



身体提示領域の減少が全身所有感の生起時間に及ぼす効果

Effect of reducing body presentation area on the onset time of the full body illusion

近藤亮太¹⁾

Ryota KONDO

1) 豊橋技術科学大学 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, kondo@real.cs.tut.ac.jp)

概要: 身体所有感の錯覚は視覚・触覚同期刺激や視覚・運動同期刺激の提示によって生じる。部分所有感であるラバーバンド錯覚は 23 秒で誘発され、全身所有感においては 5 秒間身体を観察するだけで生じる。しかし、透明身体のように身体提示領域を減らした際の生起時間は明らかとなっていない。本研究では、手袋と靴下からなる透明身体における全身所有感の生起時間を調べた。その結果、6.93 秒の同期運動または 4.67 秒の観察で全身所有感が生じた。

キーワード: 身体所有感, 全身所有感, クロスモーダル

1. 序論

ある身体が自分のものである感覚は身体所有感と呼ばれ、自身の身体だけでなく、ゴムの手のような偽物の身体にも生じる[1]。これはラバーバンド錯覚と呼ばれ、被験者の手とゴムの手を同時にブラシで撫で、被験者がゴムの手のみを観察することで、ゴムの手が被験者自身の手のように感じられる[1]。このような視覚・触覚同期刺激の提示だけでなく、被験者と偽物の手が同期して動く、視覚・運動同期によっても身体所有感の錯覚は生じる[2]。これらは、身体の一部にのみ身体所有感の錯覚が誘発されることから、部分所有感と呼ばれる。

同様の方法で身体部位だけでなく、全身に対しても身体所有感の錯覚は生じること[3],[4]がわかっており、これは全身所有感と呼ばれる。全身所有感は、部分所有感と異なり、自己意識に密接に関わると考えられている[5]。

部分所有感や全身所有感の誘発には、視覚・触覚同期刺激の提示や視覚・運動同期刺激を提示が必要であるが、その提示時間は実験によって様々である。そのため、全身所有感と部分所有感の生起時間が調べられており、部分所有感であるラバーバンド錯覚は 23 秒[6]、全身所有感は 5 秒[7]で生じることが明らかとなっている。

このように、ゴムの手や全身アバタに対する身体所有感の生起時間が報告されているものの、透明身体[8]–[10]のように身体提示領域を減らした際の生起時間は明らかとなっていない。錯覚の誘発には多感覚統合が重要であることから、透明身体のように身体提示領域を減らした場合、身体をすべて提示した場合よりも、錯覚の生起に時間がかかると考えられる。本研究では、身体提示領域が減少すると、錯覚生起にかかる時間が長くなるという仮説を立て、

実験を行った。全身所有感の生起時間を計測した研究[7]と同様に視覚・運動同期刺激の提示によって透明身体に対する全身所有感の誘発を試みた。具体的には、被験者の手足に同期して動く手袋と靴下[10]を用いて、全身所有感の生起時間を計測した。

2. 方法

2.1 被験者

実験の目的を知らない 10 名の被験者（すべて男性、平均年齢 22.00 歳±1.15SD, 平均身長 169.8cm±5.18SD, 右利き 9 名, 左利き 1 名）が実験に参加した。被験者は、正常な視力と運動能力を有した。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」の承認を得て実施された。

2.2 装置

コンピュータ (OS: Windows 10 (64bit), CPU: Intel Core i7-9700F, RAM: 16GB, GPU: NVIDIA GeForce RTX 2070 SUPER 8G)で作成した視覚刺激を HMD (Valve Index, 解像度: 1440 x 1600 pixel (片目), リフレッシュレート: 90Hz, 視野角: 130deg)に提示した。手と足の動きを取得するため、被験者は Valve Index コントローラー 2つを左右の手で把持し、Vive Tracker が 1つ装着された靴を右足と左足に着用した。

2.3 刺激と条件

Unity で作成した VR 空間に手袋と靴下を被験者の手足と同じ位置に提示し、被験者はそれを 1 人称視点から観察した。左右の手袋には被験者が把持するものと同じコントローラーが提示され、被験者の前方 1m 先には手袋と靴下が映る鏡が置かれた。実験では手袋と靴下が被験者の手足の運動に連動して動く同期条件 (図 1 左), 1.75 秒遅延し

て動く非同期条件（図1左）、被験者は下を向いた状態で動かず、手袋と靴下も動かない静止条件（図1右）があった。また、被験者の運動のタイミングを合わせるために、すべての条件で周波数1 kHz、継続時間500ms、振幅1のサイン波から生成された音刺激が1秒毎にHMDのヘッドホンを通して被験者の両耳に提示された。



図1：同期条件・非同期条件（左）、静止条件（右）

2.4 手続き

同期条件と非同期条件では、被験者がヘッドホンから1秒毎に提示される音に合わせて各身体部位を右手、左手、右足、左足の順に60秒間動かした。静止条件では、手袋と靴下がHMDに映るように下を向き60秒間待機した。音刺激の影響を統制するため、音は静止条件でも提示されたが、被験者にはこれを無視するよう教示した。各条件終了後、被験者は身体認知に関する質問5項目に対して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）で答えた。各条件の実施順及び、質問項目の順番はランダム順であった。

1. 手袋と靴下間の空間が自分の身体のように感じた。
2. 手袋と靴下の動きが自分の動きのように感じた。
3. 自分の身体が2つあるように感じた。
4. 手袋と靴下が自分の動きをコントロールしているように感じた。
5. 手袋と靴下間に全身が見える感じがした。

これらを各条件1回ずつ行ったあと、全身所有感に関する項目（質問1）の評定値が同期条件で+1以上であり、非同期条件で-1以下である被験者に対して全身所有感が生じるまでの時間計測を行った。被験者は、同期条件と同様に身体を動かし、手袋と靴下も被験者の運動に追従した。そして、手袋と靴下間にある身体が自分の身体と感じたらすぐに右手のコントローラーのボタンを押すように教示された。ボタンを押した後も試行が終わるまで運動を行った。これを3回繰り返した。さらに時間計測を行った被験者のうち、全身所有感に関する質問の評定値が静止条件で+1以上であった被験者に対して、時間計測を静止条件で3回行った。

すべての試行間で、前の試行で生じた全身所有感の錯覚を消すため、被験者はHMDを外して約30秒間自由に身体を動かした。

3. 結果

3.1 主観評定

各質問項目に対して、ウィルコクソンの符号順位検定を用いて多重比較を行い、ボンフェローニ法によってp値を補正した。

その結果、全身所有感の質問項目では、手袋と靴下が被験者の手足の運動に同期しているとき、非同期の場合よりも、手袋と靴下間の空間が自分の身体のように感じた（図2 Q1: $z = 2.83, p = .0059, r = .89$ ）。また、被験者と手袋と靴下が静止しているとき、非同期の場合よりも、手袋と靴下間の空間が自分の身体のように感じた（Q1: $z = -2.70, p = .012, r = .85$ ）。一方で、手袋と靴下が被験者の運動と同期している場合と、静止している場合で全身所有感に有意差は見られなかった（Q1: $z = .30, p = 1.00, r = .10$ ）。行為主体感の質問項目では、手袋と靴下の運動が被験者の運動に同期しているとき、非同期の場合や静止の場合よりも、手袋と靴下の運動が自分の運動のように感じた（Q2 同期—非同期: $z = 2.83, p = .0059, r = .89$; 同期—静止: $z = 2.68, p = .012, r = .85$ ）。手袋と靴下が被験者の運動に非同期であった場合と静止している場合の間には行為主体感に有意差はなかった（Q2: $z = -1.78, p = .28, r = .56$ ）。質問3,4は統制質問であり、条件間に有意な差は見られなかった。質問5では、透明身体研究[10]と同様に、同期条件でのみ透明な身体が見えると予想したが、条件間に有意差は見られなかった（Q5: 同期—非同期: $z = 1.13, p = .28, r = .36$; 同期—静止: $z = 2.06, p = .04, r = .65$; 非同期—静止: $z = 1.26, p = .21, r = .40$ ）。

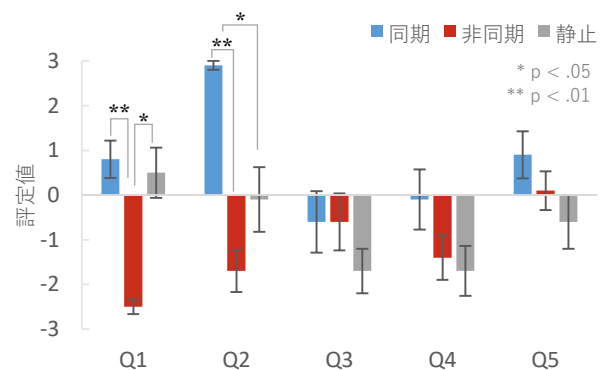


図2：主観評定の結果。エラーバーは標準誤差。

3.2 全身所有感の生起時間

アンケート結果で基準（全身所有感に関する質問の評定値が同期条件で1以上、非同期条件で-1以下）を満たした7人の被験者に対して同期条件における全身所有感生起時間の計測を行った。その7人の被験者のうち、基準（全身所有感に関する質問の評定値が静止条件で1以上）を満たした4人の被験者は静止条件においても同様の時間計測を行った。その結果、同期条件における全身所有感の平均生起時間は6.93秒（SE ±2.65s）、静止条件では4.67秒（SE ±1.01秒）であった（図3）。静止条件のほうが同期条件よりも生起時間が早かったものの、統計的有意差は見られ

れなかった (ウィルコクソンの順位和検定: $z = 0$, $p = 1.00$, $r = 0$)。

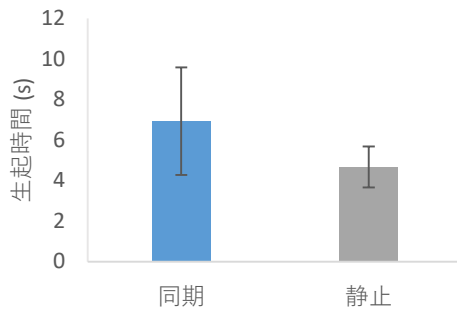


図 3 : 全身所有感の生起時間。エラーバーは標準誤差。

4. 考察

本研究では、手袋と靴下のみからなる透明身体を用いて全身所有感の生起時間を調べた。その結果、生起時間は同期条件では 6.93 秒、静止条件では 4.67 秒となった。主観評定では、以前の透明身体研究[10]と同様に、手袋と靴下が被験者の運動に同期することで全身所有感および行為主体感が報告された。また、手袋と靴下のみを身体を観察するだけで、被験者が手袋と靴下を動かしている場合と同等の全身所有感が誘発されることが明らかとなった。しかし静止条件では、位置を合わせるために手袋と靴下が被験者の手足に同期していた。そのため、60 秒間動かないように被験者に教示したものの、手袋と靴下の小さな動きによって全身所有感が誘発された可能性が考えられる。

全身所有感の生起時間は、統計的有意差は見られなかったものの、静止条件のほうが同期条件よりも 2 秒ほど早くなった。同期条件では、手足を 1 秒毎に動かしたため、ボタンを押すのが少し遅れたことや、提示される音にボタンを押すタイミングが引っ張られた可能性がある。

全身所有感の生起時間を計測した先行研究においては、静止条件、同期条件共に 5 秒で全身所有感が生起していた[7]。本研究では、同期条件 6.93 秒、静止条件 4.67 秒で全身所有感が生起した。そのため、透明身体のように身体提示領域を減らした場合においても同程度の時間で全身所有感が生起可能であることが示唆された。このことから、手足以外の提示の有無は全身所有感の生起時間に影響を及ぼさないことが考えられる。しかし、先行研究[7]では 5 秒、30 秒、55 秒ごとに全身所有感を計測しており、実際は 5 秒よりも早い段階で生起している可能性もある。今後は、全身アバタを用いて本研究と同様の方法で生起時間を計測し、透明身体と比較することで、身体提示領域と生起時間の関係性を詳しく調査する予定である。

謝辞

本研究は JST ERATO JPMJER1701 及び JSPS 科研費 JP19J12660 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] A. Kalckert and H. H. Ehrsson, "Moving a Rubber Hand that Feels Like Your Own: A Dissociation of Ownership and Agency," *Front. Hum. Neurosci.*, vol. 6, no. March, pp. 1–14, 2012, doi: 10.3389/fnhum.2012.00040.
- [3] 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.
- [4] V. I. Petkova and H. H. Ehrsson, "If I were you: Perceptual illusion of body swapping," *PLoS One*, vol. 3, no. 12, p. e3832, Dec. 2008, doi: 10.1371/journal.pone.0003832.
- [5] O. Blanke and T. Metzinger, "Full-body illusions and minimal phenomenal selfhood," *Trends Cogn. Sci.*, vol. 13, no. 1, pp. 7–13, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.tics.2008.10.003.
- [6] A. Kalckert and H. H. Ehrsson, "The onset time of the ownership sensation in the moving rubber hand illusion," *Front. Psychol.*, 2017, doi: 10.3389/fpsyg.2017.00344.
- [7] 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.
- [8] A. Guterstam, G. Gentile, and H. H. Ehrsson, "The invisible hand illusion: Multisensory integration leads to the embodiment of a discrete volume of empty space," *J. Cogn. Neurosci.*, vol. 25, no. 7, pp. 1078–1099, Jul. 2013, doi: 10.1162/jocn_a_00393.
- [9] A. Guterstam, Z. Abdulkarim, and H. H. Ehrsson, "Illusory ownership of an invisible body reduces autonomic and subjective social anxiety responses," *Sci. Rep.*, vol. 5, no. 1, p. 9831, Sep. 2015, doi: 10.1038/srep09831.
- [10] 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.