Vol.2014-CG-154 No.20
2014/2/21

頭蓋骨形状に基づく顔の痩せ太りシミュレーション

藤崎匡裕[†1]　桑原大樹[†1]　溝川あい[†1]　岩尾知頼[†1]
中村太郎[†1]　前島謙宣[†1]　森島繁生[†2]

美容やヘルスケア，エンターテイメントの分野において，正確な顔の痩せ太りシミュレーションに対する需要が高まっている．従来手法では，全入力人物の顔画像に対して，データベースから定義された同様の変形ルールを適用していたため，変形の個人特徴が無視されていた．また，顔の表面情報のみを基にして痩せ太り変形ルールを定義していたため，頭蓋骨の形状を無視した不自然な変形が行われていた．そこで我々は，正面顔画像一枚から，顔内部の頭蓋骨形状を推定し，それを基にして入力人物ごとの個人性を考慮した痩せ太り変形を行う手法を提案する．また同時に，頭蓋骨の形状を越えた変形を防ぐ．本手法により，入力人物個人の個人性を残した上で，頭蓋骨形状を越えるような不自然な変形のない，顔のリアルな痩せ太りシミュレーションを実現した．

Facial Fattening Simulation Based on Skull Bone

MASAHIRO FUJISAKI[†1]　DAIKI KUWAHARA[†1]　AI MIZOKAWA[†1]
TOMOYORI IWAO[†1]　TARO NAKAMURA[†1]　AKINOBU MAEJIMA[†1]
SHIGEO MORISHIMA[†2]

A precise facial fattening simulation is strongly required in beautification, health, and entertainment. In previous works, the individuality of facial deformation was ignored because they applied the same fattening rule to all people. Although, they defined the rule of facial fattening based on only structures of facial surface, the faces were deformed unnaturally ignoring the shape of skull bone. Therefore, we proposed a method of the facial fattening deformation that preserves the individuality of facial deformation by estimating the shape of skull bone from the frontal facial image. We also prevent the deformation that facial surfaces penetrate into the skull bone due to ignoring the shape of skull bone. We realized a realistic face fattening simulation while keeping the individuality of facial deformation and preventing unnatural deformation.

1. はじめに

美容やヘルスケア，人物捜索などの分野において，人の顔の痩せ太りの正確なシミュレーションに対する需要が高まっている．美容，ヘルスケアの分野では，例えばスポーツジムやエステなどで，ダイエットを始める際に，本人の痩せシミュレーション結果を見せることで，ダイエットの目標になる．また最近では，実際に美容形成外科医が，予想される美容整形手術後の患者の顔をシミュレーションで可視化し，手術前のカウンセリングの際に活用している．人物捜索の分野においては，行方不明者や指名手配犯の捜索が長期間に及んでしまい，体重の増減により様相が変化したとしても，元の顔画像をもとに痩せ太りのシミュレーションを行うことができれば，対象人物の捜索の手助けになる．このように，顔の痩せ太りシミュレーションは様々な場面で必要とされるため，入力は正面顔画像一枚のみでシミュレーションを行えることが好ましい．

人体の痩せ太りを表現する研究は数多く存在する．例えば，Allen ら[1][2]と Beak ら[3]は，体全体をレンジスキャンにより 3D データ化し，その特徴点群に対して主成分分析を行って体全体の立体的な痩せ太り変形を実現した．また，Zhou ら[4]と Jain ら[5]は，2 次元の画像や動画中の人物に対して，予め主成分分析をして変形可能な状態にした 3 次元モデルを当てはめ，画像中の人物の体形を変化させた．佐和ら[6]は，ガウス関数を用いて指定した寸法に合わせた滑らかな変形を行った．しかし，これらの研究の中には，顔の痩せ太りに注目しているものはない．

顔の痩せ太り変形に注目した研究例として，Blanz ら[7]は，顔の 3D 形状データベースを主成分分析し，領域分割をした顔の部位ごとにその成分を変化させ，顔の滑らかな痩せ太り変形を実現した．しかしながら，本来痩せ太りの際は，各個人によって異なる変形をするはずであるが，Blanz らの手法も含め，従来手法では，全ての人物に対して一様な変形を施していたため，痩せ太り変形後の顔の個人性が失われてしまうという問題があった．また，実際に人の顔が痩せ太りをする際，形状変化に大きく影響すると考えられる顔の解剖学的構造を考慮したものはなかった．

そこで本稿では，犯罪捜査の目的で用いられ，頭蓋骨形状から顔の表面形状を予測できる復顔法[8]に着目し，頭蓋骨形状をもとにして，入力人物ごとに顔の痩せ太り変形のルール（以後痩せ太りルールと呼ぶ）を選択し，個々に適した痩せ太り変形を行う手法を提案する．また同時に，頭蓋骨形状を推定することにより，頭蓋骨形状を越えた不自然な痩せ変形を防ぐことにも成功した．

†1 早稲田大学
Waseda University
†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

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

2. 関連研究

2.1 痩せ太り変形の関連研究

人の体全体の痩せ太り変形シミュレーションに関しては, さまざまな従来研究が存在している. Allen ら[1][2]は, 体全体の疎な特徴点に対して，非線形の最適化問題を解くことで，密な 3D モデルを作成し，そのモデルに対して，主成分分析を行い，任意の人物と姿勢に対応した体全体の 3D の痩せ太り変形を実現した．さらに，Zhou ら[4]と Jain ら[5]は，予め，全身の 3D データベースを主成分分析し，変形可能なモデルを作成しておき，それを 2 次元の画像や動画中の人物に対してフィッティングすることで，2 次元の入力に対しても，画像中で身長や体重などを任意に操作できる手法を提案した．

体全体の痩せ太り変形の従来研究は，体全体の大域的な変形を行うという点では，自然な痩せ太り変形ができている．しかし，体と違って顔は，目，鼻，口などの詳細な顔パーツから構成される複雑な形状を持つ部位である．そのため，顔は体のような大域的な変形では表現が不十分であると言える．実際に人間が人間を見る際に，最も注目する部分は顔であり，体と違って痩せ太り変形のわずかな違いも敏感に感じ取る．結果的にそれが大きな違和感につながってしまうため，顔の表現はより詳細でリアルである必要がある．しかし，顔の詳細な痩せ太り変形に着目した研究はあまりない．

Blanz ら[7]は，数少ない顔の痩せ太りに注目した研究である．顔の 3D データを主成分分析し，予め変形可能な Morphable Model を作成し, 入力画像を 3D に復元した上で, 顔の痩せ太りを表現した．これにより，立体的な変形を行えるため，陰影などの表現が精細に行える．しかし，この手法では，全入力人物に対して同一のルールに基づいて変形を行っているため，入力人物の痩せ太り変形の個人差を表現できていない．また，顔の内部構造に関しては考慮していないので，痩せ太り変形の際に，頭蓋骨形状に破たんが生まれるような変形が行われてしまっている．

2.2 人体の内部構造に関する関連研究

警察の犯罪捜査で白骨死体の頭蓋骨から生前の身元を割り出す目的で復顔法[8]という方法が用いられている．復顔法は，頭蓋骨上の部位ごとに平均値や分散値などの統計的な皮膚の厚みデータ[9]を付加することで，生前の顔貌を正確に復元できる．また，復顔法を応用し，頭蓋骨形状から，表情筋や脂肪層まで復元することで，顔の表情変化などに適用した研究[10]も提案されている．以上より，頭蓋骨形状がわかれば顔の表面形状が概ね定まるため，それに基づいた顔のリアルな痩せ太りシミュレーションを行うことが出来ると考えられる．

また，Yarimizu ら[11]は，MRI 画像を用いて顔の脂肪領域を取得し，既存の顔面筋肉モデルに脂肪の個人性を反映させたモデルを構築した. Ali-Hamadi ら[12]は, 全身の MRI データを，任意のターゲットに対して自動的に転写し，体の内部構造を自動的に推定することに成功した．

そこで我々は，MRI 画像を頭蓋骨形状の推定と，個人性の反映に役立てることを考えた．

2.3 本研究のアプローチ

従来の痩せ太り変形手法の多くは，人体の形状データに対して主成分分析を行い，その主成分のパラメータを変化させることにより，体や顔の変形を行っている．主成分分析は，高次元の現象を低次元に落とし込む際や，データ全体の傾向などを調べる際に用いられる．しかしながら，そのままの人間の顔形状に対して，この手法を用いて抽出した痩せ太りを表すと思われる主成分には，実際は痩せ太りの影響だけではなく，顔内部の頭蓋骨部分の形状の違いが含まれてしまう可能性が高い．すなわち，主成分分析によって分離された成分のうち，痩せ太り変形のみを表すような主成分を抽出することは不可能であるということを意味する．

そこで我々は，事前に頭蓋骨形状をワーピングすることで同一形状に統一し，その状態で，顔輪郭特徴点座標に対して主成分分析を行う．これにより，脂肪量の違いのみを主成分として抽出し，よりリアルな痩せ太り変形に近い痩せ太りルールを取得する．このようにして，我々は主成分分析によって顔内部の頭蓋骨形状の違いをできるだけ減らし，痩せ太り成分のみを取り出すことで，痩せ太りルールを定義し，リアルな顔の痩せ太りシミュレーションを行う方法を提案する．

3. 研究概要

本章では，提案手法の流れについて説明する．顔の痩せ太りシミュレーションの利用が想定されるスポーツジムやエステ，人物捜索などのさまざまな場面に対して，本手法が汎用的に利用できるように，入力は正面顔画像一枚のみで，顔の痩せ太りシミュレーションを行えるようにする．

本研究の流れを図 1 に示す．本研究は大きく分けて，データベースの構築と痩せ太りルールの抽出を行う事前計算部分と，実際に入力人物の正面顔画像を撮影してから，頭蓋骨形状を推定し，痩せ太りシミュレーション結果を出力する部分の二つの手順から成る．

まず，事前にデータベースとして，正面顔画像と，MRI 画像を用意する．正面顔画像に対しては，Irie ら[13]の手法を用いて特徴点群を取得する．MRI 画像に対しては，Kniss ら[14]の手法を用いて，頭蓋骨形状を明瞭にし，頭蓋骨の輪郭部分に手動で特徴点群を配置する．

続いて事前計算として，データベース上の人物別の痩せ

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

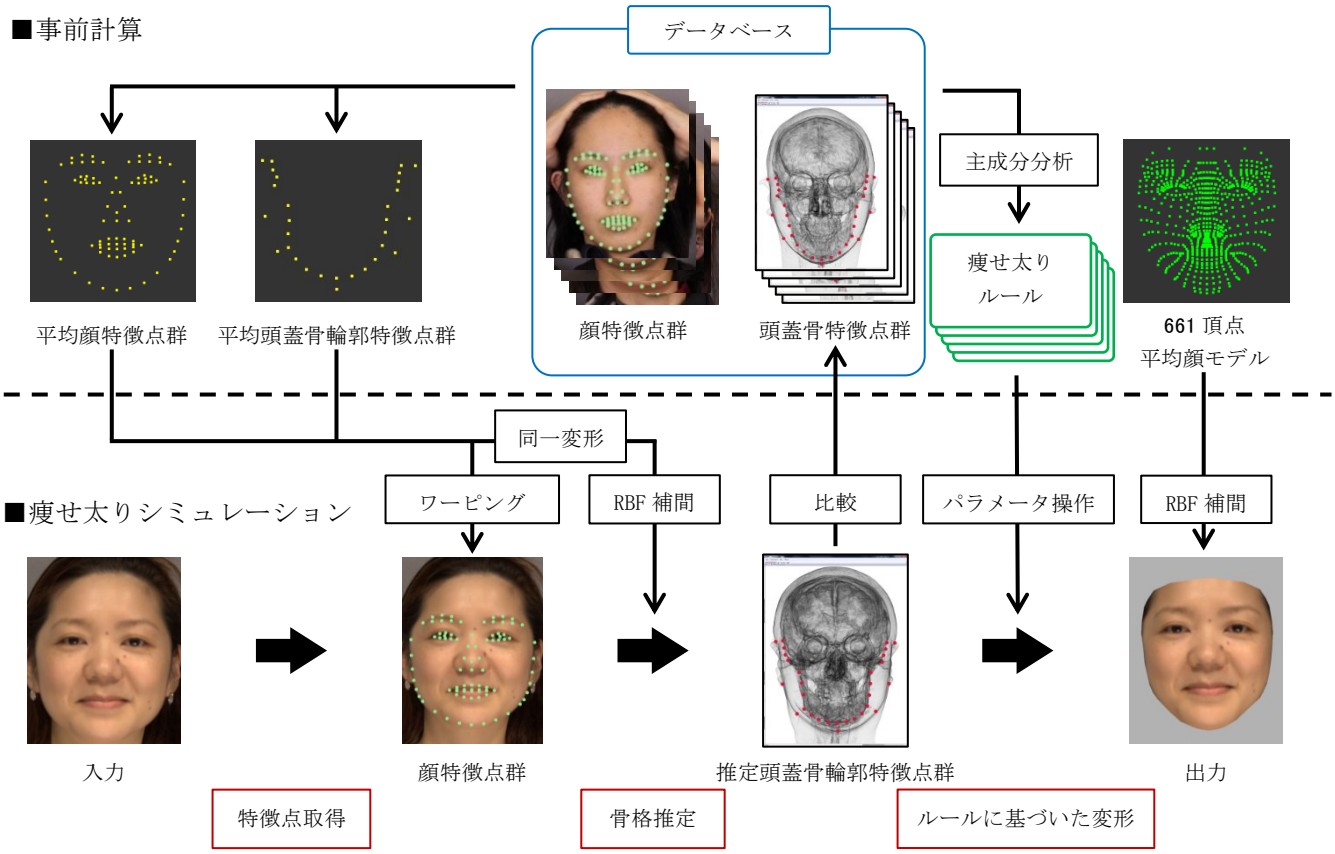


図 1　本研究の概要

太りルールを定義する．データベース上の各人物に対して個々に痩せ太りルールを求めていく．また，顔特徴点群，頭蓋骨輪郭特徴点群ともに，平均を求めておく．

ここから，実際に入力人物の痩せ太りシミュレーションを行う．入力として，正面顔画像一枚を撮影し，データベースのときと同様にして，Irie ら[13]の手法を用いて，顔特徴点群を取得する．その特徴点群に対して，事前に計算した，平均顔特徴点群を移動させ，RBF 補間[15]を用いて，平均頭蓋骨輪郭特徴点群に対して同一変形を施し，それを入力人物の推定頭蓋骨輪郭特徴点群とする．

推定した頭蓋骨輪郭特徴点群をデータベース上の頭蓋骨形状と比較し，最も近いデータベース上の人物の痩せ太りルールを，入力の正面顔画像の顔輪郭特徴点群に対して適用することで，痩せ太り変形を行う．このようにして変形後の顔輪郭特徴点群の座標が決定し，それに合わせて入力画像を変形させることで，痩せ太り変形させた正面顔画像を出力する．

以上の手順で，頭蓋骨形状を考慮した顔のリアルな痩せ太りシミュレーションを自動で行うことが出来る．

4.　事前処理

本研究は，前述のように事前計算部分と，実際に入力となる正面顔画像を撮影してからの痩せ太りシミュレーション部分に分かれている．本章では，事前計算として，顔画像及び MRI 画像のデータベースを構築し，そこから各人物固有の痩せ太りルールを定義する手順を記述する．

4.1　データベースの構築

今回，データベースとして 20～40 代の女性被験者 24 名の正面顔画像及び頭部の MRI 画像を撮影した．被験者の BMI の最小値は 18.3，最大値は 25.0 であった．被験者を女性に限定した理由は二つある．第一に，男性と女性両方を被験者にすると，主成分分析による痩せ太りルールの抽出の際に，痩せ太りの成分に男女間での痩せ太りルールの違いが成分に含まれ，データベース上の人物の正確な痩せ太り成分の抽出が困難になってしまうためである．第二に，この研究は，一般に男性よりも美容に関心が高い女性に対して需要が高いものだと考えたからである．また，頭蓋骨形状を取得するために MRI 画像を使用したのは，CT スキャンなどの他の手法と違い，被験者の人体に被ばくの危険がないからである．

4.1.1 撮影条件

本研究でデータベースとして用いた顔画像と MRI 画像の撮影条件を記載する．顔画像の撮影には，Canon EOS Kiss

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

X5 を使用した．絞り値:9/f，露出時間:1/50 秒，ISO 感度:ISO-800，焦点距離 53～55mm，フラッシュ無しという撮影条件で，正面から被験者の無表情の顔を撮影した．MRI 画像の撮影には，Siemens MAGNETOM Trio A Tim System(3T)，マグネット長:198cm，ガントリ内径:60cm，静磁場強度:3.0T という条件で被験者頭部を撮影した．

4.1.2 顔特徴点群の取得，正規化

撮影により取得した顔画像に対し，Irie ら[13]の手法を用いて，86 点の特徴点を取得する．取得した 86 点の特徴点をプロットした様子を図 2 に示す．

顔の位置や傾き，大きさを統一するために，取得したデータベース上の 24 名分の顔特徴点群に対し，正規化を行う．顔画像の水平方向を x 軸，上下方向を y 軸とする．まず，顔の位置については，86 点の顔特徴点座標群の重心座標を基準に揃える．次に，顔の傾きについては，顔座標特徴点群のうち，両目頭の特徴点の y 座標の値が同一になるように画像を回転させる．最後に，両目頭間の距離を一定に揃えることで，顔の大きさを合わせる．以上の手順により，顔画像が正規化され，顔の位置や傾き，大きさの影響を打ち消すことができる．

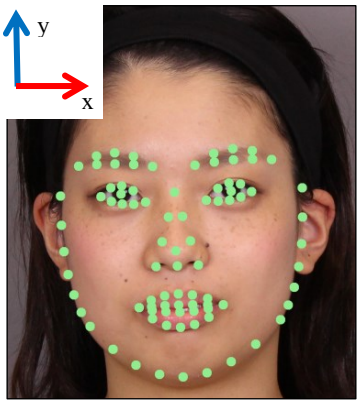


図 2　顔特徴点群

4.1.3 頭蓋骨輪郭特徴点群の取得，正規化

撮影により取得した MRI 画像に対し，手動で特徴点を配置し，その座標を取得する．しかし，MRI 画像による頭部の断面図を見ると頭蓋骨部分は非常に暗く，不明瞭である．そこで我々は，Kniss ら[14]の手法を用いて，画像の輝度値とその微分値を透明度に変換することで，頭蓋骨形状を明瞭にした．微分値の計算にはソーベルフィルタを用いた．そして，頭蓋骨形状の輪郭部分に対し，手動で特徴点を 23 点取得した．さらに，顔特徴点群との位置合わせのために，MRI 画像での顔輪郭上に 7 点の特徴点を手動で配置した．実際に用いた MRI 画像のうちの 1 枚と，処理を施した MRI 画像群に対して特徴点群をプロットしたものを図 3 に示す．

ここで取得した顔表面の 7 点の特徴点を基準に，全体を平行移動，回転，拡大縮小することで，先ほど取得した 86 点の顔特徴点と位置合わせを行っておく．

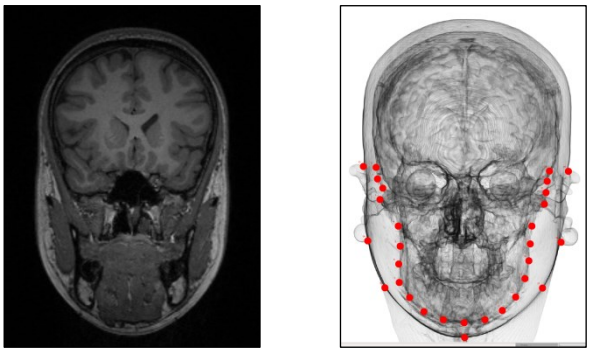


図 3　MRI 画像（左）と頭蓋骨輪郭特徴点群（右）

4.2 データベース上の人物別痩せ太りルール定義

データベース上の 24 名一人ひとりに対して，固有の痩せ太りルールを定義する．もし，頭蓋骨形状が全く同じかつ，体重が異なる人物を複数人集めて，その顔輪郭特徴点に対して解析を行うことができれば，脂肪量の違いのみが輪郭形状の違いになるため，正確な痩せ太りルールを決定することができる．しかし，実際にはそのような被験者を集めることは困難である．そこで我々は，データベース上の頭蓋骨形状を変形してある一人の人物のものに統一し，その状態で顔輪郭特徴点群を比較することで，できるだけ痩せ太り以外の要因が顔輪郭形状に現れないようにして，痩せ太りルールを定義することにした．これを実現するために RBF 補間[15]を用いた．RBF 補間とは，一部の点群の移動があった際に，それを全体に滑らかに保管できる手法であり，本研究では，ソースとなる点群（頭蓋骨輪郭特徴点群）を，ターゲットとなる位置まで移動した際に，その点群の移動を別の点群（顔特徴点群）に対しても適用する目的で使用する．

具体的には，データベース上の痩せ太りルールを求める人物を一人決め，その人物の頭蓋骨輪郭特徴点群に合わせて，別の人物の頭蓋骨輪郭特徴点群を移動させる．そして，RBF 補間を用いて，対応する顔特徴点群を移動させる．この操作をデータベース上の人数分繰り返す．この操作により，元の顔の脂肪の厚さを保ったままで，顔内部の頭蓋骨形状を変形して，データベース上のある一人の形状に統一することができる．顔内部の頭蓋骨輪郭特徴点群を統一させた顔特徴点群を図 4 に示す．ここで，この脂肪量の差分を取り出すために移動させた顔特徴点群のうち輪郭部分 24 名分に対して，主成分分析を行う．RBF 補間によって一つの頭蓋骨形状に合わせて移動させた顔輪郭特徴点群座標の違いの一番大きな要因は，その人物の痩せ太りによる顔内部の脂肪量の違いであるはずなので，最も寄与率の大きい第一主成分が，その人物固有の痩せ太りルールになると考えられる．主成分分析を行うことで，複数の特徴点の移

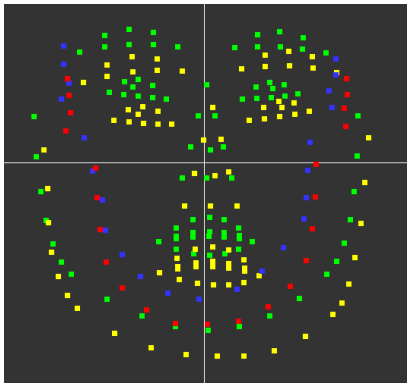
ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

動である痩せ太り変形を 1 つのパラメータの変化で表現することが出来る．

今回用いた顔輪郭特徴点群座標の平均値を$\bar{\boldsymbol{v}}$とすると，n人目の顔特徴点座標$\boldsymbol{v}_n$は，

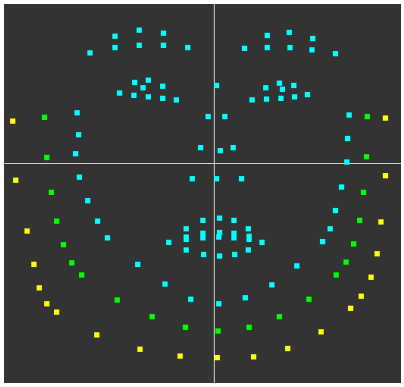
$$\boldsymbol{v}_n = \bar{\boldsymbol{v}} + \sum_{i=1}^{2m} \alpha_i \boldsymbol{S}_i \qquad (1)$$

と表せる．$\boldsymbol{S}_i$はi番目の主成分，α_iはi番目の主成分の重み，mは顔輪郭特徴点数である．各特徴点の座標は 2 次元なので，計$2m$個の主成分がある．ここで，$\boldsymbol{S}_1$が痩せ太りを表す成分となり，α_1がその程度を表すパラメータとなることを実際にパラメータを変化させた顔輪郭特徴点群を見て確認した．このとき，α_1が正の方向を太り変形となるように主成分$\boldsymbol{S}_1$の方向を設定した．$\boldsymbol{S}_1$を増減させた際の顔特徴点群を，図 5 に示す．



入力：ソース頭蓋骨特徴点群（青），ソース顔特徴点群（緑）
ターゲット頭蓋骨特徴点群（赤）
出力：ターゲット顔特徴点群（黄）

図 4　頭蓋骨輪郭特徴点群に合わせて移動させた顔輪郭特徴点群



入力: ソース顔特徴点群（緑）
出力: ソース ＋ $\boldsymbol{S}_1$（黄），ソース - $\boldsymbol{S}_1$（水色）

図 5　第一主成分（痩せ太りルール）を増減させた顔特徴点群

このようにして，RBF 補間による頭蓋骨形状の統一と，その顔輪郭特徴点群の主成分分析による各人物固有の痩せ太りルールの定義を，データベース上の 24 人分それぞれに対して行う．また，顔特徴点群，頭蓋骨輪郭特徴点群ともに，データベース 24 名の平均を求めておき，平均顔特徴点群と平均頭蓋骨輪郭特徴点群を求めておく．

5. 痩せ太りシミュレーション

本章では，実際に入力となる人物の正面顔画像 1 枚を撮影してから行う処理部分として，入力人物の頭蓋骨形状を推定し，最も適した痩せ太りルールをデータベース上から選択し，入力画像に適用する手順の詳細を記述する．なお，この手順では，人間が行う操作は，入力人物の正面顔画像を撮影し，痩せ太りのパラメータを設定するのみであり，その他の処理はすべて自動的にプログラム上で行われる．

5.1 入力人物の頭蓋骨形状推定

まず，入力として撮影した正面顔画像 1 枚から入力人物の頭蓋骨形状の推定を行う．入力の正面顔画像に対し，Irie ら[13]の手法を用いて顔特徴点群を取得する．取得した入力人物の顔特徴点群に対し，顔位置などの正規化を行う．正規化した顔特徴点群に合わせて，事前計算で求めた平均顔特徴点群を移動させる．RBF 補間[15]によって，平均頭蓋骨輪郭特徴点群を移動させて，それを入力人物の推定頭蓋骨輪郭特徴点群とする．

平均顔特徴点群と平均頭蓋骨輪郭特徴点群を用いることにより，個人差がキャンセルされた状態になるので，入力人物の頭蓋骨輪郭特徴点群を正確に推定できる．実際に推定した頭蓋骨輪郭特徴点群と対応する顔特徴点群の一例を図 6 に示す．

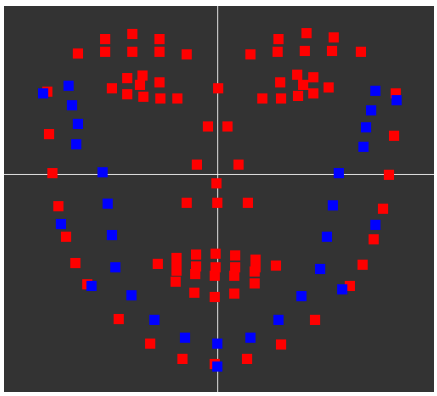


図 6　推定した頭蓋骨輪郭特徴点群と対応する顔特徴点群

5.2 ルールに基づいた変形

入力人物の推定頭蓋骨輪郭特徴点群を，データベース上の 24 名と比較し，最も近い人物の痩せ太りルールを適用する．具体的には，入力人物とデータベース上の人物の，頭

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

蓋骨輪郭特徴点一つ一つの距離の総和を計算する．データベースの人数をn，入力人物の推定頭蓋骨輪郭特徴点群の座標を$\boldsymbol{p}_i$，データベース上の人物の頭蓋骨輪郭特徴点群の座標を$\boldsymbol{q}_i$とすると，その距離の和Dは，

$$D = \sum_{i=1}^{n} |\boldsymbol{p}_i - \boldsymbol{q}_i| \qquad (2)$$

と表せる．Dが最小となるデータベース上の人物の痩せ太りルールを，入力人物の痩せ太りルールとして採用する．

痩せ太りルールを決定したら，それを入力人物の各顔輪郭点に対して適用する．顔の輪郭以外の顔パーツの特徴点群に関しては，入力人物の顔の個人性を保持するために，入力の際に取得した座標値をそのまま出力にも使用する．痩せ太りルールのパラメータα_1を増減させることで，痩せ具合，太り具合を任意に調節できる．

ここで，痩せ太り変形を行う際に，そのまま痩せる方向へパラメータの絶対値を大きくしていくと，実際の入力人物の頭蓋骨形状を越えた変形が行われてしまう．そこで，本研究ではそのような非現実的な変形を防ぐため，入力人物の推定頭蓋骨輪郭特徴点群から，ある一定の距離まで顔輪郭特徴点が近付いた際には，その特徴点の移動を止めるという制約をかけた．このようにして，痩せ太りのパラメータを任意に設定し，それによって痩せ太り変形後の各顔輪郭特徴点座標が決定する．

この段階で，変形後の 86 頂点の座標は決定しているが，ここでさらに，変形後の特徴点座標に対し，入力画像のテクスチャを違和感なく貼り付けることができるように, 661 頂点の平均顔モデルを RBF 補間で当てはめる．こうして，変形後の 661 頂点の座標を決定し，それに対し，入力画像のテクスチャを張り付けることで，痩せ太り変形させた正面顔画像を結果として出力する．

6. 結果

入力画像に対し，本手法を用いて痩せ太りシミュレーションを行った結果を図 7 に示す．出力画像の横に括弧書きで記載した数値は，痩せ太りパラメータα_1である．

本手法では，入力人物に適した痩せ太りルールを選択したため，合成後の画像を見ると，各々に適した変形が実現できていることがわかる．

痩せシミュレーションを施した画像に着目すると，推定した頭蓋骨形状を越えた痩せ太り変形が行われることがないように制約をかけているため，頬の部分は大きく変形しているが，顎や頬骨の部分は変形が止められていることがわかる．また，太りシミュレーションを施した画像に着目すると，特に頬の部分の輪郭が大きく変化していることがわかる．これは，実際に痩せ太りをした際に，脂肪量が最も大きく変化する部分が頬であるため，それが主成分に表れたためである．

一方，今回は顔輪郭部分のみの変形を行ったため，顔パーツの変形に関しては考慮していない．また，本研究は，顔形状の変形のみを扱っており，テクスチャの変化は考慮していない．そのため，太った際の二重あごや，頬の部分の脂肪による陰影などの表現はできていない．まとめと今後の課題

本稿では，正面顔画像一枚から，MRI 画像データベースを用いて入力人物の頭蓋骨形状を推定し，それを基にして入力人物ごとの個人性を考慮した痩せ太り変形を行う手法を提案した．また，推定した頭蓋骨形状を用いて，顔の内部構造に矛盾する変形を防いだ．本手法により，入力人物の個人性を残した上で，頭蓋骨形状を越えるような不自然な変形のない，顔のリアルな痩せ太りシミュレーションを実現した．

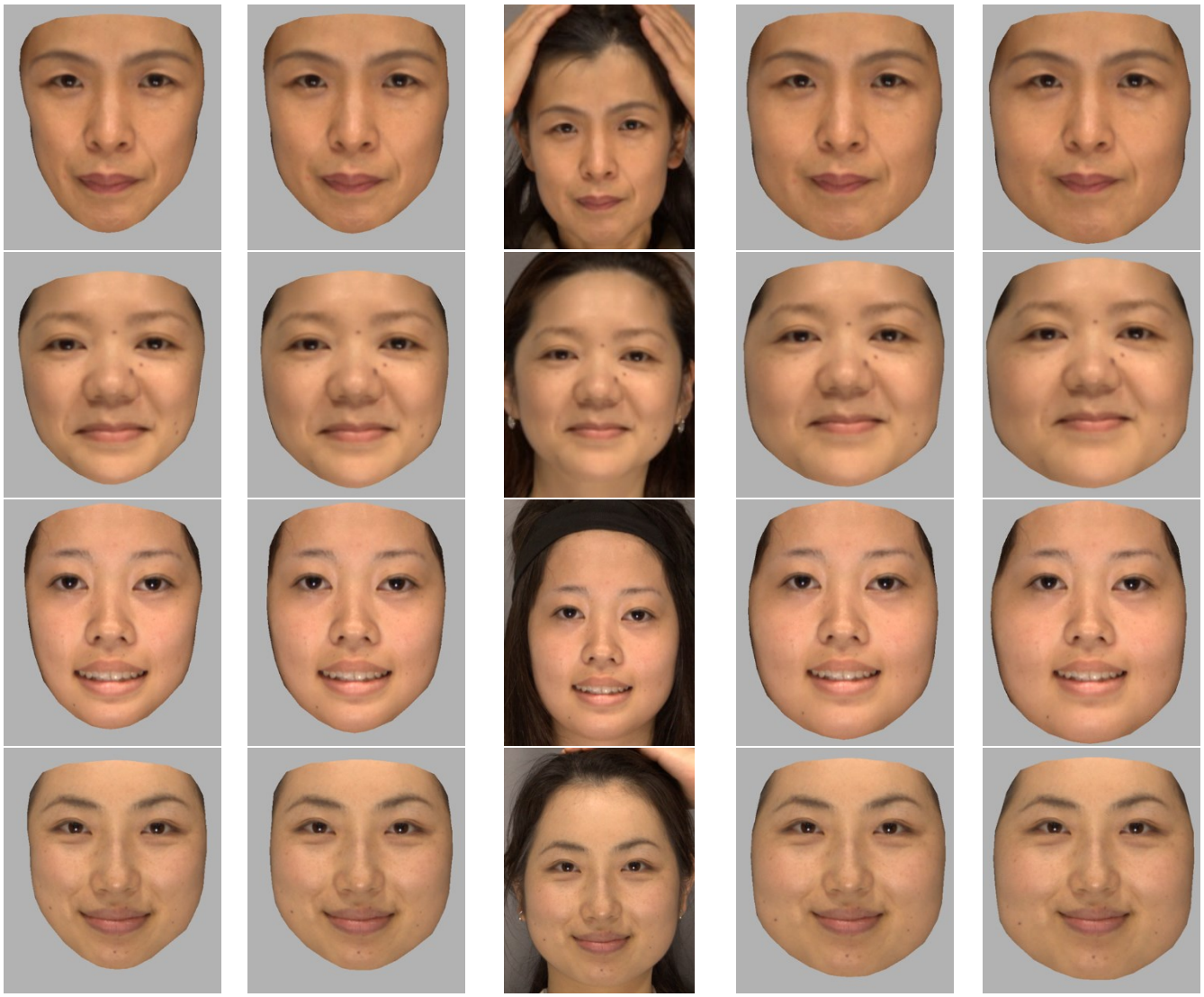
本研究では，顔の輪郭形状の変化のみを行い，顔パーツの変化は考慮していない．今後，個人性を保持した顔パーツの変化も検討する必要がある．また，頬や顎の部分などの陰影をテクスチャの変化によって表現することや，本手法の 3D モデルへの適用も，課題として挙げられる．さらに，実写正解画像との比較や，主観評価実験による評価も行う予定である．

謝辞　本研究は，文部科学省の平成 25 年度社会システム改革と研究開発の一体推進による「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．

本研究のためにスライス画像可視化ツール「VoTracer」を提供していただいた理化学研究所井尻敬様に深く感謝申し上げます．

参考文献

1) Allen, B. et al.: The Space of Human Body Shapes: Reconstruction and Parameterization from Range Scans, ACM Trans. on Graphics - Proceedings of ACM SIGGRAPH 2003, Vol.22, Issue 3, pp.587-594 (2003).
2) Allen, B. et al.: Learning a Correlated Model of Identity and Pose-Dependent Body Shape Variation for Real-Time Synthesis, Proceedings of the 2006 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, pp.147 - 156 (2006).
3) Baek, S. Y. et al.: Parametric Human Body Shape Modeling Framework for Human-Centered Product Design, Computer-Aided Design, Volume44, Issue1, pp.56-57, (2012).
4) Zhou, S. et al.: Parametric Reshaping of Human Bodies in Images, ACM Trans. on Graphics - Proceedings of ACM SIGGRAPH 2010, Vol.29 Issue 4, Article No.126 (2010).
5) Jain, A. et al.: MovieReshape: Tracking and Reshaping of Humans in Videos, Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia 2010, Vol.29, Issue 6, Article No.148 (2010).
6) 佐和昌, 北島克寛: 人体の特徴的な寸法値の組に基づくバー



出力（$\alpha_1 = -2$）　出力（$\alpha_1 = -2$）　入力画像　出力（$\alpha_1 = 1$）　出力（$\alpha_1 = 2$）

図 7　生成結果

チャルヒューマンの体形生成手法, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, J89-D(9), pp.2075-2086 (2006).
7) Blanz, V. et al.: A Morphable Model for the Synthesis of 3D Faces, Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp.187-194 (1999).
8) 宮坂祥夫, 吉野峰生, 瀬田季茂: 骨から顔貌を復元する, バイオメカニズム(12), 1-11, (1994).
9) 小川晴昭: 頭部 X 線規格写真法による日本人東部の解剖学的研究 I 顔貌と頭蓋骨の比較研究（スーパーインポーズ法に関する基礎的研究）, 歯科学報, 60(6), pp.705-722 (1960).
10) Kahler, K. et al.: Reanimating the Dead: Reconstruction of Expressive Faces from Skull Data, ACM Trans. on Graphics - Proceedings of ACM SIGGRAPH 2003, Vol.22, Issue 3, pp.554-561 (2003).
11) Yarimizu, H. et al.: Muscle-Based Facial Animation Considering Fat Layer Structure Captured by MRI, Proceeding SIGGRAPH 2009:Posters, Article No.9 (2009).
12) Ali-Hamadi, D. et al.: Anatomy Transfer, ACM Trans. on Graphics, Vol.32, Issue 6, Article No.188, (2013).
13) Irie, A. et al.: Improvements to Facial Contour Detection by Hierarchical Fitting and Regression, First Asian Conference on Pattern Recognition, pp.273-277 (2011).
14) Kniss, J. et al.: Multidimensional Transfer Functions for Interactive Volume Rendering, IEEE Trans. on Visualization & Comp. Graphics, Vol.8, Issue 3, pp.270-285 (2002).
15) Noh, J. –Y. et al.: Animated Deformations with Radial Basis Functions, Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology, pp.166-174 (2000).

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan