

笑顔の表出過程に着目した情動喚起ビデオによる顔部位効果の分析 Analysis of Facial Parts Effects by Emotion-evoking Videos focused on Smile Expression Process

佐藤 和人[†] 門脇 さくら[‡] 間所 洋和[†]
Kazuhiro Sato Sakura Kadowaki Hirokazu Madokoro

1. はじめに

顔は心の窓で様々な情報を発信しており、人間は表情が与える多彩な情報から相手の意思や感情を機敏に察することができる。親しい友人や家族間では、表情の微妙な変化から体の調子やその時の機嫌なども感じ取ることができる。実際の表情表出は、複数の感情に対応する表情がブレンドされた中間的な表情があり、口元は微笑みながら目は泣いているといった、複数の感情を並列的に表出した表情であることが多い。また、顔という対象の形状が人それぞれで異なるように、表情表出の仕方、例えば、ある感情をどの程度の大きさの顔面変形として表情に表出するかについては個人差が存在する。このように、人間のコミュニケーションにおいて表情の果たす役割は極めて大きいため、次世代の MMI (Man-Machine Interface) として発展が期待されている[1]。

魅力的な笑顔は人を惹きつけ、相手の心を和ませる幸福のシンボルであり、コミュニケーションの潤滑剤として有効である。魅力的な笑顔が有する幾何学的特徴を分析した研究[2]によると、男女共に最も魅力的に感じる笑顔の部位は目、次いで魅力ある部位は口の順で、目尻や口元など目と口に付随する部位も笑顔の魅力要因として大きいことが報告されており、魅力的な笑顔には目と口を構成要素とする表情矩形のアスペクト比に黄金比が認められている。また、顔パーツから形成される印象と顔の全体印象との関連性について調べた山田らは[3]、目は他者の印象を形成する際に変重要な役割を果たしており、各パーツから形成される印象を加算結合することにより全体印象をある程度説明可能であるとしているものの、どのパーツからの情報を相対的に重視しているかについては個人差が存在する可能性を示唆している。笑顔の表出に着目して男女別の視点で捉えたと、女性は男性よりも良く笑顔を表出する規則があると言われており[4]、男性に比べて笑顔であることが自然で笑顔を創ることに長けている。特に、女性はポジティブ情動表出の調整に優れており、自然な表出と変わらず、受け手にポジティブな影響をもたらすことができる。しかしながら、意図的に表情表出を創り出す場合、自然な表情表出とは異なる表情筋が動くと言われており[5]、表出過程に焦点を当てると、笑顔を創り出す顔パーツの変形程度や動作するタイミングが微妙に異なることが予想される。

一方、人間は動いているもの、音を発しているものなど身の回りのもの全てにリズムを感じることができる。また、人間は会話や生活のリズムというように日常生活

を営む上で何らかのリズムを感じており[6][7]、これらのリズムはパーソナルテンポに基づいている。パーソナルテンポとは、個人固有の生体リズムのことであり、特に制約のない自由な行動場面で自然に表出される個人固有の速さを表す。会話における表情の表出は日常生活行動の一つであることから、パーソナルテンポに基づく固有なリズムが存在すると考えられる。

我々は、これまでに表情と心理状態との関連性を明らかにするために、表情空間チャートという枠組みを用いて、ストレスと表情表出の関係性を検証した結果、ストレスの蓄積程度の違いが表情の種別や表出プロセスに影響することを明らかにした[8][9]。また、ストレス刺激後の意図的表情を繰り返し表出するプロセスに着目した表出テンポとリズムという枠組みを提案した[10]。表出テンポとリズムは、表情の表出程度をラベル化した時系列変化[6]において、無表情から表情表出を経て無表情に戻る区間を 1 テンポ、テンポを複数回繰り返したものを 1 リズムと位置付け、快刺激時に比べて不快刺激時の方が、「喜び」表情の 1 テンポを構成するフレーム数のばらつきが大きいことを示した。更に、ベイジアンネットワーク(Bayesian Networks: BNs)を用いて、心理的ストレスの蓄積程度と表情表出の相互関係をグラフィカルに表現したストレスモデルを構築し、心理的ストレスの影響が現れ易い表情が「喜び」と「悲しみ」表情であることを明らかにすると共に、表情の種別によって現れ易い顔部位(目元や口元など)が異なる可能性を示した[11][12][13]。本研究では、情動喚起ビデオによる快・不快刺激後の「喜び」表情の表出過程に着目し、顔部位が刻む表出リズムを相互情報量の観点から定量的に解析することにより、人間の心理状態に起因する表情表出時の複雑性や曖昧性を客観的に表現することを試みる。

2. 周辺研究

笑顔は表出過程の変化に伴い魅力度が増減するにもかかわらず、従来研究では表出後の形のみに注目したものが多く、表出過程を考慮した研究事例は比較的少ない[14]-[17]。伊師ら[14]は、思いやりのある優しい笑顔の印象形成には、真顔から笑顔が最大となる連続的な動画提示が最も有効であることを示している。埴淵ら[15]は、表情表出過程に着目した笑顔のトレーニング手法を提案し、印象評価実験を通して表出者視点で目標設定する妥当性を提示している。また、藤代ら[16][17]は自然な笑顔に着目して、表出過程における目、頬、口元の動きが自然な笑顔の印象形成にどのように寄与するかを検討し、目と頬の動きの終わりが自然さの印象形成と中程度の相関が認められることを明らかにした。しかしながら、「作り笑い」と「自然な笑い」を表出する際の表出者の心理的状态(不一致表出や表出抑制)に言及しておらず、特に

[†] 秋田県立大学, Akita Prefectural University

[‡] SmartDesign 株式会社, SmartDesign Corp.

顔パーツのタイミング構造に基づく印象形成を扱うまでに至っていない。

表情の動的側面に着目した研究として、平山[18]らは、顔パーツの運動区間を単位に、表情表出のタイミング構造を記述する表現形式として表情譜を提案している。始めに、時系列表情画像を対象に AAMs (Active Appearance Models) を用いて眉、目、鼻、唇、及び顔下半分の輪郭上の計 58 点の特徴点を追跡し、各顔パーツの特徴ベクトル系列を得る。次に、これら特徴ベクトル系列から運動区間への自動文節化を行い、自発的・非自発的の表情譜を獲得している。実験結果では、各表情譜におけるタイミング構造に着目して、2 種類の表情がどの程度分離されるかを解析し、自発的・非自発的の表情では口を動かす筋肉と頬を持ち上げる筋肉の動くタイミングに差異が認められることを明らかにした。表情譜では、表情表出のタイミング構造を記述するために、時間分解能は高く設定されているが、表情の表出強度を表す空間分解能を低く抑えているため、印象形成に及ぼす中間表情の表現能力に十分な効果が期待できない。

大塚[19]らは、異なる表情筋の動き(弛緩、収縮、静止、伸長)に応じて状態遷移する HMMs (Hidden Markov Models) により表情の動きをモデル化し、Ekman らの基本 6 表情[20]を個別に抽出する手法を提案している。FACS (Facial Action Coding System) の AUs (Action Units) は、目元および口元の周囲に分布していることに注目し、これらの動きベクトルを分析することによって表情認識を試みている。時系列表情画像(20 例を対象に 2 種類の表情表出)から勾配法[21]により目元および口元周辺の動きベクトルを取得し、2 次元フーリエ変換後に Left to Right 型 HMMs を用いて基本 6 表情を個別に抽出している。表情の正誤判定は実験者が目視で確認し、表出区間に対応する表情が確認された場合を正解に、表情が確認されなかった場合と異なる表情が確認された場合を誤抽出としている。実験結果では、20 例 40 表情中、正解が 36 表情で 90% の抽出率を達成している。しかしながら、正誤判定は、表出区間内に対応する表情を確認するに留まっており、表情の表出過程に応じた正確な区間が抽出されているとは限らない。

Kampe ら[22]は、人が相手の顔に好印象を持っている場合、視線が一致すると好印象がより強調されることを明らかにしている。黒木ら[23]は、擬人化エージェントを用いて、視線と表情の組み合わせが印象を強調する効果があり、特に友好性の印象伝達が強調される可能性を示した。また、生理的指標として fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) を用いた脳活動を分析することによって、情動処理や動機付け、推論などの高次の認知機能を担う前頭連合野と、情動や報酬に関連のある扁桃体に賦活が見られ、人が受ける好印象は前頭連合野と扁桃体が相互に重要な役割を果たしている可能性を示した[24]。しかしながら、印象評価は顔の全体印象を主観的に評価するに留まっており、顔パーツのタイミング構造に基づく印象形成を扱うまでに至っていない。

3. 表出テンポとリズム

3.1 表情の表出強度

赤松[25]は、人間の顔には静的多様性と動的多様性が

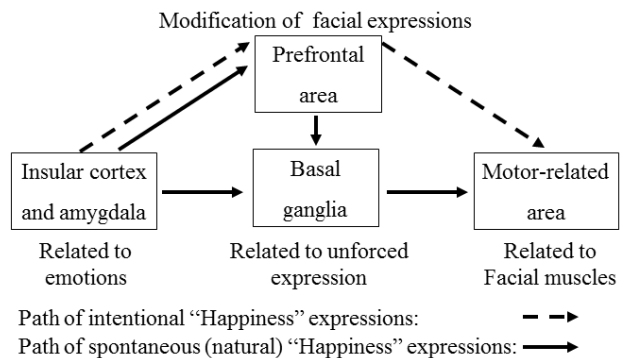


Figure 1. Expression paths based intentional and spontaneous facial expressions.

存在すると述べている。静的多様性とは、顔の構成要素である眉、目、鼻、口、耳など(以後、顔パーツと定義する)の形状や大きさ、及びこれら構成要素の幾何学的位置関係など、個人が有する解剖学的多様性を意味する。一方、動的多様性とは、時々刻々変化する「喜び」「怒り」「悲しみ」といった情動の発露として、あるいは相手に対するメッセージとして、人間が顔面の表情筋を動かすときの多様性を意味する。表情筋を動かすことにより顔パーツの形状や全体の幾何学的配置が変化し、真顔からの変位量として表情が表出される。顔画像処理の中でも、表情を扱う研究では、顔の造りに由来する静的多様性と表情筋の微妙な動きに基づく動的多様性の両面を、同時かつ複合的に扱う必要がある。

我々[8]は、個人固有な表情空間を定量化するための指標として、表出強度(Expression Levels: ELs)という概念を提案した。表出強度とは、Russellの円環モデル[26]において、縦軸の覚醒次元と横軸の快次元の両方の特徴を併せ持つ情報である。具体的には、目や口、眉などの顔パーツの動きに伴う変化を位相変化として抽出する。ここで、位相とは、集合の各要素のつながり方を規定している構造である[7]。本研究では、抽出された位相変化を特徴としてカテゴリ化し、表出度合いに応じて並び替えることによって表出強度が得られる。すなわち、本研究における表出強度は、覚醒次元と快次元の両者の特徴を含む情報となる。Russellの円環モデルでは、全ての感情は快の次元(快・不快)と覚醒の次元(覚醒・眠気)表される2次元平面上に円環状に布置される。したがって、本研究で対象とする意図的な表情の表出では、快次元の影響を表情画像に対して直接的に扱うことが難しいと考えられるため、一過性のストレス反応の測定方法として、唾液アマラーゼ試験を用いて評価する。

3.2 表出テンポとリズムの定義

Blair [27]は、表情表出には(1)感情を生み出す部位(扁桃体、島質など)、(2)表情を非自発的に形作る部位(大脳基底核)、(3)周囲の状況に合わせて表情を修飾する部位(前頭前野)、(4)実際に表情筋を動かす運動関連領域に関連があることを指摘している。山口[28]らは、脳はリズムで経験を記憶する、つまり、特定の脳波に合わせて

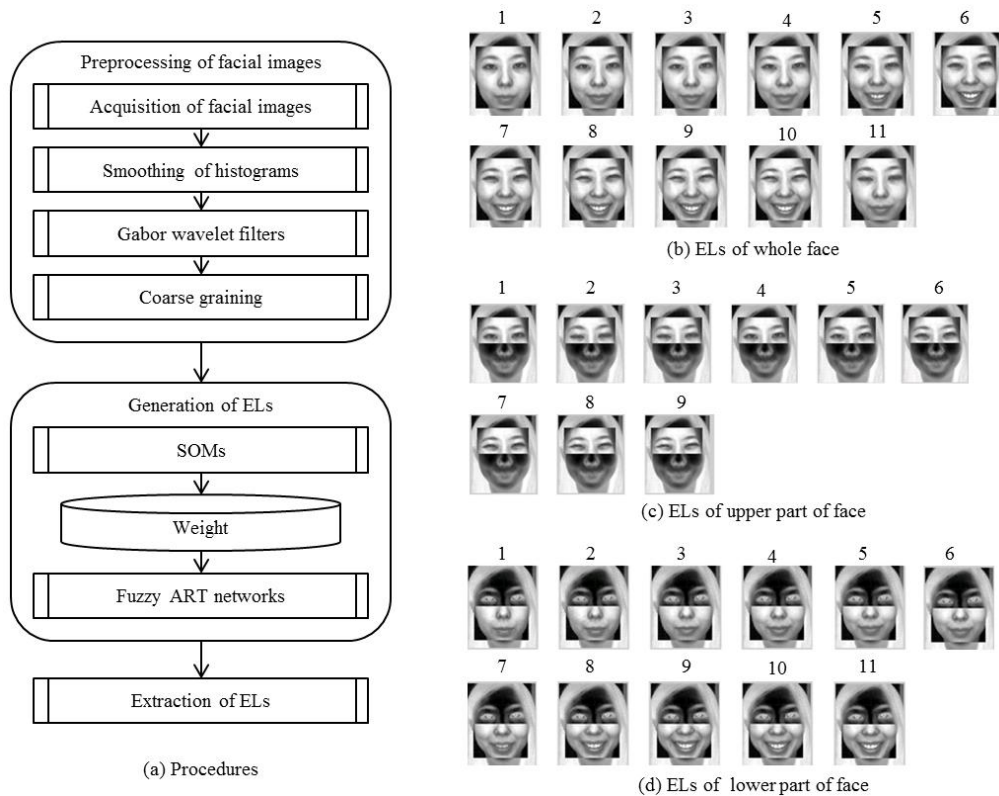


Figure 2. Overview of the procedures used for our proposed method.

神経細胞が協調して働き、経験が記憶されると述べている。また、知覚認識では、速いリズムの脳波であるガンマ波に合わせて神経細胞が同時に活動することが解明されつつある。これらの研究から、表情の出プロセスには、脳の中の神経細胞が刻むリズムが関与していることが推察される。すなわち、図 1 に示すように、自然な表情と意図的な表情を修飾する場合は、表情発現パスの違いにより覚醒する表情の時系列パターンに変化が発生すると考える。

本研究では、目元や口元などの顔部位における表出強度の時系列変化を利用して、人間が創り出す意図的な表情の出テンポとリズムの定量化を目指す。ここで、表出テンポとリズムとは、表出強度の時系列変化において、無表情から表情表出を経て無表情に戻る区間を 1 テンポ、テンポを複数回繰り返したものを 1 リズムと定義する。人間が意図的に表出する表情は、顔の静的多様性と動的多様性に基づき人それぞれ固有な空間を形成しており、表情のダイナミクスは「表情筋が創り出す顔パターンの時系列な位相変化」として捉えることができる。すなわち、顔パターンの位相変化を表出強度で組織化・可視化し、表情表出テンポとリズムという枠組みを用いて、人間の心理状態に起因する表情の複雑性や曖昧性を客観的に表現することを試みる。

4. 提案手法

顔という対象の形状が人物それぞれで異なるように、表情表出の仕方、例えばある感情をどの程度の大きさの顔面変形として表情に表出するかについては個人差があ

る。このため、赤松は、個々人の表情表出の特性に応じて修正していく適応的な学習メカニズムが必要と述べている[25]。したがって、本研究では、被験者が意図的に表出した表情を対象として、時間軸方向への圧縮による正規化と表情表出における位相変化を抽出するために SOMs (Self Organizing Maps) を用いて表情パターンの分類を行う。さらに、SOMsにより分類した表情画像を、安定性と可塑性を併せ持った適応的学習アルゴリズムである Fuzzy ART を用いて再分類する。SOMs は、予め決められた写像空間の中で相対的にカテゴリ分類を行うが、Fuzzy ART は、ビジランスパラメータで制御された一定の粒度のもとでカテゴリ分類を行うため、長期間に及ぶ時系列データに対しても、同じ基準で分類することができる。提案手法の処理手順を図 2 に示す。以下では、表出強度の時系列変化の抽出、相互情報量による表情表出リズムの定量化について個別に説明する。

4.1 表出強度の時系列変化の取得

前処理として、時系列表情画像に対して輝度値の正規化を行い、照明条件などによる濃淡値の影響を軽減する。また、ヒストグラムの平滑化によって、画像の明瞭化とコントラストの調整を行う。さらに、特徴表現法として Gabor Wavelets 特徴の方位選択性により、目、眉、口、鼻といった表情のダイナミクスを特徴づける顔部分を強調する。Gabor Wavelets 変換した時系列表情画像に粗視化処理を行うことで、情報量の圧縮と顔画像を撮影する際に発生する微少な位置ずれの影響を緩和する。

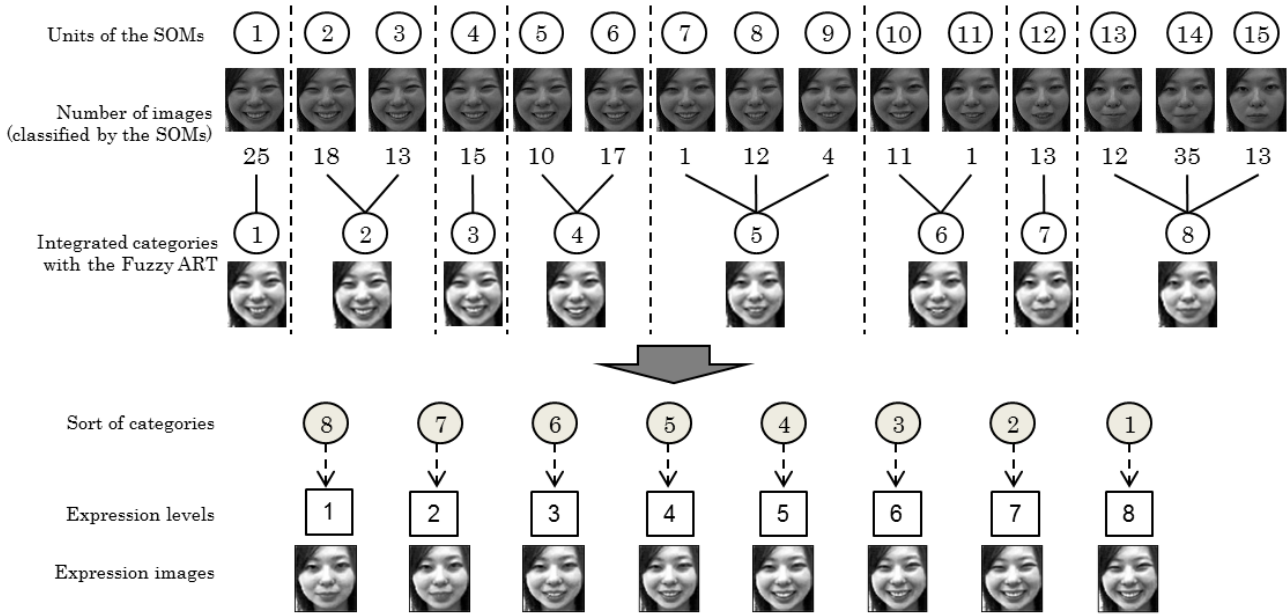


Figure 3. Procedure details for acquiring a time-series variation of ELs.

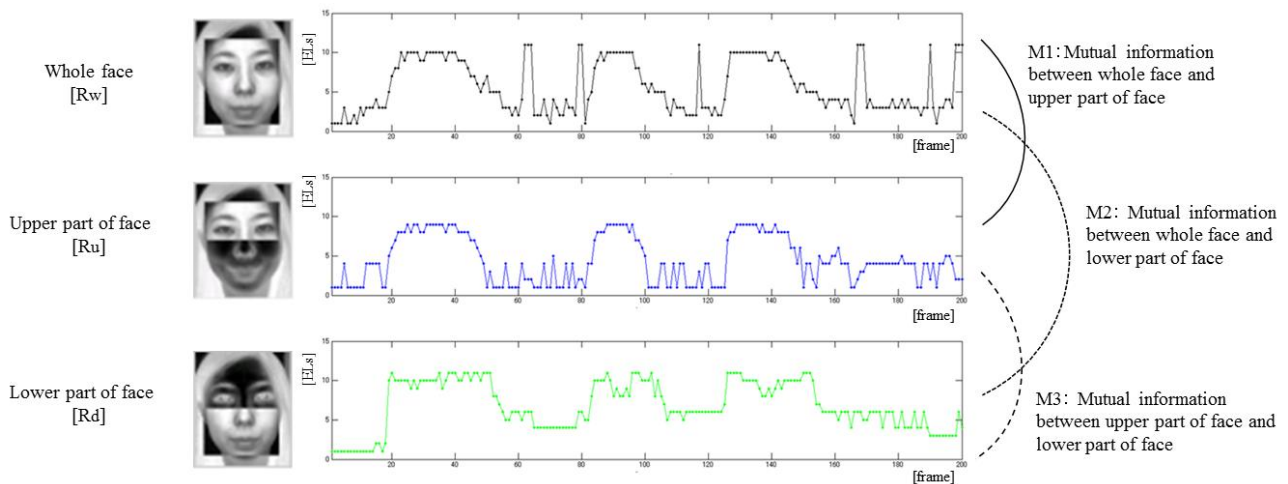


Figure 4. Each mutual information among time-series changes of facial parts.

次に、表出強度の時系列変化を取得する手順の詳細を図3に示す。始めに、粗視化処理を施した時系列表情画像の輝度値情報をSOMsにより学習し、表情の位相変化が類似する顔画像ごとに15個の写像ユニットに分類する。次に、これら15個の写像ユニットの中でも類似したユニットをFuzzy ARTで同一のカテゴリに統合する。さらに、Fuzzy ARTによって統合されたカテゴリを無表情(真顔)から最大表出まで並び替えることで、表情の表出程度を定量的にラベル化した表出強度を取得する。最後に、時系列表情画像の各フレームと表出強度の対応付けを行ない、表出強度の時系列変化を生成する。図3は、「顔全体」を対象領域とした場合を示しており、眉や目を含む

「顔上部」と口元などの「顔下部」についても同様の手続きで表出強度の時系列変化を求める。

4.2 相互情報量による表情表出リズムの定量化

相互情報量[29][30]は、信号間の変化の同期性や絡み合いを表現可能であり、2つの時系列データ間の線形・非線形依存度を表す量として捉えることができる。2つの信号間の情報の流れや動力的なカップリングを表しており、観測対象の2つのシステムが完全に異なる独立なものであれば、この2つの信号間の相互情報量はゼロになる。これを表情表出過程に適用すると、各顔部位間の同期性や機能的な連結度を数値化することができる。4.1で求めた「顔全体」「顔上部」「顔下部」における表出強度の

時系列変化の1例を図4に示す。本研究では、表情表出過程における顔部位間の相互情報量として、次に示す3つの関心領域を対象に算出する。

表情表出過程における顔全体、顔上部、及び顔下部の表出強度の時系列変化をそれぞれ、

$$R_w = R_w(t), \quad R_u = R_u(t), \quad R_d = R_d(t)$$

とすると、各関心領域の相互情報量は以下のように求められる。

- 顔全体と顔上部の相互情報量 $I(R_w; R_u)$:

$$I(R_w; R_u) = H(R_w) + H(R_u) - H(R_w, R_u) \quad (1)$$

- 顔全体と顔下部の相互情報量 $I(R_w; R_d)$:

$$I(R_w; R_d) = H(R_w) + H(R_d) - H(R_w, R_d) \quad (2)$$

- 顔上部と顔下部の相互情報量 $I(R_u; R_d)$:

$$I(R_u; R_d) = H(R_u) + H(R_d) - H(R_u, R_d) \quad (3)$$

ここで $H(R_w)$, $H(R_u)$, $H(R_d)$, はそれぞれ $R_w(t)$, $R_u(t)$, $R_d(t)$ のエントロピー, $H(R_w, R_u)$, $H(R_w, R_d)$, $H(R_u, R_d)$ は両者の結合エントロピーである。なお、導出手順の詳細は割愛する。

5. 評価実験

本研究では、長期間に渡る表情変化を扱うために、独自のデータセットを構築した。実験プロトコルの詳細を図5に示す。1回の実験は、平常時の step1, 快ビデオ視聴時の step2 および不快ビデオ視聴時の step3 で構成される。図5に示すように、快・不快状態を引起す情動喚起ビデオを視聴するタスクを被験者に与え、一過性のストレス状態を測定するために唾液アミラーゼ試験によるストレス測定を行った。また、情動喚起ビデオは、視聴時間が約3分の快ビデオ(3種類の漫才映像)と不快ビデオ(2種類の残酷映像とインプラント手術映像)を用意し、視聴した際の主観評価(5段階評価)も実施した。なお、全ての被験者に対して、研究倫理規定に基づき事前に実験内容を十分説明し、被験者の自由意志により書面により実験参加の同意を得た。さらに、特定の被験者からは、実験参加の同意と併せて顔画像掲載の許諾に関する同意も得ている。

5.1 表情画像データ

表情画像データセットは、大学や研究機関において様々な撮像条件で作成したものが、インターネット等を通じて一般に公開されており、特に性能比較のために活用されている。静止画像に関しては、表情認知の心理実験で視覚刺激とする目的で収集された Ekman&Friesen のデータセット[20]が有名である。動画像では、Cohn Kanade [31]や Ekman Hager [32]などの表情データセットが有名であり、評価及び比較実験用として幅広く利用されている。また、近年では、Pantic らが公開している MMI Facial Expression Database [33]が著名である。これらのデータセットは、被験者数としては十分な人数が確保された横断的なデータセットであるものの、各被験者に対して1回のみ撮影に留まっており、同一被験者に対して長期的に表情を撮影したデータベースは存在しない。そこで我々は、同一人物の特定表情を長期間に収集した縦断的なデータセットを独自に構築した。

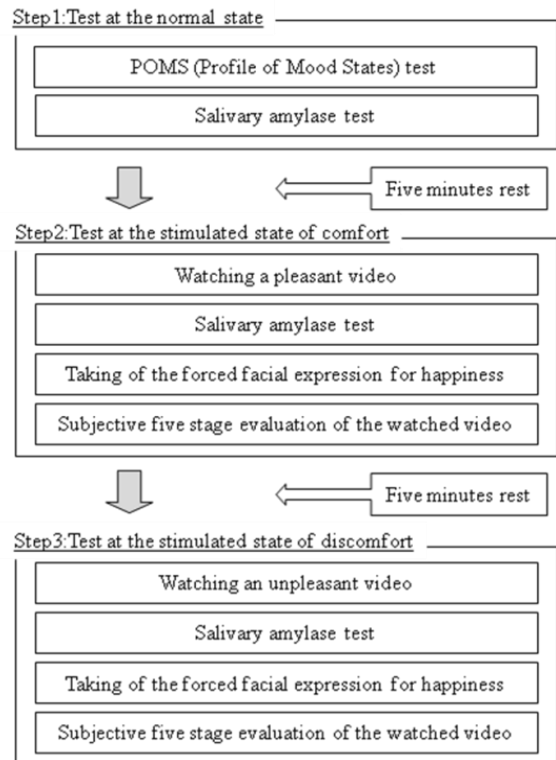


Figure 5. Details of experimental protocols.

Ekman [20]らが提案した基本 6 表情は、「喜び」「怒り」「悲しみ」「嫌悪」「恐れ」「驚き」である。本研究では、基本 6 表情の中で、自発的に最も表出しやすいと考えられる「喜び」の表情に注目し、快状態時の「喜び」、不快刺激状態時の「喜び」を対象として、20名の被験者に対して表情画像を取得した。各被験者は事前に選定した情動喚起ビデオを視聴した直後に表情表出を行った。被験者の内訳は、男子大学生 10 名 (J=20 歳, B,G,H,I=21 歳, A,E,F=22 歳, C,D=23 歳), 女子大学生 10 名 (K,M,O,P=20 歳, L,Q,R,S,T=21 歳, N=23 歳) である。撮影期間は全ての被験者において 3 週間 (1 週間間隔) とした。撮影環境は、室内の一角にカーテンで仕切られた表情撮影用スペースにおいて、被験者の頭部がフレーム中に含まれる状態で正面顔画像を撮影した。あらかじめ被験者には、頭部をあまり動かさずに表情を表出するように指示して撮影したため、一定の範囲内に顔領域が収まっているが、微少な変動に対しては、テンプレート画像上で移動させながら表情画像と比較し、次いで画像間の差分情報を利用することによる、テンプレートマッチングによって補正した。撮影の容易性と今後の応用展開を考慮して、カメラは市販の USB カメラ (Logicool 社製 QcamOrbit) を用いた。被験者には 20 秒間を目安に自分のタイミングで表情表出を 3 回繰り返し、3 回表出し終わったら無表情を継続するよう指示した。カメラのサンプリングレートは毎秒 10 フレームに設定し、1 セット 200 フレームの画像列から構成されるよう設定した。

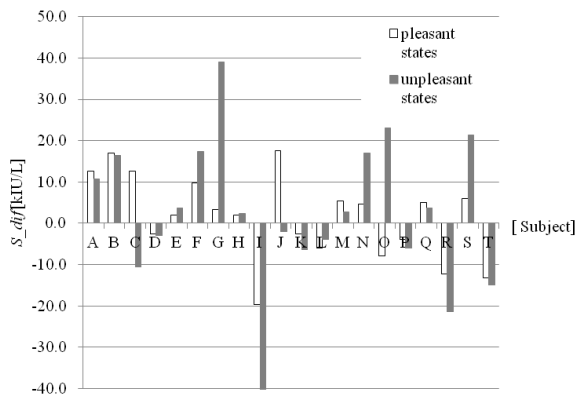


Figure 6. Results of S-dif obtained for target to the 20 subjects of A-T.

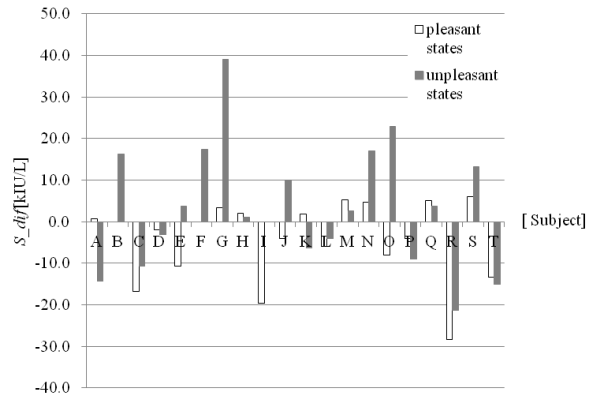


Figure 7. Results of S-dif addressed only the score of 4 and 5 with subjective evaluations.

5.2 ストレス測定方法

表情に影響を与えると考えられる心理的ストレスとして、慢性的ストレスと一過性ストレスがある。慢性的ストレスは人間が日常から抱えているストレスであり、一過性ストレスは一時的な刺激が与えられたときに生じるストレスである。本研究では被験者に対して一過性ストレス刺激を与えるため、一過性ストレス状態を測定するために唾液アミラーゼ試験によるストレス測定を行った。一過性のストレス反応測定方法の1つとして唾液アミラーゼ試験がある。唾液アミラーゼ活性は生体反応として快状態ならば低く、不快状態ならば高く検出される。山口[34]らは、一過性の外部刺激を受けた時のストレス反応として、唾液アミラーゼ活性がストレス評価のための有効な物質であることを確認している。

6. 実験結果及び考察

本章では始めに、快・不快刺激として与える情動喚起ビデオの有効性を検証する。次に、各顔領域が刻む表出強度の時系列変化における相互情報量の算出結果を基に男女別の傾向を分析する。最後に、快・不快刺激が表情の表出リズムに与える影響を相互情報量の観点から考察する。

6.1 快・不快刺激の有効性

唾液アミラーゼ試験により、快・不快刺激として用いたビデオ視聴時における情動喚起要因の有効性を検証した。唾液アミラーゼ活性は快適な状態ならば下降、不快な状態ならば上昇することが示されている[34]。よって、平常時の唾液アミラーゼ活性値を S_{normal} 、ビデオ視聴後の唾液アミラーゼ活性値を S_{stimu} とすれば、平常時とビデオ視聴後の唾液アミラーゼ活性値の差 S_{dif} は、次式で定義される。

$$S_{dif} = S_{stimu} - S_{normal} \quad (4)$$

快ビデオ視聴後は

$$S_{dif} < 0 \quad (5)$$

不快ビデオ視聴後は

$$S_{dif} > 0 \quad (6)$$

となれば、ビデオは有効であると評価できる。

被験者 A~T の 20 名において求めた S_{dif} の結果を図 6 に示す。ここで、被験者 B および C の唾液アミラーゼ活性の結果が先行研究[34]の結果と異なる原因は、被験者ごとに快・不快ビデオに対する感じ方が違うためと考える。そのため、被験者の主観評価が高いデータのみを対象として、唾液アミラーゼ活性を算出することとした。

主観評価の得点方法は、快ビデオ視聴時は「1:全く快適でない~5:非常に快適である」、不快ビデオ視聴時は「1:全く不快でない~5:非常に不快である」の5段階評価とした。主観評価から、ビデオが快・不快刺激として有効に働いていると考えられる、評価 4 および 5 のみに着目した場合の唾液アミラーゼ活性を図 7 に示す。この結果から、快状態時の平均 S_{dif} は $-2[\text{kIU/L}]$ 、不快状態時の平均 S_{dif} は $5[\text{kIU/L}]$ となり、快・不快刺激として情動喚起ビデオが有効に働いたことが確認された。

6.2 女性被験者の分析

4.2 で示した各顔領域が刻む時系列変化の相互情報量を算出した結果を図 8 に示す。女性被験者 5 名を対象に図 8 の(a)に快刺激時、図 8 の(b)に不快刺激時の算出結果を示している。女性被験者の全体的な傾向として、「領域 1:顔全体と顔上部」「領域 2:顔全体と顔下部」「領域 3:顔上部と顔下部」の順に相互情報量の値が減少する被験者 (K,O,L,P) と「領域 2:顔全体と顔下部」の値が他の値に比べて突出して大きい被験者 M が存在する。被験者 K,M,O は、快刺激及び不快刺激によって各相互情報量の傾向に大きな変化は見られない。一方、被験者 L と P は、快刺激と不快刺激で各相互情報量の傾向に特異的な変化が見られる。特に、被験者 L はその傾向が顕著で、快刺激時では「領域 1:顔全体と顔上部」「領域 2:顔全体と顔下部」「領域 3:顔上部と顔下部」の順に相互情報量の値が減少するが、不快刺激時では「領域 2:顔全体と顔下部」が大きな値を示す。被験者 P は、不快刺激時で「領域 1:顔全体と顔上部」「領域 2:顔全体と顔下部」「領域 3:顔上部と顔下部」の順に相互情報量の値が減少するが、快刺激時では「領域 1:顔全体と顔上部」の値が減少し相互情報量の順序関係が被験者 L と逆転する傾向を示す。

次に、快刺激及び不快刺激共に同じ傾向ではあるが、各顔領域における相互情報量の順序性が大きく異なる被験者 K と M を比較する。被験者 K は、快刺激及び不快

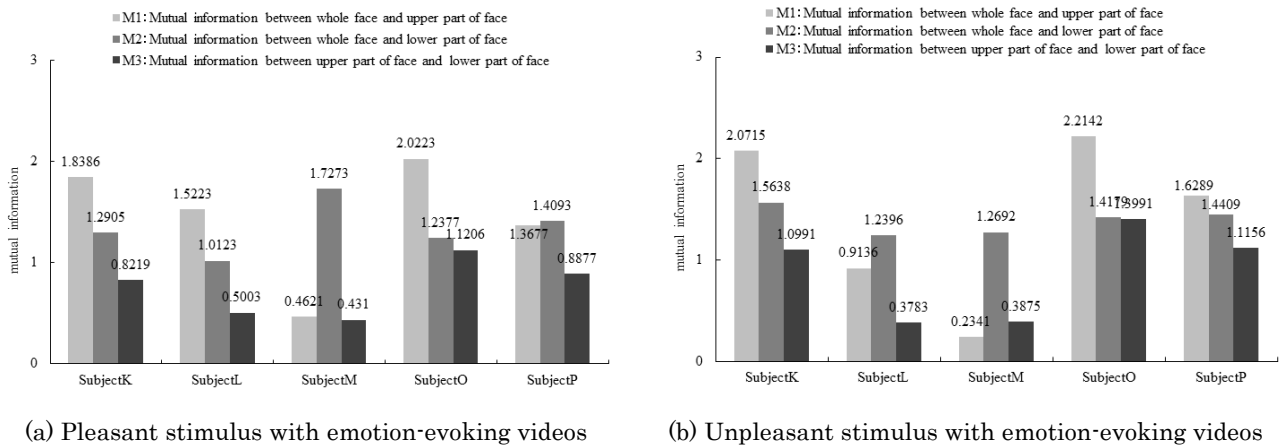


Figure 8. Mutual information results among each facial part for female.

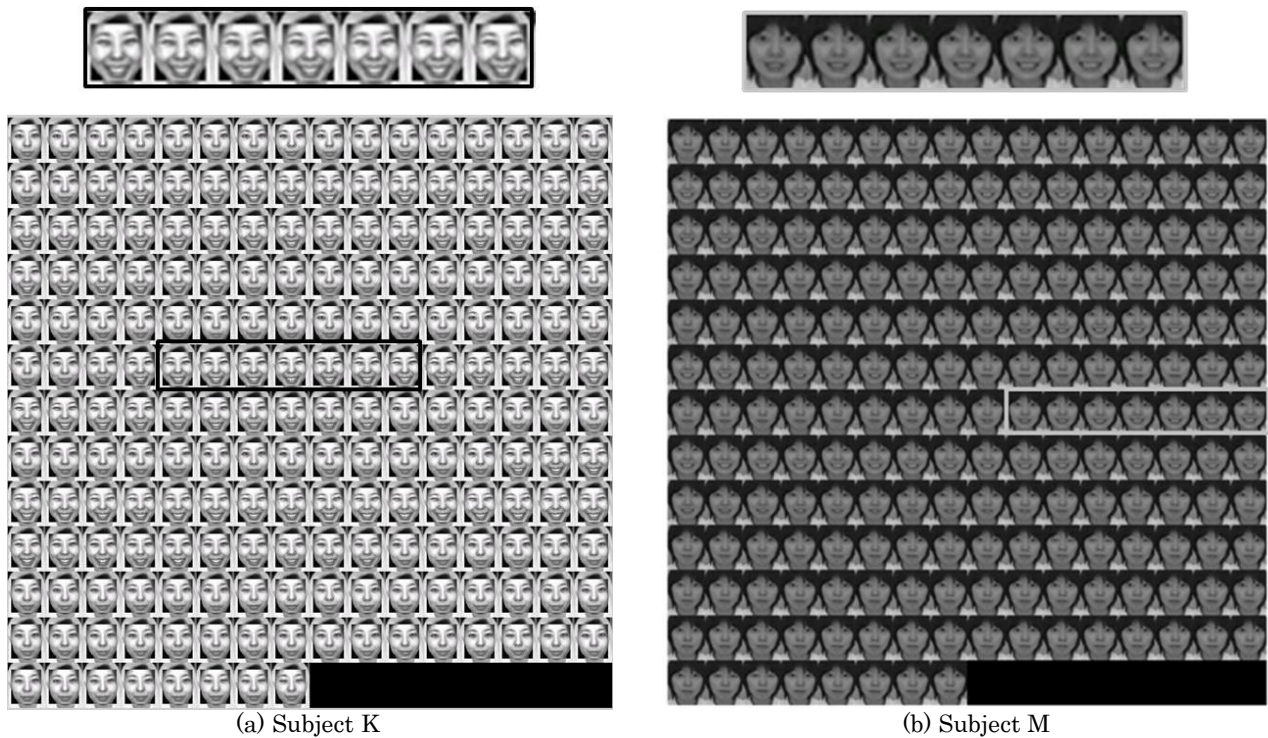


Figure 9. Time-series changes of smile facial expression with pleasant stimulus for specified subjects of female.

刺激共に「領域 1 : 顔全体と顔上部」の値が「領域 2 : 顔全体と顔下部」に比べて大きく、「領域 3 : 顔上部と顔下部」の値も被験者 M に比べて大きい。一方、被験者 M は、快刺激及び不快刺激共に「領域 2 : 顔全体と顔下部」の値が突出して大きく、「領域 1 : 顔全体と顔上部」と「領域 3 : 顔上部と顔下部」の値が被験者 K に比べて極めて小さい。被験者 K と M の快刺激時における「喜び」表情の時系列変化を表したサムネイル画像を図 9 に示す。図 9 の(a)が被験者 K、図 9 の(b)が被験者 M である。図 9 の各上部には、「喜び」表情を表出した際の特徴的な区間を拡大表示している。図 8 の各相互情報量の算出結果と図 9 の拡大表示したサムネイル画像を比べると、被験者 K は顔上部の眉や目元、及び顔下部の口元

に「喜び」表情の変化が確認できるが、被験者 M は顔上部の眉や目元には表情変化が全く認められず、顔下部での口元の口角のみ大きく変化している。被験者 K は、表情表出時の顔上部と顔下部が共に同期して変化しており、実験者の主観的印象ではあるが、より自然な表情表出に見える。一方、被験者 B\ M は、顔下部の口角のみ変化しており、不自然な「喜び」表情に見えると共に違和感が残る。

6.3 男性被験者の分析

男性被験者 5 名の各顔領域が刻む時系列変化の相互情報量を算出した結果を図 10 に示す。図 10 の(a)に快刺激時、図 10 の(b)に不快刺激時の算出結果を示している。男

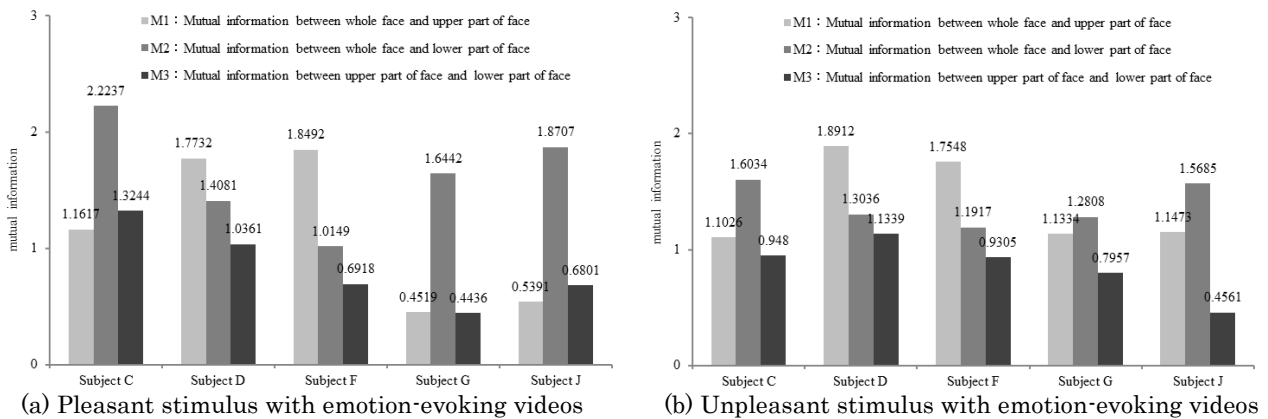


Figure 10. Mutual information results among each facial part for male.

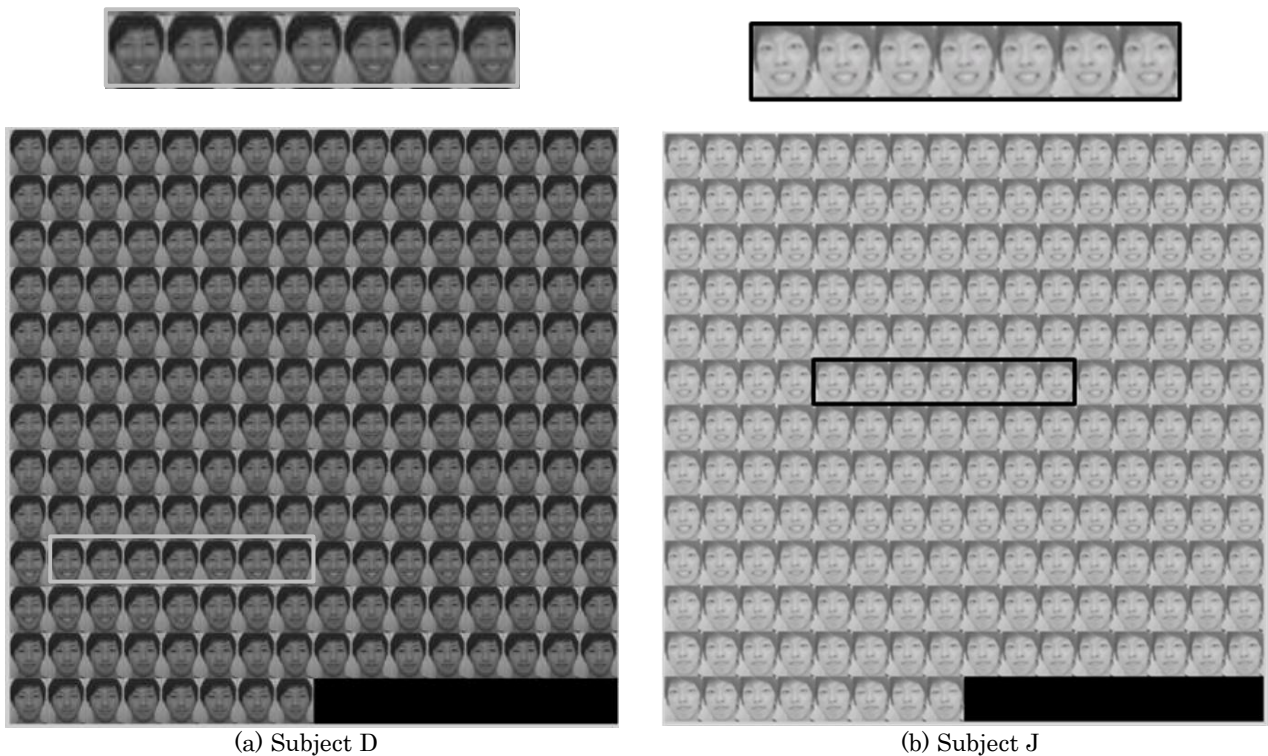


Figure 11. Time-series changes of smile facial expression with pleasant stimulus for specified subjects of male.

性被験者の全体的な傾向として、「領域 1：顔全体と顔上部」「領域 2：顔全体と顔下部」「領域 3：顔上部と顔下部」の順に相互情報量の値が減少する被験者 D 及び F と、「領域 2：顔全体と顔下部」の値が他の値に比べて突出して大きい被験者 C, G 及び J が存在する。被験者 C, D, F, G 及び J 共に、快刺激及び不快刺激によって各顔領域が刻む時系列変化の相互情報量の順序関係に変化は見られない。

次に、女性被験者と同様に、各顔領域における相互情報量の順序性が大きく異なる被験者 D と J を比較する。被験者 D は、快刺激及び不快刺激共に「領域 1：顔全体と顔上部」の値が「領域 2：顔全体と顔下部」に比べて大

きく、「領域 3：顔上部と顔下部」の値も被験者 J に比べて大きい。一方、被験者 J は、快刺激及び不快刺激共に「領域 2：顔全体と顔下部」の値が突出して大きく、「領域 1：顔全体と顔上部」と「領域 3：顔上部と顔下部」の値が被験者 D に比べて極めて小さい。被験者 D と J の快刺激時における「喜び」表情の時系列変化を表したサムネイル画像を図 11 に示す。図 11 の(a)が被験者 J, 図 11 の(b)が被験者 D である。図 11 の各上部には、女性被験者と同様に「喜び」表情を表出した際の特徴的な区間を拡大表示している。図 10 の各相互情報量の算出結果と図 11 の拡大表示したサムネイル画像を比べると、被験者 D は顔上部の眉や目元、及び顔下部の口元に「喜び」表

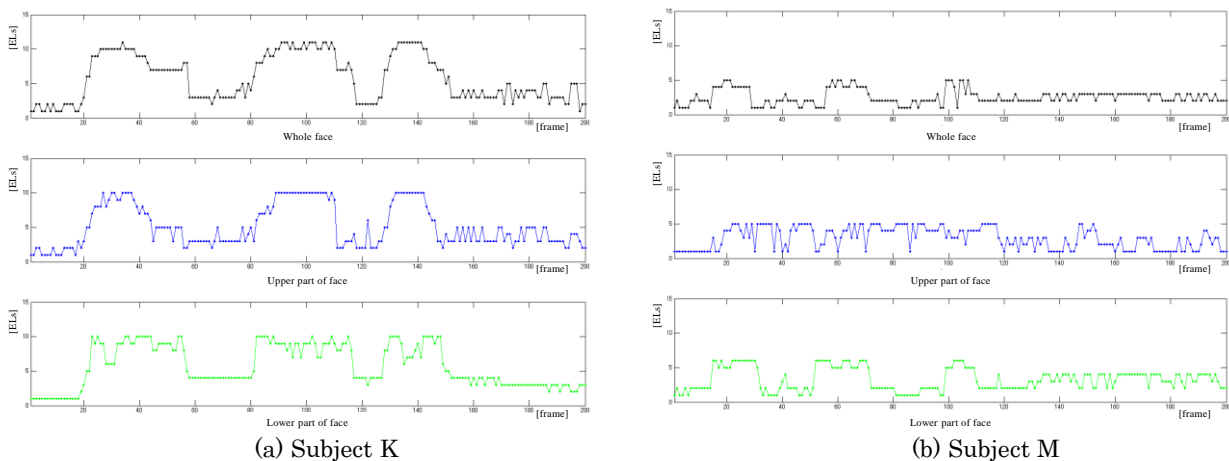


Figure 12. Comparison of time-series changes of ELs with unpleasant stimulus.

情の変化が確認できるが、被験者 J は顔上部の眉や目元には表情変化が全く認められず、顔下部での口元の口角のみ大きく変化している。被験者 D は、表情表出時の顔上部と顔下部が共に同期して変化しており、より自然な表情表出に見える。一方、被験者 J は、顔下部の口角のみ変化しており、不自然な「喜び」表情に見えると共に違和感が残る。これらの結果は、女性被験者と共通の傾向を示しており、各顔領域が刻む時系列変化の相互情報量から表情表出時の印象を定量化する新たな指標として期待できる。

6.4 快・不快刺激が相互情報量に及ぼす影響

表情表出における不一致表出とは、悲しい時にも笑顔を見せるなど、ある情動を経験した時、それとは一致しない情動を表出することを意味する。これまでの先行研究では、ネガティブ情動経験中にポジティブ情動表出することは、表出者の交換神経活動の増幅[35]や、主観的情動経験の増大、情動経験時の記憶低下[36]を招くことが明らかにされており、表出者に認知的負荷がかかり易く精神的健康に悪い影響を与えかねない。また、表情表出における表出抑制とは、悲しい時に泣くのをこらえるなど、ある情動を経験した時に表情による情動表出を抑制することである。表出抑制が社会的サポートや他者との親密さ、社会的満足感の低下と関係していることが示唆されている[37]。更に、女性は男性に比べて笑顔を創ることに長け、かつポジティブな情動表出の調整に優れ、受け手に対して自然な表出と変わらない影響を与えるとされている[4]。

快ビデオ視聴後に「喜び」表情を表出する場合は一致表出であり、不快ビデオ視聴後に「喜び」表情を表出する場合は不一致表出に相当する。相互情報量の順序性が大きく異なる女性被験者 K と M の表情表出リズムを図 12 に示す。6.2 の印象分析では、被験者 K の笑顔は自然な印象を与えるのに対して、被験者 M の笑顔には不自然さを感じられた。各顔部位が刻む表出リズムに着目すると、被験者 K の表出リズムは、顔部位間で協調が取れた時系列変化を示している。一方、被験者 M の表出リズムは、顔上部と顔下部の時系列変化がバラバラで協調的な動きが認められない。各顔領域の相互情報量（領域 1、領域 2、

領域 3）は、顔部位が刻む表情表出リズムにおける信号波形の類似性や同期の程度を表現しており、顔全体から受ける印象形成に寄与する顔上部（眉や目元）と顔下部（口元）の程度や同期を示すタイミング構造を定量化した値と解釈できる。6.2 及び 6.3 の分析結果を総合的に捉えると、領域 1 と領域 2 の相互情報量の大小関係に着目することで「目は口ほどに物を言う」という言葉の定量的解釈の可能性が窺える。また、顔上部と顔下部のタイミング構造を定量化した領域 3 の値を中心に、領域 1 と領域 2 の値の大小関係や順序関係に着目することは、表情表出時の自然さや不自然さの程度を定量化する指標として有効と考える。更に、男性被験者に比べて、女性被験者は、意図的に「喜び」表情を創ることが容易で、かつ不一致表出の影響を受け難いものと推察する。

7. むすび

本研究では、被験者 20 名（男女各 10 名）に対して、平常状態、快・不快刺激を与えた状態の表情画像データセットを取得すると共に、唾液アミラーゼ試験によりビデオ視聴時における情動喚起要因の有効性を検証した。また、情動喚起ビデオによる快・不快刺激後の「喜び」表情の表出過程に着目し、顔部位が刻む表出リズムを相互情報量の観点から定量的に解析することにより、人間の心理状態に起因する表情表出時の複雑性や曖昧性を客観的に表現することを試みた。評価実験では、被験者 10 名（男女各 5 名）を対象に、各顔領域（顔全体、顔上部、顔下部）が刻む時系列変化の相互情報量を求め分析した結果、以下の点が明らかとなった。

- ・各顔領域が刻む表出リズムにおける相互情報量の大小関係や順序関係から表情の印象を推定可能
- ・表出リズムの相互情報量は表情表出時の自然さや不自然さの程度を測る指標として有効
- ・女性被験者は、男性被験者に比べて意図的に「喜び」表情を創ることが容易で、かつ不一致表出の影響を受け難い

今後は、情動喚起ビデオの有効性を評価する唾液アミラーゼ試験のプロトコルを見直すと共に、評価対象の残り 10 名（男女各 5 名）を含めた十分な被験者数を確保し、

日常的に抱える慢性的ストレス状態を含めた検証が必要である。また、印象形成に及ぼす顔部位における表出テンポのゆらぎを定量化し、そのタイミング構造を解析することにより、自然な表情と意図的な表情の発現パスの違いを明らかにする予定である。

謝辞

実験データの取得に際し、被験者として長期に渡り表情画像の撮影に協力して頂きました本学の20名の学生諸氏に深く感謝申し上げます。本研究の一部は、科学研究費補助金基盤(C) (課題番号: 25330325) 及びコスメトロジー研究振興財団の研究助成により行なわれました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] M. Pantic and L. J.M. Rothkrantz, "Automatic Analysis of Facial Expressions: The State of the Art," IEEE Trans. PAMI, Vol.22, No.12, pp.1424-1445, Dec. 2000.
- [2] 井口竹喜, "魅力的な笑顔に表れる幾何学的特徴: 感性×技術=カンセイウェアの魅力づくり", 電子情報通信学会技術研究報告. SIS, スマートインフォメディアシステム, pp. 51-56, 2007
- [3] 山田 貴恵, 笹山 郁生, "顔のパーツから形成される印象と顔全体から形成される印象との関連,"性の検討. 福岡教育大学紀要, vol. 48, no. 4, 229-239, 1999.
- [4] L. Ellis, "Gender differences in smiling: An evolutionary neuroandrogenic theory," Physiology and Behavior, Vol. 88, pp.303-308, 2006.
- [5] K. M. Prkachin, "Effects of deliberate control on verbal and facial expressions of pain," Pain, Vol. 114, pp.328-338, 2005.
- [6] 延谷直哉, 仲谷善雄, "パーソナルテンポを基とした音響リズム支援による会話支援システム," 情報処理学会第71回全国大会, pp.4-227~4-228, Mar. 2009.
- [7] 大石周平, 尾田政臣, "話者間の精神テンポの差がコミュニケーションの円滑化に及ぼす影響," 電子情報通信学会技術研究報告, pp.31-36, 2005.
- [8] 間所洋和, 佐藤和人, 門脇さくら, "表情の時系列変化を可視化する表情空間チャート," 知能と情報(日本知能情報ファジィ学会誌), vol.23, No.2, pp.157-169, 2011.
- [9] H. Madokoro and K. Sato, "Facial Expression Spatial Charts for Representing of Dynamic Diversity of Facial Expressions," Journal of Multimedia, Vol. 6, No. 1, pp. 1-12, Jan. 2007.
- [10] 佐藤和人, 間所洋和, 門脇さくら, "一過性のストレス刺激が意図的な表情に及ぼす影響", 第11回情報科学技術フォーラム, RJ-005, pp.29-36, 2012.
- [11] 佐藤和人, 間所洋和, 門脇さくら, "意図的な表情表出に及ぼす心理的ストレス要因の分析", 第12回情報科学技術フォーラム, RJ-002, pp.21-28, 2013.
- [12] K. Sato, H. Otsu, H. Madokoro and S. Kadowaki, "Analysis of Psychological Stress Factors and Facial Parts Effect on Intentional Facial Expressions," Proceedings of The Third International Conference on Ambient Computing, Applications, Services and Technologies, pp.7-16, Oct. 2013.
- [13] K. Sato, H. Otsu, H. Madokoro and S. Kadowaki, "Analysis of Psychological Stress Factors by Using Bayesian Network," Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp.811-818, Aug. 2013.
- [14] 伊師華江, 蒲池みゆき, 行場次朗, "「動き」が笑顔の印象に及ぼす影響", 電子情報通信学会, 技術研究報告, pp. 25-30, Dec. 2004.
- [15] 埴淵俊平, 伊藤京子, 西田正吾, "表出時間の変化に伴う笑顔の印象変化の分析—表情表出過程トレーニング支援に向けて—", 電子情報通信学会, 技術研究報告, pp. 35-40, Oct. 2009.
- [16] 藤代裕紀, 前島謙宣, 森島繁生, "表出過程の印象を考慮したより自然な笑顔動画像の合成", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.HCS2010-64, pp.31-36, 2011
- [17] 藤代裕紀, 前島謙宣, 森島繁生, "笑顔表出過程の表情の動きと受け手の印象の相関分析", 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.95-A, No.1, pp.128-135, 2012
- [18] 平山高嗣, 川嶋宏彰, 西山正紘, 松山隆司, "表情譜: 顔パーツ間のタイミング構造に基づく表情の記述," ヒューマンインタフェース学会論文誌, pp.271-281, May 2007.
- [19] 大塚尚宏, 大谷敦, "連続した表情シーケンス画像からのHMMを用いた個別表情抽出に関する検討," 電子情報通信学会技術研究報告, pp.17-24, Nov. 1997.
- [20] P. Ekman and W. V. Friesen, "Unmasking the Face: A Guide to Recognizing Emotions from Facial Clues," Malor Books, 2003.
- [21] B. K. P. Horn and B. B. Schunck, "Determining optical flow," Artificial Intelligence, Vol.17, pp.185-203, 1981.
- [22] K. W. Kampe, C. D. Frith, R. J. Dolan, and U. Frith, "Reward value of attractiveness and gaze," Nature, Vol. 413, Oct. 2001.
- [23] 黒木裕己, 白石祥子, 武川直樹, 湯浅将英, 深山篤, "視線と表情を持つ擬人化エージェントのインタラクションによる印象変化", 電子情報通信学会, 技術研究報告, pp. 49-54, Mar. 2005.
- [24] 黒木裕己, 武川直樹, 島田尊正, 湯浅将英, "人と擬人化エージェントのインタラクション—脳活動から見た分析—", 電子情報通信学会, 技術研究報告, pp. 43-48, Mar. 2006.
- [25] 赤松茂, "人間とコンピュータによる顔表情の認識[] -コミュニケーションにおける表情とコンピュータによるその自動解析-", 信学誌, Vol.85, No.9, pp.680-685, Sep 2002.
- [26] J.A. Russell and M. Bullock, "Multidimensional Scaling of Emotional Facial Expressions: Similarity from Preschoolers to Adults," Journal of Personality and Social Psychology, Vol. 48, pp.1290-1298, 1985.
- [27] R.J.R. Blair, "Facial expressions, their communicatory functions and euro-cognitive substates," Philos. Trans. R. Soc. Lond., B358, pp.561-572, 2003.
- [28] 山口陽子, "リズムが刻む脳のコンテキスト情報," 電学論C, vol.128, no.8, pp.1068-1071, Aug.2000.
- [29] 池田徹志, 石黒浩, 浅田稔, "相互情報量最大化に基づく信号情報源の移動軌跡の推定", 電子情報通信学会論文誌D, Vol. J90-D, No. 2, pp. 535-543, 2007
- [30] 菊池登志子, 岸浩一郎, 宮道壽一, "相互情報量により学習パラメータを調整した効率的データ自動分割アルゴリズム", 電子情報通信学会誌D, Vol. J82-D-II, No. 4, pp. 660-668, 1
- [31] T. Kanade, J.F. Cohn, and Y. Tian, "Comprehensive database for facial expression analysis," IEEE Face and Gesture, pp.46-53, 2000.
- [32] M. Bartlett, J. Hager, P. Ekman, and T. Sejnowski, "Measuring facial expressions by computer image analysis," Psychophysiology, Vol. 36, pp. 253-264, 1999.
- [33] M. Pantic, M.F. Valstar, R. Rademaker, and L. Maat, "Web-based Database for Facial Expression Analysis," Proc. IEEE Int'l. Conf. Multimedia and Expo, Amsterdam, The Netherlands, Jul. 2005.
- [34] 山口昌樹, 金森貴裕, 金丸正史, 水野康文, 吉田博, "唾液アミラーゼ活性はストレス推定の指標になり得るか," 医用電子と生体工学: 日本ME学会雑誌, pp.46-51, Sep. 2001.
- [35] J. L. Robinson and H. A. Demaree, "Physiological and cognitive effects of expressive dissonance," Brain and Cognition, Vol. 63, pp.70-78, 2007.
- [36] W. Sato, M. Noguchi, and S. Yoshikawa, "Emotion elicitation effect of films in a Japanese sample," Social Behavior and Personality, Vol. 35, pp.863-874, 2007.
- [37] S. Srivastava, M. Tamir, K. M. McGonigal, O. P. John, and J. J. Gross, "The social costs of emotional suppression: A prospective study of the transition to college," Journal of Personality and Social Psychology, Vol. 96, pp.883-897, 2009.