統計情報を用いた多様な顔画像の生成 ～年齢変化についての一検討～

磯 野 勝 宣† 橋 本 隆 之† 堀 雅 和†

本研究では，1 枚の画像から減齢／加齢といった年齢変化画像を合成する方法として，年齢データベースから得られる差分情報を用いる手法を提案し，さらに減齢においての，皺やしみの除去のための肌平滑化処理について一検討を行う．青年画像からの減齢／加齢変化画像，高齢者画像からの減齢変化画像を用いて年齢推定実験を行った結果，青年の減齢変化での減少幅が小さいものの，ほぼ所望の年齢変化が得られた．さらに，減齢においては肌平滑化処理を行うことによって有意にその推定年齢が減少しており，本研究での肌平滑化処理が減齢画像生成に有効に機能していることが確認された．

Synthesis of Facial Images based on Facial Domain Knowledge — Study of Aging Simulation —

Katsunori ISONO,† Takayuki HASHIMOTO† and Masakazu HORI†

In this paper, we propose a method to synthesize aging images using facial domain knowledge with respect to aging. Average differences of shape and texture between two age groups, such as youth and old are extract from the database as the knowledge. Using the knowledge, aging images are synthesized. Moreover how to smooth facial skin is studied. Using proposed method, aging images such as yunger face or older face were synthesized. As a result, we experimentally proved that this method is efficient for synthesizing aging images.

1. はじめに

人間は視覚によって顔から多様なメッセージを受け取ることができる．個体の識別や性別・年齢等の生物学的属性，職業等の社会的帰属や人柄の印象，感情・意図・関心等の心理状態，口の動きが示す発話情報など，人間同士の対面コミュニケーションにおいて，顔は言葉によらない情報をも含むさまざまな情報を相手に効果的に伝達できるメディアとして重要な役割を果たしている[1)]．

非言語的コミュニケーションの手段としての「顔」が伝える情報を分析・合成する技術は，工学のみならず，心理学や人類学，医学，美容，芸術等さまざまな分野で注目を集めている．これまで，顔の表情を分析，合成しようという試みが多く行われている[2)~4)]．表情だけでなく，さらに年齢変化のような情報をも自在に処理できるようになれば，より感性豊かなヒューマンインタフェースが実現可能となる．

顔の年齢変化を行う研究としては，異なる年代の平均顔をもとに，年代間の差分を形状とテクスチャそれぞれについて求め，それらを対象画像と合成することにより年齢変化を行う手法[5),6)]がある．これらの手法では，皺などの情報も平均化されたもののとなるため，皺の表出状態などにおいて，必ずしも自然な年齢変化が生成できるとは限らない．カージオイド変換を用いて顔形状を変化させる手法[7),8)]もあるが，テクスチャについては検討されていない．

本研究では，年代間の差分情報を用いる手法をベースに，皺の表出状態をも考慮した年齢変化生成手法について検討を行う．

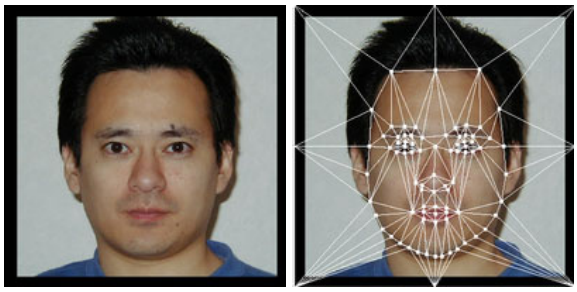
ここで，たとえば対象人物の将来の顔を合成する場合，実際の年齢変化を正確に予測することは不可能である．しかし，心理実験の顔刺激画像や個人向けのコンテンツ，ゲームキャラクタなどは，必ずしも正確な情報を必要とせず，情報の受け手である人間にとって自然であるかどうかが重要である．そこで，本研究では「既知の人物の**忠実な年齢変化**の再現」ではなく,「未知の人物をも含む様々な人物の**自然な年齢変化**の生成」を目的とする．

2. 年齢変化画像の生成

図 1(a) のような，任意の人物についての，顔画像（実年齢画像）が与えられた時，同じ人物の若返り画像（減齢画像）や加齢した画像（加齢画像）を生成する手法について検討する．

年齢変化に関する要素としては，顔形状の変化とそれに伴うテクスチャの変化（皺情報を含む）が考えられる．そこで，顔画像を顔の特徴点を頂点として生成される三角形パッチの集合（**形状**）と，各画素の輝度値（RGB 値）

† インテック・ウェブ・アンド・ゲノム・インフォマティクス（株）
INTEC Web and Genome Informatics Corporation



(a) 実年齢画像　　(b) 形状とテクスチャ

図 1　入力データ．(a) 入力画像．対象人物の初期表情の顔画像．(b) 形状とテクスチャ．画像を特徴点を頂点とする三角形パッチの集合（形状）と画素の集合（画像そのもの：テクスチャ）に分けて考える．

の集合，つまり，画像そのもの（**テクスチャ**）の二つに分けて考える．図 1(b) に，実年齢画像から得られる，顔の形状（実年齢形状）とテクスチャ（実年齢テクスチャ）を同時に示す．

筆者らは，これまで，異なる 2 つの表情の差分情報を形状，テクスチャそれぞれについて表情データベースから抽出し，それを入力画像に加えることで，1 枚の顔画像から任意表情の生成を行う手法を提案してきた[4]．年齢変化についても同様な手法を用いる．つまり，実年齢画像から減齢／加齢画像の生成は，年齢変化に伴う，形状変化・テクスチャ変化を異なる年齢間の差分情報として抽出し，それらを入力画像に加えることで年齢変化時の形状（年齢変化形状）とテクスチャ（年齢変化テクスチャ）を生成する．年齢変化形状と年齢変化テクスチャが得られれば，形状にテクスチャをマッピングすることで，対象人物の年齢変化画像を得ることができる．

表情変化と同様に，年齢変化も人によってさまざまであるため，ある特定の人物の差分形状を用いた場合，個人差による影響により，生成結果が不自然なものとなってしまう可能性がある．そこで，年齢変化の個人差による影響を少なくするために，年齢サンプルデータベースを用意し，各人物の差分情報を平均化した平均差分情報を用いて，年齢変化画像の生成を行う．平均差分情報を求めることにより，年齢変化時の，個人差によらない，顔の年齢変化に関する共通性を抽出することができると考えられる．さらに，皺の表出状態をも考慮することで，より自然な年齢変化画像を生成する．

2.1　形状の年齢変化

年齢変化における形状についての差分情報（差分形状）を実年齢と変化年齢との間で，対応している特徴点の座標の差分として捉え，年齢サンプルデータベースより抽出する．得られた差分形状を用いて，年齢変化形状を生成する．

ある人物 P について，実年齢を A 歳，年齢変化後を B 歳とした場合の，年齢変化形状の取得手順の概略を以下に示す．

(1)　年齢サンプルデータベース内の A 歳および B 歳の画像に対して，あらかじめ特徴点を取得する．データベースの A 歳の平均形状を $\overline{\mathsf{S}_i^A}$，B 歳の平均形状を $\overline{\mathsf{S}_i^B}$（$i$ は特徴点番号）とし，平均差分形状を以下の式で求める．

$$\overline{\delta\mathbf{S}_i} = \overline{\mathsf{S}_i^B} - \overline{\mathsf{S}_i^A} \tag{1}$$

(2)　人物 P の年齢変化後の顔形状は，平均差分形状 $\overline{\delta\mathbf{S}_i}$ を人物 P の実年齢形状の特徴点座標 $\mathbf{S}_i^A$ に加えることにより得ることができる．

$$\mathbf{S}_i^B = \mathbf{S}_i^A + \overline{\delta\mathbf{S}_i}\,. \tag{2}$$

(3)　特徴点 $\mathbf{S}_i^A$ を式 (2) で得られた $\mathbf{S}_i^B$ へ移動させることで，三角形パッチを変形させ，人物 P の年齢変化後（B 歳）の顔形状を得る．

2.2　テクスチャの年齢変化

テクスチャの変化に関する差分情報（差分テクスチャ）は，異なる年齢間の対応している画素の輝度値（RGB 値）の差分として捉える．

年齢変化テクスチャは，年齢変化形状と同様に，年齢サンプルデータベースから差分テクスチャを抽出し，それを実年齢テクスチャに加えることによって得られる．年齢変化テクスチャの取得手順の概略を以下に示す．

(1)　年齢サンプルデータベース内の A 歳および B 歳の画像に対して，データベース内の A 歳および B 歳の平均テクスチャ $\overline{\mathsf{T}^A}$，$\overline{\mathsf{T}^B}$ を求め，対応する画素において，それぞれ輝度値の差分を求めることにより，平均差分テクスチャを求める[4]．

$$\overline{\delta\mathbf{T}} = \overline{\mathsf{T}^B} - \overline{\mathsf{T}^A} \tag{3}$$

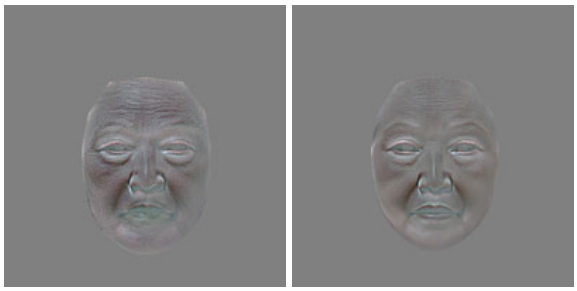
(2)　得られた平均差分テクスチャ $\overline{\delta\mathbf{T}}$ を人物 P の実年齢テクスチャ $\mathbf{T}^A$ の対応する画素に加えることにより年齢変化テクスチャ $\mathbf{T}^B$ を得る．

$$\mathbf{T}^B = \mathbf{T}^A + \overline{\delta\mathbf{T}}\,. \tag{4}$$

3.　年齢変化における皺の強調・除去

差分情報は，各年代の平均顔を基準に求められる．平均顔は複数の顔画像の物理特徴を平均化して生成されるため，皺などの個人によってその出現が不規則である情報は打ち消され，非常に滑らかな肌を持った画像となる．これは高齢者の平均顔であっても同様である．そのため，たとえば青年から高齢者への加齢変化を考えた場合，青年から高齢者への差分テクスチャに皺情報が十分に含まれておらず，そのために，年齢の変化があまり感じられない画像が生成されてしまう可能性がある．

同様に，高齢者画像の減齢変化を考えた場合，高齢者から青年への差分テクスチャを付加するだけでは，高齢者の皺の除去が十分に行えず，年齢の変化があまり感じられない画像が生成されてしまう．青年から幼児への変化も同様である．青年と言えども，細かな皺やしみが存在しており，それらを残したまま幼年変化を行っても十分な年齢変化が期待できない．



(a) 男性　　(b) 女性

図 2　加齢差分テクスチャ．青年から老年への差分テクスチャ．アンシャープマスクにより皺情報の強調処理を行う．

(a) 明度画像　　(b) 彩度画像

図 3　明度画像と彩度画像．テクスチャから明度成分と彩度成分を抽出し，それぞれ画像化したものである．

したがって，年齢変化時には，平均顔から得られる差分情報だけでなく，加齢変化における皺の強調や減齢変化における皺の除去処理が必要となってくる．

3.1　加齢テクスチャ

平均顔はその性質上，肌が滑らかに現れてしまうため，高齢者平均顔においても皺が薄くなってしまっている．差分テクスチャは平均顔間の濃淡値の差を示したものであり，そのため，たとえば青年画像から高齢者画像への差分テクスチャには，高齢化における皺の情報が存在はするものの非常に薄い皺となっている．

そこで，皺情報を強調するために，加齢差分テクスチャにアンシャープマスクをかけ，皺の情報を強調する処理を行う．アンシャープマスクを用いるのは，皺の部分だけを強調するためである．青年画像からの加齢変化に用いた差分テクスチャを図 2 に示す．

3.2　減齢テクスチャ

減齢変化合成に必要な皺の除去処理に関する研究としては，皺やしみを検出し，それを除去することで肌の平滑化を行う研究がいくつか行われている[9),10)]．荒川らの手法[9)] では，皺やしみの位置を検出し，その周辺画素との重み付き平均をとることで，画像全体をぼかすことなく，皺成分のみを除去することを可能としている．

これらの手法は，皺やしみが薄い場合は有効であるが，深い皺を持つ高齢者を考えた場合，周辺画素との平滑化だけでは皺の除去に限界がある．さらに，青年や幼年への変換を考えた場合，皺やしみの除去だけでは不十分であり，肌全体の若返りが必要である．

上述したように平均顔はその特性から，その肌は，皺やしみのほとんどない滑らかな画像であり，幼年の肌に近いものがある．そこで，平均顔から得られる肌情報と実際の画像の肌情報を合成することにより，若年化に必要な肌の若返りを実現する手法について検討する．

3.2.1　肌の平滑化処理

肌の色を「色相（H）」,「彩度（S）」,「明度（I）」に分けて考える．図 3 は高齢者画像の S 成分，I 成分をそれぞれ示したものである．H 成分は肌の色あいを表す．I 成分は，顔の濃淡情報であり，皺によってできる影などの情報が含まれている．また，S 成分にも，I 成分の皺位置に同様な情報が現れていることが分かる．

そこで，個人顔の S ／ I 成分と平均顔の S ／ I 成分との重み付き平均を取ることによって，肌の平滑化を行う．なお，H 成分は，個人の肌の基準となる色合いを表しており，合成処理は行わず，その値を保持する．

$$\mathbf{H}_{new} = \mathbf{H}_{ori}\ , \tag{5}$$

$$\mathbf{S}_{new} = \omega_S \mathbf{S}_{ori} + (1-\omega_S)\mathbf{S}_{ave}\ , \tag{6}$$

$$\mathbf{I}_{new} = \omega_I \mathbf{I}_{ori} + (1-\omega_I)\mathbf{I}_{ave}\ . \tag{7}$$

ω は重み係数であり，任意に決定することができる．

平均顔は肌が滑らかなだけではなく，その年代に共通する特徴を有している．そのため，同年代の平均顔との平均を取ることにより，平均化を行っても，その年代に共通する皺（たとえば深く刻まれた鼻唇溝）や目の下のたるみなどの情報は失われず，逆に個人ごとに不規則に現れる細かな皺情報は平滑化される．

また，重み付き平均をとることにより，単純に平均顔の成分と入れ替える方法に比べ，年齢変化に合わせた肌テクスチャの生成が可能となる．例えば，現在の年齢から年齢差の少ない減齢変化を生成したい場合は，個人顔の成分の重みを高くし（皺情報が多く残る），逆に，現在の年齢よりも若い画像（例えば，高齢者→青年変化）を作成したい場合は，平均の成分の重みを高くする（皺情報が平滑化される）．

なお，肌平滑化変換は，肌領域にのみ適用するものとし，個人性を顕す眉，目，口については処理を行わないものとする．

得られた肌平滑化画像に **2.2** で求められた差分テクスチャを加えることで，減齢画像の合成を行う．図 4 に肌を平滑化した画像を示す．(a) は入力画像であり，(b) は肌平滑化処理を行った画像である．(c) は肌平滑化処理を行わずに差分情報のみを適用したものであり，(d) は肌平滑化処理を行った後に差分情報を適用した例である．肌の平滑化処理を行うことで，高齢者から青年への年齢変化がより効果的に表現されていることが分かる．

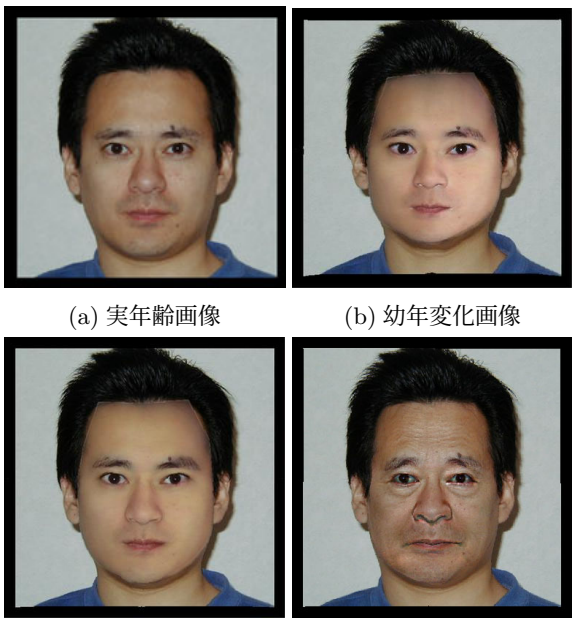
4.　評 価 実 験

評価方法としては，生成された年齢変化画像と対象人物の実際の年齢変化画像を比較する方法が一般的である．

(a) 実年齢画像　(b) 平滑化画像

(c) 減齢画像（差分情報のみ）　(d) 減齢画像（平滑化＋差分情報）

図 4　肌領域の平滑化．テクスチャの S 成分と I 成分について入力画像と平均画像間の重み付き平均を取ることにより，肌の平滑化を行う．



(a) 実年齢画像　(b) 幼年変化画像

(c) 少年変化画像　(d) 老年変化画像

図 5　青年画像の年齢変化合成齢．(b) の幼年変化には幼稚園児 DB を，(c) の少年変化には中学生 DB を，(d) の老年変化には高齢者 DB をそれぞれ使用して各年代の顔画像を生成した．

図 6　実験画像．髪や背景の影響を取り除くため，顔領域のみ切り出した画像を実験で使用する．

しかし，ある人物の若い頃の画像は取得できても，現在より高齢の画像を取得することはできない．また，本手法の目的は,「既知の人物の**忠実な年齢変化**の再現」ではなく,「未知の人物をも含む様々な人物の**自然な年齢変化**の生成」であり，生成された年齢変化画像は，必ずしもその人物の正確な年齢変化表現とは限らない．そこで，被験者による主観的評価実験により合成された年齢変化画像の年齢推定および対象人物の年齢変化として妥当かどうかの評価を行うことで手法の妥当性の評価を行った．

今回用いた年齢サンプルデータベースは，高齢者，青年，幼稚園児の複数の人物の無表情・正面画像が格納されており，顔の位置，方向，大きさに関して正規化が行われているものとする．年代別の人数構成は，高齢者データについては男性 30 名，女性 67 名，青年データについては，男女共 60 名，幼年児データについては男性 19 名，女性 20 名である．なお，高齢者，青年の顔画像は関東地方（東京）で撮影され，幼稚園児は九州地方（鹿児島）で撮影された．

特徴点は，眉，目，鼻，口，輪郭上に 83 点とし（図 1），FUTON システム[11] を用いて手動で取得した．

4.1 実験方法

実年齢画像として，青年画像 16 枚（DB 内画像男女各 4 枚，DB 外画像男女各 4 枚），高齢者画像 16 枚（DB 内画像男女各 4 枚，DB 外画像男女各 4 枚）を用意した．データベース内の人物は，その人物固有の差分が平均差分の中に含まれており，より自然な画像が得られると考えられる．一方，データベースに含まれない人物は，その人物固有の差分は平均差分に含まれていない．そのような人物に対しても，自然な年齢変化画像が生成できるかを検討することで，本手法の適用範囲についても考察する．

画像の生成条件としては，以下の通りとする．

AY:　減齢画像の生成．肌の平滑化は行わず，実年齢画像に差分形状と差分テクスチャのみを適用する．

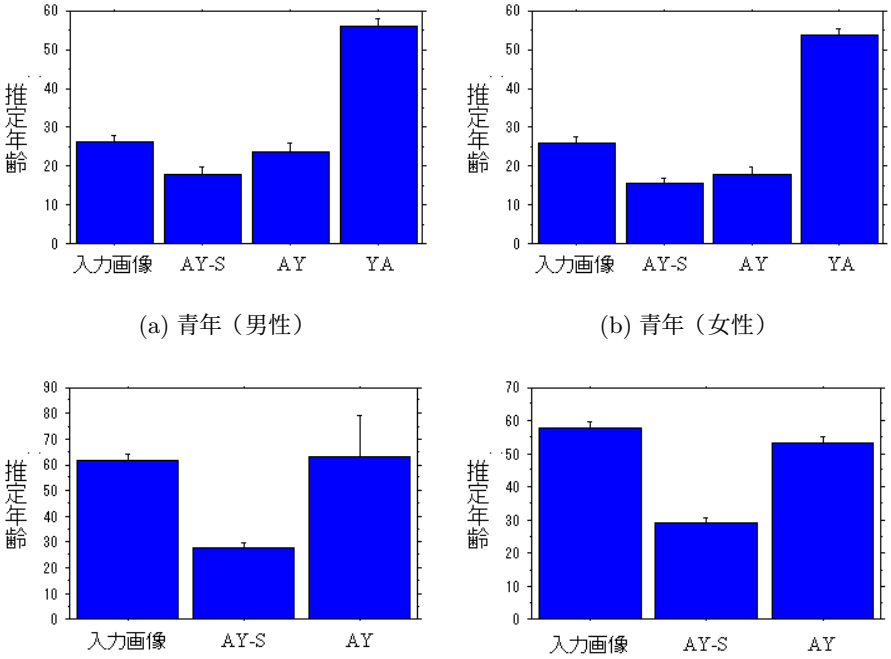
AY-S:　減齢画像の生成．実年齢画像に対して肌平滑化処理を行った後に差分形状と差分テクスチャを適用する．

YA:　加齢画像の生成．実年齢画像に差分形状と差分テクスチャを適用する．

人物条件としては，以下の通りとする．

inDB:　データベース内の画像を用いて年齢変化画像の生成を行う．

outDB:　データベースに含まれない画像を用いて年齢変化画像の生成を行う．



(a) 青年（男性）　(b) 青年（女性）

(c) 高齢者（男性）　(d) 高齢者（女性）

図 7　年齢変化画像の推定年齢．生成条件ごとに推定年齢の平均値を示す．

実年齢画像が青年画像の場合は，幼年変化（AY，AY-S）および老年変化（YA）を生成し，実年齢画像が高齢者画像の場合は青年変化（AY，AY-S）を生成する．画像合成例を図 4 および図 5 に示す．また，実験時には，髪や背景の影響を取り除くため，図 6 に示すように，顔以外の部分を取り除いた画像とする．

年齢推定実験の手順を以下に示す．

実験１： 入力画像年齢推定実験

（1） 実年齢画像を 1 枚ずつランダムな順でコンピュータモニタ上に表示する．

（2） 被験者は，表示された画像に対して，その人物の年齢を推定し年齢を記入欄に記入する．

実験２： 年齢変化画像年齢推定実験

（1） 入力画像とその人物について生成された年齢変化画像を左右に 2 枚並べてランダムな順でコンピュータモニタ上に表示する．左側を入力画像，右側を年齢変化画像とする．

（2） 被験者は，年齢変化画像に対して，その人物の年齢を推定し年齢を記入欄に記入する．

（3） 被験者は，年齢変化画像に対して，入力画像の妥当な年齢変化であるか 5 段階で評価する．評価は，妥当であれば「5」，妥当でなければ「1」とする．

被験者は 20 代〜30 代前半の 16 名（男女各 8 名）である．32 枚の実年齢画像を青年／高齢者，DB 内外，男女比が均等になるように 16 枚ずつ 2 つに分け（画像数：実年齢画像 16 枚，年齢変化画像 40 枚），それぞれについて被験者を 8 名ずつ（男女各 4 名）割り当てた．

5. 結果および考察

5.1 青年画像の年齢変化

図 7(a)，(b) に，青年画像の年齢変化の各生成条件における，推定年齢の平均値を示す．

実年齢画像の推定年齢の平均は男女共 26 歳であった．AY-S 条件では，男性 18 歳，女性 16 歳であり，AY 条件では，男性 24 歳，女性 18 歳であった．AY-S 条件，AY 条件について t 検定を行った結果，男女共有意差が見られた（男性：$t = -4.132, p < .0001$，女性：$t = -2.094, p < .05$）．

一方，加齢変化については，平均推定年齢は男性 56 歳，女性 54 歳であり，明らかに高齢化が行われていることが分かる．

次に，人物条件の違いによる影響については，減齢変化では，男性では inDB 条件 16 歳，outDB 条件 20 歳であり，女性では inDB 条件 13 歳，outDB 条件 18 歳であり，DB 内の画像が有意に若く評価されている．加齢変化では，男性では，inDB 条件 57 歳，outDB 条件 55 歳であり両者の間に有意な差は見られなかった．女性においても，inDB 条件 54 歳，outDB 条件 53 歳と，両者の間に有意な差は見られなかった．

ここで，減齢時に用いたデータベースは幼稚園児であり，推定年齢とは大きくかけ離れている．この要因としては，一つにはデータベースの違いが挙げられる．今回はデータ収集の制限のため，青年画像が男女各 61 名に対して，幼稚園児は男女各 20 名と少なく，また，撮影場所が関東と九州と異なる地域でのデータとなっている．そのため，幼稚園児の平均データには個人差の影響が出て

しまう可能性があり，また，顔の地域差も影響しているのではないかと考えられる．これは，減齢時の人物条件の推定年齢が inDB の方が有意に若く評価されていることからも推測できる．さらに，女性に関しては，化粧の影響も大きな要因として挙げられる．入力画像として用いた画像は全員化粧をしており，特に口紅やアイシャドーなどにより大人っぽい画像が生成されたと考えられる．

年齢変化画像の妥当性については，減齢変化では評定値は 3.1〜3.6，加齢変化では，男女とも 3.3 であり,「どちらともいえない」という評価に留まった．有意差は見られなかった．

5.2 高齢者画像の年齢変化

図 7(c)，(d) に，高齢者画像から減齢画像を生成する場合の，各生成条件における，推定年齢の平均値を示す．

入力画像の推定年齢の平均は，男女それぞれ 62 歳，58 歳であった．実年齢画像の推定年齢の平均は男女それぞれ 62 歳，58 歳であった．AY-S 条件では，男性 28 歳，女性 29 歳であり，AY 条件では，男性 63 歳，女性 53 歳であった．

肌の平滑化を行わなかった場合（AY 条件）は，その推定年齢は，男女それぞれ，63 歳，53 歳であり，女性で有意な年齢の減少が見られるものの，年齢的には高齢者に属しており，差分情報のみでは減齢画像の生成が不十分であることを示している．一方，肌の平滑化を行った場合（AY-S 条件），推定年齢は約 30 歳であり，減齢合成がより効果的に行われたことを示している．また，減齢時に用いたデータベースは 20〜30 代のデータであり，青年から幼年への変化に見られたような年齢の不適合は見られず，ほぼ妥当な結果となっている．

人物条件の違いよる影響については，男性では DB 内外共に 28 歳であり，両者の間に有意な差は見られなかった．女性においても DB 内外共に 29 歳と，両者の間に有意な差は見られなかった．

合成画像の妥当性については，評定値は 3.3〜3.9 であり，青年画像と同様,「どちらともいえない」という評価に留まった．有意差は見られなかった．

6. おわりに

本研究では，1 枚の画像から減齢／加齢といった年齢変化画像を合成する方法として，年齢データベースから得られる差分情報を用いる手法について検討を行った．さらに，減齢変化時において必要不可欠となる，皺やしみの除去のための肌平滑化処理について実年齢テクスチャと平均画像テクスチャ間で明度，彩度成分の重み付き平均を取る方法を提案した．

評価実験の結果，提案手法により，青年画像の加齢変化と高齢者画像の減齢変化に対しては効果的な年齢変化が行われていることが分かった．さらに，肌平滑化処理を行うことにより，より効果的に減齢合成が行われていることが確認された．

一方，青年画像の減齢変化（幼年変化）では，有意な減齢効果は得られているものの，その推定年齢は中高校生程度と，意図した結果とはならなかった．使用したデータベースの年代による撮影条件の違いという問題や，化粧の影響など，今後の課題である．

今回の提案手法のような非常に簡便な手法により，自然な年齢変化が誰にでも簡単に生成することができれば，時間や労力，費用といった制作コストを大幅に削減することができ，その有用性は大きく，アミューズメント応用や，昨今のブロードバンド環境での自身の分身としてのアバター作成など，さまざな分野での応用が期待できる．

謝辞 本研究は産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センターと共同で行ったものであり，顔画像データは同センターで 2002 年に撮影したものを使用した．

参 考 文 献

1) R. Bull, N. Rumsey 著, 仁平 義明訳. 人間にとって顔とは何か — 心理学からみた容貌の影響. 講談社, 1995.
2) 赤松茂. コンピュータによる顔の認識 — サーベイ—. 信学論 (D-II), Vol. J80-D-II, No. 8, pp. 2031–2046, 1997.
3) 長谷川修, 森島繁生, 金子正秀. 「顔」の情報処理. 信学論 (D-II), Vol. J80-D-II, No. 8, pp. 2047–2065, 1997.
4) 磯野勝宣, 尾田政臣, 向田茂, 赤松茂. ebuilder：任意表情生成システムの開発—1 枚の顔写真からの任意表情静止画像／動画像の生成—. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 3, No. 4, pp. 1–10, 2001.
5) D.A. Rowland and D.I. Perrett. Manipulating facial appearance through shape and color. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 15, No. 5, pp. 70–76, 1995.
6) N. Burson and T.D. Schneider. Method and apparatus for producing an image of a person's face at a different age. *United States Patent 4276570*, 1981.
7) 山口真美, 尾田政臣. 正面顔画像のカージオイド変換が年齢認知に及ぼす影響 について. 信学論 (A), Vol. J-80-A, No. 8, pp. 1250–1259, 1997.
8) 中川雅通, 宗續敏彦, 角義恭, 前原文雄, 千原國宏. 骨格モデルを用いた顔画像の年齢変化シミュレーション. 信学論 (A), Vol. J80-A, No. 8, pp. 1312–1315, 1997.
9) 荒川泰彦, 荒川薫, 原島博, 渡部宏明. 顔画像処理方法および顔画像処理装置. 公開特許公報 特開 2000-105815, 2000.
10) Y. Shan, Z. Liu, and Z. Zhan. Image-based surface detail transfer. In *Proceedings of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR'01)*, Vol. II, pp. 794–799, Hawaii, December 2001.
11) 向田茂. 顔画像合成システムと年齢特徴操作に関する研究. 博士論文, 奈良先端科学技術大学院大学, 2003.