

# 隠れマルコフモデルによる コードネームからの4声体和声生成\*

深山 覚, 西本 卓也, 嵯峨山 茂樹 (東大院 情報理工)

## 1 はじめに

和声とは2個以上の動点が同時に音運動を行うとき形成される「同時的な音運動」のことであり、動点の数が4つの場合、形成される和声は「4声体の和声」と呼ばれる [1]。和声の表記には根音と和音種を表したコードネームがよく用いられるが、演奏の際にはコードネームから演奏する音高を決める必要がある。前者から後者への変換の手引きは和声法に整理されているが、その習得には専門的な訓練が必要である。4声体の和声はコラールなどの古典的な例だけでなく、現代においても歌謡曲のバックコーラスなどに多く用いられていることを考えると、自動でコードネームから4声体和声を適切に生成できる手法は、音楽の専門教育を受けていない人のための音楽制作支援技術として有用であると考えられる。

和声法をベースに和音記号から4声体を作る、旋律に和音をつける、4声体のソプラノ課題やバス課題を解くといった問題は、主に3つの方法論：ルールベース [2][3]、進化論的計算 [4]、確率統計モデル [5][6] を用いて研究が行われている。本研究では確率統計モデルによるアプローチを取る。既存の楽曲データベースからの確率パラメタの学習によって、作曲家のスタイルなど明文化しにくい音楽的特徴を、詳細で大量のルールや複雑な評価関数の設計といった困難を回避しながら生成楽曲に反映できる可能性がある。本研究と同様に隠れマルコフモデルを用いた研究 [5][6] では、旋律への和声付けを目的として、旋律の音が観測系列、和声は隠れ状態系列であるモデルが提案されている。本研究ではそれらの定式化とは異なり、コードネームが観測系列、4声体和声は隠れ状態系列である隠れマルコフモデルによって、コードネームからの4声体和声生成が行えることを示す。

## 2 コードネーム系列の確率モデル

初めに4声体の和声とコードネームの関係を考える。コードネームの付け方には曖昧性がある。例えば4つの音高の組み合わせ  $\{B, D, F, Ab\}$  は、Bdim7あるいはG9の根音省略とラベル付けできる。コードネームの使い分けは前後関係を加味すると確定的であることもあるが、ラベル付けをする人の音楽的背景という明文化しにくい条件に依存するとも考えられ、確定的に扱いにくい。したがって、ある4声体の和声がどのようなコードネームとして観測されるかを確率的に扱うと都合がよい。音高  $x_i$  の組み合わせ  $v = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$  がコードネーム  $c$  としてラベル付けされる確率  $P(c|v)$  を導入する。

次に4声体の和声の時間的遷移について考える。どのような4声体の和声の系列が適切かについては和声法に整理されている。これは過去の作曲家の作例から帰納的に分析されて得られた知見であるため、和声

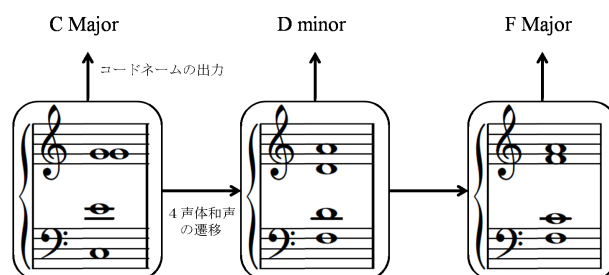


Fig. 1 コードネームと4声体和声の依存関係：コードネーム系列は背後で確率的に状態遷移する4声体和声系列から確率的に出力される

法に従っているとされる譜例が十分にあれば、その譜例中の4声体の和声間の状態遷移の傾向を観察すると、和声法で推奨されている遷移の頻度は高く、推奨されない遷移の頻度は低くなっていると期待される。また和声学に書かれている規則の多くは、隣り合う4声体間の関係について書かれていることが多い。したがって和声法に基づく4声体の和声の時間的遷移は、隣り合う4声体和声の遷移確率として扱えると考えられる。以上の議論より隣り合う4声体和声  $v_1$  と  $v_2$  が遷移する確率  $P(v_2|v_1)$  を導入する。

これまで導入した確率  $P(c_t|v_t)$  と  $P(v_t|v_{t-1})$  を用いて ( $t$  は時間の index)、ある系列長  $N$  のコードネームの系列  $C_1^N = c_1 \cdots c_N$  が、4声体の系列  $V_1^N = v_1 \cdots v_N$  によって実現されている確率  $P(C_1^N, V_1^N)$  を表すと、

$$P(C_1^N, V_1^N) = \prod_{t=1}^N P(v_t|v_{t-1}) P(c_t|v_t) \quad (1)$$

と書ける。ただし、 $P(v_1|v_0) = P(v_1)$  とした。4声体の和声とコードネームの確率的な依存関係を Fig. 1 に図示する。このような確率モデルは隠れマルコフモデルと呼ばれる。

## 3 4声体和声生成の定式化

コードネーム系列  $C_1^N$  を生成する隠れマルコフモデルの最適な隠れ状態系列  $V_1^{N*}$  を求めることによって、和声法に従った4声体和声系列を求めることができる。ここで  $C_1^N$  を生成する最適な隠れ状態系列とは  $P(C_1^N, V_1^N)$  を最大化する系列  $V_1^{N*} = V_1^{N*}$  である。本手法では以下のように確率値の対数を最大化して求める。

$$V_1^{N*} = \operatorname{argmax}_{V_1^N} \log [P(C_1^N, V_1^N)] \quad (2)$$

$V_1^{N*}$  を効率的に求める方法として Viterbi アルゴリズムが知られている。

\* "Generation of Four-part Harmony from Chord Labels with Hidden Markov Model" by Satoru FUKAYAMA, Takuya NISHIMOTO and Shigeki Sagayama (Graduate School of Information Science and Technology, the University of Tokyo)

## 4 モデルパラメタの学習に関する考察

はじめに4声体和声の状態の列挙の方法を考える。文献[7]に含まれる譜例では、4声すべての音高遷移のタイミングが同時であり、また音高遷移の際に同一の和音へと遷移することがない。したがって、音高が変化することにより4声体を切り出すことで、4声体和声の状態を列挙できる。ここでデータベースがすべての調を尽くしているとは限らないため、取得された4声体和声を各声部の音域が許す範囲で音高方向へ平行移動したものの状態のリストに加える。また増音程や対斜の区別のため、音名表記において異名同音が区別される必要がある。

次に4声体の和声の遷移確率を求める方法を考える。先に列挙した4声体和声の組合せが、隣り合う状態遷移としてデータ中に出現する回数をカウントする。データセットのサイズは十分ではなく、ゼロ頻度問題が深刻であるため、各声部の音域の範囲内で4声体を音高方向へ平行移動した遷移の確率値同士をタイピングする、すべて一律に微小な確率値を加える、などの対策が考えられる。

最後にコードネームの出現確率を取得する方法を考える。文献[7]では4声体和声にコードネームがラベル付けされていない。またそのようなデータセットは他の用途の少なさから入手困難と考えられる。専門家の協力のもとデータベースを作成する必要があるが、現段階では各4声の和声体  $v$  について、コードネーム  $c$  として必須である音名(属七和音における第3音と第7音など)が入っているかを調べ、必須な音がなければ値が低くなるように  $P(c|v)$  を設計する方法が考えられる。

## 5 4声体和声自動生成エンジンの試作

和声法に従った楽曲を作るための確率パラメタの設定が可能であるかについて検証するため、4声体和声自動生成エンジンを試作した。遷移確率については、6234状態の4声体和声の遷移に対して、以下の性質が見られるものに低い確率値を与えた。また近隣の音への遷移を推奨するように確率値を設定した。

- 連続1度 5度 8度
- 並達1度
- ソプラノが跳躍する外声の並達5度 8度
- 対斜
- 増音程(減三和音、減七和音への進行以外)
- 各声部音域外の音高
- 第3音の重複

コードネームの出現確率については major, minor, seventh, major7th, minor7th, minor-major7th, diminished, diminished7th, augmented の9種類と未知ラベル用の記号を含む計316種類について、特に以下の点を考慮して設計した。

- 長三和音の和声体からは major に加えて seventh, major7th のコードネームが出力できる
- 短三和音の和声体からは minor に加えて minor7th, minor-major7th が出力できる
- 減三和音の和声体からは diminished に加えて diminished7th が出力できる

生成された結果の例を Fig. 2 に示す。

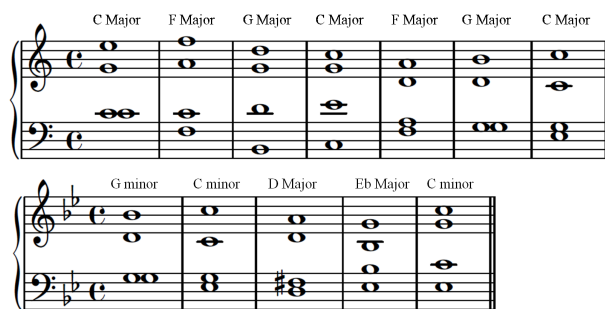


Fig. 2 人手で設計した確率パラメタの下、所与のコードネーム系列(楽譜上部に表記)から4声体和声を生成した例:下段の不自然な導音跳躍は続く和音の第3音重複回避が要因と考えられる

## 6 4声体生成結果についての考察

状態遷移確率の適切な設定により、前節で挙げた和声学の禁則を扱えることが分かった。しかし導音の扱いや、各声部の旋律らしさといった制約が現状では扱えないことが分かった。前者については、導音は短2度上行ないし、バッハスタイルならば長3度下行などと、音の動きに制約を課す必要があるが、導音の判定には現在モデルで扱っていない調性の考慮が必要である。対策として調を考慮した状態遷移トポロジーの設計が考えられる。後者については、近隣音への遷移を推奨するための1つ前の状態からの遷移確率のみでなく、よりグローバルな制約を導入する必要があると考えられる。これには状態遷移のN-gram確率を用いる、または典型的な旋律線の部分的な動き(終止形での動きなど)に基づく和声体の遷移を語彙として扱う状態遷移のトポロジー設計が有効であると考えられる。

## 7 結論

コードネーム系列が4声体和声の遷移から確率的に生成される隠れマルコフモデルを考え、コードネームが所与のときの最適な隠れ状態の遷移を求めるという逆問題を解くことによって、コードネームからの4声体和声の自動生成が行えることを示した。今後調性情報を含む状態遷移トポロジーの設計や、学習データからの確率パラメタの取得について検討する予定である。

謝辞 本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金基盤研究(A)(課題番号00303321)と科学技術振興機構CrestMuseプロジェクトの支援を受けて行われた。

## 参考文献

- [1] 島岡, 音楽の理論と実習 I, 音楽之友社, 87, 1982.
- [2] 三浦 他, 信学論, Vol. 84, D-II, 6, 936-945, 2001.
- [3] Pachet, et. al., Constraints Journal, 6(1), 7-19, 2001.
- [4] Horner, et. al., ICMC-95, 483-484, 1995.
- [5] 川上 他, 情処研報, 2000(19), 59-66, 2000.
- [6] Allan, et. al., Master's thesis, School of Informatics, University of Edinburgh, 2002.
- [7] 島岡 他, 和声理論と実習 別巻, 音楽之友社, 11-176, 1967