

# GP を用いた音楽自動生成 -コード進行とベースラインの一事例-

國松香苗<sup>†1</sup> 石川由羽<sup>†1</sup> 高田雅美<sup>†1</sup> 城和貴<sup>†1</sup>

本研究では GP による音楽自動生成モデルの改良を行う。このモデルはコード進行生成パートとメロディ生成パートからなり、それぞれ遺伝的プログラミングが適用されている。本稿ではこのコード進行生成モデルの改良と、新たに加えるベースライン生成モデルの提案を行う。コード進行生成モデルの改良では、テンション・ノート<sup>1</sup>を考慮し、ジャズ・ブルースに適したコード進行を生成する。音楽理論において、コードに対して付与できるテンション・ノートはある程度決められているが、その中から適用するものを自動的に決定することは容易ではない。本モデルでは、テンション・ノートが含まれるコードの最高音とメロディ音との関係に着目して、コードの自動生成を試みる。またベースライン生成パートを加えることで、Jazz の即興演奏に近づけた楽曲の生成を目指す。

## A Music Composition Model with Genetic Programming -A Case Study of Chord Progression and Bassline-

KANAE KUNIMATSU<sup>†1</sup> YU ISHIKAWA<sup>†1</sup>  
MASAMI TAKATA<sup>†1</sup> KAZUKI JOE<sup>†1</sup>

In this paper, we present the improvement of our automatic music composition model using genetic programming, which is constructed with two independent but cooperative models for chord progression and melody. The improvements are the chord progression generation model and the bassline generation model. The chord progression generation model, considering tension notes, generates chord progression suitable for jazz blues. In the music theory, tension notes that are granted for the corresponding chords are determined for some cases but it is not easy to automatically determine what to apply from such theoretical chords. In this model, by focusing on the relation between the chord's top notes with tension notes and melody tones, we attempt to automatically generate chords. Further, by adding the bassline generating part, this system is applied to Jazz improvisation.

### 1. はじめに

近年、コンピュータの普及により、CGM (Consumer Generated Media) を活用して、多数のユーザが音楽コンテンツを発信していくことが盛んになってきている。ユーザが作曲する方法の1つに作曲支援システムの活用があり、このような支援システムとして様々な DTM (Desk Top Music) ソフトがある。しかしながら、作曲支援システムにより、音楽的知識や経験を全く持たない一般ユーザが大衆に聞かせる楽曲を生成することは難しい。これは、音楽には専門的な要素が多く、表現する人の豊富な音楽的知識と経験から音楽は生まれるためである。

そこで本研究では進化的計算を用いて、音楽の専門的知識を必要としない音楽自動生成システムの作成を行う。進化的計算とは、生物の進化のメカニズムを工学的にモデル化し、組合せ最適化問題や機械学習、解析に応用したものである。進化的計算を用いた自動作曲システムとして、遺伝的プログラミング (Genetic Programming : GP) を用いたシステム[1]がある。このシステムでは、木構造を用いる GP の遺伝子構造を利用し、階層の深さと音の長さを対応づけている。これにより、すべての長さの音を用いたコー

ド進行とメロディから成る楽曲の生成を可能としている。しかし、このモデルで生成されるコードにはテンション・ノートが含まれておらず、ジャズのような多彩な響きを表現できない。

そこで、本研究ではテンション・ノートを付与したコードを追加し、それらのコードにヴォイスングを行うことによって、コード進行生成モデルを改良する。また、本モデルをよりジャズに代表されるような即興演奏に対応させていくために、新たにベースラインを生成するパートを加える。

### 2. ブルースの特徴

#### 2.1 コードの分類

全てのコードは、次の3つの機能に分類できる。

- Tonic (T): 主音。音響の調性を決定し、曲の開始・終了時に使用される。
- Dominant (D): 属音。主音について重要な音であり、主音とともに調を支配する。
- Subdominant (SD): 下属音。経過・つなぎに使用され、この音から属音へ進行することで安定した終始感を作る。

上記より、コード進行の流れは、T → SD → D → T が基本であり、T → D → T, T → SD → T も自然な進行

<sup>†1</sup> 奈良女子大学  
Nara Women's University

とされている。

## 2.2 ブルースのコード進行

ブルースとは、12小節の音楽形式で、ドミナントセブンス、メジャーセブンス、マイナーセブンス、マイナー・メジャーセブンスの4種類のセブンスコードのうちの3つのみを使用し、決まったコード進行に合わせて、メジャースケールにブルーノートと呼ばれる音を交えて奏でられる。図1はブルースのコード進行を表す。

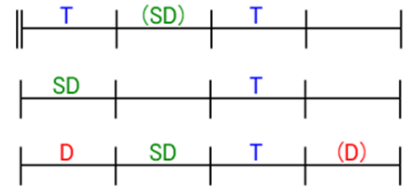


図1 ブルースのコード進行パターン

## 2.3 テンション・ノート

テンション・ノートとは、非和声音のうち、和音の響きに緊張感を与え、かつ和音進行を阻害しない音を示し、テンション・ノートを加えたコードをテンション・コードと呼ぶ。効果的なテンション・ノートを付与するためには、メロディと同時に発音するヴォイシングを考慮する必要がある。そのため本モデルでは、テンション・ノートが含まれるコードのトップノートとメロディ音との関係に着目して、コードの生成を試みる。

## 2.4 ヴォイシング

コードが与えられたとき、そのコードの構成音を各声部に配置する操作のことをヴォイシングと呼び、ヴォイシング次第で音楽の表情を様々に変化させることができる。特にジャズをはじめとするポピュラー音楽では、コードの響きに緊張を与えるテンション・ノートをヴォイシングに用いる。本研究では、1オクターブ以上にわたってコード構成音を配置し、コードの根音を最低音に配置する、スプレッド・ヴォイシングと呼ばれるヴォイシング手法を適用したコードの生成を行う。

## 3. GPを用いた音楽自動生成モデル

本章では、GPを用いた音楽自動生成モデル[1]について説明する。このモデルは、コード進行生成モデルとメロディ生成モデルの2つのパートで構成される。既存の音楽に拘束されない音楽生成を行うため、両モデルに遺伝子オペレータとしてGPを使用する。木構造をもつGPを適用することで、音の長さや木の階層の深さを対応させ、階層が深くなるほど、細かい音符を表す。各遺伝子個体は一定小節の長さのコード進行やメロディを表す。各ノードは、非終端要素に分岐の数、終端要素にはコード進行であればコードの種類を、メロディであれば鍵盤音・継続記号・休符などの音情報を入れる。深さ探索により、終端要素のみを左から右へ読むことで、1遺伝子個体をコード進行やメロディに置き換えていくことができる。

また前後の一定小節におけるメロディ間の類似性を保つため、このモデルでは音楽ジャンルをブルースに絞る。1個体は12小節に設定し、ブルース形態の既存の曲の最初12小節をもとに、コード進行生成モデルで優良な1個体を選択することで部分コード進行を生成する。その後メロディ生成モデルでも同様に優良な1個体を選出し、部分メロ

ディを生成する。

適応度に関して、部分コード進行*i*は、以下の項目に対する加減算を用いて評価する。

- I. ブルースのコード進行パターンを満たす割合
- II. 部分メロディ*i-1*の各小節におけるメロディ音との整合性

項目Iは図1のブルースのコード進行パターンに適合させるために評価を行う。項目IIは部分メロディ*i-1*における各小節のメロディの1音目と部分コード進行*i*の各葉ノードの和音が、この1音目の音を含む和音である割合を算出する。

部分メロディ*i*は、以下の項目について適応度を計算し評価する。

1. 部分コード進行*i*との整合性
2. 部分メロディ*i-1*のエントロピー関数との比較
3. 部分メロディ*i-1*のリズムパターンとの比較

項目1はメロディ*i*における各小節のメロディが部分コード進行*i*における各小節のコードの構成音である割合を算出する。項目2、項目3は部分メロディ*i-1*と部分メロディ*i*の印象の急激な変化を防ぐために行う。項目2は、印象という概念をMusic Entropyとして提案し、数値の比較を行う。メロディにおける前後の音の遷移確率を用いて、メロディの起こりやすさの度合いを数値化し、値の近いものを印象が似ているものとする。項目3は1小節に含まれる1音の平均音価を計算し、比較する。

以上の適応度評価により、部分コード進行*i*は、部分メロディ*i-1*に、部分メロディ*i*は部分コード進行*i*と部分メロディ*i-1*と関係を持たせる。これにより、ブルースの即興演奏の方法に近づけ、12小節ごとに前12小節から派生する音楽の生成を行う。

## 4. 音楽自動生成モデルの改良

本章では、改良を行うコード進行生成パートと新たに加えるベースライン生成パートについて説明する。モデルの全体像を図2に示す。各パートにそれぞれGPを適用し、部分小節ごとにメロディ、コード進行、ベースラインの順に生成する。

### 4.1 コード進行生成パート

#### 4.1.1 個体情報

本研究では、表1に示すように、最低音に根音、中間音に3度音と7度音の組み合わせ、最高音にテンション・ノ

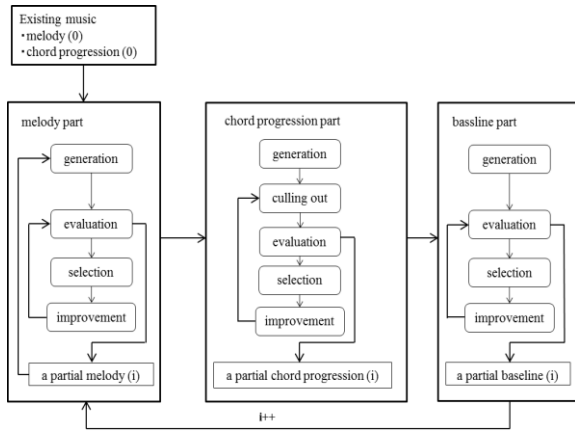


図 2 モデルの全体像

表 1 4 声によるスプレッド・ヴォイスングの例

	pattern1	pattern2
Top note	A tension note	A chord tone
Middle notes	7th	3rd
	3rd	7th
Bottom note	Root	

ートまたはコード構成音を配置する 4 声のスプレッド・ヴォイスングを行う。終端要素の候補には、既存の曲で使用されているコードにこのヴォイスング手法を適用したものを留意する。

#### 4.1.2 適応度評価

コード進行生成パートを改良するにあたって、部分コード進行  $i$  の適応度を計算するために以下の項目を追加する。

III. 部分メロディ  $i$  の各小節におけるメロディ音とコードのトップノートの比較

IV. 部分コード進行  $i-1$  のエントロピー関数との比較

項目 III は、各小節のコードのテンション・ノートを含むトップノートについて、メロディ音との比較を行う。これはテンション・ノートによるメロディとの不協和な半音衝突を避けるために行い、コードが変化したときの部分メロディ  $i$  の第 1 音目とコードのトップノートが長 2 度、短 2 度で接する場合、適応度を下げる。またアヴォイド・ノートと呼ばれるコードの機能を邪魔してしまう音がトップノートに含まれる場合も適応度を下げる。項目 IV は部分コード進行  $i-1$  と部分コード進行  $i$  の印象の急激な変化を避けるために行う。本モデルのコード進行生成パートではコードのトップノートについてエントロピー関数の比較を行い、前後の小節間に類似性をもたせる。コードのトップノート 14 種類の事象 {C, Cs, D, Ds, E, F, Fs, G, Gs, A, As, B, \*, ~} からなる集合  $S$  を  $S = \{X_1, X_2, \dots, X_{14}\}$  とし、また事象  $X_l$  が起こった条件下で事象  $X_k$  が起こる確率を  $Y_{kl}$

とし、このとき Music Entropy を以下のように定義する。

$$\text{Music Entropy} = - \sum_{kl=2}^{nN} Y_{kl} \times \log Y_{kl}$$

ブルース形態の曲は 4 小節単位で 3 部構成に分けることができる構造を持つ。このことから、コード進行生成パートにおける Music Entropy の値は 4 小節ごとに算出し、それぞれ前 12 小節の対応する 4 小節区間の値との比較を行う。

また部分コード進行 0 として与える、既存の曲のコードはテンション・ノートを含まず、各小節にコードを 1 つしか持たない。これらのコードの細分化を行うため、部分コード進行 1 では、4 小節間に含まれるコード間の遷移確率  $Y_{kl}$  の合計が大きくなるような音個体を選び、コードのトップノートの流れがスムーズになるようなものを選択する。同時に 4 小節ごとに Music Entropy の値を算出し、部分コード進行 2 を生成する際、Music Entropy の値の比較に用いる。

## 4.2 ベースラインパート

### 4.2.1 個体情報

本モデルでは、ジャズでよく用いられる 4 ビートのベースラインを生成するため、生成する音個体は 4 分音符に固定する。そのため、コード進行生成パートと同様に階層 0 より下の非終端要素の分岐数は、2 のみを用いる。終端要素の音個体は、ベースラインの音域の鍵盤音と継続、休符を留意する。

### 4.2.2 適応度評価

部分ベースライン  $i$  の適応度は次の項目について評価を行う。

A. コード構成音との整合性

B. 部分ベースライン  $i-1$  のエントロピー関数との比較

項目 A はベースライン  $i$  における各音個体が、それぞれ対応しているコードの構成音であるかどうかの割合を算出し、各小節において、1 拍目、3 拍目がコード構成音であれば適応度を高く評価する。また 1 拍目から 4 拍目の全ての音について、対応するコードの構成音と半音で接する音が生成された場合は、適応度を下げる。項目 B はメロディ生成パート、コード進行生成パートと同様、部分ベースライン  $i-1$  と部分ベースライン  $i$  の印象の急激な変化を避けるために行う。部分ベースライン 1 では、4 小節間に含まれるベースラインの遷移確率の合計が大きくなるような音個体を選び、自然な流れを持つ個体を選択する。同時に 4 小節ごとに Music Entropy の値を算出し、部分ベースライン 2 を生成する際、Music Entropy の値の比較に用いる。

## 5. 実験

### 5.1 実験条件

本研究では、12 小節ごとに前 12 小節から派生する音楽の生成を行い、ブルースの即興演奏の方法に近づける。そのため、部分メロディ 0、部分コード進行 0 に基となる曲

を用いる。本実験では、Charlie Parker 作曲の Billie's Bounce を使用する。

コード進行の終端要素は、既存の曲で使用されている 3 つのコード (C7, F7, G7) にヴォイスングを行ったコードを用意する。また一般的なコード進行は 1 小節または 2 拍ごとに変化するため、初期遺伝子個体の階層値は 4 に設定し、初期遺伝子個体は 2 分音符から成るように調整している。パラメータは、初期遺伝子個体数、交叉率、突然変異率、最大世代数がある。本実験では、初期遺伝子個体数 100 とし、最大世代数を 50 と設定する。また自然界の交叉と突然変異を考慮して、交叉率 0.8, 突然変異率 0.1 と設定する。

ベースライン生成パートの終端要素について、本実験ではベースラインの音域を 2E~3G に設定するため、この音域の 15 音に継続と休符を加えた 17 種類を用意する。初期遺伝子個体の階層値はすべて 5 になるように調整する。パラメータは、初期遺伝子個体数 100, 最大世代数 200, 交叉率 0.8, 突然変異率 0.1 と設定する。

## 5.2 実験結果

生成した部分メロディ 1 と部分コード進行 1, 部分ベースライン 1 の例を図 3 に示す。

コードはテンション・ノートを含んだコード進行が生成されていることがわかる。各小節のメロディ音と生成されたコードのトップノートを比較すると、長 2 度、短 2 度で接する音は比較的淘汰されている。しかし、数カ所メロディ音と衝突する音も含まれている。これは、コードのトップノートと比較する対象のメロディ音を、コードの変わり目に相当するメロディ 1 音に絞っているためであると考えられる。部分コード進行 1 では、比較的トップノートの動きが大きくなるようなものが選択され、不自然な跳躍は起きていない。部分コード進行 2 においても、部分コード進行 1 で算出した Music Entropy の値の比較を行っているため、コードのトップノートが自然な流れになっているものが生成されている。

ベースラインは 4 分音符のみを生成している。1 拍目、3 拍目は対応するコードのコード構成音の音が生成されている。2 拍目、4 拍目はコード構成音以外の音も生成され、対応するコードのテンション・ノートと半音衝突を起している音も数カ所ある。

この実験から、コード進行については半音衝突を起こす音の淘汰やコードのトップノートに関して エントロピー関数の比較を行うことで、メロディに適したテンション・コードを生成していることがわかる。またベースラインでは、比較的コードの構成音に適した音が多く生成されている。しかしながら、各評価式は、お互いに干渉しあうため、すべての評価式を満たすような音列は生成できていない。そのため、今後さらに評価式の改良を行う必要がある。

図 3 部分小節 1 の例

## 6. まとめ

本稿では、[1]のコード進行生成モデルの改良を行い、メロディに適したテンション・ノートを含むコードを生成した。また新たにベースラインを生成するモデルを追加し、コード進行に適した 4 ビートのベースラインを生成した。

今後の課題として、本モデルで生成されるコード進行は 2 分音符のみはかなり単調なリズムであるため、これらのリズムを変化させるように改良を行う。また人間とリアルタイムでジャズセッションを行えるようなシステムの作成を目指し、さらにジャズに代表されるような即興演奏に対応していきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) K.Komatsu, T.Yamanaka, M.Takata and K.Joe, "A Music Composition Model with Genetic Programming," in *Proc. PDPTA'10*, II, pp.686-692, 2010.
- 2) J.A.Biles, "GenJam: A Genetic Algorithm for Generating Jazz Solos," In *Proceedings of the 1994 International Computer Music Conference*, ICMA, SanFrancisco, pp.3-4, 1994.
- 3) T.Kitahara, M.Katsura, H.Katayose and N.Nagata, "Automatic Chord Voicing System Using Bayesian Network," *IPJSJ journal*, Vol.50, No.3, pp.1067-1078, 2009.
- 4) N.Emura, et al., "A modular system generating Jazz-style arrangement for a given set of a melody and its chord name sequence," *Acoust.Sci.&Tech.*, Vol.29, No.1, pp.51-57, 2008.
- 5) Noteflight-Online Music Notation, <http://www.noteflight.com/>.