

# 音楽知識を利用したハーモナイザー

## An Automatic Harmonizer Based on Arranging Techniques

上野 涼平  
Ryohei Ueno

法政大学情報科学部デジタルメディア学科  
E-mail: ryohei.ueno.ar@stu.hosei.ac.jp

### Abstract

This paper proposes a system that automatically harmonizes melodies targeted at electric guitar of popular music. Previous system needs musical key information before harmonizing. And previous system can only make one type of harmonized melody. Therefore, previous system is partially dissonant. Proposal system harmonizes melodies using dynamic programming that has musical key information, pattern of acutual harmonized melodies, melody progression and relationship with chord as cost. Input is a monophony. Concordance rate between actual harmonized melody and proposal system's harmonized melody was average of 91.7 %. In conclusion, proposal method was effective for the problem that is partially dissonant compared to previous system.

### 1 序論

ギターはポピュラーな楽器として広く普及している。ポップスやロックの編曲方法の一つとして、エレキギターを2本使用し、一方の旋律をもう一方の旋律でハーモナイズするツインギターがある。本研究では自動で主旋律をハーモナイズさせる手法を提案する。

一般的にハーモナイズは和声付けや旋律付けといった広い意味で使われるが、本研究では、ツインギターソロを想定して、ユーザが与えた主旋律に対する旋律付けを行う。既存システムであるギターエフェクターやDTMソフトウェア内のハーモナイザーは調情報からハーモナイズを行う。主旋律を入力とし、調とハーモナイズの種類(3度から7度)\*<sup>1</sup>を設定する。しかしこれらのシステムは、ユーザが事前に主旋律の調を知らなければならぬ。楽譜が手元に無い場合や個人が創作した旋律では、音楽初心者は調を知ることができない。また、入力した旋律に対して固定度数のハーモナイズしか行えないため、和音やスケールによっては部分的に不協和となる。

自動編曲の従来研究には、対位法に基づき、動的計画法によって自動で対旋律を生成する手法[1]がある。しかし、ツインギターソロのハーモナイズパートは対旋律とは、基づく規則が異なる。そのほかにも対旋律を生成する従来研究は[2][3]存在するが、本研究で扱うツインギターソロのハーモナイズはまだ実現されていない。

そこで本システムでは、ポップス・ロックのツインギターソロのハーモナイズに関する規則をコストとして、動的計画法を用いたハーモナイズを行う。

### 2 主旋律への自動ハーモナイズ

本研究で扱うハーモナイズとは、主旋律に音高が違う別の旋律を付与することを指す。

ハーモナイズを行うには作曲・編曲知識が必要である[4]。それらは音楽理論、楽器演奏経験、ジャンルごとの知識などにあたる。本研究で対象とするツインギターソロのハーモナイズを行うために考慮すべきことを考える。

### 2.1 調とスケール

既存ハーモナイズシステムや和声付け・旋律付けの従来研究[1, 2, 5, 6, 7, 8]では調が使用される。なぜなら、調によって使用できる音高や和音が決まるからである。同様に、本システムでも調は必須となる。

調は、曲がどのスケール(音階)に基づいているかを表す。スケールとは、ある調で使用される音を階段状に1オクターブ内で並べた型を指す。音高の並び方によって長音階・短音階と分かれる。スケール内で高さが一番低い音高を主音と呼び、主音と音階の種類(長・短)によって調が決まる。

ある調で本来は使用されない音高が旋律内に存在すると、違和感が生じる。例えば、Cに対する3度上のハーモナイズ音は、長3度上のEと短3度上のEが存在し、それぞれ単体での響きは音楽理論的に問題はない。しかし、調がC Majorである場合、旋律内でハーモナイズ音にEが使用されると、EはC Majorでは使用されない音高であるため、C Majorの調性が損なわれ違和感が生じる。

一方、臨時記号が付く音高のように、ある調のスケール外の音高が旋律内に存在しても違和感が生じない場合がある。これはスケールの違いに関係がある。短調にはナチュラルマイナースケール、ハーモニックマイナースケール、メロディックマイナースケールと3つのスケールがあり、ギターソロなどで臨時記号が付く音高は使用されるスケールの違いによるものが多い。実際に既存曲の調査から、ギターソロではナチュラルマイナースケール以外のスケールが多く確認された。そのため、既存システムのようにナチュラルマイナースケールだけを想定したのでは、その他2つのスケールに対応できない。

そこで本システムでは、入力である単旋律から調及びスケール判別を行うことでスケール別のハーモナイズに対応する。

### 2.2 ハーモナイズパターン

既存曲の調査や作曲の教則本[4]からハーモナイズの種類は様々であると確認できる。本研究で対象するポップス・ロックのツインギターソロでは主旋律の音高が高く、3度下のハーモナイズが多く使用されていることが、X JAPANやSEX MACHINEGUNSのギターソロパートから確認できる。

本研究ではツインギターソロのハーモナイズらしさを、3度主体のハーモナイズを考えることで実現する。

### 2.3 主旋律の進行

単旋律は、複数の音高情報及び、音高間の進行情報を持つ。ここでは、ある音高から別の音高への進行を音高進行と呼ぶ。

音高進行は、調とは異なる規則に従う。調の判定は、ハーモナイズ音との調和が基準となるが、音高進行の判定には、ハーモナイズ音の前後の音を考えなければいけない。

主旋律の進行を考慮したハーモナイズは数種類存在する[4]が、ここでは平行型と反行型に絞って記述する。平行型は、主旋律の音高進行と同方向の進行をする。主旋律の音高が上がると、ハーモナイズパートの音高も上がる。一方、反行型は主旋律の音高進行と逆方向の進行をする。既存曲の調査では、反行型のハーモナイズは確認されなかった。そのため、反行型を避け、平行型のハーモナイズを行うことでツインギターソロらしさを実現する。

Supervisor: Prof. Katunobu Ito

\*<sup>1</sup> 二音間の距離を度という単位で表し、同じ高さの音を1度とし、音階に沿って一音ごとに2度、3度となる。また、8度は1オクターブともいう。

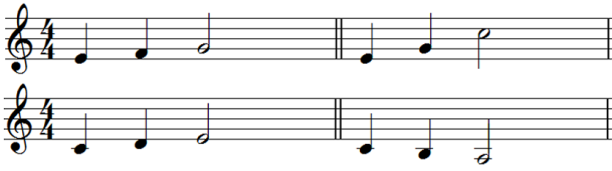


図 1. 平行型 (左)・反行型

## 2.4 和音との関係

和声付け・旋律付けの従来研究 [2][7][8] や、作曲の教則本 [4] では、旋律と和音の関係が密接であると示唆されている。特に [4][7] では、旋律内の音高と和音に含まれる構成音 (和声音) の音高差が 2 度 (短 2 度・長 2 度) になることを避けており、一般にも短 2 度・長 2 度は不協和音程とされる。本研究で対象とするハーモナイズパートも旋律であるため、同様に和声音との音高差を考慮しなければならない。

既存曲の調査を行った結果、主旋律・ハーモナイズフレーズともに、和声音との音高差が考慮されていることが確認され、3 度主体のハーモナイズで、部分的に完全 4 度や完全 5 度のハーモナイズ音が使用されていた。

このように実際のハーモナイズは、和声音とハーモナイズ音の音高差が 2 度になることを避けて編曲される。そのため、調のみを考慮した既存システムでは、和声音との音高差によって部分的に不協和となる。本システムでも従来研究と同様にハーモナイズ音を決定する際に、和声音との音高差が 2 度になることを避け、既存システムの抱える部分的な不協和を解消する。

## 2.5 主旋律に対するハーモナイズの高低

X JAPAN の「The Last Song」のツインギターソロは、ソロの前半の小節で 3 度下主体のハーモナイズを行っているが、後半の小節から 3 度上主体のハーモナイズへ切り替わる。ハーモナイズが、フレーズの途中で、3 度下主体から 3 度上主体へ変化するように、主旋律に対するハーモナイズの上下が変化する理由は複数ある。ここでは、既存曲からの調査でわかったことを述べる。

主旋律に対するハーモナイズの上下には和音が関係する。例として、3 度下ハーモナイズを主体とした場合に、和声音との音高差が短 2 度となるハーモナイズ音が、小節内に複数出現すると、3 度以外のハーモナイズ音を多く使用しなければならない。しかし、3 度上ハーモナイズを主体とした場合は、和声音とハーモナイズ音の音高差に、短 2 度や長 2 度がないことがある。このような場合は、3 度下主体ハーモナイズではなく、3 度上主体ハーモナイズを用いる。

主旋律に対するハーモナイズ音の上下は、小節単位で変化していた。そこで、小節ごとにハーモナイズの上下を変更できるようにする。

## 3 ハーモナイズ音推定手法

動的計画法を用いてハーモナイズを行う。入力を単旋律として、調及びスケール判別を行う。調・スケール情報、既存曲から学習したハーモナイズパターン・音高進行、和音との関係をコストとして、最終的にコストが最小となるハーモナイズフレーズを出力とする。

### 3.1 調判別

スケールの始まりの音高・スケール内の音高と、そのスケールが長音階であるか、短音階であるかで調が決まる。つまり、調はスケール内に含まれる音高の種類を表す音高情報と、長音階・短音階といった、音高の進行の特徴を表す音高の進行情報から判別できる。

調判別の従来研究では、旋律内の音高の出現確率をベクトルで表し、学習データから得た平均音高出現確率ベクトルと内積をとる手法 [9] や、音高の進行確率行列を生成し、学習データから生成した平均進行確率行列と相互相関をとる手法 [10] がある。しかし、前者は旋律内の音高の種類が少ない曲に対応できず、音高の出現頻度のみを考慮するため旋律の進行を考慮できない。後者は、進行確率行列を用いて旋律の進行を考慮しているが、平均の進行確率行列との相関をとって判別するため、調は同じであっても使用される音高の出現頻度が異なる曲には対

応できない。

そこで、本研究では単旋律の学習データから得た調別の音高出現確率及び、調別の平均進行確率行列を用いて、主旋律の各調に対する尤度を求めることで調判別を行う。また調判別の結果が短調であった場合 3 つのスケールについても判別する。

#### 3.1.1 音高出現確率ベクトル

調によって使用できる音高が決まるため、旋律内の音高の出現頻度には特徴が出る。音高の相対的出現頻度ベクトル [9] を音高出現確率ベクトルと呼ぶ。

学習データから調別で平均の音高出現確率ベクトルを生成する。学習データは人手で楽譜から長調・短調で分類し、主音を統一した。調で使用されない音高の出現確率は 0 となるが、要素内に 0 を含まず確率ベクトルの定義に反しないようにフロアリングを行う\*2。

調別の平均音高出現確率の推定には、列方向で循環シフトを行う。長調・短調それぞれの平均音高出現確率ベクトルは、列方向にシフトすることで、全ての調の平均音高出現確率を表せる。

#### 3.1.2 進行確率行列

一般に、ある状態から別の状態へ変わる確率を遷移確率または推移確率と呼ぶ。本研究では、音高の進行を確率で表現するので、進行確率と呼ぶ。

長調・短調の旋律では、聞こえ方に違いがあるため音高の進行にもそれぞれ特徴が出る。本研究では、従来研究 [10] と同様に音高の進行は一つ前の音高に依存するという、単純マルコフ過程に基づき進行確率行列を生成する。音高出現頻度と同様に、音高は全て 1 オクターブ内として、12 次の正方行列で進行確率を表す。各要素の確率は、

$$m_{ij} = \frac{\text{ある音高 } t_i \text{ からある音高 } t_j \text{ へ進行した数}}{t_i \text{ の総数}} \quad (1)$$

として求める。単純マルコフ過程のため、 $m_{ij}$  は条件付確率の条件部分である進行元の音高  $t_i$  の総数で除算を行う。この場合、行方向の総和が 1 となるので、生成された行列を転置する。そのため転置後では、ある音高  $t_i$  からある音高  $t_j$  へ進行する確率は  $m_{ji}$  で表される。

音高出現確率と同様に進行確率行列では確率が 0 となる要素があってはならない。そのため、音高出現確率と同様の処理を行う。また、全ての確率が 0 となる列は、確率を  $1/12$  とした。

学習データから平均進行確率行列を生成する。曲ごとに求めた、進行確率を平均し、平均進行確率行列とする。主音を統一せず進行確率行列を生成した場合、それぞれの調の特徴を持つ進行確率行列が生成されるため、平均進行確率行列が正しく求められない。

調別の平均進行確率行列の生成には、音高出現確率ベクトルと同様に循環シフトを行う。行列のため、行方向・列方向で循環シフトを行う必要がある。

#### 3.1.3 旋律の調に対する尤度

判別には、主旋律の音高データ、調別の平均音高出現確率ベクトル、調別の平均進行確率行列を用いる。調別の平均音高出現確率ベクトルでの旋律内の音高の出現確率を乗算することで調別に尤度が求まる。同様に、調別で平均進行確率行列での進行パターンの確率を乗算することで、各調に対する旋律の尤度が算出できる。

旋律を  $t = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ 、調を  $k = \{k_1, k_2, \dots, k_{24}\}$  とすると、ある調  $k_n$  における音高  $t_i$  の出現確率は  $P(t_i|k_n)$  と表せる。尤度を計算する際には対数尤度を用いる。よってある調  $k_n$  での対数尤度は次式で表せる。

$$L_1(t|k_n) = \sum_{i=1}^m \log\{P(t_i|k_n)\} \quad (2)$$

ある調  $k_n$  の平均進行確率行列での、音高  $t_i$  から  $t_{i+1}$  へ進行する確率は  $P(t_{i+1}|k_n)$  と表せる。よって、ある調  $k_n$  での旋律

\*2 理由は 3.1.3 節

の対数尤度は次式で表せる。

$$L_2(t|k_n) = \sum_{i=1}^{m-1} \log\{P(t_{i,i+1}|k_n)\} \quad (3)$$

ここでは、 $n = 1, 2, \dots, 12$  を長調とし、 $n = 13, 14, \dots, 24$  を短調とする。 $L_1 + L_2$  が最大となる調  $k_n$  を判別結果とする。しかし、尤度が最大と調が実際の調と必ず一致するわけではない。最終的なハーモナイズの出力数を制限するために調の出力は上位 3 つまでとする。

尤度の計算を行う場合、平均音高出現確率及び平均進行確率行列に 0 要素があると、対数尤度は負の無限大に発散してしまうことに注意する。それを避けるため、フロアリングを行う。

### 3.1.4 スケール判別

短調には、3 つのスケールが存在する。そのため、判別された調が短調であった場合、3 つのスケールを判別する。

スケール内では、主音から見て 6 度と 7 度の音高がスケールごとに異なる。これらの音高によってスケールを判別する。

既存曲の調査から、スケールの変化は小節単位であるため、本研究では小節ごとにスケール判別を行う。

### 3.2 動的計画法を用いたハーモナイズ

主旋律に対し、動的計画法を用いてハーモナイズを行う。ハーモナイズフレーズを音高の経路として、最終的なコストを最小とする最短経路問題として考える。

各コストについて次節以降で記述する。

#### 3.2.1 調・スケール情報コスト

調情報コストとは、調情報とスケール情報によって決まる局所コストを指す。調情報とスケール情報から、スケール内の音高とスケール外の音高が分類できる。スケール内の音高であれば、局所コストを 0 とし、スケール外の音高であるならば、規則違反とし、ハーモナイズに使用されることがないように設定するために、コストを十分に大きい 200 と設定した。

#### 3.2.2 ハーモナイズ度数コスト

ハーモナイズ度数コストとは、既存曲の各ハーモナイズ度数の使用率を用いた局所コストを指す。実際のツインギターソロから調査から、各ハーモナイズ度数の使用率を求め、その逆数をコストとした。使用率が 90 % であれば、コストは 1.11 となる。その他のハーモナイズ度数は、調情報コストと同様にコストを 200 と設定した。

#### 3.2.3 ハーモナイズ高低コスト

既存曲の調査では、主旋律に対するハーモナイズの高低は小節単位で変化した。

主旋律に対し音高が高いハーモナイズを行った小節を以下では、高小節とし、その逆を低小節とする。主旋律に対し上下のハーモナイズのそれぞれの使用率を求め、その逆数を経路コストとした。高小節から低小節へ進行する場合、低ハーモナイズの使用率をコストとし、低小節から高小節へ進行する場合は、高ハーモナイズの使用率をコストとした。また、同種のハーモナイズを行った小節では進行にかかるコストを 0 とした。

#### 3.2.4 音高進行コスト

ハーモナイズ高低コストと同様に、音高進行コストも一次マルコフ的性質を持ち、一つ前のハーモナイズ音に依存するコストである。進行先が同じ音高であっても、進行元の音高が異なると、進行にかかるコストが変動する。

本システムでは、平行型のハーモナイズを対象とするため、主旋律の進行と平行する音高進行にはコストを加えず、反行する音高進行にはコストを 200 と設定した。また、主旋律の音高が変化しない進行の場合は、ハーモナイズ音の進行は、全ての方向への進行を許容する。調情報コストと同様に、規則違反を避けることが目的となる。

#### 3.2.5 和音コスト

和音コストとは小節ごとに想定される和音の和声音とハーモナイズ音との音高差によって定まるコストである。

既存曲から、ハーモナイズパートに使用される和声音の長・短 2 度の音高の個数を非和声音を除き計量した。既存曲のハーモナイズでは、和声音の長・短 2 度の音高を避けて編曲されるため、このような音高の個数は少ない。そこで、小節ごとの和声音に対し、長・短 2 度音高の出現確率をポアソン分布で表す。

調査の結果、短 2 度一つは 256 音符中 32 個、長 2 度一つは 40 個、長 2 度二つ 6 個となった。この結果を学習データとして、ポアソン分布を求めた。

和声音に対し、長・短 2 度となる音高の個数が 0 及び、1 の確率の逆数をコストとした。また、非和声音は和音との関係に使用しないため主旋律の中で非和声音である箇所は、和音コストを適用しない [6]。和声音の長 2 度となる音高、短 2 度となる音高の個数分、それぞれコストを加算する。

小節ごとに想定される和音の検出には、音価を用いる。非和声音を除いた、旋律内の音高を和声音とする和音を検出する。音価が大きいほど、その音高を和声音とする和音は、有力度が高いとする [5]。音価は、MIDI シーケンサー等で使用される分解能に基づいた値を用いる。四分音符を 480、二分音符を 960 とする。

非和声音を除き、旋律内の音高に C(8 分音符)、E(8 分音符)、G(2 分音符) を含む場合、構成音が、C、E、G である C Major コードは旋律内の音高全てを和声音に含むので、それぞれの音価を加算し有力度は 1440 となる。構成音が、E、G、B である E Minor コードでは、旋律内の E と G を和声音に含むので、有力度は 1200 となり、C Major コードが最も有力な和音となる。

有力度は、和音コストの重みとして用いる。有力度が高い和音の和声音と、短 2 度や長 2 度の音高差となる場合に和音コストが作用するように設定をする。ある和音の和声音とハーモナイズ音の音高差が短 2 度や長 2 度となった場合、その和音の有力度を、和音候補内で最も高い有力度で除算し、その値を重みとしてコストに反映させる。しかし、主旋律内の音高と音高差に問題のある和音は、実際にも使用されることがないとして、その和音の影響が出ないように重みを低くする。

非和声音の検出には、音高並び [5] と拍 [6] を考慮した手法を用いた。本研究では、既存曲の調査でギターソロパートによく見られた経過音と刺繍音を検出し、和音候補検出に使用する音高から除いた。

経過音・刺繍音は非和声音の一部であり、和音の和声音として含まれない音高を指す。ともに 2 つの和声音との間に存在する。和音が C Major である場合では、C、D、E や E、D、C といった階段状の並びで D は経過音となり、C、D、C や E、D、E といった並びで D は刺繍音となる。

#### 3.2.6 ハーモナイズフレーズの生成

入力を単旋律として、先述したコストを動的計画法に導入する。一音目は、3 度のハーモナイズ音に固定する。

単旋律と音高と音高進行から調・スケール判別を行い、その結果から調・スケール情報コストが決まる。また既存曲の調査データより、ハーモナイズ度数コスト・進行コスト・和音コストが決定する。

調・スケール情報コストとハーモナイズ度数コストによってハーモナイズ音候補の局所コストが決定する。違反する音高は、ハーモナイズ音候補がはずれる。同様に、進行コストによって違反となるハーモナイズ音候補への進行を防ぐ。また一音ごとに和声音との音高差によって和音コストがハーモナイズ音候補に追加される。全てのコストが追加された状態で、コストが最小となるフレーズを生成する。

また、小節ごとにハーモナイズの上下を推定するため、1 小節を 1 音として再度、動的計画法を用いてコストが最小となる経路(上下)を求める。上下それぞれを主体としたハーモナイズフレーズをあらかじめ生成しておき、それぞれのハーモナイズフレーズの小節ごとの累計コストを求める。この小節単位のコストを局所コストとする。ハーモナイズの上下が異なる小節間の進行には、経路コストとして 3.2.3 節のコストを用いる。一つの調につき出力は、3 度上主体ハーモナイズ、3 度下主体ハーモナイズ、上下混合ハーモナイズの 3 つとなる。

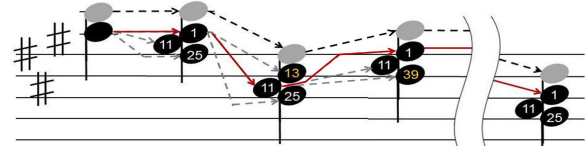


図 2. 動的計画法によるコスト計算過程



## 4 評価実験

提案手法が主旋律から調を判別して、既存曲のようなハーモナイズを行えたか、またオリジナルの旋律を入力した場合、違和感がないハーモナイズを行えたかを評価した。実験には、ポップスやロックの既存の歌唱パート(サビ)とツインギターソロの主旋律部分を用いた。それぞれ4小節から16小節であり、調判別実験では59曲、自動ハーモナイズではツインギターソロ14曲を使用した。

表 1. 調判別結果 (一致率%) 表 2. ハーモナイズ一致率 (%)

	1位	3位まで
全体	98.5	100
長調	100	100
短調	97.1	100

	提案	既存
平均	91.7	87.4
最高	100	100
最低	61.1	83.3

### 4.1 調判別実験

提案手法によって、主旋律から調を判別できるかを評価した。学習データが少ないため、交差検定を用いて長調24曲、短調35曲で判別実験を行った。調別で対数尤度を計算し、最も尤度が高い調と実際の調が一致した場合、正確に判別したとみなす。

長調では100%の判別率、短調では97.1%となり全体で98.5%の判別率となった。判別誤りについては全て、実際の調の平行調であり、出力で2番目に尤度が高い調の中に実際の調が確認された。また、正しく判別された場合でも2番目に尤度が高い調は全て平行調となっている。平行調であれば、使用する音高は同じなのでハーモナイズを行う上では問題がない。スケールを無視した判別率は100%と言える。

### 4.2 自動ハーモナイズ

提案手法によるハーモナイズが、既存曲のようなハーモナイズを行えているかを評価した。実際のツインギターソロの主旋律を入力として、本システムで出力されたハーモナイズパートと、実際のハーモナイズパートで音高の一致率を求めた。

ハーモナイズパターンコストは、3度下: 1.136, 4度下: 11.62, 5度下: 58.62となり、3度上: 1.1622, 4度上: 21.5, 5度上: 10.75となった。主旋律に対するハーモナイズの高低選択コストは、高から低への進行は1.375, 低から高への進行は3.664となった。

和音コストは、短2度個数0コスト: 1.1331, 個数1コスト: 9.0662となり、長2度でも同様に、1.2252, 6.0314となった。

コストの計算で、進行後の累計コストが1000以上になる場合、その経路は規則に違反する音高を多く含むものとして、その先の計算を行わない。以上のコスト設定で自動ハーモナイズを行った。実験には使用したツインギターソロは、3度下主体ハーモナイズ12曲、3度上主体ハーモナイズ2曲である。そのうち11曲については、3度以外に完全4度や完全5度のハーモナイズ音が部分的に使用されている。実際の出力例を図3に示す。音高が高い旋律が入力であり、音高が低い旋律が出力されたハーモナイズフレーズとなる。



図 3. 自動ハーモナイズ出力例の一部抜粋

4小節目の2音目では、3度下ではなく完全4度下のハーモナイズが使用されており、和音コストによって3度のハーモナイズ音より完全4度下のハーモナイズ音が調和すると判断されたことが確認できる。これは実際の楽譜とも一致する。

本システムによるハーモナイズは、実際のハーモナイズと最高で100%の一致率となり、平均の一致率では91.7%、第二候補までの出力では92.1%となり、既存システムを上回った。実際に、3度以外のハーモナイズ音が使用される箇所では和音コストによって、推定に成功した。スケールが異なる小節では、スケール判別によって対応できた。

しかし、必要以上に3度以外のハーモナイズが使用されるなど和音コストの影響が大きい箇所があった。和音コストでは、小節ごとに旋律から想定される和音を用いたため、1小節内に

2種類以上の和音が存在する場合には対応できない。また、実際の和音では許容されるハーモナイズ音であっても、和音の重み付けの精度によっては、3度の音高のコストが高くなりすぎてしまった。出力では、コストは最小でないが、実際のハーモナイズフレーズにより近いフレーズも確認されたため、コストの順位付けを見直す必要がある。

上下どちらでも3度主体ハーモナイズが可能なフレーズでは、上下の推定誤りがあり、上下変動が多すぎる不自然なハーモナイズとなった。一定小節以下では、上下の変動を行わないといった制約や和音の種類、旋律の進行パターン・音高の高さなど、上下ハーモナイズの変化に関わる要因を選択基準として導入する必要がある。

入力をオリジナルの旋律としてハーモナイズを行った場合では、3度を主体とした、平行型ハーモナイズフレーズが生成され、3度以外のハーモナイズ音が使用される箇所も確認された。

## 5 結論

本研究では、音楽初心者の編曲支援を目的として、単旋律からツインギターソロのハーモナイズを自動で行う手法を提案した。調情報、既存曲のハーモナイズパターン、音高の進行、和音をコストとして、動的計画法によってハーモナイズ音を決定した。実際のハーモナイズとの一致率で評価したところ、平均で91.7%の一致率となった。3度以外のハーモナイズ音が使用される箇所や、スケールが一部異なる箇所では、コストによって修正が確認され、既存システムでは、実現できない和音やスケールを考慮したハーモナイズが実現できた。

しかし、和音コストの影響で、本来3度のハーモナイズである箇所まで、完全4度、完全5度が使用される場合があり、一致率の低下に繋がった。実際の和音のみを和音コストに使用した場合では、一致率の向上が期待できる。また、和声付けされた和音をコストに使用することで、そのコード進行にのみ調和するハーモナイズを行うことも可能であると考えられる。

今後の課題は、他の音楽ジャンル・楽器・転調を含む曲への対応である。本研究では、ポップスやロックでのツインギターソロのようなハーモナイズを想定している。そのため、6度のハーモナイズが多用される男女デュエット曲、3声以上の合唱、歌唱パートのサビ以外の部分には対応できない。また、転調を含まない曲に限定しているため、転調を含む曲も同様に対応できない。他ジャンル及び他楽器のハーモナイズ実現のために、歌唱パートを考慮したコストや、ジャンルによるハーモナイズの違いを考慮したコストを検討していく。

## 参考文献

- [1] 中瀧, 他 "動的計画法と音列出現確率を用いた対位法の対旋律の自動生成" 情報処理学会研究報告. 2004(84), 65-70, 2004
- [2] 伊藤, 他 "主旋律の特徴を生かした不干渉な対旋律の生成手法" 情報処理学会研究報告. 1999(84), 13-18, 1999
- [3] 米田, 他 "マルコフ確率場を用いた調認識、自動和声付け、および自動対位法" 情報処理学会研究報告. 2005(129), 31-36, 2005
- [4] 藤巻浩 "藤巻式作曲入門" 2012
- [5] 三浦, 他 "ポップス系の旋律に対する和声付与システム" 情報処理学会論文誌. 46(5), 1176-1187, 2005
- [6] 深山, 他 "非和声音規則に基づく経路制約を用いた旋律自動生成" 情報処理学会研究報告. Vol.2009-MUS-81, No.15, 2009
- [7] 北原, 他 "ベイジアンネットワークを用いた自動コードヴォイスングシステム" 情報処理学会論文誌. Vol.50, No.3, 1067-1078, 2009
- [8] 川上, 他 "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. 2000(19), 59-66, 2000
- [9] 秋山, 他 "日本の歌謡曲の調性判別-特徴ベクトルと音高推移エントロピー" 日本音響学会誌. 44(11), 809-814, 1988
- [10] 松田, 他 "単旋律の進行パターンに基づく調性判別と主音推定" 日本音響学会誌. 52(4), 253-260, 1995