

フラクタルおよびDNA情報を MIDI情報として用いた電子音楽の制作

熊谷武洋

The Composition of Synthetic Music that uses Fractal and
DNA Information as MIDI Note Number

KUMAGAI Takehiro

(Received September 24, 2010)

Key words: MIDI, Digital Music, DTM

1. はじめに

フラクタルやDNAといった自然界に存在する構造を音楽情報として活用する試みは、これまでも数多くあった。先駆的な例として前者は現代音楽家のチャールズ・ドッジ、後者は遺伝学者の大野乾が挙げられる。しかしながら、本稿で論じる方法においては、フラクタルやDNAそれ自体に音楽的意味を見出そうというわけではない。フラクタルの再帰性や遺伝子情報における構造などを数列化し、音楽の構成要素として有用と思われる箇所を制作者自身が感性と主観によって恣意的に取捨選択し、音楽的な情報として積極的に活用するというアプローチである。つまり、モチーフ自体が持つ構造を分析し、自動作曲化していくアルゴリズムコンポジションのアプローチではなく人為的な修正や二次加工を前提とした手動作曲のアプローチである。

このような手動作曲手法と従来の手動作曲手法との大きな差異は、上述したように素材の取得方法に加え、最終的な曲の印象やイメージを音の高さや長さではなく、音響的に調整を施したコンテンポラリーな音色によって形成するという点である。

フラクタルやDNAの構造それ自体は他の構造に比べ音楽的な親和性が潜在的に潜んでいるとしてもやはり音楽そのものではない以上、音楽としての体をなすには、それが自動にせよ手動にせよ何らかの二次加工が必要になってくる。まず音楽性に大きく関わるのはノートとスケールのマッピングである。この一次処理で大きく完成度や音楽性が決定される。しかし本稿で論じる方法においては、この点については最小限の処理に留め、積極的に電子音を活用し、曲全体の輪郭を描いた。

このような方法を試行する動機は、フラクタルやDNAの持つ潜在的な音楽性を、従来の楽器ではなく電子楽器で展開することによって、さらにその潜在的可能性を高めることが出来ると思ったからである。それが手法として確立し、有用性が検証されれば、創作だけに留まらず教育分野やゲームなどエンターテインメント分野での幅広い活用が期待される。いずれにせよ、こうしたアプローチは実際に制作し、成果によってしか評価は行えない。よって本作品の制作は実験的な意味合いの下で行った。

その結果、フラクタルを用いた作品は、作品名「無限の深遠」として芸術科学会主催 NICOGRAPH2005 論文コンテスト併催「デジタルミュージック・コンテスト」二位、DNAを用いた作品は作品名「GENOMUSICA」として芸術科学会主催「デジタルミュージック・コンテスト2006」自由作曲部門最優秀賞として客観的な評価を得た。このことにより、部分的ではあるが本方法の有効性と可能性を示すことが出来た。

2. 制作方法

以下に手法の概要を述べる。

楽曲の基本は音の高低（音高）とその長短（音価）である。当然のことながら、それ以外の音響的要素や表現上の複雑な要素も多く含まれているが、最低限この二つの要素があれば、芸術的であるかどうかは別として曲を奏でることが出来る。

そこでフラクタルやDNAから得られた構造を数列として切り出し、この数列を音高と音価とみなしてMIDIのノートナンバーを割り当てる。

次に音楽的な構成を人為的に整え、DAW（デジタル・オーディオ・ワークステーション）上にてシンセサイザーの音色を割り当てる。単純に送信されるノートナンバーを受信して音を出すだけではなく、音源自体にも波形制御やステップシーケンスを施し、音響的な音色でフレージングを行えるように調整する。この部分の作業が最も重要であり、本作品とその手法の特徴的な部分である。この作業は仕上がりの印象や作品の方向性に大きく関わる。具体的に作品制作事例2点を挙げて、その工程について述べる。

3. フラクタルを用いた作品事例

作品名「無限の深遠」と命名した本作品はフラクタルの持つ無限性や神秘性を題材とし、計算機を用いることの必然性と音楽性の両立をねらったものである。

3.1 制作テーマ

フラクタルの持つ無限性や神秘性をモチーフとしている。発散と収束を繰り返す境界域に立ち、そこから無限の深淵を覗き込んだとき、その先には一体何が待ち受けているのかという畏怖の念を音楽で表現した。

よって本作品は、作者自身の印象だけによる作曲ではなく、マンデルブロー集合の演算ロジックを基に自動作曲を行うアプリケーションソフトウェアとDAWソフトウェアを用途別に使い分け、半自動作曲による方法で作曲した。自動作曲ソフトが出力するMIDIファイルを基にDAWソフト上で音楽的調整を加えて完成とした。

3.2 作品概要

作品時間： 2分22秒
 使用ソフトウェア： Chaos von Eschenbach
 CubaseSX2 with VSTi
 MAX/MSP

3.3 制作手法

フラクタルの典型例として有名なマンデルブロー集合（Mandelbrot's Set）は、厳密にはフ

ラクトルではないが、再帰的構造を持っているため今回の制作において用いた。

複素数 $Z = a + b i$ を二次元平面上の点 (a, b) に対応させる時、この平面を複素平面と呼ぶ。マンデルブロー集合は、複素平面上で定義される集合であり複素数列 $\{Z_n\}$ を

$$Z_0 = 0$$

$$Z_{n+1} = Z_n^2 + \gamma$$

と定める時、 $\{Z_n\}$ が無限大に発散しないような γ の集合が、マンデルブロー集合である (図1)。このとき、 γ の集合を平面上にプロットすると図が出来上がる。精度を求めるなら $n = \infty$ まで計算を行う必要があるが、計算機リソースは有限であるため、有限回数で打ち切る必要がある。ある閾値を越えるまで繰り返し計算をおこなっていき、打ち切り回数に達しても発散しないときは収束するものとする。

この時、発散の速さに応じて着色すると感性的に美しい図が出来上がる (図2)。

また収束の判定をする判定式を変化させてみるとパターンが変化する。発散の速さと色は数学的には無関係であるため、着色パターンによって同一の図でもまったく異なる印象の図になる。

またマンデルブロー集合の一部を拡大していくと、様々な図が現れる。その拡大率によって、最初の図とはかけ離れたものや、最初の図と同じような自己相似形が現われてくる。そして、この関係は無限に循環し、果ては存在しない。

さらに、 Z_2 を Z_3 にするなどパラメータを変えればそのバリエーションはさらに増える。このようにして現出した感性的に美しい図を得られる視点を景勝地と言う。

景勝地と呼ばれる図が出現するのは、外側の発散する点の集合側や、その境界付近であることが多い。しかし、どの領域をどこまで拡大すれば景勝地が現われるのかをあらかじめ予測することは不可能である。おおよその類型化はなされているが、それが芸術表現として価値があるのか否かも含めて、即時に景勝地を見出すのは容易ではない。基本的に人為的な試行錯誤という作業が必然的に介入せざるを得ないのである。

よって、マンデルブロー集合から情報を抽出するアプリケーションソフト Chaos von Eschenbach を用いてモチーフとなる可能性のある情報を切り出しては取捨選択を行い、最終的に起承転結間のあるMIDI情報として編集を行った。

その具体的な工程を以下に示す。

- ① コーラスパートのモチーフとして Chaos von Eschenbach を用いてマンデルブロー集合 ($z_1 = z_0^2 - 1$) の景勝地から等高データを切り出し、それを8分音符、半音階スケールにマッピングを行う (図3)。
- ② 同様にして伴奏パートをジュリア集合から16分音符、Cメジャースケールにマッピングを行う。これらのモチーフをMIDIデータとしてCubaseSX2に読み込む。素材が表現意図に合致するまで幾度か試行する (図4、図5、図6)。
- ③ 表現意図に合致する素材に対して音楽的調整として以下の編集加工処理を必要最低限加える。

- モチーフの順序の並び替え、移動
- コーラスパートにおいて音源の音域から外れる音程の除去
- 伴奏パートにおいてアルペジオを付加

④ フレージングに相応しい音色をアサインする。なおシンセサイズ音には各種VSTiおよびMAX/MSPによる自作の簡易波形合成パッチ音を用いた。ヒューマンボイスのサンプリング音にはQUANTUM LEAP VOICES OF THE APOCALYPSEを用いた。通奏低音に相当するフレーズは、フラクタル情報本来のものに加え、音源側で調整を行い、周波数を変えて発音するようにプログラムした。

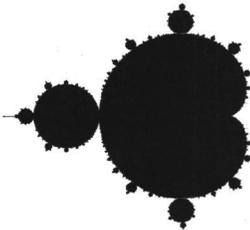


図1 プロットされたマンデルブロー集合

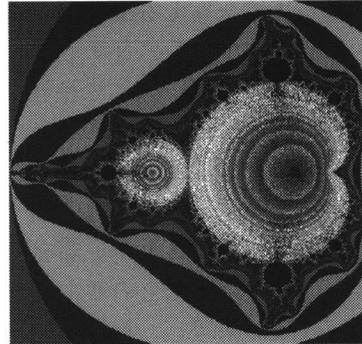


図2 着色パターンを変えたマンデルブロー集合

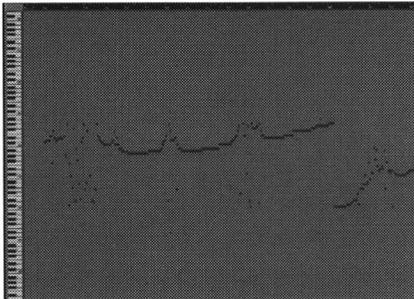


図3 素材状態のMIDIデータ (一部)

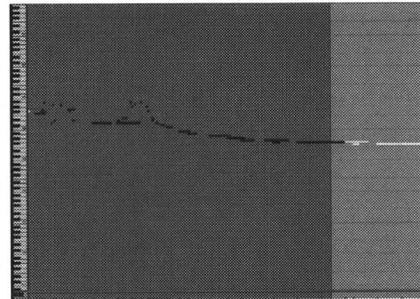


図4 スtringsパート

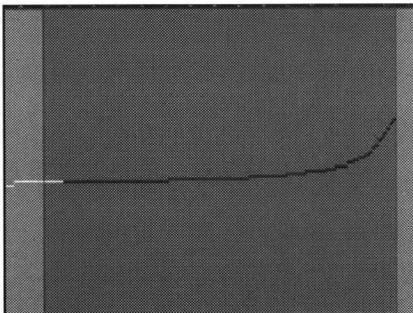


図5 クワイアパート

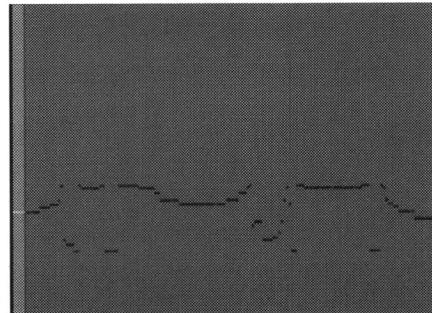


図6 ベースパート

3.4 評価と課題

本作品は実験的要素が多く、音を楽しむという意味での音楽ではない。従来の楽譜表示で見るとそれを実感する（図7）。

しかし、計算機を用いることの必然性から言えば、コンピュータ音楽もしくは電子音楽と言えるであろう。本作品が持つ電子音楽の系譜上の意味や特性について検証し、自覚化された作品として質的向上を図りたい。



図7 スコアエディタ画面

4. DNAを用いた作品事例

作品名「GENOMUSICA」の題名の意味は、GenomeとMusicの合成造語である。

Genomeは、gene（遺伝子）とome（ラテン語で集合体の意味）の意味であり、Musicaは、ラテン語で音楽の意味である。

4.1 制作テーマ

本作品の表現テーマは、「単調さの中に潜む神秘性」を表現することである反復の持つ複雑性、情報に置換されたときの無機質的イメージ、自然界におけるゆらぎ、といった要素を、音色を中心とした彩で構成しようとした。

DNA情報をMIDI情報に変換したとしても音楽表現的に有益な情報が含まれているとは限らない。よって原始的な信号のような響きの中に複雑な音色変化による抽象的な表現制作した。本作での展開感や曲調は全て音色によるものである。

4.2 作品概要

作品時間： 3分20秒

使用ソフトウェア： CubaseSX (DAW)
 DNA2MIDI (BiorubyによるCGI)
 FM7 (FM音源方式によるソフトシンセ)
 ゆらぎ解析君 Version 1.0

使用ハードウェア： 自作DOS/V互換機
 SY77 (FM7の実機)

4.3 制作手法

DNA情報をMIDI情報に変換しマッピングするソフトウェアとDAWソフトウェアを用途別に使い分け制作した。塩基別に音階をマッピングするという方法自体は、従来の方法と大きな差異はない(図8)。DNA情報から変換されたMIDI情報は基本的に一切手を加えていないため、本作品は4つの塩基分の4パート構成である。以下にその具体的な工程を示す。

- ① 作品モチーフとなるDNA情報をランダムに選定する。今回はmRNA AB198191 (ヒトにおけるコンダクタンスカルシウム活性化カリウムチャネルのためのmRNA)を選定した(図9)。
- ② DNA2MIDIを用いて2oct以内、メジャースケールにマッピングを行う(図10、図11、図12)
- ③ MIDIデータとしてCUBASEに読み込む(図13)
- ④ 音色を編集しながら適切と判断した音色をアサインする
- ⑤ 音楽的調整を行う
 - ・音色自体にフレーズ感があるように音色編集
 - ・テンポシンクやフレーズに合致するように音色編集
 - ・反復を利用しドラムマップの最適化
 - ・伴奏パートにおいてアルペジオを付加

本作品で特徴的なのは、全ての音色をFM合成方式による音色で構成している点である。その理由は、曲のフレーズに合致した音色を精緻に合成する目的に合致しているからである。FM合成方式はすでに過去の音声合成方法となっているが、現在主流であるPCM方式と異なり、様々なパラメータにアクセスできるため、曲のフレーズに合致した音色を精緻に合成する目的に合致している。しかし、合成手順が複雑でパラメータの一部をフィジカル化したとしても複雑なコントロールパネルになってしまう(図14)

よって、音色作成には、FM合成をハードウェアで行う実機に加え、効率よくパラメータ制御が可能なソフト化されたFM音源を用いた(図15、図16)。

その結果、意図した音色を比較的少ない手順で作成することが出来た。

フレーズは4パート構成であるが音色は8音色用いている。このような音楽的調整の部分が人格表現としてのアートの要素と言えよう。

C C A A G G T T C C A A G G
 シド レ ミ フ ソ ラ シド レ ミ フ ソ ラ

図8 塩基配列を音符に変換する規則
(Ohno and Ohno, 1986 immunogenetics)


```

! # drum:
! # true (with rhythm part), false (without rhythm part)
! # scale:
! # C # D D# E F F# G # A A# B
! # 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
! def to_mid(tempo = 120, drum = true, scale = nil, track_info = nil)
!   scale ||= [0, 2, 4, 5, 7, 9, 11]
!   track_info ||= [[9, 60, 2], [13, 48, 2], [41, 48, 2], [44, 36, 2]]
!   track = []
!   track_info.each_with_index do |i, j|
!     k = j
!     k += 1 if j >= 9
!     track.push MidiTrack.new(k, i[0], i[1], i[2], scale)
!   end
! #
! # --- 25,385 ---
! # Foundation, Inc., 59 Temple Place, Suite 330, Boston, MA 02111-1307
! # USA
! #
! # +++
! #
! # --
! # *TODO*
! # - add "Ohno" style
! # - add a accessor to drum pattern
! # - add a new feature to select music style (pop, trans, ryukyuu, ...)
! # - what is the base?
! # ++
!
! @dtype = {
!   'aa' => 1, 'at' => 0, 'ac' => 3, 'ag' => -1,
!   'ta' => 0, 'tt' => -1, 'tc' => 1, 'tg' => -2,
!   'ca' => 2, 'ct' => 1, 'cc' => 2, 'cg' => 6,
!   'ga' => -1, 'gc' => -3, 'gc' => 0, 'gg' => -2,
! }
!
! @dtype = [
!   { 'aa' => 2, 'at' => 4, 'ac' => 4, 'ag' => 2,
!     'ta' => 2, 'tt' => 4, 'tc' => 4, 'tg' => 2,
!     'ca' => 2, 'ct' => 3, 'cc' => 1, 'cg' => 2,
!     'ga' => 1, 'gc' => 2, 'gc' => 2, 'gg' => 3,
!   },
!   { 'aa' => 3, 'at' => 3, 'ac' => 2, 'ag' => 3,
!     'ta' => 3, 'tt' => 3, 'tc' => 2, 'tg' => 2,
!     'ca' => 3, 'ct' => 2, 'cc' => 1, 'cg' => 1,
!     'ga' => 1, 'gc' => 1, 'gc' => 1, 'gg' => 1,
!   },
!   { 'aa' => 2, 'at' => 2, 'ac' => 2, 'ag' => 2,
!     'ta' => 1, 'tt' => 1, 'tc' => 2, 'tg' => 2,
!     'ca' => 2, 'ct' => 2, 'cc' => 2, 'cg' => 3,
!     'ga' => 2, 'gc' => 2, 'gc' => 3, 'gg' => 1,
!   },
!   { 'aa' => 1, 'at' => 1, 'ac' => 1, 'ag' => 1,
!     'ta' => 1, 'tt' => 1, 'tc' => 1, 'tg' => 1,
!     'ca' => 1, 'ct' => 1, 'cc' => 1, 'cg' => 3,
!     'ga' => 1, 'gc' => 1, 'gc' => 1, 'gg' => 1,
!   },
! ]

```

図12 DNA to MIDIプログラム (一部抜粋)

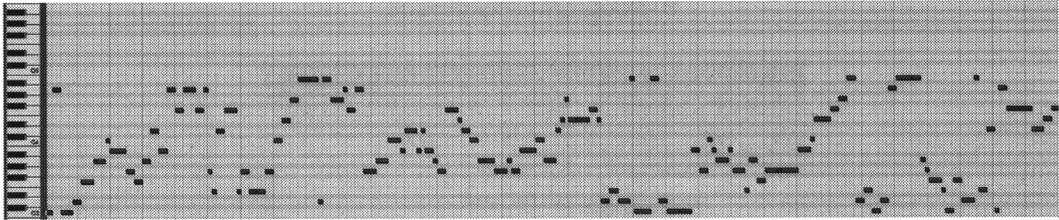


図13 マッピング後、インポートしたMIDIデータ (一部)

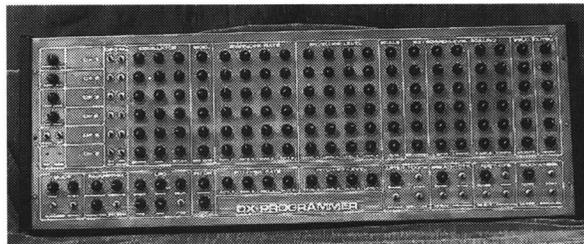


図14 FM音源用フィジカルコントローラ (一部)



図15 FM合成ハードウェア音源SY77

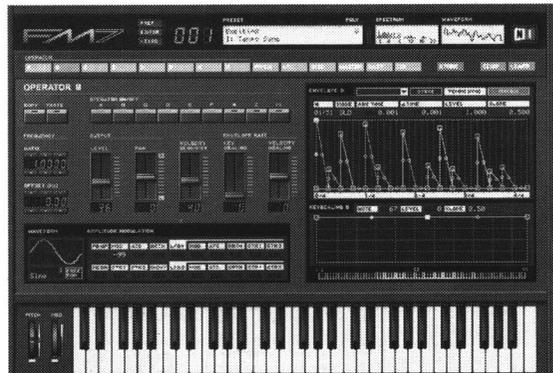


図16 FM合成ソフトウェア音源 FM7

4.4 評価と今後の課題

FM音源の効果を定量評価するために完成した曲を、スタインウェイBのサンプリング音のみによる曲とFM音源を用いた曲とで解析ソフトによるゆらぎ成分の分析と対照比較した。

この二つの曲は、当然ながら音価と音程は同じである。差異があるとするならば音色の違いということになる。この解析方法はあくまで評価方法の一つにすぎないが、音色が及ぼす効果を計る上で一つの指標になり得る (図17)。

解析結果はFM音源による曲の方が音楽的表現としては豊かであるが、成分的にはノイズ的な指向を持っていた (図18、図19)。よって当初の意図を達成できたと評価できよう。

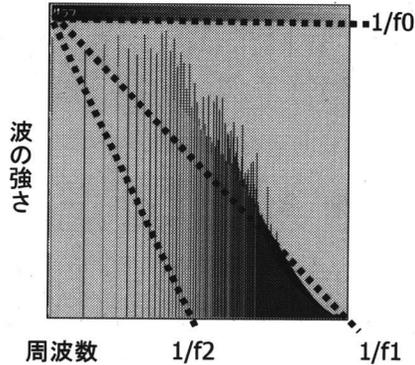


図17 「1/fのゆらぎ」では、周期の長い波ほど大きな振幅に周期の短い波ほど小さな振幅になる

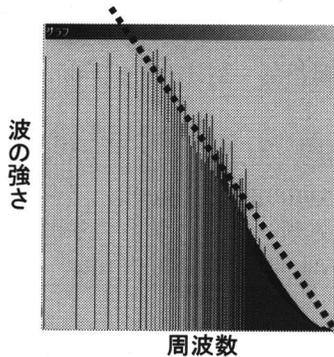


図18 スタインウェイBのサンプリング音のみによる曲→クラシック音楽に近いゆらぎ傾向

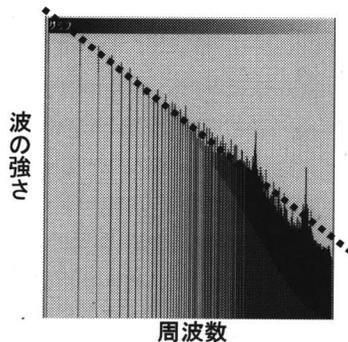


図19 FM音源を用いた曲→ノイズに偏向したゆらぎ傾向

今後の課題としては、MIDIストリームデータを読み込みながら、リアルタイムに音楽的調整を加えることのできるインタラクティブシステムの構築とFM音源を効率よく制御し、新しい音色開発を支援するためのソフトウェアコントローラの開発を検討している。

5. 今後の展開

このように音楽の構成方法としては不完全な箇所や改善点は多いが、基本コンセプトを具体化することが出来た。加えて制作した曲は両方とも学会主催のコンテストにて受賞し、客観的な評価も得られ、本方法による作品は一応の成果があった。

本方法の想定活用者としては、音楽表現に関心はあるが、音楽の専門教育を受けていない人やDTMビギナーを前提としている。将来的には情操教育や芸術教育などの教育現場への実践導入や、映像情報処理過程を加えてメディア・アートとして発展させていきたいと考えている。

参考文献

- [1] Curtis Road:コンピュータ音楽 歴史・テクノロジー・アート、東京電機大学出版局、2001
- [2] 高橋信之：コンプリートMIDIブック、リットーミュージック、2003
- [3] 高橋信之：コンプリートMIDIプログラミング・ブック、リットーミュージック、2006
- [4] 高橋信之：コンプリートMIDIブック、リットーミュージック、2003
- [5] 高橋信之：コンプリートSYNTHプログラミングブック、リットーミュージック、2007
- [6] リットーミュージック出版編集部：MIDIバイブル〈1〉MIDI1.0規格 基礎編、リットーミュージック、1997
- [7] リットーミュージック出版編集部：MIDIバイブル〈2〉MIDI1.0規格 基礎編、リットーミュージック、1999
- [8] ポール メシク : C++MIDIプログラミング—Windows95/98用MIDIアプリケーションの開発 (Windows programming technique)、プレンティスホール出版、1999
- [9] 徳永隆治:フラクタルと画像処理—差分力学系の基礎と応用,コロナ社,2002
- [10] 三井秀樹:フラクタル造形SD選書, 鹿島出版会,1996