

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：34101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23501185

研究課題名(和文) 脈波と瞬目を用いたシリアスゲームのユーザエクスペリエンス評価法の開発と学習効果

研究課題名(英文) Developing a user experience evaluation method for serious games and learning effects using pulse waves and eyeblinks

研究代表者

小孫 康平 (KOMAGO, Yasuhira)

皇學館大学・教育学部・教授

研究者番号：60260022

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：シリアスゲームの学習効果を評価するためには、ゲームの面白さや臨場感といったユーザエクスペリエンスの評価法を確立する必要がある。そこで、本研究ではユーザエクスペリエンスの客観的指標として、脈波などの生体信号やボタン操作行動が有効であるかを明らかにし、シリアスゲームのユーザエクスペリエンスの評価方法を検討した。その結果、脈波のリアプノフ指数やボタン操作回数は、プレイヤーの心理状態および操作行動の有効な指標になり得ることが示唆されたので、ユーザエクスペリエンス評価に応用できることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：In order to evaluate the learning effects of serious games, there is a need to establish evaluation methods of user experience, such as enjoyment and the sense of reality of the game, among others. This study investigated whether biological signals, such as pulse waves, and button operating behaviors might be useful as objective indicators of user experience. The results indicated the Lyapunov exponent of pulse waves and the frequency of button operation could be effective indicators of psychological states and operating behaviors of players, which might be applied to developing user experience evaluation methods.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学、教育工学

キーワード：シリアスゲーム 脈波 カオス リアプノフ指数

## 1. 研究開始当初の背景

ユーザエクスペリエンスとは、製品を使用した際のユーザの体験全般を指す用語であり、近年のデジタルゲーム研究の重要課題となっている。特に、シリアスゲームの学習効果を評価するためには、学習の理解などの教育評価やゲームの面白さや臨場感といったユーザエクスペリエンスの評価方法を確立することが重要である。しかし、シリアスゲームの教育利用における評価は、質問紙や学習者の様子を記録した主観的な評価が多いのが現状である。もちろん、このような主観的な評価は非常に重要であるが、ゲームの面白さや臨場感が心理面に影響を与えることも十分考えられる。したがって、アンケートを利用した評価手法とともに、シリアスゲームの面白さなどを評価するための客観的なユーザエクスペリエンスの評価方法を検討する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、ユーザエクスペリエンスの客観的指標として、脈波などの生体信号やボタン操作行動が有効であるかを明らかにし、シリアスゲームのユーザエクスペリエンスの評価方法を開発し学習効果を検討することを目的とする。

## 3. 研究の方法

- (1) コントローラのボタン操作信号記録装置について検討する。
- (2) ゲームプレイ時の心理状態を明らかにするために実験を行う。
- (3) ゲームの未習熟者群および習熟者群におけるコントローラのボタン操作行動を明らかにするために実験を行う。
- (4) シリアスゲームのプレイ中の心理状態を明らかにするために実験を行う。
- (5) 生体信号やボタン操作行動を用いたユーザエクスペリエンスの評価方法について検討する。

## 4. 研究成果

- (1) コントローラのボタン操作信号記録装置の検討

コントローラのボタン操作の時間的経緯を記録・保存し分析することは、ビデオゲームのプレイ状況を知る上で重要である。そこで本研究では、連携研究者である上村が開発したコントローラのボタン操作記録装置を利用する。図1は、ビデオゲーム用コントローラのボタン操作記録装置を示す。

本装置は、コントローラボタンの操作履歴という、客観性の高いデータを、デジタル技術を用いることによって可視化し記録・蓄積するための独自のシステムである。コントローラのボタン操作情報(操作回数、操作時間)は、「操作信号記録装置」を用いてコンピュータ上に記録され、CSV形式で出力すること

が可能であるので統計分析を行うことができる。また、ボタン操作情報は、「コントローラ通信エミュレーター」を通じて、ボタンが押されるとLEDが光り、どのボタンが押されているかが判別できる「操作情報可視化装置表示板」が設置されている。この表示板を「ボタン用ビデオカメラ」で撮影することによって「ボタン映像」を記録する。モニタ上には、ゲーム映像、プレイヤーの表情、ボタン操作情報が合成され、どのようなプレイ場面でどのボタンが押され、どのような表情をとるのかを検証することが可能となる。

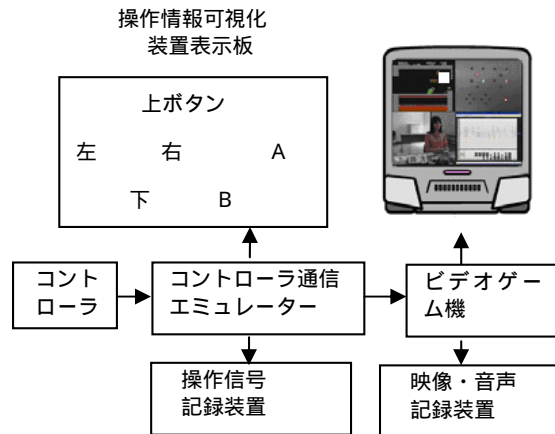


図1 コントローラのボタン操作記録装置

本研究では、開発したコントローラのボタン操作信号記録装置を用いて、妥当性を検討した。その結果、Aボタンと上ボタンなどを同時に押すという「同時押し」の測定も可能であることが確認できた。

- (2) ゲームプレイ時の心理状態に関する実験

### 脈波の測定と分析

脈波は、指尖脈波収集装置(BCU206SJ:CCI社製)を用いて、血液中に含まれるヘモグロビン量の容積変化を測定した。

測定で得られたデータをBACS DETECTOR Version2.5.2(CCI社製)でカオス解析を行い、リアプノフ指数を算出した。脈波のデータの3500点を用いて、リアプノフ指数を算出し、次に200点スライドして、次の3500点で求める方法を用いて時系列のリアプノフ指数を算出した。計算に用いたパラメータの設定値は、サンプリング周期:200Hz(5msec)、埋込遅延時間:10点、超球サイズ:0.08、近傍点数:20点であった。

### GTAの経験者群別における平均リアプノフ指数相対値

ビデオゲームの課題としては、「Grand Theft Auto」(以下、GTAとする)を用いた。GTAは、非常に自由度の高いゲームであるため、プレイヤーは自由にプレイする

ことができる。つまり、プレイヤーの心理状態は、各個人のプレイの仕方によって変わる可能性が大きいと考えられる。そこで、プレイヤーの心理状態を検討するのにGTAが適していると考え、本ソフトを用いた。

プレイ時間(18分間)を3分割(前半・中間・後半)して分析を行った。図2は、GTAの経験者群別における平均リアプノフ指数相対値(プレイ前の安静時リアプノフ指数の平均値を1としたときのプレイ中におけるリアプノフ指数の平均値との比)を示したものである。以前にGTAをプレイしたことがある経験者群は9名、未経験者群は4名であった。経験者群条件(2)×プレイ前半・中間・後半の区間条件(3)の2要因の分散分析を行った。その結果、交互作用が認められた( $F(2, 22) = 10.57, p < .001$ )。そこで、要因ごとに単純主効果の検定を行った結果、中間( $F(1, 11) = 12.52, p < .01$ )および後半( $F(1, 11) = 13.45, p < .01$ )において有意差が認められた。

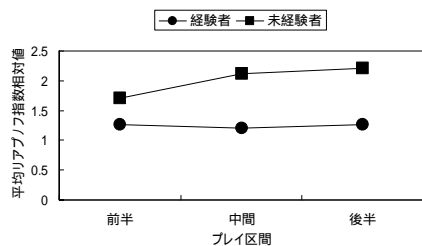


図2 GTAの経験者群別における平均リアプノフ指数相対値

すなわち、中間および後半において未経験者群の方が経験者群より平均リアプノフ指数相対値は大きかった。また、未経験者群において、有意差( $F(2, 22) = 18.44, p < .01$ )が認められた。LSD法を用いた多重比較の結果、中間および後半における平均リアプノフ指数相対値は、前半よりも大きかった( $p < .05$ )。

GTAの面白さ群別における平均リアプノフ指数相対値

図3は、GTAの面白さ群別における平均リアプノフ指数相対値を示したものである。GTAが面白いと回答した群は9名、どちらでもない群は4名であった。面白さ群条件(2)×プレイ前半・中間・後半の区間条件(3)の2要因の分散分析を行った。その結果、交互作用に有意傾向が認められた( $F(2, 22) = 3.07, p < .1$ )。そこで、要因ごとに単純主効果の検定を行った結果、どちらでもない群において、有意差( $F(2, 22) = 6.98, p < .01$ )が認められた。LSD法を用いた多重比較の結果、中間および後半における平均リアプノフ指数相対値は、前半よりも大きかった( $p < .05$ )。

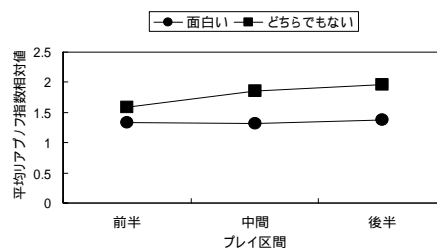


図3 GTAの面白さ群別における平均リアプノフ指数相対値

(3) ゲームの未習熟者群および習熟者群におけるコントローラのボタン操作行動に関する実験

ビデオゲームの課題としては、「スーパーマリオ」を用いた。スーパーマリオは、国内で爆発的にヒットした横スクロールアクションゲームである。したがって、多くの人々、どのようなゲームなのかを知っており、初心者でも取り組みやすいと考えられる。

本研究ではゲームの未習熟者群と習熟者群との間で、時間経過に伴うコントローラのボタン操作回数に違いがあるかを比較検討することを目的とする。なお、未習熟者群(4名)とは、本研究で用いるビデオゲームである「スーパーマリオ」をプレイした経験がない者とする。一方、習熟者群(5名)とはゲーム機器の機種を問わず、スーパーマリオを何回もプレイした経験がある者と定義する。

プレイ時間(40分間)を4分割(第1区間~第4区間)して分析を行った。図4は、習熟者群別における左ボタン平均操作回数を示したものである。

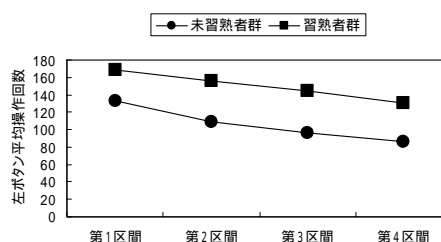


図4 左ボタン平均操作回数

左ボタン操作回数に関して、未習熟者・習熟者群条件(2)×区間条件(4)の2要因の分散分析を行った結果、未習熟者・習熟者群条件において、主効果( $F(1, 7) = 4.73, p < .10$ )が有意傾向であった。習熟者群の方が未習熟者群より平均操作回数は多い( $p < .05$ )。また、区間条件において、主効果( $F(3, 21) = 8.02, p < .01$ )が有意であった。LSD法を用いた多重比較の結果、左ボタン平均操作回数は、第1区間の方が第2区間より多いという有意傾向が認められ( $p < .10$ )、第3区間および第4区間より有意に多かった( $p$

< .05)。また、第2区間の方が第4区間より有意に多かった ( $p < .05$ )。

次に、左・上ボタン同時操作回数に関して、未習熟者・習熟者群条件(2)×区間条件(4)の2要因の分散分析を行った結果、区間条件において、主効果 ( $F(3, 21) = 2.40, p < .10$ ) が有意傾向であった。LSD法を用いた多重比較の結果、第1区間の方が第3区間および第4区間より有意に多かった ( $p < .05$ )。つまり、両郡とも後半の方が前半より左・上ボタン同時操作回数は減少する傾向がある(図5)。

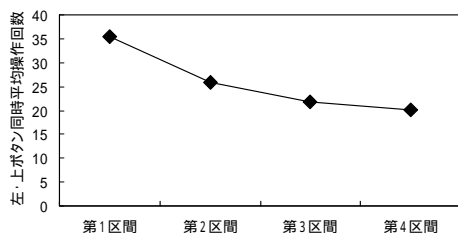


図5 左・上ボタン同時平均操作回数

#### (4) シリアスゲームのプレイ中の心理状態に関する実験

「大航海時代」を用いて脈波を測定した。「大航海時代 Online」は、15世紀から17世紀の大航海時代を舞台としたゲームである。プレイヤーは、冒険家や商人、軍人、海賊などの職業を持ったキャラクタとして、ゲーム内での交易や探検、戦闘などを行い、ゲーム内通貨やアイテム、スキルを獲得する。「大航海時代 Online」を利用した理由として、史実に基づいた豊富なコンテンツで構成され、生徒の利用にも配慮された内容であり、さまざまなコミュニケーション機能が提供されている。また、商業的に成功しており製品としての完成度も高い点が挙げられる。

1日1回につき30分間プレイさせ、5日間にわたって行われた。脈波のデータは、BACS-Advance(CCI社製)でカオス解析を行い、リアプノフ指数を算出した。一例として、被験者Aの場合は、航海中に奇襲攻撃を受けたときの平均リアプノフ指数の方が、攻撃の前後の航海中の平均リアプノフ指数より高かった。また、奇襲攻撃および船上での戦闘中における平均リアプノフ指数の方が、その前後の航海中の平均リアプノフ指数より高かった。

#### (5) 生体信号およびボタン操作行動を用いたユーザエクスペリエンスの評価方法の検討

##### リアプノフ指数相対値

ビデオゲームプレイ時の面白さや爽快感などの心理状態に関する研究では、会話データをもとに分析を行うプロトコル分析や面白さや爽快感に関する調査といったプレイヤーの主観的評価に留まっている。より客観

的な評価によって心理状態を明らかにすることが重要な課題である。その点、生体信号には、経時変化を客観的に測定できるなどの利点がある。特に、脈波は簡単に測定できる。また、脈波は快・不快などの心理状態によっても変化するという特性を持っており、心理状態が不安定になると、機械的で単調な周期現象が現れて、より単純なカオスになっていく。近年では、指尖脈波のカオス解析から得られるリアプノフ指数を用いて人の心身負荷状態の評価を試みた研究が行われている。しかし、ビデオゲームに関する心理学的研究において、生体信号を用いた客観的評価、ボタン操作行動を用いた行動評価および質問紙による主観的評価を用いて総合的に検討した研究はほとんどないのが現状である。

予備実験では、各被験者間において、プレイ中の瞬目率はほとんど差がなかった。そこで、本研究ではプレイヤーの心理状態の指標として、脈波のカオス解析によるリアプノフ指数が有効であるかどうか検討し、ビデオゲームプレイヤーの心理状態に関してリアプノフ指数を用いた客観的指標と質問紙による主観的指標から推定した。

ゲームプレイ時の心理状態に関する実験では、GTAのプレイが脈波のカオス解析による心理状態と主観的感情に及ぼす影響について検討した。特に、プレイヤーの心理状態の指標として、リアプノフ指数相対値が有効であるかどうか検討した。

平均リアプノフ指数相対値は、GTAの中間および後半において、GTAの経験者群の方が未経験者群より小さかった。また、未経験者群において、平均リアプノフ指数相対値は中間および後半の方が前半より大きかった(図2)。リアプノフ指数と心理状態に関しては、リアプノフ指数が小さいと精神的にリラックスした状態を示し、大きいと緊張した状態を示すと指摘されている。したがって、リアプノフ指数相対値が小さい経験者群では、心理的負荷が低くリラックスしている状態であり、未経験者群では中間および後半において緊張状態でプレイしていることを示唆している。このように、未経験者群において、平均リアプノフ指数相対値の時間的変化が認められた。

GTAが面白いと回答した群の平均リアプノフ指数相対値は、前半、中間および後半において大きな変化はなく、有意差は認められなかった。一方、どちらでもないと回答した群の平均リアプノフ指数相対値は、中間および後半の方が前半よりも大きかった(図3)。面白いと回答した群では、プレイ中はプレイ前の安静時と比較すると心理的負荷が高くなく、リラックスしてプレイしている状態であることを示唆している。一方、どちらでもないと回答した群は、後半につれて緊張状態であることを示唆している。このように、ビデオゲームプレイヤーの心理状態をリ

アプノフ指数相対値から推定することが可能であることが示唆された。

#### ボタンの平均操作回数

一方、左ボタンの平均操作回数は、習熟者群の方が未習熟者群より有意に多い傾向があった。また、左ボタンの平均操作回数は、両群ともプレイ後半に減少することが認められた(図4)。一方、右ボタンの平均操作回数は、習熟者群と未習熟者群との間で有意差は認められなかった。また、右ボタンの平均操作回数は、プレイ後半に減少する傾向が認められなかった。

スーパーマリオは右スクロールゲームであるので、各被験者は時間経過に関係なく右ボタンを操作し続けたと考えられる。そのため、両群間および区間で有意差は認められなかったと考えられる。一方、習熟者群のプレイヤーは、敵が向かってくるとスーパーマリオを左方向に移動させ敵を回避させたり、助走距離を確保したりしながらジャンプさせる位置を調整するなど、未習熟者群と比較すると、よりプレイ状況に応じて左ボタンの操作を決定したため、操作回数が多くなったと考えられる。

左・上ボタンの同時操作に関しては、全ての被験者が同時操作を行っていた。この場合は左手の親指を斜め右上に向ける必要がある。コントローラを握った時の親指の位置が斜め右上にあり、左ボタンを押そうとするが、同時に上ボタンも押したと考えられる。すなわち、上ボタンは豆の木を登る以外では使用されないノーアサインボタンである。したがって、押してもプレイに影響を与えない上ボタンと左ボタンを同時に押すということは誤操作を行っているとと言える。図5に示すように、プレイ後半で減少する理由として、プレイヤーは誤操作にもかかわらず、左ボタンのみを押していると勘違いをして、実は上ボタンと同時に左ボタンを押していると考えられるので、結果的に左ボタンと同じ操作傾向になったと思われる。つまり、習熟に伴って敵の回避やジャンプ位置の調整などで左に行く必要がないと判断するなど、左ボタンを操作する回数を時間とともに徐々に減らしたと考えられる。したがって、左・上ボタンもプレイ後半で減少したと考えられる。

このように、脈波のリアプノフ指数やボタン操作回数は、プレイヤーの心理状態および操作行動の有効な指標になり得ることが示唆されたので、ユーザエクスペリエンス評価に応用できることが明らかになった。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計2件)

小孫 康平、未習熟者群および習熟者群のビデオゲーム操作活動と時間経過との関連、デジタルゲーム学研究、査読有、Vol.7、No.1、2014、掲載確定、印刷中

小孫 康平、ビデオゲームプレイヤーの心理状態とコントローラのボタン操作行動の分析、デジタルゲーム学研究、査読有、Vol.5、No.2、2011、pp.1-12

### 〔学会発表〕(計2件)

上村 雅之、尾鼻 崇、小孫 康平、ビデオゲームはどのように遊ばれているのか コントローラの操作履歴からみえるもの、コンピュータエンターテインメント協会、CEDEC2012、2012年8月22日、パシフィコ横浜

小孫 康平、ビデオゲームに関する心理学的研究、立命館大学ゲーム研究センター2011年度第4回定例研究会、2011年7月27日、立命館大学

### 〔図書〕(計1件)

小孫 康平、風間書房、ビデオゲームに関する心理学的研究、2012、184

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

小孫 康平 (KOMAGO, Yasuhira)  
皇學館大学・教育学部・教授  
研究者番号：60260022

### (2)連携研究者

上村 雅之 (UEMURA, Masayuki)  
立命館大学・先端総合学術研究科・教授  
研究者番号：20388086