

ピッチパターンとリズムパターンの関係に関する 楽曲コーパスの分析

吉村美幸† 高橋宏志† 梅村洋之†

Essen folksong collection 中の約 6,000 曲のヨーロッパ音楽を用いて、ピッチとリズムの関係を様々な角度から統計分析し、特徴を見出した。それを基に、上記データベースの楽曲のピッチ情報を保持し、リズム情報を、先の分析で得られた関係を使って生成付与し、主観評価実験により確認した。

Analysis of the relationship between pitch and rhythm patterns in a musical corpus

MIYUKI YOSHIMURA† HIROSHI TAKAHASHI†
YOSHIYUKI UMEMURA†

We analyzed the relation between pitch and rhythm patterns using about 6,000 European music pieces in the Essen folksong collection from various viewpoints. As the results, we found some characteristics. We generated rhythm sequences based on the above characteristics for the pitch sequences of the music pieces selected from the Essen folksong collection. And we evaluated the effect of rhythm generation methods by subjective evaluation experiments.

1. はじめに

音楽の中でリズムの要素は非常に重要である。

リズムに関する研究の中で、楽曲データベースから統計的に分析する研究が行われている。その中で文献[1]は、Essen folksong collection[2]のリズムパターンを分析し、リズム生成モデルを提唱している。この研究ではピッチパターンとの関係は扱っていない。文献[3][4]では、Essen folksong collection を用い、音程と長さの関係を分析しているものの、様々なピッチパターンとリズムの関係を広く扱っていない。

本研究では、同じく Essen folksong collection のヨーロッパ約 6,000 曲の単旋律をフレーズごとに用い、様々な角度からピッチパターンとリズムの関係を分析する。

2. 分析方法及び結果

本研究では、世界各国の民謡が収録された Essen folksong collection を使用する。このコーパスの特徴としては、楽曲が単旋律であること、フレーズ境界の情報が付与されていること、曲数が多いことなどが挙げられる。この中に収められている曲数は約 8,000 曲であり、音符数は約 450,000 個である。その内、ヨーロッパの曲は約 6,000 曲であり、音符数は約 300,000 個である。

2.1 音程とリズム

「隣接音符間の音程が小さいほど、リズムは激しい」との仮説が成立するかを上記データベースから分析する。

音程が小さいと、人は変化が少ないと判断し、単調でつまらないと感じる。それを補うためにリズムが激しくなると考えられる。

フレーズ単位で、隣接音符間の音程を求めて絶対値をとり、それらの平均を求める。同様に、隣接音符間の音の長さの差を求めて絶対値をとり、それらの平均を求める。これを散布図で表現する (図 1)。

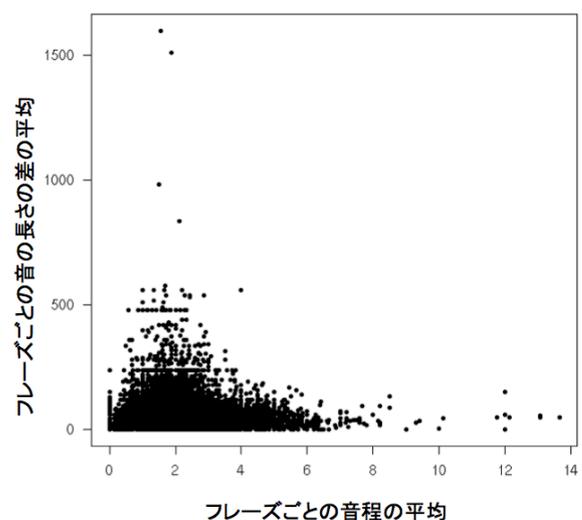


図 1 音程とリズム

Figure 1 Interval and rhythms

† 広島工業大学 情報学部 情報工学科
Hiroshima Institute of Technology

音程が小さいほど音の長さの差が大きい傾向が出ていることがわかる。

2.2 ピッチ系列の高周波成分とリズム

「ピッチ系列の高周波成分が多いほどリズムは緩やか」との仮説が成立するかを上記データベースから分析する。

高周波成分の多いピッチ系列は波のようにピッチが上下すると考えられる。

フレーズ単位のピッチ系列の高周波成分の割合を横軸とする。縦軸は、フレーズ単位で、音の長さの差を求め絶対値をとり、平均した値とする。これを散布図で表現する(図2)。

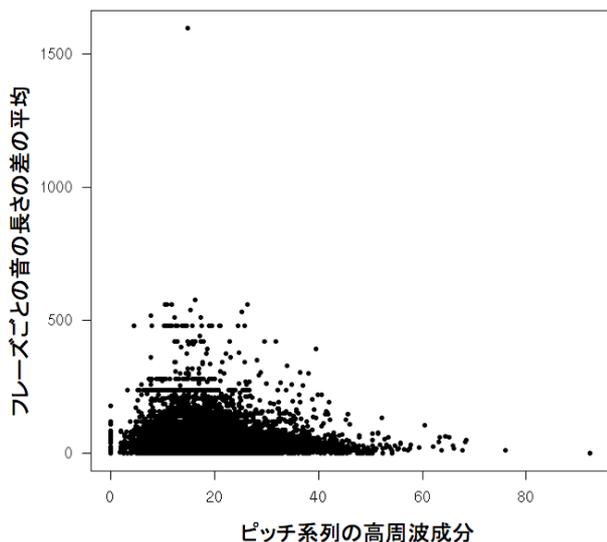


図 2 ピッチ系列の高周波成分とリズム

Figure 2 High frequency components of the pitch sequences and the rhythms

ピッチ系列の高周波成分が多いほど音の長さの差が小さい傾向が出ていることがわかる。

2.3 ピッチと長さ

2.3.1 分類 1

ピッチをいくつかのグループにまとめ、音の長さごとの出現頻度を求める。

Essen folksong collection は様々な調の曲を含む。それらをハ長調及びニ短調に移調し、各ピッチをトニック、ドミナント、サブドミナントに分けた。C, E, G をトニックとし、E, G, B をドミナントとし、F, A をサブドミナントとする。種類ごとに長さの構成比率を求め、ヒストグラムにする(図3)。120 は4分音符を表し、同様に60 は8分音符を、240 は2分音符を表している。

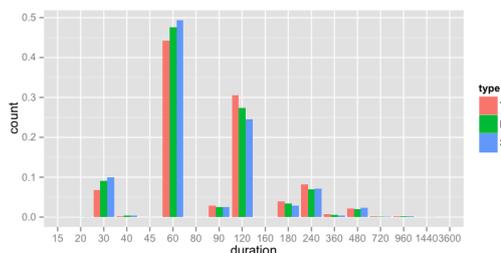


図 3 ピッチと長さ

Figure 3 Pitch and the length

図3より、安定した音を出すトニックほど短い長さの音を出す傾向があり、不安定な音を出すドミナントやサブドミナントほど長い長さの音を出す傾向がある。

2.3.2 分類 2

ここでは、ピッチをグループ化せず、ピッチごとに音符の長さの割合を求める。

音符の長さを出現頻度の高い8分音符と4分音符と2分音符に絞る。ピッチごとに出現回数を数え、平均をヒストグラムで表現した(図4)。

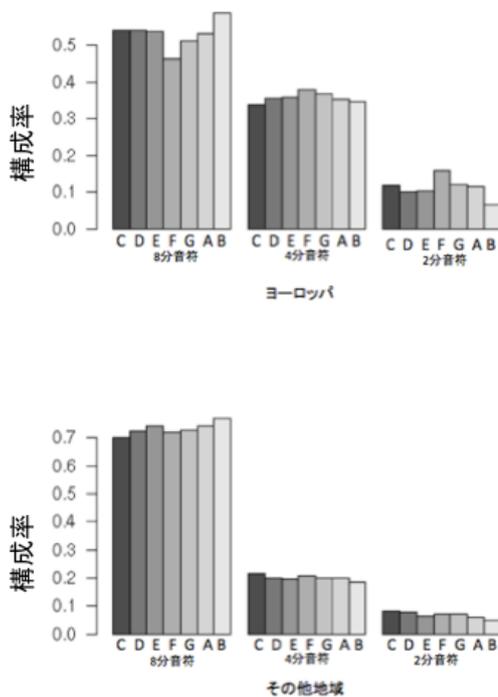


図 4 ピッチと長さ

Figure 4 Pitch and the length

Essen folksong collection の中からヨーロッパの曲のみを分析した結果が上のグラフであり、その他の地域の曲を分析した結果が下のグラフである。グラフはそれぞれ左からピッチを C, D, E, F, … の順に並べてある。

周波数が低いほど長い音になり、周波数が高いほど短い音になる傾向がある。

2.4 連続する3つの音符のピッチパターンとリズム

ピッチパターンとリズムパターンの間に何らかの関係が

あるかについて上記データベースから分析する。

Essen folksong collection データベース中の全曲から、連続する 3 つの音符を図 5 のように抜き出す。

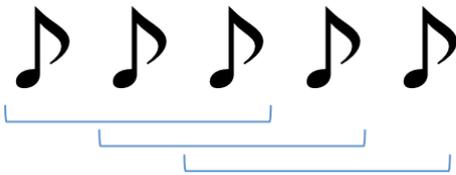
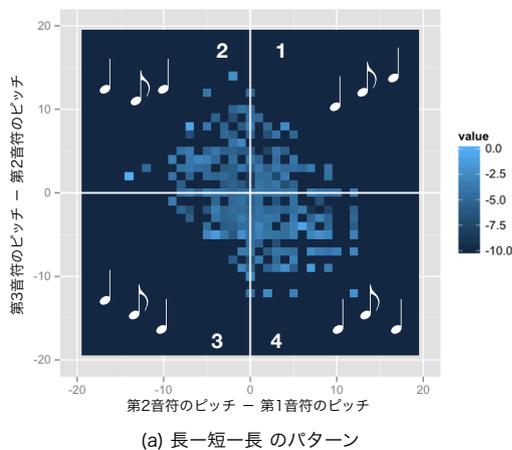


図 5 連続する 3 音符の抽出法

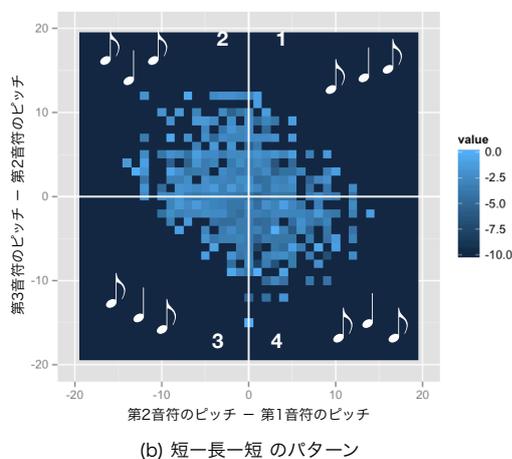
Figure 5 Sampling method of 3 consecutive notes

それらのうち、第 1 音符と第 3 音符の長さが等しく、かつ、第 2 音符の長さが短いものを抽出する。このパターンを以下、長-短-長と称する。次いで、ピッチは半音刻みで扱い、第 2 音符のピッチから第 1 音符のピッチを引いた量と、第 3 音符のピッチから第 2 音符のピッチを引いた量の 2 変数の組み合わせに対して、出現頻度をカウントする。

一方、連続する 3 つの音符で、長さの条件を与えずに、上と同様のカウントを行う。長-短-長の出現頻度と全体の出現頻度の比を求める。2 を底とする対数をとる、下限を -10 とする (図 6-(a))。



(a) 長-短-長のパターン



(b) 短-長-短のパターン

図 6 ピッチパターンとリズムパターン

Figure 6 Pitch pattern and rhythm pattern

同様に、短-長-短のリズムパターンを表したものが図

6-(b)である。

図 6 ではピッチ変化を細かく扱っている。それに対し、グラフの 4 象限に対応する 4 グループに纏めて集計する。第 1 象限で長-短-長の条件に合致する頻度を、長-短-長の条件を除いた頻度で割って求める (図 7)。

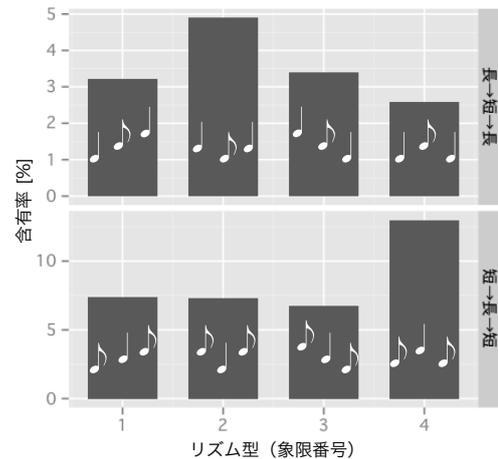


図 7 ピッチパターンとリズムパターン

Figure 7 Pitch pattern and rhythm pattern

図 7 の上のグラフより、第 2 象限は約 1.5 倍であり、図 7 の下のグラフより、第 4 象限は約 2 倍である。

2.5 考察

「2.1 音程とリズム」において、隣接音符の音程の差の平均が小さいフレーズでは、音の長さの差の平均が大きいフレーズが存在したが、隣接音符の音程の平均が大きいフレーズでは存在しなかった。これは音程が小さいほどリズムが激しい傾向を示している。聴感により確認したところ、隣接音符の音程の平均が小さくリズムが緩やかな曲と、隣接音符の音程の平均が小さく激しい曲を聴き比べたところ、後者の方が面白みのある曲であると感じられた。以上のことにより、一般向け作曲入門書を数量的に裏付けたと言える。しかし、傾向が強いとは言えない。

「2.2 ピッチ系列の高周波成分とリズム」において、フレーズ単位のピッチ系列の高周波成分の多いフレーズでは、音の長さの差の平均が大きいフレーズが存在しなかったが、高周波成分の少ないフレーズでは存在した。これは高周波成分が多いほどリズムが一定である傾向を示している。指南書を数量的に裏付けたと言える。

「2.3 ピッチと長さ」において、低いピッチほど長い音になりやすい傾向が見られた。この現象を理解する上で、例えば次の仮説が考えられる。巨大な体を持つ動物がゆっくり動き、小さな体を持つ動物がきびきび動くように、周波数の少ない音がゆっくりと動いているものとする。次のようにまとめる。

ピッチ高 … 小型動物 … きびきびした動き … 短時間
 ピッチ低 … 大型動物 … ゆっくりした動き … 長時間

このように考えると説明できるのではないかと思われる。
 図4のヨーロッパを見ると、C, D, E, と F, G, A, B,
 で纏まりができて見出された。全音ではなく、
 半音変わることによってできている纏まりである。

「2.4 連続する3つの音符のピッチパターンとリズム」
 において、短い音は低く、長い音は高いという顕著な特徴
 が見出された。この結果は2.3と逆の結果である。曲全体
 の傾向を表すものが2.3であり、一方、2.4では3つの連
 続する音符を持つ特徴である。この違いにより、正反対
 の特徴が生じた。このような現象が生じる項目については、
 今後の検証課題である。

3. リズムの生成

ピッチ情報とリズム情報が付与されている Essen
 folksong collection の任意の楽曲からリズムを削除し、ピ
 ッチ情報のみ付与された楽曲に対し、法則に従ってリズム
 を付与する。

前章の法則と、各作曲入門書で提唱されている法則のう
 ち、適用するリズムの法則は以下のとおりである。

- 法則 A. 音高と音の長さには関係がある
- 法則 B. リズムは繰り返すと心地良い
- 法則 C. 音高の差が激しいほどリズムは単調
- 法則 D. ピッチの高周波成分が多いほどリズムは一定

以下、法則 A を基本リズム。法則 B 以下を派生リズムと
 定義する。また、音の長さとリズムは同義だが、文中では
 法則に合わせて適宜名称を変えるものとする。

3.1 基本リズム

3.1.1 基本リズムの分析と付与

法則 A の適用について Essen folksong collection から集
 計したリズムの確率分布を用いる。これはある特定のピッ
 チに対するリズムの種類を Essen folksong collection の全
 楽曲（約 8,000 曲）から集計したものである。

集計するリズムは「8分音符、4分音符、付点4分音符、
 2分音符、付点2分音符」に限定し、休符も同じように扱
 うものとする。これは多様なリズムで付与した場合、楽曲
 が非常に乱れてしまう問題を考慮したためである。拍子に
 関しても、拍子によって使用される音符の用途が全く異な
 るため、2拍子と4拍子、8拍子にて別々のものを用いる。

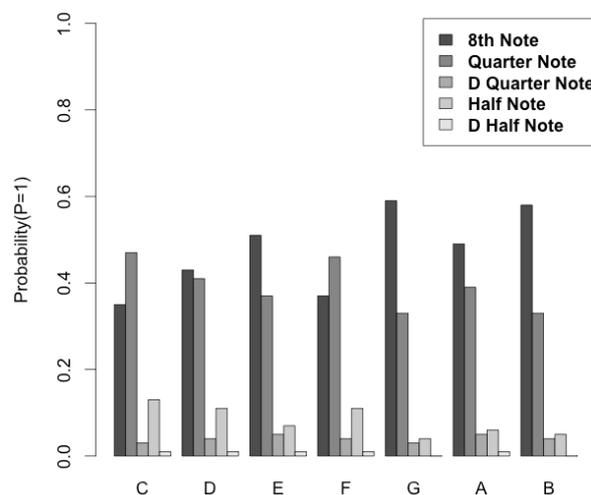
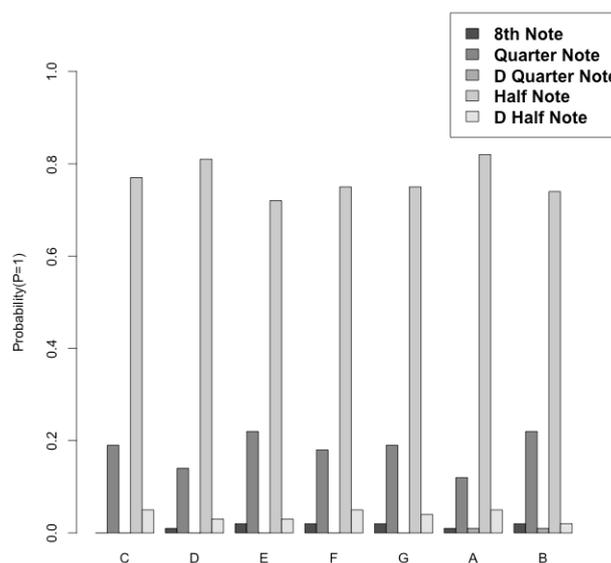
図8は実際に取得したリズムの確率分布の一部を棒グラ
 フにて示したものである。上から2拍子、4拍子、8拍子
 の順番で音階毎の確率分布を示している。

X軸は音程を英音階で表記しており、1音程中のグルー
 プは各音符の種類である。音符の種類は「8th Note」が8

分音符。「Quarter Note」が4分音符。「Half Note」が2
 分音符である。また、4分音符、2分音符に関しては付点
 音符があるため、該当音符については名称先頭に「D」を
 付けている。

Y軸は発生確率を表している。確率 (Probability) が高
 いほど、該当する音符の発生率が高い。

これを見ると2拍子には2分音符の出現が高く、4拍子
 と8拍子とはともに8分音符の出現確率が高いが、4拍子は
 他と比べて各音符が広く分布していることが分かる。また、
 8拍子に関しては2分音符以降の長音符がほとんど現れて
 いないことも分かる。



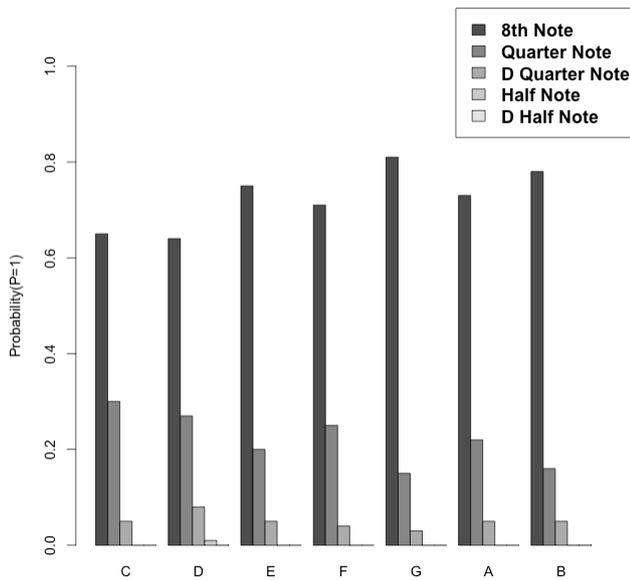


図 8 音符とリズムの確率分布

Figure 8 Probability distribution of rhythms and notes

また、C から B までの各音階を「トニック (T)」「ドミナント (Do)」「サブドミナント (S)」と分類した場合、音符の長さが $T > Do > S$ となりやすくなるように確率を補正する。

各分類と音符の関係を以下の表 1 に示す。表は C 調の場合について表記している。厳密には G はサブドミナントに分類されるが、ここではトニックとしている。また、B についても同様である。

表 1 各音階の分類 (C 調)

Table 1 Classification of each scale

トニック	ドミナント	サブドミナント
C E G	F A B	D

以上の分析から作成した確率分布モデルを用いて、基本リズムの付与を行う。乱数を生成し、その乱数から確率分布モデルに従い音符の種類を決めてリズムを付与する。

3.2 派生リズム

3.2.1 派生リズムの付与

基本リズムを付与した楽曲から、その他のリズム法則を割り出して各リズムを付与する。法則の適用方法を以下の図 9 のフローチャートに示す。

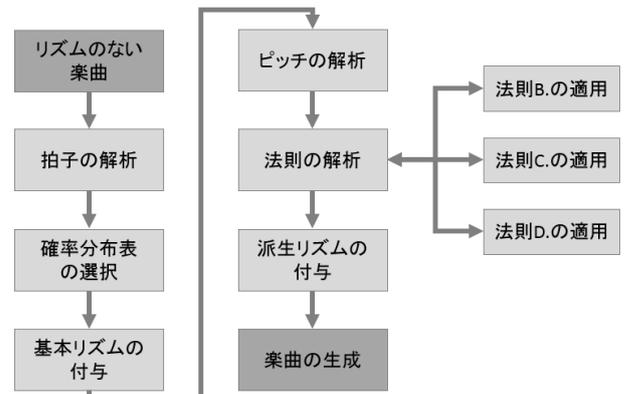


図 9 楽曲の生成チャート

Figure 9 Music generation chart

3.2.2 各法則の適用

法則 B では、各フレーズ同士のピッチのコサイン類似度を計測し「類似したピッチが現れた」場合に同じリズムを適用する。なお、ここでは閾値を 0.75 とした。また、コサイン類似度は音符数が同一でないと適用できないため、フレーズ同士の音符数が合わない場合は、音符数の少ないフレーズを基準として採用する。残った音符については基本リズムをそのまま付与する。

法則 C ではフレーズ間の音符の音高差の平均値を計測する。Essen folksong collection ではピッチが数値として表示されている。そのため、隣り合った音符のピッチ差から平均を取ることによって、フレーズ全体のピッチの揺れを調べることができる。この値が大きければ大きいほど、音高差が激しいことを示す。ここでは閾値を 8 (C から G の間) とした。

法則 D では、隣り合った音符同士のピッチ差を計測し「差が激しく、かつ差が連続した場合」に一定のリズムを適用する。ここでは 2 拍子の楽曲には 4 分音符を適用し、4 拍子の楽曲には 8 分音符を適用。8 拍子の楽曲には 16 分音符を付与する。

3.3 主観評価実験

Essen folksong collection からランダムに選んだ 20 曲において、「楽曲 1:リズムが一定な楽曲」「楽曲 2:リズム付与の法則に従ってリズム付与した楽曲」の 2 種類について主観評価を行った。評価は 1 (悪い) から 5 (良い) まで分類した。

結果を図 10 の箱ひげ図に示す。楽曲 1 の評価が平均 1.7 に対して楽曲 2 の評価が平均 2.9 と、リズムが一定な楽曲よりもリズムを付与した楽曲の方が、評価が良いことが分かる。しかし、楽曲 2 に関しても平均が 3 を超えておらず、優良な楽曲は得られていないことも分かる。

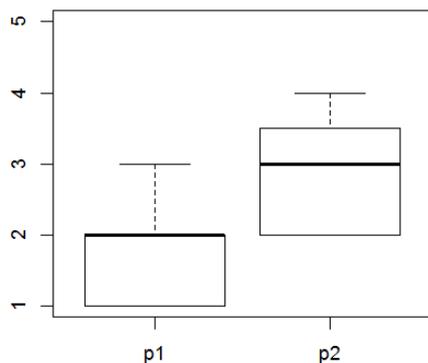


図 10 主観評価結果

Figure 10 Subjective evaluation

3.4 考察

前述の主観評価の結果から、リズムを与えられた楽曲は、リズムが常に一定である楽曲よりも評価が高いことが分かる。しかし著者が主観評価を行った所では、まだリズムに統一性がなく、改善の余地がまだあると感じた。これは、付与するために必要なリズムの法則がまだ不十分であるからと考えられる。

主観的に優良な楽曲を生成するためには、より複雑な法則に従ったリズムを生成する必要があると考えられる。反面、規則を多く作り過ぎてしまうと自動作曲における作曲幅が少なくなってしまうという見方もある。

多種多様なリズム生成法を提案し、それらを取捨選択しリズムを生成することが最適な方法だと思われる。

4. まとめ

本研究では Essen folksong collection を用いて、ピッチとリズムの関係を、統計処理により様々な角度から分析した。その中の「連続する3つの音符のピッチパターンとリズムパターンの関係」では、特定のパターンの発生率が他のパターンの2倍程度発生するという、顕著な特徴が見出された。

本研究で調べた法則性を基に、メロディ系列にリズム発生付与し、主観評価実験を行い、効果を確認した。

5. 参考文献

- 1) Temperley: Modeling common-practice rhythm, Music Perception, Vol.27, Issue 5, pp.355-376(2010)
- 2) <http://kern.ccarh.org/cgi-bin/browse?l=/> (2013)
- 3) A. Elowsson: Statistical Analysis of vocal folk music, pp.1-39(2012)
- 4) A. Elowsson: Algorithmic composition of Popular Music, pp.276-285 (2012)

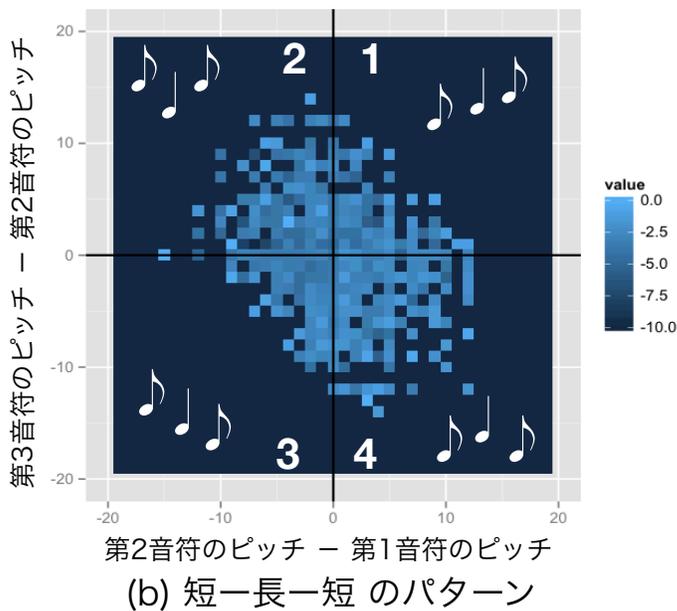
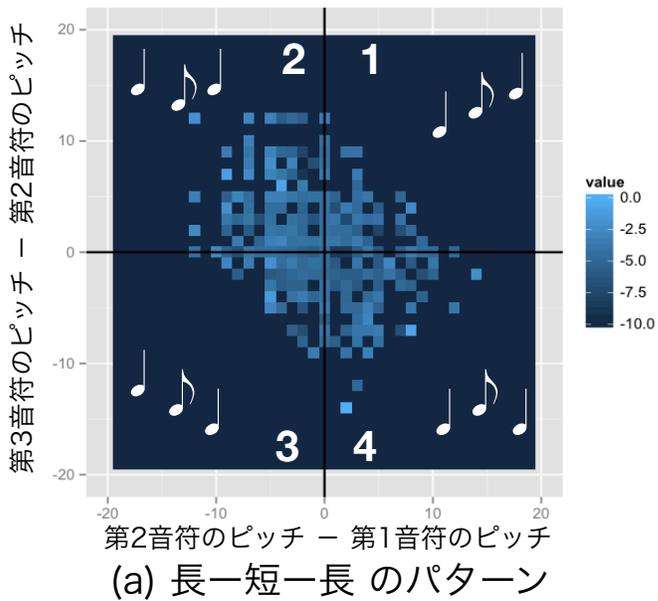


図6 ピッチパターンとリズムパターン

(訂正し、さらに、点の強度を濃淡と点のサイズで表示)

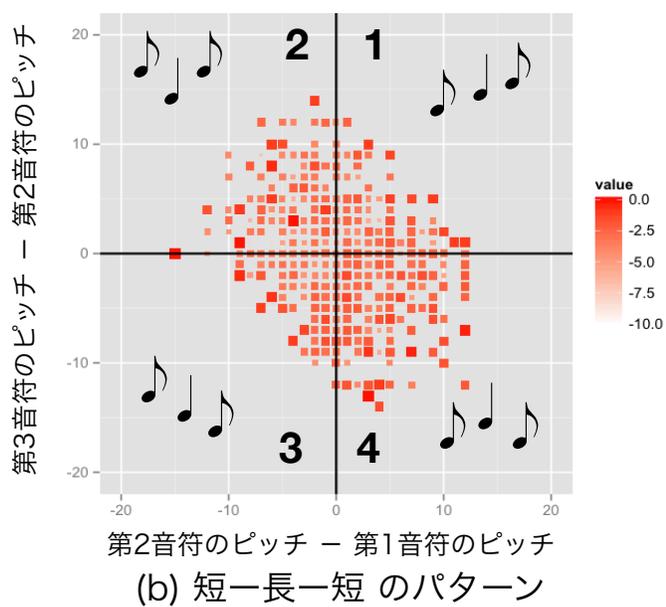
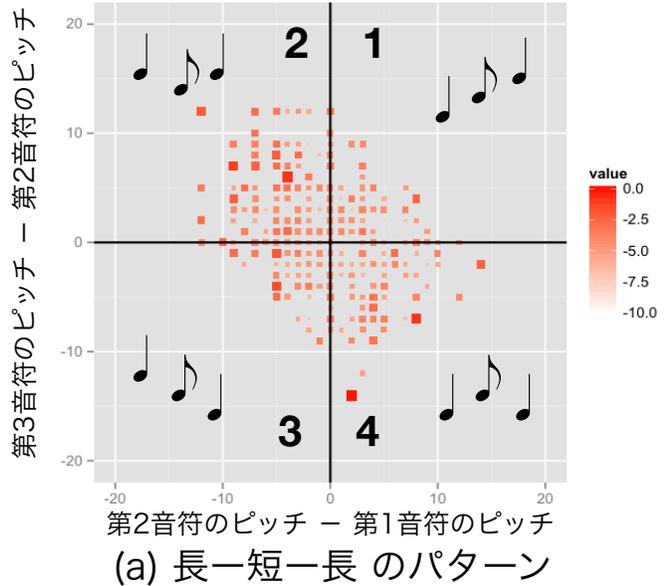


図6 ピッチパターンとリズムパターン

P 3 の 図7 を訂正

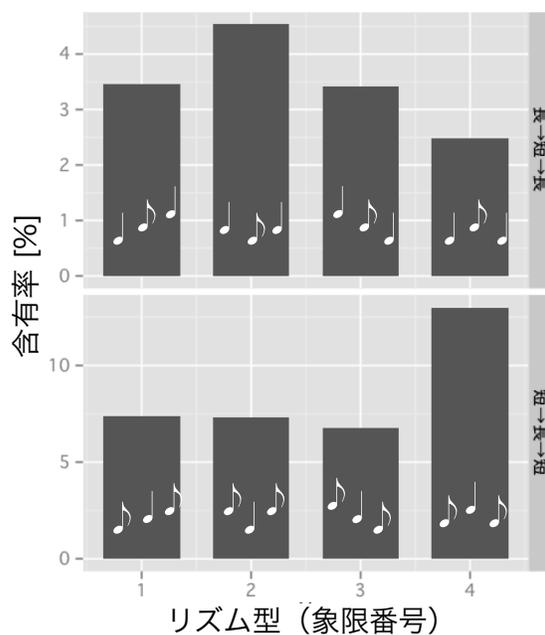


図7 ピッチパターンとリズムパターン