

身体が表示位置が身体のマインドモデルに与える影響 ～前腕のマインドモデル更新の手がかりに関する検討～

The effect of displayed position of body parts on mental model of one's body — Cue to update limb position in mental model

岡松 育夢[†], 小林 晶[†], 松室 美紀[‡], 柴田 史久[‡], 木村 朝子[‡]

Ikumu Okamatsu, 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,

okamatsu@rm2c.ise.ritsumeikan.ac.jp (岡松)

概要

本研究では, どのような手がかりが身体のマインドモデルの変更を促進するかを検討した. 複合現実感技術を用いて, 腕の位置を変更した映像を提示しながら単純な動きを繰り返し行わせた. このトレーニングを通し, 何も見えない状態で, 指を同じ高さに合わせる課題のパフォーマンスが変化するかを調べた. 本研究ではトレーニング中の手がかりとして, 両腕を「同時に動かす」「同じ高さに動かす」の2種類の有無を操作した. 両手がかりのないトレーニングを含む, 全てのトレーニングを通して, 身体の動きが変化した. 本研究の課題では, これら2つの手がかりが, 身体のマインドモデルの変化を促進するものではないことが示唆された.

キーワード: 身体のマインドモデル, 複合現実感, Multimodality

1. はじめに

1.1. 身体のマインドモデル

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のマインドモデルと呼び, 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た.

身体のマインド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, 身体のマインド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のマインド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, 自身の身体の大きさに合わせ, 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のマインドモデルが利用されている. そのため, 身体のマインドモデルの変化は, 人間の行動にも影響する.

1.2. 身体のマインドモデルの変更

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. 例えば, 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, 操作者自身の身体のマインドモデルを用いると, 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, 身体のマインドモデルを対象に適応させることが重要である. 小林らの先行研究 [6] では, 身体のマインドモデルの中でも, 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のマインドモデルに与える影響について検討した.

彼女らの研究では, 視覚的に表示される身体的位置が

操作された状態で課題を行う（以下、トレーニングとする）ことにより、映像上の身体的位置に適応する形で行動が変化することが確認された。

1.3. 本研究について

しかし、この先行研究では、トレーニングを通した行動変化のみに焦点を当てており、どのようなトレーニングにより変化が起こりやすいかは研究の対象外であった。参加者は、常に両前腕を視覚的に同じ高さになるように同時に動かしており、これは最もメンタルモデルの変化が起こりやすい課題であると考えられる。第一に、前腕を視覚的に同じ高さに動かすことにより、変化の基準として利用しやすい位置情報が与えられていた。第二に、左右の前腕を同時に動かしたため、両腕の動きに伴う深部感覚からの情報を対応づけることが容易であった。

さらに、トレーニング中の課題とテスト課題が同一であるため、トレーニング中の動きを記憶し、テストで再現することにより、行動の変化が生じた可能性も残る。

そこで本研究では、上であげた2つの手がかり、両腕を「同時に動かす」「同じ高さに動かす」ことが身体のメンタルモデルの変更に影響するかを検討するために、3つの実験を行った。実験1は「同時に動かす」、実験2は「同じ高さに動かす」のそれぞれ1つの手がかりのみが与えられ、実験3ではいずれの手がかりも与えられなかった。これらの実験の結果と小林ら[6]の実験結果を比較し、それぞれの手がかりの影響を検討した。さらに、これらの実験では、トレーニングにおける課題がテスト課題と同一ではないため、トレーニング中の動きを記憶、再現したのではないかという疑義に関しても、同時に検討可能であった。

2. 実験 1-3

全ての実験は、ほぼ共通の手続きで行われたため、3つの実験について、合わせて記述する。

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 Head Mounted Display (HMD, Canon, HM-A1) を用い、実験参加者に映像を提示した。

実験中は、図2, 3に示すように、右手が映像の右半

分、左手が左半分提示されていた。そこで、HMDのカメラで取得した映像を左右半分分割し、左半分を下に右半分を上にもずらし映像を提示することで、腕の表示位置を変更した。本実験では、左視野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。

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2）、本実験では0%、10%、20%の3条件（以下、ずれ条件と記述）で実施した（図3）。

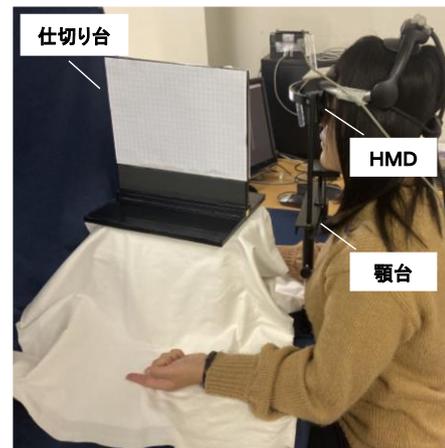


図1 実験風景

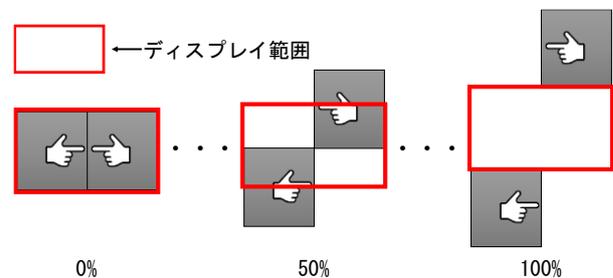


図2 映像のずらし方のイメージ

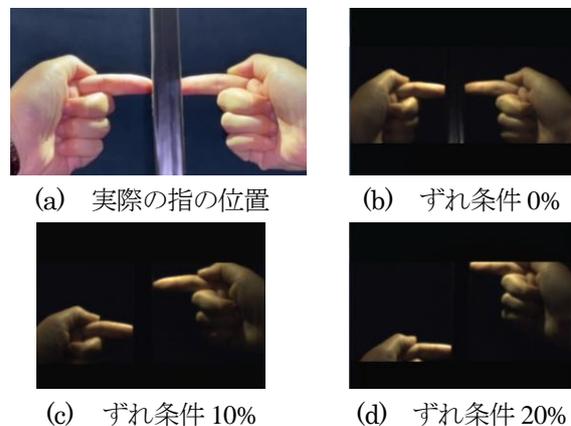


図3 指を合わせた際の各ずれ条件での映像



(a) 実験 1

(b) 実験 2,3

図 4 トレーニング時に表示される仮想の球

2.2. 方法

2.2.1. 参加者

実験 1 では平均年齢 21.00 歳 ($SD = 1.076$) の成人 20 名 (男性 17 名, 女性 3 名), 実験 2 では平均年齢 20.95 歳 ($SD = 1.050$) の成人 20 名 (男性 17 名, 女性 3 名), 実験 3 では平均年齢 21.75 歳 ($SD = 1.482$) の成人 20 名 (男性 17 名, 女性 3 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 [7] や鈴木ら [8] 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, 実験 1 では, 右目が 11 名, 左目が 9 名, 実験 2 では, 右目が 11 名, 左目が 9 名, 実験 3 では, 右眼が 11 名, 左目が 9 名であった。また, 各参加者の利き腕は, 実験 1 では右腕が 17 名, 左目が 3 名, 実験 2 では右腕が 17 名, 左目が 3 名, 実験 3 では右腕が 17 名, 左目が 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。プレテスト, ポストテストでは, 実験参加者は目を閉じた状態で左右の人差し指同士の高さを合わせる課題を行った。トレーニングでは, 図 4 に示すように, 実験参加者は左右の人差し指を仮想の球が表示される高さに合わせる課題を行った。仮想の球の表示のされ方は, 各実験で異なり, 後に詳細を説明する。トレーニングの間, 映像に操作が加えられた。

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の前に座り, 頭を顎台 (NAMOTO, TKD-UK1) に固定された (図 1)。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, その上にカーボン紙を差し込んだ。実験参加者が人差し指の爪で仕切り台を強く押すようにすることにより, 左右の指の位置が記録された。実験の詳細な流れ

は以下の通りであった。

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, 画面上に何も表示されていない状態で目を閉じて人差し指同士を同じ高さに合わせることを 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, 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ずれ条件が適用された。実験参加者には映像がずれていることは伝えなかった。

実験 1 では, 参加者は, 異なる高さに表示された球に, 両腕を同時に動かし指を合わせた。この課題では, 参加者に両腕を「同時に動かす」という手がかりが与えられたこととなる。参加者はこれを 5 回繰り返し行った。球の表示される位置は, 事前に設定された 5 種類から, 左右の球の高さの差, および, 左右のどちらが高くなるかが偏らないよう, 参加者ごとに決定された。

実験 2 では, 参加者は, 球は左右交互に表示され, 各腕を交互に動かし指を合わせた。この時, 連続する 2 回の試行 (左右の腕の動きが各一回) で, 仮想の球は同じ高さに表示された。つまり, 参加者は両腕を「同じ高さへ動かす」という手がかりのみ与えられた。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。仮想球の表示位置は実験 1 と同様の 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。参加者は各腕 5 回ずつ, 計 10 回腕を動かした。

実験 3 では, 実験 2 同様に, 参加者は, 球は左右交互に表示され, 各腕を交互に動かし指を合わせた。ただし, 連続する 2 回の試行 (左右の腕の動きが各一回) で, 球は必ず異なる高さに表示された。よって, 実験 4 では, 参加者は 2 つの手がかりのいずれも与えられていない。球の表示される高さは実験 1 と同様に決定され, 始めに表示される側はカウンターバランスがとられた。参加者は各腕 5 回ずつ, 計 10 回腕を動かした。

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人差し指同士を同じ高さに合わせることを3回繰り返し行わせた。

以上の手続きを、全実験とも、各参加者に全てのずれ条件において1回ずつ行わせた。条件の順番は参加者ごとにカウンターバランスがとられた。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、実験の終了時に、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。

2.2.3. 指標

本実験では、指を合わせた際の左右の垂直位置の違いを分析した。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。具体的には、左人差し指の垂直位置から右人差し指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腕が左腕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腕が右腕よりも高い位置で指を合わせた状態を表す。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。

3. 結果

各実験における垂直誤差の変化量を図5に示す。参加者内分散分析の結果、全ての実験において、ずれ要因の主効果が有意であった（実験1: $F(2,38) = 14.105, p < .001$, 実験2: $F(2,38) = 7.021, p < .005$, 実験3: $F(2,38) = 7.205, p < .005$ ）。

多重比較の結果、実験1と実験2においては、ずれが0%の時より10%と20%の時の垂直誤差の変化量が有意大きかった ($ps < .05$)。ずれが10%と20%の時の変化量に有意な差はなかった。実験3では、3つのずれ条件全ての組み合わせの差が有意であった ($ps < .05$)。ずれが大きくなるほど、変化量も大きくなった。以上の結果から、トレーニング時に観察する映像に操作が加えられていた条件で、プレテストよりも右腕を下、左腕を上へ位置させていたことが示される。

4. 考察

本研究では、身体のメンタルモデルの変更の手がかりとして利用可能な手がかりが変更を促進するかを検討するために、3つの実験を行った。具体的には両腕を「同時に動かす」「同じ高さに動かす」という2種類の手がかりに関して検討を行った。なお、小林ら [6] の先行研究では、これら2つの手がかりがともに利用可

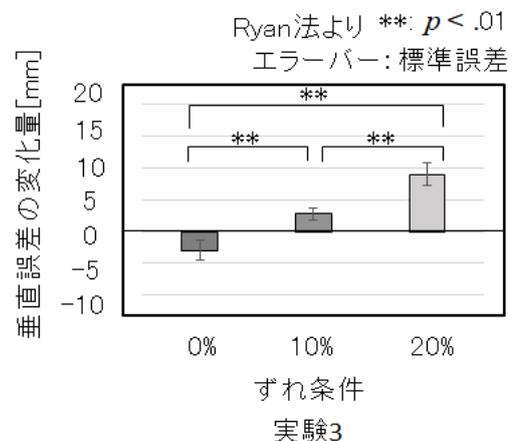
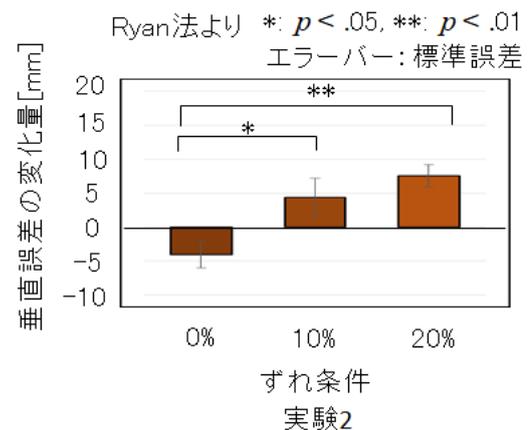
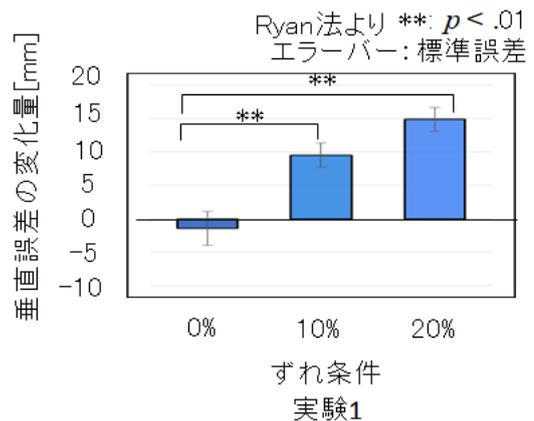


図5 垂直誤差の変化量

能であり、身体のメンタルモデルの変化が報告されている。

3つの実験の結果、どちらか一方の手がかりのみを与えた場合(実験1,2)も、どちらの手がかりも与えなかった場合(実験3)も、操作された映像を観察しながらの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。また、図5のグラフに示されるように、いずれの実験における変化量もほぼ同程度であった。

手がかりが与えられなかった場合も同程度の変化が起こったというこの結果は、本実験で操作した2つの手がかりが、身体のメンタルモデルを促進するものでなかったことを示唆する。ただし、両手がかりをとともに利用可能であった小林ら [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 ($SD = 12.933$) と本研究の3つの実験と比べると、非常に大きかった。このことより、両手がかりがそろった時のみ、変化が促進される可能性も考えられる。

しかしながら、先に記した通り、小林ら [6] の実験では、トレーニングとプレ、ポストテストの内容が一致していたためポストテストでの垂直誤差が大きくなった可能性もある。この点に関しては今後の検討が必要である。一方で、本研究では、トレーニング中の動きを再生しても、ポストテストの指を合わせるという目標は達成できない。これより、ポストテストにおける行動の変化は、トレーニング中の動きの記憶と再生により生じたのではないことが示される。実験後のインタビューにおいて、ほとんどの参加者は自分が指を合わせる事ができたと自信を持っており、身体のメンタルモデルに変化が生じていたと考えられる。

本研究の2つの手がかりが変化を促進しなかった理由として、変化が潜在的に生じたことが挙げられる。参加者が能動的にずれに対応し、行動を変更しようとする場合、これら2つの手がかりは変更すべき量やその時の身体の状態の参照点となり有用であると考えられる。しかし、本研究の参加者の多くは、トレーニング中に映像に操作が加えられたことに気がついていなかった。そのため、手がかりが利用されなかったのだろう。今後は、顕在的な変更と潜在的な変化を区別し、どのような手がかりが重要であるかを検討していく必要がある。

5. 結論

本研究では、身体のメンタルモデルにおける両腕の位置に関して、両腕を「同時に動かす」「同じ高さに動かす」という2つの手がかりがその変更を促進するかを検討した。結果として、これら2つの手がかりの両方が与えられていない条件においても、操作された映像を見ながらのトレーニングを通して、行動の変化が生じた。よって、これら2つの手がかりは、本研究の実験状況では、身体のメンタルモデルの変更を促進するものはないことが示唆される。身体のメンタルモデルの変更、修正の過程を明らかにするために、今後、どのような状況で、どのような手がかりが変化を促進するのかを検討する必要がある。

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, p. 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] 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.
- [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-", *KMJ THE KITAKANTO MEDICAL JOURNAL*, 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*.