

パルススケールと非和声音規則に基づく自動作曲法

山森 一人^{a)}・山田 貴史^{b)}・相川 勝^{c)}

An Automatic Music Composition Method Based on Pulse-Scale and Non-Chord Tone Rules

Kunihito YAMAMORI^{a)}, Takafumi YAMADA^{b)}, Masaru AIKAWA^{c)}

Abstract

In this paper, we propose an automatic music composition method based on beat strength. We compose music rhythms by using “pulse-scale” in order to reflect beat strength. Moreover, we introduce “non-chord tone rules” not to deviate from the feeling of harmony. In addition, we repeat similar melody pieces so that melody obtains stable structure with comfort and friendship. In our method, we firstly decide the music structure from user’s input. Secondly, we decide chord progression by Markov model and some music theories. Thirdly, we compose melody from chord tones. Fourthly, we insert non-chord tones between chord tones. Finally, we grace the melody by giving a harmonize part and an accompaniment part. We evaluate composed music by a questionnaire survey. As a result, composed music obtains higher evaluations by reflecting more beat strength.

Keywords: *Music Composition, Music theory, Pulse-Scale, Non-Chord Tone Rules*

1. はじめに

近年、コンピュータの普及に伴い、DTM (Desktop music) の環境を安価に手に入れることができるようになった。音楽制作環境が発展している一方で、作曲そのものに関してはまだ人間の手で行われているのが現状である。作曲は音楽的知識や技術、作曲経験、才能など個人の能力に依存している部分が多く、音楽の初心者が行うことは困難である。そこで、音楽知識や作曲経験なしに誰でも簡単に作曲を行える方法として、コンピュータによる自動作曲が考えられている。一方、まだユーザの望む曲を満足に作ることはできるとは言えない。

自動作曲の分野では、マルコフモデルや遺伝的アルゴリズムがよく用いられている。住田ら¹⁾は、2次元画像処理などに用いられるマルコフ確率場を音楽の分野に応用して作曲を行う方法を提案している。Jiangら²⁾は、遺伝的アルゴリズムにより音列を生成し、ニューラルネットワークによる感性評価を行うことで曲を生成している。2014年には、小原ら³⁾が、次音候補をノードとして持つ木構造を構成し、根から順に評価値の高いノードを辿ることで作曲を行う手法を提案している。しかし、小原らの手法ではリズムの情報を取り入れておらず、拍の強弱が考慮されていない。

本論文では、作曲に対する専門的知識や経験をもたない人を対象とし、拍の強弱に着目した自動作曲法の提案と評

価を目的とする。また、拍の強弱に着目した自動作曲を実現するために、南高ら⁴⁾が提案しているパルススケールという概念を用いてリズムを生成する。

2. 曲の生成に用いる音楽規則

2.1 曲構成

楽曲は、音符の連なりがフレーズになり、それらが複数み合わさることによって構成されている。メロディーの単位として、「小動機」、「動機」、「小楽節」、「大楽節」がある。

小動機: 一般に、1小節の長さを持つメロディーのことである。

動機: 複数の小動機から構成され、メロディーを構成する要素のうちで、単独で存在できる最小単位のことである。長さは、拍子や小節が把握できるために少なくとも2小節が必要である。

小楽節: 複数の動機から構成され、楽曲構成上、最も小さなまとまりのことである。一般に、4小節の長さを持つ。

大楽節: 1つの独立した楽曲となることのできる規模としての最小のまとまりのことである。一般に、2つ程度の小楽節から構成される。

一般に、楽曲は一度使用されたメロディーを繰り返したり、変奏したりすることによって構成されている。音高の運動の反復、すなわち同じ音程の繰り返しは安定した構造を作り出し、聴きやすく親しみやすい旋律となる⁵⁾。ただし、しばしば単調であったり機械的になったりもするので注意が必要とされている。

^{a)}工学教育研究部教授

^{b)}情報システム工学科

^{c)}宮崎大学工学部教育研究支援技術センター技術職員



図 1. ハ長調のダイアトニックコード.

2.2 コード進行

コード進行とは、異なった音高を持つ2つ以上の音の集合であるコードが繋がって出来た一連の流れのことである。コードには多くの種類があるが、その中でも最もよく用いられるのがダイアトニックコードである。ダイアトニックコードとは、音階の各音を根音(コードの一番下の音)として3度上と5度上の音を重ねてできるコードのことをいう。図1にハ長調のダイアトニックコードを示す。図1のローマ数字は、主音(ハ長調の場合は「C」の音)からの度数を表しており、Tはトニック、Dはドミナント、Sはサブドミナントを表している。トニック、ドミナント、サブドミナントについては次節で説明する。

2.2.1 カデンツ

ダイアトニックコードは大きく分けてトニック (Tonic)、ドミナント (Dominant)、サブドミナント (Subdominant) の3種類に分けることができる。以下に、その機能の名称と分類を示す。

トニック:「落ち着き」といった印象を与え、ドミナント、サブドミナントに進行する。

ドミナント:「緊張」した印象を与え、トニックに進行しようとする力が非常に強い。

サブドミナント:ドミナントほど強くないが、「緊張」した印象を与え、トニック、ドミナントに進行する。

これらの進行をカデンツ⁶⁾という。図2にカデンツの状態遷移図を示す。

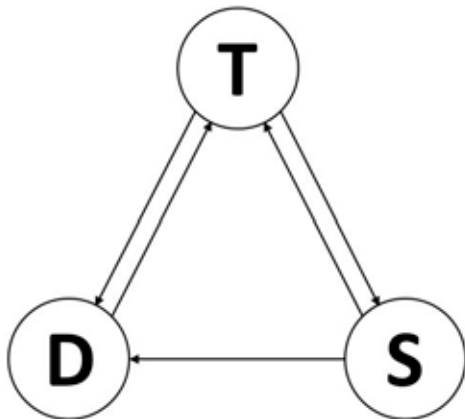


図 2. カデンツの状態遷移図.



図 3. 循環コードの例.



図 4. 終止形の例.

2.2.2 循環コードと終止形

楽曲のコード進行を決定する要素として、最もよく使われているのが循環コードと終止形というコード進行である。

循環コード: トニックから始まりカデンツに従って2つ程度のコードを通してドミナントに遷移するコード進行のことである。図3に循環コードの例を示す。図3では、C(トニック)から始まり、Am(トニック)、Dm(サブドミナント)と進行し、最後はG(ドミナント)で終わっている。

終止形: トニックから始まりカデンツに従って2つ程度のコードを通して再びトニックに戻ってくるコード進行のことである。図4に終止形の例を示す。図4では、C(トニック)から始まり、F(サブドミナント)、G(ドミナント)と進行し、最後はC(トニック)で終わっている。

2.3 パルススケール

音楽の分野において、リズムに関し拍、ビート、パルス等の概念があるが、提案手法ではパルススケールという概念を用いてリズムを生成する。

パルススケールとは1小節を 2^n 個に一定時間毎で分割し、各分割点に対し拍の強弱の程度を重みとして設定したものである。図5に4分の4拍子の1小節を16分割したときのパルススケールの例を示す。4の倍数番目の分割点は表拍であり、「強弱中弱」と重みの大きさが変化する。また、表拍以外の分割点では表拍と比較して更に重みを小さくする。

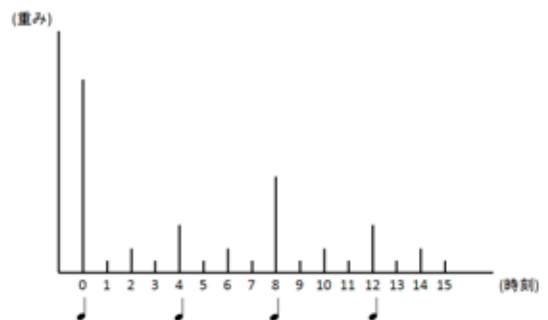


図 5. パルススケールの例.



図 6. 非和声音の例.

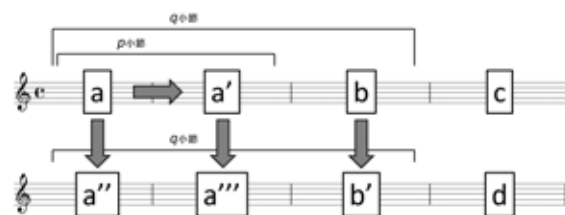


図 7. 曲構成の例.

2.4 非和声音規則

コードを構成する音を和声音と呼ぶのに対して、コードの構成音ではない音のことを非和声音と呼ぶ。与えられたコード進行からメロディーを作る際、そのコード進行の持つ和声感を逸脱しないよう、非和声音の並べ方に関する規則を設ける必要がある。

非和声音は、隣接する和声音との相対的な音高関係によっていくつかの種類がある。以下に、非和声音のうち代表的なもの例を示す。また、図 6 にそれぞれの非和声音の例を示す。

刺繍音: 和声音から音階の隣の音へ動き、戻ってくる音。

逸音: 和声音から音階の隣の音へ動き、3 度逆進行して解決する音。

経過音: ある和声音から別の和声音の間を埋めるように置かれる音。

上記以外にも非和声音はいくつか存在する。例えば、和声音から非和声音へと跳躍進行し、直後にある和声音へ跳躍進行するような場合は、不自然に聞こえるとされている。そのため、深山ら⁷⁾の手法では、このような不自然な非和声音を禁止している。

3. 提案する自動作曲法

3.1 提案手法での作曲手順

提案手法では、テンポ・音量などは一定、4 分の 4 拍子で、4 小節の小楽節が 2 つ集まって 1 つの大楽節を構成している一部形式と呼ばれる曲を想定する。作曲手順としては、先に和声音のみの曲を生成することで曲の生成を単純化し、後から和声音と和声音の間に非和声音を挿入するという段階的な手法をとる。以下に提案手法での作曲手順を簡単に述べる。

Step1: 曲構成を決定する。

Step2: コード進行を生成する。

Step3: 和声音のみの曲を生成する。

Step4: 非和声音を挿入する。

Step5: 曲の装飾を行う。



図 8. 同一パターンの小動機の例.

3.2 曲構成の決定法

提案手法では、小節に対応する小動機を組み合わせることによって作曲を行う。

まず、大楽節のうちの先行する小楽節では、最初の p 小節だけ同じパターンのメロディーを繰り返す。次に、後続する小楽節では、最初の q 小節だけ先行する小楽節と同じパターンのメロディーを繰り返すものとする。 p と q の値はユーザが設定するか、ランダムな値を設定する。図 7 に $p = 2, q = 3$ のときの曲構成の例を示す。図 7 の「a」や「a'」などの同じアルファベットの場所には、同一パターンの小動機が入ることを表している。

提案手法では、コードに応じて音高をシフトさせても同一パターンの小動機としてみなす。図 8 に同一パターンの小動機の例を示す。

3.3 コード進行の生成法

提案手法では 1 小節に 1 つのコードを割り当てるものとし、コード進行の決定には 1 階のマルコフモデルを用いる。あるコードから次のコードへ遷移する確率は既存曲のコード進行の調査結果から求める。しかし、マルコフモデルだけでは、どの小楽節の何小節目であるのかを考慮できない。そこで、先行小楽節では循環コード、後続小楽節では終止形になるという条件を満たさない遷移を禁止する。図 9 にマルコフモデルを用いて生成したコード進行の例を示す。



図 9. 生成したコード進行の例.

3.4 パルススケールの生成法

パルススケールでは、1小節を 2^n 個に分割したとき、時刻 t と 2^n の最大公約数 $gcd(t, 2^n)$ が大きいほど重みも大きくなる。

提案手法では、ユーザがパルススケールの値を調節できるように、時刻 t でのパルススケールの値 $W(t)$ を式(1)で定義する。 α の値を大きくすれば、パルススケールの重みが大きいときの値と小さいときの値の差も大きくなる。

$$W(t) = \alpha^{\log_2(gcd(t, 2^n))}. \quad (1)$$

3.5 和声音のみでの曲の生成法

パルススケール $W(t)$ を用いて、1小節毎に和声音を配置する時刻を確率的に決定する。そのため、 $W(t)$ の和が1になるように正規化した、時刻 t での和声音配置確率 $P(t)$ を式(2)で定義する。

$$P(t) = \frac{W(t)}{\sum_{k=0}^{2^n-1} W(k)}. \quad (2)$$

$P(t)$ に基づき1小節に複数の和声音を配置していくが、同一時刻に複数の和声音を配置することは禁止する。このとき、3.2節で定めた曲構成において、同一パターンの小動機に対しては和声音も同じように配置する。最後に、終止感を持たせるため、小楽節の最後を2分音符で上書きする。図10に、1小節に4~6個の和声音を配置した例を示す。

各小節に与えられたコードの構成音の中から1つをランダムに選択し、和声音として配置していくが、このとき、どのオクターブの音を選択するかについては、他の音との関係を考慮する必要がある。

2音間の音程の下の音を1オクターブ上げる、または上の音を1オクターブ下げることを回転 (Inversion) という。図11に音程の回転の例を示す。旋律中に1オクターブを超えるような跳躍があると、全体をひとまとまりのフレーズとして見なすことが困難となるため、こうした場合は回転の関係にある2音のうちどちらかを後続音として選択する。提案手法では以下の2つの評価項目を基に、どちらの音を選択するか決定する。

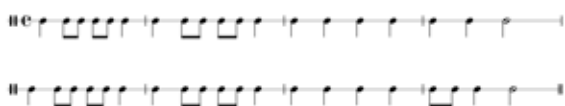


図 10. 和声音を配置する時刻を決定した例。



図 11. 回転音程の例。



図 12. 図 10 のリズムを基に和声音のみで生成した曲の例。

先行音と後続音との音高差: 一般に、先行音と後続音の音高差が大きくなりすぎると不自然に聞こえる場合がある。そのため、先行音と後続音の音高差が小さい音に高い評価を与える。

基準音と後続音との音高差: 楽器の音や人間の声には音域というものがあり、曲中の最高音と最低音の音高差が大きすぎると不自然に聞こえる場合がある。そのため、曲の中心となる音をユーザが設定して、その音を基準音として音高差が小さい音に高い評価を与える。

提案手法では、単純に「先行音と後続音との音高差」と「基準音と後続音との音高差」の和が小さい音に高い評価を与える。ただし、3.2節で定めた曲構成において、同一パターンの小動機に対しては、同じように和声音の音程を回転する。図12に、図10のリズムを基に和声音のみで生成した曲の例を示す。

3.6 非和声音の挿入法

和声音のみで生成した曲の和声音と和声音の間に、非和声音を挿入する。いたずらに非和声音を挿入すると曲が複雑になるため、確率的に非和声音を挿入する。このとき、3.2節で定めた曲構成において、同一パターンの小動機に対しては同じように非和声音を挿入する。

パルススケールを用いて、和声音と和声音の間に非和声音を配置する時刻を確率的に決定する。提案手法では前後の和声音の中間の時刻以降に非和声音を挿入する。

非和声音を配置する候補となる時刻でのパルススケールの重みの合計が1になるように正規化した、時刻 t での非和声音配置確率 $P'(t)$ を式(3)に示す。式(3)の t_1 は非和声音を挿入する時刻の直前にある和声音の時刻、 t_2 は直後にある和声音の時刻である。



図 13. 図 12 の曲に非和声音を挿入した曲の例.



図 14. 図 13 の曲にハーモナイズを付与した曲の例.

$$P'(t) = \begin{cases} \frac{W(t)}{\sum_{k=\lfloor \frac{t_1+t_2}{2} \rfloor}^{t_2-1} W(k)}, & \frac{t_1+t_2}{2} \leq t < t_2, \\ 0, & \text{それ以外.} \end{cases} \quad (3)$$

提案手法では、2.4節で紹介した非和声音に分類されるもの以外を禁止する。図 13に図 12の曲に非和声音を挿入した曲の例を示す。

3.7 曲の装飾法

3.7.1 ハーモナイズの生成法

ハーモナイズとは、主旋律に音高が違う別の旋律を付与することである。主旋律の進行を考慮したハーモナイズは数種類存在するが、ここでは平行型と反行型について記述する。

平行型: 主旋律の音高進行と同方向の進行をする。主旋律の音高が上がるとハーモナイズパートの音高も上がり、主旋律の音高が下がるとハーモナイズパートの音高も下がる。

反行型: 主旋律の音高進行と逆方向の進行をする。主旋律の音高が上がるとハーモナイズパートの音高は下がり、主旋律の音高が下がるとハーモナイズパートの音高は上がる。

上野ら⁸⁾による既存曲の調査では、反行型のハーモナイズはあまり確認されなかった。そのため、提案手法では平行型のハーモナイズを採用する。基本的に平行型のハーモナイズパートは主旋律の3度下の音をとる。このとき、コードの構成音とハーモナイズパートの音の音高差が2度になる場合は、不協和音を避けるため、主旋律の4度下の音をとる場合が存在する。特に、不協和音となる音を長く伸ばし過ぎてしまうと、コード進行の持つ和声感を逸脱してしまう。そこで提案手法では、4分音符以上の長さを持つ音のみ、ハーモナイズパートの音と主旋律の音が不協和音となる場合に主旋律の4度下の音をとるものとする。図 14に図 13の曲にハーモナイズを付与した曲の例を示す。

3.7.2 伴奏の生成法

コードの一番下の音を1オクターブ上に回転したコードや、一番上の音を1オクターブ下に回転したコードを回転系という。図 15に「C」の回転コードの例を示す。

コードを鳴らす際に、コードを構成する音の音高差がありすぎると不自然に聞こえるとされている。そのため、提案手法ではコードの根音に着目して、3.5節の和音の音程の決定法と同様に、「前のコードの根音と次のコードの根音の音高差」と、「基準となる音と次のコードの根音の音高差」の和が最も小さくなる回転系を選択する。ここでの基準音は、ピアノ鍵盤の中央の「C」である「C4」よりも1オクターブ低い「C5」に設定した。図 16に図 9のコード進行を回転させた例を示す。

また、コードをそのまま鳴らす、いわゆる「白玉弾き」という方法でも伴奏にはなるが、それでは曲として不十分である。そこで、既存の曲から伴奏の 패턴のサンプルを抽出して利用する。提案手法では伴奏の 패턴のサンプルを10種類用意し、ランダムに選択する。図 17に既存の曲から抽出した伴奏の 패턴の例を示す。図 18に、図 16のコード進行と図 17の 패턴を基に生成した伴奏の例を示す。なお、楽節の最後は終止感を持たせるため、主旋律に合わせて2分音符で上書きする。



図 15. 「C」の回転コードの例.



図 16. 図 9 のコード進行を回転させた例.



図 17. 伴奏パターンの例.



図 18. 図 16 のコード進行と図 17 のパターンを基に生成した伴奏の例.

4. 提案手法の評価

提案手法の評価を行うため、 α の値や、メロディーの同一パターンの有無を変化させて比較実験を行う。「曲に聞こえるか」という質問に対して5段階で評価するアンケートを行い、11名から回答を得た。そのアンケート結果を図 19に示す。また、図 20に生成された曲のうちの1つを例として示す。

α の値が小さい場合は、「曲に聞こえる」と回答した人が少なかったが、 α の値を大きくするにつれて、「曲に聞こえる」と回答した人が多くなった。これは、生成される曲に拍の強弱が十分に反映されたためと考えられる。

また、同一パターンありの場合は、同一パターンなしの場合と比較して「曲に聞こえる」と回答した人が多かった。これは、音高の運動の反復によって、安定した構造が作り出されたためと考えられる。

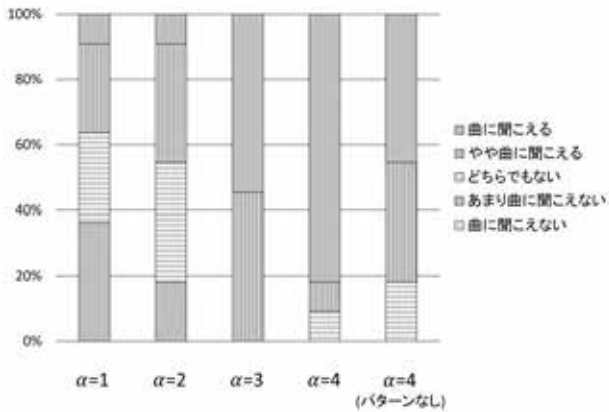


図 19. α の値や、メロディーのパターンの有無を変化させた曲の評価.



図 20. 生成された曲の例.

5. おわりに

本論文では、作曲に対する専門的知識や経験をもたない人を対象とし、拍の強弱に着目した自動作曲法の提案と評価を目的とした。

パルススケールを変化させたときの曲の評価は、パルススケールの差を大きくするほど「曲に聞こえる」と回答した人が多くなった。メロディーの同一パターンの有無による曲の評価は、同一パターンありの場合のほうが、同一パターンなしの場合と比較して「曲に聞こえる」と回答した人が多くなった。これらの結果から、パルススケールにより拍の強弱を十分に反映させたり、同一パターンを導入することによって安定した曲構造が作り出されることで、より曲らしい曲が生成されるようになったといえる。

今後の課題は、音楽知識や作曲経験がない人でも簡単にイメージした曲を作れるように、曲にイメージを反映させることなどが挙げられる。

参考文献

- 1) 住田浩之, 林朗: “マルコフ確率場を用いた自動作曲(自動作曲・作曲支援)”, 情報処理学会研究報告. SLP, 音声言語情報処理, Vol. 2008, No. 12, pp. 151-156, 2008.
- 2) M. Jiang and C. Zhou: “Automated composition system based on ga”, Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE), 2010 International Conference on, pp. 380-383, 2010.
- 3) 山森一人, 小原智子, 相川勝: “音楽規則に基づくピースベース自動作曲法の提案”, 宮崎大学工学部紀要, Vol. 42, pp. 221-226, 2013.
- 4) 南高純一, 猪野真弓, 佐藤邦雄, 森川重則: “リズム, 和声, 調性を考慮した自動作曲システム-MAGIC”, 全国大会講演論文集, Vol. 37, No. 3, pp. 1960-1961, 1988.
- 5) 高山博: ポピュラー音楽作曲のための旋律法聴く人の心に響くメロディラインの作り方, 株式会社リットーミュージック, 2012.
- 6) 小平あゆみ, 神野健哉: “カオスを用いた自動作曲システム”, 電子情報通信学会技術研究報告. NLP, 非線形問題, Vol. 107, No. 478, pp. 5-8, 2008.
- 7) 深山覚, 西本卓也, 小野順貴, 嵯峨山茂樹: “非和声規則に基づく経路制約を用いた旋律自動生成”, 情報処理学会研究報告. [音楽情報科学], No. 15, pp. 1-6, 2009.
- 8) 上野涼平, 小泉悠馬, 伊藤克亘: “音楽知識を利用したハーモナイザー”, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 75, No. 2, pp. 293-294, 2013.