

画像生成による 顔画像中の顔面筋計測デバイス除去手法の開発

下西慶（京都大学）

概要

表情は人の内部状態が表出されるものであり、表情を詳細に計測することによって、人の状態をモニタリングすることが可能になると期待される。我々はこれまでに特定人物の表情の見えに対して、その表情の表出度合いをその人に応じたスケールで相対的に評価する手法を提案してきた。この手法に対し、表情を生み出す元になっている表情筋の活性と表情画像の見えを対応させることで、絶対的な評価基準を与えることを本研究の目的とする。

表情筋の計測にはセンサを直接皮膚に貼り付ける必要があり、表情の見えを阻害することから、直接見えと表情筋を同時に計測することは不可能なため、様々な組み合わせでセンサを貼り付けて表情を計測し、それらの結果から、表情画像（見え）と表情筋の対応関係を得ることを目指す。そのために、微細な表情変化も計測できる筋電センサの開発に取り組み、さらに表情表出時の複数筋の動作の対応関係や、見えと表情筋の活性度の対応関係を調査した。

1 共同研究に関する情報

1.1 共同研究を実施した拠点名

- 京都大学 学術情報メディアセンター
- mdx

1.2 課題分野

- データ科学・データ利活用課題分野

1.3 参加研究者の役割分担

■**下西慶** 表情筋計測、表情画像計測、データ分析

■**佐藤弥** 表情筋計測に関する知見や、その扱いに関する知見の提供

■**中村裕一** 研究進捗管理及び筋電計測に関する知見の提供

2 研究の目的と意義

従来から、表情の様々な自動認識手法が提案されてきており、はっきりと表出した表情の認識は概ね可能になってきている。しかし、弱い表情を識別することは依然として難しい問題であり、認知症ケアや介護、心身医療などのために必要な技術として、さらなる高度化が望まれている。この問題に対し、本研究では表情を生成している表情筋に着目し、その計測を用いて詳細な表情認識を可能にすることを提案する。

ここで問題となるのは、顔面筋を計測するためには筋電センサを貼り付ける必要があることであり、一般的な表情認識に筋電位計測を直接用いることは難しい。そのため、図1のように、筋電センサの貼り付け位置を変えながら表

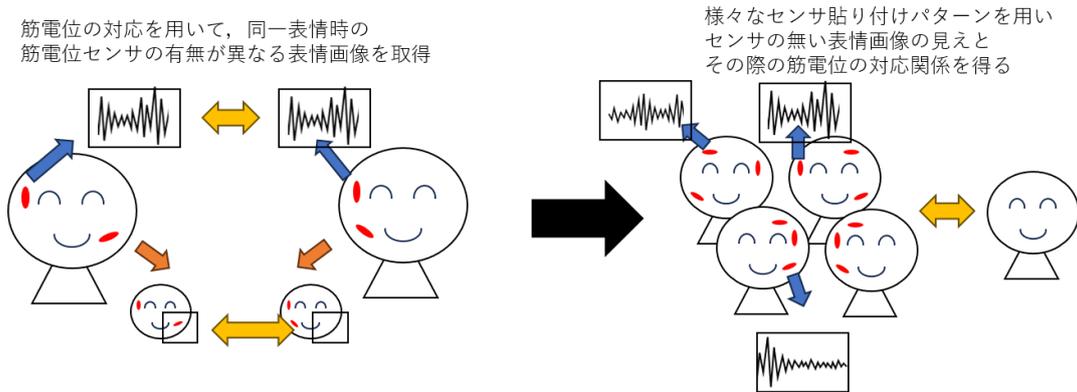


図1 提案する手法の枠組み

情筋の収縮を多数記録し、センサを貼り付けていない部分の画像と筋電の対応関係を示すデータを収集することによって、表情筋の筋電位を計測しつつ表出された表情画像、すなわち、表情筋の賦活度合いはわかっているが、表情の見えが十分ではない画像から、筋電センサを除去し、見えだけを残した表情画像を生成することを目指す。

これにより、表情の見えから逆にその際の筋電の賦活度合いが推定できるようになることが期待され、表情認識の高度化に繋がることが期待される点で、社会的にも意義の大きな研究である。

3 当拠点公募型研究として実施した意義

課題申請時に想定していた、大規模データセットに対してスーパーコンピュータを利用して大掛かりな計算を実行する、という用途までは研究の進捗が不足した面はあるものの、当該研究の基盤となるべきセンサの作成という部分でまず複数拠点を跨いだ研究者間で知見を募れたことが、まずこの公募型研究で行った意義が大きかったと考えている。その上で、当初の予定よりは小規模なデータサイズとはなったもの

の、スーパーコンピュータを利用した表情解析による見えの詳細な分析を行いつつ、複数拠点での知見を利用しながらデータを mdx を用いて共有、蓄積する枠組みを利用できたことは、当拠点公募型研究として実施した意義があったと考えている。

4 前年度までに得られた研究成果の概要

該当なし

5 今年度の研究成果の詳細

5.1 電極の改良・作成

佐藤らが行っていた従来表情研究 [1] にて用いられていた筋電センサを用いて実際に様々な表情を表出させつつ計測を行ってみたところ、これらのセンサは SN 比があまり高くなく、はっきりとした笑顔などの表情表出時には筋電位が計測できるものの、表情の表出が弱い場合は、表情筋の賦活がノイズと区別がつかず、巧く筋電位が取得できないことが判明した。一方で、我々が行っていた、腕や足などの筋電位を計測し、筋電位から各部位の動作予測を行う、といった研究 [2] においては、電極部を自作することで、所望の SN 比を満たす筋電



図2 従来研究において我々が筋電計測に利用していたセンサ

位センサを利用していた。そこで、これらの知見を活かし、本研究でも、まず我々の用いていたセンサを元にして、表情筋の計測時に十分なSN比が得られる用な筋電位センサを自作することに取り組み、研究の遂行に十分な精度を持つと考えられるセンサの作成を行った。

筋電位センサとして求められる要件は、

- 違和感が少ないこと、
- 皮膚に十分接触されており、表情変化に対してセンサが追従出来ること、
- 表情変化がセンサによって隠れすぎないこと、
- 表情変化を起こした際に、皮膚の変位がセンサによって阻害されすぎないこと、
- SN比が十分高く、表情の微細な変化を(理想的には100段階程度まで)筋電位からも捉えられること、

である。

上記の要件に対し、我々の研究で用いてきた筋電位センサ(図2)は、腕や足の筋電位の取得が主眼であり、SN比は小さく筋電位が取得できるが、センサの外側からテープを用いて皮膚にしっかり固定することを想定しているものであった(図3参照)。しかしながら、このセンサを実際に表情筋の計測に用いた場合、電極の



図3 従来我々が利用していたセンサを顔面に貼り付けた例

エポキシなどによる厚みにより、テープと顔の間に隙間が出来てしまうことが原因で、すぐにセンサが浮いてしまったり、結果として笑顔が発露/収束するタイミングでノイズが入ってしまった。これは、顔の筋肉は身体の筋肉と比べ隆起しやすいためであると考えられた。一方、佐藤らが研究に用いていた筋電センサは、SN比の点で要件を満たしていなかったが、企業との共同開発により、大きな表情変化に対しても表情筋の計測が頑健に行えるような工夫が複数行われていた。

これらの知見を組み合わせることで、表情筋の変化に対して多少抵抗を与えるものの、高いSN比を保ち、また表情変化の見えを阻害しすぎないセンサを自作した。このセンサは、図4のように、顔面とセンサを固定するためのテープの外側からセンサを接続する形式を取っており、従来センサで問題となっていた表情変化に対するセンサのずれをなくすことが可能になっている。

5.2 表情筋間の対応関係の確認

まず、自作したセンサを用いて、複数の表情筋が正しく計測できるか、を確認する実験を行った。実験においては、図5のように、表情

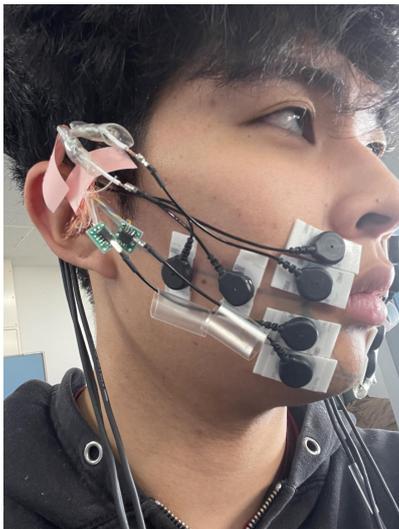


図 4 改良したセンサを顔面に貼り付けた例

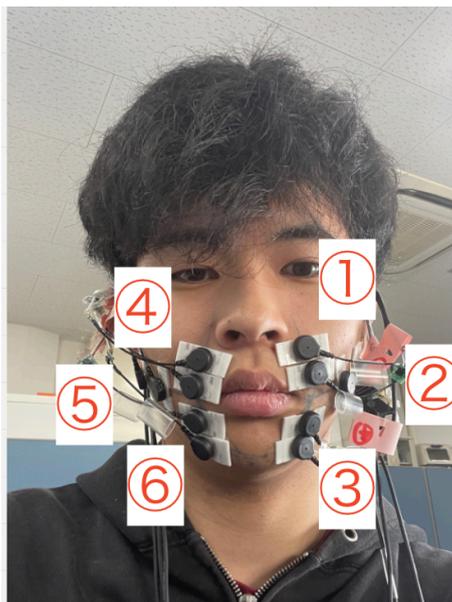


図 5 表情筋のうち笑顔に関連すると考えられる筋から機器の干渉を考慮し、左右対称で計測した図

筋のうち、笑顔の発露に影響すると報告されている口周りの筋を複数選択して計測を行った。結果は図 6 のようになり、笑顔の発露時に複数の表情筋が問題なく計測出来ていることが確認できた。計測は 1000Hz で行っている。一方で、やはり複数筋を同時に計測した際、SN 比

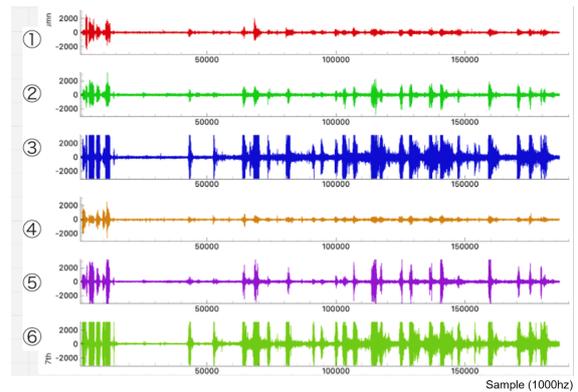


図 6 表情筋を同時計測した際の筋電の活性値

を重視した現在のセンサでは、近隣のセンサの動作によって表情変化やその計測に影響が出てしまうことが確認された。

これらの結果を受け、筋電位センサを多数顔面に貼付け、一部のセンサのみをつけ外し、それによって当該センサ部のみの表情に関して、筋活性度が取得できないものの見えは自然な画像を得ることは困難であると言う結論から、貼り付ける筋電センサの数を低減するため、複数の筋電の変化パターンの同一性・類似性を調査した。

5.2.1 左右で同一の筋に対する対称性

類似性を考慮するため、まずは笑顔を表出させた際に複数の筋電位の間にはどのような関係があるのかを調査した。この時、笑顔の表出に影響がある筋のうち、近隣にまとまった筋電位の類似性を調査することを目的とし、目元については考慮せず、口周辺部についてを対象とした。

まず、頬部に左右対称になるようにセンサを貼付けた図が図 7 であり、その際に得られた筋電の値を図 8 に示す。図 8 は、a) センサから得られた筋電位の値 (左右)、b) 信号の強度を観測するため、筋電位信号に対して RMS を計算したものを表し、さらに、時間的なスケール

を拡大し、部分的にその RMS 同士の関係を観測しやすくしたものが c) である。

この結果から、信号強度の絶対値に左右差はあるものの、信号の発生タイミングの時間的なズレはあまり無いことが観測出来る。

また、同様に、下顎部の筋について、左右対称にセンサを貼付け、その結果を観測したものが、図 9, 10 である。この図からも、頬部と同様に、左右で信号強度の差が見られるものの、時間的なズレはあまり観測されていない。

これらの結果から、表情変化はある程度左右対称に起こっており、信号強度に対する補正を行うことで、その対応関係が得られるのではないか、ということが期待される。

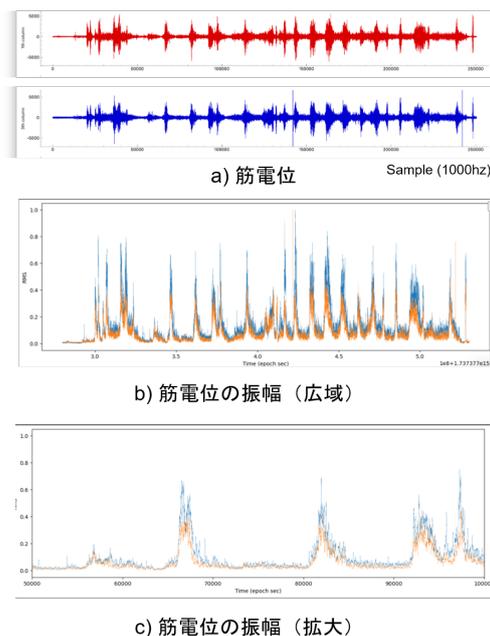


図 8 頬部に左右対称に筋電センサを貼付けた際の筋電位センサから得られる結果



図 7 頬部に左右対称に筋電センサを貼付けた例



図 9 下顎部に左右対称に筋電センサを貼付けた例

5.2.2 異なる筋の間関係

ついで、左右の対称性だけではなく、異なる筋が表情表出にどのような時間的なズレや対応関係を持って動作しているのか、を調査するため、左右方向に対して同一の側で異なる筋を同時に計測し、その活性度の関係を調査した。頬部と下顎部にセンサを貼付けた結果を図 11, 12 に、鼻側部と下顎部にセンサを貼付けた結

果を図 13, 14 にそれぞれ示す。

これらの結果から、異なった筋に対しても、かなり信号が同期している様子が見て取れ、この単一の実験参加者に関しては、自然な笑顔を表出する際に複数の筋が同じタイミングで類似

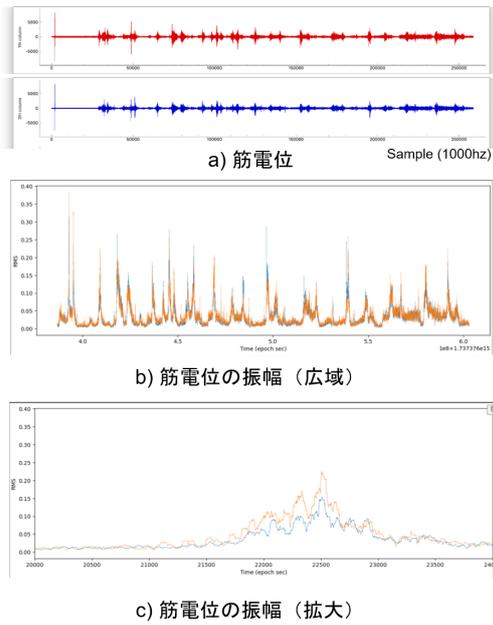


図 10 下顎部に左右対称に筋電センサを貼付けた際の筋電位センサから得られる結果



図 11 下顎頬部と頬部に筋電センサを貼付けた例

した活性を示す様子が確認された。更に、図 15 のように、異なった活性を示している時間的な箇所も確認され、複数筋を計測することの意義も確認された。

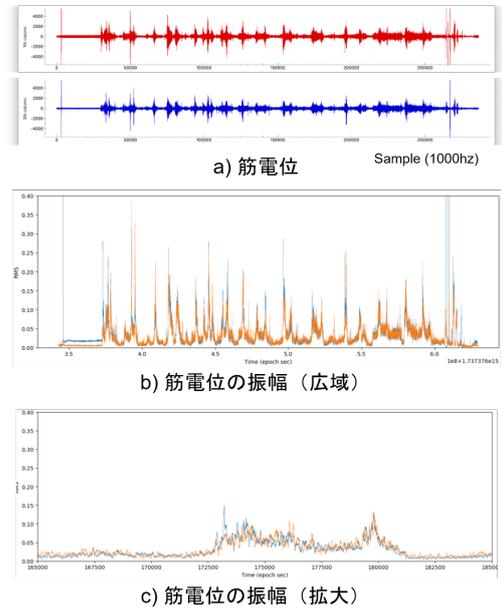


図 12 下顎部と頬部に筋電センサを貼付けた際の筋電位センサから得られる結果



図 13 下顎頬部と鼻側部に筋電センサを貼付けた例

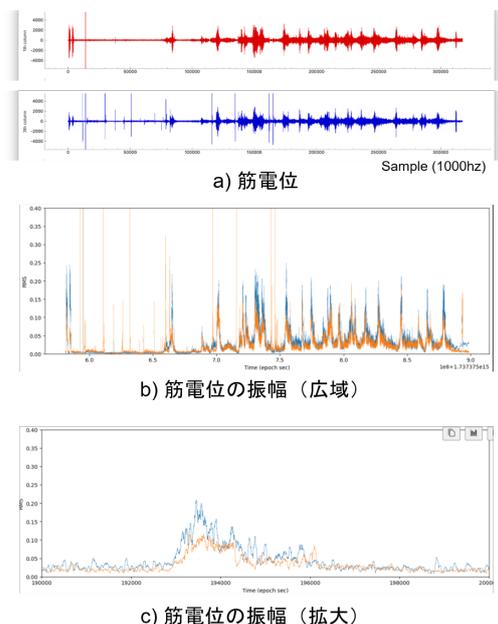


図 14 下顎部と鼻側部に筋電センサを貼付けた際の筋電位センサから得られる結果

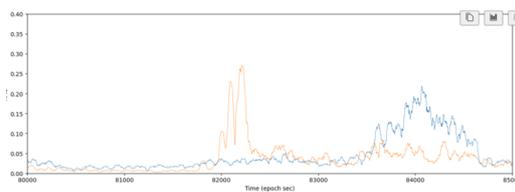


図 15 対応関係が一致していない例

5.3 表情筋の活性と見えの対応関係の確認

最後に、本研究課題の目的である、見えとしての表情と、その表情を引き起こしている元となる物理的な信号である筋電位の値を対応させることが可能か、ということ部分を部分的に調査した。ここでは、我々がこれまでに提案してきた手法である笑顔の表出強度を微細に評価することの出来る手法 [3] を利用し、表情の「見え」としての笑顔の表出強度の変化と、筋電センサから得られる信号の強度の関係性を調査した。

笑顔の表出強度の評価は、被観測者個人の笑顔の表出強度の「比較」に基づいた手法となっている。本手法では、その被観測者に対して、

2枚の表情画像の間で、笑顔の表出強度の大小を評価するための識別器を学習しておく。さらに、その被観測者に対して、複数の笑顔の表出強度を持つ画像を参照画像として用意しておくことによって、それらの参照画像と比較して、新たな画像がどの参照画像とどの参照画像の間の表出強度を持っているか、という順序尺度に基づいて笑顔の表出強度を評価することを可能とする。これらの表情の表出強度の評価は深層学習をベースにしており、スーパーコンピュータを利用して計算を行った。

この比較に基づいた表情の評価手法は、表情画像全体を入力として、画像組に対応するラベルを出力するものであるため、筋電センサが表情画像に写り込んでいることによって、その変位も表情の評価に影響を与えてしまう可能性がある。そこで、筋電センサを貼る位置を固定し、その筋電センサ部に対してマスクをかけた表情画像群を用意することによって、表情画像の特定部位が欠損しているような表情データセットに対して表情の表出強度を評価できるようにした。

その上で、図 13 のように頬部と下顎部にセンサを貼付け、表情変化とその際の筋電位を計測した結果を分析した結果の例を図 16 に示す。それぞれの値は正規化されているため、軸の値そのものにはあまり意味は無く、また、この結果はあくまで一例ではあるが、筋電の活性と表情の変化の間には、類似した傾向があることが見える。

表情の見えとしての笑顔の強度は、筋電が活性化する際には短時間で変化するが、逆に筋電の活性が収まる方向に対しては緩やかに変化している様子も確認された。これは、表情を維持する際にはあまり筋電位を必要とせず、前時刻の表情がある程度影響を与えて今の表情が生成されていることを示唆していると考えられる。

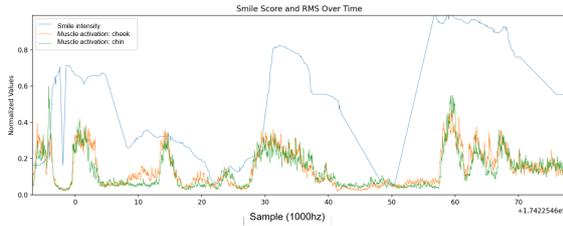


図 16 筋電位の強度と見えとしての笑顔の強度の関係

そのため、例えば元々想定していた、筋電位の値と見えをそのまま 1:1 で対応付けることは困難であり、筋電位の時系列に対して現在の表情の見えを生成する、といったことや、逆に表情画像の時系列から現在の筋電位の値を予測する、といった時系列データに対する扱いが必要となることが示唆される結果となった。

6 今年度の進捗状況と今後の展望

今年度は、申請時に設定していた計画に対しては十分な進捗を与えることは出来なかった。これは、本計画の一番の基礎となるデータ取得の箇所の際し、当初想定していたより多くの労力を要したことが大きな要因である。

また、実際にデータを取得してみて、本研究の目的に対応した精度を得つつ、かつ表情の他の部位にはほぼ影響を与えないようなセンサは実現可能性が現時点では非常に低いことがわかったことから、申請時に想定していた研究の道筋とは異なるステップを踏むことが必要となった。このため、申請書に記載した計画とは異なる角度で研究を進めており、その点では計画と対応させて定量的に進捗を評価することは困難になっている。しかしながら、設定した研究の目的に対し、着実に基盤となる技術や知見は蓄積されており、今後はデータ数を増やしてそれらの知見を確実なものにしていくとともに、前節で述べたような時系列の分析を通して表情の

見えとその背後の物理量である筋電の活性度との関係を明らかにしていく予定である。

参考文献

- [1] Wataru Sato, Takanori Kochiyama, and Sakiko Yoshikawa: Physiological correlates of subjective emotional valence and arousal dynamics while viewing films, *Biological Psychology*, 157, 107974, (2020).
- [2] Julian Ilham, Yuichi Nakamura, Takahide Ito, Kazuaki Kondo, Jun-ichiro Furukawa, Qi An, Kei Shimonishi, and Masashi Toda: Time Series Prediction of Sit-To-Stand Muscle Synergy Using Deep Learning, in Proc of *SII*, Munich, Germany, (2025)
- [3] Kei Shimonishi, Kazuaki Kondo, Hiro-tada Ueda, and Yuichi Nakamura: Ordinal Scale Evaluation of Smiling Intensity using Comparison-Based Network, in Proc. of *ML4CMH*, pp. 64–73, Vancouver, BC, Canada, (2024).