

博士学位論文審査要旨

2008年2月12日

論文題目： 音楽活動支援システムの構築に関する研究

学位申請者： 江村 伯夫

審査委員：

主査：工学研究科

教授 柳田 益造

副査：工学研究科

教授 力丸 裕

副査：金沢工業大学 情報フロンティア学部

准教授 山田 真司

要 旨：

人の音楽活動の支援には、専門家と同等のレベルでの「音楽の技術的理解」が必要であり、これらの研究に共通する課題は、音楽を「確率的ではなく、技術的な面から理解する計算機」の実現にほかならない。これは、作編曲や演奏を取り扱った音楽情報処理研究における最も重要な課題として位置づけられてきた。しかし、これまでに構築された作編曲システムが音楽教育や作・編曲の現場で実際に運用されているという状況ではない。これは、現状の音楽情報処理システムの大半が、コーディングしやすい確率的手法に過度に依存しているため、教育現場での教育方略に沿ったやり方で音楽活動を支援するようになっていないからである。

このような状況を踏まえ、本研究は、熟練した演奏技術や高度な音楽的専門知識を持ち合わせていない音楽初心者への音楽活動を、確率・統計を極力排除する形で、アルゴリズム的な手法で作・編曲（楽曲情報処理）と演奏（演奏情報処理）の2つの側面において、初心者への支援するシステムの構築を目指したものである。

本論文は、次の4章をもって構成されている。

第1章は、序論であり、種々の音楽活動の中でも特に音楽の専門的能力が要求される「作・編曲」と身近な「演奏」を支援するシステムの構築を提案し、その工学的意義について述べている。

第2章では、作・編曲において重要な「旋律への和声付与」を採り上げ、与えられた単旋律に対してポピュラー音楽に特徴的な和声付与を行うシステムを提案している。

ここでは、人が聴いて「違和感」を覚えることのない自然な和声を付与するシステムの実現を目指し、ポピュラー和声理論に記載されている諸事項を計算機に実装している。

本システムは、以下の3つのサブ・システムの機能的統合によって実現されている。

一つ目は、単旋律に対する調推定システムである。ここでは、24種存在する全ての調を候補としておき、その各候補に対して、旋律を構成する各音についての「当該調に固有の音としての適合性」と「当該調における機能的な重要性」の2つの評価指標を用いたスコアリングによって候補を絞り込んでいくという手法をとっている。

二つ目は、単旋律への和音名列（和音名の一次元時系列）の付与システムである。与えられた旋律の各音に対して、クラス名としての和音名を付与し、全体として和音名列を付与する。ここでは、調性音楽の和声を構成する上で基本となる3種（I、IV、Vのいずれか）の和音をまず付与しておき、ポピュラー和声理論における「リハーモナイゼーション」の規則に従い、3種の和音のみによる和音進行を音楽的文脈に整合するように改編することによって和音名列を付与する手法を提案している。

最後は、ヴォイスング（和音配置）システムである。これは、それぞれの和音名に対して、そ

れを構成する個々の音の具体的な配置を決定する。ここでは、ポピュラー和声理論における「ヴォイスン理論」に基づいた手法を提案している。

ポピュラー音楽を対象として、旋律の調推定からヴォイスンまでの和声付与における諸手続きを和声理論に基づいて体系的に実現したシステムは例がなく、本システムが普及することによって理論に基づいた作・編曲が音楽初心者にも一般化することが期待できる。

第3章では、楽器演奏の基礎技術である身体の機械的な制御技術について、奏者固有の特徴や熟達度を定量的に分析する演奏分析手法を提案し、さらにそれらを用いて構築した基礎技術向上のための計算機援用演奏独習支援システムについて述べている。ここでは、ポピュラー音楽の演奏や音楽制作において重要であるピアノとギターによる演奏を対象としている。

・ピアノによる単旋律演奏を対象とした「奏者の弱点克服のための練習課題生成システム」は、「打鍵した時刻(時点)」、「打鍵の強さ(速さ)」、ならびに「押鍵時間の長さ」の3つの要素によって表現することができ、ここでは、ピアノで単旋律を演奏する際の打鍵時刻の時間間隔(Inter Onset Interval:IOI)のバラツキを、運指別に評価することによって、学習者の打鍵制御における弱点を推定し、それらを効率よく矯正するための練習課題を動的に生成するシステムを提案している。

・ギターによる和音列演奏を対象とした「奏者にとっての弾き易さを考慮した練習課題生成システム」は、ギターで和音列を演奏する場合の左手の指にかかる負荷を、学習者の演奏ミス量から最小2乗法によって推定し、押弦時の指配置や和音遷移時の指の動きに対する負荷が最も軽くなる押弦方法を奏者に応じて決定するシステムを提案している。

第4章で、本論文を総括している。

よって、本論文は、博士(工学)(同志社大学)の学位論文として十分な価値を有するものと認める。

総合試験結果の要旨

2008年2月12日

論文題目：音楽活動支援システムの構築に関する研究

学位申請者：江村 伯夫

審査委員：

主査：工学研究科

教授 柳田 益造

副査：工学研究科

教授 力丸 裕

副査：金沢工業大学 情報フロンティア学部

准教授 山田 真司

要 旨：

本論文提出者は、2005年4月より本学大学院工学研究科知識工学専攻博士課程後期課程に在学しており、各年度において優れた研究成果を挙げ、英語の語学試験に合格し、ドイツ語については単位を取っているため学力をもつものと認定する。

本論文の主たる内容は、日本音響学会誌(1編)および *Acoustical Science and Technology* (2編)、その他、国際会議の会議録(7編)に、いずれも第1著者として掲載され、さらに論文提出者は修士・学部学生を指導して発表させた国際会議14編をもち、すでに国際的にも十分な評価を受けているとともに、これらの内容によって、電気関係学会関西支部連合大会奨励賞ならびに日本音響学会音楽音響研究会奨励賞を受賞している。

本年1月12日午後3時より約1時間半にわたり、提出論文に関する学術講演会(博士論文公聴会)が開催され、種々の質疑応答が行われたが、論文提出者の説明により、いずれも十分な理解が得られた。さらに、講演会終了後、審査委員により論文に関連した諸問題につき口頭試問を行った結果、十分な学力と見識を有すると認められた。

よって、総合試験の結果は合格であると認める。

博士學位論文要旨

論文題目： 音楽活動支援システムの構築に関する研究

氏名： 江村 伯夫

要旨：

本研究は、熟練した演奏技術や高度な音楽的専門知識を持ち合わせていない音楽初心者の音楽活動を、作・編曲（楽曲情報処理）と演奏（演奏情報処理）の2つの側面において支援する「音楽活動支援システム」の構築に関する研究である。本論文は、本研究を通して得られた諸成果についてまとめたものであり、次の4章をもって構成されている。

第1章では、音楽の専門教育を受けたことのない音楽初心者が音楽活動を行うことへの困難性について触れ、種々の音楽活動の中でも特に音楽の専門的能力が要求される「作・編曲」と「演奏」を支援するシステムを提案し、その工学的意義について述べている。また、この分野の研究の現状について述べ、本研究の位置づけを行っている。

第2章では、楽曲情報処理の研究として、作・編曲において重要な「旋律への和声付与（旋律を構成する各音、または各音列に対して和音列を付与すること）」を採り上げ、与えられた単旋律に対してポピュラー音楽に特徴的な和声を付与するシステムについて述べている。ここでは、人が聴いて「違和感」を覚えることのない自然な和声を付与するシステムの実現を目指し、ポピュラー音楽の和声構造を機能と声に基づいて体系化したポピュラー和声理論に記載されている諸事項を計算機に実装した「音楽理論に基づく和声付与システム」を提案している。本システムは、和声付与の実現に必要な楽曲情報処理を取り扱った3つのサブ・システムの機能的統合によって実現されている。

・単旋律の調の推定システム

与えられた旋律に対して機能と声に基づいて和音列を付与するためには、その旋律の調を把握しておくことが必要である。ここでは、24種存在する全ての調を候補としておき、その各候補に対して、旋律を構成する各音についての「当該調に固有の音としての適合性」と「当該調における機能的な重要性」の2つの評価指標を用いたスコアリングを統合的に評価することによって候補を絞り込んでいくという手法を提案している。従来の調推定システムでは対象にできなかった無調音楽に対しても、本システムは無調であることの判定ができるという意味で、調判定についての大きな前進となっている。既存の楽曲約500曲の旋律を対象とした本システムの動作評価試験の結果、提案手法の有用性が確認されている。

・単旋律への和音名列（和音名の一次元時系列）の付与システム

与えられた旋律の各音、あるいは局所的な音列に対して和音として用いる音の集合のクラス名である和音名を付与し、全体として和音名列を付与する。従来のシステムでは、旋律に対して多数の和音名を候補として列挙しておき、何らかの評価法によって絞り込むという手法が用いられていたが、そのような手法では、旋律に対して局所的な適切性を保持した和音を付与することはある程度可能であっても、音楽的文脈を考慮することが非常に困難であった。ここでは、調性音楽の和声を構成する上で基本となる3種（I, IV, Vのいずれか）の和音を付与しておき、ポピュラー和声理論における和声改編のための方法論である「リハーモナイゼーション」の規則に従い、3種の和音のみによる和音進行を音楽的文脈に整合するように改編することによって和音

名列を付与する手法を提案している。本手法では、基本となる3種の和音を付与する段階で不適切な和音名を付与しなければ、少なくとも、人の音楽に対する最低限の許容レベルを確保することができると考えられるため、文脈的に不適切な和音名を付与するのを避けることができ、さらに、ポピュラー音楽に特有の和音進行を考慮した和音名列の付与が可能になる。提案システム、および従来システム、ならびに音楽家による和声付与を比較するために行った聴取実験の結果より、提案手法が音楽家による和声付与には及ばないまでも、従来手法に比べて十分に有用であることが確認されている。

・単旋律と和音名列に対するヴォイスング（和音配置）システム

それぞれの和音名に対して、その和声音の具体的な配置を決定する。従来のシステムでは、過去の編曲結果やヴォイスングのパターンをデータベース化しておき、それらを部分的に取捨選択することによりヴォイスングを実現しているように見受けられるが、このような手法では、和音名列の付与における問題と同じく、複数あるヴォイスングの候補から局所的・大域的双方の適切性を満たしたヴォイスングを決定することが困難であった。ここでは、ポピュラー和声理論における和声音の配置の方法論である「ヴォイスング理論」の規則に基づいた手法を提案している。オーソドックスなスタイルの和音のほとんどがヴォイスング理論によって説明できることから、事例データベースからの取捨選択による手法に比べてヴォイスング理論に基づく手法は、より柔軟な対応が可能であると言える。聴取実験の結果より、本手法は従来手法よりも有用であることが確認されている。

これらのサブ・システムは、それぞれを独立に動作させることができるため、旋律への和声付与のみならず、自動和声解析や自動伴奏など、他の楽曲情報処理にも応用することができる汎用性に優れたシステムである。ポピュラー音楽を対象として、旋律の調推定からヴォイスングまでの和声付与における諸手続きを和声理論に基づいて体系的に取り扱ったシステムは例がなく、本システムが普及することによって音楽初心者への作・編曲が一般化することが期待できる。

第3章では、演奏情報処理に関する研究として、楽器演奏の基礎技術である身体の機械的な制御技術について、奏者固有の特徴や熟達度を定量的に分析する演奏分析手法を提案し、さらにそれらを用いて構築した基礎技術の向上のための計算機援用楽器演奏独習支援システムについて述べている。ここでは、ポピュラー音楽の演奏や音楽制作において重要であるピアノとギターによる演奏を対象とする。一般に、学習の初期的段階において、ピアノでは単旋律を対象とした練習から、ギターでは和音列を対象とした練習からはじめることから、本章では、ピアノ独習支援システムでは単旋律演奏を、ギター独習システムでは和音列演奏を取り扱っている。

・ピアノによる単旋律演奏を対象とした「奏者の弱点克服のための練習課題生成システム」

ピアノ演奏における楽器の操作は、ペダルの制御を除けば、「打鍵した時刻（時点）」、「打鍵の強さ（速さ）」、ならびに「押鍵時間の長さ」の3つの要素によって表現することができ、したがってピアノ演奏では、指定された時刻、強さ、長さで正確に打鍵することができる両手指の制御技術が、演奏技術における基礎技術であると考えられる。これらのうち、打鍵時刻の制御精度がピアノ演奏初心者にとって特に重要である。ここでは、ピアノで単旋律を演奏する際の打鍵時刻の時間間隔（Inter Onset Interval: IOI）のバラツキを、運指別に評価することによって、学習者の打鍵制御における弱点を推定し、それらを効率よく矯正するための練習課題を動的に生成する「弱点克服のための練習課題生成システム」を提案している。ピアノ演奏初心者を対象とし、本システムによって呈示された練習課題を行うグループと、特に練習方法を指示しないで練習を行うグループに分け、毎日15分ずつ2週間練習させる実験を行った結果、本システムを用い

て練習を行ったグループの打鍵制御の精度が有意に向上したことが確認されている。

・ギターによる和音列演奏を対象とした「奏者にとっての弾き易さを考慮した練習課題生成システム」

ギター演奏において、和音列演奏は単旋律演奏と並んで最も基本的な演奏形態の一つであり、初心者のお大半は和音列演奏の練習から始めるのが一般的であるが、ギター演奏初心者にとって、複数の弦を正確に押弦することが要求される和音列演奏は非常に困難であり、この段階で挫折してしまうケースが少なくない。ここでは、ギターで和音列を演奏する場合の左手の指にかかる負荷を、学習者の演奏ミス量の最小2乗法によって推定し、押弦時の指配置や和音遷移時の指の動きに対する負荷が最も軽くなる押弦方法を奏者に応じて決定する「弾き易さを考慮した練習課題生成システム」を提案している。本システムを利用することにより、奏者にとって困難である押弦を極力除外した押弦方法を提供することができ、簡単な楽曲の和音列演奏を練習する段階で挫折してしまう初心者を救済することができる。演奏ギター演奏初心者に対して、市販のコード・ブック（和音名に対する押弦方法を記載した教則本の一つ）による押弦方法と、本システムによって得られた押弦方法の両者を呈示し、それぞれを用いた演奏から押弦ミス量を測定する実験を行った結果、本システムによる押弦方法が有意に弾き易いことが確認されている。

両システムの構築にあたって、奏者の弱点を強化するための練習方法と、あえて弱点を避けた練習方法の2つの練習戦略モデルを導入し、それぞれの有用性についても検討している。また、評価試験の結果より、これらのシステムを用いて練習することによって、打鍵制御の精度向上、ならびに演奏ミス量の減少が有意に認められ、提案したシステムが楽器学習者の日々の練習に大いに貢献することが期待できる。

第4章では、本研究で得られた成果をまとめ、今後に残された問題を述べるとともに、第2章、および第3章で述べてきたシステムを統合した総合的音楽支援システムの構想について述べている。