対話型遺伝的プログラミングを用いた無調性音高配列からの和声進行の生成

安藤 大地[1]

概要：本稿では，作曲における和声進行の「手癖」を排除した新たな和声進行とそれに伴うスケールを探るために，ランダム探索の要素を含みつつも人間の感性を評価関数として群で探索を行う対話型遺伝的プログラミングによって，音高単位で和声進行を作り，それに合致するスケールを探す手法について述べる．手法は，平均律 12 音配列から機能和声を無視して選び配置した「無調性」の音高配列を元にしそれをバス課題として和声進行を生成する第 1 段階，和声進行に対するスケールを探索する第 2 段階からなる．提案手法は実装され実際の作曲に用いられた．その結果，手癖を排除しつつも無調性的な最初の音高配列から機能和声では説明しづらいが明確な進行を感じさせる和声進行と旋律を生成することができた．

Generating Functional Harmony from Atonal Pitch Array by means of Interactive Genetic Programming

Daichi Ando[1]

Abstract: In this paper, I reported a Interactive Genetic Programing system generated harmony arrays and corresponded scale interval arrays impresses harmony progress such as Functional Harmony and Berklee Methos with Atonal Pitch Array.

1. はじめに

クラシック音楽の世界で，スケールから和声の概念に移行した 16 世紀以降の機能和声や厳格対位法の発達によって作られてきたいわゆる調性のはっきりした音楽は，18 世紀，19 世紀に徐々に借用和音等による部分転調の多発がおきるようになり，20 世紀以降は調性のはっきりした楽曲が極端に少なくなった．「3 コード」を基本としていたイギリス音楽とアフリカン・アメリカン文化の両方の流れを汲むアメリカポピュラー音楽でも，Charlie Parker のビ・バップスタイルのアドリブ全盛期以後，楽曲そのものの調性 (開始時，終了時の調性) と実際に演奏される曲中のほとんどの (部分的な) 調性が頻繁な部分転調の連続によりかけ離れてしまう楽曲が多くを占めるようになった [4], [7]. *1

そもそも機能和声はトップダウン的に決められたものであり，その後のドミナント連続進行等の頻繁な部分転調の連続や 12 音技法・トータルセリエズムなどの完全な無調音楽の楽曲分析に主に用いられているピッチクラス集合論 [1], [5], [6] もトップダウン的に決められたものである．

そのため，Xenakis の微分音等音響ベースで新たな和声進行を試みるケースは増えたが，12 音の楽譜ベースで全く新たな和声進行を模索する動きは鈍化してしまっている現状がある．

また作曲の訓練を受けた作曲家は，即興レベルでクリシェ*2等の機能和声の派生テクニックを使って機能和声に従った和声付けをしてしまう「手癖」を習得してしまっており，そこから逃れることは難しい．

そこで著者は，ランダム性を取り込んで手癖を排除しつつも，無調性の音楽も包括して記述することができる新たな記号ベースの和声分析・作曲手法の開発を試みた．

1 首都大学東京システムデザイン学部

*1 そもそもアフリカン・アメリカン音楽文化で特徴的に使われるスケールには機能和声は適用しづらく，無理やりヨーロッパ音楽の理論を適用した結果部分転調を繰り返す進行が適切になった，とも言える．

*2 和声転回により，最低音は半音単位もしくは全音単位で単調上昇もしくは下降を続けながらも，機能和声を適用する手法

© 2017 Information Processing Society of Japan

和声進行のモデル化の研究においては，自然言語処理のモデルを応用したものが多い．トニック，サブドミナント，ドミナント等の機能和声に定義されている和声の役割を確率文脈自由文法や類似の生成文法的モデルを用いて表現するもの [2], [9]，全て和声を同一レベルで扱いその隠れ状態の遷移確率で表現する隠れマルコフモデルを採用するもの [10] などが一般的だが，これらのモデルは既に定義されている和声を用いて，その進行を既存楽曲から学習するためのモデルであり，1 音高単位から新たな和声と進行を組み立てる表現力は持っていない．

そこで LISP のコードを遺伝的アルゴリズムのシナリオで探索する遺伝的プログラミング (Genetic Programming, GP)[3] を採用することとした．遺伝的アルゴリズムと同じく大量の乱数を発生させ探索を行う遺伝的プログラミングは，“予想もしなかった良い結果” を作曲家に対し提供できる可能性が高い．さらに遺伝的アルゴリズムのシナリオは，人間が「好み」により探索における評価値を決める (人間が評価関数そのものとなる) 対話型シナリオの採用が容易であり，これは遺伝的プログラミングにもそのまま適用可能である．

単なるランダム探索では，完全なランダム出力の一つ一つの出力全てを人間が評価しなければならないため，ユーザ負担が非常に大きい．そこである程度群で探索を行うことができる遺伝的アルゴリズムのシナリオは，計算機を使ってアート作品を制作するのに向いていると言える．

本稿で述べる提案手法では，極めてローレベルの関数群から和声そのものと和声進行をランダム探索より効率の良い探索ができる対話型遺伝的プログラミングシステムにより，「手癖」によらない新たな和声と進行を獲得することができ，実際に作曲に用いられた．

2. 対話型 GP システム

今回実装したシステムは

(1) 入力された単音の音高配列に付与する和声配列を生成する．
(2) 獲得された和声進行に対して適合する無調スケール (インターバル配列) を生成する．

という 2 段階で，和声進行と対応するスケールを獲得する．

12 音の無調を前提としているので，全ての音高と音程は主音 (開始音，もしくは現在の最低音) を 0 とした半音で 1 増減する音高・音程で表される．

システム実装は SuperCollider 上で行い，そのまま音響を生成しプレビューして評価を加えるようになっている．探索が終わった状態の和声やスケールを適用したモチーフは，整数の配列として表示，記譜を行った．このシステムにより作曲された曲がコンサートで上演されている．(Daichi Ando: “*Whitehearted* for Tenor Saxophone and Computer”, 初演: Sonic Arts Project Vol.4, No.1 コンサート, 2016 年 9 月 30 日．)

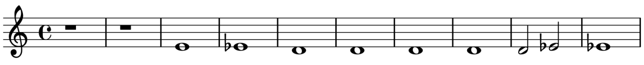

図 1　与えた無調ピッチ配列
Fig. 1　Given Atonal Pitch Array

2.1 和声進行探索システム

“藝大和声 [8] でいう所の「バス課題」を対話的に解く” システムと説明することができる．

具体的には，図 1 で示したピッチ配列を与えて，その配列 (とそこまでに自分が生成してきた和声配列) を変数に取り，和声に一つ一つ音高を足していく．現在の和声に 5 つ加え終わったら次 (1/2 小節単位もしくは 1 小節単位) の和声へ進む．「空の音高を追加する」端末ノードがあることで，5 声より少ない和声も作成可能である．

表 1 に第 1 段階で用いるノード群を示す．

図 1 は第 1 段階で入力した音高配列の例，図 2 に図 1 で示す入力から生成した例を示す．

2.2 スケール探索システム

対してスケール探索システムの方は音程を基本としている．こちらはアヴェイラブルノートスケールの考え方などと同じく “「その和声に適用できるスケール」を探索する．”

前段階で獲得された和声進行を入力として「その和声で使うスケール」を生成し，あらかじめ決めたリズムとスケール中の音高にマッピングされるインデックスを持った，(いわゆる作曲における) モチーフ等の旋律を適用し，旋律を獲得する．

表 2 に第 2 段階で用いるノード群を示す．

第 2 段階での addNote 関数ノードは第 1 段階とは違い，現在のスケールの最高音を基準として，引数分の音程でスケールに音高を追加する関数である．

また第 2 段階では，現在探索をしているスケールを固定し次の和声へ進むかどうかは，作曲家が任意で決める．

実際には，リズムとスケールの各音にマッピングされるインデックスからなる「モチーフ」を与えた状態から探索を開始するので，“第 1 段階の和声に合うように作曲家がモチーフの音程を調整する” という表現が，探索の内容をより正確に言い表していると言える．

図 3 は，第 1 段階の出力結果図 2 の和声に合うように，本システムで与えたモチーフを調整したものである．最初の 2 小節 (5 音分) は作曲家が与え，そこからその雰囲気を継続するように探索を行った．

3. 実際の運用と考察

前述の通り，実装されたシステムは実際にコンサートで

表 1 第 1 段階和声進行探索のノード群
Table 1 Nodes in 1st step.

関数ノード	機能
prog2	引数 2: 与えられた引数 (サブツリー) を順番に実行する
addNote	引数 1: 音高を追加する.
+, -, *, /	引数 2: 四則演算
IfLessThenElse	引数 4: 第 1 引数が第 2 引数より小さければ第 3 引数を実行し，それ以外は第 4 引数を実行する.
IfMoreThenElese	IfLessThenElse の反対.
端末ノード	機能
addEmpty	和声に空の音高を一つ加える.
currentBassPit	現在の場所の与えられた音高 (図 1 で表される音高) を取得.
currentHarmPit1〜5	現在の場所の和声に既に与えられた音高を取得. (現在の和声構成音数が 5 に満たない場合は和声転回的に既に追加されているものを取得)
previousHarmPit1〜5	一つ前に自分が作成した和声の個別の音高を取得.
定数 1〜11	1〜11 の定数

表 2 第 2 段階スケール (インターバル配列) 生成のノード群
Table 2 Nodes in 2nd step.

関数ノード	機能
prog2	第 1 段階と同じ.
addNote	引数 1: 現在の場所に追加されているスケールの一番上の音高を基準として，引数の音程で追加する．その後オクターブをたたみ込む.
+, -, *, /	引数 2: 四則演算
IfLessThenElse	第 1 段階と同じ
IfMoreThenElese	同上.
端末ノード	機能
currentHarmPit1〜5	現在の場所の与えられた和声 (図 2 で表される和声) の音高を取得.
previousHarmPit1〜5	一つ前に自分が作成した和声の個別の音高を取得.
previousHarmInt1〜4	一つ前に自分が作成した和声の音高間の音程を取得.
定数 1〜11	第 1 段階と同じ.

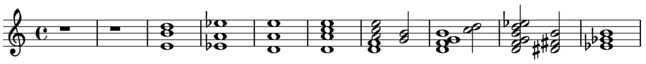

図 2 図 1 のピッチ配列から生成された無調の和声と進行
Fig. 2 Atonal Harmony Progress generated by the system from Atonal Pitch Array of Fig.1

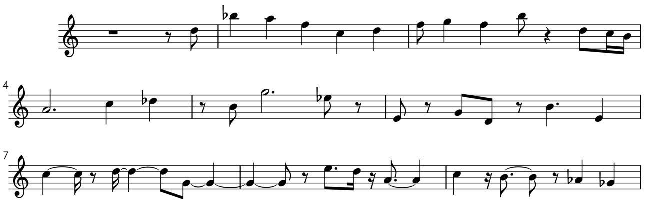

図 3 図 2 の和声進行に対して生成したスケール (インターバル列) を適用したモチーフ．与えたモチーフが 5/4 拍子のため図 2 の進行を部分拡大して適用している．Daichi Ando: “*White-hearted* for Tenor Saxophone and Computer” 冒頭部.
Fig. 3 A Motif adopted the Scale (Interval Array) generated from Atonal Harmony Progress of Fig.3

上演された楽曲の作曲に用いられた．図 1, 2, 3 はその冒頭 10 小節である (全体が 100 小節のため 1/10 にあたる).

提案手法の，
(1) あらかじめモチーフを定義し，
(2) 新たな和声と進行を探し，
(3) それに合わせてモチーフを (自動で) 調性する.
という作業の流れは，五線譜上で行っている作曲作業をそのままなぞりつつ，計算機に任せることで作曲家の負担を減らしつつ，手癖を排除していると言える.

また，無調性という調性が定まっている楽曲よりも探索領域が広い問題に，ランダム探索よりも効率がよい作曲支援ができる.

冒頭 10 小節を観察すると，入力となったバス声部 (図 1) は単なる短 2 度のみの動きが少ないクロマチック進行というクリシェを適用するのに難しい無調性な配列であると言えるが，それを元に 1 段階目で生成された和声進行 (図 2) は，特に 7〜9 小節目でクリシェを形作りながら機能和声的な構成を作っており，さらに 2 段階目最終的な生成対象であるスケールを当てはめたモチーフ (図 3) は，和声が停滞している 4〜7 小節目において，機能和声的な部分転調の考え方では説明しづらい進行をする無調性的フレーズでありながらも，確実に調性があるかのような進行を感じさせるものであり，作曲家の意図を超えた，つまり目的であった「手癖を排除しつつ新たな和声とその進行を生成できる」ことがわかった．(評価基準が明確ではないが「演奏家からの評価」も高かった．)

しかしながら，
(1) 現在のノード群は極めてローレベルなものばかりであり，またトップダウン的にモデルを定める手法に比べ探索領域が極端に広い遺伝的プログラミングの特性上，探索効率は良いとは言えない.

© 2017 Information Processing Society of Japan

(2) 完全ランダム探索に比べかなり低減されるものの，評価関数を人間が務める対話型遺伝的プログラミング特有のユーザ負担が依然として大きいという問題.
(3) モチーフをインデックス配列としてあらかじめ定義する (システムに渡すモチーフ作成時点で既にある程度の音楽的クオリティが担保されているという前提).

ことから，作曲能力を有する作曲家にとっては負担が増加しないが，音楽能力がない「素人」の作曲支援にはユーザ負担が大きいため，現状用いることが難しい状況である.

4. おわりに

本稿では，対話型遺伝的プログラミングを用いて，和声そのものとその進行を全く新たに構成するための手法を提案し，実際にコンサートで上演される楽曲の作曲支援に用いたことを報告した.

現状では「素人」の作曲支援に用いることは難しいが，訓練された作曲家ならば単なるランダム探索よりも有意義に使える手法であることがわかった.

参考文献

[1] Forte, A.: *The Structure of Atonal Music*, Yale University Press (1977).
[2] Granroth-Wilding, M. and Steedman, M.: Statistical Parsing for Harmoninc Analysis of Jazz Chord, *Proceeding of the International Computer Music Conference (ICMC) 2016*, International Computer Music Association, pp. 478–485 (2016).
[3] Koza, J.: *Genetic Programming: On the Programming of Computer by Means of Natural Selection*, MIT Press (1992).
[4] Levine, M.: *THE JAZZ THEORY BOOK*, Sher Music (1996).
[5] Rahn, J.: *Basic Atonal Theory*, MacMillan Publishing Company (1980).
[6] Straus, J. N.: *Introduction to Post-Tonal Theory (3rd Edition)*, Prentice Hall (2004).
[7] 濱瀬元彦：チャーリー・パーカーの技法――インプロヴィゼーションの構造分析，岩波書店 (2013).
[8] 島岡　譲：和声一理論と実習 (1)，音楽之友社 (1964).
[9] 諸岡　孟，西本卓也，嵯峨山茂樹：確率文脈自由文法を用いた和声学規則の表現と楽曲の自動和声解析，情報処理学会研究報告音声言語情報処理（SLP），Vol. 2008, No. 12, pp. 77–82 (2008).
[10] 川上　隆，中井　満，下平　博，嵯峨山茂樹：隠れマルコフモデルを用いた旋律への自動和声付け，電子情報通信学会技術研究報告. SP, 音声， Vol. 99, No. 627, pp. 25–32 (2000).

© 2017 Information Processing Society of Japan