

## 機能と声に基づく音楽構造の 生成手法の提案

藤井晴行<sup>†</sup> 古川聖<sup>††</sup>

機能と声はカデンツ（終止形）を用いて和音連結を文節化・階層化する技法であると捉え、機能と声を踏まえて音楽の抽象構造を生成する手法を提案する。生成手法は二分木による階層構造の生成、生成文法によるカデンツとリズムの生成、二分木の枝刈りによる各カデンツの長さや終止度の設定からなる。

### A method of generating structure of tonal music on the basis of functional harmony

Haruyuki Fujii<sup>†</sup> and Kiyoshi Furukawa<sup>††</sup>

This paper proposes a method of generating the structure of a piece or part of music. The method is an application of the assumption that functional harmony is one of the techniques of musical composition that articulates a series of tones and gives them a hierarchical structure. The structure is first given as a binary tree. A cadenza is assigned to each leaf of the tree. A generative grammar is employed to define cadenza. Some branches are pruned to arrange the structure. The strength of each cadenza plays an important role in the arrangement.

### 1. はじめに

本研究は音楽構造及び音楽の生成過程の計算モデルを構築することを目的とする。本報は機能と声に基づいて音楽構造を生成する手法を提案する。これは、機能と声はカデンツ（終止形）を用いて和音連結を文節化・階層化する西洋の作曲様式の技法であるとの仮定に基づき、(1)自動作曲の手法の考案、及び、(2)仮説を検証するための実験システムの実装を目論むものである。

カデンツは音楽におけるひとつのまとまりである。ひとつの音楽はいくつかのカデンツの列として構成されると考え、本研究では複数のカデンツの関係を考慮する。カデンツは音楽を分節化すると同時に音楽全体の階層構造を形成する。カデンツによる音楽の構成を文章の構成に例えると次のようになる。カデンツは文章における句点のような働きをし、ひとつのカデンツで終わるフレーズが文を構成する。いくつかのカデンツは段落を構成し、カデンツのまとまりのまとまりが段落のまとまりである文章を構成する。すなわち、カデンツが文章における文、段落、文章のような階層構造を音楽に与える基本単位となる。カデンツにこのような機能を持たせるために、筆者らはカデンツの終結度の概念を導入している[1]。段落内を分節化するカデンツの強度は段落と段落を分節化するカデンツの強度よりも小さいというように、カデンツがまとめようとする単位が大きくなるほどカデンツの強度が大きくなるものとする。

### 2. 音楽構造の生成手法の概要

#### 2.1 仮定

本研究はふたつの仮定に基づいている。ひとつは、音楽は階層構造を持つという仮定である。ひとつは、一連の音がカデンツによって文節化されることによって階層化されるという仮定である。

図を用いてその内容を説明する（図 1、図 2）。私たちは音楽の部分部分である音たちを聴きながら、そのいくつかをひとつのまとまりとして認識し、いくつかのまとまりの集まりを、さらに、大きいまとまりとして認識する。この認識が再帰的になされ、音の連続がひとつの音楽として認識される。この構造を模式化すると図 1 の樹状図のようになる。それぞれの葉（数値が記入されているノード）はいくつかの音の列を示している。アルファベットが記入されているノードは音の列のまとまりを示している。例えば、ノード A はその下にある 2 つの葉（音の列）のまとまりであり、ノード E はノード A によってまとめられた音の列とノード B によってまとめられた音の列

<sup>†</sup> 東京工業大学・建築学専攻  
Tokyo Institute of Technology

<sup>††</sup> 東京藝術大学・先端芸術表現科  
Tokyo University of the Arts

のまとまりである。私たちが音の列を音楽として認識できるのは、音の列を聴きながら、それらを、逐次、このように階層化しているからであると考ええる。

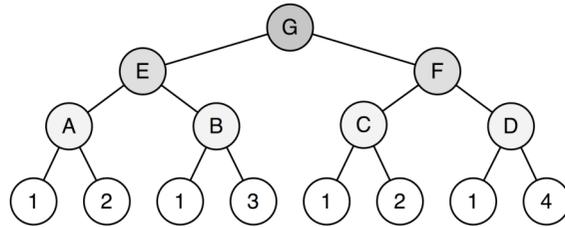


図 1 音楽の階層構造

階層化には音の列がひとまとまりのものとして認識されることが必要である。カデンツは音の列を文節化し、ひとまとまりのものとする役割を担う。図 2 にカデンツを基本単位とする音楽の分節と階層構造のイメージを示す。○はカデンツを表わし、樹状図（図 1）の葉に相当する。すなわち、カデンツによって音の列の基本単位がまとめられていることを示している。○の中の数値はそのカデンツの相対的な終結度を表わす。数値が大きいカデンツの終結度は数値が小さいカデンツの終結度よりも大きい。終結度が大きいカデンツは自分の直前（図では直左）にあり、自分よりも終結度が小さいカデンツの列をまとめて段落をつくる。例えば、左から 2 番目の終結度 2 のカデンツは 1 番目のカデンツと自分をまとめる（樹状図のまとまり A を形成）。4 番目の終結度 3 のカデンツは直前（直左）のカデンツと自分をまとめ（樹状図のまとまり B を形成）、さらに、1 番目から 3 番目のカデンツの列と自分をまとめる（樹状図のまとまり E を形成）。6 番目の終結度 2 のカデンツは 5 番目の終結度 1 のカデンツと自分とをまとめる（樹状図のまとまり C を形成）。最後（8 番目）のカデンツは、いくつかのカデンツを入れ子状にまとめつつ、すべてのカデンツの列をまとめる（樹状図のまとまり G を形成）。

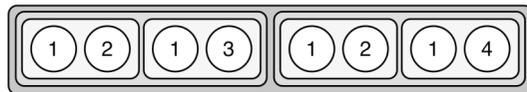


図 2 カデンツによる音楽の分節と階層

### 2.2 □ 生成の流れ

上記の仮定に基づき、音楽構造を次の流れで生成する。

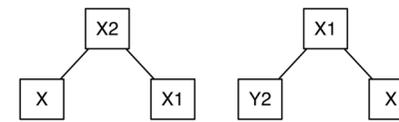
- 1) 或る任意の深さの二分木を生成する。

- 2) 二分木が音楽の構造として成立するために持つべき終結度を葉に割り当てる
- 3) カデンツを生成し、葉のそれぞれに与える。これを基本構造とする。カデンツの生成には生成文法を用いる（後述）。
- 4) 基本構造の適当なノード（葉を含む）を選択し、それが支配する中で最も終結度が大きい葉（部分木の最右の葉）をそのノードを代表するカデンツとする（後述）。ノードを代表するカデンツが過不足無く揃うまでこの操作を繰り返す。
- 5) 各カデンツに代表するノードの大きさに応じた時間的長さを与える。
- 6) 各代表カデンツの終結度を、カデンツのパターンと時間的長さを考慮して、計算する。
- 7) 計算したカデンツの終結度の大小関係とステップ 2 で割り当てた葉の終結度の大小関係が整合的であることを確認し、それを音楽構造とする。

### 3. カデンツの生成文法

生成文法を用いてカデンツを生成する。カデンツの生成文法を、X'理論を踏まえて、定義する。同様の試みはカデンツの文法構造の HPSG による解析という目的で東条[2]によってなされた経緯がある。本研究では、音楽的な属性を考慮した生成規則を、近い将来に、定義することを視野に入れて X'理論を用いている。

生成規則は下図の基本形式を持つと想定する。ここで、X はトニック (T)、ドミナント (D)、サブドミナント (S) などの機能の範疇を示す。X2 と X1 は X を投射した範疇である。X2 を最大投射範疇 (maximal projection) とよぶ。X は最大投射範疇 X2 や投射範疇 X1 の主要部 (head) である。Y2 は主要部に対する補部 (complement) であり、X とは異なる機能をもつ主要部の最大投射範疇である。投射範疇 X1 の同位要素 (sister) となる機能範疇 X を指定部 (specifier) とよぶ。



$X2 \rightarrow X X1$

$X1 \rightarrow Y2 X$

図 3 カデンツ生成規則の基本形式

カデンツを定義する生成規則を基本形式に則り、次のように設定する。主要部の機能によっては指定部や補部をもたない場合がある。生成規則の妥当性は、継続する研究において、音楽理論との整合性や音楽構造の認識に関する実験に基づいて検証する予定である。

下に生成規則を示す．開始記号は **CASENZA** である．

**CADENZA** → T2

- T2 → T T1
- D2 → D1 (注 ; D2 は指定部をもたない)
- S2 → S1 (注 ; S2 は指定部をもたない)
- T2c → T Tp1 (注 ; T2 が T の補部となる場合)
- S2c → S Sp1 (注 ; S2 が D の補部となる場合)
- S2c → S1 (注 ; S2 が D の補部となる場合)

- T1 → S2 T
- T1 → T2c T
- T1 → D2 T
- T1 → D2 Tp

- S1 → S (注 ; S1 は補部をもたない)

- D1 → S2c D
- D1 → DD D (注 ; 補部が借用和音である)
- D1 → D (注 ; S1 は補部をもたない)

- Tp1 → DTp Tp
- Tp1 → Tp

- Sp1 → DSp Sp
- Sp1 → Sp

代表的なカデンツの文法構造はこの生成規則に基づく次の図のようになる．ここで，点線で示されている範疇は陽には現れない（空である）指定部または補部を示している．また，X0 は X と同じ機能範疇を示す．

カデンツの文法構造より，次のようなことがわかる．

カデンツ T-D-T における主要部は最右のトニックである．ドミナントはトニックの補部として位置づけられていることが表されている．

カデンツ T-S-T も同様の構造をもつ．ここではサブドミナントがトニックの補部として位置づけられている．

カデンツ T-S-D-T は補部が入れ子の構造をもつ．ドミナントがトニックの補部として位置づけられ，さらに，そのドミナントの補部としてサブドミナントが位置づけられる．これらのカデンツにおいてはトニックのみが指定部をもつ．それぞれ，最左のトニックが指定部である．

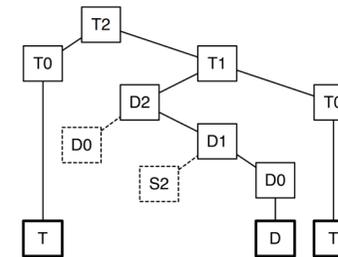


図 4 カデンツ T-D-T の構造

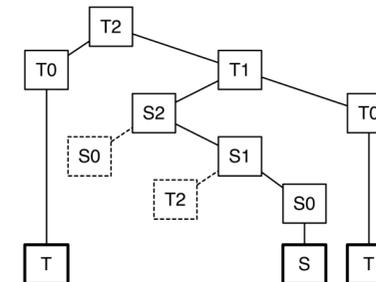


図 5 カデンツ T-S-T の構造

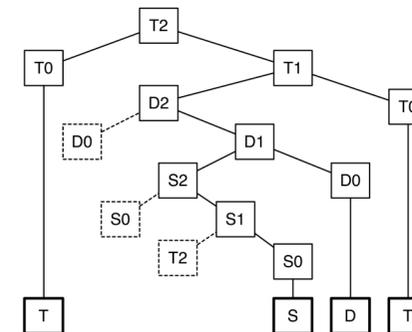


図 6 カデンツ T-S-D-T の構造

これらの生成規則によって、代表的なカデンツの他に、T-S-Sp-D-T, T-S-DSp-Sp-D-T, T-DD-D-T, T-T-DTp-Tp-Tなどが生成される。T-S-Sp-D-TのSpはDの補部となる範疇の主要部であり、Sはその指定部である。

以上に示したように、X'理論を踏まえた生成規則を用いてカデンツを定義することによって、カデンツを構成する各機能の文法構造上の位置づけが和声上の役割と対応づけやすくなっていると考えられる。

#### 4. 枝打ちによる構造の変形

二分木の枝打ちをして構造に変化をもたせる。その方法をここで示す。

二分木を音楽の基本構造とすると、二分木の深度（高さ）の違いによる構造の違いは扱えるものの、固定的な構造となり、変化が乏しくなる。そこで、枝打ちをして構造に変化を持たせることにする。枝打ちをするということは、入れ子の階層構造をもつカデンツのどのまとまりに注目するかを定めるということである。基本構造の各ノードはカデンツのまとまりの単位を示す。適当なノード（葉を含む）を選択し、それが支配する中で最も終結度が大きい葉（部分木の最右の葉）をそのノードを代表するカデンツとし、カデンツの列と階層構造を変形する。この操作をカデンツのまとまりの単位とそれを代表するカデンツが過不足無く揃うまで繰り返す。下図に枝打ちのイメージを示す。

図7はノードBとFで枝打ちをした場合の音楽構造である。Bの支配下にある（終結度が小さい）左側のカデンツは削除される。まとまりBの代表カデンツが削除したカデンツの分の時間的長さを受け持つことにする。この場合、葉に割り当てた時間の倍の時間を受け持つ。まとまりFについても同様である。図8は同じ基本構造をまとまりB,Cに着目して枝打ちした例である。

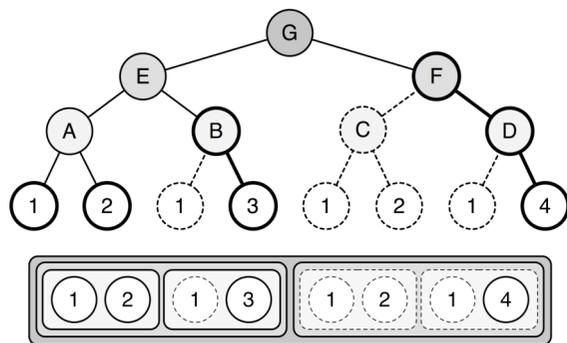


図7 枝打ちした音楽構造として使用するカデンツの例（1）

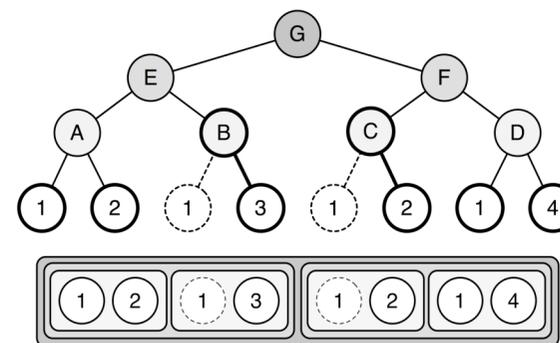


図8 枝打ちした音楽構造として使用するカデンツの例（2）

#### 5. 終結度による音楽構造の評価

カデンツの終結度をカデンツの型がもつ終結の強さ（例えば、...-D-Tで終わるカデンツの終結度は...-S-Tで終わるカデンツの終結度よりも高いなど）とカデンツが受け持つ時間的長さとの積として求める。すなわち、型が同じならば時間的長さが長いカデンツの終結度を高くし、時間的長さが同じならば型に固有の終結度が高い方がそのカデンツの終結度が高くなる。例えば、終止形が...-D-Tのカデンツの固有終結度を10とし、...-S-Tのカデンツの固有終結度を5とすると、後者が前者の2倍を超える時間的長さをもつ場合に後者の終結度が前者の終結度よりも高くなり、2倍未満の時間的長さを持つ場合に前者の終結度が後者の終結度よりも高くなる。このように算出される各カデンツの終結度の大小関係が二分木を生成する際に各葉に与えた終結度の大小関係と同等となるものを音楽構造として採用する。

#### 6. まとめ

カデンツの終結度の大小関係によって音楽が分節化及び構造化されるという仮定に基づいて音楽構造を生成する手法を提案した。二分木生成、カデンツ生成、枝打ちを、終結度の整合性を維持すべく連携させる方法の考案、仮説の検証等が今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) 古川聖, 藤井晴行; 機能と和声と音楽の認知について, 第81回音楽情報科学研究会, 情報処理学会, 2009年7月.
- 2) 東条敏; ヘッドの概念を用いた和声学の文法, 第42回音楽情報科学研究会, 情報処理学会, pp.55-60 (2002).