

## B4-3 12音技法に基づく遺伝的アルゴリズムによる音列の自動生成

福井大学 工学部 知能システム工学科 進化ロボット研究室  
梶原 悠介 (指導教員：前田 陽一郎)

## 1. 緒言

近年、人工生命分野において、インタラクティブアートの研究が盛んに行われている。コンピュータを用いたインタラクティブアートは、人間とシステムとのインタラクション、つまりHCI(Human Computer Interaction)が軸となってシステムに人間要素を取り込む計算知能ともいえる新しい研究分野の一つになっている。

本研究室ではコンピュータを用いたインタラクティブアートの研究として、サウンド生成のパラメータにカオス理論を応用し、大域結合写像のカオスパラメータを操作してインタラクティブにサウンドを生成するシステムの研究 [1] を行っている。他の研究例では、ソフトコンピューティングを用いた作曲支援に関する研究例として対話型遺伝的プログラミングを用いたクラシック音楽のための作曲支援システム [2] や、GAを用いてユーザのイメージを反映させた楽曲を生成する研究 [3] など比較的遺伝的アルゴリズム (GA) が多く用いられている。

しかし、作曲という行為全体を1つの問題として扱うことは大変複雑であり、これを遺伝的アルゴリズムで生成するのは困難である。そこで本研究では、現代音楽における作曲技法のひとつである「12音技法」を用いることにより、自動作曲という問題を簡略化することを考える。「12音技法」とは、1音階に存在する12の音を等しく用いることで無調の音楽を作成する技法である。12音技法で作曲するためにはまず、12の音を用いた音列を生成する必要があり、この音列が曲の主題(テーマ)となる。音列は曲とはいえないため、音楽的知識を持たない者にとって音列の作成は難しい。そこで、ここでは協和音・不協和音の関係を基にした適応度関数を作成し、GAによる音列の自動生成を行う。

本研究では、提案手法の有効性検証のため、12音技法の作曲において重要な要素である12音音列をGAを用いて自動生成し、人間が生成した12音音列との比較を行ったので、この結果についても報告する。

## 2. 12音技法

12音技法とは、あるオクターブ内に存在する12の音を均等に使用する現代音楽における作曲技法である。12音技法によって作曲された音楽は12音音楽と呼ばれ、無調の音楽であるが調にも似た統一感を感じる。

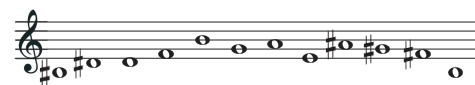
12音音楽の作曲の流れとして、まずオクターブ内の12の音を均等に用いるために、最初にそれらの音を1回ずつ使った音列を作る。はじめに作成した音列を基本形とし、それ以降は移高や反行、逆行等の手法で音列を変形させて繋げていく。そしてリズムを付け、旋律として作曲を行う。

音列を変形する行程は数学的に容易に求めることができるため、コンピュータによる作曲システムに向いていると考えられる。12の音を使った組み合わせは非常に多くあるが、すべてが人間にとって心地良いわけ

ではない。よって本研究では、12音音楽作曲で一番重要な要素である基本形を響きが美しいと言われている協音程を用いて自動生成することを目的としたシステムの構築を目指す。基本形を逆行の方法で変形した作曲例を図1に示す。



(a) 12音技法における使用音



(b) 基本形作成例



(c) 基本形変形例 (逆行型)

図1 12音音列による基本形の作曲例

## 3. 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズムとは、生物の進化を模した最適化アルゴリズムで、近似解を探索する確率的な多点探索手法である。本研究における遺伝子の表現は、文字列で表して遺伝子長を12とする。対立遺伝子を0~11として、ドを0、ド#を1、レを2という様にド~シを0~11に割り当てる。12音技法の音列作成過程では12の音を1回ずつ使った音列を作成するため、同一の音つまり同じ遺伝子が重複してはならない。図2に使用音と対立遺伝子の対応を示す。

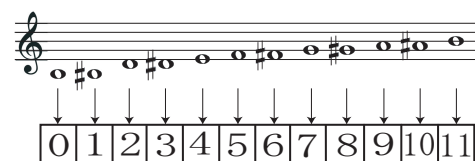


図2 使用音列と対立遺伝子の対応

## 4. 音列の適応度評価

本システムでは、12音音列を構成する各音の音程関係によって評価を行い、協音程をより多く含むものに高い評価を与えるものとした。ここでは評価のために協音程・不協音程と周波数比の関係を基に不協和の度合いを定義した。2音の周波数比をより簡単な整数比で表せる2音が美しく響くことから、音列の*i*番目と(*i*+1)番目の2音の音高差を $x_i$ とし、その周波数比を最小の整数比に直したものを $\alpha_i, \beta_i$ と置く。その整数比の和を百分率で表したものを $(\alpha_i + \beta_i) / 100$ を不協和度 $A_{x_i}$ とする。そして、不協和度の逆数を整数に四捨五入したものを各音高差の協和度 $B_{x_i} (1 \sim 20)$ とする。これらを基に設計した適応度関数を式(4)に示す。表1に音高差と周波数の最小整数比、不協和度、協和度との対応を示す。

$$x_i = |h_{i+1} - h_i| \quad (1)$$

$$A_{x_i} = \frac{i + i}{100} \quad (2)$$

$$B_{x_i} = \frac{1}{A_{x_i}} \quad (3)$$

$$F = \sum_{i=0}^{11} B_{x_i} \quad (4)$$

但し、

$i$ : 12 音音列の音順 (0 ~ 11)

$h_i$ :  $i$  番目における音高

$x_i$ :  $i$  番目と ( $i+1$ ) 番目の音高差

$A_{x_i}$ : 音高差  $x_i$  のときの不協和度

$B_{x_i}$ : 音高差  $x_i$  のときの協和度

$F$ : 12 音音列の適応度

表 1 音高差に対する周波数比、不協和度、協和度

音高差 $x_i$	周波数比 $\alpha_i:\beta_i$	不協和度 $A_{x_i}$	協和度 $B_{x_i}$
1	15:16	0.31	3
2	8:9	0.17	6
3	5:6	0.11	9
4	4:5	0.09	11
5	3:4	0.07	14
6	32:45	0.77	1
7	2:3	0.05	20
8	5:8	0.13	8
9	3:5	0.08	13
10	9:16	0.25	4
11	8:15	0.23	4

## 5. 音列生成シミュレーション

設定した適応度関数を用いて GA により 12 音の協和音列の自動生成を行った。さらに、不協音程の関係をもとにした適応度関数を別に設定して不協音列の自動生成を行った。また、協音程を意識した協和音列と不協音程を意識した不協音列を著者が作成し、GA によって生成された音列と著者が作成した音列の比較アンケートを 20 代男性 7 名に対して行った。

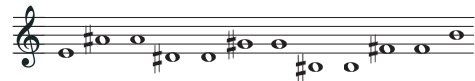
比較アンケートは GA によって生成された協和音列 1 個体と著者が作成した協和音列 1 個体の比較と、GA による不協音列 1 個体と著者が作成した不協音列 1 個体の比較で行った。比較の対象となる感性語として、今回提案した協音程、不協音程の適応度関数を評価するために協和音列の比較には「どちらの音列がより響きが良いか」、不協和音列の比較では「どちらの音列がより響きが悪いか」という感性語を用いた。また、生成された音列の評価のための感性語として「どちらの音列がよりメロディらしく聞こえるか」という感性語を用いて 2 つの感性語に対して比較してもらった。GA による音列と自作した音列の 2 個体を提示し、協和音列の場合は「どちらの音列がよりメロディらしく聞こえるか」「どちらの音列がより響きが良いか」をそれぞれ比較して、よりメロディらしく聞こえる音列、より響きが良い音列を選ぶという一対比較法で評価を行った。但し、どちらが良いといえない場合にはどちらも選ばないように設定した。

## 6. 実験結果および考察

図 3 に GA によって生成された協和音列と不協音列の例を 1 個体ずつ示す。表 2 に比較実験に対するアンケートの結果を示す。比較の結果、GA によって生成された音列の方がメロディの様に聞こえるという意見が多かった。また、協音程を適応度関数に用いた音列は響きが良いという項目においても自作音列より良いという意見が多く、提案した適応度関数は音列生成に適していたといえる。不協音列の比較結果は、メロディの様に聞こえるという意見は多かったが響きが悪いという意見は自作音列のほうが多くなった。生成した音列がメロディの様に聞こえるということは 12 音技法における音列生成にとって非常に重要であり、今後 12 音音列同士の結合などによる自動作曲システムを構築する上での基盤システムができたと考えている。



(a) 協和音列



(b) 不協音列

図 3 GA によって生成された音列例

表 2 12 音音列比較実験のアンケート結果

メロディらしい		響きが良い	
GA 音列	自作音列	GA 音列	自作音列
18	12	22	11

(a) 協和音列

メロディらしい		響きが悪い	
GA 音列	自作音列	GA 音列	自作音列
21	11	15	20

(b) 不協音列

## 7. 結言

本研究では、12 音技法による自動作曲手法の基礎研究として、GA を用いた音列生成を提案した。また、適応度関数を作成し、実際に音列の自動生成を行った。さらに有効性検証のため比較アンケートを行い、良好な結果が得られた。これにより本研究で提案した手法により音列の自動生成が可能なが確認された。

### 参考文献

- [1] 前田陽一郎, 丹羽俊明, 山本昌幸, "大域結合写像によるインタラクティブカオティックサウンド生成システムおよび音楽的要素の導入," 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.18, No.4, pp.507-518 (2006)
- [2] 安藤大地, Palle Dahlstedt, Mats G. Nordahl, 伊庭斎志, "対話型 GP を用いたクラシック音楽のための作曲支援システム," 芸術学会論文誌, Vol.4, No.2, pp.77-87 (2002)
- [3] 畦原宗之, 海老原祐, 鬼沢武久, "作り手のイメージを反映させた楽曲生成システムに関する研究," 感性工学研究論文集, Vol.1, No.2, pp.66-72 (2001)