

I. 序論

我々は普段、視覚や聴覚、体性感覚等の感覚入力から、自己の身体感覚というものを成立させている。認知神経心理学の分野では、我々の“自分を自分である”と感じる自己認識は、Narrative Self(過去の記憶から未来の展望まで含めたアイデンティティとしての自己)と、Minimal Self(経験から即時的に形成される身体的な自己)の双方から構成されるといわれており(Gallagher, 2000)、冒頭に述べた身体感覚が自己意識の成立に大きく関与していると考えられている。更にGallagher(2000)は Minimal Self を、身体保持感(Sense of Ownership)と運動主体感(Sense of Agency)の2つに分類している。身体保持感とは、その身体は自分の身体であるという感覚であり、運動主体感とは、観察される運動が自身によって引き起こされたものだという感覚である。Minimal Self の形成には、視覚情報や聴覚情報、体性感覚情報といったものが必要であり、中でも視覚情報と体性感覚・触覚情報の時間的な整合性が重要であることがわかっているが(嶋田・開, 2005)、通常これらメカニズムは意識に上ることはなく、我々の身体感覚は基本的に不変のものとして成立している。

しかし時として、自分以外の対象を自分の身体であるかのように錯覚したり、自分以外の対象の運動を、自分の運動であるかのように錯覚することがある。この現象は、身体感覚の転移(Body Ownership Transfer)、あるいは身体感覚の拡張(Body Ownership Expansion)と呼ばれ、我々の身体感覚成立のメカニズムについて、新たな知見を加えるものとして近年注目を集めている。代表的な研究としては、Botvinick&Cohen(1998)の Rubber Hand Illusion(RHI)が挙げられる。RHIは、机の上のゴム製の義手のみが見える状態で、義手と実験参加者の腕とを同時に触れる手続きを繰り返すと、実験参加者は義手にのみ触れられても自身に触れていると錯覚するようになるという現象である。この実験においてゴム製の義手に対して生じた身体感覚は、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。また渡辺・小川・西尾・石黒(2007)や渡辺・西尾・小川・石黒(2011)の研究においては、遠隔地にいる操作者の身体の動きを反映させることができるアンドロイド・ロボットを開発し、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報告されている。この際、ロボットに対して生じた身体感覚は、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。これらのように、身体感覚成立の条件が満たされた場合は、自分以外の対象であっても自分であるかのように認識してしまう。

運動主体感に関する研究の多くは、ユーザーの身体感覚をロボット等へ転移させることで、災害現場等、直接人間の感覚では認識不可能な環境に対して、自分は遠隔地にいながら、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たせることを目的としているが、操作対象との一体感を強めるという点においては、エンターテインメント分野においても応用可能であると考えられる。

いまや家庭用エンターテインメント作品として一般的となったコンピュータ・ゲームであるが、当初は機器に搭載されているグラフィックスプロセッシングユニット(Graphics Processing Unit :GPU)が非力であるために、コンピュータグラフィックス(Computer Graphics :CG)の描画クオリティは低く、2D表示を行うのみであった。しかし、昨今の急速なGPU性能およびCG描画技術の向上に伴い、作品に登場する造形物は、外見は現実のものと区別がつかないほどの水準で、かつ奥行き等の情報を含む3D表示が可能となっている。表情や挙動のリアリティを追求することは、プレイヤーのキャラクターに対する同一視を促すための重要な要素であるが、近年では従来の3人称視点での操作を行う作品に変わり、操作キャラクターの1人称視点での操作が可能な作品が台頭している。これは、プレ

イヤーは自身が作品の中へと入り込み、実際に探索しているような強い没入感を
得られるためであると考えられ、事実、スポーツ競技として大会が開催されるほ
どの盛り上がりを見せている。

コンピュータ・ゲームの分野では、作品や操作対象との一体感を強めるべく、
操作に使用するコントローラーも進化を遂げている。操作キャラクターが攻撃を
受ける等のイベントが発生すると、ゲーム上の視覚刺激とバイブレーションによる振
動刺激が同時に発生する仕組みになっていたり、加速度計やジャイロなどの様々
なセンサーを用い、ユーザーの動作をキャラクターの動きに反映させるような仕
組みが実用化されている。これらの工夫を前述した身体感覚発生メカニズムに
当てはめれば、前者は身体保持感を、後者は運動主体感を誘発させる仕組みであ
るといえよう。後者に関しては、Williams(2013)が直感的な操作方法は、プレイ
ヤーによるキャラクターへの同一視を強め、このような仮想世界への没入を高め
ていると述べている。

これらと類似した現象を扱った例として、Ehrsson(2007)や Lenggenhager,
Tadi, Metzinger, Blanke(2007)の研究が挙げられる。彼らの研究では、ヘッドマ
ウントディスプレイとビデオカメラを用いて自身を背後から観察している状況の
もと、触刺激と視覚刺激の双方から身体保持感を実験的に操作したところ、いわ
ゆる幽体離脱のような感覚を引き起こすことに成功したと報告している。従来の
感覚転移研究は、転移対象が視覚上に存在し、その対象に身体感覚が転移する
というものであったのに対し、彼らの研究では転移対象は視覚上には特に存在せず、
参加者の主観的な身体位置が他の場所へと移動することで、その場所に身体感覚
が転移するという結果となった。コンピュータ・ゲームの多くは、現実世界では
体験不可能な世界を疑似体験するものであるため、いかに自分をその世界へと
関連付けることができるかということが、より強い作品への没入に繋がる。上記の
ようなエンターテインメントの分野では Botvinick&Cohen(1998)や渡辺ら(2011)の

研究で生じた部位的な身体感覚の転移よりも、Ehrsson(2007)や Lenggenhager et al(2007)の研究で報告されたような身体位置の移動を用い、自己身体を仮想世界内へ移動させる事により、作品への没入を高めることができると予想される。しかし主観的な身体位置の移動に関する研究は未だ数少なく、運動主体感を通じて、同様の現象が生じるかどうかは検討されていない。

またこれら身体感覚の転移を対象とした研究では、感覚転移の程度を定量化する手法が十分に確立されていないことも問題点として指摘できる。これまで転移程度の確認には、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・西尾・小川・石黒, 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、実験参加者が実験者の要求に合わせて回答してしまう可能性が高い。一方、渡辺ら(2011)や Armel et al(2003)の研究では、RHI 成立後に義手の指を反り返させる等の視覚情報を呈示したところ、身体感覚の転移がより強く生じている場合に、顕著な皮膚コンダクタンス反応が生じたと報告している。また、Ehrsson, Spence, Passingham(2004) は fMRI を用いて RHI 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は幾つか存在するが、未だ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、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定量化を行うことが望まれる。

上記をふまえ本研究では、参加者の頭部運動を CG にて作成したシーン内のカメラにリアルタイムに反映させ、刺激映像をヘッドマウントディスプレイに呈示することで、運動主体感に起因したシーン内への主観的な身体位置の移動という状態を作り出すことを第一の目的とする。また、運動結果の予測と視覚フィード

バックとの一致による身体感覚の転移に至るまでには、感覚運動学習成立の過程を含むと考えられるが、感覚運動学習が阻害された際には、ストレス反応が生じる。感覚運動学習阻害を生じさせる課題として代表的な鏡映描写課題遂行時には、末梢血管の収縮による血圧の上昇が観察されることが知られている (Kasprowicz, Manuck, Malkoff & Krantz, 1990; Waldstein, Bachen & Manuck, 1997; 長野, 2002)。そこで本研究では、実験冒頭に操作訓練の期間を設け感覚運動学習を成立させた後、機器の操作性を落とすことで成立した学習を阻害し、その際発生するストレス反応をモニタすることで、主観的な身体位置の移動に伴う身体感覚の転移という現象を定量化することを第二の目的とする。

Ⅱ. 予備実験

目的

本実験にて操作性の悪い条件として、低操作解像度条件・時間遅延条件を設定するにあたり、主観的な課題のやりにくさを統制することを目的とした。

方法

実験参加者

文京学院大学生 11 名 (男性 7 名、女性 4 名)、平均年齢 23.27 歳 ($SD=1.01$) であった。

課題

刺激となる CG 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。課題は、画面中央に表示される円の中に、前方を歩いているキャラクターを収め続ける (キャラクターを目で追いつける) というものを設定した。また、課題失敗時は緑色、成功時は赤色の円として結果をフィードバックした (図 1)。

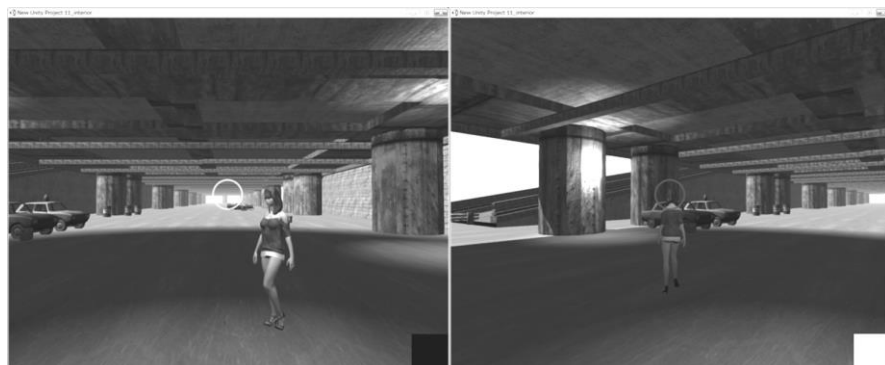


図 1 実験刺激に用いた CG シーン (左:課題失敗時 右:課題成功時)

使用機器

刺激呈示にはヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display :HMD) (SONY 製 HMZ-T2) を用いた。実験参加者の頭部の動きの測定には、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を用いた (図 2)。実験参加者の頭部の Pitch/Yaw 双方向の動作をこれら自作モーションセンサーにより測位し、シーン内のカメラに反映することで、シーン内の様々な方向を向くことを可能とした (図 3)。

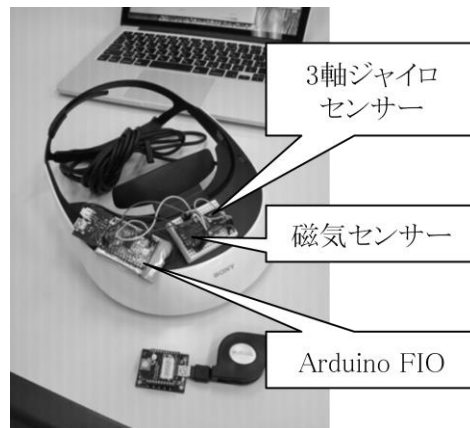


図 2 実験に使用した HMD および自作モーションセンサー

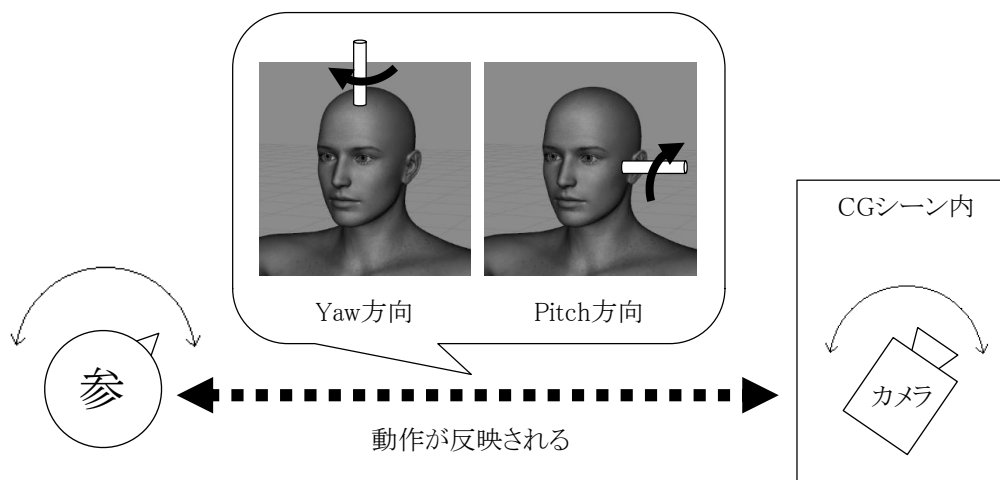


図 3 実験参加者の動作と CG シーン内のカメラの同期

条件配置

課題の際は、統制条件、低操作解像度条件、時間遅延条件(カットオフ周波数 1.0/0.9/…/0.2/0.1Hz)の計 12 条件を設けた。時間遅延条件では、実験参加者の頭部運動をハイカットフィルタにより処理し、参加者の頭部運動に対してカメラの動作に遅れを生じさせた。低操作解像度条件では、統制条件、および時間遅延条件時に 0.1° 単位でカメラに反映されていた参加者の頭部運動を 1° 単位で反映させ、視点移動の円滑さを低減させた。なお、統制条件においてもハイカットフィルタ(カットオフ周波数 4.0Hz)により処理した動作をカメラに反映したが、高周波帯域成分のみ除去し、時間遅延は感じない程度とした。

手続き

実験参加者に機器を装着させ、10 秒間のマスク刺激の後、1 分間の課題を行なわせた。課題後、課題のやりにくさについて、100mm の視覚的評価スケール (Visual Analog Scale :VAS)を用いて評定させた。以上を 1 セッションとし、条件の施行順序をカウンタバランスしながら繰り返した。最後に内省報告をとり、謝礼を渡し実験を終了した。これら実験スケジュールを以下の図 4 に示した。

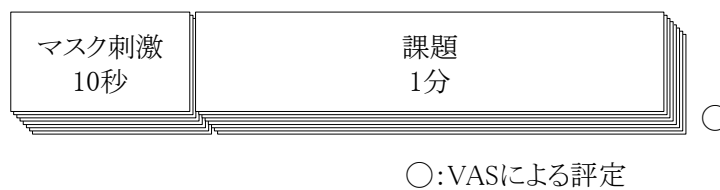


図 4 予備実験の実験スケジュール

結果

各条件に関して、やりにくさ得点の平均値を算出したものを図5に示した。数値が大きいほど主観的なやりにくさ得点が高いことを示している。

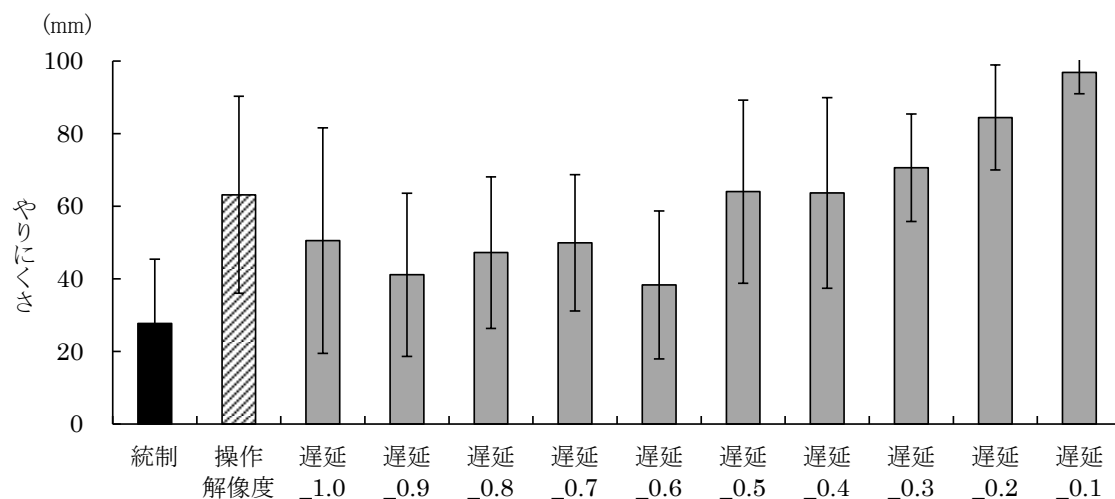


図5 各条件における「やりにくさ」得点

図5より、主観的なやりにくさは、統制条件が最も得点が低く、時間遅延条件のカットオフ周波数 0.1Hz で最も得点が高かった。低操作解像度条件の得点と最も近い時間遅延条件は、カットオフ周波数 0.4Hz であった。

統制条件、低操作解像度条件、時間遅延条件(カットオフ周波数 0.4Hz)の3条件の主観的なやりにくさについて以下の図6に示した。

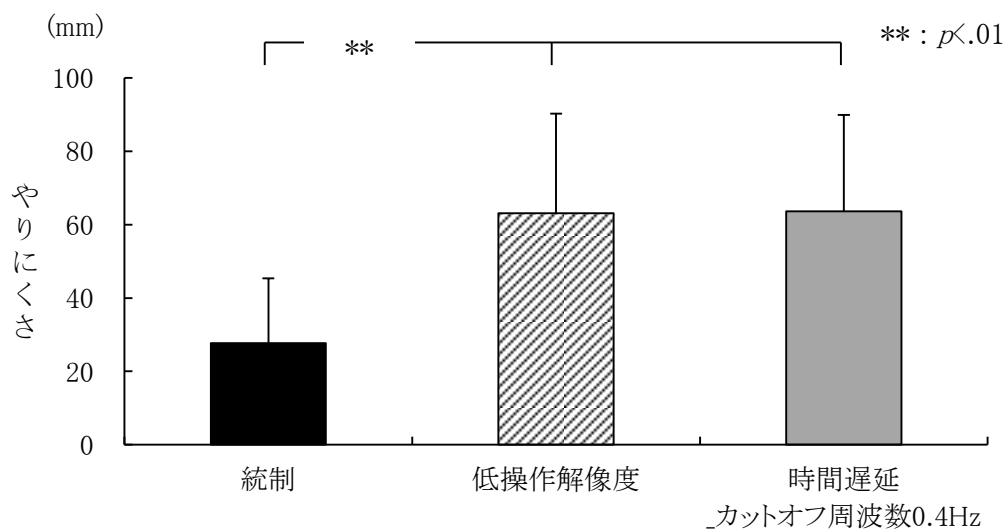


図 6 各条件におけるやりにくさ得点

各条件の主観的やりにくさについて、得点に差があるかどうか検討するため、1 要因分散分析を行った結果、条件の主効果が有意であった ($F(2, 18)=11.88$, $p < .01$)。Tukey の HSD 検定による多重比較を行った結果、統制条件と低操作解像度条件の間、統制条件と時間遅延条件(カットオフ周波数 0.4)の間に有意な差が認められた(いずれも $p < .01$)。つまり、統制条件が他の 2 条件に比べ有意に課題をやりやすく、他の 2 条件の主観的な操作性の悪さは等質だということが示された。

Ⅲ. 本実験

目的

実験参加者の頭部運動を CG シーン内のカメラにリアルタイムに反映させ、映像を HMD に呈示することで、主観的な身体位置が CG 内へ移動した状態を作り出す。さらにその後、参加者の動作と視覚刺激の同期を解除する事で、成立した感覚運動学習を阻害し、その際発生するストレス反応、および課題パフォーマンスの低下程度をモニタすることで、主観的な身体位置の移動に伴う身体感覚の転移という現象の定量化を行う事を目的とした。

方法

実験参加者

文京学院大学生 20 名(男性 8 名、女性 12 名)、平均年齢は 21.45 歳 ($SD=1.32$ 歳)であった。

課題

予備実験と同内容の課題・呈示機器を用いた。課題中の音声呈示には、ノイズキャンセリング機能搭載のヘッドフォン(BOSE 製 OE2 AUDIO HEADPHONES)を使用した。また、課題の成功/失敗をサブモニタ上に白/黒で表示し、サブモニタに貼り付けられた CDS センサー(Macron International 製 MI527)を用い、成功を 1、失敗を 0 として 50Hz のサンプリングレートで測定した。

条件配置

課題の際には、予備実験にて選定した時間遅延条件、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、頭部運動に対し、視覚刺激に遅れが生じるよう設定した。低操作解像度条件では、統制条件、および時間遅延条件に 0.1° 単位で反映されていたものを 1° 単位で反映させ、視点移動の円滑さを低減させた。

心理指標

CG シーン内への感覚転移の程度を、独自項目として「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。

課題に対する没入の程度を、松島・佐藤・春日・橋本(2011)を参考に、「没入感」「迫力」「広がり」「驚き」「違和感」「見やすさ」「揺れ」「疲れ」の 8 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。

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。肯定的感情(Positive Affect :PA)、否定的感情(Negative Affect :NA)、安静状態(Calmness :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 4 件法にて評定を求めた。

生理指標

長野(2011)に記載された回路図をもとに作成した心電図アンプを用い、第Ⅱ誘導法により心電図を測定した。心電図波形は Arduino 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 変換した。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。Arduino の millis 関数により、R 波出現時刻を ms 単位で求め、拍動間隔 (Inter Beat Interval :IBI) を算出し、さらに IBI から 1 分当りの心拍数 (Heart Rate :HR) を算出した。また、皮膚コンダクタンス測定装置 (VEGA SYSTEM 製 DA-3) を用い、左手薬指第二節および小指第二節より皮膚コンダクタンス (Skin Conductance Change :SCC) を、レーザードップラー血流計 (オメガウェーブ製 オメガフロー FLO-C1) を用い、左手薬指の末節より指尖血流量 (Finger Blood Flow :FBF) を測定した。いずれの生理指標も 1 秒間隔で測定を行い、コンピューターに記録した。

実験時の機器および実験者・実験参加者の配置を以下の図 7 に示した。

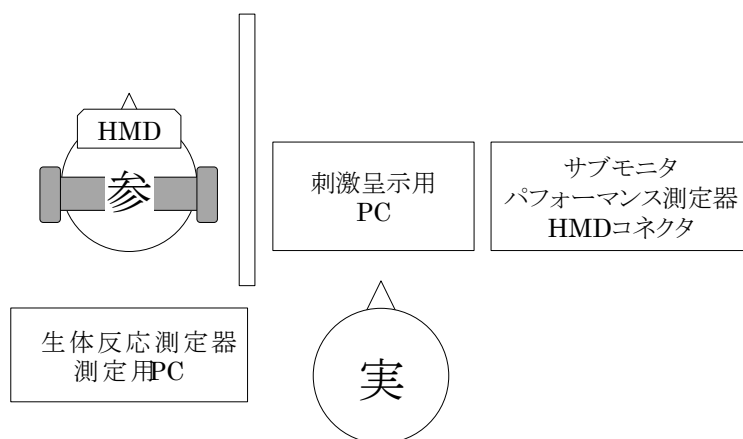


図 7 機器および実験者・実験参加者の配置

手続き

実験に先立ち、インフォームドコンセントをとり、フェイスシートおよび安静時状態での質問項目への回答を求めた。機器の装着後、実験参加者に課題内容の説明をし、順応セッションの測定に移った。順応セッションは、4 分間の安静状態、3 分間の操作訓練、4 分間の安静状態から構成された。操作訓練では、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、操作訓練中の感情について質問項目への回答を求め、障害セッションに移った。障害セッションは、4分間の安静状態、6分間の課題、4分間の安静状態から構成された。障害セッションの課題では、前半3分間は訓練時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を低下させる処理を施した。後安静測定後、課題後半実施中の感情について質問項目への回答を求めた。上記のスケジュールが完了した後、もう一方の条件を行った。両条件の施行順序はカウンタバランスした。すべての実験スケジュールの終了後、実験の主旨を説明し、内省報告をとった。質問項目への回答は全て iPad(Apple 社製、Wi-Fi モデル)にて行われた。これら実験スケジュールを以下の図 8 に示した。

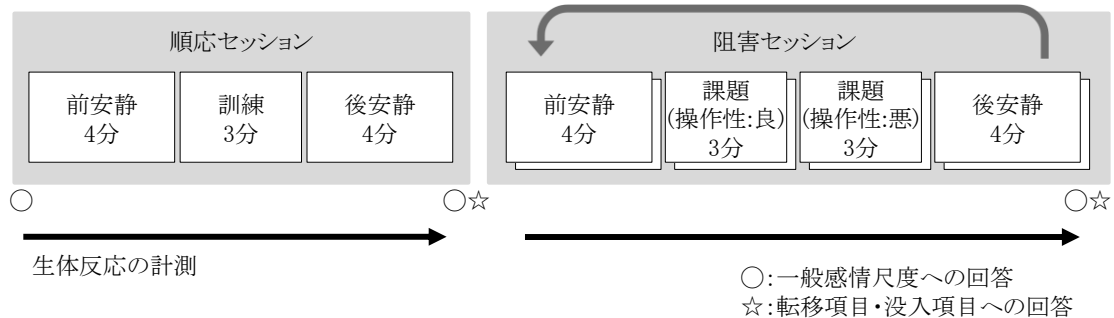


図 8 本実験の実験スケジュール

感覚転移の定量化方法

本研究では、感覚転移が十分に生じている障害セッションの操作性:良から、感覚転移が障害される操作性:悪への各生体反応の変化量を求め、それを感覚転移の係数とした。感覚転移がより強く生じているほど、この係数は大きくなると思われる。

結果

各条件における感覚転移得点の平均値を算出し、以下の図 9 に示した。

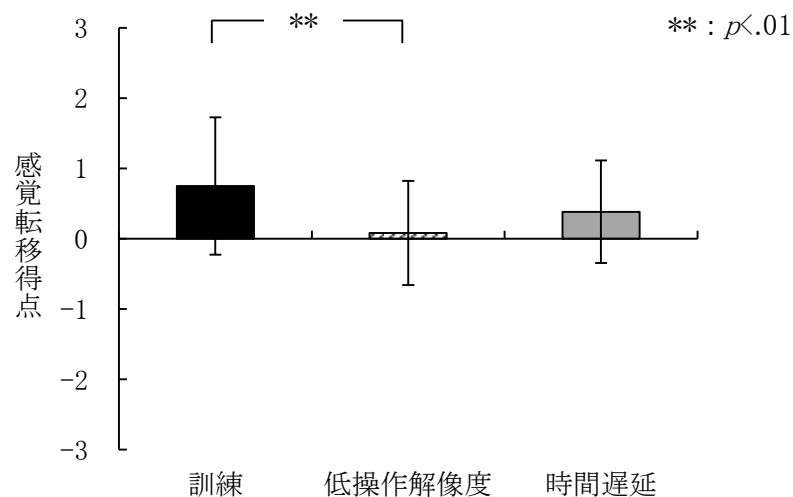


図 9 課題遂行時における各条件の平均感覚転移得点

図 9 より、感覚転移得点は訓練時に最も高く、操作性を悪化させた際には両条件共に得点は低くなったが、低操作解像度条件においてその程度は最も大きくなった。感覚転移得点を従属変数として、1 要因被験者内計画による分散分析を行った結果、条件の主効果が有意であった ($F(2, 38)=5.74, p<.01$)。条件の主効果が有意であったため、Tukey の HSD 検定による多重比較を行ったところ、訓練と低操作解像度条件の間に有意な差がみられた ($p<.01$)。つまり感覚転移得点は訓練時に比べ、低操作解像度条件で有意に得点が低くなったことが示された。

各条件の感覚転移得点について項目別に平均値を算出し、以下の図 10 に示した。

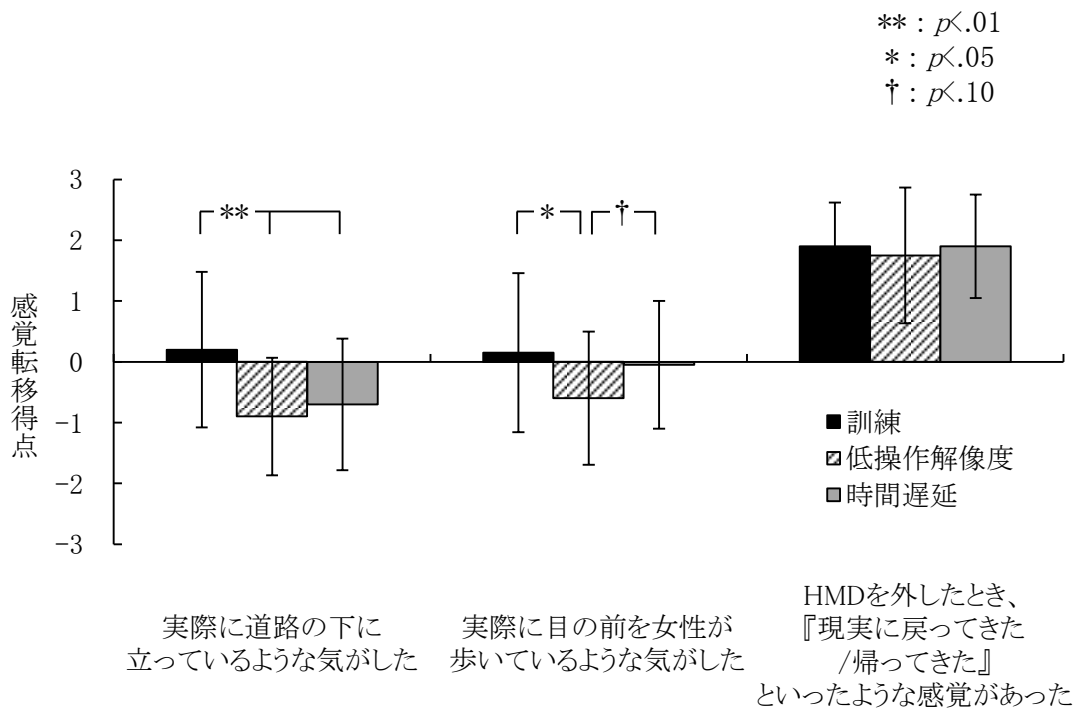


図 10 項目別にみた課題遂行時における各条件の感覚転移得点

図 10 より、「実際に道路の下に立っているような気がした」および「実際に目の前を女性が歩いているような気がした」得点は、訓練においてのみ 0 以上の得点を示し、操作性を悪化させた際には得点が低下、その程度は低操作解像度条件において顕著であった。「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」得点はいずれの条件においても得点は高いように見受けられた。

「実際に道路の下に立っているような気がした」得点を従属変数として 1 要因被験者内計画による分散分析を行った結果、条件の主効果が有意であった ($F(2, 38) = 9.02, p < .01$)。Tukey の HSD 法による多重比較を行ったところ、訓練と低操作解像度条件の間、訓練と時間遅延条件の間に有意な差がみられた(それぞれ $p < .01$)。つまり、「実際に道路の下に立っているような気がした」得点は訓練時に比べて、操作性を悪化させた際に得点が低くなることが示された。

「実際に目の前を女性が歩いているような気がした」得点を従属変数として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 ($F(2, 38)=4.78, p<.05$)。Tukey の HSD 法による多重比較を行ったところ、訓練と低操作解像度条件の間に有意な差がみられ ($p<.05$)、低操作解像度条件と時間遅延条件の間は有意傾向であった ($p<.10$)。つまり、「実際に目の前を女性が歩いているような気がした」得点は低操作解像度条件においてのみ得点が低くなることが示された。

「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」得点を従属変数として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 ($F(2, 38)=0.47, n. s.$)。

各条件における没入得点の平均値を算出し、以下の図 11 に示した。

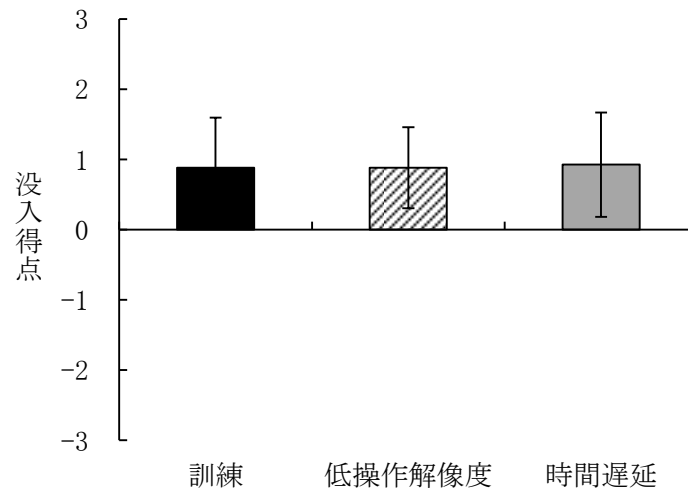


図 11 課題遂行時における各条件の平均没入得点

図 11 より、没入得点は条件による差は見受けられなかった。没入得点を従属変数として感覚転移得点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 ($F(2, 38)=0.07, n. s.$)。

各条件の没入得点について項目別に平均値を算出し、以下の図 12 に示した。

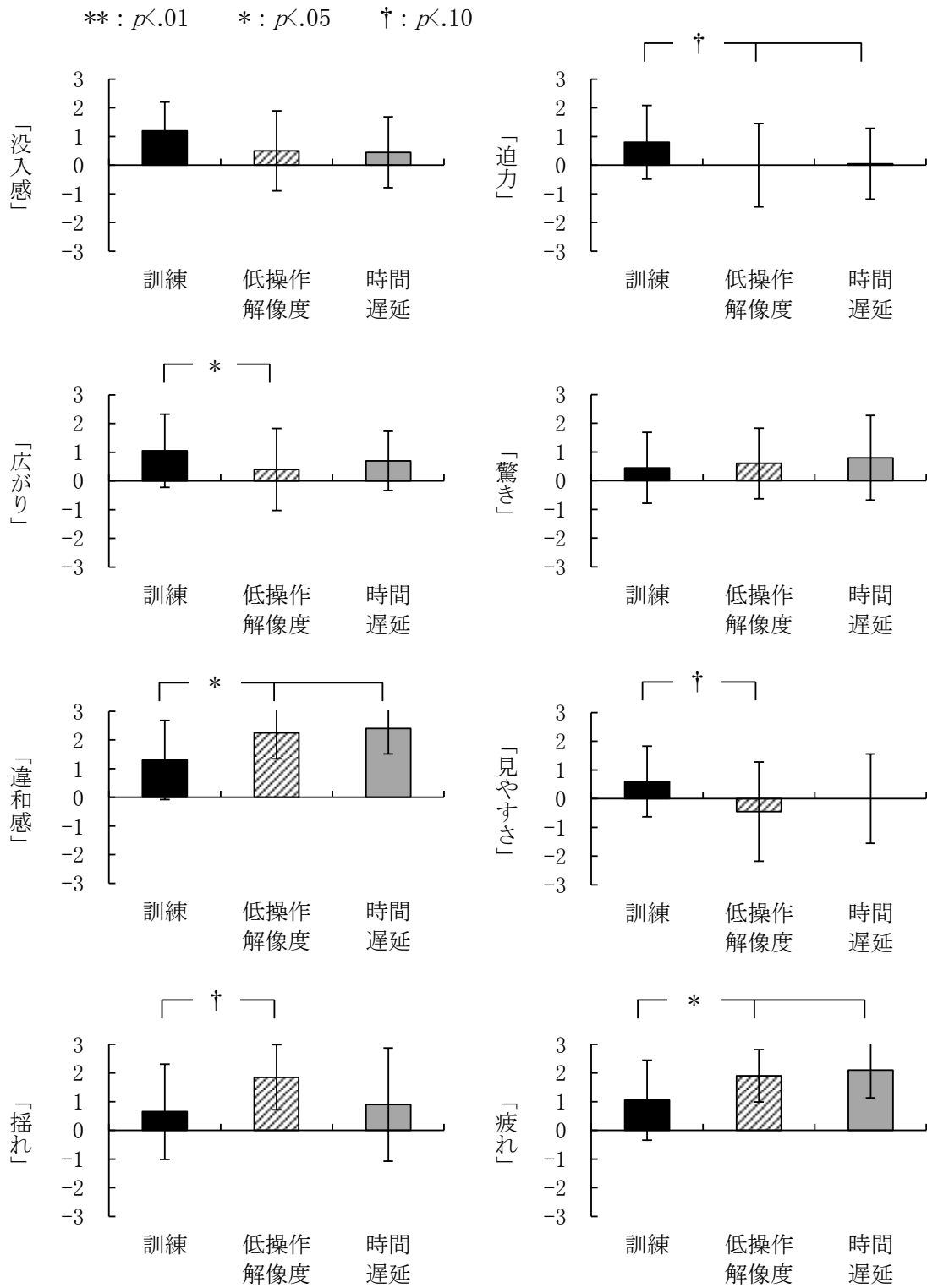


図 12 項目別にみた課題遂行時における各条件の没入得点

「没入感」得点は、訓練において最も高く、操作性を悪化させた際に、両条件で同程度低下したように見受けられた。「没入感」得点を従属変数として1要因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($F(2, 38)=2.46, p<.10$)。TukeyのHSD法による多重比較を行ったところ、いずれの条件の間にも有意な差はみられなかった。つまり「没入感」得点の条件間の差は明確ではなかったことが示された。

「迫力」得点は、訓練において最も高く、操作性を悪化させた際に、両条件で同程度低下したように見受けられた。「迫力」得点を従属変数として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($F(2, 38)=3.27, p<.05$)。TukeyのHSD法による多重比較を行ったところ、訓練と低操作解像度条件の間、訓練と時間遅延条件の間で有意傾向であった(いずれも $p<.10$)。つまり「迫力」得点は操作性を悪化させた際に得点が低くなることが示された。

「広がり」得点は、訓練で最も高く、低操作解像度条件で最も低いように見受けられた。「広がり」得点を従属変数として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($F(2, 38)=4.21, p<.05$)。TukeyのHSD法による多重比較を行ったところ、訓練と低操作解像度条件の間に有意な差がみられた($p<.05$)。つまり「広がり」得点は訓練時に比べて低操作条件で得点が低くなることが示された。

「驚き」得点は、訓練時に最も低く、時間遅延条件で最も高いように見受けられた。「驚き」得点を従属変数として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($F(2, 38)=0.66, n. s.$)。

「違和感」得点は、訓練時に最も低く、操作性を悪化させた際に両条件で同程度増加したように見受けられた。「違和感」得点を従属変数として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($F(2, 38)=5.90, p<.01$)。TukeyのHSD法による多重比較を行ったところ、訓練と低操作解像度条件の間、訓練と時

間遅延条件の間に有意な差がみられた(それぞれ $p < .05$)。つまり、「違和感」得点は訓練時に比べて、操作性を悪化させた際に得点が高くなることが示された。

「見やすさ」得点は、訓練時に最も高く、低操作解像度条件で最も低いように見受けられた。「見やすさ」得点を従属変数として同様に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($F(2, 38) = 2.77, p < .10$)。Tukey の HSD 法による多重比較を行ったところ、訓練と低操作解像度条件の間に有意傾向であった($p < .10$)。つまり、「見やすさ」得点は訓練時に比べて、低操作解像度条件で得点が低くなることが示された。

「揺れ」得点は、低操作解像度条件で最も高く、訓練と時間遅延条件はどの程度であるように見受けられた。「揺れ」得点を従属変数として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($F(2, 38) = 3.44, p < .05$)。Tukey の HSD 法による多重比較を行ったところ、訓練と低操作解像度条件の間に有意な差がみられた($p < .05$)。つまり「揺れ」得点は訓練時に比べて、低操作解像度条件で得点が高くなることが示された。

「疲れ」得点は、訓練で最も低く、操作性を悪化させた際に両条件で同程度増加したように見受けられた。「疲れ」得点を従属変数として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($F(2, 38) = 7.18, p < .01$)。Tukey の HSD 法による多重比較を行ったところ、訓練と低操作解像度条件の間、訓練と時間遅延条件の間に有意な差がみられた(それぞれ $p < .05$)。つまり、「疲れ」得点は訓練時に比べて、操作性を悪化させた際に得点が高くなることが示された。

次に、各条件における一般感情尺度の得点に関して平均値を算出し、以下の図 13~15 に示した。

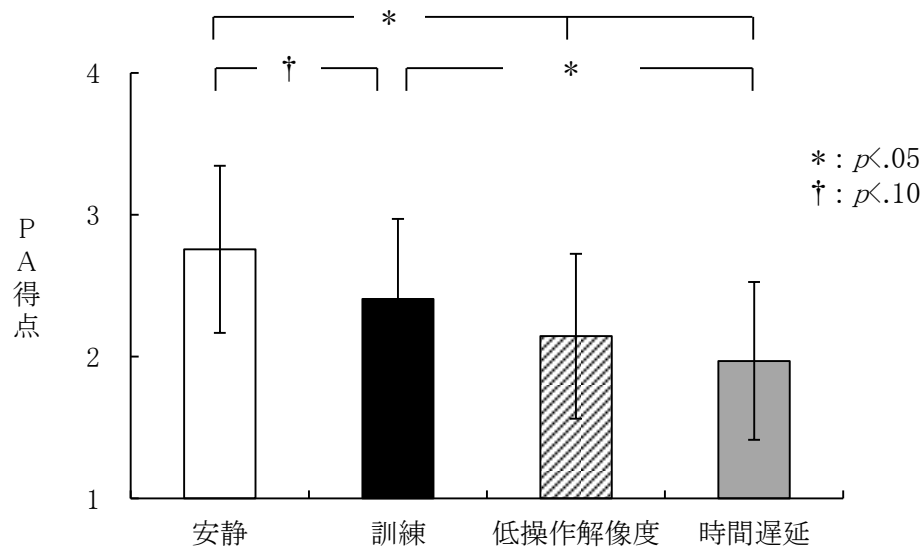


図 15 各条件における PA 得点

図 15 より、PA 得点は安静時に最も高く、課題遂行時には各条件で得点は低くなったが、その程度は時間遅延条件で最も顕著であった。PA を従属変数として 1 要因被験者内計画による分散分析を行った結果、条件の主効果が有意であった ($F(3, 57)=12.98, p<.01$)。Tukey の HSD 法による多重比較を行ったところ、安静と時間遅延条件の間、安静と低操作解像度条件の間、訓練と時間遅延条件の間に有意差がみられ(いずれも $p<.05$)、安静と訓練の間は有意傾向であった ($p<.10$)。つまり PA は安静で最も得点が高く、課題を行うと得点が下がる傾向にあるが、操作性の悪い条件では課題を行うと、より PA が下がること示された。

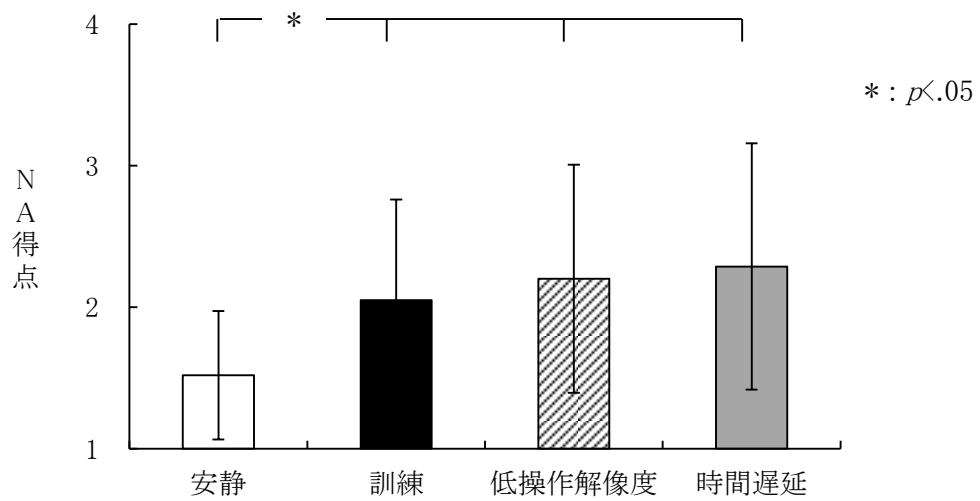


図 16 各条件における NA 得点

図 16 より、NA 得点は安静時に最も低く、課題遂行時には各条件で得点は高くなったが、その程度は時間遅延条件で最も顕著であった。NA を従属変数として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 ($F(3, 57)=12.98$, $p<.01$)。Tukey の HSD 法による多重比較を行ったところ、安静と訓練の間、安静と低操作解像度条件の間、安静と時間遅延条件の間に有意な差がみられた (いずれも $p<.05$)。つまり NA は安静で最も得点が低く、課題を行うと得点は操作性の良い悪いに関わらず、高くなることが示された。

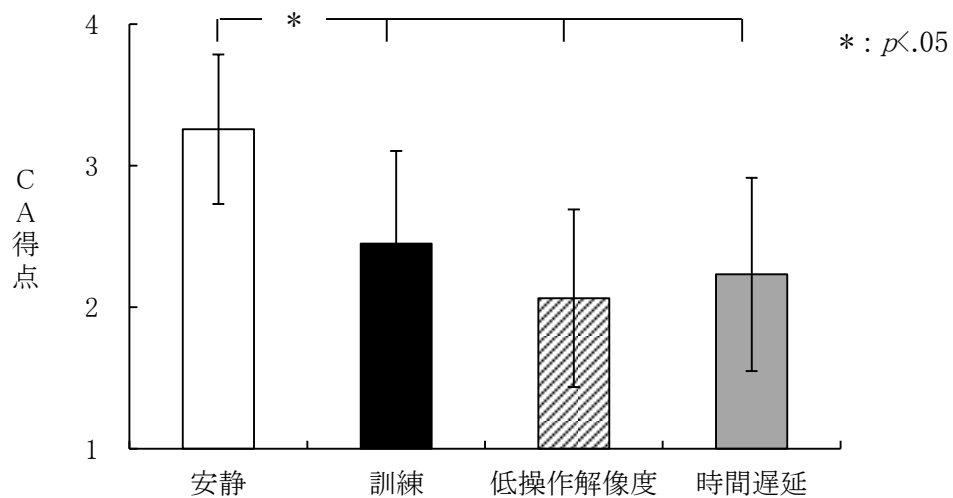


図 17 各条件における CA 得点

図 17 より、CA 得点は安静時に最も高く、課題遂行時には各条件で得点は低くなったが、その程度は低操作解像度条件で最も顕著であった。CA を従属変数として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 ($F(3, 57) = 19.90, p < .01$)。Tukey の HSD 法による多重比較を行ったところ、安静と訓練の間、安静と時間遅延条件の間、安静と低操作解像度条件の間に有意な差がみられた (いずれも $p < .05$)。つまり CA は安静で最も得点が高く、課題を行うと得点は操作性の良い悪いに関わらず、低くなることが示された。

次に、障害セッションにおける課題 6 分間を 1 分毎に分割し、各期間における平均課題成功率を算出し、課題遂行中のパフォーマンスの推移について以下の図 18 に示した。統計処理の際には、各期間の切り替わりに伴う操作性以外の要因を除外すべく、操作性：良、操作性：悪それぞれ 3 分間のうち、後半の 2 分間の平均課題成功率を算出し分析を行った

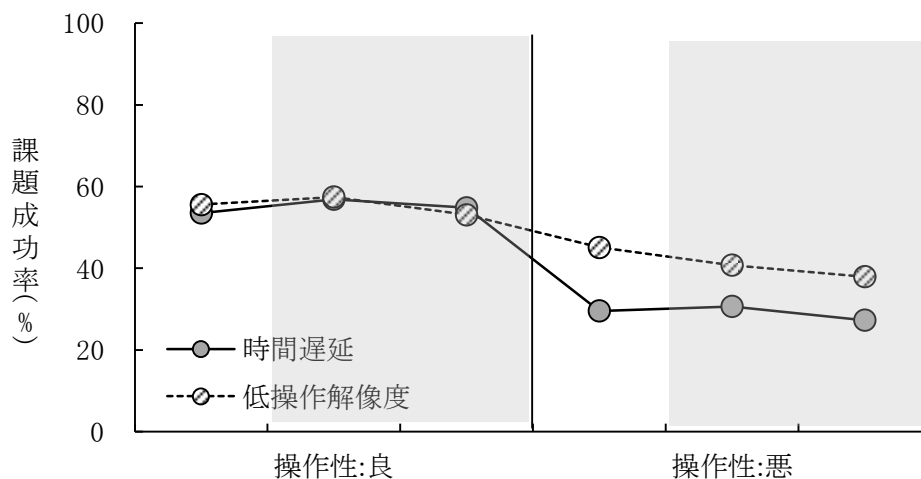


図 18 障害セッションにおける各条件のパフォーマンスの変化

図 18 より、操作性：良では両条件の間にパフォーマンスに差異は見られないが、操作性：悪に入ると、両条件共にパフォーマンスは低下するものの、その程度は時間遅延条件においてより顕著であった。パフォーマンスを従属変数として条件（時間遅延/低操作解像度）×期間（操作性：良/操作性：悪）の 2 要因被験者内計画による分散分析を行った結果、条件の主効果 ($F(1, 18)=10.83, p<.01$)、期間の主効果 ($F(1, 18)=122.16, p<.01$)、条件×期間の交互作用 ($F(1, 18)=14.29, p<.01$) の全てが有意であった。条件×期間の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結果、操作性：悪において条件の単純主効果が有意であった ($p<.05$)。また、両条件において期間の単純主効果が有意であった (いずれも $p<.05$)。つまり、全体として低操作解像度条件に比べて時間遅延条件のパフォーマンスが高く、操作性が悪化した際には両条件共にパフォーマンスは低下したが、低下の程度は時間遅延条件で顕著であったことが示された。

次に、課題遂行中の各生体反応について、以下の図 19～27 に示した。統計処理の際には、各期間の切り替わりに伴う操作性以外の要因を除外すべく、順応・障害セッション共に、前安静および課題(訓練/操作性：良/操作性：悪)は後半 2

分間の平均を分析対象とした。また、課題(訓練/操作性：良/操作性：悪)時の反応の継続度合いを検討すべく、順応・阻害セッション共に後安静は前半2分間の平均を分析対象とした。

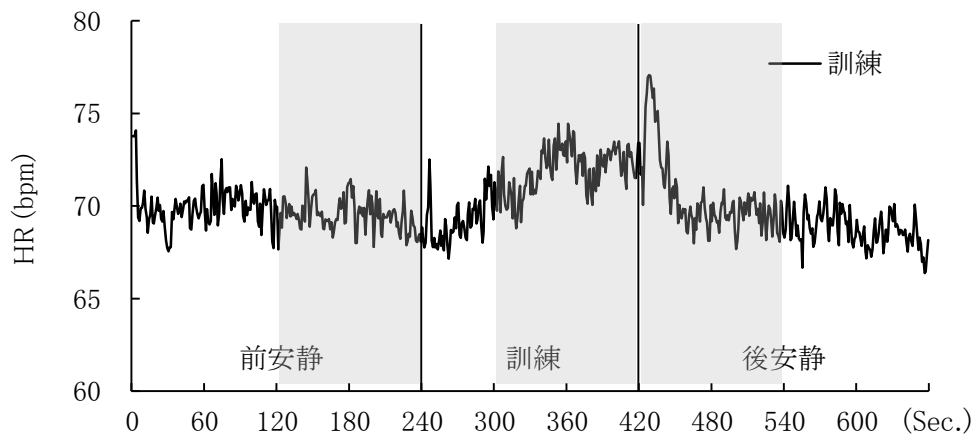


図 19 順応セッションにおける HR の変化

図 19 より、HR は訓練後半にかけて上昇し、後安静に入ると前安静と同水準まで下降した。HR を従属変数として 1 要因被験者内計画による分散分析を行った結果、期間の主効果が有意であった ($F(2, 38)=4.47, p<.05$)。Tukey の HSD 法による多重比較を行ったところ、前安静と訓練の間に有意な差が見られた (いずれも $p<.01$)。つまり、HR は訓練で上昇し、後安静に入ると前安静と同水準まで下降したことが示された。

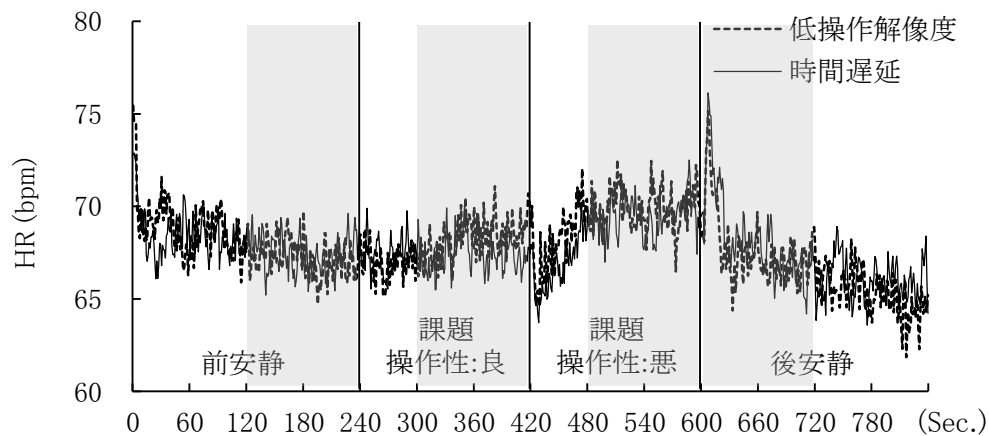


図 20 阻害セッションにおける各条件の HR の変化

図 20 より、HR は操作性：良では前安静に比べあまり変化はみられず、操作性：悪に入ると、一時的に HR は下降したが、その後上昇がみられ、操作性：悪の最後にピークを示した。後安静に入ると HR は下降した。各期間における HR の変化に条件の差は見受けられなかった。HR を従属変数として条件（時間遅延/低操作解像度）×期間（前安静/操作性：良/操作性：悪/後安静）の 2 要因被験者内計画による分散分析を行った結果、期間の主効果が有意であった ($F(3, 54)=5.53, p<.01$)。条件の主効果 ($F(1, 18)=0.30, n. s.$)、条件×期間の交互作用 ($F(3, 54)=1.13, n. s.$) は有意ではなかった。期間の主効果が有意であったため、Tukey の HSD 法による多重比較を行ったところ、前安静と操作性：悪の間、操作性：良と操作性：悪の間、操作性：悪と後安静の間に有意な差が見られた (いずれも $p<.05$)。つまり、HR は両条件共に操作性：悪にかけて HR が上昇し、後安静で前安静と同水準まで下降したことが示された。

両条件の操作性：良から操作性：悪への HR 変化量を算出し、以下の図 21 に示した。

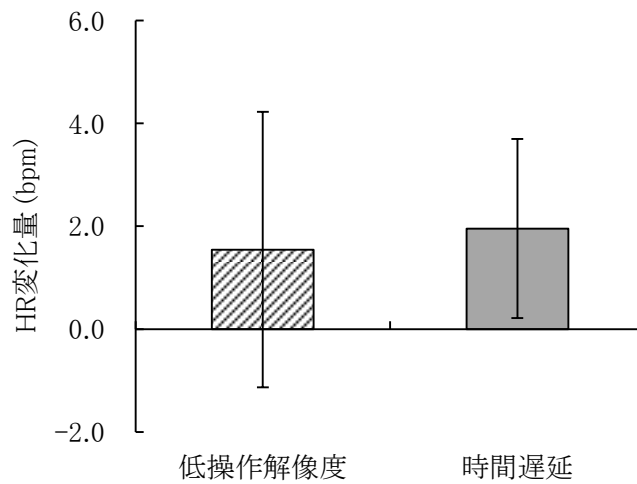


図 21 操作性:良から操作性:悪への HR 変化量

図 21 より、操作性:良から操作性:悪への HR 変化量は、時間遅延条件で僅かに大きかった。HR 変化量を従属変数として対応のある t 検定を行った結果、条件間に有意差は見られなかった ($t(18)=0.65, n. s.$)。

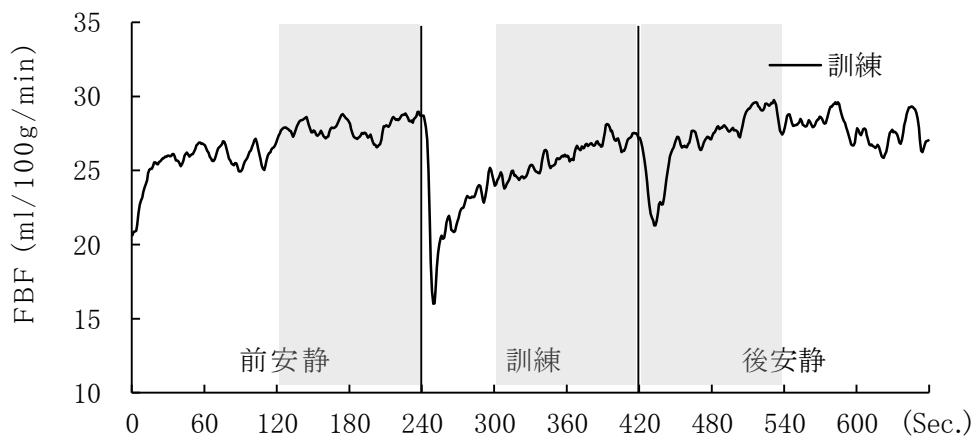


図 22 順応セッションにおける FBF の変化

図 22 より、FBF は訓練に入ると一時的に下降したが、訓練後半では前安静と同水準まで上昇し、後安静に入ると再び下降するものの、すぐに上昇した。FBF を従属変数として同様に分散分析を行った結果、期間の主効果が有意傾向であっ

た ($F(2, 38)=2.84, p<.10$)。同様に多重比較を行ったところ、前安静と訓練の間が有意傾向であった ($p<.10$)。つまり、FBF は訓練で下降する傾向にあり、後安静では前安静と同水準まで上昇したことが示された。

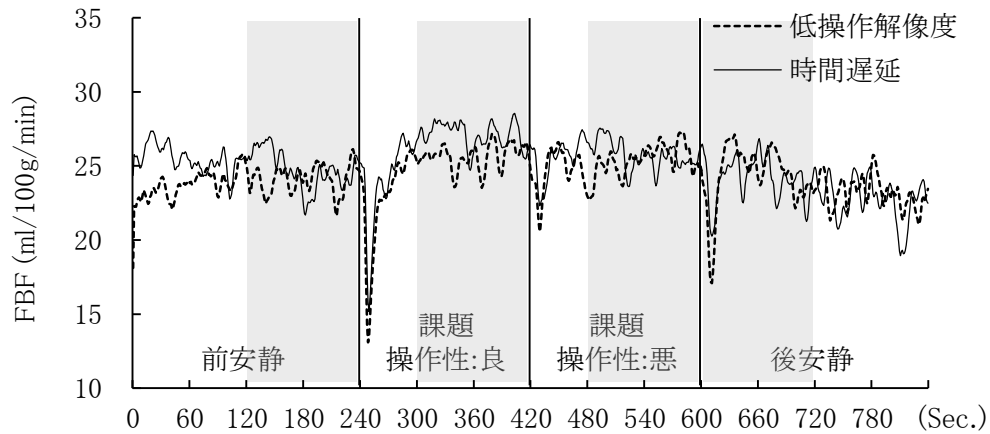


図 23 障害セッションにおける各条件の FBF の変化

図 23 より、FBF は期間が切り替わる度に低下したがすぐに前安静と同水準まで上昇した。各期間における FBF の変化に条件の差は見受けられなかった。FBF を従属変数として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 ($F(3, 54)=3.53, p<.05$)。条件の主効果 ($F(1, 18)=0.25, n. s.$)、条件×期間の交互作用 ($F(3, 54)=0.86, n. s.$) は有意ではなかった。期間の主効果が有意であったため、同様に多重比較を行ったところ、操作性:良と後安静の間に有意な差がみられ ($p<.05$)、前安静と操作性:良の間は有意傾向であった ($p<.10$)。つまり、FBF は両条件共に前安静から操作性:良にかけて増加傾向にあり、後安静で前安静と同水準の値となったことが示された。

両条件の操作性:良から操作性:悪への FBF 変化量を算出し、以下の図 24 に示した。

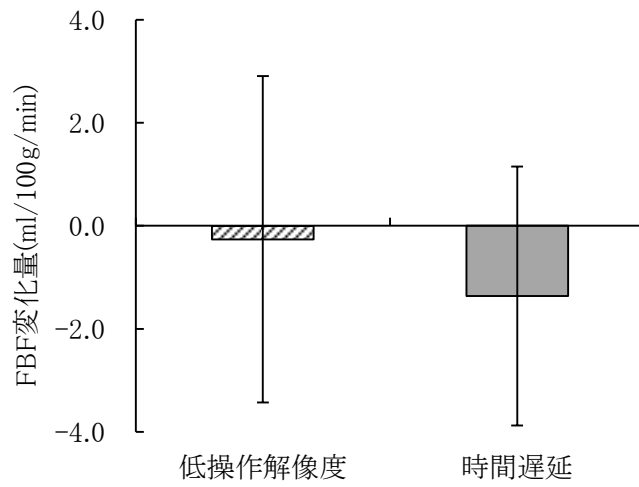


図 24 操作性:良から操作性:悪への FBF 変化量

図 24 より、操作性:良から操作性:悪への FBF 変化量は、時間遅延条件で大きかった。FBF 変化量を従属変数として対応のある t 検定を行った結果、条件間に有意差は見られなかった ($t(19)=1.16, n. s.$)。

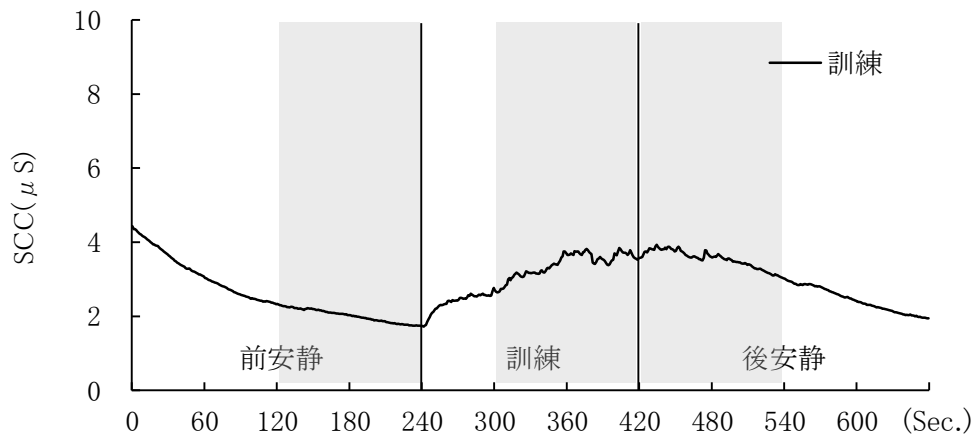


図 25 順応セッションにおける SCC の変化

図 25 より、SCC は訓練後半にかけて上昇し、後安静に入ると下降した。SC を従属変数として同様に分散分析を行った結果、期間の主効果は有意ではなかった ($F(2, 38)=2.43, n. s.$)。

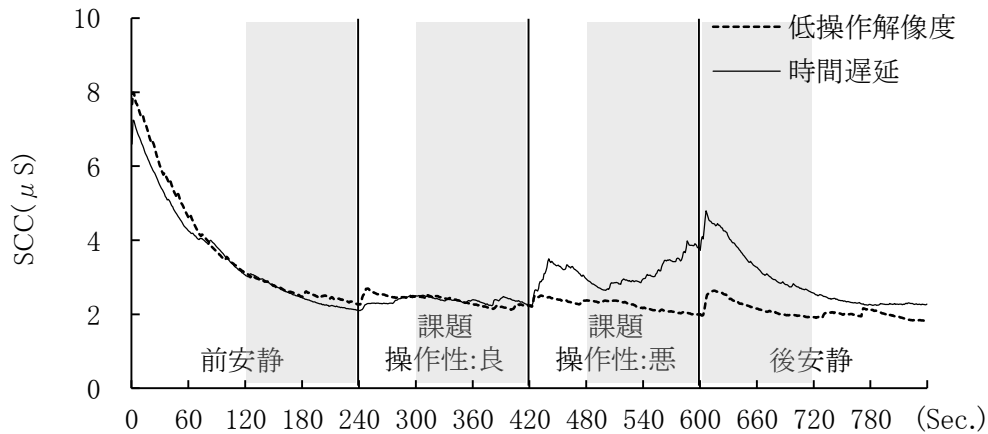


図 26 阻害セッションにおける各条件の SCC の変化

図 26 より、SCC は操作性：良では前安静に比べあまり変化はみられないが、操作性：悪に入ると、時間遅延条件のみ後半にかけて SCC の上昇がみられた。後安静に入ると両条件共に SCC は下降した。SC を従属変数として同様に分散分析を行った結果、条件×期間の交互作用 ($F(3, 54)=3.77, p<.05$) が有意、条件の主効果 ($F(1, 18)=3.37, p<.10$) が有意傾向であった。期間の主効果は有意ではなかった ($F(3, 54)=0.63, n. s.$)。条件×期間の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結果、操作性：悪と後安静において条件の単純主効果が有意傾向であった (いずれも $p<.10$)。つまり、全体として低操作解像度条件に比べて時間遅延条件の SC が高く、その差は操作性：悪と後安静において顕著であったことが示された。

両条件の操作性：良から操作性：悪への SCC 変化量を算出し、以下の図 27 に示した。

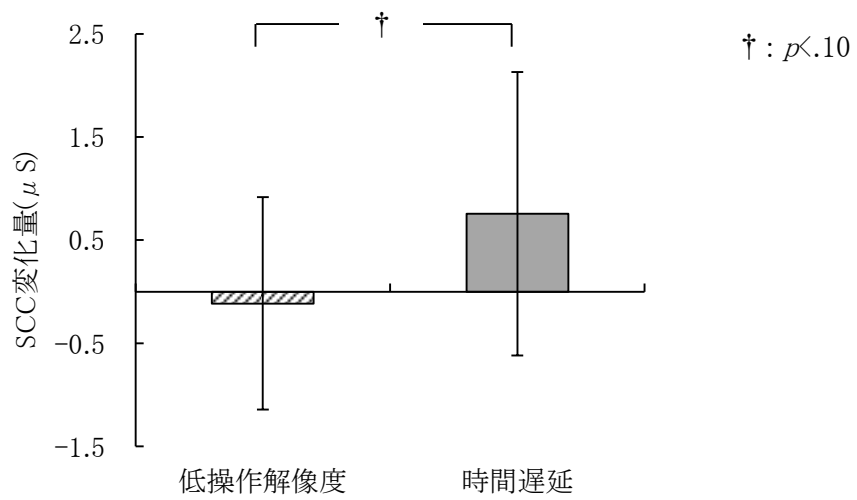


図 27 操作性:良から操作性:悪への SCC 変化量

図 27 より、操作性:良から操作性:悪への SCC 変化量は、時間遅延条件で大きかった。SCC 変化量を従属変数として対応のある t 検定を行った結果、条件の差が有意傾向であった ($t(19)=1.82, p<.10$)。つまり、操作性:良から操作性:悪にかけて、時間遅延条件で SC がより増加したことが示された。

次に、各生体反応の変化が転移の程度を反映しているのか、あるいは難易度の程度を反映しているのかを検討すべく、操作性:良から操作性:悪への各生体反応に関し、感覚転移得点変化量、没入得点変化量、課題パフォーマンス変化量のそれぞれの間での相関係数を求め、以下の表 1、2 に条件別に示した。また、各条件において有意な相関関係の認められたものに関し、図 28, 29 に散布図を示した。

表 1 低操作解像度条件における生体反応変化量に関する
感覚転移項目・没入項目、課題パフォーマンスの各変化量との相関

質問項目	HR変化量	FBF変化量	SCC変化量
	1.96	1.55	-1.36
	相関係数		
「実際に道路の下に立っているような気がした」	-0.15	-0.04	-0.34
「実際に目の前を女性が歩いているような気がした」	-0.36	-0.22	-0.25
「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」	-0.31	-0.35	-0.23
平均感覚転移得点	-0.31	-0.22	-0.33
「迫力」	0.16	0.21	-0.42 †
「疲れ」	0.03	-0.57 *	0.24
「没入感」	0.12	0.29	-0.45 †
「ゆれ」	0.04	-0.53 *	0.29
「違和感」	-0.11	-0.22	0.23
「驚き」	-0.42 †	0.22	-0.10
「見やすさ」	0.15	0.11	-0.07
「広がり」	0.19	0.09	-0.01
平均没入得点	0.08	-0.16	-0.06
課題パフォーマンス	0.06	0.29	-0.22

*: $p < .05$ †: $p < .10$

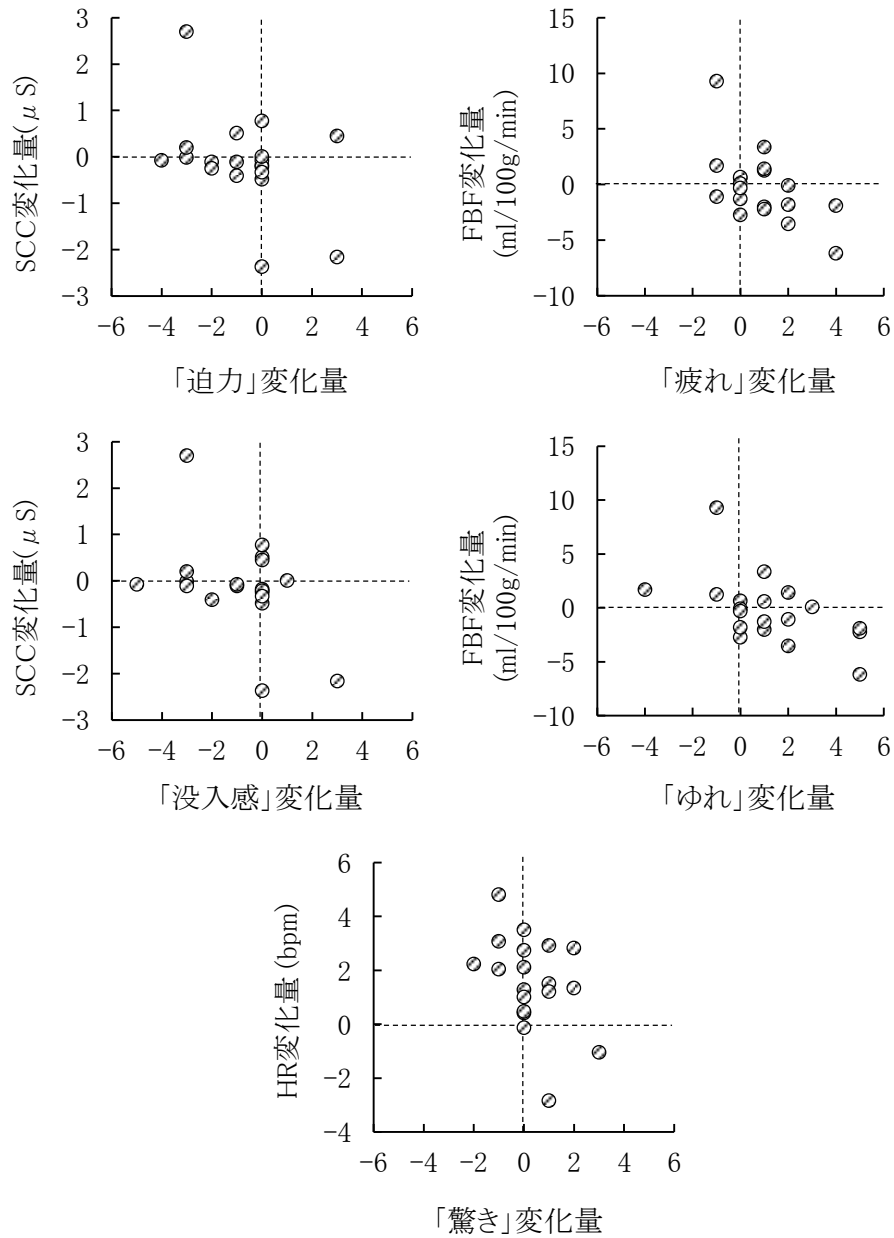


図 28 低操作解像度条件における生体反応変化量に関する
 感覚転移項目・没入項目の各変化量との相関

表 1 より、低操作解像度条件では、「迫力」と SC 変化量の間 ($r=-0.42, p<.10$)、「疲れ」と FBF の変化量の間 ($r=-0.57, p<.05$)、「没入感」と SC 変化量の間 ($r=-0.45, p<.10$)、「ゆれ」と FBF の変化量の間 ($r=-0.53, p<.05$)、「驚き」と HR 変化量の間 ($r=-0.42, p<.10$)に、中程度の負の相関が認められた。つまり低操作解像度条件では、「驚き」得点が増加するほど HR は低下、「疲れ」「ゆれ」得点が増加するほど FBF は低下、「迫力」「没入感」得点が増加するほど SCC は低下することが示された。

表 2 時間遅延条件における生体反応変化量に関する

感覚転移項目・没入項目、課題パフォーマンスの各変化量との相関

質問項目	HR変化量	FBF変化量	SCC変化量
	-0.26	0.76	-0.11
	相関係数		
「実際に道路の下に立っているような気がした」	-0.65 **	0.18	-0.15
「実際に目の前を女性が歩いているような気がした」	-0.65 **	0.14	-0.22
「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」	-0.17	-0.07	0.07
平均感覚転移得点	-0.68 **	0.14	-0.16
「迫力」	-0.16	0.06	0.15
「疲れ」	-0.13	-0.04	-0.17
「没入感」	-0.18	0.05	0.28
「ゆれ」	0.23	0.22	-0.24
「違和感」	-0.03	0.00	-0.15
「驚き」	-0.21	0.10	0.18
「見やすさ」	-0.17	0.13	0.24
「広がり」	0.14	-0.02	0.11
平均没入得点	-0.15	0.17	0.13
課題パフォーマンス	-0.07	0.10	0.49 *

** : $p<.01$

* : $p<.05$

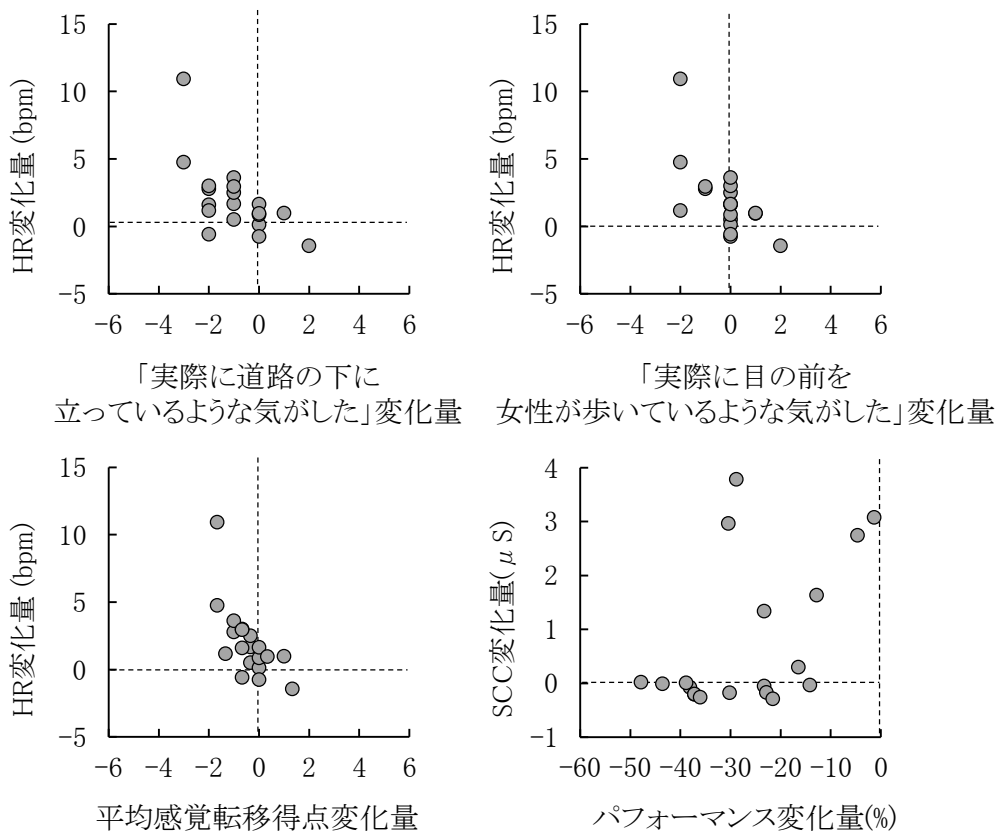


図 29 時間遅延条件における生体反応変化量に関する

感覚転移項目・没入項目、課題パフォーマンスの各変化量との相関

表 2 より、時間遅延条件では、「実際に道路の下に立っているような気がした」と HR 変化量の間 ($r=-0.65, p<.01$)、「実際に目の前を女性が歩いているような気がした」と HR 変化量の間 ($r=-0.65, p<.01$)、平均感覚転移得点と HR 変化量の間 ($r=-0.68, p<.01$) に中程度の負の相関が認められ、課題パフォーマンスと SCC 変化量の間 ($r=0.49, p<.05$) に中程度の正の相関が認められた。つまり時間遅延条件では、平均感覚転移得点が増加するほど HR は低下するが、特に「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」得点においてその傾向は顕著であったことが示された。また、課題パフォーマンスの低下が著しいほど、SCC は低下することが示された。

考察

本研究の目的は、実験参加者の頭部運動を CG シーン内のカメラにリアルタイムに反映させ、映像を HMD に呈示することで、主観的な身体位置が CG 内へ移動した状態を作り出すこと、またその後、参加者の動作と視覚刺激の同期を解除する事で、成立した感覚運動学習を阻害し、その際発生するストレス反応を手がかりに、主観的な身体位置の移動に伴う身体感覚の転移という現象の定量化を行う事であった。

まず心理指標について考察すると、平均感覚転移得点は参加者の運動と視覚情報が同期し、且つ操作解像度も高い訓練で最も高くなり、時間遅延や操作解像度低下という阻害を行った際に得点が低下した。このことから、訓練において主観的な身体位置が CG 内へ移動していた可能性が高いと考えられる。従来の主観的な身体位置の移動に関する研究は、身体保持感を操作することで生じさせていたが、本研究では運動主体感を操作することで、同様の状態を誘発することができたと考えられる。これは、運動結果の予測と視覚フィードバックとの一致が、仮想現実環境上の視覚刺激に対する身体保持感や運動主体感の認識に重要な役割を果たすという知見 (Short&Ward, 2009; Hari&Jousmaki, 1996) と一致するものであった。

しかし、最も平均感覚転移得点の高かった訓練でも、両極 7 段階評定で +1 を下回り、決して高い得点とはいえない結果となった。本研究で用いたモーションセンサーは、普段感じることのない微細な頭部の揺れまで正確に測定してしまうため、そのまま CG 内のカメラに反映されると、必要以上に視点が定まらない状態となってしまった。そこで、順応セッションの訓練時、阻害セッションの操作性：良においても、時間遅延を感じない程度にハイカットフィルタにより高周波帯域成分のみ除去した動作をカメラに反映した。しかし参加者によってはカメラの微細な揺れを認識したり、HMD の装着感に違和感があったりと、日常生活の中

で実際に行われている運動および視覚フィードバックの再現には至らず、感覚転移得点が低くなったと考えられる。また、障害セッションの操作性：良との比較を考え、順応セッションの訓練においても、キャラクターを画面中央の円に収めるという課題を課した。これにより、参加者の意識が課題自体に集中し、シーン全体への感覚転移を問うたとしても、直接的には反映されない可能性が考えられる。そのため訓練時には、実験者の指定した課題を行うのではなく、参加者が自由にCGシーン内を移動することができるなど、CGシーンに対して自由度の高さを経験することで、より強い感覚転移に繋がると思われる。

平均感覚転移得点は、訓練に比べ低操作解像度条件において有意に低下した。項目別に検討すると、「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」の項目において顕著であった。低操作解像度条件では「通常視点は流れるものであるのに対していちいち停止するのが違和感」といった内省報告がなされ、現実的な体験と明らかに乖離するために、感覚転移が大きく障害されたと考えられた。ただし「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」得点には、訓練を含むいずれの条件の間にも差は検出されず、すべての条件において高い得点を示した。これは、課題内容や操作性を踏まえたものではなく、HMDを外すという行為自体について回答したためであると考えられる。このように本研究では、予備実験において両条件の主観的な課題のやりにくさを統制したが、感覚転移得点に関しては、特に低操作解像度条件において、大きく低下する傾向にあることが示された。

平均没入得点に関しては、条件間に有意な差が認められなかった。しかし、項目別に検討すると、操作性を悪化させた際には条件に関わらず「迫力」は有意に低下し、「違和感」「疲れ」は有意に増加することが示された。松島ら(2011)の研究では、高没入時には「迫力」や「広がり」等の評価が高くなり、「ゆれ」を

強く感じることで、鑑賞者の「違和感」や「疲れ」などを高めることが報告されている。本研究では訓練で最も没入が高まることが期待されるため、操作性を悪化させた際には、「違和感」や「疲れ」はむしろ低下すると考えられる。松島ら(2011)の研究は刺激映像の呈示方法による差異を検討したものであるのに対し、本研究は操作性の差異を検討したものであった。このような理由から、実験参加者の回答対象が両研究間で異なっていた可能性が高く、結果に一貫性がみられなかったと理解できる。そのため、没入の度合いを適切に測るためには、項目回答の際に適切な教示文を提示する必要があると考えられる。

次に生理指標について考察すると、生体反応を用いて感覚転移を検討した過去の研究(渡辺ら, 2009; 渡辺ら, 2011; 松田・開, 2013; Alimardani, Nishio, Ishiguro, 2013 など)では、いずれも感覚転移阻害時に生じる反応のみに着目していたが、本研究では感覚転移成立の過程も生体反応の計測対象期間とした。順応セッションの訓練では HR および SCC の上昇、FBF の下降がみられた。これは課題が上手くできないことに起因すると考えられ、NA の上昇、PA および CA の低下といった主観感情の変化からも裏付けられる。しかし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、反応が大幅に減衰したと考えられる。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身体感覚の転移が高まった状態であったことが予想される。

次に、生理指標を用いた感覚転移の定量化について考察する。操作性：悪から操作性：良の生体反応を減じたものを、感覚転移の指数として定量化することを試みたが、HR、FBF、SCC の低操作解像度条件においては、変化量が当初の想定よりも少なく、SCC の時間遅延条件のみにおいて明確な変化が認められた。さらに、変化がみられた時間遅延条件は、パフォーマンスの低下が著しいことから、このような SCC の変化は、感覚転移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に見受けられた。これらのことから、生理指標を用いた感覚転移の定量化は困難であると考えられた。このように平均変化量に関しては、転移の影響は不明確であったが、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、転移の影響が含まれる可能性がある。そこで、生体反応の変化が転移の程度を反映しているのか、あるいは難易度上昇を反映しているのかを検討すべく、操作性:良から操作性:悪への各生体反応変化に関し、感覚転移得点変化量、没入得点変化量、課題パフォーマンス変化量のそれぞれの間での相関係数を求めた。

まず、時間遅延条件における相関に目を向けると、課題パフォーマンス変化量と SCC 変化量に有意な正の相関が認められた。これは課題パフォーマンスが低下するほど SCC 変化量は少ないことを意味しており、SCC 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ォーマンスの低下と共に SCC 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、SCC 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 29 参照)。さらに、HR 変化量と感覚転移得点変化量との間には、有意な負の相関が見られた。これは、感覚転移得点が低下するほど HR 変化量が多いことを意味している。言い換えれば、感覚転移得点が高まるほど、HR が低下することを意味する。本研究の課題は、画面中央に表示される円の中に、前方を歩いているキャラクターを収め続けるというものであった。Lacey&Lacey(1974)によると、外界への注意を払う課題においては、HR が減少すると述べられている。前述したように時間遅延条件では感覚転移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思われる。これらのことから、感覚転移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。

次に低操作解像度条件における相関に目を向けると、複数の没入得点変化量と生体反応変化量の間においてのみ、有意な負の相関が認められた。具体的には、「ゆれ」「疲れ」の得点が高くなると FBF が低下し、「迫力」「没入感」の得点が低くなると SCC が増加するという関係性が示された。低操作解像度条件では、カメラの移動が円滑でないため、結果として参加者は横方向のゆれを強く知覚したと思われる。FBF の低下はこのような違和感を反映したものと考えられ、主観評定の NA 得点が上昇することによっても裏付けられる。「迫力」「没入感」の低下も違和感を反映したものであり、SCC の上昇は急激な操作性の変化を反映したものであると考えられる。実際に、「時間遅延条件に比べて低操作解像度条件は操作性の変化に気づきやすい」という内省報告も得られ、実験参加者の操作性：良から操作性：悪への切り替わりの知覚しやすさが上記の反応を引き起こしたといえるだろう。

本研究から、先行研究で報告されたような身体保持感ではなく、運動主体感を通して主観的な身体位置が他の場所へと移動し、その場所へと身体感覚を転移させることができる可能性が伺えた。また、参加者の運動が CG シーン内に反映される際には、操作解像度低下は、時間遅延よりも感覚転移を大きく阻害し、身体感覚の転移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、感覚転移得点、没入得点のそれぞれの相関関係を調べたところ、低操作解像度条件では没入得点の変化が、時間遅延条件では感覚転移得点の変化が、それぞれ生体反応に影響を及ぼした。特に、感覚転移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 変化量から身体感覚の転移という現象を定量化できる可能性が示唆された。

IV. 引用文献

Armel, 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.

Ehrsson, H. H. (2007). The Experimental Induction of Out-of-Body Experiences. *Science*, **317**, 1048

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

Hari, R., & Jousmaki, V. (1996). Preference of personal to extrapersonal space in a visuomotor task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **8**, 305-307

Kasprowicz, A. L., Manuck, S. B., Malkoff, S. B., & Krantz, D. S. (1990). Individual differences in behaviorally evoked cardiovascular response: temporal stability and hemodynamic patterning. *Psychophysiology*, **27**, 605-619.

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.

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. Brenner & L. V. DiCaraEds. _____, *Cardiovascular psychophysiology*. Chicago:Aldin. 538-564.

Lenggenhager , Tadi , Metzinger , Blanke (2007). Video Ergo Sum: Manipulating Bodily Self-Consciousness. *Science*, **317**, 1096

松田剛・開一夫 (2013). モーションコ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

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

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.

長野祐一郎 (2002). 鏡映描写時における圧反射感度の変化:課題難易度の影響, *生理心理学と精神生理学*, **20**, 233-239.

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.

小木哲朗 (1999). 没入型ディスプレイの特性と応用の展開, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, **1**, 43-49.

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**, 1092-1103.

嶋田総太郎・開一夫 (2005). 自己身体認識における視覚と体性感覚の時間的整合性について:NIRSによる脳活動計測, *電子情報通信学会技術研究報告*. *ニューロコンピューティング*, **105**, 33-38,

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

Waldstein, S. R., Bachen, E. A., & Manuck, S. B. (1997) Active coping and cardiovascular reactivity: a multiplicity of influences.

Psychosomatic Medicine, **59**, 620-625.

渡辺哲矢・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**, 19-24,

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

Williams, K. D. (2013) “The Effects of Video Game Controls on Hostility, Identification, and Presence” , *Mass Communication and Society*, **16**, 26-48

謝辞

本研究論文を作成するにあたり、ご指導いただきました文京学院大学の長野祐一郎先生、小林剛史先生に深甚の謝意を表します。また、実験に協力していただきました皆様に心より御礼申し上げます。