



聴覚障害者のスポーツ観戦体験向上のための 提示振動の作成手法の検討

四元菜月¹⁾, 山崎勇祐²⁾, 長谷川晶一¹⁾

1) 東京工業大学 工学院情報通信系

2) Hapbeat 合同会社

概要: 聴覚障害者がオンラインでのスポーツ観戦時に抱える、観客の盛り上がりがかたが聞こえないために一体感を感じにくいという課題に対し、「観客の発する音」を振動で表現することが有効であると考えた。聴覚障害者のための触覚コンテンツは前例が少なくその作成の指針が定まっていないことから、本稿では触覚デザインの第一歩として、現実の加速度に即した振動と制作コストの低い単純な振動を比較検討した。その結果、加速度由来の振動は映像内の観客の動作と結びつけやすく、観客の盛り上がり強調することが確認された。

キーワード: 触覚デザイン, ウェアラブル, アクセシビリティ, スポーツ観戦

1. はじめに

新型コロナウイルスの感染拡大や動画配信サービスの普及に伴い、近年オンラインでのスポーツ観戦の機会が増えている。しかしながら、テレビや動画のコンテンツは視聴覚の両方を用いて楽しむように設計されているため、聴覚障害者がスポーツの映像を楽しむためには困難がある。聴覚障害者が現地でのスポーツ観戦において求めることは大きく分けて「情報保証」と「観客との一体感の醸成」であることが水野ら [1] によって指摘されている。近年増加しているオンライン観戦における情報保証という観点では、字幕放送の取り組みや、Uchida らによる手話 CG の自動生成 [2] などの提案がすでに行われている。しかしながらオンラインのスポーツ観戦では観客の雰囲気や盛り上がりがかたがわりづらく、一体感を感じにくいという聴覚障害者の指摘 [3] があり、スポーツ観戦の持つエンターテインメント性が損なわれていることがわかる。したがって、オンラインでのスポーツ観戦において聴覚障害者がいかにして観客の存在や感情を感じ、現地にいる観客と興奮を共有しているという一体感を持つことができるかが課題となっている。

健聴者は、スタジアムにいる観客が発する音（拍手、声援、歓声、どよめき、応援歌）によって観客の存在を印象づけ、彼らの雰囲気や反応を感じ取っていると考えられる。新型コロナウイルスが蔓延し声出し応援を禁止した B リーグにおいて、事前に録音したファンの掛け声を試合中に流して盛り上げた事例があることが、藤田ら [4] によって報告されている。また、プロ野球の無観客試合に関する意識調査 [5] では、打撃音や捕球音、選手の音が聞けて楽しめたという意見に次いで、スタンドにファンがいない風景が寂しかった、応援の音・声がなくて寂しかったという意見が多かったを報告している。このように、健聴者にとって、観客の発する音は、観客の存在や盛り上がりを感じる上で重

要であり、スポーツ観戦のもつエンターテインメント性に大きな役割を果たしていると考えられる。

聴覚障害者が観客の盛り上がりを知覚するために、スタジアムにいる観客が発する音をテキストや絵文字、色を用いて視覚的に提示し、観客の雰囲気を伝える提案 [6][7] はすでに行われているものの、スタジアムにいる観客が発する音を振動として提示する試みは少なく、その振動コンテンツの制作の指針が定まっていないという課題がある。音と振動の間には相互に密接な物理的関係があり、実際に聴覚障害者への振動触覚刺激が視聴覚メディアの鑑賞において感情面にプラスの影響をもたらす [8] ことから、スタジアムにいる観客が発する音を振動として提示することでより直感的に観客の雰囲気を伝えられる可能性がある。

そこで本稿では、振動コンテンツの制作の方針を定めることを目標に、一定の強さの単純な振動を提示する先行研究 [9] を発展させ、動画音声の音量変化に合わせて強さを変化させた正弦波由来の振動（以後これを単純な振動と呼ぶ）を用意し、それよりも実際の加速度の波形を用いた振動の方が良い体験になるのではないかと仮説の元、実験を行った。また、健聴者と聴覚障害者の間に振動の感じ方や好み、需要に何らかの差があるという仮説についても、アンケートやインタビューを通じて検証を行った。

2. 関連研究

視覚と触覚の両方を用いたアプローチとして、Fukui らは機械学習技術を用いて観客の歓声を検出し、スマートフォンとスマートウォッチの両方に通知する提案を行った [3]。観客の興奮度を 3 段階に分類し、スマートフォンの画面に色とイラストで表示した。そして強い盛り上がりを検知するとスマートウォッチにバイブレーションで通知するしくみである。1 種類のスポーツ観戦を対象とした場合では 90 %

以上の精度で観客の盛り上がりを検出可能であることを示した上で、聴覚障害者から、振動での通知の頻度が多く煩わしいという意見や、試合の状況や得点した選手の詳細などの付加的な情報を求める意見があったことを報告している。

触覚提示の有効性を検証したものととして、日野らは観客の歓声や応援などの音情報を抽出し、音量が大きくなる場面でオンラインでの観戦者に一定の振動を提示し、その効果の検討を行った [9]。健聴者への実験の結果、振動により観客との一体感が向上することを報告している。しかしながら均一的な振動¹を提示するのみでは臨場感の向上は確認できなかったとしている。また、提示された振動と次々に移り変わる映像の場面の意味を結びつけることに、被験者が困難を感じた可能性を筆者らは指摘している。また、オンラインでのスポーツ観戦において遠隔地にいる観戦者同士がハイタッチをして一体感を得るために振動を提示する駒崎らの提案 [10] では、ハイタッチの映像のみよりも、実際に計測した振動と一緒に提示するほうが一体感を得られることが、聴覚障害者への聞き取りで示唆されている。

現段階で、聴覚障害者に観客の声援や拍手を振動として提示する試みや、その振動の作り方について検討したものは少なく、どのような振動が一体感の醸成に有効であるのかが不明である。

3. 提案手法

そこで本研究では、触覚コンテンツ制作の第一歩として、単純な振動と加速度から生成した振動を比較し、健聴者と聴覚障害者にインタビューを行うことで、振動生成の需要や好みについて探ることとした。

振動提示には、入力信号の波形に忠実な振動を遅延なく提示でき、小型であるため将来日常的に視聴覚コンテンツと共に振動コンテンツを体験する際に実用的であるという観点から Hapbeat [11] を用いた。

3.1 実験刺激

相撲の取組の動画 [12] のうち、試合開始 2 秒前から懸賞を受け取る直前までの約 53 秒を切り出した。

本稿では、実験刺激として使用する動画内で発生する「観客が発する音」を以下のように分類、定義する。

- 歓声：得失点が発した後に観客が挙げる声
- どよめき：得失点の可能性が突然生じたときに観客が挙げる声
- 拍手：良いプレーを讃える、得点を喜ぶ際に観客が手を叩く音

その上で、上記の「観客が発する音」以外の、会場のアナウンスや実況の音声、競技内で発生する音は分離した。音声の分離には Demucs [13] を使用し、分離が不十分な箇所は音声編集ソフト Audacity を用いて手動で取り除いた。音声分離後の「観客が発する音」の音声トラックを、以後「元音声」と呼ぶ。

¹本文に明確な記載はないが、偏心振動子に一定の電圧を付加したものである

本実験で用いた 2 つの振動の作成方法は以下の通りである。まず、単純な振動の作成方法として、100 Hz の正弦波のエンベロープを「元音声」のエンベロープに合わせ、この振動を「振動 SIN」と定義した。次に、加速度由来の振動について、手と喉に加速度センサ (Freescale, MMA7361L) を貼った状態で拍手と声出しを行い、振動情報を収録した。得られた 2 つの振動情報のエンベロープを「元音声」のエンベロープに合わせ、それぞれ拍手のトラックと歓声・どよめきに該当するトラックとした。そして、この 2 つのトラックを重ね合わせて出力し、加速度由来の振動「振動 ACC」とした。振動 SIN、振動 ACC を提示しながら動画を見る実験条件をそれぞれ条件 SIN、条件 ACC とした。条件 SIN と条件 ACC の振動はどちらも RMS を 20 にそろえた。

4. 評価

4.1 実験参加者

実験参加者は、20 代の聴覚者 6 名 (男性 5 名, 女性 1 名) と、40 代の聴覚障害者 4 名 (男性 2 名, 女性 2 名) であった。聴覚障害者のうち、中等度難聴 (普通の会話が聞きづらい) と回答した者が 1 名、高度難聴 (普通の会話が聞き取れない) と回答した者が 1 名、重度難聴 (耳元で話されても聞き取れない) と回答した者が 1 名、その他と回答した者が 1 名だった。

4.2 実験手順

実験に先立って、提示する振動刺激は「観客の声援や拍手」を表現したものであると伝えた。振動と同時に提示する動画については、音量を 0 に設定し動画に区別用のスタンプを貼った以外は編集を行わなかった。実験参加者を二つのグループに分け、グループ A は条件 SIN、条件 ACC の順で、グループ B は条件 ACC、条件 SIN の順で実験を行い、それぞれの実験条件後に提示した振動の第一印象についてインタビューを行った。その後、条件 SIN と条件 ACC のそれぞれについて、以下の Q 1 から Q 5 に評定尺度法による回答を求めた (1:まったくそう思わない~7:とてもそう思う)。

Q 1 振動が試合映像の出来事と連動していると感じましたか。

Q 2 振動を映像の一部として自然に感じ取ることができましたか。

Q 3 振動が観客の興奮や緊張を強調していると感じましたか。

Q 4 振動の強さやタイミングに違和感を感じましたか。

Q 5 振動によって、会場にいる観客の存在を意識しましたか。

実験が質問項目に回答した後、その回答内容についてインタビューを行った。

4.3 実験結果

Q 1-5 の質問について、条件 SIN、条件 ACC それぞれについての回答結果を図 1 に示す。また、各個人が Q 1-5

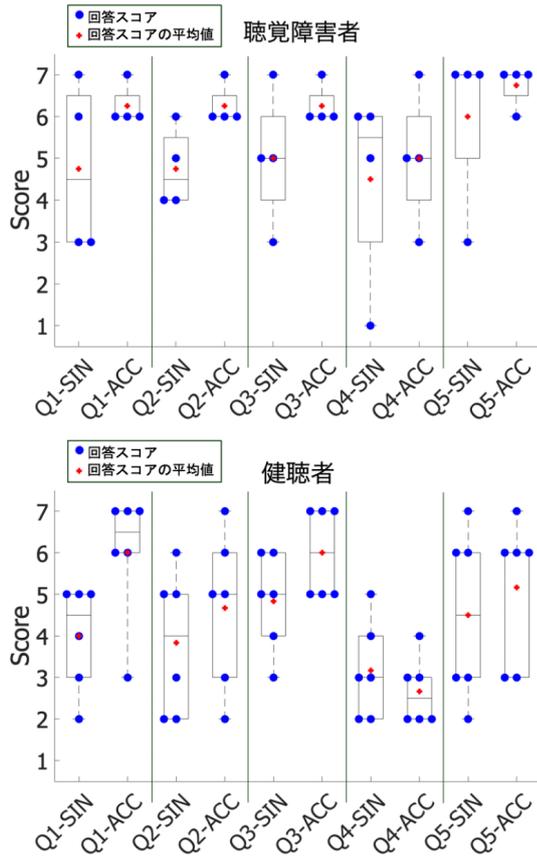


図 1: アンケートの回答結果

の質問について条件 SIN より条件 ACC のスコアをどの程度高くつけたかについて、差分スコアを図 2 に示す。

5. 考察

5.1 単純な振動と加速度由来の振動の比較について

振動 SIN と振動 ACC の比較について、Q 1,2,3,5 については、健聴者と聴覚障害者いずれにおいても、条件 SIN より条件 ACC の平均スコアが高いことが示された。また Q 1,2,3,5 については、実験参加者全員について条件 ACC のスコアが条件 SIN のスコア以上 (条件 $SIN \leq 条件 ACC$) であった。このことから、健聴者、聴覚障害者いずれにおいても、条件 ACC の体験の方が条件 SIN より良かったと感じていることが示唆された。

条件 ACC の体験の方が良かった理由として、加速度由来の振動の方が拍手の感覚を出せたこと、またそれに伴い強弱をより強く感じられたことが考えられる。条件 ACC について拍手に言及した参加者は 8 名 (健聴者 5 名、難聴者 3 名) で、それに伴い緊迫感 (1 名)、緊張感 (1 名)、迫力 (3 名) という言葉を使った者がいた。また、条件 ACC には強弱がある、または条件 SIN には強弱がないと発言した者が 3 名 (健聴者 2 名、難聴者 1 名)、条件 ACC は振動が強い、または条件 SIN は振動が弱いと発言した者が 2 名 (健聴者 1 名、難聴者 2 名) いた。条件 ACC は振動の強弱、メリハリがない (難聴者 1 名) と発言した者もいたが、以上の結果から条件 ACC について大半の人が拍手の振動を感

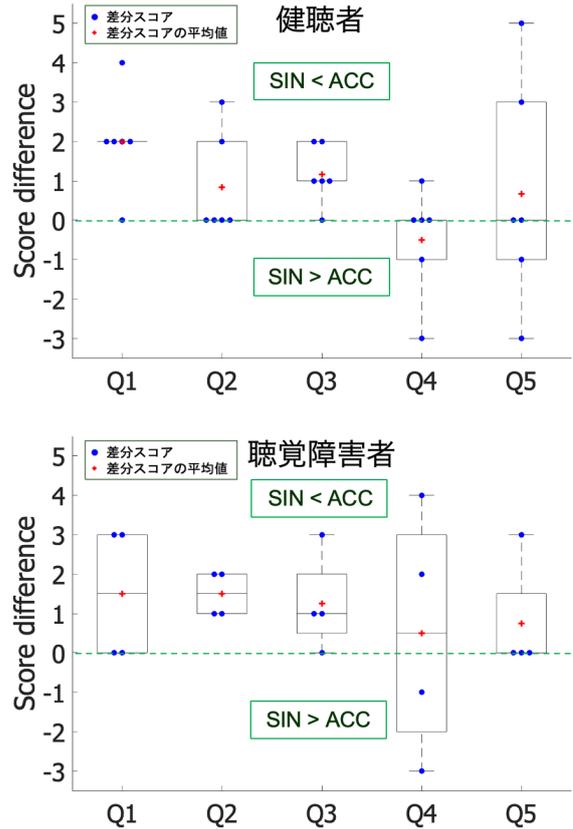


図 2: 健聴者、聴覚障害者における、同一参加者の条件 ACC のスコアから条件 SIN のスコアを差し引いた結果

じ、それによって振動の強さや強弱を感じ、迫力を感じるに至ったことが読み取れる。

5.2 健聴者と聴覚障害者の差について

5.2.1 「自然な振動」についての捉え方

図 2 から、Q 2 について聴覚障害者の 4 名全員が条件 $SIN < 条件 ACC$ であった一方、健聴者は 2 名が条件 $SIN < 条件 ACC$ で、残りの 4 名が条件 $SIN = 条件 ACC$ であった。聴覚障害者への振動の第一印象のインタビューにおいて、条件 SIN については「強弱がない」、条件 ACC については「拍手の振動が強すぎる」「拍手のリズムに違和感を感じる」「痛くはないけど振動が強い」という意見が出ており、条件 ACC について違和感を感じる箇所があるものの 4 名とも Q 2 では条件 $SIN < 条件 ACC$ であることから、聴覚障害者にとって「わかりやすい振動」が自然な振動であるということが示唆された。ここで指摘したわかりやすい振動とは、振動の対象の動きと連動した振動のことである。一方で、1 名の健聴者からは「拍手が思ったより爆発的。パチパチはもっと高周波寄り (今回は) 太鼓みたいだった」という指摘があり、健聴者は音が聞こえているため、音に即した振動を提示した方がより違和感が少ない可能性がある。

5.2.2 振動の需要について

振動への需要について、聴覚障害者は「聞こえない人はね、お客さんとか声とか相撲の音とか全く聞こえないからわからないのね。この振動によってお客さんのワーとかオー

とかがすごくわかりやすい。」など、振動があること自体に好意的である発言があった。逆に健聴者は「音があるのと比べると、振動だけだと会場の雰囲気とかはわかりづらい。」や、「映像の盛り上がりとは振動の強弱はわかるものの、感覚として結びつかない。コンテンツとして関係があるように思えない(健聴者2名)」など、振動提示に対してネガティブな発言があった。健聴者は日常生活において音が聞こえているため、振動提示に必要性や意義を見出しにくい傾向にある可能性が示唆された。

5.3 振動と動画との対応関係について

インタビューを通じて、振動コンテンツを制作する上で、振動で表現しているものが映像内に映っているか否かが体験に大きな影響を及ぼす可能性があることが示唆された。本実験動画では相撲をしている力士たちの後ろに観客が大勢映り込んでいたが、それについて「画面に映っている観客が拍手している様子を見て初めて(振動が)拍手だとわかった。はじめは音楽かなと思った。」という聴覚障害者の意見や、「振動と会場で起こっていることの対応がよくわからなくて、多分拍手してるんだと思うんですけど、画像に写っているものはあんまり拍手していなかったりして。だから何による振動なのかわかりづらいかもしれない。」という健聴者の意見があり、振動の対象が画面内に映っていることや、その動きと振動が連動していることが状況把握に重要な役割を果たしている可能性がある。

6. まとめ

本研究では、聴覚障害者がスポーツ観戦時に現地観戦している観客と一体感を感じることを目的とした振動コンテンツの作り方について提案した。振動コンテンツ制作の前例が少なくその指針が定まっていないという背景から、振動の好みや需要、感じ方の傾向を分析するために、波形の異なる二つの振動を比較した。振動の質を現実ものに即したほうが良い体験になることが明らかになったものの、提示振動に違和感や不快感を感じるという意見があり、実用化への課題も明らかになった。今後は実際の使用シーンを念頭に、振動の種類を示した字幕の導入や振動の対象が映像内に映っていない時に振動を弱くする演出等、映像と共に使用することを前提とした振動設計や、長時間の振動提示においても不快感を感じにくくするような設計が必要である。

参考文献

- [1] 水野映子. 誰もがスポーツ観戦を楽しむための情報提供のあり方-観戦時の情報入手が困難な聴覚障害者の視点から-. pp. 29-42, 4 2017.
- [2] Tsubasa Uchida, Hideki Sumiyoshi, Taro Miyazaki, Makiko Azuma, Shuichi Umeda, Naoto Kato, Nobuyuki Hiruma, Hiroyuki Kaneko, and Yuko Yamanouchi. [paper] systems for supporting deaf people in viewing sports programs by using sign language animation synthesis. *ITE Transactions on Media Technology and Applications*, Vol. 7, No. 3, pp. 126-133, 2019.
- [3] Hayato Fukui, Jee-Eun Kim, and Masahiro Bessho. Supporting deaf and hard-of-hearing people to watch sports by detecting excitement using mobile and wearable devices. In *2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, pp. 716-718, 2022.
- [4] 帆乃華藤田, Honoka Fujita, 里加子佐原, Rikako Sahara, 隆景相馬, Takakage Soma, 大輝後藤, Taiki Goto, 晃大野, Ko Ono, 浩彰二宮, Hiroaki Ninomiya. コロナ禍におけるプロスポーツとオリンピックの観戦スタイル: スポーツ観戦に関連する新聞記事のテキストマイニング. 同志社スポーツ健康科学, *Doshisha Journal of Health Sports Science*, pp. 19-28, Jun 2021.
- [5] 株式会社ジュピターテレコム. プロ野球の無観客試合に関する意識調査. 2020年7月28日.
- [6] 西田 昌史 綱川 隆司 西村 雅史 矢島 義久. 聴覚障がい者を対象とした競技場の音の認識と可視化. 情報処理学会第81回全国大会, Vol. 2019, No. 1, pp. 775-776, 2019.
- [7] 久我智也. 世界の学生からスポーツテックの新アイデア、パナがイベント主催, 2021. <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/news/18/11138/> (参照 2024-07-01).
- [8] Álvaro García López, Víctor Cerdán, Tomás Ortiz, José Manuel Sánchez Pena, and Ricardo Vergaz. Emotion elicitation through vibrotactile stimulation as an alternative for deaf and hard of hearing people: An eeg study. *Electronics*, 2022.
- [9] 日野優介, 米村俊一. ゲームの盛り上がり振動で体験できる聴覚障害者向けオンライン野球観戦システムの検討. 電気情報通信学会 信学技報, 第 vol.123 巻, pp. 70-75, 2023.
- [10] 駒崎掲, 渡邊淳司. 触覚伝送による“リモートハイタッチ”: アスリートの家族間コミュニケーションや聴覚障がい者との観戦検討. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 27, No. 1, pp. 2-5, 2022.
- [11] Yusuke Yamazaki, Hironori Mitake, and Shoichi Hasegawa. Implementation of tension-based compact necklace-type haptic device achieving widespread transmission of low-frequency vibrations. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 15, No. 3, pp. 535-546, 2022.
- [12] Internet Archive, 2014. https://archive.org/details/honbasho-2014-nagoya/july_2.mp4 (参照 2024-07-01).
- [13] Alexandre Défossez, Nicolas Usunier, Léon Bottou, and Francis R. Bach. Music source separation in the waveform domain. *CoRR*, Vol. abs/1911.13254, 2019.