

VR酔いと色の関係性について

新良 悠真^{*1}木島 竜吾^{*2}

Abstract - 本研究では、VRヘッドセット普及の大きな妨げと考えられるVR酔いに対して、色がどのように影響を及ぼすかを、被験者実験を行い調査した。実験1では色味が赤(R)、緑(G)、青(B)の3つの風景を提示し、ロール方向に視野を回転させる実験を行い、赤味の強い風景が際立って酔いを誘発することを示した。実験2では、風景の違い、色による視感度特性の違いを揃えて実験した。ここでも風景によらず、赤の酔い誘発効果が他の色を卓越していた。実験3では、色ごとに輝度に対する明るさ感の感度つまり分光感度特性に似た、色ごとに輝度に対する酔いの感度の一部を求めた。

Keywords : 色彩心理, VR酔い, 色空間, 輝度, 視感度

1 はじめに

赤(R)は興奮や高揚、緑(G)は安らぎや癒し、青(B)は落ち着きや爽快感に相関が高いなど、色には人間にある領域の気持ちを喚起させるという心理的効果がある。色の人間心理に対する影響は強く、色彩心理学という領域で研究され、その効果は様々な生活の場で利用されている[1]。一方、VRヘッドセットには、VR酔いと呼ばれる車酔いに似た症状が生じるという問題があり、それが普及の妨げの大きな要因ではないかと考える。視点の運動とVR酔いの関係や、VR酔いの軽減手法に取り組んだ研究は行われているが、最初に述べたような色の効果という面での研究例は無い。色彩心理学と違って酔いは主に生理的な効果ではあるが、人間に対する色の効果が顕著であるから、酔いに対する色の効果を探求することも有意義であるのではと考えた。そこで本研究では色とVR酔いの関係を調べた。さらに、色ごとに、輝度と酔いの関係も調べた。

2 物理輝度, 感覚輝度

輝度は基本的には物理量であり、厳密には物理輝度と呼ばれる。これに対し、人間がどの程度の明るさを感じるかは感覚輝度と呼ばれている。これは物理輝度に比例せず、波長によっても物理輝度に対する感度が異なることが知られている。このことから実験2,3では、色ごとに輝度の補正を行い、同じ感覚輝度の色の違いに対する酔い、またある色についての感覚輝度に対するVR酔いを求めた。図1は感覚輝度曲線である[2]。青や赤の色は同じ物理輝度であっても暗く見え、緑は明るく見えることがわかる[3]。視感度を考慮すると、各色の物理輝度RGBに対する総合的な感覚輝度

$Y[cd/m^2]$ は、次のように示される[4]。

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

一方で白木ら[5]によって、グレースケール画像の画素値と、物理輝度に比例する画素値を出力するリニアカメラの対応関係を調べることで、本実験で用いた市販のVRヘッドセットでは、与えた画素に比例する物理輝度を提示していることが明らかになっている。ディスプレイにおけるガンマ補正は、通信路やディスプレイの入出力特性という面や、人間の感覚特性という面から様々に説明されることが多いように思うのだが、本論文ではガンマ補正を考慮せず、色による人間の感度の違いだけを考慮して、感覚輝度と酔いの関係を議論する。

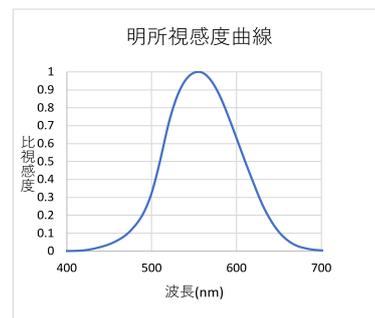


図1 視感度曲線(明所)

3 使用データ

3.1 SSQ

Kennedyらによって開発されたSSQ(Simulator Sickness Questionnaire)と呼ばれるシミュレータ酔いの主観評価手法[6]を使用した。16項目をそれぞれ0から3の4段階で評価する。その評価結果から吐き気(Nausea)、

^{*1}岐阜大学 自然科学技術研究科

^{*2}岐阜大学 工学部

眼精疲労 (Oculomotor), 失見当識 (Disorientation), 総合スコア (Total Severity) が求められる。それぞれのスコアは SSQ アンケートの該当項目を足したものに既定の係数を乗算することによって求められる。本研究では赤 (R), 緑 (G), 青 (B) それぞれの VR 酔い全体に対しての効果を調査したいため, 総合スコアを主に利用した。なお, 実験前と実験後にこの SSQ を測定し, その差を元に SSQ の総合スコアを算出した。

3.2 MSSQ

被験者数は 9 人であるが, MSSQ(略式動揺病感受性質問紙) と呼ばれる, 12 歳以下と直近の 10 年間において乗り物や遊具において酔った経験の頻度をアンケート方式で評価してもらうことで被験者の酔いやすさを評価するもの [7] を使用し, 笹山ら [8] と同様に酔いやすさの上位 5 人を今回のデータ元とした。

4 実験説明

4.1 使用物

Meta Quest2(Meta 社)[9], Unity(Unity Technologies 社)[10] を使用した。以下の表 1, 2 に実験で使用した Meta Quest2 と PC の構成を示す。

表 1 実験に使用した Meta Quest2 の構成

SoC	Snapdragon XR 2
RAM	6GB
解像度	3664 × 1920, 片目 1832 × 1920
リフレッシュレート	90Hz
ストレージ	128GB
視野角	水平 97°, 垂直 93°
PC 接続	USB-C 有線

表 2 実験に使用した PC の構成

CPU	Intel(R) Core(TM) i5-6600 3.30GHz
RAM	8GB
GPU	GeForce GTX 1060 3GB

4.2 実験方法

試行間の影響を無くすため, 各試行 1 時間以上の間隔において実験を行った。また, 実験中にはホワイトノイズを流すことで聴覚情報を一定にし, 測定を行った。実験前と実験後に SSQ を測定し, その差を元に SSQ の総合スコアを算出し, 本実験で取り扱った。また, 本実験では VR 酔いを引き起こす必要があり, その手法として視点を様々な方向に回転させる手法があげられているが, 本研究では被験者に提示する風景変化を極力少なくするため, 視点を最も酔いやすい角速度の中

央値である 45[deg/s] でロール回転させて実験を行うようにした [11]。

4.3 試行実験

1. 3つの風景での比較する。
2. 3つの風景をグレースケール化させた後に RGB 各 1 色感覚輝度をそろえた色に変更し, 比較する。
3. 赤 (R), 青 (B), 緑 (G) の輝度を変更, つまりそれぞれの数値を 97, 176, 255 に変更し, 比較する。

4.4 実験 1 の説明

3つの山, 草原, 砂漠の風景アセットを使用した。そのまま被験者に提示し, SSQ を測定した。



図 2 使用風景: 山, 草原, 砂漠

これら 3つの画像は最も含まれる色の成分について山が緑 (G) で 39%, 草原が青 (B) で 75%, 砂漠が赤 (R) で 75%となっており, 赤 (R), 青 (B), 緑 (G) の各割合がそれぞれ一番多い風景である。RGB のどの成分を多く含む風景が VR 酔いを最も増加させるのか, その増加幅が最も小さいものはいずれかといった関係性を調べることを目的とした。

4.5 実験 2 の説明

3つの風景全天球画像をまずグレースケール化し, 色の成分を正規化した上で RGB 各種 1 色を感覚輝度をそろえた値を適用 (計算式参照:2) し, SSQ を測定した。なお, 感覚輝度をそろえるため, 輝度計算式における係数が最も低い B を 255 にした輝度を基準に計算し, 小数点以下を四捨五入した値である赤 (R) は 97, 緑 (G) は 50 に決定した。

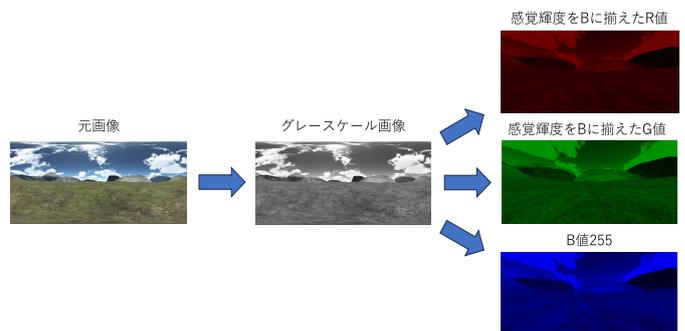


図 3 画像処理 (例: 山)

この実験は, 実験 1 のように風景ではなく, ただ赤

(R), 緑 (G), 青 (B) のそれぞれの色成分の VR 酔いに対する効果を調べることが目的である。

4.6 実験3の説明

3つの風景全地球画像をまずグレースケール化し、正規化した上で赤 (R), 緑 (G), 青 (B) それぞれに対して輝度を変更, すなわち R,G,B 値を変更することで VR 酔いとの関係性を調査した。なお, 使用した値は実験2で使用した 97 と最大値の 255, そしてその中央値の 176 を使用した。なお, 数値として 18 も等間隔に実験数値を設定するのであれば取り入れることができるが, 輝度が僅少でほぼ暗闇であること, 色覚異常の人など RGB を認識できない人がいる可能性を考慮し, 本実験では取り扱わなかった。



図4 R値:97,176,255

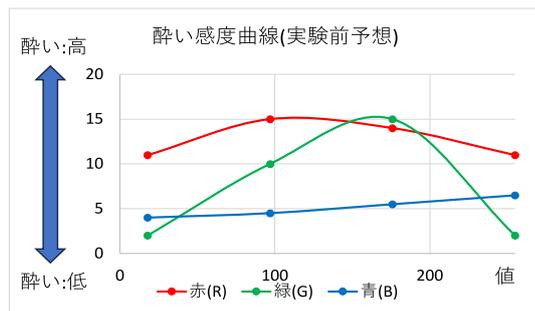


図5 酔い感度曲線(実験前予想)

この実験は図5にあるような赤 (R), 緑 (G), 青 (B) がそれぞれ SSQ 総合スコアのある別々の数値で上限に達するという関係性がみられるのではないかと考え, 全ての風景と赤 (R), 緑 (G), 青 (B) の色で輝度を変更し, 実験を行った。

5 実験の結果

5.1 実験1

結果を以下の図6に示す。赤 (R) 成分の多い砂漠が SSQ の総合スコアが最も高い傾向にあり, 逆に緑 (G) 成分の多い山が SSQ の総合スコアが最も低くなる傾向がみられた。なお, 有意水準 5%において Holm 法で多重比較を行ったところ, 各試行間に有意差があった。

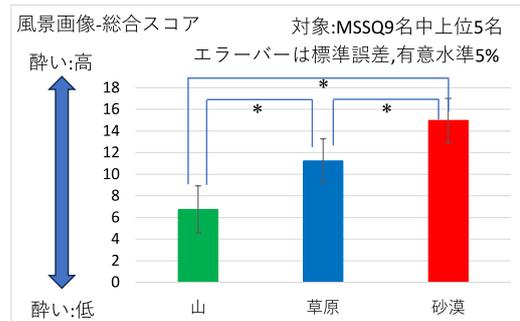


図6 実験1の結果

5.2 実験2

各種風景における結果を以下の図7, 図8, 図9に示す。実験1と同様に赤 (R) が SSQ の総合スコアを最も高くし, 緑 (G) が最も低くする傾向がみられ, 青がその中央に位置する傾向がみられた。なお, 有意水準 5%において Holm 法で多重比較を行ったところ, 3つの風景すべてにおいて赤 (R) とその他緑 (G), 青 (B) との間に有意差があった。

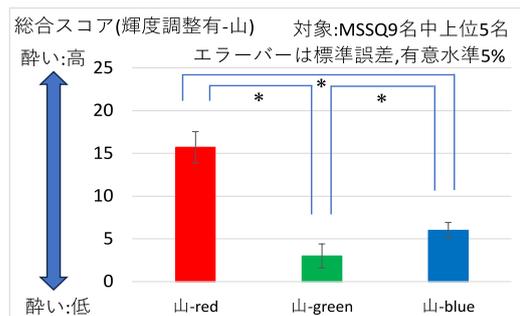


図7 実験2の結果(山)

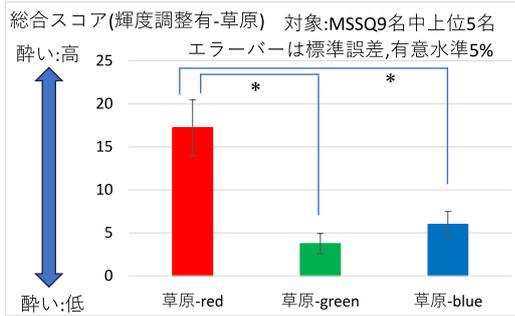


図8 実験2の結果(草原)

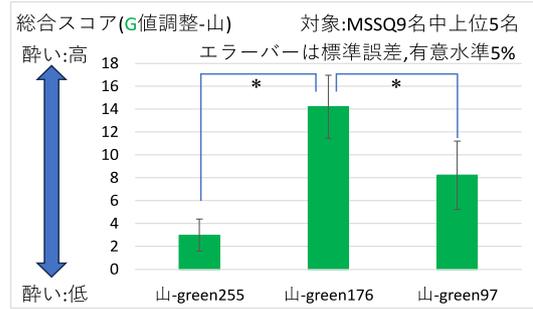


図11 実験3の結果(山-緑(G))

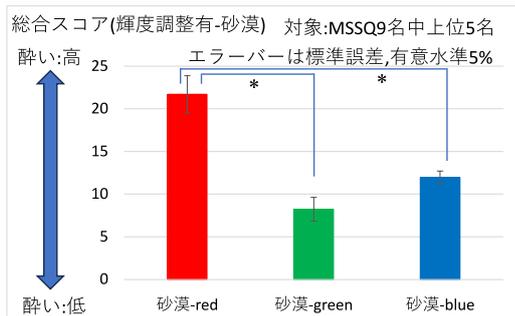


図9 実験2の結果(砂漠)

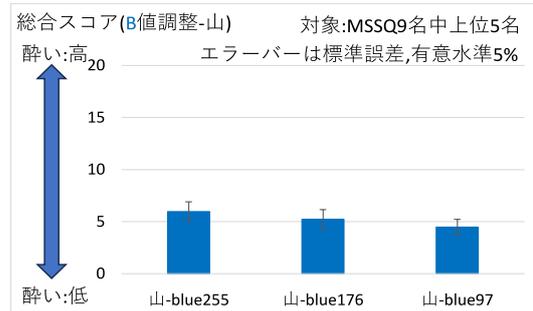


図12 実験3の結果(山-青(B))

5.3 実験3

まず、風景が山における結果を以下の図10, 図11, 図12に示す。なお、有意水準5%においてHolm法で多重比較を行ったところ、試行間に有意差がみられたものもあった。

続いて風景が草原における結果を以下の図13, 図14, 図15に示す。なお、有意水準5%においてHolm法で多重比較を行ったところ、すべての試行間に有意差が無かった。

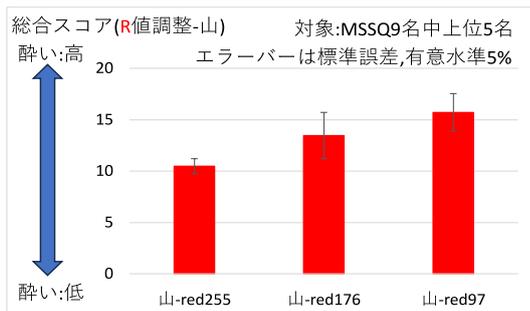


図10 実験3の結果(山-赤(R))

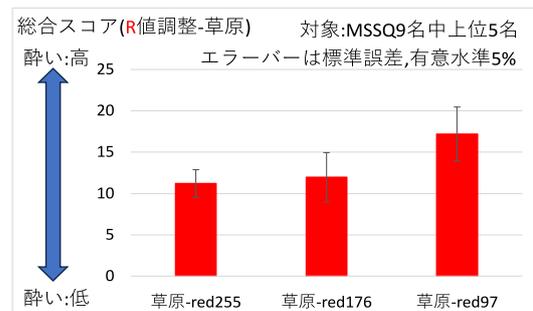


図13 実験3の結果(草原-赤(R))

新良・木島：VR酔いと色の関係性について

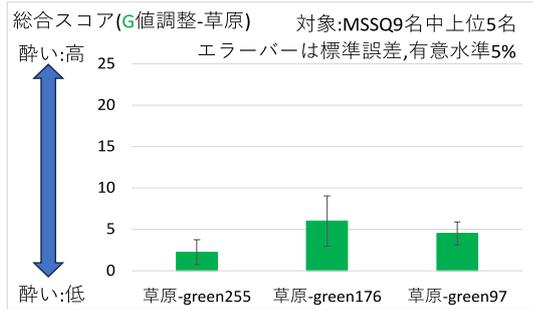


図 14 実験 3 の結果 (草原-緑 (G))

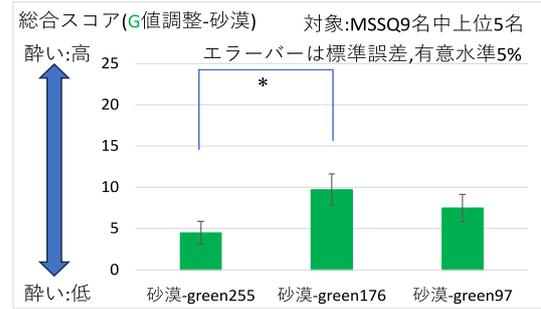


図 17 実験 3 の結果 (砂漠-緑 (G))

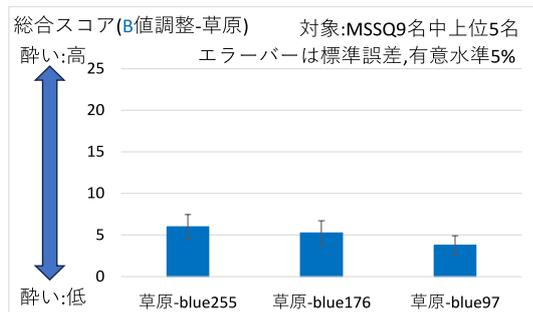


図 15 実験 3 の結果 (草原-青 (B))

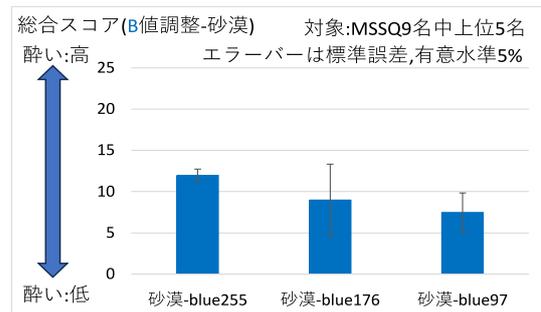


図 18 実験 3 の結果 (砂漠-青 (B))

最後に風景が砂漠における結果を以下の図 16, 図 17, 図 18 に示す。なお, 有意水準 5%において Holm 法で多重比較を行ったところ, 試行間に有意差がみられたものもあった。

結果, 赤 (R) は輝度を上げると VR酔いの程度が増加する傾向にあること, 緑 (G) は 176 が最も VR酔いの程度を増加させ, 続いて 97, そして 255 になるにつれその程度は減少すること, 青 (B) は輝度を上げると VR酔いの程度が減少する傾向にあることが分かった。

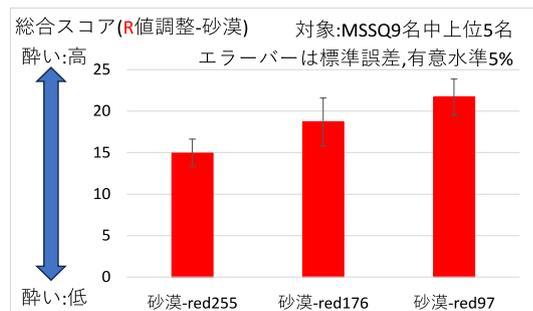


図 16 実験 3 の結果 (砂漠-赤 (R))

6 考察

赤 (R) 成分の多い砂漠が SSQ の総合スコアが最も高い傾向にあり, 続いて草原の青 (B), 山の緑 (G) へと VR酔いの増加量が減少していくことが示され, 且つ多重比較で有意差がみられたため, VR 使用時の提示画像により多くの赤 (R) 成分が含まれると, VR酔いを大きく増加させ, 緑 (G) はその増加量を RGB の三色において最も少なくできることが分かった。また, 感覚輝度を揃えた場合, 赤 (R) が VR酔いの増加量が最も大きく, 続いて青 (B), 緑 (G) へと VR酔いの増加量が減少していくことも示され, 且つこちらも多重比較で有意差があったため, よりその関係性を裏付けしているといえる。逆に R 値, G 値, B 値を変更した場合のそれぞれの結果は有意差が無く, あくまで傾向がみられたのみであり, 今後被験者数を増やした場合, 有意差が出ることもその SSQ の総合スコアが変化する可能性があると言えるが, これら三色を使用して VR酔いを考慮する際には同じように輝度を挙げればすべて VR酔いを軽減できるというわけではなく, それぞれ別の処理が必要であることが示唆されたといえる。ま

た、今回の実験の結果から酔い感度曲線として図 19 で示したような関係性が全ての風景においてあり、目的の感度曲線が得られたが、この結果も有意差がないため、より数値を細かく変え、実験し、この関係性が成立しているのかも検証する必要があると考えられる。また、この酔い感度曲線であるが、実験 1 と 2 の条件で得た酔いの増加量が最も大きいものが赤 (R) で、続いて青 (B)、そして緑 (G) とその増加量が減少していく結果に対し、全く同じ輝度で比較した場合、例えば値が 176 で比較した場合にはその結果と合致していない。そのため追加実験を行って細かく同輝度で比較すれば値がある範囲においては増加量の順が緑 (G)、続いて赤 (R)、そして青 (B) になるなど今回実験 1,2 で得られた結果とは別の新しい関係性が得られる可能性がある。

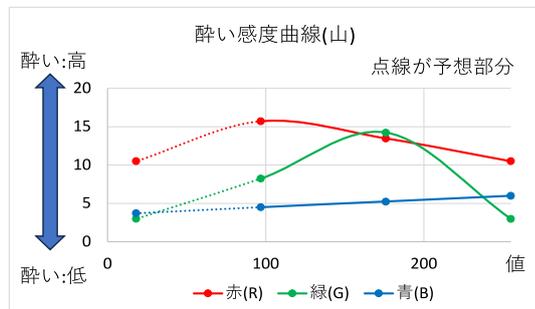


図 19 実験結果を用いた酔い感度曲線 (山)

7 心理的効果との関係

赤 (R) の SSQ の総合スコアが顕著に高く、緑 (G) と青 (B) の SSQ の総合スコアが大差ない結果を得たことは、心理的効果として緑 (G) は安らぎや癒し、青 (B) は落ち着きや爽快感といった沈静化を図る効果と同じように持っているのに対し、赤 (R) は興奮や高揚といった真逆の興奮化の効果があるからであると考えられる。つまり、赤 (R) の興奮化効果が VR 酔い増加量を大きくすることに関与し、沈静化の効果を持つ緑 (G) と青 (B) は VR 酔い増加量を減らすことに関与していると言える。なお、緑 (G) のほうが青 (B) よりも VR 酔い軽減の効果があるのは優しさなどの効果を持ち、より沈静化に対する心理的効果が高いためであると考えられる。このように色の持つ心理的効果が生理的な変化である VR 酔いに対して発揮されていると言える。

8 むすび

VR 普及の大きな問題である VR 酔いと色の関係性についてを本研究では調査した。RGB を主軸にし、各種実験を行った結果、VR 酔いの増加量が最も大きい色が赤 (R) であり、続いて青 (B)、そして最も増加量が小さい色が緑 (G) であることが分かった。また赤 (R)、緑

(G)、青 (B) それぞれの輝度を変えた場合、VR 酔いとの関係性がそれぞれ異なることも分かった。これらは多重比較の結果からより信頼性の高いデータであると言える。また、RGB それぞれ輝度を変えた場合の VR 酔いへの効果がまったく違うことが分かったが、これらには多重比較によって有意差がみられなかった。しかし、この結果には使用風景が 3 種しかないこと、被験者数が少ないことが起因している可能性がある。そのため、被験者数を増やして実験を行っていくことが必要である。また、もしも様々な色において調査できればより VR 酔い軽減に効果のある色を発見できる場合や、ある色ではこの輝度を使用するといった更に色の VR 酔いに対する効率的な使用方法を発見できる可能性がある。そして赤 (R)、青 (B)、緑 (G) の値と VR 酔いの程度の関係性が図 19 に示したようになる可能性があり、研究の余地が大いにあると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導、ご助言を賜りました岐阜大学工学部電気電子・情報工学科の木島竜吾准教授に対し心から感謝の意を表す。そして、被験者実験等で日頃お世話になっている木島研究室の方々に感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 日本色彩学会 (<http://color-science.jp>)
- [2] CIE standards (<http://www.cvrl.org/cie.htm>)
- [3] 佐川賢: 比視感度と測光システム; 日本光学会誌, pp262-269(1984)
- [4] 飯塚昌之, 中嶋芳雄: 光の三原色: RGB を基準にした実用的なカラー変換式; 照明学会誌, pp372-379(2000)
- [5] 白木晃史郎, 木島竜吾: バーチャル・リアリティ酔いに仮想世界の視覚的内容が及ぼす影響, 岐阜大学大学院自然科学技術研究科知能理工学領域修士論文 (2022)
- [6] Kennedy, S.R., Lane, 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)
- [7] Predicting Individual Differences in Motion Sickness Susceptibility by Questionnaire, Personality and Individual Differences, 41, 237-248, Golding JF. (2006)
- [8] 笹山琴由, 五味田啓, 加藤嘉明, 城和貴: 映像観視中のリアルタイムな映像酔い予測のための重心動揺指標の適用可能可否検討; 情報処理学会研究報告, MPS-125No.7(2019)
- [9] Meta 社 (<https://about.meta.com>)
- [10] Unity Technologies 社 (<https://unity.com>)
- [11] H. Ujike, T. Yokoi, S. Saida: Effects of virtual body-motion on visually-induced motion sickness, The 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. (2004)