



訂正：提示コンテンツの色がVR酔いに及ぼす影響

Correction: Effect of color of presented content on VR sickness

藤嶋駿輔¹⁾, 中村祐貴²⁾, 木島竜吾³⁾

Shunsuke FUJISHIMA, Masaki NAKAMURA, and Ryugo KIJIMA

- 1) 岐阜大学大学院 自然科学技術研究科 (〒 501-1132 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, fujishima.syunsuke.v3@s.gifu-u.ac.jp)
 2) 株式会社オンダ製作所 (〒 501-3263 岐阜県関市広見 851-3, vrsjac@cyber.rcast.u-tokyo.ac.jp)
 3) 岐阜大学 工学部 (〒 501-1132 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, kijima.ryugo.n4@f.gifu-u.ac.jp)

概要: VR酔いはVRヘッドセットの実用性を大きく損なう症状であり、解決が望まれている。色と酔いの関係を調べた先行研究では、赤色が強く酔いを引き起こすとの結果を示されていたのだが、本稿では、先行研究で使われた Meta Quest2 の発色を調べ、与えた赤色の画素値と表示輝度の関係に大きな歪みがあることを示し、色歪みのないことを確認したヘッドセットを用いて再実験を行った結果、色はVR酔いに影響を及ぼすとはいえないことが分かった。

キーワード: VR酔い, 色, HMD

1. はじめに

1.1 研究背景

VR酔いは、VRヘッドセットを使用するユーザに起こる車酔いに似た生理現象である。VR酔いはVRの普及を妨げている原因の一つであり、快適なVR体験を実現するには、VR酔いの原因究明とその対策が必要である。

また、青色はストレス反応の抑制 [1], 赤色は性欲の増進など [2], 色には生理的効果があることが知られている。VR酔いも生理的影響による自律神経症状であるという説が有力であり、色がVR酔いに影響を与える可能性があるとして推測できる。そこで、新良ら [3] は、コンテンツの色とVR酔いとの関係を調査し、特に赤色が強く酔いを引き起こすことを示唆した。しかし、この研究において、HMDが表示する画素値と表示輝度の影響を正しく検討していなかった。このことから、先行研究は正しく視覚提示色とVR酔いとの関係を調査できていたとは言い切れない。

本稿では、この先行研究の問題を調査し、解決したうえで再実験を行い、色とVR酔いとの影響を明らかにする。

1.2 先行研究の問題点

新良らはVR酔いに対して、視覚提示色がどのように影響を及ぼすか調査し、赤 (R) が最もVR酔いを強く誘発することを示した (図 1)。この研究では風景映像をグレースケール化させた後に感覚輝度が同じになるように RGB 各一色の画像に変換し (図 2), 酔いレベルを比較している。また、VRヘッドセットは Meta Quest2 を使用していた。

しかし、この研究が正当性を保つためには、VRヘッドセットはどの色でも入力された画素値に比例する輝度を表示する、という前提が必要であるが、そのことは検討されていない。また、標準視感度に従って感覚輝度を揃えているが、

視感度は明所か暗所かといった周辺環境や個人差によって左右されるため、VRヘッドセット内という環境に標準視感度をそのまま当てはめて良いのかは疑問である。このことから、先行研究は正しく視覚提示色とVR酔いの関係を調査できていたとは言い切れない。

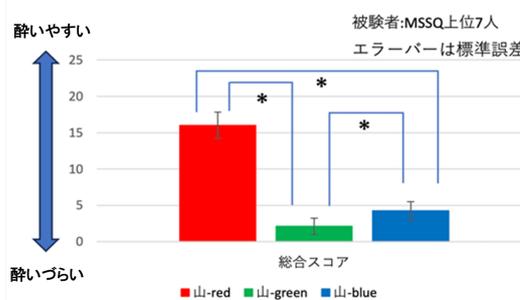


図 1: 先行研究で述べられた提示色による SSQ 総合スコアの違い ([3] より引用改変)

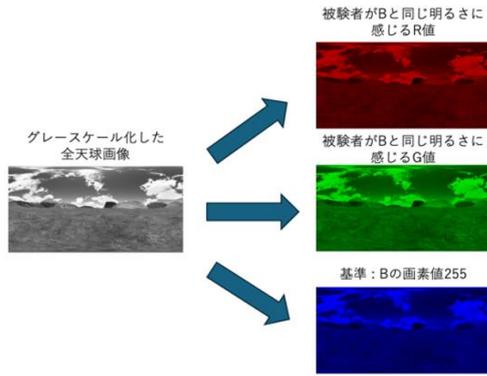


図 2: 先行研究で提示した風景画像

1.3 感覚輝度と視感度

物理量である放射輝度に対して、それをみている人間が感じる明るさが感覚輝度であり、その比率を視感度と呼ぶ。人間は光の波長つまり色により視感度が異なることが知られている。視感度が最も高い波長で正規化した波長に関する感度を比視感度といい、国際照明委員会 (CIE) が標準視感度曲線 [4] を定めている (図 3)。同じ放射輝度であっても青 (430 490nm) や赤 (640 770nm) は暗く、緑 (490 550nm) は明るく感じられることが分かる。しかし、これは複数の研究による計測結果を合成した平均的な曲線であり、一方で個体差が相当大きいことも知られている。そこで本研究では被験者ごとの視感度を計測して補正を行うこととする。

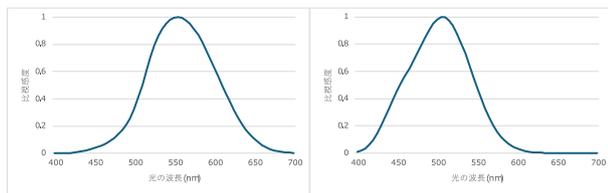


図 3: 明所における標準視感度曲線 (左) と暗所における標準視感度曲線 (右)([4] より引用改変)

1.4 SSQ

SSQ(Simulator Sickness Questionnaire)[5] とは、VR 酔いのレベルを計測する際に一般的に用いられている主観評価指標である。16 の質問項目をそれぞれ 0 から 3 の 4 段階で評価する。その後各項目を計算し、吐き気、眼精疲労、失見当識、総合スコアを算出する。本研究では実験前と実験後の総合スコアの差を実験結果とした。

2. 事前実験

先行研究の問題点は、PC からの出力画素値と、VR ヘッドセットの表示輝度の関係が調査されていないことである。本稿では、2.1 でこれを実験により明らかにする。残念ながら 2.1 では色ごとの画素値-輝度の関係しか求められない。そこでさらに、平均的な比視感度曲線を使うのではなく、2.2 で被験者ごとに比視感度を実験により調べ、その個体データに基づいて輝度を補正することとする。これに

より上記の問題を解消するとともに、個体差を排除したより正確な結果を得る。

2.1 色交替法による被験者ごとの視感度計測

観察した輝度に比例する画素値を出力するカメラを用いて、PC からヘッドセットの出力に設定した画素値と表示輝度の関係を調べた。カメラは Pixelink 社のカメラ PL-B776F を使用し、ヘッドセットのレンズ越しにカメラで撮影をした。その結果を図 4, 5 に示す。

本実験で使用した VIVE Pro Eye は、いずれの場合でも出力に設定した画素値と表示輝度が概ね比例していた。しかし、先行研究で使用していた Meta Quest2 では、赤 (R) のグラフにおいて設定画素値が 140 を超えるとカメラの出力画素値の上昇がなくなっており、輝度に補正があることが明らかになった。そのため、本研究では前者を使用する。

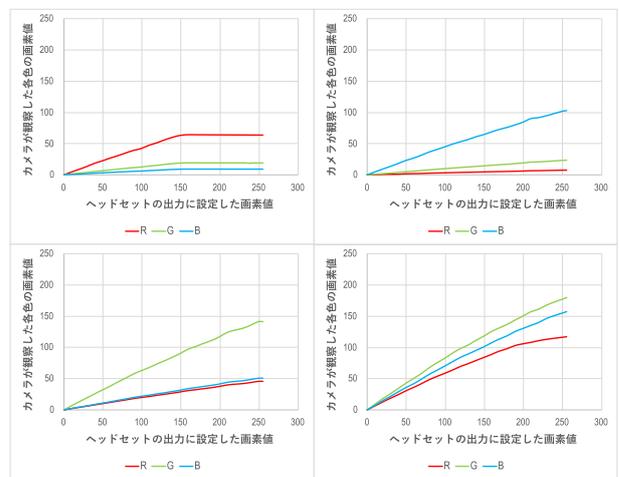


図 4: Meta Quest2 の PC からヘッドセットの出力に設定した画素値と表示輝度の計測結果-赤 (R) のみ (左上) 青 (B) のみ (右上) 緑 (G) のみ (左下) グレースケール (W)(右下)

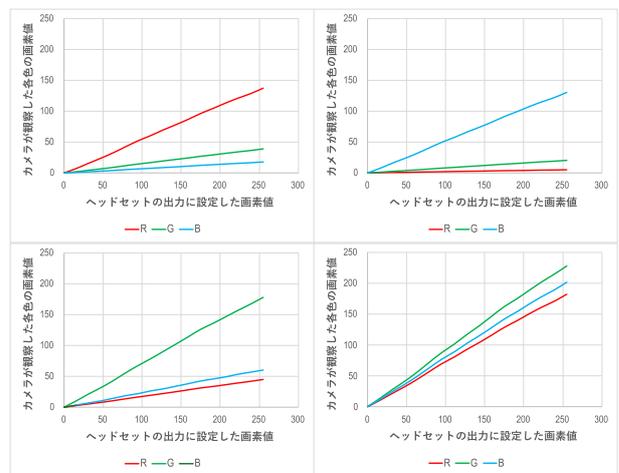


図 5: VIVE Pro Eye の PC からヘッドセットの出力に設定した画素値と表示輝度の計測結果-赤 (R) のみ (左上) 青 (B) のみ (右上) 緑 (G) のみ (左下) グレースケール (W)(右下)

2.2 色交替法による被験者ごとの視感度計測

2.1 で画素値-輝度が比例関係にあることを色ごとに示したが、同じ画素値が各色の輝度を同じにするわけではないことに加え、その比率は不明のままである。したがって、標準比視感度曲線を適用しても色ごとの感覚輝度をそろえることはできない。また、比視感度には個体差が大きいことが知られている。

以上の理由から、被験者ごとに比視感度を色交替法により計測する。色交替法とは、人間の視覚は明るさに対する時間分解能が色に対する時間分解能予知性能が高い[?]ことを利用し、二つの色の明るさ感が等しくなるよう調整する方法である。色が異なる二つの光を交替させると、色と明るさのチラつき感覚が生じる。しかし、色交替の周波数を高めると、前述した明るさと色の時間分解能の性能差により、色のチラつき感覚は消失するが明るさのチラつき感覚が残る。その状態で明るさのチラつきが消滅するまたは最小になるまで調整することで、二つの色の明るさ感が等しい状態を作ることができる。

具体的には、被験者に灰色の背景と設定した2つの画素値が1秒間に45回切り替わる円盤が表示されている映像を提示した。実験が開始されると被験者の正面から見て1m先に15cmの円盤が表示され、被験者はキーボード操作によって画素値を操作する。円盤のちらつきがなくなった、または最小になったと被験者が申告した時点で実験を終了し、その画素値を取得した。

基準は青(画素値は255)であり、他の色の輝度を操作してちらつきを無くすことで青255に対する等価輝度(画素値)を求める。

3. 被験者実験：色とVR酔いの関係

3.1 方法と手順

先行研究の実験を再現して被験者実験を行った、グレースケール化した風景画像を感覚輝度を揃えた赤(R) 緑(G) 青(B) 各一色の画像に変換し、1分間の実験を実施した。試行間の影響をなくすため、各試行1時間以上の間隔をおき、実験中は聴覚情報を一定にするためホワイトノイズを流した。さらに、視点を最も酔いやすい角速度の中央値である45[deg/s]に設定し、両眼の中心を原点としたロール回転を行った。実験前後にSSQを測定し、総合スコアの差を実験結果とした。

本実験では、先行研究の実験と異なり、輝度歪みのないヘッドセットを用い、2.2で述べた方法でどの色でも同じ感覚輝度になるようにしている。被験者は18-24歳までの学生21人である。

3.2 結果

実験結果を図6に示す。赤(R)はわずかに総合スコアの平均が高かったが、有意水準5%のHolm法による多重比較を行ったところ、各試行間に有意差は見られなかった。

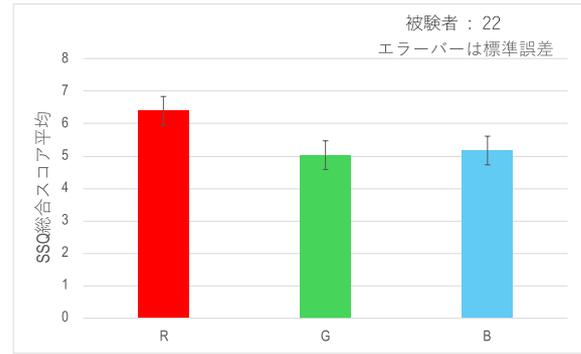


図6: 提示色によるSSQ総合スコアの違い

4. 考察

緑(G)と青(B)に比べ赤(R)はわずかに総合スコアの平均が高かった。しかし、先行研究で見られたほど顕著な差(図1)は無く、有意差も認められなかった。

事前実験により被験者は各色の間に輝度の差を感じていなかった為、Meta Quest2の赤の輝度歪みが原因である。

5. 結論

赤色がVR酔いを強く引き起こすという先行研究には、用いたヘッドセットであるMeta Quest2の輝度特性が分かっていないという実験場の不備があった。本稿では、実験によりMeta Quest2の特に赤色の輝度が画素値に対して線形ではなく大きく歪んでいること、Vive Pro Eyeでは色ごとに輝度が画素値に比例していることを示し、後者を用いて再実験を起こ案ったところ、結果は色によるVR酔いの違いを示さなかった。したがって、色はVR酔いに実際には影響せず、先行研究は、Meta Quest2の輝度特性の歪みによりVR酔いに違いが出たように誤解したものと考える。

参考文献

- [1] 野村 収作：青色のストレス反応抑制効果～唾液コルチゾールによる検証～、映像情報メディア学会誌 Vol 68, No. 12, pp. J537～J539, 2014
- [2] 張 禎：色彩環境が身体運動能力に及ぼす影響、愛知県立大学 大学院 人間発達学研究科、博士論文、2019.
- [3] 木島竜吾, 新良悠真：コンテンツの色とVR酔いの関係、第29回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2G-25, 2024.
- [4] CIE Standards (<http://www.cvrl.org/cie.htm>) 2024年12月20日取得
- [5] Kennedy, S.R., E.N., Berbaum, S.K. and Lilienthal, G.M.: Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, The International Journal of Aviation Psychology, Vol.3, No.3, pp203-220, 1993