

生体感情推定手法に基づくマルチモーダルインタラクションロボット A multi-modal interaction robot based on emotion estimation method using biological signals

鈴木 薫[†]
Kaoru Suzuki

井口 拓海[†]
Takumi Iguchi

中川 友梨[†]
Yuri Nakagawa

菅谷 みどり[†]
Midori Sugaya

1. 背景

近年、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会：Society5.0[1]の可能性とその実現が模索されている。そこでは IoT、AI、ロボットなどの様々な技術やシステムが活用される。

こうしたシステムの活用の一つとして、人の心のケアを対象とした技術の活用が期待されている。現代はストレス社会と言われ、QoL(Quality of Life)の実現のためには、人の感情面をいかにケアするかが課題となっている。こうした社会的課題の解決には、IoT、AI、ロボット技術の活用による人の感情の理解、また、人の感情をケアする技術が重要になると考えられる[14]。感情理解とケアをロボットと人のインタラクションに応用することで、ロボットは人にとってより高い効果を発揮できると考えられる。

2. 課題

近年、利用者の感情推定を目的とした様々な技術が提案されている[2,3]。利用者の表情や音声から感情を推定する技術においては、画像処理や音声解析により、特定のパターンを用いることで感情推定する方法が提案されている[2,13]。しかし、画像からの感情推定では、感情が表情として表出されるか否か人により差が大きいことから、学習コストが大きい問題がある[7,8]。また、音声からの感情推定では、発話したタイミングでしか感情を推定できないという問題がある。

一方、人の生体反応を脳波や心拍などで取得することで行う感情推定手法が提案されている[3]。これは、前述の課題に対応でき、かつ利用者本人が自覚できない無意識の感情を把握できる利点がある。こうした方法を用いることにより、本人も把握できないような、より細かい感情に合わせた対応が可能になると考えられる。生体感情推定技術を利用したロボットでは、声掛けロボット[4,5]や表情ロボット[7,8]などが提案され、効果が報告されている。しかし、利用者の感情に応じて制御される対象は、現在、声かけロボットでは音声のみ、表情ロボットでは表情のみとなっており、移動や、これらの組み合わせなどを含めた複数のモダリティによる効果は、まだ明らかにされていない。

3. 目的・提案

本研究の目的は、複数のモダリティを用いたロボットによる高い感情ケアを実現し、その効果を明らかにすることである。ここで、高い感情ケアとは、本人も自覚できないような細かい感情推定を生体情報によって行い、それにより適切なケアを行うことである。このことから、本目的を達成するために、第一に、生体情報による感情推定手法を導入する。また、第二として、推定した利用者感情に応じて表情・動作・音声で応答するマルチモーダル性を実現し

たロボットの設計および実装を行う。第三に、感情ケアの評価を行う。評価においては、利用者が不快状態から快状態になっているかを検証する。

3.1 ラッセルの感情円環モデル

提案の一つ目である、生体情報による感情推定手法について述べる。生体情報による感情推定手法においては、まず、心理指標に基づく感情解釈のベースとしてラッセルの感情円環モデルを用いる[6]。ラッセルは 28 個の感情を表現する言葉（感情用語）が横軸を快-不快、縦軸を覚醒-眠気とした 2 次元平面上に円環状に分布し、相対する感情用語が原点を挟んで対極に配置されることを示した。各感情用語は快-不快軸から固有の角度を持って配置される。因みに、本モデルは数多くの文献で有効性が認められており、採用に相応しいと考えた。

3.2 生体感情推定技術

生体情報による感情推定手法では、ラッセルの感情円環モデルにある快-不快の値と覚醒-眠気の値を、脳波と心拍から直接計測した値に対応づけて感情推定を行う[3]。客観的な生理指標を感情用語に対応づけることで、意識できない感情であっても生体情報から感情を推定することができる。図 1 に、ラッセルの感情用語を日本語に訳した[15]円環モデル上での感情推定の原理を示す。観測データは図中の快-不快度と覚醒度で決まるベクトルであり、快-不快度軸からの角度 (Angle) が感情を、その長さ (Length) が当該感情の強さを与えるものとする。

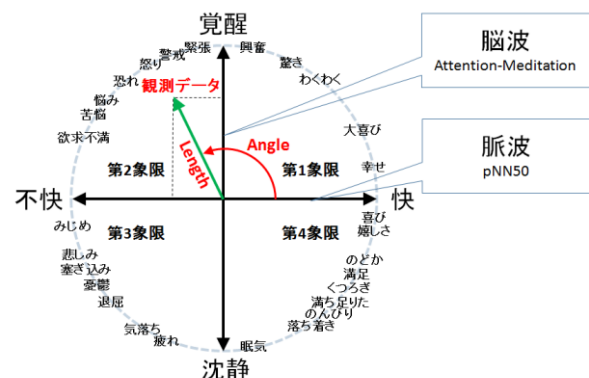


図 1 ラッセルの感情円環モデルへの当てはめ





3.3 感情推定アルゴリズム

本研究では、快-不快度と覚醒度の二次元座標上の 4 象限に感情状態を分類する。すなわち、脳波と心拍から観測データを得ると、図 1 の Angle と Length を計算し、Angle から感情状態がどの象限にあるかを求める。

ないので同調的な発話音声を出力することと定める。第 2 象限 (緊張やイライラ) と第 3 象限 (退屈や疲れ) では同調型発話、提案型発話、励まし型発話の 3 種類の音声を出力する。

複数の応答音声のある象限では 1 回につき 1 つが順番に選択される。また、応答音声は 5 秒に 1 回の感情推定値の更新時に対応するものが出力されるが、同じ感情推定値が続く場合は、うるさくならないように 2 回の更新毎に 1 回 (すなわち、10 秒に 1 回) の間引き出力を行うようにする。なお、これらの応答音声は音声合成ソフト「テキストーク」[11]を使い、OpenJTalk の女性音声 (日本語: 普通のメイ) で作成した。

表 1 感情状態別応答選択規則

象限毎の感情の解釈	表情表示	身体動作	応答音声
第1象限 (快・覚醒) 大喜び・驚き	笑顔 	前後に5cm移動を繰り返す (小躍り的な動き)	同調 : 私もハッピーです。
第2象限 (不快・覚醒) 緊張・イライラ	緊迫 	大きく速く身体を左右に揺する (緊迫した動き)	同調 : 私も緊張しています。 提案 : 深呼吸しませんか? から1つを再生
第3象限 (不快・沈静) 退屈・疲れ	くよくよ 	小さくゆっくり身体を左右に揺する (くよくよした動き)	提案 : 深呼吸しませんか? 励まし : 大丈夫ですか? 励まし : 元気出してください。 励まし : ガンバガンバ。 から1つを再生
第4象限 (快・沈静) くつろぎ・眠気	微笑 	静止 (まったりした様子)	同調 : 私もしラックスしています。

状態が続く限り以下を繰り返す

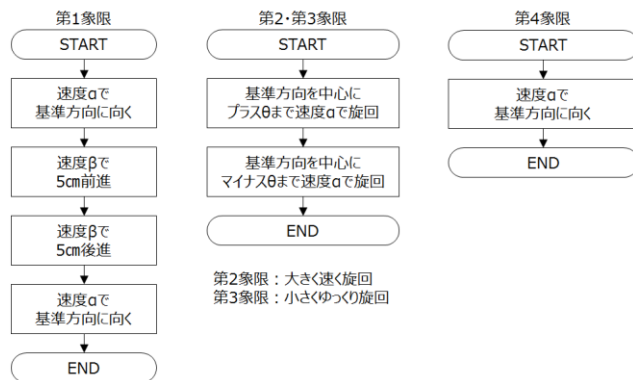


図 5 身体動作アルゴリズム

4. 評価

表情、動作、音声のシングルモーダル時と、3 つを合わせたマルチモーダル時で本システム利用者の pNN50 値を計測して比較する。

4.1 実験方法

利用者役の実験協力者に脈波センサーと脳波センサーを装着して机の上に置かれたロボットと対面してもらい、表 2 の実験 1~4 の順に pNN50 値を計測する。また、各実験終了後には協力者に非構造化インタビューを行う。

各実験において、1 分間の安静の後にロボットを起動させる。すると安静開始から約 1 分 20 秒後にロボットからの応答が開始される。実験では安静開始から応答開始までを安静期間、応答開始から 5 分間を対話期間とする。対話期間では表 1 の応答選択規則に従って実験協力者の生体データに対する応答をロボットが出力する。

実験協力者は 20 代男性 3 名 (A、B、C と呼称) で、A、B は本ロボット未体験者で、ロボットが自分の感情に反応することを知らない。また、C はマルチモーダル時の体験者だが、シングルモーダルは未体験で、ロボットが自分の感情に反応することを知っている。

表 2 実験毎のモダリティ

実験 1	表情のみのシングルモーダルで応答出力
実験 2	動作のみのシングルモーダルで応答出力
実験 3	音声のみのシングルモーダルで応答出力
実験 4	表情・動作・音声のマルチモーダルで応答出力

4.2 インタビュー結果

各実験後のインタビューによって得た協力者からのコメントの抜粋を表 3 に記載する。

表 3 インタビューで得たコメント (抜粋)

AB 共通	<ul style="list-style-type: none"> 表情のみ時、動作のみ時、その表情や動作をロボットの感情表現として受け止めた。 音声のみ時になってようやくロボットの意図が判明した。
A	<ul style="list-style-type: none"> 表情や動作だけのとき少し眠くなった。 マルチモーダル時、表情・動き・音声で「私もハッピーです」と伝えられると自分もつられて嬉しくなった。
B	<ul style="list-style-type: none"> 表情のみ時、くよくよや緊張の表情には違和感を感じた。 動作のみ時、ロボットの動きに驚いた。 音声のみ時、「元気出してください」などは感情がこもっていたと感じた。 マルチモーダル時、表情と声加わることで動きの意味がわかった。
C	<ul style="list-style-type: none"> 表情のみ時、自分の感情を表情で表しているのだと考えた。(ご存じなので) 動作のみ時、快状態しか出なかったため、感情に反応するのではなく単に前後進を繰り返すだけのプログラムかと思った。 マルチモーダル時、ロボットが机から落ちないかと心配になった。

4.3 対話期間 pNN50 平均値の実験間比較と考察

図 6 に各実験時の安静期間と対話期間における pNN50 平均値を実験協力者別に示す。

この図から、pNN50 の対話期間平均値は、実験協力者 A と B では動作のみが最も低く、次いで表情のみ、マルチモーダル、音声のみの順に高くなった。一方、C では表情のみが最も低く、次いで動作のみと音声のみが同程度、そしてマルチモーダルが最も高くなった。全くの未体験者とマルチモーダル体験者では反応が異なるようで、まだ断言できる段階ではないが、慣れてくるとマルチモーダルが最も効果が高いのかもしれない。

音声のみとマルチモーダルの比較では、両側・対応あり・有意水準 5% の t 検定で A では有意に音声のみ時が高く、C では有意にマルチモーダル時が高かった。また B で

は有意差がなかった。この結果から音声のみとマルチモーダルの優劣を決めるのは難しい。

4.4 pNN50 平均値の安静時/対話時比較と考察

また、図 6 から、表情のみと動作のみでは、安静期間から対話期間に移行すると全員で pNN50 平均値が下がった。pNN50 の上昇はリラックス状態への、下降は緊張状態への移行と解釈できるので、表情のみや動作のみでは協力者が緊張状態になったことを示している。インタビューから AB とも表情のみと動作のみではロボットの意図を把握できなかったことが判る。よって、この緊張状態は人がロボットの意図を理解しようと考えたり、ロボットとの関係性が判らなくて不満や退屈が生じたためではないかと考えられる。

一方、音声のみとマルチモーダルでは安静期間から対話期間に移行すると全員で pNN50 平均値が上昇している。応答に音声を含めることで意図や関係性が明確になり、緊張が解けたものと考えられる。

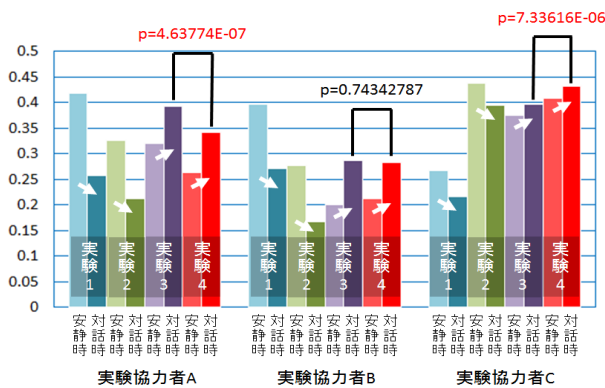


図 6 pNN50 平均値の安静期間/対話期間比較

4.5 提案型発話「深呼吸」の効果検証

音声のみ時やマルチモーダル時に、ロボットからの「深呼吸しませんか?」という提案音声によって協力者が深呼吸を行うと、全てのケースで pNN50 が上昇した。図 7 に実験協力者 A のマルチモーダル時に観測された pNN50 の時系列グラフを示す。図中の赤線の時刻にロボットから提案があり、A がそれに従って深呼吸を行ったところ pNN50 値が上昇した様子が確認できる。因みに、この例では対話期間中に深呼吸を促したのはこの 1 回だけである。

今実験では「深呼吸」のみを加えたが、他にも感情に作用する利用者行動があればロボットからの提案に加えることができる。



図 7 実験協力者 A のマルチモーダル時の pNN50 推移

5. おわりに

本稿では、利用者の生体情報からその感情状態をリアルタイムに推定し、当該感情状態をケアするための応答を表

情、動作、音声によって提示するマルチモーダルロボットを試作・評価した結果について報告した。

快-不快度と覚醒度の 2 軸の二次元座標で 4 象限に感情状態を分類し、システムのミッションを、利用者感情の不快状態から快状態への遷移（あるいは快状態の維持）と定め、そのための応答選択規則を象限別に設定し、その規則に従った応答をモダリティ毎に提示して比較した。このとき快状態の指標として pNN50 の期間平均値を使い、応答選択規則の有効性とモダリティの特性を評価した。

3 名の協力者に対する実験の結果、音声を含めた応答出力の有効性が認められた。また、音声のみとマルチモーダルの優劣はつけられなかった。応答選択規則については、深呼吸を促す提案音声の有効性を確認した。

今後の課題としては、実験協力者の数を増やすとともに、pNN50 以外のパラメータを加えた時系列での分析を進め、応答選択規則の詳しい評価を行うことが挙げられる。

謝辞

なお、本研究は JST、CREST、JPMJCR19K1 の支援を受けて実施したものである。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 内閣府, “Society 5.0 「科学技術イノベーションが拓く新たな社会」 説明資料”, https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/society5_0.pdf
- [2] オムロン, “OKAO Vision”, <https://components.omron.com/jp-ja/products/sensors/human-image-solution/software-library/software-library>
- [3] Yuhei Ikeda, Ryota Horie and Midori Sugaya, “Estimate Emotion with Biological Information for Robot Interaction”, KES-2017, Vol.112, pp.1589-1600. (2017)
- [4] Teppei Ito, Reiji Yoshida, Yoshito Tobe and Midori Sugaya, “Supportive Voice-Casting Robots using Bio-Estimated Emotion for Rehabilitation”, Intelligent Environments 2019. (2019)
- [5] Kodai Matsumoto, Reiji Yoshida, Feng Chen and Midori Sugaya, “Emotion Aware Voice-Casting Robot for Rehabilitation Evaluated with Bio-signal Index”, Human Computer Interaction International 2019 (HCI 2019), LNCS. (2019)
- [6] James A. Russell, “A Circumplex Model of Affect”, Journal of Personality and Social Psychology, Vol.39, No.6, pp.1161-1178. (1980)
- [7] Peeraya Sripiyan, Muhammad Nur Adilin Mohd Anuardi, Yushun Kajihara and Midori Sugaya, “Empathetic robot evaluation through emotion estimation analysis and facial expression synchronization from biological information”, Artificial Life and Robotics 26.4, pp. 379-389. (2021), <https://doi.org/10.1007/s10015-021-00696-w>
- [8] Peeraya Sripiyan, Muhammad Nur Adilin Mohd Anuardi, Yushun Kajihara, and Midori Sugaya, “Empathetic Robot Evaluation through Emotion Estimation Analysis & Facial Expression Synchronization from Biological Information”, Artificial Life and Robotics, 2021. (2021)
- [9] “Pulse Sensor”, <https://pulsesensor.com/>
- [10] NeuroSky, “MindWave™ Mobile2”, <https://www.neurosky.jp/mindwave-mobile2/>
- [11] ちょぶり, “テキストトーク”, <https://gui.jp.net/textalk/>
- [12] Michael Trimmel, “Relationship of Heart Rate Variability (HRV) Parameters Including pNNxx With the Subjective Experience of Stress, Depression, Well-Being, and Every-Day Trait Moods (TRIM-T): A Pilot Study”, The Ergonomics Open Journal, 2015, 8: pp.32-37. (2015), <https://benthamopen.com/ABSTRACT/TOERGJ-8-32>
- [13] User Local, “音声の感情を認識”, <https://emotion-voice-ai.userlocal.jp/>
- [14] Takanori Shibata and Joseph F. Coughlin, “Trends of Robot Therapy with Neurological Therapeutic Seal Robot, PARO”, Journal of Robotics and Mechatronics Vol.26 No. (2014)
- [15] 感情はどのように分類できるか <https://note.com/celestia1212/n/n169242440f5c>