



## 実指とバーチャルな腕の同期運動による身体所有感の変容

谷大和<sup>1)</sup>, 近藤亮太<sup>1)</sup>, 杉本麻樹<sup>2)</sup>, 南澤孝太<sup>3)</sup>, 稲見昌彦<sup>4)</sup>, 北崎充晃<sup>1)</sup>

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, kondo@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) 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 (〒223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1, kouta@kmd.keio.ac.jp)

4) 東京大学 (〒153-0041 東京都目黒区駒場 4 丁目 6-1, inami@inami.info)

**概要:** 自己身体とバーチャルな身体の同期運動によって身体所有感の錯覚が生じる。本研究では、バーチャルな腕への身体所有感が自身の指との同期運動によっても引き起こされるかどうかを同側の組み合わせで調べた。被験者は右手の親指を自発的に自由に動かし、それと同期または非同期に運動するバーチャルな右腕が HMD に提示された。その結果、同側の実指とバーチャルな腕の運動が同期することで、バーチャルな腕に対して身体所有感が生じた。

**キーワード:** 身体所有感覚, 身体拡張, 視覚運動同期

### 1. 序論

身体所有感とは異なる身体に対しても生じることが報告されており、視覚刺激を提示する受動的な方法として、ラバーハンド錯覚が広く知られている[1][2]。ラバーハンド錯覚では、ラバーの手が自分の手のように感じられ、自身の手の位置が見えているゴムの手の方向へずれて知覚される。また、被験者の左手とゴムの右手を同時に刺激することで、ゴムの右手に対して身体所有感が生じ、被験者の左手とゴムの右手の両方に触覚を感じると報告されている[3]。自身の身体運動と連動するバーチャルな身体を観察することで、バーチャルな身体に対しても身体所有感の錯覚が生じる。バーチャルな身体について、一人称視点ではなく、三人称視点のように背後から観察するとき、体外離脱的な感覚が生じ、映像内のバーチャルな身体の方に自己位置がずれて知覚されることが報告されている[4]。また、自己身体とは異なる肌色の人種[5][6]や子ども[7]のバーチャルな身体においても身体所有感を誘発できる。その結果、黒人や子どもに対する潜在的な態度が変化することが報告されている。生理的な指標として、皮膚伝導反応 (skin conductance response : SCR) がある。SCR は皮膚の電気抵抗の瞬時的な変動を指し、感覚的、心理的刺激が提示されたとき、皮膚表面への汗の増加によって SCR が増大する。ラバーハンド錯覚のように、ゴムの手に所有

感を感じている状態で、ゴムの指を後ろに曲げると、あたかも自身の指に痛みを感じ、SCR が増大する [8]。

ラバーハンド錯覚のような視覚刺激を提示する受動的な方法や、自己運動と連動した身体運動を提示する能動的な方法によって、身体所有感はその身体に誘発可能となり、能動的な方法のほうが効果は強く、バーチャルリアリティ (VR) での実装においても自由度が高い[9]。従来の研究では、同時に刺激する身体部位や自己運動と連動するアバターの身体部位の対応関係が等しく、指と腕のように大きさや階層性の異なる身体部位間での同期運動による身体所有感の変容は調べられていない。近年では、ロボット技術を用いて、健常者に新たな身体部位を付加するという研究がある。身体に装着した 2 つのロボットアームを自身の左右の足を用いて制御することで、身体感覚を変容させ、4 本の腕によるインタラクションを可能としている [10]。

本研究では、指の動きとバーチャルな腕の動きが連動することによって、異なる身体部位間であっても身体所有感が生じるのか、また自己位置が映像のバーチャルな腕の方向へずれて知覚されるのか検証することを目的とした。

### 2. 方法

#### 2.1 被験者

実験の目的を知らない 30 名の大学生、大学院生 (男子 30 名, 平均年齢 21.2 歳, SD=1.249) 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

Yamato TANI, Ryota KONDO, Maki SUGIMOTO,  
Kouta MINAMIZAWA, Masahiko INAMI, and  
Michiteru KITAZAKI

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

実験は、制御のためにコンピュータ (DELL Alienware Aurora R5, OS: Windows 10, RAM: 16.0GB, CPU: Intel (R) Core (TM) i5-6400 CPU @2.70GHz (4CPUs), GPU: GeForce GTX 1080) を用いた。ヘッドマウントディスプレイ (Oculus Rift DK2 画面解像度 1920x1080, 水平視野角 90deg, 垂直視野角 110deg, Refresh rate 75Hz) によって視覚刺激を提示し、モーションキャプチャ装置 (Noitom Perception Neuron, 120Hz) で被験者の右手親指の動きを検出した。また、SCR を計測するために BIOPAC MP150 (1000Hz) を使用した。

## 2.3 刺激

視覚刺激には、被験者の右手親指の運動と連動してアバターの手が動く同期条件と、連動しない非同期条件があった。非同期条件では、事前に録画したモーションを再生した。また、統制条件として、身体のない部屋からの映像を提示した。

## 2.4 手続き

被験者は頭部に HMD, 右腕にモーションキャプチャ装置, 左手中指と薬指に電極を装着し, HMD を通して映像を観察しながら 5 分間右手親指を自由に動かした。この時、右腕は手のひらを上にした状態で机の中央に置いた。左腕は力を抜いた状態で下に垂らした。暗転 10s, 右手親指の自由運動 300s, 驚愕反応刺激 2s, 待機時間 10s を 1 試行とし, 同期条件 2 水準 (同期・非同期) を 2 回ずつカウンターバランス順で行った。同期条件 2 水準の 4 試行の前後に統制試行を 1 回ずつ行なった。各試行後, 被験者は HMD を着けたまま, 視野が真っ暗な状態で自己位置計測を行った。自己位置計測では, 被験者は自分の右手親指の先端だと感じている位置を机の裏から左手人差し指で示した (図 5)。その後, HMD を外し, 8 題からなる質問項目に対し, 1 を「全く感じない」, 7 を「非常に強く感じた」として 7 段階 (1~7) で答えた (表 1)。統制試行では, 主観評定および驚愕反応計測は行わなかった。

表 1 主観評定

Q1	自分の右手親指が見えている右腕になったように感じた。
Q2	見えている右腕が自分の右腕のように感じた。
Q3	自分の右手親指の位置が見えている右腕の方向にずれているように感じた。
Q4	自分の右手親指が長くなったように感じた。
Q5	自分の右腕が 2 つに増えたように感じた。
Q6	自分の右手親指が左手の親指になったように感じた。
Q7	見えている右腕の動きが自分の動きのように感じた。
Q8	見えている右腕の動きが他人の動きのように感じた。

## 3. 結果

### 3.1 主観評定

Q1「自分の右手親指が見えている右腕になったように感

じた。」, Q2「見えている右腕が自分の右腕のように感じた。」, Q3「自分の右手親指の位置が見えている右腕の方向にずれているように感じた。」, Q4「自分の右手親指が長くなったように感じた。」, Q7「見えている右腕の動きが自分の動きのように感じた。」において, 同期試行のほうが非同期試行よりも有意に評定値が高くなった ( $p < .01$ )。また, Q8「見えている右腕の動きが他人の動きのように感じた。」において, 非同期試行のほうが同期試行よりも有意に評定値が高くなった ( $p < .01$ )。

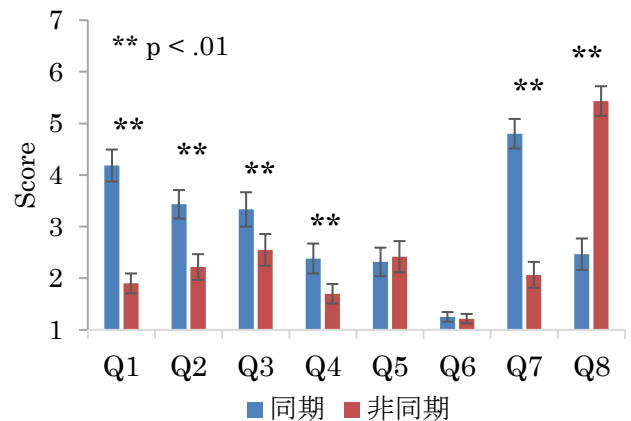


図 1 主観評定の結果

### 3.2 自己位置計測

x (横) 方向および y (奥行) 方向において対応あり t 検定を行った (図 2, 3)。その結果, 同期試行と非同期試行で有意差はみられなかった (横方向  $p = .1665$ ,  $d = 0.2591$ , 奥方向  $p = .4158$ ,  $d = -0.1507$ )。

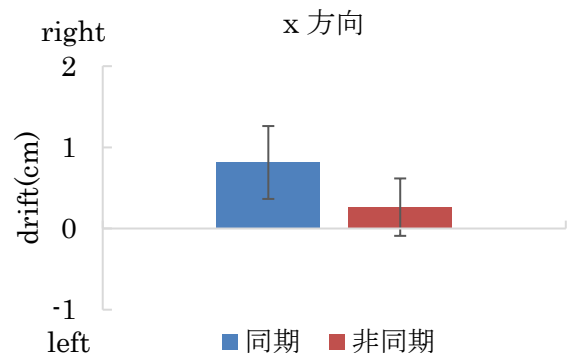


図 2 自己位置のずれ (横方向)

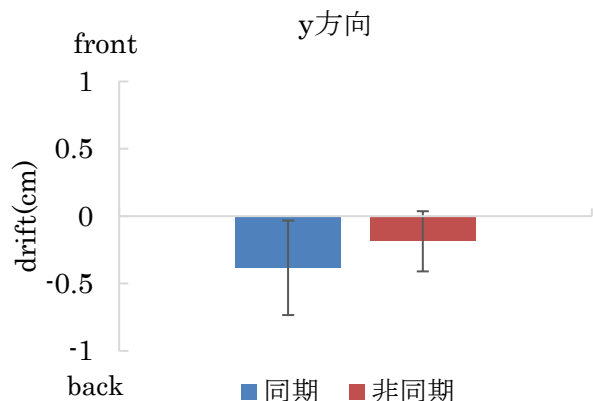


図 3 自己位置のずれ (奥行方向)

### 3.3 驚愕反応

ナイフ刺激提示の前後 10s 間の SCR を計測した(図 4)。刺激提示の直前 2s 間の平均値をベースラインとし、刺激提示後 2s~5s の平均値とベースラインの差を SCR の値とした。同期条件において非同期条件よりも大きな SCR が見られたが、対応あり t 検定(右側検定)の結果、有意差はみられなかった ( $p=.07526$ ,  $d=0.2745$ ) (図 5)。

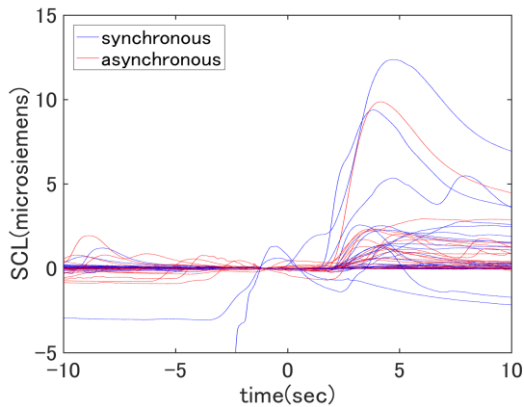


図 4 ナイフに対する驚愕反応

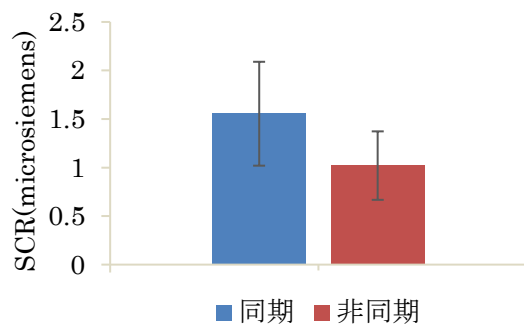


図 5 SCR の結果

## 4. 考察

主観評定の結果から、バーチャルな右腕に所有感が生じ、被験者は自分の指が腕に変化しているように感じることが示唆された。しかし、自己位置計測では、同期試行と非同期試行で有意差はみられなかった。また、驚愕反応では、同期試行のほうが非同期試行よりも被験者はナイフに驚愕している傾向にあったが、統計的に同期試行と非同期試行で有意差はみられなかった。原因として、驚愕反応を計測するために提示した視覚刺激が弱く、所有感が生じていたとしても、自分の身体に対して脅威であるというように感じにくかったのではないかと考えられる。今後は、より強い視覚刺激の提示を検討する必要がある。

## 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] Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756-756.
- [2] Tsakiris, M., & Haggard, P. (2005). The rubber hand illusion revisited: visuotactile integration and self-attribution. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(1), 80.
- [3] Petkova, V. I., & Ehrsson, H. H. (2009). When right feels left: referral of touch and ownership between the hands. *PLoS one*, 4(9), e6933.
- [4] Sanchez-Vives, M. V., Spanlang, B., Frisoli, A., Bergamasco, M., & Slater, M. (2010). Virtual hand illusion induced by visuomotor correlations. *PLoS one*, 5(4), e10381.
- [5] Maister, L., Sebanz, N., Knoblich, G., & Tsakiris, M. (2013). Experiencing ownership over a dark-skinned body reduces implicit racial bias. *Cognition*, 128(2), 170-178.
- [6] Peck, T. C., Seinfeld, S., Aglioti, S. M., & Slater, M. (2013). Putting yourself in the skin of a black avatar reduces implicit racial bias. *Consciousness and cognition*, 22(3), 779-787.
- [7] Banakou, D., Groten, R., & Slater, M. (2013). Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31), 12846-12851.
- [8] Armel, K. C. & Ramachandran, V. S. Projecting sensations to external objects: evidence from skin conductance response. *Proc. Biol. Sci.* 270, 1499-1506 (2003).
- [9] Kokkinara, E., & Slater, M. (2014). Measuring the effects through time of the influence of visuomotor and visuotactile synchronous stimulation on a virtual body ownership illusion. *Perception*, 43(1), 43-58.
- [10] Sasaki, T., Saraiji, M. H. D., Fernando, C. L., Minamizawa, K., & Inami, M. (2017, July). MetaLimbs: multiple arms interaction metamorphism. In *ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies* (p. 16). ACM.