



上下運動に伴う VR 酔い発生状況の検討

Study of the occurrence of VR sickness associated induced by Vertical motion

渡邊海斗¹⁾, 大西克彦¹⁾

Kaito Watanabe and Katsuhiko Onishi

1) 大阪電気通信大学 大学院総合情報学研究科 (〒575-0063 大阪府四條畷市清滝 1130-70, mt24a007@oecu.jp)

概要: VR 酔いは、ベクションと呼ばれる視覚刺激によって移動しているような感覚になる現象が発生要因の1つと言われている。そこで、日常では感じることの少ない上下運動への移動を視覚的に発生させることでベクションを誘発させ、VR 酔いの発生を促した。そして、実験中に生じる可能性の高い VR 酔いの症状を、眼球運動によって測定することで分析した。

キーワード: VR, VR 酔い, 眼球運動, ベクション

1. はじめに

近年、VR (Virtual Reality) 技術の発展により、VR 技術への体験が容易になってきており、使用する機会が広まりつつある。その一方で、VR コンテンツを体験することで「VR 酔い」と呼ばれる症状が発生することは珍しくない。VR 酔いは、映像酔いやシミュレータ酔いとも呼ばれ、頭痛や吐き気、眩暈、嘔吐、胃のむかつきなどの症状が不快感とともに現れることが多い。VR 酔いの発生には個人差があるが、症状が発生した場合、VR 体験の中断や VR コンテンツに対する接触への拒否感が生まれてしまう可能性がある。そのため VR のさらなる普及には、VR 酔いやそれに類する映像酔いやシミュレータ酔いの性質や特性を明らかにし、それらを改善・軽減することが重要である。

この VR 酔いは、ベクションと呼ばれる静止している状態にも関わらず、自分が動いているかのように感じる錯覚が原因の1つと言われている[1]。VR では視界全体で映像を見る都合上、このベクションが発生しやすい。特に高速移動や加減速、移動経路が事前に分からない場合などにベクションは発生しやすいとも言われている。

また、VR 酔いを解消するために、様々な研究が行われている[2] [3]。しかし、VR 酔いの軽減効果を検証する上で軽減手法と同程度に重要なのが、VR 酔いを評価する指標の選定である。VR 酔いを計測する際には SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) [4]と呼ばれるアンケートが用いられることが多い。これは Kennedy らによって開発された、16の質問を4段階評価で回答することで、シミュレータ酔いを主観評価可能な手法である。しかし、SSQは主観評価ゆえの体調や環境によるぶれの発生やリアルタイムでのVR酔いが発生した地点の検出が不可能といった問題がある。それらを解消するために我々はこれまで脳波や心拍運動などの生理指標による評価方法も検討してきた[5]。

しかし、SSQ と比べると酔いそのものに対する客観的な測定としての信頼性を得られてはいない。そこで本研究では、ベクションが発生しやすい上昇下降運動に対して、HMD に搭載されているアイトラッキングシステムを使用することで、HMD 単体で測定が可能な VR 酔いの評価指標の検討を行った。

2. 実験方法

2.1 実験機材・実験環境

今回の実験環境は Unity (2021.3.23f) を使用して構築し、周辺風景には「Real New York City Vol. 2」[6]を使用した。図 1 に作成した環境の俯瞰図を示す。この環境を、HMD を利用して実験参加者に提示した。なお、移動経路はあらかじめ決められたルートを移動し、道中に3つの角度の斜面を用意した。この斜面はそれぞれ 20 度、40 度、60 度と設定し、斜面の設置場所は図 1 に示す。また、移動中の速度は一定の場合と斜面にて加減速を加えた 2 種類用意した。その際の速度の推移を図 2 に示す。



図 1 実験環境の俯瞰図

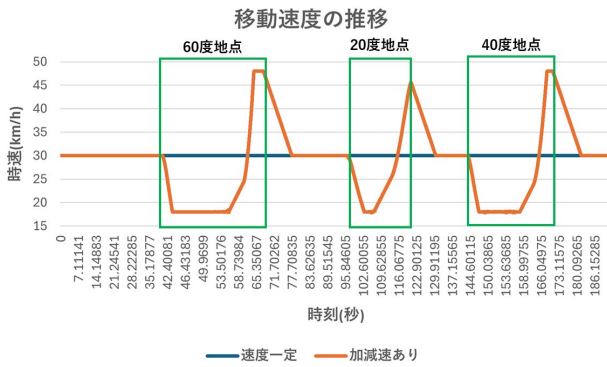


図 2 実験中の移動速度の推移

2.2 実験条件

実験を行うにあたって、今回は 4 種類の条件を用意した。

1 つ目は 2.1 で述べた、移動速度の変化である。斜面を走行時に移動速度を変化させることで体感速度を変化させ、VR 酔いを誘発させることを目的として、今回は斜面走行時に移動速度を変化させる場合とさせない場合を比較する。

2 つ目は視界の中心に十字型の目印を用意した場合である。この目印は、VR 映像視聴中に注視点の役割を生み出すために設置した。このときの視界が図 3 である。VR 映像中に注視点を設置した場合、映像酔いを軽減できることが知られている[7]。そのため、映像酔いを抑制した場合としない場合で、眼球運動にどのような変化が現れるのかを比較するために設置した。この加減速の有無と注視点の有無を組み合わせた 4 通りの条件を用いて、本実験を行った。



図 3 注視点設置時の視界

2.3 計測装置・計測項目

VR 酔いの検出方法として、今回は眼球運動に着目して実験を行った。計測した内容は実験前後の眼球の瞳孔位置、サッカードの発生回数、輻輳開散運動の確認、瞳孔径の変化の 4 種類である。また、それに加えて SSQ のスコアも用いた。

VR 酔いが発生した場合には視線の動きが拡散しやすいという研究結果がある[8]。そのため、酔いを抑制した場合や誘発した場合にはどのような変化が現れるのか検証するために眼球の瞳孔位置を選択した。

サッカードと輻輳開散運動は共に眼球運動の一種であるが、サッカードが共同性眼球運動と呼ばれる両眼が同じ方向に動く運動に対して、輻輳開散運動は非共同性眼球運

動と呼ばれる両眼が別の方向に動く運動である。以前の研究で、共同性眼球運動であるサッカードは VR 酔いの測定が可能であるという示唆を得られた[9]。そのため、奥行きの変化に対応する動きであり、サッカードに比べて両眼が真逆に動く非共同性眼球運動である輻輳開散運動の場合では、どのような結果が生まれるのか検証するために選択した。また、サッカードの検出は以前の研究[8]と同じく、両眼の動きが 100rad/s を超えた場合にカウントし、輻輳開散運動は瞳孔の x 軸の差によってリアルタイムで取得した。

瞳孔径は映像酔いなどのストレスによって変化すると知られている[10]。このことから、リアルタイムで瞳孔径を取得することで VR 酔いの検知に利用できるのではないかと考え、選択した。

SSQ アンケートでは 16 項目の質問から求めることができる眼精疲労(Oculomotor)と総合スコア(TotalScore)の 2 種類を用いて算出した。

2.4 実験参加者

実験参加者は合計 5 名（男性：5 名）である。実験参加者は全員成人しており、実験に関しては VR 酔いの発生の同意を得て実験を行っている。

2.5 実験手順

まず初めに、アイトラッキング機能の調整を行うため、実験開始前にキャリブレーションを実行した。これは個人差を減らし、眼球運動の信頼性を上昇させるために行った。そしてキャリブレーション終了後、1 分間の瞳孔位置の計測を行う。次に実験を行いながら眼球運動を取得、最後に SSQ を記入してもらうことで実験終了といった手順で実験を行った。以下の図 4 は実験手順のフローチャートである。

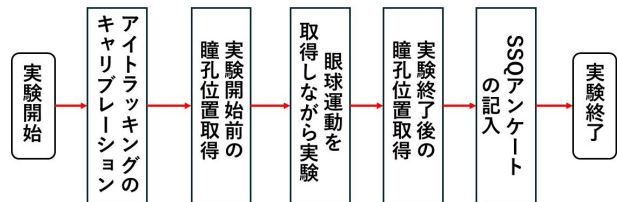


図 4 実験のフローチャート

3. 実験結果

この実験では 5 名のデータを取得した。以下に実験結果を示す。

3.1 サッカードの回数

実験中に取得したサッカードの回数を図 5 に示す。この実験ではリアルタイムでサッカードの回数を取得しており、それらを 3 秒毎にまとめ、それぞれの秒数での出現回数を出力した。2.3 で述べたように、ここでは両眼の動きが 100rad/s を超えた場合にカウントしている。

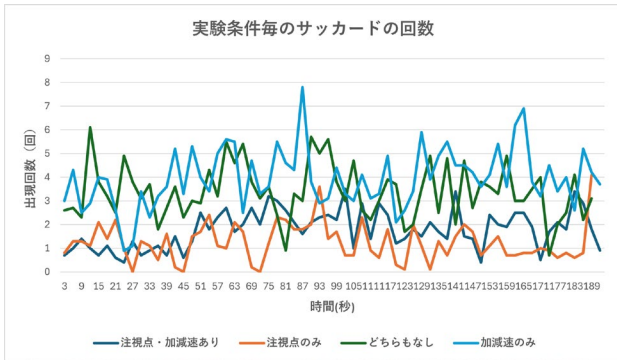


図 5 実験毎のサッカードの発生回数

3.2 輻輳開散運動

実験中に取得した両眼の瞳孔座標の位置差を図 6 に示す。この両眼の瞳孔位置はリアルタイムで取得した。その際に得られた両眼の x 座標の差によって、本実験では輻輳開散運動の検出を行った。しかし、あくまでこれは両眼が別々の動きを行ったかどうかの指標であり、正確な輻輳開散運動の測定ではない。そのため本実験では、斜面走行時や右左折に、各条件毎で差がどの程度生じるのか、はたまた発生するのかを調べた。

また、取得した座標は実験ごとで秒数に差がある点や瞳孔位置の個人差など、各条件の平均を求めるうえでは問題があった。そのため本実験では、まず発生した両眼の差の平均を算出した。その後、算出した平均を用いて各両眼の差を減算することで、できる限り個人差を減らした。そうして得られた両眼差を、0.1 秒毎のデータでまとめることで平均を求めた。

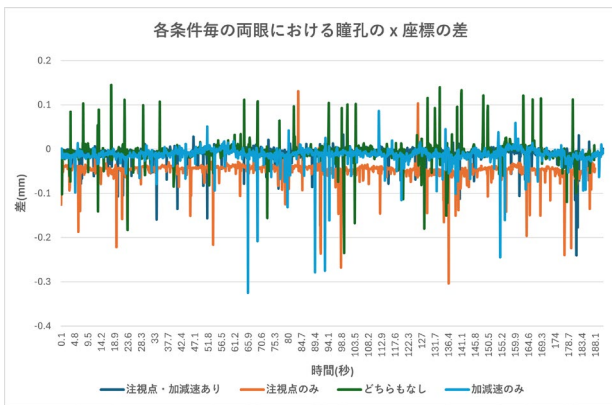


図 6 各条件における両眼差の平均

3.3 瞳孔径

実験中に取得した瞳孔系の変化を図 7, 図 8 に示す。この両眼の瞳孔径はリアルタイムで取得した。こちらも 3.3 と同様に、秒数に差がある点や瞳孔径の個人差などの問題が生じた。そこで、瞳孔径も同様に各条件の瞳孔径の平均を算出し、算出した瞳孔径の平均を用いて各条件の瞳孔径を減算することで、できる限り個人差を減らした。そうして得られた瞳孔径を、0.1 秒毎のデータでまとめることで平均を求めた。本実験では両眼の瞳孔径を取得したため、左右の瞳孔径の結果を出力している。

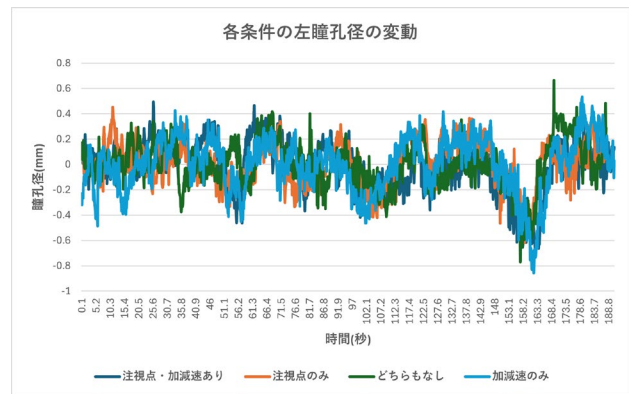


図 7 各条件における左瞳孔の変動

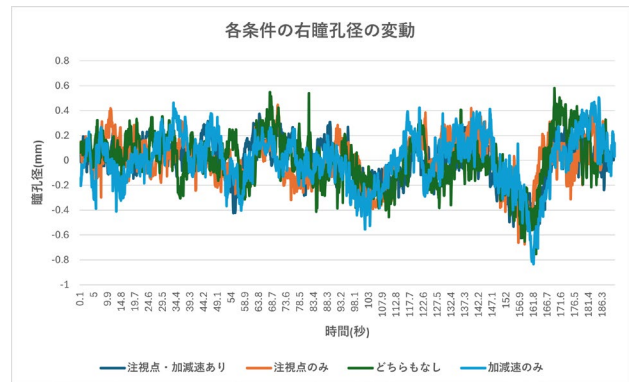


図 8 各条件における右瞳孔の変動

3.4 SSQ における眼精疲労と総合スコア

実験終了後に実施した SSQ から計算した眼精疲労と総合スコアを図 9 に示す。今回は総合スコア (TotalScore) だけではなく、眼球のデータも用いているため、眼精疲労に相当する Oculomotor のスコアも評価指標として用いた。

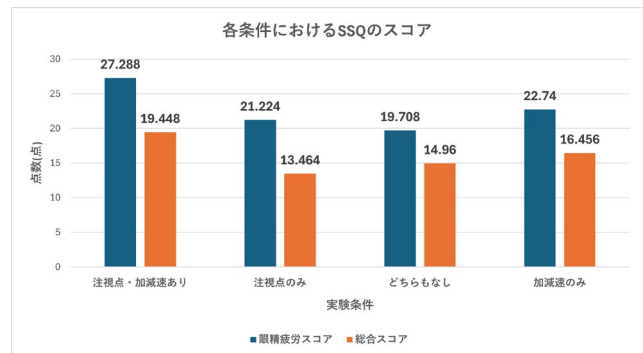


図 9 SSQ を用いた眼精疲労と総合のスコア

4. 考察

4.1 サッカードについての考察

想定していた VR 酔いを誘発する斜面は、上昇が 46~61 秒, 102~115 秒, 149~164 秒の 3 点, 下降が 46~61 秒, 120~127 秒, 169~177 秒の 3 点である。この地点と図 5 を比較すると、上昇開始地点は 3 つ以上の条件でサッカードの回数の増加が見られる地点が多いが、下降地点は各条件で同じように増加が見られる地点が少ない。しかし、120 秒~126 秒地点は 4 つの条件で回数の増加が見られた。

下降よりも上昇のほうが回数が増加しており、最も傾斜

の少ない下降斜面である 120 秒～126 秒地点では、全ての条件で回数の上昇は見られた。この結果からサッカードという眼球運動は、ゆるやかな上昇下降を行うような VR 酔いを誘発しづらいと思われる箇所での検出に用いることの出来る可能性があると考えた。

4.2 輻輳開散運動についての考察

図 6 の結果から、上昇地点の 46～61 秒、149～164 秒で両眼の位置差の拡大が見られた。また、下降地点の 3 箇所は下降終了付近にて眼球の位置差の拡大が見られた。差が拡大するということは、開散運動が発生しているということであり、普段のよりも遠くを見るということである。この開散運動が他にも発生している地点は 25 秒、93 秒、134 秒付近である。この地点は右左折が発生する地点であり、視界の奥行きが広がりやすい地点であったと考える。

このことから、少なからず VR 酔いが起こりやすい箇所での両眼差の増減が見られるが、具体的に各条件でどのような現象が発生しているかの確認が難しい。このことから、指標として用いるには現時点では難しいと感じた。また、時間経過で増減している点や実験前後の値の上昇が少ないことから、低減効果の確認にも難しいと考察した。

4.3 瞳孔径についての考察

図 7 と図 8 の両眼の結果から、上昇地点である 46～61 秒、102～115 秒、149～164 秒では瞳孔は縮小し、下降する 46～61 秒、120～127 秒、169～177 秒では瞳孔は拡大していることが分かった。逆に右左折が発生する 25 秒、93 秒、134 秒付近では瞳孔径の大きな変化は見られなかった。

瞳孔は交感神経優位るとき、つまりストレスを感じているときに拡大し、副交感神経優位のようなリラックスしているときには縮小する。このことから、VR 酔いの原因となりやすいのは移動速度が上昇する下降運動ではなく、移動速度が低下する上昇運動である可能性が示唆された。これは、下降の速度よりも上昇の不安感の方が勝るからではないかと考察した。また、169～177 秒において瞳孔径が最も縮小していたことから、高高度からの下降によって高度による不安感が解消されているのではないかと考えた。

4.4 SSQ についての考察

図 9 の結果から、注視点を設置している場合は VR 酔いが発生する可能性は低下するが、眼精疲労は起こりやすい可能性があると考えた。また、注視点を設置した場合と加減速を加えた場合は、中心点周辺の景色が高速に切り替わることによって、より眼精疲労や VR 酔いが起こりやすくなるのではないかと考えた。

眼球運動と SSQ を比較すると、相関はほとんど見られなかった。眼球運動は SSQ のスコアが低い場合にも用いることが出来る可能性があるが、今後のデータの精査が必要であると考えた。

5. まとめと今後の課題

本研究では、上昇下降運動による VR 酔いの発生状況と

その際の VR 酔いの評価指標の検討を行った。上昇下降運動を設置した箇所の眼球運動を分析すると、各条件で上昇と下降で同じような動きを行う箇所が頻出していた。また、サッカードや瞳孔径から、速度による影響よりも上昇運動といった VR 酔いが起こりにくい箇所での VR 酔いの発見に使用出来る可能性が示唆された。

しかし、瞳孔径や輻輳開散運動を用いたリアルタイムの VR 酔いの可視化は難しく、今後の分析方法の変更やより精度の高い計算方法の検討などが課題であると考えた。また、本研究の実験では、本来指標の 1 つとして想定していた瞳孔座標の分散の結果が非常に小さな値となったため、明らかな差が確認できなかった。この点においても、さらなる評価方法の検討が必要であると考えた。

参考文献

- [1] Hettlinger, Lawrence J.; Berbaum, Kevin S.; et al. Vection and Simulator Sickness. *Military Psychology*.1990, 2 (3) , p.171-181.
- [2] 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,日本バーチャルリアリティ学会第26回大会論文集,3B2-1
- [3] 村井 克彦:モーションキャプチャを用いた能動的歩行感覚の提示による VR 酔い軽減に関する研究,ライフサポート Vol.33 No.1,2021.
- [4] 氏家 弘裕:映像酔い,映像情報メディア学会誌 Vol.61, No. 8, 2007
- [5] 渡邊 海斗,大西 克彦:“生理指標を用いた VR 酔いの発生状況の検証”,第28回日本バーチャルリアリティ学会大会予稿集,3C1-01 (Sep. 2023).
- [6] UnityAssetStore, ”<https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/urban/real-new-york-city-vol-2-222827?locale=ja-JP>”, Unity.
- [7] N. A. Webb, M. J. Griffin: “Optokinetic stimuli: motion sickness, visual acuity, and eye movements”, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, vol. 73, no. 4, pp. 351-358, 2002.
- [8] 藤掛 和広, 小野 蓮太郎, 高田 宗樹: 高齢者の視線データによる映像酔い評価指標の開発, *日衛誌 (Jpn. J. Hyg.)* 2022; 77: 21001.
- [9] Kaito Watanabe, Katsuhiko Onishi, Masanao Koeda, Morihiro Tsujishita, Hiroshi Noborio: “Study of a method for reducing VR sickness using the tunnel effect”, Masaaki Kurosu, Ayako Hashizume (Ed.), *Human-Computer Interaction. HCII 2024. Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, Vol.14686, pp.221-235 (Jun. 2024).
- [10] 飯島 淳彦, 小杉 剛, 木竜 徹, 松木 広介, 長谷川 功, 板東 武: ストレス状態の推定に有効な瞳孔反応パラメータの探索, *生体医工学* 49(6) : 946-951, 2011.