

# 身体が表示位置が身体表象に与える影響の分析 ～前腕表象の伸長・移動の検討～

## Analysis of the Effect of Displayed Position of Body Parts on Body Representation –Arm Extension or Arm Shift

大西 麻佑奈<sup>1</sup>, 江波戸 傑<sup>1</sup>, 松室 美紀<sup>2</sup>, 柴田 史久<sup>1</sup>, 木村 朝子<sup>1</sup>  
Mayuna Onishi, Takeru Ebato, Miki Matsumuro, Fumihisa Shibata, Asako Kimura

<sup>1</sup>立命館大学大学院情報理工学研究科, <sup>2</sup>Department of Communication, Cornell University  
[onishi@rm2c.ise.ritsumei.ac.jp](mailto:onishi@rm2c.ise.ritsumei.ac.jp) (大西)

### 概要

身体が表示位置や大きさを変更させることで、身体表象が変化することが知られている。本研究では、右腕を実際の位置よりも身体に対して前方に表示した状態で課題を行い、身体表象を変更させた。二種類のテストにより、身体表象の変化が腕の伸長ではなく、腕の前方への移動であることが示された。また、他方向への変化を行った先行研究と比較することで、身体に対しての変化方向により変化に差異があるのかを検討した。その結果、右腕は前後方向より左右方向の身体が表示位置の影響を受けやすいことを確認した。

キーワード：身体表象, proprioceptive recalibration, 人工現実感, multimodality

## 1. はじめに

### 1.1. 身体表象

人間は脳内に自身の身体がどのようなものであるかという知識やイメージを保持している。これにより、我々は目を閉じていても自身の手足の位置や、姿勢、身体の大きさや見た目を知ることが可能である。このような身体に関する全般的な知識やイメージは身体表象と呼ばれ、本研究では、特に腕や脚などの身体部位やその位置関係について着目した。

身体表象は視覚や固有受容性感覚などの様々な知覚器官からの情報を統合することで形成され、日常の経験や記憶によって維持、更新されている [1]。ラバーハンドイリュージョンなどの先行研究の結果から、視覚や触覚から得られる情報に基づき、身体表象を変更可能であることが確認されている [2,3]。さらに、人間は身体表象に含まれている情報に基づいて行動の決定を行う [4]。そのため、身体表象が変化したとき人間の行動にも影響が出る。

### 1.2. 本研究の目的

Kilteni ら [5] は、腕の身体表象を奥行き方向に再構築できることを示した。彼女らの実験では、仮想身体の肩から先をゴムのように伸ばして表示することにより、腕の伸長を錯覚させた。一方で、VR 空間では体幹から

切り離された手(腕)を使って遠方の物体を操作する場合もある。このような場合、ユーザの身体表象はどのように変化するのであろうか。本研究では身体との接続部分を表示せずに、前腕の奥行き方向の表示位置を変化させることにより、参加者が手腕の伸長を感じるのか、手腕の移動を感じるのかを、2種類のポストテストを行うことにより検討した。

また、松下ら [6] は、身体部位の一部の表示位置を左右方向に変更した際の両腕の身体表象の変化に着目し、トレーニングする部位によってその変化が生じる部位や方向が異なることを示した。彼女らの実験手法を踏襲することにより、表示位置の変化方向により生じる身体表象の変化を比較した。

## 2. 実験

実験は、視覚的に提示される身体の位置が操作された状態で課題を行うトレーニング、身体表象の変化を確認するポストテストからなる。

### 2.1 方法

#### 2.1.1. 参加者

参加者は、平均年齢21.67歳の成人25名(男性13名、女性12名)であった。各参加者の利き手は右手20名、左手5名であった。矯正を含め、全実験参加者が正常視力を有した。なお、利き眼は北澤ら [7] や鈴木ら [8] の用いているローゼンバッハ法を用いて調査した。結果は、右眼14名、左眼11名であった。また、実験参加者の Head Mounted Display (HMD)の経験の有無を調査した結果、経験ありが5名、経験なしが20名であった。

#### 2.1.2. 視覚刺激

図1に示すように、トレーニング中は右腕の仮想モデルを実際の位置に表示する条件(以下、ずれなし条



(a) ずれなし条件



(b) ずれあり条件

図1 実験で使用した条件。前腕上に表示されている黒いトラッカーの位置が実際の手首の位置にあたる。トラッカーは実験中に表示されない。

件)と右腕を実際の位置から奥に10cmずれた位置に表示する条件(以下、ずれあり条件)の2条件のうちいずれかを提示した。仮想モデルが表示される位置は、Vive Trackerで取得した実験参加者の右腕・腰の位置を基準に決定した。

### 2.1.3. 手続き

実験と手順の説明後、実験参加者はHMDを装着し、トレーニングを行った。トレーニング課題では、図1のように実験参加者の前に5つの仮想の白い立方体と初期位置を表す仮想の黒い四角点が配置されている。実験参加者が初期位置に右手を置くとトレーニング課題が開始され、5つの白い立方体の内1つが赤く変化する。実験参加者は、赤く変化した箱に右手で触れ初期位置に戻すという動作を目の前に「Finish」という文字が現れるまで繰り返した。右手で箱に触れ初期位置に戻す動作を1回のトレーニングで30回繰り返した。トレーニング中に映し出される右腕の位置がずれていることがあることは、実験参加者には伝えなかった。

続いて、トレーニングによる前腕位置の知覚の移動を確認するポストテスト(以下、移動テスト)、または、腕の伸長の有無を確認するポストテスト(以下、伸長テスト)のいずれかを、HMDを装着したまま目を閉じた状態で行った。

移動テストの流れを図2に示す。参加者は肘を曲げた状態で手のひらを下に向け、それぞれの手をボードの上に置いた。その後、実験者が一方の手をボードごと

参加者から見て奥へと移動させた(以下、基準位置)。実験参加者は、もう片方の手を持ち上げた状態で移動させ、基準位置と同じ奥行き位置に置くことを求められた。移動開始位置は机の端とし、基準位置は、机の端から250mm、300mm、350mmの3種類であった。参加者が移動させた手の中指の位置と、実験者が移動させた手の中指の位置のずれを測定し、奥側にずれた場合を正の値、手前側にずれた場合を負の値とした。その後、実験者の操作によって、実験参加者の腕を動かし、基本姿勢へ戻した。これを全基準位置を右手・左手に対して実施した。

伸長テストは、Tajadura-Jiménezら[9]の実験を参考とした。手のひらを上に向けた状態で台の上に両腕を置いて行った。まず、実験者が左前腕上に二点の触覚刺激を提示した。左腕から刺激提示装置を離したのち、右前腕上に二点の触覚刺激を提示した。参加者は、実験者が左右の前腕に提示した2点のうち、右腕の2点の間隔が左腕の2点の間隔に比べて「長い」「同じ」「短い」のいずれかで回答した。実験者が提示する左腕の2点間隔の長さは常に5cmであり、右腕の2点間隔の長さは3cm、4cm、5cm、6cm、7cmの5種類であった。「長い」を1、「同じ」を0、「短い」を-1として記録した。全間隔を2回ずつ実施した。

トレーニング時のずれ条件やポストテストの順番は、参加者間でカウンターバランスが取られた。ポストテスト中の基準位置、2点間隔、移動テストにおける対象手腕の順番はランダムに決定された。直前の条件の影響及び身体の違和感や疲労感をなくすために、条件間で3分の休憩を取り、開始前にキャリブレーションのためにHMDなしで課題を行った。また、実験終了時には、ポストテストの際に両腕が同じ奥行きで合っていたかの自信度や腕の表示位置のずれに気が付いたか等のコメントを聴取した。

### 2.1.4. 指標

移動テストでは、各トレーニング後の各部位の基準位置からのずれの値の平均を指標とした。仮想のモデルの位置操作は身体に対して前後方向にのみであり、移動テストでは腕を持ち上げて真っ直ぐ伸ばすように指示したため、横方向の移動に関しては分析の対象としない。

トレーニングにより身体表象における手腕位置が奥へと移動した場合、実験参加者は実際の位置よりも手



図2 移動テストの様子

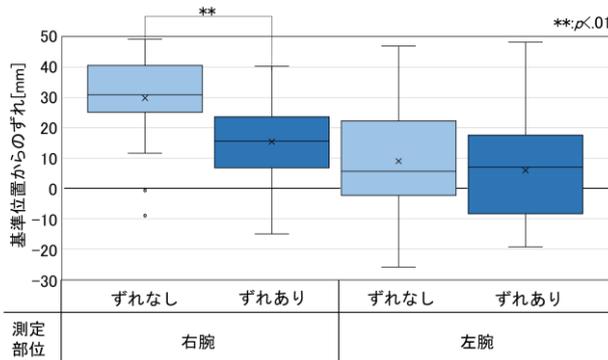


図3 ずれ条件間での行動の変化量

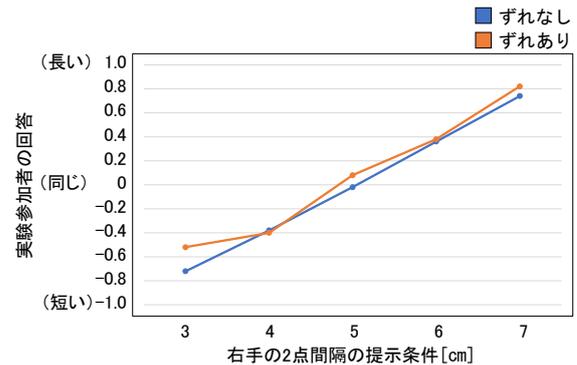


図4 ずれ条件間での2点刺激への回答

腕が奥にあると見積もるため、実際には基準位置より手前に手を置く。そのため、ずれは負の方向となる。身体表象における手腕位置が手前へと移動した場合、その反対となる。本実験のトレーニングのずれあり条件では、実際の位置より奥にずらして表示しているため、ずれは負の方向となると予測される。

伸長テストでは、ずれ条件間でポストテストの2点距離ごとに回答の比較を行った。トレーニングによって身体表象における腕が伸長した場合、ずれあり条件において、伸長テストの回答で「長い」方の回答が多くなる。

## 2.2. 結果

トレーニング後の左右の腕における基準位置からのずれの結果を図3に、腕への2点刺激に対する回答の結果を図4に示す。Shapiro-Wilk 検定を行った結果、一部の条件において正規分布をしていないことを確認した ( $p < .05$ )。そのため、Wilcoxon の符号順位和検定を用いて、各条件間の差の比較を行った。

移動テストでは、右腕においてずれなし条件時よりずれあり条件の方が基準位置からのずれが負の方向に有意に大きくなることが確認された ( $p < .01$ )。左腕においては、条件間で有意な差は確認されなかった。伸長テストでは、いずれの2点間隔の条件においても、ず

れ条件間で有意差がないことを確認した ( $ps > .10$ )。

## 3. 考察

本研究では、前腕の表示位置の変更が身体表象に与える影響を検討した。右前腕を実際の位置より奥にずれた位置に表示された状態でトレーニングを行わせた。その結果、表示位置をずらした右手の位置知覚のみがずらした方向と同じ方向に変化した。また、長さ知覚を測定するテストでは条件間に差がないことから、身体表象における腕の伸長はなく、腕の位置のみがずれていることが示唆された。

しかしながら、もし、右腕の身体表象が体幹に対して奥へと移動していたならば、その右腕を基準として動かした左腕では、反対方向へのずれが観測されるはずである。右腕のみで変化が観察されたという結果は、主に固有受容感覚、つまり、筋、腱などの動きと空間内での手の位置、移動量とのマッピングの変化であると考えられる。特に、左手での変化がなかったことから、脳から運動機器(手)への運動指令とのマッピングに関連している可能性が高い。

また、図3より、右腕の伸長テストの結果が大きく正の値をとっている。これはトレーニング中に右腕を斜めも含む前方へと伸ばしていたことが関係している

と考えられる。繰り返し腕を伸ばすことにより、より腕を前方に動かすようになったためであろう。

次に、本実験の結果と松下ら [6] の実験結果の比較を行う。右腕を 10cm ずらした映像を用いてトレーニングを行った場合、前後方向の身体表象は平均して 1.45cm、左右方向は 5.05cm 変化した。つまり、右腕は左右方向に対して前後方向よりも身体を表示位置の影響を受けた。腕の左右方向への変化は体幹への影響が小さいためであると考えられる。つまり、右腕の位置が右に動いた場合、右半身が大きくなったと考えれば、頭、体幹への影響はない。一方、腕が伸長せずに前へと移動した場合、腕の付け根との齟齬が生まれ、体幹ごと移動しなければ説明がつかない。

ただし、松下らの実験ではポストテストの基準点に最も安定していると予想される身体を中心、へそを利用していた。一方、本研究ではトレーニング部位の対称となる左手が利用されている。変化方向の影響に関してはさらなる検討が必要である。

#### 4. 結論

本研究では、身体部位の一部の表示位置の変更が身体表象に与える影響の大きさの比較及び身体表象の変化には腕の伸長の知覚が関わるのかについて検討した。実際の位置より、右腕を身体に対して奥側に表示した状態でトレーニング課題を実施し、その後、両腕の位置の知覚のテストを行い、松下ら [6] の実験と比較を行った。また、両腕への 2 点刺激に対する回答を行った。その結果、右腕は左右方向に対して最も身体を表示位置の影響を受けやすいことを確認した。また、身体表象の変化は腕がずれた感覚により起こることを確認した。

#### 文献

- [1] Carruthers, G., (2008) "Types of body representation and the sense of embodiment", *Consciousness and Cognition*, Vol. 17, pp. 1302-1316.
- [2] Botvinick, M., & Cohen, J., (1998) "Rubber hands 'feel' touch that eyes see", *Nature*, Vol. 391, No. 6669, p. 756.
- [3] 江波戸 傑, 松室 美紀, 柴田 史久, 木村 朝子, (2022) "身体を表示位置が身体表象に与える影響～トレーニングとテストの類似性が低い場合の検討～", 日本認知科学会, P1-47, pp.424-429.
- [4] Warren, W. H., (1984) "Perceiving affordance: Visual guidance of stair climbing", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 10, No. 5, pp. 683-703.
- [5] Kilteni, K., Normand, JM., Sanchez-Vives, MV., & Slater, M., (2012) "Extending body space in immersive virtual reality: a very long arm illusion." *PloS one*, Vol. 7, No. 7, e40867.

- [6] 松下彩夏, 江波戸傑, 小林晶, 松室美紀, 柴田史久, 木村朝子, (2023) "身体を表示位置が身体表象に与える影響の分析～四肢間での位置知覚の転移の検討～", 日本認知科学会, O3-002, pp. 37-40.
- [7] 北澤一樹, 勝山しおり, 新井美紀, 大瀧瑞穂, 長谷川拓実, 下田佳央莉, 外里富佐江, (2015) "メンタルローテーション課題遂行時の眼球運動の特性と利き眼との関係-アイマークレコーダーを用いた検討-", *北関東医学*, Vol. 65, No. 3, pp. 221 - 227.
- [8] 鈴木真, 矢野澄男, (2014) "両眼眼球運動測定による奥行き距離検出", 映像情報メディア学会冬季大会, 11-18.
- [9] Tajadura-Jiménez, A., Väljamäe, A., Toshima, I., Kimura, T., Tsakiris, M., & Kitagawa, N., (2012) "Action sounds recalibrate perceived tactile distance", *Current Biology*, Vol 22, No.13, R516.