

# 予測変換を用いた初心者向け作曲支援システム

山下 峻<sup>1,†1,a)</sup> 藍 圭介<sup>1</sup> 坂本 大介<sup>1</sup> 小野 哲雄<sup>1</sup>

受付日 2018年2月1日, 採録日 2018年9月7日

**概要:** アマチュア作曲の普及を背景として作曲に興味を持つ人が増えているが、音楽知識や作曲スキルに乏しい初心者にとって作曲は容易ではない。本論文では、メロディの一部は作れたが続きが浮かばないという初心者の問題に着目し、小節間で一貫したメロディの作曲を支援するシステムを提案する。入力メロディの先に続く候補メロディを複数提示することで初心者の作曲支援が可能であると考え、予測変換のアイデアを作曲に適用することで候補メロディを提示することを試みる。また、実際に提案手法によって候補メロディを生成して確認したところ、候補メロディの提示アルゴリズムには改善の余地があることが分かった。これをふまえて、本論文では提案手法の改善にも取り組み、候補メロディの質の向上も試みた。提案システムを GUI アプリケーションとして実装したうえで、提案手法の有効性と改善の有効性の評価実験を行った。評価実験 1 では提案手法で用いているメロディ生成手法と辞書の比較評価を行い、マルコフ過程とパターンマッチングを組み合わせ、単語辞書と例文辞書の両方を用いる提案手法の有効性を確認することができた。評価実験 2 では改善前後のシステムで生成したメロディの比較評価を行い、改善後のメロディに対して評価得点が向上したことで改善の有効性を確認することができた。

**キーワード:** 作曲支援, 自動作曲, 予測変換, 経路探索

## Composition Support System for Beginners Using Predictive Melody Input

SHUN YAMASHITA<sup>1,†1,a)</sup> KEISUKE AI<sup>1</sup> DAISUKE SAKAMOTO<sup>1</sup> TETSUO ONO<sup>1</sup>

Received: February 1, 2018, Accepted: September 7, 2018

**Abstract:** We present a composition support system that shows candidates of next melodies following user created music and melody. Non-expert of music composition, like beginners, have difficulties to create melodies in music. It would be effective if a system could support music composition. We develop an algorithm to generate candidate melodies following user's input, especially music and melodies. The algorithm was inspired by the idea of predictive text input interface. We actually generated and confirmed the candidate melodies by the proposed method, we found that it has room for improvement. Based on this result, we also tried to improve the proposed method and tried to improve the quality of candidate melodies. We then created a system for showing candidate in music composition interface to support writing music activities. We conduct evaluation studies to investigate the effectiveness of the proposed method and improvement. In the 1st evaluation study, we compared three condition melody generation methods and two condition dictionaries. From results, we confirmed that the effectiveness of the proposed method using combining Markov process and pattern matching and two dictionaries. In the 2nd evaluation study, we compared melodies in pre- and post-improvement. As a result, the score of music generated in post-improvement system, was improved and we confirmed that the effectiveness of the improvement.

**Keywords:** composition support, automatic composition, prediction conversion, path search

<sup>1</sup> 北海道大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology,  
Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido 060-0814, Japan

<sup>†1</sup> 現在, ヤマハ株式会社  
Presently with Yamaha Corporation

<sup>a)</sup> shun.yamashita@music.yamaha.com

## 1. はじめに

DTM (Desk Top Music) による音楽制作や動画投稿サイトなどでの自作楽曲の公開といった活動が身近なものとなり、作曲に興味を持つ人が増えている。しかし、音楽知

識や作曲スキルに乏しい初心者にとって、作曲は決して容易ではない。このような背景から、作曲未経験者や初心者を対象とした様々な自動作曲・作曲支援システムが研究されてきた。

自動作曲システムの代表的な研究例としては、入力歌詞の韻律を考慮して旋律を生成する Orpheus [1] がある。他にも、旋律の断片を保持したデータベースを用いるもの [2] や、マルコフ連鎖のような確率モデルを用いるもの [3], [4], [5], 楽曲構造の解析結果を反映して旋律を生成するもの [6] もある。自動作曲システムは単体で旋律や楽曲を生成することができるため、作曲スキルを持たない者でも作曲を楽しむことができる。しかし、ユーザが作曲過程に介入できないものも多く、そのようなシステムではユーザの楽曲に対する細かい要求に対応できないという課題もある。

ユーザの要求や意図を反映させるため、ユーザが積極的に作曲過程に介入可能な作曲支援システムも研究されている。例としては、入力歌詞から生成されたメロディの音高やコード（和音）を音楽的な自然さを保ったまま編集できるもの [7] や、曲線を描いて旋律を作曲できるもの [8], 対話型進化論的計算の進化プロセスにユーザが介入して作曲に関与できるもの [9], 一部のメロディを指定するとその先のメロディを推薦するもの [10], [11], [12] がある。また、スマートフォンやタブレット向けの作曲支援アプリケーションも存在し、例としては、2小節のメロディを入力するとそのメロディを発展させた1曲分の楽曲を自動生成するもの [13] がある。

本研究では「メロディの一部は作れたがその先に続くメロディが浮かばないという初心者によくみられる問題」に着目し、ユーザが小節間で一貫した特徴を持つメロディを作曲することを支援するシステムを提案する。これまでも実際の作曲において作曲者が続きのメロディを発想できず作業が停滞する場面があることを指摘し、この問題の解決を試みた先行研究はいくつか存在する [10], [12], [14]。本研究では予測変換のアイデアによってこれを解決するという点で特徴的であると考えている。なお、本研究で扱う音楽ジャンルはポピュラー音楽とする。

本論文の構成を述べる。2章ではシステムの概要として、システムが満たすべき要件や先行研究との比較について述べる。3章では提案手法の詳細を述べ、4章では提案手法による生成結果をふまえて取り組んだ改善について述べる。5章ではシステムの実装について述べる。6章では提案手法の有効性を、7章では改善の有効性を検証するために行った評価実験についてそれぞれ述べる。最後に、8章で本論文のまとめを述べる。

## 2. システム概要

途中までしかメロディを作曲できない初心者を支援する方法としては、途中まで作られたメロディ（入力メロ

ディ）に対してその先に続くメロディ（候補メロディ）を提示することが考えられる。候補メロディについては入力メロディに対して適切な展開のものを複数提示し、ユーザにとっての選択肢を増やすことが望ましいと思われる。また、候補メロディは音楽的に自然なものを提示することが望ましく、そのためにはコードによる音高の出現のしやすさといった音楽知識を反映させることが有効であると考えられる。ユーザは、提示された候補メロディを取捨選択して試行錯誤する過程で、メロディ展開の発想を得た際に候補メロディの一部を編集したくなることが予想される。このようなユーザの編集要求にも対応する必要がある。これらをまとめると、提案システムは次の要件を満たすべきであると考えられる。

- (1) 1つの入力メロディに対して複数の候補メロディを提示できる。
- (2) 入力メロディに合う候補メロディを提示できる。
- (3) 音楽知識を反映させた候補メロディを提示できる。
- (4) ユーザは提示された候補メロディを編集できる。

要件(1), (2)については、文章入力の予測変換のアイデアを作曲に適用することで実現する。メロディのデータベースを用意し、入力メロディとの展開のマッチング度合いが高いものから順にユーザへ提示することで、適切な展開の候補メロディを複数提示する。ただし、データベースに登録されたメロディはそのまま提示するのではなく、候補メロディを提示する際の参考情報として使用される。具体的には、データベースのメロディの音高変化を参考にし、コード・音域・音高の跳躍度数などに基づく音楽知識を反映した確率的な経路探索によって候補メロディを生成し、提示する。これにより要件(3)を実現し、音楽的な自然さを備えた候補メロディを提示する。要件(4)については、ピアノロールと呼ばれる作曲ユーザインタフェースを実装し、ユーザへ音符の編集機能を提供する。

以下、自動作曲や作曲支援に関する先行研究との比較について議論する。先行研究 [1], [3], [4], [8], [10], [12] はマルコフ過程、先行研究 [2] はパターンマッチングに基づくメロディ生成手法であるのに対し、提案システムはマルコフ過程とパターンマッチングを組み合わせた手法である点に特徴がある。文献 [1] では音高の上下動の制約を満たしたメロディを生成するために確率的な経路探索を採用しており、経路探索によるメロディ生成手法を用いる目的は提案システムと共通している。しかし、経路探索時の制約として文献 [1] では入力歌詞の韻律による音高の上下動を採用しているのに対し、提案システムではデータベースに登録されたメロディの音高の上下動を採用する点で、実現方法が異なる。また、文献 [4], [10], [11], [12] については入力メロディに対して後続メロディを提示する振舞いは提案システムと類似している。しかし、たとえば文献 [11] は後続メロディの生成に音楽知識を反映していないのに対し、提案

システムでは音楽知識を反映することでより音楽的に自然なメロディを生成できうと考える。

先行研究 [6], [9] はそれぞれ、音楽理論 GTTM (Generative Theory of Tonal Music) による楽曲構造の解析結果や対話型進化論的計算を用いるメロディ生成手法であり、提案システムとは基本とするアルゴリズムが大きく異なる。

文献 [13] は入力としてメロディの一部を与える点は類似しているが、こちらはアレンジも含めた楽曲全体を出力するのに対し、提案システムはメロディを出力する点で異なる。

### 3. 提案手法

本章では最初に、提案システムで用いる予測変換のアイデアと相対メロディについて説明する。そして、これらを用いた候補メロディ群の提示手法を説明する。

#### 3.1 予測変換のアイデア

途中からのメロディの作曲を支援するためには、入力メロディの先に続く多様な候補メロディを提示する必要がある。多様な候補の提示を実現するために、本研究では文章入力の予測変換に着目した。文章入力の予測変換とは、現在入力中の文字から始まる単語を複数提示する機能であり、代表的な予測変換システムとしては POBox (Pen-Operation Based On eXample) [15] がある。POBox は単語辞書と例文辞書の 2 種類の辞書を用いて変換候補を検索し、妥当性の高い候補から順にユーザへ提示するシステムである。候補を検索する際、入力中の文字と辞書エントリの単語の読みが完全に一致していなくても、類似度を計算して候補を探すことで曖昧な入力にも対応することができる。

本研究では、「そのときの文脈に応じて妥当な候補群を提示する」という POBox の振舞いに着目し、POBox のアイデアを作曲に適用することで多様な候補メロディの提示を実現することを試みる。

#### 3.2 メロディ展開の辞書を用いた候補提示

作曲に不慣れな初心者にとっては、1 小節のような短いメロディを選択して接続し、試行錯誤しながら段階的に作曲を進めていく方法が有効であると考えられる。したがって、本研究では 1 小節の短いメロディを接続して数小節のメロディを作曲する状況を想定し、1 小節のメロディを登録した辞書を用いる。辞書には既存曲のメロディを登録することで、既存曲のメロディ展開を参考にした候補メロディの提示が期待できる。

ここで、相対音高  $x$  (直前音符との音程)、発音時刻  $p$  (1 小節における小節先頭からの発音位置)、音価  $d$  による 3 つ組  $\{x, p, d\}$  の集合からなる相対メロディ  $RM$  を定義する。辞書へメロディを登録する際は、既存曲のメロディを相対メロディへ変換して登録する。相対メロディの導入により、既存曲のキーの違いを無視してメロディの展開を表

現することができる。辞書は POBox を参考にし、単語辞書と例文辞書の 2 種類を用いる。単語辞書にはエントリとして 1 小節の相対メロディを登録し、例文辞書にはエントリとして 1 小節の相対メロディのペアを登録する。候補メロディを提示する際に、そのときの状況に応じて単語辞書と例文辞書のどちらを使用するのかを決定する。提案システムでは、辞書エントリに登録された 1 小節分の相対メロディを参考にして候補メロディを生成するため、候補メロディの提示は 1 小節単位で行われる。

#### 3.3 候補メロディ群の提示の流れ

提案システムでは、入力として入力メロディとコード進行を与え、ユーザが指定した小節に対して候補メロディ群の提示を行う (図 1)。以下、候補メロディ群の提示に必要なとなる、辞書の選択・候補メロディ群の生成・候補メロディ群の順位付けのそれぞれについて説明する。

##### 3.3.1 辞書の選択

最初に提示に使用する辞書の選択を行う。与えられた対象小節番号を  $i$  とした場合、 $i-1$  小節目の相対メロディ  $RM_{i-1}$  と、 $i$  小節目の相対メロディ  $RM_i$  を入力メロディから抽出する。 $RM_{i-1}$  が存在しない場合、つまり  $i$  が先頭の節を指す場合や  $i-1$  小節目にメロディが入力されていない場合は単語辞書を使用する。 $RM_{i-1}$  が存在する場合、つまり  $i-1$  小節目にメロディが入力されている場合は、1 小節前のメロディからのつながりを考慮するために例文辞書を使用する。

##### 3.3.2 候補メロディ群の生成

選択した辞書について、全エントリに対応する候補メロディを生成する。各エントリには相対音高によるメロディの情報のみが登録されているため、これを参考に絶対音高 (MIDI ノート番号 0~127) を割り当てて候補メロディを生成する必要がある。基本的な方針として、各エントリに登録された相対音高についてはその音高変化の方向のみを採用し、具体的な音高はコードや音域などに合うよう確率的な経路探索によって決定する。

相対メロディは、音高を直前からの音高差に置き換えた音符列を表す。したがって、先頭の音符の音高さえ決まれば、その相対メロディによって与えられる旋律は一意に定まる。しかし、相対メロディの情報だけから旋律を決めてしまうと、次のような問題が起こりうると考えられる。

- (1) 極端に高い音高や低い音高が出現し、結果として不自然に聞こえるメロディが生成されうる。
- (2) そのとき与えられているコードに対して非和声音 (コードの構成音以外の音) が頻出し、結果として不協和に聞こえる。

これらの問題への対策として、音高の遷移確率と出現確率を導入することを考える。音高遷移確率では音域および跳躍度数に対する遷移確率を設定し、高音域および低音域

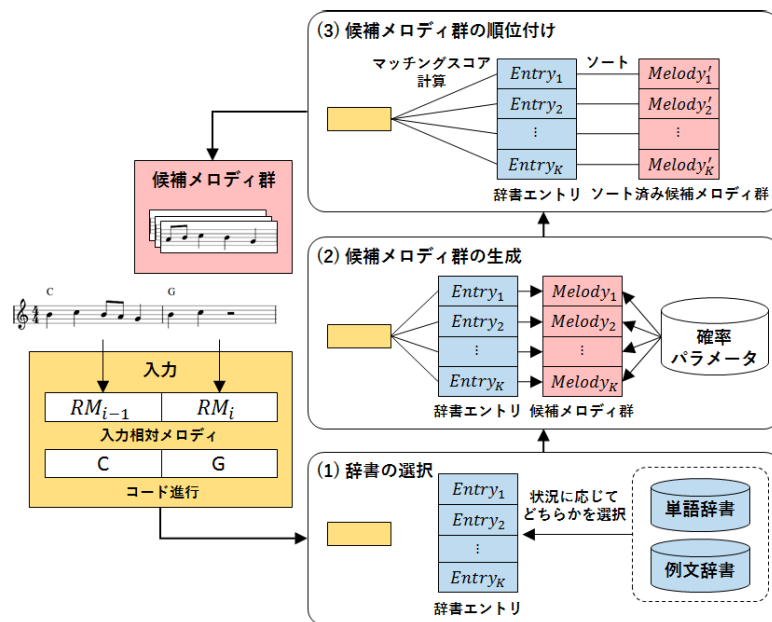


図 1 候補メロディ群の提示の流れ. (1) 辞書の選択, (2) 候補メロディ群の生成, (3) 候補メロディ群の順位付けを経て提示を行う

Fig. 1 Flow of showing candidate melodies. The system shows candidate melodies by three steps: (1) Select dictionary, (2) Generate candidate melodies, (3) Ranking candidate melodies.

への音高の偏りや、大きすぎる跳躍を抑えることを試みる。音高出現確率では音域およびコードに対する出現確率を設定し、極端に高い音高および低い音高の出現や、非和声音の出現を抑えることを試みる。このような音高の遷移確率および出現確率を用いた旋律生成手法として、横軸を時間、縦軸を音高とした二次元平面上での経路探索と見なした旋律生成手法 [16] がある。手法 [16] を提案手法に適用すると、音高の遷移確率と出現確率を考慮しつつ、相対メロディによる音高の上下動を制約として経路探索を行うことで、相対メロディの形もなぞるような候補メロディを生成することができる。したがって、提案手法では手法 [16] を用いて候補メロディを生成する。

相対音高の変化方向を採用し、経路探索によって候補メロディが生成される様子を図 2 に示す。ここでは入力として入力メロディ・コード進行・辞書エントリの相対メロディを受け取り、候補メロディを出力する。生成された候補メロディ群は、3.3.3 項で述べる順位付けが行われたうえでユーザへ提示される。経路探索による旋律生成手法では、音高の遷移確率と出現確率を設定し、各点での確率を計算、確率最大の経路を求めて旋律を決定する。候補メロディを生成する際、その音符数  $I$  は参照している相対メロディの音符数によって与えられる。各音符  $i = 1, \dots, I$ 、各音高  $j = 0, \dots, P$ 、 $k = 0, \dots, P$  について、以下を計算する。

$$\delta(i, k) = \max_j [\delta(i-1, j) a_{jk}] b_k \quad (1)$$

$$\psi(i, k) = \operatorname{argmax}_j [\delta(i-1, j) a_{jk}] \quad (2)$$

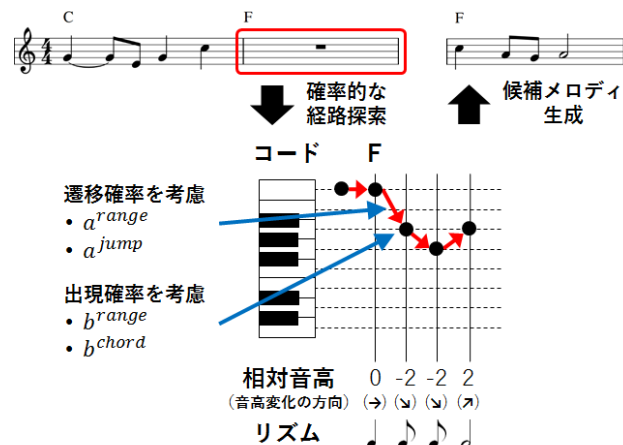


図 2 確率的な経路探索による候補メロディの生成例

Fig. 2 Example of generation of candidate melody by probabilistic path search.

ここで、 $\delta(i, k)$  は  $i$  番目の音高が  $k$  のときの  $i$  番目の音符までのメロディ最大確率を示し、 $\psi(i, k)$  は  $i$  番目の音高が  $k$  のときの最大確率の遷移を与える音高  $j$  を示す。 $a_{jk}$  は音高  $j$  から音高  $k$  への遷移確率、 $b_k$  は音高  $k$  の出現確率を示す。 $a_{jk}$  は、音域に対する遷移確率  $a_{jk}^{range}$  および跳躍度数に対する遷移確率  $a_{jk}^{jump}$  と、経路制約係数  $c_{jk}$  により計算される。 $b_k$  は、音域に対する出現確率  $b_k^{range}$  およびコードに対する出現確率  $b_k^{chord}$  により計算される。

$$a_{jk} = a_{jk}^{range} a_{jk}^{jump} c_{jk} \quad (3)$$

$$b_k = b_k^{range} b_k^{chord} \quad (4)$$

4 種の確率パラメータについてはすべて著者の手であ

らからじめ設定した。  $a^{range}$  および  $a^{jump}$  については、文献 [17] で述べられている音域についての制約を持つ遷移確率と跳躍についての制約を持つ遷移確率を参考に定めた。  $b^{range}$  については、音高  $k$  が音域の中心（ここでは文献 [17] を参考に MIDI ノート番号 69 とした）に近づくほど出現確率が高く、中心から離れるほど出現確率が低くなるよう著者が確率分布を定めた。  $b^{chord}$  については、与えられたコードに対して音高  $k$  が和声音の場合は出現確率が高く、非和声音の場合は出現確率が低くなるよう著者が確率分布を定めた。  $i$  番目の音符に対して最大確率を与える音高を  $x_i^*$  とすると、  $i = I, I-1, \dots, 1$  について  $x_{i-1}^* = \psi(i, x_i^*)$  とすることで最大確率を与える旋律が得られるため、これを候補メロディとする。

1小節前のメロディからのつながりを考慮し、かつ相対メロディの音高変化をなぞるような候補メロディを生成するために、以下に示す経路制約を導入し、候補メロディの生成を制御する [18]。

**制約 1** 1小節前のメロディの末尾音符から遷移する経路のみを用いる。

**制約 2** 経路中の  $i-1$  番目の音符から  $i$  番目の音符について、相対音高  $x_i$  に従う遷移をする経路のみを用いる。具体的には、状況に応じて以下の制約を適用する。

- $x_i = 0$  の場合、制約 (2.1) :  $j = k$  以外の経路を禁止
- $x_i < 0$  の場合、制約 (2.2) :  $j > k$  以外の経路を禁止
- $x_i > 0$  の場合、制約 (2.3) :  $j < k$  以外の経路を禁止

制約 1 は、各音高  $j = 0, \dots, P$  について以下の条件に従って初期化を行うことで実現できる。

$$\delta(0, j) = \begin{cases} 1 & (j = pitch) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (5)$$

ここで、  $pitch$  は 1小節前のメロディの末尾音符の音高を示す。制約 2 は、経路制約係数  $c_{jk}$  を以下の条件に従って計算することで実現できる。

$$c_{jk} = \begin{cases} 1 & (\text{適用された制約に反しない}) \\ 0 & (\text{適用された制約に反する}) \end{cases} \quad (6)$$

### 3.3.3 候補メロディ群の順位付け

生成した候補メロディ群に対して、文脈による順位付けを行う。ここで、入力メロディと候補メロディの文脈（メロディの展開）の一致度を表すパラメータとして、マッチングスコアを導入する。候補メロディが  $K$  個存在するとき、  $k = 1, \dots, K$  についてマッチングスコア  $Match_k$  を計算する。  $Match_k$  の値が大きいほど、  $k$  番目の候補メロディが候補として妥当であることを意味する。

マッチングスコアによる順位付けとともに候補メロディ群が提示される様子を図 3 に示す。ここでは入力として入力メロディ・辞書・候補メロディ群を受け取り、順位付けによってソートした候補メロディ群を出力する。ソートした候補メロディ群はその順番でユーザへ提示される。  $Match_k$

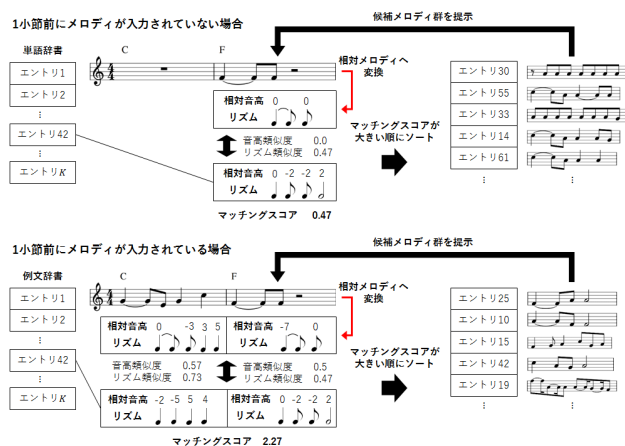


図 3 マッチングスコアによる候補メロディ群の提示例

Fig. 3 Example of showing candidate melodies by matching score.

は、入力メロディと、  $k$  番目の候補メロディに対応する辞書エントリに登録された相対メロディとの類似度によって求める。そのため、入力メロディを相対メロディへ変換しておく。類似度を計算する際、1小節前にメロディが入力されていない場合は単語辞書を、入力されている場合は例文辞書を用いる。類似度は、音高の類似度  $S^{pitch}$  とリズムの類似度  $S^{rhythm}$  の和をとって求める。  $S^{pitch}$  と  $S^{rhythm}$  の計算は、系列長（ここでは音符数）が異なるパターン間でも類似度計算が可能な DP マッチングを用いて行う。ここで、音符数  $I$  の相対メロディ  $A$  の音符インデックスを  $i$ 、音符数  $J$  の相対メロディ  $B$  の音符インデックスを  $j$  とする。  $S^{pitch}$  および  $S^{rhythm}$  を計算するためには、音符間の音高およびリズムの距離を定義する必要がある。そこで、音符間の相対音高の差分を音高距離、音符間の発音時刻と音価の差分をリズム距離として定義した。式 (7) に音高距離を、式 (8) にリズム距離をそれぞれ示す。  $A-B$  間について、  $S^{pitch}$  の計算時には式 (7) を、  $S^{rhythm}$  の計算時には式 (8) を局所距離  $D(i, j)$  として使い、累積距離  $G(i, j)$  を計算する。  $G(i, j)$  の計算時には、式 (9) に示す DP マッチングにおいてよく用いられる傾斜制限を設ける。そして、  $G(I, J)$  により  $A-B$  間の  $S^{pitch}$  または  $S^{rhythm}$  を得る。

$$D(i, j) = \begin{cases} \sqrt{(x_i^A - x_j^B)^2} & (7) \\ \sqrt{(p_i^A - p_j^B)^2 + (d_i^A - d_j^B)^2} & (8) \end{cases}$$

$$G(i, j) = \min \begin{cases} G(i-1, j) + D(i, j) \\ G(i-1, j-1) + 2D(i, j) \\ G(i, j-1) + D(i, j) \end{cases} \quad (9)$$

すべての候補メロディについてマッチングスコアを計算し、値の大きい順にソートすることで、妥当性の高い候補から順にユーザへ提示することができる。

## 4. 提案手法の改善

3章で述べた提案手法を実装し、著者自身で候補メロディの生成と確認を行った。生成された候補メロディは相対メロディの音高変化をなぞるように音高の上下動が現れており、提案手法が正しく機能していることが確認できた。その一方で、音楽的に不自然に聞こえる候補メロディも多く存在した。不自然さを感じた候補メロディを観察すると、非和声音の頻出や大きすぎる音高変化といった特徴がみられ、これらによって不協和感や不自然さが引き起こされたのだと思われる。このような問題については、提案手法のアルゴリズムをさらに工夫することで改善を期待できると考えられる。

本章では、上記の結果と考察をふまえて取り組んだ候補メロディ群の生成・順位付けのアルゴリズムの改善について述べる。アルゴリズムの改善によって、より良い（違和感が少なく、一般に好まれやすい）候補メロディを提示することを試みる。改善後の提案手法の全体像は以下のとおりである。

### (1) 辞書の選択

### (2) 候補メロディ群の生成

- 音高遷移制約を緩和して経路探索
- 非和声音制約および音域バランス制約を導入して経路探索
- 音高出現確率を見直したうえで経路探索

### (3) 候補メロディ群の順位付け

- メロディ構造スコアおよび音域バランススコアを導入してマッチングスコアを計算

以下、それぞれの改善内容について述べる。

## 4.1 生成アルゴリズムの改善

本節では候補メロディ群の生成に関わる改善内容について述べる。本節で述べる改善は、経路探索による候補メロディ生成に影響を与えるものである。

### 4.1.1 音高遷移制約の緩和

経路制約について、従来は3.3.2項で述べたように制約に反する経路は禁止としていたが、この状態で制約(2.1)が適用された場合、同じ音高が続けて出現する経路のみが採用されることになる。これにより非和声音が連続して出現する候補メロディが生成されることがあり、結果として不協和感の原因になりうるという問題がある。そこで、制約(2.1)についてのみ、制約に反する場合に経路制約係数 $c_{jk}$ に与える値を0.0から0.5へ変更し、音高の上昇・下降の禁止度合いを緩和する。これにより、相対メロディをなぞりつつも、必要な場合は従わないことで、不協和感の大きい候補メロディが生成されることを防ぐ。なお、0.5という値は著者が実際にシステムを使用し、経験的に決定した。

### 4.1.2 非和声音制約の導入

非和声音は経過音や刺繍音[19]として出現した場合は不協和感が小さいが、和音が変わるタイミングで出現した場合（ここでは便宜上、コードチェンジ非和声音と呼ぶ）や音価が大きい音符で出現した場合は不協和感を感じやすいと考えられる。

この問題の対策として、新たに2種類の非和声音制約を導入する。非和声音制約係数 $c_{k1}$ および $c_{k2}$ を以下の式に従って計算し、式(4)で示した音高出現確率に乗じる。これらの制約により、不協和感が大きくなりやすい状況で非和声音が出現することを防ぐ。なお、ここでは音価が大きい音符は4分音符よりも長い音符とした。

- コードチェンジ非和声音の制約

$$c_{k1} = \begin{cases} 0.1 & (k \text{ がコードチェンジ非和声音}) \\ 1.0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (10)$$

- 音価が大きい非和声音の制約

$$c_{k2} = \begin{cases} 0.1 & (k \text{ が4分音符より長い非和声音}) \\ 1.0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (11)$$

式(10)と式(11)の0.1という値は、非和声音の出現を抑制しつつも必要であれば採用される余地を残すよう意図し、著者が決定した。

### 4.1.3 音域バランス制約の導入

ポピュラー音楽におけるひとかたまりのメロディ（例：Aメロ、Bメロ、サビなど）について考えると、その音域は1オクターブ程度であることが多いと思われる。たとえば4小節や8小節のメロディの中で1オクターブを超える音高変化があった場合、激しい音高変化に対してリスナーは不自然さを感じやすいと考えられる。このような問題を解決するには、メロディ全体の音域をつねに意識し、その音域から大きく外れないように続きのメロディを設計する必要がある。

そこで、正規分布による音域バランス制約を新たに導入し、上記の問題の解決を試みる。音域バランス制約係数 $c_{k3}$ を以下の式に従って計算し、式(4)で示した音高出現確率に乗じる。

$$c_{k3} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(k-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) & (\sigma > 3.0) \\ 1.0 & (\sigma \leq 3.0) \end{cases} \quad (12)$$

ここで、 $\mu$ と $\sigma$ はそれぞれ、入力メロディの音高の平均と標準偏差を示す。 $\mu$ については、各音符の音高 $pitch$ と音価 $d$ を用いた重み付き平均として計算する。入力メロディが $N$ 個の音符から構成される時、 $\mu$ と $\sigma$ は以下の式に従って計算される。

$$\mu = \frac{d_1pitch_1 + d_2pitch_2 + \dots + d_Npitch_N}{d_1 + d_2 + \dots + d_N} \quad (13)$$



図 4 スピッツ『チェリー』のサビ部分 1~4 小節目

Fig. 4 From the 1st measure to the 4th measure of the chorus part of Spitz's "Cherry".

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\text{pitch}_n - \mu)^2} \quad (14)$$

式 (12) の確率密度関数は、入力メロディの音域から外れる音高ほど出力値が小さくなる。この出力値を係数とすることで、音域から大きく外れる音符が候補メロディに出現することを防ぐ。ただしこの方法では、入力メロディの音高変化が小さい場合に、候補メロディもまた音高変化が小さいものが出現しやすくなり、結果として変化に乏しい単調なメロディが生成されやすくなる。その対策として、標準偏差が小さい場合 ( $\sigma \leq 3.0$ ) は  $c_{k3} = 1.0$  とすることで音域バランス制約の影響が出ないようにしている。

#### 4.1.4 音高出現確率の見直し

音高出現確率  $b^{range}$  と  $b^{chord}$  の見直しを行った。

$b^{range}$  については、従来は著者が独自に確率値を設定していたが、正規分布により確率値を得るよう変更した。有効な音高 (G3~B5) の平均と標準偏差を求め、それによって定まる正規分布から各音高の出現確率を得る。

$b^{chord}$  については、従来は和声音の出現確率を高く、非和声音 (7th ノートやテンションノート) の出現確率を低く設定していた。これに加え、対象コードについてアポイドノートが考えられる場合は、その音の出現確率を最も低くするよう変更した。

## 4.2 順位付けアルゴリズムの改善

本節では候補メロディ群の順位付けに関わる改善内容について述べる。本節で述べる改善は、候補メロディ群を順位付けする際のスコア計算に影響を与えるものである。

### 4.2.1 メロディ構造スコアの導入

ポピュラー音楽のメロディには、類似したリズムのフレーズを小節単位で繰り返す構造が見られることが多い。たとえば、図 4 に示すスピッツの楽曲『チェリー』のサビ部分 1 小節目から 4 小節目を見ると、1 小節目と 3 小節目、および 2 小節目と 4 小節目は完全に同一もしくは類似したフレーズから展開されている。このような繰返し構造を持つメロディは、リスナにとって覚えやすく好まれやすい傾向があると考えられる。

上記のような構造を持つ候補メロディを提示するために、メロディへの構造付けを新たに導入する。作曲するメロディの長さを 4 小節に限定したうえで、4 種のメロディ構造を定義する (表 1)。ここで、ダッシュなしのラベルの小節を参考小節、ダッシュ付きのラベルの小節を繰返し小

表 1 導入するメロディ構造一覧

Table 1 Melody structures to introduce.

	1 小節目	2 小節目	3 小節目	4 小節目
構造 1	A	B	A'	B'
構造 2	A	A'	B	B'
構造 3	A	A'	B	C
構造 4	A	B	C	C'

節と呼ぶ。繰返し小節のメロディは、参考小節のメロディとリズムが類似するものを提示する。どのメロディ構造を適用するかは、ユーザが指定するものとする。

繰返し小節のメロディを提示する際に、各候補メロディについてメロディ構造スコア  $S_{k1}$  を計算し、3.3.3 項で示したマッチングスコアに加算する。 $S_{k1}$  は参考小節のメロディと候補メロディとのリズム類似度として計算する。リズム類似度のみを採用した理由としては、音高よりもリズムの繰返しのほうがメロディの繰返し構造の形成に寄与すると考えたためである。リズム類似度は、式 (8), (9) で示した DP マッチングにより計算する。たとえばユーザが構造 1 (ABA'B') を選択し、3 小節目 (A') の候補メロディを生成する場合、1 小節目 (A) のメロディと候補メロディとのリズム類似度を計算してこれを  $S_{k1}$  とする。メロディ構造スコアの導入により、指定した構造を持つ候補メロディを上位に提示することを試みる。

### 4.2.2 音域バランススコアの導入

候補メロディ群の順位付けにおいても、4.1.3 項で述べた音域バランス制約を導入する。各候補メロディについて音域バランススコア  $S_{k2}$  を計算し、3.3.3 項で示したマッチングスコアに加算する。これにより、入力メロディの音域から外れすぎない候補メロディを上位に提示し、メロディ全体の音域のバランスを保つことを試みる。 $S_{k2}$  は以下の式に従って計算する。

$$S_{k2} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\bar{\mu}_k - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (15)$$

ここで  $\mu$  と  $\sigma$  はそれぞれ式 (13) と式 (14) により計算する。 $\bar{\mu}_k$  は  $k$  番目の候補メロディの音高の平均を示し、各音符の音高  $\text{pitch}$  と音価  $\bar{d}$  を用いた重み付き平均として計算する。候補メロディが  $M$  個の音符から構成されるとき、 $\bar{\mu}_k$  は以下の式に従って計算される。

$$\bar{\mu}_k = \frac{\bar{d}_1 \text{pitch}_1 + \bar{d}_2 \text{pitch}_2 + \dots + \bar{d}_M \text{pitch}_M}{\bar{d}_1 + \bar{d}_2 + \dots + \bar{d}_M} \quad (16)$$

## 5. システム実装

提案システムを GUI アプリケーションとして実装した (図 5)。実装には Java を用いた。音符の入出力にはピアノロールを用いる。メロディの音符は赤色の MIDI ノートとして表示され、ユーザは MIDI ノートを編集 (追加・削除・移動・伸縮) することでオリジナリティを付与するこ

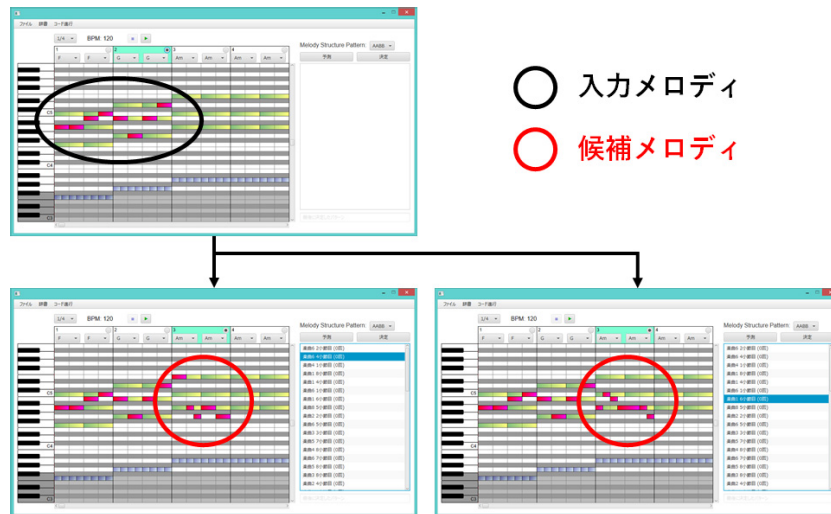


図 5 予測変換を用いた作曲支援システム。入力メロディの先に続く多様な候補メロディを提示し、作曲を支援する

Fig. 5 Composition support system using predictive melody input. The system shows various candidate melodies following user's input melody and supports composing.

ともできる。作曲で使用可能な音域は G3~B5 (MIDI ノート番号 55~83) とし、C メジャースケールの音のみを使用可能とした。また、2 拍単位でコードの指定が可能であり、コードを指定すると簡易な伴奏が出力される。

ピアノロールの上部には小節ごとにラジオボタンが配置してあり、選択するとその小節が候補メロディ提示の対象小節となる。予測ボタンをクリックすると候補メロディ群の生成が実行され、順位付けされた状態で画面右側のリストに一覧表示される。各候補メロディを選択すると対象小節に MIDI ノートが出力されるため、ユーザは候補メロディを試聴して試行錯誤しながら作曲を進めることができる。

## 6. 評価実験 1

本章では、提案手法の有効性の検証を目的として実施した実験について述べる。

### 6.1 メロディ生成手法の比較

パターンマッチングと確率的な経路探索を組み合わせた提案手法の有効性を検証する実験を行った。

#### 6.1.1 実験内容

以下の 3 条件でそれぞれメロディを生成し、比較を行った。

条件 1 パターンマッチングのみ

条件 2 確率的な経路探索のみ

条件 3 パターンマッチング+確率的な経路探索

生成するメロディについて、長さは 4 小節、BPM は 120 とした。メロディを生成するにあたり、直前の音符の音高を何らかの方法で与える必要がある。そこで、1 小節目のメロディを著者が設定し、2~4 小節目のメロディはシステムが出力する候補メロディを用いることとした。候補メロディは編集を加えずにそのままの形で用いる。2~4 小節目

表 2 評価実験 1 で用いた既存曲一覧

Table 2 Songs used in the evaluation experiment 1.

	アーティスト名	曲名
楽曲 1	スピッツ	ヒバリのころ
楽曲 2	スピッツ	空も飛べるはず
楽曲 3	スピッツ	春の歌
楽曲 4	スピッツ	魔法のコトバ
楽曲 5	BUMP OF CHICKEN	天体観測
楽曲 6	KANA-BOON	シルエット
楽曲 7	supercell	君の知らない物語
楽曲 8	supercell feat.初音ミク	メルト

の各小節で選択する候補メロディの順位は、上位 1~5 位の範囲からランダムに決定することとした。また、4 小節目のコード進行も著者が設定する。辞書については、表 2 に示す既存曲 8 曲のサビ区間 8 小節分を用いて作成した辞書 (エントリ数 64) を使用した。

各条件についてメロディを生成する際、1 小節目のメロディ・2~4 小節目の各小節で選択する候補メロディの順位・コード進行を条件間で統一した。メロディ生成は 8 パターン行い、合計 24 個 (3×8) のメロディを生成した。

最後に、条件 1 および条件 2 について説明する。条件 1 では、相対音高のみから候補メロディの音高を決定する。相対音高によって決定した音高が C メジャースケール外の音である場合は、スケール音になるまで相対音高の変化方向へ音高を上下させることで対応する。また、相対音高によって決定した音高が有効音域 (G3~B5) を超える場合は、有効音域を超えないよう音高を最高音 (B5) もしくは最低音 (G3) にセットして対応する。条件 2 では、相対音高による音高変化を反映させずに確率的な経路探索を行



い、候補メロディの音高を決定する。

### 6.1.2 結果と考察

各条件について、生成したメロディを確認した。生成例を図 6 に示す。

条件 1 で生成したメロディは、相対音高に従ったことによる音高の上下動が確認できた。しかし、条件 1 で生成したメロディには非和声音の頻出や大きな跳躍が見られ、不自然に聞こえる箇所も多くみられた。これはコード・音域・跳躍に関する制約がないことが原因であると考えられる。

条件 2 で生成したメロディはすべて和声音のみで構成されていることを確認できたが、これは和声音の出現確率を高く設定したためだと考えられる。したがって、非和声音によって生じる不協和感や不自然さはないものの、条件 2 で生成したメロディは同音進行が多く、音高の変化に乏しく単調に聞こえた。これは結果として同音進行が出現しやすくなるような確率パラメータが設定されていたことほかに、音高に上下動を与える制約がないことも原因であると考えられる。

条件 3 で生成したメロディは、音高の上下動があり、かつ不自然に聞こえる非和声音も少ないことが確認できた。これは条件 1 と条件 2 が互いに制約として機能することで欠点を克服し、それぞれの利点が現れたことが原因であると考えられる。したがって、パターンマッチングと確率的な経路探索の組合せによる提案手法は有効性があると考えられる。

各条件の 8 個のメロディについて、2~4 小節目に出現した非和声音を数え、その中に含まれる不自然な非和声音の割合を調べた。なお、ここでは不自然な非和声音を「和声音へ解決しない非和声音」と定義した。結果は、条件 1 が 50% (24/48 個)、条件 2 が非和声音なし、条件 3 が 9.09% (2/22 個) であった。この結果から、条件 3 では非和声音を使用しながらも音楽的に自然なメロディの生成を行っていると考えられる。

## 6.2 辞書の比較

単語辞書と例文辞書を用いた提案手法の有効性を検証する実験を行った。



図 6 3 条件のメロディの生成例。条件 1 (上)、条件 2 (中央)、条件 3 (下)

**Fig. 6** Example of generated melodies in 3 conditions. Using only Markov process (top), only pattern matching (center) and Markov process and pattern matching (bottom).

### 6.2.1 実験内容

以下の 2 条件でそれぞれメロディを生成し、比較を行った。

条件 1 単語辞書を用いる

条件 2 例文辞書を用いる

メロディの作曲条件については 6.1 節と同様である。メロディ生成手法は、両条件ともパターンマッチングと確率的な経路探索の組合せによる手法をとる。メロディ生成は 8 パターン行い、合計 16 個 (2×8) のメロディを生成した。

両条件について説明する。条件 1 では単語辞書を用いるため、1 小節前のメロディからのつながりを考慮しない。一方、条件 2 では例文辞書を用いるため、1 小節前のメロディからのつながりを考慮する。これら両条件によって生成されたメロディを比較することで、1 小節前のメロディからのつながりを考慮することの有効性を検証する。

### 6.2.2 結果と考察

各条件について、生成したメロディを確認した。両者に共通する特徴として、不自然に聞こえる非和声音の少なさが確認できた。6.1.2 項と同様に不自然な非和声音の割合を調べたところ、条件 1 が 5.56% (1/18 個)、条件 2 が 9.09% (2/22 個) となり、両者ともに割合は少なかった。これは提案手法の効果が辞書の種類によらずに現れたためであり、不自然な非和声音の少なさという観点では両者ともに自然なメロディを生成できているといえる。

一方、両者を比較したところ条件 1 において不自然さを感じるメロディがみられた (図 7)。図 7 の条件 1 のメロディを見ると、2~3 小節目の休符の出現によって全体のリズムのバランスが悪く感じられ、不自然に聞こえた。これは、単語辞書では「1 小節前のメロディは休符が多い」という文脈を考慮しないため、次の小節でも休符の多い候補メロディが上位に提示されうるといった性質に起因していると考えられる。それに対して、例文辞書には休符が多いメロディが連続するパターンは登録されておらず、逆にいえばそのような候補メロディは上位に提示されにくいと考えられる。したがって、例文辞書を用いることで図 7 の条件 1 のようなメロディが生成されるのをある程度抑えることは可能であると考えられる。

以上の考察から、単語辞書と例文辞書を比較すると後者には一定の優位性があると思われる。しかしながら、生成されるメロディの質については両者の間に大きな差はなく、どちらを用いても自然なメロディを生成できる可能性



図 7 2 条件によるメロディの生成例。条件 1 (上) と条件 2 (下)

**Fig. 7** Example of generated melodies in 2 conditions. Using word dictionary (top) and phrase dictionary (bottom).

は十分にあると思われる。したがって、どちらか片方のみを用いるよりも、両者を共存させたうえでつど状況に応じてどちらの辞書を用いるのか選択するほうが、総合的にみて音楽的なメロディの生成に寄与しうると考えられる。その意味では、単語辞書と例文辞書の両方を用いる提案手法は有効である可能性がある。

## 7. 評価実験 2

本章では、提案手法改善の有効性の検証を目的として実施した実験について述べる。

### 7.1 実験内容

改善前と改善後のそれぞれのシステムで生成したメロディを実験参加者に聴き比べてもらう実験を行った。聴き比べの設定は合計 8 問用意した。各設問で 2 つのメロディ (A と B) を提示し、実験参加者は気が済むまで A と B を試聴した後にアンケートに回答する (表 3)。

### 7.2 実験設定

メロディの作曲条件は 6.1 節と同様である。ただし、メロディは図 8 に示すピアノ・ベース・ドラムスによる簡易な伴奏とともに演奏される形式とした。なお、メロディはシンセサイザの音色で演奏される。

各設問に対して改善前と改善後のメロディのペアを用意

表 3 評価実験 2 のアンケート項目

Table 3 Questionnaire items of evaluation experiment 2.

	内容	評価
Q1	メロディ A に点数を付けるなら何点か?	7 点満点
Q2	メロディ B に点数を付けるなら何点か?	
Q3	メロディ A と B とではどちらがより良いと思うか?	7 段階
Q4	メロディ A と B とではどちらがより自然に聴こえたと思うか?	1 : A が良い (自然) 7 : B が良い (自然)



図 8 生成した音楽の譜例

Fig. 8 Example of a generated music.

する際、コード進行・1 小節目のメロディ・2~4 小節目の各小節で選択する候補メロディの順位をシステム間で統一した。A と B のどちらに改善前と改善後のメロディを割り当てるかは、ランダムに決定した。

### 7.3 結果

20 代~30 代の男女 20 名 (男性 15 名, 女性 5 名) から回答を得られた。

#### 7.3.1 Q1 と Q2 による評価

Q1 と Q2 の回答から、改善前・改善後のメロディに対する評価の平均点を実験参加者ごとに求めた (図 9)。実験参加者ごとの平均点に対してウィルコクソンの符号順位和検定を行ったところ、両側検定と片側検定の両方で有意差が見られた (両側・片側ともに  $p < 0.01$ )。実験参加者ごとの平均点の平均は、改善前が約 4.238, 改善後が約 4.806 となった。この結果から、改善前と比べて改善後の方が高評価であることが示された。図 9 の結果を見ると、すべての実験参加者について平均点が改善前  $\leq$  改善後となっていることが分かる。

#### 7.3.2 Q3 と Q4 による評価

Q3 と Q4 で得られた回答を、改善後のメロディに対する点数 (7 点満点) に変換した。変換点の平均を実験参加者ごとに求め、平均点  $>$  中間点 (4 点) となった実験参加者を改善後のメロディに対して高評価を与えた者と見なし、その人数を Q3 と Q4 について数えた。結果は、Q3 は 17 名 (実験参加者全体の 85%), Q4 は 19 名 (実験参加者全体の 95%) となった。実験参加者ごとの平均点の平均は、Q3 が約 4.494, Q4 が約 4.788 となった。この結果からも、改善前と比べて改善後の方が高評価であることが分かる。

### 7.4 考察

7.3 節で述べた結果から、全体として改善前よりも改善

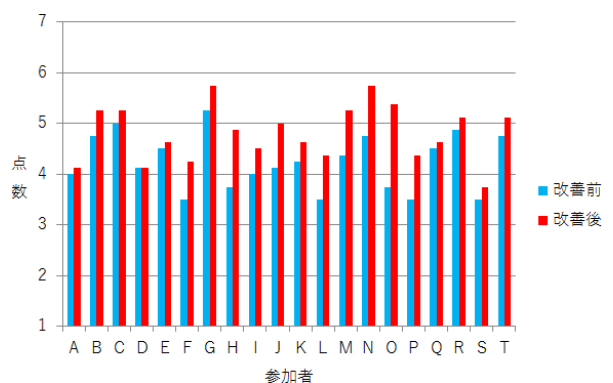


図 9 改善前後のメロディに対する評価得点 (平均)。すべての実験参加者について評価得点は改善前  $\leq$  改善後となった

Fig. 9 Evaluation scores for melodies before and after improvement (Average). Evaluation scores for all experiment participants were “before improvement”  $\leq$  “after improvement”.

後のメロディの方が高評価であり、より多くの人に好まれやすいメロディを生成できていると考えられる。

実験で用いたメロディを確認したところ、改善前のメロディの多くには以下の特徴が見受けられた。

- (1) 連続した非和声音の出現
- (2) コードチェンジ非和声音の出現
- (3) 音価の大きな非和声音の出現
- (4) 広域な音域 (1 オクターブ前後)
- (5) 非和声音どうしの跳躍

これらの特徴が不協和感や不自然さの要因となり、改善前のメロディに高評価を与える実験参加者が少なかったと考えられる。一方、改善後のメロディについては上記の特徴が見受けられたものは少なく、多くが和声音を多用したメロディとなっていた。改善後のメロディにも非和声音は出現していたが、ほとんどは経過音や刺繍音として出現していたため、不協和感や不自然さを感じない範囲で非和声音を使用し、和声音のみの単調なメロディになることも防ぐことができたと考えられる。結果として、改善後のメロディに対して良さや自然さを感じ、高評価を与える実験参加者が多かったと考えられる。

改善後のメロディに特徴(1)~(3)が表れなかったのは、4.1.1 項と 4.1.2 項で述べた、非和声音の対策を目的とした改善が機能しているためだと考えられる。音域については、特徴(4)にも示したように改善前のメロディには音域が1オクターブ以上のものもあったのに対し、改善後のメロディはすべて音域が1オクターブ以内に収まっていた。これは、4.1.3 項と 4.2.2 項で述べた、音域のバランスを保つことを目的とした改善が機能しているためだと考えられる。

実験では4個の改善後のメロディに対し、4.2.1 項で述べた構造付けを適用した。構造1~構造4の4種を1つずつ適用したが、著者が試聴した限りでははっきりと繰返しを認識できるような構造はメロディに現れなかった。原因としては、メロディ構造スコアが順位付けに与える影響が小さいなどといったことが考えられる。解決策としては、 $Match_k \cdot S_{k1} \cdot S_{k2}$  のそれぞれに対して重みを設定し、スコアごとに重視する度合いを調整するといったことが考えられる。

#### 7.4.1 改善後が高評価だったケース

多くの実験参加者が改善後を高評価した設問について考察する。改善前・改善後のメロディを図10に示す。この設問の改善前と改善後の平均点はそれぞれ3.7と5.6、Q3とQ4の平均点はともに5.75となった。

改善前のメロディには非和声音が頻出している。より詳しく見ると、3小節目ではB音が比較的長い音で出現し、4小節目ではD音が連続して出現している。このような非和声音に不協和感を感じ、改善前に高評価を与えた実験参加者が少なかったと考えられる。



図10 改善後が高評価だったメロディの例。改善前(上)と改善後(下)

Fig. 10 Example of melodies that were better evaluated after improvement. Before improvement (top) and after improvement (bottom).



図11 改善前が高評価だったメロディの例。改善前(上)と改善後(下)

Fig. 11 Example of melodies that were better evaluated before improvement. Before improvement (top) and after improvement (bottom).

一方、改善後のメロディにも非和声音は出現しているが、いずれも経過音や刺繍音として出現しているため不協和感は小さい。また、メロディ全体が4分音符を中心とした似通ったリズムで構成されており、改善前と比べると全体にまとまりを感じられる。これらの要因から、改善後に高評価を与えた実験参加者が多かったと考えられる。

#### 7.4.2 改善前が高評価だったケース

多くの実験参加者が改善前を高評価した設問について考察する。改善前・改善後のメロディを図11に示す。この設問の改善前と改善後の平均点はそれぞれ5.1と4.75、Q3とQ4の平均点はそれぞれ4.45、4.05となり、改善前の方が高評価傾向という結果になった。

改善前のメロディを見ると、非和声音は出現しているものの、長い音符や連続での出現は見受けられず、不協和感は小さい。また、4小節目に着目するとC音が全音符として出現しており、終止感を感じられる。これらの要因から、改善前に高評価を与えた実験参加者が多かったと考えられる。

## 8. 終わりに

本研究では、小節間で一貫した特徴を持つメロディの作曲支援を目的として、入力メロディの先に続く候補メロディを複数提示する作曲支援システムを提案した。予測変換のアイデアを作曲に適用することで、文脈を考慮した多様な候補メロディの提示機能を実現した。実際に提案手法によって候補メロディを生成したところ、提案手法が正しく機能していることを確認できたものの、非和声音の頻出や大きすぎる跳躍といった観点から候補メロディには不自然さや不協和感もみられ、提案手法には改善の余地がある

ことも分かった。したがって、候補メロディ群の生成・順位付けアルゴリズムの改善にも取り組み、候補メロディの質の向上も試みた。提案システムを GUI アプリケーションとして実装し、2つの評価実験を行った。評価実験1ではメロディ生成手法の比較を行い、マルコフ過程とパターンマッチングを組み合わせた条件において音楽的なメロディを生成できたことから、両手法を組み合わせた提案手法の有効性を確認できた。また、使用辞書の比較も行い、単語辞書と例文辞書の両方を使用する提案手法の有効性について可能性を示した。評価実験2では改善前後のシステムで生成したメロディを聴き比べてもらう実験を行い、改善後のメロディに対して高評価が得られたことから、改善の有効性を確認できた。

今後は、システムを実際に使用してもらう実験を行う予定である。本研究では、提案手法の有効性および改善による候補メロディの質の向上は確認できたものの、作曲支援システムとしての有用性については検証できていない。したがって、実験参加者にシステムを用いて作曲をしてもらい、システムの有用性を確認する必要がある。また、提案システムは後続メロディを提示するという点で、ユーザのメロディ発想支援システムとしても有効な可能性がある。したがって、メロディ発想支援システムとしての有効性の検証も今後の課題として検討したい。

#### 参考文献

[1] 深山 覚, 中妻 啓, 米林裕一郎ほか: Orpheus: 歌詞の韻律に基づいた自動作曲システム, 情報処理学会研究報告, 2008-MUS-76, pp.179–184 (2008).

[2] Cope, D.: Experiments in Musical Intelligence, A-R Editions, Madison, WI (1992).

[3] Hiller, L. and Issacson, L.: Musical composition with a high-speed digital computer, *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol.6, No.3, pp.154–160 (1958).

[4] Pachet, F.: The continuator: Musical interaction with style, *Journal of New Music Research*, Vol.32, No.3, pp.333–341 (2003).

[5] Pachet, F., Roy, P. and Barbieri, G.: Finite-Length Markov Processes with Constraints, *Proc. 22nd International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp.635–642 (2011).

[6] 西田 智, 浜中雅俊, 平田圭二ほか: 音楽理論 GTTM に基づく木構造を用いたメロディ生成手法, 情報処理学会研究報告, 2010-MUS-86, No.23, pp.1–7 (2010).

[7] 北原鉄朗, 深山 覚, 片寄晴弘ほか: OrpheusBB: Human-in-the-loop 型の自動作曲システム, インタラクシオン 2011, pp.57–64 (2011).

[8] 土屋裕一, 北原鉄朗: 旋律概形を用いた旋律編集: 概形レベルと音符レベルの編集をシームレスに行えるインターフェース, インタラクシオン 2013, pp.341–344 (2013).

[9] 安藤大地, Dahlstedt, P., Nordahl, M. ほか: 対話型進化的計算による作曲支援システム: CACIE, 情報処理学会研究報告, 2004-MUS-059, pp.55–60 (2005).

[10] 進藤恵介, 正道寺勉: 可変型マルコフ過程を利用したサンプルメロディの生成, 自動制御連合講演会講演論文集, Vol.52, p.44 (2009).

[11] 菊地純輝, 柳 英克, 美馬義亮: プロミュージシャンの

曲と乱数列生成器を利用した初学者向けメロディ作曲支援システムの開発, インタラクシオン 2016, pp.558–562 (2016).

[12] 久原聖志, 牛尼剛聡: 既存楽曲の特徴分析に基づく作曲支援に関する研究, 第9回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (2017).

[13] カシオ計算機: 作曲アプリ「Chordana Composer (コードアナコンポーザー)」, カシオ計算機, (オンライン), 入手先 (<http://web.casio.com/app/ja/composer/>) (参照 2018-01-12).

[14] 矢澤櫻子, 寺澤洋子, 平田圭二ほか: 暗意実現モデルにおける連鎖構造を用いたメロディ構造分析, 情報処理学会研究報告, 2012-SLP-90, No.32, pp.1–6 (2012).

[15] Masui, T.: An efficient text input method for pen-based computers, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.328–335 (1998).

[16] 深山 覚, 西本卓也, 小野順貴ほか: 非和声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, 2009-MUS-81, No.15, pp.1–6 (2009).

[17] 深山 覚, 中妻 啓, 酒向慎司ほか: 音楽要素の分解再構成に基づく日本語歌詞からの旋律自動作曲, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.5, pp.1709–1720 (2013).

[18] 深山 覚, 齋藤大輔, 嵯峨山茂樹: 日本語歌詞からの自動作曲における DP 経路制約による旋律制御, 情報処理学会第75回全国大会講演論文集, pp.65–66 (2013).

[19] 北川 祐: ポピュラー音楽理論, リットーミュージック (2008).



山下 峻 (正会員)

2016年豊橋技術科学大学工学部情報・知能工学課程卒業。2018年北海道大学大学院情報科学研究科修士課程修了。音楽情報処理(作曲支援/自動作曲)に興味を持つ。現在、ヤマハ株式会社勤務。



藍 圭介

1991年関東学院大学工学部電気工学科卒業。クリプトン・フューチャー・メディア株式会社で音楽配信システム, CG コンサートシステム開発等に従事。2014年株式会社スマイルブーム入社。2015年より北海道大学大学院情報科学研究科博士後期課程。インタラクティブシステムのユーザインタフェースを研究。



坂本 大介 (正会員)

2008年公立ほこだて未来大学大学院システム情報科学研究科博士(後期)課程修了。博士(システム情報科学)。国際電気通信基礎技術研究所(ATR)でインターン, 東京大学で日本学術振興会特別研究員PD, JST ERATO五十嵐デザインインタフェースプロジェクト研究員, 東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻助教, 特任講師を経て, 現在, 北海道大学大学院情報科学研究科准教授。人とロボットを含む情報環境とのインタラクション設計に関する研究に従事。ACM会員。



小野 哲雄 (正会員)

1997年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年(株)ATR知能映像通信研究所客員研究員。2001年公立ほこだて未来大学情報アーキテクチャ学科助教授, 2005年同学科教授。2009年北海道大学大学院情報科学研究科教授, 現在に至る。博士(情報科学)。ヒューマンエージェント/ロボットインタラクション(HAI/HRI), インタラクティブシステムに関する研究に従事。電子情報通信学会, ヒューマンインタフェース学会, 認知科学会, ACM各会員。