

研究報告

アルゴリズム作曲をめぐって CONCERNING ALGORITHMIC COMPOSITION

古川 聖

Kiyoshi Furukawa

東京芸術大学

Tokyo National University of the Arts

概要

私はこれまでに色々なアルゴリズムを用いて作曲を行ってきたが、これはいわゆる自動作曲とは違ったコンテキストをもっている。シュトックハウゼンが自作のために自分だけのシステムを構築したように、私は現代音楽の技法のコンテキストの中で、自分の作曲のシステムを初めは紙と鉛筆で、そして次第にコンピュータを使って構築するようになった。私が音楽制作のために使った方法やシステムを紹介し、それらの問題点を検討し、その問題意識が現在行っているアルゴリズム作曲にどのようなつながっていくかを実際に作品を聞き、システムを動かしながら解説する。

Until now I have often used algorithmic methods in my composition, but these methods in fact, have a quite different context to those methods, which we know as “automatic composition”. For example, Stockhausen developed his own unique algorithmic system for his compositional work. Similarly, in the context of Contemporary Music, I developed my own system, firstly on paper, then later with a computer.

Here I would firstly like to present the methods and techniques that I used for my own work and then I will discuss the problems that arose from these methods by using musical examples and computer demonstrations.

1. はじめに

音楽は人間の体験を通して生起し、人間を切り離しては存在しえない。つまり本来は音楽を人間の外側にある楽譜や形式などとして考える事はできない。しかし一方、音楽は人間が認識する音の秩序や形式であり、それらの認識を通してその向こう側にたち現れてくる何かでもある。この秩序や形式の認識について、一旦、人間の体験とは別個に考えるのが作曲技法であり、この小論が扱うのもこの広い意味での作曲技法である。アル

ゴリズムコンポジションも作曲技法の一つであると言える。

この小論では私がここ 15 年以上続けてきたアルゴリズムを使った作曲の仕事と、この分野で行われてきたこと、また現在行われつつあることを関連付けながら、音楽とアルゴリズム、音楽のモデル化の方法、それらが持つ問題点など論じる。そして最後に言わば認知的音楽という方向へ進んでいる現在の状況を説明する。

2. 私説「アルゴリズムコンポジションの歴史」

私は中学校のころから作曲をしていたが、作曲とは自らの感性を研ぎすまし、直感によって、つまり計算無しに五線紙に書き付けるものだと思っていた。中学生のころ初めて、コンピュータを使って作られたクセナキスの作品を聞いて（後には好きな作曲家となるのだが）何て粗雑な音楽なんだろうと思った事を、その濃い緑色の無地のレコードジャケットとともに鮮明に思い出すことができる。

私が高校を出た後に 1980 年代のドイツの音楽大学でヨーロッパの前衛音楽を学び始めたとき、私をまず驚かせのは、作曲家たち、特に戦後間もなく登場してきた作曲家たちのグルーブが、自分たちの作品を構成する作曲技術、方法、方法論を徹底して説明しようしてきたことである。彼らは意識的に音楽構造を生み出す技法、論理に向き合い、そこから独自の音楽システムを考案し、新たな視点を提示し、自らのシステムを用いた作品を通して伝統を切り開いていった。その典型的な例が、セリー音楽を徹底的に押しすすめ、作品を構成しつつ、その方法論を音楽作品と著作という形式でまとめたシュトックハウゼンやブーレーズだろう。そのような方法自体がコンピュータは使っていないがアルゴリズム作曲と言える。私はそれらに影響を受け、表や図などを作り綿密に構成された自分なりのシステムを使って作曲するということを始めた。そして後にそれはその作業をもっと押し進めた形として、作曲のアルゴリズムを計算機を

使って表現し、それを使って作曲するということにつながっていった。従って私が行ってきた アルゴリズム作曲はその「方法」の学術的研究ではなく、音楽的な「創作」を目的としたものであり、音楽的な質の高さのみが問題となる創造行為であり、現代芸術や現代音楽の分野で起こっていることに直結するものであった。つまり私がここで問題にする事もそのような視点からのアルゴリズム作曲であり、ここにある問題意識もそのような視点からの問題意識である。

さて、ずいぶん後になってはつきりと意識するようになったのだが、これらの現代音楽の動きと同時並行のかたちで、アメリカではもっと違ったアルゴリズムコンポジションの歴史が始まっていた。コンピュータの発明後間もなく、コンピュータを使った作曲の試みが始まっている。ここでまず問題となっているのは創作や芸術ということではなく、伝統的な音楽構造のモデル化へ「方法」の探求である。今でこそ、例えば推移確率などのようなモデルでは複雑な文化的な人工物である音楽には十分な対応ができないことが結果的に分かっているが、当時、マルコフチェーンを使った音楽のモデル化に人々がどれほど胸を高鳴らせたかは想像に難く無い。人工知能の研究と相俟って、このような研究が今日まで続けられてきた。

ヨーロッパの前衛音楽でのアルゴリズムコンポジションがある意味で、作曲家の恣意的なシステムであったのに対し、アメリカで行われてきた研究は人間の認知活動や文化的遺産を解明しようとする野心的かつ創造的な仕事であることは間違いない。後に私の中でこのヨーロッパの前衛音楽のアルゴリズムコンポジションと人工知能としてのアルゴリズムコンポジションがで会うことになる。

3. 音楽外構造と音楽

アルゴリズムを使った作曲の例として私が 1992 年ころに作曲した作品を例として取り上げる。これは典型的な音楽外構造を使った例である。音楽外構造とは音楽には直接関係のない構造であり、それは数列の構造かもしれないし、クセナキスが使った気体の状態遷移の確率かもしれない。またはウサギとその捕食者であるオオカミの個体数の変化かもしれない。ここでは音楽がモデルにされているのではなく、何らかの音楽とは関係ない秩序がモデルとなり、そのモデルから出てくる数字が音へとマッピングされることになる。

3.1. フラクタルミュージック（非線形構造）

1986 年に The Beauty of Fractals: Images of Complex Dynamical Systems という本を知った。とりわけ私を魅

了したのは数行の簡単な数式をリカーシブに繰り返して用いることによって、非線形構造はじつに複雑な細部と全体の構造を生み出すという事実であった。CG においては全体と部分、部分と部分の関係が見てとれる。まもなくこの本の著者の一人 Peter Richter 博士にお会いし、話しを聞き、彼から最初のマンデルブロート集合の簡単な計算式のプログラムをもらった。最初はとにかく闇雲に、これらの計算過程から生まれてくる数値をいろいろな方法で音にマッピングしてみたが、しばらくすると、より適切な方法が見つかった。非線形構造において、平衡にむかっている現れてくる自己組織化のプロセスを音にすることを行った。

3.1.1. Mandelbrot 集合

フラクタルとして知られる、マンデルブロート集合は CG として表現されているものを目にするが、視覚においては全体と部分、部分と部分の興味深い関係性が見えてくる。この 2 次元の 視覚的情報を次のような方法で音にマッピングした。まず CG 画像では 2 次元平面のすべての点を初期値として計算をおこない、その発散、収束、くりかえし、その他の結果を色分けして表示するのだが、私は平面上のある一点から直線状に連続した点の集合を初期値として順次用いた。つまり平面を横切る直線の (X、Y) 座標を初期値として使い、計算の結果ではなくその収束、発散などにいたる過程を逐一音高にマッピングすることによって、時に激しく変化する数値の動きを時間軸に音として表現した。

3.1.2. セルオートマトン

ここではセルオートマトンが音楽の構造の生成に使われている。私が使ったものは、各セルが 3 つの値を持つ種類のものである。出発点となる最初のライン（セルが棒状に 1 列に横に連なったもの）を初期値として、一定の規則のもとに次のラインが生成される。そして生成されたラインからセルを 3 つずつ組にして読みこみ、それを音楽操作のコマンドにアサインし、そのコマンドをすぐに実行することで音が生成される。数値をたんに音高にマッピングするだけでなく、スピード、移調、アクセント、音句挿入などもアサインされコマンドとして使われる。

さて、このような方法で多くの作品を作ったが、それなりに面白い、その構造に特有な構造が聞こえてくるし、時には時間的な推移においても空間構造が現れ、少なくとも表面的には興味深い作品ができたと思う。しかし一方、当たり前のことだが伝統的な音楽が持っているような多元的で綿密なコンテキストはほとんど形成されず、そのあたりに大きな不満を感じていた。そしてしばらくこのような作品制作を続けるうちに次の章で論じる

ような、音楽外構造を使ったアルゴリズムコンポジションが持っている根本的な問題に気づき始めた。

4. 音楽外構造を使ったアルゴリズムコンポジションの持つ問題

ある方法で沢山の数を生成する、それを音楽のパラメーターにアサインすると音楽ができる。はたして本当にこんなに簡単で自然なことなのだろうか。この過程を詳しく見てみる。

まず、

1. ある方法で数を生成する たえば 65 という値を得たとする。
2. 65 とは 65Hz にしようか、それとも 65Hz では音としては低く聴きにくいので 4 倍して $65 \times 4 = 260\text{Hz}$ (ピアノの真ん中の do のあたり) にしようか、それともピアノの鍵盤の左端から 65 番目の音にしようか、可能性は無数にあるが、まずは 65Hz としておくと、これは恣意的なもので何の必然性もない。
3. ところで Hz にしろピアノ鍵盤にしろ、これは伝統的な音楽に使われている、音の単位、集合であり、ほかのものでも良かったのではないか。たとえば、ある音を演奏する人の人数とか。実は Hz というスケールを選択する必然性もない。

整理してみると、数から音楽を生成するためには3つ選択のプロセスが必要である。

1. 数の生成方法の選択
2. 音に関係ある要素の集合の選択
3. 数が集合のどの要素にアサインされるかを定める規則（マッピング）の選択

さて、この三つの選択は独立したもので、相互の必然的な関係はないので、生成された数はいかようにでもマッピングされうるし、どれかのマッピングがほかのものより、正しかったりすることもない。まとめると、

1. 数の生成方法によって、音楽は自動的に決まらない。
2. 数のマッピングを通して音楽は決まるので、マッピングのデザインも必要である。

ある音楽外構造を使ったとしても、上記の三つのステップの間には必然的な関係はないので、そこに現れてくる音は、原理的にはその音楽外構造を反映したものとはならない。つまり音楽外構造を使ったアルゴリズムコンポジションとはこのようなあやふやな基礎の上に立っているのである。

よく、DNA の塩基配列や、渋谷の人の流れを音楽に

したらどうなるだろうかとか、カルマンの渦を音楽にしたら面白いのではないか、というような話を聞かされる。それぞれの構造はそれ自体面白いものかもしれないが、それから出てくるし数値は本質的に音楽とは関係のないものなので、音楽としての結果はマッピングの方法、特にその数値をアサインする集合に大きく依存し、どのようなものにでもなりうるしと言えない。音楽に直結する魔法の数式またはマッピングはいまだに出てきていないので、そのようなことに期待しない方がいいと思う。それはどのような数式も音楽外構造を使ったアルゴリズムも、長い時間をかけて私たちの耳とともに発達してきた音楽文化、歴史を決して含むことはないので、複雑な細部を生み出すことはありえないのである。

このようなことをはつきりと自覚することなしに音楽外構造を使ったアルゴリズムコンポジションを行う事は危険であろう。たとえば二章のフラクタルを使った作品では繰り返され、変型されるモチーフ、部分と部分のコントラスト、曲全体を貫くプロセス etc…、いかにも曲らしくできているが、これは極言すると空に現れる雲のかたちが猫に似ていたり、人の顔に似ていたりすると同様、人はフラクタルから出てくる音のなかに自分の知っているものを聴き出しているのである。つまり音楽はどこまで行っても人間の中に生起するものである。そしてこの事は実は現代音楽において作曲家が作り出すシステムにもあてはまる。シュトックハウゼンが説明した通りに“Kontra-Punkte”が聞こえるだろうか。

5. 音楽の知識表現

以上のような経緯で、音楽外構造を使うような方法ではある種の限界がある事を知り、この方法はその事を十分に意識した上で、それに適した用途にのみに使用することになった。(この方法を使った作品について、私はアルゴリズムコンポジションではなく、アルゴリズムを使った音楽デザインという風に呼ぶ事にしている。これに関してはまた別の機会に述べるが、これはアルゴリズムを使うにしろそれは音楽の構造を計算するのではなく、音色をエディットするように、音のならびの表層を計算するという意味である。)

さて、私が求めている、綿密に部分と部分が関係し多次元構造をもつ音楽を生み出すようなアルゴリズムを、結局は人間の認知や、人間の作曲行為自体を非線形のプロセスとしてモデル化する方向の中に探す事になる。つまり音楽自身をモデル化し、そこからアルゴリズムを立ち上げることである。ここで二章において述べたアメリカで行われてきた音楽をモデル化するような研究、アルゴリズムコンポジションに今度は「方法」と「創作」的な視点から向き合うことになった。

5.1. 知識表現＝モデル化

音楽外構造をマッピングによって音にする場合、その音楽外構造がすでにモデルとして与えられている事が多いので、モデル化の必要も無いのだが、人間の音楽認知や作曲行為自体を構造として扱うためにはそのモデル化、つまり音楽の知識表現が必要になってくる。そして現実には知識表現＝モデル化とは文化的表現を数的表現に置き換えることであり、そのことを通してはじめてモデルはコンピュータで操作可能な対象となる。一本の腕の動きには多くの関節、骨、筋肉が関わり連動しているように、芸術表現も様々な要素がお互いに関係づけられている。モデル化によって部分を全体とを関係づけながら、表現というレベルで操作することができる…という風に考えるのだが実際はそれほど簡単なことではない。そして、私の目的は最終的には音楽作品の創作であり、幸か不幸かモデルと言ってもモーツァルトの作曲モデルをつくることではない（もちろん、そんなモデルが本当にできるとは到底考えられないが…）。まずはある程度、一般性を持ったモデルができれば、要素を入れ替え、関係式、パラメータを変え、目や耳で確かめながら、さらにモデルを精密化、特殊化しつつ表現を行うことが可能となる。コンピュータもこのレベルに至ってはじめて、私たちのアイデア、想像力のおよぶかぎりの未体験の世界に入りこむため、文化を開くため道具になるのである。

音楽入り口には音の知覚があり、第一聴覚野で音は構造化され、パターンとの照合が行われ、第二聴覚野を通り、さらに大脳皮質全体でさらに高度なパターン認識がおこなわれる。そこには記憶や学習の問題も介在しているだろう。音楽は文化、伝統に深く根ざした高度なパターン認識であり、ある文化に固有のコンテキストに依存しないものも、依存するものも混在し、それらを一般化することは難しい。ということで現状は創作という視点から見れば、ある程度満足できるモデルさえ作れないのが現状である。以下、この音楽の知識表現の例としてASNを見ていただく。

5.2. ASN

5.2.1. ASN とは何か

ASN(Active Symbolic Notation):

1. ASN はコンピュータを使い音楽を視覚表現/記述（楽譜）するシステムであり、シンボルをプログラミング言語のように組み合わせで使います。またそこで作られたパッチ＝楽譜はリアルタイムに変更、操作可能で、その意味でそれは演奏するための楽器でもあります。

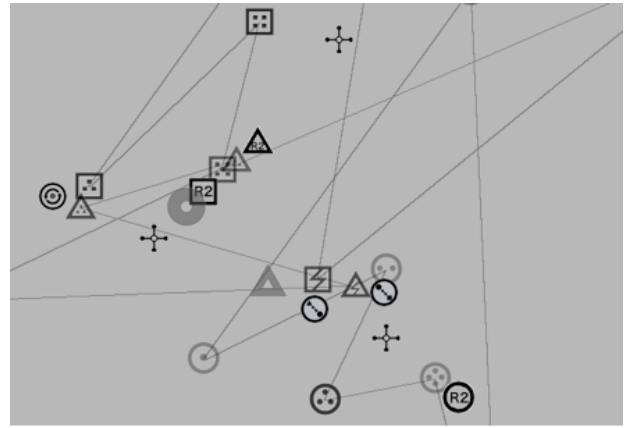


図 1. ASN のユーザーインターフェイス

2. ASN は文字を使わず、音楽構造を視覚的にデザインするのですが、何か既存の音楽のスタイルをモデル化するのではなく、シンボルを使い音楽的思考のベーシックな部分を直接モデル化しています。ここで重要なのはこのようなモデル化が既存の音楽を正確に反映しているかどうかではなく、このような表現形式、方法からどのような応用が可能となり、何が生まれてくるか、つまり音楽がどのように開かれていくかということです。

5.2.2. 特徴

ASN には二つの特徴があります。ANS においてはシンボルを使って視覚的に音楽の構造が表現されていますが、これらのシンボルは演奏者、聴取者に演奏の場において見られることを前提に作られています。一定の意味を持つシンボルは意味も含め、視覚的に把握され、音を聴くレベルにかさねられ、今までの聴取とは違った、いわば論理の認知、理解などを含むあたらしい知覚の形式に到達します。

また、もう一つの特徴はこれらのシンボルは演奏の場において、操作可能であるということです。つまりANS＝楽譜＝楽器ということです。このシステムはメタ楽器として外部のプロセス（例えば MSP）や音楽以外のシステムの制御にも利用できます。

6. 認知論的音楽

アルゴリズム作曲を長い間行ってきた、やはり思うのは文化の中で伝承されたり、紙と鉛筆によって生み出された伝統音楽の複雑さとすばらしさである。複雑な細部を生み出す自己組織化のモデルを使えば、少なくとも表面的には目新しい、ある種の創造的な新しい体験をもたらすような構造が現れる事があるが、伝統音楽が持っている入り組んだコンテキストのなかに綿密に構築された

音楽、つまり音がどうしてもそこに無くてはならないという深さにはどうしても到達しない。

しかしこれは音楽だけの問題でもない。人間の代わりに推論するロボットや自動翻訳など AI（人工知能）があつかう領域では同じような問題があり、自動作曲も AI の一分野と考えられる。音楽においてもエキスパートシステムのような抽象化され、機能を限定した物も作られたがその成果は満足 of いくようなものではない。

そして私は徐々に、音楽の作曲のためのアルゴリズムは音楽や音楽作品のモデル化と言うよりも、人間の頭の中にある、つまり人間の音楽認知の問題である事に気づき始めた。認知科学は現在、長足の進歩をとげ、脳科学とも結びつき多くのことが分かりかけてきている。

80 年代以降、認知科学に基づいた音楽理論も興起し、リスニンググラマーにそったモデルもあらわれてきている。また、伝統的な音楽理論や作曲技法も認知科学の視点から見直せば納得のいくような形で整理できるものも多い。例えば西洋の近代音楽においては、モチーフが集まりフレーズを形成し、フレーズが集まり楽節を形成する、というように音楽は階層状に構造化される。その最も大規模な形がソナタ形式なのだが、これは単なる空想物なのだろうか。このような一見、人工的な形式、音楽理論が実際に機能するのは、これらが私たちの音楽認知の方法（つまり脳の構造）をなんらかのかたちで反映していると考えるのが自然であろう。（チョムスキーが主張するように、言語は使われるうちに発達したと言うより、私たちの脳の構造と直接関係しているのだと私も思う。）

現在、わたしは Gestalt-Editor とする認知科学に基づいた思考支援ツールを開発している。

6.1. Gestalt-Editor

音楽という複雑なシンタックスをもった表現形式を研究するためには、その多次元構造を表現するエディターの開発が不可欠であると考えこのエディターを構想した。それは、楽譜のように音楽の事象を直接操作するのではなく、音楽の高次レベルでの要素の関係性（シンタックス）を直接扱う事の可能にする。そしてそのエディターを使い次元の異なるパラメーターを意識化したうえで、実際に音楽を作りながら、編集を行うことになる。このエディターには様々な機能が付けられているが、最終的にはそれはある一定のフォーマットでテキストファイルの形で出力され、このデータから音楽をつくるインタープレータはまた別個につくられる。またこのエディターはさらに、視覚、空間表現での文法（音楽も含めアート文法）へと拡張することが計画されており、表現のシンタックスの中において音楽だけが独立したものではなく、マルチモーダルで総合的な表現をも可能に

するものである。

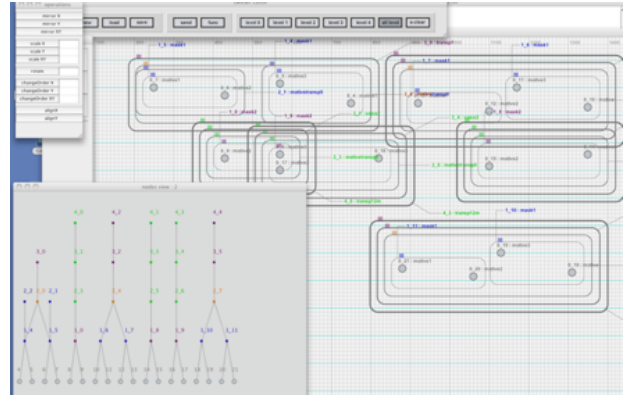


図 2. Gestalt-Editor のインターフェイス

7. 結語

さて、現在は上記の ASN とか Gestalt-Editor とかと並行して、理化学研究所で脳の計測を通して仮説の検証を行っている。「彼はいったい何をしているんだ」、というような声も聞こえてくるが、実はこれこそアルゴリズム作曲の一番の根っ子の研究である。音楽認知において一番最初にある問題は音楽の分節化の問題である。分節化があつて初めていろいろなレベルのグループの関係性から音楽のシンタックスが生じてくる。今は分節化の要因の一つであり、終止音（フィナーリス）から発達してきた終止形の認知についての実験を重ねている。深く掘りすぎているのかもしれない…しかし、どうも夢を見果てることはないようである。

8. 著者プロフィール

古川 聖 (Kiyoshi Furukawa)

東京生まれ。入野義郎氏に師事、ベルリン、ハンブルクの音楽大学でイサン・ユン、ジェルジ・リゲティのもとで作曲を学ぶ。1991 年に米国のスタンフォード大学で客員作曲家。ドイツのカールスルーエの ZKM でアーティスト・イン・レジデンス。作品は、新しいメディアと音楽の接点において成立するものが多く、1997 年の ZKM の新館のオープニングでは委嘱をうけて、マルチメディアオペラ『まだ生まれぬ神々へ』を制作・作曲。2000 年より東京芸術大学・先端芸術表現科准教授。ドイツと東京に在住。社会の中で表現行為が起こる場、新しいアートの形を探して 2002 年より、新しいメディアを使ったワークショップを世界各国で行っている。現在は理化学研究所、脳科学総合研究センターの客員主幹研究員として脳計測を通じた音楽認知の研究も行っている。