

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2011～2012

課題番号：23680057

研究課題名（和文） 顔に関する統合情報を用いた矯正歯科医の知識に基づく表情の診断システムの開発

研究課題名（英文） Development of an expertise-knowledge-based support system for facial expression diagnosis using multi-modal facial data

研究代表者

八木 雅和（YAGI MASAKAZU）

大阪大学・臨床医工学融合研究教育センター・特任准教授（常勤）

研究者番号：40362686

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、矯正歯科医の専門知識をもとに、ヒトの皮膚の生理特性（粘弾性パラメータ）を計測し、表情表出時の動きデータと統合して、顔に関するマルチモダルな情報として利用することで、表情に関する高精度な数理モデルを開発した。そして、極めて高い検出能を要する、日本人女性の成年期の老化により生じる表情の機能性低下の定量化に成功し、高精度な臨床応用可能な表情分析システムを開発した。

研究成果の概要（英文）：In this project, an expertise-knowledge-based support system for facial expression diagnosis was developed using multi-modal facial data, namely skin mechanical parameters as well as motion data, on the basis of expertise knowledge of orthodontists. The robust nature of the system has been demonstrated by applying to the mathematical modeling of the aging effect in adulthood of Japanese females.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2011年度	11,200,000	3,360,000	14,560,000
2012年度	3,000,000	900,000	3,900,000
年度			
年度			
年度			
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：顔，表情，数理モデル，皮膚，計測

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトの顔は、個人のアイデンティティを構成する重要な要素である。そして、顔が持つ機能の1つである表情は、非言語コミュニケーションの手段として極めて大きな役割を果たしており、社会的にも高い関心を持たれている。

顎顔面形態の変化を伴う不正咬合の治療

を行う歯科矯正の分野では、表情に関する診断については、これまでのところ臨床医の主観に依存しており、定量的な評価結果を用いた患者にとって分かりやすい説明を提供することは不可能であった。そこで、診断基準の策定が急務となり、表情表出運動に関して、2次元画像上での計測（Justin ら，1994）や3次元計測（Trotman ら，2005）によ

る解析が行われてきた。しかし、これらの報告では、顔上の2特徴点間のEuclid距離の時系列変化等の単純な指標を用いて統計的に比較しているのみであった。また、表情については、形態の変化量や動き情報を個別に評価しており、表情に影響を与える他の顔要素が持つ情報と統合して解析した研究報告はなされていない。

一方、工学分野では、Facial Action Coding System(Ekmanら, 1978)を基礎とした表情表出モデルや、ファジー関数(Yuwenら, 2005)やマルチストリーム Hidden Markov Model (HMM)(Aleksicら, 2006)を応用した表情の識別モデルが知的ヒューマンインターフェース実現に向けて開発されている。しかしながら、臨床に適用可能な精度で患者の表情表出運動を計測して診断する手法は、国内外を問わず未だ報告されていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、根拠に基づく表情の評価を実現するために、顔のマルチモダルデータを用いることで、臨床応用可能な高精度な表情の分析診断システムを開発することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 資料採得

青壮年期(30名;平均年齢26歳0か月;年齢カテゴリY)と中年期(26名;平均年齢56歳11か月年齢カテゴリM)の日本人女性を被験者とした。被験者の選択は、顎顔面頭蓋部に先天的あるいは後天的な形態異常を認める者、外科的矯正歯科治療を受けたことがある者、表情表出に自覚的、他覚的に異常を認める者は除外して行った。

被検動作は、上下歯を最大咬頭嵌合位で軽く接触させた状態で、被検者自身が左右の口角を強く外側、上方に向かって引き、頬部を最大限に努力して上方に持ち上げると定義された動作(Maximal lip corner retraction)とした。

各被験者について、図1に示した参照用の特徴点(FH<sub>M</sub>, E<sub>R</sub>, E<sub>L</sub>, およびSe)と解析対象の特徴点(Or<sub>R</sub>, Or<sub>L</sub>, CM<sub>R</sub>, CM<sub>L</sub>, UL<sub>M</sub>, およびLL<sub>M</sub>)を定め、それぞれ外径7.0mmと4.0mmの赤外線反射マーカを貼付した。各被験者の表情表出時(5試行)に、赤外線反射式の光学的運動計測システム

(Oqus, Qualisys, Gothenburg, Sweden)を用いて、サンプリング周波数100Hzで6秒間(600フレーム)、前記マーカの3次元座標値を顔の動きデータとして計測した。そして、各被験者の左頬中央部の皮膚の機械的パラメータ(粘弾性特性)を計測した。

## (2) 顔の動きデータからの特徴抽出

### ①規格化顔空間への投影

表情の動きデータに関して、各サンプリング

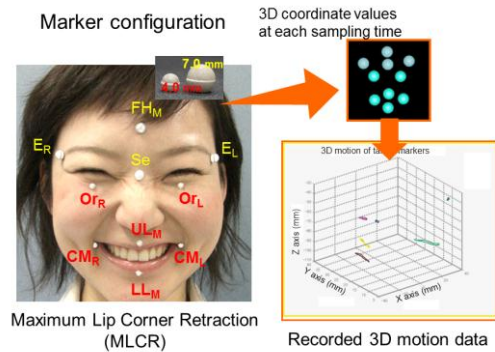


図1. 顔面にマーカを貼付した特徴点, および, 計測例(FH<sub>M</sub>, 正中矢状面上の額の中央; E<sub>R</sub>, 眉尻(右側); E<sub>L</sub>, 眉尻(左側); Se, 正中矢状面上のNasofrontal angleの最深点; Or<sub>R</sub>, 軟組織上の眼窩最下点(右側); Or<sub>L</sub>, 軟組織上の眼窩最下点(左側); CM<sub>R</sub>, 口角点(右側); CM<sub>L</sub>, 口角点(左側); UL<sub>M</sub>, 正中矢状平面上の上赤唇縁点; LL<sub>M</sub>, 正中矢状平面上の上赤唇縁点.)

時点において図2に示す規格化顔空間を生成し、各マーカの三次元座標値を投影することで、被検動作時に生じる被検者の頭部の動きが計測値に与える影響を最小化した。規格化顔空間については、以下のように作成した。参照用の4特徴点の座標値から算出した最小二乗平面(顔平面)に各点の座標値を投影し(FH<sub>M</sub>', E<sub>R</sub>', E<sub>L</sub>' およびSe'), 幾何学的重心を原点とした。原点を通り顔平面に垂直な直線および、FH<sub>M</sub>'とSe'を結ぶ直線に平行な直線を、それぞれY軸(被検者の前方を正)とZ軸(被検者の上方を正)とした。原点を通り、Y軸およびZ軸に垂直な直線をX軸(被検者の左方を正)と定義した。

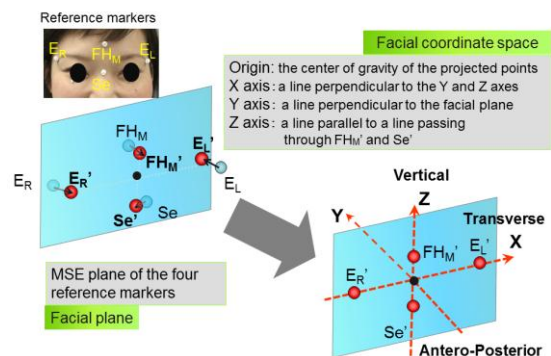


図2. 規格化顔空間の生成.

②特徴変量の抽出

顔の動きデータから両口唇 (CM<sub>R</sub> と CM<sub>L</sub>) 間の距離を算出し、表情表出の開始時点 (t<sub>s</sub>) ならびにピーク時点 (t<sub>p</sub>) を決定した。表情表出の運動時間 (Duration) は、区間 t<sub>p</sub>-t<sub>s</sub> と定義した。そして、各解析対象の特徴点について、時点 t<sub>s</sub> の位置を基準とした相対位置座標値 (移動距離) を各フレームで算出した。さらに、X、Y および Z の各方向について、区間 t<sub>p</sub>-t<sub>s</sub> に対応する速度プロファイルで最大速度を持つ時点で区間 t<sub>p</sub>-t<sub>s</sub> を 2 分割して加速相・減速相を定義し、各相における正規化移動距離の変化量 ΔX<sub>ac</sub>, ΔX<sub>dc</sub>, ΔY<sub>ac</sub>, ΔY<sub>dc</sub>, ΔZ<sub>ac</sub>, ΔZ<sub>dc</sub>, および本区間 t<sub>p</sub>-t<sub>s</sub> における速度 mV<sub>x</sub>, mV<sub>y</sub>, mV<sub>z</sub> を特徴変量として計算した。

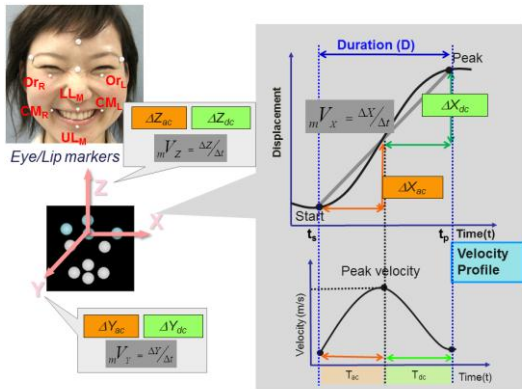


図 3. 顔の動きデータから抽出した特徴パラメータ。

(3) 予測システムアーキテクチャ

本研究で開発したシステムのアーキテクチャを図 4 に示す。

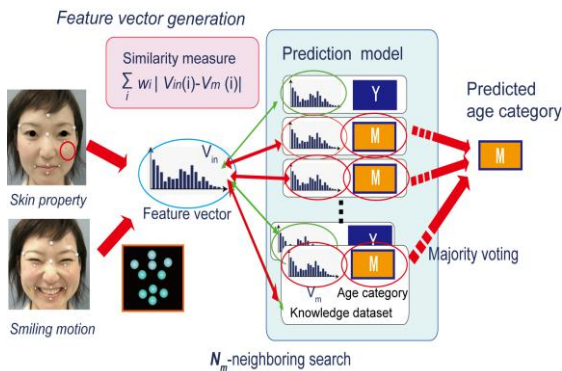


図 4. システムアーキテクチャ。

顔の動きデータから抽出された特徴変量、および、皮膚の機械的パラメータにより構成される特徴ベクトルと年齢カテゴリ (Y もしくは M) を知識データセットとし、システムに保持させる。入力された特徴ベクトルに対して、式 (1) に示す重み付き距離に基づき、

システム内で近傍検索を行う。

$$S = \sum w_i |V_k(i) - V_{in}(i)| \quad (1)$$

V<sub>in</sub> は入力された特徴ベクトル、V<sub>k</sub> はシステム内に保持された知識データセット内の特徴ベクトル、w は重み係数である。近傍検索により選択された知識データセットの年齢カテゴリに関して多数決処理を適用することで、入力に対する年齢カテゴリを予測した。

(4) システム最適化

各被験者に対応する特徴ベクトル群を入力とし、入力として用いた被験者以外の知識データセット群をシステムに保持させて予測し、年齢カテゴリの予測正答率を算出した。

特徴ベクトルについては、顔の動きデータから抽出された特徴変量、および、皮膚の機械的パラメータから、矯正歯科医の専門的知識に基づき 100 通り作成した。近傍検索時の重み係数 w については、探索的に 1000 通り選出した。近傍検索により選択する知識データセット数については、1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21 を条件設定した。上記条件についてシステムの最適化を行った。最適化された条件の重み係数については、その総和で除することにより、正規化重み係数 w' を算出した。

4. 研究成果

最適化されたシステムの予測精度は 84.8% で、近傍検索数は 13 であった。採用された特徴変量、および、正規化重み係数を表 1 に示す。

表 1 最適化システムに採用された特徴変量ならびに正規化重み係数

Feature variable	Proportionate significance	Feature variable	Proportionate significance
<b>Skin Property</b>			
R0	0.14		
R7	0.094		
<b>Motion</b>			
Or <sub>R</sub>		Or <sub>L</sub>	
ΔX <sub>ac</sub>	0.016	ΔX <sub>ac</sub>	0.016
ΔX <sub>dc</sub>	0.016	ΔX <sub>dc</sub>	0.016
ΔY <sub>ac</sub>	0.016	ΔY <sub>ac</sub>	0.016
ΔY <sub>dc</sub>	0.016	ΔY <sub>dc</sub>	0.016
CM <sub>R</sub>		CM <sub>L</sub>	
ΔY <sub>dc</sub>	0.063	ΔX <sub>dc</sub>	0.047
ΔY <sub>ac</sub>	0.055	ΔX <sub>ac</sub>	0.039
ΔX <sub>ac</sub>	0.031	ΔZ <sub>ac</sub>	0.039
ΔX <sub>dc</sub>	0.031	ΔZ <sub>dc</sub>	0.039
mV <sub>y</sub>	0.031	ΔY <sub>ac</sub>	0.031
ΔZ <sub>ac</sub>	0.023	ΔY <sub>dc</sub>	0.031
ΔZ <sub>dc</sub>	0.023	mV <sub>y</sub>	0.016
mV <sub>z</sub>	0.0078	mV <sub>z</sub>	0.0078
UL <sub>m</sub>		LL <sub>m</sub>	
ΔZ <sub>ac</sub>	0.023	ΔY <sub>dc</sub>	0.023
ΔZ <sub>dc</sub>	0.016	ΔY <sub>ac</sub>	0.016
mV <sub>z</sub>	0.016	mV <sub>y</sub>	0.016
		mV <sub>z</sub>	0.0078

皮膚の生理特性、および、口角周辺の特徴点の動きを示す特徴変量について、正規化重み係数が高い値を示し、2 群間の差を特徴づける変量であることが明らかとなった。口角周辺の動きに影響を与える要因として考えられる、皮膚、脂肪ならびに筋等の解剖学的

な構成が加齢により変化することは既に報告されており (Penna ら, 2009), 本成果と合致すると考えられる。

更に最適化されたシステムを用いて, 以下の3条件で予測シミュレーションを実行した結果を図5に示す。

- ①条件1 - 動きデータから抽出された特徴変数のみを用いて年齢カテゴリを予測。
- ②条件2 - 皮膚の機械的パラメータのみを用いて年齢カテゴリを予測。
- ③条件3 - すべての特徴変数に同じ重みをもたせて予測。

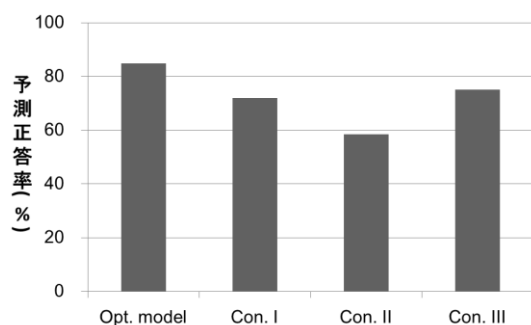


図5. 最適化システムを用いたシミュレーション結果。

シミュレーションを行ったすべての条件で, 予測正答率は低下した。条件1と条件2で予測正答率が低下した点については, 表情表出時の最終的な出力に大きな影響を与えると考えられる皮膚の機械的パラメータを特徴変数に加えることで予測正答率が改善したと考えられる。また, 条件3の予測正答率の低下については, 各特徴変数について適切な重み係数を設定する必要があることが示された。つまり, 高精度な表情の診断システムを実現するには, 皮膚の生理的特性を含め, 部位ごとの動きについて適切な重みを付けて評価する必要があるということが定量的に明らかとなった。

以上により, 日本人女性の成年期の老化により生じる表情の機能性低下という, 極めて高い精度が求められる問題を対象とし, 顔に関するマルチモダルな情報を統合することで臨床応用可能な高精度な表情分析診断システムの開発に成功したと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Masakazu Yagi (2013): Mathematical Modeling of Aging Effects in Adulthood on

the Basis of Smiling Motions with Skin Mechanical Properties. In Proc: 4<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS 2013), 182-185.

[学会発表] (計2件)

- ① Masakazu Yagi, “Mathematical Modeling of Aging Effects in Adulthood on the Basis of Smiling Motions with Skin Mechanical Properties,” 4<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS 2013), Jan. 29-31, 2013, Bangkok, Thailand.

- ② Masakazu Yagi and Kenji Takada, “Development of *in silico* Knowledge-Dependent Models of a face for Predictive Medicine,” 第3回先進医療フォーラム, 2012年1月21日, 大阪.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

八木 雅和 (MASAKAZU YAGI)

大阪大学・臨床医工学融合研究教育センター・特任准教授 (常勤)

研究者番号: 40362686