

聴覚障害者の音楽認知特性および トップダウン処理支援による音楽トレーニング

松原 正樹^{1,a)}

概要:「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」という主張は幅広い分野において聴覚障害と音楽の関係に関する研究で示唆されている。聴覚障害者の音楽認知に関するフィールド調査や心理実験について著者が2013~2018年に行った研究をもとに、音楽認知におけるトップダウン・ボトムアップ処理の観点から総合的に考察を行う。フィールド調査の結果、聴覚障害者の音楽活動は多岐にわたり積極的に音楽聴取を行っていて健聴者との違いを感じさせなかった。環境音認識・リズム認識・楽器音認識に関しては、ボトムアップ処理はできるがトップダウン処理に困難を伴うなど、音楽経験や背景知識の有無による影響が大きいことがわかった。以上の知見をもとに、トップダウン処理支援による音楽トレーニングの可能性を見出し、学習効果を検証する実験を行った。実験の結果、リズム認識や楽器音認識において視覚手がかりによる聴取能力向上が確認された。

1. はじめに

音の聴取能力は、声・環境音・音楽など複数の音源が混在した実生活の聴覚情景を豊かにし、場の雰囲気や察知によるスムーズなコミュニケーションや、非常事態の認識による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上で重要である。聴覚障害者にとっても重要であることは変わりなく、音の聴取能力の訓練は一般に幼少期より行われ、これまで単音源の音声言語の理解獲得に重点がおかれてきた。しかし、実生活においては、複数人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にて速やかで適切な反応が求められ、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 [1]。

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 [2]。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普段から音楽を楽しむ聴覚障害者は大勢いる。音楽は歌声や楽器音など複数の音源が混在することが多く、音楽の一要素を聴き取れるようになることはこれらの課題の克服につながると思われる。また音楽の情動面への効果を考えるとQoLの向上にもつながると期待できる。

これまで我々は聴覚障害者20名を対象に音楽聴取に関してフィールド調査を行った [3]。その結果、半数以上が音楽を聴くことを好きであり、音楽活動は実に多岐にわたりながら積極的に音楽聴取活動を行っていて、健聴者の音楽聴取との違いを感じさせなかった。このことは聴覚障害者93名に行った「音楽に関心があるか」というアンケートで72%の生徒が関心ありと答えている先行研究 [4] の結果と相反しない。

さらに我々は環境音のカテゴリ分類課題や音楽のリズム追従課題における認知特性について聴取実験による調査を行った [5], [6]。その結果、環境音認識に関しては弁別はできるが同定ができないこと、リズム認識に関しては音楽経験の有無によって能力が異なることが示された。以上より音

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

a) masaki@slis.tsukuba.ac.jp

表 1 聴覚障害学生 20 名の音楽活動

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

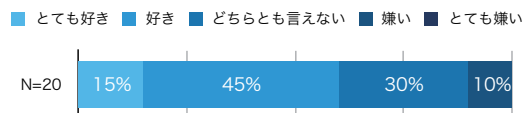


図 1 聴覚障害学生 20 名の音楽嗜好の分布

の違いや目立つ音を聴き分けるボトムアップ処理はできても経験や知識に基づいて特定の音を聴き分けるトップダウン処理が困難であることが示唆された。

本論文では、以上の知見を踏まえてトップダウン処理の支援による音楽トレーニングの可能性について言及し、リズムと楽器音の認識におけるトレーニングの実験について述べる。実験の結果、リズム認識や楽器音認識において視覚手がかりによ聴取能力向上が確認された。

2. 音楽活動のフィールド調査

聴覚障害学生 20 名（聴力: 55dB~100dB, 年齢: 19~23 歳）を対象に音楽活動に関するフィールド調査を行った（詳細は [3] に記述）。

表 1 は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、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。健聴者と変わらず、AKB48 や EXILE を始めとする J-POP のプロモーションビデオ (PV) を見たり、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た。

図 1 は音楽聴取全般の嗜好性を 5 段階で評価した分布である。半分以上の学生が音楽を聴くことを好きだと回答した。音楽を日常的に聴く学生らはカラオケに行ったり、YouTube で映像とともに音楽を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

THE CAT

図 2 The Cat: トップダウン処理の例

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グを覚え楽曲の PV を閲覧して楽しむものもいた。

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、「カラオケで入りがわからない」と焦ることもあるようである。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、たとえ音楽の一音一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。

フィールド調査結果から健聴者と違いを感じさせない聴覚障害者の積極的な音楽活動の実態が示された。この結果はこれまで音楽療法 [7], [8], 障害科学 [4], 言語学 [9], 認知科学 [10], [11], 福祉工学 [12], [13] 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た「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」という主張をサポートするものである。

3. 音認知におけるトップダウン処理

3.1 トップダウン処理

トップダウン処理とは経験や背景知識に基づく推論によりオブジェクトの認識を行う人間の情報処理過程の一つである。文脈によって知覚が変化することを文脈効果といい、トップダウン処理の一つとして知られている。図 2 は文脈効果の例で、英単語の知識があるものであれば、“THE CAT”と読める。1 単語目の H と 2 単語目の A が同じ形をした画像にも関わらず違う文字として認識される理由は前後の文字との関係性や全体の意味や文法構造による。こうしたトップダウン処理

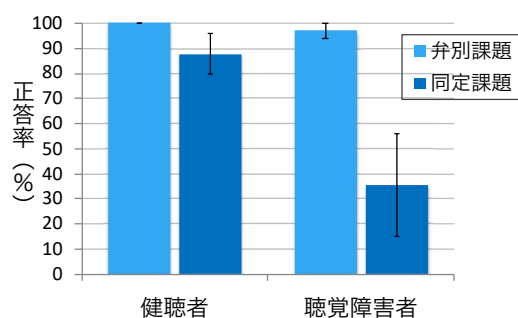


図3 環境音認知テストの弁別・同定課題の平均正答率

は音の認識でも生じることがわかっている [14].

3.2 環境音における弁別と同定

これまで我々は環境音の認識能力を健聴者 16 名と聴覚障害者 16 名 (聴力: 66.3dB~100dB 超) を対象に聴覚心理実験により計測を行った (詳細は [5] に記述).

これまで聴覚障害者の環境音認知においては音を聞かせて名前を答えさせる研究がなされており, 聴覚障害による困難に焦点を当てたものであった [15]. 本研究では 4 つの認知段階 (検知・弁別・同定・理解) のうち弁別 (2 つの音が同じか違うかを答える) と同定 (音を聴いて名前を答える) の能力に着目し, 環境音データベースにある 9 つの環境音を対象に弁別課題と同定課題を行った. 実験の結果, 聴覚障害者は音の名前からなくても音の聞き分けはできることが明らかとなった (図 3).

健聴者は弁別も同定も行えるが, 聴覚障害者は弁別のみ行える. この結果から次のような仮説が立てられる. 聴覚障害者は音の違いを聞き分けるボトムアップ処理はできても経験や知識に基づいて特定の音を聞き分けるトップダウン処理が困難である, しかしトップダウンを何らかの手がかりで支援することで学習効果が期待できることが示唆された. 実際にこの仮説に基づいて環境音の学習支援システムを構築し, 効果の検証を行った [16]. 本論文の焦点が音楽認知であるため, 詳細は省略するが, 環境音認知においてもトップダウンの支援を行うことで学習効果が望めることが示されている.

3.3 リズム認識能力

聴覚障害学生 9 名 (聴力: 100 dB 超, 年齢: 19~

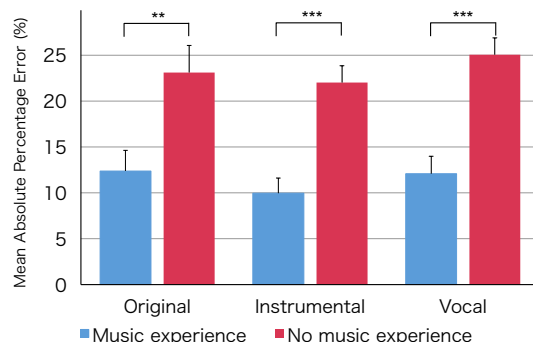


図4 音楽経験の有無によるタッピングの平均絶対誤差の違い

23 歳) を対象にリズム認識能力を評価する聴取実験を行った (詳細は [6] に記述).

実験参加者は音楽を聴きながらリズムに合わせてタッピングを行う. タッピングの精度を平均絶対誤差率で計算しリズム認識能力を評価する. J-pop 5 曲を対象に, オリジナル (伴奏と歌), 伴奏のみ, 歌のみ, の 3 条件 (5×3=15 刺激) について順番のカウンターバランスをとり叩いてもらった.

実験の結果, オリジナル, 伴奏のみ, 歌のみのいずれの条件下でも音楽経験の有無によるタッピング精度の有意差が認められた (図 4)(オリジナル, 伴奏のみ, 歌のみで $p = 0.0036, \leq 0.001, \leq 0.001$). 聴力レベルはいずれの実験参加者も 100dB を超える重度の聴覚障害であったため, 聴力レベルが同じだからといって音楽認知能力が同じとは限らないことが明らかとなった.

このことは音楽経験によって音楽のリズム構造がどういふものであるかを理解し, 音楽聴取時のトップダウン処理に何らかの影響を与えたと推察することができる. この結果から音楽経験のない聴覚障害者が音楽経験を積むことによって音楽認知能力の向上が見込めるといふ仮説が立つようになった.

4. トップダウン処理支援による音楽トレーニング

4.1 視覚手がかりによるリズム認知トレーニング

感性性難聴で残存聴力のある聴覚障害者 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; 補聴器装着 5 名, 人工内耳装着 1 名) を対象に視覚手がかりによるリズム認知トレーニングの効果を検証した (詳細は [17]

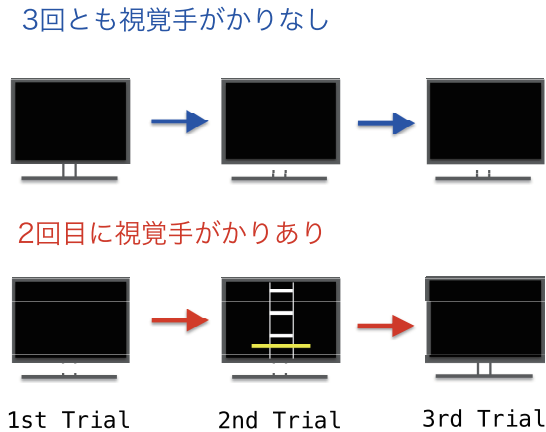


図5 各条件の1セット各の流れ
 Fig. 5 Flow of each condition.

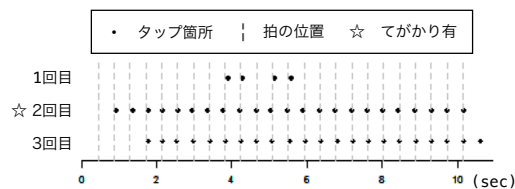


図6 タッピング結果の例

に記述)。

音楽に合わせて拍をタッピングする課題を1つの刺激音につき3回繰り返した。図5に示すように3回とも視覚手がかりなしで行う条件と2回目に視覚手がかりがある条件の2条件における1回目から3回目のタッピング精度の伸びの比較を行った。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。

ある実験参加者のタッピング結果の例を図6に示す。1回目の試行では曲の途中に来るまでのタイミングで叩いて良いかわからず叩いたあと自信がなくてやめてしまった。しかし、2回目の視覚手がかりがあったおかげで3回目の試行では最初から拍に近いタイミングで叩くことができていたことがわかる。これは2回目の視覚手がかりによってリズムの開始位置やリズムの感覚を理解し、どういう音とリズムに高い相関があるかを理解したことから、3回目の音楽聴取時のトップダウン処理に何らかの影響を及ぼしたと推察できる。

実験の結果として各条件における1回目と3回目のタッピング成績の平均を図7に示す。視覚

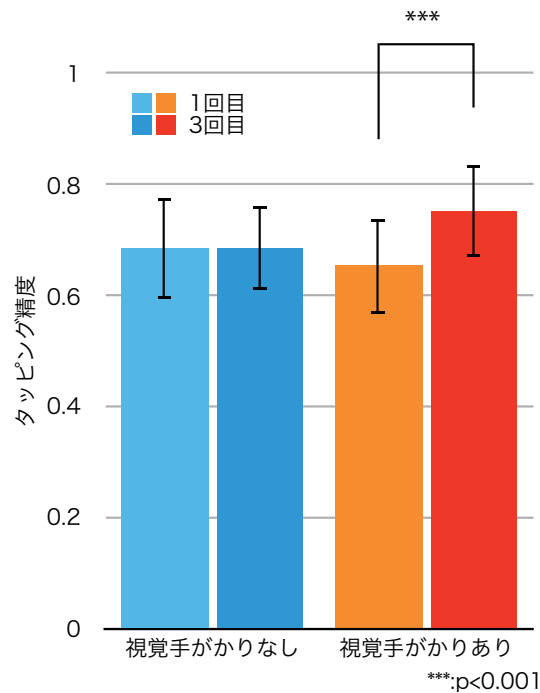


図7 2つの条件におけるタッピング精度の比較

手がかりなしの条件、視覚手がかりありの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、視覚手がかりがある条件でのみタッピング成績の増加が認められた ($p < 0.001$)。このことは視覚手がかりがトップダウン処理の支援となり音楽に合わせて拍をタッピングできことを示唆している。この結果は、視覚刺激と聴覚刺激を同時に行うとタッピング課題の成績が良いという結果 [18] とも一致する。

なお、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ボトムアップ処理のみで同じ楽曲を拍通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。視覚手がかりの開始時間や時間間隔を記憶し、ボトムアップ処理のみで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を分からないと、テンポを一定にキープできても正しい拍とずれ続けてしまう。アウト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一層難しい。
- (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

楽器と音の形①

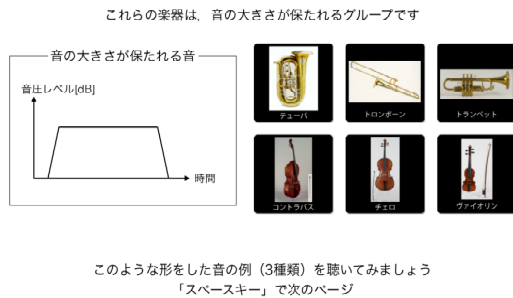


図 8 時間エンベロープ概念の図示

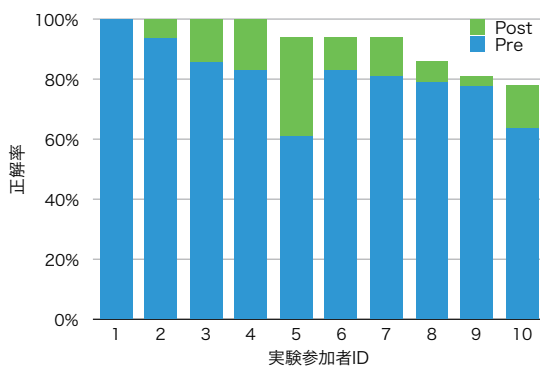


図 9 楽器音認識の正解率 (Pre と Post)

でも違った場合に位相がどンドンずれてしまう。

- (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 [19].

4.2 時間エンベロープの概念提示による 楽器音認識トレーニング

聴覚障害学生 10 名（男性 4 名，女性 6 名，聴力レベル 67.5~108.75 dB）を対象に時間エンベロープの概念提示による楽器音認識トレーニングを行った（詳細は [20] に記述）。

聴覚障害者を対象とする楽器音認知に関する研究や楽器音識別トレーニングについては、先行研究 [21], [22], [23], [24], [25] が数多くあるが、本研究では時間エンベロープに着目し、持続音（金管楽器、擦弦楽器）と減衰音（撥弦楽器）の時間エンベロープの異なる楽器をそれぞれの音域（低音域・中音域・高音域）において識別できるかを

行った。

トレーニングとして持続音と減衰音の時間エンベロープの概形を図示し（図 8），時間エンベロープの概念を学習してもらう。学習前と学習後の識別テストの正解率の比較を行った。実験の結果、図 9 に示すように、事前テストから事後テストにかけては全員（天井効果の出た者を除く）の正解率が向上した。

実験後のアンケートにおいて時間エンベロープを当てる問題を全員が正答していることから、聴覚障害があっても、一般的に知られた楽器であれば、その楽器が持続音なのか、減衰音なのかといった時間エンベロープの概形を理解できることが示唆された。成績の向上の一要因として時間エンベロープの概念によるトップダウン処理が支援されたことが推測される。

特に学習中にあった三角波の時間エンベロープを当てる問題はほとんどの被験者が正答できていたことから、わかりやすい音であれば、時間エンベロープの違いが容易に判別がついていることがわかる。また減衰の顕著な楽器は容易に識別が可能であることも示唆された。一方、減衰が緩やかな楽器は、個人によって手がかりとしている時間エンベロープの特徴が異なることが示唆された。

5. おわりに

本論文は聴覚障害者の音楽認知に関するフィールド調査や心理実験について著者が 2013~2018 年に行った研究をもとに、音楽認知におけるトップダウン・ボトムアップ処理の観点から総合的に考察を行った。フィールド調査の結果、聴覚障害者の音楽活動は多岐にわたり積極的に音楽聴取を行っていて健聴者との違いを感じさせなかった。環境音認識・リズム認識・楽器音認識に関しては、ボトムアップ処理はできるがトップダウン処理に困難を伴うなど、音楽経験や背景知識の有無による影響が大きいことがわかった。以上の知見をもとに、トップダウン処理支援による音楽トレーニングの可能性を見出し、学習効果を検証する実験を行った。実験の結果、リズム認識や楽器音認識において視覚手がかりによる聴取能力向上が確認された。

本研究の知見を活かして、音声・環境音・音楽などが混在する実生活において、場の雰囲気や把握や危険予測など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ことを目指していきたい。

謝辞 共同研究者、研究協力者の伊藤隆浩氏、湯野悠希氏、加藤優氏、狩野直哉氏、Hansen, F. Kjetil 助教、田原敬助教、寺澤洋子助教、平賀瑠美教授との有益な議論に感謝する。また実験参加者として参加した聴覚障害者へ感謝する。本研究はJSPS 科研費 JP17K14058 の助成を受けた。

参考文献

- [1] J. L. Luckner. Skills Needed for Teaching Hearing-Impaired Adolescents: The Perceptions of Teachers, *American Annals of the Deaf*, 136(5):422-427, 1991.
- [2] http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/tokubetu/004/002.htm (7月31日閲覧)
- [3] 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.
- [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*, 44(3), pp. 129-139, 2002.
- [5] 湯野悠希, 松原正樹, 田原敬, 寺澤洋子, 平賀瑠美: 聴覚障害者の環境音知覚における弁別と同定の比較. *情報処理学会研究報告*, Vol. 2016-AAC-1, No. 19, pp. 1-7, 2016.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Dikla, K.: *The effect of music therapy on spontaneous communicative interactions of young children with cochlear implants*, Ph.D thesis, Aalborg University, Denmark, 2009.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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 Conference*, pp. 70-76, 2011.
- [13] Hiraga, R. and Kato, N.: Understanding emotion through multimedia-comparison between hearing-impaired people and people with hearing abilities, *Proc. of ACM ASSETS*, pp. 141-148, 2006.
- [14] Cavanaugh, edited by William J.; Tocci, Gregory C.; Wilkes, Joseph A., *Architectural acoustics: principles and practice* (2nd ed.). Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons., 2010.
- [15] 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.
- [16] Hiraga, R., Kato, Y., Matsubara, M., Terasawa, H. and Tabaru, K.: A Learning System For Environmental Sounds On Tablets: Toward A Teaching Resource For Deaf And Hard Of Hearing Children. In *Proceedings of the Conference Universal Learning Design*, pp. 31-34, Linz, 2016.
- [17] 松原正樹, 狩野直哉, 寺澤洋子, 平賀瑠美: 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*, Vol. 57, No. 5, pp. 1331-1340, 2016.
- [18] 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.
- [19] Iversen, J. R. and 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.
- [20] 伊藤隆浩, 松原正樹, 寺澤洋子, 平賀瑠美: 聴覚障害学生を対象とした音域・エンベロープを手がかりとする楽器音識別トレーニングの作成と評価. *日本音響学会 2016 年春季研究発表会講演論文集*, pp. 1627-1630, 2016
- [21] 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.
- [22] 加藤靖佳, 山尾昌平, "聴覚障害者における楽器音の聴取(測定・評価, ポスター発表)", *日本教育心理学会総会発表論文集*, 55, 117, 2013.
- [23] Kate Gfeller et al., "Effects of Training on Timbre Recognition and Appraisal by Postlingually Deafened Cochlear Implant Recipients, *Journal of the American Academy of Audiology*, 13, 132-145, 2002.
- [24] Valerie Looi et al., "Music perception of cochlear implant users: a questionnaire, and its implications for a music training program", *International journal of audiology*, 49 (2), 116-128, 2010.
- [25] Virginia D. Driscoll, "The Effects of Training on Recognition of Musical Instruments by Adults with Cochlear Implants", *Seminars in Hearing*, 33, 410-418, 2012.