

# メロディモチーフを含む楽曲構造を考慮した自動作曲システム

Automatic composition system considering music structure including melody

上田 明頌\*<sup>1</sup>    西川 敬之\*<sup>2</sup>    福井 健一\*<sup>3</sup>    森山 甲一\*<sup>3</sup>    栗原 聡\*<sup>3</sup>    沼尾 正行\*<sup>3</sup>  
Akinobu Ueda    Takayuki Nishikawa    Ken-ichi Fukui    Koichi Moriyama    Satoshi Kurihara    Masayuki Numao

\*<sup>1</sup>大阪大学 大学院情報科学研究科 情報数理学専攻

Department of Information and Physical Sciences, Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

\*<sup>2</sup>パナソニック株式会社 プラットフォーム開発センター

Platform Development Center, Panasonic Corporation

\*<sup>3</sup>大阪大学 産業科学研究所

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

Sensibility is a significant factor in music. We investigated the system that automatically composes music adaptive to one's affective state. The system learns an affect model represented by first order logic from obtained subjects' evaluations of various tunes. The system composes music using GA whose fitness function is based on the relevant elements in the learned model. In this paper, we propose the introduction of melody motif. As a result, the performance of the music composition system significantly improved in quality.

## 1. はじめに

### 1.1 研究背景

近年、音楽に対するニーズが多様化していることを受け、様々な自動作曲システムが開発されている。1991年に遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA) が Horner と Goldberg によって自動作曲の研究に利用される [1] と、それ以後 GA を含む進化論的計算を自動作曲に用いる研究が盛んに行われてきた。

これらの自動作曲システムは、人間の作曲支援、あるいは、人の作曲活動における音楽的な知性を計算機上に実現することそのものを目的としている。

また、2001年より人の感性を学習し、それを作曲に反映させるこれまでにない新たな自動作曲システムの研究開発が行われている [2]。

これは従来の情報工学からのアプローチに加え、新たに感性工学からのアプローチを取り入れた自動作曲システムである。感性工学は90年代後半に日本で提唱された新たな学問領域であり、その目標は、人間の感性や欲求にある個人差に対応し得るような生産技術および流通システムを作ることにあるといわれる。これを受け、人間の感性の個人差に対応するシステムとして、個人の音楽に対する感性情報を学習し、その感性情報を元に個人の感性を反映した楽曲を生成し提供することを目指したものが、本研究室で開発している自動作曲システムである。よって、その研究目的としては、作曲支援の他に、音楽や配色、照明等を利用したコンピュータによる個人の感情の誘導や体調のコントロールといった用途も想定している。

本研究の自動作曲システムは、既存楽曲に対するユーザの評価を基に帰納論理プログラミングによってユーザの音楽に対する感性と楽曲の構造の関係を学習し、ユーザの感性を反映していると思われる楽曲の部分構造を感性モデルとして獲得する。そして、そのユーザの感性モデルを適応度関数に組み込むこと

で、遺伝的アルゴリズムによる個人感性を反映した楽曲の生成を実現している。

### 1.2 研究の目的

本研究室では個人の感性情報に基づいて楽曲を自動生成するシステムを提案、構築してきた。楽曲の枠組構造と和音進行についての個人の感性モデルを獲得し、それらに基づいて作曲を行った結果、一部の感性において被験者の感性に基づいた作曲が可能であることが被験者実験によって実証されている [2]。しかし、これまでのシステムでは生成される楽曲のメロディの質が向上しないために、楽曲全体として音楽的なものを生成することが困難であった。また、これまでのシステムでは楽曲の重要な要素であるメロディを学習していなかったために、ユーザの感性をメロディに反映させることができなかった。

本研究では、楽曲構造に新たな特徴量としてメロディモチーフを追加し、それを学習し、作曲に反映させることを提案する。これにより、個人の感性を反映させたメロディを生成し、音楽的にも優れた楽曲を作曲するシステムの構築を目指す。

## 2. システムの概要

まず、感性を学習する為に、ユーザに既存の楽曲を聴かせて評価値を得る。次に、楽曲の情報とユーザの評価値から、ユーザの感性と関連のある楽曲構造を、帰納論理プログラミング (ILP) を用いて一階述語論理形式で学習する。そして、得られた述語をもとにした適応度関数を組み込んだ遺伝的アルゴリズムにより作曲を行う。この一連のプロセスは従来のシステムと同じであるが、本研究ではこのシステムを基にリズムに関わる音楽的要素を新たにシステムに加えることによってより質の高い自動作曲を行う。

## 3. 帰納論理プログラミングによる感性情報の学習

感性を高い精度で学習できるかどうかは以下で述べる音楽知識表現と目標述語の定義に依存する。

連絡先: 沼尾正行, 大阪大学産業科学研究所, 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1, Tel: 06-6879-8425, Fax: 06-6879-8428, E-mail: numao@sanken.osaka-u.ac.jp

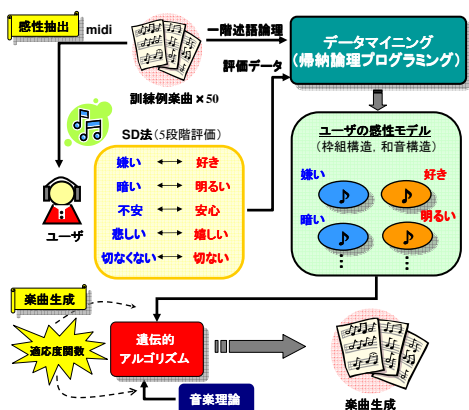


図 1: システム概要図

### 3.1 楽曲の述語表現

本研究では、楽曲の枠組構造と和音構造の二種類を扱う。楽曲を以下の述語で表現する。

- `song_frame/10` 楽曲の枠組を表す述語であり、その引数はジャンル、キー、主音、調性、テンポ、拍子、メロディ楽器、メロディ楽器の種類、伴奏楽器、伴奏楽器の種類である。
- `chord/3` 和音構造を表す述語であり、その引数は調、ルート、コードのタイプである。この述語をリストの要素として並べることにより、和音進行が表現される。
- `music/3` 楽曲全体を表す述語であり、第一引数にその曲の番号、第二引数に `song_frame/10` を、第三引数に `chord/3` のリストをとる。

### 3.2 目標述語

以上に述べた知識表現を用い、被験者の感性を刺激する楽曲構造についての述語獲得を行う。述語は、`frame/2`、`chords/2` の 2 種類があり、以下の様な意味を持つ。

- `frame/2` 楽曲の枠組構造に関する述語である。被験者のある感性に影響を与える楽曲の枠組構造について説明する働きを持つ。
- `chords/2` 楽曲中に含まれる和音進行に関する述語である。被験者のある感性に影響を与える和音連結の形態について説明する働きを持つ。

これらの目標述語を学習するために本研究では ILP のひとつである FOIL を使用する。

### 3.3 被験者による楽曲評価と訓練例生成

被験者は楽曲を 5 つの形容詞対について 5 段階評価する。評価の仕方については、例えば「好き」な曲ほど 5 段階評価の高い数値を与えるように、また「嫌い」な曲ほど 5 段階評価の低い数値を与えるように被験者に指示した。他の形容詞対についても同様に「正方向」「負方向」をあらかじめ定義し、5 段階評価と対応させている。

得られた評価値と述語で表現された楽曲構造から、2 種類の目標述語にそれぞれ専用の訓練例を生成する。`music/3` の第

Genre	Key	Scale	Tonality	Time Signature	Tempo	Melody Instrument	Melody Category	Chord Instrument	Chord Category
-------	-----	-------	----------	----------------	-------	-------------------	-----------------	------------------	----------------

図 2: 枠組構造の染色体

二引数 `song_frame/10` から `frame/2` の学習のための訓練例、`music/3` の第三引数 `chord/3` のリストから `chords/2` の学習のための訓練例をそれぞれ生成する。

## 4. 遺伝的アルゴリズムを用いた作曲

ユーザの感性を反映させた楽曲の枠組構造と和音進行が遺伝的アルゴリズムによって決定される。本システムでは世代交代モデルとして佐藤らによって提案された MGG[3] を用いる。枠組構造と和音進行が決められる過程は互いに独立しており、二つの過程の出力結果を合わせて一つの楽曲の構造データとする。以下で、それぞれの過程での遺伝的アルゴリズムの利用法について示す。

### 4.1 感性を反映させた枠組構造の獲得

- 染色体表現  
各遺伝子座が 2.1 節の楽曲の枠組構造に対応する様に染色体を定義する。(図 2)
- 適応度関数  
3.1 節で得られたユーザの枠組構造についての感性モデルを適応度関数として用いる。その際、用いる感性モデルは次の 4 つである。
  1. ユーザの評価で 5 を獲得した訓練例楽曲を正例、4 以下を獲得した訓練例楽曲を負例として学習した結果得られた感性モデル
  2. ユーザの評価で 4 以上を獲得した訓練例楽曲を正例、3 以下を獲得した訓練例楽曲を負例として学習した結果得られた感性モデル
  3. ユーザの評価で 2 以下を獲得した訓練例楽曲を正例、3 以上を獲得した訓練例楽曲を負例として学習した結果得られた感性モデル
  4. ユーザの評価で 1 を獲得した訓練例楽曲を正例、2 以上を獲得した訓練例楽曲を負例として学習した結果得られた感性モデル

感性の評価軸上で正方向に相当する感性(「好き」「明るい」など)を反映させる際には、1. と 2. を正の適応度関数、3. と 4. を負の適応度関数として用いる。感性の評価軸上で負方向に相当する感性(「嫌い」「暗い」など)を反映させる際には、3. と 4. を正の適応度関数、1. と 2. を負の適応度関数として用いる。各感性モデルは、2 章で示したように、複数の規則から構成されている。これは、感性モデルを獲得する手法である FOIL がカバリングアルゴリズムを採用しているためである。感性モデルを適応度関数として扱う時には、各規則に対して点数を割り当てる必要がある。本システムでは、FOIL が規則を出力した際にその規則がカバーしていた正例の数をその規則の得点としている。さらに、1. と 4. に含まれる規則の得点については、2. と 3. に含まれる規則の得点の 3 倍の重み付けをしている。

Chord 1	Chord 2	Chord 3	Chord 4	Chord 5	Chord 6	Chord 7	Chord 8
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

図 3: 楽曲の和音進行の染色体表現

## 4.2 感性を反映させた和音進行の獲得

### ● 染色体表現

1つの遺伝子を1小節1和音(chord/3)に対応させ、染色体を定義する。図3で表された染色体は、8小節の長さを持つ楽曲を表している。

### ● 適応度関数

適応度関数を以下のように定義する。

#### 適応度関数の定義

$Fitness\_Function(C) = Fitness\_Chord(C) + Fitness\_Builtin(C)$   
 C: 楽曲の和音進行を表す染色体  
 $Fitness\_Function(C)$ : C に対する適応度関数  
 $Fitness\_Chords(C)$ : 楽曲の和音進行に関するユーザの感性モデルに基づく関数  
 $Fitness\_Builtin(C)$ : 音楽理論における和音進行の禁則に基づく関数

$Fitness\_Chords(C)$  は、2.2節で得られたユーザの和音進行についての感性モデルを適応度関数として用いる。感性モデルの適応度関数としての利用方法は枠組構造の獲得のときと同様である。

## 5. 提案手法：メロディモチーフの導入

従来手法では、楽曲のテンポやキー、楽器の種類などからなる枠組構造と和音構造の2つの構造によって、ユーザの感性モデルを獲得していた。本研究では、新たにメロディ構造を追加し、3つの構造によってユーザの感性モデルを獲得することで音楽的にも優れた楽曲を作曲するシステムの構築を目指す(図5.)。



図 4: ユーザの感性モデル

### 5.1 メロディ情報の獲得

本システムには新たな特徴量としてメロディモチーフを加え、メロディに関する情報を獲得している。メロディモチーフとは上昇・下降を含めた配列であると本研究では定義する。例えば、図は同じメロディモチーフを基に作られた別のメロディである。

このように、同じメロディモチーフを基に作られたメロディでは、上昇・下降を含めた音符・休符の配列が同じとなる。また、本研究では、メロディモチーフの導入によって、メロディに



図 5: あるメロディモチーフ A を基に作られた曲 1



図 6: あるメロディモチーフ A を基に作られた曲 2

関する情報を獲得するために、同じメロディモチーフからなる別の訓練例楽曲を複数用意した。本実験では、8小節からなる50曲を訓練例楽曲として扱ったが、そのうちの10曲\*1は既存の楽曲から引用したものである。そして、引用したメロディモチーフ10曲のメロディからメロディモチーフを抽出し、そのメロディモチーフを基に生成した楽曲を残りの訓練例楽曲40曲としている。

### 5.2 メロディモチーフからのメロディの生成

ここでは、ユーザの感性モデルを適応度関数として組み込んだ遺伝的アルゴリズムによって、メロディモチーフが決定された後に、それを基にどのようにメロディを生成するのかについて説明する。メロディを生成する際には、以下の2つの条件を満たすようにする。

1. 休符を含めた音符の長さは基となるメロディモチーフと同じにする。
2. 個々の音符の高さは基となるメロディモチーフに与えられたルールに従う。

まず、条件1では、図5、図6に表すように休符を含めた音符の長さを基となるメロディモチーフと同じにする。そして、条件2では、表1に記したルールに従って、各音符の高さを変化させる。



図 7: あるメロディモチーフ A の各音符の番号

図7中の Note1 は1小節目の1拍目の音を指し、表1のルールから Note1 の高さはコードトーンからランダムに選ばれた音となる。例えば、1小節ずつ E, B, A, A という4小節のコード進行が与えられた場合を考える。この時、1小節目のコードは E であるので、コードトーンはミ、ソ、シとなり、Note1 はこの3つの音の中からランダムに選ばれた音となる。このコード進行に対する4小節分のメロディーの生成例を図8に示す。

このような手法により、どのようなコード進行に対しても、基のメロディモチーフを反映させたメロディを生成する。

\*1 I Just Called To Say I Love You/Stevie Wonder, Dancing Queen/ABBA, September/Earth Wind & Fire, Honesty/Billy Joel, Tears In Heaven/Eric Clapton, Don't Know Why/Norah Jones, Have You Never Been Mellow/Olivia Newton John, Daydream Believer, Time After Time/Cyndi Lauper, どんない時/横原 敬之

音符の番号	音の高さ
Note1	1小節目のコードトーンからランダムに選ばれた音
Note2	休符
Note3	Note4よりも高く最も低い1小節目のスケール音
Note4	Note1よりも高く最も低い2小節目のコードトーン
Note5	休符
Note6	Note4よりも低く最も高い2小節目のコードトーン
Note7	Note8よりも低く最も高い3小節目のスケール音
Note8	Note4よりも高く最も低い3小節目のコードトーン
Note9	休符

表 1: メロディモチーフ A の各音符に高さを与えられたルール

メロディモチーフA



生成するメロディ



図 8: メロディモチーフ A を基にしたメロディの生成例

## 6. 実験

提案手法を実装した自動作曲システムの性能評価を行うために、2種類の被験者実験を行った。

実験1では、訓練例楽曲に対する評価を基に従来手法と提案手法でそれぞれ生成した楽曲を各被験者に呈示し、それらの楽曲についての5段階評価値を見ることで実際に個人の感性に合わせた楽曲を生成できたかどうかを確かめた。被験者8人に対して行った評価実験の結果を表1に示す(自由度23, 有意水準5%, 従...従来手法, 提...提案手法)。

実験2では、従来手法と提案手法でそれぞれ生成された楽曲に対して、メロディと楽曲の完成度の高さについて5段階評価してもらうことで、実際に音楽的に優れた楽曲が生成できたかどうかを確かめた。メロディの完成度に対する評価結果を表2に楽曲の完成度に対する評価結果を表3に示す(自由度239)。これらの結果から以下のことが言える。

- 従来手法では嗜好度, 明るさ, 安心さ, 切なさについて, 被験者の感性に応じた作曲を行うことができた。
- 提案手法では嬉しさについてのみ被験者の感性に応じた作曲を行うことができた。
- 従来手法と比較して, 提案手法ではより完成度の高いメロディと楽曲を生成することができた。

## 7. まとめ

本研究では、メロディ構造を含めた楽曲構造によって、ユーザの感性モデルを獲得し、それを作曲に反映させることを提案した。被験者実験の結果、従来手法と比べ提案手法の方が音楽的に優れた楽曲を生成できることを示した。しかし、従来手法に比べ提案手法では、作曲した楽曲に被験者の感性が反映されていないことがわかった。これは、メロディモチーフの基となっている楽曲の歌詞や雰囲気に影響されていることが原因の一つとして考えられるが、メロディモチーフとコード進行の組み合わせや獲得されたユーザの感性モデルについてさらに考察が必要である。

		平均値 (従/提)	t値 (従/提)	有意差 (従/提)
嗜好度	嫌い	2.29/2.75	2.56/0.32	あり/なし
	好き	2.96/2.83		
明るさ	暗い	2.88/3.46	2.43/0.00	あり/なし
	明るい	3.58/3.46		
安心さ	不安	2.33/2.83	3.00/1.32	あり/なし
	安心	2.88/3.17		
嬉しさ	悲しい	2.83/2.54	0.37/3.56	なし/あり
	嬉しい	2.75/3.21		
切なさ	切なくない	2.88/3.50	2.28/1.90	あり/あり
	切ない	3.50/3.79		

表 2: 実験1の評価平均及びt検定結果

	従来手法	提案手法
平均値	2.82	3.23
分散	0.64	0.88
t値	6.11	
有意水準1%での有意差	有意差あり	

表 3: 実験2のメロディの完成度に対する評価平均及びt検定結果

	従来手法	提案手法
平均値	2.86	3.35
分散	0.72	0.83
t値	6.82	
有意水準1%での有意差	有意差あり	

表 4: 実験2の楽曲の完成度に対する評価平均及びt検定結果

## 参考文献

- [1] Andrew Horner and David E. Goldberg, Genetic Algorithms and Computer-Assisted Music Composition, *Proceedings of the 1991 International Computer Music Conference*, pp. 479-482 (1991)
- [2] Roberto Legaspi, Yuya Hashimoto, Koichi Moriyama, Satoshi Kurihara, and Masayuki Numao, Music Compositional Intelligence with an Affective Flavor, *Proceedings of ACM International Conference on Intelligent User Interfaces*, pp. 216-224 (2007)
- [3] 佐藤浩, 小野功, 小林重信, 遺伝的アルゴリズムにおける世代交代モデルの提案と評価. 人工知能学会誌, Vol. 12, pp. 734-744 (1997)