

音楽的期待に基づく漸進的構造解析による ジャズ和声の意外性に関する考察

小椋 裕太¹ 大村 英史¹ 東条 敏² 桂田 浩一¹

概要：認知的音楽理論は、音楽を「聴く側」の認知過程を踏まえた音楽の分析理論である。その一つである Generative Syntax Model(GSM) は、和声進行に関する文脈自由文法を定義することで、和声進行における期待-実現の構造を階層的に表現できることを示した。しかし、GSM をはじめとする従来の認知的音楽理論は楽曲聴取後の認知構造のみを表現しており、楽曲聴取中の認知構造である音楽的期待については議論されていない。しかし、楽曲聴取中の期待の逸脱や実現こそ音楽の意味である。そこで、本研究では楽曲途中の認知構造の表現を行うために、GSM を確率文脈自由文法に拡張する。これにより、漸進的構造解析を行うことが可能になる。このモデルを実装した和声解析システムを用い、ジャズ楽曲の和声進行の解析を行った。解析結果から、提案モデルが和声進行における楽曲途中の解釈の多様性や、楽曲における意外性の生じる位置を示唆していることが分かった。

1. はじめに

「音楽とは何か」この問いを巡って、我々人類は古代ギリシアの時代より様々な音楽理論を考案してきた。この音楽理論の発展と共に、多様な作曲表現や音楽ジャンルが生まれてきたことは音楽史の歴史を見れば明らかである。一方で、「我々は音楽をどのように理解しているのか」といった根源的な問いに関してはいまだに明らかでないことが多い。認知的音楽理論は、このような問いに再度注目する。一般的に音楽理論は、音楽を「作る側」つまり作曲や編曲をするための理論であるのに対し、認知的音楽理論は、音楽を「聴く側」つまり聴取時の認知を踏まえた楽曲の分析理論である [1], [2].

認知的音楽理論には、楽曲を階層構造として分析する方法がある。楽曲の階層構造という概念は、Schenker が提唱した簡約仮説に端を発している。簡約仮説とは“楽曲の聴取者は全てのピッチイベント（音符や和音）を相対的重要度による階層構造として整理しようとする”という概念である。Lerdahl と Jackendoff による A Generative Theory of Tonal Music(GTTM)[3] は楽曲の旋律を階層構造として分析する [4], [5], [6]. Rohrmeier による GSM は和声に着目し、和声進行に関する文脈自由規則を定義する。これにより、和声認知の階層構造を図 1 のような木構造で表現できる。

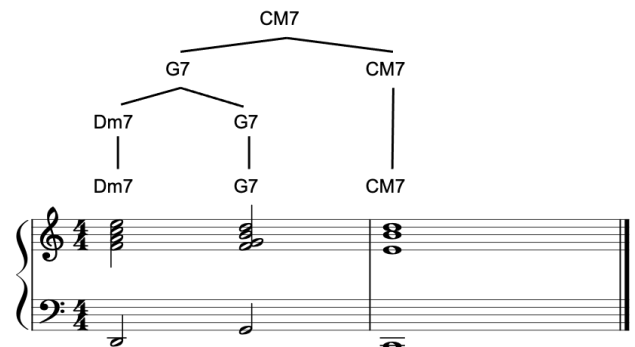


図 1 GSM による ii-V-I の階層的構造解析

GSM は楽曲全体に対する解析を行う。つまり解析結果は楽曲を全て聴き終わった後の認知構造を表す。しかし、実際には、我々は音楽を時系列に沿って聴き、前から漸進的に理解をしている。そのため、楽曲途中の認知構造と楽曲を聴き終わった後の認知構造は異なるのが自然であろう。GSM ではこのような時系列に沿った認知構造が考慮されていない。また、哲学者 Meyer は音楽の意味に関して、“音楽の意味は、先行音が後続音を何らかの形で期待 (expectation) させ、後続音の具体化によって先行音の確認や見直しをはかろうとするような音の関係性から生じる”[7] と述べている。期待が後続音によって裏切られ、それまでの予測構造が見直される。つまり楽曲の漸進的な認知によって意外性が生じる。

そこで本研究は、楽曲の漸進的な認知に着目する。楽曲

¹ 東京理科大学理工学部情報科学科

² 北陸先端科学技術大学院大学

途中の認知構造を明らかにするために、漸進的に構文解析を行う手法である漸進的チャート解析 [8] の GSM への適用を提案する。さらに、和声進行における意外性について定量的な議論を可能にするために、GSM の文法規則を確率文脈自由文法に拡張する。これにより、木構造間の重要度を比較検討することが可能となる。この提案手法を計算機に実装し、ジャズ楽曲を対象として漸進的解析を行い、楽曲における意外性の生じる位置について議論を行う。

2. Generative Syntax Model(GSM)

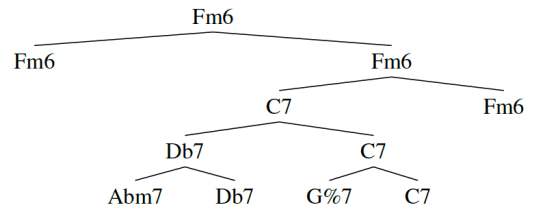
2.1 GSM の概要

Generative Syntax Model(GSM)[9], [10] は Rohrmeier によって提案された認知的音楽理論である。GSM は認知的音楽理論として著名な GTTM[3] と同様に、楽曲の認知構造を木構造として表現するモデルである。GTTM は明示的な文脈自由規則を提示せずに議論を進めているのに対して、GSM ではチョムスキーの生成文法理論 [11], [12], [13] に強く基づき、和声進行に関する文脈自由規則を明示的に提示して議論を進めている。

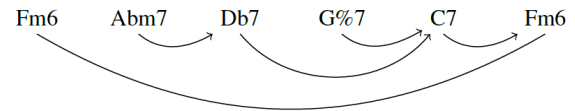
GSM は、和声認知について次の仮定を設定している。1つの和音は前後の和音と依存関係を持つ。特に隣接する和音は支配する和音が上位カテゴリーとなる「機能的ヘッド」を持つ。また、GSM で提示されている句構造規則は、その対象とする音楽や考慮する音楽構造の違いによって、幾つかのバージョンが存在する。本研究ではジャズ楽曲を対象とするため、ジャズ楽曲のための句構造規則 [10], [14] を説明する。

GSM で提示される全ての構文規則は、**Prolongation(延長的)原則**と **Preparation(準備的)原則**のどちらかに従う。以下ではジャズスタンダードである Birk's Works(図 2)のコード進行 (Fm6 Abm7 Db7 G%7 C7 Fm6)*1 に対する GSM での解析を例として、Prolongation 原則と Preparation 原則について説明を行う。

まず、Birk's Works のコード進行において、初めの Fm6 はトニックとして認知されるため、Fm6 で楽曲が終了することが期待される。続く Abm7 と Db7 はそれぞれサブドミナントの代理コードと C7 のドミナントコード (bII7) と考えることができ、時間的に離れた位置にある C7 を期待する。また G%7 は F minor key におけるサブドミナントコードと考えることができ、続く C7, Fm6 と共にマイナーのトゥー・ファイブを形成する。以上のような和声進行における期待-実現の構造を図示すると、図 2b のようになる。図中の矢印で連結されているコードのペアは Preparation 原則に基づくことを示している。つまり、前者のコードが後者のコードの準備的な機能をしているという



(a) GSM による和声構文木



(b) 期待-実現の構造

図 2 Birk's Works の和声構造表現の例 [14]

意味である。矢印のない線で連結されているコードのペア (例えば Fm6 - Fm6) は Prolongation 原則に基づくものである。これは図 2a の木構造と一対一対応している。よって、GSM による和声構文木は和声進行における期待-実現 (expectation-realization) の構造を明らかにしている。

また、Prolongation 原則には強延長 (Strong Prolongation) と弱延長 (Weak Prolongation) の 2 種類がある。

強延長とは、同じルートの同じコードタイプを持つ延長のことをいう。強延長は任意のコードシンボル X に対して $X \rightarrow X X$ と表記する (e.g. Fm6 \rightarrow Fm6 Fm6)。

弱延長は、同一ではないものの機能的に等しいコード*2による延長のことをいう。機能的に等しいコードシンボル X, Y に関して $X \rightarrow Y X$ または $X \rightarrow X Y$ と表記する (e.g. Fm6 \rightarrow Ab Fm6)。

Preparation 原則を満たす規則は、機能的に等しくないコードシンボル X, Y に関して $X \rightarrow Y X$ と表記する (e.g. Fm6 \rightarrow C7 Fm6)。

Prolongation 原則と Preparation 原則は以下のように記述できる。

Strong Prol. $X \rightarrow X X$

Weak Prol. $X \rightarrow Y X \mid X Y$

Preparation $X \rightarrow Y X$

これらの構文規則は、非終端記号に独自のカテゴリを持たず、左辺の記号が必ず右辺に現れるような二分木の形で表現されるという特徴がある。この特徴は依存文法 (dependency grammar)[15] や組み合わせカテゴリー文法 (Combinatorial Category Grammar; CCG)[16] といった文法理論にもみることができる。矢印の両辺に現れる記号はヘッド (head, 主辞) と呼ばれる。例えば、Preparation 原則では、 X がヘッドとなる。

*1 今後、 b 記号はアルファベット小文字 b を用いて表記する。また、 \sharp のつくコードは異名同音の b のつくコードに変換して表記する。% はハーフディミニッシュセブンスを表す。

*2 C メジャーキーにおける C と Am はどちらもトニックという機能を持つ

Algorithm 1 漸進的チャート解析のアルゴリズム

```

function CHART_PARSING( $G\_chart, w$ )
   $L\_chart \leftarrow \{\}$    \*Local charts*\
   $temp \leftarrow \{\}$ 

  \*step1 辞書引き*\
  for  $\alpha \in \text{Lexicon do}$ 
    if  $w = \alpha$  then
       $L\_chart \leftarrow L\_chart \cup \{[w]_\alpha\}$ 

  \*step2 文法規則の適用*\
  for  $\sigma \in L\_chart$  and  $\beta \rightarrow \beta_1\beta_2 \dots \beta_n \in \text{Rules do}$ 
    if  $\sigma = \beta_1$  then
       $L\_chart \leftarrow$ 
         $L\_chart \cup \{[\sigma[?]\beta_2]\beta\}$ 

  \*step3 項の置き換え*\
  for  $\phi \in G\_chart$  and  $\psi \in L\_chart$  do
    if  $\gamma = \text{lut}(\phi) \wedge \gamma = \psi$  then
      replace  $\text{lut}(\phi)$  with  $\psi$ 
       $temp \leftarrow temp \cup \{\phi\}$ 

   $G\_chart \leftarrow temp$    \*Global charts*\
  return  $G\_chart$ 

  \*main*\
   $G\_chart \leftarrow [?]\_S$    \*initialize*\
  for  $i=1, \dots, \text{last do}$ 
     $w_i \leftarrow \text{input\_chord}$ 
     $G\_chart \leftarrow \text{CHART\_PARSING}(G\_chart, w_i)$ 

```

2.2 Jazz Harmony Treebank

Jazz Harmony Treebank^{*3}(以下, JHT)[14] は, ジャズスタンダードの和声進行について専門家による階層的分析の結果がアノテーションされたデータセットである。階層的分析は前述した GSM の原則に基づいて行われている。本研究では, 後述する確率文脈自由文法の適用確率を推定するためのコーパスとして用いた。

JHT の解析対象は, Swing, Bossa Nova, Jazz Blues, Bebop, Cool Jazz, Hard Bop といったジャンルのジャズ 150 曲である。Modal Jazz, Free Jazz, Modern Jazz といった調性のないジャンルの楽曲は含まれていない。

3. 和声進行の漸進的構造解析

3.1 漸進的チャート解析

我々は和声進行を漸進的に解析することで, 楽曲途中の木構造を表示するモデルを提案してきた [17]。このモデルは, GSM に自然言語の構文解析手法である漸進的チャート解析 [8] を適用することで実現した。ここでは漸進的チャート解析について説明する。漸進的チャート解析は, 自然言語処理の技術であるために“単語”という語を用いて説明するが, 和声においては, “単語”はコードシンボル (CM7 や G7) を指している。

漸進的チャート解析はチャート (chart) と呼ばれるグラフ構造を用いて解析結果を保持する。チャートは節点の集合, 及び弧の集合から構成される。節点 (node) とは入力文中の単語と単語の間に位置し, i 番目の単語 w_i と $i+1$ 番目の単語 w_{i+1} の間の節点は, 番号 i でラベル付けされる。以下では, 番号 i でラベル付された節点を単に節点 i と呼ぶ。弧 (edge) は節点と節点を結び, 文中でその弧が覆っている部分に対する構文木をラベルとして持つ。この構文木は項 (term) と呼ばれるデータ構造で表され, 記法 $[\alpha]_X$ で表現される。ここで, X は範疇 (category) であり, α は, 単語, 記号 $[?]$, 項のリストのいずれかである。 $[\alpha]_X$ という項 σ に対して, X を σ の範疇と呼ぶ。 $[?]_X$ のような項は未決定項 (undecided term) と呼ばれ, 構造が決定されていないことを表す。項の中に出現する未決定項のうち, 最も左に位置するものを最左未決定項と呼ぶ。弧にラベル付された項の中に未決定項が存在する時, この弧を活性弧 (active edge) と呼び, そうでない時, 不活性弧 (inactive edge) と呼ぶ。

漸進的チャート解析のアルゴリズムを, Algorithm 1 に記す。アルゴリズム中では項 ϕ の最左未決定項を $\text{lut}(\phi)$ と表している。 i 番目の単語 w_i が入力された時, 次の操作を順次実行する。

辞書引き 単語 w_i の範疇が X ならば, 項 $[w_i]_X$ をラベルとして持つ不活性弧を local chart の節点 $i-1$ と節点 i に追加する。

文法規則の適用 local chart の節点 $i-1$ と節点 i を結ぶ弧に, 項 $[\dots]_X$ がラベルづけされている時, 文法規則 $A \rightarrow XY \dots Z$ が存在するならば, 項 $[[\dots]_X [?]_Y \dots [?]_Z]_A$ をラベルとして持つ弧を local chart の節点 $i-1$ と節点 i の間に追加する。

項の置き換え global chart の節点 0 と節点 $i-1$ を結ぶ活性弧にラベルづけされた項 ϕ の最左未決定項を $[u]_X$ とする。この時, local chart の節点 $i-1$ と節点 i を結ぶ弧にラベルづけされた項 ψ の範疇が X であるならば, 項 ψ の最左未決定項を項 ϕ で置き換えた項をラベルとして持つ弧を global chart の節点 0 と節点 i の間に追加する。

一般的なチャート解析は, 文全体が入力され木を構築する。一方, 漸進的チャート解析は, 逐次的な単語の入力に伴って漸進的に木を構築する。チャート解析のアルゴリズムにはボトムアップ型とトップダウン型がある。ボトムアップ型アルゴリズムは, 単語から出発して開始記号 S に向かって木を構築していく手法であり, トップダウン型アルゴリズムは, 開始記号 S から出発して葉である単語に向かって木を構築していく手法である。ボトムアップ型アルゴリズムとトップダウン型アルゴリズムを組み合わせる

^{*3} <https://github.com/DCMLab/JazzHarmonyTreebank>

と、逐次的な入力に対応することできる。そこで、漸進的チャート解析では、ボトムアップ型チャート解析に、トップダウン型の操作である「活性弧に対して文法規則を適用する操作」と、「活性弧にラベル付された項の最左未決定項を別の活性弧にラベル付された項で置き換える操作」の二つを導入している。なお、実際に構築したシステムでは、各段階における global chart のみを表示するようになっている。また、global chart の各節点に複数の項が保存されることになるが、本稿ではこれらを候補木と呼ぶ。

また、はじめに global chart を開始記号 S を範疇として持つ未決定項で初期化する必要があるが、GSM において文脈自由規則の開始記号 S は存在せず、代わりに楽曲のトニックである I の和音のコードシンボルが木構造の根として該当する。今回は 12 音全てのルートに対する M , $M7$, m , $m7$ を採用した。これを root chord と呼ぶと、すなわち、

$$\text{root chord} = \{C, D\flat, D, \dots, B\} \times \{M, M7, m, m7\} \quad (1)$$

である。

3.2 確率文脈自由文法への拡張

確率文脈自由文法 (Probabilistic Context Free Grammar; PCFG) は構文木、及び文の生起確率を計算するためのモデルである [18]。このモデルでは文法中の各生成規則 $A \rightarrow \alpha$ に対して、 A が与えられた場合にその生成規則が適用される条件付き適用確率

$$P(A \rightarrow \alpha | A) \quad (2)$$

を付与する。条件付き確率であることから、

$$\sum_{\alpha} P(A \rightarrow \alpha | A) = 1 \quad (3)$$

が成り立つ。すなわち、同一の非終端記号 (前終端記号^{*4}) を左辺に持つ生成規則の適用確率の和は 1 である。このような確率を計算する最も簡単な方法として構文解析済のコーパスを使用する方法があげられる。コーパス中の非終端記号の出現回数と生成規則の使用回数を数えることによって生成規則の適用確率は次のように計算される。

$$P(A \rightarrow \alpha | A) = \frac{\text{コーパス中の } A \rightarrow \alpha \text{ の使用回数}}{\text{コーパス中の } A \text{ の出現回数}} \quad (4)$$

この時、明らかに式 3 は満足される。また、式 4 にして適用確率が与えられると、ある木構造 t の生成確率はその木

^{*4} 終端記号より一階層上にある、自然言語では品詞にあたる部分で辞書規則の親となるもの。[9] 論文では、TR (トニックリージョン) や DR (ドミナントリージョン) と呼ばれる概念があり、コードシンボル (終端記号) を生成する I_C と呼ばれるディグリーネームで表される範疇 (前終端記号) と区別される。本研究で実装するシステムでは、[10], [14] に習って、非終端記号と前終端記号を同一視した (辞書規則の存在しない) 文法規則を用いることとする。

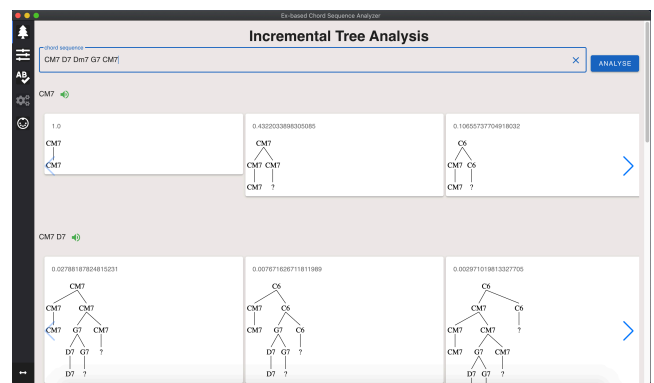


図 3 Expectation-based Chord Sequence Analyzer の実行画面

構造を構成する全生成規則の適用確率の積で与えることができる。

また、漸進的チャート解析では、文が長くなると解析時間が指数関数的に増加する。これを防ぐために、各単語の段階において木構造の生成確率を用いた枝刈りを行った。各単語の時点で global chart に保存された項のうち確率上位 100 個までの項を次の単語の解析に残した。

3.3 Ex-based Chord Sequence Analyzer

提案手法を実装した和声解析システムとして **Expectation-based Chord Sequence Analyzer** (ECSA: エクサ)^{*5}を開発した。

本アプリケーションの実行画面は図 3 のようになっている。トップページのテキストボックスにユーザがコード進行を入力すると、入力に対する木構造解析の結果が複数行に渡って表示される。各行にはそのコードが入力された時点までの解析結果が表示されている。図 3 では *Take the A Train* のコード進行 (CM7 D7 Dm7 G7 CM7) に対して解析を行っており、1 行目では CM7 まで入力された段階の解析結果が、2 行目には CM7 D7 まで入力された時の解析結果が表示されている。またその時点での複数の構文木はそれぞれスライダー (カラーセル) のパネルに表示されている。各パネルの上部にはその構文木の生成確率が表示されており、構文木は確率の高いものが左から順に並べられている。

4. 木構造解析による意外性の評価

本研究では、意外性は期待-実現と期待-逸脱から生じると見なす。意外性の“低い”和声進行とは、先行の和音による期待が後続の和音によって実現する和声進行である。意外性の“高い”和声進行とは、先行の和音による期待が後続の和音によって裏切られる (逸脱する) 和声進行である。

この期待-実現と期待-逸脱は木の成長過程に依存している。楽曲途中の和声構文木では、後続として期待されるコードは $[?]_{CM7}$ のような未決定項のカテゴリとして表現

^{*5} <https://github.com/yutaogura/Ex-based-Analyzer>

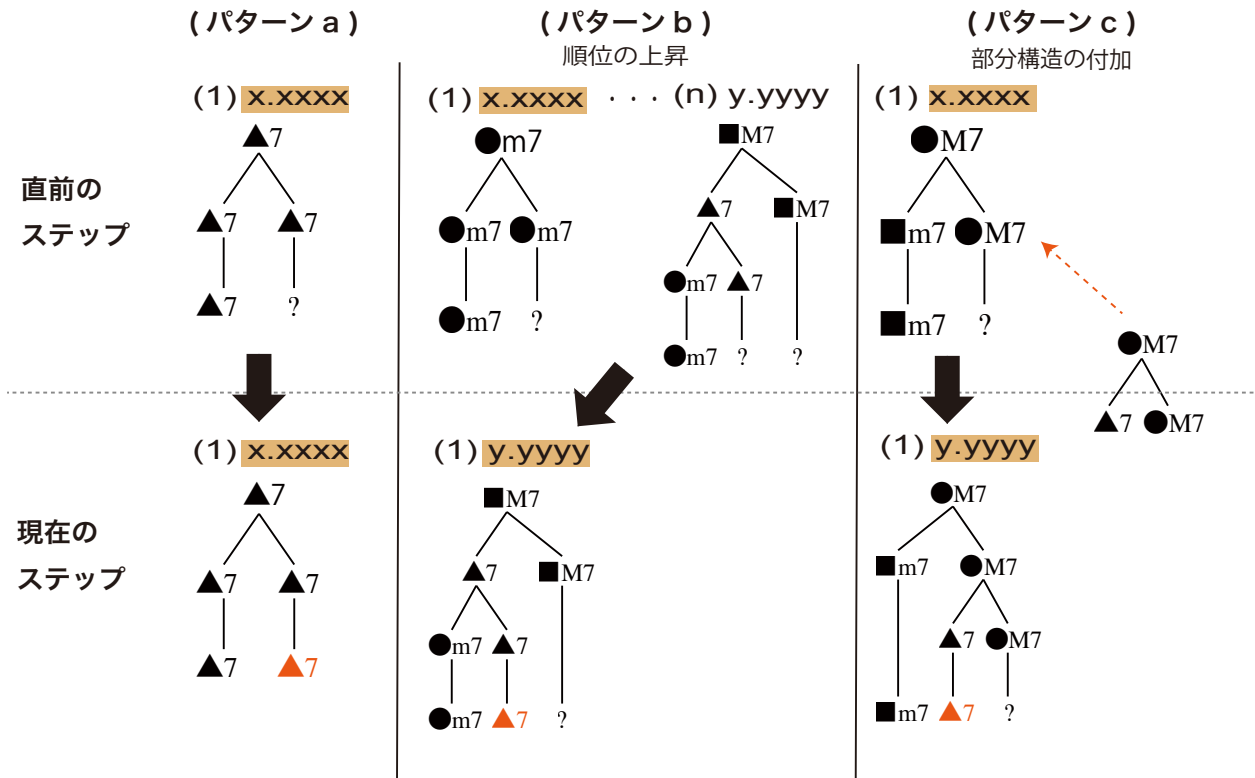


図 4 最大の生成確率を持つ木構造の変化パターン

される。次のステップにおいて、実際に CM7 というコードが入力されると期待-実現が生じ、また別のコードが入力されると期待-逸脱が生じたと考える。以下では、楽曲途中においてあるコードが入力された段階をコードステップと呼ぶ。

意外性を木の成長過程を用いて考えた時、木構造の生成確率の変化も重要である。一般に、各コードステップの候補木は複数存在し、候補木はその生成確率によって順位づけされている。本研究では、各コードステップにおける認知構造を代表するものとして、そのコードステップにおいて最大の生成確率を持つ木構造に注目する。

図 4 はあるコードステップにおいて最大の生成確率を持つ木構造がどのように変化しているのかを示した模式図である。括弧内の数字はそのコードステップにおける確率の順位を示す。また以下では、ある木構造の成長元の木構造を導出元木構造と呼ぶ。太い実線の矢印は木の成長元と成長先の関係を示す。

図 4 のパターン a とパターン b はどちらも直前のコードステップにおいて期待されていたコードが現在のステップにおいて実現する様子を示す。パターン a では確率が最も大きい木の生成確率の値に変化はないが、パターン b では、直前ステップにおいて n 位であった木構造の順位が 1 位になったため、確率が最も大きい木の生成確率の値が変化している。パターン c は、直前ステップで期待されてい

なかったコードが入力された様子を示す。この場合、新たな部分構造が付加されるため(図中、点線の矢印)、確率が最も大きい木の生成確率の値は変化する。

以上の議論を踏まえ、順位の上昇度と部分構造の付加を考慮した意外性の指標の定式化を行う。あるコードステップ n における木構造の候補を $t^{(n)}$ とし、その中で最大の生成確率を持つ木構造を $t_{\max\text{prob}}^{(n)}$ 、その確率値を $P(t_{\max\text{prob}}^{(n)})$ と表す。また、 $t^{(n)}$ の導出元木構造を $t^{(n-1)}$ というように表す。この時、あるコードステップ n の意外性 $U^{(n)}$ を以下のように与える。

$$t^* = t_{\max\text{prob}}^{(n)} \quad (5)$$

$$A = \frac{P(t^{*(n-1)})}{P(t_{\max\text{prob}}^{(n-1)})} \quad (6)$$

$$B = \frac{P(t_{\max\text{prob}}^{(n)})}{P(t^{*(n-1)})} \quad (7)$$

$$U^{(n)} = \begin{cases} P(t_{\max\text{prob}}^{(n)}) & (n = 1) \\ A \times B = \frac{P(t_{\max\text{prob}}^{(n)})}{P(t_{\max\text{prob}}^{(n-1)})} & (n > 1) \end{cases} \quad (8)$$

意外性の指標 U は 1 に近いほど、期待-実現が生じた、つまり意外性の“低い”進行であり、0 に近いほど、期待-逸脱が生じた、つまり意外性の“高い”進行であるという意味である。A は直前のコードステップにおける導出元木構造

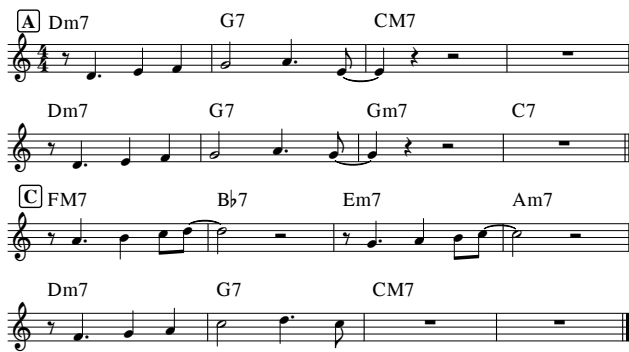


図 5 *Cute* のリードシート (後半 16 小節)

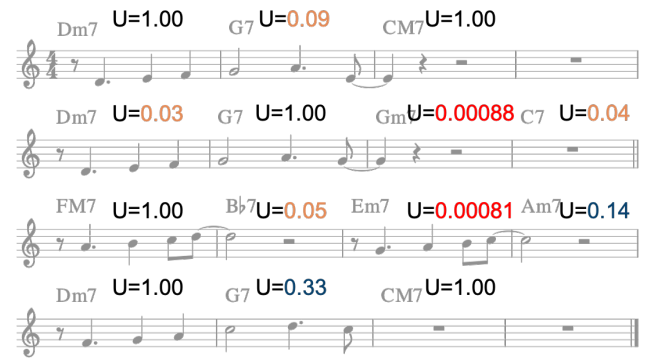


図 6 *Cute* の各コードステップにおける意外性 U の値

の希少さ, つまり順位の上昇度を表す (式 6). また, B は新たに付け加えられた部分構造の生成確率を表す (式 7). 意外性の指標 U はこれらを掛け合わせたものである. 実際の計算では, $P(t^{*(n-1)})$ の部分は打ち消しあうため, 結局, U は対象コードステップの前後における確率が最も大きい木の生成確率の値の比を求めれば良いという事になる.

5. ジャズ和声進行の解析例

ここでは, ジャズスタンダードである *Cute* の漸進的構造解析の例と意外性の指標 U を用いた考察を行う.

Cute は 32 小節からなる ABAC 形式の楽曲である. ここでは, 後半の 16 小節である AC パートの解析を行う. 該当部分のコード進行は以下の通りである. また該当部分の楽譜を図 5 に示す.

Dm7 – G7 – CM7 – Dm7 – G7 – Gm7 – C7 –
 FM7 – Bb7 – Em7 – Am7 – Dm7 – G7 – CM7

漸進的構造解析を用いて意外性について考察する前に, 従来の音楽理論の見解からこの楽曲の基本的な特徴を確認する [19], [20]. まず, *Cute* は基本的にキー C メジャーの曲である. これは, 曲の最後のコードが CM7 で終了していることから明らかである. はじめの 4 小節, Dm7 – G7 – CM7 はキー C メジャーのトゥー・ファイブ・ワンである. 続く 5, 6 小節目もキー C メジャーのトゥー・ファイブであり, 7 小節目に I の和音である CM7 が来るのかと思いきや, Gm7 というコードが挿入され, ここから Gm7 – C7 – FM7 というキー F メジャーのトゥー・ファイブ・ワンが始まっている. その後サブドミナントマイナーである Bb7 を挟んでキー C メジャーのダイアトニックコードである Em7 が続き, iii – vi – ii – V – I という進行でトニックである CM7 に帰着している.

木構造解析の結果を図 7 に示す. 図はコードステップごとにシステムが出力した木構造を表している. なお, システム上ではコードステップごとに枝刈りの上限数までの候補木を表示することが可能であるが, 紙面の都合上, 一部を抜粋して示す. (a)~(h) は *Cute* のコード進行における

各コードステップを示す. 各木構造の上部には, その候補木の生成確率と, 各コードステップにおける生成確率の順位がカッコ内に記載されている. 以下では, コードステップ (a) において生成確率が n 位であるような候補木を (a- n) といったように表す. ? (疑問符) は未決定項を示し, 次に期待されているコードまたはその範疇を示している. 括弧内の順位に*(アスタリスク)がついているものは不活性弧, つまり閉じた木構造であることを示す.

木構造の成長過程を順にみていくと, 期待-実現や期待-逸脱に伴って, 木構造の順位の入替わりが生じている様子を確認できる. (d-1) までの木構造の変遷は, (a-4)→(b-1)→(c-2)→(d-1) である. コードステップ (c) では CM7 が入力されるが, この時, (d-1) に成長することとなる木構造はコードステップ (b) での 1 位から 2 位となっている. コードステップ (c) において最大の生成確率を持つ木構造は (c-1*) であり, 不活性弧である. CM7 はこの楽曲におけるトニックであり, Dm7 – G7 – CM7 という進行で一つのまとまりを形成する. このように, 閉じた木構造はその時点での和声的な安定を示唆する.

次に, 意外性を示す値 U を全てのコードステップにおいて算出したものを図 6 に示す. 冒頭で述べた, キー F メジャーのトゥー・ファイブ・ワンが出現する部分である 7~8 小節目にかけて U の値が小さくなっている. 実際の木構造をみても (f-1) の段階では Gm7 の親として G7 が予測されるが, (g-1) では C7 が挿入されることによって, 木構造の順位の入替わりが生じ, FM7 が親として予測されるような形が 1 位となる.

続いて, 8 小節目における FM7 の期待が実現される形で, 9 小節目が挿入され, 続く Bb7, E7 で再度 U の値が低くなる. これは, ノンダイアトニックコードである Bb7 に起因すると考えられる. 一般的な音楽理論ではこの Bb7 はサブドミナント・マイナー, つまり同主調である C マイナーキーの iv の和音であると考えられ, 一つ前の FM7 と合わせて, サブドミナント-サブドミナントマイナーというコード進行を形成するとされている. 今回は, FM7

がピボット・コード*6として働いており、調性的にはCメジャーのままであると分析される。そのためCメジャーにおけるトニックとして分析されるEm7でUの値が低くなっていることについては、認知的リアリティ*7のある結果かどうか再考の余地がある。

6. おわりに

本研究では、楽曲途中の認知構造に着目し、Generative Syntax Model(GSM)[9], [10]に基づくジャズ和声の漸進的構造解析手法を提案した。また、木構造の成長過程に着目し、意外性の指標Uを定義した。実装したシステムであるECSAを用いたジャズ楽曲の解析によって、楽曲における意外性の生じる位置について定量的な評価が可能となった。

音楽認知における期待-実現の重要性はNarmourによる暗意-実現モデル[21]でも議論されているが、楽曲全体の解析にとどまっていた。本研究では、漸進的構造解析手法によって楽曲途中の期待-実現または期待-逸脱の様子を表現することで、より人間の音楽認知に近い解析手法を提案した。

今後の課題は、意外性の指標Uの認知的リアリティについて実験による調査をすることである。なぜなら、従来の音楽理論から我々が感覚的に意外であると考えられる楽曲の位置と、意外性の指標Uを用いて定量的に示される意外性の生じる位置に差異があるからである。楽曲における意外性の生じる位置は、音楽経験による個人差も大きいと考えられる。そのため、経験による認知の差を考慮した指標の作成、さらには文法規則自体に立ち返って、その合理性を検討することが必要である。

将来的な展望としては、音楽の流れを逐次的に解釈するという漸進的解析のメリットを活かして、自動セッションシステムのようなリアルタイムアプリケーションへの組み込みが考えられる。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 16H01744, 20K12126の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 東条敏, 平田圭二. 音楽・数学・言語 -情報科学が拓く音楽の地平-. 近代科学社, 5 2017.
- [2] 小川容子, 谷口高士, 中島祥好, 星野悦子, 三浦雅展, 山崎晃男, 大串健吾, 桑野園子, 難波精一郎. 音楽知覚認知ハンドブック: 音楽の不思議の解明に挑む科学. 北大路書房, 2020.
- [3] Fred Lerdahl and Ray S. Jackendoff. *A Generative Theory of Tonal Music*. The MIT Press, 1996.
- [4] Satoshi Tojo, Yoshinori Oka, and Masafumi Nishida.

*6 複数の調性に跨って機能を持つコードのこと。今回のFM7の場合はFメジャーキーのI(トニック)とCメジャーキーのIV(サブドミナント)。

*7 ある概念やモデルを用いると認知的あるいは心理的な現象を合理的に説明できる時、その概念やモデルには認知的リアリティ(cognitive reality)があるという[1]。

- Analysis of chord progression by hpsg. pp. 305–310. ACTA Press, 2006.
- [5] Mark Granroth-Wilding and Mark Steedman. A robust parser-interpretor for jazz chord sequences. *New Music Research*, Vol. 43, pp. 354–374, 2014.
- [6] Takeshi Fukunari, Sean Arn, and Satoshi Tojo. Ccg analyzer with tonal pitch space for non-classical chords. pp. 239–246. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 11 2016.
- [7] Leonard B Meyer. Meaning in music and information theory. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, Vol. 15, No. 4, pp. 412–424, 1957.
- [8] Shigeki Matsubara, Satoru Asai, Katsuhiko Toyama, and Yasuyoshi Inagaki. Chart-based parsing and transfer in incremental spoken language translation. In *Proc. the 4th Natural Language Processing Pacific Rim Symposium*, pp. 521–524, 1997.
- [9] Martin Rohrmeier. Towards a generative syntax of tonal harmony. *Journal of Mathematics and Music*, Vol. 5, pp. 35–53, 2011.
- [10] Martin Rohrmeier. The syntax of jazz harmony: Diatonic tonality, phrase structure, and form. *Music Theory and Analysis (MTA)*, Vol. 7, , 2020.
- [11] Noam Chomsky. Syntactic structures. 1957.
- [12] Noam Chomsky. Aspects of the theory of syntax. 1965.
- [13] Noam Chomsky. *The minimalist program*. MIT press, 1995.
- [14] Daniel Harasim, Christoph Finkensiep, Petter Ericson, Timothy J O'donnell, and Martin Rohrmeier. The jazz harmony treebank. In *Proceedings of the 21th International Society for Music Information Retrieval Conference, ISMIR*, 2020.
- [15] Joakim Nivre. Dependency grammar and dependency parsing. *MSI report*, Vol. 5133, , 2005.
- [16] Mark Steedman and Jason Baldridge. *Combinatory Categorical Grammar*. 2011.
- [17] Yuta Ogura, Hidefumi Ohmura, Yui Uehara, Hidefumi Tojo, and Kouichi Katsurada. Expectation-based parsing for jazz chord sequences. In *Proceedings of the 17th Sound and Music Computing Conference*, pp. 350–356, 2020.
- [18] 長尾真. 自然言語処理. 岩波書店, 1996.
- [19] 小山大宣. *Jazz Theory Workshop*. 武蔵野音楽院出版部, 2004.
- [20] Mark Levine. *The Jazz Theory Book*. Sher Music, 1995.
- [21] Eugene Narmour. *The Analysis and Cognition of Basic Melodic Structures: The Implication-Realization Model*. The University of Chicago Press, 1992.

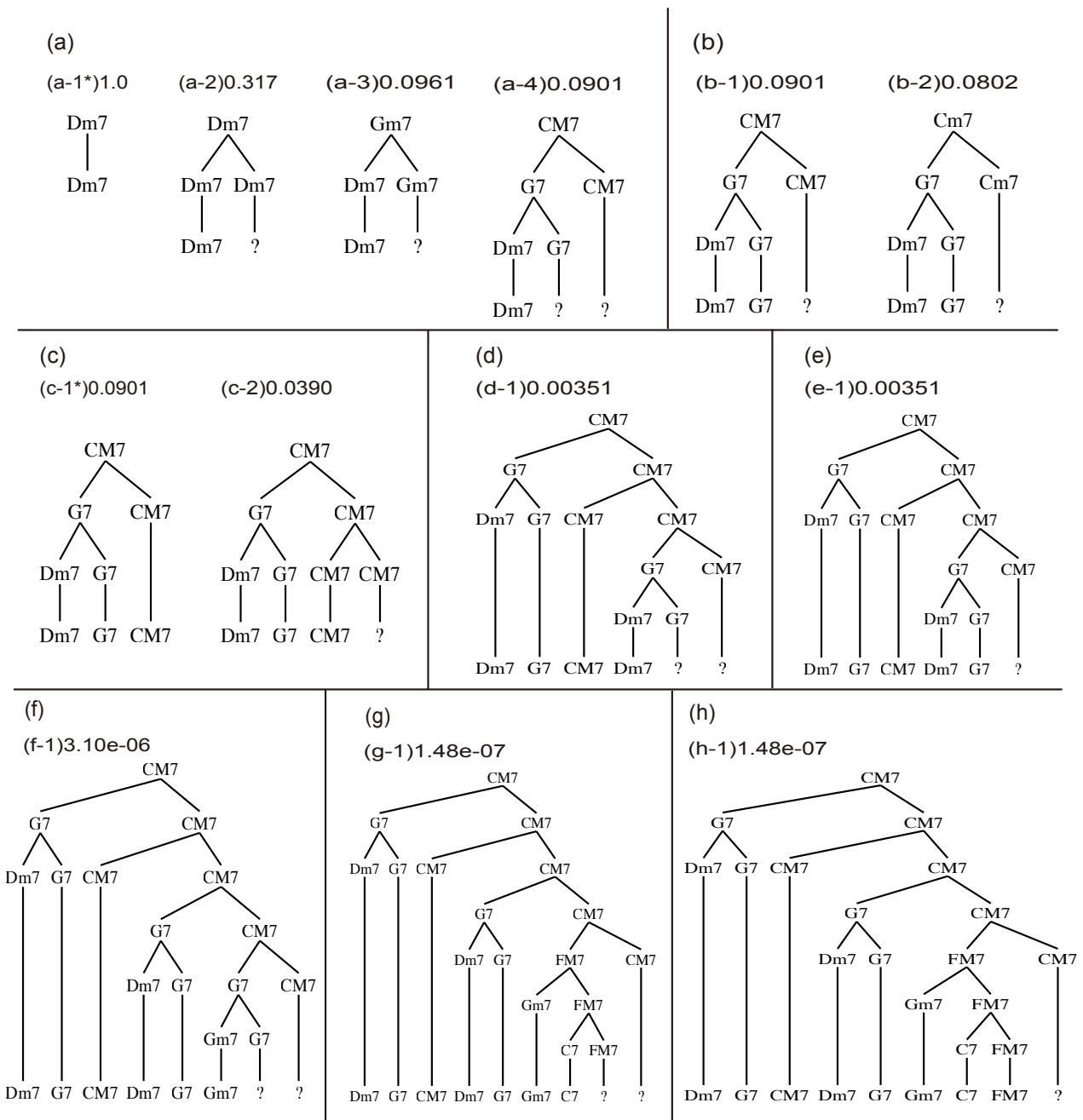


図 7 Cute の漸進的木構造解析