

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K19853

研究課題名（和文）仮想空間における身体変化の人間の知覚・行動への影響の検討

研究課題名（英文）Effects of body representation change on perception and behavior in VR environment

研究代表者

松室 美紀（MATSUMURO, Miki）

立命館大学・総合科学技術研究機構・プロジェクト研究員

研究者番号：90822859

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：身体の見え方や表示位置を変更することにより生じる知覚、行動の変化を人間を参加者とする実験を通して検討した。

前腕を半透明とすることにより、前腕に刺激された電気刺激に対して知覚する痛みの減少が生じた。参加者自身の前腕を半透明にした場合も、参加者の前腕に対応するアバタの前腕を半透明紙にした場合も同様の減少効果が観察された。

参加者は、身体が表示位置がずらされたことにより、視覚情報がなくなっても、その部位がずらされた位置にあるように知覚した。この効果は、実験中常に視覚情報が与えられていなかった部位にも波及し、身体の構造に関する知識が身体表象の構築に利用されていることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

身体の見え方による身体表象の変化と痛みとの関連を質問紙と電気刺激の提示を用いて詳細に調べることにより、透明感と痛みの関連性を明らかとした。また、痛み知覚は医療現場において重要であり、処置中の痛みの軽減などへの応用が期待される。

身体部位の表示位置の操作は、操作のあった部位だけではなく、その他の部位までその影響が転移するという結果は、身体表象の構築において、人間がすでに持つ身体に関する知識が果たす役割を示す。VRでは人間以外のアバタも存在するため、そのようなアバタへのスムーズな適応は、ユーザの持つ知識を活用する必要があることが示唆される。

研究成果の概要（英文）：Through human subject experiments, we investigated the changes in perception and behaviour.

By making participants' arms translucent, the subjective pain induced by an electrical stimulus decreased. This decrease was observed both when the translucent arms were the participants' own arms and a virtual avatar arm.

When limbs (arm and leg) were displayed at a position from a certain distance from the actual limbs, participants perceived their limbs' position near to that distant positions. This effect transfers to other limbs that were not displayed in whole the experiment. This means that body representation is constructed from not only the bottom-up perceptual information but also the top-down knowledge related to the body.

研究分野：認知科学

キーワード：身体表象 VR 痛み 固有受容感覚 MR

1. 研究開始当初の背景

(1) 刺激の知覚とユーザの記憶、知識とのインタラクション

複数のモダリティ (e.g., 視覚, 触覚, 聴覚等) に貫した刺激を提示することによる Virtual Reality (VR) 環境への没入感の向上を図る試みが数多く行われている。その一方で刺激の感じ方はユーザの現在の状況や身体状態の認知により差異が生じる。知覚刺激の提示にはそのような、ユーザの持つ知識や認知状態とのインタラクションを考慮に入れる必要がある。

(2) 身体のメンタルモデル (身体表象) の影響

人間は現在の身体の状態や各部位の位置など、身体に関わる心的表象, 身体表象を保持している。特に VR 環境では, ユーザは自身の身体を環境内のアバタに投影するなど, 実際の自身の身体とは異なる表象が形成されることがある。刺激の知覚がユーザの持つ心的表象と実際の刺激との相互作用により変化することから, このような身体表象の変化が知覚, 行動に与える影響を調べる必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は身体表象の操作とその知覚・行動への影響の検討することである。主なりサーベイクエストは以下の3点である

RQ1-1: 操作された身体のメンタルモデルと一貫した知覚が得られるか?

RQ1-2: 操作された身体のメンタルモデルと一貫した行動がとられるか?

RQ2: メンタルモデルにおける基礎的な身体構造まで操作可能か?

はじめの2点は, 視覚情報により身体のメンタルモデルの変化を引き起こし, さらに, メンタルモデルの変化と対応した知覚や行動の変化が生じるかを検討するものである。特に本研究では, 現実世界では生じない変化である, 身体の透明化を中心に検討する。もう1点は, VR 技術を用いることにより, 現実では起こりえない基礎的な身体構造の変化 (手足の位置関係が異なる等) が可能であるかを調べるものである。

3. 研究の方法

人間の参加者による心理実験を中心とする。Mixed Reality (MR), VR 技術を用い, 視覚的な操作を加えた身体を観察させながら, 知覚刺激を与える/課題を行わせることにより, 知覚, 行動の変化を調べる。

(1) 身体の透明化と痛み知覚, 行動の変化

参加者の身体 (前腕) を半透明に変化させたのちに電気刺激を与える, 痛みの強さを評価させた (図1)。透明度の違いにより痛みの強度に差異があるかを比較する。行動変化は透明化の特徴である他者から見えないという点が, 他者との共同作業での手抜き行動に影響するかを, 参加者のアバタを透明化させた状態での共同作業での貢献度の変化から検討した。

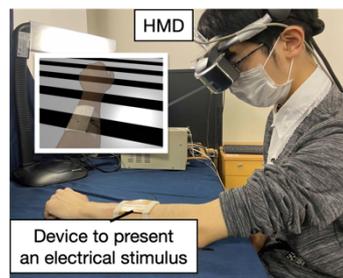


図1 痛み知覚実験の様子

(2) 身体の表示位置の変更のその後の行動への影響

参加者の前腕の表示位置を, 左右, 上下, 前 (後) へずらした状態でリーチング課題を行わせた (図2)。その後, 視覚情報なしに, 手足を身体の他部位を参照とする指定位置へと移動させることにより, 身体表象の変化を確認した。

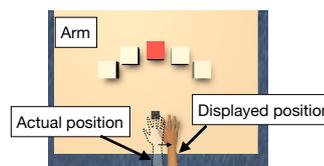


図2 リーチング課題の様子

4. 研究成果

(1) 身体の透明化と痛み知覚の変化

ほぼ全ての実験において, 前腕を半透明表示にすることにより, 知覚する痛みが有意に減少した。図3は参加者自身の前腕の表示の透明度を操作した際の結果である。この傾向は前腕の仮想モデルを用いた場合 (VR 条件) でも同様であった。以上より, 身体が (半) 透明になったと感じることにより, 痛みの知覚が減少することが示された。

これは, 参加者の主観評価による身体の透明感と痛みの強度評価との間に負の相関があったことから支持される。しかし, 前

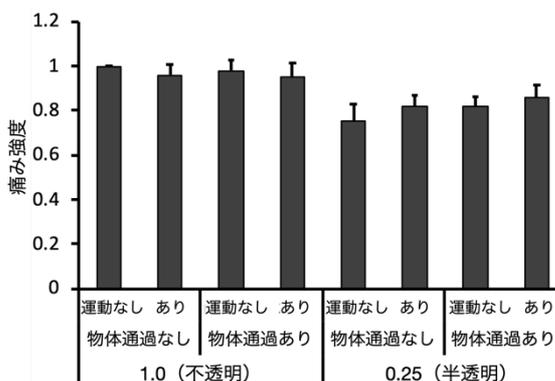


図3 MR 実験における痛み強度の変化

腕の透明化は同時に、その前腕が自身の身体の一部であるという感覚（身体所有感）にも影響を及ぼし、その痛み知覚への影響を切り離すことが困難であった。この点については今後の検討が必要である。

(2) 身体の透明化と行動の変化

2人組の参加者に、できるだけ多くボタンを押すという課題を与え、参加者自身、またはパートナーを透明にする条件を含め実験を行った。結果を図4に示す。2人で互いが見える状態で課題を行うと1人で課題を行う時より、ボタンを多く押す傾向が見られた。しかし、パートナーが透明となるとその効果は消え、さらに、パートナーが不透明で自身が透明であるときはボタン押し回数の減少が見られた。合わせて、身体所有感に関する主観評価でも同様の傾向が観察された。透明化と行動の関係はさらなる実験が可能であり、他の主観評価も取り入れることにより、さらなる興味深い結果が得られることが期待できる結果であった。

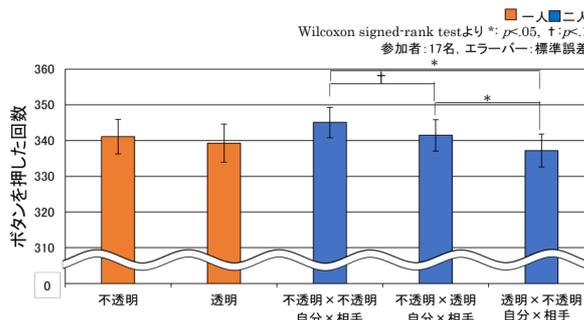


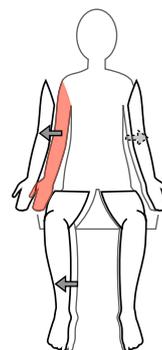
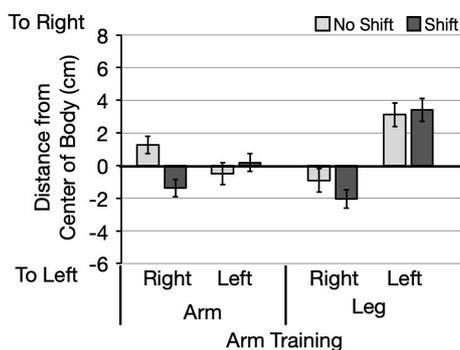
図4 身体の透明化とボタン押し回数との関係

(3) 身体の表示位置の変更のその後の行動への影響

複数の実験より、操作する身体部位（前腕/脚）、参加者の姿勢（座位/立位）によって、異なる結果が得られた。前腕表示位置の上下方向への操作、および、左右方向への操作では、身体を観察されていない部位の位置が、表示位置がずらされた部位と整合が取れるように変化していることが観察された。図5は座位での実験における右腕の表示位置を右へずらした際の結果と、それに基づく身体表象の変化を図示したものである。

ほぼ同じ課題を用いた左右、前後方向では、左右方向への変化の方が大きかった。これは、上記の全体として身体の構造の整合性が取れるように身体表象を形成しているためであると考えられる。視点位置が変化せずに腕のみが前方へと移動するような身体表象の変化は身体の構造が崩れるため、難しかったのだろう。

また、座位と立位では変化の大きさや方向が一部異なった。特に立位では左腕の身体表象の変化方向が図3とは反対方向となった。これは、環境と接している身体部位の違いであると考えられる。座位での実験は臀部が椅子に固定されていることから、表示されている身体部位、視点のある頭部、そして、臀部が基準となり身体表象が形成された。一方、立位では臀部ではなく足の裏が基準に含まれる。そのため、臀部と比べて体幹が安定しにくく、左腕の身体表象の変化方向が座位と異なると考えられる。つまり、身体表象は、視覚、触覚、およびその他の感覚から入力された情報（bottom-up 処理）と、身体構造の知識（top-down 処理）の交互作用から構築されると考えられる。



(a) トレーニング前後の身体部位の位置知覚テストの変化 (b) 身体表象の変化

図5 右腕が操作された場合の座位での結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 Matsumuro Miki, Mori Shohei, Kataoka Yuta, Igarashi Fumiaki, Shibata Fumihisa, Kimura Asako | 4. 巻 29 |
| 2. 論文標題 Modified Egocentric Viewpoint for Softer Seated Experience in Virtual Reality | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics | 6. 最初と最後の頁 2230 ~ 2238 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TVCG.2023.3247056 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 松室美紀, 小林晶, 岡松育夢, 江波戸傑, 柴田史久, 木村朝子 | 4. 巻 27 |
| 2. 論文標題 両前腕の表示位置の操作による身体表象の変化に利用される手がかりの検討 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 | 6. 最初と最後の頁 301 - 310 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|------------------------|
| 1. 著者名 Matsumuro Miki, Ma Ning, Miura Yuki, Shibata Fumihisa, Kimura Asako | 4. 巻 17 |
| 2. 論文標題 Top-down effect of body representation on pain perception | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 PLOS ONE | 6. 最初と最後の頁 e0268618 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0268618 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|------------------------|
| 1. 著者名 松室美紀, 小林晶, 江波戸傑, 柴田史久, 木村朝子 | 4. 巻 29 |
| 2. 論文標題 身体表象における対称的な身体部位の表象形成 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 認知科学 | 6. 最初と最後の頁 in press |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 江波戸傑, 松室美紀 |
| 2. 発表標題 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~ |
| 3. 学会等名 日本認知科学会第39回大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Miki Matsumuro |
| 2. 発表標題 Interlimb Transfer of Proprioceptive Recalibration and Effect of Body Posture |
| 3. 学会等名 the 45th annual meeting of the cognitive science society (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hikari Kobayashi |
| 2. 発表標題 Effect of shifting own hand position in virtual space on mental body model |
| 3. 学会等名 HCI 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 岡松育夢 |
| 2. 発表標題 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~ |
| 3. 学会等名 日本認知科学会第38回大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 小林晶 |
| 2. 発表標題 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 |
| 3. 学会等名 日本認知科学会第37回大会 |
| 4. 発表年 2020年～2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Miki Matsumuro |
| 2. 発表標題 Change of Body Representation in Symmetric Body Parts |
| 3. 学会等名 the 43rd annual meeting of the cognitive science society (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年～2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hikari Kobayashi |
| 2. 発表標題 The effect of displaying the body in different positions on the mental body model |
| 3. 学会等名 23rd International Conference on Human-Computer Interaction (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年～2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松下 彩夏 |
| 2. 発表標題 身体が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- |
| 3. 学会等名 日本認知科学会第40回大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|