

前腕 CG モデルの動作遅延が身体感覚の転移および 心理生理反応に及ぼす影響の検討

渡邊 翔太^{†1†2} 長野 祐一郎^{†3} 川合 伸幸^{†1}

概要: 運転をしていて自動車以外の自動車と接触しそうになったら身体をよけてしまう等、実際には自己の身体ではない対象を自己の身体の一部として捉え、その動きにつられて自己の身体が動いてしまうことがある。このような身体感覚の転移は、脳内の身体図式表象の柔軟な変化 (入来, 2000) を示す好例であり、体性感覚と視覚の両感覚から入力される運動情報が時間的に同期していることが重要であると予測できる。本研究では、参加者の動作が反映される前腕 CG モデルを作成し、モデルの動作遅延が身体感覚の転移および心理生理反応に及ぼす影響を検討した。その結果、動作遅延がない場合に身体感覚の転移は強く生じ、かつ心拍数の増加も確認され、課題に対してどの程度対処可能であるかということが影響を及ぼす可能性が示唆された。

The Influence of Delay of the Body-movement in the Virtual Space on Body Ownership Transfer and Psychophysiological Responses

SHOTA WATANABE^{†1†2} YUICHIRO NAGANO^{†3}
NOBUYUKI KAWAI^{†1}

Abstract: We may recognize an object as a part of our own body even if it does not belong to us. We may sway away from an oncoming car, when we are driving on a narrow road. This kind of extended sense of our body parts can be occurred without an active movement: when the next car leave from us, then we sometimes feel like moving our body to an opposite direction. This phenomenon is called the body ownership transfer, which is one of the best examples of our body schema flexibility. Previous studies suggest that the synchronization between visual and somatic information on our body parts is crucial for this phenomena to occur. In the presented research, we investigated how do the psychophysiological responses and the sense of the body ownership transfer to the 3D-CG forearm change. The 3D-CG forearm in the virtual-reality world moved either by direct or delayed following by the participant's forearm movements. As the results, we found that both body ownership transfer and heart rate increased in the direct condition compared to the baseline. This result was consisted with previous studies that showed the increment of heart rates but no increment of the skin conductance level in the virtual-reality world where the participants could change the situations and objects directly. Therefore, the increment of heart rates but no increment of skin conductance level in the direct condition and no increment of both physiological reactions in the delayed condition seem to reflect a highlighted level of engagement in the virtual-reality world.

1. はじめに

我々の自己感覚は運動主体感と身体保持感の 2 つによって成り立つといわれている。運動主体感とは「行為を引き起こしているのは自分だ」という感覚を指し、身体保持感とは「経験を受けているのが自分だ」という感覚を指す[1]。この自己感覚は、普段特に意識することなく成立しているが、運転をしていて自動車以外の自動車と接触しそうになったら身体をよけてしまう等、実際には自己の身体ではない対象を自己の身体の一部として捉え、その動きにつられて自己の身体が動いてしまうことがある。これは身体感覚の転移と呼ばれ、脳内の身体図式表象の柔軟な変化[2] を示す好例であり、体性感覚と視覚の両感覚から入力される運動情報が時間的に同期していることが重要であると予測できる。本研究では、参加者の動作が反映される前腕 CG モデルを作成し、モデルの動作遅延が身体感覚の転移および

心理生理反応に及ぼす影響を検討した。

2. 方法

実験参加者

大学生 10 名 (男性 6 名, 女性 4 名) を対象とした。平均年齢は 24.1 歳 ($SD = 6.08$ 歳) であった。

課題

連続してランダムな位置に落下するボールを、前腕 CG モデルを用いて叩き落とす課題を用いた (図 1)。モデルの作成には、Unity Technologies 社製ゲーム開発エンジン Unity Ver3.5 を使用した。実験参加者の前腕の動作は、3 軸ジャイロセンサー (InvenSense 製 ITG-3200)、3 軸磁気・加速度センサー (ST Micro 社製 LSM303DLH)、および XBEE モジュールを搭載した Arduino FIO を組み合わせた自作モーションセンサーにより測位し、前腕 CG モデルに反映した。モデルの掌部分でボールに触れると、ボールは爆発のエフェクトと共に消滅し、画面左上に LOSE SCORE としてカウントされ、叩けずに逃したボールはフィールドの外へと溢れ落ち、画面左上に

†1 名古屋大学 大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nagoya University

†2 文京学院大学 大学院人間学研究科
Graduate School of Human Studies, Bunkyo Gakuin University

†3 文京学院大学 人間学部
Faculty of Human Sciences, Bunkyo Gakuin University

LOSE SCORE としてカウントされた。



図1 参加者の動作のCGシーン内への反映

条件配置

課題遂行時に、実験参加者の動作が前腕CGモデルにそのまま反映される遅延なし条件と、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、実験参加者の動作に対し、視覚映像に遅れが生じる遅延あり条件を設けた。

測定指標

一般感情尺度[3]を用いて主観感情を測定した。快感情（Positive Affect: 以下 PA）、不快感情（Negative Affect: 以下 NA）、安静状態（Calmness: 以下 CA）の3因子構造であり、8項目ずつ計24項目から構成され、それぞれについて“全くあてはまらない”～“非常にあてはまる”までの5件法にて評定を求めた。

独自に作成した項目を用いて前腕モデルに対する感覚転移を測定した（感覚転移得点）。具体的には、「実際にボールを叩いているような気がした」、「CGの手が自分の手であるような気がした」の3項目から構成された。各項目について、“-3”～“+3”の両極7段階にて評定を求めた。

生理指標として、自作した心電図アンプ、脈波測定装置、皮膚コンダクタンス測定装置を用い[4]、第II誘導法電極配置により心電図を測定し心拍数（Heart Rate: HR）を、非利き手第2指から指尖容積脈波振幅（Pulse Volume Amplitude: PVA）を、非利き手第3指および第4指から皮膚コンダクタンス（Skin Conductance: SC）を測定した。HRは、交感神経系・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。SC・PVAは、交感神経系の亢進を反映し、SCは覚醒・やる気・集中等に対応し上昇、PVA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。その後、実験前の感情状態について質問紙回答を求め、操作訓練を行った。操作訓練後、1分間の安静期を計測し、実験者の合図で1分間の課題を行った。課題の際には、真剣に取り組み、より高いスコアを出すよう教示した。課題終了後、課題遂行中の感情について質問紙への回答を求めた。以上を1セッションとし、条

件を変え再度計測を行った。条件の施行順序はカウンターバランスした。上記の実験スケジュールを以下の図2に示した。

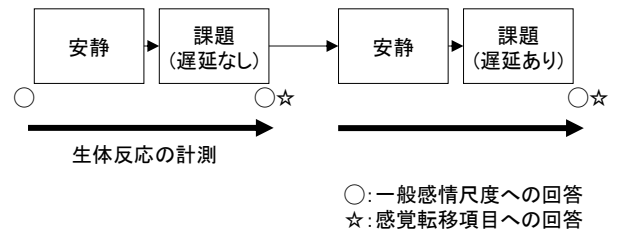


図2 実験スケジュール

3. 結果

感覚転移得点

感覚転移得点は、遅延あり条件に比べ遅延なし条件で有意に高くなった ($t(9) = 3.25, p < .01$)。各条件の感覚転移得点の平均を以下の図3に示す。

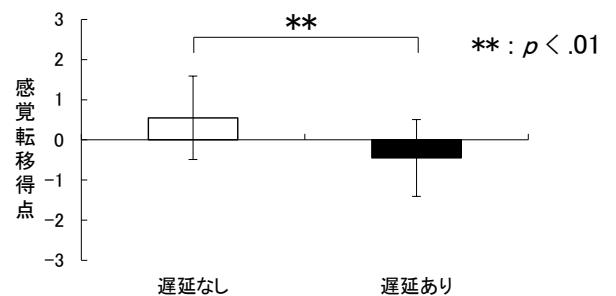


図3 各条件の感覚転移得点の平均

一般感情尺度

課題中、PA得点は遅延あり条件に比べ遅延なし条件で高く、その差は有意傾向であった ($F(2, 18) = 3.10, p < .10$ 多重比較 $p < .10$)。NA得点は条件間に有意差は認められなかった ($F(2, 18) = 0.55, n.s.$)。CA得点は両条件共に低下したが、その程度は遅延なし条件で顕著であり有意差が認められた ($F(2, 18) = 3.71, p < .05$ 多重比較 $p < .05$)。各条件のPA得点の平均を以下の図4に示す。

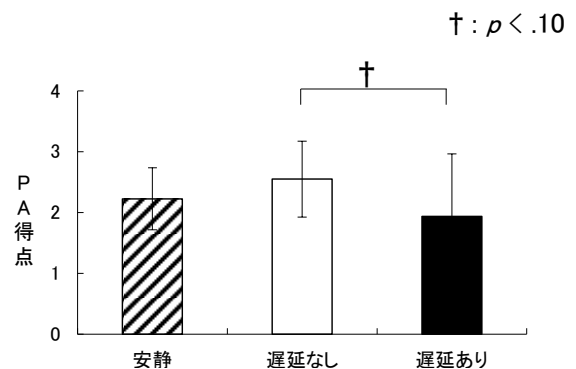


図4 各条件のPA得点の平均

あるかということが影響を及ぼす可能性が示唆された。

生理指標

HR は条件×期間の交互作用が有意であり、課題中、遅延あり条件に比べ遅延なし条件でより大きく上昇していた($F(1, 8) = 2.75, p < .05$)。しかし、いずれの期間においても条件の単純主効果は有意ではなかった。各条件の HR の推移を以下の図 5 に示す。

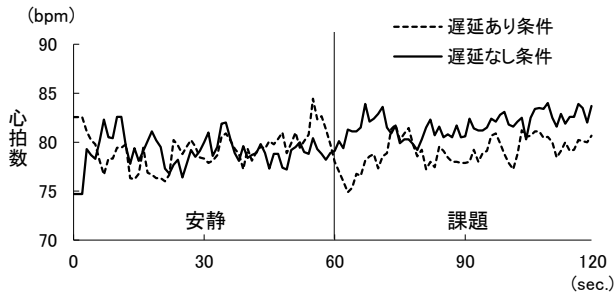


図 5 各条件の HR の推移

PVA は期間の主効果のみ有意であり、両条件ともに課題期に下降した($F(1, 9) = 7.97, p < .05$)。SC はいずれの効果、交互作用も有意ではなく、条件間の変化に差はみられなかった。

4. 考察

実験の結果、課題中の感覚転移得点は、参加者の動作と視覚刺激の間に時間遅延のない遅延なし条件で有意に得点が高く、参加者の運動を伴う場合であっても身体感覚の転移が生じることが示された。

遅延なし条件では、安静期から課題期にかけて CA 得点がありに低下し、課題中は遅延あり条件に比べて PA 得点が高いという結果になった。これは本研究にて用いた課題が、ゲーム性の高いものであったためと考えられる。意図通りの操作ができる遅延なし条件では課題に能動的に取り組んでいたが、意図通りの操作ができない遅延あり条件では、課題に対して能動的に取り組めなかったと推察される。

生理指標においては、有意差こそ見られないものの、遅延なし条件で課題中により大きな HR の上昇がみられた。参加者の動作とモデルの動作との間に齟齬があると、感覚転移が生じにくくなるだけでなく、操作性の悪さからによるストレスから、生理指標の反応量はより大きくなると予想されるが、本研究では、遅延なし条件でより大きな生理指標の変化がみられた。先行研究 [5]によると、努力次第で状況を改善できると判断した場合は、心臓反応の増大を主体とした心臓血管反応が生じるとされている。本研究では、遅延なし条件では参加者の意図した動作がモデルに反映されるため、多くのボールを叩き落とすことができるが、遅延あり条件では意図した動作がモデルに反映されず、課題成績も低下する。このことから、参加者の運動を伴った身体感覚の転移成立時には、課題に対してどの程度対処可能で

参考文献

- 1) Gallagher, S.: Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Science*, 4, pp.14–21. (2000).
- 2) 入来篤史: 道具を使う手と脳の動き, *日本ロボット学会誌*, 18, pp.786-791, (2000)
- 3) 小川時洋, 門地里絵, 菊谷麻美, 鈴木直人: 一般感情尺度の作成, *心理学研究*, 71, pp.241-246, (2000).
- 4) 長野祐一郎: フィジカルコンピューティング機器を用いたストレス反応の測定, *ストレス科学研究*, 27, pp.80-87, (2012).
- 5) Obrist, P. A.: *Cardiovascular psychophysiology: A Perspective*. New York: Plenum Press, (1981).