

ライド型 VR コンテンツのための筐体の触覚と座面の不安定性を利用したプレゼンス向上手法

沼崎優介^{†1} 中垣孝太^{†1} 川島優暉^{†1} 鳴海拓志^{†2} 遠藤雅伸^{†1}

プレゼンスとは、あたかもその世界に入り込んでいるような感覚を指す。VR コンテンツにおいて、その向上はエンタテインメント性を高めることに寄与する。本研究では、既存の VR コンテンツの調査を行った結果、体性感覚に適切な刺激を与えることで、プレゼンスが向上するという仮説を得た。そこで、触覚刺激と振動による体性感覚刺激を意図し、筐体にエアマットを用いた舟型のシステムと船での移動をシミュレーションしたコンテンツを実装し、検証を行った。結果として、体性感覚への刺激がプレゼンスの向上に有効であると分かった。

Increasing the Sense of Presence in the Ride-type VR Contents by Using Haptic Sensations via Props and Instability of Seats

YUSUKE NUMAZAKI^{†1} KOUTA NAKAGAKI^{†1} YUUKI KAWASIMA^{†1}
TAKUJI NARUMI^{†2} MASANOBU ENDOH^{†1}

In virtual reality (VR) content, improvement of the sense of presence contributes to enhance entertainment. The sense of presence is a feeling as if they are entering the world. In this research, based on the survey on existing VR contents, we hypothesized that simulating appropriate somatosensory sensation improves the sense of presence. Therefore, to stimulate somatosensory sensation by tactile stimulation and vibration for improving the sense of presence, we developed boat-type simulation contents using air mats mounted on the casing. We evaluated the sense of presence on the content, and showed that somatosensory stimulation effectively improves the sense of presence.

1. はじめに

2016年にモーションセンサー付き両眼視差立体視ヘッドマウントディスプレイが一般家庭向けに発売され、バーチャルリアリティ(VR)とそれを利用したエンターテインメントコンテンツは、より一般的な物となった[1]。VRとは、体験者が提示された環境をあたかも現実かのように感じられる体験であるが、その重要な要素のひとつに「プレゼンス」(Sense of Presence)がある[2, 3, 4, 5]。映画等におけるこれまでの臨場感は、描かれた世界の中でのある視点からの視界をシミュレートした画像を体験者に提示することで、あたかもその世界を実際に「観ている」ような体験として追及されてきた。それに対し、VRゲーム等におけるプレゼンスの追及は、実際にそこに「居る」と感じられる体験を提供することを目指している。

特に没入型の体験でプレゼンスが高い場合には、たとえ与えられた情報が完全なものではなかったとしても、それを体験する人の知識や経験から足りない情報が補完されることが知られている[6]。プレゼンスを高めることでこのような錯覚を活用することができるコンテンツデザインを実現できれば、よりエンタテインメント性の高いVRコンテンツの設計が可能になるだろう。

こうした狙いのもと、筆者らはプレゼンスを考えたコンテンツデザインの試行として、2016年に舟型筐体を利用した

VRコンテンツを作成した[7]。このコンテンツでは、視覚から感じられる加速度と三半規管で感じられる加速度の差異がプレゼンスを阻害することを防ぐために、両者に差異がない等速運動を用いることを提案した。この試作コンテンツを用いた実験では、等速運動環境下のコンテンツは、加速度を表現したコンテンツよりプレゼンスを得やすいことが示唆された。

本研究では、VRコンテンツにおけるプレゼンス向上のためのコンテンツデザインのさらなる可能性を探るために、プレゼンスの向上に関して既存のVRコンテンツに対する調査を行った。その結果として、体性感覚に適切な刺激を与えることで、プレゼンスが向上するという仮説を得た。同時に、体験者がある行為が自らによっておこなわれたものだと感じられる感覚である自己主体感を損なうような刺激が与えられる場合には、映像酔いを感じやすいという点に留意すべきであるという方針を得た。

本研究は、得られた仮説をもとに、自己主体感を伴うような体性感覚刺激を提示可能なVRコンテンツのデザインを検証する目的で、エアマットを用いた筐体の舟型VRシステムを構築し、船での移動をシミュレーションしたコンテンツを実装し、体性感覚刺激がプレゼンスに与える効果の検証を行った。

^{†1} 東京工芸大学
Faculty of Arts, Tokyo Polytechnic University

^{†2} 東京大学
Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

2. 本研究の手法

本研究は次の4つの手法により構成される。

- 既存 VR コンテンツの予備調査
- プレゼンスの向上を目的としたコンテンツデザイン
- エアマットを用いた VR システムの作成と実装
- VR システムを利用した実験と結果の分析

2.1 既存 VR コンテンツの調査

プレゼンスに効果的な手法に関する調査として、2017年5月に渋谷のVRアミューズメント施設「VR PARK TOKYO」[8]において、被験者9名のテストプレイによる各アトラクションのコンテンツ評価を行った。評価は、プレゼンスに繋がるコンテンツの臨場感を10段階で評価してもらう方法でおこなった。結果を表1に示す。

表1 VR PARK TOKYO コンテンツ調査結果

| コンテンツ名 | 標本数 | 評価平均値 | 標準偏差 |
|--------------------------|-----|-------|-------|
| DIVE HARD VR | 8 | 8.38 | 1.598 |
| 協力! GHOST ATTACKERS VR | 5 | 3.60 | 1.949 |
| 対戦! ハチャメチャスタジアム VR | 5 | 4.60 | 0.894 |
| SALOMON's CARPET | 7 | 8.57 | 1.512 |
| オパケリア VR CREEPING TERROR | 8 | 3.63 | 1.768 |
| CIRCLE of SAVIORS | 8 | 3.63 | 1.768 |
| JUNGLE BUNGEE VR | 8 | 3.63 | 1.768 |

この結果では、「DIVE HARD VR」と「SALOMON's CARPET」の評価が高い。両コンテンツに共通する仕組みとして、体験者の足元に対する体性感覚刺激の提示があった。

「DIVE HARD VR」は、床に置かれた厚さ数cmの板状構造物の上へ乗り、ビルから突き出た鉄骨の上へ居るシミュレーションコンテンツが提供される。体験者は自らの意思で鉄骨の上を歩くことが可能で、その際視覚的な鉄骨の縁を足裏の構造物から直接的触覚の手掛かりとする。この感覚が環境とコンテンツの一体感を生み、演出として視覚表現の振動と同時に板状構造物を振動させることで、プレゼンスに繋がる体験を実現している。

「SALOMON's CARPET」は、約1.5m四方の手すり付きの平台に体験者が乗り、空飛ぶ絨毯の上へ居るシミュレーションコンテンツが提供される。平台を機械的に傾斜させることで、コンテンツの加速度を物理的に体感させる。また、手すりによって身体が支えられる前提で、コンテンツに合わせて平台を大きく傾けたり、揺らしたりする演出があった。ここから得られる感覚はプレゼンスに繋がる体験であったが、装置の動きは常にコンテンツに従ったものであり、体験者自身の運動とは連動していないため、映像酔いを生じやすいという欠点がある。

両者はいずれも敵を倒すコンテンツ内容であったが、イン

タラクションにおける自己主体感と、物理的刺激的頻度と強度の違いがあると考えられる。「DIVE HARD VR」は体験者の自発的な行動に対して触覚刺激が与えられることで、自己主体感が維持される。一方「SALOMON's CARPET」は常に物理的刺激的が与えられ、そこには体験者の自己主体感はない。装置の傾斜に手すりを使って耐える際には、自らの運動に応じた触覚刺激が得られるために自己主体感と安心感が生じるものの、多くの場面ではこの点が活用されているわけではなかった。

こうした調査を踏まえ、適切な体性感覚がVRコンテンツにおけるプレゼンスの向上に有効な働きをするのではないかと仮説を立てた。そのコンテンツデザインにおいては、次の2つが重要であると考えた。

- 体験者の運動に従った、自己主体感を損なわない装置の動きや刺激の提示
- 体験者の自発的な行動を阻害しない、触覚の手掛かりによる安心感

2.2 コンテンツデザイン

本研究のコンテンツデザインはプレゼンスの向上が目的であり、次の4つの要素を考慮した。

- 加速度の関与しない視点移動
- 体性感覚への刺激
- 違和感のないパーソナルスペースへの侵入
- 視覚と一致した触覚情報

2.2.1 加速度の関与しない視点移動

プレゼンスの向上には眼前の世界が本当にそこにあるかのように見えることが大事である。そのため、立体視はプレゼンスの向上に寄与する。両眼視差によらない立体視として、視点移動による運動視差による奥行き知覚がある。適切な視点移動を設計できれば、運動視差を提示することができ、プレゼンスを向上させることが可能になるだろう。

プレゼンスを阻害する要因のひとつに、「映像酔い」の原因でもある視覚による加速度情報と平衡感覚による加速度情報の乖離がある[9]。これを防ぐことがプレゼンスの維持に効果的であると考えられる。そのため、体験者が静止している状態で、視覚と体感の加速度情報が一致し、且つ動いている視点移動である等速度直線運動がプレゼンスの維持に効果的である。特に、ライド型における強制的な移動に対しても自己主体感が維持できるようにするため、体験者が移動以外の自発的な行動を起こしやすいよう、視野が広い低速運動を想定することとした。

これらを満足し、なおかつ体験の補完効果を狙って誰もが経験したことがあるような題材を選ぶことが、プレゼンスを高めるコンテンツデザインに重要であると考えた。こうした指針から、本研究では穏やかな水面の川をボート様の舟で下

る内容を基本設計とした。

2.2.2 体性感覚への刺激

2016年に行った実験においては、プレイヤーの着座位置の周りに木製の枠を設置するものを作成した。しかし、体性感覚への刺激は含まれていなかった。この時の装置を図1に示す。



図1 2016年の装置

これに対し、体験者に舟にのったかのような体性感覚を与えるには、荷重による沈み込みと重心の移動による傾きが必要である。この動きが自己主体感を損なわずに行われるには、即時的な処理が必要であり、機械的な制御をおこなうためには複雑な装置が必要となると考えられる。

そこで我々は、体験者が搭乗する装置全体を、キャンプ用のエアマットを敷いたベース上に構築することとした。この手法では、エアマットの空気圧を調節することで、荷重時の沈み込みと搭乗時の重心移動による装置全体の傾きの変化を演出することが可能である。これはパッシブな物理反応であるために体験者の行動に従って即座に発生する。この不安定な挙動を、体験者自らが制御することで、強い自己主体感が得られると考えた。

また視覚シミュレーションへのフィードバックも、ベースの位置角度情報を得るだけで効果的に伝える利点がある。

2.2.3 違和感のないパーソナルスペースへの侵入

PSVR「サマーレッスン」[10]では、コンテンツ内で女子高生の顔がプレイヤーと極度に近接するシーンがある。このシーンをきっかけに、コンテンツでは提供されていない女子高生の息遣いや匂いを感じるクロスモーダル効果が確認されている[11]。このことから、パーソナルスペースへの侵入は、プレゼンスを喚起する効果があるのではないかと仮定した。

そこでコンテンツ内で、違和感なくパーソナルスペースに侵入し、誰もが経験したことがある題材として、桜の花びらと紅葉の葉が風に乗って体験者に近接するシーンを組み入れた。また、体験者が積極的にパーソナルスペースにコンテンツを取り込めるよう、体験者が持ち物を構えると先端にトンボが止まる仕様と、持ち物で水面を触ると波立つ仕様を組み

込んだ。

2.2.4 視覚と一致した触覚情報

舟の視覚シミュレーションにおける手すりと同じ位置に、現実の構造物としての手すりを設けることで、触覚によるプレゼンスの向上を考えた。体験者が装置に着座すると、ボートの縁に当たる部分に手すりがあり、触覚的な安心感が得られる。

これは搭乗時に体験者が任意に行動を起こしやすい状態にするとともに、手すりにもたれ掛かって水面に手が届く状態を作っている。また水面に手を届かせようと手すりに体重を掛けると装置が大きく傾き、現実の舟と同様の不安定さを感じることで、自己主体感とプレゼンスが向上すると考えた。

2.3 VRシステムの実装

コールマン社製エアマット上に専用の木製装置を置き、そこに体験者が搭乗して、HTC Viveで出力されたコンテンツを提供するVRシステムを実験用に作成した。

2.3.1 舟ユニット

体験者が搭乗する構造体(舟ユニット)は、厚さ19cmのキャンプ用エアマットをベースに、マットとのズレとマットの破損防止の発泡ゴムシートを敷き、その上に設置した。

舟ユニットは木製の一体型で座席部と手すり部は底板に固定されている。エアマットはやや空気圧の低い状態とし、体験者が搭乗する際に沈み込み、着座後は姿勢の変化によって傾斜する。傾斜の効果はロールが一番大きく、ピッチだけでなく、エアマットの歪みにより若干のヨーやスライドも発生する。実際の舟ユニットを図2に示す。



図2 舟ユニット

2.3.2 ハードウェア

Unreal Engineを用いて、HTC Viveに出力している。体験者はHMDとヘッドホンを着用し、インタラクション用にコントローラ1台を持つ。舟ユニットにはトラックを装着し、

舟ユニットの位置角度情報を取得した。

装置全体は位置検出用のベースステーションの設定が必要のため、3m 四方程度となった。また搭乗時は体験者が HMD を装着している状態のため、プレイテストでは安全確保のために補助員が誘導した。VR システムの全景を図 3 に示す。



図 3 VR システムの全景

2.3.3 ソフトウェア

夜の川を小舟でゆっくりと下っていくシーンをシミュレートした約 5 分のコンテンツ『Ideal Vacation』を実装した。進行に従って春夏秋冬の季節が変化し、コントローラで扇子を操作することによって、体験者が環境とインタラクションすることができる。

春パートは川岸の桜の木が操作に反応し、桜の花びらが体験者に向けて飛来する。夏パートは花火の演出があり、体験者の視線を上に向けることで、姿勢が自然と変わるようになっている。また滝の横を通過する際に立体音響の演出を試みている。秋パートは川岸の紅葉の木が操作に反応し、紅葉の葉が体験者に向けて飛来する。またトンボが付近を飛行しており、体験者が扇子を閉じ立てて構えることにより、その先



図 4 『Ideal Vacation』の画面

端に止まる演出を試みた。冬パートは川岸に雪ウサギが現れ、体験者の進行に合わせて移動する。これは体験者の動きに従従する演出を試みた。

コンテンツ全体で体験者は扇子で水面に触れることができる。その際水しぶきが上がるなどの演出を実装し、体験者が持つ経験の喚起を試みた。また、水中には魚が泳ぎ、ときどき水面を跳ねるライズの演出を実装した。これはたまたま目撃した場合に強い印象を与えるだけでなく、目視していない状態でも音による演出によって、体験者を振り向かせる姿勢の変化を促している。実際のコンテンツによる視覚シミュレーション画面を図 4 に示す。

2.4 実験方法

本研究は、被験者をエアマット上に舟ユニットを設置した a 群と、エアマットを用いず舟ユニットと同程度の高さの着座面の椅子を直接床に設置した b 群に分け、実際に VR システムを体験してもらい、体験中の様子の録画とプレイ後のアンケートによってその効果を検証した。アンケートは SUSPQ[12]を元に作成した。内容を以下に示す。

- 舟感覚 (7 段階評価)
体験中に感じた舟に乗っている感覚を回答してください。実際に舟に乗っている際の感覚を 7 とします
- 舟感頻度 (7 段階評価)
体験中どのくらいの頻度で自分自身が実際に舟にいると思いましたか。
- 体験比較 (7 段階評価)
実際に舟に乗った体験を思い出してください。今回の体験はそれと比べてどうでしたか。同じように感じましたか。
- 強印象 (7 段階評価)
体験を通して最も強かった感覚は舟にいる感覚でしたか。それとも他のところにいる感覚でしたか。
- 記憶 (7 段階評価)
今日の他の記憶に比べて、どれくらい鮮明に覚えていますか。例えば校内の演習室や廊下の記憶と比べて。
- 実在感 (7 段階評価)
体験を振り返ってみて、"見ている映像のよう"でしたか。それとも、"そこにいる"ようでしたか
- 意見感想 (自由記述)
自由記述欄です。何かあればお書きください。

3. 結果

東京工芸大学芸術学部ゲーム学科の学生より、VR システムにエアマットを敷いた a 群 22 名、敷かなかった b 群 11 名の被験者でプレイテストによる実験を行った。テスト中の a 群の被験者の様子を図 5 に、b 群の被験者の様子を図 6 に示す。

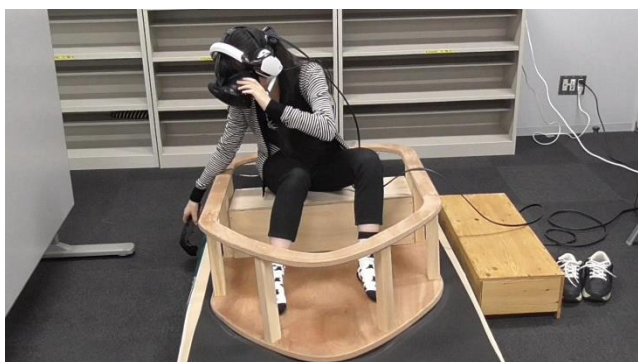


図 5 実験中の a 群被験者



図 6 実験中の b 群被験者

実際の舟ユニットの傾斜角は、体験者が舟ユニットから転落するような急角度にはならない。手すりを触覚的な手掛かりとして水面を触る動作では舟ユニットがかなり傾き、危険と感じる被験者もいた。しかし実際には、底板が床面に接触するボトミング状態には及ぶことはなく、エアマットは想定通りに機能したと考えられる。

実験後に行ったアンケートの結果を表 2 に示す。

表 2 実験のアンケート結果

| 設問項目 | 群 | 点数別回答者数 | | | | | | | 平均 | 標準偏差 |
|------|---|---------|---|---|---|---|---|---|------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| 舟感覚 | a | 0 | 1 | 1 | 1 | 7 | 7 | 5 | 5.50 | 1.270 |
| | b | 0 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 | 2 | 3.82 | 1.749 |
| 舟感頻度 | a | 0 | 1 | 0 | 5 | 7 | 4 | 5 | 5.27 | 1.286 |
| | b | 0 | 2 | 4 | 2 | 1 | 0 | 2 | 3.91 | 1.676 |
| 体験比較 | a | 2 | 1 | 1 | 6 | 9 | 2 | 1 | 4.32 | 1.458 |
| | b | 1 | 2 | 5 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3.27 | 1.483 |
| 強印象 | a | 0 | 1 | 2 | 3 | 8 | 3 | 5 | 5.14 | 1.391 |
| | b | 2 | 2 | 3 | 2 | 0 | 1 | 1 | 3.27 | 1.814 |
| 記憶 | a | 1 | 1 | 0 | 1 | 5 | 7 | 7 | 5.59 | 1.557 |
| | b | 0 | 0 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 4.82 | 1.336 |
| 実在感 | a | 1 | 1 | 2 | 4 | 3 | 6 | 5 | 5.05 | 1.692 |
| | b | 2 | 1 | 3 | 3 | 0 | 0 | 2 | 3.55 | 1.924 |

各項目について、a 群と b 群との間で t 検定を行いエアマットによる効果を検証した。各項目別に結果を示す。

- 舟感覚については群間に有意差が見られ ($p < 0.01$)、エアマットによって強く舟に乗っている感覚が得られたことが分かった。
- 舟感頻度については群間に有意差が見られ ($p < 0.05$)、エアマットによって舟感を感じる頻度が高くなることが分かった。
- 体験比較は回答の平均値が最も低く、被験者は実際に舟に乗った感覚とは違うと認識していた。一方、群間に有意傾向が見られ ($p = 0.07$)、エアマットがあることで船に乗った感覚が向上する傾向があることが示唆された。
- 強印象については群間に有意差が見られ ($p < 0.01$)、エアマットによる効果が大きく、舟に居る感覚を強く与えることができると分かった。
- 記憶については ab 両群とも全項目で最も平均値が高く、群間に有意差は見られなかった ($p = 0.18$)。これは『Ideal Vacation』というコンテンツ自体の体験が良質で、記憶として鮮明に残っていると考えられる。
- 実在感本研究が最も重視する項目である。b 群の平均が 4 を下回って「やや見ている映像感が強い」のに対し、a 群は平均が 5 を超えて「ややそこに居る感が強い」結果となった。群間には有意差が見られ ($p < 0.05$)、エアマットによる効果はプレゼンスの向上に有効と言える。

4. 考察

アンケートの自由記述、プレイ中のコメント、プレイ後に行ったインタビューを元に考察を行う。それらの要旨を次に示す。

- 舟に乗るときに舟感が強い (a 群)
- 舟の揺れがリアルで怖かった (a 群)
- 身を乗り出した時の舟感が強い (a 群)
- 舟から降りたら酔いを感じた (a 群)
- コントローラの操作による姿勢の変化に呼応した舟の揺れが現実と錯覚した (a 群)
- 乗り込む時にカヌーっぽかった (a 群)
- 実際の乗り物よりも早く酔った (b 群)
- 揺れがなく舟感がなかった (b 群)
- エアマットが無い方が酔わなかった (b 群)
- 前に進んでいる感があった (両群)

マットによる沈み込みに関しては、舟に乗る際の舟感が強いという意見や、実際にカヌーに乗る事を趣味としている被験者の、乗り込む時に実際の舟と近い体験が得られるという意見より、意図に沿った体験ができていると考えられる。

舟の揺れに関しては、舟の揺れがリアルという意見や、乗り物酔いを感じるという意見より、舟らしさが再現されてい

ると考えられる。

体験者の行動に合わせた筐体の動きに関しては、身を乗り出した時の舟感が強い意見や、姿勢変化に呼応した揺れにプレゼンスを感じたという意見より、自己主体感が維持された動きであり、プレゼンスの向上が実現されたと考えられる。

b 群から得られた意見の中に舟感がなかった意見や、b 群のほうが酔わなかったという意見があった。これらの意見より、エアマットを用いない方が、実在感より映像体験感を強く感じると考えられる。これはアンケート結果とも一致する。

前進感覚の意見が両群に見られるのは、運動視差を含めた視覚による立体の認識が適当であると考えられる。これはコンテンツが良質であることを示唆している。

5. まとめ

本研究では、体性感覚に適切な刺激を与えることで、プレゼンスが向上するという仮説のもと、エアマットを用いた舟型筐体シミュレーションコンテンツを作成し、実際に展示を行った。被験後のアンケートとインタビューによって足元から受ける体性感覚の情報は被験者に対して意識せず感じ取れる情報であり、触覚と体性感覚への刺激がプレゼンスの向上に対して有効であることが示された。

本研究の結果から VR ゲームコンテンツの発展の方向性の一つとして、VR アミューズメント施設での活用が期待できる。その中でもスリルや恐怖体験といったアクティブな演出や装置を必要とするコンテンツよりも、パッシブな演出や装置を用いる方が、VR ゲームコンテンツにより適しているのではないかと筆者は考えている。

今後の研究としてライド型ではない VR コンテンツのプレゼンスに必要な要素の研究やその効果についての検証を

行いたいと考えている。

参考文献

- 1) PlayStation VR | プレイステーション
<http://www.jp.playstation.com/psvr/>
- 2) IJsselsteijn, Wijnand A., et al. "Presence: Concept, determinants and measurement." *Human vision and electronic imaging*. Vol. 3959. 2000.
- 3) Bystrom, Karl-Erik, Woodrow Barfield, and Claudia Hendrix. "A conceptual model of the sense of presence in virtual environments." *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 8.2 (1999): 241-244.
- 4) Herbelin, Bruno, Frederic Vexo, and Daniel Thalmann. "Sense of presence in virtual reality exposures therapy." *Proceedings of the 1st International Workshop on Virtual Reality Rehabilitation, Lausanne, Switzerland*. Citeseer, 2002.
- 5) Tanaka, Nobuhisa, and Hideyuki Takagi. "Virtual reality environment design of managing both presence and virtual reality sickness." *Journal of physiological anthropology and applied human science* 23.6 (2004): 313-317.
- 6) Bob G. Witmer, Michael J. Singer (1998). *Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire*, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 7(3), pp.225-240.
- 7) 沼崎優介, 中垣孝太, 遠藤雅伸. VR ゲームにおけるプレゼンスに関する研究~プレゼンスを考慮したゲームデザインの実装検証~(2016). 日本デジタルゲーム学会 2016 年年次大会.
- 8) VR PARK TOKYO
<http://www.adores.jp/vrpark/>
- 9) 松田隆夫, 大中悠起子 (2005). 「映像酔い」の自覚的評価とその誘発要因, *立命館人間科学研究* 9(97), pp.97-106.
- 10) サマーレッスン | バンダイナムコエンターテインメント公式サイト <http://summer-lesson.bn-ent.net/>
- 11) NHK クローズアップ現代+, あなたの脳を改造する!? 超・映像体験 (バーチャルリアリティ), 2016年5月31日放送
- 12) Lombard, Matthew, Theresa B. Ditton, and Lisa Weinstein. "Measuring presence: the temple presence inventory." *Proceedings of the 12th Annual International Workshop on Presence*. 2009.