



周辺視野のグレースケール変換による VR 酔いの軽減

Reducing VR sickness by grayscale conversion of peripheral vision

亀ヶ谷拓耶, 河合隆史

Takuya KAMEGAYA, Takashi KAWAI

早稲田大学 大学院基幹理工学研究科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1, info@tkawai-lab.com)

概要: VR の体験中に吐き気や頭痛が発生することがある。この症状は VR 酔いと呼ばれる。VR 酔いの対策として HMD の映像の加工が挙げられるが、VR の没入感を損なうという課題がある。そこで本研究では没入感を保ちつつ VR 酔いを軽減する加工方法として、周辺視野領域をグレースケール変換する手法を提案する。本研究では VR 映像の周辺視野領域をグレースケールに変換した際の VR 酔いと没入感への影響を検証した。同時に、VR 酔い軽減のための映像加工方法の既存手法である周辺視野領域にブラーをかける手法との比較を行った。

キーワード: バーチャルリアリティ, VR 酔い, グレースケール, 周辺視野

1. はじめに

VR 体験時に頭痛や吐き気、眼精疲労などの動揺病に似た症状 (VR 酔い) が生じることがあり、課題となっている。VR 酔いの原因は諸説あるが、感覚不一致説が有力な説の一つである[1]。感覚不一致説では、映像を見ることで身体が動いているように錯覚するが、実際には身体は静止しているという感覚の矛盾が酔いの原因としている。

身体が静止していながら、視覚情報によって移動しているように錯覚する現象はベクシオンと呼ばれる。ベクシオンは画面の動きの大きさであるオプティカルフローによって引き起こされる。また、周辺視はオプティカルフローによるベクシオンが生じやすいことが報告されている[2]。

そのため、VR 酔いを軽減するために、HMD (ヘッドマウントディスプレイ) の周辺視野領域の映像を加工するというアプローチが行われてきた。映像の加工方法の一例として HMD の周辺視野部を黒く塗りつぶすことで視野を制限するもの[3]がある。視野を狭めることで、ベクシオンが起きやすい周辺視野におけるオプティカルフローが生じなくなり、VR 酔いを軽減できると考えられている。しかし、周辺視野を黒く塗りつぶすのは没入感やタスクパフォーマンスに悪影響を及ぼすことが課題となっている。

そこで、没入感を保ちつつ VR 酔いの抑制ができるエフェクトとして、周辺視野領域にぼかしをかけるものが提案された[4]。周辺視野は明瞭にものが見えていない[5]ため、HMD の映像の周辺視野にぼかしをかけても違和感を抱きにくい。加えて、ブラーによって周辺視野の視覚的情

報量を減らすことで、画面中央への視線誘導と、オプティカルフローの軽減によるベクシオンの抑制が行われ、VR 酔いの軽減ができる。

以上を踏まえて、本研究では VR の没入感を保ちつつ酔いの抑制を行う手法として、周辺視野領域の映像をグレースケール変換する手法を提案する。周辺視野は色を知覚する錐体細胞の数が視野中心部と比べて少なく、色のはっきりと識別されないという特性がある[6]。したがって、周辺視野領域をグレースケールに変換することによる VR 映像の没入感への影響はブラーと同様に少ないと予想される。加えて、グレースケール変換によって周辺視野領域の色がグレーに統一され、色の変化が穏やかになることで、オプティカルフローが軽減され、ベクシオンの抑制が行われることで、VR 酔いの軽減の効果も期待される。

本研究では VR 映像の周辺視野領域をグレースケールに変換した際の VR 酔いと没入感への影響を検証した。また、既存手法である周辺視野領域にブラーをかける手法との違いについて比較を行った。

2. 実験

2.1 実験環境

エフェクトを適用した VR 映像を参加者に着座状態で視聴させ、仮想空間の見え方の自然さと視聴後の VR 酔いの重症度を測定した。HMD は Meta Quest Pro を使用した。映像視聴中に頭部が動くのを防ぐために、頭を固定する顎台を使用した。

Unity で作成した森の中を移動する VR 映像を実験刺激

として用いた。映像の長さは 300 秒である。森の空間は Asset Store の "Free Low Poly Nature Forest" を用いた。図 1 の白から青にグラデーションで変化している線が映像内でカメラが移動したルートである。VR 酔いを引き起こすために、移動には蛇行しながらの前進、方向転換による回転、地面の凹凸による上下運動が含まれた。

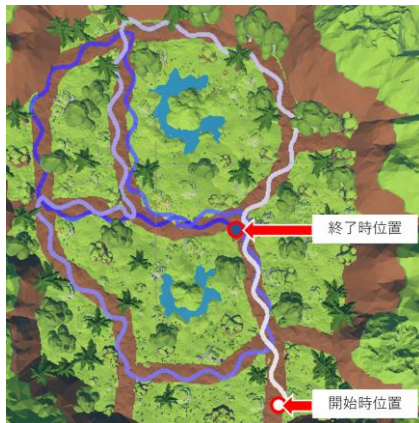


図 1 VR 映像のカメラの移動ルート

2.2 実験条件

エフェクトは周辺視野にブラーをかけるものと周辺視野をグレースケール変換するものの二種類を使用した。

実験条件はエフェクト無し、ブラーのみ、グレースケールのみ、ブラーとグレースケールの 4 条件（図 2）とした。

エフェクトの適用範囲は Lin らの研究[4]の値を参考に、ブラーとグレースケールどちらも HMD の画面中央から 15 度の範囲を無加工、15 度から 30 度の範囲をグラデーション、30 度より外側の範囲を完全加工とした。ブラーの種類と強さも同様に Lin らの研究の値を参考に、カーネルサイズ 23 のガウシアンブラーとした。

HMD の VR 映像の周辺視野領域が実験参加者の視界の周辺視野領域と一致するように、映像中央に固視点を設けた。実験参加者に映像視聴中は固視点を見続けるよう指示した。固視点は半透明の白い十字の画像を使用し、無理なく注視できる距離かつ、周囲の風景も見えやすい距離としてカメラの前方 6m の位置に配置した。固視点はオブジェクトの裏にあっても隠れることなく表示された。

2.3 評価指標

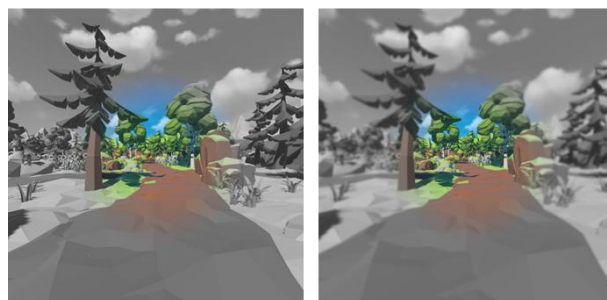
VR 酔いの重症度についての主観指標として Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) [7]を用いた。SSQ は酔いの症状に関する 16 項目の質問に対して、「全くない」、「少しある」、「中程度にある」、「大いにある」の 4 段階で回答する質問紙である。各 VR 映像の視聴前後で回答を得て視聴前後の SSQ スコアの差分を算出した。

また、VR 酔いの重症度についての客観指標として、視線データを用いた。視線データは齋藤ら[8]によって、指定された領域を注視している際の視線の水平方向および垂直方向の標準偏差が VR 酔いの重症度の測定に使用できるこ



エフェクト無し

ブラー



グレースケール

ブラー+グレースケール

図 2 実験条件

とが報告されている。視線データは Meta Quest Pro のアイトラッキング機能によって収集された。

仮想空間の見え方の自然さについての主観指標として、Visual Analog Scale (VAS) [9]を使用した。VAS は医療現場で痛みをスコア化するのに用いられる尺度で、10cm の線分に痛みの程度をプロットするというものである。本実験では線分の左端を「最悪の不自然さ」、右端を「この上なく自然」として、VAS を仮想空間の見え方の自然さを調査するためのアンケートとして用いた。

実験参加者は 20 代の大学生 12 名であった。

3. 実験結果

3.1 SSQ 総合スコア

SSQ は外れ値を除外した 10 名分のデータについて解析を行った。SSQ の総合スコアの平均値を図 3 に示す。エラーバーは標準誤差を表している。総合スコアについて、ブラーエフェクトの有無とグレースケールエフェクトの有無を要因とする二元配置分散分析を行った。その結果、グレースケールエフェクトの主効果に有意差が認められた。

ただし、グレースケールエフェクトによって SSQ スコアが増大した参加者もいた。

3.2 視線データ

視線データは正常にアイトラッキングが行われなかった参加者を除外した 11 名分のデータを解析対象とした。水平方向の視線の標準偏差の平均値を図 4 に示す。水平方向の標準偏差について、SSQ と同様に二元配置分散分析を行った結果、グレースケールエフェクトの主効果に有意差が認められた。垂直方向の視線の標準偏差（図 5）についても同様に解析を行ったが有意差は認められなかった。

3.3 仮想空間の見え方の自然さの VAS

VAS は 12 名分のデータについて解析を行った。図 6 は VAS の平均値である。なお、「最悪の不自然さ」を 0, 「この上なく自然」を 100 とした。VAS について, SSQ と同様に二元配置分散分析を行った結果, ブラーエフェクトとグレースケールエフェクトの主効果に有意差が認められた。ブラーの条件とグレースケールの条件の VAS について t 検定を行ったところ, 有意差は認められなかった。

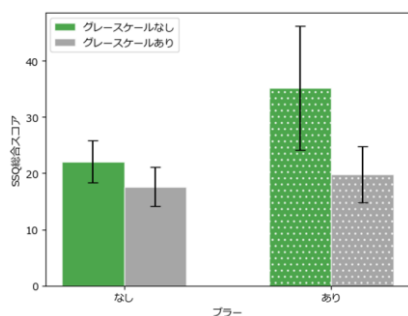


図 3 SSQ の総合スコアの平均値

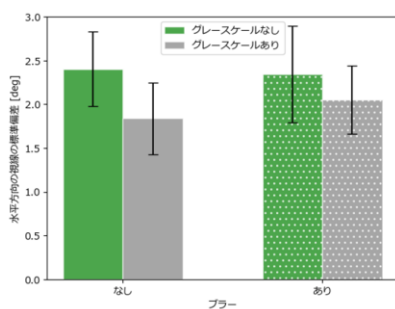


図 4 視線の水平方向の標準偏差の平均値

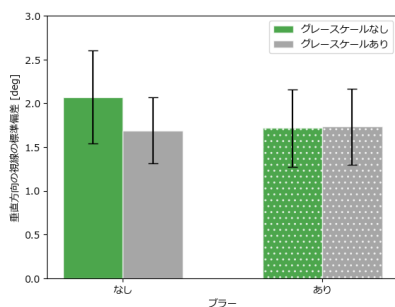


図 5 視線の垂直方向の標準偏差の平均値

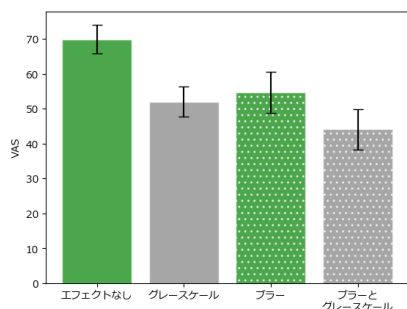


図 6 仮想空間の見え方の自然さの VAS の平均値

4. 考察

4.1 グレースケール変換による VR 酔い軽減について

今回の実験結果では HMD の映像の周辺視野の領域をグレースケールに変換することで, SSQ のスコアが減少し, 視線の水平方向の標準偏差が低下した。したがって, 仮説通り周辺視野領域をグレースケール変換することで VR 酔いが軽減されたといえる。グレースケールエフェクトによって VR 酔いが軽減した理由は, 周辺視野の色の変化が穏やかになることで, オプティカルフローが軽減し, バクシヨンの発生が抑制されたためであると考えられる。

ただし, 今回の実験では視線の垂直方向の標準偏差には有意差は見られなかった。本実験で使用した VR 映像は, 地面の凹凸による視線の上下運動はあったが, 水平方向への蛇行や回転の方が移動距離は大きい。これにより, 視線の垂直移動よりも水平移動のほうが誘発されたため, 視線の垂直方向の動きが誘発されなかったと考えられる。

また, 今回の実験結果ではグレースケールのエフェクトによって SSQ のスコアが増大した参加者がいた。したがって, グレースケールのエフェクトは VR 酔いを重症化させる場合もあるといえる。グレースケールによって VR 酔いが重症化する原因として 2 つのことが考えられる。

1 つは周辺視野がグレースケールになることで生じる違和感である。周辺視野は錐体細胞が少なく色の知覚がされにくいという特性があるが, 全く色が認識できないというわけではない。そのため, 周辺視野がグレースケールになることで違和感が生じる。この違和感によって不快感を抱いた可能性がある。

2 つ目はグレースケール変換による映像の緑色と青色の領域の減少である。新良ら[10]は緑一色や青一色の VR 映像は酔いが起きにくいと報告している。今回の実験で使用した仮想空間は主に植物と空で構成され, 青色と緑色の領域が広いものだった。グレースケール変換により, VR 酔いが起きにくい緑と青の領域が減少し, VR 酔いが強まった可能性がある。

4.2 ブラーによる VR 酔い軽減について

今回の実験結果では周辺視野部にぼかしをかけることによる VR 酔いの軽減は全体の傾向としては確認できなかった。ぼかしによる VR 酔い軽減が確認できなかった理由として, 個人差の影響が考えられる。本実験では, ブラーによって SSQ スコアが低下し, グレースケールによって SSQ スコアが増加した参加者が 1 名いた。ブラーによる VR 酔い抑制についての先行研究には, ブラーによって SSQ スコアが減少した参加者と SSQ スコアが増大した参加者の両方がいたと報告するもの[11]がある。本研究でもブラーエフェクトの VR 酔いへの影響の個人差があらわれた結果, ブラーエフェクトの VR 酔いの軽減が全体の傾向としては確認できなかった可能性がある。

また, 今回の実験では画面中央の固視点を注視するように指示したのに加え, 動きが比較的穏やかな映像を用

いたため、SSQ スコアのベースラインが低かった。ブラーの VR 酔い抑制効果を報告する論文では 10 分以上の長いコンテンツ[4]や動きが激しい映像[12]を用いているため、SSQ スコアのベースラインが高い。この SSQ スコアのベースラインの違いによってブラーの効果が確認できなかった可能性がある。

4.3 ブラーとグレースケールの見え方の自然さへの影響について

VAS からは仮想空間の解像度と色を本来のものから変化させると仮想空間の見え方が不自然になるということが示唆された。また、グレースケールとブラーで見え方の自然さに与える影響の大きさに差がないことが示唆された。ただし、エフェクトの適用範囲やブラーの強さ、エフェクトを適用する仮想空間を変更することで、見え方が変化する可能性があることに注意が必要である。

5. まとめ

本研究では HMD に表示する映像の周辺視野領域をグレースケールに変換したときの VR 酔いの重症度と没入感への影響を明らかにすることを目的に実験を行った。また、既存手法である周辺視野ぼかしとの比較も行った。

その結果、VR 酔いについて、主観指標および客観指標から「周辺視野がグレースケールになることで VR 酔いが抑制される」ことが示唆された。ただし、グレースケールによって VR 酔いが増加したと答えた参加者もあり、エフェクトによる VR 酔い軽減の効果には個人差があった。

没入感への影響について、主観指標から「周辺視野領域の映像へのぼかしや、グレースケール変換によって仮想空間の見え方の自然さが低下する」ことと、「ブラーとグレースケールが仮想空間の見え方の自然さに与える影響の大きさに差はない」ことが示唆された。

ただし、エフェクトの適用範囲やブラーの強さによって結果が変わる可能性がある。また、今回の実験ではエフェクトを適用したコンテンツが森の中を移動する VR 映像の 1 種類のみであった。ブラーやグレースケールのエフェクトの VR 酔いと没入感への影響は、仮想空間を構成する 3D モデルの形状やテクスチャ、カメラの動き方など様々な要因で変動する可能性がある。したがって、他の映像やゲームなどの VR コンテンツに対してエフェクトを適用したときにどのような結果となるか検証が必要である。

参考文献

- [1] J. J. LaViola Jr, "A discussion of cybersickness in virtual environments," ACM SIGCHI Bulletin, vol. 32, no. 1, 2000.
- [2] T. Brandt, J. Dichgans, and E. Koenig, "Differential effects of central versus peripheral vision on egocentric and exocentric motion perception," *Experimental Brain Research*, vol. 16, no. 5, 1973, doi: 10.1007/BF00234474.
- [3] A. S. Fernandes and S. K. Feiner, "Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification," in 2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces, 3DUI 2016 - Proceedings, 2016. doi: 10.1109/3DUI.2016.7460053.
- [4] Y. X. Lin, R. Venkatakrishnan, R. Venkatakrishnan, E. Ebrahimi, W. C. Lin, and S. v. Babu, "How the presence and size of static peripheral blur affects cybersickness in virtual reality," *ACM Transactions on Applied Perception*, vol. 17, no. 4, 2020, doi: 10.1145/3419984.
- [5] 福田 忠彦, "図形知覚における中心視と周辺視の機能差," *テレビジョン学会誌*, vol. 32, no. 6, pp. 492-498, 1978.
- [6] M. A. Cohen, T. L. Botch, and C. E. Robertson, "The limits of color awareness during active, real-world vision," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 117, no. 24, 2020, doi: 10.1073/pnas.1922294117.
- [7] R. S. Kennedy, N. E. Lane, K. S. Berbaum, and M. G. Lilienthal, "Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness," *The International Journal of Aviation Psychology*, vol. 3, no. 3, 1993, doi: 10.1207/s15327108ijap0303_3.
- [8] 齋藤晃羅, 杉田典大, 中田路大, and 小宮山拓, "眼球運動の測定による VR 酔いの評価に関する研究," 第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, no. 眼球運動の測定による VR 酔いの評価に関する研究, Sep. 2024.
- [9] st-medica, "Visual Analogue Scale (VAS) 痛みの評価スケール", https://www.st-medica.com/2012/07/visual-analogue-scale.html#google_vignette, (参照 2025-1-17)
- [10] 新良 悠真 and 木島 竜吾, "VR 酔いと色の関係性について," *日本バーチャルリアリティ学会 複合現実感研究会*, vol. 1, no. 27, 2024.
- [11] P. Budhiraja, M. Miller, A. Modi, and D. Forsyth, "Rotation Blurring: Use of Artificial Blurring to Reduce Cybersickness in Virtual Reality First Person Shooters," Oct. 2017, doi: 10.48550/arXiv.1710.02599.
- [12] R. Hussain, M. Chessa, and F. Solari, "Mitigating cybersickness in virtual reality systems through foveated depth-of-field blur," *Sensors*, vol. 21, no. 12, Jun. 2021, doi: 10.3390/s21124006