Automatic Melody Generation System with Extraction Feature

Kenichi Ida Member (Maebashi Institute of Technology, ida@maebashi-it.ac.jp)

Shinichi Kozuki Student Member (Maebashi Institute of Technology)

Keywords: automatic composition, combinatorial optimization problem, genetic algorithm

The history of an automatic composition by the computer starts during about half a century, and various methods are proposed today. One is that the system uses a general composition theory or system developer's composition knowledge, the other is that the system use the data extracted from existing music. The former is special system because of introducing the specific style. On the other hand, the latter is general system. It is because the analysis result of the music serves as a standard of music generation.

In this paper, we propose the melody generation system that can take user's favor based on the approach of the latter. Moreover, we propose the feature extraction method for the analysis of existing music, and try the offer of the best melody based on the acquired feature and the user's request.

The flow of the melody generation system is shown below.

- (1) A melody is inputted and a melody database is created. The melody which can be used is single melody and divided for each development of music (Reference Fig.1).
- (2) The melody used as an atmosphere base, a progression base and a rhythm is chosen from the melody database, respectively. The rhythm is used as a rhythm of an output melody.
- (3) An atmosphere feature is extracted from each note of the atmosphere base, and a progression feature is extracted from each development of the progression base. The atmosphere feature consists of two elements "pitch transition" and "time value relation", and these are used for local optimization of a melody. A rough atmosphere of the base can be made to reflect in a generation melody by the optimization. The progression feature consists of three elements of "upsurge", "smoothness", and "simplicity", and these are used for global optimization of a melody. A rough progression of the base can be made to reflect in a generation melody by the optimization.
- (4) User operation is arbitrarily added to the progression feature element.
- (5) GA searches for a melody corresponding to the rhythm so that both features are satisfied. In addition, the evaluation value of the melody is given from the satisfaction degree of the features.
- (6) The generation melody is saved in a database.

Fig. 1. Example of melody that can be used with this system

The actual example of melody generation is shown. Both the atmosphere base and the progression base are shown in Fig.2. A using rhythm is shown in Fig.3. The melody generated also as that of these conditions is shown in Fig.4. Moreover, the one that the user operation was added is shown in Fig.5. The results show that the proposed system can reproduce the feature of the base and reflect user operation.

Fig. 2. Grandfather's Clock (both bases)

Fig. 3. Using rhythm

Fig. 4. Melody that reproduces the atmosphere and the progression

Fig. 5. The melody reorganized by user operation

特徴抽出型メロディ自動生成システムの開発

正員 井田 憲一* 学生員 上月 伸一*

Automatic Melody Generation System with Extraction Feature

Kenichi Ida*, Member, Shinichi Kozuki*, Student Member

In this paper, we propose the melody generation system with the analysis result of an existing melody. In addition, we introduce the device that takes user's favor in the system. The melody generation is done by pitch's being arranged best on the given rhythm. The best standard is decided by using the feature element extracted from existing music by proposed method. Moreover, user's favor is reflected in the best standard by operating some of the feature element in users. And, GA optimizes the pitch array based on the standard, and achieves the system.

キーワード：自動作曲，組合せ最適化問題，遺伝的アルゴリズム

Keywords: automatic composition, combinatorial optimization problem, genetic algorithm

1. はじめに

コンピュータによる自動作曲はおよそ半世紀前から始まり⁽¹⁾，今日ではさまざまな手法が考案されている。例えば，システム作成者がもつ知識ベースを用いて様々なスタイルの音楽を自動生成するシステム⁽²⁾や既存の音楽理論である和声学の理論を用いてポップス向けメロディに和音を自動付与するシステム⁽³⁾など，特定の様式を利用するアプローチである。これらは，各々の方法論をそのまま取り入れるアプローチであるため，その領分に特化した作曲システムといえる。

また，既存メロディを一小節単位で格納したデータベースからリズムと音高・コードパターンを取り出して合成することで作曲を行うシステム⁽⁴⁾や既存楽曲群の和音進行から得た情報ネットワークを用いてコード進行を作成する機能を有するシステム⁽⁵⁾など，既存の楽曲から抽出したデータを活用するアプローチがある。これらは，既存の楽曲の分析結果を楽曲生成に関する基準に取り入れることで分析対象に応じた出力が行えるような，汎用性を重視した作曲システムである。これらのシステム⁽⁴⁾⁽⁵⁾は，データベースに蓄積したリズム，音高・コードパターン，コード進行などを部品とした一種の組合せ問題として捉え，遺伝的アルゴリズム (genetic algorithm: GA) により最適メロディ

を生成しようとするものである。

更に，その中間に位置するアプローチとして，記憶パターン更新機能を追加したカオスニューラルネットワークのふるまいを利用して元メロディ群からメロディの連想を次々に行い，徐々にメロディを変化させつつ演奏し続けるシステム⁽⁶⁾などがある。

二つめのアプローチに属する本論文では，リズムや音高といった部品となるべき特徴要素をより細かく定義し，その抽出法を提案するとともに，既存楽曲から抽出される簡易な特徴のみを用いてメロディに関する音楽的な情報の再構築を試みる。更に，新たにユーザの好みや意思を取り入れる仕組みを導入することにより，多様化する音楽ニーズに対応可能な汎用メロディ生成システムの開発を目指す。本提案システムにおけるメロディ生成は，事前に与えられた音長列上で音高が最適な配列を成すことによって行われる。その最適さ基準の決定に，提案する特徴抽出法によって既存楽曲から抽出される特徴要素を用いる。また，その特徴要素の一部をユーザが望む形に操作することでユーザの好みを最適さ基準に反映可能にする。そして，その基準に基づいて GA により音列の最適化を行うことでメロディ生成を実現する。

なお，本論文は楽曲の様々なレベル[†]に対して特徴を抽出・適用することでユーザが真に望む楽曲を生成できるような総合作曲システムの構築ための基礎研究である。

* 前橋工科大学大学院工学研究科
〒 371-0816 前橋市上佐鳥町 460-1
Graduate School of Engineering, Maebashi Institute of Technology
460-1, Kamisadori-cho, Maebashi 371-0816

[†] メロディ，リズム，コード，曲構成，アレンジなど

2. メロディ生成システム

〈2・1〉 メロディ生成システム全体の流れ 提案するメロディ生成システムの概念図を図1に、システム全体の流れを以下に示す。ただし、メロディデータベースを必要としない場合は、Step1とStep6を省略することができる。

Step1: メロディデータベースの作成 好みのメロディを入力し、メロディデータベースを作成する。

Step2: ベース選択 メロディデータベースまたは直接入力により、雰囲気ベースと曲進行ベースとなるメロディとリズム（音長列）をそれぞれ選択する。

Step3: 特徴抽出 雰囲気ベースから雰囲気特徴、曲進行ベースから曲進行特徴をそれぞれ抽出する。

Step4: 特徴操作 曲進行特徴パラメータに対し、必要であれば自由に手を加えることができる。

Step5: メロディ生成 選択された音長列上の音高が両特徴データの条件を満たすようにGAによって最適化され、メロディが生成される。

Step6: メロディの保存 生成されたメロディをデータベースに保存する。

〈2・2〉 ユーザ操作部 ここでは、前節のメロディ生成システムの流れの中でユーザが操作可能な部分について概説する。

(1) メロディデータベースの作成 このシステムでは既存のメロディをベースとして用いるため、最初にユーザがメロディを直接入力してメロディデータベースを作成する必要がある。本論文では、その入力可能なメロディを次のように定義する。メロディは、音長・音高の値を一つずつもつような音符が配列を成し、この配列が曲展開番号によって区切られている（図2）。

ここで、曲展開番号とはメロディの展開（起承転結）の

区切りを示すものとし、ユーザが自由に判断し設定するものとする。この番号によってユーザが判断したメロディの展開をシステムに把握させることになる。

(2) ベース選択 ユーザは出力メロディの傾向を決めるために、雰囲気ベース・曲進行ベースとなるメロディとリズム（音長列）をそれぞれメロディデータベースから選択する。選択された両ベースからそれぞれ特徴が抽出され、選択された音長列はそのまま出力メロディ全体の音長列となり、その各音長に対応する音高が抽出特徴を用いて最適化されることでメロディが生成されるため、ここでのユーザ選択が生成されるメロディの大きな傾向を決定付けることになる。

(3) 特徴操作 ユーザは自分好みのメロディを生成するために、抽出された曲進行特徴のパラメータを操作できる。詳しくは〈3・5〉で述べるが、この操作によって生成されるメロディに一定の指向性をもたせることもできる。

(4) メロディのフィードバック 生成されたメロディはそれを鑑賞するだけでなくデータベース内に保存することによって、次回以降のメロディ生成に利用可能となる。

3. 特徴抽出

ここでは、メロディから抽出される特徴について述べる。雰囲気ベースと曲進行ベースから抽出される特徴はそれぞれ異なり、雰囲気ベースからはメロディのもつ雰囲気をメロディ生成時に再現できるような局所的な特徴（雰囲気特徴）を、また曲進行ベースからはメロディを通して聞いたときにわかる起承転結を再現できるような大域的な特徴（曲進行特徴）をそれぞれ抽出する。また、メロディ生成に対する汎用性を高めるため、抽出する特徴はなるべく簡易なものとする。

〈3・1〉 雰囲気ベースからの特徴抽出 雰囲気ベースから抽出される雰囲気特徴は、『音高遷移』と『音長関係』である。

『音高遷移』 『音高遷移』は、各音高に対する次の音高との関係を表したものである。その抽出例を図3に示す。この例では、“ソ”という音高に対してその次の音である“ド”が読み込まれ、“ソ⇒ド”という『音高遷移』が抽出されたことを示す。

抽出された『音高遷移』は、メロディ生成時に隣り合う音高の関係を再現するために利用され、また自動的に音高構成を維もする役割が与えられる。

『音長関係』 『音長関係』は各音高に対応する音長の関係を表したものである。その抽出例を図4に示す。この例では、“ソ”という音高に対してその音長である“四分音符”が読み込まれ、“ソ⇔四分音符”という『音長関係』が抽出されたことを示している。

抽出された『音長関係』は、どの音長以下の音符に対して、どの音高の割り当てが許されるかを示す。例えば前出の『音長関係』の抽出例では、音高の「ソ」は「四分音符」以下の音長をもつ音符に割り当てられることになる。そし

Fig. 1. Melody generation system

Fig. 2. Example of melody that can be used with this system

Fig. 3. Example of extracting
“pitch transition”

Fig. 4. Example of extracting
“time value relation”

てこれはメロディ生成時に音高と音長の対応関係を再現するために利用される。

〈3・2〉 雰囲気特徴の役割 メロディを生成するとき、どのような旋法を利用したかによってその雰囲気が大きく変わる。この旋法の部分要素を『音高遷移』、『音長関係』を用いて生成メロディに再現することが雰囲気特徴の役割である。メロディ生成時における雰囲気特徴の具体的な働きは、『音高遷移』がもつ音高構成を維持する役割によって旋法の音階を再現し、『音高遷移』による隣り合う音高の関係の再現と『音長関係』による音高と音長の対応関係の再現によって音階を構成する各音高がもつであろう機能・役割を簡易に再現することである。つまり、雰囲気特徴が全ての音符に対して満たされたメロディは、雰囲気ベースの雰囲気をある程度再現することができるといえる。

〈3・3〉 音高遷移抽出法の追加・音高遷移拡張 しかし、雰囲気特徴を完全に満たして出力されるメロディの自由度は非常に低く、曲進行特徴を満たすメロディを生成することが困難となる場合がある。そこで、雰囲気特徴による雰囲気の再現度合を少し犠牲にすることで、その問題点を解決する。具体的には、次に示す『音高遷移』の抽出法の追加および『音高遷移』の拡張を行い、それをメロディ生成に用いることができるようにする。

(1) 音高遷移抽出法の追加 〈3・1節の『音高遷移』抽出法（以後「基本抽出法」と呼ぶ）の他に、「強音抽出法」を追加する。強音は聴覚上響きの強い音のことを指すが、本論文では簡易的に表拍上の音符が強音であるとする。ここでの「強音抽出法」は、各強音の音高に対する次の強音の音高との関係を『音高遷移』として抽出する。

この「強音抽出法」によって抽出される『音高遷移』は純粋に隣り合う音高の関係から抽出されたものではないので、これを用いることで生成されるメロディの多様性を音高構成が維持された状態で増すことができる。

音高遷移抽出法をまとめると以下ようになる。

音高遷移抽出法

- 「基本抽出法」… 隣り合う音高関係から『音高遷移』を抽出（図3）
- 「強音抽出法」… 隣り合う強音上での音高関係から『音高遷移』を抽出

(2) 音高遷移拡張 『音高遷移』を拡張するため、「オクターブ等価拡張」、「同音程拡張」、および「逆行拡張」をそれぞれ導入する。

「オクターブ等価拡張」は各『音高遷移』に対して、その

オクターブ上とオクターブ下の音高関係を新たな『音高遷移』として追加する。「同音程拡張」は各『音高遷移』に対してその音程差を求め、同じ音程差をもつ全ての音高関係を音高構成が維持される範囲で追加する。「逆行拡張」は各『音高遷移』に対して、その遷移を逆方向にした関係を追加する。

こうして『音高遷移』がさらに導出され、メロディ生成の自由度を音高構成を維持した状態でさらに増すことができる。

音高遷移拡張をまとめると以下ようになる。

音高遷移拡張

- 「オクターブ等価拡張」… 各抽出法によって抽出された『音高遷移』に対して、その上下1オクターブ違いを追加
- 「同音程拡張」… 各抽出法によって抽出された『音高遷移』に対して、その音程差と同じ音程差をもつ音高構成内での音高関係全てを追加
- 「逆行拡張」… 各抽出法によって抽出された『音高遷移』に対して、その前後関係を逆転させた音高関係を追加

〈3・4〉 曲進行ベースからの特徴抽出 曲進行ベースの曲進行特徴は、『盛り上がり』、『滑らかさ』、および『単純さ』の三つのパラメータで構成される。それらのパラメータを表現するために、各曲展開の音高列から、「音高平均」、「最高音」、「音程平均」、「音程分散」、「音高幅」、「音高種類」、「連続平行」、「連続上行」、および「連続下行」の9要素がそれぞれ抽出される。

各要素の概要は以下のとおりである。

曲進行特徴を表現するための要素

- 「音高平均」… 音高列中の音高の平均値
- 「最高音」… 音高列中の音高の最高値
- 「音程平均」… 音高列中の隣り合う音高間の音程の平均値
- 「音程分散」… 音高列中の隣り合う音高間の音程の分散値
- 「音高幅」… 音高列中の最高音と最低音との音高差
- 「音高種類」… 音高列を構成する音高の種類数
- 「連続平行」… 音高列中の音高の連続平行回数の平均値
- 「連続上行」… 音高列中の音高の連続上行回数の平均値
- 「連続下行」… 音高列中の音高の連続下行回数の平均値

以下、上記要素を用いた『盛り上がり』、『滑らかさ』、および『単純さ』パラメータの表現方法について概説する。

(1) 『盛り上がり』の表現 一般的に楽曲が最も盛り上がる部分のことをサビと呼ぶが、日本国内において最近ヒットした歌謡曲を構成パート単位で調査⁽⁷⁾した結果、サビに向かって段々と音階は高くなり、サビでそれが最高となることが示されている。また、そこに「最高音」が現れ

ることが多いことも示されている。これらのことより、本システムでは『盛り上がり』を「音高平均」,「最高音」の2要素で表現する。なお,「音高平均」,「最高音」の要素値がともに他の曲展開のそれと比較して高いほど,その曲展開のメロディが相対的に盛り上がっていると判断できる。

(2)『滑らかさ』の表現 和声学においてメロディが二度音程で進行することを順次進行と呼び,これは滑らかな進行であるとされている⁽⁸⁾。対して二度を超える動きをする進行を跳躍進行と呼び,これは硬い進行であるとされている。これらのことより,本システムでは『滑らかさ』を「音程平均」,「音程分散」の2要素で表現する。なお,「音程平均」,「音程分散」の要素値がともに低いほど,その曲展開のメロディが滑らかであると判断できる。

(3)『単純さ』の表現 われわれが音楽を認知する場合,全体的な手がかりとしてメロディの輪郭が用いられることが最もよく実証されている⁽⁹⁾。このことから,本システムにおいては輪郭が単純であることを『単純さ』として定義する。そして輪郭が単純であることを,輪郭の高低差(「音高幅」),輪郭を構成する音高の多様さ(「音高種類」),輪郭の一定方向への連続移動(「連続平行」,「連続上行」,「連続下行」)で表現する。なお,「音高幅」が小さく,「音高種類」が少なく,「連続平行」,「連続上行」,「連続下行」が短いほど,その曲展開のメロディは単純であると判断できる。

〈3・5〉曲展開特徴の役割 曲展開特徴を表現するための各要素は,曲進行ベースの各曲展開から抽出される。ここで曲展開間の区切りを与える曲展開番号はユーザが入力するものであった(〈2・2〉(1))。このことから,その各区分ごとの何らかの相違をユーザはあらかじめ知覚しているということになる。この前提条件の下で,それらの相違を分析するために実験的に用意したのが,『盛り上がり』,『滑らかさ』,および『単純さ』である。そしてこれらのパラメータによって曲の起承転結を簡易に表現し,この構造を生成メロディに反映させることが曲展開特徴の役割である。また,この『盛り上がり』『滑らかさ』『単純さ』パラメータの値はユーザによって自由に操作することができるため,ユーザの嗜好を形容詞レベルで曲の起承転結に反映させることができる。

4. GAによるメロディ生成(音高列の最適化)

本システムにおけるメロディ生成は,音符数 I の任意の音長列 $(r_1, r_2, \dots, r_I)$ が入力されることで,出力メロディのリズムや総音符数が決定され,その各 i 番目(メロディ始端音符を1番,終端音符を I 番と数える)の音符の音長 r_i に対応する音高 x_i を,その各曲展開から抽出された曲進行特徴を考慮しつつ雰囲気特徴を用いて最適化することにより行われる。ただし,特徴を完全に満たすような最適メロディの探索は非常に困難であるため,近似解法の一つであるGAを用いてメロディの最適化を行う。

〈4・1〉メロディの評価 最適メロディ獲得に向けてGAが探索を行うためには,メロディの評価基準が必要で

ある。本システムではメロディの評価値 v を,雰囲気特徴不再現度 v^a と曲進行特徴不再現度 v^p を用いて(1)式で求める。この v を最小化するのが最終的な目標となる。

$$\min v = w^a v^a + w^p v^p \dots \dots \dots (1)$$

ここで, w^a と w^p は次式を満たす非負の重みパラメータである。

$$w^a + w^p = 1 \dots \dots \dots (2)$$

雰囲気特徴不再現度 v^a は,音高遷移特徴不再現度 $t_{i,i+1}$ の平均である第1項と,音長関係不再現度 u_i の平均である第2項からなる次式より求められる。

$$v^a = \frac{w_1^a}{I-1} \sum_{i=1}^{I-1} t_{i,i+1} + \frac{w_2^a}{I} \sum_{i=1}^I u_i \dots \dots \dots (3)$$

ここで, w_1^a と w_2^a は次式を満たす非負の重みパラメータである。

$$w_1^a + w_2^a = 1 \dots \dots \dots (4)$$

(3)式第1項の音高遷移特徴不再現度 $t_{i,i+1}$ は, x_i と x_{i+1} の関係が,前節(〈3・3〉(1))の二つの抽出法($f=1$:基本抽出,2:強音抽出)と,同じく(〈3・3〉(2))の三つの拡張法+拡張なし($g=3$:オクターブ等価拡張,4:同音程拡張,5:逆行拡張,及び6:拡張なし)の組合せから得られる『音高遷移』に属するかを確認し,属する全ての組合せの中で最も音高遷移特徴要素評価 $t_{f,g}^{i,i+1}$ が小さい値をとる。また,どこにも属さない場合は正の非常に大きなペナルティ値 M をとる。すなわち,次式のようになる。

$$t_{i,i+1} = \min \left\{ t_{f,g}^{i,i+1} \mid f = 1, 2, g = 3, 4, 5, 6 \right\} \dots \dots \dots (5)$$

$$t_{f,g}^{i,i+1} = \begin{cases} w_{1,f}^a + w_{1,g}^a & \text{『音高遷移』に属す} \\ M & \text{属さない} \end{cases} \dots (6)$$

ここで, $w_{1,f}^a(\forall f)$, $w_{1,g}^a(\forall g)$ は次式を満たす非負の重みパラメータである。

$$\max_{1 \leq f \leq 2} w_{1,f}^a + \max_{3 \leq g \leq 6} w_{1,g}^a = 1 \dots \dots \dots (7)$$

ただし,(6)式の $t_{f,g}^{i,i+1}$ では特に $w_{1,1}^a + w_{1,6}^a = 0$ であることが推奨される。これは,基本抽出($f=1$)で拡張なし($g=6$)の『音高遷移』は,ベースの隣り合う音高の関係をそのまま出力側に再現できる関係であるため,これに対して減点することは望ましくないからである。

また,(3)式第2項の音長関係不再現度 u_i は, x_i, r_i の関係が『音長関係』に属する場合0,属さない場合ペナルティ値 M をとる次式で表される。

$$u_i = \begin{cases} 0 & \text{『音長関係』に属す} \\ M & \text{属さない} \end{cases} \dots \dots \dots (8)$$

曲進行特徴不再現度 v^p は、生成メロディの曲進行特徴 k ($k = 1$:盛り上がり, 2:滑らかさ, 3:単純さ) にそれぞれ対応する構成要素 l_k ($l_1 = 1$:音高平均, 2:最高音), ($l_2 = 1$:音程平均, 2:音程分散), 及び ($l_3 = 1$:音高幅, 2:音高種類, 3:連続平行, 4:連続上行, 5:連続下行) の不再現度 v_{k,l_k}^p を用いて次のように求められる。

$$v^p = \sum_{k=1}^3 w_k^p \sum_{l_k=1}^{L_k} w_{k,l_k}^p v_{k,l_k}^p \dots \dots \dots (9)$$

ここで、 L_k は特徴 k の構成要素数であり、現システムでは、 $L_1 = 2$, $L_2 = 2$, $L_3 = 5$ の値をとる。また、 $w_k^p (\forall k)$ と $w_{k,l_k}^p (\forall k, l_k)$ はそれぞれ (10), (11) 式を満たす非負の重みパラメータである。

$$\sum_{k=1}^3 w_k^p = 1 \dots \dots \dots (10)$$

$$\sum_{l_k=1}^{L_k} w_{k,l_k}^p = 1 \dots \dots \dots (11)$$

ただし、曲進行特徴の要素不再現度 v_{k,l_k}^p は、生成メロディの各曲展開 j ($j = 1, 2, \dots, J$) から得られる各曲進行特徴の各要素値 $c_{k,l_k,j}$ とその規定値 $b_{k,l_k,j}$ との差として (12) 式から得られる。ここでの規定値とは、ベースから読み取った値またはユーザ設定の目標値である。

$$v_{k,l_k}^p = \sum_{j=1}^J \frac{|c_{k,l_k,j} - b_{k,l_k,j}|}{d_{k,l_k}} \dots \dots \dots (12)$$

また、 d_{k,l_k} は特徴 k の要素 l_k の減点度合の調整値であり、次式から求められる。

$$d_{k,l_k} = \max_{1 \leq j \leq J} b_{k,l_k,j} - \min_{1 \leq j \leq J} b_{k,l_k,j} + 1 \dots \dots \dots (13)$$

ここで、(13) 式の第 1 項と第 2 項の演算から得られた値は、各特長要素値の変動割合に応じた、 $c_{k,l_k,j}$ と $b_{k,l_k,j}$ から得られる特徴要素値の誤差に対する減点度合である。ただし、第 1 項と第 2 項の演算結果が 0 となり、それをそのまま減点度合として (12) 式に用いれば、0 による除算が行われてしまうため、各特徴要素の値が変動するときの最小単位となる値を挙げた中での最大値である $1^\dagger$ を第 3 項で加えて最終的な減点度合としている。

〈4・2〉 染色体表現 メロディを GA で扱うためにはメロディを染色体で表現する必要がある。本システムではメロディを構成する各音符がもつ音高の並び ($x_1, x_2, \dots, x_I$) を染色体とする。その長さは与えられた音長列の長さ、つまり曲全体の音符の数 I と同一である。音高の表現は、MIDI 規格により扱えるオクターブ幅を考慮し、最低を 0, 最大を 119 とし、60 を MIDI 規格における C4 (4 オクターブ目のド) と定義する。他の音高は基準音から半音上がる (下

[†] 音高種類数カウントである音高種類がこれに該当する。また、音高種類以外の曲進行特徴要素の値は、〈4・2〉節で示す音高の数値表現法を用いて算出されるので、音高幅がこれに該当する。

Fig. 5. chromosome

Fig. 6. mutation2

がる) ごとに値を+1 (-1) したもので表現される (図 5)。

なお、初期染色体は、「雰囲気特徴である『音長関係』を満たし、かついずれかの『音高遷移』を構成する音高の範囲内の値をランダムに決定する」という生成規則を染色体の全遺伝子座に適用して生成する。これを集団サイズ回繰り返して初期集団とする。

〈4・3〉 遺伝的操作 GA は効率的に解を探索するために遺伝的操作を行う。遺伝的操作には、主に交叉や突然変異が用いられる。本システムにおける遺伝的操作を次に示す。

(1) 交叉 メロディ生成時に雰囲気特徴である『音高遷移』が考慮されるため、探索の進行に伴い染色体の隣り合う遺伝子間の結びつきが強くなることが考えられる。そのため、最も交叉点が少ない一点交叉を用いる。

この交叉が行われた場合、新しく生成された子染色体と親染色体の 4 個体間で生存選択を行う。生存するのは、最も評価値が良い個体と残りからランダムに選んだ個体の 2 個体である。この選択法を利用する理由は、解を効率よく更新することと母集団内での染色体の多様性を維持することとのバランスをとるためである。

(2) 突然変異 1 突然変異 1 は、染色体内の遺伝子の一つランダムに選び、その値を変更する。変更後の値は、〈4・2〉で示した初期染色体の生成規則を適用する。これは突然変異の探索効率を上げるためである。なお、突然変異 1 が行われた場合、親と子のうち評価値の良いほうが母集団内に残る。

(3) 突然変異 2 突然変異 2 は、まず染色体内の遺伝子の一つランダムに選び、その値を読み取る。次にそれと同じ値をもつ全ての遺伝子を対象とし、値の変更を行う。変更後の値は、最初に選ばれた遺伝子に対して突然変異 1 と同様の規則を用いることで決定される (図 6)。この突然変異 2 は、交叉や突然変異 1 によって操作されにくい「音高幅」や「音高種類」の値を変動させることを目的として導入している。ただし、突然変異 2 が行われることで遺伝子構造が大きく変化するため、適用確率は交叉や突然変異 1

のそれよりも非常に低く設定する必要がある。なお、突然変異2が行われた場合、親と子のうち評価値が良いほうが母集団内に残る。

5. 実験

〈5・1〉 提案システムの有効性確認 提案システムの有効性を確認するため、雰囲気ベース・曲進行ベース共に“大きな古時計[†]”の主旋律の一部をハ長調に移調したもの(図7)を入力し、メロディを生成する。他の制約として、音長列は図8(音符数108)を用い、曲展開の区切りはベースメロディ・出力メロディ共に4小節ごとに与える(曲展開数はそれぞれ四つ)。

GAのパラメータは、それぞれ集団サイズを300、交叉の適用確率を1.000、突然変異1の適用確率を1.000、突然変異2の適用確率を0.001、終了世代数を2000とした。

また、実験で用いる評価関数の各種重みを次のように設定する。特徴不再現度重み w^a, w^p の各値は、メロディの局所的な整合性の保持を重視するため、 $w^a = 2/3, w^p = 1/3$ とする。また、雰囲気特徴要素に関する重み w_1^a, w_2^a と曲進行特徴とその要素に関する重み $w_k^p(\forall k), w_{k,l_k}^p(\forall k, l_k)$ は、特徴の影響をそれぞれの重みの効果範囲内で均等に評価に反映させるため、 $w_1^a = w_2^a = 1/2, w_k^p = 1/3(\forall k), w_{k,l_k}^a = 1/L_k(\forall k, l_k)$ とする。更に、音高遷移抽出または拡張に関する重み $w_{1,f}^a(\forall f), w_{1,g}^a(\forall g)$ のうち、 $w_{1,1}^a, w_{1,6}^a$ に関しては、〈4・1〉節にあるように $w_{1,1}^a = w_{1,6}^a = 0.00$ と設定する。その他の重みは、それぞれ $w_{1,2}^a = w_{1,5}^a = 0.50, w_{1,3}^a = w_{1,4}^a = 0.25$ としている。ただし、これら $w_{1,2}^a, w_{1,3}^a, w_{1,4}^a, w_{1,5}^a$ の具体的な値の決定は、事前の予備実験を参考に行った。

(1) 特徴抽出法の有効性検証 まず、提案特徴抽出法によって抽出された特徴がほぼ全て再現されるとき、生成されたメロディにベースの曲展開と雰囲気が再現されることを検証するため、ユーザ操作を行わずにメロディ生成を行う。その結果を図9に示す。

生成されたメロディの音高構成は“大きな古時計”と同じになっていることはもちろん、このメロディからは“大きな古時計”と同じような雰囲気が感じられる。この結果から、雰囲気特徴である『音高遷移』と『音長関係』が有効に働いたと確認できる。また、“大きな古時計”は曲展開ごとの曲進行特徴の差異がさほど見られないが、それを生成メロディは再現できているため、曲進行特徴が有効に働いたと確認できる。

(2) ユーザ操作によるメロディの改編 次に、ユーザが曲進行特徴パラメータを操作することで、そのパラメータに沿ったメロディ改編が成されることを確認する。変更を行ったパラメータ以外はほぼベースを再現するという条件のもと、曲展開1(1小節～4小節)の『滑らかさ』を最大限減少させ、曲展開2(5小節～8小節)の『滑らかさ』

Fig. 7. Grandfather's Clock (both bases)

Fig. 8. Using rhythm

Fig. 9. Melody that reproduces the atmosphere and the progression

Fig. 10. The melody reorganized by user operation

Fig. 11. Invention Op.13 (both bases)

を最大限増大させ、曲展開3(9小節～12小節)の『盛り上がり』を最大限増大させ、曲展開4(13小節～16小節)の『単純さ』を最大限減少させたメロディを生成した。その結果を図10に示す。

結果より、パラメータを操作することで各曲展開に大きな差異が与えられることが確認できた。具体的には、曲展開1は音程の移動が激しく滑らかでないメロディとなり、曲展開2は音程の変動が非常に小さく滑らかなメロディとなった。また、曲展開3は全体的に音高が高く盛り上がり、曲展開4ではメロディラインが他の展開よりも全体的に大きく動いていることが確認できる。これらのことより、曲進行特徴パラメータの働きによって様々なメロディを生成できる可能性が高いと思われる。

〈5・2〉 提案システムの汎用性確認 前節とは異なるベースでメロディを生成し、システムの汎用性を確かめる。ここでは雰囲気ベース・曲進行ベース共に“インベンション13番^{††}”を構成する旋律の一部(図11)を入力する。他の制約として、ベースの曲展開の区切りは4小節ごとに与え

[†] Henry Clay Work : Grandfather's Clock

^{††} Johann Sebastian Bach : Two-Part Invention No.13

Fig. 12. Melody that reproduces the atmosphere and the progression (2)

る。また、音長列は図8（音符数108）を用い、その曲展開の区切りは8～9小節間と12～13小節間に与える（曲展開数はそれぞれ三つ）。実験では、GAのパラメータと重みを前節と同じにし、ベースから抽出された特徴をできる限り再現するという条件下でメロディの生成を試みている。その結果を図12に示す。

この結果より、前節のベースから生成された結果とは異なった雰囲気メロディが生成されたことが分かる。このことから、ベースに対応したメロディがそれぞれ生成できることが確認できる。

6. おわりに

本研究では、ユーザのニーズに対応可能な多様性のあるメロディが生成できるシステムの開発を行った。実験結果より、本システムはベースの雰囲気を残したメロディが生成でき、さらにユーザがパラメータを設定することでメロディを好みに応じて作り変えることができるといえる。しかしながら、現システムでメロディ生成時に用いることができるパラメータは『盛り上がり』、『滑らかさ』、および『単純さ』の3つのみであり、これだけでは表現しきれないメロディの情報がまだまだ無数に存在すると考えられる。例えば、一般的なメロディには必ず見られる、短期的・長期的な繰り返し構造なども現時点では表現することができない。

このような点を念頭に置き、メロディを表現するためにどのような情報が必要か、またそれをシステムにどのように組み込んでいくか、ということは今後とも慎重に検討していくことが必要である。

また、本システムでの評価関数は、大きく雰囲気特徴部と曲進行特徴部に分かれ、それぞれが複数の階層構造を持ち、多数の要素で構成され、そのすべての要素、階層ごとに重みを有している。したがって、重みの果たす役割は大きく、この重みの取り方によって生成されるメロディも異なることになる。

ユーザは、これらの重み（とベースメロディ）を自由に設定することによって自分の好みにあったメロディを生成できるようになるが、自由度が大きいということはそれだけユーザに負担を掛けることにもつながり、一概に良いこととはいえない。実際に利用する場合の利便性を考えれば、嗜好パターンやプリセット値を用意するなど設定の簡易化は必要と思われる。

ただ現時点では、「1. はじめに」でも述べたように、本研究が総合作曲システム構築のための基礎研究であることを

考慮すれば、選択の幅（種々メロディの生成可能性）を広くしておく方を優先し、その後のユーザインタフェース設計時に利便性を検討しても遅くはないと考えている。
(平成19年5月16日受付, 平成19年9月27日再受付)

文 献

- (1) カーティス ローズ (平田圭二他訳): コンピュータ音楽—歴史・テクノロジー・アート, 東京電機大学出版局 (2001)
- (2) 勝田哲司他: 「音楽研究所」, <http://www.asahi-net.or.jp/~HB9T-KTD/music/musj.html> (2006)
- (3) M. Miura, et al.: "AMOR: A System for Yielding Harmony to Given Melodies of Popular Styles", *IPSJ Journal*, Vol.46, No.5, pp.1176–1187 (2005-5) (in Japanese)
三浦雅展・青山容子・谷口 光・青井昭博・尾花 充・柳田益造: 「ポップス系の旋律に対する和声付与システム: AMOR」, 情処学論, Vol.46, No.5, pp.1176–1187 (2005-5)
- (4) 田中 健・外山 史・東海林健二: 「遺伝的アルゴリズムを用いたメロディー進行とリズムの組合わせによる自動作曲」, 情処学研報 [音楽情報科学], Vol.2001, No.82, pp.43–48 (2001-8)
- (5) 山田拓志・椎塚久雄: 「遺伝的アルゴリズムを用いた自動作曲について」, 情処学研報 [音楽情報科学], Vol.98, No.96, pp.7–14 (1998-10)
- (6) M. Tokumaru, N. Muranaka, and S. Imanishi: "Continuous Expression System Repeating 'Memory and Forgetfulness' – Application to a Music Composition System Using Chaos Neural Network with Rememorizing Patterns –", *Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics*, Vol.19, No.3, pp.299–312 (2007-6) (in Japanese)
徳丸正孝・村中徳明・今西 茂: 「記憶と忘却」を繰り返し発想し続けるシステム—記憶パターン更新型カオスニューラルネットワークと作曲システムへの応用—, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.19, No.3, pp.299–312 (2007-6)
- (7) 石井一城: 「ヒット曲の特徴」, 武蔵工業大学環境情報学部卒業研究概要 (2000)
- (8) 須田佳典: 「創作田園地帯—和声学」, <http://www.denen.org/wasei/contents.xhtml> (2006)
- (9) ダイアナ ドイチュ (寺西立年他訳): 音楽の心理学 (下), 西村書店 (1987)

井 田 憲 一 (正員) 1952年生。1976年工学院大学卒業。1978年同大学大学院修士課程修了。同年足利工業大学助手。同大学講師, 助教授, 教授を経て, 1999年前橋工科大学教授, 現在に至る。工学博士。1988～1989年米国 Univ. of Nebraska-Lincoln 客員研究員。システム最適化法, 数値計算法, ファジィ数値計画法, ソフトコンピューティング技法等の研究・開発に従事。「線形計画」, 共立出版 (2003)
共著他。電子情報通信学会, 日本経営学会, 日本知能情報ファジィ学会, IIE 等各会員

上 月 伸 一 (学生員) 1983年生。2006年前橋工科大学工学部情報工学科卒業。同年同大学大学院工学研究科システム情報工学専攻博士前期課程入学, 現在に至る。組合せ最適化, ソフトコンピューティング技法等の研究・開発に従事。