

# Sentics に基づく進化的音楽による感情表現の試み

## An Experiment on Sentic Evolutionary Music for Expression of Emotion

五十嵐創<sup>\*1</sup>  
Soh Igarashi

古川康一<sup>\*1</sup>  
Koichi Furukawa

<sup>\*1</sup> 慶應義塾大学政策メディア研究科  
Graduate School of Media and Governance, Keio University

This paper proposes a new approach to combine evolutionary music with Sentics which is a theory on human emotion originated by Manfred Clynes. Using genetic algorithms, an emotional melody based on Sentics has been evolved from randomly generated melodies. This approach sheds interesting light on the quest for new methodology of composition in computer music.

### 1. はじめに

20 世紀を経て 21 世紀に生きる我々は、コンピュータという新しい道具を得たことにより、19 世紀までと比べて量的には元より、質的な意味で根本的に拡大した音楽世界に足を踏み入れている。伝統的なヨーロッパ音楽で使われる音は、基本的にはすべて明確なピッチと音色が想定され、各部分音同士の振動数の比が倍音列から得られる単純な整数比となるような音である[岩竹 94]。その意味において、伝統的な音楽の世界は限定されており、和声や対位法などの作曲技術はすべて、その限定された音世界を前提として研究されてきた原理であったと言える。

一方、現代のコンピュータ音楽ではそのような前提は一般に成り立たない。それゆえ、我々の時代の音楽であるコンピュータ音楽の世界を真に魅力溢れるものとするためには、従来の和声や対位法に対応するような、新しい表現の基盤となる原理、創作の方法論が探求されなければならないと考える。

本稿では以上のような問題意識に基づき、人間の感情の形式的把握についての先駆的研究である Sentics と、今日のコンピュータ音楽において注目を集めている進化的音楽 (evolutionary music) とを結びつけ、コンピュータ音楽における豊かな感情表現の方法論を模索する試みについて報告する。

本稿は全 6 節から成る。第 2,3 節ではそれぞれ、本稿で扱う主要概念である Sentics と進化的音楽の紹介を行う。第 4 節では Sentics を進化的音楽と結びつける実験について報告し、第 5 節ではその評価および考察を述べる。最後に第 6 節では今後の研究の方向性を示す。なお、本稿は[五十嵐 06]の拡張である。

### 2. Sentics

Sentics[Clynes 77]とは、職業ピアニストでありかつ神経科学および工学の学位を持つ研究者、Manfred Clynes によって 1970 年前後に提唱された概念であり、感情を対象とした神経生理学の総体というほどの意味合いの語である。Sentics の問題意識は、人間の感情を形式的、客観的な方法で表現、把握しようとするもので、その主要な主張の一つは、人間が抱く喜びや怒り、愛や悲しみなどの典型的な感情は、それぞれ特定の曲線の形に対応している、というものだ。この主張は、以下のような感情測定実験の結果から導き出された[Clynes 77]。

実験には setograph と名付けられた Clynes 自作の装置が使われた。Sentograph には上から指で押すためのボタンが一つ付けられ、それを押した際に発生する力が、内部に備え付けられた歪みゲージによって鉛直、水平の二つの方向に関して独立に測定される。実験では、まず被験者は sentograph の前に座り、ピアノを弾く要領でリラックスしてボタンの上に中指を置く。その次にある特定の感情を心の中でありありと生成する。そして、ピアノ演奏のように、目の前のボタンを一押しするという行為によってその感情をできる限り正確に表現することが求められる。以上を 1 試行とする。扱われた感情は、love, hate, grief, joy, reverence, anger, sex, no emotion の 8 種類である。No emotion とは、タイプライタを叩くように機械的にボタンを押した場合を意味する。1回の試行により、鉛直、水平それぞれの方向に関して、圧力の時間変化を示す曲線が得られる。同一の被験者につき、一つの感情について 30 から 50 試行の測定を行ったところ、感情ごとに特徴的な曲線のパターンが存在することが確認された。

さらに興味深いことに、多くの被験者に対して追加実験を行った結果、それらの感情固有の曲線パターンは、被験者の性差、属する文化圏の違いに因らず普遍的であることが示されたという。Clynes は、測定された各感情に固有の曲線を essential form と名付け、上記の実験結果をもって、これらが人間の感情と本質的な対応関係を持つと主張している。

### 3. 進化的音楽

進化的音楽(evolutionary music)は、コンピュータ音楽において近年注目を集めているトピックの一つである[Miranda 02]。その中心となる考え方は、自然界における生物の進化および淘汰のプロセスを音楽に当てはめるというものだ。まず音楽を構成する最小単位として、何らかの決まった形式を持った個体が定義される。個体が複数集まって集団を形成し、それに対してあらかじめ定められたいくつかのルール(進化の規則)が適用されることにより、アルゴリズムに個体の集団の進化と淘汰が行われる、というのが進化的音楽一般の基本的枠組みである。

実際には、進化の規則を定めるルールとしてセルラーオートマタ(cellular automata)や遺伝的アルゴリズム(genetic algorithm, GA)などの技術が盛んに用いられている[Miranda 02]。例えば GA を用いてジャズの即興演奏を進化的に生成発展させるといふ試みが報告されている[Biles 02]。

ヨーロッパ古典音楽におけるソナタ形式や変奏曲などに典型的にみられるように、元より音楽においては、それ自身は単純な音楽の単位である動機や主題が時間の経過と共に様々に変形、

連絡先: 五十嵐創, 慶應義塾大学政策・メディア研究科, 神奈川県藤沢市遠藤 5322 イオタ 305 古川研究室, 0466-47-5000 ext.53235, 0466-47-5350, soh@sfc.keio.ac.jp

発展していく様を楽しむという文化が存在した。コンピュータ音楽における進化的音楽はその今日的形態の一つとみなすこともできるだろう。

#### 4. Sentics に基づく進化的音楽の試み

本節では、先に述べた Sentics と進化的音楽のコンセプトを組み合わせ、新しい魅力的な音楽表現の可能性を探るために筆者が行った実験の報告を行う。

Essentic form は普遍的に人間の特定の感情と結びついていくという Clynes の主張を認めるならば、ある感情の essentic form を適当な音楽パラメタに対応付けて生成された音響は、その感情を備えたものとなるはずである。その上で、そのような音響を例えば無秩序に作られた初期状態の音響から進化的な手法で生成すれば、混沌とした響きの中から徐々に特定の感情を備えた音響が形成される様を自動的に表現できると考えられる。本実験では、以上の着想をプログラムとして計算機上で実現した。以下その詳細を述べる。

まず筆者の着想の前半部分、すなわちある感情を備えた音響を、その essentic form からどのように導くかという点については、Clynes 自身が[Clynes 82]において一つの回答を与えている。感情測定実験で扱われたもののうち、no emotion を除く7種類の感情について、それぞれの essentic form を周波数と振幅の二つの音楽パラメタに適應させたグラフが示されている。単純に essentic form をそのままエンヴェロープとして採用するのではなく、感情によっては元の曲線を上下に反転させるなどの処理を加え、さらに周波数と振幅の相対的な変化量については具体的な値を与えている。これらの調整は、最終的には実験者自身の聴取印象に基づいて行われた。

以上の変換方法の妥当性を検証するための聴取実験を行った結果、love と reverence 以外の感情については、聴取者はその音響がどの感情に対応するものであるかを特定できることが統計的に確認されたと Clynes は報告している。

本実験では、以上の先行事例を出発点とした。[Clynes 82]中に示された、各感情を備えた音響を生成する音楽パラメタのうち、まず周波数のみを取り上げ、そのエンヴェロープ(すなわち旋律線)をゴールとみなし、初期状態としてランダムに生成された旋律線がゴールに近づいてゆく様を、遺伝的アルゴリズム[Russell 03]を用いてモデル化した。7種類の感情のうち、今回は特に grief を取り上げた。実装は、Java に基づくコンピュータ音楽プログラミング環境である jMusic[Sorensen 98]にて行った。Grief について、Clynes によるオリジナルの周波数エンヴェロープをトレースして再現したものを図 1 に示す。今回の実験においては、このエンヴェロープを進化的ゴールと設定した。

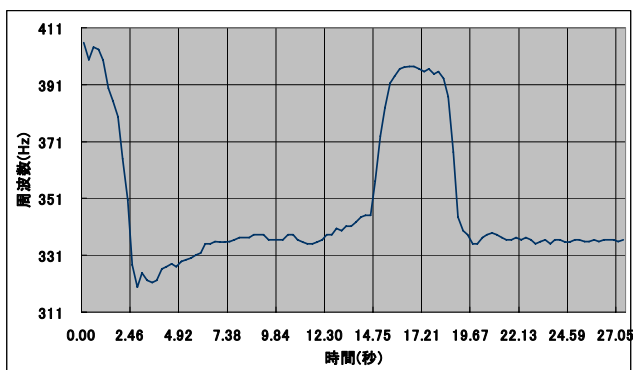


図 1 grief の周波数エンヴェロープ

図 1 の横軸は時間(秒)を、縦軸は周波数(Hz)を表す。Clynes の指定によれば、grief の周波数エンヴェロープは 320Hz から 406Hz の間で形作るのが良いとされている。また、図 1 が示すように、grief のエンヴェロープの時間の長さはおおよそ 27 秒であるが、これはテンポを四分音符=61、拍子を 4 分の 4 拍子とした場合の 7 小節分の長さにはほぼ一致する。

#### 4.1 遺伝的アルゴリズムによる定式化

次に、本実験に遺伝的アルゴリズムを適用する上で与えた問題設定をまとめる。

##### (1) 個体の表現、第 1 世代の作成

4 分の 4 拍子で 7 小節という長さは、16 分音符 112 個分に相当する。本実験では、4 分の 4 拍子、7 小節分の長さの旋律を遺伝的アルゴリズムにおける個体と定義し、それらを 112 個の 16 分音符の系列として表現する。そして各 16 分音符のピッチ(音高)を遺伝子として解釈する。ピッチは、いわゆる 12 等分平均律に基づく離散化された音高ではなく、連続的に変化する周波数値をそのまま採用した。

一つの世代に属する個体数は 1,000 に設定した。第 1 世代の個体はいずれも、112 個すべての音符について、250Hz から 450Hz までの間でランダムにそのピッチを生成した。250Hz から 450Hz までという範囲の設定は便宜的なものに過ぎない。

##### (2) 適応度関数

個体の適応度は、最終的なゴールである図 1 のエンヴェロープとの類似度によって決定した。具体的には以下の 2 種類の類似度 a, b の平均を求め、その個体の適応度とした。

- 類似度 a: 音符一つ一つのピッチの近接度の総和。112 個すべての音符のピッチについて、ゴール旋律の該当箇所とのピッチとの差の絶対値をペナルティとして考慮する指標。
- 類似度 b: 連続する二つの音符間の進行音程の近接度の総和。

類似度 b を導入した理由は、音符ごとのピッチのずれの総和は同じであっても、旋律線の形状がよりゴールに近い個体に高い適応度を与えるべきだという判断に因る。説明の都合上、西洋古典音楽における音階を例にとると、例えば、ゴール旋律のある箇所の進行を c, d と仮定し、比較個体 1, 2 の該当箇所の進行をそれぞれ d, e, d, c とした場合、比較個体 1, 2 の音符はすべてゴール旋律から 1 全音分ずれているから類似度 a は等しいが、類似度 b に関しては、個体 1 の方が 2 よりも高い値を得る。なぜなら、該当箇所についてゴール旋律と個体 1 は共に 1 全音上行するという性格を共有するのに対して、個体 2 は反対に 1 全音下行しているからである。

類似度 a, b ともに値は常に非負で、個体がゴール旋律と一致するときに類似度が 1.0 となるような正規化を行った。

##### (3) 選択関数

次世代の個体生成に先立って行われる親となる個体の選択においては、適応度に比例して選択される確率が決定されるよう重み付けを行った。また、一对の親個体からは一つだけの新個体が生成されることとした。つまり、世代交代に当たっては、1,000 対の親個体の組から、新しく 1,000 個体が新世代として生成される。

##### (4) 遺伝的オペレータ

新個体生成のための遺伝的オペレータとしては、交叉と突然変異の二つを用意した。交叉は 1 点交叉法を用い、交叉点は毎回ランダムに決定した。突然変異としては、ランダムに選択し

た音符のピッチを、ゴール旋律の該当箇所のピッチに 10Hz 分近づけるという処理を設定した。交叉、突然変異それぞれの生起確率は、1.0 および 0.1 とした。

### (5) 停止条件

ある世代に属する個体がすべて同じ適応度を持つに至った場合は、そこでアルゴリズムを停止することとした。

## 4.2 実験結果

上に述べた条件設定の下、アルゴリズムを実行した。その結果、おおよそ 100 から 200 世代の間で、適応度が 90% 代後半の値に収束することが分かった。第 1 世代から 10 世代ごとに、それぞれの世代の最良個体(最も適応度の高い個体)のエンヴェロープを連結したものをアルゴリズム全体の最終的な出力とし、それをオーディオファイルとして書き出した。

## 5. 評価と考察

本実験の目的は、Clynes によって与えられた *grief* という感情を表す旋律をゴール、ランダムにピッチを生成した状態をスタートとし、混沌とした音響の中から徐々に特定の感情を持った旋律が立ち現れる様を、遺伝的アルゴリズムによって実現することであった。

実験結果として得られたオーディオファイルを再生してみると、最初は単に無秩序な音の羅列にしか聴こえなかったものが、徐々に、旋律と呼べるような一定の音楽的まとまりを感じさせるものへ進化してゆく方向性を感じることができる。具体的には、全体の音域が徐々に狭まってゆくことや、次の音符へ進行する際の音程が小さくなることで、(たとえ部分的であっても)滑らかな旋律を感じさせることが要因になっていると思われる。これは、ランダムな初期状態からある一定の形のエンヴェロープへの進化(形状の変化)という現象を音楽的に確認できたことを意味し、評価に値するものと考えられる。

しかしながら、この実験結果が最終的に特定の感情(この場合 *grief*)を徐々に形成するよう感じられるかという点については、残念ながら(少なくとも筆者には)あまりそのようには聴こえないと言わざるを得ない。また、感情の問題は別にして、生成された旋律の音楽的な面白さという点からも、不満な点は感じられた。以下、これらの問題点を整理し、改良のための検討を行う。

まず肝心の徐々に形成される感情の表現がうまくできなかった点について、一番に考えられるのは、今回の実験において、周波数エンヴェロープのみを扱い、振幅エンヴェロープは考慮しなかったという点だ。また、今回は特に *grief* という感情のみを扱ったが、その他の感情についても同様の実験を行い、相互の比較を行うことも検討の余地がある。

その他に生成された旋律全体を通じて感じられた不満として、部分的に旋律を感じさせるような滑らかなピッチの進行が形成されることはあっても、それが全体として一本の旋律線に帰着せず、バラバラの旋律断片の寄せ集めのような状態になりがちなのが指摘できる。また、収束間近になって旋律の大部分がゴール旋律と一致した状態になっても、数個の音符が外れ値のように大きくかけ離れたピッチを持っていることがある。これらの音符は視覚的にはさほど気にならないが、音として聴くと、非常に耳障りであることが多い。

これらの問題点を解決する方法としては、例えば適応度関数として、全体として滑らかな旋律線が形成されることをより重視するような関数を設定することが考えられる。また、遺伝的オペレータとして今回は 1 点交叉法を用いたが、ここにも改良の余地があると思われる。この方法によると、せつかく親个体の中で滑

らかな旋律線が形成されていても、それを切断するような交叉が起きることを無条件に許してしまうからだ。これは単に遺伝的オペレータの設計の問題にとどまらず、個体の表現にも関わる本質的な問題であるから、今後慎重な検討が必要であろう。

## 6. 探求すべき方向性

本実験についての直接的な考察は前節に述べたので、本節ではより大局的な視点から、今後なすべきことをまとめて本稿の結びとする。

第1節において、筆者の究極的な問題意識は、コンピュータ音楽というパラダイムにおける豊かな感情表現のための作曲原理の探求、構築にあると述べた。本稿で報告した試みも、その大目標へ向けた一歩であると認識している。当然のことではあろうが、前節で指摘した諸点が改善され、本稿で繰り返し述べてきた、無秩序な初期状態から徐々に特定の感情を備えた旋律が立ち現れる様を音楽的に表現するという目的がめでたく達成されたとしても、それだけでは、掲げた大問題に対する解答の一部にしかならないはずである。

歴史が明らかに示す通り、新しく提案された作曲の技法、原理が広く受け入れられ、その価値が認められるのは、その手法を用いて創作された独創的な作品の存在によってである。コンピュータ音楽という名前と呼ばれるにせよ、それは紛れもなく音楽の営みである以上、その創作の方法論の価値は、何よりもまず音楽的に説得力のある作品(それはもしかしたら伝統的な意味での音楽作品という概念の範疇に収まるものではないかもしれないが)によって示されなければならない。

本稿で取り組んだ試みが成功した暁に得られるものは、そのような将来の作品を構成する要素の一部として位置づけられるだろう。それをどのように活用し、全体としての統一的魅力を備えた作品に仕立て上げてゆけるかということが、中長期的な課題である。

## 7. 謝辞

Sentics についてご教示下さいました、慶應義塾大学の岩竹徹教授に感謝致します。

## 参考文献

- [Biles 02] Biles, J.A.: GenJam: Evolution of a Jazz Improviser, Creative Evolutionary Systems, Academic Press, pp.165-187, 2002.
- [Clynes 77] Clynes, M.: Sentics, the touch of emotion, Doubleday Anchor, New York, 1977.
- [Clynes 82] Clynes, M. and Nettheim, N.: The Living Quality of Music, Neurobiologic Patterns of Communicating Feeling, Music, Mind, and Brain (The Neuropsychology of Music), Ed. Manfred Clynes, Plenum Publishing Corp., pp.47-82, 1982.
- [五十嵐 06] 五十嵐創, 古川康一: Sentics に基づく進化的音楽の試み, 第 62 回人工知能基本問題研究会資料, 人工知能学会, pp.29-34, 2006.
- [岩竹 94] 岩竹徹: コンピュータミュージック, オーム社, 1994.
- [Miranda 02] Miranda, E.R.: Evolutionary music: breaking new ground, Composing Music with Computers, Focal Press, pp.119-157, 2002.
- [Russell 03] Russell, S. and Norvig, P.: Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice Hall, 2003.
- [Sorensen 98] Sorensen, A. and Brown, A.: jMusc, Music composition in Java, <http://jmusic.ci.qut.edu.au/>, 1998.