

# 心電を用いた VR システムの感性評価の研究 ～「サマーレッスン」プレイ時の「ドキドキ感」の男女間での比較～

伊藤弘大<sup>†1</sup> 大倉典子<sup>†1</sup>

近年、生体信号を用いた感性計測が注目され、著者らも生体信号を用いて種々のインタラクティブシステムの「わくわく感」を評価してきた。本研究では、心電を用いて、HMD を装着して VR 空間で女の子の家庭教師をするゲーム「サマーレッスン」の「ドキドキ感」を評価した。本報では、「ドキドキ感」の生理指標とパーソナルスペースの関係を、男女間で比較した結果について報告する。この結果は、「ドキドキ感」の心電による評価の確立に寄与する。

## Study on Affective Evaluation of VR System using ECG - Evaluation of "Feeling of Excitement" during playing "Summer Lesson" with comparison between genders -

KODAI ITO<sup>†1</sup> MICHIKO OHKURA<sup>†1</sup>

In our previous research, we evaluated a “feeling of excitement” of interactive systems using biosignals and proposed the standard deviation of NN intervals (SDNN) and R-R interval variability (RRV) from electrocardiograms (ECGs) as physiological indices. In this research, we focused on a “feeling of excitement,” and experimentally evaluated a VR game called “Summer lesson” using ECGs. In addition, we measured each participant’s personal space before the experiment and clarified the relationship among “feeling of excitement,” personal space, and gender using physiological indices.

### 1. はじめに

2016 年は VR 元年と呼ばれ[1], バーチャルリアリティの技術は目覚ましい発展を遂げており、多くの企業がヘッドマウントディスプレイ(HMD)や関連機器を発売している。また、著者らはこれまで心電等の生体信号を用いてインタラクティブシステムを評価し、「わくわく感」の有用な指標を提案してきた[2][3]。

インタラクティブシステム等の評価にはアンケートを用いることが多い。アンケートのような主観的評価は、利用するうえで多くのメリットを有する。しかし、以下のようなデメリットもある。

1. 言葉のあいまいさ
2. 実験協力者・実験者の意図が混入してしまう
3. 提示を中断して評価する必要がある

そこで著者らは、生体信号を用いてインタラクティブシステムの評価を行うことにした。生体信号を利用するメリットとしては以下があり、上述したアンケートのデメリットを補うことができると考えられる。

1. 実験協力者自身がコントロールしにくい
2. 物理量で評価できる
3. 実験中に連続的に計測できる

また感性は、ラッセルの円環モデルに基づき、valence と arousal の 2 変数で表すことが多く (図 1) [4], 著者らの先行研究では、横軸を「ドキドキ」、縦軸「楽しい」「悲しい」

「怖い」などの心の揺らぎとする 2 次元のわくわくモデルを提案してきた[5]。また、他の先行研究では、アンケートの結果「わくわく」と「期待」、「わくわく」と「ドキドキ」に強い正の相関があることを明らかにした[3]。

そこで前報では、「わくわく感」の要素の 1 つである「ドキドキ感」に着目し、HMD の 1 つである PSVR[6]用のゲームソフト「サマーレッスン」[7]による「ドキドキ感」を心電を用いて評価し、「ドキドキ感」には実験協力者のパーソナルスペースの影響が大きいことを明らかにした[8]。本報では、男女間で比較した結果について報告する。

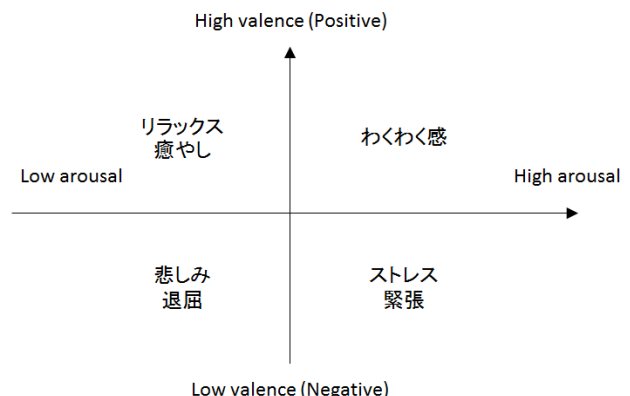


図 1 感性語を valence と arousal の 2 軸で分類した例  
Figure 1 Example of classifying impressional words by two axes of valence and arousal.

<sup>†1</sup> 芝浦工業大学  
Shibaura Institute of Technology.

## 2. 実験

実験手順は前報[8]と同様だが、再度記述する。

### 2.1 対象としたコンテンツ

実験にはゲームソフト「サマーレッスン」[7]を使用した。このゲームでは、プレイヤーは PSVR[6]を装着し、夏休みのうち1週間だけ女子高生の家庭教師になるという体験ができる。ゲームの流れの概要を以下に示す。

- i. タイトル画面が表示される。
- ii. 喫茶店に移動し、電話で家庭教師の依頼を受ける。
- iii. 女子高生の部屋に移動し、女子高生が自習を始める。
- iv. 表示される選択肢の中から、どういう指導を行うかを選ぶ。選択肢によって、学力の上がり方が異なる。
- v. 女子高生と雑談する。雑談中は女子高生が積極的にプレイヤーに話しかけたり、周りを歩き回ったり、急に接近して顔を近づけたりする。
- vi. 喫茶店に移動し、女子高生の学力がどれくらい上がったかを確認し、翌日の指導方針を決定する。
- vii. iii に戻り、1週間が経過するまで繰り返す。

なお本実験では、ゲーム内時間の1週間のうち、初めの3日間だけを体験してもらった。

### 2.2 パーソナルスペースの測定

パーソナルスペースとは、他人に近づかれると不快に感じる距離のことである[9]。本実験では、実験協力者のパーソナルスペースの大小によって「ドキドキ感」がどう異なるかを調査するため、事前にパーソナルスペースの測定を行った。測定には先行研究を参考に、Stop-Distance 法を用いた[10]。測定手順を以下に示す。

- i. 実験協力者から 300cm 離れた場所に実験者（女性）が対面して立つ。
- ii. お互いの目を合わせたまま無表情で、実験者が2秒ごとに半歩ずつ近づいていく。
- iii. 実験協力者が気詰まりな感じや落ち着かない感じを受けたタイミングで、「ストップ」と言ってもらう。
- iv. 実験協力者の意見に従って微調整する。
- v. 実験協力者と実験者のつま先の距離を測定する。

測定中の風景を図2に示す。



図2 パーソナルスペースの測定風景

Figure 1 Measurement of personal space.

### 2.3 「ドキドキ感」評価実験システムの構成

実験システムの構成を図3に示す。実験協力者には PSVR を装着してもらった。また、実験協力者の胸部に心電用センサーを貼り付けた。心電は生体信号計測装置(Nexus10)から Bluetooth 経由で PC に送信し、記録した。

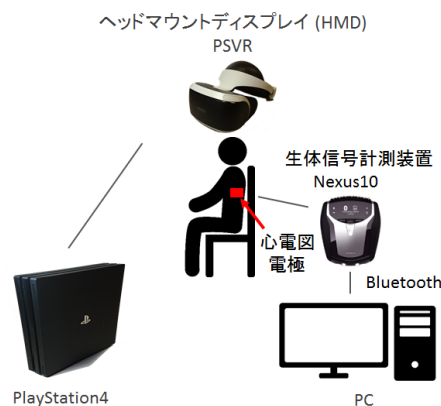


図3 実験システム

Figure 3 Experimental system

### 2.4 評価方法

#### 2.4.1 アンケート

実験終了後に、「シーン1：女の子が話しかけてきた時」「シーン2：女の子に顔を近づけられた時」「シーン3：女の子が近くまで歩いてきた時」のそれぞれの場面でどういう気持ちを感じたかを、複数回答可で選んでもらい、選んだ場合はその程度を10段階で回答してもらった。「サマーレッスン」プレイ時の感性と関係すると思われる形容詞を著者らが8つ選出し、選択肢として提示した。選択肢を以下に示す。

- (a) 面白い
- (b) わくわく
- (c) ドキドキ
- (d) いらいら
- (e) リラックス
- (f) 緊張
- (g) ニヤニヤ
- (h) ハラハラ

#### 2.4.2 心電

実験中は心電図 (Electrocardiogram, 以下 ECG) を測定し、ECG から算出される生理指標である RRI, SDNN, RRV を評価に用いた。著者らの先行研究では[2], ECG の SDNN と RRV をわくわく感の指標として提案しており、どちらもわくわく感によって減少するとしている。なお、RRI は ECG の R 波と R 波の間隔 (図4参照), SDNN は RRI の標準偏差, RRV は SDNN と RRI の比である[11][12][13]。なお、ゲーム開始前のタイトル画面で30秒間 ECG を計測し、これを安静状態とした。

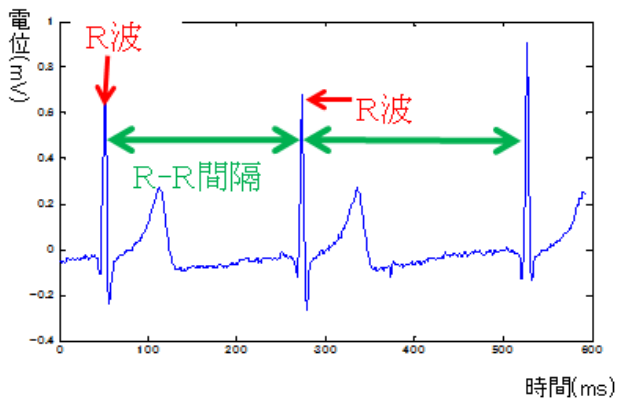


図 4 心電図の例

Figure 21 Example of electrocardiogram.

### 2.4.3 実験手順

実験は、以下の手順で行った。

- i. コンテンツの説明, 同意
- ii. 生体信号計測機器の装着
- iii. 心電の記録を開始, 安静状態の計測
- iv. コンテンツの体験
- v. ECG の記録停止, 測定機器の取り外し
- vi. アンケート

## 3. 実験結果と考察

実験は 20 代の男性 10 名, 20 代の女性 5 名を対象に実施した。うち男性 8 名の結果はは前報[8]で報告したが, 本報では男性 2 名, 女性 5 名に対して追加実験実施した。図 5 に実験風景を示す。



図 5 実験風景

Figure 5 Experimental scene.

### 3.1 アンケート結果

表 1 にアンケート結果のうち, 3 つのシーンそれぞれで a から h までの形容詞を選択した実験協力者の人数を示す。全ての実験協力者が「シーン 2: 女の子に顔を近づけられた時」にドキドキしたと回答していた。そのため, 以降の解析のために以下の区間を設定した。なお, 対象区間は実験協力者ごとに 3 箇所ずつ設定した。

対象区間: 女の子に顔を近づけられた後 (10 秒間)

表 1 アンケート結果

Table 1 Questionnaire results.

	シーン 1	シーン 2	シーン 3
(a) 面白い	8 人	4 人	4 人
(b) わくわく	6 人	1 人	3 人
(c) ドキドキ	9 人	15 人	14 人
(d) いらいら	2 人	2 人	1 人
(e) リラックス	7 人	1 人	2 人
(f) 緊張	8 人	14 人	10 人
(g) ニヤニヤ	5 人	7 人	5 人
(h) ハラハラ	1 人	5 人	3 人

### 3.2 パーソナルスペースの測定結果

表 2 にパーソナルスペースの測定結果を示す。Levene の検定の結果, 男女間でパーソナルスペースは等分散ではない有意傾向があった( $p < 0.10$ )。また, 男性の方が女性よりもパーソナルスペースの分散が大きかった。男性の方が女性よりも個人差が大きかったのだと考えられる。

表 2 実験協力者のパーソナルスペース

Table 2 Size of participants' personal space.

No.	性別	パーソナルスペース
P1	男	190 cm
P2	男	57 cm
P3	男	26 cm
P4	男	79 cm
P5	男	51 cm
P6	男	123 cm
P7	男	112 cm
P8	男	106 cm
P9	男	19 cm
P10	男	71 cm
P11	女	61 cm
P12	女	104 cm
P13	女	87 cm
P14	女	61 cm
P15	女	71 cm

### 3.3 心電の解析結果

ドキドキ感の指標として, ECG の RRI の対象区間での平均値, また, 対象区間ごとに RRI から算出する SDNN, RRV を用いて解析を行った。なお標準化のため, それぞれの指標について対象区間と安静状態の差分を算出し, 解析に用いた。前報[8]でパーソナルスペースの大きさで実験協力者をグループ分けし, 比較した結果を報告した。本報では, 男女での結果の比較について報告する。

#### 3.3.1 RRI 平均の解析結果

図 6 に RRI 平均を縦軸, パーソナルスペースを横軸にした散布図を示す。

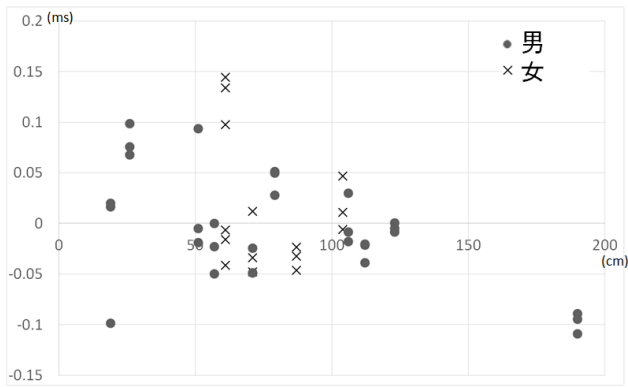


図6 RRI平均とパーソナルスペースの散布図

Figure 6 Scatter plot of RRI averages and personal spaces.

### 3.3.2 SDNNの解析結果

図7にSDNNを縦軸、パーソナルスペースを横軸にした散布図を示す。

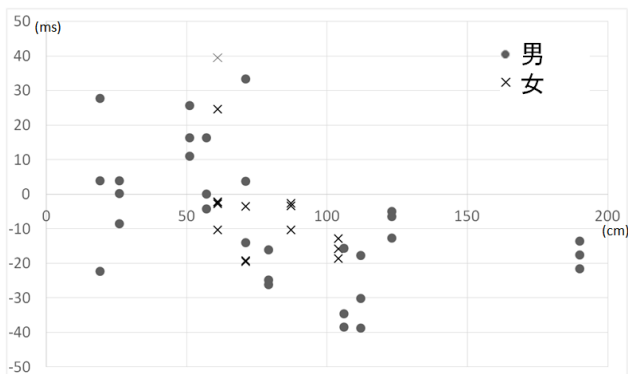


図7 SDNNとパーソナルスペースの散布図

Figure 7 Scatter plot of SDNN averages and personal spaces.

### 3.3.3 RRVの解析結果

図8にRRVを縦軸、パーソナルスペースを横軸にした散布図を示す。

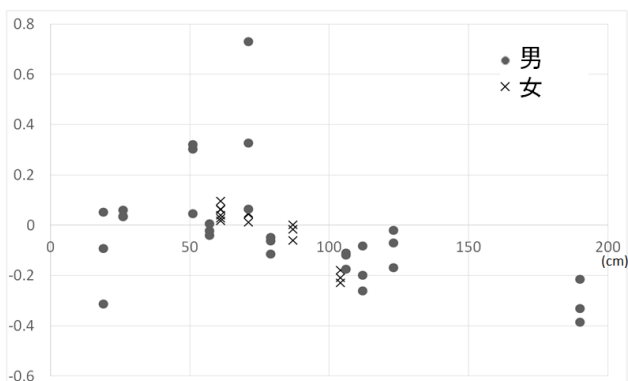


図8 RRVとパーソナルスペースの散布図

Figure 8 Scatter plot of RRV averages and personal spaces.

散布図より、女性の結果の場合に、RRVとパーソナルスペースに相関があるのではないかと考え、以下の回帰式を仮定して回帰分析を行った。

$$Y = a + bX$$

ただし、Yは対象区間のRRV、Xは各実験協力者のパーソナルスペースとした。

表3に女性の実験協力者に対する回帰分析の結果を示す、 $R^2$ が0.848と説明力の高い結果が得られた。標準化回帰係数は-0.921で、パーソナルスペースとRRVに強い負の相関があると考えられる。

先行研究[2]では、実験協力者がわくわくしている時の方が、わくわくしていない時よりもRRVが小さくなることがわかっていた。そのため、パーソナルスペースが大きい実験協力者の方が、パーソナルスペースが小さい実験協力者よりもドキドキする傾向があると考えられる。

また、男性の結果についても同様の回帰分析を行った。表4に結果を示す。男性の結果では、 $R^2$ が0.222と説明力の高い結果は得られなかった。

表4 RRVの回帰分析の結果・女性

Table 4 Regression analysis of RRV average for females		
	回帰変数	有意確率 (p)
(定数)	0.410	0.000
パーソナルスペース	-0.006	0.000
$R^2=0.848$		

表3 RRVの回帰分析の結果・男性

Table 3 Regression analysis of RRV average for males		
	回帰変数	有意確率 (p)
(定数)	0.151	0.048
パーソナルスペース	-0.002	0.009
$R^2=0.222$		

なお、RRI平均とSDNNについても同様の回帰分析を行ったが、どの結果も $R^2$ の値が小さく、有用な結果とは言えなかった。表5にそれぞれの解析で得られた $R^2$ の値を示す

表5 回帰分析の結果

Table 5 Regression analysis of RRV average for females	
	$R^2$
RRI平均・男性	0.113
RRI平均・女性	0.002
SDNN・男性	0.237
SDNN・女性	0.247

先行研究[2]では、SDNNとRRVは「わくわく感」の指標として提案しており、どちらも同様の傾向を示すことが

多かった。しかし、先述したように、今回の解析では女性のRRVの結果でのみ有用な結果が得られた。この結果から、SDNNとRRVがそれぞれ異なる「ドキドキ感」の指標となる可能性が示唆された。RRVを指標として用いることで、SDNNだけでは検出できない「ドキドキ感」の違いを検出できる可能性が示唆された。

また、今回の実験では、実験協力者はVR空間で女子高生の女の子と会話した。すなわち、男性の実験協力者は異性のキャラクターとのコミュニケーションを体験したが、女性の実験協力者は同性のキャラクターとのコミュニケーションだった。プレイヤーにとって相手が異性か同性かという違いが、「サマーレッスン」プレイ時の「ドキドキ感」に影響を与えた可能性がある。

#### 4. 結論

VRゲームの「ドキドキ感」に着目し、PSVR用ソフト「サマーレッスン」の「ドキドキ感」の評価実験を行った。ゲームプレイ前に実験協力者のパーソナルスペースを測定し、実験中は心電を測定、実験終了後にアンケートを実施した。本報では男女間での比較を行い、結果、以下の知見を得た。

- ・ 女性よりも男性の方が、パーソナルスペースの分散が大きい
- ・ 女性のRRVとパーソナルスペースの回帰分析の結果、パーソナルスペースとRRVに強い負の相関を示した。パーソナルスペースが大きい実験協力者の方が、小さい実験協力者よりもよりドキドキしていた可能性が示唆された。
- ・ RRI平均、SDNN、男性のRRVについても同様の回帰分析を行ったが、 $R^2$ の値が小さく、有用な結果は得られなかった。
- ・ SDNNとRRVで異なる結果が得られたことから、RRVはSDNNだけでは検出できない「ドキドキ感」を検出できる可能性が示唆された。

今後は、ECGを用いた他の実験を行い、機械学習等の手法を用いて解析することで、生理指標と「ドキドキ感」の関係性をより明確化する。

**謝辞** パーソナルスペース測定の実験者を務めてくれたTipporn Loahakangvalvitさんと、実験に協力して頂いた芝浦工業大学学生の皆様に謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 日経電子版: VR・AR元年 拡張する市場, <http://www.nikkei.com/article/DGXMZO07598660U6A920C1K14800/>, (参照日 2017年4月10日)。
- 2) 伊藤弘大他: 生理指標を用いた車載機器の情報提示による「わくわく感」の評価 - 車外風景に関する事前情報付与の影響のHRV解析 -, 日本感性工学会論文誌, TJSKE-D-16-00083 (2017)。

- 3) 原田圭裕他: D.Sにおける運転シーンに着目した「わくわく感」の生理指標による評価, VRSJ2015, vol.1, No.32C, pp.425-428 (2015)。
- 4) C. A. Torres-Valencia, M.A. Alvarez, A. A. Oronzco-Gutierrez.: Multiple-output support vector machine regression with feature selection for arousal/valence space emotion assessment., Proc. The 36<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC' 14), 2014., pp.327-343, Springer (2011)。
- 5) M. Ohkura, M. Hamano, H. Watanabe, and T. Aoto: Measurement of Wakuwaku Feeling of Interactive Systems Using Biological Signals, Emotional Engineering, pp.327-343, Springer (2011)。
- 6) Sony Interactive Entertainment Inc.: PlayStation VR, <http://www.jp.playstation.com/psvr/>, (参照日 2017年7月28日)。
- 7) BANDAI NAMCO Entertainment Inc.: サマーレッスン, <http://summer-lesson.bn-ent.net/>, (参照日 2017年7月28日)。
- 8) 伊藤弘大他: 心電を用いたVRシステムの感性評価の研究 ~ 「サマーレッスン」プレイ時の「ドキドキ感」評価 ~, 信学技報, vol. 117, no. 30, HIP2017-26, pp. 173-175 (2017)。
- 9) エドワード・T・ホール著, 日高敏隆・佐藤信行共訳: かくれた次元, みすず書房 (1970)。
- 10) 田中政子: Personal Spaceの異方的構造について, 教育心理学研究, 21(4), pp.223-232, (1973)。
- 11) 産業技術総合研究所人間福祉医学研究部門編: 人間計測ハンドブック, pp.66-71, pp.87-91, 朝倉書店 (2003)。
- 12) 松下昌之助: 心拍変動解析を用いた視覚障害と理学療法臨床実習のストレス評価, 筑波技術大学テクノレポート, vol.21, No.2, pp.56-60 (2014)。
- 13) 吉岡利忠他: 心拍の動揺から見た精神的作業負荷の様相, 疲労と休養の科学, No.16-1, pp.27-38 (2001)。