



# 視覚運動対応を操作した VR 空間内での 身体運動課題がもたらす身体近傍空間のリマッピング

Remapping of peripersonal space caused by visuo-motor task in virtual environments  
with varying visuo-motor correspondence ratio

松田勇祐<sup>1)</sup>, 杉本麻樹<sup>2)</sup>, 稲見昌彦<sup>3)</sup>, 北崎充晃<sup>1)</sup>

Yusuke MATSUDA, Maki SUGIMOTO, Masahiko INAMI, and Michiteru KITAZAKI

- 1) 豊橋技術科学大学情報・知能工学系 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, matsuda.yusuke.vp@tut.jp, mich@cs.tut.ac.jp)  
2) 慶應義塾大学理工学部 (〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1, sugimoto@ics.keio.ac.jp)  
3) 東京大学先端科学技術センター (〒153-0041 東京都目黒区駒場 4-6-1, inami@inami.info)

**概要:** バーチャル空間内での視覚的回転と頭部回転との対応関係を変化させて学習したとき, 人の知覚がどう変わるかを調べた. 異なる対応関係で, 身体の後ろに提示される対象にリーチングする学習を行い, その前後で身体近傍空間 (PPS) を測定した. その結果, 対応関係に関わらず前方 PPS の収縮が観測されたが, その度合いは異なった. これらの結果は, 運動が PPS を変化させ, 視覚と運動の対応関係は補助的な役割を担うことを示唆する.

**キーワード:** 感覚変容, 視覚, 聴覚・触覚, 身体近傍空間

## 1. 序論

近年, バーチャルリアリティ (VR) 技術の進歩により, 本来あり得ない身体構造 (バーチャル身体) を体験することが容易となった. このような体験は, 様々な感覚・行動変容[1,2]を生むことが, 多くの研究で報告されている. 本研究では, 視覚運動対応を変化させたとき, どのような感覚変容が生じるかを調べることを目的とする実験を行った. 具体的には, VR 空間内での視覚的回転を実際の頭部運動の 2 倍 (例: 頭部を yaw 方向に 90° 回転させると, 実際の映像は 180° 回転) にしたとき, 通常の状態と比較して, 感覚が変容するかを調べた.

感覚変容の指標として身体近傍空間 (PPS) [3]での反応時間 (RT) を測定した. PPS とは, 自己身体の直近のスペースのことを指し, 自己身体と実環境の関係性を素早く検知する上で重要である. この PPS の形状は, 様々な外的要因により柔軟に変化する[4-6]ため, 感覚変容を調べる多くの研究で用いられている.

## 2. 方法

視覚運動対応を操作した VR 空間内での身体運動課題が, PPS のリマッピングにどう影響するかを調べるため, 三つのフェーズ (学習前テストフェーズ, 学習フェーズ, 学

習後テストフェーズ) で構成されている実験を行った. テストフェーズでは, PPS での触覚刺激に対する RT を測定した. 学習フェーズでは, HMD (Oculus Rift) を用いて, VR 空間上で身体運動課題を実験参加者に課した.

### 2.1 実験参加者

実験の目的を知らない豊橋技術科学大学の学生 14 名 (平均年齢 21.9, 範囲 18–24) が実験に参加した. 参加者全員が裸眼視力もしくは矯正視力正常であり, 日常生活において差し支えない聴力および運動能力を有していた. 全ての参加者に対して, インフォームド・コンセント取得のための説明を行い, これに同意した者のみ実験に参加した. 本研究は, 豊橋技術科学大学人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を得て行われた.

### 2.2 刺激

以下に記載する刺激のうち, テストフェーズで, 聴覚刺激と触覚刺激, 学習フェーズで視覚刺激が, それぞれ用いられた.

#### 2.2.1 聴覚刺激

聴覚刺激はピンクノイズ (44.1kHz) で, 参加者に近づく音 (IN Sound) と遠ざかる音 (OUT Sound) の 2 種類が使用された (聴覚刺激方向条件). どちらの聴覚刺激とも 3000

ms 再生され、33.3cm/s で参加者の前方もしくは後方を等速運動していた。

### 2.2.2 触覚刺激

参加者の胸部に貼り付けたリニア振動アクチュエータ (Nidec, LD14-002) を通して、24 ms 触覚刺激が提示された。触覚刺激のタイミングは7種類 (触覚刺激提示タイミング条件) あり、その内5種類は聴覚刺激提示中 (0-3000 ms) に生じた (バイモーダル条件: 300, 800, 1500, 2200, 2700 ms)。その他の2種類は、聴覚刺激が提示されていないタイミングで生じた (ユニモーダル条件: -700, 3700 ms)。

### 2.2.3 視覚刺激

学習フェーズ時、参加者は部屋の真ん中に座った状態がシミュレートされたVR空間を観察した (図1)。視覚運動対応は、通常状態である「1倍条件」と、視覚的回転を頭部運動の2倍にした「2倍条件」の2種類を設定した (対応関係条件)。



図1: VR空間内の部屋の例

## 2.3 手続き

### 2.3.1 テストフェーズ

テストフェーズは、Canzoneri, Magosso, & Serino (2012)[7]の実験方法を適用した。参加者は丸椅子に目隠しした状態で座り、胸に付いたアクチュエータを通して提示される触覚刺激に対して、「できるだけ早く応答する」ことが求められた。実験中、触覚刺激とは関係なく、聴覚刺激が同時に提示された。また、触覚刺激が提示されず、聴覚刺激のみが提示される試行 (キャッチトライアル) もあり、この場合、参加者は応答しないことを求められた。テストフェーズは200試行 (聴覚刺激方向2×触覚刺激提示タイミング7×繰り返し10 + キャッチトライアル60) で構成されており、これを学習の前後でそれぞれ行った。

RTの測定は参加者の前方もしくは後方 (PPS位置条件) で測定された。これらの測定は別日 (「2.3.3 全体構成」参照) に行われた。

### 2.3.2 学習フェーズ

参加者は、VR空間で自分の身体と連動して動くアバター (一人称視点) を用いて、身体運動課題 (リーチングタスク) を行った。赤い風船が自分の後方3.0-4.0mのランダムな位置に出現し、0.5 m/s の速度で参加者に向かって等速運動した。参加者は自分のアバターの身体に風船が衝突

する前に、この風船をアバターの手で割ることを求められた。風船を割った5秒後に、再び風船がランダムな位置に出現し、参加者は同様の手順を繰り返して行った。学習時間は合計30分 (5分×6ブロック) で、ブロック間で2分の休憩を設けた。

### 2.3.3 全体構成

学習前テストフェーズ、学習フェーズ、学習後テストフェーズの三つのフェーズで構成された実験を、4日間 (対応関係2×PPS位置2) 行った。順番は参加者間でランダムであった。学習の効果が次の実験に影響しないよう、実験間を1週間以上空けて行った。

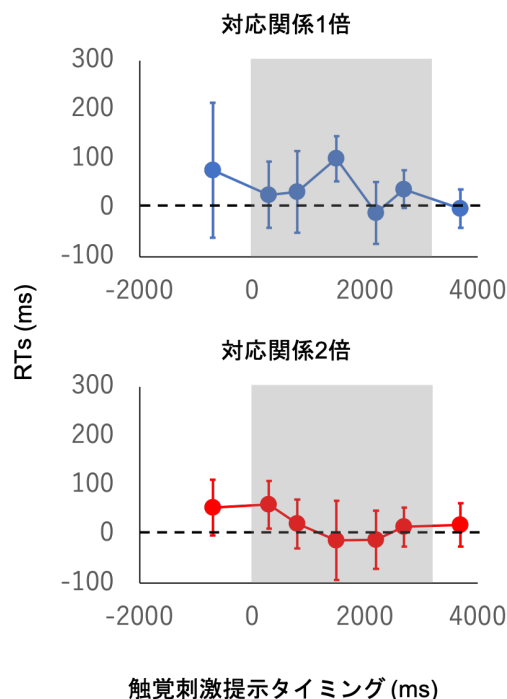


図2: IN sound 条件, 前方 PPS における, 触覚刺激提示タイミングと RT の差分 (学習後-学習前) の関係。上は対応関係1倍, 下は対応関係2倍をそれぞれ示す。灰色部分は、聴覚刺激がオンセットしているタイミングを示す。エラーバーは95%信頼区間であり、対応関係1倍では、触覚刺激提示タイミング1500 ms, 2倍では、300 ms のとき、それぞれ0より有意に大きい。

## 3. 結果

バイモーダル条件における、RT と触覚刺激提示タイミングに関して、単回帰分析を各条件で行った。その結果、IN Sound 条件でのみ、PPS の効果が見られた。故に、以下の解析は、OUT Sound 条件のデータは除外して行う。

四要因分散分析 (対応関係×PPS位置×学習前後×触覚刺激提示タイミング) を行った。その結果、触覚刺激提示タイミングの主効果 ( $F(6,78)=5.65, p=.0001, \eta_p^2=0.30$ ) と PPS位置×学習前後の交互作用 ( $F(1,13)=7.96, p=.01, \eta_p^2=0.38$ ) がそれぞれ有意であった。一方、対応関係に関する

全ての項目で有意な差は見られなかった。

次に学習前後の PPS の効果の違いを調べるため、学習前後での RT の差分（学習後の RT - 学習前の RT）を求め、触覚刺激提示タイミングに関してプロットした（図 2）。図 2 によると、対応関係に関わらず前方での RT が学習後に有意に大きくなるタイミングがあった。この結果は、後方への運動を学習したことにより、前方の触覚刺激に対するパフォーマンスが落ちる（つまり、PPS が収縮する）タイミングがあることを示す。しかし、このタイミングは、対応関係により異なった。特に、対応関係が 2 倍であるときは、非常に早いタイミングでのみパフォーマンスの低下が見られた。この結果は、視覚情報が実世界のものと矛盾している場合、PPS のリマッピングが正しく行われない可能性があることを示唆する。

#### 4. 考察

本研究では、視覚的回転と頭部回転との対応関係を変化させた環境下で、後方への運動を学習させたとき、PPS のリマッピングに何かがどう影響するのかを検討した。その結果、後方への運動は、前方 PPS の収縮という感覚変容を生むことが明らかになった。一方、対応関係の違いは、直接的には、PPS のリマッピングに影響しないことが明らかになった。しかしながら、この対応関係はそのリマッピングにおいて、補助的な役割を担うことが示唆された。

視覚運動対応の操作と身体運動課題の組み合わせにより、ある特定領域のパフォーマンスを、意図的に向上もしくは低下させることができるかもしれない。例えば、スポーツなど、ある程度広範囲に対して様々な知覚を必要とする（例えば、左右の聴覚-触覚刺激に対するパフォーマンスを向上させたい）場合、そのトレーニングにおいて、今回の知見は役に立つ可能性が高い。

**謝辞** 本研究は、JST ERATO JPMJER1701（稲見自在化身体プロジェクト）の補助を受けて行われた。

#### 参考文献

- [1] Kilteni, K., Normand, J. M., Sanchez-Vives, M. V., & Slater, M. (2012). Extending body space in immersive virtual reality: a very long arm illusion. *PLoS One*, 7, e40867.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040867>.
- [2] 近藤亮太, 上田祥代, 杉本麻樹, 南澤孝太, 稲見昌彦, & 北崎充晃. (2019). 見えない長い腕: 四肢先端の視覚運動同期による四肢伸張透明身体への所有感生成と行動変容. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 24(4), 351-360.  
[https://doi.org/10.18974/tvrsj.24.4\\_351](https://doi.org/10.18974/tvrsj.24.4_351).
- [3] Ládavas, E., & Serino, A. (2008). Action-dependent plasticity in peripersonal space representations. *Cognitive Neuropsychology*, 25(7-8), 1099-1113.  
<https://doi.org/10.1080/02643290802359113>.
- [4] Hobeika, L., Taffou, M., & Viaud-Delmon, I. (2019). Social coding of the multisensory space around us. *Royal Society Open Science*, 6(8), 181878.  
<https://doi.org/10.1098/rsos.181878>.
- [5] Lourenco, S. F., & Longo, M. R. (2009). The plasticity of near space: Evidence for contraction. *Cognition*, 112(3), 451-456.  
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.05.011>.
- [6] Noel, J. P., Grivaz, P., Marmaroli, P., Lissek, H., Blanke, O., & Serino, A. (2015). Full body action remapping of peripersonal space: the case of walking. *Neuropsychologia*, 70, 375-384.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.08.030>.
- [7] Canzoneri, E., Magosso, E., & Serino, A. (2012). Dynamic sounds capture the boundaries of peripersonal space representation in humans. *PLoS One*, 7(9), e44306.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044306>.