

# 音楽規則に基づくピースベース自動作曲法の提案

山森 一人<sup>a)</sup>・小原 智子<sup>b)</sup>・相川 勝<sup>c)</sup>

## An Automatic Music Composition Method based on Music Theory

Kunihito YAMAMORI<sup>a)</sup>, Tomoko KOBARU<sup>b)</sup>, Masaru AIKAWA<sup>c)</sup>

### Abstract

This paper proposes an automatic music composition method based on music theory for people who don't have musical knowledge or composing skill. Proposed method describes music by combination of "pieces". A piece expresses a musical measure. Firstly, user chooses a music impression from some options. This impression decides the key of composed music. Secondly, base tones of pieces are decided from the tones consisting of the key by music theory. Thirdly, rhythm is selected from rhythm group at random. Fourthly, our method also decides tone row in every piece based on the base tone by music theory. Finally, the tone row links up with the rhythm to represent a melody. Our method uses tree structure to decide both of base tones and tone rows of pieces. The path with the maximum evaluation value shows the sequence of base tones and tone rows. We evaluated our method by a questionnaire survey about composed music.

**Keywords:** Music Composition, tree structure, Music theory

### 1. はじめに

近年、コンピュータの普及に伴い、高機能なコンピュータ上での音楽制作環境を安価に入手できるようになった。音楽制作環境が発展している一方で、作曲そのものに関してはまだ人間の手で行われているのが現状である。作曲は音楽的知識や技術、作曲経験、才能など個人の能力に依存している部分が多く、初心者が作曲を行うことは困難である。そこで、誰でも簡単に作曲を行うことができる方法として、コンピュータによる自動作曲が考えられている。

自動作曲の分野では、遺伝的アルゴリズムが比較的良好に用いられている。Jiang<sup>ら</sup>は、遺伝的アルゴリズムにより音列を生成し、ニューラルネットワークによる感性評価を行うことで曲を生成している。Jiang<sup>ら</sup>の研究では作曲を行う際に直前の1音から次の1音を選ぶ方法をとっており、曲の中で重要な「モチーフ」という考えを考慮していない。モチーフとはメロディーの一番小さい単位であり、一般に2小節単位で表現される。

本研究では、作曲に対する専門的知識や経験をもたない人を対象とし、曲の「ピース」に注目した自動作曲法の提案と評価を目的とする。ピースとは曲を1小節単位で表現したものである。作曲技法の観点からはモチーフを単位とすることが望ましいが、本研究では初心者を対象としているため、誰もが知っている小節という単位、つまりピースを組み合わせることで作曲を行う。

### 2. 作曲時に用いる音楽規則

#### 2.1 長音階・短音階

音階とは、音楽に用いられる音を高さ順にオクターブ内に配列したものをいい、一般に用いられる音階は、五音音階、全音階、半音階の3種類に大別される<sup>2)</sup>。本研究では西洋音楽で一般的に用いられる全音階を使用する。今日用いられている全音階は、五つの全音階的全音と二つの全音階的半音とからなり、半音の位置の相違によって、長音階と短音階に区別される<sup>2)</sup>。長音階は、起点の音を第1音として、第3音と第4音との間、ならびに第7音と第8音との間に半音をもち、その他は全音から成る音階をいう。短音階は、起点の音を第1音として、第2音と第3音、第5音と第6音との間に半音をもち、その他は全音から成る音階をいう。例としてCを起点とした長音階を図1に示す。図1中の主音・属音・下属音・導音について説明する。

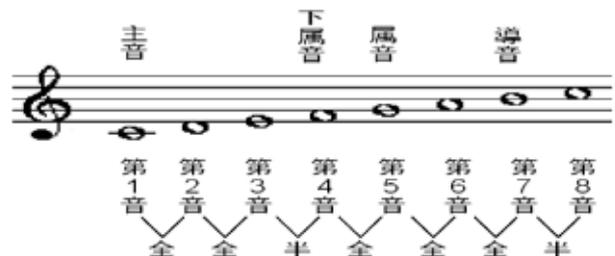


図1 Cを起点とした長音階。

<sup>a)</sup>工学部教育研究部准教授

<sup>b)</sup>情報システム工学科学部生

<sup>c)</sup>教育研究支援技術センター技術職員

主音とは音階の第1音で、調を決定する大切な音であり、調の名は主音の音名で決定する。音階中、主音に次いで重要な音は5度上の第5音で属音と呼ばれ、属音と主音とがあれば調が決定できるほどの力をもつ。次に大切な音は、4度上の第4音で下属音と呼ばれ、下属音の次に大切な音は7度上の第7音で導音と呼ばれる<sup>3)</sup>。

### 2.2 カデンツの進行

2.1節で述べた全音階はダイアトニックコードとも呼ばれる。ダイアトニックコードは大きく分けてトニック(Tonic)、ドミナント(Dominant)、サブドミナント(Subdominant)の3種類の機能に分かれ、この機能を組み合わせたものがカデンツである<sup>4)</sup>。トニック、ドミナント、サブドミナントはそれぞれ2.1節で述べた主音、属音、下属音にあたる。トニックは発展性を持ち、サブドミナントとドミナントに進行する。ドミナントは帰結性を持ち、トニックに進行する。サブドミナントは連結性を持ち、トニック、サブドミナント、ドミナントに進行する<sup>5)</sup>。それぞれの進行について図2で示す。

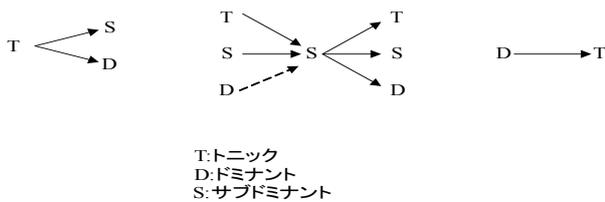


図2 カデンツの進行.

### 2.3 協和音程

音程とは、2音の高さの間隔のことをいい、この間隔を表す単位として「度」が用いられる。音程を構成する2音を同時に響かせた場合に、2音が調和するものと、調和しないものがある。前者を協音程といい、後者を不協音程

表1 Cを基準とした周波数比と協・不協音程.

音名	周波数比	協・不協音程の分類
C	1:1	完全1度(完全協音程)
C#	15:16	短2度(不協音程)
D	8:9	長2度(不協音程)
D#	5:6	短3度(不完全協音程)
E	4:5	長3度(不完全協音程)
F	3:4	完全4度(完全協音程)
F#	32:45	増4度(不協音程)
G	2:3	完全5度(完全協音程)
G#	5:8	短6度(不完全協音程)
A	3:5	長6度(不完全協音程)
A#	9:16	短7度(不協音程)
B	8:15	長7度(不協音程)
C	1:2	完全8度(完全協音程)

程と呼ぶ<sup>2)</sup>。また、協音程は2音の調和する度合いによって、完全協音程と不完全協音程に分けることができる。完全協音程は2音の響きが完全にとけ合ったもので、不完全協音程は完全協音程よりもとけ合い方が不完全なものという。不協音程は、2音がまったくとけ合わず、耳障りな響きを生ずるものをいう<sup>6)</sup>。音程の調和には2音の周波数の比が関係しており、一般には2音の周波数比が簡単な整数の比で表せるほど美しく響くとされている。表1にCを基準にした場合の周波数比を簡単な整数の比で表したものと協・不協音程の分類の対応を示す<sup>3)</sup>。

### 2.4 旋律線

旋律とは高さの異なる2種類以上の音を時間的に進行させて音の高さの起伏を作ったもので、音の高さを結んでできる線のことを旋律線と呼ぶ<sup>3)</sup>。旋律線の基本形は図3の5種類であり<sup>7)</sup>、本研究でもこの5種類を用いる。

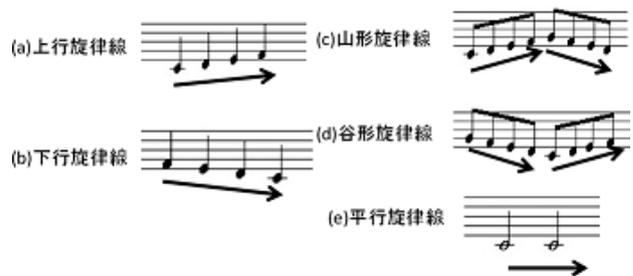


図3 旋律線.

## 3. 提案手法での作曲方法

### 3.1 提案手法での作曲手順

提案する手法では、単音、テンポ・音量一定、4分の4拍子を想定している。自動作曲を行うに当たり、提案手法ではすべての次音候補をノードとして持つ木構造を構成し、根から順に評価値の高いノードを辿ることで音列を生成する。たとえば、図4では同一階層中で最も評価値が高いノードを二重丸で表しており、「C、B、F、F」が選択される音列となる。

以下で、提案手法での作曲手順を簡単に述べる。

Step1: ユーザに曲のイメージを提示し、その中から作曲したい曲のイメージに合うものを選択してもらう。

Step2: Step1でユーザが選択した曲のイメージから調を決

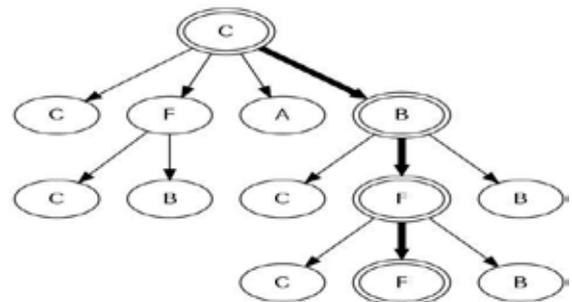


図4 木構造による音列の生成.

定し、決定した調を構成する音からそれぞれのピースで基準となる音列を図 5 (a)のように生成する。

Step3:それぞれのピースを構成するリズムを図 5(b)のようにランダムに決定する。

Step4:Step2 で生成した、各ピースで基準となる音から、ピース内の音列を生成する。

Step5:Step4 で生成したピース内の音列と、Step3 で生成したリズムを図 5(c)のように対応付け、曲として出力する。



図 5 曲の生成過程の例.

### 3.2 音楽規則の適用方法

本研究では根以外の全てのノードに対して評価値を求め、根から葉までの全ての経路の中で評価値の総和が最大の経路を望ましい音列として決定する。各ノードでの評価方法については、2章で述べた音楽規則を用いて下位のノードすべてに対し評価値を求める。ここでは例として、協音程と旋律線を用いた評価値の求め方について説明する。なお、評価値の範囲は0~5の整数としている。

#### 3.2.1 長音階・短音階の適用方法

まず、長音階を用いた評価値付けの方法について述べる。長音階による評価では、長音階を構成する音に対して高い評価値を与える。たとえば、直前の1音がCであるとすると、Cを起点とする長音階を構成する音は「C、D、E、F、G、A、B」なので、属音であるGには評価値5、下属音であるFには評価値4、導音であるBには評価値3、その他の「C、D、E、A」には評価値1を与える。また、Cを起点とする長音階に含まれない音には評価値0を与える。

次に、短音階を用いた評価値付けの方法について述べる。短音階も長音階と同様に、短音階を構成する音に対して高い評価値を与える。たとえば、直前の1音がAであるとすると、Aを起点とする短音階を構成する音は「A、B、C、D、E、F、G」なので、属音であるEには評価値5、下属音であるDには評価値4、導音であるGには評価値3、その他の「A、B、C、F」には評価値1を与える。また、Aを起点とする短音階に含まれない音には評価値0を与える。

#### 3.2.2 カデンツの進行の適用方法

カデンツの進行を用いた評価値付けの方法について述べる。カデンツは2.2節で述べた通り、トニック、ドミナント、サブドミナントの3種類の機能を組み合わせたものであり、トニックはサブドミナントとドミナントに、ドミナントはトニックに、サブドミナントはトニック、サブドミナント、ドミナントに進行する性質を持つ。この性質を用いて評価値付けを行う。たとえば、ピースの基準となる音をC、直前の1音をGとする。基準となる音がCであることから、トニックがC、サブドミナントがF、ドミナントがGとなる。したがって直前の1音Gはドミナントなのでトニックに進行する性質を持ち、着目している音がC、つまりトニックの場合のみ評価値5を与え、C以外の音には評価値0を与える。

#### 3.2.3 協音程の適用方法

協音程を用いた評価値付けの方法について述べる。ここでは2音の音高差と周波数比の関係を基に協和度を求め、協和度の正規化を行うことで評価値を定義する。2.3節で述べた通り、音程の調和には2音の周波数比の比が簡単な整数の比で表せるほど美しく響くとされていることから、音列の*i*番目と*i+1*番目の2音の周波数比を $\alpha_i: \alpha_{i+1}$ としたとき、 $\alpha_i$ と $\alpha_{i+1}$ の和の逆数を100倍した式(1)を音高差 $x_i$ の協和度 $A_{x_i}$ と定める。なお、音高差 $x_i$ とは、音列の*i+1*番目の音高 $h_{i+1}$ と、*i*番目の音高 $h_i$ の差の絶対値として式(2)で定義される。また、協和度の範囲を本研究で用いる評価値の範囲に合わせるため、表2の協和度の中で最大の20を評価値5とするよう式(3)に示した正規化を行い、小数点以下については四捨五入する。なお周波数比1:1は例外とし、評価値5を与える。表2に、音高差と周波数比、協和度、評価値の対応を示す。

表 2 音高差と周波数比、協和度、評価値.

音高差	周波数比	協和度	評価値
0	1:1	50	5
1	15:16	3	1
2	8:9	6	2
3	5:6	9	2
4	4:5	11	3
5	3:4	14	4
6	32:45	1	0
7	2:3	20	5
8	5:8	8	2
9	3:5	13	3
10	9:16	4	1
11	8:15	4	1

$$A_{x_i} = \frac{100}{\alpha_i + \alpha_{i+1}} \quad (1)$$

$$x_i = |h_{i+1} - h_i| \quad (2)$$

$$E_{x_i} = \frac{A_{x_i}}{4.0} \quad (3)$$

### 3.2.4 旋律線の適用方法

旋律線を用いた評価値付けの方法を説明する。旋律線による評価では、1 ピース毎に図 3 の旋律線から 1 つを選択し、その選択された旋律線を基に評価を行う。たとえば、旋律線として図 3(a) の上行旋律線が選ばれたとすると、直前の音より高い音に対して高い評価値を与える。直前の 1 音が E であるとする、E の次の音は E# なので、E# には評価値 5 を与える。E# の次の音は F なので、F には評価値 4 を与える。同様にして、音が高くなるごとに 1 ずつ小さい評価値を与えていき、A で評価値 0 になるので、A より高い音は評価値 0 とする。また、上行旋律線が選択されていることから、E より低い音には評価値 0 を与える。

### 3.3 基準となる音列の決定方法

基準となる音列を決定する方法について述べる。まず、ユーザの選択した曲のイメージから調を決定する。イメージと調の対応付けの例を表 3 に示す。次に、出だしの音を決定する。出だしの音は長調の曲では C・E・G の中から、短調の曲では A・C・E の中からいずれかが選ばれることが多い<sup>8)</sup>ため、決定した調に応じて 3 音の中からランダムに決定する。最後に、調を構成する音をノードとして持つ完全 7 分木を用いて基準となる音列を決定する。なお、調を構成する音とは、例えば「ハ長調」であれば「C、D、E、F、G、A、B」の 7 音となる。総ピース数を深さとするとき、長い曲への対応が不可能になるため、総ピース数を  $k$  としたとき、 $k/2$  を深さとする 7 分木 2 つを用いて基準となる音列を生成する。まず、出だしの音を根とし、調を構成する音をノードとして持つ深さ  $k/2$  の完全 7 分木を生成し、根から葉までの全ての経路の中で評価値の総和が最大の経路を求める。次に、先に決定した経路の葉に当たる部分を根として同様の操作を繰り返し、基準となる音列とする。

表 3 曲のイメージに対応する調。

イメージ	調
素朴	ハ長調
快活	ト長調
光	ニ長調
きらびやか	イ長調
古風	ホ長調
重々しい	ロ長調
異国的	嬰へ長調

各ノードに相当する次音候補の評価方法については 3.2 節で述べた通りである。

### 3.4 リズムの決定方法

リズムとは音の長さの組み合わせの総称であり、本研究では図 6 に示したリズムを組み合わせることで曲中のリズムを生成する。提案手法では 4 分の 4 拍子を想定しているので、1 小節は四分音符 4 つ分の長さとなる。本研究では、図 6 中で最短の十六分音符を音の長さの単位とした。したがって 1 小節に含まれる音の長さは 16 単位となる。リズムは図 6 の中からランダムで決定し、音の長さの総和が 16 単位になった時点で 1 小節のリズムとする。



図 6 使用するリズムとその長さ。

### 3.5 ピース内の音列の方法

ピース内の音列を決定する方法について述べる。ピース内の音列を決定する方法としては、3.3 節と同様に木構造を用いる。まず、1 ピースごとに 3.3 節で生成した基準となる音を根とし、C から 1 オクターブ上の C までの 12 音をノードとして持ち、ピース内の音符数を深さとする完全 12 分木を生成する。次に、根以外の全てのノードに対して評価値を求め、根から葉までの全ての経路の中で評価値の総和が最大の経路を求める。評価方法については 3.2 節で述べた通りである。ただし、曲の終端の音は例外として考える。曲の終端の音には長調の曲では C が、短調の曲では A が選ばれることが多い<sup>9)</sup>ため、調に応じて C または A に固定する。最後に、その経路上の音にリズムを組み合わせ、曲として出力する。

## 4. 提案手法の評価

### 4.1 提案手法により生成した曲の評価

提案手法の評価を行うため、童謡などで一般的な 16 小節の音楽を自動作曲する。提案手法により生成した曲と、遺伝的アルゴリズムにより生成した曲との比較評価を行う。提案手法により生成した曲の例を図 7 に、比較対象の曲<sup>9)</sup>を図 8 に示す。図 7 と図 8 の「どちらがより曲らしく聞こえるか」という項目についてブラインドテストを行い、12 名から回答を得た。



図 7 提案システムで生成した曲.



図 8 遺伝的アルゴリズムで生成した曲.

比較評価の結果を図 9 に示す。なお、図 9 中で A が遺伝的アルゴリズムにより生成した曲、B が提案手法により生成した曲である。提案手法により生成した曲についてアンケート評価を行った。「曲に聞こえるか」、「イメージ通り聞こえるか」、「音同士のつながりがあるように聞こえるか」という 3 項目について、12 名から「そう思う」、「どちらかといえばそう思う」、「どちらかといえばそう思わない」、「そう思わない」の 4 択で回答を得た。なお、曲のイメージには表 3 の 7 種類のイメージを用いて評価を行った。

アンケート評価結果の例としてユーザが作曲したい曲のイメージ「快活」を選択した場合を図 10 に示す。

## 4.2 考察

提案手法で生成した曲に対してアンケート評価を行ったところ、遺伝的アルゴリズムで生成した曲との比較評価では、67%の人から提案手法で生成した曲の方が曲らしく聞こえるという回答を得た。この理由として、遺伝的アルゴリズムにより生成した曲では小節をまたいでいる音符が多く存在し拍子が捉えにくいこと、音と音の間隔が長く、曲の構造がわかりにくいことの 2 点が考えられる。ここから、音のつながりだけでなく、リズム構造も曲を構成する重要な要素であることがわかる。また、提案手法で生成した曲に対して、75%の人が曲に聞こえるという回答をし、67%の人が音同士のつながりがあるように聞こえると回答した。よって、今回提案したピースベースの自動作曲法は有用であることが確認された。しかし、「快活に聞こえるか」という問いに対しては 75%の人が快活に聞こえないと答えた。提案手法ではユーザから得たイメージを調と対応付け、調を構成する音から基準となる音を決めるこ

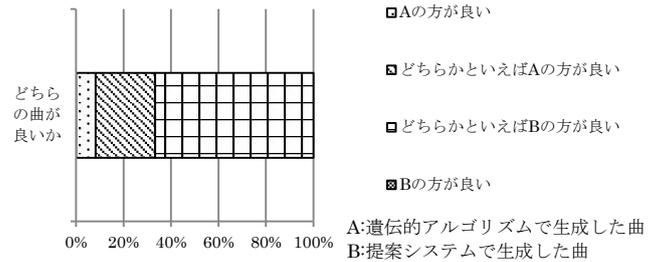


図 9 比較評価.

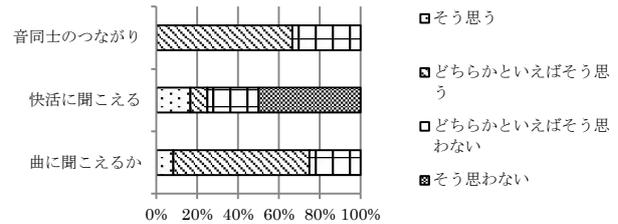


図 10 提案手法に対するアンケート評価.

とでユーザから得たイメージを曲に反映している。曲全体の中で基準となる音はピースの中の 1 音に過ぎず、曲全体のイメージを形作るには不十分なことが原因であると考えられる。また、曲のイメージを決定付ける要素として重要なリズムやテンポには曲のイメージを反映させていないということも原因として挙げられる。

本研究では作曲に対する専門的知識や経験をもたない人を対象とした作曲法の提案を目的としており、提案手法はユーザに複雑な音楽規則に関する知識などを要求とせず、曲のイメージのみを入力するだけで自動作曲を行っているため、研究の目的を達成することができたと言える。

提案手法で生成した曲を聞いた感想として、「全て同じような曲に聞こえる」や「曲の中で重要なフレーズを感じられない」といった意見があった。「全て同じような曲に聞こえる」という意見については、それぞれの曲に変化を持たせている部分が入力、つまりイメージであり、前述した通り曲にイメージが十分には反映されていないことが原因であると考えられる。また、「曲の中で重要なフレーズを感じられない」という意見については、提案手法はピース内の音のつながりに重点を置いたものであり、フレーズについては考慮に入れていないことが原因として挙げられる。

## 5. おわりに

近年、コンピュータの普及に伴い、高機能なコンピュータ上での音楽制作環境を安価に入手できるようになった。音楽制作環境が発展している一方で、作曲そのものに関してはまだ人間の手で行われているのが現状である。作曲は

音楽的知識や技術、作曲経験、才能など個人の能力に依存している部分が多く、音楽的初心者が作曲を行うことは困難である。そこで、誰でも簡単に作曲を行うことができる方法として、コンピュータによる自動作曲が考えられている。自動作曲の分野では、マルコフモデルや対話型遺伝的アルゴリズムが比較的良好に用いられている。しかし、これらの研究では作曲を行う際に直前の1音から次の1音を選ぶ方法をとっており、曲の中で重要な「モチーフ」<sup>9)</sup>という考えを考慮していない。

本研究では、作曲に対する専門的知識や経験をもたない人を対象とし、曲のピースに注目した自動作曲法の提案と評価を目的とした。提案手法ではすべての次音候補をノードとして持つ木構造を構成し、根から順に評価値の高いノードを辿ることで音列を生成する。まず、ユーザが選択した曲のイメージから調を決定し、決定した調を構成する音からそれぞれのピースで基準となる音列を生成する。次に、それぞれのピースを構成するリズムをランダムに決定する。次に、各ピースの基準となる音から、ピース内の音列を生成し、リズムと対応付け、曲として出力する。ユーザへの要求は作曲したい曲のイメージのみであり、作曲技法や音楽用語などの知識なしに曲を作成することから、音楽的初心者に優しい手法であると言える。

提案手法で生成した曲と既存手法で生成した曲の比較評価を行ったところ、提案手法により生成した曲の方がより曲らしく聞こえるという結果が得られた。また、提案手法により生成した曲に対して、「曲に聞こえるか」、「音同士のつながりがあるように聞こえるか」、という質問に対して良好な結果が得られ、今回提案したピースベースの自動作曲法は有用であることが確認された。

提案手法により生成した曲を聞いた感想として、「全てが同じような曲に聞こえる」や「曲の中で重要なフレーズが感じられない」といった意見があった。「全て同じような曲に聞こえる」という意見については、それぞれの曲に変化を持たせている部分が入力、つまりイメージであり、イメージが反映されていないことが原因であると考えられる。また、「曲の中で重要なフレーズを感じられない」という意見については、提案手法はピース内の音のつながりに重点を置いたものであり、フレーズについては考慮に入っていないことが原因として挙げられる。

今後の課題は、曲にイメージをより反映させるため、調だけでなくリズムやテンポに対しても曲のイメージを反映させること、ピースを基本形として、ピースの変形や繰り返しなどを用いることで、フレーズの考えを取り入れ、より曲に近づけることが挙げられる。

## 参考文献

- 1) M. Jiang and C. Zhou: Automated composition system based on GA, Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE), 2010 International Conference on, pp. 380 – 383, 2010.
- 2) 近森 一重: 新訂 音楽通論, 音楽之友社, 1974.
- 3) 黒沢 隆朝: 楽典, 音楽之友社, 1947.
- 4) 小平 あゆみ, 神野 健哉: カオスを用いた自動作曲システム, 信学技報, NLP142, pp. 5 – 8, 2008.
- 5) アルノルト・シェーンベルク: 作曲の基礎技法, 音楽之友社, 1971.
- 6) 山縣 茂太郎: 新訂 音楽通論, 音楽之友社, 1969.
- 7) 松本 民之助: 音楽基礎技法, 音楽教育図書株式会社, 1962.
- 8) 五代 香蘭: これから始める人のための作曲入門, メトロポリタンプレス, 2012.
- 9) Y. Maeda and Y. Kajihara: Rhythm generation method for automatic musical composition using genetic algorithm, Proc. 2010 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp. 1 – 7, 2010.