

# 手姿勢の変化に基づく体性感覚がラバーハンド錯覚に与える影響

○辻 琢真 (東大), 山川 博司 (東大), 山下 淳 (東大), 高草木 薫 (旭川医科大)  
前田 貴記 (慶應大), 加藤 元一郎 (慶應大), 岡 敬之 (東大), 浅間 一 (東大)

## Effect of Somatosensory Change of Hand Posture in Rubber Hand Illusion

○Takuma TSUJI (The University of Tokyo), Hiroshi YAMAKAWA (The University of Tokyo)  
Atsushi YAMASHITA (The University of Tokyo), Kaoru TAKAKUSAKI (Asahikawa Medical University)  
Takaki MAEDA (Keio University), Motoichiro KATO (Keio University)  
Hiroyuki OKA (The University of Tokyo), and Hajime ASAMA (The University of Tokyo)

**Abstract:** Recently, the rubber hand illusion (RHI), which is one of phenomena that the sense of ownership (SOO) is extended to the objects over the external area, attracts much attention to explain the brain mechanism of self body cognition of human. In this study, both a real hand and a fake one, which are normally static during the experiment, are rotated continuously in order to examine the effect of somatosensory change of hand posture in RHI. As a result, it is suggested that we have the SOO only if the posture change of both hands corresponds.

### 1. はじめに

近年, 科学技術の著しい発展に伴い, バーチャルリアリティやハプティックデバイスなどに関する研究・開発が活況を呈している. 将来的に, これら複合現実感システムを我々の日常により浸透させるためには, 対象との優れたインタフェース設計が重要であり, 且つ不可欠である. この課題を解決するために, 昨今では, ヒトの脳機能や身体機能を工学的な側面からモデル化する研究が盛んに行われている. 特に, 自身の身体認知における脳内メカニズムは未開の領域が多く, これまでに様々な研究が実施されているが, 未だそのメカニズムの解明には至っていない.

身体の認知において, 自己の身体に対する認知は Jeannerod によると身体所有感 (SOO: Sense of ownership) に分類され[1], 身体に関わる複数の内部情報 (視覚・触覚などの感覚情報) が脳内で同時に結合・処理されることによって生じるとされる[2]. これらのメカニズムを明らかにするために, 身体所有感が外界の対象に拡張する現象の 1 つとして知られるラバーハンド錯覚 (RHI: Rubber hand illusion) に関する研究が注目を集めている. これは, Fig. 1 に示すように, 視界から隠された本物の手と, 目の前に置かれたラバー (フェイク) ハンドに絵筆などで一定時間 (約 2~20 分程度) の時間的・空間的に同期した触刺激を与え続けると, 次第にラバーハンド上に触刺激を知覚するようになる錯覚現象である[3]. この現象は, Botvinick らによって発表されて以来, 数多くの研究者によって追試実験やより詳細な検証が行われており, 昨今では RHI の生起条件として, 視覚刺激と触刺激の同期性, 及びラバーハン



**Fig. 1** Experimental condition for the RHI experiment. The left hand in the figure is fake, which is visible from the subject, and the right one is real, which is hidden from the subject.

ドと本物の手の形態的な類似性の 2 点が特に重要であることが多数の論文などで示唆されている[4][5]. しかし, それらの大部分は身体所有感が外部に拡張するための諸条件の究明に焦点を当てており, その生起メカニズムのモデル化を図る研究は少ない.

本研究では, 視覚情報・触覚情報に加えて手姿勢の変化に基づく体性感覚の 3 情報の同期を入力情報としたときの RHI に対する影響について調査し, RHI における生起メカニズムの検討を目標とする.

### 2. RHI と体性感覚

#### 2.1 RHI 生起時における体性感覚の鈍化

体性感覚とは, 位置覚や温度覚, 触覚, 痛覚などの感覚のことを指す. 先行研究の中に, RHI 生起時にお

いて、体性感覚に比べて視覚情報などの他の感覚情報が優位に作用することを示唆する研究がいくつかある。Botvinickらは、RHI生起前と生起後では、自身の手の位置をフェイクハンドの方向にずれて知覚するようになることを報告している [3]。また、Kanayaらは、RHI生起時において、ラバーハンドには氷を、自身の手には同形状のプラスチックブロックを触れさせたところ、実際のプラスチックブロックの温度に比べてより低い温度を知覚するようになることを報告している[6]。加えて筆者らは、RHI生起時において、ラバーハンドには一点の圧刺激を、自身の手には二点の圧刺激を与えたところ、二点刺激を一点刺激のように知覚するようになることを報告している[7]。これらはいずれも、RHIの生起時に自身の身体認知に関して視覚情報が優位に作用し、体性感覚の鈍化が起こっていると解釈することができると考えられる。

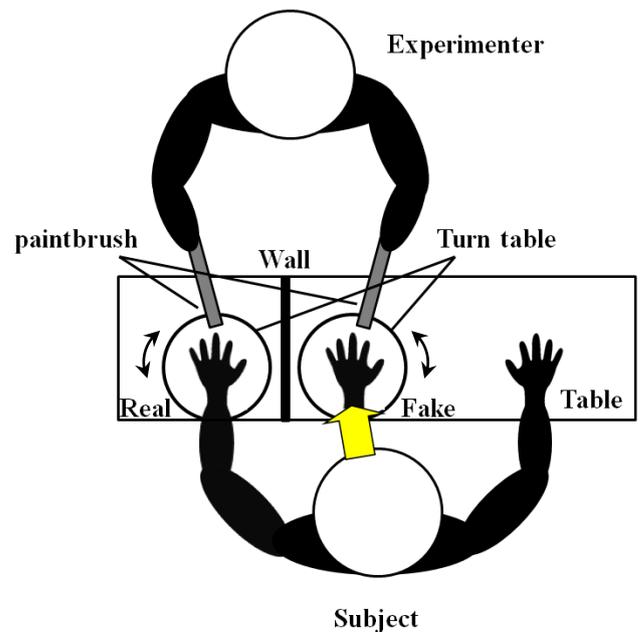
## 2.2 位置覚に基づく本研究のアプローチ

本研究では、上述のように「RHI生起時は視覚情報が優位に作用し、体性感覚の鈍化が起こる」という仮説のもとに、手姿勢の変化によって体性感覚の1つである位置覚に生じる変化がRHIに与える影響について調査する。具体的には、通常のRHI実験では位置が固定されている実際の手とフェイクハンドを実験中に回転させることで、体性感覚に意図的に変化を生じさせる。先に述べた仮説が正しければ、各々の回転角に誤差を設けた場合、自身の手の回転角に比べて、フェイクハンドの回転角を実際の回転角であると錯覚することが予想される。一方、自身の手、又はフェイクハンドのいずれか一方のみを回転させた場合など、視覚情報と体性感覚に明らかな不一致が生じる場合、RHI感覚が低下するのではないかと予想される。

本研究と関連した研究として、Ehrssonらは、実際の手姿勢に対してフェイクハンドを180°回転させたときのRHIへの影響についての調査を行っている[8]。その結果、通常時に比べてRHI感覚が低下したと報告している。しかし、この研究では実際の手とフェイクハンドの両方があらかじめ定められた位置に固定されており、体性感覚の変化とRHIについての関連性は詳しくわかっていない。

## 3. 検証方法

先に述べた予想は、実際の手とフェイクハンドの回転動作に一定の同調感が得られる場合は、RHI感覚が増加して視覚情報が体性感覚に比べて優位に作用するが、同調感が得られない場合は、返ってRHI感覚を低下させるのではないかとこのものであるが、これを本研究では「RHI感覚が大きければ手の位置に対する位

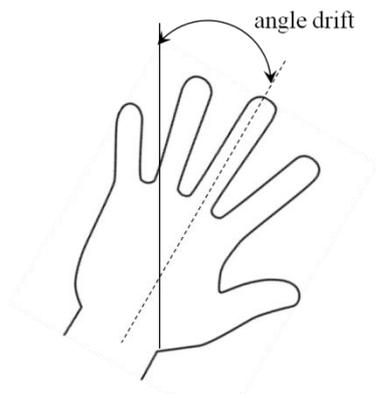


**Fig. 2 Overview of the experiment. Subject's own hand is set at left side of the wall, and a fake one is set at right side. Both hands are on turn table. Subject cannot see an own hand directly.**

置覚が鈍化する」ととらえるものとする。つまり、実際の手と知覚される手の角度との変化量を指標として、実際の手と知覚される手の回転角をフェイクハンドの回転角に近い角度であると知覚するほどRHI感覚が強固であるという仮定のもとで仮説の検証を試みる。

検証の手順は以下の通りである。まず始めに、コントロール条件として、視覚情報を何も与えない状態で自身の手が置かれている角度を報告してもらう実験を実施して、位置覚の分解能を計測する。次に、両方の手を回転させながら絵筆で同期した触刺激を与え、各々が一定の位置まで回転したところで実際の手が置かれている角度を報告してもらう実験を実施する。尚、この実験では、角度の変化量を計測するため、実際の手とフェイクハンドの回転角に意図的に誤差を設けて実施する。加えて、フェイクハンドの位置を固定し、実際の手のみを回転させながら絵筆で同期した触刺激を与え、実際の手が一定の位置まで回転したところで実際の手が置かれている角度を報告してもらう実験を実施する。

実験環境を俯瞰した様子を Fig. 2 に示す。衝立の左側に被験者の左手を、右側にフェイクハンドを本物の手と同姿勢で設置し、被験者が本物の手を見ることができない環境を作る。被験者がフェイクハンドのみに視線を集中させている間、実験者が絵筆を用いて双方の手に同期した触刺激を与えるものとする。



**Fig. 3 Method of measuring angle drift of hand posture.**

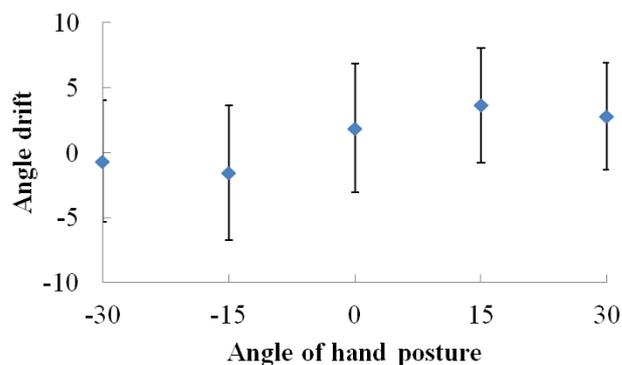
#### 4. 検証結果

3名の被験者の協力のもと、仮説の検証実験を実施した(平均年齢25.0歳, レンジ24-26歳, 男性3名). また, 3名の被験者は実験の目的に関して事前知識を有さなかった. また, 本実験は東京大学医学部倫理委員会の承認と, 被験者全員のインフォームド・コンセントを得て実施された. 尚, 被験者の利き手の違いによるRHI生起への影響はないという報告から[9], 今回の実験は左手による計測に統一した.

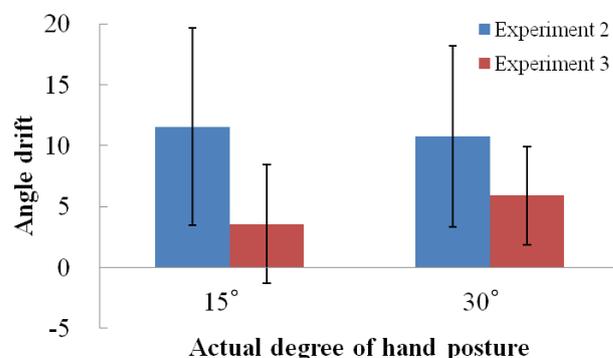
始めに, 位置覚の分解能を調べた実験の結果について述べる. 今回の実験では, 手を正面向きに設置した角度を $0^\circ$ と定め,  $-30^\circ$ から $30^\circ$ まで $15^\circ$ 刻みに5段階に角度を変化させた. 但し, これらの値は実験中被験者には一切伝えていない. 今回, これらの値を定めた理由は, 身体的な制約から手首の屈折だけで $\pm 30^\circ$ 以上の回転角を得ることが困難だったためである.

被験者には, Fig. 3のように手の甲の中心と中指の先端を結ぶ線分が, 正面向きの状態から時計回りを正としてどれだけ回転したと感じたかを $1^\circ$ 単位で答えてもらい, 正值も同様に計測した. 但し, 被験者の目の前には分度器を設置し,  $1^\circ$ 刻みで角度が視認できるように整えている. 被験者全員分の結果をまとめて Fig. 4に示す. 結果, 各々の平均角度誤差は $\pm 5^\circ$ 以内に留まることが確認された.

次に, 両方の手に角度誤差を与えて回転させた実験の結果について述べる. 今回の実験では, フェイクハンドを $30^\circ$ , 又は $45^\circ$ 回転させたときに, 本物の手は各々約 $15^\circ$ ずつ少ない角度だけ回転させて実施した. また, 被験者には合図の後で手の角度をできる限り即答するように指示した. これは, 合図から時間をかけて鈍化していると考えられる体性感覚の再活性化を防ぐためである. 両者の回転は市販のターンテーブルを改良したものを用いて, 約2分かけて所望の角度まで緩やかに回転するように設計した. この間, 実験者が被



**Fig. 4 Result of control experiment of all the subjects. Vertical axis indicates angle drift and horizontal axis shows angle of hand posture. Error bars show standard error of the mean (SEM).**



**Fig. 5 Result of control experiment 2 and 3 of all the subjects. Vertical axis indicates angle drift and horizontal axis shows angle of hand posture. Blue bars show the result of experiment 2 and red bars show that of experiment 3. Error bars show standard error of the mean (SEM).**

験者の本物の手, 及びフェイクハンドの双方に絵筆を用いて同期した触刺激を与えている. 被験者全員分の結果を Fig. 5にまとめて示す. 1つ目の実験と比べて, 実際の手の回転角に比べて平均して $10^\circ$ 以上の角度誤差があり, フェイクハンドの回転角に近い値を回答していることが確認された.

最後に, 実際の手のみを回転させた実験の結果について述べる. 今回の実験では, 2つ目の実験における実際の回転角と同様, 回転角を $15^\circ$ , 又は $30^\circ$ に定めた. 両者の回転は2つ目の実験で使用したターンテーブルを用いた. 被験者全員分の結果を Fig. 5に2つ目の実験結果に重ねて示す. 2つ目の実験に比べて誤差は2分の1以下になり, 各々の平均角度誤差は大凡 $\pm 5^\circ$ 以内に留まることが確認された.

## 5. 考察

実験結果において、位置覚の分解能を調べた実験と両方の手に角度誤差を与えて回転させた実験の結果を比べると、知覚した角度の変化量が4倍以上に増加し、フェイクハンドの回転角に近づくことがわかった。従ってこの結果は、RHI 生起時において、視覚情報が優位に作用し、自身の手の回転角に比べて、フェイクハンドの回転角を実際の回転角であると錯覚するという予想が正しいことを示している。これまでにも、RHI の生起において、触覚情報に比べて視覚情報が優位に作用するという報告はいくつかの論文でなされているが[10][11]、本研究から、視覚情報は位置覚と比べてもより優位に働くことが示唆された。

次に、両方の手に角度誤差を与えて回転させた実験と実際の手のみを回転させた実験の結果を比べると、後者における角度の変化量は前者の2分の1以下に減少しており、位置覚の分解能とほぼ同じ数値に近づくことがわかった。すなわち、視覚情報と体性感覚の明らかな不一致から RHI 感覚が低下し、鈍化していた体性感覚が再び活性化するという予想が正しいことを示している。

これらの結果は、いずれも「RHI 生起時は視覚情報が優位に作用し、体性感覚の鈍化が起こる」という仮説を支持する結果であり、RHI 生起のメカニズムの一端として、体性感覚の鈍化が重要になる可能性を示唆するとも考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、通常の RHI 実験では位置が固定されている自身の手とフェイクハンドの双方をターンテーブルで回転させることによって生じる位置覚の変化が RHI に与える影響について調査した。その結果、両者の回転動作に一定の同調感が得られる場合は、各々の回転角に誤差を設けた場合でもその誤差を知覚することはなく、視野にあるフェイクハンドの回転角を実際の回転角として認知する傾向を確認した。また、フェイクハンドは固定した状態で、自身の手のみを回転させた場合は、視覚情報と体性感覚の明らかな不一致から RHI 感覚が低下し、実際の回転角に近い角度を知覚する傾向にある可能性が示唆された。

身体所有感における脳内メカニズムに関する研究は、先に述べたように、工学的な側面のみならず、医学分野や心理・哲学分野等の他分野からの注目も多く、幅広い応用性を有する。今後の本研究においては、引き続き RHI における脳内メカニズムのモデル化を目指し、ヒトの身体認知に関わる脳機能解明の一助としたい。

## 謝辞

本研究は、科研費基盤研究(B)24300198の一部として実施されたものである。

## 参考文献

- [1] Jeannerod, M., "The Mechanism of Self-Recognition in Humans", *Behavioural Brain Research*, Vol. 142, pp. 1-15, (2003)
- [2] Gallagher, S., "Philosophical Conceptions of the Self: Implications for Cognitive Science", *Trends in Cognitive Science*, Vol. 4, pp. 14-21, (2000)
- [3] Botvinick, M. & Cohen, J., "Rubber Hands 'Feel' Touch that Eyes See", *Nature*, Vol. 391, 756, (1998)
- [4] Armel, K. C., & Ramachandran, V. S., "Projecting Sensations to External Objects: Evidence from Skin Conductance Response", *Proceedings of the Royal Society: Biological Sciences*, Vol. 70, pp. 1499-1506, (2003)
- [5] Tsakiris, M. & Haggard, P., "The Rubber Hand Illusion Revisited: Visuotactile Integration and Self Attribution", *Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance*, Vol. 31, pp. 80-91, (2005)
- [6] Kanaya, S., Matsuyama, Y. and Yokosawa, K., "Does Seeing Ice Really Cold? Visual-Thermal Interaction Under an Illusory Body-Ownership", *PLoS ONE*, (2013)
- [7] 辻 琢真, 山川 博司, 山下 淳, 高草木 薫, 前田 貴記, 加藤 元一郎, 岡 敬之, 浅間 一, "ラバーハンド錯覚における錯覚生起時間測定手法の提案", *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'13 講演論文集*, 2A1-I03, (2013)
- [8] Ehrsson, H. H., Spence, C., & Passingham, R. E., "That's my Hand! Activity in Premotor Cortex Reflects Feeling of Ownership of a Limb", *Science*, Vol. 305, pp. 875-877, (2004)
- [9] Haans, A., IJsselstein, W. A., & de Kort, Y. A. W., "The Effect of Similarities in Skin Texture and Hand Shape on Perceived Ownership of a Fake Limb", *Body Image*, Vol. 5, pp. 389-394, (2008)
- [10] Durgin, F. H., Evans, L., Dunphy, N., Klostermann, S., & Simmons, K., "Rubber Hands Feel the Touch of Light", *Psychological Science*, Vol. 18, pp. 152-157, (2007)
- [11] Honma, M., Koyama, S., & Osada, Y., "Double Tactile Sensations Evoked by a Single Visual Stimulus on a Rubber Hand", *Neuroscience Research*, Vol. 65, pp. 307-311, (2009)