

平成 28 年度
博士論文

振動するデバイスが音楽聴取時の印象に与える効果

筑波大学大学院 人間総合科学研究科
感性認知脳科学専攻 博士後期課程

金箱 淳一

目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	本研究の目的	2
1.3	聴覚障害について	2
1.4	リズムとリズムパターンについて	3
1.5	感覚について	5
1.5.1	聴覚	5
1.5.2	皮膚感覚と触覚	7
1.6	感覚統合と感覚代行	9
1.7	触覚による音楽情報伝達	10
1.8	振動による音楽体験と印象	11
1.9	感性によるアプローチの必要性	12
第2章	振動呈示デバイスの設計	14
2.1	仮説の提示と概念設計	14
2.2	振動に関する知見	15
2.3	デバイスの仕様検討及び基本設計	19
第3章	振動刺激が聴覚障害者のリズム弁別成績と印象に与える効果	24
3.1	目的	24
3.2	実験方法	24
3.2.2	実験参加者	24
3.2.3	実験材料	24
3.2.4	測定指標	25
3.2.5	実験装置	25
3.2.6	実験条件と手続き	26
3.3	結果	27
3.3.1	弁別試験の結果	27
3.3.2	印象評価の結果	30
3.4	考察	34
3.5	本章のまとめ	36
第4章	振動呈示デバイスを用いた音楽鑑賞時の印象評価	38

4.1	目的.....	38
4.2	実験方法	40
4.2.1	要因計画.....	40
4.2.2	実験参加者	40
4.2.3	実験材料.....	40
4.2.4	測定指標.....	41
4.2.5	実験装置.....	41
4.2.6	実験条件と手続き	41
4.3	結果.....	42
4.3.1	体験の印象についての結果.....	42
4.3.2	楽曲の印象評価についての結果.....	46
4.3.3	アンケートの結果	56
4.4	考察.....	57
4.5	本章のまとめ	60
第5章	結論	62
5.1	各章の概括.....	62
5.2	結論 -振動するデバイスが音楽聴取時の印象に与える効果.....	66
5.3	振動するデバイスによる音楽聴取支援の展望.....	68

第1章 序論

1.1 研究の背景

音楽を聴いて、「楽しい」とか「面白い」と感じることは、多くの人を経験したことがあるだろう。音楽を聴くことによって楽しみを得、ストレスを解消する人も多い。

2013年の時点で、日本国内の聴覚・言語障害の総数は約36万人(内閣府, 2013)である。聴覚障害者の中には音楽に感心を持ち、日常から演奏や鑑賞する人も多い。聴覚障害に対しては、聴覚の補助手段として主に補聴器が用いられる。補聴器は伝音性難聴で聴神経に障害がない場合は一定の効果が期待できる。しかし、感音性難聴では補聴器を装着しても小さすぎる音は聞こえず、大きすぎる音は歪んで聞こえるなど、その効果は限定的になる。感音性難聴に対しては、補聴器の他に手術によって人工内耳を装着する方法もあるが、すべての人に有効というわけではない。この問題に対して、振動によって音を補助することを検討する。

人間の知覚は複数の感覚情報が相互的に作用、統合され認知されている(赤松, 1993)。聴覚と触覚の相互作用として、聴覚単体では知覚できない音を聴きながら、人差し指に振動が加えられることで主観的に音が大きく感じられる現象(Gillmeistera & Eimer, 2007)が報告されている。これは、音楽を聴く行為を振動が補う可能性を示している。

また、失われたり損なわれた感覚機能を補助するために、残された感覚系によって伝達を代行する「感覚代行」の応用として、音楽と触覚刺激を同時に呈示する研究が行われている。触覚で音楽情報を伝達する上では音のピッチやリズムを触覚で伝えることで、自分が出した音のピッチ情報を正確に認知して修正したり、リズムを補助する可能性が示されている。その例として、小型モータを用いて盲ろう者に対する楽曲呈示を行なう研究(佐々木, 大墳, 石井, & 原川, 2013)では、振動の強さで音程を、振動の長さで時間長を表現して楽曲を提示している。報告では、振動による楽曲呈示が、聾者や盲ろう者の音楽学習支援に使用できる可能性があることや、音楽を受容する楽しみに繋がる可能性を示唆している。また、手話歌(手話で歌詞を表現するパフォーマンス)を歌う際のリズム知覚を振動で行う「タクタイルミュージック」が提案されている(猪狩 & 鎌田, 1995)。報告では、聴覚障害者と健聴者との間にリズム知覚の精度で大きな差はなく、リズム知覚の際の学習過程が存在することを示している。これ

らの研究から、触覚による音情報の認識は聴覚障害者が歌ったり、楽器演奏をする上では一定の効果があると考えられる。

音に触覚を付加して音の認知を補助する「聴覚代行」の研究分野では、情報伝達の正確性や学習反応が評価対象とされることが多かった。音楽を鑑賞する上では、正確に聴きとるという能力より、音楽鑑賞によって楽しみを感じる事が重要であるとする。聴覚障害者にも楽器演奏や音楽聴取に感心を持ち、楽しむ人も多い。

音楽に振動を付与する音楽鑑賞が、印象に及ぼす影響を検証した研究も見られるが、聴覚障害の有無による印象の差を確認するものは少ない。聴覚と触覚の相互作用が鑑賞時の印象に与える影響は、補聴器による補聴の効果¹を十分に得ることが難しい聴覚障害と健聴者によって差が生じる可能性があるとする。従って、聴覚障害者を主対象とし、音と振動で音楽を聴く体験の印象や、楽曲の印象を調査する研究が求められる。

1.2 本研究の目的

本研究は、音楽を聴いた時の「面白さ」「楽しさ」などの印象をもたらす要因として、聴覚情報と触覚情報の相互作用に着目し、振動によって音楽の持つリズムを強調する。聴覚障害者の感性に着目し、音と振動を同時に呈示した時のリズム弁別成績と共に印象評価に与える影響を明らかにする。

1.3 聴覚障害について

本研究が対象とする聴覚障害について概説する。聴覚障害とは音を送る経路、もしくは聴覚神経に障害があるために、聞こえにくい、あるいは聞こえなくなっている状態のことを指す。聴力が低下した状態を難聴という。難聴の種類は障害部位によって伝音性難聴、感音性難聴、混合性難聴に大別される。障害部位による種類の他、難聴になった時期により、先天的、後天的に分類される。

伝音性難聴は障害部位が外耳・中耳にある場合で、特性としては小さい音が聞こえないので補聴器は一定の効果があり、手術により改善する可能性がある。

¹ 聴覚障害者が音声言語によるコミュニケーションを始めとして、様々な音環境を利用するために、装着する補聴器が個々人のニーズに合うように設定される。これをフィッティングといい、聴力の把握からはじまって、補聴器の特性（利得と出力）の仮設定、仮設定による評価、再調整を経て、補聴器装着下の聴力評価という流れからなる。聞こえの特性であるオーディオグラムに合わせるだけでは、補聴器を十分活用できるとは言いがたいため、上の作業は繰り返し行われることになる。

感音性難聴は聴経路の内耳以降の障害を指し、その原因として音の振動を感じて電気的な信号に変換する有毛細胞の欠落が代表的と考えられる。感音性難聴の場合、音の高さによって聞こえ方に極端な差がある場合²が多く、補聴器の効果が得られないこともある。感音性難聴の特性は以下があり、症状は軽度のものから全聾までである。

- ・小さい音が聞こえない（難聴）
- ・話し言葉がわかりにくい（弁別能低下）
- ・大きい音がやかましい（快適域狭小）
- ・聞きたい音が聴きにくい（選択力低下）

聴覚器官の老化にともなって発症する老人性難聴は、感音性難聴に分類され、高周波域であるほど最小可聴閾が上昇する。混合性難聴は伝音性難聴、感音性難聴の特性をあわせ持つ難聴を指す。

聴覚障害者において最も多用されている用具は補聴器である。補聴器の主な仕組みはマイクで集音し、アンプ回路により音を増幅してスピーカ部から音を発生させる。補聴器には利得、最大出力、音質調整、出力制限、騒音制限などの基本機能が標準装備されている。補聴器にはアナログ方式とデジタル方式がある。アナログ補聴器では人の声だけでなく周囲の雑音も増幅してしまうため、騒音下や賑やかな場所だと声が聞き取りにくくなる欠点がある。デジタル補聴器は必要な音域を個別に増幅できるので、近年では多くの聴覚障害者が利用している。補聴器は、難聴の種類や程度によっては効果が限定的になるため、触覚で音を感じ取ることは、音楽を楽しむ上で重要な要素になり得る。

1.4 リズムとリズムパターンについて

音楽を構成する基本要素は「メロディ（旋律）」「リズム」「和声」であると言われている（梅本, 1996）。音楽が時間芸術であることから、音楽の持つリズムを理解することが音楽鑑賞の上で重要であると考え、本研究では音楽要素をリズムに限定する。

「伝統的な音楽であれ、ポピュラー音楽であっても、リズムはすべての音楽の本質的な構成要素である」とラドシー（1985）は説明している。また、「リ

² 感音性難聴者の聞こえの特徴として、Plomp（1978）は、感度の低下だけではなく歪みがあることを指摘している。聴覚障害者の聞こえの状態は、補聴器によって感度低下が保証されて音・音声の聴取可能な状態が作られたとしても、健聴者に聞こえているのと同じ状態が保証されているとは言いがたく、歪みによる聴覚的理解の困難な状態が継続していることが考えられる。

リズムなくして、音楽は存在し得ないだろう」と Gaston (1968) も説明するように、リズムは音楽を組織づける最も基礎的なものとして捉えられる。

Mursell (1956) は音楽のリズムが持つ機能を次のようにあげている。

1. リズムは音楽の演奏に、生命、輝き、実在性、表情性を与える
2. リズムの把握とリズムに対する感情は、聴くことの楽しみを無限に増す
3. リズムの感覚は、音楽演奏に過度の技術的困難さをもたらさう
4. リズムに対する生き生きとした感情は、音楽のよみを容易にする
5. リズムは、音楽的創造のための最も良い、最も自然な出発点である

このように、リズムの把握が聴くことの楽しさと大いに関係していることを Mursell は指摘している。

我々が音楽を聞く際に必要なのは、音の一つ一つを聞き取るという能力よりも、それが継続的、もしくは同時的につながった大小のパターンの認識である (山田ら, 2011)。ある程度次に来る音を期待しながら、前後関係や音の響きを理解することである。

その前提として、音楽を聴取し感じ入るには、その構造を理解することが重要である。リズムの第一機能は、構造に秩序を与えることである。音楽のリズムを把握することによって、音楽を解釈しながら聴くといった相互作用ができるようになり、音楽の深い理解や楽しみに繋がると考える。リズムを他者と共有する打楽器 *Vibracion Cajon* (金箱, 2013) を開発する中でも、聴覚障害者に対する振動の有用性や、振動でリズムを共有することで相手と一体感を感じる事が明らかになっている。よって、本研究では音楽要素の中でリズムに焦点を当てる。

Gordon (1971) は、リズムは以下の基本的要素から構成されると主張する。

1. テンポ拍 (tempo beat)
2. 拍子拍 (meter beat)
3. 旋律的リズム (melodic rhythm)

これら3つの基本的な要素の結合がリズムパターンを構成し、それが「利き手の心に、音楽的意味を引き起こす」と説明している。次に、これらの構成要素について概説する。

リズムの土台をなすのは、一般に拍と言われるパルスである。拍は持続の基礎的な単位であり、持続を等しい部分に分割する。テンポは拍が再現する速度を指し、メトロノーム記号や BPM という単位によって示される。拍子は主として、記譜法の機能であり、小節線によって楽譜に示される。その概念は、各々

の章節の最初の音はアクセントを与えられなければならないというものであり、それによって拍子の輪郭が描かれる。アクセントは、拍を目立たせたり強調したりする、リズムの側面である。

テンポの上に拍が等間隔に存在し、その拍に沿う形で展開されるのが旋律的リズムである。旋律的リズムは、拍の上に置かれ、様々なバリエーションに変化しうる。旋律的リズムの自由さが、音楽を動的にするための手段を与えている。同じ拍でも、その上で奏でられる旋律的リズムの種類によって、音楽に「楽しい」「悲しい」等の感情表現的な側面を与えることができる。本研究ではこれをリズムパターンと呼ぶ。

1.5 感覚について

生体が、自らを取り巻く環境や体内の情報を察知する能力や過程を感覚と呼ぶ。聴覚や触覚などの感覚受容器が刺激を受けて興奮すると、受容細胞と連絡する神経線維に電位のインパルスが生じる。インパルスは求心性神経を伝わって、脊髄、幹脳部を経て大脳皮質にあるそれぞれの感覚中枢に達する。

視覚や聴覚のような、固有の感覚体験を感覚様相（モダリティ）という。感覚神経系の違いと機能差異の観点から以下に分類されることが多い。

1. 視覚
2. 聴覚
3. 嗅覚
4. 味覚
5. 体性感覚（身体の表面や深部にある様々な受容器による、自分の身体の状態や変化についての感覚）
 - ・皮膚感覚：触覚・圧覚，温度感覚（温覚・冷覚），痛覚
 - ・深部感覚：自己受容感覚（四肢の位置や運動，関節の曲り具合，抵抗・重量等），内臓感覚
 - ・平衡感覚
6. 時間感覚

次節で本研究に関連する聴覚と皮膚感覚について概説する。

1.5.1 聴覚

ある範囲内の周波数の音波が鼓膜に作用し、その興奮が聴神経を経て大脳皮質の聴覚中枢に伝えられることによって生じる感覚をいう。音が脳に伝達する経路は外耳、中耳、内耳の3つの部分から構成される。

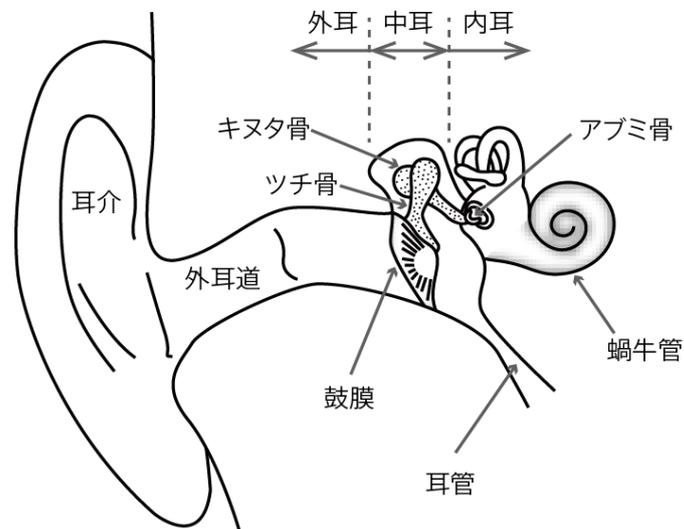


図 1 聴覚器官の概略図 (伊福部, 音の福祉工学(1999) p.5 より改変引用)

1. 外耳

耳介と耳の穴 (外耳道) の部分で、音を集めて音を鼓膜に導く道にあたる。

2. 中耳

鼓膜, 耳小骨, 耳管からなる。鼓膜は空気振動により振動する。振動は鼓膜につながる耳小骨 (ツチ, キヌタ, アブミ) を通して内耳中のリンパ液を振動させる。

3. 内耳

聴覚器の蝸牛と平衡覚からなる。外・中耳は振動を内耳に伝える機能を持つが、蝸牛ではリンパ液の振動を感覚細胞が捉えて聴神経に伝達する。感覚細胞は有毛細胞と言われ、リンパ液の振動に刺激されて根本に付着している聴神経の末端に信号を伝える。毛細胞は約1万5千個あり、脳はそれらの信号を集約して認識する。

4. 聴神経

毛細胞からの信号パルス, 神経活動電位は1本の神経細胞で脳表面に伝わるのではなく, 3~4回神経細胞を経由する。その間に音の分析を強化し, 他の脳機能との連携を図る。言語は左脳で, 音楽は右脳で受け取る。

人間が聞こえる音の周波数帯域を可聴範囲（可聴域）と呼び、和田（1950）の報告によると、個人差はあるが下は 20Hz 程度から 20,000Hz までの鼓膜振動を音として感じることができる。可聴域の下限は年齢によってほとんど変化はないが、高音域は加齢に伴い聴覚閾値が上昇していき、聞こえにくくなっていく³。

1.5.2 皮膚感覚と触覚

皮膚が外部から刺激を受けて生起する感覚を皮膚感覚と呼ぶ。皮膚感覚は皮膚にある受容細胞によって受容され、体表面に生起すると知覚される。体毛も含めた皮膚の変形に起因して発生する感覚を触覚と呼ぶ。触覚には5つの様相がある（内山, 2008）とされている。

1. 触圧覚（ものに触れ、圧迫を受けた時に感じる）
2. 振動覚（ものの震えを感じる）
3. 温覚（暖かさを感じる）
4. 冷覚（冷たさを感じる）
5. 痛覚（痛みを感じる）

このうち、1と2は機械受容器、3と4は温度受容器、5は侵害受容器と呼ばれるセンサによって生起する。各受容器はものに触れた際、上の5つの様相を感覚中枢で合成する。受容器には4つの種類があり、それぞれ皮膚の層における位置や反応の特性が異なる。これらの特性の違いによって、触圧覚、振動覚、温覚、冷覚、痛覚を感じることができる（内川, 2008）。以下に主な受容器とその役割を示す。

³ 40歳を過ぎると、聴力は急速に衰え始め、50歳を過ぎると、男性の方が女性よりも大きく聴力低下する。聴力は高音域から次第に聞こえにくくなり、75歳を過ぎると平均して 5000-6000Hz までしか聞こえなくなる。

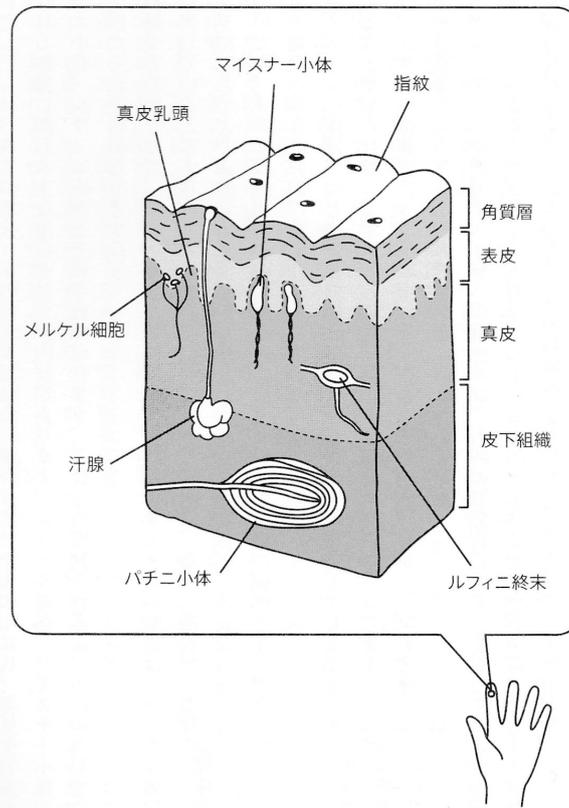


図 2 無毛部の皮膚構造，受容器の形態と位置を表す模式図（仲谷ら「触覚を作る」(2011) p.21より引用)

- ・マイスナー小体

受容野が小さいことから識別性が高く，微細な変化を感知する．指と物体の間のすべりが生じた時に素早く反応し，軽いタッチにも敏感である．有毛部にはマイスナー小体がなく，毛根部に神経繊維が巻き付いた毛包受容器がある．

- ・メルケル細胞

主に垂直圧力を検出し，デコボコした形やガタガタしたテクスチャ，触れているものの形状の曲率などを感知する．有毛部には，メルケル細胞がドーム状に集合して形成される触覚盤も存在する．

- ・パチニ小体

機械的刺激が変化するときのみ信号を発し，加速や減速，200～500Hz の高い周波数振動を感知する特性を持つ．

- ・ルフィニ終末

無毛部のみに存在し、持続的な圧力だけでなく、物体と接した部分の機械的変化、特に角度の変化を感知する。皮膚を特定方向に引張るときによく反応する。温度受容器としても働く。

表皮、真皮、皮下組織にかけて分布する皮膚感覚の受容器の中で、触覚に関する受容器は機械受容器と呼ばれる（東山, 2000）。これらの受容器が皮膚に加えられた機械的な刺激に反応する。機械受容器は、刺激への反応速度と受容野の大きさによって分類され、これを機械受容ユニットと呼ぶ。

速順応（FA : Fast Adapting）／遅順応（SA : Slowly Adapting）と受容野の小さいもの（Ⅰ型）／受容野の大きいもの（Ⅱ型）の組み合わせによって成り立つ。FAⅠとSAⅠの受容野は直径数 mm 程度で小さく、受容野の境界ははっきりしている。FAⅡとSAⅡの受容野は大きく境界範囲は不明である。

ユニットの分類と機械受容器の対応について、FAⅠにはマイスナー小体、FAⅡにはパチニ小体、SAⅠにはメルケル細胞、SAⅡにはルフィニ終末が対応すると考えられている（内川, 2008）。知覚野で感じられる主観的感觉は、機械受容ユニットの種類によって異なる。FAⅠでは、タッピングや振動の感覚、FAⅡでは、FAⅠよりも高周波数の振動感覚、SAⅠでは、全体が圧迫された感覚が起こる。SAⅡでは、主観的感觉は報告されていない。

皮膚感覚は他の感覚と異なり、身体表面全域に渡り受容器が分布している。また、受容器の分布が一様でないために、感度は身体部位に応じて変化する。例えば、手のひらと指先では受容ユニットの密度が異なる。FAⅠは指先で約 140 個／平方 cm 程度であるが、手のひらでは 24 個／平方 cm となる。指先のほうが手のひらに比べて微細な変化を感知し、軽いタッチにも敏感である。FAⅡとSAⅡでは受容器の密度も低い（約 21 個／平方 cm 以下）。

1.6 感覚統合と感覚代行

日常生活では外界からの情報を正確に知覚するために、複数の感覚の情報を組み合わせて処理している。例えば、字を書いたり、人の話を聞いたり、乗り物を運転する時など、脳は感覚系ごとに時間・空間分解能が大きく異なる各感覚情報を統合処理する。複数の感覚を、整理したり統合したりする脳の働きを感覚統合という。感覚統合により、同時に複数の感覚を刺激することによって大きな活性が生じる現象が発見されている。

聴覚と触覚の統合により、感覚の強度に影響を及ぼす例として、Helge ら (2007) は、音を聴きながら同時に人差し指に小さな振動が加えられると、その音が大

きく聞こえることを発見した。音が聞こえると同時に振動を感じると、音の大きさを最大で2倍程度に感じるとしている。この現象は、音が小さいほど顕著になるという。岡崎ら(2012)は、触覚と聴覚のクロスモーダル現象に着目し、聴覚が触覚によって受ける影響を調査した。聴覚刺激に触覚刺激を付加した場合とそうでない場合で聴覚の主観的強度の変化を確認している。実験の結果から、聴覚刺激単体と聴覚刺激に触覚刺激を付加した刺激を聴き比べた時、聴覚刺激の強度は物理的に等しくても、触覚刺激を付加した聴覚刺激のほうが主観的な強度が増すとしている。

感覚代行とは本来の情報を取得すべき感覚系を、別の感覚系によって代行することをいう。感覚機能に障害がある場合、別の感覚によって補助することが知られている。視覚障害者が触覚で点字を読む、聴覚障害者が視覚によって口話や手話で会話することは、音声や視覚で代行的に獲得する例である。視覚障害者に対して、聴覚と触覚で行なう感覚代行は「視覚代行」、聴覚障害者に対して、視覚と触覚で行なう感覚代行は「聴覚代行」と呼ばれる。聴覚障害者に対する視覚による聴覚代行は、視覚機能を占有してしまうという問題から、聴覚情報を触覚に変換する研究が行われている(下条, 前野, 篠田, & 佐野, 2010)

触覚を利用した聴覚代行の例として、振動による触覚情報で音声の帯域情報を伝える Tactaid7 (Galvin, et al., 1999)では、マイクロホンで受けた 200~7000Hz の音声信号帯域を周波数解析した後、エネルギーが最も大きくなる周波数を2つ選び7つの振動子のうちから2つを選択して振動させる仕組みを持つ。人間の振動に対する感覚特性から振動周波数は 250Hz に統一されている。伊福部らによる「触知ボコーダー」(伊福部, 1995)では聴覚の臨界帯域に合わせて 200~4400Hz までの音声を 16 段階の周波数帯域に分割し、各帯域に対応して出てくる信号を 16 行×3 列の機械的振動子を 200Hz で振動させる。

聴覚代行の研究では、呈示される情報が本来の感覚系を通して得られる情報と整合できるかが焦点であり、研究の効果を測る手段として弁別能力試験が行われている。

1.7 触覚による音楽情報伝達

次に、触覚を用いた音楽情報の伝達を検討している研究を概観する。

坂尻らによる聴覚障害者に対して触覚フィードバックで音のピッチを伝達するためのシステム(坂尻, 三好, 中邑, 福島, & 伊福部)では、22mm×10mm の領

域に 16 行 4 列の刺激ピンが配置された触覚ディスプレイを使用しており、右手人差し指を置いて刺激を受ける。1 つの刺激ピンが半音に対応しており、目標音階を PC で設定し、目標音と同じ音声周波数になるように、盲ろう者、聴覚障害者が発声してピッチの改善を行なうことを目的とする。実験では、触覚フィードバックがない場合とある場合で 8 音階を発声する実験を行なっている。実験結果より、振動フィードバック有りの場合は、触覚フィードバックなしの場合に比べて全ての音階でピッチ差が減少していることから、音声のピッチを触覚フィードバックで伝達するシステムの有効性が示されている。

猪狩らは、聴覚障害者が手話歌をうたう際、振動刺激を用いてリズム知覚を行なう手法 (猪狩 & 鎌田, 1995) を提案している。リズムを体の一部に振動刺激として伝えることで、目線が拘束されずに自然な手話動作を行なうことを目的としている。実験では小型のバイブレーターを使ってリズムに基づく振動刺激を与え、キー入力によるリズムの再現が行われている。実験結果より、聴覚障害者は試行回数を重ねるほど成績が良くなっていることから、振動刺激によるリズム知覚において学習効果が得られる可能性を示唆している。聴覚障害者は音楽経験がない健聴者と同程度でリズムが再現できるとし、聴覚障害者に対して、振動はリズム伝達の補助手段として有効であると結論づけている。

1.8 振動による音楽体験と印象

音楽鑑賞の目的を、精神的な充足や楽しみのためであると考え、触覚による音楽情報の伝達の評価指標として、音情報認識の正確さだけでなく、音楽の印象について議論することは重要である。また、これらの研究では人間の振動に対する認知特性から、呈示の手法や呈示部位についても検討されている。

杉谷らは、腕に取り付けた振動モータで音楽情報の伝達を行い (杉谷, 合志, 古賀, & 小山, 2000), 音楽の楽しさなどの印象にはたらく影響を調査している。システムは、音声信号をバンドパスフィルタに通して 8 チャンネルの周波数帯域に分割し、それぞれの帯域に対応した部位 (片腕) に振動を呈示している。音楽情報に振動を付与する実験では「振動のみ」「音楽のみ」「振動+音楽」の 3 条件での刺激呈示を行い、10 対の印象語を用いて 5 名の健聴者に対して検証している。結果から、どの楽曲においても振動のみの場合と比べ、振動+音楽の方が印象評価の平均値が高いことが示されている。楽曲全体での音量変化を表すダイナミックレンジ問い指標を用いて、これが大きい音楽に対して振動

を付与することで、「面白さ」「激しさ」評価値を高める効果が大いいと結論している。

井手口らは、アコースティックギターのサウンドホールにスピーカーを取り付けた体感スピーカー装置を用いて音楽を聴取する方法 (井手口 & 村中, 2007)で音楽の印象に及ぼす影響を分析している。システムでは、スピーカーから再生される音と体感スピーカーからくる振動を同時に感じる。実験では、振動による音楽聴取が音楽に対してどのような印象を増幅するのかを検証している。結果、通常の音楽聴取方法と比較して、ジャズ曲とギター曲で臨場感因子得点が増加し、ジャズ曲で輪郭感因子得点が増加すると結論している。

1.9 感性によるアプローチの必要性

「感性」は、美や快などの価値を構成する特徴的な部分に対して、瞬時に反応し評価する能力 (原田, 2004) と説明される。感性は外界からの刺激に対する心の反応であり「心地よさ、面白さ、楽しさ」等の感情を含めたポジティブな心の動きである。

前節より、音楽において人間の感性が果たす役割は大きい。音楽と感性については他にも様々なアプローチの研究がある。楽曲から感性情報を抽出する (片寄ら, 1988) , また人間の即興演奏に合わせて演奏を協調的に変化するシステム (和気ら, 1994) を構築している。楽器演奏と感情の関係を調査したものとしては、キーボードで打楽器を演奏した時の感情伝達 (生駒ら, 2009) やスネアドラムの奏法と感情の対応関係について調査しているもの (佐藤ら, 2015) が存在する。これらの研究は、健聴者を対象としているものが多く、聴覚障害者と健聴者の差について考察しているものは少ない。

感性を知覚の関数とした時、独立変数 (インプット) となる知覚を s 、従属変数 (アウトプット) を e 、感性を f とすると、システムは $e = f(s)$ と表される (椎塚, 2013) 。

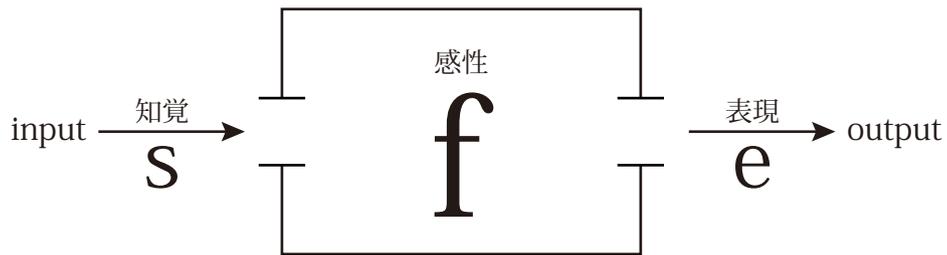


図 3 知覚の関数としての感性（椎塚「感性工学ハンドブック」(2013) p.3 より改変引用）

上図において、1) インプットとして音に振動を付与した時、2) 聴覚障害の有無による感性の違いから、3) アウトプットとしての印象を本研究で検討する。

人間が可能な限り自然な動きや状態で使えるように物や環境を設計し、実際のデザインに活かす学問である人間工学には、1) 安全、2) 快適、3) 使って楽しく満足という3つの段階があると考えられる（長町, 1986）。このうち、3段階目の楽しいという観点を考える上では、デザイン学、心理学の観点のみならず、体験をどのように感じたのかという感性の側面からの検討が求められる。

第2章 振動呈示デバイスの設計

2.1 仮説の提示と概念設計

本研究では、音と振動を同時に呈示した時のリズム弁別成績と共に印象評価に与える影響を明らかにすることとし、以下の仮説を検証する。

仮説1：音に振動刺激を付与することでリズムが強調され、リズム弁別成績が向上する

仮説2：リズムパターンに振動刺激を付与することで、音のみの鑑賞時と比較して印象に差が生じる

仮説1について、関連研究 (猪狩 & 鎌田, 1995)では、振動のみによる刺激でリズムの認識精度の検討が行われており、音に振動を付加した条件では検討されていない。本研究では、従来の聴覚代行実験の内容に対して条件を追加し、聴覚障害者と健聴者における聴覚と触覚の相互作用を確認する。

仮説2について、関連研究 (杉谷, 合志, 古賀, & 小山, 2000)では「振動のみ」「音楽のみ」「振動+音楽」の3条件での刺激呈示による印象への効果が、健聴者に対して検証されていた。本研究では、同じ条件で聴覚障害者に対して実験を行い、聴覚障害者と健聴者で印象に対する効果を確認する。

本章では、上記仮説を検証するための振動呈示デバイスを設計する。

玩具商品の開発においては、聴覚障害者や視覚障害者に目を向けた「共遊玩具⁴」が提案されている。共遊玩具は共用品⁵が持つ定義「身体的な特性や障害にかかわらず、より多くの人々が共に利用しやすい製品・施設・サービス」を玩具に適用したものと考えることができる。この定義を参考に、これまで聴覚障害者が音に親しむことを目的とした「共遊楽器」を制作してきた(金箱, 2013)。本研究では、音を振動に変換するデバイスを検討する。既存の振動呈示デバイスは、システムの規模が大きい、アクチュエータが高価である、などの理由で一般環境への導入が難しいことから、より一般的なアクチュエータを用いた簡易な手法で振動を呈示するデバイスが求められる。

⁴ 白、黒のコマが手触りで区別できるオセロなど、障害者でも楽しめる機能やデザイン面での工夫がされている。

⁵ 共用品・共用サービスの原則(財団法人共用品推進機構資料より)は次のように設定されており、2番目は感覚代行にも通じる考え方である。1) 様々な人々の身体・知覚特性に対応しやすい、2) 視覚・聴覚・触覚など複数の方法により、分かりやすくコミュニケーションできる、3) 直感的で分かりやすく、心理的負担が少なく操作・利用ができる、4) 弱い力で扱える、移動・接近が楽など、身体的負担が少なく利用しやすい、5) 素材・構造・機能・手順・環境などが配慮され、安全に利用できる

2.2 振動に関する知見

本節では、振動の構成要素と人間の振動に対する感覚、振動を発生するアクチュエータの知見を元にデバイスの設計で考慮すべき点をまとめる。振動とは物体が一点を中心として前後左右、上下への運動を繰り返す状態を指す。振動刺激を構成するパラメータは振動数、変位、速度、加速度である。

- ・振動数 (Frequency) (単位: Hz) 物体が 1 秒間に繰り返し運動する回数。周波数ともいう
- ・振動変位 (Displacement) (単位: μm , mm) 振動の往復幅
- ・振動速度 (Velocity) (単位: mm/s, cm/s) 変位の時間に対する変化率
- ・振動加速度 (Acceleration) (単位: m/s^2 , g) 単位速度の時間に対する変化率

人間の皮膚は、およそ 1000Hz を上限とする周波数の機械振動に反応する。振動の振幅に対しては $2\mu\text{m}$ の最小感度を持つ部位から、 $400\sim 500\mu\text{m}$ もの振幅が必要な部位もある。振動感覚は、 $200\sim 250\text{Hz}$ の振動周波数で最も感度が高いが、測定する身体部位によって感度は大きく異なる。下図にその結果を示すが、手と指は、他の身体部位に比べ振動に対する感度が高いことが分かる。

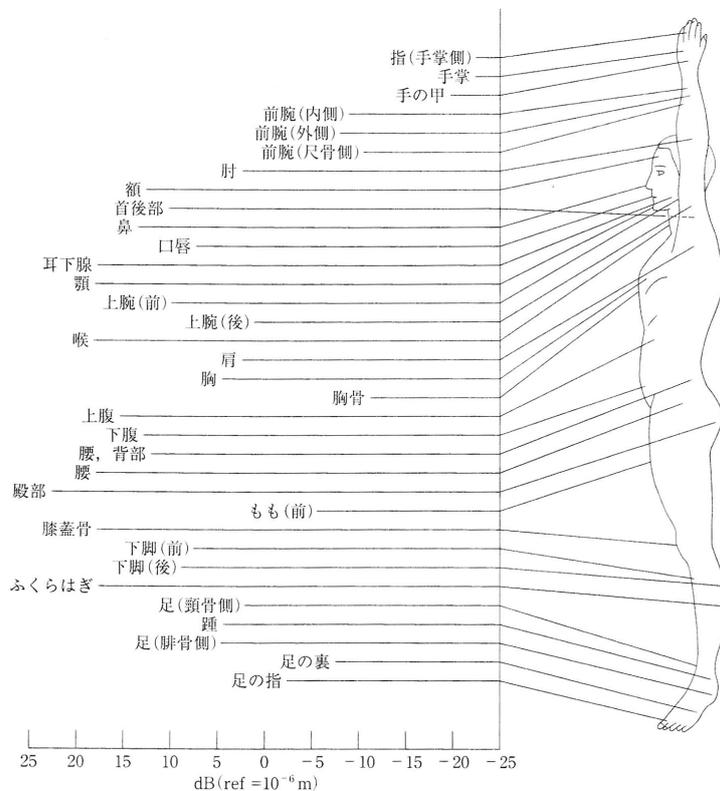


図 4 身体各部位における 200Hz での振動感覚閾値 (振幅値) (伊藤ら「人間工学ハンドブック」(2012) p.78 より引用)

また、機械的振動に対する感度は、周波数によって異なることが明らかになっている。各周波数の振動刺激を手の指に呈示すると、下に示すような振動検出閾曲線が得られる。

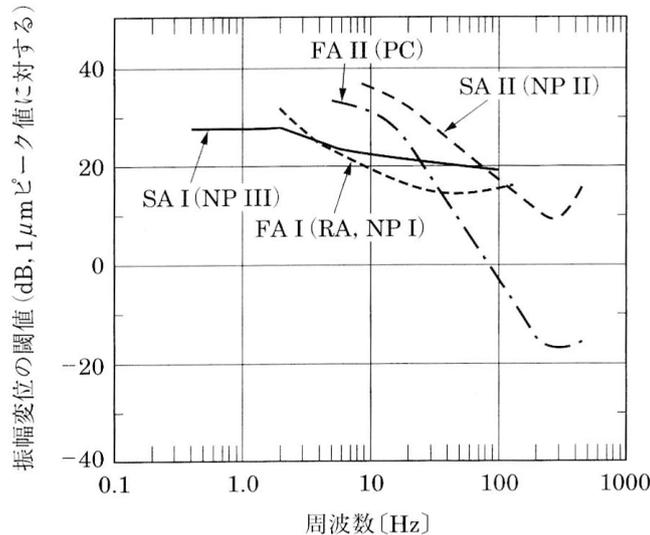


図 5 機械的振動の感度（坂本ら「生体のふるえと振動感覚」(2009) p. 111 より引用)

上図から、振動周波数の帯域によって反応する受容器ユニットが異なることが分かる。FA I は 40Hz、FA II 及び SA II は 250Hz 付近で最も感度が高い。SA I は 0.3Hz から 100Hz の範囲で反応し、周波数による感度の差は見られない。意識に上る振動感覚は、各ユニットの反応を統合したものである。

坂本ら (2009) は機械的受容ユニットを背景とする心理特性を以下の様に説明している。

1. 3Hz 以下の周波数に対する機械的刺激は振動覚というよりも「コツコツ」という触打を感じる領域で、SA I の特性が反映される
2. 心理的に感じる「ブルブル」という振動には FA I と FA II の特性が強く関与するため、この 2 つの影響が入れ替わる 40Hz 付近で変局点が表出される
3. SA II は順応が遅く、かつ受容野が広いため心理特性上は他の受容ユニットの機能に埋もれてしまう

振動呈示デバイスを設計する上で、刺激の振動周波数をどこに設定するかは重要な要素である。関連研究を参考にすると、使用された振動周波数は、200～300Hz の範囲のものが多く、主な理由は、この帯域での振動感覚閾値は低く、

触覚刺激に必要なエネルギーが少なく済むという点が上げられる。しかしながら、200～300Hzの振動は知覚しやすい一方で、くすぐられるような独特の感触や刺激後の残存感（疲労）を喚起することがある。振動刺激の選択にあたっては、振動感覚閾値だけでなく、感覚の質や長時間刺激を与えた際の影響にも配慮することが必要である。

機械振動を生起させる振動子には、携帯電話に入っている小型のモータや、振動の振幅、高周波数振動ができるピエゾ素子などがあげられ、それぞれ特徴が異なる。以下に主要なものを列挙する。

- ・小型のソレノイド振動子

点字のようなグリッドに基づくパターン情報を呈示するためには、同時に複数のアクチュエータを配列する必要があるため、この素子が使われる。比較的広帯域まで追従できるものでも一般で200Hz程度と、周波数追従性の点で問題がある。

- ・振動モータ

電磁的方法による素子で、携帯電話などのデバイスに広く使用されているため一般的に手に入りやすい。小型モータの回転軸におもりを取り付けることで回転によって力覚を発生する構造である。印加する電圧を調整することで振動周波数や振幅をコントロールすることができるが、モータが回り出すまでの時間などの物理的な制約もあり正確に制御することは容易でない。

- ・圧電型アクチュエータ

電圧を印加することで物質が変形する逆圧電効果を使用している。コイルを使用しないので、小さなスペースに複数のアクチュエータを内蔵できる。20～250Vの駆動電圧を必要とするが、低電流でも駆動可能なので総消費電力は小さい。振動発生方式の特性上、特定の周波数に共振点が現れるため、全周波数範囲で一様に振幅を変位させることが難しい。

- ・その他の方式

空気圧方式(Rajinder Sodhi ら, 2013), ウォータージェット方式(清水ら, 1978), 超音波方式(Hoshi ら, 2010)などが存在する。超音波方式では、非接触状態で触覚情報を呈示することができるが、超音波を発生させるための素子が必要となるため、装置が大きくなる。ウォータージェット方式はバルブの開閉によりノズルから勢い置く水流を噴射する。皮膚に水が付着しないように呈示部位を何らかの方法で保護しなければならない。空気圧方式は、空気の塊を押し出すという仕組みで成り立っているため、振動周波数を変更することができない。

これらのアクチュエータを用いた触覚提示ディスプレイやデバイスの研究はバーチャルリアリティ分野での研究が盛んである。VibTouch（土屋ら, 2011）はゲームコントローラー型のポインティング装置で、操作する指に様々な種類の振動を加えることにより、画面中のオブジェクトをなぞったり、動かしたりした時の感触を提示する。多自由度の力覚を提示を皮膚に呈示する振動刺激だけで擬似的に表現することを目標としている。HaCHIStick（Hachisu ら, 2011）は木琴のバチのようなスティック形状のデバイス先端に振動モータを内蔵し、画面上に表示されている木琴や鉄琴の鍵盤を叩く操作を弾性シートにより認識して楽器に応じた振動がフィードバックされる。これらの研究は、画面の中の物に触れたり、楽器を演奏した時の感触を再現する。演奏者の振動フィードバックは、演奏行為の実感に影響をおよぼす事が知られている。

振動呈示の際には、振動子のサイズが振動覚の感度に及ぼす影響についても検討が必要である。

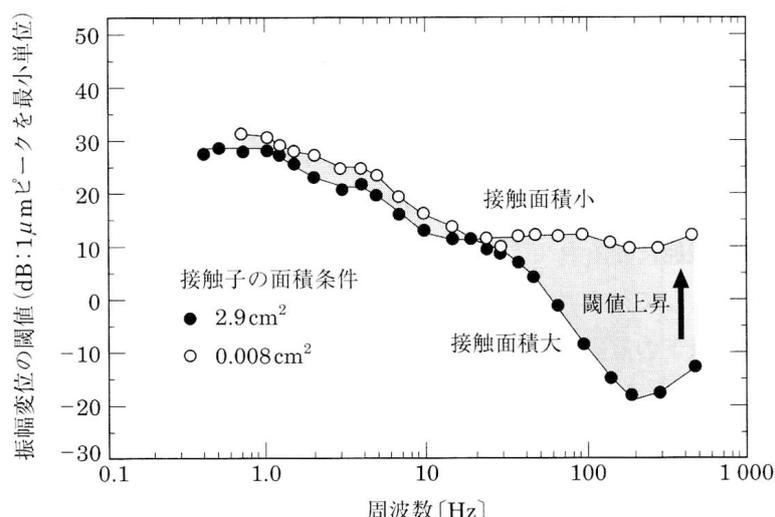


図 6 接触面積の相違による振動覚の特性（Gescheider et al. (2001)より引用）

横軸は被験者が反応した閾値を機械的振動子の変位で表し、横軸は周波数を意味する。0.008cm²と2.9cm²の刺激サイズの比較では、接触子が大きい条件のほうが小さい条件よりも振動覚の閾値が低いことが分かる。この傾向は40Hz以上の高い周波数帯での相違が著しい。その理由は、パチニ小体（受容野が広く、反応が早い機械的受容ユニットFAⅡ）が広い範囲の刺激を受けて閾値を低下させたことに関係するといわれる。

以上に述べた触覚の特性を配慮すると、振動刺激を呈示するデバイスを設計する際には、以下の点を考慮してアクチュエータを選択する必要がある。

1. 振幅
2. 周波数追従性
3. 振動子の形状とサイズ
4. 消費電力

2.3 デバイスの仕様検討及び基本設計

前節で述べた振動に対する触覚の特性とアクチュエータの特性から、音と振動を同時に呈示する機能を達成すべく、以下の指針で振動呈示デバイスの仕様を検討する。

- ・複数のアクチュエータを内蔵でき、低電流でも駆動可能な圧電アクチュエータを使用
- ・触覚感度が良好な指先部に対するアクチュエータ配置の検討
- ・振動を知覚しやすくするため大きなサイズの素子を使用
- ・長時間保持することができるデバイス形状と材質

上の指針を考慮し、概念設計と名称の検討を行なった。日本語には、五感を研ぎ澄ませて一心に鑑賞する行為を指す「きく」という言葉がある。お酒の優劣を判定する「利き酒」やお香の香りを嗅いで楽しむ「香を聞く」など、様々な感覚を働かせる際に使われる言葉である。一方で、VIBEとは英語で「本能的に経験される特有の感情的な雰囲気」という意味があるため、振動を通じて音楽の雰囲気(VIBE)を鑑賞する(KIKI)という意味を込めて、デバイスの名称をKIKIVIBEとした。これまでの研究で提案されてきたシステムやデバイスは、複数のモータやアクチュエータを身体に装着する必要がある、気軽に使えないことも問題である(金箱ら, 2015)と考える。音楽鑑賞は、人によるが夢中になると長時間に渡ることがあるため、長時間保持してもストレスのない形状や重量を検討する必要がある。

振動呈示デバイスは、音を振動として指先から感じることで、音楽要素の一つであるリズムを強調することを目指す。利用の主対象は聴覚障害者を想定しているが、音に触れるという体験は健常者の音楽鑑賞時の印象に対しても有効に働くと考える。

上記の概念設計と指針から、以下のとおり仕様を定めた。

1. 人間が振動として感じやすい 250Hz 付近を中心に，振動刺激として感じることでできる上限となる 1000Hz までを出力できること
2. ライブ会場など，持ち歩きが生じる環境でも安定的に保持できる形状
3. 保持する指に振動を与えるアクチュエータの配置

デバイスに使用する圧電アクチュエータは，変位精度が高い（出力する振動周波数を正確にコントロールできる），発生力が大きい（強い振幅，加速度の振動を発生させることができる），応答速度が速い（目標とする振動周波数に達するまでの時間が短い）特徴を有している．圧電アクチュエータは，セラミックスに電氣的エネルギーを加える事で，機械的エネルギーを発生する逆電圧効果により振動を発生させる．本デバイスで採用した圧電アクチュエータの再生可能周波数は 100Hz～40kHz 以上である．振動モータや小型のソレノイド振動子では，周波数 100Hz 以下の振動を出力できるが，振動周波数を正確にコントロールするのが困難なことから，圧電アクチュエータを採用した．

デバイス形状は，「振動を通じて音楽の雰囲気鑑賞する」とことと音楽を「聴く」という言葉から連想し，音を別の感覚器で感じることでできる「第三の耳」と捉え，外耳の形状をモチーフにデザインした．次に，断面図のイメージスケッチを元にウレタンフォームで立体形状を作成した．形状は握りやすさ，長時間の保持を考えてグリップの形状とした．握りやすさを考慮する上で，「設計のための人体寸法データ」（工業技術院生命工学工業技術研究所, 1996）の「握り内径」の項を参考に，男女の平均値である 44.4mm（図 7 着色部）から周囲長を算出したところ 139.4mm であった．デバイスを保持した時の最大周囲長（図 8 右図の線部分）が 139.4mm を超えないように本体の大きさを調整した．

L17 握り内径 Grip diameter, inside

	young adults			elderlies			
	M	F	M+F	M	F	M+F	
パーセンタイル Percentile	2.5	42.4	37.0	37.0	42.2	36.0	36.0
	5	44.0	38.0	38.0	42.5	36.0	36.0
	10	45.0	39.0	39.0	42.9	36.9	37.0
	25	46.0	40.0	41.0	44.3	38.0	38.0
	50	49.0	42.0	44.0	45.5	41.0	42.0
	75	51.0	44.0	47.0	46.8	43.0	44.0
	90	52.0	46.0	50.0	47.0	44.1	45.0
95	53.0	47.4	52.0	47.0	45.0	47.0	
97.5	53.6	48.0	52.5	47.0	45.0	47.0	
被験者数	N	97	204	301	10	50	60
平均値	Mean	48.6	42.4	44.4**	45.1	40.6	41.3**
標準偏差	S.D.	3.02	2.92	4.15 ns	1.73	2.96	3.27*
最小値	Min.	40.0	36.0	36.0	42.0	35.0	35.0
最大値	Max.	55.0	51.0	55.0	47.0	47.0	47.0
歪度	Skewness	-0.342 ns	0.173 ns	0.298*	-0.513 ns	-0.003 ns	-0.087 ns
尖度	Kurtosis	-0.176 ns	-0.036 ns	-0.583*	-0.601 ns	-0.934 ns	-0.965 ns
文献	JASDF 1	44.0**	41.3**	-	-	-	-
	JASDF 2	43.5**	-	-	-	-	-
	IPRI 67	-	-	-	-	-	-
	Hoshi	-	-	-	-	-	-
	JLIA	-	-	-	-	-	-
	JIS	-	-	-	-	-	-
	USAF	48.2 ns	-	-	-	-	-

定義：親指と中指の先端が触れる状態で円をつくったときの、円の直径

計測器：握り径計測器

姿勢：いす座位

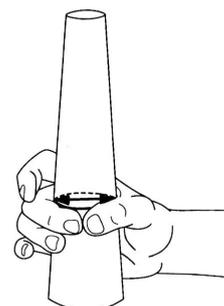


図 7 握り内径の人体寸法データ（工業技術院生命工学工業技術研究所(1996)より引用）

形状を調整した後に、圧電アクチュエータの取り付け位置を検討した。

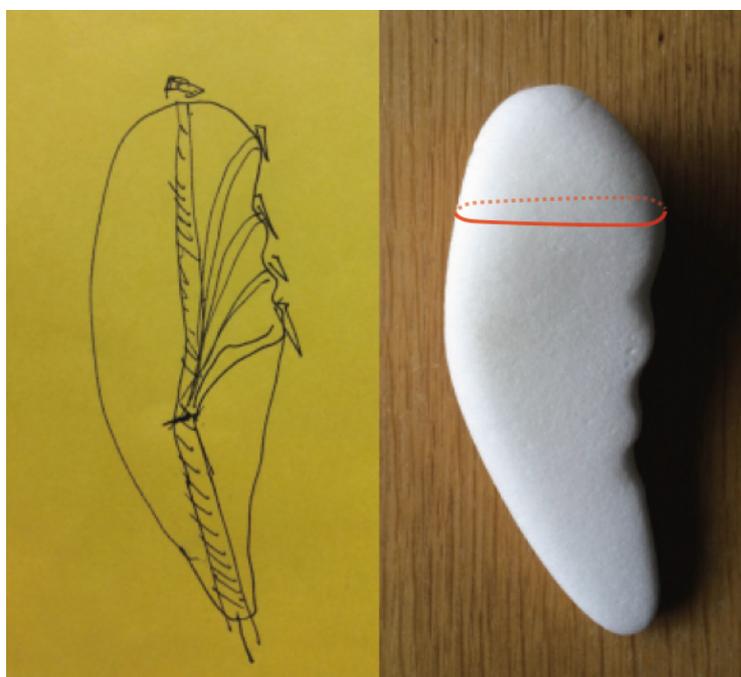


図 8 断面図のスケッチとウレタンフォームによる立体形状の試作

（右図線が保持した時の最大周囲長）

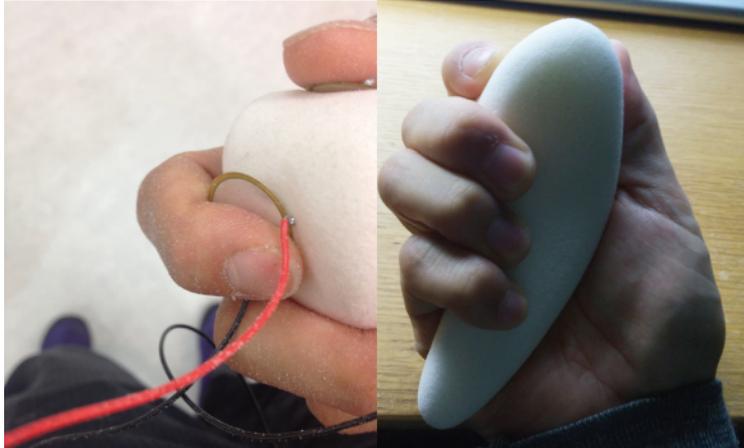


図 9 圧電アクチュエータの取り付け位置の検討

次に、ウレタンフォームを撮影した写真をもとに Illustrator で三面図を作成し、Rhinceros で 3D モデリングを行なった。

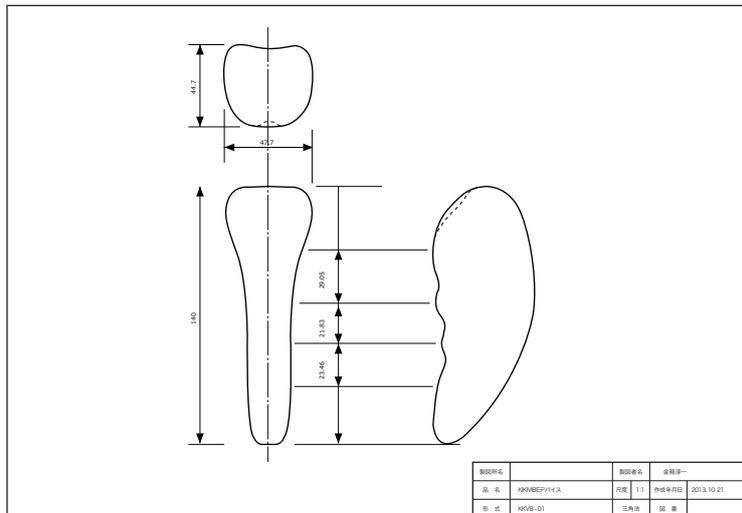


図 10 KIKIVIBE の三面図

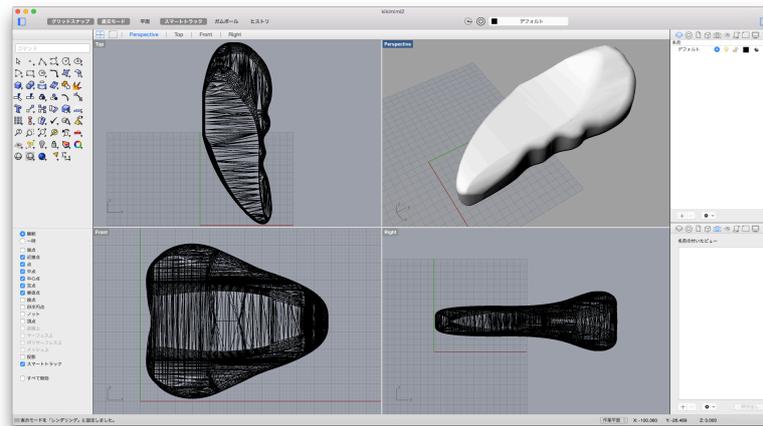


図 11 3D モデリングデータ

モデリングしたデータから、木粉と樹脂を合成した素材のウッドライクを用い3Dプリンターによって印刷した。圧電素子への配線は筐体内部を通し、本体下部から出した配線をアンプに接続した。触った時の温感も木製楽器のように親しみやすい。

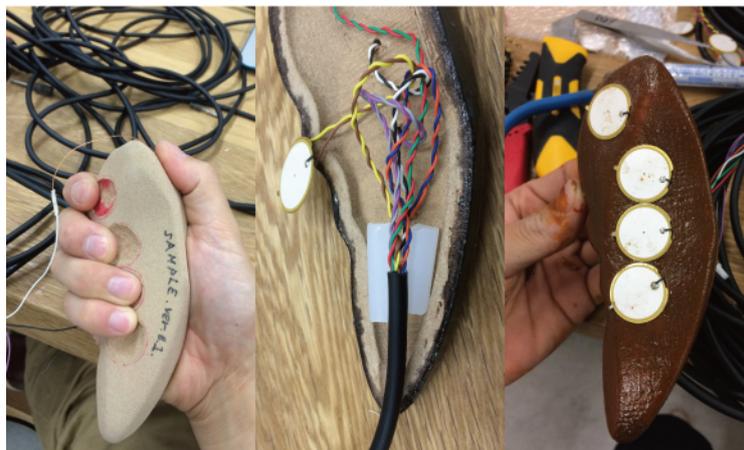


図 12 圧電アクチュエータ取付工程の様子

第3章 振動刺激が聴覚障害者のリズム弁別成績と印象に与える効果

3.1 目的

聴覚障害者の聞こえの度合いは個人差があるが、中程度以上の聴覚障害では普通の会話が聞き取りづらい。音楽についても聞き取りづらさを感じている可能性が考えられる。本章では、中程度以上の聴覚障害者が音楽を聴取する際に、音を振動で補助するデバイスを使用した時のリズム弁別成績、印象評価に対する効果の解明を目指す。同様の実験を健聴者に行ない、以下の仮説を検証する。

仮説1：音に振動刺激を付与することでリズムが強調され、聴覚障害者のリズム弁別成績が向上する

仮説2：聴覚障害者が振動刺激を付与したリズムパターンを聴取することで、音のみの鑑賞時と比較して「楽しい」印象を感じる

3.2 実験方法

3.2.1 要因計画

聴覚障害の有無、刺激の呈示条件（音のみ：A条件、音と振動：AV条件、振動のみ：V条件）による2要因混合計画であった。

3.2.2 実験参加者

中程度以上の聴覚障害（60dB以上の先天的感音性難聴）を持つ大学生12名（男5名、女7名、20歳～22歳、平均20.4歳）と、正常な聴力を持つ大学生12名（男6名、女6名、20～25歳、平均21.9歳）が実験に参加した。実験は個人ごとに行なった。実験参加者によっては振動刺激の呈示で実験中に身体の不調をもたらす可能性があるため、実験前にその旨を説明したうえで実験参加同意書を提示し、署名した者のみを実験参加者として扱った。分析には24の結果を利用した。

3.2.3 実験材料

呈示刺激として、聴覚障害をもった大学生・高校生に対してタッピング能力を測定した先行研究（林田 & 加藤, 2002）でも用いられている Edwin E. Gordon による音楽能力テスト⁶に使用されているリズムパターン Primary Measures of

⁶ 音楽能力テストは、通常は個人の音楽・聴覚刺激に対する感受性を測定するために用いられる。和音や音色の弁別力を測定するものには、次のようなものがあり、テストごとに難易度には大きな差がある。1) シーショア音楽能力尺度：音色弁別が含まれた基本的な音楽感受性テスト。2) ウィング標準音楽知能テスト：和音分析、和音の音上下、和声の比較判断などが含まれる。

Music Audiation (PMMA) から 20 題, Intermediate Measures of Music Audiation (IMMA) から 20 題を使用した. 呈示する刺激は先行研究を参考に, 523.3Hz(C5) の矩形波を使用した. 使用したリズムパターンの例を図 1 に示す.



図 13 リズムパターンの例(Edwin E. Gordon: Intermediate Measures of Music Audiation (1986)より引用)

3.2.4 測定指標

リズムの弁別能力を測る指標として, リズムテストの正答率 (%) を測定した. 心理指標として, 音楽聴取の印象を調査している先行研究 (杉谷, 合志, 古賀, & 小山, 2000) を基に 10 項目の形容詞対 (各 7 段階) を用いて評価を求めた.

3.2.5 実験装置

実験は, 筑波大学芸術系研究倫理委員会の審査 (課題番号: 芸 27-9 号) を受け, 筑波大学総合研究棟 D の 1 室と筑波技術大学の 1 室で行なった. 実験環境は, 外からの音が聞こえにくい個室とした. 音刺激はコンピュータ (Macbook Pro15 インチ Early2013) からオーディオインターフェイス (M-Audio Fast Track Ultra) を介して, スピーカー (CREATIVE SP-T12W) と振動デバイスを接続し呈示した. 振動呈示デバイスは周波数 10Hz~40kHz の再生が可能である. 被験者は片手でデバイスを握りこみ, 指の腹で振動を感じるようにした. デバイスを握った手は防音箱に入れ, 振動提示デバイスからの音が聞こえないようにした. デバイスを持たない方の手は膝の上に置くように指示した. 健聴者群の V 条件の実験時のみ, 被験者はヘッドホン (Bose Quiet Comfort 25) を使用した.

3) シャーマン=ナイト理解力調査: 専門家用で難易度が高い. 楽器の音色弁別 (楽器の組み合わせ判断, 指定された楽器の旋律を同定する) が含まれている.



図 14 実験の環境(健聴者・V 条件時)

3.2.6 実験条件と手続き

聴覚刺激に振動刺激を付加した場合とそうでない場合でリズム弁別の正答率、及び印象の差を検証するため、刺激呈示条件は聴覚刺激のみ条件 (A 条件) と、聴覚刺激に振動刺激を付加した条件 (AV 条件), 振動刺激のみ条件 (V 条件) を用意した。刺激の強度は聴覚音圧が 74.0dB SPL, 触覚の振動加速度が 2.3m/s^2 であった。

実験は各実験参加者について、個別実験の形式で行われた。部屋に入室後着席した被験者は、実験担当者より趣旨と実験手順の説明を受けた後、実験に望んだ。リズム弁別実験では ABX 法 (本間, 井野, 黒木, 泉, & 伊福部, 2004) を使用した。一試行の流れを以下に示す。

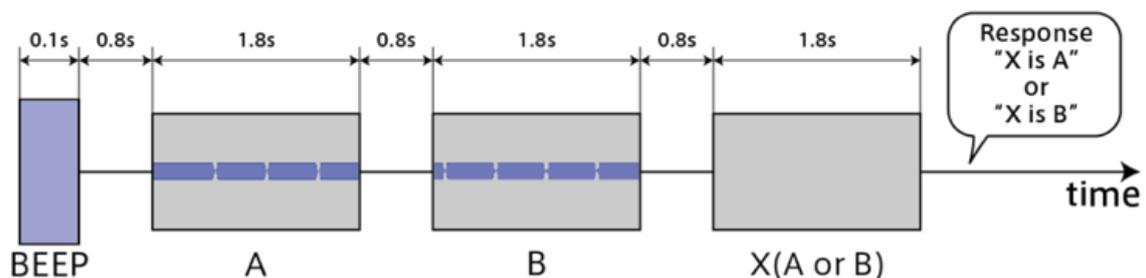


図 15 ABX 法による一試行の流れ

1 試行を 40 回行い 1 実験として、呈示条件ごとに全 3 回の実験を行った。1 実験終了ごとに、実験で得た刺激に対する印象を調査用紙に記入してもらった。

3回の実験終了後、楽器の演奏経験の有無と、実験の感想を自由記述形式でアンケート回答してもらった⁷。楽器の演奏経験については、学校の授業を除いた演奏の経験について質問した。実験の平均的な所要時間は25分前後であった。刺激の呈示状況は、聴覚障害者群と健聴者群で環境が異なるため下に記載する。

・聴覚刺激のみ条件 (A 条件)

聴覚障害者群は補聴器をつけた状態、健聴者群は裸耳の状態ですピーカーから出力される音刺激を基にリズム弁別を行う。振動デバイスから音は呈示されないが、デバイスを片手で保持し防音箱の中に入れる。

・聴覚刺激に振動刺激を付加した条件 (AV 条件)

聴覚障害者群は補聴器をつけた状態、健聴者群は裸耳の状態ですピーカーから出力される音と振動デバイスが発声する振動刺激を基にリズム弁別を行う。振動デバイスは片手で保持し防音箱の中に入れる。

・振動刺激のみ条件 (V 条件)

振動デバイスは片手で保持したまま防音箱の中に入れる。聴覚障害者群は補聴器を外して裸耳の状態、健聴者群は耳栓をし、その上からノイズキャンセリング機能を持ったヘッドホンを装着した。振動音がリズム弁別の手がかりとならないよう、先行研究 (本間, 井野, 黒木, 泉, & 伊福部, 2004)を参考にヘッドホンからホワイトノイズを流した。

3.3 結果

3.3.1 弁別試験の結果

聴覚障害者群の正答率の平均値はそれぞれ、A 条件：75.00% (SD=9.47) , AV 条件：80.42% (SD=7.89) , V 条件：77.5% (SD=8.79) であった。健聴者群の正答率の平均値はそれぞれ、A 条件：89.58% (SD=6.01) , AV 条件：88.96% (SD=8.08) , V 条件：73.96% (SD=8.62) であった。

正答率に対して、聴覚障害の有無、及び呈示条件で二元配置分散分析を行った。聴覚障害の有無は被験者間要因、呈示条件は (A, AV, V) を被験者内要因である。結果は、呈示条件に1%水準で有意 ($(F(2, 44) = 12.48, p < .01)$) な主効果が見られた。聴覚障害の有無に5%水準で有意 ($(F(1, 22) = 6.40, p < .05)$) な主効果

⁷ 先行研究より、音楽訓練とリズム知覚能力には関連があることが報告されている。森下(1993)が行った音楽のリズムに関する知覚実験では、1) 生活年齢より音楽の学習経験がリズム知覚の優劣に関係している。2) 強勢の伴わないリズムでもアクセントが知覚される。3) 同一テンポでもリズムの違いにより異った速度に知覚されることがある、等が報告されている。このことから、本論文の実験においても、楽器の演奏経験を聴取することによって音楽訓練者と非訓練者の反応の差を比較することとした。

が見られた。呈示条件と聴覚障害の有無で1%水準で有意 ($F(2, 44) = 12.35$, $p < .01$) な交互作用が見られた。

表 1 正答率の分散分析表

変動因	平方和	自由度	平均平方	F	
被験者間					
聴覚障害の有無	767.014	1.000	767.014	6.400	$p < .05$
誤差	2636.806	22.000			
被験者内					
呈示条件	1032.465	2.000	516.233	12.477	$p < .01$
呈示条件×聴覚障害の有無	1022.049	2.000	511.024	12.351	$p < .01$
誤差(呈示条件)	1820.486	44.000	41.375		
全体	7278.819	71.000			

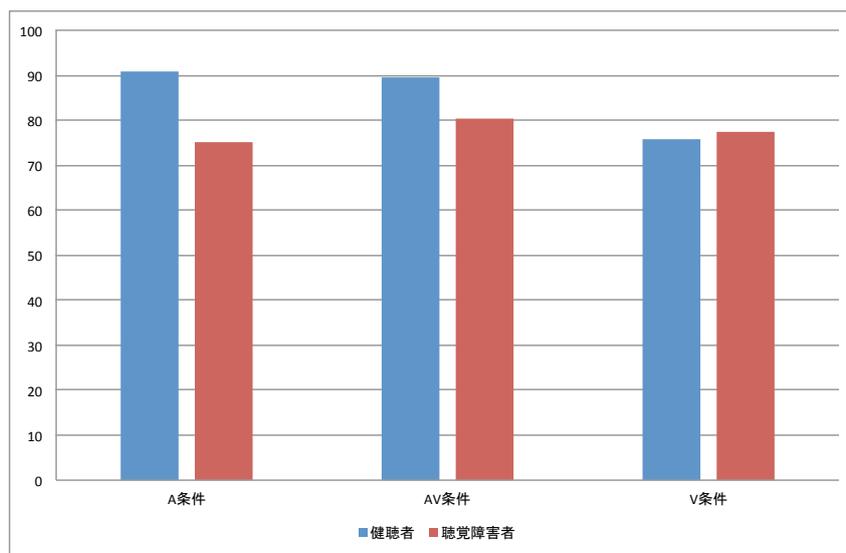


図 16 呈示条件毎の平均得点（縦軸は正答率 (%) を示す）

聴覚障害要因における、呈示条件要因の単純主効果検定を行った結果、健聴者群において呈示条件は有意 ($F(2, 21) = 16.09$, $p < .01$) な単純主効果が見られた。聴覚障害者群において呈示条件は有意 ($F(2, 21) = 3.67$, $p < .05$) な単純主効果が見られた。

続いて、呈示条件要因における聴覚障害要因の単純主効果検定を行った結果、A条件において聴覚障害要因は有意 ($F(1, 22) = 20.26$, $p < .01$) な単純主効果が

見られた。AV条件において聴覚障害要因は有意 ($F(1, 22) = 6.86, p < .05$) な単純主効果が見られた。V条件において聴覚障害要因の単純主効果はみられなかった ($F(1, 22) = 0.99, n.s.$)。

呈示条件における聴覚障害者要因の多重比較を行なった結果、聴覚障害者群において、A条件とAV条件の正答率の平均差は有意 ($p < .05$) であった。健聴者群において、A条件とV条件、AV条件とV条件の正答率の平均差は有意 ($p < .01$) であった。

聴覚障害要因における呈示条件の多重比較を行なった結果、A条件において、健聴者群と聴覚障害者群の正答率の平均差は有意 ($p < .01$) であった。AV条件において、健聴者群と聴覚障害者群の正答率の平均差は有意 ($p < .05$) であった。V条件において、健聴者群と聴覚障害者群の正答率の平均差は有意ではなかった ($p > .05$)。

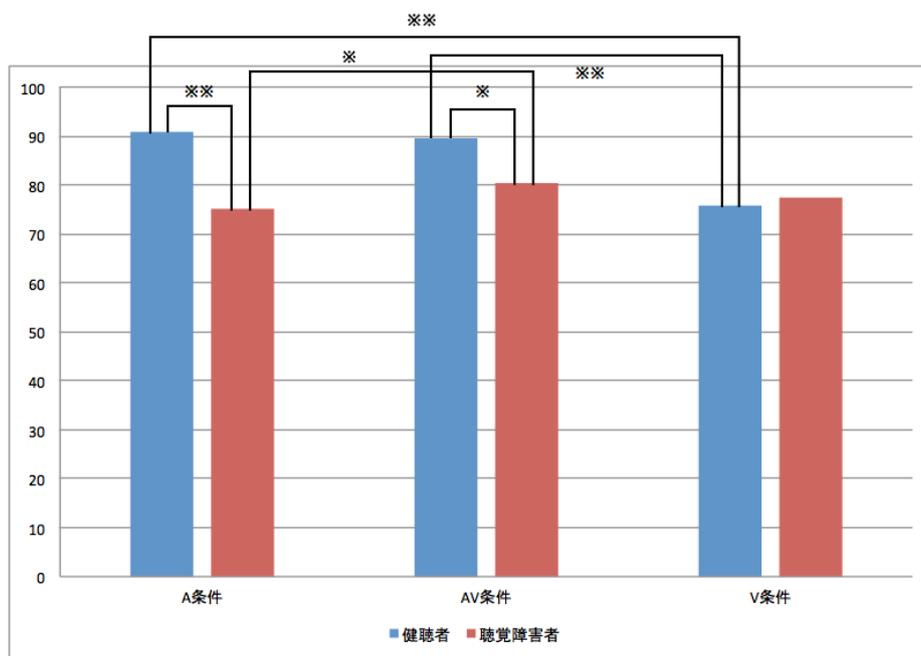


図 17 正答率の下位検定結果 (縦軸は正答率 (%) を示す)

続いて、聴覚障害者群の各条件間 ($n = 12$) の平均正答率に差があるか明らかにするために対応のある t 検定を行った。その結果、A条件とAV条件の正答率には有意差が見られた。 ($t(11) = -2.34, p < .05, r = .58, 95\% \text{ CI}[-10.4, -0.5]$)。A条件とAV条件の正答率の間には有意な正の相関 ($r = .61$) が見られた。

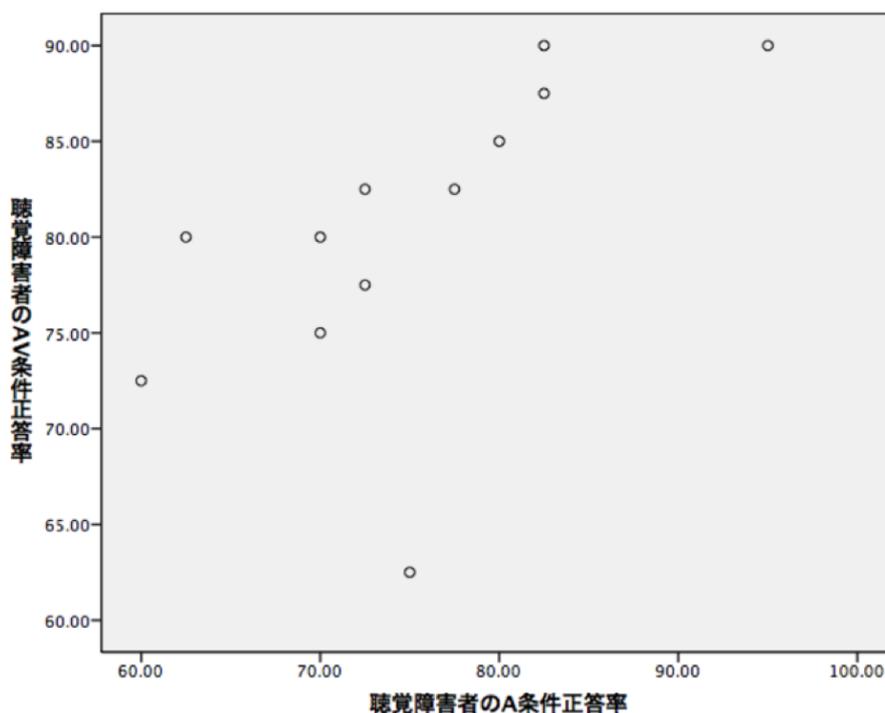


図 18 聴覚障害者群の A 条件, AV 条件の散布図

健聴者群, 聴覚障害者群で正答率を分けて演奏経験の有無, 及び呈示条件で二元配置分散分析を行なった.

健聴者, 聴覚障害者の演奏経験の有無を示した表は下記である.

表 2 健聴者, 聴覚障害者の演奏経験の有無の内訳

	健聴者	聴覚障害者
演奏経験なし	6	6
演奏経験あり	6	6

分散分析の結果, 健聴者群, 聴覚障害者群ともに演奏経験の有無で正答率の有意差は見られなかった.

3.3.2 印象評価の結果

10 項目の評価平均値は表のとおりである.

表 3 各印象評価の平均値

No.	評価項目	健聴者						聴覚障害者					
		A条件		AV条件		V条件		A条件		AV条件		V条件	
		M	SD										
1	嫌い - 好き	-0.58	0.52	0.42	0.67	0.67	1.07	0.50	1.09	0.92	1.00	0.92	1.51
2	落ち着く - 興奮する	0.50	1.24	0.08	1.00	-0.33	0.99	0.17	0.94	0.42	1.24	-0.67	1.61
3	リズムカルでない - リズムカルである	0.58	1.56	0.92	1.73	0.17	1.34	0.67	1.83	1.08	1.51	1.08	2.02
4	心地悪い - 心地よい	-0.67	1.23	0.58	0.90	0.33	1.23	0.00	1.60	0.83	1.34	0.83	1.47
5	不快な - 快い	-0.75	0.87	0.00	0.95	0.50	1.00	-0.08	1.31	0.67	1.16	0.58	1.24
6	古臭い - 新鮮な	-0.42	1.38	0.58	1.17	1.17	1.03	0.83	1.19	1.42	1.38	1.00	1.60
7	穏やか - 激しい	0.83	1.27	0.17	1.03	-0.25	1.06	0.58	1.62	1.00	1.54	0.08	1.93
8	やさしい - 厳しい	0.67	0.89	-0.08	1.00	0.25	1.42	0.67	1.61	-0.17	1.27	-0.42	1.68
9	つまらない - 面白い	0.25	1.42	0.92	1.17	0.83	1.59	0.50	1.31	1.75	0.87	1.08	1.56
10	楽しくない - 楽しい	0.08	1.83	1.25	1.22	1.00	1.54	0.42	0.90	1.75	1.14	1.25	1.29

各項目に対して、聴覚障害の有無を被験者間要因、呈示条件 (A, AV, V) を被験者内要因として分散分析を行なった。呈示条件による主効果、聴覚障害による主効果、交互作用をまとめた表は以下のとおりである。主効果、交互作用が認められた項目のみ p 値を示す。

表 4 主効果、交互作用の一覧

No.	体験の印象	聴覚障害による主効果	呈示条件による主効果	呈示条件 × 聴覚障害
1	好き - 嫌い	p < .05	p < .05	
2	興奮する - 落ち着く		p < .05	
3	リズムカルである - リズムカルでない			
4	心地よい - 心地悪い		p < .05	
5	快い - 不快な		p < .05	
6	新鮮な - 古臭い		p < .05	
7	激しい - 穏やか			
8	厳しい - やさしい		p < .05	
9	面白い - つまらない		p < .01	
10	楽しい - 楽しくない		p < .01	

いずれの評価項目にも交互作用は見られなかった。主効果が認められた項目について、下位検定を行った。結果のグラフは以下のとおりである。なお、2「興奮する - 落ち着く」項目では A 条件と V 条件で有意傾向が見られた。8「厳しい - やさしい」項目では健聴者の A 条件と AV 条件間で有意差傾向が見られた。

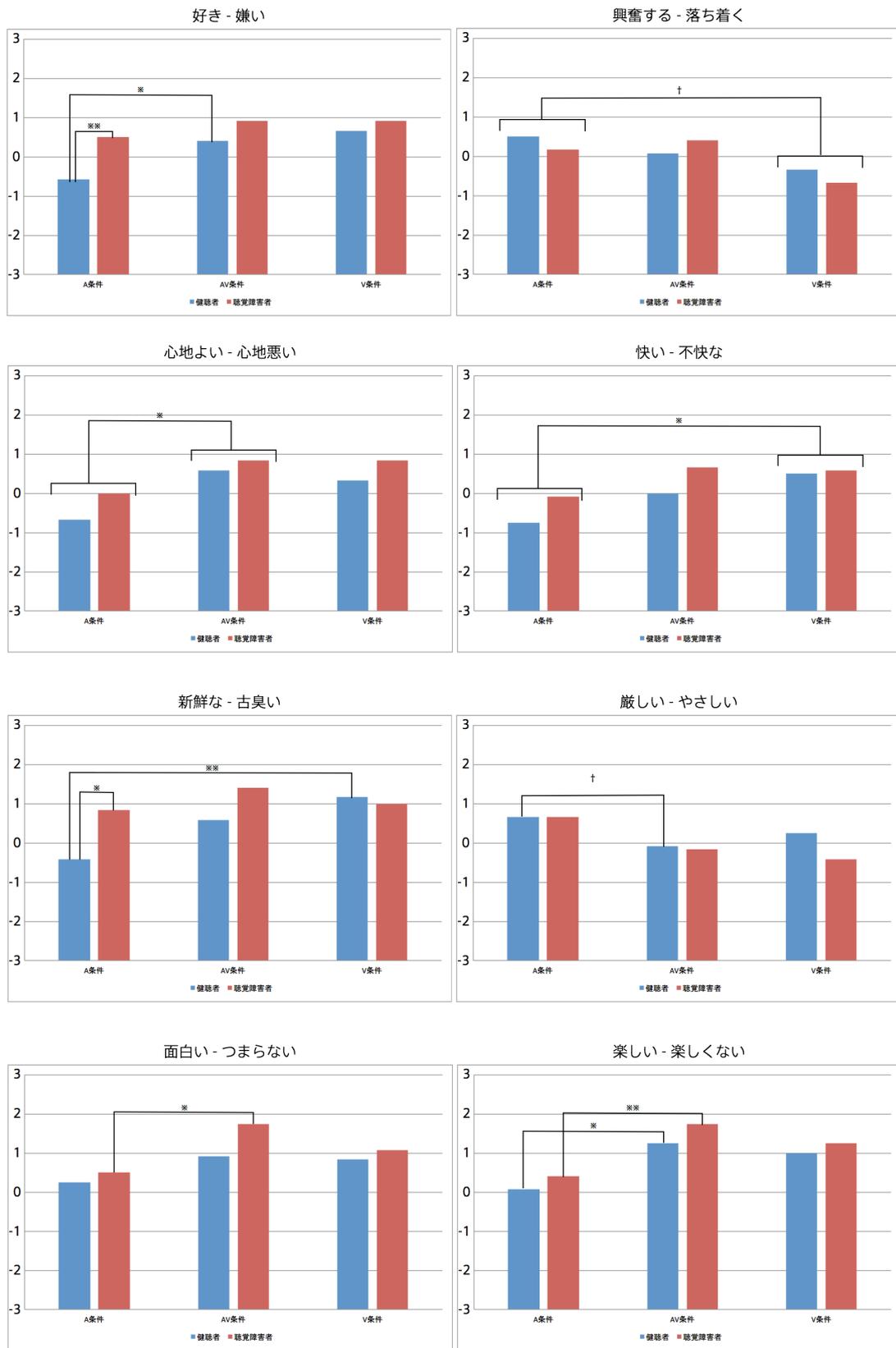


図 19 印象評価項目 下位検定の結果

健聴者群，聴覚障害者群毎に，各印象項目について演奏経験の有無，及び呈示条件で二元配置分散分析を行なった．分散分析の結果，健聴者群の「面白い - つまらない」項目で交互作用が見られた ($F(2, 20) = 4.04, p < .05$)．単純主効果検定を行ったところ，演奏経験有り群において A 条件，AV 条件間の差異が有意であった．

表 5 演奏経験の有無と呈示条件における「面白い - つまらない」評価の平均値

	A 条件	AV 条件	V 条件
演奏経験なし	0.667	0.833	1.5
演奏経験あり	-0.167	1	0.167

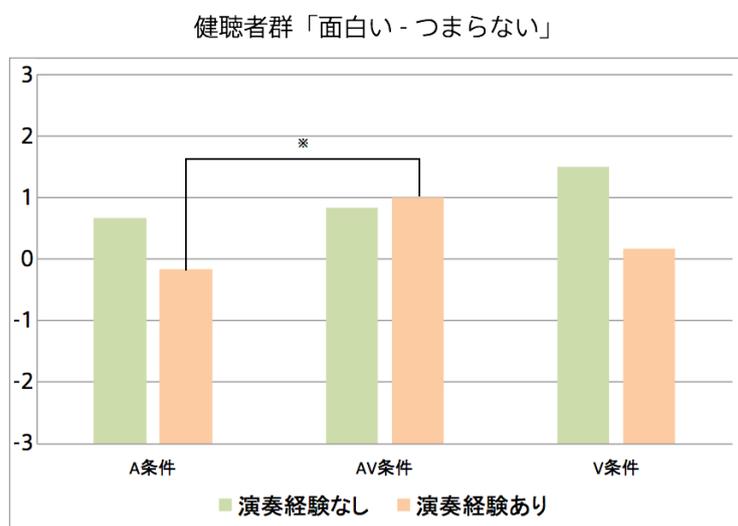


図 20 「面白い - つまらない」項目 下位検定の結果

3.3.3 アンケート結果

実験の感想や意見を健聴者群，聴覚障害者群に分けて示す．回答内容が似通っていると判断したものはまとめ，回答数をカッコ書きで示す．

<健聴者群>

- ・振動がある方がリズムパターンの違いが分かりやすかった (6)
- ・振動のみだと難しく感じた (6)
- ・長時間行くと違いがわかりにくくなってきた (4)
- ・音と振動が同時だと，どちらに集中すればよいかわからなかった (4)
- ・ずっと同じ音だったので少しうるさかった (2)
- ・デバイスが少し大きかった

<聴覚障害者群>

- ・振動によって自信を持って回答できる (3)
- ・振動だけでもリズムが体感できた (3)
- ・音と振動が同時だとどちらに意識すればよいかわからなかった (2)
- ・長時間握っていると、手の感覚が徐々になくなっていく気がする
- ・音だけだと楽しめない
- ・耳で聞くよりも体で聴く音楽のほうが楽しい

3.4 考察

本実験の結果より、聴覚障害者群は音と同時に振動刺激を呈示することで、音刺激の時と比較してリズム弁別成績が向上した。健聴者群には音と同時に振動刺激を呈示した時のリズム弁別成績に向上は認められない。健聴者群は音に振動を付加しても正答率には影響がない事がわかる。A条件、AV条件の弁別成績は健聴者群より聴覚障害者群の方が低いが、V条件において、健聴者と聴覚障害者の正答率に差はない。この結果は、振動刺激のみのリズム知覚で健聴者と同程度の精度でリズムを知覚できるとした関連研究(杉谷, 合志, 古賀, & 小山, 2000)の結果を支持するものである。健聴者群によるアンケート報告にも「長時間行うと違いがわかりにくくなってきた」と記載があることから、被験者が難しく感じたことが示唆される。健聴者群のV条件におけるリズム弁別成績は他の2条件と比較して有意に下がった。健聴者には、V条件でノイズキャンセリングヘッドホンを通してホワイトノイズを呈示した。普段とは異なる聴取状況に対する対応が困難になり、正答率が下がった可能性が考えられる。聴覚障害者群においてはV条件と他の条件の間にリズム弁別成績に差が認められなかった。また、補聴器を取るとかなり音が聞きとりやすくなるという被験者の報告から、振動のみの状況に慣れており、健聴者群よりも対応が柔軟であると考えられる。

刺激の呈示順序に関して、聴覚障害者群に対してV条件から実験を行うと、リズム弁別実験の意図がわからなくなる懸念から、全被験者に対してA条件、AV条件、V条件の順で実験を行った。アンケートより聴覚障害者群、健聴者群で振動への順応や疲労を示す者もいた。健聴者群では順序効果が原因となり、最後に行なったV条件のリズム弁別成績が下がった可能性も考えられる。

健聴者群ではA条件とAV条件間の正答率に有意差は見られなかった。聴覚障害者群においてA条件とAV条件間で正答率に5%水準で有意な差があるこ

とから、聴覚障害者群にのみ弁別成績の向上が見られる。この結果は、聴覚障害者に対する振動が、リズムの伝達を補助する役割として有効に働くと説明している関連研究 (猪狩 & 鎌田, 1995)の報告を裏付ける結果となった。

次に、印象評価の各項目について、聴覚障害の有無を被験者間要因、呈示条件 (A, AV, V) を被験者内要因として分散分析を行なった。その結果、聴覚障害者群、健聴者群とも A 条件と AV 条件間で「楽しい - 楽しくない」項目に有意な差が見られた。関連研究 (杉谷, 合志, 古賀, & 小山, 2000)では、健聴者を被験者にした音楽聴取において振動を付与することで「楽しい」評価値が向上する点が示唆されていた。本実験の結果より、音と振動を同時に呈示することで、聴覚障害者も楽しみを感じることを裏付ける結果となった。

聴覚障害者群の AV 条件の「好き - 嫌い」項目は A 条件と比較して向上していることから、振動によってリズムが補われたことでやや好きな印象を抱いたことが考えられる。「心地良い - 心地悪い」項目では、A 条件と AV 条件で有意な差があった。振動を付加することで、通常の音楽体験よりも心地よい印象をもたらす可能性が示された。一方で、「快い - 不快」項目では、A 条件と V 条件の有意差から、振動のみだとやや不快な印象をもたらす結果となった。振動のみの聴取体験は一般的ではないため、対応が難しかった可能性がある。「新鮮な - 古臭い」項目においては、A 条件で健聴者群と聴覚障害者群の差が有意であった。また、聴覚者軍において A 条件と V 条件の差が有意であった。振動のみの聴取体験を新鮮だと感じる一方、音のみの聴取体験は古臭いと感じる傾向があった。「面白い - つまらない」項目では聴覚障害者群の A 条件と AV 条件で有意な差があった。聴覚障害者は振動の付加によって音のみの鑑賞体験よりも面白さを感じていたことが分かる。

健聴者群、聴覚障害者群毎に、各印象項目について演奏経験の有無、及び呈示条件で分散分析を行なったところ、健聴者群の「面白い - つまらない」項目で交互作用が見られた。下位検定の結果、演奏経験有り群の A 条件、AV 条件間の差異が有意であった。楽器演奏の経験がある者の方が、AV 条件によって「面白い」印象を抱くことが分かる。振動の付与によって、楽器演奏の体感に近づいたことによって面白さを感じた可能性がある。

アンケートに「振動がある方がリズムの違いが分かりやすかった」という意見と、相反する「音と振動が同時だとどちらに集中すればよいかわからなかった」という意見が健聴者・聴覚障害者両群の回答に見られたことから、振動に対する印象は個人差が大きいことが予想される。

健聴者群の「振動のみだと難しく感じた」という意見は、健聴者群の V 条件における正答率の低下と関連する。一方で、聴覚障害者群は「振動によって自信を持って回答できる」「振動だけでもリズムが体感できた」という意見があったことから、リズム弁別の手がかりとして振動が効果的に働いた可能性がある。

「ずっと同じ音だったので少しうるさかった」という意見は、矩形波による単一の刺激を与えた続けた際のストレスによるものと考えられる。今後の実験では、振動刺激の周波数や長さを検討する必要がある。手と指の振動感覚は、他の身体部位に比べ感度が高いことから、指先への振動呈示を行なったが、呈示部位を変えることで正答率や印象が変化する可能性もある。

リズム弁別試験では聴覚障害者群のみに刺激の同時呈示による効果が現れ、「楽しい」印象評価項目では健聴者群、聴覚障害者群共に刺激の同時呈示による効果が現れた。この結果は、リズム弁別成績の向上と、「楽しい」印象への作用は相関がない可能性を示している。

本実験では、音楽能力テストに使用されているリズムパターンを使用して印象評価を行ったため、音楽を楽しむという本デバイスの実用性を考慮する上では、今後は一般的な音楽を聴取した際の印象評価を行う必要がある。刺激呈示における順序効果を避けるため、実験条件はランダムにすることを検討する。

3.5 本章のまとめ

本章では、利用者の指先に振動を伝達するデバイスを用い、リズム弁別テストを行った。評価方法として、リズムの弁別テストの成績と、体験時の印象を測るため SD 法を用いた。

弁別テストの結果、聴覚障害者群において振動を付加した条件では、音のみの場合に比べてリズム弁別成績が向上した。健聴者群において、音のみの条件と振動を付加した条件ではリズムの弁別成績に有意な差は見られなかった。

印象評価の結果から、聴覚障害者群、健聴者群共に音に振動を付加すると「楽しい」評価値が向上した。聴覚障害者群では「好き」「面白い」項目においても有意差が認められた。聴覚障害者群に対しては、音と振動の同時呈示によってリズム知覚を補助し、「好き」「楽しい」「面白い」印象をもたらす可能性を示している。聴覚障害者のアンケート記述には「耳で聞くよりも体で聴く音楽のほうが楽しい」という意見があった。この意見は、振動を用いた音楽の聴取を、音だけの時よりも楽しく感じる可能性を示している。一方で、振動と音

が同時に呈示されると混乱する，長時間同じ刺激を受けていると疲れるという意見も見られた．振動刺激を呈示する際は，被験者の疲労や刺激への順応⁸を考慮すべく，振動刺激の周波数，強度 (和田, 井野, 庄司, & 伊福部, 1997)を検討する必要がある．また，刺激呈示においては順序効果を避けるため，実験条件はランダムにする必要がある．

今後は一般的な音楽を聴取した際の印象評価を行う必要があるが，音楽の印象評価は，音源の特徴や楽曲に対する好みが評価に影響する可能性 (岩永, 1997)が指摘されている．従って，予め要素を限定した楽曲を用いて印象評価を行う必要がある．

⁸ 私達の感覚器官に一定の刺激が持続して与えられると，その刺激に対する感受性が変化し，順応が生じる．例えば大きな音に長時間さらされると，その後には与えられる音は実際よりも小さな音に聞こえてしまう．触覚刺激についても順応による影響を考慮する必要がある．

第4章 振動呈示デバイスを用いた音楽鑑賞時の印象評価

4.1 目的

前章では、振動呈示デバイスを用いてリズム弁別の成績と印象の評価を行った。リズム弁別の成績評価では、聴覚障害者群で音に振動を付加した条件では、音のみの場合に比べて成績が向上した。印象評価の結果から、聴覚障害者、健聴者共に音に振動を付加すると「楽しい」印象評価値が向上することがわかった。

前章の実験では、矩形波によるリズム刺激で印象評価を行ったため、聴覚障害の有無で反応傾向に大きな差が生じなかった可能性が考えられる。よって本章では、ポップス、ロックなどの一般的な音楽で使用されるドラムセットで構成されたリズムパターンを用いて印象の評価を行う。

音楽を聞く際は、聴覚だけではなく、低音がもたらす振動、演奏者の動きなど音以外の情報も同時に受容している。これらの情報が統合されて、音楽の理解や美的体験や共感などが生まれる。その結果として、楽しいとか悲しいといった感情の反応を生じ、最終的に音楽作品に対する評価がなされる。上のように音楽を聴いて感情が生起する過程には、多くの要因⁹が関与している。谷口（1998）は、それらの要因を4つのカテゴリーに大別している。

1. 個々人の性格、音楽的好み、聴取態度などの個人的特性
2. 音楽を聞く際の内的な心理状態
3. 生演奏か録音か再生装置の特性、音量などの音響的環境
4. 音楽と同時に生起している事象との相互作用

聴覚障害を個人的特性と捉え、音楽と同時に生起する振動が楽曲の感情評価と鑑賞時の印象にどのように影響するかを検討する。

Hevner(1937)による音楽と感情についての研究では、感情価という用語を用いて楽曲の感情的性格の質と量を表し、曲を聞いて多くの形容語から当てはまるものを選択させる形式で感情価を測定した。以降、音楽の感情価や音楽による感情を測定するために様々な主観的指標が提案された。音楽の感情価は、聴取者が認知した「楽曲の感情的な性質」を示すものであり、「聴取者自身の感情状態」とは分ける必要があると山崎は指摘している（山崎, 2009）。

⁹ これらの要因にかかわらず、音楽作品に対する感情反応には、個人差などを越えたある程度の共通性があることもまた事実であると、谷口は説明している。本研究では、個人的特性として、聴覚障害の有無、また演奏経験や聴取の習慣によって分けた時に、音楽作品に対する印象に差を生じるかを検討する。

上の指摘を参考に、本章の実験においては以下の要素を測定する¹⁰。

- ・ 楽曲の持つ感情的な性質（楽曲の持つ印象）
- ・ 鑑賞体験の印象（楽曲を聞く体験全体の印象）

音楽の聴取によって生じる感情の測定手段としては、質問紙法¹¹、フェイススケールなどの非言語による評価法、脳波や電気皮膚反射を用いた生理的手法¹²がある¹³。印象評価は評価者の主観によるものであるため、評定値を変動させる個人的要因には注意を払って音刺激を準備する必要がある。特に好きな音楽ジャンルや演奏家による嗜好、評価対象の楽曲に対する記憶と言った個人的要因は、楽曲の印象評価に大きな影響を与える。

土屋らが高齢者と大学生に対して行なった実験 (土屋, et al., 2004)によると、高齢者では馴染みのない曲への印象が音楽聴取前とほとんど差がなく、受け入れられにくいことが示されている。大学生の好みの曲に対する印象は楽曲聴取前より大きな差がある。好みの曲と馴染みのない曲を比較すると、好みの曲のほうが印象に対して有意に働くことが示されている。

岩永は、クラシックとロックを用いて音楽の印象と好み感情反応に及ぼす影響を検討している (岩永, 1997)。音楽聴取後に、測定した好みの程度により「好き」群と「嫌い」群に分けて分析を行った結果、曲に対する好意的な評価が、感情反応を生起させる重要な要因になると説明している。谷口は、実験で提示された曲を被験者が好きであると捉えた場合、高揚感や親和性の評価が高くなると説明しており、曲に対する嗜好が心理的評価に大きく影響する可能性が示されている。

以上の調査から、音楽ジャンルによる好みの要因が楽曲の印象評価に影響することを避けるため、実験刺激の作成にあたってはあらかじめ要素をリズムパターンに限定する。

¹⁰ 楽曲に対する感情価としての印象と、体験の結果実際に生じた印象という2つの側面から検討することで、音刺激の性質とその結果生じた印象を関連付けて検討できると考えた。

¹¹ 感情状態尺度には単一の感情状態のみを測るものと、複数の環状状態を測る多面的尺度があり、前者にはBDI, DACL, STAI, MASなどの不安測定尺度、後者にはPOMS, MAACL, MMS等がある。

¹² 心拍、皮膚電気抵抗、血流などの抹消系指標、fMRI, PET, NIRSといった脳機能イメージングによる中枢活動指標。音楽聴取における主観的な感情体験と生理変化を比較検討する研究 (楠瀬&井上, 2009)も存在する。楠瀬らは、生理学的、心理学的の両面からテンポが早くメロディーが複雑な長調は活動的になり、スローテンポでメロディーがシンプルな短調は沈静化し、リラクゼーション効果が得られるという結果を示している。

¹³ 指標として何を使うかとは別に、測定自体を1回的なもの（聴取の結果としての主観評価）にするのか、連続的なもの（反応の時系列変化を測定対象とする）にするのかという問題がある。本研究では、聴取の結果としての主観評価に着目し、測定を行うこととした。

4.2 実験方法

4.2.1 要因計画

聴覚障害の有無，刺激の呈示条件（音のみ：A条件，音と振動：AV条件，振動のみ：V条件），リズムパターン（5パターン）による3要因混合計画であった。

4.2.2 実験参加者

中程度以上の聴覚障害（60dB以上の先天的感音性難聴）を持つ大学生と社会人17名（男5名，女10名，20歳～45歳，平均29.1歳）と，正常な聴力を持つ大学生と社会人17名（男3名，女12名，20～35歳，平均23.9歳）が実験に参加した。実験は個人ごとに行なった。実験参加者によっては振動刺激の呈示で実験中に身体の不調をもたらす可能性があるため，実験前にその旨を説明したうえで実験参加同意書を提示し，署名した者のみを実験参加者として扱った。分析には34の結果を利用した。

4.2.3 実験材料

リズムパターンの違いが振動を用いた鑑賞体験，音楽感情に影響をもたらすと考えた。呈示刺激として，打楽器のリズムから受ける感情価の測定を行なっている関連研究（黒瀧 & 椎塚, 2010）で用いられているリズムパターンを参考に3つ使用した。これらのリズムパターンは，高校の音楽の教科書 *mousa*（小原, 2014）で用いられ，バスドラムとスネアドラムの組み合わせで構成される。使用したリズムパターンを図に示す。



図 21 使用したリズムパターン（黒瀧 & 椎塚, 2010 より抜粋）

フレーズの再生テンポの変化が鑑賞時の印象に影響するのを防ぐため（武中, 岡井, 小原, & 井上, 2005），bpmを120に統一した¹⁴。楽曲の録音，編集には音楽制作ソフトウェア（Cubase）を使用した。制作手順としては，ソフトウェア上でMIDIデータを打ち込み，ドラム音源で再生したものを録音した。スネアドラムとバスドラムの音の強弱を示すベロシティは100で統一した。

¹⁴ 楽譜速度標語では「中庸な速さで（Moderate）」が120付近である。

4.2.4 測定指標

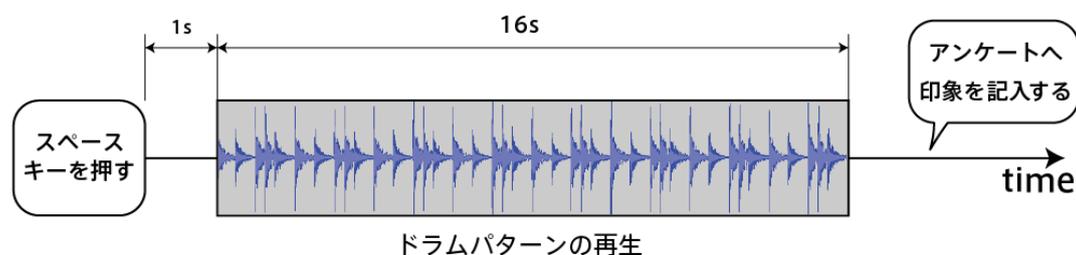
心理指標として、前章で使用した10項目の形容詞対（各7段階）で鑑賞体験の印象評価を求めた。楽曲が持つ印象を評価する指標として、谷口が作成した音楽の感情価測定尺度(Affective Value Scale of Music: AVSM¹⁵)を使用した（谷口, 1995）。被験者には形容詞24項目について1：全く当てはまらない, 2：やや当てはまらない, 3：どちらとも言えない, 4：やや当てはまる, 5：よく当てはまるという5段階評定による評価を求めた。

4.2.5 実験装置

実験は、筑波大学芸術系研究倫理委員会の審査（課題番号：芸 27-9 号）を受け、筑波大学、筑波技術大学、女子美術大学の各1室で行なった。実験環境は、外からの音が聞こえにくい個室とした。音刺激はコンピュータ（Macbook Pro15インチ Early2013）からオーディオインターフェイス（M-Audio Fast Track Ultra）を介して、スピーカー（CREATIVE SP-T12W）と振動デバイスを接続し提示した。被験者は片手でデバイスを握りこみ、指の腹で振動を感じるようにした。デバイスを握った手は防音箱に入れ、振動提示デバイスからの音が聞こえないようにした。デバイスを持たない方の手は膝の上に置くように指示した。

4.2.6 実験条件と手続き

刺激の提示条件は、音のみ条件（A条件）、音と振動条件（AV条件）、振動のみ条件（V条件）とした。聴覚障害者群は補聴器をつけた状態で実験を行なった。V条件で振動発生時の音が印象評価の手がかりとならないよう、スピーカーからホワイトノイズを流した。刺激の強度は、聴覚音圧が75.5dB SPL、触覚の振動加速度が 1.3m/s^2 であった。実験は、参加者毎に個別に行われた。一試行の流れを以下に示す。



¹⁵ 谷口は、音楽としての良し悪しや印象という観点ではなく、あくまで音楽の持つ感情的性質（感情価）のみに焦点を当て、SD形容詞対の非対称性を排除するために単極評定を採用し、AVSMを作成した。

図 22 リズムパターンによる印象評価実験 一試行の流れ

16 秒間のリズムパターンを最後まで聴いた後に AVSM による楽曲の印象 24 項目と SD 評価項目対による体験の印象 1 項目を回答してもらった。1 試行を 9 回行い 1 実験とした。実験の開始前に、実験では使用しないリズムパターンを用いて A 条件, AV 条件, V 条件を体験するトレーニングを行った。呈示条件とリズムパターンは実験ごとにランダムな順番に変わるようにし、被験者はすべてのフレーズのリズムパターンについて回答した。実験終了後、楽器の演奏経験の有無と、音楽聴取の頻度¹⁶、実験の感想を自由記述形式でアンケート回答してもらった。楽器の演奏経験については、学校の授業を除いた演奏の経験について質問した。音楽聴取の頻度は、週に何回音楽を聴くかを問い、3 回以上と回答があったものを「聴取習慣あり」とした。実験の平均的な所要時間は 30 分前後であった。

4.3 結果

4.3.1 体験の印象についての結果

リズムパターンごとの体験の印象の平均と標準偏差は以下のとおりである。

表 6 体験の印象評価 平均値と標準偏差一覧

		健聴者																	
		ドラムパターン1						ドラムパターン2						ドラムパターン3					
		A条件		AV条件		V条件		A条件		AV条件		V条件		A条件		AV条件		V条件	
No.	評価項目	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	嫌い - 好き	0.65	0.86	0.88	0.78	0.94	0.97	1.06	0.97	1.06	0.83	0.82	1.24	0.88	0.70	1.24	0.66	0.71	1.16
2	落ち着く - 興奮する	-0.35	0.86	0.12	1.11	0.06	1.20	0.00	1.06	0.00	1.37	-0.41	1.33	0.12	0.99	0.59	1.33	0.00	1.32
3	リズムカルでない - リズムカルである	1.41	1.06	1.47	1.18	1.53	1.18	1.71	0.85	1.82	0.81	1.59	0.94	1.59	1.18	1.82	0.88	1.41	1.50
4	心地悪い - 心地よい	0.82	0.95	1.12	0.93	0.94	1.03	1.41	0.87	1.06	0.97	0.59	1.42	1.06	0.90	1.29	1.05	0.53	1.18
5	不快な - 快い	0.94	0.90	0.82	0.95	0.59	0.87	1.29	0.77	1.35	0.79	0.76	1.25	0.94	0.97	1.24	0.83	0.47	1.23
6	古臭い - 新鮮な	-0.41	0.87	-0.12	1.45	0.18	0.81	0.00	1.17	0.35	0.86	0.24	1.09	-0.12	1.05	0.65	1.06	0.12	0.99
7	穏やか - 激しい	-0.18	0.95	-0.18	1.38	0.06	0.97	-0.18	0.95	0.47	0.87	-0.12	1.11	-0.35	1.37	0.12	1.45	0.47	1.01
8	やさしい - 厳しい	-0.24	0.83	-0.53	1.13	-0.24	1.03	-0.41	0.94	-0.24	1.03	-0.12	0.86	-0.76	0.75	-0.53	1.07	-0.06	1.14
9	つまらない - 面白い	-0.06	1.03	0.29	1.21	0.53	1.01	0.47	0.94	0.53	0.94	0.47	1.13	0.35	1.27	1.06	1.03	0.59	1.18
10	楽しくない - 楽しい	0.29	1.11	1.06	0.97	0.65	1.17	0.71	1.16	1.00	0.87	0.88	1.32	0.88	1.05	1.24	0.83	1.06	1.39

		聴覚障害者																	
		ドラムパターン1						ドラムパターン2						ドラムパターン3					
		A条件		AV条件		V条件		A条件		AV条件		V条件		A条件		AV条件		V条件	
No.	評価項目	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	嫌い - 好き	0.41	1.28	1.29	0.99	0.71	1.53	0.71	1.49	1.29	1.53	0.53	1.01	0.71	1.36	1.59	0.87	0.76	1.39
2	落ち着く - 興奮する	-0.65	1.37	0.71	1.57	-0.18	1.38	-0.41	1.28	0.65	1.66	-0.29	1.69	-0.18	1.47	0.59	1.87	0.29	1.49
3	リズムカルでない - リズムカルである	1.12	0.99	1.76	0.90	1.18	1.51	0.82	1.38	1.12	1.76	0.88	1.50	1.41	1.50	1.94	1.14	1.12	1.65
4	心地悪い - 心地よい	0.94	1.30	1.29	1.05	0.82	1.47	0.59	1.54	1.00	1.66	0.59	1.06	1.29	1.53	1.76	1.20	0.88	1.58
5	不快な - 快い	0.94	1.14	1.47	0.94	0.88	1.45	0.71	1.21	1.12	1.50	0.65	1.22	0.94	1.25	1.82	1.02	1.18	1.38
6	古臭い - 新鮮な	-0.41	1.50	0.88	1.41	0.00	1.50	-0.53	1.55	0.71	1.57	-0.06	1.03	-0.41	1.77	1.12	1.32	0.53	1.28
7	穏やか - 激しい	-1.06	1.14	0.00	1.37	-0.82	1.47	-0.59	1.50	0.24	1.35	-0.35	1.46	-0.29	1.69	0.29	1.49	0.06	1.68
8	やさしい - 厳しい	-1.12	0.93	-0.35	1.46	-0.18	1.13	-0.41	1.37	0.12	1.73	-0.53	1.23	-0.18	1.29	0.06	1.09	-0.24	1.39
9	つまらない - 面白い	-0.35	1.58	1.06	1.39	0.41	1.81	0.29	1.57	1.00	1.46	0.41	1.12	0.18	1.70	1.82	1.07	0.82	1.38
10	楽しくない - 楽しい	0.00	1.06	1.35	1.37	0.41	1.62	0.18	1.47	1.41	1.50	0.88	1.17	0.24	1.79	1.94	1.25	0.82	1.63

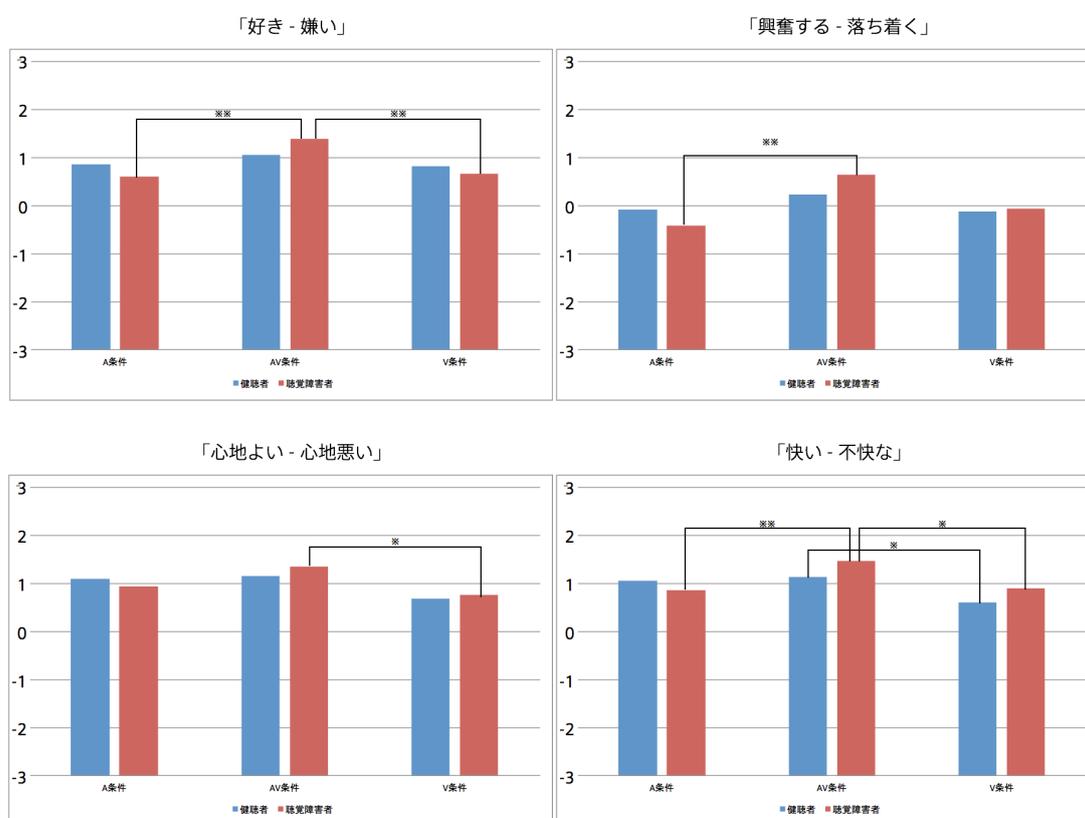
¹⁶ 音楽の感じ方は、聴取の経験によっても変わる可能性が示されている。大浦(1998)は、音楽作品を聴いた時の感じ方は、個人の演奏経験や聴取経験によって変わるものであると考え、音楽的発達に音楽の演奏評価に及ぼす影響について検討している。本実験もこれを参考とし、アンケートにて音楽聴取の習慣について回答を求めた。

各項目に対して、聴覚障害の有無を被験者間要因、呈示条件（A, AV, V），リズムパターン（パターン1, パターン2, パターン3）を被験者内要因として分散分析を行なった。主効果，交互作用をまとめた表は以下のとおりである。主効果，交互作用が認められた項目のみ p 値を示す。

表 7 主効果，交互作用の一覧

No.	体験の印象	聴覚障害による主効果	呈示条件による主効果	呈示条件 × 聴覚障害	パターンによる主効果	パターン × 聴覚障害	呈示条件 × パターン	呈示条件 × パターン × 聴覚障害
1	好き - 嫌い		p < .01					
2	興奮する - 落ち着く		p < .01					
3	リズムカルである - リズムカルでない							
4	心地よい - 心地悪い		p < .01					
5	快い - 不快な		p < .01				p < .05	
6	新鮮な - 古臭い		p < .01	p < .05				
7	激しい - 穏やか		p < .01					
8	厳しい - やさしい							
9	面白い - つまらない		p < .01	p < .05				
10	楽しい - 楽しくない		p < .01	p < .05				

次に、主効果及び交互作用が認められた項目について下位検定を行なった。下位検定結果のグラフを下に示す。



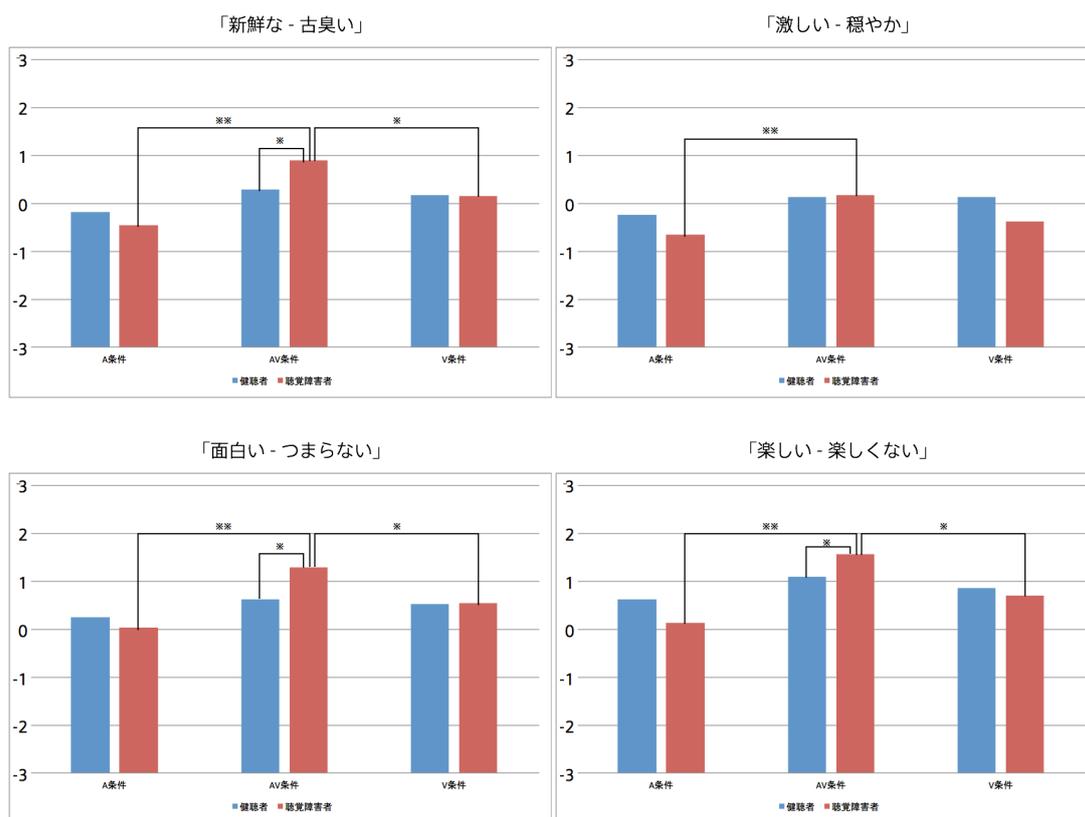


図 23 体験の印象評価項目 下位検定の結果

健聴者群，聴覚障害者群毎に，各印象項目について演奏経験の有無，及び呈示条件で二元配置分散分析を行なった．健聴者，聴覚障害者の演奏経験の有無を示した表は下記である．

表 8 健聴者，聴覚障害者の演奏経験の有無の内訳

	健聴者	聴覚障害者
演奏経験なし	8	8
演奏経験あり	9	9

分散分析の結果，聴覚障害者群の「激しい - 穏やか」項目について演奏経験による主効果が認められた ($F(1, 15) = 8.86, p < .01$)．下位検定を行ったところ，AV条件とV条件において演奏経験の有無で有意差が認められた．また，楽器演奏無し群のA条件とAV条件で有意差が認められた．

表 9 演奏経験の有無と呈示条件における「激しい - 穏やか」評価の平均値

	A 条件	AV 条件	V 条件
演奏経験なし	-0.542	0.833	0.167
演奏経験あり	-0.741	-0.407	-0.852

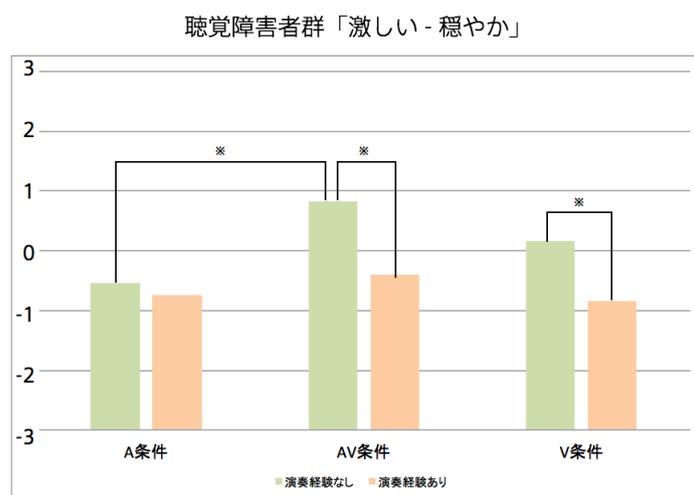


図 24 「激しい - 穏やか」項目 下位検定の結果

また、健聴者群の「リズムカル - リズムカルでない」項目について演奏経験による主効果が認められた ($F(1, 15) = 10.16, p < .01$)。下位検定を行ったところ、AV 条件と V 条件において演奏経験の有無で有意差が認められた。

表 10 演奏経験の有無と呈示条件における「リズムカル - リズムカルでない」評価の平均値

	A 条件	AV 条件	V 条件
演奏経験なし	1.125	1.375	0.958
演奏経験あり	1.963	2	2

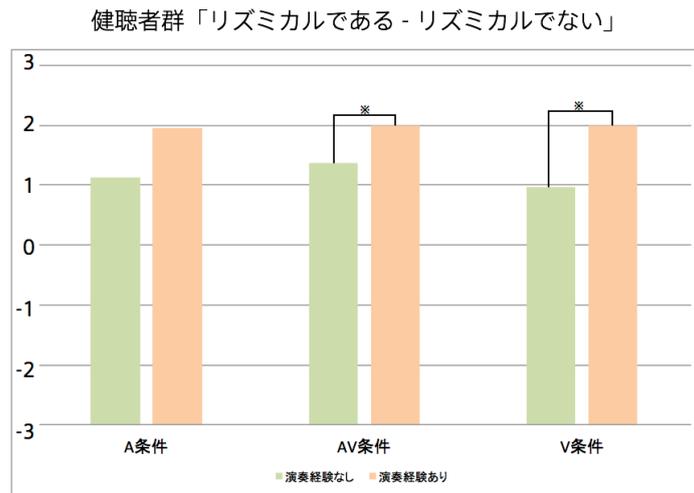


図 25 「リズムカル - リズムカルでない」項目 下位検定の結果

4.3.2 楽曲の印象評価についての結果

はじめに、各被験者について AVSM の各下位尺度項目に対する被験者の評定値を平均して、「高揚」「親和」「強さ」「軽さ」「荘重」各因子の下位尺度得点を求めた。高揚尺度については、抑鬱傾向を表す4項目「沈んだ」「哀れな」「悲しい」「暗い」を逆転項目として処理し、高揚傾向を表す4項目「陽気な」「嬉しい」「楽しい」「明るい」と合計した上で、平均化したものを尺度得点とした。各因子に対して、聴覚障害の有無を被験者間要因、呈示条件(A, AV, V)、リズムパターン(パターン1, パターン2, パターン3)を被験者内要因として分散分析を行なった。主効果、交互作用をまとめた表は以下のとおりである。主効果、交互作用が認められた項目のみ p 値を示す。

表 11 主効果, 交互作用の一覧

No.	感情測定 尺度項目	因子	聴覚障害による 主効果	呈示条件による 主効果	呈示条件 × 聴覚障害	パターンによる 主効果	パターン × 聴覚障害	呈示条件 × パターン	呈示条件× パターン× 聴覚障害
1	沈んだ (-)	高揚		p< .01	p< .05				
2	哀れな (-)								
3	悲しい (-)								
4	暗い (-)								
5	陽気な								
6	嬉しい								
7	楽しい								
8	明るい								
9	優しい	親和							
10	愛しい								
11	恋しい								
12	おだやかな								
13	強い	強さ		p< .01					
14	猛烈な								
15	刺激的な								
16	断固とした								
17	気まぐれな	軽さ				p< .01			
18	浮かれた								
19	軽い								
20	落ち着きのない								
21	厳肅な	荘重	p< .05						
22	おごそかな								
23	崇高な								
24	気高い								

(-)は逆転項目

次に、主効果及び交互作用が認められた因子について下位検定を行なった。

・高揚因子について

被験者間の単純主効果検定の結果、A 条件において有意な差 (p<.05; Bonferroni 法) があった。

被験者内の単純主効果検定の結果、聴覚障害者群の A 条件と AV 条件で有意な差 (p<.01; Bonferroni 法) , AV 条件と V 条件で有意な差 (p<.01; Bonferroni 法) があった。

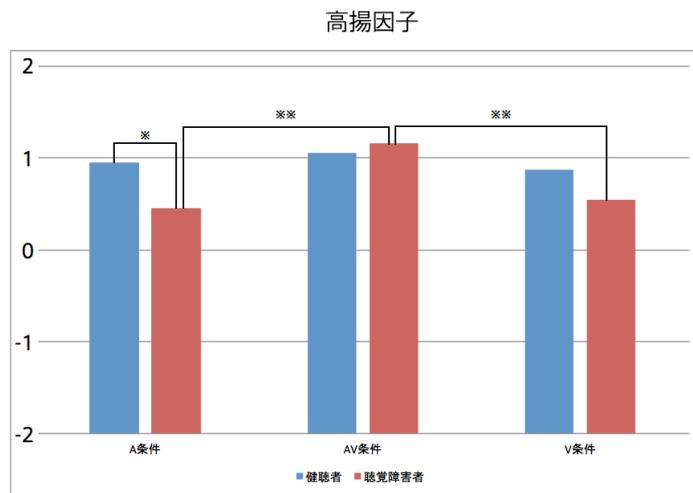


図 26 高揚因子 下位検定の結果

・強さ因子について

被験者内の単純主効果検定の結果、聴覚障害者群の A 条件と AV 条件で有意な差 ($p < .01$; Bonferroni 法), AV 条件と V 条件で有意な差 ($p < .01$; Bonferroni 法)があった。健聴者群の A 条件と AV 条件で有意な差 ($p < .05$; Bonferroni 法)があった。

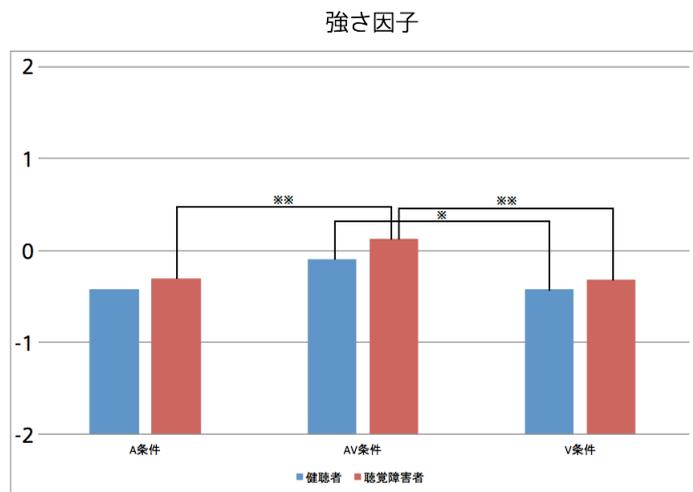


図 27 強さ因子 下位検定の結果

・軽さ因子について

被験者内の単純主効果検定の結果、健聴者群のパターン 1 とパターン 2, パターン 1 とパターン 3 で有意な差 ($p < .01$; Bonferroni 法)があった。

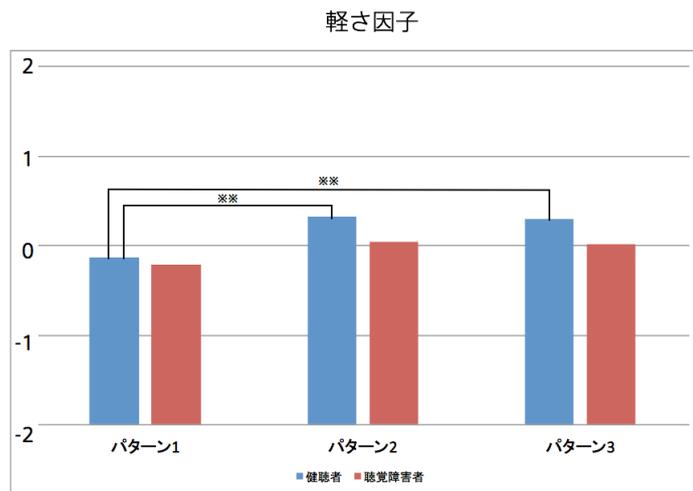


図 28 軽さ因子 下位検定の結果

・ 荘重因子について

被験者間の単純主効果検定の結果、A 条件において有意な差 ($p < .01$; Bonferroni 法) があつた。

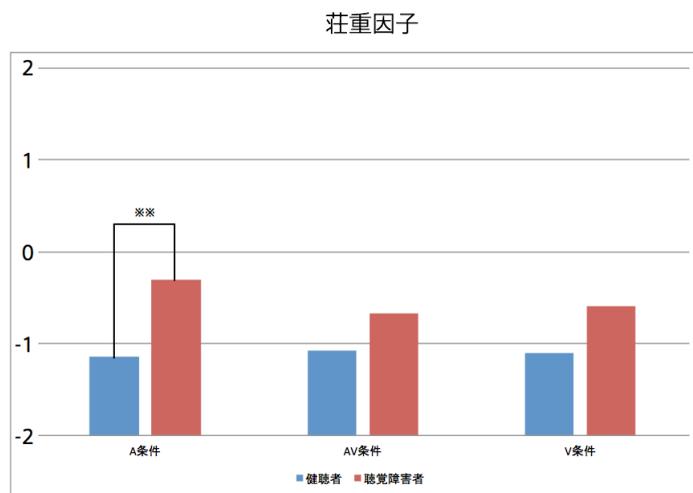


図 29 荘重因子 下位検定の結果

・ 下位尺度の分析

振動の付与による影響を調査するため、提示条件による主効果があつた「高揚」「強さ」因子を構成する尺度項目に関して分散分析を行なつた。結果の表を以下に示す。主効果、交互作用が認められた項目のみ p 値を示す。

表 12 高揚, 強さ因子を構成する尺度項目に対する主効果, 交互作用の一覧

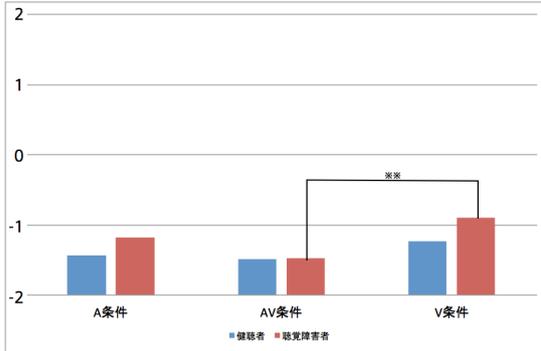
No.	楽曲の印象	聴覚障害による主効果	呈示条件による主効果	呈示条件×聴覚障害	パターンによる主効果	パターン×聴覚障害	呈示条件×パターン	呈示条件×パターン×聴覚障害
1	沈んだ							
2	哀れな		p < .01					
3	悲しい		p < .05					
4	暗い		p < .05					
5	陽気な		p < .01					
6	嬉しい	p < .01	p < .01					
7	楽しい	p < .05	p < .01	p < .05				
8	明るい		p < .01	p < .05				
13	強い		p < .01					
14	猛烈な		p < .01					
15	刺激的な		p < .01					
16	断固とした							

次に, 主効果及び交互作用が認められた項目について下位検定を行なった. 有意差が認められた項目のみ p 値を示す.

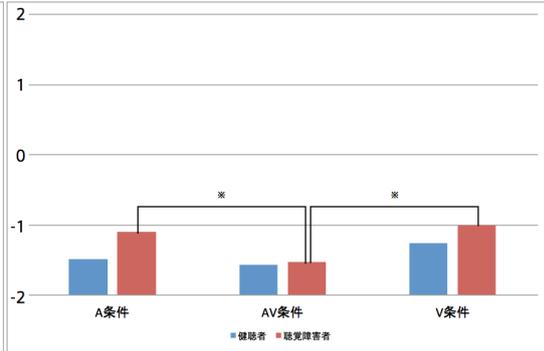
表 13 下位検定の結果一覧

No.	楽曲の印象	聴覚障害による主効果/ 単純主効果		呈示条件による主効果/単純主効果							
				健聴者			聴覚障害者				
				A条件	AV条件	V条件	A条件とAV条件	AV条件とV条件	V条件とA条件	A条件とAV条件	AV条件とV条件
1	沈んだ										
2	哀れな									p < .01	
3	悲しい							p < .05		p < .05	
4	暗い							p < .05			
5	陽気な							p < .01		p < .05	
6	嬉しい	p < .01		p < .01				p < .01		p < .01	
7	楽しい	p < .01						p < .01		p < .05	
8	明るい	p < .05						p < .01		p < .05	
13	強い									p < .05	
14	猛烈な							p < .01		p < .05	
15	刺激的な				p < .05			p < .01			
16	断固とした										

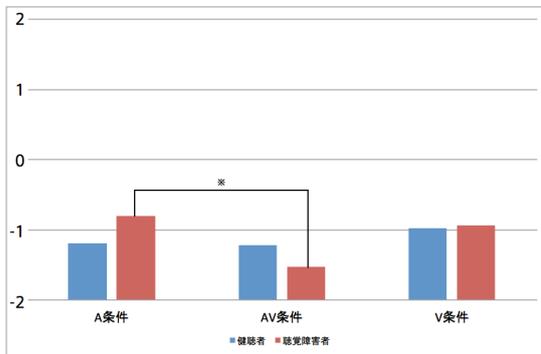
2 哀れな



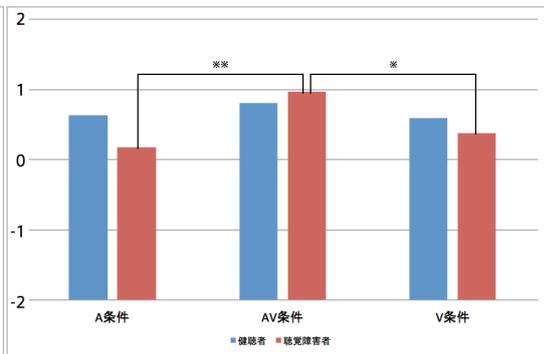
3 悲しい



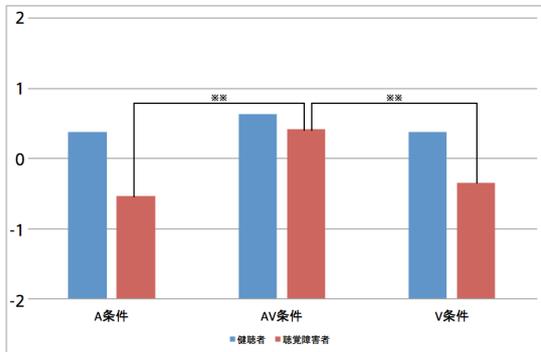
4 暗い



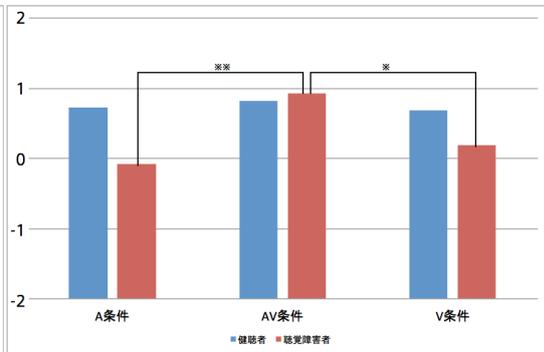
5 陽気な



6 嬉しい



7 楽しい



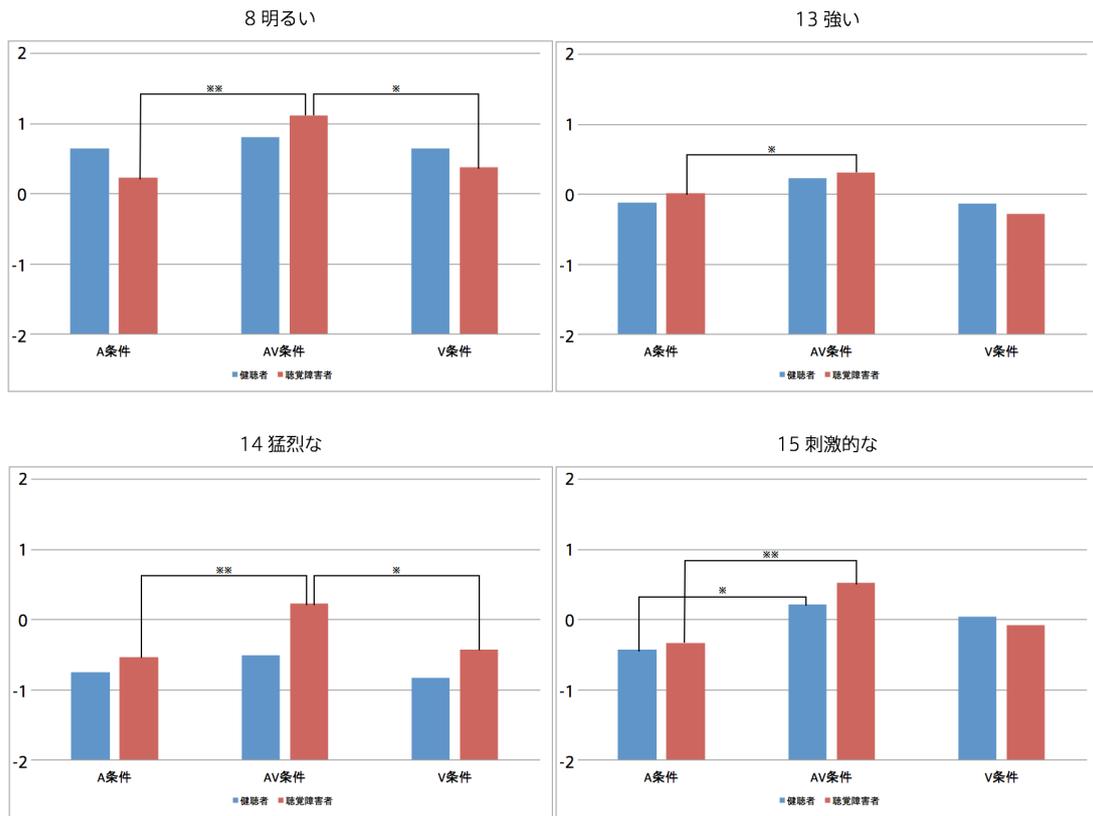


図 30 楽曲の印象評価項目 下位検定の結果

・演奏経験の有無による分析

健聴者群，聴覚障害者群毎に，各因子項目について演奏経験の有無，及び呈示条件で二元配置分散分析を行なった。

分散分析の結果，聴覚障害者群の軽さ因子項目について演奏経験による主効果が認められた ($F(1, 15) = 8.81, p < .01$)。下位検定を行ったところ，AV 条件において演奏経験の有無で有意差が認められた。また，演奏経験無し群の A 条件と AV 条件間に有意差が認められた。

表 14 演奏経験の有無と呈示条件における「軽さ」因子評価の平均値

	A 条件	AV 条件	V 条件
演奏経験なし	-0.261	0.656	0.188
演奏経験あり	-0.408	-0.222	-0.204

聴覚障害者群 「軽さ」 因子

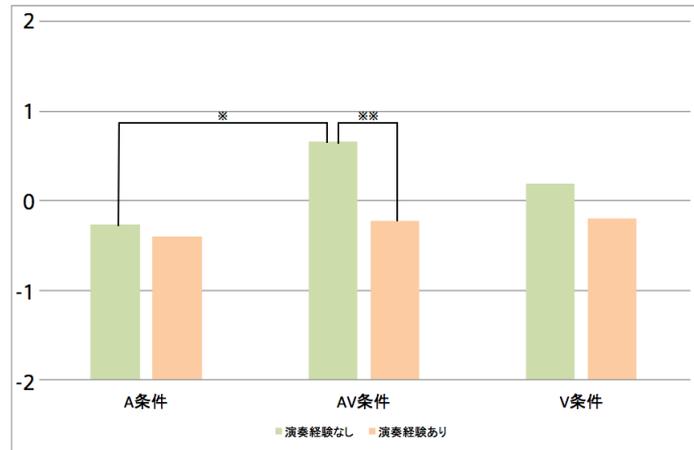


図 31 「軽さ」 因子 下位検定の結果

次に，軽さ因子を構成する「気まぐれな」「浮かれた」「軽い」「落ち着きのない」項目について，健聴者群，聴覚障害者群毎に，演奏経験の有無，及び呈示条件で二元配置分散分析を行なった。

結果は，聴覚障害者群の「気まぐれな」項目について演奏経験による主効果が認められた ($F(1, 15) = 7.78, p < .05$)。下位検定を行ったところ，AV条件において演奏経験の有無で有意差が認められた。

表 15 演奏経験の有無と呈示条件における「気まぐれな」因子評価の平均値

	A 条件	AV 条件	V 条件
演奏経験なし	-0.167	0.708	0.208
演奏経験あり	-0.333	-0.407	-0.148

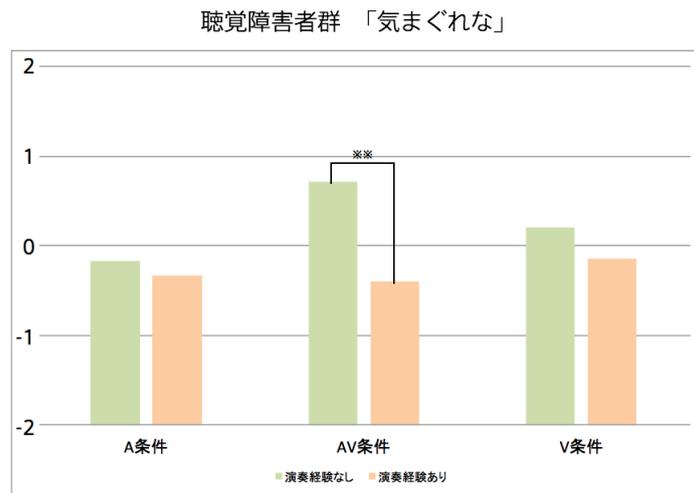


図 32 「気まぐれな」因子 下位検定の結果

また，聴覚障害者群の「浮かれた」項目について演奏経験による主効果が認められた ($F(1, 15) = 4.61, p < .05$) . 下位検定を行ったところ，AV 条件において演奏経験の有無で有意差が認められた。

表 16 演奏経験の有無と呈示条件における「浮かれた」因子評価の平均値

	A 条件	AV 条件	V 条件
演奏経験なし	-0.5	0.667	0.083
演奏経験あり	-0.704	-0.444	-0.481

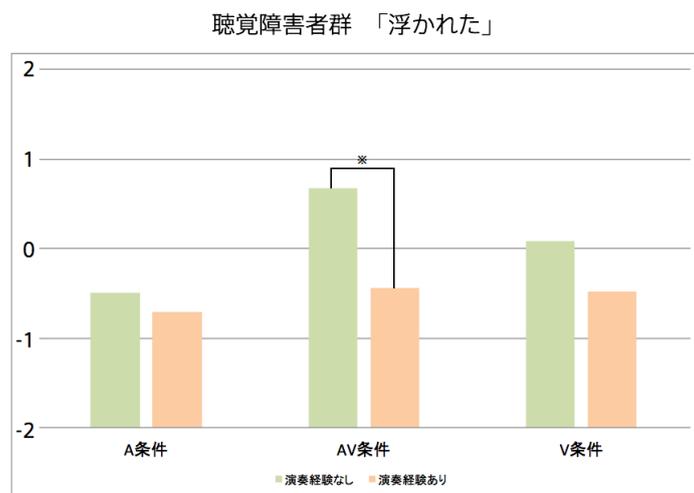


図 33 「浮かれた」因子 下位検定の結果

・ 楽曲の印象と体験の「楽しさ」印象との関係

聴覚障害者の AV 条件における，楽曲印象の「高揚」「強さ」因子項目と，体験の印象の「楽しさ」項目の相関関係をリズムパターン毎に確認した．結果の表を下に示す．

表 17 リズムパターン毎の相関係数

リズムパターン1	高揚因子	強さ因子
「楽しい」項目	相関あり($p < .01$)	相関なし($p = .178$)
	Pearsonの相関係数	
	0.716	
リズムパターン2	高揚因子	強さ因子
「楽しい」項目	相関あり($p < .01$)	相関なし($p = .284$)
	Pearsonの相関係数	
	0.667	
リズムパターン3	高揚因子	強さ因子
「楽しい」項目	相関あり($p < .01$)	相関なし($p = .274$)
	Pearsonの相関係数	
	0.793	

いずれのパターンにおいても，「楽しい」項目と高揚因子との相関関係が確認された．

聴覚障害者群では，音に振動を付与することにより「楽しさ」評価値が音のみの時と比較して差を生じ，「楽しさ」は音楽感情における高揚因子と相関関係があることが示された．

次に，「楽しさ」項目と高揚因子の各項目との相関関係を確認した．相関が有意である項目に着色している．

表 18 「楽しさ」項目と高揚因子各項目との相関関係

リズムパターン1	沈んだ	衰れた	悲しい	暗い	陽気な	嬉しい	AMSM 楽しい	明るい
SD「楽しい」項目	相関なし($p = .067$)	相関あり($p < .01$)	相関あり($p < .05$)	相関なし($p = .221$)	相関あり($p < .05$)	相関なし($p = .392$)	相関あり($p < .05$)	相関あり($p < .01$)
		Pearsonの相関係数	Pearsonの相関係数		Pearsonの相関係数		Pearsonの相関係数	Pearsonの相関係数
		-0.672	-0.568		0.577		0.527	0.67
リズムパターン2	沈んだ	衰れた	悲しい	暗い	陽気な	嬉しい	AMSM 楽しい	明るい
SD「楽しい」項目	相関あり($p < .01$)	相関なし($p = .572$)	相関なし($p = .346$)	相関なし($p = .117$)	相関あり($p < .05$)	相関あり($p < .05$)	相関あり($p < .01$)	相関あり($p < .01$)
	Pearsonの相関係数				Pearsonの相関係数	Pearsonの相関係数	Pearsonの相関係数	Pearsonの相関係数
	-0.821				0.576	0.605	0.814	0.622
リズムパターン3	沈んだ	衰れた	悲しい	暗い	陽気な	嬉しい	AMSM 楽しい	明るい
SD「楽しい」項目	相関あり($p < .01$)	相関あり($p < .01$)	相関あり($p < .01$)	相関あり($p < .05$)	相関あり($p < .05$)	相関あり($p < .05$)	相関あり($p < .05$)	相関あり($p < .01$)
	Pearsonの相関係数	Pearsonの相関係数	Pearsonの相関係数	Pearsonの相関係数	Pearsonの相関係数	Pearsonの相関係数	Pearsonの相関係数	Pearsonの相関係数
	-0.679	-0.599	-0.609	-0.486	0.546	0.551	0.501	0.725

4.3.3 アンケートの結果

実験の感想や意見を健聴者群，聴覚障害者群に分けて示す．回答内容が似通っていたものに関してはまとめ，回答数をカッコ書きで示す．

<健聴者群>

- ・振動がある方が臨場感があった，楽器の近くで聞いている感じがした (5)
- ・振動によって自分が楽器を叩いている感覚になった (3)
- ・振動で聴くことに能動的になれた (2)
- ・問題数が多く，電子的なドラム音に飽きてしまった (2)
- ・振動で腕の方まで揺れているような気がした，体全体に響いた (2)
- ・振動がもう少し強いほうが良かった
- ・振動を体験した後だと，音のみの時に心もとない感じがした

<聴覚障害者群>

- ・振動が加わると，音を明確に捉えられる (2)
- ・振動があるときのほうが，リズム感がつかめた (2)
- ・ドラムの種類を感じ取ることができた
- ・振動同士の間隔が短いと元気なリズムに捉えられた
- ・同じリズムでも，振動のみだと低く，音のみだと高く感じた
- ・振動があると低音域を強く感じた
- ・自分でドラムスティックを握っているような臨場感があった
- ・ドラムの種類を感じ取ることができた
- ・振動のみで音を聞く場合は手に集中するので，音そのものではなく振動によって脳が音を補充する感じがある

アンケートの結果，聴取習慣は健聴者群，聴覚障害者群ともに以下のようなになった．両群共に人数の偏りが大きいため，解析には使用しないことにした．

表 19 聴取習慣の人数内訳

	健聴者	聴覚障害者
聴取習慣なし	1	6
聴取習慣あり	16	11

4.4 考察

体験の印象評価の結果より，聴覚障害者群では，音に振動を付与することにより「好き」「快い」「新鮮な」「激しい」「面白い」「楽しい」項目で鑑賞体験の印象に有意な差を生じることが明らかになった．特に「新鮮な」「面白い」「楽しい」項目では AV 条件において健聴者との差も有意であることから，聴覚障害者の音と振動による鑑賞体験は，健聴者よりも印象への効果が大きいことが分かる．健聴者群では，振動を付与することで体験の印象には差を生じない．

前章の実験では，音と振動による体験で健聴者群，聴覚障害者群が共に楽しみを感じた結果が示されたが，本章の実験では異なる結果が示された．前章で用いた音刺激との違いを考慮すると，音の長さや音色¹⁷，音量の時間的な変化（エンベロープ¹⁸）が，体験の印象に影響した可能性が考えられる．音の長さについては，前章の実験における呈示刺激の最大時間長が約 1500ms だったのに対して，本実験で用いたドラム音の最大時間長は 500ms であった．前章の実験で用いた矩形波は持続音であり，ドラムの減衰音とはエンベロープも異なる．以下に実験ごとの音声波形を示す．

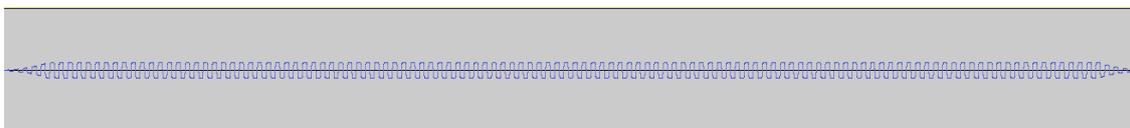


図 34 実験 1 で使用した矩形波の形状（横軸 0 – 1500ms）

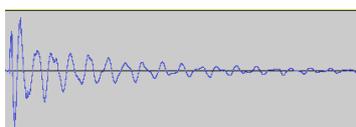


図 35 実験 2 で使用したスネアドラムのエンベロープ形状（横軸 0 – 500ms）

¹⁷ 音色とは，ある音に含まれている周波数成分とその強さ（周波数スペクトル）のことを指す．楽器ごとに周波数スペクトルは異なり，それぞれどんな周波数の純音が含まれているか，どれくらいの強さ（振幅）を持っているかをフーリエ解析により調べることができる．

¹⁸ エンベロープは，音の立ち上がりと減衰の様子のことを指す．打楽器は立ち上がりが鋭く，減衰する．サイン波は立ち上がりが鋭く，減衰しない音に分類される．立ち上がりや減衰の仕方は奏法によってコントロールすることができる．

持続音は発生時から一定の大ききで音がなり、それに連動してデバイスも一定の振動を発生し続けるが、ドラム音は、音の後半部分では音量が下がることによって振動も小さくなる。

実験1の矩形波の周波数は523.3Hz(C5)なのに対して、バスドラムの中心周波数帯が80-100Hz、スネアドラムの中心周波数帯が800-1.2kHzであった。矩形波は周波数が一位に定まっていたが、打楽器音は噪音と言われ様々な周波数を含む。これらの違いが、体験時の印象に影響した可能性がある。

聴覚障害者群のアンケートで「ドラムの種類を感じ取ることができた」「音を明確に捉えられる」「リズム感をつかめた」という意見が見られたことから、振動によってリズムのアクセントが明確になったことが示唆される。前章の実験で使用した矩形波は、音量が一定かつ一種類の音のみを使用したため、音のアクセントを感じる事が難しいと考えられることから、アクセントの強調が体験の印象にもたらす影響が大きいと考えられる。また、体験の印象はリズムパターンで有意差を生じないことが確認された。健聴者群において、振動のみの体験は不快な印象をもたらす。これは前章の実験と同様に、振動音を打ち消すためのホワイトノイズが流れる状況が、音楽の聴取において一般的でないことに起因すると考えられる。

健聴者群、聴覚障害者群毎に、各印象項目について演奏経験の有無、及び呈示条件で二元配置分散分析を行なった。その結果、聴覚障害者群の「激しい - 穏やか」項目について演奏経験による主効果が認められた。楽器の演奏経験がある聴覚障害者は振動にある程度慣れているため、激しさを感じる事が少なく、演奏経験がない聴覚障害者は振動に対して激しさを感じる事が示唆される。また、健聴者群の「リズムカル - リズムカルでない」項目について演奏経験による主効果が認められた。演奏経験のある人はどの条件においてもリズムに対する感受性が高いが、演奏経験のない人との感受性の差は振動がある時に顕著になることが示された。

楽曲の印象評価については、聴覚障害者群に対して振動を付与することで「高揚」「強さ」因子項目に対して有意差を生じることが示された。「荘重」因子では、A条件で聴覚障害者と健聴者の差が見られたものの、いずれの条件でも低い平均を示した。この結果は、バスドラムとスネアドラム音のみでは、荘重感を出すことが難しい事を示している。

「高揚」「強さ」因子を構成する12の尺度項目に対して、分散分析を行なったところ、健聴者群において「刺激的な」項目以外は呈示条件間での有意差は

見られなかった。打楽器演奏で表現される感情を、鑑賞者が推定する研究 (生駒 & 菊地, 2009)では、プロやアマチュアの一種類の太鼓の演奏による「喜び」「悲しみ」「怒り」「恐怖」「無感情」の感情伝達において、ある程度のコミュニケーションが成立することが示されており、ここでは即興的な演奏による音刺激が用いられていた。即興的な演奏においては、打楽器を叩く時間間隔や叩く強さが変化する。

スネアドラム演奏における演奏者の意図する感情がどのように表現されるかについて、その法則性や傾向を求める研究 (佐藤, 藤沢, 三浦, 三戸, & 川上, 2012)では、「悲しい - 恐れ - 無感情 - 喜び - 怒り」の順で右にいくほど音が強くなり、テンポも速くなると示している。

本章の実験では、MIDI音源の設定によって叩く強さ、テンポが統一されたドラムフレーズを音刺激として用いた。これにより、健聴者がリズムパターンを感情の起伏のないものとして感じ、楽曲の印象評価に有意な差をもたらさなかった可能性が考えられる。打楽器による感情表現は、構成されるリズムパターンよりも、音源の音量や演奏テンポが感情に対して大きな影響をおよぼす可能性が示唆される。

楽曲の印象と体験の「楽しさ」との相関関係について、聴覚障害者のAV条件では高揚因子と楽しさの相関関係が有意であることが明らかになった。聴覚障害者では、振動の付与によって音楽を高揚させることにより、楽しさを感じることに繋がる可能性がある。高揚因子を構成する8つの項目と「楽しさ」評価の相関についても確認したところ、「沈んだ」「哀れな」「悲しい」「暗い」項目では負の相関が、「陽気な」「嬉しい」「楽しい」「明るい」項目では正の相関が見られた。この中で「陽気な」「楽しい」「明るい」項目はどのリズムパターンにおいても相関が認められた。今後はテンポや音量を変更した刺激を用いて実験を行い、楽曲の印象と体験の楽しさの関連性について裏付けを行なう必要がある。

アンケート回答では、健聴者群で「臨場感」「演奏している感覚」に関する記述が多く見られた。これは、音に振動を付与することで臨場感、演奏者感が増すことを示した関連研究の結果を支持するものである。臨場感に言及した回答が聴覚障害者群にも認められるため、臨場感、演奏者感と楽しさとの関係性を検討する必要がある。健聴者群の「電子的なドラム音に飽きた」という意見は、叩く強さが全て同一のフレーズを聴きつづけたことに起因すると考えられる。今後はテンポや音量を変更した刺激を用いて実験を行い、楽曲の印象と体

験の楽しさの関連性について裏付けを行なう必要がある。また、通常の楽器演奏においては、テンポや演奏時の音量にゆらぎがある。ゆらぎの有無が、音楽の感情に影響を及ぼす可能性を考慮するならば、同じドラムのフレーズを人間が演奏したものと MIDI 音源によって作成したものを比較する必要がある。

聴覚障害者群の「ドラムの種類を感じ取ることができた」「音を明確に捉えられる」「リズム感をつかめた」という意見から、振動の付与によってリズムのアクセントが強調され、結果として楽しい印象にもたらす可能性が示唆された。

4.5 本章のまとめ

本章では、ポップス、ロックなどの一般的な音楽で使用されるドラムセットで構成されたリズムパターンを用い、印象の評価を行った。関連研究の調査から、楽曲の持つ感情的な性質と鑑賞体験の印象を分けて考えることとした。評価の指標として、楽曲の持つ感情的な性質を測るため、谷口が作成した AVSM、鑑賞体験の印象を前章で用いた 10 項目の形容詞対を用いた。

体験の印象評価では、聴覚障害者群の「好き - 嫌い」、「快い - 不快な」、「新鮮な - 古臭い」、「激しい - 穏やか」、「面白い - つまらない」、「楽しい - 楽しくない」項目において、振動付与による効果が認められた。健聴者群では、振動を付与しても体験の印象に差が認められなかった。「新鮮な - 古臭い」、「面白い - つまらない」、「楽しい - 楽しくない」項目は、AV 条件において健聴者群と聴覚障害者群で有意な差が認められた。

楽曲の印象評価では、聴覚障害者群の聴取時に振動を付与することで「高揚」「強さ」因子で有意差を生じることが示された。聴覚障害者の AV 条件における「高揚」「強さ」因子と、体験の印象項目の「楽しさ」の相関関係をリズムパターン毎に確認した結果、いずれのパターンにおいても、「楽しい」項目と高揚因子との相関関係が確認された。聴覚障害者では、振動の付与によって音楽を高揚させることにより、楽しさを感じることに繋がる可能性がある。

一方、健聴者群では各因子項目において提示条件による差は認められなかった。本章の実験では、テンポを 120bpm に統制し、叩く強さが統制されたドラムフレーズを用いたことにより、健聴者がリズムパターンを感情の起伏のないものとして感じ、楽曲の印象に対して有意差をもたらさなかった可能性が考えられる。今後はテンポや音量を変更した刺激を用いて実験を行い、楽曲の印象と体験の楽しさの関連性について裏付けを行なう必要がある。また、通常の楽器

演奏においては、テンポや演奏時の音量にゆらぎがある。このゆらぎは、体験時の印象とも深く関わる可能性がある。ゆらぎの可能性を考慮するならば、同じドラムのフレーズを人間が演奏したものと MIDI 音源によって作成したものを比較する必要がある（山口ら, 2015）。今後は、同じリズムパターンに対して音量やテンポを変え、人が演奏した音と MIDI データで打ち込んだ音を用いた印象評価を行う必要がある。

第5章 結論

5.1 各章の概括

第1章 序論

序論では研究の背景，目的，方法について述べた。

本研究の目的は，音楽を聴いた時の「面白さ」「楽しさ」などの印象をもたらす要因として聴覚情報と触覚情報の相互作用に着目し，音と振動を同時に呈示した時のリズム弁別成績と共に印象評価に与える影響を明らかにすることである。

音楽を構成する基本要素は「メロディ（旋律）」「リズム」「和声」であると言われている。音楽のリズムを把握することによって，音楽を解釈しながら聴くといった相互作用ができるようになり，音楽の深い理解や楽しみに繋がると考える。このことから，本研究では音楽要素の中でリズムに焦点を当てる。

聴覚障害者において，最も多用されている用具は補聴器である。感音性難聴では補聴器を装着しても効果が限定的になるため，触覚で音を感じ取ることは，音楽を楽しむ上で重要な要素になり得る。

関連研究では，触覚刺激を手がかりに音楽表現を行ない，学習効果やピッチの補正率などの視点からその効果が検証されている。しかし，音楽を鑑賞するときは，正確に聴きとるという能力より，音楽鑑賞によって楽しみを感じる事が重要であると考えた。

第2章 振動呈示デバイスの設計

第2章では，音を聞く際に振動を同時に呈示することでリズムの弁別と印象評価に与える影響を明らかにすることとし，以下の仮説を検証するための振動デバイスを設計した。

仮説1：音に振動刺激を付与することでリズムが強調され，リズム弁別成績が向上する

仮説2：リズムパターンに振動刺激を付与することで，音のみの鑑賞時と比較して印象に差が生じる

デバイスの設計指針として，1) 触覚感度が良好な指先部に対するアクチュエータ配置を検討すること 2) 知覚しやすい振動呈示のために素子サイズは大きなものを使用すること 3) 長時間保持することができるデバイス形状と材質について検討することを定めた。振動呈示デバイスは，音を振動として指先から

感じることで、音楽要素の一つであるリズムを強調することを目指す。利用の主対象は聴覚障害者を想定しているが、音に触れるという体験は健常者の音楽鑑賞時の印象に対しても有効に働き、音楽の新しい鑑賞方法を提案することが期待された。振動感覚に対する知見から 1) 手と指についての振動感覚は、他の身体部位に比べ感度が高いこと 2) 人間の皮膚は、およそ 1000Hz を上限とする周波数の機械振動に反応すること 3) 表面積 2.9cm² の振動子は、ピン型振動子より小さい振幅で振動を感じることで、以上の要素を鑑みて、アクチュエータを選択した。

デバイス形状は、「振動を通じて音楽の雰囲気を楽しめる」という言葉から連想し、音を別の感覚器で感じることでできる「第三の耳」と捉え、外耳の形状をモチーフにデザインした。

第3章 振動刺激が聴覚障害者のリズム弁別成績と印象に与える効果

第3章では、前章で制作したデバイスを用いてリズム弁別テストを行った。評価方法として、リズムの弁別テストの成績と、体験時の印象を図るため 10 項目の形容詞対による SD 法を用いた。

実験の結果、聴覚障害者群において振動を付加した条件では、音のみの場合に比べてリズム弁別成績が向上した。健聴者群において、音のみの条件と振動を付加した条件ではリズムの弁別成績に有意な差は見られなかった。健聴者群は、音情報によって既にリズム弁別に必要な情報を獲得できているため、振動の付与によって正答率への影響がなかったと考えられる。一方で、聴覚障害者は振動の付与によって音が補助され、リズム弁別成績が向上したと考えられる。V 条件においては健聴者と聴覚障害者の正答率に差がなかった。この結果は、振動刺激のみのリズム知覚で健聴者と同程度の精度でリズムを知覚できるとした関連研究 (猪狩 & 鎌田, 1995) の結果を支持するものである。健聴者にとって、振動のみでリズムを知覚するということは一般的ではなく、他方で聴覚障害者は振動のみの状況に対する対応がある程度可能であることを示している。

印象評価の結果から、聴覚障害者群、健聴者群共に音に振動を付加すると「楽しい」評価値が向上した。関連研究 (杉谷, 合志, 古賀, & 小山, 2000) では、振動付与が楽しさに及ぼす影響について、健聴者のみに対して効果が検証されていたが、本研究では聴覚障害者に対しても実験を行い、振動付与による効果を確かめることができた。

実験の結果から、聴覚障害者に音と振動を同時に呈示する方法は、音情報を補助し、楽しさを向上させることが明らかになった。しかし、リズム弁別テストでは一音の矩形波のみを使用していた。リズム弁別テストにおける楽しさは、一般の音楽聴取によって想起されるによる楽しさとは異なる。よって、より一般的な音楽による印象評価を行ない、振動付与の効果を確認する必要がある。音楽の印象評価は、音源の特徴や楽曲に対する好みは評価に影響する可能性(岩永, 1997)が指摘されている。これらを考慮して一般的な音楽を聴取した時の印象評価を聴覚障害者、健聴者に行う必要がある。

第4章 振動呈示デバイスを用いた音楽鑑賞時の印象評価

第4章では、一般的な音楽を聴取した時の印象評価を聴覚障害者、健聴者に行った。音楽の印象評価は、音源の特徴や楽曲に対する好みは評価に影響する可能性が指摘されているため、ポップス、ロックなどの一般的な音楽で使用されるドラムセットで構成されたリズムパターンを用いた。関連研究の調査から、楽曲の持つ感情的な性質と鑑賞体験の印象を分けて考え、楽曲の印象を評価する指標として、谷口(1995)が作成した音楽の感情価測定尺度(Affective Value Scale of Music: AVSM)を使用した。鑑賞体験の印象を評価する指標には前章で用いた10項目の形容詞対を用いた。

体験の印象評価では、聴覚障害者群の「好き」「快い」「新鮮な」「激しい」「面白い」「楽しい」項目において、振動の付与によって評価値が向上した。健聴者群では振動の付与によって体験の印象に差を生じなかった。

前章の実験では、音と振動による体験で健聴者群、聴覚障害者群共に楽しみを感じた結果が示されたが、本章の実験では異なる結果が示された。これは一般的な音楽に用いられているドラム音源を使用したことに起因し、実験刺激に使用した音の長さや音色、音量の時間的な変化(エンベロープ)が影響した可能性が考えられる。聴覚障害者群のみに振動付与による印象への影響が認められたことは注目すべきであり、楽しさへの影響は用いる音の種類に依存すると考えられる。バスドラムとスネアドラムの音は減衰時間長が短いため、振動を感じられる時間が短い。ティンパニなど、比較的長い時間鳴り続ける打楽器を使用して印象評価を行うと結果が異なる可能性がある。

楽曲の印象については、聴覚障害者群に対して振動を付与することで「高揚」「強さ」因子評価値が向上することが示された。健聴者群において「刺激的な」項目以外は呈示条件間での有意差は見られなかった。本章の実験では、叩く強

さとテンポが統一されたドラムのリズムパターンを用いた。この音刺激を健聴者が感情の起伏のないものとして感じ、音楽の印象に有意差をもたらさなかった可能性が考えられる。

楽曲の印象と体験の楽しさ項目との関係について、分散分析の結果聴覚障害者の AV 条件では高揚因子と楽しさの相関関係が有意であることが明らかになった。聴覚障害者では、振動の付与によって音楽が高揚し、楽しさを感じることに繋がる可能性がある。今後はテンポや音量を変更した刺激を用いて実験を行い、楽曲の印象と体験の楽しさの関連性について裏付けを行なう必要がある。コンサートやライブ鑑賞で感じる「臨場感」を評価項目に加え、長期的な実験を行なうことによって変化する印象にも注目していく必要がある。

5.2 結論 -振動するデバイスが音楽聴取時の印象に与える効果

本論文では、聴覚障害者の感性に着目し、音と振動を同時に呈示した時のリズム弁別成績と共に印象評価に与える影響を明らかにした。音楽を聴いた時の「面白さ」「楽しさ」などの印象をもたらす要因として、聴覚情報と触覚情報の相互作用に着目し、振動によって音楽の持つリズムを強調することを図った。下記の研究仮説を検証するため、リズムを強調することを主眼に置いたデバイスを開発した。

仮説1：音に振動刺激を付与することでリズムが強調され、リズム弁別成績が向上する

仮説2：リズムパターンに振動刺激を付与することで、音のみの鑑賞時と比較して印象に差が生じる

デバイスの設計では、小型で効率のよい振動の呈示方法について考え、圧電アクチュエータを選択した。実験では、音の正確な理解以外に、印象や感情への影響を評価することが重要と考え、リズム弁別テストと印象の評価を行った。

3章では、矩形波による音刺激で仮説1、2を検証し、4章ではドラム音によるリズムパターンで仮説2を検証した。

結論として、本論文を通じて明らかにしたことは

1) 振動付与による聴覚障害者のリズム弁別成績の向上

音と同時に振動を呈示することにより、聴覚障害者のリズムの弁別成績の向上を確認することを示した。振動刺激のみのリズム知覚では、健聴者は健聴者と同程度の精度でリズムを知覚できることを確認できた。

2) 振動付与による聴覚障害者の「楽しい」印象評価値の向上

音と同時に振動刺激を呈示することで、「楽しい」印象評価値が向上することを示した。音刺激は矩形波、ドラム音で構成されたリズムパターンで効果を確認できた。

3) 楽曲の持つ印象と体験の印象との関連性

ドラム音で構成されたリズムパターンでは、楽曲の持つ印象を表した「高揚因子」と体験の印象である「楽しい」項目に有意な相関が認められた。音楽に振動を付与することで楽曲が高揚し、「楽しい」印象をもたらすことを示した。

4) 健聴者に対する振動付与の影響

矩形波に振動を付与することで、「楽しい」印象評価値が向上することを確認した。ドラム音によるリズムパターンでは、振動付与によって体験の印象

評価値，楽曲の印象評価値は向上しない．よって，健聴者に対する振動付与は，音源の性質で効果が異なることを確認した．

聴覚障害者は，音を感じるための手がかりとして触覚を活用している可能性が高い．音への振動の付与は，リズムの認識と音楽を楽しむという視点において健聴者よりも効果的であった．本論文において，仮説検証のため設計した振動呈示デバイスを，AVSM や SD 法を用いた感性評価を元に検証し，聴覚情報と触覚情報の相互作用の効果を確かめることができたことに大きな意義があったといえる．

5.3 振動するデバイスによる音楽聴取支援の展望

「ゆうべ、家族が家で名曲を聴いていたので、私はレシーバーに手を置いてみました - そして、はっきりと、振動を感じました。それからカバーのネジを抜いて外し、振動板に軽く触れてみました。なんと驚いたことに、全ての振動が感じ取れただけでなく、リズムの高まりや、音楽の脈動や膨らみといったものまで感じ取れたのです。いろいろな楽器からの振動が溶け合うさまに、うっとりしました。ホルネットとドラム・ロールの違いも、チェロの深い響きと歌うバイオリンの違いも、正確に区別することができました。他の楽器の奏でる深い響きの上に、バイオリンの歌が流れるのは、なんと素敵なものでしょうか。」
(ヘレン・ケラー自伝より)

ヘレン・ケラーは盲ろう者でありながらも、振動で音を楽しむ手法を会得し、楽しみを得ていた。彼女にとっては、音と振動は分けて捉えるものではなく、両者を合わせて鑑賞していたのではないだろうか。振動は音の理解を助け、音楽を高揚させて楽しむことを可能にする。本実験では矩形波やドラム音など、限られた音源での印象評価を行ったため、今後は多様な音刺激に対する反応を確認する必要があると考える。

聴覚障害者に対する残存聴力による音楽教育は、特別支援学校の中でも行われている。しかしながら、健聴者と比較すると高音域が聞き取りにくいなどの問題から、音に関わる教育は他の科目よりも難しいと考えられる。振動呈示が音のリズムを補助することに焦点を絞った本研究を、今後は更に発展させ学習教材 (Kanabako, et al., 2015) などへ応用展開していきたい。

参考文献

- K. Hevner: The affective value of pitch and tempo in music, *American Journal of Psychology*, 49, pp.621-630, 1937
- 和田陽平: 音楽心理学, 創元社, 1950
- E. Thayer Gaston: *Music in therapy*, Macmillan, 1968.
- 清水豊, 和気典二, 菊地正: 感覚代行用ウォータージェット装置の開発, 第4回感覚代行シンポジウム, pp.88-93, 1978.
- Plomp R.: Auditory handicap of hearing impairment and the limited benefit of hearing aids, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 63(2), pp.533-49, 1978.
- ヘレン・ケラー, 川西進訳, ヘレン・ケラー自伝—私の青春時代, ぶどう社, 1982.
- エヴェリン グレニー, 岩瀬孝雄訳: リズムは心に響く—パーカッションに賭けた青春, サイマル出版会, 1992.
- 赤松幹之: 視覚と触覚と運動の統合, *電子情報通信学会誌*, 76(11), pp.1176-1182, 1993.
- 和気早苗, 加藤博一, 才脇直樹, 井口征士: テンション・パラメータを用いた協調型自動演奏システム: JASPER, *情報処理学会論文誌*, 35(7), pp.1469-1481, 1994.
- 伊福部達: 感覚代行研究から人工現実感技術へ, *情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM)*, 68, pp.65-71, 1995.
- 谷口高士: 音楽作品の感情価測定尺度の作成および多面的感情状態尺度との関連の検討, *心理学研究*, 65(6), pp.463-470, 1995.
- 森下修次: 音楽のリズムの知覚と音楽経験, *日本音響学会誌*, 51(2), pp.96-102, 1995.
- 猪狩理, 鎌田一雄: タクタイルミュージック: 触覚刺激による楽音伝達方式, *電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理*, 95(554), pp.39-44, 1996.
- 梅本堯夫: 音楽心理学の研究, ナカニシヤ出版, 1996.
- 工業技術院生命工学工業技術研究所: 設計のための人体寸法データ集, 日本出版サービス, p.199, 1996.
- 和田親宗, 井野秀一, 庄司壽一, 伊福部達: 聴覚代行における触覚の利用方法の研究: 使用時を想定した疲労について-, *電子情報通信学会技術研究報告. HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎*, 97(262), pp.71-76, 1997.
- 伊福部達: 音の福祉工学, コロナ社, 1997.
- 辻三郎: 感性の科学—感性情報処理へのアプローチ, サイエンス社, 1997.

ルードルフ・E.ラドシー, 藤田芙美子, 北川純子: 音楽行動の心理学, 音楽の友社, 1998.

谷口高士: 音楽と感情, 北大路書房, 1998.

大浦容子, 菅原いづみ, 榎原彩子: 享受経験による熟達と評価的発達 音楽演奏領域での検討, 心の発達:認知的成長の機構 平成9年度研究成果報告書, pp.87-91,1998.

片寄晴弘, 今井正和, 井口征士: 音楽における感性情報抽出の試み, 人工知能学会誌, 3(6), pp.748-754, 1988.

Galvin KL, Mavrias G, Moore A, Cowan RS, Blamey PJ, Clark GM: A comparison of Tactaid II+ and Tactaid 7 use by adults with a profound hearing impairment, Ear Hear, 20(6), pp.471-82, 1999.

岩永誠: 音楽の特徴と好み感情に及ぼす影響, 日本バイオミュージック学会誌, Vol.17 No.1, pp.104-109, 1999.

杉谷邦明, 合志和洋, 古賀広昭, 小山善文: 体につけた振動モータによる音楽情報伝達と感性電子情報通信学会技術研究報告. HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, 100(288), pp.33-40, 2000.

谷口高士: 音は心の中で音楽になる—音楽心理学への招待, 北大路書房, 2000.

東山篤規, 谷口俊治, 宮岡徹, 佐藤愛子: 触覚と痛み, ブレーン出版, 2000.

GESCHEIDER, G. A., BOLANOWSKI, S. J., and HARDICK, K. R.: The frequency selectivity of information-processing channels in the tactile system. Somatosensory and Motor Research, 18, pp.191-201, 2001.

林田真志, 加藤靖佳: 聴覚障害児・者のリズム知覚・表出能力と日常生活での音楽聴取状況の関係, 心身障害学研究, 26, pp.93-102, 2002.

ユニバーサルデザイン研究会: ユニバーサルデザイン—超高齢社会に向けたモノづくり, 日本工業出版, 2002.

土屋由美, 伊藤康宏, 久保田新, 谷崎由紀子, 殿井友子, 松田真谷子: 高齢者への音楽聴取がもたらす効果 I—SD 法による情緒調査—, 藤田学園医学会誌, 28(1), pp.41-44, 2004.

原田昭: デザインにおける感性情報の取り込み, 知能と情報: 日本知能情報フレンジイ学会誌, 16(5), pp.392-399, 2004.

相樂多恵子, 鷺尾純一: シリーズ言語臨床事例集:第11巻「聴覚障害」, 学苑社, 2004.

- 武中美佳子, 岡井沙智子, 小原依子, 井上健: 心拍を基準としたテンポのリズム聴取による生理反応に関する研究, 臨床教育心理学研究, 31(1), pp.43-55, 2005.
- 本間健, 井野秀一, 黒木速人, 泉隆, 伊福部達: 広帯域振動刺激による触感提示を利用した情報伝達に関する基礎研究, 電子情報通信学会技術研究報告. HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, 104(745), pp.29-34, 2005.
- 市川熹, 手嶋教之: 福祉と情報技術, オーム社, 2006.
- Gillmeistera Helge, Eimer Martin: Tactile enhancement of auditory detection and perceived loudness, Brain Research, 1160, pp.58-68, 2007.
- 井手口健, 村中将人: ステレオ音源を用いた体感音楽聴取方法の感性増幅効果, 日本感性工学会研究論文集, 7(1), pp.111-118, 2007.
- 大山正, 今井省吾, 和氣典二: 新編感覚・知覚心理学ハンドブック, Part.2, 誠信書房, 2007.
- 内川恵二: 感覚・知覚の科学:3「聴覚・触覚・前庭感覚」, 朝倉書店, 2008.
- 内川恵二, 岡嶋克典: 感覚・知覚実験法, 朝倉書店, 2008.
- 佐藤博将, 藤沢卓矢, 三浦雅展, 三戸勇氣, 川上央.: スネアドラム演奏における基本感情の表現に関する調査, 日本音響学会秋季研究発表会, 2009.
- 山崎晃男: 音楽と感情についての心理学的研究, 大阪樟蔭女子大学人間科学研究紀要, 8, pp.221-232, 2009.
- 生駒忍, 菊地正: 打楽器音による即興演奏を通しての感情コミュニケーション対人社会心理学研究, (9), pp.117-120, 2009.
- 楠瀬理恵, 井上健: 音楽作品の調性が感情に及ぼす影響について: 精神生理学的検討, 臨床教育心理学研究, 35, pp.1-7, 2009.
- 坂本和義, 清水豊, 水戸和幸, 高野倉雅人: 生体のふるえと振動知覚, 東京電機大学出版局, 2009.
- 黒瀧悠太, 椎塚久雄: 打楽器のリズムから受ける感情の評価, 工学院大学研究報告, 109, pp.143-146, 2010.
- 坂尻正次, 三好茂樹, 中邑賢龍, 福島智, 伊福部達: 触覚フィードバックを用いた音声ピッチ制御方式による盲ろう者の歌唱訓練, ライフサポート = / the Society of Life Support Technology, 22(4), pp.138-145, 2010.
- Takayuki Hoshi, Masafumi Takahashi, Takayuki Iwamoto, and Hiroyuki Shinoda: Noncontact Tactile Display Based on Radiation Pressure of Airborne Ultrasound, IEEE Trans. on Haptics, Vol. 3, No. 3, pp.155-165, 2010.
- 石村貞夫, 石村光資郎: すぐわかる統計処理の選び方, 東京図書, 2010.

三浦佳世: 現代の認知心理学〈1〉知覚と感性, 北大路書房, 2010

山田真司, 西口磯春: 音楽は何故心に響くのか, コロナ社, 2011.

土屋翔, 昆陽雅司, 田所諭, VibTouch: 指先による仮想能動触を利用した触力覚インタラクション 第5報: 物理接触モデルを考慮した表面形状の呈示, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 講演論文集, 2P1-P03, 2011.

Taku Hachisu, Michi Sato, Shogo Fukushima, Hiroyuki Kajimoto: HaCHIStick: simulating haptic sensation on tablet pc for musical instruments application, Proceeding UIST '11 Adjunct Proceedings of the 24th annual ACM symposium adjunct on User interface software and technology, pp.73-74, 2011.

山田真司, 西口磯春, 永岡都, 北川純子, 谷口高士, 三浦雅展, 佐藤正之: 音楽はなぜ心に響くのか—音楽音響学と音楽を解き明かす諸科学—, コロナ社, 2011.

村上郁也: 心理学研究法:1「感覚・知覚」, 誠信書房, 2011

仲谷正史, 笈康明, 白土寛和: 触感をつくる——《テクタイル》という考え方, 岩波書店, 2011.

岡崎龍太, 蜂須拓, 佐藤未知, 福嶋政期, 梶本裕之, HaywardVincent: 触覚刺激による聴覚強度知覚への影響, 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2012.

東山篤規: 体と手がつくる知覚世界, 勁草書房, 2012.

伊藤謙治, 小松原明哲, 桑野園子: 人間工学ハンドブック, 朝倉書店, 2012.

Mohamed Yacine Tsalamlal, Nizar Ouarti, Mehdi Ammi: Non-intrusive Haptic Interfaces: State-of-the Art Survey, Haptic and Audio Interaction Design, 7989, pp.1-9, 2013.

Rajinder Sodhi, Ivan Poupyrev, Matthew Glisson, Ali Israr, Joanna Dauner, Alexander Rothera: AIREAL: interactive tactile experiences in free air, SIGGRAPH 2013 Conference Proceedings, vol.32 Issue 4, Article No.134, 2013.

金箱淳一: 「共遊楽器」の提案と実践の報告, 玩具福祉研究, 第11号, pp.48-54, 2013.

金箱淳一: Vibracion Cajon 2.5: 視覚と触覚で体感可能な打楽器, デザイン学研究作品集, 19号, pp.10-15, 2013.

佐々木信之, 大墳聡, 石井一嘉, 原川哲美: 視覚障害者, 盲ろう者のための少数点振動子による音楽表現の研究, 筑波技術大学テクノレポート, 21(1), pp.134-135, 2013

内閣府: 障害者白書(全体版), 2013

- 竹原卓真: SPSS のススめ 1 - 2 要因の分散分析をすべてカバー 増補改訂版, 北大路書房, 2013.
- 産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門: 福祉技術ハンドブック, 朝倉書店, 2013.
- 日本認知心理学会: 認知心理学ハンドブック, 有斐閣出版, 2013.
- 椎塚久雄: 感性工学ハンドブック, 朝倉書店, p.3, 2013.
- 下条誠, 前野隆司, 篠田裕之, 佐野明人: 触覚認識メカニズムと応用技術 -触覚センサ・触覚ディスプレイ-, S&T 出版, 2014.
- 小原光一: MOUSA1(ムーサ) 文部科学省検定済教科書, 教育芸術社, 2014
- 金箱淳一, 楠房子, 稲垣成哲, 生田目美紀: KIKIVIBE(キキビブ): 音を振動で感じる共遊楽器, デザイン学研究作品集, 21 号, pp.14-17, 2015.
- Junichi Kanebako, Fusako Kusunoki, Shigenori Inagaki, Miki Namatame: Proposal for Science Learning Materials using a "VibGrip", ACE '15: Proceedings of the 12th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, 2015.
- 山口紗希, 岡田斉: 音楽演奏に関する実験心理学的研究 : 機械演奏と人間による演奏の比較実験, 立教大学心理学研究, 57, pp.63 - 72 , 2015.
- 佐藤博将, 藤沢卓矢, 三浦雅展, 三戸勇氣, 川上央: スネアドラム演奏における基本感情の表現に関する調査, 日本音響学会 2015 秋季研究発表会, 2015.
- 小塩真司: 研究をブラッシュアップする SPSS と Amos による心理・調査データ解析, 東京都書, 2015.
- 寺島拓幸, 廣瀬毅士: SPSS によるデータ分析, 東京図書, 2015.

図表目次

図 1 聴覚器官の概略図（伊福部，音の福祉工学(1999)より改変引用）	6
図 2 無毛部の皮膚構造，受容器の形態と位置を表す模式図（仲谷ら「触覚を作る」(2011) p.21 より引用）	8
図 3 知覚の関数としての感性（椎塚「感性工学ハンドブック」(2013) p.3 より改変引用）	13
図 4 身体の各部位における 200Hz での振動感覚閾値（振幅値）（伊藤ら「人間工学ハンドブック」(2012) p.78 より引用）	15
図 5 機械的振動の感度（坂本ら「生体のふるえと振動感覚」(2009) p. 111 より引用）	16
図 6 接触面積の相違による振動覚の特性（Gescheider et al. (2001)より引用）	18
図 7 握り内径の人体寸法データ（工業技術院生命工学工業技術研究所(1996)より引用）	21
図 8 断面図のスケッチとウレタンフォームによる立体形状の試作	21
図 9 圧電アクチュエータの取り付け位置の検討	22
図 10 KIKIVIBE の三面図	22
図 11 3D モデリングデータ	23
図 12 圧電アクチュエータ取付工程の様子	23
図 13 リズムパターンの例(Edwin E. Gordon: Intermediate Measures of Music Audiatio (1986)より引用)	25
図 14 実験の環境(健聴者・V 条件時)	26
図 15 ABX 法による一試行の流れ	26
図 16 呈示条件毎の平均得点（縦軸は正答率（%）を示す）	28
図 17 正答率の下位検定結果（縦軸は正答率（%）を示す）	29
図 18 聴覚障害者群の A 条件，AV 条件の散布図	30
図 19 印象評価項目 下位検定の結果	32
図 20 「面白い - つまらない」項目 下位検定の結果	33
図 21 使用したリズムパターン（黒瀧 & 椎塚, 2010 より抜粋）	40
図 22 リズムパターンによる印象評価実験 一試行の流れ	42
図 23 体験の印象評価項目 下位検定の結果	44
図 24 「激しい - 穏やか」項目 下位検定の結果	45
図 25 「リズムカル - リズムカルでない」項目 下位検定の結果	46
図 26 高揚因子 下位検定の結果	48

図 27 強さ因子 下位検定の結果.....	48
図 28 軽さ因子 下位検定の結果.....	49
図 29 荘重因子 下位検定の結果.....	49
図 30 楽曲の印象評価項目 下位検定の結果.....	52
図 31 「軽さ」因子 下位検定の結果.....	53
図 32 「気まぐれな」因子 下位検定の結果.....	54
図 33 「浮かれた」因子 下位検定の結果.....	54
図 34 実験 1 で使用した矩形波の形状 (横軸 0 – 1500ms)	57
図 35 実験 2 で使用したスネアドラムのエンベロープ形状 (横軸 0 – 500ms)	57
表 1 正答率の分散分析表.....	28
表 2 健聴者, 聴覚障害者の演奏経験の有無の内訳.....	30
表 3 各印象評価の平均値.....	31
表 4 主効果, 交互作用の一覧.....	31
表 5 演奏経験の有無と呈示条件における「面白い – つまらない」評価の平均値	33
表 6 体験の印象評価 平均値と標準偏差一覧.....	42
表 7 主効果, 交互作用の一覧.....	43
表 8 健聴者, 聴覚障害者の演奏経験の有無の内訳.....	44
表 9 演奏経験の有無と呈示条件における「激しい - 穏やか」評価の平均値 ..	45
表 10 演奏経験の有無と呈示条件における「リズムカル – リズムカルでない」 評価の平均値.....	45
表 11 主効果, 交互作用の一覧.....	47
表 12 高揚, 強さ因子を構成する尺度項目に対する主効果, 交互作用の一覧	50
表 13 下位検定の結果一覧.....	50
表 14 演奏経験の有無と呈示条件における「軽さ」因子評価の平均値.....	52
表 15 演奏経験の有無と呈示条件における「気まぐれな」因子評価の平均値..	53
表 16 演奏経験の有無と呈示条件における「浮かれた」因子評価の平均値.....	54
表 17 リズムパターン毎の相関係数.....	55
表 18 「楽しさ」項目と高揚因子各項目との相関関係.....	55
表 19 聴取習慣の人数内訳.....	56

謝 辞

私にとっての博士論文の始まりは「作品の良さとは何か」という根源的な問いでした。その問いに対していつまでも正直でいられたのは、ご指導を頂いた山中敏正先生のお陰です。事故による骨折など、不遇の時期にも前向きなご意見を下さいました。ここに感謝の意を表します。

審査を引き受けてくださいました筑波大学の花里俊廣先生，山田博之先生，産業技術総合研究所の氏家弘裕先生，筑波技術大学の永盛祐介先生に感謝申し上げます。先生方に於かれましては，度重なるご指導と審査会におけるご指導を頂きました。

聴覚障害者を対象とした実験に際し，ご助言や実験協力者の紹介を頂いた筑波技術大学の生田目美紀先生に深謝の意を評します。実験にご協力いただいた方々からは，実験に対する誠実で前向きなご意見を頂きました。

研究の議論に参加いただいた平賀瑠美先生，寺澤洋子先生，松原正樹先生からは，客観的な視点によるご意見とご指導を賜りました。心より感謝申し上げます。筑波大学 人間総合科学研究科 感性認知脳科学専攻研究室の皆様には，ゼミにおいて屈託のないご意見とご協力を頂いたことに感謝いたします。

最後に，この長い研究生活を理解し，かなり危なっかしい息子を暖かく見守ってくださった両親に心から感謝します。

2016年7月 金箱 淳一