



VR 空間の初期暴露条件が VR 酔いの馴化過程に与える影響

The Effect of Initial Exposure Conditions in VR Space on Habituation Process to VR Sickness

宮尾旺佑¹⁾, 松井桃太²⁾, 堀蒼天³⁾, 吉原正太郎⁴⁾, 檜村陽子⁵⁾, 高橋大輔⁶⁾

1) 電気通信大学 (〒 182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, ousk.miyao@uec.ac.jp)

2) 東京電機大学 (〒 120-8551 東京都足立区千住旭町 5)

3) 東京工科大学 (〒 192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1)

4) 総合学園ヒューマンアカデミー (〒 101-0025 東京都千代田区神田佐久間町 3-21-5)

5) 東京都立多摩科学技術高等学校 (〒 184-8581 東京都小金井市本町 6-8-9)

6) 東京都立多摩工科高等学校 (〒 197-0003 東京都福生市熊川 215)

概要: 本研究では VR 酔いの能動的な克服手法の確立を目指し, VR 酔いの馴化過程をコントロールするため, 初期に体験する VR 空間の酔いやすさがその後の酔いの程度に与える影響を検証した. 被験者を高負荷群と低負荷群に分け, 1 日目に異なる酔いやすさの VR を, 4 日後に同じ酔いやすさの VR を体験させ, SSQ で比較した. その結果, 2 日目の時点では両群の吐き気のスコアに有意差は見られなかった. このことから, 最初に体験する VR の負荷の大小は, その後の酔いやすさに影響しない可能性がある. そのため, 今後は馴化過程の評価法を確立し, VR 空間の初期暴露がその後の酔いに与える量的関係の解明を目指す.

キーワード: VR 酔い, 馴化, 視野

1. はじめに

VR 技術の普及と利用時間の拡大を阻む課題として, VR 酔いの存在が広く知られている. この VR 酔いを軽減するため, これまでユーザの視野 (FOV) を動的に制限する手法 [1] や, VR 空間内に静的な基準点として鼻を表示する手法 [2] など, 様々な手法が提案されてきた. また, VR 空間への反復暴露による馴化が酔いの低減に有効であることも示されている [3][4]. しかし, これらの研究の多くは VR 酔いの軽減に有意な効果が示されているが, その多くがユーザが受動的に酔いを軽減するか, 制御されない馴化による軽減であった.

これに対し本研究では, より能動的な手法としてユーザ自身が VR 酔いの馴化過程を自在にコントロールできる手法の確立を目的として掲げる. これが実現すれば, ユーザが自身の体調や, VR 空間を利用する都合に応じた最適な形で VR 酔いに馴化することが可能となる.

このような馴化過程のコントロールを実現するためには, 馴化過程に影響を及ぼす様々な要因を特定し, その効果を定量的に評価することが不可欠である. 先行研究では VR 空間への反復暴露時の反復回数 [3] や暴露間隔 [5] が馴化に影響を与えることが示唆されている. またユーザが暴露される VR 空間の特性について, FOV [4] や VR 空間のコントラスト [6] を変化させることによるオプティカルフローの変化が馴化に影響を与えることも示唆されている. 一方で, VR 空間の特性を変化させたときに馴化過程がどのように変化するかについては十分に調査されていない.

そこで本研究では, 馴化過程のコントロール手法確立に向けた第一歩として, 初期に暴露される VR 空間の酔いやすさの違いが以降の VR 酔いに与える影響を調査する.

2. 方法

2.1 被験者

被験者は, 事前の HMD の利用経験がない 16,17 歳の健康な男女計 26 名 (男性 15 名, 女性 11 名) であった. VR 酔いの感受性が年齢, 性別, 体調に影響させること [7] を考慮し, 対象者の属性を限定した. なお, すべての被験者には実験に先立ち VR 酔いが起こる可能性がある旨を口頭および書面で説明し, 同意を得たうえで実験を実施した.

2.2 実験計画

本研究は, 群 (高負荷群, 低負荷群) を被験者間要因とし, 測定日 (1 日目, 2 日目) および測定回数 (1 回目, 2 回目) を被験者内要因とする, $2 \times 2 \times 2$ の混合計画で実施した. 参加者は高負荷群 ($n=14$) と高負荷群 ($n=12$) にランダムに割り当てられた.

VR 空間はベクションを誘発し酔いを引き起こしやすくするため, レンガテクスチャの迷路空間を使用した. なお高負荷空間は FOV を制限せず, 低負荷空間は FOV を制限することで周辺視野の視覚情報を制限し, 酔いを抑制するようにした [1]. 実験で用いた VR 空間を図 1 に示す.

2.3 手続き

測定 1 日目には高負荷群は高負荷空間を, 低負荷群は低負荷空間をそれぞれ 2 回 (測定回数: 1 回目, 2 回目) 暴露さ

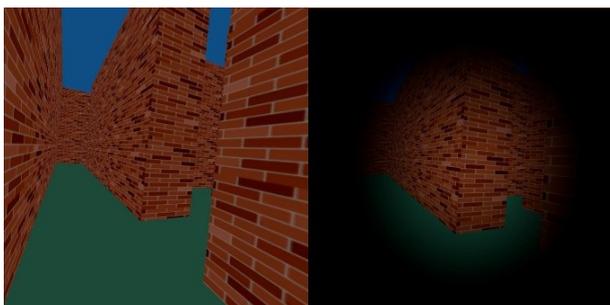


図 1: 実験で用いた VR 空間 (左: 高負荷空間, 右: 低負荷空間)

せた。2 日目 (1 日目の 4 日後) には両群ともに高負荷空間を 2 回 (測定回数: 1 回目, 2 回目) 暴露させ, 初期体験の違いが馴化過程に与える影響を比較した。各実験日のセッションは, VR 体験 1 回目 (10 分間), 休憩 (10 分間), VR 体験 2 回目 (10 分間), 休憩 (10 分間) の順で進化した。実験開始前に, 被験者に VR 空間内での測定方法を口頭で説明し, その後 HMD(Oculus Quest 2) を装着させ VR 体験を開始した。各 VR 体験中に被験者は酔いを感じ始めた時点と, 酔いが収まり始めた時点で口頭で申告し, 申告された時刻を記録した。また, 左手の人差し指に装着したパルスオキシメーターを用いて心拍数を測定し, 鼻部に装着した温度センサーにより鼻部皮膚温度を測定した。各 VR 体験後の休憩時間には Simulator Sickness Questionnaire(SSQ)[8] への回答を求めた。SSQ は Nausea Score(NS), Oculomotor Score(OS), Disorientation Score(DS) の 3 つのサブスコアと Total Score(TS) によって酔いを評価するものである。すべての実験は室温が 25 度前後になるように調整して実施した。なお, 心拍数と鼻部皮膚温度については計測上の不備により有効データの収集ができなかったため, 今回の評価の対象外とした。

3. 結果

すべての測定時において一度でも酔いを申告した被験者 (高負荷群 8 人, 低負荷群 9 人) の各測定時における SSQ スコアと酔いの申告の有無を図 2,3,4,5 に示す。

本研究では VR 酔いの程度の変化に注目しているため, 以降では実験中に一度でも酔いを申告した被験者のデータに注目して分析を行っていく。本研究において酔ったか否かを判断する基準になりうるものとして, 実験中の自己申告と SSQ スコアの二つが存在するが, 被験者がどのように感じたかを重要視するために自己申告を基準として採用した。

SSQ スコアにはゼロと正の連続値があるため, それらを扱える Hurdle Gamma 一般化線形混合モデルを用いて評価した。目的変数を各 SSQ スコア, 固定効果を群, 測定日, 測定回数及びそれらの交互, 変量効果を被験者としてモデルを構築した。なお 4 項目のスコアがあるため Bonferroni 法で有意水準を補正した ($\alpha = 0.0125$)。その結果 Total Score, Disorientation Score の測定日に主効果が認められ

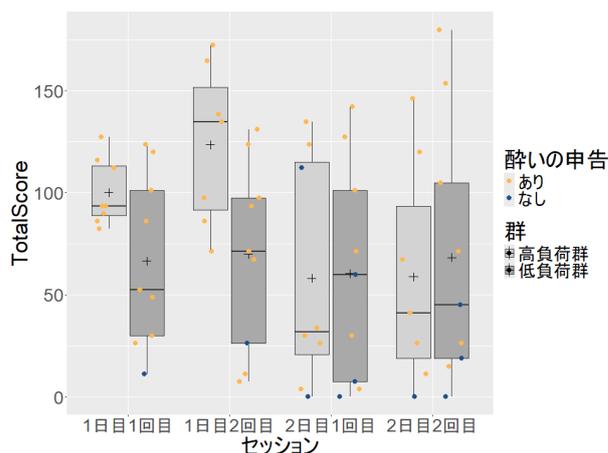


図 2: 各セッションの SSQ スコア (TS)

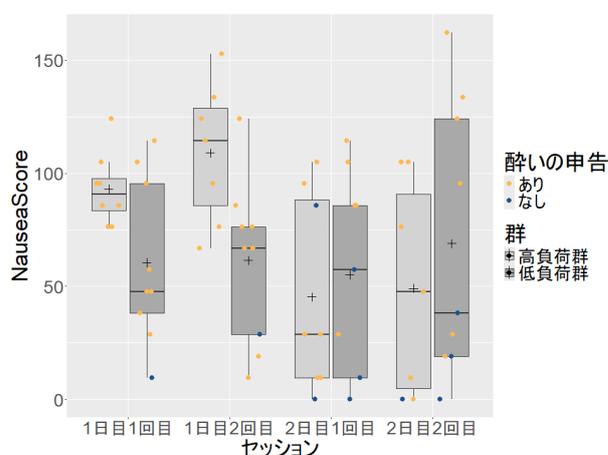


図 3: 各セッションの SSQ スコア (NS)

た ($p = 0.0061$, $p = 0.00021$)。また Nausea Score の群と測定日の交互作用も認められた ($p = 0.0063$)。この交互作用について Bonferroni 法で有意水準を補正し, 事後検定 ($\alpha = 0.0125$) を行った。その結果を表 1 に示す。高負荷群では 1 日目から 2 日目にかけて Nausea Score が有意に減少していた ($p = 0.0003$)。一方低負荷群では 1 日目から 2 日目にかけて Nausea Score の有意な変化は見られなかった ($p = 0.8673$)。また 1 日目と 2 日目どちらも高負荷群と低負荷群の間に有意な差はみられなかった ($p = 0.0252$, $p = 0.8780$)。

4. 考察

4.1 VR 空間の反復暴露による全般的な馴化

Hurdle Gamma 一般化線形混合モデルの分析において, Total Score および Disorientation Score に測定日の主効果が認められた。これは 1 日目に体験した VR 空間の酔いやすさに関わらず, 参加者全体として 1 日目には VR 酔いの全体的な症状と見当識障害の程度が軽減したことを示している。この結果は, VR 空間への反復暴露が酔いを低減させるという先行研究 [3][5] と一致しており, 本実験においても一般的な馴化が生じたものと考えられる。

表 1: Nausea Score の事後検定の結果

日	群	サンプルサイズ	中央値	四分位数	最小値	最大値	p 値 (vs 低負荷群)	p 値 (vs 2 日目)
1	高負荷	8	95.40	81.09 – 119.25	66.78	152.64	0.0252	0.0003
	低負荷	9	62.01	31.00 – 83.47	9.54	124.02	—	0.8673
2	高負荷	8	28.62	9.54 – 90.63	0.00	104.94	0.8784	—
	低負荷	9	47.70	19.08 – 102.56	0.00	162.18	—	—

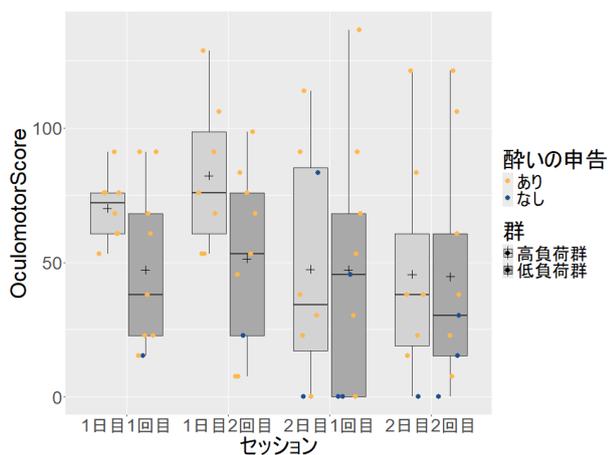


図 4: 各セッションの SSQ スコア (OS)

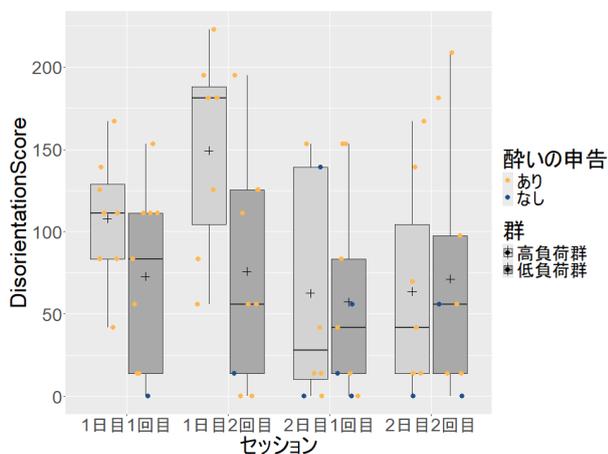


図 5: 各セッションの SSQ スコア (DS)

4.2 初期暴露条件が酔いの馴化過程に与える影響

Nausea Score においては測定日の主効果は認められず、群と測定日の交互作用が認められた。これより吐き気の変化が、1 日目に体験した VR 空間によって異なる可能性がある。

事後検定の結果、高負荷群では 1 日目から 2 日目にかけて Nausea Score が有意に減少した。一方で低負荷群では有意差は見られなかった。また両群が同じ高負荷空間に暴露された 2 日目において、両群の Nausea Score に有意差が見られなかった。したがって初期に体験する VR 空間の酔いやすさはその後感じる VR 酔いの程度を決定づける主要

因ではない可能性がある。

4.3 主観評価における個人差

被験者の一部に申告した酔いの有無と SSQ スコアに矛盾が見られた。この要因として被験者の主観的な「酔い」に関する閾値の違いがあげられる。まず SSQ スコアが 0 であったのに「酔った」と申告した被験者 (n=4) では、SSQ では捉えられなかった不快感を被験者は酔いと認識し申告した可能性がある。逆に SSQ スコアが 0 でないのに「酔わなかった」と申告した被験者 (n=9) は VR 酔いに関してより強い不快感をその症状として認識しており、SSQ では軽い不快感を訴えたとしても口頭では「酔わなかった」と判断し申告した可能性がある。

また主観的な閾値の違い意外に、VR 酔いの症状を自覚したタイミングと評価したタイミングのズレも要因として考えられる。被験者が SSQ に回答したのは VR に暴露された後であるため、VR 暴露中には酔いを感じなかったものの、その後の休憩中に酔いを感じて SSQ に回答した可能性がある。

5. むすび

本研究は、VR 酔いの馴化過程を自在にコントロールする手法の確立に向けた第一歩として、初期に体験する VR 空間の酔いやすさがその後の VR 酔いの程度に与える影響を調査した。その結果、初期に体験する VR 空間の酔いやすさは、その後感じる VR 酔いの程度を決定づける主要因ではない可能性を得た。

しかし本研究にはいくつかの課題が残されている。最大の限界点は、1 日目において意図した高負荷群と低負荷群の間で SSQ スコアに有意差が見られなかった点である。これは本研究で採用した FOV 制限による酔いの程度の設定が不十分であった可能性を示唆しており、本研究の結論を一般化するには慎重な検討を要する。

これらの成果と課題を踏まえ、今後の展望として、馴化の過程を評価・検証する方法の確立を目指すとともに、初期に暴露される VR 空間の酔いやすさとその後の VR 酔いの程度にどのような量的関係があるのかを改めて解明することを目指す。

謝辞

本研究を進めるにあたり、電気通信大学の野嶋准教授より、

データの分析の段階から学会発表に至るまで、多岐にわたる手厚いご指導と、ご助言を賜りました。心より感謝申し上げます。また、本研究の実験は筆者が東京都立科学技術高等学校在学中に行ったものであり、その際に実験実施にご協力、ご指導いただいた皆様に、この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] A. S. Fernandes and S. K. Feiner: Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification, 2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI), pp.201-210, 2016.
- [2] C. Wienrich, C. K. Weidner, C. Schatto, D. Obremski and J. H. Israel: A Virtual Nose as a Rest-Frame - The Impact on Simulator Sickness and Game Experience, 10th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games), pp.1-8, 2018.
- [3] Peter A. Howarth, Simon G. Hodder: Characteristics of habituation to motion in a virtual environment, Displays, 29(2), pp.117-123, 2007.
- [4] T. A. Doty, J. W. Kelly, S. B. Gilbert and M. C. Dorneich: Cybersickness Abatement from Repeated Exposure to VR with Reduced Discomfort, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, pp.1-12, 2024.
- [5] Kasegawa C, Itaguchi Y, Yamawaki Y, Miki M, Hayashi M, Miyazaki M: Effects of within-day intervals on adaptation to visually induced motion sickness in a virtual-reality motorcycling simulator. Sci Rep, 14(1):21302, 2024.
- [6] Adhanom I, Halow S, Folmer E, MacNeilage P: VR Sickness Adaptation With Ramped Optic Flow Transfers From Abstract To Realistic Environments, Front Virtual Real, 3:848001, 2022.
- [7] 中川千鶴, 大須賀美恵子: VE 酔い研究および関連分野における研究の現状, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 3(2), pp.31-39, 1998.
- [8] Kennedy, Robert S., Norman E. Lane, Kevin S. Berbaum, and Michael G. Lilienthal: Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, The International Journal of Aviation Psychology, 3(3), pp.203-220, 1993.