



自己運動観察の有無による身体感覚の変化に関する研究

Effects of observing self-motion in VR space on the user's body sensations

松田 勇祐¹⁾, 近松 恭丞¹⁾, 平田 幸広¹⁾

Yusuke MATSUDA, Kyosuke CHIKAMATSU, Yukihiro HIRATA

1) 公立諏訪東京理科大学工学部情報応用工学科 (〒391-0292 長野県茅野市豊平 5000-1, matsuda_yusuke@rs.sus.ac.jp)

概要: VR 体験において, VR アバターの外見や動きの違いがユーザの身体感覚を変化させることが知られている. つまり, VR アバターの設計は, よりクオリティの高い VR 体験を提供する上で非常に重要である. しかしながら, VR アバターとその周りの環境との相互作用が身体感覚に与える影響を調べた研究は少ない. 本研究では, VR アバターと同時に, リアルタイムで運動しているユーザの後ろ姿を提示し, それを観察することで, ユーザの身体感覚(身体所有感など)がどう変化するかを調べた. 実験の結果, 行為主体感や自己位置感覚の大きさは自己運動の観察によって阻害されることが示唆された.

キーワード: 感覚変容, 自己運動, リーチングタスク, アバター

1. 序論

近年, 自分の分身となる「VR アバター」を伴う VR コンテンツが数多く提供されている. ユーザが実際にこれらの VR コンテンツを体験する際, このアバターを自分だと思ふことが難しい場合, それは臨場感の高い体験とはなり得ない. つまり, クオリティの高い VR コンテンツを作成するためには, VR アバターの設計を注意深く行う必要がある.

実際に「どのようなアバターの条件で臨場感などが大きくなるのか?」ということを調べた研究は数多くある[1-3]. 例えば, Jo et al. [1]は, クオリティの異なる三つのアバター (High: ユーザの実際の服を反映したリアリティの高いアバター, Middle: ユーザの実際の服を反映したカートゥーン調のアバター, Low: あらかじめ決まった服を着ているカートゥーン調のアバター)を作成し, その時の臨場感を調べた. その結果, ユーザは「Middle」のアバターに没入している際に, 最も高い臨場感を得た. この結果は, アバターをリアリティの高いものにすることが, 必ずしもクオリティの高い VR コンテンツ生み出すということでは無いことを示唆している.

上記のように, アバターが持つ視覚的な属性を変更して, その影響を調べている研究は数多くあるが, アバターの周辺情報が, ユーザに与える影響を調べた研究は少ない. そこで本研究では, この周辺情報として「リアルタイムで同期するユーザの後ろ姿」を用いて, ユーザへの影響を調べた. また, 本実験では, VR 分野でよく用いられる「身体

所有感 (Sense of Body Ownership)」「行為主体感 (Sense of Agency)」「自己位置感覚 (Sense of Self-Location)」の三つの指標に着目した[4]. これらの指標を測定することで, VR アバターに対してどのような身体感覚の変容が起きるかを調べた.

2. 方法

2.1 実験参加者

実験には, 7名の公立諏訪東京理科大学の学生(平均年齢 21.9, 範囲 20-23)が参加した. 参加者全員が裸眼視力もしくは矯正視力が正常であり, 日常生活において差し支えない運動能力を有していた. 全ての実験参加者に対して, インフォームド・コンセント取得のための説明を行い, これに同意した者のみ実験に参加した. 本研究は, 公立諏訪東京理科大学, 人を対象とする生命科学・医学研究倫理審査委員会の承認(承認番号: 25)を受け, 関連するガイドラインや規則に従って行われた.

2.2 装置

実験には, コンピュータ (Intel Core i7-8550U) を使用し, Unity (2020.3.11f1) により実験刺激を制御・提示した. 視覚刺激は頭部装着型ディスプレイ (HMD, 2880 x 1600 pixels, 90Hz) を介して提示された. また, 自己運動をリアルタイムで観察するため, 実験参加者の後方に web カメラ (NEXIGO N660P, 1920 x 1080 pixels, 60Hz) を設置した.

2.3 実験刺激・条件

本実験では, VR 空間内で実験参加者の分身となる 2 種類

のアバター（人・ロボット）を用意した。実験中、これらのアバターは実験参加者のHMDと、左右のコントローラの計3箇所ドッキングされており、参加者の運動が逆運動学に基づき、アバターにリアルタイムで反映された。自己運動の観察が実験参加者の身体感覚に影響を与えるかどうかを調べるため、自己運動観察の有無（2条件）を実験条件とし、さらに、視点条件を2種類（一人称・三人称）用意した。実験条件は合計8（2×2×2）条件であった。

2.4 手続き

実験参加者はHMDを装着し、コントローラを両手に持ち、立った状態で実験を行った。開始30秒間はVR空間内のアバターの前方2mの位置に鏡が配置された。実験参加者は、この間にアバターの容姿や形状を確認し、アバターの頭部及び両腕が、自身の運動と連動していることを確認するよう教示された。

その後、実験参加者はアバターの前方に出現する球を触る、リーチングタスクを150秒間行った。球は、合図音と同時に、決まった4箇所のうちランダムな1箇所に3秒間提示され、その後消失した。実験参加者は、球が消失する前に、できるだけ早くこの球に触れるよう教示された。この時のリアクションタイム(RT)を測定し、解析に用いた。

リーチングタスク中は、鏡の代わりに自身の後ろ姿が前方に表示された（図1：自己運動観察が「有」の条件）。この映像は、webカメラによって、実験参加者の動きとリアルタイムで連動していた。よって、実験参加者は、リーチングタスクを行っている間、それに伴って運動する自分の姿を後方から観察できる状況であった。また、自己運動観察を行わない条件では、鏡は黒く塗りつぶされていた。

8個の観察条件は、参加者間でランダムな順番で行われた。リーチングタスクは1ブロックにつき、25回行われた。合計200トライアルのリーチングタスクが行われた。

各観察終了後、実験参加者は身体感覚に関するアンケートに回答した[5,6]。表1にアンケート項目を載せる。それぞれ、身体所有感、行為主体感、自己位置感覚、画面酔い、タスク難易度、臨場感に関する質問であり、参加者は計11問に対して、7段階（1-全くそう思わない～7-全くそうだと思う）でそれぞれ回答した。

3. 結果

アンケートから得られた、身体所有感などの評定値、及びRTに対して三元配置分散分析を行った。解析には統計分析用ソフト JASP Version 0.17.3（JASP team, 2023, University of Amsterdam）を使用した。本研究での下位検定には、Holm法が採用された。なお、リーチングタスクの成功率は、ほとんどの実験参加者で100%（最低値99.4%）だったので、解析から除外した。また、3D酔いに関する評定値は全ての実験参加者で1.5未満（範囲1.0~1.4）と低い水準であったため、解析から除外した。

3.1 身体所有感

各条件における身体所有感の評定値についての結果を

実験参加者の後ろ姿



アバターの腕

図1：自己運動観察の様子（一人称視点）。前方に実験参加者の後ろ姿が提示された。この後ろ姿はwebカメラによってリアルタイムで撮影されており、実験参加者の動きと常に連動していた。

表1：アンケート項目

因子	質問内容
身体所有感	見えているバーチャル身体が自分の身体のように感じた
	見えているバーチャル身体が自分の身体でないように感じた
	見えているバーチャル身体がほかの誰かの身体のように感じた
行為主体感	見えているバーチャル身体は動かそうと思えば動かせるように感じた
	見えているバーチャル身体は自分ではコントロールできないように感じた
	見えているバーチャル身体を自分がコントロールしているように感じた
自己位置感覚	自分が見えているバーチャル身体の中のように感じた
	見えているバーチャル身体から、ある程度距離をおいて誰かを見ているように感じた
画面内容	画面酔いした
タスク難易度	タスクをこなすことは難しかった
臨場感	あたかも自分がバーチャル身体の中のように感じた

図2に載せる。分散分析の結果、アバターの主効果（ $F(1, 6) = 11.91, p = .014, \eta_p^2 = .67$ ）及び、アバターと自己運動観察の有無との要因間での交互作用（ $F(1, 6) = 8.47, p = .027, \eta_p^2 = .59$ ）がそれぞれ認められた。その他の主効果・交互作用には有意差が認められなかった。有意差が認められた交互作用に対して下位検定を行った結果、自己運動観察が無い条件下での人アバター（5.26）とロボットアバター（4.31）間で差が見られた（ $p < .05$ ）。

3.2 行為主体感

各条件における行為主体感の評定値についての結果を図3に載せる。分散分析の結果、自己運動観察の有無の主効果 ($F(1, 6) = 14.75, p = .009, \eta_p^2 = .71$) が認められた。その他の主効果・交互作用には有意差が認められなかった。自己運動を観察しない条件 (5.90) の方が、観察する条件 (5.55) よりも行為主体感が大きかった。

3.3 自己位置感覚

各条件における自己位置感覚の評定値についての結果を図4に載せる。分散分析の結果、自己運動観察の有無の主効果 ($F(1, 6) = 19.43, p = .005, \eta_p^2 = .76$) 及び、視点の主効果 ($F(1, 6) = 14.29, p = .009, \eta_p^2 = .70$) がそれぞれ認められた。その他の主効果・交互作用には有意差が認められなかった。自己運動を観察しない条件 (4.96) の方が、観察する条件 (4.29) よりも、また、一人称視点条件 (5.25) の方が、三人称視点条件 (4.00) よりも自己位置感覚がそれぞれ大きかった。

3.4 臨場感

分散分析の結果、アバターと自己運動観察の有無との要因間での交互作用 ($F(1, 6) = 6.19, p = .047, \eta_p^2 = .51$) が認められた。その他の主効果・交互作用には有意差が認められなかった。有意差が認められた交互作用に対して下位検定を行った結果、どの比較においても有意な差は認められなかった。

3.5 タスク難易度・リアクションタイム (RT)

タスク難易度に対して分散分析を行った結果、視点の主効果 ($F(1, 6) = 6.19, p = .047, \eta_p^2 = .51$) が認められた。つまり、一人称視点条件 (3.36) の方が、三人称視点条件 (1.68) よりもタスクが難しいと感じていた。また、RT に対して分散分析を行った結果、視点の主効果 ($F(1, 6) = 32.69, p = .001, \eta_p^2 = .85$) 及び、アバターと視点との要因間での交互作用 ($F(1, 6) = 32.53, p = .001, \eta_p^2 = .84$) がそれぞれ認められた。有意差が認められた交互作用に対して下位検定を行った結果、一人称視点におけるロボットアバター (1371.18 ms)、一人称視点における人アバター (1187.93 ms)、三人称視点における人アバター (840.92 ms) と三人称視点のロボットアバター (751.84 ms)、全ての群間比較において、有意な差が認められた。

4. 考察

本研究では、リアルタイムでの自己運動の観察が、身体感覚に与える影響を調べた。その結果、自己運動の観察は身体所有感、行為主体感、自己位置感覚、臨場感全てに、影響を与えることが示唆された。このうち、行為主体感と自己位置感覚は、自身の運動を観察しない方が、高くなることが明らかとなった。これは、自身の運動情報の観察は、VR 空間内の VR アバターに対して生起する「自身で操っている」や「自身がそこにいる」という感覚を阻害することを示唆している。

この事実、VR 空間内で、自分の分身となり得るオブ

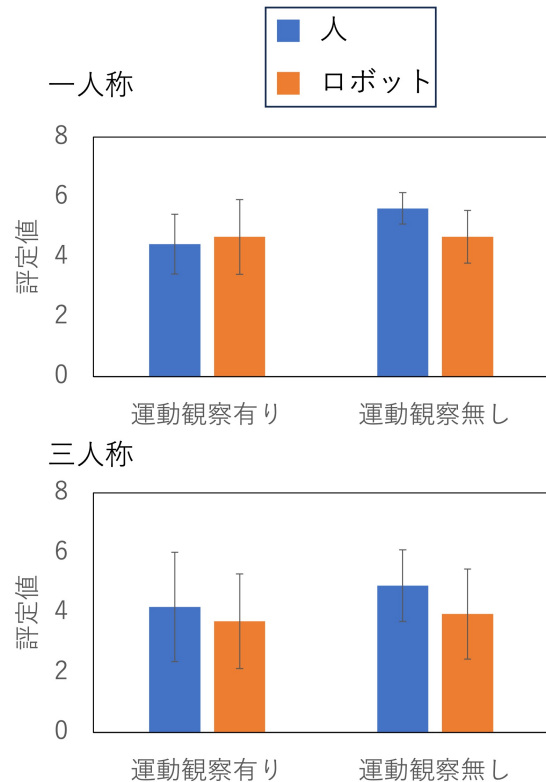


図2: 身体所有感の実験結果。上のパネルが一人称視点、下のパネルが三人称視点をそれぞれ示す。青色のバーが人アバター、橙色のバーがロボットアバターをそれぞれ示す。また、横軸が自己運動観察条件、縦軸が評定値をそれぞれ示す。エラーバーは標準偏差を示す。

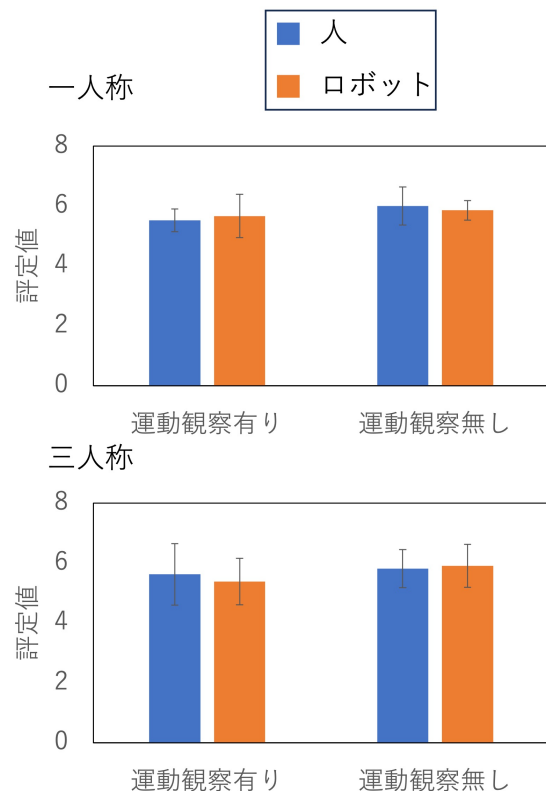


図3: 行為主体感の実験結果。グラフの見方は図2と同じ。

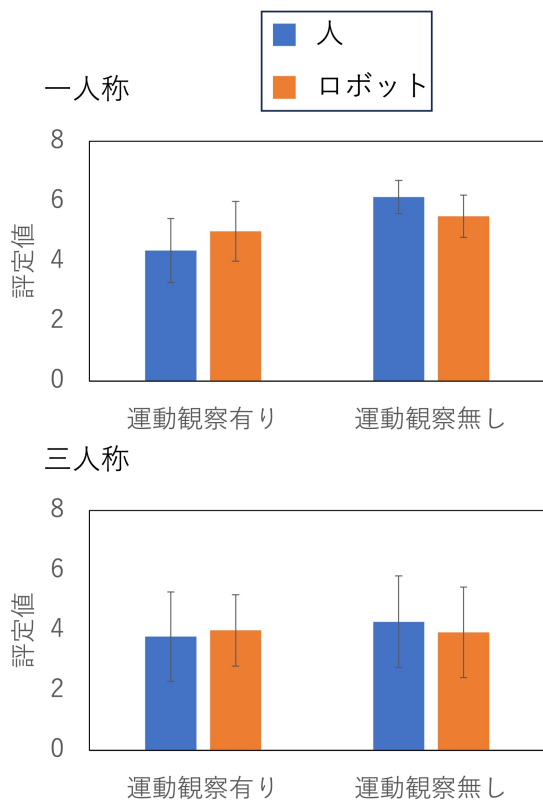


図 4: 自己位置感覚の実験結果。グラフの見方は図 2, 3 と同じ。

ジェクトがある場合、「アバターへ没入するためのリソースが限られている」ことを示しているのかもしれない。言い換えると、自分の動きと同期したアバターが VR 空間内に複数存在する場合、全てのアバターに等しく没入できない可能性がある。身体所有感の結果を見ると、自己運動の観察が無い場合、人アバターの方がロボットアバターよりも身体所有感が大きくなっている。しかしながら、この効果は自己運動の観察が有る場合では見られない。これは、この条件では、自己運動刺激に対して、実験参加者がすでにある程度没入しているため、そこにリソースを割かれ、VR アバターに没入するのが難しくなっていることを示している可能性がある。

一方で、自己運動観察の有無はタスク難易度には直接影響しないことが示唆された。今回の実験では、VR 空間内

でのみリーチングタスクを行っており、実世界ではこのようなタスクは行っていない。このため、自己運動の観察はタスク難易度には影響しなかったものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、リーチングタスクとは直接関係の無い、自己運動の映像を視覚刺激として提示した。それにも関わらず、実験参加者の様々な身体感覚の変化が観測された。この結果は、VR 空間におけるアバターに対する身体感覚の変容は、非常に柔軟であることを示している可能性が高い。アバターを伴った VR コンテンツは数多く提供されているが、そのアバターへの没入度と周辺の環境の影響を調べた研究は少ない。今回の知見は、このような VR コンテンツを作成する際に役に立つと考えられる。

参考文献

- [1] Jo, D., Kim, K., Welch, G. F., Jeon, W., Kim, Y., Kim, K. H., & Kim, G. J. (2017, November). The impact of avatar-owner visual similarity on body ownership in immersive virtual reality. In *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* (pp. 1-2).
- [2] Lugrin, J. L., Latt, J., & Latoschik, M. E. (2015, March). Avatar anthropomorphism and illusion of body ownership in VR. In *2015 IEEE virtual reality (VR)* (pp. 229-230). IEEE.
- [3] Lugrin, J. L., Landeck, M., & Latoschik, M. E. (2015, March). Avatar embodiment realism and virtual fitness training. In *2015 IEEE Virtual Reality (VR)* (pp. 225-226). IEEE.
- [4] Kilteni, K., Groten, R., & Slater, M. (2012). The sense of embodiment in virtual reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 21(4), 373-387.
- [5] Fribourg, R., Argelaguet, F., Hoyet, L., & Lécuyer, A. (2018, March). Studying the sense of embodiment in VR shared experiences. In *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 273-280). IEEE.
- [6] Tsakiris, M. (2010). My body in the brain: a neurocognitive model of body-ownership. *Neuropsychologia*, 48(3), 703-712.