

# 自然景観のパラメトリックな自動生成

岡 倫弘・島田 英之\*・塩野 充\*・宮垣 嘉也\*

岡山理科大学大学院工学研究科修士課程情報工学専攻

\*岡山理科大学工学部情報工学科

(1997年10月6日 受理)

## 1. まえがき

近年、コンピュータ及びグラフィックスハードウェア性能の向上と、仮想現実感(Virtual Reality)等における様々な研究の成果から、現実とあまり変わらないほどのコンピュータグラフィックス(以下CG)画像を作成できるようになってきた。

そのような中で、CG、3次元シミュレーションの背景などで必要となる自然景観の生成・モデリングは、その複雑な形状から多くの時間と労力が必要である。モデリングソフトなどを使用しても、3次元の自然景観、すなわち自然の樹木などが生い茂るジャングルや、花が一面に咲く丘、雪が降り積もった山の景色など、これらのデータの生成を行うにはそのデータ量の多さ、美的センス、自然に対する知識などを要求され、非常に困難である。

そこで本研究では、自然景観を構成する要素をパラメータ化し、ユーザが操作することにより、自動的に希望する自然の景観を生成するシステムを作成して、この多くの時間と労力を軽減することを考えた。

自然景観の個々のオブジェクトを生成する上でのパラメータの決定には、他のオブジェクトの要素も必要のため、個別にオブジェクトを生成するのではなく、全体を統合して生成する必要がある。本研究では、Graphical User Interface(以下GUI)を取り入れたウォークスルーの実現と、自然景観の持つ膨大なデータ量を、統合された少数のパラメータのみで表現することに主眼を置いた。これによって生成作業の手間が軽減され、一種の情報圧縮も可能になってデータの管理も容易に行うことができる。

## 2. 自然景観の構成要素

自然景観を構成する要素・特徴は無数にあるが、その中から目立つものや代表的なものをあげて、景観生成の要素とした。本研究では、自然を表す世界を、地形、植物、海洋、天空の4つに分けて考えた。

### 2.1 地形の要素

地球上の地形は様々な規模でとらえることができるが、大山脈・大平原・高原などの大地形は、地球内部のエネルギー源からの作用(内的営力)により、土地の隆起・沈降・水平移動などの地殻運動や火山活動によってつくられる。また、無数の尾根と谷からなる山

地、扇状地・氾濫原・三角州などの平野などの小地形は、浸食・運搬・堆積作用によってつくられる。浸食・運搬・堆積作用を行う河川・氷河・風・波などのエネルギーの源は、太陽からの熱で、このような地球外部からのエネルギーでおこる地形の形成作用（外的営力）は、一般に高所を削り低所を埋めて地形を平坦にする働きをする。

アメリカの地理学者 W. M. Davis (1850~1934) は、内的営力で隆起してできたもとの地形（原地形）が、外的営力によって幼年期・壮年期・老年期などの各段階を経て、最後には海面とほぼ同じ高さの平坦な地形になると考え、こうした一連の地形変化の過程を地形の輪廻」とよんだ。本研究では、この考え方を地形を形成する重要な要素として取り入れた。

## 2.2 植物の要素

地球上には、様々な気候、環境が存在し、そして植物はそのほとんどの環境に適応し、進出している。また、陸上（土壌）はもちろんのこと、河川や海や湖などの様々な環境条件によりそれに応じた植物が成育する。植生は気候・土壌・地形の影響を強く受ける。高温で多雨な熱帯には、熱帯雨林が茂っている。温帯の低緯度地方では、常緑広葉の照葉樹が多く、高緯度地方に進むにつれて落葉広葉樹が出てきて、続いて落葉広葉樹と針葉樹の混じる混合林となる。高緯度地方の冷帯では、広大な針葉樹林があらわれる。このタイガが終わると、夏には表面の雪がとけて湿地となるツンドラが広がる。本研究では、こうした気候に対応した植生の成育に着目し、ケッペンの気候区分<sup>1)2)</sup>を使用した植生の分別を行い、各気候毎に比較的判別の容易な植物数十種をあげ、生成を行った。

ケッペンの気候区分とは、ドイツの気象学者 W. Köppen (1846~1940) により考案された、世界で一般に使われている気候区分である。気候の特色を総合的に示す植物の分布に着目し、指標植物の分布と一致する気温や降水量の特色を符号で表し、それらを組み合わせ、区分したものである（表1）。世界の気候を熱帯A・乾燥帯・温帯C・亜寒帯D・寒帯Eの5つに分類し、さらに14の気候区に細分化している。

また、熱帯のジャングルには多くの植物・樹木が存在し、逆に乾燥帯の砂漠などでは、

表1 気候に対応した植生一覧

気候区分（ケッペンの記号）	気候に対応した代表植物
熱帯雨林気候 (Af, Am)	ヤシ・バナナ・マングローブ
サバナ気候 (Aw)	バオバブ・アカシア類
砂漠気候 (BW)	サボテン・なつめやし
ステップ気候 (Bs)	短草草原
地中海性気候 (Cs)	オリーブ・コルクがし・月桂樹
温暖湿潤気候 (Cfa)	ナラ・カエデ・マツ・スギ
西岸海洋性気候 (Cfb, Cfc)	ブナ・クリ・カシワ
亜寒帯気候 (Df, Dw)	トウヒ・モミ・シラカバ・タイガ
ツンドラ気候 (ET)	夏、苔類が生える以外、植生なし
氷雪気候 (EF)	植生なし

植物・樹木はほとんど存在しないように、気候に応じて樹木の密生度も変化する。さらに、緯度や高度の高い場所では植物の生育限界があり、ケッペンの気候区分では無樹林気候の冷帯Eがこれに属す。樹木を含める植物はこの生育限界を越えるとはほとんど生息していない。

### 2.3 海洋の要素

海洋、及び湖や川などの水は自然を構成する重要な要素の1つである。水面の色は、水中の混濁度、水深、水底の状態、水面の波の形状、光源の種類、さらにその位置などによって互いに影響し合い、その見え方に微妙な変化を与える。またその水の形状は、滝や噴水、川の流れ、海岸に打ち寄せる波や大洋の大波等さまざまであり、これらのモデリングには流体力学の膨大な計算を必要とする。

### 2.4 天空の要素

天空に配置されるものに、雲や太陽・月・星などがある。これらは位置的に、地形・植物に比べると遥か彼方にあり、本研究での仮想空間内にオブジェクトとして表示させるには非常に難しいため、工夫が必要である。

#### 2.4.1 空と太陽の色の変化

基本的に空の色・太陽の色は太陽の角度・位置により変化するといえる。昼間は空は青いし、夕方は赤くなり、地平線より低くなると暗くなる。厳密には空の色の変化は太陽光の空気分子の散乱(レイリー散乱)によって起こるが、膨大な計算を必要とするため、本研究では簡単に太陽の角度をパラメータとして空や太陽自身の色を変化させることにした。

ここで、空の色として、昼と朝夕と夜の3パターンを用意するだけでは不十分である。特に朝夕の、太陽が地平線近くにあるときの空は、劇的な変化をするため、角度だけで空の色を表すには難しいものがあるが、本研究ではそれぞれの角度によって厳密に配色を行うことによって、空の色の変化を表現した。その微妙な色の変化と太陽の角度については、薄明<sup>1</sup>の呼び方を参考にした。また、今回は夕方の薄明をも同様にして考えた。

#### 2.4.2 雲の表現方法

雲を構成する要素として、気候・季節・気圧配置・風の影響などがあるが、これらの要素を用いて、必要な雲の形・色などを表現するには、アルゴリズムの複雑さ・計算時間の手間の問題や、最終的な雲の形・色などをユーザがイメージしにくいいため、本研究では形(細かさ)を直接指定して雲を生成できるようにした。

#### 2.4.3 星の分布

晴れた夜空に輝いているのは、無限遠の彼方からの星(恒星)の光で、これらの星はみかけの光の強さ・明るさによって等級<sup>2</sup>がつけられている。そこで、各等級の分布<sup>3</sup>を調べて、星の明るさを決定すれば、適当な星空の景観を生成できると考えた。

<sup>1</sup>太陽が地平線下にあるときの空の薄明かりのこと。その明るさと色彩は気象条件によっても変化するが、太陽の地平線下の位置(角度)によって決められた、いくつかの時間帯に区分して扱われることがある<sup>3)</sup>。

### 3. 本研究に関する各種技法

#### 3.1 中点変位法

中点変位法<sup>7)</sup>は数学的に厳密な意味のフラクタルではないが、その汎用性と生成結果から判断して、フラクタルの近似手法として広く利用されている手法である。この手法は、確率モデルを用いた近似手法を用いて、与えられたプリミティブを再帰的に分割することにより形状を生成するものである。

図1を用いて簡単に原理を説明する。この図における横軸は時間  $t$ 、縦軸は振幅  $X$  だが、横軸を長さ、縦軸は山の高さとする。今、分割の対象のプリミティブを線分  $OP$  で与えられているものとする。この時、線分  $OP$  の中点にある変位置  $D_1$  だけ持ち上げて、二つに分割された新たな線分  $OA$  と線分  $AP$  を作る。この分割を再帰的に繰り返していくことにより、地形などの凹凸を表現していく。

つぎにこの変位置  $D_n$  について説明する。もし確率過程が、時間  $t=0$  から  $t=1$  の間で計算されているものとすれば、 $X(0)=0$  とし、 $X(1)$  の値は平均値 0、分散  $\sigma^2$  のガウス確率変数に従うものとして考えると、 $n$  回目の中点分割したときの変位置  $D_n$  は、

$$D_n = \Delta_n \times \text{Gauss}() \quad (1)$$

で表すことができ<sup>6)</sup>、ここで  $\text{Gauss}()$  は平均 0、分散 1 のガウス乱数で、 $\Delta_n$  は

$$\Delta_n = \Delta_{n-1} \times 0.5^{0.5H} \quad (2)$$

である ( $\Delta_0$  は初期値  $\sigma$ 、 $H$  はフラクタル次元に従うパラメータ)。

ここで、ガウスの確率分布を使うにあたって、その妥当性を吟味する必要がある。自然界における全てのランダムな量の分布がガウスの確率分布で証明できるわけではない。本

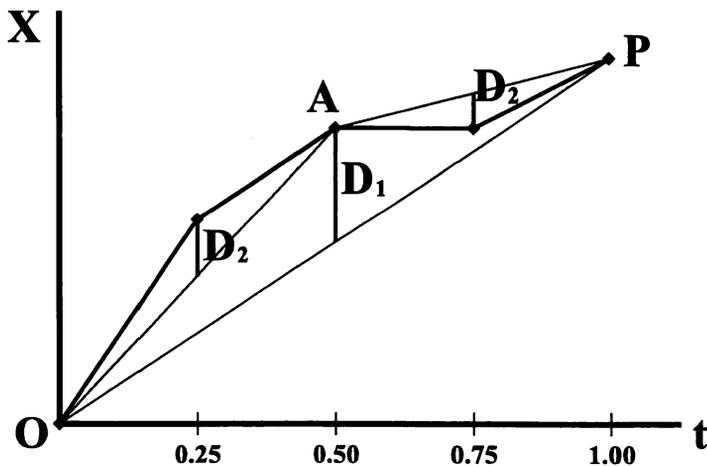


図1 中点変位法

研究では、この中点変位法の他にも、様々な所で必要に応じてガウス分布を使用した。これは、ガウス分布がスケールの不変性という特徴を持っており、連続的に変化する起伏をもたらす唯一の分布が正規分布であるからである。

### 3.2 逐次ランダム加算法

中点変位法では、定常性が保たれないため、不自然さが残る。中点変位法では一度決定した点はそのまま固定されるため、各段階で精度が上がるのは、その時点における半分の点だけである。しかし、実際の対象を拡大する場合には、空間の解像度を増すと全ての点において精度が上がるはずである。

これに対して、再帰的な分解方法において、各作成段階の全ての点にランダム要素を加算する方法を逐次ランダム加算法<sup>6)</sup>とよぶ。この改良法を用いるとその見かけの不自然さを減らすことができ、演算回数に関しても  $O(n)$  のままである。

### 3.3 分岐アルゴリズム

本研究にて自然景観を構成する要素の1つである植物の生成には、フラクタルの1つである分岐アルゴリズム<sup>7)</sup>を使用している。分岐アルゴリズムとは、肺や血管・樹木・川の網状構造などの生理学的にも利用されている基本的アルゴリズムである。

図2に分岐アルゴリズムを示す。まず1本の幹から複数本の枝を出す。次に新しくできた枝からまた複数本枝を生成する。これを繰り返すことにより樹木の複雑な形を生成する。

具体的には枝の生成する角度、枝の回転する角度、枝の長さなどのパラメータを各樹木別に与え、分岐させていく。

## 4. 研究結果

### 4.1 自然景観の生成

#### 4.1.1 地形の生成

地形の凹凸は非常に複雑な形をしているため、これを思ったイメージどおりに瞬時に生成するには、多くの時間と労力が必要である。さらに、データ量も膨大なものになるため、その管理に多くの手間もかかる。そこで本研究では、この凹凸を表現するために逐次ランダム加算法を併用した中点変位法を使用して、地形の生成を行った。

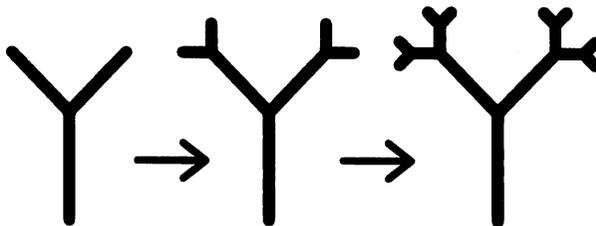


図2 分岐アルゴリズム

また、2次元格子の大きさは開発環境の実行速度の面から、7回中点を分割して $2^7$ の128に片端の分1を加えた $129 \times 129$ とし、式(1)、式(2)における変位量 $D$ の分散 $\Delta$ の初期値 $\sigma$ を1とした。これは、2次元格子の縦と横の長さと同じスケールである。

次に、地形の生成手順を示す。

(1) 格子の四隅の点の設定

最初に格子の四隅の点の高度(Y座標)を決定する。本研究ではこの最初の四隅の点を $\sigma \times \text{Gauss}()$ で決定した。

(2) 変位量の計算

この回の中点の高度にあたる変位量 $D_n$ (式(1)、式(2))を求める。

(3) 格子の中点の高さの算出

現在の各格子における中心点をその格子の4つの角点を平均して求める。

(4) 求めた中点の高さに変位量を加算

(3)で求めた中点に、(2)で算出した変位量 $D_n$ を加える。

(5) 逐次ランダム加算法

生成した2次元格子上の全ての点に現在の変位量 $D_n$ を加算する。

(6) (2)に戻って繰り返し。

こうして得られた2次元格子の標高データに、三角形パッチをあてはめ、立体化した。結果として、ガウス乱数を使用したランダムな地形のために、前回と同じ乱数の種(seed)を入力することで、前回とまったく同じ地形の生成もできる。

また本研究では、前述のシステムで生成したランダムな地形に各種フィルタをかけることによって、生成された地形が多少なりともイメージする景観に近づくようにした。具体的には、地形の要素の一つである地形の輪廻をフィルタとして実現し、生成時に地形の輪廻フィルタを選択するようにして、地形の生成を行うという方法をとった。

壮年期を基準とすると、幼年期・原地形にいくにつれて地形の低高度の傾きは急になり、逆に老年期を経て準平原に近づくにつれて低高度の傾きがなだらかになる。この特徴をフィルタとして実現するため、次に示す5種類を用意した。なお、 $X_{in}$ は入力高度、 $X_{out}$ は出力高度とする。さらに、図3に各輪廻フィルタによる結果の一部を示す。

- 原地形フィルタ  $X_{out} = X_{in}^{0.1}$
- 幼年期フィルタ  $X_{out} = X_{in}^{0.5}$
- 壮年期フィルタ  $X_{out} = X_{in}$
- 老年期フィルタ  $X_{out} = \begin{cases} X_{in}^{1.3} & (X_{in} < 1) \\ X_{in}/1.3 & (X_{in} \geq 1) \end{cases}$
- 準平原フィルタ  $X_{out} = \begin{cases} X_{in}^3 & (X_{in} < 1) \\ X_{in}/3 & (X_{in} \geq 1) \end{cases}$

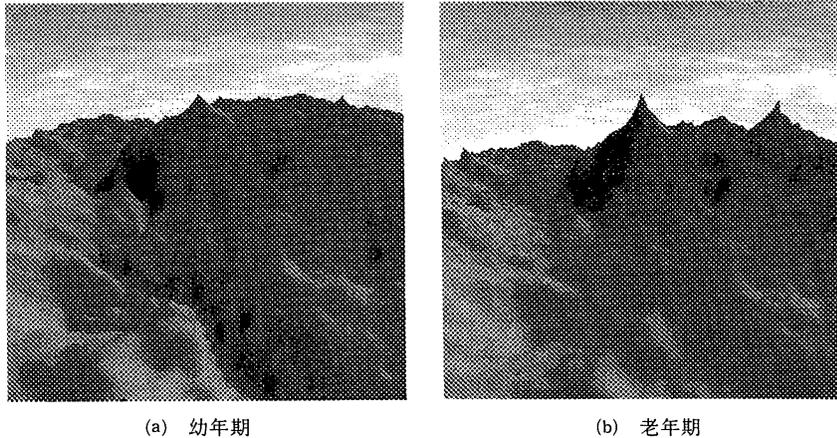


図3 生成結果

#### 4.1.2 配色

まず、生成された地形を高度別に4つに分け、高度別に配色する。海面下は青、低部は岩石色、中部は森林色、上部は崖色から雪色へ、各部の境目がわからないようにそれぞれの高度で色を線形補間する。また、地形の凹凸の中の崖の部分は、傾きが急なために切り立っており、雪が積りにくく、草木が生えにくいなどの特徴を持っている。ということは岩肌が剥き出しとなるため、その部分を崖に適した色にする必要がある。本研究では、このように処理を行うことによって、地形をより現実的に見えるようにした。さらに、地形に気候・季節・天候による配色を加えていくが、説明は後述する。

#### 4.1.3 植物の生成

自然には必ずなんらかの植生が存在している。植生は様々な条件によってその形状を変える。ユークリッド幾何学では、植生の生成は非常に困難なため、フラクタル理論を利用することにより、生成を行った。植生の生成には、フラクタルの基本である分岐アルゴリズムを使用し、2次元構造を拡張させることにより、3次元の5分木構造にした。さらに、細かなパラメータを設定することにより、各種類の植物を生成できるようにした。

本研究では、処理時間の削減のため、気候毎に比較的判別の容易な樹木を表1を参考に選択（4種類程度）し、分岐世代を減少させても気候・季節の判別が可能な植物パラメータを設定した。このパラメータについて次に示し、図4に、生成例の一部を示す。

- (1) 幹・枝（太さ、長さ、各々の枝の分岐角度、幹：枝の長さ比）
- (2) 葉・花（葉の大きさの比、葉の長さ、葉の広がり角度、落葉や花の有無）
- (3) 色調（各々の樹木に見合う幹・枝・葉・花の色調設定（RGB））

#### 4.1.4 樹木の密生度・生育限界高度

本研究では、密生度・生育限界は気候に応じて決まるものとし、ケッペンの気候区分により、それぞれの値を用意した。また、崖部などは樹木を生成しないようにした。

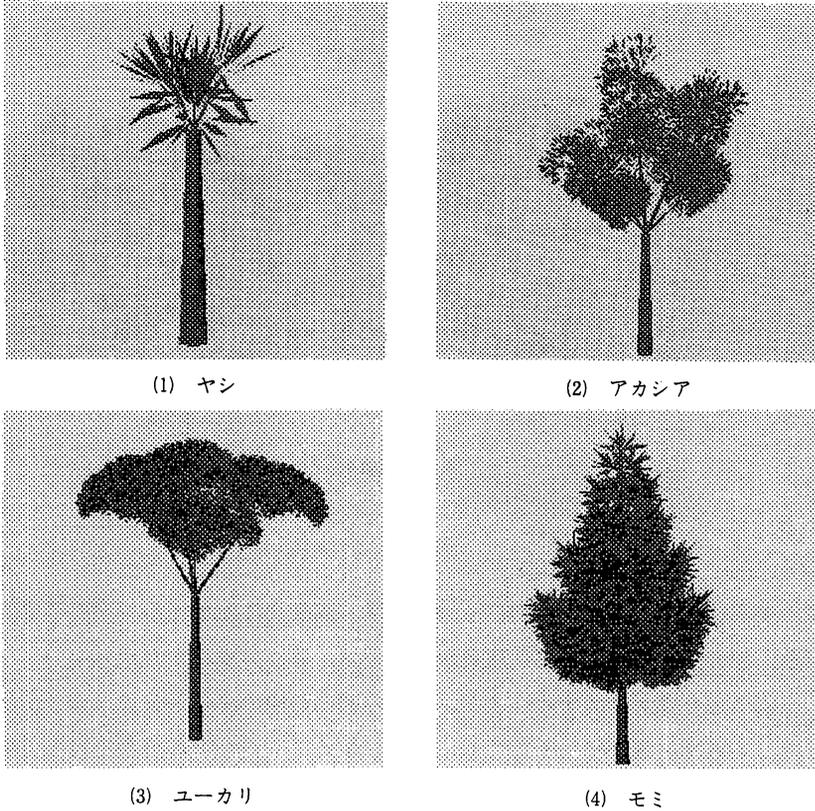


図4 植生成成結果

#### 4.1.5 海洋の生成

海洋を生成するにあたっては、まず、その形状を考えなければならない。前述のとおり、滝や噴水、川の流れ、海岸に打ち寄せる波や大洋の大波を表すには流体力学の膨大な計算を必要とする。そのため、本研究では単純にホワイトノイズによって水面のゆらぎを表現するだけにした。また、海岸部には打ち寄せる波を表現するため、水しぶきを付けた。

#### 4.1.6 天空の生成

天空、空には太陽・星などの天体や雲などが存在する。樹木などに比べ、このような遠方にあるものをポリゴンで表すのは困難である。そこで本研究では、空を図5に示すような一つの球体として視点を内部に置き、天球部分を外層から空の色を表す天球面、星を表示させる星空面、太陽を表示させる太陽面、雲を表示させる雲面の4層構造に分けて考えた。

#### 4.1.7 天球面と太陽

まず、空自体の色を表す天球面と太陽を表示させる太陽面であるが、前述したように本研究では空の色・太陽の色は太陽の角度・位置により変化するものと考えて、太陽の位置

から色を決定した。球面上の（内側）太陽の位置（角度） $\theta_{sun}$  は次式で求める（図6）。

$$\theta_{sun} = \frac{\pi}{2} - \arccos \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \tag{3}$$

また、空の色の変化として、薄明の定義を参考にして表2のように色の決定を行った。この表において、球世界の中心における地平線を0°、天頂を90°とした天球面の任意の位置の角度を $\theta_i$ としたとき（図6）、 $A = 1 + \frac{\theta_i}{\pi}$ で、 $C$ はその任意の位置における色である。これらの微妙な色の決定は、前述の薄明の説明や、夜明け・日暮れの写真などから客観的に行い、現実的に見えるようにした。この方法を用いて、着色した例を図7に示す。

#### 4.1.8 太陽面

空は太陽の位置によって配色を行ったが、太陽そのものの色もまた太陽自身の角度によって変化させた（表3）。また、色の透過率を変化させることによって太陽面での太陽自体を表現した。図8は、中心から離れるほど透過率を高くした太陽面と空を表す外層の天球面である。実際はこれにシェーディング処理を施して太陽面を表示させている。

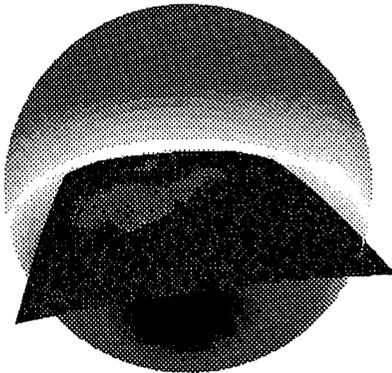


図5 球世界

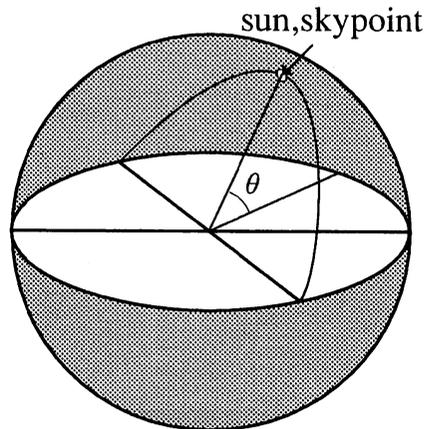


図6 天球の角度

表2 天球面の角度別配色

状態	$\theta_{sun}/90^\circ$	$C = \{R, G, B\}$
夜	$\sim -0.12$	$\{A^3/10.0, A^3/10.0, A^3/4, 1.0\}$
航海薄明小	$\sim -0.08$	$\{(0.9A^3 + 0.1)/5.0, (0.9A^3 + 0.1)/5.0, (2A^3 + 0.5)/4.0\}$
航海薄明大	$\sim -0.06$	$\{(1.6A^3 + 0.4)/5.0, (1.6A^3 + 0.4)/5.0, (3A^3 + 1)/4.0\}$
市民薄明	$\sim -0.00$	$\{(3.2A^3 + 0.8)/5.0, (3.2A^3 + 0.8)/5.0, (2A^3 + 2)/4.0\}$
日の出入り時	$\sim 0.06$	$\{0.6A^3 + 0.4, 0.4A^3 + 0.6\}$
昼	$0.06 \sim$	$\{A^2, A^2, A^2\}$

4.1.9 星の生成

夜空に瞬く星には色や明るさなどの要素があるが、本研究では明るさを、星として天球に配置したポリゴンの点の大きさとして表現した。図9は星の等級分布<sup>5)</sup>をグラフ化したものに、ガウス分布を重ねたものである。ここでは平均も標準偏差も考えないが、その形が星の分布状況と似ていることに注目する。本研究では、この図が示すような、ガウス乱数を用いて、星の明るさであるポリゴンの点の大きさを決めた。

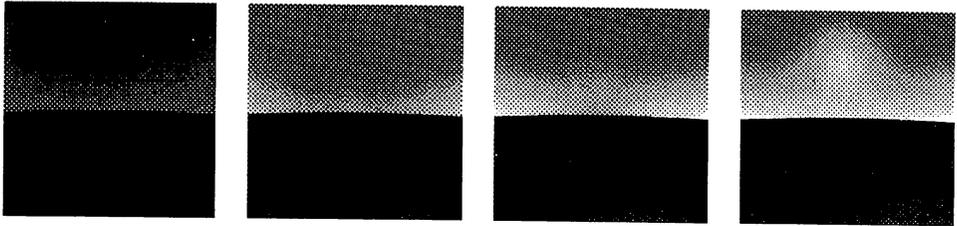


図7 生成結果

表3 太陽面の角度別配色

$\theta_{sun}/90^\circ$	$C=\{R, G, B\}$
0.45~	{1.0, 1.0, 1.0}
0.25~	{1.0, 1.0-(0.45- $\theta_{sun}/90^\circ$ ), 0.8-1.5(0.45- $\theta_{sun}/90^\circ$ )}
0.00~	{1.0, 0.8-2.0(0.25- $\theta_{sun}/90^\circ$ ), 0}
-0.06~	{1.0, $\begin{cases} 1.0-2.5(act-0.6) & (act > 0.6) \\ 1.0 & (act \le 0.6) \end{cases}$ , $\begin{cases} 0.8-2.0(act-0.6) & (act > 0.6) \\ 0.8 & (act \le 0.6) \end{cases}$ }
-0.08~	{0.8, $\begin{cases} 2.4(act-0.66) & (act > 0.66) \\ 0.0 & (act \le 0.66) \end{cases}$ , 0.0}
~-0.08	{0.0, 0.0, 0.0}

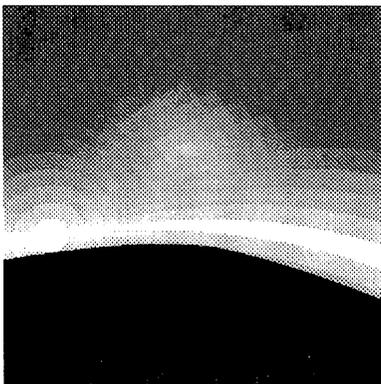


図8 太陽

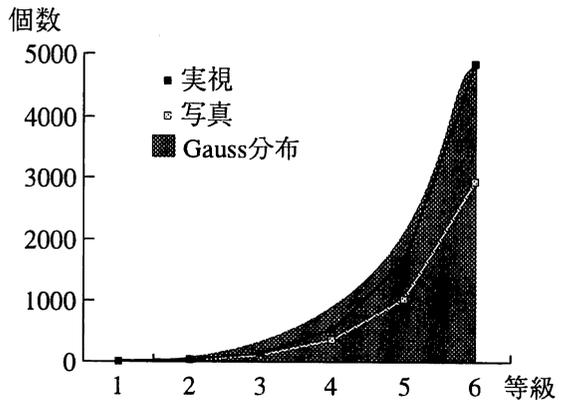


図9 星の数

#### 4.1.10 雲の生成

雲は非常に複雑な形をしており、その形と色は劇的に変化する。この自然が生み出す複雑な形を表現するためにはフラクタル理論が最適であり、本研究では地形を生成する方法と同じ方法で雲を生成した。

まず2次元格子による中点変位法を利用して、地形で標高データだったY軸の値を濃度値に割り当て、X-Z平面の2次元濃淡画像を生成し（後述の図12(b)参照）、得られた画像面を半球状態に変形し、天空面の内側にねじ曲げるようにして貼り付けた（図10）。この時、地平線辺りの遠近感を出すために、半球の下部にいくにつれて格子の間隔を狭めて、雲に遠近感を出した。

また、雲の要素となるパラメータとしては、雲のフラクタル次元の変更により、雲の細かさを自由に変化させるようにした。図10の(a)は雲の細かさを高く、(b)は低くして生成した2次元濃淡画像で、どちらも生成時の乱数の種は同じものである。

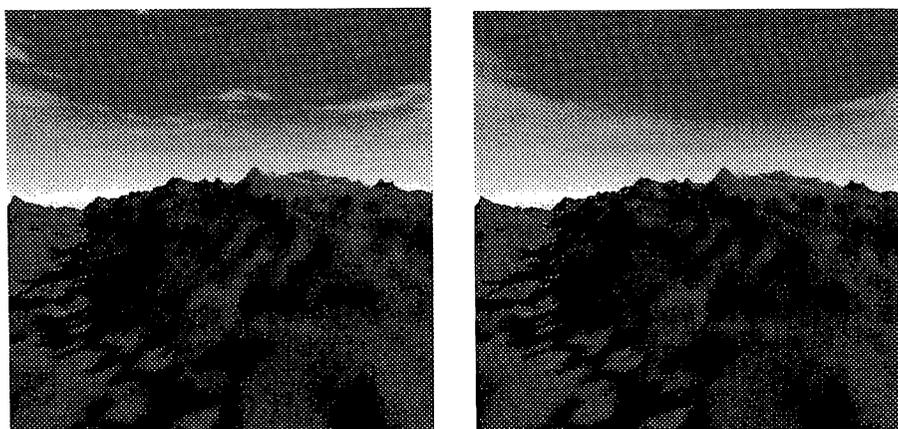
#### 4.2 パラメータ

本研究では、地形の輪廻・樹木パラメータ・気候・季節・天気など多くの様々なパラメータを使用して自然景観を生成したが、これらを統合的に、コントロールすることを考える。

まず、これらのパラメータを高レベルパラメータと低レベルパラメータの2つに分ける。自由にユーザが入力が可能な高レベルパラメータには、太陽の位置・気候・季節・天候などを選び、低レベルパラメータである地形の配色・影付け・空の色・太陽自身の色・フォグの色・樹木密度・樹木生育限界・積雪限界高度などをコントロールでき、さらに望む景観に近づけるために、後で低レベルパラメータの変更も可能にした。

##### 4.2.1 地形の配色

同じ地形でも、気候・季節・天候が変われば、地形の色も変わるはずである。同じ標



(a) 細かさ高

(b) 細かさ低

図10 生成結果

高でも、熱帯のジャングルは緑が茂り緑一色で、逆に寒帯は、年中雪の中で白一色かもしれない。また亜寒帯のツンドラ気候などは、夏にはツンドラと呼ばれる苔生した台地が広がり、白から緑へその色を変化させる。このように、気候・季節・天候などは地形の配色を決定する際に大きな要素の1つになってくる。本研究では、地形にこれらの要素も考慮しながら配色を行った。図11に、例として気候による色の変化の生成結果を示す。

4.2.2 樹木密度・生育限界高度・積雪高度

4.1.4 節で述べた通り、本研究では樹木密度・生育限界高度、及び積雪高度が気候・季節・天候のパラメータにより自動的に決定されるようにした(表4)。

気候が変われば、樹木数も増減し、気候によって樹木の生育限界高度も違はずである。またそれは積雪高度についても同様で、冬になったり雪が降れば、積雪高度は低くなる。

4.3 GUI の導入

自然景観を容易に作成するために、GUI を導入した。

まず、図12(a)に全体の外観を示す。これは自然景観を生成する基本画面である。画面上部のメニューバーから各種のコマンドを選択する。メニューバーの下にある4つに分割されたウィンドウは、前からの正射影、横からの正射影、上部からの正射影、任意の視点か

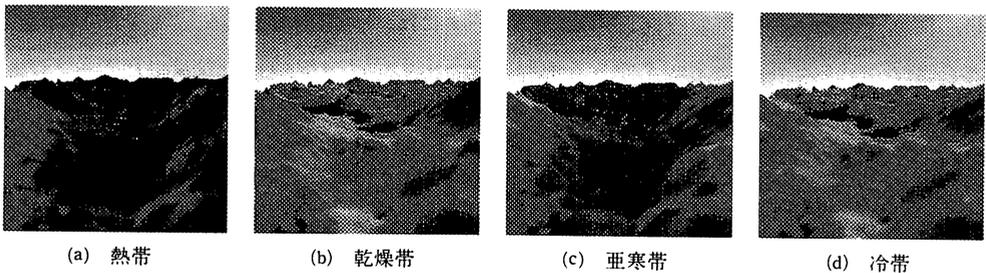


図11 生成結果

表4 気候と密生率・生育限界・積雪高度

気候区	樹木密生率 (%)	樹木生育限界 (%)	積雪高度 (%)
熱帯樹林気候 (Af)	90	80	90
熱帯モンスーン気候 (Am)	80	80	90
サバナ気候 (Aw)	15	60	75
砂漠気候 (Bw)	3	50	90
ステップ気候 (Bs)	20	50	80
地中海性気候 (Cs)	30	50	75
Cs 以外の温帯 (Cw, Cfa, Cfb, Cfc)	40	50	75
亜寒帯湿潤気候 (Df)	75	60	20/60/20/ 0
亜寒帯冬期少雨気候 (Dw)	75	60	13/60/ 3/ 0
ツンドラ気候 (ET)	3	40	0/ 3/ 0/ 0
氷雪気候 (EF)	0	0	0

\*/\*/\*/\*は季節ごとに異なる(前から春夏秋冬)。

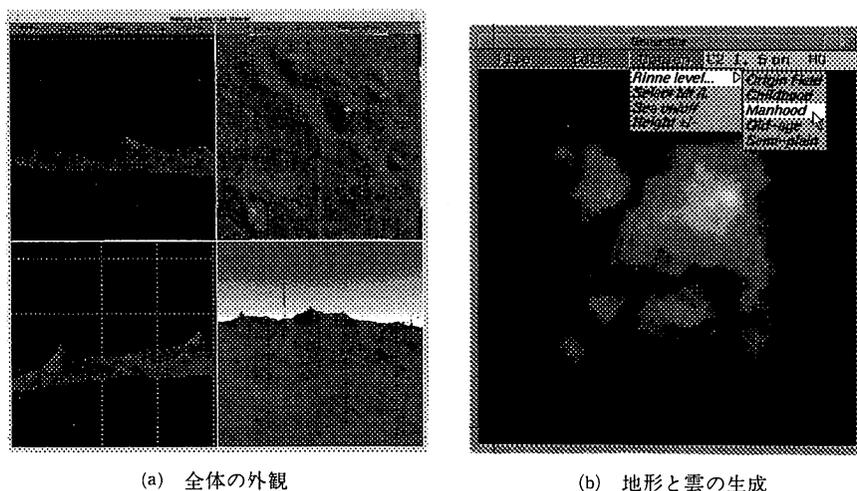


図12 生成画面

らの透視法射影を表示するエリアである。これらのウィンドウを確認しながら操作を行うことによって、生成される3次元的なオブジェクトをイメージしながら、自然景観を生成することができる。また、地形や雲の生成では、図12(b)のように画面に2次元格子を表示させ、輪廻フィルタの処理やフラクタル次元の変更、その他各種修正を行う。

## 5. まとめ

本研究では、各パラメータを簡単に入力できるようにしたGUIを用い、容易に意図する自然景観の生成が可能なシステムを作成した。

具体的には、全体構造を図5に示す様な球世界として提案し、地形と雲を逐次ランダム加算法を併用した中点変位法を用いて生成を行った。生成された地形に輪廻フィルタを適用することによって地形の輪廻を表現し、フラクタル次元を変化させることにより雲の細かさを表現した。樹木の生成は、分岐アルゴリズムを使用し、気候・季節などから植生を決めて樹木パラメータを各種変化させ、様々な種類の生成を可能にした。さらに天空を、天球面・星空面・太陽面・雲面の4層構造にし、それぞれのオブジェクトについて異なる方法で生成した。そして、高レベルと低レベルに分けた各種パラメータを統合し、生成した時の操作を簡略化して、GUIによりパラメータの入力及び自然景観の生成を支援した。

また問題点として、樹木の生成時間の長さ、アルゴリズムの対称性によって生じる不自然さ、視点の設定が球世界内部という制限や、それによって生じる天頂部の雲の歪みなどが残ったが、これらを解決するには、各アルゴリズムの改良により描画時間を向上させるなど、新たな生成方法の考案も必要であると思われる。

最後に、局所的な地形などの要素の導入や樹木の種類の追加、現実的なパラメータの吟味と他と依存しているパラメータの体系化、より洗練化されたGUIの構築などを課題とし

てあげ、本論文の結びとする。

## 謝 辞

この研究を進めるにあたり、多大な御協力を頂きました平成9年度本学卒業生の中髙隆史氏に心より御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 山本正三ほか著：“詳説 新地理 三訂版”，二宮書店（1989）。
- 2) 帝国書院編集部著：“資料 地理の研究 初訂版”，帝国書院（1991）。
- 3) 斉藤文一・武田康男著：“空の色と光の図鑑”，草思社（1995）。
- 4) R. バーナム Jr. 著：“星百科大辞典”，地人書館（1988）。
- 5) 大脇・磯部・斉藤・堀著：“天文資料集”，東京大学出版（1989）。
- 6) H.-O. パイトゲン/D. ザウベ編：“フラクタルイメージ理論とプログラミング”，シュプリンガー・フェアラーク東京（1990）。
- 7) B. マンデルブロ著：“フラクタル幾何学”，日経サイエンス（1985）。

# Parametorical Generation of Natural Scenery

Michihiro OKA, Hideyuki SHIMADA\*, Mitsuru SHIONO\*  
and Yoshiya MIYAGAKI\*

*Graduate School of Engineering,*

*\*Department of Information & Computer Engineering,*

*Faculty of Engineering,*

*Okayama University of Science,*

*Ridai-cho 1-1, Okayama-shi, 700-0005 Japan.*

(Received October 6, 1997)

Since modeling of the natural scenery requires too much data, a sense of beauty, and the knowledge of nature, we need long time and high cost for it.

In this paper, we have described a automatic generating system of expected natural scenery as follows,

- (1) The user can make a change to the natural scenery easily by changing some parameters.
- (2) The Graphical User Interface makes the manipulation easy.

The user can generate various natural scenery with little effort by using this system. The compression of the natural scenery is also possible to represent the natural scenery with few parameters.