

## フルボディ錯覚における遅延視覚フィードバックの影響

## The effect of delayed visual feedback on the full body illusion

大塚 一輝<sup>\*1</sup>

Itsuki Ohtsuka

嶋田 総太郎<sup>\*2</sup>

Sotaro Shimada

<sup>\*1</sup> 明治大学大学院

Meiji University Graduate School

<sup>\*2</sup> 明治大学

Meiji University

The full body illusion (FBI) is an illusion of the self-ownership and self-agency towards an avatar that moves synchronously with one's own body movement. Here we investigated the FBI using an avatar that moves with a short delay from the participant's movement. Participants made their steps on the spot while watching a VR scene as if the avatar walked in a street either synchronously (100-ms delay) or asynchronously (400- or 700-ms delay) with their steps. The avatar was presented in either 1st-person or 3rd-person perspective. The result showed that the participants felt the sense of ownership only toward the avatar that moved synchronously in the 1st-person perspectives. Our results suggest that our body image can be projected on the avatar that is presented in the 1st-person perspective and moves synchronously with one's own body.

## 1. はじめに

自己身体感の最小構成要素は、身体保持感と運動主体感であるとされる[Gallagher 2000]. 身体保持感とはこの身体は自分自身の身体であると感じる感覚であり、運動主体感とはこの運動を引き起こしたのは自分自身であると感じる感覚である。「プロジェクションサイエンス」の観点から考えると、自己身体認識とは脳内にある自己身体を表象を外部にある身体的な物体に投射することで自分の身体として認知することだと説明できる. このとき、自己身体を表象の投射先が自己身体以外となる例として、ラバーハンド錯覚やフルボディ錯覚が挙げられる.

ラバーハンド錯覚とは、自分の手の表象を自分の手ではない偽物の手(ラバーハンド)に投射して、ラバーハンドが自分の手のように感じられる錯覚である[Kalckert 2012]. ラバーハンド錯覚を全身に拡張した現象がフルボディ錯覚であり、自分の身体が刺激されている状態で、アバターの1人称視点でアバターが筆で同じ場所を刺激される映像を見ると、そのアバターに対し身体保持感を感じることが報告されている[Petkova 2011]. 3人称視点のフルボディ錯覚ではアバターの背面をアバターの後方から見る. 自分の背中を刺激されると同時にアバターの背中が刺激されている映像を見るとアバターに対して身体保持感を感じることが報告されている[Heydrich 2013].

本稿では、自ら動かせるアバターに対して身体保持感および運動主体感を感じる錯覚(フルボディ錯覚)について検討する. ここでは、アバターを1人称視点で見た場合と3人称視点で見た場合、アバターの動きが同期している場合と遅れている場合において錯覚の強度にどのような違いが生じるのかを調べる. これによって自己身体全体がどのように他の物体に投射されるのかについて考察する.

## 2. フルボディ錯覚実験

## 2.1 被験者

21名の健康な男性が実験に参加した(21.7 ± 0.15歳). 被験者には実験前に実験内容や安全性についての説明を行い、書面にて実験参加の同意を得た.

## 2.2 実験環境

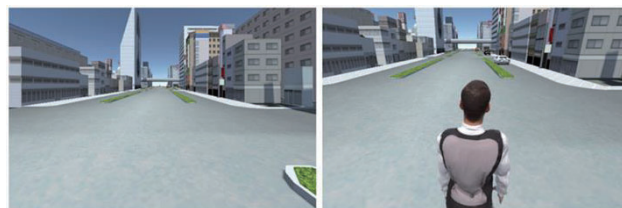
被験者はモーションキャプチャーデバイス(Perception Neuron, Noitom, CHN)とヘッドマウントディスプレイ(HMD: Head Mounted Display) (Oculus rift, Oculus, USA)を装着した. Oculus riftは視野角が約110°, 解像度が1080×1200, リフレッシュレートが90 Hzであった.

Perception Neuronのセンサは磁気の影響を受けやすいため磁場シールド(アンティエミー4010T 東京計器ビエーション株式会社, JPN)の中に入り、磁場の影響を極力少なくし実験を行った. また、Perception Neuronのセンサは計12個のセンサを用いて実験を行った.

被験者は実験開始位置に立った状態でHMDを装着した. ゲーム開発プラットフォーム(Unity, Unity Technologies, USA)で仮想現実空間の映像を作成した.

## 2.3 実験手順

被験者にアバターが1.0 m/sの速さで前に動いている映像を見せながら、1分間その場での足踏みを行ってもらった(図1). 足踏みを行うにあたり被験者には「通常歩くスピードより遅めに、一定のペースで腿をきちんと上げ、その場から動かないようにすること. 首を動かせる範囲は前方180度以内であり、後ろを見ないこと.」と教示を行った. アバターに対する身体保持感を変動させる要因として視点(1人称視点: 1pp, 3人称視点: 3pp)とアバターの動きの整合性(同期 vs 遅延 400ms vs 遅延 700ms)の二つの要因を設け、2×3=6つの実験条件で実験を行った. なお同期条件でも装置の接続により100msの遅延があった.



A. 1人称視点

B. 3人称視点

図1 実験映像

連絡先: 大塚一輝, 明治大学大学院理工学研究科, 神奈川県川崎市多摩区東三田 1-1-1, E-mail: itsuki09120921@gmail.com

本実験開始前に、足踏みによる影響をなくすために図 1 の A の前に進まない映像を見ながらその場で 1 分間足踏みを行ってもらった。足踏みによる実験開始位置からの変位が 10cm 未満となる、または測定を 3 回行ったところで終了とした。

フルボディ錯覚の強度を測る指標として以下の 2 つを用いた。

### (1) 自己身体認識アンケート

主観的指標として自己身体認識アンケートを行った。アンケートは先行研究[Kalckert 2012]で用いられたものを今回の実験に合わせた内容に変更し日本語に翻訳したものをを用い、身体保持感と運動主体感およびそのダミー項目の全 8 項目から成る。評価には「とても思う(+3)」から「まったく思わない(-3)」までの 7 段階リッカート尺度を用いた。2 項目は身体保持感に関するもの(「アバターの身体が自分の身体であるかのように感じました」など)、2 項目は運動主体感に関するもの(「アバターの身体は、私の意思に従うように、思った通りに動きました」など)、残りの 2 項目はダミーの質問(「二つ以上の身体を持っているかのように感じました」や「アバターの身体が私の意思をコントロールしているかのように感じた」など)であった。

被験者はそれぞれの実験条件につき 1 試行ずつ行った。順序効果を避けるため 6 つの実験条件の提示順序は被験者間でカウンターバランスを取った。

身体保持感、運動主体感それぞれ 0 に対して有意に大きなスコアであった場合( $t$  検定), アバターに対して身体保持感、運動主体感を感じたと定義した。

### (2) ドリフト測定

客観的指標としてドリフト測定を行った。1 分間の足踏み終了後に被験者に対し「開始位置から動いてしまったと感じたら基準位置まで戻ってください。前後左右に動くまたは回転していただいても大丈夫です。」と教示を行った。そして被験者が戻った位置を実験終了位置とし、実験開始位置からの前後方向の被験者の位置の変位を測定した(図 2)。また本実験の変位(実験値)と前に進まない条件(基準値)の変位の差をドリフト距離とし、フルボディ錯覚生起の指標として定義した。

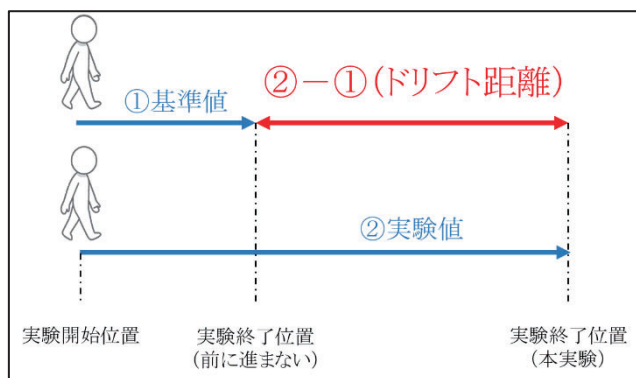


図 2 ドリフト測定

## 3. 実験結果

### 3.1 自己身体認識アンケート

身体保持感に関するアンケート結果を図 3 に示す。各条件において、0 との  $t$  検定を行ったところ 1pp の同期条件において有意なアンケートスコアが見られた( $t(20) = 2.12, p < 0.05$ )。また、二要因に対応がある([1pp, 3pp], [同期, 遅延 400ms, 遅延 700ms]) 二要因の分散分析を行ったところ視点による主効果が見られた( $F(1,20) = 8.28, p < 0.01$ )。同様に遅延による主効果も見られた( $F(2,40) = 13.1, p < 0.001$ )。遅延の主効果が見られたことから多重比較(テューキーの HSD 検定)を行ったところ遅延 400ms 条件及び遅延 700ms 条件よりも同期条件の方が高いスコアを示した( $HSD = 0.704, p < 0.05$ )。

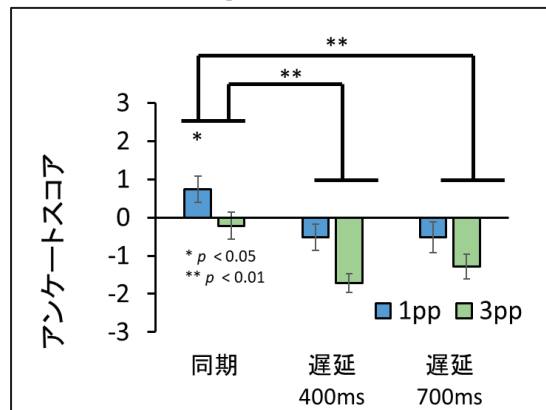


図 3 身体保持感のアンケート結果

運動主体感に関するアンケート結果を図 4 に示す。各条件において、0 との  $t$  検定を行ったところ 1pp の同期条件( $t(20) = 4.01, p < 0.001$ )及び 3pp の同期条件( $t(21) = 6.30, p < 0.001$ )において有意なアンケートスコアが見られた。また、二要因に対応がある([1pp, 3pp], [同期, 遅延 400ms, 遅延 700ms]) 二要因の分散分析を行ったところ遅延による主効果が見られた( $F(2,40) = 24.1, p < 0.001$ )。遅延の主効果が見られたことから多重比較(テューキーの HSD 検定)を行ったところ遅延 400ms 条件及び遅延 700ms 条件よりも同期条件の方が高いスコアを示した( $HSD = 0.786, p < 0.05$ )。

以上の結果より身体保持感は 1pp の同期条件時にアバターに対して抱き、運動主体感は同期条件であれば抱くといえる。

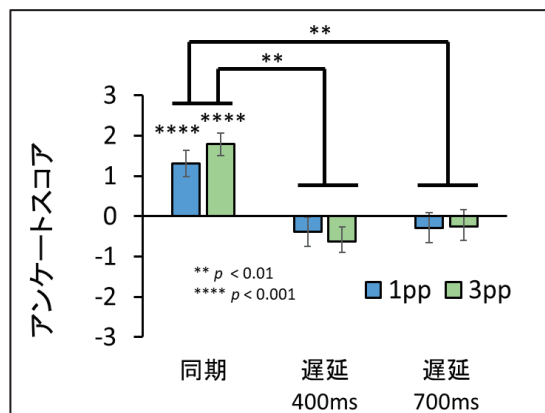


図 4 運動主体感のアンケート結果

### 3.2 ドリフト距離

ドリフト距離の結果を図 5 に示す。各条件において、0 との  $t$  検定を行ったところ 1pp の遅延 700ms 条件( $t(20) = 3.08, p < 0.01$ )、3pp の同期条件( $t(20) = 2.35, p < 0.05$ )において有意なドリフト距離が見られた。また、二要因に対応がある([1pp, 3pp],[同期, 遅延 400ms, 遅延 700ms])二要因の分散分析を行ったところ交互作用が見られた( $F(2, 40) = 3.44, p < 0.05$ )。下位検定として単純主効果検定を行ったところ遅延 700ms 条件において 1pp 条件より 3pp 条件の方が前方への大きなドリフト距離を示した( $F(1, 60) = 5.76, p < 0.05$ )。さらに 3pp 条件において多重比較(テューキーの HSD 検定)を行ったところ 3pp の遅延 700ms 条件と 3pp の同期条件の間に有意差が見られた( $HSD = 15.5, p < 0.05$ )。

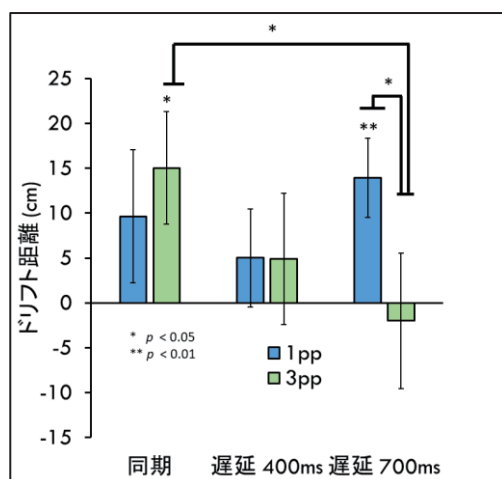


図 5 ドリフト距離の測定結果

### 4. 考察

今回の実験では、VR 環境において自分の身体の動きをアバターに投射し、視点とアバターの動きの違いによる自己身体感を調べた。身体保持感のアンケート結果において 1pp の同期条件では身体保持感を抱いていたが 3pp の同期条件では抱いていなかった。これより自己身体感の投射は時間の整合性だけでなく投射先の自己との相対的位置が重要であると考えられる。これはラバーハンド錯覚の先行研究において、ラバーハンドと実際の手の距離を離すと身体保持感が低下するという結果からも支持される[Lloyd 2007]。また、運動主体感のアンケート結果で同期条件であれば視点と関係なく運動主体感を抱いた。これはアバターと自身の動きの時間的一致によって自身の動きの表象がアバターに投射されることで距離に関係なく運動的自己が拡張されたと考えられる。このことから運動主体感は身体の動きとの時間的整合性が重要であるが、身体保持感はそれに加えて空間的整合性も必要になるのだと考えられる。

### 参考文献

- [Gallagher 2000] Gallagher S: Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. Trends in Cognitive Sciences, 4: 14-21. 2000.
- [Kalckert 2012] Kalckert A: Moving a rubber hand that feels like your own: A dissociation of ownership and agency. Frontiers in Human Neuroscience, 6, 40. 2012

- [Petkova 2011] Petkova V. I: The perspective matters! Multisensory integration in ego-centric reference frames determines full-body ownership. Frontiers in psychology, 2, 35. 2011
- [Heydrich 2013] Heydrich L: Visual capture and the experience of having two bodies – evidence from two different virtual reality techniques. Front. Psychol., 4, 946. 2013
- [Lloyd 2007] Lloyd, Donna M: "Spatial limits on referred touch to an alien limb may reflect boundaries of visuo-tactile peripersonal space surrounding the hand." Brain and cognition 64.1: 104-109. 2007