


 原著論文
 

対話型遺伝的アルゴリズムを用いたカオティック・インタラクティブ・サウンド生成システム[†]

前田 陽一郎^{*1}・宮下 滋^{*2}

インタラクティブサウンドの研究目的は、人間とシステムのインタラクション(相互作用)を軸に、従来の音楽のように完成されたものではなく、人間の予想を超える複雑さと多様性をもつサウンドを実現することである。ここにカオス理論を用いることで人間の感性に影響を与える斬新なサウンドを生成することが期待できる。筆者らは、カオス要素を多数並べて結合し、平均を通すことで全体を相互作用させることにより状態を遷移させていく大域結合写像(GCM)を用いてサウンド生成システムを開発してきた。GCMによりカオスの非同期性や全体の同期性の制御が可能となり多様なサウンドが生成できる。これに音楽要素の一部を加えることで、人間に不快感を与えないサウンド生成が可能であるが、操作者がコントロールするパラメータが増えると人間への負担が増大するという問題もある。

そこで本研究では、人間の感性に対応した方向へ進化を誘導させることができる対話型遺伝的アルゴリズム(IGA)を導入し、サウンド生成を容易にすることが可能な手法の構築を目指す。IGAは、人間の評価と遺伝的アルゴリズム(GA)の最適化能力を結合した最適化手法である。ICASは同期性と非同期性の2つのパラメータのみで、出力されるサウンドの複雑さを制御することができるため、比較的容易にIGAの適用が可能である。筆者らはGCMのパラメータのみを自動調整するICAS-IGA1と音楽的要素のパラメータを含めたICAS-IGA2のシミュレータを構築し、サウンド生成実験を行なった。その結果、ICAS-IGA1、ICAS-IGA2ともに生成されたサウンドが人間の感性に概ね合致することが分かった。さらに、従来手法によるシステム(ICAS)と提案手法によるシステム(ICAS-IGA1)との性能および操作性の比較実験を行ない、本システムの有効性を検証した。

キーワード：カオス理論、大域結合写像、インタラクティブサウンド、対話型遺伝的アルゴリズム

1. はじめに

人間共生システム研究において、人間とエージェント、コンピュータなどの知的システムとの間にどのようなインタラクション(相互作用)を設計すればよいかという問題は重要なテーマであり、Human Agent Interaction(HAI)、Human Computer Interaction(HCI)として最近盛んに研究されている[1-3]。主に、人間とシステムの双方向インタラクションが軸となり、システムに人間要素を取り込む計算知能ともいえる新しい研究パラダイムの一つである。中でもインタラクティブアートは、人間の予想を超える複雑さと多様性をもつグラフィックスやサウンドを実現することを目的としており、コンピュータの優れた情報処理能力を利用して映像技術、情報科学などの分野にも発展して

いる。

インタラクティブサウンドは、従来の音楽のように完成されたものではなく、人工生命の手法や人間と対話することで人為的に状態を変えるアルゴリズムを用いてサウンドを生成する。人工生命によるインタラクティブサウンド生成手法の代表的なものとしては、遺伝的アルゴリズムを用いてランダムな音符列を音楽理論に適合させて作曲を行うもの[4]や、人間と対話することでサウンドを生成する研究例として、視覚情報を利用し、あたかも鑑賞者が音楽を演奏しているかのようにみせるもの[5, 6]、人間の動作や視覚などを用いるもの[7-10]などが挙げられる。これらは、サウンドを生成するたびに違う作品となり、外部との対話によって結果が変わってくるため、インタラクティブ(対話的)な感性表現が可能となる。

カオス理論を応用したインタラクティブサウンドの研究例としては、長嶋らのロジスティック写像によって発生されるメロディに音楽的ルールを適用したサウンドを生成する研究[11, 12]や、平野らのロジスティック写像によって生成されるメロディを大域結合写像を用いて全体として統制されたサウンドを生成す

[†] Chaotic Interactive Sound Generation System Using Interactive Genetic Algorithm

Yoichiro MAEDA and Shigeru MIYASHITA

^{*1} 福井大学大学院 工学研究科 知能システム工学専攻
Department of Human and Artificial Intelligent Systems, Graduate School of Engineering, University of Fukui

^{*2} 株式会社 村田製作所
Murata Manufacturing Co., Ltd.

る研究[13]などがある。また、音楽の作曲にカオス理論を応用した研究[14]や、ビジュアルプログラミングが可能なMax/MSPを用いてカオティックサウンドを生成する研究など多数存在する[15]。このように音楽の分野においてカオス理論がよく用いられるのは、単純な数式とは対照的に複雑かつ多様な挙動を示すため、それらを音楽要素に適用することで人間の感性に影響を与える斬新なサウンドが生成される可能性を秘めていると考えられるためである。この他にも、対話型進化計算を用いたサウンド生成の研究[16-19]などがある。対話型進化計算(IEC)は音楽以外の様々な分野にも用いられているが、これは数式により無造作に生成される出力に比べて人間の感性に適した出力が生成される可能性があるためである[20]。IECを用いた研究では、人間が自身の感性で望みの方向に音楽を進化させることができる特長があるが、パラメータの数が多くなると遺伝子サイズが大きくなり、人間が個体を選択するのに要する時間が長くなるため、いかに学習パラメータの数を減らすかが重要なポイントとなる。

筆者らはこれまで、カオス理論を用いてサウンドを生成することによって多様な視覚的、聴覚的アミューズメント効果を人間に与えるICAS(Interactive Chaotic Amusement System)の開発を進めてきた[21-24]。基本システムとしては、複数のカオス要素を大域的に結合することで個々の要素のカオス性と全体の同期性の制御が可能な大域結合写像(GCM)を用いて様々な様相をもつサウンドを生成できる。また、音楽要素の一部を加えることで、人間に与える不快感を減少させ、インタフェースをリアルタイムに操作することでサウンドを変化させることが可能である。

そこで本研究では、ユーザでは設定の難しい大規模カオスの同期及び非同期のコントロールパラメータを対話型システムにより誘導的に調整することを考える。ここでは複雑な評価関数を定義せずユーザの評価により比較的容易に評価値の高い解を得ることができる対話型遺伝的アルゴリズム(Interactive Genetic Algorithm: IGA)を大規模カオスのコントロールパラメータの自動調整に用いることで、ユーザの感性に合致したサウンド生成を目指す。ICASでは、カオス性を高める要素と同期性を高める要素のたった2つのパラメータのみで多様なサウンドを生成するため、IGAを適用しても学習パラメータを比較的少なくでき、人間の負荷を抑えることが可能である。本手法により構築されたシミュレータ(ICAS-IGA)と手動によるシミュレータ(ICAS)との比較実験を行い、本システムの有効性を検証したので、これらについても報告する。

2. 大規模カオスについて

大規模カオスは金子ら[25, 26]によって提唱された複雑系の構造化手法であり、カオス要素が多数結合されていることから大規模結合写像とも呼ばれる。これを用いることで、写像全体の挙動に多様性と複雑さを持たせることができる。大規模カオスは、カオス要素の結合構造によって結合写像格子(CML)、大域結合写像(GCM)に分類される。以下ではこれらのうち、本研究で用いた大域結合写像(GCM)について簡単に説明する。大域結合写像(Globally Coupled Map: GCM)は、カオス性を示す要素が数多く存在し、各々の要素の出力の平均値を通して、全体が影響を受けるような構造モデルである。複数のカオス要素が大域的に相互作用しているカオス状態は、神経のネットワーク、重力の相互作用による星の集団などで見られる。GCMはカオス要素を多数並べ、平均を通すことで全体を相互作用させることにより状態を遷移させていくモデルである。

GCMにおいて、要素の次の状態は要素全体の状態とその要素の状態により決定される。GCMにおける要素の相互作用は大域的であるといえる。GCMの式を以下に示す。

$$x_i(t+1) = [1 - e]f(x_i(t)) + \frac{e}{N} \sum_{j=1}^N f(x_j(t)) \quad (1)$$

$$f(x_i(t)) = 1 - ax_i^2(t) \quad [i = 1, \dots, n] \quad (2)$$

ここで $f(x)$ は、式(2)のロジスティック写像が用いられる。 N は全要素数である。またパラメータ e は全ての要素間の結合力を示す。 a はロジスティック写像のパラメータであり非線形性の強さを表す。また $f(x_i(t))$ 、 $x_i(t)$ は時刻 t における i 番目のカオス要素の出力値と式(1)に基づくGCMで計算された入力値である。

GCMの挙動はモデル内の2つのパラメータによって決定される。1つは非線形性を表す a 、もう1つは全体の結合の強さを表す e である。図1にGCMで起こる現象を表した相図を示す。GCMは e の値が大きく a の値が小さければ各要素の変化は同じような状態(同期相、図ではコヒーレント相)になり、 a の値が大きく e の値が小さければ各要素の変化は無秩序の状態(非同期相)になる。また、同期相と非同期相の間には秩序相や部分秩序相が存在する。秩序相では、値に応じて小数または多数のクラスタに分かれ、部分秩序相では、一般に非常に多くのクラスタをもち、様々なアトラクタが存在する。

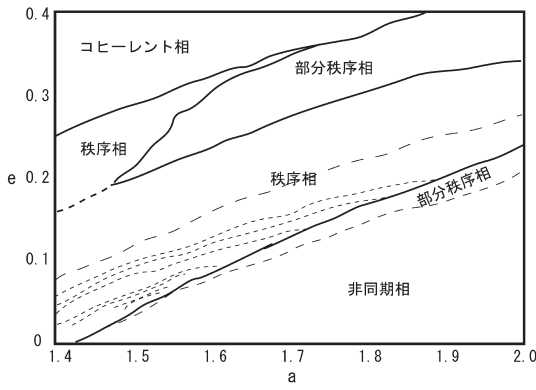


図1 GCMの相図(文献[26]より引用)

3. ICAS

筆者らは、大規模カオスをを用いてサウンドを生成することによって多様な視覚的、聴覚的アミューズメント効果を人間に与えるICAS (Interactive Chaotic Amusement System)の研究を進めている[21-24]。これは、旋律や時間的変化をカオス的にしたり、同期性を持たせたりすることで、斬新かつ人間の感性に合致したサウンドを生成することを目的としている。

3.1 ICASの概要

コンピュータの重要性が日増しに高まるにつれ、人間とコンピュータのより良い共存を目指して、人間共生システム研究が今後ますます重要になるものと考えられる。その一つとして筆者らは、人間とコンピュータが視覚的、聴覚的にインタラクションが可能で、かつアミューズメント性を有するICASを提案している。ICASは、大規模カオスにより多様なサウンドを生成し、インタフェースを通して人間が介入することでインタクティブ(対話的)に様々な印象をもつ音を出力可能であり、専門知識がなくても容易にサウンド生成ができるという特徴がある。図2に筆者らが開発しているICASの概念図を示す。ICASでは、ユーザがGCMのコントロールパラメータ、音楽要素の一部を操作し、コンピュータがその操作により大規模カオスを用いて計算し、サウンドを生成して出力する。これ

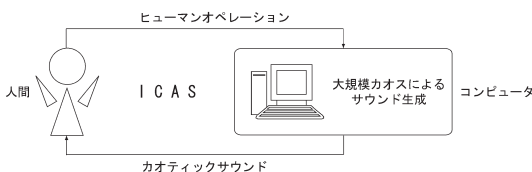


図2 ICASの概念図

を再びユーザが聞いて修正操作を繰り返すことにより、しだいにユーザの感性に合致したサウンドを作ることができる。

3.2 サウンド生成手法

大規模カオスはすでに述べたように結合構造によってGCMとCMLの2つに大別されるが、本研究では、各要素の同期性と非同期性(カオス性)の複雑性制御が可能なGCMを用いた。本手法は、サウンドを設定する際に重要な音高・音長・音量の3要素について、複数のサウンドによる旋律と全体的な調和をGCMの複雑性制御により実現し、多様な印象をもつサウンドを生成することができる。図3にGCMによるサウンド生成システムを示す。

図3において生成されるサウンドは1から n までであり、同時に出力される。音高・音長・音量はそれぞれのカオス要素であるロジスティック写像 $Lhn \cdot Ltn \cdot Lvn$ により生成される。また、GCM1により音高は $Lh1$ から Lhn まで結合されており、音高の制御が可能である。同様にGCM2, GCM3により音長, 音量についても結合されている。本システムでは、式(2)のロジスティック写像のパラメータ a の値と、式(1)のGCMのパラメータ e の値をリアルタイムに変化させることにより、音高・音長・音量の同期性・非同期性が制御できる。

さらにICASでは、より人間にとって聞き慣れたサウンドを生成するために、音楽理論の要素の一部を取り込むことを行っている。これは「音楽」が人間の生活に密接に関係しており、音楽理論に基づいたサウンド生成を行うことにより、心地良さなどを付加できると考えたためである。ここでは、古典的な音楽理論に用いられていた基本的な音楽的要素である「小節」、「調性」、「休符」、「テンポ」、「エコー」、「音色」を導入した。本研究で導入したこれらの音楽的要素については文献[23]を参照されたい。

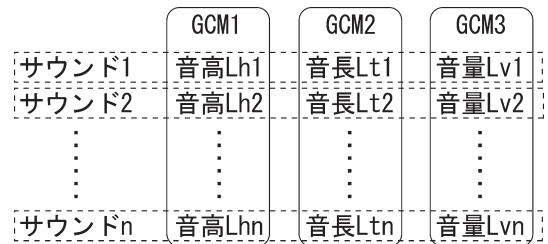


図3 GCMによるサウンド生成システム

3.3 音高要素の決定(GCM1)

サウンドを生成するために重要な要素の1つは音高の決定である。本研究では生成するサウンドの数だけカオス要素を用意し、それらをGCMにより制御することで、個々の音高の生成と全体の調和を行なう。本システムのカオス要素には、式(2)のロジスティック写像 $Lhi(i=1, \dots, n)$ を用いる。本研究では同時に4つのサウンドを生成することを想定したため、カオス要素の総数は $n=4$ となる。

GCMの2つのパラメータ a, e の値は、ある範囲内で自由に変更できるが、これらによりオペレータは自由にカオス要素の状態を変え、生成されるサウンドを操作することが可能である。しかし、GCMの式(1)では、カオス状態が一度同期状態や秩序状態になり、構成するカオス要素が共振して1つまたは少数のクラスタになった後に、非同期状態など他の状態に遷移させても、要素の挙動が同期状態などから脱出できない。そこで本研究では、GCMの式に微小な雑音を加え、カオスの状態が同期状態から非同期状態に戻る時、同期状態から脱出するために必要となるノイズ成分を与えた。本研究ではノイズを加えた以下の式をGCM1、GCM2、GCM3で共通に用いた、

$$x_i(t+1) = [1-e]f(x_i(t)) + \frac{e}{N} \sum_{j=1}^N f(x_j(t)) + \sigma \eta_n^i \quad (3)$$

ここでは $x_i(t)$ が状態、 $f(x_i(t))$ がロジスティック写像、 e が全要素間の結合力、範囲 $[-\sigma, \sigma]$ からとった一様な乱数 $\sigma \eta_n^i$ がノイズを示す。

本研究における音高の割り当ては、GCM1の出力値を音高領域の分割を行い決定している。具体的にはカオス要素であるロジスティック写像を初期値により、 $-1.0 \leq x_n \leq 1.0$ の範囲で出力するようにする。その範囲を0.1刻みで分割し、その20の範囲にミドルCより1オクターブ低いCから2オクターブ高いG#までの異なる高さの音(MIDIのノート番号の48~92、ノート番号：MIDI内の音高の番号)を順に割り当てる。割り当てられる音は選択される調ごとに変わってくる。無調性の音階(音高を高低の順番に並べたもの)では、CからG+までの20の音が順に割り当てられることとなる。出力値の大きさと音の高さは比例している。

3.4 音長要素の決定(GCM2)

音長要素の決定にも音高要素の決定と同様にGCM2を用いた。GCM2を用いることにより、個々のサウンドの音長の変化と、全体の調和を行う。ここでは個々のサウンドの長さやリズムにカオス的なゆらぎを与

え、時間的な同期性の制御を実現させる。音高要素と同様に、式(2)のロジスティック写像 $Lti(i=1, \dots, n)$ を用いる。ロジスティック写像の総数は音高と同様に $n=4$ とした。

音長の割り当ても音高と同様にGCM2の出力値を条件分けすることにより決定している。カオス要素であるロジスティック写像を初期値により、 $-1.0 \leq x_n \leq 1.0$ の範囲で出力する。その範囲を1:2:4:2:1の割合で分割し、それを125:250:500:1000:2000(msec)の音長を順に割り当てた。比例分割を行わなかったのは、500msec(四分音符)の音長を基準とし、中央の値が最も高い確率になるように設定したためである。

3.5 音量要素の決定(GCM3)

音量要素の決定にも音高・音長要素の決定と同様にGCM3を用いた。GCM3を用いることにより、全体的な同期性の制御による協調的な音量の変化を得る。音量要素の決定にも、音高・音長要素と同様に式(2)のロジスティック写像 $Lvi(i=1, \dots, n)$ を用いる。音高・音長と同様にロジスティック写像の総数は $n=4$ とした。

音量の割り当ては、音高と同様にGCM3の出力値を条件分けすることにより決定している。カオス要素であるロジスティック写像を初期値により $-1.0 \leq x_n < 1.0$ の範囲で出力する。その範囲を2:3:5:5:5の割合で分割し、それを0/127:70/127:85/127:100/127:120/127(127: max volume)の音量の値を順に割り当てた。この比率は音量をなるべく小さめに設定し、音量の範囲を同程度にすることで同時に生成されたときにサウンドの強弱が強調されるようにした。また、この音量決定は音楽的要素である「休符」にも導入した。

3.6 ICASシミュレータ

本研究では、Cycling '74社が開発した音楽用グラフィックプログラミングソフトMax/MSP4.5 & Jitterを用いて、ICASの基本システムである大規模カオスを用いたサウンド生成シミュレータを作成した。図4にICASシミュレータの概観を示す。シミュレータは起動時に、カオス要素であるロジスティック写像の初期値を0.002~0.2の範囲からランダムに選択している。また、同時に音色などの初期設定も行なっている。作成したシミュレータでは起動時にテンポ:4分音符=120、反響音量度:80%、ディレイタイム:200msec、音色:1ch=Violin, 2ch=Viola, 3ch=Cello, 4ch=Contrabassと自動的に初期設定する。

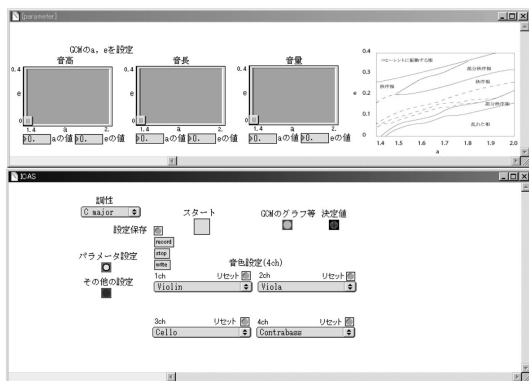


図4 ICASのシミュレータ概観

ユーザがこれらの初期設定を変更するには、テンポ、反響音量度、ディレイタイムの設定は、「その他の設定」ボタンのon/offにより、extraウィンドウを開き数値を変更でき、音色についてはチャンネル番号の下のプルダウンメニューから好みのMIDI音源を選択することにより、自由に変更することができる。変更後、これらの数値はリセットボタンを押すことで、初期状態に戻すことができる。

ICASシミュレータで実際にサウンドを生成する場合、ユーザはまず音高・音長・音量のカオスパラメータを設定する。図4の上部のパラメータウィンドウ内の3つの長方形エリアは音高・音長・音量のGCMパラメータ領域にそれぞれ対応しており、横軸が非同期性を高める a 、縦軸が同期性を高める e を表している。カオス状態を視覚的に認識しやすくするため、GCMの相図を右側に示している。ユーザは長方形内の平面カーソルをつまんで移動操作することにより、カオスパラメータ a 、 e を自在に変更することができる。次にスタートon/offのボタンを押すことによってサウンドを実際に出力する。さらにサウンドを聴きながら、カオスパラメータや音楽の要素を操作し、ユーザの感性に合致したサウンドを生成する。

4. ICAS-IGA

対話型遺伝的アルゴリズム(IGA)は、GAの評価関数に人間の評価を用いるものである。人間の評価をGAの進化過程に取り込むことで、遺伝子集団に人間の感性に応じた方向へ進化を誘導する手法である。本研究ではIGAを用いることによりユーザがイメージした音により近いサウンドを生成する手法を提案する。

4.1 ICAS-IGAの概要

筆者らはすでに述べたように、人間の感性に視覚的、聴覚的に影響を与えるインタラクティブアミュー

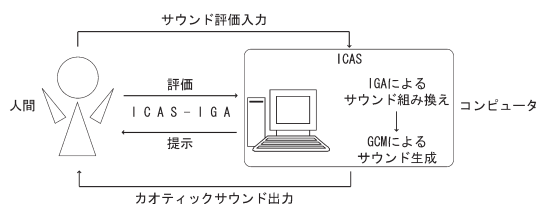


図5 ICAS-IGAの概念図

ズメントシステムであるICASを提案している。本システムは、同期性と非同期性という二つのパラメータのみで比較的多様な複雑さをもつ出力を得ることができる特長があるが、音楽要素などまで含めてユーザが操作する場合には、操作するパラメータが多くなるため、目標とするサウンド生成を行なうことが困難になる。そこで本研究では、適応度をユーザの評価に従って設定することにより、複雑な評価関数を定義せず評価の高い解を得ることができるIGAを用いることで、比較的容易にユーザの感性に合致するサウンド生成システム(ICAS-IGA)を構築する。図5に提案するICAS-IGAの概念図を示す。

4.2 ICAS-IGA1によるサウンド生成

本研究では、ユーザの感性に合ったサウンド生成を行うためにユーザに具体的な目標を与えるようにする。例えば、「明るい-暗い」「楽しい-悲しい」といったようなイメージしやすい感性語[27]をユーザに目標として与える。次にシステムを起動し、初期集団を生成する。このとき生成される遺伝子は、GCMのコントロールパラメータ(a , e)をそれぞれ6ビットで表し、音高・音長・音量を操作するため遺伝子長36ビット(図6参照)の10個体がランダムに生成される。ユーザは生成された遺伝子の出力音を聴き、10段階(最悪1~最良10)で評価し、これを評価値(適応度)としてGA操作が行なわれる。遺伝的操作にはルーレット選択によるSimple GAを用いた。この操作をユーザの感性に合致するまで繰り返すことで目標とするサウンドを生成していく。図7にサウンド生成の流れを示す。

4.2.1 ICAS-IGA1シミュレータ

提案システムの有効性を検証するため、MAX/MSP4.5 & Jitterを用いて、ICASの基本システムおよび前述のIGAによるサウンド生成シミュレータ(ICAS-IGA1)を作成した。図8にシミュレータの概観を示す。図の上のウィンドウはIGAの遺伝子選択およびGA操作画面、下のウィンドウは音楽要素の設定画面を示す。

シミュレータの初期設定およびその変更方法は

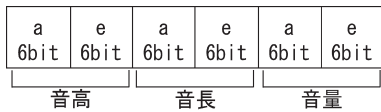


図6 ICAS-IGA1の遺伝子コーディング

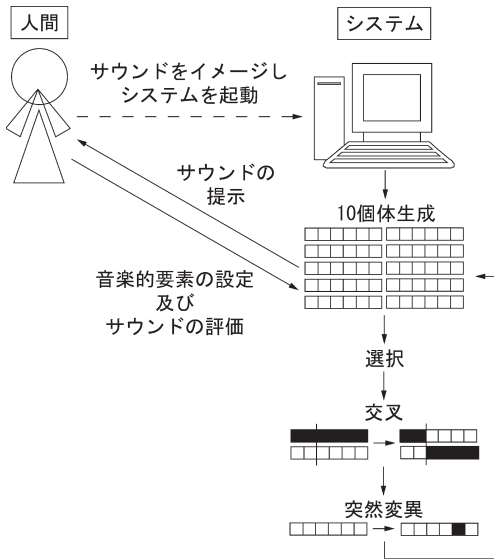


図7 ICAS-IGA1のサウンド生成の流れ

ICASと同様である。テンポ、反響音量度、ディレイタイムについては「テンポ・エコー設定」ボタンでextraウィンドウを開くことにより、音色についてはチャンネル番号の下にある楽器名のバーを操作することにより、それぞれ自由に変更することができる。ICAS-IGAでは各要素のグラフや挙動を確認することもできるようになっている。

ICAS-IGA1シミュレータで実際にサウンドを生成する場合、ユーザはまず生成したいサウンドをイメージしながらシステムを起動させる。次に「初期集団」ボタンをクリックすることにより初期集団が10個体ランダムに生成される。IGAでは人間が個体を評価するため、個体数が多いと評価作業が非常に負担となる。そこで本研究では、ユーザ評価が負担にならない程度に個体数を10個体とした。さらに、ユーザが音楽的要素(音色、調、テンポ、エコー)を設定し、「サウンド1~10演奏開始」ボタンをONにすることによりサウンドが演奏される。ユーザはこれらを聴いて10段階(最悪1~最良10)で評価する。

次に、「世代交代」ボタンにより、設定したGAパラメータを用いて世代交代を行う。このときユーザが与

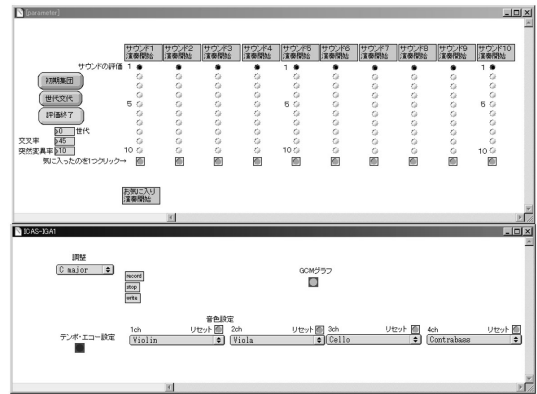


図8 ICAS-IGA1のシミュレータ概観

えた評価を適応度としてルーレット選択を行う。交叉と突然変異は、画面上で指定された「交叉率(%)」と突然変異率(%)」に応じて行われる。一般にIGAでは少ない個体で多様性を高めるため、突然変異率を高く設定することが多いが、本研究では初期収束を回避して多様性を高く維持するようにするため、交叉率45%、突然変異率10%と設定した。

さらに、ユーザは「お気に入り」個体を保存するかしないか選択ができる。「お気に入り」ボタンをクリックすることにより個体一つを保存し、更新されない限り世代交代しても保存され、保存しない場合はそのまま世代交代を行なう。これにより過去に選んだ評価の高い個体(サウンド)を基準に相対的に評価することが可能となっている。これらの操作を繰り返し、ユーザのイメージに合致すればシステムは終了する。

4.2.2 サウンド生成実験

ICAS-IGA1を用いて、20代男性5名を対象にサウンド生成実験を行なった。与えた感性語は、あらかじめアンケートを取り比較的イメージしやすいサウンドとして「穏やかでうきうきするような音」を選んだ。実験結果として、ユーザの感性に合致する方向に誘導できているかを確認するため、各被験者の最大評価値と全員の平均評価値の推移を図9に示す。

実験の結果、GA操作を行うことで試行を重ねるごとに被験者の評価が徐々に高くなることがわかった。生成されたサウンドは被験者によって異なり、ユーザ個別の感性が反映された特徴をもっていることもわかった。また、ほとんどの被験者において6~8世代程度で評価がほぼ最大に達していた。これより、IGAによって生成されるサウンドの満足度が比較的早い世代で収束に向かうことも確認できた。

しかしながら、本実験では10個体を用いたが、遺伝

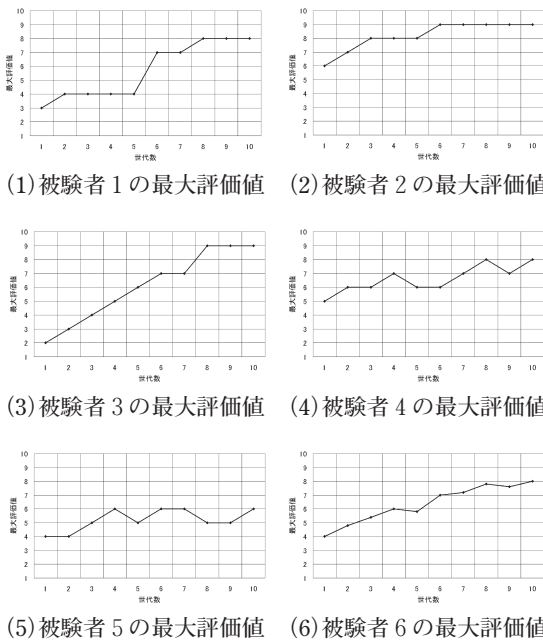


図9 シミュレーション評価結果(ICAS-IGA1)

子長に比べ目標となるサウンドを探索するのに十分な個体数とは言えなかったため、目標とするサウンドを生成するのは容易ではないという問題も明らかになった。また、被験者からより多彩なサウンドを生成するために、音色やテンポなどの音楽的要素も変更できるようにしてほしいといった意見なども多く出された。そこで、遺伝子に音楽的要素を含めたシステムについても提案を行ったので、これについて次節で述べる。

4.3 ICAS-IGA2によるサウンド生成

ICAS-IGA1では大規模カオスによる音高・音長・音量の同期と非同期の制御パラメータのみをIGAで学習したが、ここではさらに遺伝子に音楽的要素を操作するパラメータを導入したICAS-IGA2を提案する。本手法では、ICAS-IGA1と同様にまず、ユーザにはイメージしやすい感性語を目標として与える。

次にシステムを起動し、初期集団を生成する。このとき生成される遺伝子は図10のように、GCMのコントロールパラメータ(a, e)の音高・音長・音量それぞれ6ビット以外に、新たに音楽的要素として4音の音色としてそれぞれ5ビット、調4ビット、テンポ2ビット、反響(エコー)音量2ビット、ディレイタイム1ビットを追加し、遺伝子長は合計65ビットで構成された10個体が生成される。生成された遺伝子のユーザによる10段階評価やGA操作・遺伝的パラメータについてはICAS-IGA1と同様である。この操作をユーザ

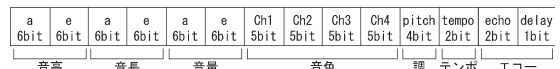


図10 ICAS-IGA2の遺伝子コーディング

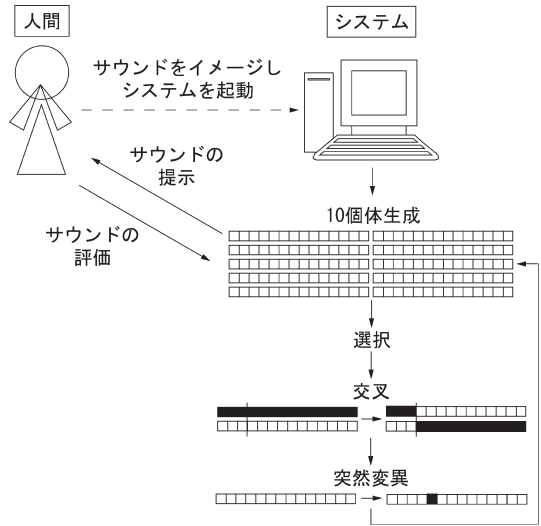


図11 ICAS-IGA2のサウンド生成の流れ

の感性に合致するまで行うことでサウンドを生成していく。図11にサウンド生成の流れを示す。ICAS-IGA2におけるユーザの操作手順はICAS-IGA1の場合の音楽的要素の設定操作を除いて全く同様である。

4.3.1 ICAS-IGA2シミュレータ

ICASの基本システムである大規模カオスのパラメータと音楽的要素の設定がともに可能なIGAによる自動調整を行うサウンド生成シミュレータ(ICAS-IGA2)を作成した。図12にシミュレータの概観を示す。

シミュレータの基本的な操作方法や初期値などはICAS-IGA1と同じであるが、IGAの遺伝子長をなるべく短くして探索空間を減少させるために、音楽的要素の探索範囲をかなり限定して設定した。テンポは60~

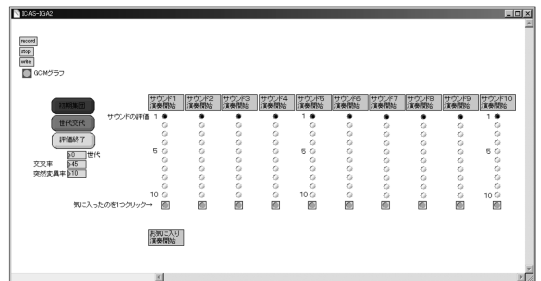


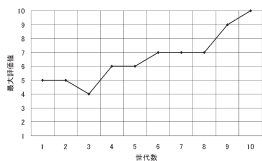
図12 ICAS-IGA2のシミュレータ概観

240の範囲を60, 120, 180, 240に, ディレイタイムは100~1000msecの範囲を200, 500msecに, 反響音量は0~100%の範囲を0, 45, 80, 100%としている。「初期集団」によりランダムで10個体生成され, その後のユーザの操作および使用ボタンについては, 4.2.1節と全く同様である。

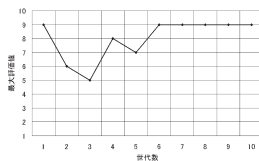
4.3.2 サウンド生成実験

今回も同様に20代男性5名を対象にサウンド生成実験を行なった。ICAS-IGA1と同様に与えた感性語は「穏やかでうきうきするような音」とした。また, ユーザが目標サウンドを生成できているかを表す各被験者の最大評価値と全員の平均評価値の推移を図13に示す。

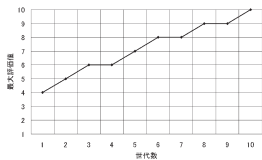
本実験では, ICAS-IGA1と同様にGA操作により世代を重ねるにつれ, 被験者の評価が概ね高くなることが分かった。生成されたサウンドも被験者によって異なり, ICAS-IGA1と同様に被験者個別の感性が反映されていた。また, ほとんどの被験者において9世代では評価がほぼ最大に達していた。これより, ICAS-IGA2によって生成されるサウンドの満足度が比較的遅い段階ではあるが, 収束に向かうことも確認できた。しかしながら, ICAS-IGA1とは異なり, 最大評価を示した以降の世代で評価が大きく下がるものが一部あった。これは, 「お気に入り」により過去の優良個体を残すようにしているが, この選択は被験者に一任



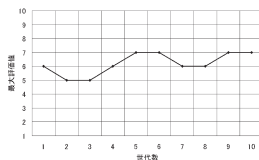
(1) 被験者1の最大評価値



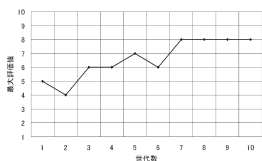
(2) 被験者2の最大評価値



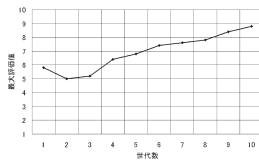
(3) 被験者3の最大評価値



(4) 被験者4の最大評価値



(5) 被験者5の最大評価値



(6) 被験者6の最大評価値

図13 サウンド生成実験の評価結果(ICAS-IGA2)

表1 ICAS-IGAの比較アンケート結果

目標サウンド到達性能		IGA操作性	
ICAS-IGA1	ICAS-IGA2	ICAS-IGA1	ICAS-IGA2
3	2	0	5

されており, 例え評価の高い個体でも残す選択をしなければICAS-IGA1よりも探索空間が広いICAS-IGA2では次世代で評価を大きく下げる可能性があるためであると考えられる。

4.4 ICAS-IGA1とICAS-IGA2の比較評価

今回実験に協力してもらった20代男性5名を対象にICAS-IGA1とICAS-IGA2の比較評価アンケートを行なった。本実験では単純に音楽要素を遺伝子に含めるのが良いのか悪いのかを判定するため二者択一(2段階)で行なった。評価項目は, 最終的にどちらがより感性語に近いサウンドになったかという「目標サウンド到達性能」とIGA操作に対してどちらが使いやすかったかに関する「IGA操作性」とした。前述の実験以外にも様々なサウンド生成目標として異なる感性語を与えて, 実際に両方のシステムでサウンド生成実験を行ってもらった。表1にこれらの比較実験に対する事後アンケートの結果を示す。

システムの操作性については全員がICAS-IGA2のほうが良好であった。これは面倒な音楽的要素の設定を操作しなくても自動で学習してくれるためであると考えられる。このことから, ICAS-IGA2はサウンド生成支援システムとしてICAS-IGA1よりユーザへの負担を軽減できたといえる。しかしながら, 音を自由に操作できるという点における満足度ではICAS-IGA1がやや上回る結果となった。サウンドのイメージは音楽的要素によって大きく左右されるため, 音楽的要素を人間が自在に操作できるICAS-IGA1のほうがより目標サウンドのイメージに近づけやすかったのではないかと考えられる。

5. ICAS-IGAとICASとの比較評価

本研究で提案したICAS-IGAシミュレータと手でサウンド生成を行なう従来のICASシミュレータを用いてサウンド生成実験を行ない, 目標サウンド生成の性能とシミュレータの操作性の比較実験を行なった。

5.1 サウンド生成性能と操作性の比較

前章ではICAS-IGAのサウンド生成実験を行ない, ICAS-IGA1とICAS-IGA2のサウンド生成性能および操作性の比較実験を行なった。これにより, ICAS-IGA1がよりユーザが満足するサウンドを生成できるという

点でわずかに優れているが、操作性ではICAS-IGA2が優れていることが示された。そこで本章では提案手法の有効性を検証するために、目標サウンド到達性能を重要視し、この性能に優れていたICAS-IGA1を用いてICASとの同様の比較実験を行なったので、これについて報告する。

ここでは20代の男性10名の被験者に「楽しい音」と「悲しい音」という異なる印象を与える感性語を用いたサウンド生成を行なってもらった。これらのサウンド生成を実験対象に選んだ理由は、以前からICASの研究では、短調と長調のイメージでサウンド生成の難易度が異なることがわかってきたため、これらの性能確認を行うため、「楽しい」と「悲しい」の二つのイメージを代表として選び、比較実験を行った。比較は前回の実験と同様に「性能」と「操作性」の2つの観点から5段階(最悪1～最良5)で比較評価をしてもらった。ICASでは自由に手動によるサウンドを生成してもらい、ICAS-IGA1では10世代までIGA操作を行なった後に「お気に入り」のサウンドを作成してもらった。まずICASにより「楽しい音」を、次にICAS-IGA1により「楽しい音」を生成してもらい、さらにICASにより「悲しい音」を生成した後、ICAS-IGA1により「悲しい音」を生成してもらい、最後にICASとICAS-IGA1との性能・操作性をアンケートにより評価した。表2にアンケートによる結果(平均値)を示す。尚、結果の標準偏差については、いずれもほぼ同等で0.7程度であった。

表2より最終的に得られたサウンドの満足度はややICAS-IGAが優れ、操作性においてはややICASが優れた結果が得られた。これまでの実験からも、「悲しい」「さびしい」「穏やか」といった暗い(短調)イメージのサウンドは生成しやすく、「楽しい」「うきうきした」「元気な」のような明るい(長調)イメージのサウンドは設定範囲が比較的広く、特定するのが困難であることがわかっている。この結果を反映するように、ICAS、ICAS-IGAともに「悲しい音」では大きな差が現れなかったが、「楽しい音」では生成が比較的難しいため目標サウンド到達性能では差が明確になり、ICAS-IGAがかなり良い評価結果となった。これは、目標サウンドを生成するためにある程度の慣れが必要なGCMのコントロールパラメータをIGAによって対話的にうま

く誘導できた結果といえる。

「楽しい音」「悲しい音」とともに操作性ではICASがわずかに優れた結果を示した。これは、ICAS-IGAのIGA操作を10世代行なうことと、世代毎にサウンドを10個体評価するため、ユーザが評価を下す回数が多いことの煩わしさが起因しているのではないかと考えられる。人手で最初から自由にすべてのパラメータを設定するICASのほうが目標サウンドに達する性能は良くないが、煩わしさは少なく感じられたようである。ICAS-IGAでも、一部には早い世代でイメージに近いサウンドを生成できなかった被験者がいたが、これは10個体という少ないサウンド提示により、自らの目指しているイメージにサウンドをうまく進化させることができなかったことが考えられ、今後はユーザの負担が過大にならない範囲内で個体数や遺伝子長を増やしていく必要があると思われる。

5.2 相図におけるGCMパラメータ分布の比較

前節で述べた比較実験において被験者の設定したGCMのコントロールパラメータの10名の設定値を図14に示す。これはGCMのコントロールパラメータ値を相図と対応したグラフ(横軸 a 、縦軸 e)にプロットした図である。これにより、ユーザがGCMのコントロールパラメータ値をどのように設定したかについての傾向をある程度つかむことができる。

これらの結果より、ICASとICAS-IGAでは分布が大きく異なっており、非常に興味深い結果となった。ICASの分布図は全体的に一様に散らばっている傾向があり、ICAS-IGAは比較的順序相、秩序相に集まる傾向があった。以前の研究[23]において、部分秩序相や秩序相は同期相や非同期相と比べて、比較的音楽に近いサウンドに聞こえる領域であることがわかっており、本実験においてもICAS-IGAがそのような領域を探索する傾向が見られた。ICASとICAS-IGAは、いずれも生成サウンドの評価を行なっているのは人間であるため、比較的心地良い音楽に近いサウンドを指向する可能性が高いと予想される。しかしながら、ICASの人為的操作によるパラメータチューニングに比べ、ICAS-IGAでは人為的操作に加えて進化により自動的にチューニング操作が行なわれるため、より早い段階で秩序および部分秩序相に生成サウンドが集中したのではないかと考えられる。

さらに、GCMの相図の代表的な4つの相に対応して細かく見てみると他の傾向も見受けられた。「楽しい音」では、音量において互いに部分秩序相に属するものが多く、「悲しい音」では、音長において互いに秩序相に属するものが多かった。この結果を見る限り、

表2 ICASとICAS-IGAの比較アンケート結果

	目標サウンド到達性能		IGA 操作性	
	ICAS	ICAS-IGA1	ICAS	ICAS-IGA1
楽しい音	2.8	3.9	3.8	3.2
悲しい音	3.6	3.8	3.9	3.3

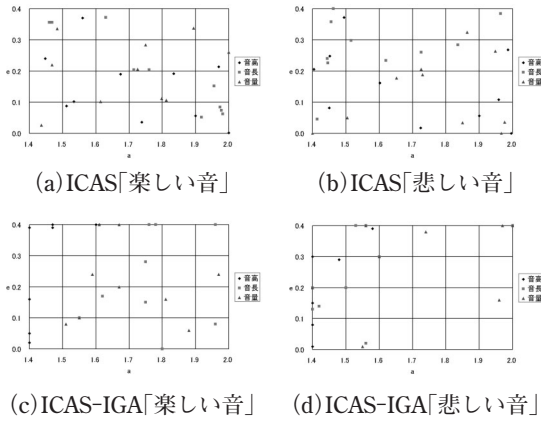


図14 GCMパラメータの分布図

被験者は音高に比較的重点を置きつつ、音長と音量で微妙なサウンドの違いを判断しているのではないかと考えられる。また「楽しい音」は主に部分秩序相、秩序相に分散する傾向があるが、「悲しい音」は同期相や非同期相にも存在することが多く、これらの傾向が現れる時期もICAS-IGAのほうが比較的早く、ICASよりも目標サウンドに到達する性能に優れていることもわかった。

5.3 最大および平均評価値の比較

ICAS-IGAによる「楽しい音」と「悲しい音」のサウンド生成を行なった結果の被験者全員の平均評価値の推移を図15に示した。本実験では、5～6世代前後で最大評価が大きく下がるものがあつた。これは、「お気に入り」により過去の優良個体を残す操作を被験者が行なっているが、ユーザによっては評価が高い個体でも「お気に入り」に保存しない場合があり、その場合には次世代において評価値が低くなることがあつたためである。この点を加味して最大評価値の推移を見ると、比較的早い世代でイメージに近いサウンドが生成されていることが分かる。

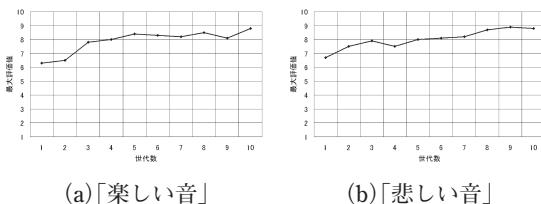


図15 被験者全員の平均評価値(ICAS-IGA)

5.4 生成された楽譜の比較

IGAによる学習前のICASによるサウンドの生成例として、図16にGCMの相図における代表的な4つの相(同期相、秩序相、部分秩序相、非同期相)で生成されたサウンドの楽譜例を示す。これらより、同期相、秩序相、部分秩序相、非同期相の順に複雑性が増していることがよくわかる。特に部分秩序相は、やや音楽的な雰囲気をもつ適度な複雑性を有するサウンドが生成されることも確認されており、今度、人間の感性との相関も検討していく必要があると考える。

また比較実験によるICASとICAS-IGAによって生成されたサウンドの一部の被験者の楽譜例を図17～18に示す。生成されたサウンドの楽譜を見ると、比較的ICAS-IGAによるサウンドのほうが複雑な傾向が見られる。これらの傾向は他の被験者でも見られ、より複雑なサウンドを生成するにはICASよりはICAS-IGAのほうが向いていると考えることができる。生成されたサウンドは総じて、秩序相、部分秩序相に近い楽譜になっており、これは被験者が比較的音楽のように感じる同期相と非同期相の中間にあたる領域のパラメータを好んで選んだ結果といえる。

さらに生成されたサウンドの楽譜を見ると、「楽しい音」では音高・音長・音量ともに幅が大きいものが

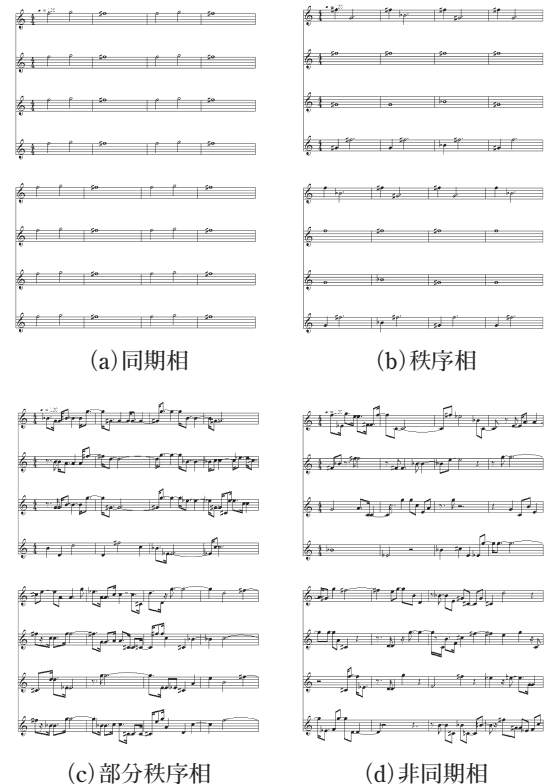


図16 代表的な4相において生成された楽譜例

(a) 被験者 8 (ICAS)

(b) 被験者 8 (ICAS-IGA)

(c) 被験者 9 (ICAS)

(d) 被験者 9 (ICAS-IGA)

図17 「楽しい音」の楽譜例

(a) 被験者 8 (ICAS)

(b) 被験者 8 (ICAS-IGA)

(c) 被験者 9 (ICAS)

(d) 被験者 9 (ICAS-IGA)

図18 「悲しい音」の楽譜例

多く、「悲しい音」では、幅が小さいものがユーザに好まれているようであった。このことから、被験者はサウンドの変化が多いものを「楽しい音」とし、サウンドの変化が少ないものを「悲しい音」とする傾向がみられ、サウンドのイメージを決定づける要素として、音楽的要素だけではなくGCMパラメータの役割も重要であることが確認された。

5.5 考察

サウンド全体を通して、被験者全員の生成した「楽しい音」「悲しい音」は、ICAS、ICAS-IGA両システムともほぼ似たサウンドとなっていたが、ICASよりICAS-IGAのほうが比較的音の幅が豊かになっていた。これは慣れが必要なGCMパラメータの細やかな設定をIGAがうまく人間を支援して自動調整が行われたためであると考えられる。GCM設定パラメータの相関分布をみても分かるが、同期相ではなく秩序相、部分秩序相に多く分布していることから音の幅に広がりがあることが分かる。

またサウンド生成における難易度については、今回の実験の被験者からは「悲しい音」は生成しやすく、「楽しい音」は生成が難しかったという意見が多かった。評価結果でも、比較的生成の難しいサウンドでもICAS-IGAのほうが良好な結果を示すことがわかった。目標となるサウンドを生成するための性能については今回提案したICAS-IGAの有効性を証明することができた。

しかしながら、システムの操作性においては、「楽しい音」、「悲しい音」とともにICASが優れた結果を示した。これは、ICAS-IGAのGA操作を10世代行なうこと、世代毎にサウンドを10個体評価する手間が操作性に対して評価を下げる原因になったのではないかと思われるが、実際、イメージに近いサウンドを生成するまでにかかる時間は、ICASよりICAS-IGAのほうが多くかかっていた。これらの点より、操作性においてICAS-IGAはユーザにやや負担をかけていることも明らかになった。また、被験者の中には10世代操作しても思ったサウンドが生成できないという意見もあり、GA操作によるユーザへの負担と個体集団が小さいことによる提示サウンドの少なさが利用者のストレスを招いた原因ではないか考えられる。

今後の課題としては、ICAS-IGAのシステムの操作性向上があげられる。これについては、インタフェースの改良や個体数の増加、それに伴うユーザへのサウンドの提示方法、GAのパラメータチューニングなどの改良を行なっていく必要があると考える。さらに、被験者や感性語、サウンド生成実験の数を増やすこと

により、GCMパラメータのデータを蓄積することで人間の個別の感性モデルが構築でき、これを用いることによりサウンド生成に個性の導入をおこなうことなども可能になるのではないかと考えられる。

6. おわりに

本研究では、対話型遺伝的アルゴリズム(IGA)を用いたインタラクティブサウンド生成システムICASを提案し、まず音の三大要素(音高・音長・音量)を操作するGCMのコントロールパラメータをIGAで自動調整するシステム(ICAS-IGA1)を構築した。さらに人間に不快感与えないようにするためにGCMパラメータに加えて伝統的な音楽理論の基本要素(音色、調性、テンポ、エコー)を自動調整するシステム(ICAS-IGA2)を構築した。これによりGCMのパラメータ、音楽的要素のパラメータを誘導的にユーザの感性に合致するサウンドに近づけることが可能となった。

またこれらのシステムによるサウンド生成実験により、サウンド生成性能と操作性の比較評価を行なった。これにより、両システム共にユーザの感性に概ね近づくサウンドが生成できることが確認された。サウンド生成の性能ではICAS-IGA1が優れ、システムの操作性ではICAS-IGA2が優れた結果を示した。さらに、提案手法(ICAS-IGA1)と従来手法(ICAS)のサウンド生成性能と操作性の比較実験も行なった。その結果、提案手法は操作性においてはやや劣るが、サウンド生成性能においてはよりユーザの感性に近いサウンドを比較的早く生成できることも確認できた。

今後の課題としては、サウンドの評価方法、個体選択の操作画面などを改良し、ユーザ負担を軽減したサウンド生成システムを構築することがあげられる。さらに人間とシステムのインタラクションを向上させるために、ユーザがシステムに介入しやすいインタフェースを検討し、ユーザにアミューズメント効果を与えることができるシステムを構築することも重要であると考えられる。

参考文献

- [1] 特集「感性とロボット」,日本ロボット学会誌,Vol.17, No.7, pp.1-41 (1999)
- [2] 特集「HAI: ヒューマンエージェントインタラクション」, 人工知能学会誌, Vol.17, No.6, pp.657-700 (2002)
- [3] 特集「エンターテインメントコンピューティング」, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.17, No.2, pp.8-119 (2005)
- [4] 今井繁, 長尾智晴, “遺伝的アルゴリズムを用いた自動作曲,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.98, No.58, pp.59-66 (1998)
- [5] 早乙女恵子, 高橋季穂, 笹田晋司, 佐藤誠, “インタラクティブ性を持つニューアーカイブの研究,” 芸術学会論文誌, Vol.1, No.3, pp.105-107 (2002)
- [6] 畷見達夫, ダニエル・ビシグ, “群れオーケストラ: 群れ行動と鑑賞者の視覚的相互作用による音楽の試み,” 計測自動制御学会第11回創発システム・シンポジウム「創発夏の学校」ポスター発表 (2005)
- [7] 片寄晴弘, 金森務, 平井重行, 坂口貴司, 井口征士, “簡易モーションキャプチャセンサDigitEye3Dとインタラクティブシステムへの応用,” 情報処理学会シンポジウム論文集, Vol.98, No.5, pp.67-72 (1998)
- [8] 長嶋洋一, 井口征士, 照岡正樹, “生体センサによる音楽表現の拡大と演奏表現の支援について,” 情報処理学会研究報告, Vol.98, No.74, pp.75-82 (1998)
- [9] 牧野真緒, 大島千佳他, “子どもの音楽創作意欲を高めるための「音に触って聞く」作曲システムの提案,” 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.17, No.2, pp.28-38 (2005)
- [10] 徳丸正孝, 大竹孝昌, 村中徳明, 今西茂, “音楽で「遊ぶ」ことを目的とした作曲システムの構築に関する検討,” 感性工学研究論文集, Vol.5, No.4, pp.45-52 (2005)
- [11] 長嶋洋一, “カオス理論とComputer Music,” 京都芸術短期大学紀要 [瓜生], Vol.16, pp.28-44 (1993)
- [12] 藤原豊, 塩田哲也, “カオスによる自動作曲システム,” 松江高専研究紀要, No.32, pp.55-62 (1997)
- [13] 平野砂峰旅, “大域結合カオスのコンピューターミュージックへの応用,” 音楽情報科学研究会, MUS-14-7 (1996)
- [14] R.Bidlack, “Chaotic Systems as Simple (but Complex) Compositional Algorithms,” Computer Music Journal, Vol.16, No.3, pp.33-47 (1992)
- [15] S.Yadegari, “Chaotic Signal Synthesis with Realtime Control: Solving Differential Equations in Pd, Max/MSP, and jMAX,” Proc. of Digital Audio Effects (DAFx-03), pp.8-11 (2003)
- [16] N.Tokui, and H.Iba, “Music Composition with Interactive Evolutionary Computation,” Proc. 3rd International Conference on Generative Art (GA2000) (2000)
- [17] 畦原宗之, 海老原祐, 鬼沢武久, “作り手のイメージを反映させた楽曲生成システムに関する研究,” 感性工学研究論文集, Vol.1, No.2, pp.66-72 (2001)
- [18] 畷見達夫, 中田詠一, “模擬育種法に基づく作曲支援システムの試み,” 計測自動制御学会第28回知能システムシンポジウム (2001)
- [19] 安藤大地, P.Dahlstedt, M.G.Nordahl, 伊庭齊志, “対話型GPを用いたクラシック音楽のための作曲支援システム,” 芸術科学会論文誌, Vol.4, No.2, pp.77-86 (2005)
- [20] H.Takagi, “Interactive Evolutionary Computation: Fusion of the Capabilities of EC Optimization and Human Evaluation,” Proc. of the IEEE, Vol.89, No.9, pp.1275-1296 (2001)
- [21] 柴田瑞樹, 前田陽一郎, “大規模カオスを用いたカオティックサウンドの生成手法,” 第11回インテリジェントシステムシンポジウム, pp.1-4 (2001)
- [22] 山本昌幸, 前田陽一郎, “大規模カオスを用いたイン

- タラクティブサウンド生成システム,” 第20回ファジィシステムシンポジウム, pp.641-644 (2004)
- [23] 前田陽一郎, 丹羽俊明, 山本昌幸, “大域結合写像によるインタラクティブカオティックサウンド生成システムおよび音楽的要素の導入,” 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.18, No.4, pp.507-518 (2006)
- [24] 宮下滋, 前田陽一郎, “インタラクティブGAを用いたカオティックサウンド生成システム,” 第23回ファジィシステムシンポジウム, CD-ROM, pp.196-199 (2007)
- [25] 金子邦彦, “カオス, CML, 複雑系,” 科学, Vol.62, No.7, pp.427-435 (1992)
- [26] 金子邦彦, 複雑系のカオスのシナリオ, 朝倉書店 (2001)
- [27] 杉原太郎, 森本一成, 河村知典, 島田雅之, 黒川隆夫, “若年層向け音楽感性検索システムに使用するための感性語選択,” 感性工学会研究論文集, Vol.5, No.3, pp.127-134 (2005)
- (2009年3月3日 受付)
(2009年5月1日 採録)
- [問い合わせ先]
〒910-8507 福井県福井市文京3-9-1
福井大学大学院 工学研究科 知能システム工学専攻
前田 陽一郎
TEL: 0776-27-8050
FAX: 0776-27-8050
E-mail: maeda@ir.his.u-fukui.ac.jp

 著者紹介



まえだ よういちろう
前田 陽一郎 [正会員]

1981年大阪大学基礎工学部機械工学科卒業。1983年同大学院基礎工学研究科修士課程修了。同年、三菱電機(株)入社。中央研究所、応用機器研究所、産業システム研究所を経て、1989年から1992年まで通産省技術研究組合国際ファジィ工学研究所(LIFE)へ出向。1995年より大阪電気通信大学工学部経営工学科を経て、総合情報学部情報工学科助教授。博士(工学)。1999年から2000年までカナダ・ブリティッシュコロンビア大学(UBC)客員研究員。2002年福井大学工学部知能システム工学科助教授。2007年同大学大学院工学研究科知能システム工学専攻教授。現在に至る。主として、ソフトコンピューティング手法による自律ロボットの知能化研究、および人とロボットの双方向インタラクションに関する人間共生システム研究に従事。計測自動制御学会、日本ロボット学会、人工知能学会、日本感性工学会などの会員。



みやした しげる
宮下 滋 [非会員]

2006年福井大学工学部知能システム工学科卒業。2008年同大学大学院工学研究科知能システム工学専攻博士前期課程修了。同年、(株)村田製作所へ入社。現在に至る。

Chaotic Interactive Sound Generation System Using Interactive Genetic Algorithm

by

Yoichiro MAEDA and Shigeru MIYASHITA

Abstract :

The research purpose of interactive sound is to achieve the sound generation with complexity and variety which exceeds the forecast of human. By using the chaotic theory, it is expected that a new sound which affects human's sensitivity is generated. In our laboratory, the sound generation system has been developed using Globally Coupled Map (GCM) which many chaotic elements are put in order and the state is made to transit the whole interaction by passing through the averaging process. GCM, both chaotic asynchronism and whole synchronism are controllable, is able to generate various sounds. By adding some music elements in this system, we are able to generate the sound which does not give displeasure to human. However, there is a problem which payloads to human also become large in case parameters controlled by human operator increase.

Therefore, in this research, we introduce the interactive genetic algorithm (IGA) which makes evolution guide to the direction corresponding to human's Kansei and aim for constructing a method to make sound generation easy. IGA is an optimization methodology united the human evaluation and optimization ability of genetic algorithm. ICAS is able to control the complexity of output sounds by only two parameters of synchronism and asynchronism, therefore, it was easy to apply IGA to ICAS. We constructed the simulator ICAS-IGA1 which adjusts only parameters of GCM automatically and ICAS-IGA2 including also parameters of musical elements, and conducted the experiment of sound generation. As a result, we confirmed that the sound generated by ICAS-IGA1 and ICAS-IGA2 coincide with human's Kansei in general. Furthermore, the comparison experiment of performance and operativeness between the conventional method (ICAS) and the proposed method (ICAS-IGA1) was executed to confirm the efficiency of this system.

Keywords : Chaotic Theory, Globally Coupled Map, Interactive Sounds, Interactive Genetic Algorithm

Contact Address : **Yoichiro MAEDA**

Department of Human and Artificial Intelligent Systems, Graduate School of Engineering, University of Fukui

3-9-1, Bunkyo, Fukui-shi, Fukui 910-8507, JAPAN

TEL : 0776-27-8050

FAX : 0776-27-8050

E-mail : maeda@ir.his.u-fukui.ac.jp