

# 聴覚障害者の楽器音認知に関する検討 -楽器分類に着目して-

赤木志帆<sup>1,a)</sup> 森山大地<sup>1</sup> 若狭健太<sup>2</sup> 平賀瑠美<sup>3</sup> 安啓一<sup>3</sup> 田淵経司<sup>4</sup> 寺澤洋子<sup>1</sup>

**概要:** 本研究は、中等度から重度の聴覚障害者を対象に 16 種類の楽器音のメロディ (J-POP) 聴取を実施し、聴取における同定難度を計測することで、音楽聴取トレーニングで用いる題材として有効であるか評価することを目的とする。従来、聴覚障害者を対象とした楽器音聴取に関する研究は行われてきたが、その題材は識別課題が多く、楽器ごとの純粋な比較は行われていない。また使用している楽器分類数が少なく、詳細な楽器分類に関する比較は行われていない。そこで本稿では、中等度から重度の聴覚障害者 23 名 (予備実験 3 名, 本実験 20 名) を対象に、分類に着目した楽器音同定テストを実施した結果を報告する。分類が詳細になるほど同定が難しくなると仮定し、4 つの選択肢の楽器音の組み合わせ難度 (楽器音同定難度) を作成した。これを 3 つのレベル (初級, 中級, 上級) に分け、レベル別に正答率と反応時間を比較し、楽器音の同定に差があるか分析し検定を行った。

## Timbre Recognition of Musical Instrument Sounds by Deaf and Hard of Hearing People Focusing on the Instrument Groups

### 1. はじめに

本研究では、中等度から重度の聴覚障害者を対象に、合成音で作成した楽器音のメロディを聴取し、同定難度を計測し分析する。仮説として、楽器分類が詳細になるほど、楽器音の類似度が高くなり同定が困難になるとおく。楽器音の同定難度を測ることによって音楽聴取トレーニングの題材として用いることや人工内耳技術への応用等が期待できる。

近年、補聴器や人工内耳等の耳の聞こえを補う補聴器具の進歩により重度の聴覚障害者が残存聴力を活用しながら音楽を楽しむようになった。しかしながら、音楽を楽しむ一方で健聴者と同じように楽しめているのか、また正しく聞き取れているか自信を持っていない人が一定数いる。これは、聴覚障害教育が音声会話に重きを置いた教育方針であることや音楽聴取時間の不足等が原因であると考えられている。

聴覚障害者が自信を獲得し、音楽を楽しむようになるためには親しみやすい形で音楽を楽しめる場を提供することが必要である [1]。

聴覚障害者がゲームを通じて、楽しみながら音の聴取能力を上げる聴能トレーニングに関する研究が行われている [2-4]。聴能とは音響情報の受容から認識に至る総合的な機能および能力を指す [5]。聴能を向上させることによって、実生活に見られる音環境の状態である聴覚情景を豊かにし、社会・環境との関わりを広げる可能性があると考えられている [2]。

聴覚障害者の音楽教育において、楽器の音色の違いは、打楽器・弦楽器・管楽器の違いは聞き分けられても管楽器のどの楽器かといった細かな違いを音色で分けることは困難であることが多いとされている。これは、補聴器や人工内耳が微細な音色の違いを再現することが難しいことが原因である [6]。

本研究は、これまでの聴覚障害者を対象とした楽器音聴取に関する研究 [7-17] と、詳細な楽器分類に着目し難度を作成した点、また楽器音の純粋な比較を行うために同定課題を実施した点で異なる。どのような楽器が同定しにくいのか、また分類別に楽器音の同定に差があるか分析すること

<sup>1</sup> 筑波大学図書館情報メディア系  
茨城県つくば市春日 1-2

<sup>2</sup> クミナス株式会社  
東京都渋谷区恵比寿 1-15-9

<sup>3</sup> 筑波技術大学産業情報学科  
茨城県つくば市天久保 4-3-15

<sup>4</sup> 筑波大学医学医療系  
茨城県つくば市天王台 1-1-1

a) akaki.shiho.ss@alumni.tsukuba.ac.jp

で、音楽聴取トレーニングで用いる題材として有効であるか評価することが狙いである。

## 2. 関連研究

本章では、聴覚障害者を対象とした楽器音聴取に関する研究を紹介する。楽器音聴取に関する研究は、テスト形式 [7, 9–11, 13, 16, 17] とトレーニング形式 [8, 12, 14, 15] の2種類の形態が存在する。それぞれの形式の研究について説明する。

McDermott ら [7] は、10人の人工内耳ユーザー (CI) を対象に16種類の楽器音の識別テストを実施した。楽器は打楽器と打楽器以外のグループに分けられ、各楽器は8回ずつ提示された。結果は打楽器に属する楽器が打楽器以外に属する楽器より正しく識別した。また、同じグループ内の楽器同士で頻りに回答を間違えていたことがわかった。

Nicole ら [8] は、健聴者 (NH) と CI を対象に音楽トレーニングが音色識別に与える影響を図るために4つの楽器クラス (木管楽器, 打楽器, 金管楽器, 弦楽器) に属する16種類の楽器音の識別テストを実施した。結果は、NH は打楽器を最も正しく識別し、続いて弦楽器, 金管楽器, 木管楽器の順で正しく識別した。対して CI は、打楽器を最も正しく識別し、続いて金管楽器, 弦楽器, 木管楽器の順に正しく識別した。全ての楽器クラスで NH は CI より正しく識別した。

以上の関連研究より、より詳細な楽器分類に関する検討は行われていない。また聴能トレーニングを想定した楽器音聴取に関する難度指標等は検討されていない。楽器音聴取に関する研究は、問題の楽器音が提示された後にその楽器の画像を選択する課題いわゆる識別課題が多く、これは実験参加者の楽器に関する知識や聴取経験が大きく影響する。本研究では、聴覚障害者が楽器音の類似性に基づき回答を選択し、この結果から難度を測ることを目的とするため、識別の段階の知覚レベルを必要としない。

## 3. 楽器音同定難度

本章では、実験で用いる楽器分類に基づいた楽器音同定難度について説明する。本研究で扱う楽器分類は、早坂 [18] の楽器分類を参考に作成した。これを表 1 に示す。この分類は一般的に大衆に知られている楽器また学校の音楽教育現場等で頻りに用いられている楽器が多いことからこれを採用した。今回の実験で用いる音源は全て合成音で作成するため、分類から電子楽器は除いた。また題材としてメロディを用いていることから音階を持たないリズム楽器も除いた。表 1 に示した楽器分類より楽器音同定難度を作成する。仮説は、分類が詳細になるほど楽器音の類似度が高くなり、同定が困難になるとおく。楽器分類の中から、課題で出題する4つの選択肢の楽器音の組み合わせを作成する。これを表 2 に示す。楽器数は関連研究 [7–17] で提示された楽器の個数の最大値が16であることからこれを目安に定

表 1 楽器分類

Table 1 Instrument classification

大分類	中分類	小分類	主な楽器
管楽器	木管楽器	無簧楽器 *1	フルート, リコーダー
		単簧楽器	クラリネット, アルトサクソ
	複簧楽器	オーボエ, ファゴット	
	金管楽器		トランペット, トロンボーン
弦楽器		撥弦楽器	ハープ, アコースティックギター
		擦弦楽器	ヴァイオリン, チェロ
打楽器			マリンバ, ビブラフォン, シロフォン
鍵盤楽器			ピアノ, オルガン

表 2 楽器音同定難度

Table 2 Difficulty of instrumental discrimination

セクション	Level	組み合わせ例				備考
初級	1	弦楽器	管楽器	打楽器	鍵盤楽器	
	2	弦楽器	管楽器	管楽器	打楽器	木管×金管
	3	弦楽器	弦楽器	管楽器	打楽器	小分類が異なる
	4	弦楽器	弦楽器	管楽器	打楽器	小分類が同じ
中級	5	弦楽器	弦楽器	木管楽器	金管楽器	小分類が異なる
	6	弦楽器	弦楽器	木管楽器	金管楽器	小分類が同じ
	7	弦楽器	弦楽器	打楽器	打楽器	小分類が異なる
	8	弦楽器	弦楽器	打楽器	打楽器	小分類が同じ
	9	弦楽器	弦楽器	木管楽器	木管楽器	小分類が異なる
上級	10	弦楽器	弦楽器	木管楽器	木管楽器	小分類が同じ
	11	木管楽器	木管楽器	金管楽器	金管楽器	小分類が異なる
	12	木管楽器	木管楽器	金管楽器	金管楽器	小分類が同じ
	13	撥弦楽器	撥弦楽器	擦弦楽器	擦弦楽器	
	14	単簧楽器	単簧楽器	無簧楽器	複簧楽器	
	15	単簧楽器	単簧楽器	無簧楽器	無簧楽器	

めた。

## 4. 実験

仮説を検証するために2種類 (予備実験, 本実験) の実験を実施した。予備実験では、問題音源と同じメロディかつ同じ楽器の音源を選択する課題が与えられた。各設問で提示される音源は全て同じメロディであった。本実験では、問題音源と異なるメロディかつ同じ楽器の音源を選択する課題が与えられた。4つの選択音源は全て同じメロディであった。

### 4.1 実験参加者

実験参加者は、中等度難聴から重度難聴の聴覚障害を持った成人で定め、また加齢性難聴を考慮し成人の中でも20代の実験参加者を募集した。

予備実験の実験参加者は3名で、性別は男性2名女性1名、平均聴力レベルは60-100dBHL、難聴の種類は伝音性難聴1名感音性難聴2名、補聴器具は補聴器1名人工内耳1名裸耳1名であった。

本実験の実験参加者は20名で、性別は男性11名女性9名、平均聴力レベルは61-130dBHL、難聴の種類は伝音性難聴1名感音性難聴19名、補聴器具は補聴器10名人工内耳6名裸耳2名片耳補聴器片耳人工内耳2名であった。

\*1 簧はリードを意味し、息が吹き込まれると振動し発音する

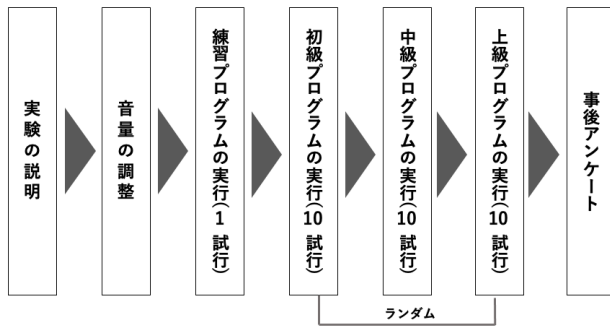


図 1 実験の流れ

Fig. 1 Flow of experiments

実験参加者は参加順からユーザー ID: $S_n$  ( $n$  は自然数) を割り当てた。

#### 4.2 実験環境

実験はオンライン上で実施し、実験参加者は大学の研究室もしくは自室から実験を行った。大学の研究室の暗騒音はおよそ 38.3dB SPL であった。実験は第一著者が開発した MusicMemory アプリを用いて実施した。端末は iPodTouch もしくは iPhone を使用し、音楽聴取はイヤホン、ヘッドホン、外部スピーカー、補聴器等の外部入力、端末の内部スピーカー等、実験参加者が普段音楽を聴く形態で実施した。

#### 4.3 実験音源

実験で使用する音源は、ソフトウェアサンプラーとして Native Instruments の Kontakt を使用し、ライブラリは THE GRANDEUR, FACTORY LIBRARY, CONCERT VIBRAPHONE を使用した。また Presonus によって開発された Studio One という DAW ソフトウェアで上記ソフトウェアサンプラーをプラグインとして用いてメロディ刺激を作成した。楽曲は Billboard JAPAN HOT 100 2021 上半期総合ソングチャートから 60 曲選び、それらの楽曲のサビ 4 小節を抜粋して作成した。秒数はおよそ 5-11sec で音量は -17.8LUFS で正規化した。

#### 4.4 実験手続き

実験の流れを図 1 に示す。簡単な説明と音量調整を終えてから練習プログラムと本番プログラムを実施した。両プログラムは音色同定タスク (図 2 左) と評価タスク (図 2 右) の 2 つの課題で構成されている。音色同定タスクでは、問題音源と 4 つの選択音源を聞き、同じ楽器の音源を見つけたら選択し評価タスクを行う。音源のボタンは何度でも押すことが可能である。各設問で回答の制限時間は設けないが、20 分に 1 度 5 分間の休憩を取った。実験中は誤タップを防ぐため、評価タスク遷移前に確認画面を表示した。評



図 2 音色同定タスクと評価タスク

Fig. 2 Timber discrimination task and evaluation task

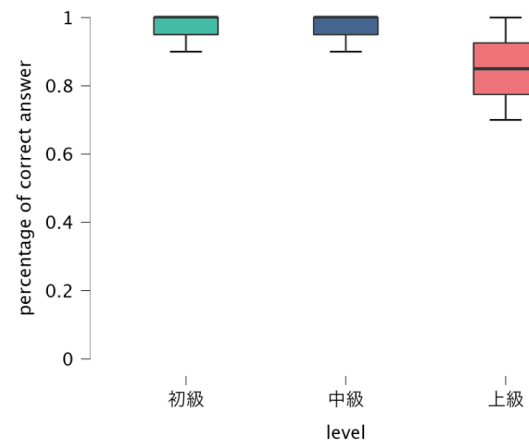


図 3 予備実験のレベル別正答率

Fig. 3 Percentage of correct answers by level in Experiment 1

価タスクでは予備実験では 3 つ、本実験では 4 つの質問を提示し、これを 0-100 の 5 段階で評価する。練習プログラムは 1 試行で問題音源を使用して音量調整を行う。音量は参加者が最も聞きやすい音量に調整した。本番プログラムは 3 つのセクションで構成されている。3 つのセクションは、楽器音の同定難度から Level1-5 を初級, Level6-10 を中級, Level11-15 を上級とする。各レベルで 2 問ずつ問題を提示し、各セクションは 10 試行で構成されている。

## 5. 結果

### 5.1 レベル別正答率

予備実験と本実験のレベル別正答率を比較する。

予備実験で得られた正答率のデータをもとに予備実験のレベル別正答率を算出した。これを図 3 に示す。初級と中級に比べて上級の正答率が低いことがわかる。しかしながら、予備実験では  $S_2, S_3$  の実験参加者は全問正解であったため、 $S_1$  に依存した実験結果となった。つまり、問題が易しく天井効果のある問題であったと結論づけられる。

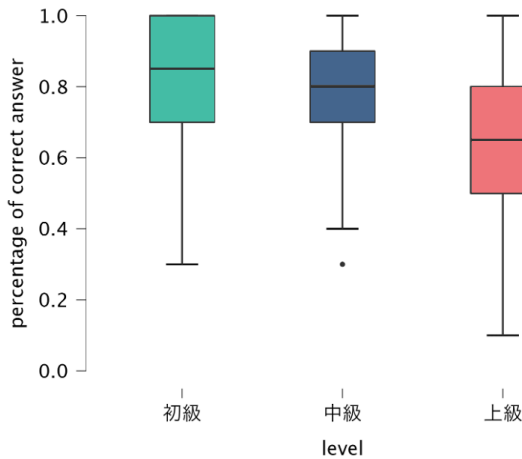


図 4 本実験のレベル別正答率

Fig. 4 Percentage of correct answers by level in Experiment 2

表 3 本実験のレベル別正答率の Dunn's test

Table 3 Dunn's test for percentage of correct answers by level in Experiment 2

Comparison	p	$P_{bonf}$	$P_{holm}$
初級 - 中級	0.179	0.537	0.179
初級 - 上級	< .001	< .001**	< .001
中級 - 上級	0.002	0.006*	0.004

\* $p < .05$  \*\* $p < .001$

本実験で得られた正答率のデータをもとに本実験のレベル別正答率を算出した。これを図 4 に示す。中央値は初級、中級、上級のようにレベルが上がるにつれて低くなっていることがわかる。三群間で有意な差があるか調べるために Kruskal-Wallis 検定を実施した。本研究における有意水準を全て 5% とおく。Kruskal-Wallis 検定の結果、p 値が .001 ( $p < .05$ ) で有意水準を下回るため、三群間で有意な差があるといえる。事後検定として Dunn's test を実施した。この結果を表 3 に示す。p 値はボンフェローニ補正をかけた p 値を採用する。Dunn's test の結果より、初級-上級間の p 値は < .001 ( $p < .05$ )、中級-上級間の p 値は .006 ( $p < .05$ ) で有意水準を下回るため、初級-上級間と中級-上級間には有意な差があるといえる。一方で初級-中級間の p 値は .537 ( $p > .05$ ) で有意な差がなかった。

## 5.2 レベル別反応時間

本実験で得られた反応時間をもとに本実験のレベル別反応時間を比較する。反応時間は音色同定タスクの画面が表示されてから評価タスクの画面に遷移するまでの時間を指す。反応時間が長いほど、複数回音ボタンを押しているもしくは回答に悩んでいるため、難度が高いと考える。反応時間は実験参加者によって大きく異なる。そのため、比較に用いる反応時間は実験参加者ごとに反応時間

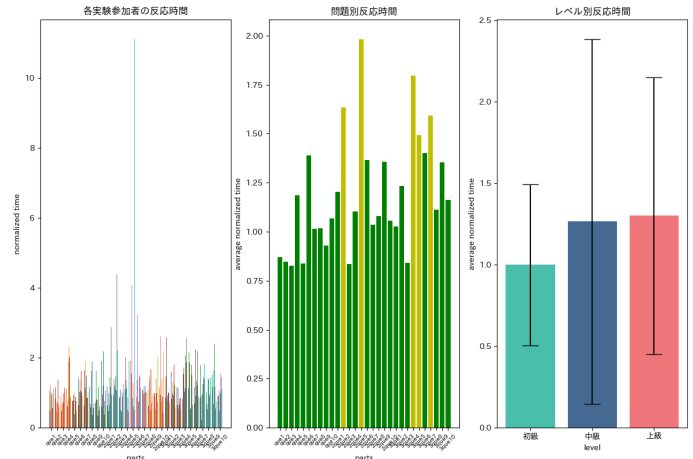


図 5 本実験のレベル別反応時間

Fig. 5 Response time in Experiment 2

表 4 本実験のレベル別反応時間の Dunn's test

Table 4 Dunn's test for percentage of response time by level in Experiment 2

Comparison	p	$P_{bonf}$	$P_{holm}$
初級 - 中級	0.002	0.006*	0.004
初級 - 上級	< .001	< .001**	< .001
中級 - 上級	0.040	0.120	0.040

\* $p < .05$  \*\* $p < .001$

を中央値で正規化した値を採用する。問題別に実験参加者ごとの正規化した反応時間をプロットした図を図 5 の左、問題別反応時間の平均値を図 5 の中央、レベル別反応時間の平均値を図 5 の右に示す。中央の図は、反応時間が長い上位 5 つの問題を色付けしている。que1-10 が初級、2que1-2que10 が中級、3que1-3que10 が上級である。レベル別に反応時間に有意な差があるか調べるために検定を行う。検定は Kruskal-Wallis 検定を実施する。検定の結果、p 値が < .001 ( $p < .05$ ) で有意水準を下回るため三群間に有意な差があるといえる。次に Dunn's test を実施した。この結果を表 4 に示す。Dunn's test の結果より、ボンフェローニ補正をかけた p 値を比較すると、初級-中級間の p 値は .006 ( $p < .05$ )、初級-上級間の p 値は < .001 ( $p < .05$ ) で p 値が有意水準を下回るため、初級-中級間と初級-上級間には有意な差があるといえる。一方で中級-上級間の p 値は .120 ( $p > .05$ ) で有意な差がなかった。

レベル別反応時間の平均値より、初級-中級-上級につれて反応時間が長くなることがわかった。群間の有意差を調べたところ、初級-中級間と初級-上級間に有意な差が見られた。レベル別正答率では、初級-中級間に有意な差がなかったため、以上の結果より、レベル別正答率では説明できなかった初級-中級間の難度差について反応時間から説明することができた。

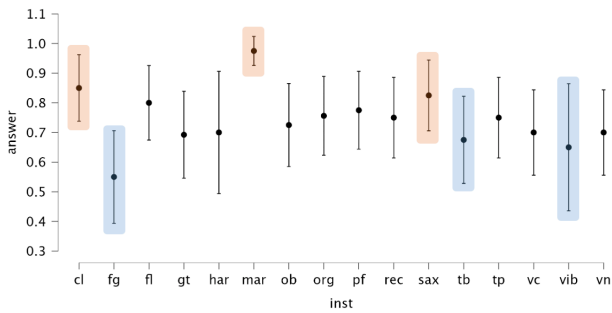


図 6 本実験の楽器別正答率

Fig. 6 Percentage of correct answers by instrument in Experiment 2

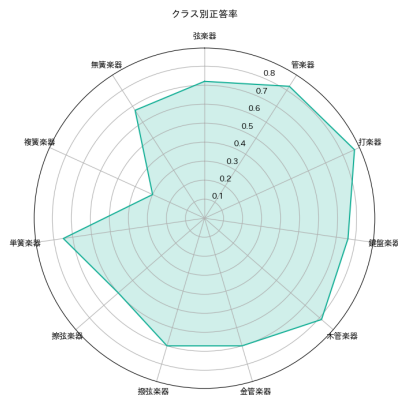


図 7 本実験の楽器クラス別正答率

Fig. 7 Percentage of correct answers by instrument class in Experiment 2

### 5.3 楽器別正答率

本実験の正答率データより、楽器別正答率を算出した。これを図 6 に示す。楽器別に正答率を比較すると、最も正答率の高い楽器はマリimbaで、最も正答率の低い楽器はファゴットであった。関連研究より、打楽器は打楽器以外の楽器群より正しく識別されやすいことから、これを裏付ける結果となった。しかしながら、ビブラフォンは打楽器に属してはいるものの、正答率は低かった。

### 5.4 楽器クラス別正答率

本実験の正答率データより、楽器クラス別正答率を算出した。これを図 7 に示す。最も正答率の高い分類は打楽器で、最も正答率の低い分類は複簧楽器であった。大分類の正答率に比べて小分類の正答率は低いことがわかる。小分類の中でも単簧楽器に属する楽器は比較的に正答率が高かった。

### 5.5 楽器の組み合わせ

本実験の正答率データより、楽器別に間違えた楽器の組み合わせを算出した。これを図 8 に示す。縦軸が提示した楽器で横軸は回答した楽器を表している。斜めのラインが

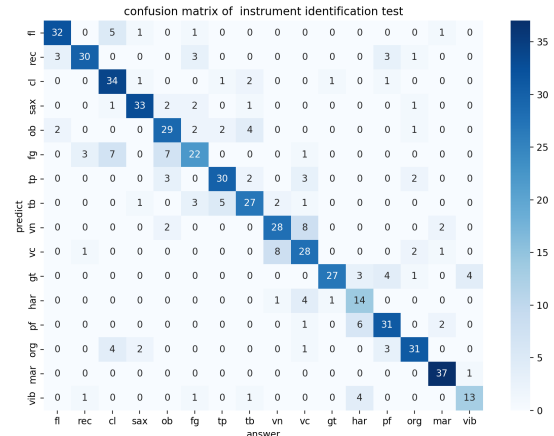


図 8 本実験で提示された楽器の組み合わせの混合行列

Fig. 8 Confusion matrix of instrument combinations

正解した数である。図 8 より、間違えやすい楽器の組み合わせとして、ヴァイオリン-チェロ、ファゴット-オーボエ、トランペット-トロンボーンが挙げられる。どの組み合わせも同じ小分類同士の楽器の組み合わせであることがわかる。最も楽器別正答率の低かったファゴットはオーボエの他に、同じ木管楽器に属する楽器であるクラリネットやリコーダーと間違えることが多かった。

## 6. 考察

予備実験と本実験の結果より、メロディが異なる楽器音の同定はメロディが同じ楽器音の同定より難しいことがわかった。これは、メロディが異なると各音源の楽器の特徴を見つけ出すことが難しいために難度が上がったと考える。レベル別正答率より初級-上級間、中級-上級間の正答率に有意な差があった。初級と中級間の正答率には有意な差がなかった。一方でレベル別反応時間を比較すると、初級と中級の間には有意な差があった。以上のことから、3つのレベルにおいて正答率と反応時間から難度差を説明することができたと考える。楽器別正答率では、マリimbaの正答率が最も高く、ファゴットの正答率が最も低いという結果になった。打楽器が識別しやすいという結果は関連研究で結論づける結果だが、ビブラフォンは打楽器クラスに属するが正答率は低かった。これはビブラフォンの持続時間が長いから、ハープと間違えやすかったと考える。

## 7. おわりに

本研究では、聴覚障害者がどのように楽器音を認知しているのか、楽器分類に基づいた楽器音同定難度を作成し、同定課題を実施した。初級・中級・上級でレベル付したところ、正答率から初級-上級間と中級-上級間に有意な差が見られ、反応時間から初級-中級間、初級-上級間に有意な差が見られた。個々の楽器に着目すると、小分類同士の楽器で

頻繁に間違えていることが多かった。今後は、楽器別楽曲別に音響特徴量を算出し、楽器音の類似性に関する検討を行う。また、全問正解した参加者が複数いたことや全体の正答率が高いことから、現在の難度はトレーニングで用いる上では簡単である。楽器数を増やす・分類をより詳細にする等で楽器音同定難度のレベルをさらに高くする必要があると考えられる。

**謝辞** 本研究はJSPS 科研費 21H00884 および 21H03759 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 寺澤洋子, 平賀瑠美, 音楽情報処理による障害者支援:2. 音楽を楽しむ聴覚障害者 -情報処理技術でもっと楽しもう-. 情報処理.57(3), p254-257, 2016
- [2] 松原正樹, Kjetil F.Hansen, 寺澤洋子, 平賀瑠美, 聴覚障害学生を対象とした聴能向上のための音楽トレーニングプロジェクト, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-MUS-103 No.24, 2014-5-24
- [3] Kjetil F.Hansen, Rumi Hiraga, Zheng Li, Hua Wang, Music Puzzle:An Audio-Based Computer Game That Inspires to Train Listening Abilities, International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, 2013
- [4] 狩野直哉, 松原正樹, 寺澤洋子, 平賀瑠美, 聴覚障害学生に向けたタッピングゲームの開発と印象調査, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-MUS-104, No.4, 2014-8-25
- [5] 一般社団法人日本聴覚医学会, 199, C. 聴覚, 聴能
- [6] 文部科学省, 聴覚障害のある児童のための音楽指導資料, 令和3年3月, [https://www.mext.go.jp/content/20210317-mxt\\_tokubetu01-100002897-3.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20210317-mxt_tokubetu01-100002897-3.pdf), (参照 2021-11-17)
- [7] Hugh J.McDermott, Music Perception with Cochlear Implants: A Review Trends In Amplification,VOLUME 8, NUMBER 2, 2004
- [8] Nicole T.Jiam, Mickael L.Deroche, Patpong Jiradejvong, Charles J.Limb, A Randomized Controlled Crossover Study of the Impact of Online Music Training on Pitch and Timbre Perception in Cochlear Implant Users,Journal of the Association for Research in Otolaryngology,247-262,2019
- [9] Grace L.Nimmons, Robert S.Kang, Ward R.Drennan, Jeff Longnion, Chad Ruffin, Tina Worman, Bevan Yueh, and Jay t.Rubinstein, Clinical Assessment of Music Perception in Cochlear Implant Listeners, Otoi Neurotol, 2008-2-29, pp.149-155
- [10] John J.Galvin 3rd, Qian-Jie Fu, Sandra Oba, Effect of instrument timbre on melodic contour identification by cochlear implant users, The journal of the acoustical society of america, 2008-9-22
- [11] Valerie Looi, Hugh J.McDermott, Colette McKay, Louise Hickson, Music Perception of Cochlear Implant Users Compared with that of Hearing Aid Users, Ear and Hearing, Volume29, Issue3, pp.421-434, 2008
- [12] Virginia D.Driscoll, Jacob Oleson, Dingfeng Jiang, Kate Gfeller, Effects of Training on Recognition of Musical Instruments Presented through Cochlear Implant Simulations, Journal of the American Academy of Audiology, 2009, pp.71-82
- [13] Robert Kang, Grace L.Nimmons, Ward R.Drennan, Jeff Longnion, Chad Ruffin, Kaibao Nie, Jong H.Won, Tina Worman, Bevan Yueh, Jay Rubinstein, Development and Validation of the University of Washington Clinical Assessment of Music Perception Test, Ear and Hearing, 2009, pp.411-418
- [14] Bjorn Peterson, Malene V.Mortensen, Mads Hansen, Peter Vuust, Singing in the Key of Life: A Study on Effects of Musical Ear Training After Cochlear Implantation, Psychomusicology:Music,Mind,and Brain, Vol.22, No.2, pp.134-151, 2012
- [15] Virginia D.Driscoll, The Effects of Training on Recognition of Musical Instruments by Adults with Cochlear Implants, Seminars in Hearing, pp.410-418, 2012
- [16] Olivier Macherey, Alexia Delpierre, Perception of Musical Timbre by Cochlear Implant Listeners A Multidimensional Scaling Study, Ear and Hearing, Volume34, Issue4, pp.426-436, 2013
- [17] Ward R.Drennan, Jacob J.Oleson, Kate Gfeller, Jillian Crosson, Virginia D.Driscoll, Jong H.Won, Elizabeth S.Anderson, Jay T.Rubinstein, Clinical evaluation of music perception, appraisal and experience in cochlear implant users, International Journal of Audiology, Volume54, Issue2, 2015
- [18] 早坂寿雄, 楽器の科学, 社団法人電子情報通信学会誌, 1992