

# 身体が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～

## The effect of displayed position of body parts on body representation — Low similarity between training and test tasks

江波戸 傑<sup>†</sup>, 松室 美紀<sup>‡</sup>, 柴田 史久<sup>‡</sup>, 木村 朝子<sup>‡</sup>  
Takeru Ebato, Miki Matsumuro, Fumihisa Shibata, Asako Kimura

<sup>†</sup>立命館大学大学院情報理工学研究科, <sup>‡</sup>立命館大学情報理工学部  
Graduate School of Information Science and Engineering,  
College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University,  
[ebato@rm2c.ise.ritsumeikai.ac.jp](mailto:ebato@rm2c.ise.ritsumeikai.ac.jp) (江波戸)

### 概要

身体表象における手の位置を実際の手の位置から変化させる場合, 変化を起こすためのトレーニングで両手を「同時に動かす」「同じ高さに動かす」ことを同時に行うことが重要であるとする先行研究が存在する。しかしながら, 同研究では身体表象の変化を測定するテストにおいても, トレーニングとほぼ同様の課題を用いていた。そこで本研究では, トレーニングとテストで類似性の低い課題を採用し, そのような条件下でも先行研究の結果が追試されるかを検討した。実験の結果, 同条件下でも身体表象における手の位置の変化が起こること, 上記の2つの手がかりがともに存在しても変化が促進されないことが示された。

キーワード: 身体表象, 複合現実感, Multimodality

## 1. はじめに

### 1.1. 身体表象

人間は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がどこにあるのか, 身体の色は何色か, どのような姿勢を取っているのかを推定可能である。本研究では, このような身体表象のうち, 特に腕や足などの身体の各部位やその位置関係に着目している。

身体表象は視覚や深部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]。

### 1.2. 身体表象の変更

併せて, 近年では, 様々な技術の発展に伴い, 身体の動きを使って, 自身の身体以外のものを操作する場面が増加している。例えば, 身体の動作と対応させること

によって, ロボットの遠隔操作が行われている。さらに, 人工現実感 (Virtual Reality; VR) や複合現実感 (Mixed Reality; MR) の技術を用いる状況では, 自身の身体が拡張されることがある。例えば, 指が6本ある [3], 腕が長い [4] といった実際とは異なる構造を持つ身体の実現が可能である。

そのような状況で操作者自身の身体表象を用いると, 思わぬ問題が生じてしまう可能性がある。例えば, 仮想空間上で腕が長くなっているにも関わらず, いつものように腕を振ってしまうと, 仮想空間における周囲のものに腕がぶつかってしまう。このように, 身体構造が異なる対象を自身の身体を用いて素早く正確に操作するためには, 身体表象を対象に適応させることが重要である。

先行研究は, 視覚や触覚情報の操作により身体表象が実際の身体とは乖離することを示している。例えば, ラバーハンドイリュージョンが生じた時, 固有受容感覚ドリフトと呼ばれる, 手の位置をゴムの手に近い位置に知覚する現象が生じる [2]。また, 視点の位置を操作することにより, 身体の大きさを異なって知覚することがある [5]。しかし, このような身体表象の研究では, 片手 (片腕) のみ, または, 身体全体がまとめて操作されてきた。身体表象における一部の部位の変化が, 他の部位にどのように影響するかは, 身体表象の構築過程を知る上で重要である。

### 1.3. 対称部位の表象変化

松室ら [6] は対称的な部位である両腕の表象変化に着目し, その変化が関連して起こることを示している。また, 岡松ら [7] は, 小林ら [8] の実験結果と比較し, 両手を「同時に動かす」と「同じ位置へ動かす」ことが, 両腕の身体表象の変化にどのように影響するかを検討した。その結果, 両手を同時に同じ位置へと動かす

ことが、両腕の身体表象の変化を最も促進することが示された、岡松ら [7] は、この結果を、この動きが両腕の動きを最も対応付けやすいためであると考察している。

しかしながら、岡松ら [7] と小林ら [8] の行った実験条件のうち、両手を同時に同じ位置へと動かす条件でのみ、視覚情報を操作し身体表象の操作を行うトレーニングと、身体表象の変化量を測定するテストの内容が完全に一致していた。そのため、上記の結果は、その条件では、トレーニングとテストの動きに特化した学習がなされた可能性がある。さらに、他の条件でも、トレーニングとテストの課題が類似しており、この類似性が下がった場合、テストでの行動の変化が生じない可能性もある。

## 1.4. 本研究について

本研究では、岡松ら [7] と小林ら [8] の結果が、動き方の学習により生じたのか、それとも、両手を同時に同じ高さに動かすことが身体表象の変化を起こしやすかったのかを確認する。トレーニング中の動きの学習がテストで利用できないよう、トレーニングとテストでは異なる動きを行わせる。この変化により、課題の類似性の影響も同時に検討する。

詳細は以下で説明するが、左右の人差し指同士をそれぞれ指定された高さへ合わせる課題をトレーニングとし、左右の腕を目線の高さから胸の高さに降ろす課題をテストとする。トレーニング中は、同じ位置に手を動かした場合に、片手は実際より上に、もう一方の手は実際より下に知覚されるよう、各手の垂直方向の表示位置を操作した。そして、岡松ら [7] と同様に、指を合わせる位置を左右同じ高さにするか、また、左右の腕を同時に動かすかを変更した。よって、トレーニングは全4種類である。

## 2. 実験

各条件は、基準となるパフォーマンスを測定するプレテスト、視覚的に表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、そして、身体表象の変化を測定するポストテストからなる。プレテストとポストテストの内容は同一であり、そのパフォーマンスの変化を身体表象の変化とした。

## 2.1. 方法

### 2.1.1. 参加者

参加者は平均年齢 21.6 歳の成人 22 名（男性 11 名、女性 11 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。また、北澤ら [9] や鈴木ら [10] の用いているローゼンバッハ法によって、実験参加者の利き目を調査した。各参加者の利き目は、右目が 17 名、左目が 5 名、また、各参加者の利き腕は、実験では右腕が 21 名、左腕が 1 名であった。

### 2.1.2. 課題と身体の視覚的位置の操作

図 1 に実験中の参加者の様子を示す。実験中、参加者はビデオシースルー型 Head Mounted Display (HMD, Canon, HM-A1) を装着する。

始めに、トレーニングの内容を記述する。参加者は HMD に表示される映像を観察しながら、図 2 のように人差し指を提示される仮想の球に合わせることを求められた。指を左右同じ高さで合わせるか、左右の腕を同時に動かすかの組み合わせにより、仮想の球の表示



図 1 実験風景

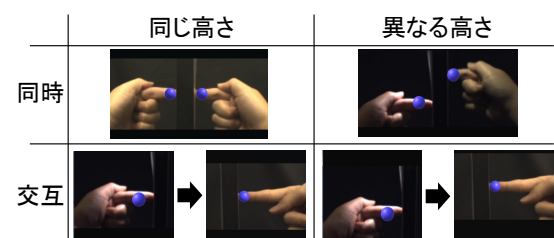


図 2 指を合わせた際の各条件での映像

が変更された。

指を同じ高さに合わせる場合、球は左右同じ高さに表示された。一方、指を異なる高さに合わせる場合は、球は左右で異なる高さに表示された。また、左右の腕を同時に動かす場合は、左右同時に球が表示され、交互に動かす場合は、左右順番に球が表示された。それぞれを組み合わせ、トレーニングは図2の4種類であった。なお、交互に動かす場合は連続する試行での、球の高さを操作した。

仮想球の表示位置は5種類が用意され、各高さが1回ずつランダムな順で提示された。手を同時に動かす場合は、両手同時に計5回腕を動かした。手を交互に動かす場合、各腕5回ずつ、計10回腕を動かした。なお、左右のどちらの腕から動かすかは参加者ごとにカウンターバランスがとられた。

トレーニング中は、図3に示すように、右手が映像の右半分、左手が左半分に提示されていた。そこで、HMDのカメラで取得した映像を左右半分に分割し、左半分を下に右半分を上にはずらし映像を提示することで、腕の表示位置を変更した。

映像のずらし方は、全くずらしていない状態を映像のずれ0%、映像の左半分の上辺がディスプレイの下部、右半分の下辺がディスプレイの上部の淵に接した状態を映像のずれ100%とし(図3)、本実験での操作量は0%、10%、20%の3水準として実施した(図4)。

トレーニングでは、手が表示される高さを操作したため、プレ、ポストテストでは、手の高さの感覚がパフォーマンスに現れる課題を用いた。実験参加者は、まず、目を閉じた状態で目線の高さに設定された測定器に手を乗せた。そこから、左右の手が同じ高さになるように胸の高さまで手を降ろすよう求められた(図5)。この時の左右の手の高さを測定した。測定器は幅20mm×高さ776mm×奥行169mmであり、怪我を防ぐために測定部分の周りにスポンジを貼り付けている。

### 2.1.3. 手続き

実験参加者は、各トレーニングで各映像の操作量を体験した。よって、全12条件を行った。各条件を開始する前に、実験参加者はHMDを装着していない状態でテスト課題と同じように、同じ高さになるように手を降ろすことを2回繰り返した。これにより、直前の条件での行動が身体表象へ与えた影響をリセットした。

教示後、実験参加者は、頭を顎台(NAMOTO, TKD-

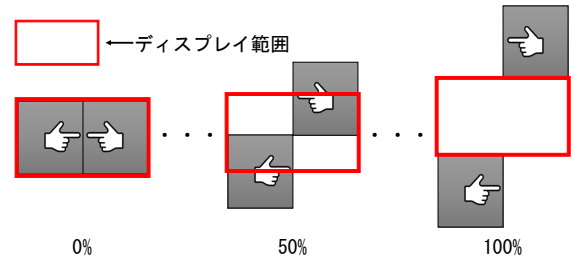


図3 映像のずらし方のイメージ

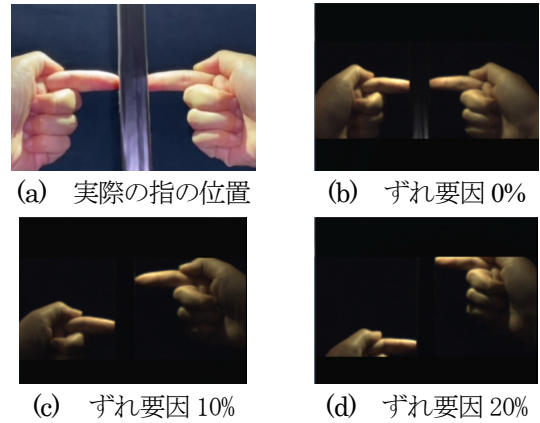


図4 指を合わせた際の各ずれ要因での映像

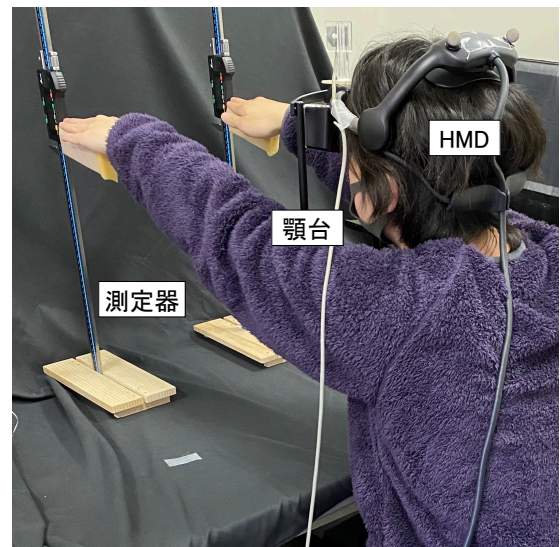


図5 プレ、ポストテストの様子

UK1)に固定された状態で、机の前に座った(図1)。始めにプレテストを行った。HMDを装着し、画面上に何も表示されていない状態で目を閉じて、両手を測定器に乗せ、同じ高さに降ろすことを3回繰り返した。トレーニングを行う前の身体表象における手の高さの正確性を測定した。

続いて、参加者はHMDに表示される映像を観察しながら人差し指を提示される仮想の球に合わせるトレーニングを行った。この時、映像にはいずれかの量の映

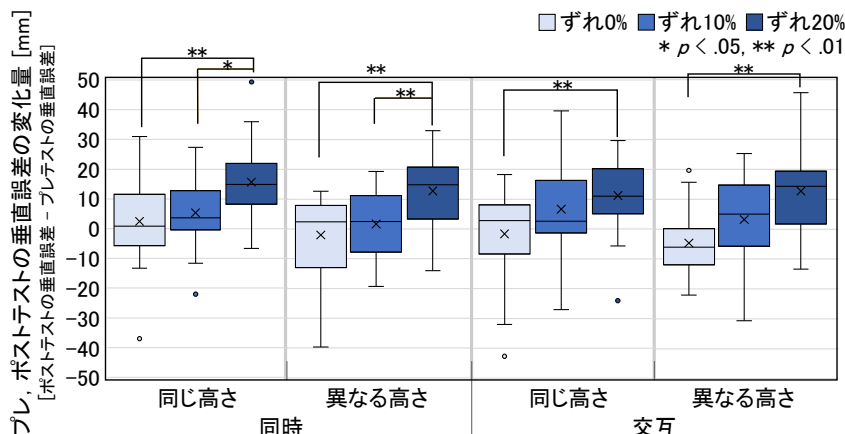


図6 各トレーニングにおける垂直誤差の変化量

像の操作が適用された。実験参加者には映像がずれていることは伝えなかった。

最後に、ポストテストとして、プレテスト同様に、画面に何も表示されていない状態で目を閉じて両手を同じ高さ以降ろすことを3回繰り返して行わせた。

以上の手続きを、各参加者にトレーニング課題ごとに、全ての操作量を用いて1回ずつ行わせた。トレーニング課題の順番は、参加者間でカウンターバランスが取られた。また、操作量の順番は各参加者でトレーニング課題ごとに無作為に決定された。直前の条件の影響、および、身体の違和感や疲労感をなくすために、条件間で5分間の休憩を取らせた。また、各トレーニング課題の全操作量の終了時に、指を合わせた際に指同士が合っていたかの自信度や映像のずれに気がついたか等のコメントを聴取した。

#### 2.1.4. 指標

本実験では、映像を垂直方向にのみ操作し、プレ、ポストテストでは実験参加者に同じ高さで手を合わせることを求めた。そこで、手を降ろした際の左右の垂直位置の違いを分析した。具体的には、左手の垂直位置から右手の垂直位置を引いた値（以下、垂直誤差と記述）を分析に用いた。垂直誤差が0の場合は左右の手が同じ高さにある状態、マイナスの値の場合は右手が左手よりも高い位置にある状態、プラスの値の場合は左手が右手よりも高い位置にある状態を表す。

プレテストとポストテストの垂直誤差の差を垂直誤差の変化量として分析した。トレーニングでは、左手が実際より下、右手が実際より上へと表示されるように操作されている。よって、プレ、ポストテストでは、両手を同じ高さへと動かした際に得られる固有受容感覚

は、左手ではそれよりも低い位置への、右手ではそれよりも高い位置への動きに対応付けられると考えられる。以上から、操作した通りに身体表象が変化した場合、垂直誤差の変化量は正の値を取る。

また、利き目や利き腕の別に関わらず同様の傾向が得られたため、以下ではそれらを分けずに分析を行った。

## 2.2. 結果

各実験における垂直誤差の変化量を図6に示す。複数の条件で、変化量が正規分布をしていないことが示されたため（Shapiro-Wilk検定にて $p < .05$ ）、フリードマン検定を用いた。トレーニング課題ごとに、映像の操作量の影響を調べたところ、全てのトレーニングにおいて、操作量の主効果が有意であった（同時・同じ高さ： $\chi^2(2) = 13.455, p < .010$ 、同時・異なる高さ： $\chi^2(2) = 12.091, p < .010$ 、交互・同じ高さ： $\chi^2(2) = 10.782, p < .010$ 、交互・異なる高さ： $\chi^2(2) = 16.000, p < .010$ ）。そこで、ウィルコクソンの符号順位和検定を用い多重比較を行った。その差が有意であったペアを図中に記載した。全てのトレーニングにおいて、0%条件より20%条件において、垂直誤差の変化量が大きかった。また、両手を同時に動かした2つの条件では、10%条件と20%条件の差も有意であった。以上の結果から、全てのトレーニングにおいて、映像のずれが身体表象に影響を与えることが示される。

続いて、各ずれ条件における垂直誤差の変化量を図7に示す。フリードマン検定を用い、トレーニング課題の効果を分析した。分析の結果、全てのずれ条件においてトレーニング課題の主効果は有意ではなかった（0%： $\chi^2(3) = 4.687, n.s.$ 、10%： $\chi^2(3) = 2.891, n.s.$ 、20%： $\chi^2(3) = 4.687, n.s.$ 、10%： $\chi^2(3) = 2.891, n.s.$ 、20%： $\chi^2(3) = 4.687, n.s.$ ）。

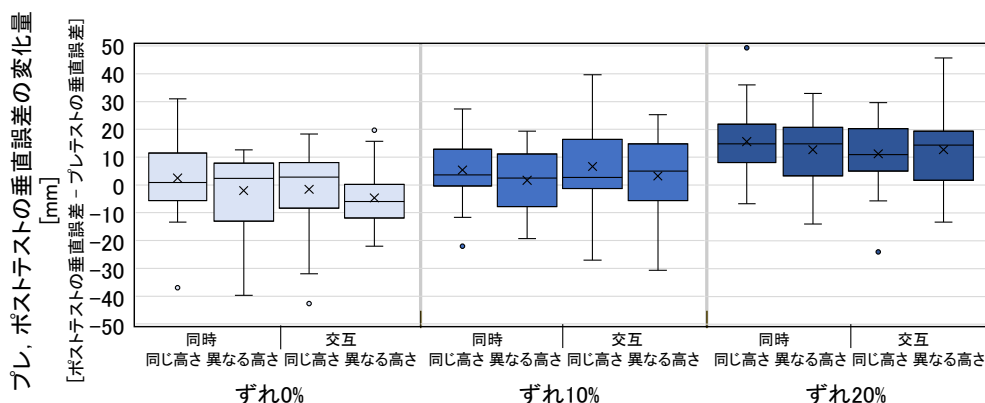


図7 各ずれ条件における垂直誤差の変化量

(3)=0.871, *n.s.*). 以上の結果から、トレーニングの腕の動かし方により、身体表象の変化量が異なることはないことが示された。

### 3. 考察

本研究では、岡松ら [7] と小林ら [8] の結果が、トレーニングの手の動かし方の学習により生じたのか、それとも、両手を同時に同じ高さに動かすことが身体表象の変化を起しやすかったのかを確認するための実験を行った。トレーニング中の動きの模倣をさせないため、トレーニングとテストでは異なる動きを行わせた。また、この設定により、トレーニング課題とテスト課題の類似性の影響を検討した。実験条件は、岡松ら [7] に倣い、両腕を「同時に動かすか」「同じ高さに動かすか」という2つの要因を操作した。

実験の結果、全てのトレーニング課題において、トレーニングの後に、テストにおける行動の変化が生じた。映像のずれが大きいほど行動の変化が大きくなっていった。この結果は、トレーニングとプレ、ポストテストにおいて腕の動かし方が異なるものであっても、身体表象の変化が生じたことを示す。

また、図7のグラフに示されるように、いずれのトレーニング課題においても、変化量はほぼ同程度であった。本実験の、同じ高さへ同時に手を動かすトレーニングを用いた条件では、変化量はずれが20%の時、平均 15.636 mm ( $SD=12.401$ ) であった。一方、同じトレーニングを用いたテストでもほぼ同様の動きを行わせた小林ら [6] の先行研究では、20%のずれがある条件での変化量は平均 29.222 mm ( $SD=12.933$ ) であった。本実験と比べると倍近い値である。

岡松ら [7] は、残り3つのトレーニング課題と、小林ら [6] と同様のテスト課題を使い実験を行った。3つのトレーニング課題で、ずれ20%条件の変化量は約15mmであった。これは本実験の全トレーニングにおけるずれ20%の結果とほぼ同等である。

以上より、20%の映像のずれ(約8cm)により生じる、身体表象における手の位置の上下方向へのずれは、トレーニングの内容に関わらず15mm程度であると考えられる。小林ら [6] の実験では、トレーニング中に手の動かし方を学習したため、ポストテストによる変化量が増加した可能性が高い。

### 4. 結論

本研究では、トレーニング中の手の位置の視覚情報のずれが身体表象を変化させるのかを、先行研究で用いられた4種類のトレーニングで検討した。トレーニング中の動きをテストで使用できないよう、先行研究からテストの内容を変更した。実験の結果、トレーニングとプレ、ポストテスト課題における腕の動かし方が同一でなくても身体表象は変化することが示された。しかし、先行研究と異なり、トレーニング課題の影響は見られなかった。以上から、先行研究の結果にはトレーニング中の動きの学習の影響が含まれること、ただし動きの学習だけでなく身体表象の変化も起こることが明らかとなった。

### 文献

- [1] Glenn Carruthers, (2008) "Types of body representation and the sense of embodiment", *Consciousness and Cognition*, Vol. 17, pp. 1302 - 1316.
- [2] Matthew Botvinick, and Jonathan Cohen, (1998) "Rubber hands 'feel' touch that eyes see", *Nature*, Vol.

- 391, No. 6669, p. 756.
- [3] Ludovic Hoyet, Ferran Argelaguet, Corentin Nicole, and Anatole Lecuyer, (2016) “Wow! I have six fingers! Would you accept structural changes of your hand in VR?”, *Frontiers in Robotics and AI*, Vol. 3, No. 27, pp. 1 - 12.
- [4] Sun Hong, 柴田史久, 木村朝子, (2018)“仮想空間における上肢伸長感覚の誘発要因の分析”, *情報処理学会研究報告*, Vol. 2018-HCI-176, No. 22, pp. 1 - 6.
- [5] Langbehn Eike, Bruder Gerd, and Steinicke Frank., (2016) “Scale matters! Analysis of dominant scale estimation in the presence of conflicting cues in multi-scale collaborative virtual environments”, *2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, pp. 211 - 220.
- [6] 松室美紀, 小林晶, 江波戸傑, 柴田史久, 木村朝子, (2021) “身体表彰における対称的な身体部位の表象形成”, *認知科学論文誌*, 印刷中.
- [7] 岡松育夢, 小林晶, 松室美紀, 柴田史久, 木村朝子, (2021) “身体が表示位置が身体のメンタルモデルに与える影響～前腕のメンタルモデル更新の手がかりに関する検討～”, *日本認知科学会第38回大会ポスター発表*, P1-27, pp. 228 - 232.
- [8] 小林晶, 松室美紀, 柴田史久, 木村朝子, (2020)“VR空間での表示ずれが身体のメンタルモデルに与える影響の考察”, *日本認知科学会第37回大会発表論文集*, P-105, pp. 660 - 664.
- [9] 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-”, *KMJ THE KITAKANTO MEDICAL JOURNAL*, Vol. 65, No. 3, pp. 221 - 227.
- [10] 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*.