

計算美学尺度と進化計算法による抽象動画の全自動制作の試み

An experiment on fully automated production of abstract animations by evolutionary computing and computational aesthetic measures

畝見 達夫

Tatsuo Unemi

創価大学 工学部 情報システム工学科

Department of Information Systems Science, Soka University

Evolutionary computing based on an aesthetic measure as fitness criteria is one of the possible methods to let a machine makes art. The author developed and set up a computer system that daily produces ten short animations of a sequence of abstract images and a sound effect. The criteria employed in this system is a combination of a number of statistical measures on both geometrical arrangement and color distribution, such as complexity and the power law. These measures based on image processing techniques are effective to induce viewer's interest in a perception level of cognitive process. The produced pieces are automatically published on the internet using HTML5 and WebGL technologies. Their digest versions are also uploaded on a popular web service of movie sharing, and the link information is posted on public SNS. It is still in an experimental level but it has often succeeded in attracting the viewers.

1. はじめに

パズルやボードゲームを例題に始まった人工知能研究も、パターン認識、概念操作による問題解決や学習等に標的が広がり、その成果のいくつかは様々な分野で実用的な応用に供されるようになった。人間の知的活動のうち、人工知能研究の対象として興味深い領域であるにもかかわらず、一部の先駆的研究 [Cohen 95] を除き十分な取り組みがなされていない課題の 1 つとして「芸術的創造」がある。科学が担った「真理」の探求と並び、人類始まって以来の永遠の課題として、芸術家とよばれる人々を筆頭に多くの人々によって「美」の価値が追求されてきた。それらの中で、学術的成果の 1 つは「美学」体系化の試みであろう [Levenson 03]。美の基準は多分に個人的あるいは社会的経験と文化に依存するものではあるが、一方、人間がもつあらゆる知的活動がそうであるように、人間の情報処理に依拠する限り、何らかの普遍的要素が存在するはずである。

以下では、進化計算による視聴覚作品の生成について筆者が行っている研究の中から、人手を介さず計算機システムが自動的に毎日作品を創作し続けるシステムを紹介する。

2. 進化過程の概要

以下に述べる視聴覚作品の生成は筆者が開発したソフトウェア SBArt [Unemi 09] に基づいている。このシステムは、対話型進化計算法 [高木 98, Takagi 01] により画像を育種するツールとして作成され、1993 年に UNIX ワークステーション上で稼働する最初の版が公開された。原理的には、この分野で先駆的な役割を果たした [Sims 91] の人工進化システムと同様に、関数式を表現する木構造を遺伝型として用いる。この関数は、 (x, y, t) で表される時空間座標から、色相、彩度、明度で表される色空間への写像を表現する。ここで、2 次元ベクトル (x, y) は画像内の画素の位置を表し、変数 t は動画におけるフレームの時刻を表す。それぞれの関数式を構成する関数記号として、負号、絶対値、三角関数、指数関数など 9 種類の 1 引数関数と、加減算、乗除算、冪乗、座標回転など 10 種類

の 2 引数関数を用意する。また、木構造の終端に対応する変数として、上記の 3 つの変数の順列に基づく 3 次元ベクトル、定数として 3 つの実数からなる 3 次元ベクトルを用い、関数も引数と演算結果の両方に 3 次元ベクトルをとるものとする。ほとんどの関数は、3 次元ベクトルの各要素に独立に演算を適用するが、第 1 引数と第 2 引数の第 1 要素の大小により、一方の引数を結果とする選択的な関数も用意した。これらは、異なる 2 つのパターンのカラーージュを生成する。遺伝型の関数式の変数に画素の位置情報を代入し、結果を画素の色として、矩形領域内のすべての画素について計算を行い、画像を生成する。時刻が進む毎に指定されたフレームレートに従って時刻変数の値を変え、新たなフレーム画像を生成し次々と表示することで、動画を実現する。

元々はユーザの選好に従った育種を行うツールとして開発されたが、[Machado 02] や [Heijer 10] に刺激され、その拡張として自動的な進化過程を実装した [Unemi 12a]。進化過程は最小世代間格差 (Minimal generation gap, MGG) モデル [佐藤 97] に基づく世代交代および、遺伝的プログラミング [Koza 92] で用いられる部分木交換による交叉と記号変更による突然変異を採用した。大きさの異なる部分木の交換によって生じる構造の無制限な拡大を抑制するため、1 つの式が含む記号数の最大値を 120 に制限した。選択のための適応度評価には、次章で述べる計算美学尺度を用いる。

1 つのフレーム画像の生成には画素数に比例する計算量が必要となり、以前の版では 10 秒以上かかっていた。近年の進歩が目覚ましいグラフィックプロセッサユニット (GPU) の並列処理能力を生かすようシステムの改良を行った結果、現在の版では、標準的なビデオフレームレートの 1 つである 1/30 秒以内に 1 枚の画像を描画することが可能になった [Unemi 10]。

3. 計算美学尺度

様々な視聴覚芸術作品について、人間の批評家と同等の判断が下せる計算機システムを開発することは、計算創造性研究の究極の目標かもしれない。[Galanter 12]にあるように、これまでも幾人もの研究者がこのテーマに関心をもち、それぞれの取り組みを行ってきた。美の評価基準は個人の経験と文化か

連絡先: 畝見達夫, 〒 192-8577 東京都八王子市丹木町 1-236
創価大学工学部, 042-691-9429, unemi@iss.soka.ac.jp

ら強く影響されることは明らかであるが、一方、感覚組織や脳での信号処理機能にも依存しており、このような知覚レベルの処理は、文化や人種によらず人類に普遍的な要素を多く含むものと仮定してよかろう。また、効率的な情報処理の合理性の上からは、複雑さやゆらぎについての数理的な理論との親和性が予想される。

ここでは、静止画像についての以下のような6つの評価尺度を実装した。(1) JPEG 圧縮をもちいた擬似的な複雑性の評価、(2) 全域的コントラスト、(3) 明度傾斜角度の分布、(4) 色相値の頻度分布、(5) 明度値の頻度分布、(6) 彩度値の平均と分散。個々の計算方法の詳細および尺度間での標準化の方法については [Unemi 12a] を参照されたい。これらすべての評価手続きは、よく知られた画像処理の技法を用いて容易に実現できる。(4) および (5) のための理想的な分布を設定するため、千枚のスナップ写真を分析し、その平均分布を用いることとした。予想通り、分布はほぼベキ法則に従うが、ランク上位の部分は逆数に近くなる。(6) は色彩の鮮やかさに関するもので、システム上ではユーザの好みを反映できるようになっている。ここで述べるシステムでは、初期は派手な色彩に設定したが、その後、上述のスナップ写真の分析結果を反映し、ややグレーに近い設定に変更した。これらの尺度はすべて必要条件であると考え、重み付き幾何平均をとることで全体の評価とした。

さらに、動画として評価するには、各フレーム画像の評価とともにフレーム画像間の変化にも注目すべきである。しかしながら、動画を構成するすべてのフレームについてそのような計算を実行するには多くの計算を必要とし、現在、安価に利用可能なコンピュータシステムで実用的な時間内に計算を終えることは難しい。たとえば、高解像度の1分間の動画に含まれる画素数は約2ギガである。これを簡素化するため、ここでは、画像の大きさを 512×384 に縮小し、動画中の10カ所のフレームのみについて計算することとした。それでも、計算の対象となる画素数は約2メガである。フレーム間の画像の変化については、抜き出した10の各フレームについて、その直後のフレーム画像と、同位置の画素の色差の平均値を評価に用いることとした。この値が大きいくほど変化が大きいくものと見做し、理想的な値との差を評価値に反映する。

4. 自動化された制作過程

以下に述べる自動的な創作過程により、2011年10月6日から毎日10個の20秒間の映像作品が作り出され続けている。筆者の研究室に設置されたマシンが毎朝決まった時刻に起動され、ランダムに初期化された集団から初めて200ステップの世代交代が実行される。集団サイズは80であるが、初期は20個体のみで、最初の30ステップにおいて産み出された子個体で残りの集団が埋められる。また、初期収束を防止するために、50ステップ毎に新たにランダムに生成した5個体を下位個体と入れ替える。最終世代の集団から適応度の上位10個体について、次章で述べる公開用のデータを生成する。同時に動画に同期した効果音も合成 [Unemi 12b] し公開用の音声データを生成する。

開始以来2014年3月11日現在まで、2個の3GHz Intel Xeon デュアルコアプロセッサ、GeForce 7300 GT グラフィックスボード、MacOS X 10.6を備えた初代 MacPro 2006 を利用しており、上記の進化過程には約90分を要しているが、最新のマシンを利用すれば処理時間を半分以下に縮小することが可能である。

全体の処理過程は、下記の付加的な作業も含め AppleScript

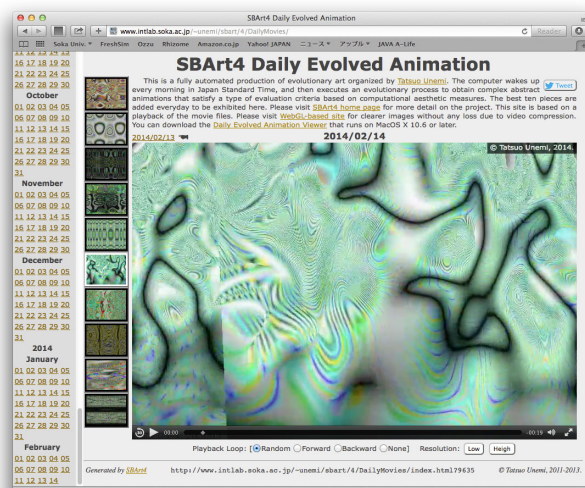


図 1: 動画ファイルを参照するウェブブラウザでの表示画面の例。

で書かれたプログラムにより制御される。ウェブ上での作品公開と同時に、6秒間ずつを抜き出して1つにまとめたダイジェスト版を YouTube に投稿し、さらに最近30日間のダイジェストを並べたプレイリストを編集する。YouTube 上の動画の URL を twitter (@SBart4_bot) に投稿する。また、それらの処理過程のログ情報を電子メールで筆者に伝達する。

残念ながら毎日の作成過程がすべて順調に稼働するわけではなく、これまでに何回かバグや設定ミス等で処理が完了しない場合があった。筆者が現場で直ちに復旧作業を行えない場合は、VPN や VCN を利用した遠隔からの操作を可能とする設定も用意し、実際に数回これを使って復旧した。

5. 作品の公開

インターネット上での作品の公開も自動化するため、以下に述べるような3種類の方法を用意した。1つは動画ファイルのダウンロードあるいはストリーミングによる方法、2つ目は、HTML5 と WebGL による方法、3つ目は専用のアプリケーションソフトウェアによる方法である。いずれの場合も動画はユーザの指定に従って自動的に次々と再生される。再生順序は、ランダム、日付順、日付逆順から選択できる。また、GUIとして用意されたカレンダーから日付を選択することで、その日に作成された動画の一覧がサムネール画像で表示され、その中から好みの動画を選択することも可能である。図1に動画ファイルを参照するウェブブラウザでの表示画面の例を示す。

5.1 動画ファイル

一般的に広く使われているウェブブラウザでの再生が可能となるよう、H.264 と Ogg Vorbis 2種類の動画ファイル形式を用意する。新たな作品の公開に伴うサーバ内ファイルの構成および HTML ファイルの変更も動画ファイルのサーバへのコピーの直後に自動的に行う。ユーザとの相互作用は JavaScript で記述されたプログラムにより制御され、ブラウザで閲覧を開始すると同時に、最新作品から順に、次々と動画が再生される。URL は <http://www.intlab.soka.ac.jp/~unemi/sbart/4/DailyMovies/> である。

動画制作によって、1日平均約346メガバイトのディスク領域が消費され、1年間では約126ギガバイトとなるが、この

程度の容量は、最近の安価な消費者向け商品のディスクシステムで十分対応できる範囲である。

5.2 HTML5 と WebGL

動画ファイルを使った配信における欠点の 1 つは、画質とデータ量のジレンマである。一般にインターネットを用いて閲覧される映像は、ビデオカメラで撮影、または、人が描いた素材、および、それらを加工したものであることがほとんどで、それを前提に設計された圧縮技術により、ユーザが満足のいく品質で配信されている。そのため、一般ユーザのインターネット環境には、非圧縮映像を長時間で受信するほどの通信帯域幅は必要とされていない。しかし、ここで創作される映像は一般にはない複雑さと素早い変化を伴う場合も多く、通常の圧縮を適用すると、しばしば、受け入れがたい画質劣化が生じる。

幸い、ウェブブラウザ上で画像を合成する WebGL [Khronos Group 14] の技術が 2006 年頃に開発され、現在では多くのブラウザで実行可能になっている。2 次元グラフィックスを描くために用意された HTML5 の canvas 要素を用い、JavaScript で書かれたプログラムで指示することにより、OpenGL ES と同様な 3 次元画像を描画することができる。ここでは、描画とともに通信とユーザインタフェースの制御についても JavaScript にて制御する。元々 SBArt では、遺伝型をシェーダ言語に変換し GPU で実行可能なコードにコンパイルして画像を得ているので、WebGL で使えるシェーダ言語に適応することはさほど難しくはない。

WebGL を用いることの利点は、サーバから送られるデータがプログラムコードであって映像ではないという点である。これにより通信量を大幅に削減でき、また、劣化の全くない映像を描画することができる。描画速度はユーザ側のマシン性能およびブラウザの JavaScript 実行効率に依存することとなるが、最近のパーソナルコンピュータであればほとんど無理なく滑らかな映像を得ることが可能である。

効果音については、データ量がさほど大きくないこともあり、あらかじめ作成した音声ファイルのデータをサーバから送信することで実現する。16 ビット、2 チャンネル、サンプリングレート 44.1 kHz の AAC 方式で圧縮された音声データの大きさは、20 秒間で約 330 K バイト程度である。映像の時間管理は、音声データを基準に、再生中の音声の時刻に応じた画像を表示するよう描画プログラムを定期的に呼び出す。WebGL 版の映像は <http://www.intlab.soka.ac.jp/~unemi/sbart/4/DailyWebGL/> にて公開している。

5.3 専用アプリケーションソフトウェア

ウェブブラウザによる閲覧は、ユーザ側マシンの種類に対する依存性が少なく、多くの人々に観賞してもらうためには都合が良いが、反面、ブラウザの性能、特に JavaScript の実行効率によっては、マシン本来の性能を生かしきれず、たとえば全画面での再生が十分滑らかに見える速さで描画できないような場合がある。これを解決する手段として、閲覧用の専用アプリケーションソフトウェア DEAView を開発した。動作の仕組みは WebGL 版とほぼ同じだが、描画や通信の制御が JavaScript ではなくマシンの機械語に翻訳されたプログラムによって実行されるため、ハードウェア性能を十分に利用することができる。このソフトウェアは OS X 10.6 以降で動作する。MacBook Pro Retina Core i7 2.3GHz に 4K モニターを接続した環境で、30 FPS で劣化のない滑らかな描画可能であることを確認した。描画には OpenGL を利用するため、シェーダ用のコードも若干変更が必要となるが、専用のコードをサーバ側に用意せずに、WebGL 用のコードをプログラム内で自動変

換することで対応する。バイナリコードは App Store から無料でダウンロード可能である。詳細は <http://www.intlab.soka.ac.jp/~unemi/sbart/4/deaviewer.html> を参照されたい。

6. 今後の拡張

6.1 作品についての分析

創作過程の開始から既に 2 年半以上が経過し、作り出された作品数が 9,800 を越えた。本来なら作品群についての何らかの分析を行うべきであるが、これに関してはまだ計画の段階である。各進化過程では相応の適応度を持つ個体が得られているが、各項目毎の分布なども調べるべきであろう。また、人間による選好順序との相関についても主観評価実験を実施すべきと考える。これまでに創作された作品を見る限り、おおむね興味深い映像の生成に成功しているが、筆者の目から見て、それほどでもない映像が含まれていることも事実である。上述の尺度は合理的あるいは直感的にもっともらしいものに過ぎず、実験による検証が必要であろう。個人や文化に依存しない尺度の抽出は困難かもしれないが、そのことを明らかにできれば、それはそれでも価値があると考えられる。

6.2 構図の評価

ここで採用した評価尺度で考慮されていない要素として「構図」がある。絵画や写真の初心者向けテキストにもよく取り上げられる特徴として、対称性、調和、リズム、などがあるが、いずれも直感的な言葉と例が示されるのみで、人間が判断する基準と同一の尺度を自動的に計算する手続きを作ることは 1 つの研究課題である。対称性や 3 分の 1 規則などは、いくつかの工夫が必要となるせよ、画像処理により抽出するにはある程度可能と思われる。

6.3 画像変化の評価について

動きの評価についても再考が必要であろう。ここで用いた単純な方法は 1 つの近似として無駄ではないにせよ、動きそのものを反映するものではない。時間的に変化する画像から、動きを検出する手法はオプティカルフローの名で、監視カメラや手振れ補正などの工学的用途に広く使われており、制度と処理速度のバランスの視点から複数の有用な方法が確立されている。もちろんこの技術は単に動きを空間上のベクトル分布として抽出するだけであるから、それを元にどのように善し悪しを判断するかは、計算美学尺度の問題として新たに解かなければならない。画像のコントラストや複雑さの指標はヒントになるかもしれない。また、動きの方向と大きさの分布についても、ゆらぎに関する法則が適用できるかもしれない。

6.4 複数の尺度の組み合わせ方

尺度間の組み合わせ方についても、再考する必要がある。上述の尺度については、ランダムに生成した関数式を用いて描いた画像を対象とした統計では、尺度間の相関は低く、どの要素も加味する意味があると判断されたが、最終評価としてまとめる方法については、議論が必要であろう。上述の通りここでは幾何平均をとることで、どの尺度についても悪くない評価値を得ることを条件としたが、重み和や最大値あるいは最小値、さらにそれらの組み合わせを考えることで、必要条件か十分条件か、尺度の代替が許されるかなどの点を加味できるよう、設定に柔軟性を持たせ、実験を行うことも無意味ではないと思われる。また、多目的最適化問題として捉え、それを対象とした進化計算法研究の成果を導入することもあるであろう。

6.5 進化過程の拡張

世代交代モデルについても、ここで導入した最小世代間格差法以外の方法を試すことも有益かもしれない。そもそも芸術的創造は、客観的に定義された評価基準に従い真の最適解を求めるような問題領域とは異なり、ある程度の評価基準を満足し、かつ、目新しい解を見つけることが重要となる。と同時に、他とは異なるスタイルを確立することも重要かもしれない。過去に公表した作品との類似性についての尺度を導入し、スタイルの発見と多様性の維持について考えるべきであろう。

6.6 経験との連想を伴う表現

日常あるいは空想上の何かを連想させる画像について評価するには、それらの知識が必要となる。人間が創作する芸術作品には多くこれらの要素が含まれており、現実であれ虚構であれ、なんらかの疑似体験を呼び起こす刺激が、人の感情を動かす強力な仕掛けであることは誰も否定しないであろう。このような要素は文学作品へのアプローチと共通するものであり、人工知能研究の立場から総合的な研究が待たれる部分でもある。

6.7 美学尺度の試験台としての拡張

ここで紹介したシステムを改良することで、計算美学尺度の研究における1つの試験台を提供できるかもしれない。研究者が設計した評価計算法を、進化過程に容易に埋め込めるようなプラグイン・モジュール化の仕掛けを開発し、それに基づいた多くの作品を生成するシステムが用意できれば、それらを対象にした主観評価実験によって検証を繰り返すことも可能になる。

7. おわりに

以上、抽象的な視聴覚芸術作品を自動的に創作するプロジェクトについて紹介してきたが、これは美学尺度の問題だけではなく、さらに芸術の意味について根本的な問題を議論する材料をも与えるものである。

「美」の一手前の基準として、視聴覚刺激についての「興味深さ」や「奇抜さ」などの研究は、「人は何に惹き付けられるか?」という心理学的関心とともに、「人を惹き付けるデザイン」という工学的応用への可能性もはらんでいる。このような研究は売れる商品のデザインを効率よく見つけ出すという意味でも有用かもしれない。

しかし、芸術活動とは何かという視点から見ると、評価は分かれるであろう。近代以降、個々の芸術作品について作者が表に出され、作品の意味に作者の人としての履歴が付いてまわるようになった。つまり、単なる視聴覚刺激としてだけでなく、それが創作された様々な背景、作者の人生経験や社会的状況といった文脈の中で作品の意味が語られる。ここで述べた計算による創造の背景には、そのような作者の人生は存在しない。有名作家の権威に頼ったアートマーケットに対する批判としてのダダイズムやレディメイドの運動も、その運動に関わる芸術家の人生と、芸術の社会的位置づけの文脈で語られるところに価値が見いだされており、計算機による創造も、その計算機システムを企画・設計した人間を文脈に組み込むことでそれを芸術たらしめる以外ないのかもしれない。

参考文献

[Cohen 95] Cohen, H.: The Further Exploits of AARON, Painter, *Stanford Electronic Humanities Review*, Vol. 4, No. 2 (1995)

[Galanter 12] Galanter, P.: Computational Aesthetic Evaluation: Past and Future, in McCormack, J. and d'Inverno, M. eds., *Computers and Creativity*, chapter 10, Springer-Verlag, London, UK (2012)

[Heijer 10] Heijer, den E. and Eiden, A. E.: Using Aesthetic Measures to Evolve Art, in *WCCI 2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence*, pp. 4533–4540, Barcelona, Spain (2010)

[Khronos Group 14] Khronos Group, : WebGL – OpenGL ES 2.0 for the Web, <http://www.khronos.org/webgl/> (2014), [Online; accessed 11-March-2014]

[Koza 92] Koza, J. R.: *Genetic Programming: On The Programming of Computers by Means of Natural Selection*, MIT Press, Cambridge, MA (1992)

[Levenson 03] Levenson, J. ed.: *The Oxford handbook of Aesthetics*, Oxford University Press (2003)

[Machado 02] Machado, P. and Cardoso, A.: All the Truth about NEvAr, *Applied Intelligence*, Vol. 16, pp. 101–118 (2002)

[Sims 91] Sims, K.: Artificial Evolution for Computer Graphics, *Computer Graphics*, Vol. 25, pp. 319–328 (1991)

[Takagi 01] Takagi, H.: Interactive Evolutionary Computation: Fusion of the Capacities of EC Optimization and Human Evaluation, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 89, No. 9, pp. 1275–1296 (2001)

[Unemi 09] Unemi, T.: Simulated Breeding: A Framework of Breeding Artifacts on the Computer, in Komosinski, M. and Adamatzky, A. A. eds., *Artificial Models in Software*, chapter 12, Springer-Verlag, London, UK, 2 edition (2009)

[Unemi 10] Unemi, T.: SBArt4 – Breeding Abstract Animations in Realtime, in *WCCI 2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence*, pp. 4004–4009, Barcelona, Spain (2010)

[Unemi 12a] Unemi, T.: SBArt4 for an Automatic Evolutionary Art, in *WCCI 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence*, pp. 2014–2021, Brisbane, QLD, Australia (2012)

[Unemi 12b] Unemi, T.: Synthesis of sound effects for generative animation, in *Proceedings of the 15th Generative Art Conference*, pp. 364–376, Lucca, Italy (2012)

[高木 98] 高木 英行, 畝見 達夫, 寺尾 隆雄: 対話型進化計算法の研究動向, *人工知能学会誌*, Vol. 13, No. 5, pp. 692–703 (1998)

[佐藤 97] 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, No. 5, pp. 734–744 (1997)