

# ロボットハンド錯覚における自己身体のプロジェクション

## Projection of self-body in the robot hand illusion

嶋田総太郎\*1  
Sotaro Shimada

モハマド アリフ ファハミ イズマイル\*2  
Mohamad Arif Fahmi Bin Ismail

\*1 明治大学  
Meiji University

\*2 明治大学大学院  
Meiji University Graduate School

The rubber hand illusion (RHI) is an illusion of the self-ownership of a rubber hand that is touched synchronously with one's own hand. Here we investigated a similar self-ownership illusion of a robot hand that is moved synchronously with the subject's hand movement, which is referred to as the 'robot' hand illusion (RoHI). We systematically introduced the delay in the robot hand movement and found that the participants felt significantly greater RoHI effects with temporal discrepancies of less than 190 ms compared with longer temporal discrepancies, both in terms of the senses of ownership and agency. Interestingly, participants still felt a significant, but weaker, sense of agency with temporal discrepancies of 290–490 ms, but not the sense of ownership. Our results suggest that a time window of less than 200 ms is critical for multi-sensory integration processes constituting self-body image.

### 1. はじめに

自己身体に対する意識は身体所有感と運動主体感の二つに分けられる[Gallagher00]。身体所有感はこの身体が自分のものであると感じられる感覚であり、運動主体感はこの運動を引き起こしたのは自分であると感じられる感覚である。身体からは触覚、体性感覚などの内在的な情報の他に、視覚や聴覚(自分の手の視覚像や出した音)などの外在的な情報も得ることができる。身体所有感はこの情報の情報からどの物体が自分の身体であるかを脳が判断した結果としてもたらされる。さらにわれわれが身体を動かすときには、運動野から筋肉へ運動指令が出る。この情報のコピーが同時に運動野から頭頂葉へも発せられると考えられており(遠心性コピー)、これによって運動の結果受け取るであろう視覚・聴覚・触覚・体性感覚等の感覚フィードバックを予測することが可能となる。運動主体感にはこの遠心性コピーが重要な役割を果たしていると考えられる。

身体所有感に関する錯覚の一つとして、自分の手ではない偽物の手(ラバーハンド)が自分の手のように感じられるというラバーハンド錯覚がある[Botvinick98]。ラバーハンド錯覚を引き起こすためには、ラバーハンドとその隣に置いた自分の手(直接見えないようにする)をブラシなどで同時に撫でてもらう。これを2-3分間繰り返すと、自分の手ではないはずのラバーハンドが自分の手のように感じられるようになる、というものである。ラバーハンド錯覚が生起するためには、視覚と触覚の時間的整合性が重要であり、視覚情報が200-300ミリ秒以上遅れると錯覚が起らなくなることが報告されている[Shimada09; 10; 14]。これはさまざまな感覚情報を統合して自己身体イメージを脳内で形成するプロセスを反映しているといえる。

本稿では、自ら動かせる仮想の手に対して運動主体感および身体保持感を感じる錯覚(ロボットハンド錯覚)について検討する。ここでは、自らの手の動きに対して数百ミリ秒の遅延を挿入したときに錯覚がどのように減弱するかを調べる。これによって自己の身体の脳内表象がどのように他の物体にプロジェクション(投影)されるのかについて考察する。

### 2. ロボットハンド錯覚実験

#### 2.1 被験者

16名の健常者が実験に参加した(女性4名、年齢21.0±0.5歳)。全ての被験者が右利きであり、正常な視力(メガネやコンタクトレンズによる矯正を含む)を持つ健常者であった。被験者には、事前に実験の方法などの説明を行い、書面にて実験参加の同意を得た。

#### 2.2 実験環境

図1のように組み立て式ラックに各機材を設置した。最下部には被験者が自分の右手を置くテーブルがある。その上には両面鏡(580mm×500mm)がセットされ、被験者は自分の手を直接見ることはできないようにした。被験者の右手にはデータグローブ(Cyberglove, CyberGlove Systems LLC)を装着し、手の動きを計測した。これによってPC上のCGのバーチャルハンドの操作を行った。バーチャルハンドの映像は、映像遅延装置(EDS3305, ELETEX)を経由して、両面鏡の頭上にセットされた液晶モニター(LMD-232W, SONY)に出力された。被験者は両面鏡の表面に反射したバーチャルハンドの映像を観察した。なお鏡の角度は被験者から水平に手が置いてあるように見えるよ

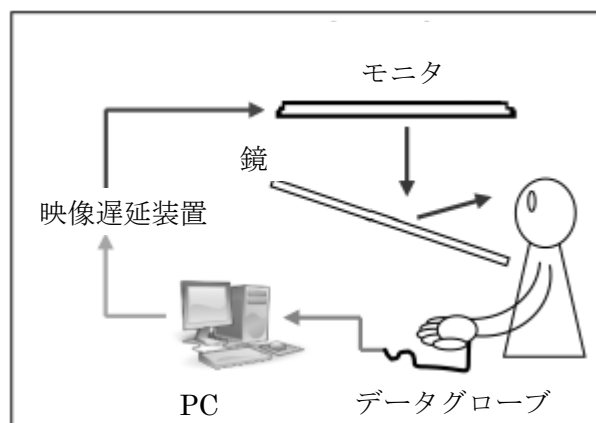


図1 実験環境

うに実験前に調節された。また外乱光の影響を排除するため、装置全体に暗幕を張り付けた。実験装置を接続することによって生じる映像呈示の際の遅延時間はハイスピードカメラ(EX-F1, CASIO)で測定したところ約 90ms であった。

## 2.3 実験手順

上述の映像遅延装置を用いて、被験者の手の映像に 6 水準の映像遅延 (90, 190, 290, 390, 490, 590ms) を挿入した。装置を接続することによる遅延が存在するため、90ms が最少の遅延時間となっている(上述)。

被験者には 2 分間の手の開閉運動をしてもらい、その後主観評価アンケートに答えてもらった。アンケートは先行研究 [Kalckert12] で用いられたものの日本語訳を用い、身体保持感と運動主体感およびそのダミー項目の全 16 項目から成る。評価には 7 段階 (-3 から +3 まで) のライカートスケールを用いた。4 項目は身体保持感に関するもの(「画面の手は自分の手のように感じた」など)、4 項目は運動主体感に関するもの(「画面の手の動きは自分が引き起こしているように感じた」など)、残りの 4 項目ずつはダミーの質問(「自分の手が 2 つ以上あるように感じた」や「画面の手は自分自身の意志を持っているように感じた」など)であった。

被験者はそれぞれの遅延条件につき 1 試行ずつ行った。順序効果を避けるため遅延幅の呈示順序は被験者間でカウンターバランスを取った。

## 3. 実験結果

### 3.1 身体保持感

身体保持感に関する主観的評価(アンケート)を解析した結果、90ms と 190ms 条件において有意な錯覚を感じていることがわかった ( $P < 0.01$ , t 検定, FDR 補正)。さらに 1 元分散分析を行った結果、有意な主効果が得られた ( $F(2.59, 38.87) = 34.97$ ,  $P < 0.001$ , Greenhouse-Geisser 補正)。下位検定の結果 190ms と 290ms 条件の間および 490ms と 590ms 条件の間に有意差が見られた ( $P < 0.01$ , post-hoc t 検定, FDR 補正)。

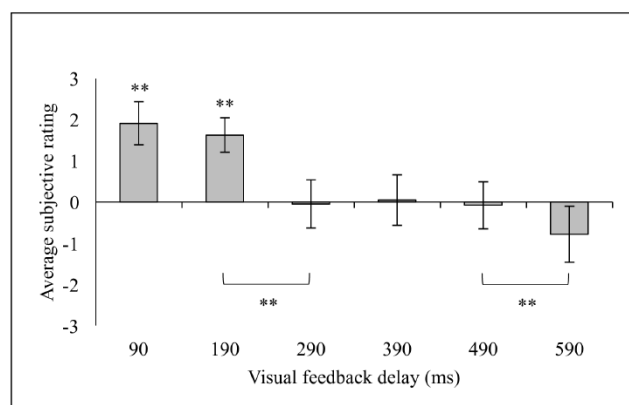


図 2 身体保持感の主観的評価

### 3.2 運動主体感

運動主体感に関する主観的評価を解析した結果、90ms と 190ms 条件で強い錯覚を感じていることがわかった ( $P < 0.01$ , t 検定, FDR 補正)。さらに 290-490ms 条件においても有意な錯覚が確認された ( $P < 0.05$ )。1 元分散分析を行った結果、有意な主効果が得られた ( $F(2.64, 39.57) = 15.74$ ,  $P < 0.01$ , Greenhouse-

Geisser 補正)。下位検定の結果 190ms と 290ms 条件の間 ( $P < 0.01$ ) および 490ms と 590ms 条件の間 ( $P < 0.05$ ) に有意差が見られた (post-hoc t 検定, FDR 補正)。

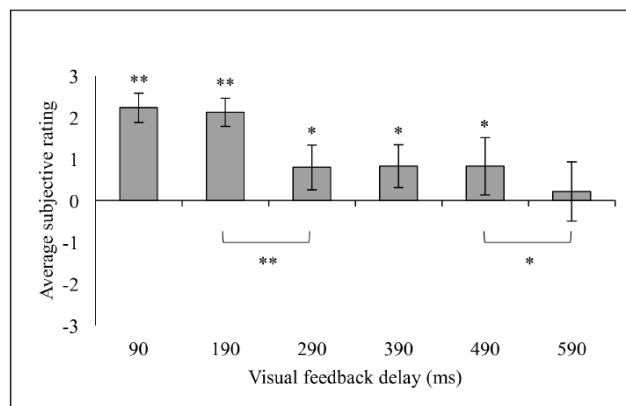


図 3 運動主体感の主観的評価

なお身体保持感、運動主体感ともにダミーの評価項目(対照項目)では有意な効果は見られなかった ( $P > 0.1$ )。

## 4. 考察

今回の実験では、自分の手の動きをロボットハンド(CG)に投影し、そこに遅延を加えたときの自己身体感を調べた。その結果、映像遅延が 490ms 以下の場合には運動主体感が生起し、さらに遅延が 190ms 以下の場合には運動主体感に加えて身体所有感も生起することが確かめられた。これはロボットハンドを自己の身体であると認識する上で、視覚と体性感覚、遠心性コピーの時間的整合性が極めて重要であることを示唆している。今回の結果は、身体所有感に比べて運動主体感のほうが許容される映像遅延の時間幅が大きいこと、すなわちプロジェクションが起こりやすいことを表している。これは道具の使用など、自分の意図通りに操作できる物体に対しては比較的容易に自己身体の拡張が見られることとも関連していると考えられる。身体所有感が運動主体感をベースとして生起してくることがいくつかの研究 [Tsakiris10] で示唆されているが、本研究の結果はそれらとも整合性があるといえる。今後は自己身体のプロジェクションが起こる条件について更なる検討を加えていきたい。

## 参考文献

- [Botvinick98] Botvinick M, Cohen J: Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391: 756-756. 1998.
- [Gallagher00] Gallagher S. Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*, 4: 14-21. 2000.
- [Kalckert12] Kalckert A, Ehrsson HH: Moving a rubber hand that feels like your own: A dissociation of ownership and agency. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 40. 2012.
- [Shimada09] Shimada S, Fukuda K, Hiraki K. Rubber hand illusion under delayed visual feedback. *PLoS ONE*, 4, e6185. 2009.
- [Shimada14] Shimada S, Suzuki T, Yoda N, Hayashi T: Relationship between sensitivity to visuotactile temporal discrepancy and the rubber hand illusion. *Neuroscience Research*, 85, 33-38. 2014.
- [Tsakiris10] Tsakiris M, Longo MR, Haggard P: Having a body versus moving your body: Neural signatures of agency and body-ownership. *Neuropsychologia*, 48, 2740-2749. 2010.