

人の顔認識能力に基づいた 幾何模様からの顔画像検出手法の提案

久 枝 嵩^{*1}, 中 村 嘉 志^{*2}

Proposal of a face image detection method by using geometric patterns based on a human perceptual ability model

Takashi Hisaeda^{*1}, Yoshiyuki Nakamura^{*2}

概要: 近年では、写真撮影機能を持った携帯機器の普及により様々な状況で数多くの写真が撮られるようになった。このとき、撮影された画像に偶然映り込んだ幾何模様を人間はまるで人の顔のように認識してしまうことがある。この錯覚認識はシミュラクラ現象と呼ばれている。人に錯覚が起こるのであれば、計算機にも同様にその幾何模様を人の顔として認識させることができるのではないかと考え、一般的な顔認識手法を用いてこれを試みた。しかし、顔として正しく認識させることは従来手法では困難であることが分かった。そこで本論文では、人の顔認識能力に注目した、人の顔に見える幾何模様を顔と認識するための新たな顔画像検出手法を提案する。具体的には、顔の部位の特徴点抽出を画像中で行うために、鼻、両目、口の各部位をk-means法と幾何位置関係、人の顔からの最尤推定により決定する。その上で、本手法が有効であるかどうかを評価実験により検証する。1つは、顔認識の従来手法であるViola-Jones法との比較により、本提案手法の特徴点抽出の有効性を示す。もう1つは、顔に書かれた模様やアクセサリーの有無を考慮に入れず単純に幾何模様として決定した特徴点同士の距離の短さが、人が判断する顔の類似性にどのように影響するかを検証することによって、幾何模様の中から顔画像を検出することの有効性を議論する。

Key words: 顔認識, シミュラクラ現象, Viola-Jones法, 最尤推定

1. はじめに

デジタル画像中に存在している物体が何であるかを認識する画像認識技術が盛んに研究されている。その一つ分野としてデジタル画像中から人の顔を検出し、個人を認識する顔認識技術がある。顔認識技術において、現在最も一般的な手法にViolaとJonesが提案したViola-Jones法(以降、VJ法)がある¹⁾。これは顔の中にある輝度情報に注目したHaar-like特徴量の抽出と顔のある領域が検出できる弱識別器を多段式に組み合わせることによって、人の顔を検出する手法である。画像中に顔以外の物体や背景が映り込んでいたとしても識別器が顔と認識できる領域のみを切り分けるため、顔を正しく認識することができる。

近年では、デジタルカメラやスマートフォンの普及によって顔認識技術の応用研究が加速した。例えば、スマートフォンでは様々なアプリケーションを端末上で動か

すことができるが、人の顔の表情を読み取ってより良いタイミングで自動的にシャッターを切って撮影を行うことのできる実用的なものや、髪型や服装はそのままに複数人の人物の顔の部位だけを入れ替えたりするエンターテインメント性を重視したアプリケーションがある。これらを可能としているのが顔認識技術である。

スマートフォンで撮影された画像には、撮影者が意図せずして映り込んだ風景や人物もある。街路樹や街灯の光であったり露出オーバーや手ブレによるいわゆる失敗写真であったりがある。しかし人は、そういった特定の物体に含まれている模様や輝度が通常の顔とは異なるものを見ても、まるでそれが顔だと誤認識したり逆に顔だと正しく認識できたりしてしまうことがある。これは心理学の分野でシミュラクラ現象と呼ばれる錯覚であり、人が先天的に有している人の顔認識能力がその要因である。

シミュラクラ現象は、丸などの図形を逆三角形に3点配置することで発現することが分かっている。そこでVJ法を用いて、その逆三角形の幾何模様を顔として認識させようとしたところ、顔としては正しく認識できないことが分かった²⁾。これは、画像中の輝度が自然な人

^{*1} 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advanced Institute of Science and Technology
^{*2} 国士館大学
Kokushikan University

の顔、もしくは生物の顔が持つべきその分布を入力の前提としているためである。対して幾何模様は必ずしもそれに従っているとは限らない。

そこで本論文では、人の顔認識能力に着目し、人には顔として見える幾何模様を人と同様に顔として認識するための顔検出手法を提案する。提案手法では、VJ法のように全体から顔以外の物体や背景を除外するのではなく、段階的に画像内の探索を行うことにより実現する。これにより、VJ法が必須としている輝度分布によらない顔認識が可能となると考えられる。

以下本論文は次のように構成される。まず、2章では幾何模様から顔を検出するための手法をどのように考案したかについて明らかにする。3章では、提案手法のアルゴリズムの詳細を述べる。4章では、提案手法が顔に見える幾何模様を顔として検出する手法として適切かどうかを2つの段階に分けて検証および評価を行う。1つ目の検証では、提案手法とVJ法で中心特徴点の抽出を行い、その可能枚数を比較する。2つ目の検証では、実際の人の顔と幾何模様の特徴点同士の距離の短さが顔の似ている評価になりえると考え、それをを用いた類似度によって似ている幾何模様の自動選択を行う。これらの検証のために、人の顔に見える幾何模様として国立民族学博物館の展示資料データベース³⁾に登録されている仮面画像1,000枚を用いることとした。最後に5章では、本論文の結論と今後の課題を述べる。

2. 幾何模様からの顔検出手法の考案

顔認識技術の代表的な手法としてVJ法がある。この手法は、人の顔は特徴となる部分さえ見れば顔と分かるという着想に基づいて実現されている。具体的には、人の顔は大まかに見ると輝度の差が大きいところが複数存在しており、それをパターン化することが可能であるこ

とを利用している。VJ法は、この輝度パターンを学習させた識別器を利用することで顔を検出することを可能としたものである。この手法の最大の特徴は、輝度パターンに含まれていない箇所を高速に除外することにより短時間で顔を検出することができる点である。これにより、この手法が確立される以前と比較して、画像から顔を検出する速度が15倍速くなったと報告されている¹⁾。

しかし、図1で示すように、人の顔に見える幾何模様に対してVJ法を用いて顔として認識させようとしても、人の顔として想定されている輝度パターンが画像中に含まれていない、もしくは逆に色情報や模様の形状がVJ法の期待している輝度パターンと偶然合致してしまうことによって、想定外の箇所を顔として誤認識してしまうことが発生することがある。VJ法の枠組みでこの問題を回避するには、認識したい画像の輝度パターンを学習させた識別器を作成すればよい。しかし、そのためには全ての画像の輝度パターンの識別器を事前に作成しなければならない、現実的ではない。

そこで本論文では、輝度パターンによらずに幾何模様のみに着目することによって顔を認識する手法を考案した。VJ法の着想では、顔の特徴となる部分さえ分かれば顔と分かることとされていた。この着想から発展して、顔の特徴点さえ捉えられれば形状や色情報によらず顔であると分かることを考えた。

この提案手法の欠点としては、顔の特徴が不明瞭なものに対しては適用することができないことが挙げられる。そのため、VJ法のように輝度情報を用いてパターン化するという汎用性を持たせることが困難である。しかし一方、輝度分布が必ずしも人の分布のそれでもなかったとしても、人が顔と見なせると既に分かっているものであれば顔を検出することが可能であると考えられる。

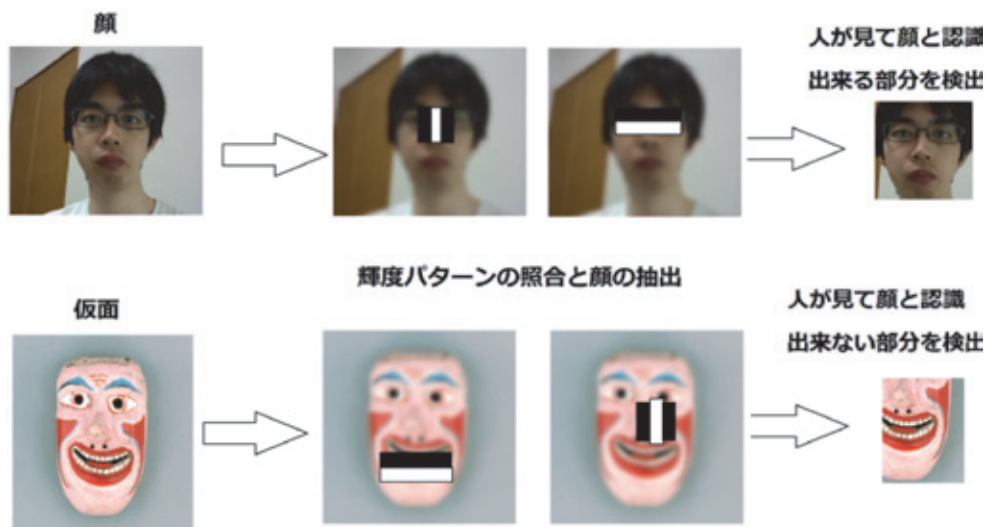


図1 Viola-Jones法を利用した場合の問題点（仮面画像の出典：国立民族学博物館展示資料データベース³⁾）

3. 人の顔に見える幾何模様からの顔特徴点の抽出

3.1 シミュラクラ現象

人には生まれながらに有している先天的な能力がいくつかある。産まれた瞬間に声を上げることで肺に初めて空気を取り込むといった原始反射もその1つである。この他にも、人が社会的な営みを行う上で欠かせない顔や表情の認識が挙げられる。

人が先天的に有する顔に関する反応を説明するため、丸い図形を3つ用意し、図2のように、それらの中心点が逆三角形で結ばれるように配置したとする。このとき、人は無意識に図形全体の配置をまるで人の顔であるかのように思い込んでしまうことがある。これは人が顔を認識する際に、顔に含まれている特徴を細かく認識するのではなく、全体を捉えて顔を認識しているためである⁴⁾。この性質によって起こる錯覚認識はシミュラクラ現象と呼ばれている。

この能力は、人が社会性を持つための重要な機能の1つである。これは、顔認識ニューロンと呼ばれる脳の器官が生後間もない頃から発達することで、人間とそうでない生物を見分けられるようになり、社会形成の基礎となる顔の認識を可能としているのである⁵⁾。

3.2 人の顔認識能力のアルゴリズム化

人は、顔の中の目や鼻といった部位の一部に着目するのではなく、全体を捉えることで顔を認識していると言える。そこで、各部位を個別に抽出したのち、部位同士を顔として認識するための全体の位置関係を探すことを考える。本論文では、前述のシミュラクラ現象の3点から処理の簡略化を目的として、逆三角形の中心点となる鼻を加えた、右目、左目、鼻、口の4点を用いることとした。これら4点の特徴点を抽出するために、1) その特徴点が含まれていると考えられる領域に画像を分割す



図2 3つの丸い点で構成された図形

る。次に、2) 分割した画像中において特徴点の中心を探索することで中心特徴点を抽出する。最後に、3) その中心特徴点を用いて人の顔の特徴点位置をパターン化したものと比較する。比較の結果、最も近い位置関係を持っている人の顔の特徴点位置に近似するように顔全体の特徴点を最尤推定する。この3つの一連の処理を行うことで幾何模様の中から顔全体の特徴点を抽出し、顔として認識させる。

この手法の有効性を確認するために人の顔に近い人工物である仮面画像を幾何模様と見立てて実験を行う。ただし仮面は、人が見ても必ずしも顔だと認識できるものばかりではない。例えば、鼻や口の位置が逆三角形の幾何的構造からかけ離れた箇所にあるものも存在していて人が見ても顔と認識できるか疑わしいものもある。そこで、評価実験では、人が見たときに顔と認識できるものであれば鼻は顔の中心にあると仮定して、画像の中心点を鼻であると見なすこととした。また、今回は正面を向いている仮面画像のみを用いることとした。

以下、提案手法における3つの処理別に各節で詳細を述べる。

3.2.1 中心特徴点を抽出するための画像の領域分割

ここでは、顔の部位の中心特徴点となる4点の抽出手法について述べる。本来であれば中心となる鼻を最初に規定するために、鼻が存在すると考えられる画像の中心領域を矩形範囲として分割し、他の部位と同じように探索する必要がある。しかし、本論文で用いた仮面画像では3.2節で説明したように鼻が中心にないといった問題が起こっている仮面が存在していた。そのため、今回は鼻の中心特徴点は同定されているものとした。また、目は一般的に左右が線対称であることから左目の中心特徴点の抽出を代表として述べる。本章で述べる領域分割による中心特徴点の抽出の流れを図3にまとめる。

前処理として、認識させる仮面画像を二値化する。二値化とは、濃淡のある画像を白と黒の2階調に変換する手法のことである。ある閾値をあらかじめ決めておき、画像内にある画素がその閾値以下であれば白、閾値より大きければ黒のように画素情報を書き換える。この処理により、背景などをノイズとしてできる限り除外し、なるべく仮面のみを浮き立たせることができるようにした。

次に、中心特徴点となる4点の抽出を行うために、鼻の中心特徴点を手がかりに目と口の中心特徴点の抽出を考える。人の顔は、鼻より上側に目、鼻より下側に口があると考えられる。さらに、目は鼻を中心とする右側領域に左目が、左側領域に右目があると考えられる。そこで鼻から左側、右側、上側に垂線を伸ばして画像を3つの領域、すなわち鼻を原点とした第1象限、第2象限、第3と第4を合わせた象限の3つの領域に分割する。こ

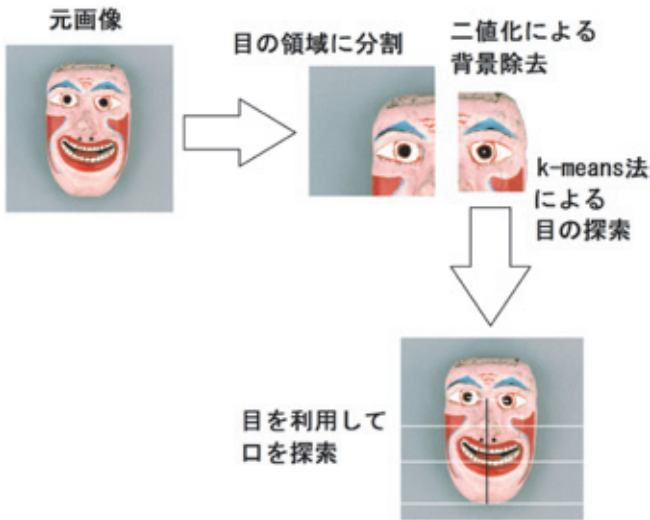


図3 領域分割による中心特徴点の抽出（仮面画像の出典：国立民族学博物館展示資料データベース³⁾）

のとき第1象限に相当する領域に左目、以降、第2象限には右目、第3と第4象限を合わせた領域に口、がそれぞれ含まれていると推定できる。

3.2.2 顔の部位の中心特徴点の抽出

領域分割が完了したら次に、第1象限より左目の中心特徴点を抽出する。抽出には、k-means法を利用する。k-means法とは、ある要素に対して重心を解析し、要素を範囲ごとにグループ分けする手法のことである。例えば、瞳の色が黒だという前提の下で目の抽出をするとき、矩形領域の四辺から距離的に最も近い黒色情報の重心を左目の中心特徴点とする。同様にして第2象限の右目の中心特徴点も同定する。

次に、第3象限と4象限を合わせた領域に含まれている口の中心特徴点を抽出する。シミュラクラ現象が逆三角形で成り立っていることを利用して、口は両目の位置から逆三角形の幾何的位置にあると仮定する。そこで両目の瞳の中心を直線で結び、その線分の中点から垂線を下ろす。その垂線に対して左右の目の中心点から直線を伸ばして3点による交点を作る。この交点の角度が鼻と両目で構成された逆三角形の中心角のちょうど半分になる位置に口の中心特徴点があると仮定する。口の特徴点の仮定の手法を図4に示す。

なお、本論文では、顔の下限が既に定められているものとして口の中心特徴点を求めている。下限が定まらない、また、逆三角形に回転がかかったような幾何模様における特徴点の抽出は今後の課題とする。

3.2.3 最尤推定による顔全体の特徴点の決定

3.2.2節までで、鼻、左右の目、口の4つの中心特徴点が画像の上で同定された状態となっている。この画像に対して、人の顔を3次元空間の特徴点と捉えてパターン



図4 逆三角形の構造を利用した口の推定手法（仮面画像の出典：国立民族学博物館展示資料データベース³⁾）

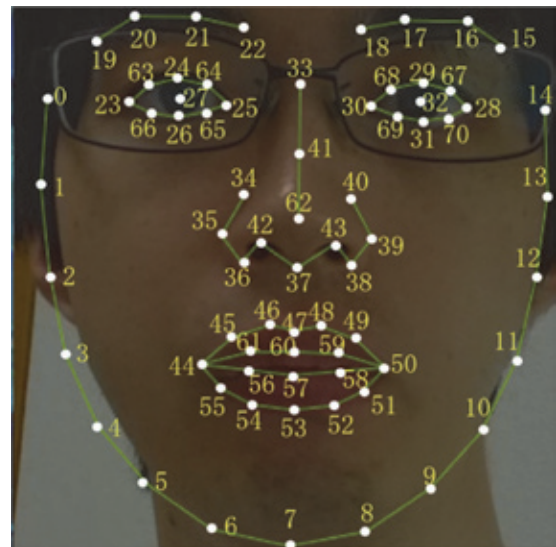


図5 顔の特徴点の例

化したPoint Distribution Model⁶⁾（以降、PDM）を用いて顔の特徴点を推定する。PDMとは、ある特定の物体が取りうる特徴点の範囲を予め規定したモデルのことである。このモデルを利用して、特定の物体が映った画像から特徴点を割り出すことができる。

本論文では、図5に示すような人の顔の特徴点を用いて、4つの中心特徴点を最も良く表すことのできる顔全体の特徴点を最尤推定する。このとき、データとして最小二乗法によって顔の特徴点をベクトルに変換したデータベースを予め用意する。最小二乗法とは、あるデータがN個与えられたとき、そのデータ群の近似関数をデータ群の誤差の二乗の和の最小を求めることによって定める手法である。

このデータベースに利用する直線の例を左目の特徴点

を用いて説明する。図5では中心点を除くと左目の特徴点として8点(28~31, 67~70)が取られている。具体的に、正面から見て最も数字が若い箇所から時計回りに点28, 点70, 点31, 点69, 点30, 点68, 点29, 点67の8点のことである。近似関数は2次元の直線なので、 $y=ax+b$ となる。これら傾き a と切片 b の各係数を8点の特徴点から求めることにより、左目の特徴点を最もよく表すベクトルを導出することができる。

本論文で用いた人の顔全体の特徴点は、図5を基準としてここから眉(15~18, 19~22), 唇の厚み(44~49, 50~55), 鼻筋(33, 41, 62)を除くこととした。なぜなら、図2に示したような幾何模様を顔と見なす戦略にこれからは関係しないからである。以上を踏まえて、PDMで利用されている人の顔全体の特徴点より輪郭15点, 右目8点, 左目8点, 鼻筋を除いた鼻9点, 口の外側を除いた口8点の合計48点で構成される特徴点を用いることとした。

4. 幾何模様からの人の顔認識の評価

提案手法によって幾何模様から顔の検出が可能であるかどうかを評価するために、本章では2段階に分けて評価実験を行う。

まず、顔の部位である鼻, 左右の目, 口の4点の中心特徴点が正しく抽出できているかを評価する。そのために従来手法であるVJ法との比較を行い、それぞれ正しく特徴点が抽出できた画像数を比較して定量的評価を行う。従来手法より提案手法の数が多ければ、顔に見える幾何模様から顔と見なせる特徴点の抽出ができていると言える。

次に、顔全体の特徴点を最尤推定した仮面画像の顔特徴点と人の顔画像から抽出した顔特徴点との距離を比較し、特徴点同士の距離の総和が最も短いものを抽出する。この距離が短ければ短いほど人の顔と仮面のそれが似ていると言えるのではないかと考えたからである。この選択された仮面画像が、人から見て似ているかどうかを被験者に評価してもらい、これを定性的評価とする。もし、似ている仮面画像が選択できているならば、顔に見える幾何模様から正しく特徴点を決定できていると考えられる。

以上の2つの評価実験を行うために、従来手法としては画像処理ソフトウェアとして一般的に普及しているOpenCV⁷⁾を用いた。また、2つ目の実験にて使用する人の顔の特徴点の抽出には顔認識ソフトウェアであるFaceTracker⁸⁾を用いた。FaceTrackerでは人の顔の特徴点として66点を抽出しているが、3.2.3節で示したように、本論文では48点を顔の特徴点として用いる。

4.1 幾何模様からの顔認識の定量的評価

国立民族学博物館の展示資料データベース³⁾に登録さ

れている仮面画像の中から任意に1,000枚の画像を選び出し、これらに対して従来手法と提案手法をそれぞれ適用して正しく特徴点の抽出ができた枚数を比較する。特徴点の抽出が正しく行えているかどうかは、鼻を中心として横341ドット×縦600ドットの矩形領域の中でPDMを適用させ、それがマッチするかどうかで顔と見なせるかどうかを判定した。なお、元画像の大きさは1,024×1,024ドットで、矩形領域の341×600ドットは経験則により定めた。

実験の結果、従来手法では1,000枚中271枚の画像で正しく特徴点が抽出できたのに対し、提案手法では823枚のそれで正しく特徴点が抽出できていた。これより、幾何模様から顔の特徴点を抽出する手法として、提案手法が従来手法よりも有効であることが分かった。

一方、この評価実験において処理時間を比較したところ、提案手法は従来手法と比べて時間が大幅にかかった。これは従来手法より提案手法の計算量が大きいことを示している。実験では、1,000枚の画像を処理するのにかかった時間は、従来手法は約5秒で完了したのに対し、提案手法は約31分であった。なお、実験に使用した計算機は、Windows 7 OSを搭載した一般的なPCで、CPUがIntel製Core i7-4770 3.40GHz, 主記憶16GBの仕様のものである。

提案手法では処理が段階的に行われている。それぞれの段階で処理時間を計測したところ、1,000枚の画像に対する処理時間は、まずk-means法によるクラスタリングを両目に行ったときで約2秒、次に口の探索を行ったときで約0.5秒であったが、最終段階のPDMを用いた顔全体の特徴点の最尤推定は約1,861秒であり全体の処理の99%以上が最尤推定で費やされていた。今回は最適化をほとんど行わずに実装したため、条件を変更したりアルゴリズムを改良したりすることによって処理時間の改善余地はあるが、根本的な解決方法については第5章で議論し今後の課題とする。

4.2 幾何模様と人の顔の類似性に関する定性的評価

提案手法によって特徴点の抽出が正しく行われた823枚の仮面画像と、インターネット上から無作為に選出した12名の実際の人間の顔画像を用いて、それぞれの人の顔に似ていると最尤推定される仮面画像の自動選択を行った。選出した顔画像の内訳は男性6人, 女性6人である。

第1章において、顔の似ている度合いは実際の人の顔と幾何模様の特徴点同士の距離の短さで表現できると仮定した。そこでここでは、仮面画像と人の画像の特徴点の距離を計算して評価する。今回は似ている度合いを示すために、823枚の仮面画像の中で最も距離が長くなるものと計算した特徴点距離の割合を取ったものから1を引いた結果を求め、以下の式のように、これを類似度と

した。

$$\text{類似度} = 1 - \frac{\text{仮面画像と本人画像との特徴点の距離}}{\text{仮面画像と本人画像との特徴点の最長距離}}$$

このようにして計算した仮面画像が人から見て似ているかどうかを判断するために、被験者15名に対して本人画像とどれだけ似ているかを5段階で評価してもらった。その後、評価値のそれぞれの相加平均を求めた。

評価基準は、『1. 似ていない, 2. あまり似ていない, 3. どちらとも言えない, 4. 少し似ている, 5. 似ている』である。また、被験者の内訳は、20代男性13人、20代女性1人、50代女性1人である。

表1に、提案手法を用いた最尤推定により計算した仮面画像を、その元となった実際の人間の顔画像と共に示す。また、表1を元として類似度と被験者の評価値平均の最小二乗を取った近似直線の関係を示したものを図6として示す。

表1より、類似度が大きいほど被験者の評価が高くなっている顔画像が多い。このことから、顔全体の部位の位置の近さ、つまり特徴点同士の距離の短さが人の類似評価と相関があると言える。これより、仮定していた特徴点の距離が短いほど顔が似ているという考えは正しいと言える。また、被験者の評価が4を超える、もしくは2を下回る仮面画像は今回の実験では存在しなかった。原因として、人が顔の類似評価を行うとき、顔の部位の位置といった全体の判断だけではなく、顔の色や表情、部位の形状などの部分の判断も行っていることが考えられる。このことから、人が顔の類似評価を行うときの材料として、特徴点同士の距離の長さだけでは十分とは言えないが、大まかに似ていることを判断することは

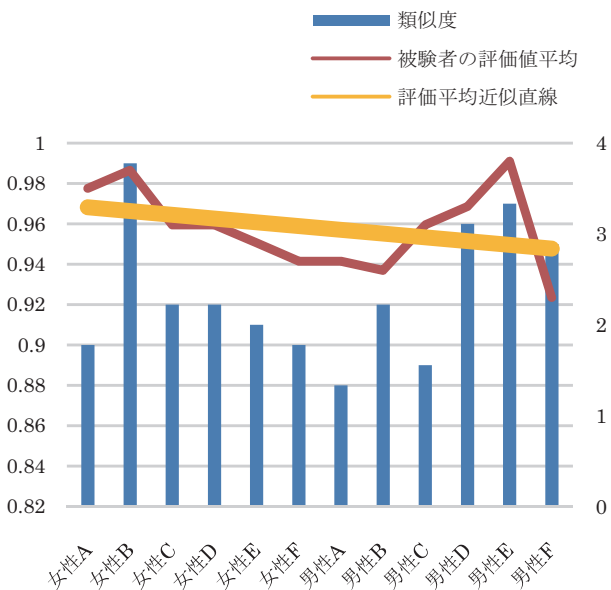


図6 類似度と被験者の評価値平均

表1 類似性に関する実験結果

(本人画像の出典：インターネット上より無作為、仮面画像の出典：国立民族学博物館展示資料データベース³⁾)

	本人画像	類似画像	類似度	被験者の評価値平均
男性 A			0.88	2.7
男性 B			0.92	2.6
男性 C			0.89	3.1
男性 D			0.96	3.3
男性 E			0.97	3.8
男性 F			0.95	2.3
女性 A			0.90	3.5
女性 B			0.99	3.7
女性 C			0.92	3.1
女性 D			0.92	3.1
女性 E			0.91	2.9
女性 F			0.90	2.7

可能であると言える。

図6より、類似度と被験者の評価平均を1次関数で近似したところ、類似度と評価値には相関があると考えられることが分かった。そこで、相関係数を計算すると0.47となったため、確かに相関があると言える。これは、人が顔の類似評価を行うとき、特徴点同士の距離の短さを認識に含んでいることを示していると考えられる。

実験結果より、提案手法によって抽出した特徴点は、人の顔であると判断するに足るものであることが分かった。また、特徴点同士の距離の短さは顔の部位の位置としての類似性を表しているため、人が顔を評価する際の類似評価の一要素として影響していることが分かった。これらにより、提案手法が、幾何模様の中から顔画像を有効に検出することが可能であると言える。

5. おわりに

本論文では、人の顔認識能力に着目し、人には顔として見える幾何模様を計算機上で顔として認識させるための顔検出手法の提案を行った。提案手法の有効性を示すために、幾何模様を代表して人工物でありながら人から見ても顔だと認識しやすい仮面画像1,000枚を用いて2つの評価実験を行った。1つ目の実験では、輝度分布によらずに顔を検出するために必要な各部位の中心特徴点の抽出が可能であることを示した。2つ目の実験では、特徴点同士の距離の短さを用いた人の顔との類似比較の結果、被験者15名の評価平均が3以上（最大5）であったことから、類似性が高いと人が評価できる顔画像を選び出すことも可能であることを示した。これら2つの評価実験の結果、提案手法を用いることで幾何模様の中から顔画像を有効に検出することが可能であることが示すことができた。

今後の課題としては以下のことが考えられる。まず、提案手法の元となったシミュラクラ現象において、本来は顔に見えてしまう幾何模様の部位は最低3点で構成されているが、提案手法では4点を用いている。そのため、図2のような画像に対して提案手法を適用したとき正し

く効果を発揮しないことがある。これについては、引き続き調査をする予定である。次に、定量的評価実験において提案手法のPDMによる最尤推定の計算量が大きいことが分かった。これについては、最尤推定を行う条件を変更する、例えば、両目の形が相似であることを利用して動的にPDMを構築・適用することで片目分の処理時間の削減が可能であると考えられる。しかしながら、PDMの最適化だけでは大幅な削減は困難であるため、アルゴリズムの抜本的な見直しが必要である。そこで、パターン化できる図形的な構造の検討や探索領域をより小さくする代わりに繋がりを重視する方策が考えられる。その一案として、機械学習を取り入れることを考えている。機械学習の1つであるディープラーニング手法を用いることで、個別の領域と全体の領域の相互的な繋がりを導き出し、より直観的な特徴点の抽出が可能となるのではないかと考える。

参考文献

- 1) Viola, P. and Jones, M.: Rapid Object Detection Using Boosted Cascade of Simple Features, Proc. Computer Vision and Pattern Recognition, pp.511-518 (2001).
- 2) 久枝高：顔認証を用いた本人画像からの類似ヒューマノイド画像の自動選択システムの研究，平成27年度国士館大学理工学部卒業論文 (2016)。
- 3) 国立民族学博物館：標本資料詳細情報データベース，国立民族学博物館（オンライン），入手先〈<http://htq.minpaku.ac.jp/menu/database.html>〉（参照2015-04-01）。
- 4) Maurer, D., Grand, R. and Mondloch, C.: The many faces of configural processing, Trends in Cognitive Sciences, Vol.6, No.6, pp.255-260 (2002).
- 5) Haxby, V., Hoffman, A. and Gobbini, I.: The distributed human neural system for face perception, Trends in Cognitive Sciences, Vol.4, No.6, pp.223-233 (2000).
- 6) Viola, P. and Jones, M.: Robust Real-Time Face Detection, International Journal of Computer Vision, Vol.57, No.2, pp.137-154 (2004).
- 7) Itseez: OpenCV, OpenCV (online), available from 〈<http://opencv.org/>〉 (accessed 2015-04-01).
- 8) Saragih, J., Lucey, S and Cohn, J.: Deformable Model Fitting by Regularized Landmark Mean-Shift, International Journal of Computer Vision, Vol.91, No.2, pp.200-215 (2011).