



アバターと環境のレンダースタイル一致が VR の体験価値に与える影響の解明

子系卓¹⁾, 細井十楽¹⁾, 伴祐樹¹⁾, 割澤伸一¹⁾

Takashi KOITO, Juro HOSOI, Yuki BAN, and Shin'ichi Warisawa

1) 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 (〒 277-8563 千葉県柏市柏の葉 5-1-5, koitotakashi@lelab.t.u-tokyo.ac.jp, hosojuro@lelab.t.u-tokyo.ac.jp, ban@edu.k.u-tokyo.ac.jp, warisawa@edu.k.u-tokyo.ac.jp)

概要: 近年, アバターを用いた VR アプリケーションは更なる広がりを見せている. その一方で, アバターと環境の関係性, 特に環境表現に多用されるレンダースタイルが体験に与える影響については十分に検討されていない. 本研究では, アバターと環境のレンダースタイルの一致不一致が, 臨場感や身体化感覚に与える影響について調査した. その結果, レンダースタイルの一致度合いが臨場感・身体化感覚の構成要素に有意な影響を与えることが分かった.

キーワード: レンダースタイル, 臨場感, 身体化感覚, アバター

1. はじめに

近年バーチャルリアリティ (VR) の普及が進みユーザが増えていく中で, VR 空間における体験価値を高める取り組みが進められるようになってきた. 特に重要とされる体験価値が XR Qualia と呼ばれる概念であり, 臨場感や身体化感覚によって構成される [1]. 他の媒体と比べた VR の強みとして広くみなされているものであり, これらが高めるため様々な手法が用いられている. その手法の 1 つで注目を集めているのがレンダースタイルである.

レンダースタイルとはコンピュータグラフィックスにおけるデータの表示形式のことであり, 光や物理計算を利用して目標のデザインを実現する表現手法である. 実際レンダースタイルを用いたユーザ体験向上の試みは VR に限らずかねてより広く行われており, 例えば一般的なゲームにおいて, リアリティを出すため水たまりに光を反射させたり, 逆に平面を意識させるため反射を無効にしたりといった取り組みがみられる. 現在では仮想現実 (AR) でも考慮され, 実空間に違和感なくイメージを投影する必要のある場面にてレンダースタイルの調整が大いに活用されている [2].

こういった形で広く用いられるレンダースタイルであるが, 実際にユーザ体験を大きく変化させることが先行研究によって明らかになっている. Schatz らは, VR におけるレンダースタイルが仮想製造トレーニングのユーザー満足度に有意な影響を与えることを示した. タスクの取り組み易さはレンダースタイルがリアルに近いほど上がり, 一定以上近くなると有意差は見られなくなる [3]. VR 空間では多くの場合アバターを用いることから特にアバターのレンダースタイルに着目したのも見られ, Mcdonnell らはアバターのレンダースタイルによって魅力度が変化することを示唆した [4]. 前述の XR Qualia に対する影響に関して

も多くの研究がなされており, Weber らは VR 映像のリアリティが高いほど得られる臨場感が高くなる傾向がみられると示唆した [5]. Waltemate らは, 12 種類のアバターを用いた比較を通して, パーソナライズされたアバターを用いた方が汎用アバターよりも臨場感・身体化感覚ともに高くなることを報告した.

このように VR 空間やそこで用いられるアバターのレンダースタイルに関しては取り組みが進められる一方, アバターと環境の関係性, つまりアバターと環境のレンダースタイルを揃えるべきかについては私の知る限り議論が十分に行われていない. この問題は VR において顕在化したものであり, 現在多くの VR アプリケーション, 特にコミュニケーションツールにおいては様々な VR 空間に対してユーザが各々用意したアバターを持ち込む形となっている. この構造によって環境とアバターのレンダースタイルが一致しないことが多々ある. そこで本研究では, レンダースタイルの一致不一致が XR Qualia (臨場感, 身体化感覚) に与える影響に関して検討する.

臨場感は Place Illusion (PI) と Plausibility Illusion (Psi) の 2 要素によって構成されると考えられている. Place Illusion とは描写された場所に自身がいるという空間的な錯覚で, Plausibility illusion とは VR 空間で起こる事象や状況が現実的であるという錯覚である. Plausibility Illusion は更に ABP (Appearance and Behavior Plausibility) と MVE (Match with the VE) に分けられ, ABP はアバターの外見と行動の一貫性, MVE はアバターと環境の一貫性を表す. PI は空間の情報量や整合性によって, Psi はユーザの知識や期待によって左右される [6]. 一方, 身体化感覚も複数の要素に分けることができ, 主に身体所有感と運動主体感で構成される. 身体所有感とはある身体部位が自

分に属している感覚で、運動主体感とはある身体部位が自分の意志で動いているという感覚である。身体所有感とは実身体とアバターの形態的同期、運動主体感とは時間的同期によって主に生起される。今回はこれらの概念に対してそれぞれレンダースタイルの影響を検討していく。

Malらは我々と似た点に着目し、アバターの服装と環境がTPOの面で一致しているかによる影響を調査した。その結果、一致していた方がMVEが高く、PIやABP、身体所有感、運動主体感には有意差がみられなかった。[1]。この報告と前述の生起要因から以下の仮説 H1-1 をたてる。

- PIに関して、レンダースタイルの不一致は物理的に破綻した状態になり大きく整合性を損なうため、レンダースタイルが一致すると向上する。
- MVEと運動主体感に関しては、レンダースタイルの与える影響は服装のそれと相違ないため Malらの報告と同様の結果となる。
- ABPに関して、アバター単独の指標であるため環境との一致不一致に影響されず、変化しない。
- 身体所有感に関してはアバター単独の指標であるため環境との一致不一致に影響されないが、レンダースタイルは体の色調などのデザインを変えるため、レンダースタイルがリアルから離れることで結果的に低下する。

また、仮説 H1-1 で言及した変化の量に対して仮説 H1-2 を立てる。

- XR Qualia のレンダースタイル一致不一致による変化量は、アバターと環境のレンダースタイルが大きく異なるほど大きくなる。

そもそも PI と MVE の変化はアバターと環境のレンダースタイルが離れることによって生起するものなので、レンダースタイル差によってその傾向は強まると推察される。身体所有感とは環境のレンダースタイルからは影響を受けないが、それと一致させることでアバターのレンダースタイルが変わる。アバターと環境のレンダースタイルが離れることはアバターのレンダースタイルが大きく変化することを意味するため、それによって身体所有感も大きく変化すると考えられる。ABP と運動主体感とは H1-1 より変化しない。これら仮説 H1 を検証するために実験をおこなう。VR 空間での体験価値への影響を検証する際必ず何かしらの体験をすることになるが、この体験の種類によっても影響される可能性がある。Weberら [5] はインタラクションが Psi を高める要因であると示唆した。これはインタラクションがあることによって一貫性の破綻に対し寛容になっている可能性がある。ここから、一貫性に上限があると仮定すると破綻への影響をある程度の割合で小さくすると考えられ、以下の仮説 H2 が導かれる。

- MVE のレンダースタイル一致不一致による変化量は、インタラクションがあると小さくなる。

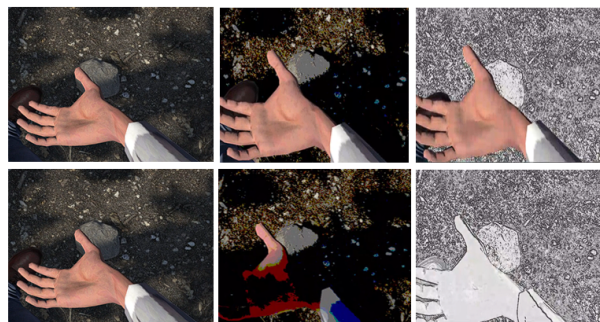


図 1: 実験条件。上行はリアルなアバターで下行が環境と同一スタイル。左から順にリアル、階調化、白黒

この仮説 H2 を検証するために実験ではインタラクションのないタスク 1 とあるタスク 2 を用意し、それぞれの結果を比較する。以上 H1-1,1-2,H2 の 3 つの仮説を検証する。

2. 実験方法

2.1 設計

アバターと環境のレンダースタイルの一致が XR Qualia に与える影響を検証するため、レンダースタイルを描えた場合とそうでない場合での XR Qualia の変化を計測し、その変化量を環境のレンダースタイルの種類やインタラクションの有無で比較する。

2.2 条件

実験で提示するレンダースタイルとしてリアル、階調化、白黒の 3 種類を利用した。レンダースタイルによる大きさ知覚変化の先行研究ではリアルから白黒にかけて複数のレンダースタイルを用意しており [7]、本研究ではそれを踏襲した。明確にレンダースタイル間の差を知覚させるためリアルと白黒の間となるレンダースタイルは 1 種類とし、色彩の情報量という観点での中間として階調化を選定した。これは RGB 値をそれぞれ 5 段階ずつにしたものである。アバターに関してはリアルなものを用意し、環境のレンダースタイルと一致させる場合と本来のスタイル（リアル）を保持させる場合の 2 条件で行った。以上よりレンダースタイル 3 種とアバター環境間の一致不一致による計 6 条件で検証を行った (図 1)。

2.3 実験システム

提示映像は Unity を用いて作成したシーンをヘッドマウントディスプレイ (HMD) (VIVE Cosmos Elite) にて提示し、全身のトラッキングにはコントローラと VIVE Tracker を利用した。レンダースタイルは、レンダリングプロセスの終了時に追加レイヤーを適用するポストプロセスと呼ばれる処理によって実装した。

2.4 評価項目

臨場感・身体化感覚の評価には先行研究と同様にアンケートを用いた。アンケート項目には類似の先行研究で多用されるもののうち、今回の実験に適したものを引用し和訳して利用した。



図 2: 実験映像。石と入れ物が映る。実験 1、2 共通

2.5 実験手順

練習タスクの後、本番タスクとアンケート回答を 1 まとめとしたセットを条件数の分だけ繰り返した。以上の流れを本番タスク 1 と本番タスク 2 の 2 回に対して行った。

2.5.1 練習タスク

練習タスクでは、実験参加者は本番タスクで行う動作とアンケート回答を試した。その際レンダースタイルはアバター・環境ともにリアルなものを利用した。これは本番タスクを円滑に進めることと、アンケートの回答の基準を判断させることを目的としている。

2.5.2 本番タスク

タスク 1 では、実験参加者はその場でアバターの腕や足を動かしたり眺めたりすることで、VR 空間での環境とアバターがどのような状況にあるのかを把握した。所要時間は 45 秒で、腕を動かす、周囲を見回す等の指示に従って行動した。

タスク 2 では、実験 1 と同じ空間で歩き回りながら地面に落ちた石を拾っていくことで、環境とのインタラクションを意識した (図 2)。所要時間は実験 1 と同じく 45 秒で、実際の体の動きに合わせて石が拾えるように設計されているため、屈んで拾う動作を実際に行った。

これらタスクの設計に際して検討した事項に関して述べる。実験 1 では環境とのインタラクションが無いことを念頭に置いた結果、自アバターや周辺環境を眺めるタスクを選定した。このとき環境と触れるインタラクションをおこなう実験 2 と条件を揃えるためには十分に身体所有感や運動主体感を生起する必要があるため、自アバターの手を動かしたり足までしっかり眺める内容とした。実験 2 では環境とのインタラクションがあるものを選定した。このとき、自アバターを十分視認するために今回は石を拾うタスクとし、タスク中に下を見ることで自然と自アバターも視野に入るという形を採用した。また、タスク 1 とタスク 2 の順序は必ずこの順番で行った。これは一度インタラクションありのタスクを体験すると、その後のタスクにもインタラクションがある状態の影響が残ってしまうと考えられるからである。

2.5.3 アンケート

アンケートには臨場感、身体化感覚を評価するための設問が 14 項目あり、それぞれ 10 段階のリッカート尺度で回

答した。また、すべての実験が終了した際に、階調化・白黒それぞれのレンダースタイルに対し一致不一致のどちらが好みかを口頭で回答した。

2.6 実験参加者

本実験では 25 名の参加者を対象にして行った。内訳は全員 21 から 25 歳の男性であった。

3. 結果・考察

まず、同じ環境においてアバターと環境のレンダースタイルが一致する場合と不一致の場合で XR Qualia が変化したかについて結果を説明する (H1-1)。順序尺度であり正規性を満たさないため Wilcoxon の符号付き順位検定を用いて検定し、BH 法で補正した。MVE はインタラクションの有無に関わらず、レンダースタイルが一致していた場合が有意に高かった。身体所有感はインタラクションが有る場合のみ、一致していた場合の方が有意に低かった ($p < .05$)。PI はインタラクションが有る場合のみ、一致していた場合の方が高かったものの有意傾向に留まった ($p < .1$)。ABP と運動主体感は仮説通り有意差が見られなかった。

次に、同じ環境におけるレンダースタイル一致の場合と不一致の場合での XR Qualia の変化量に関する、レンダースタイル自体の異なり度合いとインタラクションの影響について図 3、図 4 に結果を示す (H1-2、H2)。ART ANOVA [8] を行ったところ、前述の結果で有意差が見られなかった Psi1、PI、運動主体感に関しては、変化量にも有意差が見られなかった ($p > .1$)。MVE の変化量はレンダースタイルの差とインタラクションの有無の両方に対して有意な主効果がみられた ($p < .01$)。つまり H1-2 と H2 の両方を支持する結果となった。また、交互作用も有意であったため Wilcoxon の符号付き順位検定を用いて検定し、BH 法で補正した個別比較を行った。その結果、ほとんどの場合で有意差が見られた一方、インタラクションありのもとでリアル環境と階調化環境の間でのみレンダースタイル一致不一致による MVE 変化量に有意差がないことが分かった。これはインタラクションがある場合 H2 で述べたように MVE への影響が小さくなることと、アバターと環境のレンダースタイル差が小さいことで、VR 空間のクオリティの問題として納得した可能性がある。実際、事後回答ではあまり差が分からなかったと答えた参加者が複数おり、図 3 からインタラクションがある場合に変化量が小さくなる傾向がみられる ($p < .1$)。身体所有感の変化量はレンダースタイル自体の異なり度合いのみに対して有意な主効果がみられ ($p < .05$)、交互作用は有意でなかった。つまり、レンダースタイル不一致時のアバターと環境のレンダースタイル差が大きいほど、一致時に身体所有感は大きく下がった。

実験 1・2 を通して PI にほとんど有意な差が見られなかったことについて、本実験でおこなったタスクに原因があると考えられる。第 1 章で述べたように PI には影やテクスチャの解像度などの情報が影響することが多いと考えられ、本実験においても色彩情報から影などが変化していた。一方

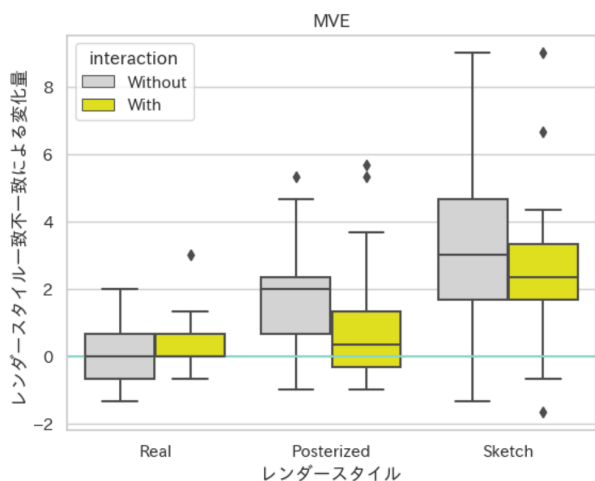


図 3: H1-2 についての MVE の結果を示す箱ひげ図

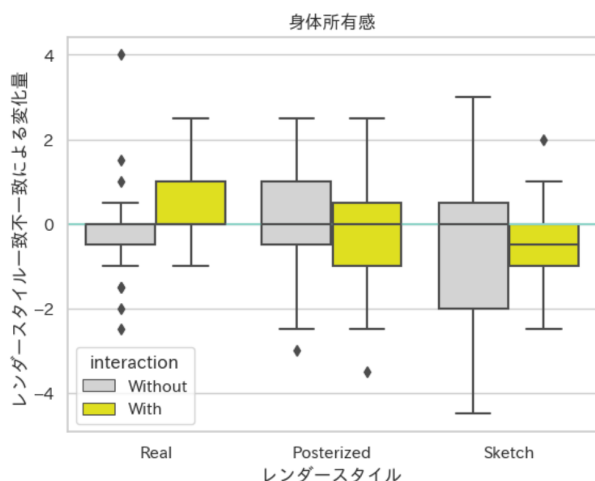


図 4: H1-2 についての身体所有感の結果を示す箱ひげ図

で、PI への影響度合いは場合によって異なるとも述べられており、今回は影響が出ない場合であったのだとみなせる。こういった場合が該当するのか追加の検証が必要である。

実験後に口頭で回答を得た好みに関して好きを 1、嫌いを 0、どちらでも良いを 0.5 として数値化したものを検定した結果、インタラクションなしの場合はレンダースタイルが一致している状態を有意に好んだ一方インタラクションのある場合は有意な差が見られなかった。ここで XR Qualia は前述の結果からレンダースタイルの一致不一致によって MVE と身体所有感が有意に変化し、そのうちインタラクションによって有意に影響を受けたのは MVE のみである。MVE はインタラクションが無い場合はレンダースタイル一致時が有意に高いのに対し、インタラクションがあると一致不一致による差が縮まる。つまり、好みと同様の傾向を示したといえる。

4. おわりに

本研究はアバターと環境のレンダースタイルの一致が XR Qualia に与える影響を検討した。実験の結果、レンダースタイルの一致不一致によって MVE と身体所有感が変化し、MVE はインタラクションの有無によってレンダースタイルの一致による変化分が有意な影響を受けた。また、ユーザの好みは XR Qualia 全体の評価と同様の傾向を示した。

これまで明確な指針の無かった VR 空間におけるアバターと環境のレンダースタイルの設計に関して定量的な結果で方針を示したことが本研究の成果である。今後は解像度など、レンダースタイル以外のコンテキストの関係性について調査し更に汎用的な指針を提示することに取り組む。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP21H03478 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] David. Mal, et al. The impact of avatar and environment congruence on plausibility, embodiment, presence, and the proteus effect in virtual reality. *IEEE TVCG*, Vol. 29, No. 5, pp. 2358–2368, 2023.
- [2] Zibreke., et al. Social presence and place illusion are affected by photorealism in embodied vr. In *Proceedings of the 12th ACM SIGGRAPH Conference on Motion, Interaction and Games*, pp. 1–7, 2019.
- [3] Raimund. Schatz, et al. Assessing the qoe impact of 3d rendering style in the context of vr-based training. In *2018 QoMEX*, pp. 1–6, 2018.
- [4] Rachel. McDonnell, et al. Render me real? investigating the effect of render style on the perception of animated virtual humans. *ACM TOG*, Vol. 31, No. 4, pp. 1–11, 2012.
- [5] Stefan Weber, et al. How to get there when you are there already? defining presence in virtual reality and the importance of perceived realism. *Frontiers in Psychology*, Vol. 12, , 2021.
- [6] Mel Slater. Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, Vol. 364, No. 1535, pp. 3549–3557, 2009.
- [7] Ignatius Alex Wijayanto, et al. Comparing the effects of visual realism on size perception in vr versus real world viewing through physical and verbal judgments. *IEEE TVCG*, Vol. 29, No. 5, pp. 2721–2731, 2023.
- [8] Jacob O. Wobbrock, et al. The aligned rank transform for nonparametric factorial analyses using only anova procedures. In *Proc. of CHI*, pp. 143–146, 2011.