

仮想空間における没入感の定量化手法の提案 —仮想空間内での身体移動のずれが没入感に及ぼす影響— A proposal for quantification of immersion in the virtual space

—Do the smoothness and delay of the body-movement in the virtual space degrade immersion measured by subjective scales and physiological responses?—

渡邊 翔太^{†‡}, 長野 祐一郎[§], 岡ノ谷 一夫^{//¶}, 川合 伸幸[¶]
Shota Watanabe, Yuichiro Nagano, Kazuo Okanoya, Nobuyuki Kawai

[†]名古屋大学 大学院情報科学研究科, [‡]文京学院大学 大学院人間学研究科, [§]文京学院大学 人間学部,
^{//}東京大学 大学院総合文化研究科, [¶]JST ERATO 岡ノ谷情動情報プロジェクト

[†]Graduate School of Information Science, Nagoya University

[‡]Graduate School of Human Studies, Bunkyo Gakuin University

[§]Faculty of Human Sciences, Bunkyo Gakuin University,

^{//}Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo,

[¶]JST ERATO Okanoya Emotion Information Project

s.watanabe@cog.human.nagoya-u.ac.jp

Abstract

A sense of immersion refers to a subjective feeling that a person perceives as if he actually exists in the virtual environment. Although many techniques are proposed to enhance immersion in the virtual environment, an objective way to quantify the sense of immersion has not been established. This study was aimed to measure the sense of immersion by degrading head movement in the virtual world in terms of our subjective scales and autonomic nervous reactions. Participants saw the virtual reality world through the head-mounted display, in which participants' sights were presented. Participants were required to set their sights on the walking woman continuously without any manipulation. Then, the participants' head movements were degraded either by reducing smoothness of the movement (clumsy condition) or by providing temporal delay (temporal delay condition). The results showed that a sense of immersion was inhibited greater in the clumsy condition than in the temporal delay condition. In the temporal delay condition, the subjective immersion scores were negatively correlated with the heart rate. The increase in subjective immersion score would be attributable to the greater attention in the task, which led to a decrease in the heart rate. Taken together, these results suggest that the heart rate would be a possible measure for a sense of immersion.

Keywords — body ownership transfer, autonomic nervous reactions

1. 背景と目的

ビデオゲーム等のエンターテインメントにおいては、プレイヤーが仮想世界に対して深い没入感を得ることが重要である。近年普及しつつある、加速度計やジャイロ等を組み合わせた直感的なゲーム操作は、プレイヤーとコンテンツの結びつきを効果的に強め、より深い没入感を得るひとつの手法であることが分かっているが[1][2], 作品に対する没入感の程度を定量化する手法は十分に確立されてはいない。

先行研究[3]によると、没入感とは映像によって作り出された世界にあたかも入り込んでいるような感覚であると定義されている。つまり、テレビやコンピュータのモニターの前にありながら、実際に自分自身が探索・戦闘しているような感覚が生じることを、ビデオゲームに没入した状態といえるのではないだろうか。本研究では、コンピュータグラフィックス (Computer Graphics: CG) にて作成した仮想空間内に参加者の頭部運動をリアルタイムに反映させ、一人称視点による呈示を行うことで、仮想空間内への没入感を誘発することを試みた。またその際、頭部運動と映像の連動を段階的に低下させることで没入感を阻害し、その際に生じるストレス反応を測定した。このことにより、仮想空間における没入感を定量化することを目的とした。

2. 方法

実験参加者

大学生 20 名（男性 8 名，女性 12 名）を対象とした。平均年齢は 21.45 歳（ $SD = 1.32$ 歳）であった。

課題

参加者の頭部運動は HMD に搭載した自作モーションセンサーにより測位され，CG シーン内のカメラ動作に反映された（図 1）。課題は，画面中央に表示される円に，仮想空間内を移動するキャラクターを収め続けるものであった。この課題に，（1）時間遅延条件および（2）低操作解像度条件を設けた。時間遅延条件では，実験参加者の頭部の動きをハイカットフィルタ（カットオフ周波数 0.4Hz）により処理し視覚刺激に反映，低操作解像度条件では，操作訓練時および時間遅延条件で 0.1° 単位で反映されていた参加者の頭部運動を 1° 単位で視覚刺激に反映させた。これらの操作の結果，（1）では参加者の頭部運動に対して遅延した，（2）では頭部運動が滑らかに反映されない視覚刺激がそれぞれ呈示された。

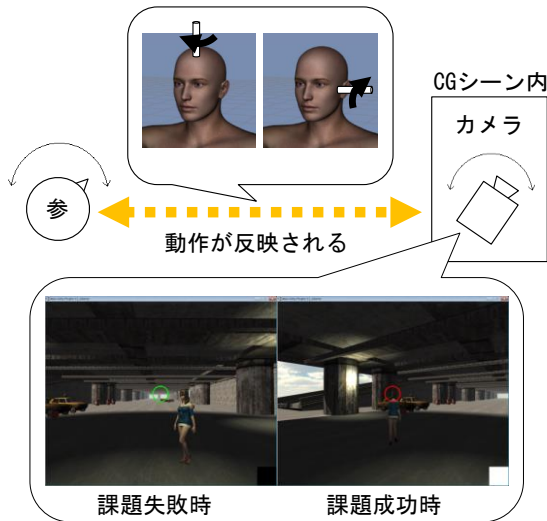


図 1 参加者の頭部運動の CG シーン内への反映

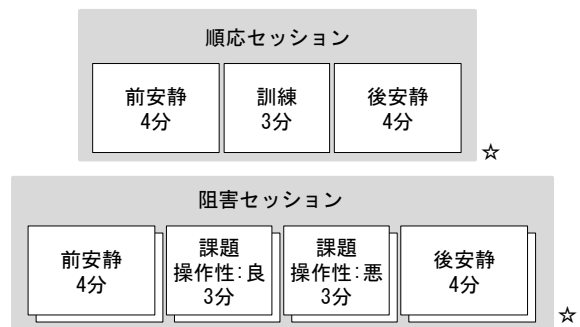
測定指標

独自に作成した項目を用いて仮想空間における没入感を測定した（没入得点）。具体的には「実際に道路の下に立っているような気がした」「実際に目の前を女性が歩いているような気がした」「HMDを外したとき、『現実に戻ってきた/帰ってきた』といったような

感覚があった」の 3 項目から構成された。また生理指標として，自作した心電図アンプを用い[4]，第 II 誘導法電極配置により心電図を測定し心拍数（HR）を，皮膚コンダクタンス測定装置により，右手第 4-5 指から皮膚コンダクタンス（SC）を，レーザードップラー血流計により左手第 4 指から指尖血流量（FBF）を測定した。なお心拍数は，交換神経系・副交感神経系の双方の影響を受け，競争場面や他者評価を受ける場面では増加するが，集中や周囲への注意が高まった場合には減少する。皮膚コンダクタンス・指尖血流量は，交感神経系の亢進を反映し，皮膚コンダクタンスは覚醒・やる気・集中等に対応し上昇，指尖血流量は緊張・不安等に対応し減少する指標である。

手続き

実験に先立ち，インフォームドコンセントを取った。機器の装着後，順応セッションの測定に移った。順応セッションは，前安静，訓練，後安静の3期間から構成された。訓練では，実験参加者の頭部の Pitch / Yaw 双方向の動作に，特に処理を加えず視覚刺激に反映させた。その後，訓練中の没入感の評価を求め，障害セッションに移った。障害セッションは，前安静，課題，後安静の3期間から構成された。障害セッションの課題期では，前半 3 分間は訓練と操作性は同様のものとしたが，後半 3 分間は実験参加者の頭部の Pitch / Yaw 双方向の動作に時間遅延，あるいは操作解像度低下の処理を施した。後安静測定後，課題後半実施中の没入感の評価を求めた。両条件の施行順序はカウンタバランスした。以上の手続きを図 2 に示した。



☆：没入項目への回答

図 2 実験スケジュール

2. 結果および考察

心理指標

実験の結果、没入得点は参加者の運動と視覚情報が同期し、かつ操作解像度も高い訓練で最も高かった。しかし、時間遅延や操作解像度低下という阻害を行うと、没入得点が低下した(図3)。このことから、訓練によって仮想空間における没入感が誘発されていたが、阻害によって形成された没入感に変調を来したと考えられる。一方、没入得点は訓練に比べて低操作解像度条件では有意に低下し(条件の主効果: $F(2, 38) = 5.74, p < .01$ 多重比較: 訓練と低操作解像度条件の間のみ $p < .01$)、参加者の運動に対しカメラ移動が円滑でないという、現実的な体験とCGシーン内の体験との明らかな乖離が、没入得点の低下に影響したと考えられた。

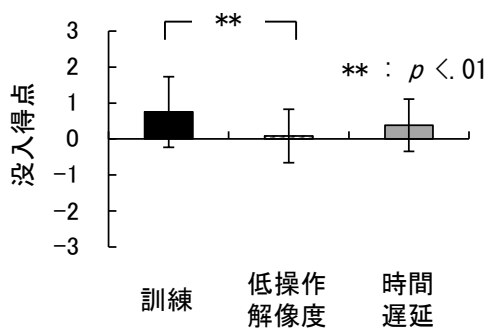


図3 各条件における没入得点

生理指標

生理指標においては、訓練ではHRやSCの上昇、FBFの下降がみられたが、訓練後、反応は大幅に減退した。これは、訓練前は課題が上手くできないが、訓練後は機器の操作に慣れ感覚運動学習が成立し、心身共にストレスの無い状態で課題を遂行できたためであると考えられる。このような段階では、課題の遂行は多分に無意識的に行われると考えられ、前述の主観評定だけでなく生体反応からも没入感が高まった状態であったと考えられる。

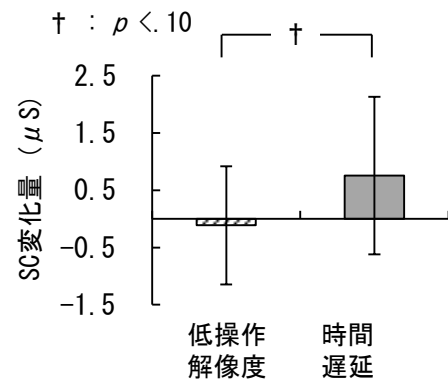


図4 操作性:良から操作性:悪へのSC変化量

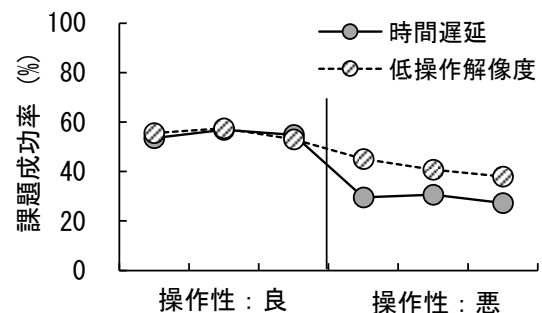


図5 阻害セッションにおけるパフォーマンス変化

没入感の指数として、操作性:悪から操作性:良への生体反応変化量を用いることを試みたが、変化量は当初の想定よりも少なく、SCの時間遅延条件においてのみ明確な上昇が認められた(図4)。さらに時間遅延条件では、低操作解像度条件に比べパフォーマンスの低下が著しいことから(図5)、SCの変化は、没入感阻害による影響ではなく、課題難易度上昇による交感神経活動の賦活を反映したものであると考えられる。しかし、参加者の個別の変動には課題パフォーマンスだけでなく、没入の影響が含まれる可能性があるため、各生体反応変化に関し、没入得点変化量、課題パフォーマンス変化量との相関係数を求めた。

SC変化量

時間遅延条件において、課題パフォーマンス変化量とSC変化量に有意な正の相関が認められ(図6)、SCの上昇は課題難易度の上昇を反映するという前述の解釈とは一致しないものであった。これは、課題が難しくなり動機づけの下がった参加者はパフ

パフォーマンスの低下と共に SC の変化が乏しくなったが、動機づけの下がらなかった参加者は、パフォーマンスを維持しようと努力したため、パフォーマンスはそれほど下がらず、SC が上昇したことが原因であると理解できるかもしれない。

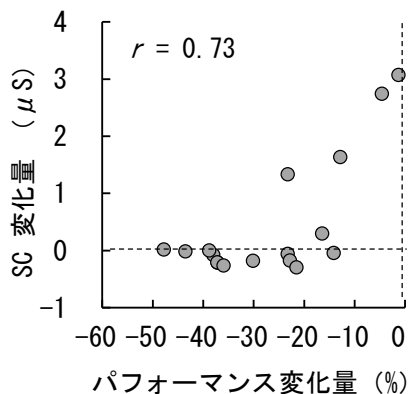


図 6 時間遅延条件における SC 変化量とパフォーマンス変化量との相関

HR 変化量

時間遅延条件において、HR 変化量と没入得点変化量の間には有意な負の相関が見られ（図 7）、没入得点が高まるほど、HR の変化量が低下するという結果となった。本研究の課題は、比較的高い集中を要するものであったが、外界への注意を払う課題においては HR が減少することが分かっている[5]。時間遅延条件では没入感は大きく阻害されず、課題に対する注意が持続していたと考えられることから、没入感が高まった状態というのは、課題に対する注意が高まった状態であるといえるだろう。

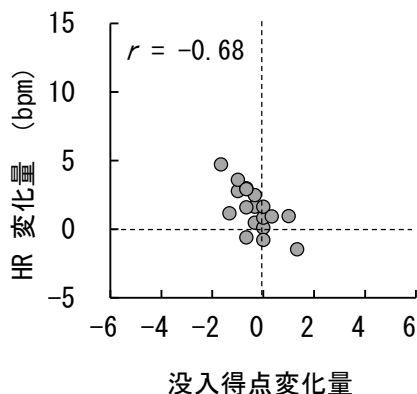


図 7 時間遅延条件における HR 変化量と没入得点変化量との相関

6. まとめ

本研究から、参加者の運動が仮想空間内に反映される際には、操作解像度の低下は、時間遅延よりも没入感を大きく阻害し、没入感を支える重要な要因である可能性が示唆された。さらに、操作性:良から操作性:悪への生体反応変化量と、没入得点との相関関係を調べたところ、時間遅延条件では没入得点の変化が生体反応に影響を及ぼした。特に、没入得点の増加は課題に対する注意を誘発し、HR の減少を引き起こす過程が想定でき、HR 変化量から仮想空間における没入感を定量化できる可能性が示唆された。

参考文献

- [1] 松田剛・開一夫 (2013) “モーショントローラは操作対象との一体感を増すのか? : 生理指標による検討”, 認知科学, 20, 578-580
- [2] Williams, K. D. (2013) “The Effects of Video Game Controls on Hostility, Identification, and Presence”, *Mass Communication and Society*, 16, 26-48
- [3] 松島一浩・佐藤美恵・春日正男・橋本直己 (2011). “室内空間における魚眼レンズを用いた没入型映像呈示の検討” 映像情報メディア学会誌, 65, 1011-1015
- [4] 長野祐一郎 (2011) “計算・迷路課題が自律系生理指標に与える影響の検討”, 文京学院大学人間学部研究紀要, 13, 59-67.
- [5] Lacey, B. C., & Lacey, J. I. (1974) “Studies of heart rate and other bodily processes in sensorimotor behavior” In P. A. Obrist, A. H. Black, J. Brener and L. V. DiCara (Eds.), *Cardiovascular Psychophysiology*. Chicago: Aldine. Pp. 538-564.