

品種改良でCG画像を作る模擬育種システム

創価大学工学部情報システム学科

畝見達夫

1. はじめに

最適化手法としての遺伝的アルゴリズム (GA) 応用が、工学分野を中心に多く試みられつつあるが、ここで紹介する模擬育種法は、たとえば、魚類 両性類 爬虫類 鳥類・補乳類といったような自然界における進化ではなく、農作物や家畜に対して行なわれてきた品種改良の過程を元に考え出された手法である。品種改良は農業分野を中心に多くの現場で長い歴史をもっていることがご存じであろう。穀物、野菜、果樹、食用家畜、観賞用動植物、競争馬など、現在我々が見ることのできる様々な種類の農作物や家畜は、ほとんどが長年にわたる品種改良の成果である。

品種改良では自然選択ではなく人為選択によって、生き残れるかどうかが決まる。すなわち、各世代において、表現型の中から人間の手によって好ましい個体を選び、次の世代の親とするという対話的な手順を繰り返すことにより、人間の好みを反映した構造を発生させようというわけである。

現在までに、博物学や、CG アートのための創造支援ツールとしていくつかの応用が発表されている。以下では、基本操作手順および応用例について簡単に紹介した後、UNIX ワークステーション上に作成した CG 画像の育種システムについて述べる。

このような手法を、ここでは模擬育種法 (Simulated Breeding) と呼ぶことにする。K. Sims は "Artificial Evolution" と呼んでいる [4] が、計算機上と人為選択の両方が連想

できる名前の方が適切と考え、このように呼ぶことにした。

2. 模擬育種法の基本操作手順

模擬育種法では、適応度に応じた選択が、あらかじめ定義された評価関数ではなく、人間による個々の個体の表現型に対する主観的判断に任せられる。言い替えれば、自然選択 (natural selection) ではなく人為選択 (artificial selection) に基づく進化のシミュレーションを行なおうということである。以下に世代交代の手続きの流れを示す。

1. N個の個体からなる遺伝子集団をランダムな情報で初期化。
2. 各個体の表現型を遺伝子から発生させ、表示する。
3. 表示された個体の中からユーザが主観に基づいて望ましいものを選ぶ。
4. 選ばれた個体の遺伝子を親として、遺伝操作によりN個の個体分の遺伝子を作り、新たな遺伝子集団とする。
5. 2.へ戻る。

選択の部分を除けば、一般のGAの手順とまったく同じである。GAでは、応用分野に応じて、(1) 遺伝子のコーディング方法、(2) 遺伝操作、(3) 適応度の計算手続き。を用意する必要があるが、模擬育種法では、(3)の代わりに、ユーザに好みの個体を適切に選択させるためのユーザインタフェースの設計が重要となる。ユーザが視覚化された個々の個体を見た上で意思決定を行なうため、1世代を構成する集団の大きさ(個体数)と世代数には、自ずと限界があり、GAのようにCPUパワーに任せて大規模

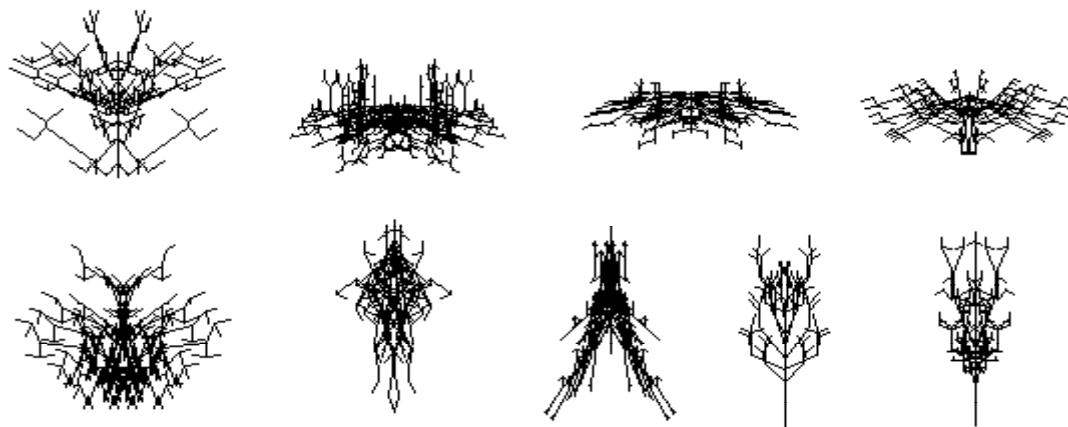


図1: Blind Watchmaker を使って作成されたバイオモルフの例

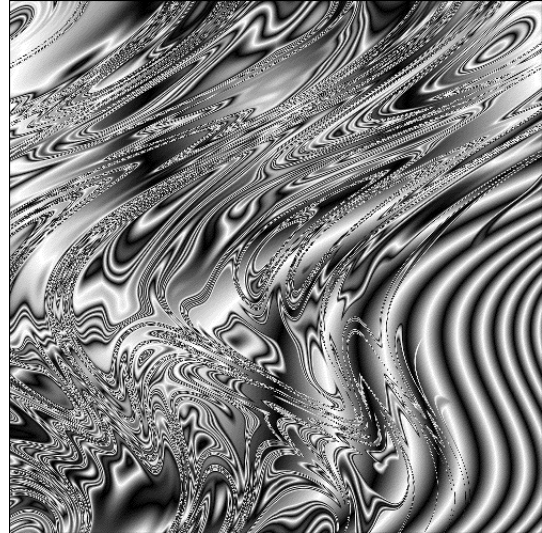
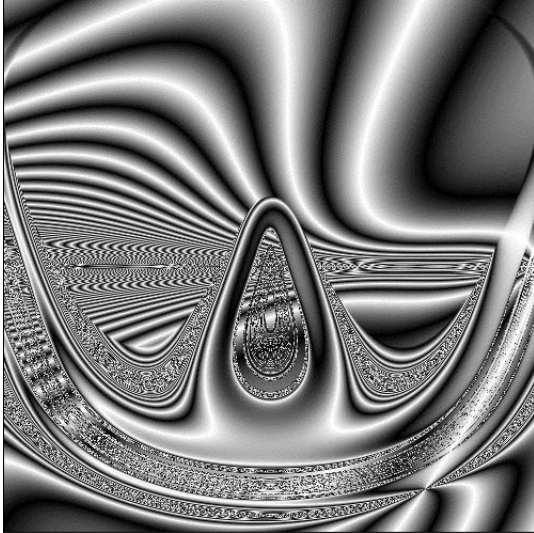


図 2: 模擬育種法により発生した画像の例

で複雑な問題を解くというわけにはいかない。

3. 応用例

この節では、模擬育種法の先駆的な応用例を紹介する。1つは、「利己的遺伝子」で有名な R. Dawkins によるバイオモルフの発生プログラムであり、あとの2つは K. Sims による CG アートへの応用である。

3.1 Blind Watchmaker

R. Dawkins はパーソナルコンピュータ上で動く Blind Watchmaker と名付けられたプログラムを作成し、生物界に見られるような様々な形態をグラフィック画面上の線画として発生させた[3]。発生には L-システムの考え方をを用いている。このプログラムは L-システムのパラメータをコーディングした遺伝子を用い、突然変異のみによって次の世代の固体群を生成する。線画によって画面に表示された表現型の中から、人間が好みの個体を1つ選ぶ。選び出された個体が親となる。Dawkins は、左右対象やセグメント構造といった、動物にしばしば見られる形態の制約をあらかじめ導入することにより、生物に似たさまざまな形を生成することができることを示した。図1はそのようにして発生した「バイオモルフ」の例である。Dawkins は、このプログラムを用いた実験を通して、進化可能性 (evolvability) の進化について論じている。

3.2 Panspermia

模擬育種法を CG アートに応用する試みもなされている。コネクションマシンのメーカーであるシンキングマシズ社に所属する K. Sims は、CG アニメーション用に

拡張された L-システムを用いて様々な植物の形態を発生させ、それらによって構成された CG アニメーション作品 "Panspermia" [6] を 1990年に製作した。Panspermia とは、生命現象を地球上に限らず宇宙全体のシステムとして考えようとする発想のもとにつけられた名前である。

L-システムは発生のモデルであるため、種子からの成長過程を再現することができる。合わせて力学モデルを導入することにより、様々な植物が揺れながら成長するアニメーション映像が構成されている。

K. Sims が "artificial evolution" と呼ぶ模擬育種法は、Blind Watchmaker とは異なり、親個体は1つではなく複数でもよい。その場合には、遺伝操作として、突然変異だけでなく交叉も採り入れる。この拡張により、異なった興味深い性質をもつ個体が同時に発生した場合に、両方を選択することで、それらの両方の性質を次世代に引き継ぐことができる。

3.4 Primordial Dance

K. Sims の 1991年の作品 "Primordial Dance" では、L-システムではなく遺伝的プログラミングの手法 (Genetic Programming) [7] が用いられた。遺伝的プログラミングとは、プログラムコード自身を遺伝子と考え、その実行結果を表現型を考えて GA を適用することにより、計算機プログラム自身を進化させようとする試みである。J. Koza は、LISP を用いて、論理回路の設計、ロボットアームの制御、動物の適応行動、経済指標の関数同定による予測など、様々な応用を試みている。

Primordial Dance では、X-Y 座標を入力とし色を示す3

次元数値ベクトルを出力とする関数を各個体の遺伝型とし、あらかじめ決められた矩形領域にその関数を用いて描かれる画像を表現型としている。模擬育種法により、興味深い2つの類似した画像を選択し、それらの間を連続的に変化する画像を次々と生成することによりCGアニメーションを構成する。複雑な画像の連続的な変化の集まりによって構成された作品は、見るものに妙な感動を呼び起こす。

K. Simsの2つの作品は、当然ながらコネクションマシンCM-2を用いて作成された。集団内の各個体の表現型を素早く画面表示するには、大規模並列マシンは最適である。しかし、残念ながらこの種のマシンは高価であるため、多くの人々が利用できるわけではない。そこで、著者は、UNIXワークステーション上に同様のプログラムを作成した。CPU性能の面では、最近の50MIPS以上と言われるマシンなら、さほど苦なく、興味深い画像を生成することができる。様々なカラー表示モードに対応してはいるが、カラーでは24ビットプレーンでないときれいな画像は得にくい。4月の時点では、SPARC Station SunOS 4.1.x、HP 9000/7xx HPUNIX 9.xx、SGI Indigo IRIX 4.xxで動作確認済みである。カラー表示用のソースプログラムについてはanonymous ftpにて配付しているので、希望される方はftp.t.soka.ac.jp: ftp/alife/sbart.tar.Zをコピーされたい。モノクロなら、8ビットで十分である。モノクロの場合は、関数の値は明暗を表現するスカラー量で

良い。図2にモノクロで作成した画像の例を示す。

図の左側の画像の遺伝型つまり式を以下に示す。

$$(x+\sin(\text{hypot}(x+y, 1.10938)))/\min(\cos(\log(\exp(-0.28125)/(y-\sin(\text{hypot}(x,y*y)))))),y)$$

図の右側の画像の遺伝型つまり式を以下に示す。

$$\text{hypot}(\exp(\max(-0.65625+y+\cos(y)+x+(-0.65625+x+y), \cos(-0.65625+x+y+\cos(\text{pow}(-1.07812+\cos(x+\cos(y)+x+\text{asb}(-(-0.65625)+x)+y), 0.53125)+(\text{pow}(-0.65625,x)+-1.77344+(x+-0.695312+y+\cos(\text{pow}(-1.07812+\cos(x+\cos(y)+x+\text{asb}(\text{pow}(-0.65625,x)+-1.77344+(x+-0.695312+y+\cos(\text{pow}(-1.07812+\cos(x+\cos(y)+x+\text{asb}(\text{pow}(-0.65625,x)+-1.77344+(x+-0.695312+y+\cos(\text{pow}(-1.07812+\cos(x+\cos(y)+x+\text{asb}(-1.07812)+y), 0.53125)+(x+-1.77344+y)))))+y), 0.53125)+(x+-1.77344+y)))))+x+(\text{pow}(-0.65625,-0.179688)+y)+y))+0.296875)+y,x)$$

画像の育種過程における系統図の例を図3に示す。個々の画像の特徴が親から子へ引き継がれながら複雑化する様子が見てとれよう。

4. ユーザインタフェースの設計

前述の通り、模擬育種法では人為選択のためのユーザインタフェースが重要な役割を果たしている。R. DawkinsのBlind Watchmakerでは、 $4 \times 4 = 16$ 個の個体を画面上に表示し、マウスで好みの個体を1つ指示させるという形式をとっている。複数個体を選択する場合も、選択終了

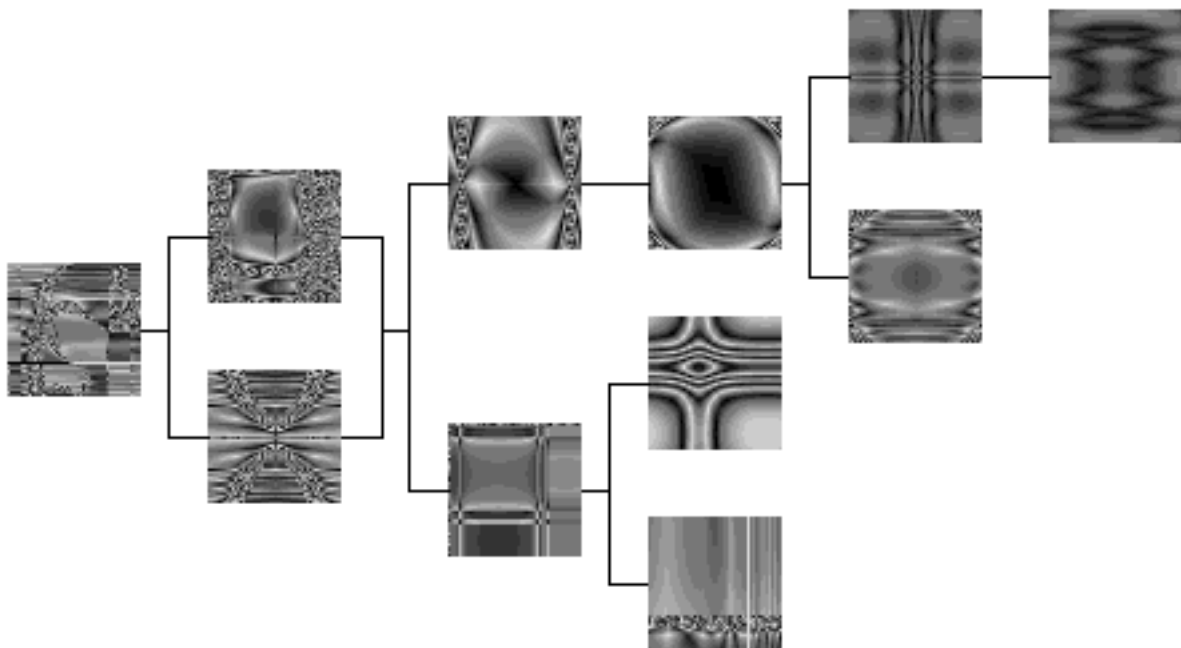


図3: 画像の育種過程における系統図の例。右側が祖先、左側が子孫。

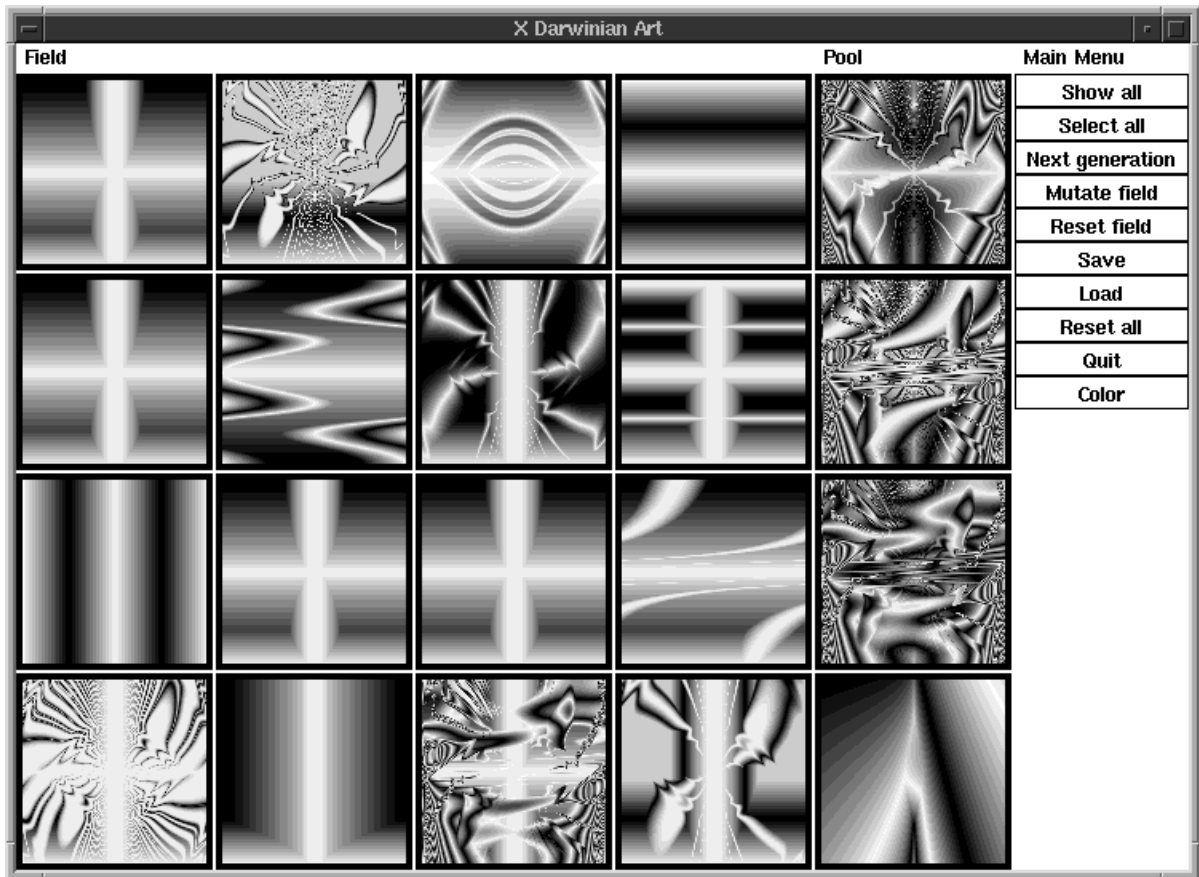


図 4: 模擬育種法のためのユーザインタフェースの例

を指示する機能が追加される以外は同様である。

実際に品種改良では、優秀な品種の種子や精子を長期間保存し、通常の世代交代の時間間隔を越えた交配が行なわれる。進化が進むにつれて、ユーザの望み沿わない方向へ遺伝子密度が収束する可能性もある。このような状況を打開するには、過去に遡るか、あるいは過去の優秀な遺伝子を混ぜ合わせることが有用である。また、まったく別の起源をもつ遺伝子と交配することも有用である。これを実現するには、ある世代で優秀であると判断された個体の遺伝子を世代を越えて保存するメカニズムが必要となる。筆者が開発した模擬育種法のシステムには、この機能の他、個別に突然変異を行ったり、図形を回転させたりする機能も追加されており、比較的効率的に、興味深い画像を生成することができる。さらに、遺伝子をファイルに保存することもできる。図 4 に、そのユーザインタフェースの例を示す。画面の大半を占める 4×4 個の画像は、その世代で発生した各個体である。その右側の縦 1 列 4 つの画像は、保存された個体である。前者の 4×4 の領域をフィールド、後者の領域をプールと呼ぶことにする。右端には、遺伝型の表示や、世代交代、

ファイル入出力などを指示するメニューが用意されている。図には示されていないが、個体を個別に操作するためのポップアップメニューも用意されている。

いずれのシステムも集団の大きさはせいぜい 16 が 25 程度であり、一度の世代交代で探索可能な分岐の数が限られている。集団の大きさは全個体を表示する必要性から小さく押えられているが、実際の農作物の品種改良では、極めて多くの個体を扱うことが珍しくない。もちろん、1 世代に半年あるいは 1 年かかるため、世代数を多く掛けないという制約もあるが、選択の方法についても、収穫量や収穫物の質といった、ある決まった指標に基づいて機械的に決められる場合が多い。ただし、指標は必ずしも固定されたものではない。

模擬育種法においても、大規模な集団を使った進化を可能とするような方法を考案すべきであろう。機械的な選択は GA における評価関数による選択によって可能である。つまり、ユーザによる主観的な選択と、評価関数による機械的な選択を適切に組み合わせる方法を開発することが必要ではなかろうか。

5. 主観的選択と GA による探索

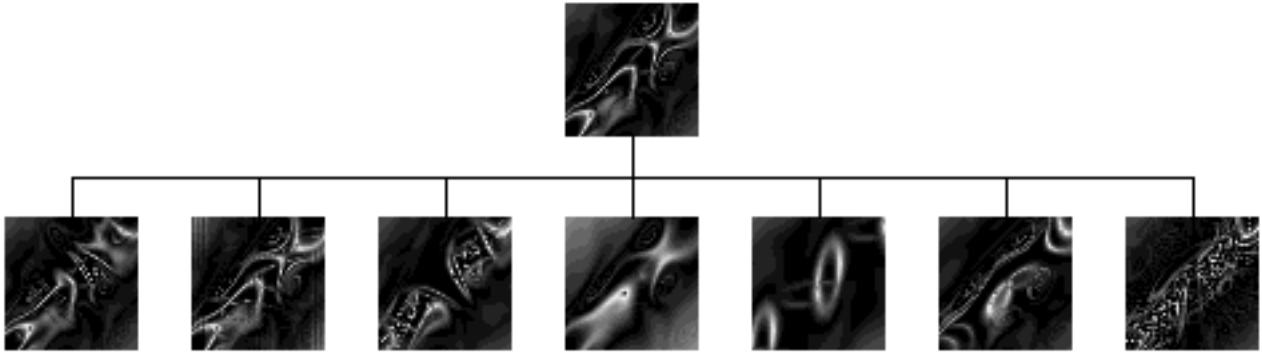


図 5: 突然変異によって発生する画像の例

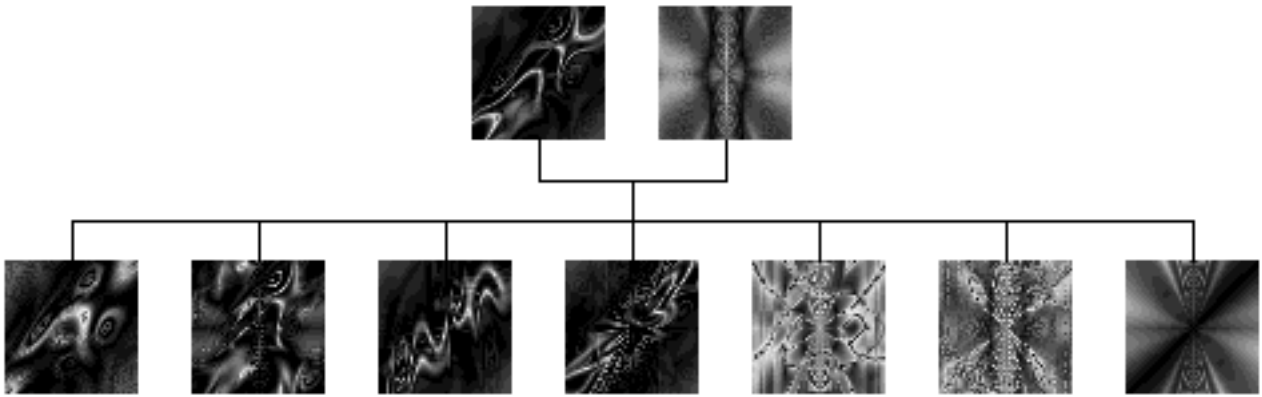


図 6: 交叉によって発生する画像の例

ここでは、主観的選択という模擬育種法に特有の操作と、GAによる並列最適化探索の関係という側面から理論的な考察を加えてみたい。

GAは集団の大きさの並列度をもつ最適化探索手法を見なすことができる。個々の探索点は遺伝操作により集団として移動する。一方、人為選択における主観的判断の特徴と考えると、固定の評価関数とは異なり、判断基準が必ずしも安定しない、つまり、探索中に変更される可能性が高い。

この2つの組合せによって何が実現されるかという点について考えてみよう。突然変異は、選択された点から次の探索近傍に含まれる点をランダムに生成する操作であると考えられる。1個体選択の突然変異のみを使ったBlind Watchmakerの場合には、この探索近傍の移動の繰り返しが行なわれることとなる。探索近傍には当然、1世代前の点も含まれるため、退化する可能性もある。退化によって先の判断を撤回する道が残されるという特徴は、主観的な判断のゆらぎを吸収する上で重要である。図5に、突然変異によって発生する画像の例を示す。

また、複数の個体を次世代に残すことを許すシステム

では、興味深い特徴の断片を徐々に組み立てることによって、さらに興味深い個体を発生させるという点では重要である。図6に、交叉によって発生する画像の例を示す。

6. おわりに

以上のような人為選択のアプローチには、適応度を計る評価関数は用意されず、人間が好みに応じた選択を行なうことにより、明示的には記述できない人間の選好基準を引き出すという側面がある。この意味では、意思決定支援システムと目的を同じくするものでもあり、今後、実用的な応用が期待されるアプローチである。特に、多次元の複雑な設計問題には有用な支援ツールとなると考える。

進化の過程では、実際にユーザにとって思いがけない発展が遂げられることもある。興味深い形態の突然の出現は、ある場合にはユーザの判断基準を大きく変更させることもありうる。特に、遺伝的プログラミングによる画像生成のように、生成可能な画像の多様性をあらかじめ想像しにくいような領域では、このような現象は頻繁に起きる。このような意味で、模擬育種法の手法は、単

なる好みの選択に留まらず、想像力の増幅にも寄与するものと考えてよい。

参考文献

- [1] Langton, C. G. (Ed.): Artificial Life, Addison Wesley (1989).
- [2] Langton, C. G. , C. Taylor, J. D. Farmer, and S. Rasmussen (Eds.): Artificial Life II, Addison Wesley (1992).
- [3] Dawkins, R. : The Evolution of Evolvability, in [1], pp. 201--220 (1989).
- [4] Sims, K. : Artificial Evolution for Computer Graphics, Computer Graphics, Vol. 25, No. 4 (1991).
- [5] Sims, K. : Interactive Evolution of Dynamical Systems, in F. J. Varela and P. Bourgine (Eds.), Toward a Practice of Autonomous Systems -- Proceedings of the First European Conference on Artificial Life, MIT Press, pp. 171--178 (1992)
- [6] Sims, K. et al: Panspermia, in Langton, C. G. (Ed.), Artificial Life II Video Proceedings, Addison Wesley (1992).
- [7] Koza, J. R. : Genetic Programming: on The Programming of Computers by Means of Natural Selection, MIT Press (1992).