

スネアドラム音色の変化が与える

心理的印象の変化

田中教順

東京芸術大学 大学院音楽研究科

平成 24 年度入学

2312920

目次

1 章：序論

1-1 研究動機

1-2 研究結果の応用

1-3 以降の各章の概要

2 章：スネアドラムとその周辺要素についての概要

2-1 概要と歴史的変遷

2-2 スネアドラムの構造

2-2-1 スネアドラムの胴

2-2-1-1 胴のサイズ

2-2-1-2 胴の材質

2-2-1-3 胴の厚さ

2-2-2 ドラムヘッド

2-2-3 スナッピー

2-2-4 チューニング

2-2-4-1 ドラムヘッドの調整及び選択(狭義のチューニング)

2-2-4-2 ミュートとスナッピーの調整

2-3 演奏方法

2-2-1 スティックの種類

3 章：各分野における先行研究

3-1 音色に関する包括的な研究について

3-1-1 評価語を用いた実験による音色研究

3-1-1-1 Von Bismarck

3-1-1-2 Kendall & Cartrette

3-1-1-3 Freed

3-1-2 多次元尺度構成法(MDS)を用いた実験による音色研究

3-1-2-1 Wedin & Goude

3-1-2-2 Grey

3-1-2-3 Krumhansl

3-1-2-4 McAdams

3-2 スネアドラム及び打楽器に関する研究

3-2-1 物理的、音響的な研究

3-2-1-1 Rossing ら

3-2-1-2 Worland

3-2-1-3 Richardson ら

3-2-1-4 Dahl

3-2-1-5 Bilbao

3-2-2 音色の知覚に関する研究

3-2-2-1 Lakatos

3-2-2-2 日本における打楽器音の研究

3-3 打楽器音との関係がみられる音響特徴量

3-3-1 時間に関する音響特徴量

3-3-1-1 Zero-Crossing Rate

3-3-1-2 Attack Time

3-3-1-3 時間中心(Temporal Centroid)

3-3-1-4 Sustain Time 60(ST60)

3-3-2 スペクトルに関する音響特徴量

3-3-2-1 スペクトル中心(Spectral Centroid)

3-3-2-2 Spectral Flatness

3-3-2-3 Spectral Skewness

3-3-2-4 Spectral Kurtosis

3-3-3 メル周波数ケプストラム係数(MFCC)

3-4 筆者による過去の研究結果

3-4-1 『スネアドラムの音色について』(2008)

3-4-1 『スネアドラムの音色の変化による心理的印象の変化についての一考察』
(2011)

3-5 まとめ

4 章：実験 1:スネアドラム音のアタック部・ディケイ部の変化が

音色の同定に与える影響

4-1 実験に至るまでの経緯

4-1-1 時間領域でのスネアドラム音の特徴を担う成分の考察

4-1-2 予備実験

4-2 実験手法

4-2-1 実験用音刺激の作成

4-2-1-1 素材となったスネアドラム音

4-2-2 三つ組法による聴覚実験

4-2-3 実験会場と実験参加者

4-3 実験結果

4-4 考察とまとめ

5章:実験 2: 異なる聴取者グループにおけるスネアドラム音色の変化が与える影響-A

5-1 実験動機

5-2 実験手法

5-2-1 実験用音刺激の作成

5-2-2 評定尺度法による聴覚評価実験

5-2-2-1 実験に使用した評価語の抽出

5-2-2-2 実験会場と実験参加者グループの設定

5-2-2-3 実験手順

5-3 実験結果

5-3-1 因子分析による分析

5-3-1-1 概要

5-3-1-2 各被験者グループの因子数の決定

5-3-1-3 各被験者グループにおける因子分析の結果

5-3-2 音響特徴量との相関

5-3-3 音刺激における変化と各因子との関係

5-4 考察

5-5 まとめ

6章:実験 3: 異なる聴取者グループにおけるスネアドラム音色の変化が与える影響-B

6-1 実験動機

6-1-1 実験デザインにおける実験 A との違い

6-2 実験手法

6-2-1 実験用音刺激の作成

6-2-2 評定尺度法による視聴評価実験

5-2-2-1 実験に使用した評価語の抽出

5-2-2-2 実験会場と実験参加者グループの設定

5-2-2-3 実験手順

6-3 実験結果

6-3-1 因子分析による分析

6-3-1-1 各被験者グループにおける因子分析の結果

6-3-2 音響特徴量との相関

6-3-3 音刺激における変化と各因子との関係

6-4 考察

6-5 まとめ

7 章：結論

7-1 3つの実験のまとめと考察

7-2 将来的な研究の可能性

7-3 結論

1 章 序論

本論文を始めるにあたり、まず「音色」という言葉の定義について述べる。日本の日本工業規格(JIS)ⁱ⁾によれば音色は「聴覚上の音の性質の一つで、2 音の大きさ及び高さがともに等しくてもその 2 音が異なった感じを与えるとき、その相違に対応する性質」と定義される。これは後述する米国 American Standards Associationⁱⁱ⁾の定義をほぼ踏襲したものである。この定義は長年に渡って批判や議論の対象となってきた。1 つには、「音色の実験の際に、音の高さと大きさを一定にしなければならない」という条件付けによる、実験環境下と現実の聴取環境との乖離であり、1 つには「音の大きさと高さ以外の属性を総て音色に包含している」という、定義そのものの曖昧さである。長年の先行研究から、音色には音源の識別のための手がかりとなる特性の他にも、「音を聴いた主体が音から受ける印象の諸側面(多次元的属性)の総称であり、感情的色彩を帯びるものⁱⁱⁱ⁾」であるとする、聴取者の印象に影響を与える側面を持っていることもまた提唱されている。しかし、その音色が与える印象的な側面への影響には、まだ解明が不十分であり、それ故に音響や音楽への寄与の余地のある領域が存在していると筆者は考える。特に打楽器において、音色に関する研究は楽器のもつ励起の単純さと、物理的な挙動の複雑さという特性のせいかその研究量はとりわけ少ない。

本論文は、ポピュラー音楽におけるスネアドラム(小太鼓)の音色に関する研究によるものである。ポピュラー音楽においてスネアドラムはドラムセットと呼ばれる打楽器集合体の中で主に演奏される楽器である。本論文ではこのスネアドラムの音色について、筆者による 2008 年、2011 年に発表された先行論文の結果・考察を踏まえ、博士課程において行われた 3 つの心理的試聴実験についての詳細と実験結果の報告及び考察を行う。

1-1 研究動機

ポピュラー音楽において使用されるドラムセットは、バスドラム(大太鼓)、スネアドラム、タムタム(中太鼓)と、いくつかの種類のシンバルによって構成されている。その中でもスネアドラムはドラムセットの顔とも呼ぶべき重要な楽器である。ドラム演奏者達は、チューニングと呼ばれる、ドラムヘッド(皮)の締め具合や、スナッピー(響き線)の調整、ミュートと呼ばれる音の長さを変化させる為の工程などを行い、スネアドラムの音色を個々の音楽に適した音色へと変化させて行く。また、スネアドラムには様々なサイズや胴の素材があり、その違いによって音色も様々に変化する(本論文 2-2 節参照)。

そのため演奏者達が複数のスネアドラムを所有し、演奏する音楽の内容によってそれらを使い分ける、といった行為も珍しくない^{iv)}。

しかし、これらの音色の変化が実際の音楽において聴き手にどのような効果を与えるか、といった言説は、聴き手・演奏者共に個々の印象と経験に基づく記述が現状大半を占めている。また、スネアドラム個々の、胴のサイズや素材を原因とする音色の特徴の差と、チューニングなどの調整によって変化させることのできる音色の範囲について詳しく述べた研究はこれまで殆ど存在しない^{v)}。

筆者がこのスネアドラムの音色を研究テーマとして扱ったのは、筆者自身がドラムセット演奏者であり、録音やライブ演奏などで様々なスネアドラムを選定・調整し、音楽に使用してきたからである。その中で、演奏者の立場からドラム音色の研究を行うことで、まだ研究成果の決して多く無いこの分野に、何かしらの有益な成果をもたらせるのではないか、と思ったからである。

本論文では、スネアドラムの音色が変わる、ということが聴き手にとってどのような印象の変化を与えるのか、その印象の変化に普遍性はあるのか。また、スネアドラムの胴の材質やサイズなどの各楽器がもつ固有の特徴と、チューニングによる調整が可能な変化との間の、変化の幅として互いに補い合える範囲、補い合えない範囲のようなものは存在するのか、といった問いに、評価語を用いた試聴実験による分析と考察によって答えて行くものである。

1-2 研究結果の応用

本研究は主に複数の種類のスネアドラムと複数の種類のチューニングを組み合わせることで作成した音刺激を使用する。これは、スネアドラム間の音色の差異と、個々のスネアドラム内での音の変化の幅とを観測することで 1 つのスネアドラムで補える音色の幅を知り、また複数のスネアドラム間の音色の特徴的な違いをそれぞれ分析するためである。これにより、ドラム演奏者、及び録音エンジニア等がスネアドラムの音色に関する習熟を深め、チューニングや楽器選定に関してより効果的な処置・提案が出来るようになるのではと思っている。

また、評価語を用いた試聴実験による分析と考察は、スネアドラムの音色に対する物理的な特徴量と、形容する言葉との対応関係を明らかにする。更に本研究では実験被験者をグループ分けすることで、スネアドラムの音色の表現に使用される評価語が指し示す音響的な現象が、例えばドラム演奏者と録音エンジニアとでは異なるのか、といった考察を行うことで、音楽制作の場におけるコミュニケーションの円滑化を助けることを

期待できる。

1-3 以後の各章の概要

本節では、2章以降の概要について述べる。まず、本論文の骨子を成すのは筆者による3つの実験とその結果から導き出される結論である。これら3つの実験に先立ち、2章ではまず研究対象であるスネアドラムとその構成要素についての概要を詳述する。3章では先行する諸研究を、音色に関する研究とスネアドラム及び打楽器に関する研究とに分けて、いくつかの特に重要な研究を紹介した上で筆者が過去に行った各実験についての概要を述べる。

2章と3章を踏まえ、4章では最初の実験となる「スネアドラム音のアタック部・ディケイ部の変化が音色の同定に与える影響」について詳述する。これは、スネアドラムを時間上のある点でアタック部とディケイ部に2分割し、それらを組み合わせた合成音を作成することで、アタック部とディケイ部のどちらの変化が聴取者の音色知覚により強い印象を与えるかを調べたものである。

この実験を受けて更にアタック部とディケイ部の音色の変化を多様なものにし、評価語を用いた聴取実験を行ったのが第5章の実験「異なる聴取者グループにおけるスネアドラム音色の変化が与える影響-A」である。この実験では再び合成されたスネアドラム音を実験音刺激に使用した。また、被験者をドラム演奏経験の有無と、音楽演奏及び録音などのエンジニアリング経験の有無によって3グループに分け、各グループにおけるスネアドラム音色の知覚の傾向について調べた。

5章における実験結果を踏まえ、合成音による音刺激ではなく、合成を加えないスネアドラムの録音音源でも同様の結果・傾向が得られるかについての検証実験を行ったのが6章「異なる聴取者グループにおけるスネアドラム音色の変化が与える影響-B」になる。ここでは、スネアドラム音の合成の代わりに、実際のスネアドラムのチューニングにおける手法を用いて48種類の音刺激を作成し、5章と同様の実験と分析を行った。

3つの実験結果をまとめ、7章で本論文の結論と、今後の展開について述べる。

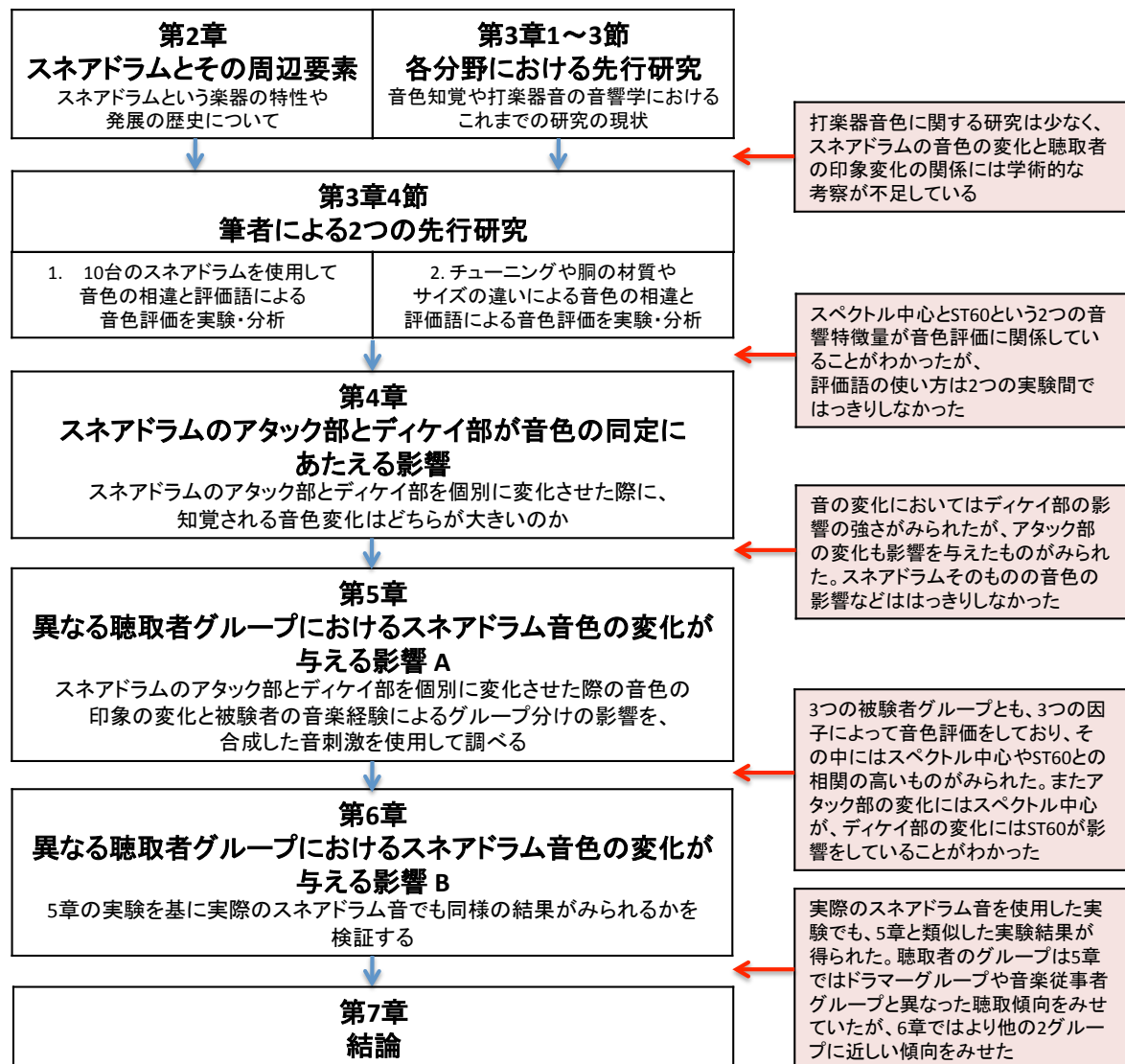


図 1-1 2 章以降の進行に関して示した図。右側の赤色の四角内に各章の簡潔なまとめを示した。

ⁱ 日本工業規格 JIS-Z 8109 音響用語(音声聴覚・音楽) (1961)

ⁱⁱ American Standards Association, Acoustical Terminology SI. 1-1960 (1960)

ⁱⁱⁱ 難波精一郎 『音色の定義を巡って』 日本音響学会誌 49 巻 11 号 pp.823-831 (1993)

^{iv} リットーミュージック社『リズム&ドラムマガジン』内「人と楽器」には、様々なドラム演奏者の所持するスネアドラムが登場し、それらの用途等について述べている。

^v N. Schröder ‘Drum Tuning’ [56]のように、ドラムのチューニングの具体的な方法について記述した著作は存在するが、個々の楽器に関する音色変化の範囲、といった内容にまで踏み込んだものは現状見つかっていない。

2 章 スネアドラムとその周辺要素についての概要

2-1 概要と歴史的な変遷

スネアドラムについては、まず、網代・岡田の『打楽器事典』[77]より引用する。

こだいこ 小太鼓 〈スネア・ドラム〉 snare drum, side drum [英] kleine Trommel, Schnarrtrommel [独] caisse Claire, petit tambour [仏] tamburo piccolo, cassa chiara [伊] caja clara, tambor [西]

〔構造〕円筒形の胴の両面に皮（ヘッド）を張り、裏皮（うらがわ）にはスネア＝響き線（ひびきせん）がついている。一般には胴の深さより直径の方が大きい。胴は金属製のものと木製のものがある。ヘッドに張力を与える方法には、上下のカウンター・フープ（押しわく）をドラム・ロッドを用いて張るのと、紐でY字形に張るのと2つの方法がある。現在では特殊なものを除いては、ドラム・ロッドを用いている。大きさは、深さ5インチ×直径14インチ（13cm×36cm）、6.5インチ×14インチ（17cm×36cm）、8インチ×15インチ（20cm×38cm）がもっとも多く用いられ、特殊のものとしては3インチ×13インチ（8cm×33cm）、5.5インチ×10インチ（13cm×25cm）、12インチ×15インチ（30cm×38cm）などがある。小太鼓はスネア・ドラムともいわれ、スネア(筆者注：「スナッピー」とも呼ぶ。以後本論文においてはスナッピーと呼称する)が裏皮についているのが特徴で、表皮（おもてがわ）をばちで打つと、裏皮を振動させてスネアにあたり、小太鼓特有の音をだす。

網代啓介・岡田知之『打楽器事典』

裏側のドラムヘッドに「スナッピー」と呼ばれる響き線を張ることによって独特な音を発する楽器で、オーケストラやマーチングバンドなどで行進をする際に使われることも多い。上記の通り、胴の直径が胴の深さより大きいのが一般的であるが、ドラムセット用のタムタム(中太鼓)にスナッピーを取り付けて非常に胴の深いスネアドラムに改造する、といった行為も行われる(この場合、直径14インチ×深さ10~14インチ、直径13インチ×深さ9~13インチといったサイズのものになることが多い)。このことから、スナッピーが設置されていることがスネアドラムの一番大きな特徴であり、スナッ

ピーがスネアドラムをスネアドラムたらしめている、ということができよう。スネアドラムがドラムセットの一部として使用され始めたのは 20 世紀初頭からになる。

Tindale[66]と Blades[7]による記述を基に、スネアドラムという楽器の歴史的な変遷について簡潔に述べる。スネアドラムは 2 つの主な先祖をもつ。tabor と side drum と呼ばれる楽器である。

tabor は中世ヨーロッパにおいて最も一般的なドラムであった。tabor は 2 枚の子牛の皮が木の胴にリム(カウンターフープ)で取り付けられた楽器である。リムには穴がけられており、その穴にロープを通す。それぞれの皮はロープによって締められることで固定され、皮のテンション(張力)はロープをきつく締めることでコントロールが可能であった。ガット(羊などの腸)で出来た一本のスナッピーが、打面ヘッドに張られていた。ドラムの直径と深さはドラムによってまちまちであった。演奏者は一本のドラムスティック(ばち)のみを片手に持ち、立ったままもう 1 本の手でドラムを持ちながら片手で演奏した。ドラムスティックの形は現代のものと似ているが、異なるフックのような形のものもあったことが確認されている。



図 2-1 Blades[7]から、笛を吹きながら tabor を叩く男(左)と、フックのようなスティックの一例(中央)、side drum を持つ男(右)の図。

side drum は 16 世紀に一般的なものとなった、現代的なスネアドラム及び tabor 両方に似た楽器であるが、それらとは一線を画すいくつかの差異がある。一本のみのスナッピーを装備していた tabor と異なり、side drum には複数のスナッピーがある。また、そのスナッピーが打面ヘッドではなく裏ヘッドに装備されたのも tabor との違いである。tabor 同様深さと直径はさまざまであった。side drum は立って演奏されるもので

あったが、背負うためのベルトがとりつけられ、これにより演奏者が片手で楽器を担ぐ必要が無くなった。**side drum** は垂直から水平まで、さまざまな異なる角度で吊るされていたが、今日殆どの **side drum** はプレイヤーから 45 度の角度で演奏されている。

現代のスネアドラムはいくつかの特徴において、先祖たる諸楽器と一線を画している。現代のスネアドラムはたいてい 10 インチから 15 インチの直径で、一方深さはまちまちである。オーケストラへの使用が目的であれば、ドラムはしばしば 6.5 インチの深さである。現在ドラムセットにおいて使用されるスネアドラムは直径 12 インチから 15 インチ、深さは 3 インチから 7 インチくらいまでのサイズのものが主流であるが、前述の通り、タムタム(中太鼓)を改造してより胴の深いスネアドラムを制作することもある。ドラムヘッド(皮)は現代のドラムにおいてはほとんどがマイラー(Mylar)と呼ばれる、プラスチックを原料としたものであるが、特別な目的のために動物の皮などの他の素材が使われることもある。

また、現在のスネアドラムの構造的な特徴は、両面のドラムヘッドを独立してチューニングできることと、スナッピーの着脱が出来ることである。Aldridge[1]によればこれらの構造が確立するのは 1913 年頃であり、現代的なスネアドラムの形式は、その成立から 100 年程の歴史に留まっている、ということになる。

また、演奏方法の変化としては、1898 年に Leedy 社によって初めての、高さ調整の可能なスネアドラムスタンドが製作された^{vi}。これにより、演奏者達はスネアドラムを背負う必要が無くなり、また立奏以外にも座奏が可能になった(それ以前にも、椅子等の上にドラムを載せて演奏する、といったことはあった)。後述する先行研究の数がピアノやヴァイオリンといった楽器に比べ著しく少ない現状には、現代的なスネアドラムの楽器構造や演奏形式の成立が比較的最近であることにも通じているのではないだろうか。

2-2 スネアドラムの構造

スネアドラムは、中空の円柱の形状をした胴、両面張りのドラムヘッド、ドラムヘッドを胴に張る為の枠(リム、もしくはカウンターフープ)、フープを胴に固定するための金具(ラグ)、スナッピー、スナッピーを着脱・調整するためのストレイナーと呼ばれる器具からなる。

スネアドラムの 2 枚のドラムヘッドのうち、片方は表ヘッドもしくは打面ヘッドと呼ばれるスティックで叩く側のもので、もう片方は裏ヘッドもしくはレゾナントヘッドとよばれる、打面ヘッドが叩かれた際にスネアを振動させるためのものである。リムはド

ラムヘッドを胴に固定するための金属の枠である。スネアドラムにおいて、リムはほとんどのものが金属製であるが、中には木製のものもある。リムにはフランジフープとよばれる、金属のリングをハンマー等で成形したものと、ダイキャストフープとよばれる、流し込み型に金属を流し込んで作るものがある。胴は金属製のもの、木材によるもの、カーボンファイバー等の合成素材によるものなどがある。

スナッピーは、裏ヘッドに張られる主に金属製のワイヤーである。打面ヘッドが励起され、裏ヘッドが振動すると、スナッピーがスネアドラム上で細かくバウンドする。この裏ヘッドとスナッピーの相互作用によって、スネアドラム特有のノイズ的な音が生まれるのである。

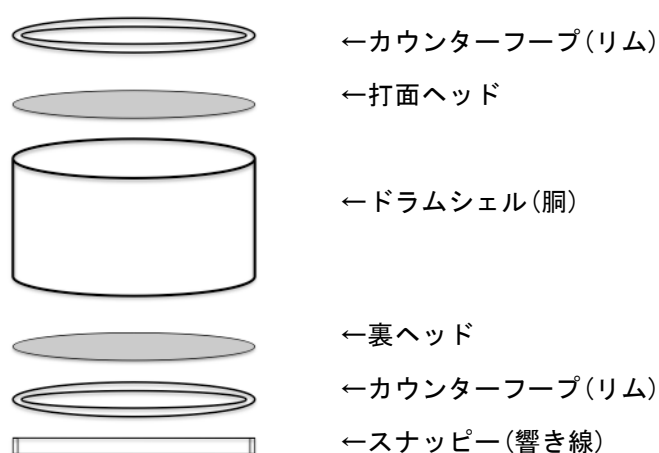


図 2-2 スネアドラムの構造図。両面のドラムヘッドをカウンターフープとボルトで胴に固定し張る。スナッピー(響き線)は紐またはプラスチックのテープとボルトで胴に固定し、裏ヘッドの上に張る。

2-2-1 スネアドラムの胴

スネアドラムの胴のサイズや素材には様々なものを使用されている。特に素材においては、現代的なドラムセットを構成する他の太鼓類であるバスドラムやタムタムと比べても多種多様な材質が使用されている。

2-2-1-1 胴のサイズ

前述したとおり、こんにちで使用されているスネアドラムは 10 インチから 15 インチの直径で、特にドラムセットにおいて使用されるスネアドラムは直径 12 インチから 15 インチ、深さは 3 インチから 7 インチくらいまでのサイズのものが主流である。

Johnson[33]によれば、胴のサイズが音色に与える影響は、「胴の深さが増すことで、ドラムの音程が低くなる、という認識は誤りで、ドラムの音程に影響を与えるのはあくまで胴の直径である。胴の直径が大きくなることでチューニング可能な音域がより低くなり、結果的にドラムの音程が低くなるのである。胴の深さが影響を与えるのはパワーとレゾナンスである。ドラムの胴はドラムヘッドの振動を増幅させるためにあり、深さが増すということは増幅体の表面積が増す、ということなのである。胴の深さが増すことで音の長さや音量が増し、胴の深さが浅くなることで音量は失われるが音の立ち上がりはやくなる。」と述べている。また、Owsinsky&Moody[48]は胴の深さについて、「主にそのドラムの音量に影響し、またドラムのアーティキュレーションへの影響も多少与える。」と述べており、音の長さよりも音量へ与える影響が大きい、と述べている。Owsinsky&Moody は更に胴の深さが音色に与える影響に関しても「深胴のドラムはよりあたたかい音になり、浅い胴のドラムは鋭いアタック音をもつ」と述べている。

Boe&Worland[8]は、両面張りのドラムの打面ヘッドと裏ヘッドの共鳴について調べた研究で、ドラムの深さの影響を詳しく分析するために深さを 1.5 インチから 40 インチまで変化させることの出来る特殊なドラムを用意した。直径とヘッドの張力は一定に保ち、打面ヘッドに正弦波を浴びせて励起させ、両側のドラムヘッドの振動を観測した。その結果、深さが増すことで、裏ヘッドの振動に立ち上がる高次倍音のエネルギーが減少し、音色の中でより基音周波数の占める割合が相対的に増した。

2-2-1-2 胴の材質

胴の材質は、大きく金属胴と木胴、そしてアクリルやグラスファイバーなどの合成物質の胴の 3 種に分類することができる。更にいくつかの種類の金属や木材が胴には使用されており、素材それぞれの音色の特徴について、様々な文献や雑誌がその印象を簡潔に述べている。Grover[24]によれば、金属胴のスネアドラムは木胴のものに比べて明るい(bright)音であり、木胴のスネアドラムは金属胴のものに比べてあたたかい(warm)音だという。Johnson[33]はスネアドラム胴に使用される主要な木材と金属の音色的特徴について、以下のようにまとめている。

木の種類	木と音色の特徴
メイプル - Maple	成長が遅く、年輪が狭い。
	よく響き、一般的な、あたたかい音であり、全体的に豊かな倍音をもつ。
バーチ - Birch	メイプルに比べ低域の音が10%程少なく、逆に高域の音が20%程豊かな音。
	明るくかたい音で、イコライジングが既にかかったような音。レコーディング向き。
マホガニー - Mahogany	メイプルに比べ低域の音が20%程豊かな音。メイプルよりもあたたかな音。
ポプラ - Poplar	成長が早くメイプルやバーチに比べ安価に入手が可能なので、廉価版のドラムに一部使用される。
	メイプルよりもバーチやマホガニーに近い音色。
バスウッド - Basswood	非常に安価で、メイプルの代用品として使用される。
ラワン - Lauan	非常に安価で、マホガニーやバーチの代用品として使用される。

表 2-1: Johnson[33]によるドラムに使用される主な木材の特徴をまとめた表

金属の種類	音色の特徴
ブラス - Brass	とてもシャープな音と、柔らかく豊潤な倍音成分を併せ持つ
スチール - Steel	ブラスに比べると、より長いディケイと、どっしりとしたボディの音で、ブラスよりも明るい音色
アルミ - Aluminum	クリアで、明るくオープンな音。
	倍音成分が歯切れ良く、大きなリムショット音が特徴。
ブロンズ - Bronze	ブラスによく似た音だが、全体的に木材のドラムのようなキャラクター
	木材のドラムよりも大きな音量が出るため、オールマイティー
コパー - Copper	アルミによく似た音だが、アルミに比べて少しだけあたたかな音

表 2-2: Johnson[33]によるドラムに使用される主な金属の特徴をまとめた表

2-2-1-3 胴の厚さとベアリングエッジの形状

ドラムの胴の厚さもまた、音色に影響を与える。Johnson[33]によれば薄い胴はよく振動し、豊かな響きを音色に与え、胴が厚くなることでより乾いた音へと変化していく。Owsinsky&Moody[48]によれば、薄い胴は厚い胴よりも質量が小さいため、励起が厚胴のドラムよりも容易である。言い換えると厚胴のドラムは、音色全体におけるドラム

ヘッドの音色が占める割合が薄い胴のものよりも大きくなる。

演奏者側が余り意識をする箇所ではないが、ベアリングエッジと呼ばれるドラムの胴がドラムヘッドと接触する箇所の角度や形状も音色に影響を与える。Johnson[33]によればベアリングエッジの形状は 45 度よりも鋭く削る必要があり、ベアリングエッジの角度が 45 度よりも大きいと十分な響きが得られず暗い音になってしまう。また 35 度程度に削ると、より響く明るい音になる。

2-2-2 ドラムヘッド

ドラムヘッドとはドラムの胴の片面もしくは両面に張られる皮のことである。Aldridge[1]によれば当初は動物の皮を使用してきたが、1957 年にアメリカの Remo 社が Mylar と呼ばれるポリエステル製のフィルムによるドラムヘッドを開発して以来、今日のドラムセットに使用されるドラムヘッドの素材は、大半がこの Mylar のフィルムを使用している。Mylar 製のドラムヘッドの中には、合成素材によるヘッドが一般的になる前の子牛の皮製のものを模倣したものもある。

ドラムヘッドの差異には、大きく分けてフィルムの厚さ、フィルムを重ねる枚数、フィルムのコーティングの有無、ミュート機能の有無の 4 種類がある。

フィルムの厚さには、裏ヘッドとスナッピーの繊細な反応を求める場合に使用される 2mil^{viii}の薄いものから、ロックミュージックでのパワフルな演奏を想定した 14mil の厚いものまで様々である。一般的に薄くなることで繊細さが増し、厚くなることで耐久性が増すといわれている。また Johnson[33]によればヘッドが厚くなることで柔らかく豊かな音色になる。

フィルムの枚数には、1 枚のフィルムからできているものと、フィルムを 2 枚重ねたものとがある。フィルムを 2 枚重ねることでパワーと耐久性が増すといわれている。Argo[2]の研究では、フィルムが 2 枚重ねになることで、同じ張力でも 1 枚のものに比べ、根音から上に発生するモードの周波数が若干低くなる、という結果が出ている。

ドラムヘッドにはコーテッドヘッドと呼ばれる、微細な粒子を吹き付け、ざらついた表面の形状をしたものとクリアーヘッドと呼ばれる吹き付けを行わない滑らかな表面のものと 2 種類がある。Johnson[33]によればコーティングを施すことで、高域の周波数成分が減少し、音の暖かさや深みが増すという。スネアドラムの打面側には慣習的にコーテッドのドラムヘッドが張られることが多い。

ミュートはドラムの音色の調整の手法の 1 つである。主な手法はドラムヘッドの上に何かものを置くなどして、ドラムヘッドの振動を抑えることであるが、ドラムヘッド自

体にミュート機能を果たすものを装着したものがある。例えばドラムヘッドの外周に、音を止めるためのリング状のフィルムを重ね、ヘッドの振動を抑え、音の伸びや高域周波数のエネルギーを整えるものがある。

これらの差異の他にも、ドラムヘッドメーカーごとによって、構造的にほぼ同じ種類のドラムヘッドでも音の傾向が異なる、という主張が為されることも珍しくない。

2-2-3 スナッピー

20 世紀初頭のスネアドラムにはガット(羊などの腸)を細いひも状にしたものが裏ヘッドに複数本張られていたが、今日では螺旋状のワイヤーが複数本、両端を金属製の小さな板に溶接されまとめられたものが主に使われる。ワイヤーの本数は各メーカーから異なる本数のスナッピーが発売されており、またワイヤーの材質、形状も異なる種類のものが作られている。現在最も一般的に使用されているものはスチール製のワイヤー 20 本からなるスナッピーであるが、ロックを主に演奏するドラマー達は 42 本のワイヤーからなるような、よりワイヤーの本数の多いスナッピーを選択することもある。ワイヤーの本数が増えるとよりスナッピーから発せられるノイズが強調された音になる。

ワイヤーの材質に関してはブラスやブロンズといった他の種類の金属のものや、釣り糸のような形状のプラスチック製のワイヤーを用いたもの、金属製ではあるが、形状がギターの第 6 弦に酷似した、より太いワイヤーを用いたものなども作られている。ワイヤーを取り付ける金属板にも工夫がみられ、金属板の形状に湾曲をもたせることで、スナッピーの中心のワイヤーと両端のワイヤーの長さを変化させ、それによって各ワイヤーに異なる張力をかけることでスナッピーの余韻を変化させるものもある[88]。また、異なった材質や形状のスナッピーを複数取り付け、求められる音色に応じて切り替えることが可能な機構をもったスネアドラムも存在する。

なお、本論文における一連の試聴実験に使用されたスネアドラム音色は全て一般的なスチール製 20 本ワイヤーのスナッピーが使用されている。



図 2-3 ワイヤを溶接する金属板の形状が異なるスナッピー。[88]

2-2-4 チューニング

本項では、チューニングと呼ばれる、個々のドラムに施される音色の調整法について述べる。チューニングは、それ自体に関する書籍が数種類存在する程、ドラムの音色に関して重要な工程であるとされる。スネアドラムのチューニングには大きく分けて、ドラムヘッドの張り具合の調整、使用するドラムヘッドの選択、ミュート、スナッピーの調整の4つがある。

2-2-4-1 ドラムヘッドの調整及び選択(狭義のチューニング)

最も一般的かつ重要とされるチューニングがドラムヘッドの張り具合の調整である。チューニングという言葉自体が指す対象は、このヘッドの張り具合のみであることも多い。

一般的にドラムヘッドは張力を増す程に基音が高くなっていき、基音周波数よりも高い周波数成分にあらわれるモードと呼ばれる定常波も、それに合わせ高くなって行く。また、ドラムの胴の口径が大きくなることにより、ヘッドの張力が同一でもより低い基音周波数をもつようになる。池田ら[78]によると、同一のスネアドラムを使用してドラムヘッドのチューニングを下げると、低域の基音となる周波数の位置がより低い周波数に移動し、また基音のパワーが下がり、アタック音よりもスナッピーや胴鳴りの音が比較的多く含まれた音になる。

ドラムヘッドの調整の重要性は、裏表それぞれ均等な張力で張ることにあるとされており、Richardson ら[53]によれば、ドラムヘッドに均等な張力をかけることによって

ドラムヘッドから発せられる音程のうなりのような現象を軽減でき、自然な減衰を得ることが出来る、とされている。しかし、均等な張力のかかったドラムヘッドによる豊かな減衰を嫌い、意図的に不均等な張り方を好むドラム演奏者もいる。

また、ドラムにどのような種類のドラムヘッドを装着するかは、打面と裏面のドラムヘッドのコンビネーションも含め重要であるといわれている。一般的には裏面のドラムヘッドは打面よりも厚さの薄いドラムヘッドを張ることによって豊かで自然な響きを得られるといわれている。

2-2-4-2 ミュートとスナッピーの調整

ミュートはドラムヘッドの上に何か物体を置いたり貼付けるなどしてドラムヘッドの質量を増やし、振動を抑えることでドラムの音の伸びを操作する手段である。複合打楽器であるドラムセットにおいては、1つのドラムの残響が長過ぎると他のドラムと共鳴を起こしたり、ドラムセット全体の音色の明瞭さを損なってしまう原因になる。複数のマイクロフォンを使用したドラムセットの録音の際にはこの残響や共鳴の与える影響が特に顕著であるため、ミュートを行い、音の減衰をコントロールすることが多い。池田ら[78]はミュートの音色に与える影響について言及しており、リングミュート(ドラムヘッドと同素材の膜を輪形に成形し、打面ヘッドの上に載せるミュートの一種)を使用すると、使用しない際の音に比べ高域の倍音のピーク値が減少し、中低域がより強調された音色になる、と述べている。また 2010 年前後から、ドラムヘッドの上に財布などのより大きく重いものを置き、極端にミュートされたスネアドラムの音色を求めるドラマーも見られるようになっている。

スネアドラムにおいてはスナッピーの張り具合を調節することも音色に影響を与える。Rossing ら[54]は異なったスナッピーの張り具合と異なった音の大きさにおける音スペクトルを計測した。その結果、スナッピーの張り具合が緩過ぎると、スナッピーの音色が太鼓そのものよりも目立ってしまい、ドラムの基音周波数が発見しづらくなり、張り具合を増すことで、小さな音でもドラムの基音周波数がちゃんと聴き取れるようになることを発見した。ドラム演奏者の感覚としては、一般的に張り具合が強くなる程、音の伸びが少ない詰まった音になっていく。しかし緩め過ぎてもスナッピーの音の立ち上がりが鈍くなるため、個々のドラム演奏者の中で適切と思われる締め具合の範囲が存在する。

2-3 演奏方法

ドラムは一般的に打面ヘッドを叩いて演奏する楽器である。一口にドラムを演奏するといっても、そこには様々な技術がある。例えばドラムヘッド上の叩く位置は基本的な技術の1つである。打面ヘッドの円周上の異なる位置を叩くことは、異なる振動モードを励起させ、その結果異なった音色を生む。一台のドラムから異なった音色を生み出せることは、熟練したドラム演奏者にとってはとても大きな効果として使われる。具体的にはドラムヘッドの中心部から外周部に叩く位置を変えて行くことで、ドラム音のアタック音と倍音とのバランスが変化して行く。中心部に近い位置を叩くとアタック音が強調された音色になり、外周部に近い位置を叩くと倍音が豊かで、中心部に比べアタック音の含まれない音色になる。なので一般的にはロック等でアタック音が強く、音量の大きな音を演奏するときは中心部に近い位置を、ジャズやクラシックなどで繊細な音色が求められるときはより外周部に近い位置を叩くことが多い。

また、ドラムヘッドとフープを同時に叩くことでよりアタック音が強調された音色を生むことのできる、オープンリムショットと呼ばれる奏法や、ドラムヘッド上にスティックの片方の端を乗せ、フープのみを叩くクローズドリムショットと呼ばれる奏法などがあり、これらを実際の演奏の中で使い分けている。

2-3-1 ドラムスティックの種類

ドラムは一般的にはドラムスティックと呼ばれるばちで演奏をする。ドラムスティックにも、太さや長さといったサイズの違いや、木の材質の違い、チップと呼ばれる先端部の形状、テーパーと呼ばれるドラムスティックを先端に向けて細くしていく加工を施し始める位置などによって、音色も演奏時の手応えも変わってくる^{viii}。木の材質にはヒッコリー、メイプル、オークなどがあり、最も一般的なものはヒッコリーである。また、チップ部にナイロンを使用しているスティックもある。ナイロン製のチップは木製のものに比べて欠けにくく、高い耐久性を持つ。池田ら[78]によると、スティックが太くなると低い周波数におけるスペクトルのピークが上昇し、低音が強調された音になる。またArgo[2]によればナイロン製のチップはタムタムを叩く際に木製のチップのものよりも高音部の周波数成分が強調される傾向がある。

ドラムスティック以外にも、ブラシやロッドと呼ばれる別の種類のスティックを使用することがある。ブラシと呼ばれる、細い針金を束ねたような形状のスティックの一種は非常にデリケートな音色で演奏が出来る。ジャズにおいてはスネアドラムのドラムヘ

ッドをこするように演奏する奏法がある。また、ロッドと呼ばれる、細い木の棒を複数本まとめたタイプのスティックもある。ロッドはよりスティックに近い音がするが、音量が小さくなることや、複数本の細い木で叩くことによる独特の音色があり、アンプやマイクrophonを使用しないようなアコースティックな音楽で使用されることが多い。

^{vi} 参考文献[1]参照

^{vii} mil(ミル)はヤード・ポンド法の長さの単位で、 $1\text{mil}=1/1000$ インチ $=0.0254\text{mm}$ 。

^{viii} これはドラム演奏者達が経験的に認識している事象であるが、一方、Irwin Jr. [31]による実験では複数のドラムスティックとタムタムを使用したスペクトル分析を行った結果、大きな違いはみられなかった、という報告もある。

3 章 各分野における先行研究

本章では包括的な音色に関する先行研究と、スネアドラム及び打楽器に関する先行研究について、代表的なものを取り上げ述べる。

3-1 音色に関する包括的な研究について

本節では、今日に至るまでの音色研究の歴史の概要を述べる。今日主流となっている音色知覚に関する研究の流れとしては、評定尺度法を用いた試聴実験によるものと、多次元尺度構成法(Multidimensional Scaling。以下 MDS と表記)を用いた試聴実験によるものの2つに分かれる。

序論でも述べたが、現在、規格としての音色(timbre)の定義は「同じラウドネスと同じピッチをもつ、2つの同一でない音を聴取者が異なる音だと判別できる聴覚知覚の特性」である、とし、更に「音色は本質的に周波数スペクトルに依存するものであるが、音圧と音の時間的な特徴にも依存する」と続けられている。しかし序論でも述べたように、音色は感情的色彩を帯びるものであり、その感情の変化に関しては先行研究を含めまだ研究・考察の余地を残している。また、以下に挙げる先行研究は多くが実験的な妥当性の高い研究であるが、難波[85]が言うように、そのような研究は一方では実際の音楽における音色からやや離れた研究になっているのも事実である。本論文における筆者の立ち位置としては自身がドラム演奏者であることから、そのような実験的妥当性を多少犠牲にしても、音楽への実用的な寄与へと役立つような研究を行いたい、といったものであることは、この場で明らかにしておきたい。

黎明期の音色研究は音色の分類作業を基礎とした実験からなっている。これは聴取者の楽器音を認知する能力を、さまざまな変化を与えた音刺激によって測定するものである。例えば Berger[5]は木管楽器の録音物の認知の実験で、各音のアタック部とディケイ部が取り除かれた音刺激を使用することでその正答率にマイナスの影響があることを発見し、Wedin & Goude[71]もまた、アタック部を取り除くことに関して、Bergerと似た結果を報告した。また、アタック部が取り除かれることの音色分類に与える影響は、楽器音が異なるとその影響の大きさも異なることを示した。基音周波数が分類に与える影響は Handel&Ericson[26]が調査しており、楽器認知は音刺激のピッチが1オクターブかそれ以上離れてしまうと同一の楽器音の判別にマイナスの影響がみられることがわかった。

分類作業における研究は人間が抽象的な音とその物理的な内容を適切に関係づける能力を測定するものである。同時に、特に機能的に変化する音刺激による実験はこのような分類的な判断に影響している、特定の知覚の側面を観察することでもある。分類をベースにした研究は、我々がどのように同一の楽器が作り出すさまざまな音の群をを1つの分類として結びつけることが出来るのかを説明する要素を指し示すことを目標としている。この分類作業の研究から前述の2つの実験モデルが生まれた。どちらも音色知覚に関連する音のパラメータを見つけるためのものである。

3-1-1 評価語を用いた実験による音色研究

評価語を用いた実験による音色研究は、さまざまな音刺激に対し、音色を表現するのに適切と考えられる言葉(評価語)の群と関連させる各聴取者たちの判断・評価を記録する。

言語的な特性と音質もしくは音色の側面との間の繋がりを機能的に搜索した黎明期の論文は Lichte[41]、Solomon[61] [62]などがある。Lichte は複合音の音質に関して、大量の調査を行った。各音刺激はトーンジェネレーターを使用して合成的に設計された。255 人の被験者が一対比較法による実験で音を **dull, bright, thin, full, smooth, rough** といった基準で評価した。その結果、個々の音の性質特性として **brightness, roughness, fullness** といった基準がある、ということを示した。Lichte の結果をうけて、Solomon[61]は潜水艦のソナーの録音に応用された 50 の共通言語的な属性についての研究を行った。彼の研究は合成によるものではない音刺激を使用しているという点でユニークであり、また属性尺度を作る為の語彙も、参加者でもあったソナーのエキスパート達によって作成された、研究に合わせてよくつくられたものであった。Lichte のように、被験者に一対毎に1つの要素を評価させるのではなく、Solomon は Osgood ら[47]の SD 法による尺度を採用し、二項対立となるような尺度の評価による実験を行った。50 の被験者が各音刺激に対し SD 法による評価を行った結果、被験者間での強い一貫性がみられた。因子分析によると 7つの重要な因子が観測され、それらの合計が説明変数の 42%を占めた。主要な因子は **heavy-light, large-small, rumbling-whining** らの尺度が寄与する「振幅次元」とであると解釈された。

3-1-1-1 Von Bismarck

評価語を用いた研究における黎明期のもっとも包括的なものとしては、von Bismarck[68]による 35 の音色の研究がある。von Bismarck は Lichte[41],Solomon[61]

[62],Osgood ら[47]の研究にみられた 3 つの問題を訂正する方法を探した。1 つ目は評価語の選択が機能的ではないこと。2 つ目は音刺激がピッチ、ラウドネス、時間構造において均一化が成されていないこと。3 つ目は、SD 法と評価可能な特性との繋がりを十分に提供できていないことが挙げられた。

評価語の選択に関し、von Bismarck は 69 の評価語のリストを先行研究から作成し、各評価語をふさわしいかふさわしくないかで 7 段階評価することを被験者に求めた。その結果被験者の採点は一般的な一貫性をもち、ふさわしさの評点の平均点が最も高かった評価語により 28 の SD 尺度が作成された。さらに low-high と soft-loud の尺度が、ラウドネスとピッチのノーマライズの影響を調べるために加えられ、全部で 30 の尺度についての評価を各被験者は求められた。

soft - loud	weak - strong	gentle - violent	fine - coarse	reserved - obtrusive
low - high	smooth - rough	clean - dirty	simple - complex	pleasant - unpleasant
soft - hard	heavy - light	full - empty	lively - dead	dampened - ringing
dim - brilliant	broad - narrow	solid - hollow	open - closed	compact - scattered
relaxed - tense	wide - tight	colorful - colorless	dark - bright	interesting - boring
calm - restless	thick - thin	pure - mixed	dull - sharp	rounded - angular

表 3-1 von Bismarck[68]の試聴実験において使用された、30 の評価語対。

音刺激は主にドイツ語の母音から 35 の合成された定常音が作成され、使用された。各音刺激はノイズとトーンに分けられ、トーン音はピッチを 200Hz に統一され、全ての音刺激のラウドネスは均一に保たれた。被験者は SD 法による評価を行う前に全ての音刺激を聴くことができた。実験には 2 つの方法が使用され、その影響を比較された。一方は各 1 つの音刺激再生ごとに 1 つのみの SD 尺度を評点するもの。もう 1 つは一回の再生で 30 の SD 尺度全てを評点するものであった。結果に大差はみられなかったので、被験者達が好んだ手法であった 2 つ目のもののデータを使用して分析を行った。被験者は音楽トレーニングの程度によって 2 つのグループに分けられた。

因子分析による分析で 4 つの因子が変数の 80%を説明出来るものとして観測された。srumpf-sharf もしくは dull-sharp 尺度が最初の因子と一貫した繋がりがみられた。この尺度においては音楽家か否かにおける違いはみられなかった。他の尺度は compact-scattered,full-empty,colorful-colorless などがそれぞれあてはまった。予測とは異なり、ラウドネスとピッチの影響を考慮した尺度であった soft-loud と low-high は他の尺度との強い相関を示した。各音刺激のピッチとラウドネスは無視して評価を行う

ように、という指示が事前にされていたにも関わらず相関を示したため、実験者と被験者達の間の言語的な尺度の誤解、という可能性がみられる。

一つの評価語に複数の尺度が混在してしまう、という SD 尺度における評価語の多義性という問題は常にこのアプローチにつきまとう。しかし、実験に参加した音楽家のコミュニティによって尺度が直接選ばれたものであり、その判断に一貫性がみられるとするのであれば、言語的な特性はしっかりとした情報から得られることができる。von Bismarck はこの研究において最も重要な要素であった尺度と物理的なパラメータとの相関に関し、「鋭さはエネルギーをもつ、スペクトル的な部分と、その部分の振幅レベルによって特徴づけられているようだ」と記している。これらのパラメータはスペクトル中心の測定と結びつけられた。いくつかの研究が **brightness** とスペクトル中心の両方を音色知覚の重要な因子であると確認している^{ix}。von Bismarck の補足実験[69]では **sharpness** もしくは **brightness** がピッチもしくはラウドネスと独立した関係にあるのかを丹念に調べている。音色的な知覚次元はピッチもしくはラウドネスとは切り離された次元にある、という仮説からである。Bismarck は仮説を証明し、さらにスペクトルの形状によって **sharpness** を倍増させたり半減させたりする刺激を作成し、知覚的に相対した判別を提示してみせた。

3-1-1-2 Kendall & Cartrette

von Bismarck の研究にはいくつかの欠陥がみられた。例えば評価語絞り込みのスタート地点にあった 69 の SD 尺度は、音楽だけでなくスピーチやソナーの音に関する調査から得られたものであった。実験の土台になっていたものが音楽とは別の研究であるため、音楽的なコンテキストでの使用が適切かどうかの吟味が不十分であった。更に、von Bismarck の実験参加者は提示された SD 尺度の適切さを評価する際に、事前に刺激群を聴取する機会を与えられていなかった。しかし最も大きな問題は SD 尺度そのものの適切性である。例えば、**brightness** などのいくつかの評価語は 1 つ以上の、使用されうる反語(**dullness** と **darkness**)をもっており、必ずしも 1 対 1 の双極尺度とはないのである。

Kendall & Cartrette[34][35]はこれらの問題に取り組み、管楽器の音色の組み合わせによる言語的な評価語を使用した研究を行った。彼等は音色における言語的な違いに関する先行研究からの立脚よりもむしろ音楽的な著作物から音楽の演奏もしくはアーティキュレーションと強い繋がりのある形容詞を抜き出しリストにし、評価語として使用した。

この評価語群は少数精鋭のプロの音楽家集団によって選定が行われた。木管楽器による音刺激群を聴きながら選定者達は使用する評価語の選定を行い、最終的に 21 の評価語が選定された。

brilliant	brittle	crisp	edgy	full	fused	light
mellow	nasal	reedy	resonant	rich	ringing	round
smooth	soft	strong	tremulous	tense	warm	weak

表 3-2 Kendall & Cartrelle[34][35]における試聴実験で使用された 21 の評価語

1 つ目の実験で使用された SD 尺度は被験者達によって音色の判別をするものとして適切には使用されず[34]、筆者は二項的な尺度には問題がある、という結論を導いた。2 つ目の実験[35]では言語的形容詞振幅予測(VAME)と呼ばれる、単一尺度による評価実験を行った。例えば dark-bright といった二極的な尺度において評点を行わず、被験者はシンプルに brightness について評価を行うのである。この実験においては VAME の評点によって、うまく音色を区別することができた。

VAME 評点の分析から得られたのは、データの変数の 86%を説明可能な 4 つの因子であった。これらの次元と音響的分析の結びつけの結果、スペクトルエネルギー分布とパワー因子、スペクトルの時間変化のしやすさ(Spectral Flux)と耳障り因子との関連がみられた。

因子名	各因子に含まれる評価語	関連する音響特徴量
パワー因子 (Power)	smooth, soft, light, weak, mellow	Spectral energy distribution
耳障り因子 (Strident)	strong, tense, tremulous	Spectral Flux
鳴り響き因子 (Plangent)	ringing, resonant, crisp, brilliant	
舌をつける因子 (Reed)	reedy, fused, warm	

表 3-3 Kendall & Cartrette[35]における評価語を使用した試聴実験と因子分析の結果。更に各因子と関連のみられた音響特徴量を示した表。

3-1-1-3 Freed

Freed[19]による研究は、打楽器において知覚されたマレットの硬さ(Perceived Mallet Hardness。以下 PMH)に焦点をあてたものである。Kendall & Carterette のよ

うに、Freed の研究は実際の楽器音の評価を含んでいる。Kendall & Carterette が音楽的でないメカニカルな評価語を評価に使用しなかったのに対し、Freed は自己の目的には必要として使用した。

Freed は「PMH はマレットの堅さの特殊な度合いの「イメージ」を喚起する、音色的な特性である」と述べている。このような特性は前述の 2 ケースにおける研究で調べられていたものとは大きく異なるものである。一般的にはマレットが硬くなるにしたがって、打楽器音の高音成分が増すといわれているが、Freed は「マレットの硬さは音色を表現する二次的な描写語であるが、多くの打楽器奏者にとってマレットの硬さは明らかに重要と思われており、この分野における何らかの発見には意味があるものである」とした。

von Bismarck[68]で使用された静的な音刺激群や Kendall & Carterette[34][35]で使用された木管楽器全体の音刺激群に対し、Freed の実験における音響分析は、音のアタック部のみに限定された。具体的には最初の 325 ミリ秒までである。

9 人の音楽トレーニング経験のある被験者が 4 つの異なったメタルパン(金属鍋)と 6 種類のマレットから得られた 96 の録音された音の評価を行った。マレットはソフトからハードに向かう順番で、フェルトで覆われたラバー、フェルト、布カバーの木、ラバー、木、メタルであった。被験者は 9 段階でかたさを評価した。以下が実験結果をあらわした図になる。

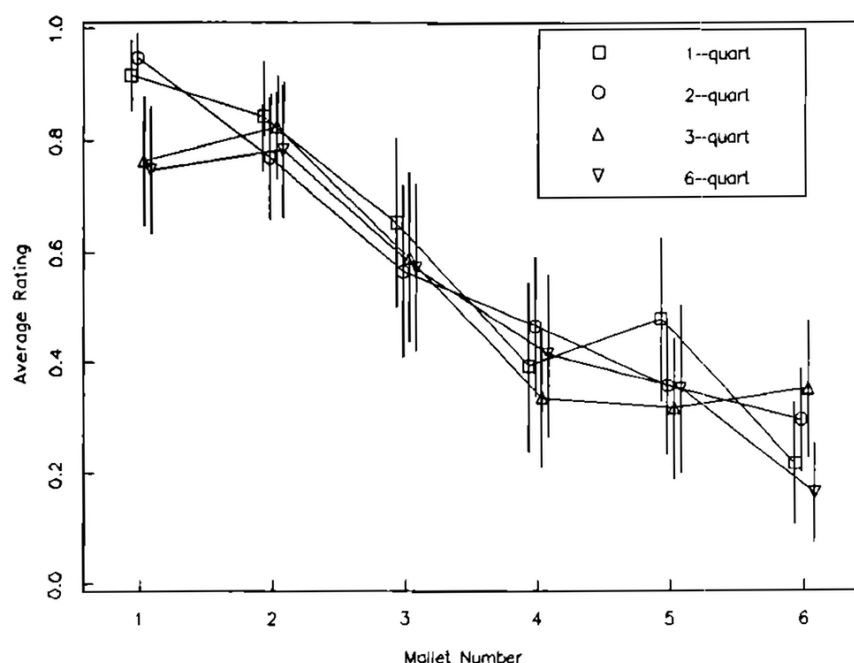


図 3-1 Freed[19]における、6 種類のマレットで 4 種類のメタルパンを叩いた音のかたさ

を9段階で評価した実験の結果。横軸はマレットの種類(堅さの順に並べてある)を、縦軸はかたさの評点の平均を0から1で表した数値を示している。これをみると、メタルパンの種類よりもマレットの種類が音のかたさの評価に大きな影響を与えていることがわかる。

図 3-1 からわかることは、被験者はメタルパンの種類に関係無く、PMH に基づいてマレットのタイプを判別できている、ということである。前述の4つの音響的な指標が、データに対し重回帰分析を行うことで評価され、全ての指標が組み合わされた形で影響を与えていることがわかった。スペクトル中心の平均が最も影響のある指標で、これはPMH と brightness の直観的な繋がりを確認できるものであった。

3-1-2 多次元尺度構成法(MDS)を用いた実験による音色研究

MDS を音色の類似性の研究に使用した黎明期の研究は Wedin&Goude[71]、Wessel[72]、Grey[21]、Plomp[49]などがあり、これらは Kruskal[38]による手法を発展させたものである。

3-1-2-1 Wedin & Goude

Wedin&Goude[71]は、楽器音色の知覚の次元性について、Ekman[15]の類似度のベクトルモデルによるMDSによる調査を行った。評価語を用いた手法との主要な違いは、言語を使った評価ではなく類似度の評価を行う、という点にある。Wedin&Goude の研究の目的は音色においてそれらを判別する、音響的な特性と心理学的な特性の相関を見つけることであった。

使用された音刺激群は9つのオーケストラ楽器からなる小さなものであった。ピッチとラウドネスの面から、各音刺激は440Hzのメゾフォルテの音を採用した。全ての音は定常状態で3秒の長さに統一され、一部の楽器にのみビブラートが許された。音刺激は編集を加えていないものと、アタック部とディケイ部を切り取ったものの2バージョンが用意された。

実験には大きく分けて4つの工程が用意された。70の被験者が2つのグループにわけられ、2つめのグループは前述のアタック部とディケイ部を取り除かれた音刺激での実験をうけることになった。最初に各グループの被験者は各音刺激を2回ずつ聴き、これらが何の楽器の音であるかを答えさせられた。次に被験者は全ての音刺激を一対比較で聴き、音色の相違度を10段階で評価した。3つめの工程では被験者個々のこれまでの音楽トレーニングのレベルを質問され、最後に実験で使用した楽器どうしの類似度を、楽器名のみ提示され、評価した。

類似評価実験のデータには被験者間での一貫した傾向がみられた。得られた結果から MDS による分析を行い、各音刺激に対する知覚空間がつくられた。2 つの被験者グループの両方において、知覚評価における変数の 75% を説明出来る 3 次元の空間が得られた。この空間における楽器の音色の位置は、第 4 の工程で行った楽器そのものの相違度評価の結果とは一致しなかった。最初の次元においてはヴァイオリンとチェロとクラリネットが固まった位置に布置し、2 つ目の次元ではトロンボーン、フレンチホルンとフルートが、3 つ目の次元ではトランペット、オーボエ、バスーンが固まって布置された。したがって、楽器そのものの相違度評価における、クラリネットとフルートが同じ木管楽器であるといったような判断は、実際の音色の判断には同様の傾向を与えなかった。

注目すべき発見は音刺激のスペクトルエネルギー分布がとてもクリアに MDS によって得られた 3 次元上の布置と関係していたことであつた。最初の次元は「倍音の豊かさ」と関係があり、2 つ目の次元は「倍音の貧困さ」と、3 つ目の次元は「基音の弱さと特定の倍音の強調」と関係がある、とした。

Wedin&Goude は更に線形回帰分析により、個々の倍音が各知覚次元にどのような関係をもっているかも明確にしようと試みた。その結果、「最も高い周波数、基音周波数、中域の周波数の 3 種類が最も強い予測力をもつ」ことがわかった。

3-1-2-2 Grey

Wedin&Goude の研究をうけて、Grey[21]の研究は MDS による実験モデルをより洗練されたものへと改善させた。Wedin&Goude が実験に使用した音刺激が 9 つであつたのに対し、Grey は 16 のオーケストラ楽器音を実験のための音刺激として使用した。更に重要なのは、Grey の用意した音刺激は時間変化を伴うことと、合成・編集された音源である、ということであつた。

各音刺激はテープ録音によって作成された。各 16 の楽器は Eb 311Hz の音で演奏され、長さは 0.25~0.5 秒の間におさめられた。アナログ録音の後、ヘテロダインフィルタを使用してデジタル化と分析がなされた。この分析結果は各音刺激の部分的な振幅の時間変化の詳細な情報をもたらした。更に、加算合成を使用して情報の削減を抜本的に行い、各音刺激の物理的な特性の完全な描写が可能になった。これは過去の研究では見られなかった特徴であつた。知覚的な次元空間と音響的なパラメータとの相関は、音刺激の時間変化を採用したことで、Wedin&Goude における定常の音刺激スペクトルよりもより詳細な情報を基にして行うことができた。加えて、ピッチ、ラウドネス、長さの

統一は大きな促進であり、先行研究においてはこの点において一貫性をもち得ていなかった。

前述の研究に続いて Grey は 2 つの主要な研究を行った。Grey[22](1977)においては 2 つの実験が行われ、MDS による知覚空間の作成と、その結果からの検証実験というペアの関係になっていた。1 つ目の実験では 20 人の「音楽的に洗練された」各被験者は 35 セットの類似度試聴実験を行い、16 の音刺激からの一対比較実験で相違度を 30 段階で評価した。Carroll & Chang[12]による INDSCAL を使用し、2~4 次元の知覚空間モデルを評価した。3 次元モデルに比べて 2 次元モデルでは不十分かつ、4 次元モデルに明確な利点もみられなかったので 3 次元モデルを採用した。

3 次元空間モデルにおいて、各楽器は、ある程度明確な楽器分類にグループ分けがされた。例えば、トランペット、トロンボーン、フレンチホルンは次元 2 と 3 においてお互いの心理的距離がかなり近く布置された。Grey の心理物理的な空間の解釈は、1 つ目の次元をスペクトルのエネルギー分布に関係があるとし、2 つ目の次元はアタックからディケイ部にまで、通時的に存在する高次倍音の有無が最も良く説明できるとした。木管楽器が高次の倍音をもち、近しい位置に布置されているのに対し、金管楽器はより独立した振る舞いをみせた。3 つ目の次元に最も関連した音響特性はアタック部における、高音域の振幅の低い不協和な音成分であった。クラリネットとストリングスにこのような特徴がみられ、逆にブラス、バスーン、イングリッシュホルンにはみられなかった。

引き続き、2 つ目の実験として被験者による音色判別実験が行われた。実験 1 で用いられた音刺激が様々な配列で再生され、被験者はそれらの音色の相違を判別した。判別結果は回を重ねる毎により正確になり、当初 60%だった正答率は最終的に 84%まで上昇した。不正解の回答の中には 2 種類のケースが観測された。サクスの音はイングリッシュホルンの音と 8%の確率で混同され、バスーンの音はフレンチホルンと 7%の確率で混同された。実験 1 の 3 次元空間と照らし合わせると、これらの楽器は次元 2 と次元 3 において非常に近い位置に布置されていた。

これら 2 つの実験結果から、Grey は音刺激のスペクトルエネルギー分布とスペクトルの時間変化による特性に関係する知覚的な音色空間を作成し、その証明を行った。

3-1-2-3 Krumhansl

一方で、MDS には低次元の音色空間の作成だけでは分析として不十分であるという指摘もある。Krumhansl[37] (1989)は他の研究者と同様に MDS の利点について認めた

上で、MDS によって連続する次元にそったモデル化が難しくなるようなケースについて指摘している。Krumhansl は音刺激群に共通の低次元モデルとは別に、個々の独立した次元を各音刺激がもつことを容認するような Wessel[73]による MDS アルゴリズムを使用した研究を行った。Wessel によるアルゴリズムでは、音刺激が他の音刺激と共有できない独自の次元を持つ度合いが **specificity**(特殊性)値という値によって表現される。**specificity** 値の低い音色は MDS による共通次元への当てはまりがよい音色であるとみなされ、一方 **specificity** 値の高い音色は MDS の共通次元以外の追加の解釈を必要としている、ということになる。FM 合成によって、オーケストラ楽器を指向して作成された 21 の音色が実験に使用された。そのうちの 6 つの音は 2 つの楽器音から作られた合成楽器の音であり、例えば **trumper** はトランペットとギターの合体楽器として作成された。これらの音色を使用した一対比較法による相違度評価実験が行われた。

Krumhansl と Wessel の評価実験は 3 つの音色次元を生成し、そのうち 2 つの次元には音響特徴量との明確な相関がみられた。1 つ目の次元はアタックの速さ、2 つ目の次元は音の **brightness** との相関がみられた。3 つ目の次元は音響特徴量との明確な相関はみられなかったが、Krumhansl はスペクトル的な要素の時間的な発生の側面と関係があるのではないかと述べた。トランペットとトロンボーンを含むいくつかの楽器は **specificity** 値がゼロであったが、他の楽器は極めて高い **specificity** 値をみせた。ハーブシコードやクラリネットといった音刺激の高い **specificity** 値の解釈は音色に含まれるメカニカルなノイズや奇数倍音の優越といった独特な音響特性を指摘した。つまり、一般的な知覚次元はこの MDS モデルによって生成されるが、そのモデルのあてはまりに問題のある音刺激は識別され、それらの解釈をたかめる可能性のある追加の特徴が加えられるのである。

3-1-2-4 McAdams

1995 年には McAdams の主導による、5 人の研究者による 3 つの領域における MDS ベースの音色実験モデルを発展させたレポート[44]が作成された。この研究の主な特徴として、1 つ目に、生楽器の録音物ではなくシンセシスによる合成音の刺激の使用がある。この音刺激には実際の楽器音を真似た音と、創作された楽器音の両方が含まれており、これまでには Grey&Gordon[23]と Krumhansl[37]のみがこのような音刺激を使用してきた。2 つ目に、CLASCAL アルゴリズムを用いて各刺激の **Specificity** 値を測定した。3 つ目に、音楽トレーニングのレベルによって大量の被験者群を用意した。CLASCAL アルゴリズムは類似したデータ群の構築の中に含まれる潜在的な階層を見

つけることができる。これらの階層と音楽トレーニングのレベルとの関係を調べたのである。

Wessel ら[74]によって作成された、18 の FM 合成による音刺激が本実験で使用された。これは先行研究において Krumhansl[37]が使用したものと同様のものである。前述のとおり音刺激群の主要なものは伝統的なオーケストラ楽器をまねて作られたものであり、そこに 6 つの、2 つの楽器音を足して作られた合成楽器音が加えられている。全ての音刺激はラウドネスと長さとピッチを統一したものである。

98 人の音楽トレーニングレベルに差のある被験者が採用され、プロの音楽家によるグループ、アマチュアの音楽家によるグループ、音楽家ではない人達のグループの 3 つのグループに分けられた。各グループの人数は 24 人、46 人、28 人であった。前もって被験者は音刺激群において一対刺激による相違度の評価をしている。相違度データの分析により、少数の一貫性のない被験者群が見つかり、結果的にそれらを取り除いた 88 人分のデータを分析に使用した。

MDS により 2 つのモデルが作成された。1 つは **specificity** 値の概念を採用しない 6 次元モデル。もう 1 つは **specificity** 値を採用した 3 次元モデルである。2 つのモデルを比較した結果、「潜在的な次元の心理物理的な解釈がより一貫している」として、**specificity** 値を含んだ 3 次元モデルが採択された。

この研究のゴールの 1 つは Krumhansl[37]による、同一の音刺激を使用した先行研究で作成された知覚空間との比較であった。今回の実験による最初の 2 つの次元は Krumhansl のものととても強い相関を示した。Krumhansl における 3 つめの次元はスペクトル的な要素の時間的な発生の側面との関係が解釈されたが、別の研究において、Krimphoff ら[36]は Krumhansl のデータを再評価した。この際に追加された物理パラメータは「**spectral irregularity**」で、これは「3 つの隣り合った倍音の振幅の平均から得られた全体のスペクトルエンベロープからの、内部の振幅の標準偏差の **log**」である。しかし、今回の分析においては 3 つめの次元に対する明確な解釈はなされず、**spectral irregularity** と相関を示す次元もみられなかった。

specificity 値の高い音色の分析では、音色の聴取によるイメージからそれらの独特な特徴が識別された。11 の音刺激が密に観察され、2 つの **specificity** カテゴリが提案された。McAdams らはこれらの **Specificity** のいくつかは自然では連続的な評価が可能なもので、さまざまな強さの度合いをもっているのだが今回の音刺激セットにおいては共通の尺度となり得なかったもので、もう一方のものはより独立性が強く、あまり一般的ではない特徴の有無によるものである、と結論づけた。後者の例として、ハーブシコードの音(最も **specificity** 値が高かった音の 1 つ)は、強い **clink** 音がディケイ部にあり、

こういった音が specificity 値の高さの原因になっているのでは、という指摘がなされた。

CLASCAL アルゴリズムによる潜在的な階層の分析は McAdams らの仮説と逆の結果になった。結果として 5 つの潜在的な階層が導き出されたが、殆どの被験者が 1 クラス目か 2 クラス目に組み込まれた。結果的に音楽トレーニングのレベルと潜在クラスの関係は無意味だという結論がつけられ、音色知覚は音楽経験による強い影響は受けない、と示された。しかし同時にプロミュージシャンによる評価がもっとも一貫性をもっていたのも事実であった。McAdams らは、日常生活から人間は様々な音色判断をしながら生きており、それによってある程度は誰でもトレーニングを積んだ状態なのだ、と指摘した。

3-2 スネアドラム及び打楽器に関する研究

打楽器の音色に関する先行研究は他の楽器に比べ少ないが、その中でも筆者は各先行研究を 3 つのカテゴリに分け、概要を述べたい。1 つはスネアドラム及びドラム類に関する物理的・音響的な研究、もう 1 つは打楽器の音色知覚における研究、最後はマシニングを使用した音色判断に関する研究である。

3-2-1 物理的、音響的な研究

2010 年前後に至るまで、スネアドラムやタムタムなどの円筒形の胴をもったドラム類における物理的・音響的な研究は、Rossing ら[54]に代表されるような理論的な膜としてのドラムヘッドの振動特性と、それらの膜が胴の両側に張られた際の相互作用についての概要を調査するものであった。その後、Worland[75]や Richardson[53]らによって実際のドラムヘッドのチューニングの変化が与える音響的な影響についての調査が為されている。

3-2-1-1 Rossing ら

Rossing は音響的な分野で打楽器に焦点を当てた多くの重要な研究を世に送り出している。中でも 1992 年のスネアドラムに関するいくつかの実験をまとめた研究[54]はスネアドラムの 物理音響的な側面による研究の草分けともいえるものである。

Rossing によるスネアドラムに関する全ての議論の根幹には下記のような理論的な膜(ドラムヘッド)の概要がある。膜は弦のように張力を変化することで調律が可能である。膜と弦の振動における主要な違いの 1 つは、理論的な弦におけるモード周波数が基

音周波数の協和音程であるのに対し、膜のモード周波数は基音周波数との間で協和関係にないところにある。弦と膜のもう 1 つの違いは、弦の場合、節が点として弦に沿ってあらわれるが、膜は節が線状に立ち上がる点である。以下に **Rossing** による膜上のモードの形状と基音周波数との関係についての図を示す。

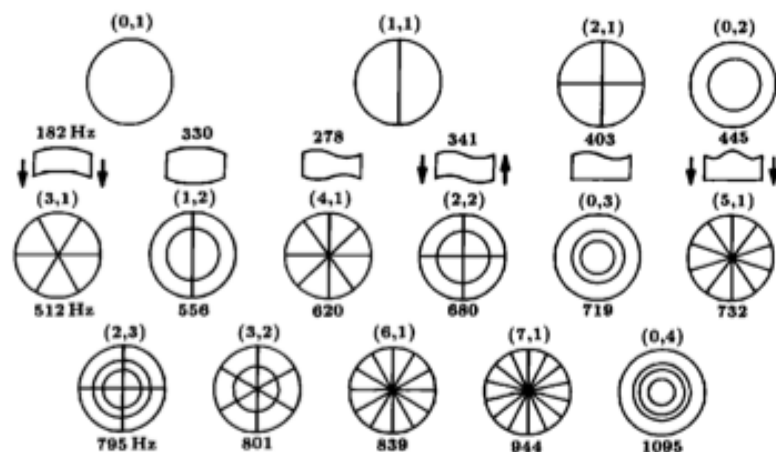


図 3-2 Rossing ら[54]による、円状の膜上にあらわれるモードの形状。振動の節となる線には、円の中心を通る直線の形をとるものと、円の中心から放射上に立ち上がる円形のものがあり、それぞれ(m=直径節の数, n=円形節の数)という表記の仕方がされている。

膜上に立ち上がるモードは、(m,n)といった 2 つの数字で、そのモード次数が表現される。m は膜の中心をとおり、直径となるような線の形に形成される節の数、n は膜の中心から円周状に形成される節の数を表している。

理論的な膜におけるモードの周波数は以下の式であらわすことができる。

$$f_{mn} = \frac{1}{2\alpha} \sqrt{\frac{T}{\sigma}} \beta_{mn}$$

α は膜の直径(m)、 T は膜にかけられる張力(newton)、 σ は面密度(kg/m²)、 β_{mn} はベッセル関数でゼロになる数字を表す。

Rossing らの研究において、上記のモードに関する式以外の情報は **Rossing** の研究室で指揮されたいくつかの実験からの観察である。これらは決してスネアドラムの完全なモデルを表すものではないが、**Rossing** らは極めて重要な多くの観察について言及している。2 枚のドラムヘッドの間のモードの相互作用はその 1 つである。スネアドラムのような両面張りのドラムにおいては、個々のドラムヘッドにおけるモードの概念とは別に 2 枚のドラムヘッドの状態を一緒に考慮するような、もう 1 つのレベルがある。潜在的には、表と裏の 2 枚のドラムヘッドがあるとき、 X_{mn} (打面ヘッドのモードの数) \times Y_{mn} (裏ヘッドのモードの数) 個のモードの数がある。共鳴によっていくつかのモードの組み合わせが立ち上がるが、それらのモードが **Rossing** らによって提示されている。表ヘッ

ドと裏ヘッドのモードが同じ周波数かつ位相が互いに 180 度異なるときには非対称的なモードが発生する。表ヘッドと裏ヘッドが同じ周波数のモードかつ同じ位相で振動するときには対称的なモードが発生する。

ドラムにおけるスナッピーの効果についても **Rossing** らはいくつかの興味深い観察をしている。スナッピーは裏ヘッドの上に取り付けられており、ドラムは表の打面ヘッドを叩くものなので、スナッピーが動き始めるのには非常に短くはあるが時間を要する。**Rossing** らはこの効果を図示し、スナッピーが動き始める位置を指し示した。スナッピーはノイズ音として知覚される高周波数帯域の成分をドラムの音に付加する。また、スナッピーの張力も音に影響を与える。**Rossing** らはスナッピーの張力を変化させた時のスネアドラムの周波数スペクトルを測定した。その結果、スナッピーの張力が低いとモードが見えにくい平坦なスペクトルを生み、張力が高くなるとよりモードのわかりやすいスペクトルへと変化することを示した。ドラム音のもう 1 つの要素はモードの減衰である。スネアドラムにおいて全てのモードが一様に減衰するわけではなく、他のモードが原因で起こる干渉によって、いくつかのモードの減衰がより速いものとなる。**Rossing** らはゴムによって固定された状態のスネアドラムと通常のスネアドラムスタンドに設置されたスネアドラムにおけるモードの減衰率を測定した。ドラムは打面ヘッドの真ん中と、真ん中ではない位置を叩かれた。測定結果によればスタンドに設置されたドラムの減衰率は、ゴムで固定されたドラムよりも明らかに高く、これはドラムの胴とリムの間の共振がドラムの振動において重要な要素であることを提議している。また、ドラムヘッドの真ん中を叩くことによって得られる音はドラムヘッドの中心に振動の節がある($m > 0$)モードの励起を著しく損なうことも示された。

3-2-1-2 Worland

前述の **Rossing** らの研究は、理論的な膜の振動モデルによると、実際のドラムにおける観察を主軸としたものであった。**Worland**[75]はこの研究手法を踏襲しつつ、実際のドラムヘッドにかかる張力は理論的な膜と異なり完全な均衡状態にはなり得ないという前提を研究に導入した。それまでの多くのドラムヘッドに関する物理の記述においてドラムヘッドは均一な張力をもつものと見なされて研究されて来たが、ドラム演奏者達は最善の結果でもそれは近似に過ぎないことを知っている。その前提を踏まえ、ドラムヘッドにかかる張力が不均一であることがドラムヘッドに立ち上がるモードに与える影響について調査を行った。研究のゴールは現代のドラムセットにおけるスネアドラムやタムタムといった両面張りの太鼓における影響の提示であるが、実験のデザインをシ

ンプルにするため、片面張りの太鼓での観察を主に調査した。

Rossing による膜のモードに関する図に言及すると、少なくとも 1 つの直径となるような線の形に形成される節を含んでいる($m>0$)モードはどれも二重縮退であり、均一な張力をもつ膜上では、同一の周波数を持った 2 種類のモードを生み出す。しかしこの張力が完全に均一でない場合には、聴感することのできる周波数の分裂を生むのである。中でも(1,1)モードは最も低い縮退モードであり、周波数の分裂が発生するモードの中で最も突出したものであり、膜上における張力の均一性が崩れるとき、(1,1)モードは異なる周波数による、直交関係にある 2 つのモードに分割される。

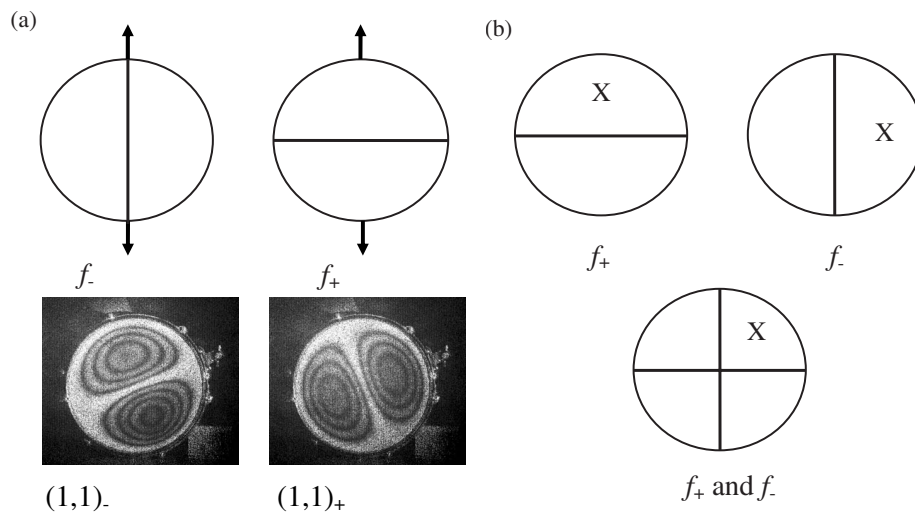


図 3-3 Worland[75]による、(1, 1)モードにおける 2 つの異なる周波数によるモードと、それらを励起させるための打撃位置についての図と、ESPI システム(電機斑点パターン干渉法)により撮影した、実際のドラムヘッド上に立ち上がっている 2 つの(1, 1)モード(左下)。(a)は、2 重縮退によって発生する 2 種類のモードの節の位置を例示している。(b)はドラムヘッドのどこを叩くかによって、周波数の異なる 2 種類の(1, 1)モードである f_+ と f_- のどれが励起されるかを例示したものである。叩く位置は x で表され、上の方を叩くと高い周波数 f_+ のみが励起され、横側を叩けば逆に低い周波数 f_- のみが励起される。その下は 2 種類の周波数のどちらも励起される位置である。

このモデルをテストすべく、マイクロフォンとスペクトルアナライザーを使用した聴覚的なテストと、Moore^xのデザインに基づいた ESPI システム(電機斑点パターン干渉法)を使用した視覚的なテストを行い実際のドラムヘッドに現れる(1,1)モードを確認した。聴覚的なテストからは適度によくチューニングされたドラムでは f_- と f_+ の(1,1)モードのペアがアナライザで確認できた。ESPI によるテストでは直交する 2 つのモードが視覚的に確認できた。

これらを踏まえ、ドラム演奏者や他の音楽家にとって、聴感できる周波数の分裂を減らすことが、ドラムヘッド1枚の、それ自体のチューニングにとってのゴールとなるものであり、この研究の実践的な結論は、2点間の摂動で生じる(1,1)モードの周波数の分裂がチューニングのよく施されていないドラムの音に最も強い影響を与えることを示した。張力の不均一さは低次のモードに対して、ドラムヘッドの場所によって微細な周波数の差を生み、結果的に音色としてぼやけた複雑なものになる、ということを述べている。ここから、均一なチューニングを施すことはモードの周波数の乖離を最小限に抑え、輪郭のはっきりした音色となる、ということが導き出せる。

3-2-1-3 Richardson ら

Worland が片面張りの太鼓におけるチューニングの影響を調べたのに対し、両面張りの太鼓の膜上に現れるモードについての調査をおこなったのが Richardson ら[53]による研究である。Rossing らの研究にみられた、「2枚の膜をもつ太鼓は、音響結合(Acoustic Coupling)により、個々の膜の位相に応じて2つの周波数のモードが生成される」という事案と、Suzuki&Hwang[64]による和太鼓の2枚の皮の間の音響結合に関する「2枚の膜の張力の比に依存して、結合された響きの周波数と振幅の比が変化する」という研究結果から、表裏それぞれのドラムヘッドのチューニングの変化が、両面のドラムヘッドのモードに与える影響について観測を行った。

この研究において焦点があてられたのは、打面ヘッドと裏ヘッド両方における、叩かれた際に立ち上がる(0,1)モードと(1,1)モードである。1枚のみのドラムヘッドをもつドラムにおけるモードの周波数比は固定の値であるのに対し、2枚張りのドラムにおいては打面ヘッドにおける(0,1)(1,1)各モードと共鳴ヘッドにおける(0,1)(1,1)各モードの間の比を2枚の膜の相対的な張力差を変化させることで操作が可能である、という仮説が設定された。単一の膜における各モード間の周波数比は非協和的な関係にあるが、このような操作により、ティンパニのような、より協和的な倍音関係も持った打楽器音へと音色を近づけることができるのではないかと、という案件に関しても調査がなされた。更に、補足的に打面ヘッドと裏ヘッドそれぞれの(0,1)モードの周波数の分析を行った。Rossingによれば、打面ヘッド裏ヘッドにおける(0,1)モード周波数は音響結合によって等しくなることが期待されるが、この事案の検証もまた、研究の一部に組み込まれた。

実験には直径30cmのタムタムが使用され、まずはこの口径の太鼓にとって中庸な音高であろうと判断された147Hzの基音周波数を得る為に、裏表各ドラムヘッドの入念なチューニングが行われた。特に膜上での不均一な張力はWorlandの研究による(1,1)

モードでの周波数分離を起こしてしまうため、特に入念に調整が行われた。147Hz の基音周波数が得られた状態を各ドラムヘッドの「Medium」チューニングであるとし、裏表各ドラムヘッドのチューニングボルトを 1/2 回転上下させることで「High」チューニングと「Low」チューニングの 3 種類のチューニングを裏表ヘッドそれぞれに作成した。これら 3 種類のチューニングを組み合わせることで 9 種類のチューニングによる状態を作成し、各状態においてのモード周波数と(0,1)(1,1)モード間の周波数比を計測した。モードの励起にドラムスティックを使用し、各チューニングラグの間の、ドラムヘッドの中心点と外周の真ん中の部分を叩く位置とした。各励起の音響的な反応はマイクロフォン(Beta57A)を使用して 44.1kHz のサンプリング周波数と 16bit のビットレートで録音された。録音データは MATLAB による高速フーリエ変換(FFT)での分析が行われた。各チューニングとも 10 回ずつ励起が行われ、モード周波数は 10 回の励起から得られた平均値として出された。

Tuning (Batter/Resonant)	Batter head			Resonant head		
	f_{01B} (Hz)	f_{11B} (Hz)	f_{11B}/f_{01}	f_{01R} (Hz)	f_{11R} (Hz)	f_{11R}/f_{01}
T1 (Normal/Normal)	147.2	219.4	1.49	146.7	279.9	1.91
T2 (High/Normal)	168.9	275.4	1.63	167.9	287.5	1.71
T3 (High/Low)	152.0	267.9	1.76	151.5	232.2	1.53
T4 (Normal/Low)	124.2	191.5	1.54	123.5	224.0	1.81
T5 (Low/Low)	99.9	139.7	1.40	99.8	206.5	2.07
T6 (Low/Normal)	120.5	165.4	1.37	121.1	256.8	2.12
T7 (Low/High)	137.3	180.9	1.32	136.6	302.3	2.21
T8 (Normal/High)	167.5	259.9	1.55	166.4	305.3	1.83
T9 (High/High)	189.8	310.7	1.64	191.0	327.2	1.71

表 3-4 Richardson ら[53]による、30 センチ径のタムタムに 9 種類のチューニングを施した際の打面ヘッド(Batter Head)と裏ヘッド(Resonant Head)の(0, 1)モードと(1, 1)モード周波数と、それらの比。

表 3-4 は各チューニングにおける打面ヘッドと裏ヘッドの平均周波数を示したものである。(0,1)モード周波数に関しては、打面ヘッドと裏ヘッドの間ではほぼ同一の値をもつことが全てのチューニングにおいてみられている。ドラムのチューニングが変化すると、(0,1)モード周波数と打面ヘッド(1,1)モード周波数、そして裏ヘッドの(1,1)モード周波数の 3 つの数値が変化する、ということもできる。(0,1)モードの周波数の範囲は、30cm のタムタムにおいてはほぼ 1 オクターブ(99~190Hz)の間でのチューニングが可能であった。打面ヘッドの(1,1)モードはチューニングプロセスによって 1 オクターブ以上の変化(139.7~310.7Hz)をみせた。科学的なピッチ表記としてはこれは C#3~D#4 の間に相当する。

打面ヘッドの張力がチューニング T2 において上げられると、それぞれのモード周波

数が上昇するのがみられた。しかし、各モード周波数の上昇の幅は均一ではなかった。打面ヘッドの(1,1)モード周波数の上昇は打面ヘッドの(0,1)モード周波数の上昇よりも大きかった。これは周波数比の変化を発生させ、具体的には打面ヘッド側の周波数比が 1.49 から 1.91 に、共鳴ヘッド側の周波数比は 1.63 から 1.71 に変化した。打面ヘッドと裏ヘッドの(1,1)モード周波数はいくらかはより独立性をもち操作させることが可能であった。1 枚のドラムヘッドの張力を変化させることで、変化させた側のドラムヘッドの(1,1)モード周波数は目覚ましく変化し、反対側のドラムヘッドにおける(1,1)モード周波数はより弱い変化を示したのである。これらのことから、チューニングの結果として(0,1)(1,1)モード間の周波数比をある程度操作することが可能であることがわかった。

モード比が操作可能であり、またそのモード比をより音楽的なピッチへとチューニングすることが可能であるという結果をうけて、いくつかのチューニングセットアップの試験を示す、理論のテストが行われた。異なる口径、胴の素材、ドラムヘッドの種類をもつ複数のタムタムにおいて、同様のチューニングを行い、(0,1)モードと打面ヘッドの(1,1)モード、裏ヘッドの(1,1)モードの周波数比が(1:1.5:2)となるようなチューニングを試みた。この周波数比はティンパニのモード周波数比に近いもので、チューニングによりティンパニのような音程感の強い音色の作成が可能かを検証するためであった。結果はどのドラムとチューニングにおいても、ドラムの直径、胴の素材、ドラムヘッドの種類に関係なく、(0,1)モード周波数と打面ヘッドの(1,1)モード周波数が 1.5 になるようにチューニングされているのがみられた。それに比べると裏ヘッド側の(1,1)モードは完全に(0,1)モードの 2 倍の数値にはならず、コントロールの不完全さがみられたが、これにはより詳細なドラム胴、胴のサイズ、ドラムヘッドの選択に関する分析が必要であるとの結論がなされた。

以上のことから、「(0,1)モードと(1,1)モードの周波数比は両方の膜において操作が可能であり、適切なチューニングによって協和的な比も可能にする。」、「円筒形のドラムはティンパニのように適切な協和成分をもつ、任意の音楽的なピッチにチューニングすることができる。」、「基音周波数である(0,1)モードは両方の膜において類似の数値になる。」という 3 つの点がこの研究から明らかになった。Richardson らの研究は、スネアドラムを含めた現代における両面張りドラムのチューニングによる音色への寄与をより詳細にし、Worland のものと並びドラム演奏者達のチューニングの理解を促すきっかけになりうる研究の 1 つである。

3-2-1-4 Dahl

演奏の変化がドラム音色に与える影響についての調査を行ったものが Dahl[14]による研究である。先行研究から、管楽器やピアノといった楽器の研究において、演奏によって放射される周波数スペクトルが演奏の強さによって変化する。これは、強い励起の力によって管や弦にあらわれるモードの中でもより高次のモードが励起され、結果的に全体の周波数スペクトル内において高周波数成分の割合が増し、音色にも変化が起こる、という現象である。この現象は打楽器においても他の伝統的な楽器同様に起こりうるのか否か、という問いが、Dahl によるこの研究の焦点の 1 つである。

また、Fletcher&Bassett[17]ではスペクトルにおける各成分の振幅は励起の強さと励起をさせる位置に依存していることが提示され、強い励起の際にはドラムヘッドの歪みが張力に影響を与え、周波数の移動が発生することもわかった。Fletcher & Rosiing[18]では、バスドラムの最大励起において、この上方向への周波数の移動が約 10%、もしくはほぼ 2 半音分であることがみつもられた。この現象がタムタムでも起こるのかを検証することがもう 1 つの焦点であった。

調査のために、5 つのサイズの異なるタムタムと、4 種類(pp,mp,mf,ff)のダイナミクス、2 種類の打撃位置(ドラムヘッドの真ん中と、ドラムヘッドの外周付近)での 1 打による演奏を無響室で録音した。周波数スペクトルは平均値をとるために、各状態において、30 発の演奏を録音した。録音されたタムタム音は FFT シグナルアナライザを使用して分析した。

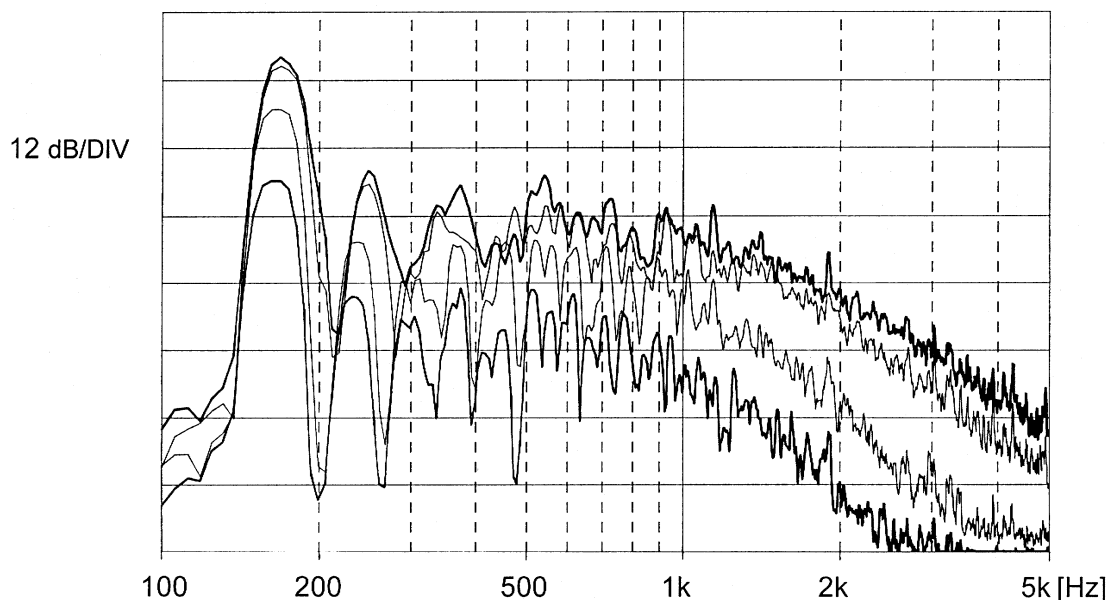


図 3-4 Dahl[14]による、12 インチ径のタムタムの打面ヘッド中心を、pp-ff の 4 種類のダイナミクスで叩いた際のスペクトル。各ダイナミクスとも 30 発の励起によって得られたデータを平均している。

図 3-4 がその結果であるが、まず全般的に見られた結果として、低いモードは個別に鮮明に見ることができ、高次のモードは逆に混ざり合わさって特徴的なスロープを形作る、というスペクトル上の傾向がある。スペクトルの部分的なピークとピークの間の谷はダイナミクスのレベルが増加することで変化した。谷はソフトなダイナミクスの際にははっきりと見て取ることができるが、演奏の大きさが増すにつれてより曖昧になっていく。これは勿論アタックノイズが増した結果であろうと結論づけられた。また部分的なモードのピークはダイナミクスが増すことで、その周波数幅も大きくなる現象がみられた。この効果は結果的に各ピークをまとめていくような現象を導き、連続的なスペクトルの輪郭を形作った。

研究の焦点の 1 つであった、ダイナミクスの変化による高周波成分の変化であるが、スペクトルの高域部においては pp と ff の間でスペクトルの傾斜にかなりの変化がみられ、叩く力が増すと、より高次のモードが励起され、高域部の傾斜が減少することが明らかになった。pp における傾斜の減衰値は 25dB/oct であるのに対し、ff では 16dB/oct まで減少した。

また、低音域部では打撃の力が増すことでピークの振幅のみが増えるわけではなく、その周波数幅も増えることがみられた。これは励起がより強くなることで、ドラムヘッドにいくつかの追加的な張力を与えるに十分な力を生み、ピッチが変化することのせいであると結論づけられた。ff による励起の際は基音周波数が最大 20Hz 変化した。これはほぼ 4 半音に一致した。この周波数の移動は、この現象に集中することで聴くことは可能であるが、大抵はピッチの移動よりも強いインパクトの特徴的な成分であると知覚される。この理由はおそらく、強い励起に伴う強い高音成分が、最初の短い期間、張力とピッチが通常の数値に戻るまでに基音を部分的にマスキングしてしまうからであると結論づけられた。

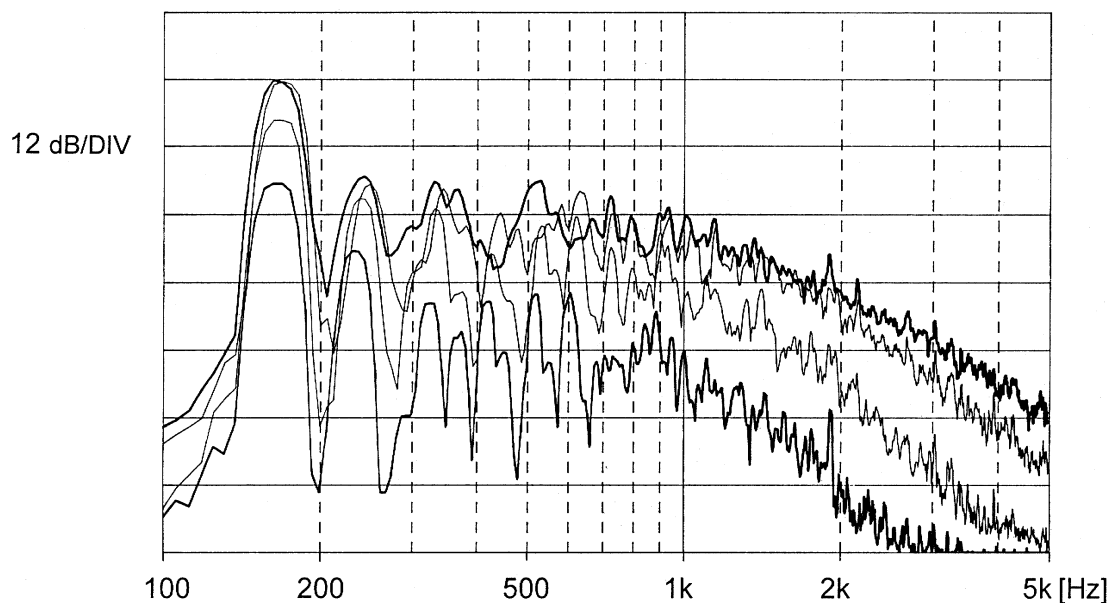


図 3-5 Dahl による、12 インチ径のタムタムの打面ヘッドの外周を、pp-ff の 4 種類のダイナミクスで叩いた際のスペクトル。各ダイナミクスとも 30 発の励起によって得られたデータを平均している。図 3-4 に比べ、基音成分となる 170Hz 近辺のピークが若干弱い。

ドラムヘッドにおける演奏位置による主な違いは弱いモードのピークレベルであった。ほとんどのモードはどちらのスペクトルにも発見されたが、異なった励起をされていた。基音は全体的にヘッドの真ん中を励起させるほうが強いピークとしてみられた。この観察は、基音は振動の節をドラムヘッドの外円状にしかもたないことから、予測通りであった。

更に補足的に、スティックとドラムヘッドの接触時間の測定も行われた。スティックとドラムヘッドにそれぞれ銅の箔を貼付けることで、各ストロークにおける接触時間が電氣的に測定された。その結果、打撃の力が増すと接触時間が短くなることが示された。ドラムヘッドの中心を叩くときの接触時間は p の際に 8ms、f の際に 5.5ms であった。柔らかな表面(カーペット)での接触時間との比較を行ったが劇的な変化はみられず、スティックがドラムヘッドから離れるプロセスはドラムヘッド上で反射する波の影響を強く受けてはいないことが提議された。この振る舞いは殆どの音において、弦の反射波がハンマーが離れる主要な原因となるピアノと対照的であった^{xi}。

3-2-1-5 Bilbao

実際の楽器音に対し物理的な音声合成によって音色モデリングを行い、そこから実際の楽器音により近い合成音を作成することを目標にする研究がある。Bilbao[6]はその

対象となる楽器をスネアドラムに設定し、研究を行っている。Bilbao はスネアドラムの音色を「複数の要素の相互作用によって成り立っており、それらの主要なものはドラムヘッド(膜)、スナッピー(響き線)、周囲の音場とドラム内部の空洞である。」と定義した。それらの相互作用を含めたシミュレーションのために時間領域差分法(FDTD 法)をフル 3D システムに応用した手法を採用し、仮想空間内に 12 インチ口径・深さ 12 インチの仮想的なスネアドラムを作成し、その音を計算的に作り出した。また、その過程で、仮想的なドラムヘッドの質量密度の変化による、両面のドラムヘッドの音響結合によるモード周波数の変化と、スネアドラム内の空気の動きのモデリングを詳細な 3D モデルから一様に変化するピストンモデルに変化させた場合の合成音の変化についても調べた。ピストンモデルは先行する膜打楽器の音色シミュレーション研究^{xii}に使用されており、このモデルを採用することで計算的なコストを削減することが可能になるため、比較を行った。

その結果、まずピストンモデルを採用した手法による合成音はスナッピーと裏ヘッドとの接触が 3D モデリングに比べ単調になってしまい、結果として生成される合成音がスネアドラムの特徴的な音色を再現できなかった。これを受けて、スネアドラム音色において知覚的にスネアドラムの特徴を捉えた合成音を作成するには打面ヘッドを叩いた際に裏ヘッドとスナッピーがランダム性をもって接触することが重要な要素の 1 つであると Bilbao は述べている。また、単純化したモデルであるピストンモデルはタムタムのようなスナッピーの着いていないドラムでは使用が可能であると述べており、スネアドラムの音色モデリングはスナッピーと裏ヘッドの相互作用によって他のドラムよりも複雑なモデリングが必要であると述べている。

ドラムヘッドの質量密度に関しては、両面のドラムヘッドの質量密度を 2 倍、3 倍、1000 倍に変化させた際の、ドラムヘッドに立ち上がるモード周波数を観測したところ、質量密度が変化することで、各モード周波数の値が変化し、1000 倍になると、各ドラムヘッドが単一で張られていると仮定した際の各モード周波数と一致した。つまり、ドラムヘッドの質量密度が高くなることで、2 枚のドラムヘッドの間の音響結合による相互作用の力が弱まることがわかった。

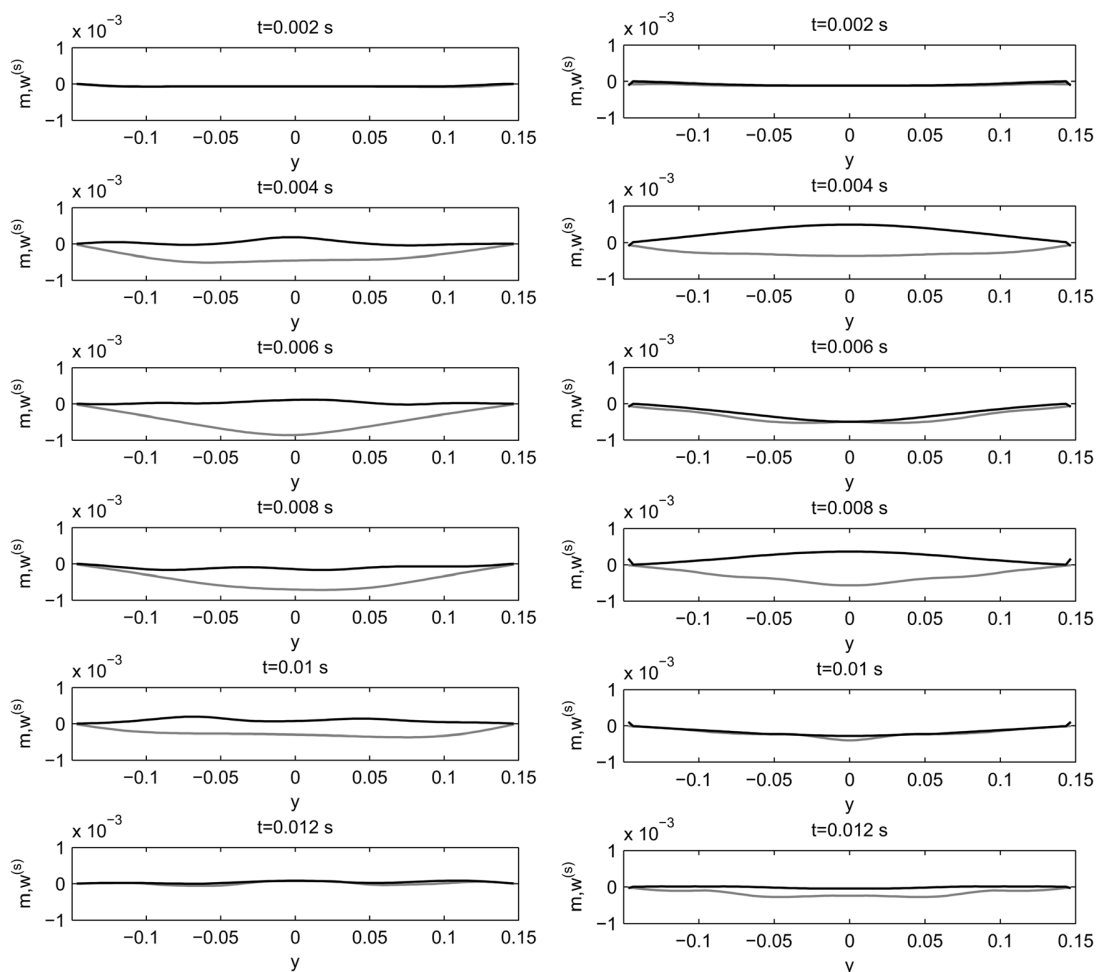


図 3-6 Bilbao[6]による、2つの物理モデリングにおける、裏ドラムヘッド(黒線)とスナッピー(灰色線)の動きを時系列で比較をした図。左側がドラムヘッドの振動をフル 3D でモデリングしたもので、右側が振動を単純化させたピストンモデルによるもの。フル 3D モデルに比べ、ピストンモデルはほぼ左右対称にドラムヘッドとスナッピーが動いており、このようなより規則的でランダム性の少ない動作ではスネアドラム的な音色からは離れた音になってしまった、と Bilbao は述べている。

3-2-2 音色の知覚に関する研究

3-2-2-1 Lakatos

McAdams ら[44]の MDS をベースにした研究を一部の打楽器の音色へ応用させたのが Lakatos[39]である。この研究はより多量かつ多様な刺激群を分析することの影響に焦点をあてたものであり、その対象の一部に打楽器音がある。音色知覚に重要な相関がある要素として、スペクトル中心とアタックタイムの識別にみられる一貫性に焦点を当て、Lakatos は殆どの音刺激が過去の研究において比較的類似の結果を示していること

を指摘した。これを踏まえ、Lakatos は実験的なパラメータが増えるならば更なる未解明の次元が見つかるかもしれない、と仮定した。Lakatos はまた、specificity 値を用いるようなタイプの、データの連続的な分布を厳格には仮定しない MDS アルゴリズムが分析に対し明確なアドバンテージを発揮するのか、という問いも設定した。被験者の音楽トレーニングのレベルによるデータの欠損を引用し、彼は音色知覚における経験の効果について解明したいと思った。最終的に、ツリーモデルによるマッピングデータの可能なプログラムを採用することで彼は各音の音源と励起の仕方の物理的な特徴に関連するカテゴライゼーションのパターンを探索した。

34 の録音された楽器音が McGill 大学のライブラリから採取され 3 つの刺激群となった。刺激は音色、楽器の素材、励起の方法の観点から広く採取された。最初の刺激群は「ハーモニック」グループと呼ばれ、D# で統一された、ピッチをもつ 17 の刺激による刺激群である。2 つ目の「パーカッシブ」セットは 18 の音を含み、そのうち 7 つはピッチのある音であった。三つ目が「組み合わせ」セットで、ハーモニックとパーカッシブ両方から 10 刺激ずつピックアップした 20 の刺激からなる。ラウドネスとピッチは注意深く統一された。

被験者集団は 18 人の音楽家と 16 人の音楽家ではない人々から成った。被験者は 3 つの刺激群それぞれを対比較で相違度評価を求められた。

ハーモニックのセットの相違度のデータは音楽トレーニングによる明確な効果は見られないことを示した。2 次元の音色空間は Iverson&Krumhansl[32]の結果と酷似していた。log アタックタイムが横方向の次元に高い相関を示し、衝撃による励起の性質があるハープ、ピアノ、ハープシコードはストリングや管楽器と離れて布置された。2 つめの次元は log のスペクトル中心と強い相関を示した。ツリーモデルによる分析では楽器の素材や励起の方法によるような明確なグルーピングはみられなかった。

パーカッシブセットには 3 つの次元が生成された。しかし 3 つ目の次元は解釈が不可能であった。パーカッシブセットは極端に多種多様な音色群により構成されていたが(ex.竹チャイム、ボンゴ、カスタネット、チェレスタ、クイーカ、シンバル、ログドラム、マリンバ、スネア、タンバリン、ゴング、ビブラフォン、木魚、チューブラベル、ティンパニ)、最初の 2 つの次元はそれぞれアタックタイムとスペクトル中心との相関を示した。これは 2 つの測定が基本的に我々の音色の理解に繋がっていることを提議する。

音楽家と音楽家ではない人達の間にはわずかであるが違いがみられた。Lakatos は音楽家のほうが MDS の軸への重みが強く、それは音楽家のほうが特殊な音刺激群への慣れが強いからだと推測した。ツリーモデル分析によるクラスターは楽器の素材と励起の

方法に関連する線によって分割された。木のバー、メタルのバー、そしてチューブが最初のクラスターを作った。一方メタルのプレートは単体で 2 つめのクラスターを作った。最後のクラスターの主要な楽器は膜鳴楽器であった。

最終的に MDS は組み合わせセットにも実行され、ハーモニックセット単体で行ったものと非常に似た結果を示した。2 つの次元はアタックタイムとスペクトル中心との強い相関を示し、水平方向には衝撃的な音と持続音が分かれて布置されることになった。音楽トレーニングによる差異はみられなかった。ハーモニック刺激の文脈においてパーカッション刺激がツリーモデルにより再びクラスタリングされ、楽器の素材により分割され、更に吹奏楽器のグループの中にクラスタリングされた。

Lakatos の研究は過去の MDS による研究では言及されていなかった、ピッチが無い楽器やノイジーな楽器を含んだより多様な音セットによる実験といったことへの挑戦を含んでいた。彼の発見は、この音の多様性によって新たな知覚次元は生成されなかった、という点において注目すべきである。言語的な手法と MDS による手法の両方の過去の研究で発見されて来たように、スペクトルの質量の中心が知覚判断においてはすぐれた予測子であった。アタックの長さはもう一つのよく確認された音色の音響的な相関であり、確認された明確な予測子はこの 2 つのみであった。

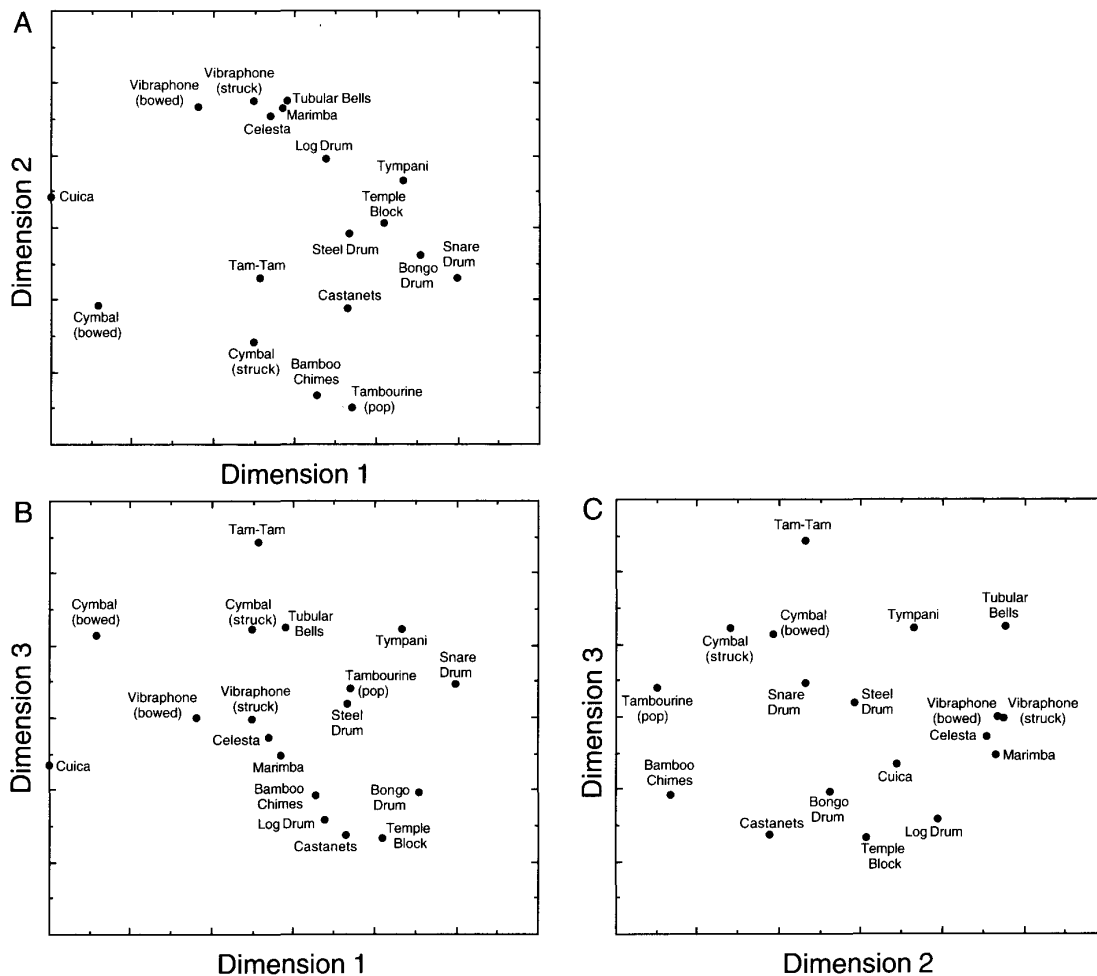


図 3-7 Lakatos[39]における、打楽器音を音刺激群として行った聴覚実験の MDS による 3 次元図。次元 1 は各音刺激のアタックタイムとの相関がみられ、次元 2 はスペクトル中心との相関がみられた。次元 3 は音響特徴量との相関はみられなかったが、評定尺度法から導き出された因子である「richness」との関連がみられた。

3-2-2-2 日本における打楽器音の研究

上記の先行研究は海外における研究が主であるが、日本においても打楽器音及び打楽器音色の研究は行われている。本節ではそのいくつかの例をあげる。

池田ら[78]は、Rossing と同様にスネアドラムのドラムヘッドと胴のモード解析を主軸にした研究を行い、チューニング、スナッピー、ミュート、スティックなどの違いによるスネアドラムの音色の変化について、パワースペクトルを観察することで分析を行っている(2 章参照)。モード解析の結果、スネアドラムの胴におけるモードは、パーツの無い状態では均等な間隔で発生するが、ラグやストレイナー等の各パーツが付けられることによってモードが不定形な形状になることが観測された。一方、不均一なチュー

ニングを施したドラムヘッドのモード解析においては、「ヘッドの振動モードには余り影響が表れないことがわかった」と述べており、前述した Worland の周波数分離のような事例については触れられていない。

上野山ら[80]は、楽器音の感性的な評価を工学的なパラメータから予測するシステムの一貫として 8 種類のバスドラムの音を用いて SD 法による心理実験を行い、それらの結果を因子分析したものと各パラメータとの相関を選定し、重回帰分析を用いて両者の定量的な対応付けを行った。その結果、因子は金属性因子と迫力因子の 2 つがみられ、各因子とは音の立ち上がり時間、高域帯域成分の直線減衰係数、低域周波数におけるピーク周波数との相関がみられた。

戸井[82]は、音響シミュレーションに関する研究の一部で、シミュレーションによって作成された、サイズや材質の異なる仮想的なスネアドラムの音色と 7 つの評価語対を使用して音質評価実験を行った。響き線の有無によって 2 回の試聴実験を行い、その結果を主成分分析したところ、響き線の無いドラム音の主成分は 2 つ、響き線の有る状態でのドラム音の主成分は 3 つであることがわかった。また、響き線の有無による実験結果の比較に対し、大きな差異はみられなかったとし、シミュレーションにおけるスネアドラムの音色評価は響き線の無い状態での評価が可能であると述べている。

3-3 打楽器音との関係がみられる音響特徴量

本章においては、先行研究によって打楽器音の音色と何らかの関係がみられるとする音響特徴量について述べる。

今日、マシンラーニングによる楽器音の自動判別プログラムに関する研究を中心に、多くの音響特徴量が楽器音の違いとの関係を調べるために使用されている。マシンラーニングとは、人工知能における研究課題の一つで、人間が自然に行っている学習能力と同様の機能をコンピュータで実現しようとする技術・手法である。

上記のように、音響心理的な分野における打楽器音の研究はまだその数は非常に少ないが、打楽器に関連した楽器音判別に関するプログラムの研究にはいくつかの先行研究がある。Schloss[56]はコンガのストローク(叩き方)のタイプについて、スペクトルの任意の位置における相対エネルギーを用いて判別を行った。彼は高音と低音、オープンサウンド、モフ、スラップとバスの音の判別に成功した。McDonald[45]は多くの打楽器音から、スペクトル中心のエンベロープを音の階層化の特徴として用いた。Sillanpaa[59]はスペクトルの形状描写を使用し、ドラムセットの 5 つの基本カテゴリ(バスドラム、スネアドラム、タムタム、ハイハット、シンバル)の判別に挑んだ。

Herrera ら[28][29]は、音楽録音物においてドラムトラックを自動判別することを将来的な目標に、そしてそのための一歩として、単一の楽器音を様々な音響特徴量を用いて自動判別するマシンラーニングプログラムについての研究を行った。実際の楽器音と、電子楽器音計 33 種類の楽器の音を、合計 1394 種類用意し、それらの楽器音の音響特徴量を最大 207 種類使用して学習プログラムを構築した。これらの音響特徴量の中には自動判別の精度を下げるものも含まれる可能性があったため、それらの中からどの音響特徴量を使用することで最良の学習結果が得られるかも、各特徴量の時間的/スペクトルのといったカテゴリによる抽出法と、特徴量の抽出アルゴリズムの両方の手法から比較された。その結果、学習後のテストにおける全体での正答率は、高いものでは 80% を超える数値を見せた、というものである。

Herrera らが使用した音響特徴量は、スペクトル的な要素のものと時間的な要素のもの合計 89 の特徴量をもとに、それらの対数をとる等の変化を施すことで得られた合計 204 種類のものではあった。この中から他の先行研究などでも使用がみられた主な音響特徴量を以下に挙げたい。

3-3-1 時間に関する音響特徴量

3-3-1-1 Zero-Crossing Rate

音の波形は正値から負値へ、負値から正値へと変化する際に 0 の値を通過する。その 0 を通過する頻度により音色の特徴を表す手法が音声認識などで使用されている。打楽器音には Gouyon ら[20]がマシンラーニングの分野において打楽器音の自動判別のために初めて使用している。

3-3-1-2 アタックタイム

音の発生から最初の音のピークに至るまでの時間。Lakatos[39]は打楽器音の音色評価の主要な 3 つの軸の一つが、アタックタイムの対数をとった Log アタックタイムであると述べている。また上野山ら[80]の研究ではバスドラムの音色評価実験の因子分析結果から得られた因子とアタックタイムとの相関がみられた。

3-3-1-3 時間中心(Temporal Centroid)

音を時間変化するエネルギーと捉えた際に、その時点を分割点として時間上の前後のエネルギーが等しくなる点。Lakatos の提唱する打楽器音色の 3 評価軸の 1 つであり、

またマシンラーニングの分野においても Herrera ら等によって使用されている。

3-3-1-4 Sustain Time 60(ST60)

室内の残響時間を測定する際に用いる T30 という指標をスネアドラム音に適用させ、スネアドラム音が発音のピークから-60dB まで減衰する時間を測定したもの。筆者の先行研究(2008)(2011)において、スネアドラム音色評価の主要な 2 軸のうちの 1 つがこの ST60 との相関を示した。

3-3-2 周波数スペクトルに関係する音響特徴量

3-3-2-1 スペクトル中心(Spectral Centroid)

各音のエネルギーの総和から、その点を分割点として周波数上の上下のエネルギーが等しくなる点。Lakatos による打楽器音色の 3 評価軸の 1 つであり、また筆者による先行研究においても、スネアドラム音色の評価軸の主要な 2 軸のうちの 1 つと強い相関を示している。

3-3-2-2 Spectral Flatness

各音のスペクトルの幾何平均と算術平均の間の比であり、スペクトルの形の概念を与える値である。値は 0 から 1 の間で変動し、1 に近づく程スペクトルがより「ホワイトノイズ的」であることになり、値が低ければより「音楽的」な音といえる。Herrera らによってマシンラーニングにおける打楽器音の自動判別に使用されている。

3-3-2-3 Spectral Skewness

スペクトルの形状の非対称性を指し示す値で、-3 から+3 または-2 から+2 の間で変動する。Herrera らによってマシンラーニングにおける打楽器音の自動判別に使用されている。

3-3-2-4 Spectral Kurtosis

スペクトルの形状の集合/分散について描写する値で、この値が大きくなれば、音のスペクトルが分散傾向にあることを示し、逆に小さくなると、一つのピークに対しエネルギーが集合している音であることを示す。Herrera らによってマシンラーニングにお

ける打楽器音の自動判別に使用されている。

3-3-3 メル周波数ケプストラム係数(MFCC)

音を、メル尺度という人間の知覚に近い尺度で周波数的に分割し、そこから複数のベクトルとして導き出される値で一般的には音声認識に使用される^{xiii}。

一般的に MFCC は 12 次元もしくは 13 次元のベクトルとして数値が算出され、それらを人間の声の声道特性として扱う研究が成されてきた。その応用性の高さから音声の自動認識、音色に関連した音楽情報の検索などに使用されてきたものの、具体的に MFCC の数値が人間の音色知覚とどのような関係性にあるかは調査されてこなかった。Terasawa ら[65]は、スペクトルエンベロープによる音色の違いの知覚を MFCC によって測定できるのではないかと、という仮説から、スペクトルエンベロープが段階的にコントロールされた複合合成音と MFCC の、知覚された音色の相違との関係を確認した。その結果、MFCC は 12 の係数それぞれが個別に人間の知覚と線的に符合するスペクトルエンベロープ知覚の測定的な記述子となりうること、MFCC がスペクトル中心との相関がみられることを提示した。また、Herrera らのマシンラーニング分野においても打楽器音の自動判別アルゴリズムに組み込まれ使用されている。

3-4 筆者による過去の研究結果

この節では 2008 年[81]と 2011 年[82]に論文として発表された、筆者による先行研究について述べる。前述した先行研究には、スネアドラムの音色について、実際の楽器を音刺激として使用し、定量的な評価を目的とした印象評価実験が不足していた。また、対象を打楽器に制限しない、音色に関する包括的な先行研究において、使用される音刺激は音の長さや大きさ、ピッチを固定したものが使用されるのが主であった。実験的な妥当性は高いものであったが、筆者は演奏者の視点から、より実践的な実験を行いたいと思い、実際のスネアドラムの録音音源を使用した試聴実験を行った。

3-4-1 『スネアドラムの音色について』(2008)

先行研究の不足から、この研究においては、複数のスネアドラム音について、出来るだけ多くのスネアドラム音を使用し、その音色の違いがどのような印象の違いを与えるかを調べることを目的とした。新たに録音した 10 台のスネアドラムの一発の励起による 10 種類のモノラル音源と、スネアドラムの音色表現に一般的に使用される 8 つの評

価語を用いて一対比較法と評定尺度法による試聴実験を行い、MDS と重回帰分析によって分析を行った。試聴実験は東京芸術大学千住キャンパス内にある音響制作スタジオで行われた。被験者は筆者 1 名を含む 17 名である。被験者は各スネアドラム音源をスピーカー再生され、それらに対し一対比較による相違度の評価と、8 つの評価語に対する評価をそれぞれ 5 段階で評価した。各音刺激はドラムヘッドの中心を一発叩いた演奏によるものであり、聴感上の音の大きさは録音後の編集作業において可能な限り一定となるように調整した。

略称	メーカー	サイズ	胴の材質
400	Ludwig	14"x5"	金属(スチール)
402	Ludwig	14"x6"	金属(スチール)
Bel	TAMA	14"x6.5"	金属(ベルブラス)
Bub	TAMA	14"x5.5"	木材(バーチ,ブビンガ)
Cpl	TAMA	14"x5"	金属(スチール)
DW	DW	14"x7"	金属(ブラス)&木材(メイプル)
Pcl	Pearl	14"x3.5"	金属(ブラス)
Son	SONOR	14"x6.5"	木材(バーチ)
Tmb	TAMA	14"x6.5"	木材(メイプル)
Vst	Ludwig	14"x5"	その他(アクリル)

表 3-5 2008 年[81]の実験で使用した 10 台のスネアドラムの詳細。

張りのある	ざらついた	鋭い	芯のある
重い	迫力のある	やわらかい	抜けがある

表 3-6 2008 年[81]及び 2011 年[82]の実験で使用した評価語。一般的にスネアドラムの音色の表現に使われる形容詞を筆者が選定した。

2 つの実験と分析の結果、各スネアドラムの音色の心理的距離にもとづく二次元上の図表と、8 つの評価語による音色の印象評価との関連についての分析結果を得ることができた。以下の図 3-8 は MDS によって 10 のスネアドラム音色の相違度による心理的距離を二次元の座標上に配置した空間の中に、評定尺度法によるそれぞれの評価語による判断が MDS による 2 つの各次元とどれくらいの関連があるか、を原点から引かれた赤色の直線の方角とその長さによって表した図である。これらの二つの次元の軸がどの

ような構成要素であるのかを考察し、スネアドラムの音色の成分を、スナッピー（響き線）を中心とする高音部と胴鳴りを中心とする低音部から成ると仮定し、各スネアドラムの音源を 2kHz を境に高音部と低音部に分割し、それぞれのスペクトル中心と ST60 を算出し、二つの次元との相関係数を求めた。その結果、MDS によって得られた二つの次元はそれぞれ、2kHz 以下の ST60 と、2kHz 以下のスペクトル中心と強い関連がある事が示された。また、次元 2 に関しては、金属胴と木胴を組み合わせた胴をもつスネアドラム DW より上部に木胴のスネアドラムが布置され、下部に金属胴のスネアドラムが布置された。以下がこの研究において得られた、一対比較法と MDS による二次元図表に、評定尺度法と重回帰分析によって得られた各評価語の二次元図上の方向と強さ、そして各軸の構成要素を考察した図である。

この研究は、複数のスネアドラムの音色の印象評価を行う、という学術的に前例の無い研究の第 1 段階としての意味合いが大きく、更なる研究を進めるに当たっては刺激間の変数を絞り込んでいく必要がある、という課題が残された。更に、この研究において得られた 2 次元図表から、「胴の素材が木か金属か」という違いはスペクトル中心と関連がみられ、聴取者達の印象に何らかの変化を与えているようであるが、金属胴の中の金属の種類や木胴の中での木材の種類、そして胴の深さの違いに関しては何らかの印象変化の傾向を感じさせるものは無かった。このことから、スネアドラムの素材や深さの変化は聴取者の印象にどのような影響を与えるのか、そこに、例えばドラム関連の雑誌で言われているような何らかの傾向は存在しているのだろうか、という疑問も起こった。これらの点を踏まえ、2011 年に更なる実験を行った。

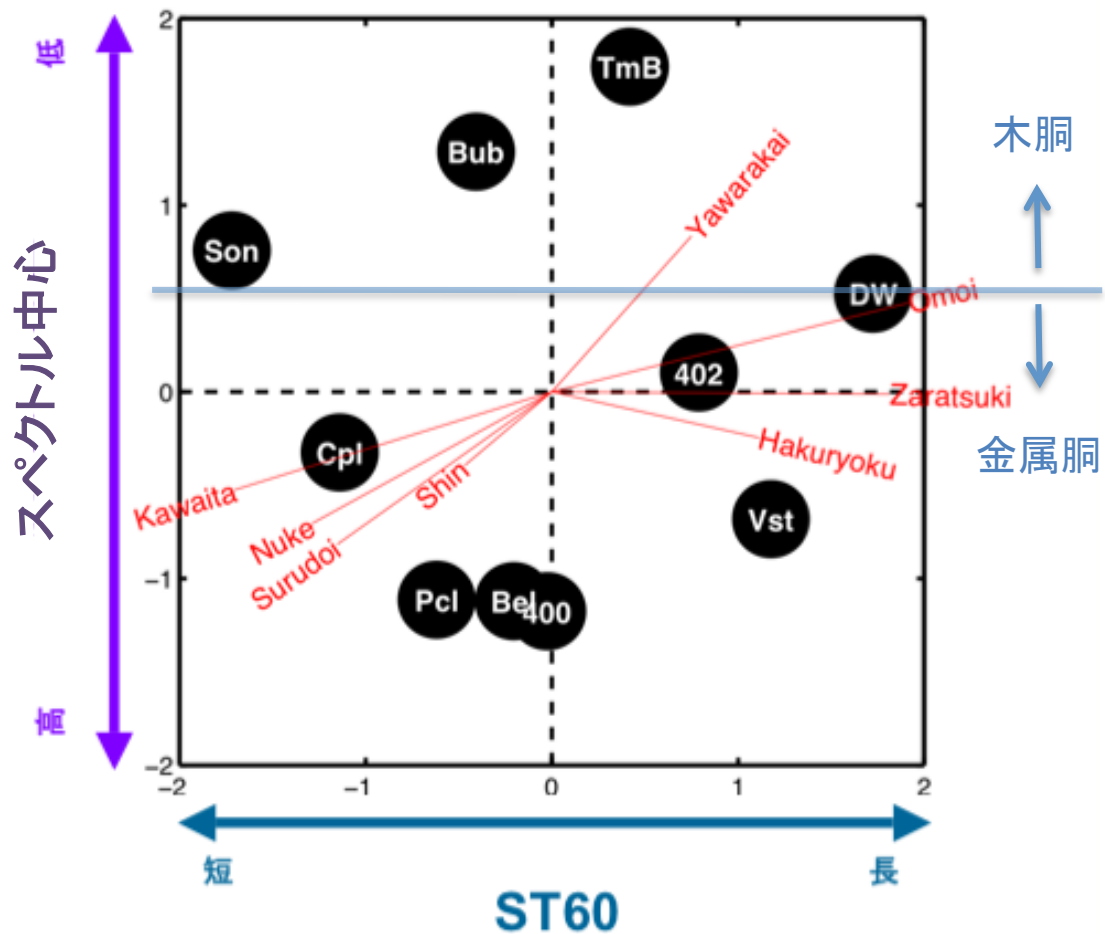


図 3-8 筆者の先行研究における実験・分析・考察によって最終的に得られた、MDS による二次元図表に各評価語の方向性と関連性の強さを表したもの。二次元上に算出された 10 台のスネアドラムの心理的距離の布置は、それぞれの点の間の距離が、音色の印象の心理的距離に対応しており、2 点間の距離が近いものほど「音色が似ている」、遠いものほど「音色が似ていない」ということになる。それぞれの評価語による判断が、MDS によって提示された 2 つの各次元と、どれくらいの関連があるかが、原点から引かれた赤色の直線の方角と、その長さによって表されている。これらの分析結果と、相関係数による考察から、各次元の構成要素について、次元 1 を「ST60」の長短、次元 2 を「2kHz 以下のスペクトル中心」の高低と解釈した。また、次元 2 は音刺激 DW を境に、上側に木胴のスネアドラムが、下側に金属胴のスネアドラムが布置される結果となった。

3-4-2 『スネアドラムの音色の変化による心理的印象の変化についての一考察』

(2011)

2008 年の研究においては、できるだけ多数の、様々な種類のスネアドラム音を実験用音刺激として使用した。これは、できるだけ変化の幅の大きな音刺激を用意し、スネアドラム音色の音色評価がそもそも可能であるかを確かめる、という側面があったため

である。2011 年の研究では、1 台のスネアドラムごとに複数の音刺激を作成し、複数のスネアドラムから得られたそれらの音刺激どうしを比較する、という、より変化の細かな音刺激を使用した。また、2008 年の研究において用意された 10 台のスネアドラムは、素材やメーカー、フープの種類などがそれぞれ大きく異なったスネアドラム達であったが、それらの変数を削減する為に同一メーカーのスネアドラムのみを使用している。実験の手法については 2008 年の研究の手法を踏襲した。

この研究においては変化する構成要素の数が限定された刺激群から各構成要素についての認識を深めていく過程が必要であると考え、その第一段階として

- ◆ 打面ヘッドのチューニング
- ◆ スネアドラムの胴の素材
- ◆ スネアドラムの胴の深さ

の 3 つの要素に着目し、それぞれ 2 種類または 3 種類の変化を与えることで、各要素がスネアドラム音色の印象に与える効果や、各要素間の関係性についての分析・考察を試みようと考えた。

3 台のスネアドラムの打面ヘッドのチューニングをそれぞれ High,Medium,Low の 3 種類ずつ変化させることによって $3 \times 3 = 9$ 種類のスネアドラム音色を作成し、それらを刺激として音色の印象評価実験を行うことにした。これら 9 種類の音色の比較から、スネアドラム個々のサイズや素材によるものと、チューニングによるものとの領域についての考察を行うためであった。チューニングに関しては裏面ヘッドのチューニングも構成要素の一つであるが、今回は構成要素の絞り込みのために、打面ヘッドの張り具合のみに限定した。これら 9 つの刺激を、2008 年の研究と同様に一対比較法と MDS、評定尺度法と回帰分析という二つの実験・分析を用いて得られる二次元図表を基に考察を行った。表 3-7 がこの実験に使用された 3 台のスネアドラムについてのリストである。胴のサイズと材質以外のパーツによる差異を最小限にするためメーカーは米国 Ludwig 社で統一され、口径 14 インチ×深さは 5 インチまたは 6 インチ、材質も金属とアクリルの 2 種類に限定した。また、使用するドラムヘッドやスナッピーの種類も統一した条件の中で音刺激を作成した。

略称	メーカー	型番	サイズ	胴の材質
A	Ludwig	LM400	14"x5"	スチール
B	Ludwig	LM402	14"x6.5"	スチール
C	Ludwig	LS901V	14"x5"	アクリル

表 3-7 2011 年[81]の試聴実験に使用された 3 台のスネアドラムについての詳細。サイズに関しては左の数字が胴の口径、右の数字が胴の深さである（ともにインチ表記）。

各スネアドラムのチューニングは **High:1**、**Medium:2**、**Low:3** と表記した。これら 9 つのスネアドラム音は 2008 年の研究同様にモノラル録音された。2008 年の研究と同様の 8 つの評価語を用いて一対比較法と評定尺度法による試聴実験を行い、MDS と重回帰分析によって分析を行った。試聴実験は東京芸術大学千住キャンパス内にある音響制作スタジオで行われた。被験者は筆者 1 名を含む 19 名である。被験者は各スネアドラム音源をスピーカー再生され、それらに対し一対比較による相違度の評価と、8 つの評価語に対する評価をそれぞれ 5 段階で評価した。回帰分析による分析結果を MDS 座標図に反映させたものが以下の図 3-9 である。

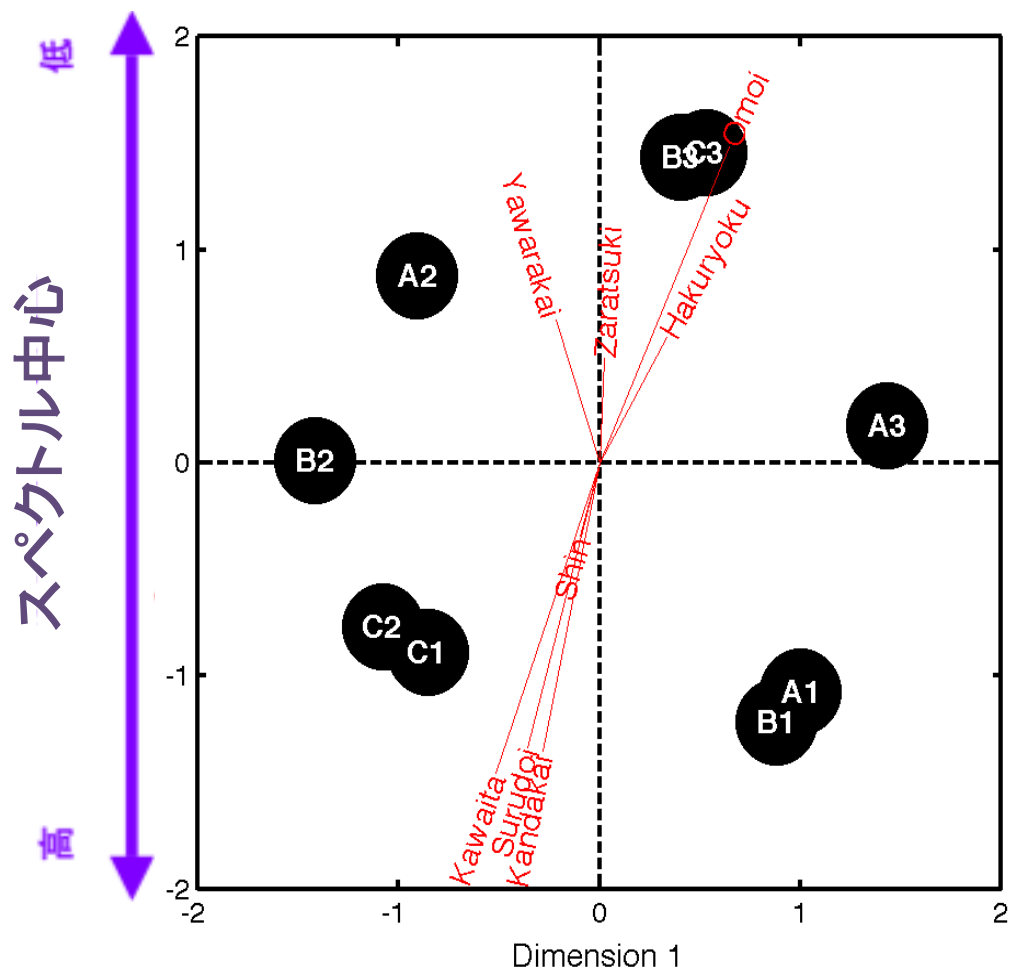


図 3-9 2011 年の実験[82]における、試聴実験から得られた MDS の図表に回帰分析による各評価語の方向性を表した図。次元 1 には相関の強い音響特徴量は発見出来なかったが、次元 2 にはスペクトル中心、特に 2kHz 以下のスペクトル中心との強い相関がみられた。

二つの実験の結果を受けて、MDS によって得られた 2 つの次元における各刺激の値と物理的なパラメータとの関連を求めて相関係数を算出し、各次元軸がどのような物理パラメータとの関係があるかを探索した。その結果、次元 1 の値との間に強い相関を感じさせるパラメータを見つけることは出来なかった。次元 2 に関しては 2008 年の研究における次元 2 と同様に、2kHz 以下のスペクトル中心と強い関連がある事が示された。また、次元 2 にはチューニングの高低がある程度反映されており、スペクトル中心はチューニングによって変化することが示唆された。

これらの結果から、2008 年の研究と同様に「被験者はスネアドラムの音色を聴き分け、そして分類している」ということがみられ、スネアドラムの種類またはチューニングによって、被験者に何らかの印象的な変化が起こっているということがわかった。

また、各評価語と MDS の各次元との関係は、2008 年の実験においては音の長さと

の関連のある ST60 と多くの評価語が強い関連がみられたが、今回は ST60 との相関を示した次元が確認されなかった結果、多くがスペクトル中心との関連を見せた次元 2 との関係を示した。これは 2008 年における研究とは異なった傾向であった。

各音刺激の相違に関する評価としては、チューニングによって互いに「非常に似ている」という評価を得られたものと、そうでないものがあった。例えば High チューニングであった A1 と B1 と C1 は、胴の材質が同じ A1 と B1 は「非常に似ている」と被験者達に判断されたが、材質の異なる C1 に関しては同一のスネアドラムのチューニング違いである C2 との間に「非常に似ている」という判断をされた。

これらの分析結果からは「金属胴スネアドラムとアクリル胴のスネアドラムの間では、チューニングの範囲によっては音色を近づけることが難しい」という解釈ができる。また、C3 と B3、A3 の関係をみると、胴のサイズは同一で胴の材質が異なる関係にある C3 と A3 よりも、胴のサイズと材質両方の異なる C3 と A2 のほうが音色の印象として近しい関係にある、という判断をされており、これは「低いチューニングを施した際には、アクリル胴のスネアドラムの音色に金属胴のスネアドラムの音色を近づけるには、目標となるアクリル胴のスネアドラムよりも胴の深い金属胴を使用する必要がある」と解釈することができる。

これらの結果から、「聴取者達はスネアドラムのチューニングの相違を何らかの感覚で聴き分けることができる」「チューニングが変化することでスペクトル中心の値も変化し、それにより多くの評価語の評点にも影響を与える」「異なるスネアドラムがチューニングを近づけても、チューニングの異なる同一のスネアドラムに強い類似性を感じることもある」ということがわかった。

2011 年の実験の反省点としては、評価語の選定に関して、結果的に次元 2 に方向性が集中する結果となってしまった。そのため、今後はスネアドラムの音色に関しての評価語の再検討を行い、評価語の選定を新たにした上で、もう一度、評定尺度法による実験を行ってみることが必要になると感じた。また、スネアドラムの音色の変化の幅がより繊細になったことに起因するのか、2008 年の実験では ST60 との強い相関を示した評価語群の多くが 2011 年の実験ではスペクトル中心との相関を示した。これはスネアドラムの種類を絞り込んだことで ST60 の変化の幅が音色の違いを評価できるほど大きくなかった可能性がある。

本研究の今後に向けては、今回関係性を明らかに出来なかった次元 1 の物理特性からの推定の為の更なる研究を、今回の考察において考えられた仮定の実証も含め行っていくことが必要であると思われ、その為にスネアドラム音源に対しての、アタック部分と余韻部分のような時間軸上での細かい分析を行っていく。また次元 2 の構成要素に関し

でも、2kHz以下のスペクトル重心、更に木胴のスネアドラムやメーカーによる差異など、多種多様なスネアドラムの音色のチューニングによる比較の中でも相関を示すのかどうかについても更に実験を行い実証していくことが望まれる。

3-5 まとめ

本章では、音色知覚研究における包括的な先行研究についての概要と、それらを大きく2つに分ける、評価語を使用した試聴実験によるものと、多次元尺度法(MDS)を用いた評価語を使用しない試聴実験について、それぞれの主要な研究を例示した。続いてスネアドラムや打楽器全般に関する先行研究と、それらの研究で考慮されている音響特徴量について簡潔に述べた。これらを踏まえて筆者が過去に行った研究についても概要を述べた。

まず、音色知覚の先行研究に関してであるが、Lichte[41](1941)から下って約70年強の間、様々な研究が行われて来たが、打楽器の音色知覚について、体系的な研究はまだ成されているとは言えない。その中でもLakatos[39]の研究は打楽器的な音刺激を多く使用しており、一つの指針となるであろう。また、Freed[19]のマレットの硬さに関する研究も、叩かれる対象であるメタルパンの変化よりも叩くものであるマレットの硬さの変化が重要である、という一例を挙げている。また、打楽器的な音色ではない音刺激を使用した先行研究に関しては、特に衝撃的な音であるスネアドラム音ではない定常的な音を使用していることが多く、音色知覚に関連してくる音響特徴量も異なってくるのではないかと、という予測がされるが、その実験手法等はスネアドラムを始めとした打楽器音の音色知覚研究に応用が可能であると思える。

打楽器音に関する研究としては、Rossingら[53]による膜鳴打楽器における膜上のモード周波数についての研究は一つの大きな指針とされ、多くの先行研究において引用されてきたが、Worland[75]やRichardsonら[53]等、ここ数年で、実際の不均一な張力のドラムヘッド上での観察が行われてきており、シミュレーションにおける研究とは別に実際の楽器音からの物理的な分析も行われて来ているところである。また、打楽器音の知覚に関係する音響特徴量に関しては先行研究からスペクトル中心やアタックタイムなどが特にその関係をみられてきた。筆者としてはTerasawa[65]の研究から、声洞特性を判別するために使用されてきた特徴量であるMFCCがスネアドラムの胴の音色的な特性を測定できるのではないかと、という可能性を感じた。

筆者の先行研究[81][82]からは、スネアドラム音の印象に関係する音響特徴量として、スペクトル中心とST60が確認された。スペクトル中心に関しては2つの実験どちらに

も相関がみられたが、ST60 に関しては 2011 年の実験においては相関がみられなかった。これらを踏まえ、次章からの本論文における 3 つの実験について詳述していく。

^{ix} 参考文献[10][21][32][39][41][50]

^x T. R. Moore, “A simple design for an electronic speckle pattern interferometer,” Am. J. Phys. 72, 1380–1384 (2004).

^{xi} (Hall1986, Askenfelt & Jansson1993)

^{xii} F. Avanzini and R. Marogna, “A modular physically based approach to the sound synthesis of membrane percussion instruments,” IEEE Trans. Audio, Speech, Lang. Process. 18, 891–902 (2010)

^{xiii} B. Logan ‘Mel Frequency Cepstral Coefficients for Music Modeling.’ The International Society for Music Information Retrieval(2000)

4 章 実験 1:スネアドラム音のアタック部・ディケイ部の変化が音色の同定に与える影響

本章では本博士論文の骨子を成す 3 つの実験の 1 つめである、スネアドラム音のアタック部・ディケイ部の変化が音色の同定に与える影響について説明する。

4-1 実験に至るまでの経緯

まず、先行研究までの結果から得られたのは、「スネアドラム音の音色知覚にはスペクトル中心と ST60 という音響特徴量が相関をみせていること」、「スネアドラム音を表現する評価語については、2008 年と 2011 年の各実験において異なった結果を示したこと」「各スネアドラム音を、2kHz を境にフィルタリングし、2kHz 以下のスネアドラム音から算出したスペクトル中心は、音刺激全体のスペクトル中心よりも MDS によって作成された知覚次元に対し高い相関を示したこと」の 3 点であった⁰⁾。

これらを踏まえ、本論文の研究において筆者が課題としたのは、「評価語の見直し」「スネアドラム音の評価におけるドラム演奏経験や楽器演奏経験の有無が与える影響」「時間領域でのスネアドラム音の特徴を担う成分の考察」の 3 点である。

評価語に関しては先行研究において、筆者がドラム演奏者として一般的に用いると見なした評価語群を使用した¹⁾が、音色の評価を行うのはドラム演奏者だけではない。ドラム演奏者ではない聴取者も含めたディスカッションによってより適切な評価語群を抽出できるのでは、と考えた。

また評価語群と同様に、ドラム演奏者内でのみ共有出来るような音色評価の尺度や傾向といったものも存在するかもしれない。また、それが何らかの音楽経験の有無によった傾向の変化もみられるかもしれない、ということも考えられたため、実験における被験者グループの分割についても検討の必要性を感じた。

時間領域の成分考察であるが、前述の 2kHz を境としたスネアドラム音の高音部と低音部の分割はスネアドラム音をスナッピー主体のものと胴の音色主体のものに分け、また分析結果にも有益な効果をみせた。このような分割点²⁾が時間方向にも存在するのか、という疑問が成った。

これらの 3 点からまず最初に取り組んだのは、「時間方向でのスネアドラム音の特徴を担う領域の考察」であった。

4-1-1 時間領域でのスネアドラム音の特徴を担う成分の考察

過去の研究において、2kHz を境に周波数スペクトルを別個に観察したのは、2kHz 以上にスナッピーの音色が多く含まれ、2kHz 以下に胴やドラムヘッドの音色が多く含まれる、という戸井[83]の言及からである。また、この 2kHz という境界線はドラム演奏者である筆者の感覚的にも、同意できるものであった。この考察の結果、聴取者達の知覚次元とより相関の高い音響特徴量がみられた。このようなスネアドラム音色の、特徴的な成分を分割できるような点が、時間領域にも存在するのではないか、という考察がなされた。具体的には、スネアドラム音の、打撃と音の立ち上がりを中心としたアタック部と、余韻や胴の鳴りを中心としたディケイ部のどちらにスネアドラム音色の印象を導くための重要な要素が含まれているのかを調べようと思った。チューニングやミュートなど、スネアドラム音の音色を変更する手段は結果的に全体の音色に作用するような変化をもたらす。これに対して、最も効果的な音色の変更箇所がわかればより繊細かつ多様な音色変化の考察の足がかりになると考えたのである。

4-1-1-1 アタック部とディケイ部の定義

本論文におけるスネアドラム音のアタック部とディケイ部の定義は、アタック部を「スネアドラムの打面ヘッドを叩くことで励起される音の、励起による打撃音と打面ドラムヘッドの振動が主たる成分となる時間的領域」、ディケイ部を「スネアドラム音のアタック部の後に訪れる、主に胴の振動やドラムヘッドの共鳴などを主たる成分とした時間領域」とする。スネアドラム音をアタック部とディケイ部の 2 つの時間的領域から構成されるものとして本論文では捉える。例えばシンセサイザー等の音成分の時間変化にはアタック、ディケイ、サステイン、リリースの 4 領域が存在するが、持続音ではなく打撃音であるスネアドラム音の音響的特徴を考慮し、アタック部とディケイ部の 2 領域であるとみなした。

4-1-2 予備実験

本実験に対する予備実験として、2011 年の実験で使用したものと同一の 3 台のスネアドラム(スティール胴のもの 2 台、アクリル胴のもの 1 台)のアタック部とディケイ部を、音声編集ソフトを用いて聴感上で組み合わせた音源を作成した。これらの音源を用いて後述する 3 つ組法による評価聴感実験を行い、アタック部とディケイ部どちらの変化が聴取者にとっての音色の相違の判断に影響を与えるかを調べた。被験者は東京芸術

大学で録音や音響を学ぶ 12 名の学生で、3 種類の音色による 6 種類の組み合わせを 6 回ずつ計 36 問の出題を行った。その結果、のべ 432 問の回答のうち、412(95.4%)の回答でディケイ部の変化が重視された。アタック部の変化を重視する回答は 20(4.6%)のみであったが、全てアタック部の音色が違う材質(スチール胴のものからアクリル胴へ。またはその逆)に変化した音源によるものであったことから、「アタック部にスネアドラムの胴の違いによる特徴的な音がより多く含まれ、ディケイ部にチューニングの変化による音がより多く含まれているのではないか」という仮説が為された。この仮説の確認のため、より精密なスネアドラム音同士のアタック部とディケイ部の合成音を作成し、それによる試聴実験の実施・分析を行うことを本実験における目標とした。

4-2 実験手法

4-2-1 実験用音刺激の作成

実験用音刺激となる、アタックと余韻を変化させたスネアドラム音源の作成のための手法は、Primavera ら[51]による打楽器的な音を素材とした際の合成音の作成法を参照した。この研究は、打楽器的で非持続的な音同士の合成音をより自然なものとする為に、各音源をアタック部とディケイ部に分割し、それぞれ別の手法を用いて合成を行う、というものである。この研究内で使用された、各打楽器音において時間変化するスペクトル中心の値の推移が最初に谷間となる時点で音源をアタック部とディケイ部に 2 分割する、という方法を用いてスネアドラム音源の分割と再合成を行った。

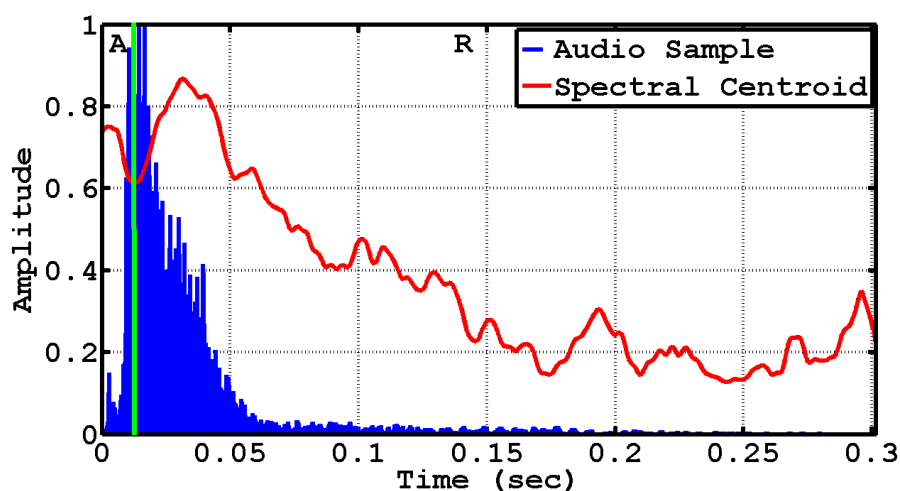


図 4-1 Primavera ら[51]による、スペクトル中心の時間変化からアタック部とディケイ部に分割する点を示した図の引用。赤線は時間変化するスペクトル中心を示し、青線は音源

の音圧波形を示している。水色の縦線が音源を分割する点であり、スペクトル中心の時間変化の中で最初に訪れる谷間の部分になっている。

4-2-1-1 素材となったスネアドラム音

本実験に使用したスネアドラム音源は筆者が東京芸術大学千住キャンパス内スタジオ B にて新規に録音したものである。各スネアドラムの種類と録音したマイク位置等の詳細は以下の表 4-1 と図 4-2 を参照されたい。胴以外の各パーツの違いを減らすためにメーカーは Ludwig 社に統一した 3 台のスネアドラムを使用し、チューニングをハイピッチとローピッチの 2 種類作成することによって 6 種類の音源を録音した。2 種類のチューニングは、通常のスネアドラムの演奏において使用されるチューニングの範囲から、高めのチューニングと低めのチューニングを施し、3 台の間で聴感上なるべく近いピッチになることを心がけてチューニングがされた。これらのスネアドラムを、打面ヘッドを 1 発叩いた音を録音し、聴感上同じ音量となるように Protools 上の Gain 機能でレベルの調整を行った。各音源はビットレート 16bit、サンプリング周波数 48000Hz のモノラル音源である。

略称	メーカー	型番	サイズ	胴の材質
A	Ludwig	LM400	14"x5"	スチール
B	Ludwig	LM402	14"x6.5"	スチール
C	Ludwig	LS403	14"x6.5"	メイプル

表 4-1 実験用音源の作成に使用したスネアドラム一覧

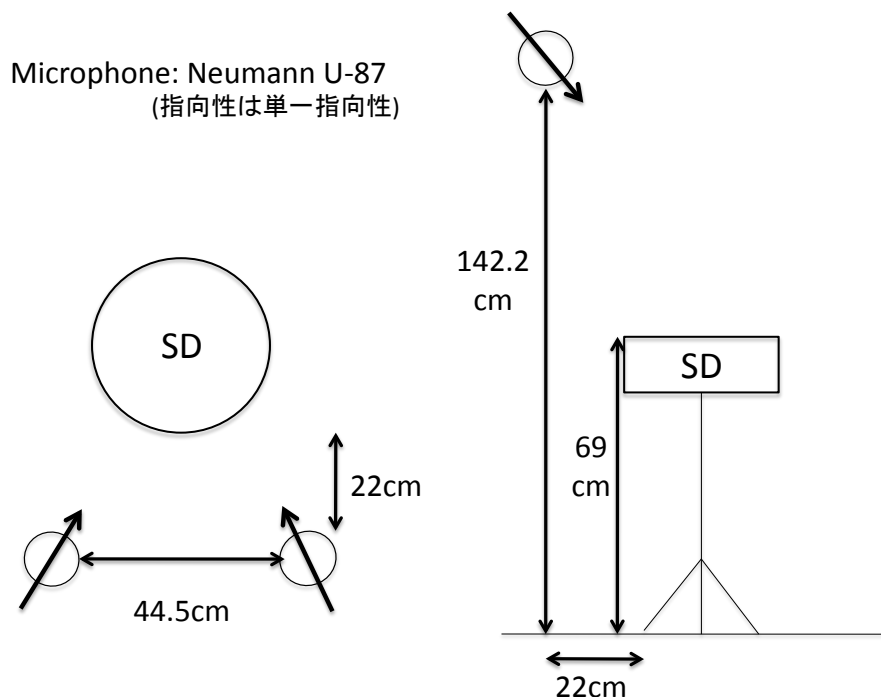


図 4-2 実験用スネアドラム音源の録音セッティング。今回の実験ではステレオ収録したマイクロフォンのうち左側のマイクで収録した音のみを使いモノラル音源とした。

録音されたスネアドラム音源はアタック部とディケイ部に分割され、各実権用刺激として異なった音源同士で結合された。これにより、3 台のスネアドラムと 2 種類のチューニングから、計 30 個の合成音源を作成した。実験にはスネアドラム A とスネアドラム C による組み合わせによる音源 8 つは使用しなかったため、合成前の音源を含め 28 種類のスネアドラム音を実験に使用した。各音源のビットレート等は合成前と同様で、長さは全て 4 秒以内であった。

4-2-2 三つ組法による試聴実験

合成されたスネアドラム音源を使用し三つ組法による評価実験を行った。三つ組法による評価実験は、設問ごとに 3 つの刺激を提示し、その中から最も相違度の高いと思われるものを選択・回答するという実験である。今回の実験ではこの 3 つの刺激を、合成前のスネアドラム音源、アタック部を他のスネアドラム音源に差し替えたもの、ディケイ部を他のスネアドラム音源に差し替えたものの 3 種類を用意し、その中から最も印象の異なるもの(音源のピッチや余韻の長さ等、印象についての判断基準について、特定の何かを意識するべきといった指示は実験者からは行なわなかった)を選ぶ、という形で行なった。三つ組法による実験は、同一の胴の素材同士で胴のサイズの異なるスネア

ドラム A と B による合成音を使用した刺激群を提示するもの(以下、セッション I と表記)と、胴の素材が互いに異なるスネアドラム B と C による合成音を使用した刺激群を提示するもの(以下、セッション II と表記)の 2 種類を行い、スネアドラムの胴の深さ及び材質の違いが被験者の回答に変化をもたらすかを調べた。各セッションでは 36 の設問が提示され、回答者は 3 つのスネアドラム音の中で最も印象の異なる音と思われる音を、1~3 の番号で回答した。各設問は約 15 秒で、2 つのセッションに平均約 20 分が所用された。

4-2-3 実験会場と実験参加者

実験は東京芸術大学千住キャンパス内の教室で行われた。実験参加者は同学の学生と教員のべ 26 名である。録音及び音響について学ぶ学生が主で、ドラム演奏の経験については問わなかった。刺激は PC から再生され、各参加者はヘッドフォンでダイオティック聴取^{iv}した。設問は全部で 72 問であった。

4-3 実験結果

2 つのセッションの回答結果は、表 4-2 及び表 4-3 を参照されたい。表 4-2 はセッション I の、表 4-3 はセッション II の結果を表したもので、左 1 列目の Stimuli は各設問で提示された音刺激を表している。音刺激は「A」「B」「C」がスネアドラムの種類を表し、「H」「L」がチューニングのハイとローを表している。各 Stimuli の項には 3 つの音刺激が示されており、これは左から「変化を与える前の音源 – アタック部を差し替える音源 – ディケイ部を差し替える音源」という表記がなされている。左から 2 列目の Original が変化を与える前のスネアドラム音を選択した数、3 列目 Attack がアタック部の変化したスネアドラム音を選択した数、3 列目 Decay がディケイ部の変化したスネアドラム音を選択した数を表している。右端列の p-Value はカイ 2 乗検定によって算出された各回答の p 値である。アタック部の変化が回答の過半数を得たものは水色で、ディケイ部の変化が回答の過半数を得たものはオレンジ色で色づけをしてある。各刺激間における有意性を調べる為、結果はまずカイ 2 乗検定によって各回答の p 値を算出した。その結果セッション II において、統計学的有意水準である $\alpha=0.05$ を上回ったものが 1 問、更に $p=0.05$ となったものが 1 問あり、これらの設問結果は考察からは除外した。この除外される基準を示した p 値と、各設問における最も回答数の多かったものについては、表 2 において太字の表記をしている。各設問の回答は各被験者がスネアドラムの音色の同定判断の基準としてアタック部とディケイ部どちらを重視し

ているか、の表出と解釈し、合成前の音を選んで回答した場合については合成音になることで合成前の音に対して何らかの特徴的な変化が起きている、と見なした。2つのセッション両方の多くの設問において、最も印象の異なる音としてディケイ部の変化した音源を回答した設問が多く、アタック部の変化した音源が他の2つの音源よりも多く回答された設問はセッションⅠでは36問中2問、セッションⅡでは同じく36問中5問となった。また、変化前の音源が他の2つの音源よりも回答数で上回った組み合わせは無かった。まず、仮説「アタック部に個々のスネアドラムの胴のもつ特徴的な音、ディケイ部にチューニングによって変化させることが可能な音がより多く含まれている」から、セッションⅡにおいてアタック部の音源がスネアドラムBからCへ、またはその逆といったようにもう一方のスネアドラムの音に変化する場合に、スネアドラムの胴の材質が異なることから、最も印象の異なる音としてアタック部の変化した音源を回答する事例がセッションⅠのときよりも増える、という結果が予測されていたが、そのような結果は見られなかった。むしろ各セッションの回答において重視されたのはチューニングの変化で、変化前の音源とディケイ部を変化させた音源のチューニングが同一のもので、アタック部を変化させた音源のみがもう一方のチューニングとなっている組み合わせの際に、アタック部を変化させた音源を回答する割合が上昇した。このことから、アタック部にもチューニングによる音色の変化が影響を与えていること、チューニングによる変化がスネアドラムの胴の違いよりも大きな影響を与えていることがわかった。

Session I					Session II				
Stimuli	Original	Attack	Decay	p-Value	Stimuli	Original	Attack	Decay	p-Value
AH-AL-AL	0	4	22	0	BH-BL-BL	0	5	21	0
AH-AL-BH	4	4	18	0.001	BH-BL-CH	1	14	11	0.005
AH-AL-BL	2	1	23	0	BH-BL-CL	0	5	21	0
AH-BH-BH	1	9	16	0.002	BH-CH-CH	2	3	21	0
AH-BH-AL	1	9	16	0.002	BH-CH-BL	2	1	23	0
AH-BH-BL	1	2	23	0	BH-CH-CL	0	0	26	0
AH-BL-BL	0	14	12	0.001	BH-CL-CL	2	4	20	0
AH-BL-AL	2	12	12	0.02	BH-CL-BL	1	5	20	0
AH-BL-BH	5	16	5	0.01	BH-CL-CH	4	17	5	0.002
AL-AH-AH	3	0	23	0	BL-BH-BH	0	3	23	0
AL-AH-BH	0	0	26	0	BL-BH-CH	1	2	23	0
AL-AH-BL	1	1	24	0	BL-BH-CL	3	8	15	0.015
AL-BH-BH	0	3	23	0	BL-CH-CH	1	5	20	0
AL-BH-AH	0	2	24	0	BL-CH-BH	1	4	21	0
AL-BH-BL	0	1	25	0	BL-CH-CL	1	15	10	0.003
AL-BL-BL	1	3	22	0	BL-CL-CL	6	3	17	0.002
AL-BL-AH	1	1	24	0	BL-CL-BH	0	1	25	0
AL-BL-BH	0	6	20	0	BL-CL-CH	2	1	23	0
BH-AH-AH	2	1	23	0	CH-BH-BH	6	6	14	0.085
BH-AH-AL	0	0	26	0	CH-BH-BL	0	2	24	0
BH-AH-BL	1	1	24	0	CH-BH-CL	1	1	24	0
BH-AL-AL	3	2	21	0	CH-BL-BL	4	7	15	0.023
BH-AL-AH	2	1	23	0	CH-BL-BH	4	14	8	0.05
BH-AL-BL	0	1	25	0	CH-BL-CL	0	6	20	0
BH-BL-BL	2	10	14	0.01	CH-CL-CL	1	3	22	0
BH-BL-AH	2	5	19	0	CH-CL-BH	1	17	8	0.001
BH-BL-AL	0	11	15	0.001	CH-CL-BL	3	4	19	0
BL-AH-AH	0	8	18	0	CL-BH-BH	0	4	22	0
BL-AH-AL	4	4	18	0.001	CL-BH-BL	1	4	21	0
BL-AH-BH	0	9	17	0	CL-BH-CH	2	3	21	0
BL-AL-AL	1	0	25	0	CL-BL-BL	7	1	18	0
BL-AL-AH	0	2	24	0	CL-BL-BH	2	0	24	0
BL-AL-BH	1	3	22	0	CL-BL-CH	1	4	21	0
BL-BH-BH	2	4	20	0	CL-CH-CH	1	8	17	0.001
BL-BH-AH	0	2	24	0	CL-CH-BH	0	7	19	0
BL-BH-AL	2	1	23	0	CL-CH-BL	8	5	13	0.15

表 4-2 三つ組法による試聴実験のセッション I の結果を表した表。左 1 列目の Stimuli は各音刺激を表しており、「変化を与える前の音源(例えば AH: スネアドラム A のハイチューニング。BL: スネアドラム B のローチューニングとなる。) – アタック部を差し替える音源 – ディケイ部を差し替える音源」という表記がなされている。、2 列目 Original が変化を与える前のスネアドラム音を選択した数、3 列目 Attack がアタック部の変化したスネアドラム音を選択した数、3 列目 Decay がディケイ部の変化したスネアドラム音を選択した数を表している。右端列の p-Value はカイ 2 乗検定によって算出された各回答の p 値である。アタック部の変化が回答の過半数を得たものは水色で、ディケイ部の変化が回答の過半数を得たものはオレンジ色で色づけをしてある。セッション II では統計学的有意水準である $\alpha=0.05$ を上回ったものが 1 問、更に $p=0.05$ となったものが 1 問あり、これらは p-Value の欄を赤で色づけしてある。

4-4 考察とまとめ

以上の結果から、スネアドラム音源の相違の判断にはアタック部よりもディケイ部の変化がより重視されているという解釈が成り立つ。しかしアタック部の変化が重視された設問もあり、アタック部が音色の同定に全く影響を持たないということでもなく、何

らかの影響は与えているのではないかと解釈できる。アタック部の変化が音色の同定にとってより大きな影響をみせた設問は2つのセッション内で合計6問であったが、どの設問も変化前の音源に対し、変化後のチューニングがローからハイ、もしくはハイからローへと変化しているものばかりであり、アタック部のチューニングの変化における影響が大きいと判断されたものであると解釈した。また、胴の材質の違いが相違の判断基準に影響を与えるかは特に明らかな相関を見つけることは出来なかった。この結果を受けて、「アタック部にスネアドラムの胴の違いによる特徴的な音、ディケイ部にチューニングの変化による音がより多く含まれている」という仮説は棄却された。しかし、これはまだチューニングの変化及びディケイ部の変化がスネアドラムの胴やサイズの変化やアタック部の変化よりも音色の同定において音色知覚的な変化をもつ、ということである。音色の差異の認識とは別に、音色の変化が聴き手の印象に訴える面において、スネアドラムのチューニング、胴やサイズ、そしてアタック部とディケイ部が担う影響についての実験を5章及び6章で行うことにした。

^{xiv} 1チャンネルの音声をステレオ用の2つのスピーカーから同時に再生して聴取すること。1つのスピーカーから1チャンネルの音声を聴取するモノフォニック聴取とは異なる。本実験の場合モノラルの音刺激をヘッドフォンで聴取するためにダイオティック聴取となる。

5 章 実験 2: 異なる聴取者グループにおけるスネアドラム音色の変化が与える影響-A

5-1 実験動機

実験 1 においてスネアドラム音の時間方向の分割という手法を取り入れ、スネアドラム音のアタック部と余韻部どちらの変化が有力であるか、またチューニング、胴の材質、胴のサイズどの変化が音色の相違の判断に関して有力であることを調べた。その結果、主に余韻部のチューニングによる変化が最も強いものであることを示した。一方、アタック部のチューニングの変化に反応する回答もいくつかみられたが、明確な理由はわからなかった。これらを踏まえ、本実験ではスネアドラムにおける胴のサイズ、材質、チューニングによる音色の違いが聴取者の印象にどのような変化を与えるか、またその変化が与える影響はドラム演奏者や音楽に携わる者であるかによって傾向に違いがあるかを調べることを目標とした。

5-2 実験手法

5-2-1 実験用音刺激の作成

本実験においても、使用したスネアドラム音源は筆者が東京芸術大学千住キャンパス内スタジオ B にて新規に録音したものである。胴以外の各部品の違いを減らすためにメーカーを Ludwig 社に統一した 4 台のスネアドラムを使用し、チューニングをハイピッチとローピッチの 2 種類作成することによって 8 種類の音源を録音した。2 種類のチューニングは筆者を含めた 3 名のドラム演奏者によって、実際に音楽上で使用される範囲で平均的なスネアドラムのチューニングよりも比較的高め、低めのものに設定され、4 台の間で聴感上なるべく近いピッチになることを心がけてなされた。これらのスネアドラムを、打面ヘッドを 1 発叩いた音を録音し、聴感上同じ音量となるようにレベルの調整を行った。各音源はビットレート 16bit、サンプリング周波数 48000Hz のモノラル音源である。

録音されたスネアドラム音源はアタック部とディケイ部に分割され、各実験用刺激として異なった音源同士で結合された。分割と結合の手法は前述の Primavera らによる先行研究から着想を得たものである。4 台のスネアドラムと 2 種類のチューニングから、計 56 個の合成音源が作成され、合成前の音源 8 個を含め 64 種類のスネアドラム音を

実験に使用した。各音源の長さは全て 3 秒に統一された。

略称	メーカー	型番	サイズ	胴の材質
A	Ludwig	LM400	浅胴(14"×5")	金属(スチール)
B	Ludwig	LM402	深胴(14"×6.5")	金属(スチール)
C	Ludwig	LS401	浅胴(14"×5")	木材(メイプル)
D	Ludwig	LS403	深胴(14"×6.5")	木材(メイプル)

表 5-1 実験 2 の実験用音刺激に使用された 4 台のスネアドラム

5-2-2 評定尺度法による視聴評価実験

合成されたスネアドラム音源を使用し評定尺度法による評価実験を行った。評定尺度法とは、主に一般的に使用されるような形容詞、また形容的な表現による評価語を用いて、それぞれの刺激についての判断を求める方法である。音色知覚に関する先行研究や筆者の過去の研究でも使用された、一対比較法による実験と多次元尺度構成法(MDS)による分析は、実験のために必要な問題数が音刺激の数の 2 乗に比例する^{xv}為、今回の音刺激の数(64 個)においては使用出来ないと判断し、評定尺度法による実験のみを採用した。

今回の実験においては後述するように被験者を 3 グループに分けたため、使用される評価語もスネアドラムの印象評価の為に使われる頻度の高く且つどの被験者グループに対しても意味の伝わるものでなければならなかった。そのために評価語そのものを得るところから始めた。

5-2-2-1 実験に使用した評価語の抽出

使用した評価語は、リットーミュージック社の『リズム&ドラムマガジン』の過去の出版[90]から、スネアドラムの音色を表現していた形容表現を基に 74 の評価語を抽出した。

太い	引き締まった	伸びやかな	渋い	まとまりのある	乾いた
丸い	ソリッドな	落ち着いた	ごつい	ゴージャス感のある	肉厚な
素直な	癖のない	パワフルな	軽い	立ち上がりが速い	女性的な
硬い	マイルドな	昔っぽい	枯れた	歯切れの良い	耳に痛い
上品な	すっきりとした	湿っぽい	繊細な	縦横無尽に駆け巡る	ファットな
下品な	重量感のある	カビっぽい	明快な	低域がふくらんだ	とがった
温かい	奥行きのある	ふくやかな	重厚な	メリハリのついた	華やかな
暴れる	キレの良い	まるやかな	力強い	エッジの効いた	現代的な
派手な	整理された	芯のある	クリアな	高域がキツイ	開放的な
甘い	ジューシーな	張りがある	優しい	広がりがある	軽やかな
明るい	オープンな	成熟した	柔らかい	粒立ちの明確な	詰まった
ワイルドな	しっかりした	色気のある	アタッキーな	音圧感のある	反応の速い
華やかな	不良っぽい				

表 5-2 リットーミュージック社『リズム&ドラムマガジン』のバックナンバーから無差別に抽出した、スネアドラムの音を表現する 74 の形容詞。

この 74 の形容詞を基に、ドラム演奏者や音色に関して研究を行なう学生たち計 6 名で実際に実験に使用する音刺激を聴いた上での評価語の絞り込みを行なった。絞り込みの作業は、まず実験に使用する全ての音刺激に対し、「この音に対して当てはまると思われる形容詞を以下の 74 の形容詞から上限無く選んで欲しい。」という要請と、「この中に無い形容詞で、この音に対して当てはまる形容詞があると思ったら答えて欲しい」という要請を行った。この結果から、各音に対して共通の使用法がみられた 48 の形容詞に絞り込みが行われ、そこからディスカッションによって更に 18 個に絞り込まれた。また、74 の形容詞に含まれなかった形容詞の中から「鋭い」「弾力のある」「ざらついた」という 3 つの形容詞がディスカッションから採択され、最終的に評価語は 21 個となった。

太い	引き締まった	伸びやかな	ざらついた	広がりがある	張りがある
重い	しっかりした	落ち着いた	弾力のある	音圧感のある	オープンな
力強い	伸びやかな	アタッキーな	キレのある	やわらかい	暴れる
鋭い	マイルドな	ふくやかな			

表 5-3 実験 2 及び実験 3 で最終的に使用された 21 の評価語。

5-2-2-2 実験会場と実験参加者グループの設定

音楽的な習熟のレベルが音色評価実験に与える影響については Grey や Lakatos らによって既にいくつかの先行研究が存在するが、スネアドラム音に限定した場合の先行研究は存在しないことと、ドラム演奏者としての筆者の予測から、実験に参加する聴取者をドラム演奏の有無や音楽経験によってグループ分けして傾向を調べることへの必要性を感じた。よって、この実験では実験参加者は以下の 3 グループに分割した。


- ・ドラム演奏経験のあるグループ(以下、ドラマーグループ)
- ・ドラム以外の楽器や、録音などに携わっているグループ(以下、音楽従事者グループ)
- ・音楽は聴取のみで演奏や録音に携わっていないグループ(以下、聴取者グループ)

実験は東京芸術大学千住キャンパス内の教室で行われた。実験参加者は同学の学生と、インターネット上で募った実験参加者からなり、各グループの参加者数はドラマー13名、音楽従事者 11 名、聴取者 7 名であった。

5-2-2-3 実験手順

各実験参加者はプログラミングソフトの Max/MSP を通じて PC 上で音刺激をループ再生で聴きながら、各評価語に対し提示された音刺激がどれくらい当てはまるかどうか、1 から 7 の 7 段階で評価した。刺激は SONY の MDR-CD900ST ヘッドフォンで聴取した。実験は練習問題 8 問を含む計 72 問で、各被験者が実験に所用した時間は 60~120 分であった。

太い	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>	ふくやかな	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>
しっかりした	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>	音圧感のある	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>
オープンな	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>	張りのある	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>
鋭い	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>	アタッキーな	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>
引き締まった	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>	力強い	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>
マイルドな	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>	のびやかな	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>
すっきりした	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>	やわらかい	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>
暴れる	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>	ざらついた	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>
重い	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>	弾力のある	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>
キレのある	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>	広がりのある	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>
落ち着いた	7 6 5 4 3 2 1	<input type="text"/>			



BACK NEXT

図 5-1 Max/MSP にて作成した実験用プログラムの画面。実験参加者は画面中央下部のスピーカーボタンを押すと音刺激が繰り返し再生され、それを聴きながら 21 の評価語を、各スライダーを動かすことで 7 段階評価する。スライダーを左に動かすほど、その評価語が音刺激に対して強くあてはまることを示す。赤の BACK ボタンと青の NEXT ボタンで提示される音刺激を変更でき、全ての音刺激の評点が終わると正面下部の四角の中に「終了」と表示される。

5-3 実験結果

5-3-1 因子分析による分析

5-3-1-1 概要

因子分析(factor analysis)は多変量解析の手法の 1 つで、心理尺度の研究手法として使用される。因子分析は、観測される複数の変数(本実験の場合は 21 の評価語に対する評点)が、それらの変数に共通な成分と、各変数に独自の成分から構成される、という単純なモデルを考える。このうち、分析対象となる変数の組に共通の成分を共通因子(common factor または単に因子)と呼び、各変数に独自の成分を独自因子(unique factor)と呼ぶ。観測対象となるデータにおいて同じ共通因子を強く反映する評価語どうしは高い相関をもつと考えられる。今回は試聴実験の結果から統計ソフト R の factanal 関数を用いて因子分析を行い、各グループが音色の評価に用いている主な因子の数と各評価語と因子との関連を調べた。

5-3-1-2 各被験者グループの因子数の決定

因子分析を実行するためには、因子数を指定する必要がある。この際に因子数の目安を定める方法はいくつかあり、その中から今回はスクリーテストとガットマン基準を用いて各因子数を求めた。

スクリーテストはスクリープロットと呼ばれるグラフを観察することで因子数を決定する方法である。スクリープロットは、観測変数の相関行列の固有値を縦軸に、固有値の番号を横軸にとって描いたグラフのことで、このグラフ上の固有値が急激に小さくなる 1 つ前の固有値の数を因子数とする。例えばドラマーグループの評定尺度法による試聴実験から得られたデータから作成したスクリープロットは以下のようになる。

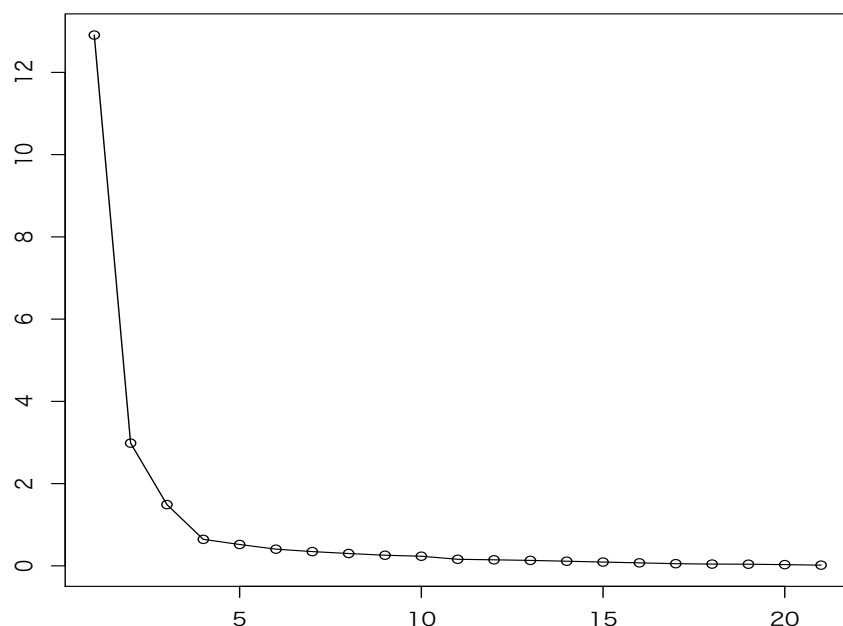


図 5-2 ドラマーグループの評定尺度法による試聴実験から得られたデータを基に作成したスクリープロット。縦軸は観測変数の相関行列の固有値、横軸は固有値の順位を示している。

図 5-2 を見ると、3,4 番目の○移行は低い固有値が平行線のように推移しており、因子は 3 因子または 2 因子のようにみえる。引き続きガットマン基準による数値も確かめてみる。

ガットマン基準は、主成分分析^{xvi}において使用される、主成分数を決めるための基準で、1.0 以上の固有値の数を因子数にしようというものである。スクリープロットから固有値を観測すると、3 番目の○までは固有値が 1 以上となっている。これらの観測結果から、ドラマーグループの因子数は 3 に設定した。同様の検討を他の 2 グループに対しても行った結果、3 つの被験者グループいずれにおいても主要な因子数は 3 であるとの結果を示した。

5-3-1-3 各被験者グループにおける因子分析の結果

以下に、各被験者グループの因子分析による結果の表を示す。

ドラマーグループ				音楽従事者グループ			
評価語	因子1	因子2	因子3	評価語	因子1	因子2	因子3
やわらかい	0.935	0.201		鋭い	-0.923	-0.245	0.133
鋭い	-0.925	-0.251	0.218	やわらかい	0.907	0.214	
アタッキーな	-0.915	-0.125	0.138	アタッキーな	-0.902	-0.226	0.114
ふくよかな	0.895	0.385		ふくよかな	0.897	0.110	0.288
張りのある	-0.888	-0.269	0.154	張りのある	-0.870	-0.278	0.170
太い	0.883	0.358		マイルドな	0.840	0.118	0.118
マイルドな	0.871		0.142	キレのある	-0.838	-0.367	0.293
重い	0.849	0.414		太い	0.813		0.464
キレのある	-0.830	-0.440	0.235	引き締まった	-0.810	-0.496	0.166
弾力のある	0.634		0.148	暴れる	0.311	0.901	-0.138
オープンな		0.799		オープンな	0.210	0.664	-0.360
暴れる	0.163	0.743	-0.225	音圧感のある	0.131	-0.156	0.765
伸びやかな	0.449	0.751		しっかりした	-0.306	-0.431	0.707
落ち着いた	0.386	-0.619	0.336	力強い	-0.335	-0.113	0.629
しっかりした	-0.158	-0.282	0.759	弾力のある	0.160		0.465
引き締まった	-0.668	-0.587	0.359	すっきりした	-0.739	-0.590	
すっきりした	-0.509	-0.751	0.341	重い	0.706	0.148	0.561
音圧感のある	0.633	0.529	0.183	落ち着いた	0.538	-0.668	0.207
力強い	0.437	0.471	0.481	のびやかな	0.499	0.595	-0.139
ざらついた	0.535	0.644		ざらついた	0.584	0.476	0.102
広がりのある	0.564	0.713		広がりのある	0.400	0.622	
因子負荷量	0.467	0.256	0.069	因子負荷量	0.440	0.186	0.130

表 5-4 実験 2 におけるドラマーグループと音楽従事者の因子分析の結果をあらわした表。各評価語の因子寄与率は-1 から 1 の間の値をとる。各因子に対し 0.6 以上または-0.6 以下かつ、2つ以上の因子に対する負荷量が 0.5 以上または-0.5 以下でない評価語に関しては、高い因子寄与率を示した因子に対して色づけが成されている。また、各因子への寄与を示さなかった評価語の欄は空欄となっている。最下段の因子負荷量は、各因子が全体の説明因子に対してどれだけの負荷をもつかを示している。この表においては因子負荷量の高いものから 3 つの因子が示されているが、これ以降に続く全ての因子の因子負荷量を合計すると 1 となる。

聴取者グループ			
評価語	因子1	因子2	因子3
引き締まった	-0.871	-0.264	0.193
キレのある	-0.869	-0.115	0.264
鋭い	-0.863	-0.186	
すっきりした	-0.846	-0.155	0.292
ふくよかな	0.826	0.383	0.129
やわらかい	0.767	0.333	-0.178
伸びやかな	0.717	0.495	-0.238
マイルドな	0.714	0.338	
アタッキーな	-0.712	0.150	
太い	0.671	0.369	0.334
オープンな	0.656	0.372	-0.206
ざらついた	0.649	0.378	-0.318
張りのある	-0.638		0.285
弾力のある	0.375	0.635	
落ち着いた		0.188	0.738
しっかりした	-0.208		0.643
暴れる	0.461	0.307	-0.407
重い	0.479	0.491	0.223
音圧感のある	0.501	0.579	0.178
力強い	-0.141	0.463	0.118
広がりのある	0.617	0.584	-0.378
因子負荷量	0.418	0.136	0.096

表 5-5 実験 2 における聴取者グループの因子分析の結果をあらわした表。

実験参加者グループごとの各因子をみると、第 1 因子において 3 グループ全てに共通して強い寄与を示した評価語が 9 つあり（「鋭い」「やわらかい」「アタッキーな」「ふくよかな」「張りのある」「マイルドな」「キレのある」「太い」）、各グループとも第 1 因子は迫力因子に近い因子なのではないかと推測できる。第 2 因子には 3 グループで共通した評価語は無かったが「暴れる」「オープンな」「広がりのある」の 3 つの評価語がドラマーグループと音楽従事者グループの間に強い寄与を示した。これら 2 つのグループにおける第 2 因子は空間的な因子ではないかと推測できる。聴取者グループにおいては「弾力のある」のみが強い寄与を示した。因子 3 には 3 グループいずれも

「しっかりした」が強い寄与を示した。他にも音楽従事者のグループでは「音圧感のある」「力強い」が、聴取者グループでは「落ち着いた」が強い寄与を示した。また、データ全体への各因子の関係性の高さを示す因子負荷量に関しては各被験者グループとも因子 1 への高い負荷量を示した(0.418 から 0.467)。因子 2 に関してはドラマーグループが比較的高い負荷量を示した。反面、因子 3 の負荷量はドラマーグループが最も低く、他の被験者グループに比べドラマーグループは最初の 2 因子への負荷量が高い数値を示した。

5-3-2 音響特徴量との相関

続いて筆者の先行研究においてスネアドラムの音色評価の主要な要素の一部であるとみられたスペクトル中心と ST60、そして第 3 章 3-2 において紹介した Spectral Flatness、Spectral Skewness、Spectral Kurtosis とメル周波数ケプストラム係数(MFCC)をそれぞれ算出し、各被験者グループの因子得点との相関係数を算出、各因子との関係を調べた。スペクトル中心と ST60 はいずれもチューニングとスネアドラムの胴がもつ特性によって変化するが、これらの数値とスネアドラムの胴の材質及びサイズとの間での直接の相関はみられなかった。同一のスネアドラムにおける変化をみると、本研究での計測ではチューニングが高くなるとスペクトル中心はチューニングが低いときのスネアドラム音に比べて高くなるように変化した。これはチューニングを高くすることによって音のピッチが高くなることによる変化だと見ることが出来る。ST60 に関しては、チューニングが高くなると振動の減衰が早まり、数値も低くなるように変化した。

	ドラマー1	ドラマー2	ドラマー3	音楽従事1	音楽従事2	音楽従事3	聴取者1	聴取者2	聴取3
スペクトル中心	-0.603	0.216	0.174	-0.588	0.186	-0.261	-0.309	-0.12	-0.344
ST60	0.061	0.834	-0.256	0.259	0.764	-0.239	0.525	0.351	-0.566
Flatness	0.208	0.522	0.447	0.168	0.364	0.218	0.347	0.265	-0.172
Skewness	-0.208	-0.372	-0.480	-0.080	-0.274	-0.289	-0.256	-0.166	0.068
Kurtosis	-0.191	-0.472	-0.438	-0.121	-0.350	-0.217	-0.311	-0.205	0.150
MFCC1	0.098	0.558	-0.401	0.353	0.445	-0.367	0.383	0.344	-0.335
MFCC2	0.148	0.742	-0.130	0.363	0.556	-0.223	0.471	0.460	-0.379
MFCC3	0.202	0.722	0.007	0.271	0.570	-0.075	0.455	0.389	-0.334
MFCC4	0.105	-0.055	0.501	-0.091	-0.126	0.258	-0.061	-0.037	0.156
MFCC5	-0.128	-0.617	0.389	-0.345	-0.478	0.294	-0.422	-0.378	0.332
MFCC6	-0.163	-0.651	0.307	-0.345	-0.499	0.248	-0.431	-0.395	0.332
MFCC7	-0.153	-0.723	0.287	-0.319	-0.606	0.233	-0.478	-0.396	0.389
MFCC8	-0.143	-0.744	0.336	-0.319	-0.697	0.272	-0.538	-0.312	0.483
MFCC9	-0.021	-0.445	0.534	-0.170	-0.577	0.315	-0.396	-0.020	0.460

表 5-6 実験 2 における各被験者グループの因子と音響特徴量との間の相関係数を示した表。相関がみられると見なす基準値である 0.4 以上もしくは-0.4 以下の相関係数を示したセルには色づけがなされている。

各音響特徴量と因子の相関係数を表したものが表 5-7 である。3 章 3-3 で述べたように MFCC は人間の可聴領域の周波数スペクトルを人間の知覚に合ったとされる尺度(メル尺度)によって 12 もしくは 13 個に分けられ、それぞれ計算される。10 以降の MFCC は、どの因子とも高い相関係数を示さなかったため表では割愛した。柳井ら(1976)に基づき、「相関係数は ± 0.4 よりも大きな絶対値の際に相関がみられる」と見なすと、ドラマーグループはスペクトル中心と因子 1 との逆相関がみられる。因子 2 は ST60 と Spectral Flatness、MFCC の 1-3 との間に相関がみられ、Spectral Kurtosis と MFCC の 5-8 因子 2 に相関がみられる。音楽従事者グループはスペクトル中心と因子 1 の逆相関が、ST60 と因子 2 に相関がみられるが、それぞれドラマーグループよりも弱い数値である。また、各 MFCC と因子 2 の間にみられる相関・逆相関の値も、MFCC9 を除いてドラマーグループよりも弱い値を示している。因子 1 と 2 においては各音響特徴量との繋がりに似た傾向がみられた。しかし、Spectral Flatness や MFCC との相関をみせたドラマーグループの因子 3 に対し、音楽従事者グループの因子 3 においては相関する音響特徴量はみられなかった。

聴取者グループでは因子 1 と因子 3 において ST60 との相関がみられ、上記 2 グループとは異なった傾向を示した。また、これらの相関を示した各係数の、相関係数の有意性を表す p 値は、有意水準 $\alpha=0.05$ を下回った

5-3-3 音刺激における変化と各因子との関係

音刺激における変化と、各被験者グループの因子分析結果との関係を示したのが以下の図である。これは、各被験者グループの各因子に対して、64 個の実験音刺激が得た因子得点をまとめた図で、縦軸がディケイ部のスネアドラム音、横軸がアタック部のスネアドラム音が配列されており、アタック部とディケイ部のスネアドラム音の組み合わせによって得られた因子得点を 9 段階で色分けしている。因子得点が正の値を示した際には暖色のグラデーション、負の値を示した際には寒色のグラデーションで、因子得点の絶対値が高くなるにつれ濃い色になるように色分けした。また、 $0.2 > 0 > -0.2$ の範囲の因子得点は白色になっている。

D-1		ATTACK							
		A High	A Low	B High	B Low	C High	C Low	D High	D Low
DECAY	A High	-1.210	-0.309	-1.033	0.747	-1.508	0.483	-1.185	0.438
	A Low	-1.614	0.616	-1.112	1.270	-0.927	1.322	-0.965	0.735
	B High	-0.951	0.822	-0.540	0.547	-0.288	1.469	-0.835	1.300
	B Low	-0.350	0.728	0.241	1.854	0.243	1.890	-0.296	1.736
	C High	-0.155	0.295	-0.375	1.036	-0.857	1.529	-0.963	1.269
	C Low	-0.134	0.277	-0.490	0.737	-1.106	1.341	-0.116	1.257
	D High	-1.705	-0.798	-0.958	0.652	-0.977	0.373	-1.466	0.820
	D Low	-1.261	-0.544	-1.340	1.060	-1.043	0.464	-1.091	0.952

D-2		ATTACK							
		A High	A Low	B High	B Low	C High	C Low	D High	D Low
DECAY	A High	-1.500	-1.349	-2.077	-1.533	-0.639	-1.670	-1.494	-2.038
	A Low	-0.361	0.141	0.613	-0.414	-0.761	-0.475	-1.092	-0.231
	B High	0.068	-0.825	-0.488	-0.344	-0.221	-1.062	0.183	-1.039
	B Low	2.160	1.276	0.593	0.067	1.186	0.627	1.538	1.067
	C High	0.244	0.115	0.283	-0.193	-0.246	-0.713	0.088	-0.760
	C Low	1.201	1.076	-0.284	0.863	0.946	0.956	0.070	0.777
	D High	0.015	-0.492	-0.223	-1.493	-0.420	-1.008	0.170	-1.739
	D Low	1.115	1.737	1.138	1.027	1.592	1.418	1.314	1.520

D-3		ATTACK							
		A High	A Low	B High	B Low	C High	C Low	D High	D Low
DECAY	A High	-0.170	-1.802	-0.709	0.133	0.619	0.078	0.331	-1.113
	A Low	-0.415	-1.945	-0.912	-1.745	-1.951	-0.387	-1.385	-2.188
	B High	0.468	1.416	0.673	1.473	1.629	0.817	1.550	0.802
	B Low	1.159	0.477	0.017	-2.377	0.533	0.492	-0.824	1.139
	C High	1.196	-0.123	0.828	0.521	0.618	-0.256	-0.239	1.237
	C Low	1.915	0.968	-1.938	1.207	0.974	-1.114	0.340	-0.300
	D High	0.046	0.234	1.114	-0.108	0.742	0.230	0.397	1.129
	D Low	0.503	-1.148	-1.140	-0.960	-1.039	-1.503	-0.943	0.728

M-1		ATTACK							
		A High	A Low	B High	B Low	C High	C Low	D High	D Low
DECAY	A High	-1.421	-0.416	-0.903	0.317	-2.128	-0.070	-1.028	-0.195
	A Low	-2.008	1.297	-0.043	1.971	-1.313	1.387	0.052	0.365
	B High	-0.974	0.165	-0.032	1.017	-1.162	1.024	-0.595	0.302
	B Low	-0.377	0.978	0.837	2.051	0.725	1.117	0.323	1.552
	C High	-0.656	-0.242	-0.964	0.083	-1.714	0.824	-0.737	-0.205
	C Low	0.305	0.947	0.109	1.343	-1.957	1.267	0.880	1.358
	D High	-0.893	-0.427	-0.525	0.887	-1.742	1.261	-0.925	0.260
	D Low	-0.645	-0.305	-0.676	0.767	-0.856	0.583	-0.564	0.341

M-2		ATTACK							
		A High	A Low	B High	B Low	C High	C Low	D High	D Low
DECAY	A High	-0.767	-0.575	-1.202	-1.218	-1.105	-0.600	-1.531	-0.922
	A Low	-0.190	0.253	-0.524	-1.018	0.694	-0.487	-1.301	-0.064
	B High	-1.703	-1.205	-1.032	-1.474	-0.842	-0.942	-0.808	-1.017
	B Low	0.522	1.508	0.372	-0.186	0.127	1.218	0.935	1.073
	C High	0.911	0.187	0.805	0.261	0.832	-0.780	-0.189	0.212
	C Low	1.278	-0.011	-0.203	0.301	0.856	0.047	-0.600	0.301
	D High	0.204	-0.137	-0.972	-0.963	0.047	-0.911	-0.496	-1.067
	D Low	1.815	1.959	2.811	1.379	1.404	0.537	1.971	2.218

M-3		ATTACK							
		A High	A Low	B High	B Low	C High	C Low	D High	D Low
DECAY	A High	-1.117	-0.104	-0.493	-1.087	-0.102	1.933	-1.535	1.301
	A Low	-0.538	-1.618	-0.815	-0.217	-0.926	0.069	-2.136	0.920
	B High	0.250	-0.065	-0.199	1.269	0.377	0.736	-0.745	2.077
	B Low	-1.478	0.250	-1.403	-1.448	-0.051	0.765	-1.439	1.234
	C High	1.055	-1.111	0.213	1.397	1.657	1.099	-0.045	2.508
	C Low	-0.225	0.341	-0.489	0.475	2.270	-0.472	-1.800	-0.223
	D High	0.127	-0.485	0.207	0.348	0.084	0.090	-0.268	1.194
	D Low	-0.541	0.033	0.316	0.492	-2.130	0.144	-0.377	0.457

L-1		ATTACK							
		A High	A Low	B High	B Low	C High	C Low	D High	D Low
DECAY	A High	-1.301	-0.303	-0.795	-0.623	-1.649	-1.036	-1.232	-1.180
	A Low	-1.891	0.724	0.048	1.228	-0.775	0.029	-0.561	0.674
	B High	-2.418	-0.604	0.704	-0.520	-1.640	-0.030	-0.084	0.014
	B Low	0.448	2.038	1.289	1.939	0.012	1.313	0.559	2.161
	C High	-0.057	1.072	-0.146	-0.468	-1.411	1.736	-0.237	-0.178
	C Low	0.329	0.551	-0.413	0.279	0.372	0.974	-0.774	1.676
	D High	-0.694	-0.143	-0.080	-0.875	-1.118	1.147	-2.140	-0.224
	D Low	1.087	0.465	0.710	0.582	0.243	1.461	-0.682	0.419

L-2		ATTACK							
		A High	A Low	B High	B Low	C High	C Low	D High	D Low
DECAY	A High	-1.868	-1.764	-1.664	-0.265	-0.754	-0.450	-1.391	-0.139
	A Low	1.169	-1.048	-0.576	0.586	0.296	1.261	-2.223	-0.575
	B High	1.417	-0.893	-0.682	2.598	1.704	-1.077	0.273	-0.784
	B Low	-0.346	-0.641	-0.642	0.133	0.551	1.479	0.494	-0.241
	C High	-1.413	-2.614	-0.231	0.964	0.560	-1.479	-0.514	0.178
	C Low	0.838	1.343	0.806	1.640	0.749	0.649	1.552	0.765
	D High	0.313	-0.217	-0.330	-0.780	-1.180	-1.003	0.139	1.074
	D Low	-1.302	0.777	0.142	1.162	-0.040	-0.368	1.834	2.051

L-3		ATTACK							
		A High	A Low	B High	B Low	C High	C Low	D High	D Low
DECAY	A High	-0.154	0.299	0.262	1.724	0.449	1.166	0.473	0.862
	A Low	-2.445	-0.020	-0.153	0.792	0.345	0.934	-0.158	0.837
	B High	0.550	-1.006	1.332	1.569	0.611	0.464	1.550	1.943
	B Low	-1.125	0.713	-1.561	0.149	-1.696	-0.066	-0.522	-0.244
	C High	-0.297	-0.238	0.034	0.857	-1.417	1.159	-0.937	1.823
	C Low	0.535	1.074	0.077	0.142	0.137	-0.633	-2.013	0.890
	D High	-0.902	1.617	0.353	-0.442	-0.984	0.934	-0.255	0.934
	D Low	-2.573	-1.983	-1.842	-0.500	-1.999	-0.066	-1.275	-0.087

図 5-3 各被験者グループの各因子分析結果における因子得点と、音刺激のアタック部とディケイ部の変化の関係を示した図。縦軸にディケイ部に使用したスネアドラム音、横軸にアタック部に使用したスネアドラム音を配置している。因子得点は 9 段階で色分けしており、負の値には寒色、正の値には暖色で、絶対値が高くなるほど濃い色になっている。ドラマーグループ (D1-D3)、音楽従事者グループ (M1-M3)、聴取者グループ (L1-L3) の順番に並べてある。

ドラマーグループの因子 1「D1」の図をみると、1 マス毎に、暖色と寒色が縦縞模様のようにになっている。これはアタック部のチューニングが **High** であるときには因子 1 の得点が正の値を示し、逆にアタック部のチューニングが **Low** であるときには因子得点が負の値を示している、ということであり、ドラマーグループの因子 1 における因子得点にはアタック部のチューニングの変化に強く影響していることがわかる。同様にドラマーグループの因子 2「D2」では、D1 ほど鮮明ではないものの、横方向に暖色と寒色の縞模様が出来ている。これはディケイ部のチューニングの変化がドラマーグループの因子 2 に影響を与えている、と解釈することができる。ドラマーグループの因子 3「D3」の図からは、D1 と D2 のような模様はみられず、ところどころに横縞のような箇所と縦縞のような箇所があり、はっきりしない。

音楽従事者グループの各因子も同様にみていくと、因子 1「M1」からは縦縞が、因子 2「M2」からは横縞が、いずれもドラマーグループほど鮮明ではないものの傾向としてみられ、それぞれアタック部のチューニングの変化とディケイ部のチューニングの変化が因子得点に影響を与えていると解釈することができる。一方、因子 3「M3」に関してはドラマーグループ同様、はっきりとしない。

聴取者グループに関しては、全体的に明確な傾向ははっきりとみられない。因子 1「L1」及び因子 3「L3」には、ところどころ縦縞のような箇所と横縞のような箇所が混ざってみられる。

まとめると、ドラマーグループと音楽従事者グループの因子 1 にはアタック部のチューニングの変化からの影響がみられ、ドラマーグループと音楽従事者グループの因子 2 にはディケイ部のチューニングの変化による影響みられた。ドラマーグループと音楽従事者グループの因子 3 と、聴取者グループの各因子にははっきりとした傾向はみられなかった。

5-4 考察

因子分析による結果と、各因子と音響特徴量との相関係数、音刺激に与えた変化と因子得点との関係を調べた上記の結果をまとめて 1 つの表にしたのが以下の表 5-7 である。

これをみると、ドラマーグループと音楽従事者グループはスネアドラムの音色評価に際し、主に迫力的因子と空間的因子という2つの因子を使用しており、ドラマーは他の音楽従事者よりもその因子に対して、関係する各音響特徴量に対してより敏感にそれらを感じていると考察できる。また、それらの因子と関係する音響特徴量はドラマーグループと音楽従事者グループの間に酷似しており、迫力的因子にはスペクトル中心が強い関係をみせ、空間的因子には音の伸びを表す ST60 や、MFCC、Spectral Flatness や SpectralKurtosis といった周波数スペクトルの形状を表現する特徴量との関係がみられた。因子3に関してはドラマーグループには MFCC、Spectral Flatness や Spectral Skewness などの周波数スペクトルの形状に関する音響特徴量との相関がみられたが、音楽従事者グループには相関のある音響特徴量はみられなかった。また、聴取者グループにおける因子3に関しては ST60 と MFCC8、MFCC9 との相関がみられた。3グループとも「しっかりした」という共通の評価語を用いていた因子3であるが、着目している音響特徴量が大きく異なり、この「しっかりした」という評価語の指し示すものが3グループ間で異なる可能性が考えられる。

また、Terasawa ら[65]の研究では各 MFCC の増加はスペクトルエンベロープに各次元で異なる形のピークとディップを生み出し、それと共に、奇数次の MFCC はスペクトル中心と負の相関が生まれ偶数次の MFCC はスペクトル中心と正の相関が生まれた、とある。しかし、今回の実験結果ではスペクトル中心を主体とする因子との相関を示すような傾向はみられず、むしろ ST60 を主体とする因子との相関をみせた。Terasawa らの実験では、単一もしくは2つの MFCC を独立して操作することによって作成された、持続音による音刺激を使ったものなので、打撃音であるスネアドラム音色では MFCC と音響特徴量との関係が異なる可能性がある。

	因子名	評価語	音響特徴量	ドラムの要素
ドラマー因子1	迫力的因子	やわらかい、鋭い、アタッキーな、ふくよかな、張りのある、太い、マイルドな、重い、キレのある、弾力のある	スペクトル中心	アタック部のチューニングの変化
ドラマー因子2	空間的因子	オープンな、暴れる、伸びやかな、落ち着いた	ST60,Flatness,Kurtosis, MFCC1-3,MFCC5-9	ディケイ部のチューニングの変化
ドラマー因子3		しっかりした	Flatness,Skewness, Kurtosis,MFCC4,MFCC9	
音楽従事者因子1	迫力的因子	鋭い、やわらかい、アタッキーな、ふくよかな、張りのある、マイルドな、キレのある、太い、引き締まった	スペクトル中心	アタック部のチューニングの変化
音楽従事者因子2	空間的因子	暴れる、オープンな	ST60, MFCC1-3,MFCC5-9	ディケイ部のチューニングの変化
音楽従事者因子3		音圧感のある、しっかりした、力強い		
聴取者因子1		引き締まった、キレのある、鋭い、すっきりした、ふくよかな、やわらかい、伸びやかな、ワイルドな、アタッキーな、太い、オープンな、ざらついた、張りのある	ST60, MFCC2-3,MFCC5-9	
聴取者因子2		弾力のある	MFCC2	
聴取者因子3		しっかりした、落ち着いた	ST60, MFCC8-9	

表 5-7 実験 2 の分析結果をまとめた表。縦の行には各被験者グループの因子が、横軸には考察から付けられた因子名、各因子に強い寄与がみられた評価語、各因子と相関がみられた音響特徴量、因子に影響を与えた具体的なドラム音の変化が記されている。

また 3 つの因子の寄与率を比較すると、因子 1 及び因子 2 の両方において音楽従事者よりもドラマーの数値が若干高く、ドラマーがこれらの因子をより重視していると考察できる。

聴取者グループの第 1 因子も他グループと同様の評価語が使用されていたが、スペクトル中心との相関はみられず ST60 及び MFCC2-3,5-9 との弱い相関を示したことから、聴取者グループとドラマー及び音楽従事者グループとの間では第 1 因子における評価語の使い方が異なっているのではないかという考察が成り立つ。例えば同じ評価語「鋭い」でも、ドラマーグループと音楽従事者グループがチューニングによって変化するスペクトル中心の変化を表現しているのに対し、聴取者グループは音の伸びを表す ST60 や周波数スペクトルの形状の変化を表現している、ということになる。聴取者グループは他の 2 グループに比べ因子 2 と因子 3 の寄与率が低いことから、迫力因子と空間因子の両方を内包するような因子での印象評価を行なっているのではないかという考察も成り立つが、スペクトル中心との相関がみられていないことと、アタック部のチューニングが因子得点に与える影響が不明瞭である。

5-5 まとめ

スネアドラム音のアタック部とディケイ部の変化が聴取者の音色知覚にどのような影響を与えるかを調べるために、異なるスネアドラムのアタックとディケイ部を組み合わせ、実験用音刺激を作成し、評定尺度法による試聴実験と、因子分析による分析を行った。スネアドラムは胴の深さと材質の異なる4台で、ハイとローの2種類のチューニングを施し、これらのアタック部とディケイ部を組み合わせ、64個の実験音刺激を作成した。被験者は音楽的なバックグラウンドによってドラマーグループ、音楽従事者グループ、聴取者グループの3組に分けられた。

実験と分析の結果から、ドラマーグループと音楽従事者グループには、それぞれ迫力的な因子と空間的な因子がみられた。分析によって得られた各因子と、音響特微量との相関係数を算出したところ、迫力的因子は音の周波数スペクトルの重心となるスペクトル中心との強い相関がみられ、空間的因子はドラムの音の長さを表すST60と、周波数スペクトルの形状を表現するSpectral Kurtosis、Spectral Flatness、MFCCとの相関がみられた。ドラマーグループと音楽従事者グループにおけるこの2因子は、非常によく似ているものであるが、各因子における評価語の使用法の差異もみられた。例えば、ドラマーグループでは因子1に属した評価語「重い」は音楽従事者グループにおいては強く寄与する因子は見られなかった。このようなことから、ドラマーグループと音楽従事者グループの間では、共有する評価基準が存在するが、それを表現するための言葉に違いがある可能性が考えられる。

一方、聴取者グループの因子は使用される評価語と音響特微量との相関も上記2グループとは大きく異なった。例えば因子1では迫力的な評価語が多く寄与を示しているものの、相関がみられた音響特微量はST60やMFCCといった、他2グループでは空間的因子において相関のみられたものであった。このことから、スネアドラム音色を評価する言葉の使用法は、ドラマー及び音楽従事者と、聴取者の間では大きく異なる、という差異がみられた。

各因子における実験用音刺激の因子得点と、実験用音刺激に与えた変化との関係をみると、ドラマーグループと音楽従事者グループの因子1にはアタック部のチューニングの変化による影響がみられた。これらを音響特微量や因子分析の結果と合わせると、ドラマーグループと音楽従事者の因子1は、アタック部のチューニングが変化することでスネアドラムの迫力的な部分を評価していることになり、その変化と評価にはスペクトル中心が相関のある音響特微量としてみられ、アタック部のチューニングの高低に従ってスペクトル中心も上下に変化する、と解釈できる。同様にドラマーグループと音楽従

事者グループの因子 2 の因子得点にはディケイ部のチューニングによる変化がみられた。このことから、ドラマーグループと音楽従事者の因子 2 はディケイ部のチューニングが変化することでスネアドラムの空間的な部分を評価していることになり、その変化と評価にはスネアドラム音の音の長さを表す ST60 や、MFCC といった周波数スペクトルの形状を表す音響特徴量との相関がみられ、ディケイ部のチューニングが低くなることで ST60 の数値は高まる関係になる、と解釈ができる。それ以外の各被験者グループにおける各因子得点と、実験用音刺激の変化との明確な関係は今回みられなかった。

これらの実験結果は、スネアドラム音の時間的な変化と音色評価の関係を詳しく知る為に録音されたスネアドラムから作成した合成音を使用して得られたものである。ここから、アタック部の変化によるスペクトル中心の変化と、ディケイ部の変化による ST60 の変化がスネアドラム音色の主な評価軸であるのなら、実際の楽器の音でそれぞれを独立して変化させるような音刺激を作成できたらどうなるのであろうか。その検証の為に、次章において実際のスネアドラム音を使用して同様の実験を行った。

^{xv} 一対比較法による実験では、 n 個の音刺激を使用する際に必要な組み合わせは

$n \times (n-1) = n^2 - n$ 個 となる。今回の実験では音刺激が 64 個になる為、必要な組み合わせは $64 \times (64-1) = 403$ 個の組み合わせを問題として出題せねばならず、所要時間の関係上現実的でない判断した。

^{xvi} 主成分分析はデータが有している情報をより解釈しやすくするために、多数の観測変数を少数の合成変数(主成分)にまとめる手法。

6 章 実験 3: 異なる聴取者グループにおけるスネアドラム音色の変化が与える影響-B

6-1 実験動機

実験 2 において行った試聴実験から、スペクトル中心と ST60 がスネアドラム音を評価する際に主要な音響特徴量である、という結果が得られた。実験 2 では録音されたスネアドラム音を合成した音刺激による実験であったが、合成を行わない実際のスネアドラムの録音音源でも同様の結果が起こるかを検証することと、スペクトル中心と ST60 を独立して操作するような音刺激を作成して実験を行えば、より明確な分析結果を傾向がみられるかもしれない、という仮説のもとに再度、同様の実験を試みて結果を比較した。

6-1-1 実験デザインにおける実験 A との違い

実験用の音刺激を、合成音源ではなく実際のスネアドラムに対してチューニングやミュートによる変化を施すことで、よりスペクトル中心と ST60 が独立して変化する音刺激を作成し、それらを用いることが大きな違いである。また、更なる音響特徴量の模索を行った。

6-2 実験手法

大まかな実験手法は実験 2 と同様に、録音したスネアドラム音を使用した評定尺度法による試聴実験と、因子分析による分析である。以下に実験 2 と異なる点のみを詳述する。

6-2-1 実験用音刺激の作成

実験 2 と同様に、本実験で使用したスネアドラム音源は筆者が東京芸術大学千住キャンパス内スタジオ B にて新規に録音したものである。前回は胴以外の各部品の違いを減らすためにメーカーを Ludwig 社に統一した 4 台のスネアドラムを使用した。今回は胴以外の各部品が明確な音色への影響を与えるかを観測するために、Ludwig 社のスネアドラム 3 台と、PORK PIE 社のスネアドラム 1 台による計 4 台のスネアドラムを使用した。

略称	メーカー	型番	サイズ	胴の材質
A	Ludwig	LM400	浅胴(14"×5")	金属(スチール)
B	Ludwig	LM402	深胴(14"×6.5")	金属(スチール)
C	Pork Pie	Maple 8ply	浅胴(14"×5")	木材(メイプル)
D	Ludwig	LS403	深胴(14"×6.5")	木材(メイプル)

表 6-1 実験 3 の実験用音刺激に使用された 4 台のスネアドラム

本実験においてはスペクトル中心と ST60 をそれぞれ可能な限り独立して操作した音刺激群を作成することが目標としてあった。そのために、打面ヘッドの締め具合を調整するチューニングと、打面ヘッドの上に物をのせるミュートで、各音響特徴量を操作することを試みた。ミュートのために打面ヘッドの上にのせたものは、RTOM 社のムーンジェル(MOONGEL)である。ムーンジェルは長方形の粘着性ジェル状パッド材で、ドラムヘッドの表面に貼付けることでドラムヘッドの振動を抑えるためのものである。



図 6-1 本実験のミュート材に使用した RTOM 社のムーンジェル。

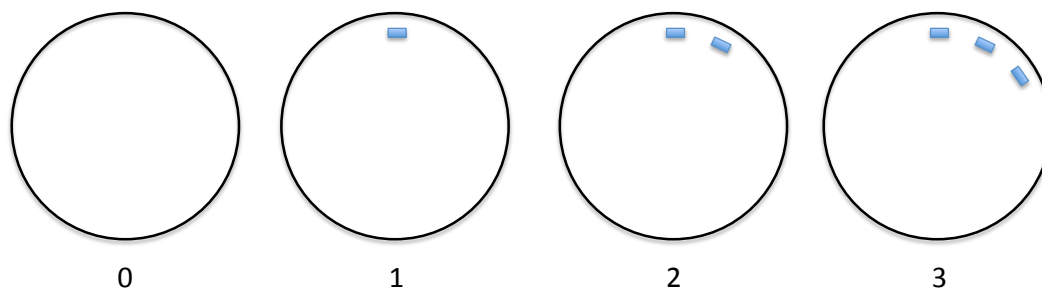


図 6-2 打面ヘッド上にミュートとしてののせた Moongel の配置図。打面ヘッド上の円周部に、約 18 度刻みに 0 個から 3 個までの Moongel を打面ヘッド上にのせることで 4 段階の ST60 の調節を行った。

打面ヘッドの締め具合を調整することで行うチューニングをハイピッチとミドルピッチ、ローピッチの 3 種類作成し、それらに 0～3 個のムーンジェルを配置することで、スネアドラム 1 台につき 12 個の音色を作成・録音した。これをスネアドラム 4 台に対して行い、計 48 種類の音源を録音した。3 種類のチューニングは筆者を含めた 3 名のドラム演奏者によって、実際に音楽上で使用される範囲で平均的なスネアドラムのチューニングよりも比較的高め、中間的、低めのものに設定され、4 台の間で聴感上なるべく近いピッチになることを心がけてなされた。これらのスネアドラムを、打面ヘッドを 1 発叩いた音を録音し、聴感上同じ音量となるようにレベルの調整を行った。各音源はビットレート 16bit、サンプリング周波数 48000Hz のモノラル音源である。各音源の長さは全て 3 秒に統一された。

6-2-2 評定尺度法による視聴評価実験

48 種類のスネアドラム音源を使用し、実験 2 と同様に評定尺度法による評価実験を行った。使用された評価語は実験 2 と同じ 21 種類のものであった(表 5-3 参照)。本実験では実験 2 と同様に実験参加者は以下の 3 グループに分割した。

- ・ドラム演奏経験のあるグループ(以下、ドラマーグループ)
- ・ドラム以外の楽器や、録音などに携わっているグループ(以下、音楽従事者グループ)
- ・音楽は聴取のみで演奏や録音に携わっていないグループ(以下、聴取者グループ)

実験は東京芸術大学千住キャンパス内の教室で行われた。実験参加者は同学の学生と、インターネット上で募った実験参加者からなった。実験 2 の反省から、3 グループともなるべく多くの人数の被験者を確保することを目標とした。その結果、各グループの参加者数はドラマー 15 名、音楽従事者 15 名、聴取者 15 名の計 45 名となった。各実

験参加者はプログラミングソフトのMax/MSPを通じてPC上で音刺激をループ再生で聴きながら、各評価語に対し提示された音刺激がどれくらい当てはまるかどうか、1から7の7段階で評価した。刺激はSONYのMDR-CD900STヘッドフォンで聴取した。実験は練習問題8問を含む計56問で、各被験者が実験に所用した時間は45~90分であった。

6-3 実験結果

6-3-1 因子分析による分析

試聴実験から得られたデータは実験2と同様に因子分析による分析が成された。プログラミングソフトRのfactanal関数を用いて因子分析を行い、各グループが音色の評価に用いている主な因子の数と各評価語と因子との関連を調べた。各被験者グループの因子数を指定する因子数の決定には、実験2と同様にスクリーテストとガットマン基準を使用した。その結果、ドラマーグループと音楽従事者グループは因子数3となり、音楽聴取者グループは因子数4となった。

6-3-1-1 各被験者グループにおける分析結果

以下に、各被験者グループの因子分析による結果の表を示す。

実験2での結果から、まずドラマーグループと音楽従事者グループの2因子に注目した。ドラマーグループにおける因子1は「重い」「鋭い」「アタッキーな」といった、実験2の迫力的因子と類似した評価語がみられる。一方、音楽従事者グループの因子1には「暴れる」「広がりのある」「オープンな」といった実験2における空間的因子を構成していた評価語が高い寄与率を示している。ドラマーグループの因子2をみると「落ち着いた」「オープンな」といった空間的因子を構成していた評価語が高い寄与率を示し、音楽従事者グループの因子2では「マイルドな」「アタッキーな」「ふくよかな」といった、実験2では迫力的因子を構成していた評価語の高い寄与率がみられた。これは実験2では2グループとも因子1に迫力的因子が、因子2に空間的因子がみられたが、今回の実験では音楽従事者グループにおいては因子1と2が入れ替わっている、と解釈することができる。ドラマーグループにおける因子3に関しては独立して高い寄与率を示した評価語は見られなかったが、音楽従事者グループの因子3には「重い」「太い」「力強い」といった迫力的な評価語が高い寄与率を示した。このことから、音楽従事者グループにおいては実験2における迫力的因子が、実験3では因子2と因子3に

分裂している、という可能性も考えられる。

ドラマーグループ				音楽従事者グループ			
評価語	因子1	因子2	因子3	評価語	因子1	因子2	因子3
鋭い	-0.999		0.200	暴れる	0.959	-0.106	
重い	0.988	0.116		広がりのある	0.948		-0.251
アタッキーな	-0.987		0.160	オープンな	0.906		-0.275
張りのある	-0.983		0.220	のびやかな	0.890	0.108	-0.308
やわらかい	0.962			すっきりした	-0.847	-0.154	-0.166
太い	0.938	0.132	0.101	引き締まった	-0.843	-0.235	
マイルドな	0.912	0.421	0.110	しっかりした	-0.807		0.510
キレのある	-0.878	0.314	0.171	ざらついた	0.730		0.353
ふくよかな	0.821	-0.177	0.217	キレのある	-0.650	-0.386	
音圧感のある	0.751		0.385	マイルドな		0.828	-0.228
ざらついた	0.665	-0.351	-0.250	アタッキーな	-0.250	-0.689	-0.107
落ち着いた	0.493	0.966		ふくよかな	0.448	0.616	0.109
オープンな		-0.953	0.351	鋭い	-0.425	-0.609	
暴れる	0.145	-0.923		重い		0.381	0.747
のびやかな		-0.914	0.391	太い		0.440	0.683
広がりのある	0.102	-0.888	0.356	力強い	-0.171	0.244	0.676
引き締まった	-0.313	0.839	-0.124	落ち着いた	-0.943	0.876	
すっきりした	-0.368	0.808		音圧感のある		0.459	0.580
しっかりした		0.771	0.376	張りのある	-0.554	-0.462	
力強い	0.297	-0.115	0.519	やわらかい	0.585	0.583	-0.170
弾力のある	0.537	-0.294	0.355	弾力のある	0.527	0.469	0.109
因子負荷量	0.471	0.326	0.066	因子負荷量	0.422	0.221	0.124

表 6-2 実験 3 におけるドラマーグループと音楽従事者グループの因子分析の結果をあらわした表。各評価語と、各因子への因子負荷量が示されており、各因子に対し 0.6 以上または-0.6 以下かつ、2 つ以上の因子に対する負荷量が 0.5 以上または-0.5 以下でない評価語に関しては、高い因子負荷量を示した因子に対して色づけが成されている。最下段の因子寄与率は、各因子が全体の説明因子に対してどれだけの重みをもつかを示しており、全ての因子の因子負荷量を合計すると 1 となる。

聴取者グループ				
評価語	因子1	因子2	因子3	因子4
すっきりした	0.948	0.107		
張りのある	0.945	0.156		0.158
ざらついた	-0.942			0.144
キレのある	0.913			
鋭い	0.849			0.198
暴れる	-0.786			0.265
引き締まった	0.739	-0.275		
のびやかな		0.962		0.177
オープンな		0.944		
弾力のある		0.866		
ふくよかな		0.839	0.192	
やわらかい	-0.105	0.839	0.102	
広がりのある	-0.187	0.807		0.180
重い	-0.246		0.773	
太い	-0.293	0.198	0.745	-0.172
しっかりした	0.497		0.714	
力強い	0.142		0.637	0.360
マイルドな		0.870		-0.528
落ち着いた	0.583		0.383	-0.505
音圧感のある		0.494	0.568	0.154
アタッキーな	0.268	-0.326	0.169	0.385
因子負荷量	0.312	0.282	0.126	0.053

表 6-3 実験 3 におけるドラマーグループの因子分析の結果をあらわした表。

聴取者グループの分析結果をみると、まず、因子 1 には「すっきりした」「暴れる」といった、他のグループでは空間的因子との関係がみられる評価語と「張りのある」「鋭い」といった他のグループでは迫力的因子との関係がみられる評価語が共存して高い寄与率をみせている。因子 2 では「のびやかな」「オープンな」といった空間的な評価語が高い寄与率をみせている。因子 3 では「重い」「太い」といった迫力的な因子を構成する評価語がみられる。因子 4 は高い寄与率を示した評価語はみつからなかった。これらから、聴取者グループでは因子 1 と因子 2 においては実験 2 における空間的因子が 2 つに分裂したような 2 因子がみられ、因子 3 には迫力的な因子がみられた、と解釈できる。

6-3-2 音響特徴量との相関

続いて、実験 2 と同様に、各音響特徴量の算出と、各被験者グループの因子得点との相関係数を算出、各因子との関係を調べた。同一のスネアドラムにおける変化をみると、実験 2 同様にチューニングが高くなるとスペクトル中心はチューニングが低いときのスネアドラム音に比べて高くなるように変化した。また ST60 に関しては、ミュートの量が増えることで振動の減衰が早まり、数値も低くなるように変化した。各音響特徴量と因子の相関係数を表したものが表 6-4 である。

	ドラマー1	ドラマー2	ドラマー3	音楽従事1	音楽従事2	音楽従事3	聴取者1	聴取者2	聴取者3	聴取者4
スペクトル中心	-0.736	0.050	-0.453	-0.364	-0.685	-0.475	0.355	-0.358	-0.713	0.146
ST60	0.339	-0.736	0.295	0.779	0.369	-0.201	-0.626	0.802	-0.052	0.216
Flatness	0.346	0.469	-0.108	-0.297	0.191	0.613	0.110	-0.359	0.457	-0.432
Skewness	-0.053	-0.609	0.147	0.528	0.061	-0.414	-0.395	0.590	-0.296	0.319
Kurtosis	-0.101	-0.517	0.146	0.439	0.017	-0.388	-0.307	0.495	-0.313	0.308
MFCC1	0.281	-0.801	0.321	0.789	0.310	-0.227	-0.641	0.757	-0.138	0.339
MFCC2	0.536	-0.011	0.126	0.165	0.540	0.270	-0.276	0.183	0.225	-0.181
MFCC3	0.186	0.636	-0.157	-0.471	0.181	0.415	0.324	-0.464	0.293	-0.392
MFCC4	-0.174	0.845	-0.310	-0.775	-0.174	0.288	0.609	-0.731	0.189	-0.419
MFCC5	-0.295	0.822	-0.301	-0.782	-0.289	0.195	0.627	-0.722	0.139	-0.415
MFCC6	-0.277	0.774	-0.224	-0.737	-0.264	0.189	0.599	-0.684	0.158	-0.385
MFCC7	-0.206	0.693	-0.169	-0.673	-0.184	0.211	0.561	-0.639	0.196	-0.354
MFCC8	-0.205	0.535	-0.219	-0.595	-0.210	0.169	0.492	-0.556	0.153	-0.241

表 6-4 実験 3 における各被験者グループの因子と音響特徴量との間の相関係数を示した表。相関がみられると見なす基準値である 0.4 以上もしくは -0.4 以下の相関係数を示したセルには色づけがなされている。

表 6-4 をみると、まず、ドラマーグループの因子 1 と音楽従事者グループの因子 2、聴取者グループの因子 3 においてスペクトル中心との強い相関がみられた。ドラマーグループの因子 1 と音楽従事者グループの因子 2 では MFCC2 との相関もみられ、周波数スペクトルの形状を表現する音響特徴量と迫力的因子との関係がみられた。聴取者グループの因子 3 でも、スペクトルの形状を表現する Spectral Flatness との相関がみられた。また、ドラマーグループの因子 3 と音楽従事者グループの因子 3 にもスペクトル中心との相関がみられた。ドラマーグループの因子 3 においてはスペクトル中心のみが相関を示したが、音楽従事者グループの因子 3 では Spectral Flatness と Spectral Skewness、MFCC3 との相関がみられた。次に、ドラマーグループの因子 2、音楽従事者グループの因子 1、聴取者グループの因子 2 が、類似の相関傾向をみせている。いずれも ST60 と、Spectral Skewness、Spectral Kurtosis と MFCC1、MFCC3-8 と相関を示しており、ドラマーグループでは更に Spectral Flatness との相関がみられている。

聴取者グループの因子 1 も、ST60 と MFCC1、MFCC4-8 との相関がみられる。聴取者グループの因子 4 のみ、スペクトル中心とも ST60 と相関を示さず、Spectral Flatness と MFCC4、MFCC5 との相関のみがみられた。

6-3-3 音刺激における変化と各因子との関係

次に音刺激における変化と、各被験者グループの因子分析結果との関係を以下の図に示した。これは、各被験者グループの各因子に対して、56 個の実験音刺激が得た因子得点をまとめた図で、縦軸が各スネアドラム音のチューニング、横軸にドラムヘッドに設置されたミュートの量が配列されており、スネアドラムのチューニングとミュートの組み合わせによって得られた因子得点を 9 段階で色分けしている。因子得点が正の値を示した際には暖色のグラデーション、負の値を示した際には寒色のグラデーションで、因子得点の絶対値が高くなるにつれ濃い色になるように色分けした。また、 $0.2 > 0 > -0.2$ の範囲の因子得点は白色になっている。

まずドラマーグループの因子 1 の「D1」をみると、各スネアドラム音は横方向には因子得点の値が類似した値をとっており、また、行の下部に進むことでだんだんと寒色から暖色へと色が変わっていく。このことから、この因子はミュートの量による影響は小さく、ドラムのチューニングの変化が大きな影響をもっていると解釈することができる。このような傾向は音楽従事者グループの因子 2 である「M2」と聴取者グループの因子 3 である「L3」にも多少みられる。

次にドラマーグループの因子 2 「D2」をみると、左右 2 列ずつに寒色と暖色が分かれている。このことから、この因子はミュートの量による影響を強く受けていることがわかる。また、縦方向にも多少のグラデーションがみられ、チューニングによる影響も多少みられるようである。このような傾向は音楽従事者グループの因子 1 である「M1」や聴取者グループの因子 2 である「L2」にもみられる。ドラマーグループの因子 3 である「D3」と聴取者グループの因子 4 「L4」には、明確な傾向はみられなかった。また、音楽従事者グループの因子 3 である「M3」と聴取者グループの因子 1 「L1」は、チューニングとミュートの使用量が関係する「D2」のような傾向が多少みられるが、より曖昧であり、こちらもはっきりとした傾向はみられなかった。

D1			0	1	2	3
High	Metal	A	-1.547	-1.742	-1.110	-0.993
		B	-1.123	-0.881	-1.194	-1.093
	Wood	C	-1.249	-1.497	-1.676	-0.611
		D	-0.938	-0.850	-0.565	-0.945
Medium	Metal	A	-0.382	-0.853	-0.438	-0.297
		B	0.121	0.554	0.810	0.644
	Wood	C	0.442	-0.086	0.593	0.228
		D	0.294	0.436	0.589	0.995
Low	Metal	A	-0.282	0.022	-0.212	0.574
		B	1.874	2.028	1.619	1.799
	Wood	C	0.410	0.915	0.749	0.620
		D	0.804	1.163	1.144	1.137

D2			0	1	2	3
High	Metal	A	-0.246	0.415	1.458	1.783
		B	-0.744	-0.275	0.680	1.585
	Wood	C	-0.903	0.598	1.434	1.754
		D	-1.405	-0.127	0.169	0.774
Medium	Metal	A	-1.107	-0.944	0.799	1.591
		B	-0.945	-1.399	0.219	0.866
	Wood	C	-1.363	-0.005	-0.014	0.585
		D	-1.008	-0.195	1.070	-0.079
Low	Metal	A	-1.455	-0.684	0.888	1.353
		B	-1.147	-0.712	0.174	0.520
	Wood	C	-1.959	-1.027	0.357	0.893
		D	-1.375	-0.895	-0.316	0.363

D3			0	1	2	3
High	Metal	A	1.177	-0.446	0.528	-0.251
		B	1.102	-1.447	-1.310	-0.797
	Wood	C	0.330	0.004	-0.536	0.386
		D	-1.519	0.148	-1.876	-0.608
Medium	Metal	A	-0.591	-1.794	-0.344	0.311
		B	0.068	-0.628	0.070	-0.366
	Wood	C	0.559	1.621	-0.356	-0.256
		D	1.250	2.474	1.623	0.840
Low	Metal	A	-0.115	-1.795	-1.304	-0.370
		B	0.402	0.718	0.215	-0.587
	Wood	C	-1.810	-0.523	0.332	0.959
		D	0.019	1.899	1.054	1.537

M1			0	1	2	3
High	Metal	A	0.037	-0.738	-1.667	-2.059
		B	0.335	-0.196	-0.518	-1.941
	Wood	C	0.274	-0.764	-1.771	-1.832
		D	0.548	-0.746	-0.577	-0.744
Medium	Metal	A	1.120	0.126	-0.831	-1.491
		B	0.936	1.365	-0.198	-0.795
	Wood	C	1.552	0.214	0.276	-0.418
		D	1.580	0.834	-0.329	0.165
Low	Metal	A	0.919	-0.124	-0.642	-1.075
		B	1.325	1.369	1.339	-0.206
	Wood	C	1.172	0.613	0.329	0.034
		D	1.535	0.925	0.481	0.258

M2			0	1	2	3
High	Metal	A	-0.823	-1.773	-0.882	-0.349
		B	-0.580	-1.050	-1.244	-0.772
	Wood	C	-0.734	-1.784	-1.118	-0.204
		D	-2.180	-1.090	-0.936	-1.243
Medium	Metal	A	0.137	-0.689	0.293	0.556
		B	0.614	-0.382	1.407	1.085
	Wood	C	0.593	0.676	0.484	0.024
		D	-0.019	0.253	1.013	0.125
Low	Metal	A	-0.681	-0.366	-0.531	-0.668
		B	1.946	2.283	1.043	1.219
	Wood	C	0.395	0.659	0.518	-0.069
		D	0.721	1.482	1.135	1.504

M3			0	1	2	3
High	Metal	A	-1.917	-1.085	-0.198	-0.776
		B	-1.372	-0.761	-0.450	-0.840
	Wood	C	-1.870	-1.529	-1.182	-0.629
		D	0.448	-0.170	-0.390	0.624
Medium	Metal	A	-0.579	0.423	-0.102	0.285
		B	-0.151	1.024	0.170	0.989
	Wood	C	-1.074	-0.307	0.293	-0.229
		D	-0.399	0.082	0.965	0.221
Low	Metal	A	-1.477	0.511	0.930	1.995
		B	0.366	0.850	2.208	2.750
	Wood	C	-0.576	0.383	1.192	1.935
		D	0.080	-0.408	0.013	-0.264

L1			0	1	2	3
High	Metal	A	0.828	0.386	1.445	1.775
		B	0.526	0.934	0.937	1.751
	Wood	C	0.514	0.136	1.393	1.607
		D	-0.766	0.366	0.706	0.729
Medium	Metal	A	-0.838	-0.079	1.319	2.079
		B	-0.923	-0.984	-0.486	0.325
	Wood	C	-1.022	-0.366	0.535	0.234
		D	-0.680	-0.256	0.232	-0.115
Low	Metal	A	-0.675	-1.468	1.042	0.651
		B	-1.626	-1.723	-1.154	-0.238
	Wood	C	-1.827	-0.992	-1.006	-0.701
		D	-0.805	-0.765	-0.961	0.003

L2			0	1	2	3
High	Metal	A	0.626	0.035	-1.705	-2.031
		B	0.593	0.434	-0.924	-1.455
	Wood	C	1.043	-0.250	-1.736	-1.112
		D	0.384	-0.971	-0.902	-1.741
Medium	Metal	A	0.682	-0.240	-0.811	-1.382
		B	1.027	0.669	-0.161	-0.945
	Wood	C	1.002	0.170	0.823	-1.087
		D	1.141	0.466	-0.032	0.208
Low	Metal	A	1.107	0.007	-1.045	-1.458
		B	0.818	0.957	1.243	0.042
	Wood	C	1.148	1.589	-0.224	0.025
		D	1.562	1.207	0.254	0.947

L3			0	1	2	3
High	Metal	A	-0.446	-0.286	-0.967	-0.480
		B	0.227	-0.701	-1.563	-0.900
	Wood	C	-0.869	-1.106	-1.606	-0.182
		D	-0.089	0.127	-1.383	-0.199
Medium	Metal	A	-1.249	0.687	0.657	1.977
		B	-1.792	0.146	0.156	-0.331
	Wood	C	-0.423	-0.618	1.136	0.085
		D	-0.352	-0.454	0.663	0.706
Low	Metal	A	-2.008	-0.904	0.071	0.741
		B	1.350	1.171	1.777	2.764
	Wood	C	-0.721	-0.213	0.569	1.724
		D	0.200	0.856	0.815	1.238

L4			0	1	2	3
High	Metal	A	1.088	2.219	-0.100	-1.332
		B	2.543	-0.620	-0.202	-1.014
	Wood	C	1.346	-0.574	-0.768	-1.845
		D	0.044	1.046	-0.514	1.111
Medium	Metal	A	-0.131	0.588	-0.585	1.656
		B	-0.254	1.495	-0.496	-1.059
	Wood	C	0.147	1.265	0.656	-0.481
		D	1.099	2.023	-0.155	-0.509
Low	Metal	A	-0.337	-1.164	-0.348	-0.305
		B	-0.715	-0.837	-2.531	-0.351
	Wood	C	0.133	-1.409	0.193	0.384
		D	0.138	0.765	0.254	-1.560

図 6-3 各被験者グループの各因子分析結果における因子得点と、音刺激のチューニングとミュートの量との関係を示した図。縦軸に各スネアドラムのチューニング、横軸にミュートの量を配置している。因子得点は9段階で色分けしてあり、負の値には寒色、正の値には暖色で、絶対値が高くなるほど濃い色になっている。ドラマーグループ(D1-D3)、音楽従事者グループ(M1-M3)、聴取者グループ(L1-L4)の順番に並べてある。

6-4 考察

因子分析による結果と、各因子と音響特徴量との相関係数、音刺激に与えた変化と因

子得点との関係を調べた上記の結果をまとめて1つの表にしたのが以下の表 6-5 である。

	因子名	評価語	音響特徴量	ドラムの要素
ドラマー因子1	迫力系因子	鋭い、重い、アタッキーな、張りのある、やわらかい、太い、マイルドな、キレのある、ふくよかな、音圧感のある、ざらついた	スペクトル中心、MFCC2	チューニングの変化
ドラマー因子2	空間系因子	落ち着いた、オープンな、暴れる、伸びやかな、広がりがある、引き締まった、すっきりした、しっかりした	ST60, Flatness, Skewness, Kurtosis, MFCC1, MFCC3-8	ミュート使用量の変化 (チューニングの変化)
ドラマー因子3			スペクトル中心	
音楽従事者因子1	空間系因子	暴れる、広がりがある、オープンな、のびやかな、すっきりした、引き締まった、しっかりした、ざらついた、キレのある	ST60, Skewness, Kurtosis, MFCC1, MFCC3-8	ミュート使用量の変化 (チューニングの変化)
音楽従事者因子2	迫力系因子1	マイルドな、アタッキーな、ふくよかな、鋭い	スペクトル中心、MFCC2	チューニングの変化
音楽従事者因子3	迫力系因子2	重い、太い、力強い	スペクトル中心、Flatness, Skewness, MFCC3	
聴取者因子1	空間系因子1	すっきりした、張りのある、ざらついた、キレのある、鋭い、暴れる、引き締まった	ST60, MFCC1, MFCC4-8	
聴取者因子2	空間系因子2	のびやかな、オープンな、弾力のある、ふくよかな、やわらかい、広がりがある	ST60, Skewness, Kurtosis, MFCC1, MFCC3-8	チューニングと ミュート使用量の変化
聴取者因子3	迫力系因子	重い、太い、しっかりした、力強い	スペクトル中心、Flatness	チューニングの変化
聴取者因子4			Flatness, MFCC4-5	

表 6-5 実験 2 の分析結果をまとめた表。縦の行には各被験者グループの因子が、横軸には考察から付けられた因子名、各因子に強い寄与がみられた評価語、各因子と相関がみられた音響特徴量、因子に影響を与えた具体的なドラム音の変化が記されている。

これをみると、ドラマーグループはスネアドラムの音色評価に際し、主に迫力的因子と空間的因子という2つの因子を使用しており、一方音楽従事者グループは1つの空間的因子と2つの迫力的因子を使用しており、聴取者グループは2つの空間的因子と1つの迫力的因子を使用している、という結果になった。第1因子はドラマーグループは迫力的因子となったが、音楽従事者グループと聴取者グループにおいては空間的因子となったことから、ドラマーグループと他2グループでは優先される音の差異が異なっていた可能性が考えられる。また、実験2ではスペクトル中心と相関する迫力的因子は聴取者グループにおいてはみられなかったが、今回の実験では第3因子にそれがみられた。3グループとも、細かい差異はあるが、スペクトル中心と相関する迫力的因子と、ST60と相関する空間的因子によってスネアドラム音を評価している点では一致した。また、迫力的因子とスネアドラムのチューニングの変化との関係、空間的因子とミュートの使用量とチューニングの変化との関係もみられ、実験2における合成音源の変化に近い効果を得られたと解釈できる。各因子と評価語の関係をみると、ドラマーグループにおい

では迫力的因子への寄与がみられた「キレのある」「ざらついた」が、音楽従事者グループでは空間的因子への寄与がみられており、この実験においてスネアドラム音色の評価のための使用法として互いに異なった使い方をしていた。また、ドラマーグループにおいて空間的因子への寄与を示した「落ち着いた」は、音楽従事者グループにおいては迫力的因子と空間的因子の 2 因子への寄与を示した。この評価語もグループ間での使用法が異なった、と解釈できる。また、音楽従事者グループは迫力的因子が 2 つに分かれた。特に音楽従事者の因子 3 はスペクトル中心以外にも周波数スペクトルの形状を表現する音響特徴量との相関がみられたため、評価語「重い」「太い」などは、ドラマーグループとは多少異なった使われ方をする言葉である可能性がある。

聴取者グループにも他グループとは使用方法が異なった評価語がみられた。

実験 2 においても言及した MFCC とスペクトル中心との関係は、この実験においても Terasawa ら[65]のような傾向はみられず、主に ST60 との相関がみられた。何らかの音色の変化との相関を示してはいるものの、スネアドラム音における打撃音と MFCC との関係には持続音における MFCC とは異なった傾向がみられ、更なる観測が求められる。また実験 2 では低い次数の MFCC と高い次数の MFCC との間に異なった相関の傾向がみられたが、今回はそのような変化はみられなかった。実験 3 ではドラマーグループの因子 1 と音楽従事者グループの因子 2 において、スペクトル中心の相関と同時に MFCC2 との相関がみられた。他の MFCC は全て空間的因子との相関を示していたが、MFCC のみが迫力的因子との相関を示したことは、スネアドラム音において、スペクトルエンベロープの知覚を記述する MFCC には主にはスネアドラムの空間的・時間的な要素に関係するが、その中一部には迫力と関係する要素がみられる、という解釈ができる。

6-5 まとめ

実験 2 の結果から、スネアドラムの音色評価には、スペクトル中心と相関のみられる迫力的因子と、ST60 との相関のみられる空間的因子が関係していることがわかった。合成音源を使用した実験 2 に対し、合成を行わないスネアドラム音源による音刺激群でも同様の結果が得られるかを検証することと、スペクトル中心と ST60 をチューニングとミュートの使用量でコントロールすることで同様の分析結果が得られるかを確かめるため、評定尺度法による試聴実験と、因子分析による分析を行った。スネアドラムは胴の深さと材質の異なる 4 台で、ハイとミディアム、ローの 3 種類のチューニングを施し、さらに 0~3 個のミュートを使用することで 48 の実験音刺激を作成した。被験者は

音楽的なバックグラウンドによってドラマーグループ、音楽従事者グループ、聴取者グループの3組に分けられた。

実験と分析の結果から、全ての被験者グループにおいて迫力的な因子と空間的な因子がみられた。しかし、音楽従事者グループでは迫力的因子が2つに分かれ、聴取者グループでは空間的因子が2つに分かれる、といったふうに、細かい評価の仕方はグループ間で異なった。分析によって得られた各因子と、音響特徴量との相関係数を算出したところ、迫力的因子は音の周波数スペクトルの重心となるスペクトル中心と、周波数スペクトルの形状を表現する MFCC の一部との相関がみられ、空間的因子はドラムの音の長さを表す ST60 と、周波数スペクトルの形状を表現する Spectral Kurtosis、Spectral Flatness、MFCC との相関がみられた。また、迫力的因子におけるチューニングの影響、空間的因子におけるミュートの使用量とチューニングの影響がみられ、合成音源を用いなくても、類似した実験結果を得ることができた。実験2と比較すると、ドラマーグループの実験結果は今回も概ね近いものであったが、音楽従事者グループは迫力的因子が2つに分かれたことから、実験2とは多少異なる評価を行ったと解釈できる。聴取者グループにおいては実験2では迫力的因子がみられなかったが、今回は迫力的因子と2つの空間的因子がみられ、こちらも実験2とは異なる評価を行ったと解釈できる。各因子における評価語の使用方法の差異は今回もみられた。

3 グループ毎の結果をみると、各グループともスペクトル中心と ST60 が寄与する因子がみられ、実験2の結果の際にはスペクトル中心との相関を見せる因子のみられなかった聴取者グループにおいても、本実験ではドラマーグループや音楽従事者グループにより近い音色評価をしていると解釈できる実験結果がえられた。これは被験者数の増員によって、評価の個人差が与える影響がより少なくなったことと、音刺激における音響特徴量の変化を意識的かつ機能的に行ったことで実験2よりも音色評価が容易であった可能性の2つが考えられる。しかし、「鋭い」「ふくよかな」といったドラマーグループと音楽従事者グループではスペクトル中心との相関を示した因子への寄与をみせた評価語が聴取者グループでは ST60 との相関を示す因子への寄与をみせているように、音色評価のための評価語の使用方法には他の2グループとの差異がみられた。

音楽従事者グループは迫力的因子が2つに分かれたことは、迫力的因子が1つのみであったドラマーグループに比べ、音楽従事者グループはスネアドラム音色の迫力的な成分に関して、より多次元的な評価をしている、という可能性がある。ドラマーグループはよりシンプルな音色評価をしている、と解釈することもでき、これはスネアドラム音色について、例えばドラマーとエンジニアの間で同様の言葉で「重さ」についてのディスカッションをする際に、厳密には異なる次元について互いに話し合う、といった事態

が発生する可能性もあり、注意が必要になるかもしれない。

MFCC に関しては実験 2 と同様に主に ST60 と相関のある因子への相関をみせた。これは Terasawa ら[65]による先行研究とは異なる結果であるが、時間変化のない定常音による実験と、時間変化を含む衝撃音であるスネアドラム音とでは異なる傾向がみられる可能性がある。また、2 次の MFCC のみがスペクトル中心との相関のある因子への相関を示したことから、MFCC が描写するスペクトルエンベロープの中には空間的な要素と迫力的な要素を表現しうるものがある、と解釈できる。しかしこの結果は今回の実験結果に特有のものかもしれず、更なる実験と分析を要する。

チューニングとミュートの使用はそれぞれスペクトル中心の変化と ST60 の調整に対し一定の効果がみられ、音刺激群はスペクトル中心と ST60 それぞれに変化の幅のある値を示したが、チューニングの変化はドラムヘッドの張力の変化によって ST60 にも多少の影響を与えており、ST60 を完全に一定に保ったままでのスペクトル中心の変化は難しい。また、異なったスネアドラムに同様のチューニングを施しても、スペクトル中心と ST60 の値はスネアドラム毎に異なる。これはそれぞれの値に各スネアドラムがもつ自身の音響的特徴が含まれているためと考えられる。今後の研究では、このスネアドラム自身の音響的特徴を単離できるような音響特徴量の発見が、個々のスネアドラムに対するよりきめ細かな分析と考察のために必要になるかもしれない。

7 章:結論

7-1 3つの実験のまとめと考察

本論文ではスネアドラムの音色に関する3つの心理聴覚実験において、スネアドラムの音色の変化と聴取者の知覚及び印象の変化の間の関係性について考察を行った。本章では3つの実験のまとめと、そこから得られた考察を行う。

まずは各実験についての概要を述べる。

実験1では、スネアドラムの時間的な領域に着目し、時間変化を伴う音であるスネアドラム音色において音色知覚的な特徴が表れる成分はどこにあるのかを、スネアドラムのアタック部とディケイ部を分割・結合した合成音源と三つ組法による実験を行い、調査した(実験1)。その結果、72問中63問で「ディケイ部の変化がアタック部の変化よりも知覚される音色変化が大きい」という結果になった。しかしアタック部の変化が重視された設問も計6問あり、アタック部も音色の変化の知覚に対し何らかの影響は与えているのではないかと解釈した。スネアドラムの胴のサイズや材質の違いが音色知覚においてアタック部とディケイ部の役割に影響を与える可能性については明らかな相関を見つけることは出来ず、アタック部においてはチューニングの変化による音色知覚への影響が考えられた。

この結果を受けて5章では、音色の差異の認識とは別に、音色の変化が聴き手の印象に訴える面においてスネアドラムのチューニング、胴やサイズ、そしてアタック部とディケイ部が担う影響についての実験を行った(実験2)。異なるスネアドラムのアタックとディケイ部を組み合わせる実験用音刺激を作成し、評定尺度法による聴覚実験と、因子分析による分析を行った。被験者は音楽的なバックグラウンドによってドラマーグループ、音楽従事者グループ、聴取者グループの3組に分けられた。

実験と分析の結果から、ドラマーグループと音楽従事者グループには、それぞれ迫力的な因子と空間的な因子がみられた。分析によって得られた各因子と、音響特徴量との相関係数を算出したところ、迫力的因子は音の周波数スペクトルの重心となるスペクトル中心との強い相関がみられ、空間的因子はドラムの音の長さを表すST60と、周波数スペクトルの形状を表現するSpectral Kurtosis、Spectral Flatness、MFCCとの相関がみられた。ドラマーグループと音楽従事者グループにおけるこの2因子は、非常によく似ているものであるが、各因子における評価語の使用法の差異もみられた。このようなことから、ドラマーグループと音楽従事者グループの間では、共有する評価基準が存在するが、それを表現するための言葉に違いがある可能性が考えられる。

一方、聴取者グループの因子は使用される評価語と音響特徴量との相関も上記 2 グループとは大きく異なった。このことから、スネアドラム音色を評価する言葉の使用法は、ドラマー及び音楽従事者と聴取者の間では大きく異なる、という差異がみられた。

各因子における実験用音刺激の因子得点と、実験用音刺激に与えた変化との関係から、ドラマーグループと音楽従事者の因子 1 は、アタック部のチューニングの変化の影響が強く、またその変化とスペクトル中心との関連がみられた。同様にドラマーグループと音楽従事者グループの因子 2 はディケイ部のチューニングによる変化の影響が強く、こちらの変化には ST60 との関連がみられた。このことから、スネアドラム音色において、アタック部はスペクトル中心のようなスペクトル方向の重要性を、ディケイ部が ST60 のような時間方向の重要性を担っており、それぞれ迫力的な因子と空間的な因子と関係していることがわかった。また、MFCC はスペクトルエンベロープを表現する特徴量として各因子との相関を調べたが、ST60 と相関する空間的な因子との関係がみられ、これは Terasawa らの先行研究とは異なった傾向を示した。

5 章における実験 2 の結果で、特にスペクトル中心と迫力的因子、ST60 と空間的因子がスネアドラム音色の評価において大きな要素であることが観測された。これらのパラメータを合成したスネアドラム音ではなく実際のスネアドラム音において操作し、同様の実験結果を得られるかの検証を 6 章で行った(実験 3)。3 段階のチューニングの変化で主にスペクトル中心を操作し、4 段階のミュートによって主に ST60 を操作することでこれらの音響特徴量を変化させた音刺激群を用いて実験 2 と同様の手法での実験・分析を行った。

その結果、ドラマーグループではほぼ実験 2 と同様の傾向がみられたが、音楽従事者グループにおいては迫力的因子が 2 つに分かれた。これはドラマー達がスネアドラム音色の迫力的因子を単一の尺度で評価しているのに対し、音楽従事者達は 2 つの尺度で評価しており、音色の迫力的な要素の感じ方が双方で異なる可能性があるとして解釈できる。また、実験 2 では他の 2 グループと傾向が大きく異なった聴取者グループだったが実験 3 では迫力的因子と空間的因子の双方がみられた。評価語の使用法などは他の 2 グループとの差異もみられたが、3 つの被験者グループとも、スペクトル中心と相関する迫力的因子と ST60 と相関する空間的因子がスネアドラム音色の評価において主要な要素であることが確認された。また、それぞれの因子における因子得点の観察から、チューニングとミュートが迫力的因子と空間的因子の得点に影響を与えていることもみられた。また、MFCC については実験 2 と同様に ST60 と相関する空間的な因子との関係が主にみられたが、2 次の MFCC のみ、迫力的な因子との相関を示した。

これらの 3 つの実験から得られた結果を踏まえてスネアドラムの音色における心理

的印象の変化について論じる。スネアドラムの音色は主に迫力的な因子と空間的な因子によって評価が行われている。音楽的なバックグラウンドによって、評価語が表現する対象や空間的な因子が多次元的な様相を呈することもあるが、これら 2 つの因子が大きく関係していることは同じである。迫力的な因子は周波数パワースペクトルのエネルギーの中心点であるスペクトル中心という音響特微量との相関がみられ、スネアドラム音の時間的な領域としてはドラムヘッドの振動や打撃音、胴の振動などを主な成分とするアタック部が主にこの因子における印象の変化を担っている。迫力的な因子はチューニングによってドラムヘッドの張力を調整することで、知覚される印象としても操作が可能である。迫力的な因子はスネアドラム音の長さを表す **ST60** という音響特微量との相関がみられ、スネアドラム音の時間的な領域としてはドラムヘッドや胴の振動の余韻を主な成分とするディケイ部が主にこの因子における印象の変化を担っている。空間的な因子はドラムヘッド上に設置するミュートによってドラムヘッドの振動を調整することで、知覚される印象としても操作が可能である。音色の相違という点ではアタック部による迫力的な成分の変化よりもディケイ部による空間的な成分の変化がより大きな影響を与える。また、これまで音声の自動認識などに使用されてきた音響特微量であるメル周波数ケプストラム係数(**MFCC**)は、スネアドラムのスペクトルエンベロープを表現する音響特微量として迫力的因子と空間的因子の両方を表現出来る可能性が考えられる。

筆者の先行研究においてスペクトル中心と **ST60** はそれぞれスネアドラム音色に係する音響特微量として使用されていた。本研究においてはそこに時間的な領域という視点を含めることで、スネアドラム音色の変化が聴取者に与える心理的な印象の変化への構造への詳しい考察が得られた。また、音色評価における因子との相関を示す新たな音響特微量の探索についても行った結果、**MFCC** がスペクトルエンベロープとしての迫力的な因子と空間的な因子の両方を表現しうる可能性を示した。しかし **MFCC** の変化が具体的にスネアドラム音にどのような変化を与えているかはまだはっきりとわかっておらず、今後さらなる研究が必要となるだろう。

7-2 将来的な研究の可能性

本研究において行われた実験環境は、録音されたスネアドラム音の単独音源をヘッドフォンを使用してダイオティック聴取する、というものである。これは実際の音楽聴取に比べると相当に特殊な聴取環境であることは考慮せねばならない。実際の音楽においては他の楽器音の存在や、演奏されるフレーズ等が聴取者の心理的印象に与える影響が

あり、それに対するスネアドラム音色の寄与について観測する方向へと、今後の研究が拡張されていくことが望ましいと思われる。本論文における結果から具体的に例示すると、**ST60** の変化を伴うディケイ部の音色変化はドラムセットにおける演奏の一部としてのスネアドラム音色や、ピアノやギター等の他の楽器とのアンサンブルにおいては今回の実験ほどの重要性をもたなくなる可能性も考えられる。

チューニングとミュートによるスペクトル中心と **ST60** の調整に関しては、その度合いによって相対的に各音響特徴量を上下に操作することが可能であった。しかし、同様のチューニングを施した状態であっても、スペクトル中心と **ST60** は個々のスネアドラムによって異なる数値を示す。これは、スペクトル中心にはドラムヘッドの振動とドラムの胴などの、個々のスネアドラムの仕様による音色が含まれているためである。また、実験 2 の考察から **ST60** に関しても、チューニングによる値の変化の影響がみられ、ドラムヘッドと胴の残響が混ざった状態での観測を行っていると解釈できる。今後の実験においては、この個々のスネアドラムの仕様による音色のみを評価できるような音響特徴量の検討がより繊細な分析を可能にするかもしれない。

スネアドラム音のスペクトルエンベロープを表現する音響特徴量としての **MFCC** と聴取者の音色の印象変化の関係については更なる検討と理解が必要である。3-3-3 でも述べたように、**MFCC** の数値が人間の音色知覚とどのような関係性にあるかが調査され始めたのは最近のことであり、まだまだ解明されていない部分が多い。しかし本論文において迫力的因子と空間的因子の双方に部分的な相関を示したことから、スネアドラムの音色を表現する特徴量として、今後の研究に新たな側面を与えてくれる可能性がある。

本研究においては評定尺度法による実験を主に行った。これは実験用音刺激の数が膨大だったため、一対比較法による試聴実験には時間的な問題が考慮されたからである。しかし筆者の先行研究においては一対比較法と **MDS** によって、評価語による表現ではない音色評価に関しても分析・考察を行った。今回の結果をうけて、音響特徴量などから音刺激を絞り込む等の工程を経ることで一対比較法と **MDS** による実験と分析を行うことは先行研究との比較という面で有意義であるかもしれない。

7-3 結論

本論文ではスネアドラムの音色の変化が与える心理的印象の変化とその変化を表現する評価語の使い方や尺度について調べ、またそれらに関係している物理的な特徴量についても調査を行った。

筆者による先行研究から、スネアドラム音色の変化には周波数スペクトルエネルギーの中心点となる周波数であるスペクトル中心と、スネアドラムの音の長さを表す Sustain Time60(ST60)が関係していることがわかった。これらを基に、本論文ではスネアドラム音の時間的な側面に焦点をあて、各スネアドラム音を音の励起とドラムヘッド(皮)の振動を主な成分としたアタック部と胴の鳴りや余韻を主な成分としたディケイ部に分割した。複数のスネアドラム音のアタック部とディケイ部を組み合わせることで2つの実験を行い、最後に実際のスネアドラム音を使用して1つの検証実験を行った。

これらの3つの実験の結果から、スネアドラムの音色は主に迫力的な因子と空間的な因子によって評価が行われていることがわかった。音楽的なバックグラウンドによって、評価語が表現する対象や空間的な因子が多次的な様相を呈することもあるが、これら2つの因子が大きく関係していることは同じであった。迫力的な因子は周波数パワースペクトルのエネルギーの中心点であるスペクトル中心という音響特徴量との相関がみられ、スネアドラム音の時間的な領域としてはドラムヘッドの振動や打撃音、胴の振動などを主な成分とするアタック部が主にこの因子における印象の変化を担っていた。迫力的な因子はチューニングによってドラムヘッドの張力を調整することで、知覚される印象としても操作が可能であった。空間的な因子はスネアドラム音の長さを表す ST60 という音響特徴量との相関がみられ、スネアドラム音の時間的な領域としてはドラムヘッドや胴の振動の余韻を主な成分とするディケイ部が主にこの因子における印象の変化を担っていた。空間的な因子はドラムヘッド上に設置するミュートによってドラムヘッドの振動を調整することで、知覚される印象としても操作が可能であった。音色の相違という点ではアタック部による迫力的な成分の変化よりもディケイ部による空間的な成分の変化がより大きな影響を与えた。また、これまで音声の自動認識などに使用されてきた音響特徴量であるメル周波数ケプストラム係数(MFCC)は、スネアドラムのスペクトルエンベロープを表現する音響特徴量として迫力的因子と空間的因子の両方と相関を示した。

参考文献

- [1]J.Aldridge ‘*Guide To Vintage Drums*’ CENTERSTREAM Publishing (1994)
- [2]T.Argo. IV, ‘*Acoustic Drum Exploration–Basis for Investigation*’University of Illinois Department of Physics(2002)
- [3]F.Avanzini and R.Marogna, ‘*A modular physically based approach to the sound synthesis of membrane percussion instruments*’ IEEE Trans. Audio, Speech, Lang. Process. vol.18, pp.891–902 (2010)
- [4]D.Beck ‘*The Musician’s Guide to Recording Drums*’ HAL LEONARD (2004)
- [5]K.Berger, ‘Some factors in the recognition of timbre.’ The Journal of the Acoustical Society of America, vol.36, no.10, pp.1888–1891(1964)
- [6]S.Bilbao, ‘*Time domain simulation and sound synthesis for the snare drum*’ The Journal of the Acoustical Society of America, vol.131, no. 1, pp. 914–925(2012)
- [7]J. Blades, ‘*Percussion Instruments and Their History*’ (The Bold Strummer, Ltd., Westport, CT, 1992)
- [8]B.Boe, R.Worland ‘*Experimental and numerical analysis of the effect of length in musical drumhead coupling*’ Acoustical Society of America, Proceedings of Meetings on Acoustics, Vol. 20, 025004 (2014)
- [9]W.Brent, ‘*Physical and perceptual aspects of percussive timbre*’ UC San Diego Electronic Theses and Dissertations(2010)
- [10]A.Caclyn, S.McAdams, B.K.Smith, S.Winsberg, ‘*Acoustic correlates of timbre space dimensions: A confirmatory study using synthetic tones*’ The Journal of the Acoustical Society of America, vol.118, no. 1, pp. 471–482(2005)

- [11]W. C. Campbell, J. J. Heller, 'The contribution of the legato transient to instrument identification.' In Proceedings of the Research symposium on the psychology and acoustics of music, pp. 30–44, University of Kansas (1978)
- [12]J. J. Carroll, J. D. Chang, 'Analysis of individual differences in multidimensional scaling via an N-way generalization of "Eckart-Young" decomposition' Psychometrika, 1970 (1970)
- [13]J. Cohan 'Star Sets' HAL LEONARD (1995)
- [14]S. Dahl, '*Spectral changes in the tom-tom related to striking force*' KTH College of Engineering, Dept. for Speech, Music and Hearing (1997)
- [15]G. Ekman, '*Dimensions of color vision*' The Journal of Psychology, 1954 (1954)
- [16]T. M. Elliott, L. S. Hamilton, F. E. Theunissen, '*Acoustic structure of the five perceptual dimensions of timbre in orchestral instrument tones.*' The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 133, no. 1, pp. 389–404 (2013)
- [17]H. Fletcher, I. G. Bassett, 'Some experiments with the bass drum' The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 64, no. 6, pp. 1570–1576 (1978)
- [18] H. Fletcher, T. D. Rossing, 'The physics of musical instrument' New York: Springer Verlag. (1991)
- [19]D. Freed, 'Auditory correlates of perceived mallet hardness for a set of recorded percussive sound events.' The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 87, no. 1, pp. 311–322 (1990)
- [20]F. Gouyon, F. Pachet, O. Delerue, '*On the use of zero-crossing rate for an application of classification of percussive sounds*' COST G6 Conference on Digital Audio Effects 2000 (2000)

- [21]J. Grey, ‘An Exploration of Musical Timbre Using Computer-based Techniques for Analysis, Synthesis and Perceptual Scaling.’ PhD thesis, Stanford University(1975)
- [22]J. M. Grey, *‘Multidimensional perceptual scaling of musical timbres.’* The Journal of the Acoustical Society of America, vol.61, no. 5, pp. 1270–1277(1977)
- [23]J. M. Grey, J. W. Gordon *‘Perceptual effects of spectral modifications on musical timbres’* The Journal of the Acoustical Society of America, vol.63, no. 5, pp. 1493–1500(1978)
- [24]N. W. Grover, *‘How to buy a snere drum.’* TBA Journal March 2002(2002)
- [25]D. Gunawan, D. Sen, *‘Spectral envelope sensitivity of musical instrument sounds.’* The Journal of the Acoustical Society of America, vol.123, no. 1, pp. 500–506(2008)
- [26]S. Handel, M. Erickson, ‘A rule of thumb: the bandwidth for timbre invariance is one octave.’ Music Perception, vol.19, no.1, pp.121–126(2001)
- [27]H. C. Hardy, J. E. Anceli, *‘Comparison of the Acoustic Performance of Calfskin and Plastic Drum Heads’* The Journal of the Acoustical Society of America, vol.33, no. 10, pp. 1391–1395(1961)
- [28]P. Herrera, A. Dehamel, F. Gouyon, *‘Automatic labeling of unpitched percussion sounds’* Audio Engineering Society, Convention Paper, Presented at the 114th Convention(2003)
- [29]P. Herrera, V. Sandvold, F. Gouyon, *‘Percussion-related semantic descriptors of music audio files’* Audio Engineering Society, 25th International Conference (2004)
- [30]M. Ilmoniemi, V. Valimaki, *‘Subjective evaluation of musical instrument timbre modifications’* Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2004(2004)
- [31]J. H. Irwin. Jr, *‘Timbre effects caused by drumstick tip shapes/sizes’* The Journal of the Acoustical Society of America, vol.103, 3006(1998)

- [32]P. Iverson, C.L.Krumhansl '*Isolating the dynamic attributes of musical timbre*' The Journal of the Acoustical Society of America, vol.94, no. 5, pp. 2595–2603(1993)
- [33]J. S. Johnson, '*Prof. Sound's Drum Tuning Bible v3*',
<http://circularscience.com/wp-content/uploads/2015/09/Drum-tuning-bible.pdf> (1999)
- [34]R. Kendall, E. Carterette, 'Verbal attributes of simultaneous wind instrument timbres: I. von bismarck's adjectives.' Music Perception, vol.10 no.4 pp.445–468(1993)
- [35]R. Kendall, E. Carterette, 'Verbal attributes of simultaneous wind instrument timbres: Ii. adjectives induced from piston's Orchestration.' Music Perception, vol.10, no.4, pp. 469–502(1993)
- [36]J. Krimphoff, S. McAdams, S. Winsberg, 'Caracterisation du timbre des sons complexes. ii: Analyses acoustiques et quantification psychophysique.' Journal de Physique, vol.4 no. C5, pp. 625–628(1994)
- [37]C. Krumhansl, 'Why is musical timbre so hard to understand?' In S. Nielzen and O. Olsson, editors, 'Structure and Perception of Electroacoustic Sound and Music.' Elsevier(1989)
- [38]J. B. Kruskal, 'Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis.' Psychometrika, vol.29, no.1, pp.1–27(1964)
- [39]S. Lakatos, '*A common perceptual space for harmonic and percussive timbres*' Psychonomic Society, Perception & Psychophysics 2000,62 (7), pp. 1426–1439(2000)
- [40]B. Larkin, A. Morrison, '*Dampening vibration modes of the snare drum batter head*' The Journal of the Acoustical Society of America, vol.123, 3799 (2008)
- [41]W. Lichte, '*Attributes of complex tones*.' Journal of experimental psychology, vol.28, pp. 455–481(1941)
- [42]B. Logan, '*Mel Frequency Cepstral Coefficients for Music Modeling*.' The International

Society for Music Information Retrieval (2000)

[43] J. Marozeau, A. de Cheveigne, S. McAdams, S. Winsberg, '*The dependency of timbre on fundamental frequency*' The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 114, no. 5, pp. 2946–2957 (2003)

[44] S. McAdams, S. Winsberg, S. Donnadieu, G. De Soete, J. Krimphoff, '*Perceptual scaling of synthesized musical timbres: common dimensions, specificities, and latent subject classes*' Psychological Research, December 1995, Volume 58, Issue 3, pp 177–192

[45] S. McDonald, C. P. Tsang, '*Percussive sound identification using spectral centre trajectories*,' 1997 Postgraduate Research Conference (1997)

[46] G. Nicholls, '*The Drum Book*' Backbeat Books (1997)

[47] C. E. Osgood, G. J. Suci, P. H. Tannenbaum, '*The measurement of meaning*.' University of Illinois Press, (1957)

[48] B. Owsinski, D. Moody, '*The Drum Recording Handbook*,' Hal Leonard Books (2008)

[49] R. Plomp, '*Aspects of Tone Sensation*.' Academic Press, New York (1976)

[50] R. L. Pratt, P. E. Doak, '*A subjective rating scale for timbre*.' The Journal of sound and vibration, vol. 45, no. 3, pp. 317–328 (1976)

[51] A. Primavera, F. Piazza, J. D. Reiss, '*Audio Morphing for Percussive Hybrid Sound Generation*' Audio Engineering Society, 45th International Conference (2012)

[52] A. F. Quiroga, J. D. Garcia, D. Páez, '*Tom–Tom Drumheads Miking Analysis*' Audio Engineering Society, Convention Paper, Presented at the 138th Convention (2015)

[53] P. G. M. Richardson, E. R. Toulson, D. J. E. Nunn, '*Analysis and manipulation of modal ratios of cylindrical drums*' The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 131, no. 1,

pp. 907–913 (2012)

[54]T. D. Rossing, I. Bork, H. Zhao ‘*Acoustics of snare drums*’, The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 92, no.1, pp.84–94 (1992)

[55]E. L. Saldanha, Corso J. F, ‘Timbre cues and the identification of musical instruments.’ The Journal of the Acoustical Society of America, vol.36, pp.2021–2026(1964)

[56]W. A. Schloss, ‘On the Automatic Transcription of Percussive Music: From Acoustic Signal to High-Level Analysis,’ Ph.D. Thesis, Stanford University(1985)

[57]N. Schröder ‘*Drum Tuning*’ PPVMEDIEN (2007)

[58]E. Schubert, J. Wolfe, ‘*Does timbral brightness scale with frequency and spectral centroid?*’ ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA Vol. 92 pp.820–825 (2006)

[59]J. Sillanpää, ‘*Drum stroke recognition*,’ Tampere, Finland(2000)

[60]E. B. Skrodzka, E. Hojan, R. Proksza, ‘*Vibroacoustic investigation of a batter head of a snare drum*’ ARCHIVES OF ACOUSTICS vol.31, no.3, pp.289–297 (2006)

[61]L. Solomon, ‘*Semantic approach to the perception of complex sounds.*’ The Journal of the Acoustical Society of America, vol.30, no.5, pp.421–425(1958)

[62]L. Solomon. ‘Search for physical correlates to psychological dimensions of sounds.’ The Journal of the Acoustical Society of America, vol.31, no.4, pp.492–497(1959)

[63]J. A. Strain, ‘*The Evolution of Snare Drum Grips*’ PERCUSSIVE NOTES JUNE 2002 pp. 60–68 (2002)

[64]H. Suzuki, Y. Hwang, ‘Coupling between two membranes of a Japanese drum,’ Acoust. Sci. & Tech. 29, pp.215–220 (2008)

- [65]H. Terasawa, J. Berger, S. Makino ‘*In Search of a Perceptual Metric for Timbre: Dissimilarity Judgments among Synthetic Sounds with MFCC-Derived Spectral Envelopes*’ The Journal of the Audio Engineering Society., vol.60, No.9, 2012, September(2012)
- [66]A. Tindale, ‘*Classification of snare drum sounds using neural networks*’ McGill University, Faculty of Music, Music Technology Department, (2004)
- [67]A. Torina, M. Newtonb, ‘*Nonlinear effects in drum membranes*’
- [68]G. von Bismarck, ‘Sharpness as an attribute of the timbre of steady sounds.’ *Acustica*, vol. 30, pp. 160–172(1974)
- [69]G. von Bismarck, ‘Timbre of steady sounds: a factorial investigation of its verbal attributes.’ *Acustica*, vol. 30, pp. 146–159(1974)
- [70]A. Wagner, ‘*Analysis of drumbeats–interaction between drummer, drumstick and instrument*’ KTH College of Engineering, Dept. for Speech, Music and Hearing(2006)
- [71]L. Wedin, G. Goude, ‘Dimension analysis of the perception of instrumental timbre.’ *scandinavian journal of psychology*, vol. 13, pp. 228–240(1972)
- [72]D. Wessel, ‘Psychoacoustics and music.’ *Bulletin of the Computer Arts Society*, vol. 30, pp. 1–2(1973)
- [73]D. Wessel, ‘*Timbre Space as a Musical Control Structure*’ *Computer Music Journal*, vol. 3, No. 2, pp. 45–52(1979)
- [74]D. Wessel, D. Bristow, Z. Settel, ‘Control of phrasing and articulation in synthesis.’ In *Proceedings of the 1987 International Computer Music Conference*, pp. 108–116, San Francisco(1987)
- [75]R. Worland, ‘*Normal modes of a musical drumhead under non-uniform tension*’ *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 127, no. 1, pp. 525–533(2010)

- [76]A. Zacharakis, K. Pasiadis, J.D. Reiss, *'An Interlanguage Study of Musical Timbre Semantic Dimensions and Their Acoustic Correlates'* Music Perception: An Interdisciplinary Journal, Vol. 31, No. 4, pp. 339-358 (2014)
- [77]網代景介・岡田知之 『新版 打楽器事典』音楽之友社 (1981)
- [78]池田有史・徳弘一路・北條尚志 『スネアドラムの振動と音の解析』建築音響学会 (1993)
- [79]越智一志・徳弘一路『スネアドラムのモード解析とアタック音の解析』日本音響学会音楽音響研究会 (2000)
- [80]上野山努・樫村雅章・小沢慎治 『ドラム音の音色における感性情報と工学的パラメータとの対応分け』日本音響学会誌 49 巻 10 号 pp. 671-681 (1993)
- [81]田中教順『スネアドラムの音色について』東京芸術大学大学音楽学部学士論文 (2008)
- [82]田中教順『スネアドラム音色の変化による心理的印象の変化についての一考察』東京芸術大学大学院音楽研究科修士論文 (2011)
- [83]戸井武司 『鐘・打楽器の音響シミュレーションと快音設計』音楽音響研究会資料 MA2006-5 (2006)
- [84]徳永智彦, 大久保信行, 戸井武司 『ドラムの仕様による音質評価の検討』日本音響学会講演論文集 2003 年 3 月 pp. 821-822 (2003)
- [85]豊田秀樹 『因子分析入門-R で学ぶ最新データ解析-』東京図書 (2012)
- [86]難波精一郎 『音色の定義を巡って』 日本音響学会誌 49 巻 11 号 pp. 823-831 (1993)
- [87]南風原朝和 『心理統計学の基礎:総合的理解のために』有斐閣アルマ (2002)
- [88]パール楽器 『DRUM CATALOG 2016』パール楽器 (2016)

[89] 柳井晴夫・岩坪秀一『複雑さに挑む科学—多変量解析入門』 講談社(1976)

[90] リットーミュージック『リズム&ドラムマガジン』2008年7月号-2013年5月号