

# タッピングゲームの長期的な利用を通じた 聴覚障害者のリズム認知能力に関する検討

狩野 直哉<sup>1</sup> 松原 正樹<sup>2</sup> 寺澤 洋子<sup>2,3</sup> 平賀 瑠美<sup>4</sup>

**概要:** 本研究では、聴覚障害者を対象としたリズム認知能力向上のための音楽ゲーム「タッピングゲーム」を開発し、長期的利用の実験を行った。実験を通じてタッピングゲームが聴覚障害者のリズム認知能力に与える長期的なトレーニング効果を検討したほか、アンケートによる意見聴取や聴覚障害者のリズムに関する能力の分析もおこなった。実験では聴力レベル 76dB 以上の聴覚障害者 4 名が参加し、5 ヶ月に渡ってトレーニングとテストを交互におこなった。結果としてはリズム認知能力の向上は確かめられず、プレイ時間の不足などの実験手続きの不備に起因するものと推察された。被験者に対しおこなったアンケートでは、タッピングゲームの効果を肯定する知見が得られ、長期的なトレーニング効果は完全に否定されたものではないと予想された。実験結果の副次的な分析からは、聴覚障害者のリズム認知に関する知見が得られた。

## Investigation about hearing-impaired people's rhythm-cognition ability by means of their long-term use of tapping game

KANO NAOYA<sup>1</sup> MATSUBARA MASAKI<sup>2</sup> TERASAWA HIROKO<sup>2,3</sup> HIRAGA RUMI<sup>4</sup>

### 1. はじめに

聴覚障害者が音楽を受け入れ、有効活用できることは、様々な分野での研究において示唆されている [3], [5], [18], [23], [24]。また、聴覚障害者の半数以上は音楽を積極的に楽しんでいることが複数のアンケート調査から分かっている [7], [16], [21]。彼らは、単に音楽を聴取する以外にも、カラオケ、音楽ゲーム、ダンスや楽器演奏など、様々な形で音楽と深く関わっている [16]。一方で、音楽聴取に不安を感じている聴覚障害者もいる。自分の聴いている音楽が健聴者と同じではない可能性を考えたり、カラオケで「入りが分からない」と焦ることもある。

音楽を楽しむ、より自信を持って楽しみたいという聴覚障害者に向けた音楽トレーニングは有用である。先行研究において、聴覚障害者に向けた音楽トレーニングの可能性を調査したもの [15] や、実際のトレーニングを提案してい

るもの [6], [8] がある。これらの研究は、聴覚障害者がトレーニングを通じて音高の知覚や楽器の音色の聞き分けの能力を向上させることが可能であることを示唆している。

本研究では、音楽の中のリズムに着目したトレーニングを検討する。リズムは音楽において、メロディ、ハーモニー、音色などと並んで重要な要素の一つである。特に、聴覚障害者にとって、リズムは音楽を判別・同定する際に最も重要な要素である [9], [13]。一方で、ろう学校に向けたアンケート調査では、音楽の授業で生徒にリズムの理解を促すことが困難であるとしている [20]。以上のような状況から、聴覚障害者のリズム認知能力をトレーニングすることは意義があると考えられる。

#### 1.1 リズム認知能力

一般に、人間のリズムに関する能力については様々な研究がおこなわれており、その計測方法も様々である。聴覚障害者を対象としたリズム能力の計測方法も様々に提案されている [1], [2], [10], [11], [14], [25] が、それらは、例えば正弦波などを用いたリズムパターンの同定課題などのよう

<sup>1</sup> 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科

<sup>2</sup> 筑波大学図書館情報メディア系

<sup>3</sup> JST さきがけ

<sup>4</sup> 筑波技術大学産業技術学部

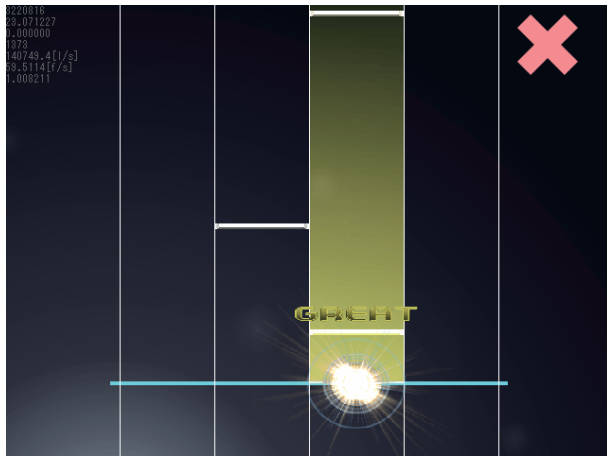


図 1 タッピングゲームの画面  
Fig. 1 Tapping Game Interface

な基礎的なリズム能力の測定にとどまっている。

実際の音楽を聴くときに必要とされる能力は、さらに複雑である。すなわち、複雑に重畳された複数の音から、リズムを喚起する音を選択的に聴き取った上で、リズムを認知し理解することが求められる。本稿では、このような、音楽のリズムを認知し理解する能力のことを「リズム認知能力」と呼ぶ。

本研究では、リズム認知能力を計測するための手法として、Iversen らの研究 [12] を参考とする。Iversen らの提案するリズム認知能力テスト“Beat Alignment Test”は、実際の音楽を用いた手法を採用しているため、実践的なリズム認知能力が計測できるのではないかと考える。

## 1.2 タッピングゲーム

ゲーミフィケーション（非ゲーム的なコンテキストにゲームデザインの要素を使用すること [4]）は、学習やトレーニングの効率を向上させることが知られている。よって、本研究では、音楽ゲームを用いた、聴覚障害者向けのリズム認知能力トレーニングの可能性を検討する。

一般的な音楽ゲームの多くは「可視化されたリズムを参考にしながら、音楽のリズムに合わせてなんらかの操作（ボタンを押す等）を行う」という形式をとっている。そして、この形式はリズム認知能力を必要とするものである。このような音楽ゲームを繰り返しプレイすることは、リズム認知能力の向上につながるのではないかと考える。

この考えのもと、我々は、一般的な音楽ゲームに共通する形式をシンプルな形で抽出した「タッピングゲーム」を開発した。タッピングゲームの画面の例を図 1 に示す。画面に表示されるリズム情報を頼りにしながら、音楽に合わせて指定の場所をタッチパネルでタップするゲームである。正しいタイミングで正しい場所をタップできれば得点が入り、プレイヤーは高得点を取ることを目標とする。

我々が以前行った実験では、聴覚障害者がタッピング

ゲームをプレイすると短期的には学習効果が生じることが分かった [17]。すなわち、ゲームのプレイ直前でリズムを聴き取れなかった楽曲が、プレイ直後ではリズムを聴き取れるようになった。この短期的な学習効果は、タッピングゲームの特徴である「可視化されたリズムの表示（視覚手がかり）」に起因することが確認された。つまり、同じ楽曲を繰り返し聴いてリズムを覚える、というような類のものではなく、リズム認知能力の向上を示唆している。ただし、短期的と称しているように、ゲームのプレイの直前と直後、かつ同じ楽曲に対して、という限定的なリズム認知能力の向上を示したにすぎない。

よって本研究では、タッピングゲームが、長期的に、様々な楽曲に応用可能なリズム認知能力のトレーニングに足りうるか、という点を検討する。言い換えれば、短期的な実験で観測された学習効果に対し、汎化が生じるかを検証するものである。

また、実験を通して、タッピングゲームの改善を試みたほか、聴覚障害者のリズムに関する能力の基礎データの収集もおこなった。

## 2. 方法

我々の開発したタッピングゲームが、聴覚障害者のリズム認知能力を向上させるかを調べるために、長期的な実験をおこなった。

実験はトレーニングパートとテストパートに分かれる。トレーニングパートではタッピングゲームをプレイし、テストパートでリズム認知能力の確認を行う。トレーニングパートは一回につき 1 ヶ月程度であり、それを計 5 回、間を空けずに行った。テストパートは 1 回 20 分程度のテストであり、実験の開始前（トレーニング未実施時）、および各トレーニングパートの終了時に実施した。計 6 回実施したテストパートの結果を比較することにより、リズム認知能力の変化を検証した。

また、実験を通して、聴覚障害者のリズムに関する能力の分析も行った。実験の主目的はリズム認知能力の変化を検証することであるものの、それ以外の基礎データの収集も以後の研究において有用であると考え、これを副次的に調べることにした。

実験期間中、タッピングゲームに関して被験者に意見聴取を行い、トレーニングパートの境目ごとにタッピングゲームのアップデートをおこなった。詳細は以下のトレーニングパート・テストパートの項目で述べる。

また、実験終了後には、主観評価アンケートをおこなった。

### 2.1 被験者

実験には 4 名の聴覚障害者が参加した。以下では、被験者をそれぞれ S1, S2, S3, S4 と呼称する。いずれも 20 歳から 21 歳の大学生であり、S2 は平均聴力レベル 76dB, 他

3人は100dB以上の聴力損失を持つ。いずれの被験者も言語獲得前に聴力を損失している。被験者S1は片耳に人工内耳を装着しており、その他の被験者は実験中に補聴器を装着していた。

## 2.2 トレーニングパート

トレーニングパートでは、タッピングゲームをインストールしたタブレット端末 (Surface Pro 3, Windows8.1) を被験者に貸し、操作方法を説明した上で各自自由にプレイしてもらった。こちらからプレイ時間・頻度などの指定はしなかった。

タッピングゲームの基本的なインターフェースは、1.2節で述べた通り、「画面に表示されるリズム情報を頼りにしながら、音楽に合わせて指定の場所をタップする」というゲームである。ただし、実験で使用したタッピングゲームは以下の3つのモードを用意した。

- 「難しい」モード  
音楽の様々なリズムに合わせて4つの箇所をタップする (図1)。
- 「シンプル」モード  
音楽の拍に合わせて1つの箇所をタップする。
- 「テスト」モード  
画面のリズム可視化情報を非表示にして、音楽の拍をタップする。すなわち、後述するテストパートの「ビートタッピング」と同様。

また、実験中は、被験者に適宜意見を募り、アップデートをおこなった。実際におこなったアップデートの例を以下に挙げる。

- モードの見直し。「難しい」モードは途中から廃止し、「テスト」モードを途中から追加した。
- タップしたときのフィードバック音の有無の設定。
- ハイスコアの保存、高得点をとった楽曲への印づけ。
- 「テスト」モードのプレイ後に、拍とタップを時間軸に沿って可視化表示するフィードバックの追加。
- ユーザーインターフェース・画面デザインの変更。画面エフェクトの追加。
- 楽曲の追加。

タッピングゲームに使用した音楽はJ-POPを中心に、テストパートでは使用しない楽曲を30曲程度を用意し、そのうちの20秒-40秒程度を抽出したものを使用した。

## 2.3 テストパート

テストパートでは、被験者のリズム認知能力のテストを行う。テストには、Iversenらの開発したBeat Alignment Test[12] (以下、BAT) を使用した。システム自体はオリジナルのBATのままであるが、使用する刺激は変更した。

BATは以下の4つのサブテストによって構成される。

### (1) 等間隔タッピング

何も聞かずに、自分の叩きやすいテンポで、等間隔のタッピングを行う (15秒間, 2回)。

### (2) メトロノームタッピング

等間隔で短い音が鳴る刺激 (メトロノーム) を聴きながら、それに合わせたタッピングを行う。

### (3) ビートタッピング

音楽を聴きながら、その拍に合わせてタッピングを行う。

### (4) ビートパーセプション

音楽とメトロノームが同時に鳴るのを聴いて、メトロノームが音楽の拍に合っているかどうかを2択で判断する。

なお、拍とは音楽の「タイミングのよりどころとなる時間の単位<sup>\*1</sup>」であり、音楽に合わせた手拍子や、指揮者の手の動きに見られるような、音楽の基本的な等間隔のリズム構造である。

また、「タッピング」とは、本稿では「一定のリズムにしたがって継続的にタッチパネルをタップする」という行為を指す。タッピングはリズム研究において広く用いられている [22]。

## 2.4 テストパートの刺激

テストパートは毎回同じ刺激を使用した。ただし、テストパートの3回目からは、収集データを増加させるために、ビートタッピング・ビートパーセプションにおいて刺激を追加した。

メトロノームタッピングでは、100msec, 1000Hzの正弦波が等間隔で鳴る音列 (こういった音列のことを本稿ではメトロノームと呼ぶ) を使用した。ここでは、音と音の間隔 (Inter-Onset Interval: IOI) が400msec, 550msec, 700msecの3種類のメトロノームを使用した。いずれの刺激も全体で15秒の長さとした。なお、実験前に事前にそれぞれの被験者について、1000Hzの正弦波を検知できることは確認済みである。

ビートタッピングで使用した刺激を表1に記載する。刺激のうち半分はオリジナルのBAT[12]のものを使用し、残りの半分は日本の楽曲を使用した。刺激はそれぞれ、楽曲中の一部分を15秒-25秒程度を抽出した。テストパートで使用した楽曲はすべて、トレーニングパートで使用した楽曲とは異なるものである。また、テストパートの3回目から刺激を追加した。1回目から使用した刺激は番号1-8であり、9-12は追加した刺激である。

ビートパーセプションでは、ビートタッピングで使用した楽曲のうち半分の6楽曲を使用した (表1パーセプションの列)。それぞれの楽曲に対して、以下の4つのパターンのメトロノームを用意した。

<sup>\*1</sup> 日本音響学会. (2003). 新版音響用語辞典.

表 1 ビートタッピングで用いた刺激  
 Table 1 Stimuli Used in Beat Tapping Test

番号	楽曲名	アーティスト	パーセプション
1	となりのトトロ	井上あずみ	使用
2	Super Scooter Happy	きやりーばみゆ ばみゆ (カバー)	
3	眠り姫	SEKAI NO OWARI	
4	乱れ髪	美空ひばり	使用
5	Hard to Handle	Black Crowes	使用
6	Panama	Van Halen	
7	Tuxedo junction	Glenn Miller	使用
8	Richard Rogers Waltzes	Boston Pops	
9	Howl's Moving Castle	久石譲	
10	いろは	ゴスペラーズ	使用
11	Superman	Boston Pops	使用
12	Stompin' at the Savoy	Benny Goodman	

- On Beat: 楽曲の拍と同一タイミング。
- Tempo Error: 楽曲の拍よりテンポが10%速い, または遅い。
- Phase Error: 楽曲とテンポは同一だがタイミングが拍から1/4拍分ズレている。
- Syncopation: 楽曲とテンポは同一だがタイミングが拍から1/2拍分ズレている。すなわち, シンコペーションのタイミングで鳴る。

6 楽曲と 4 つのメトロノームのパターンについて, すべての組み合わせで刺激を作成し, 計 24 個の刺激を用意した。On Beat のパターンは「音楽の拍に合っている」刺激であり, Tempo Error, Phase Error, Syncopation はいずれも「音楽の拍に合っていない」刺激とした。

## 2.5 アンケート

実験終了後には被験者に対して実験全体へのアンケートをおこなった。アンケート項目を以下に示す。

- (1) タッピングゲームは音楽聴取のためのトレーニングに有効だと思いませんか？
- (2) タッピングゲームをプレイすることで, 自分の音楽聴取能力やリズム感が向上したと思いませんか？
- (3) タッピングゲームをプレイすることで, 普段音楽を聴くときの聴き方が変わりましたか？また, 変わったのであればどのように変わりましたか？
- (4) タッピングゲームの改善点を自由に記述してください。
- (5) その他, 実験全体への意見や感想などがあれば記述してください。

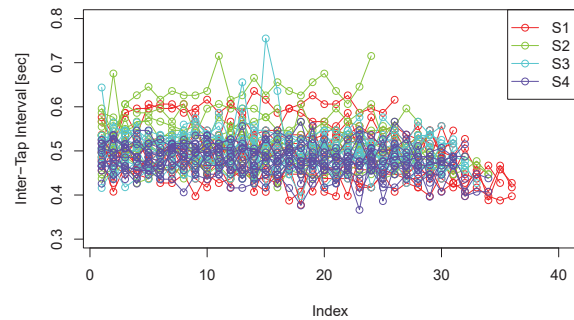


図 2 すべての等間隔タッピングにおける ITI の変遷  
 Fig. 2 ITI transition of Every Even-Tapping Trial

## 3. 結果

### 3.1 等間隔タッピング

等間隔タッピングでは, テストパートの回数間の比較は意味をなさないため (また, 比較しても差はなかったため), すべての回をまとめて分析した。すなわち, 6 回のテストパート×各 2 回の等間隔タッピング× 4 名の被験者, 計 48 データを, 4 名の被験者が 12 回ずつ等間隔タッピングを行ったものとみなす。

それぞれの等間隔タッピングでの, タップとタップの間の時間 (Inter-Tap Interval: ITI) の変遷を 48 試行に対してプロットしたものを図 2 に示す。図の横軸は何個目の ITI かを示し, 縦軸は ITI(sec) を示す。

それぞれの等間隔タッピングにおける ITI の平均を, その試行で被験者が叩いた ITI の代表値 (代表 ITI) としたときの, 計 48 試行における代表 ITI のヒストグラムを図 3 に示す。

### 3.2 メトロノームタッピング

メトロノームタッピングでは全被験者, 概ねメトロノームに合わせたタッピングが行えていたため, 分析は割愛する。

### 3.3 ビートタッピング

ビートタッピングでは, その試行がどのぐらい上手くできたか (どのぐらい音楽のリズムを認知できていたか) を, F 値 (F-Measure) という指標を使って表す。F 値は我々の以前の研究 [17] でも用いた指標であり, F 値が 1 に近ければリズムを認知できていることを示す。

F 値は以下の式で定義する。

適合率 P: 全タップ中の正確に叩いたタップの割合  
 再現率 R: 全拍中の正確に叩かれた拍の割合

$$F\text{-Measure} = \frac{2 \cdot P \cdot R}{P + R}$$

ここで, 「正確に叩いた」とは, 拍と拍の間隔を IBI(Inter-

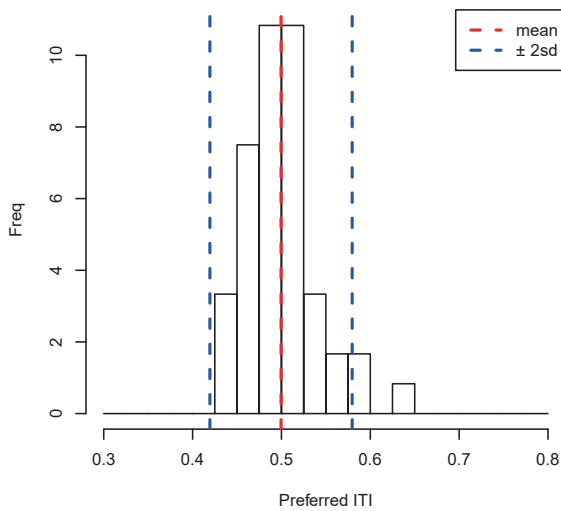


図 3 等間隔タッピングで被験者が叩いた ITI (Preferred ITI) のヒストグラム

Fig. 3 Histogram of Preferred ITI

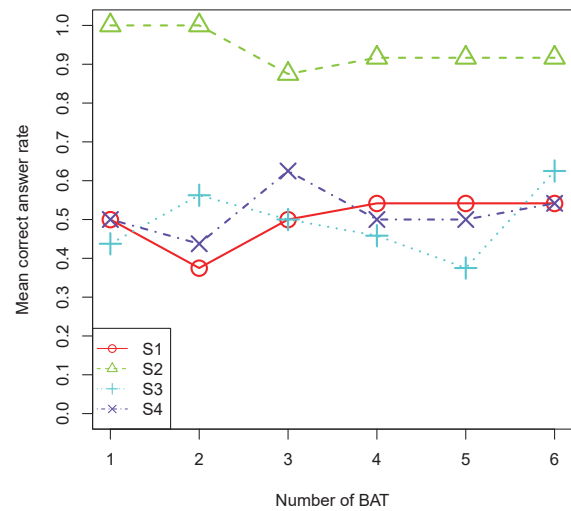


図 5 ビートパーセプションにおける平均正答率の変遷

Fig. 5 Transition of Mean Correct Answer Rate in Beat-Perception Test

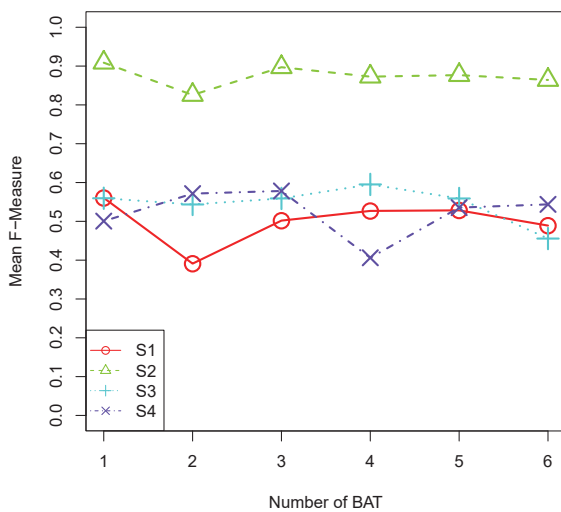


図 4 ビートタッピングにおける F 値平均の変遷

Fig. 4 Transition of Mean F-Measure in Beat-Tapping Test

Beat Interval) としたとき、拍の前後  $IBI/4$  の区間にタップがある場合を指す。また、 $P = R = 0$  である場合は  $F\text{-Measure} = 0$  とする。

テストパートの回ごとの、全刺激に対する F 値の平均の変遷を図 4 に示す。図の横軸がテストパート (BAT) の回数であり、縦軸が F 値を表す。被験者を色で分けている。

### 3.4 ビートパーセプション

ビートパーセプションでは、正答率を指標とした。ただし、2 択であるのでチャンスレベルは 0.5 である。すなわ

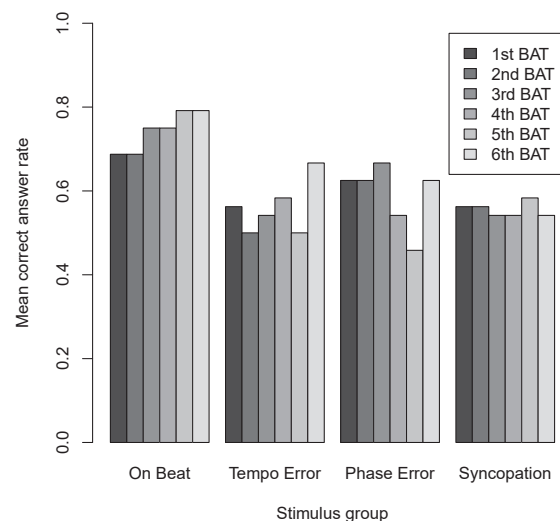


図 6 ビートパーセプションにおける刺激パターンごとの全被験者平均正答率

Fig. 6 Mean Correct Answer Rate by Stimulus Pattern

ち、解答が分からずランダムに答えた場合、正答率は 0.5 付近となる。

テストパートの回ごとの、全刺激に対する平均正答率の変遷を図 5 に示す。図の横軸がテストパート (BAT) の回数であり、縦軸が正答率を表す。被験者を色で分けている。

刺激のパターン (On Beat, Tempo Error, Phase Error, Syncopation) ごとの正答率 (全被験者平均) を図 6 に示す。各棒の色の濃さはテストパートの回数を示している。

表 2 トレーニング区間ごとのタッピングゲームのプレイ時間の概算  
Table 2 Estimated Play Time of Tapping Game by Training Period

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目
S1	1 分	0 分	23 分	5 分	50 分
S2	18 分	3 分	16 分	11 分	42 分
S3	0 分	43 分	33 分	13 分	31 分
S4	5 分	15 分	21 分	19 分	18 分

### 3.5 タッピングゲームのプレイ時間

5 回あるトレーニングパートそれぞれについて、各被験者のタッピングゲームのプレイ時間の概算を表 2 に示す。各行は各被験者を表し、各列はトレーニング区間の回数を表す。プレイ時間はタッピングゲームのログから算出した。メニュー画面や単に起動しているだけの時間は含まず、純粋に音楽を聴きながらタッピングを行っていた時間である。また、これら概算は 1 つのトレーニング区間 (1 ヶ月前後) での合計であるが、実際には 1 ヶ月のうちの数日に集中してプレイする傾向が見られた。

### 3.6 アンケート結果

アンケートに対する回答を要約して記載する。

アンケート項目 (1) 「タッピングゲームは音楽聴取のためのトレーニングに有効だと思いませんか?」については、4 名中 3 名が「思う」と答え、1 名が「わからない」と答えた。

アンケート項目 (2) 「タッピングゲームをプレイすることで、自分の音楽聴取能力やリズム感が向上したと思いませんか?」は 4 名全員が「わからない」と答えた。

アンケート項目 (3) 「タッピングゲームをプレイすることで、普段音楽を聴くときの聴き方が変わりましたか? また、変わったのであればどのように変わりましたか?」については、4 名中 2 名が「変わった」と答えた。その内訳は「カラオケでリズムを意識すると歌いやすくなったと思うときがあった」というものと、「楽器音がなにかを集中して聴くようになった」というものであった。

アンケート項目 (4) と (5) では、様々な意見が出たので、その一部を記載する。タッピングゲームに対してはインターフェースやデザインに関する意見が複数あったほか、「振動や光を使えば面白そう」という提案、「継続できる魅力が足りていない」という意見があった。テストパートに対する意見として、「メトロノームの音 (1000Hz の正弦波) が音楽と混ざると聴き取りづらい」という意見などがあつた。

## 4. 考察

### 4.1 リズム認知能力の変化

音楽のリズム認知能力は、BAT のビートタッピングおよびビートパーセプションの結果から判断する。図 4, 図 5

を見ると、F 値、正答率いずれも回による変動はあるものの、ランダムに起こりうる誤差の範囲であり、学習曲線のような傾向は見られず、リズム認知能力に変化はなかったと考えられる。

リズム認知能力に変化がなかった第一の理由として考えられるのは、プレイ時間の不足である (表 2)。当然、学習時間が少なければ学習は生じない。

また、被験者 S2 については初めから高い成績を出しているため、天井効果により学習の確認ができなかった。被験者 S2 にとってはテストパートが簡単すぎたが、他の 3 名においては適切あるいは難しかったということである。聴覚障害者といっても、個人個人の聴取能力の違いは大きく、それを考慮したテストにすべきである。

アンケート項目 (1)(2) の結果から、被験者らは、タッピングゲームは効果がありそうだと感じたものの、実際に自分に効果があったとは感じていないものと推察される。ただし、アンケート項目 (3) では 2 名が普段の音楽聴取への影響を答えており、リズム認知能力の目に見えた向上まではいかずとも、タッピングゲームによる意識の変化があったことが示唆される。

総じて、実験を通してリズム認知能力の変化は観測されなかったものの、主要な理由はプレイ時間の不足など、実験デザインの不備によるものであり、アンケート結果なども加味すれば、タッピングゲームの長期的なトレーニング効果が完全に否定されたものではないと考える。

### 4.2 実験デザインの改善

リズム認知能力の向上が見られなかった第一の原因は、プレイ時間の不足であると考えられる。

適切な学習時間を確保するためには、実験の方法や教示を見直す必要がある。例えば、トレーニングパートも、テストパートと同様、実験実施者が立ち会って決められた時間おこなう方法などが考えられる。

ただし、本来望ましいのは、被験者の自由意志でプレイしたいと思えるようなゲームを開発することである。アンケートでも 1 名から「継続できる魅力が足りていない」と指摘されている。そもそもゲーミフィケーションが有効である理由の一つは、楽しいから継続できるという点であり、本実験でプレイ時間が少なかったのはゲームの面白さが足りなかったためと考えるのが自然である。

トレーニングパートが 1 回 1 ヶ月、かつそれを 5 回という期間設定にも見直しの余地がある。本実験では、被験者の意見を取り入れながらタッピングゲームをアップデートしていく、ということを試みたため、トレーニングパートが長くなってしまったが、効果の検証を主目的とするのであればもう少し短い方がよいだろう。例えば、タスクが異なるため参考程度ではあるが、聴覚障害者の楽器音識別のトレーニングを行った先行研究 [6] ではトレーニング期間

を計5週間と設定しており、実際には3週間程度で十分な学習が見られたとしている。

アンケートではテストパートでのメトロノームの音色への意見があった。メトロノームの音色は1000Hzの正弦波であり、単独であれば聞こえるとのことだったが、音楽と同時に流れると音楽に埋もれて分かりづらくなるとのことである。聴覚障害は個人個人によって、例えば「高音が聞き取りづらい」など周波数帯によって聞き取りやすさが異なるため、その点を十分に考慮した刺激の選定が求められる。

#### 4.3 等間隔タッピングにおける Preferred ITI

先行研究によれば、健聴者の Preferred tempo (等間隔タッピングによって測られる、最も自然に感じるテンポ) は120BPM前後に集中する [19]。120BPMはITIに換算すると500msecであり、本実験での結果(図2, 図3)と同様の傾向である。また、図2では48試行すべてをプロットしたが、1つ1つの試行を見ると、大きなバラつきは無く、いずれの被験者も一定のテンポをキープする能力があることが示唆される。

これら結果から、等間隔タッピングにおいては健聴者・聴覚障害者で同様の傾向があると考えられる。先行研究 [19] で、120BPMは人間の歩行のテンポに近いことが指摘されていたように、等間隔タッピングのようなテンポ生成・テンポ維持に必要な機構は、聴力とは無関係に発達するものであると推察される。

今回の実験では被験者が4名と少なかつたため、より被験者を増やして検討することが望まれる。

#### 4.4 ビートパーセプションにおける刺激パターン

ビートパーセプションでは、刺激のパターンごとの正答率を調べた(図6)。テストパートの回数による変化はほとんど確認できないものの、全体的な傾向としてパターンごとの違いが見られた。音楽の拍に合っている刺激(On Beat)を「合っている」と正答できた割合は比較的高い傾向があった。一方で、音楽の拍に合っていない刺激に関しては、Tempo Error, Phase Error, Syncopation いずれのパターンにも正答率に差が見られなかった。

Iversen らによるビートパーセプションの実験 [12] では、健聴者30名を対象として、On Beat, Tempo Error, Phase Errorの正答率を比較している。健聴者においては、On Beatの正答率が高いことは我々の実験同様であったが、Tempo Errorに比較してPhase Errorの正答率が優位に低い点が我々の実験結果と異なった。

また、Syncopationの刺激は、Tempo Error, Phase Errorに比較して自然に感じるリズムであるため、正答率が低くなると予想していたが、実際には差が見られなかった。

以上の結果は、今回の実験は被験者が4名と少ないため、

あくまでこういう傾向があるかもしれないという程度のものである。しかし、被験者を増やして健聴者との比較をおこなえば、より明確に傾向が見え、新たな知見が得られるのではないかと考える。

## 5. 結論

本稿では、聴覚障害者に向けたタッピングゲームのリズム認知能力の長期的なトレーニング効果の検証実験を行い、その結果について記述した。

実験ではリズム認知能力の向上は確認できなかったものの、その主な理由はプレイ時間の不足が主要な原因であると推察され、実験手続きの改善や、ゲーム自体の楽しさの追求が今後の課題とされた。アンケート結果からは、タッピングゲームには効果がありそうであるという聴覚障害者の意見が得られ、普段の音楽聴取への影響も示唆された。

実験を通して聴覚障害者のリズム認知に関する分析をおこなった結果、聴覚障害者が自然に感じるテンポ(Preferred Tempo)は健聴者と同様であること、ビートパーセプションの実験では健聴者との差異があることが示唆された。これらの点については、被験者数を増やして追加実験を行えば、より明確に新たな知見が得られると推察された。

謝辞 実験に参加していただいた4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] Darrow, A. A. (1979). The beat reproduction response of subjects with normal and impaired hearing: An empirical comparison. *J Music Ther*, 16(2), 91-98.
- [2] Darrow, A. A. (1984). A comparison of rhythmic responsiveness in normal and hearing impaired children and an investigation of the relationship of rhythmic responsiveness to the suprasegmental aspects of speech perception. *J Music Ther* 21(2), 48-66.
- [3] Darrow, A. A. (2006). The role of music in deaf culture: Deaf students' perception of emotion in music. *J Music Ther*, 43(1), 2-15.
- [4] Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011, September). From game design elements to gamefulness: defining gamification. In *Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments* (pp. 9-15). ACM.
- [5] Dikla, K. (2009). The effect of music therapy on spontaneous communicative interactions of young children with cochlear implants. Ph.D thesis, Aalborg University, Denmark.
- [6] Driscoll, V. D. (2012, November). The effects of training on recognition of musical instruments by adults with cochlear implants. In *Seminars in hearing* (Vol. 33, No. 04, pp. 410-418). Thieme Medical Publishers.
- [7] Gfeller, K., Christ, A., Knutson, et al. (2000). Musical backgrounds, listening habits, and aesthetic enjoyment of adult cochlear implant recipients. *J Am Acad Audiol*, 11, 390-406.
- [8] Gfeller, K., Mehr, M. & Witt, S. (2001). Aural rehabilita-

- tion of music perception and enjoyment of adult cochlear implant users. *Journal of the Academy for Rehabilitative Audiology*, 34, 17-27.
- [9] Gfeller, K., Turner, C., Mehr, M., Woodworth, G., Fearn, R., Knutson, J. F., Witt, S. & Stordahl, J. (2002). Recognition of familiar melodies by adult cochlear implant recipients and normal - hearing adults. *Cochlear implants international*, 3(1), 29-53.
- [10] Gfeller, K., Woodworth, G., Witt, S., et al. (1997). Perception of rhythmic and sequential pitch patterns by normally hearing adults and adult cochlear implant users. *Ear Hear*, 18, 252-260.
- [11] 林田真志, & 加藤靖佳. (2003). 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*, 41(3), 287-296.
- [12] Iversen, J. R., & Patel, A. D. (2008). The Beat Alignment Test (BAT). *Proc. ICMPC2008*, 465-468.
- [13] Kong, Y. Y., Cruz, R., Jones, J. A., & Zeng, F. G. (2004). Music perception with temporal cues in acoustic and electric hearing. *Ear and hearing*, 25(2), 173-185.
- [14] Looi, V., McDermott, H., McKay, C., & Hickson, L. (2008). Music perception of cochlear implant users compared with that of hearing aid users. *Ear and hearing*, 29(3), 421-434.
- [15] Looi, V., & She, J. (2010). Music perception of cochlear implant users: a questionnaire, and its implications for a music training program. *International Journal of Audiology*, 49(2), 116-128.
- [16] 松原正樹, Hansen, K. F., 寺澤洋子, & 平賀瑠美. (2014). 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. *研究報告音楽情報科学 (MUS)*, 2014(24), 1-5.
- [17] 松原正樹, 狩野直哉, 寺澤洋子, & 平賀瑠美. (2016). 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. *情報処理学会論文誌*, 57(5), 1331-1340.
- [18] Mitani, C., Nakata, T., Trehub, S. E., et al. (2007). Music recognition, music listening, and word recognition by deaf children with cochlear implants. *Ear Hear*, 28(2), 29-33.
- [19] Moelants, D. (2002, July). Preferred tempo reconsidered. In *Proceedings of the 7th international conference on music perception and cognition (Vol. 2002, pp. 1-4)*.
- [20] 太田康子, & 加藤靖佳. (2001). 聾学校小学部における音楽教育について-音楽指導に関するアンケート調査をもとに. *ろう教育科学*, 43(2), 61-68.
- [21] 太田康子, & 加藤靖佳. (2002). 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*, 44(3), 129-139.
- [22] Repp, B. H. (2005). Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. *Psychonomic Bull Rev*, 12(6), 969-992.
- [23] Torppa, R., Faulkner, A., Jarvikivi, J. J., et al. (2010). Acquisition of focus by normal hearing and cochlear implanted children: The role of musical experience. *Proc. 5th International Conference on Speech Prosody*.
- [24] Trehub, S. E., Vongpaisal, T., & Nakata, T. (2009). Music in the lives of deaf children with cochlear implants. *Ann New York Acad Sci*, 1169(1), 534-542.
- [25] Uys, M., & Van Dijk, C. A. (2011). Development of a music perception test for adult hearing-aid users. *South African Journal for Communication Disorders*, 58(1), 19-47.