

リズム木構造仮説に基づく楽曲解析とリズム木学習*

☆中野拓帆, 深山覚, 小野順貴, 嵯峨山茂樹 (東大院・情報理工)

1 はじめに

本稿では、リズム木構造仮説 [1] に基づく、楽曲のリズム解析と、楽曲からのリズム木学習手法について扱う。音楽は一般に、和声・リズム・旋律の3要素から成り立つとされており、重要な要素のひとつであるリズムに関する楽曲解析は有用だと思われる。また、リズム木は自動作曲に用いることができ、特に雰囲気を保ちつつ様々な音符数のリズムを出力しなければならないときに有用である。楽曲からのリズム木学習を可能にすることで、大量のリズム木を扱うことができ、自動作曲システムの生成する楽曲の幅が広がる可能性がある。

2 リズム木構造仮説に基づく楽曲解析

2.1 リズム木構造仮説 [1]

中妻らは曲中のリズムについて「リズムは曲想を強く表す要素である一方、自由度も高い。例えば、歌の1番と2番の同じ場所で、音符数が違うためにリズムが異なっても同じ曲想を感じることがある。この2つのリズムは音符数によらずに曲想に与える同一の特徴を持っていると考えられる」(句読点のみ変更)とし、さらに、「あるリズムが異なる音符数に展開できる構造を『リズム木構造』と定義」している [1]。また、「1番と2番の同じ場所」に限らず、民謡や童謡の多くで木構造をとるリズムが繰り返されて曲が構成されている例がみられる。本稿では、木構造を持つ異なる音符数のリズムの集合をリズム木と呼ぶ。リズム木の例を Fig. 1 に示した。

さて、実際の楽曲では、本当にリズム木構造仮説が成り立っているのだろうか。それを検証するために、楽曲内のリズムパターン同士の親子関係 (Fig. 1 の各リズムのような関係) を調べたい。本稿では、オンセットに着目してリズムをビット列表現し、半順序関係により親子関係を調べることが検討した。

2.2 リズム木構造の定式化

2.2.1 オンセットに着目したリズムパターンの表現

ドラム楽器のリズムはオンセット (音が鳴り始めるタイミング) に最も依存していると思われる。例えば、子供が歌を歌う場合、発音タイミングと比較して音の長さが曖昧なことが多い。これらは、リズムにおいてオンセットが重要なことを示唆させる。オンセットと音符数に注目したリズム表現方法として、拍毎にオンセットの有無を1,0とするビット列を考える。これをリズムパターンと呼び、ビット数を N おく。具体例については、8分音符を最小単位とした、2小節分、 $N = 16$ の場合を考える。

例えば、Fig. 1 の枠内の1小節をリズムパターンで表記すると 01111101 となる。リズムパターンは、全て0の場合も考えれば N ビットで表現できる数の総数と同じで 2^N 通り存在する。リズムパターン X の i 番目のビットを x_i と書き、リズムパターン X の1のビットの個数をオンセット数と呼ぶことにする。以下、具体例では、八分音符を最小単位とした2小節分、つまり、 $N = 16$ のときを考える。

2.2.2 半順序関係による木構造の表現

リズムパターンが木構造をとる条件は、リズムパターン間の半順序関係を考えることで定式化できる。

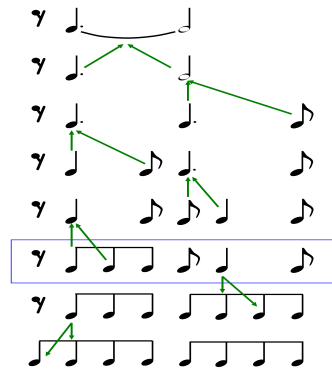


Fig. 1 Example of rhythm tree in [2].

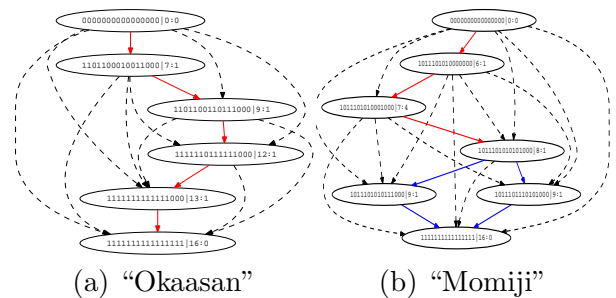


Fig. 2 Examples of analysis and visualization of rhythm structure. Each node has the form “rhythm pattern | number of onsets : number of appearances.” If $X \leq Y$ and $Y \leq Z$, the edge between X and Z is connected with dash arrow.

例えば、Fig. 1 の全てのリズムパターンは、より上のオンセット位置の全てを含んでいる。リズムパターン X, Y が $\forall i, x_i \leq y_i$ を満たすとき、つまり音符が細かく分岐していくとき、 $X \leq Y$ と書くことにする。同様に、 $x_i = y_i$ のとき $X = Y$ とする。これはリズムパターンの半順序関係であり、反射律 $\forall X, X \leq X$, 推移律 ($X \leq Y$ かつ $Y \leq Z$) $\Rightarrow X \leq Z$, 反対称律 ($X \leq Y$ かつ $Y \leq X$) $\Rightarrow X = Y$ を満たす。あるリズムパターン集合の全ての要素間に順序関係が定義されているとき、そのリズムパターン集合はリズム木である、ということが出来る。

2.3 楽曲解析

2.3.1 概要

2.2 節で定義した木構造のモデルを用い、楽曲中のリズム同士がどのような関係にあるのかを分析することができる。「1番と2番の同じ場所」[1] のような曲想が同じ2箇所のリズムパターンには半順序関係が定義される。リズムパターンを頂点、半順序関係を枝にとったグラフ構造で表現するとその様相を可視化することができる。そこで、実際の楽曲をリズムパターンで表現し、音符数、楽曲中の出現回数を数えて頂点とし、順序関係が定義されるリズムパターン同士に枝をつけることで解析を行った。楽曲中のリズムがある一つのリズム木が含むリズムパターンのみからなる場合、得られる結果は直線的になると考えられる。

*Musical analysis and rhythm-tree learning based on the rhythm tree hypothesis by NAKANO, Takuho, FUKAYAMA, Satoru, ONO, Nobutaka, SAGAYAMA, Shigeki (the University of Tokyo)

2.3.2 内容と結果

Fig. 2 に、実際の楽曲 2 曲について、8 分音符を最小単位、2 小節を区切りとしてリズムパターン列を得てグラフ構造を作り、可視化したものを示す。(a) は「おかあさん」(作詞：田中ナナ，作曲：中田喜直)，(b) は「紅葉」(作詞：高野辰之，作曲：岡野貞一) という曲の解析結果である。(a) では、楽曲にあらわれる全てのリズムパターンが木構造をなしていることが確認できる。8 小節の短い曲とはいえ、異なる音符数のパターンが 4 回出現し、木構造をなしているというのは、リズム木構造仮説の考察に有用であると考えられる。(b) では、音符数 0 から途中までは一本の木をなすような構造が確認できるが、途中から二股に分岐をしている。これは、木そのものが分岐した、もしくは、変動(ノイズ)が生じたと考えられる。

3 リズム木学習

3.1 リズム木生成源仮定

既存の楽曲からリズム木を学習し、自動作曲に応用できれば、作曲の幅が広がり、ユーザの好みの曲のリズム木を用いた自動作曲も可能となる。2.3.2 節の結果では、既存楽曲は厳密な木構造ではなかった。しかしながら、リズム木がグラフ上では直線状になることと比較し、既存楽曲のリズムの分岐をみると比較的少ないと思われる。よって本稿では「実際の楽曲も木から作られている」と仮定する。すると、楽曲のリズムはリズム木から変動をもって(ノイズを含んで)生成されると考えられ、逆問題としてのリズム木推定問題が考えられる。楽曲生成のリズム木が単一だとは限らず、むしろ複数の木から生成されていることも考えられるが、本研究ではこれ以降、生成源は 1 つの木と仮定し、議論を行う。リズム間に距離を定義できれば、曲から平均的なリズム木を求めることができそうである。

3.2 学習アルゴリズム

3.2.1 リズムパターン間の距離

リズムパターン間の距離と、我々がリズムを聞いた感じの遠近に相関があれば、曲想からどれだけ離れているかを考慮できそうだと思う。四分の四拍子の音楽において、1 拍目は強拍、3 拍目は中強拍、2,4 拍目は弱拍と呼ばれることがある ([3] pp. 92–93, 97–98)。このことを考慮し、リズムパターン X, Y 間の距離を、拍の位置に依存する重み a_i を導入して、

$$d_p(X, Y) = \sum_{i=1}^N a_i (x_i - y_i)^2 \quad (1)$$

と定義する。

3.2.2 オンセット重み付け

リズムに加わる変動がないことや、小さな変動が起きることは回数が多く、それと比べて、大きな変動が起きることは少ないと考えられる。よって、変動前のリズムやリズム木は、楽曲にあらわれるリズムと近いことが推察できる。さらに、生成源のリズム木推定問題を「全てのリズム木から、観測リズムとの距離が最小の木を探索する問題」ととらえることができる。楽曲中の全リズムパターンと、リズム木の同じオンセット数のリズムパターンの距離(式(1))の総和を最小にすればよい。動的計画法を用いることで、全リズム木を単純に探索するよりも効率よく計算することができる。ところで、あらゆるリズムパターンの組み合わせは $i = N/2$ 前後で多く、 $0, N$ の近くでは少ない。リズムパターン間の距離同士を考える時もこのことを考えるのが自然であろう。距離をコスト

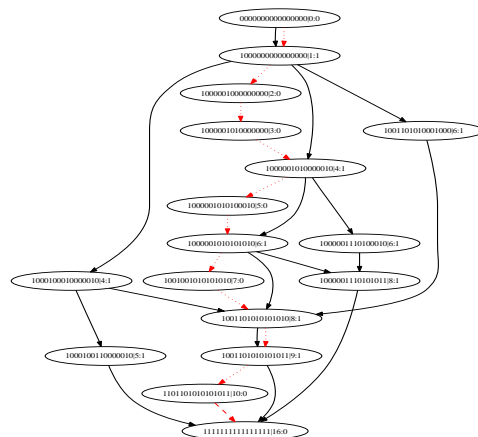


Fig. 3 Rhythm structures and estimated rhythm tree of the song “Joy to the World.” Solid arrows show partial order relation. Dotted arrows show rhythm tree.

ととらえ、リズムをよく特徴づける、オンセット数が $N/2$ 前後で大きな重みを持たせると、リズムの特徴をよく反映した距離になることが期待される。

3.3 楽曲からの学習結果

“Joy to the World” (諸人ごぞりて) のリズムからリズム木学習を行った。拍の重み a_i は、 $i = 1, 5, 9, 13$ でそれぞれ 4, 2, 3, 2 としそれ以外は 1 とした。オンセット数による重みは、オンセット数 6, 7, 8, 9, 10 が他の 1.5 倍の重みを持つようにした。まず、8 分音符を最小単位、2 小節を区切りとして得られるリズムパターン列を楽曲から得て、パターン列と比較しコスト最小のリズム木を動的計画法を用いて探索した。その結果を Fig. 3 に示す。19 小節という短い曲であるが、リズムは比較的複雑であり、変動が多いと考えられる。曲中と同じリズムパターンをいくつか含むリズム木が学習されていることが確認できる。

4 まとめ

本稿では、リズム木構造仮説 [1] に基づいて、オンセットに注目したリズム木の定式化を行った。木構造をなすということ、リズムパターンの半順序関係として定式化した。次に、リズム構造の可視化を行うことで、楽曲のリズム解析を行った。音符単位とパターン長を決めなければならないものの、リズムパターンの出現回数や、リズム間の関係を視覚的に捉える事ができるようになり、リズム解析手法の幅が広がると思われる。また、楽曲からのリズム木学習手法について扱い、その学習結果を示した。既存の大量の楽曲からリズム木学習ができるようになったことで、自動作曲のリズムに選択の幅が広がり、ユーザの好みの曲のリズム木を用いた自動作曲も可能となる。

今後の課題として、音符単位とパターン長による形でのリズム木の定式化や、楽曲が複数のリズム木から生成されている場合の木の推定問題が考えられる。また、曲想や作曲家、ジャンル毎に学習を行い、ジャズ曲からの学習で得られたリズム木から、ジャズ風の曲を作曲させる、といったことも期待できる。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (A) (課題番号 00303321) と科学技術振興機構 CRESTMuse プロジェクトの支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] 中妻 他，音講論 (春)，pp. 739–740，2007.
- [2] 深山 他，情処研報，MUS-76-30，pp. 179–84，2008.
- [3] 菊池有恒，“楽典—音楽家を志す人のための，” 音楽之友社，1988.