



身体の分裂が自己位置知覚に及ぼす効果

近藤亮太¹⁾, 杉本麻樹¹⁾

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@keio.jp, maki.sugimoto@keio.jp)

概要: バーチャルリアリティを用いて自己身体を 2 つにした研究では、自分が異なる 2 地点にいるように感じる。しかし、その感覚は弱く主観的な報告のみである。これは、観察者の身体と提示される 2 つの身体の運動や触覚刺激の対応関係が 1 対 2 になり、注意が身体間で切り替わるためだと考えた。本研究では、1 つの身体を左右に分裂させることで、参加者の身体と提示される身体の 1 対 1 の対応関係を維持したまま、自己位置を拡張できるか調べた。その結果、分裂身体に通常身体よりも弱い所有感が生起し、自己位置は右側にのみ広がった。また、主観評定において、自分の身体が複数になった感覚はなく、身体が広がったように感じると報告されたことから、分裂身体は左右に広がった身体として知覚された可能性が示唆された。

キーワード: 身体所有感, 自己位置, 分裂身体

1. はじめに

視覚・触覚同期[1]や視覚・運動同期[2]によって、生得的でない手や全身があたかも自分の身体のように感じられる(身体所有感の錯覚)。そして、自己身体と異なる位置に提示された身体に所有感が生起すると、知覚される自己位置が提示された身体位置にドリフトする[1], [3]。

そして、この身体所有感の錯覚は、複数の身体に対しても生起する。Guterstam らの研究[4]では、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を通して 2 体のマネキンを提示し、参加者の身体と 2 体のマネキンを同時にストロークすることで、2 体のマネキンに所有感が生じる。また、2 体のマネキンの視点を時間経過で切り替えることで、2 つの場所にいるように感じられる。

Aymerich-Franch らの研究[5]では、参加者は遠隔操作ロボットを操作し、ロボットの視点から参加者自身の身体を観察することで、ロボットと参加者の身体の両方が自分の身体のように感じ、ロボットと参加者の身体位置両方に居るように感じる。

このように複数身体を用いて自己位置の拡張を試みられているが、その感覚は弱く主観評定のみである。これは、観察者の身体と提示される身体の対応が 1 対 2 になることで、注意がアバター間で切り替わっていることが原因だと思われる。Miura らの研究[6]においても、複数の身体を提示した場合は注意が切り替わることが示唆されている。一方で、バーチャルな裂けた手にも所有感が生起し、指位置が裂けた位置にドリフトすること[7]から、参加者の身体と 1 体 1 対対応して動く通常のアバタを左右に分裂させることで、通常身体と同様の身体性を維持したまま、自己位置を 2 点に広げられると考えた。本研究では、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左右に広がるか調べた。

2. 方法

2.1 装置

28 名の参加者がモーションキャプチャスーツ、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), Vive コントローラーを装着し、実験に参加した。参加者の運動は 24 台のモーションキャプチャカメラ (OptiTrack) で計測した。

2.2 刺激と条件

参加者は VR 空間で白いヒト型のアバタを 1 人称視点から観察した。実験では、左右に分裂したアバタ (図 1 左) が同期して動く条件 (SplitS), 分裂したアバタが非同期 (1 s 遅延) で動く条件 (SplitA), 通常のアバタ (図 1 右) が参加者の運動に同期して動く条件 (Normal) の 3 つがあった。分裂条件の場合、分裂した頭の間には視点がなかった。

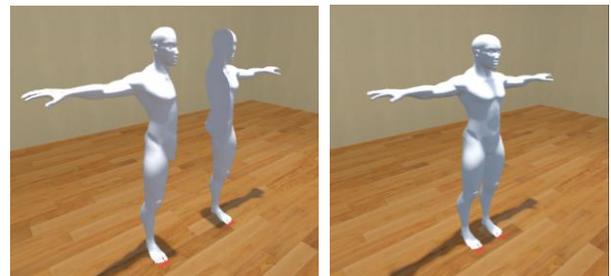


図 1: 分裂アバタ (左), 通常アバタ (右)

2.3 手続き

実験は身体学習と mental imagery task (MIT [3]), 主観評定で構成された。

2.3.1 学習セッション

2秒毎にヘッドホンから提示される音に合わせて、四肢を右手、左手、右足、左足の順に2分間動かした。四肢は前方に伸ばし、その部位を見るように教示した。

2.3.2 MIT

Nakulら[3]の mental imagery task をベースに、左右どちらからボールが転がってくる課題を作成した。はじめに暗転状態の画面に左右どちらかの方向を文字で提示し、提示された方向へ頭のみを回転するよう教示した。その後、参加者がボタンを押すことで、部屋の映像が提示され、もう一度押すと、バーチャルなボールが対象者に向かって転がった。ボールが移動をはじめて3s経過した後、画面が暗転した。参加者は暗転後もボールの移動を予想し、ボールが右から転がってきた場合は右足、左から転がってきた場合は左足に衝突したと感じたタイミングでコントローラーのボタンを押すよう教示した。この位置を推定した足の自己位置として記録した。課題は左右3回ずつランダム順で実施した。

2.3.3 主観評定

身体知覚に関する質問に対し、-3~+3の7段階で答えた。

1. (分裂した)バーチャルな身体が自分の身体のように感じた
2. (分裂した)バーチャルな身体の動きが自分の動きのように感じた
3. 自分の身体が2つになったように感じた
4. 自分の身体が分裂して左右に広がったように感じた
5. 自分が裸になったように感じた
6. (分裂した)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

2.3.4 実験全体の流れ

実験では、はじめにMITの練習を6試行(左右3回ずつ)行ったあと、身体学習前のMITを6試行実施した。参加者は2分間学習セッションで運動したあと、再びMITを6試行実施し、最後にアンケートに回答した。学習セッションからアンケートまでを各身体条件1回ずつ計3回ランダム順で実施した。

3. 結果

主観評定の結果に対してウィルコクソンの符号順位検定を実施した。p値はBonferroni法で補正した。MITの結果は右足と左足に分け、それぞれに対して分散分析を行った。多重比較にはShafferの方法を用いた。

3.1 主観評定

参加者は、分裂したアバタが自身の動きに同期して動くことで、非同期よりも自分の身体のように感じた(図2 Q1 SplitS vs. SplitA: $z = 3.89, p < .001, r = .74$)。しかし、自分の動きに同期して動く通常のアバタのほうが、同期または非同期に動く分裂アバタよりも所有感は強かった(Q1 Normal vs. SplitS: $z = -3.10, p = .0034, r = .59$; Normal vs.

SplitA: $z = -4.56, p < .001, r = .86$)。参加者は、通常あるいは分裂したアバタが同期して動く場合、非同期に動く分裂アバタよりも、自分の運動のように感じた(Q2 SplitS vs. SplitA: $z = 4.23, p < .001, r = .80$; Normal vs. SplitA: $z = -4.49, p < .001, r = .85$)。また、その感覚は通常アバタのほうが分裂アバタよりも高かった(Q2 SplitS vs. Normal: $z = -2.80, p = .011, r = .53$)。複数身体に関する質問では、分裂したアバタが提示されることで、自分の身体が2つになったように感じた(Q3 SplitS vs. Normal: $z = 3.68, p < .001, r = .70$; SplitA vs. Normal: $z = 2.85, p = .0082, r = .54$)。分裂したアバタの同期性による差は見られなかった(Q3 SplitS vs. SplitA: $z = 1.83, p = .21, r = .35$)。分裂感に関する質問では、分裂したアバタのほうが通常アバタよりも自分の身体が分裂したように感じた(Q4 SplitS vs. Normal: $z = 4.28, p < .001, r = .81$; SplitA vs. Normal: $z = 4.59, p < .001, r = .87$)。分裂したアバタの同期性で分裂感に差はなかった(Q4 SplitS vs. SplitA: $z = 1.33, p = .58, r = .25$)。コントロール質問(Q5, Q6)ではQ5でのみ差が見られ、通常アバタのほうが非同期に動く分裂したアバタよりも、自分が裸になったように感じた(Q5 Normal vs. SplitA: $z = -2.49, p = .044, r = .47$)。

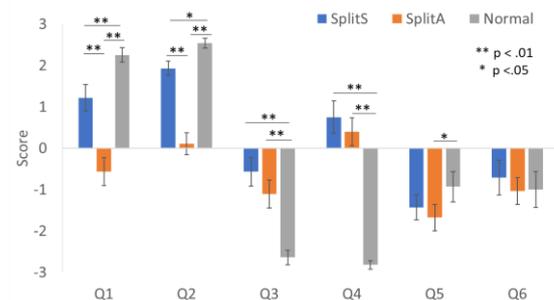


図2：主観評定の結果。エラーバーは標準誤差を示す。

3.2 MIT

右足のみアバタ条件による主効果が見られた($F(2, 54) = 6.75, p = .0024, \eta_p^2 = .20$)。多重比較の結果、アバタが分裂することで、同期性に関わらず、知覚された右足の位置が通常アバタよりも右にドリフトした(図3 SplitS vs. Normal: $t(27) = 2.53, p = .018, r = .44$; SplitA vs. Normal: $t(27) = 3.89, p = .0018, r = .60$)。分裂身体の同期性による差は見られなかった(SplitS vs. SplitA: $t(27) = 0.93, p = .36, r = .18$)。

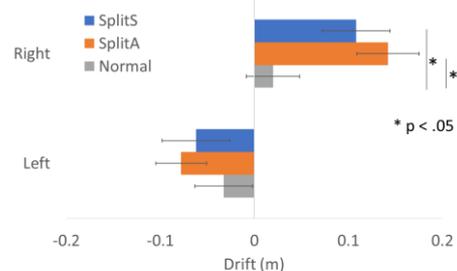


図3：MITの結果。エラーバーは標準誤差を示す。

4. 考察

4.1 結果のまとめ

本研究では、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左右に広がるか調べた。その結果、分裂した身体が参加者の運動に同期して動くことで身体所有感が生じた。しかし、生じた所有感は通常身体よりも弱かった。そして、身体が分裂しているとき、知覚された右足の位置のみが右側にドリフトした。

4.2 身体の分裂が身体所有感と行為主体感に及ぼす効果

実験では、身体が分裂することによって、所有感と行為主体感が弱まった。これは、腕の一部を消すと、所有感と行為主体感がなくなる研究[8]と類似している。ただし、弱い所有感(平均値 1.2)と強い行為主体感(平均値 1.9)は生起していることから、前述の研究とは異なる現象の可能性はある。本研究における分裂身体は身体を中心から分裂しているため、動かしていた四肢の連続性は保たれている。四肢の連続性さえ保てれば、所有感や行為主体感は維持できるのかもしれない。

所有感の減少に関しては、見た目の影響も考えられる。解剖学的に正しくない見た目の身体には所有感が生じないという報告[9]もあることから、分裂した身体の見え目が所有感を減少させた可能性がある。

加えて、視覚と固有受容感覚の一致のみで強い所有感が生起している[10]ことから、左右にずれた位置に提示された身体は、視覚と固有受容感覚による位置情報が一致していないため、所有感が弱くなったのかもしれない。

4.3 分裂身体を知覚

アンケートにおいて、Q3の「自分の身体が2つになったように感じた」の平均値が全条件で0より低いこと、Q4の「自分の身体が分裂して左右に広がったように感じた」において分裂身体で通常身体よりも高いスコアが報告されていることから、分裂身体は複数身体ではなく、一つの左右に広がった身体として知覚されたと思われる。そして、自己位置ドリフトが右側にのみ生じたことから、特に右側に広がったように知覚されていたと考えられる。自己位置のドリフトが右側でのみ生じた理由として、参加者の多くが右利きだったこと、学習時に最初に動かす身体部位が右腕だった影響などが考えられる。

4.4 コントロール質問

コントロール質問 Q5 のスコアが Normal 条件で SplitA 条件よりも高くなった。しかし、平均値は 0 より小さいため、裸になったようには感じていないと考えられる。

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] E. Nakul, N. Orlando-Dessaints, B. Lenggenhager, and C. Lopez, “Measuring perceived self-location in virtual reality,” *Sci. Reports 2020 101*, vol. 10, no. 1, pp. 1–12, Apr. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-63643-y.

[4] A. Guterstam, D. E. O. Larsson, J. Szczotka, and H. H. Ehrsson, “Duplication of the bodily self: a perceptual illusion of dual full-body ownership and dual self-location,” *R. Soc. Open Sci.*, vol. 7, no. 12, p. 201911, Dec. 2020, doi: 10.1098/RSOS.201911.

[5] L. Aymerich-Franch, D. Petit, G. Ganesh, and A. Kheddar, “The second me: Seeing the real body during humanoid robot embodiment produces an illusion of bi-location,” *Conscious. Cogn.*, vol. 46, pp. 99–109, Nov. 2016, doi: 10.1016/J.CONCOG.2016.09.017.

[6] R. Miura, S. Kasahara, M. Kitazaki, A. Verhulst, M. Inami, and M. Sugimoto, “MultiSoma: Motor and Gaze Analysis on Distributed Embodiment With Synchronized Behavior and Perception,” *Front. Comput. Sci.*, vol. 0, p. 55, May 2022, doi: 10.3389/FCOMP.2022.788014.

[7] 貝塚涼, 繁樹博昭, “拡張身体への応用を目指した VR 環境上の裂ける手による自己受容感覚の変容,” 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2019, 1B–02.

[8] 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.

[9] M. Tsakiris and P. Haggard, “The Rubber Hand Illusion Revisited: Visuotactile Integration and Self-Attribution,” *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, vol. 31, no. 1, pp. 80–91, 2005, doi: 10.1037/0096-1523.31.1.80.

[10] M. Carey, L. Crucianelli, C. Preston, and A. Fotopoulou, “The Effect of Visual Capture Towards Subjective Embodiment Within the Full Body Illusion,” *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–12, Dec. 2019, doi: 10.1038/s41598-019-39168-4.