



バーチャル複数身体の自己身体化における 機能性効果の検討

Testing Functionality Hypothesis in Embodiment of Virtual Multiple Bodies

山下孔明¹⁾, 成川駆武人¹⁾, 杉本麻樹²⁾, 北崎充晃³⁾

Komei YAMASHITA, Kabuto NARUKAWA, Maki SUGIMOTO, and Michiteru KITAZAKI

1) 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 情報・知能工学専攻

(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1 番地 1, yamashita.komei.ey@tut.jp, narukawa.kabuto.aa@tut.jp)

2) 慶応義塾大学 (〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3 丁目 14 番地 1, sugimoto@ics.keio.ac.jp)

3) 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 情報・知能工学系

(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1 番地 1, mich@tut.jp)

概要: バーチャル身体を自己身体化するためには、身体各部に適切な機能が必要である (機能性仮説)。本研究では、遅延なく自己身体と同期するアバターに 1s、2s 遅延して動作するアバターを加えて、落ちてくるボールを受け止める課題を設定し、当たり判定による機能性効果を検討した。その結果、すべての身体に当たり判定を適用する条件では、遅延のない身体のみにより当たり判定がある場合よりも複数身体を所有している感覚が向上した。

キーワード: 身体性認知、拡張身体、分身

1. はじめに

バーチャル環境での身体所有感や行為主体感に関する研究では、視触覚同期[1]や身体運動同期が重要な役割を果たす。身体運動同期を用いて、一人で複数のアバターを同時に操作するバーチャル分身の研究では、注意を切り替えることで複数身体を操作できることが報告されている[2]。身体への帰属感は、物理的特徴だけでなく、その身体部位(手や足)が持つ「機能性」に影響を受けるという「機能性仮説」がある[3]。例えば、手の機能として「物を掴む」「支える」「動かす」などが挙げられ、これらの機能が阻害されると自己身体化の感覚が低下する。成川らは、リーチング課題と創造的自由課題という異なる課題特性が、遅延あり・なしの分身における身体所有感や行為主体感に与える影響を比較し、遅延がある分身にも創造的な動きを作るという機能性を付与することで、リーチング課題時に比べ身体性低下が軽減されることを示した[4]。

本研究では、時間遅れのある分身の当たり判定を用いて、機能性効果の検証を行った。具体的には、複数の身体(遅延なし、遅延 1s、遅延 2s)を操作し、落下してくる球体を 3s 間地面に着かないように支える課題を行い、その際に全ての身体に当たり判定を施すことで分身に機能性を持たせる条件と遅延なし身体のみにより当たり判定を施

すことで機能性を持たせない条件を設定し、比較実験を行った。

2. 方法

2.1 参加者

実験の目的を知らない 30 名の大学生、大学院生(男性 29 名、女性 1 名平均年齢 22.7 歳、SD 1.59、バーチャルリアリティ(VR)経験者 26 人)が実験に参加した。参加者は全員裸眼視力または、矯正視力が正常であった。参加者は、インフォームドコンセントを理解し、署名した上で実験に参加した。本実験は、豊橋技術科学大学における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 (TUKUMO GA9J-S237/ZB G-GEAR [Windows11 Home]、メモリ 32GB、Intel(R) Core(TM) i9-14900 3.20GHz、NVIDIA GeForce RTX 4070 Ti 12GB) で実験を制御し、頭部搭載型ディスプレイ (VIVE Pro EYE、片目あたり 1440(幅)×1600(高さ)ピクセル (合計 2880 x 1600 ピクセル)、視野角 110°、90Hz) に視覚刺激を提示した。身体トラッキングには、モーションキャプチャシステム (OptiTrack PrimeX 22 12 台) および OptiTrack 制御用のソフトウェアである Motive3.1.3final を用いた。質問の回答には、マウス (Dell MOCZUL) を用いた。実験プログラムは、

Unity (2021.3.25 fl)で作成した。

2.3 刺激

Unity を用いて、バーチャルな 3D 空間を作成し、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) から映像を提示した。作成した部屋は、縦 5m×横 10m×高さ 5m であり、正面の鏡とアバター間の距離は 2.5m であった。正面と天井にある鏡ともに縦 2.5m×横 3.5m。

参加者の身体運動は、モーションキャプチャスーツに張り付けた反射マーカ―を、OptiTrack のカメラが正確に追跡し、そのデータを Motive に送り、アバターに即時反映された。アバターは、遅延なし、遅延 1s、遅延 2s の 3 体が常に表示された。遅延なし身体は黄色、遅延 1s 身体は赤色、遅延 2s 身体は青色で提示された。

本実験では落ちてくる球体を支える課題を行った。アバターの当たり判定が 3 体すべてに当たり判定がある条件と遅延なし身体のみにも当たり判定がある条件があり、どちらも VR 空間にアバターと球体が出現した。初期位置を示す黒い球体が消えた後、赤い球体が頭上に出現した。赤い球体は地面から 3m の高さかつ中央から前後左右±20cm の範囲のランダムな位置に出現した。球体の半径は 65cm あるいは 35cm であった。出現した球体は、5s 間その場で停止し、その後落下した。落下してきた球体をアバターを使用し、3s 間地面につかないようにできたとき(課題成功)、もしくは球体が地面についたとき(課題失敗)に、その球体が消えた。球体は 10s 毎に生成された。最初の球体が生成されてから 3.5min 経過すると強制終了した。

2.4 手続き

参加者はモーションキャプチャスーツを着用し、マーカ―を張り付け、Motive でトラッキングできているかどうかの確認を行った。実験者が参加者に聞いた身長を入力することでアバターと参加者の運動が整合的になるように調整した。その後、HMD を着用し、VR 空間の部屋とアバターを提示した。参加者の前方 2.5m には鏡(縦 2.5m×横 3.5m)があり、自分自身のアバターが反射して映るのを見ることができた。

実験が開始すると、目の前に黒い球体が出現した。赤い球体が出現するまでの 10s 間は待機時間であり、残り 5s になると黒い球体が消えた。次に赤い球体が頭上に出現し、5s 間その場に停止しその後落下してくるので、参加者はアバターを使用して受け止めることが求められた。球体が 3s 間地面につかない、もしくは地面についた場合に球体が消え、成功(3s 間地面につかない)した場合は成功音が鳴り、失敗(3s 立つ前に地面につく)した場合は失敗音が鳴った。球体は 10 秒毎に生成された。これを最初の球体が生成されてから 3.5min 経過するまで繰り返し行った。

実験では、当たり判定(3 体すべて、遅延なし身体のみ) 2 条件×球体のサイズ(大、小) 2 条件の計 4 条件であり、各条件をランダムな順で 2 回繰り返し、計 8 セッション行った。

各セッションが終わった後に、身体性知覚に関する質

問が提示され、それに対して 7 段階のリッカート尺度で回答が求められた(表 1)。

表 1：質問項目

質問内容	項目
・黄色のバーチャル身体が自分の身体のように感じた ・黄色のバーチャル身体が誰か他人であるように感じた	身体所有感
・黄色のバーチャル身体を自分で動かしているように感じた ・黄色のバーチャル身体が勝手に動いているように感じた	行為主体感
・まるで複数の体を持っているかのように感じた	複数身体感

3. 結果

質問項目の身体所有感と行為主体感には逆転項目があり、差分でスコアを条件毎に求めた。それぞれの遅延身体(遅延なし、遅延 1s、遅延 2s)に対して、当たり判定(3 体すべて、遅延なし身体のみ)と球体サイズ(大、小)を独立変数とし質問紙項目の得点を従属変数とした反復測定分散分析を行った。

遅延 2s アバターへの身体所有感については、当たり判定($F(1, 29)=2.067, p=0.161, \eta_p^2 = 0.067$)の主効果、および交互作用($F(1, 29)=0.315, p=0.579, \eta_p^2 = 0.011$)は有意ではなかったが、球体サイズ($F(1, 29)=5.870, p=0.022, \eta_p^2 = 0.168$)の主効果が有意であり、小さい球において大きい球よりも身体所有感が高かった(図 1)。

遅延 2s アバターへの行為主体感については、当たり判定($F(1, 29)=5.292, p=0.029, \eta_p^2 = 0.154$)の主効果が有意であり、3 体全てに当たり判定があるときに行為主体感が向上した。球体サイズ($F(1, 29)=0.029, p=0.865, \eta_p^2 = 0.001$)の主効果、および交互作用($F(1, 29)=0.002, p=0.966, \eta_p^2 < 0.0001$)は有意ではなかった(図 2)。

複数身体感については、当たり判定($F(1, 29)=9.866, p=0.004, \eta_p^2 = 0.254$)の主効果が有意であり、3 体全てに当たり判定があるときに複数身体感が向上した。球体サイズ($F(1, 29)=1.198, p=0.283, \eta_p^2 = 0.040$)の主効果、および交互作用($F(1, 29)=0.069, p=0.794, \eta_p^2 = 0.002$)の主効果は有意ではなかった(図 3)。

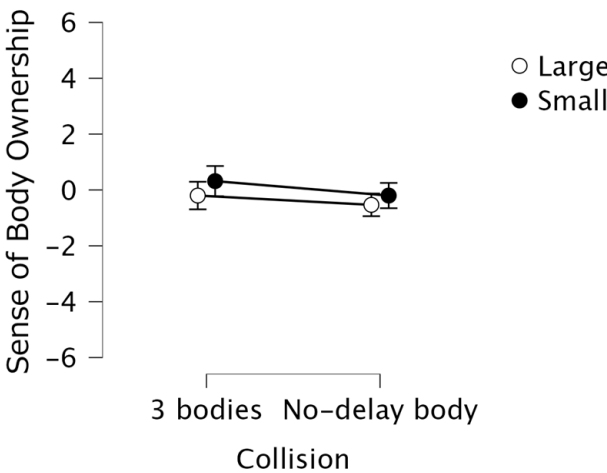


図 1 各当たり判定における遅延 2s アバターへの身体所有感スコア

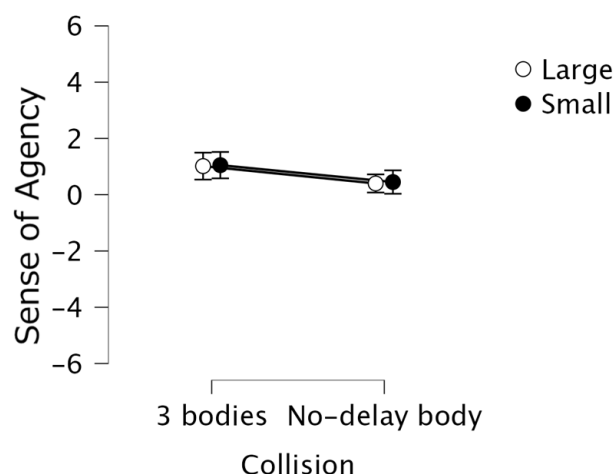


図2 各当たり判定における遅延 2s アバターへの行為主体感スコア

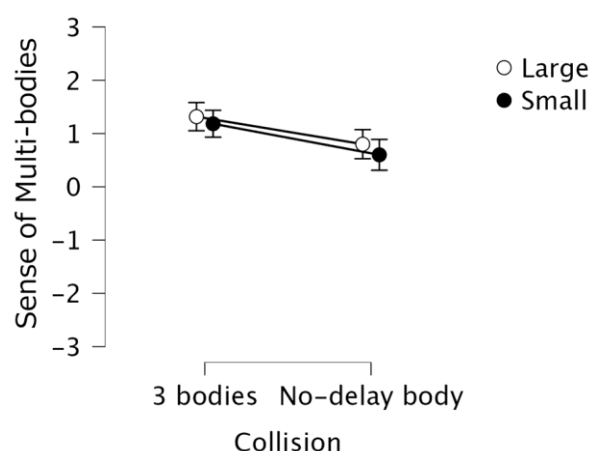


図3 当たり判定における複数身体感

4. 考察

身体所有感については、遅延がないアバターが最も高いスコアを示し、遅延が増加するにつれて低下する傾向が見られた。しかし、遅延 2s の条件において、球体サイズが小さい場合に身体所有感が向上していた。この結果は、操作対象の複雑さが感覚統合の負荷に影響を及ぼす可能性を示唆している。また、機能性を付与しても身体所有感に有意差が認められなかったことから、遅延によって自己身体としての認識をが根本的に阻害され、遅延ありのアバターを自分の身体と認識せずに、使える道具として認識してい

る可能性が考えられる。

行為主体感についても同様に、遅延がないアバターが最も高いスコアを示し、遅延時間の増加に伴い低下する傾向が見られた。しかし、遅延 2s の条件において、3 体に当たり判定がある場合に行為主体感が有意に向上した。この結果は、機能性仮説を支持するものであり、アバターの機能性が適切に機能することで、参加者が自身の操作が直接的な結果を生じさせていると感じやすくなるためと考えられる。また、遅延身体に当たり判定がある場合は、遅延アバターが動作結果に寄与する可能性がある。結果にも行為主体感の部分的な改善が確認できたことから、行為主体感単に視覚運動同期性に依存するだけでなく、操作対象が結果を生む能力を持つかどうかという認知的要因にも影響されると考えられる。

複数身体感については、すべてのアバターに当たり判定を付与した条件では高いスコアを示した。この結果は、複数の身体を操作可能な対象として認識することで感覚的な統合が強化されたからだと考えられる。また、遅延がある条件でも複数身体感が維持されたことは、参加者が遅延環境に適応した可能性が示唆される。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 (JP22KK0158、JP23K18492) の補助を受けて行われた。

参考文献

- [1] Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands "feel" touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756.
- [2] Miura, R., Kasahara, S., Kitazaki, M., Verhulst, A., Inami, M., & Sugimoto, M. (2022). MultiSoma: Motor and gaze analysis on distributed embodiment with synchronized behavior and perception. *Frontiers in Computer Science*, 4, 788014.
- [3] Aymerich-Franch, L., & Ganesh, G. (2016). The role of functionality in the body model for self-attribution. *Neuroscience Research*, 104, 31-37.
- [4] 成川駆武人, HAPUARACHCHI Harin, 小野寺琉, 北崎充晃. バーチャル分身所有感における課題特性の効果. 第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 3D2-10.