

# ユーザの感性に即した自動作曲における メロディのリズムの生成

大谷 紀子<sup>1,a)</sup> 上村 僚子<sup>1</sup> 栗原 聡<sup>2</sup> 沼尾 正行<sup>2</sup>

概要：個人の感性に即した楽曲を進化計算により生成する手法が提案されている。先行研究では、和音進行や音色などの決定手法を検討しており、メロディは同時に演奏される和音に調和する範囲内でランダムに決定されていた。本研究では、メロディにも個人の感性を反映させることで、より感性に即した楽曲の生成を目指す。帰納論理プログラミングによりメロディのリズムの感性モデルを獲得し、ハーモニーサーチにより感性モデルに適合するリズムを生成して、感性に即したメロディを生成する手法を提案する。20代の男女を被験者とする評価実験により提案手法の効果を示す。

## 1. はじめに

個人の感性を反映した楽曲を生成するシステムの研究が進められている [1]。Legaspi らは、帰納論理プログラミング (Inductive Logic Programming; ILP) を用いて個人の感性モデルを獲得し、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm; GA) を用いて感性モデルに即する楽曲を生成する手法を提案している [2]。本手法により、個人の感性を反映した楽曲生成が一部の感性について可能であることが報告されている。しかし、楽曲の評価基準とされている感性モデルは楽曲の部分構造のみを示すものであり、音楽としての展開や構成といった全体構造が考慮されていない。

個人の感性を反映しつつ、音楽的にも優れた楽曲を生成することを目的として、楽曲の部分構造と全体構造の両者を考慮した自動作曲システムが提案されている [3], [4], [5]。統一感をもちつつも、起承転結の展開がみられる楽曲が優れていると考えられるため、全体構造の評価では楽曲全体の統一感と楽曲中の展開という2つの指標を設定する必要がある。トレードオフの関係とも考えられる両指標を高めるために、モチーフを和音進行の生成に活用している。モチーフとは楽曲を構成する最小単位であり、基本的に2小節からなるとされる。和音進行の生成には、それぞれ GA、共生進化、ハーモニーサーチ (Harmony Search; HS) が用

いられており、統一感や展開性のような相反する性質についても、バランスよく完成度の高い楽曲が生成されることが示されている。しかし、聴者の楽曲に対する印象はメロディに大きく左右される。前述の研究では和音進行の生成手法に主眼を置いており、メロディは和音進行に合わせてランダムに生成されるため、目的の感性に即したメロディが付与されるとはいえない。

本研究では、メロディにも個人の感性を反映させることで、より感性に即した楽曲の生成を目指す。メロディとは、複数の楽音がリズムに従って連続的に演奏されるものである。すなわち、メロディの生成に際しては、リズムと各音の音高の決定が必要となる。本研究では、メロディの構成要素のうち、リズムに着目する。帰納論理プログラミングによりメロディのリズムの感性モデルを獲得し、HSにより感性モデルに適合するリズムを生成して、感性に即したメロディを生成する手法を提案する。

## 2. 楽曲の表現と生成手順

本節では、本研究における楽曲の表現と生成手法について、先行研究との相違点を示しながら説明する。

### 2.1 楽曲の表現

本研究における楽曲は、先行研究と同様に、枠組構造、和音進行、メロディ、およびベースパートから構成される。枠組構造は、楽曲のジャンル、キー、音階、調、拍子、速さ、メロディの音色、メロディの音色のカテゴリ、和音進行の音色、和音進行の音色のカテゴリという10要素からなる。和音進行は1拍分の和音と“—”の並びで表現される。“—”は先行和音の音価を1拍分延長することを意味

<sup>1</sup> 東京都市大学環境情報学部  
Faculty of Environmental and Information Studies, Tokyo City University

<sup>2</sup> 大阪大学産業科学研究所  
The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

a) otani@tcu.ac.jp

表 1 枠組構造の構成要素

Table 1 Features of a Frame Structure.

要素名	値
ジャンル	pops
キー	C, Db, D, Eb, E, F, F#, Gb, G, Ab, A, B
音階	C, Db, D, Eb, E, F, Gb, G, Ab, A, B
調	major, minor
拍子	4/4
速さ	largetto, andante, moderato, allegretto, allegro, vivace, presto
メロディの音色	square lead, bass and lead, nylon guitar, chiff lead, sawtooth lead, flute, pan flute, alto sax, strings, vibraphone, harmonica, bassoon, recorder, soprano sax, tenor sax, clarinet, steel guitar, charang lead, calliope lead, english horn
メロディの音色のカテゴリ	lead, guitar, flute, sax, vibraphone, harmonica, bassoon, recorder, clarinet, strings, english horn
和音進行の音色	clean guitar, steel guitar, nylon guitar, distortion guitar, overdriven guitar, clavi, synth brass, bright piano, grand piano, electric grand piano, electric piano 1, rock organ, synth voice, strings, halo pad
和音進行の音色のカテゴリ	synth brass, guitar, organ, piano, clavi, synth voice, strings, pad

表 2 和音の構成要素

Table 2 Features of a Chord.

要素名	値
ルート音	I, #I, bII, II, bIII, III, IV, #IV, V, #V, bVI, VI, #VI, bVII, VII
種類	M, 7, M7, 6, aug, aug7, m, m7, mM7, m6, m7(b5), dim7, sus4, 7sus4, add9
テンション	-, b9th, #9th, 9th, 11th, #11th, b13th, 13th

する。和音はルート音，種類，テンションの3要素からなる。枠組構造と和音の構成要素としてとり得る値をそれぞれ表1，表2に示す。

## 2.2 楽曲の生成手順

先行研究における楽曲生成手順を以下に示す。

- (1) 感性モデルを学習するための訓練例を作成
- (2) 訓練例を用いて枠組構造，モチーフ，和音進行の感性モデルを獲得
- (3) 枠組構造の感性モデルに適合する枠組構造を生成
- (4) モチーフと和音進行の感性モデルに適合する和音進行を生成
- (5) 和音進行のルート音からベースパートを生成
- (6) 和音進行をもとにメロディを生成
- (7) 枠組構造，和音進行，ベースパート，メロディを組み合わせて楽曲を生成

枠組構造の生成には GA が使用され，和音進行の生成には，先行研究 [3], [4], [5] においてそれぞれ GA，共生進化，HS が用いられている。

表 3 正例および負例とする既存楽曲

Table 3 Positive and Negative Examples

楽曲生成対象の感性の方向	訓練例	楽曲の評価	
		正例	負例
正方向	$t_3$	5	1~4
	$t_2$	4, 5	1~3
	$t_1$	3~5	1, 2
負方向	$t_3$	1	2~5
	$t_2$	1, 2	3~5
	$t_1$	1~3	4, 5

本研究では，メロディにも感性を反映させるために，上記の(2)と(6)を以下の(2)'と(6)'に置き換える。

- (2)' 訓練例を用いて枠組構造，モチーフ，和音進行，メロディのリズムの感性モデルを獲得
- (6)' メロディのリズムの感性モデルに適合するリズムを生成し，枠組構造と和音進行をもとに高音を付与してメロディを生成

以下では，感性モデルの学習に使用する訓練例の作成方法と，感性モデルの獲得方法について説明し，メロディの生成手法については次節で詳細を述べる。

## 2.3 訓練例の作成

楽曲は特定の聴者と感性を対象として生成される。楽曲生成の対象とする感性は，感性の評価軸上で正方向と負方向のいずれに位置するかが定められているものとし，訓練例の作成にあたっては，当該感性と逆方向に位置する相対感性と対にして扱う。聴者に複数の既存楽曲を聴かせ，楽曲生成対象の感性を表す形容語と，相対感性を表す形容語の対で表現された評価項目に関して，各曲の印象を SD 法 [6] により 5 段階尺度で評価させる。評価値は，感性の評価軸上で正方向に相当すると感じるほど大きく，負方向に相当すると感じるほど小さい値となる。例えば，ある聴者が「明るい」と感じる楽曲を生成するためには，「明るい - 暗い」という対立する形容語対で表現される「明るさ」の評価項目に関して，とても明るいと感じたら 5，とても暗いと感じたら 1，どちらでもないと感じたら 3 という評価値が付与される。

既存楽曲に付与された評価値をもとに，3 種類の訓練例  $t_1 \sim t_3$  を作成する。各訓練例で正例および負例とする既存楽曲の評価を表 3 に示す。例えば，「明るい」と感じる楽曲を生成するときの訓練例  $t_3$  では，「明るさ」に関する評価値が 5 の楽曲を正例，1~4 の楽曲を負例とし，「暗い」と感じる楽曲を生成するときの訓練例  $t_3$  では，「明るさ」に関する評価値が 1 の楽曲を正例，2~5 の楽曲を負例とする。

## 2.4 感性モデルの獲得

各訓練例を用いて，ILP システム FOIL [7] により枠組構造，モチーフ，和音進行，メロディのリズムの感性モデルを

(1) null, null, null, null, null, null, null, null,  
 beat, -, beat, -, null, null, beat, -  
 (2) -, -, -, -, -, -, -, null, null, null, null, beat, -, beat, -  
 (3) -, -, -, -, -, -, -, null, null, null, null, beat, -, beat, -  
 (4) -, -, beat, -, -, -, -, -, -, -, null, null, null, null

図 1 背景知識の例

Fig. 1 An Example of Background Knowledge

```
frame(bright, A) :-
    tempo(A, andante), chord_category(A, piano).
motif(bright, A) :-
    motif(A, bar((iv, major), -, -, -), bar(_, -, -, -)).
chords(bright, A) :-
    has_chord(A, B, C), root(C, vi), type(C, minor),
    next_to(A, B, D, _),
    has_chord(A, D, E), root(E, vi).
rhythm(bright, A) :-
    has_rhythm(A, B, C), beat2(C, null),
    next_to(A, B, D, _),
    has_rhythm(A, D, E), beat1(E, beat), beat4(E, -).
```

図 2 感性モデルの例

Fig. 2 Examples of Personal Sensibility Model

獲得する。感性モデルは、特定の感性に影響する楽曲の部分構造である。既存楽曲の枠組構造、和音進行、メロディのリズムが背景知識として与えられる。メロディのリズムは、楽曲全体ではなく、サビの部分のみ抽出して記述する。1/4 拍分を 1 単位として、休符を表す “null”，音を発することを表す “beat”，先行音の音価を 1/4 拍分延長することを表す “-” のいずれかで表現される。背景知識におけるリズムの記述例を図 1 に示す。小節 (1)~(4) のリズムの記述がそれぞれ譜面の下に記された (1)~(4) となる。

ある聴者が「明るい」と感じる楽曲に対する感性モデルの例を図 2 に示す。述語 frame によるルールは、速度がアンダンテで和音進行の音色のカテゴリがピアノであるような枠組構造を表す。述語 motif によるルールは、1 小節目が IV 度 major の和音 2 拍分と任意の和音 2 拍分、2 小節目が任意の和音 4 拍分となるモチーフを表す。述語 chords によるルールは、1 拍目の和音が VI 度 minor、2 拍目の和音が VI 度となる連続した 2 和音を表す。述語 rhythm によるルールは、1 拍目を 4 分割したときの 2 番目が休符で、2 拍目の最初の 1/4 拍で音を発し、最後の 1/4 拍は先行音を引き続き演奏することを表す。

### 3. メロディ生成手法

先行研究では、メロディのリズムの感性モデルを使用せず、以下の手順でメロディを生成していた。

- (1) 基本となる 2 小節目のリズムをランダムに生成する。
- (2) 楽曲の前半では基本のリズムをそのまま繰り返し、後半では基本のリズムをランダムに変化させながら連結

```
HM の初期化;
worst := HM 内の最悪ハーモニー;
worstfit := f(worst);
for i := 1 to G {
    r1 := 0.0~1.0 の乱数;
    if(r1 < Rc) {
        new := HM からランダムに選択したハーモニー;
        r2 := 0.0~1.0 の乱数;
        if(r2 < Ra) {
            new := 制限内で調整された new;
        }
    } else {
        new := 新たに生成したハーモニー;
    }
    newfit := f(new);
    if(newfit > worstfit) {
        worst を new で置き換える;
        worst := HM 内の最悪ハーモニー;
        worstfit := f(worst);
    }
}
```

図 3 HS の疑似コード

Fig. 3 Pseudo Code of a Harmony Search Algorithm

して、楽曲全体のリズムを決定する。

- (3) 発音時に演奏される和音に適合する範囲内で音高を付与してメロディとする。

本研究では、HS に基づいてメロディのリズムを生成する。解候補の評価にメロディのリズムの感性モデルを利用する。以下では、HS の概要と本研究におけるメロディ生成手法について説明する。

#### 3.1 HS の概要

HS は音楽家の即興過程を模倣した最適探索アルゴリズムである [8]。音楽家が即興演奏する際には、次のいずれかの方法を採用する。

- (1) 既知のフレーズをそのまま奏でる
- (2) 既知のフレーズの一部を変更して奏でる
- (3) 新しいフレーズを作成して奏でる

HS では、解候補をハーモニー、解候補集合をハーモニーメモリ (Harmony Memory; HM) と呼ぶ。上記の演奏方法に対応する以下の 3 つの手法により新しいハーモニーを生成する。

- (1) HM から 1 つのハーモニーを選択する
- (2) HM 内の 1 つのハーモニーを調整する
- (3) 新しいハーモニーをランダムに生成する

最適化アルゴリズムには多様性と収束性が不可欠であるが、HS では、ハーモニーの調整とランダム生成により多様性を維持し、HM により収束性を保証する。HS の疑似コードを図 3 に示す。ここで  $G$  は解候補生成の繰返し回数、 $R_c$  は HM 内のハーモニーを選択する確率、 $R_a$  はハーモニーを調整する確率、 $f(x)$  は目的関数である。

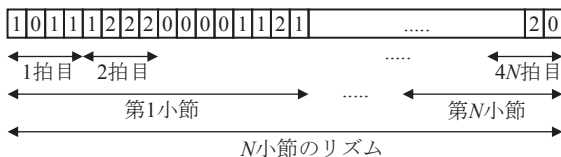


図 4 ハーモニーの例

Fig. 4 Example of a Harmony

### 3.2 HS に基づくリズム生成

$N$  小節からなる  $M$  拍子の楽曲を生成するとき、1 つのハーモニーは  $4MN$  個の要素から構成され、 $N$  小節分のメロディのリズムを表す。各要素は  $1/4$  拍分のリズムを表現しており、休符を表す“0”、音を発することを表す“1”、先行音の音価を  $1/4$  拍分延長することを表す“2”のいずれかの値を取る。最初の要素は先行音がないため“2”の値は取らない。4 拍子の楽曲を生成するときのハーモニーの例を図 4 に示す。

ハーモニー  $R$  を評価する目的関数  $f(R)$  は、リズムに関する感性モデルへの適合度合として式 (1) で定義される。

$$f(R) = \sum_{i=1}^3 \left\{ \sum_{j=1}^{r(M_i)} c(M_i, j) \cdot n(R, M_i, j) - \sum_{j=1}^{r(M'_i)} c(M'_i, j) \cdot n(R, M'_i, j) \right\} \cdot (2i - 1) \quad (1)$$

$M_i$  は楽曲生成対象の感性の訓練例  $t_i$  を用いて獲得したリズムの感性モデルであり、 $M'_i$  は相対感性の訓練例  $t_i$  を用いて獲得したリズムの感性モデルである。また、 $c(M_i, j)$  は感性モデル  $M_i$  の  $j$  番目のルールが感性モデル生成時に被覆していた正例の数、 $n(R, M_i, j)$  はリズム  $R$  において感性モデル  $M_i$  の  $j$  番目のルールを満たす箇所個数、 $r(M_i)$  は感性モデル  $M_i$  に含まれるルールの個数を表す。

HM 内のハーモニーを調整して新たなハーモニーを作るときには、調整対象の要素を別の任意の要素の値で置き換える。解候補生成を指定された回数繰り返した後、HM 内の最良ハーモニーをメロディのリズムとする。

### 3.3 音高の決定

得られたリズムに対して各音の音高を決定し、メロディを完成させる。メロディの発音時に演奏される和音の構成音、枠組構造から得たキーと音階の構成音など、和音と調和する音の中からランダムに 1 つを選択して、当該音の音高とする。

## 4. 評価実験

提案手法の効果を確認するため、20 代前半の学生 12 名を被験者として、先行研究におけるメロディ生成手法と提案手法を比較する評価実験を実施した。以下では、リズムの感性モデルを使用せず、ランダムにメロディを生成する先行研究の手法を“noModel 法”と呼ぶ。

表 4 HS で使用したパラメータ

Table 4 Parameters in HS

パラメータ	値
繰返し回数 $G$	100000
HM 内のハーモニーの選択確率 $R_c$	0.85
HM 内のハーモニーの調整確率 $R_a$	0.30
HM 内のハーモニー数	500

楽曲生成対象の感性は、5 対 10 語の形容語で表される 10 種類の感性とする。谷口 [9] が作成した音楽作品の感情価測定尺度 (Affective Value Scale of Music; AVSM) のうち、語の意味が理解しやすく、気分誘導にも比較的有用と考えられる「明るい」「暗い」「嬉しい」「悲しい」「優しい」「穏やかな」の 6 語に、「優しい」と「穏やかな」の相対形容語として「優しくない」「穏やかでない」の 2 語を加え、さらに楽曲の嗜好度を評価する「好き」「嫌い」を加える。

被験者が既存楽曲 53 曲に付与した評価値をもとに、10 個の形容語に関する感性モデルを獲得した。各感性モデルを用いて各形容語に対応する枠組構造、8 小節の和音進行、およびベースパートを生成し、それぞれに対して noModel 法と提案手法でメロディを付加する。提案手法におけるリズム生成では、表 4 に示すパラメータの値を用いた。

### 4.1 生成された楽曲の例

楽曲生成対象の感性を「暗い」としたときに獲得されたある被験者の感性モデルと、生成された楽曲を図 5 に示す。譜面には、提案手法と noModel 法により生成されたメロディが記載されている。提案手法のメロディでは、感性モデルとして得られた 2 つのルールを満たす部分をそれぞれ“1”、“2”により示す。ルール 1 とルール 2 はそれぞれ訓練例  $t_1, t_2$  を用いて獲得されたルールである。提案手法のメロディにはルールを満たす部分が多く含まれており、HS により感性モデルを反映したメロディが生成されているといえる。一方、noModel 法のメロディには、感性モデルに合致する部分はまったく含まれていない。

### 4.2 感性の反映度に関する評価

生成された楽曲が被験者の感性を反映している度合を比較するため、訓練例作成時の既存楽曲の評価と同様に、生成された楽曲の印象を 5 段階尺度で調査した。評価項目は楽曲生成対象の感性に対応する「嗜好度」、「明るさ」、「嬉しさ」、「優しさ」、「穏やかさ」の 5 つである。

提案手法および noModel 法により生成された楽曲の評価値平均をそれぞれ図 6、図 7 に示す。評価値平均とは、楽曲生成対象の感性に対応する評価項目の評価値の全被験者平均を意味する。例えば、「明るさ」の「正方向」の評価値平均は、各被験者が「明るい」と感じるように生成された楽曲に対してつけた「明るさ」の評価値の全被験者平均である。正方向の形容語で高く、負方向の形容語で低くな

【感性モデル】

ルール 1: `rhythm(dark,A) :- has_rhythm(A,_,B),beat4(B,beat).`

ルール 2: `rhythm(dark,A) :- has_rhythm(A,B,C),beat1(C,beat),next_to(A,B,D,_),  
has_rhythm(A,D,E),beat2(E,beat),beat3(E,beat).`

【生成された楽曲】

1 : ルール 1 に合致する部分  
2 : ルール 2 に合致する部分

図 5 リズムの感性モデルと生成された楽曲

Fig. 5 A Personal Sensibility Model and a Composed *dark* Musical Piece

る方が感性を反映しているといえる。

提案手法による楽曲では、全体的に評価値が低い傾向がみられ、正方向の形容語のうち「嬉しい」と「優しい」では評価値平均は標準の3を超えなかった。しかし、すべての評価項目に関して、正方向と負方向に正しく差異があらわれた。また、正方向と負方向の楽曲の評価値平均についてt検定を行なったところ、有意水準1%で「明るさ」と「穏やかさ」に関して有意差があるとの結果が得られた。

一方、noModel法による楽曲では、正方向の形容語のうち評価値平均が標準の3以上であったのは「明るい」と「穏やかな」のみで、「嗜好度」と「優しさ」については正方向と負方向の評価が逆転している。また、正方向と負方向の楽曲の評価値平均のt検定において有意水準1%で有意差があると判定されたのは「穏やかさ」のみであった。

「嬉しさ」と「穏やかさ」の評価値は、提案手法よりもnoModel法の方が正方向の感性で高く、負方向の感性で低くなっている。しかし、いずれの感性においても相対感性と逆の印象を与える楽曲が正しく生成されていることから、提案手法により生成されたメロディが、楽曲への感性の反映度合を高めているといえる。

#### 4.3 楽曲の完成度に関する評価

統一感、展開性、面白さ、成立性の4項目について、生成された楽曲の完成度を調査した。各被験者は、自分の感性に合わせて生成された楽曲に対し、「統一感があるか」「展開があるか」「楽曲として面白いのか」「楽曲として成立しているか」に関してそれぞれ5段階尺度で評価する。

提案手法とnoModel法の評価値平均を図8に示す。いずれの評価項目に関しても、評価値平均に関するt検定で有意差はあらわれなかった。先行研究の報告[5]によると、メロディの有無により感性の反映度に関する評価は大きく変動するが、楽曲の完成度に関する評価はあまり大きく変動することはない。すなわち、楽曲の完成度の評価は枠組構造や和音進行に起因するところが大きく、メロディ以外の構成要素が同じである楽曲の評価に有意差がなかったのは、先行研究と同様の結果といえる。

しかし、有意差がない中でも、面白さについては評価値平均に0.1以上の差がみられた。noModel法のメロディ生成では、いずれの感性においても同様の方法でリズムを決めるため、感性ごとに特徴的なリズムが現れることはない。一方、提案手法では感性モデルを用いてリズムを生成する



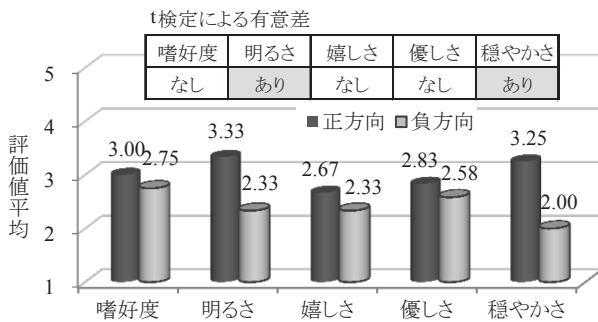


図 6 提案手法による楽曲の感性の反映度に関する評価

Fig. 6 Evaluation of the Impression of Composed Musical Pieces by the Proposed Method

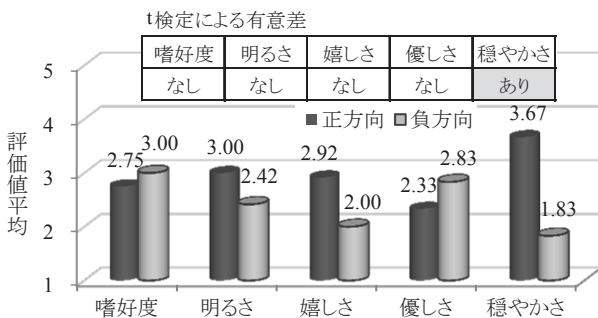


図 7 noModel 法による楽曲の感性の反映度に関する評価

Fig. 7 Evaluation of the Impression of Composed Musical Pieces by noModel Method

ため、感性に即した特徴的なリズムを有するメロディが含まれることで、楽曲の面白みの評価につながったと考えられる。また、図 5 に示した提案手法のメロディからもわかるように、楽曲全体で感性モデルを反映したリズムが使用されているため、統一感の評価も向上したといえる。

一方、展開性と成立性では提案手法の評価値平均が noModel 法を下回った。noModel 法では、前半では基本のリズムをそのまま繰り返し、後半では基本のリズムの変化形を使用するため、起承転結のような楽曲の展開が実現される。しかし、提案手法では感性モデルのルールを満たす箇所の個数のみを考慮し、楽曲内での位置や、他の箇所との関係は考慮していない。リズム生成時の目的関数に起承転結の評価を加える必要がある。

成立性低下の原因としては、和音進行とメロディの不調和が挙げられる。メロディの音高は発音時に演奏される和音をもとに決めるため、メロディで同じ音が継続して演奏されている途中で和音が変わると、和音とメロディが調和しなくなる可能性がある。例えば、図 5 に示した提案手法による楽曲では、2 小節目から 3 小節目に移るとき、メロディは同音を継続して演奏するが、和音は変化する。変化後の和音がメロディの音と調和しない場合、聴者は楽曲として成立していないという印象を持つ。メロディ生成において、音価を考慮した音高の決定方法の検討が求められる。

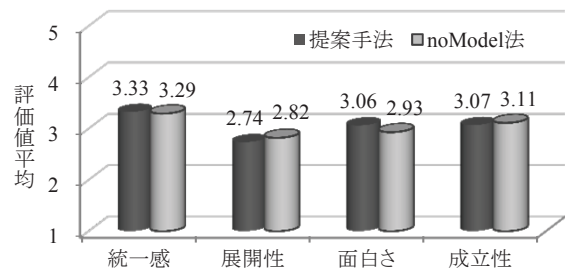


図 8 楽曲の完成度に関する評価

Fig. 8 Evaluation of the Quality of Composed Musical Pieces

## 5. おわりに

本研究では、個人の感性に即した完成度の高い自動楽曲生成を目的として、HS により感性モデルに適合するリズムを生成し、感性に即したメロディを生成する手法を提案した。評価実験の結果、楽曲の完成度についていくつかの問題点が示されたが、先行研究よりも感性を反映した楽曲が生成されることが示された。今後は、展開性と成立性の向上を目指したメロディ生成手法を検討するとともに、和音進行の生成手法を再検討することで、より完成度の高い楽曲の生成を目指す。

謝辞 本論文は、物質・デバイス領域共同研究拠点における共同研究課題 2012297、および科研費基盤研究 (B)23300059 の研究成果の一部をまとめたものである。

## 参考文献

- [1] Numao, M., Takagi, S. and Nakamura, K.: Constructive Adaptive User Interfaces - Composing Music Based on Human Feelings, *Proc. 18th National Conference on Artificial Intelligence*, AAAI Press, pp. 193-198 (2002).
- [2] Legaspi, R., Hashimoto, Y., Moriyama, K., Kurihara, S. and Numao, M.: Music Compositional Intelligence with an Affective Flavor, *Proc. of ACM International Conference on Intelligent User Interfaces*, pp. 216-224 (2007).
- [3] 西川敬之, 大谷紀子, 福井健一, 森山甲一, 栗原 聡, 沼尾正行: 楽曲の部分構造と全体構造を考慮した自動作曲システム, 第 23 回人工知能学会全国大会予稿集, 1F1-1 (2009).
- [4] 大谷紀子, 西川敬之, 栗原 聡, 沼尾正行: 楽曲生成への共生進化の適用に関する検討, 第 23 回人工知能学会全国大会予稿集, 3H3-2 (2009).
- [5] Otani, N., Tadokoro, K., Kurihara, S. and Numao, M.: Generation of Chord Progression Using Harmony Search Algorithm for a Constructive Adaptive User Interface, *Proc. of 12th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence, LNAI 7458*, pp. 400-410 (2012).
- [6] Osgood, C., Suci, G. and Tannenbaum, P.: *The Measurement of Meaning*, University of Illinois Press (1957).
- [7] Quinlan, J.: Learning Logical Definitions from Relations, *Machine Learning*, Vol. 5, pp. 239-266 (1990).
- [8] Geem, Z., Kim, J. and Loganathan, G.: A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search, *Simulation*, Vol. 76, pp. 60-68 (2001).
- [9] 谷口高士: 音楽作品の感情価測定尺度の作成および多面的感情状態尺度との関連の検討, *心理学研究*, Vol. 65, pp. 463-470 (1995).