

Title	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
Author(s)	村田, 敏之
Citation	
Issue Date	2004-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1801
Rights	
Description	Supervisor: 東条 敏, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

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
情報科学研究科情報処理学専攻

村田 敏之

2004 年 3 月

修 士 論 文

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

指導教官 東条 敏 教授

審査委員主査 東条 敏 教授
審査委員 鳥澤 健太郎 助教授
審査委員 島津 明 教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報処理学専攻

210093 村田 敏之

提出年月: 2004 年 2 月

概要

本稿では楽曲のカデンツ認識の拡張について述べる．近年計算機上で音楽を扱う手法が数多く研究されている．これらの研究は自動編曲や伴奏，採譜の他音楽知識の習得や作曲し円筒様々な応用が見込まれている．本稿では楽譜から得られる知識を基に，楽曲の構造を解析し作曲支援や音楽知識の習得支援を目的とする．

計算機上で音楽を扱うにはまず，音楽の知識を規則として表す必要がある．このような音楽の知識を記述した理論として，古典西洋音楽の音楽理論である和声学がある．和声学と和音の持つ性格や役割に着目し，その連結方法を記述した理論であり，現在でも様々なジャンルの音楽の基礎となっている．和声学は作曲のために理論であるが解析にも利用でき，本稿でも和声学の知識を用いて楽曲からカデンツ見いだすことで解析を行っていく．楽曲はこのカデンツを連鎖させることによって作られるが，楽曲の中にはカデンツを見いだすことができないものも存在する．これは和声学は絶対的なものではなく，その規則から逸脱した楽曲も存在するからである．このような楽曲に対応するためには解析する楽曲にとって容易に知識の入れ替えができるシステムであることが望ましい．また，和声学の知識は大量の禁止規則という形式で記述されており，これらの複雑な規則を効果的に記述できる知識表現型を取るべきである．

これらの点から本稿では主辞駆動句構造文法 HPSG (Head-Driven Phrase Structure Grammar) を用いて解析を行う．HPSG は主辞という概念が中心的な役割を果たす制約ベースの文法理論であり，解析可能な形式を規定していくことによって文法を生成する．和声学においては楽曲はカデンツの連鎖からなり，カデンツは和音の集合から構成される．このような階層構造は自然言語に類似しており，カデンツ中の重要な和音を主辞ということが出来る．また，和声学の知識も禁止規則という形で記述されており，このような制約ベースの文法理論は有効である．本稿では和音を単語，カデンツを句，カデンツの結合規則を文法規則として捉え，和音列に対して構文解析を行うことで楽曲を解析する．

また，本稿では通常のカデンツ規則の他に不完全カデンツなどの特殊な和音進行に対しても解析が行える手法を検討した．不完全カデンツは転調によってカデンツが完成しなかったカデンツであり，通常のカデンツの結合規則では解析できないため，通常のカデンツの解析終了後辞書規則を更新して解析を行う．

楽曲には和声学の知識に違反したものも存在するため，本稿では解析に用いる規則を和声学の知識に完全に沿ったものの他に，規則を緩めた知識を 2 種類用意した．これにより和声学の知識から逸脱したカデンツに対しても解析を行えるようにした．しかし，カデンツの規則を緩めた知識によって生成されたカデンツは本来の知識で生成されたカデンツより和声学への遵守度が低く誤認識である可能性も高い．本稿では認識されたカデンツに対して重み付けを行うことで正しいカデンツと誤認識のカデンツを区別する手法を検討した．

カデンツに与える重みには適用された知識の和声学への遵守度と、Lerdahl の定義した Generative Theory of Tonal Music(GTTM) の理論のひとつである緊張弛緩構造解析による重み付けを行った。緊張弛緩構造は楽曲の進行を緊張と弛緩という視点から解析したものである。緊張弛緩構造では楽曲は緊張から始まり弛緩で終わる流れを持つフレーズと定義されており、本稿ではカデンツの構成範囲と緊張弛緩構造のフレーズの構成範囲が一致するという仮定の下、カデンツ解析で認識されたカデンツに対して緊張弛緩構造解析を行う。緊張弛緩構造が認識できたカデンツは楽曲の流れに沿ったものであり、和声学規則の重みに緊張弛緩構造による重みを付加する。楽曲の解析を行うことにより複数の調のカデンツが競合した場合、和声学規則と緊張弛緩構造の重み付けを参照することによって正しい調のカデンツを認識していく。

本稿では提案した手法によってどの程度楽曲を解析できるか実験を行った。実験を行うにあたっては音楽の主辞や補語の概念を定義し、素性構造を用いて和音と和音の連結規則を表現した。ID-スキーマとプリンシプルは自然言語解析で用いられるものと同じものを使用した。実験は Mozart , Piano Sonata in C , K545 第 1 楽章冒頭, Mozart , Serenade No13 G Major , 第 1 楽章冒頭, Beethoven , Piano Sonata Op49 , No2 第 1 楽章に対して評価実験を行った。入力情報は MIDI ファイルから得られた XML ファイル, 和音情報ファイル, 和音構成範囲情報ファイルとした。これらは楽譜から容易に得られる情報である。解析の結果は各規則におけるカデンツの再現率と精度で評価した。また、システムの出力したカデンツの中で緊張弛緩構造がどの程度成立しているか検証した。

実験によって、本稿で提案した楽曲に対するカデンツ解析の有効性が認められた。また、緊張弛緩構造についてもある程度有効であることが確認された。

目次

第1章	研究背景	1
第2章	楽曲を解析するにあたって	3
2.1	和声学	3
2.1.1	音名	3
2.1.2	調	5
2.1.3	和音	6
2.1.4	音度表記	7
2.1.5	カデンツ	8
2.1.6	和音の転回形	10
2.1.7	特殊な和音	11
2.2	HSPG	14
2.2.1	型階層	14
2.2.2	素性構造	15
2.2.3	主辞 (head)	16
2.2.4	ID-schema と principle	17
2.2.5	辞書規則	17
2.2.6	構文解析	18
2.3	緊張弛緩構造	19
2.3.1	GTTM 概要	19
2.3.2	緊張弛緩構造概要	21
第3章	緊張弛緩行動と HPSG を用いた和声解析	22
3.1	先行研究	22
3.2	HPSG を用いた和声解析	23
3.2.1	カデンツの主辞	23
3.2.2	素性構造による和音の表現	24
3.2.3	型階層の表現	28
3.2.4	素性構造によるカデンツの表現	30
3.2.5	ID-schema と principle	35
3.2.6	HPSG を用いたカデンツの解析	36
3.3	楽曲の認識	37

3.3.1	転回形認識	37
3.3.2	和音認識	38
3.3.3	調認識	39
3.3.4	転調認識と不完全カデンツ	40
3.3.5	反復進行	41
3.4	楽曲の解析	42
3.5	緊張弛緩構造	44
第 4 章	実験と考察	49
4.1	Mozart , Piano Sonata	50
4.2	Mozart , Serenade No13	50
4.3	Beethoven , Piano Sonata Op49	52
4.4	曖昧性の解消について	52
4.5	考察	54
4.5.1	カデンツの認識について	54
4.5.2	調認識とカデンツの重み付けについて	55
4.5.3	緊張弛緩構造について	55
4.5.4	出力例	56
第 5 章	まとめ	60

第1章 研究背景

近年，計算機上で音楽を扱う手法が多数研究されている．これらの研究は自動編曲や伴奏，採譜の他，音楽知識の習得や作曲支援等様々な応用が見込まれている．本稿では楽譜から得られる知識から音楽の構造を解析し，作曲支援や音楽知識の習得支援を目的とする．計算機で音楽の解析を行うにはまず，音楽を規則化する必要がある．このような音楽の知識を記述したものとして，古典西洋音楽の音楽理論である和声学がある．和声学は和音の持つ性格や機能に着目しその連結方法について研究した学問であり，現在でも様々なジャンルの音楽の基礎となっている．また，和声は音楽の骨格をなす構造である．和声に関する研究は古くから行われ，音楽学の中で最も体系化が進んだ分野であるといえる．この知識は音楽の作曲にも分析にも生かすことができ，本稿でもこの和声学の知識を用いて楽曲の解析を行っていく．

しかし，和声学は知らなければ作曲できない，あるいは知っていれば作曲や解析ができるといった絶対的なものではない．和声学は音楽全体の中の1つの部分集合に過ぎず，和声学が重んじられた古典派の時代ですら和声学の規則に反した和音の連結が見受けられる．また，楽曲中で使われている調には近親調が存在し，任意の調とその近親調の構成音は非常に近いことから，和声学の知識のみではもとの調と近親調どちらが正しいのか区別が付きにくいという問題がある．このため，解析の際に近親調による曖昧性の解消や，和声規則への違反の問題を解消する必要がある．

本稿では和音を単語，カデンツを句，カデンツの規則を文法規則に対応させることにより主辞駆動句構造文法 HPSG を用いて楽曲の解析を行っていく．HPSG は主辞が中心的な役割を果たす制約ベースの文法規則である．和声学の規則は大量の禁止規則という形で記述されており，制約ベースの文法規則は有効である．本カデンツ認識手法では和声学の規則に違反した楽曲へもある程度対応するために，解析に用いる知識には和声学に完全に沿ったものの他に，ある程度規則を緩めた知識を用いる．制約を緩める事によって認識されたカデンツは本来の制約のもとで認識されたカデンツより和声学の遵守度が低く，誤認識である可能性も高い．本来の制約のもとで認識されたカデンツと，緩められた制約のもので認識されたカデンツが競合した場合，本来の制約のもので認識されたカデンツを正解と見るべきである．認識されたカデンツに重み付けを行うことによって，正しいカデンツと誤認識のカデンツを区別する手法を検討する．また，この手法では近親調による曖昧性の解消にも有効であると考えられる．カデンツに与える重みには適用された規則による重み付けと，Lerdahl の定義した Generative Theory of Tonal Music(GTTM) の理論のひとつである緊張弛緩構造解析による重み付けを用いた．緊張弛緩構は楽曲の進行を緊張と弛

緩という視点から解析したものである．緊張弛緩構造では楽曲は緊張から始まり弛緩で終わる流れを持つフレーズと定義されており，本稿ではカデンツの構成範囲と緊張弛緩構造のフレーズの構成範囲が一致するという仮定の下，カデンツ解析で認識されたカデンツに対して緊張弛緩構造解析を行う．緊張弛緩構造が認識できたカデンツは楽曲の流れに沿ったものであり，和声学規則の重みに緊張弛緩構造による重みを付加する．カデンツ解析の結果，誤認識による競合カデンツが発生した場合，カデンツの重みを参照するところで競合を解消することが可能であると考える．

本稿では Mozart , Piano Sonata in C , K545 第 1 楽章冒頭 , Mozart , Serenade No13 G Major , 第 1 楽章冒頭 , Beethoven , Piano Sonata Op49 , No2 第 1 楽章に対して評価実験を行った．入力情報は MIDI ファイルから得られた XML ファイル , 和音情報ファイル , 和音構成範囲情報ファイルとした．これらは楽譜から容易に得られる情報である．解析の結果は , 認識したカデンツの再現率と精度で評価した．また , システムの出力したカデンツの中での緊張弛緩構造の有効性を検証した．

第2章 楽曲を解析するにあたって

本稿では、楽曲を緊張弛緩構造と、主辞駆動句構造文法を用いて解析することを目的としている。この章では、楽曲と主辞駆動句構造文法、緊張弛緩構造の基礎的な知識について述べる。

2.1 和声学

和声学とは、個々の和音の構成音と調の構成音の關係に着目し、機能和声と呼ばれる和音の役割を解析するための理論である。作曲や編曲の際、必ずしも守る必要はないが、これを無視して良い音楽は作ることは困難である。ここでは、書籍：和声 理論と実習 I ~ III に基づいた音楽の基礎的な知識について解説する。

2.1.1 音名

音名とは、音の高さを示す固有の名称である。各国によって名称に違いがあり、イタリア語のドレミ、日本語のハニホなどがこれに相当する。ここではピアノの鍵盤および楽譜と、イタリア語、日本語、英語の対応を図に示す。また音名が同じで高さの異なる2音の關係をオクターブという。任意の2和音にオクターブの關係がある場合、この2音の周波数比は必ず1:2となる。本稿では、以下音名は英語名で表記する。また、 $C\sharp$ と $D\flat$ のように、同じ枠にある2音¹は実際には音の高さは異なる ($C\sharp$ は D の音に近く、 $D\flat$ は C の音に近い) が同じ音の高さとして扱う。

音程差

また、ピアノの鍵盤上で隣り合うような2音の高さの差を音程差と呼ぶ。図 2.1 中の (4) と (5) や (8) と (9) のように鍵盤1つ分離れた2音の音程差を半音 (1) と (3) や (4) と (6) のように鍵盤2つ分離れた2音の音程差を全音と呼ぶ。この全音と半音の並び方には一定の規則があり、並び方によって楽曲の調を特定する手がかりになる。

¹本稿ではピアノの曲の解析を想定しており、音名の扱いはこれに準じる

1

3

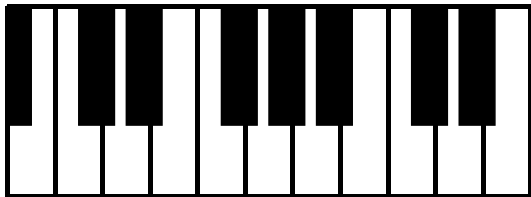
6

8

10

1

3



11

0

2

4

5

7

9

11

0

2

4

	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)					
イタリア語	ド	レ $\flat$	ド $\sharp$	レ	ミ $\flat$	レ $\sharp$	ミ	ファ	ソ $\flat$	ファ $\sharp$	ソ	ラ $\flat$	ソ $\sharp$	ラ	シ $\flat$	ラ $\sharp$	シ
日本語	ハ	変二	嬰ハ	ニ	変ホ	嬰二	ホ	ヘ	変ト	嬰ヘ	ト	変イ	嬰ト	イ	変ロ	嬰イ	ロ
英語	C	D $\flat$	C $\sharp$	D	E $\flat$	D $\sharp$	E	F	G $\flat$	F $\sharp$	G	A $\flat$	G $\sharp$	A	B $\flat$	A $\sharp$	B

図 2.1: 鍵盤と音名の対応表

音度差

和声学では、音程差とは別に音度差と呼ばれるものが定義されている。音度は、五線譜上での任意の2つの音の高さの差を示すものである。図 3.9 の様に、同一の高さにある音を1度、五線譜の線1つ分離れたものを3度という。また、8度の関係のある音を特にオクターブという。

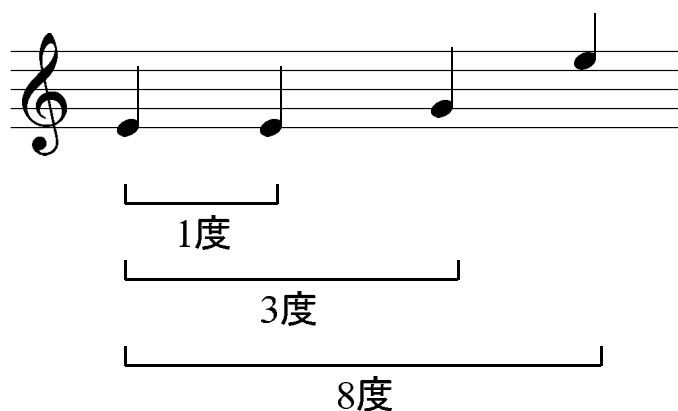
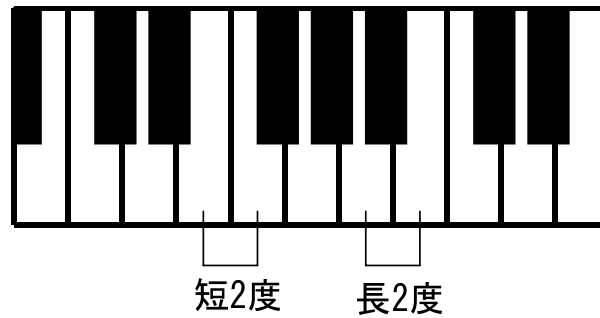


図 2.2: 音度表記

また、AとB、EとFの様に、楽譜上では同じ音度差でも、鍵盤上の音程差が異なる場合がある。この場合、前者は鍵盤で2音分あるのに対し、後者は1音分しかない。このような違いを表すために音度の前に長、短、完全、増、減などを付加する。AとBは全音1つ分の音高差があるので長2度であり、EとFは半音1つ分の音高差があるので短2度と表記できる。この関係を表 2.1 に示す。なお、全音1つと半音2つは等価であり、例えば完全8度の全音5つ半音2つは半音12とも表記できる。



完全1度	→	同音	短2度	→	半音1
長2度	→	全音1	短3度	→	全音1 半音1
長3度	→	全音2	完全4度	→	全音2 半音1
増4度	→	全音3	減5度	→	全音2 半音2
完全5度	→	全音3 半音1	短6度	→	全音3 半音2
長6度	→	全音4 半音1	短7度	→	全音4 半音2
長7度	→	全音5 半音1	完全8度	→	全音5 半音2

表 2.1: 音度差と音程の関係

2.1.2 調

調は主音と呼ばれる任意の音を基準に規則的に音を集めたものであり、楽曲は調の構成音を用いて作曲される。楽曲中に用いられる調は複数の場合もあり、²楽曲中で調が変化することを転調と呼ぶ。また、調には長調 (Major Scale) と短調 (Minor Scale) の2種類がある。例えばCの音を主音とした長調を八長調 (C Major Scale)、Gの音を主音とした短調をト短調 (G Minor Scale) と呼ぶ。

長調と短調の違いは、聞いたときの響きとして現れる。例えば、八長調 (C Major Scale) は明るい響きを持ち、八短調 (C Minor Scale) は暗い響きを持つ。これは主音は同じCの音であるが構成音が異なるためである。すべての長調は長調は音程が、調の主音から全音-全音-半音-全音-全音-全音-半音の関係を持つのに対し、全ての短調は調の主音から全音-半音-全音-全音-半音-全音-全音の音程関係を持つ。例としてCの音を主音とした長調 (C Major Scale) と短調 (C Minor Scale) の構成音の違いを図2.3に示す。

各調には近親調と呼ばれる調が存在する。近親調とは、ある調の構成音と類似している調で、転調する際には近親調への転調すると違和感なく転調できる。例として八長調の近親調を図2.4に示す。

² 楽曲の中心となる調を主調と呼び、楽曲の開始と終止は主調であることが多い

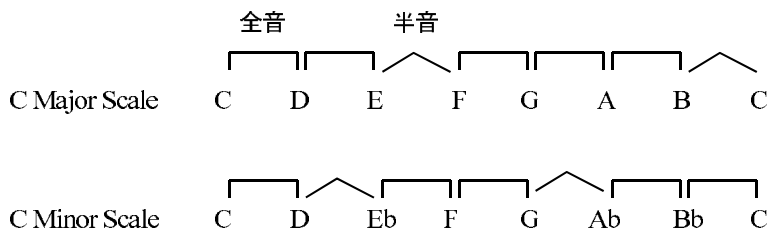


図 2.3: 八長調と八短調の構成音の差

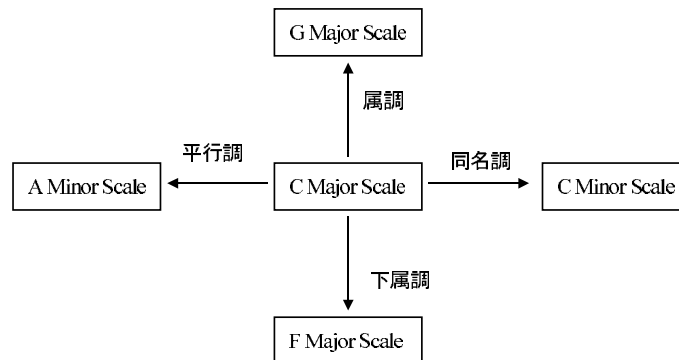


図 2.4: 八長調の近親調

2.1.3 和音

和音はいくつかの音が規則的に並べられて構成されたものである．和音は基本的に3つの音からなり，それぞれの音は調の構成音のひとつである．これを基本3和音と呼ぶ．一番下にある音を根音と呼び，和音の性格を決定する最も重要な音となる．根音から3度上にある音を第3音 (3rd)，5度上にある音を第5音 (5th) と呼ぶ．この第5音は省略することもできるが，その場合，和音はやや不安定な響きになる．

和音には3つの種類があり，根音と第3音の関係が長3度の和音を長3和音 (Major chord)，短3度の和音を短3和音 (Minor chord) と呼ぶ．なお，この2つの和音の第5音は完全5度である．また，根音と第3音の関係が短3度かつ根音と第5音が減5度の関係の和音を減3和音 (Diminished chord) と呼ぶ．本稿では今後，Cの音を根音とする長3和音をC，短3和音をCm，減3和音をCdimと表記する．同様にC $\sharp$ の音を根音とする和音はC $\sharp$ ，C $\sharp$ m，C $\sharp$ dimと表記する．

また，和声学では基本3和音以外にも7の和音と9の和音が定義されている．7の和音は基本3和音に根音から7度の位置に音を付加した和音である．7の和音は基本3和音に比べやや不安定な響きを持つ．本稿では以後，Cを根音とする7の和音をC7，Cm7，C7dimと表記する．

9の和音は，7の和音に根音から9度の位置に音を付加したものである．9の和音は非常にまれなケースであり，本稿では扱わない．

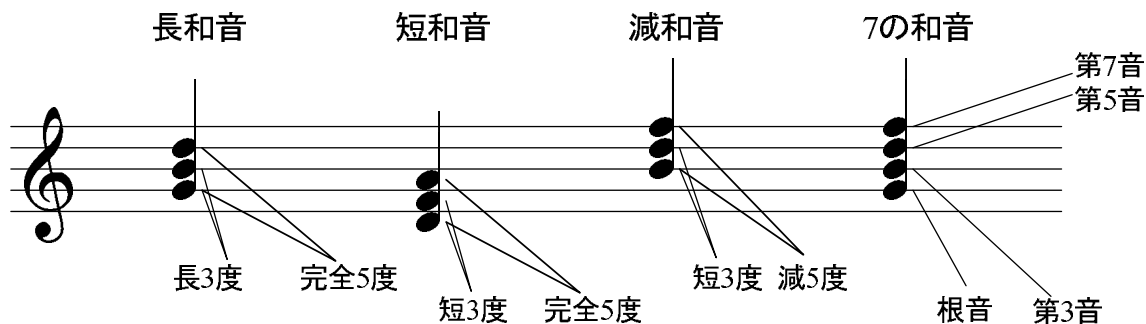


図 2.5: 各種の和音

また，楽曲中の和音には構成音が意図的に省略されているものがある．この場合，和音はやや不安定な響きを持ち，楽曲に幅を与えることができる．ただし，和声学では和音の構成音の省略は基本的に第5音にのみ許されており，根音や，第3音を省略することはできない．根音や，第3音が省略されている和音は同じ構成音を持った別の和音である可能性が高い．

また，例外として，G7，G9の和音は根音を省略することができ，本稿では根音省略形をG7sと表記する．第5音省略形については，しばしば起こりうるうえ和音進行上の禁則にも直接関係はないため，特に必要がない限りは通常通り表記する．

2.1.4 音度表記

楽曲は任意の調と，その調の構成音を根音とする和音を規則的に並べることによって作られる．任意の調から得られる和音にはローマ数字による名前が与えられており，これを音度表記 (Degree) という．

音度表記の付け方は調に依存しており，例えば，Gの音を根音とする和音は八長調ではVの和音，ト長調ではIの和音となる．また，7の和音はI7の様に表記し，Major chordとMinor chordを区別するためにC Major chordはI，C Minor chordはiと表記する．本稿では特にMajor chordとMinor chordを区別する必要のない限り大文字で表記する．図2.2に和音名 (Chord) と，八長調の音度表記 (Degree) の関係を示す．本稿では以後，和音をDegreeで表記する．

Chord	C	Dm	Em	F	G	Am	Bdim
Degree	I	ii	iii	IV	V	vi	viidim

表 2.2: 八長調の和音と音度表記の関係

2.1.5 カデンツ

自然言語において単語を無秩序に並べても正しい文章を形成することはできないように、楽曲においても無秩序に和音を並べただけでは正しい楽曲は形成できない。この和音を正しく並べる規則をカデンツと呼ぶ。

カデンツは複数の和音を連結する際の規則であり、楽曲はカデンツを連鎖させて作られる。カデンツは主和音 (tonic)、属和音 (dominant)、下属和音 (subdominant) の3つの機能と声を組み合わせて構成されている。tonic は調を代表する安定した性格も持ち、フレーズの開始部と終止部になり得る。dominant はやや不安定な響きを持ち、tonic へ進行しようとする強い性格を持っている。subdominant は不安定な響きを持ち、dominant に進もうとする性格を持っている。

機能と声と音度表記の関係を表に示す。なお、7 の和音もこの規則に沿う。III の和音については tonic と dominant 両方の機能を持っており、和音列中に現れる位置によってその機能が変化する。例えば subdominant の和音が後続するときには tonic となり、VI の和音が後続する場合は dominant となる。

Tonic	→	I, VI, III
Dominant	→	V, III, VII
Subdominant	→	IV, II

機能と声の決定は音度表記に依存しており、同じ和音でも楽曲の調によって異なる機能と声を持つ。例えば、同じ C を根音とする和音でも八長調なら tonic になり、ト長調なら dominant になる。カデンツはこれらの機能と声の組み合わせによって成り立っており、その関係を表に示す。

本稿では以後、tonic, dominant, subdominant をそれぞれ T, D, S とし、これらの機能と声からなるカデンツをそれぞれ K1, K2, K3 と表記する。また、それぞれのカデンツには開始部と終止部に T が使われており、これらを区別するために開始部の T を開始 T, 終止部の T を終結 T と表記する。

cadence K1	→	T - D - T
cadence K2	→	T - S - D - T
cadence K3	→	T - S - T

人間は1つの和音のみ聞いても音楽には聞こえず、カデンツで連結された和音列を聞いて初めて完成した1つのフレーズとして聞くことができる。楽曲はカデンツを連鎖させることで構成されており、基本的にはカデンツの途中で転調が起こったとき以外カデンツがとぎれることはない。また、V - I で終止するカデンツを全終止、V - VI で終止するカデンツを偽終止、IV - I で終止するカデンツを変終止、V で終止するカデンツを半終止と呼ぶ。

転調は調の項で述べたように楽曲中の任意の場所で起こりうる。カデンツとカデンツの切れ目で転調が起こったときは問題はないが、カデンツの途中で転調が起こった場合、そ

のカデンツは完成されないまま別の調に移り進行していく．この完成されなかったカデンツを不完全カデンツ (Imperfect cadence) と呼ぶ．不完全カデンツは図 2.6 のように転調前と後の両方に起こることもありうる．

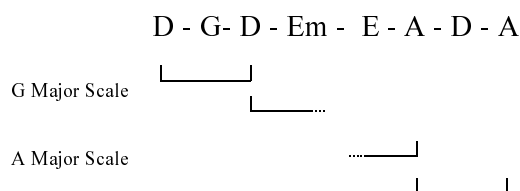


図 2.6: 不完全カデンツの例

カデンツ進行規則

カデンツには機能と声の組み合わせ表に示した進行規則の他に，特定の音度から音度への進行が禁止されている場合がある．例えば，K3 カデンツにおいては S 項に II の和音を使用することが禁止されている．これは II の和音は dominant を助ける働きを持ち，必ず V の和音に進行するため，K2 カデンツでしか用いることができないからである．音度間の進行の規則を表 2.3 に示す．

III の和音については tonic と dominant の機能を持つことができ，同じ III の和音でも機能と声によって可能な進行が異なるため III(T) を tonic の機能を持つ III の和音，III(D) を dominant の機能を持つ III の和音として区別する．また，I の和音は基本的に全ての和音に進行できるが，例外的に終止部 Tonic の I の和音は終止部 tonic としての VI の和音へ進行できない．

和音	
I	II III(T) III(D) IV V VI VII
II	V
III(T)	II IV
III(D)	VI
IV	I II III(T) V VII
V	I III(T) III(D) VI VII
VI	II III(T) III(D) IV V
VII	III(T) III(D)

表 2.3: 和音進行規則

主要 3 和音

ある調の主和音 (I の和音) , 属和音 (IV の和音) , 下属和音 (V の和音) の 3 つの音を根音とする和音を主要 3 和音と呼ぶ . この 3 つの和音は図 2.7 のように調の構成音全てを含んでおり , 最も簡単な楽曲はこの 3 つの和音のみで構成することができる . これらの和音はそれぞれ tonic , subdominant , dominant に属しており , それぞれの機能 and 声 を代表する和音である .

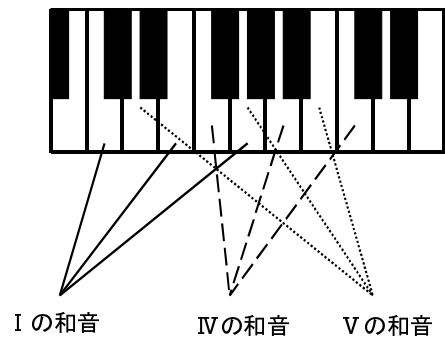


図 2.7: 主要 3 和音の構成音

2.1.6 和音の転回形

和音には転回形というものが存在する . 転回形は通常最低音高 (bass) である根音が 1 オクターブ上に移動し , 第 3 音や第 5 音がバスとなった和音形態である . 根音がバスである和音を基本形 , 第 3 音がバスの和音を第 1 転回形 , 第 5 音がバスの和音を第 2 転回形と呼ぶ . また , 7 の和音には第 7 音がバスとなった第 3 転回形が存在し , 本稿ではそれぞれを inv0 , inv1 , inv2 , inv3 と表記する .

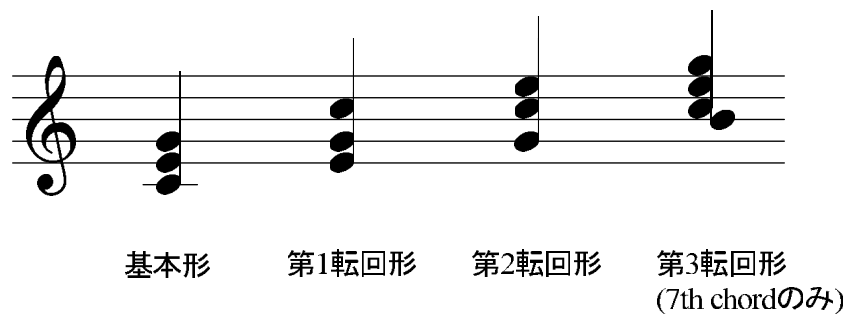


図 2.8: 和音の転回形

転回形規則

転回形は和声学中에서도重要な働きを持ち，転回形のタイプによっては禁止される和音の進行も存在する．例えば，I-IV-I という和音進行において IV の和音が第 2 転回形であった場合，その前後は必ず I の和音基本形でないといけない．この節では，それらの規則のなかで，特に重要な V の和音と第 2 転回形について解説する．

○ 基本形 V の和音

特に禁則なし．dominant として，tonic や III，VII の dominant へ進行する．

○ 第 1 転回形 V の和音

第 1 転回形 V の和音は，常に I の和音基本形へ進行する．この場合，VI の和音や I の和音第 1 転回形，dominant への進行は禁則となる．

○ 第 2 転回形 V の和音

下記第 2 転回形規則の中でのみ扱われる．

○ 第 2 転回形規則

和声学においては第 2 転回形は特殊な形として扱われ，以下のバスの特定の型 (定型) の中でのみ扱うことができる．

I(inv0) - V(inv2) - I(inv0)

I(inv1) - V(inv2) - I(inv0)

I(inv0) - IV(inv2) - I(inv0)

2.1.7 特殊な和音

和声学では通常の和音とは異なる性質を持つ和音が存在する．この節では特殊な性質を持つ倚和音と借用和音，借用和音の中でも特に重要なダブルドミナントの 3 つを解説する．また，反復進行と呼ばれる特殊な進行についても解説する．

倚和音

和声学では，基本的に 1 つの和音に 1 つの和声機能を割り当ててが，例外として倚和音と呼ばれる特殊な和音がある．

倚和音は図 2.9 のように I の和音第 2 転回形音と V の和音基本形の 2 つの和音を 1 つの和音として扱う．この 2 つの和音は不可分の関係にあり，通常の和音のようにそれぞれが和声機能を持つことはなく，両者合して 1 つの dominant として解析する．また，倚和音中

の和音は、V7やV9の和音基本形に置き換えることも可能である。

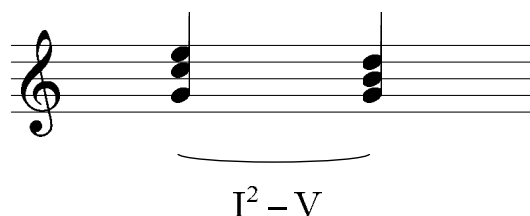


図 2.9: 倚和音

借用和音

楽曲中には、転調とは別に一時的 (1 和音分等非常に短い時間) に別の調の和音を借用することがある。これを借用和音と呼ぶ。借用和音は転調の一種であるが、非常に短いスパンであるため、他の調から和音を一時的に借りてきたとみなすことからこの名前が付いている。また、借用和音は近親調からの借用が多く、大体の場合、転調しているとは考えにくい、非常に主調に近い特性を持つ。例えば、図 2.10 の D を根音とした和音の構成音は、八長調のものではなく近親調であるト長調の和音の構成音である。しかし、後続の C の和音は八長調の和音であり、D の和音だけ転調しているとはいいいにくい。そこで、D を根音とした和音はト長調 V の和音を借用してきたと考え、これを借用和音とみなす。本稿では借用和音を (和音名/借用調) という表記法を用いて、ト長調 V の和音を借用してきた場合、V/V と表記する。また、借用和音の機能と声は、一般に等しい根音の音度を持つ元の調の和音の機能と声と一致する。本稿では、借用和音の機能と声をそれぞれ、Borrowed-T、Borrowed-D、Borrowed-S と表記する。

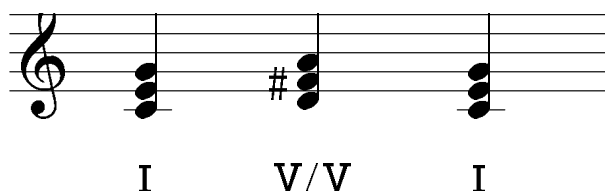


図 2.10: 借用和音の例

ダブルドミナント

借用和音の中でも主調から V 調の V の和音を借用したものをダブルドミナントと呼ぶ。基本的には II の和音と同格に扱えるが、K2 カデンツの中でのみ用いられ K3 カデンツで

は使うことができないという特殊な規則を持つ．そこで本稿では他の借用和音と区別するために機能和声を V/V と表記する．

反復進行

楽曲中には、2つの和音がある一定の音度差で進行し、それが何度も繰り返されている部分が存在する．これを反復進行と呼ぶ．任意の和音列が、進行型と移動型の2つの規則を満たしたとき、反復進行であると認識される．反復進行の規則を以下に示す．

進行型規則

5度上向，下向

2度上向

移動型規則

2度上向，下向

3度上向，下向

例えば，図 2.11 の和音列 I-IV-II-V-III-VI は I の和音から IV の和音への進行型は5度下向しており，I の和音から II の和音への移動型は2度上向である．II の和音から III の和音についても同様のことをいうことができ，合計3つの反復進行が存在していることがわかる．また5度上向した後，2度上向を1セットにしてこれを繰り返すといった複数の進行規則を持った反復進行も存在する．

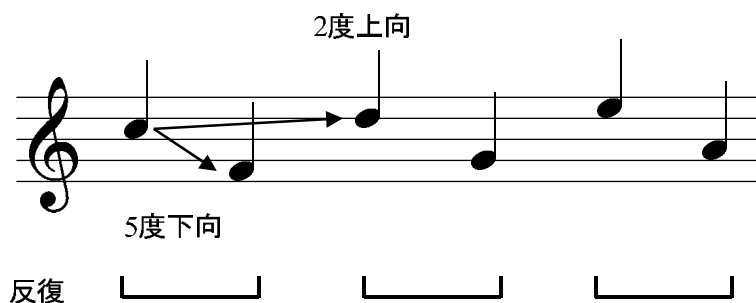


図 2.11: 反復進行の例

また，反復進行は図??のようにカデンツに含まれることもあり，この場合，先行のカデンツから反復進行に進行し，さらに後続のカデンツに進行する1つのカデンツとみなすことができる．反復進行はカデンツの規則は積極的な役割を果たさず，反復進行中に転調して先頭のカデンツとは異なる調で終わることもある．

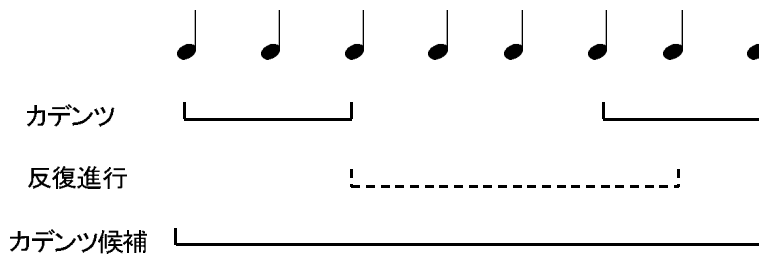


図 2.12: 反復進行を含むカデンツ

2.2 HSPG

主辞駆動句構造文法 (HPSG) とは制約に基づく単一化文法の一つであり，文法の構成要素は素性構造と呼ばれる型で記述され，主辞 (HEAD) と下位範疇化という概念が中心的役割を果たす理論である．

文脈自由形文法 (CGF) 等の文法規則より文を導出，生成する生成文法の場合と逆の概念であり，こういう形のは可能，こういう形のは不可能と規定していくことにより文を生成する．本節では HPSG の概要について説明する．

2.2.1 型階層

HPSG では解析に用いる値を型と呼び，これらの型に型階層と呼ばれる上下関係を定義することにより解析を進めていく．型階層の例を図 2.13 に示す．型階層では下位の型ほど一般的であり，上位になるほど特殊な型となる．また最も下位にある型はボトムと呼ばれる，全ての型はここから派生する．ある型階層の型の値は，下位の型の値を継承している．

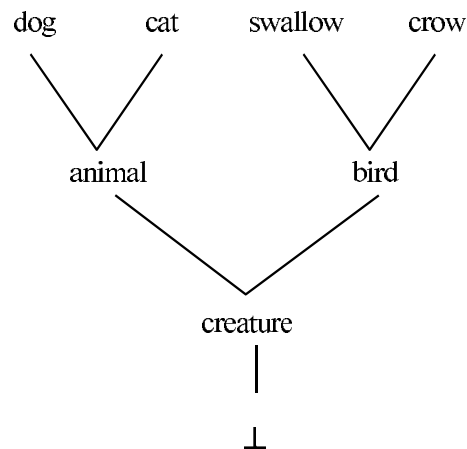


図 2.13: 型階層の例

2.2.2 素性構造

HPSG で解析を行うには、型の情報を記述した素性構造を使用する．素性構造は (2.1) のように型の属性と値を記述した括弧で表現し、AVM(attribute-value matrix) と呼ぶ．

$$\left[\begin{array}{ll} \text{attribute1} & \text{value1} \\ \text{attribute2} & \text{value2} \\ \text{attribute3} & \text{value3} \\ \text{attribute4} & \text{value4} \end{array} \right] \quad (2.1)$$

また、素性構造の前に 'i' のようにポインタを用いることがある．ポインタ付加することによって以後、そのポインタが素性構造全体を指す．(2.2) では attribute2 と attribute3 が同じ値を持っていることを示しており、これを構造共有と呼ぶ．ポインタを用いることによって素性構造で表現された型階層をシンプルに表現することが可能となる．

$$\left[\begin{array}{ll} \text{HEAD} & \\ \text{attribute1} & \text{value1} \\ \text{attribute2} & \boxed{1} \\ \text{attribute3} & \boxed{1} \end{array} \left[\begin{array}{ll} \text{attribute4} & \text{value4} \\ \text{attribute5} & \text{value5} \end{array} \right] \right] \quad (2.2)$$

また、素性構造は必要に応じてある程度自由にデザインを変更することができ、例えば Tom という名前の 6 歳の黒い犬の素性構造は (2.3) のように表現できる．

$$\left[\begin{array}{ll} \text{dog} & \\ \text{NAME} & \text{Tom} \\ \text{AGE} & 6 \\ \text{COLOR} & \text{black} \end{array} \right] \quad (2.3)$$

単一化

素性構造で表現された型の属性の値に矛盾がない場合、素性構造同士を単一化することができる．例えば、(2.4) に示すような素性構造同士はお互いの属性の値に矛盾がないために単一化することができる．

$$\left[\begin{array}{ll} \text{HEAD} & \\ \text{attribute1} & \text{value1} \\ \text{attribute2} & \text{value2} \\ \text{attribute3} & \text{value3} \end{array} \right] \quad \left[\begin{array}{ll} \text{HEAD} & \\ \text{attribute1} & \text{value1} \\ \text{attribute4} & \text{value4} \end{array} \right] \quad (2.4)$$

しかし, (2.5) に示すような例は属性の値に矛盾があるため単一化することはできない.

$$\left[\begin{array}{ll} \text{HEAD} & \\ \text{attribute1} & \text{value1} \\ \text{attribute2} & \text{value2} \\ \text{attribute3} & \text{value3} \end{array} \right] \quad \left[\begin{array}{ll} \text{HEAD} & \\ \text{attribute1} & \text{value1} \\ \text{attribute2} & \text{value2} \\ \text{attribute3} & \text{value4} \end{array} \right] \quad (2.5)$$

単一化の際, 生成された新しい素性構造は (2.6) のようになり, 単一化前の素性構造の属性の値を引き継いでいく. これにより, ある型で定義された属性の値は上位に伝えられていく. なお, HPSG では単一化前の素性構造を子 (Daughter), 単一化によって生成された素性構造を親 (Mother) と呼ぶ.

$$\left[\begin{array}{ll} \text{HEAD} & \\ \text{attribute1} & \text{value1} \\ \text{attribute2} & \text{value2} \\ \text{attribute3} & \text{value3} \\ \text{attribute4} & \text{value4} \end{array} \right] \quad (2.6)$$

2.2.3 主辞 (head)

HPSG では主辞という概念を持っている. これは単一化の際, 中心的役割を果たす句や語のことで, 主辞の情報は必ず親に伝えられる. 例えば図 2.14 のように 'the dog' という文を単一化すると, より重要となるのは名詞である 'dog' であり, これを主辞として上位階層に伝えていく. また, 主辞を補う句や語を補語と呼ぶ. また, 主辞の子 (head-daughter) と補語の子 (complement-daughter) が結びついて親を生成することを下位範疇化と呼ぶ. HPSG ではこの下位範疇化を繰り返していくことにより構文解析を行う. なお, 'Det' は冠詞, 'N' は名詞を意味する. 主辞を中心に生成された句には ' $\overline{N}$ ' のように主辞の名前の上にバーが付加される. 主辞の素性構造には *subcat* という下位範疇化する素性のリストがあり, このリストの中の素性を下位範疇化していく. このリストには, この句は下位範疇化できるが, この句は下位範疇化できないといった情報が記述される.

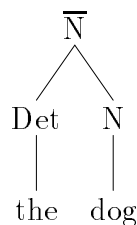


図 2.14: 下位範疇化の例

2.2.4 ID-schema と principle

ID-schema と principle は HPSG を用いて構文解析を行うときに用いる規則である．ID-schema と principle は CFG の書き換え規則に相当するものであり，素性構造によって記述する．ID-schema は任意の素性構造を単一化して親の素性構造を生成するための規則である．図 2.15 は主辞の子が下位範疇化する素性構造と，補語の子の素性構造が矛盾なく単一化されるという制約が記されている．素性 SYNSEM と SUBCAT の間の‘ || ’はこの間に幾つかの素性があり，それが省略できるものであることを示している．

$$\left[\begin{array}{l} \text{DTRS} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD-DTR} \left[\begin{array}{l} \text{SYNSEM||SUBCAT} \langle \boxed{1}, \dots \rangle \end{array} \right] \\ \text{COMP-DTRS} \left[\boxed{1} \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right]$$

図 2.15: ID-schema

principle は親の素性構造が持つべき情報を記述した規則である．principle には，子の主辞を親が受け継ぐという規則を記述した head feature principle などいくつかの種類がある．図 2.16 は親の素性構造の head は下位範疇化した主辞の子の head が継承されることが記されている．

$$\left[\begin{array}{l} \text{SYNSEM||HEAD} \left[\boxed{1} \right] \\ \text{DTRS|HEAD-DTR} \left[\begin{array}{l} \text{SYNSEM||HEAD} \left[\boxed{1} \right] \end{array} \right] \end{array} \right]$$

図 2.16: Head Feature Principle

HPSG は解析を行う単語の情報を辞書規則に記述することにより，小数の規則で構文を解析することが可能となっている．このため，任意の単語の性質が変化しても，ID-schema や principle を書き換える必要はなく，辞書規則を変更するだけでよいため，全体に変更を及ぼさない．

2.2.5 辞書規則

HPSG を用いて構文を解析するには，単一化する各単語の型の属性値が矛盾しないかどうか調べる必要がある．辞書規則は各単語の属性と値を記述したものであり，各単語の辞書規則を参照しつつ単一化を行っていく．HPSG における一般的な素性構造は以下のような AVM(attribute-value matrix) で表現される．

$$\left[\begin{array}{l} \text{PHON} \\ \text{SYNSEM} \left[\begin{array}{l} \text{LOC} \left[\begin{array}{l} \text{CAT} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD} \\ \text{SUBCAT} \langle \rangle \end{array} \right] \end{array} \right] \\ \dots \end{array} \right] \\ \text{DTRS} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD-DTR} \\ \text{COMP-DTRS} \langle \rangle \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right]$$

PHON 素性には構成要素の PHON 素性を連結したものが格納される．素性構造の入れ子がある場合は‘ | ’でつなぐことによって入れ子内部の素性やその値を参照することがで

きる．参照する素性の間に幾つかの素性がある場合，‘ || ’でつなぐことによって称略することができる．素性 LOC は Local の略であり，素性の情報が格納される．素性 CAT は Category の略であり，この先の素性構造が CFG の非終端記号に相当する．この中の素性 HEAD には素性の重要な情報が格納され，SUBCAT(Subcategorization) には下位範疇化する素性の情報が格納される．素性 DTRS(Daughter) にはこれまでに下位範疇化した素性が格納される．HEAD-DTR は主辞の子であり，COMP(Complement)-DTR は補語の子である．

2.2.6 構文解析

HPSG の構文解析では，任意の素性構造に ID-schema と principle を適用し，親を生成していく．本稿では名詞‘ Anna’，‘ tea’ と動詞‘ liked’ を例に解説を行う．まず，解析対象の文の各素性構造を (2.7)，(2.8) と (2.9) に示す．

$$\left[\begin{array}{l} \text{PHON } \text{Anna} \\ \text{SYNSEM} \left[\begin{array}{l} \text{LOC} \left[\begin{array}{l} \text{CAT} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD [N]} \\ \text{SUBCAT } \langle \rangle \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right]$$

Anna の素性構造 (2.7)

$$\left[\begin{array}{l} \text{PHON } \text{tea} \\ \text{SYNSEM} \left[\begin{array}{l} \text{LOC} \left[\begin{array}{l} \text{CAT} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD [N]} \\ \text{SUBCAT } \langle \rangle \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right]$$

tea の素性構造 (2.8)

$$\left[\begin{array}{l} \text{PHON } \text{liked} \\ \text{SYNSEM} \left[\begin{array}{l} \text{LOC} \left[\begin{array}{l} \text{CAT} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD [V]} \\ \text{SUBCAT } \langle \text{NP1, NP2 } \rangle \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right]$$

liked の素性構造 (2.9)

名詞‘ Anna’ と‘ tea’ では SUBCAT 素性が空なので，何も下位範疇化しないことを示している．また，動詞‘ liked’ の SUBCAT 素性は 2 つの名詞句を下位範疇化する事を示している．

まず，‘ tea’ と‘ liked’ の素性構造の値には矛盾するものがないため，‘ liked’ は‘ tea’ を下位範疇化し，(2.10) のような素性構造を生成する．この素性構造の SUBCAT 素性にはまだ NP2 が残されており，動詞‘ liked’ がもう 1 つ名詞句を下位範疇化することを示している．

$$\left[\begin{array}{l} \text{PHON} \text{ liked tea} \\ \text{SYNSEM} \left[\text{LOC} \left[\text{CAT} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD [V]} \\ \text{SUBCAT } \langle \text{NP2} \rangle \end{array} \right] \right] \right] \\ \\ \text{DTRS} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD-DTR} \left[\begin{array}{l} \text{PHON liked} \\ \text{SYNSEM} \left[\text{LOC} \left[\text{CAT} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD [V]} \\ \text{SUBCAT } \langle \text{NP1, NP2} \rangle \end{array} \right] \right] \right] \right] \end{array} \right] \\ \text{COMP-DTR} \left[\begin{array}{l} \text{PHON tea} \\ \text{SYNSEM} \left[\text{LOC} \left[\text{CAT} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD [N]} \\ \text{SUBCAT } \langle \rangle \end{array} \right] \right] \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right]$$

liked tea の素性構造 (2.10)

最後に 'liked' が 'Anna' を下位範疇化することによって (2.11) のような素性構造が生成される .

$$\left[\begin{array}{l} \text{PHON Anna liked tea} \\ \text{SYNSEM} \left[\text{LOC} \left[\text{CAT} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD [V]} \\ \text{SUBCAT } \langle \rangle \end{array} \right] \right] \right] \\ \\ \text{DTRS} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD-DTR} \left[\begin{array}{l} \text{PHON liked} \\ \text{SYNSEM} \left[\text{LOC} \left[\text{CAT} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD [V]} \\ \text{SUBCAT } \langle \text{NP1, NP2} \rangle \end{array} \right] \right] \right] \right] \end{array} \right] \\ \text{COMP-DTR } \langle \left[\begin{array}{l} \text{PHON tea} \\ \text{SYNSEM} \left[\text{LOC} \left[\text{CAT} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD [N]} \\ \text{SUBCAT } \langle \rangle \end{array} \right] \right] \right] \right], \\ \left[\begin{array}{l} \text{PHON Anna} \\ \text{SYNSEM} \left[\text{LOC} \left[\text{CAT} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD [N]} \\ \text{SUBCAT } \langle \rangle \end{array} \right] \right] \right] \right] \end{array} \right] \rangle \end{array} \right] \end{array} \right]$$

Anna liked tea の素性構造 (2.11)

2.3 緊張弛緩構造

緊張弛緩構造は , GTTM(Generative Theory of Tonal Music)[Jackendoff 1983] の Prolongational Reduction と呼ばれる規則であり , 楽曲の 1 つのまとまりを認識するための理論である . 本節ではまず , GTTM の概要について述べ , ついで緊張弛緩構造について解説する .

2.3.1 GTTM 概要

GTTM の目的は , ある音楽語法 (調性音楽) の経験を持つ聴衆に共通した音楽的直感によって得られる内容を形式的に記述することである . 自然言語では文-句-単語の様な階層

的な構造を木構造で表すことができる．これを音楽に適用したものが GTTM である．実際の楽曲の構造解析ではグルーピング構造，拍節構造，タイムスパン還元，延長的還元の 4 つの構成要素によって解析される．ここでは各要素の概略を解説する．

○グルーピング構造

グルーピング構造は，楽曲をまとまり間のあるグループに分割し，各グループの階層構造を決定する．

○拍節構造

拍節構造は各グループに強拍と弱拍の情報を付加する．拍とは楽曲における一定の時間間隔をもった脈拍であり，小節の中での拍の位置によってアクセントの強弱が生じる．このアクセントの強弱を示したものが強拍，弱拍である．

○タイムスパン還元

楽曲中の音から，重要そうな音とそうでない音を解析し，階層的に表示し木構造を生成する規則である．このとき重要な音は重要でない音の上位に位置し，上位で重要な音は下位においても重要な音となる．

○延長的還元

GTTM では人間が音楽を聴取する基本的な構造を「音楽聴取における緊張-弛緩の構造認知」としている．この解析手法を延長的還元と呼ぶ．ここでの延長とは，ある任意の音がグループやタイムスパンの境界を越えて引き延ばされたように感じる事であり，延長的還元で解析されたフレーズの範囲と，前記 3 つの解析手法で得られたフレーズの範囲は，必ずしも一致しない．

本稿ではカデンツ解析で得られたカデンツ範囲と延長的還元のフレーズの範囲が一致するという仮定のもと，カデンツの構成範囲に対して緊張-弛緩の構造解析を行っていく．

緊張と弛緩の解析原理

この節では緊張弛緩構造で用いられる，緊張 (tension) と弛緩 (relaxation) の原理について解説する．楽曲中で同一の音が 2 音連続しても，緊張や弛緩したとすることはできずただ同じ音が延長されているように聞こえる．図 2.17 のように 2 つの音の間に別の音度の音が挿入されると緊張感が生まれ，また弛緩感が生まれる．

楽曲とはある時間で鳴っている音とは異なる音が異なる時間で鳴ることによって生成されるものであり，緊張と弛緩を繰り返して進行していく．

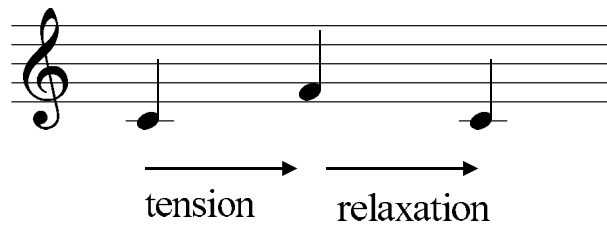


図 2.17: 緊張弛緩の原理

2.3.2 緊張弛緩構造概要

緊張弛緩構造は，楽曲が不安定な方向に進行し，聴取者は曲が盛り上がっていると感じる緊張と，楽曲は安定した方向に進行し，聴取者は曲が終止に向かっていると感じる弛緩から成り立っている．GTTM では緊張と弛緩の観点からフレーズの構造を「一般的に比較的穏やかに開始し，緊張へ向かって進行する．やがて終止部で決定的に弛緩する構造」と定義している．和音列がフレーズとして成り立つためには少なくとも1つの緊張と弛緩が必要である．フレーズは緊張から始まり，弛緩で終わる構造であり，これは楽曲全体についても同様の事が言える．

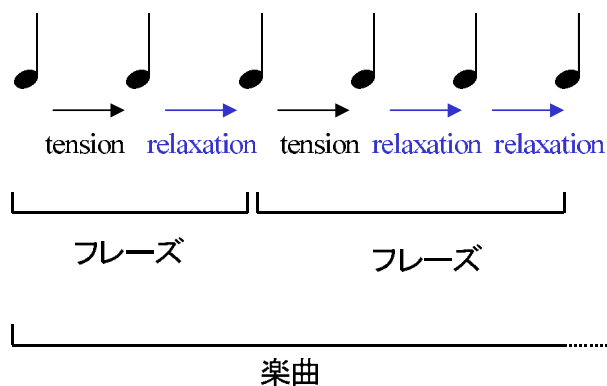


図 2.18: 緊張弛緩構造とフレーズ

第3章 緊張弛緩行動とHPSGを用いた和声解析

本章では，HPSGを用いた和声解析の手法について述べる．HPSGは自然言語解析にはオーバースペックといわれているが，同じ和音進行でも転回形等により解析の成否が異なる和声解析には有効な手法である．また，HPSGのheadという概念は，カデンツ中の重要な和音を記述するのに有効である．

まず，先行研究である西田の研究の成果と欠点について述べ，次に本稿で提案する手法について述べる．

3.1 先行研究

この節では先行研究である西田のシステムについて述べる．西田の研究では和声理論と実習¹を基に実装を行っている．入力にはMIDIをXML化したファイル²と和音の構成範囲を記述したdlim(delimit)ファイルを用いている．

まず，XMLファイルとdlimファイルから楽曲中の和音の音符情報を切り出し，その音符情報から考えられる和音の候補を出力する．そして，出力された和音を基に調とカデンツの解析を行う．カデンツの解析には和音候補全てに対して解析を行い，認識できたカデンツ全てを結果として出力している．これにより，カデンツの連鎖が見いだせた調が解析を行った楽曲の調であり，その調のカデンツを楽曲の解析結果としていた．

西田のシステムではMozartのPiano Sonata in Cなど和声学に比較的従順な楽曲に対しては高い精度で正解を出力することができた．しかし，西田の採用していた解析手法は和音名にのみ着目した解析であり，各和音の転回形や7の和音については触れられておらず，不完全カデンツや倚和音といった特殊な規則についても言及されていなかった．このため，転回形の規則や7の和音による禁則については実装されておらず，和声学上禁止されている和声進行についてもカデンツとして出力しており，また，カデンツの途中で転調が起こったときなどでは解析に失敗し解析精度の低下を招いていた．また，和音名同定には簡易的なシステムで行っており，和音名の同定が誤っていたために和音進行解析にも影響を及ぼしていたケースもあった．本稿では和音名の同定は行わず，正解の和音名を入力として与えることとした．これは，和音名は通常楽譜に記述されており，特に和声学の知

¹和声学の基礎的な知識について述べられており，音楽大学等の講義でも用いられる．

²楽曲中で任意の音がどの時間からどれだけの長さで鳴っているかが記述してある．

識がなくとも和音名の情報を得る事は容易であるからである。

また、転回形や7の和音の規則を実装するとともに借用和音や反復進行といった特殊な規則についても解析を行えるようにシステムの拡張を行い、解析精度の向上を目指すとともに、解析したカデンツに重み付けを行い正しいカデンツと誤認識のカデンツを区別していくことを目的とする。

3.2 HPSG を用いた和声解析

本節ではHPSGを用いた和音の解析手法を述べる。和音の章で述べたように、楽曲の最小単位はカデンツである。本研究では和音を句、カデンツを1つの文、楽曲は文章とみなし解析を行う。まず、和音列からカデンツの構造解析を行い、解析に成功したカデンツを連鎖させることによって楽曲全体を認識する。なお、カデンツ同士の構造解析には、拍の情報等を考慮して行うべきであり、本稿では行わず、カデンツが連続して解析できれば解析成功としている。

3.2.1 カデンツの主辞

HPSGを用いた自然言語の解析では最も重要な句がheadとなるように、カデンツの解析においても最も重要な和音をheadと定義する。和声学においては、tonicが最も安定した重要な和音であり、dominantはtonicに、subdominantはdominantに進行しようとする性格を持つ。tonicはカデンツの開始部と終止部に存在する。本稿では開始tonicをtonic_c(tonic complement)、終止tonicをtonic_h(tonic head)と表記し、tonic_hをより重要な和音として定義する。これは、tonic_hの種類によって全終止、偽終止といった終止の形が決定されるためである。また、tonicにはI、IIIもしくはVIの和音が割り当てられるが、IとVIもしくはIとIII、IとIIIとVIの和音が並んだ場合、Iの和音をheadとする。これは2.1.5の項で述べたようにVIの和音よりIの和音の方がtonicとしての性格が強いからである。IIIとVIの和音が並んだ場合はVIの和音をheadと定義する。これはVIの和音は偽終止と呼ばれる終止形を持つのにに対し、IIIの和音による終止形は存在しないためである。

dominantにおいてはV、III、VIIの和音が割り当てられる。VとIIIやVとVII、VとIIIとVIIの和音が並んだ場合、Vの和音をheadとする。Vの和音は楽曲中でも重要な働きをする和音であり、また、半終止と呼ばれる終止形も形成する為である。IIIとVIIの和音が並んだ場合にはIIIの和音をheadとする。これはIIIの和音は和音中で最も不安定な和音であり、IIIの和音の先行和音としてしか用いることはできない為である。³

同様にsubdominant項においても、IIもしくはIVの和音が割り当てられるが、IVの和音はIIの和音よりsubdominantとしての性格が強いため、S項のheadはIVの和音と

³反復進行の中ではこの限りではない。

定義する．また，K2 カデンツのように D 項と S 項が並んでいた場合，D 項の方が S 項より安定しているため，D 項を主辞とみなす．この関係を 3.1 に示す．

Tonic			
I	→	I	
VI	→	IV	
III	→	III	subdominant
I-VI-III	→	I	II → II
I-VI	→	I	IV → IV
I-III	→	I	IV-II → IV
VI-III	→	VI	
Dominant			
V	→	V	Tonic_c - Tonic_h → Tonic_h
III	→	III	Subdominant - Tonic_h → Tonic_h
V-VII-III	→	V	Subdominant - Dominant → Dominant
V-III	→	V	Dominant - Tonic_h → Tonic_h
VI-III	→	III	

図 3.1: カデンツの主辞

例として I-vi-iii-ii-V-iii-vi の和音列からカデンツを生成する．まず，I と vi の和音が開始部の Tonic となる．このとき，vi の和音が iii の和音を下位範疇化し，I の和音が vi の和音を下位範疇化する．次に，V の和音が iii の和音を下位範疇化し，この V の和音が ii の和音を下位範疇化する．これを tonic_h である vi の和音が下位範疇化する．最後に tonic_h が tonic_c を下位範疇化することによって 1 つのカデンツが生成される．完成された木構造を図 3.2 に示す．

3.2.2 素性構造による和音の表現

HPSG を用いて楽曲を解析するには，カデンツを構成する和音を素性構造で表現する必要がある．和音の素性構造は通常 of 自然言語とは異なる性質を持つため，幾つかの新しい素性を定義した．ここでは本研究で用いる素性構造について解説する．楽曲を素性構造で表すために型 ‘ head ’ について図 3.3 のように定義する．

例として和音列 I(inv0)-V(inv0)-vi(inv0) の I の和音の head の部分の素性を図 3.4 に示す．

まず，素性 HEAD にこの和音の機能と声である tonic_c が格納される．I の和音は開始部 tonic なので tonic_c が格納される．次に素性 DEG には和音の音度表記 (degree) 情報が記述される．また，借用和音の情報もここに格納される．素性 TYPE は K1, K2 といったカデンツのタイプが記述される．和音列は K1(T-D-T) カデンツなのでここには K1 が格納される．素性 INV は和音の転回形 (inversion) 情報が記述され，値として inv0, inv1, inv2,

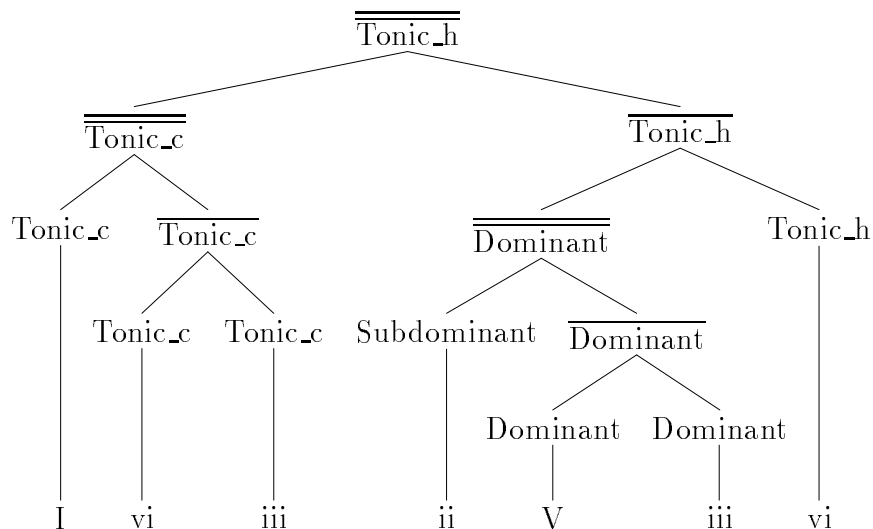


図 3.2: 木構造の例

head	
DEG	...
TYPE	...
INV	...
PRG	...
TIE1	...
TIE2	...

図 3.3: head の素性構造

inv3 が格納される．I の和音は基本形なので inv0 が格納される．素性 PRG(progress) は和音の機能と声情報と次に来る機能と声の情報が記述される．これは転回形の禁則は、和音単体についての規則ではなく 2 つ以上の和音の連結に関する規則であるからである．また、素性 TIE1 は転回形による具体的な禁則が記述される．また、本来ならば素性 TIE2 も記述すべきであるが、素性 TIE2 は終止 tonic に関する転回形規則を記述する素性であり、開始 tonic には直接関係ないため記述しない．

倚和音

この節では、倚和音について解説する．倚和音は 2 つの和音をもって 1 つの機能と声割り当てする特殊な和音である．本来ならば tonic-dominant 進行となる I-V 進行を D 項とみなすため、特別な処理が必要となる．

まず、I の和音は第 2 転回形であることに注目する．I の和音の第 2 転回形は通常のカデンツ規則では禁則であり、倚和音としてのみ存在する．本稿では図 3.5 に示すように I の和音第 2 転回形を tonic としてではなく、dominant として解析する．I の和音第 2 転回形は倚和音以外の使い方はしないため、他の部分で解析に影響が出ることはない．dominant

tonic_h	
DEG	I
TYPE	K1
INV	inv0
PRG	T-D
TIE1	nothing

図 3.4: tonic_h の素性構造

とみなすことで通常のカデンツ規則では扱うことができなくなり，倚和音としてのみ取り扱うことが可能となる．この I の和音は V の和音を下位範疇化し V の和音として扱う．また，素性 TIE2 に倚和音であることを示す I2-V という値を格納する．また，図の倚和音は tonic へ進行することを示している．後続する V の和音は subdominant を下位範疇化できないため，SUBCAT 素性から subdominant を下位範疇化する情報を省いたものを用いる．

dominant	
DEG	I
TYPE	K2
INV	inv2
PRG	D-T
TIE1	nothing
TIE2	I2-V

図 3.5: 倚和音: の和音の素性構造

借用和音の表現

借用和音は，楽曲中の任意の時間における調とは異なる調の和音を一時的に借りてきたものである．

借用和音はもとの調にない和音であり，通常の和音のように素性 DEG に I や V といった音度表記をすることができない．しかし，その根音はもとの調の構成音のいずれかであり，もとの調にない音が根音となっている和音は借用和音ではなく，転調しているとみなす．本稿では，借用和音の機能は同じ根音を持つ主調の和音の機能と一致するという特性に着目し，任意の機能と声と同等の働きをする借用和音を表すために Borrowed-T，Borrowed-D，Borrowed-S を定義し，素性 DEG にもこの値を格納する．

例えば，八長調の II/V という借用和音の場合，もとの調より V 度 (八長調 I の和音の根音の位置から 7 度高い位置の音を主音とする調) の II の和音という意味であり，根音はもとの調の vi の和音と等しいがその構成音は異なる．このため，機能と声は vi ではなく vi の和音と同じ機能を持つ借用和音 Borrowed-T となる．以下の表に，借用和音の主調における根音と借用和音の機能の対応を示す．

- I → Borrowed-T
- II → Borrowed-S or V/V
- III → Borrowed-T or Borrowed-D
- IV → Borrowed-S
- V → Borrowed-D
- VI → Borrowed-T
- VII → Borrowed-D

III の和音と根音を等しくする借用和音は III の和音と同じく前後の和音関係によって Borrowed-T または Borrowed-D となる。

なお，例外として，図 2.10 のように主調から V 度 (I の和音の根音の位置から 7 度高い位置の音を主音とする調) の V の和音を借用した和音とした場合，転回形による禁則が存在するため特別に V/V という値を与える．V/V の和音の根音はもとの調の II の和音と等しく，subdominant の機能を持つ．

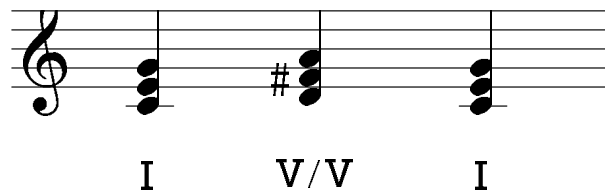


図 3.6: V/V の和音

転回形による禁則

和音には転回形が存在し，この転回形の型によっては禁止される和音の進行もある．転回形の規則には大きく分けて 2 種類あり，1 つは和音そのものを対象にした規則であり，もう 1 つは和音進行を対象にした規則である．

例えば，前者では基本 3 和音では IV と V，特殊な I の和音以外の第 2 転回形は許されないといったものであり，後者は I-V-I という和音列において V の和音が第 2 転回形であった場合，終止部の I の和音は必ず基本形でなければならないといった規則である．前者は辞書規則中に第 2 転回形の和音を記述しないことで対応し，後者に対しては和音列間の転回形規則を示す素性 TIE を定義し，転回形の禁則を値として格納することで対応する．

この転回形による和音進行規則は 1 つのカデンツ中に複数存在する．転回形による和音進行規則は各カデンツには通常 2 カ所，最大でも 3 カ所に規則が存在し得るため，素性 TIE は TIE1 と TIE2 の 2 種類定義した．図 3.7 に各カデンツにおける転回形の和音進行規則が存在する場所と，その規則が TIE1 と 2 どちらに記述されるかを示す．

TIE2 は終止 tonic に関係する転回形による和音進行規則を記述し，TIE1 はその他の部分の規則を記述している．なお，3 カ所に転回形による和音進行規則が存在する場合，TIE1

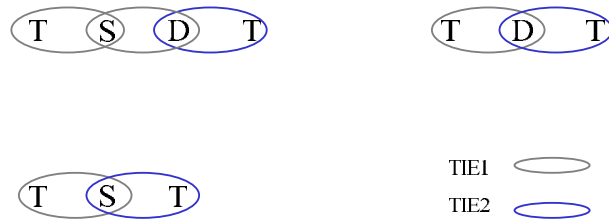


図 3.7: 転回形による和音進行規則の個数と位置

に 2 つの規則を連結して記述し，転回形による禁則が特に存在しない場合は，nothing の値を与える．例えば和音列 $V(inv2)-I(inv0)$ に対する転回形の和音進行規則は， V の和音第 2 転回形から I の和音基本形に進行する規則を示す値 $V2-I$ を TIE2 に格納する．表 3.1 に転回形による和音進行規則の一覧を示す．転回形による進行規則はこの規則を組み合わせで表現される．

3.2.3 型階層の表現

この節では各素性の型階層を定義する．まず，‘head’に関する型階層を図 3.8 に示す．‘tonic’は開始 T と終止 T の 2 種類が存在するため‘tonic’の先にそれぞれが配置される．また，‘head’は図 3.3 の様な情報を持っており，これにより‘tonic’，‘dominant’，‘subdominant’の型は楽曲の情報を扱うことができる．

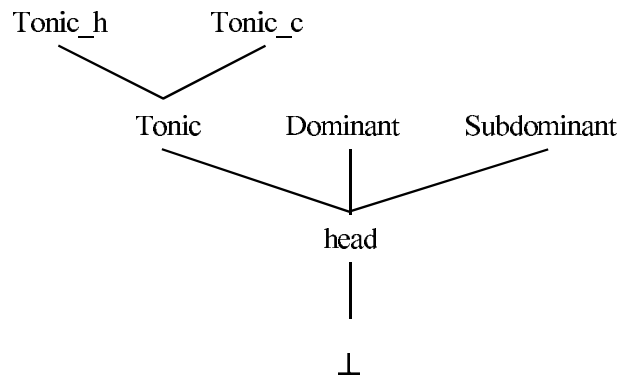


図 3.8: head の型階層

次に素性 DEG(degree)に関する型階層について述べる．型‘degree’の先に各音度表記を配置する．また，そのさらに先に同名の 7 の和音の音度表記を配置している．これは，7 の和音も基本 3 和音と同じ性質を持っていることを示している．また，‘borrowed-T’等借用和音も音度表記として扱う

型‘TYPE’の型階層は図 3.10 の様に定義する．この型はカデンツのタイプを定義しており，各カデンツタイプを表す‘K1’，‘K2’，‘K3’を配置する．

TIE1	
VI1-II	VI の和音第 1 転回形から II の和音基本形または第 1 転回形への進行
VI1-II7 ₃	VI の和音第 1 転回形から II7 の和音第 3 転回形への進行
II1-V	II の和音第 2 転回形から V の和音基本形または第 1 転回形への進行
VI1-II1-V	VI の和音第 1 転回形から II の和音第 1 転回形へ進行し、 II の和音第 1 転回形は V の和音基本形または第 1 転回形への進行
IV7-II1-V	IV7 の和音から II の和音第 1 転回形へ進行し、 II の和音第 1 転回形は V の和音基本形または第 1 転回形への進行
IV7-V/V	IV7 の和音からダブルドミナントへの進行
II7 ₃ - V1	II7 の和音第 3 転回形から V の和音第 1 転回形への進行
VI1-II7 ₃ - V1	VI の和音第 1 転回形から II7 の和音第 3 転回形への進行し、 II7 の第 3 転回形から V の和音第 1 転回形へ進行する
I-V2	I の和音基本形から V の和音第 2 転回形への進行
II-V2	I の和音第 1 転回形から V の和音第 2 転回形への進行
I-IV2	I の和音基本形から IV の和音第 2 転回形への進行
TIE2	
V1-I	V の和音第 1 転回形から I の和音基本形への進行
IV2-I	IV の和音第 2 転回形から I の和音基本形への進行
V2-I	V の和音第 2 転回形から I の和音基本形への進行
I2-V	I の和音第 2 転回形から V の和音基本形への進行
V7-I	V7 の和音基本形から I の和音基本形への進行
V7 ₁ - I	V7 の和音第 1 転回形から I の和音基本形への進行
V7 ₂ - I	V7 の和音第 2 転回形から I の和音基本形への進行 または V7 の和音第 2 転回形から I の和音第 1 転回形への進行
V7 ₃ - I1	V7 の和音第 3 転回形から I の和音第 1 転回形への進行
V7-VI	V7 の和音基本形から VI の和音基本形への進行
III-VI	III(D) の和音から VI の和音基本形への進行

表 3.1: 転回形規則一覧

型‘ inversion ’の型階層は図 3.11 の様に定義する．この型は転回形の情報を定義しており，基本形を表す‘ inv0 ’，第 1 転回形を表す‘ inv1 ’等を配置する．

型‘ progress ’は対象和音の機能と声と後続和音の機能と声を表しており図 3.12 のように定義する．この型では対象和音と後続和音の関係を定義することにより，転回形による進行規則を補助する．また，倚和音の解析でも用いられる．なお，後続和音がない終止部では，後続和音がないことを示す E(empty) を用いて‘ T-E ’のようにする．

型‘ TIE ’の型階層は図 3.13 の様に定義する．本稿ではこの型は‘ TIE1 ’と‘ TIE2 ’は 2 種類用意しており，カデンツ中のどの部分の進行規則を扱うかで異なる．ここでは型‘ TIE1 ’を例に説明する．この型は転回形による禁止規則を表す型であり，‘ VI1-II ’等を配置する．

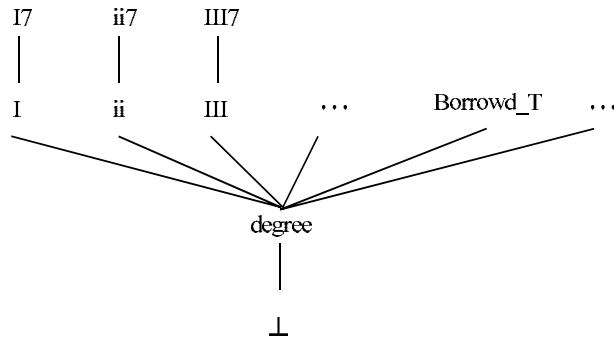


図 3.9: degree の型階層

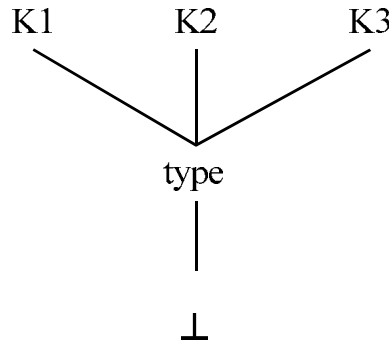


図 3.10: type の型階層

3.2.4 素性構造によるカデンツの表現

この節では K1, K2, K3 の各カデンツを構成する tonic, dominant, subdominant それぞれの素性構造での表現を解説する。tonic は I と VI, III の和音が割り当てられている。tonic は開始部 (tonic_c) と終止部 (tonic_h) の 2 カ所であり、それぞれに可能な和音進行が異なる。まず, tonic_c に可能な和音進行は I, VI, III, I-VI, I-III, VI-III, I-VI-III の 7 種類がある。I の和音の素性構造を (3.1), III の和音の素性構造を (3.2), VI の和音の素性構造を (3.3) とすると, T 項は (3.4 から (3.10) の様に定義できる。(3.7) のように素性 SUBCAT の右側についている R は下位範疇化対象がこの素性の右側にあることを示している。SUBCAT の右に L がついていた場合は, 下位範疇化対象が左側にあることを示している。

次に tonic_h に可能な和音進行は I, VI, III, I-III, VI-III の 5 種類となり, (3.9), (3.10) を除いたものとなる。なお, 各素性中に記述されている ' i ' の様な四角囲みはポイントを表しており素性構造に付加することによって, 以降そのポイントが素性構造全体を指す。

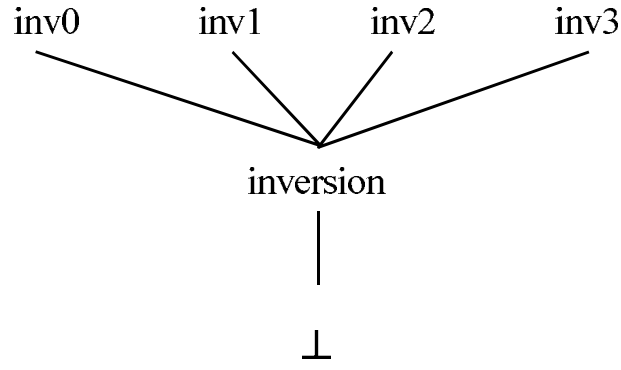


図 3.11: inversion の型階層

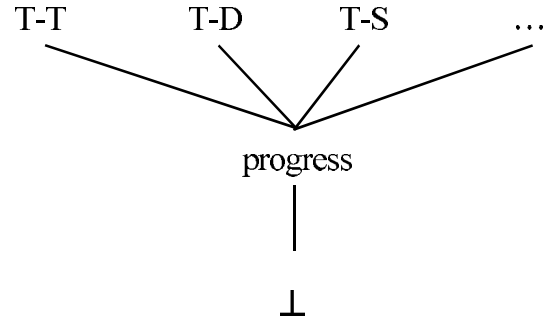


図 3.12: progress の型階層

$$\boxed{1} \left[\begin{array}{l} \text{tonic} \\ \text{DEG} \\ \text{TYPE} \\ \text{INV} \\ \text{PRG} \\ \text{TIE1} \end{array} \begin{array}{l} \boxed{1} \\ \boxed{4} \\ \boxed{5} \\ \boxed{6} \\ \boxed{7} \end{array} \right] \quad (3.1)$$

$$\boxed{2} \left[\begin{array}{l} \text{tonic} \\ \text{DEG} \\ \text{TYPE} \\ \text{INV} \\ \text{PRG} \\ \text{TIE1} \end{array} \begin{array}{l} \boxed{8} \\ \boxed{9} \\ \boxed{10} \\ \boxed{11} \end{array} \right] \quad (3.2)$$

$$\boxed{3} \left[\begin{array}{l} \text{tonic} \\ \text{DEG} \\ \text{TYPE} \\ \text{INV} \\ \text{PRG} \\ \text{TIE1} \end{array} \begin{array}{l} \boxed{12} \\ \boxed{13} \\ \boxed{14} \\ \boxed{15} \end{array} \right] \quad (3.3)$$

$$\left[\begin{array}{l} \sim \overline{T} \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} \sim T \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \end{array} \right] \quad (3.4)$$

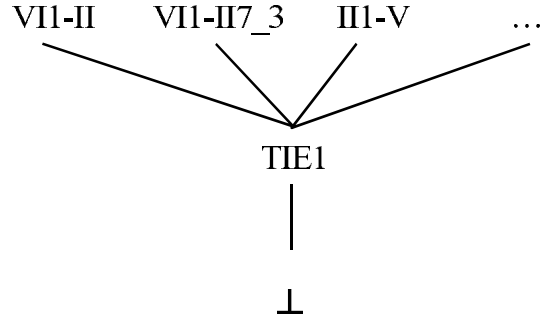


図 3.13: tie の型階層

$$\left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{2} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{2} \end{array} \right] \quad (3.5)$$

$$\left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{3} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{3} \end{array} \right] \quad (3.6)$$

$$\left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{1} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{1} \\ ||\text{SUBCAT|R} < \boxed{16} > \end{array} \right] \boxed{16} \left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{2} \end{array} \right] \quad (3.7)$$

$$\left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{2} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{2} \\ ||\text{SUBCAT|R} < \boxed{17} > \end{array} \right] \boxed{17} \left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{3} \end{array} \right] \quad (3.8)$$

$$\left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{1} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{1} \\ ||\text{SUBCAT|R} < \boxed{18} > \end{array} \right] \boxed{18} \left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{3} \end{array} \right] \quad (3.9)$$

$$\left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{1} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{1} \\ ||\text{SUBCAT|R} < \boxed{16} > \end{array} \right] \boxed{16} \left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{2} \\ ||\text{SUBCAT|R} < \boxed{17} > \end{array} \right] \boxed{17} \left[\begin{array}{c} \sim T \\ ||\text{HEAD } \boxed{3} \end{array} \right] \quad (3.10)$$

dominant は V と III , VII の和音から成り立っており , その素性構造は V の和音では (3.11) のように定義されている . III の和音については (3.12) , VII の和音については (3.13) となる . dominant において可能な和音進行は V , III , VII , V-III , V-VII , VII-III , V-VII-III の 7 種類であり , D 項は (3.14) ~ (3.20) の様に定義できる . なお , D 項は K1 , K2 に存在しているため , 素性 TYPE には K1 , K2 のどちらかが格納され , K3 が格納されることはない .

$$\boxed{1} \left[\begin{array}{l} \text{dominant} \\ \text{DEG} \\ \text{TYPE} \\ \text{INV} \\ \text{PRG} \\ \text{TIE1} \\ \text{TIE2} \end{array} \begin{array}{l} \text{V} \\ \boxed{4} \\ \boxed{5} \\ \boxed{6} \\ \boxed{7} \\ \boxed{8} \end{array} \right] \quad (3.11)$$

$$\boxed{2} \left[\begin{array}{l} \text{dominant} \\ \text{DEG} \\ \text{TYPE} \\ \text{INV} \\ \text{PRG} \\ \text{TIE1} \\ \text{TIE2} \end{array} \begin{array}{l} \text{III} \\ \boxed{9} \\ \boxed{10} \\ \boxed{11} \\ \boxed{12} \\ \boxed{13} \end{array} \right] \quad (3.12)$$

$$\boxed{3} \left[\begin{array}{l} \text{dominant} \\ \text{DEG} \\ \text{TYPE} \\ \text{INV} \\ \text{PRG} \\ \text{TIE1} \\ \text{TIE2} \end{array} \begin{array}{l} \text{VII} \\ \boxed{14} \\ \boxed{15} \\ \boxed{16} \\ \boxed{17} \\ \boxed{18} \end{array} \right] \quad (3.13)$$

$$\left[\begin{array}{l} \sim \overline{D} \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} \sim D \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \end{array} \right] \quad (3.14)$$

$$\left[\begin{array}{l} \sim \overline{D} \\ ||\text{HEAD} \boxed{2} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} \sim D \\ ||\text{HEAD} \boxed{2} \end{array} \right] \quad (3.15)$$

$$\left[\begin{array}{l} \sim \overline{D} \\ ||\text{HEAD} \boxed{3} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} \sim D \\ ||\text{HEAD} \boxed{3} \end{array} \right] \quad (3.16)$$

$$\left[\begin{array}{l} \sim \overline{D} \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} \sim D \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \\ ||\text{SUBCAT|R} < \boxed{19} > \end{array} \right] \boxed{19} \left[\begin{array}{l} \sim D \\ ||\text{HEAD} \boxed{2} \end{array} \right] \quad (3.17)$$

$$\left[\begin{array}{l} \sim \overline{D} \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} \sim D \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \\ ||\text{SUBCAT|R} < \boxed{20} > \end{array} \right] \boxed{20} \left[\begin{array}{l} \sim D \\ ||\text{HEAD} \boxed{3} \end{array} \right] \quad (3.18)$$

$$\left[\begin{array}{l} \sim \overline{D} \\ ||\text{HEAD} \boxed{2} \end{array} \right] \rightarrow \boxed{21} \left[\begin{array}{l} \sim D \\ ||\text{HEAD} \boxed{2} \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} \sim D \\ ||\text{HEAD} \boxed{3} \\ ||\text{SUBCAT|L} < \boxed{21} > \end{array} \right] \quad (3.19)$$

$$\left[\begin{array}{l} \sim \overline{D} \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} \sim D \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \\ ||\text{SUBCAT|R} < \boxed{19} > \end{array} \right] \boxed{21} \left[\begin{array}{l} \sim D \\ ||\text{HEAD} \boxed{3} \end{array} \right] \boxed{19} \left[\begin{array}{l} \sim D \\ ||\text{HEAD} \boxed{2} \\ ||\text{SUBCAT|L} < \boxed{21} > \end{array} \right] \quad (3.20)$$

subdominant は II 及び IV の和音から構成されており，その素性構造は II の和音では (3.21)，IV の和音では (3.22) となる．subdominant において可能な和音進行は II，IV，II-IV の 3 種類があり，S 項は (3.24)，(3.25)，(3.26) の様に定義できる．subdominant の特殊な規則として，II の和音は必ず V の和音へ進行するという規則がある．このため V の和音が存在しない K3 カデンツでは II の和音は用いることができない．K3 カデンツでは subdominant の後続は終止 T 項であるため，終止 T 項に関わる転回形の進行規則が存在する．このため IV の和音には素性 TIE2 が必要であるが，終止 T に直接進行することのない II の和音には必要ない．また，同様の理由により素性 TYPE には IV の和音は K2，K3 どちらかが格納されるが，II の和音には K2 しか格納されない．

$$\boxed{1} \left[\begin{array}{l} \text{subdominant} \\ \text{DEG} \\ \text{TYPE} \\ \text{INV} \\ \text{PRG} \\ \text{TIE1} \end{array} \begin{array}{l} \text{II} \\ \text{K2} \\ \boxed{3} \\ \boxed{4} \\ \boxed{5} \end{array} \right] \quad (3.21)$$

$$\boxed{2} \left[\begin{array}{l} \text{subdominant} \\ \text{DEG} \\ \text{TYPE} \\ \text{INV} \\ \text{PRG} \\ \text{TIE1} \\ \text{TIE2} \end{array} \begin{array}{l} \text{IV} \\ \boxed{6} \\ \boxed{7} \\ \boxed{8} \\ \boxed{9} \\ \boxed{10} \end{array} \right] \quad (3.22)$$

(3.23)

$$\left[\begin{array}{l} \sim \overline{S} \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} \sim S \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \end{array} \right] \quad (3.24)$$

$$\left[\begin{array}{l} \sim \overline{S} \\ ||\text{HEAD} \boxed{2} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} \sim S \\ ||\text{HEAD} \boxed{2} \end{array} \right] \quad (3.25)$$

$$\left[\begin{array}{l} \sim \overline{S} \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{l} \sim S \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \\ ||\text{SUBCAT|R} < \boxed{11} > \end{array} \right] \boxed{11} \left[\begin{array}{l} \sim S \\ ||\text{HEAD} \boxed{2} \end{array} \right] \quad (3.26)$$

これらの定義を用いてカデンツを構成すると (3.27)，(3.28)，(3.29) のようになる．それぞれのカデンツは (3.27) が K1，(3.28) が K2，(3.29) が K3 カデンツに相当している．これらのカデンツはすべて終止 T 項が開始 T 項と S 項または D 項を下位範疇化して生成される．K2 カデンツにおいては S 項を D 項が下位範疇化した後，T 項が D 項を下位範疇化している．カデンツのパターンはこの 3 つのみでこれらの組み合わせで楽曲を構成していく．

$$\left[\begin{array}{l} \sim \overline{T} \\ ||\text{HEAD} \boxed{3} \end{array} \right] \rightarrow \boxed{5} \left[\begin{array}{l} \sim \overline{T} \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \end{array} \right] \boxed{6} \left[\begin{array}{l} \sim \overline{D} \\ ||\text{HEAD} \boxed{2} \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} \sim \overline{T} \\ ||\text{HEAD} \boxed{3} \\ ||\text{SUBCAT|L} < \boxed{6}, \boxed{5} > \end{array} \right] \quad (3.27)$$

$$\begin{aligned}
\left[\begin{array}{c} \sim \bar{T} \\ ||\text{HEAD} \boxed{3} \end{array} \right] &\rightarrow \boxed{5} \left[\begin{array}{c} \sim \bar{T} \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \end{array} \right] \boxed{7} \left[\begin{array}{c} \sim \bar{S} \\ ||\text{HEAD} \boxed{4} \end{array} \right] \boxed{6} \left[\begin{array}{c} \sim \bar{D} \\ ||\text{HEAD} \boxed{2} \\ ||\text{SUBCAT}|L < \boxed{7} > \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \sim \bar{T} \\ ||\text{HEAD} \boxed{3} \\ ||\text{SUBCAT}|L < \boxed{6}, \boxed{5} > \end{array} \right] \quad (3.28) \\
\left[\begin{array}{c} \sim \bar{T} \\ ||\text{HEAD} \boxed{3} \end{array} \right] &\rightarrow \boxed{5} \left[\begin{array}{c} \sim \bar{T} \\ ||\text{HEAD} \boxed{1} \end{array} \right] \boxed{7} \left[\begin{array}{c} \sim \bar{S} \\ ||\text{HEAD} \boxed{4} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \sim \bar{T} \\ ||\text{HEAD} \boxed{3} \\ ||\text{SUBCAT}|L < \boxed{7}, \boxed{5} > \end{array} \right] \quad (3.29)
\end{aligned}$$

SUBCAT に2つ以上素性があった場合は、左側から順に下位範疇化していく。SUBCAT に下位範疇化の方向を指定することはカデンツを解析していく上で、誤った解析を防ぐ時に必要となる。例えば、VI-I-V という和音進行において、下位範疇化する素性の位置を指定していないとIの和音が右側のVの和音を下位範疇化し、次に左側のVIの和音を下位範疇化して誤ったカデンツを生成してしまう。このような誤認識をさけるために下位範疇化する素性の方向を指定することが重要となる。

3.2.5 ID-schema と principle

この節では素性構造で表現したカデンツや和音の情報を単一化するための、ID-schema と principle を定義する。まず、ID-schema を定義する。ID-schema は子同士の単一化の位置を指定し、親の素性構造の選択素性の形を決定する素性構造である。CFG においては書き換え規則にあたり、図 3.14 のような親子関係が記述されている。

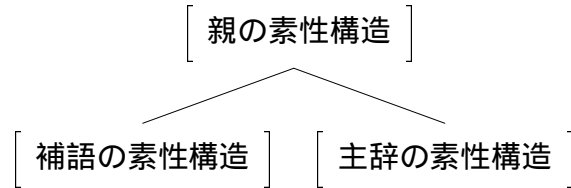


図 3.14: 親と子の関係

本稿では、下位範疇化の方向を指定した (3.30) や (3.31) のような ID-schema を用いる。SUBCAT 素性の右の値は下位範疇化する方向を示しており、'R' ならばこの素性の右側の素性を下位範疇化し、'L' ならば左側の素性を下位範疇化する。

$$\left[\text{DTRS} \left[\begin{array}{c} \text{HEAD-DTR} \\ \text{COMP-DTRS} \end{array} \left[\begin{array}{c} \text{SYNSEM}||\text{SUBCAT}|R \quad \boxed{1} \\ \boxed{1} \end{array} \right] \right] \right] \quad (3.30)$$

$$\left[\text{DTRS} \left[\begin{array}{c} \text{HEAD-DTR} \\ \text{COMP-DTRS} \end{array} \left[\begin{array}{c} \text{SYNSEM}||\text{SUBCAT}|L \quad \langle \boxed{1}, \dots \rangle \\ \boxed{1} \end{array} \right] \right] \right] \quad (3.31)$$

まず、(3.30) は対象素性の右側の素性を下位範疇化することが記述されている。この ID-schema は和音進行において tonic - tonic 進行等、同一の項が連続する場合に適用さ

れる．次に，(3.31) は対象素性が左側の素性を下位範疇化する場合に用いられる．この ID-schema はある項が異なる種類の項を下位範疇化する場合に適用される．ただし，例外として - (D) という dominant が連続する和音列においては の和音は の和音に依存しており， の和音が head となるため同一の項同士でもこの ID-schema が適用される．

principle については head feature principle と 2 つの subcategorization principle を定義した．head feature principle は (3.32) のようなものを用いる．

$$\left[\begin{array}{l} \text{SYNSEM}||\text{HEAD} \quad \boxed{1} \\ \text{DTRS}||\text{HEAD-DTR} \quad \left[\text{SYNSEM}||\text{HEAD} \quad \boxed{1} \right] \end{array} \right] \quad (3.32)$$

これは主辞の子の head の素性が，親の head 素性になることを示している．subcategorization principle は (3.33)，(3.34) のように定義する．(3.33) は任意の素性構造が右側の素性構造を下位範疇化した際に適用される．このとき，head となった左側の素性の subcat 素性を親に伝えている．右側を下位範疇化するための情報は，すでに単一化済みのため伝えない．次に (3.34) は任意の素性構造が左側の素性構造を下位範疇化した際に適用される．このとき，head となった素性構造の subcat 素性は，左に下位範疇化する情報のうち既に下位範疇済みの情報は伝えず，まだ下位範疇化されていない情報が伝えられる．また，右側の素性を下位範疇化する情報は親に伝えない．これは，既に右側に下位範疇化されているのであれば右側の下位範疇化情報は空であり，仮に下位範疇化されていない場合でも，この principle が適用された時点で右側の下位範疇化 (同名の項同士の単一化) のステップは既に終わっているため，右に下位範疇化する事のできる素性構造が存在しない事を示しているためである．また，- (D) の和音列は同じ項同士の下位範疇化であるが，この principle を適用する． の和音は の和音の先行和音としてしか用いられず， の和音は他の和音を下位範疇化したり， 以外の和音に下位範疇化されることもないため問題は起こらない．

$$\left[\begin{array}{l} \text{SYNSEM}||\text{SUBCAT}|L \langle \boxed{1}, \boxed{2}, \dots \rangle \\ \text{DTRS} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD-DTR} \quad \boxed{1} \\ \text{COMP-DTRS} \quad \boxed{3} \end{array} \right] \quad \left[\begin{array}{l} ||\text{SUBCAT} \left[\begin{array}{l} L \langle \boxed{1}, \boxed{2}, \dots \rangle \\ R \quad \boxed{3} \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \quad (3.33)$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{SYNSEM}||\text{SUBCAT}|L \langle \boxed{2}, \dots \rangle \\ \text{DTRS} \left[\begin{array}{l} \text{HEAD-DTR} \quad \boxed{2} \\ \text{COMP-DTRS} \quad \boxed{1} \end{array} \right] \quad \left[\begin{array}{l} ||\text{SUBCAT} \left[\begin{array}{l} L \langle \boxed{1}, \boxed{2}, \dots \rangle \\ R \quad \boxed{3} \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \quad (3.34)$$

3.2.6 HPSG を用いたカデンツの解析

この節では和音列からカデンツを解析するまでのプロセスについて解説する．ここでは例として和音列 I(inv0)-vi(inv0)-IV(inv0)-V7(inv0)-I(inv0) を用いて解析する．

まず、各和音から図のように I(inv0) と vi(inv0) から tonic_c , IV(inv0) から subdominant , V7(inv0) から dominant , I(inv0) から tonic_h の機能と声をつけることができる。次に、I(inv0) と vi(inv0) の和音列で I の和音が vi の和音を下位範疇化して $\overline{tonic_c}$ が生成される。

この時点で、同名の項は残っていないので異なる項同士を単一化するステップに移る。まず、subdominant である IV の和音を dominant である V の和音が下位範疇化し、 $\overline{dominant}$ を生成する。このとき、I の和音と vi の和音、vi の和音と IV の和音、IV の和音と V の和音間には転回形による和音進行の禁則は存在しないので、TIE1 の値が 'nothing' であることがわかる。これ以前の段階では素性 TIE1 が確定していないため、幾つかの候補となる素性が存在していたが、この段階で TIE1 が不確定なことにより発生していた曖昧性は排除される。また、 $\overline{dominant}$ が $\overline{subdominant}$ を下位範疇化したことによってこのカデンツは $K2(T - S - D - T)$ カデンツであることがわかる。

次に tonic_h が dominant を下位範疇化する。和音列 V7(inv0)-I(inv0) には V7 の和音基本形からは I の和音基本形へ存在するという転回形による進行規則があり、tonic_h 関係の転回形規則を記述する素性 TIE2 の値は 'V7-I' であり、この値を持つ素性が選ばれる。もし、tonic_h の和音の転回形が基本形以外であった場合、素性 TIE2 に値 'V7-I' をもった素性が存在しないため、解析に失敗する。最後に $\overline{tonic_c}$ を下位範疇化することによってカデンツが完成する。

また、この和音列からは vi(inv0)-IV(inv0)-V7(inv0)-I(inv0) のカデンツも認識することができる。このようなカデンツについては楽曲が本質的に曖昧な場合もあるため、本稿ではどちらが正しいのかについては言及せず、両方出力する。

3.3 楽曲の認識

この節では楽曲を HPSG で解析する前段階の処理や、特殊な和音進行について解説する。

3.3.1 転回形認識

和音は同じ名前が与えられていても、その転回形によって響きや役割が異なるため、和声解析には和音の転回形情報をふまえる必要がある。本研究では入力情報として楽曲を XML ファイルと和音情報、各和音の範囲情報を入力として与えており、ここから転回形の認識を行う。まず、初めに XML ファイルと和音の範囲情報から任意の和音を構成する音 (note) 情報を取り出し、和音中で鳴っている音を低音順にソートし、note ファイルを生成する。次に和音情報から和音を取り出し、根音、第 3 音、第 5 音、和音が 7th chord であった場合は第 7 音までを認識する。認識した和音の構成音情報と、ソートした note 情報を低音順に照らし合わせ、最初に適合した音が根音なら基本形、第 3 音なら第 1 転回形、第 5 音なら第 2 転回形、第 7 音なら第 3 転回形とする。認識された転回形情報は inv(inversion) ファイルに格納され、和音進行解析や緊張弛緩構造解析に用いられる。和

音中にはその構成音のうち根音と第3音は必ず含まれており，転回形は必ず認識できる．もし適合する音がないのであれば，それは和音名が間違っている事を示している．図では，G の和音の構成範囲から音情報として (B, G, D) を取り出している．G の和音の構成音は (G, B, D) であり，この和音は第1 転回形であることがわかる．

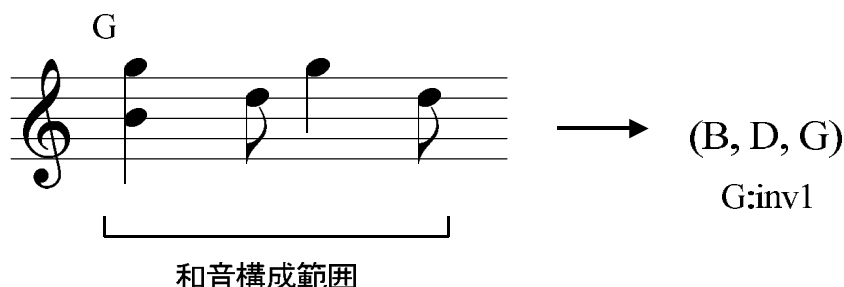


図 3.15: 転回形認識の例

3.3.2 和音認識

本節では与えられた和音列からカデンツを認識する方法を解説する．本稿ではまず，和音列からカデンツを認識し，カデンツの連鎖をもって楽曲を認識していく．まず，楽曲からカデンツを認識するために，カデンツの候補となる和音列の切り出しを行う．カデンツの構成和音数は最小で，開始 T 項に 1 和音，終結 T 項に 1 和音，両 tonic 間の S 項ないし D 項に 1 和音の合わせて 3 和音であり，最大は開始 T 項に 3 和音，S 項に 2 和音，D 項に 4 和音⁴と終結 T 項 2 和音の合わせて 11 和音である．本研究では和音の切り出しに最小値 3，最大値 8 のスライディングウィンド方式を用いて図 3.16 のようにカデンツ候補の和音列を生成する．⁵

切り出した和音列は，転回形情報などを付加して HPSG によるカデンツ解析を行う．解析に成功したカデンツを図 3.17 のように並べることでカデンツの連鎖を見いだしていく．なお，本稿ではカデンツ同士の連鎖の木は生成しない．この作業にはメロディーやリズム情報などを元に行うべきであり，和音の情報のみで行うことはできない．また，楽曲にはカデンツの情報を無視した終わり方や，本質的に曖昧な部分も存在するため，解析不可能な部分や曖昧性が存在しうる．

⁴D 項は本来は V の和音 1 つであるが，倚和音の場合は I-V となり，解析前は 2 つの和音とみなす

⁵本来ならば最大値は 11 にするべきであるが，計算量の関係から現実的でないため，現実的な値として 8 を採用した．

	C	G	C	Dm	F	Am	G	Em	Am	...
(3)	C	G	C							
(4)	C	G	C	Dm						
(5)	C	G	C	Dm	F					
(6)	C	G	C	Dm	F	Am				
(7)	C	G	C	Dm	F	Am	G			
(8)	C	G	C	Dm	F	Am	G	Em		
(3)		G	C	Dm						
(4)		G	C	Dm	F					
	...									

図 3.16: スライディングウインド

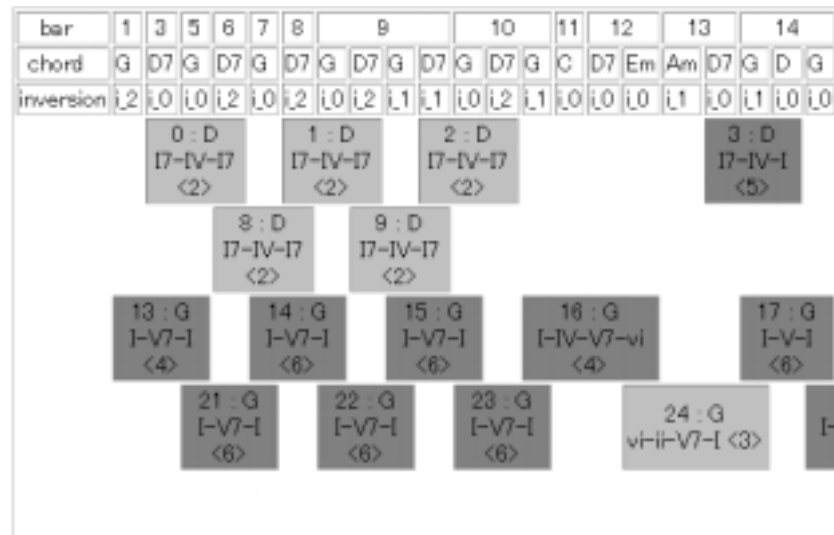


図 3.17: 出力の例

3.3.3 調認識

本稿では和音列から調の認識を行っており，ここでは調認識のプロセスについて述べる．本稿ではカデンツ単位で調の認識を行っており，最小でも3和音以上の和音列を対象に調認識を行う．まず，表 3.2 のようにスライディングウインドで切り出した任意の和音列に対して八長調から口短調まで 24 の調で，音度表記を与える．このとき，和音列中にある調の構成音以外の和音（二長調における F の和音等がこれにあたる）が存在した場合，この調は候補からはずす．

次に音度表記を与えることができた調の機能と和声を与え，カデンツ解析を行う．図 3.17 のようにカデンツを形成できた調を楽曲の調の候補とする．楽曲の調は，1つのカデンツで決定することはできず，任意の長さの和音列に対して，カデンツの解析を行い，カデンツの連鎖が見いだせた調が楽曲全体の調である可能性が高い．

	C	F	Dm	G	Am
八長調	I	IV	ii	V	vi
二長調	IV				
ホ長調	VI				
	...				

表 3.2: 調認識

3.3.4 転調認識と不完全カデンツ

楽曲はその進行の途中で調が変わっていることは少なくない．転調の認識は，楽曲の解析を行う上でも重要である．本稿ではカデンツ単位で調を認識しているため，表 3.3 のようなカデンツの切れ目で転調している場合には，問題なく転調の認識ができる．例えば，図 3.3 の和音列 C-G-C-F-E-F 場合は和音列 C-F を境目に八長調からへ長調へ転調している．

	C	G	C	F	E	F
八長調	I	V	I	IV		IV
	T	D	T	S		S
へ長調	V	II	V	I	VII	I
	D		D	T	D	T

表 3.3: 転調認識

しかし，このカデンツ単位で調を認識する手法では，カデンツの途中で転調している楽曲を解析できない．そこで，本稿ではさらに不完全カデンツという概念を用いる．不完全カデンツは図 2.6 のようにカデンツの途中で転調が起こった場合のみ適用できる．不完全カデンツは，従来のカデンツ異なり開始 T 項から始まり終結 T 項で終わるという形をなしていない為，通常の辞書規則では解析できない．本稿で提案する不完全カデンツの認識手法はまず，楽曲全体に対してカデンツとその調の認識を行う．不完全カデンツは通常のカデンツ規則では解析できないため，楽曲中に空白ができる．次に不完全カデンツ用に辞書規則を更新し，各調のカデンツの切れ目に対して不完全カデンツ認識を行う．不完全カデンツ用の辞書は不完全カデンツを認識する為だけの辞書規則であり，通常のカデンツは認識することができない．

ここでは G-D-G-Am-D-A-D という和音列を例に解説するまず，和音列の開始部 G-D-G からト長調 I-V-I という和音列が解析できるが，和音列 G-Am-D-A-D に対しては A がト長調の構成音ではないため，解析に失敗する．次に二長調で解析を行うと，D-A-D の和音列に対して I-V-I という和音列が解析できるが，和音列 G-D-G-Am-D に対しては Am が二長調の構成音でないためカデンツは解析できない．なお，この和音列に対しては他の調においてもカデンツは認識できないためカデンツの連鎖が見いだせないまま解析は終了する．解析が終了後辞書規則を不完全カデンツ用に更新し，各調のカデンツの切れ目（ト長調では G-Am-D-A-D，二長調では G-D-G-Am-D）に対して不完全カデンツの認識を行う．

まずト長調では G-Am-D-A-D を不完全カデンツ候補としてスライディングウィンド方

式で解析を行っていく．和音認識での最小和音数は3であったが，不完全カデンツはカデンツの一部が欠けていることから最小和音数は2とする．まず，最初に G-Am が解析対象となる．このとき，欠けていると思われる部分に，和音が欠落している事を表す N を付加し和音列 G-Am-N に対して解析を行う．同様に次のステップでは G-Am-D-N に対して解析を行う．ト長調の候補を全て解析し終わったら次は二長調について解析を行う．二長調の不完全カデンツ候補は G-D-G-Am-D であるが，二長調では最後の D がカデンツに続いているため，最後尾から解析を行う．まず最初は Am-D が解析対象となる．このとき欠けていると思われる和音は A の前にあるため，解析する和音列は N-Am-D となる．同様に次のステップでは N-G-Am-D を解析していく．こうして全ての候補の解析が終わった時点で認識できた不完全カデンツを，通常のカデンツと重ね合わせると図 3.18 のようになり，ト長調 G-D-G のカデンツから不完全カデンツ G-Am-D-N をへて二長調へ転調し，D-A-D と進行している事がわかる．なお，図 2.6 の様に不完全カデンツが向き合った進行も存在する．この場合，もとの調のカデンツの途中から別の調のカデンツの途中へ転調したとみなす．なお，不完全カデンツは転回形による規則等が見いだしにくカデンツの主辞となる tonic_{ch} が欠落していることも多いため，カデンツの重み付けは行わない．

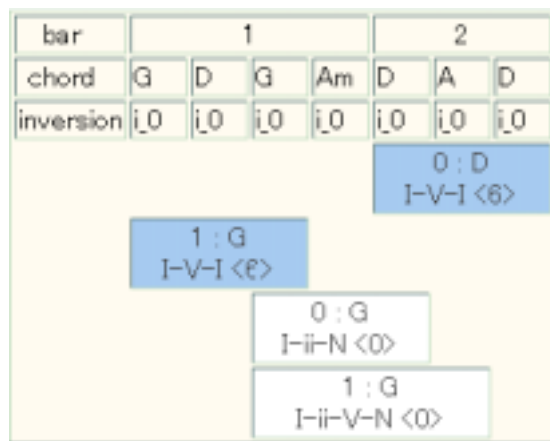


図 3.18: 出力の例

3.3.5 反復進行

和声学においては反復進行というものが定義されている．反復進行はカデンツの連鎖とは別に独立した進行であるが，図 2.12 のように反復進行を含んだカデンツも存在する．反復進行は，ある特定の和声型が1回ごとに一定の度数だけ同一方向に移動しつつ何回か繰り返す和声進行である．一定の音度だけ同一方向に移動することを進行といい，この音

度差関係を進行規則とする．また，反復進行は1回繰り返すごとに元の音の高さから変化する．この変化を移動といい，このときの音度差関係を移動規則とする．和声学で許容される進行規則と移動規則を以下に示す．

進行型規則

5度上向，下向

2度上向

移動型規則

2度上向，下向

3度上向，下向

反復進行は進行規則と移動規則を満たす限り続く．本稿では進行型，移動型，反復数の順に5down:2up:3pairと表記する．また，複数の進行規則を持った反復進行も存在する．この場合，2つの進行規則を‘，’でつなぎ5down,2up:2up:3pairと表記する．本稿では，和音の根音を解析対象とし和音列の情報を元に解析を行い，進行規則を1つまたは2つ満たす進行が2回以上続いた場合を反復進行と定義する．反復進行の中ではカデンツの規則は積極的な役割を果たさず，T-D-S-Tのような和声学上では禁止されている進行でも許容されてしまうほか，図のように不完全カデンツがいくつも連鎖することもありカデンツの木構造を特定することは非常に困難であり，本稿でも反復進行はその存在を認識するだけにとどめる．

3.4 楽曲の解析

実際の楽曲においては和声学の規則から逸脱した和音進行も見受けられる．特に転回形の規則から逸脱したものが多く，ここまでに提案した HPSG を用いた解析を実際の楽曲に対して行くと図 3.19 のようになる．

この楽曲の調はト長調であり，本来ならば12小節目から14小節目にかけてvi-II-V7-Iというカデンツが認識されるべき場所である．ここは転回形による和音進行規則 7 の和音基本形からはIの和音基本形へ進行するという規則に違反しており，カデンツが認識できない．そこで，本稿ではカデンツの生成規則を緩めることによって和声学から逸脱した和音列に対してもカデンツを認識していく．カデンツの生成規則は以下のように3段階に分け，適用することができた規則に応じて生成されたカデンツに重み付けを行っている．

規則 1

通常のカデンツ規則．転回形による禁則や，7th chord による禁則等全ての規則をもつ．
重み 4

る．同様に規則 3 を指定するとまず規則 3 で解析を行い，解析に成功した和音列に対してさらに厳しい規則で再度解析を行う．カデンツの重みには適用された規則が和声学に遵守したものほど大きな値を与える他に，K1 のカデンツの I-V-I 進行にも重みを与えている．V の和音は主調から 5 度の位置にある音を根音とする和音で，主調とは属調の関係にある．この和音は tonic 以外で唯一終止形をとれる和音であり和声学でも重要視されている．非常に安定感のある和音であり，和音の中でも中心的な役割を果たすものである．本稿では tonic と の和音が直接連結されている K1 カデンツに対してさらに重み 1 を付加している．これらの重み付けにより図 3.17 のように出力されたカデンツが競合しても，より和声学に遵守したカデンツを見いだすことができる．

3.5 緊張弛緩構造

緊張弛緩構造は，緊張から始まり弛緩で終わるフレーズの解析する理論である．本稿では HPSG で得られたカデンツの構成範囲がフレーズ構成範囲と一致するという仮定のもとに，カデンツの構成範囲に対して緊張弛緩構造解析を行う．解析ではカデンツの認識できた和音列に対して `surface_tension value` と `sequences_tension value` の計算を行い，これをもとに緊張弛緩構造を認識する．本稿では緊張弛緩構造が認識されたカデンツに対して，カデンツ規則による重みに緊張弛緩構造による重み 1 を付加する．

HPSG 解析で得られたカデンツには正解のカデンツの他，誤認識や曖昧なカデンツも含まれる．特に図 3.17 のように近親調のカデンツは調の性格も似ており，構成音も多くが一致するため認識されやすい．解析の結果で複数のカデンツが競合していた場合，緊張弛緩構造が成立したカデンツの方がより自然な流れのカデンツであるという事ができる．

本稿では Lerdahl の定義した緊張弛緩構造の計算式を用いて，緊張弛緩構造を解析する．緊張弛緩構造は図 3.20 のように `surface_value` と `sequences_value` からなり，これから `tension_value` を計算する．この `tension_value` の大小から楽曲の緊張-弛緩を認識していく．緊張弛緩構造は，各和音の持つ `tension_value` を後続の和音の `tension_value` と比べ後続の和音の値の方が高ければその和音進行は緊張しているとみなし，逆に低ければ弛緩しているとみなす．

`surface_value`

この節では `surface_value` について解説していく．`surface-value` は和音そのものが持つ緊張弛緩の値であり，和音の構成音や転回形を元に計算を行っていく．

`surface_value` はさらに Scale degree , Non-harmonic tones , Inversion の 3 つに分けることができ，Scale degree と Non-harmonic tones は和音の構成音に関する緊張弛緩の値を，Inversion は転回形による緊張弛緩の値を記述してある．この節では，これらの規則について解説する．

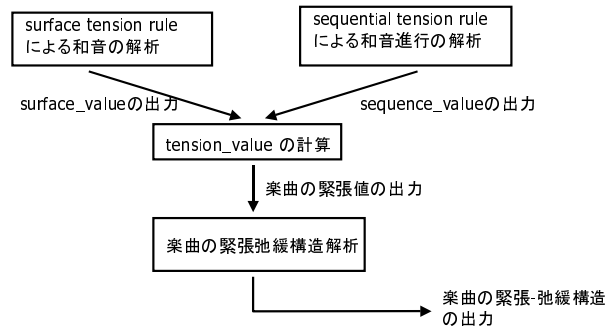


図 3.20: 緊張弛緩構造解析概要

○ Scale degree

任意の和音の構成音に関する規則である。和音の章でも述べたように、和音は第5音を省略することができる。第5音を省略すると和音はやや不安定な響きを持つようになり、緊張へ向かう和音と認識できる。Scale degree では任意の和音の構成音を認識し、実際の和音範囲中で第5音が鳴っているかどうか解析し、鳴っていなかった場合は緊張値1を与える。

○ Non-harmonic tones

これも任意の和音の構成音に関する規則であるが、Scale degree とは逆に余分な構成音を認識する規則である。和音の構成音にない音(装飾音)が鳴っていた場合、その和音は不安定な響きを持ち、緊張への進行とみなすことができる。この規則では任意の和音の構成音を認識し、実際の和音範囲中の装飾音の存在を解析する。

装飾音には調の構成音であるものと、構成音でないものの2種類があり、調の構成音でない装飾音の方がより不安定感を与える。また、装飾音ほどではないが、7th chord の第7音も和音に不安定感をもたらす要因となり、装飾音(調の非構成音)1音につき4、装飾音(調の構成音)1音につき3、第7音に1の緊張値を与える。

○ Inversion

任意の和音の転回形を認識する規則である。和音の基本は低音順に根音、第3音、第5音の順になっているが、根音や第3音が1オクターブ高い位置に移動したものが転回形である。転回形は基本形に比べやや不安定な響きをもつことから、転回形の和音には緊張値2を与える。

各和音に対して、これらの解析を行い出力された緊張値を合わせたものを surface-value とする。任意の和音 n に対して surface-value を計算すると以下ようになる。

$$\text{surface_value}(n) = \text{Scale degree}(n) + \text{Non-harmonic tones}(n) + \text{Inversion}(n)$$

sequences_value

sequences_value は任意の和音から後続する和音への進行による緊張弛緩の値である．sequences_value は surface_value と同様に 3 つの規則に分けることができる．それぞれの規則を Chromatic scale rule , Chord rule , Note rule とし，これらの規則について解析していく．

○ Chromatic scale rule

後続する和音の調の構成音のうち，先行する和音（解析対象和音）の調の構成音でない音を認識する規則である．調の構成音にない音は楽曲の流れの中で不安定な響きをもたらす，楽曲を緊張させる．この規則では，後続和音の調で，先行の調の構成音以外の音 1 つにつき緊張値 1 を与える．

例えば，先行和音が八長調であり後続和音は八短調であったとする．八長調の構成音は C , D , E , F , G , A , B であり八短調は C , D , E $\flat$, F , G , A $\flat$, B $\flat$ である．八短調には八長調にない音が 3 つ鳴っており，Chromatic scale の緊張値は 3 となる．

○ Chord progress rule

先行和音から後続和音への進行による緊張値を計算する規則である．この規則では circle of fifths と呼ばれる図 3.21 のようなサークルから和音間の距離を求める．このサークル上の任意の和音の右の和音は，もとの和音から数えて 5 度の関係が成り立っている．この規則では先行和音と後続和音のサークル上の距離を緊張値として出力する．

例えば，I の和音から vi の和音への進行に対して与えられる緊張値は 3 となる．

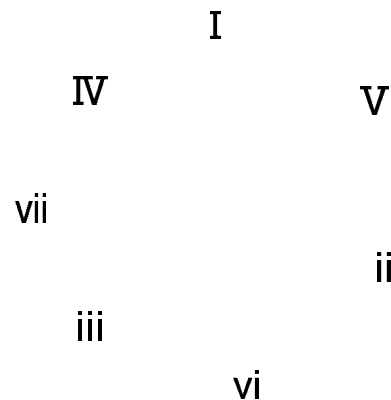


図 3.21: circle of fifths

○ Note rule

先行和音と後続和音の音情報から緊張値を計算する規則である．各和音の構成音には重要度があり，根音が最も重要で，ついで第 5 音，第 3 音の順となっている．この規則では先

行和音と後続和音の重要度の差をとる．調の構成音には1，和音の根音に4，第5音に3，第3音に2の値を与えている．八長調Ⅰの和音と八短調ⅰの和音の重要度を取ると図3.22のようになる．次に，後続和音の各構成音の重要度から先行和音の重要度を減算し，正の値になった各構成音の重要度全てを足し併せたものが出力となる．図3.22の例では緊張値は3となる．

	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B
C Major Scale												
C Major Chord	4	0	1	0	2	1	0	3	0	1	0	1
C Minor Scale												
C Minor Chord	4	0	1	2	0	1	0	3	1	0	1	0

図 3.22: 和音の重要度の例

tension_value

tension-value は surface value と sequences value から得ることができる．surface value は和音そのものの緊張値であるのに対し，sequences value は和音の進行に対する緊張値であるので単純な足し合わせはできない．sequences value は音の変化による緊張弛緩の値を計算するものなので第1音には適用されず，図3.23のようになる．

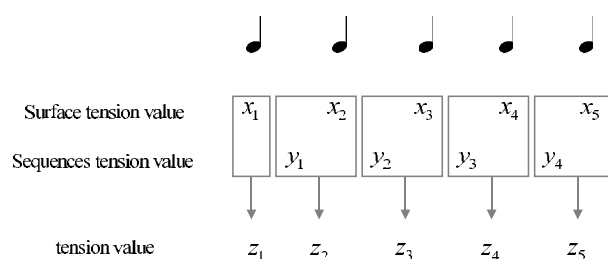


図 3.23: 緊張値の計算

任意の和音 n に対し tension_value の計算を行うと以下のようになる．

$$n > 1$$

$$\text{tension_value}(n) = \text{surface_value}(n) + \text{sequences_value}(n-1, n)$$

$$n = 1$$

$$\text{tension_value}(n) = \text{surface_value}(n)$$

次に，計算により得られた各和音の tension-value の値を元に，和音が緊張に向かってい

るのか弛緩に向かっているのかを判定する．緊張弛緩構造は図 3.24 のように，ある任意の和音から後続和音への進行が緊張への進行か弛緩への進行かを判定する事によって解析でき，後続和音の `tension_value` の値の方が高ければ緊張，低ければ弛緩と認識する．本稿ではカデンツの開始 `tonic` から緊張してき終止 `tonic` へ向かう弛緩が認識できれば，緊張弛緩構造の解析を成功とし，カデンツに重み 1 を与えている．

本稿では出力に図 3.17 のような HTML ファイルを用いている．各カデンツに与えられた重みによってカデンツの色が異なっており，どれが重みの大きいカデンツか一目でわかるようになっている．

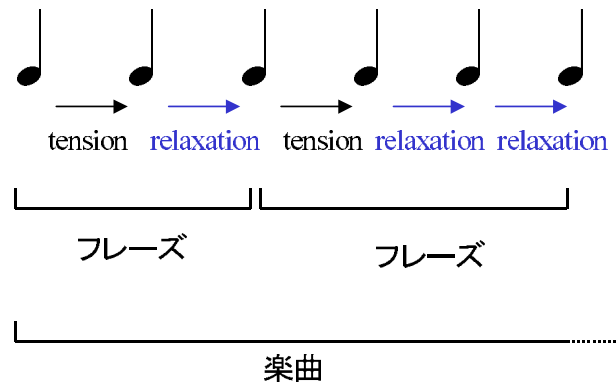


図 3.24: 緊張弛緩構造とフレーズ

第4章 実験と考察

本稿で提案したシステムを評価するために実際の楽曲を用いて実験を行った．実験には Mozart , Piano Sonata in C , K545 第1楽章冒頭

Mozart , Serenade No13 G Major , 第1楽章冒頭

Beethoven , Piano Sonata Op49 , No2 第1楽章

を用いた．実験に用いる入力情報は MIDI ファイルを midi2xml¹を用いて作成したファイル (xml File) と和音情報ファイル (seq File) , 各和音の構成範囲を記述したファイル (dlm File) とした．実験では本システムの調とカデンツ解析を評価するとともに , 緊張弛緩構造の有効性も検証する．本稿では適用した規則ごとに再現率と精度で評価を行う．また規則3適用後 , 不完全カデンツのカデンツ情報も加えたカデンツ列に対しても評価を行うとともに , 緊張弛緩構造の有効性も検証した．再現率と精度の式を以下に示す．

再現率 = システムが出力した正解数 / システムが出力すべき正解数

精 度 = システムが出力した正解数 / システムの出力したカデンツ数

緊張弛緩構造の有効性の評価は以下の式を用いて行う．

緊張弛緩構造再現率 = 正解カデンツの中で緊張弛緩構造が認められたカデンツ数 / システムの出力すべき正解数

緊張弛緩構造精度 = 正解カデンツの中で緊張弛緩構造が認められたカデンツ数 / システムの出力したカデンツ中で緊張弛緩構造が認められたカデンツ数

ただし , 緊張弛緩構造再現率のシステムの出力すべき正解数では不完全カデンツの数を含めない．これは不完全カデンツは緊張弛緩構造を認識できないからである．

また , 正解の調のカデンツと競合した別の調のカデンツと区別するにはカデンツの重みを用いる．本稿ではカデンツにつけられた重みの評価を行うために , (競合部分の正解カデンツの重みの平均 / 競合部分の競合するカデンツの重みの平均) が1以上ならば競合解消とし , 以下の式を用いて評価を行った．

¹青柳 龍也助教授 (津田塾大学) による midi2xml パッケージ

$$\text{カデンツ競合解消率} = \text{競合解消できた部分数} / \text{競合部分数}$$

4.1 Mozart , Piano Sonata

実験は第1楽章冒頭28小節について行った．この楽曲はハ長調から始まり，11小節目でト長調に転調している．正解のカデンツ数は不完全カデンツ1個を含む15個である．まず規則1による解析では15個中10個のカデンツを認識し再現率は0.667，精度は0.846となった．規則1による解析ではカデンツの競合は発生しなかった．次に規則2では15個中13個のカデンツを認識し再現率は0.867，精度は0.722となった．転回形による禁則を排除することで再現率は大きく上がったが，逆に精度は下がっている．また，誤認識による競合カデンツも確認された．規則3では15個中14個のカデンツを認識し再現率は0.933，精度は0.700となった．また，不完全カデンツ解析を行った事による再現率の向上は見られず，不完全カデンツの誤認識によって精度は0.500に低下した．この楽曲は和声学に忠実であり不完全カデンツ等特殊な和音進行が少ないため，通常のカデンツ解析のみで再現率は0.933となった．楽曲中で認識できなかったカデンツは不完全カデンツで，ハ長調からト長調へ転調する箇所である．ここはC, Dm, F, Gとなっており，Fの和音が解析失敗の原因となっている．この和音はハ長調の側からはii-IV進行であり，これは和声学の禁則である．また，ト長調の側からみたFの和音は調の構成音ではないため解析できない．仮に借用和音であったとしてもト長調：F-G進行は禁則であり，解析できない．

また，不完全カデンツの解析を行ったことにより精度が大幅に下がってしまったが，これは楽曲中で誤認識したカデンツの前後に対しても不完全カデンツを認識してしまったためである．

また，正解カデンツ15個中10個に緊張弛緩構造が認識でき，緊張弛緩構造再現率は0.714となった．また，楽曲中で緊張弛緩構造が認識されたカデンツは12個であり，緊張弛緩構造精度は0.833となった．カデンツの競合は4カ所で起き，3カ所でカデンツの重み付けからカデンツの競合を解消することができた．この楽曲のカデンツ競合解消率は0.750である．また，借用和音や反復進行を含むカデンツとともに確認されなかった．このため再解析は行っていない．

4.2 Mozart , Serenade No13

第1楽章の冒頭27小節について解析を行った．この楽曲には不完全カデンツ2つを含む22個の楽曲が含まれている．楽曲はト長調から始まり，21小節目半ばからニ長調に転調し，25小節目半ばからイ長調に転調している．まず，記憶1による解析では22個中13個の和音が解析され再現率は0.591，精度は0.929となった．規則1では13小節目から14小節目にかけて1カ所カデンツの競合が確認された．次に規則2では20個のカデンツが

	規則 1	規則 2	規則 3	不完全カデンツ
再現率	10/15 0.667	13/15 0.8267	14/15 0.933	14/15 0.933
精度	11/13 0.846	13/18 0.722	14/20 0.700	14/28 0.500

緊張弛緩構造再現率	10/14 0.714
緊張弛緩構造精度	10/12 0.833
カデンツ競合解消率	3/4 0.750

表 4.1: Mozart , Piano Sonata

認識され再現率は 0.909 , 精度は 0.625 となった . 規則 2 では , 規則 1 に比べて倍以上のカデンツ認識され , 多くの競合カデンツが確認された . 規則 3 では再現率 , 精度とも変化がなかった . これは規則 2 で認識されるべきカデンツは全て認識されているからである . 不完全カデンツによる解析では 2 個の不完全カデンツが認識され再現率は 1.000 , 精度は 0.564 となった . 不完全カデンツは誤認識したカデンツからも認識されてしまうため , 結果として精度は低下しているが , 再現率は 1.000 となった .

この楽曲では不完全カデンツ 2 個を除いた 20 個の正解カデンツのうち , 18 個のカデンツに緊張弛緩構造が確認でき , 緊張弛緩構造精度は 0.900 となった . また , 楽曲全体では 19 個のカデンツから緊張弛緩構造を認識することができ , 緊張弛緩構造精度は 0.947 となった . カデンツの競合は 5 カ所で起き , 4 カ所で解消することができカデンツ競合解消率は 0.800 となった . また反復進行は 2 カ所で認識できたが反復進行を含んだカデンツは確認されず , 借用和音も認識できなかったため再解析は行っていない .

	規則 1	規則 2	規則 3	不完全カデンツ
再現率	13/22 0.519	20/22 0.909	20/22 0.909	22/22 1.000
精度	13/14 0.929	20/32 0.625	20/32 0.625	22/39 0.563

緊張弛緩構造再現率	18/20 0.900
緊張弛緩構造精度	18/19 0.947
カデンツ競合解消率	4/5 0.800

表 4.2: Mozart , Serenade No13

4.3 Beethoven , Piano Sonata Op49

この楽曲は第 1 楽章 122 小節について解析を行った．ただし，52 小節目の反復記号では反復を行わず，1 回限りの解析としている．これは反復記号は全く同じ進行を繰り返すだけだからである．この楽曲は 8 個の不完全カデンツを含む 103 個のカデンツが存在する．まず，規則 1 では 43 個の正解カデンツが認識され再現率は 0.471，精度は 0.651 となった．また，3 カ所でカデンツの競合が認識された．次に規則 2 では 93 個の正解カデンツが認識され再現率は 0.903，精度は 0.637 となった．規則 2 では全部で 146 個のカデンツが認識され，多くの場所でカデンツの競合が起こった．規則 3 では再現率，精度とも変化がなかった．また，不完全カデンツの解析では 8 個の不完全カデンツが認識され再現率は 0.981，精度は 0.521 となった．また，この楽曲では不完全カデンツ 8 個を除いた正解カデンツ 95 個に対して 55 個に緊張弛緩構造が認識され緊張弛緩構造再現率は 0.579 となった．また，楽曲全体では 66 個のカデンツに緊張弛緩構造が認識され緊張弛緩構造精度は 0.833 となった．またカデンツの競合は 15 カ所で起きて 11 カ所で解消され，この楽曲でのカデンツ競合解消率は 0.733 となった．また，反復進行は認識できなかった．この楽曲では 108 小節目から 109 小節目にかけて借用和音が存在する．楽曲中では G7-E7-Am-G となっているが，ト長調において E の和音は Minor chord であるべきであり，借用和音であるとみなすことができる．そこで，和音列を G7-E7/Cm-Am-G と書き換え再解析を行うと I7-borrowed_T-ii-I という和音列を認識できる．この和音列は倚和音となるべきであるが，後続の和音列 G-D7-G において倚和音の関係を見いだせないため，解析に失敗する．

	規則 1	規則 2	規則 3	不完全カデンツ
再現率	43/103 0.4417	93/103 0.903	93/103 0.903	101/103 0.981
精度	43/61 0.651	93/146 0.637	93/146 0.637	101/194 0.521

緊張弛緩構造再現率	55/95 0.579
緊張弛緩構造精度	55/66 0.833
カデンツ競合解消率	11/15 0.733

表 4.3: Beethoven , Piano Sonata Op49

4.4 曖昧性の解消について

実験の総合結果を表 4.5 に示す．実験に用いた規則のうち規則 1 によるカデンツの認識率は約 4 割であったが，誤認識によるカデンツの競合も少なく，出力のほとんどが正しい

カデンツであった．これに対して転回形による規則を除いた規則 2 では楽曲のほとんどのカデンツを認識することができたが，誤認識による競合カデンツが非常に多く，結果的に精度が低下している．規則 3 については再現率や精度の向上に寄与するところは少なかった．これは規則 2 でほとんどのカデンツが認識できてしまったことと，7 の和音の規則の一部は転回形の情報に依存していることがあげられる．不完全カデンツ解析については再現率の向上には寄与しているが，逆に精度を下げる要因にもなっている．これは不完全カデンツの認識方法が，カデンツの連鎖の切れ目に対して解析を行っているため，規則 2 で大量に発生した競合カデンツからも不完全カデンツの解析を行っているからである．

	規則 1	規則 2	規則 3	不完全カデンツ	西田のシステム
再現率	66/140 0.471	126/140 0.900	127/140 0.907	137/140 0.979	124/140 0.880
精度	66/93 0.707	126/197 0.630	127/299 0.638	136/261 0.525	124/200 0.620

緊張弛緩構造再現率	83/129 0.643
緊張弛緩構造精度	83/97 0.856
カデンツ競合解消率	18/24 0.750

表 4.4: 総合結果

また，本稿で用いた楽曲に対して西田の提案したシステムの実験結果は再現率 0.880，精度 0.620 となった．再現率においては本稿の提案したシステムの方が高い値を示しているが，精度においては西田のシステムを下回っている．

本稿では曖昧性を解消するためにカデンツの重み付けによる曖昧性の解消を試みる．まず，システムの出力したカデンツと正解のカデンツを照らし合わせる．さらに正解部と競合が起きている誤認識カデンツに対して，カデンツの重み付けによる曖昧性の解消を試みる．解消方法は競合が起きているカデンツの重みの平均が高い方がシステムの出力した正解とする．この手法で競合しているカデンツのうち正解のカデンツより重みの低いものを取り除くと，表のような結果となった．

	曖昧性解放前	曖昧性解放後
再現率	137/140 0.979	137/140 0.979
精度	137/261 0.525	137/164 0.835

表 4.5: 総合結果

曖昧性の解消を行った結果、本稿で提案したシステムは精度においても西田のシステムを上回ることができた。ただし、本稿の曖昧性解消はカデンツの重みを基に人手で行っており、自動化が望まれる。

4.5 考察

4.5.1 カデンツの認識について

本稿では和声学のカデンツ規則を3段階に分けて実験を行った。このうち、最も和声学に遵守した規則1では認識精度は7割であったが、再現率は約4割であった。これに対し、転回形の規則を除いた規則2では精度は6割程度まで低下したが、再現率は9割にのぼった。この理由として、実際の楽曲では転回形に関する和声学規則はかなりの部分で無視されていることが考えられる。規則3では各実験とも精度、再現率に大きな影響はなかった。この理由として和声学中では7の和音に関しては比較的自由がきくことと、7の和音の禁則は転回形と絡んでいることも多く、7の和音の禁則の一部が規則2で吸収されてしまった事が考えられる。

また、不完全カデンツについてはほとんどの楽曲で再現率の向上に役立ったが、精度は大きく低下させる要因となっている。これは規則2で大量に発生した誤認識のカデンツに対しても解析を行ってしまったからである。不完全カデンツの誤認識をなくし、再現率を向上させるには、誤認識カデンツに対しては不完全カデンツ解析を行わないようにすべきであるが、これには非常に精度の高いカデンツ認識システムと競合カデンツ解消システムの構築が必要であり、非常に困難な問題である。

また、不完全カデンツ認識において、I-ii-V-という和音列からはiiの和音で切れているI-ii-Nという不完全カデンツとも、 $\text{V}^{\#}$ の和音で切れているI-ii-V-Nという不完全カデンツともとれるため、1つの和音列から複数の不完全カデンツが認識されるからである。これは解析対象の和音列がI-vi-iii-iv-ii-V-VII-iii-...と長いものほど多くの不完全カデンツが認識されてしまい、精度を低下させる原因となっている。しかし、実際の楽曲においてはどの部分から転調しているのかの境界が本質的に曖昧な楽曲が多く、この曖昧性を解消するのは難しい。

また、本稿で認識できなかったカデンツの多くはI-ii-I進行のカデンツである。和声学においてはこの進行は禁止されており、後続のカデンツと一緒にあってI-ii-I-V-Iという進行を取るべきである。このときI(inv2)-V(inv0)という和音進行が倚和音となるべきであるが、実際の楽曲中では $\text{V}^{\#}$ の和音が第2転回形の形を取っておらず、結果として解析に失敗するパターンが多く見受けられる。この問題を解消するには倚和音となるIの和音が第2転回形でなくとも解析可能にすればよいのだが、この手法ではIの和音がtonicとなるのか倚和音のdominantとなるのか判断ができなくなり、解析に支障が生じるため別の手法を考案する必要がある。また、借用和音については本システムでは解析せず出力結果から人手で借用和音の判定を行い、再解析を行っている。このため、初期の解析結果の再

現率の低下を招いており、何らかの方法でシステム中で認識できれば再現率の向上が見込まれる。しかし、システム中で安易に借用和音の探索を行うと計算量が爆発する上、本来認識されるはずのないカデンツが大量に認識されてしまう恐れがあるため、なんらかの手法を検討する必要がある。また、Beethoven, Piano Sonata Op49 の第 108 小節目のように借用和音と倚和音が同時に出現する場合もある。このようなパターンも辞書規則を拡張することによって対応が可能であるが、辞書の量が大幅に増え複雑になるので辞書をスマートに記述する手法を検討する必要がある。

また、反復進行については、精度・再現率ともに大きな影響は与えられない。この理由として、反復進行そのものはカデンツの規則とは独立したものであり、本稿では I-IV-VII-III-VI-II-V-I といった 1 つのカデンツとしてみなすことのできない和音列を解析する為のものであったが、実際の楽曲ではこのような和音列自体が非常に少ないことが理由として考えられる。

4.5.2 調認識とカデンツの重み付けについて

本稿では楽曲中で複数の調が解析されたことによるカデンツの競合の解消にカデンツの重み付けを行った。カデンツの競合の解消率は 0.750 であり、全実験を通じて約 7 割の競合を解消できたと評価できる。特に近親調に対してもかなりの精度で認識ができており、一見間違いやすい箇所でもカデンツの重みを参照することで正しい調を判断することができる。これを基に曖昧性の解消を行うと、システムから得られる結果の精度は 0.835 まであげることができる。このことからカデンツに重み付けを行う手法は有効であると考えられる。

4.5.3 緊張弛緩構造について

本稿ではカデンツの構成範囲と緊張弛緩構造のフレーズの範囲が一致するという仮定の下、解析を行った。その結果、正解のカデンツの約 6 割が緊張から始まり弛緩で終わる構造を示していた。緊張弛緩構造が認識できなかったカデンツについてはさらに上位の階層で緊張弛緩構造をなしていると考えられる。本稿ではカデンツ同士の木構造の生成は行っていないが、今後カデンツ同士の木構造を生成する場合、カデンツに対する緊張弛緩の値付けを参考にすることができると考えられる。また、緊張弛緩構造の精度は 0.856 であり、緊張弛緩構造が認識できたカデンツは高確率で正解カデンツであると言える。

カデンツの緊張弛緩構造を参照することは正解のカデンツを見つける手がかりとなり、今後の拡張にも有効であるといえる。

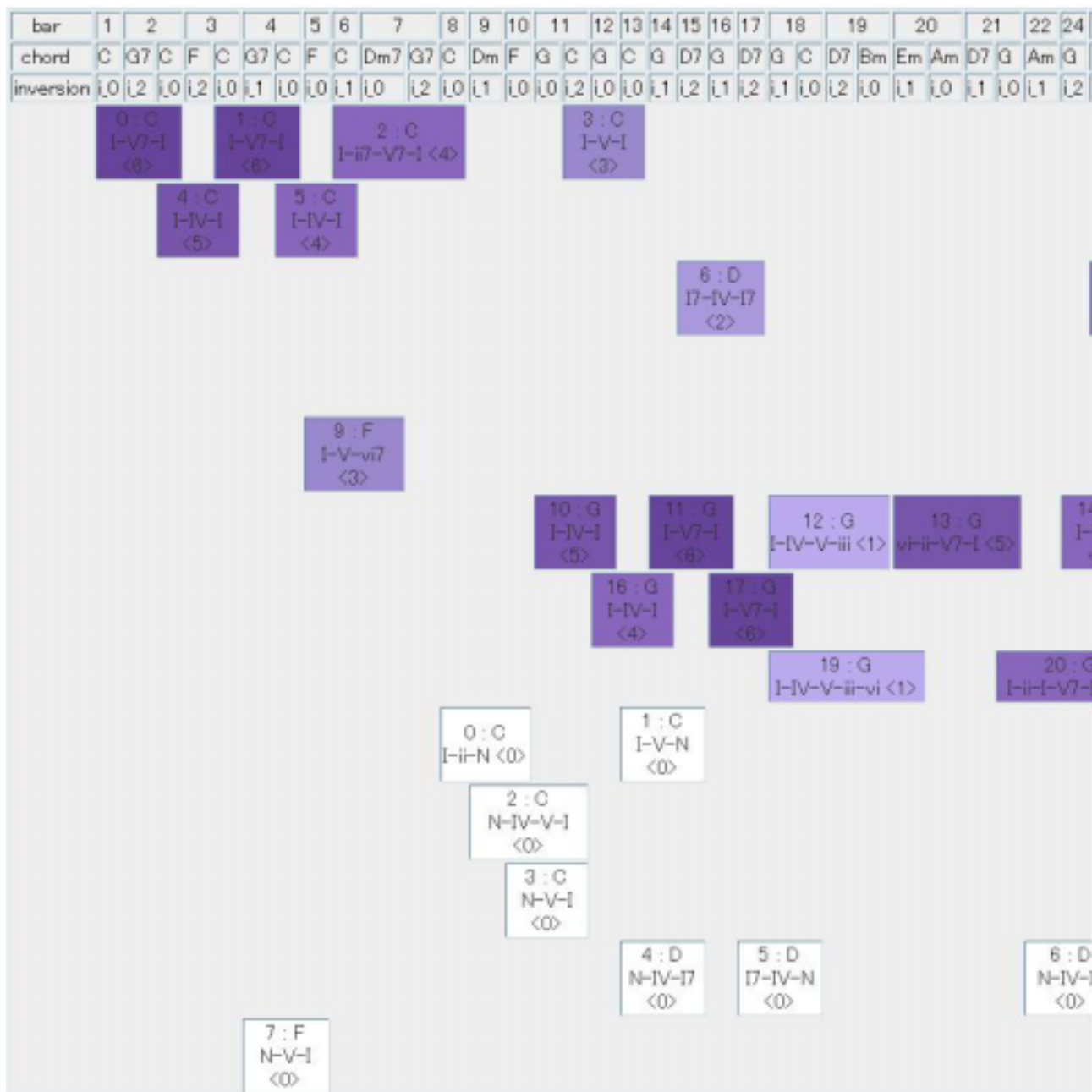
4.5.4 出力例

Mozart , Piano Sonata in C , K545 第1 楽章冒頭

Mozart , Serenade No13 G Major , 第1 楽章冒頭

Beethoven , Piano Sonata Op49 , No2 第1 楽章

の冒頭部分のシステムの出力を以下に示す．なお，各カデンツの‘ < > ’内の数字はカデンツの重みを示しており，重みが大きいほどカデンツの色は濃くなっている．



☒ 4.1: Mozart: Piano Sonata in C , K545

bar	1	3	5	6	7	8	9			10			11	12	13	14		15	16	17	18	19	20									
chord	G	D7	G	D7	G	D7	G	D7	G	D7	G	D7	G	C	D7	Em	Am	D7	G	D	G	C	D7	Em	Am	D7	G	D7	G	D7	G	C
inversion	i2	i0	i0	i2	i0	i2	i0	i2	i1	i1	i0	i2	i1	i0	i0	i0	i1	i0	i1	i0	i0	i0	i0	i0	i1	i0	i0	i3	i0	i2	i0	i2

0 : D
I7-IV-I7
<2>

1 : D
I7-IV-I7
<2>

2 : D
I7-IV-I7
<2>

3 : D
I7-IV-I
<5>

4 : D
I7-IV-I7
<4>

8 : D
I7-IV-I7
<2>

9 : D
I7-IV-I7
<2>

10 : D
I7-IV-I7
<2>

13 : G
I-V7-I
<4>

14 : G
I-V7-I
<6>

15 : G
I-V7-I
<6>

16 : G
I-IV-V7-vi
<4>

17 : G
I-V-I
<6>

18 : G
vi-ii-V7-I <3>

19 : G
I-V7-I
<6>

21 : G
I-V7-I
<6>

22 : G
I-V7-I
<6>

23 : G
I-V7-I
<6>

24 : G
vi-ii-V7-I <3>

25 : G
I-IV-V7-vi
<4>

26 : G
I-V7-I
<4>

27 : G
I-IV-
<3>

0 : D
I7-IV-N
<0>

1 : D
I-IV-N
<0>

2 : D
I7-IV-N
<0>

☒ 4.2: Mozart: Serenade No13 G Major

第5章 まとめ

本稿で提案したカデンツ解析手法では楽曲に含まれるカデンツの9割を認識することができた。また、解析で発生した競合カデンツについても約7割については解消することができ、これを利用するとカデンツ認識の精度は8割まで向上し、楽曲のカデンツをほぼ特定することができたと言える。

また、本稿では借用和音や不完全カデンツ、倚和音を扱ったことにより特殊な和音進行に対しても解析が可能となり、再現率を向上させることができた。しかし、不完全カデンツの解析で発生する曖昧性や、和声学規則から逸脱した倚和音への対応は未だ不十分であり、この問題の解消は今後の課題である。また、借用和音については一度結果が出力された後、人手で判断し再解析にかけねばならず、この部分の自動化については検討する必要がある。

また、緊張弛緩構造が認識されたカデンツのうち8割が正解カデンツであった。これは楽曲の緊張弛緩構造を参照して正解のカデンツを探すことも可能であり、カデンツの構成範囲と緊張弛緩構造の構成範囲が一致するという仮定は有効であると確認された。しかし、緊張弛緩構造による正解カデンツの再現率は6割であり、緊張弛緩構造が成り立っていないカデンツについては、カデンツ同士の木構造を作っていく過程でカデンツをまたいだフレーズによって解消できると考えられるが、本稿ではカデンツ同士の関係については言及しておらず、確認のためにはより大きな木構造を生成する必要がある。

関連図書

- [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] Fred Lerdahl . Tonal Pitch Space . Oxford University Press , 2001 .
- [4] Lerdahl, F. and Jakendoff, R. A Generative Theory of Tonal Music. MIT Press, 1993.
- [5] Tom Horton , Some Formal Problems with Schenkerian Representations of Tonal Structure , ICMAI2002 LNAI2445 p81-93 , 2002 .
- [6] 西田 昌史 , HPSG を用いた楽曲の和声解析 , 北陸先端科学技術大学院大学修士論文 , 2003 .
- [7] 平田圭二 , 青柳龍也 . 音楽理論 GTTM に基づく多声音楽の表現方法と基本演算 . 情報処理学会論文誌 , 2002 .
- [8] 池田 剛 , 乾 伸雄 , 小谷 善行 . 音楽記述文法 EMG による楽曲受理処理系の試作 . 音楽情報科学研究会 研究報告 No.47 p115-120 , 2002 .
- [9] Ivan A. Sag, Thomas Wasow. 統語論入門 (上). 岩波書店, 2001
- [10] 長尾 真 . 楽典ノススメ . 音楽之友社 , 1999 .
- [11] 長尾 真 . 自然言語処理 . 岩波書店 , 1996 .
- [12] 長嶋 洋一 , 橋本 周司 , 平賀 譲 , 平田 圭二 . bit 別冊 コンピュータと音楽の世界 基礎からフロンティアまで . 共立出版 , 1998.
- [13] 島岡 譲 , 丸田 昭三 , 佐藤 真 . 和声 理論と実習 III . 音楽之友社 , 1967 .
- [14] 島岡 譲 , 丸田 昭三 , 佐藤 真 . 和声 理論と実習 II . 音楽之友社 , 1965 .
- [15] 島岡 譲 , 丸田 昭三 , 小林 秀雄 . 和声 理論と実習 I . 音楽之友社 , 1964 .
- [16] 山縣 茂太郎 . 音楽通論 . 音楽之友社 , 1958 .