

仮想空間におけるオノマトペの動的・立体的な可視化

天野憲樹¹ 木村有里²

概要: 我々はさまざまな問題領域の可視化を研究対象とし、そのアート化などを探求している。その一環として、本研究では、オノマトペに焦点を当て、オノマトペの持つ語感を仮想空間上で立体的に可視化して動きを付けることを試みた。具体的には、15語のオノマトペを仮想空間で立体化し、動きを付けた VR コンテンツを試作した。さらに、動的・立体的に可視化されたオノマトペをクイズ形式で出題し、音声認識を用いた発声で解答の正誤判定を行うシステムも試作した。被験者 25 名による評価実験の結果も良かったことから、本研究におけるオノマトペの動的・立体的な可視化は相応のクオリティを実現しており、今後の展開が期待できる。

キーワード: 可視化, オノマトペ, バーチャルリアリティ

A Dynamic & 3D Visualization of Onomatopoeia in Virtual Space

NORIKI AMANO^{†1} YURI KIMURA^{†2}

Abstract: We are studying the visualization of various problem domains and are making them artization. In this research, we focused on onomatopoeias and tried to visualize onomatopoeias linguistic sensation dynamically and three-dimensionally in virtual space. Specifically, we have created VR contents that move 15 onomatopoeias three-dimensionally in virtual spaces. In addition, we have created a prototype of system that uses dynamic and three-dimensionally visualized onomatopoeia in a quiz format and speaks using speech recognition to determine the correctness of the answer. The results of the evaluation experiment by 25 subjects are also good, and the dynamic and three-dimensional visualization of onomatopoeia in this study has achieved appropriate quality, and future development can be expected.

Keywords: Visualization, Virtual Reality, Onomatopoeia

1. はじめに

オノマトペとは、擬音語・擬態語の総称であり、状態や感情、動物の鳴き声や物音を模倣した言葉である。他言語に比べて、日本語はオノマトペが豊富と言われ[1]、日常会話でも多用されている。日本語のオノマトペは古事記にも見られ[2]、長い歴史があるだけでなく、時代を反映した新しいオノマトペが次々と生み出されている。たとえば、「ふわふわ」や「ふさふさ」というオノマトペはかなり以前から存在していたと考えられるが、それと似て非なる「もふもふ」などは 2000 年代以降の 10 年で普及したと言われる[3]。こうした日本語のオノマトペは音の響きの良さや幼児語にも多数みられることから、外国の人々からも「面白い」「かわいい」などと言われることが多い反面、そのシンプルさゆえに、改めて説明したり言い換えたりすることが思いのほかに難しいという特徴もある。

また、近年さまざまな分野におけるデータの可視化[4]が注目を集めている。さらに、そうしたデータの可視化とバーチャルリアリティ (VR) [5]の技術が相まって、より高度な可視化が実現可能となっている。たとえば、仮想空間では、対象の立体的な可視化ができるのはもちろんのこ

と、可視化された対象に動きを付けることも、それに触れることさえも可能になる。

我々はさまざまな問題領域の可視化を研究対象として、そのアート化などを探求している。その一環として、本研究[6]では、オノマトペの持つ語感を仮想空間で立体化し、動きを付けた VR コンテンツを WebVR[7]のフレームワーク A-Frame[8]を用いて試作した。さらに、動的・立体的に可視化されたオノマトペをクイズ形式で出題し、発声による解答の正誤を音声認識技術により判定するシステムも試作した。被験者 25 名による試作コンテンツの評価実験も良い結果を得ることができた。

本論文の構成は以下の通りである。2 節で本研究の背景と問題について述べる。それを踏まえ、3 節で本研究の基本アプローチを述べる。そして、4 節では試作した VR コンテンツとクイズシステムの実装方式について述べ、これを用いた実験について 5 節で述べる。さらに、6 節で関連研究について述べ、7 節で本論文をまとめる。

2. 研究の背景

2.1 オノマトペと可視化

オノマトペについては、これまでにも多くの研究が行われているが、そのほとんどは言語学・教育学・音声学などの研究に位置づけられる。しかし、オノマトペを可視化する試みもある。たとえば、天候に関するオノマトペを模様

¹ 武庫川女子大学
Mukogawa Women's University
² (株)スタイル・フリー
STYLE FREE Incorporation

で可視化する（図 1）研究[9]やオノマトペの持つイメージを文字のフォントで表現する研究[10]などが行われている。これらの研究はオノマトペを可視化する研究ではあるものの、その可視化は 2 次元の静止画に留まっている。それゆえ、オノマトペの持つ語感や直感的なイメージを伝える手段として十分とは言えない。

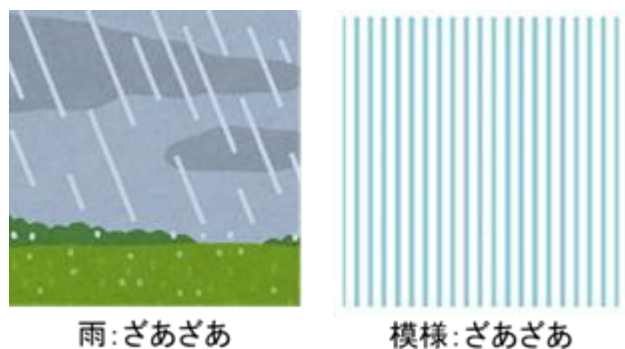


図 1 オノマトペの可視化例
 Figure 1 Visualization example of onomatopoeia

また、オノマトペを学ぶための子供向けアプリも開発されている[11, 12]。これらのアプリではイラストにアニメーションをつけてオノマトペを可視化し、楽しく学べる工夫がされている。しかし、これらのアプリも 2 次元での可視化であることに変わりはなく、立体的な可視化は我々が調べた限り存在しない。さらに、動物の鳴き声を動物のイラストで表現するといったオノマトペから連想される具体的な物を表示する可視化（例:「わんわん」から犬）はあるが、オノマトペの語感そのものを可視化の対象とする研究は見つけることができなかった。

2.2 VR の利活用

今日、VR 技術はさまざまな分野で利用されている。その利点は言うまでもなく、現実に近い感覚を仮想的に作り出し、実際に体験可能とする点である。こうした VR 技術は現実世界を仮想的に作り出すことはもちろん、現実にはない世界を作り出し、それを体験することも可能にする。このような VR の特性を活用することで、言葉では説明しにくい抽象的な概念を可視化したり、観念的な世界を体験することが可能になる。特に、抽象的な概念などを言語で表現すること、さらにそれを正確に伝えることは困難であり、VR 技術などの利活用が見込まれる。しかし、これまでのところ VR を用いた可視化の多くは自然現象などを対象とするものが多く[13]、抽象概念を可視化した研究は我々が調べた限り存在しない。

3. 本研究の目標と基本アプローチ

3.1 本研究の目標と対象のオノマトペ

本研究の目標はオノマトペを立体的に可視化して動き

を付け、仮想空間でオノマトペの持つ語感を直接的に感じとれるようにすることである。この研究目標に先立ち、本研究で対象とするオノマトペを以下のように選定する。

表 1 本研究で取り上げるオノマトペ
 Table 1 Onomatopoeia featured in this study

ころころ	くるくる	ばらばら
ちかちか	ぞろぞろ	ぐねぐね
びかびか	ごちゃごちゃ	もふもふ
きらきら	によきにょき	もちもち
ゆらゆら	ひらひら	ぶかぶか

オノマトペは擬音語・擬態語の総称であるが、細かくは 5 つに分類することができる。音を表すオノマトペは人間や動物の声を表す「擬声語」、自然界の音や物音を表す「擬音語」に分けられ、動きや様子などを表すオノマトペは無生物の状態を表す「擬態語」、生物の状態を表す「擬容語」、そして、人の心理状態や感覚を表す「擬情語」に分類される。以上の 5 分類の中で可視化しやすいと考えられる「擬態語」と「擬容語」から選択した表 1 にある 15 語のオノマトペを本研究では可視化の対象とする。また、本研究では、オノマトペの文脈（コンテキスト）は考慮しない。たとえば、「ぺらぺら」のようなオノマトペは文脈によって意味がまったく異なる。このような場合、どれか一つの意味についてのみ可視化対象とする。

3.2 本研究の基本アプローチ

日本語のオノマトペを対象として、本研究では以下のような 6 つの要素をもとに、オノマトペの語感を動的かつ立体的に可視化する。

- 雰囲気：オノマトペの概念的な印象
- 形状：イメージされるオノマトペの形
- 動き：イメージされるオノマトペの動き
- 色彩：イメージされるオノマトペの色
- 触感：イメージされるオノマトペの感触
- 音：イメージされるオノマトペの音

上記 6 要素はすべてのオノマトペが持つ属性と言うわけではない。とりわけ、触感や音については、すべてのオノマトペが持つとは言い難い。雰囲気・形状・動き・色彩などについてもオノマトペによっては差がある。たとえば、「ころころ」ならその「動き」はイメージしやすい反面、その「色」はイメージしにくい。しかし、本研究では、オノマトペを可視化する目的から、雰囲気・形状・動き・色彩を重視することとした。

ここで、「ぐねぐね」というオノマトペを例として、本研究のアプローチを具体的に明示する。「ぐねぐね」の意味を広辞苑で調べると、「柔らかいものが支えなく曲がるさま」と定義されている。この定義をもとに、上記の要素について考えると以下のような結果が得られる。

- 雰囲気：不気味
- 形状：ゆがむ
- 動き：滑らか
- 色彩：暗い色
- 触感：柔らかい
- 音：不気味な音

以上をもとに、「ぐねぐね」の可視化を考えると以下の
ような例が考えられる（図2）。

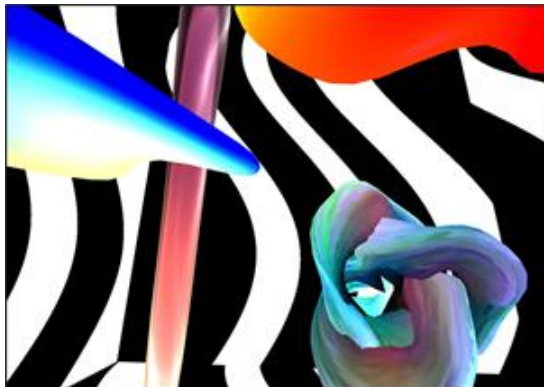


図2 「ぐねぐね」の可視化例

Figure 2 Visualization example of "Gune Gune"

これは一つの例であり、人によっては異なる可視化のイメージを持つこともあり得る。実際、この可視化はシステムティックなものではないため、評価実験を通して我々の可視化に妥当性があるか否かを考察する（5節参照）。

4. 実装

本研究では、以下の実装を行った。

- VRコンテンツ（15語のオノマトペ）
- オノマトペのクイズシステム

VRコンテンツは15語のオノマトペ（表1）に対応するものであり、オノマトペのクイズシステムはVRコンテンツを利用したシステムである。15のVRコンテンツはすべて独立したコンテンツとして実装し、クイズシステムからも独立している。それゆえ、クイズシステムはVRコンテンツの追加・削除が柔軟に可能な構造となっている。

4.1 VRコンテンツの実装

前節の基本アプローチにもとづき、本研究で選定した15語のオノマトペ（3.1節）をVRコンテンツとして実装した。具体的には、WebVRフレームワークA-Frameを用いて実装した。WebベースのVRはWebをプラットフォームにしたものであり、基本的にWebブラウザさえあれば利用することができる。より多くの人に利用してもらうことを考慮して、WebVRベースの実装とすることにした（図3）。

A-FrameはJavaScriptで構成されたフレームワークであるが、HTMLの拡張タグを利用し、Webページを作成する要領で容易にWebベースのVRコンテンツを実装すること

ができる。以下、オノマトペ「ころころ」の例を用いて、実装について述べる。

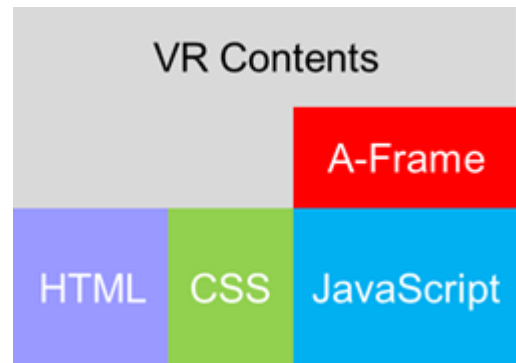


図3 VRコンテンツのソフトウェア構成

Figure 3 software configuration of VR contents

まず、WebVRのテンプレートは以下である（詳細は[14]）。

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <script src="../aframe.min.js"></script>
    <script src="../aframe-physics-system.min.js"></script>
  </head>
  <body>
    <a-scene>
      ...（中略）コンテンツの記述
    </a-scene>
  </body>
</html>
```

始めに<script>タグでA-Frameを読み込む。オノマトペに動きを付けるため、物理演算のコンポーネントも読み込む。実際のコンテンツは<a-scene>タグ中に記載する。具体的には、まず仮想空間を設置する。これは<a-plane>タグで表現する。<a-plane>は平面（平板）のオブジェクトであるが、これを仮想的な空間の仕切りとして利用する。

```
<a-plane
  width="60"
  height="60"
  position="-50 0 -100"
  animation="property:components.material.material.color;
    type:color;
    dur:1500;
    ...（中略）
    loop:true"
></a-plane>
```

上記の記述は仮想空間の一部を表現する平面である。
width や height といったプロパティで平面の横・縦のサイズを指定している。こうした記述から以下のような「ころころ」の仮想空間を実現している（図 4）。

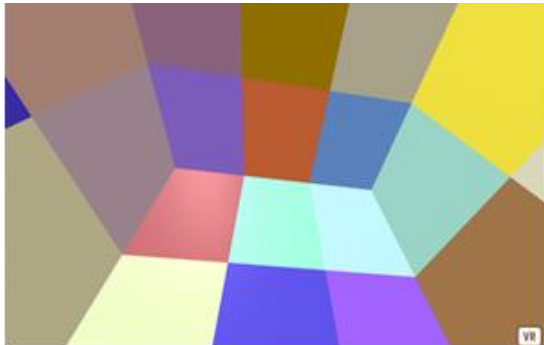


図 4 「ころころ」の仮想空間
Figure 4 Virtual space of "Koro Koro"

「ころころ」は広辞苑を紐解くと「まるい物、小さい物などが軽快に転がるさま。物事が簡単に転じていくさま」のように定義されている。これをもとに、雰囲気・形状・動きについて以下のように考えた。

- 雰囲気：かわいらしい
- 形状：球状、丸みがある
- 動き：転がる、変化する

以上から、「ころころ」は球（sphere）や円柱（cylinder）と言ったオブジェクトを 3D の仮想空間内に配置し、それらが位置を変え転がる様子として実現した（図 5）。



図 5 「ころころ」の動的・立体的な可視化
Figure 5 Dynamic and 3D visualization of "Koro Koro"

なお、プロトタイプの実装には、触感・音の要素はなく、色彩もランダムな配色としている。「ころころ」では触感・音の要素はそれほど大きくないと考えられることもあるが、今回はプロトタイプとしてシンプルな実装にしている[14]。

このようなオノマトペ「ころころ」はオブジェクトとして、次のように実装している。

```
<a-sphere
  dynamic-body
  random-position="min:-50 10 -100; max:50 100 -150"
  random-rotatin
  random-scale="min:.5 .5; max:2 2 2"
  random-color
></a-sphere>
```

<a-sphere>タグにより球体のオブジェクトが生成される。
random の接頭辞はランダム性のあるプロパティで、たとえば、random-position は min と max の指定範囲でランダムな位置に球体を表示する。同様にランダムな傾き（rotatin）、大きさ（scale）、色（color）により、大小色とりどりの球体オブジェクトを複数生成している。

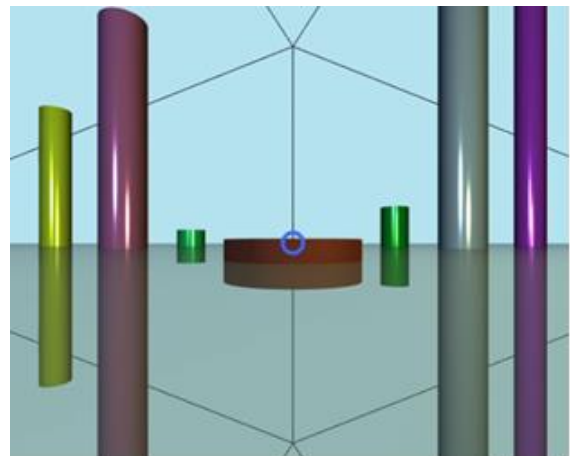


図 6 「によきによき」の可視化
Figure 6 Visualization of "Nyoki Nyoki"



図 7 「ごちゃごちゃ」の可視化
Figure 7 Visualization of "Gocha Gocha"

図 6 は「によきによき」を可視化した VR コンテンツである。「によきによき」は「細長い物が次々に現れ出るさま」であり、以下のように考えた。

- 雰囲気：密度が高い
- 形状：細長い
- 動き：縦方向に伸縮する

以上から、仮想空間内で円柱が伸びたり縮んだりする動作を実現するコンテンツとして実装した。

図7は「ごちゃごちゃ」を可視化した VR コンテンツである。「ごちゃごちゃ」は「いろいろな物が秩序なく入りまじって、雑然としているさま」で、以下のように考えた。

- 雰囲気：雑多
- 形状：ばらつきがある
- 動き：入り乱れる

以上から、仮想空間上でさまざまな形状のオブジェクトが縦横に入り乱れる動作を実現するコンテンツとして実装した。残りの 13 コンテンツについては割愛する。

4.2 クイズシステムの実装

本研究では、オノマトペ15語の VR コンテンツに加えて、それを言い当てるクイズシステムを実装した。これは以下のような仕組みとして実装している。

- 仮想空間内に以下のメニューを配置
 - Reset：オノマトペの動きのリセット
 - Other：他の仮想空間へのランダム遷移
 - Answer：オノマトペを言い当てる画面に遷移
- メニューに視線を合わせることで画面遷移
- クイズの解答には音声認識を利用（図8）

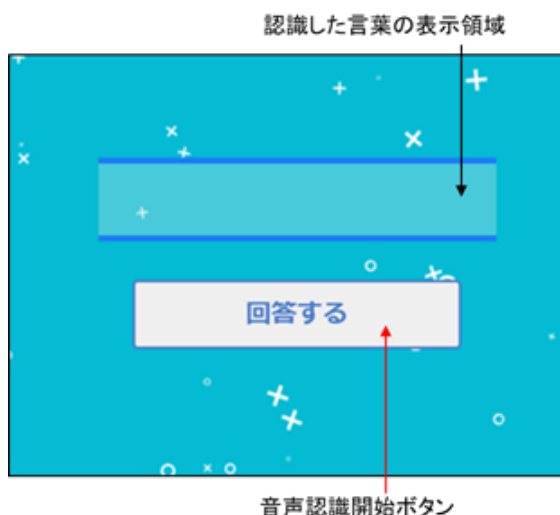


図 8 クイズシステムの解答画面
Figure 8 Quiz system answer screen

音声認識には、Web Speech API[15]を利用した。これは Web ページ上で音声認識を可能にするインターフェースであるため、A-Frame との親和性も高い。

以下はクイズシステムの利用手順と動作である。

- クイズシステムを起動する
- ヘッドセットを装着する

- オノマトペの VR コンテンツがランダムに表示される
 - 視線で解答ボタンをクリックする
 - 発声によりオノマトペを言い当てる
 - 音声認識により正誤の判定を行う
 - 正解なら、仮想空間に「せいかい」の文字を表示する
- なお、今回はスマホにコンテンツをロードし、簡易なヘッドセットであるハコスコ[16]を利用した（図9）。



図 9 クイズを行っている様子
Figure 9 A state of doing a quiz

5. 評価実験

本研究で実装した VR コンテンツすなわちオノマトペの可視化が妥当なものであるかどうかを検証した。具体的には、被験者 25 名による評価実験を行った。被験者は全員武庫川女子大学生生活環境学部情報メディア学科の 2～3 年生（2021 年 1 月時点）である。



図 10 評価実験の様子
Figure 10 State of evaluation experiment

5.1 評価の方法

1 人あたり 3 つの VR コンテンツを体験してもらい、どのオノマトペを表現しているかを解答させる。解答は選択式とし、5 つのオノマトペを選択肢として提示した。機材

には、iOS14.2 搭載の iPhone とハコスコを用いた (図 10)。

5.2 評価の結果と考察

上述の方法により本研究で可視化したオノマトペについての評価を行い、結果を算出した。具体的には、15 語のオノマトペに対し「正解数÷出題した回数×100」でそれぞれの正答率を求めた。正答率は小数点以下切り捨ての整数とした。以下は、その結果である (図 11)。

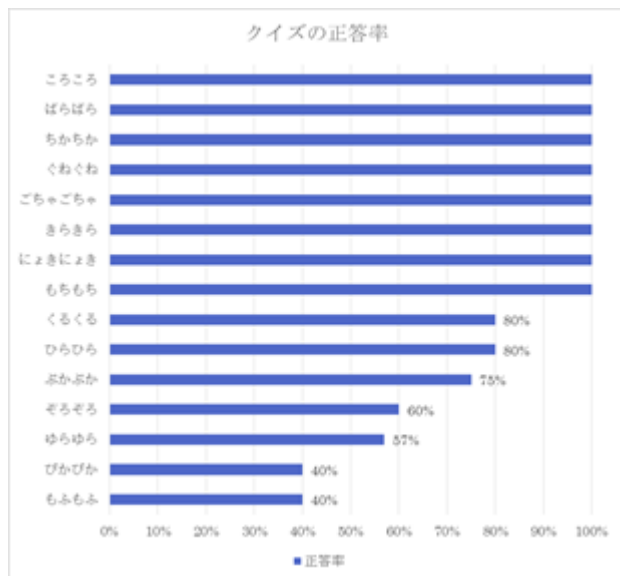


図 11 評価の結果

Figure 11 Evaluation result

図 11 から分かる通り、「ころころ」「ばらばら」「きらきら」など 8 語のオノマトペについては正答率が 100%であり、非常に良い結果となった。その一方で、「もふもふ」「びかびか」等は正答率が 40%とあまり良くなかった。これは実装上の問題が原因と考えられる。VR コンテンツ作成のためのモデル化に 6 つの要素 (3.2 節) を設定したが、今回の実装では触感と音は除外した。それゆえ、触感をとまなう「もふもふ」などを表現するための要素が欠落している。つまり、雰囲気・形状・動き・色から「もふもふ」という触感を想像する必要があるため、その難しさが正答率に表れたと考えられる。「びかびか」についても、点滅するという属性を実装に含めていなかったため、それが正答率に影響したと考えられる。

また、選択式クイズという形式も正答率に影響した可能性がある。5 つの選択肢はランダムに選んだものであり、そこに恣意的な点はなかったが、選択肢の選定も結果に影響を与えるものである。たとえば、「ころころ」というオノマトペに対して、「によきにょき」「ぶかぶか」「もふもふ」と言った明らかに異なる感覚の選択肢を用意すれば、「ころころ」が際立つことになり、正答率が高くなると予想される。これについては、逆の場合も考えられる。「きらきら」「びかびか」「ちかちか」といった似た感覚の選択肢の中か

ら正答を選ぶ場合、難易度が確実に上がると考えられる。さらに言えば、選択式ではなく、正解のオノマトペをヒントなしで言い当てる形式とするならば、正答率がこれほど高くはならなかったと推測される。

以上の成功要因が幸いした可能性はあるが、15 語のうち 8 語のオノマトペについて正答率が 100%という数値は本研究の可視化が相応の妥当性を持っていた結果と考えられる。また、本研究では、クイズの実施時にアンケートも行った。具体的には、「色の鮮やかさ」「楽しさ」「分かりやすさ」「使いやすさ」「新鮮さ」の 5 項目について 5 段階評価のアンケートをとった。具体的には、1 を「悪い」、5 を「良い」とした 5 段階である。



図 12 アンケートの集計結果

Figure 12 Questionnaire results

上記のアンケート集計結果 (図 12) において、特筆すべきは「色の鮮やかさ」「楽しさ」「分かりやすさ」の評価が高い点である。しかし、被験者が平均的な日本の女子大学生という点も正答率に影響している可能性がある。

6. 関連研究

オノマトペに関する研究論文の多くは言語学的な見地からの研究や幼児教育に関する研究であり、本研究とは目的も目標も異なるものである。日本語論文のデータベース Cinii での検索では、「オノマトペ」による検索で 1557 件ほどヒットするものの、「オノマトペ 可視化」で検索すると 22 件に激減する。しかし、この 22 件の中には 2 節で言及した模様によるオノマトペの可視化[9]を始め、興味深い研究がいくつかある。栗原らは、気象にまつわるオノマトペを可視化し、AR 技術を用いて実際の景色に重ね合わせる

というユニークな研究を提案している[17]。上田らは、「ズキズキ」「ガンガン」などオノマトペで表現される痛みを可視化することで、医師と患者のコミュニケーションを円滑にするシステムを提案している[18]。この研究以外にも、電気通信大学の坂本教授の研究グループはオノマトペに関する研究を数多く行っている[19]。とりわけ、オノマトペに着目した触覚に関する研究[20, 21]を行っている点は興味深い。本研究でもオノマトペの可視化に関し、触感を要素として取り上げているが、今回の実装では機材などの都合もあって、手を付けることはできなかった。しかし、VRのコンテンツとして、実際に触れることができるのは重要なポイントであると考えている。

最近では、オノマトペに関するスマホのアプリも開発されている。animatope (アニマトペ) はオノマトペを音声とアニメによりインタラクティブに学ぶことができる iPhone/iPad 用アプリ[22]である。animatope では、まずイラストを選択し、そのイラストに関連するオノマトペを発声することにより、オノマトペを可視化したアニメを見ることが出来る。たとえば、傘のイラストを選択し、「ぼつぼつ」と発声すると雨がぼつぼつと降るアニメを見ることが出来る。スマホのアプリとしては、「AR この音なあに？」もある[23]。これは東京藝術大学の COI 共感覚メディア研究グループが開発した子供向けアプリであり、動物の鳴き声(オノマトペ)が書かれたカードを AR マーカーとし、カメラをかざすと動物の画像が表示されるというものである。

以上の関連研究や関連システムに対し、本研究は以下の点においてユニークであると考えられる。

- 仮想空間内で動きのある3Dのオノマトペを体感可能
- 音声認識技術を利用したクイズの正誤判定

animatope のようなスマホやタブレットの小さな画面の中ではなく、ヘッドセットを装着して見る仮想空間の中で立体的かつ動きのあるオノマトペを体感することができる点は小さな差異ではない。また、関連研究の多くについては学術的な調査に重きを置くものが多く、コンテンツとしての作り込みには不十分な場合が少なくない。

本研究のウィークポイントとしては、以下の点がある。

- オノマトペに対する調査・分析
- 直感的なオノマトペの可視化
- 評価実験における被験者の数と偏り

本研究では、楽しめるコンテンツとしての実現を優先させたため、オノマトペに関する既存研究の成果を活かすという視点が弱かった。具体的には、本研究で選定した 15 語のオノマトペについても、我々の直感によるところが大きく、過去の研究を踏まえて選定したわけではない。過去の研究成果を踏まえて、より慎重にオノマトペの選定を行えば、評価実験の結果も今回とは違った可能性がある。

また、オノマトペの可視化についても、我々の直感に負う部分がある。たとえば、「ぐねぐね」の可視化コンテンツ

にしても、人によってはまったく別の可視化を考える可能性がある。本研究における可視化の 6 要素も形式的(数学的)なものではない。今後は既存の研究成果からオノマトペの数学的な可視化技法なども考えたい。

さらに、評価実験についても被験者数が 25 名で、全員が女子大学生という偏りも評価に影響した可能性がある。より広い範囲の人々を被験者に加える必要があるが、これについても今後の課題としたい。

7. まとめと今後の課題

本研究では、オノマトペ 15 語の持つ五感を仮想空間で立体化して動きを付けた VR コンテンツを試作した。さらに、立体的・動的に可視化されたオノマトペをクイズ形式で出題して、音声認識を用いた発声で解答の正誤判定を行うクイズシステムも試作した。被験者 25 名による評価実験においてもかなり良い結果が得られた。

本研究には、今後の課題も多い。まず、今回の VR コンテンツには触感・音の要素がまったく実装されていない。オノマトペによっては触感や音こそが重要な要素になる可能性もあるうえ、仮想空間での可視化と触感は親和性が高いと考えられるため、VR 機器として触覚グローブを用いて、仮想空間で触れることができるオノマトペの実現に挑戦したいと考えている。そして、既存の関連研究における成果を活かし、オノマトペの数学的な可視化技法を考えたい。人によって異なる可視化ではなく、誰がやっても同じ可視化となる形式的手法の考案を目標とし、今後の発展的な研究を展開したい。

参考文献

- [1] 小倉慶郎. 日英オノマトペの考察: 日英擬音語・擬態語の全体像を概観する. 大阪大学日本語日本文化教育センター授業研究 14, 2016, pp.23-33.
- [2] 山口仲美. 奈良時代の擬音語・擬態語. 明治大学国際日本学研究第 4 巻第 1 号, 2012, pp.1-20.
- [3] 秋山智美. オノマトペ「もふもふ」と「もけもけ」についての一考. 社会学部論叢第 29 巻第 2 号, 2019, pp.173-186.
- [4] 鈴木雅彦, 鈴木 嘉右. データ可視化の必要性と意義: データビジュアライゼーションとは. 情報の科学と技術第 65 巻第 11 号, 2015, pp.470-475.
- [5] 舘暲, 佐藤誠, 廣瀬通孝(監修), 日本バーチャルリアリティ学会(編集). バーチャルリアリティ学. コロナ社, 2010.
- [6] 天野憲樹, 木村有里. 仮想空間におけるオノマトペの動的・立体的な可視化の試み. 映像情報メディア学会技術報告 45 巻 8 号, 2021, pp.265-268.
- [7] “WebVR - Bringing Virtual Reality to the Web”. <https://webvr.info/>, (参照 2021-10-07).
- [8] “A-Frame: Hello WebVR”. <https://aframe.io/>, (参照 2021-10-07).
- [9] 桑原明栄子. オノマトペの可視化: 一模様による天候のオノマトペの可視化に関する調査. 可視化情報学会誌 36 巻 140 号, 2016, pp.29-32.
- [10] 中佐古真実, 松村耕平, 野間春生. オノマトペのイメージを考慮した可視化による子どもたちの表現能力向上の試み. 情報処理学会インタラクティブ 2016 論文集, 2016, pp.657-662.
- [11] “オノマトペ, こどもアプリ「ワオっち!」”.

- <https://waochi.wao.ne.jp/appli/5363.html>, (参照 2021-10-07).
- [12] “タッチ！あそべびずかん，こどもアプリ「ワオっち！」”.
<https://waochi.wao.ne.jp/news/12703.html>, (参照 2021-10-07).
- [13] 楊安桐，矢野緑里，神山翼，伊藤貴之．台風の影響を観察するためのVRシステム．映像情報メディア学会技術報告44巻10号，2020，pp.189-191.
- [14] 木村有里．オノマトペの抽象概念を可視化する仮想空間の実現．武庫川女子大学生生活環境学部情報メディア学科卒業論文，2021.
- [15] “Web Speech API: Mozilla Web Docs”.
https://developer.mozilla.org/ja/docs/Web/API/Web_Speech_API,
(参照 2021-10-07) .
- [16] “ハコスコ”. <https://hacosco.com/>, (参照 2021-10-07).
- [17] 栗原加奈，瀬田陽平，金子めぐみ，桑原明栄子．気象情報を利用したオノマトペ AR アプリケーションの提案．画像電子学会研究会講演予稿16巻5号，2017，pp.150-153.
- [18] 上田祐也，清水祐一郎，坂口明，坂本真樹．オノマトペで表される痛みの可視化．日本バーチャルリアリティ学会論文誌18巻4号，2013，pp.455-463.
- [19] “電気通信大学 坂本・松倉研究室 著作・論文”.
<http://www.sakamoto-lab.hc.uec.ac.jp/publications>, (参照 2021-10-07).
- [20] 野々村美宗，下条誠，梶本裕之，坂本真樹，渡邊淳司，宮岡徹，大岡昌博，その他．狙い通りの触覚・触感を作る技術．サイエンス&テクノロジー，2017.
- [21] 技術情報協会(編)．触り心地の制御、評価技術と新材料・新製品開発への応用．技術情報協会，2017.
- [22] “App Store animatope”. <https://apps.apple.com/jp/app/animatope-アニメマトペ/id894462103>, (参照 2021-10-07).
- [23] “AR この音なあに？”. <https://www.kono-otonaani.com/>, (参照 2021-10-07).