

個人性を保持したデータドリブンなパーツベース経年変化顔画像合成

桑原 大樹^{1,a)} 前島 謙宣^{1,†1} 藤崎 匡裕¹ 森島 繁生^{2,b)}

概要: 犯罪捜査や行方不明者の捜索での利用を目的とし、顔写真から対象人物の過去や未来の顔を予測する技術が求められている。そこで本研究では、対象人物の顔画像を目標年代の顔のパーツ画像を用いて再構成することで、経年変化顔合成を行う。提案手法では、再構成に用いる画像選択基準として本人の個人性を強く残すような制約を加えることで、従来研究で不十分であった個人性の保持と年齢特徴の再現の両立を可能とした。また、パーツ選択において選択候補に順位付けをすることで、合成結果を複数パターン提示することが可能となった。

1. はじめに

人の顔はその人の個人性が強く現れる部位の一つであり、個人の認識に大きな役割を果たしている。そのため、映像作品での表現方法や顔認証への応用など多くの研究が行われてきた。

顔の特徴として、年齢とともに皺が増える、目元や頬がたるむ、しみが増えるといった変化が生じることが挙げられる。そのため、長い年月を隔てた2つの顔写真から写っている人物が同一人物かどうか判定することは、自動認証や人間の知覚でも難しい場合が存在する。一方で、長期間に渡る行方不明者の捜索や犯罪者の足取り調査においては、事件当時の写真をもとに聞き取り調査などを行う必要があり、捜査を難しくする要因の一つとなっている。法医学に基づき経年変化画像を作成する方法も存在するが [1]、高度な技術を要するとともに、作者による差も生じうる。そこで本研究は、過去の顔から現在の顔、あるいは現在の顔から過去の顔を自動合成することで、このような捜査を支援することを目的とする。

経年変化顔画像合成手法の多くは、Active Appearance Model(AAM)[2] のように多人数の顔の線形和により新たな顔を合成する方法を採用している。しかし、このような方法で合成された顔はぼけが生じてしまうため、年齢特徴の一つである肌の質感が十分に再現できない。

そこで本稿では、肌の質感を再現するために、実際の顔画像の一部を組み合わせることで経年変化顔を再構成する方法を採用する。具体的には、予め用意した年代別顔画像データベースから、目標年代でかつ対象人物に類似した顔のパーツを持つ人物を検索し、その人物のパーツで本人の顔パーツを置き換えることで、目標年代らしい顔画像を生成する。この際にデータベース画像群を用いて、年齢ごとの本人の個人性を残しつつ顔パーツの変化を徐々に再現することで、個人性の保持と十分な年齢特徴の再現を可能とした。また、合成に用いる人物のパーツ選択において選択候補に順位付けをすることで、合成結果を複数パターン提示することが可能となった。

2. 関連研究

既存の多くの経年変化合成手法は、AAMのように多人数の顔の線形和で新たな顔を表現するアプローチを採用している。LanitisらおよびPattersonらは、30歳以下の人物からAAMのパラメータを取得し、パラメータと年齢の関係を関数としてモデル化することで若年での形状とテクスチャの経年変化を再現した [3], [4]。また、AAMではなく3D Morphable Model(3DMM)[5] のパラメータと年齢との関係を非線形回帰により求める方法も提案されている [6]。しかし、これらの方法で合成された結果には、画像を線形和で表現したとき特有のぼけが生じてしまう。そのため、肌のざらつきや細かいシミといった詳細な質感の表現は難しい。

一方、年齢相当の肌の質感を再現する方法として、予め用意したデータベース中の顔画像を貼り合わせて新たな顔を表現するアプローチが存在する。Maejimaらは、顔画像をパッチと呼ばれる小さな矩形に分割し、対象人物の顔画

¹ 早稲田大学

Waseda University, Shinjuku, Tokyo 169-8555, Japan

² 早稲田大学理工学術院理工学総合研究所

Waseda Research Institute for Science and Engineering

^{†1} 現在、株式会社オー・エル・エム・デジタル

Presently with OLM Digital Inc., Setagaya, Tokyo 154-0023

^{a)} kuwahautbois@fuji.waseda.jp

^{b)} shigeo@waseda.jp

像を目標年代のパッチで再構成することで個人性を維持しつつ肌の質感を変化させている。[7]しかし、パッチごとの処理であるため皺や肌のたるみといった比較的大きな特徴の表現が不自然になりやすいという問題があった。

これらの中間的な手法も存在する。Suoらは、顔の各パーツについてデータベース内で遷移モデルを構築することで変化の様子を表現可能とし、階層的なAAMと組み合わせで顔全体を表現した[8]。しかし、この遷移モデルはある年代とその直前の年代での関係のみを記述し、経年変化全体を通して個人性が残ることを保証できていない。

そこで本稿では、パッチではなく顔のパーツごとに顔を再構成することで、肌の質感とともに皺やたるみを精細に表現可能な経年変化顔合成手法を提案する。まず、予め各顔パーツについて年代間の遷移モデルを構築しておく。対象人物の画像とその年代および合成の目標とする年代が与えられたとき、各顔パーツについて現在年代から目標年代までデータベース内で遷移が計算される。この際に、Suoらの手法と異なり、各年代での選択画像だけでなく本人との類似度も考慮することで、次年代での選択画像を決定する。目標年代で選ばれたパーツ画像群は、テクスチャ合成の枠組みにより本人画像と合成される。これにより、本人の個人性を保持した年齢変化の様子を再現することが可能となった。また、本人との類似度をもとに選択候補に順位付けを行うことで、複数候補の提示も可能となった。

3. 年代間連続性を考慮した顔パーツ画像選択

本章では、データベース内の顔画像から対象人物と類似の顔パーツを選ぶ方法について述べる。人の顔は加齢により前年代の顔から徐々に変化するという仮定から、対象人物の年代経過による顔の遷移を、データベース内画像群を用いて再現する。その遷移を制約として対象人物と目標年代人物のパーツ間類似度を計算することで、個人の年齢変化を反映した類似顔パーツ画像の選択が可能となる。

3.1 顔の正規化およびパーツ分割

本研究では、画像から取得した特徴点座標に基づき顔の正規化、顔パーツ位置の指定および4.1節に示す顔形状変形を行う。まず89点の顔特徴点をIrieらの方法[9]により取得した(図1左)。

顔のパーツは左右で同じ人物から取得するため、取得した89点のうち、パーツ画像の選択には左右対称性も考慮して計56点を用いる(図1右)。入力画像の目、鼻、口、眉、輪郭の5つのパーツを示す特徴点群それぞれに対してプロクラステス分析[10]を行い、スケール、並進位置、回転角度がデータベース内の平均パーツ形状と一致するような画像を計5通り生成した。



図1: 取得した特徴点89点(左)およびパーツ選択に用いる特徴点計56点(右)

3.2 年代経過による顔の遷移モデル

加齢による顔の変化は年齢を重ねるごとに徐々に生じると考えられる。Suoら[8]は、ある年代での顔は前年代での顔のみから決定されるというマルコフ遷移モデルを導入し、各パーツの類似度をもとにパーツの年齢変化を確率モデルで表した。しかし、ある年代での選択画像と次年代での遷移先として選ばれた画像は別の人物のパーツ画像である。そのため各年代間での類似度が高くても、年代が離れるほどに本人との類似性が低くなり個人性が保たれない可能性がある。

そこで本研究では、Suoらと同様に各年代画像間の類似度に基づいて各年代での遷移確率の高い候補を複数選んだ後に、対象人物との直接の類似度を計算する。そして、本人との類似度が高いパーツ画像を最終的な選択パーツとする(図2)。これにより、前年代からの変化が自然でありながら本人の個人性が保持されている画像を選ぶことが可能である。

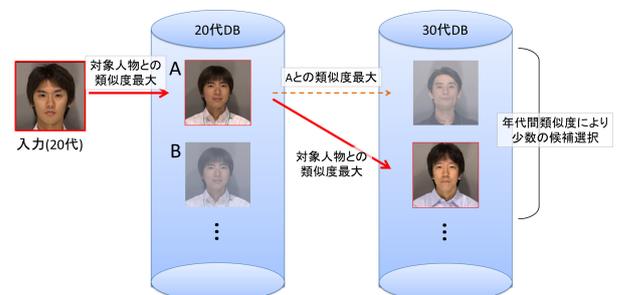


図2: データベース内の遷移および対象人物との類似度に基づく画像選択。

3.3 顔の類似度評価尺度

顔パーツの類似度計算には、その人の個人性を強く反映する特徴量を用いることが望ましい。本研究では、顔パーツの形状特徴としてHistogram of Oriented Gradients(HOG)[11]および顔特徴点間のThin-Plate Spline変形歪み[12]を用いる。また、色特徴として色ヒストグラムを用いる。

HOG特徴量は、節で取得した各パーツの特徴点を中心とした局所領域でそれぞれ計算し、対応する特徴点近傍のHOGのユークリッド距離のRMS値を距離 d_{HOG} とした。また、顔特徴点間のThin-Plate Spline変形歪みを d_{warp} 、

各パーツの特徴点を包含する最小矩形領域内での色ヒストグラムのインターセクションを s_{color} とした。このとき、全体の類似度 S_{total} を

$$\frac{1}{S_{total}} = w_1 d_{HOG} + w_2 d_{warp} + w_3 \frac{1}{s_{color}} \quad (1)$$

と定めた。また、 w_i はそれぞれの特徴の重みを表す係数であり、経験的に $w_1 : w_2 : w_3 = 3 : 2 : 3$ とした。

4. 年齢顔テクスチャ合成

本章では、3章で選択された顔パーツをもとに対象人物の経年変化顔画像を合成する方法について述べる。合成は、顔の幾何形状の変形とテクスチャの生成の二段階で行う。

4.1 顔形状変形

子供から成人への成長において、顔形状は頭蓋の成長により大きく変化する。また成人して以降も高齢になるに伴い、肌のコラーゲンや筋肉の減少が原因で重力方向へのたるみが生じる [13]。そのような変化を合成画像へ反映させるために、対象人物の顔形状をデータベース内の年代別顔画像を基にして変形させる。

データベース画像それぞれに対して 3.3 節で取得した顔特徴点に基づき顔のメッシュを Radial Basis Functions を用いたワーピング [14] によりフィッティングすることで、各年代での平均顔形状を作成する。また、対象人物に対しても同様にメッシュをフィッティングすることで個人の形状を取得する。個人の形状に対して、現在年代の平均形状と目標年代の平均形状の差分、すなわち年代間の平均的な顔の変化量を付加し、対象人物の経年変化後の顔形状とする。この形状に合わせて合成画像をワーピングすることで、指定した年代への平均的な形状変化を対象人物に付加することができる。

4.2 勾配の転写による自然な顔合成

選択された顔パーツを、4.1 節で変形させた顔画像に転写することで経年変化顔を合成する。転写は、前島ら [7] の方法と同様に輝度勾配の転写手法 [15], [16] を利用する。

対象人物の顔画像の画素値を $f^*(x, y)$ 、埋め込む顔パーツ画像の画素値を $g(x, y)$ とする。2つの顔画像には照明環境に起因する色味の差が存在する可能性があり、色味を保持する合成が必要である。そこで、Tanaka らの提案している Seamless Cloning [16] を応用する。合成された画像の各画素値 $f(x, y)$ は画像領域 T で表現される次式

$$f = \operatorname{argmin} \int_T (\|\nabla \cdot v - \Delta f\|_2^2 + \epsilon |r - f|^2) dx dy \quad (2)$$

と表される。ここで、 r は保持したい色味であり、また v はマスク Ω により

$$v = \begin{cases} \nabla g & ((x, y) \in \Omega) \\ \nabla f & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

として求まる勾配である。Tanaka らは合成時にソース画像の色味を保持させるために、 r として Ω 内部では g を、外部では f^* を用いていたが、本研究では Maejima らと同様に Ω 内外ともに $r = f^*$ とする。これにより対象人物の色味を保持させた合成が可能である。また、大きく色味の異なる2人の画像間での転写時には、転写するパーツ画像をグレースケールに変換してから合成を行うことで転写後に不自然な色が生じることを抑制可能である。

合成は、4.3 節に示すマスクを用いて輪郭領域、眉、口の順に埋め込みを行う。輪郭領域および眉を合成する時には、上述した色味を保持可能な合成を行う。一方、口は処理範囲が狭く色味の問題が生じにくいいため、Poisson Image Editing [15] により合成する。これは、式 2 において、 $\epsilon = 0$ 、対象領域 T を画像全体ではなくマスク領域 Ω にしたものと一致し、マスクの内側の画素のみを置き換える手法である。

輪郭、眉、口を合成した後に、最後に目および鼻を対象人物本人のものに戻す。これは、人間が目や鼻の変化に敏感でありわずかな変化で他人のように見えてしまうためである。口と同様に、Poisson Image Editing により合成を行った。

4.3 マスク領域の最適化

勾配の転写によるテクスチャ合成手法では、注目するマスク領域境界でソース画像とターゲット画像の輝度値や輝度勾配に大きな差が存在する場合、色が染み出して不自然な結果が生成される。そこで、勾配の転写に最適なマスクを自動で生成する必要がある。

まず、4.1 節で変形させた顔のメッシュをもとに、各パーツのマスク画像を生成する。続いて、輪郭と眉のマスクに対して、ソース画像(埋め込まれる顔パーツ)とターゲット画像(対象人物画像)の距離画像に基づきマスクの収縮処理を行う。両画像の各画素において、RGB 輝度勾配の差のノルムおよび $L^*a^*b^*$ の差のノルムの和を計算し、画像間の距離画像とする。ここで、マスク境界上の点と対応する距離画像の画素値が閾値以上であれば、マスク画像の対象画素を処理範囲から除去する。この処理を、マスク画像と距離画像の対してガウシアンピラミッドによるスケールアップを行いながら繰り返すことで、ソース画像とターゲット画像の距離が大きい箇所がマスク境界にかからないようなマスクを生成することができる。

5. 実験および考察

データベースとして、10代から60代までの男女合計478人の顔画像を用意し実験を行った。また、画像の解像度は

512 × 512 で統一し、特徴量の計算は半分のサイズにリサイズしてから行った。

3章でのパーツ選択において、パーツ類似度が最も高い判定された結果について述べる。データベースと同一環境で撮影された画像に対する本手法の適用結果を図3に、データベースとは異なる環境での撮影画像に対する結果を図4に示す。黄色の枠で囲われた画像が本人の実際の画像、その他が合成画像である。

同一環境下での合成結果(図3)は、いずれも年齢の増加に応じて自然に皺やしみが増えるといった変化が反映されているのが分かる。異なる環境下での結果(図4)も、皺といった特徴は現れているが、若干ぼけた画像が得られた。この原因として、式(2)において全体の色味を保持させる $|r-f|^2$ の寄与が大きく、勾配の保持を表す $\|\nabla \cdot v - \Delta f\|_2^2$ の寄与が相対的に小さくなってしまふことが挙げられる。

3.2節で述べたパーツ選択時の本人との類似度が高い順に、第二候補以降も生成することが可能である。図5に、第4候補までの生成結果を示す。これらの結果から、提案手法では本人の個人性を保ちつつ複数の印象の画像が合成可能であると分かる。

処理時間は顔の大きさ、現在年代、目標年代により変動するが、図3の一段目の人物で60代まで変化させる場合で約21秒であった(Intel XeonE31245 3.3GHz)。

6. 肥瘦変形の再現に関する検討

年齢の増減に伴う平均的な顔の形の変化は、4.1節により再現されている。しかし、顔は食生活など年齢特徴とは別の要因により痩せる・太るという変化が生じる。そのため、平均的な変化よりも痩せた場合、太った場合の顔画像も生成することが、本研究の目的である警察の捜査支援には有効である。そこで、藤崎らによる顔の肥瘦シミュレーション[17]を取り入れることを考える。この手法は、多人数の正面顔画像とMRI画像の組を用いて対象人物の頭蓋骨形状および痩せ方、太り方を推定するものであり、顔画像に体して肥瘦変化の程度を指定することで個人性を考慮した変形が可能である。

自動で生成された経年変化合成画像に対して、さらに藤崎らの手法を適用した結果を図6に示す。図6(a)に示した20代男性を本手法に適用した結果が図6(b)であり、10代の特徴である肌の艶は再現されている。しかし、実際には生成結果よりやや痩せていた(18歳時画像:図6(d))。そこで藤崎らの手法によりパラメータを調整しながら肥瘦変形を加えることでより正解の顔に近づくことが分かる(図6(c))。本稿で提案した経年変化に肥瘦変化を加えた合成結果を多数生成することで、長期間に渡る警察の捜査に有用であると考えられる。

7. おわりに

本稿では、顔のパーツに対してデータベース画像間の類似度と本人との類似度を用いた年代遷移モデルを構築し、テクスチャ合成により任意の年代での経年変化顔を自動で合成する手法を提案した。提案手法は対象人物との類似度に従い複数の候補を提示可能である。また、本手法に加えて肥瘦変化を行う手法を導入することで、より正確な経年変化を再現可能であると確認した。今後の課題として、公開データベースを用いた詳細な評価実験やデータベース枚数と結果の関係についての考察、より色味の変化に強いパーツ選択・合成手法の確立が挙げられる。

謝辞 本研究は、文部科学省の平成26年度社会システム改革と研究開発の一体的推進による「安全・安心な社会のための犯罪・テロ対策技術等を実用化するプログラム」の一環として実施されました。

参考文献

- [1] Age progression, forensic and medical artist (2011).
- [2] Cootes, T. F., Edwards, G. J. and Taylor, C. J.: Active appearance models, *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, Vol. 23, No. 6, pp. 681–685 (2001).
- [3] Lanitis, A., Taylor, C. J. and Cootes, T. F.: Toward automatic simulation of aging effects on face images, *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, Vol. 24, No. 4, pp. 442–455 (2002).
- [4] Patterson, E., Ricanek, K., Albert, M. and Boone, E.: Automatic representation of adult aging in facial images, Proc. IASTED Int' 1 Conf. Visualization, Imaging, and Image Processing, pp. 171–176 (2006).
- [5] Blanz, V. and Vetter, T.: A morphable model for the synthesis of 3D faces, *Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., pp. 187–194 (1999).
- [6] Scherbaum, K., Sunkel, M., Seidel, H.-P. and Blanz, V.: Prediction of Individual Non-Linear Aging Trajectories of Faces, *Computer Graphics Forum*, Vol. 26, No. 3, pp. 285–294 (2007).
- [7] Maejima, A., Mizokawa, A., Kuwahara, D. and Morishima, S.: Facial Aging Simulation by Patch-Based Texture Synthesis with Statistical Wrinkle Aging Pattern Model, *Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis I*, Springer, pp. 161–170 (2014).
- [8] Suo, J., Zhu, S.-C., Shan, S. and Chen, X.: A compositional and dynamic model for face aging, *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, Vol. 32, No. 3, pp. 385–401 (2010).
- [9] Irie, A., Takagiwa, M., Moriyama, K. and Yamashita, T.: Improvements to facial contour detection by hierarchical fitting and regression, *Pattern Recognition (ACPR), 2011 First Asian Conference on*, IEEE, pp. 273–277 (2011).
- [10] 柳井晴夫, 繁樹算男, 前川真一, 市川雅教: 因子分析—その理論と方法—, 朝倉書店(1990).
- [11] Dalal, N. and Triggs, B.: Histograms of oriented gradients for human detection, *Computer Vision and Pattern*

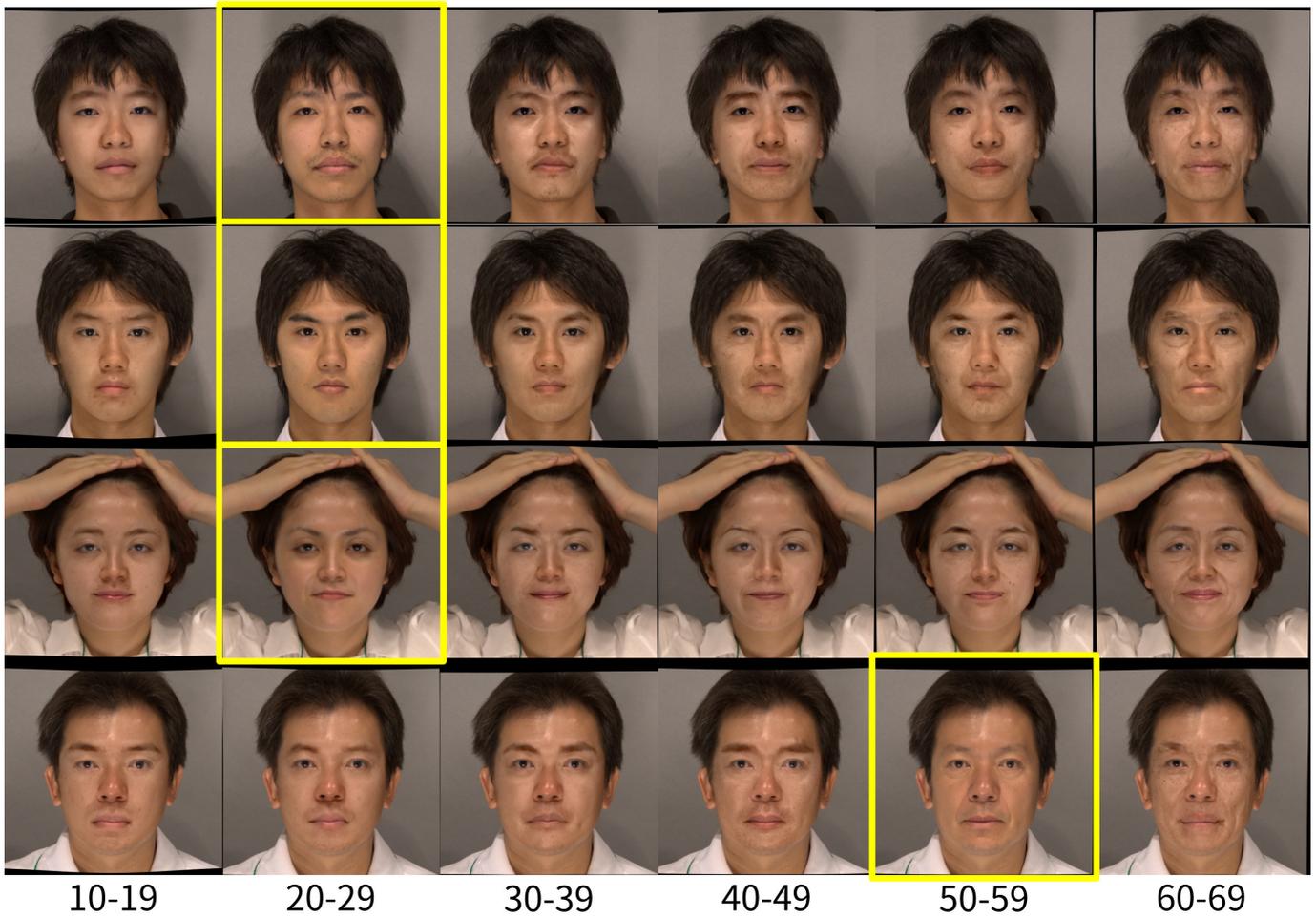


図 3: データベース画像と同一環境で撮影された画像に対する合成結果. 黄色枠囲みは本人の実際の画像.

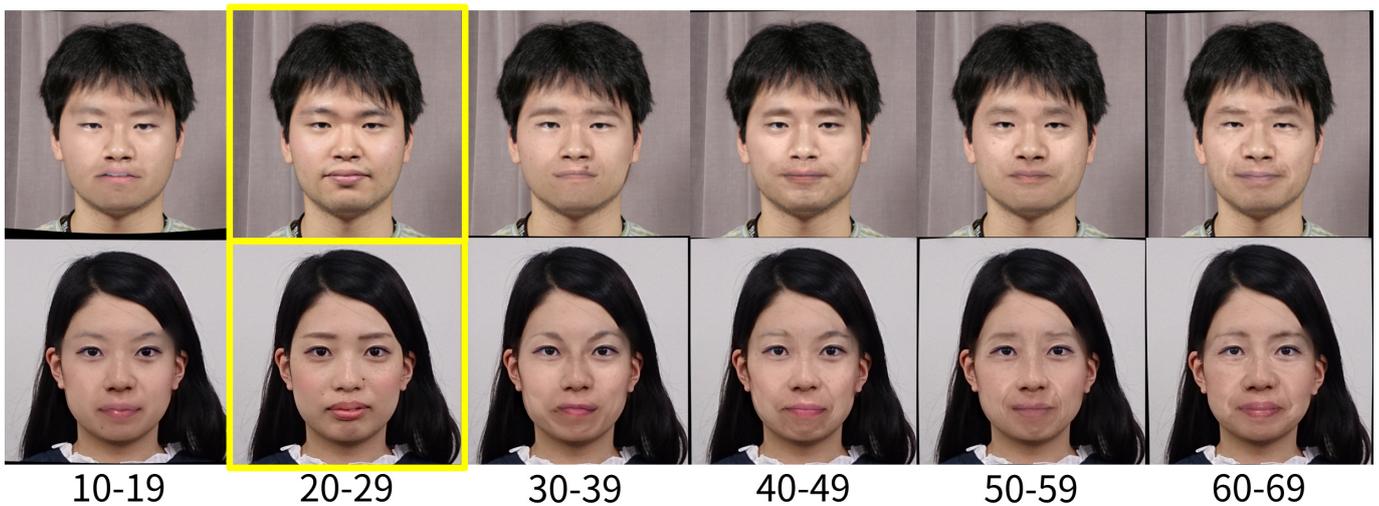


図 4: データベース画像と異なる環境で撮影された画像に対する合成結果.

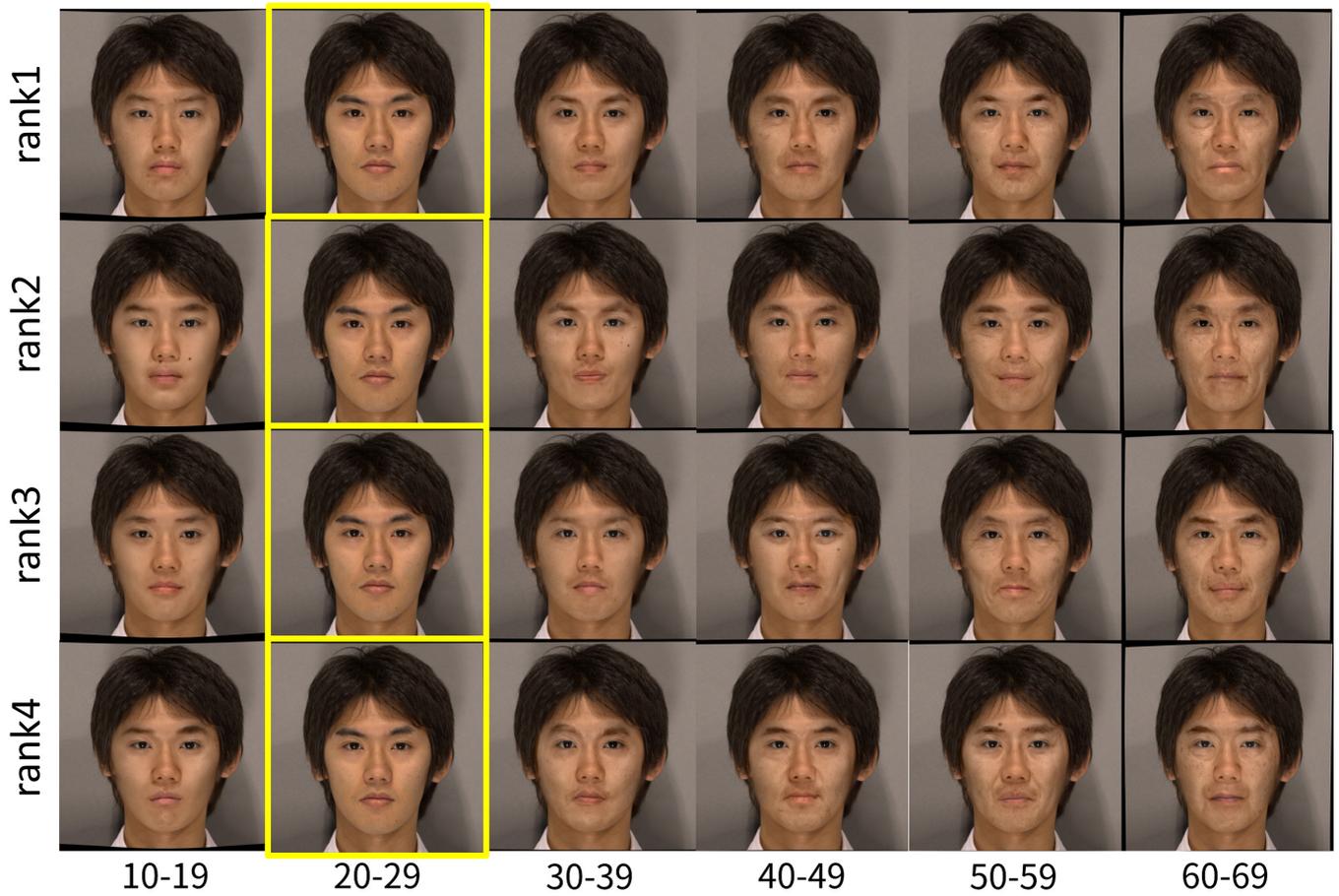


図 5: 生成された複数候補. 対象人物と選択されたパーツの類似度が高い順に rank1,2,3,4 である.

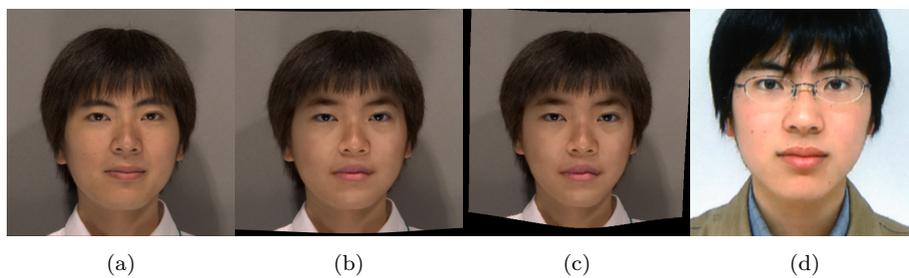


図 6: 肥瘦変形の導入:(a) 入力画像 (23 歳) (b) 本手法による 10 代推定画像 (c) 藤崎らの手法 [17] により痩せさせた画像 (d) 18 歳時の実画像

- Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on*, Vol. 1, IEEE, pp. 886–893 (2005).
- [12] Donato, G. and Belongie, S.: Approximate thin plate spline mappings, *Computer Vision?ECCV 2002*, Springer, pp. 21–31 (2002).
- [13] Fu, Y., Guo, G. and Huang, T. S.: Age synthesis and estimation via faces: A survey, *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, Vol. 32, No. 11, pp. 1955–1976 (2010).
- [14] Noh, J.-y., Fidaleo, D. and Neumann, U.: Animated deformations with radial basis functions, *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, ACM, pp. 166–174 (2000).
- [15] Pérez, P., Gangnet, M. and Blake, A.: Poisson image editing, *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 22, No. 3, ACM, pp. 313–318 (2003).
- [16] Tanaka, M., Kamio, R. and Okutomi, M.: Seamless image cloning by a closed form solution of a modified poisson problem, *SIGGRAPH Asia 2012 Posters*, ACM, p. 15 (2012).
- [17] Fujisaki, M., Kuwahara, D., Nakamura, T., Maejima, A., Yamashita, T. and Morishima, S.: Facial fattening and slimming simulation considering skull structure, *ACM SIGGRAPH 2014 Posters*, ACM, p. 35 (2014).