

化粧による顔表情の豊かさを オプティカルフローで表情運動量として定量化する

千歳科学技術大学総合光科学部バイオ・マテリアル学科

南谷 晴之

In this study, a new image processing system was developed for evaluation of cosmetic efficacy of facial makeup which is very important to make better feeling, to evoke mental relaxation, to increase positive attitude, and so on. Use of rouge, eye shadow, and face powder makes large gradation, shade increasing, remarkable concave-convex figure on face so that facial expression may be recognized to be largely moved in the visual cognitive brain system.

Facial movement was obtained by using optical flow calculation algorithm to identify the direction of facial movement of various facial expressions. The optical flow indicates apparent velocity of moving object in two image sequences. Affluent quality of facial expression after makeup was evaluated from inspection of degree of optical flow and also evaluated effect of the facial makeup in comparison with those before makeup in this study. As the results, optical flow analysis of facial expression showed that facial makeup brings pleasant outward looks widely and great facial neural- muscular activities affluently.

1. 緒言

ヒトが化粧をすることは、美しい容貌を整えること、健やかな心身状態を保つこと、感情の豊かさを得ることなど、ヒトにとって本質的かつ多面的な効果をもたらす重要な生理行動と言ってよい。それは、単に自己的な情動に満足を与えるだけでなく、他者へ快適な自己アイデンティを示す情報提示になり、人間相互のコミュニケーションにおいて表情情報は重要な意味を持つ。表情は、その人の意図のみならずその時の精神状態や身体状態までも推量可能にするノンバーバルな言語と言っても過言でなく、化粧することにより表情情報が強調されたり減弱されたりすることもある。今日まで化粧が、客観的に認知される表情変化の豊かさと他者へ与える感覚的效果を定量的に示した研究例は少ないと考えられる。

本研究では、従来から顔表情の異常診断、とくに顔面神経麻痺という病態に対して顔表情の動画画像解析を行い、表情運動量を画素単位でオプティカルフロー (Optical Flow : OF) 表示する定量的解析法^{1)~2)}を化粧前後の表情運動の解析に適用し、化粧による顔表情の豊かさをオプティカルフローで表情運動量として定量化する。この方法では複数種の顔表情運動量を詳細に分析することが可能であり、表情に特異的な顔局部の動きがベクトル量で表示でき、それぞれが特徴的なパターンを示すことが可能である。OFは動画画像の濃淡情報(空間的陰影勾配)と時間的勾配(フレ

ーム間隔)によって決定されるものであり、従って化粧による効果が、OFで検出される表情運動量の大きさに強く反映し、我々が主観的に知覚する表情の大きさや豊かさに高く相関するものと考えられる。そこで本研究では、表情運動時の正面顔画像・左右側面顔画像を連続的にデジタルビデオカメラで撮像し、連続動画画像に対して逐次フレーム間演算(時空間偏微分演算)を行うことにより、対象部位の移動ベクトル量(OF)を画素単位で算出し、表情の大きさを定量化するPCベースの解析システムを開発する。これを用いて、無化粧顔、種々の化粧顔に対して微笑、喜び(幸福)、悲しみ、嫌悪、怒り、驚き、恐怖、軽蔑など8基本表情における化粧の効果を定量的に比較検討する。また、歌舞伎の隈取りなどの強調化粧、映画・TV俳優の化粧メイクやハリウッドメイクに代表される化粧療法の効果を客観的に定量化するための可能性を検討する。

2. 実験方法

顔表情の特徴量や表情運動を定量化する方法には幾つかの提案がある。顔面に多数点のマーカーを付け、適切な照明のもとでマーカーの位置の移動を画像解析するマーカー認識法、モアレパターンを顔面に投影し、顔表情運動に伴うモアレパターンの歪みを画像処理して、表情の歪み変化を計測するモアレパターン投影法、顔表情運動をビデオカメラで撮像した後に顔の特徴点を抽出し、その特徴点の動きを追跡する画像処理法、レーザースキャナーとビデオカメラを組み合わせたレンジファインダによる3次元形状計測法の応用などがある。また、人間の表情を解析し表情イメージを作成する他の技術として、3次元モデルを2次元の描画面に投影するワイヤフレーム手法があるが、この手法はコンピュータグラフィックスの立体図を描画することを目的としているため、本課題の提案技術のように特定の領域における筋肉運動を高速で解析することは困難である。



Evaluation of affluent quality of facial expression under makeup by means of optical flow analysis

Haruyuki Minamitani

Chitose Institute of Science and Technology,
Faculty of Photonics Science, Department
of Bio- and Material Photonics

貼り付けマーカー認識法や顔特徴点抽出による画像解析法は手技が煩雑で解析時間が長く、1表情の解析に分オーダーの時間を要する。さらに、限定された部位のみの表情運動量が測定されるだけである。モアレパターン投影法やレンジファインダ法は特殊な装置を必要とし、測定精度やコスト面で表情解析には適さないと考えられる。これに対して、本法は1表情の解析が10秒たらずの短時間で行われ、加えて、顔全体あるいは口唇部や両眼・左右眉部などの限局された範囲の表情運動量がオプティカルフローとして精度よく表示され、表情解析には客観・定量性、利便性、精度、コスト面において他をはるかに凌ぐものと考えられる。

オプティカルフロー (OF) とは動画中の運動物体の移動ベクトルを示すものであり、Fig.1に示すように時刻 t から Δt に至る動作過程において物体の輝度値パターンが輝度値を変えずに座標 (x, y) から $(x+\Delta x, y+\Delta y)$ へ移動したとすると輝度値パターンが変化していないことから次式が成り立つ。

$$I(x, y, t) = I(x+\Delta x, y+\Delta y, t+\Delta t) \quad (1)$$

式(1)の右辺を (x, y, t) 周りにテイラー展開すると次式を得る。

$$I(x, y, t) = I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial I}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial I}{\partial t} \Delta t + O(\Delta x, \Delta y, \Delta t) \quad (2)$$

ただし、 $O(\Delta x, \Delta y, \Delta t)$ は、 $\Delta x, \Delta y, \Delta t$ の2次以上の項である。

$O(\Delta x, \Delta y, \Delta t)$ を考慮すると計算量が増大するため、 $O(\Delta x, \Delta y, \Delta t)$ は微小な量として近似的に無視する。両辺を Δt で割り、 $\Delta t \rightarrow 0$ として整理すると次式を得る。

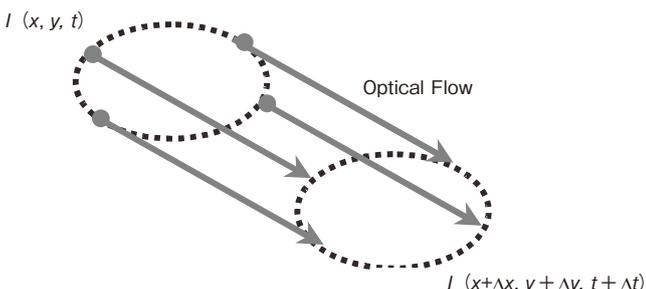


Fig. 1 運動物体の移動ベクトル (Optical Flow)



Fig. 2 被験者の表情運動をビデオカメラで撮影

$$\frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial I}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{\partial I}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

ここでOptical Flowを

$$(u, v) = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right)$$

とし、空間的な濃度勾配と時間的な濃度勾配を

$$I_x = \frac{\partial I}{\partial x}, I_y = \frac{\partial I}{\partial y}, I_t = \frac{\partial I}{\partial t}$$

として式(3)を書きなおすと、次式ようになる。

$$I_x \cdot u + I_y \cdot v + I_t = 0 \quad (4)$$

この式はOptical Flow (u, v) と動画像の輝度値の空間と時間に関する偏微分(勾配)とを関係付けるものである。したがって、移動量が画像信号の空間的勾配とフレーム間差分から近似的に推定できることを示しているが、2つの未知の移動ベクトル (u, v) を一意に決定するためにOptical Flowのグラディエントが局所的に最小になるように以下の制約条件をつけてラグランジェの未定係数法で解くことによって各ピクセルごとの (u, v) を求める。

$$\left[\frac{du}{dx} \right]^2 + \left[\frac{du}{dy} \right]^2 \rightarrow \min. \quad \left[\frac{dv}{dx} \right]^2 + \left[\frac{dv}{dy} \right]^2 \rightarrow \min.$$

この制約条件は、“同一物体上の画素の移動ベクトルは類似している”、すなわち移動ベクトルの空間的变化は最小であることを表している。以上のOF算出アルゴリズムをプログラム化してPC上に実装した。

表情運動時の顔画像を非接触・無拘束に取得するために1台のデジタルビデオカメラ (DV) を被験者の正面に設置し、被験者の表情運動を動画として撮影した (Fig. 2)。また、表情運動の奥行き方向の移動量を求めるためにFig. 3に示すような2台の鏡を左右側面に配置し、1台のカメラで撮像した正面と左右側面の顔画像を取得可能な鏡システム・マルチビュー撮影装置を開発した。装置中央の顎乗せ台に



Fig. 3 表情運動時の正面顔画像と左右側面画像を同一画面内に融合するマルチビューシステム

被験者の顎を乗せ頭部を固定し、被験者の表情運動は左右に設置された鏡に映るので運動を3次的に解析することができる。鏡の角度及び位置は可変であり、被験者に応じて最適な状態に調整して用いる。

さらに本研究では表情運動時の正面と左右側面の顔画像を同一画面内に融合する動画取得システムを構築した^{3)~5)}。これは3台の小型ビデオカメラを対象者の前方に設置し、各カメラからの映像信号を1枚のフレーム画像に重ねて融合する画像ミキシングシステムである。カメラの1台は頭部の正面に、他の2台は左右の角度30~40°の位置に等距離で設置する。Fig.4に3台のビデオカメラで撮像し1枚に合成した正面と左右側面の顔画像を示すが、鏡を使ったマルチビュー法に対して左右の側面顔画像の鼻方向が逆向きになることが異なる。この新規開発システムで得られた顔表情運動の動画像に対しても同様なOptical Flow解析がなされる。

Fig.5は顔表情変化を動画像として取得し、Optical Flow解析するシステム構成と画像処理のフローチャートを示したものである。撮影した表情運動を画像取得ソフトにて連続する静止画としてキャプチャし、ビットマップファイルとしてコンピュータに保存した。これらの顔イメージを連続的にビデオカメラで撮像し、連続動画像に対して上記のアルゴリズムを適用し逐次フレーム間演算(時空間偏微分演算)を行うことにより、対象部位の移動ベクトル量(Optical Flow: OF)を画素単位で算出し、表情の変化

を高速に精度よく定量化した。

3. 結果

表情は安静開眼表情(無表情)を基準にして最大表情運動時までの連続画像に対して逐次フレーム間演算(時空間偏微分演算)を行い、Optical Flow (OF、移動ベクトル)を算出した。Fig.6に示すように算出したOFは方向別(第1象限~第4象限)に色分けされて表情顔画像上に描画される。キャリブレーション機能を適用すると、pixel単位の移動量をmm単位に変換することが可能である。また、特定の顔画像部分にOF計算エリアを設定すると、そのエリア内の平均OF量が時系列グラフにて表示される(Fig.6内の左)。図からわかるように豊かな笑い顔では口角と頬周辺に左右対称な大きなOptical Flowがみられ、安静無表情から最大表情運動までの移動ベクトル量の経時変化が明瞭に示されている。

表情運動は多様であるが、目的に応じて眉上げ、額の皺寄せ、閉眼、鼻根の皺寄せ、口笛運動、頬ふくらませ、への字口、イーと歯をみせる、大きな笑い顔をつくるなどの他に、幸福、悲しみ、驚き、恐怖、怒り、嫌悪、軽蔑などの感情表現を行わせ、表情運動に伴うOFを時系列的に求める。Optical Flowの方向、強さに応じて表情終了後の静止画像上に擬似カラーのオーバーレイ表示を行い、表情の豊かさの評価診断として利用する。また、鼻柱を通る正中線を対称にして表情運動の大きく表れる左右の前額領域、



Fig. 4 3台のビデオカメラで撮影し画像ミキシングシステムで1枚に合成した顔表情画像

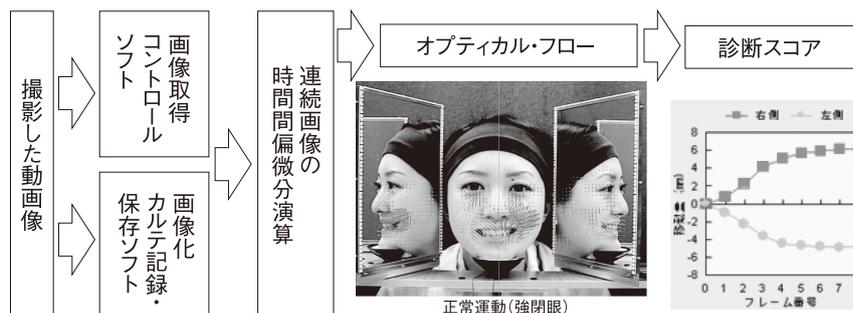


Fig. 5 Optical Flow解析システムの基本構成と画像処理のフローチャート

上眼瞼領域、口角領域、上口唇領域、下口唇領域などに矩形ウィンドウを設定し、ウィンドウ内の平均移動ベクトル量を求め、左右両側の表情運動比(左右比)を求め、表情運動の対称性を検討した。さらに、各ウィンドウ内の表情運動の上下方向と左右方向の移動量の経時変化を可視化表示し、表情変化中の局所的な動きを詳細に観測した。Fig. 7は大きな笑い顔(左)と頬笑み顔(右)におけるOFの違いである。明らかに表情運動が大きくなると移動ベクトル

(Optical Flow)は大きくなり、表情筋の動きが豊かに大きくなるのが定量的にも示される。

以上の顔面表情運動解析技術を利用して、化粧前後の表情運動の比較を行い、顔の表情変化にともなう化粧の効果を検討した。なお、以下に示す結果は正面画像のみを示し、日常生活上ノンバーバルコミュニケーションとして重要な微笑み(軽い笑い)顔について化粧前と化粧後の表情運動量(Optical Flow、OF)を比較した。Fig. 8~Fig.10はい

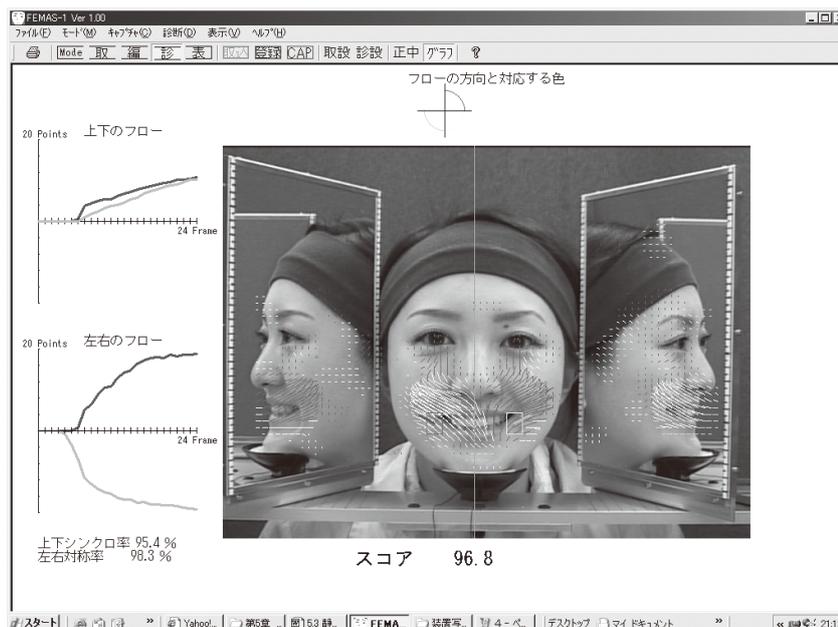


Fig. 6 非常に豊かな笑い顔(イーと歯を見せる)における口角と頬周辺の大きな Optical Flow (移動ベクトル)

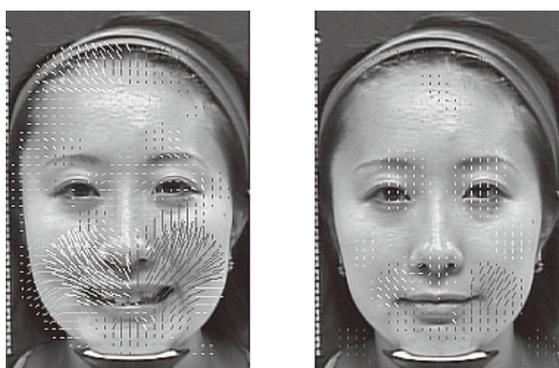


Fig. 7 笑い顔(左)と頬笑み顔(右)における Optical Flow の違い

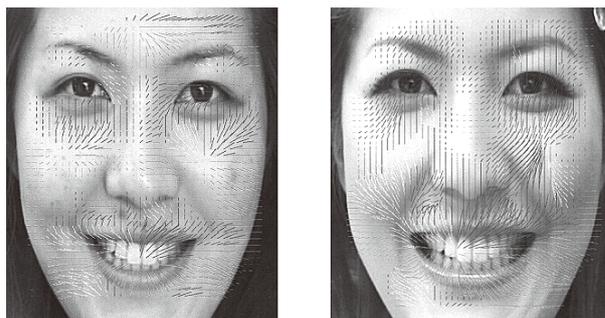


Fig. 8 被験者 A の化粧前(左)と化粧後(右)の Optical Flow 量

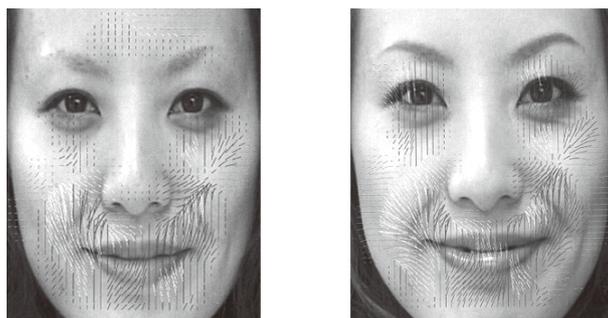


Fig. 9 被験者 B の化粧前(左)と化粧後(右)の Optical Flow 量

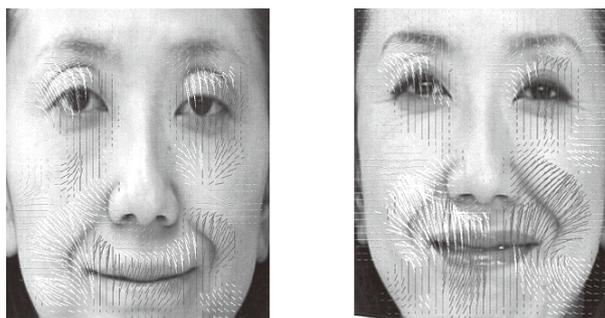


Fig. 10 被験者 C の化粧前(左)と化粧後(右)の Optical Flow 量

いずれも化粧前(左)と化粧後(右)の表情運動量のOFを表情顔画像にオーバーレイ表示したものである。いずれの例も化粧によってOFが大きくなり、また広がりを見せていることがわかる。これらは化粧により緊張緩和に伴う表情筋の働きが活性化され、活発で豊かな表情を生み出していることは言うまでもないが、口紅、頬紅、アイラインなどの使用により凹凸感、グラディエーション、陰影が増し、その結果、同じ表情運動でありながら化粧後にOF量が増加するものと考えられる。特にこれらの軽い笑い(微笑み)顔では、口角周辺、頬、目下、に大きなOFが表れている。視覚生理学的に網膜に投影された化粧顔の動画は網膜神経回路において微分(差分)値が増加し、視覚的に移動ベクトルが大きく感覚されるという視覚の機能と同様な効果が表れていると推測される。一方、化粧効果として、化粧は気分を明るくする、気分を引き締める、晴れ晴れとした気持ちにさせる、リラックスして気持ちをほっとさせる、快い緊張感をもたらして気分をしゃきっとさせる、などの情動効果があられ、自信がわくとか積極的になるなどの心理的作用が強く働くものと考えられる。その効果は表情筋の働きを一層豊かにし、表情運動を活発化させるものとも考えられ、表情の動きをより大きく見せるという相乗効果が表れるものと推測される。

4. 考 察

本研究開発の原点は、種々の原因で起こる顔面神経麻痺の麻痺状態を定量的に示し、臨床診断や治療効果の判定に役立つ目的でシステム開発がなされたものである。脳腫瘍・脳卒中などの脳神経系障害に基づく中枢性顔面麻痺、中内耳炎やヘルペスなど聴覚器官内の疾病に起因する顔面神経麻痺などが対象であり、顔表情運動の左右のいずれかに動きが見られない、あるいは異常共同運動と称して正常側の動きに患側が引っ張られる動きをする、そのため、顔表情には左右対称性がくずれる大きな歪みがあられ、日常生活上の患者のQuality of Lifeは著しく低下する。このような患者に最善かつ早急な治療方策を立て、治療効果をもたらすことが必要であり、その効果を評価する方法として本システムは有効であった。治療効果が上がり、顔面麻痺が軽減されるとQOLも高まり、女性患者などでは化粧をほどこして対外的に明るく社会活動に復帰する例が多い。一方、リハビリメークでは“顔の血色の悪さ、母斑、白斑、血管腫、アトピー性皮膚炎、熱傷後癍痕、顔面神経麻痺、交通事故による傷痕、しみ・しわ・たるみ、にきび痕、アンチエイジング、など”を対象として、化粧で外観を整え、心を元気に豊かにする治療を施すが、これらを対象にした表情運動のOptical Flow解析は有効であると考えられる。

開発したシステムは高精細な小型ビデオカメラ、画像取

込ボード、Optical Flow解析ソフトを実装したノート型パソコンで構成されており、微細な表情運動を定量的に表示し、表情筋の活動を評価することができる。本課題で経験した問題点を上げると、化粧前後で全く同じ表情運動を行うのは極めて難しく、ときに無意識に目つぶり(閉眼)をしたり、逆に閉眼から開眼の動きが表れたり、頭部・顔面の上下左右の動きを起こしたりする。これらの動きはOF量として算出されてしまうことになり、その状態では必ずしも正確な表情運動量が得られない。Fig. 10左図の化粧前の顔領域のOFは閉眼状態からの画像取得であったため上向きの動き量が大きく表れている。化粧効果を表情変化から正確に評価するには、このような不要な動きを取り入れないように注意しなければならない。また、表情を豊かに見せる化粧はいかにすべきかを評価する方法として局所的なOF観測を行い、局所を強調する化粧法を考えることに活用することが課題として上げられる。さらに、表情解析技術を利用して、化粧顔の表情から対象者の「心的豊かさや満足度」、「活き活き度」などの心理的状态を相関分析することも必要と考える。ヒトの表情運動は喜怒哀楽などの情動や心理状態によって大きく変わる。ヒトにとって化粧をする意義は、美しい容貌をつくり、健やかな心身状態を保ち、感情の豊かさを得ること、さらには人間相互のノンバーバルなコミュニケーション手段としての表情形成に大きな役割を果たすことである。化粧はヒトにとって本質的かつ多面的な効果をもたらす重要な生理行動と言ってもよく、それは、単に自己的な満足を与えるだけでなく、他者への自己アイデンティを示す重要な情報提示になり、化粧をほどこした表情運動が、その人の意図のみならずその時の精神状態や身体状態までも表し、化粧によって表情情報が強調されたり減弱されたりすることもある。本研究の目的である「化粧による顔表情の豊かさをオプティカルフローで表情運動量として定量化する」ことは、化粧が、客観的に認知される表情変化の豊かさと他者へ与える感覚的效果を定量的に示す点で画期的であり、眉毛、睫毛、頬、口唇などの化粧の仕方、陰影・濃淡の作成、化粧色の選択、さらには従来から化粧をつくる専門家が培ってきた化粧法に基づく化粧の効果、などを主観的な側面から客観的・定量的な側面に変えて検討することが極めて重要であると考えられる。

5. 総 括

本研究では、顔表情運動の動画解析を行い、表情運動量を画素単位でオプティカルフロー(Optical Flow: OF)表示する定量的解析法を開発し、化粧前後の表情運動の解析に適用した結果、化粧によりOFが大きく、また広がりをもって表示されることが示された。口紅、頬紅、アイラインなどの使用により凹凸感、グラディエーション、陰影

が増し、その結果、化粧前と同じ表情運動でありながら化粧後のOF量は増加するものと考えられる。また、化粧は気分を明るくする、晴れ晴れとした気持ちにさせる、リラックスして気持ちをほっとさせる、快い緊張感をもたらして気分をしゃきっとさせる、などの情動効果をもたらし、自信がわくとか積極的になるなどの心理的作用がある。その効果は表情筋の動きを一層豊かにし、表情運動を活発化させるとも考えられ、表情の動きをより大きく見せるという相乗効果を示した。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、ご支援頂きました財団法人コスメトロジー研究振興財団に心より感謝申し上げます。また、本研究の実施にあたりご協力頂いた左希子化粧株式会社に対し厚く御礼申し上げます。

(参考文献)

- 1) 南谷晴之, 星野佳彦, 国広幸伸: オプティカルフローを用いた顔面神経麻痺の定量的評価法, 計測自動制御学会生体生理工学シンポジウム論文集, 1, 87-90, 2000
- 2) 南谷晴之, 飯島淳彦, 国広幸伸: 顔表情運動の画像解析による顔面神経麻痺の診断システム, 日本エム・イー学会論文誌「生体医工学」, 41, 2, 87-96, 2003
- 3) 南谷晴之, 田中一郎: 顔表情マルチビュー解析による顔面神経麻痺の診断 Facial Nerve Research, 26, 61-63, 2006
- 4) 南谷晴之, 田中一郎, 中島龍夫: 鏡一体型の頭部固定装置を用いたOptical Flow による顔表情の三次元的定量的評価法, Facial Nerve Research, 27, 167-169, 2007
- 5) 田中一郎, 佐久間恒, 中島龍夫, 南谷晴之: 陳旧性顔面神経麻痺に対する各種治療法・術式の検討とビデオ画像からのコンピュータ解析による表情運動の定量的評価法, 頭頸部癌, 34, 3, 280-286, 2008.