

# 脈波を共有してプレイする 心理戦ゲームの開発

● 稲田和巳 筑波大学大学院

■ 金 尚泰 筑波大学

## Development of Mind Game with Heartbeat Sharing

Inada Kazumi : Master's Program in Informatics,  
University of Tsukuba

Kim Sangtae : University of Tsukuba



図1 制作したゲームデバイスの外観。コントローラから採取された脈波データがそれぞれの画面にゲーム内容と合わせて表示される。

### 要旨

脈波・血圧・呼吸・体温などの生体信号は人の内的状態を反映して変化し、コミュニケーションの新たな要素となることが期待されている。これらの情報は本人にとってはセンシティブなものであるため、これを上手く利活用につなげる例外的状況の探究が進められている。また従来の生体信号の測定・提示技術は医用的な背景が強く、日常生活の中で誰でも直感的に利用できる手法の検証も必要である。

本研究では生体信号の活用可能性がある場面としてゲームコンテンツへの組み込みに着目し、これに必要な技術的およびデザイン的要素を、実際にコンテンツを試作し評価実験を行うことで考察した。実験結果からは特に、測定精度とユーザ体験のバランスや、測定結果のフィードバックの必要性について知見および課題が得られた。

### Summary

Biosignals such as pulse wave, blood pressure, respiration, and body temperature are expected to become new elements of communication. Since they are sensitive to the individual, the search for exceptional situations that can use data effectively. In addition, since conventional technologies for measuring and presenting biological signals have been with a medical background, it is necessary to develop methods that can be used intuitively in daily life.

We focused on the possibility of biosignals in game contents and examined the necessary technical and design elements by creating a prototype and conducting evaluation experiments. The results provide insights into the balance between accuracy and UX, and the need for feedback on measurement results.

## 1. 背景

近年、スマートデバイスやその周辺技術の充実により、生体信号のセンシングと活用は一段と身近なものとなった。

大きな役割を担っているのが、スマートウォッチやバイタルバンドなど、ウェアラブルデバイスの普及である。これらは高度な計算機能を文字通り身に着けて活用することを可能とし、脈波や血圧の検出機能を備えることで、身体が生む情報の活用シーンを広げた。生体信号の変化から異常を検知し救急救命へつなげるなど、社会での活躍も見られる。このような技術の進歩により、身体の情報への入手はますます簡単になった。非接触かつ数秒という短時間で体温の測定を可能にした赤外線検温技術の活躍ぶりも、昨今の新型肺炎の流行によって誰もが知るところである。

下野らや森江らが明らかにした [注1~2] ように、心拍・呼吸・血圧はストレスや感情を反映し、人の外面からはわからない内的状態を明らかにする。これを利用し、人同士のコミュニケーションの価値を高める試みもなされている。例えば、吉田・米澤は、遠隔介護の実現のニーズを念頭に、ロボットを介した生体信号のやりとりを提案した [注3]。内的状態についての情報の価値が高まるのは、そこから外面からはわからない事実が多く得られるときである。しかしそのようなシーンは、多くの場合怒りや緊張をともなう。Slovakらによれば、人はこのような場面で心拍を共有すると、自らが維持しようとしている外面の印象が壊されると考え心理的拒否感を覚える [注4]。つまり、人の内的状態についての情報量が多くなる状況ほど、当人の拒否感が強まるというジレンマが存在する。

現在は、このような関係性の例外となる、生体信号の活用シーンの研究が進んでいる。Slovakらはすべての環境で心拍の共有が不快になるわけではないことにも触れており、可能性として、遠隔地にいるカップル間でのやりとり、医療的モニタリング、ポーカーゲームでの印象操作の破壊、多人数のデータの統合による場の共感の表現などへの活用を挙げている [注4]。またFreyは、ボードゲームで参加者の心拍を互いに共有する仕組みを提案し、参加者間のインタラクションを増加させる効果が生まれることを報告している [注5]。このように、ゲームの対戦では心拍を用いたコミュニケーションの活用可能性があることが推察される。

生体信号の活用場面の提案が進む一方で、その測定・提示の手法には未開拓な部分も残る。生体信号の測定技術の多くは医用的な背景から発達しており、そのような手法は生活空間で気軽に用いるにはふさわしくない。近年はウェアラブルデバイスでの測定が普及しているが、身体に装着するデバイスは個人の持ち物としての性質が強く、よりソーシャルな用途に応用可能な手法が求められる。また測定結果の提示についても、医用的な背景での正確な読み取りではなく、誰でも直感的かつ感覚的な把握ができることを目的とする手法の検証は多くない。

## 2. 目的

生体信号によるコミュニケーションの活用可能性は高まりを迎えているが、これに適応したデータの測定や提示の方法はより具体的な検討が必要である。本研究では活用場面のひとつとして「対戦ゲームへの組み込み」に着目し、以下のようなことを目的とした。

- (1) 日常空間で気軽に使用できる脈波の測定と提示の手法について検討すること。
- (2) センシティブな情報である内的状態が、ゲームを通じて無理なく有意義に活用できることを検証すること。

これらの目的のもと、脈波を他者と共有してプレイするゲームコンテンツを試作し、評価実験を行った。

## 3. 事前検討

### 3-1. 開発の要点

- (1) 対戦型ゲームコンテンツであり、相手の内面を把握できることがプレイを進めるにあたっての手がかりとなりうる。通常見ることができないヒトの内的状態を明らかにすることが、ゲームの魅力やプレイ方法にどのような影響を与えるかを検証できるように図る。
- (2) 使用者に負担がない、気軽に使用できる形態であること。脈波の測定にあたって侵襲を伴うセンサの使用や強い装着感の発生は避け、通常のゲームに比べて使用のハードルが大きく上がらないように配慮する。
- (3) 直感的な把握と操作が可能なインターフェイスであること。シンプルで、内容やプレイ状況の認識を阻害しないデザインを行う。

### 3-2. 題材

制作するコンテンツの題材として「海戦ゲーム」を選定し、一部修正して利用した。

「海戦ゲーム ( Battleship、戦艦ゲームなどとも )」はテーブルゲームの一種である。古典的なゲームであり正式な名称や考案者は明らかではなく、改良や修正が加えられ様々な亜種が存在するが、2人のプレイヤーが紙とペンのみでプレイすることができるものを基本とする。今回はコンピュータゲームとして以下のような単純なルールを設計した。

- (1) 8×8のマス目に区切られた陣地を用意し、2人のプレイヤーが各3つのコマを配置する。配置は相手には知られない。同じマス目に自分のコマを複数配置することはできない。
- (2) プレイヤーは交互に攻守を入れ替え対戦する。攻撃側は、守備側の陣地のマス目を1つ選択する。守備側のコマが当該箇所が存在した場合は無効化され攻撃側の得点となるが、そうでない場合は最も近いコマまでの道のりが数値で表示される。
- (3) 一方が他方のコマの位置をすべて当てると、ゲームは終了となり、位置をすべて当てた側が勝者となる。

これに加えて、プレイ中には相手のカーソルの動きと脈波

を表示する。プレイヤーは自分のカーソルの動きやその他の行動に対するフィードバックとして、相手の脈波の変動を得ることができる。

### 3-3. 測定手法の選定

侵襲を伴わない脈波の測定には光電式が広く使用される。これは発光素子と受光素子を組み合わせた装置を使用して皮膚表面に光を照射し、反射または透過光の強度変化を検出するもので、血流量によって皮膚表面の色が変化することを利用している。多くは手首・指・耳など末梢部で測定を行う[注6]。

光源には赤外・紫外光や可視緑色光などが用いられ、その差は人体への吸収特性などから測定結果に影響する。Maedaらによれば、緑色光による測定は赤外光によるそれに比べて、人体深部のノイズや皮膚温度による影響を受けにくく、ウェアラブル用途で有効である[注7]。この手法は例えばスマートウォッチでの脈波検出などにも用いられる。

以上より、今回は緑色LEDを使用した反射型光電式のセンサモジュールにより肌から測定をおこなうこととした。

## 4. コンテンツの制作

検討を踏まえ、全体のシステム構成を決定した(図5)。

- (1) 表示部：ディスプレイで盤面の状態を表示する。今回は既製タブレット端末を使用(1人1台、計2台)。
- (2) 操作部：ボタンや簡易なインジケータを備え、手で把持してゲーム内容进行操作することができる。光電式センサを搭載し、手の皮膚面から脈波データを収集する(1人1台、計2台)。
- (3) その他：通信用無線LANルータ、統括PC

### 4-1. 操作部のデザイン

実際に操作部にセンサを実装するにあたり、その位置が問題となる。反射型光電式センサは肌の同じ箇所に常に触れ続けることが求められ、プレイヤーの操作や無意識な行動によって接触場所が変わらないようにする必要がある。

図2のような両手で把持し指でボタン操作をおこなう単純な形状のコントローラでは、機器を両手で挟み込むような力

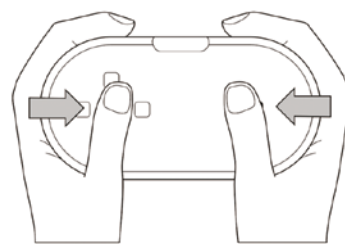


図2 操作部を把持する際の力のはたらき

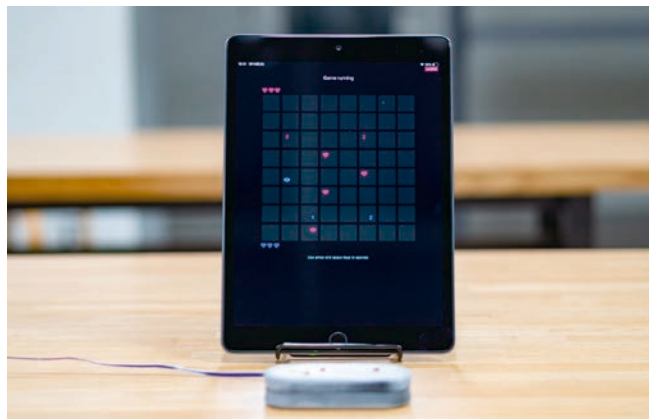


図3 操作部および表示部を配置した様子

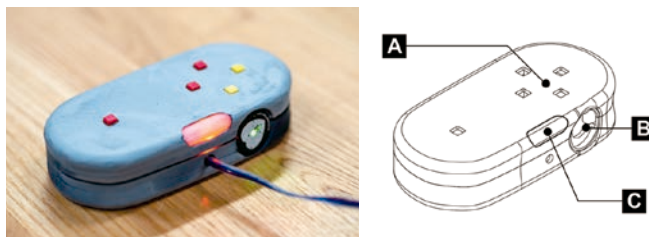


図4 操作部の外観と装備パーツ。A：操作ボタン、B：脈波センサ、C：発光部

を加えて把持する。当初は力の加わる機器両端のどちらかにセンサを装備することで、安定したデータが得られると考えた。しかし、この形状を試作して前述のルールをプレイすると、プレイヤーは常に操作部を安定的に両手で持っているわけではなく、特に相手の手番を待つ際などには無意識に片手を離してしまい、センサの肌からの接触が失われることが明

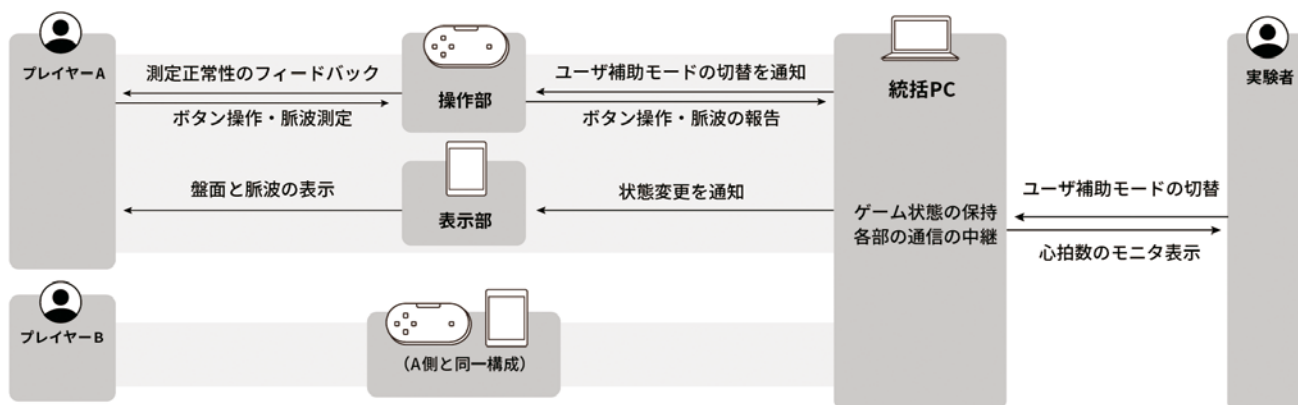


図5 システムの構成図



らかになった。

無意識な行動によるノイズ発生は無論避けるべきであるが、この場合はセンサの正常性までもが「常に両手で把持する」という無意識的な行動に依存しており、不安定になったことが推察される。そこで、把持した際に人差し指を置く箇所(図4-B)にセンサを移動し、プレイヤーが接触を意識的に維持し、またその状況を容易に目視できるように計らった。さらに筐体側面にはゆるい凹みを作り、指を置く箇所の誘導をおこなった。

操作部にはこのほか、カーソル移動(上下左右)と操作確定のボタン(図4-A)、および動作状況のフィードバックを行うための発光部(図4-C)とブザーを配置した。また内部にはマイコンを搭載し、脈波の立ち上がり回数から心拍数を算出し、値を無線で送出する機能を実装した。

#### 4-2. 表示部のデザイン

表示部では、ディスプレイ上に盤面の状況と、センサから測定された情報を表示する(図3)。表示部として既製品のタブレット端末(iPad)を縦位置で使用し、画面デザインもこれに合わせて作成した。

プレイ中に脈波データを参照する際、ここで読み取るのは絶対的な値や波形ではなく、(緊張による心拍数の上昇を例とできるように)心拍周期の変動である。よって提示するのは、脈波センサから得られた波形から算出した「1分あたり心拍数」の値を、時間を横軸としてグラフ化し値に併記したものとした。時間軸方向の分解能は1秒、表示範囲はFreyの実験[注5]と同様に20秒間とした。

以上を踏まえ、表示内容は以下ようになった(図6)。

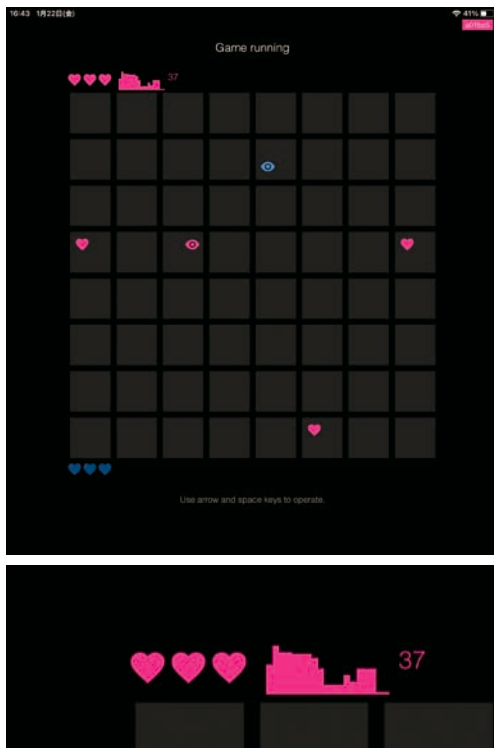


図6 表示部画面の表示内容・センサ情報部分の拡大図

- (1) 2人のプレイヤーに属する要素を、それぞれピンク色と水色で区別する。
- (2) 盤面を画面中央に配置し、その升目内にハートのアイコンでコマの配置場所を、目のアイコンでカーソル位置を示す。攻撃済みの升目にはハートのアイコン、または距離を表す数字が表示される。ピンク色のアイコンは正方形の升目内の上段に、水色のアイコンは下段に表示されるため、計4種類のアイコンを1マス内に同時に表示することが可能である。
- (3) 面上に残っているコマの個数と心拍数のグラフを、プレイヤーごとに盤面の上下に表示する。これらは当該プレイヤーの手番ではハイライトされる。

#### 4-3. ユーザ補助機能

脈波センサの採取するデータについて、プレイヤーに表示されるのは平均化された値である心拍数のみとなる。これでは、センサの接触状態が変化しても表示値が変化するのに時間がかかるため、プレイヤーにとっては操作部の持ち方の良し悪しのフィードバックとして利用しにくく、正常に測定されているのかもわかりづらい。このため、測定正常性をフィードバックする2つの補助機能を用意した。

- (1) テストモード：脈波の立ち上がりを操作部のランプの点滅とブザーの鳴動で知らせる。プレイヤーは脈波が正常に測定される持ち方を直感的に探ることができる。
- (2) プレイモード：脈波の立ち上がりから算出された心拍数を監視し、明らかに異常な値が続いた場合に操作部のランプの点滅及びブザーの鳴動で知らせる。プレイヤーは操作部の持ち方が無意識にずれてしまっていることに気づくことができる。

両機能はどちらを使用するか、あるいは両方とも使用しないかを、統括PCからの操作で切り替え可能である。

#### 4-4. 統括PCのデザイン

統括PCは、表示部・操作部の間の通信の中継をおこなうサーバの役割を果たす。また、実験者による動作状況監視・ゲーム状態の初期化・切り替え操作を行うことを可能にする。

### 5. 評価実験

#### 5-1. 実験手法

制作したコンテンツを使用し、評価実験(テストプレイ)を実施した。ここでの目的は、本研究で提案する脈波の測定および提示手法に関する利便性を検証し課題点を発見すること、ヒトの内的状態のゲーム内での活用がプレイヤーのインタラクションやコンテンツの魅力に与える効果を検証することである。

2人1組の被験者に制作したゲームをプレイしてもらい、その様子を観察するとともに、プレイ後に感想や意見のヒアリングを行った。プレイは脈波データを使用しない状態と使用した状態で計2回おこなった。手順は次のとおり。

- (1) すべての心拍数を非表示にした状態で1回プレイする。

- (2) テストモードを使用し、各自自分の脈波が採取できることを確認する。
- (3) 相手の心拍数のみが見える状態で2回目のプレイをおこなう。プレイモードを使用し、異常値が示された際は各自で持ち方を修正するよう促す。

実験では「観察」「アンケート」「ヒアリング」の3種類の方法で評価を行った。

プレイ中には、プレイヤー間のやりとり・行動・心拍数の変化について実験者による観察を行った。実験後には被験者に以下のアンケート設問へ回答してもらった。設問1～5についてはリッカート尺度、設問6では1を「初対面」5を「非常に親しい」の選択式とした。

- (1) 相手の心拍から読み取れたことはありましたか？ (いいえ～はい)
- (2) 心拍はプレイや戦略に役立ちましたか？ (いいえ～はい)
- (3) 相手が自分の心拍から読み取ったことはあると思いますか？ (いいえ～はい)
- (4) 心拍はどの程度正確であると感じられましたか？ (まったく正確ではなかった～非常に正確だった)
- (5) 相手と心拍を共有することに抵抗はありましたか？ (なかった～あった)
- (6) 対戦相手との親しさについて教えてください。(1 [初対面]～5 [非常に親しい])

最後に、実験者との会話を通じて被験者が自由に意見を述べるヒアリングを行った。実験者からは適宜、以下のようなトピックを提供した。

- (1) 脈波を共有することへの印象
- (2) 脈波を見ていて気づいたこと
- (3) プレイにあたって意識したこと
- (4) コンテンツについての意見、感想、改善提案

## 5-2. 結果

実験対象は大学生及び大学院生からなる計4組である。多くが打ち解けリラックスした様子で会話を交わしながらプ

レイをおこなった。心拍数を提示しない1回目と比べて、提示する2回目のプレイでは発話数が大幅に増加し、特に自分の考えやコマ・マス目を数える動作を口に出す行動の増加が目立った。うち2組ではさらに、相手のコマの位置について予想を口にし、心拍数の変動を観察・言及するなど、心拍数を積極的に活用しようとする行動が見られた。攻撃位置の決定自体は、表示される遠さ数値から厳密に推理して解く者がほとんどのようであり、また心拍数の読み取り方法やそれに伴う行動と、ゲームの勝敗には顕著な因果関係は認められなかった。心拍数は多くの被験者でゲームが進行するにつれ上昇する傾向が見られた。機器の利用や操作は全ての被験者がスムーズに行うことができた。

アンケート調査の結果を図7に示す。測定の精度は個人差が大きく、測定がうまくいかない(頻繁に明らかな異常値を示すなど)ことがあり、そのような回の参加者による設問1～5の点数は概して低めであった。

ヒアリングでは、体験全体については概ね好評であり「楽しかった」との声が多かった。意見・改善点については、以下のような内容があった。

### 【心拍数の共有・表示について】

- ・序盤は見えて観察したが、中盤以降は数字を頼りに解いた。
- ・自分の発言に対する変動を観察していた。
- ・自分の心拍が送られている感覚がもっとあるとよい。
- ・あまり目に入らない。
- ・グラフではなく点滅で表示したほうが目立つしわかりやすいのではないか。
- ・データはあまり見ていなかったが、これは表示位置の問題であるように思われる。もっと盤面の中に要素として組み込まれていると良い。

### 【コンテンツやデザインについて】

- ・UIがわかりやすくきれいである。
- ・市販のゲームコントローラでボタンがある位置にセンサがある。無意識に押さえないようにしてしまう人がいるように思う。

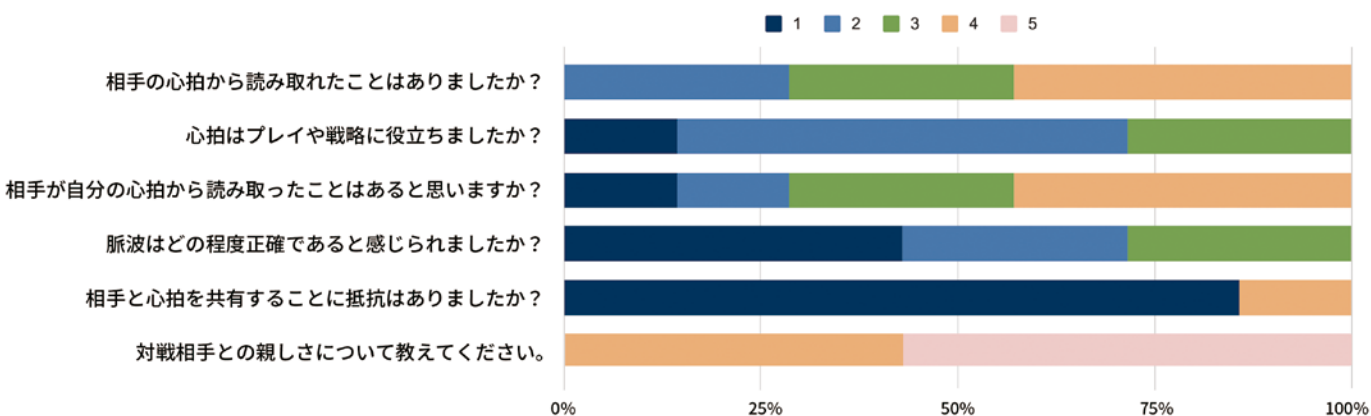


図7 実験後のアンケート調査の結果

- コントローラの持ち方は人やコンテンツによってさまざま（よく使うキーを押しやすい場所に割り当てるなど）。全員に使いやすい形状というのは難しいのではないかな。
- どちらの操作の番なのかを見失うことがあった。よりわかりやすく表示できると良い。

## 6. 考察

### 6-1. 生体信号のゲームへの活用

心拍数を共有してのプレイ中には、自分の考えや予想を言葉で伝えたり、数値の変動に触れたりして反応を窺う試行が見られた。また個人差はあるものの、心拍からなにかしらの情報が読み取りうると捉えている様子がわかり（アンケート問1・3）、心拍数が対戦を有利に進めようとする手立てとして活用されることが示唆された。また、互いに親しいペア同士での結果ではある（問6）ものの、自身の内的状態を共有するにあたり抵抗感もほぼ発生していない（問5）ことが示された。さらに、ゲームの進行に伴う高揚感が心拍数の上昇としてあらわれ、場の高揚を可視化し対話を円滑にしていることが推察された。全体として、ゲームにおける内的状態の共有について、勝敗への明確な影響こそないものの、プレイヤー間でのインタラクションを無理なく増加させる効果が認められた。

プレイ戦略として、数値の変動を細かに観察するよりは、互いに戦況が見えていることを前提に、言葉を使って「かまをかける」ような方法が目立った。ゲーム画面の表示において、より言葉で表現しやすいような工夫（例えば、盤面の行・列に数字を振って口頭で伝えやすくするなど）を行うことで、更に進んだ展開が観察できる可能性がある。

### 6-2. 機器の使用方法およびデザイン

機器の操作や表示の解釈には、実験中にこそ大きな問題は見られなかったものの、アンケートおよびヒアリングでは特に多くの意見が寄せられた。心拍数の表示位置が目に入りにくい、グラフ表示は直感的でない、自分のデータが送られている感覚に乏しいなどの意見は、今後改善すべき点に直結する。一方、図形のアイコンを活用した非言語的でシンプルな表示デザインは評価が高かった。

意識的にセンサに触れるようにしたことが却って障害となる例も挙げられた。本研究では装着感の少なさを前提としたため、無意識的にセンサに接触し続ける方法には限界があったが、装着感の増大を使いやすさ・測定精度とトレードオフとして新たな方法を模索することも考えられる。

### 6-3. 測定や設計手法

測定精度の個人差が大きいことも明らかになった。持ち方や形状の問題以外にも、実験日は外気温が低い1月であったことから、手指の温度が低く光電式センサが十分に反応しないなどの問題も発生した。アンケート調査で否定的な評価をした者は、こうした不具合があった組の被験者であったため、精度面の改善をおこなうことでアンケート全体の評価傾

向も向上する可能性がある。一方で、データの細かな読み取りを行うようなプレイがあまりなされていないことから、測定精度のゆらぎを感じさせないように、暗黙的にデータを補正することも有効なのではないだろうか。

## 7. まとめ

本研究では、生体信号を用いたコミュニケーションの一例として脈波を用いたゲームコンテンツを試作し提案するとともに、データの測定や提示手法の特徴、コンテンツへ与える効果について検討した。その結果、生体信号が持つ内的状態の共有は、ゲームにおいてプレイヤー間でのインタラクションを増加させる効果があることが示された。また、測定装置のデザインにおける装着感とクオリティの課題や、測定時のフィードバックの必要性、データの提示における直感性の重要性をも明らかにすることができた。

今後これらの結果を知見としたコンテンツの改良、さらに詳細な分析、ならびに全く新たなコンテンツ分野への応用が期待される。

## 謝辞

本研究はJSPS科研費JP20K12105の助成を受けたものです。

## 注及び参考文献

- 1) 下野太海、大須賀美恵子、寺下裕美：心拍・呼吸・血圧を用いた緊張・単調作業ストレスの評価手法の検討、人間工学、34巻、3号、p.107-115、1998
- 2) 森江崇正、河野康平、伊賀崎伴彦：作業課題中の脳波および心拍変動解析を用いた感情評価に関する基礎的研究、平成30年度電気・情報関係学会九州支部連合大会（第71回連合大会）講演論文集、p.104、2020
- 3) 吉田直人、米澤朋子：呼吸・心拍・体温の非侵襲な計測に基づく生理現象表現ロボット介在型コミュニケーション、HAIシンポジウム、p.216-221、2015
- 4) Petr Slovák, Joris Janssen, and Geraldine Fitzpatrick: Understanding heart rate sharing: towards unpacking physiosocial space, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, p.859-868, 2012
- 5) Jérémy Frey: Remote Heart Rate Sensing and Projection to Renew Traditional Board Games and Foster Social Interactions, Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA' 16), p.1865-1871, 2016
- 6) Allen J: Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement, Physiological Measurement, Volume 28, Number 3, R1-39, 2007
- 7) Maeda, Y., Sekine, M. and Tamura, T: The Advantages of Wearable Green Reflected Photoplethysmography. Journal of Medical Systems, Volume 35, p.829-834, 2011