

ラバーハンドイリュージョンによる身体感覚の延長を 脳活動と筋電から見る

Rubber hand illusion - extension of physical sensation, analyzed by EMG and EEG

上田 拓弥*¹
Takuya Ueda

工藤 卓*¹
Suguru N. Kudoh

*¹関西学院大学

School of Science and Technology, Kwansai Gakuin University

The rubber hand illusion (RHI) is well-known phenomenon, that the sense of ownership is extended over to the external objects in external area, is a good experimental model to understand the characteristic of somatosensory ownership. In this study, we made an extended rubber hand with variable length of arm, and elucidated the relationships between strength of RHI and the length of the arm. To quantify the objective strength of RHI, electromyogram (EMG) during avoiding action induced by the attack to the rubber hand. In addition, electroencephalogram (EEG) was also recorded simultaneously, revealing that without recognized RHI, tension of muscle and related EEG signal was often observed. It suggested that RHI is often unconsciously recognized.

1. はじめに

近年 VR (Virtual Reality) を利用したヒューマンマシン・インターフェースの研究が盛んである。医療の分野では VR 技術による手術シミュレーションが注目されているが、最近では脳卒中患者のリハビリも VR 技術を用いて行われる例もある。このように VR 技術が医療の世界で大きな注目を集めている。一方、身体的感覚が外界の物体へ寄託されるというラバーハンドイリュージョン (Rubber hand illusion, RHI) [Botvinick 98] は機械の遠隔操作への応用などが考えられている。例えば、没入型 VR を用いて身体感覚を延長する研究が行われており、自身の手の長さの 4 倍もの腕の長さがあるラバーハンドを自身の手と感ずる現象が報告されている [Konstantina 12]。しかし、没入型 VR を用いずに複数の感覚刺激の同期による RHI により、身体的感覚を延長させることについて、脳活動との関係性を明らかにした報告はない。RHI においては、ラバーハンドの身体に対する方向によって RHI の強さが変化するなど [Ehrsson 04]、視覚刺激の影響が大きいことから、視覚刺激は自身の身体感覚が及ぶ距離に影響を与える重要な要素であると考えられる。本研究では RHI の強度を EMG を指標として定量化し、また RHI に伴う身体感覚の延長を脳波特徴を指標として定量化し、身体感覚延長のための最適条件を探究する。

2. 実験手法

2.1 実験装置

視覚効果による身体感覚の延長を目的として RHI を誘導するために延長ラバーハンドを作成した。延長ラバーハンドは布で筒を作ってアーム部とし、その先にラバーハンドを取り付けたものである。また、本身から離れた位置にある延長ラバーハンドと実際の手の両方に同時に刺激を与えるために MindstormNXT を用いて接触刺激装置を作成した。RHI 発現中、頭頂部の EEG 帯域において電極間の同期性が強くなることから [Kanayama 09]、脳波計 (Active Two, Biosemi) を用いて実験中の脳波を測定し、視覚的アナログ尺度による主



図 1: 延長ラバーハンド装着例。

観評価の RHI 強度 (RHI スコア) と相関のある脳波活動を同定することを試みた。筋緊張の計測から RHI の客観的検証を行った報告があるので [Tsuji 15]、本研究においても客観的評価として筋電計測も行った (図 1)

2.2 実験タスク

全ての実験は「関西学院大学「人を対象とする医学系研究」倫理規程に従い、倫理委員会の承認に元に行った。実験参加者の腕の長さを計測したあと、椅子に座ってもらい、延長ラバーハンドを装着した。ラバーハンドの位置は自身の胸の位置から計測した特定の位置に置いた。脳波計測と同時に、ラバーハンドを注視するよう指示し、刺激装置により本身の手とラバーハンドに同時に刺激を与えて RHI を誘導した。充分 RHI を知覚したことを確認した後、ラバーハンドにハンマーで打撃を与え、このときの筋電を計測した。実験終了後には作成した内観報告書に回答してもらい、RHI 発現の確認を行った。短い距離で RHI が誘導されたことを確認した後、ラバーハンドの位置を被験者から離して再度 RHI を誘導し、以下、アーム部を順次延長して繰り返し RHI を誘導した。RHI が誘導されな

連絡先: 上田拓弥, 関西学院大学理工学部科神経知能工学研究室, 兵庫県三田市学園 2-1, 079-565-7244, frz02670@kwansei.ac.jp

くなる距離を加算平均し、身体的感覚延長の限界域を見積もった。脳波計測は小型脳波計（Active Two システム, Biosemi）を用い、国際式 10 - 20 法により、前頭部位を中心に 16 か所から行った。筋電は外部電極を使用して橈側手根屈筋から脳波計により計測した。筋電・脳波計測には、脳波電極と耳朶に設置した基準電極との電位差を計測する単極誘導法を用いた。

3. 結果・考察

全 RH 距離と内観報告スコア（RHI スコア）の間に明確な関係性はなかったが、RH 距離 100 cm までに限ると RH 距離が長い方が内観スコアも高く、線形的な関係が確認された（図 2）。これは RH 距離が長い方がかえって RHI を強く自覚する傾向を示す。100 cm 以上になると N の数が少なくなり、RHI スコアが大きければつくため、その関係性は不明瞭である。実験において RH 距離が 200 cm まで RHI が知覚されることが内観報告にて確認された。これは胸部から約 2 m の距離であり、腕の長さの約 4 倍にあたる。また、特に定周期タスクにおいて RH 距離が 100 cm において内観報告スコアが高く、延長ラバーハンドにおいても身体性の拡張があったと示唆される。脳波相関は RHI の自覚者と非自覚者で有意差があった（図 3）。また、脳波計測特徴 C3 と C4 の脳波の相関係数を計測した（C3-C4 脳波相関）。C3-C4 脳波相関と内観報告スコアには正の相関があり、RHI の指標として有用である。筋電も内観スコアと正の相関があり、RHI を感じていると自覚するほど回避行動も強くなることが示された。特に RHI スコアが 7 の場合は大変強い回避行動が発現した。興味深いことに内観で RHI を感じていないと回答した実験参加者でも筋電は強い回避行動を示し、なおかつ脳波の相関係数も高い場合があり（N=2）、本人が自覚せずとも体が RHI に反応している事例があった。

ラバーハンドを順次延長していき、RHI の発現がみられなくなった後に、RHI 発現が確認された長さに戻しても、RHI を感じなくなることが内観報告から確認された。眠気や長時間椅子に座り続けるストレスなどによる RHI への集中ができなくなっていることが大きく影響していると考えられる。RHI を発現させる上で、RHI に集中することができる環境が重要である。

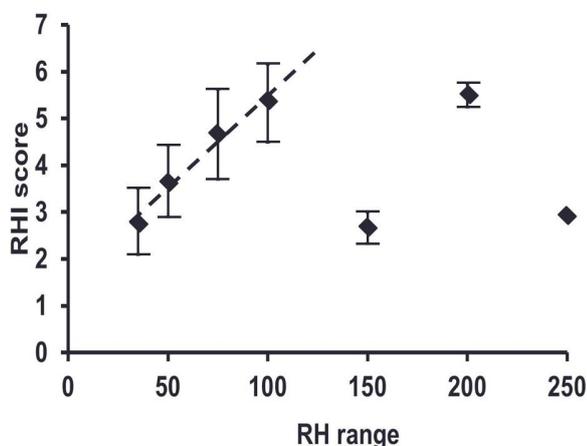


図 2: RH 距離別内観報告スコア。

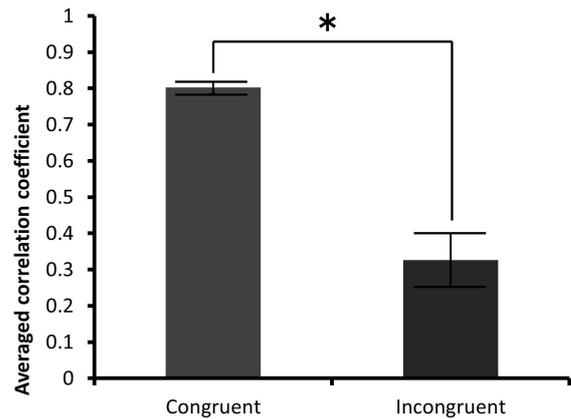


図 3: 自覚有無別の脳波 C3-C4 の相関係数。

4. 結論

RH 距離 100 cm までは RH 距離が長い方が内観スコアも高く、線形的な関係が確認され、一定の距離までは RH 距離が長い方が RHI を強く自覚する傾向が示された。実験において RH 距離が 200 cm まで RHI が知覚される例が内観報告にて確認された。これは本来の腕の長さの約 4 倍にあたり、延長ラバーハンドにおいても身体性の拡張があったと示唆された。脳波計測結果から、C3-C4 の脳波相関と内観報告スコアには正の相関があり、RHI の指標として有用であることが示唆された。また筋電計測では、RHI 発現者と非発現者の間で振幅積算値の差が大きく、RHI の指標として明確であった。RHI を感じないと内観にて報告するもので筋電の値が高いものがあり、さらに脳波計測においても RHI 発現者と同じく相関値が高い場合があった。無意識に RHI が発現し、身体感覚が延長される場合があることが示唆された。

参考文献

- [Botvinick 98] Botvinick, M. and Cohen, J.: Rubber hands 'feel' touch that eyes see, *Nature*, Vol. 391, No. 6669, p. 756 (1998)
- [Ehrsson 04] Ehrsson, H., Spence, H., and Passingham, C.: "That 's my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb, *Science*, Vol. 305, No. 5685, pp. 876-877 (2004)
- [Kanayama 09] Kanayama, N., Sato, A., and Ohira, H.: The role of gamma band oscillations and synchrony on rubber hand illusion and crossmodal integration, *Brain and Cognition*, No. 169, pp. 19-29 (2009)
- [Konstantina 12] Konstantina, K., Normand, J., and Maria, V.: "Extending Body Space in Immersive Virtual Reality:A Very Long Arm Illu- sion, *PLoSone*, Vol. 7, No. 7, p. e40867 (2012)
- [Tsuji 15] Tsuji, T. and Hamasaki, S.: Analysis of Electromyography and Skin Conductance Response during Rubber Hand Illusion, *J-STAGE*, Vol. 51, No. 6, pp. 440-447 (2015)