

## 解説

## 計算機による作曲と編曲†



中西正和†

## 1. はじめに

コンピュータによる作曲・編曲という課題には、二つの意味がある。一つは、自動的に作曲・編曲するシステムを作ることであり、もう一つは、人間の作曲・編曲のための支援をするシステムを構築することである。それぞれに、どのような価値があるかを考えるには、その目的を整理する必要がある。

まず、完全に自動化された作曲システムには、どのような利用目的があるであろうか。完成度の高いシステムが存在するならば、悲しい状況に合う曲を作れ、嬉しい状況に合う曲を作れというような指令だけで作曲を行うであろうし、もっと進歩したシステムならば、自然言語理解と共同で状況を把握して、ある特定の詩や文の状況に合わせた曲を作るということになるであろう。強力な学習機能が搭載されていてその時代に合った優れた旋律を作っていくようにトレーニングされるようなシステムができるならば、作曲家の何人かは不要になってしまうところまではいくであろう。

しかし、現実のコンピュータの世界をみれば、コンピュータ自身のための作曲に当たる、自動プログラミングに関してさえも、一般の人間の要求に応じているとは言い難い状況である。まして、コンピュータのプログラムよりもっと多様性あって価値判断の難しい芸術の分野では、全自動化は至難のことと言わなければならないだろう。

ところが歴史的にみると、音楽とコンピュータの結びつきは自動作曲から始まっている。その原因はいくつか考えられるが、一つは、文学や美術に比べて、音楽は離散的な情報として記録するように発達してきた芸術であったために、コンピュータに比較的容易に受け入れられると考えられたことがあげられよう。もう一つは当時のコンピュータの周辺機器が現在のように多様ではなく、文字列のような離散的なデータの入

出力しかできなかったために、自動演奏や採譜、あるいは楽譜の読み書きなどがハードウェア的に難しく、研究や実現の対象から外されていたことがあげられる。

一方、作曲・編曲のための支援システムは、作曲家の自由な発想を妨げない単なるツールである。したがって、作曲家の作業を助ける、知的ワープロ的な働きを目指しているわけであるから、いろいろな意味で利用価値があると言えよう。

## 2. 自動作曲

全自動の作曲システムの価値について考察しよう。

## 2.1 初期の自動作曲

自動作曲は、コンピュータの出現とともに始まったと言って良い。初期の自動作曲は、現存する作品の分析を行い特徴を抽出して、それに現在の音楽理論を当てはめて構成するという方法をとっていた。作品としては、典型的な西洋音楽の中でも最も偉大であると言われている作曲家のものを選ぶことが多かったし、音楽理論も、バロック以来培われてきた和声学、作曲法が用いられている。有名なものに L. A. Hiller Jr. と L. M. Isaacson が 1957 年 (FORTRAN が生まれたころである) に、ILLIAC-II を用いて作曲させた「弦楽四重奏のためのイリアック組曲」<sup>1)</sup> がある。

イリアック組曲は、音符を乱数で選び、それが作曲理論に合致するかどうかを判定し、合致しなければさらに乱数をとってくる、といった手法で作られたものである。当時の自動作曲は、ほとんどこのような手法が用いられた。日本でも、コンピュータの発達に合わせるように、1960 年代には盛んに自動作曲が行われた。特に 1963 年の大槻説乎によるもの<sup>2),3)</sup> が有名である。また、この時代には、日本でコンピュータで高校や中学校の校歌が盛んに作られた。コンピュータが作った校歌であるということが高度成長の時代背景に適合し、需要が多かったこともあるが、典型的な校歌のスタイルが存在していて、その特徴抽出が可能であったことが大きな原因であろう。

† Music Composition and Arrangement by Computer by Masakazu NAKANISHI (Dept. of Math., Faculty of Science and Technology, Keio University).

† 慶應義塾大学理工学部数理科学科

## 2.2 自動作曲のための言語

一方、1960年代には、コンピュータに作曲をさせるために、どのようなプログラム言語を選ぶべきか、という研究も行われた。たとえば、SNOBOL<sup>4)</sup>は、現在では文字列処理言語とみなされ、その後改良されたものは自然言語処理などの目的に使われているが、この言語の初期の目的は作曲などの音楽情報処理であった。しかし、図形処理などと同様、その後特定のアプリケーションのための固有のプログラム言語は消滅していき、音楽の分野でも FORTRAN や LISP などの汎用のプログラム言語が利用されることが多くなっている。

現在では、パーソナルコンピュータと優れたソフトウェアの出現により、自動演奏などの支援システムの利用が容易になり、作曲したものがすぐに演奏できるなど、自動作曲の実験も行いやすくなってきている。

## 2.3 自動作曲の意義

従来の方法でのコンピュータによる作曲・編曲は、芸術としてはあまり価値のあるものではないとされてきた。過去の作曲家のデータを基にしているかぎり、その作曲家の域を出ない、という単純な理由による。すなわち、この価値判断の基盤には、芸術として完成されているものは常に過去のものとは異ならないなければならないという前提がある。言いかえれば、完成されたならば、新しいものはその中には発見しえないということである。したがって、芸術家としてのコンピュータは、従来の方法で作曲することは許されないことになる。また、コンピュータが作った音楽が、多くの場合、音楽としてあまり高く評価されていないことも事実である。当然のことであるが、現時点で最も進んだ知識ベースシステムあるいは人工知能のシステムを使ったとしても、即座に新しく優れたものを生成させることは至難のことである。人間の価値判断自身が動的に変化しているのだから、どのようなものが新しく優れているかという知識をもたせることが非常に難しいからである。

自動作曲の意義は、したがって、現時点では上記のこととは別のところにある。ひと昔前はコンピュータの存在を誇示するためのデモンストレーションの一種に過ぎなかった自動作曲であるが、これからは同種のことを量産するための、工学的な意義を見いだすことになる。

形式の定まっている分野で量産する必要があるならば従来の方法が適用できる。たとえば、最も単純な形

式が存在する演歌などではゴーストライタとしての役割を十分に果たすであろう。60年代のエイトビートをともなう旋律がリバイバルとしてもはやされているならば、それに対処することができるはずである。すなわち、コンピュータは、人間の作ってきた芸術分野に少しずつ遅れてついていきさえすれば、十分にその利用価値があるということである。演歌などでは、先に人手で和音進行を決めて、その上に自動的に旋律を乗せていく方式をとるシステムでも、十分に利用価値がある。

## 2.4 和音の進行の決定 (和音優先)

自動作曲は、適当に旋律を決めてから後で和音をつけるよりも、ジャズのように、初めに和音の進行を決めてその上に旋律を乗せるほうが、単純な曲になってしまう可能性があるが、自由度の上で有利である。なぜなら、コンピュータ上では、「突然ひらめいた美しい旋律の生成」から出発して後で和音を探すなどということはあるからである。ただし、既存の曲の旋律を分析して新しい旋律を生成する場合には、この方法は不利になることがある。

和音進行に関しては、いくつかの理論上の制限があり、また、2部形式、4部形式などの曲の形式を盛り込むことで音楽らしくない旋律をある程度除外することができる。和音進行の規則は、BNFのような生成規則で表すことができる<sup>5)</sup>。その規則上で和音の並びを生成し、作曲の基本とする。伝統的な楽典によれば、以下のとおりである。

一般的な曲全体は、tonic で終わり、tonic に終止するためにいろいろな和音を経る。各和音は、tonic (T で表す)、dominant (D)、subdominant (S) のいずれかの機能を持ち、それぞれ次のような働きがある。

T: 主音の性格を持ち、安定感を最も強く示す。

I, VI, III がこの機能をもつが、主和音の I が最も強く、VI がこれに準じる。III は使われ方による。

D: 強く主和音(I)へ進もうとする。D が現れると、次はTであることを期待させる。

V, V<sub>7</sub>, VII, III がこの機能をもつ。V<sub>7</sub> がかなり強力に I へ進もうとする。

S: 叙情感や開放感が得られる和音であるといわれている。IV, II がこの性格をもつが、IV が最も強い。

T, D, S の性格を最も強くもつ主要3和音である I (主和音)、V (属和音)、IV (下属和音) を中心とし、副三和音である II, III, VI, VII をこれに準じるようにし、和音の並びを作る。T, D, S の性格から、

$V_7 \rightarrow IV$  などの進行には無理があるので、このパターンが現れないようにする、などの規則で生成すれば良い。

また、 $T$ は $D$ または $S$ から進行するが、最も強い終止感は $S \rightarrow D \rightarrow T$ で得られるなどの、終止形(ケーデンス)に関する規則を盛り込む。たとえば、 $T \rightarrow D \rightarrow T$ や $T \rightarrow S \rightarrow T$ などの単純完全終止、 $T \rightarrow S \rightarrow D_7 \rightarrow T$ や $S \rightarrow T \rightarrow D_7 \rightarrow T$ などの複合完全終止( $D_7$ は属七の和音すなわち $V_7$ を示す)のパターンを代表とする。

また、自然な長調 $\leftrightarrow$ 短調の転調には、属七の和音を仲介として、短調として和声的短音階の旋律を生成させるようにする。これだけで童謡から脱却した曲を生成することができる。たとえば、 $T \rightarrow S \rightarrow D_7 \rightarrow T$ には、 $C \rightarrow F \rightarrow G_7 \rightarrow C$ と、 $C_m \rightarrow F_m \rightarrow G_7 \rightarrow C$ (いずれもキーは $C$ )があり得る。

曲は、いろいろな形の終止形を連鎖させて作られる。すべてが $S \rightarrow D \rightarrow T$ は終止感が強すぎるので、曲の途中では $T$ として $I$ を採用せず、 $VI$ (キー $C$ での $A_m7$ )を採用するなどのことも重要である。したがって、正格半終止、変格半終止、偽終止も適当に混在できるようにする。これらは伝統的な音楽の上で成り立っている確率的な規則である。したがって、これを基に新たな和音進行を生成することが可能である。

コンピュータに生成させず代表的な作品の和音進行をもってくると、和声的にその曲に類似した曲になる。ある場合には、できあがった曲は参考にした曲の伴奏譜になり得る。

### 2.5 旋律の決定(旋律優先)

既存の曲を分析して新しい曲を生成させる方法でも、統計的手法が用いられる。たとえば、典型的な演歌をその音高で分析してみると、どの曲もオクターブ内の第4音と第7音(長調では $F$ と $C$ )が全くないか極端に少ない、いわゆる「ヨナぬき」が採用されているという結果が得られる(もちろん、短調でも同様の結果が得られる)。そこで演歌の生成では、音高では第4音と第7音の出現頻度を極端に少なくすることになる。また、沖縄民謡を分析してみれば、第2音と第6音が抜かれており、演歌とは逆の抜き方になっている<sup>9)</sup>。沖縄民謡のような曲を作りたければ、そのようにすればよい。

さらに、音符の連鎖の様子を調べる。イリアック組曲以来、マルコフ過程が適用される例が多い。すなわち、ある音符は、それ以前のいくつかの音符の影響により、ある推移確率で決まるという仮定を設ける。特定のジャンルの曲からこの連鎖の性質を抽出し、旋律

の生成に利用する。

もちろん、このような方法で作られた曲は、分析された元の曲の模倣(シミュレーション)でしかありえないし、もとの曲を上回るものが現れることはあまり期待できない。しかし繰り返すが、芸術性は認められないかもしれないが、演歌や校歌、あるいは一世を風靡した特定の形式のポップスふうの曲を生成する目的には十分に利用できる。現実に、筆者の研究室で得られたこの方法の自動作曲による演歌の旋律は、演歌の素人には、既存の演歌に聴こえたことをつけ加えておく<sup>7)</sup>。

### 3. 伴奏付けと編曲

音楽でコンピュータを利用するとき、おそらく最も便利と思われるのが編曲・伴奏付けであろう。旋律がすでに存在しているものに対する編曲であっても作曲の一種であり、主旋律を作るほどには自由度が大きくないにせよ、編曲者の意図によって曲想が大きく変わることは明らかである。同じ旋律でも、時代とともに和音の割当ても変わる。たとえば、良く知られていて単純なものをあげれば、テレビアニメの「鉄腕アトムのテーマ」や「ゲゲゲの鬼太郎のテーマ」などは、十年ほどの間を置いて作られた新版のテーマでは初めのものとはすっかり異なる和音進行になっている。すなわち、元のものよりも代理和音が多用されているのである。それだけ子供たちの音楽感覚が高級になってきたと考えられる。したがって、時代とともに変遷する和音進行を既存の旋律に割り当てるという作業は、人工知能を付随させたコンピュータによる自動化が最も期待できる分野である。

#### 3.1 単純な和音選択

童謡や唱歌あるいは上記の曲のような単純な旋律では、昔は $I$ 、 $IV$ 、 $V$ の主要三和音だけで伴奏が付けられていた。これ以外には、せいぜい $V_7$ の和音に加わるだけで十分であった。すなわち、唱歌や大衆音楽の分野では、不協和音が少なかったと言って良い。したがって、主要三和音+属七の和音を付けることを前提として和音選択の作業をすれば十分であった。主要三和音だけとしても、旋律にどの和音を付けるか、ということだけが問題になる。

小節などを単位として区切り、そこに和音を割り当てるのであるが、その単位の中の旋律の音符がどの和音に属しているかを判定するのが最も単純な方法である。たとえば、単位の中に $D$ 、 $E$ 、 $F$ のような旋律が

あって、どの音符も同じ長さなら、ドとミを主音、レを経過音としてIの和音を割り当てるといったぐあいである。しかし、ドしか存在しない単位にはIかIVのどちらを割り当てたらよいか分からないなど、I、IV、Vに限ったとしても、これだけでは当然多くの曖昧性が存在する。これに古典的な和声学の理論での制限を加えて、少し曖昧性を減らすことができる。たとえば、V→IVの進行を禁止あるいは減らすようにする。(既存の旋律の場合、単位が長いと「春の小川」のように、主要三和音だけで済ますことができないことがある。そのときは、経過音としてVとIVの間に短いI<sub>7</sub>を入れる。)

T、D、Sとしてさらに副三和音を導入すると、和音の設定が容易になるが、終止形の連鎖の規則を忠実に守っていてもさらに曖昧になる。

さらに四和音を加えると、少し高級な感じになる。曲の終わりでのV→IをV<sub>7</sub>→Iに変えたり、I→IVをI<sub>7</sub>→IVに変えるといったぐあいである。さらに、ジャズっぽさを加えたいなどと思えば<sup>9)</sup>、四和音を積極的に取り入れる。

このような和音の決定は、アルゴリズムとしては単純であるが、これでも曖昧性は残るし、七の和音の多用がかえって不自然になることもあり、V→V<sub>7</sub>→IとしてV<sub>7</sub>の出現頻度を減らす措置をとらなければならない場合もあるが、自動編曲の場合は、最も妥当な終止形の連鎖の規則の適用ができるように配慮することになる。すなわち、和音の進行から、終止形のパターンを解析して認識することが必要になる。これは曖昧な文法をもつ言語に対する構文解析(parsing)を行うことと同じことである。ただし、これは代理和音があるから曖昧であるという意味であって、終止形の認識にはバックトラックによって旋律から和音を決めるので、基本的に曖昧さは付随しない。和音の種類が増えるほど曖昧性は大きくなり、和音進行の制限規則を多用しなければならないが、曖昧さには、ジャンルによって確率的な認識を行うことで対処する。もちろん、この和音決定の際の曖昧さが時代や状況によって和音進行が変遷する原因になっているのであるから、コンピュータが機械的に決定する必要はないわけである。ここからは知識ベースシステムなどの分担であり、会話的に和音を決めていく支援システム的な性格を強くして学習させるのが理想的である。

### 3.2 楽器ごとの編曲譜

コンピュータによる編曲で役立ちそうなものは、楽

器ごとの制限を加えた編曲であろう。演奏不可能な音符の進行を禁止した音楽理論上の制限は決定的になることが多いので、機械を使う価値がある。典型的な例は声楽(合唱)であり、古典和声学の理論がそのまま通用する。和声学では、和音進行と最初の転回が決まっていればその後の転回はほぼ一意に決まる。これは歌いにくさを排除することが目安になってはいるが、和音の2音間の音程が広いときには狭くならうとし、狭すぎるときには広くならうとする性質が利用されている。さらに、平行進行の禁止などが加わるため、転回自由度はさらに下がる。

ピアノやヴァイオリンの曲に編曲したり、ピアノの伴奏譜を作るときには、和音進行の決まっている状況下での自動作曲になるが、不可能な音符の進行を禁止する措置をとったうえで、作曲を行うことになる。最も重要なことは、楽器による音域の制限であり、これを考慮して転回する必要がある。

伴奏のパターンは、その曲想によっていろいろ選択できるような、会話型のシステムになるのが普通であろう<sup>22)</sup>。

## 4. 作曲・編曲支援としてのコンピュータ

過去の作品に全く捕われないで作曲を行うとすれば、コンピュータがランダムに作った曲を人間が辛抱強く聴いてやらなければならない。それは、文学作品を期待して、コンピュータにとにかくでたために文字列を生成させることと同値である。したがって、新しいものを生み出す場合のコンピュータの役割は、人間の創作活動に対する支援ということになる。

### 4.1 作曲・編曲のための知的支援環境

コンピュータのプログラムも一種の創作活動であるが、コンピュータという閉じた世界であるために、このための支援システムが数多く存在する。しかし、音楽の場合は、せいぜいリズム発生器やコード発生器が存在する程度で、知的なものとはいいい難かった。しかし、最近ではMIDIの標準化から始まり、音楽とコンピュータの融合はかなり進んできた。楽譜入力と自動演奏の進歩によって、作曲活動の中の面倒な部分を機械化することができるようになった。また、全自動作曲システムの一部を利用することにより、(コンピュータの世界がそうであったように)かなりの音楽知識と熟練がなければ作曲活動ができない状況から一般ユーザを開放することは容易である。すなわち、音楽CADシステムの構築である。

楽譜入力、自動演奏、音楽データベース、作曲支援、自動作曲・編曲が一体となった総合音楽システムの構想も出始めている<sup>9),10)</sup>。

#### 4.2 新しいものの生成

積極的にコンピュータを利用しているわけではないが、従来の作曲法に捕われない新しい方法で、すなわち人間の創作能力の限界を越えて、他の自然界に音楽を求める方法で行う作曲が次第に市民権を得だしている。たとえば有名なところでは、フランスの I. Xenakis<sup>11)-13)</sup>、UCSD の湯浅譲二<sup>14)</sup>、日本の高橋悠治<sup>15)</sup>、「ドーン・コーラス」での冨田勲などである。これらは、数学と音楽を積極的に結びつけたり、変光星などの天体のリズムを取り入れるなどの方法で音楽を作っている。この方法では、やがて大規模なコンピュータ・システムが必要となることは目に見えている。この場合は、自動作曲ではなく、作曲のためのデータ処理にコンピュータが利用されるが、広い意味ではコンピュータによる作曲ということになる。

#### 5. 結 論

コンピュータと音楽の分野の中での、作曲・編曲の占める位置は現在あまり高くはない。現在は、どちらかといえば採譜、楽譜認識、楽譜印刷、自動演奏などが主流である。実際にすぐに役立つことが必要であることを考えれば、この傾向は自然である。また、コンピュータにおけるソフトウェア危機のような事態はこの分野ではあまり想像できない。やがて作曲家が何万人いても追いつかないような大量の大衆音楽が要求されるときがくるとは考えにくいからである。

しかし、自動作曲・自動編曲は、曲の量産以外のところで役立つはずである。パーソナルな利用である。一つは音楽教育のための教材として、もう一つは音楽の専門知識をもたない人のための趣味の道具として利用されることであろう。

#### 参 考 文 献

- Hiller Jr., L. A. and Isaacson, L. M.: Experimental Music Composition with an Electric Computer, New York (1959).
- 大槻説平: 電子計算機による作曲—メロディー編数理科学, 創刊号 (1963).
- Otsuki, S.: An Attempt at Machine Composition by Machine Experience, Information Processing in Japan, Vol. 4, p. 6 (1964).
- Forde, A.: SNOBOL 3 Primer, MIT Press (1967).
- Winograd, T.: Linguistics and the Computer Analysis of Tonal Harmony, *JMT*, 12(1), p. 2 (1968).
- 中西正和: 楽譜入力システムと逆演奏, 情報処理学会「計算機と音楽」シンポジウム報告集 (1984).
- 平野一路: 卒業論文「自動作曲」, 慶応義塾大学理工学部数理科学科中西研究室 (1987).
- 青柳龍也: Jazz in Prolog, *bit* 別冊「コンピュータと音楽」, p. 163 (1987).
- 三好和憲, 笹川瑠美, 五十嵐滋: 総合音楽情報システム PSYCHE, 音楽音響研, MA 84-20 (1985).
- 平田圭二, 青柳龍也: 新世代音楽システム ICO Tone, *bit* 別冊「コンピュータと音楽」, p. 101 (1987).
- クセナキス, I (高橋悠治訳): 微細音響構造のための提案「形式化された音楽—作曲における思想と数学」第9章, 特集: テクノロジー空間, トランソニック4月号, p. 12 (1974).
- 瀬戸 宏: クセナキス—数学的構造への志向, 特集: 音楽における「数」, 音楽芸術, Vol. 43 (6), p. 44 (1985).
- 神前尚生: シミュレーションとしての作曲—I. クセナキスの数学的技法を中心に, *bit* 別冊「コンピュータと音楽」, p. 65 (1987).
- 湯浅譲二, 志村 哲: テープ音楽とコンピュータ, *bit* 別冊「コンピュータと音楽」, p. 182 (1987).
- 高橋悠治: コンピュータによる音楽の可能性「ことばをもって音をたちきれ」, 数理科学, No. 116, p. 69 (1973).
- Rader, G.: A Method for Composing Simple Traditional Music by Computer, *CACM*, 17 (11), p. 631 (1974).
- Hiller, L.: Composing with Computers: A Progress Report, *CMJ*, 5(4), p. 7 (1981).
- Truax, B.: The PODX System: Interactive Compositional Software for the DMX-1000, *CMJ*, 9(1), p. 29 (1985).
- 坪井邦明: 音楽のおもちゃプログラム, *bit* 別冊「コンピュータと音楽」, p. 217 (1987).
- 川野 洋: 芸術における模倣と創造—電子計算機による機械作曲の法則と自由, 美学論シリーズ〈Ⅷ〉, フィルハーモニー, Vol. 38(3), p. 2 (1966).
- 青山 宏, 棟上昭男: 計算機による編曲とそのためのデータベースの実現, 情報処理学会「計算機と音楽」シンポジウム報告集 (1984).
- 藤本正樹, 水野正典, 高島洋典, 鶴田七郎: パーソナルコンピュータミュージックシステム—メロディーからの自動編曲—, 情報処理学会第35回全国大会, 5Ff-4 (1987).
- 坪井邦明, 石塚 満: 編曲支援システムにおける日本旋律の和声処理, 情報処理学会第36回全国大会, 3K-5 (1988).

(昭和63年4月6日受付)