

1/f ゆらぎを用いた 自動作曲・編曲システムの開発*

堀内 征治**・堀内 泰輔***

A Development of a System for Automatic Musical Composition and Arrangement Utilizing 1/f Fluctuation Theory

Seiji HORIUCHI・Taisuke HORIUCHI

In the nature, there are three patterns of fluctuation classified by frequency spectrum. They are white fluctuation, 1/f (pink) fluctuation and brown fluctuation. Between the three, it has been reported that pleasant state of mind is supplied by any 1/f fluctuation.

In order to create a natural music automatically, we applied this 1/f fluctuation to musical composition and arrangement, which is one of the brain works. Same experiments have been reported, but in this system we used new algorithm for generating 1/f fluctuation we developed.

1. はじめに

1970年代に研究の緒についた人工知能 (AI) は、コンピュータハードウェアの発展と相まって、最近きわめて大きな関心を集める対象となってきた。急速に脚光を浴びてきたエキスパートシステムは、AIの実用化を象徴するものであるし、自動翻訳や人工知能言語についても議論が盛んである。

一方、生産・流通・教育等の広範な社会においては、より高品質の、とりわけ知的なシステムが要求されてきている。これらのシステムの一翼を担うソフトウェアにも当然、付加価値としてのインテリジェントな要素が必要とされるが、現状では従来からの手続き型のアプローチから仲々脱却できずにいるのが一般的であろう。

これらの背景から、筆者らは、BASICやCなど、ソフトウェア生産の中ではかなり使用頻度が高いとされている言語を用いてソフトウェアのインテリジェント化を試みてきた。本論ではその中から、AIの支柱である推論機能と知的データベースの概念を、人工知能言語以外のもので表現することを目標として開発した自動作曲および自動編曲システムについて報告する。

* 1989年12月 長野県テクノハイランド開発機構研究助成事業研究講演会で発表

** 機械工学科 助教授

*** 機械工学科 講師

これは自然界の現象の中で最近注目を集めている $1/f$ ゆらぎをアルゴリズムにとらえ、知識データベースを利用して、作曲・編曲という、より人間的な技術に応用しようとするものである。

2. $1/f$ ゆらぎとコンピュータ音楽

自然界に存在する種々のゆらぎ現象をスペクトルで分類すると、ほぼ、白色ゆらぎ（ホワイトノイズ）、 $1/f$ ゆらぎ（ピンクノイズ）、 $1/f^2$ ゆらぎ（ブラウンノイズ）の3つのパターンに分けられる。

$1/f$ ゆらぎは、工学的には、抵抗体に直流電流を流したときの雑音電圧変動が有名であるが、気温変動や心拍数あるいは木目模様といったものにもこのパターンが及んでいる。心地よい音楽もまた、周波数分析を試みると $1/f$ 型のスペクトルをもつことが知られている¹⁾。すなわち、 $1/f$ ゆらぎを特性にもつ現象は、人間にとってきわめて自然で、なじみやすいものであるといえる。

一方、コンピュータ音楽は、自動演奏を皮切りに、自動採譜・自動作譜などの変遷を経て、最近では自動編曲・自動作曲といったより人間的なジャンルに及んでいる。本論の支柱である自動作曲についても、一様乱数を用いての初歩的な（初期的な）ものから、より自然で音楽的なものへと発展している。R. F. Voss は先述の $1/f$ ゆらぎに着目し、 $1/f$ スペクトルをもつ乱数を発生させ、より自然なメロディー・ラインを作り出すことに成功している²⁾。

本論では先ず、Voss のアプローチとは別のアルゴリズムで、 $1/f$ ゆらぎをもつ旋律を自動生成する作曲システムについて言及し、あわせて、生成した旋律動機から、ベースリズムや和音を推論するという基礎的な編曲システムの試行について述べる。また、総合的なコンピュータ音楽システムへのアプローチとしての自動演奏についても付加的に報告する。

3. 旋律線の自動生成とその解析

本システムでは、一般の言語処理系のほとんどが有している一様乱数（算術乱数 x_n ）を用い、これが $1/f$ のスペクトルを持つようにフィルタをかける方法をとっている（これをディジタルフィルタと称する）。すなわち、 n 個の $1/f$ 乱数系列 (y_n) を得るために、 $2n$ 個の一様乱数を用意し、微分要素を含む係数 a_i を算出した後、

$$y_n = a_0 x_n + a_1 x_{n+1} + a_2 x_{n+2} + \cdots + a_i x_{n+i}$$

に従って、系列を決定した。

本研究においては、以上のアルゴリズムを構造化 BASIC (BASIC/98) で実現した。得られたデータのうち、 $1/f$ 乱数系列の時間変化に対する振舞いを、一様乱数系列のものと比較したものが図1である。明らかに一様乱数の単調な変化に比べて、適度な変化が得られている。

また、図2に、このアルゴリズムによって得られた $1/f$ 乱数系列のパワースペクトルを示す。

次に、旋律線の自動生成（自動作曲）をさせるため、作曲に必要な音域を与え、 $1/f$ 乱数系列の最大および最小値 (y_{\max} , y_{\min}) と音域の上限、下限振動数 (f_{\max} , f_{\min}) との関係から、

音階を振動数として表現することとした。いいかえれば、1/f 乱数系列から次式により、振動数系列 z_j を求めることになる。

$$z_j = \alpha y_j + f_{\min} - \alpha y_{\min}$$

$$\alpha = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}}$$

さらに調を与え、その調における音階の振動数に z_j の値を寄せることにより、旋律線の音高が決定する。

図3は、音高決定についてのデジタルフィルタの効果を分析したものであり、上の手法で得られた音高のデータの散らばりの状態を、乱数系列の数 n をパラメータとしてみたものである。散らばりの状態は音高（1単位は半音 = 1/12オクターブ）の標準偏差で示した。破線がフィルタをかけない場合、実線がフィルタをかけた場合である。これからも明らかなように、後者については、 n の数の増加によって、旋律線が前のデータの影響をより強く受け、標準偏差が小さくなっている。すなわち、多くの一様乱数によって作り出されたフィルタをかけると、メロディーラインがよりなめらかな様相を呈することが推定される。

図4は、上記の手法によって得られた旋律線（動機 = モチーフ）のひとつである。

本システムでは、発生する音符の単位長さを8分音符と

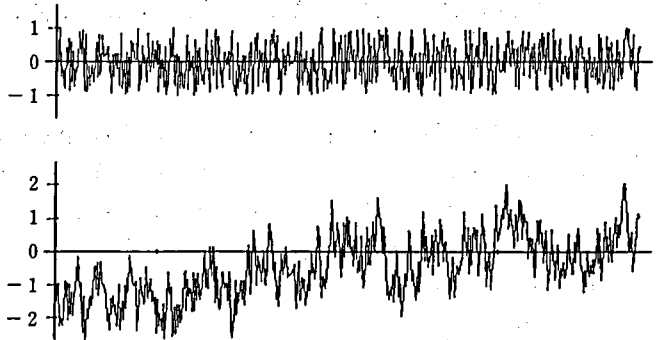


図1 一様乱数系列（上）と1/f 乱数系列（下）

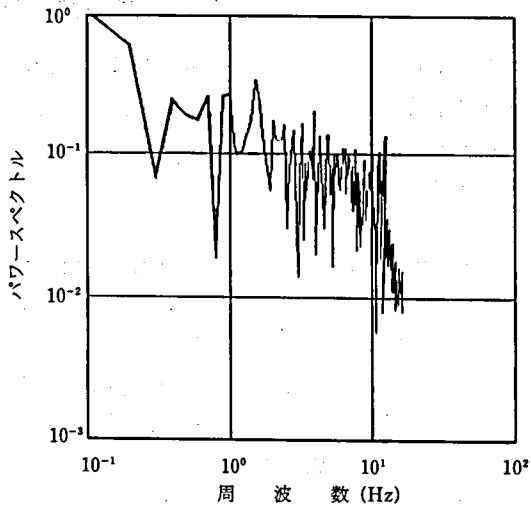


図2 1/f 乱数系列のパワースペクトル

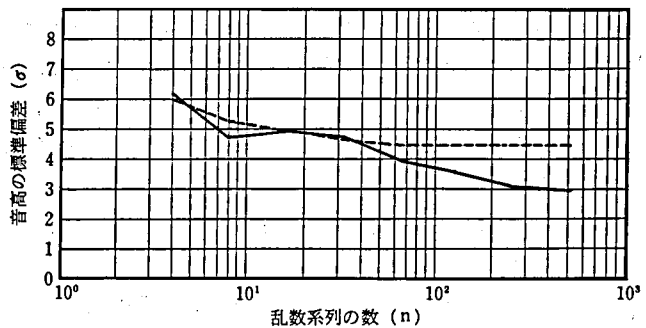


図3 デジタルフィルタの特性



図4 自動作曲の結果例 (モチーフ)

し、同一小節内で同じ音高の音符が生じると、その連続性に従って、音符の長さの処理を行う。たとえば、ハ音が3個連なった場合はその音符を付点4分音符と決定する。

この自動作曲に関する処理中、ユーザ側から与えるべき情報は、

- ① 調 (長・短調の区別も含む)
- ② 拍子 (表示されるメニューから選択)
- ③ 小節数

であり、他はシステム内で自動的にセットされる。

4. 自動編曲へのアプローチ

本システムではさらに、前節で得られた基本旋律線 (モチーフ) をもとに、自動編曲も試みた。編曲の主要素としては、メロディーに対する

- ① コード
- ② ベースリズム
- ③ サブメロディー

の付加が考えられるが、今回開発した自動編曲機能では①および②を可能にした。いずれも知識データベースをもとに決定されるもので、コードについては次の手順で決定することにした。

- ① モチーフの小節単位の各音階から構成可能なコードの候補を複数個検索する。
- ② さらに音楽理論に従ったコード進行データベースを参照して、その候補の中から最も適当なコードを選択する。
- ③ ただし、候補がえられない場合は、データベース中の和音を補充することにする。

上記のコード進行については、具体的には図5に示す16種類 (長調9種類、短調7種類) のパターンをデータベースに用意した。

コンピュータ処理においては、これらのコードを表現するために、通常のコードネームは用いず、構成音を16進数で表現することにした。これにより、どのような調が設定されてもコードネームを変えることなく、トニック (主和音)・ドミナント (属和音)・サブドミナント (下屬和音) を考慮するだけで処理を進めることが可能になる。すなわち、トニックコードのルート音 (たとえば、ハ長調ならばCの音 (日本音名ではハ)) を16進数の01と置き、半音の上昇に対して16進数の1だけ増加させることにした。なお、今回は同一小節内では和音の変化を考えないこととした。

一方ベースリズムの決定でも、モチーフの各小節のリズムパターンとデータベース中のベースリズム形を比較して、最も一致していると判断されるリズムパターンを知識ベースから選択する方法をとった。この自動編曲を司る部分も BASIC/98 によって記述した。

図6に自動編曲の結果例を示す。

① I — I — IV — V 7	① I — bVI — IV _m — V 7
② I — IV — V 7 — I	② I — bVI — II _m 7 — V 7
③ I — VI _m 7 — IV — V 7	③ I — I 7 — IV _m — V 7
④ I — VI _m 7 — II _m 7 — V 7	④ I — VI 7 — II _m 7 (b5) — V 7
⑤ I — I 7 — IV — V 7	⑤ I _m — II 7 — IV _m — V 7
⑥ I — VI 7 — II _m 7 — V 7	⑥ I _m — II 7 — II _m 7 (b5) — V 7
⑦ I — II 7 — IV — V 7	⑦ I _m — bVII — bVI — V 7
⑧ I — II 7 — II _m 7 — V 7	
⑨ I — I 7 — IV — IV _m	

長調で使用される進行パターン

短調で使用される進行パターン

図5 コード進行パターン

C6 F6 C C6 F6 C F6 G7

図6 自動編曲の実行結果例

5. 自動演奏システム

上述の手順で自動的に作曲および編曲された曲を、直ちに演奏するために、以下の自動演奏ルーチンを付加した。演奏系としては、

- ① コンピュータに内蔵されているFM音源の利用
- ② シンセサイザによる演奏

の2系列とし、メニューによりユーザが選択できる形態をとった。

このためには先ず、前節で決定した音高および音長を言語処理系で指定するMML (Music Macro Language) データに変換する必要がある。上記①のFM音源演奏では単にサウンド命令でMMLデータを処理すればよいが、②のシンセサイザ演奏ではさらにMIDI (Musical Instrument Digital Interface) データを生成しなければならない。本システムでは、このデータ変換とシンセサイザへの出力をC言語で実現した。この時点でユーザから入力する情報は、曲の速度、音量および音色である。

6. むすび

現在さまざまな分野で注目を集めている1/f ゆらぎを作曲・編曲に用い、より自然で心地

よい音楽がコンピュータにより自動的に得られた点を報告した。

本システムにより生成された旋律および編曲の結果は、必ずしも洗練されたものではない。しかし、このシステムで作曲された一部は、すでに市販されているパッケージソフトウェアのBGMとして実用されており、そのソフトウェア使用者の音楽に関する反響もかなり良いものと評価されていることから、当初の目的は十分果たされているように感じる。

今後、システムに人工知能手法であるエキスパート化を図り、さらにマンマシンインターフェースを考慮して、人間の感性が十分に反映されるシステムへと発展させていきたい。

おわりに、本システムの開発に当たっては、東京工業大学武者利光教授の懇切丁寧なご指導があって成立したものであり、ここに厚く感謝申し上げます。また、本研究の一部は本校機械工学科の卒業研究として行った。ともに尽力を惜しまなかった上原猛、山本文孝（共に23期生）、加藤茂（24期生）の諸君に深く敬意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 武者利光：ゆらぎの世界，BLUE BACKS (1980)
- 2) R. F. Voss：Proc. of Syim. on 1/f Fluctuation (1977)