

# 音楽理論に基づいたコンピュータ作曲

坂本知之<sup>†1</sup> 高橋智一<sup>†1</sup> 鈴木昌人<sup>†1</sup> 青柳誠司<sup>†1</sup>

コンピュータを利用して旋律部分と伴奏部分を含めた作曲を行う方法について考える。

## Computer composition based on music theory

TOMOYUKI SAKAMOTO<sup>†1</sup> TOMOKAZU TAKAHASHI<sup>†1</sup>  
MASATO SUZUKI<sup>†1</sup> SEIJI AOYAGI<sup>†1</sup>

How to perform composition which includes a melodic portion and an accompaniment portion using a computer is considered.

### 1. はじめに

人間が作曲を行う際、音楽理論、長年蓄積されてきたテクニックのようなもの。その作曲者の経験やセンス等を利用しているものと思われる。

本研究では、まずある程度の音楽ルールを定め、それに基づいてランダムに作曲を行う。その後、コンピュータによる学習や遺伝子操作を行い、聞いた人がいい曲と感じるものを目指していく。ここで、人間の曲の評価は聴く人間やその人間の趣向によって変わり、複雑で難しい。これをコンピュータでどのように行うかが大きな課題となる。

本稿では、音楽理論に基づきランダムにコンピュータで作曲した結果を報告する。また、今後曲の評価をコンピュータで行う予定であるが、その評価手法についても述べる。以下評価法の概要を示す。音程、音調、和音についてのある適切な特徴量を考える(特徴量ベクトルとなる)。たくさんの楽曲から特徴量ベクトルの分布を得て、その多数の集合(クラスター)の重心点として、代表的な特徴量ベクトルを得る<sup>1)</sup>。次にジャンル(J-POP, 沖縄民謡, 演歌等)ごとに特長量ベクトルの出現の仕方を学習し、そのジャンルであるか否かの識別器(AdaBoost 識別器)を作成する<sup>2)</sup>。ランダムに作曲した曲を遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm; GA)に基づいてコンピュータ内で淘汰、突然変異を繰り返して進化させていくが<sup>3-6)</sup>、この際の評価関数に上記 AdaBoost 識別器を用いる。

### 2. ランダムな作曲

現在1曲8小節で一音ずつにそれぞれ音長と音高の情報を与えてそれを並べていくことによって作曲を行っている。音長は4分音符の長さを120分割したものを基準としてMIDIデータを扱っているので4分音符の長さを120として8分音符の場合は60全音符の場合は480というように表す。音高は3Cを60として半音につき1ずつ数を増減させ

る。今回は作成した曲を出力するためにMIDIデータ作成・編集用のフリーのオープンソースのDIMIDDataライブラリを利用した<sup>7)</sup>。図1のような場合、表1のような数字で音符を表す。伴奏部分の和音もこれらを組み合わせて表している。

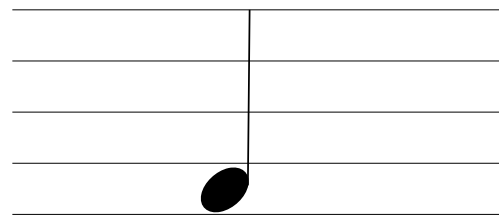


図1 音符の例

Figure 1 The example of a note

表1 音の表し方の例

Table 1 The example of how to express sound

音高	65
音長	120

コード進行について: 11個のコードを用いている、作曲でよく用いられるコード進行のパターンにしたがってその中から選択していく。あらかじめ用意した進行のパターンを組み合わせることでコード進行を作成しているため、代理和音から本来の和音に進む禁則進行は起こらない。現在伴奏部分は全て2分音符を利用して作成している。

旋律部分の作成: その小節のコードを基にメジャースケールの4番目と7番目の音を抜いたメジャーペンタトニックスケールと、マイナースケールの2番目と6番目の音をぬいたマイナーペンタトニックスケールの中から選択して旋律を作成する。

図2に上記ルールを考慮せずに全くランダムにコンピュータで作曲した結果の楽譜を示す。これを人間が聞くと、人によらず違和感を得る、すなわち、良い楽曲とは程遠い。

図3に上記ルールによって選択する範囲を決めてランダムにコンピュータで作曲した結果を示す。これを人に聞かせると、心地よい楽曲であるかどうかは別として、少なくとも違和感のようなものは生じない。従って、この操作によりランダムに生じさせた楽曲を「種」の遺伝子として、これらを多数集めてGAにより進化させれば、心地よい「良い」楽曲がコンピュータにより作曲できるかもしれない。



図2 ルール無しで作曲した曲

Figure 2 Computer music randomly generated without considering rule



図3 ルールを基に作曲した曲

Figure 3 Computer music randomly generated based on rule

### 3. 曲の評価（今後の課題）

#### 3.1 評価関数の学習

音高、音長、コード進行などの要素を利用して、多数の楽曲から特徴量を抽出する。ここで特徴量としては曲中の音長の出現数や音高の出現率等を考えている。これらを集めたものは多次元量となるので、特徴量ベクトルと呼ぶ。多数の特徴量ベクトルの多次元空間における分布において、ベクトルが集まっている集合ごとにクラスタリングを行い、クラスタの重心を特徴量ベクトルの代表点とする。これは、画像情報理論における bag of features (特徴量をバッグに入れてひとかたまりとする) 処理における visual words に倣えば<sup>1,2)</sup>, sound words とも呼べるものである (図4参照)。クラスタリングには k-means 法を用い、 $k=100$  程度とする。すなわち 100 個の sound words ができる。

次にジャンル (J-POP, 沖縄民謡, 演歌等) ごとに特長量ベクトルの出現の仕方を学習し、そのジャンルであるか否かの識別器 (AdaBoost 識別器) を作成する<sup>2)</sup>。具体的に

はある楽曲が、どのような sound words をどれくらい含むかを図5に示すようなヒストグラムで表す。多数の楽曲ごとにこのヒストグラムを作り、もしこれが正解である (例えば「沖縄民謡である」) ならば、ラベル1を、そうでなければラベル0を振る。以下簡単に AdaBoost 識別器の作製法を示す。

#### 3.2 AdaBoost 識別器

AdaBoost とは boosting 学習と呼ばれる教師あり学習の一種であり、弱識別器と呼ばれる一つ一つはあまり高精度ではないが、50%以上の識別が行える識別器を多数組み合わせることにより、最終的に高い精度で識別を行うことが可能なアルゴリズムである。ここで使用した弱識別器は図5に示すように入力データのあるビンに着目し、その値を閾値によって評価し、1か0を出力するものである。全体の流れを図5に示す。

##### a) 初期化

$m$  個全ての入力データ (ヒストグラム) に対して、教師信号としてラベルを割り当てる (0:不正解, 1: 正解)。各データの重み  $D$  を均等に初期化する。

##### b) ステップ $t=1$ 弱識別器 1 を作成

全てのデータを処理した際に、誤り率が最も小さくなるような弱識別器 1 (注目するビンとその閾値で判定を出力する) を作成する。誤り率とは、弱識別器の出力がラベルと一致しない入力データの重み (重要度) の総和である。

その後、各データの重みを更新する。この際、ラベルと出力が同じだったデータの重みはそのままにし、ラベルと出力が異なっていたデータの重みを一定量  $\alpha$  増加させる。

##### c) ステップ $t=2$ 弱識別器 2 を作成

入力データの重みの総和が1になるように正規化を行った後、再び弱識別器 2 の作成を行う。重みが更新されているため、前回とは異なる弱識別器が作成される。その後、同様に重みの更新を行う。

以降、 $t$  があらかじめ決めておいた繰り返し数  $T$  となるまで b),c) の操作を繰り返す。

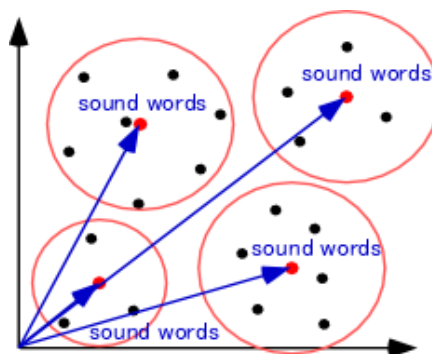
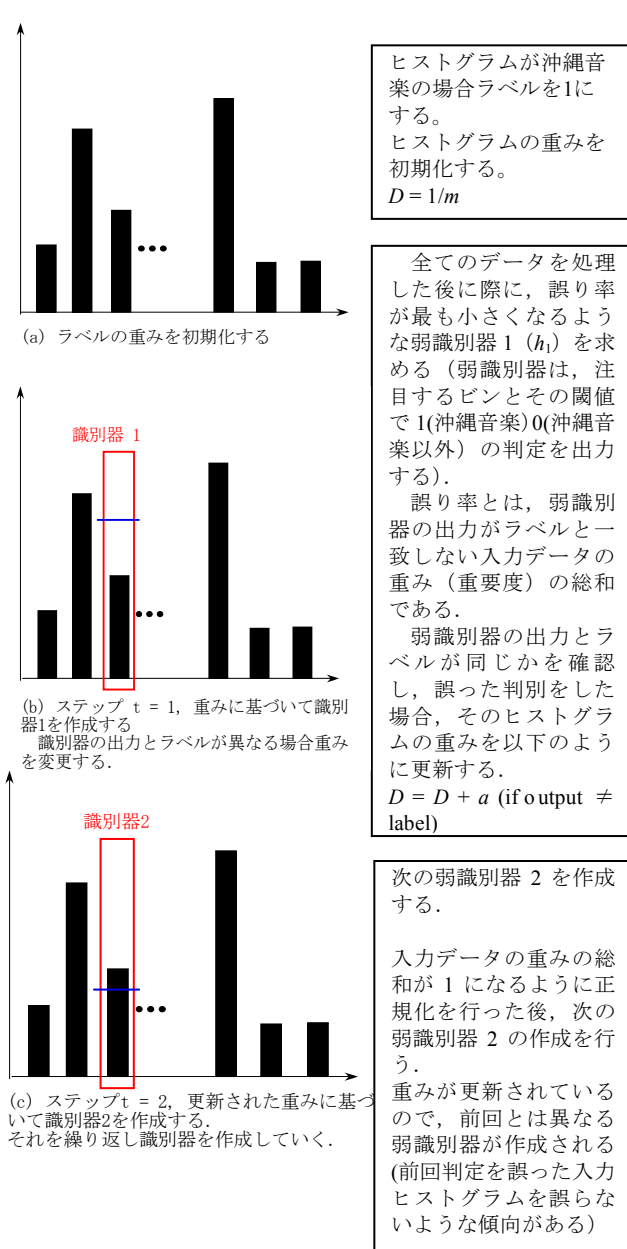


図4 Bag of features の概念図

Figure 4 Schematic of bag of features



以上の弱識別器の作成を繰り返す。  
 本実験では 300 個の弱識別器 ( $h_i$ ) を作成。  
 $a_i$  を各弱識別器の重みとすると

$$\sum_{i=1}^T h_i(x) a_i \geq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^T a_i$$

を満たすとき最終的な判定は 1 (正解) となる

図 5 AdaBoost 識別器の作成  
 Figure 5 Acquisition of AdaBoost classifier

最終的な判別は全ての弱識別器 ( $T$  個) について、各々の出力に前述した誤り率に応じた重みを乗じて、それらを総和した値で行う。1 と判定した弱識別器の重み付総和が、全弱識別器の重みの総和の半分以上であれば (多数決をすることに相当)、最終的な判定は 1 (正解) となる。

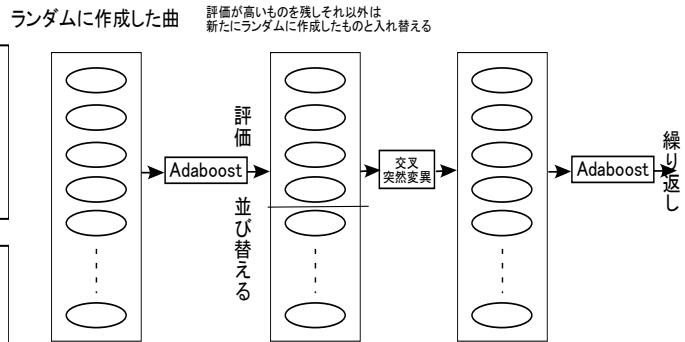


図 6 GA による作曲の流れ  
 Figure 6 Schematic flow of composition using GA

### 評価関数を用いた GA による作曲

音楽理論に基づきランダムに作曲した曲を遺伝的アルゴリズムに基づいてコンピュータ内で淘汰、突然変異を繰り返して進化させていく。図 6 に GA を用いた作曲の流れの概念図を示す。

ランダムに作成した曲を多数用意する。それを AdaBoost 識別器により評価し、評価の高い順に並び替え、評価の高いものはそのまま残し、そうでないものは取り除きそれと同じ数だけ新たにランダムに曲を作成しそこに加える。次にそれらの曲を交叉や突然変異をさせ曲を変化させる。変化させた曲を AdaBoost 識別器で評価し並び替える。これを何度も繰り返し最終的に良い (ここでの良いとは、例えば「沖縄民謡らしい」) 曲を作成する。

### 4. まとめ

現在ルールによって選択する範囲を決めてランダムに作成している曲は違和感の少ないものができるようになってきたので、それらの曲を基にして AdaBoost 識別器の学習を行い、それを基にジャンルに沿っているか否かの評価を行い、良い曲を作曲することを目指したい。

### 参考文献

- 1) Lowe, D.G.: Object recognition from local scale invariant features, *Proc. of IEEE International Conference on Computer Vision*, p. 1150-1157 (1999).
- 2) 石丸達也, 中島徳一, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司: 距離画像センサにより得られた三次元点群データと AdaBoost 識別器を用いたオフィス内の物体認識, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 論文集, 2A2-L02, 浜松, (2012).
- 3) 泊真生, 佐藤雅之, 長名優子: 遺伝的アルゴリズムと N グラムモデルを用いた自動作曲, 情報処理学会第 70 回全国大会, pp. 2-441-2-442.
- 4) 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み合わせによる自動作曲, 音楽情報科学 41-8, pp. 43-48 (2001).
- 5) 今井繁, 長尾智晴: 遺伝的アルゴリズムを用いた自動作曲, 信学技報 TECHNICAL REPORT OF IEICEAI98-9, pp.59-66 (1998).
- 6) 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, 音楽情報科学 27-2, pp. 7-14 (1998).
- 7) MIDI Data ライブラリ  
<http://openmidproject.sourceforge.jp/MIDIDataLibrary.html>