



疑似心拍刺激と表情刺激を用いた感情分類課題の設計

Designing an Emotion Classification Task with Pseudo-Heartbeat and Facial Expression Stimuli

藤枝珠生¹⁾, 松田壮一郎¹⁾, 皆川泰代²⁾ 蜂須拓¹⁾

Tamaki FUJIEDA, Soichiro MATSUDA, Yasuyo MINAGAWA, and Taku HACHISU

1) 筑波大学 (〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

2) 慶応義塾大学 (〒 108-8345 東京都港区三田 2-15-45)

概要: 心拍を模倣した刺激（疑似心拍刺激）は映画やゲーム等の登場人物の瞬間的に生じる感情（情動）を演出する手法として頻繁に用いられている。一方で、疑似心拍刺激が及ぼす主観的な感情体験の客観的かつ定量的な評価は挑戦的である。本研究では、疑似心拍刺激が及ぼす主観的な感情体験の客観的かつ定量的な評価の確立を目的とする。本稿では、心拍数が高いまたは低い疑似心拍刺激と、事前に覚醒度が高い（覚醒）または低い（眠気）と評価された表情刺激を用い、実験参加者にそれぞれ心拍数と覚醒度の高低を 2 つのキー入力で即答させる感情分類課題を設計した。本実験では、心拍数と覚醒度のそれぞれの高低の回答が同じキーに割当てられた条件と異なるキーに割当てられた条件において、後者で応答時間が有意に長くなることを示した。

キーワード: 感情, 疑似心拍, 分類課題

1. はじめに

心拍を模倣した刺激（疑似心拍刺激）は映画やゲーム等の登場人物の瞬間的に生じる感情（情動）を演出する手法として頻繁に用いられている。例えば、登場人物が精神的に追い詰められたり、強い動揺を感じている場面で、疑似心拍振動あるいは疑似心拍音を強調して提示することで、鑑賞者により深い共感を促す演出が挙げられる。Russell の感情モデルでは、感情を感情価（快 - 不快）および覚醒度（覚醒 - 眠気）の二次元で捉える [1]。前述の感情の演出や日常生活より、心拍数の上昇と覚醒度の上昇に正の相関があることが一般的に認知されていると考えられる。実際に眠気ポリソムノグラフィーを利用した計測では、アメリカ睡眠医学会の基準に従って数値化された覚醒度と心拍数の間には強い相関があることが報告されている [2]。また、心拍数の高い疑似心拍刺激の提示が実際の心拍数および主観的な覚醒度を有意に向上させることが報告されている [3]。さらに近年では、疑似心拍刺激をバーチャルリアリティ (VR) コンテンツに導入することで、より臨場感と没入感の高い感情体験の提供が期待される。

一方で、疑似心拍刺激が及ぼす主観的な感情体験の客観的かつ定量的な評価は挑戦的である。例として、Azevedo らの公開スピーチ中の実験参加者にブレスレット型デバイスより心拍数の低い疑似心拍振動刺激を提示し、参加者の主観的な不安を質問紙および生理反応（皮膚電気活動）計測より評価した実験 [4] について考える。質問紙による評価に関して、参加者は実験者が低い心拍数の疑似心拍振動刺激に対して抗不安的な効果を期待していることを推測でき

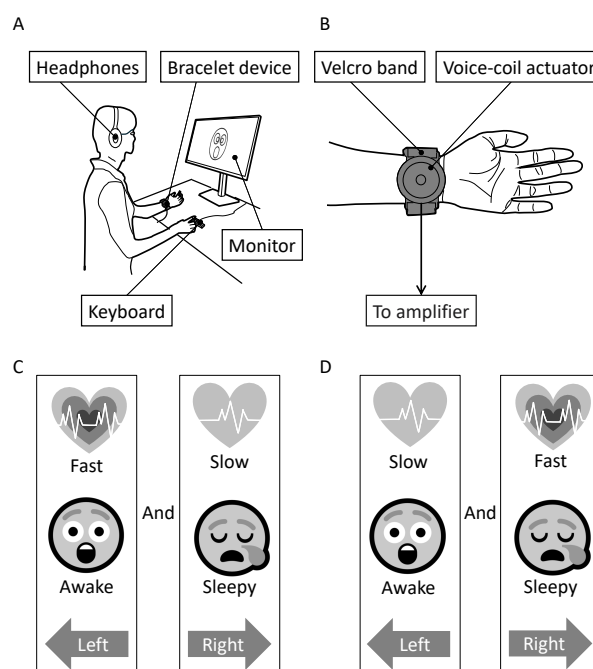


図 1: 左右キーにより疑似心拍刺激の心拍数および表情刺激の覚醒度の高低を即答する感情分類課題: A) 実験環境; B) ブレスレット型デバイス; C) 理論上の一致の組み合わせへのキーを割当て; D) 理論上の不一致の組み合わせへのキー割当て。

るため、期待バイアスを完全に排除することは困難である。生理反応計測による評価に関して、生理反応と主観的な感情体験の対応付けについては、実験者の解釈や参加者の個

人差等に注意する必要がある。これらに加えて、行動計測より評価した例として、Costa らの計算課題に取り組んでいる実験参加者にスマートウォッチから疑似心拍振動刺激を提示し、計算課題の正答率を解析した研究が挙げられる [5]。心拍数が高い疑似心拍振動刺激を提示した群では、提示しない条件よりも正答率が低下し、心拍数が低い疑似心拍振動刺激を提示した群では正答率が上昇した。しかし、生理反応計測による評価と同様に、計測された行動（正答率）と主観的な感情体験の対応付けについては実験者の解釈が必要である。

本研究では、疑似心拍刺激が及ぼす主観的な感情体験の客観的かつ定量的な評価の確立を目的とする。これに対し、我々はストループ課題 [6] と潜在的連合課題（Implicit Association Test, IAT）[7] の枠組みに着目した。具体的には、心拍数が高いまたは低い疑似心拍刺激と、事前に覚醒度が高い（覚醒）または低い（眠気）と評価された表情刺激を用い、実験参加者にそれぞれ心拍数と覚醒度の高低を 2 つのキー入力を用いて即答させる感情分類課題を設計する（図 1A）。ここでは、「心拍数の高い疑似心拍刺激と覚醒度の高い表情刺激」および「心拍数の低い疑似心拍刺激と覚醒度の低い表情刺激」の組み合わせを理論上の一致、別の組み合わせを理論上の不一致と考える。一致の組み合わせの回答に同一のキーを割当てた場合（図 1C）より、不一致の組み合わせの回答に同一のキーに割当てた場合（図 1D）の方が分類にかかる時間（刺激提示からキー入力までの応答時間）が長くなり、正答率が低下すると予想する。これは疑似心拍刺激と表情刺激から生じられる感情の潜在的な連合の度合いを応答時間より客観的かつ定量的に計測する手法に相当すると考える。本稿では、以上の感情分類課題を実施する実験システムの設計・開発、疑似心拍刺激に振動と音を用いた実験の結果の一部について報告する。

2. 実験

本実験では、前述の感情分類課題における理論上一致する場合と不一致である場合の応答時間の差および正答率を計測することを目的とする。また、疑似心拍刺激を音として聴覚に提示した場合と、振動として触覚に提示した場合の応答時間を比較することで、疑似心拍刺激の提示モダリティが感情分類課題に与える影響を評価する。

2.1 システム

図 1A および B に示すように、前報 [8] を基に、本システムをブレスレット型デバイス、ヘッドホン、モニタ、キーボード、およびホストコンピュータより構成した。

ブレスレット型デバイスを、振動子（Acouve Laboratory, Vibro-Transducer Vp210）を内蔵した 3D プリント（Ulti-Maker, S5 Pro）で作成した Tough PLA Black 製の筐体、および手首に固定するためのベルクロテープ付きリストバンドより構成した（図 1B）。コンピュータから出力される音声信号をオーディオアンプ（FX-Audio, FX-AUDIO-FX202A/FX-36A PRO）を介して振動子に接続した。な

お、音声信号は Mori らのモデル [9] を基に生成し、疑似心拍振動刺激の時刻 t における加速度振幅 a を次式より提示した。

$$a(t') = h_1(t') + h_2(t'),$$

where

$$h_1(t') = A_0 \exp(-Bt') \sin(2\pi f t'),$$

$$h_2(t') = \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq t' < \varphi \\ Ch_1(t' - \varphi) & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{with } t' = t - \frac{60}{H} \text{floor} \left(\frac{t}{60/H} \right),$$

h_1 および h_2 はそれぞれ心音図における I 音および II 音 (S1, S2) に相当する。また、 A_0 は初期振幅 [m/s^2], 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 音のオンセット時間差 [s], f は振動周波数 [Hz], H は心拍数 [BPM], t' はローカル時刻 [s] である。本実験では、著者らの主観で振動をはっきり感じられるが強すぎないと感じられる値として A_0 を約 100 m/s^2 , B を 30 s^{-1} , C を 0.3, φ を $0.3 \times 60/H \text{ s}$, f を 300 Hz に設定した。本実験では、疑似心拍刺激に関して、覚醒および眠気を生起することを意図した 120 BPM および 60 BPM の 2 水準を設定した。

疑似心拍音刺激は同様の音声信号をヘッドホン（SONY, WH-1000XM5）を介して提示した。ただし、事前に参加者に疑似心拍振動刺激と主観的な強度が同等となるように音量を調整させた。

表情刺激には AIST 顔表情データベース [10] より、Affect Grid 法 [1] で覚醒度が 8 以上（覚醒）および 2 未満（眠気）の 2 種類の表情があり、かつそれらの感情価の評価の平均が 5 に近い日本人男性と女性を 1 名ずつ選出し、計 4 つ（表情 2 種 $\times$ 男女）の正面方向から撮影された静止画像を採用した。ただし、本実験では表情刺激の男女の別は考慮しない。本実験では、表情刺激に関して、覚醒および眠気の 2 水準を設定した。

ホストコンピュータはゲームエンジン（Unity）より開発した実験プログラムを実行した。疑似心拍刺激を提示するための音声信号の出力および表情刺激のモニタへの提示に加え、モニタでの参加者への指示、参加者のキーボード（ITPROTECH, MK-04BK）操作による回答とその時刻の記録、および刺激提示からキー入力までの応答時間の計算を行った。

2.2 設計

本実験では IAT の枠組み [7] を基に、実験を設計した。まず、参加者にモニタ中央の注視点を注視するように指示した。次に、一試行目は実験者の操作、二試行目以降は参加者の前試行のキー入力による回答から 1 秒後に疑似心拍刺激または表情刺激を提示した。そして、参加者に疑似心拍刺激の場合は刺激の拍が速いか遅いかを、表情刺激の場合は刺激が覚醒か眠気かを予め指示された左右いずれかのキー入力より回答するように指示した。ただし、回答はできるだけ速くかつ正確に行うように指示した。

表 1: 感情分類課題における 5 条件の刺激に対するキー割当て: PH は疑似心拍刺激 (Pseudo Heartbeat), FC は表情刺激 (Face) を示す.

Condition	Left Key	Right Key
Heartbeat	Fast PH	Slow PH
Face	Awake FC	Sleepy FC
Congruent	Fast PH / Awake FC	Slow PH / Sleepy FC
HeartbeatR	Slow PH	Fast FC
Incongruent	Slow PH / Awake FC	Fast PH / Sleepy FC

表 1 に 5 条件の刺激に対するキー割当てを示す. Heartbeat 条件および Face 条件では, それぞれ疑似心拍刺激および表情刺激のみを提示した. それぞれ参加者が心拍数および覚醒度の高低を知覚できているかを検証するために, これらの条件を設定した. Congruent 条件では, 試行毎に疑似心拍刺激と表情刺激を交互に提示した. ただし, キー割当ては前二条件と同様とした (図 1C). HeartbeatR 条件では, Heartbeat 条件と同様に疑似心拍刺激のみを提示した一方, キー割当てを反転した. 続く Incogruent 条件と Congruent 条件間における練習効果を抑制するためにこの条件を設定した. Incongruent 条件では, Congruent 条件と同様に試行毎に疑似心拍刺激と表情刺激を交互に提示した. ただし, キー割当ては疑似心拍刺激に対しては HeartbeatR 条件, 表情刺激に対しては Face 条件と同様とした (図 1D).

以上の設計のもと, Incongruent 条件における応答時間が Congruent 条件よりも長くなり, 正答率が低下するという仮説を立てた. また, 疑似心拍刺激の提示モダリティによる効果を評価するために, 疑似心拍振動刺激を用いる触覚セクションと疑似心拍音刺激を用いる聴覚セクションを設定した.

2.3 手続き

20 代の男性 6 名が同意のもとに本実験に参加した. 参加者を 3 名ずつ, 先に触覚セクションを実施した後に聴覚セクションをする群とその逆順の群に無作為に割当てた.

図 1A に示すように, まず, 参加者にモニタの前に着席させ, ヘッドホンを装着させた. 左手首の掌側に筐体が固定されるようにブレスレット型デバイスを装着させ, 掌を上に向けた状態で机上にあるアームレストに置かせた. 右手でキーボードを操作するように指示した. 次に, キー入力により音声信号の音量を調整し, 疑似心拍音刺激に対する主観的な強度が疑似心拍振動刺激と同等とするように指示した. そして, 先に触覚セクションを実施する群の参加者へ下記の順番で条件を提示した.

● 触覚セクション

- 1. Heartbeat 条件 32 試行: 疑似心拍刺激 2 水準 × 繰り返し 16 試行

- 2. Face 条件 32 試行: 表情刺激 2 水準 × 繰り返し 16 試行
- 3. Congruent 条件 32 試行: (疑似心拍刺激 2 水準+表情刺激 2 水準) × 繰り返し 8 試行
- 4. Heartbeat 反転条件 32 試行: 疑似心拍刺激 2 水準 × 繰り返し 16 試行
- 5. Incongruent 条件 32 試行: (疑似心拍刺激 2 水準+表情刺激 2 水準) × 繰り返し 8 試行

● 聴覚セクション

- 1. Heartbeat 条件 32 試行: 疑似心拍刺激 2 水準 × 繰り返し 16 試行
- 2. Congruent 条件 32 試行: (疑似心拍刺激 2 水準+表情刺激 2 水準) × 繰り返し 8 試行
- 3. Heartbeat 反転条件: 疑似心拍刺激 2 水準 × 繰り返し 16 試行
- 4. Incongruent 条件 32 試行: (疑似心拍刺激 2 水準+表情刺激 2 水準) × 繰り返し 8 試行

後半のセクションにおいては, Face 条件を省略した. 他方の群においても同様とした. 各刺激における心拍数および覚醒度の高低は無作為な順で提示した. 最後に, 参加者に年齢, 性別, および意見・感想のアンケートを回答させて実験を終了した.

2.4 解析

本実験で得られたデータは各試行における正誤と応答時間である. 本稿では, ページ数の都合上, 触覚セクションにおける触覚セクションの応答時間の解析についてのみ報告する. ストループ課題 [6] の解析を参考に, 本研究の対象である疑似心拍刺激が及ぼす主観的な感情体験への効果を検証するために, 疑似心拍刺激と表情刺激をそれぞれディストラクタ刺激とターゲット刺激と考える. したがって, 仮説を言い換えると, 疑似心拍刺激が表情刺激によって生起する感情体験に対するディストラクタ刺激となりうるか, となる.

まず, Congruent 条件と Incongruent 条件の表情刺激に対する試行において誤答であった試行を除外した. 次に, 各参加者の各条件において応答時間の平均と標準偏差を計算し, 平均+3×標準偏差を超える応答時間を外れ値として除外した. そして, 各参加者の各条件における応答時間の平均値を算出した. Incongruent 条件における応答時間が Congruent 条件よりも長いことを検証するため, 片側の対応のある t 検定を行った. 有意水準を 5% に設定した. p 値が有意水準を下回った場合効果量として Cohen's d を求めた.

2.5 結果

図 2 に Congruent 条件および Incongruent 条件における応答時間の平均および標準偏差を示す. t 検定の結果, Incongruent 条件における応答時間が Congruent 条件よりも有意に長いことが示された ($t(5) = 2.66, p = 0.022, d = 0.55$).

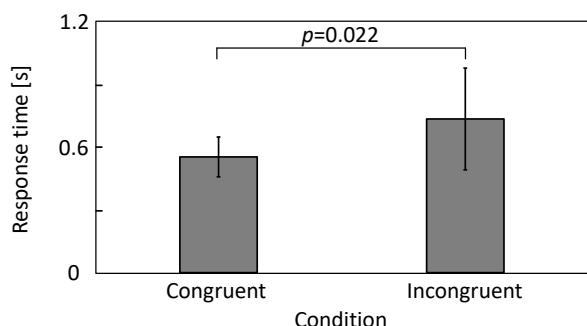


図 2: 触覚セッションにおける Congruent 条件と Incongruent 条件の平均応答時間: エラーバーは標準偏差を示す。

2.6 考察

本結果は仮説「Incongruent 条件における応答時間が Congruent 条件よりも長くなる」を支持する。これは、参加者が心拍数の高いまたは低い疑似心拍刺激と覚醒度の高いまたは低い表情刺激のそれぞれの組み合わせにおいて強い連合を感じていたためと考える。Incongruent 条件では、この連合が干渉を引き起こし、客観的かつ定量的に観察可能な応答時間の遅延として表出したと考察できる。以上より、本課題は、疑似心拍刺激が及ぼす主観的な感情体験を客観的かつ定量的に評価する手法となりうることが示唆された。

3. おわりに

本稿では、疑似心拍刺激が及ぼす主観的な感情体験を客観的かつ定量的に評価する感情分類課題の設計と、本課題を用いて行った実験の一部について述べた。実験参加者に事前に指示された左右のキー入力を用いて疑似心拍刺激の心拍数と表情刺激の覚醒度の高低を即答させる感情分類課題を実施した。実験の結果、疑似心拍振動刺激の心拍数と表情刺激の覚醒度のそれぞれの高低が同じキーと異なるキーに割当てられた場合、異なるキー割当てのときに応答時間が有意に長くなることが示された。本結果は、疑似心拍刺激が、表情刺激から生起される感情体験のディストラクタとなる可能性を示唆する。したがって、本感情分類課題は、疑似心拍刺激が及ぼす主観的な感情体験を客観的かつ定量的に評価する手法となりうることが示唆された。

今後は、本実験で計測した各試行の正誤から正答率を計算し、Congruent 条件と Incongruent 条件間で比較することで疑似心拍刺激と表情刺激の間の連合を評価する。また、触覚および聴覚といった提示モダリティが主観的な感情体験に与える影響を明らかにすることを試みる。さらに、疑似心拍刺激が及ぼす主観的な感情体験の個人差要因となりうる内受容感覚 [11, 12] と応答時間との相関を解析する。

謝辞 本研究は JST CREST JPMJCR22P4 の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] 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, pp. 493–502, 09 1989.

- [2] A. Azarbarzin, Michele Ostrowski, P. Hanly, and M. Younes. Relationship between arousal intensity and heart rate response to arousal. *Sleep*, Vol. 37 4, pp. 645–53, 2014.
- [3] Ana Tajadura-Jiménez, Aleksander Väljamäe, and Daniel Västfjäll. Self-representation in mediated environments: the experience of emotions modulated by auditory-vibrotactile heartbeat. Vol. 11, No. 1, pp. 33–38.
- [4] Ruben T. Azevedo, Nell Bennett, Andreas Bilicki, Jack Hooper, F. Markopoulou, and M. Tsakiris. The calming effect of a new wearable device during the anticipation of public speech. *Scientific Reports*, Vol. 7, , 2017.
- [5] Jean Costa, François Guimbretière, Malte F Jung, and Tanzeem Choudhury. Boostmeup: Improving cognitive performance in the moment by unobtrusively regulating emotions with a smartwatch. Vol. 3, No. 2, pp. 1–23.
- [6] J Ridley Stroop. Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of experimental psychology*, Vol. 18, No. 6, p. 643, 1935.
- [7] Anthony G Greenwald, Debbie E McGhee, and Jordan LK Schwartz. Measuring individual differences in implicit cognition: the implicit association test. Vol. 74, No. 6, p. 1464.
- [8] 藤枝珠生, 石川遼太郎, 松田壮一郎, 蜂須拓. 疑似心拍振動と表情刺激を用いた感情認知に関するストループ課題. ハプティクス研究委員会 第 33 回研究会, 2024.
- [9] Yoshiki Mori, Sohta Takada, Masayuki Kajiura, Modar Suleiman Hassan, and Taku Hachisu. Relaxed or tense? mutual biosignal transmission with heartbeat vibrations during online gameplay.
- [10] Tomomi Fujimura and Hiroyuki Umemura. Development and validation of a facial expression database based on the dimensional and categorical model of emotions. Vol. 32, No. 8, pp. 1663–1670. PMID: 29334821.
- [11] Yuri Terasawa, Yoshiya Moriguchi, Saiko Tochizawa, and Satoshi Umeda. Interoceptive sensitivity predicts sensitivity to the emotions of others. Vol. 28, No. 8, pp. 1435–1448.
- [12] Mingdi Xu, Takeshi Tachibana, Nana Suzuki, Eiichi Hoshino, Yuri Terasawa, Norihisa Miki, and Yasuyo Minagawa. The effect of haptic stimulation simulating heartbeats on the regulation of physiological responses and prosocial behavior under stress: The influence of interoceptive accuracy. Vol. 164, p. 108172.