

高速度カメラを用いた顔面動作の分析および表情合成

森島, 繁生 / 四倉, 達夫 / YAMADA, Hiroshi / 内田, 英子 / YOTSUKURA, Tatsuo / 山田, 寛 / TETSUTANI, Nobuji / 赤松, 茂 / UCHIDA, Hideko / 鉄谷, 信二 / AKAMATSU, Shigeru / MORISHIMA, Shigeo

(出版者 / Publisher)

電子情報通信学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

電子情報通信学会技術研究報告. OFS, オフィスシステム / 電子情報通信学会技術研究報告. OFS, オフィスシステム

(巻 / Volume)

101

(号 / Number)

298

(開始ページ / Start Page)

15

(終了ページ / End Page)

22

(発行年 / Year)

2001-09-13

高速度カメラを用いた顔面動作の分析および表情合成

四倉達夫^{1,2}・内田英子³・山田寛⁴・赤松茂^{5,6}・鉄谷信二¹・森島繁生²

¹ATR 知能映像通信研究所・²成蹊大学・³サンフランシスコ州立大学・

⁴日本大学・⁵法政大学・⁶国際電気通信基礎技術研究所

¹ 〒 619-0288 京都府相楽郡精華町光台 2-2-2

E-mail: yotsu@mic.atr.co.jp

本稿では、高速度カメラを用いて人間が自然な表情した場合(自発表出)と普遍的かつ典型的な表情を演じる際の顔表情(演技発表出)を撮影し、顔の各部位に設定した特徴点の変位量に基づき顔の動きの定量的な測定を分析した。また測定結果からCGによって構築した顔モデルのアニメーション生成を行った。自発表出条件、演技発表出条件ともに顔の各部位の動き出しの差は微細であり高速度カメラを用いたことの有効性が示された。また情動ごとおよび発表出条件ごとに顔の動き量や速さに特徴的な違いが認められたが、動きの変化そのものの様相には興味深い共通性が認められた。顔モデルのアニメーションに関して、線形補間によるキーフレームアニメーションと比べより自然な顔表情発表出が可能となった。

顔面表情、自発表出、演技発表出、顔合成、高速度カメラ

A Micro-Temporal Analysis of Facial Movements and Synthesis Spontaneously Elicited and Posed Expressions of Emotion Using High-Speed Camera

Tatsuo YOTSUKURA^{1,2}, Hideko UCHIDA³, Hiroshi YAMADA⁴,
Shigeru AKAMATSU^{5,6}, Nobuji TETSUTANI¹, and Shigeo MORISHIMA²

¹ATR Media Integration & Communication Research Laboratories, ²Seikei University,
³San Francisco State University, ⁴Nihon University, ⁵Hosei University, ⁶ATR International

¹ 2-2-2 Hikaridai Seika-cho Soraku-gun, Kyoto, Japan, 619-0288

The present study investigated the dynamic aspects of facial movements in spontaneously elicited and posed facial expressions of emotion. We also simulated facial synthesis by using results from an analysis, the animations that we produced confirmed differences in the intensity of the facial expressiveness. We recorded participants' facial movements when they were shown a set of emotional eliciting films, and when they posed typical facial expressions. We measured facial movements frame by frame in terms of displacements of facial feature points. Such micro-temporal analysis showed that, although it was very subtle, there exists the characteristic onset asynchrony of each part's movement. Furthermore, it was found the commonality of each part's movement in temporal change although the speed and the amount of each movement varied along with expressional conditions and emotions.

Facial Expressions, Elicited and Posed Expressions, Facial Synthesis, High Speed Camera

1 はじめに

近年の顔画像処理技術の発展により、仮想空間上でのアバタを介したフェイス・トゥ・フェイスコミュニケーション、エージェントとのインタラクションシステム、そして映画やアミューズメントなどのエンターテインメント分野など多岐にわたり利用され、今後の更なる需要拡大が期待される [1]。アバタやエージェントの生成に関してはさまざまな技術があり、現在販売されている商用ソフトウェアの中にも顔モデル生成・アニメーション用アプリケーション、プラグイン等数多く存在している。その一方で、顔面表情にかかわる心理学研究もまた少なからぬ影響を与えている [2]。特に最近の顔面表情認知の研究では、顔の動的な変化の情報が情動の認知的判断にどのようにかかわって来るのか、などの点を明らかにする目的で、モルフィング技法を利用して顔面表情の動画刺激を作成するという試みがなされてきている (蒲池他 [3], 西尾・小山 [4])。

ところで、上述のような顔アニメーションソフトウェアや心理学実験に対して常に問題にされるのが、人間の実際の表情表出にかかわる顔の動きが、モルフィング技法で表現されるような線形的な動きではないのではないかという点である。現在アニメーション生成での一般的な手法としてアニメーションの開始フレームと終了フレームの顔モデルを決定し、その間の動画を線形的な動きとして仮定した後線形補間を行い中間フレームの顔モデルを決定するものがある。しかしながらこの手法だと自然な顔表情の表出が難しく熟練したアニメーターが経験的に中間フレームの顔の各器官の変化量を決定することが多い。

また、上述のような問題ばかりでなく、演技や故意で作られたような表情が、どの程度、自然な状況の中で起こっているのか、という問題もよく指摘される場所である [5]。しかし、そのような方法を現時点では採用せざるを得ない。その理由として、これまでのところ人間の自然な情動の表出にかかわる顔の動きを定量的に記述したような研究は皆無に等しいからである。

もちろん、心理学の分野において、日常生活の中で人間が見せる自然な表情を取り扱った研究はある (Fernandez-Dols & Ruiz-Belda [6])。また、なんらかの情動喚起刺激を被験者に提示し、それによって被験者が自発した表情を調べるといった研究も行われている。Ekman et al. [7] や Rosenberg & Ekman [8] は、被験者に情動を喚起させるような映画刺激を提示し、その際に被験者が顔に表した表情を FACS (Facial Action Coding System) [9] を用い

て記述している。また、中村 [10] は、映像刺激に対する自然な笑いと作り笑いの時間的な変化の違いを、顔の表情筋の筋電図を指標に分析している。このように自然な自発表情の分析に関する研究はこれまでも行われて来てはいるが、自然な表情にかかわる顔の動きをコンピュータ・グラフィックス (CG) で再現するために必要とされるような詳細なデータを提供してくれる研究は見受けられない。

そこで、本研究では、人間が自然に表情を自発させる時の顔の動きおよび典型的とされるような表情を演じる時の顔の動きを微細に記録し、その結果から顔モデルのアニメーションを行うことを目的とする。すなわち、いくつかの基本的な情動を喚起させることができるとされる Gross & Levenson [11] が作成した映像・映画刺激を被験者に提示し、それに対する被験者が自発的な顔の動きを 250 フレーム/秒の高速度カメラで撮影した。また、それとともに、Ekman & Friesen [9] が定義しているような典型的で普遍的な表情を演じる際の顔の動きも同様に撮影した。さらに、そのようにして得られた動画像から、顔の表情を合成するために必要とされる顔の特徴点の変位量を測定し、自発表情および演技表情における顔の動的変化の特徴について分析を行った。その結果をもとに表情変形可能な顔モデルに各フレームでの顔部位の変化量を割り当てアニメーションの生成を行い、線形補間によるアニメーション生成および非線形補間でアニメーション生成の違いを検証した。

2 方法

2.1 被験者

被験者は ATR の被験者プールの中から、モデル経験のある大学生および社会人 84 名を抽出し、面接を通じて 24 名 (男 12 名、女 12 名) を選定した。選定の基準は 20~35 歳の日本人であること、表情が豊かであること、口髭やあご髭がないこと、視力が裸眼もしくはコンタクトレンズによる矯正で 1.0 以上であることとした。

2.2 実験装置

本実験では、被験者の自発表情と演技表情の動的な変化を高速度カメラ (Nac:SV-500c3) で撮影し S-VHS ビデオに録画した。録画速度は 250 フレーム/秒、シャッター速度は 250/1 秒であった。なお、被験者と高速度カメラの間には、プロンプター (キャノン社 CWP-10H・II) をおいた。これは、被験者の顔を正面から撮影しながら、被験者に自分自身の顔の動きや映像刺激を提示するためである。高速度カメ

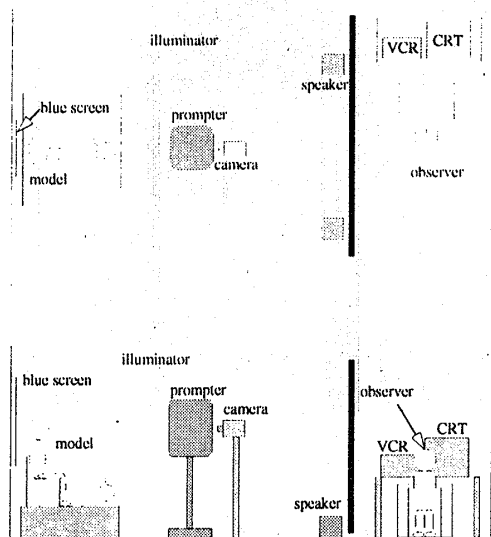


図 1: 実験装置類の配置図

ラは、プロンプターに組み込む形で設置し、プロンプターと被験者の顔の距離は50cmであった。なお、この高速度カメラを用いた撮影ではシャッター速度が高速であるため、十分な照度を確保し、顔部に影を作らないように配慮する必要があるため、照明器具3灯を被験者の両脇から顔に照らした。以上の実験装置類を配置した実験室の様子を図1に示す。

2.3 情動喚起刺激

自発表情を撮影するセッションで Gross & Levenson[10]により標準化された情動喚起刺激セットを使用した。これは、喜び、驚き、怒り、悲しみ、嫌悪、恐れ的情動が喚起できたと実験的に評価された映画のワンシーンの (Commercial) クリップや彼らが独自に撮影した映像 (Non-commercial) クリップで構成されている。特に今回は表1に示すように怒りと喜びを喚起できるとされるものがそれぞれ1クリップ、他の情動に関してはそれぞれ2クリップの計10クリップであった。なお、映画の場合、オリジナル音声は英語である。そこで、それらについては、日本語字幕付きのビデオクリップを使用した。他の Non-commercial クリップに関しては著者から取り寄せたビデオクリップをそのまま使用した。各クリップの間には、ニュートラル (無感情) な映像をはさみ、各情動喚起シーンがランダムな順序で提示されるように刺激ビデオテープを編集した。

2.4 手続き

実験は ATR 人間情報通信研究所内の実験室において被験者ごとに個別に実施した。実験は3つのセッションに分けて実施した。はじめに 1) トレーニン

表 1: 映像クリップ

項目	提示時間
1 ウェーブ (Contentment)	00:59
2 ビーチ (Contentment)	00:23
3 シー・オブ・ラブ (驚き)	00:27
4 チャンプ (悲しみ)	02:59
5 シャイニング (恐怖)	01:24
6 ピンク・フラミンゴ (嫌悪)	00:38
7 羊たちの沈黙 (恐怖)	03:35
8 遠い夜明け (怒り)	02:37
9 手の切断手術シーン (嫌悪)	01:04
10 カプリコーン・ワン (驚き)	00:57
11 恋人達の予感 (Amusement)	02:53
12 バンビ (悲しみ)	03:22

グセッション、続いて、2) 自発表情撮影セッション、最後に 3) 演技表情撮影セッションの順番で行った。各セッションの詳細を以下に示す。

2.4.1 トレーニング・セッション

被験者に実験環境に慣れてもらい、また自然な表情が出易いように、ウォーム・アップに実験者の指示により FACS (Facial Action Coding System) [9] に基づいた表情の筋肉を動かすフェイシャル・エクササイズを行った。なお、ここでは表情を作る (顔の筋肉を総合的に動かす) のではなく、表情の筋肉を単独 (アクション・ユニット毎) に動かす練習を 30 分~1 時間程行った。

2.4.2 自発表情撮影セッション

本セッション (自発表出条件) では、Gross & Levenson [11]により標準化された情動喚起映像を提示し、被験者に自然な表情を自発させた。なお、このセッションでは、被験者が実験者を意識して自然な表情を抑制するというようなことができるかぎり起こらないよう配慮した。すなわち、実験者は、被験者を一人にして、被験者からは見えない実験室の裏に移動し、その場所で、情動喚起映像の提示操作やカメラの微調整などを行った。自発的表出セッションの所要時間は、約1時間であった。

2.4.3 演技表情撮影セッション

本セッションでは、FACS をベースとした顔面動作教示に従って、被験者に6つの基本表情を演じさせた。ここでは、被験者に「喜んだ顔をしてください。」といった感情のキーワードを全く使わずに、表情の筋肉 (アクション・ユニット (以下 AU) を顔の各部 (AU ごと) に訓練し、最終的にアクション・ユニットを組み合わせることで1つの表情がスムーズに表出できるよう訓練した。そしてリラックスした顔 (ニュー

トラル)から基本感情が演じられるように訓練をした。なお、本セッションでは、自発表情撮影のセッションとは違い、実験者は被験者と対話しながら表情表出の訓練を行った。

リラックスした顔(ニュートラル)から基本6表情(喜び、驚き、悲しみ、恐れ、嫌悪、怒り)がスムーズに演じられるようになるまで表情ごとに訓練した。訓練に所要した時間は個人差はあったが、各表情につき30分~1時間であった。表情表出の訓練に要した時間に個人差はあったが、所要時間は平均して4~5時間を要した。

3 結果

本章では先に述べた実験時に撮影した顔画像の分析方法および分析結果を述べる。

3.1 分析方法

今回の実験で、高速度カメラによって撮影しVTRに録画した24名の被験者の自発表条件および演技表出条件における顔の動きを次のように処理し分析した。

3.1.1 分析用表情変化シーンの抽出

分析対象の表情変化シーンの決定条件として、自発表情撮影セッションで撮影された映像の中から、各映画刺激ごとに、各被験者が明らかにその映画刺激に対する反応として示したと判断される自発的な情動の表出シーン(平常状態のフレームから表出が最大になったと判断されるフレームまで)を選定した。演技のシーンについては、各情動ごとにそれぞれの表情が最もうまく演じられていると判断された試行で、演技開始時の無表情の状態のフレームから演技表出が最大と判断されるフレームまでとした。

この分析対象シーンの選定の結果、悲しみ、恐れ、怒りの情動を誘発するとされる映画刺激を、ほとんどの被験者が表情を変化させずに観察していることが分かったため分析対象から除外した。また、残りの情動に関しても、各情動を誘発するとされる映画刺激に対して、全ての被験者が、それぞれの情動の表出を示した訳ではなかった。

3.1.2 分析プロセス

次に、上記のようにして選出された各表情シーンにおける顔の特徴点の変位を計測した。特徴点は、図2に示すように、左右眉輪郭各部4点、左右目輪郭各部4点、鼻輪郭部5点、唇輪郭部6点、顎部1点の合計28点とした。なお、図には30点が示されているが、このうち額の髪の生えぎわの1点(29



図2: 顔特徴点の位置

番)と鼻の頂点の1点(30番)は、後述する特徴点位置の補正用の点である。この計測にあたっては、まず各シーンを構成する全フレームを一フレームずつ静止画像にしてコンピュータに取り込んだ。そしてコンピュータのモニターに表示された各静止画像を観察して顔の各特徴点の位置を定めた。この時、マウスないしキーボードを操作して各特徴点の位置にマーカを振った。つまり、このそれぞれの特徴点に対応するマーカの座標値をもって各特徴点の画像上座標値とした。

各表出シーンにおける顔の特徴点の変位を求めらるにあたっては、それぞれのシーン内で連続するフレームの画像における各特徴点の画像上座標値を頭部の傾きや移動を考慮するためそのまま使う訳には行かない。よって、いったん求められた画像上の座標値に、頭部の動きやカメラとの距離を考慮した形での補正を加え、さらに顔の大きさを考慮した座標値の正規化を行った。このようにして、補正後の正規化された座標空間上で各シーンにおける顔の特徴点の変位(座標値の遷移)を求めた。

3.2 分析結果

以上のような分析結果から1)各情動での顔部位の変化開始順、2)顔部位の変化に要する時間、そして3)特徴点の変化量と経過時間との関係、計3つの結果を述べる。

3.2.1 顔部位の変化開始順

表出条件の違いによって、各情動の表出における顔の部位の動き出す順番が異なるかどうか、またそれらの時間(フレーム)差がどの程度のものかを分析した。この分析にあたっては、それぞれの情動における表出条件ごとに、一つの部位(例えば眉)に関わる特徴点の動き出しと他の部位(例えば目)のそれ

表 2: 各情動の表出条件別顔部位変化開始順位と平均時間差(単位:ms)

情動	条件	1番	時間差	2番	時間差	3番
喜び	自発	目	23.3	眉	26.1	口
	演技	目	9.2	眉	18.5	口
驚き	自発	目	5.6	口	6.0	眉
	演技	目	12.8	口	15.9	眉
嫌悪	自発	眉	0.2	口	6.4	目
	演技	目	11.6	口	4.2	眉

表 3: 各情動表出における顔の動き開始から完了までの経過時間(単位: ms)

情動	自発	演技
喜び	724	556
驚き	228	412
嫌悪	836	388

との時間差の平均を求めた。これによって、表 2 に示すような結果が得られた。この表から、嫌悪の自発条件を除く他の条件では、全体的な傾向として、顔の中ではまず目の部分から動き始めることが分かる。また、喜びと驚きの場合には、自発条件、演技条件ともに、それぞれが、目、眉、口の順、目、口、眉の順で動いていることが分かった。しかし、それぞれの部分が動き出すタイミングが自発条件と演技条件では異なり、喜びの場合には、自発条件の方が、また驚きの場合には演技条件の方が、各部分の動き出す時間差が大きく、全ての部分が動き出すまでが比較的ゆっくりしているという傾向が見出された。

3.2.2 顔部位の変化に要する時間

顔のいずれかの部分が動き始めてから表出が完了するまでの経過時間を各情動ごとで表出条件別に平均した値を、表 3 に示す。この表からも、先に述べたと同様の傾向が認められる。すなわち、嫌悪や喜びの場合には、自発条件での表出の方が時間がかかる一方、驚きの場合は、逆に、自発条件の方が、短時間に表出が完了することが分かった。

3.2.3 特徴点の変化量と経過時間との関係

時間を関数とした各部の特徴点の変位量についての分析を行った。この分析にあたっては、まず、選出された各シーン毎に、各フレームにおける特徴点の部位別の平均変位量を求め、さらに、それらを情動ごとに表出条件別にして平均した。この結果の 1 例(表情: 喜び)をグラフにして図 3、図 4 に示す。なお、眉と目の動きについては左右に傾向の違いは認められなかった。このグラフから、全体的には、

はじめに述べたように、顔の動きは、モルフィングの技法で表現されるような線形的な変化ではないことが分かる。全体的な傾向として、どの情動のどの部分においても、はじめはその後と比較して変化量は少なく、どちらかと言うとゆっくりと立上り、その後急激な動きに変わることが示されている。また表出動作の完了近くになると変化量が減少し、完了に向けて収束していくという様子が見られる。

情動: 喜びでの自発表出条件と演技表情表出条件にいける動きの違いを見ると、自発表出条件と比べて演技表出条件の方が、全体的に動きが速いが、特に口が大きく速く動いていることが特徴的である。また、演技表出条件の場合には、目と眉の特徴点の変位量にほとんど違いがない。つまり、目と眉の動きの大きさに変わりがない。これに対して、自発表出条件の場合には、眉の動きにの大きさが、目の動きの大きさを上回っていることが特徴的と言える。

4 表情合成

前章までのとおり表情表出時における顔の各器官の動きは線形補間でのアニメーションで表現されて

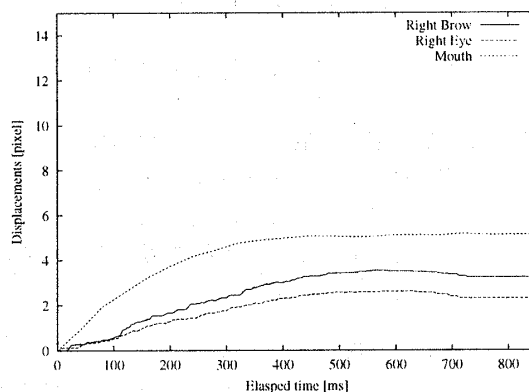


図 3: 喜びの自発表出

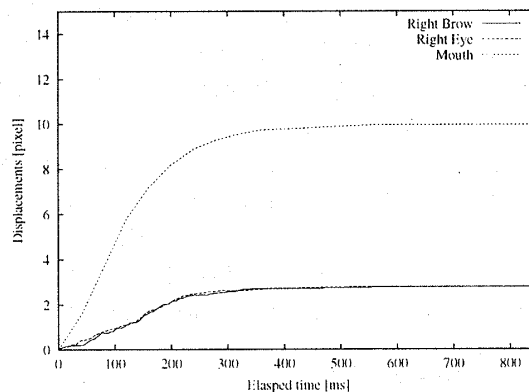


図 4: 喜びの演技表出

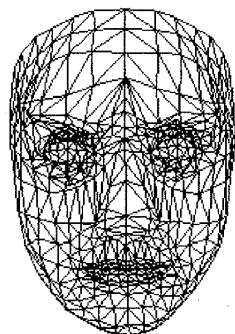


図 5: 3次元顔モデル

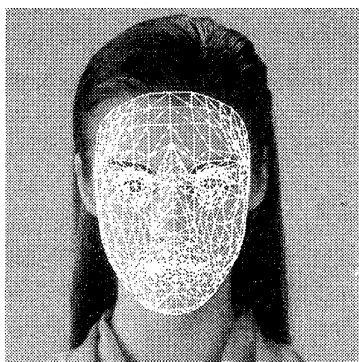


図 6: フィッティング整合後の状態

おらず非線形で変化が生じていることが確認できた。そこで本章ではこれらの分析結果をもとに表情合成およびアニメーションを実際に制作し、CGによって再現された顔表情においても観察者が自然に表出ができていのかどうか検証した。

4.1 顔モデル合成

表情の表出が可能なリアルな顔モデルを生成するため、カメラから取得した対象人物の正面の頭部画像に三角形ポリゴンで構成させる頭部の標準ワイヤフレームモデル(図5)をマニュアル整合しアバタを作成する。このモデルにテクスチャマッピングを施すことによって頭部合成画像を作成する。また歯および口内部のモデルを追加することによってリアルな顔モデル生成を目指した。整合後の合成画像を図6に示す。この整合処理はマウス操作によって容易に実行することができるように、GUIツールを制作した。ユーザ登録時にこの整合処理を1度だけ行う必要があり、以後は個人モデルの選択のみ行う。

4.2 表情編集ツール

上記で生成した顔モデルの表情変化を行うため、FACSに基づいたルール付けを行った。基本動作である各

AUはいくつかの顔面上の特徴点の3次元移動ベクトルとして定義されている。表情変化は3次元モデルの特頂点をAUの強度によって移動させ特徴以外の格子点とは深く頂点の移動に基づく補間によって制御される。これらの制御はあらかじめ表情編集ツールと呼ばれるアプリケーションで各AUの強度をスライダーバーによって制御することによって簡単に顔モデルの表情のカスタマイズが可能である。

4.3 顔表情アニメーション

本研究では表情編集ツールを用いて顔アニメーション用のシークエンス画像を生成した。アニメーションの描画フレームレートはシステムの関係上30fpsとする。表情表出時に使用するAUの強度と分析で求めた顔部位の変化量との関係は各表情ごとに変化量が最大な変位量を示す部位に対応するAUの強度を100%とした。各フレームにおける顔部位の変化量から対応したAUの強度を表情編集ツールによって入力し合成された顔画像を生成してゆく。これら顔画像はイメージファイルとして保存し、Adobe社製Premiereにてシークエンス画像を動画画像へ変換させアニメーション生成した。

4.4 評価

上記手法によって生成した顔モデルの表情：喜びでのシークエンス画像の一例を図7に示す。上図が一般的に従来から用いられているAUの強度を線形的に変化させて生成したもので、下図が分析によって求めた自発的な表出での表情変化である。現在のところ主観評価実験など定量的な分析を行っていないが、予備実験として数人の被験者に対して今回制作した自発表出条件と演技表情表出条件、線形補間、計3種類のアニメーションをランダムにどれが一番自然な表情表出をしているか評価したところ、自発的な表出条件の分析結果をもとにして生成したアニメーションしたものが演技表情表出条件と比べ、わずかに一番自然な表情表出であると意見を頂いた。また線形補間で制作したアニメーションは多くの被験者が自然な表出ではなくぎこちないとの評価が集まった。

5 まとめ

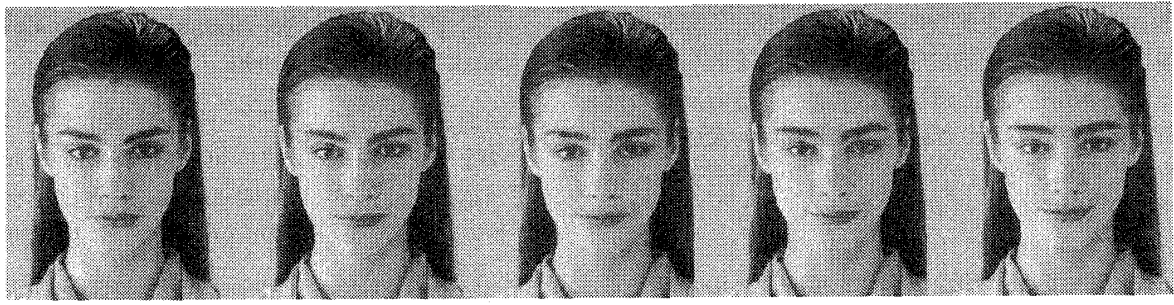
本研究では、人間が自然な表情を自発した時と普遍的で典型的と言われている表情を演じる時の顔の動きを高速度カメラで撮影し、顔の特徴点の変位の測定に基づいて顔の動きの定量的な特性を分析した。この研究でもっとも重要なキーワードである「高速度カメラ」を本研究に取り入れることで、250分の1

秒という通常のカメラの約8倍のフレームレートで撮影することで詳細に顔の部位の動きを捕らえることができ、有効性を確認することができた。また分析結果でも述べたが顔部位の変化開始時間の順位と平均時間差が通常のカメラフレーム速度の33ms以下で部位間の時間差が生じている。これらは通常のカメラで捕らえることが不可能である。そこで問題になってくるのは合成顔画像を生成した場合での描画フレームレートである。本研究からもわかるとおり今回ハードウェアの関係上30fps以上のフレームレートでの描画が無理であるた30fpsという制限された時間解像度で生成を行った。今後の展開として30fps以上描画可能な表示用機器を用いて合成表情アニメーションを行い、現在TV等で用いられているフレームレートと時間解像度を上げたものとを比べ印象の変化があるかどうか検証する必要がある。この検証で時間解像度を上げたものがより自然な印象を与えると判断できれば、将来高フレームレートの再生機器が普及する可能性も考えられる。また今回の実験で興味深い結果が出た各部移動量の変化に関してだが、予測どおり線形的な変化ではなかった。解剖学的にも筋肉の運動特性を反映しているものと考えるのが妥当であろう。今後はグラフから求めた曲線に対して関数を近似的にフィッティングさせ、器官の変化を定義し、これら関数が正当かどうか表情変化アニメーションに当てはめ、評価実験を行いたいと考えている。

謝辞 本研究は、本研究を支援して頂いた、ATR人間情報通信研究所の一ノ瀬裕社長、同知能映像通信研究所の中津良平社長に深謝申し上げたい。また、膨大な画像データの分析に協力してくれた元成蹊大学の長谷川佳之君には深く感謝の意を表したい。なお、本研究のために実施したデータ収集の一部は、平成11年度および平成12年度科学技術振興調整費による「視覚系におけるニューロインフォマティクスに関する研究」プロジェクト(統括:白井支朗豊橋技科大教授)における受託テーマ「3次元柔物体の形状イメージ認知の数理モデルの研究」の一環として行われた。

参考文献

- [1] Morishima, S. Modeling of Facial Expression and Emotion for Human Communication System Displays 17, pp.15-25, Elsevier, 1996.
- [2] 山田寛. 顔面表情認知研究と画像処理技術(電子情報通信学会技術研究報告 Nos. PRMU99-140, HIP99-53). (Vol. 99, No. 449, pp.49-56, No.452, pp.37-44). 1999
- [3] 蒲池みゆき・吉川左紀子・赤松茂. 変化速度は表情認知に影響するか?—動画刺激を用いた顔表情認知の時間特性の解明—(電子情報通信学会技術研究報告 No. HCS98-34). (pp.17-24). 1998
- [4] 西尾修・小山謙二. 目と口の動きの時間的差異に基づく笑いの分類基準. 電子情報通信学会論文誌, J80-A(8), 1316-1318. 1997
- [5] Russell, J. A., & Lemay, G. 表情表出の次元的文脈的観点. 心理学評論, 43 (2), 161-176. 2000
- [6] Fernandez-Dols, J. M., & Ruiz-Belda, M. Spontaneous facial behavior during intense emotional episodes: Artistic truth and optical truth. In J. A. Russell & J. M. FernandezDols (Eds.), *The psychology of facial expression* (pp. 255-274). New York, NY: Cambridge University Press. 1997
- [7] Ekman, P., Friesen, W. V., & Ancoli, S. Facial signs of emotional experience. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39, 1125-1134. 1980
- [8] Rosenberg, E. L., & Ekman, P. Coherence between expressive and experiential systems in emotion. *Cognition and Emotion*, 8, 201-229. 1994
- [9] Ekman, P., & Friesen, W. V. *Facial Action Coding System (FACS): A technique for the measurement of facial action*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press. 1978
- [10] 中村亨. 自然な笑いと作り笑いにおける表出の時間差の分析(電子情報通信学会技術研究報告 No. HIP2000-1). (pp. 1-8). 2000
- [11] Gross, J., & Levenson, R. Emotion elicitation using films. *Cognition and Emotion*, 9, 89-108. 1995



0[frame]

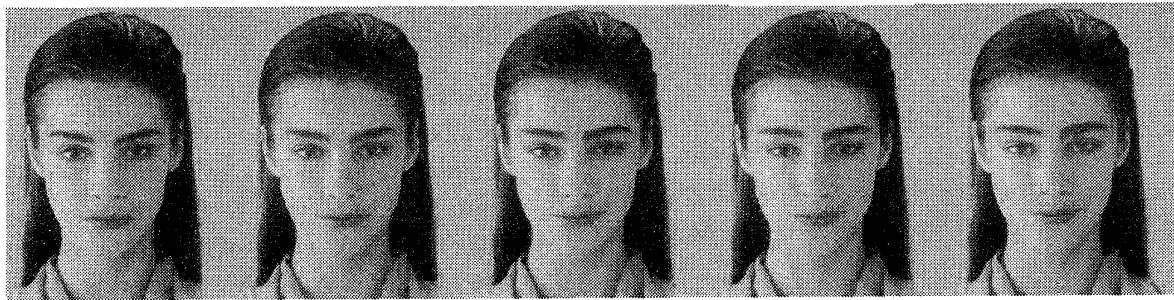
5[frame]

10[frame]

15[frame]

20[frame]

(a) Linear animation [30 fps]



0[frame]

5[frame]

10[frame]

15[frame]

20[frame]

(b) Non-linear animation [30 fps]

図 7: 喜びの合成顔画像シーケンス