

# フラクタルを芸術作品に応用する手法について

## —心象風景としてのフラクタル図像—

熊谷武洋

A Method to Apply Fractal to Work of Art  
— Fractal Image as Mental Scenery —

Takehiro KUMAGAI

(Received September 30, 2005)

Key words: Computer Graphics, Art, Algorithm, Fractal

### 1. はじめに

本論は、フラクタルの技術的側面ではなく、フラクタルを芸術作品に応用するための可能性と効果について述べたものである。本論で定義する“芸術作品”という文言の意味は、優れた作品という意味ではなく、作品制作における制作態度を満たしている、という意味である。“芸術作品と称されるには作者の人格が表現として媒体に定着されていなければならない”と定義・条件付けされるならば、フラクタルのようなアルゴリズムミックアートは、常に芸術作品として曖昧なポジションに浮遊し続けることになる。

従来のフラクタルアートシーンでは静止画ベースのアプリケーション完結型作品が多く、動画像表現や、フラクタル図像を素材化して制作した作品は多くはない。また制作動機やコンセプトを前提として複数の表現要素を複層に及んで構成された作品もまた同様である [1]。このような傾向は制作態度やその作品の位置付けに大きく影響する。

そこで本論では、フラクタルを芸術作品の制作手段として応用の可能性の有無について実験制作を試みて考察を行った。心象風景 (mental scenery) における景勝地 (scenic beauty) の表象化という制作コンセプトのもと、曼荼羅的世界観や無限循環に対峙した時の情動の表現をテーマとして動画像を作成した。フラクタル図像をモチーフとして素材化し、3次元CGやポスト処理を加えてイルミナティックなイメージに仕上げた (図1, 2)。また背景音楽はオリジナルであり、図像と曲調が同期するように作曲・編集した。

なお当該作品は、本論の手法を応用した実証作品として荒川隼人氏と共同制作を行い2004年芸術科学会主催関西CGコンテストに応募した。その結果、最優秀賞作品として選定された [2]。作品仕様は以下のとおりである。

- |              |   |
|--------------|---|
| ■ 作品題目       | 『FractaRhythm』                          |
| ■ 表現形態       | 3次元CGによるデジタル映像                          |
| ■ 作品時間       | 70秒                                     |
| ■ 使用アプリケーション | 3DStudioMAX6, Tierazon, AfterEffects5.5 |

## 2. 心象風景画としてのフラクタルアート

景勝地とされる美しい景観は、自然の芸術と称されるように鑑賞者の心を動かすという意味で芸術的側面を持つてはいるが、芸術作品とは定義されない。しかし、自然の風景をモチーフとした絵画や写真は芸術作品として定義される [3] [4]。それらの図像には人格表現としての創造的行為が意図的に施されているからである。無論、インターアクティブアートや、メディアアート、アルゴリズムアートといった作品群の中には、作者の意図に忠実に表出することを目的としない作品もあるので、人格表現が芸術作品として定義付けられる条件とするのは、近現代に限定される局所的な見方であるということは認識している。しかし、本論の前提は、フラクタルといったコンピュータを手段とせねば表現し得ないようなモチーフを、従来の意味での芸術作品と同様に位置付け、それを前提とした制作スタイルと応用方法の可能性を、実制作を通して模索し考察するというものである。定義や条件付け自体については本論の目的とするところではない。しかし、この前提を確立するためには明確にすべき二つの問いが生じる。

- 既存アルゴリズムを援用した数理造形作品が独自性を有することが出来るか
- 実在しない景観は、表現の対象になりうるか

次にこれらの問いについて述べる。

### 2. 1 独自性の問題について

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従来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 [5] [6]。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 [7] [8] [9]。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、それぞれに独自性を有している。よって、アルゴリズム的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、既存アルゴリズムの場合の独自性はどのように保証され、成果物としての作品はどのように評価されるのか。

フラクタル自体は1960年代に数学者マンデルブロー (Benoit Mandelbrot) が新しい幾何学の概念として導入し提唱した非整数次元を持った図形や構造のことである [10] [11]。芸術家が表現手段として考案した数学的技法ではない。

マンデルブローが数学者ではなく、芸術家であったとしたら、おそらくフラクタルの位置付けも大いに変わっていたと考えられるが、フラクタルは自然科学的な存在であり、いわばファインアートシーンにおける黄金分割のような側面と意味合いを持っている。そして、それ自体が手段化のための指向性を内在しており、事実そのようにして多くのフラクタルアートが制作されてきた。よって、フラクタルを応用する手段それ自体は、独自性を損なうものではないが、実際には何らかの独自性が成果物としての作品に付与されない限り、芸術作品としての条件を満たすことにはならない。このような理由により、独自性を持つに至るには、フラクタルを表現手段として制作工程の一部として階層化することが必要であると言える。では具体的に階層

化とするにはどのような方法があるだろうか。本論で提案するのは素材化である。素材であれば、さらにそれを応用した表現物が上位階層として存在することになる。素材化には、様々なアプローチがあるが、それについては後述する。

## 2. 2 実在性と表現の問題について

そもそも「景観」という言葉の意味とは何か。「風景」や「景色」が、眺めや眺望そのものを指す言葉であるのに対し、「景観」は眺められる対象を示す「景」という文字と、それを眺める人間を示す「観」という文字が組み合わされた言葉である [12]。つまり、景観とは、それを眺める人間の主観的な情動や価値観を通して捉えられた像であり、心に作用し、心に映る景色である。それを認識する主体者の中に存在するという意味で心象風景とも言える。となれば、実在していなくても、それを可視化し、景とすれば景観という一連の関係の中にフラクタル図像を位置づけることも言葉の上では可能であると言えよう。事実、西洋美術史の中においても実在しない景観を風景絵画として描出することは長きに亘って行われてきた [13][14][15]。実在性よりも、それが美的な保証を有する景観であるかどうか重要なのである。

では、フラクタルの図像を景色として眺めるとき、景観として心に映る景色とはどのような図像なのか。それこそがフラクタルにおける景勝地である。本来、景勝地という言葉は、客観的にも美的感動や観賞価値を持つと保証され得る景観に用いられるが、フラクタルにおける景勝地という言葉は、「美しい眺め (scenic beauty)」という意味と、単に「視点 (view point)」という意味で用いられる。混在して用いられることが多いため、本論では前者の意味として用いる。

次にフラクタルにおける景勝地について説明をする。フラクタルの典型例として有名なマンデルブロー集合 (Mandelbrot's Set) を例とする。マンデルブロー集合は以下の式で求められる (マンデルブロー集合は、厳密にはフラクタルではないが、再帰的構造を持っているため事例として挙げた)。

複素数  $Z = a + b i$  を二次元平面上の点  $(a, b)$  に対応させる時、この平面を複素平面と呼ぶ。マンデルブロー集合は、複素平面上で定義される集合であり複素数列  $\{Z_n\}$  を

$$\begin{aligned} Z_0 &= 0 \\ Z_{n+1} &= Z_n^2 + \gamma \end{aligned}$$

と定める時、 $\{Z_n\}$  が無限大に発散しないような  $\gamma$  の集合が、マンデルブロー集合である。このとき、 $\gamma$  の集合を平面上にプロットすると図が出来上がる (図3)。精度を求めるなら  $n = \infty$  まで計算を行う必要があるが、計算機リソースは有限であるため、有限回数で打ち切る必要がある。ある閾値を越えるまで繰り返し計算をおこなっていき、打ち切り回数に達しても発散しないときは収束するものとする [16] [17]。

この時、発散の速さに応じて着色すると感性的に美しい図が出来上がる (図4)。また収束の判定をする判定式を変化させるとパターンが変化する (図5)。発散の速さと色は数学的には関係はない。感性的判断によって着色パターンを様々に変化させると同一の図でもまったく異なる印象の図になる (図6)。さらにマンデルブロー集合の一部を拡大していくと、様々な図が現れる。その拡大率によって、最初の図とはかけ離れたものや (図7)、最初の図と同じような自己相似形が現われてくる。そして、この関係は無限に循環し、果ては存在しない (図

8)。

さらに、 $Z^2$ を $Z^3$ にするなどパラメータを変えればそのバリエーションはさらに増える(図9)。このようにして現出した感性的に美しい図を得られる視点を景勝地と言う。

景勝地と呼ばれる図が出現するのは、外側の発散する点の集合側や、その境界付近であることが多い。しかし、どの領域をどこまで拡大すれば景勝地が現われるのかをあらかじめ予測することは不可能である。これまでの研究成果によっておおよその類型化はなされているが、そ



図1 タイトル画面

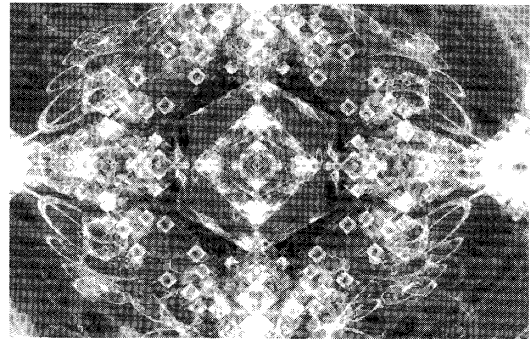


図2 エピローグ画面

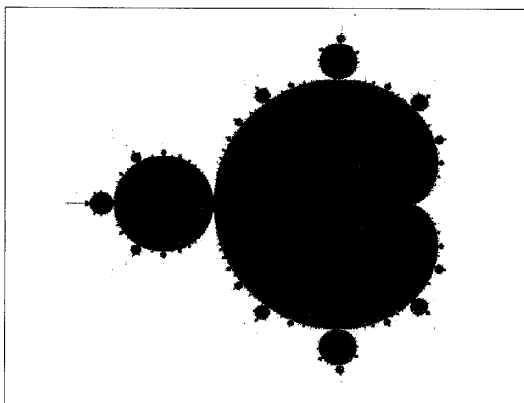


図3 プロットされたマンデルブロー集合

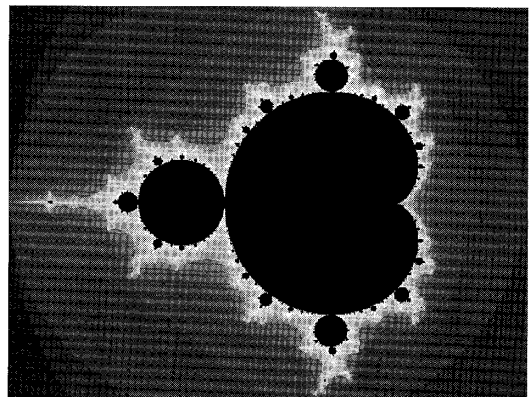


図4 着色されたマンデルブロー集合

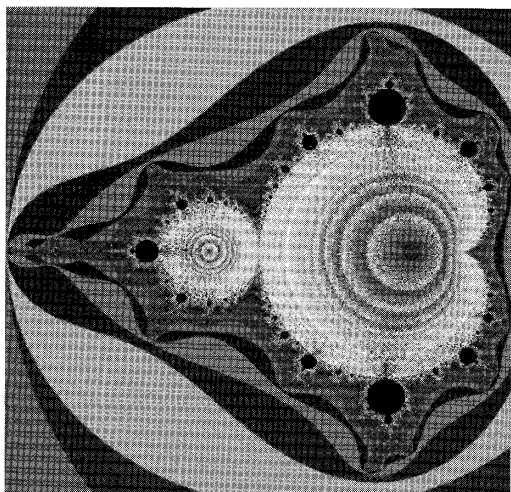


図5 着色パターンを変えたマンデルブロー集合

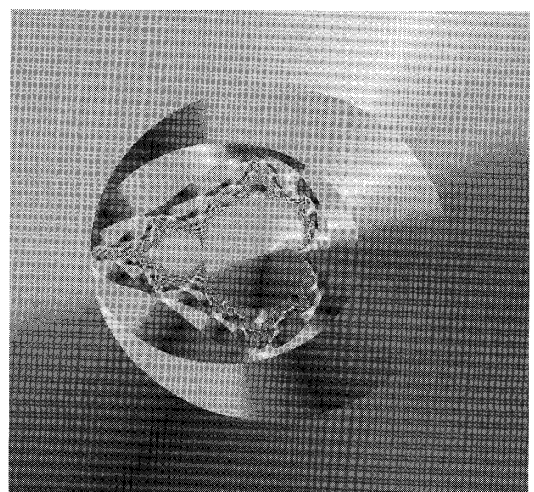


図6 着色パターンを変えたマンデルブロー集合

れが感性的に価値があるのか否かも含めて、即時に景勝地を見出すのは容易ではない。基本的に人為的な試行錯誤という作業が必然的に介入せざるを得ないのである。風景画家や写真家が人跡未踏の地に分け入り未だかつて誰も見たことのない絶景を景観としてキャンバスやフィルムに定着させたとき、それを芸術作品と称することが出来るように、このフラクタル図形もまた芸術作品と称される条件を備えていると言えよう。つまり、物理的には存在しない絶景をコンピュータを絵筆にして、景観として描き出した心象風景画ということである。よって、フラクタルにおける景勝地として心に映る景色とは、何らアプリアリのない、全くの無条件下で美しいと思える図象であると定義付けられる。

以上のことから導出される要点は、前述の論法の正しさの確度ではなく、フラクタルを芸術作品に応用出来るか否か、美的感動や観賞価値を持つか否かということは、“有効性の問題に置換することができる”ということである。

### 3. 実証作品について

有効性の問題に置換することができる、ということを経験すると“やってみなければわからない”と表現できる。何ら根拠のない消極的な印象を与えがちな言い方ではあるが、換言すると“やるまでもなく誤謬が明らかということではない”ということである。つまり、応用化自体は芸術作品として認められる範囲内であるということである。しかしながら、応用化自体が潜在的に有効性を備えていても、作者自身が能力的にそれを顕在化できない場合もある。仮に顕在化できなかった場合、それは無効だと結論付けることも可能である。

自然科学であれば、実証性を客観的に試行できるため、局所的な理由による不達性は払拭される機会が多いが、この場合芸術表現であるために、不確定な要素に影響される余地が極めて高い。対処の方法としては、他者が手法に限って追制作が可能となるように制作過程をドキュメント化し、慎重に取り組むという方法以外にはない。

#### 3. 1 作品構成

実証映像作品のコンセプトとテーマは以下のとおりである。

- 制作コンセプト：心象風景における景勝地の表象化
- 制作テーマ：曼荼羅的世界観や無限循環に対峙した時の情動の表現

曼荼羅図とフラクタル図形は自然科学的には何ら関係性はない。しかしながら、両者の持つ特徴は、それぞれを誘引し、何かの関係性や意味をそこに見出さずにはおけないような魅力を有している。よって哲学的な側面からの意味付けや解釈についてはこれまで多くの場面で語られてきた。そこで実証作品においてはこうした曼荼羅図とフラクタル図形が内包する神秘性をより強調し、それまで観念上の存在であった両者の関連を視覚化するという試みを行った。その際、以下の4点を制作上の課題・留意点として実制作に及んだ。

1. 曼荼羅図の立体化
2. 無限に連鎖や循環していくことの非言語的な感覚作用
3. 具体的図像と抽象的図像の往来と往還による次元の多層化
4. リズム、テンポ、色彩といった基本的造形要素を含めた総合的なカタルシス

シーンは以下の4つで構成し、展開した

起部 曼荼羅的世界開闢 (図10-12)

承部 無限への飛翔 (図13-16)

転部 無限世界から、具体的な実在世界へ辿り、既知感のある地表を經由し、さらに別の世界へ (図17)

結部 最初の曼荼羅的世界へ帰着し、世界全体を概観する視点、しかしその世界もまた世界の一部として循環している様相 (図18-20)

これらのイメージを図像化し、表現として具体化するには、フラクタル図像だけで完結することは出来ない。そしてまた完結させないような意図をそもそも含んでいる。その理由は前述したとおり、フラクタルを制作工程の一部として階層化することにより、独自性を付与するためである。そしてそれを実現するために、フラクタル図像を素材化し、活用した。具体的な方法について次に述べる。

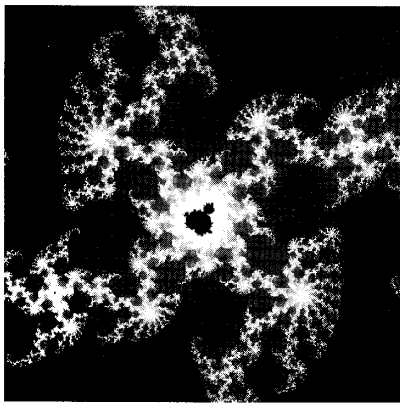


図7 境界部の領域を拡大

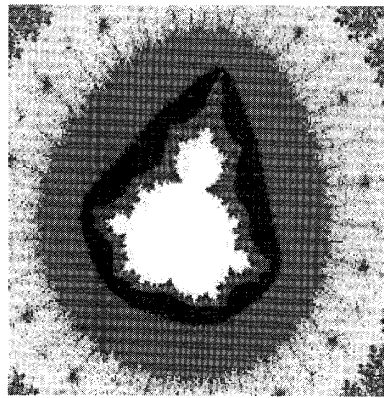


図8 細部に再び現われた相似形

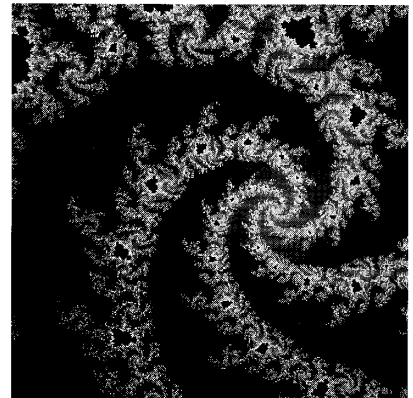


図9 Z 3に変更した場合

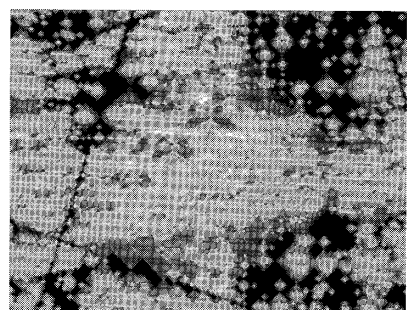
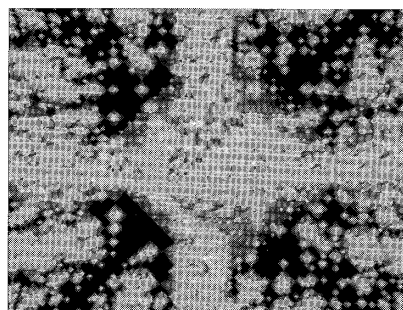
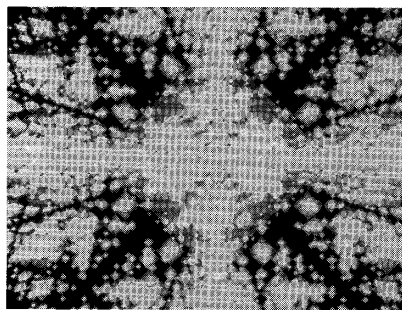


図10 起部シーケンス画像A

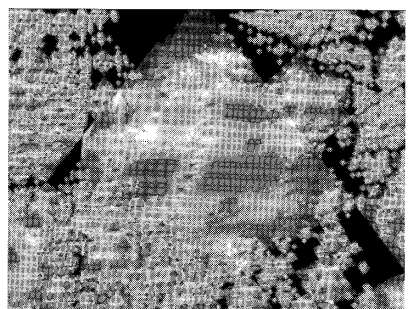
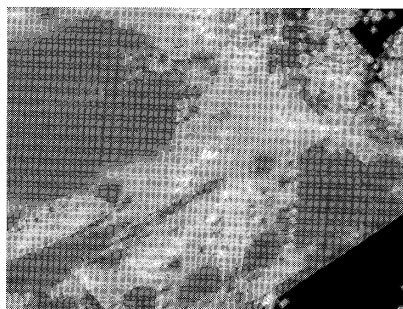
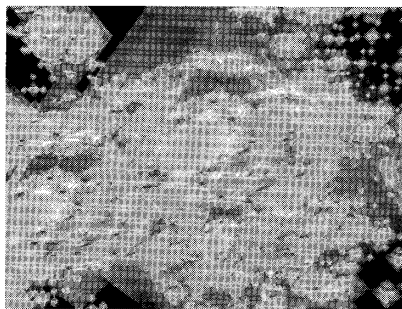


図11 起部シーケンス画像B

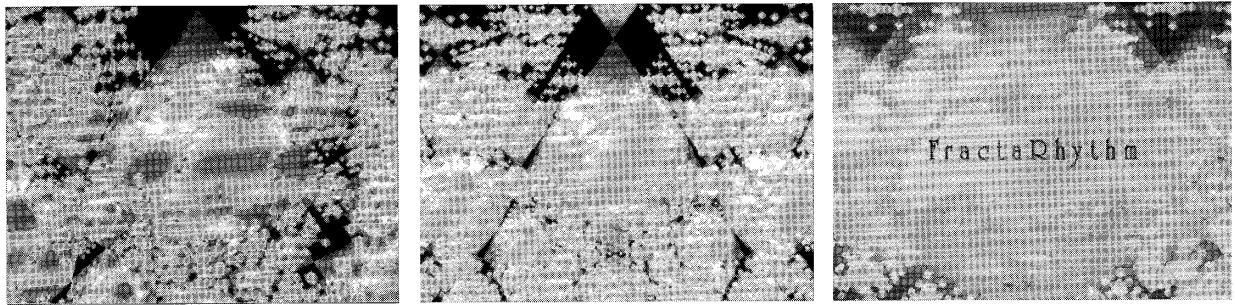


図12 起部シーケンス画像C

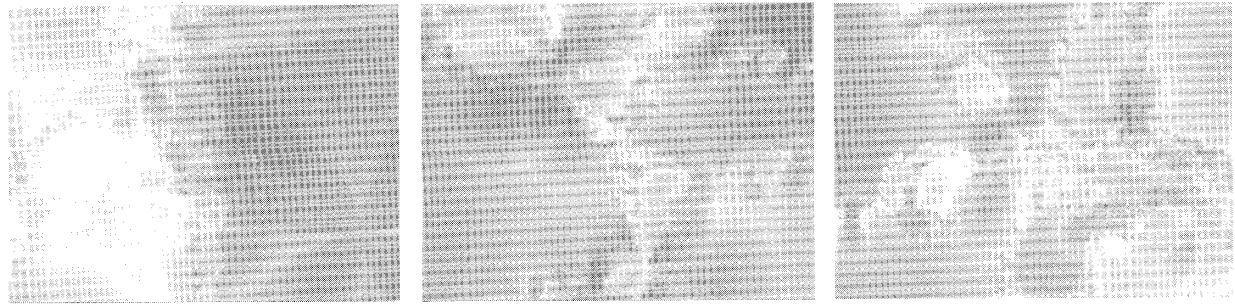


図13 承部シーケンス画像A

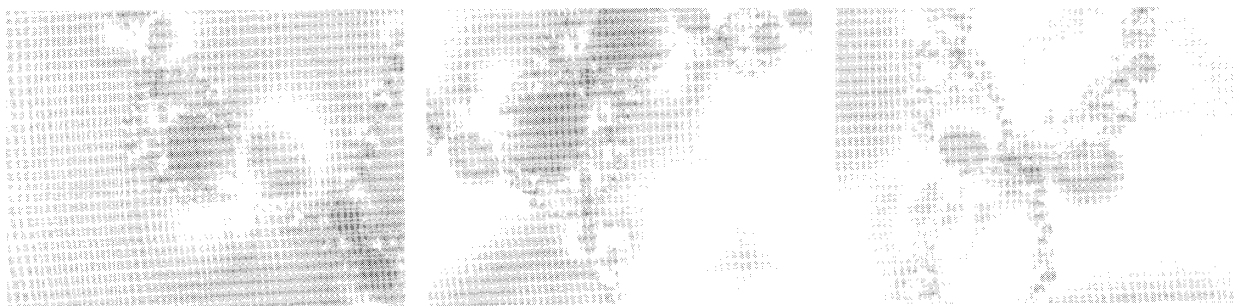


図14 承部シーケンス画像B

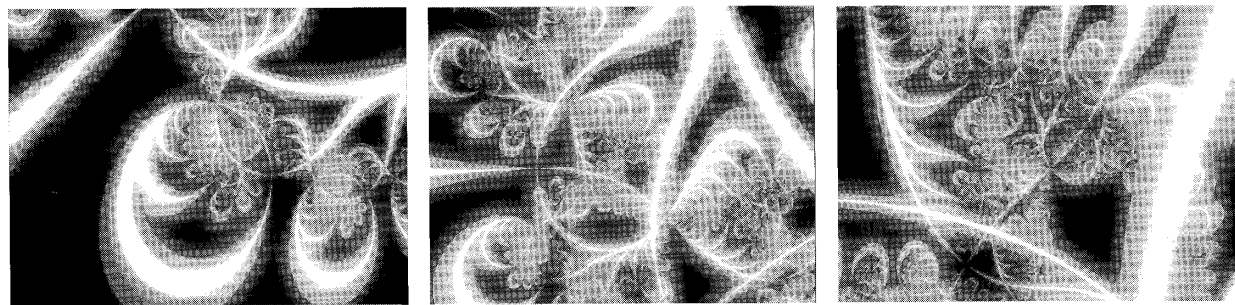


図15 承部シーケンス画像C



図16 承部シーケンス画像D

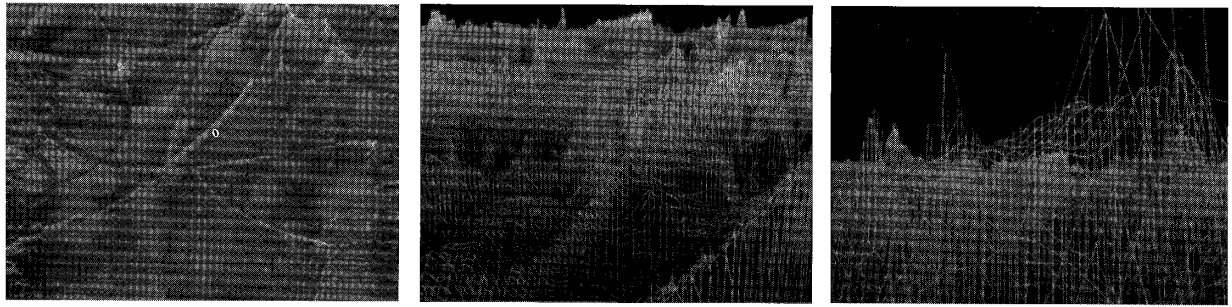


図17 転部シーケンス画像 A

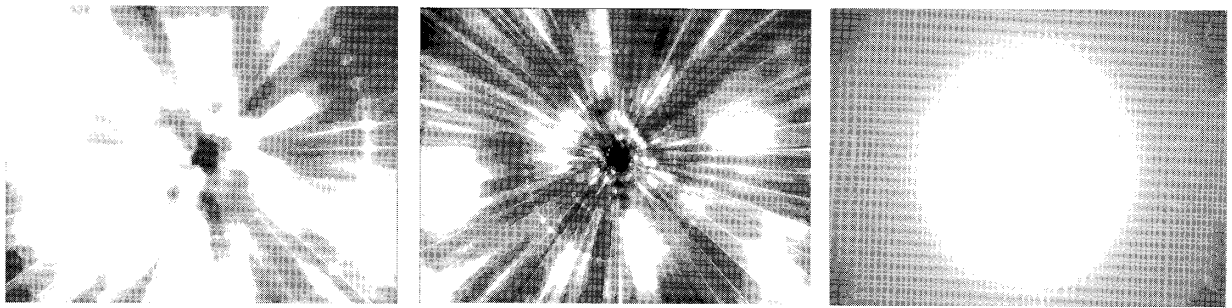


図18 結部シーケンス画像 A

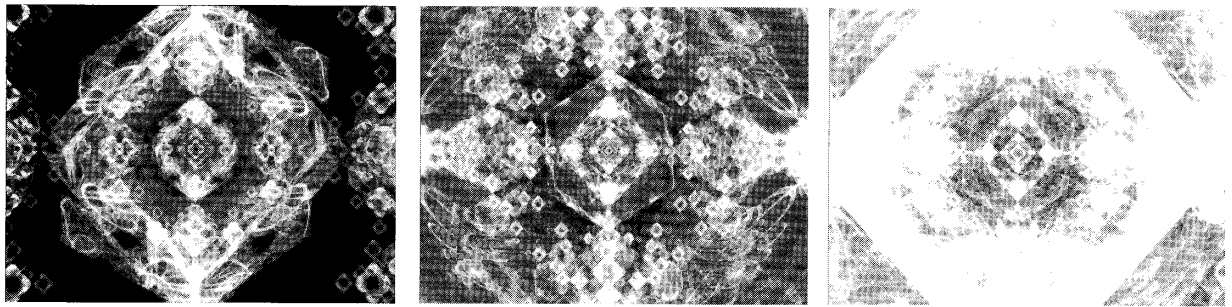


図19 結部シーケンス画像 B

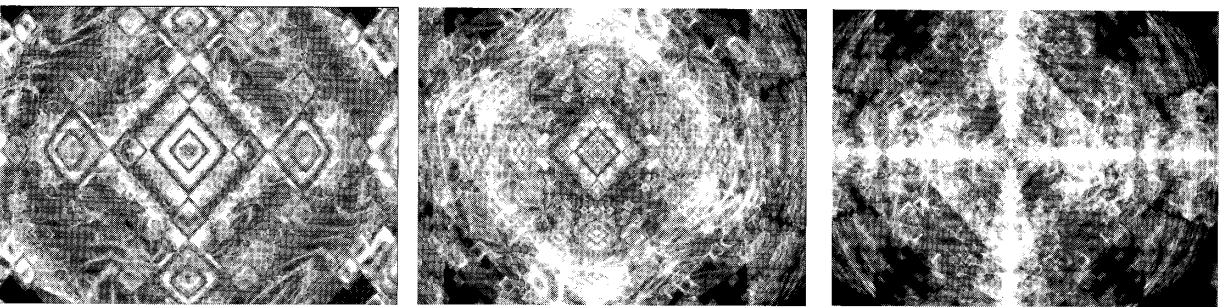


図20 結部シーケンス画像 C



### 3. 2 制作方法

#### 3. 2. 1 フラクタル図像の形成

前述したように、景勝地を求めることは容易ではない。そこで Tiera-Zon を支援的に用いた。Tiera-Zon は定義式を入力することによって任意の再帰型数列の非発散領域を高速で描画できる高機能なフラクタル図形生成アプリケーションソフトウェアである。関数を掛け合わせて配色を行い、生成されたフラクタル図像を拡大する事により、簡易的な動画を生成することが可能である。

Tiera-Zon の描画関数は118、フィルターは55、F D オプションは20、カラーパターンは40もの数が実装されている。これらを掛け合わせるとその数は膨大になり、運用上すべての組み合わせを試行することは不可能である。よって、感性的に価値のある景勝地を導出するためには、基本的には試行錯誤が必要である。またそれらを別途アプリケーションソフトウェアで、装飾化や素材化を行ったり、ポスト処理段階で加工処理化するには、操作知識だけではなく、感性的な能力を必要とする。芸術表現が前提であるので当然ではあるが、マウスを操作すれば即時完成するというわけではない。

Tiera-Zon を活用する際、自己相似性、無限性をより際立たせる為の工夫として以下を行った。

- 景勝地を選定する際、始めに最終画像を領域選択してから、始点を決定した
- 無限の連続性を強調するために同系色を配した
- 動きのダイナミズムを強調表現するため、微細な表現は抑制し、平面パターン図のようなフラクタル図像を生成した

#### 3. 2. 2 フラクタル図像のマッピング

Tiera-Zon によって生成されたフラクタル図像をマップとして以下のように用いた。

- 起部における曼荼羅的世界開闢シーン作成のための動画テクスチャマップ
- 結部における世界が無限循環シーン作成のための動画テクスチャマップ
- 転部における山脈シーン作成のためのディスプレイメントマップ

Tiera-Zon には前述したように簡易的な動画生成機能が備わっているが、回転などの幾何的な変換は出来ない。そこで、Tiera-Zon から非圧縮のプレーン AVI ファイルを出力した後、加工処理アプリケーションソフトウェアである AfterEffects にインポートし、色彩、軸回転、軸移動などの処理を加えた (図21、22)。

ディスプレイメントマッピングとは8ビットのビットマップ情報を参照して物体の形そのものを変形させてしまう形状モデリングの一種である。この方法によって、3DCG アプリケーションソフトウェアである3dsmax 上でメッシュを起伏化し、山脈のイメージを作成した (図23)。その際、架空的ではあるが、既知感のある山脈を演出するために、フォールオフを加算し、光が発光拡散している様を表現した (図24)。

#### 3. 2. 3 フラクタル図像の曼荼羅的視覚化

曼荼羅とは、密教の中心となる仏である大日如来の説く真理や悟りの境地を、視覚的に表現したものである。曼荼羅には様々な種類があるが、有名な曼荼羅としては大日如来を中心とし

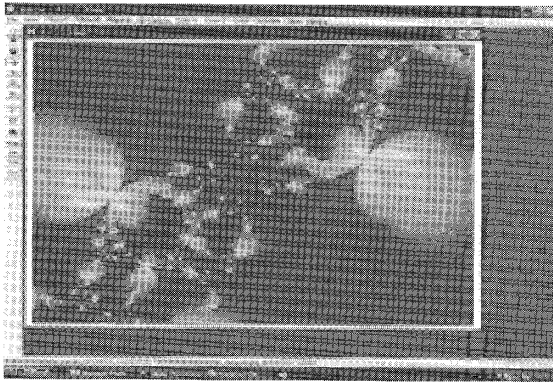


図21 色彩変更処理

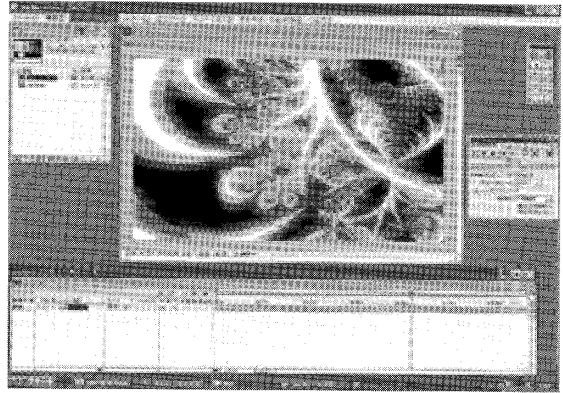


図22 幾何変換処理

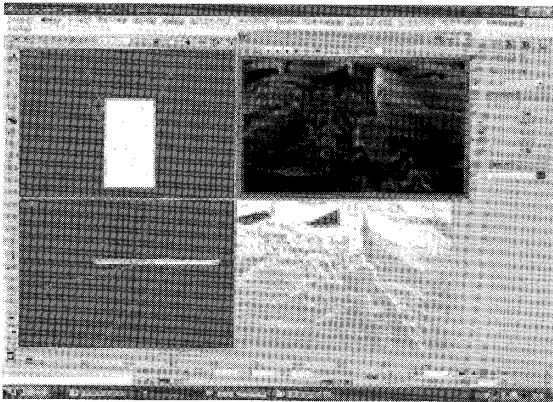


図23 ディスプレイメントマップ

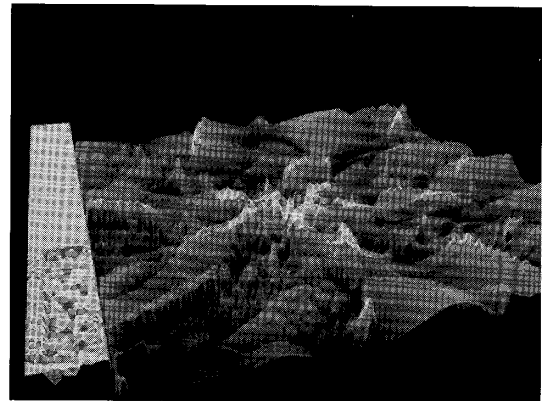


図24 フォールオフによる発光拡散

た数々の仏を一定の秩序にしたがって配置した「金剛界曼荼羅」「胎蔵界曼荼羅」が挙げられる。これらを合わせて「両界曼荼羅」と称する場合もある [18] [19]。

「金剛界曼荼羅」は降三世三昧耶会の九会（くえ）から成る。三段三列の九つの曼荼羅から構成されている（図25）。

「胎蔵界曼荼羅」は、中心となる中台八葉院の周囲に、同心円状に遍知院、持明院、釈迦院、虚空蔵院、文殊院、蘇悉地院、蓮華部院、地藏院、金剛手院、除蓋障院が巡り、これらすべてを囲む外周に外金剛部院が位置する。これは、内側から外側へ向かう動きを暗示し、大日如来の智慧が、現実世界において影響を与える様を表現しているという（図26）。

しかしながら、本作品での曼荼羅は本来の宗教性や歴史的な意味よりも、我々が典型イメージとして心象的に抱いている図像性を表現対象としている。フラクタル性と曼荼羅の持つ共通点、つまり部分は全体に全体は部分に無限の相似形が広がってゆく様相の持つ直接的印象を題材として用いた。このようなアプローチは表層的であるという否定的見解を誘起する場合もあるが、あえて一側面についてのみ着目することにより表現手段としての可能性を発揮させるという意図が背景にある。

これらの両界曼荼羅の図像的特徴として階層的、同心円状が挙げられる。スクリプトで再帰的に球体を配置した前述した素材化された動画テクスチャ無限に連鎖する様相を表現した（図10, 11, 12, 19, 20）。

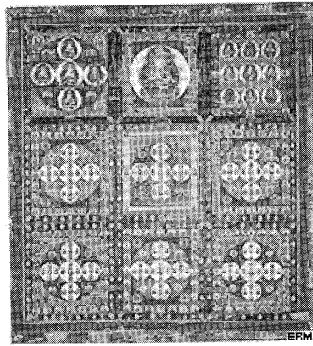


図25 金剛界曼荼羅図

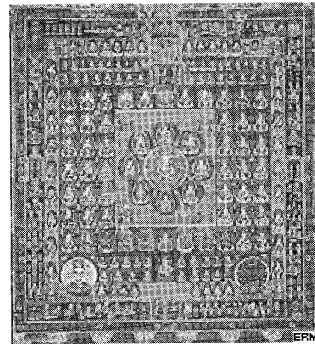


図26 胎藏界曼荼羅図

### 3. 2. 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。

### 3. 2. 5 特殊効果

加工処理アプリケーションソフトウェアである AfterEffects を以下の用途に用いた。

- イルミナティックな表現にするための光芒をフラクタル画像に付加した
- 加算処理による光をより際立たせるために合成した
- フラクタル画像をよりダイナミックに見せるための回転、拡大、縮小した

### 3. 2. 6 グローエフェクト

幻想的なイメージを演出するために、転部における山脈シーンにグローエフェクトを付加した。グローエフェクトとはオプチカル処理でフィルムに焼き付けるときにオプチ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。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各種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、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様に見せるため、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。このようにして光のフレア状の効果を擬似的に作り出した。これまでも筆者の作品制作において試みた手法である [20]。3次元CGならではの方法と言えよう (図27)。

### 3. 2. 7 ストリークエフェクト

画面に緩急と抑揚をつけるため、ストリークエフェクトを挿入した。ワイヤーフレームの映像に適合するように、ストリークもオプチ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28)。

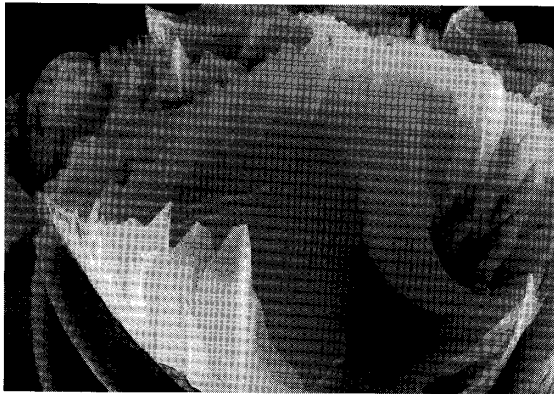


図27 グローエフェクト

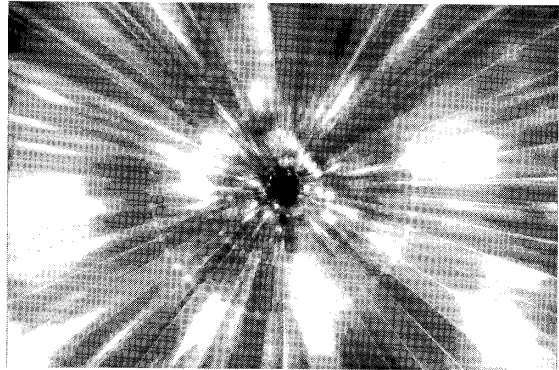


図28 ストリークエフェクト

## 4. 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ため、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。曲調と画面展開を視覚的に同期させるため、新たにオリジナル音楽を作曲した。電飾的なイメージを強調する演出的な意図として、リズムは原始的な4つ打ちとし、人工音声(フラクタルの英語解説文を発音)をボコーダにて加工した。

## 5. 今後の課題

本作品についての一応の客観的評価を得られたため、試みとしては全くの失敗ではなかったと言える。フラクタルといったコンピュータを手段とせねば表現し得ないようなモチーフを、従来の意味での芸術作品と同様に位置付け、それを前提とした制作スタイルの可能性についてひとつの方向を示し得た。

今後の課題としては一つの芸術作品として作者の個性的な特徴が、より顕在化するように更なる実験制作を試みることである。

## 参考文献

- [1] <http://spanky.triumf.ca/www/fractint/fractint.html>
- [2] 荒川隼人, 熊谷武洋: 第20回 NICOGRAPH 2004, 関西CGコンテスト, 2004
- [3] ケネス・クラーク: 佐々木英也訳, 風景画論 (改訂版), 岩崎美術社, 1967
- [4] オギュスタン・ベルク: 日本の風景・西欧の景観, 講談社, 1990
- [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] 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
- [7] 淵上季代絵：“CG・かたち・フラクタル”，サイエンス社，1992
- [8] 木本圭子：イマジナリー・ナンバーズ，工作舎，2003
- [9] ジョン・ウィットニー：デジタルハーモニー，産業図書，1984
- [10] 三井秀樹：フラクタル造形SD選書，鹿島出版会，1996
- [11] 山口昌哉：カオスとフラクタル—非線形の不思議ブルーボックス，講談社，1986
- [12] 日本建築学会：建築・都市計画のための空間学事典，井上書院，2005
- [13] ロバート・ローゼンブラム：近代絵画と北方ロマン主義の伝統・フリードリヒからロス  
コへ，岩崎美術社，1988
- [14] C.D. フリードリヒの近代性と20世紀美術（『芸術における近代』『叢書／転換期のフィロ  
ソフィー』第2巻）ミネルヴァ書房，1999
- [15] 高階秀爾責任編集：世界美術大全集 西洋編第20巻 ロマン主義，小学館，1993
- [16] 徳永隆治：フラクタルと画像処理—差分力学系の基礎と応用，コロナ社，2002
- [17] 浪平博人：再帰表現法—スタック・ソート・ハノイの塔・検索・フラクタル図形・視覚  
処理・再帰方程式データ構造とアルゴリズム・シリーズ，CQ出版，1997
- [18] 頼富本宏：曼荼羅の鑑賞基礎知識，至文堂，1991
- [19] 小峰弥彦：図解・曼荼羅の見方，大法輪閣，1997
- [20] 熊谷武洋：風景絵画手法としての3次元CGの有効性について，山口大学教育学部論叢  
第54巻第3部 pp183-195，2004