

<報告>

音楽の魅力を探る ～科学から見た場合～

Exploring the Nature of Music from a Scientific Perspective

三浦 雅展

MIURA Masanobu

筆者が基礎ゼミにて実施した「お話2」について述べている。音楽大学の学生にとって、音楽を聴取し実践することは日常的な活動であるものの、その物理的特徴や音響的側面といった観点で音楽を知る機会はそれほど多くないと言える。この報告では、新1年生および新3年生を対象とし、音響学の基礎から応用を説明し、演奏科学、音楽情報処理の分野の研究概要について説明している。特に、普段から音響学や音の物理的な側面に対してあまり興味を持っていないかもしれない学生らを対象とした場合の工夫点について述べている。

キーワード：音楽の科学、音響学、演奏動作、モーションキャプチャ、音楽情報処理

1. はじめに

本学の基礎ゼミは、新たに入学した1年生、及び入学してから少し時間が経過した3年生を対象とし、本学での学びの意義と方針を広く学ぶ機会である。その中で筆者は重要な役割である「お話」を担当させていただくことになった。このお話は、2021年4月8日（木）本学講堂にて、午後1時～2時半の90分間で実施した。参加した学生は3年生の学生数百人であった。コロナ禍により、出席を望まない学生は後日インターネット上での配信[1]を視聴した。また1年生についても当日の講堂では聴取せずに、インターネット上で視聴する形式となった。

2. 講義内容

2.1 自己紹介

コロナ禍で行なわれた講義で、90分間の講義を聞き続ける学生の立場から、講義の動機付けが必要であろうという観点から、最初に以下のメッセージを伝えた。

「皆さんはなぜ本学に進学されましたか？きっかけはどのようなものだったのでしょうか？ある人は『将来高名な演奏家になることを目指して進学』されたことでしょうかし、また『音楽にかかわる学びを深め、音楽の魅力を伝えたい』という方もいらっしゃるでしょう。皆さんにはぜひ初志貫徹で邁進していただきたいのですが、今日の話は、科学という学問から見た音楽のお話です。皆さんの多くは、これまで音楽の経験を積み、『自分もそのような音楽をしたい』、また『魅力を伝えたい』と考えられたことでしょうか。私の場合は、音楽にたくさんの疑問があり、その『なぜ』を知ることが音楽の研究を始めたきっかけでした。今日はそんな研究の一部を皆さんにお伝えします。」

つまり、今回の講義では、楽しく・わくわくするような演奏ではなく、音楽にまつわる科学のお話というメッセージを伝えた。学生の多くは最初がっかりした様子に見えた。この中でどのような話題が適しているのかを音大生の視点で考えて次のように続けた。

最初に「自己紹介」を行なった。筆者は工学部情報系の大学で学部、修士、および博士課程を経ており、音楽大学の出身者ではない。しかし幼少期から音楽が常に身近にあり、音楽無しでは自らの人生が無かったという話をした。その後、学部生と大学院生の時代に音楽大学にて音楽理論の学びに恵まれ、和声法、対位法、鍵盤和声法といった授業の体験をしたことを話した。その後、和声法学習支援システムとして、バス課題を自動的に解くシステムと、四声体和声の禁則違反を指摘するシステムの紹介を行なった。この件については後日興味を持ってくださった教員から連絡をいただき、多くの情報交換を行なうことができた。基礎ゼミでのお話は、単に学生に向けた話に限らず、教員間の情報交換としても貴重な機会であると感じた。



図1 YouTube上で配信された講義動画[1]のスクリーンショット

2.2 音響分析

次に音響分析について述べた。音響信号はその物理的特徴に基づいた波形処理やフーリエ変換などの信号処理技術によって様々な分析が可能であるが、音楽を主として専攻する学生にとって必ずしも身近ではない。この点を考慮し、なんとか直観的に理解できるデモンストレーションを考えた。その結果、楽器音の分析のデモを行なった。特にグランドピアノの音を録音し、その倍音を分解するというデモを行なった。音合成は筆者が独自に

行なったもので、録音された音を信号処理技術によって分離した。図2のその資料を示す。この資料ではピアノの音(C4, 中央のド)をMIDI Velocity=64で自動打鍵した音を収録している。用いたピアノは自動演奏機能付きYAMAHA C3であり、筆者が過去に収録した音である。この音の振幅スペクトルを図2に示している。横軸は周波数で縦軸は相対レベルである。この図には複数のスピーカマークが埋め込まれているが、いずれも単独の倍音のみが鳴る仕組みである。これを連続して聴取することで、各々の倍音がどのような高さを有しているのかを聴取体験として聞くことができる。筆者はこのデモを2020年後期の授業で初めて実現し、授業のデモとして用いたところ、多くの学生にとって関心度が高い様子がわかったため、今回利用した。一部の学生は「長年ピアノをやってきたが、こんなデモは聞いたことが無かった」と言っていた。また、反対に倍音を重ねていくことで、元のピアノ音を再合成するデモを行なった。この様子を図3に示す。横軸は時間で上の図は時間波形、下の図はスペクトログラムを表す。時間が経過するにつれて音がどんどんと重ねられてゆき、最終的にはピアノの音が合成されるというデモである。このデモを聞くと、図2で示した各倍音が本当にピアノ音の一部であるか懐疑的であった学生も、合成されるのを聞くと、なるほどと理解できるようになった。このような聴取体験は、音楽音響学分野の分析と技術によって初めて実現されたものであり、学生らへ良い刺激を与えたと考えている。

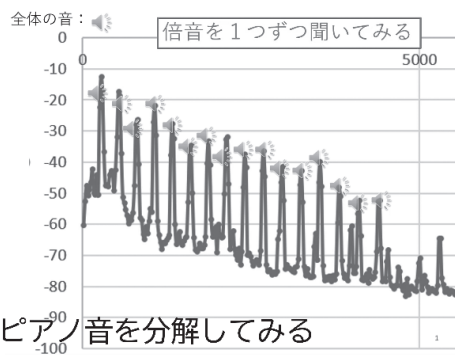


図2 ピアノ音の分解デモに関するスライド

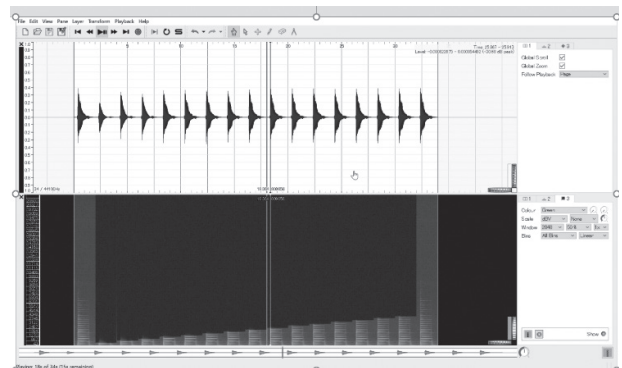


図3 ピアノ音の倍音を重ね合わせるデモ

2.3 演奏科学

演奏科学という新しい研究分野について説明した。演奏科学では演奏を科学的に分析し、その特徴や練習支援、怪我の防止といった科学の視点を演奏に盛り込むことを目標としている。今回はモーションキャプチャシステムという新しい技術を用いた分析例を紹介した。モーションキャプチャシステムとは、人や物体の動きをコンピュータによってとらえる技術であり、3次元空間内の1点が時間軸上でどのように変化するかをとらえることのできる技術である。元々はコンピュータグラフィックスの制作支援に使われたものであるが、近年では例えば野球選手によるバットのスイング解析や、サッカー選手によるボールキックの動作解析といったスポーツサイエンスでも積極的に用いられている。今回は音楽で使うための技術としてモーションキャプチャを紹介し、ピアノ演奏とマリンバ演奏の解析について説明した。特に後者については、本学大学院生打楽器専攻の学生による実施を紹介し、当該学生が制作した動画をYouTube上で公開した。4本マレットの軌跡をモーションキャプチャシステムで記録し、その軌跡をコンピュータグラフィックとして作成した動画を公開した。モーションキャプチャ用に作成したマレットを図4、コンピュータグラフィックスの例を図5に示す。これらはいずれも筆者が指導する大学院生による実施例であり、学生たちが自分たちから遠い世界にあると感じられた科学の世界が、身近な大学院生によって実施されていることを受講している学生に実感してもらうことも目的の1つとした。このコンピュータ

グラフィックスでは、マリンバのマレットの軌跡を描くことができ、打楽器奏者が自らの演奏フォームを目視で確認することができる方法である。打楽器奏者にとってみれば、自らの普段の練習における姿を鏡などの道具を用いて目視で確認しながら演奏することがあるが、その動作を改めて別の視点から眺めることができるという点で画期的な手法と言える。さらにこれは演奏者が別のエンジニア等に依頼して行なったことではなく、演奏者自身が体得した技術を用いて分析している点が重要であると説明した。



図4 マリンバのマレットとマーカー

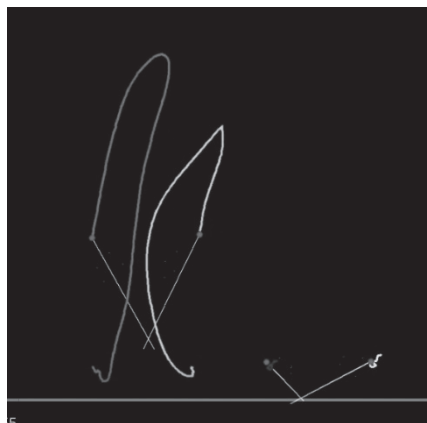


図5 マレット動作の例

2.4 音楽情報処理

音楽情報処理という研究分野は、近年急速に進歩したコンピュータ技術を用いて音楽の編集や合成を行なう技術一般をさす。代表的な研究例に、サビ推定、拍推定、テンポ推定、類似楽曲選出、楽曲推薦、自動作曲、ボーカル抽出、タブ譜自動生成、自動編曲などがある。技術開発の目的は、音楽そのものに対する研究者の興味の延長であることもあれば、社会的ニーズによって伸びてきた技術もある。その例として、1980年初頭のMIDI技術の登場により、人の演奏はMIDIというデジタル情報として扱うことができるようになり、通信カラオケが流行した。研究の世界では、演奏をMIDI情報として扱うことができるようになったことから、演奏解析の研究が行なわれ、また演奏表情付けという新しい考え方も生まれた。演奏表情付けとは、MIDIで作られた音楽に対して、タイミングや音の大きさを自在に変化させることで、あたかも人間の演奏家が演奏したようなMIDI情報に自動的に変形する技術である。演奏表情付けとはいわば人間に代わる自動演奏技術の実現であり、演奏家を養成する大学の立場から言うと少し複雑な気持ちにはなるものの、例えばピアノ伴奏者が見つけれなくて困っている場合にコンピュータに代わりをしてもらえるのなら、というようにポジティブな応用も考えられる。これに比べて社会的なニーズとして爆発的に普及したのが2000年の小型音楽再生端末である。MP3やAACに代表されるような圧縮技術によって、音をデジタル化した音響波形を手軽に扱うことができるようになった。iPodに代表されるような安価な小型デバイスに、数百から数千といった音楽データを保有し聴取できるようになった。この技術革新により音楽情報処理技術が発展し、その中からこの講義では、テンポ推定技術の紹介を行なった。主にポピュラー音楽の音響信号を対象とし、時間振幅波形上で拍に該当する位置をコンピュータ技術によって推定し、連続する拍と拍の時間間隔をテンポ値に変更することでテンポ推定を行なうという技術である。この技術によって、様々な音響波形に対して人間が1つ1つ拍のラベリングを行なう必要がなくなり、自動的に拍の位置がラベリングされるという技術である。このデモを、音響波形上に実際に「ピッピッ」という音を加えることで、聴覚

的に推定された拍の位置を確認できるデモを行なった。さらに音源に対してタイムストレッチを行なうことで、人工的に加速と減速を付与したパターンや、そもそも推定が困難な場合についてのデモを行なった。このデモを通して、人にとって拍を知ることはそれほど難しいことではないと感じられるかもしれないが、コンピュータにとっては大変難しいことを体験してもらった。拍時刻と音響波形の関係を図6に、また拍時刻推定の結果のデモの様子を図7に示す。

その後、拍時刻推定技術を使って、拍の位置で写真が切り替わる「スライドショーシステム」の研究デモを行ない、拍時刻推定の技術の応用例を紹介した。また、音響波形からその音楽が公開された年代を推定するというちょっと難しい試みについても紹介した。

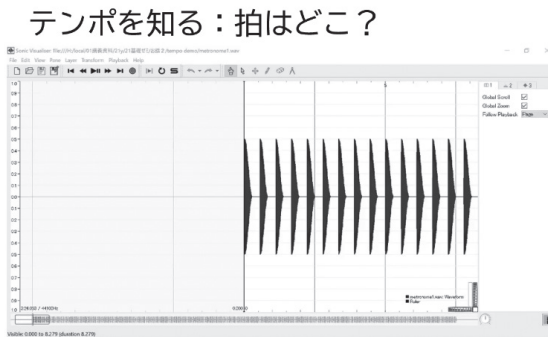


図6 拍時刻の説明

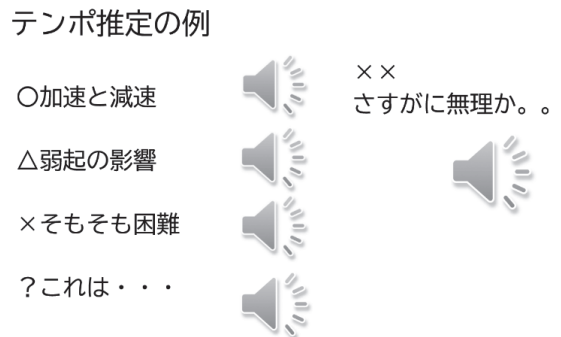


図7 拍時刻推定結果のデモ

2.5 デジタル音楽学

最後にデジタル音楽学について述べた。2.4で述べた音楽情報処理は、商業音楽を支える技術という側面があり、また一部の音楽好きの情報処理技術者の興味に基づく開発が多くあった。しかし趣味の対象ではなく学問の対象として音楽を考える上で、音楽学は重要な学問領域である。音楽学は音楽を学問的に追求するという究極的な目標があり、人文学や自然科学分野など様々な専門分野の研究者らによる共同作業として成り立っている。音楽情報処理で培われた技術が、そのような音楽の研究に使われることを目標として近年新しい分野として、「デジタル音楽学」がある。つまりIT技術を用いた新技術の開発と応用によって近年注目を浴びている。自然言語処理技術、楽譜分析、データサイエンスなど様々な応用がある。この講義ではその中で、多数の音響波形を比較しながら再生可能なソフトウェア「Sonic Lineup[2]」を紹介した。Sonic Lineupはロンドン大学メアリー女王校のデジタル音楽研究所によって開発されたソフトウェアであり、フリーで利用可能である。このソフトでは、同じ楽譜に対して演奏された複数の音響波形を対象とし、それらを比較させながら再生することができる。興味深い点として、複数の異なる演奏間の時間軸上での位置が互いに紐づけられ、クリック1つで再生する音源を変更することができる。このソフトウェアは例えば演奏が複数の音源を聞き分けて使いたい場合に、マウスでクリックをしながら聴覚的に比較することができる。また演奏史の研究者が複数の演奏を比べるにも使うことができる。図8にSonic Lineupの画面を示す。この図では8通りの音源を比較している。横軸が時間、縦軸が8通りの音源を示している。楽曲はエルガー作曲の《威風堂々》であり、最も有名な pesante の部分である。最上段の上には音響信号処理技術によって和音名が推定されるが、ここでは和音ではなく tutti であるため、その音名がそのまま記されているのがわかる。これらの音名もすべて自動的に推定される。音源毎にマスターチューニングが異なるが、音響波形からの推定は容易ではないが、このソフトウェアでは左列の上から cent の値で表

現されている。この図を見ると、pesante に対する 8 通りの音源によるテンポスローダウンの様子が大きく異なる様子がわかる。例えば上から 2 つ目の音源ではスローダウンの量が多く、より遅いテンポまで落ち込んでいるのに対し、最下段の音源ではそれほどスローダウンしていない様子がわかる。この違いは指揮者による指示とバンドの演奏によるものであるということ以上にここからはわからないが、演奏を研究する上で、例えば何らかの意図によってこのような演奏がなされているといったことの証拠として示すことができ、音楽学分野の研究ツールとして有用であることが期待される。

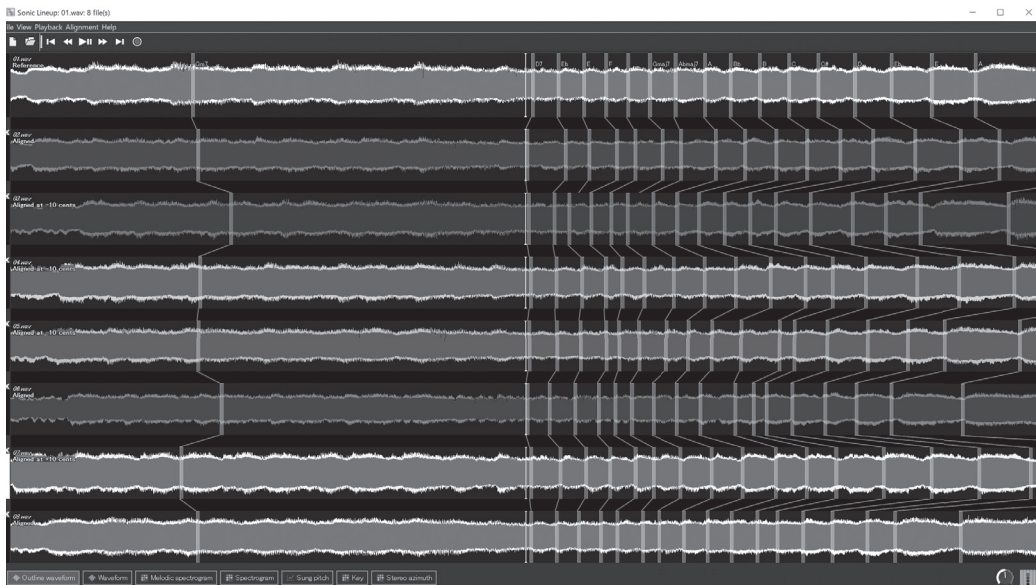


図8 Sonic Lineup の出力例。楽曲はエルガー作曲「威風堂々」の最も有名な pesante の部分。

3. おわりに

本基礎ゼミのお話は、リアルタイムの講話だけでなく、オンライン上でも公開され、2021年8月30日までで1263回の再生回数となっていた。1人の学生が何度も視聴した可能性はあるものの、オンラインにすることでより多くの方々にお伝えできる機会が提供できたかのように思われる。オンラインを併用した理由はコロナ禍における密集状態を避けるための方策であったが、今回は多くの学生に広く音楽の科学的研究について伝えることができたのではないかと考えられる。音楽家が豊かな演奏を多くの人々に届けることは人生をかけて行なうことであるが、自然科学の力を用いることで新たに発見できることも多く、最終的には音楽を広く多くの方々に伝えるという目標の一つの手段として認識していただければ幸いである。

謝辞

このような貴重な機会を与えてくださり、基礎ゼミ全体を統括され、運営の隅々にまでご配慮くださった吉成副学長に感謝します。また、当日までのスケジュールおよび説明資料の提出などについて手伝ってくださった、三浦研究室の学生諸君および教務課各位に感謝します。また当日の講堂におけるプレゼンテーションをサポートくださったスタッフ各位に感謝します。

参考文献

- [1] 2021年度基礎ゼミ「お話2」の動画, <https://www.youtube.com/watch?v=qD55-Xk3txQ> (2021.8.27確認)
- [2] Sonic Lineup のホームページ, <https://www.sonicvisualiser.org/sonic-lineup/> (2021.8.30確認)