

等濃度線を用いた雲画像の生成法

A Generation Method of Cloud Images using Density Contour Lines

宮田 一乗

Kazunori MIYATA

日本アイ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所

Tokyo Research Laboratory, IBM Japan, Ltd.

あらまし コンピュータ・グラフィクスの分野において、自然形状の表現手法の研究が、数多くなされてきている。本報告で取り扱う雲状形状の表現手法についても、各手法が提案されている。しかし、これらの手法は、表現の対象となる形状を定義する際に、オペレータに多大な負担がかかるという欠点がある。本報告では、この欠点を補うために、対象形状の入力に等濃度線を用いた、雲状形状の簡便な画像生成法について報告する。本報告で述べる手法の基本的な考え方は、筆者らが以前に提案した、三次元山岳形状の生成法と同一のものである。本報告は、この手法を雲状形状の生成に応用したものである。

Abstract In the world of computer graphics, there are many research reports on rendering method of natural figures. There are also various rendering methods of cloudy figures. But, these methods have a defect that operator will be burdened with a definition of objects. This report describes an easy generation method of cloudy figures using density contour lines. In this method, operator can define cloudy objects only using density contour lines. This is an extension of a reconstruction method for 3D mountainous figures that we reported before.

1. はじめに

これまで、コンピュータ・グラフィクスの分野において、自然形状をリアルに表現する手法が、数多く研究されてきている。また、これらの表現の対象も、樹木[1][2]や山岳形状[3]、雲[4][10][11][12]、波[5]など広範囲にわたっている。

このなかでも、特に雲のような物体は、形状の定義が非常に困難である。その主な理由としては、次の二点が考えられる。

- 1) 従来の樹木のモデリングに用いられていた、生成規則のようなものが発見されていない。
- 2) 雲の形状の持つ性質には不確定要素が多く、非常にあいまいである。

雲の表現法に関する代表的な研究には、例えば文献[4]がある。この手法では、楕円体などの二次曲面で定義した形状に、あらかじめフーリエ級数に展開しておいたテクスチャをマッピングすることにより、雲状の物体を表現している。しかし、この手法では、実際に雲の形状を定義する場合に、二次曲面の組合せで定義しなければならない。また、定義した形状にマッピングするテクスチャも、オペレータ側であらかじめ定義しなければならない。そのため、計算効率が良い反面、形状を定義するオペレータに、多大な負担がかかるという欠点を持つ。

本報告では、この欠点を補うために、雲の形状の定義に等濃度線を用いた手法を提案する。この手法の基本的な考え方は、以前に筆者らが提案した、三次元山岳形状の生成法[6]と同一の考え方である。オペレータは、対象となる形状を定義するのに、等濃度線を入力するだけでよい。本報告で述べる手法は、この手法を雲状形状の表現に応用したものである。

本報告で提案する手法により、オペレータにあまり負担をかけない、簡便な雲状形状の表現が可能になった。

2. 雲状形状の生成法

本報告で述べる雲画像の生成法は、雲の形状を定義する部分と、定義された形状を表現する部分とに分けられる。

本手法では、雲状形状を生成するのに、等濃度線を入力データとして用いている。

雲状形状には、与えられた等濃度線から生成される山岳形状と同じものを用いる。この生成法には、筆者らが既に報告した山岳形状の生成法[6]と同じ方法を用いている。つづいて、この手法で生成された形状を雲状形状として表現するために、第3章で述べる処理を施す。

本章では、雲の形状定義の手法について簡単に述べる。

2.1 等濃度線の特徴データの算出法

まず、雲状形状の生成にあたって、等濃度線の特徴データを算出する。

本報告では、与えられた等濃度線の特徴データとして、等濃度線の特徴点とフラクタル次元を用いている。これらの特徴データの算出法は、文献[7]で述べられている方法と同一の手法である。

最初に、各等濃度線に対して、ベクトル・トレーサ^[8]を用いて、原図形の鋭角部と曲線部を特徴点として抽出する。次に、各特徴点の間のフラクタル次元を測定する。

この手法を用いて、各等濃度線の特徴点を抽出した例を、図1に示す。図1(a)が入力されたオリジナルの等濃度線で、図1(b)が、抽出した特徴点で、等濃度線を多角形近似した図形である。

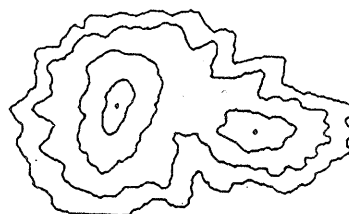


図1(a) 入力された等濃度線



図1(b) 多角形近似した等濃度線

図1 特徴点の抽出例

しかし、与えられた等濃度線を多角形近似しただけでは、二次元の特徴データしか得られない。目標としている三次元の特徴データを抽出するためには、多角形近似した等濃度線に対して、三角形パッチを施さなければならない。この手法は、文献[6]で述べられている手法と同一の手法である。

図1(b)の図形に対して三角形パッチを施した例を、図2に示す。

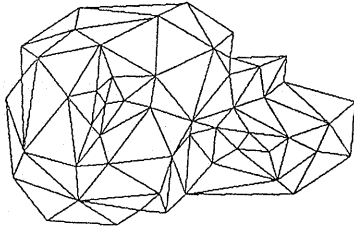


図2 三角形パッチを施した例

2.2 雲状形状の生成法

雲状形状の生成は、節2.1 で述べた三角形パッチにより求められた各三角形を、三次元的に再帰分割することにより行う。

この再帰分割は、図3 に示すように、三角形の各辺の midpoint を、式(1) で計算される変位置 v だけ変位させ分割することを、再帰的に行う。ここで、変位の方向は、鉛直方向にとる。

ただし、本報告では、山岳形状とは異なって、生成形状にオーバーハングが存在してもよいので、文献[6]で行っているような、重力の考慮は行わない。

$$V = 2^{-(n+1)} (D-1) \times \text{Gauss} \times L \quad \dots (1)$$

D : フラクタル次元

n : 分割の回数

Gauss : 正規分布乱数

L : 分割する辺の長さ

式(1) において正規分布乱数の項を入れているのは、生成形状に変化を持たせ、より自然なものに見せるためのものである。そのため、この式で計算される変位置で生成される形状は、厳密な意味でのフラクタル図形ではない。しかし、計算量の削減や生成形状から判断して、コンピュータ・グラフィクスにおける計算法としては、有効であるものとする。

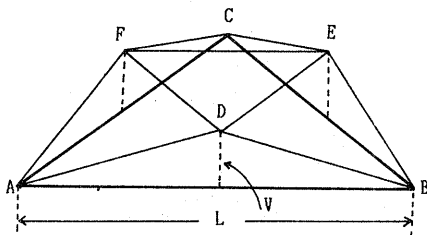


図3 再帰分割法

3. 雲状形状の表示法

第2章で述べた手法で生成された形状自体は、山岳形状としても、雲状形状としても、表現することが可能である。生成形状に隠面消去やシェーディング等の技法を施すと、山岳形状が表現できる。本報告では、生成形状を水蒸気の微粒子層としてとらえ、光の減衰のモデルを用いて表現している。

本章では、生成形状を、雲状形状として表示する方法について述べる。

3.1 光の減衰のモデル

最初に、本報告の基本モデルとなっている、光の減衰のモデルについて述べる。

一般に、微粒子層を通過する光は、通過中に微粒子による散乱を受けるため、その通過長に応じた減衰を受ける。この場合、微粒子層の微粒子密度が一定でないものと仮定すると、光の減衰量を計算するのに積分の項が入ってくるため、計算量が膨大となり、不経済である。本報告では、計算量の削減のため、微粒子密度は一定であるものと仮定している。

図4 に示すように、微粒子密度が一定で、光の減衰率が γ の微粒子層を、強さ I_{in} の入射光が通過するものとする。この場合、通過光の通過長を L とすると、減衰後の光の強さ I_{out} は式(2) で与えられる。

$$I_{out} = I_{in} \times \exp(-\gamma L) \quad \dots (2)$$

γ : 減衰率

L : 通過長

I_{out} : 減衰後の光の強さ

I_{in} : 入射光の強さ

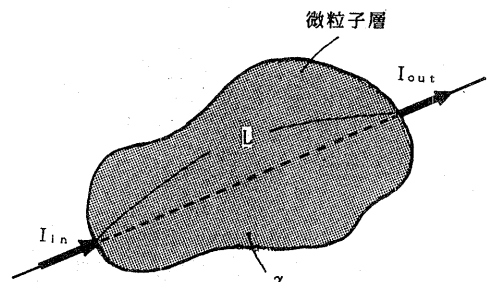


図4 光の減衰のモデル

3.2 本報告でのモデル

本報告では、第2章で生成した形状を、微粒子密度が一定な、雲状物体の微粒子層として考える。

生成形状を、図5に示すように、そのまま微粒子の分布形状としてとらえてもよいが、ここでは、一般化のため、ある切断面と生成形状とで囲まれた形状を、分布形状として定義する。

まず、図6に示すように、生成形状を、ある切断面Pが切断するものとする。また、入射光はZ軸の正の方向から負の方向へ平行に照射しているものとする。

このとき、生成した形状の各三角形の重心 M_i から、鉛直方向に伸ばした直線と、切断面Pとの交点 N_i までの距離 L_i は、式(3)のようになる。但し、切断面Pは、式(4)の形で与えられるものとする。

$$L_i = P(X_{mid}, Y_{mid}) - Z_{mid} \quad \dots (3)$$

但し $M_i = (X_{mid}, Y_{mid}, Z_{mid})$

$$Z = P(x, y) \quad \dots (4)$$

式(3)で計算される L_i が、微粒子層を通過する光の通過長になる。この L_i を用いて、式(5)で光の減衰量 f を計算する。

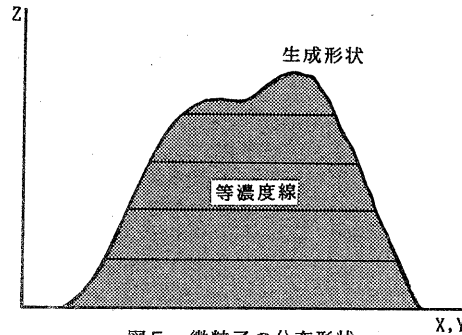


図5 微粒子の分布形状

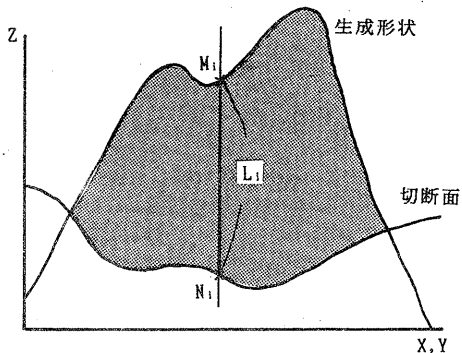


図6 分布形状の定義

$$f = 1 - \exp(-\gamma L_i) \quad \dots (5)$$

f の L_i に対するグラフは図7のようになる。

この f を用いて、各三角形の色の情報を計算して表示すると、第4章で示すような雲状形状が表現できる。ここで、三角形の色の情報(R, G, B)は、式(6)で計算する。すなわち、各三角形の色は、 f の値が1に近いほど白に、 f が0に近いほど黒に近づく。

$$R = G = B = W \cdot f \quad \dots (6)$$

W : pixel の最大値 (= 255)

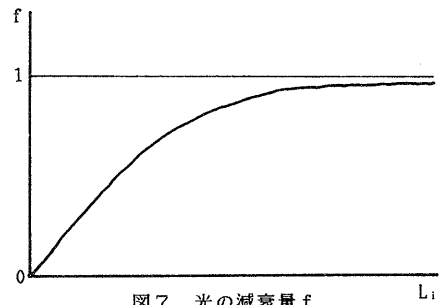


図7 光の減衰量 f

切断面が平面の場合には、 L_i は式(7)のようになる。

$$L_i = (AX_{mid} + BY_{mid} + CZ_{mid} + D) / C \quad \dots (7)$$

特に、微粒子層を切断する平面がXY平面に平行な場合、平面の方程式は式(8)のようになるので、式(7)は式(9)のように簡略化できる。ここで、 $H = 0$ にした場合は、生成形状をそのまま微粒子の分布形状としてとらえたものに相当する。

$$z = H \quad \dots (8)$$

$$L_i = Z_{mid} - H \quad \dots (9)$$

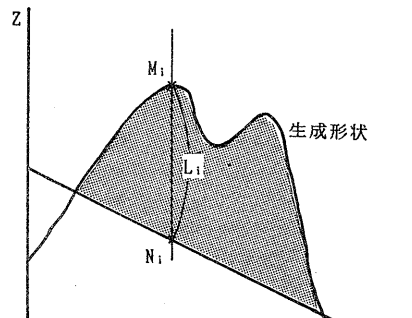


図8 切断面が平面の場合

うろこ雲のような波状効果を出したい場合は、例えば、切断面を式(10)のように定義する方法もある。

$$P(X, Y) = A \cdot \cos(\alpha \cdot X + B \cdot \cos(\beta \cdot Y)) \quad \dots (10)$$

A, B, α , β : 定数

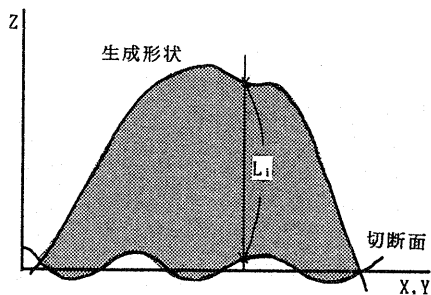


図9 波状効果

3.3 背景画像との重ね合せ

実際に、本手法を用いて得られた雲状形状を表示する場合には、空や山岳形状等の背景画像と組合せての表示が要求される。

本報告では、文献[9]の考えをもとに、式(6)を用いて、各pixelの色情報を計算する。

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_b \\ G_b \\ B_b \end{pmatrix} + \left(\begin{pmatrix} W - R_b \\ W - G_b \\ W - B_b \end{pmatrix} \frac{R_a}{W} \right) \quad \dots (6)$$

W : pixel の最大値 (= 255)

ただし、式(6)において、雲状形状の画像の各pixelは (R_a, G_a, B_a) 、背景画像の各pixelは (R_b, G_b, B_b) で与えられるものとする。

この画像の重ね合せを施すことにより、第4章で示すような、笠をかぶった山頂や、霞のかかった高原の風景等が表現できる。

3.4 処理手順

次に、等濃度線の入力から雲状形状の表示までの処理手順を、図11に示す。比較のために山岳形状の処理手順も合わせて示してある。図11に示すように、形状の生成まではオーバーハングの考慮を除いて同一の手順である。形状の表示の箇所、山岳形状として表示するか、雲状形状として表示するかが決まる。すなわち、本報告で示した手法では、山岳形状も雲状形状も、同一のデータ構造

で持つことができる。このことは、例えば、コンピュータ・アニメーションの背景画のデータ・ベース化を考えた場合、重要な要素になる。

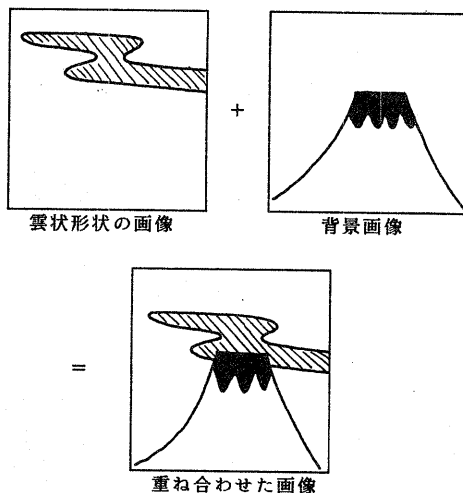


図10 雲状形状の画像と背景画像との重ね合せ

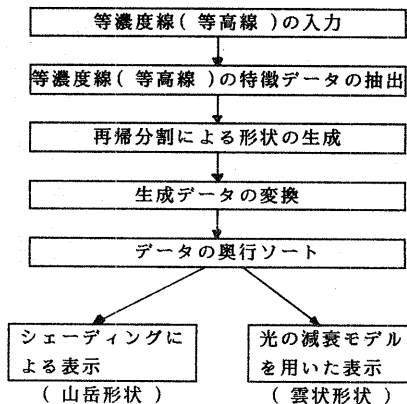


図11 処理手順の比較

4. 実験結果

次に、上に述べた手法を用いて、種々の雲画像を生成した例を示す。

画像生成に用いたコンピュータはIBM 3081、グラフィック・ディスプレイはIBM 5080である。記述言語にはCを用いた。

初めに、同一の生成形状から、山岳形状と雲状形状とを、それぞれ表示した例を示す。図12(a)が生成に用いた等高線(等濃度線)であり、図12(b)が生成された山岳形状を真上から見た画像、図12(c)が生成された雲画像である。この例からわかるように、表示手法を変えることにより、同一の形状を、山岳形状または雲状形状として表示することが可能である。

次に、フラクタル次元の雲状形状に及ぼす影響を示す。図13(a)が生成に用いた等濃度線、図13

(b)がフラクタル次元2.41で生成された雲画像、図13(c)がフラクタル次元2.19で生成された雲画像である。この例に示すようにフラクタル次元が大きくなると微粒子層の形状の変化が激しくなるので、粗い感じの雲画像が得られる。

次に、種々の等濃度線から生成される雲画像を図14に示す。それぞれ(a)が生成に用いた等濃度線、(b)が生成された雲画像、(c)が背景画像と重ね合わせた画像である。

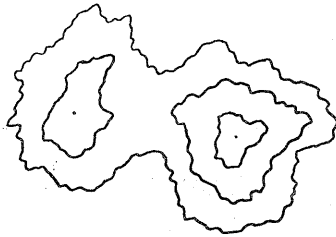


図12-(a) 等濃度線

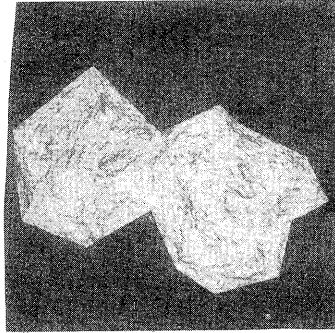


図12-(b) 生成された山岳形状

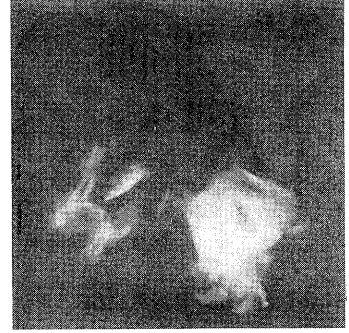


図12-(c) 生成された雲状形状

図12 同一のデータから生成される山岳形状と雲状形状の例

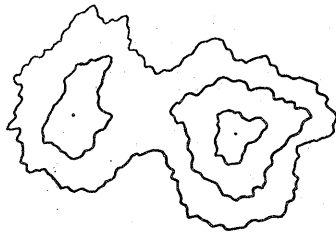


図13-(a) 等濃度線

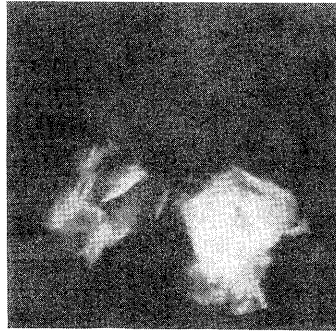


図13-(b) 生成された雲状形状#1

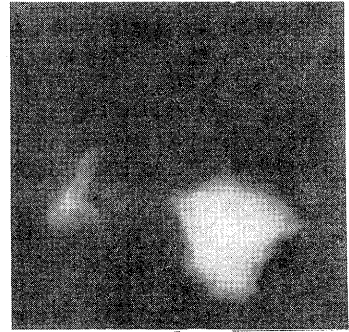


図13-(c) 生成された雲状形状#2

図13 フラクタル次元の違いによる出力画像の相違

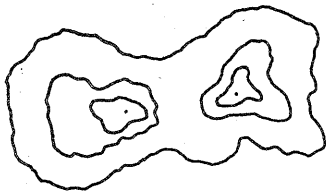


図14-1-(a) 等濃度線

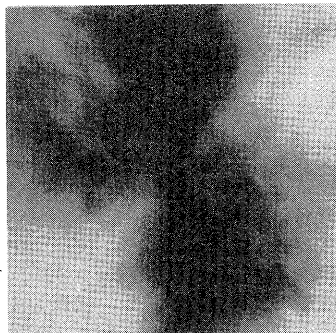


図14-1-(b) 生成された雲画像

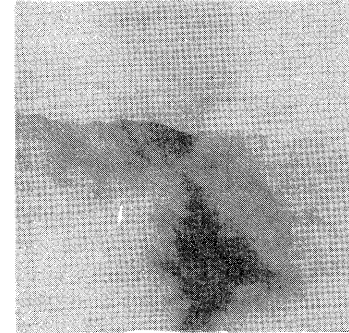


図14-1-(c) 背景画像との重ね合わせ

図14 実験結果



図14-2-(a) 等濃度線



図14-2-(b) 生成された雲画像

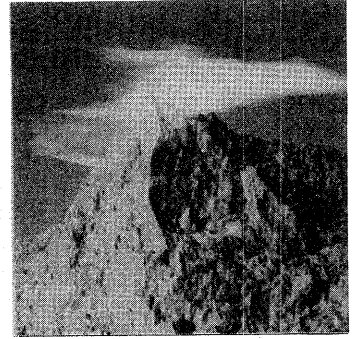


図14-2-(c) 背景画像との重ね合わせ

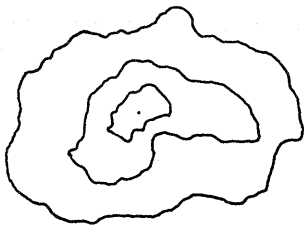


図14-3-(a) 等濃度線

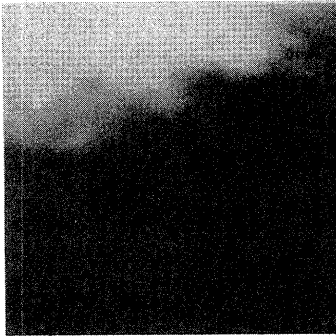


図14-3-(b) 生成された雲画像

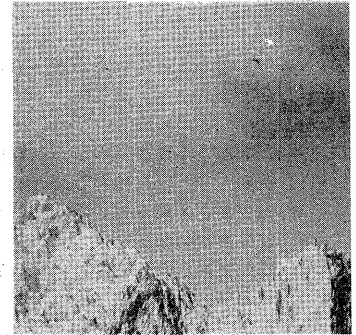


図14-3-(c) 背景画像との重ね合わせ



図14-4-(a) 等濃度線

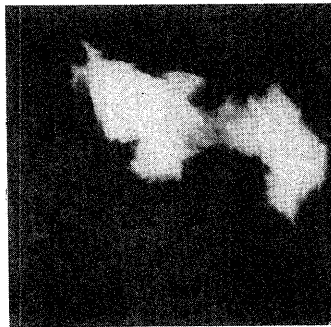


図14-4-(b) 生成された雲画像

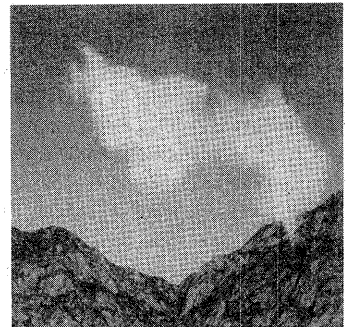
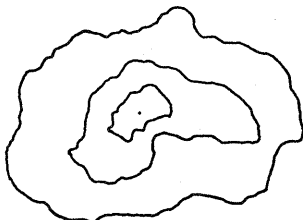


図14-4-(c) 背景画像との重ね合わせ



(波状効果を用いた例)

図14-5-(a) 等濃度線

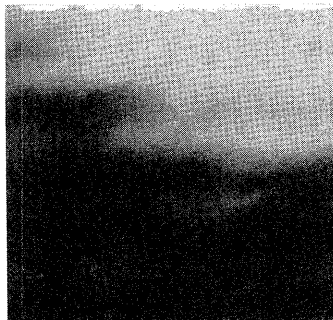


図14-5-(b) 生成された雲画像



図14-5-(c) 背景画像との重ね合わせ

図14 実験結果(続き)

5. おわりに

本手法を用いることにより、簡便な雲状形状の表現が可能になった。

オペレータは、雲状形状の定義に、等濃度線を入力するだけでよく、オペレータにかかる負担は、従来の手法と比較して、はるかに軽減されている。また、生成された形状は、山岳形状としても、雲状形状としても表現することができる。したがって、コンピュータ・アニメーションの背景画のデータ・ベース化を考えた場合、オリジナル・データとして等高線(等濃度線)だけを登録しておけばよい。

今後の課題としては、次の4つの点が挙げられる。

- 1) 入道雲のような、ボリューム感のある雲の表現
- 2) 本手法を応用した、雲状形状の符号化
- 3) 雲状形状の陰影付け
- 4) 風の効果を取り入れた、雲状形状の動きの表現

参考文献

- [1] M.Aono, T.L.Kunii, "Botanical Tree Image Generation", IEEE CG&A, Vol.4, No.5, pp.1-10, 1984
- [2] P.E.Oppenheimer, "Real Time Design and Animation of Fractal Plants and Trees", Computer Graphics, Vol.20, No.4, pp.55-64, 1986
- [3] Gavin S.P.Miller, "The Definition and Rendering of Terrain Maps", Computer Graphics, Vol.20, No.4, pp.39-48, 1986
- [4] G.Y.Gardner, "Simulation of Natural Scenes Using Textured Quadric Surfaces", Computer Graphics, Vol.18, No.3, pp.11-20, 1984
- [5] Alain Fournier, "A Simple Model of Ocean Waves", Computer Graphics, Vol.20, No.4, pp.75-84, 1986
- [6] 安居院, 宮田, 中嶋, "三次元山岳形状の等高線からの自動作成法", 信学論(D), Vol.J69-D, No.12, pp.1905-1912, 1986
- [7] 安居院, 宮田, 中嶋, "フラクタル次元に基づいたデジタル図形の擬似符号化法", テレビジョン学会誌, Vol.39, No.10, pp.979-987, 1985
- [8] 安居院, 飯塚, 中嶋, "ピラミッド階層構造データの位相変化情報を利用した市街地図の処理", 信学論(D), J65-D, No.10, pp.1243-1249, 1982
- [9] 河野, 柴本, "アニメーションにおける霧の表現手法", 情処第32回全大, 1V-7, 1986
- [10] J.F.Blinn, "Light reflection functions for simulation of clouds and dusty surfaces", Computer Graphics, Vol.16, No.3, pp.21-29, 1982
- [11] N.Max, "Light diffusion through clouds and haze", CVGIP, 33, pp.280-292, 1986
- [12] J.T.Kajiya, Brian P.Von Herzen, "Ray tracing volume densities", Computer Graphics, Vol.18, No.3, pp.165-174, 1984