

確率推論を用いた四声体和声の自動生成*

鈴木峻平, 竹内俊雄, 佐藤桂亮, 北原鉄朗 (日大・文理)

1 はじめに

和声において、4つの声部から構成される四声体和声は、最も基本的な形態の1つである。実際、バッハのコラールや弦楽四重奏など、様々な場面でこの形態が登場する。そのため、音楽大学でも和声学の講義や実習において四声体和声がよく取り上げられる[1]。特に、ソプラノ声部が与えられて残りの声部を付与するソプラノ課題と、バス声部が与えられて残りの声部を付与するバス課題は、その問題設定の明確さから、和声学の演習問題としてよく用いられる。

本研究では、「ソプラノ課題」を計算機で自動的に解く手法について検討する。四声体和声を計算機で生成するタスクを扱った研究として、すでにいくつかの研究が行われている。深山らは、隠れマルコフモデルを利用したコードネームからの四声体和声生成の手法を提案した[2]。三浦らは、和声学の禁則を実装し、許容解を列挙するシステムを実現した[3]。Allanらも隠れマルコフモデルを利用しているが、詳細な定式化は異なっている[6]。Phon-Amnuaisukらは、遺伝的アルゴリズムと彼らが設定したルールベースでのシステムとで四声体和声の生成結果を比較した[5]。本稿ではベジアンネットワークを用いて四声体和声を生成する手法を提案する。

2 四声体和声生成における課題

2.1 問題設定

ユーザがソプラノ声部の旋律をMIDI形式で入力すると、四声体和声における残りの声部（アルト、テノール、バス）の旋律を生成し、MIDI形式で出力する。通常のソプラノ課題と同様に、旋律のリズムは各声部で共通とする。すなわち、各声部の音符数および各音符における発音時刻・消音時刻はすべて等しいものとする。また、調は既知（現在の実装では八長調を前提）とし、簡単のため、ダイアトニックスケールの音のみ用いることとする。

2.2 課題と方針

四声体和声の生成において重要なことは、声部間の縦の繋がり（音楽的同時性）と声部内の横の繋がり（音楽的連続性）の両方を考慮することである[4]。本研究では、同時性と連続性を同時に考慮するため、同

時性と連続性をノード間の確率的依存性として表現したベジアンネットワークを用いる。同時性に関しては、完全4度・5度などの協和性の高い音程の出現確率を高く設定し、連続性に関しては、直前の音との音高差が大きいほど確率が低くなるように設定する。

3 四声体和声生成手法

3.1 処理の概要

ユーザがソプラノ声部の旋律をMIDIファイルとして入力する。ソプラノ声部の音高（ノートナンバー）を S_1, S_2, \dots, S_N で表すこととする。すると、システムは残りの声部の旋律を時系列順に沿って決定する。アルト、テノール、バスの各声部における i 番目の音高をそれぞれ A_i, T_i, B_i とすると、システムは、まず与えられた S_1 を元に A_1, T_1, B_1 を決定する。その後、決定済みの A_1, T_1, B_1 と与えられた S_2 を元に A_2, T_2, B_2 を決定する。これを順次繰り返して A_N, T_N, B_N まですべての音符の音高が決定し、生成された旋律をMIDI形式で出力して処理を終了する。

3.2 ベジアンネットワークのモデル

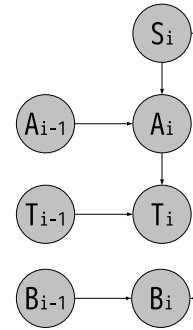


Fig. 1 ベジアンネットワーク

ベジアンネットワークでは、与えられた S_i に対して、最ももっともらしい A_i, T_i, B_i を推論する。その際、各声部における直前の音符からの流れも考慮する。本来、過去の旋律からの流れや後続の音符への流れは、できるだけ広範囲に評価すべきだが、モデルの複雑さを抑えるため、直前の音符の音高 $A_{i-1}, T_{i-1}, B_{i-1}$ のみを考慮する。また、 S_i, A_i, T_i, B_i は本来4つともが複雑に依存しあっていると考えるべきであるが、モデ

* Automatic Generation of Four-part Harmony Using Probabilistic Inference by SUZUKI Syunpei, TAKEUCHI Toshio, SATO Keisuke, and KITAHARA Tetsuro (College of Humanities and Sciences, Nihon University)

ルの複雑さを抑えるために、依存性を簡略化する。和声学では、ソプラノとバスを外声といい、この2パートが適切な関係を維持することが重要であると言われている [1]。また、ソプラノ、アルト、テノールは上3声としてひとまとめにして扱われることが少なくない [1]。そこで、バスがソプラノに依存して決まり、アルトがソプラノに、テノールがアルトに依存して決まるというようにモデル化する。以上の方針に基づいて設計したベイジアンネットワークを Fig. 1 に示す。

A_i, T_i, B_i に設定する条件付確率について述べる。 A_i に設定される条件付確率 $P(A_i|A_{i-1}, S_i)$ を次のように定義する。

$$P(A_i|A_{i-1}, S_i) = P(A_i)^\alpha P(A_i|A_{i-1})^\beta P(A_i|S_i)^\gamma$$

ここで、 $P(A_i)$ は他の声部や過去の旋律に依存しない A_i の生起確率であり、次のように定める。

$$P(A_i) = \begin{cases} w_1 c_1 & \text{ノートナンバーがアルトの音域内} \\ 0 & \text{ノートナンバーがアルトの音域外} \end{cases}$$

ここで、 w_1 は当該調における音名の使用頻度に基づいた重み値 (C: 0.4, F/G: 0.3, E/A: 0.2, D/B: 0.1, それ以外: 0)、 c_1 は確率の合計を 1 にするための定数である。 $P(A_i|A_{i-1})$ は直前の音から離れすぎなくするもので、

$$P(A_i|A_{i-1}) = \begin{cases} c_2 & A_{i-1} \text{ と } A_i \text{ が 5 度未満} \\ 0.3c_2 & 5 \text{ 度以上 1 オクターブ未満} \\ 0.09c_2 & 1 \text{ オクターブ以上} \end{cases}$$

と定義する。 $P(A_i|S_i)$ は声部間の音程に基づき、次のように定義する。

$$P(A_i|S_i) = \begin{cases} 0 & A_i \text{ が } S_i \text{ より高い} \\ 1.3c_3 & A_i \text{ が } S_i \text{ より 4 度または 5 度下} \\ 1.1c_3 & 1 \text{ 度、3 度、6 度、8 度のいずれか} \\ 1.0c_3 & \text{それ以外} \end{cases}$$

α, β, γ は各確率の重要度を決めるパラメータで、現在は 1 としている。 T_i, B_i についても同様に計算する。

4 結果の考察

Fig. 2 は出力結果を楽譜にしたものである。和音の半分以上が協和音程を取ようになっており、比較的聞きやすい曲になっている。しかし、音楽的に適切でない点が 2 つあった。1 つ目は、第 2 小節の 3 番目の和音がミとレとドや 2・4 番目の和音がソとファのように不協和音程になっていることである。2 つ目は、不協和音ではないがテノールとソプラノの音がオクターブの関係になっており、聞こえが単調になりやす



Fig. 2 出力結果の楽譜

くなっていることである。これらは、声部間の依存関係を簡略化したからだと考えられる。本来、4 つの声部は全てが複雑に依存しあってできていると考えられるが、簡単化のため、依存関係を大幅に省略した。そのため、ソプラノ・テノール間、アルト・バス間の音楽的同時性が十分に満たされなかったものと考えられる。

5 おわりに

本研究では、ベイジアンネットワークを用いて四声体と和声の生成を行う手法を提案した。しかし、ダイアトニックスケールのみ限定されている他、和声学の禁則 (具体的には平行 5 度や連続 1・8 度など) を実現することは出来なかった。これを実現するには、ベイジアンネットのノードやアークを増やす必要がある。今後の研究では、ノードやアークの追加、和声学の禁則を条件付確率の決定ルールに追加するなどして更なる向上を目指していきたい。

参考文献

- [1] 島岡譲他, “和声 理論と実習 I”, 音楽之友社, 1982.
- [2] 深山寛 他, “隠れマルコフモデルによるコードネームからの 4 声体と和声生成”, 音講論 (春), 3-1-5, pp.1037-1038, 2011.
- [3] 三浦雅展 他, “和声学におけるバス課題についての回答確認システムの構築とその評価”, 信学論, Vol.J84-D-II, No.6, pp.936-945, 2001.
- [4] 北原鉄朗 他, “ベイジアンネットワークを用いた自動コードヴォイシング”, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.3, pp.1067-1078, 2009.
- [5] S.Phon-Amnuaisuk and G.A.Wiggins, “The Four-Part Harmonisation Problem: A comparison between Genetic Algorithms and a Rule-Based System”, *AISB'99 Symposium on Musical Creativity*, 1999.
- [6] M. Allan and C. K. I.Williams, “Harmonising Chorales by Probabilistic Inference”, *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2004.