

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

松原 正樹^{1,a)} Hansen Kjetil² 寺澤 洋子^{1,3} 平賀 瑠美⁴

概要: 聴覚障害学生を対象とした音聴取能力向上のための音楽トレーニングプロジェクトについて報告し、これまでの実践や今後の展望について述べる。音聴取能力向上は場の雰囲気や危険予測など声、音楽、環境音などが混在する実生活において会話以外の音でのコミュニケーションを可能にする。これにより聴覚障害学生が社会との関わりを広げ、就労における状況把握を容易にできることが期待される。聴取能力向上を実現するためには音の聴こえに関する調査、トレーニングシステムの開発および実施、聴取能力の評価方法の策定の3つの観点が必要である。我々は聴覚障害学生の音楽活動および音の聴こえに関するフィールドワークを行い、トレーニングのためのゲームを実装した。ゲームは主にタブレット端末で動き、積極的、継続的、娯乐的な使用を通して音聴取の基礎的能力向上を目指す。音の繋がりや音色識別向上のための Music Puzzle やリズム識別向上のためのタッピングゲームの実践を行い、その結果から聴覚障害の音聴取に関する考察を行う。また聴取能力の評価方法の策定についても考察を行った。

1. はじめに

本稿は残存聴力を持つ聴覚障害学生を対象とした音聴取能力向上のための音楽トレーニングプロジェクトの全体像を述べ、我々がこれまで行った研究実践を報告する。

「聴覚障害があるからといって必ずしも音楽を受け入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], 教育学 [22], 言語学 [17], 認知科学 [13], [18], 福祉工学 [4], [6] など幅広い分野において聴覚障害者と音楽の関係に関する研究で示唆されている。音楽活動を行う聴覚障害児の言語習得が優位である [17], [18] という報告や、音楽を媒体とした感情の伝達は聴覚障害の有無で有為差が見られない [6] という報告、また音楽経験がノイズのある環境での音声認識に有用であるという報告 [15] から、音楽が聴覚障害者にとって有用な役割を果たす可能性が見込まれる。

幼少期から聴覚障害を持ち現在残存聴力を持つ者の中には、音楽に興味を持ち毎日のように音楽を楽しむ者や自ら演奏する者、ダンス、ゲーム、カラオケなどの音楽娯楽を楽しむことが多い [11]。しかしながら、そうした音楽活動において彼らがどのような音の聴こえ方で楽しんでいるのかは明らかにされていない。またどのように音が聴こえて

いるのかについて自覚しているものも少ない。我々は聴覚障害学生を対象に音楽を用いて音の気付きを増やすことで、音聴取能力向上に研究の余地があると考えた。

音聴取能力（以下、聴能）の向上は、声、音楽、環境音などの複数音源が混在した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、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・環境との関わりを広げる可能性がある。一般に聴覚障害者への聴能訓練は幼少期より行われ、これまで単音源の音声言語（スピーチ）の理解獲得に重点がおかれてきた。これにより対面時の会話は読唇と組みあわせて行えるようになる。しかし、実生活においては、複数人の会話や雑音下での会話など複雑な音環境におけるコミュニケーションで速やかで適切な反応が求められる。聴覚障害者の社会生活における大きな課題となっている。特に聴覚障害学生は社会的な行動範囲も広がりそういった状況におかれることが多く社会人になる前に問題を克服するニーズが高い。

そこで本研究では聴覚障害学生を対象に使用者が積極的な気持ちで継続できるようゲームを制作し、音楽の援用による聴覚障害者の聴能向上を目指す。特に本稿では音の聴こえに関する調査、トレーニングシステムの開発および実施、聴取能力の評価方法の策定の3つの観点に基づくフレームワークを提案しこれまでの研究プロジェクト全体について述べる。

¹ 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

² KTH Royal Institute of Technology

³ JST さきがけ

⁴ 筑波技術大学産業技術学部

a) masaki@slis.tsukuba.ac.jp

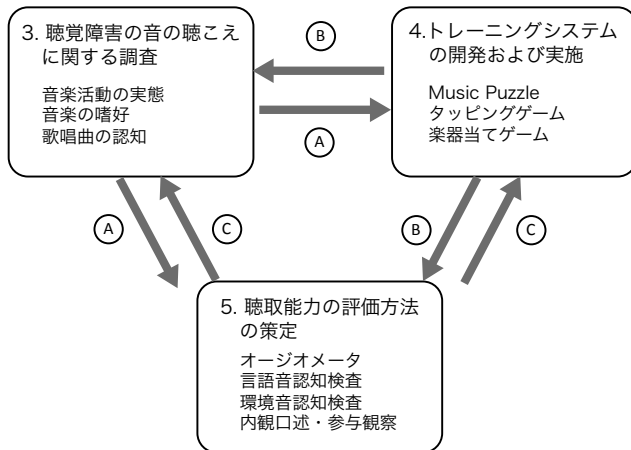


図 1 プロジェクト全体像 (番号は本稿における節番号)

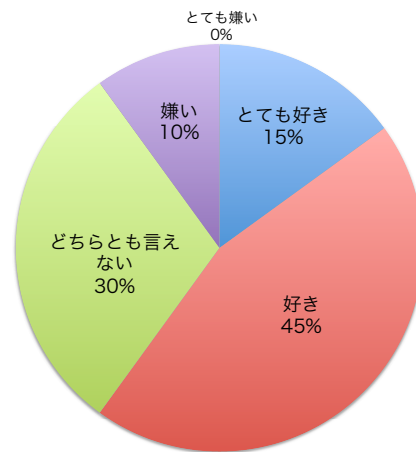


図 2 音楽嗜好に関する 5 段階評価

2. プロジェクト全体像

図 1 にプロジェクト全体像と本稿における節番号を示す。本プロジェクトは「音の聴こえに関する調査」、「トレーニングシステムの開発・実施」、「聴取能力の評価方法の策定」の 3 つの観点から研究を行っている。それぞれの観点は独立な研究ではなく相互に関連し合うものである。例えば、聴覚障害の聴こえに関する調査によって明らかになった特性はトレーニングシステムや評価方法に適應される (図 1 の (A))、トレーニングシステムの実験で得られた知見は聴こえに関する新たな仮説と評価方法を生み出す (図 1 の (B))、評価方法の策定によって聴こえやトレーニング結果が比較可能になる (図 1 の (C))。特に聴取能力の評価は音楽トレーニングの聴能向上効果を客観的に評価するための指標だけでなく、学習者本人が音の聴こえの向上を判断するためのフィードバックとしてもはたらく。

音楽トレーニングは学習者が主体的に継続して使用できるようにするため、多くの聴覚障害者が日常的に使用しているスマートフォンやタブレット上で使えるゲームとして能動的音楽聴取システムを提供する。ゲームの制作においては聴覚障害学生が一人で積極的、継続的に楽しめることを考慮し以下の 2 項目の設計によって効果的な学習効果を狙う。

フィードバックの設計 学習者の能力や興味に適合した難易度のトレーニングでなければ訓練は継続しない。また客観的に比較可能な評価を適切なタイミングでフィードバックすることで初めて学習者の学習が促進される。ゲーミフィケーション研究の知見を利用し、没入度を高めるための誘導、視覚情報によるヒントのバランス、魅力的なインタフェースを考える必要がある。

音響コンテンツの設計 学習者の聴覚特性や興味に適合した音響コンテンツでなければ訓練は効果が現れない。学習効果をあげるために聴覚障害者の音の聴こえに関

する調査を通して音の聴き分けやすさを考慮した音源の策定が必要である。例えば、日常生活において音を認識することで危険回避に役立てたり状況の変化を認められたりするような音響コンテンツである。環境音や楽器音、歌唱曲など現実の様々な音響コンテンツを、聴覚や音楽認知に関する先行研究の知見 (例えば、音色の知覚 [7] や音楽の記憶 [19] など) を活かして利用する。

ソフトウェアの開発はスパイラルモデルで行い、3 つの観点で得られた知見を他の観点に応用することで研究を進めていく。

3. 聴覚障害の音の聴こえに関する調査

聴覚障害学生 20 名 (聴力: 55dB~100dB, 年齢: 19~23 歳) にフィールド調査や知覚実験を行った。以下に音楽活動の実態や音楽の嗜好、歌唱曲の認知について述べる。

音楽活動の実態

表 1 は聴覚障害学生に対して行った音楽活動に関するフィールド調査の結果である。多くの学生が大学に入る前に音楽の授業で楽器の演奏を経験していることがわかった。また音楽が好きと答えたものの多くは音楽を日常的に聴いており、また週末はカラオケやダンスにいくなど音楽活動を行っているものもいた。音楽を毎日聴く、自ら演奏する、ダンス、ゲーム、カラオケ、ミュージカルなど音楽娯楽の楽しみ方が多様であることが分かった。

音楽の嗜好

図 2 は音楽聴取全般に対する好みを 5 段階で評価したものである。半分以上の学生が音楽を聴くことを好きと回答している。音楽を日常的に聴く学生は YouTube など映像とともに楽しむものが多かった。中には、好きな歌唱曲の歌詞が聴き取りづらいので歌声の部分だけ音楽ソフトを用いて切り出し、歌詞を暗記し音楽との同期するタイミン

表 1 聴覚障害学生の音楽活動

調査項目	回答 (括弧内の数字は延べ人数)
ジャンル	J-POP(13), クラシック (3), ジャズ, K-POP, ダンス, ロック
頻度	毎日 1~3 時間 (6), 週 1 回 (6), 毎日 10 分~30 分 (3)
聴取状況	勉強中 (5), 暇な時 (4), 息抜き (3), 移動中 (2), 寝る前 (2), 朝
聴取方法	YouTube+スピーカ (6), ipod+イヤフォン (6)
音楽活動	カラオケ (2), ダンス (2), ミュージカル鑑賞
音楽経験	ピアノ (8), リコーダ (3), 和太鼓 (3), 合唱 (2), アコーディオン, ピアニカ, ハンドベル

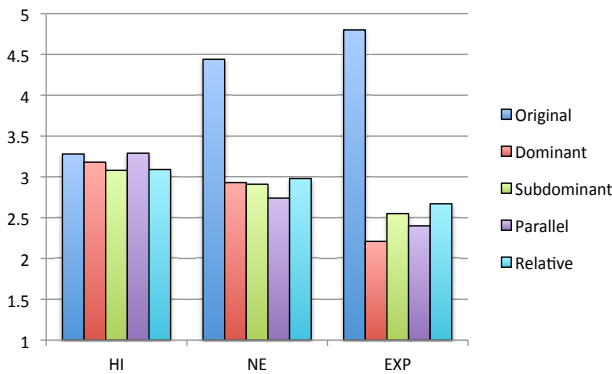


図 3 楽曲の終止形における自然さの 5 段階評価

グを覚え楽曲の PV を閲覧して楽しむものもいた。ゲームの使用からの知見として、健聴者学生は音声よりも歌と音楽が合わさったものを好んでいたのに対し、多くの聴覚障害学生が音声よりも音楽のみの音源を好んでいた [8]。

歌唱曲の認知

聴覚障害学生の歌唱曲認知の調査に先だって、音楽のどの要素を聴いているか手掛かりを探るため、ピアノ曲の伴奏部の調性を変化させた実験用の曲をもとに終止形の判別を行った (図 3)。和声の終止形は和声感に伴って暗黙のうちに期待されるものである [1], [9], [12], [16]。実験に用いた楽曲はクラシックやポップスのメロディと伴奏の合奏であり、伴奏部はそれぞれ (1) そのまま, (2) 属調, (3) 下屬調, (4) 近親調, (5) 平行調に移調したものを作成した。実験参加者は聴覚障害学生 (HI) の他に、音楽経験のない健聴者 (NE)、音楽経験のある健聴者 (EXP) を対象とした。NE や EXP の判定によれば移調した楽曲はいずれも終止形に違和感を覚え不自然であると判断されたが、HI においては移調の差が見られなかった。このことから聴覚障害では伴奏部分を聴くのが難しいか、和声感がないのどちらかであると予想ができる。

また歌唱曲の音楽聴取においてどんな時に聞き取りづらくなるかを調査したところ以下のような回答が得られた (括弧内は延べ人数)。

- 高い音 (6)
- たくさんの人が話しているとき (3)
- 歌声は何を言っているかわからない (2)
- リズムが分からない (2)

- 母音の判別がつかない
- 補聴器のハウリング
- 外野の音が大きい時

多くの学生が自分の聴こえ方について自覚していないのにも関わらず、聞き取りづらい状況について具体的に説明している。ただし、高い音が聞き取りづらいという回答に関しては、本当に高い音が鳴っているか判別しているとは限らず、一般的に聞き取りづらい音=高い音として回答している可能性がある。先に述べた和声感の実験とともにいくつかの仮説を見いだしたので、実際に和声や周波数帯域に関する評価項目の策定へ応用できればと考える。そのためアンケートだけでなく、ゲームのログなどを用いて調べていく必要がある。

4. 聴能向上のための音楽トレーニング

音楽トレーニングではゲームを通じて音色やリズムといった音声言語以外の情報を提示し、聴覚障害者が楽しみながら音の聴取能力を向上させることについて、その学習効果を検証する。小中高生時に行った聴能訓練を補う形で日常生活での音聴取能力を高めるために、以下にフォーカスを当てて音楽ゲームを改良する。

- (1) 音の発生源である楽器音を認識できるようになる (音色の識別)
- (2) 音の時間変化や反復に注意できるようになる (リズムの識別)

音の発生源ならびに時間変化や反復への気付きは、複雑な音環境でのストレスが軽減し、非常時の認識、発話の認識、音楽の楽しみを増し、日常生活において積極的なコミュニケーションを行うようになることを期待する。

本プロジェクトでは聴覚障害学生を対象に (1) 音の繋がりと音色識別向上のための Music Puzzle, (2) リズム識別向上のためのタッピングゲーム, (3) 音色識別向上のための楽器当てゲームを実装しトレーニング実践を行う。合わせて 2 つの実験の健聴者との比較検証も行う予定である。実験で得られる結果から、聴覚障害者への音楽トレーニングの有効性を示し、健聴者との比較実験により聴覚障害のどの特性が学習に寄与したか分析することで、聴覚障害者の学習過程を明らかにしモデル化を試みる。実験参加者の数は 10 名~20 名である。

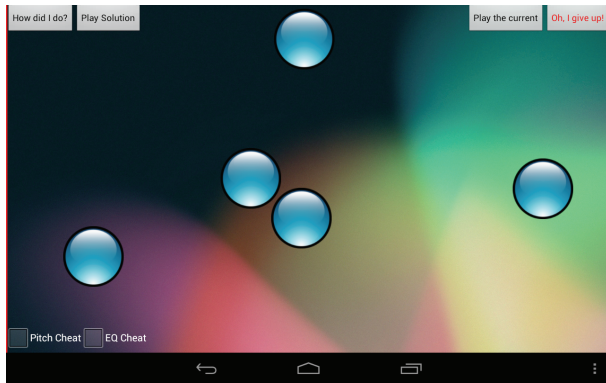


図 4 Music Puzzle のインターフェース

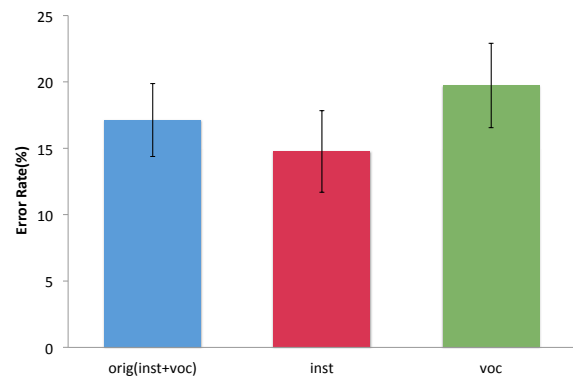


図 5 音源毎のタップエラー率

Music Puzzle

Music Puzzle は第 2 著者が開発したタブレットで動く音楽ゲームである [5]。図 4 にゲーム画面を示す。Music Puzzle は音の繋がりや音色の識別能力向上を目的としている。画面上の丸い部分が音源に対応し、左から右に時系列順に音源が再生される。これらの音源はもとが一つの音声ないしは音楽で一定時間ごとに切り取られ順番をバラバラにされたものである。学習者は音源をドラッグし位置を変えて正しい順番になるよう操作を行う。音源はイコライザがかかっており、音色の変化が施されている。見本の正解音源を聴きながら正しい音色に変化させる必要がある。

このゲームを用いた能動的聴取のトレーニングを行い、聴覚障害者の聴覚情景識別能力向上の有効性を検証する。実験では聴覚障害学生が没入する様子も見受けられておりゲームによる継続的な音楽聴取も可能であることが示されている [8]。

タッピングゲーム

タッピングゲームは音の時間変化や反復に注意しリズムの識別能力を高めることを目的としたゲームである。歌唱曲のようにメロディと伴奏が混合された音楽を聴きながら、タブレット上で拍を取ってタップをする。同定すべき拍はタイムライン上に右から左に流れて可視化されており、ユーザは視覚情報を参考にしつつ、音楽を聴きながら拍をとる。歌付きの音楽を歌声や歌詞ばかり着目して聴くことが多い聴覚障害者に対して様々な周波数帯域の音をリズムで意識させることで、音聴取能力の向上を目指す。

プロトタイプシステムの実験として、聴覚障害学生がどのくらいの正答率でタッピングできるのか調査を行った。音源は J-POP 歌唱曲を用い、原音源 (orig) と楽器伴奏のみの音源 (inst)、歌のみの音源 (voc) を作成した。実験参加者は各音源を聴きながら拍をタップする。図 5 に各曲における拍のずれの割合を示す。歌のみの音源は拍が取りづらく、逆に楽器伴奏のみの音源はドラムなどのパーカッションを頼りに拍が取りやすいということが、実験直後のアンケートからも伺えた。

楽器あてゲーム

楽器あてゲームは現在プロトタイプを実装中である。このゲームは音の発生源である楽器音を当てるものである。トレーニングにより音色が識別できるようになると予想される。同じメロディを複数の楽器で演奏させたものを作成し、(1) 単一楽器、(2)(1) にノイズを加えたもの、(3) 複数の楽器の混合音、(4)(3) にノイズを加えたもの、の 4 つで比較を行う。難易度に合わせて混合させる楽器の種類を変化させる。複数の楽器が同時になったり、ノイズが付与されていることは日常生活においても頻繁に生じており、このトレーニングによってこうした状況下でも聴覚情景を描くことができるようになると期待する。

5. 聴取能力の評価手法

2 節で述べたように聴取能力の評価は音楽トレーニングの聴能向上効果を客観的に評価するための指標だけでなく、学習者本人が音の聴こえの向上を判断するためのフィードバックとしてもはたらく。音楽が好きでよく聴いている聴覚障害者は、自分が聴く音楽は健聴者が聴く音楽とどれくらい同じなのかあるいは違うのか不安に思うことがある、というフィールド調査の結果からも必要性が高い。

一般に病院やろう学校などで実施される聴覚障害の聴取能力の評価は、聴覚に関してはオーディオグラムによる障害度の計測が多く、音の知覚に関しては環境音認知検査 [23] を基にした知能検査や被験者の主観的な記述と観察 [10], [20] が主である。しかしオーディオグラムの結果が同じでも、実際の聴こえには大きい差があることが聴覚障害者自身の報告からわかっている (dB の値は同じなのに、音で理解できる人もいれば出来ない人もいる)。現状のオーディオグラムでは刺激音にサイン波を用いて振幅および周波数のパラメータを変更しているが、今後は本プロジェクトで評価予定の音色やリズムといった音楽的な要素に関する適切な評価方法を策定していく必要があると考える。また知能検査の多くは言語性検査と非言語的な動作性検査が中心であるが、心理的な側面も考慮した評価方法の需要が高まっている。

る [21]. 本稿で述べた実験の様子からも音楽トレーニングシステムを使っている際の学習者の没入感や楽しさが継続の意欲を促進し学習効果に影響を与えていると考えられるため、心理的な側面も合わせて評価していく必要がある。

6. まとめ

本稿では残存聴力を持つ聴覚障害学生を対象とした音聴取能力向上のための音楽トレーニングプロジェクトの全体像を述べ、これまでの実践について報告を行った。また聴覚障害の音の聴こえに関する調査、トレーニングシステムの開発および実施、聴取能力の評価方法の策定の3つの観点に基づくフレームワークを提案した。聴覚障害の音の聴こえに関する調査では聴覚障害学生における音楽活動の実態や音楽の嗜好、音楽の認知について調査結果を報告し、トレーニングシステムではすでにトレーニング効果が示唆されている Music Puzzle のほか、タッピングゲームや楽器あてゲームの開発について報告した。さらに聴取能力の評価方法の策定では心理的な側面も考慮した音認知検査手法の必要性について述べた。

音聴取能力向上は場の雰囲気や危険予測など声、音楽、環境音などが混在する実生活において会話以外の音でのコミュニケーションを可能にし、聴覚障害者の社会との関わりや就労の機会を広げる可能性がある。また聴覚障害者は音楽から離れた存在ではなく、音楽を積極的に楽しんでいる人がいるということを広く一般に知ってもらうことで、音楽を活用する聴覚障害者のQOLの向上に関する研究や事業が増えることを期待する。今後は実験参加者の数を増やし、聴覚障害の度合いだけでなく音楽経験の有無、音楽の嗜好性、国籍の差など様々な属性に基づいた分析を行う予定である。

謝辞

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] Aarden, B. J.: *Dynamic melodic expectancy*, Dissertation, Ohio State University, 2003.
- [2] Darrow, A. A.: *The role of music in deaf culture: Deaf students' perception of emotion in music*, Journal of Music Therapy, XLIII(1):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] 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 Com-

- puting Conf., pp. 70-76, 2011.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Hiraga, R. and Otsuka, K.: *On the recognition of Timbre, A first step toward understanding how hearing-impaired people perceive timbre*, Proc. IEEE SMC, pp. 2013-2018, 2012.
- [8] 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.
- [9] Huron, D.: *Chapter 9. Tonality*, in Sweet Anticipation-music and the psychology of expectation, pp. 143-174, The MIT Press, 2007.
- [10] Larsby, B. and Arlinger, S.: *A method for evaluating temporal, spectral and combined temporal-spectral resolution of hearing*, Scandinavian audiology, 27(1), pp. 3-12, 1998.
- [11] 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, 2014 (to appear).
- [12] Milne, A. J.: *Tonal Music Theory-A Psychoacoustic Explanation?*, pp. 597-600, Proc. ICMPC, 2010.
- [13] Mitani, C. et. al.: *Music Recognition, Music Listening, and Word Recognition by Deaf Children with Cochlear Implants*, pp. 29-33, Ear and Hearing 28, 2007.
- [14] Oxenham, A. J.: *The Perception of Musical tones*, in The Psychology of Music, Third Edition (Cognition and Perception), pp. 1-34, Academic Press, 2012.
- [15] Parbery-Clark, A., Strait, D. L., Anderson, S., Hittner, E. and Kraus, N.: *Musical Experience and the Aging Auditory System: Implications for Cognitive Abilities and Hearing Speech in Noise*, PLoS ONE, 6(5), e18082, 2011
- [16] Toivianen, P., and Krumhansl, C. L.: *Measuring and modeling real-time responses to music: The dynamics of tonality induction*, pp. 741-766, Perception, 32, 2003.
- [17] Torppa, R., Faulkner, A., Järvikivi, J. J. and M. V. J.: *Acquisition of focus by normal hearing and cochlear implanted children: The role of musical experience*, Proc. 5th International Conference on Speech Prosody, 2010.
- [18] Trehub, S. E., Vongpaisal, T. and Nakata, T.: *Music in the lives of deaf children with cochlear implants*, Proc. The Neurosciences and Music III: Disorders and Plasticity, 2009.
- [19] Snyder, B.: *Music and Memory, an Introduction, Chapter 11. Melody*, The MIT Press, 2000.
- [20] Vestergaard, M. D.: *Self-report outcome in new hearing-aid users: Longitudinal trends and relationships between subjective measures of benefit and satisfaction*, J. of Audiology, 45(7), pp. 382-392, 2006.
- [21] 栗村昭子: 聴覚障害者のアセスメントに関する一考察, 関西福祉科学大学紀要 9, pp. 61-66, 2006.
- [22] 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, 44(3), pp. 129-139, 2002.
- [23] 中川辰雄: 聴覚障害学生の環境音認知, 横浜国立大学教育人間科学部紀要. I, 教育科学 1, pp. 81-88, 1998.