

植物の生長モデルを応用した動画像制作手法について

熊谷武洋

A Method for Visual Imaging Based on L-System

Takehiro KUMAGAI

(Received October 1, 2004)

Key words: Computer Graphics, Art, L-System, Algorithm

1. はじめに

本論は、植物などの生長の状態を数学的モデルで表現した L-System 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トラディショナルな手法とアルゴリズム的な手法とを組み合わせることによる効果と意義について述べたものである。以下に本作品の仕様を記す。

【作品仕様】

- | | |
|--------------|------------------------------------------------------------------------|
| ■ 作品題目 | 『L-sysPulse』 |
| ■ 表現形態 | 3次元CGによるデジタル映像 |
| ■ 作品時間 | 90秒 |
| ■ 使用アプリケーション | 3DStudioMAX 6 with L-System, AfterEffects5.5,
The L-Breeder program |

作品コンセプトは植物などが持つ生命の躍動感や律動感を表現することである。背景音楽を自ら作曲し、その曲調からシンプルでイルミナティックな幻想的図像を模索した。実在の植物ではなく、抽象的な形象が生命力を得た様なイメージにするため、表現手法として植物などの生長の状態を数学的モデルで表現した L-System を用いた。形状定義や状態変化を変数で制御しながらアニメートを行い、レンダリング画像にポスト処理を付加した(図1～図8)。加えて本作品は、個人的な芸術作品として制作しただけでなく、CG作品制作における制作アプローチについて試行した実験作品でもある。

なお本作品は、「アジアデジタルアート大賞2004」および「21世紀アジアデザインコンペ2004」において入選作品として選定された。

2. L-System について

L-System とは植物の生成手順を文法的に記述した生成規則であり、形態形成を記述するセル・オートマトンの一種である。枝の長さ、枝分かれの角度などの幾何情報を付加することにより、植物などの形態を計算機上で表現することが可能である。1960年代後半、アリステッド・

リンデンマイヤー (Aristid Lindenmayer) が細胞の分割機構の数理モデルとして提唱したものがベースとなっている。L-system は初期条件で与えられる命令 (図9) に対し、生成規則内のルールに基づいて変換することにより、記号列を作り上げる (図10)。そして、この記号列を描画の際に命令群として実行していくことにより、モデル形状を形成する (図11)。規則は単純であるが、最初の簡単な状態は変換を行うにつれ複雑になっていくという特徴を持つ。

本作品において展開する図像の形状群は、全てこの L-System を用いて描画されているため、手作業による形状定義や状態変化は一切行っていない。ただし、単純な命令群だけでは形状作成に限界がある。意図した形状を形成するには、さらに多くの命令を用いて記述する必要がある (図12)。L-System の命令群としては以下が実装されている。これらの命令群を組み合わせることにより、植物とはかけ離れた形状も形成することが可能である (図13)。

- Drawing commands
- Movement commands
- Orientation commands
- Special Orientation commands
- Structure commands
- Size/Angle/Thickness commands
- Additional commands

生成規則内のルールに基づいて変換された記号列を格納したアスキー形式のファイルを LS ファイルと呼ぶ。図13の L S ファイルは以下のとおりである。

```

-----
15
10
80
^^^^^^[CL][CL]
C=FR&!C
R=[^^^^^^ca%a|L]
a=[nmmn]
m=+Zm
n=-Zon
L=[>>>>>>>>c{--z++z++z--|--z++z++z}]
o=[-----!!!” cZI]
l=[c{--z++z++z--|--z++z++z}]
@
-----

```

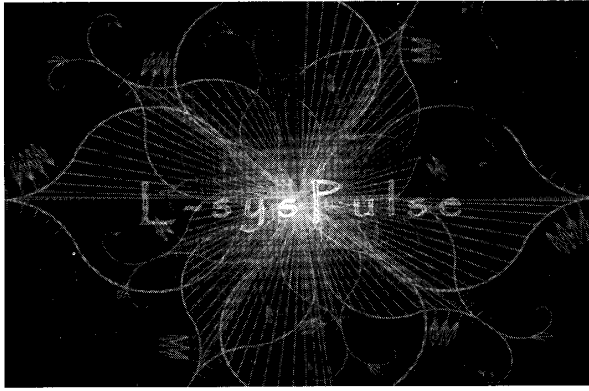


図1 作品画像A

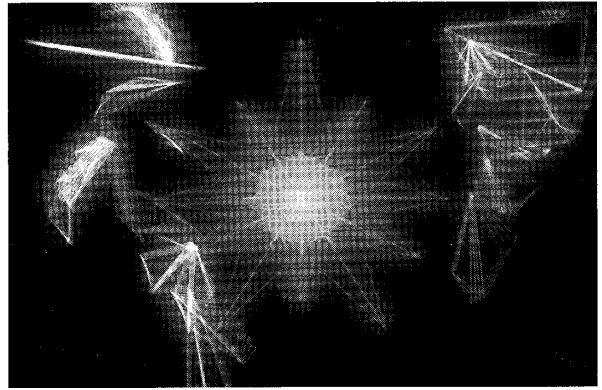


図2 作品画像B

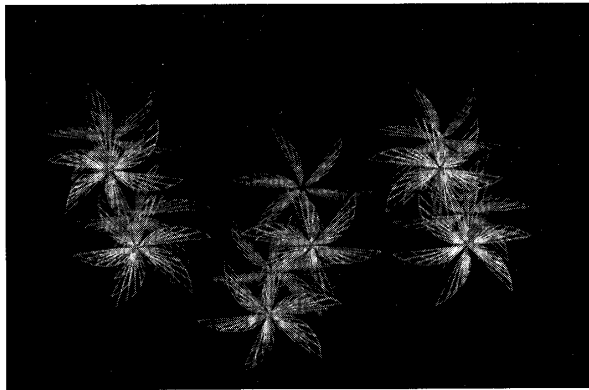


図3 作品画像C

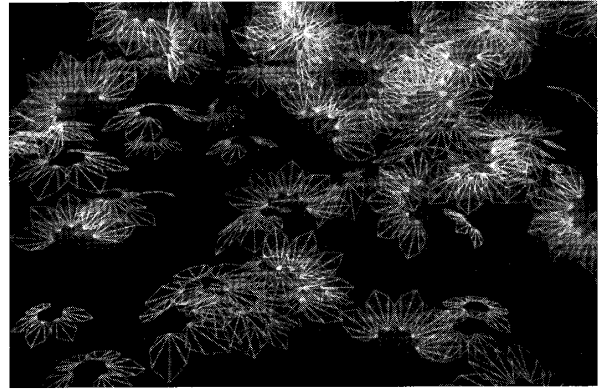


図4 作品画像D

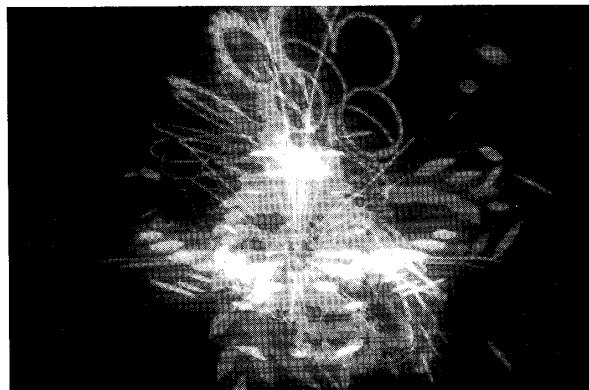


図5 作品画像E

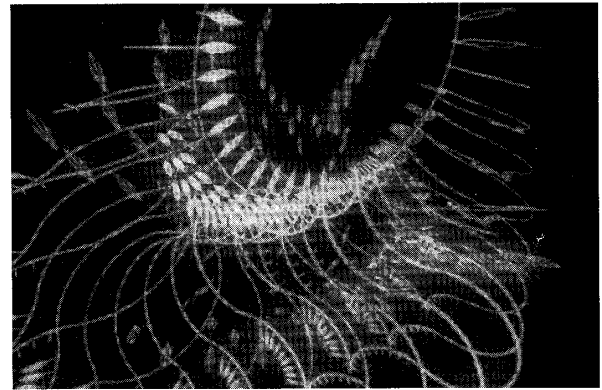


図6 作品画像F



図7 作品画像G

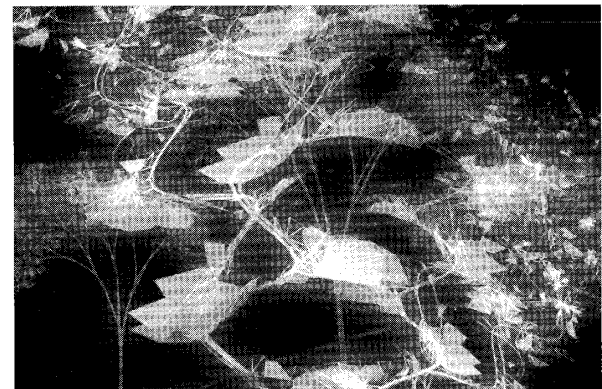
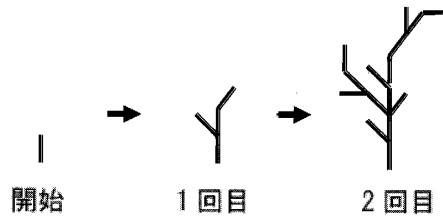


図8 作品画像H

命令	実行内容
F	Draw a tube and move forward.
$+$	Turn left.
$-$	Turn right.
$\&$	Pitch down.
\wedge	Pitch up.
\backslash	Roll right.
$/$	Roll left.
$[$	Save state, start new branch.
$]$	Restore state, end a branch.

図9 基本命令

初期条件： F
 変換規則： $F \rightarrow F[+F]F[-F]$



開始	F
1回目	$F[+F]F[-F]$
2回目	$F[+F]F[-F][F[+F]F[-F]]F[+F]F[-F][F[+F]F[-F]]$

図10 記号列と処理結果

L-System Turtle Commands	
Drawing commands when {} structure command is active	
F	move forward and draw full length record vertex
$F(x)$	move x forward and draw record vertex
Z	move forward and draw half length record vertex
$Z(x)$	move x forward and draw record vertex
Note: $F = F(100) = Z(100)$	
$Z = F(50) = Z(50)$	
Movement commands when {} structure command is active	
f	move forward with full length record vertex
$f(x)$	record vertex move x forward
z	move forward with half length record vertex
$z(x)$	move x forward record vertex
g	move forward with full length don't record vertex
$g(x)$	move x forward don't record vertex
don't move record vertex	
Orientation commands	
$+$	turn left (counter clockwise) around the turtle's local X vector
$+(x)$	turn x degrees left (counter clockwise) around the turtle's local X vector
$-$	turn right (clockwise) around the turtle's local X vector
$-(x)$	turn x degrees right (clockwise) around the turtle's local X vector
$\&$	pitch right (clockwise) around the turtle's local Y vector
$\&(x)$	pitch x degrees right (clockwise) around the turtle's local Y vector
\wedge	pitch left (counter clockwise) around the turtle's local Y vector
$\wedge(x)$	pitch x degrees left (counter clockwise) around the turtle's local Y vector
$<$	roll left (counter clockwise) around the turtle's forward (Z) vector
$<(x)$	roll x degrees left (counter clockwise) around the turtle's forward (Z) vector
$>$	roll right (clockwise) around the turtle's forward (Z) vector
$>(x)$	roll x degrees right (clockwise) around the turtle's forward (Z) vector
Special Orientation commands	
$ $	turn 180 degrees around X vector - ie. turn around and face backwards.
$\%$	roll 180 degrees around the turtle's forward (Z) vector
$\$$	roll until horizontal - (not sure this works properly)
\sim	turn/pitch/roll in a random direction
$\sim(x)$	turn/pitch/roll in a random direction with a maximum of x degrees
t	correction for gravity with 0.2
$t(x)$	correction for gravity with x
Structure commands	
$[$	push current state (size, position, alignment) of the turtle onto the stack
$]$	pop current state (size, position, alignment) of the turtle off of the stack
$\{$	begin polygon drawing mode. Draws one face at a time.
$\}$	end polygon drawing mode.
Size/Angle/Thickness commands	
$ $	increment the turtle's current size (length) with 1.1
$ $	decrement the turtle's current size (length) with 0.9
$ (x)$	multiply the turtle's current size (length) with x (same as (x))
\cdot	increment the turtle's current default rotation angle with 1.1
\cdot	decrement the turtle's current default rotation angle with 0.9
$\cdot(x)$	multiply the turtle's current default rotation angle with x (same as (x))
$?$	increment the turtle's current thickness with 1.4
$!$	decrement the turtle's current thickness with 0.7
$?(x)$	multiply the turtle's current thickness with x (same as (x))
Additional commands	
c	increment material id (color index)
$c(x)$	set material id to x
$@$	end of object description

図12 命令群一覧

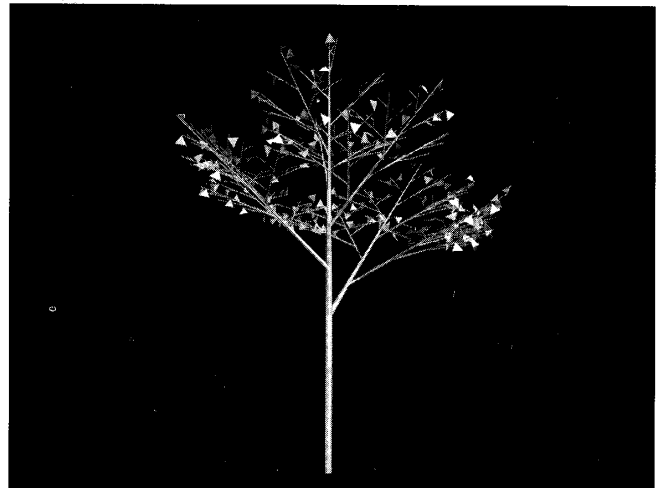


図11 標準的な樹木形状例

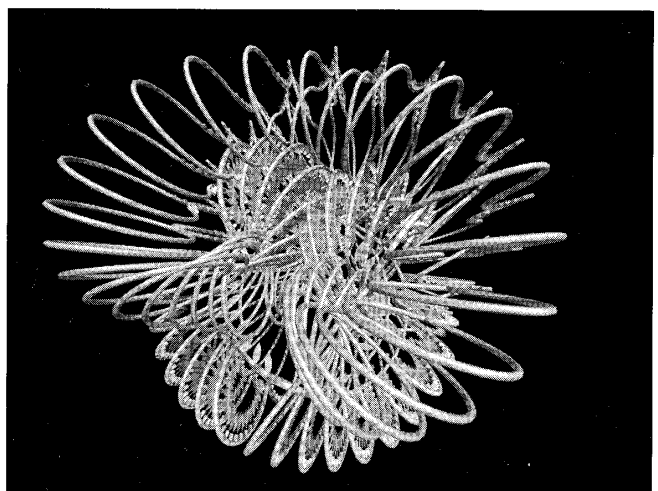


図13 本作品における形状例

3. CG作品制作における制作アプローチ

3.1 既存の制作アプローチ

CG作品制作における制作手法上のアプローチは大きく二つに区分される。絵画や彫刻におけるトラディショナルな手法をコンピュータで代替するようなアプローチと、アルゴリズム(algorithm)によって図像を生成するアプローチである。アルゴリズムによる制作アプローチは、作者が絵画や彫刻のように直接的に対象物を操作することなく、コンピュータを使って処理手順を記述し、図像や形状を生成して作品を制作する。

数式を用いて図像を形成するという試みとして代表的なものには、ジョン・ウィットニー(John Whitney)のようにサイクロイド曲線やリサージュ曲線などを応用したスピログラフ的なものや、ウィリアム・レイサム(William Latham)のように、フラクタルや、遺伝的アルゴリズムを応用した作品などがある。

直接的に対象物を操作しないとは言え、芸術表現の源泉といった非言語的な要素を一般化し、そこから無限のイリュージョンを創出することは、正しく芸術的行為と言える。技術が一般化すれば作品の個性が没個性化するといった批判もかつてはあったが、手法自体、それぞれにオリジナル性を有している。よって、アルゴリズムミミックな手法によって創出された作品群は十分に作家の個性と創作意図を表した芸術作品と言えるのである。しかしながら、いくつかの問題点も有している。これらの問題点は技術上の問題ではなく、アルゴリズムによる制作アプローチ自体がもつ性質によって必然的に内包せざるを得ない類の問題点である。それは、アルゴリズムによる制作アプローチが一般に浸透しがたい、という問題である。学術的および経済的な意味と価値はさておき、実際のクリエイティブシーンにおいてはこうしたアルゴリズムによる制作アプローチは支援的な位置づけに留まっているのが現状である。一般に浸透しない理由については、様々な原因や要因があり一概に言えないが、考えられる筆頭の理由として以下が挙げられる。

- ・制作アプローチ毎に作者の嗜好性や手法上の指向性、求められる能力や創作態度が異なる

アルゴリズムミミックなビジュアル表現を指向する作者においては、表現しようとする具体的な表象イメージが先にありきという例は少なく、むしろその表象イメージをデータ化し、それを記述・処理するための構造ありき、という例が多い。また、制作過程とその成果も含めて作品的価値とする考えが潜在的にあるために、結果的にポスト処理についてもオリジナル環境で行うかもしくは付加しない場合が多い。

トラディショナルな手法を指向する作者はその制作過程よりも、作品それ自体の成果に多く関心を持ち、表現しようとする表象イメージが先行する傾向を持つ。その目標とするところもアルゴリズムミミックなビジュアル表現では成し得ないような対象物である。つまり表象イメージをデータとしてアプリケーションソフトウェア上に入力するための技法ありき、という例が多い。そういったユーザが大半を占めることを証左するように、技術というよりは技能的側面をコンパクトに機能化したコマンドを実装したアプリケーションソフトウェア群が市場の多くを占め、次々と制作される作品群はそれらのアプリケーションソフトウェアを高度なレベルで活用したものが一般に流通している。このように両者の差異についてはあくまで一般的な傾向であるが、まさに表裏の関係であると言えよう。浸透しないことを問題として意識化する理由は

次のとおりである。

- 発想ではなく技術、技能優先指向に陥りやすくなる

↓

- 作品の視覚的印象や意匠設計が類似的になり、作品傾向が似通ってくる。

↓

- 新規性のある芸術作品の創作機会が減少し、アートシーン全体が停滞する

上記の展開が問題として顕在化するの、あくまで芸術分野に限定されたものであり、ゲームや放送などの商業分野においてはこの限りではない。しかしながら、何れ分野であれ、常に新しい視覚的挑戦がない限り、CG分野全体に影響を及ぼし、両分野の不利益になることは言うまでもない。実際に、これらを問題として意識化しつつある動向がある。2001年に設立されたアジアデジタルアートアンドデザイン学会の設立主旨の中の一部に“メディアテクノロジーを基盤とした人間の論理的思考と豊かな芸術的感性との融合によって生まれるメディア芸術・デザインの方法論の確立を目指す”と謳われた文言がある。また、CGの祭典・学術発表会である米国SIGGRAPHにおいても、メインイベントであるエレクトロニックシアターの審査傾向を2005年よりやや技術寄りにシフトするという話も出ている。

そこで本作品においては、作品制作行為自体をこうした両者の乖離傾向に対する改善の契機として試みた。音楽に例えると次のようになるだろう

“自らが楽器を設計、製造するまでには至らないが、楽器の調律や改修などを行える技術を持った音楽家が演奏や作曲を行うとどういった曲ができるであろうか”

そういう意味で本作品は、制作者個人の創作意欲を具現化した芸術作品ということに加えて、周辺事情を考慮した実験作品という位置付けも併せ持っている。

3.2 中間的な制作アプローチ

そこで本作品においては、両極化傾向にある昨今のCG作品制作における制作アプローチに対するひとつの提案として、中間的な制作アプローチを採って制作を進めた。

具体的には以下のような制作上の特徴を持つ。

- 形状の形成およびアニメーションソフトウェアを直接操作ではなく、植物の生長モデルを用いて手続き型処理によって視覚化を行う
- ポスト処理を含めた編集作業、質感設定、レンダリング等の汎用的な処理については既存のアプリケーションソフトウェア上にて行う

無論のこと、中間的な制作アプローチのような折衷案であれば両者のメリット、デメリットが相殺されるというわけではない。中間的な制作アプローチにおけるメリットおよびデメリットを以下に挙げる。

【メリット】 作品のモチーフの幅の広がりによる創作バリエーションの増加

【デメリット】 オペレーショナルレベルの瑣末なティップスから、アルゴリズムに関する幅広い知識が必要

しかしながら、これらのメリット、デメリットはトレードオフの関係にある。メリット数が多くなれば、本アプローチの有用性の評価が高くなるわけではない。よって、実際に作品を制作し、その有効性や有用性を検証することとした。

4. 制作過程

4.1 制作環境

L-System を表現上の手段として選定した理由は、そもそもそれが表現上の作品コンセプトであるというのが一番の理由であるが、前述したように本作品は、新しい制作アプローチを模索する上での実験的な意味合いもある。そうした観点から、次の理由によって L-System を採った。

- 技術的に安定している
- 主なアプリケーションソフトウェアに実装されている
- 記述方法が理解しやすい

作業用アプリケーションソフトウェアおよび L-System の選定において候補としたのは以下の3点である。

- ① Mathematica 5
- ② Blender 2.32
- ③ 3DStudioMAX 6

Mathematica とは数式計算、数式処理、プログラミングができるとともに、アニメーションを含むグラフィックス機能を実装する数式処理システムである。しかしながら、あくまで数式処理が目的のアプリケーションソフトウェアであるため、映像制作としての機能は十分でない。L-System によって生成された図像を表現の域にまで高めるには独自にアニメート機能やレンダリング機能を付加するか、別アプリケーションにデータをエクスポートする必要がある。

Blender 2.32はフリーソフトであり、また L-System をスクリプトで制御できるアドイン機能を実装している。しかしながら、本体アプリケーション自体の安定性や汎用性に難がある。

そこで Discreet 社の 3DStudioMAX6 を採用した。SDK などの開発環境が整っているため C++ などのプログラミング言語を用いて拡張することやスクリプトを記述して独自の処理を行うことができる。

L-System の parser は公開されており、BlurStudio (<http://www.blur.com/index1.html>) というデベロッパーが、そのソースコードと MAXSDK を用いて 3DStudioMAX 6 のプラグインをリリースしている。

よって今回の制作においては、3DStudioMAX 6 上の描画処理は当該プラグインによって行うこととし、LS ファイルの作成と絵コンテなどのプリプロダクションに多くの制作時間を充てた。

プラグインによって生成されたデータは、3DStudioMAX 6 の一般オブジェクトとして処理されるために、アニメート、マッピング、レンダリングなどの汎用処理は全て 3DStudioMAX 6 上にて行うことが可能である。

4.2 LS ファイルの作成

アルゴリズムによって形状を形成することのメリットの一つとして作者本人が予想していなかったような興味深い形状を偶然に見つけ出すことが挙げられる。

本作品では、意図的に形成した基本形状と、The L-Breeder program というアプリケーションソフトウェアを用いてミューテーション (mutation) 処理を加え、突然変異体を作り出し、様々なバリエーションをもつ LS ファイルを生成した (図14)。意図した形状になることもあればならないこともある。比較的意図した形状に類似したものが形成された場合は、直接 LS ファイルを編集して修正変更を加えた。

4.3 オブジェクトの二次制御とアニメート

LS ファイルを作成し、それをプラグイン経由で3DStudioMAX 6にインポートすることによって形状が汎用データとなってレンダリング可能状態になる。しかし、この状態では単なる形にすぎない。各変数値を調整することによって二次制御を行い、アニメートしていく必要がある (図15)。しかし、この作業は多くの試行錯誤を要し、予測不可能な場合も発生する。生成自体は直接作業ではないが、根気と芸術的感性を要する。そういう意味では最重要の工程であると言える。以下に各変数項目について概説をする。

- ・ Size : オブジェクトの大きさ
- ・ Rucursion : オブジェクトの生長度合い
- ・ Basic Angle : 枝の回転度合い
- ・ Thickness : オブジェクトの太さ
- ・ Min Thickness : 枝の先端部分の最低値の下限
- ・ Seed : 枝が生成される方向のシード値
- ・ Generate Closed Form : 枝の節の接続

これらを調整し、必要に応じて3DStudioMAX 6が標準実装している汎用アニメート機能を複合的に用いて様々なバリエーションを設計する。本作品では80以上ものバリエーションパターンを作成した。この段階での作業は、二次制御同様、感性的な判断を要する。

無から有が生まれるように、光の中から出芽する生命、枯れゆく葉や、力強く繁茂する草木、生長し、高みへ昇華する幼木など、湧き上がる想像やイメージのきっかけを、できるだけ簡潔な手順で試作映像化し、頭の中でイメージの追認を行った。その上で、更に意図する図像や映像とするために、詳細かつ具体的な作業過程にステップ化していった。(図16～図19)。

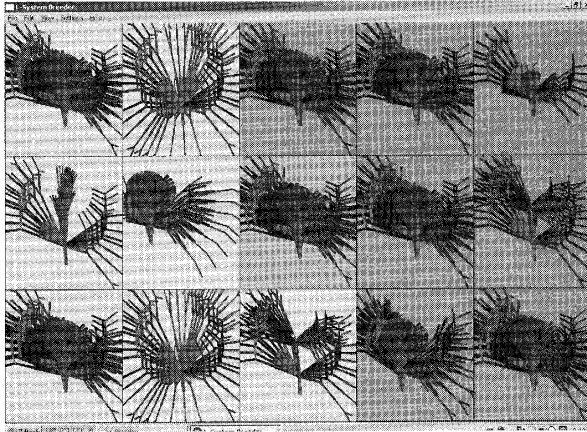


図14 ミューテーションによる形状例

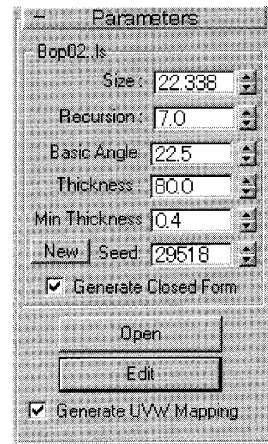


図15 変数設定パネル

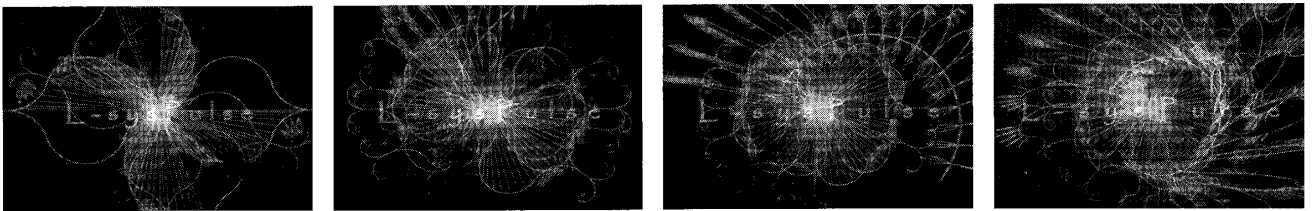


図16 アニメーション展開画像 A

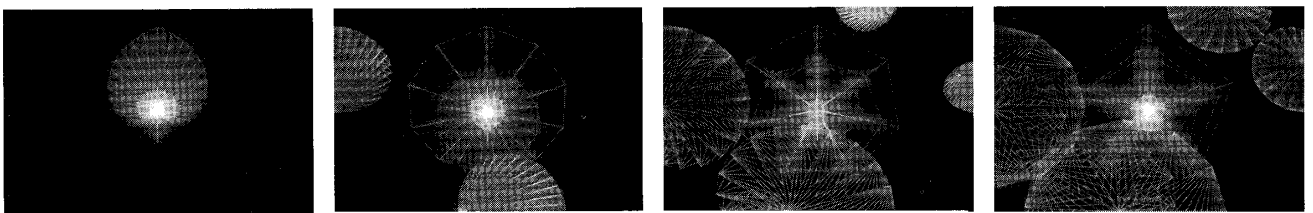


図17 アニメーション展開画像 B

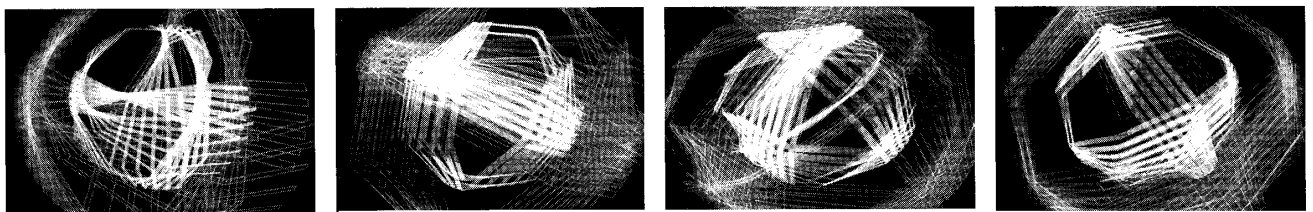


図18 アニメーション展開画像 C

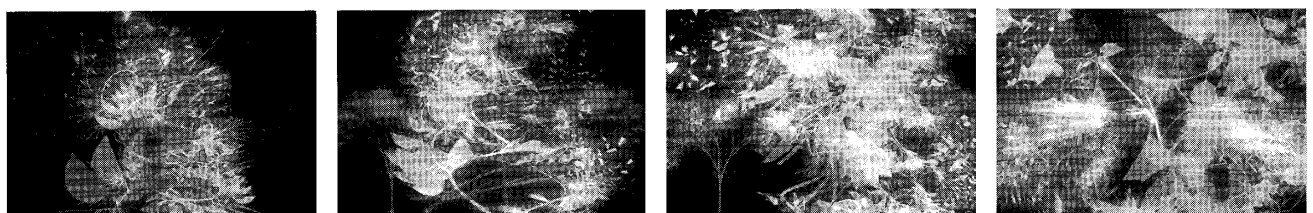


図9 アニメーション展開画像 D

4.4 カメラワーク

カメラ位置は、定点固定もしくはオブジェクト自体が定点で自転するのみである。カメラが固定されてスタティックな反面、オブジェクトの動きをカメラとは対照的にダイナミックに見せることを意図したためである。

4.5 レンダリングおよびポスト処理

4.5.1 ワイヤフレーム

陰面消去処理を行い、多角形によって面を描画する表示方法であるサーフィスモデル手法によって、いくつかのサンプルを作成した。静止画の段階では、陰面消去処理がなされ、質感もマッピングされた具体イメージの方が、視覚的印象は良好であったが、作品コンセプトである“シンプルかつ律動感のある動き”を動画化した場合にはワイヤフレームの方が適切であると判断した。よって本作品ではあえてシンプルなワイヤフレームによる表示方法を採用した。

ワイヤフレームとは立体図形を、面では描画せず、辺のみで描画する手法である。そのため情報量が少なく、高速に描画できるなどの利点がある。計算速度が十分でなかったコンピュータ黎明期では一般的に用いられてきたが、現在では設計時など特殊な用途以外には用いられる機会は少ない。古典的なCGイメージへのオマージュではなく、あくまで新しいビジュアル表現の試みを実践するため、単なる線描のみではなく、グロー効果を施し、ワイヤフレームのシンプルさを活かしながら幻想的で神秘的な雰囲気 연출した。

4.5.2 グローエフェクト

まず参考としたのは、アナログ時代の典型的CGのようなイメージである。グローエフェクトとはオプティカル処理でフィルムに焼き付けるときにオプティカルプリンターのピントをずらす事によりフレア状の光や光芒の効果をだす技法である。非常に手間がかかる技法であるが、視覚的にインパクトのある映像が得られるため、CM映像や映画のSFXとして過去多くの利用事例がある。

デジタルへ移行した現在では同様の効果を生み出すフィルターがプラグインとしてポスト処理アプリケーションソフトに実装されている。しかしながら、2次元的なポスト処理はフィルターをかけてピントのずれを擬似的にレンダリングしているため、動画として映像が展開する際に、どうしても動きと処理の違和感が残ってしまう。そのため、ポスト処理を行う前段階、つまり3次元データ上で擬似的なグロー効果の技法を検討した。

あたかもピントがずれて発光したかのように見せるため、カメラからの視点と形状面の法線の角度によって質感の透過度を変化させた質感情報を作成し、それをオブジェクトに割り当てる。その際、オブジェクトは全く同じ位置にオリジナルとクローンの二つを作成しておき、クローンの方を120%拡大することによって光のフレア状の効果を擬似的に作り出した。この状態にさらにポスト処理を加えることによって躍動感のある映像に適切なグロー効果を得ることができた(図20、図21)。

4.5.3 ストリークエフェクト

画面に緩急と抑揚をつけるため、本作品の前後2箇所ToStriクエフェクトを挿入した。ワイヤフレームの映像に適合するように、ストリークもオプティカル処理の風合いを表現するため、ぶれて写った様な効果を加えた(図22、図23)。このような過程を経て、本作品全体に

イルミナティックで幻想的なイメージを付与した。

5. 背景音楽について

映像との時間的・意味的同期性を図るため、作曲については自らが行った。あくまで背景音楽であるため、ドラマティックで複雑な展開ではなく、ダイアトニックコードのみが繰り返され、それにメロディーが重なるだけの単純な曲である。しかしながら単調にならないようにするため、90秒の中に装飾音を付加し、画像との動的タイミングを調整しながら編集を行った。

背景音楽に同期しながら形状特性や色の属性を変化させるため、画面上の構成要素は手続き型を設定した。そして、その属性値の変数として背景音楽の音声ファイルを割り当てた。今回の作品においては背景音楽とのリアルタイムなインタラクティブ機能は実装していない。

6. まとめ

本作品についての一応の客観的評価を得られたため、個人による芸術作品としては全くの失敗作ではなかった。しかしながら、実験作品としての側面、つまり中間的アプローチの有効性や有用性については、評価尺度を定め、定性的な検証作業が必要である。それについては今後の課題としたい。作品自体の技術・技法上での今後の目標として James McCartney によって開発されたリアルタイム音響合成のためのプログラミング環境である SuperCollider や、音楽・音響・映像処理のための、グラフィカルなプログラミング環境である Max/MSP/Jitter を活用し、リアルタイムに映像と音が展開する作品制作を検討している。

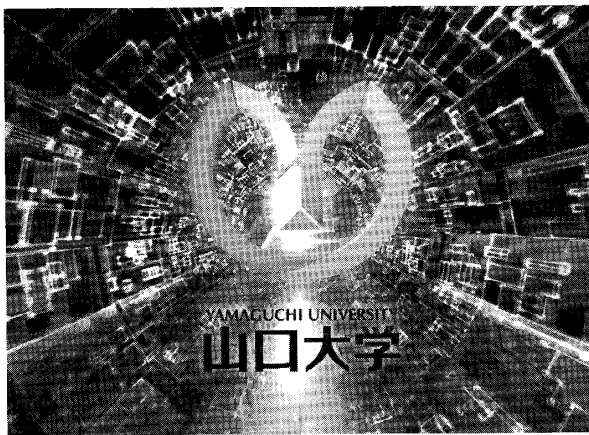


図20 グローエフェクトテスト画像

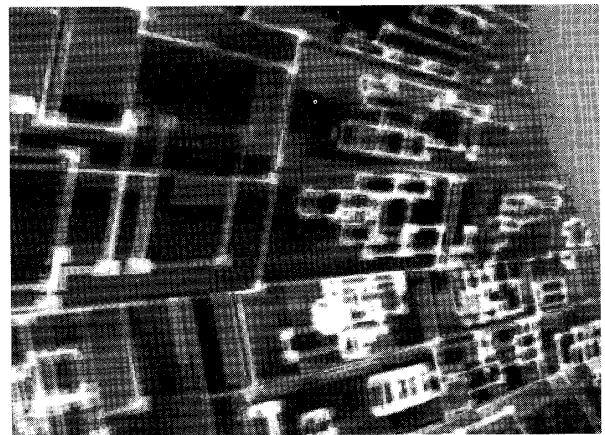


図21 グローエフェクトテスト画像部分拡大

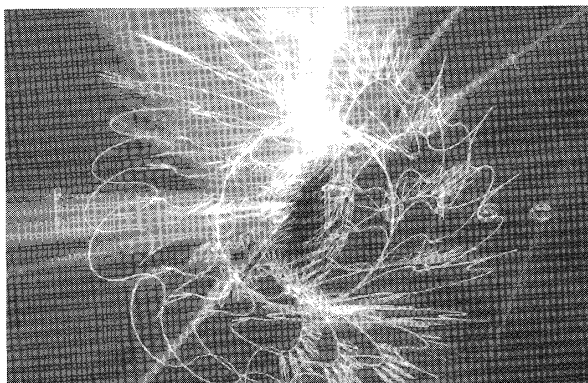


図22 ストリーク展開画像 A

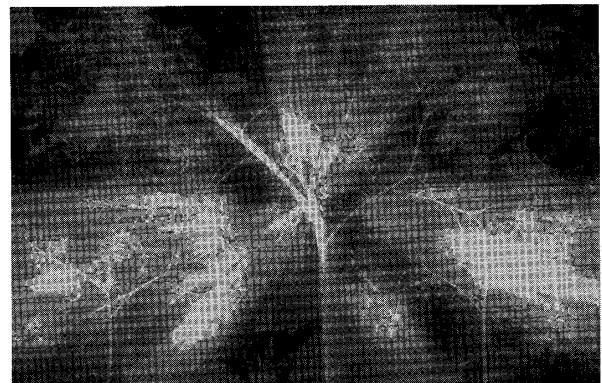


図23 ストリーク展開画像 B

参考文献

- 1) ジョン・ウィットニー：デジタルハーモニー，産業図書，1984
- 2) Whitney, John., *A Personal Search for the Complementarity of Music and Art*, 27:10 (Video), 1992
- 3) 映像の先駆者シリーズ ジョン・ウィットニーの世界 ビジュアル・ミュージックのパイオニア (LD)，レーザーディスク株式会社，1984
- 4) Goldberg, D. E.: *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*, Addison-Wesley (1989)
- 5) Lindenmayer, A. and P. Prusinkiewicz: *Developmental Models of Multicellular Organisms: A Computer Graphics Perspective*, in C. G. Langton *Artificial Life*, Addison-Wesley, 1989
- 6) Prusinkiewicz, P., Hammel, M., Mech, R. and Hanan, J.: *The artificial life of plants*; SIGGRAPH'95 course note 7, SIGGRAPH'95, ACM, 1995
- 7) 島田良一：かたちに見る造形の構成イメージ，鹿島出版会，1995
- 8) 柳田達雄：Lシステムによる植物の形態の進化，物性研究，61-5:429-439, 1994
- 9) 木本圭子：イマジナリー・ナンバーズ，工作舎，2003