

# 進化的計算手法を用いた変奏曲作成支援 Music Arrangement Using Evolutionary Computation

～ ニッチの概念の導入～

藤井公司 高橋貞夫

Fujii Koji Takahashi Sadao

芝浦工業大学 システム工学部 電子情報システム学科

Department of Electronic and Information System,

Faculty of System Engineering, Shibaura Institute of Technology

## 1 はじめに

遺伝的アルゴリズム (以下GA) に代表される進化的計算手法は、さまざまな分野に応用されている。音楽をはじめとする芸術の分野も例外ではない。過去にも、GAを利用した作曲など、様々な研究がなされている [1]。本研究では、GAを用いて、ある短い簡単な曲から、それを適当に変化させることでより複雑で面白みのある曲を作り出す「変奏曲」作成を行う。

## 2 GAとニッチの概念

一般的なGAによる探索 [2] では、探索が進むにつれ、個体群はある1つの解へと収束する。仮に最適解となりうるものが複数あっても、どれか1つの解の候補 (以下、「山の頂上」に例える。) へと収束してしまう。つまり、個体群が1つの山の頂上に集まってしまふ。このような問題に対して、個体群をそれぞれの山の頂上に散らばらせたい場合がある。このようなとき、生態学の分野で重要な概念とされている「ニッチ」の概念をGAに導入することで、解の多様性を維持した探索を実現できる [3]。

ニッチとは、「生物に関連した無機のおよび生物的環境における位置」のことである [3]。そして、「完全に同じニッチ関係を持つ2種の生物は、同一の生息地で共存することはできない。」という「ガウゼの競争排他律」が知られている [4]。ニッチが重なると、競争が激しくなり、結果として共存ができないということを意味する。GAの探索において、性質の異なる解の候補ごとにニッチを形成すれば、解の多様性を維持した探索ができる。ニッチを形成するために、割り当て関数を使う方法がある。これは、各個体が棲みわけるように淘汰圧をかける手法で、それぞれの個体において、求めた適合度に対して、割り当て関数を用いて新たな適合度を得る。割り当て関数が満たす条件は次の3つである。sh を割り当て関数、d を2つの個体間の「距離」とする。

$$\forall d, 0 \leq sh(d) \leq 1 \quad (1)$$

$$sh(0) = 1 \quad (2)$$

$$\lim_{d \rightarrow \infty} sh(d) = 0 \quad (3)$$

そして、ある個体 i の適合度を、次のように変換する。ただし、n は個体数、x が各個体、f は元の適合度である。f<sub>s</sub> が新しい適合度となる。

$$f_s(x_i) = \frac{f(x_i)}{\sum_{j=1}^n sh(d(x_i, x_j))} \quad (4)$$

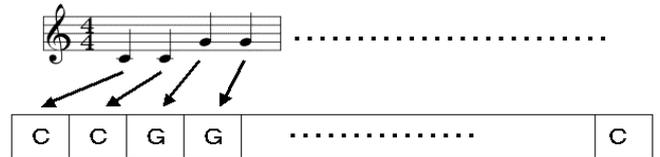
多くの個体が同じ近傍にいるとき、式の分母が大きくなる値となり、それらの適合度が低くなる。このような働きにより、集

団内で、特定の解だけの増長を制限できる。これにより、個体群の多様性が期待できる [3]。

## 3 変奏曲作成支援システム

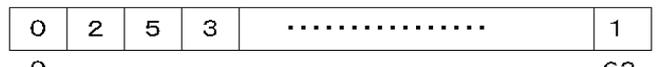
### 3.1 変奏曲作成の仕組み

入力する曲は4分の4拍子、16小節で、全ての音は四分音符 (四分休符) の単音とする。また、八長調の曲とする。よって、1曲は64個の音で構成される。図1 (a) に示すように、入力された曲を配列に記録しておく。そして、1つ1つの音を図2に示すような変化パターンのどれかに当てはめ、変化させる。図2にあるような、音を変化させるパターンを30種類用意した。また、「音を変化させない」というものもある。よって、合計31種類のパターンがある。これらのパターンには0から30までの番号を付けておく。GTYPEは図1 (b) にあるように、1つ1つの音をどのパターンを使って変化させるか、番号 (0 ~ 30) を配列に並べた形になる。図1のように、入力曲とGTYPEによって、1つの新しい曲 (PTYPE) ができる。



各要素は、入力された曲の音をあらわす。 63

(a) 入力曲の例



各要素は、図2のどのパターンを使うかをあらわす。 63

(b) GTYPEの例

図1: システムの概要

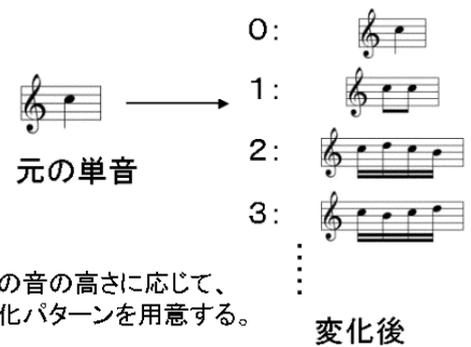


図2: 音を変化させるパターン

変奏曲作成の際に、ユーザはどのようなタイプの曲に変奏したいか指定する。音楽理論等を参考にして、3種類の曲調を用意した [5]。

1. 平静・柔らかい
2. 円滑・自然
3. 力強い

音を変化させる30種類のパターンのうち、10種類が「平静・柔らかい」に、他の10種類が「円滑・自然」に、残りの10種類が「力強い」に対応している。ユーザは、この3つの中から、変奏曲の曲調を1つ指定する。変奏曲作成は、この曲調指定を考慮して進められる。最後に、集団からランダムに選んだ1つの曲と、それとなるべく性質の違う（距離の大きい）4曲との合計5曲を、ユーザにMIDIファイルとして提示する。

### 3.2 評価関数について

評価関数は、次のようなものとした。 $f_1$  は、GTYPE を評価するもので、音の変化パターンの使われ方に関する評価を行う。 $f_2$  は、曲としての条件を満たしているか、不自然な曲になっていないかを判定するもので、PTYPE を評価する。また、式中の重み付けの定数は、試行錯誤的に適切な値を試した結果によるものである。

$$f = 50f_1 + f_2 \quad (5)$$

$$f_1 = f_{11} + f_{12} \quad (6)$$

$$f_2 = 50f_{21} + 2f_{22} + 50f_{23} \quad (7)$$

$f_{11}$  シミュレーションの結果、それぞれの曲調指定をした場合、64個の音に対して表1に示す割合でその曲調に対応した音の変化パターン（10種類のいずれか）を用いるのが望ましいことが分かった。 $f_{11}$  は、このような割合で変化パターンが用いられているかを判定するもので、最高点は1.0とした。

$f_{12}$  変化パターンによっては、元の音との相性が悪く、八長調の曲に不自然なものになってしまうものがある。このような組み合わせ1つに対し、-1.0点のペナルティを与えている。最高点は、0.0である。

$f_{21}$  隣り合う音の音程が小さいほうが、メロディーのつながりが良くなる。最高点は1.0とした。

$f_{22}$  4小節ごとにフレーズが形成されるが、それぞれの始めと終わりの音は、ドミソのどれかであることが望ましい。特に、曲の最後の音はドでなければならない。この条件を満たしているかを判定し、満たしている箇所があるごとに加点をしていく。曲の最後の音がドであれば、大きく加点される。最高点は50.0とした。

$f_{23}$  ミとファ#およびシとド#が続くと、不自然に聞こえる。このような音の並びが見つかったら、-1.0のペナルティを与える。最高点は0.0である。

表 1:  $f_1$  について

曲調	割合
平静・柔らかい	0.65
円滑・自然	0.40
力強い	0.35

## 4 シミュレーション

### 4.1 シミュレーションの概要

Windows上で動作する変奏曲作成支援システムを作成した。このシステムを用いて、変奏曲を作成できる。変奏曲作成の

際に、適合度の変化の様子や、最終的に得られた解の分布の様子など、数種類のデータをテキストファイルに書き出す。このファイルを元に、ニッチの概念を導入したGAによる変奏曲作成の様子を解析した。

### 4.2 シミュレーションの結果

割り当て関数によるニッチの形成を行わない場合は、全ての個体が同じ曲に収束したが、ニッチの形成を行った場合は、図3に示すように解が曲調指定に合ういろいろなタイプの曲へと分布していることが分かる。図3は、ある個体を基準としたときのハミング距離に相当するものを横軸に、その個体の  $f_1$  を縦軸にとったものである。また、図4に、 $f_1$  を横軸に、 $f_2$  を縦軸にとったものを示す。なお、 $f_1$  と  $f_2$  は、割り当て関数適用前の値である。

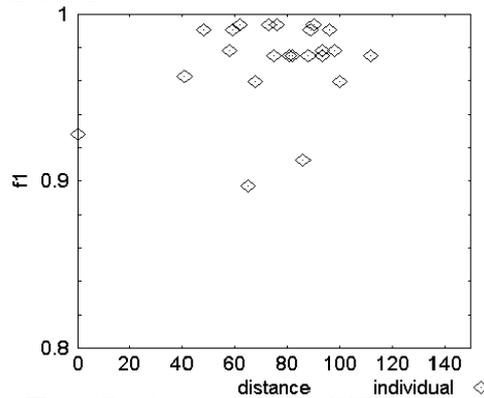


図 3: 解の多様性 (ハミング距離 -  $f_1$ )

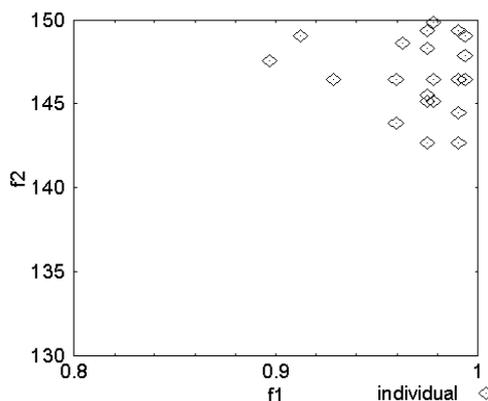


図 4: 解の多様性 ( $f_1$  -  $f_2$ )

## 5 考察と課題

シミュレーションの結果、曲として成り立ったものが得られ、また多様性を維持した探索も実現できた。

入力曲の条件によって、変奏できる曲の種類が限られてしまうので、あらゆる入力曲に対して変奏曲作成ができることが望ましい。八長調の曲に限っていることに関しては、長調の曲であれば移調して入力することでも対応できる。しかし、短調の曲に対しては、現段階では考慮されていない。そのため、短調の曲の入力や生成が今後の課題となる。

### 参考文献

- [1] 徳井直生: "進化的計算手法による作曲システム", <http://www.miv.t.u-tokyo.ac.jp/~tokui/research/paper/rinko2000.pdf>
- [2] 伊庭斉志: "遺伝的アルゴリズムの基礎", オーム社 (1994)
- [3] 伊庭斉志: "進化的計算の方法", 東京大学出版会 (1999)
- [4] 松本忠夫: "生態と環境", 生物化学入門コース7, 岩波書店 (2000)
- [5] 門馬直美: "音楽の理論", 音楽之友社 (2000)