

聴覚障害者の調性認知に関する検討

寺澤洋子¹ 相馬翔太² 安啓一³ 平賀瑠美³

概要：本研究では、Krumhansl が提案したプローブ音実験の枠組みを用いて、音楽の調性認知に関する聴取実験を健聴者と聴覚障害者を対象に行った。音楽における調性の認知（音階における調性階層の認知）がどの程度可能か、そしてそれが音楽経験のバックグラウンドにどの程度影響されるかを分析した。ほとんどの場合、聴覚障害者は健聴者と比較して調性の認知が困難である。その一方で、楽器による旋律の演奏経験がある聴覚障害者は、健聴者ほど顕著ではないものの、調性の認知を行っていた。音高の変化を知覚することは多くの場合可能であり、人によっては明確に調性階層を認知できる能力を保持しているケースがあった。これらは、聴覚障害者であっても音楽経験によって音楽スキルが向上する可能性を示唆していると考えられる。

Recognition of Tonality by Persons with Hearing Impairment

HIROKO TERASAWA¹ SHOTA SOMA¹²
KEIICHI YASU¹³ RUMI HIRAGA¹³

1. はじめに

本研究では聴覚障害者がどのように音楽を認知しているのか、調性の認知という観点から分析する。また健聴者と聴覚障害者に同様の実験を行い、両者を比較する。

近年まで聴覚障害者にとって音楽は程遠いものとみなされてきた [1]。また、聴覚補償機器は、会話音声の聞き取りを主たる用途として想定しているため、音楽聴取に最適化されているわけではない。城間および熊川によれば、人工内耳装用者にとって音楽の知覚は難しい [2][3]。人工内耳はリズムや音語の知覚に最低限必要な機能は有するが、ピッチ解像度が低く、楽音や旋律の知覚には不十分であることが明らかになっている。また補聴器を用いる場合でも聞こえが変わってしまうことが多く、音楽に適しているとは言いがたい状況であった [4]。近年では、音楽モードの機能を備えた機種、携帯音楽プレーヤーを接続できる機種など、音楽鑑賞に焦点を置いた補聴器開発も進んでいる。

聴覚障害を持つ学生の中には、音楽を熱心に愛好する方も多くいる。聴覚障害による聴力レベルの低下、聴こえてくる音質の変化などは、どれも音楽認知に困難をもたらすものである。さらに、若年聴覚障害者の中には、先天性、あるいは言語発達の早い時期に失聴した方もおり、音楽の認知スキルが発達する前に音楽を聴きづらい状況になっていたケースも多い。そのような難しい状況にも関わらず、音楽を愛好している聴覚障害者が多いことは、音楽心理学を学ぶ者にとっては、非常に嬉しい事実であると同時に、非常にミステリアスでもある。難聴者は一体どのように音楽を認知しているのか？という疑問が生まれる。

そこで、本研究では、音楽の調性、つまり和音の感覚に

焦点をあて、聴覚障害者と健聴者でどのような差異があるか、また、聴覚障害者がどのような音楽経験をしてきたかについて検討する。

短調や長調など、調性音楽に用いられている音階の中で、中心的に使われる音には安定感があり、そうでない音は一過的な、あるいは装飾的な役割を担っている。このような音の役割を認知できることは、調性認知の基盤であり、音楽の流れや構造を理解する際に非常に重要な役割を果たす。Krumhansl はプローブ音法という手法で、このような調性認知の機能を測定した [5,6]。またその実験結果は非常に高い再現性で知られている。そこで今回はこのプローブ音法による聴取実験を健聴者と聴覚障害者を対象に実施し、この二つのグループの調性認知のスキルを対比し検討することとした。

また、Krumhansl の報告では、健聴者でも音楽経験を有するグループと、有さないグループでは、調性認知の様相が異なることがわかっている。健聴者を対象とし、音楽経験の有無によって、音楽認知機能に変化することを報告した例は多くある。我々は、聴覚障害者が音楽経験を有する場合に、音楽認知の機能に変化が見られるかについて、興味を抱いている。そこで、プローブ音法の聴取実験の結果を、聴覚障害者と健聴者の両方において、音楽経験の有無によって分析することとした。

2. 背景

2.1 調性階層

調性があるとは、音階においてある 1 つの音(主音)を中心に統一的なまとまりがあることを指す。この調性が、音

1 筑波大学
University of Tsukuba
2 ヒビノ株式会社
Hibino Cooperation

3 筑波技術大学
National University Corporation of Tsukuba University of Technology

楽において長調や短調の印象を形作る [7]. 音楽的な文脈において、聴取者は次にどのような音がある可能性が高いかを刻々予測している。そして現れる可能性が低いと予測していた音が現れると、文脈に適合していないように感じたり、意外であるという印象を受けたりする。そのような予測には、調性の階層的な構造(調性階層)が影響を与えていると考えられている。主音は、3度音・5度音よりも重要度が高く、全音階を構成する音(スケール構成音)は、その他のクロマティックな音(非スケール構成音)よりも重要度が高い。このように音の重要度には階層構造が見られる。また、階層(重要度)が高い音ほど実際の音楽においても出現頻度が高く総持続時間が長い傾向がある [7].

調性階層は、幼少期の音楽聴取経験によって認知機能が確立される。幼児においては音のパターンの規則性を認知することはできるが、音楽経験によって音の階層を認識できるようになるための記憶能力が発達していない。健聴児の場合、生後1年の時点で印象的な音に対する認知パターンを形成し、5~6才で歌唱における音の中心が明確になっていく [8]. さらに、8~10才ではっきりと無調性音楽よりも調性音楽を好むようになる [9]. 若年で重度の聴覚障害者の場合は、このような調性認知を発達させる時期にはすでに失聴しているケースが多く、音楽聴取の機会も減ることから、健聴の場合とは発達の様相が異なることが予想される。

2.2 プローブ音法

Krumhansl らは、プローブ音法と呼ばれる方法を用いて調性階層の安定性を定量化した [5, 6]. この手法では、まずCメジャースケールの7音(C,D,E,F,G,A,B)を、昇順あるいは降順で提示する。音列に続いてプローブ音を提示し、被験者に先に提示された音列とプローブ音がどの程度適合しているか7段階で評価する。その結果、被験者は音楽経験の長さによって異なる反応を示した。音楽経験が長いグループでは、スケール構成音が主音に次いで高い評価を受けた。音楽経験が中程度のグループでは、非スケール構成音よりスケール構成音の評価が若干高いものの、総じて主音より低い評価となった。また、昇順と降順で主音の評価に差が見られた。そして、音楽経験が最も少ないグループにおいては、主音やスケール構成音といった性質に関係なく、先に提示された音列の最後の音とプローブ音の音程が大きくなるほど評価が下がっていた。この結果から、音楽経験が長いほど調性階層を反映した評価をしたといえる。

2.3 聴覚障害者のメロディ知覚

緒方らは、聴覚障害者に対して3音および6音からなる無調性メロディと調性メロディの弁別実験を行なった [1]. その結果、個人差はあったものの調性メロディの方が無調性メロディよりも弁別成績がいいという結果が得られた。

これは、聴覚障害者も健聴者と同様に、調性に対する感受性を保持していることを示唆している。一方、実験からは、聴覚障害者は少数音列(ピッチシークエンス)を心的につなぎとめておくことが困難であることがわかった。弁別実験においては先行刺激の特徴を保持しなければならず、少なからず短期記憶が関わる。音楽や調性認知の体制化が不十分なために、短期記憶が困難である可能性がある。また複数の音が干渉する可能性、ピッチ系列の構造を認識し、記憶を保持する力自体が低下している可能性もあるという。

健聴者においても音楽認知に個人差がある。聴覚障害者は、健聴者と同様の音楽的能力の発達過程を辿る可能性は低いと考えられるが、聴覚障害者の聴覚的特性の多様さから、一人一人異なるメロディ認知能力を有している可能性も示唆された。緒方らは、聴覚障害者は、健聴者が有するような調性認知を確立することは困難であるが、十分な聴覚活用・学習があり、音楽経験が豊富ならば、健聴者と同様な調性認知を獲得する可能性があるとした。

3. 実験

3.1 手法

実験は、Krumhansl らが提案したプローブ音法に従って行われた。先行音列として、C3からC4までの範囲のCメジャースケールおよびD5からC6までのCマイナースケールを用いた。CメジャースケールはC3, D3, E3, F3, G3, A3, B3の7音、CマイナースケールはD5, E♭5, F5, G5, A♭5, B♭5, C6の7音でそれぞれ構成される。先行音列の提示は昇順と降順の2パターン行い、昇順の場合はC3から、降順の場合はC6から開始する。

先行音列の提示の次にプローブ音を提示する。プローブ音は、C4からC5までの半音階13音の中から無作為に選択した。昇順の場合の先行音列とプローブ音の例を図1に示す。

被験者には、プローブ音の提示の後に先行音列とプローブ音がどの程度適合しているか7段階で評価してもらった。被験者には、適合しているとは先行音列に対してプローブ音に違和感を感じず、心地よく聞こえることであると説明した。

以上を1セットとし、13個のプローブ音全てで評価を行った。プローブ音の提示順序は被験者ごとにランダム化された。



図1 先行音列とプローブ音の提示例

3.2 実験参加者

実験参加者は21歳から23歳までの健聴者9名（男性6名，女性3名，平均年齢22.0歳）および19歳から24歳までの聴覚障害者10名（男性7名，女性3名，平均年齢20.8歳）であった。健聴者において音楽経験があった者は9人5人，楽器の演奏経験があった者は5人中3人であった。聴覚障害者において音楽経験があった者は11人中6人であり，楽器の演奏経験があった者は6人中5人であった。障害を発症した年齢の平均は1.5歳，聴力レベルの平均は100.9 dBであり，全員が重度難聴者であった。

本実験は筑波大学図書館情報メディア系研究倫理委員会より承認を得て行われた。

3.3 使用機材と音源

実験にはコンピュータ（Apple MacBook Pro 2015，13.3インチ），およびスピーカー（GENELEC，6010A）を使用した。刺激呈示および評価のためのプログラムはPsychoPyで作成した。実験は筑波技術大学内の無響室で行った。机の上に2台のスピーカーを設置し，参加者は音像が正面に来る位置に着席した。スピーカー間の距離は65cm，耳とスピーカー間の距離は110cmであった。被験者は補聴器を装着したまま実験を受けてもらった。呈示された刺激の音量の平均は65.3dBであった。被験者は画面に表示される指示に従いコンピュータ内臓のキーボードで評価を行った。実験は一人一人個別に行った。

刺激の音源には，ピアノ，クラシックギター，クラリネット，ハープの4種類の楽器音を使用した [10,11,12]。この実験では，被験者が音高の変化を認識できることが不可欠であるため，ピッチが認識しやすい音色を被験者に選んでもらった。音刺激はSibeliusを使用して作成し，Mac OSに付属するMIDI音源を用いた。

刺激は先行音列とプローブ音の計8音から構成される。先行音列における音の呈示は0.75秒，音と音の間には0.75秒の無音区間を配置した。先行音列の最後の音が呈示された後，0.75秒の無音区間を配置し，それに続いてプローブ音が0.75秒呈示される。

3.4 手続き

被験者には，はじめに実験の流れと概要が説明される。その後，4種類の楽器音を聴取してもらい，低い音（C3）から高い音（C6）まで音の高さが1音ずつ変化していることがわかるかどうかを基準として，任意の楽器音を1つ選択してもらった。説明や音量等の確認のための練習試行を行い，不明点について説明をした上で実験を開始した。実験の手続きを図2に示す。刺激音は先行音列，プローブ音ともに一度だけ呈示され，聞きなおすことはできない。

実験全体の所要時間は約25分である。実験の最後にはアンケートに回答してもらった。

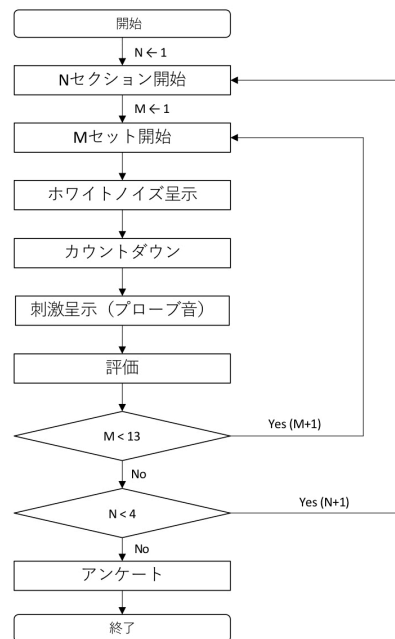


図2 実験の手続き

4. 結果

4.1 健聴者群の全体平均

健聴者群のプローブ音に対する評価をプロットしたグラフを図3に示す。縦軸は適合度，横軸はプローブ音の音高を示し，スケール構成音に対応する位置に縦線を入れてある。この図から昇順（青線）および降順（オレンジの線）のグラフが交差していることが見て取れる。これは，先行音列の最後の音からプローブ音までの音程が大きいほど評価が低くなることを示す。

どちらの評価を見ても，C4およびC5で適合度が高く，Cメジャースケールの主音が認識されていることがわかる。昇順の場合は一貫してスケール構成音で評価が高い。また降順の場合でも先行音列の最後の音に近い時，スケール構成音で評価が高くなる。これらも，Cメジャースケールの調性階層が認知されていることを示す。

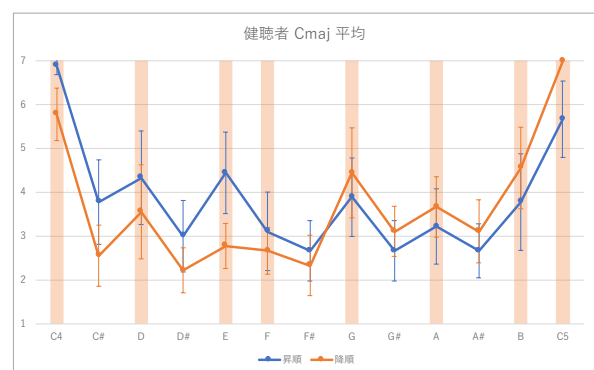


図3 健聴者群のプローブ音に対する評価平均

4.2 健聴者群：音楽経験の年数に着目した分析

先行研究同様、音楽経験の年数によってグループ分けを行なった [5]。本研究では、音楽経験・無、音楽経験・中(5年未満)、音楽経験・長(5年以上)の3つのグループに分け、評価の間に差があるか、t検定(ボンフェローニ補正あり)を用いて分析した。その結果、音楽経験・長のグループと音楽経験・中のグループ間、音楽経験・長のグループと音楽経験・無のグループ間に有意差が見られた($p<.05$)。音楽経験・中のグループと音楽経験・無のグループ間には有意差は見られなかった。

4.3 健聴者群：音楽経験の種類に着目した分析

本研究では音楽経験の種類についてもグループ分けを行なった。音楽経験・無、リズム系音楽経験あり(ダンスを含む)、楽器による旋律の演奏経験あり、の3つのグループにわけ分析した。各グループの平均をプロットしたグラフを図4に示す。

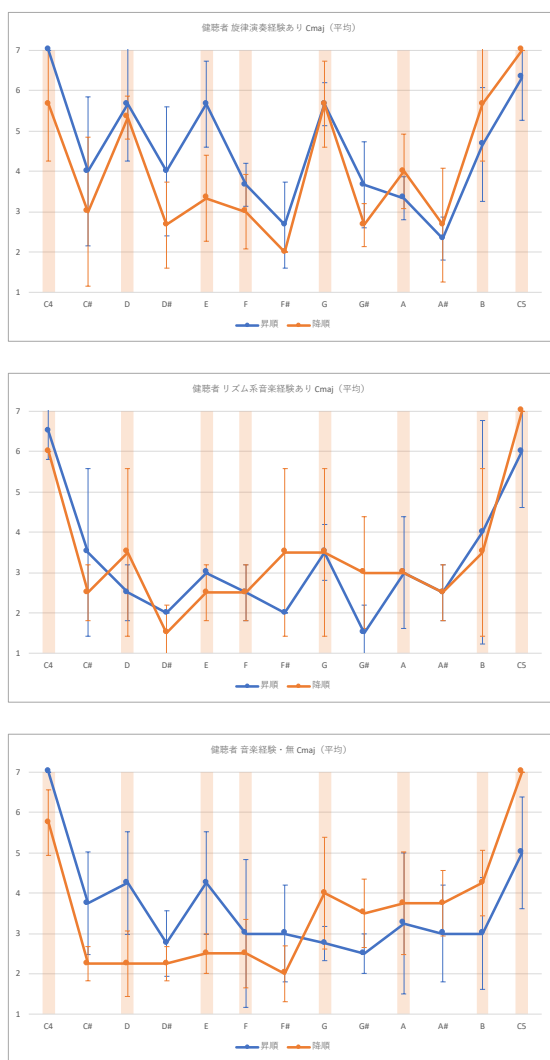


図4 健聴者群、音楽経験の種類ごとの、プローブ音に対する評価平均(上から、旋律演奏経験あり、リズム系音楽経験あり、経験なし)

図4から、旋律演奏経験ありのグループで最も調性階層が明確に認知され、リズム系演奏経験があるグループ、音楽経験なしのグループの順で、調性認知よりも音高による適合度判断が優勢になっていくことがわかる。

これらのグループごとに適合度評価の分布に関してt検定を行なった。その結果、音楽経験・無のグループと旋律の演奏経験があるグループの間で、また旋律演奏経験があるグループとリズム系音楽経験があるグループの間で有意差が見られた($p<.05$)。音楽経験・無のグループとリズム系音楽経験があるグループ間に有意差は見られなかった。

4.4 聴覚障害者群の全体平均

聴覚障害者群のプローブ音に対する評価平均をプロットしたグラフを図5に示す。先行音列の最後の音からプローブ音までのピッチの違いの影響が最も大きい。またC4とC5の2つの主音にはスケール構成音との評価の差は見られず、主音が特別な音だと認識されていないことが見て取れる。スケール構成音は一部の構成音が比較的高評価を受けているが、健聴者群の場合ほど顕著な傾向ではなかった。

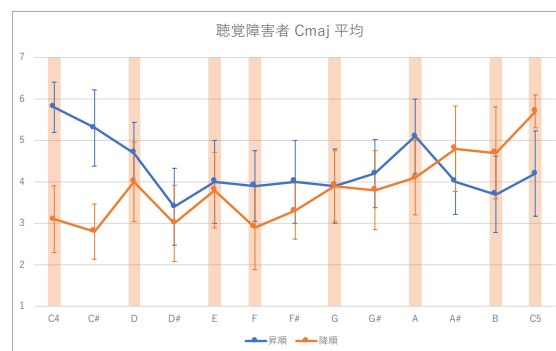


図5 聴覚障害者群のプローブ音に対する評価平均

4.5 聴覚障害者群：音楽経験の年数に着目した分析

健聴者群同様、聴覚障害者群においても音楽経験の年数によって3つのグループに分け、分析を行なった。その結果、Cメジャースケールにおいて音楽経験・中のグループと音楽経験・無のグループの間に有意差が見られた($p<.05$)。それ以外のグループ間においては有意差が見られなかった。

4.6 聴覚障害者群：音楽経験の種類に着目した分析

健聴者群同様、聴覚障害者群においても音楽経験の種類によって3つのグループに分け、分析を行なった。聴覚障害者の場合、ダンス経験者に加え打楽器の経験者もリズム系音楽経験ありとしてグループに分けた。これらのグループごとの評価平均を図6に示す。

旋律演奏経験ありのグループで、他のグループよりもスケール構成音で適合度が高くなり、健聴者ほど明確ではないものの、調性階層に合致した認知ができていくことがわかる。また、t検定の結果、Cメジャースケールにおいて音

楽経験・無のグループと旋律演奏経験があるグループの間に有意差が見られた($p<.05$)。旋律演奏経験があるグループとリズム系音楽経験があるグループの間、音楽経験・無のグループとリズム系音楽経験があるグループの間には有意差は見られなかった。

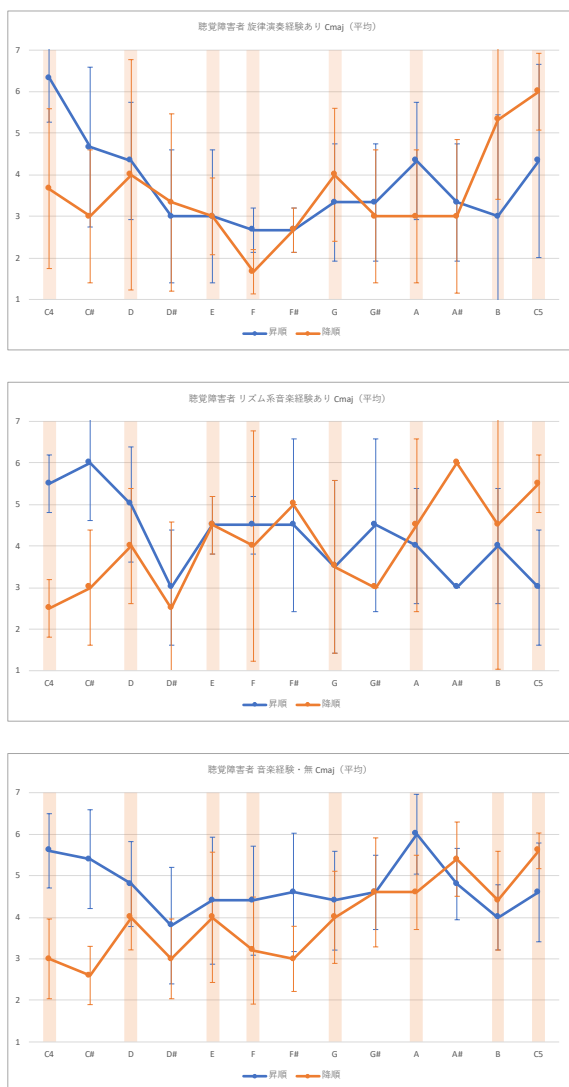


図 6 聴覚障害者群、音楽経験の種類ごとのプローブ音に対する評価平均 (上から、旋律演奏経験あり、リズム系音楽経験あり、経験なし)

5. 考察

健聴者の結果では調性認知の 3 つのバックグラウンド (ピッチの違い、オクターブ等価性、調性階層) の影響が現れたと考えられる。また音楽経験・長のグループと音楽経験・無のグループの間で差があったことは先行研究の結果と合致しており、実験の再現性が示されたと考えられる。一方、聴覚障害者においては、ピッチ知覚の 3 つのバックグラウンドにおける、ピッチの違いの影響のみが現れた。これは多くの被験者がピッチの変化を知覚できていたこと

を示唆しており、先行音列とプローブ音の比較もできていたと考えられる。しかしオクターブ等価性や調性階層の影響は小さく、調性階層があまり認知されていないことがうかがえる。今回、個人ごとのグラフは割愛したが、実験結果において個人差が非常に大きかった。個別にグラフを見てみると、音楽経験の有無や年数に関わらず調性階層を認知できている者もいれば、音楽経験があっても調性階層を認知できていない者も見られた。したがって聴覚障害者においては、単に音楽経験の長さは調性階層の認知に影響を与えていないことが考えられる。

図 4 および図 6 から、健聴者および聴覚障害者共に、音楽経験・無のグループと旋律演奏経験ありのグループの間で、また、リズム系音楽経験ありのグループと旋律演奏経験ありのグループの間で、明確な差が見られた。一方、音楽経験・無のグループとリズム系音楽経験ありのグループの間の差は有意ではなかった。したがって楽器による旋律演奏経験が、調性の認知に何らかの影響を与えている可能性が示唆される。

健聴者においては、旋律演奏経験がある方が調性階層に対する感受性があることがわかる。しかし聴覚障害者においては、旋律演奏経験がある方が音程の影響が大きいものの、調性階層に対する評価は比較的 low だった。

音楽経験・無とリズム系音楽経験ありのグループにおいては、健聴者では主音の評価は高くなるが、聴覚障害者では主音と他の音とで評価の違いが見られない。グラフに傾斜はあるためピッチの変化の影響はあると見られるが、主音や調性階層の認知はできていないと考えられる。

これらの検討から、聴覚障害者および健聴者ともに、旋律演奏経験は調性階層やピッチの認知に影響を与えている可能性が示唆された。一方聴覚障害者においてはその影響が小さく、調性階層に対する感受性は健聴者ほど顕著でないと考えられる。

以上より、聴覚障害者の場合は健聴者と比較して調性階層の認知が困難である可能性があることがわかった。一方ピッチの変化を認知することは多くの場合可能であり、人によっては明確に調性階層を認知できる能力を保持している可能性も示唆された。また楽器を用いた旋律の演奏経験は、調性階層の認知能力に影響を与える可能性があることもわかった。

6. まとめと今後の課題

本研究では聴覚障害者がどのように音楽を認知しているのか、調性の認知という観点から分析した。同時に健聴者にも同様の実験を行い、聴覚障害者の結果と比較した。

その結果、聴覚障害者は健聴者と比較して調性の認知が困難である可能性があることがわかった。楽器による旋律の演奏経験がある聴覚障害者は、健聴者ほど顕著でないも

の調性の認知を行っていた。よって調性の認識能力を向上させることに、音楽経験が有益であると考えられる。

またピッチの変化を知覚することは多くの場合可能であり、人によっては明確に調性階層を認知できる能力を保持していること可能性が示唆された。

本研究では、聴覚障害者に対する実験にはCメジャースケールおよびCマイナースケールを用いたが、Cマイナースケールに関する報告は本稿では割愛した。Cマイナースケールの場合にはCメジャースケールの場合ほど調性階層が現れなかったことと、健聴者にCマイナースケールでの実験を行わなかったために直接の比較ができなかったためである。

この差異が短調であるためか、Cマイナースケール特有のものなのか個人差の影響なのか、他のスケールも用いた検討が必要であると考えられる。我々が行なったもう一つの実験でも、短調の曲でリズム認知（ビートタッピング）の精度が低かった。短調の曲に不慣れで、認知タスクが難しい可能性もあるが、他の理由があるのかもしれない。同時に健聴者にもCマイナースケールや他のスケールで実験を行うことでより細かい比較検討ができると考えられる。

また、被験者は健聴者および聴覚障害者両者ともに音楽経験・無の割合が高かった。音楽経験がある被験者を増やすことでさらに詳細なデータが得られると考えられる。

参考文献

- [1] 緒方啓一, 吉野公喜, 聴覚障害者のメロディの知覚-ショートピッチシークエンスの弁別実験-, 特殊教育学研究, Vol. 37, No. 3, pp. 43-51, 1999.
- [2] 城間将江, 菊池義信, 河野淳, 鈴木衛, 加我君孝, 人工内耳装用者による音楽の知覚(第一報), *Audiology Japan*, Vol. 41, No. 6, pp. 755-764, 1998.
- [3] 熊川孝三, 高度難聴に対する人工聴覚臓器, *人工臓器*, Vol. 40, No. 3, pp. 189-193, 2011.
- [4] Lisa Packer, et al., "Improving the sound of music with hearing aids", *Healthy Hearing*, December-1-2015. URL: <https://www.healthyhearing.com/report/52460-Improving-the-sound-of-music-with-hearing-aids> (accessed 2019-01-17).
- [5] Carol L. Krumhansl and Roger N. Shepard, Quantification of the Hierarchy of Tonal Functions Within a Diatonic Context, *Journal of Experimental Psychology: Human and Performance*, Vol. 5, No. 4, pp. 579-594, 1979.
- [6] Carol L. Krumhansl, Perceptual Structures for Tonal Music, *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, Vol. 1, No. 1, pp. 28-62, 1983.
- [7] 日本音響学会編, 新版 音響用語辞典, コロナ社, 2003.
- [8] Dowling W. Jay, "The development of music perception and cognition", *The psychology of music*, Diana Deutsch ed., Academic Press, pp. 603-625, 1999.
- [9] Zenatti Arlette, "Children's musical cognition and taste", *Psychology and music : the understanding of melody and rhythm*, Tighe Thomas J and Dowling W. Jay eds, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 177-196, 1999.
- [10] 中原夕夏, 平賀瑠美, 加藤伸子, 聴覚障害者の楽器音による拍理解について-楽器音分析の試み-, 情報処理学会(研究報告アクセシビリティ), Vol. 6, No. 3, pp. 1-5, 2018.
- [11] 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, Vol. 55, pp. 117, 2013.
- [12] Alice-Ann Darrow, An Assessment and Comparison of Hearing Impaired Children's Preference for Timbre and Musical Instruments, *Journal of Music Therapy*, Vol. 28, No. 1, pp. 48-59, 1991.
- [13] 河合優理子, 寺澤洋子, 平賀瑠美, 聴覚障害者を対象とした3パート曲のリズム認知に関する研究情報処理学会(研究報告アクセシビリティ), *to appear*, 2020.