



情動体験を拡張する疑似心拍振動提示システム (第 2 報): 疑似心拍振動から想起される情動の評価の基礎検討

Augmentation of Emotional Experience with Vibrotactile Feedback Representing Heartbeat II:
Empirical Study on Emotions Recalled from Vibrotactile Stimuli Representing Heartbeat

平野廉真, 蜂須拓

Renma HIRANO and Taku HACHISU

筑波大学 (〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1 丁目 1 - 1, {hirano, hachisu}@ah.iit.tsukuba.ac.jp)

概要: 心拍を模した疑似心拍振動の提示が情動の想起や行動の変容を促すことが知られている。先行研究では特に覚醒度を心拍数で表現する手法が示されている。本研究ではリモートコミュニケーションにおける社会交流の支援を目的に、心拍数だけでなく一拍（ドクン）の波形を変調して情動を表現する手法の設計に取り組んでいる。本稿では、我々が設計した変調波形が覚醒度だけでなく感情価を表現可能であることを示すための予備的検討について報告する。

キーワード: Haptics, Heartbeat, Emotion, Remote Communication

1. はじめに

狼煙に端を発するリモートコミュニケーションも技術の発達によってより複雑な情報の伝達が可能になった。昨今は COVID-19 の影響によってビデオ会議やテレワーク、オンライン飲み会、オンラインライブなどの遠隔地の視聴覚情報を伝達するシステムも一般的になっている（以下、リモートコミュニケーションをインターネットを介した視聴覚対話システムを利用したものとする）。一方で対面でのコミュニケーションに比べて、これらのリモートコミュニケーションでの物足りなさが指摘されている [1]。この原因の一つとして、相手の状態を推定するための非言語的な手がかりである生理反応や行動などの社会的信号 (Social Signal) がリモートコミュニケーションにおいて十分に伝達されないことが挙げられる [2]。対面でのコミュニケーションであれば、相手の微細な表情や韻律、視線などによって相手の感情や言葉の意図を推測することができる。一方で、通信の帯域やセンサ・ディスプレイ技術に制限のあるリモートコミュニケーションではこのような社会的信号が十分に伝達されず、コミュニケーションに支障をきたすことが多々ある。

これに対し我々は心拍を模した振動刺激（以下、疑似心拍振動）より遠隔地の相手の感情の時間的変化（情動）を想起させることでリモートコミュニケーションを支援する研究に取り組んでいる [3]。特に、既存のリモートコミュニケーションシステムや日常生活における行動を阻害しないリストバンド型デバイスからの振動刺激提示を目指している。疑似心拍による情動表現の例として、映画『ジョーズ』やゲーム『Dead by Daylight』といったホラーコンテンツでは、登場人物の心拍と思われる効果音が利用されており [4, 5]、視聴者に登場人物が抱く緊張や恐怖を想起させる。

一般的には疑似心拍は心拍数による覚醒度の表現が主である（2.章参照）。しかし、心拍数による表現は受け手が心拍数をカウントする必要があり、情動の想起に時間がかかる。また、覚醒度以外の感情の想起に関する知見はあまり多くない。本研究では、リモートコミュニケーションにおいて疑似心拍振動を用いて社会的信号を伝達し、コミュニケーションを拡張・支援するシステムの設計・開発を目的とする。本稿では、前報 [3] で社会的信号として心拍を採用し、一拍の心拍音を変調して設計した疑似心拍振動によって想起される感情を評価した予備実験について報告する。これにより疑似心拍振動の設計に関する基礎検討を行う。本成果は上述のリモートコミュニケーションを始めとした視聴覚コンテンツにおいて、場面に応じた効果的な疑似心拍振動を提示する技術に貢献すると考えられる。

2. 先行研究

2.1 心拍と感情

心拍と感情（本稿では、Russel の感情環モデル [6] に基づき感情を感情価（快 - 不快）と覚醒度（覚醒 - 非覚醒）の二次元で論じる）は密接な関係にある。藤永は心電図の RR 間隔やパワースペクトルの変動を生理的感情指標として用いることの合理性を提唱している [7]。また、Valenza らは RR 間隔を基に 79% の精度で感情価を、84% の精度で覚醒度を推定可能なアルゴリズムを提案している [8]。他方、近年は Apple Watch 等のウェアラブルデバイスによって容易かつ日常的に心拍数や心拍変動といった心拍情報を取得可能であることから、生活の質の向上を目的とした心拍情報からの感情推定への需要が高まることが予想される [9]。

情動によって生じる心拍情報の変化を心拍音（聴覚）や

心拍振動（触覚，内受容感覚）を通じて知覚しているのならば，疑似心拍振動の提示による情動への介入も可能であると考えられる [10]。ヒューマンコンピュータインタラクション分野では感情表現や感情への介入，存在感の強調を行う手法として心拍音や心拍振動を模した刺激を提示することが用いられている [11, 12, 13]。特に疑似心拍振動のような触覚刺激は既存の視聴覚コンテンツに組み込む際，視聴の妨げとなりにくいという利点がある [14]。

いずれの研究でも RR 間隔，いわゆる心拍数の変化によって感情の表現を行っており，心臓の一拍（1 ドックン）の振動波形（以下，基本心拍波形）については研究者が経験的に設計する等，基本心拍波形による感情表現の可能性について示唆されている一方，その感情との対応関係については不明瞭である。また，既存研究では緊張や安心といった感情を疑似心拍によって表現しているが [14, 15]，悲しみや憂鬱，幸せや満足といった感情の表現を試みている例は少ない [16]。Russel の感情環モデルによれば，前者の感情は専ら覚醒度によって表される一方，後者の感情は覚醒度に加えて感情価によって表される。Valenza らの心拍を用いた感情推定アルゴリズムでも覚醒度に比べて感情価の推定は精度が低いことから [8]，疑似心拍による感情価の表現は覚醒度の表現よりも挑戦的であるといえる。

2.2 基本心拍波形の再現方法

医療分野では心拍数等の心拍情報は非常に重要な生理指標であり，心電図や心音図を筆頭に非侵襲かつ簡易的に取得可能なため古くから心臓関連疾病の診療を目的に用いられている。異常な心音と正常な心音を聞き分けるための訓練システムの開発を目的とした心音生成アルゴリズムが確立されている [17]。一方で，感情表現を目的とした心音生成アルゴリズムは少ない。例として，恐怖感情の想起を目的とした疑似心拍振動を提示される人の心拍数に同期して疑似心拍振動の心拍数を変化させるアルゴリズムが挙げられる [14]。しかし先行研究では特定の感情の想起に留まっている。これに対し，我々は前報でより多様な感情の想起を目的とした疑似心拍波形生成アルゴリズムを提案した [3]。パラメトリックな疑似心拍振動の操作を可能にするために，基本心拍波形を 2 つの減衰正弦波の和によって生成するモデルを設計し，定性的に覚醒度および感情価が表現可能であることを確認した。詳しくは 3.1 章に述べる。

2.3 触覚刺激と感情

音楽によって感情を表現するように，振動刺激による感情表現や感情へ介入する試みが行われている。例えば，Seifi らは振動刺激に緊張した，楽しいといった感情に関連する表現や，動物，時計といったメタファーを 120 種類の振動にタグ付けした振動波形ライブラリ VibViz を開発した [18]。また Obrist らは，超音波触覚提示システムを用いて周波数や振幅といった振動波形に関するパラメータ，振動の方向，提示部位等と想起される感情の対応関係について考察している [19]。振動パターンが繰り返される頻度（心拍なら心拍数）だけでなく，振動の振幅や周波数，振動提示の時間間

表 1: 疑似心拍振動のパラメータの種類とその値

Parameter	Low	Medium	High
B [s^{-1}]	20	30	40
C [-]	0.3	0.5	0.7
ϕ [s]	0.2	0.3	0.4
f [Hz]	30	100	300

隔といった振動の基本的な物理的特性の変化によって多様な感情の表現や感情への介入の可能性が示唆されている。

以上の先行研究より，基本心拍波形を変調した疑似心拍振動の提示によって表現可能な感情を評価することは本研究の貢献の一つであると言える。

3. 実験

本実験では前報で設計した 81 種類の疑似心拍振動から想起される感情の評価に関する予備実験を行い，疑似心拍振動による感情表現の基礎的検討を行うことを目的とする。

3.1 システム

3.1.1 疑似心拍波形の生成方法

本実験ではオーディオ信号より疑似心拍振動を生成する。前報で報告したように，基本心拍波形（ドックン） $V(t)$ を心臓の弁の開閉による 2 回のインパルス応答とみなし，2 つの減衰正弦波の和によって生成する [3]：

$$V(t) = V_1(t) + V_2(t) \quad (1)$$

$$V_1(t) = Ae^{-Bt} \sin(2\pi ft) \quad (2)$$

$$V_2(t) = CV_1(t - \phi) \quad (3)$$

ただし， $V_n(t)$ は n 音の時刻 t における信号電圧 [V] ($n = 1, 2$)， A は初期振幅 [V]， B は減衰率 [s^{-1}]， C は I 音と II 音の振幅の比 [-]， ϕ は I 音と II 音の間隔（心電図の QT 間隔に相当） [s]， f は振動周波数 [Hz] である。

本実験で使用した疑似心拍振動のパラメータの値を表 1 に示す。パラメータ B ， C ， ϕ ， f それぞれに対し一般的な心音の値 (Medium) および High, Low の 3 つの値を設定し，合計 81 種類 ($= 3^4$) の振動を設計した。High と Low は Medium と比較して容易に違いを知覚できる値として著者らが経験的に決定した。振動振幅を統制するために A は使用する振動子の特性に合わせて調整すべきであるが，今回は基礎検討が目的のため簡単のため出力可能最大値に設定した。

3.1.2 疑似心拍振動の提示方法

本実験では図 1 に示すリストバンド型振動提示デバイスから手首に疑似心拍振動を提示した。本デバイスは Piezo 型アクチュエータ (TDK, PiezoHapt PHUA3015-30A-21-000) を内蔵しており，外部の Piezo ドライバ (Boreas, BOS1901-KIT) によってオーディオ信号を増幅して駆動した。



図 1: リストバンド型振動提示デバイス

3.1.3 感情の回答方法

実験参加者は Affect Grid[20] を用いて提示された疑似心拍振動より想起された感情を回答した。Affect Grid では 9×9 のグリッドを用いて感情価と覚醒度をそれぞれ -4 から 4 までの 9 段階の整数値で回答する。本実験では、実験参加者は以上の回答を含む課題をマウス操作によるグラフィカルユーザーインターフェースを用いて行った。

3.2 手続き

実験参加者は本稿の著者 2 名、および同じ研究室のメンバー 1 名の合計 3 名である。まず、実験に関する概要説明を行った後、実験参加者は Affect Grid の感情回答方法に関する説明ビデオを視聴した。次に実験参加者が本実験で利用する疑似心拍振動を問題なく知覚できるかの確認と実験手続きに慣れてもらうためにいくつかの疑似心拍振動を用いた練習試行を行った。この時に疑似心拍振動を感じることができないと答えた場合、ここで実験を終了する。本実験では該当する実験参加者はいなかった。

そして本試行では、実験参加者は提示された疑似心拍振動によって想起した感情を回答した。疑似心拍振動は回答が完了するまで提示され続け、回答の完了 0.5 秒後から次の試行の疑似心拍振動が提示された。疑似心拍振動の提示順はランダムであった。聴覚的な手がかりを排除するため、本試行中は実験参加者にノイズキャンセリングヘッドホン (SONY, WH-1000XM4) を介してピンクノイズを再生した。振動提示の際には腕および手首は机に置くように実験参加者に指示した。実験時間は 1 名あたり 40 分程度であった。

3.3 結果と考察

本実験で得られたデータは 81 種類の疑似心拍振動に対する感情価と覚醒度の評価値である。各実験参加者の各評価項目において評価値を標準化し、各刺激の各評価項目の平均評価値 M_v と M_a を算出した。横軸が M_v 、縦軸が M_a の散布図を図 2-(A) に示す。横軸、縦軸方向に同程度の広がりが見られることから、設計した疑似心拍振動によって覚醒度だけでなく感情価の表現が可能であることが示唆された。一方で第 3 象限方向の広がりはありません。一方、憂鬱や疲れ、悲しみといった不快で鎮静した感情を強く表現することが比較的難しいことが考えられる。疑似心拍振動の各パラメーターを横軸に M_v 、 M_a を縦軸にのせた散布図を図 2-(B) に示す。 M_v と ϕ の間に単調増加の傾向を、 M_a と f の間に単調増加の傾向を定性的に見ることができると。実験終了後に実験参加者に実験の感想を尋ねると、全

ての実験参加者が低周波 (特に 30Hz) の疑似心拍振動を感じにくいと回答した。本実験では出力電圧を各基本心拍波形で一定にしたため、振動子の周波数特性等によって十分は振幅が出力できていなかったと考えられる。周波数による効果と振幅による効果を切り分けるため、今後は使用する振動子の特性に合わせて振幅を統制する必要がある。

4. おわりに

本稿では、前報 [3] で設計した疑似心拍振動によって想起される感情を評価する予備検討について報告した。感情価と I 音と II 音の間隔、および覚醒度と周波数の間にそれぞれ定性的に単調増加の傾向を確認した。これにより先行研究で行われていた心拍数の操作だけでなく、基本心拍波形の変調によるより多様な感情の表現が可能であることが示唆された。

今後は本検討を基に、パラメータおよび実験の設計を見直し、統計的に表現可能な感情についての評価を行う。また、リモートコミュニケーションにおける疑似心拍振動の提示による社会交流の支援に対する効果を検証するべく、ユーザースタディを設計し実施する予定である。

謝辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP21004) の結果得られたものです。

参考文献

- [1] 「テレワークによる社内コミュニケーション変化」に関する調査結果 (速報)—国立大学法人筑波大学働く人への心理支援開発研究センター. <https://www.human.tsukuba.ac.jp/counseling/w/wp-content/uploads/2020/10/surveyresult20201002.pdf>. (Accessed on 11/18/2021).
- [2] *Social Signal Processing*. 2017.
- [3] 平野 廉真 and 蜂須 拓. 情動体験を拡張する疑似心拍振動提示システムの基礎検討. ハプティクス研究委員会 第 27 回研究会.
- [4] S. Spielberg. *Jaws*(film).
- [5] Behaviour Digital Inc. *Dead by Daylight* — A Multiplayer Action Survival Horror Game. <https://deadbydaylight.com/en>.
- [6] James Russell. A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 39:pages 1161–1178, Dec 1980.
- [7] 博 藤永. 心拍変動と感情. *経済理論*, (no. 314):pages 23–57, Jul 2003.
- [8] G. Valenza, L. Citi, A. Lanatá, E. Pasquale Scilingo, and R. Barbieri. Revealing real-time emotional responses: a personalized assessment based on heartbeat dynamics. *Scientific Reports*, vol. 4(no. 1):pages 4998–4998, 2015.

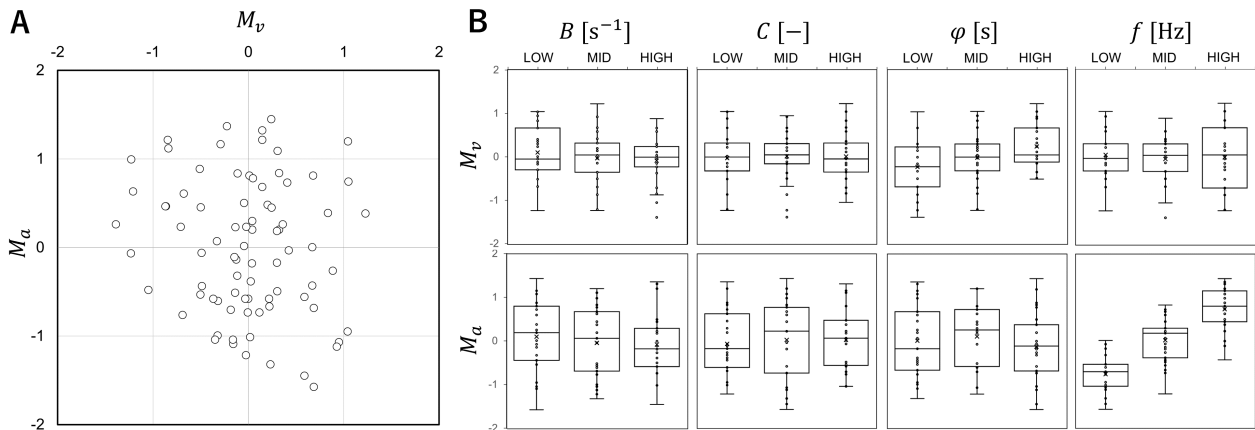


図 2: 実験結果 : (A) 81 種類の疑似心拍振動によって想起された感情価 (M_v) と覚醒度 (M_a) ; (B) 疑似心拍振動の 4 種類のパラメーターと感情価 (M_v) と覚醒度 (M_a) の関係.

- [9] F. Liu, C. Park, Y. J. Tham, T. Y. Tsai, L. A. Dabish, G. F. Kaufman, and A. M. Hernández. Significant otter: Understanding the role of biosignals in communication. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2021.
- [10] W. B. Cannon. The james-lange theory of emotions: A critical examination and an alternative theory. *The American Journal of Psychology*, vol. 39(no. 1):pages 106–124, 1927.
- [11] 渡邊 淳司, 川口 ゆい, 坂倉 杏介, and 安藤 英由樹. 心臓ピクニック : 鼓動に触れるワークショップ (It; 特集gt; ハプティクスと vr). *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, pages 303–306, 2011.
- [12] R. T. Azevedo, N. Bennett, A. Bilicki, J. Hooper, F. Markopoulou, and M. Tsakiris. The calming effect of a new wearable device during the anticipation of public speech. *Scientific reports*, vol. 7(no. 1):pages. 1–7, 2017.
- [13] R. M. Winters, B. N. Walker, and G. Leslie. *Can You Hear My Heartbeat?: Hearing an Expressive Biosignal Elicits Empathy*. 2021.
- [14] 上岡 玲子 and A. Ali. Emotion hacking vr : 振動触覚を用いた虚偽心拍呈示による恐怖感情の増幅を目指した vr ウォークスルーシステム. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, pages 231–240, 2019.
- [15] 大木 郁人, 平野 廉真, 真保 智博, 北沢 凌, and 檜村 京. Heart box. *日本バーチャルリアリティ学会大会論文集*, pages 3B3–4, Sep 2020.
- [16] R. M. Winters, B. N. Walker, and G. Leslie. *Can You Hear My Heartbeat?: Hearing an Expressive Biosignal Elicits Empathy*. 2021.
- [17] Y. Tang, C. Danmin, and L. G. Durand. The synthesis of the aortic valve closure sound of the dog by the mean filter of forward and backward predictor. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 39(no. 1):pages 1–8, 1992.
- [18] H. Seifi, K. Zhang, and K. E. MacLean. Vibviz: Organizing, visualizing and navigating vibration libraries. In *IEEE World Haptics Conference*, pages 254–259, 2015.
- [19] M. Obrist, S. Subramanian, E. Gatti, B. Long, and T. Carter. Emotions mediated through mid-air haptics. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15*, page 2053–2062, 2015.
- [20] James Russell, Anna Weiss, and G. Mendelsohn. Affect grid: A single-item scale of pleasure and arousal. *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 57:pages 493–502, Sep 1989.