

## HPSG を用いた楽曲の和声解析

西田昌史 東条敏 佐藤健†

北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科

m-nisida@jaist.ac.jp, tojo@jaist.ac.jp

†国立情報学研究所

ksatoh@nii.ac.jp

あらまし

和声学において楽曲とは幾つかのカデンツの連鎖でありカデンツとは幾つかの和音の連鎖である。このカデンツや和音を自然言語の句や単語と捉え、カデンツのルールを文法規則とすることで、和音列に対する構文解析(和音進行解析)が可能となる。この結果得られる構文木はカデンツ構造を示し、自動編曲や反復箇所認識等に有用である。本稿では、主辞駆動文法 Head-driven Phrase Structure Grammar (HPSG)[2] による知識表現と構文解析を利用した和音進行解析手法を提案する。文法理論 HPSG の素性構造や主辞の概念は和声学における様々な知識や制約関係の記述に有効である。加えて、本稿では提案手法を応用した調性認識、和音認識、和音進行解析を含む総合的な和声解析手法について論じる。本和音進行解析手法は楽曲の調性を認識可能であるため、調性、和音、カデンツの総合的な解析が可能となる。

## Harmony Analysis of Music in HPSG

Masafumi Nishida Satoshi Tojo Ken Satoh†

Japan Advanced Institute of Science and Technology

m-nisida@jaist.ac.jp, tojo@jaist.ac.jp

†National Institute of Informatics

ksatoh@nii.ac.jp

Abstract

In the formal theory of music, a piece consists of a sequence of cadences, and a cadence consists of chords. These cadences and chords can be compared to phrases and words in natural language sentences, thus, a tree structure can be expected to be constructed from the result of analysis of chords. If we could acquire those structures, they should be feasible in music recognition, search, arrangement, and so on. In this paper, we propose the analysis of music by HPSG (Head-driven Phrase Structure Grammar), because the concept of 'grammatical head' plays an important role in the analysis, and the representation by feature structure is useful to describe various music knowledge. In our analysis, recognition of keys, function of chords, and cadences would be realized.

### 1 はじめに

楽曲の和声解析というタスクは計算機による自動編曲、自動伴奏、自動採譜等を実現する上で必要不可欠である。一般に和声解析とは楽曲の調、和音、和音進行(カデンツ)を解析することを指す。今日ま

でこれらの解析を計算機上で実現するための手法は多数提案されているが、精度の高い解析結果を得るには至っていない。まず既存の調性認識では調の認識に曖昧性が生じる。これは既存の認識手法が主に単旋律に対するアプローチであるためである。各調には近親調が存在することから、このような手法

では解を一意に求めることはできない。調を認識する際は和音の進行を考慮すべきである。また既存の和音認識手法でも和音の認識に曖昧性が生じる。これは楽曲中の任意の和音の時間的範囲の特定が困難であることと、和音構成音の省略や非和音構成音の混在などが原因である。このような曖昧性を排除するためには前後の和音との関係を調べる必要がある。以上のことから調性認識、和音認識、和音進行解析は総合的に行われる必要がある。和音進行解析によって和音列中にカデンツ構造を見出せれば調性は明らかとなり、和音列をカデンツのルールと照合することで和音認識における誤認識や曖昧性の排除がある程度可能である。しかし和音進行解析によって和音列からカデンツ構造を認識する際は、和音を 'Tonic' や 'Dominant' などに分類するために調性の情報が必要となる。

そこで本稿では、和音列の調性とカデンツ構造を同時に認識し、かつ和音認識の精度向上の一助となる和音進行解析手法を提案する。まず本手法では和音進行解析に和声学の知識を用いる。和声学とは古典西洋音楽の理論であり多種多様な音楽全てを説明できる理論ではないが、現在の西洋音楽においても基本となる理論である。また本手法では文法理論 HPSG による知識表現を用いる。これは HPSG の知識表現が音楽の各カテゴリーの表現に有効であることに加えて、カデンツを句、和音を単語として捉えることで和音列に対する構文解析が可能なたためである。図 1 に自然言語と音楽の構文木の例を示す。'N', 'V', 'Det' はそれぞれ名詞、動詞、冠詞を意味し、'T', 'S', 'D' はそれぞれ 'Tonic', 'Subdominant', 'Dominant' を意味する。また 'V' のように上にバーを付加したカテゴリーは同名のカテゴリーをさらに抽象化した

ものであることを示す。自然言語では各単語は名詞や動詞などに分類され、これらが名詞句や動詞句などを形成し最終的に一つの句を形成する。同様に、音楽では各和音がある調性の下で I や V などの音度表記で分類され、これらが T や D などの小さな句を形成し最終的に一つのカデンツを形成する。このため自然言語の句と同様に和音列からも構文木を見出すことが可能である。また、HPSG においては主辞 (head) と呼ばれる概念が存在し、これが補語と呼ばれるカテゴリーを下位範疇化して一つ大きな句を形成する。同図の例では V の loves が主辞であり、これが  $\bar{N}$  句を下位範疇化して  $\bar{V}$  句を形成し、さらにもう一つの  $\bar{N}$  句を下位範疇化して  $\bar{V}$  句を形成する。対して音楽では、図 1 のようにカデンツの最後の Tonic の和音を主辞と捉え、これが  $\bar{D}$  句を下位範疇化して  $\bar{T}$  句を形成し、さらに T 句を下位範疇化して  $\bar{T}$  句を形成すると考えることができる。このため HPSG は和音列に対する構文解析にも応用可能である。この構文解析によって得られる構文木はカデンツの構造を示し、自動編曲や自動採譜、反復箇所検索等に役立てることができる。加えて、本手法では従来の調性認識を行うことなく和音列の調性を認識することができる。調性は和音列に対する構文解析を行う際に認識可能である。また、本手法は和音列中に含まれる曖昧性のある程度排除することができ、また和音の誤認識を指摘することができる。これは和音進行解析を行うことで和音の前後の繋がりを考慮することが可能となるためである。

本稿の構成は次の通りである。続く第 2 章では文法理論 HPSG について、第 3 章では HPSG を用いた和声学の知識表現とカデンツの文法規則について、第 4 章では本和音進行解析システムの概要と調性、和音、和音進行の総合的な解析手法について、第 5 章では本システムの問題点と今後の展望について述べる。

## 2 HPSG

HPSG とは制約ベースの文法理論である。この文法理論では、各カテゴリーの情報や文法規則は全て素性構造と呼ばれるマトリックスを用いて表現される。またこの理論には主辞という概念が中心に据えられており、この主辞と呼ばれるカテゴリーが補語

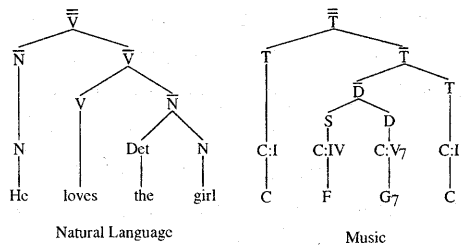


図 1: 自然言語と音楽の構文木

とよばれるカテゴリーを下位範疇化することで親カテゴリーが導出される。この下位範疇化プロセスでは単一化と呼ばれる原理と ID スキーマや幾つかの原則が用いられる。本章では、この文法理論の素性構造、単一化原理、ID スキーマ等について述べ、下位範疇化プロセスについて簡単に説明する。

## 2.1 素性構造

素性構造とは (1) のように属性と値のペアをマトリックスを用いて表現したものである。HPSG では属性は素性 (feature)、値は型 (sort) と呼ばれ、素性構造全体には一つのタイプが与えられる。本稿ではタイプは ‘~’ を付加して記述する。

$$\left[ \begin{array}{l} \sim\text{type} \\ \text{feature}_1 \quad \boxed{1} \text{sort}_1 \\ \text{feature}_2 \quad \left[ \begin{array}{l} \text{feature}_3 \quad \text{sort}_2 \\ \text{feature}_4 \quad \boxed{1} \end{array} \right] \end{array} \right] \quad (1)$$

素性構造自体も一つの型であることから、入れ子構造で表現される。また、異なる素性が同じ型を持つ場合、各素性の型はポインタを用いて構造共有される。本稿ではこのポインタを ‘i’ のようなボックスで囲んだ数字によるインデックスを用いる。この例の場合、 $\text{feature}_4$  の型は  $\text{sort}_1$  となる。この素性構造を用いて自然言語における各カテゴリーは (2) のように表現される。ここで ‘<’ はリストを意味する。

$$\left[ \begin{array}{l} \sim\text{type} \\ \text{phon} \quad \langle \rangle \\ \text{synsem} \quad \left[ \begin{array}{l} \text{loc} \quad \left[ \begin{array}{l} \text{cat} \quad \left[ \begin{array}{l} \text{head} \\ \text{subcat} \end{array} \right] \end{array} \right] \\ \text{nonloc} \quad \left[ \begin{array}{l} \dots \end{array} \right] \end{array} \right] \\ \text{dtrs} \quad \left[ \begin{array}{l} \text{head-dtr} \\ \text{comp-dtrs} \quad \langle \rangle \end{array} \right] \end{array} \right] \quad (2)$$

phon 素性には音声情報が、synsem (syntax-semantics) 素性には構文とその意味に関する情報が、dtrs 素性には主辞である子や補語である子の情報が格納される。ここで言う補語とは、主辞を補って一つ大きな句を形成するカテゴリーのことである。また、synsem 素性は局所的な loc (local)、非局所的な nonloc の情報を含み、loc 素性の先には品詞情報や性、数、格などの重要な情報を保持する head 素性、何を下位範疇化するかという情報を保持する subcat (subcategory) 素性が格納される。今後本稿では、素性構造を見やすくするため、連続した素性名は ‘|’ を挟んで  $f_1 | f_2 | f_3$  のように表記し、間に挟まれた幾つかの素性を省略

する際は  $f_1 || f_n$  のように表記する。また直接関係のない素性は省略する。

## 2.2 素性構造の単一化

HPSG では異なる素性構造がポインタによって構造共有される場合、それらは矛盾の無い限り統合される。これを単一化と呼ぶ。HPSG では構文解析を行う際にこの単一化原理を用いる。以下に単一化の例を示す。

$$\left[ \begin{array}{l} f_1 \quad s_1 \\ f_2 \quad s_2 \end{array} \right] \cup \left[ \begin{array}{l} f_1 \quad s_1 \\ f_3 \quad s_3 \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} f_1 \quad s_1 \\ f_2 \quad s_2 \\ f_3 \quad s_3 \end{array} \right] \quad (3)$$

$$\left[ \begin{array}{l} f_1 \quad s_1 \\ f_2 \quad s_2 \end{array} \right] \cup \left[ \begin{array}{l} f_1 \quad s_2 \\ f_3 \quad s_3 \end{array} \right] = \left[ \quad \right] \quad (4)$$

(3) では単一化によって二つの素性構造から一つの素性構造が導かれるが、(4) では矛盾が発生するため、単一化に失敗する。

## 2.3 文法規則と下位範疇化プロセス

HPSG では下位範疇化プロセスによって親カテゴリーを導出する。下位範疇化プロセスでは ID スキーマ等を用いて主辞と補語の素性構造の単一化を行う。この単一化後の素性構造が親カテゴリーの素性構造となる。また、単一化に失敗した場合その文は非文である。

まず、動詞の素性構造の例を (5) に示す。この例ではこの動詞が下位範疇化するものは主格、三人称、単数の名詞であるということが表現されている。

$$\left[ \begin{array}{l} \sim\text{verb} \\ \text{syn||cat} \quad \left[ \begin{array}{l} \text{head} \quad \left[ \begin{array}{l} \text{verb} \\ \text{vform} \quad \text{fin} \end{array} \right] \\ \text{subcat} \quad \langle \text{syn||head} \quad \left[ \begin{array}{l} \text{noun} \\ \text{case} \quad \text{nom} \\ \text{per} \quad \text{3rd} \\ \text{num} \quad \text{sing} \end{array} \right] \rangle \end{array} \right] \end{array} \right] \quad (5)$$

次に名詞の素性構造の例を (6) に示す。この素性構造から、この名詞は主格、三人称、単数の名詞であり、特に下位範疇化するものは無いということが分かる。

$$\left[ \begin{array}{l} \sim\text{noun} \\ \text{synsem||cat} \quad \left[ \begin{array}{l} \text{head} \quad \left[ \begin{array}{l} \text{noun} \\ \text{case} \quad \text{nom} \\ \text{per} \quad \text{3rd} \\ \text{num} \quad \text{sing} \end{array} \right] \\ \text{subcat} \quad \langle \rangle \end{array} \right] \end{array} \right] \quad (6)$$

ID スキーマは (7) のような素性構造で表現され、こ

れが親カテゴリーの素性構造となる。

$$\left[ \begin{array}{l} \text{synsem|subcat} \langle \rangle \\ \text{dtrs} \left[ \begin{array}{l} \text{head-dtr} \quad \boxed{1} \\ \text{comp-dtrs} \quad \boxed{2} \end{array} \left[ \text{synsem|subcat} \quad \boxed{2} \right] \right] \end{array} \right] \quad (7)$$

この ID スキーマでは主辞である子の subcat 素性と補語である子の素性は矛盾無く単一化されなければならないことが表現されている。例えば、(8)のような素性構造の  $\boxed{1}$  に動詞(主辞)の素性構造を、 $\boxed{2}$  には名詞(補語)の素性構造をそれぞれ単一化させ、これと ID スキーマの素性構造とを単一化した際に矛盾がなければ、単一化の結果が親の素性構造となる。

$$\left[ \text{dtrs} \left[ \begin{array}{l} \text{head-dtr} \quad \boxed{1} \\ \text{comp-dtrs} \quad \boxed{2} \end{array} \right] \right] \quad (8)$$

また、下位範疇化プロセスでは幾つかの原則が ID スキーマと組み合わせて用いられる。これらも素性構造で表現される。まず Head Feature Principle と呼ばれる原則の素性構造を(9)に示す。

$$\left[ \begin{array}{l} \text{syn|loc|cat|haed} \quad \boxed{1} \\ \text{dtrs|haed-dtr} \left[ \text{syn|loc|cat|haed} \quad \boxed{1} \right] \end{array} \right] \quad (9)$$

この素性構造では、親の head 素性は主辞である子の head 素性と構造共有されていなければならない、ということが表現されており、この原則によって子の重要な情報が親へと伝わっていく。

また、(10)の原則では、親の下位範疇化するカテゴリーは、主辞である子の下位範疇化するカテゴリーの内すでに下位範疇化されているカテゴリーを除いたものであることが表現されている。

$$\left[ \begin{array}{l} \text{syn|loc|cat|subcat} \quad \boxed{2} \\ \text{dtrs} \left[ \begin{array}{l} \text{haed-dtr} \left[ \text{syn|loc|cat|subcat} \langle \boxed{1}, \boxed{2} \rangle \right] \\ \text{comp-dtrs} \quad \boxed{1} \end{array} \right] \end{array} \right] \quad (10)$$

以上、HPSG では各カテゴリーだけでなく ID スキーマ等の文法規則も素性構造で表現し、これらを適切に単一化していくことで親の素性構造を導出し構文木を作成する。

### 3 HPSG を用いた和音進行解析

この章では、HPSG を用いた和音進行解析を行うためにカデンツの文法規則を定義し、素性構造を用いた和音やカデンツの表現方法を示す。

#### 3.1 カデンツの文法規則

HPSG を用いてカデンツの文法規則を定義する前に、何を句として捉え、各句がどの句を下位範疇化するかを定義する必要がある。和声学では任意の調から得られる7つの基本3和音をローマ数字を用いて *I, II, ..., VII* のように表記し、これらを(11)のように *Tonic, Subdominant, Dominant* の三種類の和音機能に分類する。

$$\begin{aligned} \text{Tonic} &\rightarrow I \cup VI \\ \text{Subdominant} &\rightarrow II \cup IV \\ \text{Dominant} &\rightarrow III \cup V \cup VII \end{aligned} \quad (11)$$

また、七の和音についても同様に分類される。本稿では以後、これらの和音機能を *T, S, D* のように略記する。これらの和音機能を用いて、一般的にカデンツは(12)のように定義される。

$$\begin{aligned} \text{cadence} &\rightarrow T-D-T \\ \text{cadence} &\rightarrow T-S-T \\ \text{cadence} &\rightarrow T-S-D-T \end{aligned} \quad (12)$$

本稿では和音を単語、*T, S, D* の各和音機能を部分的な句、カデンツを飽和した句であると捉える。ここで、一つのカデンツ内の最後の *Tonic* を主辞句であると考え、(13)のような下位範疇化規則を与えることができる。

$$\begin{aligned} \bar{T} &\rightarrow T, \bar{T} & \bar{T} &\rightarrow \bar{D}, T & \bar{D} &\rightarrow S, D \\ & & \bar{T} &\rightarrow S, T & \bar{D} &\rightarrow D \end{aligned} \quad (13)$$

上記の  $\bar{T}$  が一つのカデンツである。この規則によって(12)に示した三種のカデンツを扱うことができ、図1に示したような構文木を作成することができる。

しかし、この下位範疇化規則では *VI-I* や *IV-II* 進行の禁止や、*IV-I* 進行は許されるが *II-I* 進行は許されないといった規則が表現できていない。これはもともと(11)の各和音の分類方法に欠陥があるためである。そこで(11)の各和音の分類方法を拡張し、その上で各句の下位範疇化規則を再定義する。まず、各和音から遷移できる和音は図2のようにまとめることができる。*III* と *VII* の和音は特殊な働きをするためここでは省略している。図2から、*Tonic* 句、*Subdominant* 句が内部にどのような和音進行を保持しているかによって連結可能な和音が異なることが分かる。各句が内部に保持できる和音進行

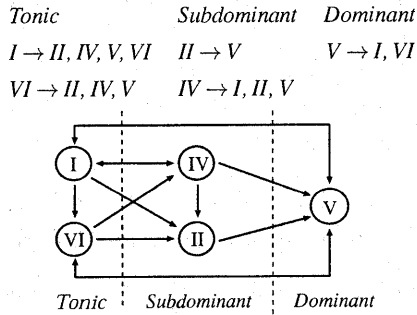


図 2: 和音の状態遷移図

を (14) に示す.

$$\begin{array}{l}
 \text{Tonic} \quad \rightarrow I \text{ or } I-VI \text{ or } VI \\
 \text{Subdominant} \rightarrow IV \text{ or } IV-II \text{ or } II \\
 \text{Dominant} \quad \rightarrow V
 \end{array} \quad (14)$$

上記の各進行は素性構造を用いて (15) のように表現できる.

$$\left[ \begin{array}{l} \sim \text{phrase} \\ \text{synsem} \parallel \text{head} \left[ \begin{array}{l} \text{function} \quad \text{Tonic} \\ \text{scale} \quad \text{c\_major\_scale} \end{array} \right] \\ \text{dtrs} \left[ \begin{array}{l} \text{head-dtr} \quad I \\ \text{comp-dtrs} \quad \langle VI \rangle \end{array} \right] \end{array} \right] \quad (15)$$

また、本稿では便宜上 I の和音のみからなる Tonic 句を 'T<sub>1</sub>', I の和音から始まるものを 'T<sub>1\*</sub>', VI の和音で終止するものを 'T<sub>\*6</sub>' のように表記する。つまり各インデックスは句が何を下位範疇化しているかを示す。また、句が何を下位範疇化しているか特に指定する必要のない場合は 'T' のように表記する。

$$\begin{array}{ll}
 T_1 \rightarrow I & S_4 \rightarrow IV \\
 T_6 \rightarrow VI & S_2 \rightarrow II \\
 T_{1*} \rightarrow I-VI \text{ or } I & S_{4*} \rightarrow IV-II \text{ or } IV \\
 T_{*6} \rightarrow I-VI \text{ or } VI & S_{*2} \rightarrow IV-II \text{ or } II \\
 D_5 \rightarrow V &
 \end{array} \quad (16)$$

(16) より、(13) に示した各句の下位範疇化規則は (17) のように再定義することができる。

$$\begin{array}{lll}
 \overline{T}_1 \rightarrow T, \overline{T}_1 & \overline{T}_6 \rightarrow T, \overline{T}_6 & \overline{D}_5 \rightarrow S, D_5 \\
 \overline{T}_1 \rightarrow \overline{D}_5, T_1 & \overline{T}_6 \rightarrow \overline{D}_5, T_6 & \overline{D}_5 \rightarrow D_5 \\
 \overline{T}_1 \rightarrow S_4, T_1 & &
 \end{array} \quad (17)$$

この下位範疇化規則によって、和声学における (III, VII の和音を除いた) 基本 3 和音のあらゆる和

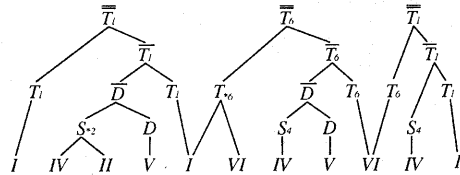


図 3: カデンツの構文木

音進行を扱うことができ、かつ II-I, IV-VI, II-IV, VI-I 進行等の禁止を表現できる。また、七の和音における和音の進行もこれに準ずる。本稿ではこの下位範疇化規則を用いて図 3 示されるような構文木を和音列から見出す。同図に示されるように、本稿では Tonic の和音を共有してカデンツが連鎖する場合、カデンツの数だけ構文木を作成する。これらのカデンツを含むさらに大きな木構造の作成については本稿では言及しない。この作業は拍節、メロディー、反復などの情報を考慮して行われるべきであって、和声の情報のみを基に行われるべきではない。

### 3.2 III, VII の和音への対応

ここでは 3.1 節で省略した III と VII の和音への対応について述べる。III の和音はその構成音が I の和音とも V の和音とも類似することから、Tonic, Dominant の両方に属する。III の和音を介した和音の進行は (18) のようにまとめることができる。

$$\left. \begin{array}{l} T \\ D_5 \end{array} \right\} - III - \left\{ \begin{array}{l} T_6 \\ S_{4*} \end{array} \right. \quad (18)$$

本稿ではこの III の和音を含む句を (19) の Tonic 的用法と (20) の Dominant 的用法に分類する。また、ここの 'T' は III の和音を含まない Tonic 句とする。

$$\begin{array}{l}
 T_3 \rightarrow III \\
 T_{*6} \rightarrow III-VI
 \end{array} \quad T_{*3} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} I-VI-III \\ I-III \\ VI-III \\ III \end{array} \right. \quad (19)$$

$$D_3 \rightarrow III \quad (20)$$

任意の和音列中に含まれる III の和音は Tonic, Dominant のいずれか一方の機能を持つ。どちらの機能で分類を行っても和音列から木構造が導出されるということは無い。(19), (20) の分類を用いて III の和音に関する下位範疇化規則を (21) のように定義

する。

$$\begin{aligned} \overline{T} &\rightarrow T_{*3}, \overline{T}_{(S_{4*})} & \overline{T}_6 &\rightarrow D_3, T_6 \\ \overline{T}_3 &\rightarrow T, \overline{T}_3 \\ \overline{T}_3 &\rightarrow \overline{D}_5, T_3 \end{aligned} \quad (21)$$

VII の和音の機能は書籍によって *Dominant* であるとするものと特殊なものであるとするものに分かれる。前者は VII の和音は属七とよばれる V の七の和音の根音を省略したものであるという主張によるもので、後者は VII の和音は VII-III という反復進行に特別に見られるという主張によるものである。しかし VII の和音を *Dominant* として扱うこと自体は後者に影響を与えないので、本稿では *Dominant* として扱い V の和音と等しい下位範疇化規則を与える。また後者の使用法については今後検討していく。

### 3.3 HPSG 素性構造による和声学の知識表現

ここでは、素性構造を用いた和音、句等の表現方法と文法規則について述べる。これらは (2) で示した素性構造とほぼ一致した形で表現できる。まず (22) に I の和音の素性構造を示す。

$$\left[ \begin{array}{l} \text{~chord} \\ \text{synsem} \parallel \text{cat} \left[ \begin{array}{l} \text{head} \left[ \begin{array}{l} \text{function } I \\ \text{scale } c\text{-major\_scale} \end{array} \right] \\ \text{subcat } \langle (VI) \rangle \end{array} \right] \end{array} \right] \quad (22)$$

head の scale 素性で調名を、function 素性で調名に対応する音度表記を表現する。また subcat 素性に必ずしも下位範疇化する必要がない型を記述するときはその型を '()' で囲って表記する。次に句の素性構造の例を示す。ここでは (23) に  $\overline{Tonic}_I$  の素性構造を示す。

$$\left[ \begin{array}{l} \text{~phrase} \\ \text{synsem} \parallel \text{cat} \left[ \begin{array}{l} \text{head} \left[ \begin{array}{l} \text{function } \overline{Tonic} \\ \text{type } I \\ \text{scale } c\text{-major\_scale} \end{array} \right] \\ \text{subcat } \langle \overline{Tonic} \rangle \end{array} \right] \\ \text{dtrs} \left[ \begin{array}{l} \text{head-dtr } \overline{Tonic}_I \\ \text{comp-dtrs } \langle \overline{Dominant} \rangle \end{array} \right] \end{array} \right] \quad (23)$$

head の function 素性でこの句が  $\overline{Tonic}$  句であることを表現し、type 素性で句のタイプを表現する。この句は主辞の子として  $\overline{Tonic}_I$  句を、補語の子として  $\overline{Dominant}$  句を下位範疇化していることから完全終止であることが分かる。また、この句はさらに  $\overline{Tonic}$  句を下位範疇化して飽和したカデンツを形成する。このように、HPSG の素性構造を用いて和声学にお

ける各カテゴリーの情報を非常に効率よく記述することが可能である。また、各カテゴリーから親のカテゴリーを導出する際は (7) の ID スキーマや (9) の原理に加えて、幾つかの原理を新たに用意すれば十分である。

## 4 本システムの概要とこれを利用した調性、和音、和音進行の総合的な解析手法

この章では、まず第 3 章で述べた和音進行解析手法をどのように実装するかについて述べ、これを応用して調性、和音、和音進行を総合的に解析する手法について論じる。また転調箇所認識への応用についても述べる。

### 4.1 和音進行解析システム

本和音進行解析システムはパーサー部とカデンツ解析部からなる。図 4 に本システムのシーケンス図を示す。システムは和音認識の結果を入力とし、調名、曖昧性のない和音列、カデンツ構造を示す木構造を出力する。和音認識からは 'C', 'Dm' などの具体的な和音列を受け取る。本節では、システムには正しい和音列が入力され、調性は既知でかつ転調は起こらないものとして話を進める。カデンツ認識部は第 3 章で定義したカデンツ規則や知識表現を用いて入力された和音列からカデンツ構造を見出す。また、カデンツ認識部は一つのカデンツの範囲を正しく認識でき、入力された和音列がカデンツとして妥当な場合のみ木構造を出力する。これはカデンツとして妥当でない和音列からは木構造の認識が不可能なためである。パーサー部は和音認識から入力された和音列を先頭から適当に区切り、区切った和音列に調

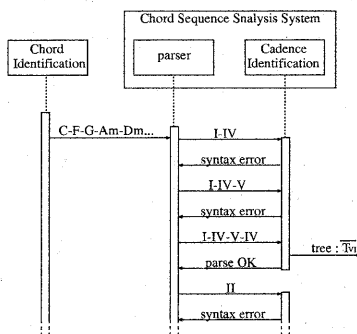


図 4: 本システムのシーケンス図

名に対応する音度表記を与え、これをカデンツ認識部に入力する。この時カデンツ認識部がカデンツ構造を認識できなければ和音列の区切る範囲を広げて再度入力する。この処理はカデンツ構造が認識されるまで繰り返される。カデンツが認識されるとパーサーは残りの和音列に対し同様の処理を行う。この時カデンツは *Tonic* の和音を共有して連鎖することができるため、カデンツ認識部は直前に認識されたカデンツの最後の和音を記憶しておく必要がある。

#### 4.2 本システムを利用した調性, 和音, 和音進行の総合的な解析

本和音進行解析システムはカデンツの認識だけでなく調性の認識や和音の認識にも効果的である。本節ではこのような応用方法について簡単に説明する。

本システムは和音列のカデンツ構造を認識する際に調性を認識することが可能である。例えば、和音認識から  $C-F-Am$  のような和音列が入力された時、この和音列に可能な限りの調名と音度表記の組み合わせを与え  $T, S, D$  の各機能で分類すると、基本的に 24 通りの候補が得られる。その内 3 通りについて (24) から (26) に示す。本稿では調名を ':' の前に表記する。大文字は長調を、小文字は短調を表す。

$$C : I-IV-VI \rightarrow T-S-T \quad (24)$$

$$G : IV-VII-II \rightarrow S-D-S \quad (25)$$

$$a : III-VI-I \rightarrow ?-T-T \quad (26)$$

この時、この和音列に対し (24) のようにハ長調と対応する音度表記の組み合わせを与えたものは 3 章で示した下位範疇化規則で構文木を作成することができる。しかし、(25), (26) のようにハ長調の近親調であるト長調とイ短調に対応する音度表記の組み合わせを与えたものからは構文木を作成することができない。またここに示していない他の調についても同様である。結果、この和音列はハ長調だと認識できる。

次に、本システムの和音認識への応用について述べる。まず、本システムによって和音認識で発生す



図 5: 和音認識に曖昧性が生じる例

る曖昧性のある程度排除することが可能である。和音認識というタスクでは和音範囲の特定、和音構成音の特定といった処理の難しさから少なからず曖昧性が生じる。図 5 の例では、このフレーズを  $C$  と捉えるべきか  $Am$  と捉えるべきか非常に曖昧である。このような場合、本システムで解析を行い前後の和音列との関係を考慮することで曖昧性のある程度排除できる。例えば、このフレーズの周囲から (27) のような和音列が得られたとする。

$$C-F-\left\{ \begin{matrix} C \\ Am \end{matrix} \right\}-G-C \quad (27)$$

ここから得られる 2 通りの和音列を本稿で提案する和音進行解析システムに入力すると、構文木か出力されるのは  $C$  の組み合わせを入力した場合に限られる。このためこの曖昧な和音は  $C$  であると認識できる。また、本システムは和音列中に誤認識が含まれる場合それを指摘することが可能である。本システムは和音列中に誤りが含まれる場合カデンツ構造を認識することが出来ないため、この結果を受けて処理を和音認識に戻し他の可能性を探索させることによって和音認識の精度を向上することができると思えられる。

以上、従来の和音進行解析は事前に調性が認識されていないければ解析を行うことは不可能であったが、本手法では調性認識を和音進行解析と同時に行うことによってこの問題を解決した。また、本稿では和音認識をどのような手法で行うかについては言及しないが、本システムと組み合わせることで和音認識に発生するある程度の誤認識や曖昧性を解消することが可能である。

#### 4.3 転調への対応

本システムは第 4.1 節において述べたような入力法を用いることによって転調箇所が発見にも役立てることができる。和声学では転調前の調を原調、転調後の調を新調と呼ぶ。転調はカデンツの境目で起こるものとカデンツの内部で起こるものがある。後

$$\begin{aligned} \text{chord sequens : } & C - F - G - D \\ C : & I - IV - V \\ & \parallel \\ D : & IV - I \end{aligned} \quad (28)$$

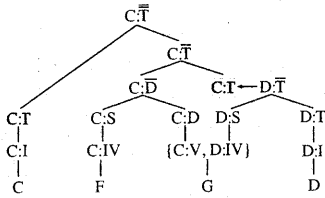


図 6: 転調を含むカデンツの木構造

者の転調は原調の任意の和音を新調の任意の和音に見立てて行われる。この転調をダイアトニック転調と呼ぶ。この例を(28)に示す。本稿では、(28)のような転調箇所は一つのカデンツであると捉え、図6のように構文木を与える。G, Dの和音に二長調に対応する音度表記を与え、ここから $\bar{T}$ 句を導く。また、C, F, Gの和音にハ長調に対応する音度表記を与え、ここへハ長調のTonic句を擬似的に補うことで木構造を導き出す。

しかし、ダイアトニック転調を含む和音列からは複数の木構造が認識される可能性がある。また転調が行われていない和音列から図6のような木構造を認識してしまう可能性も考えられる。従って、前後のカデンツとの関係を考慮した転調の認識が必要となる。

## 5 終わりに

本稿では和音進行解析にHPSGの素性構造による知識表現が有効であると述べた。また、本和音進行解析システムを利用して高い精度で調性、和音、カデンツを認識できると述べた。

現在MIDIを入力とした簡易的な和音認識システムは実装済みであり、和音進行解析システムは実装段階にある。これらを用いて今後実験を重ねていく予定である。しかし、本システムは和音認識においてある程度の精度を要求する。認識された和音列に多数の誤りや曖昧性が含まれる場合、カデンツ構造を誤認識する可能性がある。このため、拍節、音長、音強、音の重なりなどの情報、或いは波形などを考慮した和音範囲や和音構成音の特定手法等が待たれるところである。

また本システムで出力するカデンツの木構造は反復箇所の検索や自動編曲に有効であると述べたが、メロディーの情報やGTTM[3]による拍節構造解析、

グルーピング解析等の解析結果と組み合わせることによって楽曲の大きな構造を解析することが可能になると考えられ、さらにカデンツの認識精度も向上させることが出来ると考えられる。またGTTMにおけるタイムスパン木等の作成に本システムを利用することも可能だと思われる。

本システムは和音進行を解析するために和声学の知識を用いている。これは古典西洋音楽のように和音、和音進行等の体系化が進んだ音楽であれば計算機による解析が可能となることを示唆するものである。したがって本手法でポップス、ロック、ブルース、JAZZなど多彩多様な音楽を扱うことは出来ない。言語によって単語や文法規則が異なるように、音楽もジャンルによって使用される和音やカデンツ進行が異なると考えられる。このためジャンルごとに拡張された和音を素性構造を適宜改良することで表現し、またカデンツの文法規則を各ジャンルに見られる和音進行に即したものと入れ替えることでどのようなジャンルでも解析が可能となると考えられる。ただし、ブルース等のように使われる和音や和音進行が少ないものであれば容易に対応できるが、JAZZなどへの対応は非常に困難であると考えられる。

## 参考文献

- [1] Tojo, S. Harmony Analysis in Head-driven Phrase Structure Grammar. in Proceeding of the workshop on Musical Constraints, 2001.
- [2] Pollard, C. and Sag, I. A Head-driven Phrase Structure Grammar. University of Chicago Press, 1994.
- [3] Lerdahl, F. and Jakendoff, R. A Generative Theory of Tonal Music. MIT Press, 1993.
- [4] Pollard, C. and Sag, I. Information-based Syntax and Semantics. 産業図書出版, 1995.
- [5] 中嶋洋一, 橋本周司, 平賀謙, 平田圭二. bit別冊 コンピュータと音楽の世界 基礎からフロントティアまで. 共立出版, 1998.
- [6] 山縣茂太郎. 音楽通論. 音楽之友社, 1958.
- [7] 島岡謙, 丸田昭三, 小林秀雄. 和声理論と実習 I. 音楽之友社, 1964.
- [8] 大蔵康義. 音と音楽の基礎知識. 国書刊行会, 1999.