

視聴覚コンテンツの音情報から生成した振動の高次感性促進効果

柳生 寛幸¹ 崔 正烈^{1,a)} 坂本 修一¹ 鈴木 陽一¹ 行場 次朗²

概要: 我々は、臨場感と迫真性を評価指標として、提示するマルチモーダル感覚情報の特性と表出する高次感性の関係について検討を行い、全身振動情報が高次感性に重要な役割を果たすことを示した。しかし、多感覚コンテンツのほとんどは視聴覚情報のみで構成されており、振動情報の取得は比較的困難である。本研究では、振動情報を手軽に作成する方法として、視聴覚コンテンツの音情報から全身振動情報 (ViLA: vibration from low-frequency audio signal) を生成する手法を提案し、構築した振動情報が高次感性評価にどのような影響を及ぼすかを検討した。その結果、多感覚コンテンツの体験中および体験後ともに、構築した振動刺激の振幅条件によっては実測振動よりも印象強度が高まる場合のあることが示された。

How can body vibration generated from audio signal in AV content enhance perceived reality?

HIROYUKI YAGYU¹ ZHENGLIE CUI^{1,a)} SHUICHI SAKAMOTO¹ YÔITI SUZUKI¹ JIRO GYOBA²

Abstract: We previously reported that full-body vibration can enhance perceived reality of multimodal contents. However, almost all contents available easily only include audio-visual information. We are, therefore, investigating how to generate effective vibration information from other sensory information, especially from sound. In this study, vibration information was generated from low frequency components of audio signal (ViLA, vibration from low-frequency audio signal) and added to audio-visual content. The results of subjective evaluation experiment revealed that ViLA can enhance perceived reality from multi-modal contents during the presentation of the content as well as after the replay.

1. はじめに

近年、視聴覚のみならず触覚や嗅覚、体性感覚などより多くの感覚情報を含む多感覚コンテンツの作成が可能となり、エンタテインメントシステムへのさまざまな応用が期待されている。多感覚コンテンツをより効果的なものとするには、情報の受け手となる人間を考慮した情報提示システムの設計が一層求められている [1][2]。情報提示システムの高度化には、空間情報の表出性能の向上が不可欠の要素である。その実現には、「あたかもその場にいるような感じ」や「本物らしい感じ」といった空間に対する高次感

性知覚を利用者に生起させることが極めて重要である。そのためには、人間の空間に対する高次感性知覚の創出要因を明らかにする必要があると考えられる。

空間に対する高次感性として、臨場感 (sense of presence) に関する検討が広く行われてきた。臨場感は、「あたかもその場にいるような感じ」と定義され、バーチャルリアリティ (VR) システムの高次感性評価において最も一般的な測定基準として用いられてきた [3][4][5]。臨場感は、映像の視野サイズ [6] や、提示音の音圧レベル [7] などの量的増加に伴い印象強度が増加する特性を持っており、人間を取り巻く空間、すなわち背景的な「場」の感性に関する多次元評価指標である [8]。一方、空間の評価には背景的要素のみではなく、前景に関する知覚について理解することも重要であると考えられる。例えば、コンサートホールで音楽を鑑賞する場合、我々は周辺の観客やホールなどの背

¹ 東北大学電気通信研究所/大学院情報科学研究科
〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1

² 東北大学大学院文学研究科
〒980-8576 宮城県仙台市青葉区川内 27-1

a) sai@ais.riec.tohoku.ac.jp

景的な「地」の要素に囲まれながら、ステージ上の演奏者である前景的な「図」の要素に注意を向けており、前景情報もリアルに再現されることが求められる [9]。心理学分野においても、前景（図）と背景（地）とでは別々の知覚情報処理系が働いているという知見が示されている [10]。

このような知見に基づいて、我々は、前景的要素を主要因とする感性が存在することを予測し検討した結果、迫真性 (sense of verisimilitude) という感性指標を提案し、これが臨場感とは異なる特性を持つ感性であることを確認している [9][11][12]。臨場感という背景的要素を主要因とする感性指標と、前景的要素を主要因とする迫真性という2つの感性指標を用いて空間を評価することで、空間に対する高次感性知覚をより多次的により正しく評価できると考えられる。そこで、我々は臨場感と迫真性を評価指標として、空間に対する高次感性の印象と感覚情報との関係について検討を行ってきた [13][14]。その結果、視聴覚情報だけではなく全身振動情報も空間に対する高次感性に重要な役割を果たすことを示してきた [14][15]。

しかし、一般的なマルチメディアコンテンツにより提示される感覚情報は視覚情報と聴覚情報がほとんどである。このようなコンテンツにおいて、より高い感性を知覚させるべく振動情報を付加提示するためには、何らかの情報から振動情報を作り出す必要がある。振動情報の発生タイミングについて考えると、一般的には物体同士が衝突する場合や、重量物が動くことにより振動が生じる場合が多く、このとき同時に音情報も生じると考えられる。そのため、音情報には振動情報と同期した情報が多く含まれる可能性が高い。したがって、音情報から生成した振動情報により、実測振動を用いたときのように高い感性を誘起させることができると考えた。

そこで、本研究では振動情報を手軽に作成する方法として、視聴覚コンテンツの音声信号の低周波成分 (<70 Hz) から全身振動情報を生成し (ViLA: vibration from low-frequency audio)、臨場感および迫真性を感性指標として、音情報から生成された全身振動 (ViLA) が空間に対する高次感性にどのような影響を及ぼすかを検討した。

2. 実験方法

2.1 被験者

被験者は、正常な視覚 (矯正を含む) と聴覚を有する大学生および大学院生 14 名 (男性 13 名, 女性 1 名, 平均年齢 22.0 ± 1.0 歳) であった。これを、臨場感と迫真性それぞれの感性指標のグループ間で同じ人数となるように割り当てた。その結果、臨場感は男性 7 名, 迫真性は男性 6 名, 女性 1 名となった。なお、被験者全員の利き手は右であった。



図 1 撮影風景

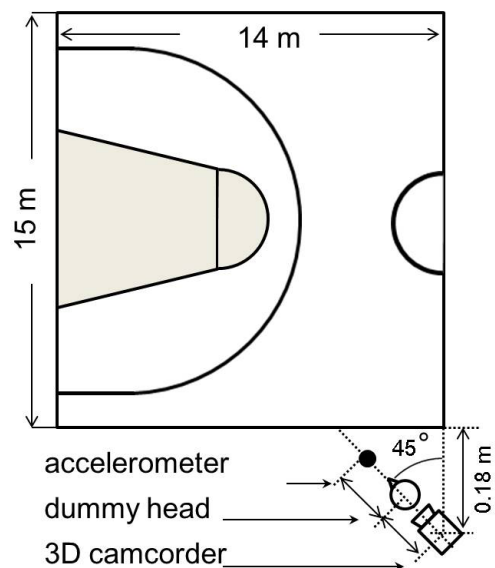


図 2 収録環境

2.2 実験刺激

実験刺激として、バスケットボールの試合風景 (3 on 3 形式) の映像, 音, 振動を記録した収録素材から 180 s を切り出した。収録風景を図 1 に示す。収録素材はビデオカメラ (Panasonic, AG-3DA1) の撮影方向に並ぶようにダミーヘッド (高研, SAMRAI) と加速度ピックアップ (RION, PV-84) を設置し, 映像, 音, および振動情報を収録した。

視聴覚刺激と加速度ピックアップの設置場所, および試合場所の広さなどの収録環境を図 2 に示す。音刺激は, ビデオカメラに 2 つのコンデンサマイクロフォン (B&K, 4101) を接続し, これをダミーヘッドの両耳に取りつけて映像と時間同期の取れた音情報をバイノーラル録音 [16] した。振動は, 床面に加速度ピックアップをしっかりと固定して上下方向の振動変位を測定した。加速度ピックアップとコンデンサマイクロフォンの出力を AD 変換器 (小野測器, DS-0264) に接続し, PC にて振動の変位, および振動と音声との同期信号を記録した。この同期信号を用いて, 振動刺激と視聴覚刺激との時間同期を取った。

本実験で使用する振動は、JIS C1510 における振動感覚の周波数特性 [17] と、本実験で使用するモーションプラットフォーム (D-BOX MASTERING MOTION, D-BOX) の再生能力を総合的に考慮して、70 Hz 以下の周波数帯域のみとした。実測値については、収録した振動に対して遮断周波数 70 Hz の低域通過フィルタを適用した振動情報を用いた (実測振動)。音情報から生成した振動情報については、ダミーヘッドによりバイノーラル録音した音情報をモノフォニック変換 (左右チャンネル信号の和の振幅を平均化) したあとに遮断周波数 70 Hz の低域通過フィルタを適用し、実測した振動振幅の RMS と同じときを 0 dB とし、-9 dB, -6 dB, -3 dB, 0 dB, +3 dB の ViLA 振動情報を作成した。振動条件は、音情報から生成した振動情報 (ViLA) 5 条件と、実測振動条件 (Original), および振動なし (No vib) の合計 7 条件とした。振動情報と同時に提示される視聴覚情報については、収録素材を 180 s で切り出す以外の編集を行わずに実験刺激とした。

なお、ヒトの振動に対する感じ方 (振動感覚特性) は周波数帯域によって異なり、上下振動の場合、加速度では 4~8 Hz, 速度では 50 Hz までが人間が感じやすい物理量である [18]。そこで、5つの ViLA 振動条件について、JIS C1510[17] に定める振動感覚の周波数補正を用いて、周波数領域の感覚補正を行った。その結果、求められた振動レベル (感覚補正つき振動加速度レベル) の Original 条件に対する相対値は、ViLA -9 dB 条件で +8 dB, ViLA -6 dB で +11 dB, ViLA -3 dB で +14 dB, ViLA 0 dB 条件では +17 dB, ViLA 3 dB 条件で +20 dB の値となった。

2.3 実験環境

実験環境の概要を図 3 に示す。実験は防音シールド室にて行われた。収録素材の視覚刺激 (解像度: 1920 × 1080 pixel, フレームレート: 30 fps), 聴覚刺激 (サンプリング周波数: 48 kHz, 量子化ビット数: 16 bit), および全身振動となる振動刺激 (サンプリング周波数: 8 kHz, 量子化ビット数: 16 bit) を、それぞれ DLP プロジェクタ (SANYO, PDG-DHT100JL), 密閉型ヘッドフォン (SENNHEISER, HDA-200), モーションプラットフォーム (D-BOX, MASTERING MOTION) から提示した。振動方向は上下方向のみとした。被験者には、モーションプラットフォーム上に自然な姿勢で直立し、プロジェクタから背面投影される映像を観察するように求めた。被験者の立ち位置からスクリーンまでの距離を 2.5 m とし、映像提示画面角は被験者からおよそ 90 deg (水平方向) として映像を表示した。また、被験者の利き手側にスロットルレバー型コントローラ (SAITEK, Throttle Quadrant) を設置した。このコントローラは上下方向のみに滑らかに可動し、レバー位置を保持することもできる。可動範囲は 0~90 deg, 最小可動角度はおよそ 0.5 deg であった。

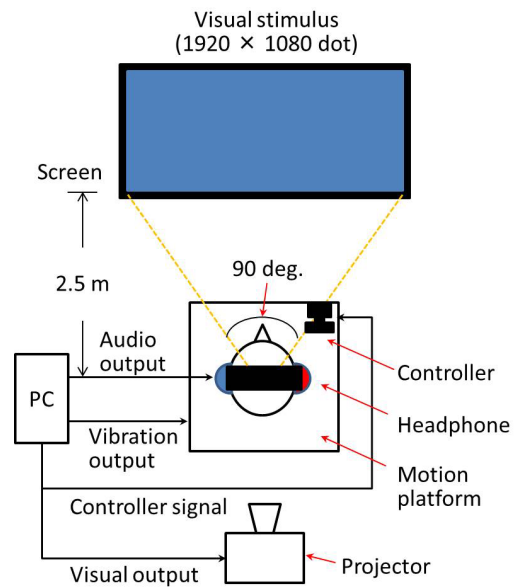


図 3 実験環境の概要

2.4 実験手続き

実測振動 (Original) 1 条件、音情報から生成した振動情報 (ViLA) 5 条件、振動なし (No vib) の合計 7 条件を、被験者に対しカウンタバランスを取って提示した。被験者は臨場感を評価するグループと迫真性を評価するグループの 2 つに分け、割り振られた感性指標についてのみ回答を依頼した。実験に先立って、それぞれのグループに、臨場感とは「その場にいる感じ [8]」、迫真性は「本物らしい感じ [9]」と定義して評価するように求めた。被験者は、試行ごとに体験中および体験後の印象強度を回答した。

実験の流れは以下のとおりである。初めに被験者の正面方向となるスクリーン位置に十字の注視点が表示される。その後、180 s 間の実験刺激が提示される。この間、手元のコントローラを操作して、コントローラのレバーの回転角度と、試行中に体感した感性指標の印象強度が時間的にできるだけ一致するように回答するように教示した。このとき、レバー角度が最大 (90 deg) のときを「日常生活で経験する最大の臨場感または迫真性に対応」、最小 (0 deg) のときを「臨場感または迫真性が全くない状態に対応」と考えるよう求めた。試行開始時は必ずレバー角度を最小の状態から開始し、試行中は手元のレバーを見ないで操作して評価するように依頼した。さらに、実験中において最大角度を超える場合があったときには、超える状況があったことを試行後に報告するように求めた。なお、本実験では最大角度を超えて回答した被験者はいなかった。また、1 試行が終了するごとに、試行全体の印象強度について評定尺度法による回答を求めた (0: 全くない~ 6: 非常にある, の 7 段階)。

3. 実験結果

3.1 高次感性の継時変化

体験中における臨場感および迫真性の印象強度の継時変化を図4と図5に示す。印象強度の継時変化をみると、臨場感と迫真性ともに、ほぼすべての振動条件において振動のない場合 (No vib 条件) より印象強度が高いことが分かる。また、ViLA -6 dB と ViLA -9 dB の場合、臨場感の評価値は Original 振動条件とほぼ同様の水準で推移するのに対し、迫真性は全区間にわたって Original 条件よりも高い値を示していることが見て取れる。迫真性の場合、Original 条件における評価値の起伏が大きく、40~50 s と 70~80 s の間に印象強度が急激に低下する区間が存在した。一方、同区間の ViLA 振動条件では Original 条件のような印象評価の起伏が見られず、ほぼ一貫して高い印象強度を保っていることが分かる。

各振動条件ごとの体験中における印象評価の最大値を図6に示す。印象評価の最大値について、臨場感と迫真性ごとに1要因の分散分析を行った。その結果、臨場感 ($F_{6,36} = 2.558, p < .05$)、迫真性 ($F_{6,36} = 5.461, p < .001$) ともに振動条件の主効果が有意であった。振動条件について多重比較 (Tukey HSD 法, $p < .05$) を行った結果、臨場感の場合は ViLA -6 dB, ViLA -3 dB が No vib より印象強度が有意に大きくなった。一方、迫真性の場合、振動のある条件すべて (Original と ViLA の各振動条件) が No vib より印象強度が有意に大きくなった。

体験中の全区間にわたる印象評価の平均値を比較するために、各振動条件ごとに RMS を算出した結果を図7に示す。臨場感および迫真性ともに、振動を付加した場合の印象強度が No vib 条件より高いことが分かる。また、印象評価の平均値と振動強度との関係を見ると、臨場感の場合は、振動振幅の増加に伴って印象強度が増加し、Original 条件でピークを迎えた後振動振幅が ViLA -6 dB になるまで評価値が飽和した。その後は振動振幅の増加に伴って評価値が下がる傾向にあるが、下げ幅は小さく緩やかな下降カーブで推移することが見て取れる。これに対し、迫真性の場合、振動振幅の増加に伴って印象評価が急激に増加し、ViLA -9 dB を最大値とした急峻な下降カーブを描いている。

各振動条件における RMS 値について、臨場感と迫真性ごとに1要因の分散分析を行った。その結果、臨場感の場合は振動条件の主効果に有意差が認められなかった ($F_{6,36} = 1.467, p = .2171$)。他方、迫真性の場合、振動条件の主効果が有意であった ($F_{6,36} = 4.310, p < .005$)。振動条件について多重比較 (Tukey HSD 法, $p < .05$) を行った結果、ViLA -9 dB と ViLA -6 dB 条件では No vib より印象強度が有意に大きくなった。更に、ViLA -9 dB の

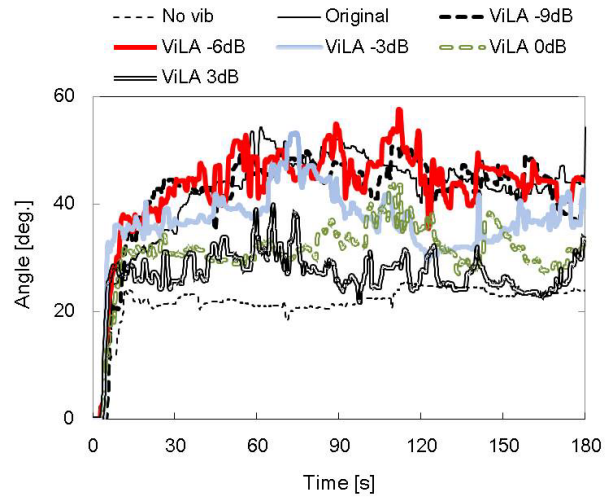


図4 体験中の印象強度の平均値 (臨場感)

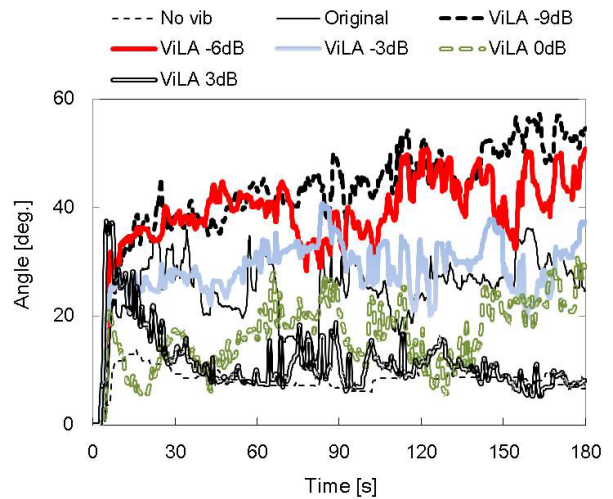


図5 体験中の印象強度の平均値 (迫真性)

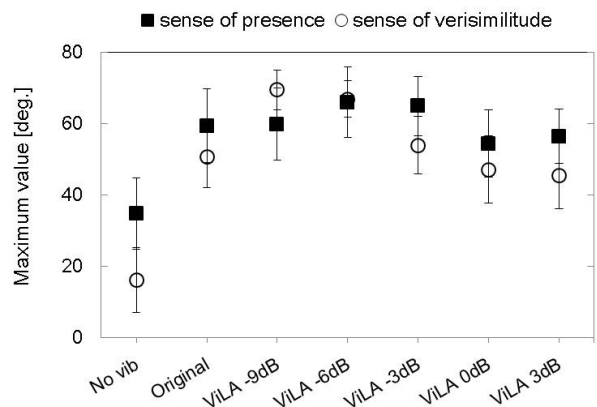


図6 体験中の印象強度の最大値

場合は ViLA 3 dB よりも印象強度が大きかった。

3.2 体験後の印象評価

コンテンツ体験後に行った臨場感および迫真性についての7段階の印象評価の平均値を、図8に示す。振動振幅

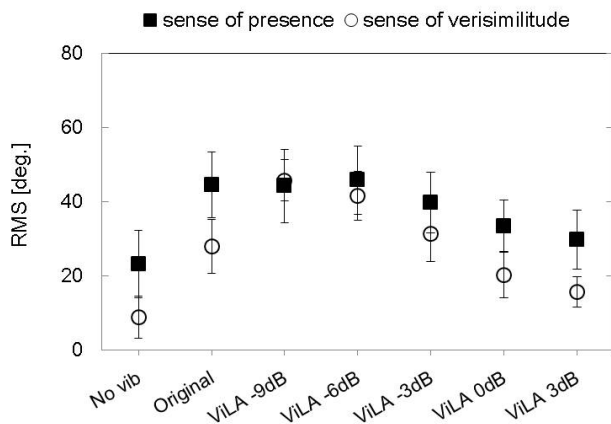


図 7 体験中の印象強度の実効値 (RMS)

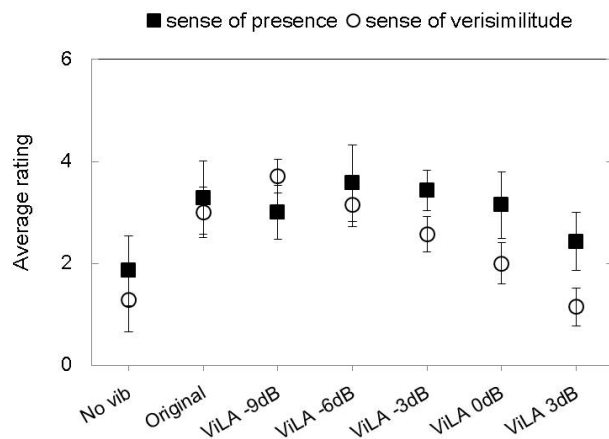


図 8 体験後の印象強度の平均値

の増加に伴う印象強度の推移は、体験中の印象強度の実効値の場合 (図 7) とほぼ同様の形状を示していることが分かる。体験中の印象評価の場合と同様に、臨場感と迫真性ごとに 1 要因分散分析を行った。分散分析の結果、臨場感の場合は振動条件の主効果に有意差が認められなかった ($F_{6,36} = 1.123, p = .3686$)。一方、迫真性の場合、振動条件の主効果が有意であった ($F_{6,36} = 3.835, p < .005$)。振動条件の多重比較 (Tukey HSD 法, $p < .05$) を行った結果、ViLA -9 dB 条件は No vib および ViLA 3 dB の場合よりも有意に印象強度が大きくなることが認められた。この結果から、今回の実験に用いた刺激強度の範囲では、振動レベルが実測値に近い低い値の場合ほど、迫真性が高まることが分かる。

4. 考察

体験中の印象評価の経時変化をみると、臨場感および迫真性ともに、ほぼすべての振動条件において No vib 条件より印象強度が高かった。これは、音情報から生成した振動情報の付加が、実測振動と同様に空間に対する高次感性に重要な役割を果たすことを示す。また、迫真性の評価においては、振動条件 ViLA -6 dB と ViLA -9 dB の場合の評価値が Original 条件よりも高かった (図 5)。音情報から生成した振動の振幅条件によっては、実測値の場合と比べてより高い「本物らしさ」を提示できる可能性を示唆する。

迫真性の評価において、ViLA の振幅条件によっては Original 振動よりも高い印象強度が得られた理由として、Original 条件における評価値が 40~50 s の間と 70~80 s の区間で大きく低下したと関連があると考えられる。この区間は、プレーヤ全員が測定ポイントから遠く離れた場所でプレイしており、測定点における Original 振動が非常に小さい時間帯であった。すなわち、ボールが地面を叩く音や足の着地音、ジャッジのホイッスル音など、視聴覚

情報によりプレーの流れは感じられつつ、振動情報はほぼ感じ取れない時間帯であった。今回の実験では、視覚刺激として 2D 映像を使用したため視覚的な奥行感はほとんどなく、上記の時間帯においては被験者とプレーヤとの奥行距離を実距離より短く感じた可能性がある。そうだとするならば、実測振動値がほぼ 0 である上述の時間帯においても「望ましい振動」としてある程度の身体的な揺れを期待した可能性が考えられる。また、被験者によっては、測定ポイントにおける観測ではなく、プレーヤの視点で感性評価を行った可能性もある。このため、場面の主役の本物らしさを表す感性指標である迫真性の評価値が急激に下がったと思われる。一方、音情報はコンテンツのほぼ全区間に存在しており、このため音情報から生成した振動の場合は Original 条件のような印象評価の起伏が見られず、ほぼ一貫して高い印象強度を保っていたと考えられる。以上の考察は、物理的な測定値の忠実な反映が必ずしも高い高次感性をもたらすとは言えない可能性を示しており、これについては今後更なる検討を進める必要がある。

体験後の印象強度の平均値を見ると、臨場感の場合、振動振幅の増加に伴って印象強度が増加し、ViLA -6 dB 条件でピークを迎えたあと振動振幅が ViLA 0 dB になるまで評価値が飽和した。その後、振動振幅がさらに増加し、ViLA 3 dB になると評価値が下がる傾向にあった。JIS C1510 に定められた感覚補正のための周波数重み付けの結果である振動レベルで考えると、音情報から生成した振動は全体的に実測振動より大きい値であり、特に 3 dB の場合は、実測振動よりも +20 dB と非常に大きい振動感覚である。先行研究では、臨場感は音圧や振動振幅といった物理量に対し実際の値をかなり超えても単調増加傾向を示す心的指標であるとの知見が示される一方 [14][11]、刺激強度が実際よりも過剰に大きい場合は、臨場感指標においても飽和現象が起きるとの報告もなされている [19]。今回の実験条件においても、3 dB 条件では振動値が過剰に大き

く、評価値が飽和若しくは低下した可能性が考えられる。

迫真性の場合、振動振幅の増加に伴って印象強度が急激に増加し、 -9 dB 程度で最大値に達した後、振動振幅の更なる増加に伴って評価値が急激に下がる。このことは、迫真性という感性指標が、音信号の強さや映像と音の動機ずれなどの場合と同様に、臨場感と比べて振動振幅の変化により敏感に反応する性質を持つ可能性を示唆する [9][12]。また、今回の実験では、迫真性の印象強度の最大値が ViLA -9 dB 条件で見られたが、実際は -9 dB よりも低い振動レベルでピークが表れる可能性がある。前述のように、JIS C1510[17] に定める振動感覚の周波数補正を用いて振動レベルを計算した結果、ViLA 0 dB 条件における振動レベルは Original と比べて $+17$ dB 高かった。この結果は、70Hz 以下の音から生成された振動 (ViLA) の振動レベルは、ViLA と同じ振動振幅レベルを有する実振動と比べて比較的高くなることを意味する。このため、印象評価の最大値は、Original と同じ振動レベルである ViLA 振動レベル -17 dB と、今回の実験結果のピーク値 -9 dB の間に位置する可能性が考えられる。すなわち、図 8 が示す迫真性の評価値のカーブを、No vib と ViLA -9 dB との間のピークを有する減衰と見なすことができる。先行研究 [9][12] において、提示刺激の実測値付近に迫真性の最大値が見られることを考えると、ViLA においても実測値付近、すなわち ViLA -17 dB 付近にて最大評価値が得られる可能性が考えられる。これについては、今後実験パラメータを再設定し、更なる検討を進めたいと考えている。

5. まとめ

本研究では、視聴覚コンテンツの音信号の低周波成分 (<70 Hz) から全身振動 (ViLA) を生成し、構築した振動情報が高次感性評価にどのような影響を及ぼすかを検討した。印象強度の継時変化の結果、臨場感と迫真性ともにほぼすべての振動条件において No vib 条件より印象強度が高く、迫真性の場合には Original 条件よりも高い印象強度が得られる場合のあることを示した。コンテンツ体験後の印象評価の結果からは、 -9 dB と振動振幅が Original 条件に近い振動強度の場合に高い迫真性評価が得られることが分かった。また、迫真性は臨場感と異なり、物理的な感覚情報量の変化に対応する窓幅がより狭い可能性を示した。

謝辞 本研究の一部は、NICT 委託研究「革新的な三次元映像技術による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発」、文科省科研費基盤研究 B (課題番号: 26280067) による。

参考文献

[1] Y. Suzuki, T. Okamoto, J. Trevino, Z. Cui, Y. Iwaya, S. Sakamoto and M. Otani: 3D spatial sound systems

compatible with human's active listening to realize rich high-level kansei information, *Interdisciplinary Information Sciences Journal*, Vol. 18, No. 2, pp. 71-82, 2012.

[2] 榎並和雅, 岸野文郎: 今後の超臨場感にかかわる研究はどこを目指すべきか, *電子情報通信学会誌*, Vol. 93, No. 5, pp. 363-367, 2010.

[3] M. Lombard, T. Ditton: At the heart of it all: The concept of presence, *Journal of Computer-Mediated Communication*, Vol. 3, No. 2, 1997.

[4] M. Slater, A. Steed A, J. McCarthy, F. Maringelli: The influence of body movement on presence in virtual environments, *Human Factors*, Vol. 40, No. 3, pp. 469-477, 1998.

[5] T. B. Sheridan, *Musings on telepresence and virtual presence: Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 1, No. 1, pp. 120-126, 1992.

[6] 正岡顕一郎, 江本正喜, 菅原正幸, 岡野文男: 広視野・超高精細平面ディスプレイの画角と臨場感の関係, *映像情報メディア学会技術報告*, Vol. 28, No. 31, pp. 17-20, 2004.

[7] K. Ozawa, M. Miyasaka: Effects of reproduced sound pressure levels on auditory presence, *Acoustical science and technology*, Vol. 25, No. 3, pp. 207-209, 2004.

[8] 寺本渉, 吉田和博, 浅井暢子, 日高聡太, 行場次朗, 鈴木陽一: 臨場感の素朴な理解, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 15, No. 1, pp. 7-16, 2010.

[9] 寺本渉, 吉田和博, 浅井暢子, 日高聡太, 行場次朗, 鈴木陽一: 「迫真性」を規定する時空間情報, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 15, No. 5, pp. 483-486, 2010.

[10] 行場次朗: 図と地の知覚 - 視覚の心理 -, *電子情報通信学会誌*, pp. 315-320, 1991.

[11] Akio Honda, Takayuki Kanda, Hiroshi Shibata, Shuichi Sakamoto, Yukio Iwaya, Jiro Gyoba and Yōiti Suzuki: Senses of presence and verisimilitude of audio-visual contents: Effects of sounds and playback speeds on sports video, *Interdisciplinary Information Sciences Journal*, Vol. 21, No. 2, pp. 143-149, 2015.

[12] 本多明生, 神田敬幸, 柴田寛, 浅井暢子, 寺本渉, 坂本修一, 岩谷幸雄, 行場次朗, 鈴木陽一: 視聴覚コンテンツの臨場感と迫真性の規定因, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.18, No.1, pp. 93-101 2013.

[13] 柳生寛幸, 崔正烈, 坂本修一, 大谷智子, 鈴木陽一, 行場次朗: 多感覚情報の同期ずれが体験中の高次感性知覚に与える影響, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 20, No. 3, pp. 199-208, 2015.

[14] S. Sakamoto, G. Hasegawa, A. Honda, Y. Iwaya, Y. Suzuki, J. Gyoba: Body vibration effects on perceived reality with multi-modal contents, *ITE Transactions on Media Technology and Applications*, Vol. 2, No. 1, pp. 46-50, 2014.

[15] S. Sakamoto, Z. Cui, T. Ohtani, Y. Suzuki, J. Gyoba: Effects of vibration information on the senses of presence and verisimilitude of audio-visual scenes, *INTER-NOISE 2016*, pp. 1777-1782, 2016.

[16] B.R.Schröder and B.S.Atal, *Computer simulation of sound transmission in rooms*, *IEEE Inter. Conv. Rec.* No.7, pp.150-155, 1963.

[17] 日本規格協会: 振動レベル計, JIS C1510, 1995.

[18] 松本互平: 人体の振動感覚特性と振動基準, *関西造船協会論文集*, No. 238, pp. 147-153, 2002.

[19] 崔正烈, 高橋恵美, 柳生寛幸, 坂本修一, 大谷智子, 行場次朗, 鈴木陽一: 振動付加が 3D 映像コンテンツの高次感性評価に及ぼす影響, *電子情報通信学会技術研究報告*, EMM2015-64, pp. 19-23, 2016.