

コンテンツ鑑賞時ユーザに対するロボットの生理的 働きかけによる感情増幅と親近感への影響

Enhancing Users' Emotion and Impression of Closeness by Physiological Approach of Robot in Indirect Communication

吉田 直人^{1,3*} 米澤 朋子²
Naoto Yoshida^{1,3} Tomoko Yonezawa²

¹ 関西大学大学院総合情報学研究科

¹ Kansai university graduate school of informatics

² 関西大学総合情報学部

² Kansai university faculty of informatics

³ 日本学術振興会特別研究員

³ JSPS Research fellowships for young scientists

Abstract: In this paper, we discuss indirect communication between human and a robot through physiological phenomena, which consist of breathing, heartbeats and the body temperature, and which express robot's emotion. We set a situation with joint attention between the robot and user to an emotional contents, and evaluated whether both the user's emotional response to the content and the user's impression on relationship between the user and the robot were changed by the physiological expressions of the robot. The results suggest that the physiological expression of the robot would make the user's own emotion in the experience more excited or suppressed, and that the robot's expression would increase impressions of closeness and sensitivity.

1 はじめに

近年、産業・商業用ロボットだけでなく、家庭向けのペットロボット [1, 2] や、医療・福祉における日常的なコミュニケーションを目的としたもの [3, 4] など様々なロボットが開発され、ロボットが我々の身近な存在になりつつある。

このように長期間に渡って日常的に人間とロボットが共に活動する状況が想定されるにつれて、いかに人間とロボットが親密な関係を構築するかについての議論が活発に行われるようになった。その中で、人間とロボットの親密な関係構築のファクタとして「共感」が注目されている。人間とのコミュニケーションを目的としたロボットの多くは、体の動きや音声、表情など様々な表現モダリティを用いて感情表現を行うことが可能になっている。そのため、人間とロボットの共感とは、主にロボットがこれら様々な表現モダリティを介し、ユーザに対して同調的な感情を表現することにより実現されている [5, 4]。これらの効果としては、ユー

ザのロボットに対する印象の向上だけでなく、コミュニケーション時のユーザの感情にも影響を与える可能性が示されている [6, 7]。

我々はこれまでの取り組みでは、ロボットの内部状態の不随意的な表現モダリティとしての呼吸や心拍、体温などの「生理現象」による感情表現に着目し、ロボットの生理現象の状態を変化させることで異なる感情を表現できる可能性を示した [8, 9]。このことから、ロボットの生理現象による感情表現によっても、人間とロボットの共感を生み出す可能性が考えられる。ただし、ロボットの生理現象による感情表現を用いたユーザとの共感について検討する際に、生理現象による感情表現の特徴や利点について考慮する必要がある。

まず、これまでに試みられてきたロボットの身体動作や表情、あるいは音声による感情表現は、ユーザに視覚的/聴覚的に知覚される。一方、生理現象による感情表現は視覚や聴覚に比べ、触覚によって感情を推測することができるメディアであると考えられる。そのため、ユーザにロボットの感情を伝えるためには必然的にユーザとロボットが接触あるいは密着した状態である必要がある。

*連絡先： 関西大学大学院総合情報学研究科
大阪府高槻市豊仙寺町 2-1-1
E-mail: k463362@kansai-u.ac.jp

次に、身体動作や表情、音声は、相手に感情を伝達するための表現手段として随意的に行われるものであるが、生理現象は感情の表象に先立って生じる不随意的現象 [8] であるため、ロボットとの無意識的な共感を生み出しユーザ自身の感情や相手の印象に対するゆるやかな変化を与える可能性も考えられる。

加えて、生理現象を介した感情表現やそれに基づく共感の利点として、視覚や聴覚ではなく触覚を介してユーザに伝達されるため、ユーザのタスクを妨害する可能性が低いと考えられる。例えば、映画を見たり電話をしたりするなど他のタスクや対象に集中している際にも、ロボットが共感的な働きかけを行うことは可能である。これにより、ユーザがロボットとの1対1のコミュニケーションに集中していなくとも、ユーザの主観的体験への印象に影響を与えたり、ロボットに対する印象の向上に期待できる。

そこで、以下のような状況を間接的コミュニケーションと定義し、生理現象を介したロボットの感情表現による共感およびロボットへの印象について評価することとする。

- ユーザがロボットではない第3者あるいは他の事象/オブジェクトに注意を向けている。
- ロボットが触覚を介してユーザに働きかける

間接的コミュニケーションによるユーザとの共感や感情の喚起が可能であれば、ロボットとの会話や触る・撫でる・握るなどの触覚インタラクション [10, 11] と併用することによって、寝たきり高齢者や患者に対する感情に働きかけるメンタルケア [12, 13] やロボットセラピー [4] を、ロボットへの飽きを生じさせることなく長期間に渡って行えるようになることが期待される。

本稿では、ユーザとロボットの間接的コミュニケーションが、(1) ユーザとロボットの関係にどのような影響を与えるか、また、(2) ユーザの主観的体験に対してユーザ自身が抱く感情がどのように変化するか検証する。また、本稿では検証結果およびそれらの考察から、不随意表現としての生理現象を介した間接的コミュニケーションにおいてによるロボットに対する印象/関係の変化、主観的体験時の印象変化のメカニズムについて、関連研究および我々のこれまでの研究 [8, 9] において提案した生理現象による感情の知覚モデルに基づいて仮説を立て議論する。

2 ロボットとの共感および共感による印象変化に関する関連研究

まず、人間に共感を引き起こすロボットに関する関連研究について述べる。

Kwakら [14] の研究では、ロボットの身体性が共感を与えるのに重要な要素であるとしており、Riekら [15] は人間に近い見た目を持つロボットのほうが共感を与えやすいことを示すなど、視覚的なロボット外見が共感を生み出す要素であるとしている。また、共感には身体動作や表情、発話行動やその内容が重要であることも示されている。一方で、実空間に身体を持たないバーチャルエージェントであっても、ゲームなどのタスクを一緒に行い、その中で同調的な様子を見せることによって、共感の感覚を高めることができる可能性も示されている [16]。

Yamanoら [17] は、ロボットのユーザに同調的な表情の変化によって、インタラクション時間が増加するだけでなく、ロボットに対する親しみなどのポジティブな印象が増加することを示した。また、Kandaら [5] は、物理的な身体を持つロボットのほうが多くの表現モダリティを活用できる点で円滑な対話に適しているとした上で、視線や表情に加えて、うなずきや顔や身体各部の動作を用いた協調的身体動作を実現した。さらに、Matsumotoら [6, 18] は、身体動作によって感情を表すロボットを使用し、ユーザがこのロボットと一緒に映像を見た時、ロボットの身体動作が映像に対する印象に影響を与えることを示した。この検証は、映像からユーザが受ける感情とロボットの表現する感情が一致することで共感を生み、ロボットだけでなく他の事象に対する印象にも影響を与える可能性を示している。

これらは、主に視覚/聴覚情報によってユーザに働きかけるものである。対して、本研究では触覚を介したユーザへの働きかけによって、ユーザとロボットの共感を生み出すことを目指している。なお、本検証においては、外見によって高度な会話や身体動作ができるという印象、あるいは機械的な印象を避けるため、人間の見た目に近いアンドロイドや、ヒューマノイド、掃除ロボットなどの外観を避け、動物的であり機械的な印象を与えないぬいぐるみロボットを選択した。

ロボットとの接触を介したコミュニケーションによる影響として次の研究を挙げる。Yohananら [19, 20] は、ユーザのロボットへの触れ方に合わせたロボットの擬似的な呼吸を含む感情行動が実験中のユーザの感情に影響を与えることを示した。この研究は、ユーザが直接ロボットに働きかけ、ロボットによるフィードバックを接触を介して感じることで、ユーザの感情を変化させる可能性を示している。

本研究は、ユーザがロボット以外に注意を向けた状態の間接的コミュニケーションにおいて、ロボットからの働きかけによってユーザの感情とロボットへの印象を変化させようという試みである。



図 1: ぬいぐるみロボットの外観

3 検証

3.1 生理現象表現ロボット

検証では、我々がこれまでに提案 [8, 9] した、擬似的な呼吸・心拍・体温の各表現機構を内蔵したぬいぐるみロボットを用いる。ここでは、実験に用いるシステムについて簡潔に述べる。

まず、ロボットの外観を図 1 に示す。実験では、実験参加者がロボットを膝の上に座らせ、両手で抱きながら映像が表示される画面を見ることを想定し、ロボットは一般的な小型犬に近い体長約 55cm、重さ約 2.0kg とした。外装は市販のぬいぐるみを用いて作成した。

次にロボットに内蔵される生理現象表出機構について述べる。生理現象表出機構は、呼吸・心拍・体温の 3 つ表出デバイスで構成され、呼吸数・心拍数・体温は、ロボットの感情における覚醒度パラメータの値により制御する。覚醒度パラメータとそれに基づく生理現象の変化は、自律神経の活動と感情への作用から決定したモデル [8, 9] に基づき決定した。覚醒度パラメータは 0 から 100 の間で設定することができ、覚醒度パラメータが 0 あるいは 100 の時、呼吸数・心拍数・体温が下限値・上限値になるようマッピングされる。

呼吸は腹部の膨張・収縮と口からの空気の排出の組み合わせにより表現する。呼吸数の下限値は 10 回/分、上限値は 20 回/分である。

心拍は振動モータにより表現する。一回の鼓動における振動モータの駆動時間は 50 ミリ秒であるが、慣性回転により振動時間の合計は約 150 ミリ秒である。心拍数はモータの振動から振動までの感覚を変化させることで可変し、下限値は 60 回/分、上限値は 75 回/分である。

体温は外装の布内部のフィルムヒータで表現し、下限値は 35℃、上限値は 40℃ である。

3.2 実験 1: 共感によるロボットの印象変化

3.2.1 実験概要

実験目的 本実験の目的は、ユーザがロボットを抱いて映像を鑑賞する際、(1) ロボットの生理現象による感情表現がロボットに対するどのような印象に影響を与え、(2) それらの印象がどう変化するか明らかにすることである。

本実験では、ロボットの印象を感情や人格などの複数の形容詞対による SD 法を用いて評価し、因子分析により分析することで (1) を明らかにし、因子ごとに生理現象表現のある場合と無い場合を比較することで (2) を明らかにする。

実験条件 映像に合わせ、感情の覚醒度に対応した生理現象表現を行うロボット条件 (WP 条件) と生理現象表現を行わないロボット条件 (NP 条件) の 1 要因 2 条件の被験者内実験計画である。

実験素材 WP 条件では、映像の覚醒度に合わせてロボットの生理現象を変化させる。このため、ラッセルの感情円環モデル [21] における覚醒度の高い感情の中から、「恐怖」と「感動」の要素を含む映像を各 1 種類ずつ選定した。映像はいずれもアニメーションであり、各要素を含む 5 分間を抽出して用いた。映像の覚醒度は、実験協力者 1 名が 2 種類の映像を視聴し、0~100 の 101 段階でラベリングした。これを覚醒度パラメータとしてロボットを制御する。各映像のシーンの流れと覚醒度パラメータの推移を図 2 に示す。2 種類の映像の順序および実験条件は被験者間で順序交差を考慮した。

色の異なるリボンをロボットに取り付け、試行毎に取り替えることで、異なるロボットであるとした。また色による影響を考慮し、リボンの色は条件間で順序交差を行った。

実験素材 19 歳から 24 歳の 25 名 (男性 14 名、女性 11 名) で行った。

実験手続き 実験環境の写真を図 3 に示す。実験参加者は、実験刺激の提示モニタ (24 インチ) の前に着席し、実験に関する説明を受ける。

実験内容については「ロボットに関する評価」であると事前に説明を行う。次に、ロボットの持ち方について説明し、「ロボットの腹部に両手のひらを乗せるようにして抱く」ように説明したのち、実際に実験参加者がロボットを抱き、実験協力者が抱き方を確認する。また、「実験中はロボットから手を話さない」よう指示する。実験参加者からロボットを回収した後、「実験で

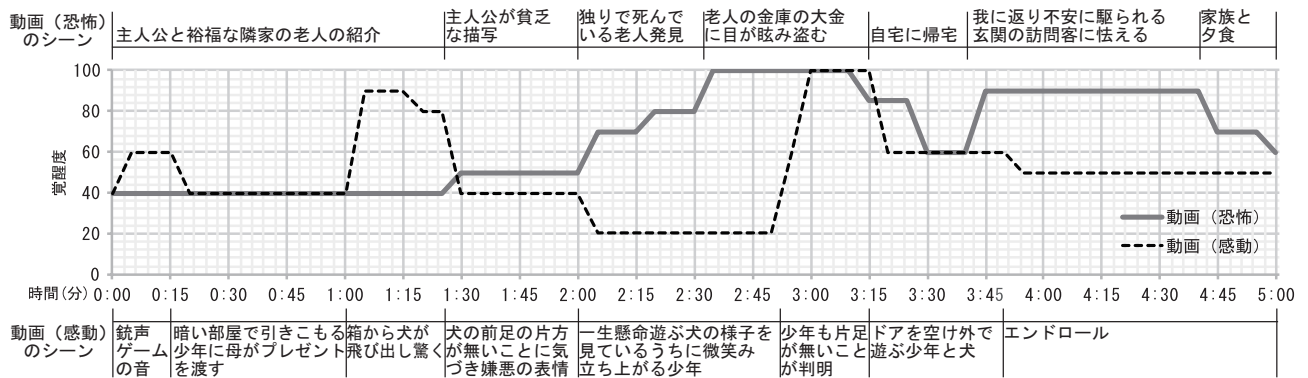


図 2: 映像のシーンの流れと覚醒度パラメータの推移



図 3: 実験環境

は 2 体のロボットを使用し、2 体のロボットはそれぞれ異なるロボットである」と教示する。

試行前に実験協力が者がロボットにリボンを取り付け実験参加者に渡す。実験参加者がロボットを抱きかかえたのを確認した後、5 分間の映像を提示する。映像終了後、実験協力が者がロボットを回収し、アンケートに回答するように指示する。これを 2 回繰り返す。

評価項目 「このロボットに対して抱く印象に当てはまる度合いを選択」するように指示した上で、表 1 の左列に示される形容詞対 29 対を用いた SD 法によってロボットの印象を評価した。

3.2.2 因子分析

評価に基づく因子の抽出 得られた印象評価データを用いて、因子分析を行った。はじめに共通性の初期値を 1 とし、反復主因子法により因子を抽出した。スクリープロット(図 4) 後続因子との固有値の差に基づいて 2 因子解を適当と判断した。再度 2 因子解を仮定し

固有値スクリープロット

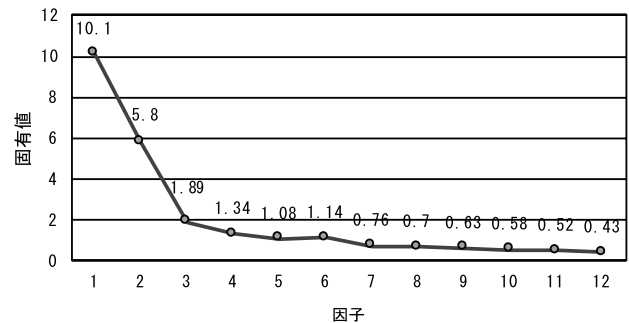


図 4: 固有値およびスクリープロット

た反復主因子法を実行した結果、累積寄与率は 57.9% となった。バリマックス回転後の各項目の因子負荷量を表 1 に示す。因子負荷量の絶対値 0.60 以上を示した項目(表 1 に太字および下線で表示)の内容を参考に各因子を解釈した。

まず因子 1 については「堅苦しい-打ち解けた」、「近づきたい-近づきやすい」、「親しみやすい-親しみにくい」、「退屈な-興味深い」などの実験参加者とロボットの関係を直接的に示すような形容対と、「冷たい-暖かい」、「暗い-明るい」、「空虚な-充実した」、「憎たらしい-可愛らしい」などの実験参加者とロボットの関係性の良し悪しを感情的に示す形容詞対において負荷量が高かった。このことから、因子 1 はロボットとの関係性に基づく実験参加者の感情であると解釈し、「感情的インティマシー」因子と名付けた。

因子 2 については「おだやかな-げいしい」、「のろい-すばやい」、「鈍感な-敏感な」、「消極的な-積極的な」などロボットの感情の変容を表す形容詞対における負荷量が高かった。このことから、因子 2 は状況の変化に対応したロボットの感情変化の様子とそれに関わる性格を表していると解釈し「感情感性」因子と名付

表 1: 回転後の因子負荷量および因子得点係数

形容詞対	因子負荷量		因子得点係数	
	因子 1	因子 2	因子 1	因子 2
こわい-やさしい	0.754	0.032	0.081	-0.021
感じの悪い-感じの良い	0.881	-0.059	0.098	-0.039
親しみやすい-親みにくい	0.778	0.083	0.082	-0.014
危険な-安全な	0.619	-0.442	0.083	-0.089
冷たい-暖かい	0.690	0.436	0.061	0.044
憎たらしい-可愛らしい	0.830	-0.016	0.091	-0.031
堅苦しい-打ち解けた	0.805	0.198	0.081	0.003
分かりにくい-分かりやすい	0.481	0.387	0.039	0.043
近づきたい-近づきやすい	0.744	0.004	0.081	-0.025
暗い-明るい	0.793	0.313	0.076	0.021
わがままな-おもいやりのある	0.634	0.023	0.069	-0.018
機械的な-人間的な	0.381	0.331	0.030	0.038
空虚な-充実した	0.557	0.521	0.043	0.061
つまらない-面白い	0.489	0.676	0.030	0.087
不愉快な-愉快的な	0.795	0.104	0.083	-0.011
嫌いな-好きな	0.804	-0.067	0.090	-0.038
退屈な-興味深い	0.514	0.658	0.034	0.084
悪い-良い	0.841	0.115	0.088	-0.011
単純な-複雑な	0.000	0.685	-0.023	0.105
おそい-はやい	-0.055	0.773	-0.032	0.121
のろい-すばやい	-0.071	0.896	-0.038	0.140
おだやかな-激しい	-0.444	0.673	-0.072	0.119
消極的な-積極的な	0.156	0.769	-0.009	0.113
弱気な-強気な	0.028	0.516	-0.015	0.078
地味な-派手な	0.265	0.556	0.010	0.076
陰気な-陽気な	0.749	0.318	0.071	0.023
鈍感な-敏感な	0.033	0.785	-0.023	0.120
愚かな-賢い	0.218	0.588	0.004	0.083
弱い-強い	0.050	0.670	-0.017	0.101

けた。

次に、検証の結果を参考に、実験参加者がロボットに対して抱く印象に関わる各因子が、実験要因の操作によるものであるか、またどのように変化するか分析する。検証結果により現れた2つの因子をもとに、次の2つの仮説を設定した。

- H1 ユーザが映像を見ながらロボットの生理現象の変化を感じ取ることが、ユーザとロボットの関係性に関わる良い印象を与える。
- H2 ユーザが映像を見ながらロボットの生理現象の変化を感じ取ることが、ロボットが感情に対し敏感である印象を与える。

因子に基づく実験条件間比較 実験条件間での印象の比較を行うため、標準因子得点を求める。因子得点は、標準得点係数を用いて、標準得点係数とは回転後の因子の得点を求めるための係数で、分散が1になるように標準化されたものを指す。このように、2因子の因子得点を「感情的親密性因子得点」、「感情感性因子得

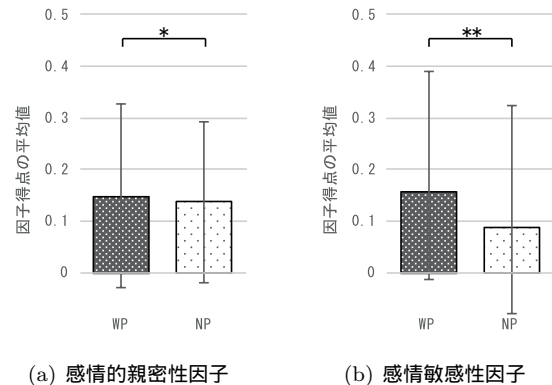


図 5: 因子ごとの実験条件間比較結果

点」とし、実験条件における印象の比較対象として利用する。

図5に各因子についての実験条件(WP/NP)ごとに被験者が受けた印象についての因子得点の平均値と標準偏差、および条件間の有意差を示す。t検定の結果、WP/NP条件間で感情的親密性得点の差が有意(* $p < .05$)であり、感情感性得点得点の差についても有意(** $p < .01$)であった。このことから、仮説H1、H2はともに支持されたと考えられる。

3.2.3 共感によるロボットの印象変化に関する考察

因子分析の結果抽出された「感情的親密性」および「感情感性」の2因子について、映像に合わせて生理現象を変化させて感情を表現するロボットを抱く場合と、生理現象を持たないロボットを抱く場合とを比較した実験結果に基づき、生理現象がロボットの印象に与える影響について考察する。

まず、「感情的親密性」因子に関しては、映像の視聴を行いながらロボットの生理現象を感じることが、ユーザが抱くロボットとの関係に対する印象と、その関係に対するユーザの感じ方に影響を与えることを示唆している。これらは、ユーザとロボットの関係構築に関わる重要な要素であると考えられる。そして、生理現象による感情表現の有無の比較では、生理現象による感情表現を有するロボットに対して、それらの印象が向上することが示された。

次に、「感情感性」因子に関しては、映像を見ながらロボットの生理現象を感じ、そのロボットの内部状態がどのような状態であるかを推測することが、映像に対するロボットの敏感さや、ロボットの感情が表れる様子に対する印象に影響を与える可能性が考えられる。これは、生理現象が内部状態と密接に関わっており、表出される現象としては単なる生理的变化であっ

てもロボットの性格を表す要素のひとつになる可能性を示唆している。

これらの考察から，映像を視聴する際に，ユーザがロボットを抱いてロボットの生理現象の変化を感じ取ることによって，ロボットとの親密な関係構築を促し，ロボット感情変化の敏感さを感じさせる可能性が示された。

ただし，本稿での検証にあたって限定した条件において，今後より詳細な検証が必要である。例えば，本検証では共体験として映像の視聴というシーンを取り上げたが，食事や就寝などユーザの感情変化が少ないシーンでは，ロボットの生理現象を用いた感情表現の影響が異なる可能性もある。その他に，本検証では映像に合わせた感情変化として覚醒度を取り上げ，ロボットの生理現象を変化させたが，快-不快のパラメータを取り入れることで喜びや悲しみなどの感情変化の影響も考慮することができる。また，ロボットの感情表現が映像に合っていない場合や，変化が無い場合に親密な印象や積極的な印象が低下する可能性についても検討する必要があると考える。

3.3 実験 2: 間接的コミュニケーションによる主観的体験の印象変化

3.3.1 実験概要

実験目的 ユーザがロボット以外のコンテンツ(写真)に注目している時に，ロボットの生理現象による感情表現を触覚で感じ取ることによって，コンテンツに対する主観的な感情評価にどのような影響を与えるか検証する。

実験参加者 19歳から24歳の47名(男性27名，女性20名)で行った。

実験仮説 以下の仮説を設定した。

- 覚醒度の高いロボットの生理現象は，ユーザの写真に対する覚醒度を高める。
- 覚醒度の低いロボットの生理現象は，ユーザの写真に対する覚醒度を抑制する。

実験条件 本実験は，要因 A：ロボットの生理現象による感情表現(3水準)，要因 B：写真感情タイプ(4水準)の2要因12条件の被験者間実験計画である。各要因の条件は以下の通りである。

要因 A: 生理現象による感情表現 [a1: 写真の感情と対照的な生理表現, a2: 写真の感情に合わせた生理表現, a3: ベースライン(生理表現なし, 写真の印象のみ評価)]

表 2: IAPS 感情レーティングに基づく各写真カテゴリ感情値の平均および分散

	Low Valence		High Valence		High Valence		Low Valence	
	High Arousal		Low Arousal		High Arousal		Low Arousal	
	Valence	Arousal	Valence	Arousal	Valence	Arousal	Valence	Arousal
Mean	2.617	6.236	7.276	3.550	7.439	6.240	3.249	3.872
SD	0.405	0.245	0.418	0.360	0.355	0.434	0.506	0.159

要因 B: 写真感情カテゴリ (b1: 高覚醒度-快, b2: 低覚醒度-快, b3: 高覚醒度-不快, b4: 低覚醒度-不快) 1条件につき3試行を行い，合計36試行の提示順序は全被験者間で順序交差を考慮して決定した。

実験刺激 実験で提示する写真には，覚醒度および感情価(快-不快度)が数値化された International Affective Picture System (IAPS) [22] を用いた。

合計1,182枚の写真から，覚醒度(高-低)，感情価(快-不快)の上位および下位25%を抽出し，ラッセルの感情円環モデルに基づく4種類のカテゴリ(高覚醒度-快, 低覚醒度-快, 高覚醒度-不快, 低覚醒度-不快)に分類した。分類した写真の中から，実験参加者への倫理的配慮の観点から不適当な写真を除外した9枚を選択した。ただし，低覚醒度-快のカテゴリに該当する写真が不足したため，当該カテゴリについては，再度覚醒度および感情価(快-不快)の上位または下位30%を対象に9枚の写真を抽出・選択した。表2にIAPSのレーティングに基づく各カテゴリの写真の覚醒度(高-低)および感情価(快-不快)の平均および標準偏差を示す。

実験環境および実験手続き 図6に実験環境を示す。実験参加者はこの実験が写真の感情を評価する実験であるとあらかじめ教示を受ける。その後，実験協力者がロボットを抱き方を説明し，抱き方について確認する。実験参加者はロボットを受け取ったのち，画面の写真に注目するよう指示される。写真は5秒間のブランク画面(何も表示しない)の後に，10秒間提示される。ロボットの生理現象は，写真が提示された0.5秒後に変化する。10秒間の写真の提示後，ブランク画面に戻った後に，実験協力者が実験参加者からロボットを受け取り，質問紙に回答するよう指示する。実験参加者がロボットを受け取ってから，質問紙への回答が終わるまでを1試行とし，これを全ての試行が終了するまで繰り返す。

評価項目 実験参加者は写真の印象についてリッカート尺度に基づく5段階で評価する。評価項目はラッセルの円環モデルの2軸に対応する以下の覚醒度と快-不快の2問で構成される。



図 6: 実験環境 (実験 2)

表 3: 実験 2 の結果における平均と分散

		A1				A2				A3			
		B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4
Valence (Q1)	mean	3.038	3.083	3.053	3.068	2.894	3.106	3.152	2.970	3.114	2.924	3.053	3.098
	SD	1.190	1.162	1.251	1.169	1.287	1.130	1.228	1.218	1.152	1.172	1.214	1.173
Arousal (Q2)	mean	2.947	3.364	3.212	3.258	3.364	3.386	3.045	3.174	3.212	3.023	3.197	3.167
	SD	1.170	1.032	1.108	1.172	1.094	1.071	1.167	1.158	1.060	1.228	1.090	1.207

Q1 写真からどの程度快い印象を感じましたか？ (1: 非常に不快, 5: 非常に快い)

Q2 写真からどの程度覚醒の印象を感じましたか？ (1: 非常に落ち着いた, 5: 非常に興奮した)

3.3.2 実験結果

表 3 および表 4 に 2 要因分散分析を行った結果の平均および標準偏差および有意差 (有意水準: $* p < .05$) を示す

質問項目 Q1 (快-不快) ではいずれの要因に関しても有意差は見られなかった。質問項目 Q2 (覚醒度) に関しては、要因 AB 間に交互作用が見られた。要因 A の単純主効果における多重比較の結果、b1 (写真が高覚醒度-快) の時、a2 (写真の感情に合わせた生理表現) のほうが、a1 (写真の感情と対照的な生理表現) の場合より覚醒度が有意に高く評価された。また、b2 (写真が低覚醒度-快) の時、a1 (写真の感情と対照的な生理表現) と a2 (写真の感情に合わせた生理表現) は、いずれも a3 (ベースライン) より有意に高く評価された。b3 および b4 (快-不快度が不快の場合) においては、覚醒度の評価に関する有意差は見られなかった。

表 4: 実験 2 の分散分析結果および交互作用

	A		B		AB		Interactions
	F	p	F	p	F	p	
Valence (Q1)	0.07	0.932	0.299	0.826	0.816	0.557	-
Arousal (Q2)	0.671	0.512	1.111	0.344	2.482	0.022*	A1(B2-B1), B1(A2-A1), B2(A3-A2, A1)

3.3.3 生理的感情表現による主観的体験の印象変化の考察

ロボットの生理現象による感情表現が、写真を見た時のユーザの主観的体験にどのように影響を与えたかを考察する。

まず、ユーザの主観的体験における覚醒度への影響について考察する。評価項目 Q2 では、写真の示す感情が快の方向を示す時に、ロボットの生理現象はユーザの体験における覚醒度に影響を与える可能性が示唆された。対して、本検証の結果からは、写真が不快な感情を示している場合においてはロボットの生理現象による感情表現の影響は見られなかった。この原因として、2つの可能性を挙げる。まず、写真の選定において実験参加者への倫理的配慮から刺激が強いと思われる写真を排除した結果、写真の刺激における覚醒度の違いが小さくなった可能性がある。これに関しては、映像素材を用いるなどして刺激の提示時間を長くして検証をする余地が考えられる。次に、不快における感情要素が多く、評価のばらつきが大きくなった可能性がある。例えば、ラッセルの円環モデルにおいては恐怖や怒りは同じ象限に分類されるが、一方で覚醒度、快-不快に加え、ドミナンスの軸を加えることによるこれら感情の分類 [23] も提案されている。このため不快にマッピングされる特定の感情を抽出した上で比較を行う必要がある。

次に、ユーザの主観的体験における快-不快感情への影響について考察する。検証結果からは、ロボットの生理現象がユーザの体験における快-不快感情に影響を与える可能性については示されなかった。これについては、本研究における自律神経反応に基づく生理表現を行うロボットでは、快-不快感情に対する変化が示されないことから、妥当な結果であるといえる。ただし今後、自律神経反応だけでなく内分泌系などについても検討を行うことによって、生理現象による快-不快感情が可能になれば、ユーザの主観的体験における快-不快感情への影響について考慮する必要があると考える。

なお、本検証においては、ぬいぐるみの外観をもつロボットを用いたことで性別による違いが見られる可能性が考えられたため、実験参加者の性別を被験者間要因とした 3 要因分散分析を行った。その結果、質問項目 Q1 (快-不快の印象) において性別 (要因 C') と生理現象による感情表現 (A') の間に交互作用が見られ、ロボットが写真の感情に合わせた生理表現 (a2')

を行った場合に、女性 ($c1'$: $mean=3.26$) のほうが男性 ($c2'$: $mean=2.89$) に比べ、有意に快方向の印象を持つ ($p<.05$, $F=11.69$) ことが示されたが、写真の感情の種類 (B') への影響は見られなかった。写真の感情から受ける印象とロボットの表現 (感情の覚醒度) が一致した結果、ポジティブな印象が生じ、写真を視聴する際の感情に影響を与えた可能性が考えられる。

これらの考察から、ロボットの生理現象はポジティブで覚醒度の高いコンテンツに対して、ユーザの感情をより増幅させ、あるいは抑制させる可能性が示された。また、ポジティブで覚醒度の低いコンテンツに対しては、コンテンツの感情と生理現象の一致・不一致に関わらず、ユーザの覚醒度を高めることができる可能性が示された。

ただし、今後、快-不快の感情への影響や性別による印象の違いに関しては、詳細な検討を行う余地があると考えられる。

4 考察

4.1 ユーザとロボットの間接的コミュニケーションに関する考察

(1) ロボットに対する印象/関係の変化、(2) 主観的体験時の印象変化の2つの検証から、ユーザとロボットの生理現象を介した間接的コミュニケーションについて考察する。

まず、(1) ロボットに対する印象/関係の変化に関して、ユーザが他のタスクに集中している際にも、生理現象による働きかけを行うことは、ロボットに対する親密性の印象を高めることができることが示唆された。検証結果の注目すべき点は、間接的コミュニケーションにおける、ユーザの注意の方向、およびロボットの不随意的な表現である。

これまでの先行研究において、ユーザとロボットが1対1で直接的に対話を行う、あるいは、共同でタスクを行う中でのロボットの協調的行動が共感を生じさせることが示されているが、検証結果からは、ユーザとロボットの接触を介した間接的コミュニケーションにおいてユーザとロボットの関係構築促進が期待される。また、対話や身体動作などのロボットの随意表現ではなく、生理現象という不随意的な感情表現であってもユーザの感情に影響を与えることができることが示唆された。

次に、(2) ユーザの主観的体験時の印象変化に関して、ユーザにポジティブなコンテンツを提示しながら、ロボットの生理現象による感情表現を触覚を介して提示することによって、ユーザの体験時の感情の覚醒度

を増幅したり、抑制することが可能であることが示された。

先行研究における Matsumoto ら [6, 18] の検証では、ユーザが映像コンテンツを視聴している時のロボットの身体動作による感情表現が、快-不快、覚醒度の両軸に対するユーザの感情変化を生じさせたことが示されている。対して、生理検証による提示については、快方向のコンテンツにおいてユーザの覚醒度のみに影響し、効果は限定的だったが、今後生理現象による快-不快表現の検討に加え、静止画だけでなく動画コンテンツを用いて強い感情刺激をユーザに提示するなど検討する必要がある。

4.2 今後の展望: 間接的コミュニケーションにおける共感モデル

本検証では、ロボットの生理現象によって、ロボットへの接触を介してユーザの主観的体験時の感情に影響を与える可能性が示された。しかしながら、本稿で提案する間接的コミュニケーションにおける生理現象と、体験に対するユーザの感情変化がどのようなメカニズムによって生じたかについては明らかでない。そこで、人間とロボットの共感に関する先行研究などから、間接的コミュニケーションにおける主観的体験における感情増幅/抑制モデルを仮定し、今後の課題を述べる。

まず、共感の要素として、ミラーニューロンの働きによるもの [24] が挙げられる。例えば、ロボットの身体動作による感情表現がユーザのコンテンツに対する感情に影響を与えることを示した研究 [6, 18] においては、ユーザがロボットの身体動作を視認することによるミラーニューロンの働きを挙げている。ミラーニューロンは他者の行動の模倣だけでなく、他者の意図理解や共感に関わりがある [25] ことが示唆されている。また、他者の痛みや触覚の理解に関しても関係性 [14] が示唆されている。このことから、間接的コミュニケーションのような視覚の割合が低く触覚に依存したコミュニケーションであっても、触覚を介してロボットの生理現象を知覚し、ミラーニューロンの働きによる共感が生じた可能性も考えられる。

他方、Valins ら [26] や Ando ら [27] の研究では、心音を視覚的、聴覚的に提示することによって、自らの心拍の変化のフィードバックやそれらの虚偽情報により、ユーザの感情状態を変えることができると示されている。これらの研究からは、他者の生理現象やそれらを連想させるような外的な虚偽情報によって、生理現象との混同や錯覚のような状態を生じさせる可能性が考えられる。

また、Yohanan ら [19, 20] の検証では、ロボットとの

インタラクションを行っている時のユーザの生理状態を生理指標を用いて計測し、ロボットの緊張や弛緩の様子がユーザの生理状態を変化させること示した。同様に、呼吸や心拍などに関しては、他者のそれらの生理状態のリズムに同調する「引き込み現象」[28]が報告されている。

これまでに、我々は感情の生起と認識に関する Damasio ら [29] のモデルを参考とし、内部状態と生理現象の関係性を示す身体感情モデルを提案した [8, 9]。その中で、外界情報の知覚に伴う自律神経系や内分泌系をはじめとする生理状態に変化が生じ、その変化が生理現象や感情となって生起されると仮定した。

これらの研究から、間接的コミュニケーションにおいて、ユーザは知覚したコンテンツの内容から自らの生理的变化を生じるが、その際にロボットによる同調あるいは虚偽の生理現象を直接接触を介して知覚することで、それらの混同された状態でコンテンツに対する感情を認識するという仮説の一つとして、図7に示すモデルを仮定できる。例えば、実験1において快かつ高覚醒度の写真を提示した場合のように、ユーザとロボットが同じ生理反応を示した時には自身の生理反応とロボットの生理反応がユーザが自身の感情が増幅され、相反する反応を示した場合には生理反応が相殺されることでユーザの感情が抑制される。一方、快かつ低覚醒度の写真を提示した場合は、低覚醒度のユーザの生理反応とロボットの生理反応を合わせて知覚することで、ロボットの生理現象が無い場合よりもユーザの感情が増幅されると考えられる。今後、本モデルの検証を行うにあたって注目すべき点として、(1) ユーザがロボットおよび自身の生理現象状態の認識がどの程度意識的に行われたか、(2) ロボットの生理現象状態とユーザ自身の生理現象が区別可能か、(3) 生理指標の測定による引き込みが生じたかなどが挙げられる。加えて、(4) ロボットの存在を他者として認識していたか、あるいは、ユーザ自身の投影ととらえていたかについても検討の余地があると考えられる。

(4) について、間接的コミュニケーションにおいては、ユーザはロボットを抱いた状態で生理現象を感じるため、前述の仮説のような生理現象の混同が生じた場合には、ロボットの存在性に関して関連研究 [27] のような自他の混同が生じる可能性がある。本検証では間接的コミュニケーションにおける親密性の向上が示唆され直接的コミュニケーションのように同調的な他者として共感が発生するのか、まるで自身の投影のように精神的近さを感じる存在であるかなど、間接的コミュニケーションにおける親密性の向上メカニズムについても議論を深める必要があると考えられる。

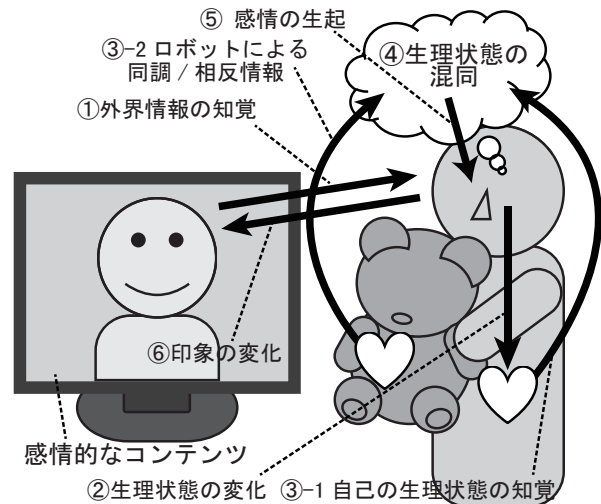


図7: 共感と主観的体験の感情変化の仮説モデル

5 おわりに

本研究では、ユーザがロボットではない第3者あるいは他の事象/オブジェクトに注意を向いている状態でロボットが触覚を介してユーザに働きかける状況を間接的コミュニケーションと定義し、間接的コミュニケーションが、(1) ユーザとロボットの関係にどのような影響を与えるか、また、(2) ユーザの主観的体験に対してユーザ自身が抱く感情がどのように変化するか検証した。

検証の結果、ロボットの呼吸・心拍・体温から成る感情表現は、コンテンツに対する特定の感情を増幅あるいは抑制し、ロボットに対する親近性や感性の印象を変化させる可能性が示された。

これにより、対話や身体動作などのロボットの随意表現ではなく、生理現象という不随意的感情表現であってもユーザの感情に影響を与えることができることが示唆されたほか、ユーザとロボットの接触を介した間接的コミュニケーションによって、ユーザがロボットと積極的に対話を行わなくとも、ユーザとロボットの関係構築促進が期待される。

今後、ユーザがどのようにロボットの生理現象を知覚し感情に変化が生じたか、間接的コミュニケーションにおけるロボットの他者性をどのように認識したかに関する詳細な検討を行うとともに、寝たきり患者や高齢者の感情喚起につながるコミュニケーション支援について検討を行う。

謝辞

本研究は科研費 25700021 , 科研費 15H01698 および特別研究員奨励費 17J00704 の助成を受け実施したものである .

参考文献

- [1] 藤田雅博ほか. 実世界に近づくインタフェース技術: Robot entertainment system aibo の開発. 情報処理, Vol. 41, No. 2, pp. 146–150, 2000.
- [2] 関口大陸, 稲見昌彦, 中野八千穂, 中野殖夫, 舘暉. 「ip ロボットフォン」の製品化. 日本ロボット学会誌, Vol. 23, No. 2, pp. 159–164, 2005.
- [3] 二宮恒樹. コミュニケーションロボット 「palro (バルロ)」の紹介とさがみロボット産業特区における取り組み. 日本ロボット学会誌, Vol. 33, No. 8, pp. 607–610, 2015.
- [4] Takanori Shibata and Kazuyoshi Wada. Robot therapy: A new approach for mental health-care of the elderly—a mini-review. *Gerontology*, Vol. 57, No. 4, pp. 378–386, 2010.
- [5] 神田崇行, 鎌島正幸, 今井倫太, 小野哲雄, 坂本大介, 石黒浩, 安西祐一郎. 人間型対話ロボットのための協調的身体動作の利用. 日本ロボット学会誌, Vol. 23, No. 7, pp. 898–909, 2005.
- [6] T. Matsumoto, S. Seko, R. Aoki, A. Miyata, T. Watanabe, and T. Yamada. Towards enhancing human experience by affective robots: Experiment and discussion. In *2015 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp. 271–276, Aug 2015.
- [7] A. M. Sabelli, T. Kanda, and N. Hagita. A conversational robot in an elderly care center: An ethnographic study. In *2011 6th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pp. 37–44, March 2011.
- [8] Naoto Yoshida and Tomoko Yonezawa. Investigating breathing expression of a stuffed-toy robot based on body-emotion model. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Human Agent Interaction*, HAI '16, pp. 139–144, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [9] Naoto Yoshida and Tomoko Yonezawa. Physiological expression of robots enhancing users' emotion in direct and indirect communication. In *Proceedings of the 5th International Conference on Human Agent Interaction*, HAI '17, pp. 505–509, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [10] Xiaoshun Meng, N. Yoshida, and T. Yonezawa. Evaluations of involuntary cross-modal expressions on the skin of a communication robot. In *2015 12th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, pp. 347–352, Oct 2015.
- [11] 米澤朋子孟曉順. 皮膚上不随意表現とハンドジェスチャによるロボット腕部マルチモーダル表現. HAI シンポジウム 2015, pp. 165–170, 2015.
- [12] David M Berger. *Clinical empathy*. Jason Aronson, 1987.
- [13] Stewart W Mercer and William J Reynolds. Empathy and quality of care. *British Journal of General Practice*, Vol. 52, No. Suppl, pp. S9–12, 2002.
- [14] S. S. Kwak, Y. Kim, E. Kim, C. Shin, and K. Cho. What makes people empathize with an emotional robot?: The impact of agency and physical embodiment on human empathy for a robot. In *2013 IEEE RO-MAN*, pp. 180–185, Aug 2013.
- [15] Laurel D. Riek, Tal-Chen Rabinowitch, Bhismadev Chakrabarti, and Peter Robinson. How anthropomorphism affects empathy toward robots. In *Proceedings of the 4th ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction*, HRI '09, pp. 245–246, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [16] Timothy Bickmore and Amanda Gruber. Relational agents in clinical psychiatry. *Harvard review of psychiatry*, Vol. 18, No. 2, pp. 119–130, 2010.
- [17] M. Hashimoto, M. Yamano, and T. Usui. Effects of emotional synchronization in human-robot kansei communications. In *RO-MAN 2009 - The 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 52–57, Sept 2009.

- [18] Takahiro Matsumoto, Shunichi Seko, Ryouyuke Aoki, Akihiro Miyata, Tomoki Watanabe, and Tomohiro Yamada. Affective agents for enhancing emotional experience. In *Proceedings of the Second International Conference on Human-agent Interaction*, HAI '14, pp. 169–172, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [19] Steve Yohanan and Karon E MacLean. The haptic creature project: Social human-robot interaction through affective touch. In *Proceedings of the AISB 2008 Symposium on the Reign of Cats and Dogs: The Second AISB Symposium on the Role of Virtual Creatures in a Computerised Society*, Vol. 1, pp. 7–11. Citeseer, 2008.
- [20] Yasaman Sefidgar, Karon MacLean, Steve Yohanan, HF Machiel Van der Loos, Elizabeth Croft, et al. Design and evaluation of a touch-centered calming interaction with a social robot. *IEEE Transactions on Affective Computing*, Vol. 1, pp. 1–1, 2015.
- [21] James A Russell. A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 39, No. 6, p. 1161, 1980.
- [22] Peter J Lang, Margaret M Bradley, and Bruce N Cuthbert. International affective picture system (iaps): Technical manual and affective ratings. *NIMH Center for the Study of Emotion and Attention*, pp. 39–58, 1997.
- [23] Harold Schlosberg. Three dimensions of emotion. *Psychological review*, Vol. 61, No. 2, p. 81, 1954.
- [24] Mirella Dapretto, Mari S Davies, Jennifer H Pfeifer, Ashley A Scott, Marian Sigman, Susan Y Bookheimer, and Marco Iacoboni. Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature neuroscience*, Vol. 9, No. 1, pp. 28–30, 2006.
- [25] Marco Iacoboni. Imitation, empathy, and mirror neurons. *Annual review of psychology*, Vol. 60, pp. 653–670, 2009.
- [26] Stuart Valins. Cognitive effects of false heart-rate feedback. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 4, No. 4, p. 400, 1966.
- [27] Hideyuki Ando, Junji Watanabe, and Masahiko Sato. Empathetic heartbeat. In *Proceedings of the 20th ACM international conference on Multimedia*, pp. 1489–1490. ACM, 2012.
- [28] 富夫渡辺, 雅史大久保. コミュニケーションにおける引き込み現象の生理的側面からの分析評価. *情報処理学会論文誌*, Vol. 39, No. 5, pp. 1225–1231, may 1998.
- [29] Antonio Damasio and Raymond J Dolan. The feeling of what happens. *Nature*, Vol. 401, No. 6756, pp. 847–847, 1999.