



VR 崇高体験における音響呈示の影響

The Effect of Auditory Presentation on the Sublime Experience in Virtual Reality

伴地 芳啓¹⁾, 青木 康佑¹⁾, 鈴木 瞭介¹⁾, 渕 智哉¹⁾, 氏原 なつき¹⁾, 河合 隆史¹⁾, 石津 智大²⁾
Yoshihiro BANCHI, Kosuke AOKI, Ryosuke SUZUKI, Tomoya FUCHI, Natsuki UJIHARA, Takashi KAWAI, and
Tomohiro ISHIZU

1) 早稲田大学 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1, y.banchi@aoni.waseda.jp)

2) 関西大学 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

概要: 本研究は VR における崇高体験での音響の役割を解明する目的で、音の有無と種類（通常音、リバーブ音）が主観・客観評価に与える影響を検証した。HMD で 3D 火山映像を、ノイズキャンセリングイヤホンで音を呈示し、評価をした。結果、音響の存在は崇高感を増幅させ、特に視覚と整合した通常音が最も効果的だった。一方、リバーブ音は違和感から体験の質を低下させる可能性が示唆された。効果的な VR 体験のデザインには、リアリティを高める視覚と聴覚の整合性が重要であると考えられる。

キーワード: 崇高体験, Awe, 音響

1. はじめに

崇高さとは、美学における伝統的な概念の一つであり、巨大な対象や圧倒的な力、あるいは曖昧で理解を超えたものを前にした際に人間が抱く、畏怖や感動を伴う複雑な感情を指す[1]。この感情は、美しさといった快い側面だけでなく、恐怖や脅威といった不快な側面も併せ持つと古くから議論されてきた。近年、この崇高体験が個人の向社会的感情や利他的行動を促進する可能性が示されたことから、心理学や社会学の分野でも「畏敬の念 (awe)」として改めて注目を集めている[2]。

この崇高体験を誘発するメディアとして、仮想現実 (VR) 技術、特にヘッドマウントディスプレイ (HMD) が大きな可能性を秘めている[3]。HMD は視覚と聴覚を外界から遮断し、ユーザーを完全に人工的な環境へと没入させる。この特性は、現実世界では危険を伴うような圧倒的な自然現象（巨大な嵐や火山の噴火など）や、物理的に到達不可能な光景（宇宙空間など）を、安全な環境下でリアルに体験させることを可能にする。これは、崇高さの性質である「脅威を感じながらも、安全な距離から対象を観察すること」と極めて親和性が高い[4]。

しかし、これまでの崇高感に関する研究の多くは、絵画や写真、ビデオ映像といった二次元の視覚刺激を用いるものが中心であった[5]。VR を用いた研究も行われ、その有効性は示唆されているものの、その多くは視覚的側面に焦点が当てられてきた[6]。体験全体の没入感やリア

リティに不可欠な要素であるはずの「聴覚」が、崇高体験にどのように寄与するのかについては、十分に解明されていないのが現状である。既存の音響に関する研究も、音楽が情動に与える影響を調査するものが主であり[7]、VR のような動的でインタラクティブな視覚情報と統合された環境における環境音の役割については、未解明な点が多い。

そこで本研究では、VR における崇高体験の構成要素として音響に着目する。特に、崇高感の重要な要素である「広大さ」を表現する音響的手法として、空間的な響きを付加するリバーブ加工が有効であるという仮説を立てた。そして、HMD を用いた VR 映像の視聴において、音響の有無（音無し）、および加工の有無（通常音、リバーブ音）が、崇高体験に与える影響を、主観評価および生理指標を用いて検証することを目的とした。

2. 実験方法

2.1 実験環境

映像呈示には、高解像度 (4320x2160 ピクセル) かつ広視野角 (105°) である Pico4 Enterprise (HMD) を用いた。音響呈示には、ノイズキャンセリング機能を有効にした AirPods Pro (Bluetooth イヤホン) を使用した。生理指標の計測には、皮膚電気活動を測定する biosignalsplux と、HMD に内蔵されたアイトラッキングセンサーを用いた。参加者は、立った状態で自由に周囲を見渡ししながら VR コ

ンテンツを体験した。

2.2 実験刺激

映像刺激として、Unity (ver.2021.2.8f1) で作成した 3D360°の火山火口の映像 (120 秒) を用いた。有料アセット「L.V.E」を使用し[8]、高さ約 60m の火山が連なる山々に囲まれたシーンを構築した。参加者の観察位置は、マグマが噴き出る火口から約 15m 離れた地点に設定した。

音源には、YouTube のロイヤリティーフリー音源から火山の環境音をサンプリング (3:00~4:00) して使用した[9]。リバーブ音条件で用いた音源は、Python の Schroeder Reverb を用いて、コンサートホールのような大きな空間の反響を再現する加工を施した。

2.3 実験条件

3 つの音響条件を設定し、参加者には実験条件について知らせなかった。

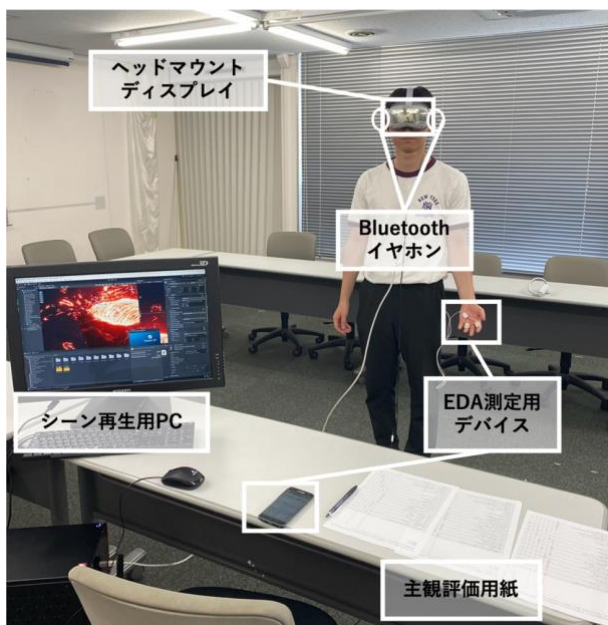


図 1: 実験レイアウト



図 2: 刺激イメージ

- Silent (音無し) 条件: 音響を呈示しない。ただし、他条件と揃えるためイヤホンは装着した。
- Normal (通常音) 条件: 火山の環境音をそのまま呈示する。
- Reverbed (リバーブ音) 条件: 通常音にリバーブ加工を加えた音を呈示する。

2.4 評価指標

主観指標として、日本語化された AWE-S (Awe Experience Scale) を用いた[10, 11]。これは、崇高体験を 6 つの因子 (F1 時間感覚の拡張, F2 自己感の低下, F3 繋がり感覚, F4 広大さ, F5 身体感覚の変容, F6 スキーマの調節) から測定する 7 段階リッカート尺度の質問紙である。また、体験後に口頭での内省報告を求め、より詳細な主観的印象を収集した。

客観指標として、自律神経系の活動を反映する生理指標を計測した。利き手ではない方の指に装着したセンサーで皮膚電気活動 (EDA) を測定し、比較的長い時間での覚醒度を示す皮膚コンダクタンスレベル (SCL) と、刺激に対する短期的な情動変化を示す皮膚コンダクタンス反応 (SCR) を分析した。さらに、HMD 内蔵のアイトラッカーを用いて、情動的反応の指標となる瞳孔径、注意の所在を示す視線データ、緊張度に関連する瞬目を記録した。SCL、瞳孔径、瞬目に関しては安静時のデータを用いて標準化を行い、20 秒ごとの区間で解析した。

2.5 実験手順

20 代の大学生 15 名 (男性 13 名, 女性 2 名) が実験に参加した。参加者にはまず実験の概要を説明し、同意を得た。その後、生理センサーを装着し、HMD とイヤホンを装着した。はじめに 90 秒間の安静時標準シーンを呈示し、ベースラインデータを測定した。続いて、3 つの音響条件の VR 映像をランダムな順序で 1 つずつ体験させ、各映像の視聴後に AWE-S 質問紙への回答を求めた。全ての条件の試行が終了した後、体験全体に関する内省報告を求めるインタビューを実施した。

3. 実験結果

3.1 主観評価 (AWE-S)

AWE-S の 6 因子について一元配置分散分析を行った結果、F2~F6 で条件間に有意差が認められた ($p<.05$)。多重比較分析の結果、Silent 条件と Normal 条件の間では、F2 (自己感の低下, $p<.05$)、F3 (繋がり感覚, $p<.01$)、F4 (広大さ, $p<.01$)、F5 (身体感覚の変容, $p<.01$)、F6 (スキーマの調節, $p<.01$) で有意差が認められた。同様に、Silent 条件と Reverbed 条件の間でも、F2 ($p<.05$)、F3 ($p<.01$)、F4 ($p<.01$)、F5 ($p<.01$)、F6 ($p<.05$) で有意差が認められた。特に、崇高感の中核的要素である F4 (広大さ) と F5 (身体感覚の変容) では、Silent 条件と音有り条件の間で平均評定値に約 2 ポイントの差があり、音響が体験の質を増幅させることが確認された。この結果は、「音がある方が臨場感や恐怖感を覚えた」「音がないと画

面を通して鑑賞している感覚が強い」といった参加者の内省報告によっても裏付けられた。

一方、Normal 条件と Reverbed 条件の間では、いずれの因子においても統計的な有意差は認められなかった。しかし、全ての因子で Normal 条件のスコアが Reverbed 条件を上回る一貫した傾向が見られた。内省報告において、リバーブ音に対して「加工感が強い」「音と映像が別のもののように感じた」といった違和感を指摘する声が複数あり、この音響の不自然さがコンテンツのリアリティを損ない、スコアの低下に繋がった可能性が考えられる。

3.2 客観評価（生理指標）

3.2.1 瞳孔径

全ての計測区間において、瞳孔径の大きさは Normal > Reverbed > Silent の順で有意な差が認められた ($p<.05$)。これは、主観評価の傾向と一致しており、通常音が最も強く情動を喚起したことを示唆している。

3.2.2 皮膚電気活動 (EDA)

長期的な覚醒度を示す SCL では、条件間で全体を通じた有意差は認められなかった。しかし、短期的な情動反応を示す SCR については、Reverbed 条件で反応回数が他の条件よりわずかに高くなる傾向が見られたが有意差は認められなかった。また、Reverbed 条件では EDA の振幅の分散が大きくなることが確認された。

3.2.3 視線データ

ヒートマップによる分析の結果、全体として火口方向へ視線が集中する傾向が見られた。その中で、Reverbed 条件では他の条件に比べて注視点が少なく、映像全体をより広く見渡す傾向が見られた。

4. 考察

主観評価では、AWE-S の多くの因子において、音無し条件と音有り条件（通常音、リバーブ音）の間で有意差が認められ、音響の提示が崇高感を増幅させることが示唆された。参加者の内省報告にあった「音がある方が臨場感や恐怖感を覚えた」「音がないと画面を通して鑑賞している感覚が強い」という意見は、音響が映像のリアリティを高め、火山の持つ圧倒的なスケール感や恐ろしさといった感覚を強く喚起し、結果として「広大さ」や「身体感覚の変容」といった崇高感の主観的評価を高めたことを裏付けている。

音響効果として、通常音とリバーブ音の間では AWE-S スコアに有意差こそ見られなかったものの、全ての観点で

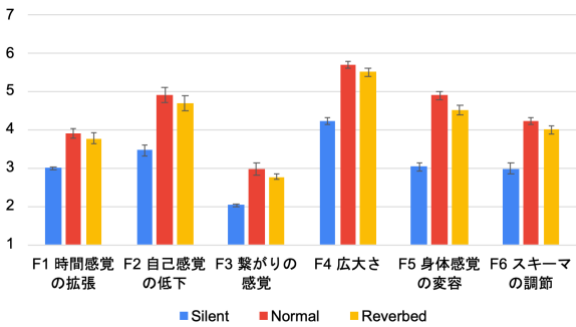


図 3: AWE-S の結果

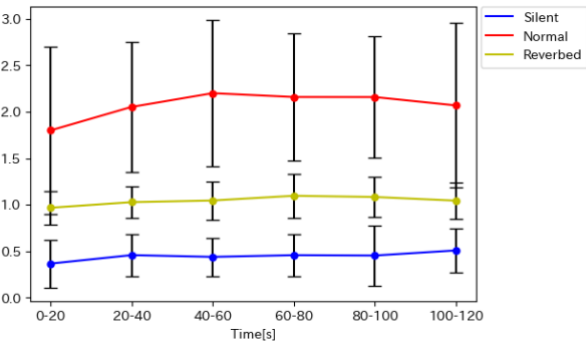


図 4: 20 秒ごとの瞳孔径（標準化）

通常音のスコアが高い傾向にあった。この原因は、内省報告で指摘されたリバーブ音への違和感にあると考えられる。「加工感が強い」「音と映像が別のもののように感じた」といった意見は、リバーブ加工がコンテンツのリアリティを損ない、視覚と聴覚の情報の結びつきを妨げた可能性を示唆している。

客観指標である瞳孔径は、主観評価の傾向と一致する結果を示した。瞳孔径が通常音>リバーブ音>音無しの順で有意に大きかったことは、視覚と聴覚の統合感が高い通常音条件で最も強く情動が喚起されたことを示している。リバーブ音条件で瞳孔径が通常音条件より小さくなったのは、音と映像の不一致が違和感を生み、情動喚起を抑制したためと考えられる。これらの結果から、瞳孔径の拡大が崇高さの感覚と関連している可能性が示唆された。

皮膚電気活動では、リバーブ音条件で SCR 回数が若干高くなる傾向と、EDA 振幅の分散が大きくなる傾向が見られた。これは、リバーブ音に対する反応に個人差があり、一部の参加者には情動を喚起する効果があった一方で、他の参加者には視覚との不一致が認知的な負荷となり、違和感として現れた可能性を示唆している。

また、視線データでは、リバーブ音条件において注視点

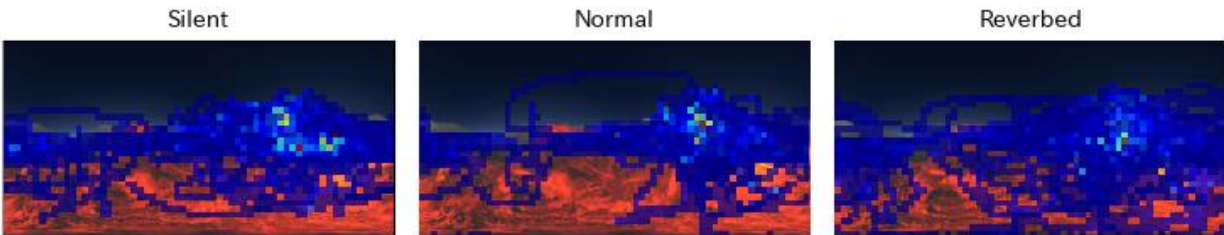


図 5: 視線ヒートマップ

が少なく、映像全体を広く見渡す傾向が見られた。これは、リバーブ音が空間的な広がり強調する一方で、映像内の特定の対象への焦点を弱める効果を持つ可能性を示唆している。

総合的に考えると、音響はVRにおける崇高感を増幅させる上で重要な役割を果たすが、その特性や加工方法が体験の質に大きく影響することがわかった。特にリバーブ音は、空間的な広がり強調する効果を持つ可能性があるものの、視覚情報との統合が不十分な場合には違和感を引き起こし、体験のリアリティを損なうリスクが考えられる。効果的な崇高体験のデザインには、音響のさらなる最適化が求められる。

5. むすび

本研究は、VR環境における崇高体験の質を向上させることを目指し、これまで十分に検討されてこなかった音響の役割に着目した。特に、音響の有無、および空間の広がり演出するためのリバーブ加工の有無が、主観的な崇高感と生理的な情動反応に与える影響を検証した。

結果として、第一に、音響の存在そのものが崇高体験を著しく増幅させることが、主観評価(AWE-S)および客観評価(瞳孔径)の両面から確認された。これは、音響がVRコンテンツのリアリティと臨場感を飛躍的に高めることを意味する。第二に、音響の質が体験に与える影響は大きく、視覚情報と整合性の取れた通常音が、最も高い崇高感と情動喚起をもたらした。一方で、空間の広がりを意図したリバーブ音は、参加者に「加工感」や「違和感」を与え、視覚と聴覚の不一致からかえって体験の質を低下させる可能性が示唆された。

結果からVRで効果的な崇高体験をデザインするためには、単に音を付加するだけでなく、呈示される視覚情報と音響情報がいかに自然に統合されるかが極めて重要であると言える。視覚と聴覚の整合性が、ユーザーの没入感を深め、情動反応を生起させる要因となる。

今後の課題として、より洗練された音響デザインの探求が挙げられる。リバーブ音は違和感を生んだが、視線を拡散させる効果も見られた。視覚情報と親和性が高く、かつ空間の広がりを自然に感じさせるような音響設計手法の可能性が考えられる。

謝辞 本研究の実験実施にあたり、多大なるご協力をいただきました塚原帝成氏に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 星野太：崇高 (Sublime), ArtScape Artwords®, 更新日 2024 年 3 月 11 日。
- [2] Piff, P. K., Dietze, P., Feinberg, M., Stancato, D. M., Keltner, D. : Awe, the small self, and prosocial behavior, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 108, No. 6, pp. 883–899, 2015.
- [3] Chirico, A., Yaden, D. B., Riva, G., Gaggioli, A. : The Potential of Virtual Reality for the Investigation of Awe, *Frontiers in Psychology*, Vol. 7, 2016.
- [4] Pelowski, M., Hur, Y.-J., Cotter, K. N., Ishizu, T., Christensen, A. P., Leder, H., McManus, I. C. : Quantifying the if, the when, and the what of the sublime: A survey and latent class analysis of incidence, emotions, and distinct varieties of personal sublime experiences, *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, Vol. 15, No. 2, pp. 216–240, 2021.
- [5] Ishizu, T., Zeki, S. : A neurobiological enquiry into the origins of our experience of the sublime and beautiful, *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 8, 2014.
- [6] Chirico, A., Clewis, R. R., Yaden, D. B., Gaggioli, A. : Nature versus art as elicitors of the sublime: A virtual reality study, *PLOS ONE*, Vol. 16, No. 3, e0233628, 2021.
- [7] 石川勝彦, 百瀬光一：道徳感情を喚起する音楽刺激の感情評価, 山梨学院大学教職センター, pp. 1–6, 2024.
- [8] Unity Technologies : L-V-E-2023 Lava & Volcano Environment 2023, Unity Asset Store, 2023 年. <https://assetstore.unity.com/packages/tools/terrain/l-v-e-2023-lava-volcano-environment-2023-253816?locale=ja>
- [9] Bill_I_Am : ICELAND VOLCANO REAL SOUND! CLOSE APPROACH NEAR THE CRATER EDGE IN FULL ERUPTION MODE!, YouTube, 2021 年 9 月 8 日. <https://www.youtube.com/watch?v=m3okcIdkLjk>
- [10] Yaden, D. B., Kaufman, S. B., Hyde, E., Chirico, A., Gaggioli, A., Zhang, J. W., Keltner, D. : The Development of the Awe Experience Scale (AWE-S): A Multifactorial Measure for a Complex Emotion, *The Journal of Positive Psychology*, Vol. 14, No. 4, pp. 474–488, 2018.
- [11] Takano, R., Matsuo, A., Kawano, K. : Development of a Japanese version of the Awe Experience Scale (AWE-S): A structural topic modeling approach, *F1000Research*, Vol. 12, Article 515, 2023.