

タイトル	空間内移動方法の違いによるVR酔い軽減の検討
著者	佐々木，勇芽；SASAKI，Yuuga；平田，恵啓；HIRATA，Yoshihiro
引用	北海学園大学工学部研究報告(53)：73-81
発行日	2026-01-09

空間内移動方法の違いによるVR酔い軽減の検討

佐々木 勇 芽*・平 田 恵 啓*

A Study on the Reduction of VR Sickness Caused by Differences in Locomotion Methods

Yuuga SASAKI* and Yoshihiro HIRATA*

要 旨

人工現実感（VR）技術の普及を阻むVR酔いに対し、本研究では移動操作におけるユーザーのエージェンシー（自己の行為の主体であるという感覚）が与える心理的影響を検証した。健康男性6名を対象に、①コントローラーを用いる「自己操作」、②第三者に操作される「受動体験」、③音声で指示を出す「音声ナビ」の3条件でVR迷路を探索させ、生理的ストレス（唾液アミラーゼ値）と主観的酔い度を評価した。その結果、VR酔いの誘発のしやすさには「受動体験＞自己操作＞音声ナビ」という序列が示された。この序列は、最も敏感な被験者のタスク中断までの時間（受動体験：2分、自己操作：5分、音声ナビ：7分）という客観的な行動指標によって強く裏付けられた。このことから、VR酔いの軽減には物理的な操作権以上に「自分の意図が移動に反映され、その結果を正確に予測できる」という認知的・心理的な制御感覚が極めて重要であることが示唆される。この知見は、今後のVRコンテンツ開発において、ユーザーの予測可能性を高めることが快適な体験を提供する上で有効な設計指針となることを示している。

1. はじめに

人工現実感（Virtual Reality：VR）技術は、1970年代以降のコンピューターグラフィックス技術の飛躍的な進歩により、ユーザーに圧倒的な臨場感と没入感を提供できるようになった。その結果、VR技術はゲームやエンターテインメント分野を中心に「遊びのVR環境」を創出し、新たな体験価値を生み出している。しかしながら、その高いポテンシャルとは裏腹に、VRデバイスの一般への普及は限定的である¹⁾。

* 北海学園大学工学部生命工学科

* Department of Life Science and Technology, Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University

その原因は複合的だが、大きく二つが指摘されている。一つは、多くのVRデバイスが気軽に購入できる価格帯ではなく、その必要性や魅力が価格に見合っていると消費者に認識されていない点である。そして、もう一つが本研究で焦点を当てる「VR酔い」による健康被害である。VR酔いは、頭痛、眩暈、吐き気、ひいては嘔吐といった乗り物酔いに類似した症状を強い不快感と共に引き起こす。この健康への懸念は、高額なデバイスの購入を検討するユーザーが事前に情報を収集し、利用を敬遠する大きな要因となっている。

VR酔いが引き起こす心身へのストレスは、唾液に含まれるアミラーゼの活性値を測定することで客観的に評価できることが報告されている。実際に、VR体験に聴覚サインを付加することでVR酔いが抑制されるかを検証した研究²⁾も行われており、VR酔いが単なる主観的な感覚の問題ではなく、科学的なアプローチによって対策が探られるべき重要な課題であることが示されている。VR体験の魅力を根底から覆しかねないこの問題は、技術の普及と発展における深刻な障壁であり、その対策法の確立が急務とされている。

2. 先行研究と本研究の目的

2.1 VR酔いの原因と対策アプローチ

VR酔いの原因として最も有力視されているのが、古くから指摘される「感覚不一致説」である^{3,4)}。これは、視覚が捉える「移動している」という情報と、内耳の三半規管などが感知する「静止している」という身体感覚との間に生じる情報の齟齬に脳が混乱し、自律神経系の不調を引き起こすという仮説である。

しかし、近年の研究では、この感覚のズレだけでなく、ユーザーの頭部の動きに対する映像表示の遅延（レイテンシー）⁵⁾や、VR内でユーザーに課されるタスクの負荷⁶⁾など、技術的・心理的要因も複合的に関与することが示唆されており、VR酔いが多因子によって引き起こされる複雑な現象であることが明らかになりつつある。

このような複雑な原因背景に対し、VR酔いの軽減を目指した研究もまた、多様なアプローチから行われている。それらは、ユーザーの身体・行動に働きかけるものと、VRコンテンツ・システム側で工夫を凝らすものに大別できる。

前者には、ガムを噛む「咀嚼」という行動が酔いを低減させる可能性を示した研究⁷⁾や、首元を冷却することで不快症状の緩和効果を認めた研究⁸⁾がある。また、短時間の休憩を挟みながら体験を繰り返すことで酔いが低減する「順応」の効果を検証した研究⁹⁾も報告されており、ユーザー自身の行動によって酔いを制御できる可能性が探られている。

後者には、VRコンテンツの途中で暗闇のシーンを挿入し、視覚情報を一時的に遮断することで感覚のズレをリセットする手法¹⁰⁾や、ユーザーの動きの予測可能性を高める聴覚サインを付与することでVR酔いやストレスの抑制効果を狙った研究²⁾などがある。これらのアプローチ

は、VRシステム側で酔いの原因に直接介入しようとする試みである。

しかし、先行研究²⁾では用いる評価方法によって有効とされる聴覚サインが異なるという結果が示されており、VR酔いの評価の複雑性が指摘されている。また、これらの先行研究はそれぞれ有効性を示唆しているものの、特にVR体験の根幹をなす移動インタラクションそのものに着目した検討は十分とは言えない。

2.2 本研究の位置づけと目的

VR体験において、ユーザーが自身の意思で能動的に関わり、かつ前述の「感覚不一致」が最も顕著に発生する場面が「VR空間内の移動」である。移動は多くのVRコンテンツで不可欠な基本操作であり、この移動方法のデザインこそが、VR酔いの発生を左右する極めて重要な要因であると考えられる。特に、移動の主導権を誰が持つか、つまりユーザーのエージェンシー（agency：自己の行為の主体であるという感覚）の度合いが、酔いの発生に深く関与するのではないかと推察される。

そこで本研究では、先行研究²⁾と同様に唾液アミラーゼを客観的指標として用いつつ、聴覚サインのような付加情報ではなく、より根源的な「移動」というインタラクションにおけるユーザーのエージェンシーに着目する。具体的には、以下の3つの異なる操作条件下でVR空間の迷路を移動する際のVR酔いの程度を比較検証する。

1. 自己操作条件：ユーザー自身がコントローラーを操作して能動的に移動する方法
2. 受動体験条件：第三者がコントローラーを操作し、ユーザーは受動的に移動させられる方法
3. 音声ナビ条件：ユーザーが第三者に対して音声で指示を出し、間接的に移動を制御する方法

第1の条件は、ユーザーの意図と行動、そして視覚情報が直結した、最もエージェンシーが高い状態である。第2の条件は、自身の意図とは無関係に視覚的な移動が生じる、エージェンシーが最も低い状態であり、強いVR酔いを誘発することが予測される。そして第3の条件は、物理的な操作は行わないものの、移動の意図決定はユーザー自身が行うという、中間的なエージェンシーを持つ状態である。

これら3条件を比較することで、VR酔いの軽減には単なる感覚の一致不一致だけでなく、移動に対するユーザーの予測可能性や制御感覚がいかに重要であることを明らかにすることを目指す。本研究の最終的な目的は、VR酔いから生じる心身へのストレスを軽減し、より多くの人々が安全で快適にVR技術の恩恵を享受できるための一助として、移動方法の設計指針という観点から具体的な対策法を提案することにある。

3. 実験方法

実験参加者，使用した装置とVRアプリケーション，および具体的な実験手順について述べる．

3.1 実験参加者

実験には，21歳から23歳の健常男性6名が参加した．

3.2 実験装置と被験者の配置

本実験では，VRヘッドマウントディスプレイ（HMD）としてMeta Quest 2, および同デバイスに付属するワイヤレスコントローラーを使用した．また，実験の制御および被験者が見ている映像のモニタリングのために別途PCを用意した．

HMDとPCはMeta Quest Linkソフトウェアを用いて有線接続した．これにより，被験者が体験しているVR空間の映像をリアルタイムでPCのディスプレイに表示（ミラーリング）することが可能となる．実験中，被験者はPCから1メートル程度離れた位置に立った姿勢で参加し，実験者は万が一被験者がふらついた場合に備え，速やかに補助できるようその様子を観察した．

3.3 実験環境（VRアプリケーション）

実験用のVRアプリケーションは，ゲームエンジンであるUnity（Universal Render Pipeline テンプレート）を用いて開発した．VR機能の実装にあたっては，Meta社が提供するMeta OVR SDKを導入した．

プレイヤーのVR空間内における視点と基本的な移動機能の基盤として，Unity Asset Storeで提供されている「Starter Assets – First Person」を改変して使用した．具体的には，標準のカメラをMeta XR Core SDKに含まれるCameraRigに置き換えることで，HMDによる立体視と頭部追跡（ヘッドトラッキング）を可能にした．また，Controller Trackingコンポーネントを組み込むことで，コントローラーからの入力を受け付けられるように設定した．

被験者が探索する課題として，3D迷路を作成した（図1，2）．被験者の分身となるアバター（キャラクターモデル）には，同アセットに含まれるものを利用し，壁など

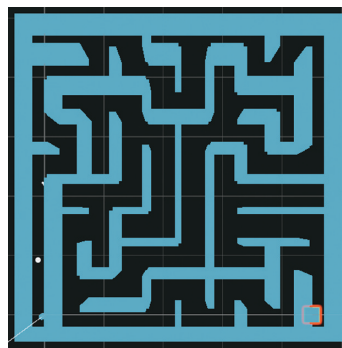


図1 3D迷路の俯瞰図

スタート位置（左下）とゴール位置（右下）は固定されているが，途中経路は迷路生成の都度ランダムに作られる．

を貫通しないよう物理演算が設定されている。迷路の壁配置は、無向グラフから最小全域木を求めるアルゴリズムの一種である「Primのアルゴリズム」^[11]に基づき、プログラムによって自動生成される。迷路は5×5セルの大きさで構成し、1セルの大きさは4m四方とした。迷路内にはゴール地点としてキューブオブジェクトが設置されており、アバターがゴールに到達すると、視界中央に「GOAL」というUIテキストが表示される仕組みとした。

3.4 移動操作の仕様

VR空間内での移動操作は、本研究で比較する3つの条件に応じて、以下の通りに設定した。

- ・「自己操作条件」:被験者自身が、手に持ったMeta Quest 2のコントローラーのアナログスティックを親指操作で左右の回転を、人差し指でトリガーレバーを引くことでコントローラーからの振動レスポンスを感じながら前進する操作を行った。
- ・「受動体験条件」および「音声ナビ条件」:被験者に代わって実験者がPCのキーボード入力により、前進・後進および左右回転の操作を行った。実験者は、前述のMeta Quest LinkによってPCにミラーリングされた被験者の視界をリアルタイムで確認しながら操作を実施した。

いずれの条件においても、頭部の向き（視線方向）と進行方向は独立しており、被験者がどの方向を向いていても、スティックまたはキーボードで入力された方向に移動する仕様である。また、被験者自身が物理的に体の向きを変えることで進行方向を制御することも可能であったが、本実験では条件間の操作方法を厳密に統一するため、体の向きは正面に保ち、移動に関するすべての操作はコントローラーまたはキーボードにて行った。

なお、1セルの大きさは4m四方であるのに対し、アバターの直径は1mに設定した。これにより、通路内には十分な余地が確保され、被験者は通路の中央だけでなく、左右に寄ったり、多少斜めに進んだりといった、より自由度の高い移動を体験することができた。



図2 被験者が体験した迷路内の景色

3.5 実験手続きと評価項目

本実験は、被験者ごとに3つの移動条件（自己操作、受動体験、音声ナビ）をすべて体験する被験者内計画で実施した。学習効果や疲労による影響を相殺するため、3条件の実施順序は被験者ごとにランダム化した。

各条件の試行は、以下の流れで進行した。

- 安静時唾液アミラーゼ測定：VR体験前の生理的ストレス状態を測定
- VR空間内での迷路探索：割り当てられた移動条件で迷路の探索を開始し、ゴールするまで継続
- VR体験後唾液アミラーゼ測定：VR体験直後の生理的ストレス状態を測定
- 主観評価：体験したVR酔いの度合いについて、1（全く酔っていない）から10（強い嘔吐感を伴う、最悪の状態）までの10段階での回答を記録

なお、実験に先立ち、被験者には日常的な乗り物酔いのしやすさについて3段階（○：酔いやすい、△：そこそこ酔う、×：酔いにくい）の自己評価アンケートを実施した。

4. 実験結果

3つの移動条件（自己操作、受動体験、音声ナビ）で得られた客観的指標（唾液アミラーゼ値）と主観的評価（主観的酔い度）の結果を順に述べる。

4.1 自己操作条件

自己操作条件における実験結果を表1に示す。

表1 自己操作条件の結果

被験者	酔いやすさ	唾液アミラーゼ数値			主観的酔い度
		迷路前計測	迷路後計測	数値変化	
A	○	51	39	-12	10
B	○	75	106	31	9
C	△	11	14	3	7
D	△	15	21	6	6
E	×	7	42	35	4
F	×	24	26	2	2

主観的酔い度の平均値は6.33であった。事前の「酔いやすさ」と主観的酔い度には強い相関が見られ、「酔いやすい（○）」と申告した被験者Aと被験者Bは9以上の高い値を示した。特記事項として、被験者Aは強い不快感を訴え、実験開始から5分でタスクを中断した。被験者Aはストレス下でアミラーゼ値が低下する既知の特異体質であり、アミラーゼ値の低下（-12）は主観評価と一致する強いストレス反応を示している。タスクを完了した他の5名は全員アミラーゼ値が上昇した。

4.2 受動体験条件

受動体験条件における実験結果を表2に示す。

表2 受動体験条件の結果

被験者	酔いやすさ	唾液アミラーゼ数値			主観的酔い度
		迷路前計測	迷路後計測	数値変化	
A	○	77	12	-65	9
B	○	47	159	112	7
C	△	14	32	18	7
D	△	23	27	4	7
E	×	23	52	29	3
F	×	14	18	4	5

主観的酔い度の平均値は6.33となり、自己操作条件と同値であった。しかし、アミラーゼ値の変動はより顕著であり、特に被験者Bは+112という極めて高い上昇を示した。被験者Aは自己操作条件を大幅に下回る、実験開始からわずか2分でタスクを中断した。その際のアミラーゼ値の変化（-65）も、自己操作条件（-12）と比較して極めて大きく、短時間で強いストレスを受けたことが示唆される。

4.3 音声ナビ条件

音声ナビ条件における実験結果を表3に示す。

表3 音声ナビ条件の結果

被験者	酔いやすさ	唾液アミラーゼ数値			主観的酔い度
		迷路前計測	迷路後計測	数値変化	
A	○	46	69	23	10
B	○	68	41	-27	5
C	△	8	10	2	2
D	△	16	18	2	6
E	×	28	41	13	4
F	×	36	34	-2	4

主観的酔い度の平均値は5.17となり、他の2条件よりも低下した。アミラーゼ値の変動も全体的に穏やかになる傾向が見られた。被験者Aについては、主観的酔い度は10と高い値を示したものの、実験開始から7分間タスクを継続し、他の2条件よりも長くVR空間に滞在することができた。

5. 考察

本研究では、VR空間内での移動におけるエージェンシー（自己の行為の主体であるという

感覚)の度合いが、VR酔いにどのような影響を与えるかを検証した。結果として、VR酔いの誘発のしやすさには「受動体験>自己操作>音声ナビ」という明確な序列が存在することが示唆された。この序列は、特にVR酔いに最も敏感であった被験者Aのタスク継続時間(受動体験:2分,自己操作:5分,音声ナビ:7分)という客観的な行動指標によって最も明確に示された。

この結果は、「はじめに」で述べた感覚不一致説に新たな視点を与える。感覚不一致がVR酔いの根本原因であることは間違いないが、その不快感の強度は心理的な要因によって大きく左右されることが本研究から明らかになった。その鍵となるのが「予測可能性」である。

受動体験条件では、ユーザーは次に視界がどう動くかを全く予測できず、エージェンシーが完全に欠如している。この予測不能性が脳にとって最大のストレスとなり、最も速く、最も強くVR酔いを誘発したと考えられる。

自己操作条件では、ユーザーは物理的な操作権を持つがゆえに、コントローラーを操作する身体感覚(固有受容性感覚)と、その結果として生じる視覚的な移動との間に、常に微細なズレが生じる。脳はこの連続的な感覚の不一致を常に修正しようと試みるため、強いVR酔いを引き起こしたと考えられる。

音声ナビ条件は、ユーザーが物理的操作から解放されることで、この身体感覚と視覚との直接的な競合を取り除く効果があったと考察される。ユーザーの役割は「認知的な指示」に限定され、その結果を受動的に確認する形となる。これにより、脳への負荷が軽減され、VR酔いの進行が効果的に抑制されたと考えることができる。

先行研究では、ガムを噛む⁷⁾、皮膚を冷やす⁸⁾といった身体的アプローチや、暗闇を挿入する¹⁰⁾といったシステムのアプローチが示されてきた。本研究の結果はこれらの知見に加え、インタラクションデザインの観点から、ユーザーの心理的な制御感覚を確保することが極めて重要であることを示している。VR酔いの軽減には、物理的な制御権そのものよりも、「自分の意図が移動に反映され、その結果を正確に予測できる」という認知的なプロセスが決定的な役割を果たすことが示唆された。

6. まとめ

本研究では、VR技術の普及を阻むVR酔いを軽減するため、空間内の移動方法の違いが心身に与える影響を検証した。健常男性6名を対象に、「自己操作」「受動体験」「音声ナビ」という3つの条件でVR空間内の迷路を探索させ、唾液アミラーゼ値と主観的酔い度を測定した。

実験の結果、VR酔いの誘発のしやすさには明確な序列があり、エージェンシーが完全に欠如した「受動体験条件」が最も強く、物理的な操作は伴わないものの高い予測可能性を持つ「音声ナビ条件」が最も弱いことが示された。このことは、VR酔いが単なる視覚と身体感覚の

ズレだけでなく、移動に対するユーザーの予測可能性や制御感覚によって大きく左右されることを示している。

本研究の貢献は、VR酔いの軽減において、物理的な操作以上に「認知的な制御感覚」が重要であることを行動レベルで明らかにした点にある。この知見は、今後のVRコンテンツ開発において、ユーザーが直接操作しない乗り物などの移動シーンをデザインする際に、事前の聴覚・視覚サインによって動きの予測可能性を高めるなど、より安全で快適な体験を提供するための具体的な設計指針となりうる。

参考文献

- 1) 田中信壽：VR酔い対策の設計に求められる知見の現状，TVRSJ，Vol.10，No.1，pp.129–138，2005.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/tvrsj/10/1/10_KJ00007498876/_pdf
- 2) 佐野浩也，森下和，原田圭裕，大倉典子：VR酔いを抑制する要因の検討，人間工学，第51巻，特別号，pp.328–329，2015.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jje/51/Supplement/51_S328/_pdf/-char/ja
- 3) Ujike Hiroyasu and Watanabe Hiroshi：Visually Induced Motion Sickness in Virtual Reality Environments and Corresponding Countermeasures,Neuro-Ophthalmology Japan, Vol.36, No.1, pp.22–29, 2019.
- 4) Palmisano Stephen, Allison Robert S. and Kim Juno：Cybersickness in Head-Mounted Displays Is Caused by Differences in the User’s Virtual and Physical Head Pose,Frontiers in Virtual Reality, Vol.1, 2020.
- 5) Stauffert Jan-Philipp, Niebling Florian and Latoschik Marc：Latency and Cybersickness：Impact, Causes, and Measures. A Review,Frontiers in Virtual Reality, Vol.1, 2020.
- 6) Sepich Nathan C., Jasper Angelica, Fieffer Stephen, Gilbert Stephen B., Dorneich Michael C. and Kelly Jonathan W.：The impact of task workload on cybersickness,Frontiers in Virtual Reality, Vol.3, 2022.
- 7) 藤田健司，本島竜吾：VR酔いと摂食動作の関係，第29回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集，2024.
- 8) 川村大樹，酒田信親：皮膚表面冷却によるVR酔い症状緩和の研究，情報処理学会インターアクション2024，pp.60–67，2024.
- 9) Kasegawa, C., Itaguchi, Y., Yamawaki, Y. *et al.*：Effects of within-day intervals on adaptation to visually induced motion sickness in a virtual-reality motorcycling simulator, *Scientific Report*, vol.14, 21302, 2024.
- 10) 小川直輝，橋本剛：暗闇シーン挿入によるVR酔い軽減方法の研究，第29回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集，2021.
- 11) 迷路を自動生成してみる！エディタ拡張付き！[Unity+ミニゲーム]
<https://anogame.net/maze-auto-generator/>

