

遺伝的アルゴリズムによる旋律への和声付与

鈴木 大河^{1,a)} 丸山 一貴^{1,b)}

概要：近年，専門的な知識を持たない初学者でも作曲をする機会が急増している．音楽的な知識を持たない初学者は旋律を先に創造し，旋律に対するコード進行付与を行うソプラノ課題を取る傾向があるが，この作曲手法は和声法などの専門的な知識と多くの作曲経験が必要である．本研究は，初学者向けに単旋律への和声付与のサポートを目的とし，先行研究よりポピュラーなコード進行の付与を行うために，遺伝的アルゴリズムを用いた自動和声付与手法を提案する．提案手法は MIDI ノート番号で構成される 4 音を遺伝子として持ち，コードネームとして表現される和声以上の表現を可能としている．初期状態に旋律の音階に対応するモノコードを付与することで無秩序な乱数探索を抑制する．入力旋律の構成音と探索中の和声構成音との一致度，和声の構成形状，和声の進行の 3 要素の評価を総合した適応度で個体を評価する．また，提案手法を実装したプロトタイプシステムを用いて旋律に和声を付与し，主観評価を行う．

1. はじめに

近年，動画投稿サービスや SNS (Social Networking Service) の普及により，利用者自らの表現を発表する機会が急増した．音楽分野も例外ではなく，DTM (Desktop Music) の流行や DAW (Digital Audio Workstation) ソフトウェアの普及・高性能化など，専門的な知識を持たない一般人でも作曲をする機会が増加した．

作曲するにあたり考慮する音楽の要素として，クラシック音楽に代表される西洋音楽では，律動 (リズム)，旋律 (メロディー)，和声 (ハーモニー) の 3 要素が挙げられる．旋律だけを作曲する難易度に対してその旋律に合う和声を付与するには和声法 [1] などの専門的な知識と経験が必要である．また，専門的な知識を有する者は和声進行を基とした旋律生成を行うベース課題と呼ばれる作曲手法をとるが，専門的な知識を持たない初学者は想像が容易な旋律を先に検討し，その後和声付与を行うソプラノ課題と呼ばれる作曲手法をとる場合が多い．従って，専門的な知識を有さない初学者が旋律以外の作曲をするのは困難なため，和声付与を補助するシステムが必要である．

和声を旋律に付与する従来の手法として，ルールベースによるもの [2]，コードの遷移をマルコフモデルにより表現した隠れマルコフモデル (Hidden Markov Model , HMM) による和声付与システム [3][4][5] などが提案されてきた．しかし，これらの方法では付与される和声のパターンが事

前に限定される制約があり，音楽的な表現力に限りがある．

そこで，本研究では初学者向けに旋律への和声付与のサポートを目的とし，音楽的なある程度の正しさと同時に表現力を豊かにするために，遺伝的アルゴリズム [9] (Genetic Algorithm , GA) を用いた自動和声付与手法を提案する．この手法は多くの可能性を含めた探索を行い，旋律から和声の付与された楽曲を生成することができる．また，提案手法を実装したプロトタイプシステムを制作し，評価を行う．

2. 関連研究

旋律に対する和声進行の自動付与は自動作曲の一分野として研究されているが，多くの場合ベース課題の手順を取りソプラノ課題の形式を取る本研究とはアプローチが異なる．

2.1 コード進行付与

和声法では，3 和音で成り立つ和声を和声構成音のベース音を音階基準音から順に I から VII と表現される．各コードは役割を持ち，トニック，サブドミナント，ドミナントの 3 種類に分類できる．コードの役割であるトニックを T，サブドミナントを SD，ドミナントを D と表現した時，和声法が定めるコード進行の遷移可否を図 1 に示す．

2.1.1 ルールベース

コードの進行可否を含め和声法は許容と禁止で成り立つため，ルールベースでモデル化する手法が多く研究されてきた．三浦ら [2] は，和声法 [1] におけるコード進行の可否をポピュラー音楽で用いられるコードを追加したものに拡

¹ 明星大学 情報学部 情報学科

^{a)} 16j5094@meisei-u.ac.jp

^{b)} kazutaka.maruyama@meisei-u.ac.jp

張し、旋律に対して自動でコード進行を付与する手法を提案した．非和音を除いた旋律を対象にしたコード進行を行うため、付与コードの対象外ではあるが、この手法を拡張した場合に sus4 や add9 などの表現力の高いコードを付与することが困難である．

2.1.2 データベース

既存の楽曲のコード進行をデータベース化し、その中からコード進行を充てる手法も研究されている [6][7]．ポピュラー音楽で広く使われる定型的な定番コード進行を集めたデータベースから、利用者が選択する研究 [6] か、入力旋律とデータベースに登録されたコード進行を比較しマッチングスコアの高いものを選択する研究 [7] がある．これらの研究は、固定されたデータベース中のコード進行を当てはめるため、付与対象の旋律の長さを固定する必要がある欠点がある．

2.1.3 学習モデル

Simon ら [3] は、事前に学習された確率遷移モデルから、入力された旋律に対し自動で適合するコード進行を付与する手法を提案している．また、森ら [4] は、前後のコードの遷移だけではなく、2 段階前のコードからの遷移を考慮する 2 階マルコフ過程を用いて自動でコード進行を付与する手法を提案している．これらの研究の対象コードは 3 和音である M, m, dim, aug, sus4 を 12 音に適用した 60 種類である．川上ら [5] は、数種類の和声進行モデルから旋律の背後に隠れた和声進行を推定する手法を提案している．3 和音に限定したモデルを形成し、モデルは童謡などから学習し、C7 は C に変換するなど 4 和音を 3 和音に変換した．これらの研究は 3 和音に限定しているため、既存楽曲で多く使われるセブンスコードをはじめとした 4 和音に対応していないため、表現力に限りがある．

リカレントニューラルネットワーク (Recurrent Neural Network: RNN) を用いた手法も研究されている [8] が、HMM を用いた付与手法同様に付与対象コードが事前に用意したモデルに制限されてしまうため、表現力に限りがある．

2.2 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズム [9] は、生物の進化を模した確率的探索手法であり、選択・交叉・突然変異の 3 種類の遺伝的操作を持つ最適化アルゴリズムである．

Towsey ら [10] は、遺伝的アルゴリズムを用いた自動作曲を行う場合に必要な音楽的な特徴を示した．遺伝的アルゴリズムによる作曲も研究されている [11][12]．これらの研究はコード進行を基に旋律を生成するベース課題の形をとるため、ソプラノ課題を行う本研究とは異なる．羽鳥ら [12] の提案手法ではダイアトニックコード*1 から減 3 和

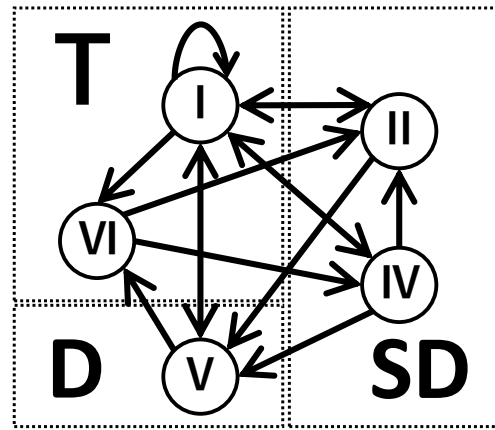


図 1 和声法で許容されるコード進行

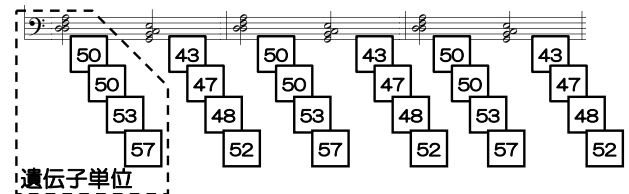


図 2 提案手法の個体表現の例

音を除いた 6 種類が対象コードとなるなど、コードネームを用いた探索を行うため、他の手法と同様に対象コードが限られる．

3. 提案手法

本研究では遺伝的アルゴリズムを用いたコード進行付与手法を提案する．最適化アルゴリズムである遺伝的アルゴリズムでは、高評価の個体以外も検討・評価を行うため、より多くの可能性を探索することができる．

先行研究では探索対象の和声をコードネームで表現していたが、本研究では MIDI ノート 4 つの 4 和音で表現することで、コードネームで表現できない和声も許容し、探索を行う．提案手法の個体表現の例を図 2 に示す．初期状態は無秩序な乱数探索を抑制するために、対象旋律の音階の I の和音*2 のモノコードを 0 世代目とする．提案手法による個体の評価尺度は次の 3 要素で成り立つ．

(1) 和音形評価

ダイアトニックコードなどの形状と 4 和音の形状が一致するかの評価を行い、不協和音は低評価とする．この評価では旋律を加えた評価は行わず、4 和音の形のみを評価する．形状の評価を行うことで、借用和音などに対応することができる．

(2) 旋律一致評価

旋律構成音と和声構成音の共通音の数と長さを評価す

*1 ポピュラー音楽で広く利用されるコードであり、音階に存在する音のみで構成される．

*2 八長調の場合は C．

表 1 遺伝的操作

世代数	30000
世代個体数	200
適応度の算出	後述
選択方法	エリート選択とトーナメント選択
交叉	3 点交叉
突然変異	世代数に応じて低下 範囲内の MIDI ノートにランダムに変更

表 2 各パラメーター一覧

S	適応度
S_f	和音形評価値
S_m	旋律一致評価値
S_p	進行評価値
F	和音形状評価スケール
M	旋律一致評価スケール
P	進行評価スケール

る。また、入力された旋律の音階から外れた音が旋律構成音と和声構成音の両者で確認できた場合、評価値を上方修正する。

(3) 進行評価

和声構成音の最低音をベース音としたカデンツ判定と和声法の進行可否と前後の和声構成音の変化量を評価する。

3 要素の評価を総合した値を評価値とし、適応度の算出に用いる。遺伝的操作を行い世代を重ね、最終的に適応度が最も高い個体を解とし出力をする。

4. プロトタイプシステムの実装

提案手法の評価を行うため、提案手法を実装したプロトタイプシステムを Python3 で制作した。入力には和音のない単旋律の MIDI (Musical Instrument Digital Interface) ファイルを用いる。

入力された単旋律の音階に対する I の和音のモノコードを初期状態とし、個体を生成する。初期個体に対し、遺伝的アルゴリズムを適応する。探索対象は MIDI ノートで 55 から 78 に限定する。表 1 に主な遺伝的操作を示す。

適応度の評価には、3 要素の評価を総合した値を用いる。3 要素の評価に線形スケーリングとべき乗スケーリングを行い、総合した値を適応度として算出する。評価に用いるパラメータを表 2 に示す。

評価値の総合は式 (1) より求める。和声形評価値 S_f と旋律一致評価値 S_m は遺伝子毎に算出され、進行評価値 S_p は個体毎に 1 度算出される。評価関数の詳細は以下に示す。

$$S = (S_f * F)^2 + (S_m * M)^2 + (S_p * P)^2 \quad (1)$$

4.1 和音形評価 S_f

和音形評価 S_f は次の 3 要素で成り立つ。

(1) 範囲評価 F_r

F_r は遺伝子構成音の最大値と最小値がオクターブの範囲内にある場合は高い値をとり、オクターブの範囲内に収まらない場合は低い値をとる。

(2) ダイアトニック評価 F_d

遺伝子をオクターブに正規化しソートした状態で、音階基準音との差をとり一致した場合に加点を行う。評価基準に入力した旋律に対応する音階のダイアトニックコードである I から VII と 4 和音に拡張した I7 から VII7 の 14 種類を用いた。 F_d は遺伝子の構成音が表中の形で表現できる場合は高い値をとり、表現できない場合は低い値をとる。

(3) 形状評価 F_c

正規化していない遺伝子内の最低音からの距離に応じた評価も行う。この評価は M, m, sus4, aug, dim, M7, m7, 7, 7sus4, -5, m-5, add9 の 12 種類のコードで評価し、最低音をベース音とする。 F_c は遺伝子の構成音が表中の形で表現できる場合は高い値をとり、表現できない場合は低い値をとる。また、入力旋律が長調の場合、対象遺伝子の形状がマイナーコードの形状と一致した場合には低い値に補正される。同様に入力旋律が短調の場合、対象遺伝子の形状がメジャーコードの形状と一致した場合低い値に補正する。

1 遺伝子に対する 3 要素を総合した和声形評価値 S_f は式 (2) から導出する。

$$S_f = F_r * (F_d + F_c) \quad (2)$$

4.2 一致評価 S_m

旋律構成音と和声構成音を比較し一致した場合、旋律構成音の長さに応じた評価を行う。長さは 8 分音符を 1 単位とし、一致基準点に長さをかけた値を S_m とする。また、旋律構成音と和声構成音に共通して音階に存在しない音が含まれていた場合、 S_m の値をさらに増加させる。

4.3 進行評価 S_p

遺伝子と和音のベース音を取り、遺伝子間の変化を評価する。遺伝子のコード形状が和音形評価で判定できない場合は、遺伝子内の最低音をベース音とみなし評価する。進行評価 S_p は以下の 3 要素で成り立つ。

(1) カデンツ評価 P_k

個体内のベース音の並びが和声法のカデンツ^{*3}で表現されている場合に P_k は値を持つ。

(2) 終止形評価 P_f

個体内の終端のベース音の並びが和声法の終止形^{*4}で表現されている場合に P_f は値を持つ。

^{*3} コードの役割を自然な形で進行させたもの。

^{*4} 音楽の段落の終端におけるコードの役割の進行。



図 3 出力和声

表 3 出力主観評価

小節番号	著者	協力者 A	協力者 B
1	可	可	可
2	良	良	良
3	不可	不可	可
4	不可	不可	良
5	不可	不可	不可
6	良	良	良
7	可	不可	可
8	可	可	良
9	良	良	良
10	良	良	良
11	良	良	良
12	良	良	良
13	良	良	良
14	不可	不可	不可
15	良	良	良
16	良	良	良

(3) 構成音変化評価 P_c

遺伝子の 4 音に対し、隣接する遺伝子が MIDI ノートで隣接するか音階で隣接するかの判定を行い、隣接する場合は P_c は高い値をとり、大きく離れると低い値をとる。

1 遺伝子に対する 3 要素を総合した進行評価値 S_p は式 (3) から導出する。

$$S_p = P_k + P_f + P_c \quad (3)$$

5. 生成試験

提案システムを用いて単旋律から和声の生成試験を行った。入力旋律には R・ロジャース作曲の「Do-Re-Mi」の一部を利用した。

入力した単旋律を提案アルゴリズムによる探索を行い、出力した和声を図 3 に示す。出力された旋律の小節毎に良、可、不可の 3 段階の評価基準で主観評価を行った。被験者は著者 1 名と実験協力者 2 名で、簡単な作曲経験がある。

出力評価を表 3 に示す。15 小節目は 2 小節で探索したものを手動で修正している。

また、出力結果に対し著者 1 名が和声法評価を行った。和声法評価を図 4 に示す。

生成試験の出力評価から、一部を除いて概ね主観評価では良い評価を得ることができた。また、和声法評価から、

表 4 和声法評価

小節番号	和音	遷移可否	備考
1	Cadd9	—	—
2	C	可	—
3	判定不能	可	最低音が D
4	F	不可	—
5	判定不能	可	最低音が D
6	C	可	—
7	Fadd9	可	—
8	F	不可	—
9	C	可	—
10	F	可	—
11	Dadd9	可	ダブルドミナント
12	Gadd9	可	—
13	Eadd9	可	—
14	判定不能	不可	最低音が C
15	F→G	可 → 可	T→SD→D→T
16	C	可	全終止

概ね和声法的に正しい遷移を行うことが確認された。

特に 9 小節目から 13 小節目にかけて、ダブルドミナントを用いた自然で表現力の高い進行が付与されていることが確認された。

しかし、旋律構成音に強く影響されてしまう点も多く、5 小節目と 14 小節目などは旋律構成音のみで構成される不適切な和声が付与されていることが確認された。また、次の二つの大きな欠点を確認された。

(1) 旋律構成音の種類が少ないケース

生成試験の出力結果の 4 小節目など、提案手法では旋律構成音を多く持つ和音を高く評価するため、旋律構成音が 1 つのケースでは比較的ランダムな和音が出来上がる場合がある。前後のコード遷移など進行評価をより高く評価する必要がある。

(2) 旋律の和声構成音が限定されるケース

旋律構成音が少ないケースであると、最低でも 3 和音で和音形の評価を行うため、残りの和音構成音がランダムで決定してしまう場合がある。生成試験の出力結果の前半部では G が付与されるべき部分の大半で付与されていないが、ソの音が旋律構成音に存在しないことから導出されにくかった可能性がある。対象となる音階の音に応じた優先度を設定するなどの対策が必要である。

6. まとめ

本研究では、和声形、旋律一致、和声進行の 3 つの評価関数を実装した遺伝的アルゴリズムによる旋律への和声付与手法の提案を行った。本手法を実装したプロトタイプシステムは、和音遺伝子を MIDI ノート 4 音で表現することで、コードネームに限定されない探索を行うことが確認された。また、付与された和声に対する主観評価を行った結

果，表現力のある和声進行が付与されたことを確認した。

しかし，入力旋律構成音に強く影響されてしまう欠点を持つことが確認された．この欠点は出力結果に不協和音を含む可能性が高く，修正する必要がある．

今後は生成試験で手動で調整した遺伝子の分割などの実装と，旋律中の非和声音を含ませる割合を変更するなど，旋律構成音からの評価手法の改善を行ったうえで，他の手法との比較実験を行う．

謝辞 明星大学 非常勤講師の丹治昭夫様と准教授の横山真男様には音楽理論と提案手法の方針についてご助言をいただきました．深く感謝致します．

参考文献

- [1] 池内友次郎，島岡譲ほか: 和声 理論と実習 I，音楽之友社，1964．
- [2] 三浦雅展，青山容子，谷口光，青井昭博，尾花充，柳田益造: ポップス系の旋律に対する和声付与システム: AMOR，情報処理学会論文誌，Vol．46，No．5，pp．1176–1187，2005．
- [3] Ian Simon，Dan Morris and Sumit Basu: MySong: Automatic Accompaniment Generation for Vocal Melodies，Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing systems，CHI '08，New York，NY，USA，ACM，pp．725–734，2008．
- [4] 森篤史，新井イスミル: 2階マルコフ過程を用いた HMM によるコード付与手法の提案，情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS)，Vol．2017，No．18，pp．1–9，2017．
- [5] 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，情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS)，Vol．19，No．34，pp．59–66，2000．
- [6] 深山寛，中妻啓，米林裕一郎，酒向慎司，西本卓也，小野順貴，嵯峨山茂樹: Orpheus：歌詞の韻律に基づいた自動作曲システム，情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS)，Vol．30，No．78，pp．179–184，2008．
- [7] 東山恵祐: 作曲支援システムにおけるコード進行及びキーの決定方法，情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS)，Vol．2014，No．52，pp．1–6，2014．
- [8] 西田正洋，菊地進一，中西正和: リカレントニューラルネットワークを用いたコード進行の自動生成，情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS)，Vol．2000，No．76，pp．67–72，2000．
- [9] 北野宏明: 遺伝的アルゴリズム，産業図書，1993．
- [10] Michael Towsey，Andrew Brown，Susan Wright and Joachim Diederich: Towards melodic extension using genetic algorithms，Educational Technology & Society，Vol．4，No．2，pp．54–65，2001．
- [11] 山田拓史，椎塚久雄: 遺伝的アルゴリズムを用いた自動作曲について，情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS)，Vol．1998，No．96 (1998-MUS-027)，pp．7–14，1998．
- [12] 羽鳥喜紀，涌井広大，長名優子: 遺伝的アルゴリズムを用いたコード進行を考慮した自動作曲，第 78 回全国大会講演論文集，Vol．2016，No．1，pp．451–452，2016．