

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

狩野 直哉¹ 松原 正樹² 寺澤 洋子^{2,3} 平賀 瑠美⁴

概要: 聴覚障害者にとって、日常生活における複雑な音情景の中から、必要な音を選択して認識し理解することは困難である。そういった音聴取能力を向上させることは聴覚障害者の手助けになり、QOLの向上につながる。我々は、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った。タッピングゲームは、聴覚トレーニングに音楽とゲームの要素を取り入れたものであり、音聴取能力向上効果のみならず、聴覚障害者が意欲的に継続できることを意図している。タッピングゲームは二度、聴覚障害学生にプレイしてもらい、ディスカッションを行った。本稿では、タッピングゲームの開発とディスカッションの様子について報告する。

1. はじめに

聴覚障害者であっても音楽に興味を持ち楽しむ者、音楽を好きである者は多い。先行研究において、聴覚障害学生を対象としたアンケートで六割が音楽を好きと答えた結果[1][12]や、人工内耳を装着した聴覚障害児が好んで歌を歌うようになる例[2]が指摘されている。また、聴覚障害者を学生として受け入れている筑波技術大学の校医によれば、「音楽を聴きたい」と主張する聴覚障害者は、学生のような若い層には非常に多いという。筑波技術大学の聴覚障害学生の話の聞けば、AKB48やボーカロイドのような流行音楽を好む学生や、音楽ゲームやカラオケを楽しむ学生がいる他、ダンスサークルが一番人気であるという。聴覚障害者が音楽を好み、音楽を楽しみたいと思っている実態が明らかである。

聴覚障害者と音楽の関係を扱った研究はこれまでも多数あり、例えば、音楽活動と言語習得の相関を指摘した報告[3]や、音楽を媒体とした感情伝達を聴覚障害者であっても健聴者同様に行えるという報告[4]がされている。

以上のような、聴覚障害者と音楽を取り巻く状況や諸研究から、聴覚障害者が音楽を有効活用しうることが示唆される。

我々は、聴覚障害者の音聴取能力に着目する。ここでは音聴取能力（以下、聴能）とは、日常生活において、複数人の会話や環境音など、様々な意味を持つ音が混在している状況から、必要な音情報を選択して認識し理解する能力を意味する。そのような聴能を獲得することは、様々な場面でのコミュニケーションや危機察知などの面で、聴覚障害者にとって手助けになる。また、音楽活動をより楽しむことができるなどQOLの向上にも貢献する。

本研究では、聴能向上のためのトレーニングシステムの構築を目指す。既存のトレーニングは、主に音声言語の聞き取りと発話を主目的としたものであるが、我々はさらに

広く日常生活に対応できる聴能の向上を目的とする。また、トレーニングは継続することで効果が現れるものであるため、聴覚障害者が意欲的に継続可能であるトレーニングにすることを意識する。

我々のトレーニングでは音楽を使用する。音楽は、日常生活同様に複数の音が混在していることから、日常生活に対応できる聴能を向上させる効果が期待される。また、音楽好きな聴覚障害者が興味を持って継続可能なトレーニングとなることも期待できる。

また、ゲーミフィケーションの知見に学び、トレーニングをゲーム化する。ゲーミフィケーションは、非ゲーム的な文脈にゲームデザインの要素を取り入れることで、効果やユーザーの持続性を向上させる取り組み全般を指す用語であり、経済、医療、教育など様々な分野で用いられている[8]。本研究では、聴覚障害者の聴覚トレーニングをゲーム化することで、聴覚障害者が意欲的に継続可能なトレーニングとなることを期待する。先行研究において、聴覚障害者を対象として、音に関するインタラクティブなデバイス[5]やゲーム[6][7]の開発を行った研究もある。いずれも、聴覚障害者はそれらに没頭する様子が見られたという。これらの先行研究からも、聴能のトレーニングにおいてゲーミフィケーションは有効な役割を果たすことが期待できる。

トレーニングに音楽とゲームの要素を取り入れるということは、違う観点から見れば、音楽ゲームをトレーニング化することであるといえる。

一般に、「BEATMANIA」シリーズや「太鼓の達人」などに代表される音楽ゲームは国内外を問わず広い人気を誇っている。これに注目し、音楽ゲームの楽しさをトレーニングに取り入れることができれば、聴覚障害者であっても楽しんでトレーニングが継続できるのではないかと考える。後述するディスカッションの場では、「Dance Dance Revolution」や「初音ミク -Project DIVA-」といった音楽ゲ

1 筑波大学情報学群情報メディア創成学類

2 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

3 JST さきがけ

4 筑波技術大学産業技術学部

ームをプレイしたことがあり、楽しかったと話す聴覚障害学生もいた。また、先行研究[9]では、音楽ゲームの熟達の早さに注目し、音楽ゲームが音楽教育に活かされる可能性が示唆されているという例もある。そういった観点からも、音楽ゲームで用いられている方法は本研究において有用であると捉え利用することとする。

以上のような考えのもと、我々は聴覚障害者向け聴覚トレーニングゲームの試作品として「タッピングゲーム」を開発した。先行研究[6][7]では、音の繋がりや音色の識別能力の向上を目的とした「Music Puzzle」というゲームが制作されたが、「タッピングゲーム」では、リズムやテンポの識別能力の向上を主目的とする。日常生活の音情景、特に音楽にはリズムやテンポの要素が多分に含まれており、それらの聴取能力・理解能力を向上させることは意義のあることと考える。また、それは既存のトレーニングでは得られない能力である。先行研究[1]で同様のタッピングゲームの制作が報告されているが、本研究で開発したタッピングゲームは、その知見をもとにしてさらに発展させ、よりゲームとしての楽しさを意識したものである。また、効果検証実験に用いることも考え、柔軟に仕様変更に対応できるように開発した。

制作したタッピングゲームを、聴覚障害を持つ学生にプレイしてもらい、二度のディスカッションを実施した。以下、タッピングゲームの仕様とディスカッションの様子、そして今後の効果検証実験へ向けた展望について述べる。

2. タッピングゲーム

2.1 タッピングゲームの概要

我々が開発するタッピングゲームでは、聴覚障害者が提示された音に合わせてタッピングを行うなかで、音情報におけるリズムやテンポを識別する能力を向上することを目的とする。

本稿では、タッピングとは、音情報のリズムに従ってボタンを押す等の動作を行うことを指す。

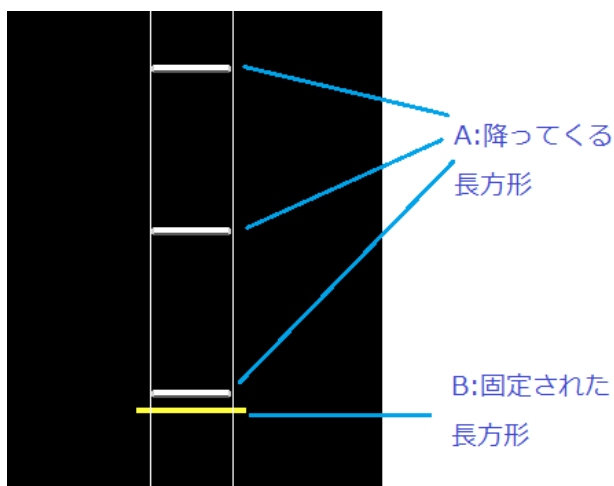


図 1 ゲーム画面

第 1 章で述べた通り、タッピングゲームでは音楽を使用することで、複雑な音情報からのリズム識別による聴能向上効果と、音楽好きな聴覚障害者の興味を惹きつける効果に期待する。また、一般的な音楽ゲームで使われている手法を参考にし、ゲームとしての面白さを取り入れることなく風を施している。

2.2 タッピングゲームの主な仕様

開発したタッピングゲームはディスカッションを受けて細かい仕様変更を行っている。ここでは、どの段階においても共通する基本的な仕様を記述する。ディスカッションごとに変更した仕様については第 4 章および第 5 章で詳述する。

タッピングゲームの基本的な仕組みは、音楽を聴きながら音楽のリズム通りにボタンを押下するというものである。

・視覚情報

音楽のリズムを可視化して画面表示することで、聴覚情報と視覚情報を利用しながらタッピングを行うことができるようにした。

視覚情報は、「(A)音楽に同期して画面上部から降ってくる長方形が、(B)画面下部に固定された長方形に重なった瞬間にボタンを押せば正しいリズムになる」という方式である(図 1)。これは一般的な音楽ゲーム(例えば「beatmania IIDX」や「ポップンミュージック」シリーズ等)で用いられている方法である。

・入力

入力には一つのボタンを用いて、一つのリズムをタッピングする方式としている。システムの設定次第では複数ボタンで別のリズムをタッピングさせることも可能である。しかし、現段階では、短期的な効果検証実験を想定して、慣れを必要とする複雑な操作は取り扱わず、一つのボタンによる入力のみとしている。

・正解時刻

楽曲ごとに、予め正解時刻をミリ秒単位で設定する。正解時刻により近いタイミングでタッピングを行うことがプレイヤーに求められる。

正解時刻はシステムの仕様として自由に設定できるが、当面の実験では拍のタッピングのみを行う。つまり、四拍子の曲であれば、一小節に四回、小節の開始点から等間隔に四回の拍をタッピングする。そのため、曲の最初から数えて i 個の拍の正解時刻 t_i は、

$$t_i = t_{start} + \frac{60 * i}{tempo}$$

となる。 t_{start} は曲の最初の拍の時刻、 $tempo$ は曲の速度(BPM)、 $i = 0, 1, 2, \dots, I$ であり、 t_{start} および $tempo$ はあらかじめ計測される。正解時刻、タッピングされた時刻、ズレ時間などはログとして記録し、後の実験で検証用のデータとして用いる。

・フィードバック

プレイヤーの操作に対して、視覚および聴覚のフィードバックが与えられる。

聴覚フィードバックとして、ボタンの入力にともなって短い音を出力する。音の種類については第4.1節でも述べるが、卓球で球を打つ音を主に使用する。

視覚フィードバックは、タッピングされた時刻と正解時刻のズレ時間を三段階(GREAT, GOOD, MISS)に分けて評価し、入力の直後に文字とエフェクトを表示する(図2)。

GREATは、ズレ時間が前後50ミリ秒以下、GOODはズレ時間が前後50ミリ秒より大きく100ミリ秒以下のタッピングを示す。それ以外のタイミングでのタッピングや、タッピングしないまま100ミリ秒以上経過した場合は(便宜上MISSと呼称するが)何も表示しない。

また、ボタンを押下する際の物理的な触覚刺激や押下音もフィードバックとして機能している。

・スコア(得点)

一つの楽曲に対してのタッピングが終わったら、タッピングの精度を100%換算のスコアとして表示する。スコアは、以下の式に基づいて算出される。

$$score = \frac{I_{great} + I_{good} \times 0.5}{I}$$

I_{great} 、 I_{good} は、それぞれ、GREAT, GOODのタイミングで

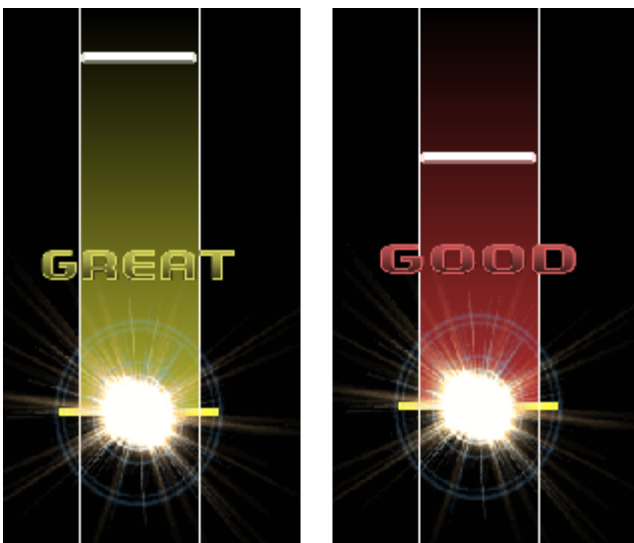


図2 視覚的フィードバック

行われたタッピングの個数であり、 I は曲中の拍の総数である。例えば、すべてGREATの場合のスコアは100%、すべてGOODなら50%、全くタッピングしなければ0%、のように算出され、表示される。

スコア表示は、プレイヤーが自発的に高いスコアを目指す、高いスコアが出たら嬉しくなる、といったような、ゲームとしての楽しさをのみ意図したものであり、ログとしては出力せず、分析用のデータとしては扱わない。

・ハードウェア仕様

タッピングゲームが問題なく動作するスペック、例えば、CPU Core i7-3537U、メモリ 8GB程度のノートPCを使用する。入力デバイスにはUSB接続のボタンやキーボードのスペースキーを使用する。

・実装

C++およびDXライブラリ(Windows API, Direct X)を用いて実装した。

3. 実験・実験の目的

上述のタッピングゲームは現段階では二度、実験を視野に入れた聴覚障害者とのディスカッションを実施済みである。ディスカッションについては第4章および第5章で記載する。本稿で述べるディスカッションで得た知見をもとにして、今後実験を行う予定である。

予定している実験の大きなねらいはタッピングゲームの効果検証である。現段階では短期的なリズム聴取の学習効果を検証する。聴覚障害者がタッピングゲームをプレイする直前と直後で、タッピング精度の向上が認められるかどうかを調べることにより、短期的な学習効果を判断する。具体的な検証の手法などは、第6章に記載する。さらに、この実験で短期的な効果の知見を得ることで、さらに長期的なトレーニングに関する実験へ発展させることを目標とする。

また、実験を通して聴覚障害者の意見を聴取することで、聴能向上効果のみならず、トレーニングの継続可能性や楽しさといった要素を長期的なトレーニングのシステム開発に反映させることも目的としている。

4. ディスカッション(1)

4.1 目的

タッピングゲームのプロトタイプを開発した段階で、聴覚障害者を交えてのディスカッションを行った。この段階では効果検証などは意識しておらず、聴覚障害者の聴能およびタッピング能力の確認や、ゲームとしての感想を聴取することを目的とした。

4.2 ディスカッション(1)の状況

2014年6月10日に、筑波技術大学の研究室で行った。筑波技術大学に在学する難聴の学生二名に自由にプレイしてもらい、意見を述べてもらった。聴覚障害学生のうち一名はダンスサークルに所属しており、拍を意識した音楽聴取などができる人物である。もう一名は音楽経験無しである。音はスピーカーで聴覚障害者が聴きやすい音量で鳴らした。画面はノート PC とプロジェクターで表示し、見やすい方を見てプレイしてもらった。ゲームのプレイとディスカッションは1~2時間にわたった。

4.3 システムの仕様

ディスカッション(1)に用いたシステムの基本的な仕様は2.で記述した通りである。楽曲として、商用の音楽ゲームで実際に使用されている楽曲を中心に五曲を用意した(表1)。

楽曲番号	曲名	アーティスト名	テンポ [bpm]
1	君の知らない物語	supercell	165
2	サヨナラ・ヘヴン	猫又 Master	111
3	mosaic	Auridy	188
4	passionate fate	Ryu☆	149
5	Dough-Nuts Town's map	Plus-Tech Squeeze Box	136

表1 ディスカッション(1)で使用した楽曲

任意の20秒程度の区間を抜き出して使用した。楽曲の選出はテンポ(BPM)が分散するように行った。この時点では、楽曲のテンポによってタッピング難易度が決定されると予想していたためである。また、ディスカッション(1)では、以下のような項目を設定できるようにした。

・MODE 項目

- 聴覚情報のみ(画面が真っ暗になる)でタッピング
- 視覚情報のみ(音楽が流れない)でタッピング
- 聴覚情報と視覚情報の両方を用いたタッピング

聴覚情報と視覚情報がタッピングに与える影響を確認するための項目である。

・Back Sound 項目

- 音楽のみが流れる
- 音楽と同時に街中や電車の環境音が流れる

生活音の中での聞き取り能力の調査と、トレーニングによる向上の可能性を目的とした項目である。

・Tap SE 項目

タッピングしたときのフィードバック音の種類を以下から選べる：

- 卓球で球を打つ音
- 電子音(A6の正弦波100msec)

- エンジン音(約500msecの地点に振幅のピークがある)
- フィードバック音無し

フィードバック音がタッピングに与える影響を調べるための項目である。

4.4 ディスカッション(1)で得られた意見と知見

障害学生とのディスカッションで得られた意見と知見を以下にまとめる：

(A) 視覚情報、聴覚情報の提示に関しては、視覚と聴覚の同時提示が最もタッピングしやすく、聴覚のみでは(音楽経験や曲によって差が出るものの)比較的困難であった。

(B) 楽曲によってタッピングの難易度に差がある。難易度の基準は、拍を構成する音(特にドラム)の強弱によるところが最も大きい。曲のテンポはあまり関係ない。用意した楽曲(表1)の中では、番号5が難しく、番号3,4が簡単であるとのことだった。

(C) 拍をタッピングするだけではゲームとしては単調でつまらない。

(D) フィードバック音は、押した瞬間に出る短い音であれば、タッピングしやすさには関係が無い。ボタンを押したときの物理的な(触覚と聴覚への)フィードバックもあるため、システム側でのフィードバック音が無くてもタッピングに支障は無かった。また、タッピング音が大きすぎるとビックリする、という意見があった。

(E) ダンス経験のある学生によれば、ダンスでは拍を識別することが大事なので、ダンスの練習にはなるかもしれない。

(F) 音楽と同時に環境音を流してプレイしても大差がなかった。これは音量バランスの問題で、システム側の準備不足である。しかし、当然ながら環境音が大きくなればなるほど音楽は聞こえづらくなり、タッピングもしづらくなることが予想される。

4.5 考察

第4.4節の各項目についての考察を以下にまとめる：

(A) 先行研究[10]において、聴覚障害者を対象とした矩形波の繰り返し音列を聞きながらの単調拍子のタッピングであれば提示条件の差が無いという結果があるが、本研究のように複雑な音情報を含む音楽では、視覚情報が単調拍子のタッピングの手助けなることが分かった。

(B) 事前の予想では、曲のテンポによって難易度が変化すると考えていた。これは、参考文献[11]の、単調拍子への同期反応は、刺激速度が400[msec]から800[msec]のとき、言い換えれば75[bpm]から150[bpm]のときに最も規則的であり、それより遅いあるいは速い場合、タッピングのズレが大きくなる、という知見に基づいた予想である。しかし、我々の研究においては、音楽に対する拍子の同期を求める点と、対象が聴覚障害者であるという点で、テンポよりも

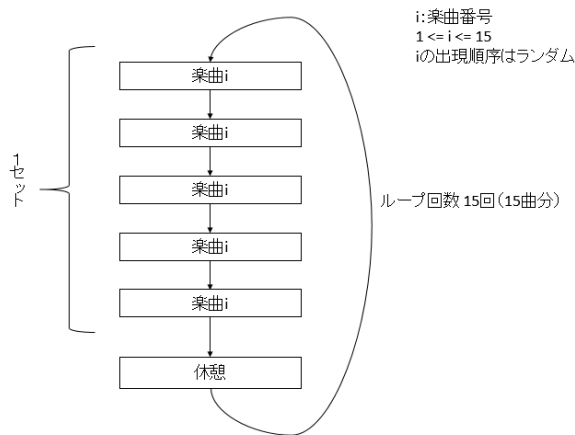


図 3 セット

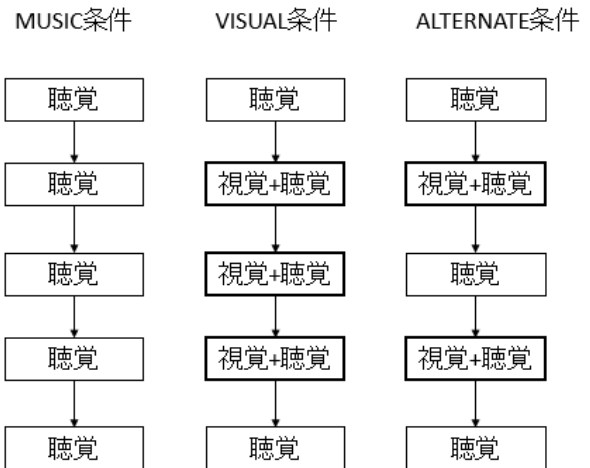


図 4 条件

音色の要素が難易度やズレ時間に影響するものと考えられる。よって、以後は拍を構成する音を難易度の基準として採用する。

(C) ボタンの数やリズムのバリエーションを増やせば面白さは増すのではないかという見解が我々と聴覚障害者で一致した。当面の効果検証のためには拍のみのタッピングに限ることとするが、最終的にゲームとする段階では面白さを考慮する。

(D) フィードバック音に関する意見から、以後、タッピング音は卓球の音に統一することとし、また、無音を含めた音量調節を可能とし、聴覚障害者がタッピングしやすいように自分で調節できるようにする。

(E) ダンス練習用ゲームとしての応用の可能性や、ダンスに特化した別の研究テーマへの可能性が考えられたが、今後の研究対象とし、本研究では関与しない。

(F) 環境音混じりの聞き取りなどは、別の課題と捉え、本研究では関与しない。

5. ディスカッション(2)

5.1 目的

ディスカッション(1)を踏まえて改善したタッピングゲームをプレイしてもらい、意見を聴取する。

また、ディスカッション(2)では、学習効果の検証を意識し、タッピング精度の向上を計測するための仕様を組み込んだ。仕様の詳細は後述する。この仕様に関しての聴覚障害者の意見を聴取することも目的である。

5.2 ディスカッション(2)の状況

2014年7月7日に、難聴の学生二名にタッピングゲームをプレイしてもらった。一名はディスカッション(1)のときと同じダンス経験のある学生で、もう一名はディスカッション(1)とは別の音楽経験の無い学生である。

その他の状況は4.2 ディスカッション(1)と同様である。

5.3 システムの仕様

ディスカッション(1)で得られた知見、第4.4節の(D)に基づき、タッピング音を卓球の音に統一し音量調節を可能とした。(B)から楽曲の拍を構成する音の聞き取りやすさをもとにして難易度を決定し分散させる、という変更を行った。

また、効果検証実験に向け、以下のような仕様を組み込んだ。

- 一つの楽曲(10秒程度)に対し、5回のタッピング試行を連続で行う。この5回を1セットと呼称し、用意した楽曲15曲(=15セット)分タッピングを行う。セット間には休憩が与えられる。(図3)
- 各セットには以下の3種類の条件が割り当てられる。(図4)

MUSIC条件: 聴覚のみ(画面が真っ暗になる)で5回タッピング

VISUAL条件: 1回目と5回目のタッピング試行を聴覚のみで行い、2-4回目は聴覚と視覚で行う。

ALTERNATE条件: 1, 3, 5回目のタッピング試行を聴覚のみ、2, 4回目の試行を聴覚と視覚で行う。

こういった仕様のもと、条件ごとに1回目と5回目のタッピング試行におけるタッピング精度の差を見ることで、視覚情報がある場合(=通常のタッピングゲームの仕様)で練習を行ったあとのタッピング能力向上効果があるかどうかを計測する、という意図である。

楽曲は商用音楽ゲームで使用されている楽曲から、10秒程度に切り取ったものを15個用意した。難易度を5段階(音楽経験のある健聴者数名による判断)に分けて、各難易度につき3曲用意した(表2)。

番号	曲名	アーティスト	難易度	備考
1	passionate fate	Ryu☆	1	
2	passionate fate	Ryu☆	1	別区間
3	Our Faith	kors k	1	

4	Our Faith	kors k	2	別区間
5	Mermaid girl	Ryu☆	2	
6	Mermaid girl	Ryu☆	2	別区間
7	臚	HHH × MM × ST	3	
8	臚	HHH × MM × ST	3	別区間
9	ZZ	D.J.Amuro	3	
10	BLACK.by X- Cross Fade	DJ Mass MAD Izm*	4	
11	黒髪乱れし 修羅となり て	村正クオリア	4	
12	サヨナラ・ヘ ヴン	猫又 Master	4	
13	LOVE B.B.B.	SWAN K feat. Asuka M	5	
14	[E]	dj MAX STEROID	5	
15	コードライ ブ	onoken feat.asa mi	5	

表 2 ディスカッション(2)で使用した楽曲

同一難易度の楽曲に対して1つずつ条件がランダムで割り当てられる。曲順は、同一難易度を連続でプレイするが、難易度の出現順はランダムにした。

同一難易度においてVISUAL条件の場合にタッピング精度の向上が見られれば、タッピングゲームにおける短期的な学習効果が検証できたといえる。

5.4 ディスカッション(2)で得られた意見と知見

障害学生とのディスカッションで得られた意見と知見を以下にまとめる：

- (A) 歌声があるとタッピングしづらいという意見が出た。
- (B) 裏拍(弱拍)を叩く様子が見られた。その場合、現状のタッピングゲームにおいては裏拍を叩いた場合はスコアに反映されないため、0%というスコアが出た。
- (C) 周囲の人が頭を振ってリズムをとったりする様子などから正解が分かってしまう。
- (D) 開始タイミングが分かりづらい。
- (E) VISUAL条件で視覚情報が表示されると、正解に確信が持ててタッピングしやすかった。
- (F) 1セット5回、および15セットは長く、途中で飽きる。1セット3回でも効果が検証できるのではないか。

5.5 考察

5.4に記載した各項目に関しての考察を以下にまとめる。

(A) 楽曲(表2)の中では番号15は確かに歌があつたかつタッピング精度が低かったが、一方で番号2や番号6などは歌があつてもタッピング精度は高かった。先行研究において、同じ楽曲で源音源・歌なし・歌のみでの聴覚障害者のタッピングは歌なしの場合が最も精度が良いとある[13]。以上から、同じ楽曲であれば歌無しの方が簡単だが、歌声の有無以上に楽曲ごとの拍音の強さの方が難易度・精度に関係すると推測される。今後の実験で詳細に調べる余地がある。

(B) 裏拍がスコアに反映されないのは仕様とし、今後の実験等では事前にそのことを教示する。また、ログからデータを統計分析する際はそのことも考慮に入れることとする。

(C) 実験の際には各被験者の反応が正確に測定できるように、被験者の置かれる環境に配慮する。

(D) これは、システム側では、10秒の曲のうち開始3秒程度より後のタイミングを正解として表示していたために生じた問題である。そのため、プレイヤーは「最初の方を叩いてしまっはいけないのか」という不安を持ってしまった。以後の実験では、曲の最初の拍から表示し、スコアは途中からのみ計測するという方法を取り、事前に教示することで対応する。

(E) 短期的な学習効果が表れていると思われる。

(F) この意見を参考にし、実験においては1セット3回にし、条件はMUSICとVISUALの二種類とすることを検討する。

6. まとめ

本稿では、制作したタッピングゲームの詳細と、二度行った聴覚障害学生へのディスカッションの様子を報告した。

今後は、聴覚障害学生の意見を参考に、短期的な学習効果を計測するための実験を行う予定である。現段階の予定としては、実験は第5章で記述した仕様を土台とし、1セット3回を8セット程度とする。拍の音を基準とした難易度は2段階とし、同じ曲の歌ありと歌なしバージョンを用意する。拍の音による難易度と歌声による難易度の二つを要因とした分散分析を行う。

短期的な効果を計測した後は、長期的な効果検証の実験に発展していくことを想定している。それに伴い、よりゲームとしての面白さを追求することも視野に入れる。例えば、単調拍子ではない複雑なリズムパターンでのタッピングや、ボタン数を増やしてのタッピング、あるいは、ゲーミフィケーションの分野でしばしば用いられる「報酬」や「競争」のような概念を積極的に取り入れるなどが考えられる。

また、タッピングゲームではリズムやテンポの識別を主眼としたゲームであるため、より広い聴能の向上を目的として、タッピングゲームを作り変える、あるいは、別のゲームを開発する、といった展望も考えられる。

謝辞

ディスカッションにご参加くださり、積極的に意見を出して頂いた筑波技術大学の学生三名に深く感謝いたします。

本研究は JSPS 科研費 26780512, 26282001 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 松原正樹, Hansen Kjetil, 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
- [2] Trehub, S. E., Vongpasial, T. and Nakata, T.: *Music in the lives of deaf children with cochlear implants*, Proc. The Neurosciences and Music III: Disorders and Plasticity, 2009.
- [3] R. Torppa, A. Faulkner, J. J., and M. V. J. Järvikivi.: *Acquisition of focus by normal hearing and cochlear implanted children: The role of musical experience*, Proc. 5th International Conference on Speech Prosody, 2010.
- [4] Hiraga, R. and Kato, N.: *Understanding Emotion through Multimedia Comparison between Hearing-Impaired People and People with Hearing Abilities*, Proc. ACM ASSETS, pp. 141-148, 2006.
- [5] Hansen, K. F., Dravins, C. and Bresin, R.: *LJUDSKRAPAN / THE SOUNDSCRAPER: SOUND EXPLORATION FOR CHILDREN WITH COMPLEX NEEDS, ACCOMMODATING HEARING AIDS AND COCHLEAR IMPLANTS*, Proc. Of the Sound and Music Computing Conf., pp. 70-76, 2011.
- [6] Hansen, K. J., Hiraga, R., Li, Z. and Wang, H.: *Music Puzzle: An Audio-Based Computer Game That Inspires to Train Listening Abilities*, Proc. of Conf. on Advances in Computer Entertainment Technology, Enschede, Netherland, November, 2013.
- [7] Hiraga, R. and Hansen, K. F.: *Sound Preferences of Persons with Hearing Loss Playing an Audio-Based Computer Game*, Workshop of ACM Multimedia 2013, IMMPPD, pp. 25-30, 2013.
- [8] Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L.: *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, 2011.
- [9] 井町充晶, 植野雅之, 上月景正, 対馬勝英: 音楽ゲームにおけるシミュレータの構築と習熟 (< 特集> 新しい学習環境と情報教育/一般), 電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学, 103(320), pp. 37-42, 2003.
- [10] 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, 41.3, pp. 287-296, 2003.
- [11] Fraisse, P.: リズムとテンポ, 音楽の心理学 第六章, 西村書店, D. Deutsch ed., pp. 181-220, 1982, 寺西立年, 大串健吾, 宮崎謙一, 訳, 1985.
- [12] Matsubara, M., Terasawa, H., Hansen, K. F. and Hiraga, R.: *An inquiry into hearing-impaired student's musical activities – How do they listen to the music?*, International Conference on Music Perception and Cognition., 2014(accepted)
- [13] Matsubara, M., Terasawa, H. and Hiraga, R.: *The effect of musical experience on rhythm perception in hearing-impaired undergraduates*, IEEE Conference on System, Man and Cybernetics., 2014(accepted)