

GTTM におけるカデンツ発見アルゴリズム

On Cadential Retention in GTTM

松原 正樹^{*1}
Masaki Matsubara

東条 敏^{*2}
Satoshi Tojo

小玉 昂史^{*2}
Takafumi Kodama

^{*1} 筑波大学
University of Tsukuba

^{*2} 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advanced Institute of Science and Technology

In GTTM, “Cadential Retention” grants the egg symbol to combine into one cadence (V-I). However, specific criteria for the cadential retention is ambiguous. In this paper, we propose a harmonic theory that the chord symbol has been limited on the basis of the musical scale, and formulate a cadence finding algorithm by adapting to the TPS theory. As a result, the candidate of the chord having a function of V is increased, it has facilitated cadence discovery. In addition, it can determine local cadence and the half cadence.

1. はじめに

西洋調性音楽においてカデンツとは「和声(やメロディ, リズム)の配置により解決感(終止や停止)を形成するもの」[Randel 1999]である。カデンツを発見することは楽曲の構造を把握するのに重要な要素の一つである。

音楽理論 GTTM (Generative Theory of Tonal Music) [Lerdahl 1983]は調性音楽における聴取者の認知的様相を形式的に記述するための理論である。シェンカー理論に影響を受けた階層的な構造分析が特徴で, あるフレーズを本質的な部分と装飾的な部分とに階層的に簡約化することで, ボトムアップにタイムスパン木と呼ばれる木構造を獲得する手順(以下タイムスパン簡約)が定義されている。

図 1(a)はモーツァルト作曲ピアノソナタ 11 番イ長調 K.331 の 1 楽章冒頭 8 小節フレーズである。8 小節フレーズは 2 つの 4 小節楽節からなり, 前半の 4 小節では半終止(和音記号で言うと I-V), 後半の 4 小節では完全終止(V-I)のカデンツとなっている。仮にタイムスパン簡約において局所的なルールである拍節構造や和声のルール (TSRPR1: 強拍の音符を選ぶ, TSRPR6: 安定した和声進行を選ぶ) だけを適用すると図 1(b)のような 1, 4, 5, 8 小節目の主和音ばかりが優先された誤った簡約結果になる。GTTM ではカデンツを考慮するルール (TSRPR7: Cadential Retention) によって和音進行がより自然に聞こえる簡約結果を生成できる。この時 V-I に代表される完全終止を egg と呼ばれる楕円形によって表す。

しかし, Cadential Retention において以下の 2 点の問題があった。

第一に対象となるカデンツをどのように発見するのか述べられていない。GTTM の後続の理論である TPS (Tonal Pitch Space) [Lerdahl 2001]を用いた和声解析手法も提案されているが[坂本 2009], TPS において basic space 作成にかかる音階が一定していなく, またドミナントの機能によって置き換えられたカデンツを発見することが難しいという問題があった。この問題を解決すべく, 第 3 著者である小玉らにより, TPS で用いる音階を限定し, 和声解析手法が提案された [小玉 2015]。

そして第二に egg を含むカデンツの構造レベル(=枝の接合

図 1 (a)モーツァルト K.331 ピアノソナタ 11 番イ長調 第 1 楽章冒頭の和声解析 (b)カデンツを考慮しない簡約結果 (c)カデンツを考慮したタイムスパン木の一部分 ([Lerdahl 1983, p135,141]図 6.14, 6.22 より抜粋)

点の高さ)が曖昧である。図 1 の完全終止のドミナントは 8 分音符の音価であるが, トップから 2 番目に高い構造レベルとなっている。これに対しては, カデンツを含む枝が持つ音符の長さ (Maximal Time-span) に依存するのではないかというアイデアが提案された[松原 2015]。

本論文では, まず(1)TPS で用いる音階を再考した和声解析を提案する。(2)それにより V の機能を持つ和音の候補が広がり, カデンツ発見が容易になる。(3)そしてカデンツの発見および Cadential Retention を行うべき箇所を特定するアルゴリズムを提案し, タイムスパン木を作成することを目的とする。提案手法に従来曖昧な基準で付与していた egg やカデンツの構造レベルを明らかにすることをねらう。

連絡先: 松原正樹, 筑波大学図書館情報メディア系, 知的コミュニティ基盤研究センター, 茨城県つくば市春日 1-2, masaki@slis.tsukuba.ac.jp

2. 和声理論の再考

和音の連結方法には和声法と呼ばれる自然言語の文法の様な規則があり、カデンツは2つ以上の和音の連結によって決定される。古くはザルリーノが様々な和音の類別をし、ラモーが転回形も含めた和音を用いてカデンツを定義し、そしてリーマンが

長音階

C Dm Em F G Am Bm-5
I ii iii IV V vi V₇ /C

長音階

CM7 Dm7 Em7 FM7 G7 Am7 Bm7-5
I₇ ii₇ iii₇ IV₇ V₇ vi₇ V₉ /C

TPS ではどの音階を用いて音程間の距離を計算するか曖昧であったが、2.1 節で提案した音階の選択に合わせて、本論文では以下の改良を加えた。

- Basic space の音階を長音階と和声的短音階上に限定し、音階上のピッチクラスを diatonic level とする

和声的短音階

Am Bm-5 C^{aug} Dm E F G#m-5
i V₉ V iv V VI V₇ /a

和声的短音階

AmM7 Bm7-5 CM7+5 Dm7 E7 FM7 G#dim
i₇ V₁₁ V iv₇ V₇ VI₇ V₉ /a

図 2 長音階と和声的短音階における和音およびバークリーメソッドのコード表記と和音記号 (上段)三和音, (下段)四和音 ([小玉 2015]より転載)

和音を3つの機能に分類してカデンツを記述することで、和声法を進化させていった。カデンツは完全終止、偽終止、半終止、プラガル終止など、長調短調、転回形も含めると多岐に渡る。

GTTM においてカデンツの発見手法が曖昧な理由の一つは基本形である V-I のみしか例示がなく、どの和声進行を対象とするか明記していないからである。そこで本論文ではドミナントの機能を持つ和声進行を全て V-I で解釈できるように短調の和音を和声的短音階に限定し工夫を行う。

2.1 ドミナントの機能を持つ和音の解釈

図2は長音階と和声的短音階の上に三和音および四和音を黒玉で並べたものである。白玉の音符は和声学の解釈に当てはまるように付加されたもの、また和声外音であると解釈されるものは×で示した。そして各和音の下にバークリーメソッドでのコードネームと本論文における和音記号の解釈を記している。例えば長音階の第7番目の和音は通常 vii^oの減三和音だが、これは白玉で表されている第5音の根音が省略された和音(V⁹)と捉えることができる。同様に短音階における2番目の和音 ii は V⁹, 3番目の和音 iii は b iii+と解釈して V と捉えることができる。このような解釈の方法や各和音に機能を担当させていくという考え方はリーマンやシェーンベルグらによって確立されたものである。

和声的短音階に限定することで、バークリーメソッドのコードネーム上で全ての基本的なコード(M, m, m-5, aug, M7+5, M7, 7th, mM7, m7, m7-5, dim)を考慮することができる(ただし sus4 と 7sus4 やテンションコードは除く)。そのため市販のコード付きメロディ譜に記載されているコードネームを和音記号に変換して和声解析を行うことが可能となる。

2.2 TPS の再構築

TPS は認知的様相を反映させた和声解析を目指した音楽理論であり、和音間距離を定量的に計算する手法を定式化したものである[Lerdahl 2001]。GTTM とは独立な理論であるが、GTTM を補完する役割を持つ。この理論では音程間、和音間、調間に定量的な距離を定め、距離の和が近いほど安定した進行、遠いほど不自然な進行とされる。

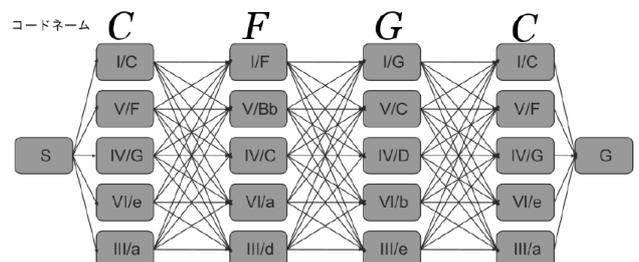
Level a (root)		4											
Level b (fifth)			4										11
Level c (triadic)				2	4	5	7	8					11
Level d (diatonic)	0	2	4	5	7	8	9						11
Level e (chromatic)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
		C	D	E	F	G	A	H					

図3 a-moll の vii^oの和音(V⁹の根音省略形として解釈する)の basic space (赤字は提案手法による追加された部分)

- ドミナントの機能を持つ和音を V として解釈した際に付加した音は存在するものとして、削除した音は存在しないものとして basic space を作成する
- 根音省略形の形であっても和音の五度圏の使用の際には、その根音が存在するものとして計算を行う
- 7th, 9th, 11th のピッチクラスを triadic とする

図3は a-moll の vii^oの和音の basic space を表したものである。V⁹として解釈するため、E が根音となる。図3の赤字は提案手法による変更された部分で G の代わりに和声的短音階上の G#, および 7th, 9th の D, F が triadic level として扱われていることが分かる。

再構築した TPS を用いて坂本らの手法[坂本 2009]を用いた和声解析を行う。和声解析は図4のようにコードネーム列(C, F, G, C)を入力として、コードから解釈可能な和音記号を列挙し(例えばCコードは V/F, I/C, IV/G, V/f, VI/e の5種類)、各和音記号をノードとしたときに TPS の最短距離をとるような経路探索を行うものである。



- 2 - 図4 TPS を用いた和声解析手法 ([坂本 2009]より転載)

3. GTTM におけるカデンツの発見

2 章で提案した和声解析手法によりドミナントモーションを含む和声進行の候補が増加した。本章では GTTM のタイムスパン簡約におけるカデンツの発見手法について述べる。

3.1 タイムスパン簡約におけるカデンツに関する規則

GTTM のタイムスパン簡約では Cadential Retention によってカデンツ進行を行う二つの枝とそれに従属する枝を egg の記号によってまとめる。以下にルールを示す。

TSRWFR3-d (Cadential Retention)

最後の音 e_n (ヘッドは T に直接含まれる最後のタイムスパン T_n) と、 T_n を直接先導する最後から二つ目のタイムスパンのヘッドが存在する場合 T のヘッドはカデンツとなる。 T と T_n は同じレベルでなくてよい。

TSRWFR4

二つの要素からなるカデンツがタイムスパン T のヘッド e に直接従属する場合、最後の音は e に直接従属し、最後から 2 番目の音は最後の音に直接従属する。

TSRPR7 (Cadential Retention)

次の状態がタイムスパン T にあるならば、カデンツにラベル付けをし、ヘッドとして選択することを強く優先する。

- (1) 完全終止、半終止、偽終止の進行が形づくられる一つまたは二つの連続するイベント(e_1) e_2 が存在する。
- (2) この進行の最後の要素が T の終わりに存在するか T の最後に延長されている。
- (3) その進行が構造の終わりとして機能するための T を含むより大きなグループ G が存在する。

3.2 Cadential Retention の改良

GTTM では完全終止と偽終止に二つのイベントからなるドミナントモーションを egg の記号によってまとめているが、半終止については単音のみの適用になっている。しかし、半終止 V/V-V/I (V/V は 4 度上の調、同主調を許容) のドミナントモーションが簡約時に V/I のみの和音として現れるなど、不自然に聞こえてしまう。通常のと声理論では V/V が V を導く役割を持つため、本論文では簡約結果の自然さを考慮し、ドミナントモーションを保持するよう Cadential Retention の改良を行う。

半終止では完全終止の Cadential Retention と同様に連続する二つのイベント e_1 , e_2 を楕円に縦棒 (half-egg) の記号でくくり、 e_2 をヘッドとする。また従属する音がない和声進行 (上位レベルにおいても終止と判断されるべきイベントや、部分転調による局所敵な V-I など) においては egg 記号の代わりとして e_1 , e_2 間に角度記号を記し、同様に e_2 をヘッドとする。

以上の表現によって簡約の際にドミナントモーションを高いレベルで残すことができ、木の安定性を改善することができる。

3.3 カデンツ発見のアルゴリズム

改良した Cadential Retention を用いたカデンツ発見の適用アルゴリズムを以下に示す。

1. 提案手法により和声解析された中から V-I および V-VI, V/V-V/I となる 2 つの連続するイベント e_1 , e_2 を探索しそれらのイベントを含む最下位グループを A とする。この際、同じレベルにあるグループによって e_1 , e_2 が分断されている場合にも、この二つのグループを合わせて A とみなす。

2. 手順 1 で A と e_2 の終端が一致しない場合は適用しない。
3. A を含む上位グループ B の終端と A の終端が一致しない場合は適用しない。
4. A の e_1 のヘッドと e_2 のヘッドを対応する記号 (egg, 角度記号, half-egg) で接着し、B ではひとつのイベントとして扱う。
5. A を B に置き換え手順 1~5 を行い、これを繰り返す。
6. 2 ループ目以降で、手順 3 の際に適用されなかった A については、 e_2 のみをそのグループのヘッドとして扱う。

3.4 木の安定性

既存のルールではカデンツの和声進行をどの構造レベル (= 枝の接合点の高さ) として捉えれば良いかわからなかった。Tojo らによって導入された Maximal Time-span [Tojo 2013] を用いて次のように枝の接合点の高さを定義する。

カデンツを含む木の構造レベル

- カデンツを含む木の Maximal Time-span は egg, 角度記号, half-egg で接合されているイベントや従属するイベントも含めて Maximal Time-span を計算する。
- Maximal Time-span が 2^n 拍 $\leq L_n < 2^{n+1}$ 拍となる構造レベル L_n を決定する

4. 提案手法を用いたタイムスパン簡約

モーツァルト作曲 交響曲第 40 番短調 K.550 1 楽章冒頭 66 小節間をコード付きメロディ譜にした楽曲 [松山 2001, p.256] をもとに提案手法によるカデンツの発見およびタイムスパン木の作成を行った。なお拍節構造解析とグルーピング構造解析は Hamanaka らの GTTM データベース [Hamanaka 2014] の解析結果を参考に作成した。

4.1 タイムスパン木の作成

(1) 完全終止

図 5 は冒頭 9 小節におけるアルゴリズム適用結果である。各レベルにおけるグルーピングの青色が V の和音、赤色が I の和音を示している。和声解析結果とグルーピング構造解析結果をもとに、長さ 4 拍のレベルでのグルーピングで、8~9 小節目に存在するグループ A (音列: D C B B Rest) が、その上位 (8 拍レベル) グループ B (音列: A G Fis Fis Es D D C B B Rest) での終止部になっている。

また、図 5 上部は改良した Cadential Retention を適用してタイムスパン木を生成している。16 拍レベルの簡約を行う際、後半の 4 小節をカデンツとして扱うが、従来の GTTM ではカデンツ部分が前半 4 小節に従属するため、後の音 (I の和音) しか残すことができなかった。提案手法によりドミナントモーションを保持する角度記号をつけることで終止部の両方の音が前半 4 小節に従属していることを明示するようにした。

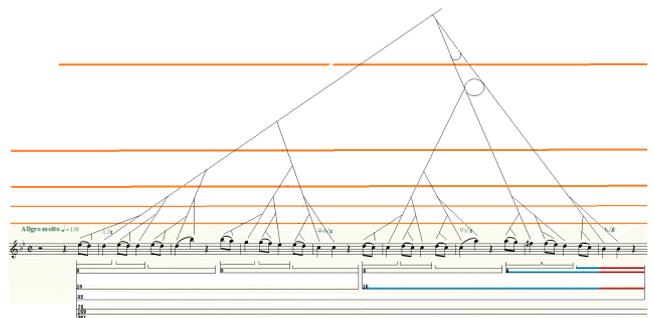


図 5 完全終止の分析例 (冒頭 9 小節) (青:V, 赤:I)

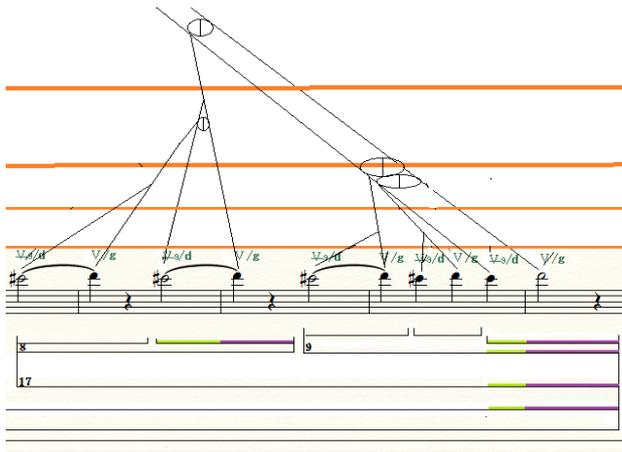


図 6 半終止の分析例(16~19 小節)(紫:V/V, 黄緑:V/I)

(2) 半終止

GTTM では半終止に対する Cadential Retention の操作は V のみに行っていたが、半終止をする際は V/V-V/I の形をとるため完全終止と同様に half-egg 記号によって枝をまとめることとした。これにより、タイムスパン簡約の際に重要な部分となる半終止を「半終止に聴こえるように」残すことができる。また、8 拍のレベル(ここでは一番初めのグループ Cis D Cis D)では、アルゴリズムの手順 6 より、カデンツとしては認められなくなり、このグループの終止部だった部分は I のみをヘッドとして扱う。

4.2 タイムスパン簡約結果

図 7 に対象楽曲に対する 2 分音符レベルのタイムスパン簡約の結果を示す。また図 8 に手法別による冒頭 17 小節の四小節レベルでの簡約結果を示す。上段が従来の GTTM, 中段が局所的な終止の拡張を行ったもの、下段が提案手法(中段に加えて半終止のカデンツを保持したものである)である。

従来の GTTM ではドミナントモーションが簡約されてしまったために、i/g が連続し、楽曲の構造や半終止の部分が分かりづらくなっている。提案手法では半終止が半終止に聴こえるようになり原曲を感じさせるリダクション結果となっている。

5. まとめ

本論文では音階に基づいて和音記号が制限された和声理論を提案し、TPS 理論に適用することでカデンツ発見アルゴリズムを定式化した。その結果、V の機能を持つ和音の候補が広がり、カデンツ発見が容易になった。さらに、局所的な終止部や半終止などの判別が可能になった。

本論文では TPS の改良の際に 7th や 9th のピッチクラスを triadic に加えたが、層を増やす事も検討したい。また、本論文で提示したカデンツを含む和声解析情報は GTTM の延長簡約の際に重要になるため、タイムスパン木と延長木の中のような表現力があると考えられる。

謝辞:本研究の一部は JSPS 科研費 26280089 の助成を受けた。

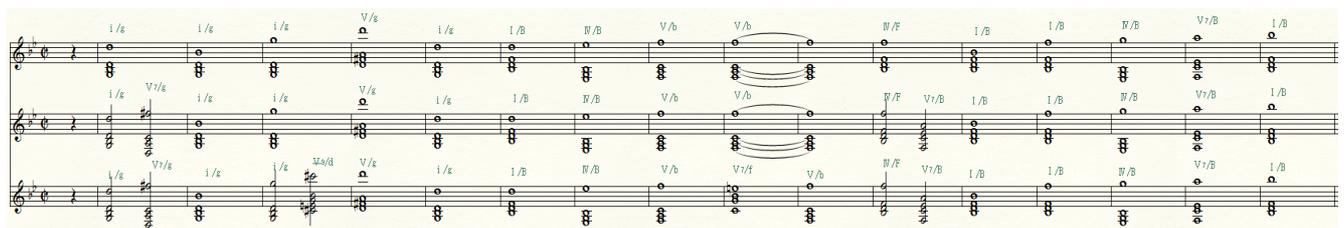


図 8 手法別による冒頭 17 小節の全音符レベルでの簡約結果(上段:従来 GTTM, 中段:局所的終止の考慮, 下段:提案手法)



図 7 モーツァルト 交響曲第 40 番ト短調 K.550 第 1 楽章 冒頭 66 小節の 2 分音符レベルでのタイムスパン簡約結果

参考文献

- [Randel 1999] Randel, D. M.: *The Harvard Concise Dictionary of Music and Musicians*, Harvard University Press, pp. 105-106, 1999.
- [Lerdahl 1983] Lerdahl, F. and Jackendoff, R.: *A Generative Theory of Tonal Music*, MIT Press, 1983
- [Lerdahl 2001] Lerdahl, F.: *Tonal Pitch Space*, Oxford University Press, 2001.
- [坂本 2009] 坂本鐘期, 東条敏: Tonal Pitch Space を用いた楽曲の和声解析, 情報処理学会研究報告, Vol.2009-MUS-80 No.9, May 2009.
- [小玉 2015] 小玉昂史, 東条敏: モード依存の Tonal Pitch Space, 第 29 回人工知能学会全国大会, 2C5-OS-21b-2, 2015.
- [松原 2015] 松原正樹, 東条敏, 平田圭二: GTTM タイムスパン木における構造レベルの導入と代数表現, 第 29 回人工知能学会全国大会, 2C5-OS-21b-4, 2015.
- [Tojo 2013] Tojo, S. and Hirata, K.: Distance and Similarity of Time-span Trees. *Journal of Information Processing*, Vol. 21, No. 2, pp. 256-263, 2013.
- [松山 2001] 松山祐士, 『プロフェッショナル・ユースコード付クラシック・メロディ・ファイル』, 東京, 株式会社ドレミ楽譜出版社, 2001.
- [Hamanaka 2014] Hamanaka, M., Hirata, K., Tojo, S.: Musical Structural Analysis Database based on GTTM, ISMIR 2014, pp. 325-330, 2014.