

予測変換のアイデアを用いた作曲支援システムの提案

山下 峻[†] 藍 圭介[†] エバンズ ベンジャミン[†]
棟方 渚[†] 小野 哲雄[†]

概要: 高度な音楽知識を持たない作曲初心者でも簡単に作曲を楽しめるシステムが検討されている。作曲初心者によくみられる問題として、メロディの一部分は作れるがその先のメロディ展開で煮詰まり、作曲が進まないことが考えられる。その問題を解決するために、本稿では予測変換機構のアイデアを用いた作曲支援システムを提案する。システムはユーザによる入力済みのメロディから、その先に続くメロディのパターンを提案する。ユーザはピアノロールから音符を入力し、システムは音符の遷移パターンを記録した辞書を検索して、遷移しやすいパターンを複数個予測結果として提案する。このシステムでは、様々なパターン提案によってユーザのメロディ展開の発想の煮詰まりを解消し、初心者でも楽しく作曲を進めることが出来ることを目標とする。

キーワード: 作曲支援, 自動作曲, 予測変換

Proposal of a Composer Support System Using the Idea of Prediction Conversion

Shun YAMASHITA[†] Keisuke AI[†] Benjamin EVANS[†]
Nagisa MUNEKATA[†] Tetsuo ONO[†]

Abstract: In this paper, we consider a system for beginners of music composition to enjoy composing music even without advanced music knowledge. A common problem amongst beginners of composition is that they can make one part of a melody, but run out of ideas for the next part. In order to solve this problem, we propose a composer support system using the idea of prediction conversion. The system suggests melody patterns that follow from the input melody given by users. Users input musical notes on a piano roll, the system then searches a dictionary that records transition patterns of musical notes and proposes some patterns that can easily transition from the given notes. We believe our system can be used in solving the problem of users running out of melody ideas by proposing various patterns so that even beginners can enjoy composing music.

Keywords: Composer Support, Automatic Music Composition, Prediction Conversion

1. はじめに

近年、DTM (Desk Top Music) による楽曲制作や動画投稿サイト等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々も多くなっている。しかし、音楽知識を持たない人々にとって作曲は決して容易な作業ではない。そこで、作曲未経験者や初心者を対象とした作曲支援システムが研究されてきた。このようなシステムの実現には様々なアプローチが存在する。

代表的なアプローチとしては、何らかのアルゴリズムやモデルに従って楽曲を生成する手法がある。例えば、歌詞の韻律を考慮した最適経路探索により楽曲を生成する Orpheus^[1]は、入力として歌詞のみを与えればよい作曲未経験者でも利用可能である。他にも、既存楽曲を学習データとした隠れマルコフモデルから楽曲を生成する手法^[2]や、対話型進化論的計算による作曲支援システム^[3]がある。

上記に加えて、ユーザが積極的に作曲過程に介入することで、自身の意図を反映させた楽曲を生成出来るアプローチも研究されている。例えば、入力歌詞から生成されたメ

ロディをユーザが編集出来る OrpheusBB^[4]は、一部の音高やコード (和音) がユーザによって編集されると、音楽的に不自然にならないよう残りの箇所を自動変更する機能を持つ。これにより、初心者でもメロディの編集が可能である。他にも、ユーザが入力するパラメータ曲線に従って音素材を挿入して楽曲を生成するループシーケンサ^[5]や、メロディを概形と音符の両レベルから編集可能なシステム^[6]も研究されている。これらのシステムは、初心者でも容易に扱えるようにするために、編集可能なパラメータを工夫して提示したり、生成メロディが不協和にならないように補正する機能を持つ。

ここで作曲初心者によくみられる問題の一つとして、メロディの一部分は作れてもその先に続くメロディ展開のアイデアが浮かばず、作曲が進まなくなることが挙げられる。ユーザのメロディ発想を支援する研究としては、既存楽曲のメロディから音高遷移パターンを学習し、乱数列生成器を用いてメロディを生成して推薦するシステム^[7]がある。このシステムではユーザによる音符の音高編集が可能であり、編集がなされた場合は素材曲の音高へ遷移するよう自動修正されるため、初心者でもメロディの修正が可能である。しかし、作曲者が一部のメロディのアイデアを持つ場

[†] 北海道大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

合は、そのアイデアに合う展開のメロディを提案し、作曲者のメロディ展開発想を支援する必要がある。このシステムでは乱数で音高遷移パターンを選択するため、それが入力済みのメロディに合う展開か否かは考慮されていない。

そこで本研究では、入力されたメロディから先へ展開する候補メロディを提示する作曲支援システムを提案する。メロディ展開発想の支援には多様な候補メロディの提示が必要となる。提案システムでは、この機能を予測変換のアイデアを用いて実現することを検討する。システムが提示する様々な候補メロディをユーザが試すことで、ユーザのメロディ展開発想の支援が可能であると考えられる。尚、提案システムで扱う音楽ジャンルはポピュラー音楽とする。

2. 提案手法

本節では最初に、提案システムで用いる予測変換のアイデアと、メロディ展開の表現手法について述べる。そして、これらのアイデアを用いて候補メロディを生成するモデルの実装について述べる。

2.1 予測変換のアイデア

ユーザのメロディ展開発想を支援するためには、多様な候補メロディを提案する機能が必要となる。この機能を実現するために、本研究では予測変換のアイデアを用いることを検討する。

文章入力における予測変換とは、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る。予測型文章入力システム POBox (Pen-Operation Based On eXample) [8]は、単語辞書と例文辞書と呼ばれる2つの辞書を用いて予測変換を行う。単語辞書は{単語 (word), 読み}の2つ組を、例文辞書は{先行文字列 (context), 単語, 読み}の3つ組をエントリとして持ち、両方とも選択頻度の高いエントリが上から順に登録されている。POBoxでは先行文字列がない場合は単語辞書を検索し、先行文字列がある場合は例文辞書を検索して変換候補を探す。この時、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なくても、マッチングによって類似度を計算することで曖昧な入力にも対応可能となっている。変換候補はユーザが選択しやすいよう、プルダウンリストに表示される。また、ユーザが候補から単語を選択すると対応するエントリが辞書の最上位に置かれるという学習機能も有しており、これにより、ユーザに適応可能なシステムを実現している。

本研究では、「複数の候補をユーザが選択しやすい形で提示する」という予測変換のアイデアに着目し、このアイデアを多様な候補メロディの提案に適用することを検討する。POBoxの実装を参考にし、多様な候補メロディをユーザが取捨選択して作曲を進められるシステムの実現を目指す。

2.2 メロディの展開の表現

メロディには「平坦な音高遷移が続いた後に大きな跳躍がある」「小刻みな音符が続いた後に長い音符がある」等と

いった様々な展開があると考えられる。このような展開は、メロディを構成する各音符について、直前音符に対する音高変化量を示す相対音高と、発音時刻と音価といった情報があれば表現出来ると思われる。そこで、{相対音高 x , 発音時刻 p , 音価 d }の3つ組の集合から成る相対メロディ M を定義する。これに対し、{絶対音高 x' , 発音時刻 p , 音価 d }の3つ組の集合から成るものをメロディ M' と呼ぶ。 x' はMIDIノート番号(0~127)によって与えられ、例えば n 番目の音符については $x_n = x'_n - x'_{n-1}$ と表せる。また、PPQ (Pulse Per Quarter note)を480ticksとして p と d を与える。

例えばある既存楽曲について、 $i-1$ 小節目の相対メロディ M_{i-1} と、 i 小節目の相対メロディ M_i を接続すると、その2小節間のメロディの展開を表現出来ると考えられる。そこで、メロディの展開を登録する辞書を用意し、既存楽曲の1小節分の相対メロディをcontextやwordとして登録する。これにより、様々なメロディの展開を登録した辞書を作成することができ、入力メロディと展開の一致度が高いエントリから候補メロディを生成、提案することが可能となる。

2.3 候補メロディ生成モデル

予測変換のアイデアを用いて候補メロディ群を生成するモデルについて述べる。

文章入力における予測変換では、辞書登録単語のうち入力中の文字が読みと一致するものを中心的に候補として出すことで、入力の効率化を図っている。一方、提案システムの目的は多様な候補メロディの提案であるため、候補の選択肢は可能な限り多くするべきであると思われる。そのためには、展開の一致度が低いメロディも候補として出すべきである。そこで提案モデルでは、辞書の全エントリについて入力メロディとのマッチングスコア(一致度合い)を計算し、マッチングスコアが高いエントリから順に、相対メロディに基づいて候補メロディを生成して提示する。

提案モデルの構成を図1に示す。提案モデルを実現するためのプロセスとして、辞書の作成、マッチングスコアの計算、候補メロディの生成について順を追って述べる。

2.3.1 辞書の作成

提案モデルではPOBoxの辞書構成を参考にし、単語辞書と例文辞書の2つを用意する。ここで、エントリ数 K の辞書のエントリインデックスを $k = 1, \dots, K$ と表し、 k 番目のエントリを $Entry_k$ と表すこととする。単語辞書は{相対メロディ M_k^{word} , 選択頻度 f_k }の2つ組による $Entry_k$ から、例文辞書は{先行相対メロディ $M_k^{context}$, 相対メロディ M_k^{word} , 選択頻度 f_k }の3つ組による $Entry_k$ からそれぞれ構成される。 $M_k^{context}$ および M_k^{word} には、既存楽曲の1小節分の相対メロディを登録する。 f_k はデフォルトで0とし、後述するマッチングスコア計算の際に重みとして使用する。

辞書へのエントリ登録方法を説明する。ある8小節のメロディ系列 $A' = \{M'_1, M'_2, \dots, M'_8\}$ を考え、 A' は8小節目から1小節目へ自然にループ出来るようなメロディであると想定

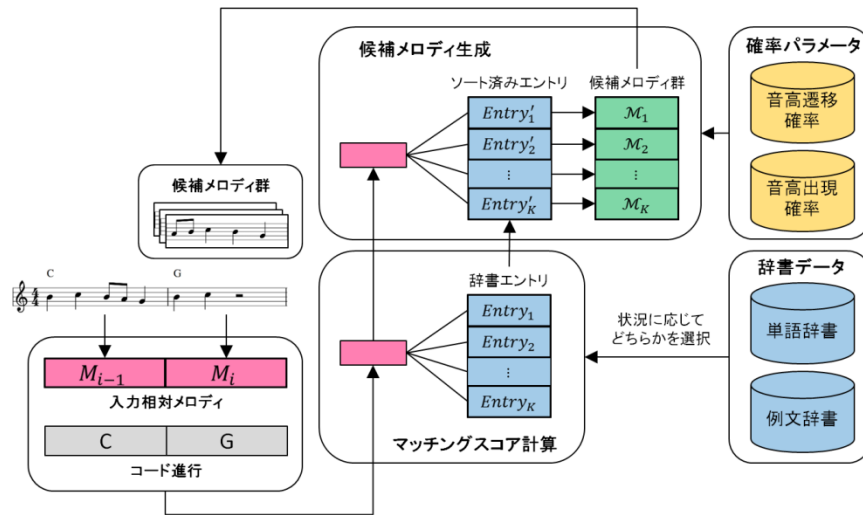


図1 候補メロディ生成モデル

表1 辞書の登録例 (左: 単語辞書, 右: 例文辞書)

k	M_k^{word}	f_k	k	$M_k^{context}$	M_k^{word}	f_k
1	M_1	0	1	M_8	M_1	0
2	M_2	0	2	M_1	M_2	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
8	M_8	0	8	M_7	M_8	0

する (例: BUMP OF CHICKEN「天体観測」サビ等). ここで, A' から相対メロディ系列を抽出し, これを $A = \{M_1, M_2, \dots, M_8\}$ とする. 辞書登録例を表1に示す. 単語辞書は, $i = 1, \dots, 8$ について順に M_i を M_k^{word} に登録する. 例文辞書は, $i = 1, \dots, 8$ について順に M_i を M_k^{word} に登録し, M_{i-1} を $M_k^{context}$ に登録する. ただし, $i = 1$ の時のみ M_8 を $M_k^{context}$ に登録する.

2.3.2 マッチングスコアの計算

提案モデルでは入力として, 候補メロディ生成対象の小節番号 i とコード進行を与える. システムは入力メロディから相対メロディ M_{i-1} , M_i を抽出する.

最初に M_{i-1} の有無によってマッチングスコアを計算する辞書を選択する. M_{i-1} がない場合は単語辞書を, M_{i-1} がある場合は例文辞書を選択する. そして, $k = 1, \dots, K$ について $Entry_k$ のマッチングスコア $Match_k$ を計算する.

$Match_k$ が大きいほど, M_k^{word} が候補相対メロディとして妥当であることを意味する.

以下にマッチングスコアを計算する手順を示す. 最初に, 相対メロディ間の類似度を求める. これは, 相対メロディ間の音高類似度 S^{pitch} とリズム類似度 S^{rhythm} の和をとることで計算する. S^{pitch} および S^{rhythm} の類似度計算手法として, 系列長が異なるパターン間でも類似度が計算可能な DP マッチングを用いる. これにより, 音符数の異なる相対メロディ同士の類似度も計算が可能となる. 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 としたとき, 以下の式に従って局所距離 $D(i, j)$ と累積距離 $G(i, j)$ を計算する. そして, $G(I, J)$ により $A-B$ 間の S^{pitch} および S^{rhythm} が得られる.

$$D(i, j) = \begin{cases} \sqrt{(x_i^A - x_j^B)^2} & (S^{pitch} \text{ 計算時}) \\ \sqrt{(p_i^A - p_j^B)^2 + (d_i^A - d_j^B)^2} & (S^{rhythm} \text{ 計算時}) \end{cases}$$

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

上記の式に従って, $M_k^{word} - M_i$ 間の相対メロディ類似度 S_k^{word} と, $M_k^{context} - M_{i-1}$ 間の相対メロディ類似度 $S_k^{context}$ を求める. そして, 以下の式に従って $Match_k$ を求める.

$$Match_k = \begin{cases} S_k^{word} \times (f_k + 1) & (\text{単語辞書選択時}) \\ (S_k^{context} + S_k^{word}) \times (f_k + 1) & (\text{例文辞書選択時}) \end{cases}$$

全ての辞書エントリについてマッチングスコアを計算し, マッチングスコアの大きい順に辞書エントリをソートしておく. そして, 各辞書エントリの M_k^{word} を元に, 次節で述べるように各エントリに対応する候補メロディ M_k を生成する. これにより, 合計 K 個の候補メロディから成る候補メロディ群が生成され, ユーザに提示される.

2.3.3 候補メロディの生成

音符数 N の相対メロディ M を元に候補メロディ \mathcal{M} を生成することを考えると, $n = 1, \dots, N$ について, x_n を参考に x'_n を, 発音時刻 p_n に音価 d_n で割当てることによって \mathcal{M} が生成出来る.

提案モデルにおけるメロディ生成では, 文献[9]で述べられている, 横軸時間, 縦軸音高の二次元平面上での経路探索と見なした手法を用いる. この手法では, 音高の出現確率および遷移確率を設定し, 各点での確率を計算, 確率最大の経路を求めてメロディを決定する. 提案モデルでは, 音高遷移確率 a を音域制約と跳躍度数制約, 音高出現確率 b を音域制約とコード制約に基づき著者自身で設定した.

生成される候補メロディに対して, 提案モデルでは以下

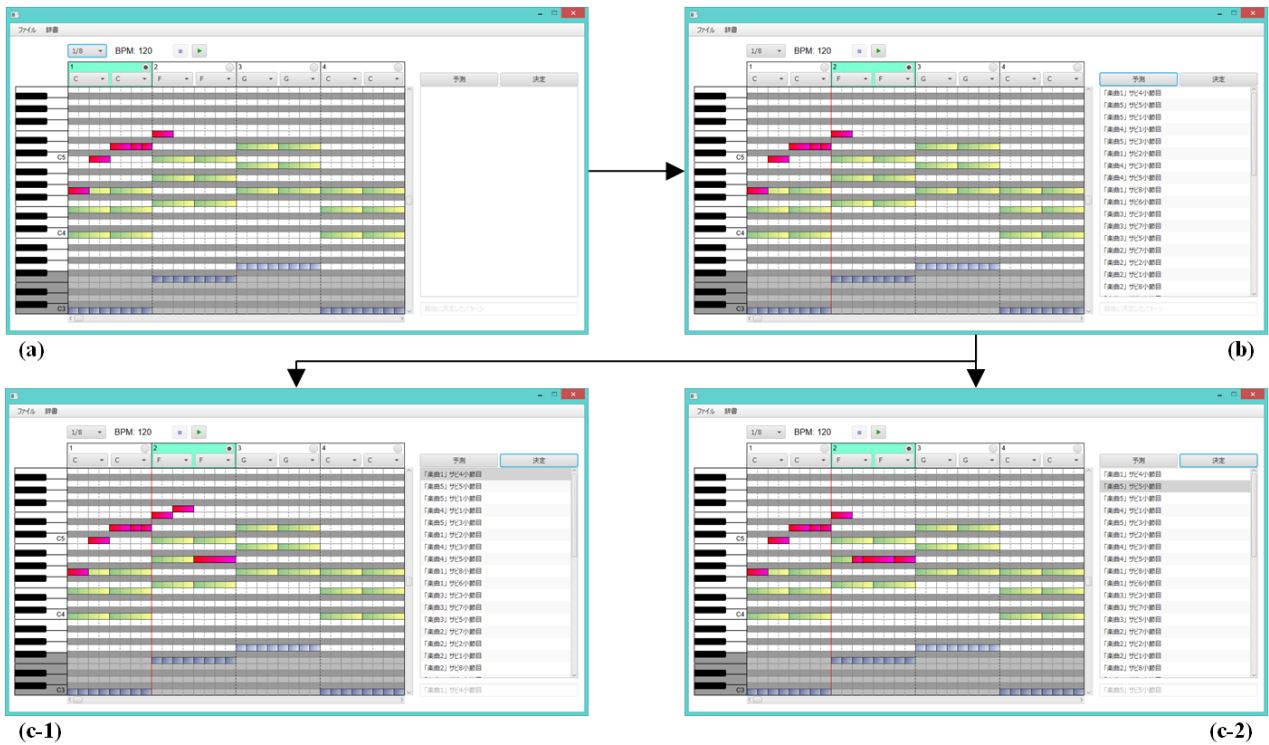


図2 予測変換のアイデアを用いた作曲支援システム

(a) 1〜2小節目にメロディを入力, (b) 2小節目を対象に予測,
 (c-1) 第1位の候補メロディを選択, (c-2) 第2位の候補メロディを選択

の2つの要件を考慮したい。

- 候補メロディ M は、1つ前の小節の末尾音符から遷移しやすいよう設計する。
- 候補メロディ M は、 M の相対音高に従う音高遷移をするよう設計する。

確率最大の経路を探索する際、経路制約を適用することで生成されるメロディを制御することが出来る^[10]。上記の要件を満たすために、以下のように経路制約を設定した。

- (1) 候補メロディ M を生成する際、1つ前の小節の末尾音符音高から遷移する経路のみを用いる。
- (2) 経路中の $n-1$ 番目の音符から n 番目の音符への音高遷移について、 x_n に従う遷移をする経路のみを用いる。
 具体的には
 - (2-1) $x_n < 0$ の場合、音高が下降する経路のみ
 - (2-2) $x_n = 0$ の場合、音高が変化しない経路のみ
 - (2-3) $x_n > 0$ の場合、音高が上昇する経路のみ

上記の経路制約を適用した、経路探索によるメロディ生成を以下に示す。 i は音符インデックス、 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、 $\delta(i, k)$ は i 番目の音高が k の時の $i-1$ 番目の音符までのメロディ最大確率を表す。最後に、 $pitch$ は生成対象小節の1つ前の小節の末尾音符音高を表す。各音高 $j = 0, \dots, P$ について、以下の式に従って初期化を行う。

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

次に、各音符 $i = 1, \dots, N$ 、各音高 $j = 0, \dots, P$ 、 $k = 0, \dots, P$ について、以下の式に従って再帰計算を行う。

$$\delta(i, k) = \begin{cases} \max_j [\delta(i-1, j) a_{jk}] b_k & (\text{経路制約(2)に反しない}) \\ 0 & (\text{経路制約(2)に反する}) \end{cases}$$

再帰計算終了後、メロディ最大確率を用いてバックトラックを行うことで、最大確率を与えるメロディが得られる。これを M とすることで、候補メロディの生成が可能となる。

3. システム実装

我々は前述の候補メロディ生成モデルを実装し、予測変換のアイデアを用いた作曲支援システムを開発した(図2)。システム実装にはJavaを用いた。

システムはピアノロールによるGUIを持つ。ユーザは赤色のMIDIノートで表示されるメロディを自由に編集出来る。MIDIノートは16分音符単位で配置と伸縮が可能であり、ドラッグ操作で伸縮や音高変更が可能である。作曲で使用可能な音域としては、MIDIノート番号55~83(G3~B5)の範囲としている。ピアノロール上部には小節表示部があり、2拍単位でのコード指定が可能である。コードを指定すると、以下に示す伴奏のMIDIノートが出力される。

- ピアノ : コード構成音 (2分音符)
- エレキベース : コードのルート音 (8分音符)
- ドラムス : 8ビートのリズムパターン

表2 作曲で用いた既存楽曲

楽曲	アーティスト名	曲名
楽曲1	BUMP OF CHICKEN	天体観測
楽曲2	KANA-BOON	シルエット
楽曲3	スピッツ	チェリー
楽曲4	supercell	君の知らない物語
楽曲5	初音ミク	メルト

表3 各小節で選択した候補メロディ

小節	選択候補メロディ	選択候補の順位
2小節目	楽曲2の1小節目	2
3小節目	楽曲5の5小節目	8
4小節目	楽曲5の2小節目	6
5小節目	楽曲5の3小節目	2
6小節目	楽曲5の4小節目	1
7小節目	楽曲5の5小節目	1
8小節目	楽曲5の4小節目	6



図3 システムを試用して作曲したメロディ例

小節表示部のラジオボタンを選択すると、その小節が候補メロディ生成の対象小節となる。予測ボタンをクリックすると、システムは入力メロディとコード進行を取得し、候補メロディ群を生成する。候補メロディ群はエントリ名と共に画面右側のリストに一覧表示される。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。候補メロディを試聴し、気に入ったものがあれば決定ボタンを押すことで候補メロディの選択頻度が増加される。

4. システム実行結果

開発したシステムを実際に試用した。表2に示す既存楽曲5曲のサビ区間8小節分を用いて、エントリ数40の辞書を作成した。作曲するメロディは8小節とし、1小節目のメロディは著者自身で入力して与え、2小節目以降のメロディは提案機能を用いて作曲した。また、コード進行についても著者自身で指定した。

五線譜に起こした作曲メロディ例を図3に示す。2~8小節目について見ると、各小節において直前音符の音高から自然な音高遷移がなされていることがわかる。また、各小節のメロディはエントリに登録されている相対メロディをなぞるように生成されていることも確認出来た。これにより、候補メロディ生成の際の経路制約が正しく機能していると考えられる。各小節のメロディは、音高出現確率によってコードの構成音が出現しやすくなるよう生成されているが、相対メロディの音高変化を取り入れることで非和声音（コード構成音に含まれない音）も含んだメロディが生成されている。これにより、コード構成音のみの単調なメロディが生成されることも回避出来ると考えられる。

各小節において選択した候補メロディと選択時の候補順位を表3に示す。2~3小節目は異なる楽曲のメロディを接続しているが、候補メロディ生成の工夫により自然な遷移を実現している。3小節目と7小節目、および6小節目と8小節目では、それぞれで同じ候補メロディを選択しているが、各小節の直前音符音高の違いやコードの違いの影響に

より、音高変化の形は似ているが音高は異なるメロディが生成されている。つまり、同じ候補メロディを選択してもその時の文脈に応じて違いのあるメロディが生成されることがわかる。この特徴は、多様なメロディ提案に寄与する機能になり得ると考えられる。

5. システム評価

提案システムの機能とユーザビリティの評価を目的として、被験者実験を行った。

5.1 実験設定

被験者は作曲未経験者もしくは初心者（メロディを発想する能力に乏しい者）とした。実験ではコード進行および1小節目のメロディ（開始パターン）はあらかじめこちらで入力しておき、被験者には2~4小節目のメロディを作曲してもらうこととした。つまり、被験者には全体として4小節のメロディを作曲してもらう。開始パターンは図4に示すA, B, Cの3種類を用意し、各パターンについて被験者に作曲を行ってもらうことで、様々なメロディの作曲を想定した場合でも満足いく作曲が出来るか確認した。実験では、表2に示す既存楽曲から作成した辞書を用いた。被験者には基本的に提案機能を用いて作曲を進めてもらうが、必要と感じた場合は自身による音符の編集も許可した。各パターンの作曲については、被験者が満足出来るメロディが完成した時点で終了とした。

被験者は男性5名で、作曲未経験者が4名、作曲初心者が1名であった。実験では以下のアンケートに答えてもらい、5段階（1：低評価、…、5：高評価）で評価を行った。

- Q1 作曲したメロディに満足出来たか
- Q2 作曲したメロディは自然に聞こえるか
- Q3 作曲したメロディに点数をつけるならいくらか
- Q4 作曲中、自分で音符を編集したくなったか
- Q5 本システムは使いやすかったか
- Q6 本システムのメロディ提案機能は役に立ったか
- Q7 本システムを用いた作曲は楽しかったか
- Q8 その他感想等（自由記述）

Q1~Q4については各パターンの作曲終了時に、Q5~Q8については全パターンの作曲終了時に回答するものとした。

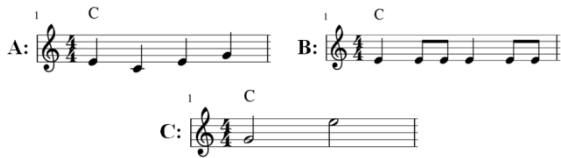


図4 開始パターン

5.2 結果と考察

アンケート評価結果を図5に示す。Q1とQ3については低い点数が少数あるものの、概ね高い点数が得られているため、多くの被験者が様々なメロディの作曲において満足いくメロディを作れたと思われる。Q2は全員が4点以上であるため、全てのケースで自然なメロディを作れたと思われる。Q4の評価を見ると、作曲中、自身で音符を編集してメロディを作りたくなるケースが多々あることがわかる。実際にほとんどのケースで被験者は音符の編集を行っており、編集によってメロディを自身のイメージに近づけることで、高い満足度を達成出来たケースもあると考えられる。

Q5~Q7についてはいずれも点数が4点以上であることから、システムの機能とユーザビリティについても高い評価を達成出来ていると思われる。自由記述の感想には、以下に示す点に楽しさを感じられたという意見があった。

- 候補メロディを参考に自身のメロディへのイメージを明確に出来る点
- 自身で音符を編集することでオリジナリティを付与出来る点
- 自身で音符を編集することでより自分のイメージに近いメロディを作れる点

これらの意見から、ユーザのメロディ展開発想を支援して楽しく作曲を進めてもらうことが出来ており、提案システムの有用性が示されたと考えられる。

自由記述の感想の中には、「良いと思える候補が少なかった」「音高の跳躍が大きすぎる候補があった」という意見があった。これらについては、相対メロディを再現しようとするあまりに起こる問題だと思われる。特に前者については、相対メロディを再現した結果、非和声音が多い候補メロディが生成されるといったことが要因の一つであると考えられる。解決手段としては、相対メロディの再現度と自然さの割合を調整するパラメータの導入等が考えられる。

6. 終わりに

本研究では、作曲初心者のメロディ展開発想の支援を目的とした作曲支援システムを提案した。多様な候補メロディの提示によって展開発想支援が可能であると考え、予測変換のアイデアを用いた候補メロディ生成モデルを提案し、システム実装を行った。評価実験の結果、ユーザのメロディ発想を支援し、ユーザが楽しく作曲を進められるシステムを開発することが出来た。

今後の課題としては、システムのモデルとUIの改善が

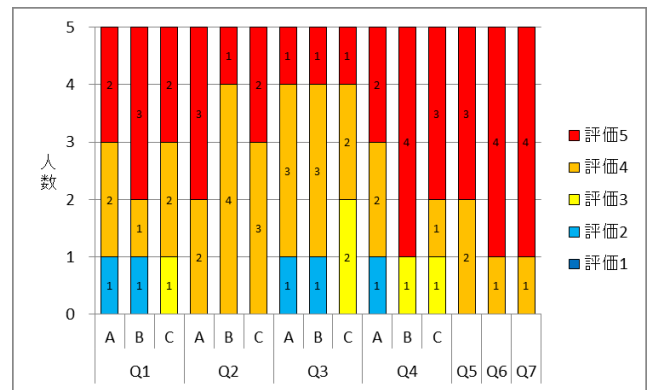


図5 アンケート評価結果

挙げられる。評価実験の中で、「4小節目に終止感のあるメロディがほしかったが、そのような候補メロディがなかった」という意見が得られた。このような問題を解決するためには、楽曲構造やコードの機能も考慮した候補メロディ生成モデルを検討する必要がある。UIについては、候補メロディへのレーティングや、「音が高くなる」等といった属性的な情報の提示がほしいという要望があったため、これらの機能を実装し、ユーザビリティの向上を目指したい。

参考文献

- [1] 深山 覚, 中妻 啓, 米林 裕一郎, 酒向 慎司, 西本 卓也, 小野 順貴, 嵯峨山 茂樹: 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] 安孫子 友美, 但馬 康宏, 小谷 善行: コードと音高情報による隠れマルコフモデルを使用した曲構造を持つ楽曲の自動生成, 情報処理学会第69回全国大会講演論文集, pp.233-234, 2007.
- [3] 安藤 大地, Palle Dahlstedt, Mats Nordahl, 伊庭 斉志: 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, 2005-MUS-59, pp.55-60, 2005.
- [4] 北原 鉄朗, 深山 覚, 片寄 晴弘, 嵯峨山 茂樹, 長田 典子: OrpheusBB: Human-in-the-loop 型の自動作曲システム, インタラクション 2011, pp.57-64, 2011.
- [5] 岡田 美咲, 山下 雄史, 北原 鉄朗: 音素材の自動挿入機能を備えたループシーケンサ, 情報処理学会研究報告, 2013-MUS-100, pp.1-6, 2013.
- [6] 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, インタラクション 2013, pp.341-344, 2013.
- [7] 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, インタラクション 2016, pp.558-562, 2016.
- [8] Toshiyuki Masui: An Efficient Text Input Method for Pen-based Computers, In Proceedings of the ACM Conference on Human Factors In Computing Systems (CHI'98), Addison-Wesley, pp.328-335, 1998.
- [9] 深山 覚, 西本 卓也, 小野 順貴, 嵯峨山 茂樹: 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, 2009-MUS-81, pp.1-6, 2009.
- [10] 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.