

ラバーハンドイリュージョン中の脳内処理に影響を与える性格特性の検討 Personality characteristics and neural response during rubber hand illusion

金山 範明[†], 小西 宏奈[†], 櫻井 悟[†], 松本 知也[†], 岡本 泰昌[†], 森信 繁[‡], 山脇 成人[†]

Noriaki Kanayama, Hirona Konishi, Satoru Sakurai, Yasumasa Okamoto, Shigeru Morinobu, Shigeto Yamawaki

[†]広島大学, [‡]高知大学

Hiroshima University, Kochi Medical School

nkanayama@hiroshima-u.ac.jp

Abstract

Rubber hand illusion is a epoch making phenomenon, which suggests that our body representation could be modified by a certain circumstance. The illusory sense on body ownership varies in individuals, while we have known a little about the relationship between individual difference and neural response during rubber hand illusion. We conducted a simple rubber hand illusion experiment, and measured many psychological measurement as individual difference. As a result, the relationship between EEG activation at the fusiform gyrus and the depressive tendency.

Keywords — Rubber hand illusion, Personality, EEG

1. はじめに

ラバーバンドイリュージョンは、自分の手と自分の手に似せた偽物の手に、時空間的にシンクロさせた視触覚刺激を提示し、自分の手を見えない状態にすると、偽物の手を自分の手であるかのように認識する現象である[1]。これは、人の身体認識が特定の刺激提示状況下において変容し得るということを示しており、人の身体認識を研究する上で非常に重要な発見であった。ラバーバンドイリュージョンは個人差があるとされており、一部の錯覚に関しては220名に行った実験で66%しか感じなかったとされる[2]。ラバーバンドイリュージョンの個人差研究は行動実験を用いて行われているが[3]、ラバーバンドイリュージョン中の脳活動と個人差の関係性に関して検討した例はない。本研究では、頭皮上脳波を用いて、ラバーバンドイリュージョンに影響のある脳活動と個人差変数との関連性を検討することを目的とした。これま

でラバーバンドイリュージョンと精神疾患の関連が報告されており、特に意欲低下や身体感覚に関わる問題が挙げられている[4,5]。こうしたことから、個人差変数としては、うつ病に関わる質問死としてBDI(Beck depression inventory [6])を、意欲低下に関わる質問死としてSHAPS (Snaith-Hamilton Pleasure Scale [7])を、身体反応に関わる質問死としてCDS (Cambridge depersonalization scale [8])を選択してそれぞれ脳活動との相関を検討した。

2. 方法

2.1 実験参加者

30名(女性16名, 男性14名, 年齢19-23歳)の大学生健常者が実験に参加した。参加者は全員右利きであり、視覚異常を呈することはなかった。全ての参加者において書面によるインフォームドコンセントが取られた。

2.2 刺激と装置

体性感覚刺激は二つの骨伝導スピーカにより、それぞれ人差し指及び薬指に呈示した(図1a)。実験参加者には骨伝導スピーカを、振動がそれぞれ独立に人差し指及び薬指に与えられるようベルクロテープで固定した。視覚刺激は、別のベルクロテープに取り付けられた2つの赤色LEDにより呈示された。このLEDを取り付けたゴム手袋に綿を詰めて、人間の手を模したラバーバンドを作り、実験参加者の目の前に置いた。実験参加者

は実験中同様のゴム手袋を装着した。視覚刺激までの距離は 60cm に統制された。視覚刺激と体性感覚刺激は Presentation(Neurobehavioral Systems, Inc.)によって制御された。

2.3 手続き

実験協力者は椅子に座り、ゴム手袋を左手に装着した。骨伝導スピーカと LED の付いたベルクロテープを左手の人差し指および薬指に巻き付け、腕を机の上に置いた。実験中は LED の中間に位置する中指を注視していることが求められた。課題は 10 秒間のレスト期間から始まり、600 ミリ秒間の固視点注視期間を設けた。続いて光刺激及び振動刺激が 50 ミリ秒間同時呈示された(図 1b 参照)。参加者は、与えられた振動刺激が「人差し指」にであったか「薬指」にであったかを判断して、対応するボタン押しにより回答した。回答は刺激が呈示されてから 1000 ミリ秒の間に受け付けられ、その間に反応がなかった場合は失敗試行とし、650 から 850 ミリ秒のインターバルを置いて、次の刺激が呈示された。回答はできるだけ速く、正確に行うことが教示された。反応が正解かどうかのフィードバックは行わなかった。刺激は振動刺激と光刺激の位置が一致している一致条件、不一致である不一致条件に分けられた。各条件 60 試行を 1 ブロックとし、3 ブロック行った。刺激の呈示回数は各条件 180 回ずつであった。実験終了後、5 つの項目で Visual analogue scale を用いてラバーバンドイリュージョンがどのくらい起こったかを主観的に測定した。項目 1 は「ゴム手袋が自分の手のように感じた」に関して 0(全くそのように感じたことはなかった)から 100(全くその通りのことをはっきりと感じた)までの点数で回答させた。以下項目 2「ゴム手袋に振動が起こっているように感じた」、項目 3「LED の光が自分の手の方に起こっているように感じた」、項目 4「自分の手がゴムっぽくなったと感じた」、項目 5「自分の手の位置がゴム手袋側に引っ張られるように感じた」に関して同様に 0 から 100 でその体験の強度を回答させた。

2.3 脳波測定と解析

実験中は島津製 NIRS ホルダを装着し、探査電極 64 極を頭皮上に配置した。配置は Cz を基準として国際 10-5 法に基づいて行われたが、NIRS ホルダの特性上正確な位置からのずれがあった。よって電極位置はホルダの標準的な 3 次元電極位置情報に基づいて修正されたものを用いた。基準電極は鼻尖に装着し、2048Hz のサンプリングレートで収録した。EEG のデータ解析は Matlab 2013a (MathWorks, Natick, MA, USA)上で EEGLAB 11.0.4.3b (<http://www.sccn.ucsd.edu/eeglab>)を用いて行った。

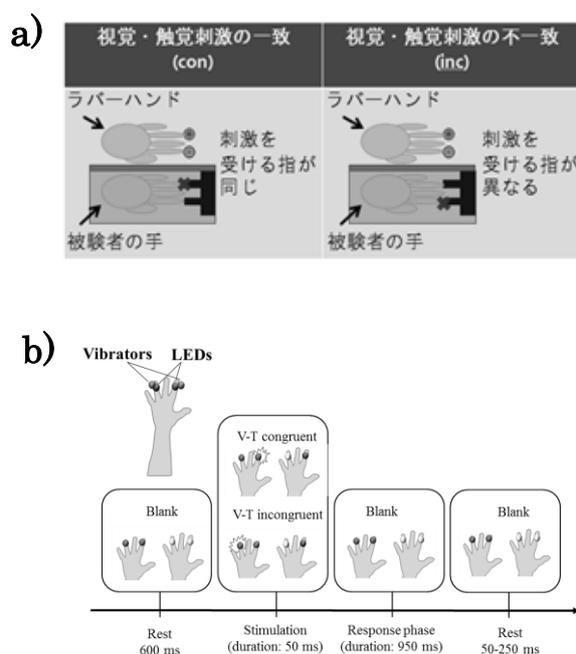


図 1. 実験の様子(a)と 1 試行の流れ(b)

基線変動を除外する目的で、1Hz のハイパス FIR フィルターが連続 EEG データに適用された。解析区間は刺激提示前 600ms から刺激提示後 1200 ms として、他の区間のデータは除外された。全チャンネルの平均値をリファレンスとして再計算した。典型的な眼電や筋電由来のノイズは除外対象とせず、独立成分分析の対象として含ませた。EEGLAB に実装された extended infomax ICA を適用し、各個人のデータセットからそれぞれ 6

4の独立成分を得た。各独立成分に対して、Montreal Neurological Institute (MNI) の頭蓋モデルを用いて等価電流双極子を推定した。電位の頭皮上分布、加算平均事象関連電位、加算平均事象関連スペクトル摂動、EEG パワースペクトル、加算平均試行間コヒーレンスがそれぞれの独立成分に対して算出された。事象関連スペクトル摂動と試行間コヒーレンスは Morlet の wavelet を用いて算出された。解析周波数区間は 3 Hz から 100 Hz であり、ウェーブレットサイクルは 3 Hz に対して 1 サイクルを最低とし、各周波数に応じて漸次増加させ、100Hz に対して 10 サイクルを最高とした。得られた IC を k-means 法によりクラスタリングした。クラスタリングの基準は、等価電流双極子の位置(normalization weight: 10)、事象関連スペクトル摂動(区間: -600 - 800 ms, 周波数: 3 - 80 Hz, normalization weight: 5)とし、16の独立成分クラスタを算出した。各独立性分クラスタに対し、ターゲットクラスタにおいて一致・不一致条件間に有意な差を見出した脳活動を抽出し、スピアマンの順位相関係数を算出した。

3. 結果

3.1 クラスタの抽出

先行研究[9]に基づいて、頭頂連合野、内側前頭前野、体性感覚野、視覚関連領域をターゲットとした。

3.2 頭頂領域に信号源を持つクラスタ

頭頂領域に信号源を持つクラスタでは、ガンマ帯域(60-90Hz)の事象関連スペクトラム摂動の値に条件差が見られた($p < .01$)。活動は刺激定時後 200-300ms の間に見られ、一致条件において高まっていることが確認された。

3.3 内側前頭前野に信号源を持つクラスタ

内側前頭前野に信号源を持つクラスタでは、シータ帯域(3-7Hz)の事象関連スペクトラム摂動の値に条件差が見られた($p < .05$)。活動は刺激定

時後 200-300ms および 500-700ms の間に見られ、不一致条件において高まっていることが確認された。

3.4 視覚関連領域に信号源を持つクラスタ

視覚関連領域に信号源を持つクラスタの中で、今回は条件感に有意差の見られた右紡錘状回(図2)のクラスタを検討した。シータ帯域(3-7Hz)の事象関連スペクトラム摂動の値に条件差が見られた($p < .05$)。活動は刺激定時後 400-600ms の間に見られ、不一致条件において高まっていることが確認された。

3.5 体性感覚野に信号源を持つクラスタ

体性感覚野に信号源を持つクラスタに関しては条件間で有意な差を示す脳活動は抽出できなかった。これは近傍領域である補足運動野に関しても同様であった。

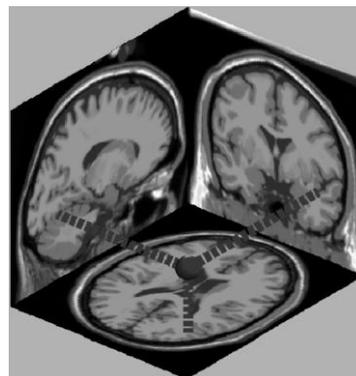


図2. 右紡錘状回の信号源の位置

3.6 相関解析

条件差の見られた各脳活動と質問紙得点の相関を検討したところ、右紡錘状回のクラスタにおいて観測された刺激定時後 400-600ms の間に見られたシータ波の活動が、一致条件において高まれば高まるほど「ラバーバンドが自分の手になってしまったかのうようだ」とする質問項目で評価される錯覚強度も高まった ($r = .47, p < 0.5$; 図 3a)。また同じ活動が高ければ高いほど SHAPS の得点が低くなる傾向が見られた ($r = -.52, p < 0.5$; 図 3b)。またそれぞれ偏相関係数を算出し

たところ、右紡錘状回におけるシータ波の活動と SHAPS 相関は錯覚強度の影響を取り除いた後も有意な負の相関を示した ($r = -.48, p < 0.05$)。

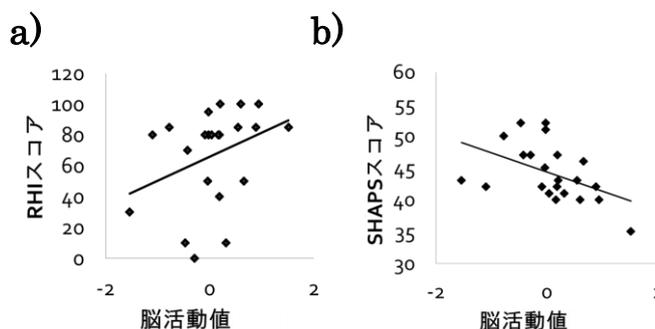


図 3. 右紡錘状回から得られた脳活動値と質問紙得点の散布図。a) 脳反応と錯覚強度の散布図, b) 脳反応と SHAPS 得点の散布図

4. 考察

ラバーハンドイリュージョン導入のための視触覚同時呈示課題を遂行中、測定した EEG を解析した結果、視覚野、体性感覚野、前頭前野、頭頂連合野、補足運動野の活動が見られ、これまで得られた脳内ネットワークモデルにおける関連脳部位と概ね一致していた[10]。この結果から、今回の実験においてラバーハンドイリュージョン導入時の脳活動を適切に収録・抽出ができたと判断される。特に感覚統合と関連すると考えられる頭頂連合野の高周波帯域の活動、および内側前頭前野の低周波帯域の活動に一致・不一致の条件差が見られたことは、これまでの知見[4,9]と一致しておりこうした結果からも適切に感覚統合によるラバーハンドイリュージョン導入が行われたと考えられる。

またこの中で紡錘状回の活動に関しては、実際に主観的な錯覚強度と相関しており、視覚情報からの情報抽出する過程の中に、この錯覚を引き起こす重要な機能があることが示唆された。実際に紡錘状回は顔や身体の認知に関連する部位として知られ[11, 12]、腹側皮質視覚路において知覚的な処理を終えた後にその物体を認識する役割を果たすとされている。活動の出現時間を考慮しても、

すでに視覚情報の知覚的な側面の処理は終了しており、また触覚との感覚統合処理も終了していると考えられる。よってここで見られた紡錘状回の活動は、目の前にしているラバーバンドが自分の顔であるかどうかといった判断に対応した活動である可能性が考えられる。

さらにこの活動が個人差変数として検討した SHAPS の得点と負の相関を見せたことは、身体認識に関わる錯覚の感じやすさとは意欲の低下に関連があることを示している。実際に先行研究でも、
2 統合失調症の陽性症状とラバーハンドイリュージョンに相関が有ることが示されており、こうした結果と一致していた[5]。このことから紡錘状回における物体認識機能は、それが何であるかというだけでなく、どんなものかという判断にも影響を与え、この活動の調節によって普段目にするものの意味付けが変化する可能性を示唆している。

5. 結論

今回行った実験では、ラバーハンドイリュージョンは生活の中での意欲低下を起こしている状態において起こりやすいということが示唆された。またそれを説明する脳領域としては紡錘状回におけるシータ帯域の活動が重要であることが示された。このことは身体感覚に関する錯覚においても視覚野における情報処理が重要であることを示唆していると考えられる。

6. 謝辞

本研究は、ストレス脆弱性克服プロジェクト、広島大学萌芽的研究支援金の支援を受けて行われました。また本研究を実施するにあたって、広島大学教育学研究科の中尾敬先生、広島大学医歯薬保健学研究院の松本知也先生、高村真広先生には多大なご支援を賜りましたことをここに礼申し上げます。

参考文献

- [1] Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands /feel/ touch that eyes see. *Nature*,

- 391(6669), 756.
- [2] Durgin, F. H., Evans, L., Dunphy, N., Klostermann, S., & Simmons, K. (2007). Rubber Hands Feel the Touch of Light. *Psychological Science*, 18(2), 152–157.
- [3] Haans, A., Kaiser, F. G., Bouwhuis, D. G., & Ijsselstein, W. A. (2012). Individual differences in the rubber-hand illusion: predicting self-reports of people's personal experiences. *Acta Psychologica*, 141(2), 169–77.
- [4] Kanayama, N., Sato, A., & Ohira, H. (2009). The role of gamma band oscillations and synchrony on rubber hand illusion and crossmodal integration. *Brain and Cognition*, 69(1), 19–29.
- [5] Ferri, F., Costantini, M., Salone, A., Di Iorio, G., Martinotti, G., Chiarelli, A., ... Gallese, V. (2014). Upcoming tactile events and body ownership in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 152, 51–57. doi:10.1016/j.schres.2013.06.026
- [6] Beck, A. T., Steer, R. A., & Carbin, M. G. (1988). Psychometric properties of the Beck Depression Inventory: Twenty-five years of evaluation. *Clinical Psychology Review*, 8(1), 77–100.
- [7] Snaith, R. P., Hamilton, M., Morley, S., Humayan, A., Hargreaves, D., & Trigwell, P. (1995). A scale for the assessment of hedonic tone the Snaith-Hamilton Pleasure Scale. *The British Journal of Psychiatry*, 167(1), 99–103.
- [8] Sierra, M., & Berrios, G. E. (2000). The Cambridge Depersonalisation Scale: a new instrument for the measurement of depersonalisation. *Psychiatry Research*, 93(2), 153–164.
- [9] Kanayama, N., Tamè, L., Ohira, H., & Pavani, F. (2012). Top down influence on visuo-tactile interaction modulates neural oscillatory responses. *NeuroImage*, 59(4), 3406–3417.
- [10] Tsakiris, M., Longo, M. R., & Haggard, P. (2010). Having a body versus moving your body: neural signatures of agency and body-ownership. *Neuropsychologia*, 48(9), 2740–9.
- [11] Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *The Journal of Neuroscience*, 17, 4302–4311.
- [12] Schwarzlose, R. F., Baker, C. I., & Kanwisher, N. (2005). Separate face and body selectivity on the fusiform gyrus. *The Journal of Neuroscience*, 25, 11055–11059.