

リフレクションのための抽象画自動生成ツール

- *ThinkingSketch* -

美馬 義亮・木村 健一・柳 英克

公立はこだて未来大学 システム情報科学部 情報アーキテクチャ学科

Automatic Abstract Drawing Tool for Reflection

- *ThinkingSketch* -

Yoshiaki MIMA, Ken-ichi KIMURA, Hidekatsu Yanagi

Dept. of Media Architecture, School of Systems Information Science, Future University - Hakodate

www.sketch.jp

あらまし：人間が図柄の構想を行い、コンピュータ上でそれらを表現するというスタイルのツールは広く用いられているが、コンピュータが図柄を生成する作業に関わるようなシステムは少数である。*ThinkingSketch*は、創造性をもった図柄生成に関する発想を対話的に支援することを目的とする。本システム上では、1) 既存の絵画や写真などから生成されたカラーパレットを参考にして、作品の中で色彩を割り当てる。(=色のトレース) 2) 既存の絵画や写真の表現を下地にしてなぞる作業を通じてオリジナルな図形プリミティブを作成する。(=形のトレース) 3) 画面の中に乱数によるプリミティブを配置する。4) パラメータと生成ルールにより多数の絵画を生成し、構図の構築、評価を繰り返し行う。このような検討作業を通じ、生成ルールやプリミティブのチューニングを行い、望ましいパターンの生成確率を上げる。ユーザはこの過程の中で自己の好む絵画スタイルの存在を意識し、それらを吟味することが容易になる。加えて、このような枠組みは熟練者への表現における生産性向上の支援にも利用可能であることを報告する。

キーワード：芸術作品の生成、抽象画、インタラクション、リフレクション、創造的作品

Artwork Creation, Abstract Drawing, Interaction, Reflection, Creative Work

1. はじめに

二十世紀初頭の画家であるパブロ・ピカソやピエト・モンドリアンは、生涯をかけ、次から次へと新しい表現スタイルを求める活動を行った[1, 2]。彼らは、芸術活動を単なる作品づくりではなく、作品に対する視点を発見するためのプロセスとして捉え、絶えず新たなビジョンを生み出すことを望んでいた。また、現代美術史の流れ自体が、新たな視点の追求でもある[3]。

このような芸術家の活動には、「継続的な芸術活動で絶えず新しいものを作り続け、新しい作品を吟味することにより、さらに高い評価を得る作品を作る」という継続的な内省的プロセスの存在が存在する。こういった見地から、作品制作過程を観察すると、このプロセスは一般的な塑像や絵画の制作においても、絶えず繰り返されていることがわかる。

美の本質を求める活動がこのような構造をもつことを知るということは、クリエイティブな活動を目指すものにとっては重要なことであるが、芸術分野の初学者にこのような視点を与えることは次の二点で難しい。第一は、表現のためにはまず基礎表現技術を身に付けることが必要と考えられるが、そのために多くの時間を費してしまうこと。第二に、紙やキャンパスを表現手段として用いたときは、構図として成立する為にオブジェクト同士の関係を探る前に、画材に与えられた種々の限界が問題になる。すなわち、構図の試行錯誤を行うことが、絵の具や粘土のような、現在用いられている画材では難しいことである。

我々は以上のような背景をもとに、絵画を対象にして制作過程における内省を活性化させるためのツール *ThinkingSketch* を開発している。このシステムでは抽象絵画を大量に生成するが、美術表現技術の初心者でもその生成のパラメータやルールを変更することは可能である。このシステムの利用者は、これらの変更により図形の配置

や色彩の割り当てが変化し生成される絵の雰囲気が変化してゆくことが実感できる。

本論文では関連研究から研究の位置付けをおこなったあと、このツールの基本的な構成と原理について述べ、このツールの設計の背景を紹介する。その後、芸術教育においてこのツールが与える効果とそれらの発展性について言及する。

2. 関連した研究

ペインティングソフトやドローイングソフト、あるいはレンダリングソフトに至るまで、人間が描こうとするものを決めた後で、可視化するためのツールはいわば紙と鉛筆、あるいは絵の具の延長上にあると考えられる。これらのツールは数多く存在するが、オリジナルの絵画を生成するツールの数は多くない。

乱数によって、芸術作品やデザインを行うという試みが1960年代にベル研のマイケル・ノルによっていくつかなされている[4, 5]。これらは特定の作家の作品傾向の分析およびコンピュータによるアートの可能性を探ろうとする研究であったが、それから対話的なツールを構築するまでには至っていない。



図1. AARON が描いた絵画と Harold Cohen 氏

人間の芸術家のレベルと同等な絵を描くことのできるシステムの代表的なものは AARON[6]である(図1)。AARONは画家でもある Harold Cohen のテイストを実現できるように画家としての知識を備えたプログラムであるといえる。AARON については特別に設計された初期のころのドローイングロボット、あるいは後期に作成された XY プロッタに似たペインタによって、紙やキャンパス上に画家並みの作品を描くことができた。最近はこの AARON が PC 上で稼動し、ディスプレイ上に出力をするようにしたものがインターネット上で公開されている[7]。

AARON と *ThinkingSketch* の違いで一番大きな点は、

AARON が作画におけるテイストを一つに絞り、そのテイストをもつ作画を行おうとしているのに対し、*ThinkingSketch*は操作者と対話することにより新しいテイストを次々に生み出す契機をあたえることを目的としているという点である。

3. *ThinkingSketch* が提供する機能

このツールは Java2 で実装されたオブジェクトをベースにした図形エディタである。直線、矩形、楕円、ベジェ曲線、自由曲線などを基本図形(プリミティブ)として持ち、いつの時点でも再着色や、グループイング、コピー・ペースト、ファイルへの書き出し、読み込みなどが可能な図形編集のための基本機能が実現されている。これらの基本的な機能に加え、絵画的なパターンを自動生成する機能が、付加されているところがこのツールの特徴である。

ThinkingSketch においては、エディタと対話する人間(以後操作者と呼ぶ)が図形を直接的に描くのではなく、*ThinkingSketch* に多数の図形の組み合わせとなる絵を生成させる過程を繰り返す。操作者は望ましい図形を安定して出力できると判断するまで、オブジェクト生成のためのパラメータをコントロールするという使い方を想定している。

以下に *ThinkingSketch*によって絵が生成される仕組みについて述べる。まず、絵を生成するための要素として、1)絵を構成する部品の形態、2)それらの部品の配置、3)部品の配色、の3つの「対象」と「操作」を基本とする。用意された部品は場合によって、乱数をもとに、あるいは規則に基づき、選択され、配置され、色彩の割り当てがなされる。

1) 部品の形態: 表示すべき図形は、あらかじめ複数登録しておくことが可能である。個々の部品としての図形の形態は最終的に生成される絵全体を特徴付ける重要な要素である。これらの部品は、意図的にスクラッチの状態から作ることもできるし、抽象的な絵画を生成する場合には偶然の要素に左右されるものであっても良い。



図2. 下敷きにした絵をトレースする

ここでは、操作者が画面の構成要素として使用するに十分な図柄を描けるだけのドローイングに関する訓練を受けていない可能性をもつこと、さらに、システムに完全に部品の生成を任せると生成される部品が形態として一定の傾向をもつのではないかという懸念がある。このため、本システムでは、既存の画像をベースに操作者が図形を手作業でトレースする(なぞって、写し取る。図2)ことにより部品を生成する仕組みを提供している。

デジタルカメラで撮影した人物、風景やスキャナから読みこんだ画像ファイルをデータとして与えると、それらの画像はエディタ上の壁紙として表示することが可能になる。操作者は、これらの壁紙の上で自由曲線などをもちいて図形を写し取り、新たな図形部品を定義することができる。部品は不定形な図形やグループ化された部品の集合の場合もある。これらの部品は、再利用にして「部品庫」に収納することが可能である。

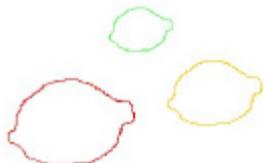


図3. トレースした図形を部品として利用

2) 「部品」の再配置: 絵を表示するところはキャンバスと呼ばれる。部品としての図形は乱数によって決定されたキャンバス上の場所にその複製を配置することができる。(図4)

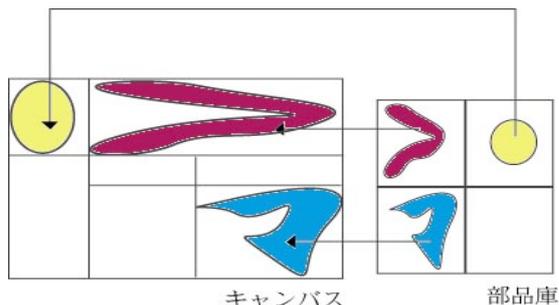


図4. 部品庫からキャンバスへの部品の移動

これらの図形の配置はランダムに行われるが、操作者は、そのオブジェクトの配置方法について規則を与えることができる。このため、部品庫からキャンバスに完全にランダムに図形が配置されるのではない。すなわち、操作者が決めたり、選択したりした配置規則によって *ThinkingSketch* が生成する図柄には一定のパターンが現れる。

現時点で実装されている部品の配置の規則には、既存のオブジェクトの上だけに配置する、あるいは既存のオブジェクトのない場所にだけ配置する、グリッド上に配置する、配置の時に部品となる図形の大きさを変化させる、といったものがあるが、他にも配置をする際の条件として色彩や部品の大きさ、あるいは構図における(上下、左右など)位置、向きの変更など図形の属性によって様々な条件を指定するようにすることが可能である。

構図構成の戦略として代表的なものは、図5のように画面を、乱数を用いて発生させた水平線、垂直線で分割したうえで、部品庫からコピーするオブジェクトのうち、あるものは、画面の底部に置く、あるものは画面の左上部に置くといった単純なものである。たとえば、構成される画面の下方の隅にある矩形をつねに選択し、そこに図形を配置

するなどの戦略を持つということが出来る。この場合は「画面が安定感を与える構図」をもつ図形表現が実現できる。このように与える構図戦略は単純なように見えても、このような戦略の提供により、操作者に配置戦略に対する意識をもたせることが可能である。

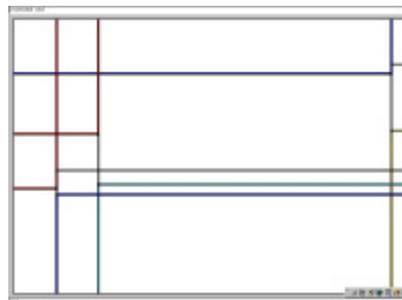


図5. 画面の分割例

3) 色彩の割り当て: 色彩の割り当ては、初学者にとっては形態生成と同様に難しい問題である。このため、既存の画像で使われている色調を抽出して利用可能な機能を実現した。

壁紙として読み込んだイメージの中から代表的な色彩を採り、これらの色彩で構成されたパレットを生成する。色調の性質は代表色のサンプリングや平均化など、様々な方略が考えられるがこの実装では画面をパレットの縦横のサイズにあわせて、メッシュ状に区分し、その区分内の色彩の平均化を行う操作によっている。

このようなパレットを用いて絵の部品を生成することにより、生成される絵画の色彩構成はほとんどの場合安定したものとなる。(初学者からのアンケートなどからも、色相環上の代表色のようなものをパレットとして与えた場合と洗練されたパレットを与えた場合では、成果物の品質が熟練者と同様に有意に異なると理解され、その判断は熟練者と同一のものになるようである。)

一般に初学者は自由度の高いパレットの利用を許すと、同系色や補色など色彩の関係に注意を払うことなく、利用する色彩が多様性をもつような選択をしがちであるためこれらの傾向が出ていると我々は解釈しているが、それらを裏付ける実験等については行われていない。

また、部品配置時に、壁紙として用いた絵だけではなく、既存の画像から採取した別のパレットを用いて、色彩を割り付けるということもまた可能としている。

以上のように、初期図形と配置規則、色彩割り当てが決まれば、これらの規則を繰り返し適用することにより、絵画(的なもの)の自動生成が起こる。その図柄は乱数によるばらつきはあるものの、操作者あるいは第三者からみて、生成された複数の絵画には共通したテイストが存在すると判断できることは興味深い。

4. 対話的な利用と生成される図形

前節で述べた機能は非常に基本的なものであるが、これらを組み合わせることにより、操作者が比較的高いレベルの作品を容易に、しかも、大量に生成することが可能になった。図 6.1、図 6.2 で紹介されているのは、それらの例である。

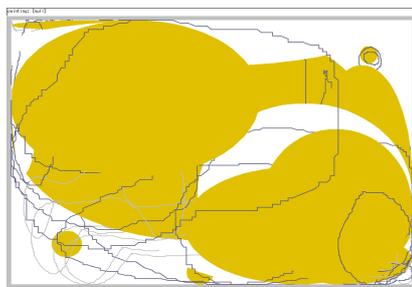


図 6.1. 図形の生成例 その 1

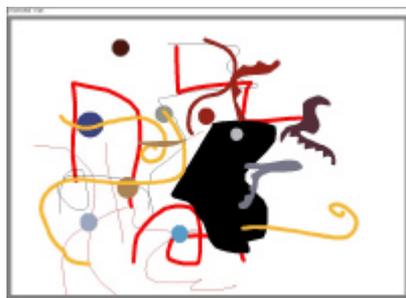


図 6.2. 図形の生成例 その 2

操作者はこのシステムと対話するうち、操作履歴の蓄積あるいは陽に規則を記述することにより、同一の生成規則から、図形としては異なっているもののその絵から受ける印象が非常に似通っている図形が数多く生成できることわかる。また、そのことから、ごく自然に絵画のスタイルの存在に気づく。また、自分に絵を描く技術が無い場合でも、高速に図形オブジェクトを生成することの可能なドローイングエンジンの力を借りて非常に多くの絵を、描かせることができる。そのため、その後、生成規則を変化させるという方法を用いて、自分の力でコントロールを行ううちに多くの一定のテイストをもった絵画群の生成が体験できる。

現在存在する生成規則の一つ一つは、乱数によって生成された矩形のなかに部品を変形あるいは配置することを基本とした小規模なものである。これらの規則を組み合わせることによって、操作者は希望するパターンに近い絵を、あるいは希望するパターンの絵をたくさん手に入れる。現在、存在する配置規則は、いくつかあるが、大きく分類すると以下のような機能を持っている。A) 画面を乱数により 4 つの矩形領域に分割し、左上、右下などにあたる矩形領域に部品庫からオブジェクトを矩形の領域一杯になるように配置する、B) 乱数で決めた画面上の位置に部品の大きさを変えずに配置する、左右や上下への偏りを指定することを許す、C) 乱数で生成された画面上の矩形領域一杯になるように部品を配置する、D) 格子状の位置に部品を配置する。E) すでに部品が配置されている場合それに重なるように部

品を配置する、または、すでに配置されている部品に重ならないように配置する。これらの規則は現在実験的に設けたもので、十分に機能をしているが、さらに発展させるため、どのように拡張すべきかについては今後の課題である。

このように操作者が、直感を用いて変更した規則がどのように生成する絵画を変化させるのかということをはほぼ瞬間的に結果として得ることができるため、操作者とコンピュータはタイトなインターアクションのフィードバックループを構成しているといえる。操作者にとっては、このように高速なフィードバックが起こる体験は、創作活動として写真撮影とも異なる体験であり、鉛筆や絵筆による描画とも異なる体験となる。

同時に、このシステムでもう一つ特筆すべきことがあるとすると、それは一旦好ましいパターンを高確率で生み出すシステムが出来上がったとき、自分の与えた規則を一種のプログラムとして、客観的に分析することも可能にするという点にある。

操作者が望ましいと評価する形態を生成するための規則がどのように組み合わせられているのかについての情報は操作履歴や編集されたテキストという自然な形でシステム内にテキストとして蓄積がなされていく、したがって、結果的に操作者が無意識的に定めた規則が分析でき、現れるパターンの生成の原因は何なのかといったメカニズムについて内省をすることが可能になる。場合によっては、スポーツ選手が自分の姿をビデオで見て反省するときのように、自分ですら気づいていない「くせ」の存在やその正体を見出すことができるかもしれない。こういった、いわば「暗黙の知」や「感覚的」なものを言語化できるのは、このツールの特徴の一つであるといえる。

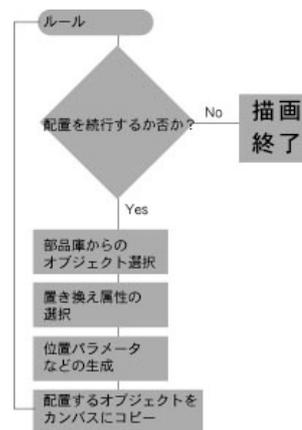


図 7. 描画のためのフロー

5. その他の機能とその実装

ThinkingSketch の実装上の特徴について述べる。実装においては、自動生成された図形の一つ一つを直接操作を用いて自由に更新できるようにした。このような直接操作の重視は、この種のツールでは基本的な機能であるが、さらにその機能に加えて直接操作が可能な操作については、

コマンドラインからの操作も可能となるようにした。

この結果、オブジェクトの生成、移動、選択、ファイルへの保存など、エディタ上の図形の操作のほとんどは「line 100 200 300 400」(点(100, 200)に始まり点(300, 400)におわる、直線の生成を意味する)のようなコマンドを与えることによって、コマンドラインから実行することが可能である。さらに一連のオブジェクトへの操作はテキストによりマクロプログラムの記述ができ、コマンドライン上から呼び出しが可能である。

本システムでは、Java レベルでの拡張性を重視した設計を行っている。拡張は二つの方法によってなされると想定されている。拡張の方法のひとつは、絵を描くための基本的なプリミティブを追加することであり、もうひとつは、プリミティブや部品図形をキャンバス上に表示するときのコマンド群に対する拡張である。

1) プリミティブの拡張においては、新規プリミティブはプリミティブの抽象クラスを継承するクラスを記述することにより Java のクラスレベルで比較的簡単に定義できるような設計にした。

2) コマンドの拡張に関しては、図形を表示する場である「キャンバス」の独立性を高め、API を明確に定義しそれら呼び出す JAVA 言語で記述することにより、自由にキャンバス上のオブジェクトに変更を加えることを許している。コマンドインタプリタを複数登録可能にし、機能追加を容易にしたことなどが特徴として挙げられる。

現時点では構図戦略や色彩割り当てといった、戦略記述の拡張は Java レベルでのクラスの拡張を行うことによるのみ可能である。しかし、前出のマクロ記述によってこれらの戦略を実現するための戦略プログラムを比較的自由に組み合わせることができるため、プラグイン的な戦略プログラムのライブラリを充実されることにより、操作者が図形生成をコントロールするための情報の多くの部分はカバーできるようになると思われる。

6. 教育実践 *Trace & Trace*

Trace & Trace は公立はこだて未来大学における著者メンバーによる教育実践である。(図 9.1, 9.2) *ThinkingSketch* の開発に先立って既存のツールを用いた実験を行い、概念の有効性を確かめるために行ったが、教育効果としては芸術作品を見る眼、味わえる目を育てていくことをねらいとしている。芸術作品を、自分で構成し表現する経験を通じて、「他者が表現しようとするもの」を理解することが容易になると考えられる。

この実践では、「評価の高い画面上のオブジェと色彩パレットを道具として使って」デッサン力、色彩感覚、構成力などの表現への要求・学習負担をなるべく軽くしながら、他者の作品を味わうための作品制作体験を行うことを目的としている。ここで行われた作品制作では、過去の作品中に現れる部品を再利用することを可能に

することにより、学習者の見かけの表現技術をあげて、自分の持っている表現能力を超えた抽象絵画の生成を可能にした。



図 8. トレースした図形をカッターで切り抜く作業

2000 年度の *Trace & Trace* という授業においては、ピカソなどの既存の作品を「下敷き」に用いて構成部品を抽出し、画面上の再配置を行った。1) 初期段階では、構成部品を手でトレースし、紙の上で再構築を行った(図 8)。これらのトレースという作業は美術の技法を獲得するための手段として一般的なものの一つであった [8, 9]。対象となった作品が完成度の高いものであったため、構成部品を作成する段階で部品に独自の加工を行うことにより、再構成におけるオリジナリティを追求しようとした意欲的な学生がこれらの作業を通じて構成の難しさに気づくなどの興味ある発見がなされた。2) さらに統合化はなされていないものの、*ThinkingSketch* の一部の機能をもつ Adobe 社の *Illustrator*、*Photoshop* というツール、あるいはフリーウェアの色立体をベースにした色彩分析ツールを利用して、構成部品のトレースならびに、自己の作品への着色や分析を行なわせてみた。これらの作品はコメントをつけるという内省作業の後、そのコメントとともに学内展示をおこなった。

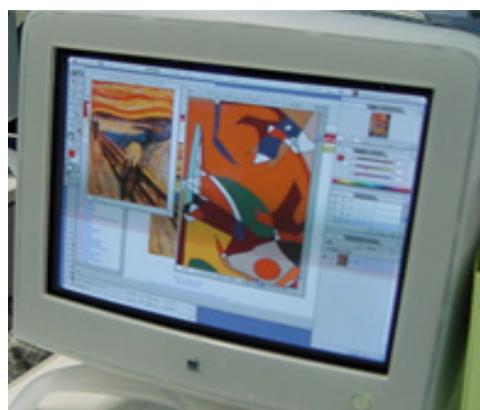


図 9.1 既存の絵画の色をベースに彩色する

これらの実践の結果からは、「部品やノウハウを借り入れること」により、従来の「美術」の時間に「絵を描く事が苦手」だった者が過半を占める学習者の全員が、実用レベル

の比較的高度な絵画制作をすることができた。作成された絵画においては、完成度の高い構図と配色が実現されていた。さらに重要な点としては作品を評価する価値判断が客観的で妥当なものが多く見受けられたことである。

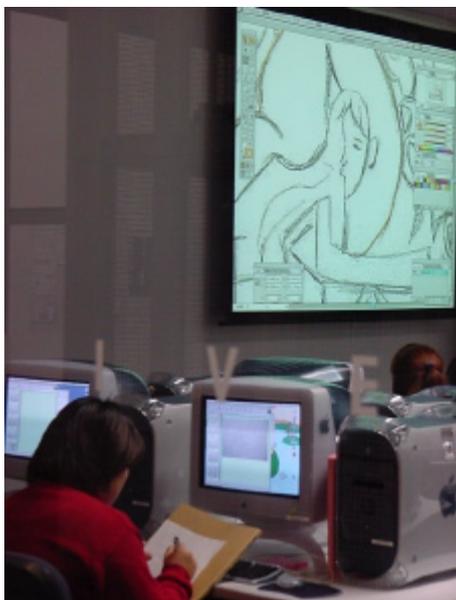


図 9.2 情報デザイン演習 I 課題 Trace & Trace
2000 年 12 月 公立はこだて未来大学にて

7. 評価と考察

冒頭に述べたように *ThinkingSketch* を芸術系の初学者に学ばせるにはいくつかの問題点が存在する。まず、種(タネ)となる図形を生成しなければならない。種の図形のできの良し悪しによって最終的に生成される図形の質はかなり変化するため、できるだけ良質な図形が供給される必要がある。かといって、既存のライブラリから取り出したものを、種となる図形として用いていたのでは決して面白いものが現れるわけではないと考えられた。

もう一つ問題となるのが *Trace & Trace* のところで紹介した色彩のバランスをどのようにとるかという問題である。これらの問題解決は *Trace & Trace* での実践での成功によって実現したものであり、*Trace & Trace* の *ThinkingSketch* に対する大きな貢献であった。

ThinkingSketch は、まず、内省のツールとしての存在感は、期待以上のものとして実感できた。これらは、たとえば同じ配置戦略を用いても配置されるプリミティブが異なるだけで画面の雰囲気が大きく変化することの意外性からもわかる。(図 10.1, 図 10.2, 図 10.3)

さらに、初期の段階で自由曲線を用いて表現した図形が抽象絵画として、苦勞の割に質の高いものを出力することがわかった。

また、色彩感覚を磨くために、単に複数の、色つきの矩形を与えて繰り返し同一の構図戦略を適用するだけで、色

彩の割り当て計画の重要さが簡単に実感できる。

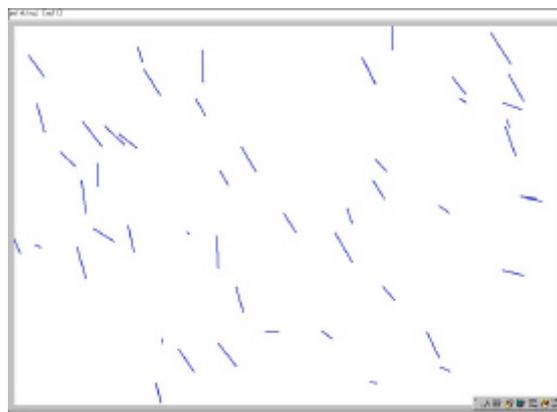


図 10.1. プリミティブを line(直線)として配置したもの

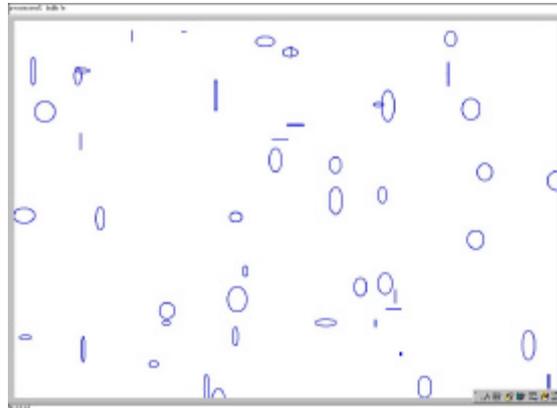


図 10.2. プリミティブを Oval(楕円)として配置したもの

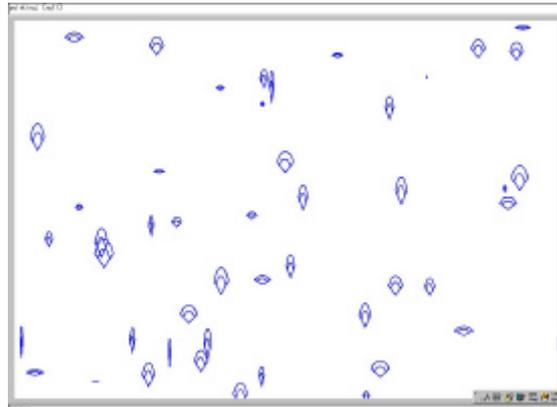


図 10.3. プリミティブを fan(扇)として配置したもの

絵画生成においては既存の配色理論を本システムに適用することは難しいと感じる。今回の作業を通して、絵画の中で使用している色彩を 3 次元的空間にマップするツール[10]を用い、古典的な作品などの評価の高い色彩を調べてみるとそれらの色彩は二次的な面上に配置されるように見え、初学者が与えられたパレットを用いて描いた評価の低いものでは 3 次元的に分散して分布するように見えた。このことは 3 章でも触れたように、熟練者は系統的に色彩の選択を行うため類似の色彩を広い範囲で使用するのに対して、初学者は関連性のない色彩を数多く利用する傾向が

あることを意味する。従って、色相環上の代表色のようなものをパレットとして与えた場合は、それらが高すぎる自由度を持っているがゆえに初心者ほど不安定な彩色戦略をとらせてしまうことになるのではないかと想像されるが、これらについては厳密な比較に基づくさらなる研究が必要である。

あわせて、このシステムを利用するうちに判明してきたのは構図や色彩の計画をエディタに任せることにより、図形生成の時間効率が非常に大きくなったことである。これらによって、いままでアーティストが行ってきた作業に大きな変化をもたらすことが期待できる。すなわち、失敗を恐れずに大量に絵を生成し、そのなかから気に入った作品を利用することが可能になるのである。構図ばかりではなく、細かくてしかもまったく機械的パターンではない描きこみ作業などもコンピュータに任せることができる。

たとえば、応用例としては本のカバーや布地など「シリーズもの」のデザインを同一のテストで効率よく生み出すことが可能になる。デザインの自動化を視野にいれて、たとえばオブジェクトの配置をグリッド上配置に強制してみたとき、フリーハンドによる表現とは全くことなる印象を受ける。たとえば、グリッド上への配置を強制したうえで、生成されるオブジェクトのサイズを固定した igo パターン(図 11)などでは抽象画のみならずデザイン画でも一定の品質をもったものがコンスタントに生成できるように思われる。

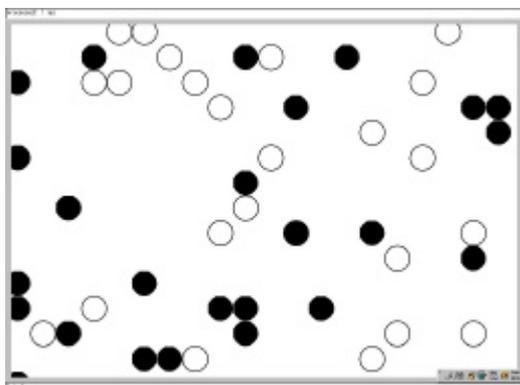


図.11. igo パターンの実行

8. まとめと今後の予定

本システムは、

- 1) 既存の絵画で行われた表現を下敷きにし、その形状をトレースする機能をもつ。トレースした図形は、形態的なプリミティブとして利用して、既存の絵画中のモチーフに対する影響力についての感覚を身に付ける。
- 2) プリミティブの再配置によって新たな構図を再構築、再評価することを可能にする。
- 3) 描画行為は、新たなモチーフの追加や変更を終了することによって完成する。どの段階で描画を中止するのかによって最終作品の様相が変化する

ことが評価できる。

- 4) 色彩構成を既存の絵画に求め、その色彩を自己の作品の中で再配分すること(色彩的なトレース)により、色彩感覚での内省を行う。
- 5) 特定の表現スタイルに対しては、作画工程を自動化することにより、表現知識の外化による内省が可能になる。

などの特徴をもっている。

我々は、現在このツールをデザイン教育の中で実際に用いて得られる効果に関する検証を様々な人を対象にして進めつつある。同時に *ThinkingSketch* は、考察の項で述べたように内省のツールであるとともに制作のための強力な生産性を発揮するツールにもなりうる。二つの視点を互いに強化していくことにより絵画生成ツールとして広く利用できるものとして完成度を上げてゆくことを考えている。

9. 謝辞

本研究においてソフトウェアの開発に関し、情報処理振興協会の未踏ソフトウェア創造事業として平成 12 年度、13 年度の支援を受け、プロジェクトマネージャの竹内郁雄氏には、研究の方向性に関してアドバイスをいただいた。また、Harold Cohen 氏については、現在の我々の研究とは異なる立場を持っておられるが、我々が初期の研究の方向を決定する前の時点で AARON の開発過程や構造について様々な情報をご教示いただいたことに感謝する。

参考文献

- [1] PICASSO, PICASSO-MUSEUM VON BARCELONA, 1996
- [2] PIET MONDRIAN 1872-1944, Benedikt Taschen, 1995
- [3] 今日の芸術、岡本 太郎, 光文社, 1954
- [4] Metamagical Themas, Hofstadter, Douglas R, Basic Books, 1985, 邦訳:「メタマジック・ゲーム」, 竹内 郁雄、斎藤康己、片桐恭弘訳、白揚社, 1990
- [5] John Maeda MAEDA@MEDIA, 前田ジョン, デジタログ, 2000
- [6] Pamela McCorduck, AARON's CODE, W. H. Freeman and Company, New York, 1991, 邦訳:「コンピュータ画家アaronの誕生」, 下野 隆夫訳, 紀伊国屋書店, 1998
- [7] <http://www.kurzweilcyberart.com/>
- [8] ファインアートの「見方」とその「栄養」, 林 容子, 季刊 DiVA 創刊 0 号, 芸術科学会、夏目書房, 2001
- [9] 退屈な美術史をやめるための長い長い人類の歴史, 若林 直樹, 河出書房新社, 1999
- [10] カラー・アズ・ア・コンセプト, 藤幡正樹, 美術出版社, 1997