

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

The effect of displayed position of body parts in VR space on mental model of one's body

小林 晶[†], 松室 美紀[‡], 柴田 史久[‡], 木村 朝子[‡]
Hikari Kobayashi, Miki Matsumuro, Fumihisa Shibata, Asako Kimura

[†]立命館大学大学院情報理工学研究科, [‡]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,
is0356pv@ed.ritsumeikan.ac.jp (小林)

概要

本研究では、身体の視覚的位置変更が身体のメンタルモデルにどのような影響を与えるかを検討した。複合現実感技術を用いて、腕の位置を変更した映像を作成し、その映像を提示しながら単純な動きを繰り返し行わせた。その前後で同じ課題を行わせた結果、課題中の身体の動きが変化した。これより、身体の視覚的位置を操作してトレーニングを行うことにより、身体メンタルモデルにおける身体の位置関係が変化する可能性が示された。

キーワード：身体メンタルモデル, 複合現実感, Multimodality

1. はじめに

1.1. 身体メンタルモデル

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、どういった姿勢を取っているのかを推定可能である。本研究では、このような身体に関する全般的な知識やイメージをまとめて身体メンタルモデルと呼び、特に手や足などの身体の各部位やその位置関係に着目した。

身体メンタルモデル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、日常の体験や経験によって維持、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、身体メンタルモデルを変更可能であることが確認されている [2]。

さらに、人間は行動を決定する際にこの身体メンタルモデルを利用している [3]。例えば、進路に障害物が存在する場合、自身の身体大きさに合わせ、くぐる、またぐなどの行動が決定される。成長期の子供が判断を間違えて頭をぶつけてしまうように、このよう

な行動の決定は、視覚などの外界から得られる情報だけではなく、内的に保持している身体メンタルモデルが利用されている。従って、身体メンタルモデルが変化すれば、人間の行動にも影響が出ると考えられる。

1.2. 本研究について

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。一方で、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。指が6本ある [4]、腕が長い [5] 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、操作者自身の身体メンタルモデルを用いると、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、周囲のものに腕がぶつかってしまう。また、遠隔ロボットの身体構造が自身と異なると、動作を行う際に時間がかかってしまう。

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、身体メンタルモデルを対象に適応させることが重要である。

そこで、本研究では、身体メンタルモデルの中でも、身体部位の位置関係に注目し、身体部位の視覚的位置変更が身体メンタルモデルに与える影響を検討した。具体的には、身体メンタルモデルが変化した場合に行動も変化するため、実験参加者の行動変化を分析することにより、以下の2点を検討した。

第一に、身体の視覚的位置が変更されている状態では、身体の位置決定において視覚情報と深部感覚のどちらが優先されるかを確認した。第二に、視覚的に表示される身体の位置が操作された状態でトレーニングを行うことにより、その後の行動が変化するかを分析した。

2. 実験

2.1. 身体の視覚的位置の操作

図1に実験の様子を示す。ビデオシースルー型HMD(Head Mounted Display, Canon, HM-A1)を用い、実験参加者に映像を提示した。

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ならして映像を提示することで、手の表示位置を変更した。本実験では、左右のどちらか一方のカメラで取得した映像を両方の目のディスプレイに投影した。左右どちらの目の映像を使用するか(以下、使用視野と記述)は、実験参加者によってランダムに設定した。

映像のずらし方(以下、ずれ条件と記述)は、全くずらしていない状態を映像のずれ条件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条件100%とし(図2)、本実験では0%、5%、10%、15%、20%の5条件で実施した(図3)。

2.2. 方法

2.2.1. 実験参加者

実験には成人12名(男性3名、女性9名)が参加した。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[6]や鈴木ら[7]の用いているローゼンバッハ法によって、実験参加者の利き眼を調査した。結果は右利き眼が9名、左利き眼が3名であった。

2.2.2. 手続き

実験参加者は各条件において、プレテスト、トレーニング、ポストテストの3段階を行った。いずれにおいても、実験参加者は左右の人差し指を同じ高さで合わせる課題を行った。課題では、実験参加者は、幅10mm×高さ295mm×奥行297mmの仕切り台が置かれた机

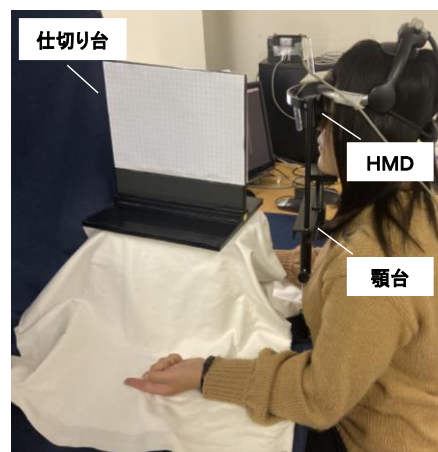


図1 実験風景

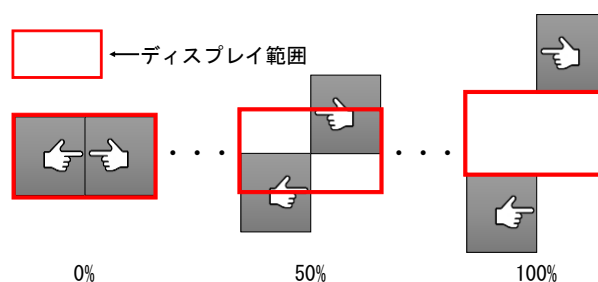


図2 映像のずらし方のイメージ

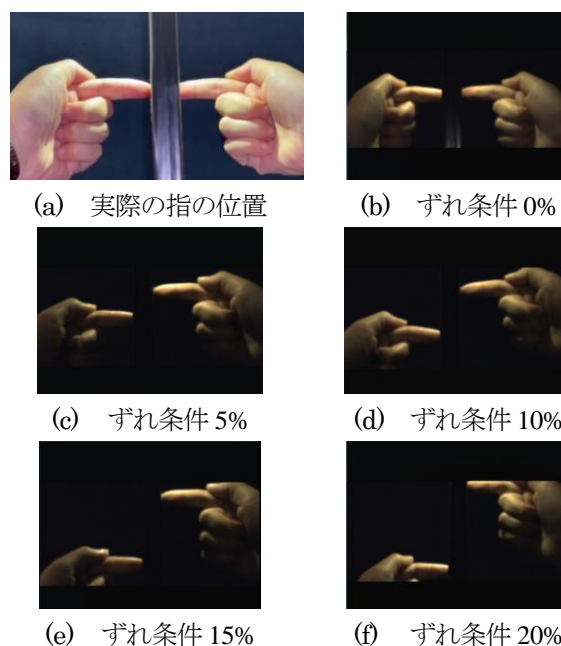


図3 指を合わせた際の各ずれ条件での映像

の前に座り、頭を顎台(NAMOTO, TKD-UK1)に固定した(図1)。実験参加者は合図に合わせて、机に置いていた腕を上げ、指同士が同じ高さだと思える位置で指を合わせるように求められた。なお、仕切り台の両面に

は、それぞれ方眼紙が貼り付けられており、実験参加者の人差し指に予めインクを塗布することによって、指を合わせた際の左右の指の位置を記録した。

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人差し指同士を合わせることを 2 回繰り返した。その際、実験参加者は指をよく観察し、同じ高さで指が合うように動かすことを求められた。これは、操作されていない状態の身体を観察しながら動作を行うことにより、直前の条件での行動が身体のメンタルモデルへ与えた影響をリセットするためである。

続いて、実験参加者は HMD を装着し、画面に何も表示されていない状態で人差し指同士を合わせることを 3 回繰り返した。これがプレテストにあたり、トレーニングを行う前の指合わせの正確性を測定した。

続いて、いずれかのずれ条件が適用された映像を観察しながら人差し指同士を合わせた。その際、実験参加者には映像がずれていることは伝えず、視覚だけではなく自身の身体感覚も用いて指を合わせるよう教示した。トレーニングとしてこれを繰り返し 5 回行わせた。

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人差し指同士を合わせることを 3 回繰り返し行わせた。

以上の手続きを全てのずれ条件において 1 回ずつ行わせた。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、実験の終了時に、指を合わせた際の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。

2.2.3. 指標

本実験では、実験参加者の指の高さのみを操作し、実験参加者に同じ高さで指を合わせることを求めたため、前後の奥行き誤差は考慮しない。従って、高さの情報（以下、垂直位置と記述）のみを利用し、指を合わせ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 の場合は指同士が正確に合わせられた状態、マイナスの値の場合は右手が左手よりも高い位置で指を合わせた状態、プラスの値の場合は左手が右手よりも高い位置で指を合わせた状態を表す。

プレテスト、トレーニング、ポストテストの各段階で取得された値を平均したものを各段階の垂直誤差として分析した。

3. 結果

使用視野と利き眼による結果の差異は観察されなかったため、以降は使用視野と利き眼によって分けずに分析を行った。

3.1. トレーニング中

トレーニング時の各ずれ条件における垂直誤差の結果を図 4 に示す。参加者内分散分析の結果、ずれ要因の主効果が有意であった ($F_{(4,44)} = 222.387, p < .001$)。多重比較の結果、全ての条件間の垂直誤差に有意な違いがあった ($ps < .01$)。ずれが大きいくほど、垂直誤差が大きくなることが示された。

また、トレーニング中はほとんどの実験参加者が全てのずれ条件において、視覚的に指同士の高さが一致するように指を動かしていた。数名の実験参加者は、身体的位置変更度合いが大きいくずれ条件 15%と 20%の時に違和感を持ち、視覚的に指を合わせるのではなく、深部感覚を用いて指を合わせようとしていた。しかし、ずれ条件 0%以外の全てのずれ条件において、指を完全に同じ高さに合わせてられる実験参加者はいなかった。

3.2. トレーニング前後の差異

ポストテストでの垂直誤差からプレテストでの垂直

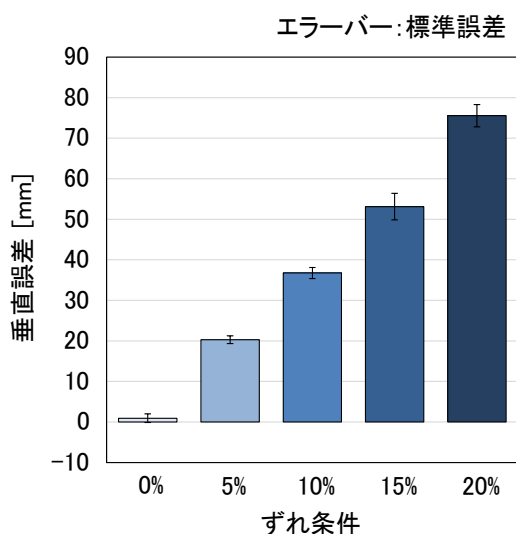


図 4 トレーニング中の垂直誤差

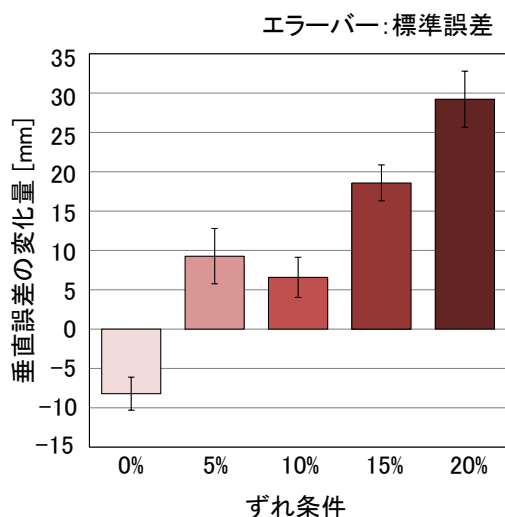


図5 プレ・ポストテストの垂直誤差変化

誤差を引いた値を垂直誤差の変化量として分析した。結果を図5に示す。参加者内分散分析の結果、ずれの主効果が有意であった ($F_{(4,44)} = 20.323, p < .001$)。多重比較の結果、ずれ条件0%の変化量は他の全ての条件と比べて有意に小さかった ($ps < .05$)。また、ずれ条件20%における変化量は、ずれ条件5%、10%に比べ有意に大きかった ($ps < .01$)。図5より、ずれ条件が大きいほど、ポストテストにおいて変化量が大きい。つまり、右手をより下、左手をより上へ位置させていることが示された。また、実験終了後コメントを聴取した結果、ほとんどの参加者が映像を見た後の方が指を同じ高さで正確に合わせることができたと回答した。

4. 考察

本研究では、身体の視覚的位置変更が身体のメンタルモデルに与える影響を行動変化の観点から分析した。第一に、身体の視覚的位置が変更されている状態では、視覚情報と深部感覚のどちらを優先した動きが行われるかを確認した。第二に、視覚的に表示される身体の位置が操作された状態でトレーニングを行うことにより、その後の行動が変化するかを分析した。

4.1. 視覚情報の優位性

トレーニング時の垂直誤差を分析することによって、身体の位置を決定する際に、視覚情報と深部感覚のどちらを優先するかを確認した。

実験の結果、身体の視覚的位置のずれが大きくなると、それに伴って垂直誤差も大きくなっていることが示された。また、実験参加者は、画面に表示された指同士が同じ高さで合うように指を合わせていた。さらに実験終了後コメントを聴取した結果、ほとんどの実験参加者が「視覚情報を信頼して指を合わせた。視覚情報を基に指を合わせた方が指をしっかりと同じ高さで合わせられたと感じた。」と回答した。以上から、実験参加者は深部感覚よりも視覚情報を優先し、現在の指の位置を認識していることが示された。

4.2. 身体の視覚的位置変更による行動変容

プレテストとポストテストの垂直誤差を比較することにより、視覚的に表示される身体の位置が操作された状態で行ったトレーニングが、その後の行動にどのように影響するかを分析した。

実験の結果、実験参加者は手の位置を実際よりも高い（または低い）位置に観察することにより、視覚情報に頼らずに指を合わせる際には、観察前よりも指を低い（または高い）位置へと移動させた。この結果は、位置が変更された身体を観察しながらトレーニングをすることで、身体のメンタルモデルにおける手または腕の位置が上方（または下方）へ修正された可能性を示唆する。視覚情報が与えないポストテストでは、そのような修正された身体のメンタルモデルを用い、手の位置を推定したため、垂直誤差が増加したと考えられる。

先行研究の多くは、本研究のトレーニングに当たる課題の後には、身体を動かすことなく身体の主観的位置測定をしていた。身体を動かすことにより様々な深部感覚が生起されるため、正しい身体の姿勢を推定しやすくなる。本研究ではそのような身体を動かす状況であっても、身体位置の視覚的な操作の影響が生じていた。

これは、先行研究が身体の一部位のみ位置を変更していたのに対し [2,8,9]、本実験の課題は両手の位置が相対的に操作されていたことが関連すると考えられる。相対的な位置情報を統合することにより、身体のメンタルモデルの修正がより強固に行われた可能性がある。

5. 今後の課題

本研究は、身体の視覚的位置を操作することにより、

身体のメンタルモデルにおける身体的位置関係が修正される可能性を示した。ただし、トレーニング前後の垂直誤差の変化は、トレーニングで生じた垂直誤差より小さいことから、視覚情報が身体のメンタルモデルにどの程度反映されるかは更なる検討が必要である。

また、本実験では、プレテスト、ポストテストとトレーニングの課題が同一であるため、単に指を合わせる際の手の動かし方を学習しただけの可能性を否定できない。現在、トレーニングの課題を変更し、同様の変化が起こるかを検証中である。

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, pp. 756.
- [3] William H. Warren, (1984) “Perceiving affordance: Visual guidance of stair climbing”, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol.10, No.5, pp.683 - 703.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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*.
- [8] Carrie Armel, and V.S. Ramachandran, (2003) “Projecting sensations to external objects: evidence from skin conductance response”, *The Royal Society*, pp. 1499 – 1506, 2003.
- [9] 内田裕基, 繁樹博昭, (2019) “バーチャルな身体の運動方向, 偏位方向およびサイズが自己受容感覚ドリフトに及ぼす影響”, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 24, No. 1, pp. 61 – 67.