

### カラー画像処理と部分空間類別法を用いた シーン中の顔検出：画像処理ソフトウェア HALCONによるシステムの構築

AKAMATSU, Shigeru / 赤松, 茂 / 真壁, 弘樹 / 関口, 利彦 /  
小谷, 秀輝 / MAKABE, Hiroki / SEKIGUCHI, Toshihiko /  
KOTANI, Hideki

---

(出版者 / Publisher)

電子情報通信学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解 / 電子情報  
通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解

(号 / Number)

737

(開始ページ / Start Page)

133

(終了ページ / End Page)

138

(発行年 / Year)

2004-03-11

## カラー画像処理と部分空間類別法を用いたシーン中の顔検出

### — 画像処理ソフトウェア HALCON によるシステムの構築 —

小谷秀輝<sup>†</sup>・関口利彦<sup>†</sup>・真壁弘樹<sup>‡</sup>・赤松茂<sup>†‡</sup>

<sup>†</sup>法政大学工学部システム制御工学科, <sup>‡</sup>法政大学大学院工学研究科システム工学専攻

〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2

E-mail: <sup>‡</sup> {i03r6125,akamatsu}@k.hosei.ac.jp

あらまし シーン中から顔を検出する方法として、まず、カラー画像の領域分割処理によって顔面内部に位置する左右の目と唇の候補を多数抽出した後、それら3つの特徴点を基準としたアフィン変換で切り出される矩形領域の濃淡画像が顔パターンとみなしうるか否かを部分空間類別法を用いて判定する方法をとりあげた。カラー画像処理については画像処理ソフトウェア HALCON を使用して入力画像から顔を自動的に検出するシステムを構築し、さまざまな画像入力条件のもとでのそのシステムによる顔検出の安定性を評価した。

キーワード 顔の認識, 顔検出, カラー画像処理, 部分空間類別法, 画像処理ソフトウェア

## Face extraction from scene images using color image segmentation and sub-space classification method

### — System implementation using image processing software HALCON —

Hideki KOTANI<sup>†</sup> Toshihiko SEKIGUCHI<sup>†</sup> Hiroki MAKABE<sup>‡</sup> and Shigeru AKAMATSU<sup>†‡</sup>

<sup>†</sup> <sup>‡</sup> Department of System Control of Engineering, Hosei University

3-7-2, Kajino-cho, Koganei-shi, Tokyo, 184-8584 Japan

E-mail: <sup>‡</sup> {i03r6125,akamatsu}@k.hosei.ac.jp

**Abstract** This paper proposes a scheme that offers robust extraction of the face image in standard view, which is defined using internal facial features as steady reference points. The scheme is characterized by two steps: facial feature detection using color image segmentation, and target image selection from among the candidates using the sub-space classification method. And HALCON Developer's Kit is used to integrate 2 steps. The scheme's flexibility has been confirmed in experiments under a wide range of image acquisition conditions.

**Keyword** Face recognition, Face detection, Color image processing, Sub-space classification method, Image processing software

## 1. まえがき

コンピュータによる顔の認識をセキュリティ、画像検索、ヒューマンインタフェース、知能ロボットなどの応用に役立てていくためには、顔パターンが表しているさまざまな高次の情報（その人物が誰であるか、どのような表情をしているかなど）を抽出・照合する過程に先立つ前処理として、シーン中に存在する人物の顔を自動的に検出してその正確な位置や姿勢を決定する過程が必要である。

2次元画像から人物の顔を検出する手がかりとして、主として、動き、色、形状の3つの情報が考えられる。（この他に距離画像などから得られるシーンの3次元の情報も人物というターゲットの検出に利用できる。）それぞれの手がかりには得失があり、これらを単独、もしくは複数で組み合わせて使用することによって、シーン中の顔を検出し、位置・姿勢を求め、さらには追跡するという手法やシステムに関して、これまでに多くの研究が行われている<sup>[1][2][3]</sup>。

個人識別や表情認識など顔を対象とした高次の認識処理には、シーン中の顔をただ“検出”するだけでは不十分で、顔の正確な位置決めと姿勢の計測によって、顔パターンの正規化処理を行う必要がある。それには目や口など、顔に共通して存在する内部造作を基準に、顔パターンの位置決めを行う方法が有効と思われる。しかし、実環境のもとで撮影された顔画像に対して、これらの造作の特徴点を精度良く一意に決定することは、画像処理技術の進歩をもってしても決して容易なことではない。正しくない特徴点の誤抽出を防止するためには、特徴点を満たすべき条件を厳しく設定する必要があるが、そうすると今度は正しい特徴点を取りこぼす可能性が避けられない。こうした問題を克服するために第4筆者は以前、ボトムアップ処理とトップダウン処理の組み合わせによって、特徴点抽出の曖昧さを除去する方法を提案している<sup>[4]</sup>。これは、色情報を用いた画像の領域分割によってまず顔の造作の特徴点の候補となる小領域を抽出し、それらを切り出しの基準点とすることで抽出される矩形領域の画像の中から、もっとも顔パターンらしいと判定されるものを部分空間類別法を用いたクラス分類によって選び出すというものであった。

本報告では、顔検出のための基本的戦略として前記の手法を踏襲しつつ、カラー画像から顔の造作の特徴点候補を抽出する過程のアルゴリズムに改善を加えるとともに、ドイツMVTec社の画像処理ソフトウェアHALCON<sup>[5]</sup>を用いてそのプログラムを開発し、シーン中の顔を自動検出するシステムをPC上に実装した。そして、実験室内でとくに制約を設けない条件で撮影したシーン画像から複数の顔を検出する性能について評価を行うとともに、顔の姿勢や表情の変化に対する顔検出の安定性についての評価を行った結果について紹介するものである。

## 2. シーン中の顔検出アルゴリズム

### 2.1.全体の戦略

顔画像から左右の目と口を基準点として顔領域を定義する。このときの基準点の取り方を以下に示す。

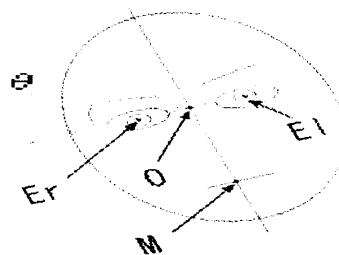


図1 左目 (E1)・右目 (Er) と口 (M) の基準点

図1で示すように、左目 (E1)、右目 (Er)、口 (M) を3つの基準点とする。次にシーン画像中から3つの基準点である左右の目と口の候補領域の抽出をする際に、カラー情報による画像の領域分割を採用する。しかし、ここでは、「顔領域」とともに、「顔領域」として誤った非顔画像が抽出される。以下に正しい顔領域と誤った顔領域の例を示す。



図2 正しい例と、誤って鼻を左右の目として抽出してしまった例

カラー情報による画像の領域分割により、図2のような候補がいくつも与えられる。この候補に対して、真の顔領域と非顔領域の判定を行うために部分空間類別法を採用し、顔検出を行う。

### 2.2.カラー画像の領域分割による基準点候補の抽出

画像の色情報を用いて領域分割を行い、顔面とその内部に位置する口と目の候補を網羅的に抽出する。その抽出の流れを図3に示す。口の候補領域と目の候補領域はそれぞれ別々に抽出した。

まず、カラー入力画像から色空間の変換を行う。口の候補領域の抽出はRGB空間から $yiq$ 空間に、目の候補領域の抽出はRGB空間から $i1i2i3$ 空間に変換する。そして口の候補領域は $yiq$ 空間の $q$ 成分を、目の候補領域は $i1i2i3$ 空間の $i2$ 成分をそれぞれの領域抽出に用いる。これはHALCONが変換できる色空間のなかでそれぞれの領域を最も効果的に抽出できる色空間の成分であった。

カラー入力画像		
抽出過程	口の候補領域の抽出	目の候補領域の抽出
① 色空間の変換	RGB空間→yiq空間 	RGB空間→i1i2i3空間 
② 閾値処理	閾値処理した画像の一部 	閾値処理した画像の一部 
③ 中間処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ オープニング処理・クロージング処理</li> <li>■ 面積値などを用いた領域の選択 など</li> </ul>	
④ 領域の抽出	口の候補領域の抽出完了 	目の候補領域の抽出 
⑤ 目の領域のノイズ除去	顔の外側のノイズ除去の準備。 	
⑥ 図形データの取得	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 面積</li> <li>■ 重心の行列座標 など</li> </ul>	
⑦ 図形データの出力	⑥で得られたデータをExcelのファイルに出力した。	

図3 口・目の候補領域抽出の流れ

次に、各成分の閾値処理を複数通り行う。これは様々な入力画像に対応させるためである。口の候補領域の抽出は 10 通り、目の候補領域の抽出は 26 通りの閾値処理を行った。そして、閾値処理した画像をそれぞれにオープニング処理などを行い細かなノイズを除去した。そして領域ごとに足し合わせる。ここまでで口の候補領域の抽出は完了する。目の候補領域についてはさらにノイズの除去を行う。

次に、目の候補領域のノイズを除去するために、口の候補領域を顔大に拡大し、その外側のノイズを除去する事とした。口の候補領域の面積値により拡大率を変えることによって様々な顔の大きさに対応させた。これにより目の候補領域の抽出は完了する。

最後に、抽出された口・目の候補領域の図形データを取得しファイルに出力する。取得する図形データは、図形番号・面積・重心行列座標・領域を楕円領域と見たときの重心行列座標と傾き・領域を座標軸に平行な矩形領域と見たときの左上と右下の行列座標である。

### 2.3.基準点の組み合わせによる顔候補領域の切り出し

2.2 において出力された口・目の候補領域のデータを用いて、口の候補領域 1 点と目の候補領域 2 点（左右の目の候補領域）の組み合わせを求める。この組み合わせが顔の候補領域を定める。顔の候補領域として出力されるデータは口・目の候補領域計 3 点の重心行列座標とした。

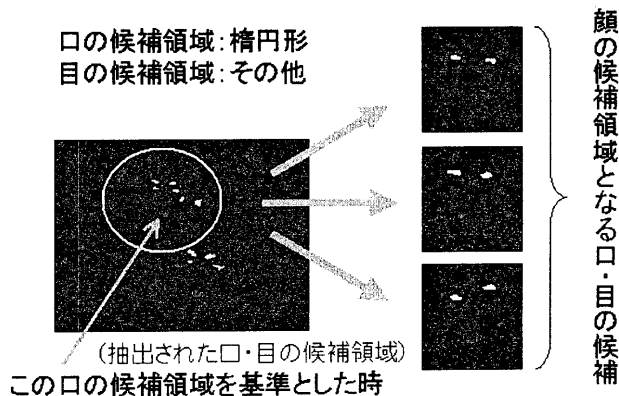


図4 顔候補領域の出力

図4に顔候補領域の出力の様子を示す。このように、1点の口の候補領域を基準として数通りの顔の候補領域が出力される。だが、その際には正解の顔領域を落とさずに、顔以外の領域（ノイズ）をなるべく少なく出力するようにする事が望ましい。そのため、「目は口より上にある」といった顔の特徴を用いて顔の候補領域を求めた。

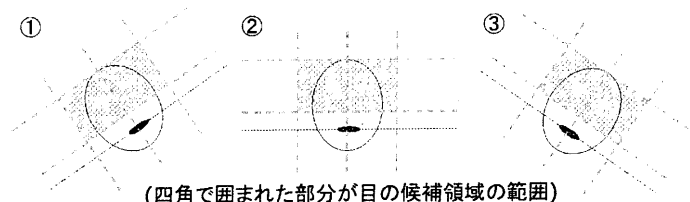


図5 目の候補領域の絞り込み

図5のように口の候補領域を基準として、その傾きや面積値などを考慮しながら目の候補領域を絞り込んだ。

次に、絞り込んだ候補領域に対して、それぞれの候補の位置、大きさを同じにし、左右の目の候補の傾きを水平にし、

画像を 128×128pixel に切り取り，モノクロ画像にする．以上を前処理と言う．図 6 に前処理の例を示す．

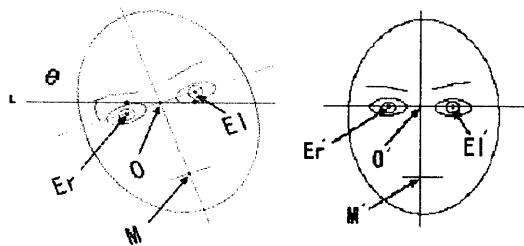


図 6 前処理

図 6 の左側が前処理前で，右が前処理後の画像である．

### 2.4. 切り出された濃淡画像の顔らしさの判定 — 部分空間類別法の応用 —

予め多数の顔画像を用いて，抽出された濃淡画像が顔を表している場合に満足すべき部分空間の数学的な表現を求めておく． $M$  個の顔画像が  $N$  次元の濃淡値ベクトル  $\mathbf{X}_m : m = 1, 2, \dots, M$  で表されているとき， $L$  次元の部分空間はこのサンプル集合の平均画像  $\boldsymbol{\mu}$  と主成分分析から求められ固有顔と呼ばれている  $L$  個の正規直交基底  $\mathbf{U}_l : l = 1, 2, \dots, L$  によって表現される<sup>[7]</sup>．

任意の濃淡画像が同じく  $N$  次元の濃淡値ベクトル  $\mathbf{X}$  で表される時，(1)式に示す  $d$  は， $\mathbf{X}$  の顔部分空間からの距離を表しているものと考えられる．

$$d^2 = \|\mathbf{X} - \boldsymbol{\mu}\|^2 - \sum_{l=1}^L \left\{ (\mathbf{X} - \boldsymbol{\mu})^t \mathbf{U}_l \right\}^2 \quad (1)$$

濃淡値ベクトル  $\mathbf{X}$  で表される濃淡画像が顔である時には， $\mathbf{X}$  は顔の部分空間に含まれるので，距離  $d$  は小さな値となるが，顔とは無関係のシーンである時は顔の部分空間からの距離は当然大きくなる．

そこで，入力画像  $\mathbf{X}$  について求まる顔部分空間からの距離  $d$  が閾値  $d'$  よりも大きな値となる時には，切り出された濃淡画像は顔ではないと判定することにする．

## 3. システムの構築

### 3.1. シーン中の顔検出システムの構成

入力画像が入力され HALCON により口・目の基準点候補を抽出し，抽出された領域の図形データを Excel に出力する．その Excel ファイルを用いて C 言語で作成したプログラムにより顔領域を切り出し，さらには顔・非顔の判定を行い，顔と判定した時は入力画像中の顔領域を赤枠で囲む事とした．この画像の入力から顔検出までを一連で行えるようにする．作成したシステムの構成を図 7 に示す．

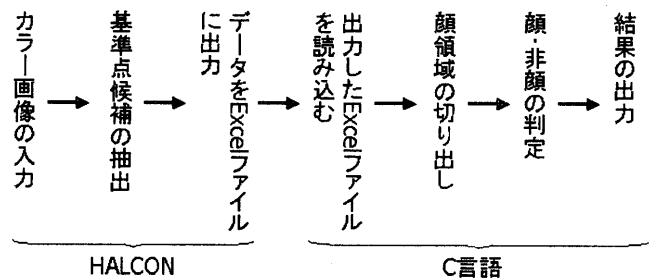


図 7 システムの構成

### 3.2. 部分空間法による顔と非顔の判定処理部の設計

テスト用サンプル (HOIP 顔データベース 2,100 枚…正面顔 300 枚ならびに正面顔から左右にそれぞれ 5, 10, 15 度ずらした顔画像 300 枚ずつ) の顔データと，顔以外のデータ 300 枚(顔の映っていない写真)を用いた．図 8 に，顔と顔以外のデータ例を示す．また図 9 には部分空間類別法による距離計算をした結果のヒストグラムを示す．

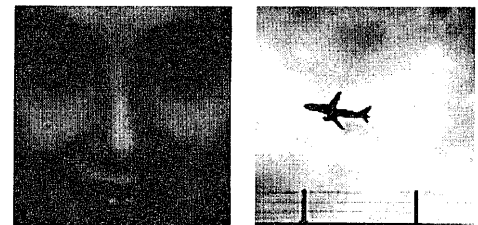


図 8 顔データと顔以外のデータ例

顔 or 顔以外

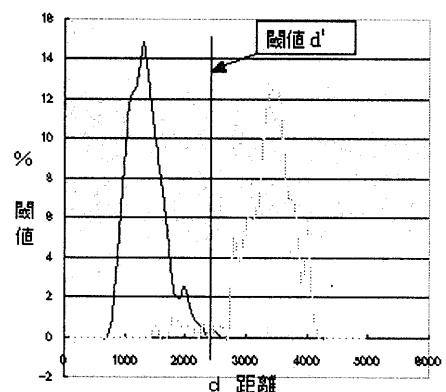


図 9 部分空間法による距離計算結果

左側の線が顔の領域で，右の破線が顔以外の領域になる．このとき FRR と FRR が少ないような最適な場所を閾値  $d'$  と定める．今回は，この閾値  $d'$  を 2590 と定めた．

### 3.3. HALCON Developer's kit による

#### デモ処理システムの構築

HALCON Developer's kit では次の二つを主に行う．一つ目は，HALCON のプログラムを機能別に関数化し，C++ のプログラムとして出力する事である．これにより，HALCON

のみでしか動かす事ができなかったプログラムが一般的に利用できるようになる。HALCONのプログラムをC++のプログラムに変換するためにはまず機能別に初期化関数、検査関数、後処理関数と三つの関数に関数化する。そして、HALCON Developer's kitのH2fnによりC++に変換されたメインプログラムとヘッダファイルが出力される。

二つ目はHALCON Developer's kitに付属しているGUIフレームワークに、HALCONのプログラムをC++に変換したプログラムと顔候補領域の切り出すC言語のプログラムおよび切り出された顔領域を顔判定するC言語のプログラムを組み込み一つのシステムを作成する事である。これにより、画像の入力から顔検出までを一連で行う事ができる。

#### 4. 実験システムの性能評価

##### 4.1. 顔検出性能の定量的評価

###### (1) 多様な背景・人物の顔の検出

1~4名の人物が様々なシーンを背景としてほぼ正面を向いている顔画像を用いた。なお、実験では全体で顔の数が100となるようにした。性能評価には適合率と再現率を用いた。適合率とは検出総数に対する検出正解数の割合、再現率とは全正解数に対する検出正解数の割合である<sup>[2]</sup>。表1に実験結果を示す。

表1 適合率と再現率

適合率	76%
再現率	92%

顔領域以外を顔と判定してしまう事もあったが、92%の顔画像を検出する事ができた。

###### (2) 顔の姿勢変化に応じた顔検出性能の推移

男女半々計100人について、一人ずつの顔を様々な角度から撮影したHOIP顔画像データベースを用いた。用いた画像の角度は表情がなく真顔で、正面・左右5度・左右10度・左右15度である。実験結果を図10、11に示す。

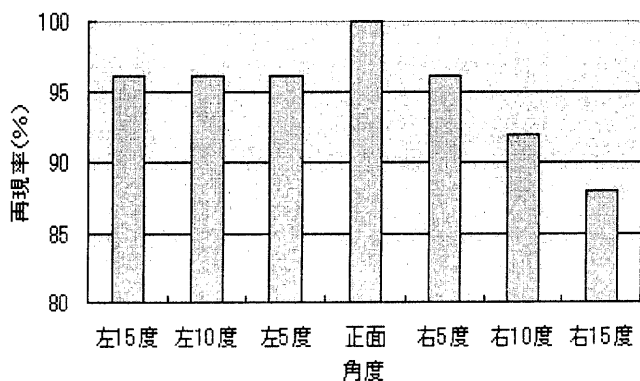


図10 男性：角度別の再現率

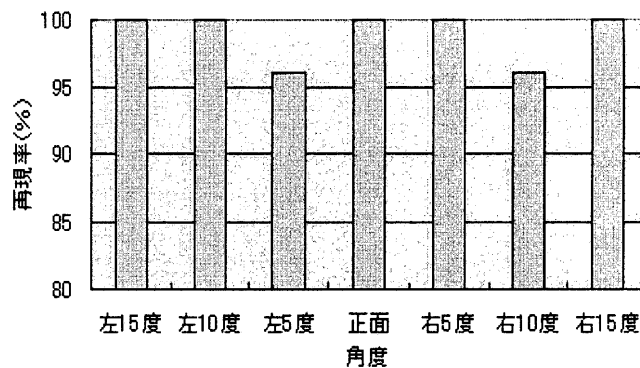


図11 女性：角度別の再現率

女性においては正面から左右15度までの角度変化では再現率の大きな変化は見られず比較的高い検出率となった。

###### (3) 表情の変化に応じた顔検出性能の推移

男女5名ずつ計10名が10種類の表情を表出しているATR表情データベースを用いた。用いた画像の表情は、真顔・喜び(口を閉じている)・喜び(口を開けている)・怒り(口を閉じている)・怒り(口を開けている)・恐れ・驚きである。真顔以外の表情については一人あたり二枚ずつ実験を行った。実験結果を図12、13に示す。

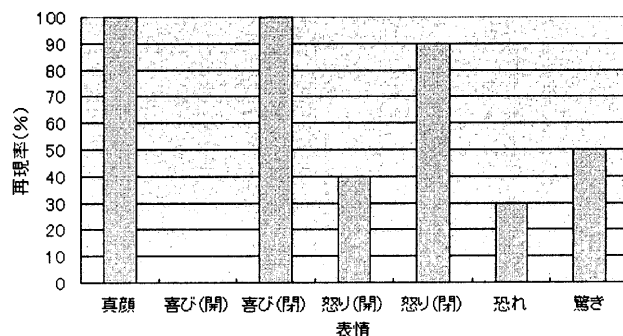


図12 男性：表情別の再現率

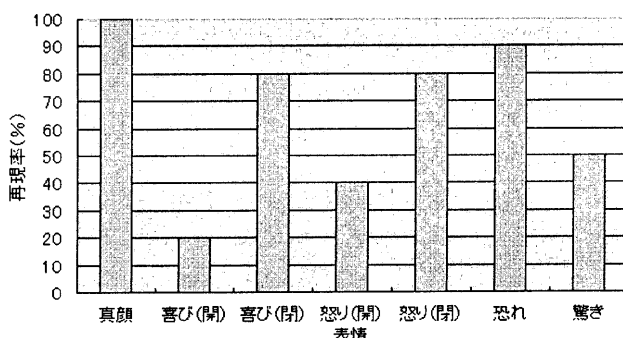


図13 女性：表情別の再現率

喜びおよび怒りの口を開けた表情については極端に再現率が下がってしまった。また、恐れや驚きについても口を開けた画像が多数含まれており再現率は下がった。

## 4.2. 顔検出の成功例・失敗例の分析

顔領域の検出結果として、顔領域を赤枠で囲む事によって表した。以下に成功例と失敗例を示す。

成功例：



図 14-1 成功例 1

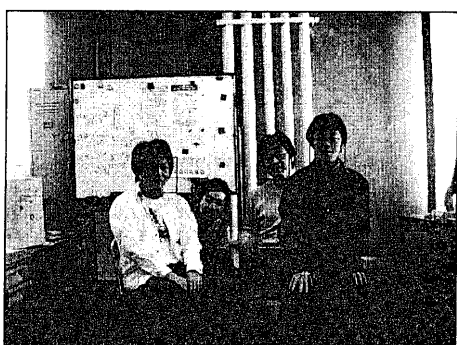


図 14-2 成功例 2

失敗例：



図 15-1 失敗例 1



図 15-2 失敗例 2

成功例として、図 14-2 の様に背景の部分が多く顔領域が少ない画像でも検出する事ができた。

失敗例として、図 15-1 や図 15-2 の様に顔のコントラストが暗いまたは太陽光などがあたり明るすぎる場合は検出できなかった。

## 5. むすび

本論文では、入力画像から HALCON を用いて口・目の候補領域を抽出し、抽出された領域を顔候補領域として部分空間法を用いて顔判定する一連のデモ処理システムを作成した。そして、このシステムを用いて性能評価実験を行った。その結果、口を閉じている正面顔や真顔については比較的高い検出精度となった。また、ある程度の角度がついた顔画像においても比較的高い再現率だった。しかし、口を開けた顔画像についてはどの表情においても検出精度が下がってしまった。今後の課題としては、口を開けている顔画像についても高い再現率で検出できるような検出アルゴリズムを考察していく必要があると考えられる。

## 6. 謝辞

本研究の一部は、文部科学省の科研費（基盤研究(B)(1) 15300076）の助成を得た。記して謝意を表す。

また、HOIP 顔画像データベースの使用を許可していただいた財団法人ソフトピアジャパン殿に感謝する。

なお、本研究で使用した ATR 表情データベースは、第 4 筆者らが(株)エイティアル人間情報通信研究所において顔認知の心理実験のために収集した画像データベースである。

## 7. 参考文献

- [1] 赤松茂, “コンピュータによる顔の認識 - サーベイ -,” 信学論 D-II, Vol.80-D-II, No.8, pp.2031-2046, Aug. 1997
- [2] 佐藤敦, “バイオメトリクス認証と顔認識技術,” 精密工学会画像応用技術専門委員会研究会報告, Vol.18, No.3, pp.6-15, 2003
- [3] M.H.Yang, D.J.Kriegman, and N.Ahuja, “Detecting Faces in Images: A Survey,” IEEE Trans. on PAMI, Vol.24, No.1, pp.34-58, 2002
- [4] S.Akamatsu, T.Sasaki, H.Fukamachi, and Y.Suenaga, “Automatic extraction of target images for face identification using the sub-space classification method,” IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol.E76-D, No.10, pp.1190-1198, Oct. 1993
- [5] FEST Project 編集委員会(編), 新実践画像処理, リンクス出版事業部, 2001
- [6] 高木幹雄, 下田陽久(監修), 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, 1991
- [7] 石井健一郎, 上田修功, 前田英作, 村瀬洋, わかりやすいパターン認識, オーム社, 1998