

# 非和声音を考慮した確率文脈自由文法による自動和声解析\*

諸岡孟 西本卓也 嵯峨山茂樹 (東大院・情報理工)

## 1 はじめに

我々は、自動作曲に向けた音楽の生成モデルの構築を目的とし、人間が和声学 [1, 2] を習得して作曲編曲を行うのと同様に、「コンピュータのための和声学」を確立したいと考え、確率文脈自由文法に基づく手法を検討中である。

確率文法を用いない和声解析や和声付けの研究としては、江村、三浦、柳田らによる研究 [3, 4, 5] や、その他の研究 [6, 7] が挙げられる。一方、楽曲のフレーズ分割問題などに GTTM[9] のような文法を用いる研究は種々ある [8] が、和声解析に文法を適用した例は少ない。その一つとして、主辞駆動句構造文法を用いた自動和声解析の研究 [10] がある。

和声学を自動和声解析に適用する手法として、我々は、非和声音の性質をコンピュータに組み込みの可能な形に整理し、整理した非和声音の性質を HMM (Hidden Markov Models, 隠れマルコフモデル) に導入した手法 [11] を提案した。本稿では、整理された非和声音の性質 [11] に基づいて、数種の非和声音を 2 種類の非和声音の組み合わせにより表現する。さらに、機能 and 和声から和音、和声内音、非和声音という楽曲全体の生成過程の PCFG (Probabilistic Context-Free Grammar, 確率文脈自由文法) によるモデル化を提案する。今回は音楽の生成モデルを自動和声解析問題に適用し、音楽生成モデルから和声と楽譜が同時に生成されて、楽譜のみが観測される場合に、隠れている和声を求める逆問題を解く。

## 2 非和声音を考慮した PCFG による自動和声解析

### 2.1 PCFG による自動和声解析

PCFG による和声解析の定式化を示す。我々は楽曲の生成過程として、まず和声があり、和声に基づいて音符が生成されると考える。生成過程には以下のような階層構造が考えられる。

1. 機能 and 和声から I, IV のような和音を生成
2. 和音から和声内音を生成
3. 和声内音から非和声音を生成

ただし、3. については次節で詳説する。これらの各階層においては、定めた生成規則に従って、開始記号から順々に非終端記号である和音や終端記号である音符が生成され、楽曲全体が構文木によって表される。各生成規則に適用確率を設定しておくことで、楽曲を表すありうるすべての構文木に対して尤度を計算することが出来る。したがって、PCFG により、楽

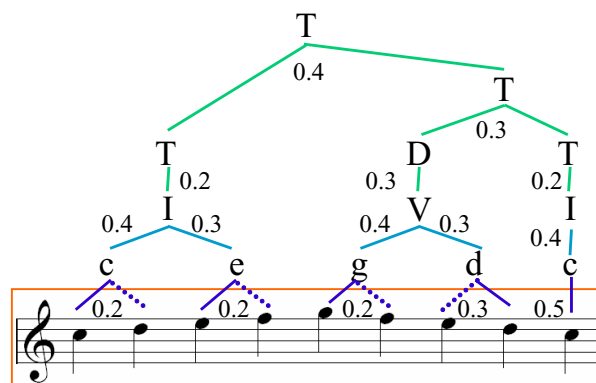


Fig. 1 PCFG による和声解析例

曲を生成したと考えられる最も尤もらしい木構造を求めることで、自動和声解析を行うことが出来る。

各階層における生成規則の例を以下に示す (C-dur の場合)。

1.  $T \rightarrow D T, T \rightarrow I$
2.  $I \rightarrow c, I \rightarrow e$
3.  $c \rightarrow d c, e \rightarrow e f$

自動和声解析問題では、解析結果として得られる構文木の途中の階層の節にラベリングされた I, IV のような和音を求める。

PCFG による和声解析の構文木の例を図 1 に示す。ただし、図 1 における破線は和声内音からの非和声音の生成を表す。

### 2.2 和声内音からの非和声音の生成規則

非和声音は、該当する和音の他、前後の音高や和音、拍などとの関係から、和声学的に (1) 経過音、(2) 補助音 (刺繍音)、(3) 倚音、(4) 掛留音、(5) 先行音、(6) 挿入転換音 (逸音)、(7) 持続音の 7 種類 (名称は [2] に準拠) に分類されている。

非和声音の種類を考慮した HMM による自動和声解析 [11] においては、HMM の各状態において非和声音となる音符がどの種類の非和声音に分類されるのかを明示的に扱った。しかし、実際の楽曲では非和声音が複合的である場合も多く、非和声音の種類の特長は例外が多く単純でない。そこで、「倚音」および「逸音」のみでもそれらの再帰的な複合によって多くの非和声音が説明できることに注目して、簡単な生成規則を再帰的に適用する文法理論によりモデル化する可能性を検討した。すなわち、非和声音を 7 種のうちの 1 種に明示的に分類するのではなく、以下に示す単純な生成規則の重ね合わせによって各種の

\*The automatic harmonic analysis using PCFG in consideration of nonharmonic tones. by Morooka Takeshi, Nishimoto Takuya and Sagayama Shigeki (The University of Tokyo)

非和声音が生成されると考え、PCFG による和声自動和声解析を行う。ただし、ここでは「倚音」および「逸音」は和声内音との音程が半音または全音である音を意味する。

- 和声内音 → 倚音 和声内音
- 和声内音 → 和声内音 逸音

### 2.3 複数パートの楽曲に対する解析方法

複数のパートによって構成される楽曲を PCFG によって解析する場合、各パートの終端記号列は異なるが、構文木の非終端記号の階層の節にラベリングされる和音およびその上位階層の節にラベリングされる機能และ和音は一致していなければならない。したがって、 $N$  パートの楽曲の PCFG による解析では、

$$X \rightarrow X_1 X_2 \dots X_N \quad (1)$$

というように和音  $X$  が各パートの和音  $X_i$  を生成するという生成規則を加える。この生成規則によって、複数パートによって構成される楽曲の解析を PCFG の枠組の中で行うことが可能になる。

## 3 自動和声解析実験

### 3.1 実験条件

提案した非和声音を考慮した PCFG を用いて自動和声解析実験を行った。PCFG によって生成される構文木における生成規則適用確率については、今回は和声学の知見に基づいて人手で設定した。転調のない 2~5 小節の長さのパスセージに対して、四分音符 1 拍または 2 拍につき一つの和音を推定した。和声解析対象曲には和声学に則った楽曲として J. Haydn の String Quartet の 2 曲から 15 箇所を選んだ。和音の種類としては三和音 7 種 (I-VII) と七の和音 7 種 (I<sub>7</sub>-VII<sub>7</sub>) の合計 14 種を考慮した。推定結果の評価は音楽大学生による解析結果との比較により行った。

### 3.2 実験結果

和声解析の実験結果を Table 1 に示す。調推定結果において、誤答した二つのパスセージの推定調は、正解調に対して一つは属調、もう一つは下屬調であった。和音推定結果において、誤答した結果を分析したところ、休符が多く手掛りとなる音符自体が少ないパスセージでは別の和音を推定しやすいことがわかった。現在の和声解析システムでは、和音推定の時間単位が固定であるために、複数の和音にまたぐ非和声音については、構文木の生成が出来ず解析不能になってしまう。そのため、今後は和音推定の時間単位について改良していく必要がある。

Table 1 和声解析実験結果

タスク	正答数	正答率 (%)
調推定	13	86.7
和音推定 (調既知)	87	73.1

## 4 おわりに

本稿では、自動和声解析問題において特に和声内音からの非和声音の生成に着目し、機能和声から和音、和声内音、非和声音という楽曲全体の生成過程の PCFG によるモデル化を提案した。また、音楽大学生による解析結果と比較して、和声学的な適切さがある程度確認した。今後は、PCFG パラメータの統計的学習、和声学上重要な性質をもつ転調や和音の転回形などについても検討していく予定である。

### 謝辞

和声学的観点から多大な助言や問題例と解析例を下さった桐朋学園大学音楽学部金子仁美講師に深謝する。また、生成規則の検討と解析システムの構築に助力した東京大学工学部の川上大輔・若井優也両氏に深謝する。なお、本研究の一部は、科学技術振興機構 CREST 研究課題「時系列メディアのデザイン転写技術の開発」として行われた。

### 参考文献

- [1] 島岡讓 他: 和声 理論と実習 I, II, III, 音楽之友社, 1964, 1965, 1967.
- [2] 門馬直美: 新版 音楽の理論, 音楽之友社, 1992.
- [3] 江村伯夫 他: ““Dominant Motion” の検出に重点を置いたポピュラーミュージックの和声解析システム,” 音講論, 2-6-6, pp. 779-780, 2004.
- [4] 三浦雅展 他: “ポップス系の旋律に対する和声付与システム:AMOR,” 情処論, Vol. 46, No. 5, pp. 1176-1187, 2005.
- [5] 三浦雅展 他: “ソプラノ課題の全許容解列挙システムの構築,” 音響誌, pp. 105-114, Mar. 2004.
- [6] C. Raphael *et al.*: “Harmonic Analysis with probabilistic graphical models,” *Proc. of ISMIR 2003*, 2003.
- [7] 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.
- [8] R. Bod: “A General Parsing Model for Music and Language,” *Proc. ICMAI 2002*, LNAI 2445, pp. 5-17, 2002.
- [9] F. Lerdahl and R. Jackendoff: *A Generative Theory of Tonal Music*, 1983.
- [10] 村田 敏之: 楽曲の緊張弛緩構造と主辞駆動句構造文法を用いた和声解析, 北陸先端科学技術大学院大学修士論文, 2004.
- [11] 諸岡 孟 他: “非和声音を考慮した HMM による自動和声解析,” 音講論, 3-7-7, pp. 749-750, Mar. 2007.