



アバター変身における外見変容の過程が バーチャル身体化に及ぼす影響

The Effect of the Process of Appearance Transformation on
Virtual Embodiment in Avatar Transformation

村上 太一¹⁾, 北崎 充晃¹⁾

Taichi MURAKAMI, and Michiteru KITAZAKI

1) 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, murakami.taichi.ju@tut.jp, mich@tut.jp)

概要: 本研究では, あるアバターから異なるアバターへの変身における外見変容の過程がバーチャル身体化へ与える影響について調べた. 外見変容の過程として, 一瞬でアバターが変身する Cut 過程と線形な関数にしたがって徐々にアバターが変身していく Linear 過程, SmoothStep 関数にしたがってなめらかにアバターが変身していく Dissolve 過程を設定した. 被験者は, 変身前後の身体化の強度と変身後の感覚について 7 段階のリッカート尺度により評価した. さらに, 変身後のアバターにおける身体化の強度を脅威刺激に対する SCR により測定した. 実験の結果, 連続的に変化する Linear 過程および Dissolve 過程では不連続に変化する Cut 過程に比べて身体変容感が高かったが, 身体所有感そのものの向上は示されなかった.

キーワード: 身体所有感, 行為主体感, 変身

1. はじめに

HCI (Human Computer Interaction) 分野では, アバターやロボティクスの技術を用いて身体感覚を拡張する技術が登場している[1]. これらの後天的に獲得可能な身体を違和感なく操作するための条件を解明するために, 自他境界の知見である身体所有感と行為主体感を用いた FBI (Full Body Illusion) の研究が行われている[2].

従来の FBI 研究では, 始めから被験者へアバターを与えておき, そこに生じられる身体所有感について調査してきた. しかし, アバターの全身像が突然現れたり, 徐々にアバターの全身像が現れたりするというような, アバターが被験者に与えられるまでの過程が身体所有感の生起へ及ぼす影響について考察したものはこれまでなかった.

Sungchul ら[3]は, 現実空間から VR 空間へ遷移する際に, Dissolve の遷移技術を用いて段階的に空間を変容させていく過程を導入し, 即時に空間を変容させる場合と比べて, VR 空間でアバターに生起する身体所有感が向上することを発見した. しかし, この研究では身体だけでなく空間全体を変容させているので, 身体以外の多くの要因が影響している可能性がある.

Pamplona ら[4]は, RHI (Rubber Hand Illusion) における腕

の透過度を突然変化させた場合の身体所有感について調べた. その結果, 腕が完全に透明になると, それ以前に身体所有感が生起していたとしても, 身体所有感が有意に喪失することを発見した. しかし, この研究は RHI を用いているため, FBI においても同様の結果になるとは限らない. また, 腕の外見変容の過程としてこの実験を捉えた場合, 過程の種類は瞬間的に切り替えるというただ一つにとどまっており, 外見変容の過程としての知見に乏しい.

外見変容の過程と人間の感覚に関する先行研究として, Men ら[5]による VR 空間の提示方法と臨場感の関係について調べた研究がある. この研究は, Cut の視覚提示を用いた急激な視界の変化は臨場感を低下させ, Dissolve の視覚提示を用いた緩やかな視界の変化は臨場感を向上させることを示した. さらに, 身体所有感は脳内の経験的に蓄えられた身体イメージと視覚提示された身体情報が合致することによって, 高く生じられることが報告されている[6]. そのため, 身体イメージとアバターの差異が低減できれば, 身体所有感を高く生起できると予想される.

そこで, 外見変容の過程が身体化へ及ぼす影響の評価のために, 身体化されたアバターから異なるアバターへの変身を実装し, この過程が身体所有感へ及ぼす影響を検討し

た。評価のための仮説として、「徐々に変身する過程は、即時に変身する過程と比べて身体所有感が向上する」、「徐々に変身する過程において、なめらかな関数にしたがって変身する過程は線形な関数にしたがって変身する過程と比べて、身体所有感が向上する」という二つを立案した。

2. 方法

2.1 参加者

正常な身体能力と視覚を有した 28 名の被験者が実験に参加した。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、その規則に基づいて実施された。全ての被験者実験同意書を理解・合意し、署名したのちに実験に参加した。

2.2 装置

本実験は一台のコンピュータ (OS : Windows11, RAM : 32GB, CPU : Intel core i7 12700KF, GPU : GeForce RTX 3080) によってすべての実験を制御した。視覚刺激としてヘッドマウントディスプレイ (HTC VIVE ProEye, 片目 1440×1660 pixel, 視野角 110deg, リフレッシュレート 90Hz) を用いた。実環境の身体の動作をトラッキングし、VR 環境内のアバターの動作へ反映させるために、HTC VIVE Base Station (1.0) 3 台と VIVE Tracker (2018) 5 台からなるシステムを構築した。センサが配置されていない関節の動作は、Final IK を用いた逆運動学による推定を行った。実験中の被験者の皮膚コンダクタンス反応 (SCR) を記録するために、人差し指と中指の近位指節-遠位指節間の指腹に電極を配置し、BITalino (r)evolution Plugged Kit BLE/BT の EDA センサにより測定した。

2.3 実験環境

Unity (2020.3.28f1) を用いて 3m×3m の VR 環境を制作した。自身のアバターを認識できるように、初期位置から前後左右 2m の位置に鏡 (2m×3m) を設置した。

2.4 アバター

アバターは変身前と変身後の 2 種類を用意した。変身前のアバター A は現実の人間を模した形態をもつ。変身後のアバター B はアニメ調の肌が青色のアバターである。変身後のアバター B に身体所有感が生じにくいものを選定することにより、変身前後に必ず差異が生じるようにした。アバターの動作を変容前後で同等にするために、アバター A とアバター B の腕と脚の比率を同等に調整した。



図 1 アバターの外見

2.5 外見変容の制御

アバター A からアバター B へ変身するための外見変容は Cut, Linear, Dissolve の 3 種類の条件を用いた。外見変容の種類に関わらず、変身は 10 秒間かけて行われた。Cut は Step 関数によって制御される変身である。変身開始から 5 秒後にアバターの外見が即座に入れ替わる。Linear は線形な関数によって制御される変身である。変身の開始から終了まで、常に一定の割合でアバターの外見が入れ替わっていく。Dissolve は SmoothStep 関数によって制御される変身である。変身の開始から終了までエルミート補間に従ってスムーズに外見が入れ替わっていく。



図 2 外見変容の様子 (上 Cut, 中 Dissolve, 下 Linear)

2.6 手続き

実験は、外見変容を Cut, Linear, Dissolve とする 3 通り、被験者とアバター間の身体運動が同期する同期条件と同期しない非同期条件の 2 通りを組み合わせた繰り返しのない 6 セッション (外見変容 3 条件 × 同期非同期 2 条件) から構成された。セッションはランダムな順序で行われた。各セッションはリーチング、変身前質問紙、リーチングと変身、変身後質問紙の順に行われた。

リーチングでは、実験環境内にランダムに出現する一辺 20cm の立方体へ手足を触れさせるという課題を 5 分間行う。立方体は赤と青の 2 種類があり、赤は手による接触にのみ反応し、青は足による接触にのみ反応した。立方体への接触はアバターの手や足を包むコライダーによって判

定した。一度触れられた立方体は消失し、2秒後に再び実験環境内のランダムな位置に現れた。立方体が出現する際の高さは、赤の立方体は0m以上から被験者の腕を頭上に伸ばした限界点の高さ以下であり、青の立方体は0m以上から身長の高さの1/3の高さ以下とした。

変身前の質問紙では、表1の身体所有感と行為主体感の4項目について質問した。変身後の質問紙では、表1のすべての項目について質問した。どちらの質問紙においても、被験者は-3(まったく感じない)から+3(非常に強く感じた)の7段階のリッカートスケールを用いて回答した。質問紙中は現実の身体運動とアバターの運動同期を停止し、気を付けの姿勢で固定した。

表1 質問紙

| | |
|----|--------------------------------------|
| Q1 | 変身を好ましいと感じた |
| Q2 | 自分のバーチャルな身体が変身後のバーチャルな身体になっていくように感じた |
| Q3 | ナイフが降ってきたとき、身体に危機感を覚えた |
| Q4 | バーチャルな身体が自分の身体であるかのような感覚を覚えた |
| Q5 | バーチャルな身体が他者の身体であるかのような感覚を覚えた |
| Q6 | バーチャルな身体を自分が操作しているように感じた |
| Q7 | バーチャルな身体を他者が操作しているように感じた |

リーチングと変身では、リーチングの課題を継続して行った。リーチング開始後30秒が経過してから10秒以内のランダムなタイミングで変身が発生した。変身中においてもリーチングは継続された。変身後、実験環境にある赤い立方体へ触れると、その0.1秒後に高さ3mの位置からナイフがキューブへ向かって投射された。ナイフがキューブと接触すると、アバターの手にナイフが刺さった状態になった。SCRのデータとして、ナイフ接触の前後5秒間におけるEDAセンサの反応を記録し、分析した。

3. 結果

28名の被験者の主観評定のデータについて2元配置反復測定分散分析を実施した。球形性仮定が満たされない場合においては、Greenhouse-Geisser推定による補正を用いた。多重比較にはBonferroniの方法を用いた。

3.1 変身後の質問紙の結果(Q1~Q3)

変身の好ましさ(Q1)は有意な主効果や交互作用が見られなかった。身体変容感(Q2)では外見変容方法について($F(1.32, 54.0) = 20.554, p = .001, \eta_p^2 = .432$)および、アバターの同期非同期について($F(1.00, 27.0) = 6.01, p = .021, \eta_p^2 = .182$)有意な主効果が見られた。主効果の多重比較を行った結果、外見変容についてはCut - Dissolve間($p = .001$)とCut - Linear間($p = .001$)、同期 - 非同期間($p = .021$)に有意差がみられ、同期条件の方が非同期条件よりも身体変容感が高く、CutよりもDissolveやLinearにより外見が変容している感じが生じた。脅威感(Q3)では同期非同期について($F(1.00, 27.0) = 5.58, p = .026, \eta_p^2 = .171$)の有意な主効果が見られ、アバターと動きが同期している場合、ナイフが腕へ投射されると、そうでない場合と比較して有意に脅威感が生じ、身体所有感の生起を支持した。しかし、脅威感と外見変容の関連は示されなかった。

脅威感(Q3)では同期非同期について($F(1.00, 27.0) = 5.58, p = .026, \eta_p^2 = .171$)の有意な主効果が見られ、アバターと動きが同期している場合、ナイフが腕へ投射されると、そうでない場合と比較して有意に脅威感が生じ、身体所有感の生起を支持した。しかし、脅威感と外見変容の関連は示されなかった。

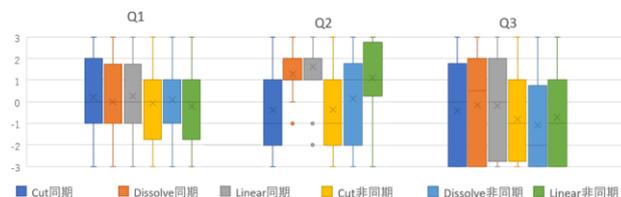


図3 変身後質問紙 (Q1 ~ Q3)

3.2 変身前後の質問紙の結果 (Q4 ~ Q7)

外見変容が身体性感覚の生起に対してどのような効果を及ぼしたのかについて、変身前の質問紙(図4)と変身後の質問紙(図5)から2(変身前後)×2(同期非同期)×3(外見変容方法)の反復測定分散分析を行った。しかし、外見変容方法に関する有意な主効果や交互作用は見られなかった。同期・同期の主効果があり、同期条件で身体所有感・行為主体感が生じた。身体所有感については変身前後の主効果があり、変身後に有意に身体所有感が低下した。

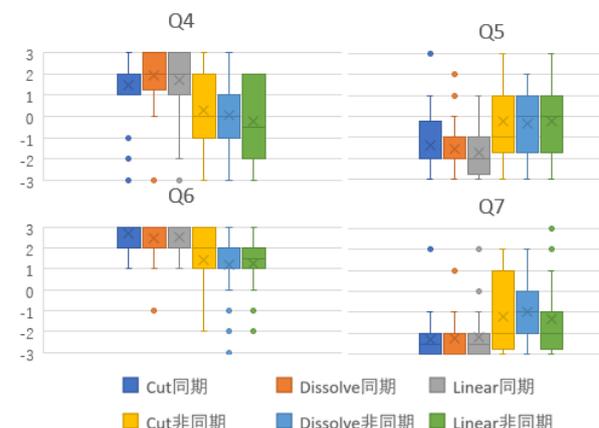


図4 変身前質問紙の結果 (Q4~Q7)

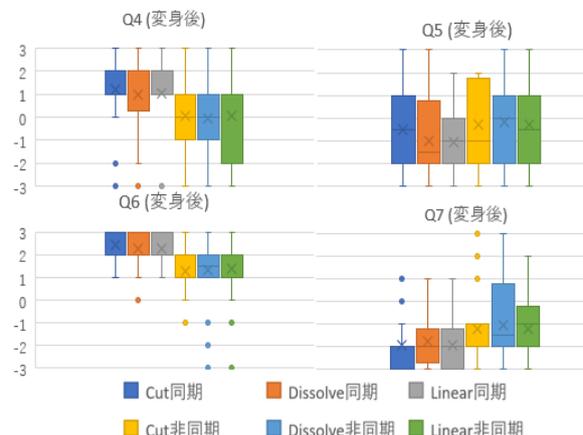


図5 変身後質問紙の結果 (Q4~Q7)

4. 考察

4.1 仮説の考察

本実験の仮説は、「徐々に変身する過程は、即時に変身する過程と比べて身体所有感が向上する」、「徐々に変身する過程において、なめらかな関数にしたがって変身する過程は線形な関数にしたがって変身する過程と比べて、身体所有感が向上する」というものであった。つまり、Dissolve は Cut と Linear に比べて有意に身体所有感を向上させると予想した。本実験では、Linear と Dissolve において Cut よりも身体が変容した感覚が強く、仮説は一部支持された。ただし、これらの外見変容方法が及ぼす身体所有感への影響は有意ではなく、仮説は直接的には支持されなかった。

4.2 実験設定の考察

本実験において実装した外見変容は、アバターAの上からアバターBを重ねて表示するという方式であった。そのため、モーフィングのような変形の方法を導入した実験を行うことにより、身体性の違和感を低減しながら、より自然な変身を行うことができる可能性がある。また、本実験の変身アバターの腕と足の比率は調整されたが、太さについては統制されていなかった。参加者からは、「腕から骨が出てくるように感じて気持ち悪い感覚がした」という感想があった。したがって、本研究における Dissolve や Linear には、視覚的な効果以外にも形態的な効果を含んでいた可能性がある。今後の実験では、視覚的な効果と形態的な変

形についての実験を設定し、さらに精緻化していきたい。

参考文献

- [1] 稲見昌彦, 瓜生大輔, 前川和純. "自在化身体とその展望." 日本ロボット学会誌. 9.8 (2021): 685-692.
- [2] 北崎充晃. "自在化身体の身体所有感, 行為主体感, 行動変容." 日本ロボット学会誌 39.8 (2021): 701-707.
- [3] Sungchul, et al. "In limbo: The effect of gradual visual transition between real and virtual on virtual body ownership illusion and presence." *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*. (2018): 267-272.
- [4] Pamplona, Gustavo, et al. "Abrupt visibility modifications affect specific subjective (not objective) aspects of body ownership." *Acta psychologica* 229 (2022): 103672.
- [5] Men, Liang, et al. "The impact of transitions on user experience in virtual reality." *2017 IEEE virtual reality (VR)*. IEEE, 2017.
- [6] Kilteni, Konstantina, et al. "Over my fake body: body ownership illusions for studying the multisensory basis of own-body perception." *Frontiers in human neuroscience* 9 (2015):