

生体信号を用いた「誤解のない」 オンラインコミュニケーションシステムの開発

研究代表者 木村 司 □ 大阪大学大学院人間科学研究科・講師

1 本研究の背景

情報通信技術の発展とともにオンラインによるコミュニケーションは広がり、さらに新型コロナウイルス感染拡大を受け、オンラインでの遠隔地コミュニケーションは急速に普及した（総務省（2021）情報通信白書）。特に、オンライン会議やオンライン講座などは、感染拡大が収束に向かった期間でも維持され、新たなコミュニケーション手段として確立した。

その一方、対面でのコミュニケーションに比べオンラインでは円滑なコミュニケーションへの課題が指摘されている（Suler, 2004）。特に、対話相手がどのような感情状態であるかの理解、および対話相手への自己の感情状態の伝達が困難となる（Walther et al., 2005）。このような困難は、意図せず怒りや悲しみといったネガティブな感情状態を誘発し、対話者同士の「誤解」を生じさせる可能性がある。

感情処理に関し、近年の心理学研究では感情理解、感情伝達と生体信号の周期的な変化が関連すると報告している（Quigley et al., 2021）。例えば、他者の感情状態の理解は心拍の拍動による心臓の拡張、収縮から影響を受け、心臓の拡張時に比べ収縮時に他者の表情を見るとその感情判断が正確となる（Garfinkel & Critchley, 2016）。

本研究調査ではこれらの困難、問題に対し生体信号を用いることで感情状態の理解とその伝達時に「誤解のない」オンラインコミュニケーションシステムを開発する。具体的には、心拍の拍動に伴う心臓の拡張、収縮のタイミング（拡張期、収縮期）をリアルタイムで検出し、感情処理の感度が正確となる心臓の収縮期に対話相手との情報伝達を行うシステムを構築し、その評価実験を実施する。また、本研究で得られた知見をもとにウェアラブルデバイスを使用し実社会場面でのサービス展開を目指す。

2 研究方法と結果

2-1 研究1 実験環境の構築ならびに基礎データの収集

「実験環境の構築」では心拍の拍動周期（拡張期、収縮期）のリアルタイム検出、および特定周期での刺激呈示を行うための機材セットアップならびに実験プログラムの作成を行った。さらに「基礎データの収集」では、構築したセットアップ構成での二者間コミュニケーション実験を実施するにあたり、より安定したデータ取得方法を検討するため、単一参加者を対象とした実験を行った。具体的には、コミュニケーション場面を含む、他者の感情情報取得タイミングに関する比率を操作した。

従来研究では、他者の感情状態の理解は心拍の拍動周期の内、拡張時に比べ収縮時に他者の表情を見るとその感情判断が正確となるとされる（Garfinkel & Critchley, 2016）。その際、従来の実験パラダイムでは拡張期と収縮期に他者の表情を1：1で呈示する。しかし、日常生活での心拍の拍動周期を考慮すると、拡張期と収縮期の割合は7：3程度となる。事実、拡張期と収縮期に同期させず他者の表情を呈示した実験では、拡張期と収縮期の割合は7：3程度となっている（木村, 2023; Makowski et al., 2020）。これは、二者間コミュニケーション実験を実施する際にも考慮すべきパラメータとなる可能性があると考えられるため、刺激呈示比率を条件とする単一参加者を対象とした実験を行った。

（1）実験参加者

34名の学部生および大学院生（女性24名、男性10名、年齢範囲：18-29歳）が実験に参加した。心電図の記録に不備のある2名の参加者を除外した後、32名の参加者（女性23名、男性9名、年齢範囲：18-29歳、平均：22.09歳（SD=2.53））のデータを分析した。サンプルサイズ（32名）は先行研究の効果量（Garfinkel et al., 2014, 2021）に基づき、Rとpwrパッケージ（Champely et al., 2018）により計算された。参加者は全員、右利きかつ日常生活に支障のない視力、または矯正視力を有していた。また、心電図の測定にあたり、参加者は日常的な服薬しておらず、神経疾患、心血管疾患、身体疾患、精神疾患の既往歴がない者とし

た．実験は大阪大学人間研究倫理委員会の承認を得た上で，参加者全員から書面によるインフォームドコンセントを取得した．

（２）刺激および装置

刺激として恐怖と中立の表情を示す 40 人のモデル（女性 20 人，男性 20 人）のカラー写真（合計 80 枚）を用いた．刺激は Kokoro Research Center (KRC) の顔表情データベースから取得した (Ueda et al., 2019)．各刺激は，観察距離 60 cm（視角： $19^{\circ} \times 16^{\circ}$ ）から，グレーの背景のモニタに表示した．表示時間は 100 ms とし，ノート PC (ThinkPad X1, Lenovo) にインストールされた MATLAB R2010b (MathWorks, Inc.) と Psychtoolbox (Kleiner et al., 2007) で制御した．

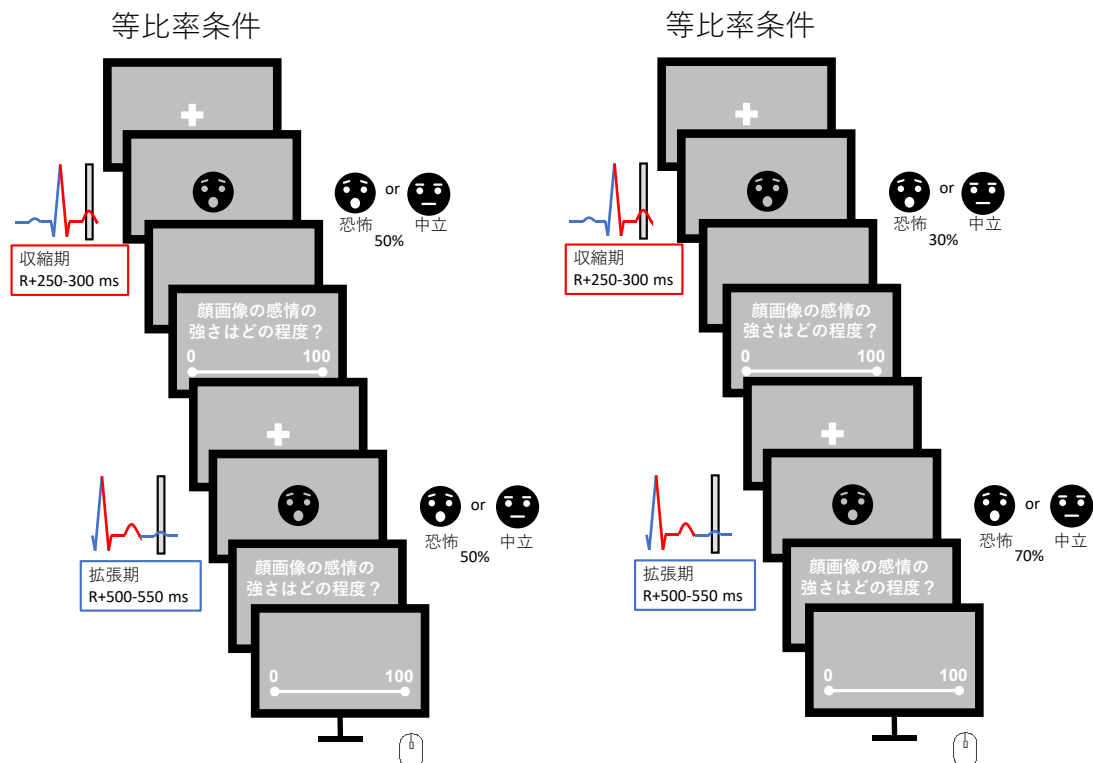
（３）心電図測定

心電図の測定は，ディスプレイ電極 Kendall H124SG (Cardinal Health), MP160 システム (Biopac System) を用いた．電極は，修正第Ⅱ誘導法により，左右の鎖骨の下と左側腹部に配置した．データは，Acqknowledge ソフトウェア（バージョン 5.0.8.1, Biopac System Inc.）を使用し，サンプリングレート 1000 Hz，バンドパスフィルタ 1-35 Hz で記録した．心周期と顔画像刺激呈示を同期させるため，Acqknowledge ソフトウェアを使用し心電図の R 波のピークをオンラインで検出した．この R 波に基づき，顔画像刺激の開始を心周期の収縮期（R 波のピーク後 250-300 ms），拡張期（R 波のピーク後 500-550 ms）に調整した (Garfinkel et al., 2014 ; Kimura et al., 2022)．実験を通し，顔画像刺激呈示タイミングは設定した範囲内に収まった．

（４）実験手続き

実験は Garfinkel et al. (2014) の方法に基づき実施した (図 1)．参加者はモニタ上の固定点を 120 秒間観察するベースライン期の後，連続して課題を行った．課題では，固定点の表示後，心拍の拍動周期の収縮期，または拡張期に恐怖，または中立の顔画像刺激を呈示した．顔画像刺激の呈示後，参加者は左端が 0，右端が 100 の visual analog scale (VAS) にて，顔画像刺激から感じた感情強度判断の程度を評価した．これを 1 試行とし等比率条件，偏比率条件で同数の試行を実施した．等比率条件では，収縮期と拡張期において，恐怖顔と中立顔でそれぞれ 20 試行を実施し，収縮期と拡張期での刺激呈示比率は 1 : 1 であった．偏比率条件では，収縮期の恐怖顔と中立顔がそれぞれ 12 試行，拡張期の恐怖顔と中立顔がそれぞれ 28 試行を実施し，収縮期と拡張期での刺激呈示比率は 3 : 7 であった．収縮期の試行回数を考慮し，偏比率条件は 2 回実施した．

図 1 研究 1 実験手続きの概要．実際には顔写真を用いたが，データベースの利用規約によりイラストへ変更．



(5) 結果と考察

主要な分析として、各条件、心周期、顔画像の感情に対する VAS 評定の平均値（図 2）と標準偏差（図 3）を対象とした。VAS 評定の平均値の比較では、等比率条件において恐怖顔に対し収縮期と拡張期でそれぞれ 72.61 (SE = 1.52), 71.37 (SE = 1.60), 中立顔に対し収縮期と拡張期でそれぞれ 24.92 (SE = 1.66), 25.68 (SE = 1.76) であった。偏比率条件において、恐怖顔に対し収縮期と拡張期でそれぞれ 71.57 (SE = 1.57), 70.51 (SE = 1.59), 中立顔に対し収縮期と拡張期でそれぞれ 23.65 (SE = 1.85), 26.54 (SE = 1.80) であった。3 要因参加者内分散分析の結果、心周期と顔画像の感情の交互作用が有意であった ($F(1, 31) = 32.11$, $p < .001$, $\eta^2 p = .50$)。多重比較の結果、各心周期において恐怖顔の VAS 評定の平均値が中立顔よりも高かった。これは顔画像の感情が適切に処理されていたことを意味する。さらに、恐怖顔では収縮期の VAS 評定の平均値が拡張期より高かった。これは先行研究の結果を再現するものであった (Garfinkel et al., 2014)。

VAS 評定の標準偏差の比較では、等比率条件において恐怖顔に対し収縮期と拡張期でそれぞれ 11.93 (SE = 0.79), 10.58 (SE = 0.92), 中立顔に対し収縮期と拡張期でそれぞれ 12.95 (SE = 0.87) と 13.80 (SE = 0.91) であった。偏比率条件において、恐怖顔に対し収縮期と拡張期でそれぞれ 9.15 (SE = 0.58), 10.19 (SE = 0.56), 中立顔に対し収縮期と拡張期でそれぞれ 10.65 (SE = 0.96), 12.35 (SE = 0.88) であった。3 要因参加者内分散分析の結果、条件と心周期の交互作用が有意であった ($F(1, 31) = 11.01$, $p = .002$, $\eta^2 p = .26$)。多重比較の結果、収縮期において偏比率条件の VAS 評定の標準偏差が等比率条件よりも低かった。さらに、偏比率条件において収縮期の VAS 評定の標準偏差が拡張期よりも低かった。偏比率条件の刺激呈示比率は、日常生活における自然な心拍の拍動周期と環境情報の取り込みに近い刺激呈示比率となっている。そのため、VAS 評定の平均値に関する結果と合わせると、心拍の拍動周期に合わせた感情情報のやり取りは、その刺激呈示比率の違いに寄らず収縮期で正確となるが、より自然な状況に近い比率とすることでより安定的に評価可能となることが示された。研究 1 により、二者間コミュニケーション実験を実施に関する基礎データおよび、状況によってはより安定したデータ取得へ切り替え可能な研究手法を開発することができた。

図 2 VAS 評定の平均値。

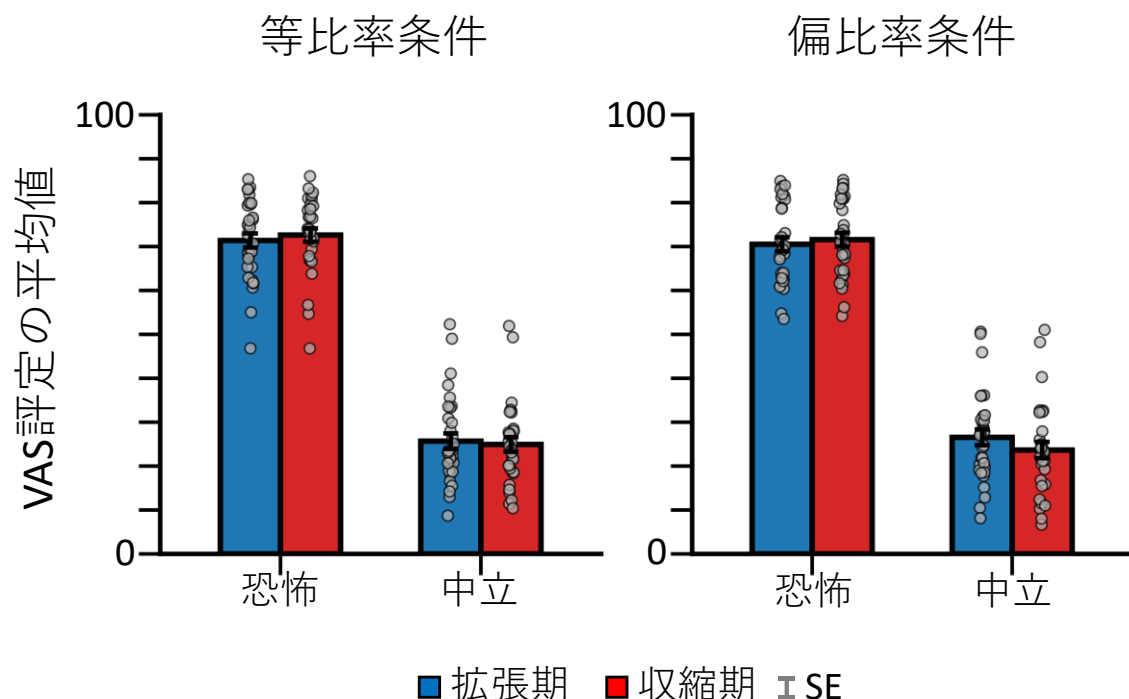
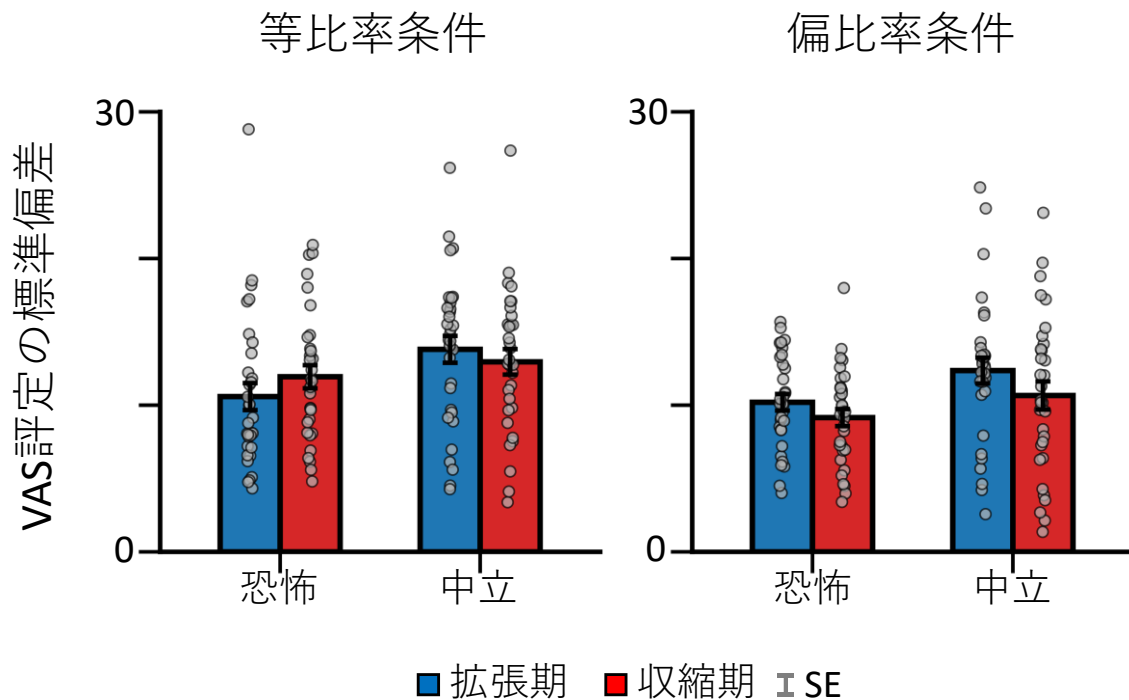


図3 VAS 評定の標準偏差.



2-2 研究2 二者間コミュニケーション実験

研究1の結果から本研究環境において安定したデータが取得可能であると判断し、二者間で情報を伝達し合うコミュニケーション場面を想定した実験を行った。具体的には、オンライン環境で二者が動画の感想を伝え合う場面を模し、感想を受け取るタイミングを心拍の拍動周期に基づき操作することで、他者の感情状態の推定が正確となるかを検討した。研究1と同様に、拡張時に比べ収縮時に他者の表情を見るとその感情判断が正確となるとされる先行研究に基づき (Garfinkel & Critchley, 2016)、二者間で情報を伝達し合う際にも収縮期に合わせた情報伝達では、他者の感情状態の推定が正確になると予想した。

(1) 実験参加者

34名の学部生および大学院生(女性20名、男性14名、年齢範囲:18-35歳)が実験に参加した。サンプルサイズ設計、算出方法、利き手、視力、心電図測定の留意事項、倫理審査とインフォームドコンセントについては研究1と同様であった。

(2) 刺激および装置

事前調査にてポジティブ感情を喚起させるショート動画を選出し刺激として用いた。各刺激は、各参加者の眼前、観察距離60cm(視角:19°×16°)に設置したモニタに表示した。刺激の制御方法は研究1と同様であった。

(3) 心電図測定

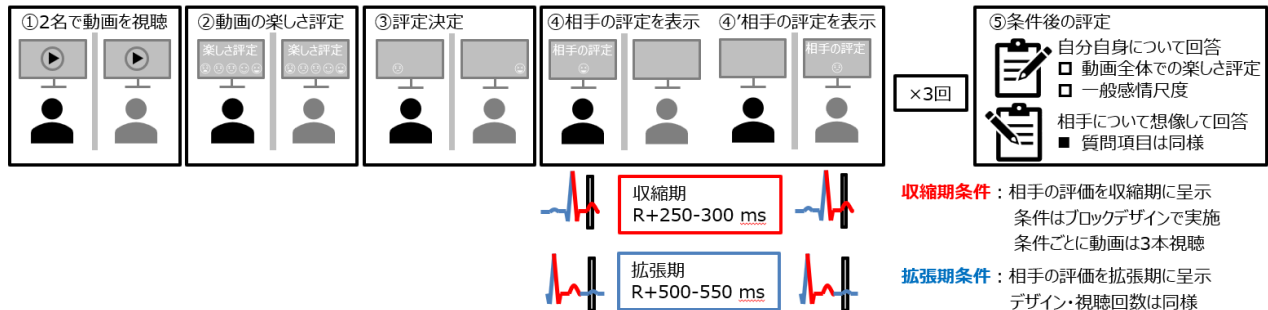
心電図測定の装置、ソフトウェア、設定は研究1と同様であった。これらを各参加者に設置し、2名の参加者から同時に心電図を取得した。

(4) 実験手続き

参加者2名がペアとなり、互いの顔が見えないよう仕切られた実験ブースにて、各参加者の前に置かれたディスプレイでポジティブ感情を喚起する動画を視聴した(図4)。動画の視聴後、各参加者はディスプレイに表示される5段階の顔イラストにて動画に対する楽しさを評定した。評定後、一方の参加者の評定(送り手)をもう一方の参加者(受け手)のディスプレイに呈示した。呈示タイミングは受け手の心周期の収縮期(R波のピークから250-300ms後)、または拡張期(R波のピークから500-550ms後)に合わせた。これを1試行とし3試行実施後、各参加者は動画全体の楽しさを5段階の顔イラストで、また動画全体を通して

感じた感情を一般感情尺度（小川他，2000）で評定した．さらに，自身の状態について評定した後，もう一方の参加者はどのように感じていたかを想像し，同様の評定を行った．これを収縮期条件と拡張期条件で行った．収縮期条件では実験中の評定の伝達を受け手の収縮期に合わせ，拡張期条件では拡張期に合わせた．

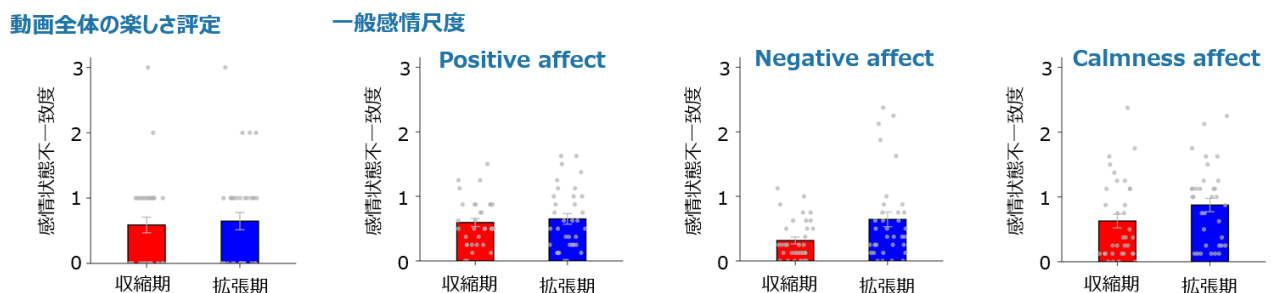
図 4 研究 2 実験手続きの概要．



(5) 結果と考察

主要な分析として，各条件後に実施した動画全体の楽しさに対する 5 段階の顔イラスト評定と，一般感情尺度の結果を分析の対象とした．これらに対し，自身についての評定値から，もう一方の参加者が想像して回答した評定値の差の絶対値を感情状態推定不一致度として算出した．動画全体の楽しさ，一般感情尺度の Positive, Negative, Calmness の感情状態不一致度を収縮期条件と拡張期条件間で比較した（図 5）．5 段階評定と一般感情尺度の Positive では有意な差はみられなかった．本研究ではポジティブ感情を喚起させる動画を視聴し，実験中も 5 段階評定によってポジティブ感情の伝達を行っていた．そのため，これらの明示的な感情の推定は条件に関わらず可能であったと考えられる（Pollmann & Roos, 2025）．一般感情尺度の Negative ($t(33) = 2.64, p = .012, d = 0.63$), Calmness ($t(33) = 2.78, p = .009, d = 0.40$) では，拡張期条件に比べ収縮期条件で感情状態推定不一致度が有意に小さかった．これらの感情推定では明示的な手がかりがなくその推定が困難であるが（Kruger et al., 2005），他者のポジティブ感情評定が内受容信号に同期し伝達されることで評定から受ける影響が強くなり（Mohr et al., 2023），評定に従いポジティブ感情を処理することで，Negative や Calmness の評定値は高くないと推定ができたと考えられる．これらの結果は，オンラインなどの社会的手がかりが欠如した状況では自身の身体内部の状態を参照し他者の感情状態を推定する感情調整システム利用している可能性を示唆している．

図 5 各指標に対する感情状態推定不一致度．



3 総合考察

本研究調査ではオンライン環境での感情伝達の困難，問題に対し生体信号を用いることで感情状態の理解とその伝達時に「誤解のない」オンラインコミュニケーションシステムを開発することを目指した．研究 1 の成果より，本研究で構築した心拍の拍動周期に合わせた感情情報のやり取りは，その刺激呈示比率の違いに寄らず収縮期で正確となる頑健性を有し，さらにより自然な状況に近い比率とすることでより安定的に評

価可能となることが示された。これは、本研究調査で取り組むオンラインコミュニケーションシステムへの活用に留まらず、近年着目されている内受容信号による感情情報処理に関わる重要な知見および実験手法となると考えられる。事実、本研究は国際学術雑誌への掲載 (Kimura, 2026) および各種学会での報告 (木村, 2025; Kimura, 2026;) として研究成果が報告されている。研究2の成果より、オンラインコミュニケーションを模した二者間での感情伝達について、情報の伝達を心拍の拍動周期に基づき操作することで他者の感情状態の推定が正確となる可能性が示された。これは、オンラインなどの社会的手がかりが欠如した状況において「誤解のない」コミュニケーションを成立させる基礎技術となると考えられる。本研究はすでに学会での報告がされ (木村, 2026), 現在国際学術雑誌への投稿準備中である。これらの研究により、本研究調査にて提案したシステムの頑健性と、オンラインを模した二者間コミュニケーションという実社会応用へつながらる場面での有用性が示された。今後は、これらのシステムをウェアラブルデバイスへ転用し、実際のオンラインコミュニケーション場面への応用を目指す。

【参考文献】

- Champely, S., Ekstrom, C., Dalgaard, P., Gill, J., Weibelzahl, S., Anandkumar, A., ... & De Rosario, M. H. (2018). Package 'pwr'. R package version, 1 (2).
- Garfinkel, S. N., & Critchley, H. D. (2016). Threat and the body: how the heart supports fear processing. *Trends in cognitive sciences*, 20(1), 34-46.
- Garfinkel, S. N., Gould van Praag, C. D., Engels, M., Watson, D., Silva, M., Evans, S. L., ... & Critchley, H. D. (2021). Interoceptive cardiac signals selectively enhance fear memories. *Journal of Experimental Psychology: General*, 150(6), 1165.
- Garfinkel, S. N., Minati, L., Gray, M. A., Seth, A. K., Dolan, R. J., & Critchley, H. D. (2014). Fear from the heart: sensitivity to fear stimuli depends on individual heartbeats. *Journal of Neuroscience*, 34(19), 6573-6582.
- 木村 司 (2025). 内受容信号に基づく刺激の呈示比率による文脈効果 第 43 回日本生理心理学会大会 生理心理学と精神生理学 43, 21.
- 木村 司 (2026). 内受容信号に同期した感情情報の伝達は他者の感情状態の推定を正確にする 第 44 回日本生理心理学会・日本感情心理学会第 34 回合同大会
- Kimura, T. (2026). Emotional Processing Stabilizes when Stimulus Presentation Aligns with Natural Cardiac Phase Ratios. The 16th Asian Conference on Psychology & the Behavioral Sciences (ACP2026).
- Kimura, T. (2026). Context of stimulus presentation ratio based on cardiac phase affects the stability of emotional processing. *Social Sciences & Humanities Open*, 13, 102789.
- Kimura, K., Kanayama, N., Toyama, A., & Katahira, K. (2022). Cardiac cycle affects the asymmetric value updating in instrumental reward learning. *Frontiers in neuroscience*, 16, 889440.
- Kleiner, M., Brainard, D., & Pelli, D. (2007). What's new in Psychtoolbox-3?.
- Kruger, J., Epley, N., Parker, J., & Ng, Z. W. (2005). Egocentrism over e-mail: Can we communicate as well as we think?. *Journal of personality and social psychology*, 89(6), 925.
- Makowski, D., Sperduti, M., Blondé, P., Nicolas, S., & Piolino, P. (2020). The heart of cognitive control: Cardiac phase modulates processing speed and inhibition. *Psychophysiology*, 57(3), e13490.
- Von Mohr, M., Finotti, G., Esposito, G., Bahrami, B., & Tsakiris, M. (2023). Social interoception: Perceiving events during cardiac afferent activity makes people more suggestible to other people's influence. *Cognition*, 238, 105502.
- 小川時洋, 門地里絵, 菊谷麻美, & 鈴木直人. (2000). 一般感情尺度の作成. *心理学研究*, 71(3), 241-246.
- Pollmann, M. M., & Roos, C. A. (2025). "I get u". People correctly interpret the tone of text messages and emails. *Computers in Human Behavior Reports*, 18, 100689.

Quigley, K. S., Kanoski, S., Grill, W. M., Barrett, L. F., & Tsakiris, M. (2021). Functions of interoception: From energy regulation to experience of the self. *Trends in neurosciences*, 44(1), 29-38.

総務省. (2021). 令和 3 年版情報通信白書.

<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r03/pdf/index.html> (2026 年 6 月 25 日閲覧)

Suler, J. (2004). The online disinhibition effect. *Cyberpsychology & behavior*, 7(3), 321-326.

Ueda, Y., Nunoi, M., & Yoshikawa, S. (2019). Development and validation of the Kokoro Research Center (KRC) facial expression database. *Psychologia*, 61(4), 221-240.

Walther, J. B., Loh, T., & Granka, L. (2005). Let me count the ways: The interchange of verbal and nonverbal cues in computer-mediated and face-to-face affinity. *Journal of language and social psychology*, 24(1), 36-65.

〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
内受容信号に基づく刺激の呈示比率による文脈効果	第 43 回日本生理心理学会大会 生理心理学と精神生理学 43, 21.	2025 年 5 月
Emotional Processing Stabilizes when Stimulus Presentation Aligns with Natural Cardiac Phase Ratios.	The 16th Asian Conference on Psychology & the Behavioral Sciences (ACP2026).	2026 年 3 月
内受容信号に同期した感情情報の伝達は他者の感情状態の推定を正確にする	第 44 回日本生理心理学会・日本感情心理学会第 34 回合同大会	2026 年 4 月
Context of stimulus presentation ratio based on cardiac phase affects the stability of emotional processing.	Social Sciences & Humanities Open, 13, 102789.	2026 年 6 月