

2021 年度 修士学位請求論文

リアルタイム音量バランス推定手法による
ドラム練習支援に関する研究

明治大学大学院先端数理科学研究科

先端メディアサイエンス専攻

細谷 美月

Master's Thesis

**A Study on Drum Practice Support
by Real-time Volume Balance Estimation Method**

Frontier Media Science Program,
Graduate School of Advanced Mathematical Sciences,
Meiji University

Mitsuki Hosoya

概要

複数楽器を同時に演奏するドラムの上達において、主要な3楽器であるハイハット(HI)、スネアドラム(SD)、バスドラム(BD)の音量バランスが重要である。この音量バランスについて個人練習をする場合、自身の演奏を客観的に聴くことができないため、聴衆が知覚する音量バランスを確認することは難しい。また、演奏を録音することによって自己判断は可能であるが、修正点をふまえて再度演奏・録音し直す方法は効率的とはいえない。これらの問題を解決するため、本研究ではドラム正面に設置した単一指向性のマイクで収録した演奏を、半教師あり非負値行列因子分解(SSNMF)を用いてリアルタイムにHI・SD・BDの各音源へ分離し、その音声特徴量から聴衆が知覚する音量バランスを推定し、可視化するシステムを提案する。本研究の対象は、基本的なリズムを演奏できるようになった初心者ドラマーから音量バランスに問題を抱える中級者ドラマーとし、ドラマー個人での音量バランス練習がより容易かつ効率的になるよう支援することを目的とする。

まず、プロトタイプシステムを実装し、実際のドラム演奏中にシステムを使用してもらいフィードバックを得るための実験を行った。その結果、音量バランスの可視化方法や、音量バランス推定手法の精度を改善する必要性がみられた。

次に、音量バランス推定手法の精度向上を目的とし、ドラム演奏に対して聴衆が知覚する音量バランスの正解データ作成のための音量バランス評価実験を行った。具体的には、様々な音量の組み合わせやリズムで作成された256パターンのドラム演奏音源について聴取した後に、その3楽器の音量バランスを評価してもらい、実験で得られた6人分の評価を平均したものを聴衆が知覚する音量バランスの正解データとした。

そして、3楽器の分離音源から得られる音声特徴量から、ドラム演奏に対して聴衆が知覚する各楽器の音量を推定可能な式を重回帰分析によってそれぞれ算出し、音量バランス推定手法を定義した。使用した特徴量は、RMS値、閾値(音源内の最大振幅の5割)を超えた振幅の平均、スペクトル重心、ゼロ交差数であり、256パターンのドラム演奏音源作成の際にMIXする前の3楽器の音源(ピュアデータ)の特徴量を用いて回帰式を算出した。音量バランス推定手法の精度については、2楽器ずつの組み合わせについて音量の差があるものを推定できているかどうかで算出し、その結果ピュアデータについて87.4%の精度で音量バランスの推定が可能であるとわかった。しかし、本システムで用いるSSNMFによる音源分離は精度が十分でなく、ピュアデータで定義した音量バランス推定手法に音源分離後の特徴量を適用させてテストしたところ47.0%の精度となってしまった。そこで、本システムでは音源分離後のデータを用いて回帰式を算出し定義した音量バランス推定手法を使用することとした。

音量バランス推定手法とプロトタイプシステム使用実験で得られたフィードバックをふまえ、システムを改良した。その後、システムによってドラマーが自力で理想的な音量バランスを容易かつ効率的に練習することを支援できるかどうか調査するため、実際にシステ

ムを使用しながらアコースティックドラムで目標の音量バランスに向けて演奏してもらう実験を行った。推定結果の更新頻度が低いシステム（システム A）、更新頻度が高いシステム（システム B）、システムなしの 3 条件の練習環境条件で音量バランス練習を行ってもらい、練習環境の違いによる音量バランス練習のしやすさについても調査した。実験の結果、システムなし条件に比べてシステムあり条件の方が各評価指標について良い結果となり、本提案手法によって音量バランス練習をより容易で効率的に行えるようになる可能性が示唆された。また、結果の更新頻度については、音量バランスを一定に保つといったように安定感を鍛えたい場合や部分的なフレーズを練習したい場合は更新頻度を少なくし、目標とする音量バランスを目指して演奏を調整したい場合は更新頻度を高くするなど人や練習したい内容によって切り替えることで、よりドラマーの音量バランスを支援できると考えられる。

本研究では、ドラム演奏から聴衆が知覚する音量バランスを推定し、ドラマーに可視化して提示するシステムを提案した。今後は精度を高めるため、より多くのリズムや音量の組み合わせのドラム演奏に対する音量バランス評価データを集めて回帰式を作成することが考えられる。また、演奏する楽器、部屋などの演奏時の環境が変化した場合にも対応可能とするシステムを目指す。

Abstract

The volume balance of the 3 main instruments, hi-hat (HI), snare drum (SD) and bass drum (BD) is important for the development of drumming. When practicing individually, it is difficult to confirm the audience's volume balance because it is impossible to listen to one's own performance objectively. Although it is possible to make a self-diagnosis by recording one's own performance, it is not efficient to perform and re-record the performance to correct the problem. In order to solve these problems, I propose a system to estimate and visualize the perceived volume balance of a performance recorded by a uni-directional microphone installed in front of a drum, using semi-supervised non-negative matrix factorization (SSNMF) to separate HI, SD, and BD sources in real-time. I propose a system to estimate and visualize the volume balance perceived by the audience from the speech features. This research aims to support individual drummers to practice volume balance more easily and efficiently.

First, I implemented a prototype system and conducted an experiment to obtain feedback on the system by using it during actual drum performances. As a result, it was found that the visualization method of the volume balance and the volume balance estimation method needs to be improved.

Next, to improve the accuracy of the volume balance estimation method, I conducted a volume balance evaluation experiment to create the correct answer data of the volume balance perceived by the audience for drum performances. Specifically, I asked the listeners to evaluate the volume balance of 256 patterns of drum performance sound sources created with various combinations of rhythms and volumes of 3 instruments. The average of the 6 ratings obtained in the experiment was used as the correct data for the volume balance perceived by the audience.

In order to establish a method for estimating the volume balance, an equation for estimating the volume of each instrument perceived by the audience in response to a drum performance was calculated from the audio features obtained from the separated sources of the 3 instruments by multiple regression analysis. The features used were the RMS value, the average of the amplitudes above a threshold value (50% of the maximum amplitude in the sound source), the spectral center of gravity, and the number of zero-crossings. The regression equation was calculated using the features of the sound source (pure data) of the 3 instruments before mixing in the creation of 256 patterns of drum performance sound sources. The accuracy of the volume balance estimation method was calculated based on whether or not it was possible to estimate the difference in volume for each combination of 2 instruments, and the results showed that it was possible to estimate the volume balance with 87.4% accuracy for pure data. However, the accuracy of the sound source separation by SSNMF used in our system is not sufficient, and when I tested the sound source separation by applying the features after the sound source separation to the volume balance estimation method defined for pure data, the accuracy was 47.0%. Therefore, in this system, I used a volume balance estimation method using the

data after the sound source separation. This was defined by calculating a regression equation again using the features obtained from the 3 instruments after the sound source separation.

Based on this method and the feedback obtained from the prototype system experiments, the system was improved. Then, to investigate whether the proposed system can help drummers to practice the ideal volume balance easily and efficiently by themselves, I conducted an experiment in which drummers played acoustic drums to achieve the target volume balance while using the system. They were asked to practice the volume balance under 3 conditions: a system with a low frequency of updating estimation results (System A), a system with a high frequency of updating estimation results (System B), and no system. The results of the experiments showed that the results of each evaluation index were better in the condition with the system than in the condition without the system, which suggests that the proposed method may make it easier and more efficient to practice volume balance. In addition, the frequency of updating the results can be changed according to the person or the content to be practiced, e.g., the frequency of updating should be decreased when the drummer wants to train the sense of stability or practice partial phrases, and the frequency of updating should be increased when the drummer wants to adjust the performance to achieve the target volume balance. In this way, I can support the drummer's volume balance more effectively.

In this study, I proposed a system that estimates the volume balance perceived by the audience from the drum performance and presents it to the drummer in a visual form. In order to improve the accuracy of the system, it is considered that a new regression equation should be developed by collecting the data of volume balance evaluation for drum performances with more combinations of rhythms and volumes. In addition, I aim to develop a system that can respond to changes in the environment of the performance, such as the instruments played and the room.

目次

第1章	はじめに	1
1.1.	ドラム演奏の上達について.....	1
1.2.	ドラム演奏の音量バランスについて.....	1
1.3.	ドラム演奏の音量バランス練習を支援するために	4
1.4.	本研究の目的	4
1.5.	本研究の構成	4
第2章	関連研究	5
2.1.	音量バランスに関する研究.....	5
2.2.	楽器の練習支援に関する研究.....	5
2.2.1.	楽器の練習支援に関する研究.....	5
2.2.2.	ドラムの練習支援に関する研究.....	6
2.3.	音源分離に関する研究.....	6
2.3.1.	音源分離技術に関する研究	6
2.3.2.	打楽器音の認識に関する研究.....	7
第3章	提案手法	9
第4章	プロトタイプシステム	10
4.1.	ドラム演奏の音量バランス推定手法.....	10
4.1.1.	音量バランス推定手法の計算手順	10
4.1.2.	音量バランス推定に用いた音源分離について	12
4.2.	プロトタイプシステム概要.....	12
4.2.1.	実装.....	13
4.2.2.	利用方法	14
4.3.	プロトタイプシステム使用実験	15
4.3.1.	実験手順	15
4.3.2.	結果と考察.....	16
4.4.	システムの改善点	18
第5章	聴衆の知覚音量バランスデータセット構築	20
5.1.	評価音源データ作成.....	20
5.2.	音源データへの評価方法	22
5.3.	結果と考察	23
5.4.	データセット構築	24
5.5.	聴衆の知覚を加味したドラム演奏の音量バランス推定手法	25
5.5.1.	回帰式の定義	25
5.5.2.	推定手法の精度.....	27

第6章	ドラム演奏の音量バランス練習システム	29
6.1.	提案システム	29
6.1.1.	実装	30
6.1.2.	利用方法	30
6.2.	システムにおける音量バランス推定手法	31
第7章	システム実証実験	32
7.1.	実験手順	32
7.2.	実験の結果	34
7.3.	考察	40
7.3.1.	提案手法による音量バランス練習支援効果	40
7.3.2.	推定結果の更新頻度による音量バランス練習のしやすさ	41
7.3.3.	提案手法による聴衆の知覚する音量バランス推定精度	42
第8章	制約と展望	43
第9章	おわりに	45

第1章 はじめに

1.1. ドラム演奏の上達について

ドラムは、複数の楽器を同時に演奏することによってリズムや音量、音色などを表現することから、“バンドの指揮者”とも呼ばれる。ドラムを上達するためには、テンポキープ¹や様々なビート²を正確に切り替えて演奏するといったようなリズムに関する技術・叩く位置や角度、強さを変化することやその音を安定して鳴らし続けることなど音色に関する技術・小さい音量から大きい音量までの使い分けや、メインの楽器であるハイハット（HI：Hi-Hat）、スネアドラム（SD：Snare Drum）、バスドラム（BD：Bass Drum）の3楽器（図1）の音量バランスのような音量に関する技術など、様々な技術を身につける必要がある。しかし、ドラムは比較的簡単に音が出せてしまうことや、レッスン動画や叩いてみた動画などから見様見真似で練習できてしまうことから、自己流・自力で練習する人も多い。

自力で練習する場合、リズムについてはメトロノーム³に合わせて演奏することでずれ具合を確認する、電子（MIDI：Musical Instrument Digital Interface）ドラムを使用し演奏情報を確認するなどによって自己判断が可能である。しかし、音量や音色については自分の演奏を客観的に判断することができないため、正解がわからず練習しづらいという問題がある。

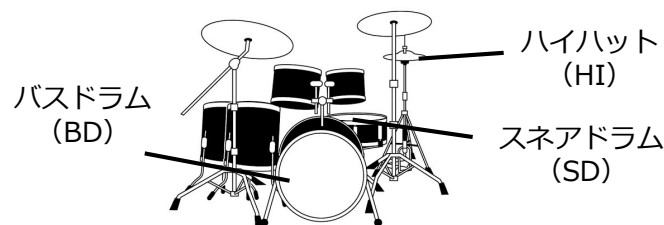


図1 ドラムにおけるメインの3楽器

1.2. ドラム演奏の音量バランスについて

ドラム演奏の音量バランスについて説明する。8ビートや16ビート（図2）のような基本のリズムにおいて、ドラム演奏の音量バランスは、一般的に BD・SD・HI の順に音量が大きく聴衆に知覚されるように演奏することが理想とされている。この理由は、他の楽器より HI の音量が大きいと抑揚がない演奏に聴こえてしまうことや、BD の音量が小さいと安定感のない演奏に聴こえてしまうことがあるためである。また、ロックやメタルなどの激しい

¹ 演奏の速さを一定に保つこと。

² 音楽における拍子、リズム感のこと。

³ 一定の間隔で音を刻み、楽器を演奏・練習する際にテンポを合わせるために使う音楽用具。

曲は SD と BD の両方を大きい音量で聴かせたい、ジャズを演奏するときは HI の音量を少し大きめに聴かせたいなどといったように、曲やジャンル、個人の好みによって目標とする音量バランスは異なる場合もある。ある程度リズムが叩けるようになったドラマーは、ドラム演奏をより良いものにするために、聴衆に自身の演奏をどう聴かせたいかによって目標の音量バランスを決め、それを意識しながら演奏する。

音量バランス習得までのステップを（図 3）に示す。まず、目標の音量バランスがあり、そのバランスで一度演奏し、力の入れ具合やドラム演奏中のドラマー側からの聴こえ具合などで感覚を掴む。そして、そのバランスで何度も練習し続けることによって、時間を空けても目標の音量バランスで演奏できている状態（目標の音量バランスを習得した状態）に到達する。また、一度目標のバランスで演奏して感覚を掴むステップについてはさらに細分化ができ、現在の自分の演奏の音量バランスを把握し、目標のバランスに近づくためにどの楽器の音量をどのくらい変化させるか考え、実際に叩く力加減のバランスを変化させるという段階がある。

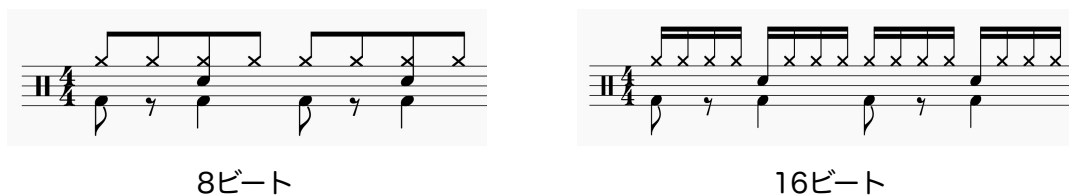


図2 8ビートと16ビート

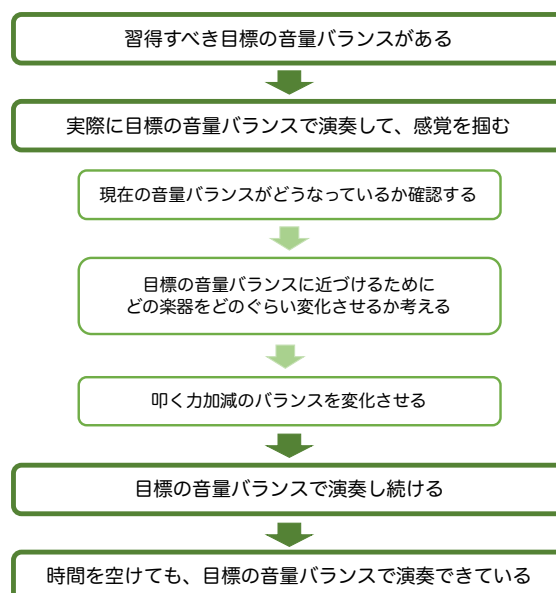


図3 音量バランス習得までのステップ

ここで、ドラム演奏の音量バランス練習の際に、ドラムスクールに通うドラマーは客観的に他人に演奏を聴いてもらうことができるが、自力で練習するドラマーは客観的に自分の演奏を聴くことができないため、自分のドラム演奏の音量バランスを把握することが難しい。この理由として、ドラマーが演奏しながら判断する音量バランス（ドラム演奏中の聴覚と手や足の力加減の感覚などから判断する）と、聴衆がそのドラム演奏を聴いて判断する音量バランスが異なること（図4）が挙げられる。さらに演奏するリズムによって各楽器の音数の割合も変化することから、音量バランスの聴こえ方が異なる（図5）ことも、自力での音量バランス把握が難しい理由である。また、録音した演奏を確認し反省するといった方法が挙げられるが、このような方法は時間や手間がかかってしまう。一方で、電子ドラムで練習することによってペロシティ⁴を確認できるが、叩く感覚がアコースティック⁵のドラムと大きく異なるため、音量バランス練習に適しているとはいえない。また、既存研究においてドラム演奏の練習支援に着目した研究は様々あるが[1-4]、アコースティックドラムの音量バランスに着目した研究は少ないと考える。

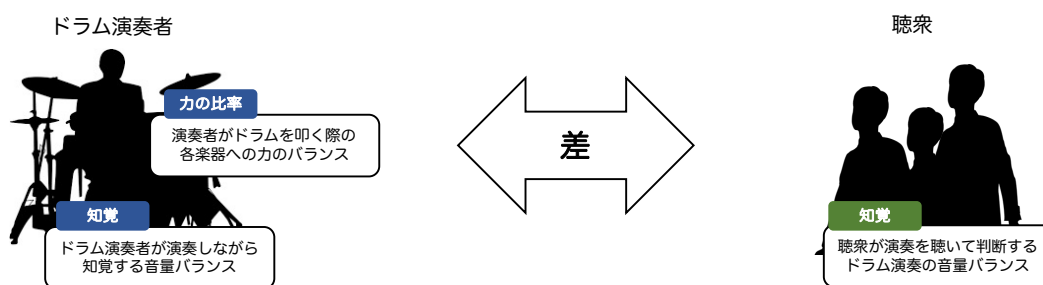


図4 ドラマーと聴衆は聴こえる音量バランスが異なる

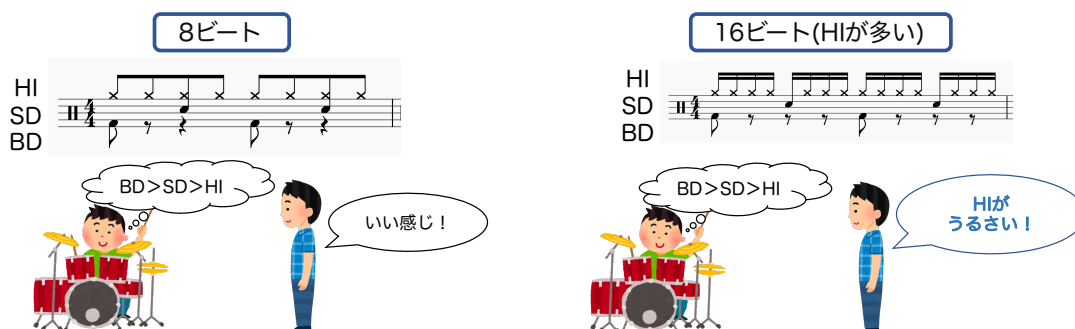


図5 演奏するリズムによって聴こえ方が異なる例

⁴ 電子楽器の演奏情報のやり取りをするための規格である MIDI において、音の強弱を表す数値のこと。

⁵ 電気を使用しない楽器を用いた演奏。生楽器ともいう。

そこで本研究では、ドラマーがアコースティックドラムでの基本リズムの演奏において自力で理想的な音量バランスを練習する際に、聴衆が知覚する音量バランスがわからず、確認する場合にも時間や手間がかかるという問題に着目する。

1.3. ドラム演奏の音量バランス練習を支援するために

ドラマーの音量バランス練習を支援するためには、聴衆が知覚する音量バランスをドラマーがリアルタイムに確認できるようにすることが重要であると考えた。

そこで本研究では、マイクで収録したドラム演奏から聴衆が知覚する音量バランスをリアルタイムに推定・可視化してドラマーにフィードバックするシステムを提案する。このシステムを用いて、聴衆が知覚するドラム演奏の音量バランスを確認しながら演奏することによって、効率的に自分の演奏の音量バランスを把握することが可能になるため、ドラマーが目標とする音量バランス練習を支援できると期待される。

1.4. 本研究の目的

本研究では、ドラマーがアコースティックドラムでの基本リズムの演奏において自力で理想的な音量バランスを練習する際に、聴衆が知覚する音量バランスがわからず、確認する場合にも時間や手間がかかるという問題に着目する。そこで、本研究ではドラマーが自力で理想的な音量バランスを容易かつ効率的に練習できる仕組みを実現することを最終的な目標とする。また、本研究の対象は、基本的なリズムを演奏できるようになった初心者のドラマーから音量バランスに問題を抱える中級者のドラマーとする。

1.5. 本研究の構成

本研究は、本章を含む全9章から構成される。まず本章でドラム演奏の音量バランスを自力で練習する難しさについて述べた。2章では本研究の関連研究について述べる。3章では、本研究の提案手法について述べる。4章では、プロトタイプシステムを実装し、そのシステムの評価実験を行い、フィードバックから明らかにした改善点について述べる。5章では、ドラム演奏の音量バランス推定手法の精度向上を目的とし、ドラム演奏の音量バランス評価実験を行い、その結果と考察、聴衆の知覚を加味した音量バランス推定手法について述べる。6章では、4章、5章の実験を踏まえ、改善を行い、提案システムについて述べる。7章では提案システムの評価実験を行い、結果と考察について述べる。8章では、提案システムの制約と今後の展望について述べ、最後に9章で本論文をまとめる。

第2章 関連研究

2.1. 音量バランスに関する研究

楽器演奏において考慮すべき点の1つとして音量バランスがあり、アンサンブルやオーケストラのように複数人で演奏する場合においては、楽器間の音量バランスが重要である[5]。これに関して、3人のトロンボーン奏者で和音練習を行う際に、適切な音量バランスになるよう各演奏者に自動で音量の増減指示を行うシステムを提案した研究[6]や、電子楽器とアコースティック楽器でアンサンブル演奏を行う場合に、適切な音量バランスに調整するために必要な工夫について調査を行った研究[7]があり、複数人で演奏する際の音量バランス練習支援に着目した研究はいくつかなされている。

1人で楽器を演奏する場合においても、パートごとの音量バランスは重要であり、ピアノ演奏における非熟達者と熟達者の演奏表現の違いについて調査を行った高橋ら[8]の研究では、熟達者の演奏に対するメロディーと伴奏の音量の差（音量バランス）に関する意見として「伴奏が控えめでメロディーが浮き出て聴こえる」というものが挙げられている。

楽曲中の音量バランスを変化させることにより音楽体験を向上させる研究も様々ある。Itoyama ら[9]は、各楽器の音量バランスによって音楽ジャンルは変化するという仮説に基づき、ユーザが楽器の音量を直接変更して検索例をカスタマイズすることができる音楽情報検索手法を提案した。吉井ら[10]は、ドラムス（BD と SD）の音量や音色、ドラムパターンなどをリアルタイムにコントロールでき、リスナーがより能動的に音楽を楽しむことができる音楽再生インタフェース DruMix を提案した。

これらの研究より、演奏の音量バランスが変化すると聴衆の演奏に対する印象も変化することがわかり、演奏や楽器の上達において音量バランスを考慮することは重要といえる。そこで本研究では、ドラム演奏の音量バランス練習の支援を目的とする。

2.2. 楽器の練習支援に関する研究

2.2.1. 楽器の練習支援に関する研究

楽器の練習支援に関する研究は様々行われている。Smoliar ら[11]は、ピアノ演奏の MIDI データをもとに、鍵盤の強さ、テンポ、スタッカート⁶やレガート⁷などのアーティキュレーション⁸、右手と左手のタイミングの整合性などを可視化するシステムを提案している。Rogers ら[12]は、プロジェクションマッピングによって物理的な鍵盤にピアノロールを投影

⁶ 一音一音を切り離して短く（演奏すること）。

⁷ 音と音との間を切らないように、なめらかに（演奏すること）。

⁸ 音と音とのつながりに様々な強弱や表情をつけることで旋律などを区分すること。

し、鍵盤の位置を提示するシステムを提案している。Beici ら[13]は、ピアノ演奏者のサスティンペダル⁹の動きを検出して視覚化するシステムを提案している。また、Marky ら[14]は、ギター演奏者がコード（和音）、スケール（音階）、メロディを練習するために、指板に取り付けられた LED によって視覚的なガイダンスを提供するシステムを提案している。Doi ら[15]は、箏の弦や胴体に、ピッキング位置やピッキング方向、奏法を表す記号などの情報をプロジェクションマッピングで提示するシステムを提案している。

演奏情報の可視化は、自分の演奏や対象の演奏を認識しながら楽器を練習することを可能とし、かつ演奏を邪魔しにくいことから、楽器の練習を支援するための手法として多く使用されている。よって、本研究ではドラムの演奏の音量バランス練習を支援する手法として演奏情報の可視化を採用した。

2.2.2. ドラムの練習支援に関する研究

ドラム演奏の練習支援にアプローチした研究は様々行われている。Ikenoue ら[1]は微小遅延聴覚フィードバックによって、ドラムスティックの動きを矯正するシステムの提案を行い、システムの使用によって、腕の伸筋の動作を矯正できることが示唆された。触覚提示によって練習支援を行うものとして、Holland ら[2]は、両手両足に装着した装置に振動を提示することによって、複雑なドラムパターンの練習を支援するハプティックブレスレット（ハプティックドラムキット）を提案した。カメラの動作検出を用いて演奏動作を矯正するといった練習支援も行われており、Imada ら[3]は Kinect を利用した演奏動作検出によるドラム練習支援システムを提案した。また、本研究と同様にドラムの演奏情報の可視化によって練習を支援した研究として、Iwami ら[4]は、MIDI ドラム演奏の音の強弱や演奏テンポの変動を演奏時に可視化してユーザに提示する手法を提案している。

しかし、これらの研究で対象とするのは、ドラム演奏のうちリズムや演奏動作に関する支援であり、本研究のような“アコースティックドラムの音量バランス練習支援”に着目したものは少ないといえる。

2.3. 音源分離に関する研究

2.3.1. 音源分離技術に関する研究

本研究では、音源分離を用いて、ドラム演奏の各楽器の音量バランスをリアルタイムで推定する。音源分離とは、複数の音源が含まれる音響信号から、それぞれの音源を分離・認識する技術である。音源分離を応用した例として、動物の鳴き声やドアのきしみなどの特定の音を分離して、ユーザーが機械を通して複数の音を聞き分けられるようにする Universal Sound Separation[16]や、会議や商談における議事録作成の支援を目的とし、音源分離を用い

⁹ 鍵盤楽器を演奏する際に、踏んでいる間押さえた鍵盤の音を伸ばす機能をもつペダル。

ることで音声の方向をもとにした発話者ごとの音声認識や雑音除去を行う音声書き起こし支援サービス[17]など目的や条件に応じて様々なものが提案されている。

その中でも、音源分離を楽曲に適用させたものは多く、演奏における特定のパート（楽器や歌）の抽出が主な目的とされている。例として、HPSS (Harmonic/Percussive Sound Separation) [18]や U-Net[19]を用いた手法など、音程を持つ調波楽器音と音程を持たない打楽器音を分離するものや、DNN (Deep Neural Networks) [20]を用いて楽曲からボーカル音声のみを抽出するもの[21]、楽曲をパート（ボーカル、ベース、ドラムなど）ごとに分離するもの[22]などがあり、楽曲の耳コピ（曲中で演奏されている音を聞き取ること）[23]、歌詞の認識や歌詞とメロディ位置の対応づけ[24]、原曲に忠実なカラオケ音源の作成[25]などのニーズがある。本研究では、複数楽器で構成されるドラムの各楽器の音源分離を、聴衆が知覚する音量バランスの推定に応用する。

2.3.2. 打楽器音の認識に関する研究

ドラムのような打楽器音の認識に関する研究はこれまでいくつか行われている。一般的な音源分離・音源同定手法は、ピアノや管楽器といった調波構造を持つ楽器を対象としており、調波構造を持たず、立ち上がり時の振幅変化が急峻であり、スペクトル¹⁰が短時間に激しく変化するドラムを含む打楽器には適用できない。そこで QIU ら[26]は、正規化 LSL アルゴリズムを利用した打楽器の打撃時刻の検出手法を提案した。Yoshii ら[27]は、事前に登録を行った打楽器音のテンプレートパターンと入力パターンとの距離を求めた後に閾値処理することによって、混在した複数の打楽器音をそれぞれ認識するテンプレートマッチング手法を提案した。

このようなドラム演奏の音源分離の主な用途は、コンピュータを用いて音響信号から楽譜を自動生成する採譜（自動楽譜作成）であり、採譜精度を高めるための研究が盛んに行われている[28-32]。このドラム演奏の採譜タスクにおいて、非負値行列因子分解（NMF：Non-negative Matrix Factorization）[33-35]や RNN（Recurrent neural network）[36,37]などのアルゴリズムを用いた手法が提案されている。NMF は、単一チャンネル（モノラル信号）である分離対象の音源の振幅スペクトルを、周波数成分を表す基底スペクトルと、個々の基底スペクトルに対応する時間情報を表す活性化行列に分解して、音源を分離する。NMF の派生アルゴリズムである NMFD（Non-negative Matrix Factor Deconvolution）[38]は、NMF を畳み込み式に拡張したもので、数フレーム分の幅を持つ音色を基底として学習できる。また、RNN による採譜は有効性が高い傾向があることがわかっている[39]。このようにドラム演奏の認識手法としては様々あるが、本研究では、練習に使用するドラムの各楽器の基底スペクトルをあらかじめ登録しておくことができるため、高精度な分離が期待できる NMF による音源分離を、音量バランス推定手法において活用することとした。また、前述した通り、現状主

¹⁰ 光や信号の波を成分に分解し、成分ごとの強度を見やすく配列したもの。

に採譜を目的として利用されているドラム演奏の音源分離を，ドラム演奏時の音量バランスの推定に利用した点が，本研究における新規性であると考えられる．

第3章 提案手法

本研究は、ドラマーがアコースティックドラムでの基本リズムの演奏において自力で理想的な音量バランスを練習する際に、聴衆が知覚する音量バランスがわからず、確認する場合にも時間や手間がかかるという問題に対して、ドラマーが自力で理想的な音量バランスを容易かつ効率的に練習できる仕組みを実現することを最終的な目標とする。

この目標を実現するために、本来演奏しながらでは確認することができない、離れた位置にいる聴衆がドラム演奏に対して知覚する音量バランスを、演奏中のドラマーにリアルタイムに提示することによって個人での音量バランス練習を支援可能であると考えた。

そこで本研究では、ドラムの正面に設置したマイクからドラム演奏を認識し、音源分離によって HI・SD・BD のみを抽出してそれぞれの音量を推定し、その結果から求めた音量バランスをリアルタイムに可視化してドラマーにフィードバックするシステムを提案する(図6)。このシステムによって、聴衆が知覚するドラム演奏の音量バランスを確認しながら演奏することができ、効率的に自分の演奏の音量バランスを把握することが可能になるため、ドラマーが目標とする音量バランス練習を支援できると期待される。

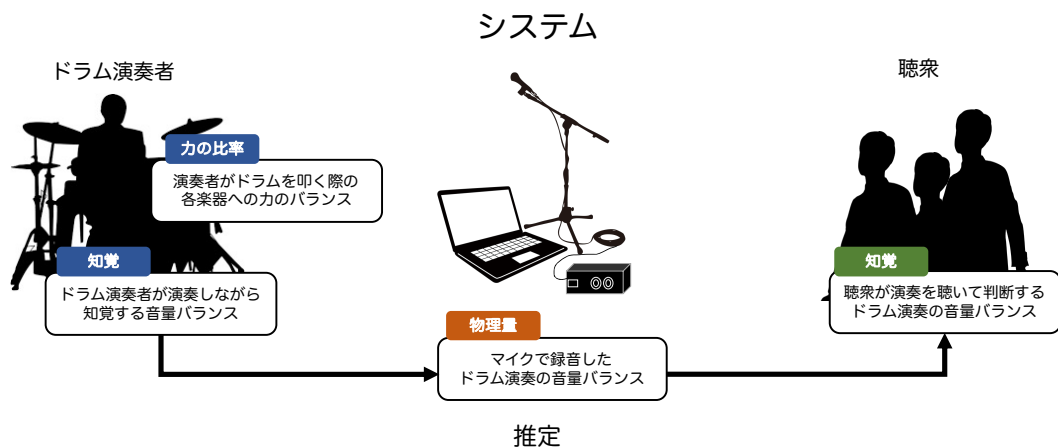


図6 システムのイメージ図

第4章 プロトタイプシステム

4.1. ドラム演奏の音量バランス推定手法

4.1.1. 音量バランス推定手法の計算手順

本研究では、ドラムの音量バランスを推定することを目指す。そこで、単一指向性のマイクにより入力されたドラム演奏をそれぞれの楽器の音に分離し、その特徴量から各々の音量を推定する。プロトタイプシステムにおいては、音響信号における振幅から算出した、人が音圧として感じる指標となる RMS 値¹¹を音量の計算に使用する。以下にその計算手順を示す。

- (1) 単一指向性のマイクからドラム演奏を認識 (図 7)
- (2) 直近の約 1 小節分 (4/4 拍子) の秒数ごとに、ドラム演奏を HI・SD・BD のみの音源に分離 (図 8)
- (3) 分離した音源それぞれについてオンセット (音の出だしのタイミング) を検知[40] (図 9)
- (4) 検出されたオンセットの前後 t_1 秒分のフレームからピーク (最大振幅) を求め、閾値 T を超えたピークを各楽器の正しい打叩タイミングとして採用 (図 10)
- (5) 各ピークを境にした t_2 秒分のフレームから RMS 値を算出し、平均値を算出
- (6) (5) で算出された RMS の平均値について、人がドラム演奏を聴いた際に感じる音量バランスに近づくように、補正值 (ω_{HI} , ω_{SD} , ω_{BD} とする) をかけあわせ、各楽器の音量とする
- (7) (6) で求めた各楽器の音量を、割合で示したものを音量バランスとする

¹¹ 二乗平均平方根 (Root Mean Square)。

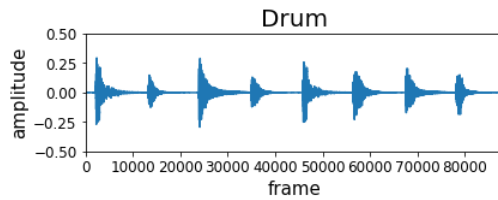


図7 マイク入力から認識した
ドラム演奏の波形

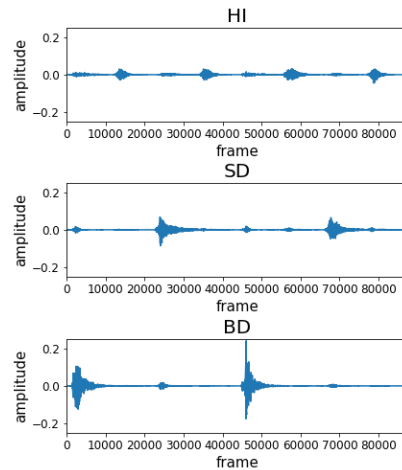


図8 音源分離後の波形

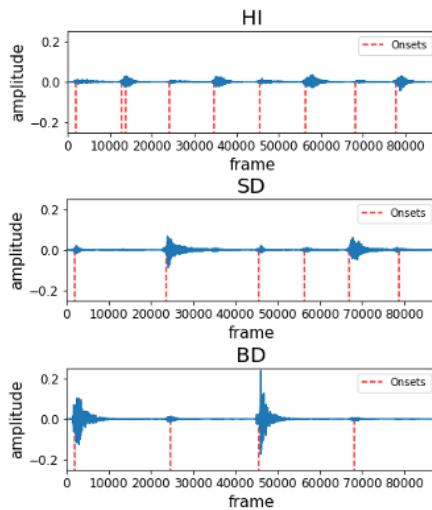


図9 オンセット検出を行った波形

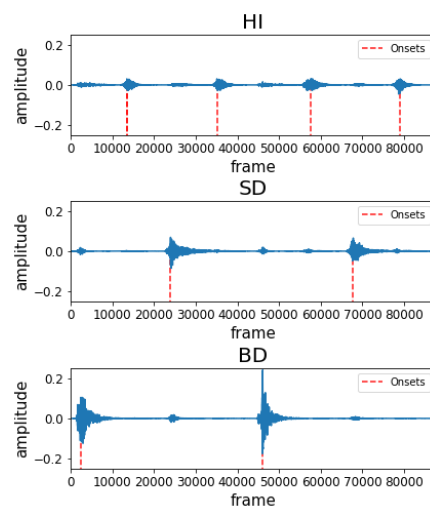


図10 ピーク検出を行い、
閾値を超えたものの波形

ここで、(2)について、直近の約1小節分(4/4拍子)の秒数のフレームごとに音量バランスを計算する理由としては、人がドラム演奏を聴いて、その音量バランスを判断するにおいて必要最低限の長さであると考えたためである。また、(5)について、RMS値を各楽器の音量として採用した理由としては、ピークは瞬間的な音の大きさを示す数値であるのに対し、音の持つエネルギーを平均して算出される値であるRMS値は、人の音圧知覚を考慮した指標であると考えたためである。なお、今回RMS値についてはdB単位に変換せず、そのままの値を使用した。また、(6)について、RMS値に補正值をかけあわせた理由としては、RMS値や振幅など数値で表される音の物理量と、聴衆が知覚する音の心理量は異なる[41]ことから、チューニングを行う必要があるためである。

4.1.2. 音量バランス推定に用いた音源分離について

音源分離の手法は様々あるが、今回は、非負値行列因子分解（NMF：Non-negative Matrix Factorization）によって分離したい音源の基底スペクトル（周波数成分を表す行列）を求め、その基底を用いて、分離したい音源の基底を固定化できる半教師あり非負値行列因子分解（SSNMF：Semi-supervised Non-negative Matrix Factorization）[42]によって、各楽器の音源へ分離する手法を採用した。これらは、ある非負値行列を2つの非負値行列に分解するアルゴリズムであり、音声データから得られる振幅スペクトログラムを非負値行列とみなし、周波数成分を表す基底行列と、時間情報を表すアクティベーション行列の積で表すことができるという性質を利用した手法である。また、SSNMFを採用したのは、音色や響き具合のような楽器のもつ固有差に対応できるようにするためである。あらかじめ基底を固定化することができるSSNMFで音源分離を行うことで、練習時に演奏するドラムの楽器の音を録音したものから作成した基底を使用可能となり、楽器の固有差に対応できると考えた。

次に、本研究で採用した音源分離の手法について詳しく手順を追って説明する。まず、NMFで使用する基底の作成を行うため、HI・SD・BDの単音を、クリッピング¹²しないように録音し、切り出し、正規化を行いプログラムに登録する。その後プログラム内で、各楽器の録音データについて、短時間フーリエ変換し、得られた振幅スペクトログラムにNMFをかけることで、基底行列を得る。そして、マイクから認識したドラム演奏の録音データをリアルタイムに短時間フーリエ変換し、得られた振幅スペクトログラムに、事前に得られた各楽器の基底を適用したSSNMFをかける。これにより、HI・SD・BDのみの基底行列と、アクティベーション行列を得ることができ、これらをかけあわせた値を逆フーリエ変換することによって、楽器ごとに分離した音源を得ることができる。

4.2. プロトタイプシステム概要

本研究では、基本のビートのドラム演奏において、ドラマーが自力で理想的な音量バランスを練習する際に生じる、自身の演奏に対して聴衆が知覚する音量バランスが把握できず、確認に時間や手間がかかるという問題に着目し、ドラマーが自力で理想的な音量バランスを容易かつ効率的に練習可能とすることを目的とする。ここで、各楽器にマイクを設置して音量を確認する方法も考えられるが、様々な機器や準備が必要であり、容易とはいえない。

そこで、ドラムの正面に設置した単一指向性のマイクからドラム演奏を認識し、音源分離によってHI・SD・BDのみを抽出した音源からそれぞれの音量を計算し、その結果から求めた音量バランスをリアルタイムに可視化するシステムを提案する。このシステムの使用想定環境を図11に示す。ドラムの正面から離れた位置にマイクを設置し、PCをドラマーが

¹² 録音時の入力が大きいうちに、信号波形のピーク部分が一定のレベルで飽和し潰れてしまうこと。

演奏しながら画面を確認できる位置に設置したうえで、マイクと PC をオーディオインターフェースで接続する。また、PC 上でシステムを動作させ、音量のバランスを計算するとともに結果を可視化する。ここで、結果の更新は約 1 小節分（4/4 拍子）の演奏にかかる時間と、その演奏について 4.1.1 項で述べた手法による音量バランスの推定にかかる時間を合計した時間ごとに行われる。

ここで、演奏データを認識する上で、手軽さの面では PC やスマートフォンの内蔵マイクを使用することが考えられる。しかし、実装の都合上、雑音や音の遅延などの問題があり音量バランスを推定する上で適切でないと考えたため、今回はオーディオインターフェースによって単一指向性のマイクと PC を接続する方法を採用する。

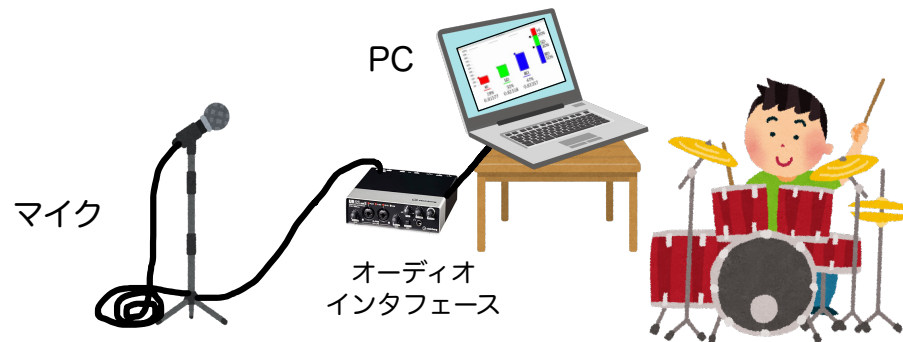


図 11 システム使用想定環境

4.2.1. 実装

システムは、音響処理については Python、可視化については Processing を用いて実装し、PC 上で操作を行うものである。機材について、PC は MacBook Pro（13-inch, 3.5 GHz デュアルコア Intel Core i7, 16 GB）、マイクは単一指向性マイクである Shure の SM58、オーディオインターフェースは Steinberg の UR12 を使用した。

ユーザに提示するシステム画面のスクリーンショットを図 12 に示す。音量バランス可視化ゾーンにおける赤、緑、青の棒グラフは、リアルタイムに認識したドラム演奏の音声データから計算した HI・SD・BD の音量バランスを表す。また、図右側の目標音量バランス設定バーの操作によって各楽器の割合を設定する。さらに、この音量バランスの割合の数値と連動し、音量バランス可視化ゾーンにおける目標音量バランス目安バーの値も変化する。なお、画面右下のテンポ（BPM：Beats Per Minute）設定ノブにより、練習するテンポを調整可能とする。

4.1 節で述べた音量バランスの推定において、音源分離した各楽器の音源に対してピークを求める際に、各楽器の正しい打叩タイミングを認識できるようにするため、 $t_1 = 0.15$, $T = 0.8$ とした。また、騒音計での騒音の測定における Fast 特性[43]の時定数が 125ms であるこ

とから, $t_2 = 0.125$ とした. さらに, 人がドラム演奏を聴いた際に感じる音量バランスに近づくように RMS 値の平均をチューニングするため, 今回は適切な ω_{HI} , ω_{SD} , ω_{BD} を主観により設定した. 具体的には, オーディオインターフェース経由で録音する特性上, HI の入力波形がかなり小さく, BD はやや大きく算出されていたため, $\omega_{HI} = 5$, $\omega_{SD} = 1$, $\omega_{BD} = 0.8$ (HI について 5 倍, BD について 0.8 倍) とした. 音源分離における, 基底取得のための NMF について, 分解する基底数は 50 回, 反復計算回数は 300 回, 実際の分離で用いた SSNMF について, 分解する基底数は 50 回, 反復計算回数は 60 回として計算を行った.

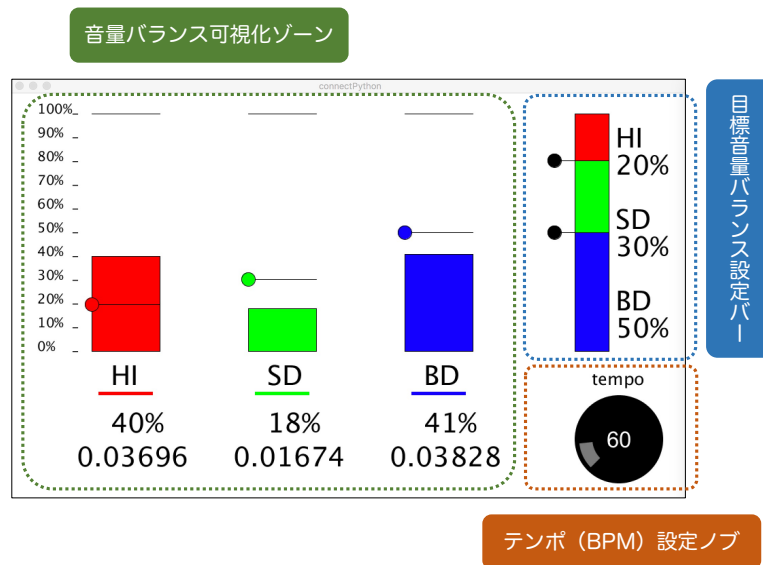


図 12 システム画面のスクリーンショット

4.2.2. 利用方法

システムの利用手順において, まずユーザ (ドラマー) は, 図 11 のようにドラムの正面から離れた位置に単一指向性のマイクを設置する. 次に, PC からシステムを起動し, 練習したいドラムの 3 楽器における音量バランスと, 演奏するテンポを設定する. その後, ユーザはドラム演奏を開始し, 4/4 拍子で 1 小節分 (設定したテンポによって変化, BPM60 の場合 4 秒間) ごとに更新される音量バランスが可視化されたシステム画面 (図 12) を見ながら演奏を変化させていく. なお図 12 の場合, HI の音量を示す赤いバーが, 設定バーを上回っており, 最初に設定した音量バランスに対して HI の音量が大きいことがわかる. そのため, ユーザがドラム演奏の HI の音量を小さく叩くように演奏を修正することによって, 設定した目標に近い音量バランスで演奏することが可能となる.

4.3. プロトタイプシステム使用実験

提案システムによって、ドラマーが自力で理想的な音量バランスを容易かつ効率的に練習することを支援できるかどうか調査するとともに、システムの改善点やフィードバックを得るため、実際にシステムを使用しながらアコースティックドラムを演奏してもらう実験を行った。

4.3.1. 実験手順

本実験の実験協力者はドラム歴が5年以上の20代の男性4名である。また、実験は長方形で18帖の音楽スタジオの1室で統一して行った。実験の様子を図13に示す。

実験では、事前準備として、システムと機器（PC、マイク、オーディオインターフェース）のセッティングと音源分離に使用するドラムの各楽器（HI・SD・BD）の基底の作成を実験監督者である筆者が行った。基底の作成について、今回は実験監督者の指示のもと、実験協力者に各楽器について1音ずつ通常の音量（実験協力者の判断に任せた）で叩いてもらい、録音を行った。その後、録音した音源についてオンセットで切り出し、正規化を行った各楽器の音源にNMFをかけ基底を作成し、プログラムへの登録までを実験監督者が行った。

準備終了後、実験協力者にシステムの説明を行い、その後実験に関する指示を行った。指示の内容としては、音量バランスの目標を設定し、その音量バランスになるように演奏をすること、演奏は裏打ち8ビートのみ行うことを併せて伝えた。この裏打ち8ビートとは、8分音符をベースとしたリズムで、各楽器の音が被ることなく演奏するものであり、ドラム演奏において基本となるビートパターンの1つである（図14）。この理由として、今回はシステムの精度ではなく有用性の調査に焦点を当てているため、音源分離しやすいと判断した裏打ち8ビートを採用した。

その後、実験協力者にシステムの使用を開始してもらった。具体的には、システムで実験協力者が練習したい目標の音量バランスを設定してもらい、提示される音量バランスの可視化を見ながら演奏を目標の音量バランスに近づけていくタスクを行ってもらった。システム使用中は演奏について録音・録画を行っており、実験協力者が可視化を見て目標の音量バランスで叩けていると判断した時点でシステムの使用を一度終了し、その後録音を聴いてもらうことで、目標の音量バランスで演奏できたかどうかを判断してもらった。

タスク終了後に、目標の音量バランスで演奏できたかどうか、システムの使いやすさなどについてのアンケート、インタビューを行った。具体的な内容を表1に示す。



図 13 実験の様子

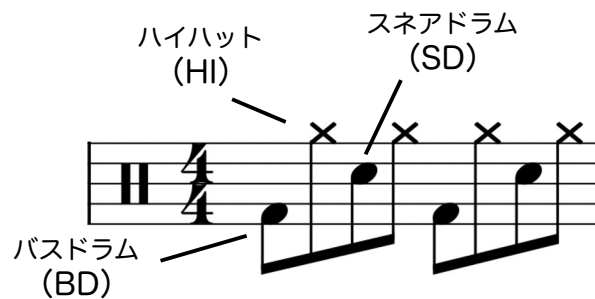


図 14 裏打ち 8 ビートの楽譜

表 1 実験で使用したアンケート項目一覧

	質問内容	回答方式
Q1	システムの満足度	5段階評価 (-2～2)
Q2	今後システムを使用したいか	5段階評価 (-2～2)
Q3	(録音を聴いて) 設定した音量バランスで演奏できたか	5段階評価 (-2～2)
Q4	システムを使用した感想	自由回答

4.3.2. 結果と考察

実験で行ったアンケートの結果をまとめたものを以下に示す。表 2 に、Q1「システムの満足度」、Q2「今後システムを使用したいか」、Q3「(録音を聴いて) 設定した音量バランスで演奏することができたか」について、5段階 (-2～2) のリッカート尺度で評価してもらった値を示す。この表より、評価値の平均について、Q1「システムの満足度」は 0.75、Q2「今後システムを使用したいか」は 1、Q3「(録音を聴いて) 設定した音量バランスで演奏することができたか」は 1.25 という結果であった。また、表 3、4 に、Q4「システムを使用した感想」への回答から得られたフィードバックを示す。表 3 については、システムに対する肯定的な意見、表 4 については、改善点に関する意見をまとめた。

表2より、評価値は全て正の値となり、また表3よりシステムに対する肯定的な意見が得られたため、リアルタイムにドラム演奏の音量バランスを提示するという本研究の提案手法によって、目標とする音量バランスを練習できる可能性が示唆された。しかし、表4に示したように、システムの改善点に関する意見が様々得られた。

表2 Q1,Q2,Q3 への回答 (-2~2 の5段階評価)

実験協力者	Q1	Q2	Q3
A	1	2	1
B	1	0	2
C	0	1	1
D	1	1	1
平均	0.75	1	1.25

表3 Q4「システムを使用した感想」への回答よりシステムに対する肯定的な意見

分類	回答内容
精度	演奏（の音量バランスが）反映されていてすごいと思った
	わざと大きくしたり小さくしたり叩いたのが反映されていた
可視化方法	意図的に音量バランスを変えた後、すぐ（可視化に）反映された
感想	自分の演奏について客観的に分析することができ、参考になった
	自分の音量バランスを、具体的な数値やグラフで確認することができた
	客観的な数字で自分の音量バランスを見れて良かった
	相対的に、この楽器が小さいのだなというのがわかって良かった
	テンポに気をつけながら音量バランスを意識する練習になった
	（リズムを）正確にする以外にも、割合を意識して叩くことは重要だと思った

表4 Q4「システムを使用した感想」への回答よりシステムに対する改善点に関する意見

分類	回答内容
精度	SD を強く叩いても、反映されてない感じがした
	BD が（実際の大きさより）大きく表示されている気がした
	自分の演奏と表示が大まかには連動していたが、細かく変化させた時に連動していないように感じるがあった
	叩いているのに 0% になってしまうことがあった
	SD と BD が混同して結果がでてしまっていると感じたことがあった
	音色に左右されてしまう気がした（リムの有無・叩く角度）
	テンポをあげる（早くする）と精度が落ちる気がした
可視化 方法	バランスでなく、個々の楽器の音量が見れると良いと感じた
	音量バランス（の可視化）が、いつ叩いた分の結果わかりづらかったため、切り替わるタイミングを 1 小節の頭びつりにしてほしい
	数秒前の演奏の結果がフィードバックされると、今演奏しているのと違う場合があるので、もう少しリアルタイム感が欲しい
UI	（音量バランス設定について）100%だとどちらかを上げるとどちらかを下げることになるため、比率を自由に入力できるようにしてもいいのかなと思った
	（BPM 変更ノブについて）マウスだと値がスムーズに設定できなかったのが、PC の矢印キーで設定できたらいいなと思った
難しさ	メトロノームのテンポを意識しながら、可視化を見て演奏の音量を調整するのが難しかった
使いやすさ	少しシステムを使って慣れないと、どのぐらい演奏を変えたら音量バランスの表示に反映されるかわからなかった
感想	普段邦ロックを叩くことが多く、オープン HI や早い曲調が多いため、そこが対応できれば、より使いたいと思う
	バンド全体（他の楽器と合わせる場合）での音量バランスも知りたい

4.4. システムの改善点

音量バランスの可視化について、約 1 小節分の演奏についての計算が終了したタイミングで結果を切り替えていたが、演奏のタイミングと連動していないために、「いつ演奏した分の音量バランスが反映されているのかがわかりづらい」という意見や、「数秒前の演奏から計算された音量バランスのフィードバックだとわかりづらい」という意見もみられた。そこで、結果が更新される間隔を細かくすることや、録音中・推定中・結果表示中といったよ

うに今何の処理をしているか表示することなど、結果の可視化方法をよりわかりやすいものに改善する。

また、音量バランスの推定に関して、各楽器の音量を細かく変化させて演奏した際に対応しきれなかったことがわかった。これは、音源分離によって算出された各楽器の RMS 値の平均を元に計算した音量バランスと、実際にドラム演奏をドラムから少し離れた位置から主観的に聴いたときの感覚的な音量バランスを対応させるためのチューニングを、筆者の主観で行ってしまっていたことが原因と考えられる。また、分離後の音源から得られる特徴量は、振幅や周波数など様々あるにもかかわらず、RMS 値のみを推定に用いていたことも原因だと考える。加えて、今回は分離の都合上、図 14 のように各楽器の音が被らない裏打ち 8 ビートの演奏のみを演奏対象としていた。ほとんどのドラム演奏のビートは、各楽器の被るタイミングが存在するが、このような場合、音源分離にマスキング効果（妨害音によってある音の最小可聴値が上昇する現象[44]）の影響が出てしまうため、これまでのような各楽器の叩打音のタイミングをビートトラッキングやピーク検出によって推定し音量を算出する以外の方法を検討する必要がみられた。

そこで今後は、人に様々なリズム・音量バランスのドラム演奏を聴いてもらい、その音量バランスを判断してもらう実験を行うことで、人のドラム演奏への音量バランス知覚について調査する。そして、ドラム演奏を音源分離し得られる 3 楽器の音源の様々な特徴量から聴衆が判断する音量バランスの推定を行い、推定精度をより高めていく。

第5章 聴衆の知覚音量バランスデータセット構築

4.3 節のプロトタイプシステム評価実験より、音量バランス推定手法の精度が不十分であることがわかった。そこで本章では、音源分離したドラム演奏より得られる様々な特徴量から、聴衆が判断する音量バランスの推定を可能とする手法を明らかにすることを目的とする。具体的には、様々なリズム・音量バランスで作成されたドラム演奏の音源を聴いてもらい、その音量バランス（各楽器の大小関係）を評価してもらう実験を行う。その後、音源分離から算出された各楽器の特徴量と実験で得られた評価値が対応づいた回帰式を求めることによって、より聴衆の知覚に近い音量バランスの推定を行うことを目指す。

5.1. 評価音源データ作成

本実験では、聴衆がドラム演奏を聴いて判断する音量バランスを調査するため、HI・SD・BD について4段階の音量（本実験において p, mp, mf, f と表現するが、その音量は筆者の主観によって選定したものである。）を組み合わせることで64パターンの音源を作成した。さらに、各楽器の音数の割合によって聴衆が判断する音量バランスも変化すると考えられるため、HI と BD の音数がそれぞれ少ない楽譜と多い楽譜を組み合わせることで4種類のリズム（図15）について、音量の組み合わせ64パターンの音源の作成を行い、全256パターンの音源を評価に用いる音源データとした。

音源の作成手順を説明する。まず HI・SD・BD の各音源について、小さい音量から大きい音量までを、筆者の主観によって演奏中に使用する音量だと判断した範囲内で叩いた音を収録し、その中から音量を4段階選定した。収録は、システム使用時と同様の環境で行い、ドラムから2m離れた位置にマイク（Shure の SM58）を設置し、オーディオインターフェース（Steinberg の UR12）を接続した PC 上で、音声編集ソフト（Audacity）内に録音を行った。その後、波形について増幅を行うことによって、4段階の音量の叩打音を作成した（表5）。ここで、実際のドラム演奏時の HI の音量について、8ビート（リズムパターン①・②）の場合偶数回の音を、16ビート（リズムパターン③・④）の場合拍頭以外の音を小さめの音量で叩く場合が多い。そのため評価音源についても、該当箇所の音符を小さい音量に編集した後に音源作成を行うこととする。このようにして、4種類のリズムの楽譜通りの音源になるように、選定した4段階の叩打音を用いて64パターンの音量の組み合わせで音源を作成した。音源のテンポ（演奏の速さ）は BPM120 とし、1パターンにつき16小節分（32秒）の長さで、256パターン分の音源を作成した（付録1～4）。

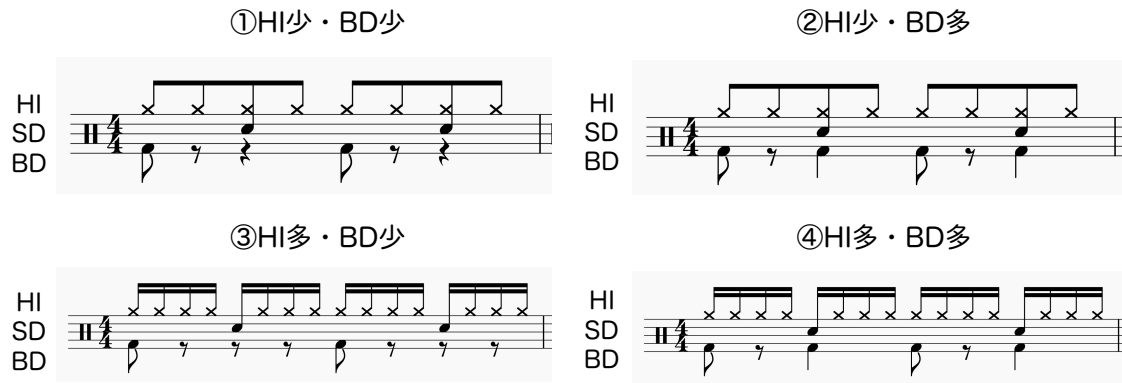


図 15 実験で作成した 4 種類のリズム

表 5 音源作成において使用した各楽器の 4 段階の叩打音の最大振幅・最大 dB

音量	HI (UP)		HI (DOWN)		SD		BD	
	最大振幅	最大 dB	最大振幅	最大 dB	最大振幅	最大 dB	最大振幅	最大 dB
p	0.01	-40dB	0.0033	-50dB	0.05	-24dB	0.05	-26dB
mp	0.03	-30dB	0.0075	-42dB	0.25	-10dB	0.15	-16dB
mf	0.05	-26dB	0.0125	-38dB	0.45	-7dB	0.25	-12dB
f	0.07	-23dB	0.0175	-35dB	0.65	-3dB	0.35	-9dB

5.2. 音源データへの評価方法

様々なリズム・音量バランスで作成されたドラム演奏の音源を聴いてもらい、その音量バランスを評価してもらった。評価は、ドラムもしくはDTM¹³（MIX¹⁴）経験者である10代～20代の12名に、静かな環境を保つことができる明治大学の音響室で行った。評価者の負担を考慮し、1人につき全256パターンの半分の128パターン分の音源について評価を行ってもらうこととした。実験の様子を図16に示す。

実験の手順を説明する。まず、初めの5分間で実験についての説明・指示を行った。具体的には、128パターンの様々なドラム演奏の音源の音量バランスを評価してもらうこと、評価対象の音源は繰り返し聴取してよいこと、指定したタイミングと自身の判断したタイミングで休憩しながら進めることなどを伝えた。そして、練習としてランダムに選定した4音源分について、実際の流れで聴取・音量バランスの評価をしてもらった後、128パターン分の音源の評価を開始してもらった。

音量バランスの評価について説明する。本実験において、HI・SD・BDの3楽器で構成されるドラム演奏に対する音量バランスの評価値は、“=”，“<”，“>”の3つの記号で表現できる大小関係の全13パターンとした。評価値の一覧を表6に示す。実験協力者は、“音源内の3楽器について小さく聴こえる順番(音量が小さく聴こえる楽器ほど小さい数字となる)”を、1～3の数字を打ち込む形で回答してもらった（図17参照）。3楽器分数字を打ち込むとその組み合わせに対応した評価値の式が表示されるようにし、間違いがないよう評価値の式を確認しながら評価を進めてもらうようにした。



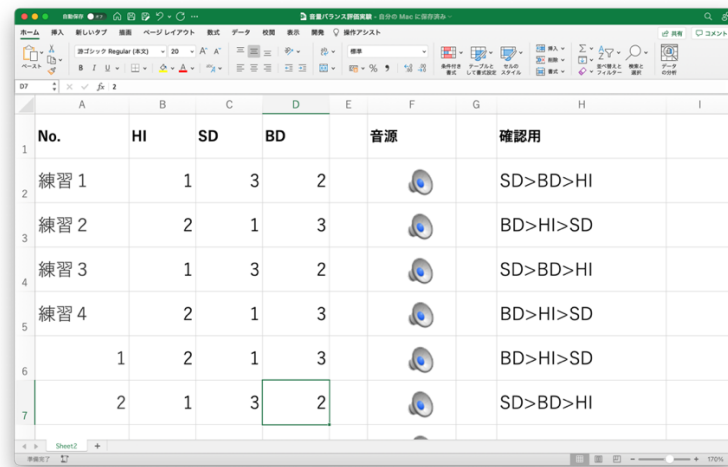
図16 実験の様子

¹³ パソコンを利用して楽曲制作をおこなう音楽制作手法の総称。Desk Top Music.

¹⁴ ミキシング。多チャンネルの音源をもとに、ミキシング・コンソールを用いて音声トラックのバランス・音色・定位などをつくりだす作業のこと。

表6 回答される評価値の一覧

HI	SD	BD	評価値
1	1	1	HI=SD=BD
1	1	2	BD>HI=SD
1	2	1	SD>HI=BD
1	2	2	SD=BD>HI
1	2	3	BD>SD>HI
1	3	2	SD>BD>HI
2	1	1	HI>SD=BD
2	1	2	HI=BD>SD
2	1	3	BD>HI>SD
2	2	1	HI=SD>BD
2	3	1	SD>HI>BD
3	1	2	HI>BD>SD
3	2	1	HI>SD>BD



No.	HI	SD	BD	音源	確認用
練習 1	1	3	2		SD>BD>HI
練習 2	2	1	3		BD>HI>SD
練習 3	1	3	2		SD>BD>HI
練習 4	2	1	3		BD>HI>SD
1	2	1	3		BD>HI>SD
2	1	3	2		SD>BD>HI

図17 実験用のエクセルシート

5.3. 結果と考察

実験により、全 256 パターンの音源について、6 セット分 (1 人 128 パターンを 12 人分) の評価値のデータセットが得られた。各音源に対する評価が一致した個数ごとの音源数をまとめたものを表7, 各音源に対して回答された評価式をまとめたものを付録5~8に示す。

実験より、ドラム演奏に対して聴衆が知覚する音量バランスは、人によってばらつく可能性がみられた。しかし、どの音源についても、ある1楽器とある2楽器の間に一致度の高い大小関係が存在する傾向がみられた。音源番号2番を例にとって説明すると、“BD>HI=SD”と“BD>HI>SD”の評価が3件ずつあり、どのデータセットの回答においても“BDがHIとSDより大きい”といった評価がなされていることから、BD>HIとSDの大小関係は一致度が高い、と判断できる。

よって、本研究ではこの実験で得られた評価値を平均したものを、各音源に対する聴衆の知覚するドラム演奏の音量バランスの正解と定義することとした。

表7 各音源に対する評価が一致した個数ごとの音源数

音源数	各音源に対する評価式が一致した個数					
	全て異なる	2個	3個	4個	5個	6個
	188	54	12	0	0	2

5.4. データセット構築

音源分離によって算出された各楽器のRMS値の平均を元に計算した音量バランスと、聴衆がドラム演奏を聴いて判断する音量バランスが対応するようなチューニング方法を明らかにすることを目的とし、様々な音量バランス・リズムのドラム演奏について聴衆が判断する音量バランスを調査する実験を行い考察した。その結果、実験で得られた評価を平均したものを、各音源に対する聴衆の知覚するドラム演奏の音量バランスの正解と定義することとした。

具体的には、各音源について、各楽器に回答された数値について合計が6になるように正規化した後に平均値を算出し、作成時の各楽器の音量に応じて重み付け（表8）を行ったものを、各楽器の音量の大きさを表す評価値（音量評価値）の正解とした。これについて、音源番号1番の例を以下に示す（表9）。

表8 作成時の各楽器の音量に応じた重み付けの値

音量	重み付けした値
p	0.25
mp	0.5
mf	0.75
f	1

表9 音源番号1番における回答された評価値から求めた正解の音量評価値

データ	回答された評価値			合計が6になるように 正規化した評価値		
	HI	SD	BD	HI	SD	BD
A	1	1	1	2	2	2
B	2	1	2	2.4	1.2	2.4
C	2	1	1	3	1.5	1.5
D	2	2	2	2	2	2
E	2	1	3	2	1	3
F	2	1	2	2.4	1.2	2.4
正解の音量評価値				2.3	1.48	2.22

このようにして算出された256パターンの音源における正解の評価値と、各楽器の評価値をまとめたものを付録9～12に示す。このデータをもとに、各楽器について、音源から得られる特徴量からその楽器の音量の大きさを表す評価値（音量評価値）を算出可能とする回帰式を求める。これらの回帰式を用いて各楽器の音量評価値を求めることにより、聴衆がドラム演奏を聴いて判断する音量バランスを推定できると考える。

5.5. 聴衆の知覚を加味したドラム演奏の音量バランス推定手法

5.5.1. 回帰式の定義

5.4節で構築したデータセットを用いて、ドラム演奏に対して聴衆が知覚する音量バランスの推定を行う。HI・SD・BDの各音源の特徴量として、各楽器それぞれについて、1小節間の演奏における“RMS値”、“閾値（音源内の最大振幅の5割）を超えた振幅の平均”、“スペクトル重心¹⁵”、“ゼロ交差数¹⁶”を選定した。これらの特徴量から、各楽器の音量評価値を推定するための回帰式を、重回帰分析によって求める。1小節間の演奏について特徴量を求める理由としては、最低1音（1回）各楽器が演奏される最小の長さであるためである。

各特徴量について、RMS値から音量の平均値、振幅から音の大きさ、スペクトル重心から音の明るさの印象、ゼロ交差数からは音声区間か雑音区間かを算出可能であるため、これらを採用した。また、音源内の最大振幅の5割を超えた振幅の平均を特徴量として採用した理由としては、本研究で用いるNMFによる音源分離によって完全な分離ができず、他の楽

¹⁵ スペクトルの重心がどこかを示す尺度。

¹⁶ 音声信号の振幅の正負が何回入れ替わるかを表す数値。

器の音声分離結果に混じってしまうため（図 18），振幅の値が高い場合には実際に叩いた音である可能性が高いと考えたためである．この図の場合，赤丸で囲った部分について SD は実際に演奏されておらず，音量が大きくかつ周波数帯域が SD と似ている BD の叩打音が少し混ざってしまっている．

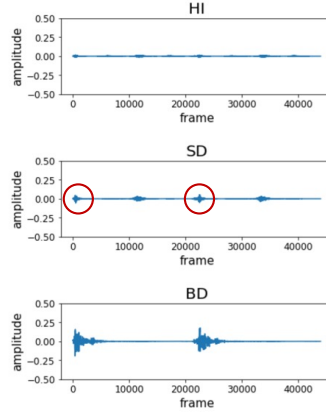


図 18 SD の分離音源に BD の叩打音が混ざっている様子

このように音源分離の精度は完全ではないため，本研究では完璧に分離できた状態を想定し，HI・SD・BD の各楽器のピュアデータ（ここでは，ドラム演奏音源の作成時に MIX を行う前の 3 楽器の音源を示す）から回帰式を作成し，音量バランス推定手法として定義する．そこで，256 パターンの 3 楽器のピュアデータについて上に挙げた 4 種類の特徴量を算出し，各楽器の音量評価値を推定するための回帰式を作成する．

$$\begin{aligned}
 \text{音量評価値}_{HI} &= c_1 \times RMS_{HI} + c_2 \times AmpT_{HI} + c_3 \times SpectralCentroids_{HI} + c_4 \times \\
 &\quad ZeroCrossing_{HI} + c_5 \\
 \text{音量評価値}_{SD} &= c_1 \times RMS_{SD} + c_2 \times AmpT_{SD} + c_3 \times SpectralCentroids_{SD} + c_4 \times \\
 &\quad ZeroCrossing_{SD} + c_5 \\
 \text{音量評価値}_{BD} &= c_1 \times RMS_{BD} + c_2 \times AmpT_{BD} + c_3 \times SpectralCentroids_{BD} + c_4 \times \\
 &\quad ZeroCrossing_{BD} + c_5
 \end{aligned}$$

256 パターンのドラム演奏音源の作成時に MIX を行う前の 3 楽器の音源から 4 種類の特徴量を算出し，5.4 節で構築した正解データセットと対応させたもので重回帰分析を行った結果，HI について $c_1 = 423.43070$ ， $c_2 = 2.52142$ ， $c_3 = -0.00132$ ， $c_4 = 0.00002$ ， $c_5 = 6.32279$ ，SD について $c_1 = 117.05097$ ， $c_2 = 0.28139$ ， $c_3 = -0.00607$ ， $c_4 = 0.00110$ ， $c_5 = 9.56647$ ，BD について $c_1 = 28.61916$ ， $c_2 = 6.85637$ ， $c_3 = 0.00037$ ， $c_4 = 0.00014$ ， $c_5 = -0.67814$ となった．

各変数を正規化して重回帰分析を行った結果、偏回帰係数は表 10 のようになった。また、これについて K-分割交差検証を行い、平均絶対誤差（MAE）、平均二乗誤差（MSE）、二乗平均平方根誤差（RMSE）、R2 スコアについては以下のような結果となった（表 11）。

これらの回帰式から各楽器の音量評価値を求め、その大小関係を表す式をドラム演奏から聴衆が知覚する音量バランスとする。

表 10 各楽器の回帰式の特徴量における偏回帰係数

変数名	HI の偏回帰係数	SD の偏回帰係数	BD の偏回帰係数
RMS	2.30	2.08	0.78
閾値を超えた振幅	0.08	0.11	1.61
スペクトル重心	-0.45	-3.71	0.54
ゼロ交差数	0.06	3.79	-0.38
切片	1.26	1.41	1.43

表 11 回帰式の評価

	HI の回帰式	SD の回帰式	BD の回帰式
平均絶対誤差（MAE）	0.20	0.16	0.29
平均二乗誤差（MSE）	0.07	0.04	0.14
二乗平均平方根誤（RMSE）	0.26	0.22	0.38
R2 スコア	0.87	0.94	0.79

5.5.2. 推定手法の精度

音量バランス推定手法の精度については、5.4 節で構築した正解のデータセットにおける 256 パターンの音源について、2 楽器ずつの組み合わせ（HI と SD・SD と BD・BD と HI）の間に音量の差があると聴衆が知覚しているものについて、回帰式でも同様にその組み合わせを推定できたかによって判定した。

精度の算出方法を以下に示す。2 種類の楽器を A , B , 聴衆が 2 楽器間の音量を差とみなす評価値の閾値を w とする。まず、正解データの評価値と音量バランス推定手法によって推定された評価値それぞれの A と B の差を算出し、その差の値によって A と B の大小関係を求める。今回はこの w を 0.3 として、HI と SD, SD と BD, BD と HI の組み合わせそれぞれにおいて大小関係の一致度合いを求め、256 パターンの音源について平均したものを精度とする。正解データにおいてどの 2 楽器の組み合わせについても、聴衆は評価値の差が 0.3 以上ある場合を差と知覚している傾向がみられたため、このように設定した。

5.5.1 項で定義した回帰式についてピュアデータをテストデータとし精度を求めた結果、ドラム演奏から聴衆が知覚する音量バランスの推定精度が 87.4%となった。また、13 パターンの音量バランス評価式ごとの精度については、表 12 のようになった。

表 12 回帰式の評価

評価式	精度
HI=SD=BD	55.6%
BD>HI=SD	94.2%
SD>HI=BD	73.6%
SD=BD>HI	84.2%
BD>SD>HI	91.3%
SD>BD>HI	93.9%
HI>SD=BD	88.3%
HI=BD>SD	83.3%
BD>HI>SD	92.9%
HI=SD>BD	80.0%
SD>HI>BD	90.5%
HI>BD>SD	89.5%
HI>SD>BD	91.2%

また、実際にシステムで用いる音源分離後の各楽器の音源データをテストデータとした結果、47.0%と低い精度となった。そこで、システム化にあたり音源分離後の各楽器の音源データを用いて回帰式を再度定義する。

第6章 ドラム演奏の音量バランス練習システム

4章、5章の内容をふまえ、本章ではプロトタイプシステムを改善し、ドラム演奏の音量バランス練習システムを提案する。具体的には、推定された音量バランスの可視化方法については結果の表示形式と更新頻度、音量バランス推定手法については聴衆の知覚を加味した手法に改善を行った。本章では、6.1節で改善後のシステムについて、6.2節で聴衆の知覚を加味したドラム演奏の音量バランス推定手法について説明を行う。

6.1. 提案システム

本システムはプロトタイプシステムと同様に、ドラムの正面に設置した単一指向性のマイクからドラム演奏を認識し、音源分離によって HI・SD・BD のみを抽出した音源から聴衆が知覚する音量バランスを推定し、その結果をリアルタイムに可視化する（図 19）。ここで、推定された音量バランスの結果について、本システムでは聴衆が知覚する各楽器の音量評価値を可視化することとした。

また、推定結果の更新頻度が異なる2種類のシステムを実装し、更新頻度が低いシステムをシステム A、更新頻度が高いシステムをシステム B とする。システム A は1小節間の演奏に対して録音、録音した演奏について音量バランスを推定、推定の計算が終わり次第結果を表示、結果が表示されてから1小節間分の秒数経過した段階で再び録音開始、といったように、いつの演奏に対する結果かわかりやすくすることをねらいとした。また、システム B は、1小節間の演奏に対して録音、録音した演奏について音量バランスを推定、推定の計算が終わり次第結果を表示（2拍分の秒数の間、画面が静止する）という処理を1小節ずつシフトしていくことによって、結果が常に更新され、よりリアルタイム性を高くすることをねらいとした。

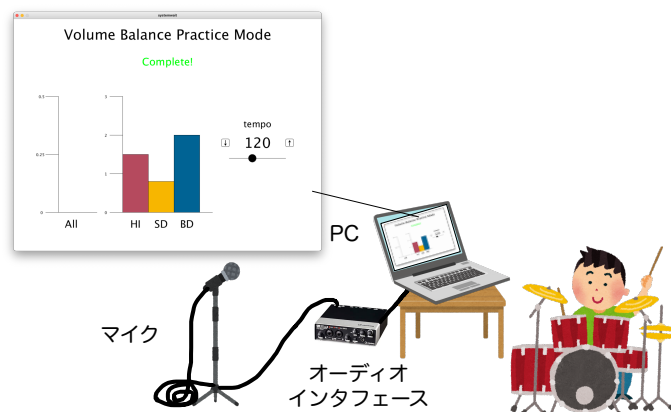


図 19 システム使用想定環境

6.1.1. 実装

システムは、プロトタイプシステムと同様、音声処理部分を Python、可視化や UI 部分を Processing で実装し、機材については、PC は MacBook Pro (13-inch)、マイクはダイナミックマイクの SM58、オーディオインターフェースは UR12 を使用した。

ユーザーに提示するシステム画面のスクリーンショットを図 20 に示す。音量バランス可視化ゾーンにおける赤、黄、青の棒グラフは、リアルタイムに認識したドラム演奏の音声データから計算した HI・SD・BD の音量の大きさを表す。グラフの縦軸は、その楽器の音量の大きさを示す値となっている。なお、画面右下のテンポ (BPM) 設定 UI により、練習するテンポを調整可能とする。バー上の丸をドラッグ、バー上の任意の点位置をクリックもしくは ↓・↑ ボタンをクリックすることによってテンポを調節可能である。

音量バランス推定手法については、プロトタイプシステムと同様に、マイクから入力したドラム演奏について SSNMF を用いて音源を分離し、各楽器の分離音源から得られる特徴量から聴衆が知覚する音量バランスを推定する。ここで、音源分離における、基底取得のための NMF について、分解する基底数は 50 回、反復計算回数は 300 回、実際の分離で用いた SSNMF について、分解する基底数は 50 回、反復計算回数は 60 回として計算を行った。

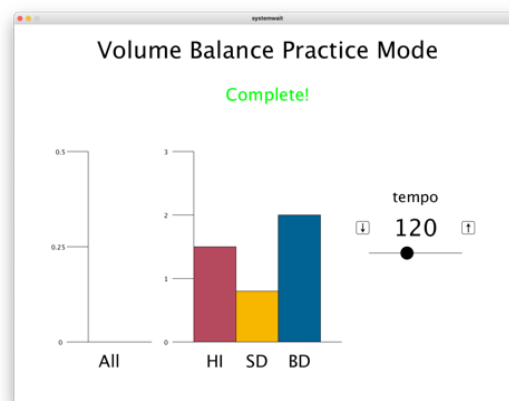


図 20 システム画面のスクリーンショット

6.1.2. 利用方法

システムの利用手順において、まずユーザ (ドラマー) は、図 19 のようにドラムの正面から離れた位置に単一指向性のマイクを設置する。次に、PC からシステムを起動し、演奏するテンポを設定する。その後、ユーザはドラム演奏を開始し、システムによって推定された、聴衆の知覚する音量バランスが可視化されたシステム画面 (図 20) を見ながら演奏を変化させていく。なお、図は、入力されたドラム演奏について聴衆は BD>HI>SD の音量バ

ランスで知覚すると推定された結果を可視化した状態のシステム画面である。この図において、もしユーザが $BD > SD > HI$ で聴衆が知覚するような演奏を目指している場合は、ユーザがドラム演奏の HI の音量を小さく叩くように演奏を修正することによって、設定した目標に近い音量バランスで演奏することが可能となる。

6.2. システムにおける音量バランス推定手法

5.5.2 項において、音源分離後の各楽器の音源データをテストデータとして音量バランス推定手法の精度を求めた結果、47.0%と低い精度となった。そこでシステム化にあたって、音源分離後の各楽器の音源データを正解データとして回帰式を再度算出した。また、リアルタイム性を保つためにはできるだけ計算量が少ない方がよいと考えたため、影響が少ないかつ計算に時間がかかる特徴量について削除を行った。システムにおける各楽器の音量評価値を推定するための回帰式を以下に示す。

$$\text{音量評価値}_{HI} = 843.896 \times RMS_{HI} - 0.149$$

$$\text{音量評価値}_{SD} = 349.734 \times RMS_{SD} + 0.001 \times SpectralCentroids_{SD} - 2.899$$

$$\text{音量評価値}_{BD} = 70.811 \times RMS_{BD} + 10.930 \times AmpT_{BD} - 0.088$$

第7章 システム実証実験

提案システムによって、ドラマーが自力で理想的な音量バランスを容易かつ効率的に練習することを支援できるかどうか調査するため、実際にシステムを使用しながらアコースティックドラムで目標の音量バランスに向けて演奏してもらう実験を行う。具体的には、指定した音量バランスを目指して演奏するタスクを複数回行ってもらい、タスク終了後に自身の演奏の録音データを聴いてもらった上で、システムに関するアンケートに回答してもらう。また、推定結果の更新頻度が低いシステム（システム A）、更新頻度が高いシステム（システム B）、システムなしの3条件の練習環境条件で音量バランス練習を行ってもらい、練習環境の違いによる音量バランス練習のしやすさについても明らかにする。

音量バランス推定の精度、可視化方法のわかりやすさ、音量バランス練習のしやすさについて、小節数や推定された音量バランスなど演奏情報のデータと、アンケートへの回答を用いて評価を行う。システムによってドラマーが自力で理想的な音量バランスを容易かつ効率的に練習可能となっているか検証するために、本実験では「システムなし条件に比べてシステムあり条件の方が、各評価指標の値が高くなる」という仮説を立て、分析を行う。

7.1. 実験手順

本実験の実験協力者はドラム歴が5年以上の20代の男性6名である。また、実験は4.3節のプロトタイプシステム使用実験と同様、長方形で18帖の音楽スタジオの1室で統一して行った。実験の様子を図21に示す。

実験の流れについて説明する。実験ではまず事前準備として、システムと機器（PC、マイク、オーディオインターフェース）のセッティングを筆者が行った。そして、実験協力者にドラムのセッティングと、ドラムに慣れるための自由演奏を行ってもらった後、実験に関する指示とシステムの説明を行った。指示の内容を図22に示す。具体的には、指定した条件・順番で目標の音量バランスを目指して演奏すること、目標の音量バランスに到達できたと判断したタイミングから、4小節間その音量バランスを保ったまま演奏を行った後すぐ演奏を終了すること、演奏開始から2分間（60小節）経過した時点でその条件については「到達不可」と判断すること、実験中の演奏は録音を行うことなどを伝えた。また演奏の制約として、テンポはBPM120、使用する楽器は使用する楽器はHI・SD・BDの3楽器のみで、HIはオープン奏法¹⁷を使用せずクローズ奏法¹⁸のみで演奏すること、SDはリムショット奏法¹⁹を使用しないことを伝えた。

¹⁷ ペダルで2枚のシンバルの開き具合を調節して演奏するHIについて、開いた状態で演奏すること。「シャンシャン」といった音色。

¹⁸ HIを閉じた状態で演奏すること。「ツツ」「チツ」といった音色。

¹⁹ スネアドラムのリム（小太鼓の縁）を叩いて演奏すること。



図 21 実験の様子

- 指定した条件・順番で目標の音量バランスを目指して演奏してください
 - ・ 演奏するリズムと目標の音量バランスは、こちらから指定します
 - ・ できるだけ早く到達することを目指してください
- 目標の音量バランスに到達できたと判断したタイミングから、4小節間その音量バランスを保ったまま演奏を行った後すぐ演奏を終了してください
 - ・ システムあり：システムが出力した音量バランスの推定結果が目標のバランスになったのを確認できたかつ自身もその結果に納得したタイミング
 - ・ システムなし：自身の感覚で、目標の音量バランスに到達したと判断できたタイミング
- 演奏開始から2分間（60小節）経過した時点でこちらから指示をするので、すぐに演奏を中断してください
 - ・ その条については「到達不可」と判断します
- 実験中の演奏は録音を行います
- これらの制約内で演奏をお願いします
 - ・ テンポは120のみ
 - ・ 使用する楽器はHI（クローズのみ）・SD（リムショットせず、通常の奏法で）・BD

図 22 実験における指示の内容

指示と説明が終了した後、提示される音量バランスの可視化を見ながら演奏を目標の音量バランスに近づけていくタスクを実験協力者に行ってもらった。実験で行ったタスクの内容と手順について、実験協力者 A の場合を図 23 に示す。タスクにおいて指定した演奏条件は、一般的に目標とされやすい「BD>SD>HI」・「SD>BD>HI」・「BD>HI>SD」の音量バランス 3 条件と、音量バランス推定手法を定義する際に使用した 4 種類のリズム（HI の音数が少ないものと多いもの（8 ビートか 16 ビート）、BD の音数が少ないものと多いもの）の組み合わせの 12 パターンから、16 ビートかつ「BD>HI>SD」である 2 パターンを除外した全 10 パターンである。16 ビートかつ「BD>HI>SD」である 2 パターンを除外した理由は、プレ実験において「16 ビートにおいて SD を小さく演奏することがそもそも難しかった」という意見がみられたためである。実験では、システム A・システム B・システムなしの練習環境条件それぞれについてランダムに選定した 4 パターンの演奏を行ってもらい、実験を通して全てのパターンについて演奏を行ってもらった。加えて、各練習環境条件、実験協力者に 4 種類のリズム以外の自由なリズム、3 条件の中から習得したい音量バランスで目標を設定してもらって演奏する 1 パターンを行ってもらった。よって、実験では、実験協力者 1 人につき 5 パターン×練習環境 3 条件の全 15 パターンを行ってもらった。ま

た、タスク中の全ての演奏について録音・録画を行い、システム使用時は音量バランスの推定に用いた4種類の特徴量（RMS 値・閾値（音源内の最大振幅の5割）を超えた振幅の平均・スペクトル重心・ゼロ交差数）と、演奏開始からの経過時間のデータについても取得を行った。

さらにタスク終了後、タスク中の演奏の終盤の録音を聴いてもらい、システムの使いやすさや今後使いたいかといった内容についてのアンケートやインタビューを行い、実験終了とした。具体的なアンケート内容を表13に示す。



図23 実験で行ったタスクの手順（実験協力者Aの場合）

表13 実験で使ったアンケート項目一覧

質問	内容
Q1	システム or 自分は聴衆が知覚する音量バランスを推定できていたと思うか
Q2	自身の演奏の音量バランスの可視化を見ながら演奏することで音量バランス練習はしやすかったか
Q3	システムの結果が切り替わる頻度は適切だったか
Q4	システムの結果表示方法はわかりやすかったか
Q5	音量バランスを変化させたとき システムにその結果が反映されていた感じがしたか
Q6	今後このシステムを使って練習したいか
Q7	自分の音量バランスに自信をもって練習できたか
Q8	システムA・システムB・システムなしについて練習しやすかった順に1～3の番号を回答してください
Q9	システムや実験についての感想

7.2. 実験の結果

システムあり条件とシステムなし条件のQ1「システム or 自分は聴衆が知覚する音量バランスを推定できていたと思うか」へ回答された評価値の平均を図24に示す。この図より、

システムあり条件とシステムなし条件への評価に大きな差はみられず、対応のない t 検定を行ったところ、有意差が認められなかった($t(16)=0.37, p<0.05$).

Q2「自身の演奏の音量バランスの可視化を見ながら演奏することで、音量バランスの練習はしやすかったか」へ回答された評価値を表 14 に示す。この表より、どの実験協力者も+の評価をしていることがわかる。次に、Q7「自分の音量バランスに自信をもって練習できたか」へ回答された評価値の平均を、練習環境条件ごと（システムあり・システムなし）にまとめたものを図 25 に示す。この図より、システムあり条件の方がシステムなし条件より評価値は高いが、対応のない t 検定を行ったところ、有意差は認められなかった($t(10)=-1.24, p<0.05$).

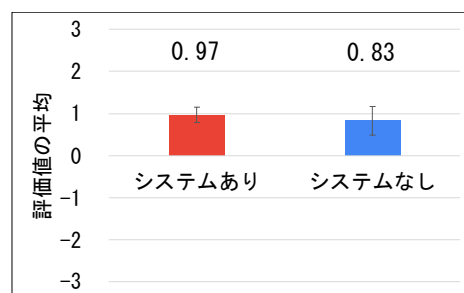


図 24 Q1 へ回答された評価値の平均

表 14 Q2 へ回答された評価値

実験協力者	回答
A	2.00
B	2.00
C	2.00
D	1.00
E	1.00
F	3.00
平均	1.83

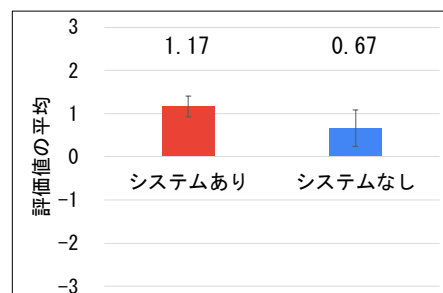


図 25 Q7 へ回答された評価値の平均

次に、システム A 条件とシステム B 条件の Q3「システムの結果が切り替わる頻度は適切だったか」、Q4「システムの結果表示方法はわかりやすかったか」、Q5「音量バランスを変化させたときシステムにその結果が反映されていた感じがしたか」、Q6「今後このシステムを使って練習したいか」へ回答された評価値の平均を図 26 に示す。この図より、Q3「システムの結果が切り替わる頻度は適切だったか」については、結果の更新頻度の高いシステム B について高い評価となったが、対応のない t 検定を行ったところ、有意差は認められなかった($t(10)=0.42$, $p<0.05$)。また、Q4「システムの結果表示方法はわかりやすかったか」、Q5「音量バランスを変化させたときシステムにその結果が反映されていた感じがしたか」、Q6「今後このシステムを使って練習したいか」への回答について、いずれもシステム A とシステム B に大きな差はみられず、対応のない t 検定の結果、有意差は認められなかった(Q4 は $t(10)=0.21$, $p<0.05$, Q5 は $t(10)=0.00$, $p<0.05$, Q6 は $t(10)=1.11$, $p<0.05$)。

Q8「システム A・システム B・システムなしについて練習しやすかった順に 1～3 の番号を回答してください」への回答を、表 15 に示す。この表より、実験協力者ごとに回答は様々であることがわかる。

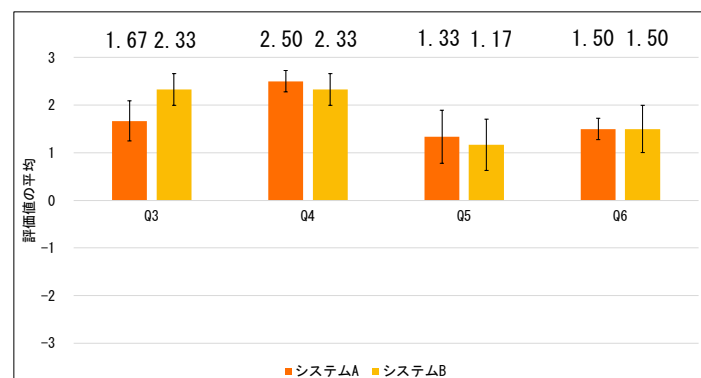


図 26 Q3～Q6 へ回答された評価値の平均

表 15 Q8 への回答

回答	人数
A>B>なし	2 人
B>A>なし	3 人
なし>B>A	1 人

表 16～18 に、Q9「システムや実験についての感想」への回答を示す。表 16 についてはシステムに関する意見、表 17 については実験の内容・音量バランスの気付き・今後システムへ期待すること、表 18 についてはシステムによる音量バランス推定精度に関する意見をまとめた。

表 16 Q9「システムや実験についての感想」への回答よりシステムに関する意見

システム A	肯定	Recording のタイミングが分かりやすかったため、練習に反映しやすく感じました
		切り替わりの頻度が少ないため、音量バランスの安定感を測るのに良いシステム
		いつ演奏した分の結果かわかりやすいため、やりやすかった
		いつ録音した音がどのぐらいのバランスになっているのか分かりやすかった
		部分的にフレーズを練習するときに使えると思いました
		システム B と比べ正確性はある感じがした
	改善	表示される音量が今のものではないため自分がつけた変化がいつ反映されているのかがわかりにくかった
		録音してからその結果が反映されるまでにラグがあるので、その部分が実際に練習する際にちょっと不便かなと感じた
システム B	肯定	リアルタイムできりかわるため、良かったです
		切り替わる頻度が多いため、自分の音量バランスを調整しやすいと感じた
		リアルタイムで反映された方が使いやすいと思う
		即時反映されるので、練習に使うならこちらが使いやすいと感じた
		練習で実際に使うとするなら圧倒的にシステム B が使いやすい
	改善	システム A と比べてリアルタイム性が増していてストレスは減少したが A と比べて思ったように調整がきかなかった
		HI の音量調節がしづらかった
システムなし	感想	完全に自分の感覚で叩いていたので、不安が多かった
		システムを使っている時の方が HI の音量調節はできていたかも
システム全体	肯定	演奏中バランスを見ることができるのは良い練習になると感じた
		システムは（精度はおいておき）あったら、自分を客観的に評価できる良い指標になると感じた
		UI はシンプルで見やすく良いと思いました
		あったら便利で面白いと思う
		自分の音を客観的に聴くことはなかなかできず、また、音楽をする上では自分の演奏を客観的に把握することが大事なので、それを実現できるこのシステムはすばらしいと思いました

表 17 Q9「システムや実験についての感想」への回答より
実験の内容・音量バランスへの気付き・システムに今後期待することに関する意見

実験の内容	スムーズに進行していたと思う
	内容はわかりやすく難しくもなく、長すぎずちょうど良かったと思う
	演奏①～④の順番が入れ替え変わっていることに多少疑問を抱いたが、きっと何か理由があるのだろうとスルーできるレベルだったので問題なし
	基本パターンだけでなく、各ジャンルの定場パターンのようなものでも実験ができるのなら、実度が高まるように思った
	程よい長さで簡単なリズムだったので疲れることなく演奏できました
	左利きのため、8分のリズムはSDを大きくしやすいけど16分のリズムは音量変えるとき自分の中で少し不安があった
音量バランスへの気付き	録音で聴くと演奏している時の意識よりHIの音量が大きく聴こえた（シンプルに金物の音が抜けるからかもしれないが）
	自分が聴きながら感じるバランスと、聴こえるバランスは違うのだと思った
	音量バランスを意識してみると、自分が甘かったことに気づきました...
	HIの音量など、録音してみると以外と大きく聴こえたりと、自分の想定より力が入ってしまっているのに気づく、という上では、このシステムは有用だなと感じた
今後期待すること	音量バランスについて意識はしていたが、自分の演奏を聴いて研究したりすることは録音の環境によって左右されてしまうため、マイクで録ってバランスを数値化することができたらぜひ使用したいと感じた
	人が生音で演奏を聴いた時の音量バランス、ライブハウス等マイクを立ててスピーカーで音を出すバランス、レコーディングの際のバランスなど、いくつかのモードがあったらもっと面白くなると感じた
	ただ、実際に音量バランスを練習するとしたら、HI、BD、HIの音量バランスの順番というより、各音量がどのくらい出てるかをずっと精密に可視化できて、それに合わせて練習する、という方が、自分が目指す上達には近い気がした
	HI・SD・BDを、全体音量との比較ではなく比率で見られると見やすいかもと感じました
	ドラム以外にも応用できるのではと思いました
	精度が良い方が使っている目的には合っていると感じた（精度>更新頻度）

表 18 Q9「システムや実験についての感想」への回答より
システムによる音量バランス推定精度に関する意見

SD は小さい音でも大きく結果が出てしまう感じがあった、BD はなるほどとなった
SD が大きく出てしまうのは前提として、数値が大きく出てしまうのかなと感じた、しかし実際に音量バランスの変化は感知していたのでシステムとして機能していると思う
SD が大きく聴こえてしまうかなと感じた
HI→音を大きくするのが難しい、SD→音を小さくするのが難しい+HI の音を大きくすると音量が大きくなってしま う、BD→音を大きくするのが難しい
精度は耳で聴いた感じと違うところがあった
SD が敏感、BD と HI は調整がむずかしい
HI と BD の音数が増えると、SD の音量調節の精度が落ちるのが気になった
HI の音量をかなり出しても SD と BD を上回るのが難しかったが、HI の方が SD と BD より大きい音を出すシー ンがそもそもない気がするので練習用という意味では問題ないかもしれない
正確性はシステム A のが上か
BD や HI を叩く回数が増えると、SD の音量ゲージにそちらの音が吸われてしまい調整しづらくなった気がした
BD と HI が増えると SD のゲージが調整しづらくなるイメージがある
単純な音量だけでなく音色によって可視化された音量が変化していたので、逆にわからなくなる部分があった
倍音多めの音は、SD の音量が下がっている気がした
SD が大きく出ちゃう気がする
BD が上がらなかった、SD は下がらなかった
結果について、SD の音量が目に見えて変わらなかった
BD・SD が競合しちゃう
ほぼ SD を叩いてないのに、音量が出ている結果になってしまっていた
SD が小さいのに大きく表示されている、実際に SD の音量が大きく聴こえやすいからか？
SD の音が自分の感覚よりかなり大きいなと思いましたなので、BD>SD、HI>SD のように叩くリズムが少し叩きに くかった
細かい音の精度の向上が実現すれば、演奏の幅も広がると思いました

7.3. 考察

7.3.1. 提案手法による音量バランス練習支援効果

本研究で提案する、マイクで収録したドラム演奏から聴衆が知覚する音量バランスをリアルタイムに推定・可視化してドラマーにフィードバックするシステムによって、システムを使用しない場合と比べて音量バランス練習がしやすくなっているかについて分析する。具体的には、「システムなし条件に比べてシステムあり条件の方が、各評価指標の値が高くなる」という仮説をもとに、システムによってドラマーが自力で理想的な音量バランスを容易かつ効率的に練習可能となっているか検証する。

図 25 より、システムあり条件の方がなし条件より自分の演奏の音量バランスに自信を持って練習できている可能性が示唆された。実際に、システムなし条件について「完全に自分の感覚で叩いていたので、不安が多かった」といった回答がみられた。聴衆が知覚する音量バランスを可視化することによって、納得感をもって音量バランス練習を行うことができると考えられる。また、表 14 について全ての実験協力者が+の評価であり、表 15 について6名中5名がシステムなしよりシステムありの評価が高いことから、提案システムによって音量バランス練習がしやすくなっているとわかる。

また、音量バランスへの気づきに関する感想（表 17）より「録音で聴くと演奏している時の意識より HI の音量が大きく聴こえた」、「自分が聴きながら感じるバランスと、聴こえるバランスは違うのだと思った」、「HI の音量など、録音してみると以外と大きく聴こえたりと、自分の想定より力が入ってしまっているのに気づく、という上では、このシステムは有用だなと感じた」といった意見が得られたため、ドラマーと聴衆の知覚の差によって自身の演奏の音量バランスを把握しづらいという問題を、このシステムを使用することで解決できると考えられる。

加えて、実験協力者が演奏を開始してから目標の音量バランスに到達したと判断するまでの小節数の平均を図 27 に示す。この図より、システムあり条件は、システムなし条件の約 2.5 倍の小節数で目標の音量バランスに到達したと判断しているとわかる。この結果については、システムを使用せず練習した場合、自身の演奏の音量バランスを確認するために録音を行い、その録音を確認し反省するといったような時間が別途発生してしまうことを考慮すれば、システムあり条件について約 33.38 小節で目標の音量バランスに到達することが可能となっているため、システムによって効率的な音量バランス練習を支援できる可能性が示唆された。

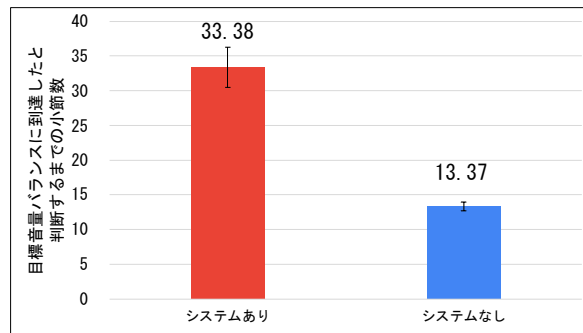


図 27 実験協力者が演奏を開始してから
目標の音量バランスに到達したと判断するまでの小節数

これらの結果について、「システムなし条件に比べてシステムあり条件の方が、評価指標の値が高くなる」という仮説通りの結果となり、本システムによってドラマーが自力で理想的な音量バランスを容易かつ効率的に練習することを支援できる可能性が示唆された。

7.3.2. 推定結果の更新頻度による音量バランス練習のしやすさ

システムによる音量バランス推定結果の更新頻度の違いが音量バランス練習のしやすさに影響を及ぼすかどうかについて分析する。

図 26 の Q3「システムの結果が切り替わる頻度は適切だったか」の結果より、音量バランス推定結果の更新頻度については、結果の更新頻度の高いシステム B の方が高い評価となり、実際に「切り替わる頻度が多いため、自分の音量バランスを調整しやすいと感じた」、「リアルタイムで反映された方が使いやすいと思う」、「即時反映されるので、練習に使うならこちらが使いやすいと感じた」といった意見も多かった。その一方、システム A について「切り替わりの頻度が少ないため、音量バランスの安定感を測るのに良いシステム」、「部分的にフレーズ²⁰を練習するときに使えると思いました」といった意見がみられた。このことから、結果の更新頻度を変化させることによって、自分の演奏の音量バランスを細かく調整したい場合、曲の一部分を練習したい場合、一定の音量バランスを保ち続ける練習がしたい場合など、音量バランスにおける様々な練習に対応できる可能性が示唆された。

Q4「システムの結果表示方法はわかりやすかったか」、Q5「音量バランスを変化させたときシステムにその結果が反映されていた感じがしたか」、Q6「今後このシステムを使って練習したいか」への回答については、システム A とシステム B の評価に大きな差はなかった。また、Q8「システム A・システム B・システムなしについて練習しやすかった順に 1～3 の番号を回答してください」への回答（表 15）について、実験協力者ごとに回答

²⁰ 旋律の一区切り。

は様々であった。さらに、Q3～Q6についても実験協力者ごとに回答が様々であり、人や状況によって音量バランスの結果の更新頻度を切り替えることで、より提案手法によって音量バランス練習を支援できると考えられる。具体的に、結果の更新頻度については、音量バランスを一定に保つといったように安定感を鍛えたい場合や部分的なフレーズを練習したい場合は更新頻度を少なくし、目標とする音量バランスを目指して演奏を調整したい場合は更新頻度を高くするといったことが考えられる。

7.3.3. 提案手法による聴衆の知覚する音量バランス推定精度

聴衆の知覚を加味した音量バランス推定手法の精度について考察する。図 24 より、音量バランス推定手法の精度に関する回答についてシステムあり条件とシステムなし条件で大きな差はみられなかった。また、システムの音量バランス推定精度に関する感想（表 18）について、主に精度が十分ではないといった意見が多くみられた。その中でも特に、「SD は小さい音でも大きく結果が出てしまう感じがあった」、「ほぼ SD を叩いてないのに、音量が出ている結果になってしまっていた」といったように SD の音量の推定精度に関する回答が多かった。これについては、SD と BD の周波数帯域が似ており、音源分離の際に SD の音源に BD の叩打音が混ざってしまうために競合してしまったと考えられる。これについては、本研究で採用した NMF や SSNMF についてより精度が高められる学習回数をみつけることや、他の音源分離手法を検討するなど音源分離そのものの精度を高めることによって解決できると考えられる。

また、「単純な音量だけでなく音色によって可視化された音量が変化していたので、逆にわからなくなる部分があった」、「倍音多めの音は、SD の音量が下がっている気がした」といった意見から、叩く際の音色によって出力される音量に違いがある可能性が示唆された。本システムでは、HI・SD・BD についてそれぞれ筆者が演奏した叩打音 1 音のみを基底として SSNMF による音源分離を行ったが、打楽器は叩く位置・角度・勢い・強さなどによって音色が様々変化する。今後は各楽器について様々なパターンの基底を用意することで、より汎用性の高い音量バランス推定手法が実現可能であると考ええる。

ここで、5.5.1 項で提案した音量バランス推定手法について、周波数を考慮し人間の聴覚特性に近づけた音量を示す平均ラウドネス値（LUFS：Integrated loudness）を特徴量として追加することでより聴衆の知覚音量バランスの推定精度を高められると考えた。実際に、平均ラウドネス値を特徴量として追加した後に回帰式を再度算出し、その精度を評価した結果、ピュアデータをテストデータとした場合に 91.7%の精度となった。このように、今後は使用する音声特徴量についても検討を行うことで、精度をさらに高められると考える。

第8章 制約と展望

システム評価実験により明らかになった本システムの現状と今後の展望について述べる。

システムで用いたドラム演奏の音量バランス推定手法の精度について、7章のシステム実証実験より、「たまにSDとBDの結果が混同してしまう」という意見や、「音量が小さすぎる楽器についてうまく推定が行えない」といった意見がみられた。これについては、現状、音源分離によって3楽器を綺麗に分離できていないことが原因だと考えられる。よって今後は本研究で採用したNMFやSSNMFについてより精度が高められる学習回数をみつけることや、他の音源分離手法を検討することによって、音量バランス推定の精度を高めていく。

音量バランス推定手法の制約については、聴衆が知覚する各楽器の音量を推定する回帰式について4つのリズム（図15）のデータを元に定義したため、全てのリズムパターンに対応しきれない問題がある。今後は様々なリズムパターンについて聴衆が知覚する音量バランスのデータを増やすことや、リズムの違いによる各楽器の音数の割合の差が聴衆の判断する音量バランスにどう影響を及ぼすのかについてより詳しく調査することによって、より幅広いリズムパターンに対応可能なシステムにしていく予定である。加えて、現状対応できていないHIのオープン奏法やSDのリムショット奏法のように音色が異なる奏法についても、通常奏法でのHI・SD・BDとは別に基底を作成して音源分離を行い、音量が大きい方を採用すると言った方法によって、対応可能だと考えられる。さらに、聴衆が知覚するドラム演奏の音量バランスは、演奏が行われる場所[45]や音色（楽器の種類や演奏の仕方によって変化する）[46]によって異なるため、今後はこのような演奏環境の変化への対応についても検討していく。

システムにおける音量バランス推定結果の適切な可視化方法については、使用する状況によって変化することや人による好みがあることがわかった。また、音量バランスの表現方法について、「HI, BD, SDの音量バランスの順番というより、各音量がどのくらい出てるかをもっと精密に可視化できて、それに合わせて練習する、という方が、自分が目指す上達には近い気がした」、「HI・SD・BDを、全体音量との比較ではなく比率で見られると見やすいかもと感じました」、「人が生音で演奏を聴いた時の音量バランス、ライブハウス等マイクを立ててスピーカーで音を出すバランス、レコーディングの際のバランスなど、いくつかのモードがあったらもっと面白くなると感じた」といったような意見がみられた。よって、今後は可視化頻度・表現方法・使用する状況によって音量バランス推定の計算方法を切り替えるなどの機能を検討していきたい。

これらをふまえると、現状のシステムによる音量バランス練習支援については、聴衆の知覚する音量バランスの推定精度の改善や幅広い演奏への対応が課題である。しかし、通常の練習では確認することができない聴衆の知覚音量バランスを見ながら演奏するという提案手法により、容易で効率的に行うことができているといえる。

システムの応用について、4.3 節のプロトタイプシステム使用実験において、「他の楽器と一緒に演奏している時の音量バランスも知りたい」という意見がみられ、これについてはドラムと他の楽器やボーカル音源の分離[18]と本システムを組み合わせることによって実現可能だと考えられる。また、ドラム演奏以外のシチュエーションでの応用も考えられる。複数の楽器で同時に演奏するアンサンブルやオーケストラ、吹奏楽などにおいても、楽器間の音量バランスは重視される[5]ため、本手法のように、各パートの音量を音源分離した後に聴衆の知覚を推定してリアルタイムに可視化することによって、練習を支援することができる。と考える。

第9章 おわりに

本研究では、ドラム演奏の音量バランス練習をより容易で効率的なものにすることを目的とし、マイクから入力したドラム演奏から聴衆が知覚する音量バランスを推定し、結果を可視化して提示するシステムを提案した。まず、プロトタイプシステムを実装し、プロトタイプシステム評価実験を行い、得られたフィードバックから、音量バランス推定手法や可視化手法を見直す必要がみられた。次に、音量バランス推定手法の精度の向上を目的とし、人がドラム演奏を聴いた際の音量バランスの知覚を明らかにするため、様々なリズム、3楽器の音量の組み合わせで演奏されたドラム音源について、その音量バランスを評価してもらう実験を行った。実験で得られた評価データを用いて、マイクから入力したドラム演奏から得られる物理的な特徴量から3楽器の音量バランスを推定する回帰式を算出し、ドラム演奏の録音データから聴衆が知覚する音量バランスの算出をピュアデータについて87.4%の精度で可能とする音量バランス推定手法を提案した。最後に、音量バランス推定手法や可視化手法など改善を行ったシステムを用いて実験を行い、システムの性能について評価を行った。その結果、リアルタイムにドラム演奏の音量バランスを提示するという本研究の提案手法によってドラマーが自力で理想的な音量バランスを容易かつ効率的に練習することを支援できる可能性や、また人や状況によって音量バランスの結果の更新頻度を切り替えることで、より提案手法によって音量バランス練習を支援できる可能性がみられた。

今後は、音量バランス推定手法精度の向上を行うことで、音量バランス練習をより支援できると考える。また、バンド演奏のように複数人での演奏や、アンサンブルやオーケストラ演奏などにおいて、各楽器パートの音量バランスをリアルタイムに確認するなど演奏全般に応用可能であると考えられる。

本システムが、ドラマーがより表現豊かで熱いビートを奏でることの手助けとなり、世の中に素敵な音楽が溢れることを祈って、筆とドラムスティックを置くこととする。

参考文献

- [1] Ikenoue, A., Nishimoto, K. and Unoki, M.. iDAF-drum: Supporting Practice of Drumstick Control by Exploiting Insignificantly Delayed Auditory Feedback. Knowledge Information and Creativity Support Systems, 2016, pp. 483–498.
- [2] Holland, S., Bouwer, A. J., Dalgelish, M. and Hurtig, T. M.. Feeling the beat where it counts: fostering multi-limb rhythm skills with the haptic drum kit. The 4th International Conference on Tangible and Embedded Interaction, 2010, pp. 21–28.
- [3] Imada, Y. and Ochi, Y.. Hitting Arm Detection for Drum Performance Learning System Using Kinect. The Seventh International Conference on Informatics and Applications (ICIA2018), 2018, pp.8–10.
- [4] Iwami, N. and Miura, M.. A Support System for Basic Practice of Playing the Drums. International Computer Music Conference, 2007, pp. 364–367.
- [5] Meyer, J.. The Sound of Orchestra. J. Audio Eng. Soc., 1993, Vol. 41, No. 4, pp. 203–213.
- [6] 宮本正規, 柳田益造. トロンボーン在和音練習音におけるレベルバランスの評価法に関する検討, 音楽音響研究会資料, 2009, Vol. 28, No.5, pp. 73–78.
- [7] 森松慶子. アンサンブル演奏における音量バランス, 電子キーボード音楽研究, 2015, Vol. 10, pp. 24–31
- [8] 高橋範行, 大串健吾. ピアノ演奏における熟達者と非熟達者の演奏表現の比較, 音楽教育学, 2004, Vol. 34, No. 1, pp. 1–11.
- [9] Itoyama, K., Goto, M., Komatani, K., Ogata, T. and Okuno, H. G.. Query-by-Example Music Information Retrieval by Score-Informed Source Separation and Remixing Technologies. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2011.
- [10] 吉井和佳, 後藤真孝, 駒谷和範, 尾形哲也, 奥乃博. Drumix: ドラムパートのリアルタイム編集機能付きオーディオプレイヤー, インタラクシオン 2006 論文集, 2006.
- [11] Smoliar, S., Waterworth, J. and Kellock, P.. pianoFORTE: A System for Piano Education Beyond Notation Literacy. Proceedings of the 3rd ACM International Conference on Multimedia, 1995, pp.457–465.
- [12] Rogers, K., Röhlig, A., Weing, M., Gugenheimer, J., Könings, B., Klepsch, M., Schaub, F., Rukzio, E., Seufert, T. and Weber, M.. P.I.A.N.O.: Faster Piano Learning with Interactive Projection. Proc. 9th ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, 2014, pp. 149–158.
- [13] Beici, L., György, F. and Mark, S.. Measurement, recognition, and visualization of piano pedaling gestures and techniques. Journal of the Audio Engineering Society, 2018, Vol. 66, No. 6, pp. 448–456.
- [14] Marky, K., Weiß, A., Müller, F., Schmitz, M., Mühlhäuser, M. and Kosch, T.. Let's Frets! Mastering Guitar Playing with Capacitive Sensing and Visual Guidance. Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2021, No. 169, pp.1–4.

- [15] Doi, M. and Miyashita, H.. Koto Learning Support Method Considering Articulations. In Proceedings of ACE, 2017, pp. 368–383.
- [16] Kavalerov, I., Wisdom, S., Erdogan, H., Patton, B., Wilson, K., Le Roux, J. and Hershey, J.. Universal sound separation. IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics (WASPAA), 2019, pp. 175–179.
- [17] “デジタル対話 音声書き起こし支援サービス | Lumada : 日立”. https://www.hitachi.co.jp/products/it/lumada/solution/lumada_s_000062.html, (参照 2021-10-30).
- [18] Ono, N., Miyamoto, K., Kameoka, H., Le Roux, J., Uchiyama, Y., Tsunoo, E., Nishimoto, T. and Sagayama, S.. Harmonic and Percussive Sound Separation and its Application to MIR-related Tasks. Advances in Music Information Retrieval, 2010, Vol. 274, pp. 213–236.
- [19] 伊藤陽介, 黒柳奨. Deep U-Net を用いた打楽器（ドラム）音源分離手法の検討, IEICE-NC / IEICE-MBE, IEICE-MBE2018-85, 2019, Vol. 118, No. 470, pp. 3–6.
- [20] Grais, E. M., Sen, M. U. and Erdogan, H.. Deep neural networks for single channel source separation. ICASSP, 2014, pp. 3734–3738.
- [21] Hennequin, R., Khlif, A., Voituret, F. and Manuel, M.. Spleeter: a fast and efficient music source separation tool with pre-trained models. Journal of Open Source Software, 2020, Vol. 5, No. 50, pp. 2154.
- [22] Stöter, F. R., Uhlich, S., Liutkus, A. and Mitsufuji, Y.. Open-Unmix - A Reference Implementation for Music Source Separation. Journal of Open Source Software. The Journal of Open Source Software, 2019, Vol. 4, No. 41.
- [23] 久野文菜, 濱川礼. 音源分離を用いた耳コピー・アドリブ練習支援アプリケーション『MuSep』の開発, インタラクション 2021 論文集, 2021, 1B06, pp. 211–215.
- [24] Sharma, B., Gupta, C., Li, H., and Wang, Y.. Automatic Lyrics-to-audio Alignment on Polyphonic Music Using Singing-adapted Acoustic Models, ICASSP 2019 - 2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2019, pp. 396–400.
- [25] “LINE MUSIC”. <https://music.line.me/about/>, (参照 2021-10-30) .
- [26] QIU, Z. Q. and Usui, S.. Beating Time Extraction and Recognition of Drums by Adaptive Processing. Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, 1994, Vol. 30, No. 3, pp. 104–111.
- [27] Yoshii, K., Goto, M. and Okuno, H.. Automatic Drum Sound Description for Real-World Music Using Template Adaptation and Matching Methods. ISMIR 2004, 5th International Conference on Music Information Retrieval, 2004.
- [28] Ueda, S., Shibata, K., Wada, Y., Nishikimi, R., Nakamura, E. and Yoshii, K.. Bayesian drum transcription based on non-negative matrix factor decomposition with a deep score prior. ICASSP, 2019, pp. 456–460.
- [29] Paulus, J. and Virtanen, T.. Drum transcription with non-negative spectrogram factorisation. 13th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), 2005.

- [30] Dittmar, C. and Gärtner, D.. Real-Time Transcription and Separation of Drum Recordings Based on NMF Decomposition. International Conference on Digital Audio Effects (DAFX), 2014, pp. 187–194.
- [31] Wu, C. and Lerch, A.. Drum Transcription Using Partially Fixed Non-Negative Matrix Factorization with Template Adaptation. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR) , 2015, pp. 257–263.
- [32] Vogl, R., Widmer, G. and Knees, P.. Towards multi-instrument drum transcription. Proceedings of the 21st International Conference on Digital Audio Effects (DAFx-18), 2018.
- [33] Lee, D. D. and Seung, H. S.. Learning the parts of objects with non-negative matrix factorization. Nature, 1999, Vol. 401, pp. 788–791.
- [34] Cichocki, A., Zdunek, R., Phan, A.H. and Amari, S.. Non-negative Matrix and Tensor Factorizations: Applications to Exploratory Multi-way Data Analysis and Blind Source Separation. John Wiley & Sons, 2009.
- [35] Lindsay-Smith, H., McDonald, S. and Sandler, M.. Drumkit transcription via convolutive NMF, 15th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx), 2012.
- [36] Southall, C., Stables, R. and Hockman, J.. Automatic Drum Transcription using Bi-directional Recurrent Neural Networks. The 17th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR), 2016, pp. 591–597.
- [37] Vogl, R., Dorfer, M. and Knees, P.. Recurrent Neural Networks for Drum Transcription. The 17th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR), 2016, pp. 730–736.
- [38] Smaragdis, P.. Non-negative Matrix Factor Deconvolution; Extraction of Multiple Sound Sources from Monophonic Inputs. International Conference on Independent Component Analysis and Signal Separation (ICA), 2004, pp. 494–499.
- [39] Wu, C. W., Dittmar, C., Southall, C., Vogl, R., Widmer, G., Hockman, J., Müller, M. and Lerch, A.. A Review of Automatic Drum Transcription. IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, Vol. 26, No. 9, pp. 1457–1483.
- [40] Böck, S. and Widmer, G.. Maximum filter vibrato suppression for onset detection. International Conference on Digital Audio Effects (DAFX), 2013.
- [41] 二階堂誠也. 音の物理量と心理量, 計測と制御, 1980, Vol. 19, No. 3, pp. 325–332.
- [42] Lee, H., Yoo, J. and Choi, S.. Semi-Supervised Non-negative Matrix Factorization. IEEE Signal Processing Letters, 2010, Vol. 17, No. 1, pp. 4–7.
- [43] “C 1509-1 : 2017 (IEC 61672-1 : 2013)”. <http://kikakurui.com/c1/C1509-1-2017-01.html>, (参照 2021-10-30) .
- [44] 中村健太郎. 図解雑学 音のしくみ, ナツメ社, 2005.
- [45] Lokki, T., Pätynen, J., Kuusinen, A. and Tervo, S.. Disentangling preference ratings of concert hall acoustics using subjective sensory profiles. The Journal of the Acoustical Society of America, 2012, Vol. 132, pp.3148–3161.

- [46] 上野山努, 檜村雅章, 小沢 慎治. ドラム音の音色における感性情報と工学的パラメータとの対応付け, 日本音響学会誌, 1993, Vol. 49, No. 10, pp. 671–681.

付録 1,2 作成した音源 256 パターン (1~128)

音源 番号	リズム	音量		
		HI	SD	BD
1	①	p	p	p
2		p	p	mp
3		p	p	mf
4		p	p	f
5		p	mp	p
6		p	mp	mp
7		p	mp	mf
8		p	mp	f
9		p	mf	p
10		p	mf	mp
11		p	mf	mf
12		p	mf	f
13		p	f	p
14		p	f	mp
15		p	f	mf
16		p	f	f
17		mp	p	p
18		mp	p	mp
19		mp	p	mf
20		mp	p	f
21		mp	mp	p
22		mp	mp	mp
23		mp	mp	mf
24		mp	mp	f
25		mp	mf	p
26		mp	mf	mp
27		mp	mf	mf
28		mp	mf	f
29		mp	f	p
30		mp	f	mp
31		mp	f	mf
32		mp	f	f
33		mf	p	p
34		mf	p	mp
35		mf	p	mf
36		mf	p	f
37		mf	mp	p
38		mf	mp	mp
39		mf	mp	mf
40		mf	mp	f
41		mf	mf	p
42		mf	mf	mp
43		mf	mf	mf
44		mf	mf	f
45		mf	f	p
46		mf	f	mp
47		mf	f	mf
48		mf	f	f
49		f	p	p
50		f	p	mp
51		f	p	mf
52		f	p	f
53		f	mp	p
54		f	mp	mp
55		f	mp	mf
56		f	mp	f
57		f	mf	p
58		f	mf	mp
59		f	mf	mf
60		f	mf	f
61		f	f	p
62		f	f	mp
63		f	f	mf
64		f	f	f
65	②	p	p	p
66		p	p	mp
67		p	p	mf
68		p	p	f
69		p	mp	p
70		p	mp	mp
71		p	mp	mf
72		p	mp	f
73		p	mf	p
74		p	mf	mp
75		p	mf	mf
76		p	mf	f
77		p	f	p
78		p	f	mp
79		p	f	mf
80		p	f	f
81		mp	p	p
82		mp	p	mp
83		mp	p	mf
84		mp	p	f
85		mp	mp	p
86		mp	mp	mp
87		mp	mp	mf
88		mp	mp	f
89		mp	mf	p
90		mp	mf	mp
91		mp	mf	mf
92		mp	mf	f
93		mp	f	p
94		mp	f	mp
95		mp	f	mf
96		mp	f	f
97		mf	p	p
98		mf	p	mp
99		mf	p	mf
100		mf	p	f
101		mf	mp	p
102		mf	mp	mp
103		mf	mp	mf
104		mf	mp	f
105		mf	mf	p
106		mf	mf	mp
107		mf	mf	mf
108		mf	mf	f
109		mf	f	p
110		mf	f	mp
111		mf	f	mf
112		mf	f	f
113		f	p	p
114		f	p	mp
115		f	p	mf
116		f	p	f
117		f	mp	p
118		f	mp	mp
119		f	mp	mf
120		f	mp	f
121		f	mf	p
122		f	mf	mp
123		f	mf	mf
124		f	mf	f
125		f	f	p
126		f	f	mp
127		f	f	mf
128		f	f	f

付録 3,4 作成した音源 256 パターン (129~256)

音源 番号	リズム	音量		
		HI	SD	BD
129	③	p	p	p
130		p	p	mp
131		p	p	mf
132		p	p	f
133		p	mp	p
134		p	mp	mp
135		p	mp	mf
136		p	mp	f
137		p	mf	p
138		p	mf	mp
139		p	mf	mf
140		p	mf	f
141		p	f	p
142		p	f	mp
143		p	f	mf
144		p	f	f
145		mp	p	p
146		mp	p	mp
147		mp	p	mf
148		mp	p	f
149		mp	mp	p
150		mp	mp	mp
151		mp	mp	mf
152		mp	mp	f
153		mp	mf	p
154		mp	mf	mp
155		mp	mf	mf
156		mp	mf	f
157		mp	f	p
158		mp	f	mp
159		mp	f	mf
160		mp	f	f
161		mf	p	p
162		mf	p	mp
163		mf	p	mf
164		mf	p	f
165		mf	mp	p
166		mf	mp	mp
167		mf	mp	mf
168		mf	mp	f
169		mf	mf	p
170		mf	mf	mp
171		mf	mf	mf
172		mf	mf	f
173		mf	f	p
174		mf	f	mp
175		mf	f	mf
176		mf	f	f
177		f	p	p
178		f	p	mp
179		f	p	mf
180		f	p	f
181		f	mp	p
182		f	mp	mp
183		f	mp	mf
184		f	mp	f
185		f	mf	p
186		f	mf	mp
187		f	mf	mf
188		f	mf	f
189		f	f	p
190		f	f	mp
191		f	f	mf
192		f	f	f
193	④	p	p	p
194		p	p	mp
195		p	p	mf
196		p	p	f
197		p	mp	p
198		p	mp	mp
199		p	mp	mf
200		p	mp	f
201		p	mf	p
202		p	mf	mp
203		p	mf	mf
204		p	mf	f
205		p	f	p
206		p	f	mp
207		p	f	mf
208		p	f	f
209		mp	p	p
210		mp	p	mp
211		mp	p	mf
212		mp	p	f
213		mp	mp	p
214		mp	mp	mp
215		mp	mp	mf
216		mp	mp	f
217		mp	mf	p
218		mp	mf	mp
219		mp	mf	mf
220		mp	mf	f
221		mp	f	p
222		mp	f	mp
223		mp	f	mf
224		mp	f	f
225		mf	p	p
226		mf	p	mp
227		mf	p	mf
228		mf	p	f
229		mf	mp	p
230		mf	mp	mp
231		mf	mp	mf
232		mf	mp	f
233		mf	mf	p
234		mf	mf	mp
235		mf	mf	mf
236		mf	mf	f
237		mf	f	p
238		mf	f	mp
239		mf	f	mf
240		mf	f	f
241		f	p	p
242		f	p	mp
243		f	p	mf
244		f	p	f
245		f	mp	p
246		f	mp	mp
247		f	mp	mf
248		f	mp	f
249		f	mf	p
250		f	mf	mp
251		f	mf	mf
252		f	mf	f
253		f	f	p
254		f	f	mp
255		f	f	mf
256		f	f	f

付録 5.6 各音源に対して回答された評価式 (1~128)

音源 番号	データセット					
	A	B	C	D	E	F
1	HI=SD=BD	HI=BD>SD	HI>SD=BD	HI=SD=BD	BD>HI>SD	HI=BD>SD
2	BD>HI=SD	BD>HI=SD	BD>HI=SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
3	BD>HI=SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI=SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
4	BD>HI=SD	BD>HI>SD	BD>HI=SD	BD>HI>SD	BD>HI=SD	BD>HI>SD
5	HI=SD=BD	SD=BD>HI	HI=SD=BD	HI=SD=BD	SD>BD>HI	SD>HI=BD
6	HI=SD=BD	SD=BD>HI	HI=SD=BD	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD>BD>HI
7	BD>SD>HI	HI=SD=BD	BD>SD>HI	BD>HI=SD	SD=BD>HI	SD=BD>HI
8	BD>SD>HI	BD>HI=SD	BD>SD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI
9	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
10	SD>HI=BD	HI=SD=BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
11	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
12	HI=SD=BD	BD>SD>HI	HI=SD=BD	SD=BD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI
13	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
14	SD>BD>HI	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
15	BD>SD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD=BD>HI	BD>SD>HI
16	SD=BD>HI	SD=BD>HI	BD>HI=SD	SD>BD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI
17	HI=BD>SD	HI>SD=BD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI=SD=BD	BD>HI>SD
18	HI=BD>SD	BD>HI>SD	HI>BD>SD	BD>HI=SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD
19	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
20	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
21	HI=SD=BD	SD=BD>HI	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD=BD>HI	SD>HI=BD
22	HI=SD=BD	BD>HI=SD	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI
23	BD>HI=SD	BD>HI=SD	BD>HI=SD	HI=SD=BD	SD=BD>HI	BD>HI=SD
24	BD>HI=SD	BD>HI=SD	HI=BD>SD	BD>SD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI
25	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI>BD	SD>BD>HI	SD>HI=BD	SD>HI>BD
26	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI
27	HI=SD=BD	SD=BD>HI	HI=SD=BD	SD=BD>HI	BD>SD>HI	SD>BD>HI
28	BD>SD>HI	BD>HI=SD	BD>SD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI	BD>SD>HI
29	SD>HI=BD	SD>HI>BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI>BD
30	SD>HI=BD	SD>HI>BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD=BD>HI
31	HI=SD=BD	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
32	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD>BD>HI
33	HI>BD>SD	HI>SD=BD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>SD=BD
34	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI>BD>SD	BD>HI=SD	HI=SD=BD	HI=BD>SD
35	BD>HI>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
36	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI=SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
37	HI=SD>BD	HI=SD>BD	HI>SD>BD	HI=SD>BD	HI>SD>BD	HI>SD>BD
38	HI=BD>SD	HI=SD=BD	HI>SD=BD	SD>HI=BD	HI=SD=BD	SD>HI=BD
39	BD>HI=SD	HI>SD=BD	BD>HI>SD	HI=SD=BD	SD=BD>HI	HI=SD=BD
40	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI=SD	BD>SD>HI	BD>SD>HI
41	HI=SD>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI=BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD
42	HI=SD>BD	HI=SD=BD	HI>SD=BD	HI=SD=BD	SD=BD>HI	SD>HI=BD
43	HI=SD=BD	HI=SD=BD	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI
44	HI=SD=BD	HI=SD=BD	HI>SD=BD	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI
45	HI=SD>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI=BD	SD>HI>BD
46	HI=SD=BD	HI=SD=BD	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>HI=BD	SD>BD>HI
47	HI=SD=BD	HI=SD=BD	SD>HI>BD	SD>HI=BD	HI=SD=BD	SD>HI>BD
48	HI=SD=BD	HI=SD=BD	SD>BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI
49	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>SD=BD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD
50	HI=BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI=BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD
51	HI=BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	HI>BD>SD
52	HI=BD>SD	HI>BD>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	HI>BD>SD
53	HI=SD>BD	HI>SD>BD	HI>SD=BD	HI>SD>BD	HI>SD>BD	HI>SD>BD
54	HI=SD=BD	HI>SD=BD	HI>SD>BD	HI=SD=BD	HI>SD=BD	HI>SD=BD
55	HI=BD>SD	HI>BD>SD	HI>SD=BD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI>SD=BD
56	BD>HI>SD	HI=SD=BD	HI>BD>SD	BD>HI=SD	BD>SD>HI	BD>HI>SD
57	HI=SD>BD	HI>SD>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	HI=SD>BD	HI>SD>BD
58	HI=SD=BD	HI=SD>BD	HI>SD>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	HI=SD>BD
59	HI=SD=BD	HI=SD=BD	HI>SD>BD	HI=SD=BD	SD>HI>BD	HI=SD>BD
60	HI=SD>BD	HI=SD=BD	HI=BD>SD	HI=SD=BD	SD=BD>HI	HI=SD=BD
61	HI=SD>BD	HI=SD>BD	SD>HI>BD	SD>HI=BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD
62	HI=SD=BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	HI=SD=BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD
63	HI=SD=BD	HI=SD=BD	HI=SD=BD	SD>BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI
64	HI=SD=BD	HI=SD=BD	SD=BD>HI	HI=SD=BD	HI=SD=BD	HI=SD>BD

音源 番号	データセット					
	A	B	C	D	E	F
65	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI>SD=BD	HI=BD>SD	HI=SD=BD	BD>HI=SD
66	BD>HI>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
67	HI=BD>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
68	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
69	SD>HI=BD	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>HI=BD
70	HI=SD=BD	SD=BD>HI	HI=SD=BD	SD=BD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI
71	SD=BD>HI	BD>HI=SD	BD>SD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI
72	BD>HI=SD	SD=BD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI
73	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>BD>HI
74	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD=BD>HI	SD>BD>HI	BD>SD>HI
75	SD=BD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI	SD>BD>HI	BD>SD>HI
76	SD=BD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI
77	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
78	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
79	SD>BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD=BD>HI
80	SD=BD>HI	SD=BD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI	SD>BD>HI
81	HI=SD=BD	HI=BD>SD	HI>BD>SD	HI=SD=BD	HI=BD>SD	HI=BD>SD
82	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>SD>HI
83	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
84	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
85	HI>SD=BD	HI>SD=BD	HI=SD>BD	HI=SD=BD	SD>BD>HI	SD>HI>BD
86	BD>HI=SD	HI=SD=BD	HI=SD=BD	SD>HI=BD	SD=BD>HI	HI=SD=BD
87	HI=SD=BD	BD>HI>SD	BD>SD>HI	BD>HI=SD	SD=BD>HI	SD=BD>HI
88	BD>HI=SD	SD=BD>HI	BD>HI=SD	BD>SD>HI	BD>SD>HI	HI=SD=BD
89	HI=SD>BD	SD>BD>HI	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI>BD
90	HI=SD=BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI
91	SD=BD>HI	SD=BD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI	SD>BD>HI	HI=BD>SD
92	SD=BD>HI	SD=BD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD>BD>HI
93	SD>HI=BD	SD>HI>BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI>BD
94	HI=SD=BD	SD>BD>HI	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI
95	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD>HI=BD	SD=BD>HI	BD>HI=SD	SD>BD>HI
96	SD=BD>HI	SD=BD>HI	BD>SD>HI	SD>BD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI
97	HI>SD=BD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD
98	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD
99	HI=BD>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
100	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
101	HI>SD>BD	HI>SD>BD	HI>SD>BD	HI>SD>BD	HI>SD>BD	HI>SD>BD
102	HI=SD=BD	HI=SD=BD	HI>SD=BD	SD=BD>HI	HI=SD=BD	HI=SD>BD
103	HI=SD=BD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	SD>HI=BD	BD>HI=SD	HI=BD>SD
104	HI=SD=BD	BD>HI=SD	BD>HI=SD	SD=BD>HI	SD=BD>HI	BD>SD>HI
105	HI=SD>BD	HI=SD>BD	HI>SD>BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	HI=SD>BD
106	HI=SD=BD	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD>HI=BD	SD>HI>BD
107	HI=SD=BD	HI=SD=BD	HI=SD=BD	SD=BD>HI	SD>HI=BD	SD>BD>HI
108	BD>HI=SD	HI=SD=BD	BD>SD>HI	BD>SD>HI	SD>HI=BD	SD=BD>HI
109	HI=SD>BD	SD>HI>BD	HI=SD>BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI>BD
110	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD=BD>HI	SD>HI=BD	SD>HI>BD
111	HI=SD=BD	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI
112	SD=BD>HI	HI=SD=BD	SD>HI=BD	BD>SD>HI	HI=SD=BD	SD=BD>HI
113	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD
114	HI=BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI=BD>SD	HI>BD>SD	BD>HI>SD
115	HI=BD>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD
116	HI=BD>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD
117	HI>SD>BD	HI>SD>BD	HI>SD=BD	HI>SD>BD	SD>HI=BD	HI>SD>BD
118	HI>SD=BD	HI>SD=BD	HI>SD=BD	HI=SD=BD	HI=BD>SD	HI>SD=BD
119	HI>SD=BD	HI>SD>BD	HI>BD>SD	HI=SD=BD	HI=SD=BD	HI>BD>SD
120	HI=BD>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD
121	HI=SD>BD	HI=SD>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI=BD	HI>SD>BD
122	HI=SD=BD	HI>SD>BD	HI=SD>BD	HI=SD=BD	SD>HI=BD	HI=SD=BD
123	HI=SD=BD	HI=SD=BD	BD>HI>SD	BD>SD>HI	HI=SD=BD	HI=SD=BD
124	HI=SD=BD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	BD>HI=SD	BD>HI=SD	HI=SD=BD
125	SD>HI>BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	SD>HI>BD	HI=SD>BD
126	HI=SD=BD	HI=SD>BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD=BD>HI
127	HI=SD=BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	HI=SD=BD	SD=BD>HI	HI=SD>BD
128	HI=SD=BD	BD>HI=SD	HI=SD=BD	HI=SD>BD	BD>SD>HI	HI=SD>BD

付録 7.8 各音源に対して回答された評価式 (129～256)

音源 番号	データセット					
	A	B	C	D	E	F
129	HI=SD=BD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	HI=SD=BD	BD>HI=SD	HI=SD=BD
130	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI=SD	BD>HI=SD	BD>HI>SD
131	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI=SD	BD>HI=SD	BD>SD>HI
132	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI=SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
133	HI=SD>BD	HI=SD=BD	SD>HI=BD	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
134	BD>HI=SD	HI=SD=BD	HI=SD=BD	BD>HI=SD	SD=BD>HI	BD>SD>HI
135	HI=SD=BD	BD>SD>HI	HI=SD=BD	SD>BD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI
136	BD>HI=SD	BD>HI=SD	BD>SD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI	BD>HI=SD
137	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI>BD	SD>BD>HI	SD>HI=BD	SD>HI=BD
138	SD=BD>HI	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
139	SD=BD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI
140	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI
141	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD
142	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI
143	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD>HI=BD	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI
144	SD=BD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI
145	HI>SD=BD	HI=BD>SD	HI=SD=BD	HI=BD>SD	BD>HI=SD	HI=BD>SD
146	BD>HI>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI=SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
147	HI=BD>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
148	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
149	HI=SD>BD	HI=SD=BD	HI=SD=BD	SD=BD>HI	SD>HI=BD	SD>HI=BD
150	HI=SD=BD	SD=BD>HI	HI=SD=BD	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI
151	HI=BD>SD	BD>HI=SD	BD>HI=SD	SD=BD>HI	SD=BD>HI	BD>HI=SD
152	BD>HI=SD	BD>SD>HI	HI=BD>SD	BD>SD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI
153	SD>HI=BD	SD>BD>HI	HI=SD=BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI>BD
154	HI=SD=BD	BD>HI>SD	HI=SD=BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
155	HI=SD=BD	SD>BD>HI	HI=SD=BD	SD=BD>HI	BD>SD>HI	SD>BD>HI
156	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD>BD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI
157	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD
158	HI=SD>BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
159	HI=SD=BD	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>HI=BD	SD=BD>HI
160	SD=BD>HI	SD=BD>HI	HI=SD=BD	BD>SD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
161	HI>SD>BD	HI=SD=BD	HI=BD>SD	HI=SD=BD	HI>BD>SD	HI>BD>SD
162	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	SD>HI=BD	HI=BD>SD
163	BD>HI>SD	HI>BD>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD
164	HI=BD>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
165	HI>SD>BD	HI>SD=BD	HI>SD=BD	SD>HI>BD	SD=BD>HI	SD>HI>BD
166	HI=SD=BD	HI=BD>SD	HI=SD=BD	SD>BD>HI	SD>HI=BD	HI=SD=BD
167	HI>SD>BD	HI>SD=BD	HI>BD>SD	SD>BD>HI	HI=SD=BD	HI>BD>SD
168	HI=BD>SD	HI>SD=BD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	SD=BD>HI	BD>HI=SD
169	HI>SD>BD	HI>SD>BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	SD>HI>BD	SD>BD>HI
170	HI=SD=BD	HI>SD>BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	SD>HI=BD
171	HI=SD=BD	HI=SD=BD	HI=SD>BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>BD>HI
172	HI>BD>SD	HI=SD=BD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	SD=BD>HI	HI=SD=BD
173	HI>SD>BD	HI>SD>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD
174	HI=SD=BD	SD>HI=BD	HI=SD>BD	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>HI=BD
175	HI=SD=BD	HI=SD=BD	HI=SD>BD	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>HI>BD
176	HI=SD=BD	BD>HI=SD	HI>SD=BD	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
177	HI>BD>SD	HI>SD=BD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD
178	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	BD>HI>SD	HI>BD>SD
179	HI=BD>SD	HI>BD>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	HI>BD>SD	BD>HI>SD
180	HI=BD>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
181	HI>SD>BD	HI>SD=BD	HI>SD>BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	HI>SD>BD
182	HI>SD=BD	HI>SD>BD	HI>SD=BD	SD>HI>BD	HI=SD=BD	HI=SD=BD
183	HI>SD>BD	HI>SD=BD	HI>SD=BD	BD>HI>SD	HI=SD=BD	BD>HI>SD
184	HI=BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD
185	HI=SD>BD	HI>SD>BD	HI>SD>BD	HI=SD>BD	SD>HI>BD	HI=SD>BD
186	HI>SD>BD	HI>SD=BD	HI>SD>BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	SD>HI=BD
187	HI=SD=BD	HI>SD>BD	HI>SD>BD	SD>HI=BD	SD=BD>HI	HI=SD>BD
188	HI=SD=BD	HI=SD=BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	HI>BD>SD
189	HI=SD>BD	HI>SD>BD	HI=SD>BD	HI>SD>BD	SD>HI>BD	HI=SD>BD
190	HI=SD>BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD
191	HI=SD=BD	HI=SD=BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	SD>HI=BD
192	HI=SD>BD	HI=SD>BD	HI>SD>BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI>BD

音源 番号	データセット					
	A	B	C	D	E	F
193	HI>BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI>BD>SD
194	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
195	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
196	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
197	HI>SD>BD	HI=SD=BD	HI=SD>BD	SD=BD>HI	SD>HI=BD	SD>HI=BD
198	BD>HI=SD	HI=BD>SD	BD>SD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI	BD>SD>HI
199	BD>HI=SD	BD>HI=SD	HI=BD>SD	SD=BD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI
200	BD>SD>HI	BD>HI=SD	BD>SD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI	BD>SD>HI
201	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>HI>BD	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI
202	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD=BD>HI	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD=BD>HI
203	HI=SD=BD	BD>HI=SD	BD>SD>HI	SD>BD>HI	SD=BD>HI	HI=SD=BD
204	SD=BD>HI	SD=BD>HI	BD>SD>HI	SD>BD>HI	SD=BD>HI	BD>SD>HI
205	SD>HI>BD	HI=SD>BD	SD>HI>BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
206	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
207	HI=SD=BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD	SD=BD>HI	SD>BD>HI	SD=BD>HI
208	SD=BD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD>BD>HI	BD>SD>HI
209	HI=SD=BD	HI=BD>SD	HI>BD>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD
210	BD>HI>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
211	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
212	BD>HI>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
213	HI=SD>BD	HI=SD=BD	HI>SD>BD	BD>SD>HI	SD=BD>HI	HI>SD>BD
214	HI=SD=BD	SD=BD>HI	HI>SD=BD	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI
215	HI=BD>SD	BD>HI=SD	BD>HI=SD	BD>HI=SD	BD>SD>HI	SD=BD>HI
216	BD>HI>SD	BD>HI=SD	BD>HI=SD	BD>SD>HI	SD=BD>HI	BD>HI=SD
217	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI=BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD
218	HI=SD=BD	SD=BD>HI	HI=SD=BD	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD>BD>HI
219	HI=SD=BD	BD>SD>HI	HI>SD=BD	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI
220	SD=BD>HI	SD=BD>HI	BD>HI>SD	SD>BD>HI	BD>SD>HI	BD>SD>HI
221	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD
222	SD>HI=BD	SD>HI=BD	HI=SD>BD	SD>HI=BD	SD>BD>HI	SD>BD>HI
223	HI=SD=BD	BD>SD>HI	SD>HI>BD	SD>BD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI
224	SD=BD>HI	BD>HI>SD	BD>SD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI
225	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI>BD>SD
226	HI=BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD
227	HI=BD>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD
228	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
229	HI>SD=BD	HI=SD>BD	HI>SD>BD	SD>HI>BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD
230	HI>SD=BD	HI=BD>SD	HI>SD=BD	HI=SD>BD	BD>HI>SD	HI>BD>SD
231	BD>HI>SD	HI=BD>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD	SD>BD>HI	HI=BD>SD
232	HI=SD=BD	HI=SD=BD	HI=SD=BD	BD>HI>SD	BD>HI>SD	HI=BD>SD
233	HI=SD>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI=BD
234	HI=SD=BD	HI>SD>BD	HI=SD=BD	SD>BD>HI	SD=BD>HI	SD>BD>HI
235	HI=SD=BD	HI=SD=BD	HI>SD=BD	SD>BD>HI	BD>HI>SD	SD>BD>HI
236	HI=SD=BD	HI=SD=BD	BD>HI>SD	BD>SD>HI	SD>BD>HI	SD>BD>HI
237	HI=SD>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD
238	HI=SD=BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	SD>BD>HI	SD>HI>BD	SD>HI>BD
239	HI=SD=BD	HI=SD=BD	HI=SD=BD	SD=BD>HI	SD=BD>HI	SD>HI=BD
240	HI=SD=BD	BD>SD>HI	SD=BD>HI	SD=BD>HI	BD>SD>HI	SD=BD>HI
241	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI>BD>SD
242	HI>BD>SD	HI>BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI>BD>SD	HI=SD=BD
243	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD
244	BD>HI>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	SD>HI=BD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
245	HI>SD=BD	HI>SD>BD	HI>BD>SD	HI>SD>BD	HI>SD>BD	HI>SD>BD
246	HI>SD=BD	HI>BD>SD	HI>SD=BD	BD>HI>SD	HI=SD=BD	HI=BD>SD
247	HI>BD>SD	HI=BD>SD	HI=BD>SD	HI=SD=BD	HI=SD=BD	BD>SD>HI
248	HI=BD>SD	BD>HI>SD	HI>BD>SD	HI=SD=BD	BD>HI>SD	BD>HI>SD
249	HI=SD>BD	HI>SD>BD	HI>SD>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	HI=SD>BD
250	HI>SD=BD	HI>SD>BD	HI>SD>BD	BD>HI>SD	SD=BD>HI	SD>HI=BD
251	HI=SD=BD	HI>SD>BD	HI>SD>BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD
252	HI=SD=BD	HI=BD>SD	HI>SD>BD	HI=SD=BD	BD>SD>HI	HI=SD>BD
253	HI=SD>BD	HI>SD>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	HI=SD>BD	HI=SD>BD
254	HI>SD>BD	HI>SD>BD	SD>HI>BD	SD>HI>BD	SD>HI=BD	SD>HI=BD
255	HI=SD=BD	HI=SD=BD	HI=SD>BD	SD>BD>HI	SD>HI=BD	HI=SD>BD
256	HI>SD=BD	HI=SD>BD	HI=SD=BD	HI=SD=BD	SD>HI>BD	HI>SD>BD

付録 9,10 256 パターンの音源における正解の各楽器の音量評価値 (1~128)

音源番号	HI	SD	BD
1	0.58	0.37	0.55
2	0.44	0.31	1.50
3	0.46	0.29	2.25
4	0.42	0.33	3.00
5	0.40	1.20	0.50
6	0.36	1.18	1.10
7	0.33	1.03	1.98
8	0.27	0.96	3.00
9	0.35	2.25	0.40
10	0.32	2.05	0.99
11	0.28	2.03	1.65
12	0.35	1.60	2.47
13	0.31	3.00	0.44
14	0.27	3.00	0.96
15	0.28	2.37	1.90
16	0.30	2.28	2.53
17	1.22	0.35	0.54
18	1.11	0.29	1.32
19	0.92	0.29	2.25
20	1.03	0.26	2.90
21	0.78	1.32	0.45
22	0.68	1.14	1.18
23	0.77	0.87	2.05
24	0.70	0.85	2.90
25	0.79	2.25	0.35
26	0.63	1.90	1.10
27	0.70	1.73	1.73
28	0.56	1.49	2.90
29	0.75	3.00	0.38
30	0.64	2.90	0.91
31	0.60	2.73	1.55
32	0.57	2.60	2.27
33	2.25	0.29	0.46
34	1.71	0.34	1.18
35	1.55	0.26	2.18
36	1.31	0.31	3.00
37	1.90	1.18	0.28
38	1.55	1.06	0.91
39	1.46	0.87	1.74
40	1.24	0.73	2.90
41	1.49	2.18	0.28
42	1.39	1.73	0.93
43	1.08	1.78	1.65
44	1.33	1.59	2.12
45	1.49	2.90	0.28
46	1.15	2.57	0.95
47	1.44	2.50	1.19
48	1.08	2.37	2.20
49	3.00	0.27	0.48
50	2.80	0.27	1.07
51	2.63	0.27	1.73
52	2.47	0.27	2.47
53	2.80	1.03	0.29
54	2.67	0.92	0.75
55	2.70	0.63	1.53
56	1.83	0.75	2.67
57	2.47	1.85	0.27
58	2.30	1.85	0.62
59	2.13	1.73	1.18
60	1.93	1.45	2.13
61	2.05	2.80	0.29
62	2.13	2.47	0.70
63	1.57	2.30	1.60
64	1.93	2.13	1.93

音源番号	HI	SD	BD
65	0.57	0.36	0.57
66	0.52	0.26	1.45
67	0.53	0.27	2.10
68	0.50	0.25	3.00
69	0.31	1.40	0.49
70	0.35	1.07	1.23
71	0.28	0.99	2.18
72	0.29	1.03	2.80
73	0.33	2.25	0.42
74	0.27	1.98	1.15
75	0.26	1.68	2.05
76	0.27	1.60	2.80
77	0.31	3.00	0.44
78	0.28	2.90	0.99
79	0.28	2.70	1.65
80	0.28	2.37	2.53
81	1.18	0.36	0.55
82	0.92	0.29	1.50
83	1.07	0.27	2.10
84	1.00	0.25	3.00
85	1.12	1.16	0.36
86	0.83	1.03	1.15
87	0.74	0.94	1.98
88	0.68	0.95	2.73
89	0.83	2.18	0.36
90	0.73	2.05	0.91
91	0.65	1.63	1.90
92	0.57	1.83	2.43
93	0.83	3.00	0.33
94	0.67	2.83	0.92
95	0.62	2.55	1.66
96	0.55	2.37	2.53
97	2.18	0.28	0.50
98	1.70	0.28	1.30
99	1.60	0.27	2.10
100	1.50	0.25	3.00
101	1.85	1.11	0.33
102	1.58	1.03	0.93
103	1.53	0.84	1.71
104	1.05	0.98	2.63
105	1.58	1.95	0.33
106	1.05	1.98	0.98
107	1.21	1.80	1.49
108	1.03	1.61	2.48
109	1.48	2.80	0.31
110	1.15	2.90	0.78
111	0.99	2.63	1.54
112	1.11	2.30	2.22
113	3.00	0.25	0.50
114	2.63	0.27	1.15
115	2.27	0.28	1.95
116	2.20	0.28	2.70
117	2.83	1.00	0.29
118	2.73	0.77	0.87
119	2.57	0.81	1.36
120	2.20	0.55	2.70
121	2.30	1.98	0.27
122	2.23	1.68	0.77
123	1.83	1.38	1.75
124	2.03	1.23	2.33
125	2.27	2.60	0.28
126	1.63	2.53	0.92
127	2.07	2.27	1.25
128	1.88	2.05	2.07

付録 11,12 256 パターンの音源における正解の各楽器の音量評価値（129～256）

音源番号	HI	SD	BD
129	0.50	0.40	0.60
130	0.48	0.30	1.45
131	0.42	0.33	2.25
132	0.48	0.27	3.00
133	0.38	1.32	0.46
134	0.38	0.95	1.28
135	0.34	1.12	1.80
136	0.32	0.91	2.90
137	0.38	2.25	0.38
138	0.29	2.10	1.03
139	0.29	1.75	1.88
140	0.29	1.75	2.50
141	0.38	3.00	0.38
142	0.30	2.90	0.95
143	0.30	2.60	1.64
144	0.29	2.33	2.50
145	1.32	0.31	0.53
146	0.99	0.28	1.45
147	1.07	0.27	2.10
148	1.00	0.25	3.00
149	0.97	1.19	0.42
150	0.80	1.14	1.06
151	0.78	0.88	2.03
152	0.66	0.89	2.90
153	0.83	2.18	0.36
154	0.75	1.94	0.96
155	0.68	1.80	1.68
156	0.63	1.78	2.37
157	0.88	3.00	0.31
158	0.72	2.80	0.88
159	0.68	2.73	1.43
160	0.62	2.47	2.30
161	2.25	0.31	0.44
162	1.69	0.38	1.13
163	1.73	0.27	1.98
164	1.60	0.27	2.80
165	1.78	1.16	0.33
166	1.49	1.06	0.95
167	1.88	0.83	1.38
168	1.26	0.84	2.63
169	1.73	1.85	0.31
170	1.54	1.73	0.83
171	1.30	1.93	1.28
172	1.51	1.26	2.30
173	1.68	2.73	0.26
174	1.24	2.73	0.81
175	1.36	2.57	1.21
176	1.21	2.23	2.15
177	3.00	0.27	0.48
178	2.83	0.25	1.08
179	2.47	0.27	1.85
180	2.13	0.27	2.80
181	2.73	0.95	0.34
182	2.58	0.96	0.75
183	2.50	0.71	1.56
184	2.45	0.59	2.37
185	2.53	1.78	0.28
186	2.55	1.66	0.62
187	2.18	1.60	1.26
188	2.23	1.43	1.87
189	2.43	2.43	0.28
190	1.97	2.63	0.70
191	1.98	2.23	1.34
192	2.13	2.63	1.23

音源番号	HI	SD	BD
193	0.65	0.28	0.57
194	0.52	0.26	1.45
195	0.50	0.25	2.25
196	0.50	0.25	3.00
197	0.48	1.23	0.40
198	0.34	0.93	1.40
199	0.36	0.88	2.10
200	0.28	0.99	2.90
201	0.33	2.25	0.42
202	0.30	2.03	1.06
203	0.36	1.61	1.80
204	0.28	1.70	2.60
205	0.37	2.90	0.40
206	0.31	3.00	0.88
207	0.34	2.53	1.59
208	0.28	2.37	2.53
209	1.18	0.32	0.59
210	1.07	0.27	1.40
211	1.07	0.27	2.10
212	1.03	0.26	2.90
213	1.05	1.07	0.44
214	0.80	1.14	1.06
215	0.76	0.84	2.10
216	0.73	0.83	2.90
217	0.96	2.25	0.27
218	0.70	1.85	1.07
219	0.80	1.59	1.71
220	0.58	1.66	2.63
221	0.83	3.00	0.33
222	0.74	2.90	0.81
223	0.68	2.37	1.71
224	0.59	2.12	2.70
225	2.10	0.27	0.53
226	1.95	0.28	1.13
227	1.65	0.28	2.03
228	1.70	0.28	2.60
229	1.84	1.14	0.32
230	1.91	0.76	0.97
231	1.53	0.72	1.90
232	1.29	0.96	2.37
233	1.49	2.18	0.28
234	1.20	1.85	0.97
235	1.31	1.63	1.56
236	1.06	1.69	2.33
237	1.55	2.90	0.26
238	1.48	2.63	0.70
239	1.14	2.37	1.59
240	0.95	2.20	2.53
241	3.00	0.25	0.50
242	2.63	0.31	1.07
243	2.40	0.30	1.80
244	2.05	0.35	2.55
245	3.00	0.88	0.31
246	2.48	0.73	1.03
247	2.13	0.78	1.73
248	2.23	0.60	2.57
249	2.47	1.85	0.27
250	2.20	1.55	0.87
251	2.47	1.54	1.11
252	2.07	1.34	2.15
253	2.37	2.53	0.28
254	1.90	2.73	0.68
255	1.85	2.30	1.39
256	2.40	2.15	1.45

研究業績

- [1] Mitsuki Hosoya, Hiroaki Yamaura, Satoshi Nakamura, Makoto Nakamura, Eiji Takamatsu, Yujiro, Kitaide. Does the pop-out make an effect in the product selection of signage vending machine?, 17th IFIP TC.13 International Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT 2019) , Vol.11747, pp. 24–32, 2019.
- [2] 細谷 美月, 山浦 祐明, 阿部 和樹, 中村 聡史. ポップアウトによるユーザの選択行動変容に関する分析, 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , 2018.
- [3] 細谷 美月, 山浦 祐明, 中村 聡史, 中村 誠, 高松 英治. サイネージ型自動販売機の商品選択におけるポップアウトの有用性に関する検証, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol.2019-HCI-181, No.28, pp.1–8, 2019.
- [4] 川島 拓也, 築館 多藍, 細谷 美月, 山浦 祐明, 中村 聡史. 商品選択においてフォントがユーザの選択行動に及ぼす影響の調査, 電子情報通信学会 ヒューマンコミュニケーション基礎研究会 (HCS) , HCS-23, Vol.119, No.38, pp.113–118, 2019.
- [5] 濱野 花莉, 細谷 美月, 佐々木 美香子, 山浦 祐明, 中村 聡史. フォントと味の印象が商品選択行動に及ぼす影響, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2019, No.5A-2, 2019.
- [6] 細谷 美月, 佐々木 美香子, 小松 孝徳, 中村 聡史. 音の長さの変化によりドラム演奏のずれを認識および誘導させるメトロノームシステムの提案, 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol.2020-HCI-187, No.14, pp.1–8, 2020.
- [7] 細谷 美月, 中村 聡史, 森勢 将雅, 吉井 和佳. 演奏の音量バランス練習に向けた音源分離を用いたリアルタイム叩打音量可視化システムの提案, 情報処理学会 研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC) , Vol.2021-EC-59, No.27, pp.1–8, 2021.
- [8] Mitsuki Hosoya, Masanori Morise, Satoshi Nakamura, Kazuyoshi Yoshii. A Real-time Drum-wise Volume Visualization System for Learning Volume-Balanced Drum Performance, International Conference on Entertainment Computing (IFIP ICEC 2021) , Vol.LNCS 13056, pp.154–166, 2021.
- [9] 細谷 美月, 山浦 祐明, 杉本 知佳, 佐々木 美香子, 中村 聡史, 高松 英治, 角南 尚幸. ポップアウトが商品選択行動に及ぼす影響の調査, 情報処理学会論文誌, Vol.62, No.12, pp.2079–2089, 2021.