

# 新しい GTTM メロディモーフィング手法の提示： 既存手法とマリンバ作品を経て

小林瑞季<sup>†1</sup> 浜中雅俊<sup>†2</sup>

**概要：**音楽理論 GTTM に基づくメロディモーフィング手法の改良について述べる。従来のメロディモーフィング手法は、自動化する上で2つの問題があった。第一の問題は GTTM のタイムスパン分析の分析性能が低いことである。そこで我々は、タイムスパン分析が可能な音楽家によりメロディモーフィング手法を手作業で行うことを試みた。第二の問題は、タイムスパン木の部分簡約において簡約する枝の順序が適切に定義されていないことである。そこで本稿では、簡約順序を定義し自動化を試みた。

**キーワード：**音楽理論 GTTM, メロディモーフィング手法, タイムスパン木, 部分簡約

## Improvement of GTTM Melody Morphing Method: Before and After Composing Marimba Pieces

MIZUKI KOBAYASHI<sup>†1</sup> MASATOSHI HAMANAKA<sup>†2</sup>

### 1. はじめに

本稿では、音楽理論 Generative Theory of Tonal Music (GTTM)[1]に基づくメロディモーフィング手法[2]の自動化の試みについて述べる。GTTM は、音楽に関して専門知識のある聴取者の直観を形式的に記述するための理論として Fred Lerdahl と Ray Jackendoff により提唱された。この理論は、グルーピング構造分析、拍節構造分析、タイムスパン簡約、プロロンゲーション簡約という4つのサブ理論から構成されており、楽譜に分析を加えることで、楽譜に内在する様々な階層構造を深層構造として顕在化させる。タイムスパン簡約は、あるメロディを簡約化することによって、そのメロディの装飾的な部分が削ぎ落とされ、本質的なメロディが抽出されるという直観を表したもので、構造的に重要な音が幹になるような2分木(タイムスパン木)を求める分析である(図1)。

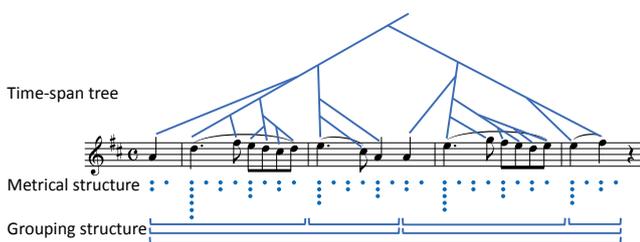


図1 グルーピング構造、拍節構造、タイムスパン木  
Figure 1 Grouping structure, metrical structure, time-span tree.

メロディモーフィングはその基本的なしくみが提案されたのち、改良の試みや定式化が行われてきた[3, 4]。またメロディモーフィング手法で作成されたメロディを利用したアプリケーション[5]や手法を用いた初学者向けの作曲支援システム[6]なども提案されてきた。しかし、以下の2つの問題によりメロディモーフィング手法の利用は極めて限定されていた。

第一の問題は、タイムスパン木の自動分析器は構築されているものの、精度が低くメロディモーフィングに利用するためには十分でないことである [7, 8]。これについて我々は深層学習を用いた高精度なグルーピング構造分析器および拍節構造分析器を構築した [9, 10, 11]。現在、深層学習を用いたタイムスパン木分析器の構築を目指し教師データの作成を行っている。

第二の問題は、メロディモーフィングを行うための処理であるメロディの部分簡約において、枝の簡約の順序が決まっていない点である。この問題は、タイムスパン簡約において簡約の順序が定義されていないことがそのそもその原因である。

本稿では、上記第一の問題に対しては GTTM 分析が可能な音楽家が手作業でタイムスパン簡約を行うことでメロディモーフィングを可能とした。また、第二の問題に対しては、まず音楽家が自由に簡約の順序を決めてモーフィングメロディを作成することを試みた。次に、曲によらずあらかじめ決定した簡約の順序を適用することでモーフィングメロディが自動で生成されることを試みた。

以下2節では、従来のメロディモーフィング手法を説明し、3節では音楽家が簡約の順序を決めた場合について述べ、4節ではメロディモーフィングの自動化の試みを述べる。そして5節ではまとめと今後の課題について検討する。

<sup>†1</sup> 桐朋学園大学  
Toho Gakuen College Music Department  
<sup>†2</sup> 理化学研究所  
RIKEN

## 2. GTTMに基づくメロディモーフィング手法

本節では従来提案されているメロディモーフィング手法について説明する。

### 2.1 メロディの簡約

図2は、タイムスパン木を用いたメロディの簡約の例である。図のメロディAの上にある木構造は、メロディAをタイムスパン簡約した結果得られたタイムスパン木である。タイムスパン木のレベルBより下にある枝の音符を省略するとメロディBようになる。さらに、レベルCより下にある枝の音符を省略するとメロディCようになる。このとき、メロディBはメロディAとCの間のメロディであることから、メロディの簡約もメロディのモーフィングの一種と考えることができる。

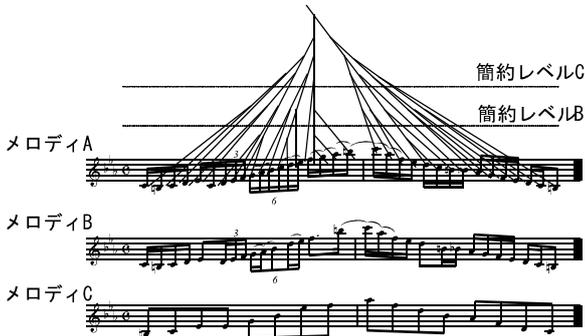


図2 メロディの簡約  
 Figure 2 Reduction of melody.

### 2.2 タイムスパン木に基づく基本演算

メロディモーフィング手法では、文献[12]で定義されている演算である、包摂関係、meet (最大下界) と join (最小上界) を用いている。包摂関係は、F1を下位の構造、F2を上位の構造(下位の構造を含んでそれ以上の構造を持つ)としたとき、 $F1 \subseteq F2$ と表記し、F2はF1を包摂すると言う。たとえば、図2のメロディA,B,Cのタイムスパン木(簡約されたタイムスパン木)、 $T_A, T_B, T_C$ の包摂関係は、以下のように表せる。

$$T_F \subseteq T_E \subseteq T_D \quad (1)$$

meet (最大下界) は、 $T_A, T_B$ の共通部分のタイムスパン木  $T_A \sqcap T_B$  である。join (最小上界) は、メロディA,Bのタイムスパン木  $T_A, T_B$  が矛盾を起こさない限り統合したタイムスパン木  $T_A \sqcup T_B$  である (図3)。

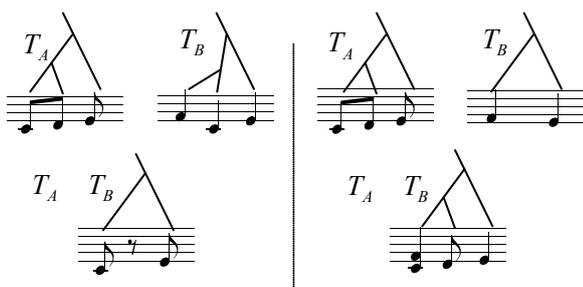


図3 meet と join の例  
 Figure 3 Examples of meet  $\sqcap$ , and join  $\sqcup$  operations.

### 2.3 メロディモーフィング手法

モーフィングという用語は、通常、二つの画像がある場合に、片方の画像からもう一つの画像へ滑らかに変化していくよう、その間を補うための画像を作成することをいう。

2次元の顔画像のモーフィングの場合、たとえば以下のような操作で中間的な画像の生成が実現できる。

- 1) 目や鼻など2つの画像の特徴点の対応づけ (図4a)。
- 2) 各画像の形状 (位置) や色の重み付け。
- 3) 2つの画像の重ね合わせ。

一方、本研究で提案するメロディモーフィングでは、以下のような操作で中間的なメロディの生成を実現する。

- 1) 2つのメロディの共通部分の対応づけ (図4b)。
- 2) 各メロディについてメロディの部分簡約。
- 3) 両方のメロディの重ね合わせ。



図4 2つの画像/メロディの対応づけの例

Figure 4 Examples of linking two images and two melodies.

#### (1) メロディの共通部分の対応づけ

2つのメロディA,Bのタイムスパン木  $T_A, T_B$  を求め、その共通部分 (最大下界)  $T_A \sqcap T_B$  を求める。これにより、タイムスパン木  $T_A, T_B$  は、それぞれ共通部分と非共通部分に分けることができる (図5(a))。

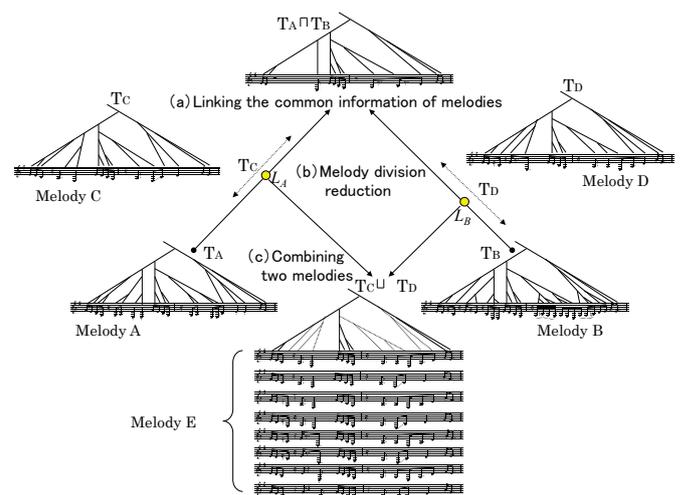


図5 メロディモーフィング手法

Figure 5 Melody morphing method.

#### (2) メロディの部分簡約

(1)で求めたメロディAとBのタイムスパン木  $T_A, T_B$  の非共通部分には、それぞれ相手のメロディにはない特徴が表われていると考えられる。部分簡約ではそれら非共通部分

の特徴をなめらかに増減させ、中間的なメロディを生成する(図5(b)).

### (3) メロディの合成

メロディ A と B のそれぞれのタイムスパン木の一部を簡約したメロディ C とメロディ D を統合(最小上界)し、合成したメロディ E を生成する.

2つのタイムスパン木  $T_C$  と  $T_D$  の統合を行う際、図 3a に示したような join (最小上界) を素朴に実装するだけでは、 $T_C$  と  $T_D$  の両方がモノフォニーであっても、 $T_C$  と  $T_D$  がモノフォニーとなるとは限らない. つまり、 $T_C$  と  $T_D$  のタイムスパン木を重ね合わせる際、タイムスパン木の枝は重なるが(時間構造は一致するが)、音高が異なるような場合には、解に和音が含まれることになってしまう. すなわち 3 節冒頭の条件 4 に反する.

そこで、異なる 2 音を  $N_1$ ,  $N_2$  としたとき  $[N_1, N_2]$  のような「 $N_1$  または  $N_2$ 」を意味する特殊な値を導入し、 $N_1 \sqcup N_2$  の解を、 $[N_1, N_2]$  とする. すると  $T_C \sqcup T_D$  の解には、 $[N_1, N_2]$  のような値が複数含まれることになる. そして、それらすべての組み合わせ、すなわち複数のモノフォニーを  $T_C \sqcup T_D$  の解とする.(図 5(c))

## 3. マリンバ作品の作曲

音楽家である第一著者がモーフィング元の 2 曲のタイムスパン簡約および部分簡約を手作業で行いモーフィングメロディを作成した(図 6). 2 曲はそれぞれ Mozart の Horn Concerto No.1 と Ponchielli の "La Gioconda" Dance of the Hours の冒頭部分である. なお、タイムスパン木は木を逆さまにした形で描かれており、以下で言うタイムスパン木の「根」とはタイムスパン木の一番上の一本の枝(幹)である.

まず、2 つのタイムスパン木からその共通部分と非共通部分を求めると共に、各タイムスパン木の分岐数を数えた. 分岐数というのは、タイムスパン木において、音符から枝をたどって根に至る間に何個の二分木の交点を通じたかである. 次に、非共通部分で最も分岐数の多い枝から順に部分簡約していく. これによりモーフィングメロディの生成は行えたが、音が急激に減少する場所で不自然となるといった問題が生じた. そこで、不自然な箇所については音楽家が調整し自然なメロディとなるようにした.

モーフィングは片方のメロディ特徴を減らしながら、もう片方のメロディの特徴を増やしていくことで複数のバリエーションのメロディが生成できるが、2 つのメロディの特徴が同程度に入り、ちょうど中間となるようなメロディでは音数を多くして躍動感が出ることを意図して調整を行った. 調整時に加えた音は、主に経過音・倚音・刺繍音であるためバリエーションごとのフレーズの流れはある程度一貫しているが、あえてピッチが最も高い音や最も低い音の位置をずらし変化を加えている.

図 6 手作業で作成したモーフィングメロディ  
 Figure 6 Morphing melody generated manually.

## 4. メロディモーフィング自動化の試み

3 節では、音楽家が恣意的に簡約の順序を決めていたため、そのプロセスを自動化することは困難であった. そこで、枝の簡約順序を定義することで自動化を試みる.

### 4.1 枝の優先順位の決定

タイムスパン木の各枝の優先順位は、タイムスパン簡約の分析の第一段階として行われるタイムスパン分割で用いられる音価別に描かれた木構造を用いる. 枝の優先順位は、以下のルールにより決定される.

- 1) 優先順位は、音価別に描かれたタイムスパン木の上からレベルごとに付けていく
- 2) 一番上のレベルでは、幹が枝より優先される.
- 3) 二番目以降のレベルでは、幹の優先順位が上なほどそこから枝分かれする枝の優先度が高くなる.

図 7 は、音価別に描かれたタイムスパン木で、第一のルールに従い、上から順に優先度が決定されていく. まず、第二のルールに従って、①がこのタイムスパン木で最も優先度の高い枝、②は 2 番目に優先度の高い枝となる. タイムスパン木では、2 番目のレベルが倍全音符レベルである. そして第 2 のルールに従い、①の幹からはえた枝が③、②の幹からはえた枝が④となる. 以下同様に 16 分音符レベル、まで優先順位が決まっていく.





図 8 機械的にモーフィングした結果

Figure 8 Morphing results by mechanically.

## 6. おわりに

本稿では、音楽理論 GTTM のメロディモーフィング手法の自動化の試みについて述べた。まず、音楽家である第一著者がタイムスパン簡約およびモーフィングメロディの作成を行った結果、部分簡約における簡約順の決定や、メロディの合成における音符の選択の方法が決められていないことが自動化に向けた大きな問題であることがわかった。そこで、枝の優先順位決定方法および合成における音符の選択方法を決定し自動化を試みた。今後、自動でモーフィングを行うシステムを構築し、詳細な評価実験を行っていく。

### 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金 17H01847, 16H01744 の助成を受けたものである。

### 参考文献

- [1] Lerdahl, F. and Jackendoff, R.. A Generative Theory of Tonal Music, MIT Press, 1985.
- [2] Hamanaka, M., Hirata, K., and Tojo, S.. Melody Morphing Method Based on GTTM, Proceedings of International Computer Music Conference (ICMC2008), pp. 155-158, 2008.
- [3] Hamanaka, M., Hirata, K., Tojo, S.. Melody Extrapolation in GTTM Approach, Proceedings of the 2009 International Computer Music Conference (ICMC2009), pp.89-92, 2009.
- [4] Hirata, K., Tojo, S., and Hamanaka, M.. Melodic Morphing Algorithm in Formalism, Mathematics and Computation in Music(MCM), Third International Conference, pp.338-341, 2011.
- [5] Hamanaka, M., Yoshiya, M., and Yoshida, S.. Constructing Music Applications for Smartphones, Proceedings of the 2011 International Computer Music Conference (ICMC2011), pp.308-311, August 2011.
- [6] 染矢さらら, 安藤大地, 笠原信一. メロディモーフィング手法を用いた初学者向けの作曲支援システムの研究, 情報処理学会インタラクティブ 2014, pp. 529-532, 2014.
- [7] Hamanaka, M., Hirata, K., and Tojo, T.. Implementing A Generating Theory of Tonal Music, Editor's recommendation paper, Journal of New Music Research (JNMR), Vol.35, No.4, pp.249-277, 2007.
- [8] Hamanaka, M., Hirata, K., and Tojo, T.. Sigma GTTM III: Learning based Time-span Tree Generator based on PCFG, Proceedings of The 11th International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research (CMMR 2015), pp.303-317, June 16-19, 2015.
- [9] Hamanaka, M., Hirata, K., and Tojo, T.. deepGTTM-I: Local Boundaries Analyzer based on Deep Learning Technique, 13th International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research (CMMR2016), pp.8-20, July 2016.
- [10] Hamanaka, M., Hirata, K., and Tojo, T.. deepGTTM-II: Automatic Generation of Metrical Structure based on Deep Learning Technique, the 13th Sound and Music Conference (SMC2016), pp.221-249, 2016.
- [11] Hamanaka, M., Hirata, K., and Tojo, T.. deepGTTM-III: Simultaneous Learning of Grouping and Metrical Structures, the 13th International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research (CMMR2017), pp.161-172, September 2017.
- [12] Hirata, K. and Aoyagi, T.. Computational Music Representation Based on the Generative Theory of Tonal Music and the Deductive Object-Oriented Database, Computer Music Journal, 27(3), pp.73-89, 2003.