbf{U}_k (k = 1, 2, \dots, K \leq 7)$  を求める. この  $\mathbf{U}_k$  を用いて各  $\mathbf{S}_m$  と全差分ベクトルの平均ベクトル  $\bar{\mathbf{S}}$  の差を式(1)により K次元の主成分空間に投影することによって,  $\mathbf{S}_m$  は K個のパラメータ  $f_{m,k} (k = 1, 2, \dots, K)$  で表現される.

$$f_{m,k} = \mathbf{U}_k^t \cdot (\mathbf{S}_m - \bar{\mathbf{S}}) \quad (1)$$

### (4) 印象変換ベクトル法による印象変換

従来研究[4][5]では, Fisher の線形判別法を相反する印象を与える 2つの顔のサンプル集合に適用し, 2クラスを最適に分離する射影軸の方向を示す単位ベクトルを印象変換ベクトルと名付け, 相反する印象間の変換に利用した. 任意の入力顔から得られる主成分パラメータ  $\mathbf{f}$  に対して, 2つのクラスに分類するために最適な射影軸に射影する Fisher の線形判別関数を式(2)によって求める.

$$\mathbf{y} = \mathbf{e}^t \mathbf{f} \quad (2)$$

このとき  $\mathbf{e}$  は射影軸の方向を表す単位ベクトルであって, これは K次元に次元圧縮されたパラメータ空間において, 2つのクラスとして与えられた印象の違いを 1次元近似で表現するものと考えられる. そこで, 入力された顔パターンの形状を, このベクトル  $\mathbf{e}$  が示す方向に変位させることによって, 当該パターンが与える印象を, 2つのクラスとして設定された, 相反する印象のいずれかに近づけるように変換する(式3).

$$\hat{\mathbf{f}}_m = \mathbf{f}_m + q_c \delta \cdot \mathbf{e} \quad (3)$$

ここで  $\delta$  は k次元パラメータ空間上の目的表情クラスの平均ベクトルと, 無表情のクラスの平均ベクトルの距離を定数で割って求まる重み係数であり,  $q_c$  は先に求めた  $\delta$  を基準に定めた印象変換ベクトルに対する重み係数である. 本実験では, これを相反する表情の持つ固有の特徴を任

意の強度に操作するために使用した. 図1のように, 入力顔パラメータ  $\mathbf{f}$  は変換後パラメータ  $\hat{\mathbf{f}}$  へと変換される.

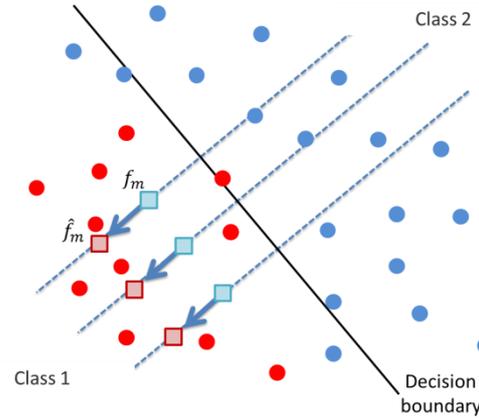


図1. Fisher の線形判別を用いた印象変換ベクトル法

### (5) SVM を用いた印象変換ベクトル法

Fisher の線形判別分析を用いた手法では, 学習データとして用いるデータ群から印象変換ベクトルを求めている. 一方で, 入力顔の違いを考慮しておらず, 丸顔や面長など多様な入力顔パターンであっても, 全て同じ方向の印象変換ベクトルが割り当てられてしまうことに問題があると指摘されていた. そこで本手法では, サポートベクタマシン(SVM)[11]によって求まるサポートベクトルをもとに, 入力顔に近い顔パターンを選んで用いることで, 入力顔ごとに異なる印象変換ベクトルを割り当てる手法を考案した. SVMを用いた印象変換ベクトル法によって, 図2に示すような変換が可能となった.

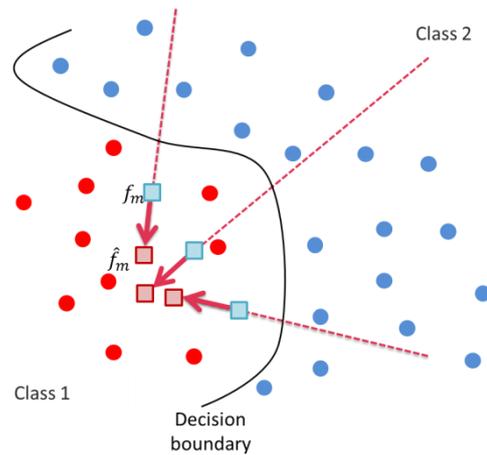


図2. SVM を用いた印象変換ベクトル法

SVM については, 台湾国立大学の Lin らにより作成されたライブラリ libSVM を使用した. 正の教師データには目的表情(強度を高めた表情), 負の教師データにはそれと相反する印象をもつ表情を当てはめて学習させ, RBF カーネルにより識別モデルを生成した. このとき得

られたサポートベクタのうち、入力顔と同じクラスに所属するサポートベクタ群を $\eta$ 、それと相反するクラスに所属するサポートベクタ群を $\zeta$ として定義する。

まず、 $\eta$ のうち、入力顔に近い任意の $n$ 点のサポートベクトルを選出し、その重心ベクトル $\bar{\eta}$ を導出する。さらに $\zeta$ のうち、 $\bar{\eta}$ から近い $m$ 点のサポートベクトルを選出、同様に重心ベクトル $\bar{\zeta}$ を定義する。これらを結び、ノルムを正規化する式4により、印象変換ベクトルを再定義した。

$$\mathbf{e} = \bar{\zeta} - \bar{\eta} \quad (4)$$

また、これらの過程で得られる印象変換ベクトルを、視覚的に分かりやすいモデルを用いて図示したものを図3に示す。

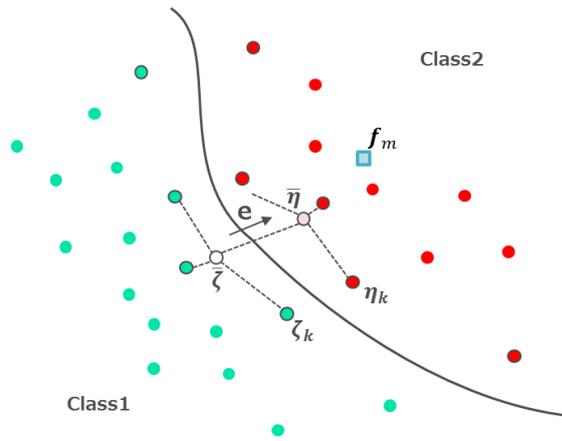


図3. 簡単なモデルを用いた印象変換ベクトルの定義例

### (6) 新規人物の表情生成

変換した主成分パラメータ $\hat{f}_m$ と、正規直交基底 $\mathbf{U}$ の線形和を取り、各表情の差分平均 $\bar{\mathbf{S}}$ との和によって無表情から任意の表情 $m$ への表情変化をあらゆる変位ベクトルを復元する。これを無表情顔 $\mathbf{X}_{neutral}$ に足しこむことにより、新規人物の表情 $\hat{\mathbf{X}}_m$ を生成する(式5)。

$$\hat{\mathbf{X}}_m = \mathbf{X}_{neutral} + \{\bar{\mathbf{S}} + \sum_{k=1}^K \hat{f}_{m,k} \cdot \mathbf{U}_k\} \quad (5)$$

## 3. 実験結果

### (1) 二次元顔画像に対する印象変換

提案手法が様々な顔を持った真顔画像において、顔形に応じた印象変換ベクトルが適切に割り当てられ、生成された表情顔が妥当なものとして知覚され得るかを調べるため、一対比較法による主観評定実験を行った。

はじめに、二次元真顔画像(男性12名、女性12名)を用いた簡単な実験を行った。人の顔形は概ね4.5のパターンに大別できるとした化粧顔分野の知見をもとに、目視で顔形状が大きく異なる4名の顔を選択した。選ばれた人物の真顔a~dを図4に示す。

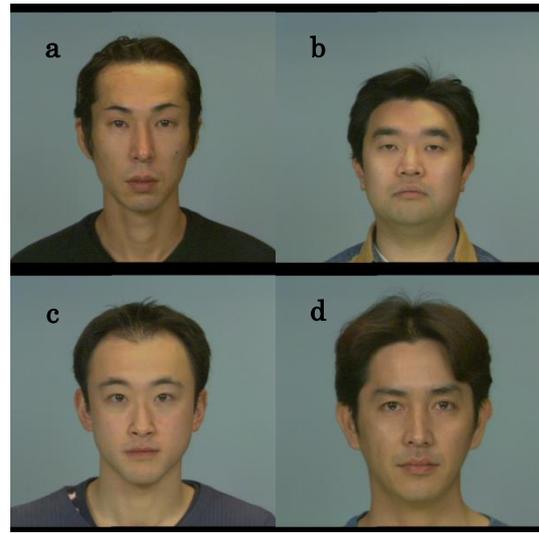


図4. 人物a~dの二次元真顔画像

また、Fisher法、SVM法の2手法を用いて各画像のパラメータ変換を行い生成した表情「怒り」を図5、図6に示す。Fisher法では主に目の部分が崩れてしまっているのに対し、SVM法はある程度元の人物の顔形状を保存した変換がなされているように見える。



図5. a~dに対してFisher法を適用した「怒り」



図6. a~dに対してSVM法を適用した「怒り」

これらを提示する主観評定実験によって、「より自然に、その表情らしく見えるもの」を9名の被験者を選択してもらった。得られた心理尺度値を図7に示す。なお、本実験では重み係数の違いが実験結果に影響するかを調べる意味も兼ねて、2段階に重みを分けて設定した。

二重線が重み係数1.4のFisher法、二重線(破線)が重み係数1.2のFisher法、実線が重み係数1.4のSVM法、実線(破線)が重み係数1.2のSVM法である。

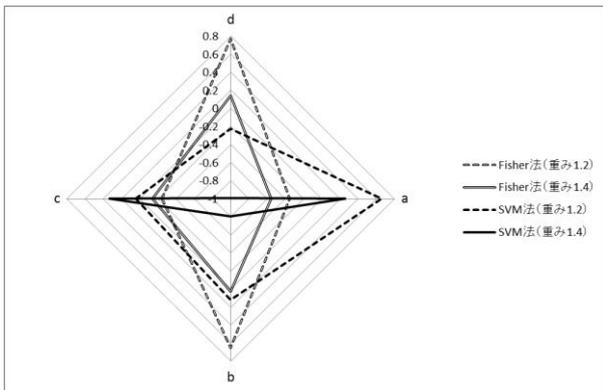


図 7. 「怒り」における心理尺度比較

## (2) 三次元顔画像に対する印象変換

本手法が三次元顔画像においても有効であるかの検証も行った。三次元の入力顔については、より厳密な選定を行った。教師データとして用いた顔形状とは別に 51 名 (男性 30 名, 女性 21 名) の真顔を用意し, その顔形状に対して同様に正規化処理, 主成分分析を施し特徴ベクトルを取得した。得られた特徴ベクトルを **k-means** 法によって 4 つのグループに分け, 各グループ内のサンプルのうち, 主成分空間上の原点から最もユークリッド距離の大きい 4 名分の真顔を表情生成対象とした(図 8)。

それぞれの顔の特徴から, 面長は人物 A, 丸顔は人物 B, ホームベース型は人物 C, 逆三角型は人物 D と呼ぶことにする。実験に用いる表情は笑顔 2 種に限定した。

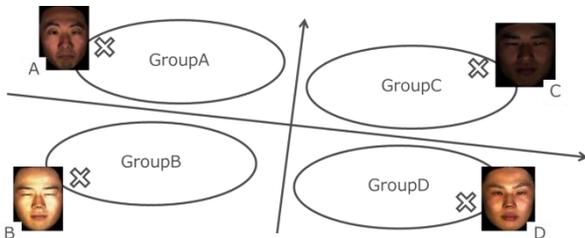


図 8 人物 A~D の 3 次元真顔画像

これら 4 名の真顔に対し, **Fisher 法**, **SVM 法** それぞれを適用してパラメータ操作を行った表情顔と, パラメータ操作を行わずに生成した表情顔の 3 パターンをランダムに一つずつフォーム上に提示し, もっともその表情らしく見えるものを被験者 15 名に選択してもらった。そのとき得られた結果を示す。(図 9, 10)

なお, 赤線がパラメータ変換なし, 青線が **Fisher 法**, 緑線が **SVM 法** による表情顔の心理尺度値であり, 一巡三角問題を考慮して, 該当するデータについては除外してある。

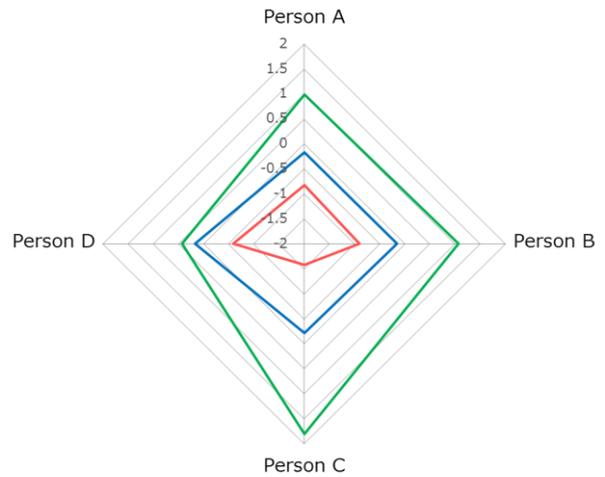


図 9. 開口笑顔における心理尺度比較

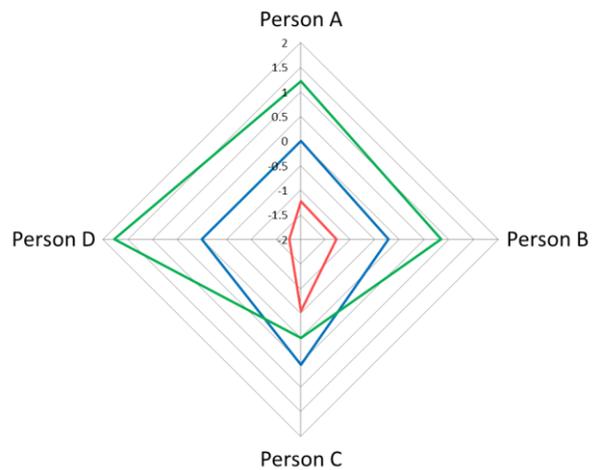


図 10. 閉口笑顔における心理尺度比較

#### 4. 考察

二次元画像においては、Fisher 法と SVM 法で得意な顔形が分かれる結果となってしまう。SVM であまり良好な評価値が得られなかった三角型と丸顔については、近年は主にアニメなどでデフォルメされた表情に見慣れている人が多いため、Fisher 法のように大きく顔形が崩れてしまった方が、むしろ自然と認識されてしまったために、このような評価につながってしまったと考えられる。一方で奥行データも用いた 3 次元変換では良好な結果が得られており、提案手法によって生成した表情は概ね自然で認識しやすいということが数値で示されたと言える。3 次元画像では、SVM 法によって生成された顔画像と他の手法によって生成された顔画像を比較すると、他の手法と比較して笑顔固有の「目を細める」「口角を上げる」など細部の特徴が際立っていることがわかった。

また、従来の手法では教師データとして登録した表情すべてを基に表情を生成していたため、たとえば顔の小さい人や顔の大きい人の間でも同等の変換がなされてしまい、入力真顔データによっては形状が大きく崩れ、不自然な表情になってしまうケースがあったと報告されていた。しかし提案手法により生成された顔表情は、サポートベクタとして選ばれた代表点のみから印象変換ベクトルを定義しているため、変換前の顔形と近い表出パターンだけが使われている。印象変換によって入力真顔データがパラメータ空間を移動した距離は同じであっても、より顔形に近い人物の表出パターンの方向へとパラメータが変換されていることも、良好な心理評価値が得られた理由の一つであると考えている。図 11 に提案手法によって生成された三次元笑顔（正面）の例を示す。

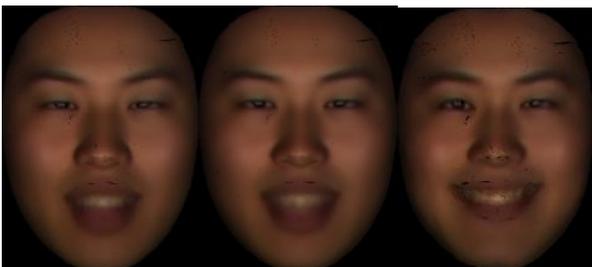


図 11. パラメータ操作なし，Fisher 法，SVM 法の比較

#### 参考文献

- [1] V.Bruce. Recognizing Faces. London : Lawrence Erlbaum Assoc., 1988.
- [2] T.Vetter. and N.Troje. A separated linear shape and texture space for modeling two-dimensional images of human faces. s.l. : Max-Planck-Institute fur biologische Kybernetik, TR, No. 15, 1995.
- [3] V.Blanz , T.Vetter. Face Recognition Based on Fitting a 3D Morphable Model. : IEEE Trans. PAMI, vol. 25, no. 9, Sept. 2003.
- [4] 小林敏和, ほか. 形状とテクスチャの特徴空間における線形判別関数を用いた顔イメージの生成 - 年齢・性差に関する印象変換の試み -. : 日本顔学会誌, vol.4, no.1, pp.33-44, Sept. 2004.
- [5] Okada, Y., et al. Automatic Impression Transformation of Faces in 3D Shape -A Perceptual Comparison with Processing on 2D Images-. : Proc. of 7th IEEE Intl. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition, pp.535-540, April 2006.
- [6] 岡田裕也, ほか. 3 次元顔モーフィングモデルの自動生成と顔の印象変換への応用. : 日本顔学会誌, 第 7 巻, 第 1 号, pp.111-120, Sep. 2007.
- [7] Sakurai, T., et al. Automatic Face Image Generation System for Higher-Order Impression Transformation. : Proc. of IWAIT2007, pp.572-577, Jan. 2007.
- [8] 稲葉善典, ほか. 3 次元モーフィングモデルを用いた視覚的印象にもとづく 3 次元造形物デザインの試み. : 信学技報 HIP2007-168, pp.53-59, March. 2008.
- [9] D.Beymer. and T.Poggio. Image Representation for Visual Learning. s.l. : Science, Vol. 272, pp. 1905-1909, 28 June 1996.
- [10] 天木毬江, 渡邊ちさ, 永田俊介, 山本俊太, 稲葉善典, 赤松茂, “多数の表情顔の 3D 形状に対する主成分分析に基づいた新規人物の表情生成の試み.” HCG シンポジウム 2012 2012-12
- [11] 津田宏治, “サポートベクタマシンとは何か,” 電子情報通信学会論文誌 Vol. 83, No. 6, pp. 460-466, 2000-6

#### 謝辞

本研究に際して日頃からご指導を頂いた赤松茂 教授に深く御礼申し上げます。また、本研究に共同研究者として協力して頂いた理工学部 4 年の山口春菜さん，理工学研究科 1 年の堀井和也君を始めとする赤松研究室の皆様，そして実験を快く引き受けてくださった関係者の皆様に感謝いたします。