

視行動解析による VR コンテンツ内感覚情報強度と没入の程度関係

Relationship between the level of sensory stimuli in VR content and the degree of immersion based on eye movement analysis

中川 太一[†]
Taichi Nakagawa小川 信之[‡]
Nobuyuki Ogawa北島 宗雄[†]
Muneo Kitajima中平 勝子[†]
Katsuko T. Nakahira

1 はじめに

近年、VR 技術の発達やヘッドマウントディスプレイ (HMD) の低廉化により、容易に VR コンテンツを利用することが可能となった。VR コンテンツは従来のコンテンツとは違い、HMD でユーザーの視界を覆うことで深い没入を生み出すことができ、エンターテインメントや産業用シミュレーション、観光、教育など様々な用途で活用されている。

VR を教育に利用する利点として、

- 環境を容易にシミュレートできる
- ユーザーが能動的に行動できる
- 一方的な情報伝達でなく、環境との相互作用が可能

などが挙げられる。

Parong[1] らの研究では、人間の血液内の細胞の働きを学ぶために没入型 VR コンテンツを体験した学生は、同じ内容のスライドショーで学習した学生よりも、学習についてより幸福だった、よりわくわくした、退屈でなかったなど、好意的な評価を示したと報告している。

並行して、近年話題に挙げられている概念に、“Adaptive Virtual Reality” がある。これは、Baker and Fairclough [2] によって次の様に説明されている。適応型 VR は、行動、心理生理学、神経生理学がモニターされ、ユーザーのリアルタイムモデルが作成される。この定量化は、個々のユーザーの感情状態を推測し、実行時間中に仮想環境内で適応的な変化を引き起こすために使用される。そのため、彼らは、ユーザーが特定の VE 内で相互作用する際の個人差をシステムとしてモデル化することで、感情体験の効力を高めることができると主張する。適応型 VR を実現するためには、現実または VR 空間と人の相互作用の結果生じる、より深い没入を設計可能とする必要がある。その第一歩として、先行研究 [3] にて、VR 空間内で実際の人の知覚が得る情報の流れとその結果生じる人の反応モデルを記述した。モデルのベースは、3つの感覚情報である、視覚、聴覚、体性感覚情報が、VR オブジェクトと VR 機器を介してどの様に人に伝わるかを、多感覚情報の統合を軸に、チャンク活性との関係を示せる様に記述した。その結果、人が感じる感覚強度は Weber-Fechner's Law に従って対数で表現されることを踏まえ、ごく微弱な感覚情報の違いであったとしても、人の感覚の違いを区別できることが示唆された。以上の点を考慮す

ることで、特に VR 空間における没入感に対する認知的な理解を進め、個別のユーザーに適応した没入型コンテンツ設計を可能とできるだろうことを示唆した。ここで、ユーザーが VR コンテンツを体験する際、各感覚情報の強調の程度をパラメータとして変えていき、ユーザーが感じる没入感の度合いが変化するか実験で調べる必要がある。よって、本稿では、VR コンテンツ体験時のユーザーの主観評価及び、視点と視行動の分析を通して、VR コンテンツの感覚情報の強度の変化が没入感に与える影響を調べる実験を行う。

2 仮説

現在最も普及している VR 環境は、HMD を使ったものである。HMD と両手のコントローラの 3 点でユーザーの身体動作を VR 環境に伝える。通常、VR コンテンツでは感覚情報として、視覚情報、聴覚情報、触覚情報が主に用いられる。視覚情報は HMD 上に表示される映像が該当し、VR 空間内の 3D オブジェクトや、ユーザーのアバターなどが含まれる。聴覚情報は HMD 内蔵の、もしくは外部のスピーカーからの音声情報が該当し、VR 空間内の環境音や BGM、動作に付随して発生する効果音が含まれる。触覚情報はコントローラの振動が該当し、VR 空間内でオブジェクトを選択したり、UI を操作するときに触覚フィードバックを与えることで操作性を向上させる働きがある。

図 1 に、人が VR コンテンツを体験する際に没入感が生み出される過程を示す認知モデルを示す。以下で図の流れを説明する。

知覚情報は感覚レジスタに移動し、その後ユーザーが注意を向けている情報のみが注意選択器を通過し、ワーキングメモリへと移動する。ここで、それぞれの感覚情報は全て同時に作業記憶に入ってくるのではなく、1回の処理につき1つの情報が通過する。作業記憶内の情報が長期記憶内の情報、すなわち、現実世界でのこれまでの経験と照らし合わされる。VR 空間内で得られる感覚情報が現実世界の経験で得られるものと近い場合、VR 空間を現実の空間のようであると感じる錯覚が発生すると考えられる。

知覚情報を基に、次に行う動作を判断する。ここで、VR オブジェクトに対する操作がコントローラーを介して行われる場合、現実世界での行動が、対応するコントローラー操作に変換される。操作器 (実際の身体) が運動し、その動きに応じて VR 空間内のアバターが動く。人の動作を VR へ取り込むための手法は 2 つ存在する。

[†] 長岡技術科学大学

[‡] 岐阜工業高等専門学校

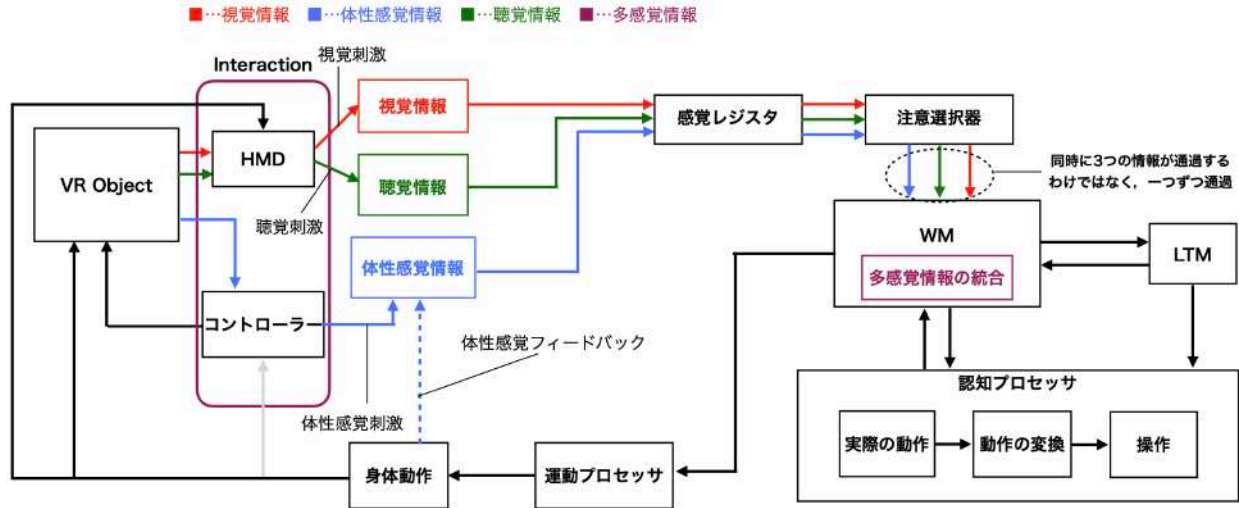


図1 VRコンテンツを体験する際のユーザーの知覚、認知、行動の流れを示す認知モデル [3]

- (1) HMDに付属するカメラによる画像センシング
基本的なUI操作(クリックや画面のスクロール)、VRオブジェクトの把持(手を握って何かを持つジェスチャによって実現される)などが可能で、実際の手とアバターの手の運動の高度な同期が利点である。一方で、正確な操作、両手がカメラの視野外に出るほどの大きな動作、非常に速い手の動きなどが弱点となる。
- (2) コントローラによるセンシング
センサによる正確な位置・姿勢・運動情報のトラッキングが可能で、実際の身体の運動感覚が操作に直接反映されることで没入感が高くなると考えられる。ただし、HMDによる身体運動の反映と現実の身体の運動が同期していない場合、違和感の原因となり、VR体験の没入度を低下させると考えられる。VR体験は、ユーザーがこれらの方法を通してVR空間へ働きかけ、それに対してVR空間内の環境が変化し、その変化をユーザーが知覚するという連続的な相互作用が続いていくこととなる。

しかし、現在のVRコンテンツと現実世界では得られる感覚刺激に差異が存在する。

例として、VR空間内で仮想の和太鼓を演奏する状況を考える。ユーザーが以前現実世界で本物の和太鼓を見たことがあり、演奏したことがあるとする。まず、VR空間内の和太鼓の見た目や演奏する際の身体の運動情報が作業記憶に移動し、長期記憶内のチャンクを活性化させる。そして、VR空間内の和太鼓を叩くと音が発生し、ユーザーの作業記憶に聴覚情報が移動し、長期記憶内のチャンクを活性化させる。しかし、VR空間内の和太鼓を叩いたとしても、現実世界の和太鼓を演奏した際に出るほどの大きな音や、身体で感じる空気の振動などはVR空間では再現することができない。結果として、VR空間で得られた感覚情報によるチャンクの活性は現実世界の経験のものより低くなってしまふ。

このような場合、足りない感覚情報を補うことでVR体験を現実の経験に近づけ、没入度を高められると考えられるが、逆



図2 実験に用いたVR空間の例

に、ユーザー個人が感じ取りやすい感覚情報を強調表示することでチャンクの活性度合いが高まり、VR体験の没入度が向上する方法も考えられる。

本研究では、視覚情報と聴覚情報を対象とし、ユーザーの認知特性に応じて感覚情報強度が異なるVRコンテンツを体験した際にユーザーが感じる没入感の度合いが変化するかを実験で確かめる。

3 実験

VRコンテンツの感覚情報の強度とユーザーが感じる没入感の関係性を調べるための実験を行う。なお、今回は予備実験として実験を実施した。提示するVRコンテンツは、普段目にするはその詳細を知ることが少ない、神社の造りを題材としたコンテンツを選んだ。実験に用いたVR空間のスクリーンショットを以下の図2に示す。実験に使用したプログラムはUnityを使用して作成した。

表 1 実験開始前の質問項目

Q1A	勉強するときや情報を記憶するとき、目で見た情報と聞いた情報のどちらが記憶しやすいですか。
Q2A	神社の造りについて勉強したことがある。
Q3A	神社の構造を詳しく観察したことがある。
Q4A	建築物の構造について勉強したことがある。
Q5A	VR を体験したことがある。
Q6A	VR ゴーグルを持っている。

VR 空間内には神社のモデルと神社の造りに関する解説動画を配置した。その他に木、鳥居、手水舎といった神社に関連するオブジェクトを配置することで、視覚的、文脈的情報を現実のものに近づけ、没入感の向上を狙った。視覚情報と聴覚情報について、刺激が弱い、通常、強い場合の3つの条件でVR空間を用意し、被験者はその中で神社を観察する。

3.1 実験手順

実験は以下の通りで行うこととした。実験に用いるHMDはMeta Quest 2を使用し、視線計測にはTobi Pro Glasses 3を使用した。また、VR酔い対策のため、VR空間内の移動方法はテレポートによる移動を採用した。実験開始前に、被験者に「学習するときや情報を記憶するとき、あなたは視覚情報と聴覚情報のどちらが記憶しやすいか」という質問(Q1A)に回答するよう指示し、被験者の情報の取得に関する認知特性を調べた。この回答に応じてVRコンテンツの視覚、聴覚情報のどちらを変化させるかを決定し、優位である感覚情報の強度の変化が没入感に与える影響を確かめた。加えて、被験者は実験開始前に神社に関する知識や学習経験、最近神社を訪れたかなどの質問に回答させた。表3.1に質問内容を示す。

その後、被験者のQ1Aの回答に応じて感覚情報を適宜変化させたVRコンテンツを体験した。VR空間内での行動に関して、体験開始後に解説動画を最後まで視聴した後、残りの時間で神社の3Dモデルを観察するよう指示した。なお、被験者の視線情報を計測するため、被験者はアイトラッカーを装着した上からHMDを装着してVRコンテンツを体験した。被験者は1セッションにつき3分間VRコンテンツを体験し、合計で2セッション行った。各セッション終了後、被験者はVRコンテンツの没入度に関するアンケートに回答し、VR体験の没入度を評価した。なお、アンケートは独自に作成した質問を用いた。表3.1に質問内容を示す。回答は8段階評価(1:全くそう思わない~8:非常にそう思う)とし、得点を集計した。

その後、自由記述セッションを設け、被験者はコンテンツの内容で覚えていること、体験して感じたことについてそれぞれ回答させた。質問項目は、

- コンテンツの内容について覚えていることを自由に書いてください。
- VRコンテンツを体験して感じたことを自由に記述してください。

とした。自由記述セッションは制限時間を設けず、被験者は思いつく限りの情報を記述することが許された。自由記述セッ

表 2 各試行後の質問項目

Q1B	VR空間に没入できた
Q2B	実際にVR空間の中にいるように感じた
Q3B	VR空間内の物体の見た目がリアルだと感じた。
Q4B	VR空間内の音がリアルだと感じた。
Q5B	VR空間に没頭するあまり周りの環境に注意が向かなかった。
Q6B	実験が終わった後、現実世界に戻ってきたように感じた。
Q7B	HMDやコントローラーの存在が気にならなかった。
Q8B	時間の経過を忘れるくらい集中できた。
Q9B	VR酔いを感じた

表 3 VRコンテンツの提示刺激変化パターン

	条件1:弱い刺激	条件2:普通の刺激	条件3:強い刺激
視覚情報	平面に神社だけが置かれている	平面に神社、木、鳥居、手水舎が置かれている	森の中に神社、木、鳥居、手水舎が置かれている
聴覚情報	解説動画の音声や環境音の音質が悪い	解説の音声と環境音	解説動画の重要語句の音量が大きくなる、解説動画に効果音が入る、環境音大きい

ションの後には3分間の休憩を設け、被験者はHMDを外した状態で過ごした。

3.2 実験条件

実験条件は、視覚情報・聴覚情報に対して表3に示した6通りとした。視覚情報の変化として、単純な平面の上に神社だけがある場合、単純な平面の上に神社と神社に関連するオブジェクト(木、鳥居、手水舎)がある場合、神社が森の中に存在し、かつ鳥居と手水舎がある場合の3パターンを用意した。聴覚情報の変化として、解説音声や環境音の音質が悪い場合、通常の解説音声と環境音の場合、重要語句で音量が大きくなり、環境音も大きい場合の3パターンを用意した。

4 結果

今回は予備実験であるため、男子学生1名に対し実験を行った。この学生は、実験開始前のアンケートにて聴覚情報優位であると回答したため、音声情報を変数として変化させた。なお、今回は条件1と条件3のみで実験した。

4.1 主観評価

表4.1にVRコンテンツ体験後の没入感のアンケート調査の結果を示す。被験者は没入度を数値で表すのが難しいと発言しており、実際にアンケート結果を見ても、Q1B、Q2B、Q5B、Q6B、Q8Bでは各条件間で差は見られなかった。Q7B、Q9B

表 4 VR コンテンツ体験後のアンケート調査結果

	条件 1	条件 3		条件 1	条件 3
QB1	6	6	QB6	8	8
QB2	8	8	QB7	3	6
QB3	5	4	QB8	7	7
QB4	6	4	QB9	5	3
QB5	8	8			

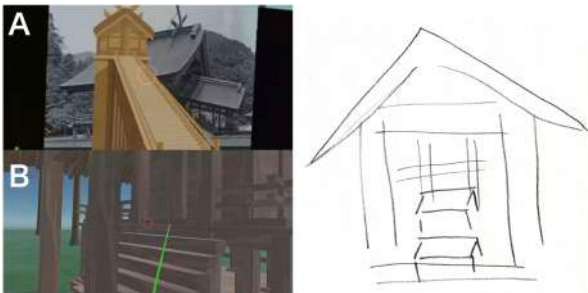


図 3 1 試行目の自由記述想起課題の結果

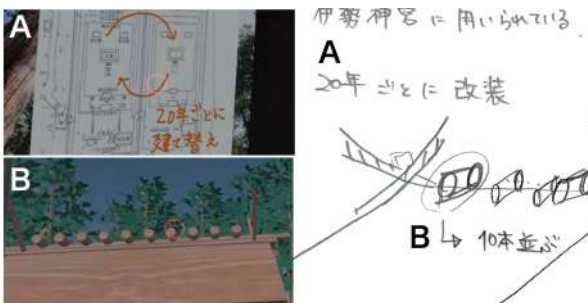


図 4 3 試行目の自由記述想起課題の結果

は、条件 3 で VR 空間内での操作に慣れたことが原因と考えられる。

4.2 自由記述：想起課題

条件 1 の場合の自由記述想起課題の結果を図 3 に示す。解説動画内で説明される階段の構造 (図 3 中 A) や、3D モデルの階段部分 (図 4 中 B) を見ており、これによって神社の階段の構造が想起されたと考えられる。次に、条件 3 の場合の自由記述想起課題の結果を図 4 に示す。図 4 中 A では、解説動画内で説明された、20 年ごとに建て替えが行われるという場面を見ており、図 4 中 B では、被験者は神社の屋根の柱の数を目で追って数えており、その情報がそれぞれ想起されていると考えられる。

4.3 自由記述：感想

自由記述には、以下の様な記述がみとめられた。

- 条件 1 の場合：
 - 内容より VR の世界が気になった
 - 固有名詞が漢字だらけ
 - 音のノイズが気になった

- 合成音源で聞き取りづらい (音程・リズム・トーン), など

- 条件 3 の場合：

- VR で造形されている物は、リアルな物と比較すると違和感がある
- 建物に乗れたりすると、ビデオで見たものをより確かめられると思う
- ビデオの音が途切れていた
- 鳥のさえずりが気になった、など

5 まとめと今後の課題

VR コンテンツの感覚情報を変化させた際の没入感評価の予備実験を行った。その結果、視線データを計測できていることが確認できたが、没入度の主観評価に関して何らかの基準を設ける必要があると考えられる。今後は、VR コンテンツ体験時の指示を変更し、質問項目について見直した上で、被験者の人数を増やして実験を行う。

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 (代表校・長岡技術科学大学) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Jocelyn Parong and Richard Mayer. Learning science in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, Vol. 110, , 01 2018.
- [2] Christopher Baker and Stephen H. Fairclough. Chapter 9 - adaptive virtual reality. In Stephen H. Fairclough and Thorsten O. Zander, editors, *Current Research in Neuroadaptive Technology*, pp. 159–176. Academic Press, 2022.
- [3] Taichi Nakagawa, Muneo Kitajima, and Katsuko T. Nakahira. Model-Based Analysis of the Differences in Sensory Perception between Real and Virtual Space: Toward “Adaptive Virtual Reality”. In *AIVR 2024: The First International Conference on Artificial Intelligence and Immersive Virtual Reality*, pp. 39–44, 2024.