



自己身体の認識が運動パフォーマンスに及ぼす影響

Cognition of self-body affects motor performances

湯村颯悟¹⁾, 蒲池みゆき²⁾

Sogo YUMURA and Miyuki G. KAMACHI

- 1) 工学院大学大学院 工学研究科 (〒192-0015 東京都八王子市中野町 2665-1, em22026@ns.kogakuin.ac.jp)
2) 工学院大学 情報学部 (〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2, miyuki@cc.kogakuin.ac.jp)

概要: 自己身体として認識するバーチャル空間内のアバタに対して身体の見え方を変化させることで、単純な運動課題の運動時間や運動軌跡の違いが見られるのか調査した。実験協力者はアバタが自己身体に似ているか評価することに意識を向けたが、実験の真の目的は運動の定量的なデータの解析であり、実験の結果、身体の見え方によって運動課題の遂行時間に違いを確認した。そして、その遂行時間の違いは運動時の軌跡の違いとも関連しており、身体の見え方が運動軌跡の変化に寄与している可能性が明らかとなった。

キーワード: 自己身体認識, 運動知覚, 運動変化

1. はじめに

近年、VR コンテンツの多くは、現実で自己身体を見るときに比べ、有り得ないような自己身体の形状をアバタとして視認することが多い。このアバタの見え方と現実で見慣れている自己身体の見え方が乖離している状態について数多くの研究が行われている。例えば、非ヒト型アバタによる「なりきることで身体的・物理的に行動が変化する効果」であるプロテウス効果や VR 体験向上[1][2]、透明人間状態による人間の空間知覚変化[3]、手足のみが視認できる状態で不可視な身体部位を変化させた場合の行動変容[4]などがある。

しかしながら、アバタの見えの変化によるバーチャル空間での自己身体認識プロセスは依然として曖昧であり、バーチャル空間内で自分として一度認識したモデルが、見えている状態なのか、見えていない(省略された)状態なのかによって、体性感覚および自身の運動に影響を及ぼすのかは未だ明らかではない。

そこで本研究では、VR 体験時の一人称視点において、アバタの可視範囲を離散的に変え、空間内で単純な運動課題を行った際のパフォーマンスに何らかの潜在的な影響が生じるかに着目し調査する。アバタの可視状態によって一定の運動をしていても異なるパフォーマンスを示すかを解明することは、空間内で精密な機器を操作する場合など、バーチャル空間を現実空間から制御する上での問題点をより明確化し、同時に人間の自己身体に関する認識の解明につなげることができる。そのため、実験ではア

バタの可視範囲を「全身」、「腕のみ」、「見えない」という 3 つの条件に離散的に変え、バーチャル空間内で「コントローラを掴んで動かす」という単純な運動課題を設定する。また、実験に用いるアバタは実験協力者の身体を採寸した測定値から作成し、本実験ではコントローラを動かす運動課題に加えて「歩行課題」と、実験中の運動が自然に行えたかを評価する「質問課題」を追加する。これにより、実験協力者は実験の目的を「このアバタは自分らしいか」や「バーチャル空間での運動が行いやすいか」に注目することとなる。しかしながら、アバタ作成や歩行・質問課題は自己身体認識を促進させるためのダミー課題に過ぎず、実験の真の目的はコントローラを移動させる際に要する時間と運動時の軌跡を定量評価することにある。もし自己身体として認識するアバタの可視範囲がその後の運動に影響を与えるのであれば、物体を移動させる時間が変化し、それに伴って運動時の軌跡も変化するであろう。

2. アバタの可視範囲変化を伴った運動実験

実験ではアバタの可視範囲を離散的に変え、バーチャル空間内で「コントローラを掴んで動かす」単純な運動課題に要した時間と運動軌跡の調査を目的とした。

2.1 実験協力者

実験協力者は健康な視力を有し、運動機能に異常がない 20 代前半の男女 12 名(男性 7 名、女性 5 名)が実験に参加した。実験協力者の平均身長は 167.9cm、最大値は 182.5 cm、最小値は 156.0 cm であった。

なお、本実験にあたって実験協力者にはあらかじめ同意書および教示文にて実験内容の説明を行っており、また「工学院大学ヒトを対象とする研究に関する倫理審査委員会」による審査により承認を得た。

2.2 実験環境

実験環境の概略図を図 1 に示す。実験環境は現実空間とその内側にある VR 空間によって構成された。

現実空間の中心に机を配置し、机上にはコントローラ(HTC 社 VIVE Controller 2018)を配置した。現実空間の内部に VR 空間を Unity で作り、現実空間を時間・空間的に VR 空間へ再現した。運動実験時の制御およびデータを取得するために VR 空間に不可視の半円(計測範囲)を設置した。半円の中心部にはセットポジションを設け、机上には青いリングを配置した。

また、現実での運動が VR 空間に反映されるようにフルトラッキングシステムのプラグイン(Valve Corporation 社 SteamVR Unity Plugin, DMM 社 DMM VR Connect β: DVRSDK, UltraLeap 社 UltraLeap Plugin for Unity)を導入した。フルトラッキングは頭部を HMD (HTC 社 VIVE Pro eye), 両肘, 腰, 両足をトラッカ(HTC 社 VIVE Tracker 3.0), 両手をモーションキャプチャコントローラ(UltraLeap 社 Leap Motion Controller)によってトラッキングする 8 点トラッキングとした。モーションキャプチャコントローラは HMD のフロントカメラの位置に搭載し、頭部の動きに追従した両手のトラッキングを可能にした。

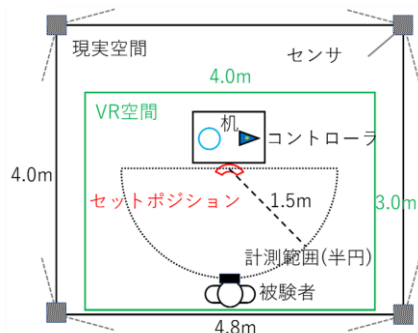


図 1 実験環境の概略図

2.3 刺激

実験の視覚刺激には 3D モデル生成ソフトウェア (MeshCapade 社 digidoppel[5][6]) によって生成された身体モデルと、ハンドモデル (UltraLeap 社 LowPolyHands) を合わせたアバタを用いた。手指運動のトラッキングを正確にアバタに適用するため、アバタの両手は digidoppel によって生成された身体モデルの両手部をテクスチャ画像の編集により透明化し、ハンドモデルを接合した。アバタはインバースキネマティクス (IK) によって制御した。

2.4 手続き

実験は実験準備と本実験を 2 日に分けて行った。

実験準備として、実験協力者は、digidoppel を用いたアバタ生成のために身体各部の距離や周囲長をテーラーメジャーで測定された。

視覚刺激の条件は、完全にアバタの全身を見ることができる ALL 条件、肩峰から両手・指先のみを見ることができる ARM

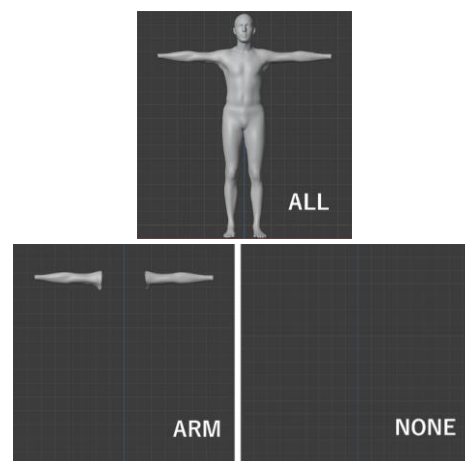


図 2 視覚刺激の 3 条件

条件、そして全身が完全に見えない NONE 条件の 3 条件とした(図 2)。

本実験では、まず実験協力者は HMD とトラッカを装着し VR 空間と自己身体(アバタ)の状態を視覚的に確認した。その後、実験環境の計測範囲の外側に誘導され立位状態で待機するよう指示された。実験者からの合図で、実験協力者は前方の床に視認できるセットポジションを確実に踏むまで蛇行・滞留することなく歩行した。歩行終了後、すみやかに机上に配置されているコントローラを掴み(図 3 の①)、同じく机上に設置してある青いリングに滑らかに動かした(図 3 の②)。コントローラを青いリングに移動すると同時に、VR 空間とアバタの視覚呈示が中断され、HMD 上に質問画面が表示された。評価終了後、実験者により実験協力者が計測範囲の外側にランダムな位置で誘導され、中断されていた視覚呈示が再開した。ここまでを 1 試行として連続で 10 試行実施した。実験協力者には 3 条件すべての場合で運動実験を行ってもらった被験者内実験を実施し、条件間の順序効果はカウンターバランスをとることで相殺した。10 試行を 1 セットとして、視覚刺激 3 条件分の 3 セット(合計 30 試行)実施した。

2.5 結果

運動課題で、コントローラを完全に掴んで持ち上げ始める時から青いリングに移動し終わるまでに要した時間を解析対象のパフォーマンスデータとした。条件ごとの 1 試行目から 5 試行目までは作業に慣れるための練習試行として解析に用いず、データから除外した。

実験協力者ごとの運動課題に要した平均時間(sec)を従属変数、アバタの身体描画の刺激条件(ALL 条件, ARM 条件, NONE 条件の 3 条件)を独立変数として、一要因分散分析を行った結果を図 4 に示す。結果として、アバタの身体描画の条

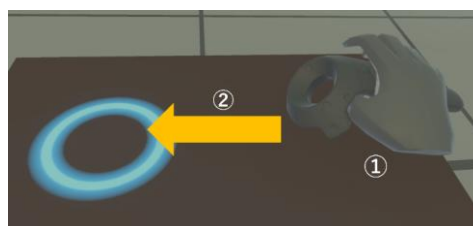


図 3 運動課題時の動作

件により運動課題に要する平均時間に有意な主効果が認められた ($F(2,22) = 8.175, p = .002$). さらに Bonferroni 法による多重比較を行ったところ, ALL 条件 ($M = 1.430, SE = .176$) と NONE 条件 ($M = 1.113, SE = .117$) の間 ($p = .026$), および ARM 条件 ($M = 1.439, SE = .157$) と NONE 条件の間に有意な差がみられ ($p = .014$), いずれも NONE 条件が短い時間で課題を遂行していることが分かった. 一方で, ALL 条件と ARM 条件の間には有意な差はなく ($p = 1.000$), 自己身体の見視範囲の広さによって課題遂行に差はないことが明らかになった.

本結果から, アバタを完全に見ることができない NONE 条件の時に運動課題に要する時間が短く, ALL 条件と ARM 条件つまり全身と手腕部のみを認識させた場合は同等に時間を要することが示された.

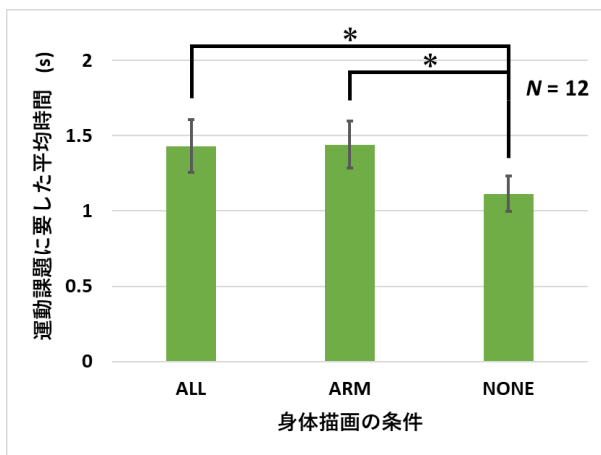


図4 運動課題に要した刺激条件ごとの平均時間 (* $p < .05$, 誤差線は標準誤差)

次に, 運動課題中の手の座標データ(手首の座標)がどのような運動軌跡を描いているか可視化し, アバタの見えごとの軌跡の傾向を確認した. 図5に示すように机を正面に見た時の左右方向(x軸)と上下方向(y軸)の手首座標を座標データとして解析を行った. 今回の実験では運動課題時のz軸(机を正面に見た時の前後方向)の座標も取得したが, 動きが最も大きくなる組み合わせのxy平面のみに着目することとして, xz平面やyz平面に関しては調査しなかった. ハンドトラッキングが正常に行えていなかった座標データに関しては今回の解析から排除した(ALL条件で4試行, ARM条件で2試行, NONE条件で4試行を排除した). 運動軌跡の範囲は「コント

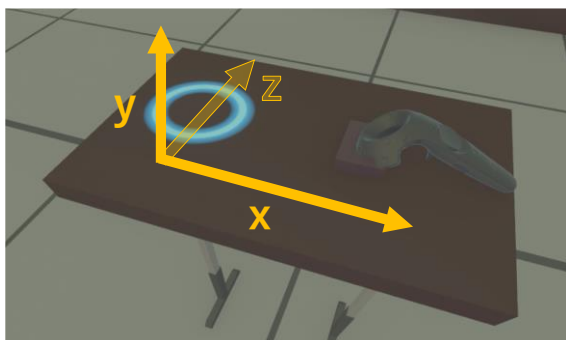


図5 座標系の定義

ローラを掴んで持ち上げる時から青いリングの中に移動し終わるまで」とした.

図6に身体描画の刺激条件(ALL条件, ARM条件, NONE条件)ごとのxy平面における運動軌跡をそれぞれ示す. 図6のx軸($y = 0$ の面)は机の上面と一致している. どの刺激条件でも, 運動の始点はx軸のおよそ0.40mから0.50mの間に密集し, x軸の値が徐々に減少するように弧を描き, およそ0.10mから0.20mの間に終点が密集した. 運動軌跡は高さに着目すると, $y = 0.15m$ 付近を境目に, 山なりに動かしている運動軌跡の高いグループと, 最短距離で机の面と平行(横ばい)に動かしている運動軌跡の低いグループを確認した. ALL条件の運動軌跡は前者のグループと後者のグループが明確に分かれていることが確認でき, ARM条件の運動軌跡は前者と後者のグループの境目がなく, $y = 0.15$ 付近の平均的な軌跡が多かった. 一方で, NONE条件の運動軌跡は前者のグループに比べて後者のグループに属する軌跡が多く, コントローラをあまり持ち上げず移動させていることが分かった.

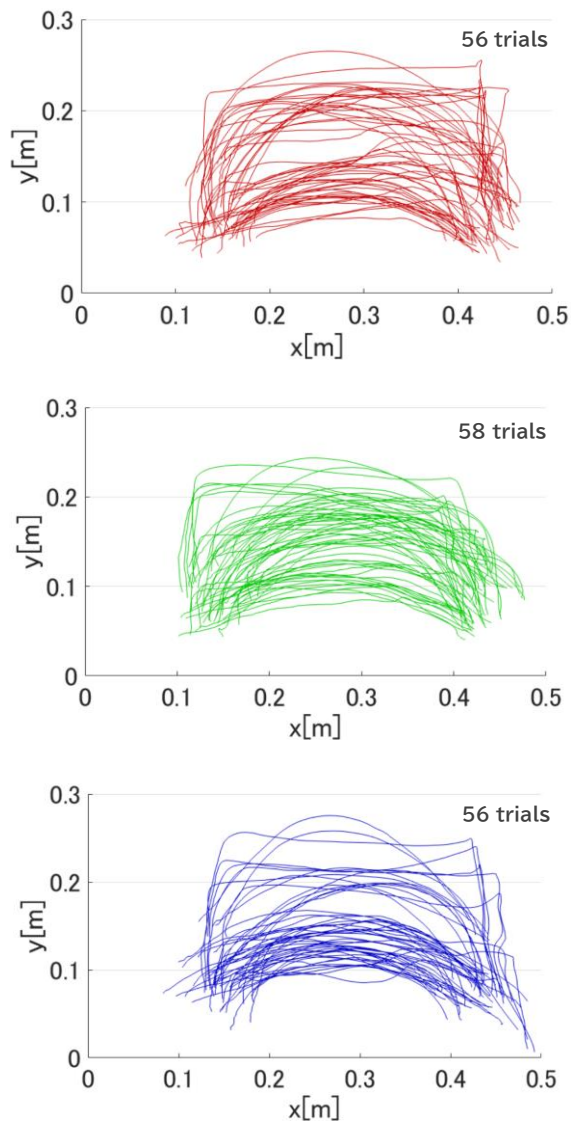


図6 刺激条件ごとのxy平面運動軌跡 (上赤:ALL条件, 中緑:ARM条件, 下青:NONE条件)

この可視化の結果、全身もしくは部分的な身体が見えていたときの運動課題に比べ、身体が全く見えていない状態での運動課題におけるコントローラ持ち上げの高さが比較的低めに抑えられていることを確認することができた。

2.6 考察

アバタの全身を認識する場合や手腕部のみを認識する場合に比べ、全く身体を認識できない場合の運動課題に要した時間は短くなった。これは、運動の「滑らかさ」・「素早さ」という部分において視覚的に与えられる自己身体の情報が増え、遂行に時間を要するという意味でパフォーマンスを阻害することを示唆している。自己身体の見えない状態での運動課題において、自己身体を視覚的に認識することは運動スキルの向上にはつながらない可能性が考えられる。

また、先行研究では横方向の把持運動において視覚的な身体情報（手腕部）が与えられ、かつ触覚情報も合わせて与えられた場合にモノを掴むまでのリーチングの動作が速くなるということが分かっている[7]。本研究の結果より、モノを掴んだ後、指定の位置に移動させる段階の運動においては、身体の見えない状態での動作が速くなるということが示唆される。

身体の見えない状態で運動課題に要した時間が短くなったということは運動軌跡の結果から以下のように説明できる。

運動軌跡の解析の結果、持ち上げる高さが高い運動軌跡のグループと、持ち上げる高さの低い運動軌跡のグループに分けられることを示唆した。この持ち上げる高さは、運動中の身体の状態・様子を観察する度合いと関係があると考えられる。つまり、持ち上げる高さが高い場合は、運動中の身体をより注意深く観察し確実に持ち上げられているかを意識しながら運動し、持ち上げる高さの低い場合は、運動中の身体の十分な観察なしで運動後の状態を予測した運動を意識している可能性が示唆される。

そして、視覚的な身体情報が全くない場合の運動軌跡は持ち上げる高さの低いグループの軌跡が多いことを示した。これは、持ち上げる高さの低いグループの軌跡が多いことを示した。これは、持ち上げる高さの低いグループの軌跡が多いことを示した。これは、持ち上げる高さの低いグループの軌跡が多いことを示した。これは、持ち上げる高さの低いグループの軌跡が多いことを示した。

しかしながら、今回は可視化された運動軌跡のグラフからの判断に留まっているため、この身体情報と運動との関係性をより詳細に調査する必要がある。調査方法を含め解析の手法などを変えた調査は今後の課題である。

3. まとめ

本研究は、VR空間で視認できる自己身体の見えない状態での運動課題（全身・腕のみ・見えない条件）を変化させ、単純な運動課題を行った際のパフォーマンスに何らかの潜在的な影響が生じるかについて実験的に調査した。実験は、1日目に実験協力者ごとのアバタを採寸により作成し、2日目に、そのアバタの可視範囲を変え、「コントローラを掴んで移動させる」という運動課題を実施した。その際の運動データ（VR空間内の手首の座標データと運動に要した時間データ）を取得し、運動課題に要した時間と運動軌跡について解析を行った結果、「全く身体が見えない条件」の運動課題に要した時間が最も短くなり、自己身体の見えない状態での運動課題に伴って、運動軌跡の傾向が異なることが分かった。自己身体を認識する際の身体の見えない状態での運動パフォーマンスは変化することが明らかになった。

謝辞 本研究はJSPS研究費(課題番号20H00608)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 小柳陽光, 鳴海拓志, 安藤英由樹, 大村廉: ドラゴンアバタを用いたプロテウス効果の生起による高所に対する恐怖の抑制; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.25, No.1, 2-11 (2020).
- [2] Andrey Krekhov, Sebastian Cmentowski, Katharina Emmerich, Jens Krüger: Beyond human: Animals as an escape from stereotype avatars in virtual reality games; In Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play, 439-451 (2019, October).
- [3] Björn Van Der Hoort, H. Henrik Ehrsson: Illusions of having small or large invisible bodies influence visual perception of object size; Scientific reports, Vol.6, Article No.34530, 1-9 (2016).
- [4] 近藤亮太, 上田祥代, 杉本麻樹, 南澤孝太, 稲見昌彦, 北崎充晃: 見えない長い腕: 四肢先端の視覚運動同期による四肢伸張透明身体への所有感生成と行動変容; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.24, No.4, 351-360 (2019).
- [5] Matthew Loper, Naureen Mahmood, Javier Romero, Gerard Pons-Moll, Michael J. Black: SMPL: A skinned multi-person linear model; ACM Transactions on Graphics, Vol.34, No.6, Article No.248, 1-16 (2015).
- [6] Aggeliki Tsoli, Matthew Loper, Michael J. Black: Model-based anthropometry: predicting measurements from 3D human scans in multiple poses; IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision, 83-90 (2014).
- [7] Ivan Camponogara, Robert Volcic: Grasping movements toward seen and handheld objects; Scientific Reports, Vol.9, Article No.3665, 1-8 (2019).