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]

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

目次

認知的音楽理論
(cognitive musicology)

伝統的音楽理論： 音楽を「作る側」の理論

認知的音楽理論： 「聴く側」の認知過程を踏まえた分析理論

GTTM，IRモデル 等

伝統的音楽理論

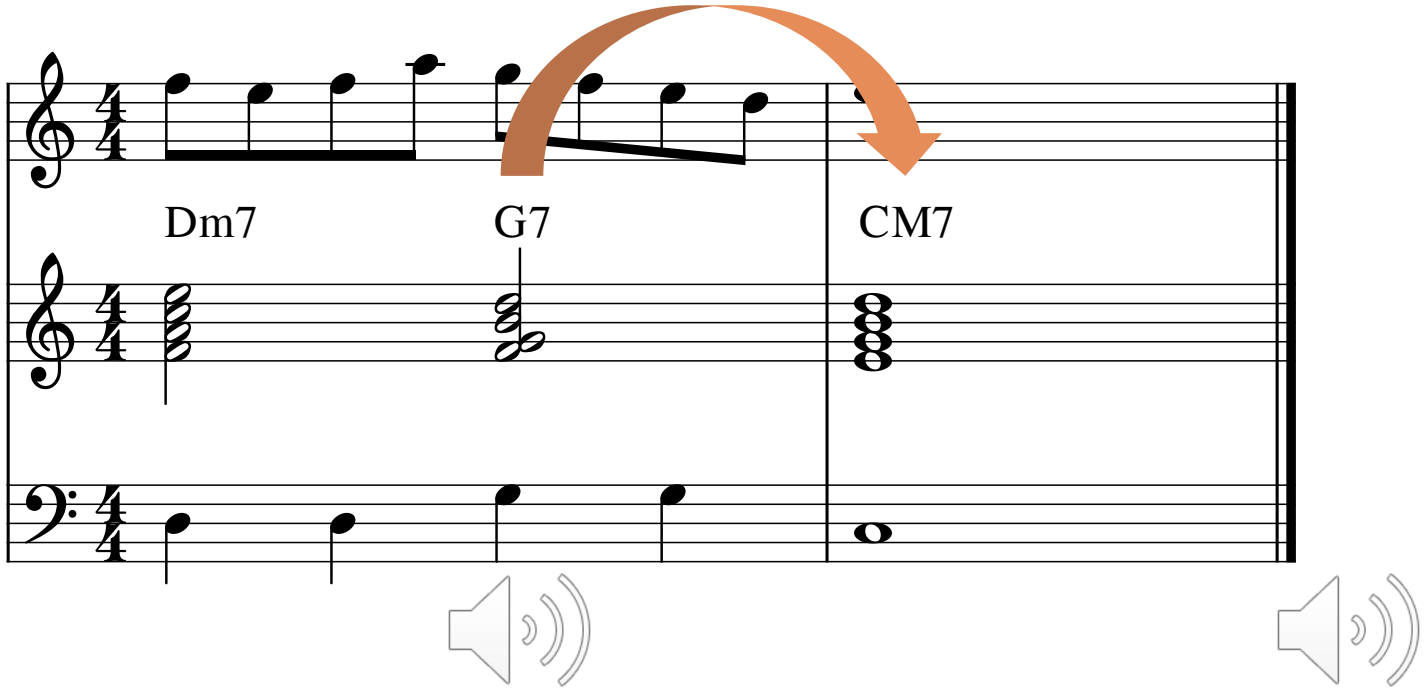
認知的音楽理論

音楽認知の計算モデルを作りたい！

従来の認知的音楽理論

Generative Syntax Model [1]

和声構造を分析



G7の時に次の和音を（何か来るだろうと）期待する
CM7で期待が実現したような感じ

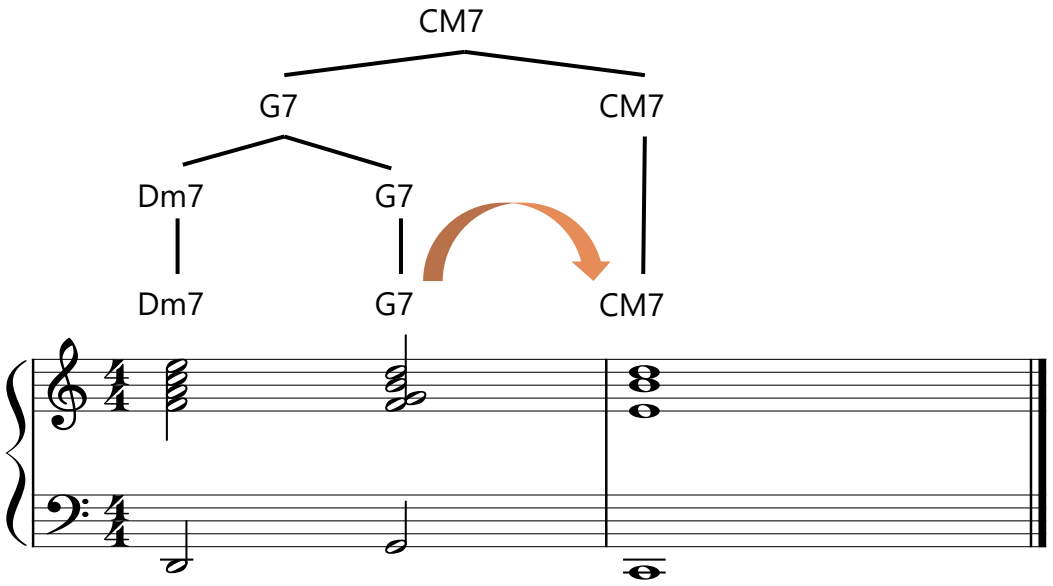
[1] M. Rohrmeier, *Towards a generative syntax of tonal harmony,* Journal of Mathematics and Music, 2011

従来の認知的音楽理論

Generative Syntax Model [1]

音楽認知に基づく文脈自由規則(CFG)を定義

CM7 → G7 CM7
G7 → Dm7 G7
Dm7 → Dm7
G7 → G7
CM7 → CM7 etc.



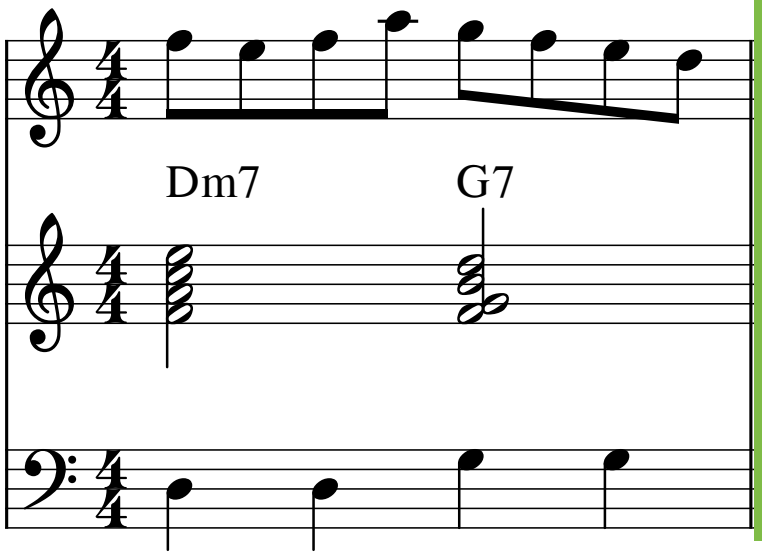
和声進行の期待-実現の関係を階層的に表現可能であると提案

[1] M. Rohrmeier, *Towards a generative syntax of tonal harmony,* Journal of Mathematics and Music, 2011

Generative Syntax Model の問題点

楽曲途中の認知構造が表現できない

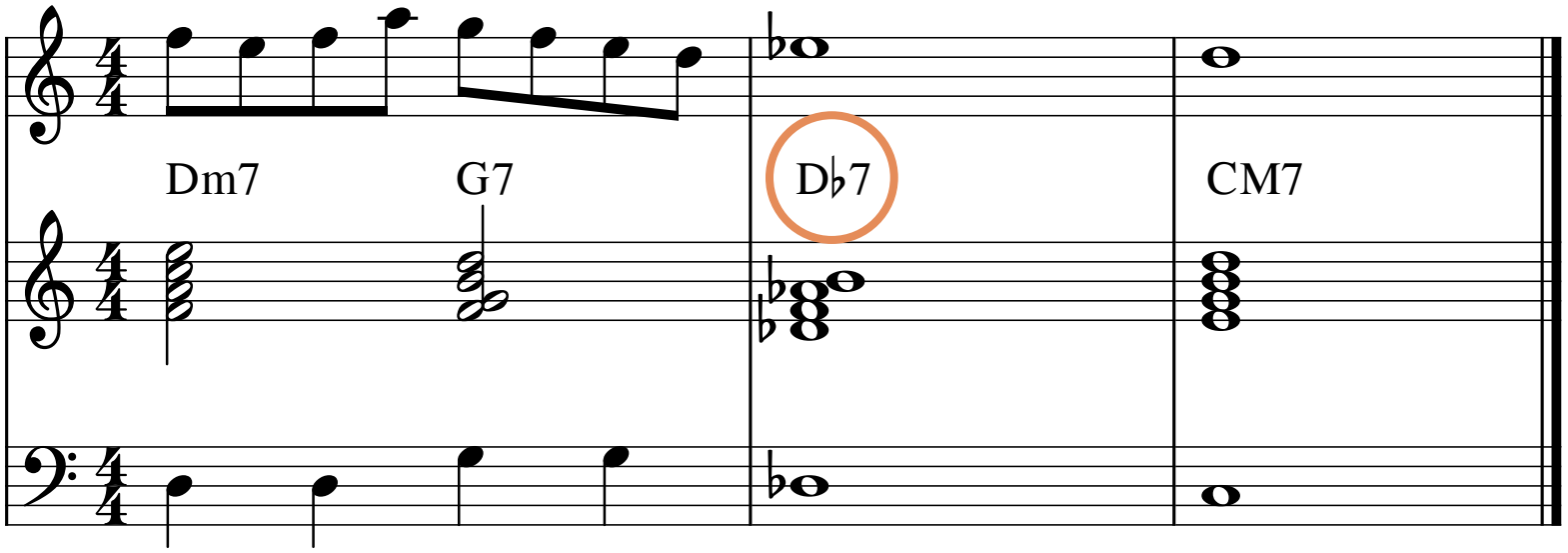
楽曲全体に対する解析のみである



?

Generative Syntax Model の問題点

和声進行の意外性が音楽の面白さになりうる



楽曲途中の構造を表示して

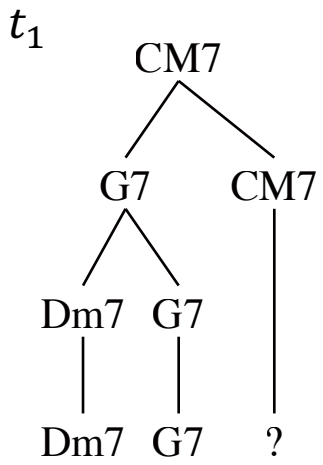
コード進行の意外性を評価する

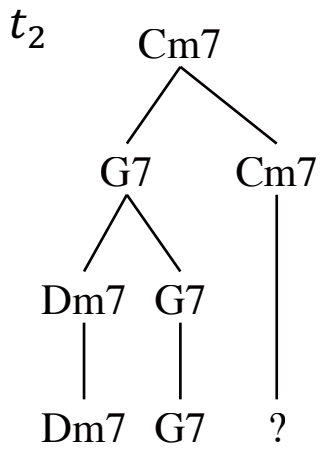
2. 確率文脈自由文法に基づく漸進的構造解析

確率文脈自由文法 (**P**robabilistic **C**ontext-**F**ree **G**rammar)

各構文規則に適用確率を付与
→構文木の生成確率を計算可能

Rule	Prob.
CM7 → G7 CM7	0.7
CM7 → CM7 CM7	0.3
Cm7 → G7 Cm7	0.4
Cm7 → Cm7 Cm7	0.6
G7 → Dm7 G7	0.4
G7 → G7 G7	0.3
G7 → D7 G7	0.3





ex.) $P(t_1) = 0.7 \times 0.4 = 0.28$

$P(t_2) = 0.4 \times 0.4 = 0.16$

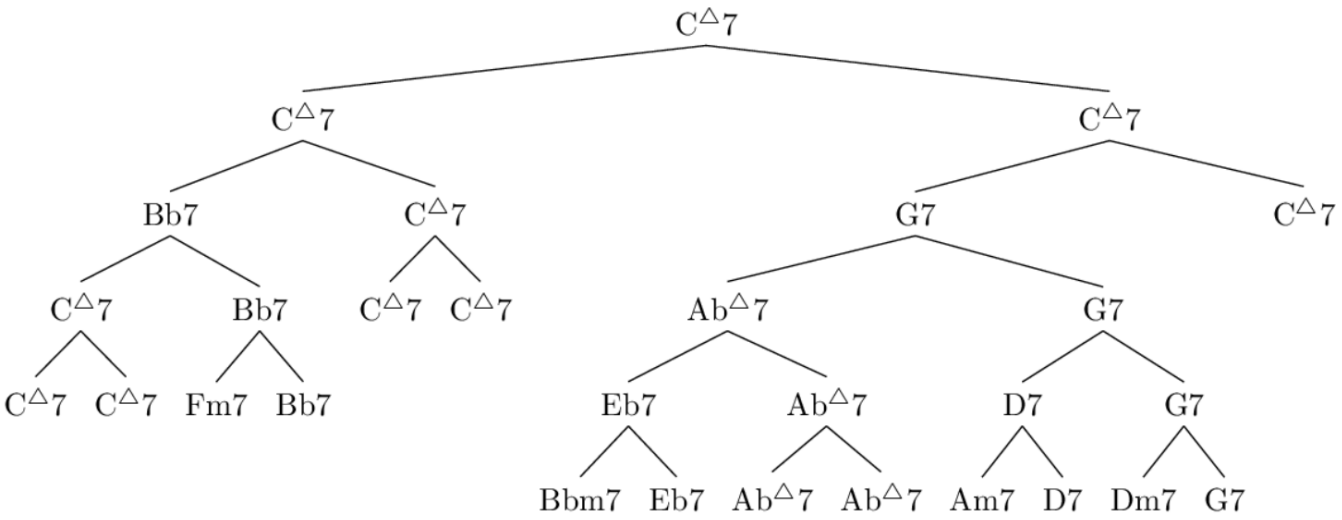
木構造どうしの比較が可能に

PCFG 適用確率の推定

Jazz Harmony Treebank[4]

- 確率文脈自由文法のパラメータ決定に使用
- 150のジャズコード進行に対して人手で構文木をアノテーション
- 平均27.75コードシンボル長 （合計11697コード ,92種類）

Lady Bird



[4] Daniel Harasim, Christoph Finkensiep, Petter Ericson, Timothy J O'donnell, and Martin Rohrmeier. The jazz harmony treebank, International Society for Music Information Retrieval (ISMIR), 2020.

楽曲途中の木構造の表示

漸進的チャート解析[3]

1. 辞書引き
   語彙規則を参照し，Local Chartに追加
2. 規則適用
   文法規則を参照し，Local Chartを構成
3. 項の置き換え
   Local Chart中の項を用いて
   Global Chartの未決定項を書き換え

input chord	global_chart ID	edge	term	rules
	(1)	0-0	$[\langle u \rangle]_S$	
Cmaj7	(6)	0-1	$[[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}]_S$	(1)(3)
	(7)	0-1	$[[[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}]_S$	(1)(5)
D7	(14)	0-2	$[[[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}[[[\mathrm{D7}]_{V_G}[\langle u \rangle]_{V_C}]_{V_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}]_{I_C}]_S$	(7)(10)
	(15)	0-2	$[[[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}[[[\mathrm{D7}]_{V_G}[\langle u \rangle]_{V_C}]_{V_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}]_{I_C}]_S$	(7)(12)
Dmin7	(22)	0-3	$[[[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}[[[\mathrm{D7}]_{V_G}[[\mathrm{Dmin7}]_{II_C}[\langle u \rangle]_{V_C}]_{V_C}]_{V_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}]_{I_C}]_S$	(14)(17)
	(23)	0-3	$[[[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}[[[\mathrm{D7}]_{V_G}[[\mathrm{Dmin7}]_{II_C}[\langle u \rangle]_{V_C}]_{V_C}]_{V_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}]_{I_C}]_S$	(15)(17)
G7	(29)	0-4	$[[[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}[[[\mathrm{D7}]_{V_G}[[\mathrm{Dmin7}]_{II_C}[\mathrm{G7}]_{V_C}]_{V_C}]_{V_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}]_{I_C}]_S$	(22)(24)
	(30)	0-4	$[[[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}[[[\mathrm{D7}]_{V_G}[[\mathrm{Dmin7}]_{II_C}[\mathrm{G7}]_{V_C}]_{V_C}]_{V_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}]_{I_C}]_S$	(23)(24)

Algorithm 1 Algorithm of incremental parsing

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

  step1 Lexicon Consultation\
  for $X \in$ Lexicon **do**
    if $w = X$ **then**
      $L\_chart \leftarrow L\_chart \cup \{[w]_X\}$

  step2 Rule Application\
  for $\sigma \in L\_chart$ **and** $A \rightarrow XY \ldots Z \in$ Rules **do**
    if $\sigma = X$ **then**
      $L\_chart \leftarrow$
        $L\_chart \cup \{[\sigma[\langle u \rangle]_Y \ldots [\langle u \rangle]_Z]_A\}$

  step3 Term Replacement\
  for $\phi \in G\_chart$ **and** $\psi \in L\_chart$ **do**
    if $\exists \gamma\ \gamma = lut(\phi) \wedge \gamma = \psi$ **then**
      replace $lut(\phi)$ with ψ
      $temp \leftarrow temp \cup \{\phi\}$
  $G\_chart \leftarrow temp$ *Global charts*\
  return G_chart

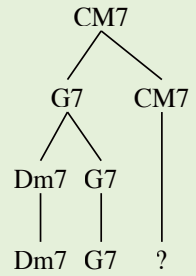
main\
$G\_chart \leftarrow [\langle u \rangle]_S$
for i=1,...,last **do**
  $w_i \leftarrow$ input_chord
  $G\_chart \leftarrow$ CHART_PARSING(G_chart, w_i)

[3] S. Matsubara, S. Arai, K. Toyama, Y. Inagaki,
Chart-based parsing and transfer in incremental spoken language translation,
in Proc. the 4th Natural Language Processing Pacific Rim Symposium, 1997

2.3 意外性の指標U

確率文脈自由文法 (PCFG)

Rule	Prob.
CM7 → G7 CM7	0.7
G7 → Dm7 G7	0.4



$$P(t_1) = 0.7 \times 0.4 = 0.28$$

木構造どうしの比較

漸進的チャート解析

input chord	global_chart ID	edge	term	rules
	(1)	0-0	$[\langle u \rangle]_S$	
Cmaj7	(6)	0-1	$[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}]_S$	(1)(3)
	(7)	0-1	$[[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}]_S$	(1)(5)
D7	(14)	0-2	$[[[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}[[\mathrm{D7}]_{V_G}[\langle u \rangle]_{V_C}]_{V_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}]_{I_C}]_S$	(7)(10)
	(15)	0-2	$[[[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}[[[\mathrm{D7}]_{V_G}[\langle u \rangle]_{V_C}]_{V_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}]_{I_C}]_S$	(7)(12)
Dmin7	(22)	0-3	$[[[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}[[\mathrm{D7}]_{V_G}[\mathrm{Dmin7}]_{II_C}[\langle u \rangle]_{V_C}]_{V_C}]_{V_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}]_{I_C}]_S$	(14)(17)
	(23)	0-3	$[[[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}[[[\mathrm{D7}]_{V_G}[\mathrm{Dmin7}]_{II_C}[\langle u \rangle]_{V_C}]_{V_C}]_{V_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}]_{I_C}]_S$	(15)(17)
G7	(29)	0-4	$[[[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}[[\mathrm{D7}]_{V_G}[\mathrm{Dmin7}]_{II_C}[\mathrm{G7}]_{V_C}]_{V_C}]_{V_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}]_{I_C}]_S$	(22)(24)
	(30)	0-4	$[[[\mathrm{Cmaj7}]_{I_C}[[[\mathrm{D7}]_{V_G}[\mathrm{Dmin7}]_{II_C}[\mathrm{G7}]_{V_C}]_{V_C}]_{V_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}[\langle u \rangle]_{I_C}]_{I_C}]_{I_C}]_S$	(23)(24)

楽曲途中の木構造の表示

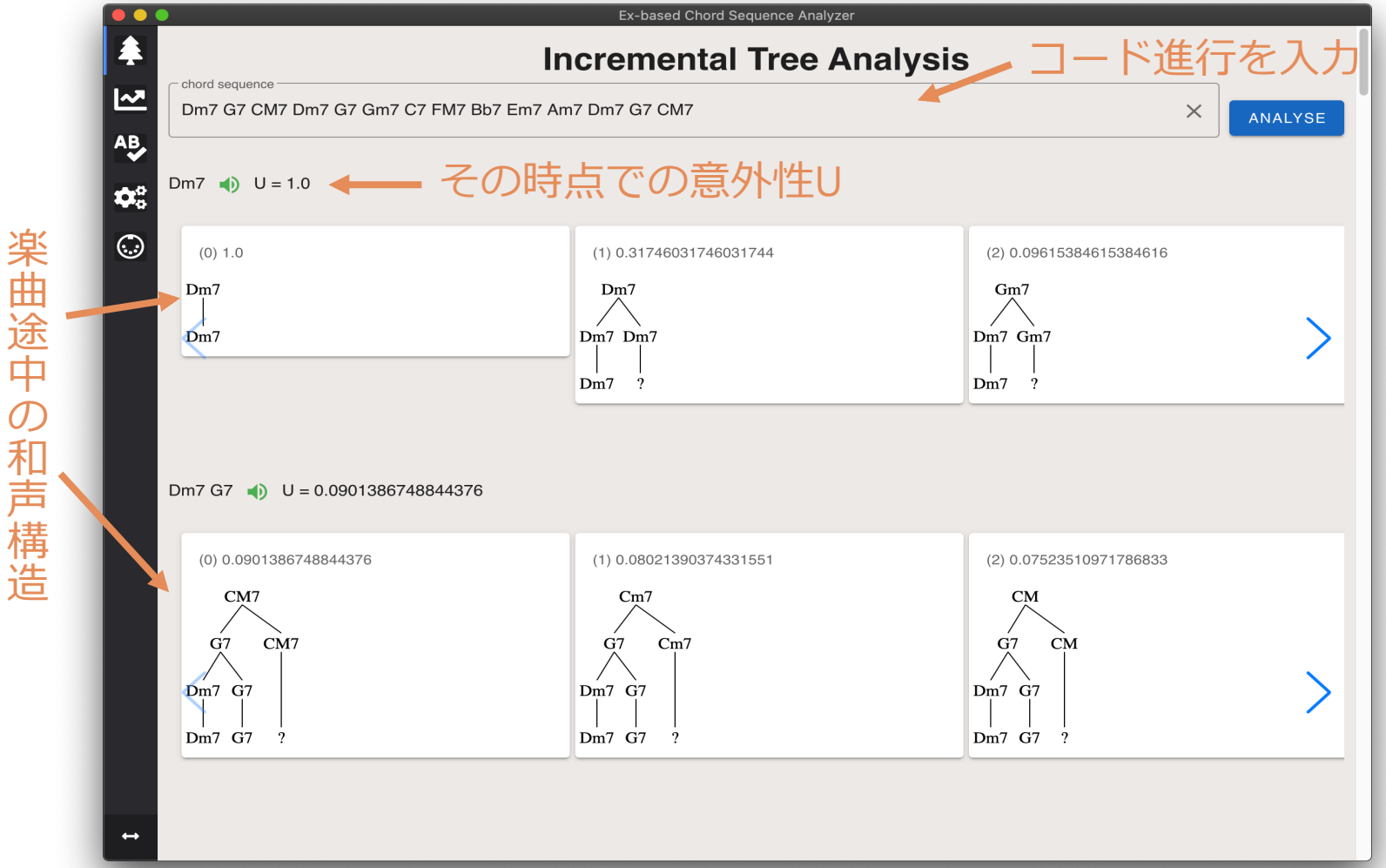
➡ 意外性の指標 U の導入

計算式は解析例の中で説明

3. 楽曲CUTEの解析例と意外性評価

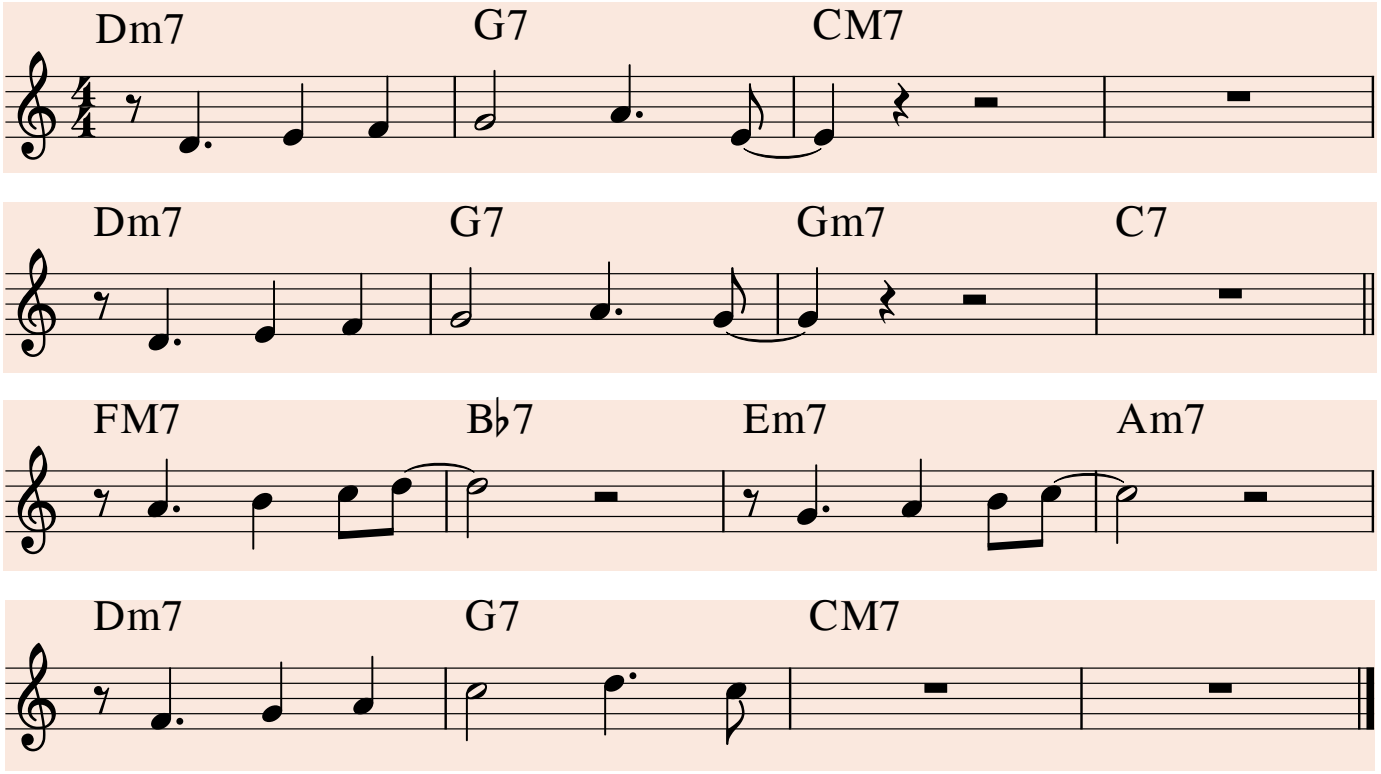
Expectation-based Chord Sequence Analyzer (ECSA)

音楽的期待に基づくジャズ和声の漸進的構造解析システム



CUTE

ジャズスタンダード (一部を抜粋)

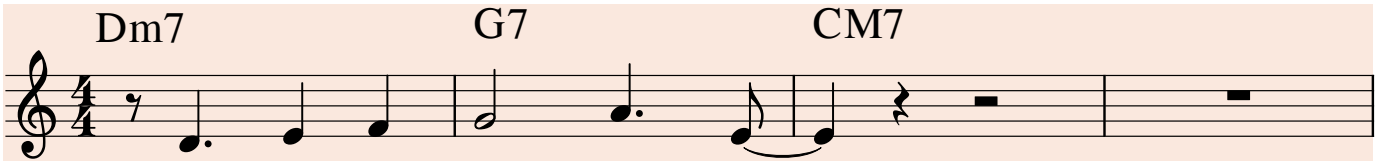


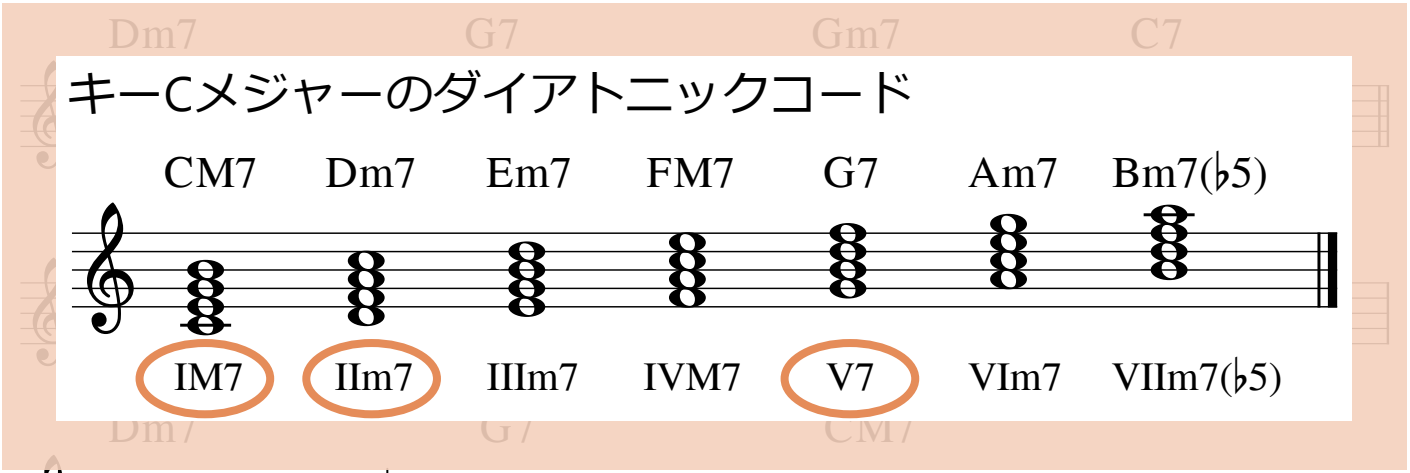
Piano trio ver.

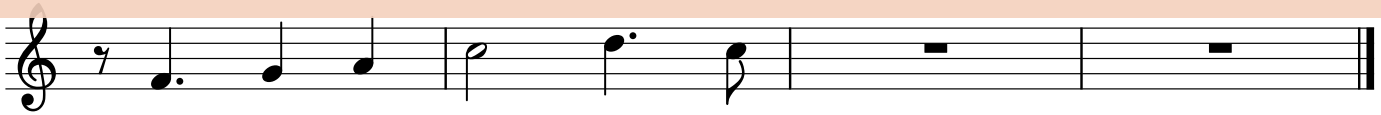
Quartet ver.

CUTE

ECSAによる解析の前に・・・

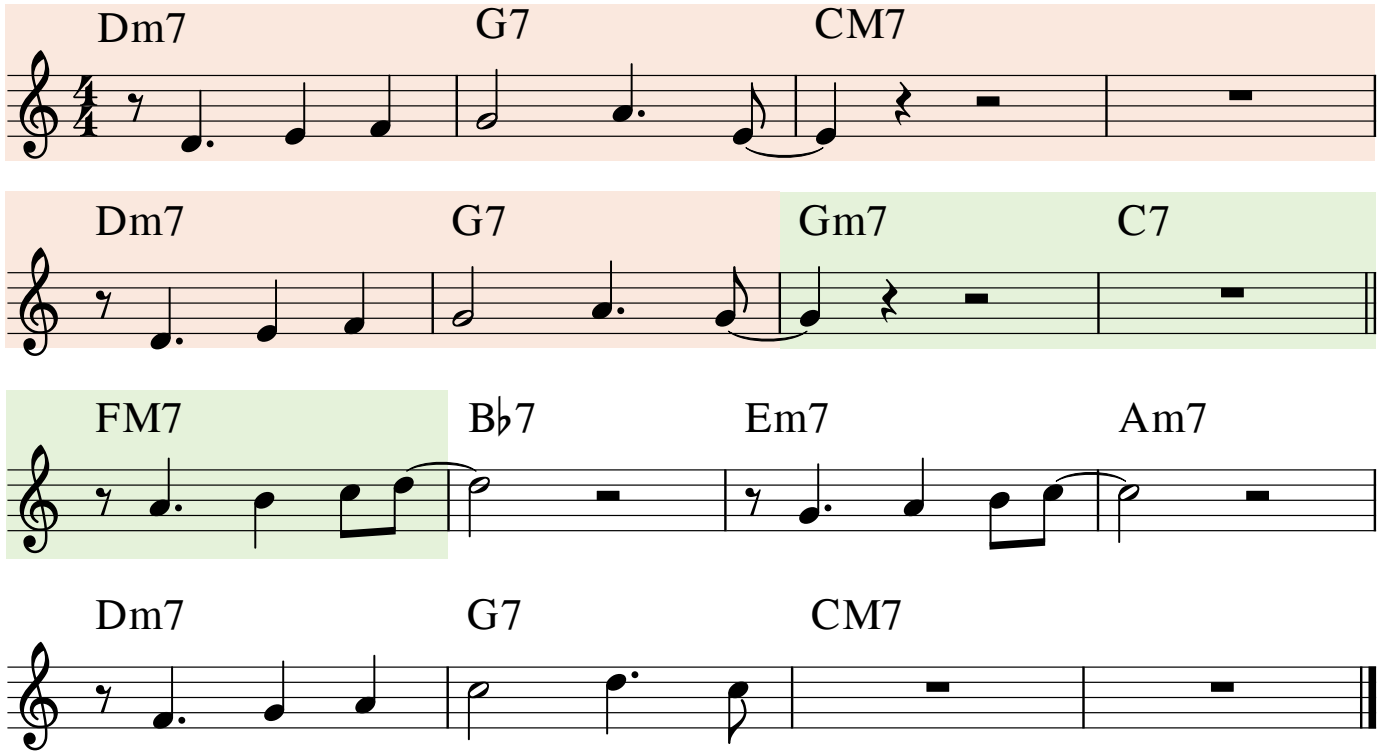






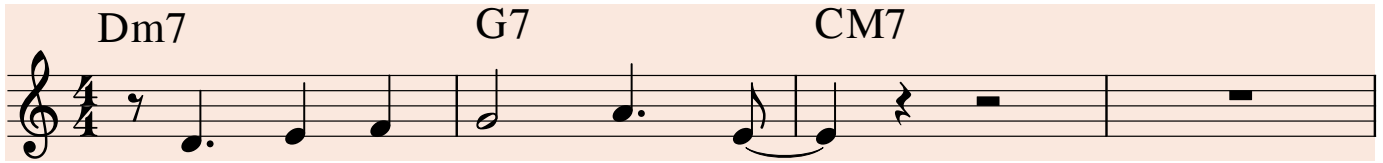
CUTE

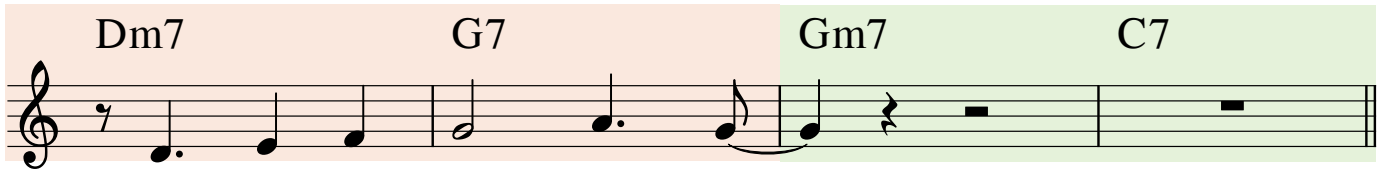
ECSAによる解析の前に・・・

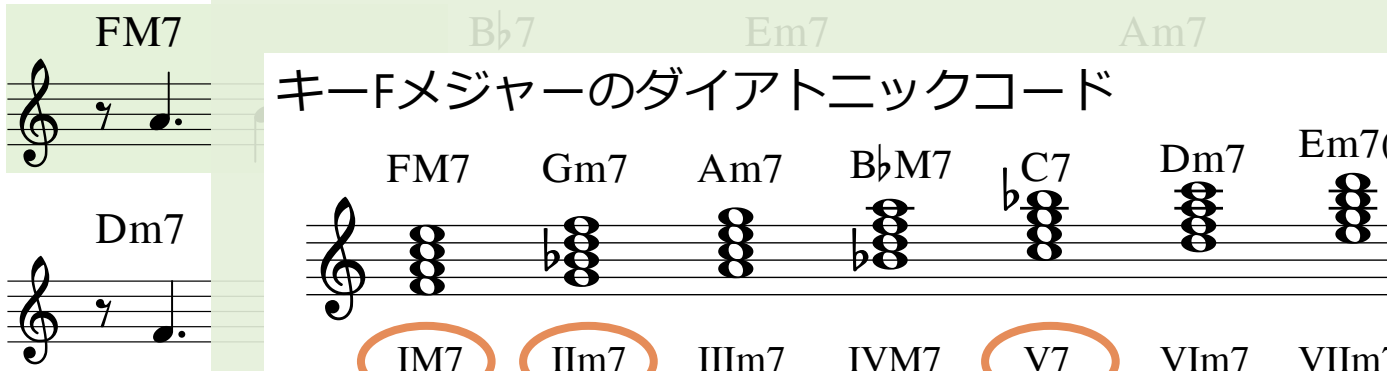


CUTE

ECSAによる解析の前に・・・

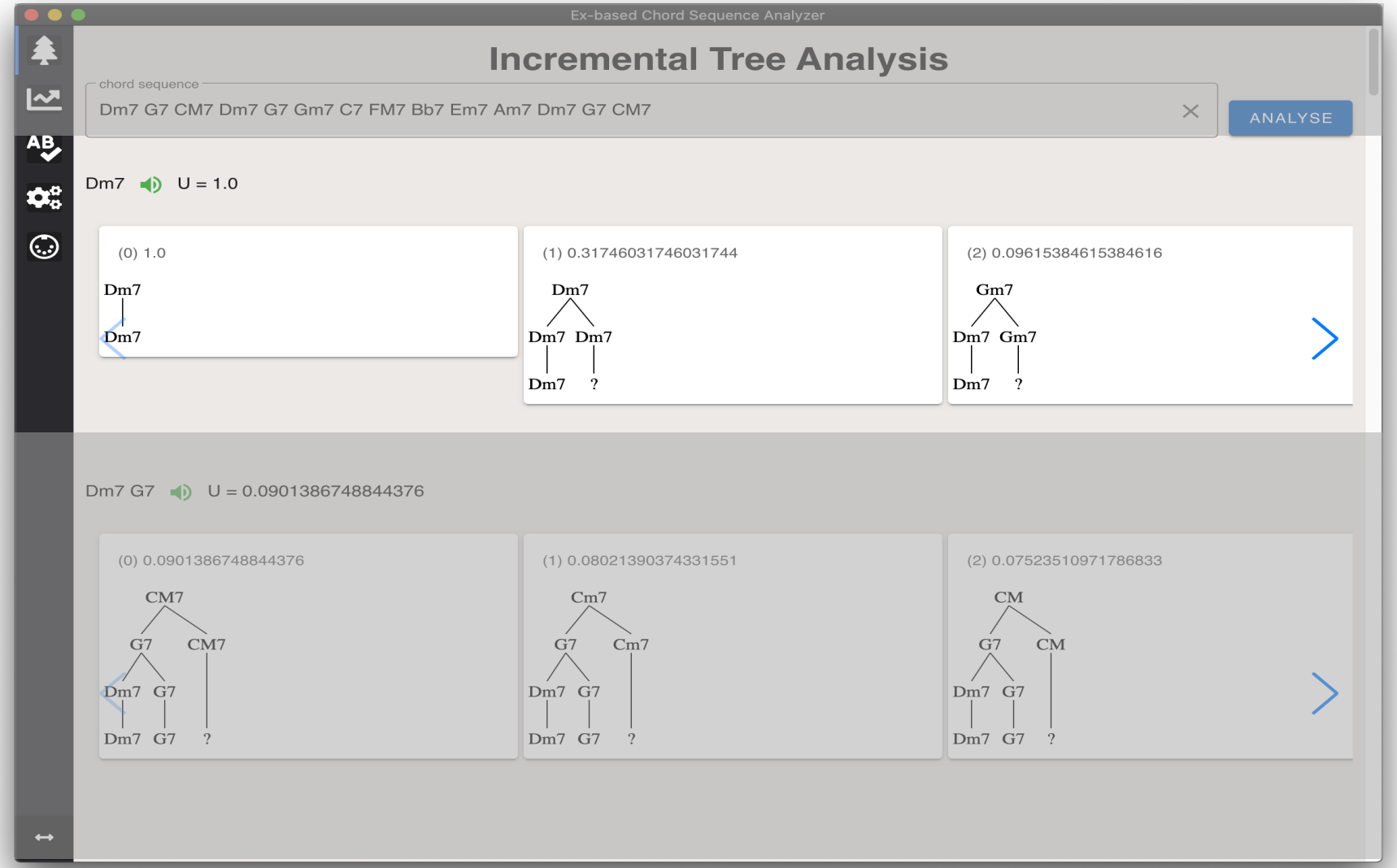






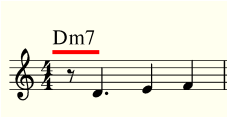
CUTE

ECSA での 解析結果



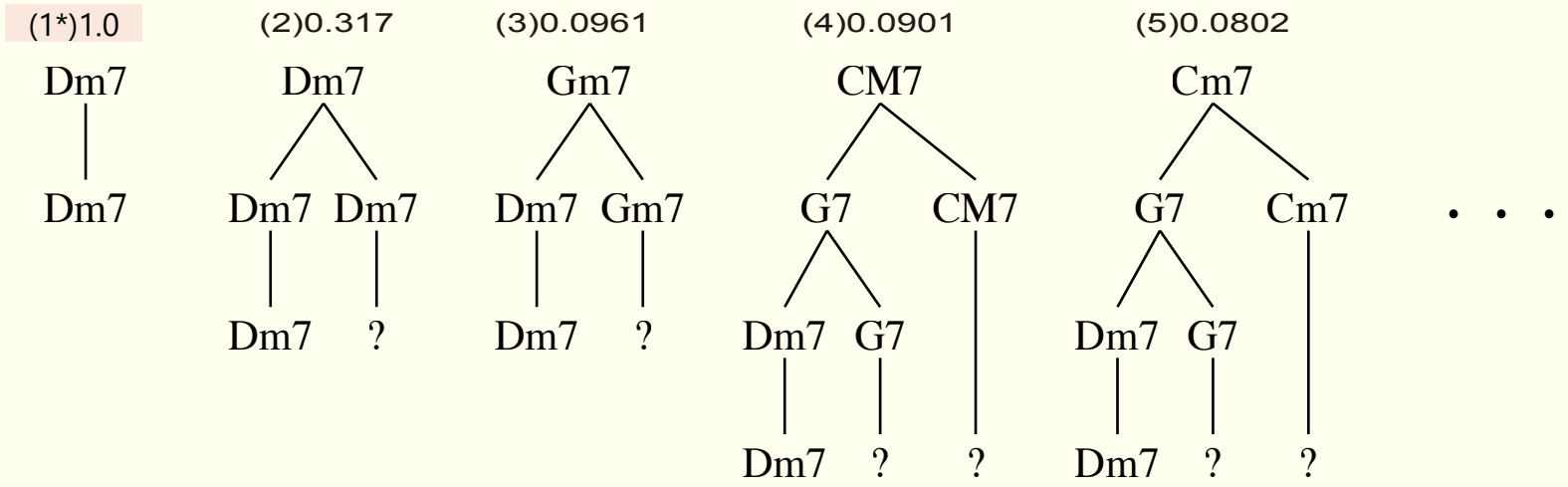
3.2 楽曲 *CUTE* の漸進的構造解析

ECSA での 解析結果



・Dm7

(順位*完全部分木) 生成確率値

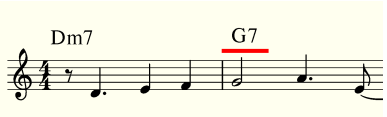


? ： 次に期待されるコード(カテゴリ)

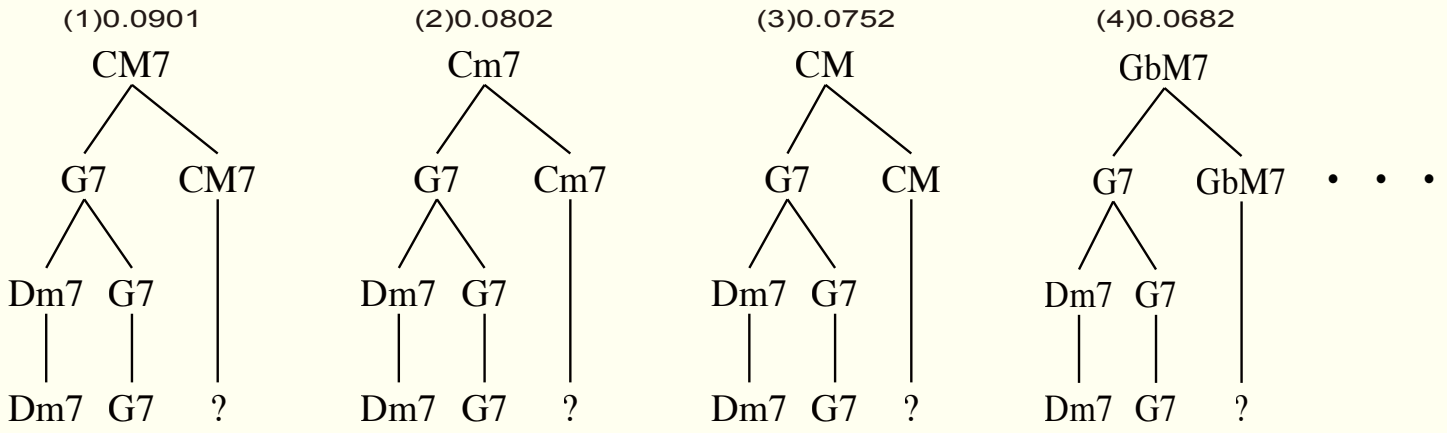
完全部分木* ： その時点で和声進行が完結(安定)

3.2 楽曲 *CUTE* の漸進的構造解析

ECSA での 解析結果

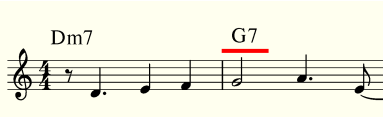


・Dm7 G7

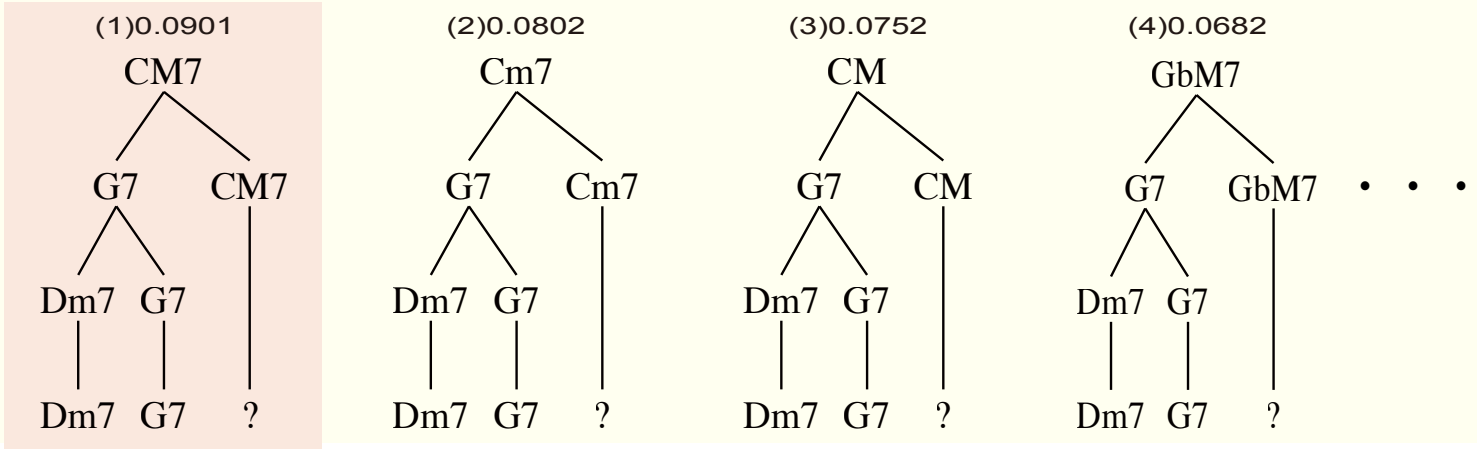


3.2 楽曲 *CUTE* の漸進的構造解析

ECSA での 解析結果



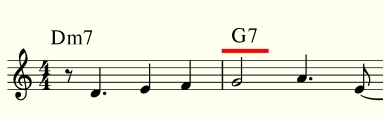
・Dm7 G7



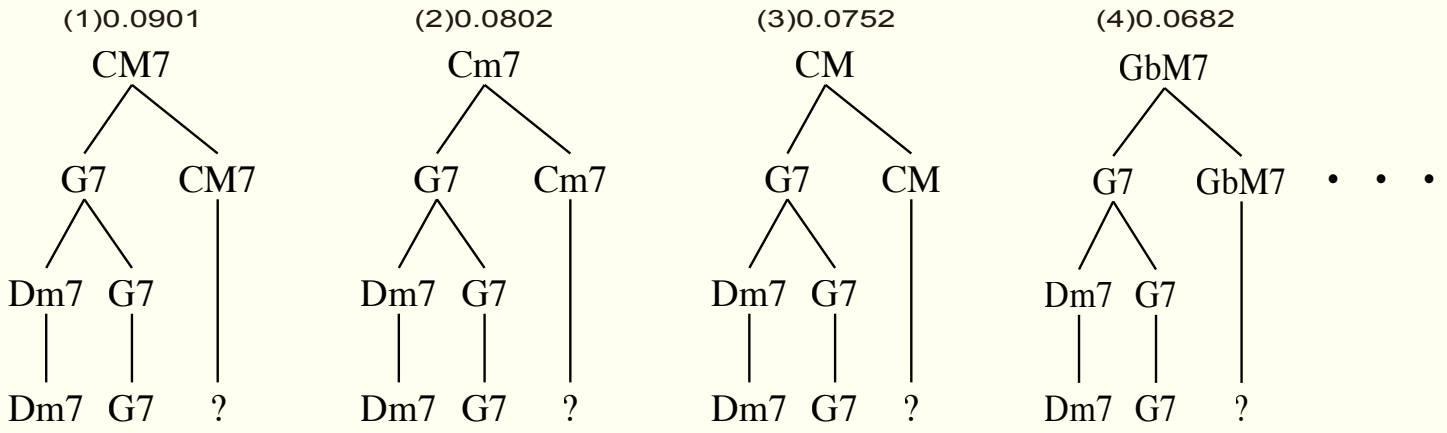
各コードステップにおける認知構造を代表するものとして、
最大の生成確率を持つ木構造に注目する

3.2 楽曲 *CUTE* の漸進的構造解析

ECSA での 解析結果

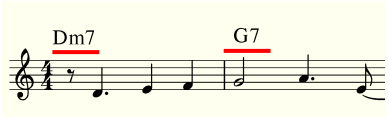


・Dm7 G7

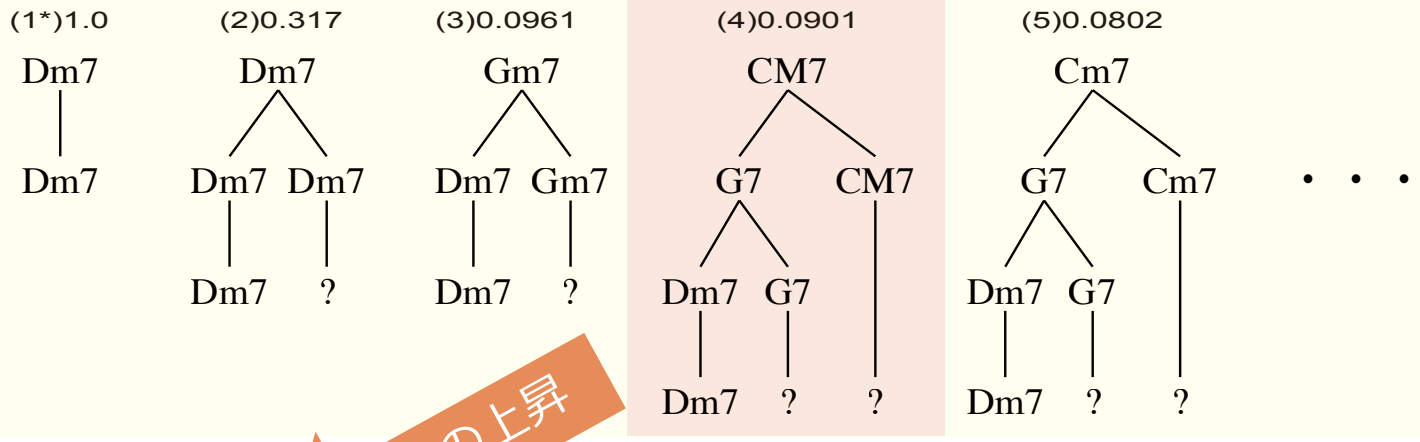


3.2 楽曲 *CUTE* の漸進的構造解析

ECSA での 解析結果

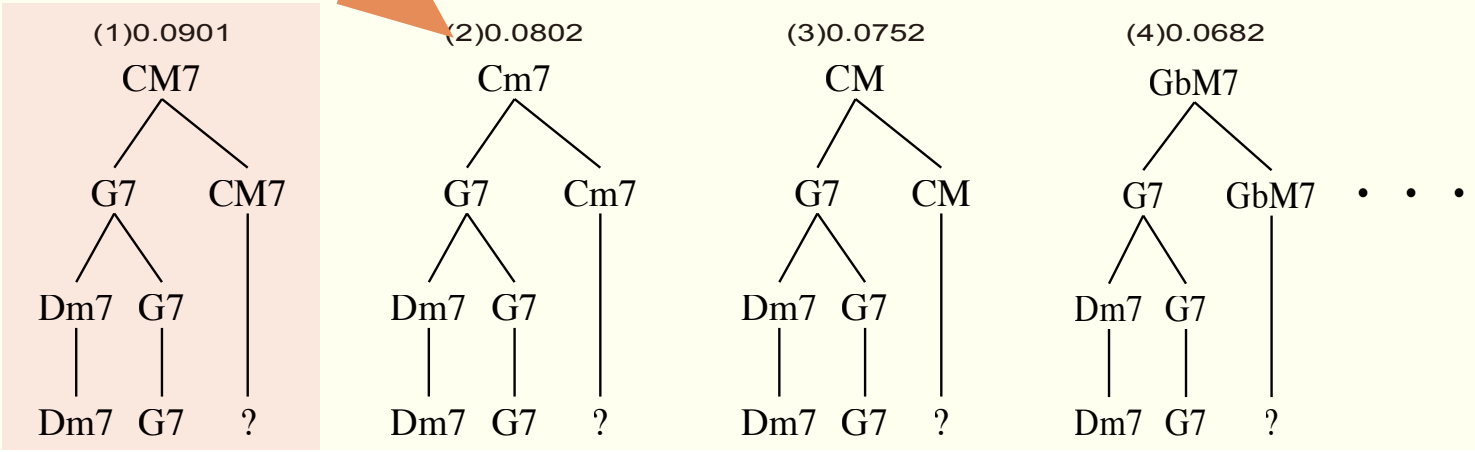


・Dm7



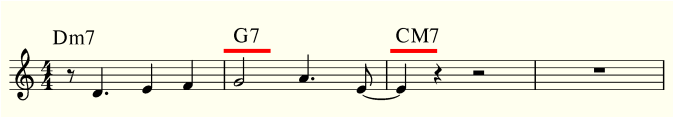
順位の上昇

・Dm7 G7

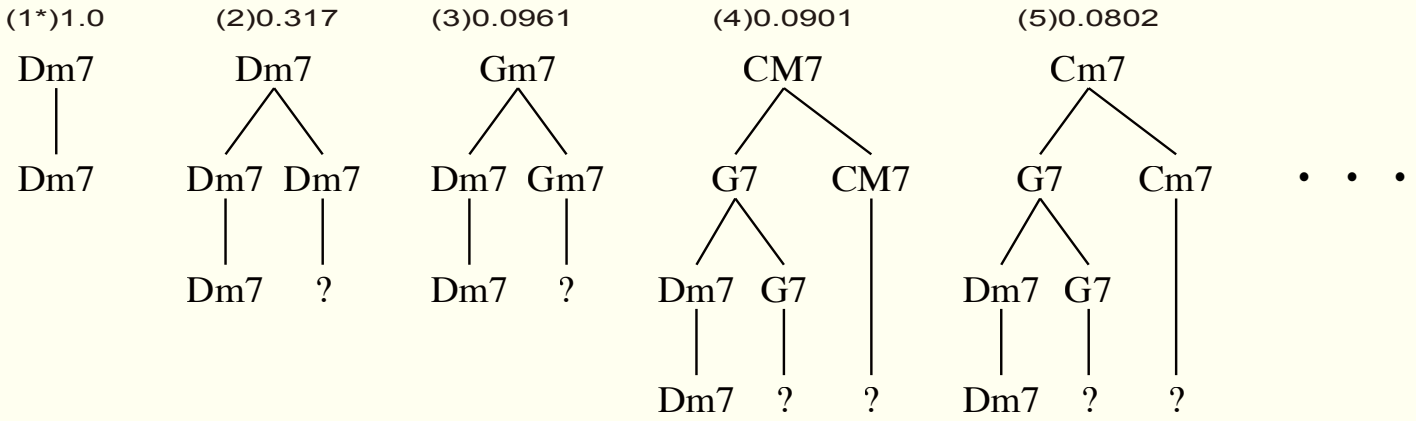


3.2 楽曲 *CUTE* の漸進的構造解析

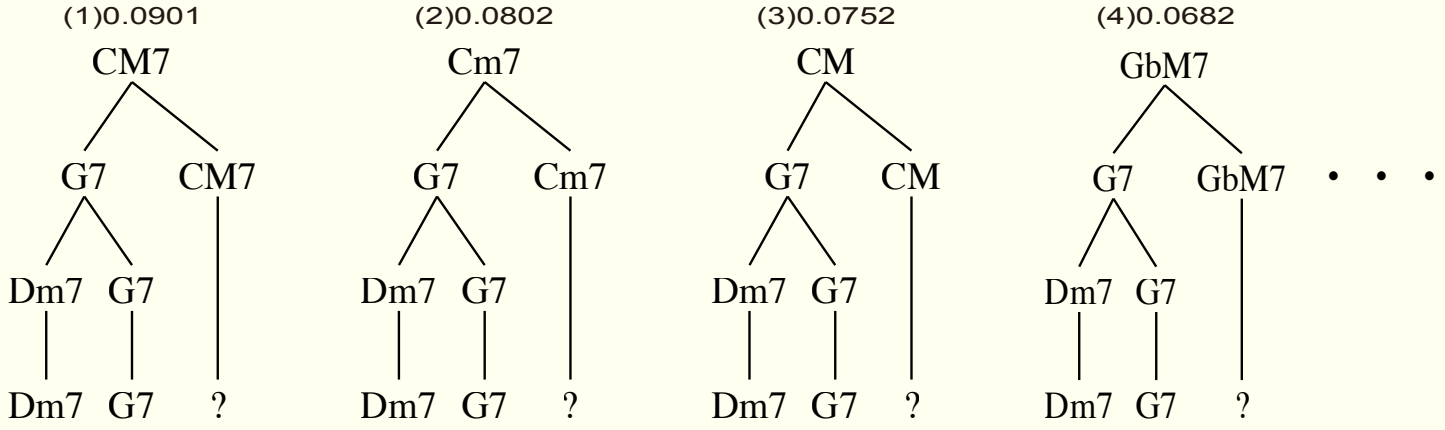
ECSA での 解析結果



・Dm7

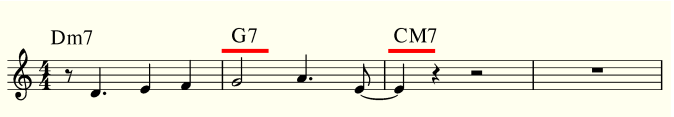


・Dm7 G7

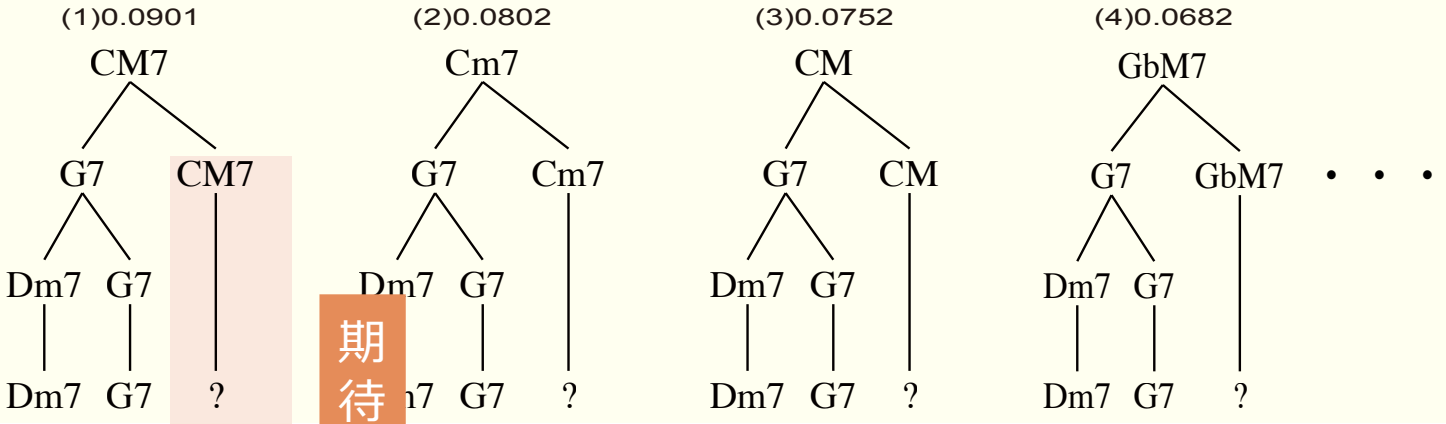


3.2 楽曲 *CUTE* の漸進的構造解析

ECSA での 解析結果

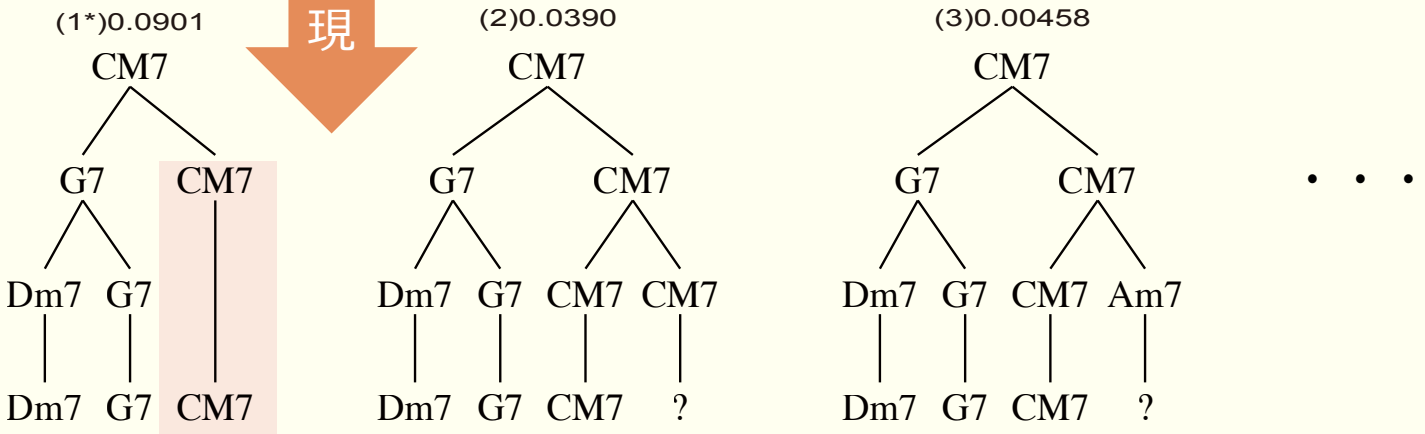


・Dm7 G7



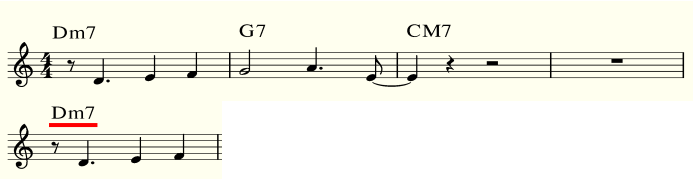
期待の実現

・Dm7 G7 CM7



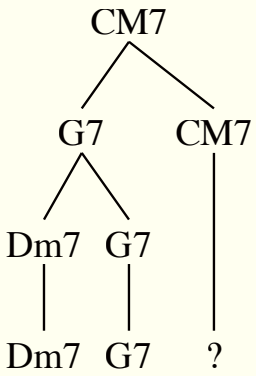
3.2 楽曲 *CUTE* の漸進的構造解析

ECSA での 解析結果

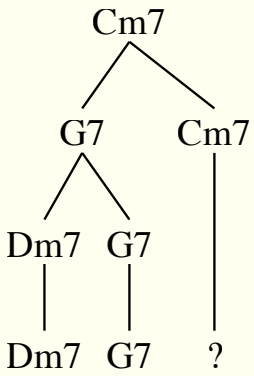


・Dm7 G7

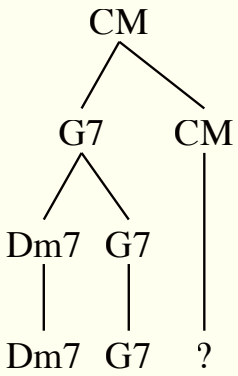
(1)0.0901



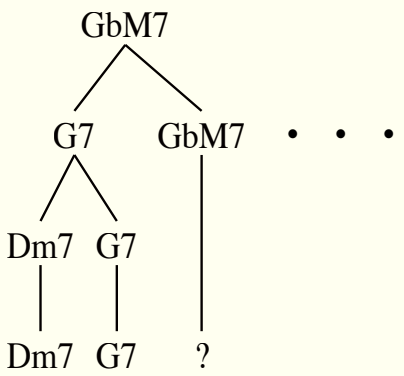
(2)0.0802



(3)0.0752

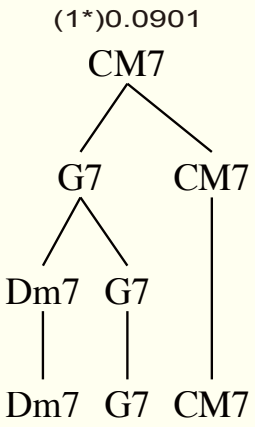


(4)0.0682

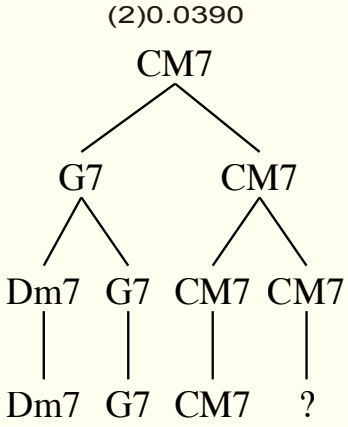


・Dm7 G7 CM7

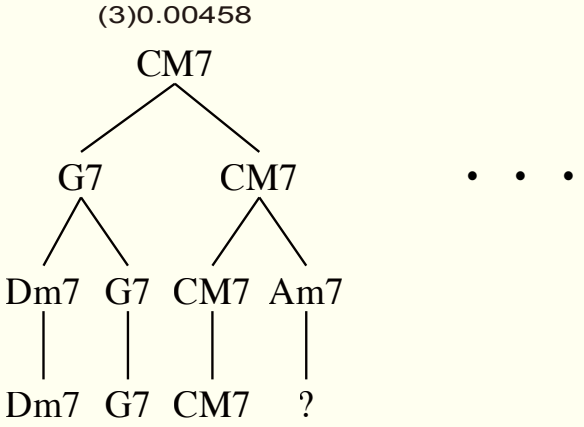
(1*)0.0901



(2)0.0390

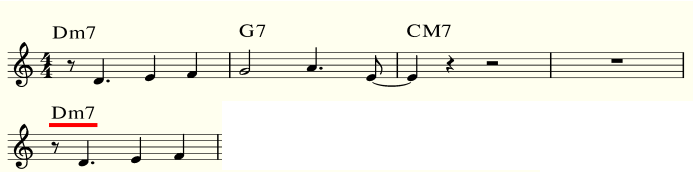


(3)0.00458

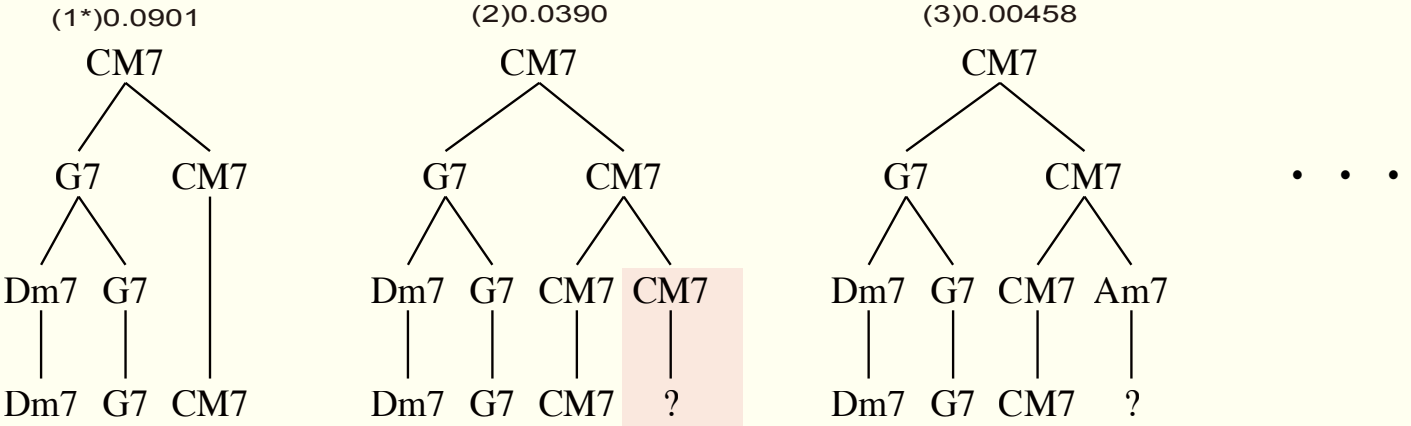


3.2 楽曲 *CUTE* の漸進的構造解析

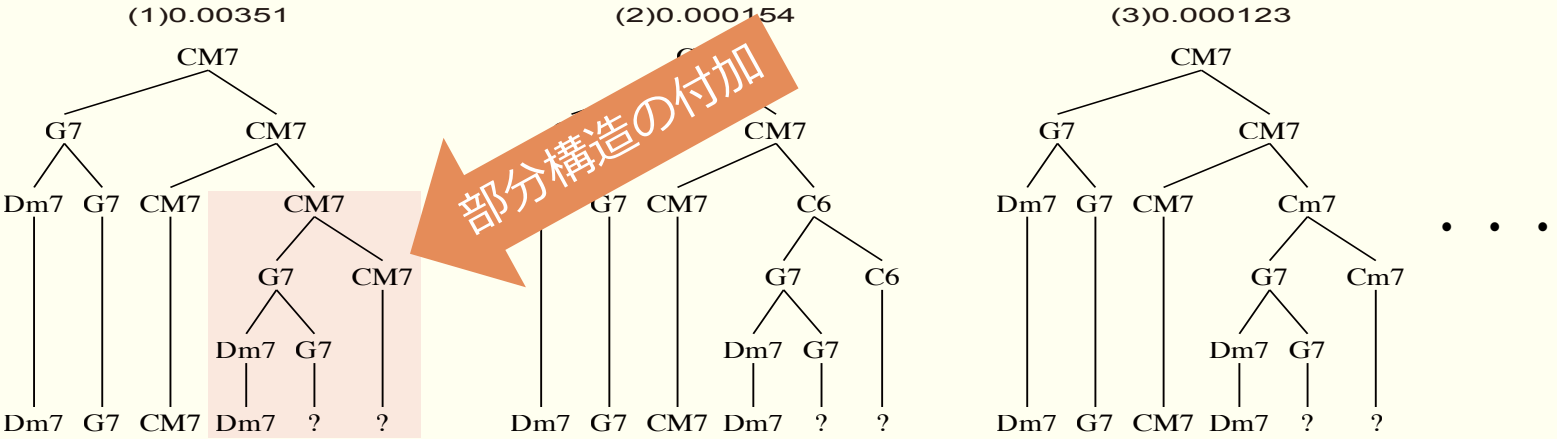
ECSA での 解析結果



・Dm7 G7 CM7



・Dm7 G7 CM7 Dm7



3.3 意外性の考察

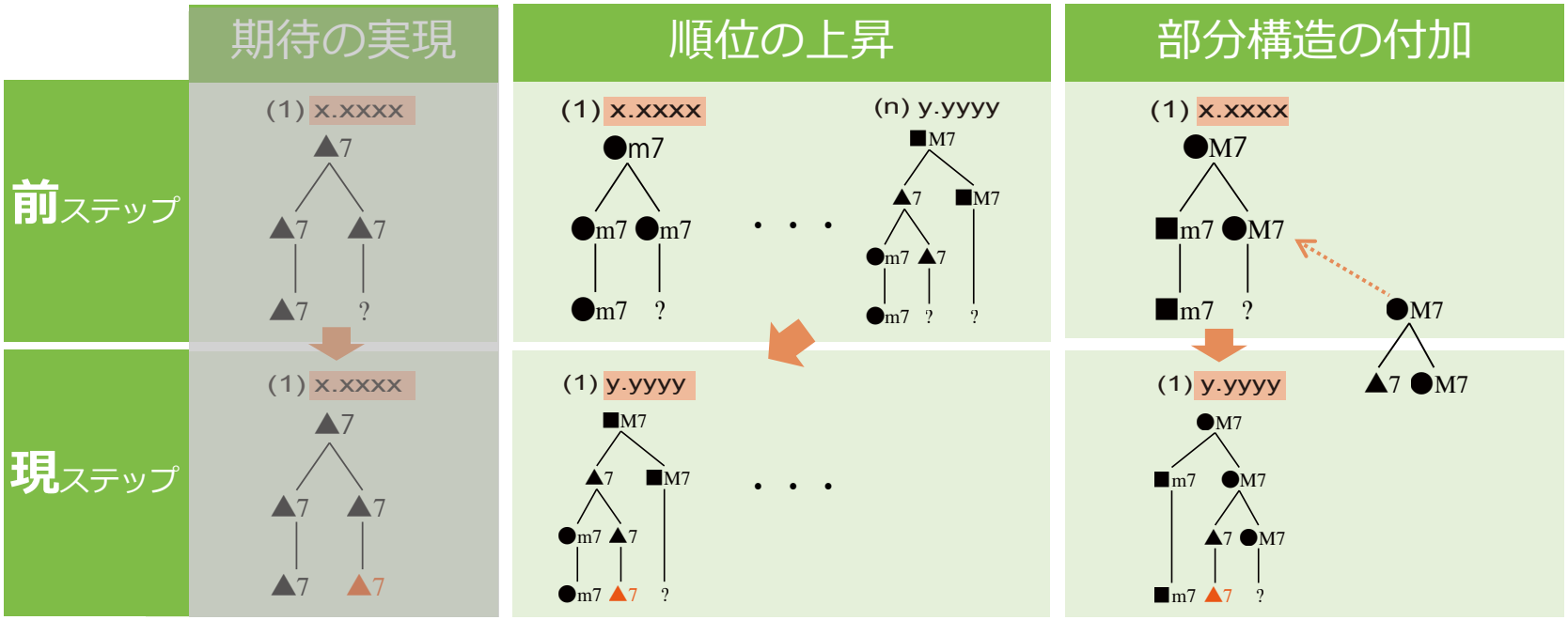
CUTE の意外性を考察する

あるコードステップの意外性（unexpectedness）U $(0 < U \leq 1)$ を以下で与える

$$U = \text{前ステップでの希少度合い} \times \text{新しく付加された部分木の確率}$$

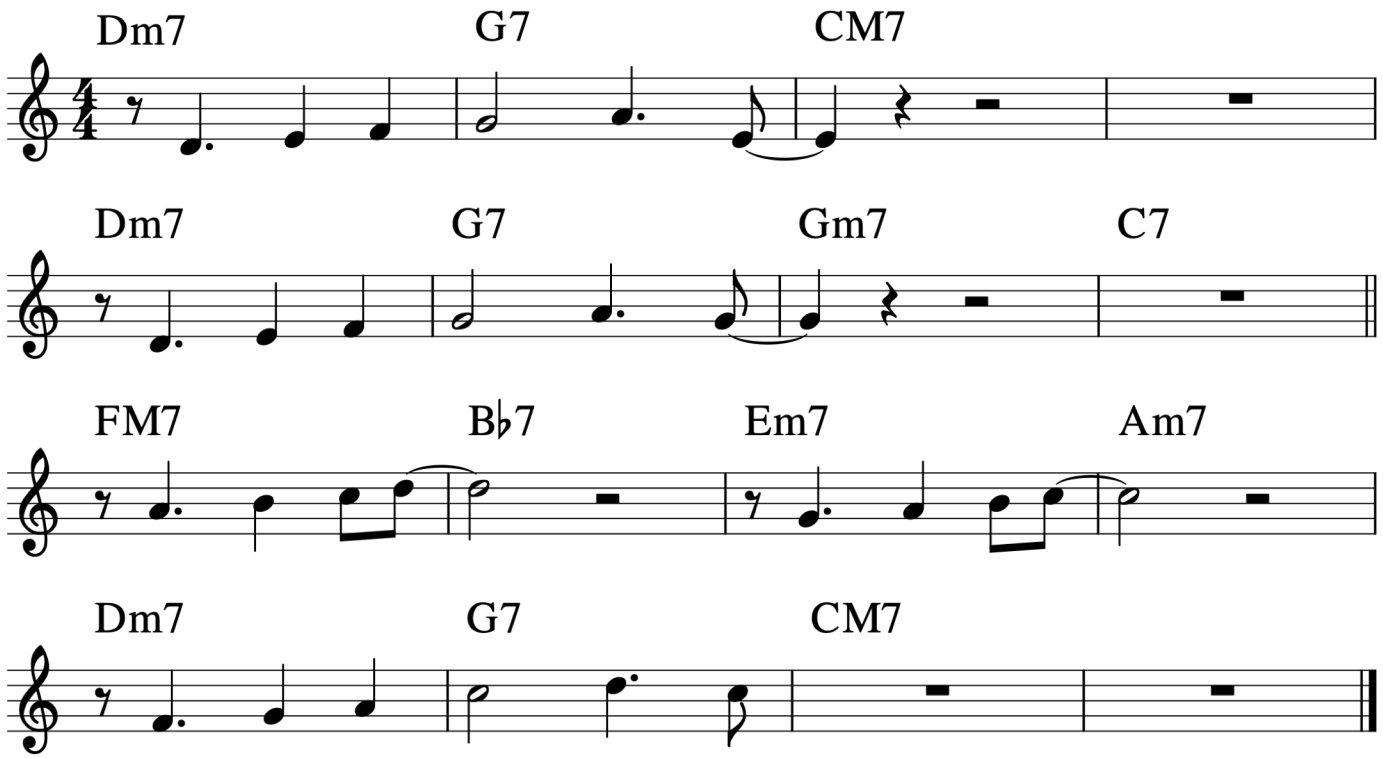
$$= \frac{\text{導出元木構造の生成確率}}{\textbf{前}\text{ステップ}\textbf{1位}\text{の生成確率}} \times \frac{\textbf{現}\text{ステップ}\textbf{1位}\text{の生成確率}}{\text{導出元木構造の生成確率}}$$

小さいほど意外性がある



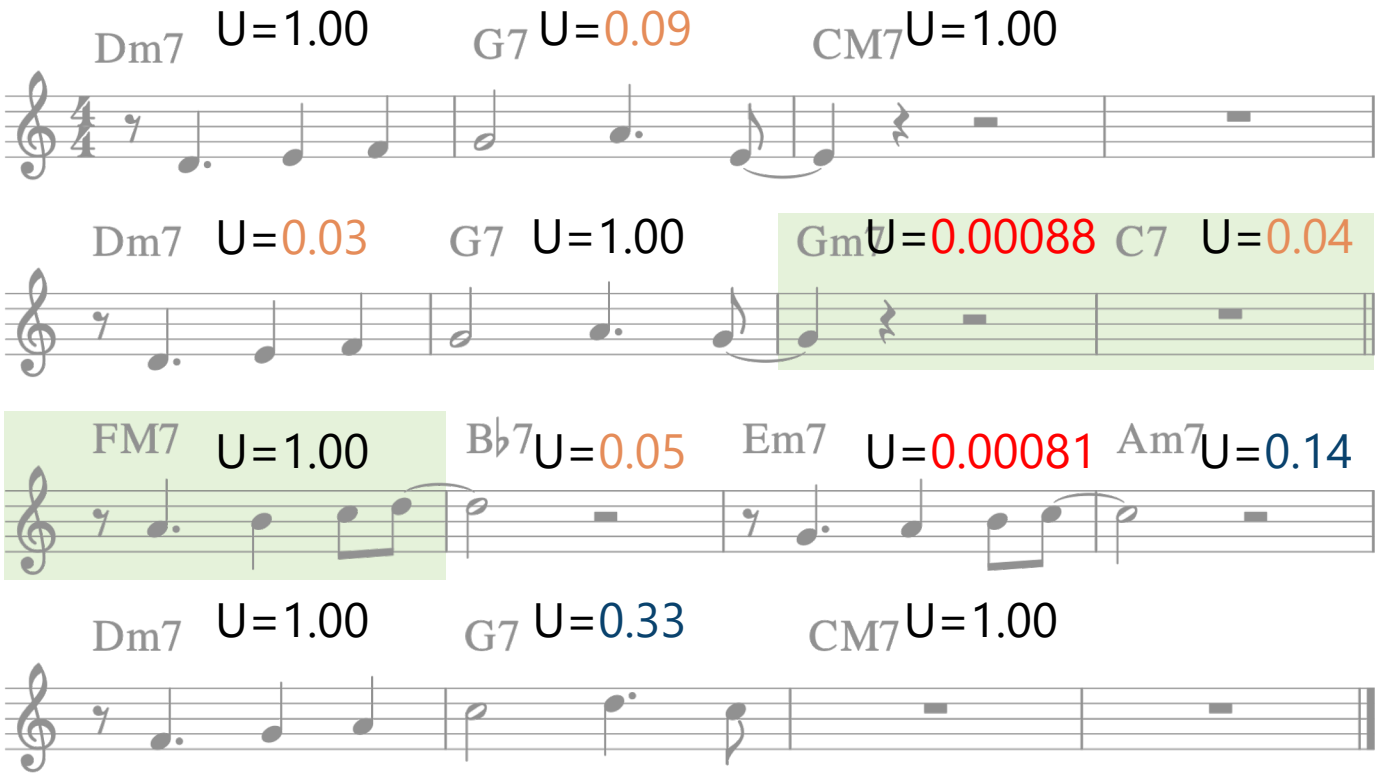
CUTE

各コードステップにおいてU(unexpectedness)を計算



CUTE

各コードステップにおいてU(unexpectedness)を計算



4. まとめ・今後の展望

まとめ

本研究の概要

- 音楽的期待に基づくジャズ和声解析手法の提案
- 確率文脈自由文法による漸進的解析により
  楽曲途中の認知構造を表示
- 木構造の比較によって意外性の生じるポイントを議論

今後の展望

- 意外性*U*の認知的リアリティの調査
- 複数楽曲間における意外性Uの比較