

氏 名 山本 由紀子

学位(専攻分野) 博士(学術)

学位記番号 総研大甲第 1780 号

学位授与の日付 平成27年9月28日

学位授与の要件 文化科学研究科 メディア社会文化専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 聴覚的協和・不協和感の知覚に関する研究
ー楽音を用いた検討ー

論文審査委員 主 査 教授 児玉 晴男
教授 仁科 エミ
准教授 大西 仁
教授 亀川 徹 東京藝術大学
准教授 小野 貴史 信州大学

論文内容の要旨

Summary of thesis contents

我々の周囲には、自然環境音、人工音、音声、楽音といった様々な音が存在する。これらの音は、複数の周波数成分（以降、成分）を持つ複合音である。ここで楽音とは、音楽の素材になる音をいい、振動が一定の周期をもち、その高さを明瞭に判別できる音を指す。本研究では楽音のうち、ピアノ音とオルガン音を対象とした。

複合音には協和／不協和が生じる。協和とは、音楽学的には「同時に鳴った二つ以上の音が快く調和して響く状態」と定義されており、音や音楽が協和している／いないと感じる感覚を協和感／不協和感という。聴覚的協和感とは、旋律や和声進行といった音楽の流れから切り離された、音そのものを感じる協和感と定義されており、音楽における協和感の基礎を成すとされている。聴覚的協和感における協和／不協和の選好や弁別判断においては、音楽の専門家と非専門家は同様の傾向を示し、乳児でも成人と同様の傾向を示すことが見出されている。そのため、聴覚的協和感は音楽経験に依存しない生得的なものであり、音楽に特化しない聴覚のメカニズムを反映していると考えられる。本研究ではこの聴覚的協和感に注目した。

現代の聴覚的協和感研究は、19世紀の Helmholtz を先駆けとする。彼は、不協和感の主にならりとざらつき感により生じ、不協和感が生じないのが協和感であるとした。1960年代に Plomp と Levelt は、単純な構造の純音を組み合わせた複合音を用いた実験を行った。その結果から、周波数の異なる二つの純音による複合音(dyad)の不協和度（不協和感の尺度）は単なる周波数の差や比ではなく、周波数差を臨界帯域幅（二つの音が分離して聞こえるための最小の周波数差）で除した値によって決まるとし、複合音の不協和度は各 dyad の不協和度を全て足し合わせたものとした。その後、提案された諸モデルも、基本的には各 dyad の不協和度を足し合わせて複合音全体の不協和度を算出する、加法的な手法を使っている。これらのモデルを加法モデルと呼ぶ。

加法モデルにより、不協和度の定量的な推定が可能となったものの、それらが対象としたのは、基本周波数と少数の倍音で構成され、音圧の振幅が時間に伴い変動（振幅変動）しない単純な複合音である。それに対して、我々の周囲に存在している複合音、すなわち、成分が多く、振幅変動する楽音のような複雑な音の不協和度を推定できたという報告はない。

モデルの開発者は、加法モデルが、音の振幅スペクトルのみから不協和度を計算しているため、振幅変動を含む音は扱えないと指摘している。しかし、先行研究で用いられた複合音と楽音には、振幅変動以外にも重要な違いがある。先行研究で用いられた複合音において、各成分が強く干渉するのは周波数の最も近い 1 成分のみで、他の成分は、周波数の差が臨界帯域幅より大きく、あまり干渉しない。楽音のように多くの成分を持つ音は、臨界帯域内にも 3 成分以上が同時に存在する。著者は、そのような場合、加法モデルが仮定しない、3 成分以上の間での相互作用が生じ、加法モデルでは不協和度を推定できなくなる可能性があるかと着想した。

そこで、本論文では、臨界帯域内に 3 成分以上が同時に存在する場合に生じる相互作用が、複雑な構造をもつ楽音の不協和感の知覚に与える影響を検討して、協和感／不協和感知覚のメカニズムに関する基礎的な知見を得ることを目的とした。

論文は 6 章から構成される。

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

第 1 章では、この研究の着想に至った著者の音楽経験を含む本研究の背景と目的、音楽的協和感、聴覚的協和感についての基本的事項、および論文の構成について述べた。

第 2 章では、聴覚的協和感の先行研究について述べた。Helmholtz らの研究、Plomp と Levelt による加法モデルの発表以降、現在に至るまで様々なアプローチで研究が進められている。特に近年では、脳機能計測装置を利用することにより、協和感の神経基盤が解明され始めている。このように研究が発展しているにも関わらず、定量的な研究で対象とされている音が、少数成分で振幅変動のない単純な複合音に限られていることを指摘した。

第 3 章では、短 2 度音程のピアノ音を用いた不協和度の測定について述べた。測定に用いた刺激音は、音高の異なる 12 種類の短 2 度音程のピアノ音である。これらの刺激音の不協和度を一対比較法により測定した。その結果、理論的にも経験的にも不協和度の差が小さい刺激であるにも関わらず、音高の違いによる不協和度の変化は、専門的音楽教育の経験者と非経験者で同様の傾向を示した。また、Sethares の加法モデルでは不協和度を推定することができなかった。

第 4 章では、様々な音色や音程の刺激音を用いた不協和度の測定について述べた。楽音は多くの成分を持つため臨界帯域内にも多くの成分が存在している。この特徴に注目し、振幅変動がなくても、臨界帯域内に 3 成分以上が同時に存在した場合には、加法モデルが仮定しない成分間での相互作用が生じている、という仮説をたて、不協和度測定実験を行った。

呈示刺激は、振幅変動の大きいピアノ音、振幅変動の比較的小さいオルガン音、そして先行研究で主に用いられてきた少数成分で振幅変動のない単純な複合音を用いた。さらには、振幅変動がない 3 成分のみが臨界帯域内に同時に存在する単純な複合音 (3 成分複合音) も用いた。その結果、既存の加法モデルは、先行研究で主に用いられてきた少数成分で振幅変動のない単純な複合音の不協和度を推定することはできたが、楽音および 3 成分複合音の不協和度を推定することはできなかった。これらの結果は、臨界帯域内に 3 成分以上が同時に存在すると、それらの成分の間で相互作用が生じるという仮説を支持する。

第 5 章では、新たに提案した不協和度を推定するモデルについて述べた。臨界帯域内に 3 成分以上が同時に存在する場合の実験結果に基づき、加法モデルを拡張したモデルを提案した。提案モデルで、第 4 章で用いた刺激の不協和度を計算したところ、それらの刺激の不協和度を推定することができた。推定精度を比較すると、振幅変動が小さいオルガン音よりも、振幅変動の大きいピアノ音のほうが高い精度で推定できた。これらの結果は、臨界帯域内に 3 成分以上が同時に存在するとそれらの成分間で相互作用が生じ不協和感の知覚に影響を与える、という本研究の仮説をさらに強く支持する。

第 6 章では、本研究で得られた結果と意義、および課題と展望について述べた。これまでの聴覚的協和感と音の物理的属性とを定量的に関係づける研究では、楽音が用いられることはほとんどなかった。計算機の能力が飛躍的に向上し、複雑な音声刺激を作成・解析することが容易になった現在でも、ほとんどの研究において、少数成分からなる単純な複合音のみが用いられている。そのような状況の下、本研究では、楽音を対象として不協和度の測定とモデルによる推定を行った。その結果、楽音のよう

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

な臨界帯域内に 3 成分以上が同時に存在する音の場合，それら成分の間で生じる相互作用が，協和感／不協和感知覚に影響を与えているという，聴覚メカニズムに関する基礎的な知見を得ることができた。

博士論文の審査結果の要旨
Summary of the results of the doctoral thesis screening

本研究は、聴覚的協和感・不協和感の知覚に心理学実験と数理モデル構築によりアプローチしている。本研究が対象とした「聴覚的協和感」とは、旋律や和声進行といった音楽の文脈から切り離された音そのものに感じる協和感のことをいう。音楽の文脈から切り離された音の協和感に関する弁別や選好判断は、音楽の専門家と非専門家、成人と乳幼児を含む子どもとの間で同様の傾向を示すことから、聴覚的協和感は音楽に特化しない人間の一般的な聴覚メカニズムを反映していると考えられている。

現代の聴覚的協和感研究に最も影響を与えたのは、1960年代の Plomp と Levelt である。彼らは、周波数の異なる二つの純音による複合音の不協和度（協和感・不協和感の尺度）は、その二つの純音の周波数差と臨界帯域幅（二つの音が分離して聞こえるための最小の周波数差。2成分の中心周波数が 500Hz 以下の場合には 100Hz 程度、それ以上の場合には中心周波数の 1/5 程度）との比によって決まり、3成分以上を含む複合音の不協和度は各成分音間の不協和度の和であるとしている。Plomp と Levelt のモデルは、多くの研究者により精緻化されたが、それらはいずれも各周波数成分間の不協和度を加算して複合音全体の不協和度を算出する「加法モデル」という性格を持つ。

これら加法モデルは、心理学実験で測定された不協和度によく当てはまった。ただし、これらの研究が対象としたのは、基本周波数と少数の倍音成分で構成され、音圧の振幅が時間的に変動しない単純な複合音であった。それに対して、楽器の音など音楽作品を構成する素材としての音、すなわち「楽音」は、きわめて多くの周波数成分を含み、音圧の振幅が時間的に変動する複雑な音である。計算機的能力が飛躍的に向上し、複雑な音声刺激を作成・解析することが容易になった現在でも、楽音を対象として、聴覚的協和感と音の物理的属性とを定量的に関係づける研究は行われていない。一方、音楽および音楽教育に携わってきた出願者は、既存の加法モデルでは説明がつかない不協和感を音楽鑑賞時に体験し、それが先行研究で用いられてきた単純な合成音と実在の楽音との情報構造の違いに由来するのではないかとの着想を得ている。

そこで本研究では、先行研究で用いられてきた単純な複合音だけでなく、楽音を用いて、聴覚的協和感の知覚について検討している。まず、音高の異なる 12 種類の短 2 度音程のピアノ音（高精度のサンプリング音源）を刺激として、心理学実験で不協和度を測定し、加法モデルによって推定される不協和度との乖離が著しいことを示し、楽音については加法モデルで不協和度を推定できないことを明らかにしている。単純な複合音と楽音とでは相違点が多く、加法モデルが楽音の不協和度を推定できない原因は、音圧の時間変動等いくつか想定される。その中で本研究では、先行研究で用いられた単純な複合音は、臨界帯域内に二つの（周波数）成分しか同時に存在しないことに注目し、臨界帯域内に 3 成分以上が同時に存在した場合には、加法モデルが仮定しない成分間での相互作用が生じ、不協和度に影響を与える、という仮説を立てている。

次に、様々な音色や音程の刺激音を用いて不協和度を測定している。すなわち、不協和音程である短 2 度音程、協和音程である完全 5 度音程、ピアノ音、オルガン音を刺激音源としている。また、先に立てた仮説を直接的に検証するため、3 成分のみが臨界帯域内に同時に存在する単純な複合音（3 成分複合音）をも刺激音としている。その結果、加法モデルは、先行研究で主に用いられてきた単純な複合音の不協和度を推定することはできているが、楽音の不協和度を推定することができなかった。また、3 成分複合音の不協和度

(別紙様式 3)

(Separate Form 3)

も推定することはできなかった。これらの結果は本研究の仮説を支持する。

さらに、新たな不協和度推定モデルを提案している。提案モデルは、臨界帯域内に 3 成分以上が同時に存在する時に生じる相互作用の効果を取り入れるように重みづけをし、加法モデルを拡張したものである。提案モデルで実験に用いた刺激音の不協和度を計算したところ、高い精度で不協和度を推定することができた。この結果は、臨界帯域内に 3 成分以上が同時に存在する場合には、加法モデルが仮定しない成分間での相互作用が生じ、不協和度に影響を与える、という本研究の仮説を強く支持するものである。

本研究は次の点で高く評価できる。まず、これまで研究対象とされてこなかった楽音に着目して、多様な条件における聴覚的協和感に関する精緻な実証データを得ていることである。楽音は複雑な構造の複合音で、有効な仮説が得られないと分析が困難になることが予想されるため、計算機の能力としては複雑な音声刺激を分析することが可能でも、実証研究は行われてこなかった。本研究は、そのような困難が予想される課題を究明するために、実証データを積み重ねている。楽音は複雑で分析の観点を定めるのが難しい。本研究では、臨界帯域内に 3 成分以上が同時に存在するとき、加法モデルが仮定しない成分間での相互作用が生じるという仮説を立て、単純な 3 成分複合音を用いることによりその仮説を検証している。この仮説とその展開の着眼は優れている。さらに、不協和度を推定するモデルに相互作用の効果を取り入れることにより、楽音の不協和度の推定に成功し、加法モデルの持つ問題点を解決している。心理学実験と数理モデルの構築とを有機的に結びつけた本研究の成果は、楽音を対象とした聴覚的協和感、より広くは音色を音の物理的属性と定量的に関係づけて研究する可能性を開くという点で画期的であると評価できる。

一方、本研究で扱われているのは、ピアノ音およびオルガン音の短 2 度音程と完全 5 度音程のみであり、提案モデルがどこまで適用可能であるかについてはこれから検討する必要がある。しかし、これらは未踏の領域を独自に切り開いたことの裏返しでもあり、本研究の価値を損なうものではない。

以上により、本審査委員会は全員一致で、本論文は学位を授与するに値すると判定した。