

## 共生進化に基づく起承転結を考慮した和音進行生成

## Generation of Chord Progression with Four Parts Based on Symbiotic Evolution

大谷 紀子\*1

Noriko Otani

白川 翔子\*2

Shoko Shirakawa

沼尾 正行\*3

Masayuki Numao

\*1 東京都市大学メディア情報学部

Faculty of Informatics, Tokyo City University

\*2 東京都市大学環境情報学部

Faculty of Environmental and Information Studies, Tokyo City University

\*3 大阪大学産業科学研究所

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

Automatic composition system that composes music adapting to personal sensibility has been proposed. The system induces a personal sensibility model by using a listener's emotional impressions of music and composes music on the basis of that model using evolutionary computation algorithms. Though the experimental results show that it is possible to compose a musical piece that partially adapts to the listener's sensibility, the quality of the composed piece has not been considered thus far. In order to generate high-quality music, it is necessary to consider the organization of music. In this paper, we propose a revised method for generating chord progressions using a symbiotic evolution that is a kind of GA characterized by parallel evolutions of both partial solutions and whole solutions. We compared the evaluations of music generated using the proposed method and the other method that was proposed in the previous work.

## 1. はじめに

個人の感性を反映した楽曲の自動生成に関する研究が進められている。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、進化計算アルゴリズムにより感性モデルに即した楽曲を生成する手法が提案されており、個人の感性を反映した楽曲生成がある程度可能であることが報告されている [Legaspi 07]。より質の高い楽曲を生成するためには、音楽としての統一感や展開性といった楽曲全体の構成を考慮する必要がある。

モチーフの導入により楽曲全体の構成を考慮する手法が提案されている [西川 09]。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。和音進行とモチーフの感性モデルに基づいて和音進行を生成することで、個々の和音の並びだけでなく、全体の構成にも感性を反映させることができる。楽曲全体の構成を起承転結の形式にすることで、展開のある楽曲の生成を目指している。

先行研究では、モチーフを導入した和音進行生成において、感性モデルに即していないモチーフの使用を抑制し、異なるモチーフを組み合わせた和音進行の生成も可能にするために、共生進化 (Symbiotic Evolution) [Moriarty 96] に基づく手法を提案した [大谷 09]。和音進行をモチーフの組合せとして表現し、和音進行に含まれるべきモチーフと、適切なモチーフの組合せを並行して探索する。このとき、起承転結の構成をもつ解は高く評価されるが、起承転結の構成をもたせるための特別な処理はなされていない。

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、共生進化に基づく和音生成手法を提案する。部分分解の進化という共生進化の最大の特徴を活かして、起・承・転に相当するモチーフを異なる部分分解集団で進化させることで、起承転結の構成をもつ楽曲の生成を目指す。

連絡先: 大谷紀子, 東京都市大学メディア情報学部

〒 224-8551 横浜市都筑区牛久保西 3-3-1, 045-910-2938

E-mail: otani@tcu.ac.jp

## 2. 楽曲の表現と生成手順

本研究では、特定の聴者および感性を対象として楽曲を生成する。楽曲の表現方法と生成手順について以下で概説する。

## 2.1 楽曲の表現

楽曲は、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、メロディの音色と音色のカテゴリ、和音進行の音色と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する。和音は根音 Root, 種類 Type, テンション Tension の3要素の組 (Root, Type, Tension) として表現される。

## 2.2 楽曲の生成手順

楽曲生成手順を図1に示す。まず、聴者の既存楽曲に対する評価をもとに訓練例を作成し、既存楽曲に関する記述を背景知識として、ILPにより枠組構造、モチーフ、和音進行の感性モデルを獲得する。次に、進化計算アルゴリズムにより、枠組構造の感性モデルに基づいて枠組構造を生成するとともに、モチーフと和音進行の感性モデルに基づいて和音進行を生成する。最後に、和音進行に合わせてメロディとベースパートを生成し、枠組構造、和音進行、メロディ、ベースパートを組み合わせる楽曲とする。

## 3. 感性モデル

感性モデルは、特定の聴者のある感性に影響する楽曲のルールであり、聴者および感性ごとに獲得される。本節では、感性モデル獲得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概説する。

## 3.1 訓練例の作成

楽曲生成対象とする感性は、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

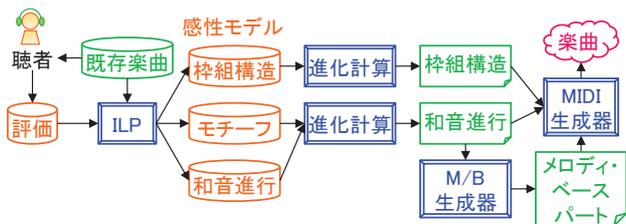


図 1: 楽曲生成手順

表 1: 正例および負例とする既存楽曲

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

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を対にして扱う。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詞対で表現される「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、2種類の訓練例  $t_1$ ,  $t_2$  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値を表1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  $t_2$  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  $t_2$  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。

### 3.2 感性モデルの獲得方法

各訓練例を用いて、ILPにより枠組構造、モチーフ、和音進行の感性モデルを獲得する。既存楽曲の枠組構造と和音進行が背景知識として与えられる。

ある聴者の「明るい」という形容語に関して得られた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。

## 4. 共生進化に基づく和音進行の生成

本研究では、和音進行生成に共生進化を適用する。共生進化は、Moriarty らが提案したGAの1手法であり [Moriarty 96]、部分解を個体とする集団と、部分解の組合せを個体とする全体解集団をを並行して進化させる点が特徴である。部分解集団で

```

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).
    
```

図 2: 感性モデルの例

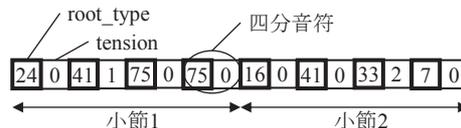


図 3: motif の構造

は解の部分的評価を行ない、最適解に含まれ得る多様な部分解を生成する。部分解のより良い組合せを全体解集団で学習することで、1集団を進化させるGAよりも多様な解候補からの探索が可能である。

### 4.1 解の表現

1つのモチーフを共生進化における部分解とし、motif と呼ぶ。また、モチーフの組合せで表現される和音進行を全体解とし、chords と呼ぶ。和音進行に起承転結の構成をもたせるために、「起」「承」「転」に相当する3つの motif 集団を保持し、chords の「起」「承」「転」の部分の motif をそれぞれ別の集団で進化させる。

motif の構造を図3に示す。motif の染色体では root\_type と tension が交互に並んでいる。root\_type は根音と種類の組合せ (Root,Type) に振られた ID を表す。既存楽曲に含まれる 75 種類の (Root,Type) と - にそれぞれ 0~75 の整数を ID として割り当てている。tension はテンションに振られた 0~7 の ID を表す。motif を新たに生成する場合は、各 root\_type を 0~75 のランダムな整数、tension を 0 に設定する。

chords の構造を図4に示す。2N小節の楽曲を生成するとき、chords は長さ N の motif へのポインタ列として表され、N 個のポインタのうち最初の 3N/4 個は、それぞれ「起」、「承」、「転」に相当する motif 集団の個体を参照する。最後の N/4 個のポインタの参照先は、motif 集団の個体ではなく、N/4 番目のポインタが参照している motif の末尾を全終止、または変終止に変更した motif とする。「結」に相当するモチーフを「起」に相当するモチーフに類似させることにより、「転」で大きく曲が展開した後で「起」に戻るような自然な楽曲の構成が実現される。また、末尾を終止形に変更することで、和音の流れを安定したまとまりにすることができる。

新たな個体を生成する場合は、motif 集団からランダムに選択した motif へのポインタを遺伝子の値とする。motif 集団には、複数の chords から参照される motif や、いずれの chords から参照されない motif も存在し得る。

### 4.2 解の評価

motif  $M$  と chords  $C$  は、それぞれ式 (1)、式 (2) で算出された適応度  $mfit(M)$ ,  $cfrit(C)$  により評価される。

$$mfit(M) = \max_{M \in C} (cfrit(C)) \quad (1)$$

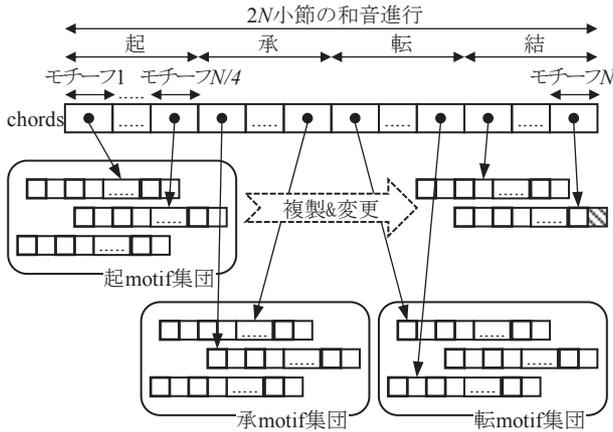


図 4: chords の構造

$$cfit(C) = \sum_{M \in C} \{mm(M) + built(M)\} + cm(C) + built(C) + form(C) \quad (2)$$

ここで、 $M \in C$  は chords  $C$  のいずれかの遺伝子が motif  $M$  に対するポインタであることを意味する。また、 $built(M)$ ,  $built(C)$  は音楽理論の禁則に関するペナルティ関数であり、不自然な和音進行の発生を抑制する。 $form(C)$  は楽曲全体の展開度合を示す関数であり、起承転結の展開をもつ楽曲の生成を促進する。 $mm(M)$ ,  $cm(C)$  はそれぞれ motif  $M$ , chords  $C$  の感性モデルへの適合度であり、式 (3), 式 (4) で算出する。

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

$$cm(C) = \sum_{i=1}^2 \left\{ \sum_{j=1}^{r(C_i)} c(C_i, j)n(C, C_i, j) - \sum_{j=1}^{r(C'_i)} c(C'_i, j)n(C, C'_i, j) \right\} (2i - 1) \quad (4)$$

ここで、 $M_i, C_i$  は、それぞれ楽曲生成対象の感性の訓練例  $t_i$  を用いて獲得したモチーフと和音進行の感性モデルであり、 $M'_i, C'_i$  は、相対感性の訓練例  $t_i$  を用いて獲得したモチーフと和音進行の感性モデルである。また、 $c(X_i, j)$  は感性モデル  $X_i$  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、 $n(X, X_i, j)$  は  $X$  において感性モデル  $X_i$  の  $j$  番目のルールを満たす箇所の個数、 $r(X_i)$  は感性モデル  $X_i$  に含まれるルールの個数を表す。

### 4.3 新しい解候補の生成と処理の流れ

motif 集団の世代交代では、 $N_m$  個の個体のうち上位半数をそのまま次世代に残す。下位半数の個体は、上位四半数から選んだ 2 つの個体を親として 2 点交叉を行ない、生成された 2 つの子のいずれかと、2 つの親のいずれかで置き換える。すべての個体の遺伝子に対して確率  $p$  で突然変異を発生させ、次世代の個体とする。突然変異では次のいずれかの変更を施す。

表 2: パラメータ

パラメータ	値
突然変異確率 $p$	0.01
motif 集団の個体数 $N_m$	480
chords 集団の個体数 $N_c$	500
世代交代回数 $R$	10000

- (Root, Type) の組を別の組または - に変更
- Root, Type, Tension のいずれか 1 つを変更

chords 集団の世代交代は、MGG (Minimal Generation Gap) モデル [佐藤 97] により行なう。集団からランダムに非復元抽出された 2 個体を親として 4 つの子を生成し、親と子の計 6 個体のうち、最良個体およびルーレット選択で選ばれた 1 個体の計 2 個体を次世代に残す。子の生成は 2 点交叉と突然変異による。突然変異では、すべての個体の遺伝子に対して確率  $p$  で参照する motif を変更する。処理の流れを以下に示す。

1. 3 つの motif 集団に対してそれぞれ  $N_m$  個ずつ motif をランダムに生成し、初期世代の motif 集団とする。
2. 該当する motif 集団から motif をランダムに選択して組み合わせることで  $N_c$  個の chords を生成し、初期世代の chords 集団とする。
3. chords 集団の個体を評価する。
4. 3 つの motif 集団の個体を評価する。
5. 3 つの motif 集団について進化処理を施し、次世代の motif 集団とする。
6. chords 集団について進化処理を施し、次世代の chords 集団とする。
7. 3~6 を  $R$  回繰り返す、最も適応度の高い chords を出力する。

## 5. 評価実験

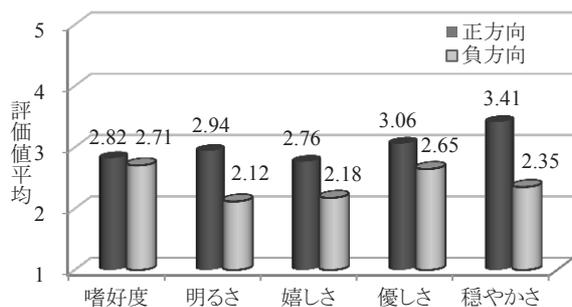
20 代前半の学生 17 名を被験者として評価実験を実施した。楽曲生成対象の感性は、5 対 10 語の形容語「明るい」「暗い」「嬉しい」「悲しい」「優しい」「優しくない」「穏やかな」「穏やかでない」「好き」「嫌い」で表される 10 種類の感性とする。

被験者が既存楽曲 53 曲に付与した評価値をもとに、10 種類の感性に関する感性モデルを獲得し、先行研究で提案された共生進化に基づく手法、および本研究での提案手法により 8 小節の楽曲を生成した。和音進行に関する評価をより正確に得るため、メロディは付加しなかった。和音進行生成で用いたパラメータの値を表 2 に示す。

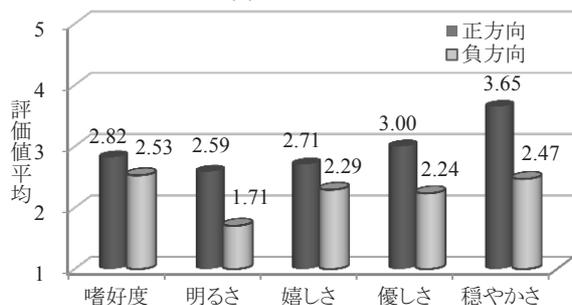
### 5.1 感性の反映度に関する評価

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、既存楽曲の評価と同様に、生成された楽曲の評価を 5 つの評価項目について 5 段階尺度で調査した。

先行研究および本研究の手法により生成された楽曲の評価結果をそれぞれ図 5(a), (b) に示す。ここでの評価値平均とは、ある形容語の感性モデルに基づいて生成された曲の対象形容語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



(a) 先行研究



(b) 本研究

図 5: 感性の反映度に関する評価

例えば、「明るさ」の「正方向」の評価値平均は、ある被験者が「明るい」と感じるように生成された楽曲に対して同じ被験者により付与された「明るさ」の評価値の平均である。正方向の形容語でより高く、負方向の形容語でより低くなる方が感性を反映しているといえる。

両手法において全体的に評価値が低い傾向がみられ、正方向の形容語で評価値平均が標準の3を超えたのは「優しい」と「穏やかな」のみであったが、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。各評価項目において、正方向と負方向の評価に関する有意差の有無をt検定により調査したところ、先行研究の手法の結果では、穏やかさに関してのみ有意水準5%で有意差があるとの結果が得られた。一方、本研究の手法の結果では、穏やかさに加えて明るさと優しさに関して有意水準5%で有意差がみられた。したがって、本研究における提案手法では、先行研究の手法よりも正方向と負方向の感性を正しく反映した楽曲が生成できるといえる。

## 5.2 楽曲の完成度に関する評価

統一感、展開性、面白さ、成立性という4つの評価項目について、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段階尺度で評価値を付与する。

先行研究および本研究の手法により生成された楽曲の評価値平均を図6に示す。両手法とも標準の3を超えたのは統一感のみで、残りの3つに関してはより改善の必要性があるといえる。両手法の評価値平均を比較すると、統一感、面白さ、成立性に関しては同程度の評価値が得られているが、展開性については本研究の結果に対する評価値の方が高く、有意水準5%のt検定においても有意差が確認されている。本結果は、提案手法が楽曲に展開性をもたせるために有効であることを示唆するものであると考えられる。

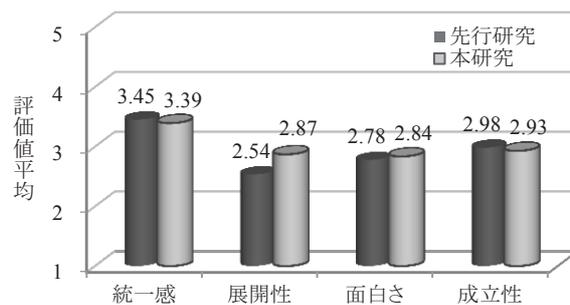


図 6: 楽曲の完成度に関する評価

## 6. 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、共生進化により起承転結の構成をもつ和音進行を生成する手法を提案した。評価実験の結果、正方向と負方向の感性を正しく反映しつつ、展開性を感じられる楽曲が生成されることが示された。楽曲に起承転結の構成をもたせることで、面白さも増すと予想していたが、有意差があらわれるほどの評価の向上はみられなかったため、面白さの向上には別のアプローチが必要であるといえる。

感性の反映度および楽曲の完成度の両方に関して、十分な評価値が得られているとはいえないため、今後は楽曲の表現等の基本的な部分から見直しつつ、より完成度の高い楽曲の生成を目指す。

## 謝辞

本論文は、平成25年度物質・デバイス領域共同研究拠点における共同研究課題(2013296)、および科研費基盤研究(B)23300059の研究成果の一部を取りまとめたものである。ここに記して謝意を表したい。

## 参考文献

- [Legaspi 07] Legaspi, R., Hashimoto, Y., Moriyama, K., Kurihara, S., and Numao, M.: Music Compositional Intelligence with an Affective Flavor, in *Proc. of ACM International Conference on Intelligent User Interfaces*, pp. 216–224 (2007)
- [Moriarty 96] Moriarty, D. and Miikkulainen, R.: Efficient Reinforcement Learning through Symbiotic Evolution, *Machine Learning*, Vol. 22, pp. 11–32 (1996)
- [西川 09] 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)
- [大谷 09] 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)
- [佐藤 97] 佐藤 浩, 小野 功, 小林 重信: 遺伝的アルゴリズムにおける世代交代モデルの提案と評価, *人工知能学会誌*, Vol. 12, pp. 734–744 (1997)