

前腕 3DCG モデルの動作遅延が身体感覚の転移および生体反応に及ぼす影響の検討

心理学科 10HP242 見原 遼

(指導教員：長野 祐一郎)

キーワード：身体感覚の転移、運動主体感、自律神経系指標

序と目的

結果

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。Gallagher (2000)によると、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。自己感覚は普段、特に意識することなく成立しているが、時として、自分以外の物体について、対象をあたかも自分であるかのように認識することである。これは身体感覚の転移という現象であり、近年急速に注目を集めているが、運動主体感に起因する感覚転移に関する研究は未だ数は少なく、定量化手法も確立されていない。そこで本研究では、Short&Ward (2009)の、CGモデルに対する感覚転移には、運動結果の予測と視覚フィードバックとの一致が重要であるという指摘に着目し、課題中の前腕 3DCG モデルの動作遅延が身体感覚の転移に及ぼす影響を、心理生理的側面から検討することを目的とした。

感覚転移得点は条件間に有意な差が認められ、遅延あり条件に比べ遅延なし条件で、感覚転移得点が有意に高くなったことが示された。主観感情は、PA 得点では遅延あり条件に比べ遅延なし条件でより高く、その差は有意傾向であった。CA 得点は両条件共に安静期に比べ低くなったが、その程度は遅延なし条件で顕著であり有意差も認められた。NA 得点は安静に比べ遅延あり条件で増加したように見受けられたが有意ではなかった。生理指標は、HR・SC では課題時に上昇、PVA は課題時に下降し、その程度は遅延なし条件で大きいように見受けられたが、いずれの生理指標においても交互作用は有意ではなかった。

方法

考察

実験参加者：文京学院大学内で 10 名(平均 24.1 歳,SD=6.08)を対象に実験を行った。

感覚転移得点は、遅延なし条件で有意に得点が高く、操作に時間遅延がない方がより感覚転移を高めやすいという先行研究の結果を支持するものであった。本研究では実験参加者による前腕運動を伴う課題を用いたため、CG モデルに対して運動主体感に起因する身体感覚の転移が生じたと考えられる。

実験課題：上空から連続してランダムな位置に落下するボールを叩き落とすというものを用いた。課題の作成には、Unity Technologies 社製ゲーム開発エンジン Unity を使用した。実験参加者の左腕の動作は、自作モーションセンサーにより測位され、シーン内の前腕モデルに反映することで、実験参加者の動作と同機させた。

主観感情において、PA は遅延なし条件で得点が高く、また CA は安静期に比べ遅延なし条件で有意に得点は低くなった。本研究にて用いた課題は、先行研究(渡辺ら,2009; 渡辺ら,2011 など)にて用いられた課題に比べ、ゲーム性の高いものであったと推察され、遅延なし条件では自分の思う操作ができていたために課題に対してより積極的に取り組み、かつ課題を楽しんでいたと考えられる。

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。

生理指標においては、時間遅延条件では操作性の悪さによるストレス反応から、生体反応はより大きくなると予想されたが、有意差こそ見られないものの、安静から課題にかけて遅延なし条件でより大きな HR・SC 上昇、PVA の下降がみられた。これは、遅延なし条件では基本的に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とが背景にあると考えられる。つまり、どれだけ課題に対して対処可能であるかということが生体反応に影響を及ぼしていると考えられた。

測定指標：心理指標として、一般感情尺度(小川ら,2000)を用いた。感覚転移の程度を独自項目として、「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」の項目を用い測定した。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、心拍数(HR)・指尖容積脈波振幅(PVA)・皮膚コンダクタンス(SC)を測定した。

手続き：実験冒頭に操作訓練を行った後、安静1分、課題1分であり、質問紙回答後に課題を変え、再度計測を行った。なお課題の表示順序はカウンターバランスをとった。

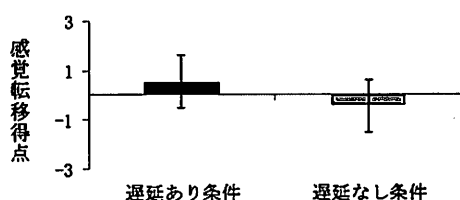


図1 各条件の感覚転移得点の平均値

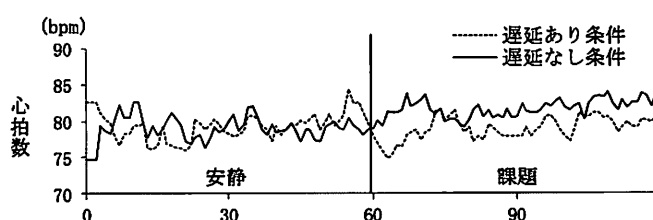


図2 各条件のHRの推移

前腕 3DCG モデルの動作遅延が
身体感覚の転移および
生体反応に及ぼす影響の検討

学籍番号 10hp242

氏名 見原 遼

指導教員 長野 祐一郎

序と目的

我々は普段、特に意識すること無く自分を自分であるというように認識できている。この、自分を自分である、という感覚は主に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。

Gallagher(2000)によると運動主体感とは、自分が手を動かしているといった「行為を引き起こしているのは自分だ」という感覚を指し、身体保持感とは痛いのは自分の歯だといった「経験を受けているのが自分だ」という感覚を指す。これまでの研究で、これら感覚は、視覚、聴覚や皮膚感覚、運動感覚等の各種感覚器官の一連の連携によって生じると考えられている

さて、身体感覚の転移という現象がある。自分以外の物体について、対象をあたかも自分であるかのように認識することである。これは、前述したような運動主体感や身体保持感を実験的に操作し、認知的な錯覚を起こすことで生じる。これまでの身体感覚の転移の研究としては、Botvinick & Cohen(1998)の発見したラバーバンドイリュージョン(Rubber Hand Illusion:以下 RHI)が代表的な例として挙げられる。RHIは、実験参加者の腕は布等で多い、机の上の義手のみが見える状態で、実験参加者の腕と義手に同時に触れる試行を繰り返すと、最終的には実験参加者は義手にのみ触れられても自身に触れられていると錯覚するようになるという現象である。このRHIにおいて生じた身体感覚の転移は、そこに至るプロセスの中で実験参加者による運動要素を伴わないため、身体保持感に起因するものであるといえる。一方、渡辺・西尾・小川・石黒(2011)は、操作者の身体の動きを遠隔で反映可能なアンドロイド・ロボット「ジェミノイド」を開発し、操作訓練を繰り返し行わせた後、ロボットの手背に注射をする映像を見せると、操作者には触覚フィードバックはされていないのにも関わらず、痛みの反応として皮膚コンダクタンス反応が生じたと述べている。この際、ロボットに対して生じた身体感覚の転移は、実験参加者によるロボットの操作という運動を伴うため、運動主体感に起因するものであるといえる。

しかし、従来の研究の多くは、RHIを始めとした身体保持感に起因する感覚転移に焦点を当てたものが多く、ユーザーが実際に自らの身体を用いて操作を行うといったような、運動主体感に起因する感覚転移に関する研究は未だ数は少ない。また、これまで感覚転移の程度の確認には、質問紙回答による主観報告が用いられる事が多かったが(光真坊・嶋田,2011;田浦ら,2011;渡辺・小川・西尾・石黒,2009など)、いずれの研究においても質問項目数は少なく、実験参加者が一般に認知した実験者の要求に合わせて回答してしまう可能性が高い。それに対して、より客観的な定量化を試みるべく、実験参加者の生体反応を計測している研究が存在する。渡辺ら(2009)や Armel & Ramachandran (2003)の研究では、RHI 成立時に、義手の指を反り返させる等の痛みを伴う視覚情報を提示し、実験参加者の皮膚コンダクタンス反応を検討している。また、Ehresson, Spence, Passingham(2004)は fMRI を用いて RHI が発生時の脳活動を計測したところ、運動前野では義手に対する身体保持感が寄与し、活動が活発になると報告している。このように生体反応を用いた研究は幾つか存在するが、未だ数は少なく十分な知見が得られてはおらず、また主に工学系分野において行われているため、結果の心理学的な解釈に欠けること、また測定環境が高価・大規模といった理由からより安価なセンサー、計測システムを用い検討を行うべきと考える。

一方、身体感覚の転移に関する研究は近年急速に注目を集めているが、その中で、実験刺激にコンピュータグラフィックス(Computer Graphics:以下 CG)を利用した実験も行われてきている。その背景にあるのは、実験環境の構築のしやすさというのは言うまでもないが、柳田・館(1994)は、災害現場等の直接人間の感覚では認識不可能な環境に対して、仮想環境を介在させたトレイグジスタンスシステム(自分は遠隔地にいながら、あたかも現場でリアルタイムに操作をしているかのような臨場感を持って作業を行うこと)が用いられることが増えてきたことを理由として挙げている。

そこで本研究では、Short & Ward(2009)の、CG モデルに対する感覚転移には、運動結果の予測と視覚フィードバックとの一致が重要であるという指摘に着目し、課題中の前腕 3DCG モデルの動作遅延が身体感覚の転移に及ぼす影響を、心理生理的側面から検討することを目的とした。

方法

実験参加者

文京学院大学内で10名(平均24.1歳,SD=6.08)を対象に実験を行った。

課題

実験刺激となる3DCGのシーンの作成には、Unity Technologies社製ゲーム開発エンジンUnity Ver3.5を使用した。実験参加者の左腕の動作は、3軸ジャイロセンサー(Invensense製ITG-3200)および3軸磁気・加速度センサー(ST Micro社製LSM303DLH)、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、シーン内の前腕モデルに反映することで、実験参加者の動作と同期させた。

課題は、上空から連続してランダムな位置に落下するボールをCGで再現された腕を用いて叩き落とすというものを用いた。前腕CG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(視覚および効果音)と共に消滅し、画面左上にBEAT SCOREとしてカウントされた。叩けずにフィールドの外へと溢れ落ちたボールは、画面左上にLOSE SCOREとしてカウントされた。課題画面を以下の図1に示した。



図1 本実験に使用した課題

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

主観感情を測定するために、一般感情尺度(小川・門地・菊谷・鈴木,2000)を用いた。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。

感覚転移の程度を独自項目として、「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」の項目を用い測定した。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、心拍数(Heart Rate:以下 HR)・指尖容積脈波振幅(Pulse Volume Amplitude:以下 PVA)・皮膚コンダクタンス(Skin Conductance:以下 SC)を測定した。長野(2012)において用いられたものと同様の心電図アンプ、脈波測定装置、皮膚コンダクタンス測定装置を用い、第II誘導法電極配置により心電図を、非利き手第2指から脈波を、非利き手第3指および第4指から皮膚コンダクタンスを測定した。それぞれの波形は Arduino FIO のアナログポートを用い 10bit の精度、1kHz のサンプリング周波数で A/D 変換された。心電図は 16 ポイントの平滑化微分アルゴリズムにより微分され、1 次微分波形が任意のしきい値(参加者により個別に設定)を超えた点を R 波出現位置とした。R 波出現時刻を ms 単位で求め、拍動間隔(Inter Beat Interval: 以下 IBI)を算出し、さらに IBI から 1 分あたりの心拍数を算出した。これらの値はシリアル通信を用いて汎用コンピューターに転送された。計測機器・実験者・実験参加者の配置を以下の図 2 に示した。

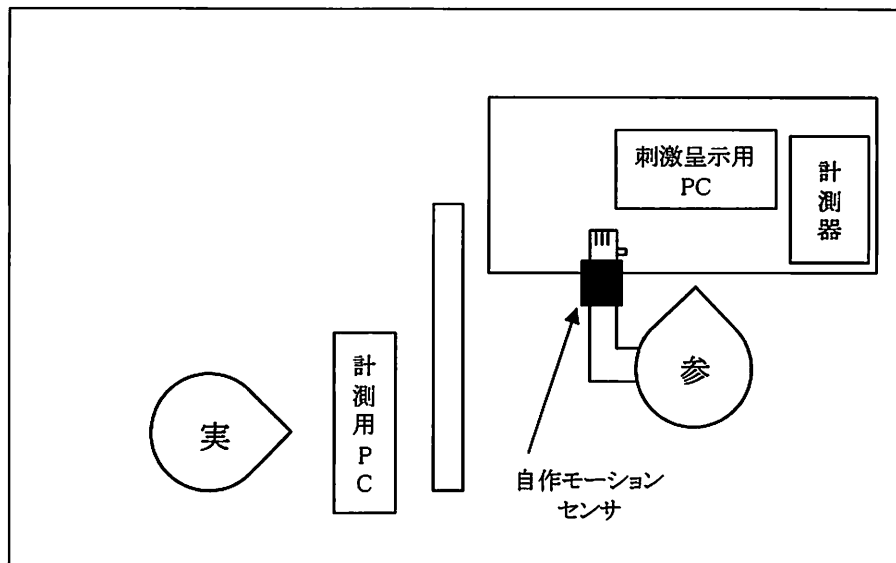


図 2 実験時の配置

手続き

実験参加者を着席させインフォームドコンセントを取った後、フェイスシート、安静状態での質問紙への回答を求めた。その後、生理指標測定機器およびモーションセンサーの装着を行った。機器の装着後、課題の説明を行い、実際に操作して練習を行わせた。練習終了後に課題には真剣に取り組み、より高いスコアを出すよう教示を行った。モーションセンサーを装着した状態で安静期を1分間計測し、「課題を始めてください」という実験者の合図で1分間課題を行ってもらった。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。条件の順序はカウンターバランスをとった。最後に内省報告を取り、実験を終了した。上記の実験スケジュールを以下の図 3 に示した。

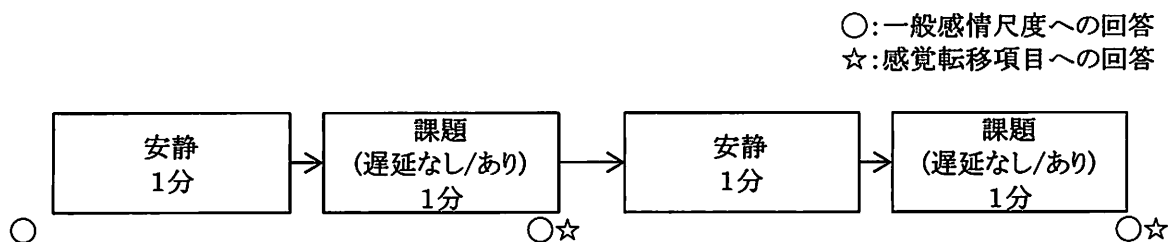


図 3 実験スケジュール

結果

全実験参加者の各条件における感覚転移得点を以下の図 4 に示した。

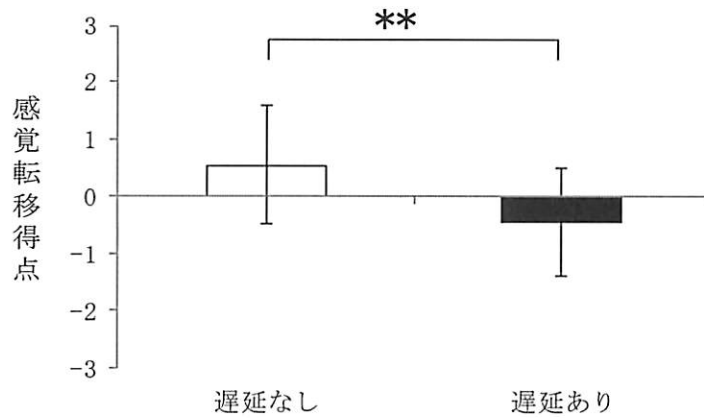


図 4 各条件の感覚転移得点の平均値

図 4 より、感覚転移得点は遅延あり条件で高く、遅延なし条件で低いように見受けられた。感覚転移得点を従属変数として、対応のある t 検定を行った結果、条件間に有意な差が認められた ($t(9)=3.25, p<.05$)。つまり、遅延あり条件に比べ遅延なし条件で、感覚転移得点が有意に高くなったことが示された。

全実験参加者の各期間における PA、NA、CA の平均値を算出し、以下の図 5～7 に示した。

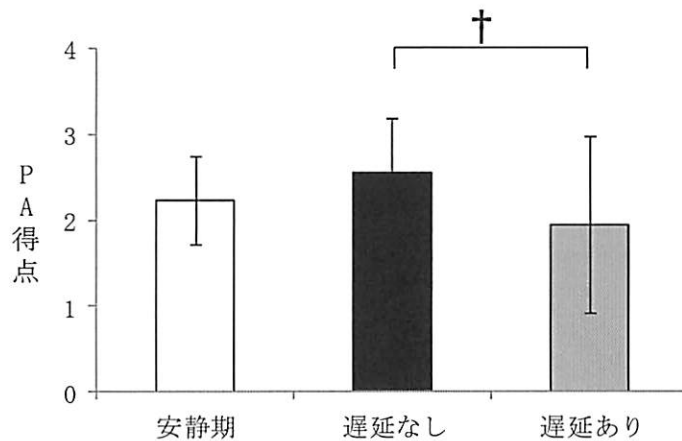


図 5 各条件の PA の平均値

図 5 より、PA は安静期に比べ遅延なし条件で得点が高く、遅延あり条件で得点が低くなったように見受けられた。PA を従属変数として 1 要因の分散分析を行った結果、条件の主効果が有意傾向であった ($F(2,18)=3.10, p<.10$)。条件の主効果が有意傾向であったため、Tukey の HSD 検定による多重比較を行ったところ、遅延なし条件と遅延あり条件の間で有意傾向であった ($p<.10$)。つまり、PA は課題遂行時において遅延なし条件では得点が高く、遅延あり条件では得点が低くなったことが示された。

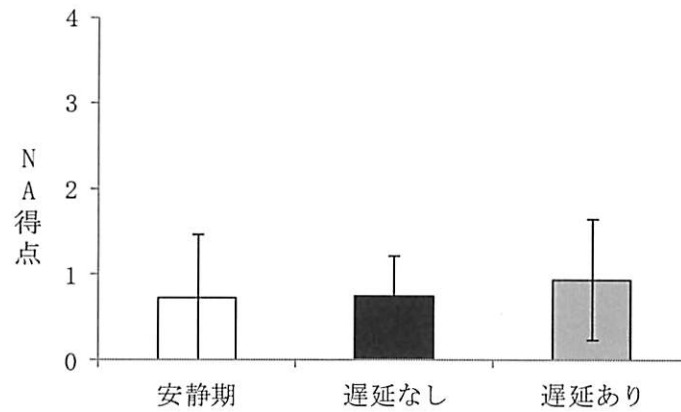


図 6 各条件の NA の平均値

図 6 より、安静期と遅延なし条件の NA 得点の差は殆ど見られず、遅延あり条件で得点が高くなったように見受けられた。NA を従属変数として PA と同様に分散分析を行った結果、条件の主効果は有意ではなかった($F(2,18)=0.55, n.s.$)。つまり、NA は条件によって得点に差は見られなかったことが示された。

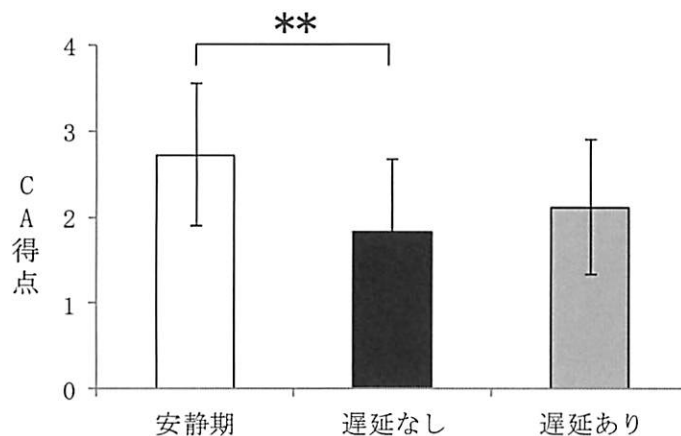


図 7 各条件の CA の平均値

図 7 より、CA は安静期に最も得点が高く、課題遂行時には両条件で得点は下がったが、遅延なし条件の得点が最も低いように見受けられた。CA を従属変数として PA、NA と同様に分散分析を行った結果、条件の主効果が有意であった($F(2,18)=3.71, p<.05$)。条件の主効果が有意であったため、PA と同様に多重比較を行ったところ、安静期と遅延なし条件の間で有意であった($p<.05$)。つまり、CA は安静期に比べ遅延なし条件で得点が有意に低くなったことが示された。

全実験参加者の各期間における HR、PVA、SC の平均値を算出し、以下の図 8~10 に示した。

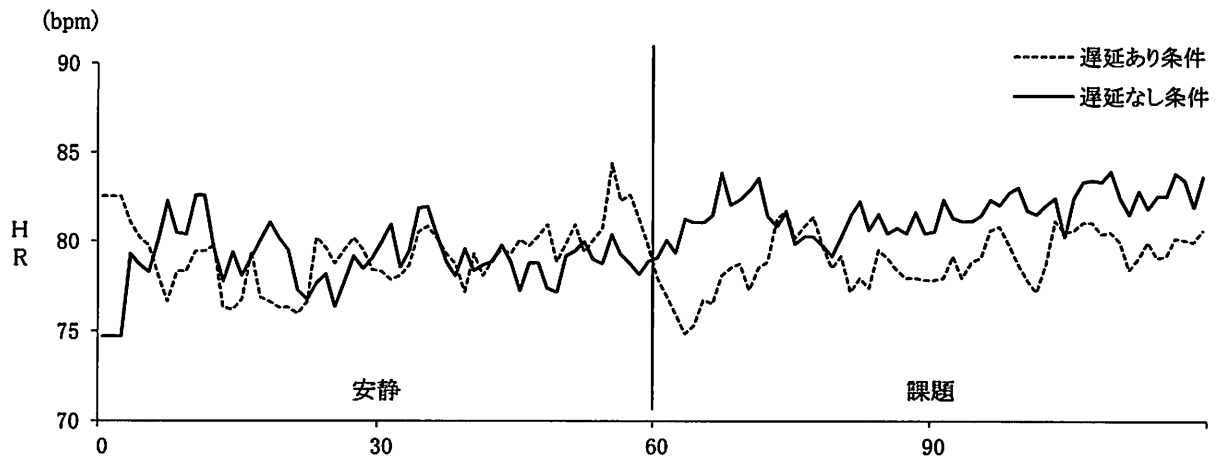


図 8 各条件の HR の推移

図 8 より、HR は安静期から課題期にかけて遅延あり条件では変化がないように見受けられたが、遅延なし条件では上昇しているように見受けられた。HR を従属変数として、条件(遅延あり/遅延なし)×期間(安静期/課題期)の 2 要因分散分析を行った結果、条件×期間の交互作用が有意であった($F(1,8)=2.75, p<.05$)。交互作用が有意であったため、単純主効果の検定を行ったところ、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。つまり、HR は安静期から課題期にかけて条件により変化に差があるように見受けられたが、統計的な有意差は見られなかった。

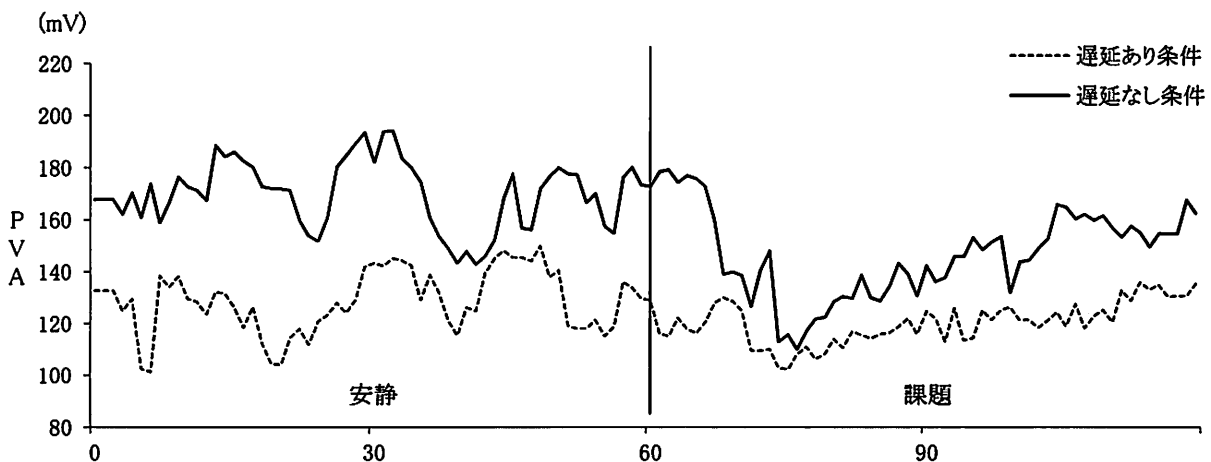


図 9 各条件の PVA の推移

図 9 より、PVA は両条件とも安静期から課題期にかけて下降したように見受けられた。またすべての期間を通して遅延なし条件の PVA が遅延あり条件を上回ったように見受けられた。PVA を従属変数として、HR と同様に分散分析を行った結果、期間の主効果が有意であった($F(1,9)=7.97, p<.05$)。条件の主効果($F(1,9)=1.08, n.s.$)、条件×期間の交互作用($F(1,9)=2.99, n.s.$)は有意ではなかった。つまり、両条件ともに課題期で PVA の下降が見られ、条件間で変化の仕方に差は無いことが示された。

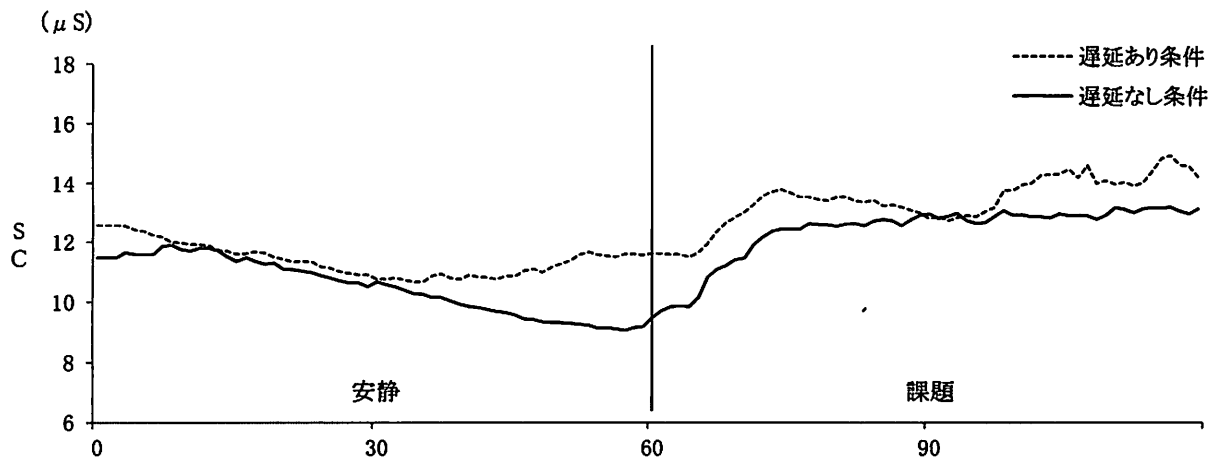


図 10 各条件の SC の推移

図 10 より、遅延なし条件は課題期開始と同時に SC の上昇がみられ、課題中は上昇を維持した。遅延あり条件は安静期の後半から SC の上昇がみられ、課題期に突入してもなお上昇を続けた。SC を従属変数として、HR、PVA と同様に分散分析を行った結果、いずれの効果、交互作用も有意ではなかった(条件の主効果: $F(1,9)=0.80, n.s.$ 期間の主効果: $F(1,9)=2.70, n.s.$ 条件×期間の交互作用: $F(1,9)=0.02, n.s.$)。つまり、SC は安静期から課題期にかけて条件により変化に差があるように見受けられたが、統計的な有意差は見られなかった。

考察

本実験は、Short&Ward(2009)の、CG モデルに対する感覚転移には、運動結果の予測と視覚フィードバックとの一致が重要であるという指摘に着目し、課題中の前腕 3DCG モデルの動作遅延を、操作性の悪さによるストレス反応として心理生理的側面から検討を行うものであった。

感覚転移得点は、遅延あり条件に比べて遅延なし条件で得点が高く、操作に時間遅延がない方がより感覚転移を高めやすいということが示された。本研究では実験参加者による前腕運動を伴う課題を用いたため、CG モデルに対して運動主体感に起因する身体感覚の転移が生じたと考えられる。映像を用いて運動主体感について検討した開・長谷川(2009)によると、自分の手が映し出された映像に対して、自分の動作と映像との間に 200ms 以上の遅延が生じると、自分の手であると認識しなくなるといわれており、本実験の結果は先行研究を支持するものであった。

主観感情において、PA は遅延なし条件と遅延あり条件の間で差が見られ、遅延なし条件で得点が高く、また CA は安静期に比べ遅延なし条件で有意に得点は低くなった。本研究にて用いた課題は、先行研究(渡辺・小川・西尾・石黒,2009; 渡辺・小川・西尾・石黒,2011 など)にて用いられたリズムに合わせて腕を振る等の課題に比べ、ゲーム性の高いものであったと推察される。実際に、PA 因子には「楽しい」や「やる気に満ちた」といった項目が含まれており、遅延なし条件では自分の思う操作ができていたために課題に対してより積極的に取り組み、かつ課題を楽しんでいたために、PA 得点が高くなったのだと考えられる。それに対して、遅延あり条件では、いくら動いても時間遅延があるため思い通りに動かすことができず、課題に対して能動的に取り組めなかったと考えられる。つまり、課題に対する取り組み方の違いが心理指標に影響したと思われる。

生理指標においては有意差こそ見られないものの、安静から課題にかけて遅延なし条件でより大きな HR・SC 上昇、PVA の下降がみられた。参加者の動作とモデルの動作の間に時間的な齟齬があると、感覚転移が生じにくくなるだけでなく、操作性の悪さによるストレス反応から、生体反応はより大きくなると予想される。しかし本研究では、遅延なし条件にてより大きな生体反応の変化が生じ、やや

矛盾を感じる結果となった。これは、遅延なし条件では基本的に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とが背景にあると考えられる。つまり、どれだけ課題に対して対処可能であるかということが生体反応に影響を及ぼしていると考えられた。

しかし、生理指標には条件間の統計的な有意差の検出には至らなかった。これは以下の理由が考えられる。第一に、実験参加者の人数が少ないことが考えられる。生理指標は個人差の影響を強く受けるため、より多くの実験参加者を対象に検討を行う必要がある。第二に、本研究で用いた自作モーションセンサーでは、前腕の上下左右方向の動作のみが検出され、CGモデルに反映されていた。しかし、実験参加者の多くは「シーンの奥に届かないのがもどかしい」「手前のボールを触れないのが操作しにくい」と内省報告にて述べており、CGモデルの動作遅延の有無に関係なく、装着したモーションセンサーの操作の自由度というものが低かったことが、条件間の差の検出に至らなかった原因として考えられる。

引用文献

Armell, K. C., & Ramachandran, V. S. (2003). Projecting sensations to external objects: Evidence from skin conductance response. *Proceedings of Royal Society of London B*, **270**, 1499-1506.

Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands “feel” touch that eyes see. *Nature*, **391**, 756.

Ehrsson, H. H., Spence, C., & Passingham, R. E. (2004). That’s my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb. *Science*, **305**, 875-877.

Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Science*, **4**, 14-21.

開一夫・長谷川寿一 (2009) ソーシャルブレインズ-事故と他者を認知する脳 東京大学出版会 59-108

光真坊悟・嶋田総太郎 (2011). 自己認識における身体映像の回転と遅延の与える影響, *認知科学*, **18**, 41-49.

長野祐一郎 (2012) 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**, 80-87.

小川時洋・門地里絵・菊谷麻美・鈴木直人 (2000) 一般感情尺度の作成, *心理学研究*, **71**, 241-246.

Short, F. and R. Ward (2009). “Virtual limbs and body space: Critical features for the distinction between body space and near-body space.” *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **35** (4): 1092-1103.

田浦康一・西尾修一・小川浩平・石黒浩 (2011). 遠隔操作型アンドロイドを用いた. 身体感覚の転移と視点による影響の検証, *HAI シンポジウム*, 1-2A-2

渡辺哲也, 西尾修一, 小川浩平, 石黒浩. (2011). 遠隔操作によるアンドロイドへの身体感覚の転移, *電子情報通信学術論文誌*, **94**, 86-93

渡辺哲也・小川浩平・西尾修一・石黒浩 (2009). 遠隔型アンドロイドとの同調感により誘起される身体感覚の延長, *電子情報通信学会技術研究報告. HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎*, **108(487)**, 19-24,

柳田康幸・舘暲 (1994). 運動感覚と視覚の融合の仮想環境へ及ぼす効果, *Human Interface News and Report* **9(4)**, 467-472