

ヴァイオリンの演奏と歌声の声質に関する評価に利用可能な音楽音響パラメータの設計

Design of musical acoustic parameters capable of evaluating the quality of violin  
playing and vocal singing

桶本 まどか OKEMOTO Madoka

音響パラメータとは、対象とする音響信号の特徴を量的に表したものであり、その設計においては、対象とする音響信号に対して注目すべき点を明確にすることと、その特徴を量的に表すことが可能な算出方法を設計しなければならない。また音響パラメータの設計は、研究の目的に合致すべきであるため、あらゆる研究に適した音響パラメータを設計することは困難である。特に演奏や歌声の特徴を適切に記述する手法を扱った研究はこれまで見られない。この状況に対して本研究では、ヴァイオリン演奏と歌声の特徴を適切に表現する音響パラメータを設計し、その効果を検証している。

本論文の構成は次の通りである。まず、1章で緒論、2章で本論文における基礎知識及び研究背景を述べ、本論文の目的、方針及び概要を述べている。次に、3章で音響パラメータの概要を述べた後、4章、5章で音響パラメータ設計とその評価について述べている。4章ではヴァイオリン演奏に対する評価のために音響パラメータや統計パラメータから成るパラメータ群を設計し、設計したパラメータ群についてヴァイオリン演奏の評価における有効性の検証を行なっている。5章では、J-POP 楽曲の嗜好性における評価要因に関してまとめ、J-POP 楽曲における歌声の声質を対象とした嗜好性の評価のために音響パラメータと傾向パラメータから成るパラメータ群を設計し、その有効性評価を行なっている。最後に、6章で本論文をまとめるとともに、今後の課題及び展望について述べている。

本論文における基礎知識及び研究背景を述べ、本論文の目的、そして方針及び概要を述べた2章においては、まず、本論文における「感性」という用語の扱い、音楽メディアのデジタル化、音楽や音を対象とした感性に関する研究例などを中心に次のような内容を述べている。まず、本論文での感性については、哲学分野における感性的認識についての分野である感性学や美学とは直接的な関係を意図しているものではないと述べ、聴覚、視覚などの人間の感覚器を通じて脳に伝えられた外界からの刺激を受けて引き起こされた情動や感情、また、外界からの刺激を処理する能力であり、人間の知覚認知の一端もしくは知

覚認知そのものを指すものとして扱うと述べている。音楽メディアのデジタル化については、音楽の記録媒体の変遷だけでなく、現在の音楽のデジタル化による音楽産業の現状についても述べている。音楽メディアのデジタル化によって、音楽をコンピュータで扱うことが容易となり、その結果、音楽音響信号から様々な音響パラメータをコンピュータによって取得することが可能となった。例えば、音の大きさのような比較的低次の音響パラメータだけでなく、周波数分析などにより音の高さに関する音響パラメータ、またそこから派生して、音のコード名に関する音響パラメータなど比較的高次の音響パラメータを含む様々な音響パラメータが取得可能となった。この音響パラメータを用いた音や音楽における感性に関する研究について、ヒトがもつ感性を具体的にデザイン要素として実現する工学的手法の感性工学分野を中心に述べている。例えば、感性に基づくクラシック音楽の分類に関する研究では、楽曲に対する印象の自動推定を行なう手法とその手法を実装したシステムを提案し、クラシック楽曲に対する印象評価結果とクラシック楽曲から算出された音響パラメータを用いて、印象評価を行っていないクラシック楽曲に対する印象をニューラルネットワークによって推定している。印象の推定に用いられる音響パラメータとして、強度に関する特性、周波数に関する特性、そして、音響波形のエンヴェロープから算出されるリズムの特性に関する音響パラメータがある。また、楽曲だけではなく楽器音に関する研究もある。例えば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付けに関する研究では、ドラム音の音色に対する印象評価結果と音響パラメータの対応付けを行っており、ドラム音から得られる音響波形のエンヴェロープに基づいた時間軸上の振幅の時間変化に関する音響パラメータ、そして周波数情報に関する音響パラメータを用いて印象を推定している。また、音楽というよりも一般的な音の研究と言えるが、感性の研究結果に基づいて工業製品に対する音のデザインを行なっているという事例もある。例えば、電気自動車の接近を知らせるための接近通報音のデザインに関する報告があり、電気自動車の走行音が従来の自動車より静かなために歩行者などが車の接近に気づきにくいという問題の解決法に関する事例などを挙げており、その中で接近報知音の評価の事例においては騒音レベルに関する音響パラメータが用いられている。このように、感性に関する研究にて音響パラメータを用いた研究例は、楽曲の印象評価に関する研究や、楽器音の印象評価に関する研究、また、報知音のデザインに関する研究など多岐に渡っている。これらの研究の中の内、人間の感性に関する研究のアプローチとして人間の感性が何らかのパラメータ群で構成されているという考え方に基づく研究があり、これまでに多く

のパラメータが設計されている。ただし、まだまだ不足しているパラメータは数多く存在し、今後様々な研究で音響パラメータを拡充する必要があるが、パラメータの設計方法や設計方針を示すことで、多くのパラメータを用いた研究や開発の一助となり得ると述べている。また、その音響パラメータの拡充にあたっての設計方針なども他の研究への貢献となり得るとも述べている。

ここまでで背景などを述べたのちに、本論文の目的、方針及び概要を述べている。本論文では、音楽や音に関する感性的研究の一助となるような音響パラメータの設計を行なうことを目的としている。なお、前述したように音響パラメータの設計においてはそれぞれの研究の目的に適合した音響パラメータがあり、あらゆる研究に適した音響パラメータを設計することは困難であるが、本論文では音楽の特徴を適切に記述する手法の例として、対象とする音響信号の意味や価値を十分に捉える音響パラメータの設計を行なっている。また、設計した音響パラメータの評価を行なう上で対象となる音響信号は明確であることが望ましいため、本論文では楽器演奏の熟達度評価と歌声の嗜好性評価という点に限定し、音響パラメータの設計及びその評価を行なっている。本論文における楽器の演奏については、特にヴァイオリン演奏に着目している。ヴァイオリン演奏に着目した理由として、これまでの演奏評価に関する研究の多くはピアノを対象としているが、ピアノにおいては鍵盤を打鍵するとあらかじめ調律された音が鳴るという仕組みであるのに対し、楽器の中にはヴァイオリンのように演奏者が演奏時に微細なピッチの変化を行なうことが可能な仕組みを持つ楽器が多数存在することを挙げ、そのようなピッチの微細なコントロールが可能な楽器においても演奏評価を行なうための音響パラメータの設計可能性について検討するために、本論文ではポピュラーな楽器のひとつであるヴァイオリンの演奏を対象に検討を行なっている。また、歌声に着目した理由としては、J-POP 楽曲の嗜好性評価として歌声は重要な要素のひとつであるにも関わらず、歌声抽出の技術がこれまでに発展していなかったことなどから、歌声に着目した音響パラメータの有効性については十分な検討がなされていないことを挙げ、歌声の声質に着目した音響パラメータを設計することの有効性検証を行なうことを目的としていると述べている。

3 章では、まず音響パラメータの概要を説明している。次に、音響パラメータの算出において重要なフーリエ変換について数学式に基づいた説明を行なっている。そして、音響パラメータの実例を挙げている。周波数解析を伴わない音響パラメータとしてゼロクロスと RMS、周波数解析を伴う音響パラメータとしてスペクトルフラックスとスペクトルセント

ロイドについて概要について述べたのちに、その音響パラメータの算出プログラムを記載している。最後に、4章、5章で述べる用途に応じた音響パラメータを設計する必要性について述べている。例えば、スペクトルセントロイドは音の明るさを表す音響パラメータであるが、ヴァイオリンの演奏音において音高が C4 と C5 の演奏音におけるスペクトルセントロイドを比較した場合は、C5 の演奏音の方がそもそもの音高が高いためスペクトルセントロイドの値も高くなる。演奏音の評価においては、このような音高の影響を受ける音響パラメータよりも、楽譜上の音高情報に依存しないスペクトルセントロイドの方が演奏評価に適しているという事例を挙げながら、用途に応じた音響パラメータを設計する必要性を述べている。

ヴァイオリン演奏の評価について述べた4章においては、ヴァイオリン演奏の熟達度評価に実用可能な音響パラメータを設計し、その有効性を検証している。ここでの熟達度とは、高度な演奏教育等を受けてきたような楽器演奏の熟練に関する評価のことを指しているのではなく、楽器演奏の初学者における楽器の熟達に関する評価のことを指している。なお、本論文でのヴァイオリン演奏の演奏課題は、基礎的な演奏課題であるヴィブラートを付与した1オクターブ上下行長音階（以下、1octvib と呼称）としている。1octvib を採用した理由として、ノンフレット楽器の特徴的な演奏手法であるヴィブラートも熟達度評価において重要な要素のひとつであるからだと述べている。まず、ヴァイオリン演奏の熟達度推定について述べている。本論文における熟達度推定では、熟達者による 1octvib に対する熟達度の評価スコアを目的変数、パラメータを説明変数とし、10-fold-CV で線形回帰による推定を行なっている。熟達度推定において、設計したパラメータは、音響パラメータと統計パラメータの組み合わせから成る 106 通りのパラメータであった。なお、推定精度として推定スコアと評価スコアの類似性を求めるために相関係数を求めたところ、その値は 0.78 であることが確認されている。さらに、サンプル数が 100 通りの場合は、相関係数の絶対値が 0.20 を超えていけば無相関であると言えないことより、熟達度スコアと評価スコアの評価は無相関ではないということが確認されている。なお、この時、提案パラメータ群、特に 2 音間の遷移に関するパラメータなどが有効である可能性が示唆されている。続いて、このパラメータ群を用いて、ヴァイオリン演奏における熟達・技術・表現における評価要因の違いについて調査している。演奏課題は熟達度推定と同様の 1octvib である。評価者内と評価者間の各評価の共通性を相関係数によって評価している。続いて、評価スコアを目的変数、音響信号から取得したパラメータ群を目的変数として 10-fold-CV で線形

回帰による推定を行ない、その結果から、評価スコアと物理特徴を表すパラメータとの関係を明らかにするという方針で検証を行なっている。その結果、いずれの評価者においても、熟達・技術・表現に対する評価スコアの相関係数の値は 0.65 を上回っていることが確認されている。続いて、線形回帰による推定における各パラメータの相対重みに着目した検証を行なっている。その結果、各パラメータの相対重みが評価者の各パラメータへの重要度を表すならば、重要度の高いパラメータは評価者、またその評価内容に依存する可能性が示唆されている。

続いて、J-POP 楽曲の歌声を対象とした嗜好性に関して述べた 5 章では、日本語歌唱を伴う楽曲に対する嗜好性の評価要因について述べたのちに、歌声における声質の嗜好性評価のための音響パラメータの設計を行なっている。日本語歌唱を伴う楽曲の嗜好性の評価要因として、歌手の好み、メロディの好み、伴奏音の好み、歌詞の好みに着目し、AHP (Analytic Hierarchy Process) を用いて調査を行なっている。4 つの要素を用いた AHP による楽曲の嗜好性に対する評価基準の有意な有効性は聴取者全員において確認できなかったことから、その理由として、各重要度が AHP の総合評価値で計算される加算結合でない可能性、さらには要素が十分でない可能性、また重要度については共通ではない可能性が示唆されている。また、普段聴取する音楽ジャンルと重要視する要素との関係性があり得ることが示唆されている。また、歌手の好みを重要視する聴取者もいることを踏まえ、歌声の声質に着目した嗜好性に関する評価を行なうことに一定の需要があることを述べている。続いて、歌声の声質に着目した嗜好性評価について述べている。まず、歌声の声質に着目したパラメータとして、音響パラメータと傾向パラメータの組み合わせからなる 18 種類のパラメータを設計、提案している。これらのパラメータについては、歌声抽出技術によって抽出された歌声の音源を対象としてパラメータの算出が行なわれている。続いて、実験刺激と歌声の評価法について述べている。歌声の声質における好みに関しては、好みである、もしくは好みでないという 2 件法で回答を行なわせている。歌声の声質における好みの評価に対して、各聴取者の回答を目的変数、提案するパラメータ群を説明変数とし、ランダムフォレストによる分類を行なった結果、F-measure の値の平均はチャンスレベルである 0.50 より高い 0.58 であることが確認され、提案するパラメータ群の有効性が示唆されている。一方、聴取者の判断基準のいくつか、例えば、喉ががらがらした音を含んだ声、ストレートな声といったラフネスなどとの関係のありそうな歌声の特徴などについては、提案パラメータ群に反映できていない可能性が高く、それらの音響パラメータを設

計することでより F-measure の値が高い分類を行なうことが可能であることが示唆されている。さらに、歌声の声質の好みについて、その判断基準を明文化できない聴取者も存在するので、SD 法などの印象評価の側面から好みの認知過程を明らかにすることによって音響パラメータの設計に活かすことができる可能性も示唆されている。最後に、歌声の声質に関する音響パラメータにおける楽曲推薦システム等への利用可能性についてまとめている。

論文のまとめである 6 章では、まず、1 章から 5 章までをまとめたのちに、今後の課題及び展望について述べている。なお、ヴァイオリン演奏、歌声の嗜好性評価に関する今後の課題等については、4 章や 5 章で述べているので、ここでは、音響パラメータの展望を中心に述べている。ディープラーニングの台頭により、音響パラメータなどを人間が設計せずとも、コンピュータが自動でなんらかのパラメータを設計、算出し、問題の解決を図るという研究が増加している現状について触れ、これらの研究においては、人間がコンピュータによる推定結果などを評価するのが困難であると述べている。一方、人間が設計した音響パラメータなどを用いることで、その結果の解釈も前述のようなディープラーニング等を用いた手段と比べてより容易であり、その解釈から人間の知覚認知研究に対する貢献、また知覚認知研究からの音響パラメータ設計といったように、それぞれの研究結果を活用することで、音楽に関する分野横断型の交流、また研究に対する期待があることを述べている。