

Title	GTTMによる楽曲の木構造生成に関する研究
Author(s)	岡, 良典
Citation	
Issue Date	2005-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/1930">http://hdl.handle.net/10119/1930</a>
Rights	
Description	Supervisor:東条 敏, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

# GTTMによる楽曲の木構造生成に関する研究

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

岡 良典

2005年3月

修士論文

# GTTMによる楽曲の木構造生成に関する研究

指導教官 東条敏 教授

審査委員主査 東条敏 教授  
審査委員 烏澤健太郎 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

310021 岡 良典

提出年月: 2005 年 2 月

## 概要

本稿では、楽曲解析手法の一つである Generative Theory of Tonal Music ( GTTM ) を計算機上で実装するために、HPSG と拡張和声機能を用いた楽曲解析手法の提案と、グルーピング構造自動取得について述べる。

楽曲を計算機上で扱うためには楽曲の構造を解析することが有効である。GTTM はタイムスパン木と延長的還元木と呼ばれる二つの楽曲の木構造を求めるために、四つのサブ理論から構成された楽曲解析手法である。タイムスパン木は楽曲のフレーズとリズムの観点から、楽曲の重要な音を階層的に表現したものであり、延長的還元木は楽曲の緊張と弛緩を階層的にあらわしたものである。それぞれの木を得るための四つのサブ理論は、それぞれにルールが存在しているが、そのルールが曖昧なことや競合が起ることから、計算機上への実装が困難とされている。

本稿では、まず楽曲の延長的還元木を得る前段階として楽曲の和声解析を実現する。和声解析には HPSG ( 主辞駆動句構造文法 ) を用いる。これは、楽曲と文章との相似関係から楽曲解析に自然言語処理技術が応用できるからである。まず、和声学に基づく辞書による楽曲解析により、カデンツの約 90 % を認識することが可能になった。また同時に、和声学の知識では楽曲のすべてを解析できないことを示した。この問題を解決するために GTTM に基づく緊張弛緩構造から拡張和声機能を用いて、新しい辞書を作成した。これにより和声学の知識では獲得できない和音の進行を認識できるが楽曲全体を解析するためにはタイムスパン木の情報が必要となる。

そこで、次にタイムスパン木の自動獲得に向けた前段階として、グルーピング構造の自動取得に関する研究を行った。グルーピング獲得システムには、ルールの優先度をパラメータにより決定できるシステムを用いる。これはグルーピング構造取得のためのルールに優先度をもうけるパラメータを導入したものであるが、パラメータの調整が人手によるため、自動化が求められていた。そこで本稿では GA を用いたパラメータ調整の自動化を試みる。これはパラメータが相互に関係しているため、同時にすべてのパラメータの値を探索する必要があるためである。また比較実験としてランダム探索と山登り法を行った。

8 小説の楽曲 100 曲に対して実験を行った結果 GA が明らかに良い結果を示すことがわかった。このことから、パラメータ探索には GA が有効であることを示した。

# 目次

第1章	研究背景	1
第2章	楽曲解析に関する基礎知識	3
2.1	和声学	3
2.1.1	基礎知識	3
2.1.2	和音	6
2.1.3	カデンツ	8
2.2	GTTM	9
2.2.1	GTTM 概要	9
2.2.2	GTTM に基づくグルーピング構造解析	10
2.2.3	緊張弛緩構造	12
第3章	拡張和声機能による楽曲構造解析	14
3.1	先行研究	14
3.2	HPSG に基づくカデンツ解析システム	15
3.2.1	HPSG	15
3.2.2	カデンツ解析用 HPSG Parser	19
3.2.3	楽曲認識部	24
3.2.4	カデンツ認識部	25
3.3	和声学に基づく解析	27
3.3.1	和声学によるカデンツ解析の限界	27
3.4	拡張和声機能による和声解析	29
3.4.1	拡張和声機能	29
3.4.2	HPSG による拡張和声機能の実装	29
3.5	実験と考察	31
第4章	グルーピング構造の自動的獲得	34
4.1	グルーピングシステム概要	34
4.2	提案手法	40
4.2.1	遺伝的アルゴリズム概要	40
4.2.2	単峰性正規分布交叉	41

4.2.3 GAを用いたパラメータ制御 . . . . .	43
4.3 実験結果と考察 . . . . .	44
<b>第5章  まとめ</b>	<b>49</b>
<b>付録A 楽曲別各探索手法のF値</b>	<b>53</b>

# 第1章 研究背景

今日，計算機上で音楽を扱う研究は多く行われている．これらは，自動作曲や編曲，検索システム，音楽知識の習得支援など多岐にわたって応用が見込まれている．

音楽を計算機上で扱うには次の2つが考えられる．1つは音響的なアプローチであり，1つは楽譜解析的なアプローチである．前者は，主に音そのものを対象にした研究であり，音響データからの楽曲の採譜やサビの抽出，また鼻唄による作曲や検索などの研究が行われている．後者は，主に楽譜データを入力とし，楽曲のリズム解析，和声解析など楽曲の構造解析が行われている．

本研究では楽曲解析手法の1つである Generative Theory of Tonal Music ( GTTM ) [1] を対象とした研究を行う．GTTM は4つのサブ理論から構成されており，結果としてタイムスパン木と延長的還元木を得ることができる．タイムスパン木は楽曲の構成要素の重要度を階層関係で表しており，音楽要約を実現できる．また延長的還元木は，聴衆に心理的な影響を与える緊張と弛緩という2つの要素から木を作成している．しかしながら GTTM のルールには曖昧な部分が多く計算機上での実現が出来ていない問題点がある．

また，楽曲の木構造を得る研究には，自然言語処理技術を応用したものがある．そのなかで西田ら [14] は，HPSG による和声解析の実装に取り組んでいる．これは，楽曲と文章との類似性に着目し，カデンツを文（節），和音を単語とすることで，自然言語処理技術が和声解析に有効であることを示している．HPSG は，豊富な情報をもつ辞書と，少ない構文規則により解析が可能な技術であり，容易に仕様を変更できる．西田らは，この研究において，HPSG が和声進行解析のみならず，調性認識，和音認識にもある一定の成果を出すことを示している．しかし，実験に用いられた和声学に基づく和音の辞書では情報が不足していることで，和声学にのっとったカデンツ解析ではないという問題点がある．

そこで，まず和声学の規則を満たした辞書を作成し，和声学を順守したカデンツ解析を行う．また同時に和声学の知識のみでは楽曲全体の木構造を得ることができないことを示す．なぜなら，和声学は作曲のためのルールであり，必ずこれを守る必要があるわけではないため，多くの楽曲には和声学だけでは捕らえられない和音進行が存在するためである．

この問題に対処するために GTTM による緊張弛緩構造解析の結果得られる新しい和音の機能（function）を導入する．この機能は，和声学で定義される機能を緊張弛緩の視点から拡張したものであり，和声学で定義される和音進行の禁則が排除できる．そこで，拡張された和音の機能を用いて新たな辞書や構文規則を定義することで，緊張弛緩構造解析から得られる延長的還元木が HPSG によって獲得可能かどうかの検証を行う．

また，延長的還元木を得るためにはタイムスパン木の情報が不可欠であり，タイムスパン木の自動獲得を計算機上で実装する必要がある．そのためには，タイムスパン木をつくる要素である，グルーピング構造解析と拍節構造解析を実装する必要がある．

本研究ではグルーピング構造解析の自動取得について試みる．自動取得には浜中ら [4] のシステムを用いる．GTTM に基づくグルーピング構造解析にはいくつかのルールが決められており，そのルールの定義が曖昧なことや，ルールの優先順位が決まっていないためルールの競合といった問題がある．浜中らはグルーピング構造を得るための各ルールの優先度を定めるパラメータを実装することで，グルーピング構造が精度良く得られることを示している．しかし，このシステムではパラメータが人手による探索となっており，その自動化が求められていた．

そこで本研究ではパラメータの最適値を自動的に獲得するために，遺伝的アルゴリズム (GA) を用いた探索を実行する．GA には，実数値 GA として良い成果を残している単峰性正規分布交叉 (UNDX) を用いる．また，比較対象としてランダム探索と山登り法も実行する．

本稿は次のように構成されている．まず 2 章では，本研究を理解する上で必要な基礎知識を述べる．3 章では HPSG に基づく楽曲解析手法をのべる．まず和声学に基づく知識での限界を示し，次に緊張弛緩構造解析にむけた検証を行う．4 章では，GA によるグルーピング構造獲得システムの自動化について述べる．最後にまとめと今後の方針について述べる．



## 第2章 楽曲解析に関する基礎知識

この章では本稿を理解するのに必要な和声学と楽曲解析手法の一つである GTTM を紹介する。

### 2.1 和声学

和声学とは、各種の和音の性質の理解とそれらの連結を対象とする音楽理論である [7]。ここでは、まず音楽の基礎知識 [8] を説明し、和声学に基づく様々な知識を説明する<sup>1</sup>。

#### 2.1.1 基礎知識

##### 音名

音名とは、音の高さを表す固有の名称である。国ごとでその表記は様々であるが、ここではイタリア語と英語の表記、またその名称に対応する鍵盤の位置、五線譜での位置を図 2.1 に示す。

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
イタリア語	ド	ド <sup>#</sup> レ <sup>b</sup>	レ	レ <sup>#</sup> ミ <sup>b</sup>	ミ	ファ	ファ <sup>#</sup> ソ <sup>b</sup>	ソ	ソ <sup>#</sup> ラ <sup>b</sup>	ラ	ラ <sup>#</sup> シ <sup>b</sup>	シ	ド
英語	C	C <sup>#</sup> D <sup>b</sup>	D	D <sup>#</sup> E <sup>b</sup>	E	F	F <sup>#</sup> G <sup>b</sup>	G	G <sup>#</sup> A <sup>b</sup>	A	A <sup>#</sup> B <sup>b</sup>	B	C

ド レ ミ ファ ソ ラ シ ド

図 2.1: 音名，鍵盤，五線譜の対応

<sup>1</sup>本稿では和声学の知識として「和声 理論と実習 I, II, III」[6]を用いる。

## 音程と音度

音程とは、2つの音の高さの隔たりをいう。また、図 2.1 の鍵盤において、鍵盤 1 と鍵盤 3 の音程の差を全音、鍵盤 1 と鍵盤 2 の音程の差は半音という。つまり全音 = 半音 × 2 の関係が成り立つ。音程の単位を「度」という。



図 2.2: 音度

音度は図 2.2 に示すように、同一の音の場合を 1 度とし、五線譜の線と間をいくつ離れるかによって、2 度、3 度と増えていく。また 8 度離れると 1 度と同じ音名で音程の違う音に到達するが、これをオクターブとも呼ぶ。さらに 9 度、10 度と続いていく。その際、音程に含まれる半音の数によって長、短、完全、減の 4 種類が存在する。その対応を図 2.3 に示す。

完全 1 度	=	半音 × 0	減 5 度	=	半音 × 6
短 2 度	=	半音 × 1	完全 5 度	=	半音 × 7
長 2 度	=	半音 × 2	短 6 度	=	半音 × 8
短 3 度	=	半音 × 3	長 6 度	=	半音 × 9
長 3 度	=	半音 × 4	短 7 度	=	半音 × 10
完全 4 度	=	半音 × 5	長 7 度	=	半音 × 11
増 4 度	=	半音 × 6	完全 8 度	=	半音 × 12

図 2.3: 音度の種類

## 調

楽曲には、旋律や和音のもとになる「音階」がある。音階は、ある定められた音を「主音（しゅおん）」として、そこから一定の規則によって順番に 1 オクターブ高い主音までの音を集めたものである。音階には大きく分けて「長音階」と「短音階」の 2 種類が存在する。長音階は主音から“全音 → 全音 → 半音 → 全音 → 全音 → 全音 → 半音”の規則で集められた音の集合であり、短音階は主音から“全音 → 半音 → 全音 → 全音 → 半音 → 全音 → 全音”の規則で集められたものである。そして長音階のものが「長調」、短音階のものが「短調」となる。例えば図 2.4 に示すように、長音階で主音が C（ド）のとき

を八長調 (C major scale), 短音階で主音が A (ラ) のときをイ短調 (A minor scale) という<sup>2</sup>.

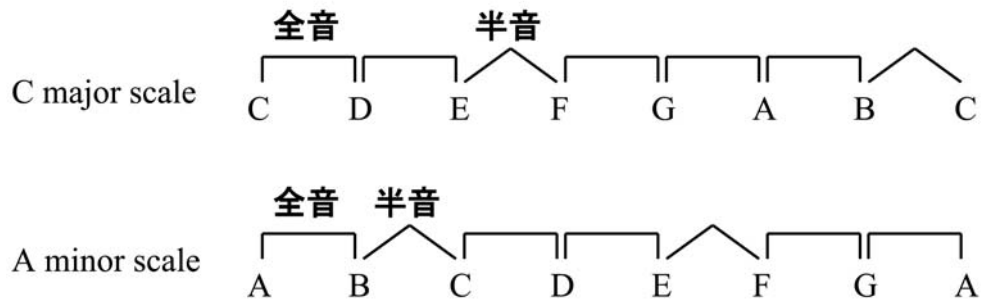


図 2.4: 長音階 (八長調) と短音階 (イ短調)

また, ある調から見て, ごく近い関係にある調を「近親調」とよぶ. 通常次の3種のことをさす (ここでは C major scale を例にとる).

1. 平行調 (A minor scale)  
音階の構成音が同じで主音が違うもの.
2. 属調 (G major scale)  
ある調の完全5度上の調. 長調の属調は長調, 短調の属調は短調となる.
3. 下屬調 (F major scale)  
ある調の完全5度下の調. 長調の下屬調は長調, 短調の下屬調は短調となる.

表 2.1: C major scale の近親調

主調	C major scale	..	C	D	E	F	G	A	B	C	..
平行調	A minor scale	..	A	B	C	D	E	F	G	A	..
属調	G major scale	..	G	A	B	C	D	E	F♯	G	..
下屬調	F major scale	..	F	G	A	B♭	C	D	E	F	..

ある程度長い楽曲中では, 途中で調が変わることがある. これを転調という. 転調はおもに近親調へと移る.

<sup>2</sup>八長調の‘八’は音名の日本語での呼び方であり, 英語の‘C’に相当する. 英語の音名“CDEFGAB”は, 日本語で“ハニホヘトイロ”にそれぞれ相当することになる.

## 2.1.2 和音

### 基本三和音と七の和音

「一定の秩序にしたがって組み合わせられた幾つかの音の集合体」を和音という。和音には種々の形体があるが、それらの基礎となる形体（基礎和音形体）が三和音である。三和音は図 2.5 に示すような形であり、最低に位置する音を「根音」、根音の3度上の音を「第3音」、根音の5度上の音を「第5音」という。さらにその基礎和音形体に3度上の音（根音からは7度上の音）を付け足したのが「七の和音」と呼ばれる<sup>3</sup>。



図 2.5: 基礎和音形体と7の和音

先に説明したとおり楽曲には調が存在する。調に固有の和音は、その調の音階を構成する7つの音によって組み立てられる。

ここでは八長調を例にとって説明する。八長調のときの基本3和音を図 2.6 に示す。ギリシャ数字は「和音記号」として使われるもので、その数字は、根音が音階の何番目の音であるかを表している。

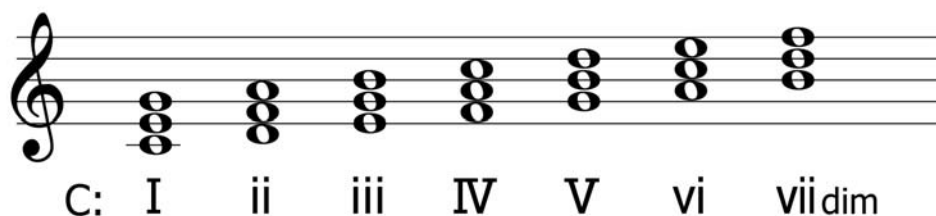


図 2.6: 八長調の基本3和音と音度表記

また基本三和音はその形態により3種類に区別できる。

- 長三和音

根音と第3音の音程が長3度で、第3音と第5音の音程が短3度、根音と第5音の音程が完全5度。

<sup>3</sup>さらに文献のなかには9の和音も定義されているが、本稿の実験では扱わなかったため、詳しく説明はしない

- 短三和音  
根音と第3音の音程が短3度で、第3音と第5音の音程が長3度、根音と第5音の音程が完全5度。
- 減三和音  
根音と第3音の音程が短3度で、第3音と第5音の音程が短3度、根音と第5音の音程が減5度。

図2.6のギリシャ数字のうち、大文字のものは「長三和音」、小文字のものは「短三和音」、そして dim がついてるものは「減三和音」を示している。

図2.6の三和音に、それぞれ3度上に音を置くと七の和音になる。

### 転回形

ここまで和音については、すべて基本形という形で見してきた。ただ実際の楽曲には基本形の和音だけでなく、「転回形」も多く用いられる。ここでは代表的な転回形を八長調のIを例にみる(図2.7)。図2.7は左から、基本形、第1転回形、第2転回形となる。またギリシャ数字の表記は図2.7のようになる。

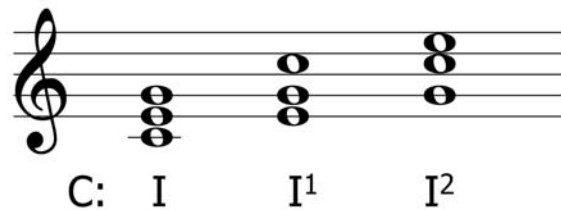


図 2.7: 転回形

### その他の和音の形態

ここまで、和音の形態は基本的に「基本3和音」に準ずる形で表現されたものをあげてきたが、実際の楽曲中にこのような形で現れる形は少ない。例えば「7の和音」であれば根音が省略された「根音省略形」や現在の調から5度上の調のVの和音(現在が八長調なら、ト長調の5の和音)である「ダブルドミナント」などがある。ここではその詳細を省くが、楽曲中の和音は様々な表記法によって表現が可能である。

### 2.1.3 カデンツ

#### 和音の機能とカデンツ

和音と和音が一定の秩序にしたがって連結されると「和声」が形成される。このような連結された和声には「機能」ができる。この機能の組合わせを「カデンツ」という。文章が主語や述語の連鎖であるように、音楽はカデンツの連鎖でできている。1個のカデンツを組み立てる上での和音機能はT (tonic), D (dominant), S (subdominant) の3つに限られる。またその接続方法は次の3種類となる。

第1型 T → D → T      K1

第2型 T → S → D → T   K2

第3型 T → S → T      K3

この3種類のカデンツが任意の連鎖をすることで、楽曲を生成するのが和声学に基づく作曲法である。世にあるすべての楽曲がこの規則のみによって生成されるわけではないが、これを無視した曲は、楽曲の流れが不安定であったり、聞く人によっては不快な感覚を与える原因となる。

次にカデンツを形成する和音の機能について説明する。先に説明したどんな和音でもある1つの機能を持つ。その機能は主に和音の度数によって決まっており、大まかに分類すると以下ようになる。

和音機能	該当する3和音
T	I VI
D	V
S	II V

なお‘III’と‘VII’の和音については省略しているが、これは両者が和音の接続の仕方によって機能を変化させるためである。またその他にも、和音の形態、接続の仕方によってその機能を変化させる和音は多数存在する。例えば、I度の和音の第2転回形( $I^2$ )とV度の和音(V)の接続はT → Dと思えるが、これは和声学では、 $I^2$ -VのセットでSという1つの機能を与える<sup>4</sup>。

#### 和音の進行

カデンツによって和音の進行が導出できる。