

# 生体信号を利用した体性感覚の客観評価システムの開発

## Development of an Objective Evaluation System of Somatic Sensations Using Biomedical Signals

2001001



研究代表者 大阪大学大学院 工学研究科 助 教 秋 山 庸 子  
共同研究者 大阪市立大学大学院 看護学研究科 教 授 白 井 みどり

### 〔研究の目的〕

本研究の目的は、表情、脳波、心電、筋電、体表面温度などの非侵襲かつ簡易に計測可能な生体信号を用いて、疼痛や搔痒などの体性感覚を客観的に評価し、提示するシステムを開発することである。介護現場や医療現場において、被介護者あるいは患者の体性感覚を理解し、それに応じて適切に対処することが求められるが、言語による意思表示が困難な高齢者や障がい者の場合は理解することが容易ではない。そこで、被介護者と介護者の間に介在し、実時間で体性感覚を定量的かつ客観的に評価・提示することによって、日常生活に支障をきたすことなくコミュニケーションを支援すると同時に被介護者・患者を見守るための実用的なシステムを開発する。

### 〔研究の内容、成果〕

#### 1. 表情解析による実時間疼痛評価

##### 1.1 研究概要

本研究では、体性感覚の中でも見守りやケアで重要となる疼痛に着目し、その強度を言語以外の手段を用いて推定するシステムの研究を行った。このシステムは、非侵襲かつ簡易に観察・測定可能な表情を用い、実時間で疼痛を数値化するものであり、顔認識に特化した API (Application Program Interface) の出力デー

タを利用した画像解析プログラムからなる。健康成人を被験者にコールドプレッサー法による疼痛刺激を付与した実験を行い、本システムにより数値化された表情変化のデータと、本人申告による官能評価結果との相関を検討した。さらに、上下の頭部の傾きに対する評価精度の向上を試み、実用的なシステム構築を目指した。

##### 1.2 表情解析による疼痛評価システムの理論

表情解析から疼痛を定量的に求めるために、行列化を行った。基準とする表情からの表情変化は、 $[X1 \ X2 \cdots X9] \cdot [F1 \ F2 \cdots F9]$  の形にした。これは、Fig.1 で示される全 9 箇所の顔面部位の変化を表す行列である。 $[X1 \ X2 \cdots X9]$  は  $[F1 \ F2 \cdots F9]$  で表される変化をしているかどうかを、式 (1) のように  $1 \cdot 0 \cdot -1$  の 3 値化表記し、疼痛表情係数を算出するため、上記により得られた行列を用いて、式 (2) を定義した。

$$Xi = \begin{cases} 1: & \text{A facial change indicated by F;} \\ 0: & \text{No facial change indicated by F;} \\ -1: & \text{Opposite change indicated by F;} \end{cases} \quad (1)$$

$$\underbrace{[X1 \ X2 \cdots X9]}_A \times \underbrace{\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ \vdots \\ F9 \end{bmatrix}}_B = Y \times \underbrace{[-1 \ -1]}_C \times \underbrace{\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ \vdots \\ F9 \end{bmatrix}}_C \quad (2)$$

A = Determinant of objective facial expression analysis

B = Pain facial expression coefficient

C = Determinant of pain facial expression

この式は、疼痛強度を求めたい解析対象となる表情の行列 (A) を、疼痛強度の値 (B) と事前に決定した疼痛表情の行列 (C) の線型結合で表した式である。疼痛表情の行列 (C) は、正座実験の被験者とは異なる 6 名の男性被験者に疼痛刺激を与えた時の表情から決定された定数行列である。よって式 (1) に解析対象となる表情の行列 (A) を入力することで、(B) で表される「疼痛表情係数」が得られる。この手法を用いて、自動的に各パーツの動きを 3 値化し、1 秒間に 5 フレームずつ疼痛強度の解析を行う画像解析プログラムを作成した。当該プログラミングは、OpenCV を利用した Application Program Interface (Face API: seeing machine 社) によって作成されている。

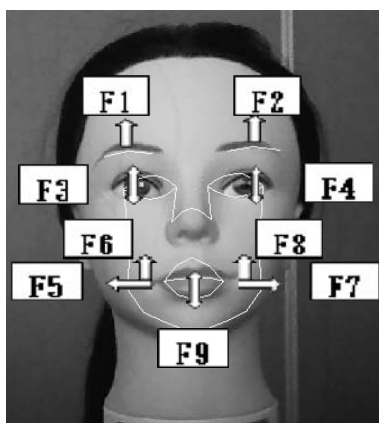


Fig. 1 Face landmarks

### 1.3 疼痛評価システムによる疼痛評価実験

提案した表情解析システムの妥当性を検証するため、コールドプレッサー法（氷水による冷水刺激）を疼痛刺激とする実験を行った。この実験では、当該システムを用いて「疼痛表情係数」を求め、同時に行った疼痛の官能評価値との相関をみた。

被験者は健康な男女 10 名（男性 4 名、女性

6 名）で、実験前に本実験の目的、内容、倫理的配慮について十分な説明を行い、途中でいつでも実験を中止できることなどの倫理的配慮を行った。なお、本研究は大阪大学工学部倫理委員会の承認を得ている。

被験者の正面にウェブカメラを設置し、実験の様子を動画（5 f/sec）で撮影した。安静 30 秒、疼痛刺激 30 秒の 2 つのセッションをまとめて 1 セットとし、連続して 3~5 セットを行った。各セッション直後に、現時点で感じている疼痛強度の官能評価について VAS 法（Visual Analogue Scale, 意味尺度法）を用いて行った。（Fig. 2）

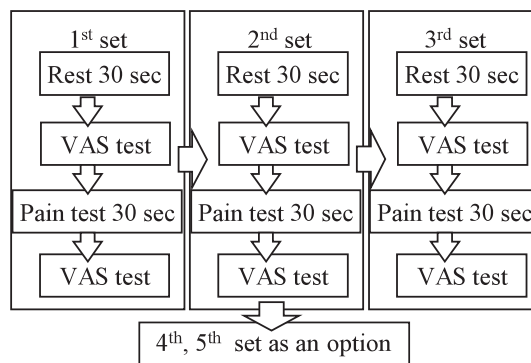


Fig. 2 The protocol of pain stimulus experiment

撮影には正面ウェブカメラに加え、左右に 2 箇所設置し、被験者には常に正面のウェブカメラを見るように指示した。記録された全てのフレームにおける表情評価得点を算出し、前述の方法で表情の解析をすることで「疼痛表情係数」の時間変化を求めた。一方 VAS 法から「VAS 値」を求め、両者の相関を評価することで、「疼痛表情係数」による疼痛評価の妥当性を検討した。疼痛表情は 30 秒間ランダムに変化するため、VAS 値との相関には、各セット最終の 10 フレーム（2 秒間）のデータの平均値を利用した。疼痛表情係数と VAS 値との間には、 $r=0.93$  から  $r=0.69$  の間で、平均  $r=0.83$  の相関が得られた。この結果より、本プログラムを用いた正面顔における疼痛評価の妥当性を確認することができた。Fig. 3 に結果の一

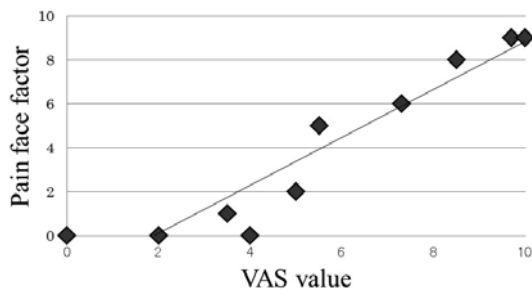


Fig. 3 A typical result of correlation between pain face factor and VAS value in cold pressor test ( $r=0.77$ )

例を示す。

#### 1.4 頭部の傾斜角と表情解析精度の検証

疼痛評価実験により、被験者の正面からの疼痛評価の妥当性は検証できたが、実用性を考えると、上下左右方向からでも表情が解析できる必要がある。そこで、Face API により、顔が存在すると認識できる認識限界角を検証した。その結果、顔の認識限界角は左右約  $50^\circ$ 、上約  $80^\circ$ 、下約  $50^\circ$  となった。(Fig. 4)



Fig. 4 Functional limit of face tracking

一方、疼痛表情の認識は、左右の傾き約  $30^\circ$  以内の範囲であれば正面顔における疼痛表情係数との相関が 75% 以上となり、実用可能な精度であると考えられた。しかし、上下への首の傾きについては左右の傾きよりも精度が低かったため、任意の疼痛表情を様々な角度で 3 回ずつ繰り返し解析し、正面顔における疼痛表情係数との相関を検証した上方向  $10^\circ$  から  $20^\circ$  においてはその相関は 80% 以上あったものの、 $30^\circ$  では 48% となり、下方向ではその精度はさらに下がり、 $10^\circ$  で 51%、 $20^\circ$  では 9.7% であった。(Fig. 5)

このように、顔の傾きに対する精度の検証実験では、上下方向が左右に比べ低い事が分かった。これは、表情解析方法が、顔の各認識点の

上下方向への移動パターンを主に計測しているため、上下への傾きに対する表情解析精度が下

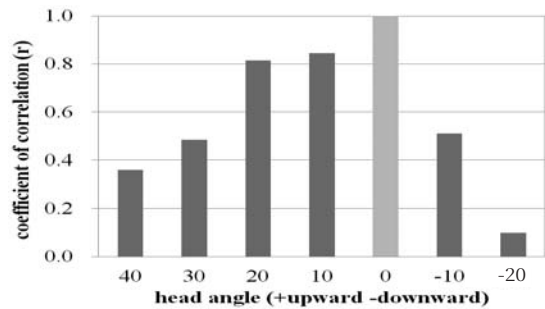


Fig. 5 Correlation coefficient of pain face factor between frontal face and inclined faces

がるためであると考えられる。

測定精度の向上のためには、疼痛表情の認識ポイントの変更と各ポイントにおける評価得点に対する寄与率の変更が必要である。また今回用いた 9ヶ所の部位 (Fig. 1) の変化以外にも注目し、頭部上下左右の振りの認識角度の拡大と、その複合した斜め方向の傾きに対する精度向上に向けての改善を行うことを検討している。

## 2. 心拍変動解析による疼痛評価

### 2.1 研究概要

表情を用いた非接触の疼痛解析システムによる疼痛評価の可能性が示されたが、その精度を上げ、誤作動を防ぐには、他の方法と組み合わせることが望ましい。そこで、疼痛刺激は交感神経を刺激すると予想されること、コンパクト化が進み脈波による簡易な手法での心拍変動解析も開発されていることから、心拍変動解析による疼痛評価を試みた。

### 2.2 心拍変動解析による疼痛評価の理論

心電図の最大振幅である R 波と R 波の間隔を RR 間隔という。この間隔には周期的な変動が見られ、呼吸周期の変動 (高周波成分: HF) は副交感神経系のみの活動を反映するのに対し、血圧変動の成分 (低周波成分: LF) は交感神経活動と副交感神経活動の両方を反映する。したがって心拍変動を周波数解析して高周

波成分と低周波成分を評価すれば、交感神経活動と副交感神経活動を分離して評価することができる。

### 2.3 心拍変動解析による疼痛評価実験

被験者は健康な男性3名で、前回の実験と同様に大阪大学工学部倫理委員会の承認を得た上で、倫理的配慮を十分に行った。

心電測定には誘発脳波用皿電極 NE-121J、多チャンネル増幅器 MEG-6116（日本光電株式会社）を用いた。鳩尾、左脇腹、喉元の電極位置で行い、500 Hz でサンプリングした後、10～30 Hz の帯域通過フィルタを適用した。電極は、貼付ける位置を消毒用エタノールで消毒し、電極ペーストを塗布してそれぞれ配置した。また各電極はテープを用いて固定した。計測したデータは、パワースペクトルから LF/HF 比を求めて解析した。0.05～0.15 Hz の積分値を LF、0.15～0.40 Hz の積分値を HF とし、LF/HF を算出した。検証実験は1と同様の手法によるコールドプレッシャーテストによって行い、心電計測と同時に VAS 法による官能評価を行った。

### 2.4 心拍変動解析を用いたシステム構築

Fig.6 は横軸が官能値、縦軸が最初のセッションの LF/HF の値で各セッションの値を規格化した値で、3名で計5回行った実験データを1つにまとめたグラフである。このグラフのプロット点に対して線形近似と指数近似でフィッティングを行ったところ、指数近似でフィットし指数近似の方が良好にフィッティングできた。この結果より官能値と変化率の相関係数を求めたところ、およそ 0.85 という表情よりも強い相関が得られた。

このことから、心拍変動解析によっても疼痛評価が可能であり、表情に表れない疼痛についても検出可能であることが示された。さらに LF/HF については、Fig.7 に示す脈波検出装置を作成した。発光部はヘモグロビンの吸収スペクトルに対応した近赤外波長で発光波長帯域の狭い発光ダイオード（LED）を用い、

受光部はフォトダイオードを用いた反射式の光電式脈波検出装置である。この装置を用いて、指をセンサーに乗せるだけの簡易な手法で、心電における RR 間隔に相当する PP 間隔を用い、LF/HF の評価を実時間で行うことに成功した。

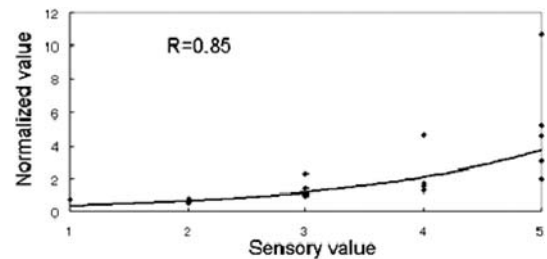


Fig.6 Normalized LF/HF as a function of sensory value

### [今後の研究の方向、課題]

表情および心拍変動解析により、疼痛が実時間に客観的に評価できることが示された。このことにより、当初の計画であった正確性、汎用性、迅速性はある程度達成できたといえる。現在、高齢者を被験者とした予備実験を行っているが、高齢者の見守りを視野に入れた応用にはいくつか課題がある。

まず、被験者によっては表情自体が捉えにくかったり、慢性疼痛であれば相対的な表情や生体反応として表れにくかったりすることが挙げられる。また疼痛の位置や強度、種類を推定することも今後の課題であり、まず介護現場においてどこまで詳しい情報が必要かを明確にし、それぞれの被介護者に適切な閾値設定の手法を確立して緊急時やケアが必要な時に介護者に知らせる必要がある。

今後の方針としては、介護現場で必要とされている疼痛の情報を抽出し、本研究で構築した要素技術を施設レベルで導入できるシステムへと発展させていくことを考えている。

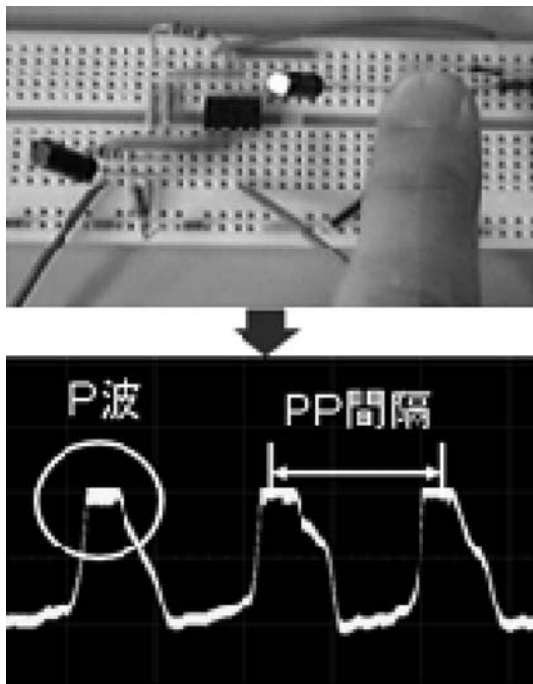


Fig. 7 Pulse wave measurement system

[成果の発表, 論文等]

- 1) 前川義量, 秋山庸子, 西嶋茂宏: 表情の画像解析による高齢者見守りシステムのための基礎的研究, 生体医工学シンポジウム 2010 予稿集 (2010)
- 2) 前川義量, 森達也, 久森康平, 秋山庸子, 西嶋茂宏: 表情の画像解析による高齢者見守りシステムのための基礎的研究, 第 49 回日本生体医工学会予稿集 (2010)
- 3) Yoshikazu Maekawa, Takeshi Abe, Yoko Akiyama and Shigehiro Nishijima: Development of a Pain Evaluation System by Image Analysis of Facial Expression, Proc. of Bio Medical Engineering 2011, 723-147 (2011)
- 4) 前川義量, 阿部武志, 秋山庸子, 西嶋茂宏: 表情の画像解析による疼痛評価システムの開発, 第 50 回日本生体医工学会予稿集 (2011)