



# 身体部位の提示有無が 身体所有感の開始時間と持続時間に及ぼす効果

近藤亮太<sup>1)</sup>, 杉本麻樹<sup>1)</sup>

1) 慶應義塾大学 (〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1, ryota.kondo@imlab.ics.keio.ac.jp, maki.sugimoto@keio.jp)

**概要:** 身体所有感の錯覚では、視覚・触覚同期や視覚・運動同期によってゴムの手やアバタがあたかも自分の身体のように感じられる。この錯覚の開始時間と持続時間が調べられているものの、身体の一部のみを提示した場合の時間は明らかとなっていない。本研究では、参加者の運動に同期して動く通常アバタ、手足なしアバタ、手足のみアバタを提示し、身体所有感錯覚の開始時間と持続時間に変化が見られるか調べた。その結果、身体部位の提示面積が狭くなるほど、錯覚の持続時間が短くなり、身体所有感と行為主体感が弱くなることが示唆された。

**キーワード:** 身体所有感, ラバーバンド錯覚, クロスモーダル

## 1. 序論

身体所有感の錯覚では、視覚・触覚同期や視覚・運動同期によってゴムの手やアバタがあたかも自分の身体のように感じられる [1], [2]。この錯覚が生じるまでの時間や持続時間が調べられており、ラバーバンド錯覚では 23s [3], 全身アバタへの錯覚では 5s [4] で生じる。一方でラバーバンド錯覚の生起時間と持続時間の両方を調べた研究では、実験 1 で錯覚の開始時間が 50s, 実験 2 では 100s であり、持続時間は 180s の触覚刺激中 80s であった [5]。開始時間の違いは、ラバーバンド錯覚のセットアップや手続きの違いによるものだと考えられる。このようにラバーバンドや全身アバタへの所有感が報告されているものの、手足のみの透明身体 [6] のように身体の一部のみを提示した場合の開始時間や持続時間は明らかとなっていない。本研究では、全身アバタの提示部位を操作することで、身体所有感錯覚の開始時間と持続時間に変化が見られるか調べた。

## 2. 方法

### 2.1 実験参加者

実験の目的を知らない 28 名 (すべて男性, 平均年齢 22.8 歳 ± 2.4SD, 平均身長 169.7cm ± 6.7SD, 右利き 26 名, 左利き 2 名) がインフォームドコンセントに同意し, 参加した。参加者は正常な視力および, 身体運動能力を有した。本実験は, 「豊橋技術科学大学 人を対象とする研究倫理審査委員会」の承認を得て行われた。

### 2.2 装置

参加者はコンピュータ (OS: Windows 10 (64bit), CPU:

Intel Core i9-9900K, RAM: 32GB, GPU: NVIDIA GeForce RTX 2080 SUPER 8G) で作成された刺激を, HMD (HTC Vive Pro Eye 解像度: 1440 x 1600 pixel (片目), リフレッシュレート: 90Hz, 視野角: 110deg) を通して観察した (図 1 : 右)。参加者はモーションキャプチャスーツを着用し, 12 台のカメラ (OptiTrack PrimeX 22, 解像度: 2048 × 1088, フレームレート: 360Hz, 遅延: 2.8ms) を用いて参加者の動きを取得した。また, 身体所有感の開始時間と持続時間の計測及びアンケート回答のために 2 つの Vive コントローラーを持った状態で実験を行った (図 1 : 左)。

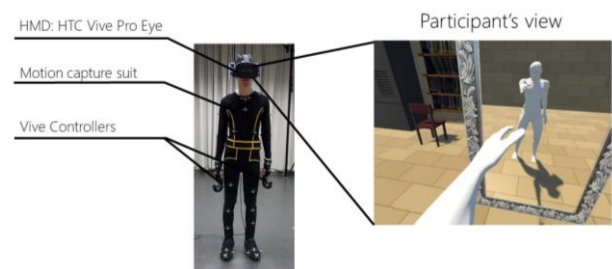


図 1: 装置を身に着けた参加者 (左), 参加者の視点から見える映像 (右)。

### 2.3 刺激と条件

VR 空間上に 3 種類のアバタ (図 2 Normal: 通常アバタ, No Limbs: 手先足先なし, Only Limbs: 手先足先のみ) のうち一つが提示された。参加者はアバタを一人称視点から観察し, アバタは参加者の運動に同期して動いた。参加者の前方にはアバタを映すための鏡があった。

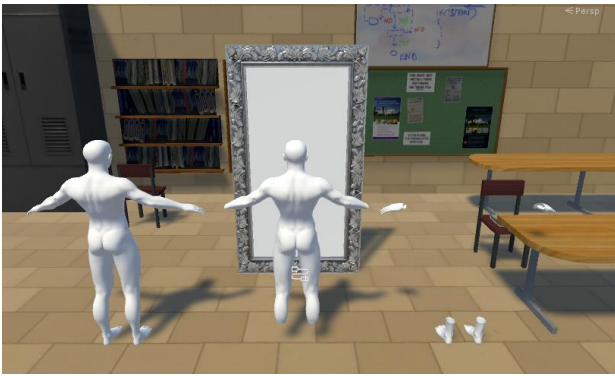


図 2: 実験で用いたアバタ。Normal (左), No Limbs (中央), Only Limbs (右)。

## 2.4 手続き

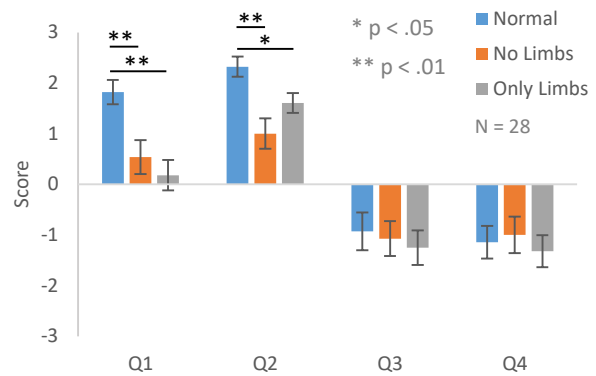
実験のはじめに VR 空間に慣れるために 30s の見回しがあった。その後アバタが提示され、参加者は 1 分間ヘッドホンから 1 Hz で提示される音に合わせて動いた。運動は右手→左手→右足→左足の順で動かし、そのときに各身体部位を観察するよう教示された。1 分間の運動後アンケート (7 段階のリッカートスケール: -3: 全く感じなかった, 0: どちらでもない, +3: 非常に強く感じた) を行い、運動とアンケートの組み合わせを各アバタ条件 1 回ずつランダム順で実施した。次にアンケートの身体所有感の項目のスコアが 1 以上のアバタ条件に対して、身体所有感の開始時間と持続時間を計測する課題を行った。参加者はこれまでと同様に 1 分間の運動を行い、提示されたアバタ (Only Limbs 条件の場合は手と足の間の空間) が自分の身体のように感じたら右手コントローラーのボタンをすぐに押し、感じている間ボタンを押し続けるよう教示された。また、身体所有感がなくなったあとも、再び感じた場合もボタンを押すよう教示した。それぞれの試行で初めてボタンを押した時間を開始時間、ボタンを押し続けた時間の合計を持続時間として記録した。開始時間と持続時間の計測は各条件 3 回ずつランダム順で行った。

## 3. 結果

### 3.1 主観評定

ウィルコクソンの符号順位検定を用いて統計解析を行い、 $p$  値をボンフェローニ法によって補正した。

その結果、Normal 条件において、No Limbs や Only Limbs よりも有意に強い身体所有感が報告された (図 3 Q1: Normal vs. No Limbs:  $z = 3.14$ ,  $p = .0029$ ,  $r = .59$ ; Normal vs. Only Limbs:  $z = 3.36$ ,  $p = .0011$ ,  $r = .64$ )。また、行為主体感においても Normal 条件が No Limbs や Only Limbs よりも有意に強いことがわかった (Q1: Normal vs. No Limbs:  $z = 3.77$ ,  $p < .001$ ,  $r = .71$ ; Normal vs. Only Limbs:  $z = 2.75$ ,  $p = .013$ ,  $r = .52$ )。コントロール質問では有意差は見られなかった。



Q1	バーチャルな 身体 / 手と足の間の空間 が自分の身体のように感じた。
Q2	バーチャルな 身体 / 手足 の動きが自分の動きのように感じた。
Q3	自分の身体が 2 つあるように感じた。
Q4	バーチャルな身体が自分の動きをコントロールしているように感じた。

図 3: 主観評定の結果。エラーバーは標準誤差。

### 3.2 開始時間

ウィルコクソンの順位和検定を用いて統計解析を行い、 $p$  値をボンフェローニ法によって補正した。

その結果、Normal, No Limbs, Only Limbs の順に身体所有感が生じたものの、条件に有意差は見られなかった (図 4 Normal vs. No Limbs:  $z = -1.6$ ,  $p = 0.34$ ,  $r = .22$ ; Normal vs. Only Limbs:  $z = -2.32$ ,  $p = .06$ ,  $r = .32$ ; No Limbs vs. Only Limbs:  $z = -1.27$ ,  $p = .65$ ,  $r = .17$ )。

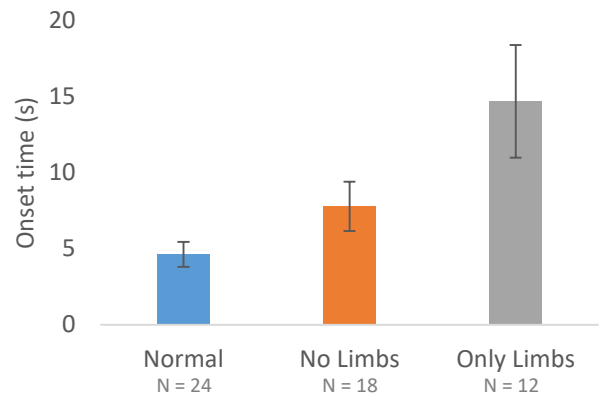


図 4: 開始時間の結果。エラーバーは標準誤差。

### 3.3 持続時間

ウィルコクソンの順位和検定を用いて統計解析を行い、 $p$  値をボンフェローニ法によって補正した。

その結果、Normal 条件のほうが Only Limbs 条件よりも有意に持続時間が長くなった (図 5  $z = 2.38$ ,  $p = .049$ ,  $r = .32$ )。それ以外の部分では有意差は見られなかった (Normal vs. No Limbs:  $z = 1.93$ ,  $p = .16$ ,  $r = .26$ ; No Limbs vs. Only Limbs:  $z = 0.59$ ,  $p = 1.00$ ,  $r = .08$ )。

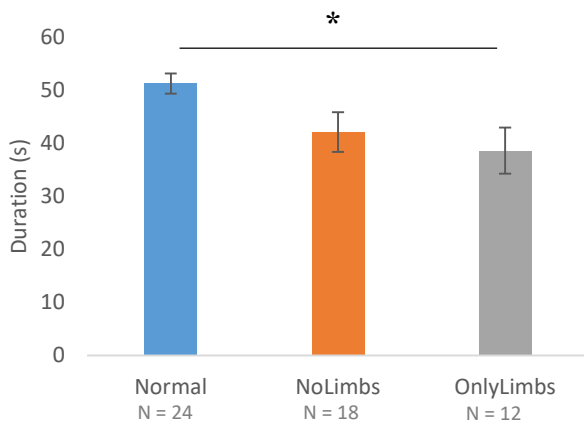


図 5：持続時間の結果。エラーバーは標準誤差。

#### 4. 考察

本研究では、全身アバタの提示部位を操作することで、身体所有感錯覚の開始時間と持続時間に変化が見られるか調べた。その結果、持続時間でのみ有意差が見られ、Normal条件のほうがOnly Limbs条件よりも錯覚の持続時間が長くなった。主観評定の結果では、Normal条件における身体所有感(Q1)と行為主体感(Q2)がNoLimbs条件やOnly Limbs条件よりも強くなった。これらのことから、身体部位の提示面積が狭くなるほど、錯覚の持続時間が短くなり、身体所有感と行為主体感が弱くなるが、開始時間は変化しないことが示唆された。

本研究のNormal条件における錯覚の開始時間は約5sとなり、全身アバタにおける身体所有感錯覚の開始時間を計測した研究[4]と同程度の時間となった。全身アバタに対する錯覚はロバストで生起が非常に早いと考えられる。

以前の透明身体研究[6]では、手足のみの運動から透明な全身が知覚され、手足の間の空間に全身条件と同程度の身体所有感が生じた。一方で、本研究においては、全身(Normal条件)の方が手足のみ(Only Limbs条件)よりも強い身体所有感が誘発された。透明身体研究[6]では、手足の補完によって透明な全身を知覚しやすくするため、3人称視点で刺激を提示していた。そのため、本研究のような1人称視点では、手足による透明身体の補完がうまく行われず、身体所有感が低下したことが予想される。

#### 謝辞

本研究は JST ERATO JPMJER1701 及び JSPS 科研費 JP21J00345 の助成を受けた。

#### 参考文献

- [1] M. Botvinick and J. Cohen, "Rubber hands 'feel' touch that eyes see," *Nature*, vol. 391, no. 6669, pp. 756–756, Feb. 1998, doi: 10.1038/35784.
- [2] M. Gonzalez-Franco, D. Perez-Marcos, B. Spanlang, and M. Slater, "The contribution of real-time mirror reflections of motor actions on virtual body ownership in an immersive virtual environment," in *2010 IEEE Virtual Reality Conference (VR)*, 2010, pp. 111–114, doi: 10.1109/VR.2010.5444805.
- [3] A. Kalckert and H. H. Ehrsson, "The onset time of the ownership sensation in the moving rubber hand illusion," *Front. Psychol.*, vol. 8, no. 344, 2017, doi: 10.3389/fpsyg.2017.00344.
- [4] S. Keenaghan, L. Bowles, G. Crawford, S. Thurlbeck, R. W. Kentridge, and D. Cowie, "My body until proven otherwise: Exploring the time course of the full body illusion," *Conscious. Cogn.*, vol. 78, p. 102882, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.concog.2020.102882.
- [5] T. Lane, S. L. Yeh, P. Tseng, and A. Y. Chang, "Timing disownership experiences in the rubber hand illusion," *Cogn. Res. Princ. Implic.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–14, Dec. 2017, doi: 10.1186/s41235-016-0041-4.
- [6] R. Kondo, M. Sugimoto, K. Minamizawa, T. Hoshi, M. Inami, and M. Kitazaki, "Illusory body ownership of an invisible body interpolated between virtual hands and feet via visual-motor synchronicity," *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–8, Dec. 2018, doi: 10.1038/s41598-018-25951-2.