

ヒトの行動主体性と身体所有感の関係についての検討

Relationship between the Senses of Agency and Body Ownership

○正 原 正之 (埼玉大) 正 山口 大介 (埼玉大) 正 石野 裕二 (埼玉大)
正 高崎 正也 (埼玉大) 正 水野 毅 (埼玉大)

Masayuki HARA, Saitama University, masayuki@mech.saitama-u.ac.jp
Daisuke YAMAGUCHI, Saitama University
Yuji ISHINO, Saitama University
Masaya TAKASAKI, Saitama University
Takeshi MIZUNO, Saitama University

The rubber hand illusion (RHI) is one of the most famous bodily illusions, which has been often used to discuss the sense of body ownership. In the present study, the RHI was induced under active and passive self-touches by using a robotic master-slave system, and we examined the effect of voluntary action on the RHI. Based on the results, the present paper discusses the relationship between voluntary action and the sense of body ownership.

Key Words: Sense of agency, Sense of body ownership, Rubber hand illusion, Active self-touch

1. はじめに

ラバーハンド・イリュージョン (rubber hand illusion: RHI) はヒトの身体所有感に関わる最も有名な錯覚の1つである[1]. 視覚刺激と同期した触刺激がゴム手の身体化 (embodiment of fake hand) を引き起こせることを Botvinick と Cohenn が発見して以来, 新たな手法が加わりながら RHI パラダイムはヒトの身体所有感や身体表象のメカニズムの理解・解明を試みるために用いられてきた. 例えば Ehrsson らは, 目隠しを施した実験参加者の指をゴム手に触れさせ, 同じ刺激を実験参加者の手に同期して与えることで自己触刺激の感覚 (sense of illusory self-touch) を錯覚的に引き起こせることを示した[2]. また Lenggenhager らは, ヘッドマウントディスプレイ (head mounted display: HMD) を用いて実験参加者自身の背面を提示し, その状況下で背中に視覚刺激と同期した触覚刺激を与えると体外離脱体験に類似した錯覚現象 (full body illusion: FBI) を健常者にも引き起こせることを実証した[3]. 一方, 我々の過去の研究では, アクティブセルフタッチという新たな条件を RHI パラダイムに追加して[4], その有用性と新たな可能性を示してきた. 例えば, アクティブセルフタッチで FBI を誘発できることを示し[5], その知見をもとにヒトの気配 (feeling of presence: FoP) に関する新たな知見を得ることに成功した[6].

従来手法では実験参加者が刺激を与えるために自ら行動することはないため, RHI 実験において行動主体性とヒトの身体所有感との関係についてはほとんど言及されてこなかった. しかしながら, アクティブセルフタッチを用いることでその議論が可能となる. そこで本研究では, アクティブセルフタッチでバーチャルハンドへの身体所有感の転移および自己触刺激の感覚を錯覚的に引き起こし, その際の行動主体性の強さとそれらの感覚の強さとの関係について検討する.

2. RHI/SRHI 実験システム

2.1 ハードウェア

アクティブセルフタッチを実現するために使用したマスタスレーブシステムについて, マスタデバイスに PHANTOM Omni (Geomagic) を適用し, 刺激提示用のスレーブデバイスにはパラレルリンク機構の2自由度ロボットを用いている[4]. スレーブデバイスの DC モータ (RH-8D 6006, Harmonic Drive Systems) はリニアサーボアンプ (LSC 30/2, Maxon) とデー

タ集録デバイス (NI PCIe-63232, National Instruments) を介して電流制御され, 制御サンプリング時間は 1ms と設定した.

2.2 ソフトウェア

本研究では, インピーダンス制御を用いてレンダリングしたバーチャルハンドをラバーハンドの代わりに使用する. バーチャルハンドをレンダリングするに当たり, 本研究では $M=0.0\text{kg}$, $D=0.0\text{N}\cdot\text{s}/\text{mm}$, $K=1.0\text{N}/\text{mm}$ と仮想ダイナミクスを設定した. また, マスタデバイスの動きとリンクしたバーチャルハンドを図1に示すような3Dグラフィックスで表現し, ヘッドマウントディスプレイ (HMD: HMZ-T1, Sony) を介して立体視で提示した.

3. 行動主体性と身体所有感の関係についての検討

3.1 実験参加者

十分な裸眼視力あるいは矯正視力を持つ右利きの健常者 15人 (女性 10人, 平均年齢 23.9 ± 1.4 歳) が下記の RHI 実験に参加した. 実験プロトコルは, 埼玉大学理工学研究科倫理委員会の承認を受けたものであり, ヘルシンキ宣言の内容を遵守している. また, 実験開始前に実験参加者全員からインフォームド・コンセントを得ている

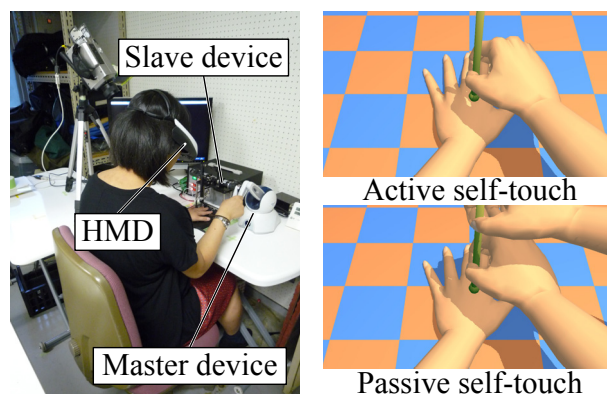


Fig.1 Experimental setup and visual information of virtual hands. Participants sit in front of the master-slave system and stimulate their hands viewing the virtual hands via an HMD.

3.2 実験方法と実験条件

本研究では、自己触刺激を能動的に与える場合と受動的に与える場合で RHI 実験を行った。能動的な場合には、実験参加者自身にマスタデバイスで 30 秒間のタッピング刺激を約 45BPM でバーチャルハンドに与えるよう指示し、受動的な場合には実験者主導で実験参加者の手とマスタデバイスを操作して同様の刺激提示を行った。この時、スレーブデバイスは 200mm 左側に置かれた実験参加者の左手に同期／非同期 (500ms の定常遅れを適用) で同じ刺激を与えた。能動的自己触刺激 (AST) / 受動的自己触刺激 (PST) と同期 (SYNC) / 非同期 (ASYNC) を組み合わせた 4 条件を、それぞれ 5 回ずつランダムに提示し、実験中は生活雑音などを遮断するために HMD のヘッドフォンを介して白色雑音を提示した。実験開始前にトレーニングセッションを行い、実験参加者には全ての条件を 1 回ずつ実際に体験してもらった。

3.3 評価方法

本実験において RHI / SRHI の有無の確認および行動主体性との関係を調査するために、各試行終了直後に RHI アンケートを実施した。実験参加者には、7 段階リッカート尺度を用いて下記の質問に対して、0 から 6 のスコア (0: I strongly disagree with the statement, 6: I strongly agree with the statement) を割り当てるように指示した。

- Q1: I felt as if virtual hand was my own left hand
- Q2: I felt like I was tapping my left hand
- Q3: The touch on my left hand matched the movements I made with my right hand
- Q4: I felt like my left hand was becoming bigger
- Q5: I couldn't feel my left hand
- Q6: I felt as if I had more than one left hand
- Q7: I felt my left hand was moving

上記のアンケートにおいて、Q1 と Q2 はバーチャルハンドの身体化と自己触刺激の感覚に関する項目で、それぞれ RHI と SRHI に対応する。また、Q3 は行動主体性 (sense of agency) に関わる項目で、その他の質問は被暗示性の影響を検証するためのコントロール項目として用いる。

3.4 統計解析

4 章で示す実験結果について、Shapiro-Wilk 検定で正規分布からのずれが検出されたため、本研究ではノンパラメトリック検定によりアンケート結果の解析を行った。まず Friedman 検定をそれぞれの項目に対してを行い、有意な効果が検出され項目においては、Bonferroi 法により補正された有意水準 α ($=0.05/4=0.0125$) で、両側の Wilcoxon 符号付順位和検定を用いて能動性と同期性についてさらなる解析を行った。また被暗示性の影響については、同期条件において得られたスコアを Bonferroi 法により補正された有意水準 α ($=0.05/7=0.0071$) で、両側の Wilcoxon 符号付順位和検定により解析した。

4. 実験結果と考察

4.1 RHI アンケート結果

図 2 に、RHI アンケート結果を示す。Friedman 検定の結果、錯覚と行動主体性に関わる 3 項目においてのみ有意な効果 (Q1: $\chi^2(3) = 20.39, p < .0001$; Q2: $\chi^2(3) = 31.71, p < .0001$, Q3: $\chi^2(3) = 33.41, p < .0001$) が得られた。これら 3 項目のスコアに対して両側の Wilcoxon 符号付順位和検定を行った結果、図 2 に示すように能動性と同期性の両方で有意差が得られた。ま

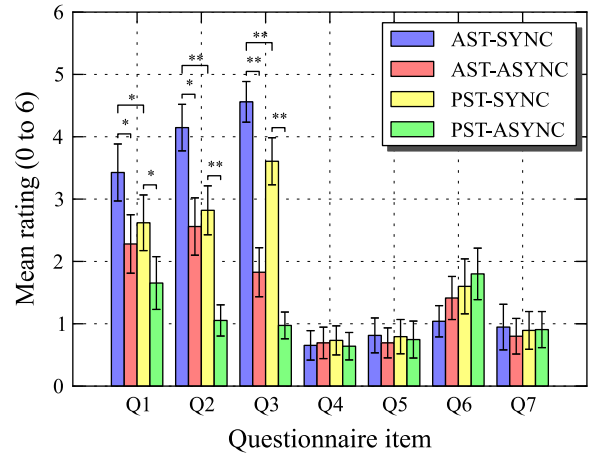


Fig.2 Results of the RHI questionnaire (*: $p < .05$, **: $p < .01$ after correcting for multiple comparisons with the Bonferroni method).

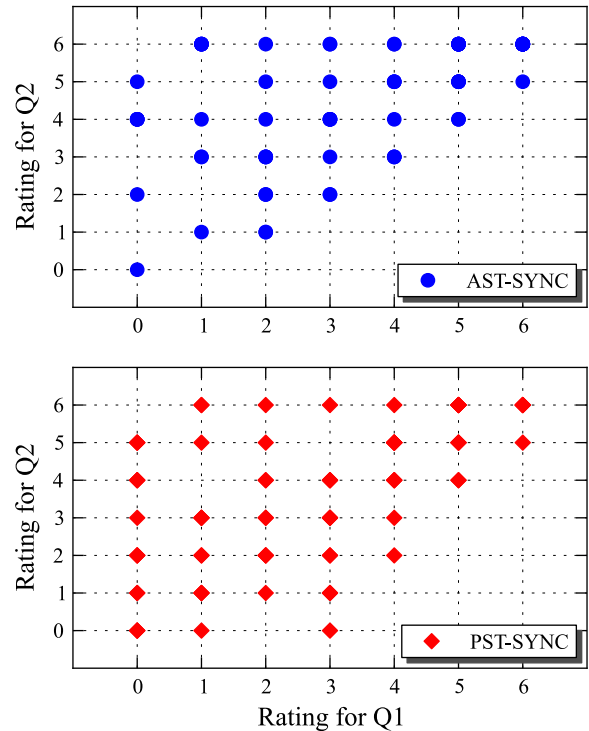


Fig.3 Relationship between the ratings for Q1 (related to the embodiment of the virtual hand, i.e., RHI) and Q3 (related to the sense of agency).

た被暗示性の影響の検証では、AST-SYNC での Q1, Q2, Q3 に対するスコアは他の質問に対するスコアよりも有意的に高いことが確認できた (all $p < .01$)。一方、PST-SYNC に関してはいくつかの比較において有意差を検出できなかった。以上の結果から、AST-SYNC と PST-SYNC ともに RHI と SRHI が生じており、また AST-SYNC においてより強い錯覚が生じていたことが示唆される。

4.2 行動主体性と RHI / SRHI の相関

図 3 に SYNC 条件における Q1 と Q3 のスコアの関係を示す。AST-SYNC と PST-SYNC のそれぞれにおいて Q1 と Q3 スコアの相関を調べた結果、両条件ともに正の相関 (AST-SYNC: $R = 0.5462, p < .0001$; PST-SYNC: $R = 0.5461, p < .0001$) があること

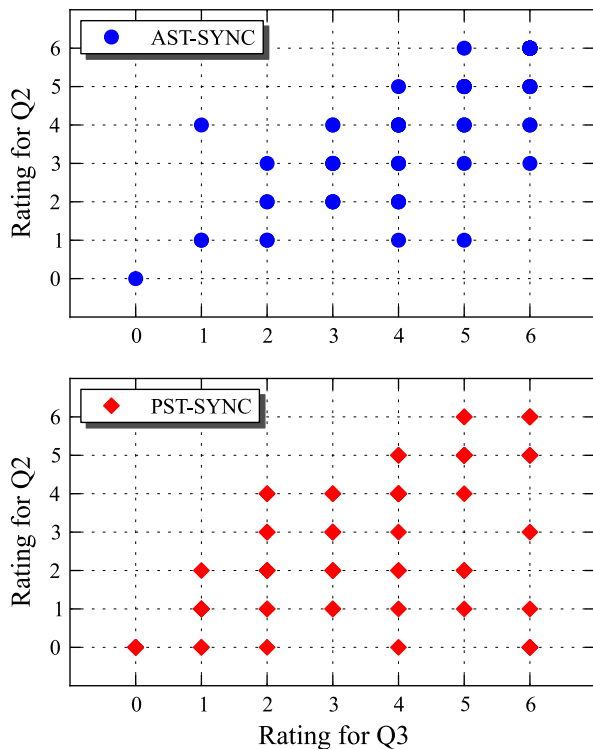


Fig.4 Relationship between the ratings for Q2 (related to the sense of illusory self-touch, i.e., SRHI) and Q3 (related to the sense of agency).

が確認できた。次に、SYNC条件におけるQ2とQ3のスコアの関係を図4に示す。Q1とQ3のスコアの関係と同様に、両条件において正の相関（AST-SYNC: $R = 0.8213$, $p < .0001$; PST-SYNC: $R = 0.5591$, $p < .0001$)が見られた。コントロール項目との比較ではいずれの条件においても有意な相関は得られなかった ($\text{all } p < .05$)。これらの結果から、主体的に刺激提示を行うとバーチャルハンドへの身体所有感の転移が強くなり、自己触刺激の感覚も大きくなることが示唆される。また相関係数 R からわかるように、RHIに対してはASTとPSTの間で相関の強さに違いは見られなかったが、SRHIに対してはASTにおいてより強い相関が見られた。このことから、PSTのように刺激提示の主導権が一部他者に移った場合においても、RHIとの相関関係は変わらないことが示唆される。

5. 考察とまとめ

本研究では、アクティブセルフタッチの導入により、行動主体性がRHI（バーチャルハンドの身体化）やSRHI（自己触刺激の感覚）に及ぼす影響についての議論を可能にした。アクティブセルフタッチを用いたRHI/SRHI実験の結果、行動主体性の強さとこれらの錯覚現象の間には相関があることを示した。今回の実験で用いたPST条件では、動作の主体性の一部が実験参加者に残っているが、今後はBotvinickとCohennらの手法[4]で刺激提示を行い、行動主体性を実験参加者から完全に排除した状態でも検討を行う予定である。

6. 謝辞

本研究は、平成26年度独立行政法人日本学術振興会科学研究費若手研究(A)(26700027)の援助を受けて行われたもの

である。ここに感謝の意を表す。

文献

- [1] Botvinick, M. and Cohen, J., "Rubber hands 'feel' touch that eyes see," *Nature*, vol.391, pp.756, 1998.
- [2] Ehrsson, H. H., Holmes, N. P. and R. E. Passingham, "Touching a rubber hand: Feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas," *Journal of Neuroscience*, vol.25, no.45, pp.10564-10573, 2005.
- [3] Lenggenhager, B., Tadi, T., Metzinger, T., and Blanke, O., "Video Ergo Sum: Manipulating Bodily Self-Consciousness," *Science*, vol.317, no.5841, pp.1096-1099, 2007.
- [4] Hara, M., Rognini, G., Evans, N., Blanke, O., Yamamoto, A., Bleuler, H., and Higuchi, T., "A Novel Approach to the Manipulation of Body-Parts Ownership Using a Bilateral Master-Slave System," *Procs. of IROS'11*, pp. 4664-4669, 2011.
- [5] Hara, M., Salomon, R., van der Zwaag, W., Kober, T., Rognini, G., Nabae, H., Yamamoto, A., Blanke, O., and Higuchi, T., "A novel manipulation method of human body ownership using a fMRI-compatible master-slave system," *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 235, pp. 25-34, 2014.
- [6] Blanke, O., Pozeg, P., Hara, M., Heydrich, L., Serino, A., Yamamoto, A., Higuchi, T., Salomon, R., Seeck, M., Landis, T., Arzy, S., Herbelin, B., Bleuler, H., and Rognini, G., "Neurological and robot-controlled induction of an apparition," *Current Biology*, vol. 24, pp. 2681-2686, 2014.