4. 応 用

4-1 似顔絵のコンピュータ自動生成

正会員 興 水 大 和[†]

本文で話題にするコンピュータ似顔絵の例をまず図1に示す。スペインの天才画家パブロ・ピカソ(Pablo Picasso)晩年の面影を似顔絵にしてコンピュータが描いたものである。

1. ま え が き

画像処理カメラが人に、とりわけ人の顔に本格的に向けられ始めたのは、つい最近だといってよいだろう^{A-2,3,5,6)}。したがって本論文のテーマとの関連では、人の顔を見始めたばかりのコンピュータカメラに、すぐさま立派な似顔絵を描くことを性急に期待するのはもちろん乱暴である^{C-1)}が、コンピュータ似顔絵生成の研究・開発は静かにしかし、じつくりと取り組まれてきている^{B-1~6)}。

そこで本稿では、いくつかの事例をもとにコンピュータ似顔絵生成の可能性とそこに向けての課題や展望について論ずる。結論的には、気長に育てれば、コンピュータは本当に似顔絵が描ける筈である^{C-1)B-2)}。

本論に入る前に、コンピュータ似顔絵生成が注目される科学技術史的背景にふれる必要がある。要点のみ述べると、画像処理、映像解析、マシンビジョンのカメラが人や人の顔を視るとき^{A-2,4)}、その見方において大きく2つの極に分極することである。人が視るように視る極と、大きさ、長さ、速度などを物理計測的に視る極の2つであり、似顔絵生成のマシンビジョンはもちろんその前者である。

コンピュータビジョンという視覚情報の科学・技術の今後の課題の中心が前者の極の周りにあることは明らかで、官学の諸動向にも^{A-1,5,6)}それは表れている。そしてもちろん、コンピュータ似顔絵生成は、人の顔を人が視るように視る、前者の極の極点付近に位置す

(Pablo Picasso)

図1 ピカソ似顔絵

る、きわめて興味深い多くのテーマを提供してくれているといつてよいだろう。

2. 似顔絵生成問題のサーベイとモデル化

2.1 サーベイ

顔の画像解析は画像処理の勃興期から多数行われてきたが^{B-7)}、コンピュータ似顔絵生成を明示的にうたった報告の最初は、S.E. プレナンの「Face Bender」^{B-1)}である。プレナンは平均顔という仮想的な顔を導入して、顔の個人性特徴抽出の原理の可能性を示した。一方で、高野ら^{B-3)}のように実写の顔画像をコンピュータ解析する技術を蓄積して、似顔絵風の顔表現を自動化する試みも数多い。

さて、顔画像からその人物の個人性特徴を発見する原理は、上記のプレナンの「平均顔仮説」のほかには有力な手がかりが見あたらないが、井口ら^{B-4)}のような「福笑い原理」のような別の原理の開発の努力にも今後に期待される。

平均顔仮説にしたがった研究には、興水らのPICASSOシステム^{C-1)}や塩野らの似顔絵システム^{B-5)}などが試みられている。また、似顔絵の描画に似顔絵師の作風を導入する原島らの研究^{B-6)}は、似顔

[†] 中京大学 情報科学部
“Applications; Computer Generation of Facial Caricature”
by Hiroyasu Koshimizu (School of Computer and Cognitive
Sciences, Chukyo University, Nagoya)

図 2 似顔絵生成の4機能

絵生成研究の今後の展開に厚みを与えている。

2.2 似顔絵生成問題のモデル化

さて、似顔絵生成が達成されるためには、これらの諸研究からもわかるように、最低限、次のような4つの機能要素 (図2参照)

- ・カメラで視た人物 j 氏の顔画像 $F^{(j)}$ からコンピュータに j 氏の顔記述 $P^{(j)}$ を記憶させること (顔・顔部品の認識, 顔記述の自動生成法)
 - ・顔記述 $P^{(j)}$ から画像 $F^{(j)}$ に写っている人物 j 氏のその人らしさ, 個性特徴 $X^{(j)}$ を発見すること (個性特徴抽出法)
 - ・個性特徴 $X^{(j)}$ をうまく誇張して似顔絵 $Q^{(j)}$ を描出すること (似顔絵誇張法)
 - ・コンピュータ自身が自分で誇張した似顔絵 $Q^{(j)}$ の出来映えの判断ができること (似顔絵評価法)
- がコンピュータでインプリメントされなければならないと考えられている。

3. コンピュータ似顔絵生成問題

—PICASSO ケーススタディを軸に—

本節では、コンピュータ似顔絵生成システム PICASSO^{C-1-9)} を具体的な素材にしながら、上記の図2に示した各機能の実現状況や本質的に何が課題なのかを考察し、今後を展望する。

3.1 似顔絵における顔特徴とは何か

—「平均顔仮説」という原理—

図2で示す個性特徴抽出について本項では考察する。つまり、 j 氏の顔記述 $P^{(j)}$ から似顔絵を生成するためには、そこから個性特徴 $X^{(j)}$ を発見する必要がある。

図 3 顔の情報学的属性の構造

(1) 似顔絵における顔

まず図3に、似顔絵生成における顔の属性構成を整理しておく。それは、その人物のその人らしさを顔で表現しうる要素のすべてが何かは、残念ながら不可知であるからである。

顔から受け取ることのできる個性 (individuality, personality) は、その人物の性別 (sexuality; 男らしい), 民族性 (racialism; アジア的な), 年齢・世代 (generation; 若々しい), 職業 (occupation; 政治家風の), 等の属性が複合的に絡んで形成されている, と考えられる。しかし厳密には顔は、人が持ちうる関心の数だけの属性を持つ。

したがって、その人物を視る側の関心, 意図, 経験や置かれた環境, とりわけその人物との関係によって、どの属性項目が強調され、また抑制されるかが巧妙にコントロールされて、顔に対する印象=似顔絵が形成されているはずである。

よって、 j 氏の似顔絵は、誰が視て描いたのか、またそれを誰に見せるものなのかによって異なった作品となるべきもので、この意味で極論すると、 n 人の世界では $n(n-1)/2$ もしくは、 $n(n-1)(n-2)/6$ 種類のベストな似顔絵が存在すること

図4 平均顔と輪郭点標準偏差

になる。

(2) 似顔絵生成の平均顔

さて、この考察からわかるように、ある属性に注目してその意味での個性を発見するためには、その属性を統計的に代表する統計量、例えば平均値や標準偏差に注目することは、一般にも有効である。

PICASSO システムでは、j 氏の顔記述を顔部品の輪郭点列の集まりで

$$P^{(j)} = (x_i^{(j)}, y_i^{(j)}), i = 1, 2, \dots, 455$$

と表しているの、そのような統計的代表値として「平均顔 (mean face)」を $S = (x_i^{(s)}, y_i^{(s)})$ とし、

$$x_i^{(s)} = \left[\sum_{j=1}^M x_i^{(j)} \right] / M$$

$$y_i^{(s)} = \left[\sum_{j=1}^M y_i^{(j)} \right] / M$$

を導入した。このときの標準偏差を併記して $S = (x_i^{(s)}, y_i^{(s)})$ なる図形表現すると、図4 (男子学生 $M=11$ 名、教員 20 名、西欧人約 10 名) のようになり、実に顔部品輪郭座標値の平均値の集まりが、印象

図5 瞳の認識・自動記述

的に平均的な顔記述となることが確かめられる。顔記述 S を平均顔と呼ぶ意味がこれである。

しかるに、j 氏のその属性 (例えば、研究室の男子学生) の中での個性特徴 $X^{(j)}$ とは、その属性の中での平均的な顔印象からの逸脱に発見することが期待できる。すなわち、j 氏の個性特徴 $X^{(j)}$ は平均顔 S を用いることによって

$$X^{(j)} = (P^{(j)} - S) \\ = ((x_i^{(j)} - x_i^{(s)}), (y_i^{(j)} - y_i^{(s)}))$$

によって見いだせると期待される。このような期待は、似顔絵生成における「平均顔仮説」とでも呼ぶことができる。

3.2 似顔絵における顔・顔部品認識とその自動記述

ところで、画像 $F^{(j)}$ から j 氏の顔記述 $P^{(j)}$ を自動認識することは、厳密には 2 つの意味で未解決である。

第一に、似顔絵生成における顔記述として図4に例示したような要素図形が不十分なのか、逆に冗長なのかが実は不明である。予想としてはもっとシンプルな線図形のほうがよい、という意見が優勢である。

更に、PICASSO システムでは、目鼻口のような普遍的な顔部品、すなわち基本部品 (common parts) だけを対象にして、しわ、眼鏡、ほくろなどは付加部品 (decorative parts)、髪に隠された耳などを隠れ部品 (hidden parts) と呼んで、上記の 3.1 項の基本原則とは切り離して別扱いしている。この詳細は省略するが^{C-1)}、このような付加部品はより本格的に扱う必要が指摘されている。例えば図1の作品例では、「頬に深く刻まれたしわが一番それらしく印象をつくっている」という顔研究の専門家のコメントがある。

図 6 目輪郭の認識・自動記述

図 7 PICASSO システムの似顔絵作品例

第二に、図 4 に示した PICASSO システムの顔記述程度でも、それらの自動抽出は極めて困難な現状である。

顔部品の自動認識の一例を図 5 に示す^{C-6)}。これは円抽出の Hough 変換を用いた瞳抽出を試みたものである。また図 6 は、目輪郭認識の結果である。目形状の集合から求めた KL 展開係数を変換パラメータとする Hough 変換型のパターンマッチング法によるものである。

一般に瞳の形状は安定しているが、目形状は極めて不定型である。口、耳、鼻の輪郭はさらに不定型であるので、似顔絵生成のためのロバストな部品認識・自動記述の技術は今後の研究に委ねられている。

図 8 誇張し過ぎた似顔絵

3.3 似顔絵生成のしくみの可能性

「平均顔仮説」の延長線上には、j 氏の顔 $P^{(j)}$ の似顔絵を $Q^{(j)}$ とすると

$$\begin{aligned} Q^{(j)} &= P^{(j)} + b \cdot X^{(j)} \\ &= P^{(j)} + b \cdot (P^{(j)} - S) \\ &= (x_i^{(j)} + b(x_i^{(j)} - x^{(s)}), \\ &\quad y_i^{(j)} + b(y_i^{(j)} - y^{(s)})) \\ &\quad ; j=1, 2, \dots, M \end{aligned}$$

なる、顔記述を誇張し似顔絵を生成する仕組み（中割り法）が期待できる。このような似顔絵生成の基本原理の最大の弱点は、誰でもが共通して持たない付加部品に対しては、この原理が適用不可能であることである。また、誇張率 b の制御の仕方についても大きな課題が依然として残されている。

図 7 に、このようにして生成された似顔絵作品例を示す。本論文の見解としては、似顔絵は誰か一人にインパクトを持てば充分である、というのが究極の達成

目標といってよい。つまり、万人受けする似顔絵は実は駄作といってよいかも知れない。

一方、上記の基本原理と離れて、別の似顔絵生成の原理の可能性についての提案もなくはない^{B-4)}。PICASSO システムでも、目や鼻という部品単位で形状特徴（垂れ目、長い鼻、など）を測り、強制的にそれらをデフォルメする試みも行っているが^{C-1)}、平均顔仮説方式を越える有効性は引き出せていない。

3.4 似顔絵の出来映えの評価

さて、図 8 に注目しよう。これは中割り法の誇張率パラメータ α を停止させなかったときの明らかに不都合な現象である。すでに、これが人の顔である限界を越えているからである。似顔絵生成に対して、生成した似顔絵を自ら自律的に評価するメカニズムが、ここに要請されている^{C-1)}。

図 9 似顔絵の錯視による評価

(左：原画像 右：似顔絵，誇張率=1.2)

図 10 横顔似顔絵作品（笹山君）

PICASSO システムでは、いくつかの可能性を以下のように検討したが^{C-2,3)}、

- ・目鼻などから複合的に形成される複合部品に錯視図形を当てはめ、人間の錯視現象に合ったように中割り法のデフォルメを制御する方法。図 9 には、鼻と眉毛または両眼に対してヴントフィック錯視図形を適用した例を示した。
- ・輪郭点の標準偏差によって、輪郭点ごとに誇張の程度を制御する方法
- ・顔部品輪郭線の間の特ポロジカルな関係が崩れる直前までデフォルメを続ける方法。例えば、髪の毛の生え際が髪輪郭を追い越したら、誇張を停止する。

いまだに決定的な方法はない。

いうまでもなくここでの課題の本質的な限界は、 j 氏に関する顔の情報は、最初に与える顔画像 $F^{(j)}$ ないし顔記述 $P^{(j)}$ だけしかコンピュータに知らされていないことに尽きる。

3.5 顔の多次元性と似顔絵

正面顔の似顔絵が可能であれば横顔のそれへの期待が、真顔の似顔絵が可能であれば笑顔のそれへの期待がもたれる。また、2次元図形で表された似顔絵ができれば3次元似顔絵にも興味がわき、似顔絵はふつう静止図形・画像であるが、これに動きを加味した似顔絵表現への可能性は捨て難い。

さらに、顔を表す情報には各部の陰影や顔色の次元もある。似顔絵生成問題の中で、このような顔情報の多次元性に対する取り組み方は、極論すると、多次元顔情報の活用を何処まで抑制できるか、逆に如何に十二分に利用しきれるかの2つあるといってよい。以下には、これら2つの立場のどちらにも組みしないまま、顔の多次元性を似顔絵に活かす試みについて考察

図 11 似顔絵レリーフ

する。

(1) 横顔の似顔絵生成

ここでのテーマは2つあり、一つは正面顔に劣らない似顔絵生成における横顔の優位性を示すこと、もうひとつはコンピュータシステムとしての完全自動化の可能性を追求することにある^{C-7)}。

顔部品の細部の認識には限界がある。この限界を回避するひとつの提案として、顔を「頭部の輪郭(profile)」という部品とこの輪郭部品に囲まれた「内部部品」の2つの部品だけで構成される、というアイデアがある^{C-7)}。

この結果、目尻と口元をマニュアルで指定する以外は全自動で、図10のような横顔似顔絵が生成できるようになっている。横顔似顔絵のデフォルメ誇張率は、経験的には正面顔の場合より小さくて充分であった。横顔は正面顔よりも効率良くその人らしさを伝達しているように印象を受ける。

(2) 似顔絵レリーフ生成

距離画像計測のカメラがほぼ実用期であることから、目鼻だちの凹凸(3D情報)にも注目した似顔絵生成システム、いわば似顔絵レリーフ生成の可能性が生まれている^{C-4)}。

技術的課題の中心は3D顔データ間の対応づけにあり、数100点にもおよぶ顔特徴点を正確に決定する必要があり、通常は、いまだに人手によっている。

左右の目、鼻、口、額、左右の頬の計7個の顔部品の外接長方形の対応づけで顔特徴点対応づけ替えるアイデア^{C-4)}が提案されている。通常のポリゴンパッチ

図 12 似顔絵作品の使用例

による方法と比較して、図11に示すように、充分に良好な似顔絵レリーフが生成できている。

(3) その他

表情を持つ似顔絵の生成^{C-5)}、表情変化のプロセスを誇張した動きの似顔絵、顔と頭部は体部(首、肩、胴体)との形状的關係で表情が表現される、などの考察すべき多くの興味深い課題が残されている。

4. む す び

—似顔絵生成の今後の展望—

本稿では、コンピュータ似顔絵生成について、その背景、研究事例のサーベイ、さらにPICASSOシステムの事例を軸にした似顔絵生成技術の現状や今後の課題について述べた。

似顔絵生成の究極のゴールは、「誰が誰のために描いた誰の似顔絵」をコンピュータ生成したいのか、この課題に総合的に応えるものでなければならない。したがってこの意味からは、コンピュータ似顔絵生成の現状はまだ緒についたばかりである。しかし、ゲームセンターに設置されるようになった似顔絵シール機が次第に若者から歓迎され始めたそのマーケット性に加えて、本文中で紹介した似顔絵作品にも広く興味が持たれているという意味では、確実にその可能性が実証され始めたといつてよいであろう。例えば、ここで紹介したPICASSOシステムの作品でも、認知科学や心理学の実験環境への利用^{C-8,9)}、図12のように、ある学会のイラストやポスターに使われた^{C-10)}実績が

あるからである。

似顔絵生成に関する本解説をまとめるにあたり、その一部を情報処理振興事業協会 IPA, “創造的ソフトウェア開発テーマ”(1996, 1997), IMS センター, “製品のライフサイクルの感性・官能評価研究”(1996, 1997), 科研費 (No. 0807222, No. 07680415, No. 08780313; 1996 年) などの援助を受けた。記して謝意を表す。

(1997 年 5 月 6 日受付)

〔参 考 文 献〕

< A : 似顔絵生成研究の背景 >

- 1) 情報処理振興事業協会 IPA, 創造的ソフトウェア開発テーマ “人間の身体活動の視覚情報統合とその感性情報処理ソフトウェア開発” — 創造的モーションキャプチャ用ソフトウェア開発一, 中京大学 (1996, 1997)
- 2) 特別セッション, “「人が見るように人を視るマシンビジョン」, SICE, 第 1 回パターン計測シンポジウム (オーガナイザ: 奥水大和, 小沢慎治), 能登川 (1996)
- 3) 特別セッション (オーガナイザ: 奥水大和, 山本和彦), “新産業応用と新しい視る技術”, 信学会 1996 年 MIRU '96, 奈良 (July 1996)
- 4) パネル討論 (オーガナイザ: 奥水大和): “マシンビジョンにおける感性について”, 精密工学会, 外観検査の自動化ワークショップ
- 5) 大特集 (原島博編集委員長): “顔”, 信学論 A, D-II 分冊合同企画 (Aug. 1997)
- 6) 文部省科学研究費, 重点領域研究, “感性情報処理” (辻三郎代表) (1993, 1994, 1995)

< B : 似顔絵生成の小事 >

- 1) S. E. Brennan: “Caricature Generator”, Degree of Mr. in Visual Studies (Media Lab., MIT) (Dec. 1982)
- 2) 奥水, 村上, 中山, 福村: “似顔絵生成研究の現状と PICASSO システムの諸課題”, 信学会 MIRU '92, II, pp. 159-166 (1992)
- 3) 高野, 大河原, 中田, 中島: “似顔絵写真ロボット”, National Tech. Rep., 31, 4 (Aug. 1985)
- 4) 井口, 田淵, 村岡: “似顔絵自動生成の一方法の提案”, 情報処理学会第 44 回 (平成 4 年度前期) 全国大会, 4 N-6 (Mar. 1992)
- 5) 島田, 木村, 塩野: “顔の 3 次元構造特徴を用いた似顔絵作成について”, 信学会パターン認識と理解研究会, PRU 91-123 (Jan. 1992)
- 6) 花岡, 金子, 原島: “作家の作風を似顔絵生成法”, 信学論 (A) (顔特集) (1997 年 8 月掲載予定)

- 7) 坂井, 金出: “計算機による顔写真の解析”, 信学論, 56-D, 4, p. 683 (1982)

< C : 似顔絵生成システム PICASSO の原理 >

- 1) 奥水大和: “コンピュータは似顔絵が描けるか? — 顔の個人性特徴の抽出 —”, 歯科審美学会誌, 5, 1 (1993)
- 2) Murakami, K. and Koshimizu, H.: “Facial Caricaturing Based on Visual Illusion—a Mechanism to evaluate Caricature in PICASSO system—”, Trans. IEICE (Special Issue), E76-D, 4, pp. 470-478 (1993)
- 3) 村上和人, 奥水大和: “錯視を用いた似顔絵生成システム PICASSO について”, 情処学論, 34, 10, pp. 2106-2116 (1993)
- 4) 近藤隆行, 村上和人, 奥水大和: “似顔絵生成と距離データ”, 計測自動制御学誌, 34, 6 (1995)
- 5) 村上和人, 奥水大和: “似顔絵生成と表情生成の統合について”, テレビ誌 (新映像メディアとその応用特集), 50, 10, pp. 1515-1521 (1996)
- 6) Segawa, Y., Endo, T., Murakami, K., Toriu, T. and Koshimizu, H.: “Face Recognition through Hough Transform for Irises Extraction and Projection Procedures for Parts Recognition — for Facial Caricaturing System PICASSO —”, PRICAI'96: Topics in Artificial Intelligence (Lecture Notes in Artificial Intelligence 1114) pp. 625-636 (1996) Springer Press
- 7) 林純一郎, 村上和人, 奥水大和: “PICASSO システムにおける横顔似顔絵自動生成法”, 信学論 (D) (顔特集), (1997 年 8 月掲載予定)
- 8) 西松豊典, 安井聡, 鳥羽栄治, 村上和人, 奥水大和: “ヒューマンインターフェイスへの似顔絵画像の応用 — 似顔絵における性別・年齢の推定 —”, 信学論 (A) (顔特集) (1997 年 8 月掲載予定)
- 9) 土屋, 鈴木, 村上, 樋口, 奥水, 戸田: 似顔絵送受信機能をもつコミュニケーションツールの提案”, 信学会, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'94), Vol. I, pp. 217-22 (1994)
- 10) PICASSO システムの実用事例
 - (1) 日本認知科学会全国大会ポスター (1992)
 - (2) 信学会, HCG ニュースレター No. 1 (1996)

こしみず ひろやす

奥水 大和 1975 年, 名古屋大学大学院工学研究科博士課程修了。同年, 同大学工学部助手, 名古屋市工学研究所勤務を経て, 1986 年, 中京大学教養部教授, 1990 年, 同大学情報科学部教授, 1994 年, 同大学大学院情報科学研究科教授 (併任)。視覚の人工知能とその産業応用研究に従事。工学博士。正会員。