

コード進行パターンの共有に基づく楽曲クラスタリング

Extracting Symbolic Music Clusters with Common Partial Orders on Chord Patterns

大久保 好章 原口 誠
Yoshiaki OKUBO Makoto HARAGUCHI

北海道大学大学院情報科学研究科コンピュータサイエンス専攻

Division of Computer Science, Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

In this paper, we present a method for finding symbolic music clusters from music database which is represented as a set of sequences of typical chord patterns. Our cluster is based on a common *closed partial orders on chord patterns* and can be formalized as the extent of a *formal concept*. We discuss how to extract our clusters with *Top-N* formal concept search algorithm previously proposed.

1. はじめに

近年、多くの楽曲データが容易に入手可能となったことが背景となり、それらの有効活用を目的とした音楽情報処理の研究が盛んに行なわれている。楽曲データは様々な表現が可能であるが、本稿では、記号レベルで記述された楽曲データを対象に、コード進行パターンの共有を根拠とする楽曲のクラスタ抽出について考察する。

同一のコード進行に対して、様々なメロディーやリズムをのせることが可能であるという事実から、コード進行は楽曲の本質的な構造を表わすと考えられる。楽曲のコード進行は、言うまでもなく、コードの時系列であるが、音楽理論においては、各コードの持つ機能をもとに、いくつかの特定の連続したコード列が典型的なコードパターンとして知られている [石桁 2001]。よって、それら典型的なパターンを含む様々なコードパターンの時系列としてコード進行を捉えることで、その楽曲が有する音楽的な構造がより明確になることが期待出来る。

本稿では、コードパターンの時系列として捉えた楽曲における、コードパターンの半順序構造に注目し、それを共有する楽曲をクラスタとして抽出することを試みる。具体的には、文献 [Haraguchi 07] をはじめとして考察されている *Top-N* 形式概念探索の枠組に基づき、楽曲クラスタとそれらが共有するコードパターンの飽和半順序構造の組を形式概念として抽出することで、楽曲構造の観点から解釈可能なクラスタを獲得する手法について述べる。

2. 準備

個体 (*individual*) の集合 O 、および、属性 (*feature*) の集合 \mathcal{F} に対して、関係 $R \subseteq O \times \mathcal{F}$ を考える。この時、タプル $\langle O, \mathcal{F}, R \rangle$ を、形式文脈 (*Formal Context*) と呼ぶ。 $(o, f) \in R$ の時、個体 o は属性 f を有すると言う。個体 o が有する属性の集合 $\{f \in \mathcal{F} \mid (o, f) \in R\}$ を、 $F(o)$ で参照する。

形式文脈 $\langle O, \mathcal{F}, R \rangle$ に関して、写像 $\varphi: 2^O \rightarrow 2^{\mathcal{F}}$ および $\psi: 2^{\mathcal{F}} \rightarrow 2^O$ を考える。ここで、個体集合 $O \subseteq \mathcal{O}$ と属性

集合 $F \subseteq \mathcal{F}$ について、

$$\varphi(O) = \{f \in \mathcal{F} \mid \forall o \in O \ f \in F(o)\} = \bigcap_{o \in O} F(o),$$

$$\psi(F) = \{o \in \mathcal{O} \mid F \subseteq F(o)\}$$

とする。つまり、 φ は O 中のすべての個体が共有する属性の集合を、一方、 ψ は F 中のすべての属性を有する個体の集合を返す写像である。

これら写像のもと、個体集合 $O \subseteq \mathcal{O}$ と属性集合 $F \subseteq \mathcal{F}$ について、 $\varphi(O) = F$ かつ $\psi(F) = O$ が成り立つ時、 O と F の組 $FC = (O, F)$ を形式概念 (*Formal Concept*) [Ganter 99] と定める。ここで、 O と F をそれぞれ FC の外延 (*extent*)、および、内包 (*intent*) と呼ぶ。 φ と ψ の定義より、 $\psi(\varphi(O)) = O$ かつ $\varphi(\psi(F)) = F$ であることは明らかである。すなわち、形式概念とは、写像 φ と ψ に関して閉じた (*closed*) 個体集合 O と属性集合 F の組で与えられる。 O は、 F 中のすべての属性を有する個体のみから成り、かつ、それら以外にこうした個体は存在しない。同様に、 F は、 O 中のすべての個体に含まれる (共有される) 属性のみから成り、かつ、それら以外にこうした属性は存在しない。以降では、閉包 (*closure*) を生成する合成関数 $\varphi \circ \psi$ および $\psi \circ \varphi$ をどちらも *closure* で表す。

文字 (*letter*) あるいは記号 (*symbol*) の (空でない) 有限集合をアルファベットと呼び、これを Σ で表わす。文字 $s_i \in \Sigma$ から構成される有限の順序列 $S = s_1 \cdots s_n$ を Σ 上の文字列と言ひ、 n をその長さとする。文字列 s が文字列 s' の部分文字列であることを $s \subseteq s'$ と表記する。

Σ 上の文字列の (多重) 集合は、文字列データベースと呼ばれる。

3. コードパターン

各コード名に対応する記号から成るアルファベットを Σ とする。この時、 Σ 上の長さ 2 以上の文字列は、あるコード進行 (遷移) を表わす。

一方、音楽理論では、楽曲に調性 (*Tonality*) を確立させるために重要な働きをする主要な和音 (コード) が知られており、それぞれの機能に応じて、主和音 (トニックコード: T)・属和音 (ドミナントコード: D)・下属和音 (サブドミナントコード: SD) と呼ばれる。例えば、ハ長調の場合、主和音は C 、属和音は G 、下属和音は F となり、それらと同様の働きをする代理コードも存在する。楽曲中でコード進行が展開される際、多

連絡先: 大久保 好章・原口 誠

北海道大学大学院情報科学研究科コンピュータサイエンス専攻

〒060-0814 札幌市北区北14条西9丁目

TEL: 011-706-7161 (FAX 兼用)

E-mail: { yoshiaki, mh }@ist.hokudai.ac.jp

くの楽曲に見られる典型的な主要和音の遷移パターンが知られており、 Σ 上のいくつかの文字列は、そのパターンの具体例となっている。本稿では、こうした主要和音の典型的な遷移パターンの具体例である文字列を、コードパターンと呼ぶことにする。

4. 文字列データベースにおける飽和半順序

D を文字列データベースとし、文字列 s は、それを構成する記号間の全順序関係 R_s を与えたとする。

文字列 s と半順序関係 R について、 $R \subseteq R_s$ が成り立つ時、 R は s に関して無矛盾であると言い、半順序関係 R と無矛盾な D 中の文字列集合を S_R と表わす。

半順序関係 R について、 $R \subset R'$ かつ $S_R = S_{R'}$ なる半順序関係 R' が存在しない時、 R を飽和半順序関係 [Pei 2006, Casas-Garriga 2005] と呼ぶ。

5. コードパターンの飽和半順序に基づく形式概念楽曲クラスタの抽出

ここでは、コードパターンの半順序構造の共有を根拠とする楽曲クラスタを、Top- N 形式概念探索の枠組により抽出する手法について述べる。

5.1 コードパターン間の順序を属性とする形式文脈

典型的なコードパターンの (識別子の) 集合を Σ_P とする。ここで、楽曲 M において展開される一連のコード進行に対応する Σ_P 上の文字列を考え、それを s_M で参照すると、楽曲集合 $\mathcal{M} = \{M_i\}$ は、 Σ_P 上の文字列データベース $\mathcal{D}_{\mathcal{M}} = \{s_{M_i}\}$ を与える。

ここで、コードパターン間の関係 $\mathcal{F} = \Sigma_P \times \Sigma_P$ を属性の集合と考え、各楽曲 M_i について、 $R_{s_{M_i}} \subseteq \mathcal{F}$ となり、すなわち、楽曲データベース $\mathcal{D}_{\mathcal{M}}$ は、形式文脈 $\langle \mathcal{M}, \mathcal{F}, R \rangle$ を与える。ここで、任意の $M \in \mathcal{M}$ について、 $r \in R_{s_M}$ の時、かつ、その時に限り、 $(M, r) \in R$ である。

5.2 Top- N 形式概念探索による飽和半順序の抽出

上述した形式文脈 $\langle \mathcal{M}, \mathcal{F}, R \rangle$ における形式概念 $FC = (M_s, F_s)$ は、 M_s 中のすべての楽曲が F_s 中のコードパターン間の関係をすべて共有し、かつ、それ以外に、そうした楽曲は存在しないことを意味する。すなわち、 F_s は、 M_s 中の楽曲に共有されるコードパターンの飽和半順序構造を与える。

一般に、所与の形式文脈における可能な形式概念の数は膨大であり、その全てを抽出することは現実的でない。ここでは、形式文脈 $\langle \mathcal{M}, \mathcal{F}, R \rangle$ のもとで、内包 (飽和半順序) に関する評価値が少なくとも δ 以上であり、かつ、外延に含まれる楽曲数が上位 N であるものを Top- N 形式概念として抽出する。なお、その計算には、既存アルゴリズム [Haraguchi 07, Okubo 06] が利用可能である。

まず最初に、無向グラフ $G = (\mathcal{M}, E)$ を作成する。ここで、辺集合

$$E = \{(M_i, M_j) \mid M_i, M_j \in \mathcal{M} (i \neq j) \text{ かつ } \text{eval}(R_{s_{M_i}} \cap R_{s_{M_j}}) \geq \delta\}$$

とする。すなわち、各楽曲ペアについて、それらが共有する半順序の評価値が δ 以上の場合に限り、それらの間に辺を張る。ここで、半順序 R の評価値 $\text{eval}(R)$ は、例えば、 R 中の組の総数や、 R 中の組の重み総和等、集合の包含関係のもとで単調に変化することのみを要請する。

こうして作成されたグラフにおいて、内包制約を満たす外延は、クリークを形成することから、 G のクリークを探索することで、Top- N 形式概念の抽出が可能となる。抽出アルゴリズムは、分枝限定深さ優先クリーク探索法 [Tomita 03] の拡張であり、そこでは、内包制約を満たさない形式概念や、外延のサイズが Top- N に成り得ない形式概念の探索は積極的に枝刈りされる。なお、アルゴリズムの詳細については、文献 [Haraguchi 07, Okubo 06] 等を参照されたい。

6. おわりに

本稿では、コード進行パターンの飽和半順序構造を共有する楽曲クラスタを、Top- N 形式概念探索の枠組に基づいて抽出する手法について考察した。各属性の重みをコントロールすることで、典型的なパターンを多く含む構造を重視する、あるいはそれとは逆に、意外性のあるパターンから成る構造を積極的に重視するといったことも可能である。今後は、これらの点のさらなる考察やシステムの実装を行ない、抽出されるクラスタの分析や、計算アルゴリズムのパフォーマンスの評価等を行なう。

参考文献

- [Ganter 99] B. Ganter and R. Wille: Formal Concept Analysis - Mathematical Foundations, Springer, 1999.
- [石桁 2001] 石桁 真礼生・末吉 保雄・丸田 昭三・飯田 隆・金光 威和雄・飯沼 信義: 楽典 - 理論と実習 (新装版), 音楽之友社, 2001.
- [Casas-Garriga 2005] G. Casas-Garriga: Summarizing Sequential Data with Closed Partial Orders, Proc. of the 2005 SIAM Int'l Conf. on Data Mining - SDM'05, 2005.
- [Pei 2006] J. Pei, H. Wang, J. Liu, K. Wang, J. Wang and P. S. Yu, Discovering Frequent Closed Partial Orders From Strings, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 18, No. 11, pp. 1467 - 1481, 2006.
- [Tomita 03] E. Tomita and T. Seki: An Efficient Branch-and-Bound Algorithm for Finding a Maximum Clique, Proceedings of the 4th International Conference on Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science - DMTCS'03, Springer-LNCS 2731, pp. 278 - 289, 2003.
- [Haraguchi 07] Makoto Haraguchi and Yoshiaki Okubo: An Extended Branch-and-Bound Search Algorithm for Finding Top- N Formal Concepts of Documents, New Frontiers in Artificial Intelligence, JSAI 2006 Conference and Workshops, Tokyo, Japan, June 5-9, 2006, Revised Selected Papers, Springer-LNCS 4384, pp. 276 - 288, Springer, 2007.
- [Okubo 06] Y. Okubo and M. Haraguchi: Finding Conceptual Document Clusters with Improved Top- N Formal Concept Search, Proceedings of the 2006 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence - WI'06, pp. 347 - 351, 2006.