

# クラブ系ループ音楽パフォーマンスのためのリアルタイムに音楽を **Breeding** するシステム

安藤 大地<sup>1,a)</sup>

受付日 2011年6月17日, 採録日 2011年12月16日

**概要:** 近年, コンピュータを用いたクラブ系音楽のマルチメディアリアルタイムパフォーマンスがさかんである. 本論文では対話型進化論的計算 (Interactive Evolutionary Computation) のシステムを用いてクラブ系ループ音楽をリアルタイムに生成, また世代の概念を用いない Breeding のメカニズムを用いて音楽時系列を構成するパフォーマンスを行うことができる手法を提案する. 提案手法では遺伝子表現として遺伝的プログラミング (Genetic Programming, GP) を採用しつつも, 1つの個体から複数の表現型を実現する仕組みを備えており, 対話型の個体数の少なさをカバーしつつ応用範囲が非常に広がっている. 提案手法を用いて, モバイルデバイスに溜め込んだ写真からクラブ系ループ音楽を生成するシステムのプロトタイプが実装されており, 音楽的表現に応じて様々なリアルタイムマルチメディアパフォーマンスに利用することが可能であることが示された.

**キーワード:** 進化論的計算, 音楽生成, 遺伝的プログラミング, 模擬育種法, Breeding

## Real-time Musical Phrase Breeder for Club Loop Music Performance

DAICHI ANDO<sup>1,a)</sup>

Received: June 17, 2011, Accepted: December 16, 2011

**Abstract:** Real-time music and multimedia performances with lap-top computers have been very animated in club scene in recent years. In this paper, I propose a new method to generate club style loop music in real-time for club performances by means of Interactive Evolutionary Computation (IEC). The methods includes two features. The one is that enjoying “Breeding” without consciousness about generation. The second is that multiple-ontogeny mechanism that generate several phenotype from one genotype, includes ideas of co-evolution and multi-objective optimization. The proposed method reduces weak points of IEC, user’s burden of interactive evaluation and narrow search domain originated in handling few individuals. A performance system generates club style loop music from photo album in mobile devices has been implemented by means of the proposed method, then has been tested. The success of performances with the implemented performance system indicates that the proposed methods works effectively.

**Keywords:** evolutionary computation, music generation, genetic programming, simulated breeding, Breeding

### 1. 導入

人間がコンピュータが生成した個体を視聴して自分の好みで点数をつける, つまり人間が適応関数として働くことで人間の感性を最適化に取り込む対話型進化論的計算

(Interactive Evolutionary Computation, IEC) を用いた作曲支援システムは, 90年代後半からさかんに研究されてきた. しかしそれらのほとんどの研究はオフラインでの最適化を目的としており, オンラインすなわち最適化の過程を音楽として上演するものではなかった. その理由は, 研究対象とされていたジャンルの音楽では楽曲の中での進行が重要視されていたことにある. 既存の研究の最適化プロセスは, 作曲家の作曲における最適化の思考の流れを

<sup>1</sup> 首都大学東京システムデザイン学部  
Faculty of System Design, Tokyo Metropolitan University,  
Hino, Tokyo 191-0065, Japan

a) dandou@sd.tmu.ac.jp

表現するものであり、最終的な出力のみが上演されるのが自然であった。

一方、音響合成シンセサイザやサンプラの発達により90年代より「ループ系」と呼ばれる音楽が活発になってきた。これらの音楽は60年代後半からのミニマルミュージックの流れを取り込み比較的短いフレーズを変化させながら繰り返していくという形で楽曲が構成されている。現在では「ループ系音楽」は踊るための音楽としてクラブでDJやトラックメイカと呼ばれる作曲家自身の手で流される、もしくはその場で生成されることが多いため「クラブ系ループ音楽」もしくは単に「クラブ系音楽（クラブミュージック）」と呼ばれている。

またクラシック音楽の流れを汲む音楽ジャンルでは「生成的音楽」と呼ばれる乱数を用いてリアルタイムに音楽を生成していく手法がさかんになってきた。

著者は、クラブ系ループ音楽のループが少しずつ変化していく過程を聴衆に聴かせるという特性に注目し、この変化する繰り返しをIECの最適化過程を用いて表現できるのではないかと考えた。

### 1.1 クラブ系ループ音楽の特徴と進化計算適用の可能性

クラブ系ループ音楽には多種多様なスタイルが存在するが、典型的なものは、四分の四拍子の1小節ごとの旋律が集まり4小節のまとまりを構成する。その4小節のまとまりが繰り返される中で少しずつ変化していくことで楽曲の進行が表現されるため、いわゆる歌モノのような明確な楽曲進行は持たないことが多い。

図1にクラブ系ループ音楽のイメージを示す。4小節のまとまりは、パーカッションパート、ベースパート、メロディパート、和声進行パート、アルペジオやテクスチャ音響パートなどで構成されている。和声進行パートとアルペジオやテクスチャ音響パートを除くパートは、1小節の同じパターン（和声進行に影響を受けた小節は変化する）かその音楽的バリエーションが4つ集まって4小節のまとまりを構成していることが多い。

前述のとおり、この4小節のまとまりがパートごとに少しずつパターンを置き換えていくことにより曲が進行していくため、クラブ系ループ音楽はいわゆる歌モノのような

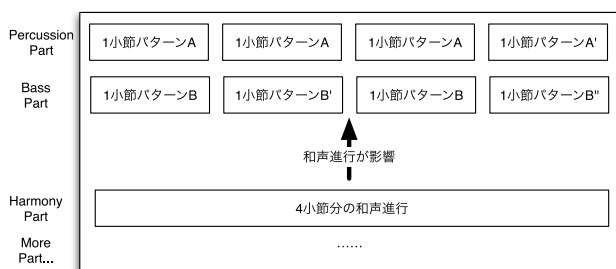


図1 クラブ系ループ音楽の典型的な構成

Fig. 1 Typical structure of loop club music.

明確な楽曲進行は持たないことが多い。

クラブ系ループ音楽の作曲家であるトラックメイカがリアルタイムに音楽を生成するパフォーマンスを行う場合、パートごとのループパターンを事前にいくつも用意しておく、それらのパターンその場で切り替えていくことで曲の進行を作っていくというパフォーマンス形態をとる。

しかしながら、トラックメイカの用意できるパターンの数は無限ではなくパフォーマンスや生成される音楽はある程度固定されたものになってしまう。

ここでIECを音楽生成に利用することを考えると、IECでは初期個体はランダムに生成されるため、トラックメイカが予想しなかったパターンを無限に生み出すことが可能である。また、収束していく集団で多点同時探索を行うIECは音楽的バリエーションの生成に向いていることが示されている[3]。集団の中に似ているが違う個体が多数存在するため、そのようなバリエーションを用いてパターンが少しずつ変わっていく様子を表現することが可能だからである。

### 1.2 本研究の目的

本研究の目的は、評価負担が大きい対話型最適化において、最適化そのものの効率よりも最適化過程のBreedingを「楽しみ」、その過程をリアルタイムに音楽として上演することでクラブ系音楽のライブパフォーマンスを生み出すシステムを構築することである。

#### 1.2.1 進化プロセスを見せることによる音楽の遷移

1.1節で前述したとおり、クラブ系ループ音楽は歌モノのような明確な楽曲の進行は持たず、4小節のまとまりのループを繰り返していく中で、少しずつ各パートが変化していくことで曲が進行していく。同じパターンの繰り返しの長さや変化にかけられる長さはあらかじめ決まっていないことが多い。クラブでクラブ系ループ音楽を流すDJはこのようなクラブ系ループ音楽の特性を利用し、ターンテーブルやサンプル系のエフェクタを用いてその場の雰囲気に応じて自在に曲の長さを変更している。

つまり、クラブ系ループ音楽においては厳密な曲の構成を作曲する必要はなく、4小節のまとまりがループしていてそれが少しずつ変化したり戻ったりしていく様子をリアルタイムで生成できれば、クラブ系ループ音楽のパフォーマンスの雰囲気を出せるのではないかと予想できる。

そこで本研究では、リアルタイムで音楽旋律や音響合成のBreedingを行い、結果を比較していく過程で音楽が生成されていくというクラブ系ループ音楽のパフォーマンスの形を提案する。ユーザが生成された個体を聴いて悩みながら好みの旋律を生成していく過程も、似た個体が集まった集団で最適化を行っているため旋律のバリエーションを使って少しずつ変化を演出しているように聞こえらる。

1.2.2 共進化と多目的最適化によるパラメータ量への対応

個体をすべて視聴して評価付けをする IEC では、評価を行う人間の負担が原因で通常の非対話型の進化論的計算に比べ扱うことができる個体数が極端に少ない。このため収束が早く初期集団に強く依存した極所解に陥る可能性が高い。また、音楽生成に IEC を適用する場合、音楽を生成するために必要なパラメータは非常に多いが、IEC の場合少ない個体数で組合せ最適化を行わなければならない。このため最適化作業はユーザに強い負担を与える。

これまでに提案されてきた IEC の作曲支援システム [14] では、初期世代から 3, 4 世代後の収束が起きてしまった時点で、Genome Storage と呼ばれる一時的な染色体保管場所を用意し、集団を再初期化しうえて既存の染色体を集団に挿入するという最適化プロシージャが提案されている。この方法は 1 回の初期世代の生成と探索では極所解に陥ってしまうことを前提としたうえで、再初期化を探索の中に取り込み、広いドメインでの探索を行う。収束した集団の初期個体への依存を逆にその集団の個性としてとらえ、クリエイティビティとして有効に活用できるようになった。

本論文では、これまでの Genome Storage を用いた最適化プロセスに加え、1 つの集団の中で共進化と多目的最適化を合わせたような進化プロシージャを提案する。これは具体的には、Simulated Breeding と Genome Storage により世代の概念を用いず、複数の種類の発現に対して 1 つの集団を適用し、さらに 1 つの染色体から複数の発現型を生成する方法である。これにより少ない個体数で音楽に必要な膨大な量のパラメータを扱うことが可能になる。図 2 に提案手法の概念図を示す。

具体的な各部の詳細は 2 章で後述する。また、提案手法を用いて写真アルバムから音楽を生成するシステムを実装

した。この実装については 3 章で述べる。4 章では考察を行い、5 章ではまとめを行う。

2. 進化プロシージャと遺伝子表現

2.1 Simulated-Breeding による世代を用いないプロシージャ

提案手法では、Simulated-Breeding (模擬育種法) の 2 値評価と Genome Storage を採用することで IEC の世代という概念をなくし、Breeding を楽しむことに重点をおいた。

従来の「最適化」を行う IEC では、個体数の少なさが原因で 2, 3 世代で急激な収束がおき初期個体に強く依存する極所解に落ち着いてしまいそれ以上の進化が望めないことが多い。

また、たとえば個人に合わせた補聴器のフィルタの最適化 [12] などとは違い、明確な解の目標が存在せず、さらに最適化途中でもユーザの好みが変化していくことが多いアート創作支援の IEC では、適応度が高い答えの分布の多峰性が強く、初期世代への依存がさらに大きな問題となる。

これを解決するため Dahlstedt の世代の概念が曖昧で 2 値評価を用いる Mutasynt [5] の手法に、生殖が起きても個体が置き換えられない移民場所である Genome Storage [14] を組み合わせ、完全に世代の概念をなくし、集団の積極的な再初期化を促し、多くの初期個体を擬似的に進化過程に取り込む手法を提案する。提案手法の最大の特徴は、生殖により置き換えられない個体が存在することにより集団の再初期化がいつでも可能で、2 つの集団に属する個体の交配が自由に行えることである。

提案手法の進化プロシージャは以下のとおりである。

- (1) システムに初期化を指示しランダム生成の初期個体を登場させる。
- (2) 気に入った個体を Genome Storage に保管する。
- (3) 任意の 2 つの初期個体を親として選び交配を指示すると、新たに子世代が誕生する。ただしこの子世代は Genome Storage に保管されている個体は置き換えない。
- (4) 子世代の聴取を行い、気に入った個体を Genome Storage に追加する。
- (5) 子世代か Genome Storage の中の気に入った個体を親とし選び交配を指示する。
- (6) 再びランダム生成初期個体を作り既存の個体と掛け合わせることで、新たな個体を生成し、Genome Storage へ収集させていく。

2.2 既存の研究の遺伝子表現の問題点

提案手法では、遺伝子表現として遺伝的プログラミング (Genetic Programming, GP) [7] を採用する。GP は染色体として S 式の木構造プログラムを採用したものであり、個々の問題に適したプログラムの関数ノードと終端ノード

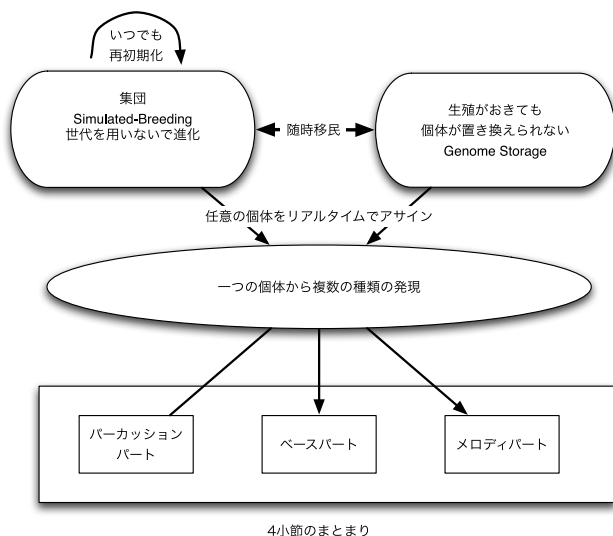


図 2 対話型共進化と多目的最適化を取り込んだ提案手法の概念図  
Fig. 2 Proposed method that includes co-evolution and multi-objective optimization.



を設定することで様々な問題に適用可能である。

GP を用いた作曲支援システムの利点は、木構造プログラムは変化をともなう繰返しなどの音楽的構造を簡潔に表現することが可能な点にある。木構造を用いた音楽表現は、IRCAM の Open Music [1] や Common Lisp Music [13], AC ToolBox [2], Cope の手法 [4] など進化計算以外の作曲支援システムでも多く用いられている。多くの作曲家が慣れ親しんでおり、対話型作曲支援システムの遺伝子表現として適している手法の1つであると考えられる。

MIDI で扱える情報を生成する GP の遺伝子表現としては、(1) Laine の数式表現による旋律表現 [9], (2) 繰返し表現などを直接扱えるノードやコードのターミナルノードを導入した Johanson の手法 [8], (3) 再帰的に展開するツリーにより音楽的構造の生成を行う Dahlstedt の手法 [6] などがある。また音響合成的な手法では、Putnum が音響合成シンセサイザのパラメータをアサインしていく関数ノードにより音響合成レベルで旋律を生成する手法 [11] を提案している。

しかしながらこれらの手法は、基本的には1つの個体で1つの表現型しか生成することができず、個体数が圧倒的に少ない IEC に適用したときに探索ドメインが小さすぎて探索効率が非常に悪化するという問題が発生する。

### 2.3 複数の表現型の発現

そこで提案手法では、1つの染色体から複数の表現型を発現させることが可能な共進化と多目的最適化を合わせた手法により、IEC の個体数の少なさが原因となる問題を解決する。

図 3 に、複数の表現型を発現する仕組みの概要図を示す。通常染色体は算術演算子のみの関数ノードセットで構成されているが、発現前にノードのラベルに基づき関数ノードセットを入れ替えるという操作を行う。左側の発現の場合はそのまま算術演算子のみの関数ノードセットを用い、中央の発現の場合は逐次実行型の関数ノードセットへ変更する。表 1 に関数ノードセットの例を示す。

左側の算術演算子のみを用いて染色体が構成されている場合、染色体プログラム出力の出力はスカラー値が1つとなる。この出力を音色合成の何らかのパラメータやあらかじめ用意されているテーブルの入力とすることで、表現型を発現する。この発現方法を音色合成に用いる場合を 2.3.1.1 で、旋律生成に用いる場合を 2.3.2 項で、それぞれ後述する。

それに対して中央の逐次実行型関数ノードセットは、ロ

ボットの行動などを合成する場合に用いられる関数ノードセットである。progn という関数ノードをトップに置くことでプログラムが逐次評価されていく。この場合 setParamA, setParamB などという関数ノードが関数ノードセットに含まれている。これはパラメータ A, B にそれぞれ値をセットしていくことを意味する。この逐次実行型のプログラムは結果的に複数のパラメータを出力することができるため、パラメータ数可変の組合せ最適化を行うことが可能になる。この発現方法を音色合成に用いる場合を 2.3.1.2 で後述する。

最後に右側の方法は、染色体プログラムを通常どおり評価するのではなく、木構造プログラムのトポロジを利用して表現型を作り出す方法である。この発現方法については 2.3.2 項で後述する。

複数の発現に対する個体の進化を同一集団内で行うことは共進化の1つである。また1つの個体が複数の発現を行うことは多目的最適化の要素も含む。つまり提案する手法は共進化と多目的最適化の両方を取り込んだ最適化手法であるといえる。

#### 2.3.1 音色合成のための発現

提案手法では音色合成のためのシンセサイザのパラメータへ GP の出力をそのまま適用するために、3つの方法を

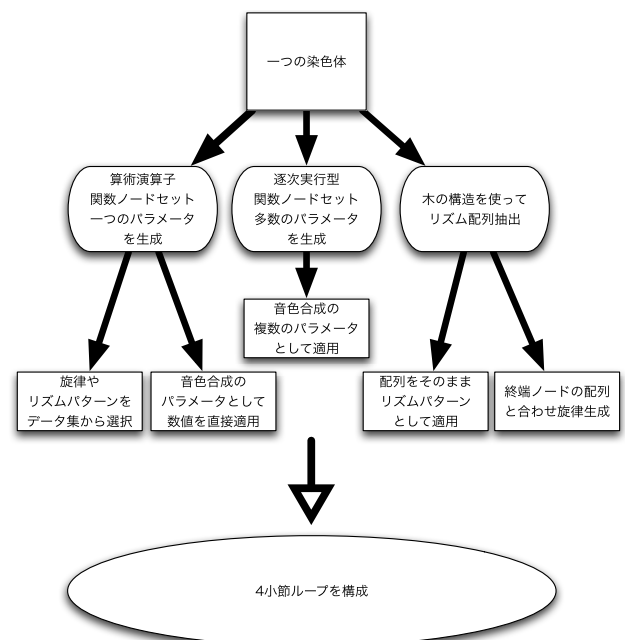


図 3 1つの染色体から複数の表現型を発現する仕組み

Fig. 3 Multiple ontogeny: Several phenotypes generated from a chromosome.

表 1 関数ノードセットの種別. 括弧内は引数の数

Table 1 Function node set for each ontogeny.

算術演算子	+, -, *, /, pow など. それぞれ引数は 2 つ
逐次実行型	算術演算子に加え, prog2 (2), prog3 (3), setParamA (1) など

用意した. 2.3 節で述べた染色体が持っている関数ノードと終端ノードを発現時に読み替える手法により, すべての染色体がすべての発現を行うことが可能である.

**2.3.1.1 単体パラメータに適用する値を決定するプログラム**

1つ目は, 通常の算術演算子を関数ノードセットとして用いたときの評価結果である単一の値を, 音色合成シンセサイザの単体パラメータとして適用する方法である. この場合1つの染色体から1つの値が生成されるため, 音色を決定する重要な部分にのみ適用することで有効に利用することができると考えられる.

**2.3.1.2 複数のパラメータへ値を適用するプログラム**

2つ目は逐次実行型の関数ノードセットを用いた際の複数の出力結果を, 音色合成の複数のパラメータに対して適用していく方法である. この方法の欠点は, シンセサイザのパラメータの多くが乱数に基づいて生成されるため, 一般的に音楽に使われる音色として発現しない致死遺伝子を持った個体が多く発生することである. そのため実際にこの発現を利用するときはシンセサイザのすべてのパラメータを探索するのではなく, 音色に影響の大きい重要ななるべく少ない数のパラメータのみ探索するのが適当である.

**2.3.1.3 エンベロープの時系列を生成するプログラム**

3つ目は, オシレータの数やパラメータが固定されているとき, エンベロープを生成するために, 関数の同定などに用いられる時系列入力のための終端変数ノードを用いてエンベロープを出力する関数を合成する方法である. 特にクラブ系ループ音楽においては, 音色合成シンセサイザのエンベロープが重要な要素としてとらえられる傾向があるため, この発現は非常に有効に働くと考えられる.

**2.3.2 旋律生成のための発現**

旋律の生成は, 現在は2通りの発現方法を採用している. 1つ目は, 前述の算術演算子のみの関数ノードセットを用いて単一のパラメータ値を生成し, あらかじめ用意しておいた旋律群の中からその値を用いて選択する方法であり, 2つ目は, 染色体の木構造トポロジを用いてリズムパターンや旋律を生成する方法である.

1つ目の方法は, リズムパターンなどの特定の旋律がジャンルの特徴をよく表していてそれほど多くの旋律バリエーションが考えられない楽器パートに対して適用する.

2つ目の方法は生成的であり, 拍子とスケールが合致してさえいれどどのような旋律が生成されてもそれほど違和感を感じないようなメインの旋律やオブリガードなどのパートに対して適用する.

図4に2つ目の方法の発現手順を示す. これは GTTM [10] のような小節の中でリズムパターンから木構造を生成する手法を逆算したものである.

(1)が集団の中に存在する算術演算子を関数ノードとした染色体である. これを(2)のように関数ノード, 終端ノード

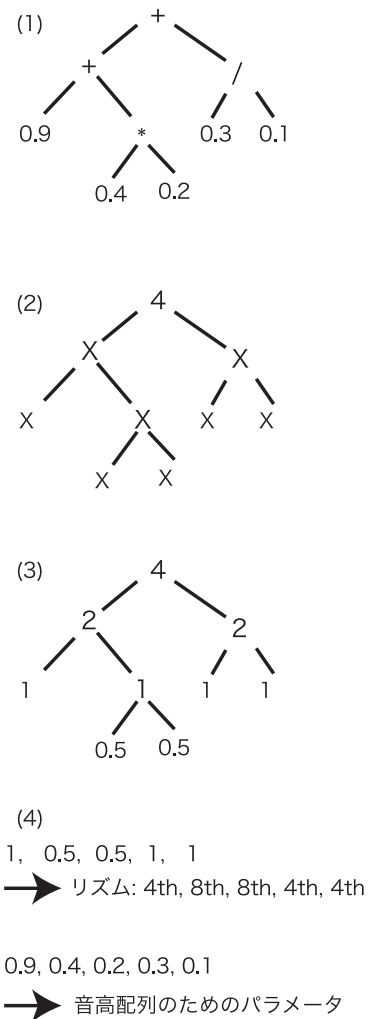


図4 木構造のトポロジから旋律を生成する発現手順  
 Fig. 4 Ontogeny to generate musical phrase and rhythm pattern from tree chromosome topology.

とともにラベルを外す. トップノードを拍子に合わせる. 以下(3)のように2分木の場合は親ノードが持っている数を半分, 3分木の場合は3分の1にして子ノードに付与していく. (4)のように最終的に終端ノードのみを左から読んでいくと, 小節内におさまるリズムパターンが生成される. 図中の例の場合は「四分音符, 八分音符, 八分音符, 四分音符, 四分音符」の配列となる. また(4)の下のように終端ノードの本来の値を音高配列を作るためのパラメータとして用いる.

**3. 実装: 写真を用いて音楽を生成するシステム**

**3.1 モチベーション**

近年 iPhone や iPad などのスナップ写真を溜め込み閲覧・管理を行う機能を持ったモバイルデバイスが多く登場している. 同時に iPhone や iPad を用いた生成的音楽のリアルタイムパフォーマンスを行うためのアプリケーションも多く登場しており人気を博している.

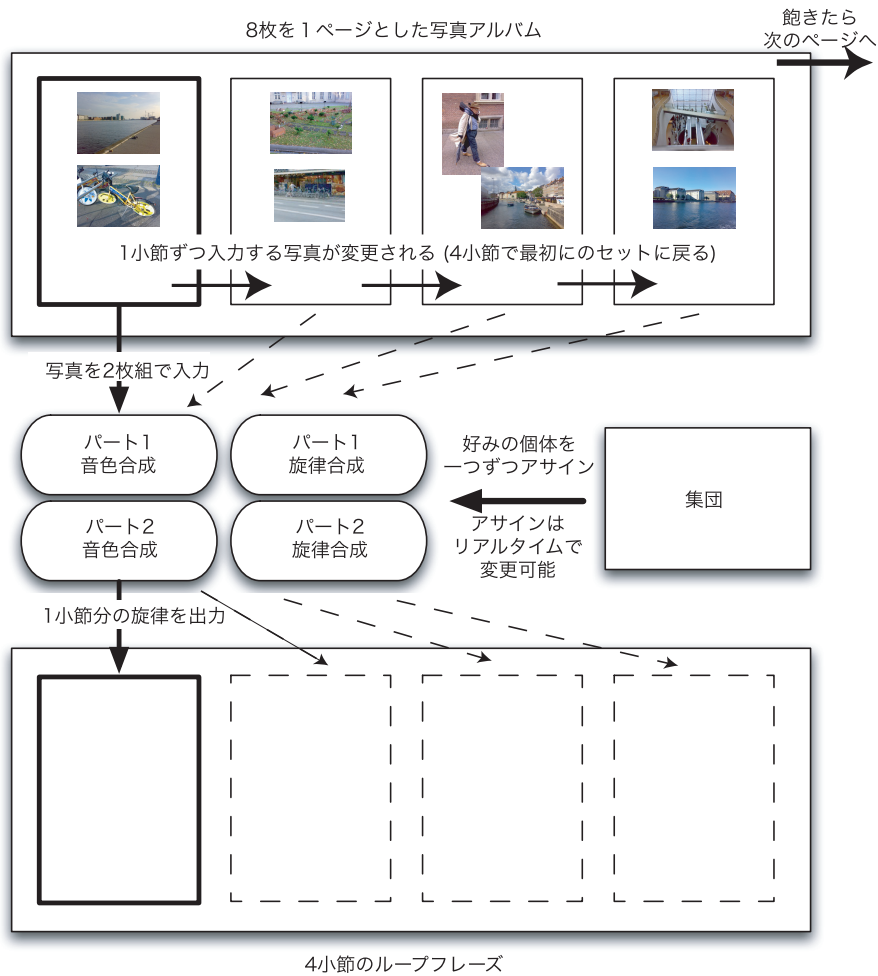


図 5 写真アルバムから 4 小節のループを生成するプロシージャ  
 Fig. 5 Generate 4 bar loop sequence from photo album.

筆者は、現在のこの 2 つの需要の組み合わせで、溜め込んだ写真からクラブ系ループ音楽のリアルタイム生成パフォーマンスができるアプリケーションの需要は高いのではないかと考え、そのようなデバイス向けアプリケーションのプロトタイプとして実装を行った。

写真やフォトアルバムから音楽を作り出す生成的手法やシステムは様々なものが提案されているが、そのほとんどはシステム作者の独断の決定論的手法を写真から音楽を生成するマッピングとして実装したものである。写真展に付属した生演奏などアーティストがアート作品としてその場で行うケースを除けば、ほとんどの音楽生成ソフトウェアはシステムに準備されている固定された写真を音楽に変換するマッピングを用いて音楽を生成している。

前章まで述べてきた提案手法をアプリケーションとして実装することにより、この写真から音楽を生成するマッピングそのものを動的生成することが可能になり、リアルタイム音楽パフォーマンスの可能性がさらに増すことになる。

プロトタイプの作成は、進化計算部、フレーズ生成、音響合成処理部をリアルタイム音楽記述言語 SuperCollider<sup>\*1</sup>

で行い、GUI を Processing<sup>\*2</sup> で作成している。両者の通信には OpendSound Control<sup>\*3</sup> を用いており、実行プラットフォームを選ばない。また進化計算部と、フレーズ生成と音響合成を担当するサウンドエンジンは完全に独立しており、さらに音色の記述や使用する発現などはサウンドエンジンのモジュールとして独立して記述する。このためサウンドエンジンに適用するモジュールを変更するのみで様々なループ系の音楽に対応することが可能になっている。

音色や発現を記述するモジュールはごく通常の SuperCollider の文法で記述されている。SuperCollider は近年アカデミック分野だけではなくクラブ系の音楽制作にも使用されており非常にポピュラーな音楽制作環境となっているため、多くのユーザが自分のシンセサイザやリズムパターン生成アルゴリズムをモジュールとして組み込むことが可能になっている。

### 3.2 遺伝子表現と適用する発現手法

図 5 に、写真から音楽を生成する実装のフローを示す。

\*1 <http://www.audiosynth.com/>

\*2 <http://processing.org/>

\*3 <http://opensoundcontrol.org/>

表 2 写真を用いて音楽を生成するシステムに使用した発現一覧  
 Table 2 Mappings for music generation from photo album.

バスドラム	リズムパターン	算術演算の結果をあらかじめ生成しておいた 5 程度のパターンの中から選択するのに使用
	音色	固定
スネア	リズムパターン	算術演算の結果をあらかじめ生成しておいた 50 程度のパターンの中から選択
	音色	算術演算の結果を音色合成のパラメータとして使用
金系音パート	リズムパターン	木構造から生成したリズムパターンを使用
	音色	算術演算の結果をあらかじめ用意しておいた数種の合成音から選ぶために使用
皮系音パート	リズムパターン	木構造から生成したリズムパターンを使用
	音色	算術演算の結果をあらかじめ用意しておいた数種の合成音から選ぶのに使用
ハーモニーパート	和声進行	4 つの個体の算術演算の結果を 4 和音の選択にそれぞれ適用
	音色	4 つの個体の算術演算の結果を音色合成の 4 つのパラメータに適用
メインメロディパート 1 と 2	旋律生成	木構造から生成したリズムパターンを使用
	音色	算術演算の結果を音色合成のパラメータとして使用
アルペジオパート	音高選択	木構造から生成した旋律を用いてハーモニーパートで使用されている音高から選択するのに使用
	パターン	算術演算の結果をあらかじめ生成しておいた 20 程度のパターンの中から選択するのに使用
	音色	算術演算の結果を音色合成のパラメータとして使用
ベースパート	旋律生成	木構造から生成したリズムパターンを使用
	音色	算術演算の結果を音色パターンの選択に使用

写真は 2 枚 1 組で扱う。ユーザがアサインした個体へ入力することで、ピクセル情報から 1 小節分の音楽フレーズを生成する。入力する写真は 1 小節生成するごとに次の組へ移っていく。画面には 4 組の写真を表示することができ、合計で 4 小節分の長さの音楽フレーズが生成される。この 4 小節のまとまりをループさせることで典型的なクラブ系音楽の 4 小節ループを表現する。

写真のピクセル情報の入力と音楽の生成はつねにリアルタイムで行われる。ユーザは生成された音楽が鳴っている状態で集団の中から個体を 1 つずつマッピングへアサインしていく。アサインされた個体は即座に評価され次の小節から有効になる。

写真から音楽フレーズを生成するマッピングは、(1) 用意しているフレーズから選択するものと、(2) リズムパターンを生成するもの、(3) メロディ配列を生成する 3 通りを用いる。2.3.2 項で述べた 1 つ目の方法を (1) に適用し、2 つ目の方法を (2) と (3) に適用する。(3) では和声進行に強く関わるパートはハーモニーパートで選択した音から選択する場合もある。

2.3.2 項で述べたとおり、パーカッションパートの基本リズムパターンはクラブ系音楽の特徴である 4 拍子の基本パターンから外れるとクラブ系音楽として認識されなくなるため、バスドラムとスネアのリズムパターンはあらかじめ

生成しておいたものから選択する形をとる。装飾的に使われる金属音や皮モノのリズムパターンは制限がそれほど強くないため、木構造から生成したリズムパターンを用いる。表 2 に各パートの生成手法をまとめる。

また、リズムパターンや旋律を木構造から生成するパートもあるため、前述したようなクラブミュージックの 4 拍子のリズムパターンの特徴を出すため、全体が 2 拍 3 連音符などにならないように、染色体のトップノードとなる関数ノードには 3 分木になるような関数ノードを用いないように調整を行った。

### 3.3 GP のパラメータ

GP の終端ノードとしては、写真の各色要素の割合や 2 枚の写真の色合い、周波数などを適用し、関数ノードとしては通常の算術演算子を用いて染色体を構成した。表 3 に使用した終端ノードを示す。

### 3.4 ユーザインタフェース

図 6 にユーザインタフェースを示す。(1) は個体をアサインしていくエリア、(2) は親として選択した個体をアサインするエリアである。アサインした後に右脇の Reproduction ボタンを押すと、(3) のエリアに子が生成される。(4) は Genome Storage であり、ここを用いて世代の概念がない



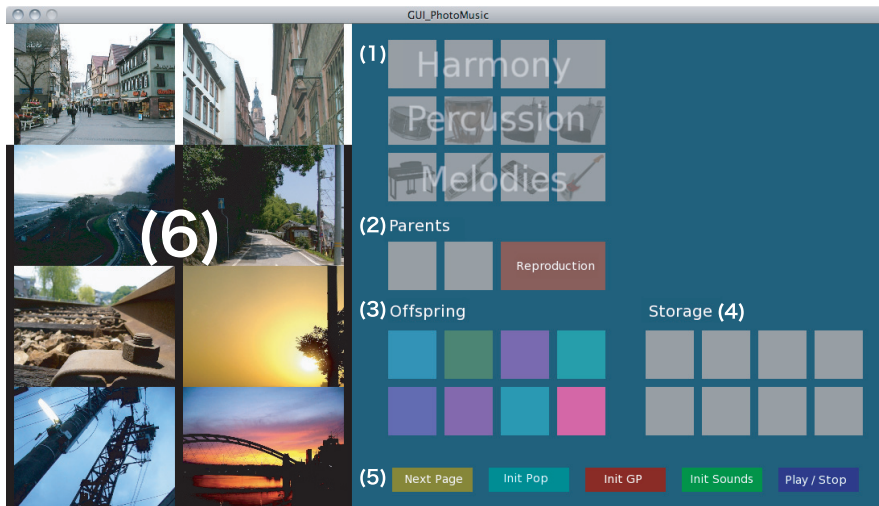


図 6 写真を用いて音楽を生成するシステムのユーザインタフェース. (3) の子エリアに個体アイコンが存在している. この個体アイコンを他のエリアへドラッグアンドドロップすることで移動させる

Fig. 6 User-interface of music generation from photo album.

表 3 写真を用いて音楽を生成するシステムに使用した GP 終端ノード. 添字は写真のインデックス (1 もしくは 2) が入る

Table 3 GP terminal nodes used for music generation from photo album.

R% <sub>a</sub>	画像全体の R 要素の割合 (G と B も同様)
Xsize <sub>a</sub>	画像の Xsize
Ysize <sub>a</sub>	画像の Ysize
SimilCol	2 枚の画像の色合いの類似度
Frequency <sub>a</sub>	画像を 2 値化したときの周波数の平均

Breeding を行う. (5) はコントロールボタンである.

(1) のアサインエリアは, 合計 9 つのパートから構成されている. パートの詳細は表 2 のとおりである. 1 つのパートやアサインエリアに適用する個体が 1 つでも複数の発現が行われる. インタフェースでは上段が 4 つの個体で発現するハーモニーパート, 中段は 4 つのパーカッションパート, 下段が左からメインメロディパート 1 と 2, アルペジオパート, ベースパートである. 中段と下段にはそれぞれ楽器のアイコンが貼り付けられており, 分かりやすくなっている.

(6) は写真表示エリアであり, 写真が 8 枚表示されている. 一番上の 2 枚が白い枠で囲まれているが, この白い枠が現在再生されている 1 小節の音楽の基となっている写真であることを示す. 前述のとおり写真は 2 枚 1 組で扱われ, 1 小節進むごとに白い枠も下へ移動していく. (5) の一番左側に表示されている “Next Page” ボタンを押すことで, 次の 8 枚へページを進められる. ページを進める指示をした直後に新たな写真情報を用いてすべての発現がやり直されるため, 生成される音楽もがらっと変わることがある. 特に採用した発現では和声進行が変わる印象が強かった.

図 6 では, 個体アイコンは (3) の子エリアに存在してい

る. 個体が置いてないエリアは (1) や (2), (4) のように灰色で表示されるが, 個体が置いてあるエリアは染色体から HSB カラーを生成しアイコンの色としている.

同じようなインタフェースを採用する Mutasynt では遺伝子表現が GA であり, アイコンとして GA 型の染色体からヒモ状のマークを生成しアイコンとして使用しているが, GP 個体の構造からヒモ状のアイコンを生成して使用したところ, 被験者の評価は芳しくなかったため, 染色体から HSB カラーのパラメータを抽出し染めただけのアイコンを用いた.

四角い個体アイコンは, ドラッグアンドドロップで別のエリアへコピーする. 個体アイコンを移動させることで評価付けを行う対話型インタフェースは, 個体そのものに評価をつけるインタフェースに比べユーザの疲労度が少ないことが分かっている [15]. このインタフェースでは, 親として選ぶ評価付け動作と, 発現へアサインする動作, Genome Storage への移民させる動作を, まったく同じドラッグアンドドロップの統一的な動作として実装している. これにより世代の概念を薄くし評価付けの精神的負担軽減を狙っている.

### 3.5 写真の持ち寄りによるセッション

この実装した写真から音楽を生成するプロトタイプでは, ユーザが写真を持ち寄りセッションを行うことが可能になっている. OpenSound Control によりサウンドエンジンのみを共有し, GUI や写真データはそれぞれのユーザの端末で実行される. またプログラム個体のユーザ間の移民も可能になっている. たとえばユーザごとに生成するパートを分担してセッションを行ったり, それぞれの個体をやりとりしながら一緒にパートを作っていくたりするなどの



セッションが考えられる。

また、音楽を生成しているユーザ以外の聴衆にもリアルタイムで理解されやすい写真を用いることにより、写真を発端としたユーザ間だけでなく聴衆とのコミュニケーションが生まれることが期待され、たとえばパーティゲームとしての応用も検討している。

さらに、前述のとおり近年ではアカデミック系の電子音楽だけではなく、クラブ系の音楽シーンでも乱数要素や会場の雰囲気や音楽をリアルタイム生成する動きが強くなっている。またVJなど映像との連携も含め、映像・音楽ともにその場の雰囲気のみで生成されることの重要性も強くなっており、観客が持ち込んだ写真をもとに音楽を生成するというパフォーマンスも考えられる。

## 4. 考察

### 4.1 プロトタイプシステムのパフォーマンスでの利用

実際にシステムを用いて、著者は何度かのパフォーマンスを行った。1度のパフォーマンスの長さは5分から10分程度である。2通りのパフォーマンスのデモビデオを示す<sup>\*4</sup>。

1つ目はエレクトロニカ系を想定した明るめのスケール、音色とリズムパターンを採用し、2つ目はビートを重視した暗めのスケール、音色とリズムパターンを用いている。大きく印象が違う2パフォーマンスが生成されている。表2で示した発現はすべて同じものを採用しており、大きな印象の違いは、乱数の影響のほかに、3.1節で前述したサウンドモジュールのエフェクタやパラメータのごく少量の変更によって生み出されている。

実際のライブパフォーマンスでは、曲ごと、もしくはステージごとにこのサウンドモジュールを変更することで、様々な演出を行うことが可能になっている。

この結果から、提案する手法が様々な形態、イメージの音楽を生成することが可能になっていると考えることができる。

### 4.2 ユーザからの評価

提案手法と実装プロトタイプの評価を行うため、2人の被験者に実際にプロトタイプを使用してもらった。得られた感想をもとに考察を行う。

被験者は2人ともアマチュアの音楽家である。1人目の被験者は、普段既製品ソフトウェアを用いてループ系音楽のライブ活動を行っている。音楽だけでなく、日によってはVJとしての活動を頻繁に行っている。2人目は、プロトタイプが実装されているリアルタイム音楽処理言語

SuperCollider のもとのユーザであり SuperCollider を用いてループ系やその他の音楽を制作している。ただしクラブパフォーマンス専門ではなく、SuperCollider を用いて FixedMedia の作品を Web 発表する機会も多い。

#### 4.2.1 一般のループ系音楽制作者

1人目の被験者の、既製品ソフトウェアを普段利用しているループ系音楽制作者に、プロトタイプシステムを使用してもらい得られた感想は、大きく次の4点である。

- (1) 個体どうしの掛け合わせによって思ってもみなかった、しかし確実に親の性質を受け継いだ旋律が出てくるのが面白い。
- (2) 写真ページによって和声進行が大きく変わるのが良い。
- (3) 画面上で写真をもっとフィーチャしてほしい。
- (4) もっと音色をリアルタイムに「いじりたい」。

(1)に関しては、提案手法の特に染色体の木構造トポロジから生成される旋律の掛け合わせに関しては、明らかに親の性質を受け継いでいることが音楽家の能力で理解されていることが示されている。このような性質の受け継がれ方が旋律に現れ、音楽がそれによって構成されていくことは、本論文の提案する Breeding の概念が成功していると考えられる。

(2)に関しては、被験者が和声進行<sup>\*5</sup>に強く興味を持っており、生成される4小節分の和声進行をリアルタイムで画面に表示し、システムから生成される旋律やテキスト音を使ってジャズ系のミュージシャンとリアルタイムセッションを行いたいという要望を得た。

(3)に関しては、被験者がVJとしての活動も多く行っていることから出た要望だと考えられる。聴衆に見せる画面には写真が大きく出るようにしてほしい、とのことであった。音楽と写真の印象の一致が必要かと訪ねたところ、それほど必要性は感じないとの回答であった。さらに、写真をページ単位ではなくもっと自由にドラッグアンドドロップで動かして音楽を生成していきたい、との要望を得た。これらの要望への対応は実装は比較的容易であり、これから実装を行っていく。

(4)に関しては、既製品のループ音楽制作系のソフトウェアの多くが、音色をリアルタイムにツマミを「いじる」ことにより音色をリアルタイムに変更できるインタフェースを多く持っていることが影響していると考えられる。また KORG の製品群のように二次元平面の座標でエフェクトのパラメータをコントロールできるデバイスも、この手の音楽家には愛用されている。特にテキスト系の音色についてそのような要望が強かった。

そこで、個体のアイコンの上にユーザが自由に動かせるツマミを用意して、算術演算の結果程度は染色体とは関係

<sup>\*4</sup> (1) [http://cad.lolipop.jp/movie/CACIE\\_PA\\_DemoPlay\\_Electronica.m4v](http://cad.lolipop.jp/movie/CACIE_PA_DemoPlay_Electronica.m4v)  
(2) [http://cad.lolipop.jp/movie/CACIE\\_PA\\_DemoPlay\\_Dontsuku.m4v](http://cad.lolipop.jp/movie/CACIE_PA_DemoPlay_Dontsuku.m4v)

<sup>\*5</sup> 被験者本人は「コード進行」という言葉を用いていたが、システムからはコード形式では表記できない和音も出力されるため、本論文では和声進行と記述する。

なしに「いじる」ことができる、もしくはツマミを動かした結果から染色体を逆に最尤推定などの方法でリアルタイムに算出するなどの解決策を、今後検討していくことを考えている。

#### 4.2.2 SuperCollider を用いるループ系音楽制作者

2人目の SuperCollider を日常的に利用している被験者から得た感想は、大きく以下の2点である。

(1) 設計やパフォーマンスの流れが分かりやすく、少し値を変更したり、自作シンセサイザやエフェクタを挿入したりすることで、自分のオリジナルの曲を作りパフォーマンスを行うことができる。

(2) 単純な乱数で作り出すよりもパフォーマンスが面白く制作者/演奏家の意向が出やすい。

(1)に関しては、標準的な設計で作られているので、値を変更する、もしくはアルゴリズムを追加する方法を理解していれば、容易に自分のオリジナルの曲を、自分でも思いつけなかったアプローチから作ることができる、との感想であった。

しかしこれは、将来的な目標である iPad などのデバイスに実装したときに問題となる。iPad の実装でユーザがプログラミング可能なインタフェースを用意することは困難であり、かつ iPad のユーザはそれを求めていることが想像されるからである。

そこで現状の実装は残しつつ、より一般のデバイスで楽しめる音色変更などのインタフェースの方向性の実装を検討する必要がある。

(2)に関しては、進化論的計算を採用した一番のメリットが評価されている。前述のとおり乱数を用いる手法は広まっているが、乱数はただ出てくるものを採用するかどうか決めるだけで、音楽的にそこから先へユーザの意思によって進むことができない。その点で提案手法はユーザに評価されていると考えられる。

また、リアルタイムでパラメータを操作するインタフェースも用意してほしいという要望は、1人目の被験者と同様であった。そのほかに、2.3.1.3 で前述した時系列同定などに用いる関数群を用いての音色のエンベロープ生成に非常に強い興味を持っていた。

#### 4.3 対話型進化論的計算システムとしての考察

Simulated-Breeding と Genome Storage の併用による世代を用いない進化プロシージャ、そしてそれに適したアイコン移動のユーザインタフェースは、少ない個体でも極所解に陥って進まなくなることを防ぐ非常に良い効果があると著者は考えている。

実装した写真から音楽を生成するシステムでは、世代の概念がないため厳密には通常の IEC や非対話型進化計算と比較できる「個体数」ではないものの、8個体のみで十分なクラブ系ループ音楽生成パフォーマンスを行うことが

可能であった。これはユーザが音楽旋律の最適化ではなく“Breeding”であるという意識を持つことも大きい。点数をつけなければならない、最適化を進めなければならない、という気負いから逃れ、おもしろい個体が2つあれば交配してみればいいという気軽な気持ちで操作を行うことができた。

また以前に通常の世代の概念があるプロシージャを用いたパフォーマンスを行ったアーティストがいたが、すぐに収束していく様子が聴衆にも分かり、まともなパフォーマンスにならなかった。今回のシステムでの10分程度のパフォーマンスでも行き詰まったという感じはなく短く感じるなど、再初期化の効果は十分にあると考えられる。

遺伝子表現と複数の発現に関しては、実装したシステムでは、Genome Storage に8個体収納できるとはいえ、集団そのものの個体数8に対し、アサインすることができる発現が9パートで12個体分用意されている。通常の1個体1発現の遺伝子表現であれば圧倒的に集団の個体数が少ないが、共進化と多目的最適化を取り込んだ提案手法を用いることで、少ない個体数でも十分に機能しているといえる。

以上のことから、提案手法の Simulated-Breeding と Genome Storage を用いた世代の概念がないプロシージャと、共進化と多目的最適化の取り込みといえる複数の発現を利用できる遺伝子表現は有効に働いていると著者は結論づける。

また、実際の使用においては、著者自身の提案システムを用いた曲が複数発表されており、クラブ系音楽のインプロビゼーションシステムとしても、これから先のパフォーマンス自身により様々なサウンドエンジンの実装などに可能性があると考えられる。

#### 5. まとめ

本論文では、対話型進化論的プログラミングを用いて、クラブ系ループ音楽をリアルタイムに生成し、交配や進化のメカニズムを用いて音楽時系列を生成するパフォーマンスを行うための手法の提案を行い実装を示した。世代を用いない進化プロシージャと複数の発現型を1つの染色体から生成する遺伝子表現と共進化と多目的最適化の実装により IEC の問題点である少ない個体数を有効に活用し、写真アルバムの実験結果という入力素材を用いてクラブ系ループ音楽を生成し Breeding そのものやクラブ系ループ音楽のリアルタイム生成パフォーマンスを楽しめることを示した。

しかしながら検証は十分とはいえず、実際のクラブの DJ やトラックメイカなどに本システムを用いて何度もプレイしてもらい、評価、改善を繰り返していく必要がある。

そのため、今後の計画として、特に写真から音を変換するシステムに関しては、Apple コンピュータの iPad などの写真が溜め込まれるユーザ経験を推奨するタッチデバイ

スに実装を行い、実際に様々なアーティストや一般の人にシステムを使用してもらうことを計画している。

#### 参考文献

- [1] Agon, C., Assayag, G., Laurson, M. and Rueda, C.: Computer Assisted Composition at Ircam: PatchWork & OpenMusic, *Computer Music Journal*, Vol.23, No.3 (1999).
- [2] Berg, P.: AC Toolbox, available from (<http://www.koncon.nl/ACToolbox/>).
- [3] Burton, A.R. and Vladimirova, T.: Generation of Musical Sequences with Genetic Techniques, *Computer Music Journal*, Vol.24, No.4, pp.59–73 (1999).
- [4] Cope, D.: *Computer Models of Musical Creativity*, MIT Press, Cambridge (2005).
- [5] Dahlstedt, P.: A MutaSynth in parameter space: interactive composition through evolution, *Organized Sound*, Vol.6, pp.121–124 (2004).
- [6] Dahlstedt, P. and Nordahl, M.G.: Augmented Creativity: Evolution of musical score material (2004).
- [7] Goldberg, D.E.: *Genetic Programming: On the Programming of Computer by Means of Natural Selection*, MIT Press (1992).
- [8] Johanson, B.E. and Poli, R.: GP-Music: An Interactive Genetic Programming System for Music Generation with Automated Fitness Raters, Technical Report CSRP-98-13, School of Computer Science, The University of Birmingham (98).
- [9] Laine, P. and Kuuskankare, M.: Genetic Algorithms in Musical Style Oriented Generation, *Proc. 1st IEEE Conference on Evolutionary Computation*, pp.858–861, IEEE, Washington D.C. (1994).
- [10] Lerdahl, F. and Jackendoff, R.: *Generative Theory of Tonal Music*, MIT Press (1983).
- [11] Putnam, J.B.: Genetic Programming of Music, Unpublished Manuscript, Socorro, NM: New Mexico Institute of Mining and Technology (1994).
- [12] Takagi, H. and Ohsaki, M.: Interactive Evolutionary Computation-Based Hearing Aid Fitting, *IEEE Trans. Evolutionary Computation*, Vol.11, No.3, pp.414–427 (2007).
- [13] Taube, R.: Common Music, available from (<http://commonmusic.sourceforge.net/doc/cm.html>).
- [14] 安藤大地, Dahlstedt, P., Nordahl, M.G., 伊庭齐志: 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).
- [15] 安藤大地, 稲田雅彦, 丹治 信, 伊庭齐志: 能動的音楽聴取インタフェースの作曲支援 IEC への取り込み, 第 73 回情報処理学会音楽情報科学研究会, pp.1–6 (2007).



安藤 大地 (正会員)

2002 年国立音楽大学音楽学部音楽デザイン学科卒業。2004 年スウェーデン IT University of Gothenburg, Art & Technology コース修了。スウェーデンチャルマース工科大学より M.Sc. 2009 年東京大学大学院新領域研究科

基盤情報学専攻博士課程修了。博士 (科学)。2009 年より首都大学東京システムデザイン学部インダストリアルアートコース助教。進化論的計算を用いたアート創作・分析や創作支援システムに興味を持つ。