

## SoundDrop:見えて触れる音

### VR での音の可視化とインタラクションの考察

岡あゆみ<sup>†1</sup> 栗原一貴<sup>†1</sup>

音はその性質上、肉眼で捉えたり触れたりすることが出来ないため、定量的に観測したり、直感的に操作を加えたりすることが難しい。そこで、聴覚と他の感覚を同期させることにより、音の扱いやすさを向上させることを検討する。近年、VR ヘッドセットの普及により 3D 空間での表現が身近になったが、VR での可視化手法とインタラクションの先行研究は限定的である。本研究では VR 内で見て触れながら音を調整することのできる、滝の形状をしたビジュアルライザ「SoundDrop」を提案し、インタラクションについての妥当性と効果を調査する。

#### 1. はじめに

音はその性質上、肉眼で捉えたり、触れたりすることができない。難波によれば、“音の場合、可視化しなければ測定がそもそもできないという特性がある。それは音は時間の流れに沿って情報を伝える媒体であり、音の流れを止めると音もとまってしまう。視覚の場合には対象を固定し、視線の方を動かしてすみずみまで観測したり、あるいは特定部分を拡大して細部まで詳細に調べたり、物差しや標準色票を対象部分に当てて測定するという観測方法が可能だ”、“音の流れを可視化できれば当然視覚を用いての詳細な検討が可能となる” [1]とされている。また、同じ論文で“可視化しながら音の分析結果をみて特定部分を編集し、その結果を可聴化して確認するという方法は音色の研究の推進に大いに貢献した”とも述べられており、音を可視化することだけでなく、聴覚と視覚を同期させたインタラクションについての有用性についても示唆されている。

近年 VR ヘッドセットの普及が進んでいるが、3D 空間における音の可視化手法とインタラクションについての既存研究は限られている。しかし、VR で音を可視化しインタラクション可能にし、従来の音の可視化方法を拡張することには意義がある。例えば VR ヘッドセットとコントローラを用いれば、可視化した音楽を画面の中だけではなく空間として提示することができ、身体を使って操作することもできる。ここで期待できる効果として、ユーザが体験に集中しやすくなることが挙げられる。

視覚は人の情報入力 of 8 割という説があるが、この言説の起源を追った加藤の論文[2]によると Griffith の論文[3]や Zimmermann の論文[4][5]にてその根拠が示されており、概略として“感覚ごとの感覚受容器の数、次に受容器の反応を信号として脳に伝える求心繊維の数、神経細胞の平均放電頻度が求められ、これに乗じて感覚ごとの脳への毎秒あたりの総入力情報量が求められる。”と述べられて

おり、また“この推定を感覚ごとに行い、5 官の合計を求め、感覚モダリティごとに相対評価した値が視覚については 80%や 90%を占めているということになる。”とも述べられている。それから高橋によると“視覚優位とは、複数のモダリティで情報を処理するとき、視覚モダリティからの情報が、全体の知覚や判断を支配する現象である。” [6]とされている。このことから音楽を視覚や他のモダリティに同期させれば、その体験はより全体の知覚を支配できると考えられる。

さらに、マインドフルネスについての web ページによると“今この瞬間”に意識を向けると、外部の出来事に気をとられなくなるため心が穏やかになり、洞察力が高まるとされる [7]ことから、音楽の体験に集中しやすくなるビジュアルライザを提案できれば、リラックス効果やエンターテインメント性の向上が期待できる。実際に VR で瞑想を手助けするための TRIPP[8]というソフトウェアでは声での誘導に加え、用意された美しいグラフィックと簡単なタスクが体験への集中と没入感を高めている。

このような有用性をふまえ、本研究では VR 空間で見て触ることのできるビジュアルライザ「SoundDrop」を実装することで音との新しい干渉方法を提案し、そのインタラクション方法について妥当性を評価した。SoundDrop は VR ゴーグルで実行できるアプリケーションである。音源を滝の形に可視化してあり、ユーザが触れることで音の強弱を調整することができる。このビジュアルライザには二つの干渉方法(インタラクション1とインタラクション2)を用意した。インタラクション1は手が水の中で移動した距離、つまり手の相対距離によって音が決定され、インタラクション2は滝の何処に手があるかという絶対位置によって音量が決定される。

本論文は以下の構成になっている。まず次章で関連研究について紹介し、第3章ではシステムの概要と設計と具体

<sup>†1</sup> 津田塾大学  
Tsuda University.

的なインタラクション方法を説明する。次に4章で評価実験の概要と手順を紹介し、仮説と得られた結果を示す。この章ではアンケートから得られた見解も紹介する。次の第5章では実験から得られたデータを分析する。6章ではアンケートから得られたユーザの体験を調査する。次に7章では実験とアンケート調査を踏まえ課題と展望を論じ、本研究を通して得られた知見からデザイン指針を示す。最後に8章では本研究をまとめる。

## 2. 関連研究

音のビジュアライザは以前からあったが画面の中での表現にとどまっていた。例えば、音楽再生ソフトであるiTunes [9]に標準搭載されているビジュアライザや、個人やチームが開発した iTunes のためのビジュアライザ [10][11]、音楽をプラネタリウムのように楽しむための Songrium3D[12]などが挙げられる。近頃 VR ゴーグルの普及により、音楽リズムゲーム Beat Saber[13]や、オブジェクトを配置するように音楽を構築できる Polydome[14]をはじめとする3D空間でのビジュアライズが出現しているが、可視化の方法とインタラクションはまだ限られている。3D空間の特性を活かし音楽体験を拡張するためにどのようなことを検討するべきかという問いをもった。本研究では先行研究を発展させ、VR空間で音を見ながら体を使って能動的かつ直感的に音を調整できるシステムの実装を目指す。またインタラクション方法について実験し、そこから得られた知見を元に音楽の可視化とインタラクションについて論じる。

## 3. SoundDrop

### 3.1 SoundDrop 概要

本研究で実装した SoundDrop はインタラクション可能な VR ビジュアライザである。音源が滝のような見た目によりビジュアライズされており、滝に触れることで音を調節する。触れる位置により周波数成分ごとのイコライザに影響を与えることができる。つまり滝の水を手やオブジェクトによってせきとめる位置によって、特定の音域を強調したり弱めたりできる。手で触れば触れている間のみ、つまり一過性の音の変化を聞くことができ、オブジェクトを置くことでその変化を固定することができる。より詳しく書くと、音源のフーリエ変換により得られた値を滝に用いられる水の粒子の数に反映し、音を視覚にマッピングしている。滝に手を入れると、滝を構成している粒子との衝突を検知し、手の動きや手の位置により再生されている音源に対するイコライザ設定がリアルタイムに書き換わる。

SoundDrop による音の可視化の全体的なイメージを図1に示す。なおここでは滝が見えやすいように背景を暗い色

にして撮影した。図2にはユーザが自由に使うことのできる岩型のオブジェクトを示す。このオブジェクトをユーザは好みの大きさに調整し滝の中に置くことができる。

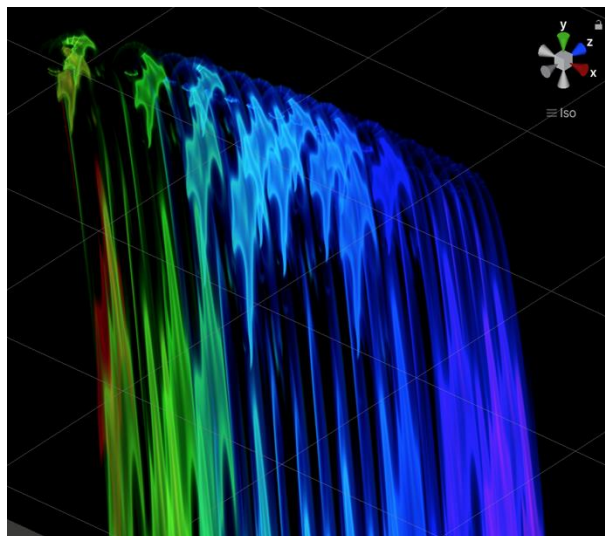


図1 SoundDropによる音の可視化  
Figure 1 Visualization by SoundDrop.

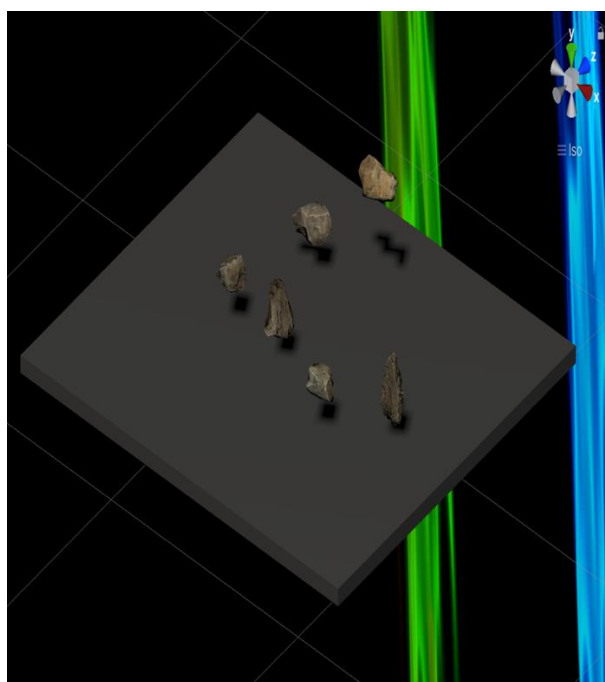


図2 用意された岩型のオブジェクト  
Figure 2 Rock objects for interaction with sounds.

### 3.2 設計方針

SoundDropは3D空間での音の可視化とインタラクションの実現を目的に設計されている。まず3D空間で音を可視化しユーザに提示する方法としてVRでの実装を採用した。ヘッドマウントディスプレイとしてOculus Questを採用

した。これは Facebook の子会社 Facebook Technologies, LLC [15] の VR 部門である Oculus VR [16] が開発した VR ヘッドセットである。Oculus Quest はコンピュータに接続した状態でなくともコンテンツを体験することができるので提案システムのように動き回ることが必要なソフトウェアの安全性を高めることができる。また Oculus Quest のためのソフトウェアを開発するプラットフォームとして Unity Technologies 社の開発したゲームエンジンである Unity [17]を使用した。Unity は重力など物理演算を考慮した実装が容易であり物質のシミュレーションを用いて音を可視化の際に都合が良い。また、音源の特徴を抽出するのにフーリエ変換を用いた。これには音楽の要素や音色を数値として保持する MIDI 音源[18]だけではなく、一般的な音源に適用可能であることや、特定の周波数帯ごとに強弱を抽出できるなどの利点がある。特定の周波数帯ごとに数値を取得できることにより詳細なビジュアライズが可能である。またフーリエ変換(FFT)は一般的に従来のビジュアライザにも広く用いられてきた。例えば Android 標準のビジュアライザ機能も FFT を使用している[19]。Unity の特徴である物理演算とパーティクルシステム[20]を活用し、また直感性に優れたインタラクションを実現したいと考え、人間にとって自然な動きである水に触れるという体験を用いた滝の形のビジュアライザを実装した。

### 3.3 インタラクション方法

ここでは本ビジュアライザのインタラクション方法を紹介する。ユーザが手で滝に触れるインタラクション(図3)と、滝の中にオブジェクトを置くインタラクション(図4)がある。



図 2 VR 内の手による滝とのインタラクション

Figure 2 Interaction between a hand and the waterfall in VR.

図3のように、ユーザは手を滝に触れることで音を調整できる。滝に触れると手に当たった水は軌道を変え落ちて

いく。滝と手の衝突を感知するとコントローラが振動する。ユーザから見て右にいくほど高音域に対応しており、音源の再生中はその区域ごとの強さが水の量に反映されている。



図 3 岩オブジェクトによる滝ビジュアライザとのインタラクション

Figure 3 Interaction between a rock object and the waterfall.

図4はオブジェクトによるインタラクションである。大きさ可変の岩を置くことで音の変化を固定することができる。岩は複数用意されており、ユーザが好きな数使うことができる。衝突している部分の音域の音の調整ができる。また、手やオブジェクトをユーザがどう使うかに関して2つのインタラクション方法を用意した。1つ目は、音量を相対位置により決定する手法である。オブジェクトが配置された位置を基準(音源に対する音量1.0倍)とし、ユーザがオブジェクトを上下させた距離に応じて音量を変化させる。基準から下に下がるとその距離に応じて音量は大きく、上に上がると音量は小さくなる。オブジェクトが滝から離れると音量は0.3秒後にデフォルト値に戻る。よってユーザは滝にオブジェクトを入れながら上下に動かす必要がある。これをインタラクション1と呼ぶ。2つ目は、音量を絶対位置により決定する手法である。滝の上部を音源に対する音量0.1倍、中央部を1.0倍、最下部を3.0倍として、ユーザがオブジェクトを配置した位置に応じて音量を変化させる。これをインタラクション2と呼ぶ。図5は、各インタラクション案のイメージを示したものである。

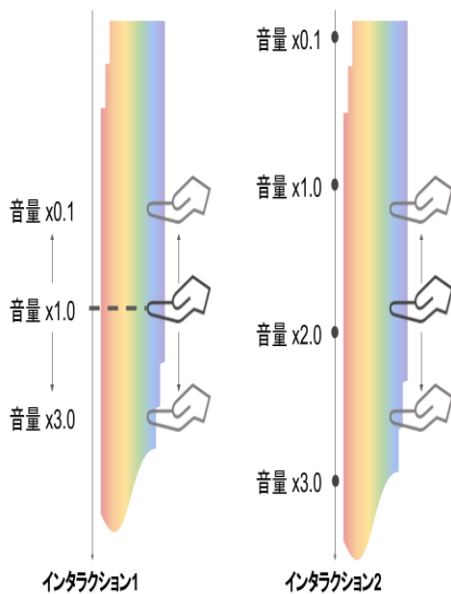


図 4 インタラクション 1 と 2 のイメージ図  
Figure 4 Overview of Interaction 1 and 2.

### 3.4 システム構成

本ビジュアライザを, Oculus Quest 用のソフトウェア (Android アプリケーション) として実装した. システムの構成を図 6 に示す.

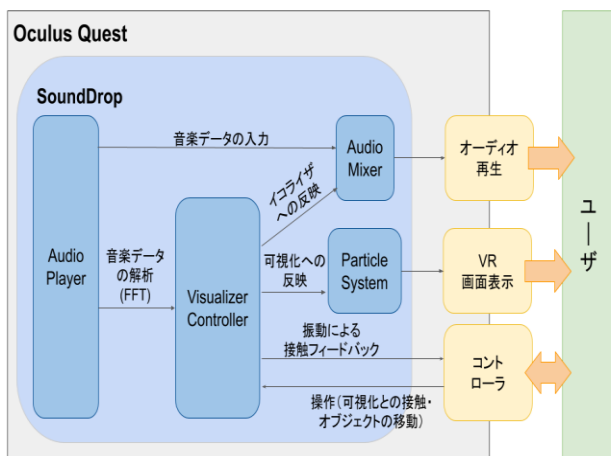


図 5 システム構成  
Figure 5 System configuration

本ビジュアライザは, 以下の 4 つのコンポーネントで構成されている. Visualizer Controller はビジュアライザの全体制御を行う. Particle System は音楽に対応する可視化表現を行う. Audio Player は音楽の再生を行う. Audio Mixer は再生されている音楽に対してイコライザを適応する.

本ビジュアライザを実行すると, まず Audio Player により, あらかじめアプリケーションに組み込まれた音源が 3 次元空間内で再生される. Visualizer Controller は, Audio Player によって再生された音源を取得し, フーリエ変換 (FFT) によって 31 の周波数帯域ごとに分析し, 得ら

れた周波数成分を Particle System に伝達する. Particle System は, 各周波数帯域に対応する 31 本の流体 (particle) の集合を虹色の滴に見立てて表現したものであり, 周波数成分に応じて流体の量を変化させることで音源を周波数帯域ごとに視覚的に表現する. また, Visualizer Controller がユーザのインタラクション (Particle System との接触, および, Particle System 内へのオブジェクトの配置) を検出した場合, それに応じて Audio Mixer の対応する周波数に対するイコライザ設定を変更するとともに, コントローラを振動させることでユーザに対する聴覚・触覚のフィードバックを行う.

## 4. 評価実験

インタラクションできるビジュアライザのインタラクション方法について二種類を挙げ, 操作が直感的に可能かどうか, 音の変化は分かりやすいかなどを調査する. 実験協力者は 20 代から 70 代の男女 12 名である.

### 4.1 実験手順

ヘッドマウントディスプレイにて二種類のインタラクションを切り替え, SoundDrop を体験してもらう. ここでいうインタラクションとは 3.3 で説明したインタラクション 1 (相対距離) とインタラクション 2 (絶対位置) である. それぞれがおわった後にアンケートを実施し, Google フォームを用いて回答を集める. 実験協力者の VR 環境への慣れや, Oculus の操作, インタラクションへの慣れが結果に影響しないように  $n$  人目の協力者がインタラクション 1 から始めた場合は  $n+1$  人目はインタラクション 2 から開始した.

3.3 で述べたとおり, 本ビジュアライザは滴の中に配置されたオブジェクト (手または岩) の位置に応じて各音域 (周波数帯域) の音量を変化させることでユーザに聴覚的にフィードバックを行うものである. なおこの実験では簡単のため, 手による操作だけを用いることとした.

今回研究で使用した楽曲はレスピーギ作曲の交響詩「ローマの松」I. ボルゲーゼ荘の松, 小澤征爾の指揮でポストン交響楽団の演奏 (1977 年) である.

### 4.2 評価アンケート

Google フォームにてインタラクション 1 (相対距離), インタラクション 2 (絶対位置) について, 「操作のし易さ」「直感的かどうか」「音の変化の分かり易さ」の 3 つの項目の回答を 1 点~10 点で集めた. 「操作のし易さ」の項目について, 1 点を「この上なく難しい」10 点を「この上なく簡単」とし, 「直感的かどうか」の項目について, 1 点を「まったく直感的でない」10 点を「この上なく直感的」とし, 「音の変化の分かり易さ」の項目について, 1 点を「まったくわかりやすくない」10 点を「この上なくわかりやすい」



とした。

### 4.3 仮説

3.1 で示したインタラクション 1(相対距離), 2(絶対位置)の実験について仮説を立てた。インタラクション 1 はユーザが手を滝に入れた後, 水に触れ続けながら手を上下する必要があるので操作の負荷が 2 に比べ少し高い。よって操作のしやすさの項目でインタラクション 1 よりインタラクション 2 の方が優れていると考える。音の変化の分かりやすさに関しては, どちらがより分かりやすいかは各ユーザの操作によると予想する。また, インタラクション 2 については水の物理的性質を反映しており, 水に見立てたパーティクルが上から下に落下している VR 内の滝において, 上の方で水をせきとめる(オブジェクトと衝突する)と音が小さく, 下の方で水をせきとめる(オブジェクトと衝突する)と音が大きいという仕様にした。そのため直感的かどうかという項目については, インタラクション 2 がインタラクション 1 より優れていると予想する。

### 4.4 実験結果

インタラクション 1(相対距離), インタラクション 2(絶対位置)についての評価実験の結果を図 7~9 に示す。まず操作のしやすさについての評価アンケートの結果は図 7 のようになった。インタラクション 1 に対しては 1~4 と回答した人が 0 人, 5 と回答した人が 2 人, 6 と回答した人が 1 人, 7 と回答した人が 2 人, 8 と回答した人が 3 人, 9 と回答した人が 1 人, 10 と回答した人が 2 人という結果になった。インタラクション 2 に対しては 1~5 と回答した人が 0 人, 6 と回答した人が 1 人, 7 と回答した人が 0 人, 8 と回答した人が 4 人, 9 と回答した人が 2 人, 10 と回答した人が 5 人という結果になった。

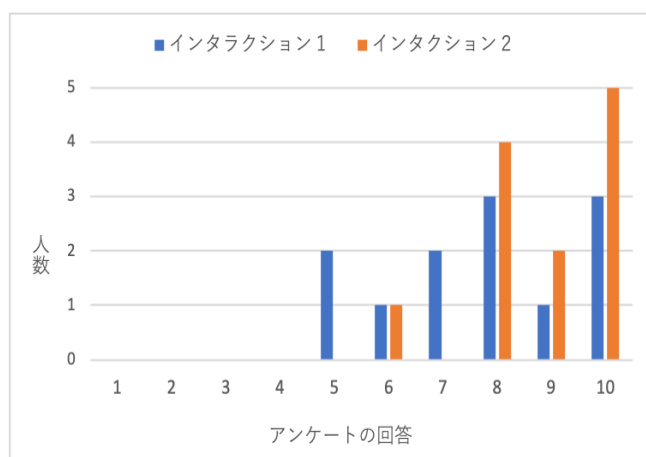


図 6 操作のしやすさのアンケートの度数表

Figure 6 Usability for Interaction 1 and 2.

次に直感的かどうかについての評価アンケートの結果は図 8 のようになった。インタラクション 1 に対しては 1~4

と回答した人が 0 人, 5 と回答した人が 1 人, 6 と回答した人が 3 人, 7 と回答した人が 3 人, 8 と回答した人が 1 人, 9 と回答した人が 1 人, 10 と回答した人が 3 人という結果になった。インタラクション 2 に対しては 1~6 と回答した人が 0 人, 7 と回答した人が 2 人, 8 と回答した人が 3 人, 9 と回答した人が 3 人, 10 と回答した人が 4 人という結果になった。

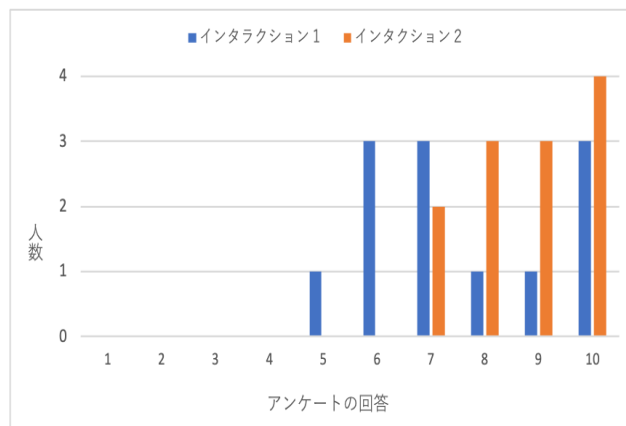


図 7 直感的かどうかのアンケートの度数表

Figure 7 Intuitiveness for Interaction 1 and 2.

最後に音の変化の分かりやすさについての評価アンケートの結果は図 9 のようになった。インタラクション 1 に対しては 1 と回答した人が 1 人, 2 と回答した人が 0 人, 3 と回答した人が 0 人, 4 と回答した人が 1 人, 5 と回答した人が 0 人, 6 と回答した人が 2 人, 7 と回答した人が 2 人, 8 と回答した人が 2 人, 9 と回答した人が 1 人, 10 と回答した人が 3 人という結果になった。インタラクション 2 に対しては 1, 2 と回答した人が 0 人, 3 と回答した人が 1 人, 4~6 と回答した人が 0 人, 7 と回答した人が 2 人, 8 と回答した人が 2 人, 9 と回答した人が 3 人, 10 と回答した人が 4 人という結果になった。

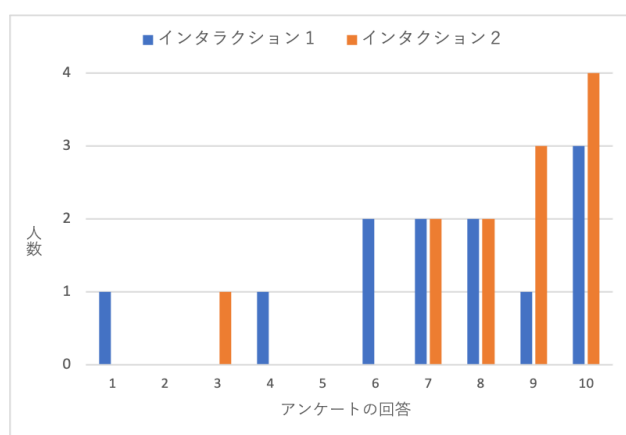


図 8 音の変化の分かりやすさのアンケートの度数表

Figure 8 Clarity of changes in sound.

## 5. 分析

### 5.1 分析方法

インタラクション 1, 2 に対するアンケートの回答の平均値と標準偏差からなるばらつきを調べた。また  $t$  検定を用いてインタラクション 1, 2 の各項目を比較した。

### 5.2 分析結果

ここでは、実験協力者 20 代から 70 代の男女 12 名の評価実験から得られたデータの分析結果を示す。図 10 が示すように操作のしやすさの項目についてインタラクション 1 では回答の平均が 8.29, インタラクション 2 では 8.83 となった。対応あり  $t$  検定を用いて二者を比較すると  $p=0.035$  となり  $p<0.05$  であることから有意差が示された。

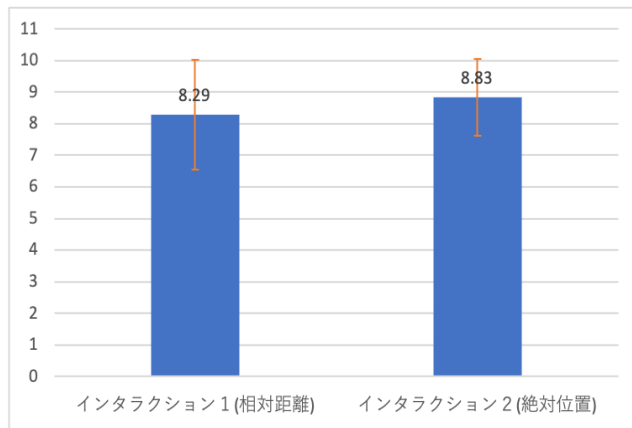


図 9 操作のしやすさの平均値と誤差範囲 ( $t$  検定:  $p=0.035$ )

Figure 9 Usability and error range.

図 11 が示すように直感的かどうかについてインタラクション 1 では回答者の平均が 7.58, インタラクション 2 では 8.75 となった。対応あり  $t$  検定を用いて二者を比較すると  $p=0.006$  となり  $p<0.05$  であることから有意差が示された。

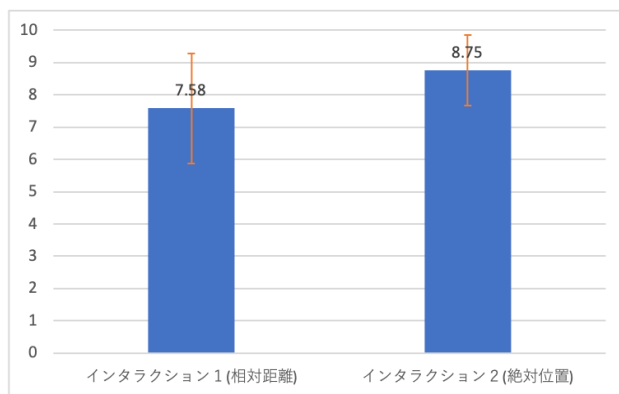


図 10 直感的かどうかの平均値と誤差範囲 ( $t$  検定:  $p=0.006$ )

Figure 10 Intuitiveness for Interaction 1 and 2 and error range.

図 12 が示すように音の変化の分かりやすさについてインタラクション 1 では回答者の平均が 7.17, インタラクション 2 では 8.33 となった。対応あり  $t$  検定を用いて二者を比較すると  $p=0.041$  となり  $p<0.05$  であることから有意差が示された。

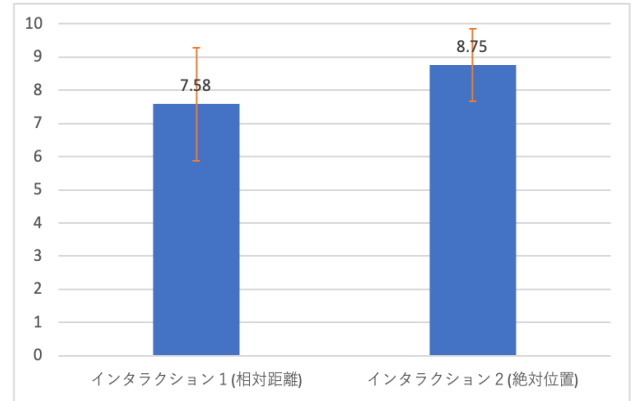


図 112 音の変化の分かりやすさの平均値と誤差範囲 ( $t$  検定:  $p=0.041$ )

Figure 11 Clarity of changes in sound and error range.

総論として、図 10~12 が示すように、操作のしやすさ、直感的かどうか、音の変化の分かりやすさの項目それぞれでインタラクション 2 がインタラクション 1 を上回った。このことから本ビジュアルライザの体験として手の移動距離による音の操作と、手の絶対位置による音の操作をくらべると後者の方が優れているといえる。とくに「直感的かどうか」という項目で絶対位置を用いたインタラクションが相対距離を用いたインタラクションを上回った理由として、水を上の方で堰き止めると衝突した際の音が小さく、下の方で衝突した際には音が大きくなるというインタラクションの性質が、滝や水音の性質と合致しているからだと考えられる。

## 6. 調査

### 6.1 調査方法

ここでは、提案したインタラクティブなビジュアルライザがどのような体験となったかを調査した。体験への感想と改善点を、Google フォームを用いて尋ねた。

### 6.2 調査結果

まず提案ビジュアルライザの体験について実験協力者から様々な意見が得られた。音の変化を体で感じる事ができたという意見や、指揮をしているような感覚が得られたとの回答があった。実験協力者の多くはこの体験を楽しんでいたり癒しを感じたりしていたことが分かった。これは 3D 空間での音楽の可視化とインタラクションを提案し評価す

るといふ本研究の目的にかなった回答であった。

次にインタラクション 1(相対距離)について、手の上げ下げが疲れるという意見があった。インタラクション 1についてはユーザが手を入れた点の高さでの音量が1倍であり、手を上げるとその距離に応じて音量が減少し、手を下げるとその距離に応じて音量が増幅する仕組みである。これはユーザの体格差などに考慮したものであったが、水に触れ続けながら手を上げ下げするというのは運動強度が少し強く感じられる場合があった。

インタラクション 2(絶対位置)について、説明がなくても直感的に操作が分かりやすいが思ったような音にするのは難しいとの意見があった。

どちらのインタラクションに対してももう少し音の変化が分かりやすいとさらに体験がよくなるとの意見があった。滝の特性として水が下の方でオブジェクトと衝突したときに音が大きいというの直感的に分かりやすいという意見もあった。

また提案ビジュアライザでの体験を、オーケストラの指揮のような体験だと感じた数人からは手を上に上げると音が小さくなるというのは指揮の体験とは逆であるという意見があった。

また、提案ビジュアライザのような 3D 空間での可視化を用いれば、視覚障害のある方々とライブなどの音楽体験を共有しやすくなると予想できるとの意見があった。これは本研究に新たな意義を与えるものである。

それから選曲についての意見が複数あった。オーケストラではなくより音域の幅が広く、音量の幅(ダイナミックレンジ)が狭い音楽が良いのではないかと意見や、有名なフレーズのある曲を使えば聴き慣れている分、一部の音域の音量を操作した際に効果が実感しやすいのではないかと意見があった。

## 7. 課題と展望

### 7.1 SoundDrop の課題と展望

本研究では VR 空間内で音を可視化し、ユーザが音を操作することのできるビジュアライザを開発し、そのインタラクションの妥当性を評価した。ここでは評価実験や調査アンケートで得られたことを踏まえ SoundDrop の体験について改善していくことを示す。

まずインタラクションについて、ユーザが本ビジュアライザを用いて音を操作する際にどれほど大きく動くかということには個人差がある。よってユーザがしゃがんだ際に音量が最高になるように設定すると体験を楽しめないユーザが出てしまう。反対に音量が最低になる位置(滝の上部)の設定によっては、操作のしやすさがユーザの身長に依存してしまう。これを改善するための方法としては、それぞれのユーザの手の届きやすい範囲を視線の高さや動きから

測定するなどして、その範囲に音の変化の大部分を入れるような設定をすることが挙げられる。

選曲について、一般的なビジュアライザの性質上、多様な音楽を可視化し音の体験を提供するものであるためには、使われている音域や有名か無名かを問わず音の操作を楽しんでもらえるように工夫が必要である。本ビジュアライザのシステム上、滝の大きさが可変でないことにより、音域の狭い曲では滝の端にインタラクションしても影響の出ない領域が発生してしまう。よって滝のサイズを可変にして曲ごとに自動で決定できるような仕組みや、同じ大きさの滝であっても音域の割り振りを変化させるような仕組みが必要になる。

ビジュアライズに関しても、議論の余地が多く残っている。現在、音源に対するフーリエ変換により取得した値を水量に反映しているが、その反映の仕方を表す関数としては簡易なものを用いている。この関数を工夫しより感覚に合う可視化を調査し実装するとビジュアライザとしての性能が上がるということが予想される。

他にビジュアライザに追加実装できる機能として、視線による音楽の再生操作、ユーザの演奏や歌などと音源を別々に可視化し色の重なりによる表現をすることや、歌詞の意味を VR 映像に反映させること、音楽の構造を可視化に反映させること、MIDI 音源を用いた楽曲のパートごとの可視化をすることなどが挙げられる。音と色の関係の既存研究として MusCat[21]、歌詞の意味を画像や映像に反映させる既存研究として TextAlive[22]や Lyricon[23]、音楽の構造を可視化する既存研究として Songle[24]や Colorscore[25]が挙げられる。MIDI 音源を用いればオーケストラのための楽曲などに対して指揮の体験に近いビジュアライズとインタラクションを実装することも可能と予想される。指揮を疑似体験することに関する先行研究として、“VR 空間における指揮動作の学習支援技術の研究”[26]、既存システムとして Mendelssohn-Effektorium[27]が挙げられる。

本ビジュアライザでは音に触れた際にコントローラーが振動する機能を実装したが、音の上昇下降により重さの変化するデバイスを実装することなども現時点で考えられる。また、VR 空間にとどまらず、実際の物質を用いた可視化とインタラクションも考えられる。たとえば、粘土を造形するように音を形作ることや、この作品から派生したビジュアライザとして実際に水などの物質を用いたものを開発してみることを検討している。

### 7.2 実験から得られた音の可視化とインタラクションデザイン指針

ここでは、本研究を通して得られた音の可視化とインタラクションに関するデザインの指針をまとめる。まず本研究の実験と評価アンケートから得られた結果として、イン

タラクション 2(絶対位置)がインタラクション 1(相対距離)の体験より優れていたといえる。具体的に上回った項目は、「操作のしやすさ」、「直感的かどうか」、「音の変化の分かりやすさ」である。体験への感想や意見の交換などから得られたことと照らし合わせると、「直感的かどうか」という項目に関してこのような結果になったのは、ビジュアライズに用いられた水のシミュレーションに対するインタラクションと実際の水の性質との対応付けがインタラクション2のほうがインタラクション1より忠実であったから得られたと考えられる。具体的にはインタラクション2について、水が滝の上の方で物体と衝突した際には音が小さく、下の方で衝突した際には音が大きくなるという設定をしたが、これは実際の水を用いたとしても同じことが起こる。このように 3D 空間で物質を用いた可視化を行う場合、その用いる物質の性質が反映されていることが望ましいと考えられる。

またユーザが本ビジュアライズを体験する際に得られた知見として、ユーザがなにかしらのインタラクションを実行する際には各個人によって積極性や能動性には差が感じられるということである。この差はユーザと開発者間でもユーザ間でも感じられる。具体的に本研究では、VR 空間内で滝に触れて音を操作する際、しゃがんだり伸び上がったりにして下限上限まで接触を試みる人もいれば立ったまま手の届く範囲のみの接触を試みる人もいるということが分かった。インタラクション2で開発者はしゃがんだ時に触れられる位置を音量の最高点としたが、そのままでは万人に満足のいく経験を提供することが難しい。滝に触れる範囲が狭い場合、音の変化が分かりにくい。よって開発者は全てのユーザが大きく積極的に動くだろうという予想を排してインタラクションを実装すべきである。

本ビジュアライズでは滝の右にいくほど高音域、左にいくほど低音域と設定した。これはピアノの鍵盤の配置、ハードウェアまたはソフトウェアを問わない一般的なイコライザの配置考慮したものである。ピアノの鍵盤について野本によると“あまりにも昔からそうなので、はっきり理由がわかっていない” [28]とされている。イコライザについて DTM の情報サイト Sleepfreaks によると“巷には様々なイコライザ一山回っていますが、基本概念は全て同じです。左が低域で右に向かうにしたがい、中域→高域になります。” [29]とある。右が高音という配置についての必然性は示されておらず、生活の中でそれらに触れる習慣のないユーザにはとってこれらは自明なものと断言できず、説明が必要になる場合がある。感覚を他の感覚に変換する際には自明と言えるマッピングを探し出すとさらに直感的な体験が提供できると考えられる。ただ、上に挙げたようなピアノ鍵盤やイコライザの配置が自然に感じられるかというのはユーザの育った文化圏や環境によって大きく影響を受ける。このことから人類全般にとって自明だと感じられ

る直感的なインタラクションを構築する際に用いることのできるものは物理現象や物質の性質なのではないかと予想する。本研究においても、水の性質をより詳細に反映したインタラクション方法はそうでないインタラクション方法より直感的であるという結果が導かれた。

## 8. まとめ

本研究では、3D 空間で音を可視化しインタラクションでできる滝の形をしたビジュアライズを開発し評価した。本ビジュアライズについて 2 種類のインタラクション(インタラクション1:相対距離, インタラクション2:絶対位置)を用意し評価実験を行った。20代から70代の男女12名の研究協力者から得られたデータを分析すると、操作のしやすさ、直感的かどうか、音の変化の分かりやすさの全ての項目でインタラクション2がインタラクション1を上回った。これはインタラクション2のほうが、インタラクション1より水という物質の特性を反映していたからだと思われる。またユーザアンケートを通して感想をつのることによりこのビジュアライズの体験が楽しいものや癒されるものとして受け止められたことが確認できた。また改善すべき事柄も明確になったため更なる熟考を重ね多くの人が直感的に操作できるビジュアライズを実現したい。

## 謝辞

最後に本研究を進めるに当たり、意見を交換して下さった皆様、技術面でのサポートを下さいました方、評価実験にご協力いただきました方々、栗原研究室の皆様にも感謝を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 難波精一郎: 音を可視化する魅力, 騒音制御: Vol.22, No.1 pp.2-6, 1998
- 2) 加藤宏: 「視覚は人間の情報入力 of 80%」説の来し方と行方, 筑波技術大学テクノレポート, Vol25(1), 2017.12.
- 3) Griffith, J.S.: *Mathematical Neurobiology*, Academic Press, London, 1971, 塚原伸晃・佐藤敏 輔 (訳), グリフィス「数理神経生物学」, 産業図書, 1973.
- 4) Zimmermann, M.: *Neurophysiology of Nociception*. In: *International Review of Physiology, Neurophysiology II*. Poter, R.(ed.) University Park Press, Baltimore, Vol.X. pp.179- 221, 1976.
- 5) Zimmermann, M.: *Neurophysiology of Sensory Systems*. In “*Fundamentals of sensory Physiology*”, Schmidt, R.F. Ed., Springer-verlag, 1978 (岩村吉晃 他訳「感覚生理学」(1980), 金 芳堂
- 6) 高橋 利佳: 視覚優位に関する研究-視覚と聴覚の相互



- 作用を中心として,1995
- 7) LITALICO: マインドフルネスとは?定義と意味, マインドフルネス瞑想の実践方法と効果, メリットとデメリットについて説明します  
<https://snabi.jp/article/118>
  - 8) TRIPP: Fitness for your Inner Self  
<https://www.tripp.com/>
  - 9) Apple (日本) : iTunes  
<https://www.apple.com/jp/itunes/>
  - 10) wowlab: iTunes Visualizer  
<http://wowlab.net/en/research/itunes-visualizer>
  - 11) Robert Hodgins: Magnetosphere is a series of projects exploring the interplay between attractive and repulsive forces.  
<http://roberthodgin.com/project/magnetosphere>
  - 12) Masahiro Hamasaki and Masataka Goto: Songrium: A Music Browsing Assistance Service Based on Visualization of Massive Open Collaboration Within Music Content Creation Community. In Proceedings of the 9th International Symposium on Open Collaboration, WikiSym '13, pages 4:1–4:10, New York, NY, USA, 2013. ACM.
  - 13) Oculus: Oculus Quest の「Beat Saber」  
[https://www.oculus.com/experiences/quest/2448060205267927/?locale=ja\\_JP](https://www.oculus.com/experiences/quest/2448060205267927/?locale=ja_JP)
  - 14) Oculus: Gear VR の「Polydome」  
[https://www.oculus.com/experiences/gear-vr/883234798457682/?locale=ja\\_JP](https://www.oculus.com/experiences/gear-vr/883234798457682/?locale=ja_JP)
  - 15) Facebook Technology: About Us  
<https://tech.fb.com/about-us/>
  - 16) Oculus: VR Headsets & Equipment  
<https://www.oculus.com/>
  - 17) Unity  
<https://unity.com/>
  - 18) 音楽電子事業協会: MIDI とは  
<http://www.amei.or.jp/midi2020.html>
  - 19) Android Developers: Visualizer  
<https://developer.android.com/reference/android/media/audiofx/Visualizer>
  - 20) Unity: Scripting API: ParticleSystem  
<https://docs.unity3d.com/ScriptReference/ParticleSystem.html>
  - 21) K. Kusama, et al.: Abstract Picture Generation and Zooming User Interface for Intuitive Music Browsing, 2014.
  - 22) Jun Kato, Tomoyasu Nakano, and Masataka Goto: "TextAlive: integrated design environment for kinetic typography." In Proc. of CHI '15, pp. 3403-3412.
  - 23) W. Machida, et al., Lyricon: A Visual Music Selection Interface Featuring Multiple Icons, 2011.
  - 24) Goto, M., Yoshii, K., Fujihara, H., Mauch, M. and Nakano, T.: Songle: A Web Service for Active Music Listening Improved by User Contributions, Proc. of ISMIR 2011, pp.311–316 (2011).
  - 25) A. Hayashi, et al.: Colorscore: Visualization and Condensation of Structure of Classical Music, 2012.
  - 26) 佐野文哉ほか: VR 空間における指揮動作の学習支援技術の研究, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2018
  - 27) Markus Lerner: Mendelssohn-Effektorium  
<https://www.markuslerner.com/gallery/mendelssohn-effektorium/>
  - 28) 毎日新聞: ピアノはなぜ右が高音?  
<https://mainichi.jp/articles/20160228/kei/00s/00s/012000c>
  - 29) Sleepfreaks: イコライザーについて (基本編)  
<https://sleepfreaks-dtm.com/dtm-mix-technique/eq1/>