

楽曲生成への共生進化の適用に関する検討

Examination of Applying Symbiotic Evolution to Music Composition

大谷 紀子*¹

Noriko Otani

西川 敬之*²

Takayuki Nishikawa

栗原 聡*³

Satoshi Kurihara

沼尾 正行*³

Masayuki Numao

*¹ 東京都市大学環境情報学部

Faculty of Environmental and Information Studies, Tokyo City University

*² 大阪大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

*³ 大阪大学産業科学研究所

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

Automatic composition systems that compose music adapting to user's sensibility have been proposed. The systems learn user's sensibility model using ILP and compose music using GA. One of them takes advantage of motifs in music, the most basic components of music, for considering both partial and overall music structure. A motif adapting to user's sensibility is generated using simple GA. After that a tune is generated based on the motif using simple GA. In this paper, we examine applying of symbiotic evolution to generating a motif and a tune. Symbiotic evolution is a kind of GA characterized by parallel evolutions of both partial solutions and whole solutions. Our experimental results show that proposed method has possibility of improving the degree of adaptation to user's sensibility.

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。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[Legaspi 07]。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、西川らは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を提案している[西川 09]。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、西川らの方法では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。感性モデルに即したモチーフをGAにより生成し、得られたモチーフを元に和音進行生成に用いるGAの各個体を生成することで、全体の和音進行に統一感をもたせる。また、和音進行生成におけるGAの個体評価に楽曲全体の展開度合を加味することで、単調な楽曲の生成を抑制し、展開のある楽曲を生成する。しかし、和音進行生成GAで個体を生成する際、感性モデルに即していないモチーフが用いられる可能性がある。また、単一のモチーフを元にするため、感性モ

デルに即した複数のモチーフを組み合わせた和音進行を生成することができず、生成可能な楽曲が制限されている。

本研究では、感性を反映した楽曲生成における共生進化の適用について検討する。西川らの方法では、感性モデルに即したモチーフと和音進行の生成にそれぞれ単純GAを用いているが、モチーフと和音進行を共生進化で同時に獲得することで、感性モデルに即していないモチーフの使用を抑制し、複数のモチーフを組み合わせた和音進行の生成が可能になる。評価実験では、西川らの方法と提案手法で生成された楽曲に対する主観評価を比較し、共生進化の適用可能性について検討する。

2. 楽曲の全体構造を考慮した楽曲生成

本節では西川らの提案した楽曲生成手法について概説する。なお、ここで扱う楽曲は4/4拍子とし、四分音符の和音の並びで楽曲が構成されるものとする。

2.1 表現形式

楽曲は、枠組構造と和音進行から構成される。枠組構造は、楽曲のジャンル、キー、音階、調、速さ、基本リズム、旋律の音色、旋律の音色のカテゴリ、和音の音色、和音の音色のカテゴリという10要素からなる。和音進行は和音の並びであり、和音はRoot, Type, Tensionの3要素からなる。Rootは和音のキー音、Typeは和音を構成する数と構成音ごとの関連性、Tensionは付加的に用いられている音を表す。前の和音を継続して演奏する場合は、(Root, Type, Tension)の代わりに-で和音を表現する。

小節は和音4つの並びで表現され、モチーフは小節2つの並びで表現される。いずれも表現形式は述語論理である。楽曲を表す述語musicの例を表1に示す。ここで、song_frameは枠組構造を表す述語、barは小節を表す述語である。

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。モチーフと和音進行の感性モデルの例を表2に示す。述語motifの定義は、あるユーザが「優しい」と感じる楽曲が1

連絡先: 大谷紀子, 東京都市大学環境情報学部

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

E-mail: otani@tcu.ac.jp

表 1: music の例

```
music(1,
  song_frame(pops,a,a,major,four_four,andante,
    vibraphone,vibraphone,steel_guitar,
    guitar),
  [bar((i,dim7,null),-, (vi,7,null),-),
    bar((iib,dim7,null),-, (i,major,ninth),-),
    bar((iii,7,null),-, (vi,seventh_aug,null),
      (vib,major,null)),
    bar((is,minor_7b5,null),-, (i,major,ninth),-),
    bar((ivs,minor_7b5,null),-, (iib,add9,null),
      (vii,add9,null)),
    bar((ivs,minor_7b5,null),-, (vi,7,null),-),
    bar((iib,add9,null),-, (i,add9,null),-),
    bar(-,-,-,-)]
).
```

表 2: モチーフと和音進行の感性モデルの例

```
motif(affectionate,A) :-
  motif(A,bar((iv,major),-,_,-),bar(.,-,-,_-)).
chords(affectionate,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).
```

小節目が 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持つことを意味する。述語 chords の定義は, あるユーザが「優しい」と感じる楽曲が 1 つめの和音が 度 minor, 2 つめの和音が 度となる連続した 2 和音を持つことを意味する。

2.2 生成手順

楽曲の生成手順は以下の通りである。

1. 感性モデルを学習するための訓練例を生成
2. ILP システム FOIL を用いて 1. から枠組構造, モチーフ, 和音進行に関する感性モデルを獲得
3. 単純 GA により枠組構造を生成
4. 単純 GA によりモチーフを生成
5. 単純 GA により和音進行を生成
6. 5. を元にメロディとベースパートを生成
7. 3., 5., 6. を組み合わせて楽曲を生成

訓練例は, ユーザにより 5 段階尺度でつけられた既存楽曲の評価を元にして生成する。評価項目は嗜好度, 明るさ, 嬉しさ, 優しさ, 穏やかさであり, それぞれに関して「好き」「明るい」など感性の評価軸上で正方向に相当する感性には大きい値, 「嫌い」「暗い」など負方向に相当する感性には小さい値がつけられる。すなわち, 嗜好度に関して「好き」な度合が最も高いときには 5, 「好き」な度合が最も低い, あるいは「嫌い」な度合が最も高いときには 1 の評価がつけられる。「好き」「嫌い」「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」という 5 対 10 語の形容語に関する正例と負例が生成される。得られた訓練例から FOIL

により感性を反映した部分構造を学習し, 10 語の形容語に関する感性モデルを獲得する。

3. では枠組構造の各要素, 4. では和音, 5. ではモチーフを遺伝子として, 2 点交叉と突然変異により進化させる。5. では, 4. で得られた最良モチーフに突然変異操作を施した複数のモチーフでモチーフ群を作成し, モチーフ群中のモチーフを組み合わせで初期集団の個体を生成する。すべての初期個体が単一のモチーフを元とするモチーフから構成されているため, 楽曲としての統一感を備えていると考えられる。

3. ~ 5. で用いる枠組構造 F の適応度 $ffit(F)$, モチーフ M の適応度 $mfit(M)$, 和音進行 C の適応度 $cfit(C)$ は, それぞれ式 (1) ~ (3) で求める。ここで, 枠組構造, モチーフ, 和音進行に関するユーザの感性モデルへの適合度関数をそれぞれ fit_frame , fit_motif , fit_chords , 音楽理論における和音進行の禁則に関するペナルティ関数を $fit_builtin$, 楽曲全体の展開度合を示す関数を fit_forms と表す。 $fit_builtin$ により不自然な和音進行の発生を抑制し, fit_forms により「起承転結」の展開をもつ楽曲の生成を促進する。

$$ffit(F) = fit_frame(F) \quad (1)$$

$$mfit(M) = fit_motif(M) + fit_builtin(M) \quad (2)$$

$$cfit(C) = fit_chords(C) + fit_builtin(C) + fit_forms(C) \quad (3)$$

3. 共生進化に基づく和音進行の生成

共生進化は, Moriarty らが提案した GA の 1 手法である [Moriarty 96]。共生進化の特徴は, 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保持し, 両集団を並行して進化させる点にある。部分解集団で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を行なうことができる。ILP や決定木生成への適用手法が提案されており, 有用性が確認されている [大谷 02, 大谷 04]。

共生進化においてモチーフを部分解, 和音進行を全体解とすると, 2.2 節に示した生成手順の 4. と 5. の処理をまとめて行なうことができる。すなわち, モチーフと和音進行を並行して生成でき, 感性モデルに即していないモチーフの使用を抑制するとともに, 複数のモチーフを組み合わせた和音進行の生成が可能になる。以下では, 共生進化に基づいて和音進行を生成する方法について説明する。

3.1 部分解 motif と全体解 chords

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。motif の染色体では root.type 遺伝子と tension 遺伝子が交互に並んでいる。motif の例を図 1 に示す。

root.type 遺伝子は Root と Type の組合せに振られた ID を表す。既存楽曲に含まれる 75 通りの (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 遺伝子は Tension 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 遺伝子を 0 ~ 75 のランダムな整数, tension 遺伝子を 0 に設定する。 N_m 個の motif を生成し, 初期の motif 集団とする。

n 小節の楽曲を生成するとき, 全体解である chords は $n/2$ 個の motif の組合せで表現される。chords の各遺伝子は motif へのポインタであり, 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． N_c 個の chords を生成し，初期の chords 集団とする．8 小節の chords の例を図 2 に示す．motif 集団には，複数の chords から参照される motif や，いずれの chords からも参照されない motif も存在し得る．

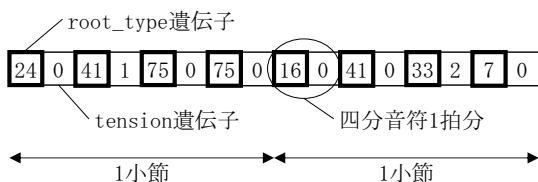


図 1: motif の例

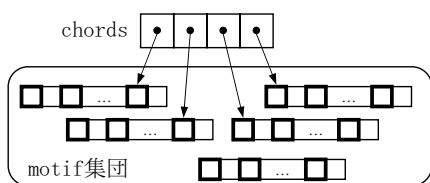


図 2: 8 小節の chords の例

3.2 適応度

motif M の適応度 $mf\it'(M)$ と chords C の適応度 $cf\it'(C)$ はそれぞれ式 (4)，式 (5) で求める．いずれの関数も西川らの方法と同様の定義を用いている．なお， $M \in C$ は chords C のいずれかの遺伝子が motif M に対するポイントであることを示す．

$$mf\it'(M) = fit_motif(M) + fit_builtin(M) + \max_{M \in C} (cf\it'(C)) \quad (4)$$

$$cf\it'(C) = \sum_{M \in C} \{fit_motif(M) + fit_builtin(M)\} + fit_chords(C) + fit_builtin(C) + fit_forms(C) \quad (5)$$

3.3 世代交代モデル

motif 集団の世代交代では，[Moriarty 96] と同様にして， 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．

- (Root,Type) の組を別の組または - に変更
- Root を変更
- Type を変更
- Tension を変更

表 3: パラメータ

| パラメータ | 値 |
|---------------------|------|
| 突然変異確率 p | 0.25 |
| motif 集団の個体数 N_m | 96 |
| chords 集団の個体数 N_c | 100 |
| 世代交代回数 G | 1000 |

chords 集団の世代交代モデルとしては，[佐藤 97] で提案されている MGG (Minimal Generation Gap) モデルを採用する．MGG モデルは，局所解収束の回避と進化的停滞の抑制を意図して考案されたモデルである．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．

一世代の処理の流れを以下に示す．

1. motif 集団の世代交代
2. chords 集団の世代交代
3. chords 集団の個体の評価
4. motif 集団の個体の評価

初期集団を生成した後，上記の処理を G 回繰り返す．最も適応度の高い chords を出力解とする．

4. 評価実験

共生進化に基づく手法の効果を確かめるため，西川らの手法で生成された楽曲，および提案手法で生成された楽曲を比較する評価実験を行なった．以下の結果では，前者の手法を単純 GA，後者の手法を共生進化と呼ぶことにする．

3 人の被験者 A, B, C が既存楽曲 53 曲を評価し，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，1 つの形容語について 8 小節の楽曲を 3 曲，16 小節の楽曲を 2 曲，計 50 曲の楽曲を被験者ごとに生成した．

モチーフと和音進行の生成以外の部分は，両手法で同じ手順に従っている．共生進化による楽曲生成で用いたパラメータの値を表 3 に示す．

4.1 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．

被験者 A と被験者 B の評価結果を表 4 に示す．ここでの評価平均値とは，当該形容語の感性モデルに基づいて生成された 5 曲の評価値の平均を意味する．評価値は，正方向の感性でより高く，負方向の感性でより低くなる方が感性を反映しているといえる．共生進化の値には，単純 GA と同等のものに +，単純 GA より優れているものに * を付した．

被験者が少ないこともあり，すべての感性において共生進化の方がより感性を反映させることができるとはいえないが，感性の種類や被験者によっては単純 GA よりも感性に即した楽曲が生成されることが示された．

表 4: 感性の反映度に関する評価平均値

| 評価形容語 | 被験者 A | | 被験者 B | |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| | 単純 GA | 共生進化 | 単純 GA | 共生進化 |
| 好き | 3.2 | 3.6 * | 2.8 | 2.6 |
| 嫌い | 2.4 | 3.6 | 2.8 | 2.4 * |
| 明るい | 3.4 | 4.2 * | 4.8 | 4.8 + |
| 暗い | 2.6 | 1.8 * | 1.0 | 1.6 |
| 嬉しい | 2.6 | 1.8 | 4.0 | 4.0 + |
| 悲しい | 1.8 | 1.4 * | 2.2 | 1.2 * |
| 優しい | 4.4 | 4.0 | 3.6 | 4.0 * |
| 優しくない | 1.0 | 1.4 | 2.8 | 1.6 * |
| 穏やかな | 3.8 | 3.2 | 5.0 | 4.6 |
| 穏やかでない | 1.4 | 2.6 | 1.0 | 1.0 + |

4.2 楽曲の完成度に関する評価

生成された楽曲に対する音楽的評価を比較するため、7つの評価項目について18人の被験者が5段階尺度で評価した。用いた評価項目は、感性に関する先行研究、および予備実験により選定した項目である。評価対象は被験者Cの感性モデルに基づいて生成された楽曲で、1つの形容語について8小節と16節の楽曲を1曲ずつ、両手法合わせて計40曲の楽曲を使用した。

8小節の楽曲に対する結果と16小節の楽曲に対する結果をそれぞれ表5, 6に示す。t検定の結果、有意水準5%で有意差があると判定されたのは8小節の「楽曲としてのまとまりがある」のみで、他の評価項目については単純GAと共生進化の間に有意差はみられなかった。単純GAでは単一のモチーフを元に和音進行の初期個体を生成することで統一感を考慮していたが、共生進化では和音進行に複数のモチーフを盛り込めるようにし、適応度は単純GAで用いている関数のみで算出したため、統一感をまったく考慮していない。「統一感」と「楽曲としてのまとまり」は非常に似通った感性であるといえるため、t検定により「共生進化の方が楽曲としてのまとまりがない」という結果が得られた一因は、統一感への考慮のなさにあると考えられる。

表 5: 楽曲の完成度に関する評価平均値とt検定結果(8小節)

| 評価項目 | 平均 | 分散 | t 値 | 有意差 |
|---------------|--------------|--------------|-------|-----|
| 楽曲としてのまとまりがある | 3.36 2.99 | 0.62 0.40 | 2.62 | あり |
| 曲に統一感がある | 3.34 3.40 | 0.55 0.50 | -0.43 | なし |
| 曲に展開がある | 2.75 2.65 | 0.31 0.43 | 0.97 | なし |
| 曲が単調である | 3.33 3.31 | 0.39 0.61 | 0.19 | なし |
| 楽曲としておもしろい | 2.53 2.60 | 0.44 0.72 | -0.49 | なし |
| 楽曲としてつまらない | 3.30 3.29 | 0.70 0.68 | 0.09 | なし |
| 楽曲として成立している | 3.15 2.99 | 1.03 0.99 | 1.36 | なし |

上段... 単純 GA
下段... 共生進化

自由度 18
有意水準 5%

表 6: 楽曲の完成度に関する評価平均値とt検定結果(16小節)

| 評価項目 | 平均 | 分散 | t 値 | 有意差 |
|---------------|--------------|--------------|-------|-----|
| 楽曲としてのまとまりがある | 3.00 2.97 | 0.77 0.54 | 0.17 | なし |
| 曲に統一感がある | 3.23 3.18 | 0.56 0.62 | 0.38 | なし |
| 曲に展開がある | 2.63 2.69 | 0.52 0.40 | -0.47 | なし |
| 曲が単調である | 3.67 3.64 | 0.40 0.34 | 0.36 | なし |
| 楽曲としておもしろい | 2.33 2.23 | 0.67 0.45 | 0.80 | なし |
| 楽曲としてつまらない | 3.64 3.67 | 0.67 0.59 | -0.14 | なし |
| 楽曲として成立している | 2.94 2.94 | 0.87 1.09 | 0.00 | なし |

上段... 単純 GA
下段... 共生進化

自由度 18
有意水準 5%

5. おわりに

本研究では、楽曲の部分構造と全体構造を考慮した楽曲生成手法への共生進化の適用を検討した。評価実験の結果、感性の種類や被験者によっては単純GAよりも感性に即した楽曲が生成されることが示された。また、音楽的評価に関しては単純GAとほぼ同等の結果が得られたが、共生進化の適用により考慮できなくなった「楽曲としてのまとまり」について劣るといった結果となった。今後、統一感を考慮する方法を検討するとともに、より多くの被験者で評価を行ない、共生進化の効果的な適用方法を探る必要がある。

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)
- [大谷 02] 大谷 紀子, 大和田 勇人: 共生進化に基づく帰納論理プログラミングの予測精度の向上, *人工知能学会論文誌*, Vol. 17, No. 4, pp. 431-438 (2002)
- [大谷 04] 大谷 紀子, 志村 正道: 共生進化に基づく簡素な決定木の生成, *人工知能学会論文誌*, Vol. 19, No. 5, pp. 399-404 (2004)
- [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, No. 5, pp. 734-744 (1997)
- [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 (2009)