人文科学とコンピュータ　46－4
音　楽　情　報　科　学　35－4
（２０００．　５．　３１）

自動作曲システム

三重野　芳典†　　椎塚　久雄‡

†工学院大学　大学院　情報学専攻　　‡工学院大学　情報工学科

概要 本稿では、マルコフ過程（情報源）および遺伝的アルゴリズム（ＧＡ）に基づく自動作曲システムを提案する。マルコフ過程（情報源）では、音高の状態遷移を推測した上で、次音を決定するシステムを構築した。さらに、遺伝的アルゴリズムを使用して、情報理論で決定された音列を改良したことを示す。

我々の真の目的は、人間の感性をサポートするような自動作曲システムを構築することである。

Automatic Composition System

Yoshinori MIENO†　　Hisao SHIIZUKA‡

†Informatics, Graduate School, Kogakuin University
‡Department of Computer Science and Communication Engineering, Kogakuin University

Abstract This paper proposes an automatic composition system that is based on Markov process and the genetic algorithm (GA). It is shown that the pitch name depends on the Markov process and the total arrangement of composed music will be refined by using the genetic algorithm.

Our primary purpose is to design the automatic composition system that provides human KANSEI.

１．はじめに

自動作曲を扱った類いの研究は、今まで数が数えきれないほど行われてきた（参考文献[1]）。しかし、今までの研究では、あまりにも機械的過ぎて、人間の知識や経験などが全く生かされていないものが大半であった。

そこで、本研究は、この欠点を補い、音楽理論に照らし合わせた上で、人間が聞いても不自然ではない、芸術としての自動作曲の確立を目指し、システム化したものである。この欠点を補うシステム上の理論であるが、主にマルコフ情報源と遺伝的アルゴリズムを使用して作成した。

本稿の内容であるが、２．においては、作曲という行為はいったいどのようなことを示しているのかということを、再確認するために記載しておいた。３．については、情報理論の分野の中から、マルコフ過程（情報源）と相対エントロピーについて述べた。４．では、遺伝的アルゴリズムの簡単な説明と、実際のシステムに割り当てたときの項目を挙げた。５．については、音楽の基本的用語などについて述べた。６．においては、システムに関する詳細な設計を説明したものである。７．では、システムの実行結果を図を用いて示した。８．ではシステムを構築した結果を考察としてあげ、今後の課題へと展開している。

なお、今回の本システムについては、実際の音楽家のデータベースを採用している。

2．作曲について

作曲という言葉は音楽作品の創造を意味する。語源にその歴史を調べる限りにおいては、現在、我々がこの言葉によって想起するような自覚的、創造的な行為よりは、むしろ技術的な概念を意味するものであった。だが、時代を経てゆきうちに、次第にこの傾向は作曲本来の自由な創造表現へと変わり、音楽という抽象的な素材による音の構成物を通して、それぞれの作曲家の内的な世界の確立を目指すものとなった。

作曲の動機と目的は、人間の芸術的創造行為一般のそれがそのまま当てはまるものだが、感覚的により鋭敏であり、情緒生活のより豊かな芸術家に感動を与えるような外的・内的な体験が、彼らの中の表出衝動を刺激し、これらを契機に、これらを素材として、作品という形態の中に具象化し永劫なる生命をもつものとして定着しようという行為である。つまり、作曲に限らず芸術作品の創造は全人的な行為であり、意識的な構成感、芸術家の美学を背景とする批判力が有機的に働いてはじめて作品とした客観的実存たりうるものであり、どれか一つでもかけてしまっては優れた作品は生まれないということである。具体的には、楽想が優れ、有饒な幻想力を持っていても、これを構成する力が弱ければ作品としての説得力が弱く、またいかに構成力があっても豊かな幻想のない作品は無味乾燥であることを強調したい。

3．情報理論について

本システムでは、特に情報理論の中でも、マルコフ過程（情報源）について着目して、研究を展開した。なぜ、このマルコフ情報源が重要であるかというと、音のつながりを表現するのに最適であったからである。以下の式は、０重・１重・２重マルコフ情報源であった場合のエントロピーHを算出するための式である（なお、H_0の値であるが、１２音が等確率で発生した場合を意味している）。

$$H_0 = \log 12$$

$$H_1 = -\sum_{i=1}^{k} Pi \log Pi$$

$$H_2 = -\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{k} Pipi(j) \log pi(j)$$

さらに、相対エントロピーを用いることにより、音のつながりの規則性を判定することが可能となった。以下に相対エントロピーhと冗長度rの式を示す。

$$h_1 = \frac{H_1}{H_0}$$

$$h_2 = \frac{H_2}{H_0}$$

$$r_1 = 1 - h_1$$

$$r_2 = 1 - h_2$$

本研究では、規則性（相対エントロピー）の判定を50％前後として、遺伝的アルゴリズムへと展開している。

4．遺伝的アルゴリズム（ＧＡ）について

遺伝的アルゴリズムを簡単に説明すると、生物の遺伝や進化を擬似的に、計算機で計算する方法である。そのためには、初期遺伝子集団の決定、遺伝子の交叉、適応度評価処理、その評価に対する制限（淘汰・増殖）、また、予測不可能な突然変異などに分類される。

以下にＧＡの手順に関する分類項目を挙げておく。

＜ＧＡの手順における各分類項目の詳細＞

１）コーディング：対象となる問題から記号列への変換のことを指す。本研究の場合では、音符を記号列の形で表現している。

２）初期遺伝子集団の決定：最小は１０で、最大は５０とする。

３）交叉：一点交叉。交叉点は２小節間で区切ることにした。

4）突然変異：反転方式（１２音を半分に割ったところからの対象音をそれとする）。オクターブ表現に適用（元音から±１オクターブの同音名に遷移する）。

5）適応度評価：システムの最終解とするための評価項目（人間の知識や経験の部分に相当する）。以下に評価項目一覧を示す。

ａ．禁止遷移音の有無。

ｂ．音長の表現に関する制限（音符は全音符から１６分音符まで、付点は付点４分までを表現可とする）。

ｃ．音符数の制限（４音以上３５音以下）。

ｄ．連続音の有無（４音連続まで可）。

ｅ．オクターブ制限（オクターブ範囲は３オクターブまで）。

ｆ．調と変化記号の関係。

ｇ．フレーズ調整。

ｈ．楽譜情報の割り当て。

本研究では、初期遺伝子集団をマルコフ過程から選定した。選定された音列（遺伝子列）の交叉と適応度評価処理の制限をＧＡから設け、それに当てはまる音列を選択し、最終結果として出力した。ここで特に強調したいのが、人間の経験と知識が、適応度評価で表現されていると言うことである。

5．音楽理論について

本研究では、音楽の知識を得るために、音楽理論を採用した。また、楽典との併用により、より一層、音楽に対して、理解を深めることが可能となった。

また、本システムでは、音列の情報源として楽譜の採譜する作業（情報収集）がある。そのため、音楽の知識が必要不可欠であったため、採用したものである。以下に採譜すべき楽譜情報の項目を挙げておく。

＜楽譜情報の項目＞

① 音符（付点、連符を含む）
② 拍子（単純・複合・混合・変拍子）
③ 音階の構成
④ 装飾音（前打音、後打音、トリルなど）
⑤ 奏法用語（タイ、スラー、スタッカート、テヌート、フェルマータ、ピッチカートなど）
⑥ 速度用語（アダージョ、アンダンテ、モデラート、アレグロモルト、ビバーチェ、アテンポなど）
⑦ 強弱用語（ピアノ、フォルテ、クレシエンド、フォルテピアノなど）
⑧ その他、特記すべき楽譜に記載されている情報

また、その他に音楽の知識として用いた部分に、ＧＡの適応度評価がある。楽譜情報と共に、本システムにおける重要な箇所である。さらに、これらを項目別に分けた理由に、後からでも条件を追加・削除できることにある。

6．システムの設計

本システムの最終目標は、実際に人が聞いても不自然とは感じられない曲作りである。そのためには、採譜作業がとても重要になってくる。と言うのも、このシステムでは元となる譜面の情報が必要で、その情報は多ければ多いほどいいわけである（５．で説明した楽譜情報の採譜項目にあたる）。

その情報を元に、マルコフ情報源で音のつながりを表現し、その結果から、ＧＡで人間の経験と知識を適応度評価として処理し、最終的な結論を導き出している（システムのフローチャートを図6.1に示す）。

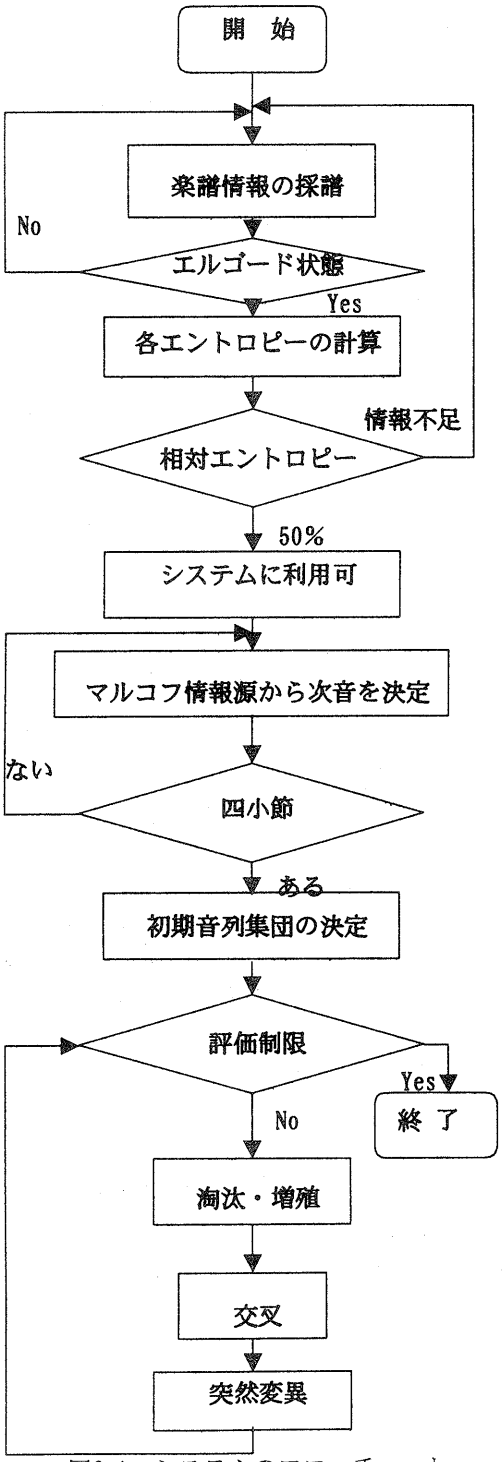


図6.1　システムのフローチャート

入出力のインタフェースについては、入力形式はユーザ側でシステムに各状態遷移の数字を打ち込み、出力形式はＭＩＤＩファイルとして出力した。

7．システムの実行と操作方法について

今回、サンプルとして使用した曲は「Shostakovich作曲　交響曲第５番（D minor）」である。主に楽譜情報を採譜した楽章は第２楽章で、中心パートはヴァイオリン１に絞った。以下に、詳細の図を記載しておいた。

図7.1においては、楽譜情報（特に音符のつながり）をグラフィカルに表現したもので、禁止遷移などがこれを見ることによって一目でわかるようになっている。

図7.2では、マルコフ過程（情報源）からエルゴード状態であることの確認、さらに各音の確率からエントロピーを求める計算、そしてその結果から相対エントロピーと冗長度を計算させている。

図7.3については、未完成な部分も多いが、マルコフ過程（情報源）から得られたデータを元にし、ＧＡによって、音列を編集するプログラムである。

操作方法であるが、実際のシステムの動作としては図7.2と図7.3が自作システムである。図7.2では、それぞれの遷移した音の個数を入力することによって、すべての値がボタンひとつによって求められる。図7.3では、最初の作業として初期遺伝子集団の入力作業がある（初期遺伝子の生成であるが、グラフィカルなプログラムではないので、今回の発表では詳細を見送らせて頂く）。入力後、各項目に必要な数値ないしチェックをして、開始ボタンを押すと実行されるという仕組みである。

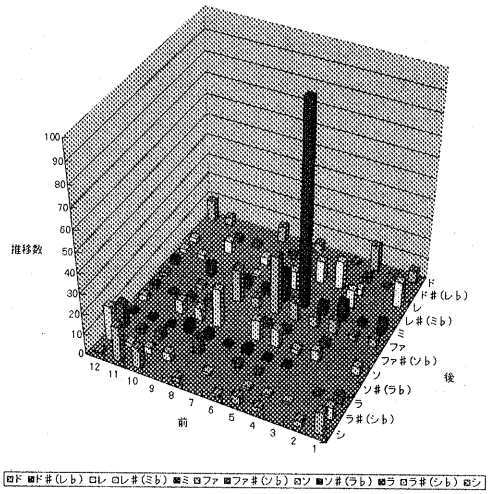


図7.1　楽譜情報からの状態遷移データ

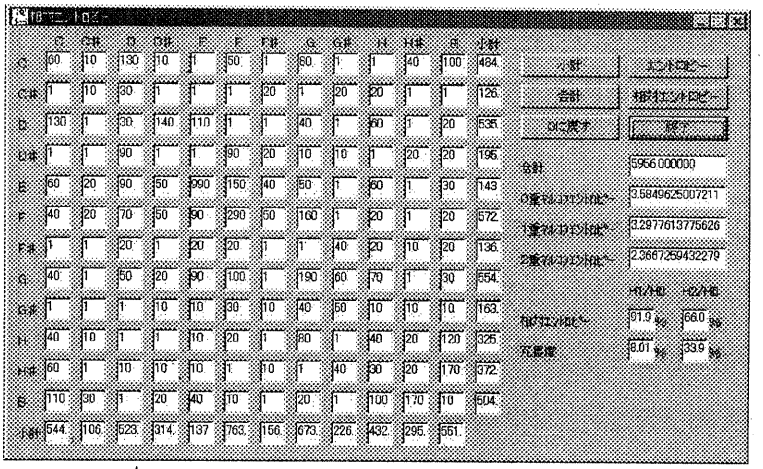


図7.2　相対エントロピーなどの計算

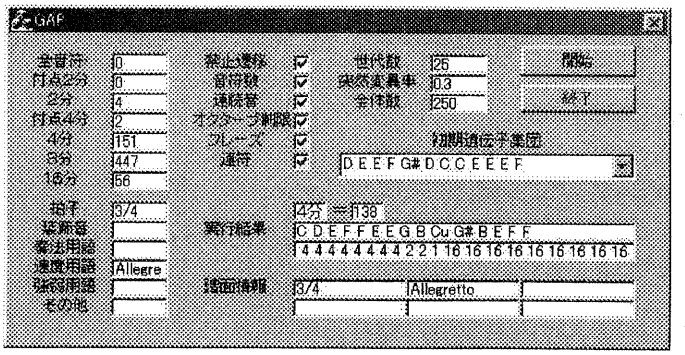


図7.3　ＧＡによる音列の改良プログラム

8．おわりに

システムを構築し、実行した結果から得られたものは、非常に興味深いものであった（システムの実行結果を図8.1に示す）。もちろん、実際に人が聞いても不自然ではなかったのだが、情報源として採譜した音楽家の癖（その曲の雰囲気）をも、ものの見事に再現していたことであった。これに対しては、非常に価値のある結果であったと満足している。

しかし、楽曲を採譜する作業効率が悪い上、作曲といってもまだまだ初期の段階である。さらに、楽譜情報として採譜した元の楽曲を、詳細に知りえている人にとっては判断できようものだが、それらを知りえない人にとっては、判断しづらいところがある。また、システムに使用したデータベースの構築も考えなければならない。これらの問題点を、今後どのように解決していくかが課題であり、研究の余地がまだ残されていることが言える。



図8.1　システムからの実行結果

【参考文献】

[1]山田拓志・椎塚久雄：“遺伝的アルゴリズムを用いた自動作曲システム”、情報処理学会音楽情報科学研究報告、No.27、pp.7-14、1998.

[2]南敏：“情報処理(第２版)”、産業図書、1995.

[3]北野宏明：“遺伝的アルゴリズム”、産業図書、1993.

[4]目黒三策他：“標準音楽辞典”、音楽之友社、1996.

[5]森口繁一：“応用数学夜話”、日科技連、不明.

[問い合わせ先]

〒163-8677
東京都新宿区西新宿1-24-2
工学院大学　情報工学科数理情報学研究室
Tel：03-3342-1211(代表)　内線：2649

三重野芳典（情報学専攻）†
†E-mail：em00028@ccs.kogakuin.ac.jp
椎塚久雄（情報工学科）‡
‡E-mail：shiizuka@cc.kogakuin.ac.jp