



ポータルを使った身体の分裂と自己位置の拡張

近藤亮太¹⁾, 杉本麻樹²⁾

1) 東京大学 (〒113-8654 東京都文京区本郷 7 丁目 3-1, ryota.kondo@vr.u-tokyo.ac.jp)

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

概要: バーチャル身体を左右に分裂させ、それに所有感を誘発することで、自己位置が拡張される。しかし、分裂によって所有感は弱くなること、身体近傍空間外の身体には所有感が生じないことがわかっているため自己位置の拡張範囲には限界がある。本研究では、ポータルを使って身体をつなぐを補完することで、分裂した遠くの身体に所有感が生起し、自己位置が拡張されるか調べた。

キーワード: 身体所有感, 自己位置感覚, 身体拡張

1. はじめに

あなたは今どこにいますか?と聞かれると、物理的な身体のあるここにいると答えるだろう。しかし、ここにいるという感覚(自己位置感覚)は簡単に変わってしまう。バーチャルリアリティを用いて、観察者の前方に提示されたバーチャル身体と観察者の背中を同時に撫でることで、前方のバーチャル身体があたかも自分の身体のように感じる(身体所有感)[1]。そして、前方のバーチャル身体に身体所有感が生起するとき、自己位置がその身体方向にドリフトする[1]。バーチャル身体を中心から左右に分裂した研究では、分裂した身体に所有感を誘発することで、右半身の自己位置が右側へドリフトした[2]。しかし、分裂によって所有感が弱くなること[2]、身体近傍空間(Peripersonal space; PPS)外の身体は所有感が弱くなること[3]がわかっているため、バーチャル身体を遠くまで移動・分裂した場合、所有感が完全になくなり、自己位置が拡張できない可能性が高い。

一方で、長い腕のように、身体が繋がっている場合、PPS外の身体にも所有感は生起する[4]。不連続な部分を隠した場合[5]や、透明部位が主観的に補完された場合[6]においても所有感が生起することがわかっており、これらの研究は身体の繋がりを補完することの重要性を示唆している。そのため、PPS外に身体がある場合においても、身体の繋がりを補完することができれば所有感が生起すると考えた。これによって、これまで所有感や自己位置感覚が生起しなかった場所まで自己身体を拡張することが可能となる。

そこで本研究では、身体の繋がりを補完することで、分裂できる距離を拡張することを目的とした。ポータルを使用することで、遠くのバーチャルハンドに対する所有感が維持されることが明らかとなっている[7]ため、本研究においてもポータルを用いた。ポータルによって分裂身体の繋がりが補完され、所有感が維持されると考えた。

2. 方法

2.1 参加者

21名の正常な視力または矯正視力及び身体能力を持つ成人男女(男性18名、女性3名、平均年齢25歳±6.53SD、平均身長169.24cm±4.53SD、右利き19名、左利き2名)がインフォームドコンセントに署名し、実験に参加した。サンプルサイズはG*Power3.1によって事前に算出された(反復測定1元配置分散分析, 1要因5水準, 効果量中f=0.25, 有意水準 $\alpha=0.05$, 検定力power=0.8)。実験は慶應義塾大学理工学部生命倫理委員会の承認を得て実施された。

2.2 装置

参加者はモーションキャプチャスーツ、ヘッドマウントディスプレイ(HMD, HTC Vive Pro Eye)を身に付け、Viveコントローラーを両手に持った状態で、コンピュータによって作成されたVR空間を観察した(図1)。参加者の動きは24台モーションキャプチャカメラ(OptiTrack)によってトラッキングされた。



図 1: 実験環境

2.3 刺激と条件

5つある身体条件(図2)全てにおいて、バーチャル身体は参加者の運動に同期して動いた。実験では、左半身が分裂した身体(Split25条件:分裂距離25cm; Split80条件:分裂距離80cm)、通常身体+ポータル(Portal25条件:ポータル間距離25cm, Portal80条件:ポータル間距離80cm)、通常身体(Normal条件)のいずれかがHMDを通して提示され、参加者はそれを1人称視点で観察した。分裂した身体条件では、バーチャル身体を中心に分け、左半身を左側にシフトさせた身体が提示された。ポータルのある条件では、対象者がバーチャル身体をポータルに入れると、入れた身体部位がもう一つのポータルから現れた。頭をポータルに入れた場合においても視点は別のポータル位置に移動しなかった。

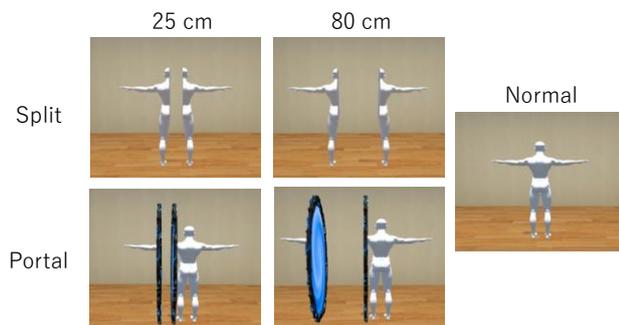


図2: 身体条件

2.4 学習課題

バーチャル身体の手と足で対象者の左側にあるターゲットに触れる課題を行った(図3)。ターゲットは肩の高さの位置にあり手で触るもの、地面にあり足で触るものの2つがあった。対象者は、2つのターゲットを触ったあと、初期位置の線をバーチャル身体の手で踏んだあと、再び左側のターゲットを触った。参加者が触るべきターゲットは赤色で提示され、参加者がターゲットを触ると緑色になった。この課題を2分間繰り返した。

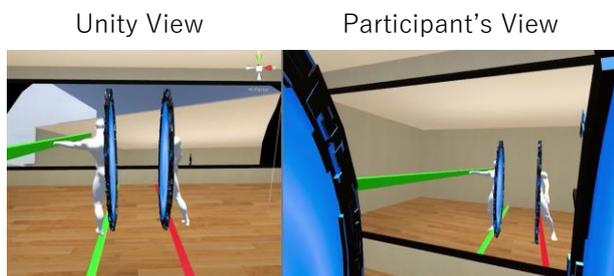


図3: 学習課題のようす

2.5 Mental Imagery Task (MIT)

実験では、参加者の自己位置を計測するため、Mental Imagery Task (MIT)[1]を実施した。前方の身体に所有感が生じた場合、自己位置が前方にドリフトする[1]。本研究では、半身がポータルもしくは分裂によって左側へ移動

することで、左足の自己位置が左側へドリフトすると予想した。また、左半身の位置が遠い場合、分裂では所有感が弱くなるため自己位置ドリフトが起きないが、ポータルがある場合は身体つながりが補完されるため、身体所有感が維持され、左半身が遠くにある場合でも自己位置ドリフトが生起すると予想した。

MITでは、VR空間内で左右どちらかに頭のみを向けるようテキストで教示し、頭を向けた方向に赤いボールが出現したあと、参加者に向かって移動し、移動開始から3s後に画面が暗転した。参加者は、暗転後もボールの運動を予想し、自分の足にぶつかったと感じたタイミングでボタンを押すよう教示された。これを1ブロックあたり左右3回ずつランダム順で行った。

2.6 手続き

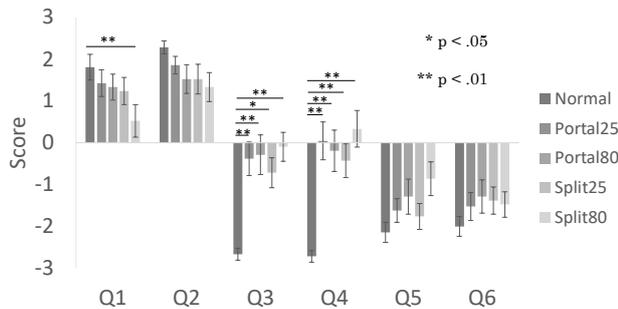
最初にMITの練習を1ブロック、再びベースラインとしてMITを1ブロック実施した。その後、身体所有感を誘発するため、学習課題を行った。そして再びMITを1ブロック行い、最後に身体知覚に関する主観評定を実施した。参加者は各質問項目に対して、7段階のリッカート尺度(-3:全く感じなかった,+3:非常に強く感じた)で答えた。学習課題から主観評定までの手続きを各身体条件1回ずつランダム順で合計5回実施した。

3. 結果

主観評定及びMITの結果に対してフリードマン検定を実施した。下位検定にはコノバー検定が用いられた。多重比較時のp値はボンフェローニ法によって補正された。

3.1 主観評定

身体所有感に関する項目(Q1)で主効果が見られ($p = .005$)、Normal条件のほうがSplit80条件よりも所有感が強かった($p = .005$, 図4)。行為主体感に関する質問(Q2)では主効果は見られなかった($p = .11$)。Q3では主効果があり($p < .001$)、通常身体条件以外のすべての条件で、通常身体よりも2つの身体を持っている感覚が強かった(Normal vs. Portal25: $p = .001$; Normal vs. Portal80: $p < .001$; Normal vs. Split25: $p = .012$; Normal vs. Split80: $p < .001$)。Q4においても主効果が認められ($p < .001$)、通常身体条件以外のすべての条件で、通常身体よりも身体が分裂したように感じた(Normal vs. Portal25: $p < .001$; Normal vs. Portal80: $p = .002$; Normal vs. Split25: $p = .007$; Normal vs. Split80: $p < .001$)。コントロール質問(Q5, Q6)では主効果が見られなかった(Q5: $p = .068$; Q6: $p = .33$)。



Q1	バーチャルな身体が自分の身体のように感じた
Q2	バーチャルな身体の動きが自分の動きのように感じた
Q3	自分の身体が2つになったように感じた
Q4	自分の身体が分裂したように感じた
Q5	自分の動きがバーチャルな身体にコントロールされているように感じた
Q6	自分の動きがバーチャルな身体にコントロールされているように感じた

図 4:主観評定の結果。エラーバーは標準誤差。

3.2 MIT

各条件の値からベースライン値を引いた値を統計解析に用いた。その結果、MITの左側 (p = 0.39) と右側 (p = 0.71) の両方で身体条件の主効果は見られなかった (図 5)。一方で、1 標本のウィルコクソン検定を行った結果、Split80 条件では右方向へのドリフトが 0 より有意に大きかった (p = 0.044)。

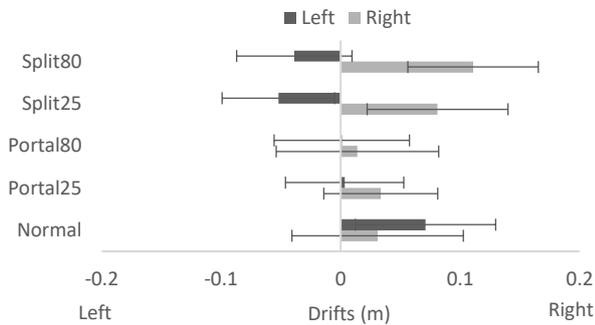


図 5 : MIT の結果。エラーバーは標準誤差。

4. 考察

本研究では、ポータルを使って身体の連続性を維持することで、遠くまで分裂した身体に対しても所有感が生じるか、それによって自己位置が拡張されるか調べた。その結果、遠くまで分裂した身体 (Split80) の所有感は Normal 条件より弱くなった。これは PPS 外まで半身をシフトしたことが原因だと考えられる。一方で、遠くのポータル条件では Normal と所有感に差は見られなかった。これは同じ 80cm のシフトでも、ポータルがあれば身体所有感が維持されることを示唆する。

PPS 内のバーチャル身体のシフトでは自己位置がドリフトするという先行研究[3]の結果から、Split25 条件及び Portal25 条件では、自己位置のドリフトが予想された。そして、ポータルを使うことで、本来ドリフトが生起しない

80cm の距離においても自己位置ドリフトが生起すると考えた。しかしながら、MIT ではどの条件間にも有意差は見られなかった。これは参加者によって課題の得意不得意があり、結果にばらつきが大きいことが原因として挙げられる。これらの結果から、ポータルは遠くの身体に対する所有感を維持することはできるが、自己位置は拡張できないことが示唆された。

身体条件間で自己位置ドリフトに差は見られなかったものの、Split80 条件では、分裂方向とは反対の右側へのドリフトが有意に 0 よりも大きかった。左側のターゲットを触る課題では、Split 条件や Portal 条件で、左側に移動しすぎる参加者がいた。これは、参加者のボディスキーマが左側にシフトした身体に合わせて更新されておらず、参加者の肉体位置からターゲットにリーチングしようとした結果だと思われる。そして、そのずれを補正するためにボディスキーマが左側のターゲットから遠ざかる方向に更新された結果、右側に自己位置がシフトする傾向につながったと思われる。つまり、Split80 条件では、分裂した左半身を自己身体に追従する自分以外の身体だと感じており、その半身でターゲットを正確に触るために、自己位置が右側にシフトした可能性がある。実際、Split80 条件のみ所有感が低下していた。

Q3 (自分の身体が2つになったように感じた) のスコアは、Normal 条件が有意に低かったものの、どの条件においても 0 より有意に高くならなかった。つまり、分裂した場合においても、身体が2つになったように感じなかった。25cm のように近い距離の分裂だと、一つの身体のように知覚されることが示唆されている[2]ものの、同様の傾向が 80cm シフトしている条件でもみられた。これは、身体を傾けた際などに分裂した身体両方が同期して動くことで、一つの身体としてのまとまりが知覚されたのかもしれない。ポータル条件については、ポータルによって身体の連続性が知覚された結果、身体が2つになったように感じなかったと思われる。Q4 (自分の身体が分裂したように感じた) も Q3 と同様の結果となった。ポータル条件及び分裂条件において一つの身体として知覚されたために、あまり分裂したようには感じなかったと考えられる。視覚的に分裂していても、一つの身体として知覚されている限りは、分裂したように感じることは難しいと思われる。

5. おわりに

本研究では、ポータルで分裂身体のつながりを補完することで、分裂した遠くの身体に所有感が生起し、自己位置が拡張されるか調べた。その結果、ポータルは遠くの身体に対する所有感を維持することはできるが、自己位置は拡張できないことが示唆された。ただし、自己位置の計測に関しては、課題の難易度が高かったことも原因として考えられるため、今後異なる方法での計測が必要である。ポータルを活用することで、通常は所有感が生起しない配置の身体に対しても所有感が誘発できる可能性がある。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP22K17938 の助成を受けた。

参考文献

- [1] E. Nakul, N. Orlando-Dessaints, B. Lenggenhager, and C. Lopez, “Measuring perceived self-location in virtual reality,” *Scientific Reports 2020 10:1*, vol. 10, no. 1, pp. 1–12, Apr. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-63643-y.
- [2] R. Kondo and M. Sugimoto, “Split body: Extending self-location by splitting a body left and right,” *Front Virtual Real*, vol. 3, p. 992803, Oct. 2022, doi: 10.3389/FRVIR.2022.992803.
- [3] A. Maselli and M. Slater, “Sliding perspectives: Dissociating ownership from self-location during full body illusions in virtual reality,” *Front Hum Neurosci*, vol. 8, p. 693, Sep. 2014, doi: 10.3389/FNHUM.2014.00693/ABSTRACT.
- [4] K. Kilteni, J.-M. Normand, M. V. Sanchez-Vives, and M. Slater, “Extending Body Space in Immersive Virtual Reality: A Very Long Arm Illusion,” *PLoS One*, vol. 7, no. 7, p. e40867, Jul. 2012, doi: 10.1371/journal.pone.0040867.
- [5] G. Tieri, E. Tidoni, E. F. Pavone, and S. M. Aglioti, “Mere observation of body discontinuity affects perceived ownership and vicarious agency over a virtual hand,” *Exp Brain Res*, vol. 233, no. 4, pp. 1247–1259, Apr. 2015, doi: 10.1007/s00221-015-4202-3.
- [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.
- [7] R. Ban, K. Matsumoto, T. Narumi, and H. Kuzuoka, “Wormholes in VR: Teleporting Hands for Flexible Passive Haptics,” *Proceedings - 2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2022*, pp. 748–757, 2022, doi: 10.1109/ISMAR55827.2022.00093.