

# 仮想空間内における仮想手の光点提示に対する身体所有感および自己受容感覚ドリフト

中山 友瑛  
片山 正純

福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻

福井大学学術研究院工学系部門知能システム工学講座

近年、人工身体や仮想身体に対する身体意識(身体所有感および運動主体感)が活発に研究されており、特に身体所有感の成立には身体の形態的類似性が重要な要因の一つである。この観点から、本研究では形態的類似性を構造的類似性と外見的類似性に分類し、構造的類似性は満たしているが外見的類似性が極めて低い2種類の仮想手(光点提示と骨格提示)に対する身体所有感および身体部位定位について調査した。実験1では、仮想手を見ながら学習課題を繰り返したときの身体意識について調査した。身体所有感の評定値の分布が双峰性を示したため、2群に分けて評価した。高い群では、骨格提示に対して初期段階から身体所有感が高い評定値となったが、光点提示では課題の繰り返しによって骨格提示と同程度まで上昇した。実験2では、仮想手を回転して提示して同様の課題を繰り返したときの身体所有感および身体部位定位について計測した。全参加者において身体所有感の評定値は実験1と比較して低くなったが、身体部位定位は仮想手方向にドリフトした。これらの結果は、外見的類似性が極めて低い仮想手に対しても身体所有感が成立する可能性があることを示している。

Keywords: virtual hand, point-light display, skeleton display, sense of body ownership, proprioceptive drift.

## 問題・目的

ゴム手錯覚において、ゴム製の手に対して身体意識が成立することが知られており(Botvinickら, 1998)、近年では仮想空間内の仮想身体に対する身体意識についても活発に研究されている。この一時的な身体意識は運動主体感と身体所有感に分類されている(Gallagher, 2000)。さらに、身体所有感の成立には、時間的同期性および空間的一致性だけでなく、形態的類似性も重要な要因である。そこで、本研究では、形態的類似性を、関節の数や関節の配置、指の長さなどの物理パラメータに関する構造的類似性と皮膚表面のテクスチャなどの特徴に関する外見的類似性に分類する。本研究では、構造的類似性は満たしているが、外見的類似性が極めて低い仮想手(光点提示と骨格提示)に対する身体所有感について調査した。さらに、仮想手が見えている状態での定位(視覚的身体部位定位)と見えていない状態での定位(自己受容感覚ドリフト)についても調査した。

## 方法

**実験1**: 右利きの18名(年齢 $21.7 \pm 0.82$ )が参加した。参加者の手・指運動をCyber GloveとFastrakにより計測し、モニタに表示した仮想手を同期して動作させた。ただし、実験中は参加者自身の手は見えないようにした。仮想手は、指先と関節の各位置に光点を配置した光点提示とその光点間を直線で結んだ骨格提示の2種類とした。実験は被験者内計画とし、仮想手の順番は参加者間でカウンターバランスをとった。まず、参加者は仮想手を見ながら右手の母指と示指の各指先の開閉動作を1分間実行し、その後表示した2つの小円板に各指先を合わせる学習課題を20試行を行った。その直後に身体意識に関するアンケート調査を実施した。このアンケート調査はKalckertら

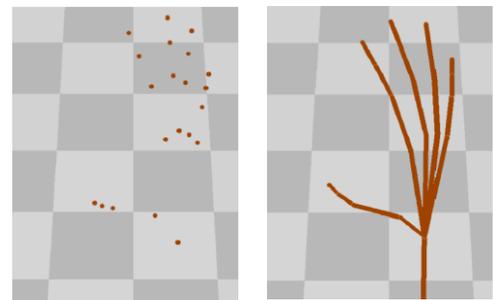


Figure 1. 仮想手(左: 光点提示, 右: 骨格提示)

(2012)のアンケート項目を一部改変して作成した。アンケート調査では-3点から3点までの7段階リッカー尺度で評価し、「非常に同意できる」を3点、「どちらとも言えない」を0点、「全く同意できない」を-3点とした。本研究では身体所有感と運動主体感のそれぞれの評定値が0より大きい場合には「成立している」と判断し、評定値が0以下の場合には「成立していない」と判断した。上記の学習課題とアンケート調査を1セットとして、3セット繰り返した。

**実験2**: 右利きの10名(年齢 $22.5 \pm 1.43$ )が参加した。ただし、1名が特異な傾向を示したためアウトライアとして除外した。実験1と同じ仮想手を回転して提示した。実験は被験者内計画とし、仮想手の順番は参加者間でカウンターバランスをとった。まず、参加者は実験1と同様の開閉練習とアンケート調査をおこない、その後実験1と同様の学習課題とアンケート調査を5セット行った。視覚的身体部位定位は、仮想手の表示前、仮想手を表示した直後(BP)、開閉練習後(AP)、学習課題の各セット後においてそれぞれ計測した。自己受容感覚ドリフトは全セット終了後に仮想手を表示しないで計測した(ND)。視覚的身体部位定位と自己受容感覚ドリフトのそれぞれの計測値は、仮想手の表示前に計測した位置との差分によって算出し、仮想手方向へのドリフト量を正とした。

## 結果

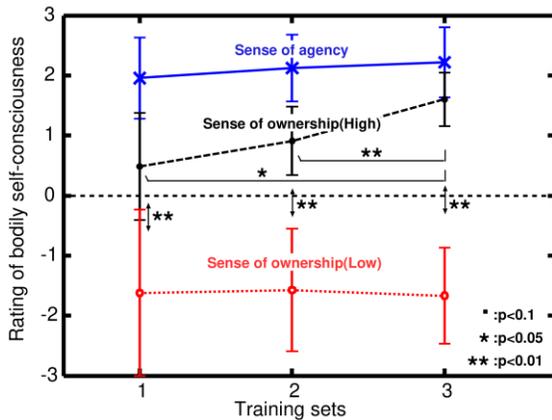


Figure 2. 光点提示における身体意識のアンケート結果

**実験1:** 運動主体感は両提示において初期段階から高い評定値となった。身体所有感については、仮想手の両提示における第3セットの評定値が双峰性を示したため、光点提示の第3セットの評定値が0より大きい群と0以下の群の2群に分けて評価した(高: 11名, 低: 7名)。仮想手の両提示に対する身体所有感は各セットにおける群間の評定値に有意差が認められた( $p < 0.01$ )。両提示において身体所有感の低い群では0より有意に低くなった( $p < 0.05$ )。一方、身体所有感の高い群では、骨格提示において初期段階から身体所有感が成立していたのに対して( $p < 0.05$ )、光点提示においては学習課題を繰り返すにつれて身体所有感が上昇し、第3セット目には骨格提示と同程度まで上昇した。

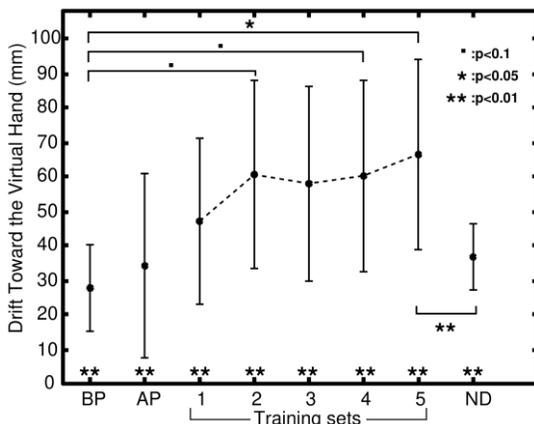


Figure 3. 光点提示におけるドリフト量の計測結果

**実験2:** 仮想手の両提示に関する運動主体感はAP以降の全ての段階で非常に高い評定値となった。一方、両提示における身体所有感は全ての評定値が0より低くなる傾向を示した。両提示における視覚的身体部位定位において、BP, AP, 各セットでのドリフト量が0より有意に大きくなっており( $p < 0.05$ )、セット毎に上昇していた。また、NDにおいてドリフト量が0より有意に大きい値をとっており( $p < 0.01$ )、自己受容感覚ドリフトが生じていた。さらに、両提示におけるNDでの自己受容感覚ドリフトのドリフト量は第5セットでの視覚的身体部位定

位のドリフト量と比較して減少した(光点提示:  $p < 0.1$ , 骨格提示:  $p < 0.01$ )。ただし、全セットのドリフト量において条件間での有意差は認められなかった( $p > 0.1$ )。

## 考察

我々の先行研究(Katayamaら,2016)において、外見的類似性の高いリアルな仮想手に対する身体意識を調査した結果では、学習課題を繰り返したときに身体所有感の評定値が上昇する群と低いままの群が存在した。低い群では「ゲームの手を操作しているようだ」と内観報告した参加者が少なからず存在した。これは、仮想手に対する身体所有感の感じ方が2通り存在していることを示唆している。この観点から、本研究においても評定値の度数分布が双峰性を示したため、2群に分けて評価した。

Tieriら(2015)は身体の不連続性が身体所有感を低下させることを報告している。本研究における仮想手の光点提示は光点間が不連続であるため身体の連続性を満たしていないが、運動課題の繰り返しにより連続性を満たしている骨格提示と同程度まで身体所有感の評定値が上昇した。これは、光点運動から生体運動を知覚したことにより脳内で光点間が補間された可能性がある。

外見的類似性が極めて低い仮想手に対しても、身体部位定位のドリフトと自己受容感覚ドリフトが生じた。これらのドリフト量に関して条件間に差がみられなかったことから、仮想手の連続性の有無による影響は見られなかった。また、身体所有感の不成立時にもドリフトが生じており、身体所有感と身体部位定位が独立していることを示唆しているため、運動主体感によってドリフトが生起している可能性も考えられる。

## 結論

本研究では、外見的類似性が極めて低い仮想手(光点提示と骨格提示)に対する身体所有感および身体部位定位について調査した結果、骨格提示だけで無く光点提示に対しても身体所有感が成立する可能性があることが示された。さらに、外見的類似性の極めて低い仮想手に対しても身体部位定位がドリフトすることが示された。

## 謝辞

本研究はJSPS科研費19K12729の助成を受けて実施した。

## 引用文献

- Botvinick, M. & Cohen, J. (1998). *Nature*, 391 (6669), 756.
- Gallagher, S. (2000). *Trends in Cognitive Sciences*, 4 (1), 14-21.
- Kalckert, A. & Ehrsson, H. H. (2012). *Frontiers in Human Neuroscience*, 6 (40).
- Katayama, M. & Akimaru, Y. (2016). In *Neural Information Processing of Lecture Notes in Computer Science*, 9950, 199-207, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Tieri, G., Tidoni, E., Pavone, E. F. & Aglioti, S. M. (2015). *Experimental Brain Research*, 233 (4), 1247-1259.