

# 聴覚障害者向けタッピングゲームにおける 視覚手がかりによるリズム認知の短期的学習効果

松原 正樹<sup>1,a)</sup> 狩野 直哉<sup>3</sup> 寺澤 洋子<sup>1</sup> 平賀 瑠美<sup>2</sup>

受付日 2015年7月31日, 採録日 2016年2月8日

**概要:** 日常生活のなかで, 音楽を長時間積極的に楽しむ聴覚障害者は多い. 彼らの音楽スキルが向上することで, より自信を持って音楽を深く楽しめるようになり, ひいては社会生活の改善につながる. また, 音楽を通じて, 複雑に重畳された音の選択的な聴取のスキルが向上し, 環境音や日常生活の混合音の選択的な音聴取能力が向上することも期待される. 本研究では, 聴覚障害者の音聴取能力向上トレーニングを目的としたタッピングゲームの開発を行い, 音楽聴取時に視覚手がかりの有無によってリズム認知能力の短期的学習効果があることを検証した. 実験では, 聴力レベル 76 dB 以上の聴覚障害者 6 名を対象に視覚手がかりの有無やボーカルの有無, 難易度を条件としたタッピング課題を行い, タッピング課題の成績をもとにリズム認知能力の短期的学習効果を確かめた. その結果, 視覚手がかりがある条件のみ短期的学習効果が統計的に有意に現われた. また, 実験参加者へのアンケートやインタビューでは視覚手がかりのあるトレーニングが有益であるという評価を得た. 客観的評価および主観的評価の両方で, このシステムが音楽聴取能力の向上に寄与することが示唆された.

**キーワード:** 聴覚障害, 音楽トレーニング, 視覚手がかり, タッピングゲーム

## Short-term Learning Effect on Rhythm Cognition in a Tapping Game with Visual Cues by Hearing-impaired People

MASAKI MATSUBARA<sup>1,a)</sup> NAOYA KANO<sup>3</sup> HIROKO TERASAWA<sup>1</sup> RUMI HIRAGA<sup>2</sup>

Received: July 31, 2015, Accepted: February 8, 2016

**Abstract:** Some people with hearing impairment actively enjoy music in their every day life. If their music listening skills are improved, they will be able to enjoy music more deeply with confidence; this will lead to an improvement of their quality of life. By listening to music, they can improve their skill to selectively listen complex mixtures of sounds, such as environmental sounds and real-life sounds (e.g., speech and noise). In this study, we developed a tapping game for hearing-impaired people to improve their music listening skills. We also evaluated the short-term learning effects on their musical rhythm cognition with and without visual cues. In the experiment conducted, six people with profound hearing loss (hearing thresholds of more than 76 dB) performed a tapping exercise with variables such as visual cues and music complexity. We evaluated the effect of short-term learning based on their tapping performance. As a result, we found that visual cues significantly improve the tapping score. The questionnaires and interviews also showed that the participants found training with visual cues most effective. Both objective and subjective measures show that this system potentially improves the music listening skill of people with hearing impairment.

**Keywords:** hearing-impaired, music training, visual cue, tapping game

<sup>1</sup> 筑波大学図書館情報メディア系  
Faculty of Library, Information and Media Science, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8550, Japan

<sup>2</sup> 筑波技術大学産業技術学部  
Faculty of Industrial Technology, Technology University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8520, Japan

<sup>3</sup> 筑波大学図書館情報メディア研究科  
Graduate School of Library, Information and Media Studies, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8550, Japan

a) masaki@slis.tsukuba.ac.jp

### 1. はじめに

本論文は聴覚障害者の音楽聴取時に視覚手がかりによってリズム認知能力が短期的に向上するかどうかタッピングゲームを用いて検証するものである.

文部科学省では聴覚障害を「身の回りの音や話し言葉が聞こえにくかったり, ほとんど聞こえなかったりする状態」としている. 聞こえにくい対象は音楽も含むと考えられる

が、実際には聴覚障害を持つプロの音楽家もおり、聴力レベルによらずふだんから音楽を楽しむ聴覚障害者は大勢いる。音楽を聴いたり、プロモーションビデオ (PV) を見たりして、AKB48 や EXILE をはじめとする J-POP にも通じている若者、カラオケに行って歌う聴覚障害者は年齢を問わない。健聴者と変わらず、音楽ゲームをしたり、ニコニコ動画でボーカロイド曲を聴く者、また音楽に合わせてダンスをする者も大勢いる [1]。

Gallaudet 大学や筑波技術大学産業技術学部の学生は全員が聴覚障害を持つ。Gallaudet Dance Company は 1955 年に設立され世界中で公演を行っており、筑波技術大学のストリートダンスサークルは学部学生にとって最も人気のあるサークルとなっている。一方で、自分が楽しんでいる音楽は健聴者の聴く音楽と同じなのだろうか、という不安な気持ちも持っており、カラオケで“入りが分からない”と焦ることもある。それでも音楽を感じ、雰囲気を楽しみ、身体を動かすことで気持ちを高めるといったことは、たとえば音楽の 1 音 1 音を正確に聴き取れなくても可能であることを示唆している。

「聴覚障害があるからといって音楽を受け入れられないものではない」という主張はこれまで音楽療法 [2], [3], 障害科学 [4], 言語発達 [5], 認知科学 [6], [7] など幅広い分野において聴覚障害者と音楽に関する研究で示唆されている。また残存聴力がある聴覚障害者の半数以上は音楽を積極的に楽しんでいたりと、より楽しみたいと思っていることが先行研究の調査で報告されている [1], [4], [8]。

音楽をより楽しむための方法の 1 つとして、メロディやリズム、ハーモニー、楽器の音色といった音楽の要素をとらえることがあげられる。先行研究では等しい聴力レベルを持つ聴覚障害者のリズムの聴取の仕方が異なることが示されている [9]。トレーニングや学習によって音の聴き分けを向上させることができ、これまで人工内耳装用者や聴覚障害児童を対象に単音の音高知覚や楽器の音色の識別能力の向上を目的とした音楽トレーニングが提案されてきた [10], [11]。

こうした音楽トレーニングは単に音楽を楽しめるだけでなく、聴覚障害者の社会生活を改善させる可能性がある。実生活の音環境では、様々な音が重畳されている。カクテルパーティー効果のように、様々な音の重なりから一部の音を選択的に聴取する能力 (以下、聴能と本研究では呼ぶ) は、実生活において、音から情報を効果的に得るために必要である。音が混ざっている場合の聞き取りが苦手な聴覚障害者は多いが、これは、残存聴力が限られていることに加えて、聴能が未発達であることが原因であると考えられる。聴能の向上によって、実生活に見られる声、音楽、環境音などが混在した音環境の理解が向上し、場の雰囲気や察知や非常事態の認識、よりスムーズなコミュニケーションや不測の事態への素早い対応といった社会的スキルの向上

が見込めるが、こういった多様な音が混在する状況を想定した聴能トレーニングは、実施例が少ないだけでなく、楽しさ、面白さに欠けるのが現状である。音楽聴取において、様々な音の重なりからリズムやメロディを聴き分けることは、聴能と関連している可能性が高い。しかし、既存の研究では、音楽活動を行う聴覚障害児の言語習得が優位である [5], [7] といった、言語能力と音楽の相関の報告にとどまっている。そこで、我々は、音の選択的な聴取という観点から、音楽のリズムに基づいたトレーニングに着目した。

リズムの聴き分けは音情報に含まれる時間的な変化や周期的な情報の識別に基づいて行われ、これができるリズムに合わせて身体を動かす (たとえばタッピングやダンス) など音楽をより楽しむことがしやすくなる。本論文では、リズムに合わせてタッピングができる能力のことを「リズム認知能力」と呼ぶ。これまで我々は聴覚障害者と健聴者のリズム認知能力を測るため、音楽聴取時のタッピング課題の調査を行ってきた [12]。調査において、健聴者はリズムに合わせてタッピングを行っていたのに対し、聴覚障害者には個人差が存在し、聴力レベルとは関係なくリズムに合わせてタッピングできない人やできる人がいることが分かった。この結果は、先に示した同じ聴力レベルでもリズムのとらえ方が異なるという結果 [9] と一致する。

そこで我々はタッピングゲームを開発し聴覚障害者のリズム認知能力のトレーニングを行うことを目標とした。図 1 はタッピングゲームの画面例である。ゲームにした理由は、他の聴覚障害者向けの聴能トレーニングと同様に、ゲームがトレーニングの継続を促進させるという効果を狙っているためである [13]。このタッピングゲームでは音楽の再生に合わせて画面上に任意のリズムの手がかりとなるガイドバー (図 1 の短い白い横棒) が上から下へ移動する。ゲームのプレイヤはガイドバーが特定の位置 (図 1 の画面下部にある黄色い長線) を通過するたびにタップすることでリズムに合ったタッピングが行える。本論文ではこ

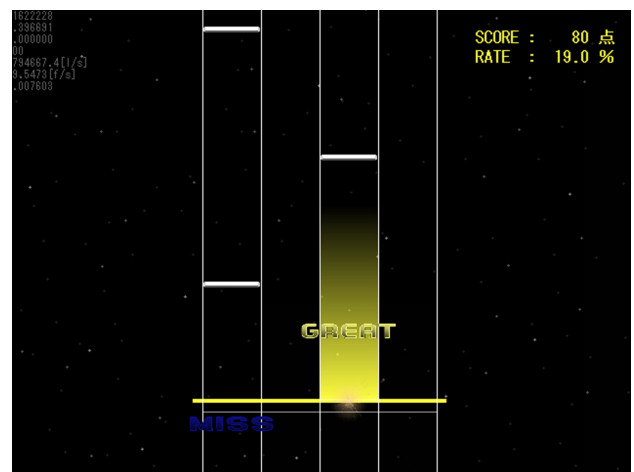


図 1 タッピングゲームの画面例

Fig. 1 User interface of tapping game.

のガイドバーのことを「視覚手がかり」と呼ぶ。

本研究ではリズムは拍を基本とした系列上に構成されるものと考え、リズム認知能力のうち基礎的な能力である拍どおりのタッピングに着目した。視覚手がかりにより拍どおりにタッピングを促せば、音の特徴に動的に注意を向けることができ、リズムを理解する助けになると期待される。ある楽曲を聴きながら視覚手がかりとともにタッピングし、その直後に視覚手がかりなしに同一楽曲で拍どおりにタッピングができるになればその楽曲のリズムを聴き分けできていると推測できる。このことを本論文では「リズム認知能力の短期的学習効果がある」と呼ぶ。逆に短期的学習効果がなければ視覚手がかりとともにタッピングした直後でも、視覚手がかりがないと拍どおりにタッピングできないこととなる。拍どおりのタッピングにおいて視覚手がかりによる短期的学習効果がなければ、より複雑なリズム認知能力（たとえば裏拍を叩く、任意のリズムを叩くなど）のトレーニング効果は期待できない。長期利用によるリズム認知能力のトレーニングを進めるにあたり、基礎的なリズム認知能力の学習効果があるかどうかを検証する必要がある。

以上により、本論文の目的は聴覚障害者を対象にタッピングゲームにおける視覚手がかりがどのような楽曲でリズム認知能力の短期的学習効果があるか実験により検証することとする。

## 2. タッピングゲームの開発と印象調査

1章で述べたとおり、リズム認知能力のトレーニングを目標として一般的な音楽ゲーム\*1を参考に聴覚障害者向けのタッピングゲーム(図1)を開発した。実装にはC++およびDXライブラリ\*2を用いた。開発に際して2度聴覚障害者からシステム使用に関する印象調査を行いフィードバックコメントをもとに改良を行った[14]。以下、印象調査の際に得られた知見のうち本論文に関連のあるものを記述する。

### 2.1 難易度

聴覚障害者を対象としたタッピングゲームの印象調査の際、タッピングが簡単と感じる曲と難しいと感じる曲があることが分かった。使用した楽曲のスペクトログラムを見たところ、聴覚障害者が簡単と感じた楽曲では、低周波域にパワーの高い音が拍と同じタイミングで等間隔に並んでいることが分かった。この音は主にバスドラムなどの打楽器音である。一方、難しいと感じた楽曲では、バスドラムの音が複雑なパターンで並んでいることが分かった。図2に難しさの印象が異なる場合のリズムパターンの例を示す。

本研究では、バスドラムなどの低周波域の音の並びが拍

難しさの印象：簡単



難しさの印象：難しい



図2 難しさの印象が異なるリズムパターンの例

Fig. 2 Examples of rhythm patterns in different difficulties.

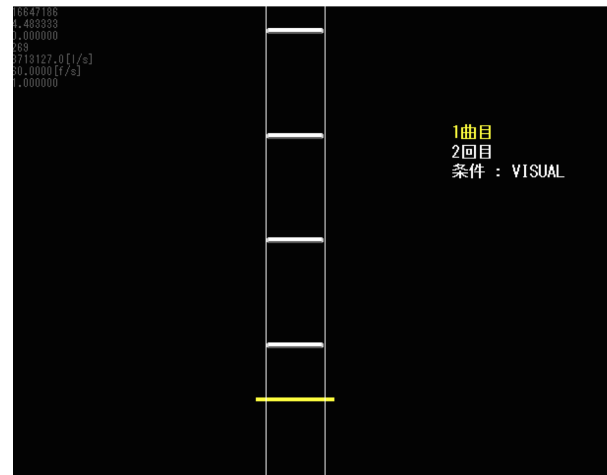


図3 視覚手がかりあり条件(MV条件)での画面

Fig. 3 Screenshot of music and visual condition.



図4 視覚手がかりなし条件(MO条件)での画面

Fig. 4 Screenshot of music only condition.

どおりかどうかで難易度を決定した。

### 2.2 実験時の仕様

短期的学習効果の検証のため、実験用に視覚手がかりの有無を変更できるようにシステム仕様を改変した。図3と図4に視覚手がかりがある場合とない場合での画面例を示す。聴覚障害者を対象としたリズム認知能力を計測した

\*1 たとえば「beatmania IIDX」や「ポップンミュージック」シリーズなど

\*2 WindowsAPIおよびマイクロソフトによる拡張API群DirectXをまとめたゲーム開発用ライブラリ



研究 [15] を参考に、ガイドバーの列を 1 つとし、タスクは拍どおりにタッピングすることとした。刺激音に用いる楽曲は 4 分の 4 拍子である。また途中のテンポ変化もないため、拍と同じく等間隔に視覚手がかりが表示される。

タッピング課題を拍どおりとしたことで、課題が簡単すぎるのではないかという疑問が生じるかもしれない。確かに健聴者を対象とした場合は視覚手がかりの有無にかかわらず音楽に対して拍どおりタッピング行うことは 9 割以上の精度で行えることが先行研究で分かっている [12]。しかし、聴覚障害者が対象の場合、ある楽曲を聴きながら視覚手がかりとともにタッピングし、その直後に視覚手がかりなしで同じ楽曲を拍どおりにタッピングができるようになることは容易ではない。音の情報をいわずに視覚手がかりの時間間隔を記憶しタッピングを再現することについては、以下の理由でほとんどうまくいかない。

- (1) 叩き始めを正確にするのが難しい。拍の叩き始めのタイミングが分からないと、テンポを一定にキープできても正しい拍とずれてしまう。アウフタクトのメロディやイントロがある楽曲だとそのタイミングをつかむのがいっそう難しい。
- (2) テンポを正確に再現するのが難しい。正しい拍の時間間隔を正確に再現しないと、少しでも違った場合に位相がどんどんずれてしまう。
- (3) ITI (Inter Tap Interval) をキープするのが難しい。通常人間がタッピングする場合はメトロノームのように一定の時間間隔で叩いているのではなく ITI に多少の誤差が含まれ、タッピング時に音楽との比較を毎回行って微妙な位相の修正を行っている [16], [17]。

以上により、基礎的なリズム認知能力として拍どおりのタッピングに着目することが聴覚障害者を対象とした場合は妥当であると考えられる。

### 3. 実験方法

前章で述べたタッピングゲームにおいて、視覚手がかりがリズム認知能力の短期的学習効果をもたらすかどうかを検証するための実験を行う。視覚手がかりの有無、難易度、ボーカルの有無によってタッピングの成績がどのように変化するのかについて比較を行う。聴覚障害は個人差の大きいものであり、画一的に測れない部分も多いため、質的な分析を視野に入れて、紙面でのアンケートおよび実験後のインタビューも行う。本実験は筑波大学図書館情報メディア系研究倫理審査委員会の承認を受けて行った。

#### 3.1 実験参加者

実験参加者は 6 名 (男性 4 名, 女性 2 名; 年齢 20 歳~21 歳; 聴力レベルは 76 dB~100 dB 超; 補聴器装用 5 名, 人工内耳装用 1 名) で、リクルーティングは著者らの所属機関内に報酬ありの実験として掲示をして参加希望者を募つ

た。実験参加者はいずれも感音性難聴<sup>\*3</sup>の学生である。また、印象調査に協力してもらった人とは別の人である。

#### 3.2 実験環境

実験参加者は椅子に座り、机の上に置いてある 13 inch のノート PC の画面を見ながらキーボードのスペースキーを叩いてタッピングを行った。PC のスペックは Windows OS, CPU Core i7-3537U, メモリ 8 GB である。スピーカは実験参加者の前方 1 m 程度に配置した。実験開始時に実験参加者がスピーカの音量を自由に調整した。その結果、実験中の耳元での音圧レベルは実験参加者により異なり、おおむね 53 dB SPL から 65 dB SPL だった。室内騒音は 45 dB SPL から 49 dB SPL 程度だった。

本実験においては、低周波数成分を多く含む太鼓の音を使用したため、各音源の振幅・音圧レベルを一致させてもラウドネスが一致しなかった。したがって、Glasberg-Moore のアルゴリズム [18] を用いてラウドネスを統一した。このアルゴリズムは時間的変化のある音のラウドネスを調整することを意図しているため、音楽を用いる本実験に適している。各音源に対して、先述の研究 [18] における Short-Term Loudness Level の音源中の最大値を 86 phon 台となるように調整し、健聴者にとっては同じ大きさとして聴こえるようにした。

#### 3.3 刺激音

実験に用いた刺激は全部で 10 音源である。表 1 に刺激音リストを示す。音楽の選定にあたりタッピング難易度を 2.1 節の結果から「楽曲のリズムを構成する音 (特にバスドラム) の聴き取りやすさ、および規則性」を考慮し、健聴者の判断に基づいて簡単・難しいの 2 つに分け、それぞれ 2 曲の計 4 曲を用意した。また、その 4 曲に対しボーカルあり音源・ボーカルなし音源 (instrumental version あるいはカラオケ version) を用意した (計 8 曲)。ボーカルなし音源は、各楽曲のシングル CD に入っているものを使用した。また使用した楽曲はすべてサンプリング周波数 44,100 Hz, 量子化ビット数 16 bit, モノラルである。

音楽を使った実験の参加者を聴覚障害者をお願いするにあたり、集中して聴くことによる負担を減らすことも実験計画においては重要であり、印象調査においても聴覚障害者から長く聴く必要はないという意見があったことから、切り出しの長さを 10 秒程度 (10 秒~15 秒) とした。いずれも 1 番のサビの部分と思われる箇所を切り出した。使用楽曲中最も遅いものは 80 BPM, 速い曲は 177 BPM であった。80 BPM では 10 秒の切り出しでは約 14 拍, 177 BPM では約 30 拍であり、1 小節 4 拍の曲なので遅い曲の場合音源からは 4 小節 1 フレーズ程度を聴くことになる。このよ

<sup>\*3</sup> 内耳の感覚細胞 (有毛細胞) から大脳の第 1 次聴覚野に至るまでの神経系のどこかに障害があって生ずる難聴のこと

表 1 実験に用いた刺激音のリスト  
Table 1 List of music stimuli.

ID	曲名・音列名	アーティスト	BPM	切り出し区間	難易度	ボーカルの有無
1a	優しさの理由	ChouCho	177	1 min 12.8 sec – 1 min 27.0 sec	難しい	有
1b	桜の木になろう	AKB48	80	1 min 29.9 sec – 1 min 43.7 sec	難しい	有
2a	優しさの理由	ChouCho	177	1 min 12.8 sec – 1 min 27.0 sec	難しい	無
2b	桜の木になろう	AKB48	80	1 min 29.9 sec – 1 min 43.7 sec	難しい	無
3a	ファミリーパーティー	きゃりーぱみゅぱみゅ	142	59.1 sec – 1 min 10.0 sec	簡単	有
3b	レーザービーム	Perfume	135	1 min 10.5 sec – 1 min 21.7 sec	簡単	有
4a	ファミリーパーティー	きゃりーぱみゅぱみゅ	142	59.1 sec – 1 min 10.0 sec	簡単	無
4b	レーザービーム	Perfume	135	1 min 10.5 sec – 1 min 21.7 sec	簡単	無
5a	ホワイトノイズ音列		140		最も簡単	
5b	太鼓音列		120		最も簡単	

うな音源でも健聴者はリズムをとらえることが可能であった。ボーカルあり・なしの同じ楽曲は、同じ部分の抽出である。また、それぞれ1秒未満のフェードイン、フェードアウト加工をしている。

音楽は印象調査とは異なる曲を使用し、一般に若い世代に知られているような J-POP を中心に選んだ。実験およびタッピングゲームの対象が若い世代であり、これまでの調査 [19] や先行研究 [4] から聴覚障害学生には J-POP を好んで聴く者が多いことが分かったためである。

また、最も簡単にタッピングできるであろう音源として、「100 msec に切り取ったホワイトノイズの音列」と「長胴太鼓の音列」を用意した。それぞれ、140 BPM, 120 BPM のテンポで鳴るものである。以下、この2つの音源をまとめてベースラインと呼ぶ。ベースラインの音列に対しては、音が鳴るタイミングに合わせたタッピングとなる。長胴太鼓の音には RWC 研究用音楽データベース [20] に収録された音 (No.40 ND:長胴太鼓) を使用した。

### 3.4 実験手続き

実験は以下の6ステップで行った。

- (1) 実験概要書提示
- (2) 実験参加同意書, 事前アンケート記入
- (3) 教示. 実験実施者が指示しながら練習
- (4) ゲームのプレイ. 各楽曲間に実験中アンケート記入
- (5) プレイ終了. 事後アンケート記入
- (6) インタビュー

(1) の実験概要書提示では、実験参加者は実験概要の他にいつでも実験を中止できることやデータの取り扱い方法について説明を受け、実験の趣旨を理解する。(2) 事前アンケートでは年齢・性別・ふだんの音楽活動などについて記入する。(3) 教示では拍の説明や練習用楽曲を聴きながらタッピングしてゲームの練習を行う。(4) ゲームのプレイについては本節で後述する。(5) 事後アンケートの設問項目については3.6節に記述する。(6) インタビューは自由形式も含め、それまでのアンケート記入結果で曖昧な部

### 視覚手がかりなし (MO条件)



### 視覚手がかりあり (MV条件)

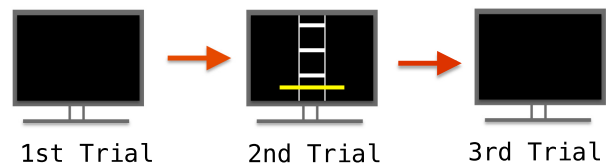


図 5 各条件の1セットの流れ

Fig. 5 Flow of each condition.

分をはっきりさせる。

ゲームのプレイでは、1つの刺激音につきそれぞれ3回繰り返してタッピングを行う。この3回を1セットと呼び、用意した刺激音の10セット分タッピング課題を行う。1セットは図5に示すように3回とも視覚手がかりなしで刺激音に合わせて拍どおりのタッピングを行う条件(以下、MO (Music Only) 条件)とMO条件における2回目だけに視覚手がかりがある場合(以下、MV (Music and Visual) 条件)のどちらかをシステムのプログラムがランダムに選ぶ。各条件の画面は2.2節や図3と図4で示したとおり、MO条件では画面はほとんど真っ暗な状態だが、画面を見ながら音楽を聴くよう教示を行った。

刺激音は難易度、ボーカルの有無、視覚手がかりの有無の条件数に偏りが出ないようにするために、難易度の出現順、同一難易度での音源順、視覚手がかりの呈示順をランダムに決定した。各セット後にはタスクの難しさに関するアンケートを5段階評価で記入してもらい、その後自由に休憩をとってもらう。

表 2 タッピング成績増加に対する 4 要因の分散分析表  
Table 2 ANOVA table of tapping score improvement.

要因	自由度	偏差平方和	平均平方	分散比	p 値	判定
条件	1	0.1970	0.19701	4.478	0.044	*
難易度	2	0.0208	0.01038	0.236	0.791	
ボーカル有無	1	0.0676	0.06761	1.537	0.226	
実験参加者	5	0.1241	0.02482	0.564	0.727	
条件 × 難易度	2	0.2910	0.14550	3.307	0.053	
条件 × ボーカル有無	1	0.0056	0.00559	0.127	0.724	
条件 × 実験参加者	5	0.1420	0.02840	0.646	0.667	
難易度 × ボーカル有無	1	0.0026	0.00263	0.060	0.809	
難易度 × 実験参加者	10	0.2103	0.02103	0.478	0.889	
ボーカル有無 × 実験参加者	5	0.1825	0.03651	0.830	0.540	
誤差	26	1.1440	0.04400			

\*: p < 0.05

### 3.5 評価方法

評価指標としてタッピングの成績（以下、タッピング成績とする。具体的な計算式は本節で後述する）、および、1 回目からの 3 回目のタッピング成績の増加量を用いる。1 つの刺激音につき 3 回繰り返してタッピングを行うため、1 回目と 3 回目のタッピング成績を比較することでタッピング成績が増加したかを検証できる。したがって、MO 条件に比べて、MV 条件のタッピング成績の増加量が大きければ、MV 条件の 2 回目に提示された視覚手がかりによってその楽曲のリズムを構成する音の特徴をとらえ短期的学習効果があったと推測できる。

タッピング成績 *F-Measure* (F 値) は下記の計算式で定義する。

適合率 *P*: 全タップ中の正確に叩けた数の割合  
再現率 *R*: 全拍に対する正確に叩けた数の割合

$$F\text{-Measure} = \frac{2 \cdot P \cdot R}{P + R} \quad (1)$$

また、「正解の拍から前後 16 分音符相当時間長以内のずれ時間で叩けた」ものを、「正確に叩けた」ものとしてカウントする。すなわち、ある拍とそれに対応するあるタップに対して、ある拍の時刻に対応したタップの時刻の差  $\epsilon$  に対し、

$$|\epsilon| < IBI/4 \quad (2)$$

を満たす場合に、あるタップはある拍に対し正確に叩けたと定義する。ただし、1 つの拍に対して正確に叩けたタップが 2 つ以上あった場合、1 つとする。なお、IBI は Inter Beat Interval のことであり、連続する 2 拍の時間間隔である。また、正解の拍は健聴者が複数回叩いた結果の平均をもとに決定した。

タッピングの成績の増加にどのような要因が影響を受けたか調べるため、視覚手がかりの有無のほか、難易度、ボーカルの有無、実験参加者の 4 要因の分散分析を行う。分散分析には R (Ver. 3.1.2) を用いた。

### 3.6 事後アンケート

実験後のアンケートでは、以下の項目について自由記述または選択肢による質問を行った。括弧内は回答方法もしくは選択肢を示す。

- どんな音響の手がかりをもとにリズムをとったか (自由記述)。
- ボーカルの有無によるタッピング課題の難易度の違いを感じたか (感じた・感じない・分からない)。
- リズム表示があれば簡単だったか (音だけより簡単・音だけより難しい・分からない)。
- リズム表示ありの直後のリズム表示なしの試行は簡単に感じたか (感じた・感じない・分からない)。
- その他、自由記述によるコメント。

## 4. 実験結果

### 4.1 分散分析の結果

タッピング成績増加量がどのような要因に影響を受けているかを調べるため、視覚手がかりの有無 (条件)、難易度、ボーカルの有無、実験参加者の 4 要因による分散分析を行った。分析の結果を表 2 に示す。主効果は有意水準 5% で、「条件」の要因に有意差があった ( $p = 0.044$ )。交互作用では条件と難易度の組合せにおいて有意傾向が見られた ( $p = 0.053$ )。

各条件における 1 回目と 3 回目のタッピング成績の平均を図 6 に示す。MO 条件、MV 条件それぞれにおいて、タッピング成績の増加量に対して符号検定を行った。検定の結果、MV 条件ではタッピング成績が有意に増加した ( $p < 0.001$ )。

難易度ごとのタッピング成績の増加量平均を図 7 に示す。難易度によってタッピング成績の増加量に差があることを調べるために、Wilcoxon の符号付き順位検定による多重比較検定 (ボンフェローニ法による補正) を行った。検定の結果、MV 条件において難しいと簡単な楽曲の間に



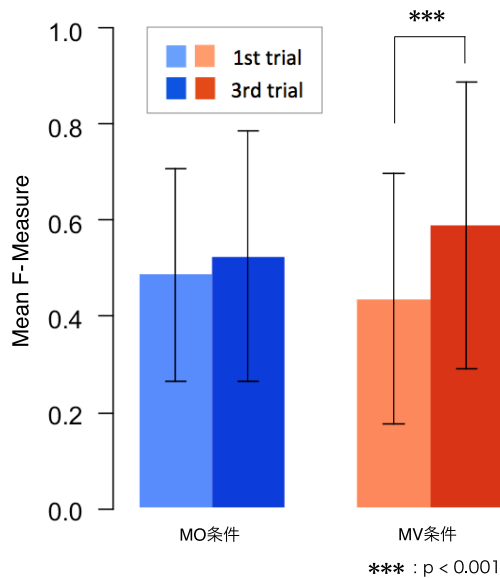


図 6 条件ごとのタッピング成績  
Fig. 6 F-measure in each condition.

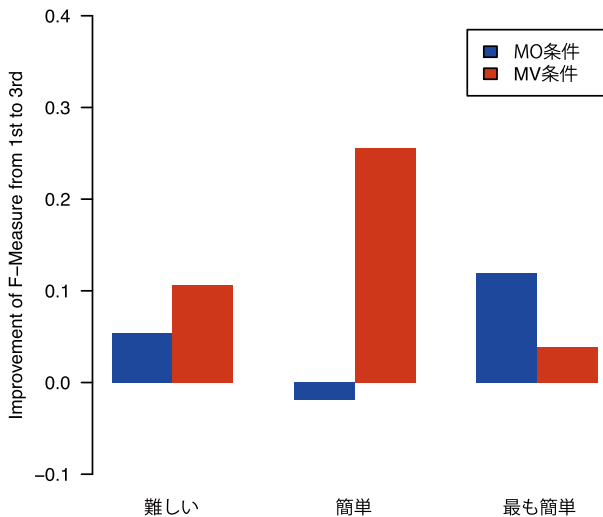


図 7 難易度ごとのタッピング成績の増加量  
Fig. 7 Improvement of mean F-measure in difficulty.

有意傾向が見られた ( $p = 0.083$ ).

また、条件や難易度によるタッピングの違いをある実験参加者の実例として図 8 に示す。(a) と (b) はどちらもリズム認知の難易度が低い楽曲である。(a) は MV 条件でタッピングを行っているので、2 回目に視覚手がかりによるタッピングが行われている。どちらも 1 回目の試行では拍に合わせてタッピングできているようには見えない (F 値 (a) は 0.29, (b) は 0.39)。しかし、(a) の方は視覚手がかりがあったおかげで 2 回目はほとんどの拍を正しく叩いている (F 値 0.97)。そして 3 回目のタッピングも 2 回目同様に叩けるようになっていく (F 値 0.91)。それに対し、MO 条件の (b) では視覚手がかりがないため、2 回目も 3 回目も一定の時間間隔で叩いてはいるものの拍に合わせてタッピングできていない (F 値 2 回目 0.35, 3 回目 0.40)。

表 3 各条件ごとの難しさの印象 5 段階評価の平均 (1: 簡単～5: 難しい)

Table 3 Difficulty impression in each condition (1: easy - 5: difficult).

	難しい	簡単	最も簡単
MO 条件	3.6	3.5	2.4
MV 条件	3.9	2.5	2.0

この傾向は実験参加者によらず同じであった。

また、(c) は MV 条件で難易度が高い楽曲である。難易度が低い (a) と比べると、1 回目から 3 回目のタッピング成績が増加 (F 値 (a) は 0.29 から 0.91, (c) は 0.27 から 0.63) したが両者の伸び方は異なる。どちらも 2 回目の試行では視覚手がかりのおかげで拍に合わせてタッピングができていく (F 値 (a) は 0.97, (c) は 0.94)。しかし 3 回目の試行を比べると、(a) では 2 回目と同様にほとんど拍どおりに叩いていた (F 値 0.91) のに対し、(c) では音楽開始後 7 秒くらいまでは拍とずれて叩き、その後は拍どおりに叩いた (F 値 0.63)。

#### 4.2 アンケート集計結果

難易度という言葉について「我々が設定した刺激音の難易度」と「実験参加者が感じた難しさ」を区別するため、本論文では後者を「難しさの印象」と呼ぶ。表 3 に実験中に行った難しさの印象の 5 段階評価の結果について記す。Wilcoxon の符号付き順位検定を行ったところ、MV 条件においてのみ楽曲の難しさの印象に、有意差の傾向が見られた ( $p = 0.056$ )。

MV 条件における視覚手がかりに関するアンケートの自由回答で、視覚手がかりが提示される 2 回目の試行だけでなく、直後の 3 回目の試行のタッピングの手助けになると、6 名全員が答えた。また、自由記述で「リズム感覚をきたえるのにちょうどいいゲームだと思いました」というトレーニング利用の可能性についての回答もあった。

どんな音を手がかりにしてリズムを聴き分けるか、という点で様々な意見が出た。視覚手がかり以外の音の手がかりについての自由記述では延べ人数で、「音の高低」に言及した者が 5 名、「音の強弱」が 3 名、「楽器」が 4 名のうち 3 名は打楽器・ベース・ピアノといった楽器名をあげた。

### 5. 考察

#### 5.1 タッピング時の手がかり

MV 条件では、短期的学習効果が認められた (図 6)。短時間にもかかわらず叩けるようになった (図 8) のは、視覚手がかりによってリズムを構成する音の特徴をとらえることができ、3 回目のタッピング時に適応できたと考えることができる。Dynamic Attending Theory [21] によれば人間の注意は動的に変化し、拍のように周期性を持つ場

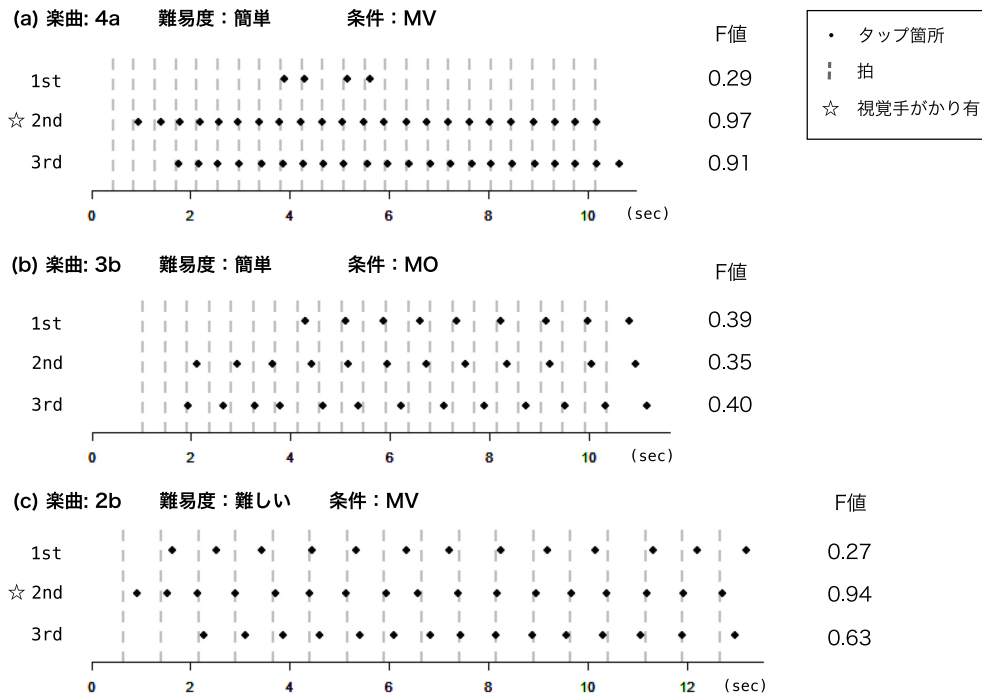


図 8 条件や難易度によるタッピングの違い

Fig. 8 Differences of tapping in difficulty and condition.

合は、徐々に拍のタイミングで注意の時間分解能が高まっていくことが知られている。これを利用して、特に音楽のタッピングにおいては、周期的な視覚フィードバックと組み合わせることでタッピングの精度を向上させることができる [16]。今回のタッピングゲームにおける視覚手がかりも、周期性を持って正しい拍をガイドしたため、聴取者の音への時間分解能が高まり拍と関連のある部分の音だけに集中できるようになったと推測される。

また、実験参加者全員が一部の楽曲において短期的学習効果を実感したことを示唆した (4.2 節)。そして、音の高低、特に、低い音を頼りにしてリズムを聴き分けるという意見が多く出た。これは、低周波かつ大きな音で拍を刻んでいるバスドラムの音が主な手がかりになっていると推測される。ただし、ピアノを手がかりにしたという者や、ボーカルも手がかりになると答えた者もあり、実験参加者や楽曲によって手がかりは変わりうるものと思われる。

## 5.2 難易度

最も簡単なベースライン (太鼓やホワイトノイズの音列) においてどちらの条件下でも伸びが 0.1 程度と小さかった (図 7) のは、天井効果が要因であると考えられる。ベースラインの楽曲ではどの実験参加者も視覚手がかりの有無にかかわらず、1 回目からタッピング成績が 0.9 程度とほとんど拍どおりに叩いていたため、タッピング成績が上がりきらなかったといえる。

難易度と条件の交互作用では有意傾向が示され、図 7 に示すようにベースラインを除き、難しい楽曲に比べて簡単

な楽曲ではタッピング成績が増加した ( $p = 0.083$ )。理由として考えられるのは、簡単な楽曲の方が、視覚手がかりがある 2 回目の成績が 3 回目の試行時に維持されやすいからである。実験参加者が、視覚手がかりありのタッピング時に刺激音のテンポを覚え、リズムを構成している低周波域の音が拍どおりに等間隔で並んでいることを意識できるようになると考えられる。最も簡単なベースラインにおいて視覚手がかりの有無にかかわらず拍どおりにタッピングできていたことを考えると、聴覚障害によって刺激音が聞こえていないわけではなく、単純な拍どおりのリズムをとらえられないということでもない。刺激音のテンポ感とリズムを主に形成している音を予測できるようになれば、視覚手がかりがなくてもリズムをとらえることが可能であると考えられる。

また、主観評価では、MV 条件のみにおいて、難易度が高い楽曲に比べ難易度が低い楽曲が簡単な印象であると評価される傾向にあった (表 3)。これは、簡単な楽曲で視覚手がかりによって成績が増加した結果と一致する。

ボーカルの有無による難しさの印象に関する自由記述を要約してみると、「ボーカルがない方が簡単」と答えた者 2 名、「ボーカルがある方が簡単」と答えた者 2 名、「知っている曲ならばボーカルがある方が簡単」と答えた者 2 名となった。先行研究 [12] ではボーカルがない方があるよりもタッピング成績が有意に良いという結果や、印象調査 [14] では「ない方が簡単」のみの意見が出ていたが、ボーカルの有無に関しては、個人差が見られる結果となった。これは聴覚障害は個人差の大きいものであり、たとえ聴力レベ



ルが同じでも人によって低周波域が聞こえにくい、高周波域が聞こえにくいなど実験参加者によって結果が悪い理由が異なるためであると考えられる。より詳細な分析のためには聴覚検査の結果をもとに考察を行う必要がある。

## 6. まとめと今後の展望

本論文は、聴覚障害者向けタッピングゲームにおける視覚手がかりが、リズム認知能力の短期的学習効果をもたらすことを実験により検証した。その結果、視覚手がかりのない条件と比較し、視覚手がかりのある条件においてタッピング成績が増加した。また、視覚手がかりのある条件のうち難易度が低い楽曲では、タッピング成績の増加が示唆された。さらに、アンケートやインタビューにおいても、聴覚障害者本人の短期的学習効果の実感があったことが示唆された。

今後の展望としては、既存の聴覚障害者向けの聴能トレーニングと同様に、本システムの長期利用による学習効果が期待できる。継続的なトレーニングの結果、未知の楽曲に対してもリズムに合わせてタッピングできるようになる「学習の転移」が生じるかを検証する。トレーニング前後で同一のビート認知テストを行い成績を比較することで検証可能だろう。これまで健聴者を対象としたビート認知テストは、知覚テスト、タッピング生成テスト、記憶テストなどが提案されているが [22], [23], [24], 聴覚障害者向けビート認知テストはまだ提案されていない。聴覚障害者のきこえに個人差があることから楽曲の難易度や計測方法など今後検討する必要がある。

謝辞 実験に参加していただいた6名の聴覚障害学生に感謝する。本研究はJSPS科学研究費26282001, 26790512の助成を受けた。

## 参考文献

- [1] Matsubara, M., Terasawa, H., Hansen, K.J. and Hiraga, R.: An inquiry into hearing-impaired student's musical activities - How do they listen to the music?, *Proc. ICMPC 13-APSCOM 5*, p.385 (2014).
- [2] Darrow, A.A.: The role of music in deaf culture: Deaf students' perception of emotion in music, *Journal of Music Therapy*, Vol.XLIII, No.1, pp.2-15 (2006).
- [3] Dikla, K.: The effect of music therapy on spontaneous communicative interactions of young children with cochlear implants, Ph.D. thesis, Aalborg University, Denmark (2009).
- [4] 太田康子, 加藤靖佳: 聴覚障害生徒の音楽活動に関する実態調査, *ろう教育科学*, Vol.44, No.3, pp.129-139 (2002).
- [5] Torppa, R., Faulkner, A., Järvikivi, J. and Vainio, M.: Acquisition of focus by normal hearing and cochlear implanted children: The role of musical experience, *Proc. 5th International Conference on Speech Prosody* (2010).
- [6] Mitani, C., Nakata, T., Trehub, S.E., Kanda, Y., Kumagami, H., Takasaki, K. and Takahashi, H.: Music recognition, music listening, and word recognition by deaf children with cochlear implants, *Ear and Hearing*, Vol.28, No.2, pp.29-33 (2007).
- [7] Trehub, S.E., Vongpaisal, T. and Nakata, T.: Music in the lives of deaf children with cochlear implants, *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol.1169, No.1, pp.534-542 (2009).
- [8] Gfeller, K., Christ, A., Knutson, J.F., Witt, S., Murray, K.T. and Tyler, R.S.: Musical backgrounds, listening habits, and aesthetic enjoyment of adult cochlear implant recipients, *Journal of the American Academy of Audiology*, Vol.11, pp.390-406 (2000).
- [9] Gfeller, K., Woodworth, G., Witt, S., Robin, D.A. and Knutson, J.F.: Perception of rhythmic and sequential pitch patterns by normally hearing adults and adult cochlear implant users, *Ear and Hearing*, Vol.18, pp.252-260 (1997).
- [10] Gfeller, K., Mehr, M. and Witt, S.: Aural rehabilitation of music perception and enjoyment of adult cochlear implant users, *Journal of the Academy for Rehabilitative Audiology*, Vol.34, pp.17-27 (2001).
- [11] Driscoll, V., Oleson, J. and Gfeller, K.: Effects of training on recognition of musical instruments presented through cochlear implant simulations, *Journal of the American Academy of Audiology*, Vol.20, pp.71-82 (2009).
- [12] Matsubara, M., Terasawa, H. and Hiraga, R.: The effect of musical experience on rhythm perception in hearing-impaired undergraduates, *Proc. IEEE Conference on System, Man and Cybernetics*, pp.1666-1669 (2014).
- [13] Hiraga, R. and Hansen, K.F.: Sound preferences of persons with hearing loss playing an audio-based computer game, *Workshop of ACM Multimedia 2013, IMMPCD*, pp.25-30 (2013).
- [14] 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, *情報処理学会音楽情報科学研究会研究報告*, Vol.2014-MUS-104, No.4, pp.1-7 (2014).
- [15] 林田真志, 加藤靖佳: 聴覚障害児・者のリズム知覚・表出に及ぼす刺激呈示条件の効果: タッピング反応を指標として, *特殊教育学研究*, Vol.41, No.3, pp.287-296 (2003).
- [16] Iversen, J.R., Patel, A.D., Nicodemus, B. and Emmorey, K.: Synchronization to auditory and visual rhythms in hearing and deaf individuals, *Cognition*, Vol.134, pp.232-244 (2015).
- [17] Repp, B.H.: Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature, *Psychonomic Bulletin & Review*, Vol.12, No.6, pp.969-992 (2005).
- [18] Glasberg, B.R. and Moore, B.C.: A model of loudness applicable to time-varying sounds, *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol.50, No.5, pp.331-342 (2002).
- [19] 松原正樹, Hansen, K.F., 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, *情報処理学会音楽情報科学研究会研究報告*, Vol.2014-MUS-103, No.24, pp.1-5 (2014).
- [20] 後藤真孝, 橋口博樹, 西村拓一, 岡 隆一: RWC 研究用音楽データベース: 音楽ジャンルデータベースと楽器音データベース, *情報処理学会音楽情報科学研究会研究報告*, Vol.2002-MUS-45-4, No.40, pp.19-26 (2002).
- [21] Large, E.W. and Jones, M.R.: The dynamics of attending: How people track time-varying events, *Psychological Review*, Vol.106, No.1, pp.119-159 (1999).
- [22] Grahn, J.A. and Brett, M.: Rhythm and beat perception in motor areas of the brain, *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol.19, No.5, pp.893-906 (2007).
- [23] Iversen, J.R. and Patel, A.D.: The Beat Alignment Test (BAT), *Proc. ICMPC2008*, pp.465-468 (2008).

- [24] Fujii, S. and Schlaug, G.: The Harvard Beat Assessment Test (H-BAT): A battery for assessing beat perception and production and their dissociation, *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol.7, p.771 (2013).



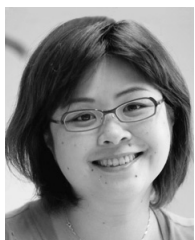
松原 正樹 (正会員)

筑波大学図書館情報メディア系特任助教, 同大学知的コミュニティ基盤研究センター共同研究員. 博士 (工学). 日本認知科学会野島久雄賞. きこえの熟達に興味を持ち Cognitive Musicology, Assistive Technology の研究に従事. 人工知能学会, 日本認知科学会, 日本音響学会各会員.



狩野 直哉

2014年筑波大学情報学群情報メディア創成学類卒業. 現在, 同大学大学院図書館情報メディア研究科前期博士課程に在籍. 聴覚障害者を対象とした音楽トレーニングに関する研究に従事.



寺澤 洋子 (正会員)

電気通信大学大学院電子工学専攻修士課程修了, スタンフォード大学CCRMA 博士課程修了. Ph.D. (Music). 筑波大学 TARA センター研究員, 東京藝術大学非常勤講師等を経て, 現在, 筑波大学図書館情報メディア系助教.



平賀 瑠美 (正会員)

筑波技術大学産業技術学部教授. 東京大学理学部情報科学科卒業, 筑波大学大学院理工学研究科・工学研究科修了. 日本 IBM 東京基礎研究所, 文教大学を経て現職. 博士 (工学). 感情の伝達, 聴覚障害者の音楽聴取の研究に従事. 本会音楽情報科学研究会前主査, アクセシビリティ研究会主査. IEEE, ACM 各会員.