

ライフゲームアルゴリズムを応用した 動画像制作手法について

—プログラミングによる静止画像の動画化—

熊谷武洋

A Method for Visual Imaging Based on Conway's Game of Life
— Animated Still Image by Programing —

Takehiro KUMAGAI

(Received September 30, 2005)

Key words: Computer Graphics, Art, Cellular Automaton, Algorithm, Game of Life

1. はじめに

本論は、セル・オートマトンの一種である GOL (game of life) アルゴリズムを応用して制作した映像作品について、その制作過程を解説すると共に、応用効果と意義について述べたものである。映像作品は、創発性を表現題材に設定し、人格表現としての芸術作品とは異なる方向性を見出すための実験制作という制作目的で行った。創発 (emergence) とは、生物学や複雑系科学、社会学の分野などで使われている言葉で、単純な要素が相互作用することによって予測し難い複雑な秩序やシステムが生じる現象のことである。これらのコンセプトを実現するために、映像作品はオリジナルプログラムによって制作した。一枚の静止画から有機的に変幻するイメージパターンを生成し、静止画でありながら動画のように見える処理を行った。光の滲み、光芒などの特殊効果もオリジナルプログラムによって後処理を加えた (図1)。プログラムには簡易的な GUI を実装し、処理過程は全て対話的に実時間で実行することが可能である。背景音楽は、果てしなく変幻し続けるイメージをシーケンシャルフレーズとアルペジオパターンにのせて制作者自身が作曲した。

映像作品の仕様は以下のとおりである。

- 作品題目 『Illuminatic Dance of Still Image』
- 表現形態 プログラミングによるアルゴリズムック動画像
- 作品時間 70秒
- 開発環境 MAX/MSP/JITTER for Windows, CubaseSX with VSTi

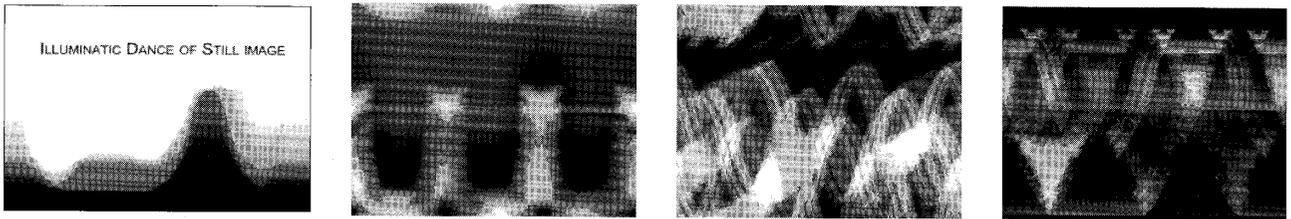


図1 作品シーケンス画像 (抜粋)

2. GOL とは

GOLとは1970年にイギリスの数学者ジョン・ホートン・コンウェイ (John Horton Conway) が考案した生態系のシミュレーションである [1]。

GOLはセル・オートマトン (Cellular Automata) といわれる人工生命の一種であり、人工生命関連のプログラムの中では最も有名であり、Mathematica'sにも実装されている。日本では「ライフ・ゲーム」と和製英語で呼称されている。

セル・オートマトンとは、「Cellular (格子状の)」と、「Automaton (自動機械)」2つの単語の組み合わせであり、Automatonの複数形がAutomataである。1940年代末にジョン・フォン・ノイマン (John von Neumann) が生物の自己増殖をモデル化するために提案したものである。

オートマトンとは複数の状態と、それぞれの状態を入力結果に対してどのような処理を行うかを定めた関数とで構成されている仮想的な自動機械のことである。最初に入力を処理する内部状態を持っており、入力によって次の内部状態と出力が決まる。

セル・オートマトンは、オートマトンがマス目状に配置されたもので、それをセルと呼ぶ。その状態は、自分自身とその周辺セルの状態によって次の状態が決まり、簡単なルールを決定するだけで、状態遷移するに依り、複雑かつ予想困難な振舞いをする。

セル・オートマトンの中で最もシンプルなモデルは、セルを横一列の線で並べたものである。これを長さ方向に3個に等分割し、それぞれのセルが状態0または1をとるとする。これを1次元2状態3近傍と言う。3つのセルがそれぞれ0または1の2つの状態をとることから、000、001、010、011、100、101、110、111つまり、 $2^3=8$ が近傍セルのパターン数として得られる。次に、中央のセルに着目し、左隣と右隣のセルの状態から、次の中央のセルの状態を導き出す。離散時刻単位で状態を更新し、更新後、中央のセルが0と1のいずれになるかを決めれば、変化の規則が決まる (表1)。そしてこの更新は全てのセルで同時に行う。両端のセルは環状につながっているものとして考える。更新後も同様の手続きにより、状態が遷移するが、どのような結果になるかは更新前における着目したセルとその周囲のセルの状態によって決定される。

近傍セル状態	000	001	010	011	100	101	110	111
中央セルの更新後の状態	0	0	1	1	0	1	1	1

表1 変化の規則例

規則数は次の式によって求められる。

規則数	N
セルの状態数	k
近傍セルのパターン数	n

$$N = k^n$$

よって1次元2状態3近傍の場合は

$$N = 2^8 = 256$$

となる。GOLは、2次元2状態9近傍構造である。よって規則数 N は、

$$N = 2^{512}$$

となり、膨大な数となる。しかしながら、結果を短絡し、導出するための決定的な理論はない。

このような局所的相互作用によって生じる複雑な現象を作者の意図の下に如何に導出し、芸術的表現とするかが、作品制作上の課題となる。

3. GOLの応用事例

GOLは数学や工学といった学術的なアプローチだけではなく、iアプリ対応の携帯電話コンテンツや、TVゲームといったエンターテインメントの分野でも多くの応用事例があるが、GOLのアルゴリズムを、視覚的効果として応用した例としては、茨大型ライフゲーム [2] や、A-Lifeといった一連のアート作品 [3] [4]、水墨画調レンダリング [5]、墨流し模様の生成 [6]、火炎画像生成 [7] といった画像処理が挙げられる。

近年の例ではnVIDIA社の火炎エフェクトライブラリが挙げられる [8]。これまで火炎を実時間上で描画する場合、ビットマップによるテクスチャアニメーションもしくは、パーティクルシステムを用いて実現していた。しかしながら、リアルで多様なパターンを描画しようとすると、ビットマップによるテクスチャアニメーションは大量のビデオメモリを消費し、パーティクルシステムは計算負荷が高いというデメリットがあった。そこで、nVIDIAの火炎エフェクトライブラリは、ピクセルシェード上でGOLを応用しこれらの問題を解決している。

火炎エフェクトを生成するには、最初にビットマップによるテクスチャを用意する。あくまでシードとして用いるため、容量もパターンも少なくてもよい。このテクスチャを初期情報として、GOLのアルゴリズムを用いて揺らめきといった燃焼による火炎のパターンを自動生成する。この自動生成された情報に色の変化やブラーなどの画像処理を加えてリアルな火炎エフェクトを実現している (図2)。

4. 制作過程および手法

今回制作した映像作品のテーマは、一枚の静止画から有機的に変幻するイメージパターンを生成し、静止画でありながら動画のように見えるような作品を制作することである。したがって視覚効果の高い近傍数や規則を如何に見出すかが重要である。制作過程の流れは大きく以下のフェーズによって構成されている。

- (1) 基本プログラム作成
- (2) 拡張プログラム作成
- (3) 後処理プログラム作成

次にそれぞれのフェーズについて述べる。

4. 1 基本プログラム作成

GOLプログラムの作成は、開発言語の仕様によって様々なアプローチや手法があるが、今回用いた MAX/MSP/JITTER ではフィードバックループを用いて、GOLの基本的な処理を実現する。

フィードバックループの形成にはシードが必要である。シードとは、二次元マトリクス上の任意の点である。よって、シードを発生させるためにノイズジェネレータオブジェクトを用いた。まずは320*240、8ビットの1プレーンによって構成される2次元マトリクスを定義する。定義されたマトリクスのセルに対して、ノイズジェネレータオブジェクトによってランダムに生成される0~255の範囲を持つ8ビットの値をグレースケールの色情報としてマトリクスに格納する(図3)。今回は、シードとしての画像情報だけが必要なため、比較演算子を用いてノイズジェネレータノイズオブジェクトからランダムに生成された値を0もしくは255の値にするため量子化を行う。次に量子化されたノイズ画像をテンポラリとして新たに定義したマトリクスに送り、処理結果を一時的に格納する。加えて、画面表示用のウィンドウオブジェクトを呼び出し、ウィンドウオブジェクトにも処理結果を送る。その結果、ドット絵のようなノイズ画像が形成される(図4)。

次に MAX/MSP が実装する jit.conway オブジェクトに一時格納したマトリクスデータを放出し、GOLのアルゴリズム処理によって、新たな画像を生成する。このとき生成された画像を再び放出元のマトリクスとウィンドウオブジェクトに送る。このフィードバックループによる処理過程により、次々と新たな画像が生成される。つまり、最も単機能な GOL アプリケーションソフトの完成である(図5)。

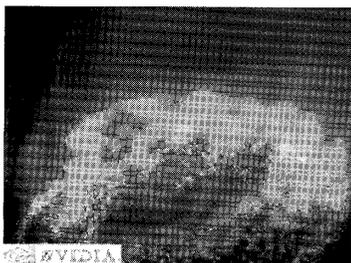


図2 火炎エフェクト

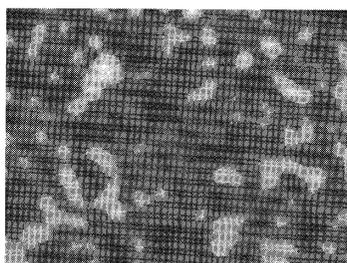


図3 生成されたノイズ画像



図4 量子化されたノイズ画像

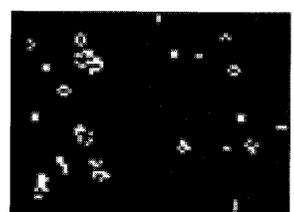
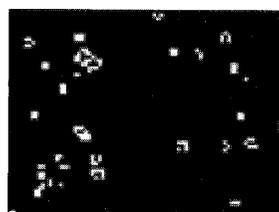
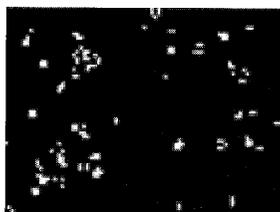
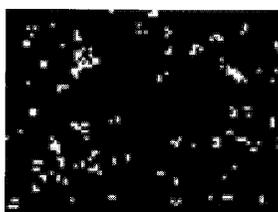


図5 状態遷移する GOL

4. 2 拡張プログラム作成

次に、このプログラムを基盤として、芸術作品として応用するために以下の処理を拡張プログラムとして加えた。このフェーズには芸術的表現の核となる部分が含まれるが、実際の効果は試行錯誤を要し、感性による美的判断が重要となる。

- 創発性向上のため GOL の規則を変更し、複数パターンを定義する
- GOL による動きのダイナミズムを強調するため静止画像を用いる
- 多彩な色彩表現のためシードとして640*480、24ビット3プレーン化する

次に各処理内容について述べる。

4. 2. 1 創発性向上のため GOL の規則を変更し、複数パターンを定義する

一般的な GOL の規則について状態 0 を死、状態 1 を生と記し、表に示す (表 2, 3)。8 つの近傍セルにおける生状態のセルの数によって、離散時刻単位経過後の状態が変化の規則によって更新され、全ての空間の状態が遷移する (表 4)。図 5 の画像はこの規則によって生成されたものである。この変化の規則は、過疎でも過密でも個体の生存に適さないという個体群生態学的な側面をうまく表現している規則である。

しかしながら、この基本規則は複雑系科学的には意味があるものの、芸術的表現や視覚効果として考えた場合、この基本規則だけでは多様性に欠け、不十分である。そこで様々な試行を行い、芸術表現としての視覚的有効性があると思われる組み合わせを感性的判断で導出した。その際、規則だけではなく、近傍数も 0 から 8 の範囲で変化させた。その結果 33 規則を導出し、表現としての調整を加え、最終的に 16 に選定した。

誕生	死状態セルの周囲に 3 つの生きているセルがあれば次の世代で生状態になる
維持	生状態セルの周囲に 2 つか 3 つの生きているセルがあれば次の世代でも生状態のまま
死滅	誕生および維持以外の場合には次の世代では死状態になる

表 2 一般的な GOL の規則

		8 つの近傍セルにおける生状態のセルの数									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
現在の中央セル状態	生状態	死	死	生	生	死	死	死	死	死	
	死状態	死	死	死	生	死	死	死	死	死	

表 3 一般的な GOL の規則 (テーブル)

現在の近傍セル状態				
現在の中央セル状態				
8つの近傍セルにおける生状態のセルの数	2	3	3	5
更新後の中央セル状態				



表4 離散時刻単位経過後の遷移状態例

4. 2. 2 GOLによる動きのダイナミズムを強調するため静止画像を用いる

本作は生成される予測不可能なパターンの追求ではなく、その動きや律動をモチーフとし、そこから得られるダイナミズムを芸術表現として応用しようという試みである。音響旋律で例えるならば、旋律の原型となるひとつのモチーフを変奏し展開することによってバリエーション化していくということである。そのため、シードは静止画である必要がある。アルゴリズム的には動画でも処理対象になりうるが、以上の理由により静止画ベースで行った。静止画をシードとして効果的に用いるには、そのシードとなる静止画自体に、視覚効果としての有効性が潜在的に内包されていなければならない。それを数学的な手法で見つけ出すのは容易ではない。よって規則の導出と同様にして様々な素材を色と形について試行を行い、芸術表現としての視覚的有效性があると思われる素材を感性的判断で以下のように選定した。

色：同色相色パターン、近似色相色パターン、反対色相色パターン、全色相パターン

形：標本画像、楕円、矩形、曲線

これらの要素をシードとしてそれぞれ組み合わせなどの試行を行った（図6-11 ※注これらの画像は3プレーンでレンダリングした画像である）

結果はカラースワッチが有効であると結論付けられた。シードとして前述の規則を適用し、実際に試作を作ってみた結果、やはりプリミティブな図像の方がGOLとしての効果が発揮された。理由として以下が考えられる。

- 色の分布や範囲は広い方が、部分的に複雑な動きが生じ、視覚的效果が現われる
- 周期性を持った平面図形の方が、全体的には動きの展開に傾向やまとまりが生じ、躍動感や律動感が効果的に現われる。

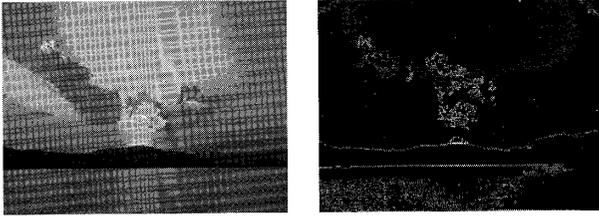


図6 写真と生成された GOL 画像

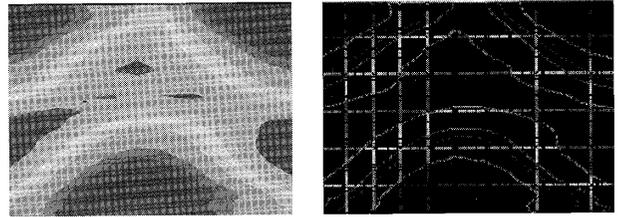


図7 等高線と生成された GOL 画像

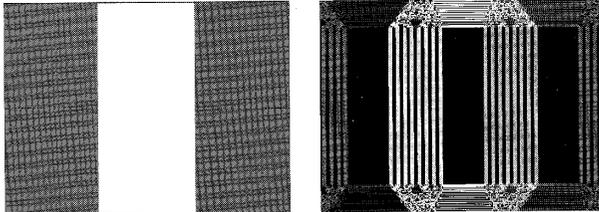


図8 三色旗と生成された GOL 画像

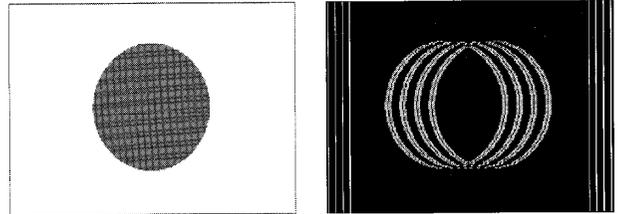


図9 日章旗と生成された GOL 画像

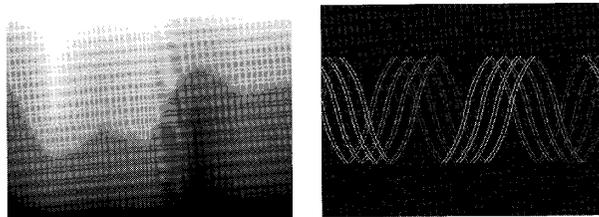


図10 カラースワッチと生成された GOL 画像

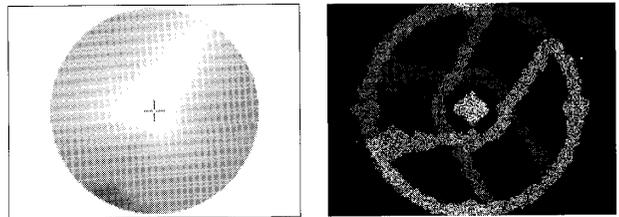


図11 カラーホイールと生成された GOL 画像

4. 2. 3 多彩な色彩表現のためシードとして640*480、24ビット3プレーン化する

カラースワッチが、なぜ前述の要素を併せ持つことができるのかについて考察を行った。カラースワッチつまり色見本画像であるために全色相パターンを持つのは当然であるが、全色相パターンに律動性や周期性を持つ波形構造があるのかを調べるために、RGB 毎にチャンネルを分解し、それぞれ単一プレーンとしてレンダリングした。RGB 毎に分解するとそれぞれのチャンネルが固有に持つ明度差のため、周期のずれた波形のようになっている（図12-14）。閾値を上げるとより鮮明に波形構造が認識できる。波の形状は単純な平面移動だけで動きを認識させ、視覚的に心地よい多様なパターンを持つ。このことからカラースワッチが GOL の持つ効果を発揮できる静止画像と言える。しかし、そのためにはシングルプレーン、つまり1プレーンでは、RGB のチャンネル全てを同時に使えないため、トリプルプレーン、つまり3プレーン化が必要がある。3プレーン化自体はオブジェクト自体が対応しているため、容易ではあるが3プレーン化の必要性や必然性を見出すにはやはり試行が必要である。

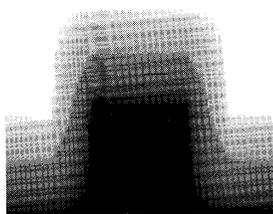


図12 Rチャンネル画像

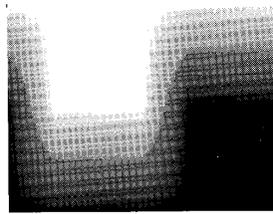


図13 Gチャンネル画像

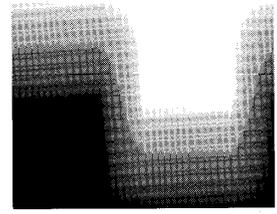


図14 Bチャンネル画像

4. 3 後処理プログラム作成

芸術作品として視覚効果を高めるため後処理を加えるためのプログラムを作成した。具体的には以下の特殊効果を実装した。

- 色相環の回転
- フェード
- デイレイ

離散時刻単位に色を変えてアーティスティックに見せるという方法はこれまでも多く試みられてきた [9]。本作品では離散時刻単位とは独立して色変更処理を行った。よって、安定状態になったとしても夜空における星のような瞬きや明滅をする。さらに、光芒や光の滲みを演算処理によって行った。GOLにおける離散時刻単位と、実際の動画像処理の再生レートは同期していない。その隙間の中に中間的に遷移状態が遅延した画像を挿入する。その際、透明度、ガウスフィルタ処理、明度情報を参照する乗算処理を施し、光芒や光の滲みを表現した (図15-17)。これらの特殊効果は規則の切り替わりのタイミングで最も顕著な効果を示した (図18)。こうした後処理が作品の品質を左右するので、最適なパラメータ選定には十分な時間を充てた。

近傍数と規則を修正変更し、特殊効果を加えた最終的な画像を70秒間の作品から抽出したシーケンスを4枚の画像として近傍数と規則のテーブルを付加して次に示す (図19-34)。

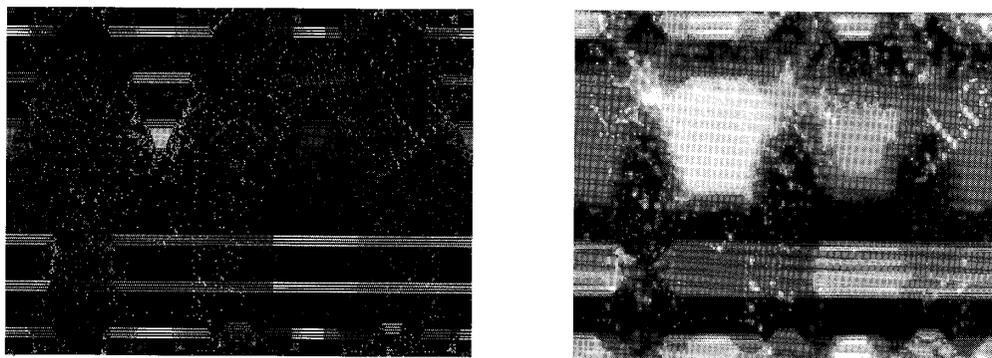


図15 特殊効果処理比較画像 A

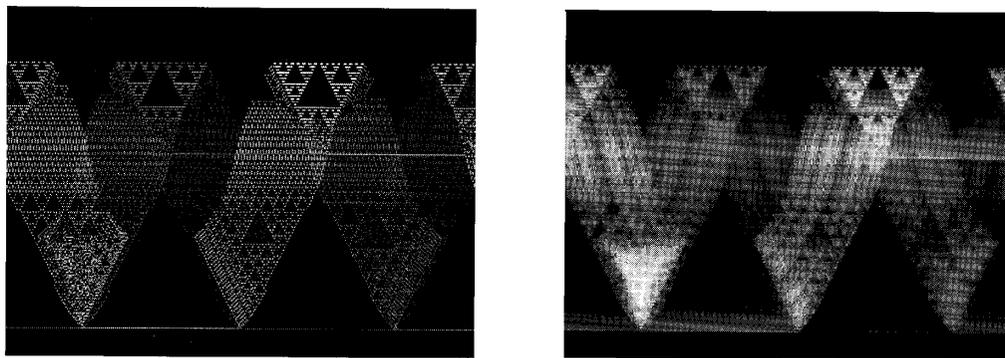


図16 特殊効果処理比較画像 B

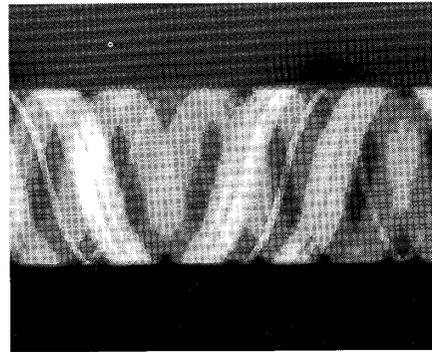
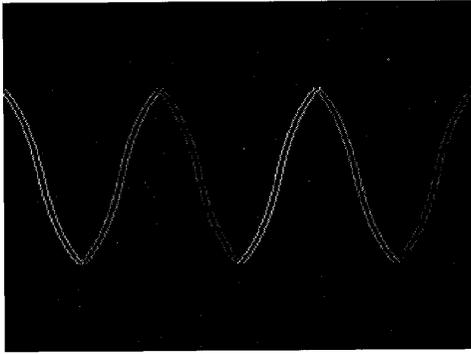


図17 特殊効果処理比較画像 C

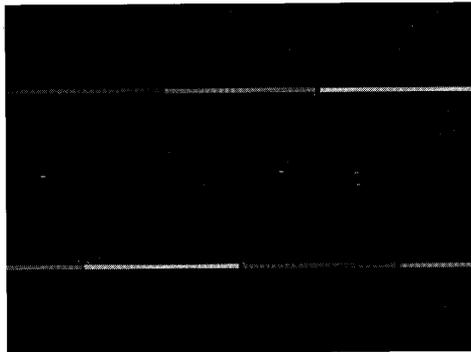


図18 特殊効果処理比較画像 D

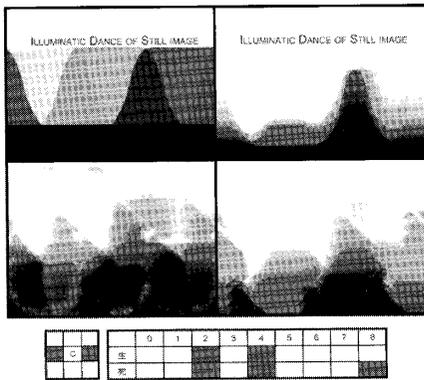


図19 完成シーケンス画像 A

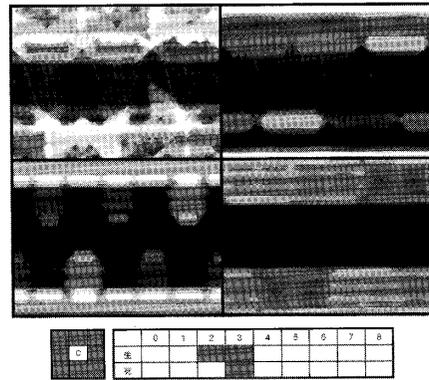


図20 完成シーケンス画像 B

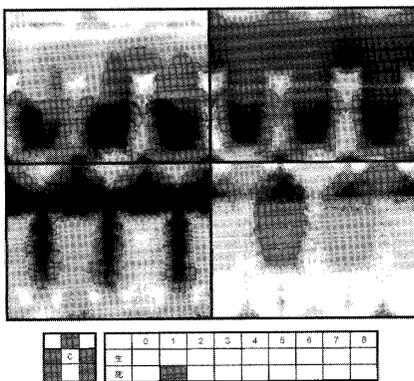


図21 完成シーケンス画像 C

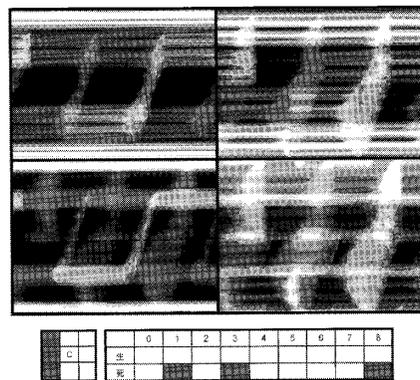
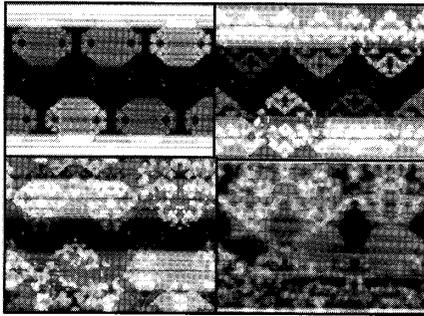
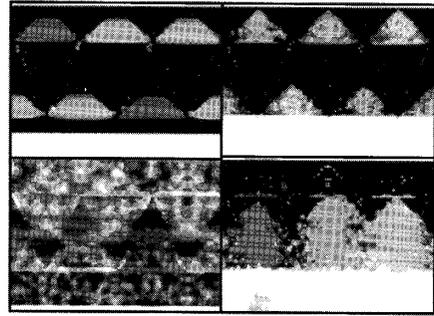


図22 完成シーケンス画像 D



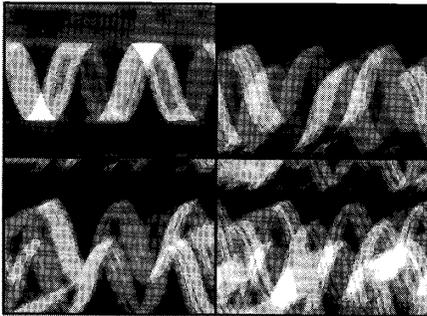
C	0	1	2	3	4	5	6	7	8
生									
死									

図23 完成シーケンス画像 E



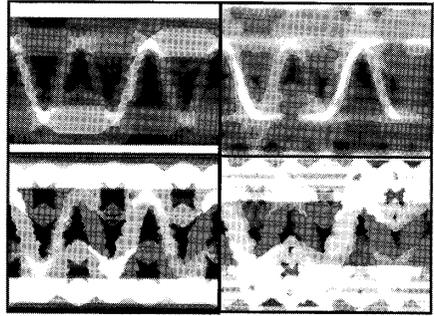
C	0	1	2	3	4	5	6	7	8
生									
死									

図24 完成シーケンス画像 F



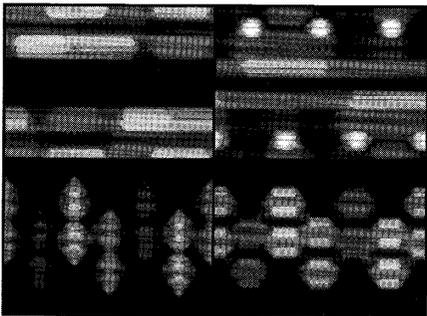
C	0	1	2	3	4	5	6	7	8
生									
死									

図25 完成シーケンス画像 G



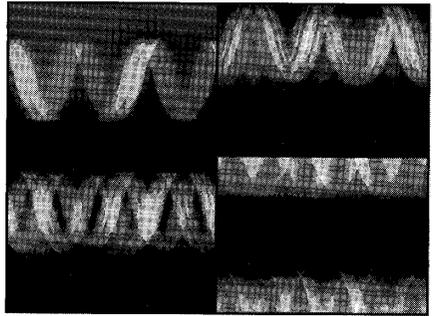
C	0	1	2	3	4	5	6	7	8
生									
死									

図26 完成シーケンス画像 H



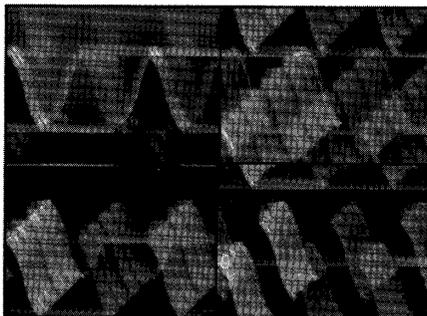
C	0	1	2	3	4	5	6	7	8
生									
死									

図27 完成シーケンス画像 I



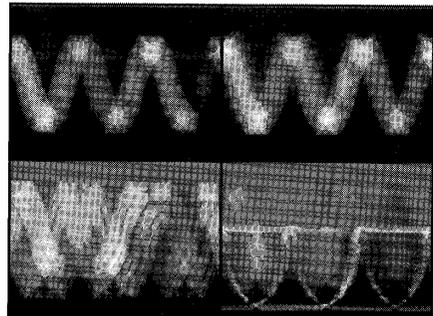
C	0	1	2	3	4	5	6	7	8
生									
死									

図28 完成シーケンス画像 J



C	0	1	2	3	4	5	6	7	8
生									
死									

図29 完成シーケンス画像 K



C	0	1	2	3	4	5	6	7	8
生									
死									

図30 完成シーケンス画像 L

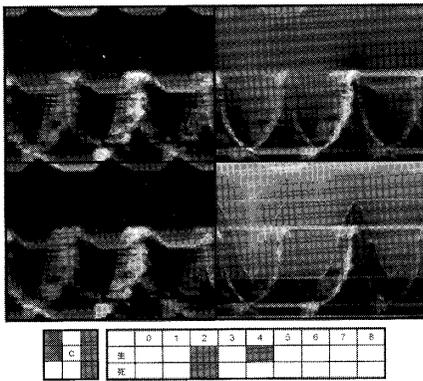


図31 完成シーケンス画像M

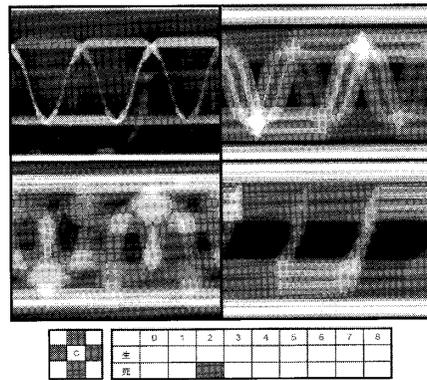


図32 完成シーケンス画像N

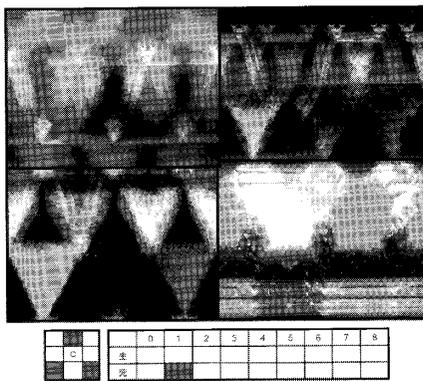


図33 完成シーケンス画像O

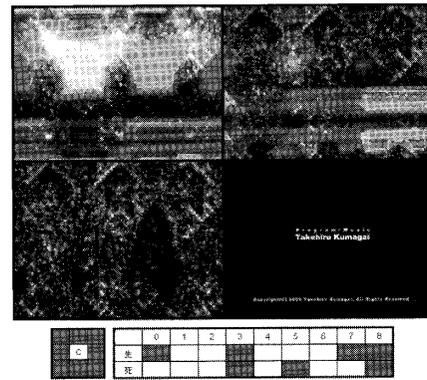


図34 完成シーケンス画像P

5. まとめと今後の課題

結果的には当初の制作目的である“創発性を表現題材に設定し、人格表現としての芸術作品とは異なる方向性を見出すための実験制作”を実現レベルまで遂行したと言える。しかしながら実験としての精度や、芸術作品としての完成度にはまだ不十分な点があり、多くの課題が残っている。今後の具体的な課題として、効果的な規則や静止画、新たなシードの探求、インターフェイスの改良、外部デバイスとの連携を検討している。

参考文献

- [1] ウィリアム・パウンドストーン著，有澤誠訳：“ライフゲームの宇宙”，日本評論社，1990
- [2] 安居院猛，大津久敬，中嶋正之：“CG 技術による墨流し模様の生成－第2報－”，東京工業大学工学部像情報工学研究施設平成2年年間報文集，pp.175，1991
- [3] 加納幹雄：茨大型ライフゲーム情報処理学会アルゴリズム研究会報告37-2 1994
- [4] 高倉章，河合直樹，室田秀樹，茂出木敏雄：“CG による炎の3次元シミュレーション”，情報処理学会研究報告，93-CG-65，pp.9-16，1993
- [5] 佐藤，藤本，千葉：絵の具の振る舞いのセルオートマトンモデルとその画像の絵画調加工への応用，映像情報メディア学会，2004.7
- [6] Y. Kawaguchi:” The Art of the GROWTH Algorithm with Cells” ,” Artificial Life V” , MIT Press, pp.159-166,1997
- [7] 河口洋一郎：“芸術としてのアーティフィシャルライフ”，信学技報，EID93-93，HC93-60，pp.39-42，1993

[8] <http://www.nvidia.com/developer>

[9] <http://www.collidoscope.com/modernca/>