

VR アバターに対するフルボディ錯覚生起時の脳活動計測 Neural activity during a full-body illusion towards a VR avatar

肥後 克己[†], 大塚 一輝[†], 嶋田 総太郎[†]
Katsuki Higo, Itsuki Ohtsuka, Sotaro Shimada

[†] 明治大学
[†] Meiji University
higok@meiji.ac.jp

概要

自身の身体が自分のものであるという感覚は身体所有感と呼ばれるが、その生起に関わる神経活動についてはわかっていない。本研究では、視覚的・触覚的に整合性のとれた刺激によってフルボディ錯覚を生起させた後、視覚刺激のみを与えて感覚間に不整合を生じさせた際の脳活動を計測した。結果として感覚間に不整合が生じた際に、左運動前野の活動が認められた。この結果は、運動前野が自己身体に関わる感覚間のずれを補正し、自己身体とそれ以外の間の境界を設定する働きを持つ可能性を示唆している。

キーワード: 身体所有感, フルボディ錯覚, NIRS (sense of ownership, full-body illusion, NIRS)

1. はじめに

私たちが普段当たり前のように感じている、自分の身体は自分のものであるという感覚は、身体所有感と呼ばれる。この感覚は一見確固たるものに思えるが、容易に変化することが知られている。その代表的な例がラバーハンド錯覚やフルボディ錯覚である。ラバーハンド錯覚は、作り物の腕と本物の腕に同時に視覚的・触覚的な刺激を与えた際に、作り物の腕を自身の身体の一部のように感じる現象である[1]。同様に、フルボディ錯覚はマネキンやバーチャルリアリティ (VR) 空間上のアバターに対して身体所有感が生起する現象である[2, 3]。

身体所有感に関する脳機能の研究も行われており、Ehrssonらは、ラバーハンド錯覚において、腹側運動前野は視覚情報と体性感覚情報の照合に関わるとしている[4]。フルボディ錯覚でも運動前野の活動は報告されており[5, 6, 7]、これらの研究では運動前野は、各身体部位の統合に関連するとされている。また、Iontaらは、フルボディ錯覚の生起時に側頭頭頂接合部 (Temporo-Parietal Junction, TPJ) の活動が見られることを報告し、これを自己位置のコーディングを反映するものとしている[8]。しかし自己位置のコーディングが不要なラバーハンド錯覚にも TPJ は関与することが知られている[9]。Tsakirisらは、TPJは視覚情報と体性感覚情報を統合し、身体イメージを生成する部位として

いるが、一方でWoldらは、情報の統合は有線外皮質身体領域 (Extrastriate Body Area, EBA) でも起こるとしている[10]。

このように、身体所有感の生起には運動前野や頭頂葉などの働きが重要であることはわかっているが、それぞれがどのような役割を持つのかについての統一的な見解は得られていない。身体所有感を支える神経基盤を検討するためには、錯覚が生起している間の脳活動だけではなく、呈示する刺激を変化させた際にそれらが受ける影響も併せて検討することが有効であると考えられる。そこで本実験では、視覚と触覚に時間的に同期した刺激を与え、VRアバターに対してフルボディ錯覚を生起させた後、視覚刺激のみを呈示することで視覚情報と触覚情報に不整合を生じさせた際の脳活動を計測した。

2. 方法

実験参加者

18名の健康な男性 (21.6±1.21歳 平均年齢±標準偏差) が実験に参加した。実験参加者には、実験前に概要や注意事項を説明し、参加同意書に署名してもらった。

手続き

実験参加者への刺激の呈示には、ヘッドマウントディスプレイ (HMD, HTC VIVE, HTC Corporation, Taiwan, 画面解像度 2160×1200, 視野角 110°, リフレッシュレート 90 Hz) を用いた。HMDにはアバターが背中を向けた状態で表示された。この状態で、VR空間上のアバターと実験参加者の背中を同時にペンで撫で、フルボディ錯覚を生起させた (同期条件)。比較のため、実験参加者を撫でるタイミングとアバターを撫でるタイミングに 700ms の遅延を挿入し、フルボディ錯覚が生起しない条件 (非同期条件) も行った。刺激呈示は 4 分間であった。ここまでする Session 1 とする。

次に、Session 2 として、実験参加者の背中には撫でずに、アバターの背中を撫でる様子だけを見せた。これは、フルボディ錯覚が生起した (していない) 状態で、

視覚と触覚の間にずれを検出した際の脳活動を計測するためである。アバターの背中だけを撫でる視覚刺激は、1回10秒間、間に10秒のレストを挟んで3回呈示した。

これらの刺激呈示中の左右の頭頂から側頭周辺を含む領域の脳活動を、近赤外分光法計測装置 (Near-Infrared Spectroscopy, NIRS, OMM-3000, 島津製作所) を用いて計測した。刺激提示終了後、実験参加者には、Session 1 の身体所有感に関するアンケートへの回答を求めた。アンケートは「1. アバターの背中がペンで触れられている位置に自分の触覚を感じた」「2. アバターの背中を触っているペンで自分の背中が触られているように感じた」「アバターが自分の身体であるかのように感じた」の3項目であった。

NIRS データ分析

[Session1] 刺激呈示期間である4分間を60秒ごとに4区間(t1~t4)にわけ、0.1秒あたりの平均OxyHb濃度を条件毎に比較した。

[Session2] 一般線形モデルを用いて、実験デザインとガウス関数から作成したモデルへのフィッティングを示すt値を算出し、条件毎に比較した。

3D磁気デジタイザ (Fastrak, Polhemus, USA) を用いてプローブの位置を記録し、確率的空間レジストレーション法を用いて各チャンネル位置をMNI空間座標に変換し[11]、ShattuckらのLBPA40に基づいて解剖学的部位を推定した[12]。同じ解剖学的部位に含まれるチャンネルのOxyHb濃度(Session 1)もしくはt値(Session 2)の値を平均し、その部位の脳活動の指標として用いた。

分析にはウィルコクソンの符号付順位検定を用いた。チャンネル数に応じた多重比較補正には、Benjamini-Hochberg法によるFDR補正を用いた。

3. 結果

アンケート

アンケート項目に対してウィルコクソンの符号付順位検定を行ったところ、全ての項目で、条件間に有意な差が認められた(Q.1: $Z=2.78, p=0.005$; Q.2: $Z=2.32, p=0.020$; Q.3: $Z=2.535, p=0.011$)。

NIRS

[Session 1] t2区間 (Session 1 の61秒~120秒の区間) で、左中後頭回において、非同期条件よりも同期条件

で有意に高い脳活動が認められた ($Z=2.19, p=0.003$, 図1)。

[Session 2] 左中心前回において、非同期条件よりも同期条件で有意に高い脳活動が認められた ($Z=3.34, p<0.001$, 図2)。

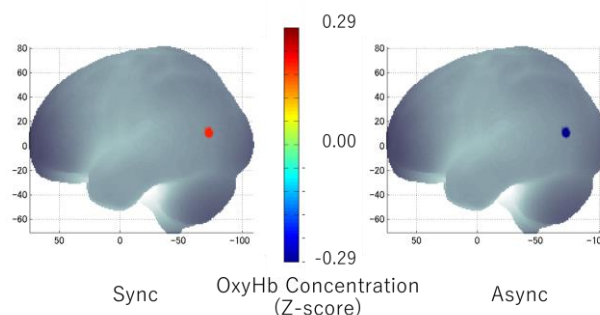


図1 Session 1における左中後頭回の活動
(MNI座標: $X=-58, Y=-72, Z=11$)

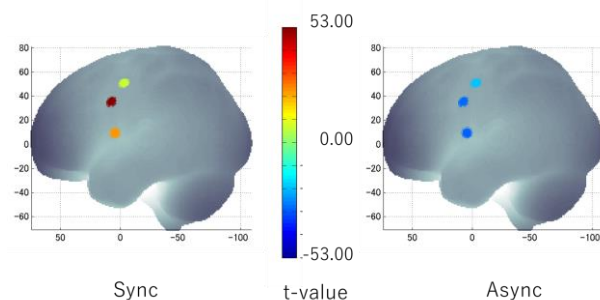


図2 Session 2における左中心前回の活動
(MNI座標 (上から): $X=-55, Y=-3, Z=51$;
 $X=-60, Y=8, Z=35$; $X=-64, Y=5, Z=10$)

4. 考察

アンケート結果より、同期条件においてフルボディ錯覚が生じていたことが示された。フルボディ錯覚生起中の脳活動を見ると、非同期条件よりも同期条件において左中後頭回で高い活動が認められた。中後頭回に含まれるEBAは身体認識に関連するとされ、特に左EBAは自己身体の知覚に関連すると報告されている[11]。この結果は、フルボディ錯覚生起時には、左EBAにおいてアバターが自己身体として認識されるプロセスが生じることを示している。

次に、Session 2の脳活動を見ると、同期条件において左中心前回の活動が認められた。中心前回は運動前野を含む部位である。運動前野には自分の身体近傍に提示された視覚刺激に対して反応するニューロンがあることが知られており[12]、このことから、運動前野は

自身の身体と周囲の環境との境界の設定に関連する機能を持つとされている[4]。同期条件ではフルボディ錯覚が生じた状態で視覚と触覚の間の不整合を経験することになる。本実験における運動前野の活動は、感覚間のずれを補正し、自身の身体の境界を再設定する過程を反映していると考えられる。

本研究から、フルボディ錯覚生起時には左中後頭回を中心としてアバターを自己身体と認識するプロセスが生じ、また、自己身体に関わる感覚間でずれが生じた際は、運動前野がそれを調整し、自己の身体と周囲の環境との境界を再設定する働きが生じることが示唆された。

謝辞

本研究は、JST ムーンショット型研究開発事業 JPMJMS2013 の支援を受けた。

文献

- [1] Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391, 756.
- [2] Ehrsson, H. H. (2007). The experimental induction of out-of-body experiences. *Science*, 317(5841), 1048. <https://doi.org/10.1126/science.1142175>
- [3] Lenggenhager, B., Tadi, T., Metzinger, T., & Blanke, O. (2007). Video ergo sum: manipulating bodily self-consciousness. *Science*, 317(5841), 1096-1099. <https://doi.org/10.1126/science.1143439>
- [4] Ehrsson, H. H., Spence, C., & Passingham, R. E. (2004). That's my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb. *Science*, 305(5685), 875-877. <https://doi.org/10.1126/science.1097011>
- [5] Petkova, V. I., Bjornsdotter, M., Gentile, G., Jonsson, T., Li, T. Q., & Ehrsson, H. H. (2011). From part- to whole-body ownership in the multisensory brain. *Curr Biol*, 21(13), 1118-1122. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.05.022>
- [6] Gentile, G., Bjornsdotter, M., Petkova, V. I., Abdulkarim, Z., & Ehrsson, H. H. (2015). Patterns of neural activity in the human ventral premotor cortex reflect a whole-body multisensory percept. *Neuroimage*, 109, 328-340. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.01.008>
- [7] Guterstam, A., Bjornsdotter, M., Gentile, G., & Ehrsson, H. H. (2015). Posterior cingulate cortex integrates the senses of self-location and body ownership. *Curr Biol*, 25(11), 1416-1425. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.03.059>
- [8] Ionta, S., Heydrich, L., Lenggenhager, B., Mouthon, M., Fornari, E., Chapuis, D., Gassert, R., & Blanke, O. (2011). Multisensory mechanisms in temporo-parietal cortex support self-location and first-person perspective. *Neuron*, 70(2), 363-374. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.03.009>
- [9] Tsakiris, M., Costantini, M., & Haggard, P. (2008). The role of the right temporo-parietal junction in maintaining a coherent sense of one's body. *Neuropsychologia*, 46(12), 3014-3018. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.06.004>
- [10] Wold, A., Limanowski, J., Walter, H., & Blankenburg, F. (2014). Proprioceptive drift in the rubber hand illusion is intensified following 1 Hz TMS of the left EBA. *Front Hum Neurosci*, 8, 390. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00390>
- [11] Singh, A. K., Okamoto, M., Dan, H., Jurcak, V., & Dan, I. (2005). Spatial registration of multichannel multi-subject fNIRS data to MNI space without MRI. *Neuroimage*, 27(4), 842-851. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.05.019>
- [12] Shattuck, D. W., Mirza, M., Adisetiyo, V., Hojatkashani, C., Salamon, G., Narr, K. L., Poldrack, R. A., Bilder, R. M., & Toga, A. W. (2008). Construction of a 3D probabilistic atlas of human cortical structures. *Neuroimage*, 39(3), 1064-1080. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.09.031>
- [13] De Bellis, F., Trojano, L., Errico, D., Grossi, D., & Conson, M. (2017). Whose hand is this? Differential responses of right and left extrastriate body areas to visual images of self and others' hands. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 17(4), 826-837. <https://doi.org/10.3758/s13415-017-0514-z>
- [14] Graziano, M. S., Yap, G. S., & Gross, C. G. (1994). Coding of visual space by premotor neurons. *Science*, 266(5187), 1054-1057. <https://doi.org/10.1126/science.7973661>