

聴覚障害児を対象とした環境音学習のための 音響特徴量の可視化に関する基礎的検討

加藤優^{†1} 平賀瑠美^{†2} 若月大輔^{†2} 安啓一^{†2}

概要：これまでに、聴覚障害児を対象にした環境音学習のために音の提示による聴覚情報とともに音圧の波形の映像を併用する学習システムを試作し実験を行った。主観評価により、映像の併用で学習しやすくなるという示唆が得られたが、学習効果については定量的に示すことができなかった。そこで、音圧の波形のみでは学習効果が不十分であると考え、音圧以外の音響特徴量も可視化して学習時に聴覚情報とともに提示する方法について検討する。本報告では、学習効果の定量的評価に先立ち、効果的だと思われる音響特徴量を可視化したものを視覚情報として用い、9名の聴覚障害者を対象に視覚情報の主観評価を行った結果について議論する。

キーワード：聴覚障害者、環境音学習、音響特徴量、可視化

1. はじめに

本研究は、聴覚障害の重さにかかわらず、聴覚障害児が環境音学習を行えるシステムを制作することを目的としている。環境音は我々に季節の変わり目を感じる機会や暮らしの心地よさを提供してくれるだけでなく、自分が置かれている状況を把握し、適切な行動をとるためのヒントを与える[1]。しかし、多くの聴覚障害者にとって、残存聴力を活用しつつ様々な環境音を認知し、適した行動をとることは困難である。これまでにこの困難に対して、「聴覚障害児が覚えた方がよい環境音のリスト」を、聴覚障害者に対するアンケートから作成し、そのリストを基に環境音学習システムを試作した[2][3]。このシステムは、環境音当て問題とコンテキスト理解の問題が搭載されており、タブレット上で動作するものである。実際に聴覚障害児に使用してもらったところ、好評であり、その子どもたちの担当教員や保護者の方も実際に家庭や教育現場での活用を望んでいた。しかし、音がききにくい子どもだと聴覚情報だけでは学習ができないのではという不安の声もあった。

そこで、「環境音を聴覚情報だけでなく視覚情報も同時に提示することによって、重度の聴覚障害児も環境音学習が可能になる」のではないかと考え、聴覚障害が重い子どもたちにとっても環境音学習ができるシステムを構築することを目指すことにした。健聴者は環境音から音響的に多種多様な情報を受け取って環境音を認知している。このことから、環境音の音響分析によりいくつかの音響特徴量を組み合わせ可視化して、視覚情報として提示することが聴覚障害児の環境音学習に役立つのではないかと考えた。

本稿では、3つの音響特徴量を組み合わせ環境音を可視化した3種類の映像を試作し、映像の環境音学習における有用性について主観評価実験を行った結果について報告する。

2. 環境音学習のための視覚情報の作成

2.1 音響特徴量

音圧の波形以外に可視化する音響特徴量について、環境音の同定課題の正答率と相関があると報告[4][5]されている音響特徴量のうち、バーストと周波数スペクトルの尖度を採用した。バーストとは音圧の急激な変化であり、窓幅30msごとに音圧の最小値と最大値の差が4dB以上の場合、バーストありとした。尖度とは周波数スペクトルの4次の統計量である。

2.2 分析と可視化の方法

音響分析はMATLABで行い、特徴量ごとにcsvファイルに音響分析の結果を書き込んだ。音圧の波形についてはサンプリング(サンプリング周波数44.1kHz、量子化ビット数16bit)ごとの振幅の値、バーストについては30msごとのバーストの有無(有:1, 無:0)、周波数スペクトルの尖度については30msごとの周波数スペクトルの4次の統計量をそれぞれcsvファイルに書き込んだ。

特徴量の映像化は、音響分析の結果のcsvファイルを読み込み、動画として表示できるソフトウェアをVisual Studio 2017のC++言語で実装した。映像の表示サイズは、PCの画面の高さ1/3、幅1/2となるように設定した。表示画面の中央に赤線を表示し、現在の再生位置を示した。赤線の左側に過去の1秒間分、右側に未来の1秒間分の画像を表示させた。特徴量を可視化した画像が提示された音の時間に対応させて右から左に向かって動くようにした。

我々の以前の研究[6][7]より、重度の聴覚障害者にとって視覚情報として音圧の波形が併用されると、環境音学習がしやすいことが明らかになったため、音圧の波形は従来のままで表示させた。なお、音圧の表示にあたり、振幅は-1~1で正規化した。バーストは、2つの方法で可視化した。1つは、バーストなしを0、ありを0.3として矩形波で表した。もう一方は、バーストのある区間の背景を朱色で塗りつぶ

^{†1} 筑波技術大学大学院 技術科学研究科
National University Corporation of Tsukuba University of Technology

^{†2} 筑波技術大学 産業技術学部
Department of Industrial Information, Tsukuba University of Technology

表 1. 可視化の組み合わせ

	音圧	バースト	周波数スペクトルの尖度
vis-A	波形	波形	背景色
vis-B	波形	背景色	波形
vis-C	波形	波形	波形

した。周波数スペクトルの尖度も2つの方法で可視化した。1つは、尖度の値を-1~1に正規化して、尖度の時間変化を表示させる方法である。もう一つは、背景色に尖度の値の0~1をHSV¹のHの0°~240°に設定して、30msごとの尖度を背景色で表示させる方法である。なお、SとVは1で固定した。以上のそれぞれの特徴量の可視化方法を組み合わせて(表1)、3通り(vis-A, vis-B, vis-C)の映像を表示した(図1~3)。

3. 実験

3.1 目的

第2章で述べた方法で作成した映像を環境音学習に併用する場合の受容について検討することを目的とする。聴覚障害者に対する主観評価実験を実施して、これを明らかにする。

3.2 実験参加者

実験参加者は、聴覚障害者9名(男性5名、女性4名、平均22.8歳(21~24歳)、両耳ともに裸耳90dB以上)である。そのうち、補聴器着用者は6名であり、4名が先天性、2名が後天性の難聴である。人工内耳着用者は3名であり、全員が小学校に入学する前から装着している。

3.3 刺激

実験で用いた環境音は以前の同定実験[7]で使用した音源から次の6種類を選択した。聴覚障害者が同定しやすい環境音として dog barking (犬の鳴き声), telephone ringing (電話のベル), footsteps (人の足音)の3種類、同定しにくい環境音として man drinking (人が飲み物を飲んでいるときの音), cow mooing (牛の鳴き声), thunder (かみなりの音)の3種類である。音データは CD²やフリー素材提供サイト³より収集し、ラウドネスをそろえる処理を行った。実験で用いた映像は、第2章で述べた3種類の方法で作成したものを環境音6種類に対応させ、合計で18種類である。

3.4 実験手続き

実験手順は、次の通りである。

- 1)環境音とともに可視化した映像を視聴
- 2)学習しやすいと思う映像を1つ選択とその回答理由
- 3)アンケート

1)では、あらかじめ提示する環境音の名称を教示してから、環境音とともに可視化映像3種類を10秒間ずつ提示

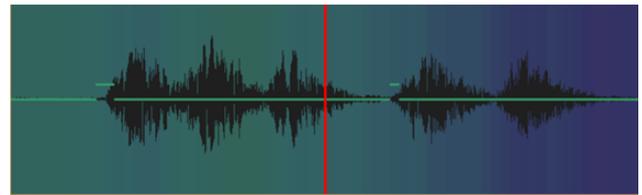


図 1. vis-A

- ・緑色の矩形は、バースト
- ・背景色は、尖度を示す。

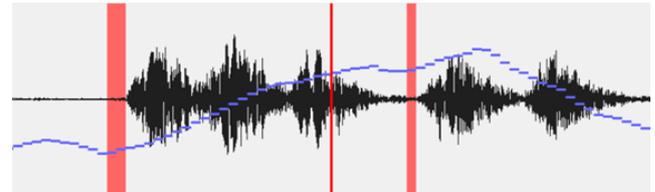


図 2. vis-B

- ・背景の赤い部分は、バースト
- ・青の実線は、尖度を示す。

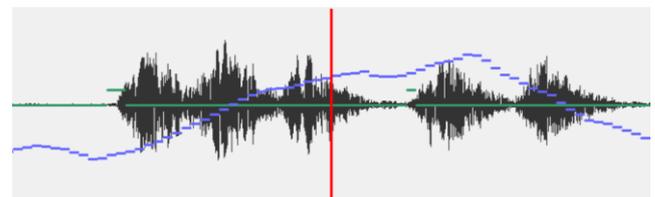


図 3. vis-C

- ・緑色の矩形は、バースト
- ・青の実線は、尖度を示す。

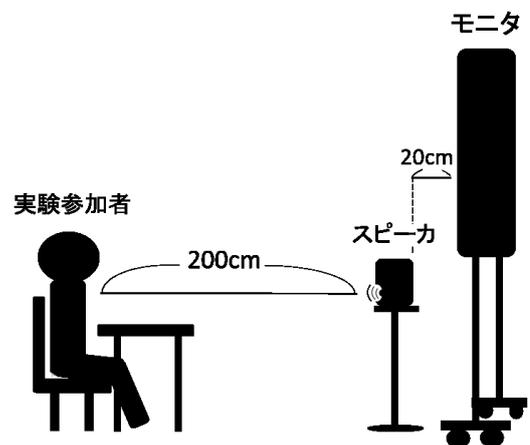


図 4. 実験中の配置図

した。実験参加者には可視化した音響特徴量の説明は行わなかった。実験参加者は、1種類の環境音ごとに3種類映像を視聴したのちに、2)で学習しやすいと思われるものを1つ選択し、選択した理由を記入してもらった。6種類の環境音について1)~2)を繰り返した。映像の提示順はランダム

1 「色相(Hue)」「彩度(Saturation)」「明度(Value)」の3要素で色を表現する方法
2 「新・効果音大全集」(キングレコード製 1987年発行)
3 <https://soundeffect-lab.info/>, <http://taira-komori.jp.org/>など

表 2. 主観アンケートの設問および回答

質問内容	回答率		
	「思う」	「どちらでもない」	「思わない」
Q1. 環境音を可視化した映像は、音響だけの場合と比べて環境音学習において学習しやすくなると思うか？	78%	11%	11%
	コメント ・音の大きさ、高低、出だしがハッキリするため、少しは学習しやすいと思う ・情報源が増えるため ・可視化によって音の出るタイミングとカリズムが取りやすいので学習しやすいと思う ・音のきっかけ、タイミングが分かるだけでもだいぶ違うと思う ・音だけだと今音が出ているの？出ていないの？となる人がいても、ああ今音が出ているんだと視覚的だけでもわかると良いんじゃないかなと思う	コメント ・もう少し改善すれば学習しやすくなるかも	コメント ・見えにくくて逆に学習しにくくなる時もあると思う
Q2. 環境音を可視化した映像は、音響だけの場合と比べて環境音学習において疲れそうだと思うか？	22%	56%	22%
	コメント ・学習するには相当の知識が必要。時間をかけるため、体力的に疲れるのではないかな。	コメント ・そんなに変わらない。TVを見るのと同じ感覚。 ・耳だけで集中するのは疲れるし、可視化した映像があっても目も耳も疲れる。でもどのタイミングで音が来るかわかるから、そこまで耳に集中しなくて良いと思う。 ・人によりますね。音だけの方が疲れる。何が来るのか分からないし、予測するための情報源が可視化なので映像があったほうが助かる。 ・個人差…？ ・人によっては目が疲れる人もいると思う。ずっと見続けると疲れると思う	コメント ・疲れないと思う。いつ音が出ているのか、逆に神経を張り詰めて音を探す方が疲れる。 ・音響よりも疲れにくいと感じた。音響だけだと逆に疲れる。
Q3. 本実験で使用した映像の他に、どのような視覚情報があると効果的だと思うか？	コメント		
	<ul style="list-style-type: none"> ・動画が欲しい。波形とセットでやると良いかもしれない。 ・幼児の心が引かれる工夫をすればよいのでは？ ・実際に音を出しているシーンと音の可視化を組み合わせた映像 ・波形と一緒に本当に鳴いている様子や、その音が出ている様子を一緒に流してほしい。その方がイメージしやすい。あとはもっと身近だと良いなおもう。たとえば、救急車の音、ドアの閉まる音、とか聴覚障害者がきくような音。あとは高低は正直つかめなことが多いと思う。音が大きい小さいは分かると思う。今こは高いとか低いとかヒントがあったらいいな。 ・音の高さがあるといいかも。 ・高低を表すために色を分けると小学生には分かりやすいかもしれない。 		

とした。映像提示は、65 インチのモニタ(NEC 製 LCD-E651-T-STP, 高さ 190 cm)で、音響提示はスピーカ(GENELEC 製 G One, 高さ 80 cm の机の上に設置)で行った。モニタの 20 cm 手前にスピーカが設置し、スピーカから実験参加者との距離は正面で 200 cm に固定した(図 4)。実験中の提示音量は、実験中でも実験参加者が任意で調整できるようにした。

3)では、視覚情報提示の環境音学習の学習しやすさ・疲労度についておよび今回の視覚情報以外で効果的だと思う視覚情報について、コメントを記入してもらった。

3.5 結果

2)「学習しやすいと思う映像の選択」の結果として、vis-A が 22%、vis-B が 33%、vis-C が 45%選択された。vis-C を選択した参加者の回答理由には、「シンプルで一番わかりやすかった」、「見やすいから」、「波形がハッキリしているから」という意見があった。vis-B に関しては、「あまり色がばらけてなくて見やすい」、「音が始まるタイミングが分かりやすいため」というコメントであった。vis-A に関しては「波形が見づらくて分かりづらい」、「色によって波形が見づらい」というコメントがあった。

3)については以下のような回答が得られた(表2)。

「Q1. 環境音を可視化した映像は、音響だけの場合と比べて環境音学習において学習しやすくなると思うか？」に対しては、「思う」78%、「どちらでもない」11%、「思わない」11%という結果であった。「Q2. 環境音を可視化した映像は、音響だけの場合と比べて環境音学習において疲れそうだと思うか？」に対しては、「思う」22%、「どちらでもない」56%、「思わない」22%という結果であった。「Q3. 本実験で使用した映像のほかに、どのような視覚情報があると効果的だと思うか？」に対しては、「幼児の心が引かれる工夫をすればよいのでは?」、「実際に音を出しているシーンと音の可視化を組み合わせた映像」などのコメントがあった。

3.6 考察

3.6.1 今回作成した視覚情報について

本実験では、学習しやすい映像として vis-C が多く選択された。参加者が vis-C を選んだ背景には、他の特徴量の可視化によって音圧の波形の見やすさを妨げていない仕様のためではと考えている。

評価が低かった vis-A については、デザインの専門家によると「色には人によって感じ方の先入観が存在しているため、提示された映像の背景色ときいた環境音がふさわしくないと考える人が多い」ということが原因として考えられるとのことであった。そのため、環境音学習に用いる視覚情報を作成するうえで色を使用する際には、それぞれ環境音のイメージに合った色(サイレン系の音ならば危険を感じるような色、子犬の鳴き声ならば可愛いような色)を選択する工夫をしなければならないという知見が得られた。

今回の視覚情報は3つの特徴量を組み合わせて可視化した。音響系の知識を有していない人やグラフを見慣れていない人にとっては複雑な視覚情報を並行して解析するタスクが過剰に生じてしまう恐れがある。本研究が目指す環境音学習システムの対象ユーザである子どもたちが理解できる視覚情報を意識して試作する必要がある。

3.6.2 聴覚障害者が要望する視覚情報について

もっとも頻出した視覚情報は、「実際に音が生じる映像や写真」、「音の高低を可視化」である。前者については、写真やイラストなどを併せて環境音を提示することが環境音のイメージ定着がより可能になることが考えられる。後者については、環境音自体にはピッチを有していないこともあるため、環境音の高低を表現するには今後検討を重ねていかなければならない。

3.6.1 視覚情報を併用した環境音学習について

視覚情報提示の環境音学習は、聴覚情報のみの場合と比べて学習しやすさがあるという回答が多かった。その一方、疲労度については音響情報のみの場合と変わらないと思うと回答した人も多かった。今回の実験は可視化の評価実験のみであり、学習実験を実施していないため学習しやすさに関して実質的な結果は得られていない。また、今回の実

験参加者自身も視覚情報提示の環境音学習を体験していない。そのため、視覚情報提示の環境音学習が学習しやすいことを確認するためには、以前の環境音学習における視覚情報の併用実験[7]において実験参加者の人数を多く増やして再度検討をする必要がある。

4. まとめ

聴覚障害が重い子どもたちにとって学習しやすい環境音学習が行えるシステムの構築を目指して、複数の音響特徴量を可視化した映像の環境音学習における有用性を聴覚障害者による評価実験を行い、検討した。その結果、次のような傾向を確認できた。(1)音圧の波形が見やすい映像を選択する傾向がある。(2)視覚情報提示の環境音学習はより学習しやすいと思う聴覚障害者が多い。(3)聴覚障害者が要望する視覚情報として、写真やイラストと音の高低の可視化などが挙げられた。

本来の目的である重度の聴覚障害児にとっても環境音学習ができるシステムを構築するためには、傾向(3)を含め、視覚情報提示の環境音学習が学習しやすいことの検討を重ねなければならない。今後も聴覚障害者にとって、環境音学習が容易になる視覚情報の追求を行う。

謝辞 実験結果の分析にあたって貴重なコメントを頂いた筑波技術大学産業技術学部 生田目美紀教授に感謝の意を表す。本研究の一部は、JSPS 科研費 JP2628001, JP15K01056, JP15K16414 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Valeriy Shafiro. Development of a large-item environmental sound test and the effects of short-term training with spectrally-degraded stimuli. *Ear & Hearing*, 2008, vol. 29, no. 5, p. 775–790
- [2] 加藤優, 平賀瑠美, 松原正樹, 寺澤洋子, 田原敬. 環境音とコンテキスト理解を支援するシステム-聴覚障害児のための環境音学習システム-. *信学技報*, 2016, vol.115, no.491, WIT2015-88, pp.1-5.
- [3] Yuu Kato, Rumi Hiraga, Masaki Matsubara, Hiroko Terasawa, and Kei Tabaru. A Learning System for Environmental Sounds on Tablets: toward a teaching resource for deaf and hard of hearing children. *Proc. Conf. Universal Learning design*, 31–34, 2016.
- [4] 湯野悠希, 松原正樹, 寺澤洋子, 田原敬, 平賀瑠美. 聴覚障害者の環境音同定における音響特徴の考察. *情報処理学会研究報告*, 2017, vol. 2017-AAC-4, no. 1.
- [5] Valeriy Shafiro, Perception of environmental sounds by experienced cochlear implant patients: *Ear Hear*. 2011, vol. 32, no. 4, pp. 511–523.
- [6] 加藤優, 平賀瑠美, 若月大輔, 寺澤洋子, 松原正樹. 聴覚障害者のための視覚情報を併用した環境音学習の基礎的検討. *情報処理学会研究報告*, 2017, vol. 2017-AAC-4, no. 2.
- [7] 加藤優, 平賀瑠美, 若月大輔, 安啓一, 寺澤洋子, 松原正樹. 環境音学習における視覚情報の有効性についての検討-重度の聴覚障害者を対象とする場合-. *日本音響学会, 2018 年春季研究発表会, 2018-3 発表予定*.