

## 非和声音を考慮した楽譜データと和声解析

井村 海斗<sup>†</sup> Christoph M. Wilk<sup>‡</sup> 嵯峨山 茂樹<sup>†‡</sup> 中村 和幸<sup>†‡</sup><sup>†</sup> 明治大学 総合数理学部 <sup>‡</sup> 明治大学 大学院先端数理科学研究科

## 1 はじめに

本稿では、自動和声解析問題における非和声音の扱いに着目し、その特徴を統計モデルとして与えた和声解析法について検討する。

自動和声解析の先行研究として、三浦らによるルールベースに基づく手法 [1] や、川上らによる HMM (隠れマルコフモデル) による確率的手法 [2] などがすでに存在する。しかし、これらの手法は和声学 [3] において重要な役割である [4] 非和声音を考慮しておらず、和声解析精度に限界があった。

そこで、我々は非和声音の特徴を解析し、非和声音の種類整理や非和声音が頻発する条件を探り、それをベイズ統計的に記述した。そして、その結果を非和声音の出現条件確率として隠れマルコフモデルに組み込み、この問題をダイナミックプログラミングにより解いた。

## 2 研究の手法

## 2.1 非和声音の特徴を統計的に表現

非和声音は、前後の音高や拍、連続する非和声音数などの特徴から 10 種程度に分類される [3]。先行研究である諸岡ら [5] は、非和声音の特徴分類の内、表 1 の 5 種に対して、各出力確率を導出していたが、我々は 5 種では考慮不足だと考えた。表 1 は、諸岡らの 5 種分類をバッハのコラール 56 曲に適応した結果、内項目「その他」は 5 種に分類できない非和声音の集計である。表 1 より、「その他」に分類されるものが多い。そこで、我々は以下の 2 手法を取り、これらの探索法を考えた。

手法 1 は、考慮する非和声音の種類を増やした。我々は、諸岡ら [5] が考慮した分類の他、リタージョン、逸音、二重非和声音も考慮した。さらに、この種類分類をどのパートの音かで条件付けた分布を考えた。この分類結果を表 2 に示す。表 2 より、項目「その他」に分

表 1: バッハコラールの非和声音の種類別出現数

非和声音の種類	曲中の出現数	非和声音の種類	曲中の出現数
経過音	980	繋留音	103
補助音	82	先行音	24
倚音	11	その他	364

表 2: 種類とパートの同時分布 (一部抜粋)

非和声音の種類	パート			
	Sop	Alt	Ten	Bass
繋留音	3	53	27	5
先行音	20	4	0	0
その他	1	5	17	8

類されるものが減り、「繋留音が Alt パートで多く出現する」などパート毎にどの種の非和声音が多く用いられるかがわかった。

手法 2 は、非和声音が頻出する条件を考慮した。作曲者は和声内音のみでは作曲不可能な課題を可能にするために非和声音を用いる [4] ので、その課題を考察することで、非和声音頻出条件が発見できると考えた。今回は、「音価の短縮」と「和音構成」、の 2 条件に着目し、その 2 条件と非和声音の関係を考察した。

まず、「音価の短縮」では非和声音である時の 8 分音符である割合を調べた。その結果を表 3 である。今回、8 分音符音価を「短い」と定義したのは、バッハのコラールが主に 4 分音符で構成されていたためである。表 3 中の項目「割合」はそれぞれ非和声音、和声内音時の 8 分音符の割合を表す。これより、非和声音時の 8 分音符の確率が高いことが確認できた。

次に、「和音構成」では「配置」変化の有無を考察した。「配置」とは、Sop パートと Ten パートの音程によって和音を分類する考え方である [3]。2 パートの音程により各和音が「開離配置」「密集配置」「オクターブ配置」に分類される。この時、曲中で突然「開離配置」から「密集配置」に切り替わることを原則禁止してい

## "Harmony Analysis of Music Score Data Considering Nonharmonic Tones"

by Kaito Imura<sup>†</sup>, Christoph M. Wilk<sup>‡</sup>, Shigeki Sagayama<sup>†‡</sup>, and Kazuyuki Nakamura<sup>†‡</sup>,<sup>†</sup>School of Interdisciplinary Mathematical Sciences, Meiji University, <sup>‡</sup>Graduate School of Advanced Mathematical Sciences, Meiji University.

表 3: 8 分音符と非和声音の関係

	8 分音符である	8 分音符でない	割合
非和声音	1354	535	71.7%
和声内音	3904	10706	26.7%

表 4: 配置変化と非和声音の関係

非和声音が含まれるかが	配置変化がある	配置変化がない	割合
含まれる和音	50	133	27.3%
含まれない和音	81	714	10.2%

るが、バッハのコラールでは突然配置の切り替えが行なわれている箇所を発見した。そこで我々は、「この箇所では非和声音が2和音を繋ぐ役割をしている」と仮説を立て、その結果を表4で確認した。表4中の項目「割合」はそれぞれ非和声音があるか否かを条件とした配置変化の割合である。この表4より、非和声音が含まれる時に、配置変化率は高くなることが確認できた。

### 2.2 統計表現を用いた確率モデル化

以上の考察を踏まえ、非和声音の統計モデルによる記述を与える。今回、考慮した事項は以下の3点である：

- ・ 非和声音がどのパートで出現するか
- ・ 8分音符であるか否か
- ・ 配置変化が起こるか否か

これら「パート情報」「音価情報」「配置変化情報」の3つが独立であり、さらに非和声音の種類に関わらず3つが独立であると仮定して定式化する。また、 $S_i = (n_i, n_{i-1}, h_i, h_{i-1})$  を非和声音を判断するための情報とすると、

$$P(l, part, o, S_i) \approx P(l|S_i)P(o|S_i)P(part|S_i)P(S_i) \quad (1)$$

と表せる。ここで、 $l$  は音価情報、 $part$  はパート情報、 $o$  は配置変化の有無情報である。この式中の  $S_i$  を見ることで、非和声音かどうかとその非和声音の種類が判断できる。

このモデルに従来の隠れマルコフモデルを組み合わせ、隠れ状態の事後確率について、

$$P(h_1, \dots, h_i, n_1, \dots, n_i | l, part, o) \propto P(h_1) \prod_{j=2}^i P(h_j | h_{j-1}) P(n_j | h_j) P(l, part, o | S_j) \quad (2)$$

として解析した。

## 3 評価実験

### 3.1 実験方法

実験にはバッハの四声体コラール midi ファイル 48 曲の内、5 曲をサンプリングし、これらの曲について、8 分音符音価で、1 つの和声を推定した。HMM の状態は、長短三和音と その 7 の和音、maj7、減 7 の和音、sus4 の 84 種とした。また、比較実験として、 $P(l, part, o | S_j)$  の条件確率を考慮しない解析結果も出力した。

表 5: 評価実験の結果

	和声解析の正答率
条件確率なしモデル	76.8%
条件確率ありモデル	78.2%

### 3.2 実験結果と考察

本実験の解析精度の比較表が表5である。

$P(l, part, o | S_j)$  の条件確率を考慮しない結果に比べ、和声解析の精度が 1.4 ポイント向上していた。

本実験では、従来に比べ和声解析精度が高まったが、依然として精度の高い解析には程遠い。その原因として、以下の2点が考えられる：

- ・ 非和声音説明条件の不足
- ・ 和声モデルの説明力不足

前者について、今回の実験では、3 種非和声音を説明する条件を用いたが、この3種では未だ考慮不足であると考えている。特に、非和声音は和声進行を補助する機能として存在する [4] と言われているため、和声進行との間に関係性があると考えているが、和声進行を条件としてモデルに組み込むことが不可能だった。

後者について、今回提案した確率モデルは和声の正確さを前提としているので、和声モデルの説明力が不足していると結果が悪くなる。特に、今回利用した和声モデルでは機能と和声情報を考慮できなかったため、和声解析自体の精度が好ましくなかったと考えている。

## 4 おわりに

本稿では非和声音を考慮した和声解析法を提案した。本実験では、和声進行に関する非和声音出現条件など非和声音に関する特徴考慮が不十分であった。また、和声モデルについても、機能と和声情報が考慮されてなく妥当性が低かった。これらのことが今後の課題としてあげられる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 17H00749 の助成を受けた。

## 参考文献

- [1] 三浦雅展 *et al.*, “ソプラノ課題回答確認システム”SDS”の構築とその評価,” 日本音響学会研究発表会講演論文集, vol. 2001, no. 2, pp. 723–724, 2001.
- [2] 川上隆, “HMM を用いた旋律への和声付けに関する研究,” 北陸先端科学技術大学院大学修士論文, 2000.
- [3] 島岡讓 *et al.*, 和声 理論と実習 I, II, III. 音楽之友社, 1964,1965,1967.
- [4] 柏木俊夫, 二声対位法：基礎からフーガまで. 東京コレギウム, 1990.
- [5] 諸岡孟 *et al.*, “非和声音を考慮した HMM による自動和声解析,” 日本音響学会春季研究発表会講演集, 2007.