

空中像と超音波触覚による オノマトペの体験拡張の研究

林美奈^{†1} 大島登志一^{†1}

概要：本研究では、オノマトペという日本特有の表現である言葉を聴覚ではなく、視覚と触覚とで体験することのできるデバイスについて研究することを目的とする。具体的には、空中像に触覚を提示することで通常体験できないことをVRゴーグルなしで仮想的に直感的に体験できる。聴覚障害者にとってオノマトペは音の具体的なイメージをもつことが難しい。しかし、難聴の方がオノマトペのもつ微妙なニュアンスの違いを体験できるように体験者が選択したものを基に言葉（オノマトペ）を空中像に映し、その言葉に対して提示する触覚を変える。このような聴覚を使わず異なる器官を通じて言葉がもつ具体的なイメージが把握しやすくなるようなシステムの開発を行う。最終的には、聴覚障害者にとって音を理解することを支援することを目指す。今回の研究では、健聴者を対象として、本作品によって聴覚の代わりに視覚と触覚でオノマトペのイメージを伝えることができたかどうかを評価することとする。

1. はじめに

1.1 イントロダクション

聴覚障害者は、音を通じた言語習得の機会が限られており、特に音の特徴を象徴的に表すオノマトペ（擬音語・擬態語）の理解が難しいとされる。一方で、オノマトペは日本語において感情や状況を豊かに表す重要な語群であり、その理解支援は言語教育における重要な課題である。秋田喜美[1]は、オノマトペが音象徴（sound symbolism）を基盤とする語彙であり、音形と意味が密接に対応していることを示している。また、丹野眞智俊[2]は、オノマトペの清音・濁音・長音といった音韻の特徴が意味判断に影響することを実験的に明らかにしており、音が語彙理解の核心にあると述べている。しかし、廣田栄子[3]による『聴覚障害のある子どもの理解と支援』では、聴覚障害児が音声情報にアクセスしづらく、音に依存する語彙の理解が困難であることが指摘されている。そのため、「音を聴くことができない状況でも、オノマトペの感覚的意味を理解できるのか」という問いが新たに生じる。近年、この課題に対して多感覚（マルチセンサリー）提示を用いた新しい試みが報告されている。篠原雅之ら[4]では、オノマトペが感覚間の橋渡し（cross-modal mediation）として機能し得ることが指摘されており、音以外の感覚（触覚・視覚）を通じた理解支援が理論的にも裏づけられている。しかしながら、聴覚障害者がオノマトペをどのように認知・理解しているのかについての研究は依然として少なく、その教育的・感覚的側面は未だ明確にされていない。

1.2 研究目的

そこで本研究は、聴覚を使わずにオノマトペの意味的ニュアンスを触覚および視覚的体験によって感じ取ることができるかを検証し、触覚・視覚提示による「音の言葉の理解支援」の可能性を明らかにすることを目的とする。最終

的には、聴覚障害者にとって音を理解する支援を目指す。今回の研究では、健聴者を対象として、本作品によって聴覚の代わりに視覚と触覚でオノマトペのイメージを伝えることをできたかどうかを評価することとする。

2. 本研究のアプローチ

2.1 オノマトペについて

本研究では、文字上の記号としての理解にとどまりやすいオノマトペに着目し、とりわけ微妙なニュアンスの違いを含む表現として、雨を表す5種類のオノマトペ「ぽつぽつ」「しとしと」「ぱらぱら」「ざーざー」「どしゃどしゃ」と、同一の語でありながら状況によって意味合いが異なる3種類の「どきどき（緊張・興奮・運動）」を対象とした。これらのオノマトペに対して、聴覚の代替として空中像投影装置による視覚提示およびパラメトリックスピーカーによる触覚提示を行い、それぞれの意味的ニュアンスの違いを直感的に体験できるコンテンツの開発を目的とした。なお、本研究で使用したオノマトペは、小野正弘編『日本語オノマトペ辞典—擬音語・擬態語 4500』[5]を参考に選定した。

2.2 空中投影装置について

本研究では、触覚提示のみではなく、より直感的かつ空間的に把握しやすい体験を実現するため、空中像投影装置を用いた視覚提示を併用した（図1、図2）。なお、体験者が触れる位置に映像が観察されるように投影位置を調整している（図3）。これにより、体験者は、提示されている触覚刺激がどのオノマトペに対応しているのかを視覚的に確認しながら体験することが可能となり、学習時における対応関係の理解を促進できると考えられる。本装置は、既存の空中像投影装置に関する研究事例[6]を参考にしつつ、本

^{†1} 立命館大学映像学部

研究における実験環境および体験設計に適した形となるよう構成・制作したものである。



図 1 正面斜めと横から見た空中像投影装置

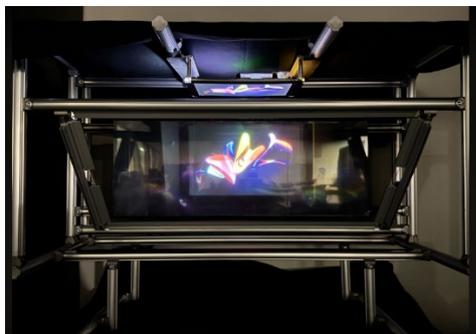


図 2 目の前に表示される空中像

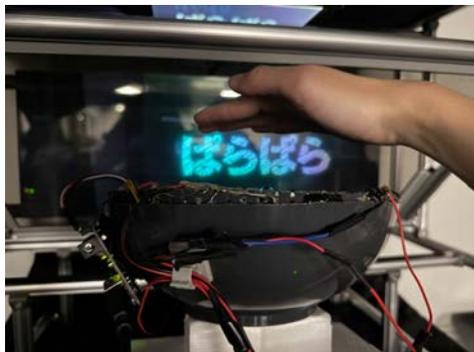


図 3 触れる位置に映像が観察される

2.3 パラメトリックスピーカーについて

パラメトリックスピーカー[7]とは、単一指向性スピーカーであり、音波の波源が放射するエネルギーが方向によって音量が異なるものである。ある方向の正面に立つと音がきこえるが、方向外のところに立つと聞こえないようになっている。これは、音の振動を利用して、音波が一点に集中すると触覚が発生する。対極に設置されたお椀型のパラメトリックスピーカーから放出される超音波を使うことで、超音波が1点に集中され、衝突する位置にモノを浮かせる空間を作り出すというアイデアをもとに、空中で触覚を提供できると考えた。当初は、研究室にあった50個の超音波振動子が備えられている装置を使用した(図4)。このパラ

メトリックスピーカーは秋月電子商通の実験キット[8]のものである。超音波振動子が円弧状に配置され、超音波が一点に集中するようになっている。そのため、体験者に音が聞こえないようにつ、手で触覚を感じられるように図5のように設置した。

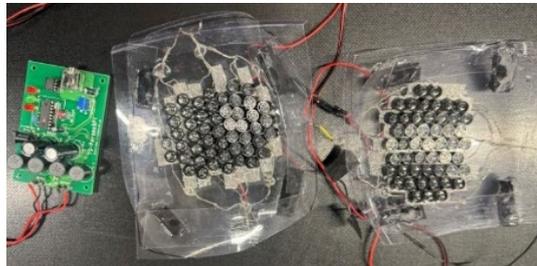


図 4 パラメトリックスピーカーの初期



図 5 初期パラメトリックスピーカーで体験している様子

このとき、超音波振動子が25個ずつ2つに分けられていたので、調整のしやすさと触覚強度の向上を目的として、新たにお椀型のボウルへ付け替える改良を行った。初期段階では、50個の超音波振動子をお椀型ボウルに半田付けし、お椀の底から約12.5cmの位置に触覚が生じるよう設計した。しかし、触覚の威力が十分ではなかったため、さらに50個の超音波振動子を加え、100個の超音波振動子から超音波を提示する構成へと変更した。その結果、より明確な触覚が得られることを確認した(図6)。触覚が感じられる位置は図7のようにになっている。

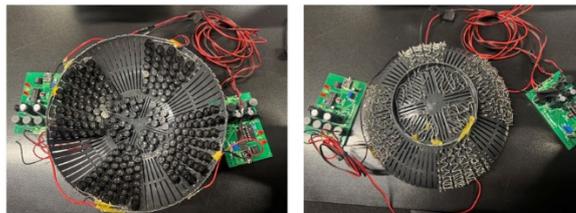


図 6 ボウルにパラメトリックスピーカーを装備

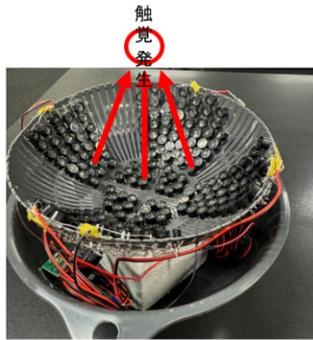


図 7 触覚提示

本装置は、お椀の底から上方へ向けて超音波を一点に集中させる構造であるため、お椀の向いている方向以外では音がほとんど聞こえない特性を持つ。また、出力される超音波の強度が大きいほど、触覚刺激も強く感じられる仕様となっている。しかし、空中像投影装置と組み合わせて使用するには、パラメトリックスピーカーが空中像の下部に設置されるため、超音波が空中像投影装置の板に反射し、体験者によっては音が聞こえてしまうという問題が生じた。

そこで、体験者の負担を軽減するため、必要なときのみ超音波が出力されるよう制御を行うこととし、当初は手の位置情報を検出するために超音波センサーの導入を試みた。しかし、超音波センサー自体も超音波を用いて距離計測を行うため、パラメトリックスピーカーから発生する超音波の影響を受け、正確な距離検出が困難であることが判明した。そのため、超音波センサーの代替として、光の反射を利用して検出を行うフォトリフレクタを採用した。フォトリフレクタは図8のようにパラメトリックスピーカーのお椀中心の底部に設置した。これにより、体験者の手がパラメトリックスピーカー上方に差し出されているかどうかを安定して検知できることを確認した。

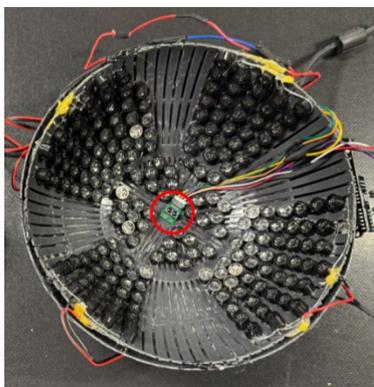


図 8 フォトリフレクタを付けたパラメトリックスピーカー

体験の流れとしては、体験者が体験したいオノマトペを選択し、目の前に設置された空中像投影装置に表示される

オノマトペの文字に対して手を覆いかぶせるように差し出すと、パラメトリックスピーカーから超音波が出力され、空中で触覚が提示される。このように、文字による視覚提示と触覚提示を組み合わせることで、オノマトペの音象徴的な意味理解が促進されるかどうかを検証した。

2.4 提示する視覚と触覚の設計

本研究で扱うオノマトペは、主観的な要素が多く、人によってイメージが左右されやすい。適切なオノマトペのイメージに対応した視覚および触覚を提示するため、事前に16名を対象としてオノマトペ印象調査を実施した。アンケートでは、小松ら[9]の研究をもとに設定した8つの感性軸（「硬さ」「重さ」「強さ」「速さ」「明るさ」「温度感」「湿度感」「鋭さ」）について、5段階で評価を求めた（表1）。印象調査で得た心理量（鋭さ・温度感・明るさなど）を、多感覚提示（映像・触覚）に適切に変換するため、各感性軸の性質に応じて最適なマッピングを個別に設計し、より客観化された視覚と触覚を制作した。

表 1 オノマトペ印象調査の結果

(1-5)	硬さ (柔-硬)	重さ (軽-重)	強さ (弱-強)	速さ (遅-速)	明るさ (暗-明)	温度感 (冷-温)	湿度感 (乾-湿)	鋭さ (鈍-鋭)
ぼつぼつ	2.8	1.6	1.7	2.5	2.8	1.9	4.3	3.9
しとしと	1.9	2.5	1.9	2.1	2.2	1.9	4.3	3.9
ばらばら	3.3	1.6	2	3.3	3.4	2.7	3.1	2.7
ざーざー	3.9	3.8	4.5	4.3	1.6	1.4	4.2	2.5
どしゃどしゃ	3.2	4.5	4.5	3.8	1.7	1.5	4.6	3.6
どきどき(緊張)	3.8	3.9	3.8	3.9	2.9	2.9		2.3
どきどき(興奮)	2.2	2.7	3.4	4.1	4.3	4.3		3.4
どきどき(運動)	3.4	3.6	4.3	4.6	3.6	4.4		3.1

3. システム構成

本研究で構築したシステムは、PC、空中像投影装置、パラメトリックスピーカー、フォトリフレクタ、およびタッチ操作インターフェースから構成されている（図9）。それぞれの役割について以下に説明する。

本システムでは、ユーザがタッチ操作によって選択したオノマトペの情報がPCに送信され、対応する映像が空中像投影装置に表示される。この時点では、PCから音声信号は出力されず、触覚提示は行われない。

次に、ユーザが空中像に手を近づけると、パラメトリックスピーカー内部に設置されたフォトリフレクタによって手の位置が検出される。手がボウル型のパラメトリックスピーカー上方にかざされると、光の反射量が所定のしきい値以下となり、その信号をPCが検知することで、対応する音声信号が出力される。

PCから出力された音は、接続されたパラメトリックスピーカーによって超音波に変換され、空中の一点に集束され

ることで触覚刺激として提示される。ユーザは、空中像として表示されたオノマトペの文字をなでるように手を動かすことで、ボウル上部の空間において触覚を感じることができる。

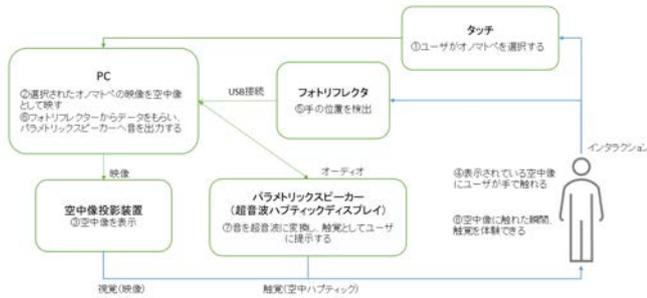


図 9 システム構成

4. 評価実験

本章では、本研究で開発したシステムの評価実験について述べる。本実験は、20代から60代の男女11人を対象に行った。

4.1 実験の目的

本実験では、健聴者を対象として、聴覚の代替として視覚および触覚によってオノマトペのイメージを伝達できるかどうかを検証することを目的とする。さらに、その結果をもとに、将来的に聴覚を使用せずに音の理解を支援する手法の確立を目指し、聴覚障害者支援への応用可能性について検討する。

4.2 実験内容

評価実験は、以下のような手順で行った。

1) 研究の背景および目的の説明

音の世界を知る健聴者が抱くオノマトペの印象を、視覚および触覚で再現するという本研究の目的を理解してもらうため、被験者に対して本研究の背景および実験の目的について説明を行った。

2) 前半アンケートの実施

また、体験前のオノマトペに対するイメージを把握するため、各オノマトペについて印象評価に関する質問を7段階評価で実施した。さらに、「どきどき」に関しては、被験者が想起する色についても回答してもらった。

3) 体験環境の調整

空中像の視野範囲が限定されているため、被験者が最も見やすく、体験しやすい位置となるように、机および椅子の高さを各自で調整してもらった。

4) 触覚のみの体験と識別課題

触覚刺激のみによるオノマトペ識別の正答率を測定するため、空中像にはオノマトペとは無関係な仮の映像を表示し、被験者にその上へ手をかざしてもらった。その状態でランダムに触覚を提示し、あらかじめ提示されたオノマトペの選択肢の中から、最も近いと感じたものを選択してもらった。この課題は、雨のオノマトペ5問、「どきどき」3問の計8問をランダム順で実施した。

5) 視覚（空中像）と触覚の同時体験

次に、オノマトペの文字が表示された空中像に手をかざしてもらい、視覚と触覚を同時に体験してもらった。

6) 後半アンケートの実施

後半アンケートでは、空中像（視覚）および触覚のそれぞれについて7段階評価を行い、体験の直感性や分かりやすさを評価してもらった。また、各オノマトペに対する事前イメージと視覚・触覚提示との一致度についても7段階評価で回答してもらった。これらの結果をもとに、本研究で開発したシステムが、音を視覚および触覚によって理解する学習コンテンツとして有効であるかどうかを検証した。

4.3 実験結果

視覚なしで触覚のみで体験してもらったところ、正答率は表2になった。

表 2 視覚なし触覚ありでの回答結果

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	正答率 (%)
ぽつぽつ	○	○	○	○	×	○	○	×	○	×	○	72.7
しとしと	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	9.1
ばらばら	×	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	18.2
ごーごー	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○	×	72.7
どしゃどしゃ	×	○	×	×	○	○	○	○	×	○	×	54.5
どきどき (想像)	×	×	×	×	×	○	○	×	×	×	×	36.4
どきどき (興奮)	×	○	×	×	×	○	○	×	×	×	×	36.4
どきどき (運動)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	9.1
正答率 (%)	12.5	62.5	50	12.5	25	50	87.5	37.5	37.5	37.5	12.5	
平均正答率 (%)	38.6											

5. 考察

本章では、本研究の目的に沿って、①感覚翻訳の正確性（語らしさ）、②体験の直感性（視覚×触覚の使いやすさ）、③学習支援としての将来性（教育的価値）の3点が達成されているかどうかを考察する。

【①感覚翻訳の正確性（語らしさ）】

視覚情報を遮断した状態で、触覚のみを手がかりとして、どのオノマトペのイメージに該当するかを判別する評価実験を実施した。その結果、表 6.3-1 に示すように、被験者全体の平均正答率は 38.6% と高い値とは言えない結果となった。

しかし、オノマトペごとの正答率に着目すると、「ぼつぼつ」「ぎーぎー」については 70% を超える正答率が得られており、一方で「しとしと」や「運動しているときのどきどき」は 10% 以下と極めて低い結果となった。このことから、オノマトペの種類によっては、音のイメージを触覚へ翻訳できる可能性が示された一方で、その再現性には語ごとの差が大きいことが明らかとなった。特に「ぼつぼつ」「ぎーぎー」については、オノマトペ印象調査の結果をもとに構成した触覚刺激が、それらの持つイメージと比較的よく対応していたと考えられる。

一方、正答率が低かった「しとしと」については、「しとしとはもう少し軽いイメージがあった」「しとしとは遅いイメージがある」などの被験者の自由記述が得られており、触覚提示が語のもつ微妙なニュアンスを十分に再現できていなかった可能性が示唆される。また、「運動しているときのどきどき」についても、緊張時や興奮時のどきどきと比べて被験者が具体的なイメージを想起しにくく、正答率が低下したと考えられる。さらに、3 種類のどきどき全体において正答率が低かったことから、触覚刺激のみではそれぞれの違いを十分に差別化できていなかった可能性が高い。「興奮と運動の違いが触覚だけだと難しかった」といった意見も複数得られた。

これらの結果が生じた要因として、主に三つの点が考えられる。第一に、オノマトペ印象調査における感性軸の設定が必ずしも適切でなかった可能性である。本研究では各語に対して 7~8 項目の評価軸を設定したが、雨のオノマトペと 3 種類のどきどきで評価傾向が類似する項目も多く、段階的な差が得られにくかった部分があった。その結果、「ぼつぼつ」「しとしと」「ばらばら」と、「ぎーぎー」「どしゃどしゃ」という二つの大きなグループには分かれやすかったものの、同一グループ内での微細な違いを触覚として表現しにくい結果となった。また、評価が 5 段階尺度であったことも、回答が特定の段階に集中しやすかった要因の一つと考えられる。

第二に、本研究で扱ったオノマトペが個人の感覚や経験に強く依存する性質を持っていた点が挙げられる。特に緊張と興奮に関しては、ネガティブとポジティブという情動の違いから、触覚の強弱に対する感じ方が被験者ごとに逆転する場合も見られ、触覚パラメータと語の印象との対応関係が一意に定まらなかった可能性がある。

第三に、触覚提示そのものの表現自由度が限定的であった点が挙げられる。本研究では、強弱、提示時間、テンポのみを制御し、かつ触覚は一点でのみ提示される方式であった。そのため、雨のオノマトペでは弱いグループ内での差

異が十分に表現されず、また 3 種類のどきどきにおいても、触覚的な違いが互いに似通ったものとなってしまった。

以上を踏まえると、今後はオノマトペ印象調査において、より語ごとの差が明確に表れやすい感性軸の再設定を行うとともに、5 段階評価から 7 段階評価へと尺度を細分化することが有効であると考えられる。実際に、評価実験における前半アンケートの結果からも、その有効性の一端が確認された。また、オノマトペ印象調査での被験者数は 16 名であったが、語のイメージと触覚刺激の対応関係をより安定的に検証するためには、今後、より大規模なサンプルによる調査が望まれる。

さらに、触覚提示についても、現在は一点での提示に限られているが、複数点への分散提示や提示エリアの拡張を行うことで、局所的な触覚表現から空間的な触覚体験へと発展させることが可能となり、より豊かなオノマトペ理解につながると考えられる。

【②体験の直感性（視覚×触覚の使いやすさ）】

評価実験後半のアンケート結果より、空中像（視覚）に関しては 5~7 を回答した被験者が 80% を超え、高い評価が得られた。同様に、触覚提示についても 82% の被験者が 5~7 を回答しており、いずれの提示方式も単体としては直感的に理解しやすい体験であったといえる。

一方で、空中像と触覚の組合せに関しては、空中像に触れた際に触覚が返ってくるという体験自体は直感的であったものの、「組合せの自然さ」については 5 名が 3・4 を回答しており、一部に違和感を覚えた被験者が存在した。この結果から、体験の直感性自体は高いものの、視覚と触覚の統合的な提示においては改善の余地があることが示唆された。

また自由記述においては、「どきどきを選ぶのが難しかった」「触覚は強さの違いはよく分かったが、テンポは少しわかりづらかった」「雨のオノマトペを選ぶのが直感的に難しかった」などの意見が得られた。これらの結果から、視覚提示および触覚提示はそれぞれ一定の役割を果たしている一方で、両者を組み合わせた際に、オノマトペの微妙なニュアンスの違いまでを直感的に把握することは難しい場合があることが明らかとなった。

この要因については、①で述べたように、オノマトペ印象調査における感性軸の再検討や、触覚提示の表現幅の拡張が必要であると考えられる。さらに、本研究の触覚提示は一点での刺激に限られているが、今後、手を前後左右に動かすことによって触覚が変化するような空間的な触覚提示

が可能になれば、空中像とのつながりがより直感的に理解できると考えられる。

【③学習支援としての将来性（教育的価値）】

評価実験後半のアンケート結果より、「音のイメージを理解する助けになる」「視覚と触覚の組合せによって、音を聞かなくてもオノマトペの意味が分かる」といった項目において、5～7を回答した被験者がいずれも80%を超える結果となった。さらに、「将来、聴覚障害のある人向けのオノマトペ学習コンテンツとして活用できると思うか」という設問に対しては、5～7を回答した被験者が100%となり、極めて高い評価が得られた。

以上より、本研究は、オノマトペという「音に強く依存した言語表現」を、視覚および触覚によって代替的に理解可能とする新たなアプローチの有効性を、実験から示すことができたといえる。一方で、感覚翻訳の正確性には語ごとの差が存在すること、触覚表現の物理的制約が体験の精度に影響を与えていることなど、今後克服すべき課題も明らかとなった。

本研究は、音を「聞く」ことが前提とされてきた言語理解に対し、「感じる」ことによって支援する可能性を示した点において、教育的および社会的に意義のある試みであると結論づけられる。

6. むすび

本研究では、聴覚（音）の代わりに視覚および触覚を用いてオノマトペに対する印象理解を深める体験型コンテンツの開発を行い、オノマトペの音のイメージを代替的に提示できるかどうかを検証した。その可能性を、聴覚障害者の言語理解支援という観点から考察することを目的とした。

その結果、①感覚翻訳の正確性、②体験の直感性、③学習支援としての将来性という三つの観点から検討を行い、聴覚を用いずにオノマトペのイメージを触覚・視覚提示によって伝達する「音の言葉の理解支援」の可能性を一定程度示すことができた。特に、本研究で提案した手法は、将来的に聴覚障害者のオノマトペ学習支援へと応用できる可能性が高く、視覚と触覚を通じて音を翻訳するコンテンツとして機能しうることが示唆された。

一方で、本研究は、オノマトペ印象調査の設計、触覚提示の表現範囲、被験者数といった点において課題がある。そのため今後は、感性軸の再検討や7段階評価への拡張、空間的な触覚提示の導入などを通じて、本研究で示された可能性をさらに高めるとともに、将来的に聴覚障害者にと

って実用的な翻訳的学習支援ツールとして発展させていくため、聴覚障害当事者を対象とした評価を行う必要がある。

本研究は、音を「聞く」ことが前提とされてきたオノマトペの理解に対して、視覚と触覚による「感じる」体験からアプローチする試みであり、その成果は、聴覚障害者の言語学習支援や、多感覚的な日本語教育の新たな可能性の一端を拓くものであると考えられる。

謝辞

本研究及びゼミ活動において多くのご指導をいただきました。大島登志一教授に心より感謝を申し上げます。構想査読、中間査読では、古川耕平教授より、研究の構想や概要、ハードなど様々な観点からアドバイスをいただきました。感謝申し上げます。そして、本研究においてお力添えいただいた大島ゼミの皆様、実験に参加していただいた皆様にも深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 田喜美：“オノマトペの認知科学”，東京、新曜社，pp. 38 - 42, 2022.
- [2] 野真知智俊：“オノマトペ《擬音語・擬態語》を考える — 日本語音韻の心理学的研究”，京都、松籟社，pp. 85 - 134, 2005.
- [3] 田栄子 編：“特別支援教育・療育における聴覚障害のある子どもの理解と支援”，東京、学苑社，pp. 68 - 152, 2021.
- [4] 篠原雅之，宇野良子：“オノマトペ研究の射程：近づく音と意味”，東京、ひつじ書房，pp. 245 - 260, 2013.
- [5] 小野正弘編：“日本語オノマトペ辞典：擬音語・擬態語 4500”，東京、小学館，pp. 701, 2007.
- [6] 山本裕紹：“再帰反射による空中結像（AIRR）による空中ディスプレイ”，日本画像学会誌，第56巻4号，pp. 21 - 31, 2017.
- [7] 野村英之：“パラメトリックスピーカの原理と応用”，日本音響学会誌，76巻11号，pp. 648 - 653, 2020.
- [8] 秋月電子商通：<<https://akizukidenshi.com/catalog/g/g102617/>> (2025年12月3日).
- [9] 小松孝徳，清河幸子，秋山広美：“オノマトペから感じる印象を表現する属性とその客観的数値化”，HAI シンポジウム 2009, 2B-4，<<https://hai-conference.net/proceedings/HAI2009/pdf/2b-4.pdf>> (2025年12月22日).