

【共同研究】

バーチャルリアリティにおける 心臓血管系反応に対するリラクゼーション効果

石原 俊一* 根岸 正宗**

Effects of Relaxation on Cardiovascular Responses in Virtual Reality

Shunichi ISHIHARA, Masamune NEGISHI

[Purpose] The purpose of this study was to examine the effects of relaxation on cardiovascular responses in virtual reality (VR).

[Methods] Twenty-four university students were randomly divided into a VR group that watched VR images of nature ($n = 12$) and a control group that did not watch those images ($n = 12$).

During the experiment, heart rate (HR), systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), the low-frequency component (LF) and high-frequency component (HF), the LF/HF ratio of HR variability, and the baroreceptor reflex (BRS) were measured and Profile of Mood States(POMS)-brief form Japanese version was measured.

[Results and Discussion] Results revealed that HR, SBP, and DBP decreased and BRS increased while watching VR images. The POMS revealed a decrease in negative emotions (TA, AH, C, and F) and an increase in positive emotions (V). These results suggest that watching VR images of nature has a relaxing effect.

Keywords : virtual reality, relaxation, cardiovascular responses

バーチャルリアリティ、リラクゼーション、心臓血管系反応

序 論

ストレッサーに暴露された場合、その対処のために体内では交感神経系やコルチゾールなどのホルモン系の反応が亢進し、心拍数（HR）の増大や血圧の上昇などの生理学的な変化が生じる。この状態が慢性的に継続した場合、うつ病や不安障害などの精神疾患やがんや心疾患などの生活習慣病の発症リスクが高まる。

近年、ストレスを低減させる方法として、森林浴における心身に及ぼす影響について研究が行わ

れている。代表的な介入方法は実際場面での森林浴であり、生理学的側面では、収縮期血圧（SBP）、拡張期血圧（DBP）、HR、交感神経活動の減少および副交感神経活動の増加が認められている（李・朴・恒次・香川・宮崎, 2011）。また、日本の健康な男子大学生280名を対象に森林環境または都市環境での15分間の座観と15分間の歩行を実施した結果、森林環境下で過ごした実験参加者は、都市環境で過ごした場合と比べ、唾液コルチゾール濃度、HR、SBP、DBP、および交感神経系の指標であるLF/HFが有意に低下し、副交感神経系の指標であるHFは有意に上昇したことが報告され

* いしはら しゅんいち 文教大学人間科学部心理学科

** ねぎし まさむね 文教大学人間科学研究科

ている (Park, Tsunetsugu, Kasetani, Kagawa, & Miyazaki, 2010)。心理学的側面では、森林セラピーを行うことでネガティブ感情が減少し、ポジティブ感情が増加したと報告されている (池井・小泉・宋・上月・寺谷・佐久間・宮崎, 2015; 恒次・朴・李・香川・宮崎, 2011)。以上のように実際場面での森林浴を行うことで、生理学的、心理学的指標において、ストレスの減少効果が示唆されている。

森林環境によるストレス低減効果に関する背景的仮説として注意回復理論が提唱されている (Kaplan, 1995)。人間における回復効果がある特定の環境には、逃避 (Being away)、魅力 (Fascination)、広がり (Extent)、適合 (Compatibility) の4因子が含まれ、このような環境は、ストレスを低減する可能性が高いとされている。逃避とは、日常生活のストレスから離れること、魅力とは自然と興味をもちやすい刺激の程度、広がりとは空間的な広さ、適合とはその環境と内発的に動機づけられた活動の合致の程度のことを指す。この4因子を含んでいる自然環境に囲まれることでリラクゼーション効果が生じやすい。しかしながら、いつでも実際場面の森林環境に赴くことができるわけではない。悪天候や災害、入院時など外出が困難な状況の場合、直接自然に触れることができないため、自然のもつリラクゼーション効果を得ることができない。さらに、現在、世界的に流行している新型コロナウイルスの影響によって外出自粛が要望されているため、多くの人々に心理的なストレスが生じている可能性がある (橋本, 2020)。以上のように外出が困難な状況でも自然からの好影響を受けることができれば、心身のストレスが緩和できると考えられる。

以上のような状況における心身のストレス緩和可能な代替的方法の1つとして自然映像の視聴があげられる。自然映像を視聴することによって、気分の改善や副交感神経系の活性化が報告されている (辻裏・豊田, 2013)。また、1分間、自然音を聴く条件と都市音を聴く条件に実験参加者をランダムに割り当て、条件間と視聴前後の心理・生理反応を比較した実験では、生理学的側

面ではHR、右前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度、LF/HFの低下がみられ、心理学的側面では快適さ、自然感、リラクセス、活力が有意に高まり、ネガティブ感情は有意に低下したことが報告されている (Jo, Song, Ikei, Enomoto, Kobayashi, & Miyazaki, 2019)。以上のように直接、自然環境に赴かずとも自然からのリラクゼーション効果を得られることが示唆されている。

しかしながら、自然画像や自然音の場合、実際の森林浴ほどのリラクゼーション効果はみられない (Markwell & Gladwin, 2020)。この相違が生じる要因の1つとして臨場感の差があげられる。臨場感とは、物理的にはその場にいないがまるでその場にいるかのような感覚を指す (Witmer & Singer, 1998)。従来は呈示されていた自然画像や自然音では、臨場感が低いため、実際の森林浴ほどのリラクゼーション効果が得られないと予測される。換言すれば、自然画像や自然音の臨場感を高めることによって、従来は自然画像や自然音よりも高いリラクゼーション効果が生じる可能性があると考えられる。

近年、臨場感を高める方法としてバーチャルリアリティ (Virtual Reality: VR) が注目されている。VRとは、“みかけは現実ではないが、実質的には、現実であること”と定義されている (館・廣瀬, 2010)。先行研究ではVR映像と2次元 (two dimensions: 2D) 画像を視聴する場合の臨場感を比較した場合、VR映像は2D画像よりも有意に高かったことが報告されている (Mostajeran, Krzikawski, Steinicke, & Kühn, 2021)。

さらに、VR映像を呈示する機材の種類や性能によっても臨場感は異なる。VR映像を呈示する代表的な機材は、没入型ディスプレイ技術 (Immersive Projection Technology: IPT) とヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display: HMD) がある (小木, 1999)。IPTでは、映像視聴者が複数枚の大型スクリーンで囲まれ、プロジェクターでVR映像を呈示される。代表例としてCAVE (Cave Automatic Virtual Environment) やCABIN (Computer Augmented Booth for Image Navigation) などがあげられる。一方、HMDでは、映像視聴者の頭部にゴーグル様の視

界全体を覆う形状の機材を装着し、機材の画面上にVR映像を呈示する方法である。多くのHMDには加速度センサが内蔵されているため、頭部の動きに対応して画像や映像が瞬時に表示される。これらの機材でVR映像を呈示することにより高い臨場感を生じさせることができる。先行研究では、機材のトラッキングレベル、視野角、ステレオスコピックと臨場感の間に中程度の相関が認められている (Cummings & Bailenson, 2016)。ただし、HMDよりもCAVEシステムの方が、有意に臨場感を高めるとの報告がされている (Juan, & Pérez, 2009)。一方で、HMDの視野角が広がると臨場感が増加したとも報告されている (Lin, Duh, Parker, Abi-Rached & Furness, 2002)。以上のように両者の臨場感の優劣が、明確に決定されているわけではない。

しかしながら、VR環境下で活動していた場合、動揺病あるいは加速度病 (乗り物酔い) 様症状が発現すると指摘されている。このような症状をVR酔いと呼び、不快感、疲労感、目の疲労、頭痛、吐き気、めまいなどの症状がみられる。VR酔いが起きることで、心理学的側面では、吐き気が増加し、生理学的側面では、胃電図の異常波形が報告されている (篠原・岡田・宮崎・久島・今井, 2020)。また、VR酔いと脳波のデルタ波には正の相関が認められ、ベータ波、シータ波には負の相関が認められている (Min, Chung, Min, & Sakamoto, 2004)。

以上の問題点が指摘されているが、近年、海外で自然VR映像の呈示が、生理・心理学的反応に与える影響を検討した研究例が増加している (Mostajeran et al., 2021; Yu, Lee, & Luo, 2018; Annerstedt, Jönsson, Wallergård, Johansson, Karlson, Grahn, Hansen, & Währborg, 2013)。先行研究では、5分間の退屈誘発課題を行った直後に自然のVR映像を視聴する条件、自然のComputer Graphics (CG) -VR映像の中を手元のコントローラーで移動できる条件、2Dの自然画像を視聴する条件にランダムに割り当てた。各条件の映像視聴前後における退屈感、気分を測定し、比較を行った結果、全条件で退屈感が和らぎ、ネガティブ感情が低下し、CG-VR条件での

みポジティブ感情が高まったことが示されている (Yeo, White, Alcock, Garside, Dean, Smalley, & Gatersleben, 2020)。また、自然のVR映像を視聴したことでネガティブ感情が有意に減少し、ポジティブ感情が上昇したことが報告されている (Yu et al., 2018)。生理学的側面では、自然のVR映像を視聴することによって副交感神経の活動の亢進が報告されている (Annerstedt et al., 2013)。以上の結果から、自然環境をVR映像として呈示することで心身へのリラクゼーション効果を得られることが示唆される。

しかしながら、現時点で自然VR映像が、生理・心理学的に及ぼす影響を検討した国内の先行研究が少なく、また一貫した結果も得られていない。以上のことから本実験では、HMD装着時における自然VR映像の心身に対するリラクゼーション効果について検討することを目的とした。

方 法

実験参加者 男性大学生8名 (平均年齢21.0歳, $SD=0.8$)、女性大学生16名 (平均年齢21.4歳, $SD=0.9$)、計24名 (平均年齢21.3歳, $SD=0.9$) を対象とした。実験期間は2021年11月18日から12月10日であった。実験室内の温度は約25℃であった。実験参加者を自然環境のVR映像を呈示するVR条件12名 (平均年齢21.3歳, $SD=0.8$) とHMDを装着するのみで映像を呈示しない統制条件12名 (平均年齢21.0歳, $SD=0.9$) にランダムに割り当てた。

VR映像選定の予備調査 予備調査として実験者4名が、候補となるVR映像を視聴し、選定を行った。候補動画は、Portugal | VR Nature Experience | 360° Video | 6K/2D, Mallorca | VR Nature Experience | 360° Video | 8K/2D, Pebbly Beach | VR Nature Experience | 360° Video | 6K/2D, Ireland | VR Nature Experience | 360° Video | 6K/2Dであった。各候補動画を5分間視聴し、印象評価をし、映像を決定した。その結果、Portugal | VR Nature Experience | 360° Video | 6K/2Dが選定された。

生理学的指標 HRを測定するため、左右の鎖骨の両下および左の下部肋骨計3か所にディ

スポーザブル電極（積水化成工業株式会社製）を装着し、コーリン生体情報モニタ（P-608 Evolution II CS: オムロンヘルスケア社製）で増幅し、心電図を導出した。導出された心電図信号から、オフライン処理によりUSB-A/D 8CH BOX（GMS社製）を介して、パーソナルコンピュータ（Insprion77000シリーズ、Dell社製）と接続し、Tonam2C（GMS社製）を用いてHR、心拍変動の低周波成分（low-frequency component: LF）、心拍変動の高周波成分（high-frequency component: HF）および、LF/HF比を算出した。なお、導出されたHR、LF成分およびHF成分、LF/HFはパーソナルコンピュータ（Insprion77000シリーズ、Dell社製）と接続し、測定およびデータ記録を行った。

血圧については、トノメトリック法による圧脈波センサを左橈骨動脈上に装着し、コーリン生体情報モニタ（BP-608 Evolution II CS: オムロンヘルスケア社製）により非観血的に1拍ごとに測定した。得られた圧脈波からオフライン処理によりTonam2C（GMS社製）を用いて収縮期血圧（systolic blood pressure: SBP）および拡張期血圧（diastolic blood pressure: DBP）を算出した。なお、導出されたSBPおよびDBPはUSB-A/D 8CH BOX（GMS社製）を介して、パーソナルコンピュータ（Insprion7700シリーズ、Dell社製）と接続し、測定およびデータの記録を行った。

心臓迷走神経興奮のパラメータである圧受容体反射（baroreceptor reflex sensitivity: BRS）は、生体情報モニタでBP-608 Evolution II CS: オムロン社製）で導出された心電図波形と圧脈波形をオフライン処理によりTonam2C（GMS社製）を用いて算出した。なお、算出されたBRSはパーソナルコンピュータ（Insprion77000シリーズ、Dell社製）と接続し、測定およびデータの記録を行った。

心理学的指標 心理的状态を測定するため、POMS短縮版（profile of mood states brief-form: 以下POMSとする）の日本語版（横山，2005）を用い、5段階評定で回答を求めた。POMSとはストレスとしての心理反応を客観的に数量化でき、信頼性と妥当性に優れた気分のプロフィール検査

である。これは情動・精神状態の測定に必要な感情・気分といった主観的側面の評価を行うためにアメリカで開発された自己記入質問紙法の1つで、①不安-緊張（Tension-Anxiety: TA）、②抑うつ-落込み（Depression-Dejection: D）、③怒り-敵意（Anger-Hostility: AH）、④活力（Vigor: V）、⑤疲労（Fatigue: F）、⑥混乱（Confusion: C）の6下位尺度が存在する。

実験装置・実験材料 VR機器については、HMDとしてPimax 5K XR OLED VR Head Mount Display（PIMAX TECHNOLOGY社製）を使用した。本体のサイズは280.1×108.2×135.9mm、重量は470gであった。視野角が200°であった。また、片目1枚の有機ディスプレイあたり2560×1440画素であり、単眼あたり2.5Kであった。リフレッシュレートは82Hzであった。

VR用パーソナルコンピュータは、NEW ALIENWARE AURORA R9 スプレマシー・RTX搭載（Dell社製）を使用した。CPUはインテル®Core™ i9-9900k（8コア/16スレッド 16MB キャッシュ、全コア4.70GHzまで動作可能）、OSはWindows 10 Pro OS リカバリーメディア64ビット、メモリは32GB、ハードドライブは、512GB M.2 PCIe NVMe SSD（ブート）+2TB 7200RPM SATA 6Gb/s（ストレージ）、GPUはNVIDIA® GeForce RTX™ 2080Ti 11GB GDDR6（オーバークロック対応）であった。

手続き 実験参加者24名を自然環境のVR映像を呈示するVR条件および、自然環境のVR映像を呈示しない統制条件にランダムに割り当てた。実験参加者に対して、実験の流れや装着器具について教示し、実験参加者をシールドルーム内のリクライニングチェアに着席させ、圧脈波センサを左橈骨動脈上に装着し、左右の鎖骨の両下および左の下部肋骨計3か所に心電図用電極を装着した。測定の調整を行った後、各生理学的指標の安静状態（base line: BL）を5分間測定し、その後1回目のPOMS短縮版に口頭で回答を求めた。

その後、VR条件には自然映像と自然音を呈示し、統制条件にはHMDを装着するのみで映像、音声を呈示しない実験期間を設定した。実験期間は、それぞれ5分間であった。実験期間後、

HMDを外し、2回目のPOMS短縮版に口頭で回答を求めた。その後、回復期として3分間を設定した後、3回目のPOMS短縮版に口頭で回答を求めた。最後に各生理学的指標測定器具を外し、内省報告を求め、本実験に関するデブリーフィングを行った。

倫理的配慮 実験者による研究に関するインフォームド・コンセントを実施し、研究への参加に同意し、同意書に署名した対象に実験の参加および質問紙への回答を求めた。なお、回答および課題の記録は本研究以外の目的で使用するのではなく、また個人が特定できるような形で外部に公表されないこと、データは匿名で統計的に処理され、個人が特定できない形で研究終了まで保存されることを、同意書内に明示し、同意を得た。

結果

生理学的指標

HR、SBP、DBP、LF、HF、LF/HF、BRSについて、実験開始前の安静状態時に5分間測定し、最後の2分間の平均値をBL値とした。5分間の実験期間と3分間の回復期の計8分間の1分ごとの平均値（ブロック）からそれぞれBL値を減じて、変化値を算出した。この変化値をもとに条件を被験者間要因とし、ブロックを被験者内要因とした 2×8 の2要因の分散分析を行った。ブロックの主効果が有意である場合は、多重比較としてBonferroni法を用い、交互作用が有意である場合は、単純主効果の検定を行った。

HR

条件の主効果が有意傾向であった ($F(1,22) = 3.17, p < .10$)。すなわち、VR条件では統制条件に比較してHRの低下傾向が認められた。ブロックの主効果 ($F(7,154) = 1.33, ns$) および条件とブロックの交互作用 ($F(7,154) = 0.37, ns$) は有意でなかった。以上の結果をFigure 1に示した。

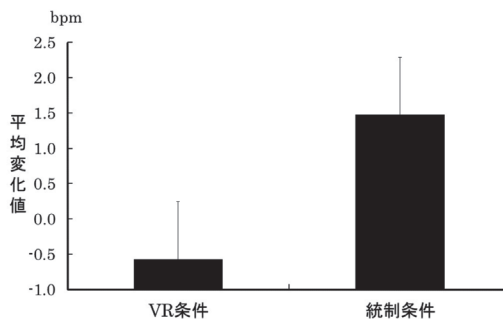


Figure 1. HRにおける各条件の変化

SBP

条件とブロックの交互作用が有意であった ($F(7,154) = 3.67, p < .01$)。単純主効果の検定を行った結果、VR条件におけるブロックの主効果がみられた。条件ごとにブロックの多重比較を行った結果、VR条件ではブロック1からブロック8にかけて漸減傾向がみられた。統制条件では変化が認められず、一定の水準を維持した。なお、条件の主効果 ($F(1,22) = 0.02, ns$) およびブロックの主効果 ($F(7,154) = 1.57, ns$) は認められなかった。以上の結果をFigure 2に示した。

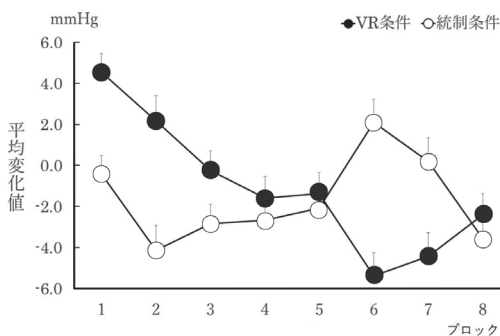


Figure 2. SBPにおける各条件の経時的変化

DBP

条件とブロックの交互作用が有意ではなかった ($F(7,154) = 1.75, ns$) が、今回の分析では多重比較として使用しているBonferroni法を分散分析の下位検定としてではなく、単独の多重比較として条件ごとのブロックの分析を行った。その結果、VR条件ではブロック1からブロック8にかけて漸減傾向がみられた。統制条件はブロック1からブロック8まで一定の水準を維持した。なお、条

件の主効果 ($F(1,22) = 0.10, ns$) およびブロックの主効果 ($F(7,154) = 0.63, ns$) は認められなかった。以上の結果をFigure 3に示した。

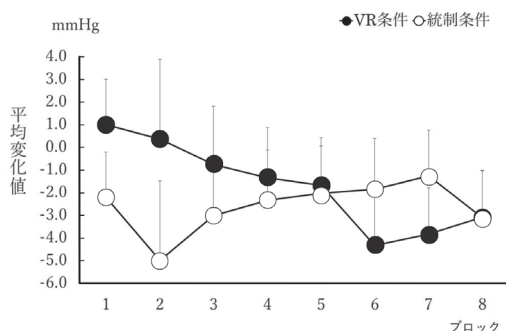


Figure 3. DBP における各条件の経時的変化

LF成分

条件の主効果 ($F(1,22) = 0.10, ns$)、ブロックの主効果 ($F(7,154) = 1.48, ns$) および条件とブロックの交互作用 ($F(7,154) = 0.92, ns$) は認められなかった。

HF成分

条件の主効果 ($F(1,22) = 0.21, ns$)、ブロックの主効果 ($F(7,154) = 0.97, ns$) および条件とブロックの交互作用 ($F(7,154) = 0.42, ns$) は認められなかった。

LF/HF成分

条件の主効果 ($F(1,22) = 0.06, ns$)、ブロックの主効果 ($F(7,154) = 1.18, ns$) および条件とブロックの交互作用 ($F(7,154) = 0.68, ns$) は認められなかった。

BRS

条件の主効果 ($F(1,22) = 13.42, p < .001$) が有意であった。すなわち、VR条件は統制条件よりもBRSで高い値を示した。ブロックの主効果 ($F(7,154) = 1.48, ns$)、条件とブロックの交互作用 ($F(7,154) = 0.92, ns$) は認められなかった。以上の結果をFigure 4に示した。

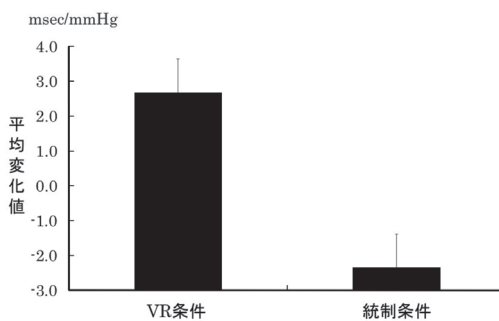


Figure 4. BRS における各条件の悪化

心理学的指標

POMS

実験参加者の感情の変化を分析するため、T-A (緊張-不安) 尺度、D (抑うつ-落胆) 尺度、A-H (怒り-敵意) 尺度、V (活力-積極性) 尺度、F (疲労) 尺度、C (混乱-物怖じ) 尺度について、映像条件を被験者間要因とし、安静状態での測定をブロック1、映像提示後の測定をブロック2、回復期測定後の測定をブロック3とした測定回数を被験者内要因とする 2×3 の2要因の分散分析を行った。

TA (緊張-不安) 尺度

条件とブロックの交互作用の有意傾向が認められた ($F(2,44) = 2.79, p < .10$)。単純主効果の検定の結果、VR条件および統制条件のブロックにおける単純主効果が認められた。多重比較の結果、VR条件ではブロック1からブロック2にかけて得点が有意に低下し、ブロック3では一定の値を示した。統制条件ではブロック1からブロック3にかけて漸減傾向がみられた。また、ブロックの主効果がみられた ($F(2,44) = 17.16, p < .001$)。すなわち、ブロック1からブロック3にかけて漸

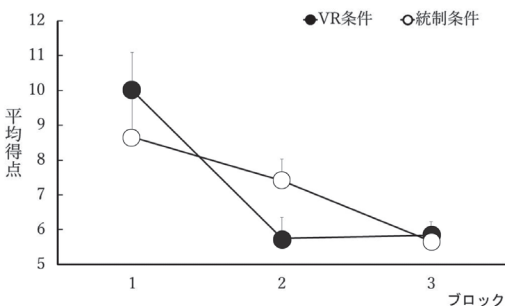


Figure 5. 各条件におけるT-A得点の変化

減傾向がみられた。なお、条件の主効果はみられなかった ($F(1,22) = 0.42, ns$)。以上の結果を Figure 5 に示した。

D (抑うつ-落胆) 尺度

ブロックの主効果がみられた ($F(2,44) = 3.03, p < .10$)。多重比較の結果、ブロック 1 からブロック 3 にかけて漸減傾向が認められた。また、条件の主効果 ($F(1,22) = 0.42, ns$) および条件とブロックの交互作用 ($F(2,44) = 0.84, ns$) は認められなかった。

AH (怒り-敵意) 尺度

条件とブロックの交互作用で有意傾向がみられた ($F(2,44) = 2.84, p < .10$)。単純主効果の検定の結果、VR条件では、ブロック 1 からブロック 2 にかけて有意な低下が認められた。一方、統制条件のブロック 1 からブロック 2 にかけて有意な上昇が認められた。なお、条件の主効果 ($F(1,22) = 0.00, ns$) およびブロックの主効果 ($F(2,44) = 0.05, ns$) は認められなかった。以上の結果を Figure 6 に示した。

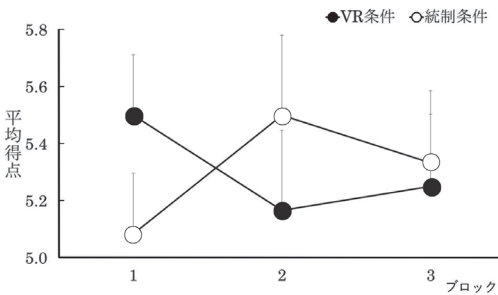


Figure 6. 各条件における A-H 得点の変化

V (活力) 尺度

条件の主効果が認められ ($F(1,22) = 8.21, p < .001$)、統制条件よりも VR条件の方が有意に高い値を示した。また、条件とブロックの交互作用が有意であった ($F(2,44) = 8.12, p < .001$)。単純主効果の検定の結果、VR条件におけるブロックの単純主効果がみられた。多重比較の結果、VR条件においてブロック 1 からブロック 2 にかけての有意な上昇とブロック 2 からブロック 3 にかけての有意な減少が認められた。ブロックの主効果

が有意であった ($F(2,44) = 5.04, p < .001$)。すなわち、ブロック 1 からブロック 2 にかけて有意に上昇し、ブロック 2 からブロック 3 にかけて低下した。また、以上の結果を Figure 7 および 8 に示した。

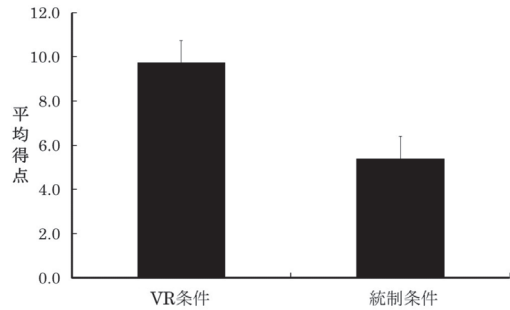


Figure 7. V における各条件の変化

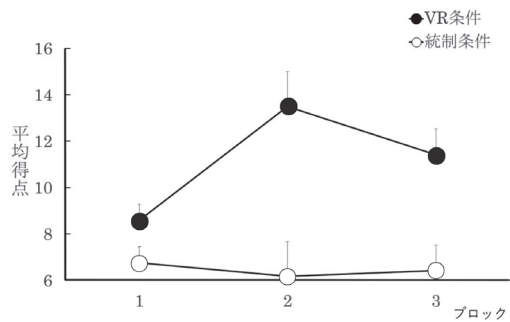


Figure 8. 各条件における V 尺度の変化

F (疲労) 尺度

条件とブロックの交互作用が認められた ($F(2,44) = 6.66, p < .01$)。単純主効果の結果、VR条件におけるブロックの単純主効果がみられた。多重比較の結果、VR条件におけるブロック 1 からブロック 2 にかけて有意に低下し、ブロック 2 からブロック 3 にかけて有意な上昇が認められた。また、ブロックの主効果がみられた ($F(2,44) = 4.57, p < .05$)。すなわち、ブロック 1 からブロック 2 にかけて低下し、ブロック 2 からブロック 3 にかけて有意に上昇した。なお条件の主効果 ($F(1,22) = 0.52, ns$) は認められなかった。以上の結果を Figure 9 に示した。

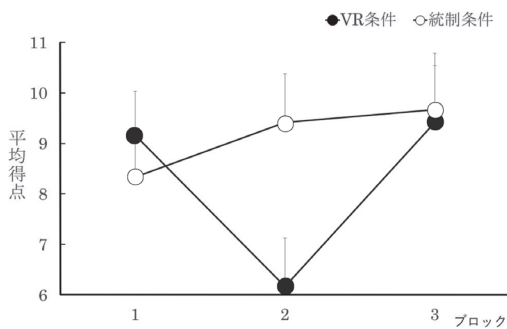


Figure 9. 各条件における F 尺度の変化

C (混乱-物怖じ) 尺度

条件とブロックの交互作用が認められた ($F(2,44) = 3.22, p < .05$)。単純主効果の検定の結果、VR条件におけるブロックの単純主効果が認められた。多重比較の結果、VR条件においてブロック1からブロック2にかけて有意に低下し、ブロック3にかけて水準を維持していた。また、ブロックの主効果 ($F(2,44) = 2.93, p < .10$) が有意傾向であった。多重比較の結果、ブロック1からブロック2にかけて有意に低下し、そのままの値でブロック3に推移した。なお、条件の主効果 ($F(1,22) = 1.06, ns$) は認められなかった。以上の結果をFigure 10に示した。

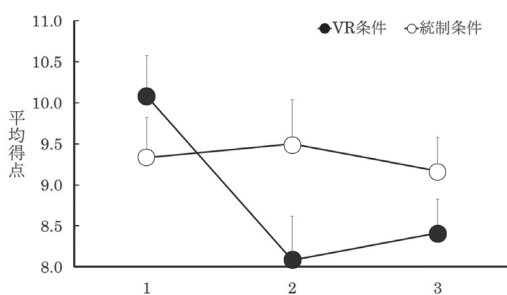


Figure 10. 各条件における C 尺度の変化

考 察

生理指標

HR、SBP、DBP

HRでは、条件の主効果が有意傾向であった。統制条件と比較してVR条件でHRは有意に低く、

自然のVR映像を視聴することで心拍数の低下が生じ、回復期終了前までそのままの水準を維持した。統制条件では、映像視聴開始直後から回復期終了直前までHRの変化がみられなかった。心臓は自律神経系と中枢神経系の影響を受け、交感神経系と副交感神経系の両方が分布している。交感神経系の賦活化が起きると心拍数が増大し、対して副交感神経系の賦活化が起きると心拍数が減少する。以上のことより、VR条件において自然VR映像開始直後から副交感神経系が活性化し、心拍数のHRの低下が維持されたため、副交感神経系の活性化が維持された可能性がある。

SBPでは、条件とブロックの交互作用が認められた。VR条件では映像視聴開始直後から回復期終了直前まで漸減傾向にあった。統制条件では映像視聴直後から回復期終了直前まで一定の値で推移した。DBPでは、条件とブロックの交互作用が認められなかった。しかし、単独での多重比較の結果、VR条件では映像視聴開始から回復期終了直前にかけて漸減傾向がみられた。一方、SBPおよびDBPで統制条件は映像視聴開始直後から回復期終了直前まで一定の値で推移した。血圧は自律神経系活動の影響を受け、値が変動する。交感神経系の活性化により、心収縮、HR、心拍出量、末梢血管抵抗性などの指標での増加が生じ、副交感神経系の活性化により同様の指標の値の低下がみられる。VR条件では実験開始直後は血管が収縮していたが、映像視聴時間の経過につれ、次第に血管が拡張したと考えられる。

ところで、ストレス刺激への対処型による血行力学的反応の違いが指摘されており (Williams, 1986)、能動的対処であるパターン I では、副交感神経活動が抑制され、 β アドレナリン作動性の交感神経活動が亢進するため、顕著なHR、心拍出量の増加、SBPの上昇をもたらすとしている (Berntson, Cacioppo, & Fieldstone, 1996; Grossman, Brinkman, & de Vries, 1992)。一方、受動的対処であるパターン II では、比較的HRおよびSBPの上昇は認められず、末梢血管抵抗の増加が認められる (Allen, Shelley, & Boquet, 1992; Berntson et al., 1996; Quigley & Berntson, 1990; 澤田, 1990)。さらに、受動的対処では、心臓迷

走神経活動が活性化し、HRおよびSBPは増加せず、DBPの増加につながると報告されている（澤田, 1990）。また、能動的対処に比べ、受動的対処がより顕著にDBPを増加させると指摘されている（Obrist, 1981）。よって、受動的対処ではDBPの上昇が認められる。

以上のことから、VR映像の視聴により、能動的対処事態および受動的対処事態におけるそれぞれのストレス反応に対して、抑制的効果が示唆され、より効果的な生理学的リラクゼーション反応が得られた可能性が考えられる。

LF、HF、LF/HF

LF、HF、LF/HFでは、条件の主効果やブロックの主効果、条件とブロックの交互作用は認められなかった。LF、LF/HFは交感神経系の指標である。VR条件および統制条件で映像開始直後から回復期終了直後で値は一定の水準を保っていた。すなわち、自然のVR映像を視聴することが交感神経系の活性化を促さなかったと考えられる。これらの結果は、HR、SBP、DBPにおける交感神経系抑制の結果とは矛盾する。これについては、周波数解析による自律神経活動評価が必ずしも一致しないことが現在まで指摘されている（Allen, Chambers, & Towers, 2007; Guzik, Piskorski, Krauze, Schneider, Wesseling, Wykretowicz, & Wysocki, 2007; 石橋, 2005; 三島, 2021）。とくに周波数解析のHF指標は、呼吸数の増加および1回換気量の低下によって減少し、HF成分の振幅は呼吸周期に比例して増加することが報告されている。すなわち、HF成分の振幅は心臓迷走神経活動レベルとは独立に呼吸周期の影響を受けることが示唆されている（Hayano, Mukai, Sakakibara, Okada, Takata, & Fujinami, 1994）。さらに、その他の副交感神経活動指標と比べると、一部異なる変動を示す傾向が見られ、周波数解析は、分析する信号の定常性が必要であり、アーチファクトの影響が増大する（Guzik et al., 2007）。周波数解析を行う場合は、呼吸数を9回/分以上（0.15Hz以上）に統制することが必要である（早野, 2001; Grossman, Karemaker, & Wieling, 1991）。しかしながら、本実験では呼吸の統制を行わなかった。以上のことがHFをはじ

めとしてその他の心拍変動解析の値に影響した可能性が考えられる。今後、これらの問題を解決する必要がある。

また、BRSでは、条件の主効果が認められ、VR条件で統制条件に比べて有意に高まった。BRSは副交感神経系の指標であり（Mulder & Mulder, 1981）、BRSの上昇は副交感神経系の活性化をあらわしている。BRSの主なメカニズムとして、副交感神経系の圧受容体は血圧の変化を監視し、血圧の上昇、あるいは低下に対して瞬時に感知し、血圧変化を緩衝するものである。たとえば、血圧が低下すると、動脈圧受容体への刺激低下とともに、インパルス頻度が減少する。ここで血管運動中枢に対する抑制が減少し、さらに副交感神経系心臓抑制中枢に対する興奮作用も減少する。この結果、交感神経活動の亢進、副交感神経活動の低下を促し、心収縮、心拍数、心拍出量、末梢血管抵抗の増加により血圧は上昇し、元の設定レベルに戻る。その性質をふまえ、心臓交感神経活動とともに、基本的に重要なのは副交感神経活動であること、さらに心臓血管系に着目すれば、ストレス活動の抑制に関して検討する必要があるとされている（Porges, 1995; Porges, Doussard-Rooswilt, & Maiti, 1994; 澤田・田中, 1996）。そこで、自発的変動による血圧と心拍間隔の関係からBRSを推定する新しい評価法である、シークエンス検索法（Bertinieri, di Rienzo, Cavallazzi, Ferrari, Pedotti, & Mancia, 1988）を用いて、容積補償法（Yamakoshi, Shimazu, & Tozawa, 1980）による連続血圧測定技法をシークエンス検索法に応用している（Steptoe & Sawada, 1989）。本法を用いた研究では、暗算作業でBRSは抑制されるが、リラクゼーション訓練では増加することが報告されている。すなわち、BRSの低下は、交感神経系の優位である緊張状態をあらわしており、BRSの上昇は副交感神経の優位であるリラクゼーション状態をあらわしている（Hirsch, 1987）。これらの報告は、BRSが心理的なストレスを敏感に反映することを示している。

先行研究では、自然のVR映像を視聴することで副交感神経系の指標であるHFが上昇したと報告されている（Annerstedt et al., 2013）。本実験

では、自然のVR映像を視聴する場合においてもHFの上昇は認められなかったが、呼吸成分の影響がないBRSではVR映像視聴中から回復期終了直前まで高い水準を維持した。すなわち、本実験ではVR条件において副交感神経系の活性化がみられた可能性が高い。

心理指標

TA尺度では条件とブロックで交互作用が認められ、VR条件では自然映像を視聴したことにより、緊張および不安が有意に低下した。以上のことから、自然のVR映像を視聴することで緊張感や不安感が和らぎ、リラックス効果が得られたと考えられる。

AH尺度では条件とブロックの交互作用で有意傾向が見られ、VR条件の映像開始直前から映像終了後にかけて有意な低下が認められた。以上のことから、VR条件では、映像を視聴したことによってリラクゼーション効果が得られたため怒りおよび敵意の水準有意に低下したと思われる。一方、統制条件では、HMDを装着し映像が視聴できると期待したが、長時間器具を装着した状態で、映像を視聴することができなかつたことに怒りや敵意が上昇したと考えられる。

V尺度では、条件の有意な主効果が認められ、VR条件において有意に高い値を示した。また、条件とブロックの交互作用が有意であり、統制条件では変化が認められないものの、VR条件において映像開始直前から映像終了後にかけての有意な上昇と映像終了後から回復期終了後にかけての有意な減少が認められた。以上の結果から、自然のVR映像を視聴することによって活力および積極性の水準が有意に上昇した。映像終了後から回復期終了後にかけては減少しているものの、高い水準で維持されていることが認められた。これは、映像を視聴したことによって、緊張・不安などのネガティブ感情が低下したことでリラクゼーション効果が生じ、活力や積極性が上昇したと考えられる。また、V尺度の得点が低下はしているものの、高い水準で維持されているため、自然のVR映像によるリラクゼーション効果やそれに伴う活力・積極性は、映像視聴後から数分の間は継続される可能性がある。

F尺度では、統制条件において変化が認められないものの、VR条件において映像開始直前から映像終了後にかけて有意に低下した。すなわち、自然のVR映像の視聴で得られたリラクゼーション効果により疲労度が減少したと考えられる。また、映像終了後から回復期終了後にかけて有意に上昇している結果より、VR自然映像の視聴による疲労減少の効果は一時的である可能性も考えられる。

C尺度では、統制条件において変化が認められないものの、VR条件において映像開始直前から映像終了後にかけて有意に低下し、映像終了後から回復期終了後にかけて低い水準を維持していることにより自然のVR映像の視聴で得られたリラクゼーション効果により混乱および物怖じが減少したと考えられる。

先行研究でも自然のVR映像の視聴によってネガティブ感情の減少が報告されている (Yu et al., 2018)。また、森林浴をした際にも活力が上昇し、ネガティブ感情の減少がみられる (池井他, 2015)。同様に本実験でもネガティブ感情が減少し、活力が有意に上昇した。よって心理的なりラクゼーションについても効果が認められた。

以上のことから、本実験では自然のVR映像を視聴することによって生理学的、心理的なりラクゼーション効果が認められた。すなわち、自然のVR映像を視聴することで副交感神経系の賦活化が生じ、生理学的側面では心拍数、血圧の低下がみられ、心理的側面ではネガティブ感情の減少およびポジティブ感情の増加が認められたと考えられる。

本実験の限界点と今後の展望

映像においては、画質の問題や中途の映像停止などのトラブルが発生したため、映像に完全に集中することができなかつた可能性がある。より良質な画質や、解像度、視点位置などの改善により、さらなるリラクゼーション効果が期待できる。

また、本実験では、終始HMDを装着した状態での実験であったため、ヘッドセットの重さによる不快感や、実験者の技術不足により器具の装着にばらつきが生じたため、結果にも影響を及ぼした可能性がある。

今後の展望としては、海外においてVR暴露療法による、うつ病、不安障害、恐怖症、心的外傷後ストレス障害 (PTSD)、認知症などに対する治療の効果が報告されている (Park, Kim, Lee, Na, & Jeon, 2019)。今後、VRの適用において、心理的な介入システムとしての発展が期待される。

引用文献

- Allen, J. J. B., Chambers, A. S., & Towers, D. N. (2007). The many metrics of cardiac chronotropy: A pragmatic primer and a brief comparison of metrics. *Biological Psychology*, **74**, 243-262.
- Allen, M. T., Shelley, K. S., & Boquet, Jr., A. J. (1992). A comparison of cardio-vascular and autonomic adjustments to three types of cold stimulation tasks. *International Journal Psychophysiology*, **13**, 59-69.
- Annerstedt, M., Jönsson, P., Wallergård, M., Johansson, G., Karlson, B., Grahn, P., Hansen, Å M., & Währborg, P. (2013). Inducing physiological stress recovery with sounds of nature in a virtual reality forest—Results from a pilot study. *Physiology & behavior*, **118**, 240-250.
- Berntson, G. G., Cacioppo, J. T., & Fieldstone, A. (1996). Illusions, arithmetic, and the bidirectional modulation of vagal control of the heart. *Biological Psychology*, **44**, 1-17.
- Bertinieri, G., di Rienzo, M., Cavallazzi, A., Ferrari, A.U., Pedotti, A., & Mancina, G. (1988). Evaluation of baroreceptorreflex by blood pressure monitoring in unanesthetized cats. *American Journal of physiology*, **254**, 377-383.
- Cummings, J. J. & Bailenson, J. N. (2016). How immersive is enough? A meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence. *Media psychology*, **19**, 272-309.
- Grossman, P., Brinkman, A., & de Vries, J. (1992). Cardiac autonomic mechanism associated with borderline hypertension under varying behavior demands: Evidence for attenuated parasympathetic tone but not for enhanced beta- adrenergic activity. *Psychophysiology*, **29**, 698-711.
- Grossman, P., Karemaker, J., & Wieling, W. (1991). Prediction of tonic parasympathetic cardiac control using respiratory sinus arrhythmia: the need for respiratory control. *Psychophysiology*, **28**, 201-216.
- Guzik, P., Piskorski, J., Krauze, T., Schneider, R., Wesseling, K. H., Wykretowicz, A., & Wysocki, H. (2007). Correlations between the poincaré plot and conventional heart rate variability parameters assessed during paced reathing. *The Journal of Physiological Sciences*, **57**, 63-71.
- 橋本 剛 (2020) . コロナ禍初期における大学生の心理社会的ストレスに関する探索的検討: 社会規範としての援助要請スタイルの効果も含めて 人文論集: 静岡大学人文社会科学部社会科学・言語文化学科研究報告 (Studies in humanities: Annual reports of departments of social & human studies and language & literature), **71**, 15-34.
- 早野順一郎 (2001) . 心拍変動による自律神経機能解析 井上 博 (編) 循環器疾患と自律神経機能 医学書院 pp.71-102.
- Hayano, J, Mukai, S, Sakakibara, M, Okada, A, Takata, K, & Fujinami, T. (1994). Effects of respiratory interval on vagal modulation of heart rate. *American journal of physiology*, **267**, H33-40.
- Hirsch, A. T. (1987). Baroreceptor function in congestive heart failure: effect on neurohumoral activation and regional vascular resistance. *Circulation*, **75**(suppl IV), IV-36.
- 池井晴美・小泉春佳・宋チヨロン・上月光則・寺谷誠一郎・佐久間高広・宮崎良文 (2015) . 社会人を対象とした森林セラピープログラムの主観的效果. 日本衛生学雑誌, **70**, 161-166.
- 石橋圭太 (2005) . 自律神経活動評価における心拍変動解析とローレンツプロット法の比較. 日本生理人類学会誌, **10**, 40.
- Jo, H., Song, C., Ikei, H., Enomoto, S., Kobayashi, H., & Miyazaki, Y. (2019). Physiological and psychological effects of forest and urban sounds using high-resolution sound sources. *International Journal of Environmental Research and Public*

- Health*, **16**, 2649.
- Juan, M. C., & Pérez, D. (2009). Comparison of the levels of presence and anxiety in an acrophobic environment viewed via HMD or CAVE. Presence: *Teleoperators and Virtual Environments*, **18**, 232-248.
- Kaplan, S. (1995). The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. *Journal of Environmental Psychology*, **15**, 169-182.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, **3**, 203-220.
- Lin, J., Duh, H. B., Parker, D. E., Abi-Rached, H., & Furness, T. A. (2002). Effects of field of view on presence, enjoyment, memory, and simulator sickness in a virtual environment. *Paper presented at the Proceedings Ieee Virtual Reality 2002*, 164-171.
- Markwell, N. & Gladwin, T. E. (2020). Shinrin-yoku (forest bathing) reduces stress and increases people's positive affect and well-being in comparison with its digital counterpart. *Ecopsychology*, **12**, 247-256.
- Min, B., Chung, S., Min, Y., & Sakamoto, K. (2004). Psychophysiological evaluation of simulator sickness evoked by a graphic simulator. *Applied ergonomics*, **35**, 549-556.
- 三島利江子 (2021) . 心拍変動解析から解釈する自律神経評価の難しさ—複数の副交感神経活動指標に着目して— 甲南大学紀要, **171**, 269-276.
- Mostajeran, F., Krzikawski, J., Steinicke, F., & Kühn, S. (2021). Effects of exposure to immersive videos and photo slideshows of forest and urban environments. *Scientific Reports*, **11**, 1-14.
- Mulder, G., & Mulder, L. J. M. (1981). Information processing and cardiovascular control. *Psychophysiology*, **18**, 392-402.
- Obrist, P. A. (1981). *Cardiovascular psychophysiology*. New York: Plenum Press.
- 小木哲朗. (1999). 没入型ディスプレイの特性と応用の展開. ヒューマンインタフェース学会論文誌, **1**, 43-49.
- Park, B. J., Tsunetsugu, Y., Kasetani, T., Kagawa, T., & Miyazaki, Y. (2010). The physiological effects of shinrin-yoku (taking in the forest atmosphere or forest bathing): Evidence from field experiments in 24 forests across japan. *Environmental Health and Preventive Medicine*, **15**, 18-26.
- Park, M. J., Kim, D. J., Lee, U., Na, E.J., & Jeon, H. J. (2019). A Literature Overview of Virtual Reality (VR) in Treatment of Psychiatric Disorders: Recent Advances and Limitations. *Front Psychiatry*, **10**, 1-9.
- Porges, S. W. (1995). Cardiac vagal tone: a physiological index of stress. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, **19**, 225-233.
- Porges, S. W., Doussard-Roosevelt, J. A., & Maiti, A. K. (1994). Vagal tone and the physiological regulation of emotion. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, **59**, 167-186.
- Quigley, K. S., & Berntson, G. G. (1990). Autonomic origins of cardiac responses to nonsignal stimuli in the rat. *Behavioral Neuroscience*, **104**, 751-762.
- 李宙営・朴範鎮・恒次祐子・香川隆英・宮崎良文 (2011) . 心理セラピーの生理的リラクセス効果—4箇所でのフィールド実験の結果—日本衛星学雑誌, **66**, 663-669.
- 篠原大侑・岡田岬・宮崎彰吾・久島達也・今井賢治 (2020) . Virtual reality (VR) 技術を用いたoptokinetic motion sicknessの誘発—胃電図および心拍変動解析を用いた検討—. 自律神経, **57**, 217-224.
- 澤田幸展 (1990) . 血管反応性: 仮説群の構築とその評価 心理学評論, **33**, 209-238.
- 澤田幸展・田中豪一 (1996) . ストレス課題遂行時の自律神経調節機能 札幌医科大学心理学教室 (編) 杉山善朗教授退職記念論文集 杉山善朗退職記念論文集編集委員会 pp.153-159.
- Steptoe, A., & Sawada, Y. (1989) Assessment of baroreceptor reflex function during mental stress and relaxation. *Psychophysiology*, **25**, 689-695.
- 館 暲・廣瀬道孝 (2010) . バーチャルリアリティとは. 館 暲・佐藤 誠・廣瀬通孝 (監修) パー

- チャルリアリティ学 日本バーチャルリアリティ学会 pp. 5-7.
- 辻裏佳子・豊田久美子 (2013). 森林映像の心身反応に関する基礎的検証—森林映像療法の可能性—. 日本看護技術学会誌, 12, 23-32.
- 恒次祐子・朴範鎮・李宙宮・香川隆英・宮崎良文 (2011). 森林セラピーの心理的リラクゼーション効果—全国 19 森林 228 名被験者の結果より—. 日本衛生学雑誌, 66, 670-676.
- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, 7, 225-240.
- Yeo, N. L., White, M. P., Alcock, I., Garside, R., Dean, S. G., Smalley, A. J., B., & Gatersleben. (2020). What is the best way of delivering virtual nature for improving mood? an experimental comparison of high definition TV, 360 video, and computer generated virtual reality. *Journal of Environmental Psychology*, 72, doi: 10.1016/j.jenvp.2020.101500.
- Williams, Jr., R. B. (1986). Patterns of reactivity and stress. In K. A. Matthews, S. M., Weiss, T. Detre, T. M., Dembroski, B. Falkner, S. B., Manuck & R. B. Williams, Jr. (Eds.) *Handbook of stress, reactivity, and cardiovascular disease*. New York: John Wiley & Sons. pp. 109-125.
- Yamakoshi, K., Shimazu, H., & Tozawa, T. (1980). Indirect measurement of instantaneous arterial blood pressure in the human finger by the vascular unloading technique. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 27, 150-155.
- 横山和仁 (2005). POMS短縮版手引きと事例解説. 金子書房.
- Yu, C., Lee, H., & Luo, X. (2018). The effect of virtual reality forest and urban environments on physiological and psychological responses. *Urban forestry & urban greening*, 35, 106-114.

【謝辞】

本研究は、2020年度「文教大学競争的教育研究資金（学長調整金による教育改善・研究成果の発表・事業支援）」の助成を受けたものです。

本研究は、2021年度卒業生、伊藤桜さん、稲見侑花さん、山本明さんの卒業論文の一部をまとめたものです。皆さんにご協力を頂き、ここに記して心より御礼申し上げます。

【抄録】

【目的】本研究では、バーチャルリアリティ（VR）における心臓心身系反応に対するリラクゼーション効果を検討することが目的である。

【方法】24名の大学生を自然のVR映像を視聴するVR群（ $n=12$ ）と映像を視聴しない対照群（ $n=12$ ）にランダムに割り当てた。生理指標として、心拍数（HR）、収縮期血圧（SBP）、拡張期血圧（DBP）、低周波成分（LF）、高周波成分（HF）、LF/HF比、圧受容体反射（BRS）、心理指標として、日本語版 Profile of Mood States（POMS）短縮版を測定した。

【結果と考察】その結果、VR映像を視聴している条件では、HR、SBP、DBP低下およびBRSの上昇が認められた。POMSでは、ネガティブ感情（TA、AH、C、F）の低下とポジティブ感情（V）の上昇が認められた。以上のことから、VR映像を視聴することでリラクゼーション効果が生じたことが示唆される。
