



# 視覚器と身体の対応を変えた バーチャル身体に対する認知行動の可塑性

Cognition and action using virtual body with modified correspondence between visual organ and body

谷大和<sup>1)</sup>, 杉本麻樹<sup>2)</sup>, 稲見昌彦<sup>3)</sup>, 北崎充晃<sup>1)</sup>

Yamato TANI, Maki SUGIMOTO, Masahiko INAMI, and Michiteru KITAZAKI

- 1) 豊橋技術科学大学 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, tani@real.cs.tut.ac.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 (〒153-0041 東京都目黒区駒場 4 丁目 6-1, inami@inami.info)

**概要**: 後頭部に後ろ向きに眼がついている身体をバーチャル空間に構築し, そのような身体と環境における人の認知と行動の可塑性を解明することを目的とした. 具体的には, 頭部後ろに眼がついた身体に順応可能なのか, 学習の前後および学習の日数によって知覚や行動がどのように変化するかを心理・行動実験により調べた. その結果, 実験日数の経過とともに, 行動課題における成績が向上し, 前後反転した状態の視野に順応できることが示唆された.

**キーワード**: 人間拡張, 視覚, 拡張身体, 自在化身体

## 1. 序論

外界からの視覚情報は, 眼のレンズ (水晶体) によって網膜上で逆転像として得られる. 視野変換実験として, 視野を 180 度回転させる逆さめがね実験があり, 視野を左右・上下反転させることによって網膜像を正立させても, 長期間の順応によって, 正確で迅速な行動が可能となり, 視野が正立して知覚されるようにすることが報告されている[1][2]. 視野の上下のみを反転させる上下反転めがね, 視野の左右のみを反転させる左右反転めがねの場合においても同様に順応することが報告されており, めがね除去後に視覚的な残効が生じる[3][4]. また, 被験者の経験から得られた内観データのみに基づく研究だけでなく, 音源定位や距離弁別, 両眼視差による奥行き知覚, などによる客観的測度を用いた逆さめがね実験も報告されている[5][6][7][8][9][10]. また, 順応によって生じる視覚と運動, 触覚, 聴覚との複合感覚間の左右判断の変化を定量的に行動計測すると同時に, fMRI を用いた脳計測を行うことで, その可塑性が示されている[11]. そして, 逆さめがねへの長期順応によって, 視覚を用いた行動や複合感覚間の統合が変化するのみならず, 自分の身体イメージも変化することが fMRI を用いて示されている[12].

一方で, 被験者自身の後方が見えるといった視野が前後反転した身体と環境においても順応が生じるのか, 知覚や行動が変化するかについては調べられていない. 身体拡張技術によって環境に応じて身体を変え, 最適化し, 自由

自在に行動できる身体が自在化身体として提案されている. 変更した身体に対して, どこまで人は順応できるのか, どのように順応できるのか, 認知の何が変化するのかを明らかにすることは自在化身体の研究において重要な問題である.

本研究では, 後頭部に後ろ向きに眼がついている身体をバーチャル空間に構築し, 学習によってその身体に順応可能なのか, また学習の前後および日数によって知覚や行動がどのように変化するか検証することを目的とし心理・行動実験を行った.

## 2. 方法

### 2.1 被験者

実験の目的を知らない 10 名の大学生, 大学院生がインフォームドコンセントのもと, 実験同意書に署名を行い, 実験に参加した. 被験者は全員裸眼視力, または矯正視力が正常であった. 本実験は, 豊橋技術科学大学における人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を得て実施された.

### 2.2 装置

視覚刺激の制御のためにコンピュータ (DELL XPS8900, OS: Windows 10, RAM: 32.0GB, CPU: Intel (R) Core (TM) i7-8700 CPU @3.20GHz, GPU: GeForce GTX 1070Ti) を用いた. ヘッドマウントディスプレイ (VIVE Pro, 画面解像度 2880x1600, 水平視野角 90deg, 垂直視野角 110deg, Refresh

rate 90Hz) に視覚刺激を提示した。頭部位置は赤外線による位置計測装置 (Vive Base station 2.0) で取得し、頭部方向・回転は Vive Pro 内蔵のジャイロセンサの情報を用いて、視覚刺激を更新した。実験は、7m x 7m の部屋で行われた。

### 2.3 刺激

被験者の後頭部に目がついている前後反転状態と、移動・回転方向の操作をしていない通常状態の映像を HMD によって提示した。視野の前後反転状態では、頭部の後ろに左右眼が配置された状況を模擬しており、バーチャルな空間内でのロール・ピッチ軸方向の移動および回転が逆転した。

### 2.4 手続き

実験は、初日 (0 日目) に通常視野状態での実験 (通常計測課題), その後 14 日間の事前計測実験 (プレ計測課題), 学習実験 (学習試行), および事後計測実験 (ポスト計測課題) の組み合わせ、さらに 15 日目に通常視野状態での実験で構成され、計 16 日間であった。休日などで間が空くこともあったが、全ての被験者が 22 日以内で実験を完遂した。

通常計測課題では、HMD を装着して、視野変換を行わずに、壁避け、身体動揺計測、歩行、ベクション計測を順に行った (図 1)。壁避け課題では、左右あるいは前方の壁の 1 つが突然自分に向かって来るのを避けることが要求された。ランダムに 2 回繰り返された。身体動揺計測では、前後に 0.2Hz で  $\pm 1m$  視点が移動し、その間 30s の立位時身体動揺を計測した。歩行課題では、円周の周りを 1 周歩くことが要求された。ベクション課題では、視点が前あるいは後ろに 4m/s で移動し、被験者はベクション (自己運動の錯覚) を感じたらボタンを押す (潜時計測) ことが求められた。

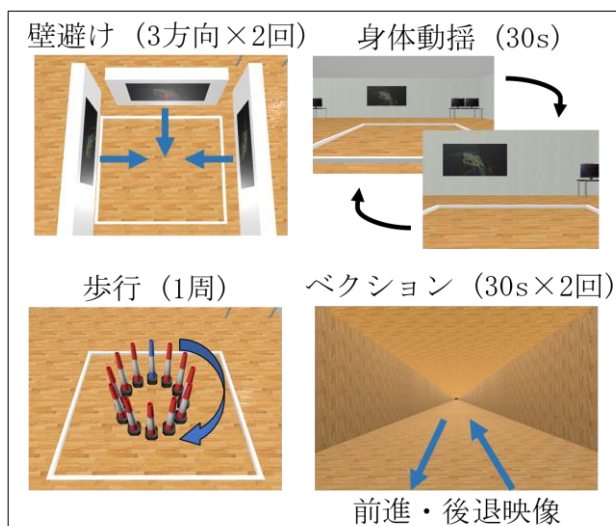


図 1 計測課題

プレ計測課題では、通常計測課題と同じく、壁避け、身体動揺計測、歩行、ベクション計測を行った。ただし、壁避け課題のみは、実験の初日と最終日のみに行った。次に、被験者は学習試行を行った。学習試行では、被験者はバー

チャルな部屋 (幅約 5m x 奥行約 5m) のランダムな位置に表示されるターゲットに向かって歩いた。1 試行を 5 分間とし、繰り返し 6 回行った。その後、被験者はポスト計測課題を行った。ポスト計測課題は、プレ計測課題と同様の課題であった。これらを 1 セットとし、前後反転状態で 1 日 1 セット、合計 14 日間繰り返した。

## 3. 結果

### 3.1 壁避け課題

接近してくる壁に対して、1 日目では壁に衝突する方向に回避してしまう被験者がみられた (図 2)。しかし、14 日目では、衝突する方向に回避した回数が減少し、ほぼ被験者は壁に遠ざかるよう移動できていた (図 3)。壁が最も被験者に接近するタイミングでの壁と被験者の距離 (図 4) では、0 日目の通常状態と前後反転状態の 1 日目 ( $p < .0001$ ), 14 日目 ( $p = .0035$ ) で有意に差があった。15 日目の通常状態と前後反転状態の 1 日目 ( $p < .0001$ ), 14 日目 ( $p = .0005$ ) で有意に差があった。また、前後反転状態での 1 日目と 14 日目で有意差がみられたが ( $p = .0003$ ), 通常状態での 0 日目と 15 日目では有意差はなかった ( $p = .4582$ )。

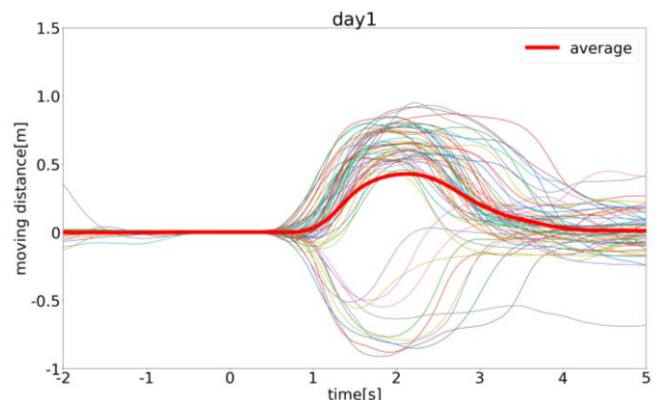


図 2 課題における被験者の回避行動 (1 日目)

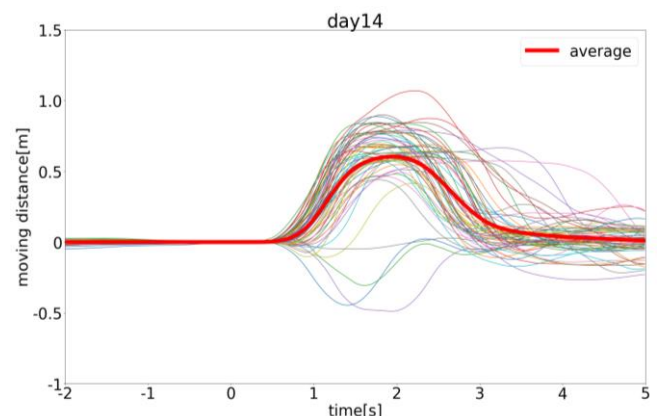


図 3 課題における被験者の回避行動 (14 日目)

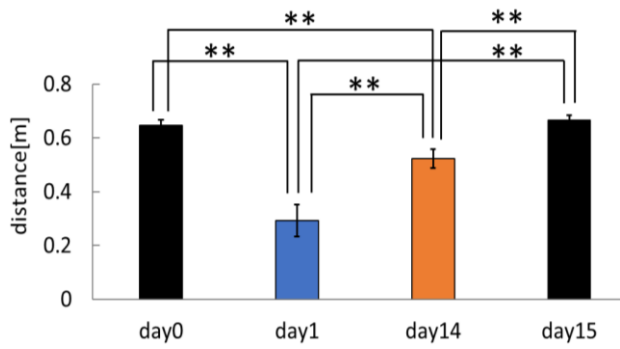


図4 壁最接近時の壁と被験者の距離

### 3.2 歩行課題

実験初日の歩行軌跡(図5)と比較して実験最終日(図6)の方が、円の周りをより滑らかに歩行できた。また、課題完了までにかかった時間において、日数に主効果( $p=0.009$ ), 日内前後に主効果( $p<0.0001$ ), 日数×日内前後で交互作用( $p<0.0001$ )がみられた(図7)。

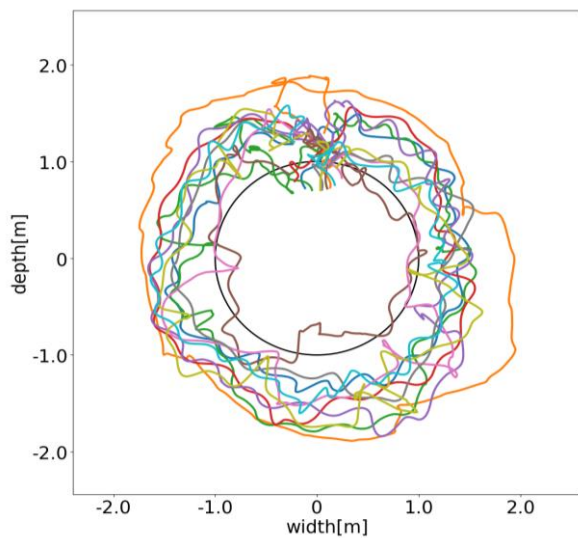
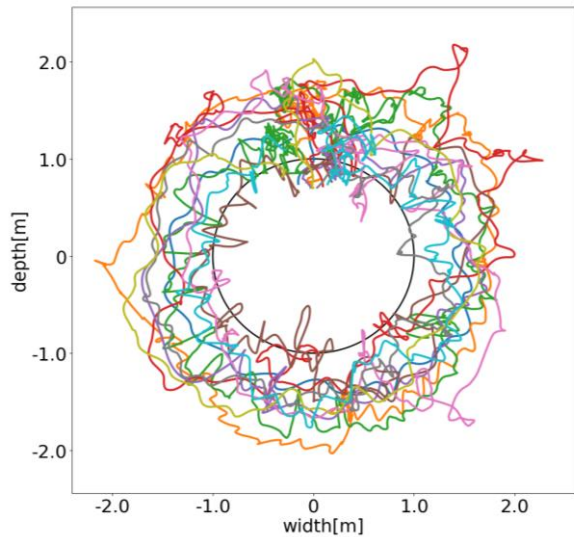


図5 上から見た歩行軌跡(1日目, 上: プレ, 下: ポスト)

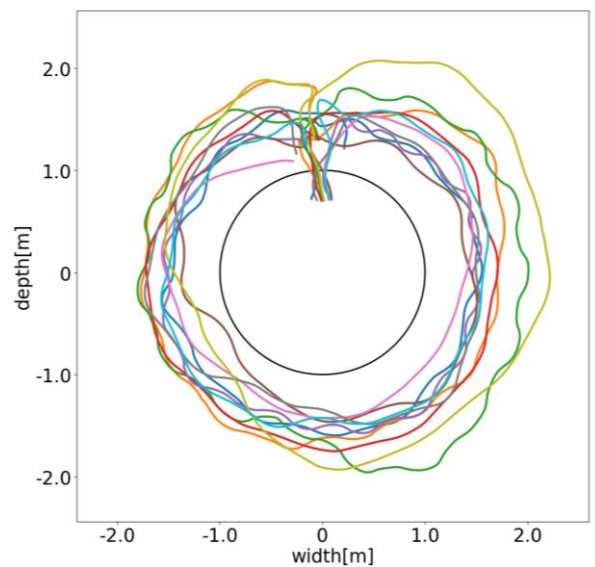
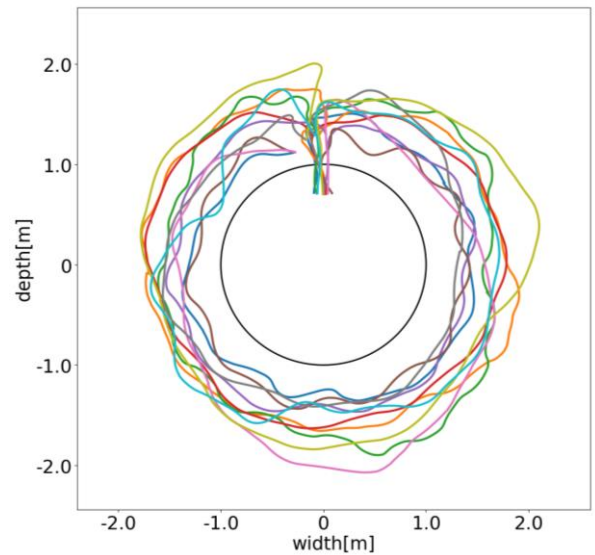


図6 上から見た歩行軌跡(14日目, 上: プレ, 下: ポスト)

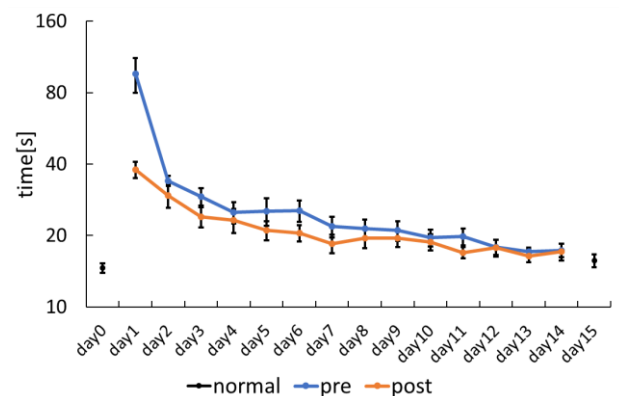


図7 歩行課題完了時間

### 4. 考察

壁避け課題において、実験の1日目よりも14日目の方が、壁に衝突する方向に被験者が回避した回数が減少し、正しい方向に回避できるようになった。また、歩行課題において、実験日数の経過とともにスムーズな歩行ができる

ようになり、1周するのにかかる時間も短くなった。これらの結果から、学習によって課題の成績が向上し、視野の前後反転状態に順応できたことが示唆された。

一方で、前後反転状態での実験前後に行った通常状態での計測課題においては、0日目と15日目で有意な差はなかった。このことから、元々持っている知覚システムをあまり損なわず、学習によって新しい知覚システムを獲得できたことが示唆された。

#### 謝辞

本研究は、JST ERATO JPMJER1701（稲見自在化身体プロジェクト）の補助を受けて実施された。

#### 参考文献

- [1] Stratton, G. M. (1896). Some preliminary experiments on vision without inversion of the retinal image. *Psychological Review*, 3(6), 611-617.
- [2] Stratton, G. M. (1897). Vision without inversion of the retinal image. *Psychological Review*, 4(4), 341-360.
- [3] Kohler, I. (1962). Experiments with goggles. *Scientific American*, 206(5), 62-86.
- [4] Kohler, I. (1964). The formation and transformation of the perceptual world. *Psychological Issues*, 3(4), 1-173.
- [5] Wooster, M. (1923). Certain factors in the development of a new spatial co-ordination. *Psychological Monographs*, 32(4), i-96.
- [6] Ewert, P. H. (1930). A study of the effect of inverted retinal stimulation upon spatially coordinated behavior. *Genetic Psychology Monographs*, 7, 177-363.
- [7] Peterson, J., & Peterson, J. K. (1938). Does practice with inverting lenses make vision normal? *Psychological Monographs*, 50(5), 12-37.
- [8] Snyder, F. W., & Pronko, N. H. (1952). *Vision with Spatial Inversion*. Wichita, Kansas: University of Wichita Press.
- [9] Shimojo, S., & Nakajima, Y. (1981). Adaptation to the Reversal of Binocular Depth Cues: Effects of Wearing Left-Right Reversing Spectacles on Stereoscopic Depth Perception. *Perception*, 10(4), 391-402. <https://doi.org/10.1068/p100391>
- [10] Ichikawa, M., Kimura, T., Egusa, H., Nakatsuka, M., Amano, J., Ueda, T., & Tashiro, T. (2003). Modification of Depth and Distance Perception Caused by Long-Term Wearing of Left-Right Reversing Spectacles. *Perception*, 32(2), 131-153. <https://doi.org/10.1068/p3342>
- [11] Sekiyama, K., Hashimoto, K., & Sugita, Y. (2012). Visuo-somatosensory reorganization in perceptual adaptation to reversed vision. *Acta Psychologica*, 141(2), 231-242.
- [12] Sekiyama, K., Miyauchi, S., Imaruoka, T., Egusa, H., & Tashiro, T. (2000). Body image as a visuomotor transformation device revealed in adaptation to reversed vision. *Nature*, 407(6802), 374.