

## エントロピーに基づいた音の構造化による音楽生成システムの開発

## Development of a Generative Musical Structure System Based on Entropy

大村英史<sup>\*1,2</sup> 柴山拓郎<sup>\*3</sup> 高橋達二<sup>\*3</sup> 澁谷智志<sup>\*3</sup> 二藤宏美<sup>\*2</sup> 古川聖<sup>\*5</sup>  
 Hidefumi Ohmura Takuro Shibayama Tatsuji Takahashi Satoshi Shibuya Hiromi Nito Kiyoshi Furukawa

<sup>\*1</sup>JST ERATO 岡ノ谷情動情報  
プロジェクト  
JST, ERATO, Okanoya Emotional  
Information Project, Japan

<sup>\*2</sup>理化学研究所  
Riken, Saitama,  
Japan

<sup>\*3</sup>東京電機大学  
Tokyo Denki University,  
Saitama, Japan

<sup>\*5</sup>東京藝術大学  
Tokyo University of the  
Arts, Tokyo, Japan

Ambience is an abstract of sensory information. If we can control sensory information, we would be able to somewhat provide ambience in need. We focus on sensory tone and model musical structure of value and pitch based on entropy. We develop a generative musical structure system written in HTML and JavaScript available on any browsers.

## 1. はじめに

雰囲気とはいったい何であろうか。我々人間は生活環境のなかで様々な知覚を行い、感覚を得る。雰囲気はその感覚の一つであろう。しかしながら、雰囲気を具体的に表すことは難しい。その理由は、知覚される単一の情報から生成されるものではなく、いくつもの情報から生成されるためである。このようにして考えると、雰囲気とは環境から知覚される情報の総体として考えることができる。このような雰囲気を定量的に扱うことができれば、雰囲気を分析できるだけでなく、コントロールすることも可能になり、任意の雰囲気を作り出すことが可能である。

雰囲気を定量的に扱うための研究として、音楽は適している。なぜなら、私たちは音楽から多様な雰囲気を感じ、その音楽的雰囲気を決定する要因は、個々の音の構造化の過程やしぐみであるからだ。そして、これらは定量化することが可能である。本研究では、雰囲気の定量化に迫るため、音によって構造化された情報で成り立っている音楽を扱い、エントロピーに基づいたモデルを提案し、音楽生成システムの開発を行う。

## 2. 音楽的雰囲気

音楽によって生じる雰囲気は、音楽情動と言っても良いであろう。音楽情動の研究は情動 (emotion) に限定したことなく、感情 (affect)、気分 (mood)、情感 (feeling) なども含まれており、対象にしている領域は広く [Juslin 2010]、これらがどれも音楽からの情報を得て喚起される。

音楽聴取による情動喚起は、音楽研究における重要なトピックである。Meyer は、「複数の傾向 (tendency) の対立によってブロックないし抑制によって感情が喚起される」とする Dewey の情動の葛藤理論 [Dewey 1894] を援用して、音楽的期待からの逸脱が情動を喚起すると指摘している [Meyer 1956]。Narmour は期待 (implication) に対する実現/裏切り (realization) の関係を IR 理論としてまとめている。このような期待に関する研究は Huron も ITPRA 理論にまとめており [Huron 2007]、期待の実現と裏切りが音楽における情動に関わっていることは間違いないと考えられる。これらの、実際にまとめ上げられた理論では、期待の生成や実現/裏切りは、直感的な感覚に基づいたルールを

基盤として定義されている。そのため、これらの理論を直接計算機に実装することは困難である。私たちは特定の雰囲気を保持する音楽の自動生成をゴールに設定し、期待および実現/裏切りを生成するための計算モデルを提案する。音楽的期待からの逸脱は、予め期待された構造の規則性 (パターン) の減少あるいは消失する状況から引き起こされる。この状況は、情報理論 [Shannon 1948] で考えると、エントロピーが急激に増加または低下し、複雑性が変化していると見なすことが出来る。

本研究では、音の要素についての不確実性を扱うモデルの提案を行う。そして、このモデルに基づいたメロディ生成システムの開発を行う。

## 3. 提案モデル

音楽における最もシンプルな情報は、音価 (音の長さ) と音高 (音の高さ) である。この二つにおけるエントロピーを用いた定量化モデルについて説明する。

### 3.1 音価におけるエントロピー

音価とは、音が発音する時間的長さを表し、複数の音の関係性よりリズムを作り出す。最小のリズムのパターンは、任意の時間領域の反復によって作られるパルスである。パルスにおける一定の時間を拍節と呼ぶ。一つの拍節の中で、どのような位置に音を配置するかを決定していくことでより複雑なリズムのパターンを作り出すことができる。これらの位置は拍節を分割することで得る。分割は素数での分割を繰り返すことにより、様々な位置を得ることが可能である。音楽では、2 分割、3 分割を用いることが多い。5 分割以上は複雑になるためほとんど用いられることはない。例えば 5 拍子の曲を 2+3 として捉えたり、7 連符の演奏を 4+3 として捉えたりする。これは、5 以上の分割は人間にとっての知覚は困難であるからだろう。また、分割が混合している場合も人間は性格に知覚ができないと言われている (Essens 1986)。このことから、リズムパターン生成の基本は 2 または 3 分割を考えれば良いことが示唆されている。今回は、単純化のため、2 分割のみ扱う。

図 1 に分割方法の概要を示す。円の一周は拍節を表し、最上部の位置をはじめの拍頭とする。Lv.1 は分割なしの位置を示す。Lv.2 は 1 回分割を行った位置を示す。Lv.3 は 2 回、Lv.4 は 3 回と示し、Lv.6 まで 5 回までの分割を示す。例えば、拍が 4/4 の場合、Lv.1 は全音符を組み込む場合の位置であり、Lv.6 は 32 分音符を組み込む場合の位置である。Lv.7 以上も考える

連絡先: 大村英史, JST ERATO 岡ノ谷情動情報プロジェクト,  
〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1 理化学研究所 研究  
本館 411, tel: 048-462-1111(内線 3452), E-mail:  
hidefumi.ohmura@gmail.com

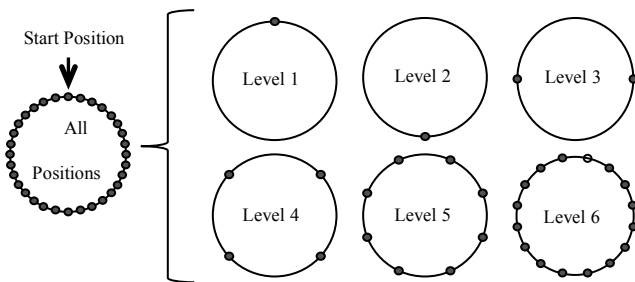


図1 分割方法

ことが可能であるが、64分音符以上は装飾音との区別がつかなくなるが予想され、リズムの要素として意味をほとんど持たない。そこで、Lv.6までを考慮することとする。これにより、拍節内に32個の位置が存在し、ここから音を選択する。

### 3.2 音高におけるエントロピー

音高とは音の周波数のことである。音と音の音高における関係性は音程と呼ばれ比で表すことができる。ある音と2倍の周波数の音との関係をオクターブと言う。また、ある音と3/2倍した周波数の音は完全五度、ある音4/3倍した周波数の音は完全四度という。オクターブの音同義として考えると、オクターブの間に12の音が成立する(ただし、ピタゴラスコンマにおける誤差は無視する)。右回りを完全五度、左回りを完全四度とすると、図2のような円環を得ることができる。これは五度圏と呼ばれている。

本研究では、五度圏に従った近さを音高における近さと考える。例えば、Cの音を基準に考えると、CがLv.1、G・FがLv.2、D・Bb/A#がLv.3、A・Eb/D#がLv.4、E・Ab/G#がLv.5、B・Db/C#がLv.6、Gb/F#がLv.7となる。

### 3.3 各エントロピーの作り方

エントロピーは上記で説明した各レベルに確率で与えることで得る。音価の場合Lv.1からLv.6、温厚の場合Lv.1からLv.7にそれぞれ重みをあたえる。この重みは、より低いレベルに大きな値を与える。その理由は、高いレベルは一つ下のレベルの音を分割することによって得られるため、レベルが高くなるにつれて聴取者が認識しづらいつけられるからである。

重みの傾斜は以下の式で表されるガウス関数で与える。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

これは平均 $\mu$ 、分散 $\sigma^2$ の正規分布を表すグラフである。 $x$ の値はレベルに相当する。 $\mu$ の値は0に設定し、 $\sigma$ の値を変化させることで得られ値を各レベル重みとする。

## 4. 提案モデルを実装したシステム

実装はHTMLおよびJavaScriptで行った<sup>(\*)</sup>。三つのパート: Melody, Chord, Bass にモデルの実装を行った。各パートのエントロピーを操作することで楽曲が自動生成される。

### 4.1 メロディ

メロディは、単旋律で構成され、発音タイミングのみの実装を行った。発音のタイミングは提案した音価におけるエントロピーを実装した。音階は長音階に固定し、選択される音高は長音階のなかからランダムに選択される。

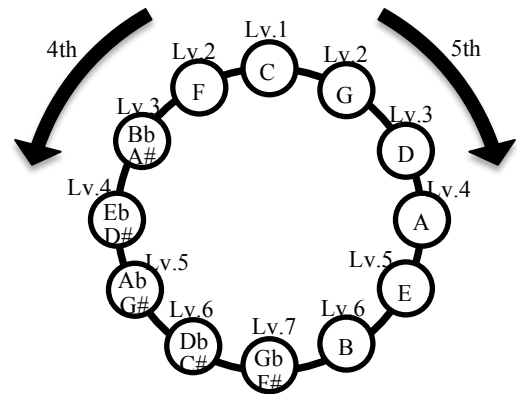


図2 五度圏

### 4.2 コード

コードは、3和音からなり一番周波数の低い音を基音とする。発音のタイミングは提案した音価におけるエントロピーを実装した。基音は提案した音高におけるエントロピーを実装した。

### 4.3 ベース

ベースは単旋律で構成される。発音タイミングは提案した音価におけるエントロピーを実装した。また、発音される音高は、温厚におけるエントロピーを実装した。また、選択された音高によって、楽曲全体の音階が決定される。

## 5. 考察

本提案システムでは3つのパートに関するエントロピーを操作して楽曲を作る。各エントロピーを操作することにより、多様な複雑性をもった音楽を生成することができ、期待実現/裏切りを生成することが可能だ。これによりエントロピーの変化と期待の関係性を明らかにする実験をすることが可能になった。リズムを生成する音価におけるエントロピーのモデルは心理実験で複雑性の増加が確認されているが[Ohmura 2013]、音高におけるエントロピーのモデルも同様に心理実験による確認が必要である。

また、今回提案したシステムは音高と音価の両方のエントロピーの操作が可能である。両方を高くした場合は複雑性が増加することが予想されるが、両方の値が相反する場合について検証する必要がある。

さらに、今回提案したシステムは複数のパートを同時に生成する。これによりパート間のエントロピーの違いについての検証実験も行う必要がある。

## 6. まとめ

私たちはエントロピーに基づいた音の構造化による音楽生成システムを開発した。各エントロピーを操作することにより、多様な複雑性をもった音楽を生成することができる。そして、期待実現/裏切りを生成することが可能である。これは雰囲気の定量化にむけた研究への前進である。今後、エントロピーと設定の仕方や、複数のエントロピーの関係性について検証していく予定である。

### 参考文献

[Juslin 2010] P. N. Juslin and J. A. Sloboda: Handbook of music and emotion, theory, research, application, Oxford University Press, 2010.

\*1: [http://www001.upp.so-net.ne.jp/music\\_emotion/jsai2014/](http://www001.upp.so-net.ne.jp/music_emotion/jsai2014/)

- [Dewey 1894] J. Dewey: The theory of emotion: I: Emotional attitude. *Psychological Review*, 1 (6), pp. 553–569, 1894.
- [Meyer 1956] L.B. Meyer: *Emotion and meaning in music*. Chicago: University of Chicago Press, 1956.
- [Huron 2007] D. Huron: *Sweet anticipation: Music and the psychology of expectation*. Cambridge, MA: MIT Press, 2006.
- [Shannon 1949] C. E. Shannon: *The Mathematical Theory of Communication*. The University of Illinois Press 1949. (植松訳「通信の数学的理論」ちくま学芸文庫, 2009)
- [Berlyne 1971] D. E. Berlyne: *Aesthetics and psychobiology*. New York: Appleton Century Crofts, 1971.
- [Essens 1986] P. Essens: Hierarchical organization of temporal patterns. *Perception & Psychophysics*, 40, pp. 69-73, 1986.
- [Ohmura 2013] H. Ohmura, T. Shibayama, T. Shibuya, T. Takahashi, K. Okanoya, and, K. Furukawa, “Modeling of Melodic Rhythm Based on Entropy toward Creating Expectation and Emotion,” *Proceeding of Sound and Music Computing 2013 (SMC)*, pp.69-73, 2013.