

VR 空間内のアバターに対して身体所有感を生起する機構の認知モデル記述

Cognitive model description of the mechanism that induces body ownership for avatars in VR space

中川 太一†
Taichi Nakagawa中平 勝子†
Katsuko T. Nakahira

1 はじめに

近年、VR 技術の発展やヘッドマウントディスプレイ (HMD) の普及により、ゲームや音楽鑑賞などのエンターテインメントや教育分野、さらには VRChat をはじめとする VRSNS など、VR を活用したサービスが多数存在している [1]。これらのような VR サービスは通常、アバターと呼ばれる VR 空間内での自分の身体となる 3D モデルを操作して行動するのが主である。多くの VRSNS ではユーザが自分で選んだ好みのアバターを身にまわって他のユーザとのコミュニケーションを楽しんでいる。アバターは現実の人間を模したものの以外にもアニメのキャラクターのような外見のものや人間以外の動物のアバター、さらにはロボットなど様々な姿のアバターを利用できる。

先行研究では、アバターの外見的特性がユーザの認知や行動に影響を与えることが報告されており、これをプロテウス効果と呼ぶ。Pawel らの研究では、異性の身体に対して身体所有感を生起させることで被験者の主観的な男性らしさ、女性らしさが減少することが報告されている [9]。また、小柳らは、ドラゴンの姿のアバターを利用して VR 空間内で空を飛ぶ課題をこなすことで高所に対する恐怖を抑制することが可能であると報告している [12]。このように、アバターを通じて自分になりたいと思う姿になるだけでなく、セルフイメージを再構築し行動を変化させることで新たな自己実現が可能になると考えられる。

上述したように、異性の身体やドラゴンなど様々なアバターに身体所有感を生起させた際の人間の認知や行動の変化を調べる実験は行われているが、仮想の身体に対して身体所有感を感ずる認知過程は未だに明らかになっていない。そこで、本研究では、VR 空間内のアバターに対して身体所有感を感ずる際の認知プロセスを明らかにするための認知モデルを記述する。

2 関連研究

以下の章でははじめに、VR 空間でアバターを用いることの意義と利点、プロテウス効果について述べる。そして、ゴムの手錯覚からはじまり、VR 空間上の仮想の身体に対して身体所有感が生起可能であるという事実に至るまでの流れを先行研究をもとに説明する。

2.1 VR 空間とアバター

現在一般消費者向けに販売されている HMD を用いる VR システムはユーザの視界を覆うため、ユーザは自身の体を見ることができない。そのため、HMD を用いる VR システムにお

いて、ユーザの一人称視点から描かれた仮想の身体を表示することが一般的である。Steed らは仮想の身体 (アバター) を利用することの利点として、ユーザが VR 空間内のどこに位置しているのか、どのような体勢をとっているかという明確な情報を与えることができるという点を挙げている [8]。また、Steed らは、ユーザの動きに追従して動くアバターを利用することで VR 空間内の特定の作業における認知負荷を減少させることができることを示唆している。

これらのようなアバターを用いることによる利点以外にも、近年世界中の人々が利用している VRChat をはじめとする VRSNS ではユーザが自分好みに選択、編集したアバターを使用して他のユーザとの交流を楽しんでおり [1]、アバターは VR 空間でのコミュニケーションにおける自己表現の手段の一つであるとも言える。

2.2 プロテウス効果

さらに、アバターは VR 空間内でのユーザの見た目を変えるだけではない。使用するアバターの外見的特徴によって人間の自己認識や行動が変化することが先行研究によって報告されており、この効果をプロテウス効果という。Yee らは、容姿の魅力度や身長の高さが異なるアバターを用いると他者とのコミュニケーションの取り方が変化することを示した [10]。また、小柳らは、VR 空間内でドラゴンのアバターを用いることで高所に対する恐怖感を減少させることができると報告している [11]。さらに、Pawel らの研究では、HMD で異性の身体の映像を見せることで被験者に性転換錯覚を生起させた結果、被験者らは異性の身体に身体所有感を感じた時に自身の性自認に関する主観的、暗黙的な側面や、異性に対するステレオイメージが変化することを示した [9]。

このように、仮想空間での自分自身となるアバターは VR 体験に大きな影響を与えることがわかる。より効果的にアバターと同調する方法を研究することは、深い没入感のある VR 体験の実現や、アバターを活用したコミュニケーションの発展につながると思われる。

2.3 ゴムの手錯覚 (Rubber Hand Illusion)

Rubber Hand Illusion とは、Botvinick, Cohen らによって報告された現象である [3]。被験者は台の上に腕を置き、衝立を設置して自分の腕が見えないようにしておく。そして実際の腕の横に被験者から見えるようにゴムの手を並べ、実験者は被験者の実際の腕とゴムの手を同時にブラシで撫でる。すると、被験者はゴムの手があたかも自分の身体の一部であるような感覚を覚えるという錯覚である。この実験により、人は自分の身体

† 長岡技術科学大学

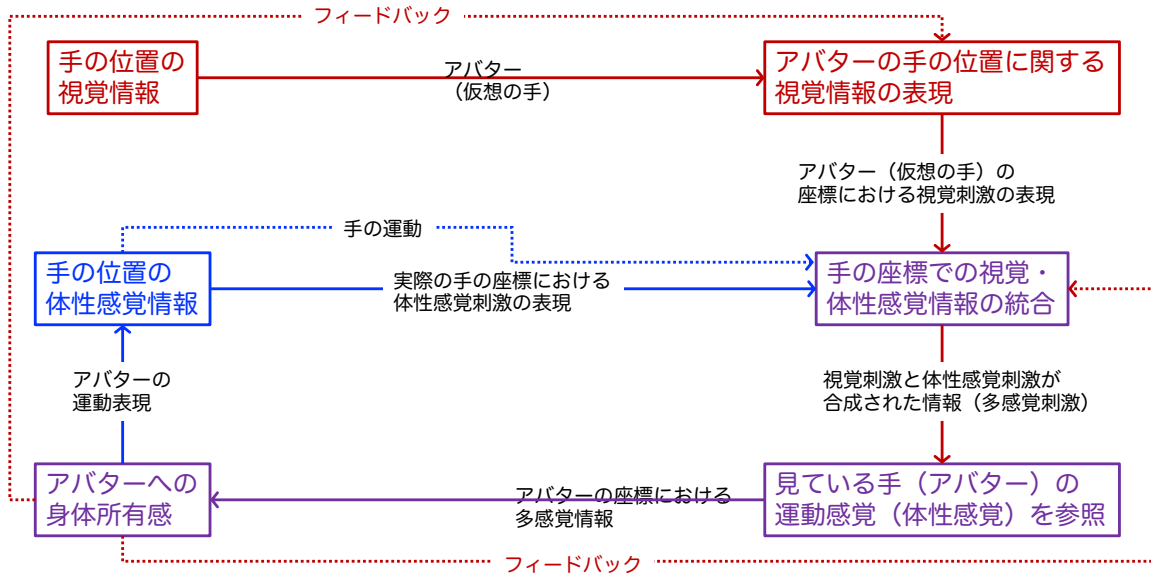


図 1 アバターに対する身体所有感の認知モデル記述.

以外のものに対して身体所有感を感じることができるということが明らかとなった。

2.4 仮想手錯覚 (Virtual Hand Illusion)

【視覚-触覚同期刺激】 Slater らは、スクリーン上の仮想の手に対してゴムの手錯覚を再現可能であることを示した [6]. 被験者らは自分の右肩から仮想の手が伸びている様子を見ることができ、実際の腕はスクリーンによって隠され、部屋は暗くなっていた。実験者は先端にボールのついた棒で被験者の実際の腕を刺激し、その棒の動きに応じてスクリーン上の黄色いボールが仮想の手に触れた。同期条件では視覚刺激と触覚刺激が同期しており、非同期条件では事前に録画された映像が再生され、実際の触覚刺激とは独立にボールが動いた。質問紙調査と自己受容感覚ドリフトの測定結果から両条件で身体所有感が見られたが、どちらの結果も同期条件の方が強い身体所有感が発生した。この結果から、人はスクリーン上の仮想の手に対しても身体所有感を感じられることがわかった。

【視覚-運動同期刺激】 Sanchez-Vives らは視覚触覚同期刺激によって仮想の手に対して所有錯覚を誘発できることを受け、触覚刺激を用いずにこの所有錯覚を誘発できるか実験した [5]. 被験者はデータグローブを右手に装着し、被験者の右手の動きに応じてスクリーン上に映る仮想の手が動いた。同期条件では被験者の手の動きに応じて仮想の手が動き、非同期条件ではあらかじめ録画された仮想の手の映像を提示した。その後参加者は身体所有感に関する質問紙調査に回答し、得点の平均値によって身体所有感の強さを測定した。結果、同期条件の時の回答の得点は非同期条件の値に比べて優位に高い値となった。また、自己受容感覚ドリフトも測定され、同期条件において優位に大きな値となった。

現在利用可能な一般消費者向けの VR 環境で第三者、もしくは何らかの機構によって触覚刺激を加えることは難しいと考えられるが、両手のコントローラを動かす際の運動情報と

HMD に映るアバターの視覚情報が同期していれば、触覚刺激を用いなくてもアバターに対して身体所有感を生起させることが可能であると考えられる。

【Brain Computer Interface】

Perez-Marcos らはブレインコンピュータインターフェース (BCI) を用いて仮想の手を動かす実験を行った [4]. 実験では同期条件と非同期条件が存在し、同期条件では被験者の思う通りに手が開閉し、非同期条件では被験者の思考とは独立に開閉した。結果、同期条件においてのみ身体所有感が発生し、両条件において自己受容感覚ドリフトは発生しなかった。Slater は、このことは位置感覚の再調整や本格的な所有錯覚の誘発には触覚刺激や体性感覚フィードバックなどの実際の感覚フィードバックが必要であることを示唆している可能性があるとして述べている [7].

現在一般消費者向けに販売されている VR 環境は HMD と両手のコントローラからなる 3 点トラッキング方式が一般的であり、指先までを含めるような細かい動作となると現段階では実現は難しい。しかし、手や腕を動かす程度の動作であれば、視覚運動同期刺激によってアバターへの身体所有感を誘発できると考えられる。

実際の身体の動きとアバターの動きの時間的、空間的同期などの要素が具体的にどの程度身体所有感に影響を及ぼすのかを明らかにすることは、VR 空間内でより効果的にアバターと同調し、身体所有感を向上させるために有効であると考えられる。これらの要素が実際にどの程度所有感に影響するのかを実験によって確かめるため、次章ではアバターへの身体所有感を知覚する過程を認知モデル化する。

3 認知モデルの記述

これまで見てきたように、仮想の身体に身体所有感を生起させることが可能であり、そのためにはユーザーの運動に対するアバターの動作のフィードバックが重要であることがわかる。

よって、視覚刺激と自己受容感覚刺激を入力とした VR 空間内でのアバターに対する身体所有錯覚の認知モデルを考える。

Makin らは手近接空間の機構を含むゴムの手錯覚の認知過程のモデルを提案している [2]。まず、ゴムの手を撫でるブラシの視覚情報がゴムの手の座標系で表現される。この視覚情報が脳の多感覚領域へ移動し、実際の手へのブラシの触覚刺激と統合される。この統合によって、一つのまとまった多感覚事象がゴムの手の座標系で表現され、触覚刺激の錯覚として知覚される。その結果、ゴムの手を所有しているような錯覚を生じる。

この認知モデルを応用し、VR 空間内のアバターに対して身体所有感を感じる機構を説明する認知処理モデルを記述する。VR 空間内でのアバターへの身体所有錯覚の認知過程を示したモデルを図 1 に示す。ここでは HMD 本体とコントローラー 2 つからなる一般的な 3 点トラッキングの VR 環境で手を動かす動作を想定している。図中赤色で示されているものが視覚、青色が体性感覚、紫色が多感覚の情報を表し、点線が自己受容感覚を表している。まず、コントローラーを持つ手を動かすと、その動きに応じて VR 空間内のアバターの手が運動し、アバターが運動する様子の視覚情報をもとにアバターの手の位置に関する表現が作られ、脳の多感覚領域に移動する。そこで実際の手の座標系における体性感覚情報と統合される。そして、見ているアバターの手の運動感覚が参照され、アバターの手の座標系における多感覚情報が作られる。その結果、ユーザーはアバターの手から運動感覚を参照しているかのように知覚し、アバターの手に対して身体所有錯覚が生起されると考えられる。

4 記述したモデルの妥当性を確認するための実験

以下では、実験計画について述べる。

まず、現在一般消費者向けに販売されている VR システムは主に、頭部と両手からなる 3 点トラッキング方式となっているため、本研究の実験においても同様の方式を採用する。身体からの運動情報とアバターの視覚情報が統合されることでアバターへの身体所有感を誘発できると考えられる。そのための条件として、実際の手とアバターの運動の時間的、空間的同期が重要であると考えられる。ゴムの手錯覚においてはゴムの手が静止していたため視覚情報が重視され、解剖学的に適切な位置に配置されていることや実際の手とどれだけ似ているかといった要素が身体所有感覚に影響していたが、VR 空間でのアバターとの同調においては、アバターによる身体の運動情報のフィードバックがより重要であると考えられる。

4.1 実験計画

実験のための VR 空間を用意するために VRChat を利用する。視覚刺激と運動刺激によってアバターに対し身体所有感を生起することを試みる。両手を動かして VR 空間内の 3D オブジェクトに触れるなどの何かしらの運動タスクを行い、アバターの動きと自己受容感覚フィードバックによる視覚運動同期刺激を発生させ、アバターに身体所有感を感じたかどうかアンケートに回答してもらう。条件として同期条件と非同期条件を設け、同期条件では実際の手と動きと同様にアバターも動作するよう設定する。非同期条件では、事前に録画したアバターの動きを再生して実際の手と動きと独立して仮想の手が動く、も

しくは動作に対して遅延を加えたり、実際の手とは異なる方向へ動作させるなどが挙げられる。

5 まとめと今後の課題

VR 体験におけるアバターの役割と VR 空間内のアバターに対する身体所有感覚の生起に至るまでの先行研究の流れ、認知モデルの記述、そして実験計画について述べた。先行研究から、アバターに対する身体所有感を生起するためにはユーザーの運動に対するアバターの動作のフィードバックや、実際の身体の運動情報とアバターの視覚情報の時間的・空間的同期が重要であることがわかった。

今後は実験の計画を進め、実験を実施することを目標とする。また、認知モデルについても、過去の VR 空間での経験がアバターの所有感に影響を与えるかなども考慮に入れつつ、モデルの拡張を進めていく。

6 謝辞

本研究の一部は科研費 JSPS (22K12284, 代表: 岐阜工業高等専門学校・小川信之, 23K11334, 代表: 長岡技術科学大学・中平勝子) および経営改革促進事業の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] VRChat Inc. VRChat. <https://hello.vrchat.com/>.
- [2] Tamar R. Makin, Nicholas P. Holmes, and H. Henrik Ehrsson. On the other hand: Dummy hands and peripersonal space. *Behavioural Brain Research*, Vol. 191, No. 1, pp. 1–10, 2008.
- [3] Botvinick Matthew and Cohen Jonathan. Rubber hands ‘feel’ touch that eyes see. *Nature*, Vol. 391, No. 6669, pp. 756–756, 02 1998.
- [4] Daniel Perez-Marcos, Mel Slater, and Maria Sanchez-Vives. Inducing a virtual hand ownership illusion through a brain-computer interface. *Neuroreport*, Vol. 20, pp. 589–94, 04 2009.
- [5] Maria V. Sanchez-Vives, Bernhard Spanlang, Antonio Frisoli, Massimo Bergamasco, and Mel Slater. Virtual hand illusion induced by visuomotor correlations. *PLOS ONE*, Vol. 5, No. 4, pp. 1–6, 04 2010.
- [6] Mel Slater, Daniel Pérez Marcos, Henrik Ehrsson, and Maria Sanchez-Vives. Towards a digital body: the virtual arm illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 2, , 2008.
- [7] Mel Slater, Daniel Pérez Marcos, Henrik Ehrsson, and Maria Sanchez-Vives. Inducing illusory ownership of a virtual body. *Frontiers in Neuroscience*, Vol. 3, , 2009.
- [8] Anthony Steed, Ye Pan, Fiona Zisch, and William Step-toe. The impact of a self-avatar on cognitive load in immersive virtual reality. In *2016 IEEE Virtual Reality (VR)*, pp. 67–76, 2016.
- [9] Pawel Tacikowski, Jens Fust, and H. Henrik Ehrsson. Fluidity of gender identity induced by illusory body-sex change. *Scientific Reports*, Vol. 10, No. 1, p. 14385,

2020.

- [10] Nick Yee and Jeremy Bailenson. The proteus effect: The effect of transformed self - representation on behavior. *Human Communication Research*, Vol. 33, pp. 271 – 290, 07 2007.
- [11] 陽光小柳, 拓志鳴海, 廉大村. ソーシャル vr コンテンツにおける普段使いのアバタによる身体所有感と体験の質の向上. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 25, No. 1, pp. 50-59, 2020.
- [12] 小柳陽光, 鳴海拓志, Jean-Luc. Lugin, 安藤英由樹, 大村廉. ドラゴンアバタを用いたプロテウス効果の生起による高所に対する恐怖の抑制. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 25, No. 1, pp. 2-11, 2020.