

# 似顔絵間の差異に着目した対話的な似顔絵制作システムの提案

小松璃子<sup>1)</sup> (学生会員)

伊藤貴之<sup>2)</sup> (正会員)

1) 2) お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科 理学専攻 情報科学領域

## An Interactive Cartoon Generation System focusing on Difference among Multiple Cartoons

Akiko Komatsu<sup>1)</sup> (Student Member) Takayuki Itoh<sup>2)</sup> (Member)

1) 2) Ochanomizu University

{akiko, itot}@itolab.is.ocha.ac.jp

### アブストラクト

SNS やゲームをはじめとする様々な場面において、似顔絵のアバターやアイコンが使用される機会が増えている。これらの似顔絵を電子的に制作する手法として、自身の顔の特徴に似ていると感じるパーツイラストを選択し、これらを配置する手法が広く普及している。特に、複数の人物の似顔絵を同時に制作する際に、各被写体の特徴をよく捉えた似顔絵を制作するには、被写体間の差異を表現するパーツイラストを選択・配置することが効果的である。しかし例えば、似たような特徴をもつ複数の被写体から似顔絵を制作する際に、各被写体の特徴を捉えつつ被写体間の差異も表現することは簡単ではない。本論文では、似顔絵が単体として被写体の特徴を捉えているかどうかだけでなく、他者の似顔絵と比べて相対的な表現も重要であることに着目し、似顔絵間の差異を可視化しながら対話的な似顔絵制作を支援する似顔絵制作システムを提案する。これにより、ユーザは相対的に被写体の似顔絵の特徴を把握することができ、被写体の特徴を捉えた似顔絵を制作できるようになる。

### 1. はじめに

SNSの普及に伴い、人物の特徴を表した似顔絵を使用する機会が増加している。似顔絵は、SNSやソーシャルゲーム上のアバターとして、写真加工によるスタンプとして、顔の特徴を伝える媒体として、その他にもさまざまな用途で使われている。このような場面で似顔絵を活用するに際して、似顔絵が写実的な意味で被写体に似ていることは必ずしも重要であるとは限らない。むしろ、被写体が誰であるかを面識のある人にさえ認識してもらえる程度に特徴を捉えた似顔絵が制作できれば十分である、という用途も多い。例えばSNSの友人やソーシャルゲームの対戦相手が、その似顔絵が他の人ではない誰かであることさえ特定できれば、それだけでその似顔絵は十分に役割を果たしているといえる。以上の背景を踏まえると、現代の似顔絵の中には、写実的な意味で似ていることよりも、以下の2つの要件

[要件1] 被写体をよく知る人が認識できる程度に特徴をとらえた似顔絵を制作できる

[要件2] 他の似顔絵との区別がつく程度に独自性のある似顔絵を制作できる

を満たすことが重要である、という用途は多々あるといえる。さらに注意すべき点として、上述の2つの要件は必ずしも両立するとは限らない、という点がある。例えば、非常に似ている数人の被写体から同時に似顔絵を制作するときに、上述の2つの要件を同時に満たすことは簡単ではない。このような状況において制作者は、他の似顔絵とのバランスをとりながら主観的な判断によって似顔絵を調整する必要がある。よって本研究において、全自動型の似顔絵生成システムを開発することは必ずしも最適な手段とは限らない。むしろ、制作者の主観的な判断を支援する対話操作型の似顔絵生成システムが有用であると考えられる。しかし、このような観点で設計された似顔絵生成システムはまだ前例が少なく、検討の余地があると考えられる。

本論文では、写実的な似顔絵ではなく積極的にデフォルメを施すような似顔絵を制作する場面において、他者とは異なる被写体特有の特徴を捉えた似顔絵を制作するために、似顔絵単体

が被写体の特徴を表現できているかどうかだけでなく、他者の似顔絵と比べて相対的に特徴を表現できているかを可視化する似顔絵生成システムを提案する。本システムでは、複数の似顔絵を画面上に表示し、それぞれの似顔絵を構成するパーツイラストのパラメータをもとに、他者の似顔絵との類似度を算出して可視化画面上にプロットすることで、似顔絵群の類似度分布をユーザに示す。また、似顔絵の各パーツ（目、眉などのパーツ）が与える印象の大きさに関するアンケート結果にもとづいて、他の似顔絵との違いを表現するために効果的なイラストのパラメータをユーザに提示する。これによりユーザは、現在制作中の似顔絵が他のどの似顔絵と似ているか、または異なっているかを確認しながら、被写体に似ていると感じる似顔絵に近づくようにパラメータを操作することができる。結果として本手法は、他の似顔絵と非常に似た似顔絵を制作することを避けつつ、他の似顔絵にはない被写体特有の特徴を捉えた似顔絵を制作するというタスクを支援する。

本論文は以下の構成をとる。まず2章で関連研究をまとめ、3章で提案手法の内容について述べる。4章で本手法のユーザテスト、評価実験についての考察を行い、5章でまとめと今後の課題を述べる。

## 2. 関連研究

似顔絵を電子的に制作する手法として、目や口といった顔のパーツごとに用意された複数のイラスト画像の中から、ユーザ自身のパーツの特徴を捉えていると思うものを手動選択し、これらを組み合わせる手順を採用したシステムが商用的に普及している。さらに、このパーツ選択と画像合成を自動化することで似顔絵を自動生成する手法[1,2,3,4,5]が多数研究されている。Sepelriら[1]は、サンプルデータとして顔写真とその似顔絵を用意し、被写体とサンプルデータの顔パーツの形状のハウスドルフ距離が最も小さい顔写真の似顔絵からパーツイラストを抽出し、これらを組み合わせて似顔絵を生成する手法を提案した。また、Zhangら[2]は、サンプルデータの顔写真から各パーツの特徴量を算出し、k近傍法を使って被写体の顔パーツの特徴量に最も近いパーツイラストを自動選択する手法を提案した。この方法は、世代・性別を問わず、あらゆる被写体に対してある程度適切なパーツイラストを選択することが可能である。しかしながら、似たような特徴をもつ被写体（同世代で同じような髪型の被写体など）には同じようなパーツイラストが選択されるため、被写体の特徴を十分に表現できない場合がある。筆者らはこれらの問題を解決するために、あらかじめ用意したパーツイラストから被写体の特徴に沿ったパーツイラストを自動合成し、これらを組み合わせて似顔絵を自動生成する手法[16]を提案した。この手法では、パーツイラスト画像に対して、被写体の顔の特徴に基づく重みでモーフィング技術を適用し、パーツイラスト画像を合成する。これにより、被写体の詳細な特徴を捉えたパーツイラストを組み合わせて似顔絵を生成することができる。しかしながら、1章で述べた[要件1][要件2]を満たすには、似顔絵単体が特徴を捉えているかどうかだけでなく、他者との

区がつくような特徴を主観的な判断で表現する必要がある。

複数の似顔絵を比較して似顔絵を生成する対話型システムの例として、中州ら[15]の方法がある。この手法では、複数の似顔絵から被写体に似ていると感じる似顔絵を選択する操作を繰り返して、対話型GAにより似顔絵を提示することで、ユーザが持つ被写体の印象やイメージから直観的な操作で似顔絵を生成することができる。しかし、対話型GAを使用しているため生成される似顔絵にランダム性があり、意図した似顔絵を生成できない場合がある。

このほかの似顔絵を制作する手法として、顔写真とデッサン風の似顔絵の学習データからMRF (Markov Random Field) モデルを算出して似顔絵を自動生成する手法[6,7,8,9]や、顔写真から特徴点を抽出することで各パーツの位置関係を認識し、それに沿って顔写真の原色や輪郭線を強調することにより、油絵風やデッサン風の画像の似顔絵を自動生成する手法[10,11,12,13,14]が多数提案されている。近年は、GAN (Generative Adversarial Network) の応用研究としてアニメや漫画風の似顔絵を生成する手法[18]が提案されている。これらの手法により、実写画像の特徴を忠実に表現する似顔絵を自動生成できる。しかし、色、ストローク、テクスチャなどの使い方が限定されるため、生成される似顔絵の画風が限られてしまう場合がある。特に、実写画像を加工して似顔絵を生成する手法では、デフォルメのような極端な画風の表現が困難である。また、これらの手法では画像全体に加工を施すため、パーツ単位で細かな調整を加えることができない。

本論文では、パーツイラストの自動選択手法を用いて生成した似顔絵について、他者の似顔絵との類似度および非類似度を可視化し、相対的に似顔絵の特徴を把握できるシステムを提案する。これにより、ユーザは似顔絵が被写体の特徴を捉えているかどうかを俯瞰的に把握することができる。また、提案システムでは、似顔絵の各パーツが与える印象の大きさにもとづき、他の似顔絵との違いを表現できるパーツイラストのパラメータを対話的に提示する。ユーザは、提示されたパラメータを参考にして各パーツイラストの形状を対話的に操作することができる。

## 3. 提案手法

本システムでは、はじめに、被写体の顔写真をもとに初期似顔絵を自動生成する。まず本システムでは、筆者らの既存手法[16]を適用して初期似顔絵を生成する。既存手法では、評価実験の結果からユーザインタフェースを介してユーザ自身が似顔絵のパラメータを調節することが、似顔絵に対する高い満足度につながっている可能性が得られた。しかしながら、前述のように、同世代の似たような複数の被写体の似顔絵を制作するシナリオにおいて、一般ユーザが他の似顔絵とのバランスを取りながら、各被写体の特徴を表現する似顔絵を制作することは容易ではない。そこで本手法では、他の似顔絵との違いを可視化し、違いを表現するために効果的なパーツイラストのパラメータを提案する似顔絵生成システムを提案する。ユーザは自動生成さ

れた初期似顔絵の各パーツパラメータを、ユーザインタフェースを使って操作することで、他の似顔絵と似すぎないように、かつ被写体の特徴を失わないように、といった点を意識しながら似顔絵を調整することができる。提案システムのスナップショットを図1に示す。また、ユーザインタフェースの表示内容を以下に示す。

- 図1(A)・・・似顔絵のパラメータを操作するパネル
- 図1(B)・・・制作中の似顔絵
- 図1(C)・・・被写体と似顔絵の一覧
- 図1(D)・・・各似顔絵のパーツイラストのパラメータ値

図1(E)・・・他の似顔絵との違いを表現するために有効なパラメータ（以降、推奨パラメータとする）の表示

図1(F)・・・他者の似顔絵との類似度

提案システムは、図1(D),(E),(F)の機能により、1章で述べた[要件1][要件2]を両立するような似顔絵の制作を支援する。本章では、3.1節で初期似顔絵の自動生成方法を述べ、3.2節で他者の似顔絵との類似度の可視化方法を示し、3.3節で推奨パラメータの決定手法を述べる。

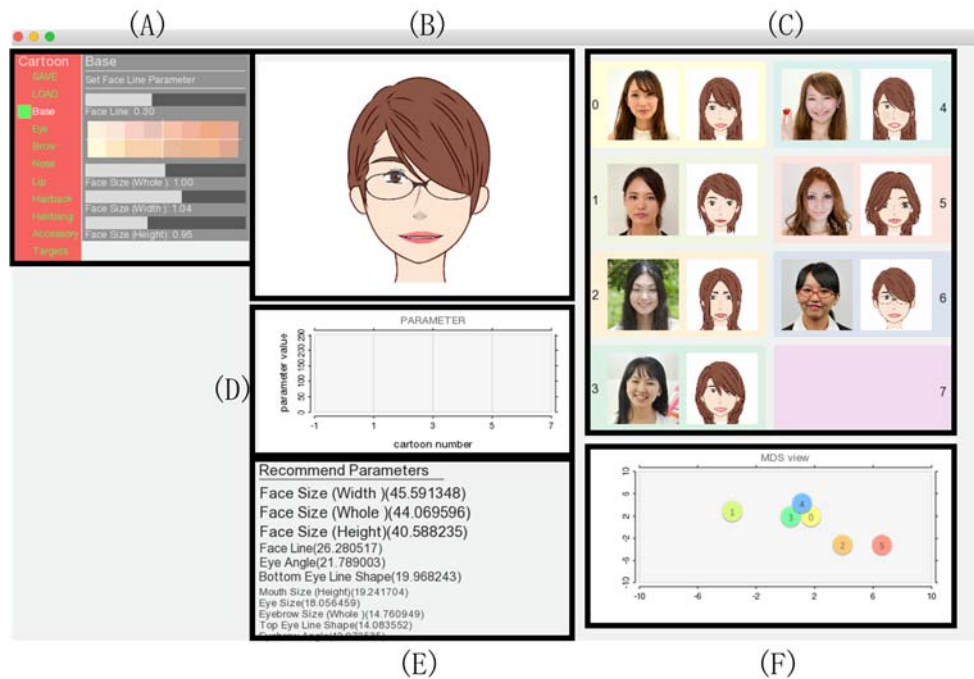


図1. 提案システムのインタフェース.

表1. 顔パーツの特徴.

部位	特徴名	対義語	
目	上アイライン	内寄り	外寄り
	下アイライン	上向き	下向き
	大きさ	大きい	小さい
	傾き	つり目	たれ目
	位置 (上下)	上	下
	位置 (左右)	左	右
	瞳の色	-	-
眉	眉山の位置	内寄り	外寄り
	大きさ	大きい	小さい
	傾き	つり眉	たれ眉
	縦横比	縦に太い	横に長い
	位置 (上下)	上	下
	位置 (左右)	左	右
	眉の色	-	-
鼻	小鼻	丸い	細い
	大きさ	大きい	小さい
	縦横比	縦に長い	横に広い
	位置 (上下)	上	下

部位	特徴名	対義語	
口	上唇	上向き	下向き
	下唇	上向き	下向き
	大きさ	大きい	小さい
	唇の縦横比	厚い	薄い
	位置 (上下)	上	下
	唇の色	-	-
輪郭	頬の丸み	丸い	細い
	大きさ	大きい	小さい
	縦横比	縦に長い	横に太い
	肌の色	-	-
髪型	前髪	-	-
	後ろ髪	-	-
	髪の色	-	-

### 3.1 初期似顔絵の生成

この手法では表1に示すように、各特徴を表現するパーツイラスト画像をあらかじめ用意する。そして、パーツイラスト画像に対してモーフィング技術を適用し、被写体の顔の特徴に基づく重みでパーツイラスト画像を合成する。最後に、被写体の髪領域をもとに髪型を自動判別し、これらを組み合わせて初期似顔絵を自動生成する。本節では、3.1.1項で既存手法[16]のパーツイラスト画像の合成、3.1.2項で髪型判別の詳細について述べる。なお、既存研究に対して髪型の種類が少ないといったフィードバックが得られたことから、髪型判別の改善手法として、髪型イラストを前髪と後ろ髪に分けて、それぞれの髪型イラストを自動判別する処理を追加で実装した。

#### 3.1.1 モーフィングによるパーツイラスト画像の合成

モーフィングによる画像合成は、表1に示される特徴のうち「目の上下アイライン」、「眉山の位置」、「小鼻の形状」、「口の上下唇の形状」に対して適用する。また、モーフィングで合成された各パーツイラスト画像に拡大縮小、回転、移動を加えることにより、モーフィングを適用しない特徴を表現する。モーフィングの重みは、FaceTracker[17]を使用して取得した顔パーツ形状から各特徴への該当度を算出し、これらを正規化することで算出する。各特徴への該当度の算出方法を図2に示す。

算出した特徴該当度を最小値が0、最大値が1となるように正規化し、これをモーフィング処理の重み係数として用いる。正規化には、あらかじめサンプル顔画像200枚にて算出した特徴該当度の平均値 $A_{average}$ 、最大値 $A_{max}$ 、最小値 $A_{min}$ を使用する。各特徴該当度を $C$ とすると、モーフィングの重みづけ $D$ は以下の式によって得られる。

$$D = \begin{cases} \frac{C - A_{average}}{2(A_{max} - A_{average})} + 0.5, & A_{average} < C \\ \frac{C - A_{min}}{2(A_{average} - A_{min})}, & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

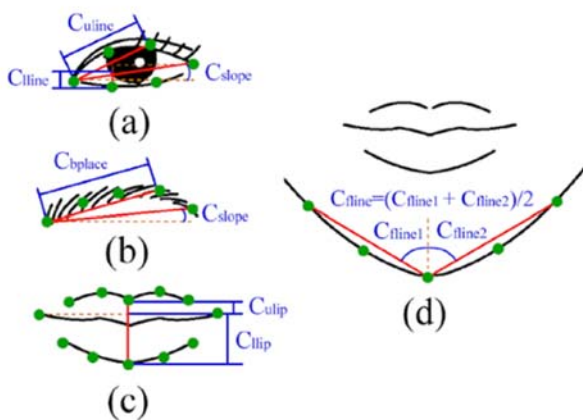


図2. 各特徴への該当度の算出方法。(a)目の上下アイラインと傾き、(b)眉山の位置、(c)上下唇、(d)頬の丸み。

#### 3.1.2 髪型の判別

続いて本手法では、顔写真から抽出した前髪領域と後ろ髪領

域を、あらかじめ用意された11種類の髪型イラスト画像と形状とマッチングすることで、髪型イラストを選出する。ここで入力画像から髪領域を抽出するために、本手法では、3.1.1節で取得した顔パーツの位置にもとづいて、被写体のこめかみ部分のRGB値を髪色の基準色として採取し、RGB値が基準色 $\pm 70$ の領域を、顔の輪郭線に沿って前髪と後ろ髪領域に分割する。髪領域および髪型イラストのサンプル画像を図3,4に示す。

続いて本手法では、抽出した髪領域と髪型イラストの形状の類似度を以下の式で算出する。

$$\sum_{i=1..7} |m_i^A - m_i^B| \quad (2)$$

$$m_i^A = \text{sgn}(h_i^A) \cdot \log h_i^A$$

$$m_i^B = \text{sgn}(h_i^B) \cdot \log h_i^B$$

ここで、 $h_i^A$ と $h_i^B$ はそれぞれ髪領域と髪型イラストの7つ( $i = 1 \dots 7$ )のHuモーメント不変量を表す。 $m_i^A$ と $m_i^B$ は、画像処理ライブラリOpenCVにおける形状比較の関数MatchShapes[19]で使用される計算式を採用した。本手法では、式(2)の計算結果の値が最も小さい髪型イラストを、似顔絵の髪型として選択する。

最後に、3.1.1節で生成した似顔絵のパーツイラストと髪型イラストを組み合わせて、初期似顔絵を自動生成する。ユーザは提案システムを操作することで、自動生成された似顔絵に対して、表1に示した特徴を調整できる。さらにユーザは提案システム上で、メガネ、チーク、ほくろ(この3点を以下アクセサリと称する)、髪型を変更できる。

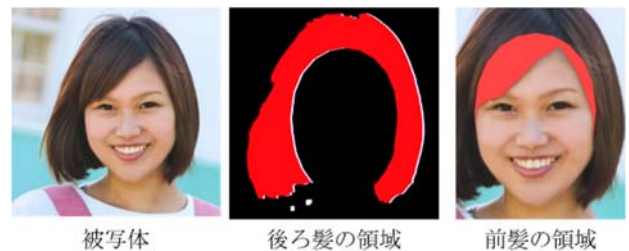


図3. 後ろ髪・前髪の領域抽出結果。



図4. 後ろ髪・前髪のサンプルイラスト。

### 3.2 他者の似顔絵との類似度の可視化

本システムでは、似顔絵間の類似度を可視化する機能として、似顔絵を構成するパーツイラストのパラメータ値を多次元尺度構成法(MDS: Multi Dimensional Scaling)によって次元削減した結果を表示する。可視化結果の例を図5に示す。この可視化結果は、それぞれの似顔絵の被写体の番号をプロットしており、似顔絵の特徴量が異なるほど遠い距離にプロットを配置する。図5では、被写体の番号が0から6である7名の似顔絵のパラメータ値を次元削減した結果をプロットしている。これらのプロット

は、ユーザがパーツイラストのパラメータを操作する度に更新される。ユーザはこの可視化機能を参照することで、例えば他者の似顔絵と比べて相対的に特徴を表現するために、プロット間の距離を大きくするようにパーツイラストのパラメータを調整することができる。これらのパラメータを調整して再度プロットした例を図6に示す。この例では、ユーザが被写体番号0と4の差異を表現するために、被写体番号0の目の下アイラインのパラメータを0.1から1.4に、被写体番号4の目の下アイラインのパラメータを0.2から0.0に変更している。図5と比較して被写体番号0と4の距離が遠くなるようにプロットされたことがわかる。

次元削減手法にはMDS以外にも、主成分分析 (PCA: Principal Component Analysis), t-SNE (t-distributed Stochastic Neighbor Embedding), UMAP (Uniform Manifold Approximation and Projection)などの手法が知られている。本手法では対話操作の一環として次元削減を用いることから計算時間が小さいことが重要であり、かつデータ要素間の距離を画面空間上で保つことが重要である。この2点により提案システムではMDSを採用した。

MDSの入力値は、各似顔絵のパーツイラストのパラメータを範囲[0,1]に正規化した値の配列とする。なお、アクセサリーの有無を表す次元では、アクセサリーが有る場合を正の定数(筆者らの実装では経験的に0.3としている)とし、アクセサリーが無い場合を0として入力する。髪型については、形状の似ている髪型に近い数字になるようにあらかじめ番号を割り当て、これらを正規化した値をMDSの入力値とした。髪色と肌色、唇の色も髪型と同様に、類似する色が近い数字になるようにあらかじめ番号を割り当てておき、これらを正規化した値をMDSの入力値とした。色番号は、色差の計算式CIEDE2000を使って算出した値にもとづいて割り当てた。色番号のサンプルを図7に示す。

さらに提案システムでは、各似顔絵のパーツイラストのパラメータの値(特徴量)を比較する機能として、ユーザが操作している特徴量の値をY軸とした平行座標グラフを表示する(図8)。ユーザは、他の似顔絵のパラメータ値を参考にしながら、他の似顔絵との差異を強調するなどにより、被写体の個性を誇張した似顔絵を制作することができる。

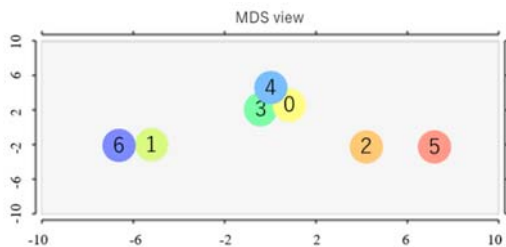


図5. 似顔絵間の類似度の可視化結果の例1.

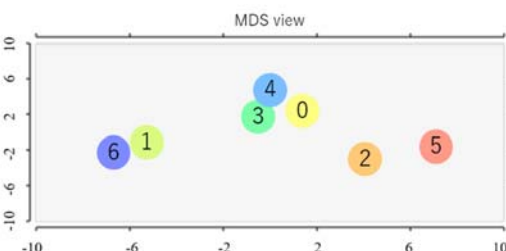


図6. 似顔絵間の類似度の可視化結果の例2.

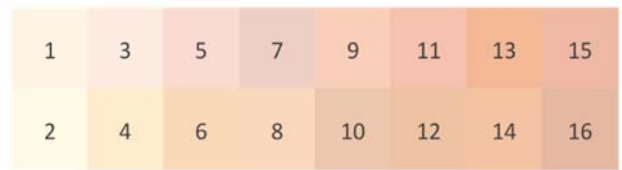


図7. 肌色の色番号.

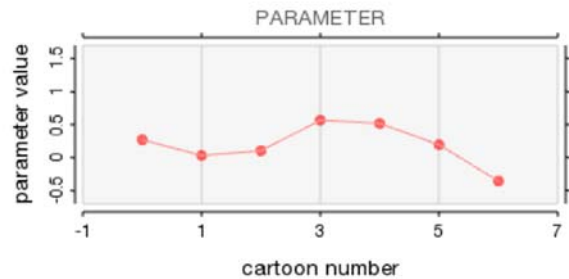


図8. パラメータの値の比較.

### 3.3 推奨パラメータの表示

提案システムでは、似顔絵間の差異を効果的に表現できるパラメータ(推奨パラメータ)をユーザに提示する。推奨パラメータは以下の3つの要素のいずれかを満たすものが選出される。

- ・ 似顔絵に対して与える印象(印象度)が大きい
- ・ 似顔絵の各パラメータにおいて、他者との差分が小さい
- ・ 被写体の顔の特徴量において、他者との差分が大きい

以下、3.3.1節で印象度の測定結果について、3.3.2節で推奨パラメータの計算方法について述べる。

#### 3.3.1 似顔絵の各パラメータが与える印象の大きさ

筆者らは、似顔絵の各パラメータが似顔絵の印象に対してどの程度の影響を与えるかを調査するために、アンケートを実施した。アンケートの事前準備として、表1に示した似顔絵のパーツパラメータ(全31項目から髪の色を除いた30項目)のうち特定のパラメータの値のみを変更した2枚の似顔絵を生成し、2枚1組の似顔絵を30組生成した。そして回答者に、2枚の似顔絵を比較して印象の差異の大きさを5段階で回答する、という評価を30組の各々について実施するように依頼した。本アンケートを20代女性57名に依頼して回答を収集した結果を図9に示す。この図では、値が大きいパラメータほど似顔絵の印象に影響を与えやすいことを示す。

アンケート結果より、「輪郭の大きさ」「目の位置(左右)」「唇の位置」「目の大きさ」「髪型」のパラメータが、似顔絵の印象を特に大きく左右していることが確認された。パーツ単位では、目、輪郭、髪が与える印象が大きく、唇がそれに続いている。また、すべてのパーツにおいて、各パーツの形状よりも、パーツの位置が、より印象の差異に影響を与えることが確認された。

提案システムでは、アンケート結果より得られた似顔絵パラメータの印象度を $I$ とし、3.3.2節にて後述する推奨パラメータの算出式に用いる。

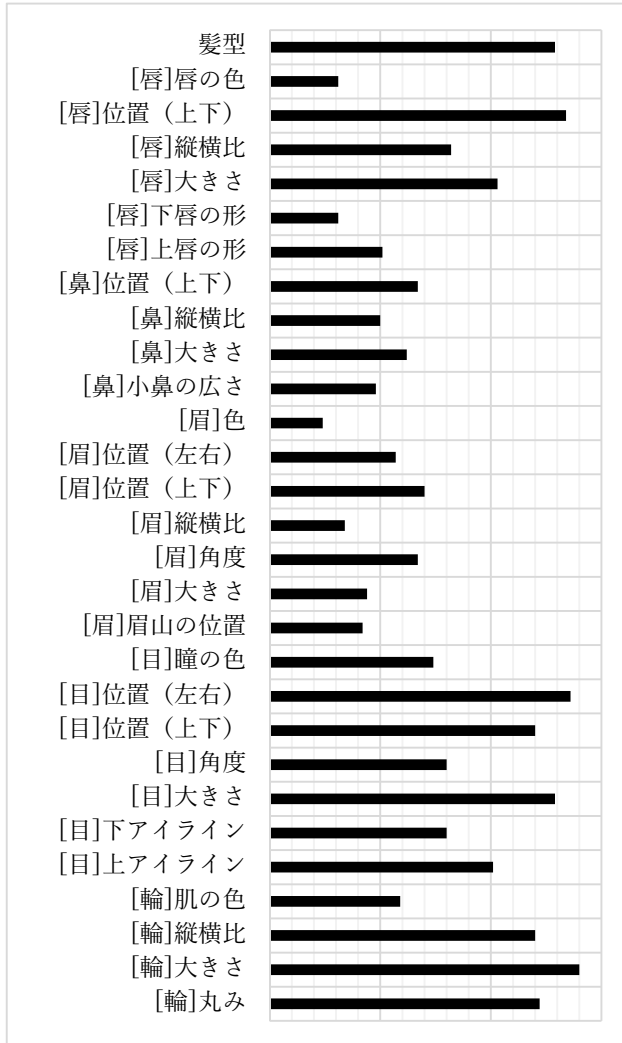


図9. 似顔絵の各パラメータの印象度のアンケート結果.

### 3.3.2 推奨パラメータの決定

提案機能では、パラメータの印象度および被写体の特徴量の分散が大きく、また他者の似顔絵とのパラメータ値の差分が小さいほど、被写体間の差異を表現しやすいパラメータであると仮定し、以下の式を用いて推奨パラメータを決定する。

$$P_{ax} = \frac{(\sigma_{ax} + MD_{ax})I_x}{d_{ax}} \quad (3)$$

ここで、 $\sigma_{ax}$ は被写体aのパラメータxにおける平均からの偏差を示し、 $MD_{ax}$ は、被写体aのパラメータxにおける中央値からの偏差を示す。また、 $d_{ax}$ は被写体aの似顔絵のパラメータxにおける他者の似顔絵との差分の合計値を示す。 $d_{ax}$ はユーザがパーツイラストのパラメータを操作する度に再計算される。 $I_x$ は3.2.1節で調査したパラメータxの印象度を示す。本機能では、式(3)で得られた値が大きいパラメータを、推奨パラメータとしてユーザに提案する。

## 4. 似顔絵の制作結果と評価

本章では、提案システムを使って制作した似顔絵を示し、その似顔絵に対して評価実験を行った結果と考察を述べる。

### 4.1 似顔絵の制作結果

提案システムを用いて被写体7名の似顔絵を制作してもらった結果を図10(A)-(E)に示す。実験参加者は5名の20代女性であり、5名とも計算機科学を専攻する学生であった。また、提案手法の比較対象として、3.2節および3.3節で示した可視化機能と推奨パラメータの表示機能を削除した比較システムを用意した。この比較システムを用いて20代女性の実験参加者3名に被写体7名の似顔絵を制作してもらった結果を、図10(F)-(H)に示す。

提案システムを使用した実験参加者5名と、比較システムを使用した3名に対して、似顔絵の制作結果の満足度を5段階で回答してもらった。なお、5段階は1に近いほど不満であり、5に近いほど満足していることを示す。その結果、提案システムを使用した5名の回答の平均は3.6であり、比較システムを使用した3名の回答の平均は3.0となった。このことから、提案システムを使用した方が制作者の満足度が高いことが確認された。また、提案システムを使用した実験参加者5名に対して、似顔絵の制作過程について、以下の質問に5段階で回答してもらった。回答結果を図11に示す。

- 1) 類似度の可視化によって、似顔絵同士の特徴の差異を把握することができた
  - 2) 類似度の可視化は特徴を捉えた似顔絵制作の役に立った
  - 3) 各パラメータの可視化によって、他の似顔絵のパラメータ値を参考にすることができた
  - 4) 推奨パラメータは特徴を捉えた似顔絵制作の役に立った
- なお、回答は1に近いほど否定的であり、5に近いほど肯定的であることを示す。

加えて、提案システムを使用した感想を自由記述で依頼した結果、可視化機能に関するコメントでは、「自分の印象と似顔絵の特徴が離れていないかを確認できた」「似ている被写体どうしが、きちんと可視化機能において近くに配置されているかを確認するのに役立った」という回答が得られた。実験参加者の多くが、可視化機能によって、被写体の特徴の差異を意識して似顔絵を制作できるようになったことが確認された。また、推奨パラメータに関するコメントでは、「どのパラメータを操作するか迷ったときに参考にした」「なんとなく違うけど何を変えればいいのかわからない時の参考になった」という回答が得られた。このことから、3.2節、3.3節で提案した機能が、1章であげた[要件1][要件2]に対して、似顔絵制作者をある程度満足させる情報を提示できていることが確認された。なお、推奨パラメータについては、似顔絵制作の終盤では制作者自身の判断でパラメータを微調整するため、あまり参考にしなかったといった回答も得られた。

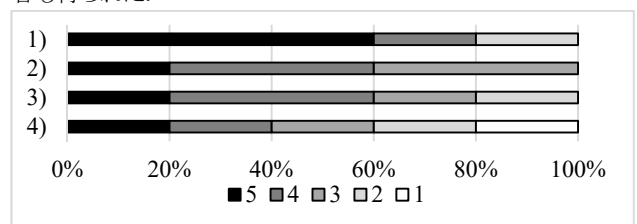


図11. 提案システムを使用した実験参加者のアンケート結果.

## 4.2 似顔絵の評価実験

本節では、4.1 節で示した似顔絵に対する評価実験の概要と結果、考察を述べる。本実験は10代～40代の女性の参加者68名に対して実施した。回答者の内訳を表2に示す。

表2. アンケート回答者の内訳。

年代	～20歳	～30歳	～40歳	～50歳	51歳～
人数	37	30	0	1	0

システムの 使用経験	使用した ことがある	使用した ことがない	わからない
人数	7	58	3

本実験では、被写体画像と提案手法を用いて制作した似顔絵をランダムに5枚を並べ、それぞれの似顔絵がどの被写体画像から生成した似顔絵であると思われるかを選択させるクイズを実施した。この結果、回答者が正しい似顔絵を選択できた割合は約91%であった。このことから、提案システムによる似顔絵が被写体の特徴を十分に表現できていたことが確認された。

また、提案手法を用いて制作した似顔絵と、4.1 節で述べた比較システムを用いて制作した似顔絵のそれぞれについて、似顔絵が人物の特徴を適切に表現できているか（似ているか）をリッカート尺度により5段階評価させた。この結果を図12に示す。5段階評価は1に近いほど否定的であり、5に近いほど肯定的であることを示す。その結果、回答のうち半数以上が特徴を捉えている（5段階評価の4または5）と評価していることが確認された。また、特徴を捉えていない（5段階評価の1または2）とされた似顔絵の数は、提案手法を用いた場合の方が少なかった。提案システムを使用した似顔絵と比較システムを使用した似顔絵の評価の平均値の差は、提案システムを使用した似顔絵の方が0.058ポイント上回った。この結果について有意水準5%の両側検定のt検定を行った結果、 $t(135) = 0.78, p = 0.43$ であり、有意差は認められなかった。

本実験では、特徴を捉えていると評価した似顔絵について、その理由を自由記述するように依頼した。収集したコメントを13種類の単語で分類し、各単語の登場回数で集計した結果を図13に示す。分類に用いた単語は、似顔絵の要素を表す単語をコメントから抽出して採用した。この結果、ほとんどの単語（似顔絵の要素）において、提案手法を用いて制作した似顔絵の方が、提案機能を除いた手法で制作した似顔絵と比べて、登場回数が多いことが確認された。このことから、提案手法を用いることで制作者は、より多くの要素に着目して似顔絵の特徴を表現することができたと考察できる。具体的なコメントとして「印象的な目パーツが適切に表現されていた」「ぱっと見てすぐにどの被写体の似顔絵が判断できた」等の回答が得られた。一方で特徴を捉えていないと評価した回答者のコメントとして「えくぼが無いために太って見える」「似顔絵のパーツイラストが似て見える」等、似顔絵のパラメータやアクセサリの種類の不足を指摘する回答が得られた。

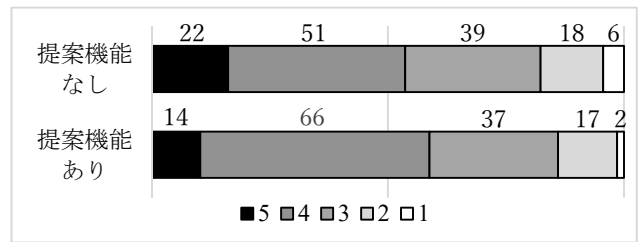


図12. 似顔絵の評価結果。

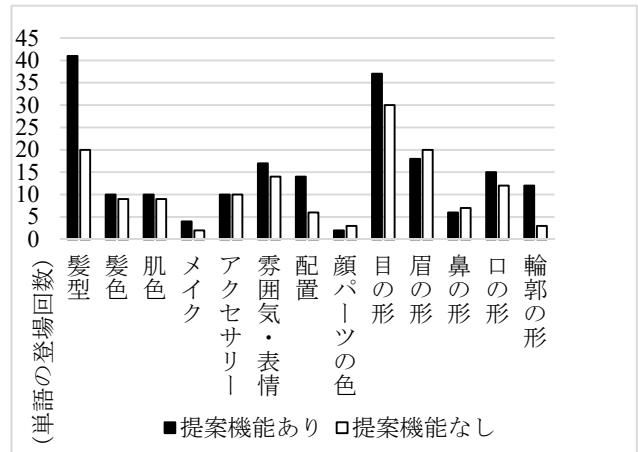


図13. 特徴を捉えていると評価した理由に登場した各単語の回数。

## 5. まとめと今後の課題

本論文では、デフォルメされた似顔絵を制作する際に、似顔絵単体が被写体の特徴を捉えているかどうかだけでなく、他者の似顔絵と比べた相対的な表現も重要であることに着目した似顔絵生成手法について議論した。そして、他者の似顔絵との類似度、およびパラメータの差分を可視化する機能や、他の似顔絵との違いを表現するために効果的なパーツイラストのパラメータをユーザに提示する機能を備えた似顔絵生成システムを提案した。提案システムを使用することでユーザは、現在制作中の似顔絵と他の似顔絵との違いを意識しながら制作を進めることができる。以上により、被写体の特徴を捉え、かつ他の似顔絵との違いを表現した似顔絵を生成することが可能になると考えられる。

今後の課題として、まず機能面での改良について2点述べたい。1つ目の改良点はパラメータ推奨機能である。現時点では、被写体間の差異を表現しやすいパラメータの名称のみをユーザに提示している。しかし似顔絵制作実験の結果として、提案されたパラメータを具体的にどのように操作すべきか判断できないといった意見が制作者から得られた。このため、今後は推奨されるパラメータの値を算出してユーザに提示できるようにしたい。

2つ目の改良点は似顔絵間の類似度の可視化である。現時点の実装では、各似顔絵のパーツイラストのパラメータを範囲[0,1]に正規化した値の配列をMDSで次元削減した結果を表示して

いる。今後は似顔絵の各パーツパラメータの印象度を考慮してパラメータに重みをつけるなどを試みることで、より制作者の直感に合った可視化結果を模索したい。

これらの機能改良に取り組んだ上で、以下の観点から評価実験に再度取り組みたい。1点目として、実験参加者の増員があげられる。4.2節にて示した通り、今回の評価実験では提案システムと比較システムとの間に評価結果の有意差を認めることができなかった。実験参加者を増員すれば有意差が生じるかについて検証したい。また女性の実験参加者だけでなく男性の実験参加者も募った上で、実験結果に男女差が生じるかを検証したい。なお今回の評価実験では5段階評価を採用したが、4段階・6段階といった偶数段階の評価の採用も検討したい。2点目として、アブストラクトおよび1章であげた「似たような特徴をもつ複数の被写体から似顔絵を制作する」という状況での評価実験があげられる。今回採用した顔画像データセットの中からは、この条件での評価実験にふさわしい被写体群を見つけることができなかった。別の顔画像データセットを採用するなどの形で評価実験の実現を目指したい。3点目として、似顔絵の制作結果以外の観点、例えばシステムの使いやすさ、制作所要時間、などの観点からも提案システムと比較システムとの実験結果に有意差が生じるかを検証したい。

## 参考文献

- [1] Sepehri Nejad, Saman, and Mohammad Ali Balafar. "Component-based cartoon face generation." *Electronics* 5.4 (2016): 76.
- [2] Zhang, Yong, et al. "Data-driven face cartoon stylization." *SIGGRAPH Asia 2014 Technical Briefs*. 2014. 1-4.
- [3] Rhee, Chi-Hyoung, and C. Lee. "Cartoon-like avatar generation using facial component matching." *Int. J. of Multimedia and Ubiquitous Engineering* 8.4 (2013): 69-78.
- [4] Meng, Meng, Mingtian Zhao, and Song-Chun Zhu. "Artistic paper-cut of human portraits." *Proceedings of the 18th ACM international conference on Multimedia*. 2010.
- [5] Min, Feng, et al. "An automatic portrait system based on and-or graph representation." *International Workshop on Energy Minimization Methods in Computer Vision and Pattern Recognition*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007.
- [6] Li, Hongliang, Guanghui Liu, and King Ngi Ngan. "Guided face cartoon synthesis." *IEEE Transactions on Multimedia* 13.6 (2011): 1230-1239.
- [7] Wang, Xiaogang, and Xiaoou Tang. "Face photo-sketch synthesis and recognition." *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 31.11 (2008): 1955-1967.
- [8] Chen, Hong, et al. "Example-based automatic portraiture." *Chinese Journal of Computers -Chinese Edition-* 26.2 (2003): 147-152.
- [9] Chen, Hong, et al. "PicToon: a personalized image-based cartoon system." *Proceedings of the tenth ACM international conference on Multimedia*. 2002.
- [10] Fišer, Jakub, et al. "Example-based synthesis of stylized facial animations." *ACM Transactions on Graphics (TOG)* 36.4 (2017): 1-11.
- [11] Zhang, Wenli, et al. "Automatic face caricatures synthesis and exaggeration." *Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry*. 2015.
- [12] Zhao, Mingtian, and Song-Chun Zhu. "Portrait painting using active templates." *Proceedings of the ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering*. 2011.
- [13] Wang, Tinghui, et al. "Learnable stroke models for example-based portrait painting." *BMVC*. 2013.
- [14] Li, Xuewei, and Xiaochun Cao. "A simple framework for face photo-sketch synthesis." *Mathematical Problems in Engineering* 2012 (2012).
- [15] Nakasu, Toshiaki, et al. "Nigao: interactive facial caricature drawing system using genetic algorithm." *ACM SIGGRAPH 2005 Posters*. 2005.
- [16] 小松, 伊藤, パーツ単位のモーフィングによる似顔絵生成, *芸術科学会論文誌*, Vol. 14, No. 5, pp. 180-187, 2015.
- [17] FaceTracker, <http://facetracker.net/>
- [18] Su, Hao, et al. "Unpaired photo-to-manga translation based on the methodology of manga drawing." *arXiv preprint arXiv:2004.10634*, 2020.
- [19] `OpenCV` `ShapeMatchModes`, [https://docs.opencv.org/3.4/d3/dc0/group\\_imgproc\\_shape.html#gaf2b97a230b51856d09a2d934b78c015f](https://docs.opencv.org/3.4/d3/dc0/group_imgproc_shape.html#gaf2b97a230b51856d09a2d934b78c015f)



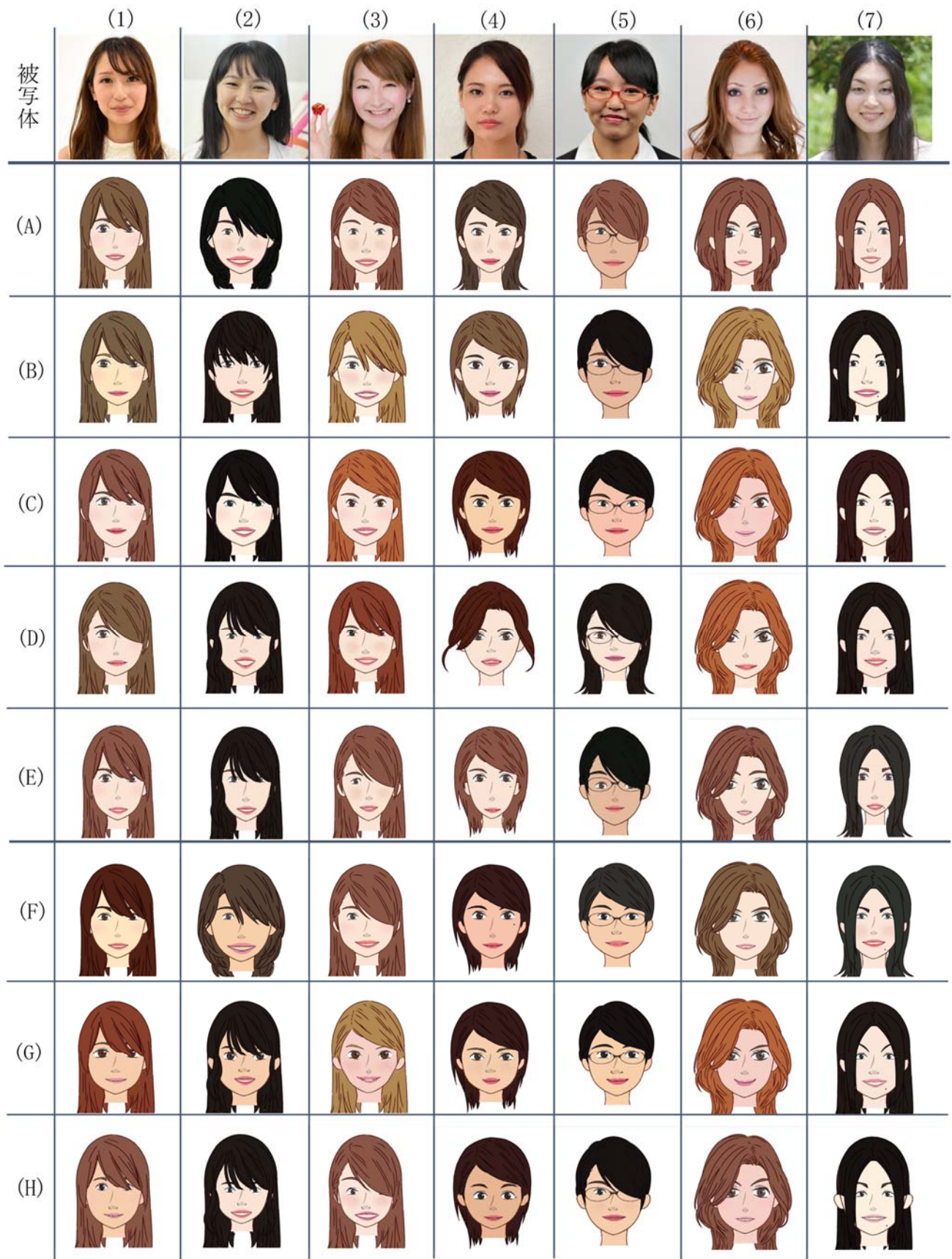


図 10. 似顔絵の生成結果. (A)~(F) : 提案システムを用いて制作した似顔絵、(F)~(H) : 比較システムを用いて制作した似顔絵

**小松 璃子**



2014 年お茶の水女子大学理学部情報科学科卒業。2016 年お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科理学専攻修士課程修了。現在お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科理学専攻博士後期課程卒業在学中。

**伊藤 貴之**



1990 年早稲田大学工学部電子通信学科卒業。1992 年早稲田大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年日本アイ・ビー・エム (株) 入社。1997 年博士(工学)。2000 年米国カーネギーメロン大学客員研究員。2003 年から 2005 年まで京都大学大学院情報学研究科COE 研究員 (客員助教授相当) 兼任。2005 年日本アイ・ビー・エム (株) 退職、お茶の水女子大学理学部情報科学科助教授。2011 年同大学教授。2011 年から 2017 年まで同大学シミュレーション科学教育研究センター長。2019 年から同大学文理融合 AI・データサイエンスセンター長。ACM, IEEE Computer Society, 芸術科学会, 他会員。