

# ポップス系の旋律に対する和声付与システム：AMOR

三浦雅展<sup>†1</sup> 青山容子<sup>†2</sup> 谷口 光<sup>†2</sup>  
青井昭博<sup>†2</sup> 尾花 充<sup>†3</sup> 柳田 益造<sup>†4</sup>

和声法におけるソプラノ課題に対する正解生成システム Soprano Donnée System (SDS) を拡張した和声付与システムについて述べる。このシステムはポピュラー音楽系の旋律に対応するために、対応する和音を古典西洋和声からポップス用に拡張し、さらに旋律に対して刺繍音、経過音、先行音などのアプローチノート処理を施すように拡張されている。このシステムはポップス系の考えうるオリジナル旋律に対応するように構築されており、AMOR (Armonizando Melodias ORiginales) と名付けられている。AMOR は産学連携の枠組みの下で携帯電話用サービスのために開発され、電子メール文から自動的に旋律を生成するシステムとともに稼動している。自動生成される旋律はメール文内の「明るい」「暗い」名詞の出現数の多さに応じて、長調あるいは短調として生成され、AMOR によって和声付与され、和音付きの着信メロディが生成される。自動生成される旋律だけでなく、ユーザによって入力された旋律のどちらについても、AMOR は適切な和声を付与することができる。AMOR は評価実験の結果より、従来の和音付与システムよりも高い性能が得られていることが確認されている。

## AMOR: A System for Yielding Harmony to Given Melodies of Popular Styles

MASANOBU MIURA,<sup>†1</sup> YOKO AOYAMA,<sup>†2</sup> HIKARU TANIGUCHI,<sup>†2</sup>  
AKIHIRO AOI,<sup>†2</sup> MITSURU OBANA<sup>†3</sup> and MASUZO YANAGIDA<sup>†4</sup>

Described is an extended system of SDS, Soprano Donnée System, that generates all the allowable solutions, or lower three parts, i.e. sets of alto, tenor and bass, for any given soprano sequences based on the criteria of European classical music. SDS is modified so as to be able to cope with melodies of popular music, introducing additional chord transition probabilities among extended chords characteristic to jazz and recent popular music, taking “approach notes” into account besides employing typical rhythm patterns of various types of popular music. The system is applicable to any original melodies and is named “AMOR (Armonizando Melodias ORiginales)”. AMOR is implemented as an optional service on portable phones, combined with an automatic melody generator. That generates melodies based on e-mail sentences. The melody is made in either a major or a minor scale depending on the number of words associated to pleasant or sad feelings. For both of the melodies, either given by users or generated by the system automatically, the system puts appropriate harmony on the melody. System performance was confirmed by comparing its output harmony with those obtained by commercially sold systems.

### 1. はじめに

#### 自作のポップス系の旋律に和声付けを行うシステム

を提案する。このシステムを開発することになった発端は、音楽大学における和声法<sup>1),2)</sup>の初歩に関する演習としてのバス課題に対して、その許容解をすべて生成するシステム “Basse Donnée System” (BDS)<sup>3)</sup>の構築であった。これには後述する禁則体系のインプリメントが必要であり、BDSが完成した段階で、BDSを基にして和声法の中級での演習課題であるソプラノ課題に対しても、その許容解をすべて生成する “Soprano Donnée System” (SDS)<sup>4)</sup>を実現した。それをポピュラー音楽用に拡張したものが、ここで述べる自作旋律に対する和声付けシステム “Armonizando Melodias ORiginales” (AMOR)である。

†1 龍谷大学理工学部情報メディア学科  
Department of Media Informatics, Faculty of Science  
and Technology, Ryukoku University  
†2 オムロンエンタテインメント株式会社  
OMRON Entertainment Co., Ltd.  
†3 宝塚造形芸術大学  
Takarazuka University of Art and Design  
†4 同志社大学工学部知識工学科  
Department of Knowledge Engineering and Computer  
Sciences, Faculty of Engineering, Doshisha University

ソプラノ課題は、与えられたソプラノパートに対して、バス・アルト・テノールの下3声を配置する課題で、和声法ではソプラノ・アルト・テノールの上3声を配置するバス課題の次の段階で課される演習課題とされている。SDSは和声法学習者の独習を支援することを旨として構築されており、使用する和声も中級課題として適切な「三和音」に限定している。バス課題およびソプラノ課題に対する回答作成においては、「禁則」と呼ばれる17-18世紀の古典西洋音楽における適切さに違反しないことが要求される。SDSは与えられたソプラノパートに対して、禁則に違反しない正解をすべて列挙することができる。

一方、近年、携帯電話は目覚ましい躍進をとげ、特に携帯電話を利用したWebサービスは拡充しつづけている。特に音楽コンテンツに関するサービスには様々な形態が存在し、たとえば既存の楽曲を着信メロディとして奏でるサービスや、ユーザが好みの楽曲を自分で作曲し、それを携帯電話に手作業で入力することで着信メロディとして利用するものなどがある。ユーザが着信メロディを選択するのは自分の個性を反映させているという調査結果もあり<sup>5)</sup>、よりユーザに適合させた着信メロディを提供することはユーザの満足度を高めることが期待でき、携帯電話の商品価値を高めることが期待できる。

本研究では、音楽コンテンツを動的に生成することにより、以下3つの携帯電話向けの新しいサービスの実現を目指した。

- a) ユーザの自作旋律に対する和声および伴奏の付与
- b) ユーザが作成した電子メール文に基づいた旋律および伴奏の自動生成
- c) 既存曲に対する伴奏パターンを変えたバージョンの提供

a) については「携帯電話を用いての旋律入力機能」、b) については「電子メール文からの旋律生成機能」などがそれぞれ必要となるが、a)、b)、c) のいずれにも必要となる機能は「与えられた旋律に対する和音列の生成機能」である。与えられた旋律に対する適切な和声列の判定には、旋律に対する音楽的な解釈や楽曲分析など、計算機による高度な音楽理解がある程度必要となる。

そこで本研究では与えられた旋律に対する和声付与機能を、ソプラノ課題システム SDS の拡張によって実現し、前述のサービスを産学連携によって商用システムとして構築した。コンテンツ配信、ユーザ管理、課金システムなどの運用環境についてはすでに実施している音楽コンテンツ配信サービスのものを用いること

で、サービス開始にともなう負担を軽減し、和声付与技術に関する基本部分を大学で開発することで、産学双方の長所を活かした。また、システム構築の過程で産の評価クルー（主に女子高生）からのフィードバックを開発のいくつかの段階で取り込むことができたこともこのシステム達成への陰の力となっている。

このような研究開発は「計算機による音楽処理」という主に基礎研究を行っている研究機関と「音楽コンテンツの携帯電話向けサービス」を実施することのできる環境を持つ企業とが組むことで初めて実現されるものであり、従来の基礎研究重視の立場と商品開発重視の立場の融合によって実現できたものである。

なお、一般に「着信メロディ」には和音が付いている場合とそうでない場合があるので、メロディに和音を付与した着信音を「着信メロディ」という表現はあまりふさわしくない（たとえば「着信音楽」という表現の方がより適切である）が、以後、慣例に従って本論文では和音付きメロディのことを着信メロディと呼ぶことにする。

## 2. 和声法から着メロへ—音楽情報処理に関する産学連携の実例として

### 2.1 研究の発足

本共同研究は、大学と企業との交流発表会において大学側のシーズ発表から始まったものである。同志社大学において開発されてきた、和声法におけるバス課題およびソプラノ課題に関する正解生成システム“BDS”と“SDS”に関する研究紹介を産学交流発表会で行ったところ、オムロン株式会社（当時）から共同研究の打診を受け、スタートしたものである。

### 2.2 「学」のシーズと「産」のニーズ

同志社大学から最初に出されたシーズは次のとおりである。和声法における種々の和声規則を計算機に実装し、それに基づいてバス課題やソプラノ課題の正解を生成する技術を開発してきた。特にソプラノ課題については、与えられたソプラノパートに対して、バス、テノール、アルトパートを生成することから「古典西洋音楽理論に立脚した和声付与技術」と考えることもできた。

一般に大学では基礎研究が重視され、その技術を用いて事業を起こすことについては、手間や労力もかかり、またアカデミックな機関の本来の目的と多少ずれる部分もあるため、これまではあまり奨励されなかった。しかし近年、産学連携に関する奨励が国内で重点的に始まり、大学で開発された基礎技術を事業化へ結び付けることが奨励されるようになりつつある。文部

科学省の地域活性化と産学連携を組み合わせた知的クラスター創成事業は、国主導の施策である。基礎技術の開発は、既存技術と比べて本質的に優れた技術を実現することができるが、反対に、実用化にあまり結び付かない技術となってしまうことも少なくない。これまで音楽情報処理の分野において、基礎研究技術が事業化やサービス開始などに至ったケースは、シンセサイザにおける音源の開発や、一部の音楽マニアなどにとって便利な音楽ソフトウェアの商品化などに限定され、音楽を専門としない一般ユーザに関するものはあまりみられなかった。

一方、オムロン株式会社では、着信メロディに関する新しいアミューズメントサービスの実現を必要としていた。従来の着信メロディに関するサービスでは、有名楽曲を着信メロディとして配信することが主であり、配信する着信メロディの種類や品質がそのサービスの特長でもあり、他社との競争項目でもあった。他社との競争力を高めるための強力な手段は新しいサービスの実現であり、その実現を視野に入れながら、音楽コンテンツの生成や配信に関する新技術を必要としていた。

### 2.3 産から学，学から産へ

企業側から大学側へ共同研究の打診があり、ちょうどこのとき、上記の知的クラスター創成事業で、当研究室が音声認識関係のプロジェクトを立ち上げる案があがってきたので、それに本システムの開発を乗せる形で、具体的な共同開発が始まった。企業からは、和声法に関するシステムで培われた大学技術を応用することで、着信メロディ向けのサービスへ発展させる案が出された。具体的には1章で述べた a)~c) の3項目であり、そのための共通技術として、与えられたポピュラー音楽系のメロディに対する自動和声付と技術の開発が提案された。そして、サービスを実現するための SDS からの技術拡張として、以下の項目が提案された。

- (1) ポピュラー音楽への対応  
ここで対象とする音楽ジャンルはポピュラー音楽であるため、SDS で対象とした古典和声理論では不十分であり、それからの拡張、すなわちポピュラー音楽理論の実装が必要であった。
- (2) 動作に関する制約  
着信メロディの配信における時間に関するボトルネックは、通常はユーザから見ての待ち時間であり、仮に和声付与システムの動作速度が遅いとなるとサービス化に向けて支障となる危険性がある。したがって、なるべく動作速度の速

い(動作の軽い)アルゴリズムが求められた。

- (3) 出力の品質  
出力される和声付与結果は、違和感の少ない、なるべく自然な和声付与が求められた。和声付与の適切さには、自然性のほかに、芸術的側面から「おもしろい」と感じられる奇抜性などもあるが、その目標を到達できるだけの十分な基礎技術がその時点では確立されておらず、またそのような奇抜な和声付与結果はユーザを混乱させる危険性もあったため、そのような芸術性はとりあえず対象外とした。
- (4) ジャンルに対するカバレッジ  
対応する伴奏パターンはポピュラー、ロック、演歌など、一般ユーザを満足させるだけの多くの音楽ジャンルをカバーすることが求められた。この拡張は基礎研究の観点からはあまり意味を持たないが、ユーザを増やすためには欠かせない要請であった。

学から産へ提供できる技術は、上記に関する基礎技術の確立とそのパフォーマンスの確認であった。上記(1)、(2)については、それらの開発を最初から企業で行うとなると人材育成のコストがかかり、サービス開始が遅れるために、周辺の知識と技術をすでに持っている大学側の担当とした。(3)、(4)については評価手段や伴奏パターンの生成などに関する方法論を大学側が示し、それに従って企業側で実行した。また、配信サーバにのせるための具体的なシステム実装や、携帯電話端末から操作するインタフェースの細かい仕様などについても、すでに着信メロディサイトを稼働させている企業側の担当とした。可能な限り早くシステムを立ち上げるという要請があったため、システム構築における担務分担は企業と大学とで時間的にバランスするように配分し、両者の協力の下で開発までの所要期間を短縮させた。

また、週に1度の打ち合わせの中で、互いに相手方の進捗状況の把握やシステム細部についての技術開発の方向性など、プロトタイプ構築に向けて協力して取り組んだ。特に1章の b) で述べた文章からメロディを自動生成させ、それを和声付き音楽に仕上げるというサービスについては、アミューズメント性が高く他社と比べてインパクトのあるサービスとして、打合せ時に発案されたものである。これは学問的な発想ではないため、大学内だけの研究では決して生まれてこなかったものである。このように開発タスクの分配、頻繁に打合せを行うことによる産学間での情報の共有と密接な関係が、早い事業化を可能にした要因であると

考えている。

## 2.4 研究成果

2002年10月より開発を始め、2003年4月より、Ez-web専用着メロサイトで「着つく」サービスの試験運用開始という異例の早さで実現できた<sup>6)</sup>。その後、i-mode用サイトでも開始し<sup>7)</sup>、1章のa)~c)で述べた3通りのサービスの商用運用を2003年10月に実現できた(詳細については5章で述べる)。和声付与技術だけでなく、その他の技術についても考案・実装しつつあり、これまでに3件の特許が公開となっている<sup>8)-10)</sup>。このようにテーマ的発展を持たせることも産学連携を成功させる重要な点であるといえる。現在、携帯電話に関する新たなサービスやそれにとまなう技術を共同開発中である。

次章より、本共同研究で開発された和声付与システムについて述べる。

## 3. 和声法のインプリメンテーション

### 3.1 ここで扱う音楽

ここで扱う音楽は、いわば音楽を専門としない者が作った旋律およびそれへの和声付けである。したがって、これは、あくまでも西欧音楽の範疇内のしかも和声法がその拡張範囲内で取り扱える範囲内のものである。つまり、西欧古典音楽の規範あるいはそれを少し緩めた規範で扱える調性音楽に限られる。したがって、邦楽とか、いわゆる現代音楽など、和声法で扱えないものは対象としない。ただし、演歌調の旋律など、5音音階的なものであっても和声法を適用可能なものは含めることができる。また、古典的な規範から逸脱してはいても、ジャズとかロック調のものは含む。さらに、欲をいえばユーザが調性を無視した旋律を入力しても、うまく聞こえるような和声付けができることを目指している。

### 3.2 旋律に対する和声付け

素人が曲を作る際、まず旋律を思い浮かべておいて、それに和声付けを行うという手順をとるのが一般的である。もちろん、和声付けの段階で旋律を修正する場合もあるが、基本的には旋律が先にできていると考えてよい。和声付けには音楽の知識が要求されるが、素人は通常はこの知識を持ち合わせていない。ただ、素人であっても、旋律を思い浮かべることはある程度可能である。それに適切な和音を付与すると、そこそこの音楽ができることがある。

与えられた旋律(自分で考えた旋律を含む)に対して和声付けを行う作業は、音楽大学ではソプラノ課題の応用として扱われる。ソプラノ課題は、与えられた

ソプラノ・パートに対して、それにふさわしいアルト、テノール、バスの下3声を作る課題である。音楽大学で課されるソプラノ課題では、厳密に禁則を守らなければならないが、自由に作ってよい場合は禁則からの逸脱もかまわない。禁則からいくらか逸脱することによって、洒落た響きにしたり、特異なあるいは風変わりな感じを持たせたりすることができる。禁則を厳密に守ろうとするとすると、与えられた旋律そのものが和声付け不能になる場合でも、禁則からの部分的逸脱を許すことによって和声付けが可能になる場合もある。

### 3.3 市販システムの限界

旋律を入力すればそれに対して和声付けをしてくれるシステムがいくつか市販されている<sup>11),12)</sup>。それらの和声付与結果には、不自然な和声付けが耳につくものがある(評価実験の結果については4.2節で述べる)。その主な原因は、旋律として与えられる音列の中で各音の和声上の重要性が考慮されていないのにも、必ずしもそうっていないこと、いい換えると装飾音(ポピュラー音楽系の用語ではアプローチノート)の処理が不完全であることが考えられる。市販システムでは、その欠点を補うために、部分的な和音進行に対していくつかの和音配置を用意してその中のどれかをユーザが選択するようになっているが、旋律中のアプローチノートを適切に処理していないために、和音配置の選択が適切でなくなる場合が生じ、不自然な和音付与になる場合があるといえる。

### 3.4 従来研究との比較

これまで様々な和声付与システムが構築されてきており、最近ではたとえばニューラルネットワークを利用した研究事例<sup>13)</sup>や、隠れマルコフモデルを利用した研究事例<sup>14),15)</sup>も多い。アプローチノート処理に関しては、音符レベルでの $n$ -gramを構築する際に、データベースに含まれる旋律音に対してアプローチノートを人手で選定しておく研究例もあるが<sup>16)</sup>、本論文の方法では和声付与対象となる旋律音に対してシステムが自動的にアプローチノート処理を行うため、その目的とアルゴリズムが根本的に異なるといえる。

### 3.5 アプローチノート処理

我々は、自作旋律への和音付与を想定し、ポップス系の旋律に関するアプローチノートの判定に基づいた和音付与システムとしてAMORを構築した。アプローチノートの判定の際に考慮したのは、経過音(passing note)、刺繍音(auxiliary note)、先行音(anticipation)、倚音(changing note)、係留音(suspension)、逸音(escape note)の6種のアプローチノートの中の、前3種である。AMORでは、これらのアプロー

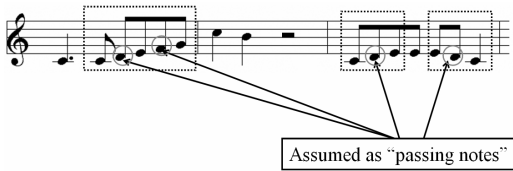


図 1 経過音処理の例  
Fig. 1 Examples of passing notes.

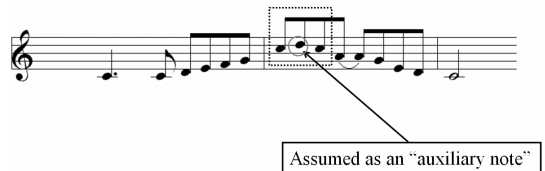


図 2 刺繍音処理の例  
Fig. 2 An example of auxiliary note.

チノートを識別したうえで、それぞれに対する適切な処理を行っている。アプローチノートに関しては、人間でも解釈が分かれる場合があるが、システム内での処理は、初めに判定された分類に従って処理を進めるようになっている。これは、この分類を精密にするためには、広範囲な構造的解析を要する場合があり、本システムでとった方法は動作のコストパフォーマンスを考慮しての暫定的な処理である。なお、この処理によって経過音、刺繍音、先行音についてはほぼ処理できており、ここで取り扱わない倚音、係留音、逸音およびそれらに多重解釈が生じる場合については出現頻度が少ない（ポップス系の音楽だと感覚的には1割くらいと思われる）と考えられ、かつ問題の難しさもあるので、本研究の対象外としている。具体的な処理の例を以下に示す。

### 3.5.1 経過音の処理

連続する奇数個の音による上行または下行音群において、隣接音間の音程が2度関係にある場合に（たとえば、図1に示すドレミヤドレミファソなど）、音群に含まれる各連続2音間についての IOI (Inter-Onset Interval) の最大値が付点四分音符よりも短く、かつその上行または下行音群の前後の音と音高が同じかまたは3半音以上離れている場合のみ、偶数番目の音（前述の例でのレおよびレとファ）を経過音であると見なし、和音候補群の選出において考慮の対象から外す。

### 3.5.2 刺繍音の処理

連続する3音による上行下行（山型）または下行上行（谷型）音群において、隣接音間の音程が2度関係にある場合に（たとえば、図2に示すドレド）、音群に含まれる各連続2音間についての IOI の最大が付点四分音符よりも短く、かつその山型または谷型音群の前後の音と音高が同じかまたは3半音以上離れている場合のみ、第2番目の音（前述の例でのレ）を刺繍音であると見なし、和音候補群の選出において考慮の対象から外す。

なお、経過音および刺繍音について、経過音は上行または下行、経過音は山型または谷型のパターンであ

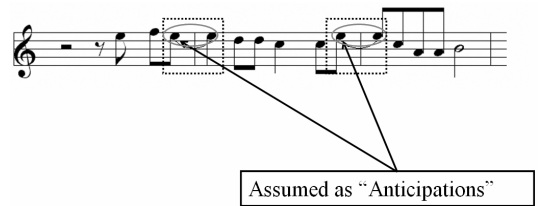


図 3 先行音処理の例  
Fig. 3 Examples of anticipations.

るので、対象となる音群の声部進行パターンが異なることから、これらの混同誤りあるいは多重解釈はない。

### 3.5.3 先行音の処理

与えられた旋律に対する和声付与は、理想的には入力された旋律に応じて、1つの和音を割り当てる譜面上の時間区間を適応的に設定することが望ましいが、その判断基準の決定は困難であり、AMORでは入力された旋律に対して1小節ごとに和音を割り当てるものとしている。この譜面上の時間区間のことをここでは「コードブロック」と呼ぶことにする。

先行音とは、ある時点の和音についての和音構成音が、その和音が出現する前に配置される音のことをいう<sup>17)</sup>。本システムでは小節をコードブロックとしたので、小節線がコードブロックの境界となり、先行音はコードブロック境界をまたぐことになる。あるコードブロックにおいて、その1つ前のコードブロックから持続する音は当該コードブロックにおける和音構成音である、すなわち先行音となる可能性が高いので、本システムではこの音を先行音であると想定し、和音候補群の選出において考慮の対象とする。図3に例を示す。

### 3.6 AMOR の概要

AMORによる和声付与の具体的な流れは4.1節で示すものとし、ここではAMORの処理に関して、設計段階における構想から実装に関する内容について、概略を述べる。

#### (1) 想定した使用法

ポップス系の旋律に対する和音付与を想定する。具体的には、デスクトップ・ミュージック

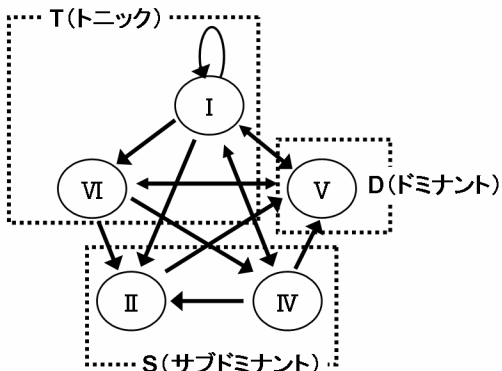


図 4 和声法の入門段階で扱われる I, II, IV, V, VI の上の三和音の範囲内で許容される遷移<sup>2)</sup>

Fig. 4 Chord progression rules for I, II, IV, V, and VI degree defined on the early stage of the theory of harmony<sup>2)</sup>.

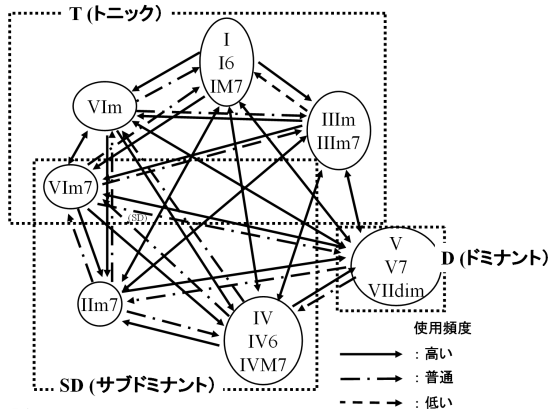


図 5 七の和音までを含めたポップス系の和音（長調）に関する許容遷移<sup>18)</sup>

Fig. 5 Chord progression rules for triads and 7th chords in major keys mainly employed in popular music<sup>18)</sup>.

としての作曲の真似ごとから携帯電話の着信メロディのための自作旋律への和音付与までを考えている<sup>10)</sup>。

(2) 使用した和音

使用する和音は、BDS・SDS では I, II, IV, V, VI の上の三和音（根音 + 3 度音 + 5 度音）とその第 1・第 2 転回に限定し、和音の許容遷移は教科書<sup>2)</sup>に従って図 4 のように単純化していたが、ここでは実用性を重視して III と (V7 の根音省略形として) VII も含め、かつ七の和音（三和音 + 7 度音）までを一般則に含め、和音遷移とその使用頻度はポピュラー音楽理論書<sup>18)</sup>に従って図 5 のようにした。

(3) 機能と声理論のポップスへの適用

表 1 ポピュラー音楽における、主な定型和音進行  
Table 1 Examples of chord progression patterns in popular music.

定型和音進行パターン	終止
V(7) I	完全（正格 a）
IV(II-6) V(7) I	完全（正格 b）
IV I	完全（変格）
I V	半終止
V7 IIIm	偽終止

機能と声理論では、和音の機能は主和音系のもの、属和音系のもの、下屬和音系のもの 3 種に分かれ、それぞれ T（トニック）、D（ドミナント）、S（サブドミナント）で表される。T に属する和音は I とその代理としての VI とまれに III、D に属する和音は主に V とその代理としての VII、まれに III の第 1 転回、S に属する和音は IV とその代理としての II（特にその第 1 転回）およびまれに状況によっては VI である。

終止（カデンツ）型はこれらの和音機能の記号を用いて、完全終止・不完全終止・半終止・偽終止の 4 型に分類される（このほかに Phrygia 終止があるが、現在はあまり使われない）。完全終止には正格終止と変格終止がある。正格終止には、D T の型（正格 a）と S D T の型（正格 b）の 2 種があり、変格終止は S T の型である。不完全終止は、完全終止の中で、最後の T が基本位置でないあるいはソプラノが主音でないあるいは強拍でない場合である。また、半終止は T D、偽終止は D T（I を除く）である。正格 a と正格 b をつないだ形は 2 重終止と呼ばれる。

ポピュラー音楽でも、以上のことは基本的には変わらない。ポピュラー音楽における終止の主な定型をコード進行の形で表 1 に示しておく。ただし、この表では、ポピュラー音楽での記法に従って、七の和音を 7 で、マイナーコード（短三和音）を m で、また第 1 転回を -6 で示してある。右の列は学校音楽における終止の型による分類を示す。

(4) 和音パターンの選択基準

和音付与も、限定された意味ではあるが「芸術」の 1 つの形である。旋律が与えられた中で和音付与にはある程度の自由度がある。その中でどれを選択するかは自由である。これを人間が行う場合には主観的な価値判断が入る。その際に譜面だけで和音の響きがかかる人は頭の

中で考えることができるが、そのできない人はピアノなどで音を確かめながら決めていくことになる。ところが、コンピュータにこの選択をやらせる場合には、評価基準を確定しない限り、確率的に決めざるをえない。確率を持ち込むことによって禁則を犯さない範囲内の「許される和音付与」はできるが、それだけでは意図不明な和音付与になる。したがって、できれば定量的な評価尺度を決めたいが、それは音楽美学の問題であって明示的に記述することは難しい。ここでは、機能和声の理論に基づいて2和音間の遷移確率を図5に基づいて2状態遷移モデルで定義し、付与する和声の適合度と前和音からの遷移状態に基づいて和音を選択する。和音の適合度や、前和音からの遷移状態に基づいた和音選択に関しては、4.1節dで詳しく説明する。

#### (5) リズム・旋法・調

リズムは2拍子系に限定し、入力された旋律はすべて2拍子系としてシステムは解釈する。旋法としては長・短を許し、調については白鍵調（八長調・イ短調）で作ったものを移調することにより、すべての調に対応させている。

### 4. システムの動作と評価

#### 4.1 システムの動作

和音付け処理の流れを図6に示す。まず、旋律を読み込み、入力された旋律に対してアプローチノート処理を施した後、和音設定を行う。

##### a. 旋律情報の入力

旋律情報の入力は携帯電話端末を用いて、「どれみふぁ」のように音の高さを表す語と、音の長さを表す語「ー（横棒）」、休符を表す語「や」を用いて入力する。音価の基本単位を八分音符とし、相対的に1オクターブ高い音には直後に「た」、また1オクターブ低い音には「ひ」を配置し、音の長さを「ー（横棒）」を用いて表す。たとえば図1に示す旋律の場合「どーどれみふぁそどーしーやーーどれみみれどー」と表現する。これは携帯電話を端末として用いるために楽譜での入力は困難であるための暫定的措置である（テキスト表現での音符入力方法はこれまでも考案されている<sup>19)</sup>）。なお、小節線についてはユーザが明示的に与えることなく、入力音符からの時間距離に従うものとし、ここでは4拍（四分音符で4個分の長さ）を1小節として扱う。

##### b. 和音付与のための移調

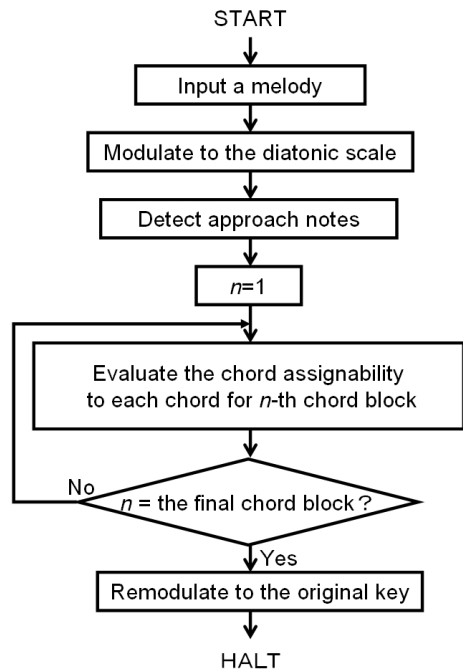


図6 AMORを用いた与えられた旋律に対する和音付けの処理フロー

Fig. 6 A flow-chart of harmonizing a given melody by AMOR.

AMORでは本来八長調かイ短調で移動ドでの入力を想定しているのが旋法の判定以外は特に問題はないが、もしユーザが固定ドで旋律を入力した場合はその旋律に対して調判定と移調が必要となる。アルゴリズムとしては一応入力された旋律の調判定を行い<sup>20)</sup>、その旋法と調情報に基づいて、それを白鍵調（八長調あるいはイ短調）に移調して、規則（白鍵調で記述してある）を適用しやすいようにする予定である（現在、調判定機能については、MIDIコードでの音高情報をたとえばCをドとするように書き換え、それを入力データとすることでテストバージョンとしては動作しているが、携帯での入力はすべて移動ドで入力されるものと仮定しており、固定ドでの入力はほとんど考えられないため、実際には組み込んでいない）。移調は、すべての音譜のMIDI音高コードに一定の数値（半音上昇について1）を加算するという単純な処理である。入力を移調した場合には、和音付与後にすべてを入力調に戻す（f参照）。ただしシステムの機能としては、移動ドで旋律を入力した後に、ユーザが希望の調を入力することができるようにしている。

##### c. アプローチノート処理

AMORでは各コードブロック（各小節）についてアプローチノート処理を行い、旋律中の各音に対し

て、それを和音の推定に用いるか否かを決定する。アプローチノートと判定された旋律に含まれる音（以下、旋律音）は、次に説明する和音設定許容度を求める際には用いないことになる。

#### d. 和音設定許容度の設定

ある和音の和音設定許容度は、その和音を構成する各音高について、当該コードブロック内の各音の音価（音符あるいは休符の楽譜上の長さ。AMOR では四分音符=480、八分音符=240 などとしている。MIDI での単位は tick。音価が同じ音符でも、音符のオンセット間隔の物理的な時間長はローカルなテンポに依存する）を tick 単位で合計した数値である。この計算をすべての和音候補について計算し、その中で最大の和音設定許容度を与える和音をそのコードブロックの和音とする。任意のコードブロックについて、各和音候補のそのコードブロックでの和音としての設定許容度を計算する。これには、候補となるすべての和音と旋律音とのマッチングをとる。ここで最初に検索候補とする和音群は三和音および四和音からなるダイアトニックコード（八長調の場合なら、和音構成音がすべて白鍵上の音）であり、長調では図 5 に示す計 13 通りの和音、短調については計 17 通りの和音となる<sup>18)</sup>。

具体的には、旋律音と候補となる和音の構成音について、基音からの度数において同一である場合は、当該和音の設定許容度に旋律音の音価を加える。

たとえば図 1 に示す楽譜の第 1 小節目において、C および G の三和音に関する和音設定許容度について考える。C の和音構成音は C, E, G で、G の和音構成音は G, B, D である。第 1 小節内に含まれる D と F は経過音として考えられるため考慮の対象からはずすと、第 1 小節内では C は二分音符、E および G については八分音符と同じだけの音価を持ち、B, D については音価はゼロとなる。これにより、C の和音設定許容度は 1,440 で、G の和音設定許容度は 240 となる。

また、1 つ前のコードブロックで決定済みの和音から当該和音候補への遷移許容度を図 5 に従って求め、当該和音の和音設定許容度に乗じる。なお、和音遷移における遷移確率は図 5 における「使用頻度」によって決定され、その値の比は（高い）：（普通）：（低い）= 3 : 2 : 1 としている。

#### e. 和声付与

設定された和音設定許容度の最も高い値を持つ和音を選択する。和音設定許容度が同一の複数の候補がある場合には、それらの中からランダムに選定する。求められた和音は次のコードブロックにおける和声付与

表 2 評価実験に用いたメロディー一覧

Table 2 List of melodies employed in the evaluation experiment.

ID	メロディ名	旋法
1	First Love	長
2	らいおんハート	長
3	ロビンソン	長
4	上を向いて歩こう	長
5	ゴッドファーザー	短
6	とっぴやんせ	短
7	荒城の月	短
8	さくらさくら	短
9	ドナドナ	短

に参照される。なお、旋律の最初のコードブロックにおける和音については先行コードブロックが存在しないので、当該コードブロックに含まれる旋律音にのみ基づいて和音を決定する。

#### f. 出力調への移調

満足する和音配置が見つければ、全体を元の調あるいはユーザが指定した調に移調して処理を終了する。

調性を持たない旋律<sup>20)</sup> が AMOR に入力された場合は、それぞれのコードブロック（設定できない場合は強制的に一定長で切っていく）において旋律に含まれる音高・音価情報に基づき、配置可能な和音候補を列挙する。すべてのコードブロックに配置可能な和音を設定後、和音間の接続を図 5 により決定する。この操作により、調性を持たない旋律に対しても、強制的に和音が設定できることになる。

## 4.2 システムの評価

### 4.2.1 実験概要

ポピュラー音楽のメロディ 9 曲（表 2 参照）についての和音付与の動作を確認し、AMOR の性能評価を行った。

- 被験者：男女大学生・大学院生 22 名。
- 呈示方法：出力 MIDI ファイルの再生。
- 奏法：メロディはそのまま、伴奏はオルゴールの音色を用いたアルペジオ演奏とした。
- タスク：被験者はメロディに対して付与された伴奏に対して伴奏としての適切さを -3~3 の 7 段階で評価するように求められた。評価語は「良い/悪い」、尺度は「非常に (+3)/かなり (+2)/やや (+1)」とした。
- 使用したメロディ：長さが 8~32 小節で、曲中で転調しないもの。すべて 4/4 拍子。メロディは長調なら八長調に、短調ならイ短調に移調。
- 比較対象：市販システムを 2 種（システム S、システム X）、本研究で構築した AMOR、人間の 4



表 3 評価実験における呈示刺激の生成方法  
Table 3 Characteristics of stimuli employed in the evaluation experiment.

刺激名	使用システム	旋法	調	感じ
AMOR	AMOR	U	U	-
AMOR-inv	AMOR	UI	U	-
SystemS	市販システム S	U	U	-
SystemX	市販システム X	U	U	-
SystemX2	市販システム X	U	U	U
Human	人間 <sup>21)</sup>	-	-	-

U: ユーザ指定, UI: ユーザ指定 (長短逆)

種である.

- 市販システム: システム S, システム X のどちらもユーザが調を設定できる機能を持つため, 表 2 に従って長短を設定した. 特にシステム X については表 3 内で示すように, 和音付け処理において調とは独立に「明るい」「暗い」を設定できる機能を持つ. ここでは長調の曲に対しては「明るい」、短調の曲に対しては「暗い」と設定した (表 3 内の “SystemX2”). コードブロックについては, システム S は 1 小節, システム X では自動で設定された (1 小節あるいは半小節であった).
- AMOR: メロディに対する設定調どおりの和音付けと (表 3 内の “AMOR”), 逆調 (ここでは旋律の旋法と付与された和声の旋法が長短逆という意味で, 平行調のことをこう呼ぶ) の和音付けを行った (表 3 内の “AMOR-inv”). 逆調の和声付けを実験刺激として用いたのは, 予備実験で逆調の和声付けに対して「おもしろい」という評価があり, これが和声付けの適切さにどう影響するのかの確認のためである.
- 人間による和音付け: 市販されているコードブック (旋律とその和音付け例が書かれている楽譜<sup>21)</sup>) をそのまま用いた. ただし表 2 内の ID5~8 については, その曲が掲載されているコードブックが見つからなかったため, 人間による和音付けを行わず, 実験刺激として用いていない.

4.2.2 実験結果

評価実験の結果を図 7 に示す. 縦軸は被験者 22 名の平均 z スコア, 横軸は刺激の作成方法を表す. また, 刺激作成方法間での平均値の差に関する検定結果 (Tukey の HSD 検定, 有意水準 5%) を表 4 に示す. 表 4 内に示す値は第 1 種過誤確率 (ここでは 2 群間で平均が等しいという帰無仮説を, 本来は正しいにもかかわらず誤って棄却してしまう確率) であり, これより, AMOR は X2 および人間による和声付けとそれぞれ有意差が認められないことが分かった. ただし, X2

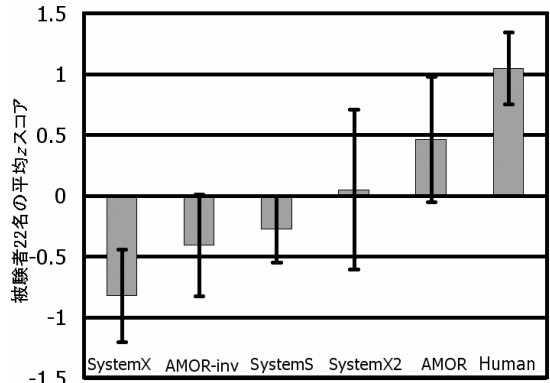


図 7 AMOR 評価実験結果

Fig. 7 Evaluation results for AMOR.

表 4 図 7 における有意差検定結果  
Table 4 Results of significant test on the data shown in Fig. 7.

	X	A.-inv	S	X2	A.	Hum.
X	-					
A.-inv	.30	-				
S	.12	.99	-			
X2	<.05	.40	.69	-		
A.	<.01	<.05	<.05	.35	-	
Hum.	<.01	<.01	<.01	<.05	.25	-

X: SystemX, A.-inv: AMOR-inv, S: SystemS, X2: SystemX2, A.: AMOR, Hum.: Human

については, S および AMOR と有意差が認められないものの, 人間とは有意差が認められるので, AMOR と比べてやや性能が劣っていることが確認できる. これより, AMOR は比較対象としたどの既存システムと比べても, 人間に近い, 適切な和声付与を実現していることが確認できる. また, AMOR-inv の結果から, メロディが持つ旋法に対して逆の和音付与を行うと和音付け結果が良好でないとして評価される様子も確認できた. 被験者の内観報告より, 既知曲に対して逆の旋法を付与すると「違和感があると感じる (奇異な感じを与える)」と報告されているが, 逆に「おもしろいアレンジ」という意見もいくらかあった. しかし, それが和声付けの適切さに効果的に影響を与えるとはいえなかった.

5. AMOR を用いた携帯電話向けサービスの例

5.1 着つく

「着つく」サービスは, 2003 年 4 月より Ez-web で, 同年 12 月より i-mode でサービスを開始し, 現在もサービス提供中である. 着つくサービスは以下の 2 通りのサービスから構成されている.

### 5.1.1 そのままメロディ

「そのままメロディ」サービスでは、ユーザが携帯端末を用いて入力した旋律に対して、AMOR を用いて和声付与を行い、伴奏を付与することで着信メロディを生成するサービスである。ユーザは「どれみ」のようにひらがなを用いてメロディを入力し、メロディとともに「ジャンル」「曲のはやさ」「曲の感じ」などを入力する（入力しない場合は自動判定される）。ジャンルでは「テクノ」「哀愁演歌」「オルゴール」など13通りのジャンルから選択することができる。「曲の感じ」は「自動」「明るい」「暗い」から選択し、曲のはやさについては「ふつう」「はやい」「おそい」の中から選択する。なお、拍子は4/4拍子とし、小節線は入力開始音符からの音価の積算に従って決定される。

### 5.1.2 なんでもメロディ

「なんでもメロディ」サービスでは、ユーザが入力した電子メール文に基づいて、システムがメロディを生成し、生成されたメロディに対してAMORを用いて和声付与を行い、伴奏を付与することで着信メロディを生成するサービスである。メロディの自動生成については参考文献8)を参考にされたい。ここで、入力した文を形態素解析し、それに含まれる「明るい」/「暗い」単語の数に基づいて、長調/短調を決定する。「明るい」単語が「暗い」単語に比べて多く含まれる場合は、長調として処理することになる。ユーザが入力する項目は、旋律を除いて「そのままメロディ」サービスと同じである。

### 5.2 オリジナルアレンジ

「オリジナルアレンジ」サービスは、既存の楽曲に対して伴奏や和音進行を変え、既存曲とは異なる味付けの音楽コンテンツを配信するサービスである。具体的には、既存曲のメロディをサーバ側であらかじめ用意し、それに対してAMORを用いて和声付与を行い、「着つく」サービスと同様に、様々な伴奏パターンを付与し、着信メロディを生成し、ユーザに提供している。ユーザが「オリジナルアレンジ」に含まれていない楽曲を希望する場合は、5.1.1項で述べた「そのままメロディ」で対応している。

## 6. おわりに

与えられたポップス系の旋律に対して、アプローチノートを考慮した和音付与システムAMORのプロトタイプ・システムを構築し、その動作を確認し、評価実験を行った。既存のシステムではアプローチノートを考慮した報告がなく、既存のシステムとの比較で、本システムの方が良好な和音を付与することに成功し

ているという結果から、本システムの動作が勝っているという暫定的結論を得た。また、大学で開発されたAMORと、産業界ですでに運用しているサービス環境を統合することで、サービス開始に本来かかる負担を軽減し、産学が組むことによって、これまでにない携帯電話サービスを提供することができた。

AMORについては、今後は未知曲を用いた評価実験や、転調判定アルゴリズムの開発と実装、和音進行DBの補強などを行う予定であり、携帯サービスについてはさらなる新しいサービス形態を考案し、実施する予定である。

謝辞 和声法の指導を賜った作曲家斉木由美女史、長文のメールによるご指導をたびたび賜った同志社女子大学下石坂徹講師、音楽の観点からBDSの試作システムの動作確認をしていただいた京都市立芸術大学広瀬量平教授、AMOR評価実験の被験者となっていた同志社大学、龍谷大学、京都市立芸術大学、大阪芸術大学、神戸市外国語大学の在学生・卒業生諸氏に感謝いたします。本研究の一部は、文科科学省科研費（若手（B）16700154）、龍谷大学HRC第2プロジェクト、文科省知的クラスタ創成事業「ネオカデン」、および同志社大学フロンティア事業の援助を受けた。

## 参 考 文 献

- 1) Rameau, J.-P.: *Traite de L'harmonie*, Gossette, P. (Ed.): *Treatise on Harmony*, Dover, New York (1971).
- 2) 池内友次郎, 島岡 譲ほか: *和声 理論と実習 I, II, III, 別巻*, 音楽之友社 (1964).
- 3) 三浦雅展, 下石坂徹, 斉木由美, 柳田益造: *和声学におけるバス課題についての回答確認システムの構築とその評価*, 電子情報通信学会, Vol.J84-D-II, No.6, pp.936-945 (2001).
- 4) Miura, M., Obana, M. and Yanagida, M.: *Evaluation of Soprano Donnee System for the Theory of Harmony*, *Acoustical Science & Technology*, Vol.23, No.6, pp.328-331 (2002).
- 5) Iwamiya, S. and Satoh, Y.: *Questionnaire Survey on the Jingles of Mobile Phones: Aesthetics of "Chakumero"*, *Proc. 17th Congress of the International Association of Empirical Aesthetics*, pp.423-428 (2002).
- 6) [Ezweb トップ] [ホビー&カルチャー] [着信メロディ] [J-POP 総合] [プレミアムサウンド] [着つく]
- 7) [メニューリスト] [着信メロディ/カラオケ] [プレミアムサウンド] [着つく]
- 8) テキストからのメロディ自動生成, 特開 2004-

226671 .

- 9) 音声によるメロディ入力, 特開 2004-226672 .
- 10) 与えられた旋律に対する和声付け, 特開 2004-302318 .
- 11) Singer Song Writer 6.0 VS, (株) インターネット (2001).
- 12) XGworks Ver.4.0, ヤマハ (株), 1999.
- 13) Gang, D., Lehmann, D. and Wagner, N.: Tuning a Neural Network for Harmonizing Melodies in Real-Time, *Proc. International Computer Music Conference* (1998).
- 14) 川上 隆, 中井 満, 下平 博, 嵯峨山茂樹: 隠れマルコフモデルを用いた旋律への自動和声付け, 情報処理学会研究報告, MUS-34-10 (2000).
- 15) 志田裕樹, 乾 伸雄, 小谷善行: 隠れマルコフモデルを用いたコード進行のベースラインからの推定, 第 64 回情報処理学会全国大会講演論文集 (2002).
- 16) 菅原啓太, 西本卓也, 嵯峨山茂樹: HMM と音符連鎖確率を用いた旋律への自動和声付け, 情報処理学会研究報告, MUS-53-11 (2003).
- 17) 新音楽辞典, p.318, 音楽之友社 (1977).
- 18) 北川 祐: コード進行ハンドブック, pp.17-18, リットーミュージック (1988).
- 19) Masui, T.: Music Composition by Onomatopoeia, *Proc. 1st International Workshop on Entertainment Computing (IWEC2002)* (2002).
- 20) 江村伯夫, 三浦雅展, 柳田益造: 調内音としての適合性評価と機能和声に基づく重み付けによる調・旋法の判定, 日本音楽知覚認知学会平成 16 年度春季研究発表会資料, pp.35-40 (2004) .
- 21) 新・うたの大百科 2003 年度版, ドレミ楽譜出版社 (2002).

(平成 16 年 8 月 30 日受付)

(平成 17 年 2 月 1 日採録)



三浦 雅展 (正会員)

1974 年生. 1998 年同志社大学工学部知識工学科卒業. 2000 年同大学大学院工学研究科知識工学専攻修士課程修了. 2003 年同大学院工学研究科知識工学専攻博士後期課程修了. 博士 (工学). 2002 年 4 月より日本学術振興会特別研究員 (DC2), 2003 年 4 月より龍谷大学理工学部情報メディア学科助手, 現在に至る. 音楽情報処理, 音楽心理, 聴覚心理の研究に従事. 2004 年日本音響学会佐藤論文賞, 2001 年電気関係学会関西支部連合大会奨励賞, 2002 年日本音響学会粟屋潔学術奨励賞および 2003 年日本音楽知覚認知学会研究選奨受賞. 日本音響学会音楽音響研究会幹事, 日本音楽知覚認知学会幹事, 電子情報通信学会, 日本心理学会各会員.



青山 容子

2000 年名古屋工業大学工学部卒業. 同年 (株) 日本ビジネス開発入社を経て, 2003 年オムロンエンタテインメント株式会社入社. 現在, モバイルウェア事業部開発部に所属. 携帯電話向け音楽配信サービス事業に関する研究開発に従事.



谷口 光

1997 年国立奈良工業高等専門学校電気工学科卒. 同年 NTT ソフトウェア (株). 企業向けソリューション開発に従事した後, 2003 年オムロン株式会社入社. 同年オムロンエンタテインメント株式会社に転籍し, 現在, モバイルウェア事業部開発部に所属. 携帯電話向け技術およびサービスに関する研究開発に従事.



青井 昭博

1982年熊本大学工学部工業化学化卒業。同年立石電機（現オムロン）（株）へ入社。センサの研究開発に従事。1993年神戸大学経営学部経営学研究科修了。修士『研究開発計画と投資効果評価』（企業研究会，1994）、『現代企業の実務管理システム』（税務経理協会版，1994），1996年技術本部IT研究所にてソフトウェアの研究に従事，2003年オムロンエンタテインメント設立にともない転籍，現在，同社取締役。



尾花 充

1976年大阪府立三国丘高等学校卒業。1982年東京芸術大学作曲科卒業。2004年米国ニューポート大学人間行動学科大学院修士課程卒業。1982年ローランド（株）入社。1990年ローランド（株）退社。1991～2000年大阪芸術大学非常勤講師，1992～2001年大阪音楽大学非常勤講師，1995～2000年キャットミュージックカレッジ専門学校非常勤講師，1999年宝塚造形芸術大学非常勤講師，2000年宝塚造形芸術大学専任講師，2004年宝塚造形芸術大学教授。情報通信技術研究交流会，日本音楽知覚認知学会，日本音楽学会，関西現代音楽交流会各会員。



柳田 益造（正会員）

1969年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。1971年同大学大学院修士課程修了。同年NHK入局。1978年同大学院博士課程修了。工学博士。同年同大学産業科学研究所助手，1978～1979年オランダ国立Groningen大学音声研究所客員研究員，1987年郵政省電波研究所（現情報通信研究機構）音声研究室長等を経て，1994年より同志社大学工学部教授。音響信号処理，音声言語情報処理ならびに音楽知覚・情報処理の研究に従事。Expo'70西独館で，Stockhausenの前座ミキサーを務める。2004年日本音響学会佐藤論文賞受賞。著書（分担執筆）『ファジィ科学』（海文堂），『信号処理』（オーム社），『メディア情報処理』（オーム社），訳書（分担）『ソフトコンピューティング』（海文堂）。日本音響学会理事，日本音楽知覚認知学会理事，IEEE，米音響学会，米心理学会等各会員。

## 訂 正 (Errata)

情報処理学会論文誌, Vol.46, No.5, pp.1176 ~ 1187 (2005) に掲載されました「ポップス系の旋律に対する和声付与システム: AMOR」において p.1187 の柳田益造氏のプロフィールに誤りがありました。お詫び申し上げますとともに、次のように訂正致します。

誤 1969 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業

正 1969 年大阪大学工学部電子工学科卒業