

exGTTM を用いたカデンツ部の探索

Searching for cadence using exGTTM

小玉 昂史^{*1}
Takafumi Kodama

東条 敏^{*1}
Satoshi Tojo

^{*1} 北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
School of Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

ExGTTM is a computer implementation of the Generative Thoery of Tonal Music (GTTM), to analyze music structure. This computer system, however, is still imperfect, because it cannot find cadential retention and thus cannot give a proper cadence structure. In this paper, we show a searching system of cadence based on exGTTM, and discuss if those parts can be cadential reduction or not. In addition, we propose a new formalism for the time-span tree. In the original thoery, a time-span tree is composed from grouping analysis and metric structure, including such chord information as dominants and tonics. We suggest that these chord recognition should be distinguished from other analyses, and we divide the bottom-up metrical structure and the tree with chord information; the latter should be regarded as an intermediate tree between the purely-metrical time-span tree and the prolongational tree.

1. はじめに

音楽というメディアの認識や表現は曖昧であり、専門的な知識のないユーザが、計算機に思い通りに作曲や演奏をさせるのは一般に困難である。また、音楽を分析、解釈するために、これまで様々な音楽理論が提案されている。

音楽理論 Generative Theory of Tonal Music(GTTM)^[1]の特徴は、音楽が備える旋律、リズム、和声といった多様な特徴を包括的に表象しているということである。この理論を計算機上に実装し用いることで、音楽の専門的な知識に乏しいユーザであっても、音楽的な構造を機械的に得られ、それを用いて演奏の表情づけや、自然な編曲など、これまで専門的な知識が必要であった様々な操作ができるようになると考えられる。

GTTM はその解析方法の手順をルールとして記述しているが、そのルールには曖昧な記述が多く、このまま計算機上に実装するのは非常に困難である。そこで、GTTM を計算機上で実行可能とするために、GTTM に詳細な定義を与え、理論を再構成した exGTTM が提案されているが、この理論にもまだ不完全な部分がある^[2]。その一つにカデンツ構造を表す **cadential retention** を実装していないことが挙げられるが、これを実装するためには楽曲の終止感を作るカデンツ部を決定することが必要不可欠となる。

そこで本稿では、exGTTM をもとに、カデンツ部の探索を行い、**cadential retention** についての考察を行う。

2. カデンツとは

現在、世の中に広く浸透している楽曲のほとんどは、調性音楽と呼ばれる音楽である。和音の進行によって生まれる色彩の変化は和声と呼ばれ、和音を機能的に扱う和声は機能和声と呼ばれる。調性音楽は、この機能と和声に基づいた音楽である^[3]。

機能と和声を基本とする音楽では、カデンツと呼ばれる和音の組み合わせ(和声構造)が用いられる。カデンツとは、和声を構成する際にある一定のルールに基づいて選択された和音を用いる和声のことである。カデンツを結合していけば、いくらでも長い和声を形成しうるが、それだけでは句読点のない文章のよう

につかみどころのないものになってしまう。そこでカデンツの中でも和声の句読点に当たる終止が用いられる。

終止には全終止、偽終止、半終止、変終止の4つの種類があり、これらを用いることで、曲が終わるような感じや、曲が区切られるような感じがする終止感が得られる。終止のうち最もよく用いられる全終止は、Vの和音(ハ長調の時のソシレの和音、調によって音は変わる)からIの和音(ハ長調の時のドミソの和音)に移り(以下 V-I と表記)、曲が終わるような感じがする終止感をつくる。また、これらの終止には男性終止と女性終止という種類があり、男性終止は小節の始めに終止の最後の和音(ここではIの和音)が来る終止を、女性終止はそれ以外の終止をそれぞれ指す。

また、調性音楽における和音は、Iの代わりにVIを用いるなど、他のもので代用がきく場合もあり、これらの要素を複合して曲の終止感が作られる。しかし、このような終止は、全ての曲で必ず使われるというわけではない。

本稿では、以上のような終止感をもつカデンツ(以下、単にカデンツと呼ぶ)を扱うが、複雑になることを避けるために、V-Iで終止する全終止のみを扱う事にする。

3. GTTM とは

本節では、GTTMの簡単な説明を述べる^{[1][2]}。

GTTMとは、調性音楽についての十分な知識を持った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・解析するための理論であり、グルーピング構造解析、拍節構造解析、タイムスパン簡約、プロロンゲーション簡約という4つの部分理論から構成されている。グルーピング構造解析と拍節構造解析は、楽譜を入力として与えることでその解析結果を得られ、その結果を用いてタイムスパン簡約が行われる。その後、タイムスパン簡約の解析結果を用いてプロロンゲーション簡約が行われ、これらの簡約の結果を、グルーピング構造解析と拍節構造解析へフィードバックしながら結果を収束させることで解析は完了する。

グルーピング構造解析では、連続したメロディを階層的に分割するもので、メロディを歌うときどこで息継ぎをするべきかを見つけるような解析であり、解析結果はスラー(〰)、音符と音符をつなぐ線)によるグループで示される。拍節構造解析は八分音

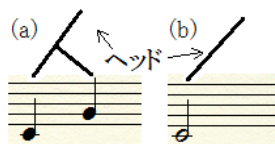


図 2 TS-木の例

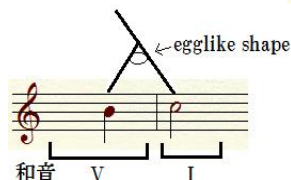


図 3 egglike shape の例

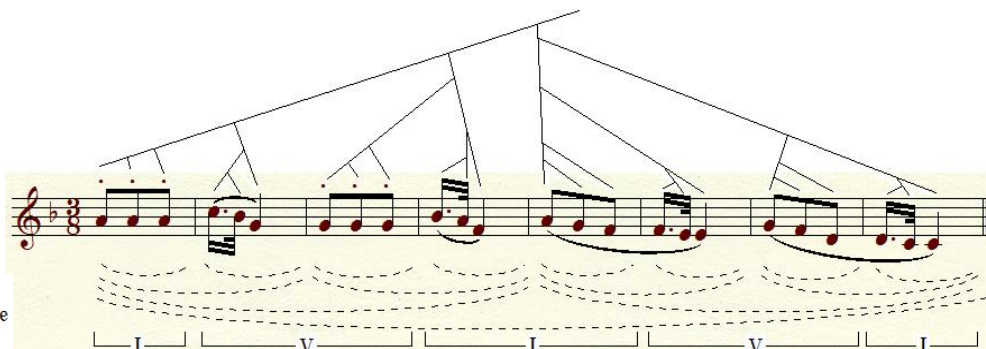


図 1 人型の TS-木の例 (女心の歌)

破線のスラーがグルーピング構造の解析結果を表し、その下の I や V のくくりが和音を表す。

符や四分音符などの各拍節レベルにおける強拍と弱拍(手拍子の頭打ちと裏打ちのようなもの)を決定するものである。この解析は、曲に合わせて手拍子を打つタイミングや、指揮者がタクトを振るようなタイミングを求めるような解析であり、解析結果は各拍節レベルにおける拍をドットで示すことにより示される。タイムスパン簡約は、メロディを重要な部分とそうでない部分に分離するもので、図 2 のように構造的に重要な音が幹となるような二分木(タイムスパン木、以下 TS-木)構造を求める解析である。幹の部分はヘッドと呼ばれ、図 2 の(b)のように、2 音を 1 つの音で代表させることが出来る。プロロンゲーション簡約は和声的に持続的な部分や変化する部分を明示し、和声間の主従関係を明示する二分木(プロロンゲーション木、以下 PR-木)構造を作る解析である。

本稿では、これらのうち TS-木を主に扱うため、これについてさらに説明を加えることにする。

TS-木はグルーピング構造と拍節構造の解析結果を用いて生成されるが、これらの結果のみによって作成された木は、カデンツの情報を含んでおらず、このままではまだ不完全であり、この木にさらにカデンツの和声の情報を付加して最終的な木が生成される。この変形は *cadential retention* と呼ばれ、その内容を要約すると次のようになる。

カデンツとなる 2 つの音は、1 つのまとまり(ユニット)として機能する。V-I のカデンツの時、I は V のヘッドとなる(V は I に従属する)。カデンツの内部分析は通常の TS-木を作る法則に反し、女性終止のとき、男性終止のとき、いずれの場合においても、V はそのあとに続く I に従属する。また、女性終止のときには、V-I をつくる 2 つの枝が 1 つのグループとして利用される。カデンツに従属するイベントの扱い方も特別な方法をとる。V, I の各和声内のヘッドではない重要でない音(装飾的な音)は、カデンツを構成するこれらの音に従属する。カデンツが 1 つのユニットとして認識できるようなやや大きなレベルでは、カデンツに従属するイベントは、カデンツの一つの要素にではなく、カデンツ全体に従属する場合がある。このような状況の場合、図 3 のようにカデンツ部の TS-木の両方の枝に *egglike shape*(卵のような形)を付加する。さらに大きなレベルで、カデンツが他のイベントに従属するような場合には、カデンツの I がそのイベントに従属する形をとる。

以上が GTTM の簡単な説明である。また、この GTTM 理論をもとに計算機上で実行可能なように理論を再構成した exGTTM がある。exGTTM では、解析をする際のルールに、適用の重要度を表すパラメータを導入し、曖昧な定義の排除を行っている。exGTTM はインターネットでアプリケーションとして公開されてお

り、それとともに、各分析の正解データのデータベースも公開されている。しかし、*cadential retention* の解析はこのデータベースにもアプリケーションにも取り入れられていない。TS-木から PR-木を生成するためには *cadential retention* の実装が必要であり、その解析は大変重要であると考えられる。そこで、本稿ではこの *cadential retention* についての考察を述べることにする。

4. カデンツ部の探索

本稿では *cadential retention* に関する考察を行うために、楽曲のカデンツ部の探索を行った。

全終止のカデンツは読点のような役割をすることから、楽曲の大きなまとまりの最後にあると考えられる。そのため、カデンツの探索は、グルーピング構造解析の結果による 8 小節以上のグルーピングの最後に対して行うこととし、全終止の基本的な和声パターンである V-I もしくは V7-I の和声に限定して探索を行うことにした。また、カデンツは曲の終止感を出すために用いるため、カデンツ部の I はリズムにおいても重要な音になると考えられる。そのため、カデンツと言えるような和声は、図 1 のような人型の木ではなく、図 4 のような入型の木になるはずである。そこで本研究では、カデンツ部と思われる部分の I がその手前の V よりも優位でない場合には、その和声のカデンツと判定しないことにした。

これらの前提の元、先に述べた正解データベースで公開されている各 xml データ(musicXML, GroupingXML, Time-spanXML, HarmonyXML)^[4]を用いてカデンツの探索を行った。

4.1 カデンツ部の探索

以下に、探索の方法を簡単に説明する。

- (1) GroupingXML と HarmonyXML より、8 小節以上の長さを持つグルーピングの最後の和声 V-I もしくは V7-I のものを探索し、その範囲の集合を取得する。
- (2) 図 1 のような例を排除するために、Time-spanXML より、(1)で得られた I 中の音で最も優位な音(木の最も上に上部にくる重要な音)が、上記の範囲の音で最も優位でない場合にはカデンツ部ではないとみなす。
- (3) Time-spanXML より、V の和音と I の和音に属している音の中で、最も優位な音をそれぞれ探索し、それらの音で I が優位になるような二分木を再構成し、Time-spanXML と同様の形式で出力する。

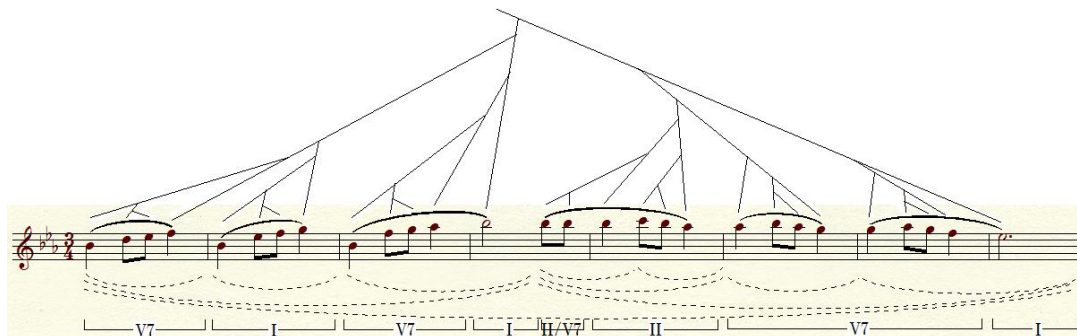


図 4 入型の TS-木の例(華麗なる大円舞曲)



図 5 探索がうまくいった例(花の歌)

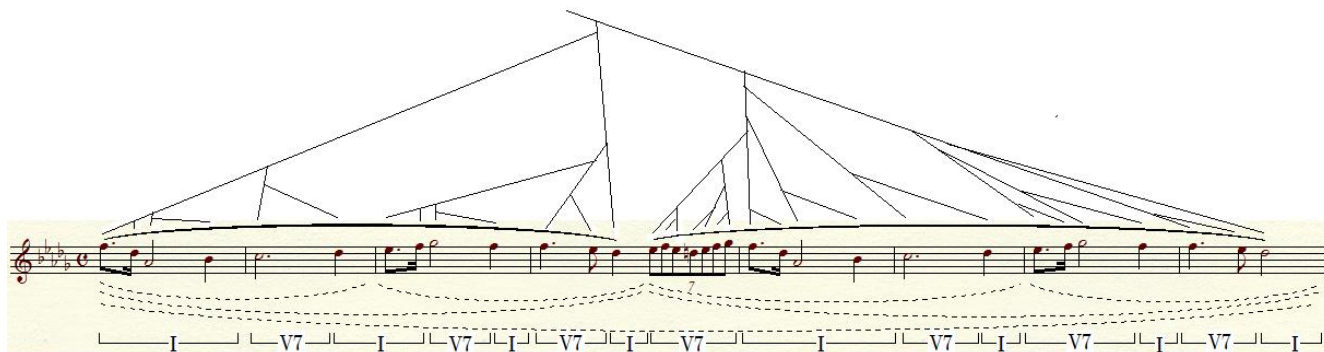


図 6 女性終止の例(雨だれ)



図 7 Vの連続の例(華麗なる大円舞曲)

(4) このときの木がカデンツ部を表す木と考える。

(3)で、和音内の最も優位な音を用いて木を構成しているが、これは、その音が和音内で最も重要であるため、他の音はその優位な音に従属しており、装飾音的な音として捉えられるという考えのもとに行ったものである。

5. 考察

4で述べた手法を用いてカデンツの探索をしたところ、利用できる100個のデータのうち、49個のデータからV-Iのカデンツ構造を持つ木を抽出することができた。また、100個のデータのうち70個のデータの探索が正しく行われたと思われる。また、V-Iのカデンツが存在するにも関わらず探索ができなかったものは7個存在した。この理由として、8小節に満たないグループにカデンツが存在したことや、女性終止を正しくカデンツと認識

できなかったこと(後述)が挙げられる。また、他にも正しく判定されなかった理由がいくつかあるため、以下にその考察を述べる。

図5は探索がうまくいった例で、グルーピング構造解析の結果を破線のスラーで、和音をその下のくくりで表し、生成された木を実際の譜面に書き写したものである。この図を見ると、Vに含まれる装飾的な音は排除され、最も重要な音であると考えられる音でカデンツ部の構成ができていることがわかる。

図6は探索ができなかった例である。曲の最後の部分にカデンツがあるが、この例ではIよりもVが優位になっているため、カデンツと判断されなかった。これは、女性終止を用いた楽曲で起きる現象であり、女性終止を持つ曲ではegglike shapeを付ける際に通常のTS-木とは異なる方法を取る必要があることは、GTTMにも記されている。しかし、その内容は具体的ではなく、カデンツ部の判断は人間の感覚に委ねられている。

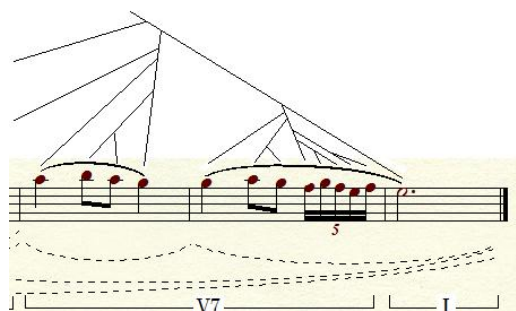


図 8 装飾音のあるカデンツの例(華麗なる大円舞曲)

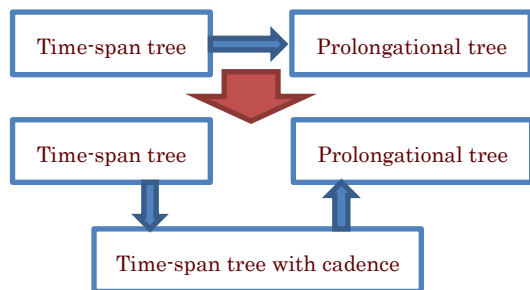


図 9 新しい木の構想

図 7 は、探索の結果生成された枝が間違えている例である。この例では、V で一番重要な音として取り出した音が、カデンツ部における重要な音になっていない。本来ならば、ここでは破線で示した音を取るのが妥当であると考えられる。しかし、この例では、カデンツ部の前に同じ和音(V)が連続しているために、どこからカデンツなのかの判断ができずこのような結果となった。つまり、V-I の和音が存在する場合にも、V の和音が長く続いたあとにカデンツを作る際には、カデンツの和音とその手前の同種の和音を分離する必要があることがわかる。この解決方法として、I のすぐ近くにある V の音を取るという方法が考えられる。この例では、もともとの TS-木は図 4 のようになるため、この方法が有効なように思える。しかし、もしこの音に図 8 で示すような装飾音が付いた場合には、この方法ではうまくいかないことがわかる。これらのことから、カデンツとしてみなせる和音の長さほどの程度なのか疑問となる。もし V の和音が長く続いたあとに、そのままカデンツ(V-I)を作って終わる場合、どの部分を *cadential retention* と判断すべきなのか、この詳細な議論は GTTM ではなされていない。

6. 今後の展望

GTTM では、リズムの情報を用いて生成した木(TS-木が完成する手前の *cadential retention* を行っていない木)に和声の情報を付加している。しかし、和声の情報を表す木は本来 PR-木であるはずである。そこで我々は、図 9 のように、今回用いた木である exGTTM で作成された不完全な木を TS-木であるとし、今までの TS-木を PR-木との中間物となる木 *time-span tree with cadence* として設ける方が自然であると考えた。この木はリズムの情報を表す TS-木から、和声の情報を表す PR-木を生成するための中間物としての木となる。また、GTTM における *cadential retention* に関する記述は、3 でも述べたように曖昧なものである。

そこで今後は、この *Time-span tree with cadence* が、解釈の違いを除いて、計算論的に可能な限り一意に決まるように *cadential retention* についての理論自体を再構成することを目指す。具体的な手法としては、グルーピング構造解析を用いて、I を含む小さなグループ内に V が存在する場合には I と同じグ

ループのみを、V が存在しない場合には隣接するグループのみを対象に、カデンツとしての V を割り当てる方法や、バス声部の情報を用いてカデンツを判断する方法が考えられる。GTTM ではバス声部の情報はあまり用いていないが、音楽を構成する要素のひとつである対位法の立場からみても、バス声部の情報を、部分的にでも用いることは妥当であると考えられる⁵⁾。そのため、今後はこのような方針による中間木の作成を目指す。

7. まとめ

本稿では、GTTM を計算機上に実装するために理論を再構成した exGTTM でまだ実装されていない *cadential retention* の実装のために、exGTTM をもとに、楽曲の終止感を作るカデンツ部の探索を行い、*cadential retention* についての考察を行った。

具体的には、まず、カデンツと GTTM について述べた上で、*cadential retention* について述べ、その考察を行うためにカデンツ部の探索を行った。カデンツ部の探索は、グルーピング構造解析の結果による 8 小節以上のグルーピングの最後を探索することとし、全終止の基本的な和声パターンである V-I もしくは V7-I の和音を探索した。またその際、カデンツ部と思われる部分の I がその手前の V よりも優位でない場合には、その和声をカデンツと判定しないことにした。

この手法を用いてカデンツの探索をしたところ、利用できる 100 個のデータのうち、49 個のデータから V-I のカデンツ構造を持つ木を抽出することができ、100 個のデータのうち 70 個のデータの探索を正しく行うことができたと思われる。しかし、8 小節に満たないグループにカデンツが存在したことや、女性終止を正しくカデンツと認識できなかったこと、カデンツ部の前にカデンツ部と同じ和音(V)が連続しているために、どこからカデンツなのかの判断ができなかったことなどが原因で、正しいカデンツ部の探索ができなかったデータも存在した。

GTTM では、リズムの情報を用いて生成した木に和声の情報を付加しているが、和声の情報を表す木は本来 PR-木であるはずである。この理由から、我々は exGTTM で作成された不完全な木を TS-木であるとし、今までの TS-木を PR-木との中間物となる木 *Time-span tree with cadence* として設けることを提案した。また、GTTM における *cadential retention* に関する記述は曖昧なものであるため、今後はこの *Time-span tree with cadence* が、解釈の違いを除いて、計算論的に可能な限り一意に決まるように *cadential retention* についての理論自体を再構成することを目指すことにする。

参考文献

- 1) Fred Lerdahl, Jackendoff Ray: "A Generative Theory of Tonal Music", The Massachusetts Institute of Technology, 1983.
- 2) 浜中雅俊, 平田圭二, 東条敏: "ATTA: exGTTM に基づく自動タイムスパン木獲得システム", 情報処理学会 音楽情報科学研究会 研究報告 2005-MUS-61-4, Vol. 2005, No. 82, pp. 19-26, August 2005.
- 3) 島岡 譲: "和声 理論と実習 第 I 巻", 音楽之友社, 1964.
- 4) 浜中雅俊, 平田圭二, 東条敏: "GTTM に基づく楽曲構造分析の実装: グルーピング構造と拍節構造の獲得", 情報処理学会 音楽情報科学研究会 研究報告 2004-MUS-56-1, Vol. 2004, No. 84, pp. 1-8, August 2004.
- 5) アルノルト・シューンベルク: "作曲の基礎技法", 音楽之友社, 1967