

# 隣接フレーズ間のメロディの変化パターンの分析

船越咲<sup>†1</sup> 梅村祥之<sup>†1</sup>

人が作曲する場合、前のフレーズを繰り返してから変形して作曲することがよくある。この方法を自動作曲に用いるために、フレーズ変形の規則を抽出する。楽曲データベース The Essen Folksong Collection のヨーロッパ民謡 6,202 曲に対し、隣接するフレーズ間における音高の変形パターンを機械処理で分析し、構成比率を求める。

## Analysis of the melody patterns changing between contiguous phrases

SAKI FUNAKOSHI<sup>†1</sup> YOSHIYUKI UMEMURA<sup>†1</sup>

When people write music, they often transform it after repeating a previous phrase. In order to use this method for automatic composition, we extract rules about changing patterns. Using 6,202 pieces of European folk songs of The Essen Folksong Collection, we analyze changing patterns of the pitch patterns between contiguous phrases automatically by computer. We classify these into several groups and find the ratio of each group.

### 1. はじめに

まず、人が音楽を好きになるのは、繰り返し効果、つまりメロディパターンを変化させつつ繰り返し意識に残すことに由来すると言われている。また、人が音楽を聴いたときの快感情のメカニズムとして親近性と新奇性が影響すると考えられている。つまり、繰り返しにおける変形は、新奇性を生じる効果を持つため、人の作曲で多用されると考えられる。

このパターン変化の規則を自動作曲に取り入れることを目指し、そのために隣接するフレーズの変形規則を抽出する。

変形には隣接するフレーズを強く結びつける反復、隣接するフレーズを対立させる対照[1]がある。今回は反復を変形として扱う。また、音楽は、音程とリズムから成り立つが、今回は音程のみを扱う。

先行研究として、ドイツ民謡についてリズムの繰り返しとフレーズ形の繰り返しについて分析したもの[2] [3]があるが、大まかな分析であり、本実験では、さらに詳細に分析する。

### 2. 実験方法

フレーズ変化の規則の抽出には世界の民謡を集めた The Essen Folksong Collection データベース (全 8,456 曲) のヨーロッパ地域のみ 6,202 曲(73%)を使用する。このデータベースの中から隣接するフレーズの音高の変化量 (2.1 で述べる) を計算し、変形と定める閾値を設定し、変形とする

ものをグループ化し、その結果を基にフレーズを生成する。

6,202 曲中に、隣接するフレーズの組は 29,506 組ある。このうち、計算を簡単にするために、隣接するフレーズの音符数が同じもの 8,348 組(28%)のみを使用する。

音符はト音記号の譜面で基準となるドを 1 とし、半音ずつ上がるごとに 1 ずつ増やし、数値化する。(図 1) この数値は本章全体を通して用いる。



図 1 例 かえるの合唱

Figure 1 The chorus of the frog.

また、休符がある場合は、休符直前の音に置き換える。

#### 2.1 音高の平均差

隣接するフレーズの音符全体の平均的な音高の変化量を求めるために、音高の平均差を求める。

先頭のフレーズを  $w_1$ 、次のフレーズを  $w_2$  とする。(図 2) まず、各フレーズの各音符の音高から、フレーズの全体の音符の音高の平均値を引き、両フレーズの平均値を 0 にする。(図 3) 次に、先頭からの位置が同じ音符ごと (図 3 の水色の矢印) に  $w_1$  と  $w_2$  の差の絶対値を求める。最後に先程求めた差の絶対値の平均値を求め、 $w_1$  と  $w_2$  の音高の平均差とする。

<sup>†1</sup> 広島工業大学  
Hiroshima Institute of Technology

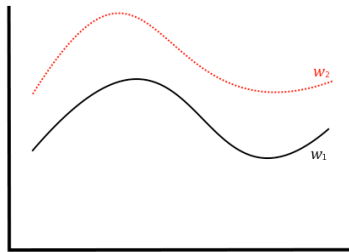


図 2 平均値を 0 にする前の両フレーズ

Figure 2 Both the phrases before setting average value to 0.

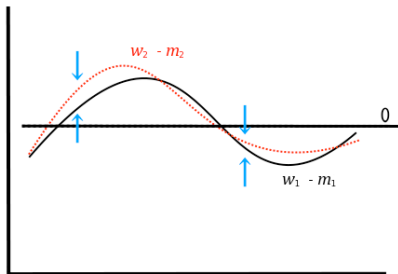


図 3 平均値を 0 にした後の両フレーズ

Figure 3 Both the phrases after setting average value to 0.

例えば、先程のかえるの合唱では、 $w_1$  の場合、平均値  $m_1$  は、

$$m_1 = (1+3+5+6+5+3+1+1)/8$$

となる。この時、最後の休符は休符直前の音に置き換えてある。この値を各音符の音高から引いていく。つまり、

$$1 - m_1, 3 - m_1, \dots, 1 - m_1$$

となる。これを  $w_2$  についても行う。

次に、両者の先頭から同じ数の音符の差の絶対値を求める。 $w_2$  の平均値を  $m_2$  とすると、先頭の音符の差の絶対値は、

$$|(1 - m_1) - (5 - m_2)|$$

となる。これを、残りの音符も求め、その平均値を求める。すると、 $w_1$  と  $w_2$  の音高の平均差は 0.5 となる。

## 2.2 閾値の設定

上記の方法から得られた結果を基に、主観評価を行い、変形か否かの閾値の設定をする。

## 2.3 変形のグループ分け

繰り返されたフレーズの変形を、

1. 同じことを繰り返す
2. 単純シフト
3. 一部単純シフト
4. 音程の幅を拡げる・縮める

の 4 種類に分類することが可能である。[4] [5] [6] [7] [8]

単純シフトとは、 $w_1$  の各音符に一定値の音高さを加えると  $w_2$  になるもののことである。

ここで、単純シフトに着目すると、音高の値に半音が含まれているため、単純に 2 つのフレーズを比べただけでは、シフトの移動値にばらつきが発生する。

例えば、先程のかえるの合唱では、全体は 2 音上がっているが、単純に  $w_2$  から  $w_1$  を引くと、4 と 3 の 2 つの値が出るため、機械処理で単純に 2 音上がっていると判定できない。

そこで、半音を無くし、ピアノの白鍵上の音符のみ (♩の音符のみ) の数値に置き換える。先程と同様に、ト音記号の譜面で基準となるドを 1 とする。(図 4)



図 4 白鍵上のみの数値でのかえるの合唱

Figure 4 The chorus of the frog in the numerical value only on natural keys.

また、先程と同様に休符は休符直前の音に置換える。ハ長調、イ短調以外の調は、長調であればハ長調、短調であればイ短調に一度移調し、それから白鍵上のみ数値に置き換える。この時、半音の値は  $x$  として、個別に扱う。

### 2.3.1 分類方法

白鍵上のみ数値に置き換えた両フレーズを  $w'_1$ ,  $w'_2$  とする。

まず、 $w'_2$  の音高から先頭からの位置と同じ  $w'_1$  の音高を引き、各々差を求める。そして、この差の種類が何種類あるか、各々の値は何であるか、各々何個あるかを基に機械処理でグループ分けを行う。

例えば、先程のかえるの合唱では、

$$w'_2 = 3, 4, 5, 6, 5, 4, 3, 3$$

$$w'_1 = 1, 2, 3, 4, 3, 2, 1, 1$$

であるので、各々の差  $d$  は、

$$d = 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2$$

となる。よって、差は 2 のみなので、差の種類は 1、差の値は 2、個数は 8 となる。

また、どちらかのフレーズが  $x$  を含んでいる場合、差は  $x$  となり、1 種類として処理する。

### 2.4 グループの特徴抽出 (単純シフト以外の出現位置)

2.3 で詳細に分けられたグループについて特徴を求める。求めるのは、2.3 の一部単純シフトに分類されるものの、単純シフト以外の音符が全体のどこに出現するかである。

出現する場所を、最初、最後、全体の 1/3、全体の 2/3、全体の 3/3 の 5 種類 (図 5) とし、どこに該当するかにより求める。



図 5 単純シフト以外の出現位置

Figure 5 Appearance positions other than shift.

例えば、一部単純シフトに分類される図6では、最初の1音符以外は全て1音ずつ上がっている。この時、単純シフト以外の出現位置は最初(図6赤波線)となる。



図6 例 一部単純シフト  
 Figure 6 A part is shifted.

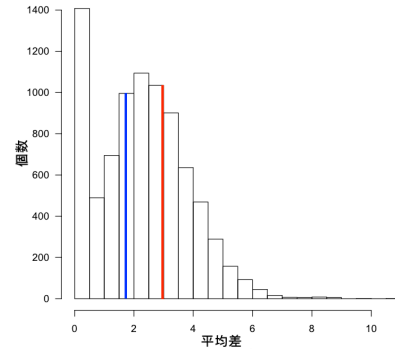


図8 閾値の設定  
 Figure 8 Setting of the threshold.

### 2.5 フレーズ変形規則を用いたフレーズ生成

2.3のグループ分けの結果と2.4の特徴を調べることによって得られた比率を基に、与えられたフレーズを変形し、新たなフレーズを生成する。

## 3. 実験結果

### 3.1 音高の平均差

隣接するフレーズの組の中で音符数が同じもの8,348組に対して音高の平均差を求めた結果が図7である。

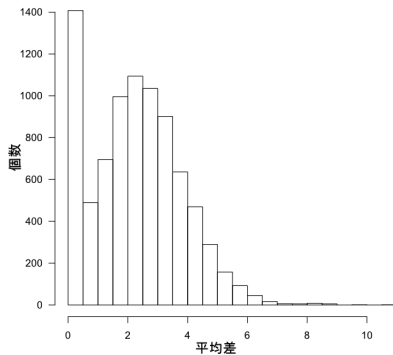


図7 音高の平均差 結果  
 Figure 7 mean difference of the pitch.

この結果を受け、ヒストグラムの2つ目の山を境にして変形が否かを判断できるのではないかと予想した。

### 3.2 閾値の設定

まず、ヒストグラムの2つ目の山が閾値にふさわしいかを主観評価した。この結果、山ではなく、それより大きい値3以下であれば、変形かどうか区別できると判断した。

(図8赤線)しかし、曲によってばらつきが大きい。

この結果を受け、どの曲を聴いても変形だと区別できる値を調べた。その結果、値1.75以下であれば、変形だと区別できた。(図8青線)

この閾値から、全8,348組中3,006組(36%)が変形であるといえる。

### 3.3 変形のグループ分け

#### 3.3.1 グループの種類

2.3のグループを以下の12種類にデータに基づいて分類を見直し、変形の組3,006組を分類した。括弧内は2.3の分類を示す。3'とは、単純シフトではなく、一部同じことを繰り返しているものである。

- 1.変換なし (1)
- 2.単純シフト (2)
- 3.変化なし+1種類 (1個) (3')
- 4.変化なし+1種類 (その他) (3')
- 5.変化なし+2種類 (3')
- 6.変化なし+伸縮 (3')
- 7.単純シフト+1種類 (1個) (3)
- 8.単純シフト+1種類 (その他) (3)
- 9.単純シフト+2種類 (3)
- 10.単純シフト+伸縮 (3)
- 11.伸縮 (4)
- 12.その他

以下の章で用いる分類番号はこの番号である。

フレーズの組が複数のグループに属さない様にするために、図9のフローチャートにそって分類した。

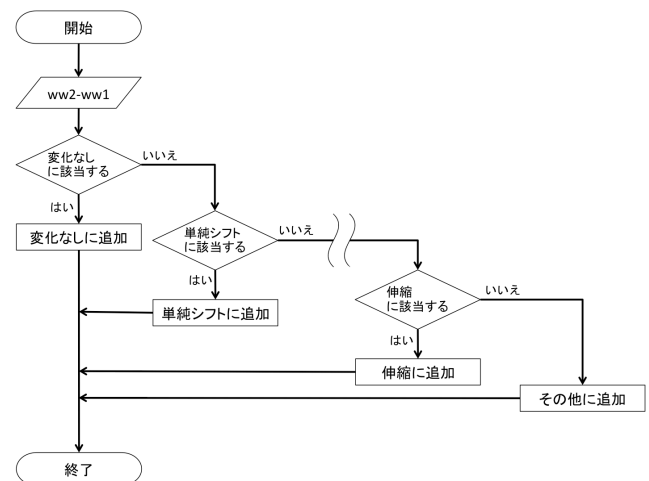


図9 分類のフローチャート  
 Figure 9 Flow chart of the classification.

この時、省略されている部分の順は、 $3 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 9$ である。

以下に各グループの分類方法と例を示す。ここで、 $w'_1$ と $w'_2$ の各々の音符数を $L$ 、 $w_1$ と $w_2$ の差の種類を $k$ 、 $w'_1$ と $w'_2$ の差の種類を $k'$ とする。

**(1) 変化なし**

$k=1$ であり、かつその値が0の時にこのグループに分類する。



図 10 例 変化なし  
 Figure 10 no change

**(2) 単純シフト**

$k'=1$ であり、かつその値が0以外の時にこのグループに分類する。また、 $x$ を含む場合、 $k=1$ であり、かつその値が0以外であれば、このグループに分類する。



図 11 例 単純シフト  
 Figure 11 shift

**(3) 変化なし+1種類 (1個)**

$k'=2$ であり、その個数が多い方の値が0で、かつその個数が $L-1$ であれば、このグループに分類する。 $x$ を含む場合、 $k'=2$ かつ $k=2$ であり、その個数が多い方の値が0で、かつその個数が $L-1$ であれば、このグループに分類する。



図 12 例 変化なし+1種類 (1個)  
 Figure 12 no change + one kind (one)

**(4) 変化なし+1種類 (その他)**

$k'=2$ であり、その個数が多い方の値が0であり、かつその値の連続する個数が2以上で、 $L/2$ 以上であれば、このグループに分類する。 $x$ を含む場合、 $k'=2$ かつ $k=2$ であり、その個数が多い方の値が0で、かつその値の連続する個数が2以上で、 $L/2$ 以上であれば、このグループに分類する。



図 13 例 変化なし+1 (その他)  
 Figure 13 no change + one kind (others)

**(5) 変化なし+2種類**

$k'=3$ であり、その個数が多いものの値が0で、かつその値の連続する個数が2より大きく、 $L/2$ 以上であれば、このグループに分類する。



図 14 例 変化なし+2種類  
 Figure 14 no change + two kinds

**(6) 変化なし+伸縮**

$k' \geq 4$ であり、その個数が多いものの値が0で、かつその値の連続する個数が3より大きく、 $L/2$ 以上であれば、このグループに分類する。



図 15 例 変化なし+伸縮  
 Figure 15 no change + scaling

**(7) 単純シフト+1種類 (1個)**

$k'=2$ であり、その個数が多い方の値が0以外で、かつその個数が $L-1$ であれば、このグループに分類する。



図 16 例 単純シフト+1 (1個)  
 Figure 16 shift + one kind (one)

**(8) 単純シフト+1種類 (その他)**

$k'=2$ であり、その個数が多い方の値が0以外で、かつその値の連続する個数が2以上で、 $L/2$ 以上であれば、このグループに分類する。 $x$ を含む場合、上記を満たし、 $x$ の値が $w_1$ と $w_2$ の差の値が全て同じであれば、このグループに分類する。



図 17 例 単純シフト+1 種類 (その他)  
 Figure 17 shift + one kind (others)

(9) 単純シフト+2 種類

$k' = 3$  であり, その個数が多いものの値が 0 以外で, かつその値の連続する個数が 2 より大きく,  $L/2$  以上であれば, このグループに分類する.  $x$  を含む場合, 上記を満たし,  $x$  の値が  $w_1$  と  $w_2$  の差の値が全て同じであれば, このグループに分類する. また, (8)の  $x$  を含む場合の際に,  $x$  の値が全て同じではなかったものもこのグループに分類する.



図 18 例 単純シフト+2 種類  
 Figure 18 shift + two kinds

(10) 単純シフト+伸縮

$k' \geq 4$  であり, その個数が最も多いものの値が 0 以外で, かつその値の連続する個数が 3 より大きく,  $L/2$  以上であれば, このグループに分類する.



図 19 例 単純シフト+伸縮  
 Figure 19 shift + scaling

(11) 伸縮

(1)から(10)までに属さず,  $w_1$  と  $w_2$  の相関係数が 0.75 以上であれば, このグループに分類する.



図 20 例 伸縮  
 Figure 20 scaling

(12) その他

(1)から(11)までに属さないものは, このグループに分類する.

3.3.2 グループ分けの結果

3,006 組を上記 12 種類に分類した結果が, 図 21 である.

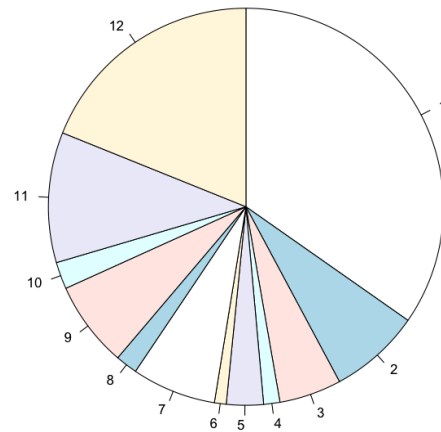


図 21 3,006 組の分類  
 Figure 21 3,006 sets of classifications.

3.4 グループの特徴抽出 (単純シフト以外の出現位置)

3.3 の 12 種類のうち, 単純シフト以外 (またはそのまま以外) が発生する 3 から 10 までの 8 種類について, 単純シフト以外の出現位置を求める.

単純シフト以外の個数が 2 以上のものは単純シフト以外が連続しているものについてのみ考え, それ以外はその他に分類する. 単純シフト以外が連続している時, 連続する先頭を出現位置とし,  $L$  から連続する個数-1 を引いたものを全体の長さに置き換える. 例えば, 先ほどの図 13 の場合, 単純シフト以外 (変化なし以外) の連続する個数は 2 であるので, 全体の長さを  $L - (2-1)$  に置き換え, 全体の長さが 9, 単純シフト以外の出現が全体の 2 音符目となる, 変化なし+1 (1 個) に置き換え, 2.4 の方法で出現位置を求める.

(1) 変化なし+1 種類(1 個)

図 22 より, 50%は最初に出現することがわかる.

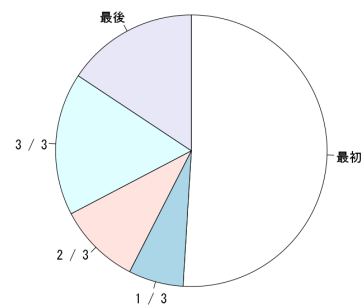


図 22 変化なし+1 種類 (1) の出現位置  
 Figure 22 The appearance position of no change + one kind (one).

(2) 変化なし+1 種類 (その他)

図 23 より, 60%は最後に出現することがわかる.

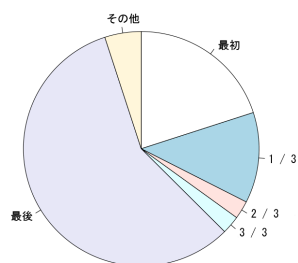


図 23 変化なし+1 種類 (その他) の出現位置  
 Figure 23 The appearance position of no change + one kind (others).

**(3) そのまま+2 種類**

図 24 より, その他が多くなり, 最初と最後の割合はほぼ同数であることがわかる.

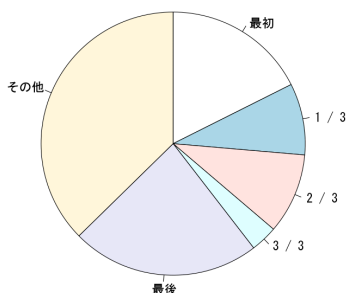


図 24 そのまま+2 種類の出現位置  
 Figure 24 The appearance position of no change + two kinds.

**(4) そのまま+伸縮**

図 25 より, その他が 50%以上を占め, 最初と最後の割合はほぼ同数であることがわかる. また, 1/3, 1/2 には出現しなかった.

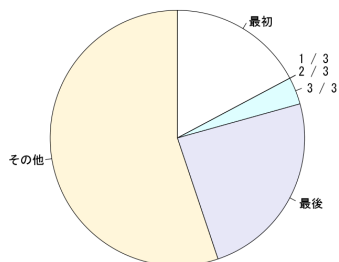


図 25 そのまま+伸縮の出現位置  
 Figure 25 The appearance position of no change + scaling.

**(5) 単純シフト+1 種類 (1 個)**

図 26 より, 60%は最初に出現することがわかる.

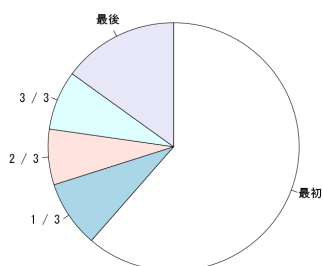


図 26 単純シフト+1 種類 (1 個) の出現位置  
 Figure 26 The appearance position of shift + one kind (one).

**(6) 単純シフト+1 種類 (その他)**

図 27 より, 40%は最初に出現することがわかる.

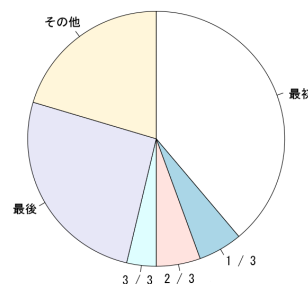


図 27 単純シフト+1 種類 (その他) の出現位置  
 Figure 27 The appearance position of shift + one kind (others).

**(7) 単純シフト+2 種類**

図 28 より, 50%以上をその他が占めることがわかる.

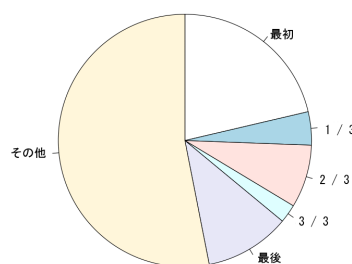


図 28 単純シフト+2 種類の出現位置  
 Figure 28 The appearance position of shift + two kinds.

**(8) 単純シフト+伸縮**

図 29 より, その他が 40%ほど占め, それとほぼ同数最初に出現することがわかる. また, 1/3, 1/2 には出現しなかった.

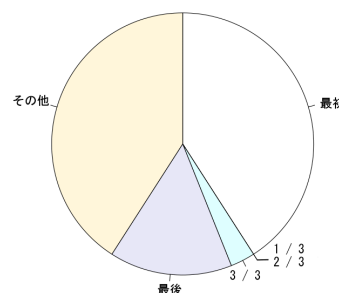


図 29 単純シフト+伸縮の出現位置  
 Figure 29 The appearance position of shift + scaling.

**3.5 フレーズの変形規則を用いたフレーズ生成**

3.3 のグループ分布と, 3.4 の各グループの特徴の分布, また, 単純シフト, 単純シフト以外の移動値の分布から, 与えられたフレーズを変形し, 新たなフレーズを生成する.

例えば, 与えられたフレーズ図 30 の場合, 生成されたフレーズ図 31 が得られる.



図 30 与えられたフレーズ  
 Figure 30 The given phrase



図 31 生成されたフレーズ  
Figure 31 The generated phrase

図 23 は単純シフト+1 (1 個) を基に作られ、最後の 1 音符以外は 2 音上がっており (単純シフト部分)、最後の 1 音符はそのまま (+1 種類部分、図 31 の赤波線) となっている。

#### 4. 考察

本研究において、機械処理により、大量のデータを自動分類した。その分類の精度について考え方を述べる。本文で詳細に述べたように、分類アルゴリズムは、機械処理の上で曖昧性はない。従って、分類の定義の妥当性について考える。本研究で行った分類の定義は、一般向け作曲入門書等で行われていることに基づいたもので、違和感のないものと考えている。また、分類結果を見てみると、大分類において、4 分類がなされ、最小のグループが約 10% の領域を占め、最大のグループが約 35% の領域を占めている。このように、ほぼ均等に分類されたため、有用な分類であると思われる。さらに、その他の分類となったものが約 20% となり、ほぼ分類として完了したと思われる。

以上の結果から、変形による繰り返しでは、そのまま繰り返しているものが最も多く、その他は一部単純シフトを伴って変形しているといえる。また、単純シフトを伴う場合、単純シフト以外の箇所は先頭であることが多い。

この結果を受け、視聴によって確認すると、シフトされたフレーズにおいて、似ているとは感じるがシフトの有無を知覚し辛いことがわかった。これは、1 で述べた繰り返し効果が関係しているのではないかと考えられる。つまり、人の無意識の内に新規性を与えるために、そのまま繰り返すのではなく、音高を変えていると考えられる。こうすることで、人はその曲を「なぜだかわからないけどいい曲」と思い、好きになっていくのだと考えられる。

しかし、3.5 で生成した曲を聴いた際に、シフトの移動値が大きいものなど、前のフレーズと繋がって聴こえないものも存在した。これは、コードとメロディの対応関係が崩れて違和感が生じたものと考えられる。この結果を受け曲の要素の一つであるコード進行も考慮し、シフトの移動値を選ばなければならないのではないかと考えた。

今回機械分析で分類を行ったが、半音を含むものの扱いが難しかった。例えば、同じ差が 1 でも、ミとファのように半音を含まないのか、ドとド#のように半音を含むのか、機械では判定できず、簡単ではないと感じた。また、種類の分類についても、例えば、単純シフト以外の値が真ん中に出現した際、全体としてみれば音形の伸縮ととれるもの

もあった。例えば、中央の音符以外が全て一定量上がり、中央の音符そのままの場合、音高が広がったと考えることもでき、判断が難しかった。

また、今回は、The Essen Folksong Collection のヨーロッパ曲のうちの音符数が同じフレーズの組 28% の結果であるので、音符数が異なる場合、どのような変化をしているのか検証することが以上 2 つと合わせ、今後の課題である。

#### 5. まとめ

人間の作曲方法の一つである変形を自動作曲に組み込むために、まず、隣接するフレーズ間で音符数が同じフレーズについて、変形か否かを判定して、変形と判断されたフレーズを抽出した。それらを対象に、変形のタイプを 12 種類定義し、それに基づいて大量のフレーズを全自動の機械処理によって分類した。

この結果、変形とされるものの大部分は、単純シフトを伴った変形であることが判明した。

#### 参考文献

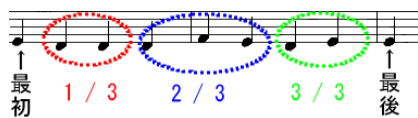
- 1) 高山博：ポピュラー音楽作曲のための旋律法 聴く人の心に響くメロディラインの作り方 (2012)
- 2) Anders Elowsson : Statistical Analysis of Vocal Folk Music, Stockholm: Royal Institute of Technology (2012)
- 3) Anders Elowsson, Anders Friberg : Algorithmic Composition of Popular Music, Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Music Perception and Cognition and the 8<sup>th</sup> Triennial Conference of the European Society for the Cognitive Sciences of Music, July23-28(2012)
- 4) 藤原豊, 植田彰 : 8 小節から始める曲作りの方法 50 (2010)
- 5) 上田起士 : ウケる! 作曲入門 心に残る曲を作るテクニック (2012)
- 6) 川村ケン : 思いどおりに作曲ができる本(2010)
- 7) 野口義修 : CD 付き 楽しく学べる作詞・作曲 (2010)
- 8) 小川悦司 : DVD 初歩から始める! 作曲の本(2012)

P2 図 5

誤)



正)

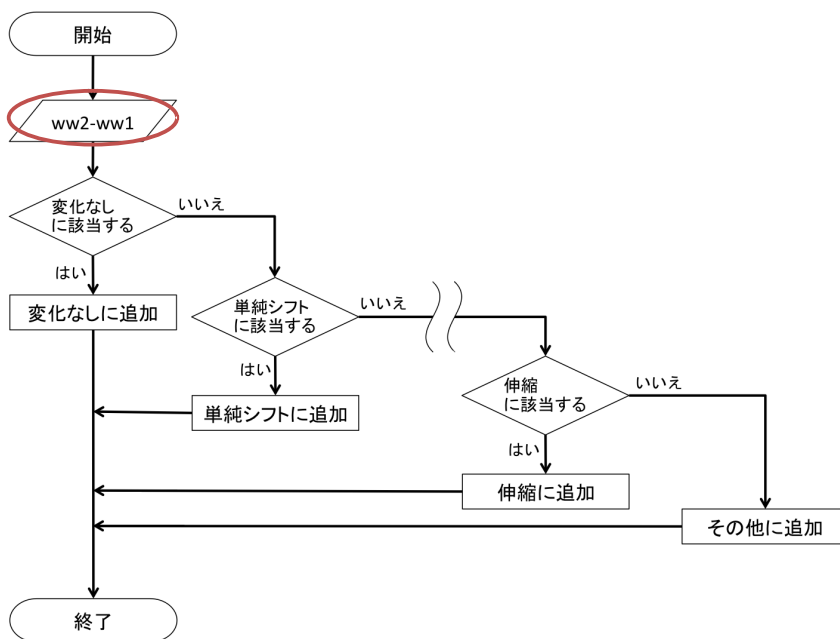


P3 3.3.1 グループの種類

誤) 1.変換なし → 正) 1.変化なし

P3 図 9

誤)



正)

