

CGによる自然物体の生成技法

中嶋 正之

東京工業大学工学部画像情報工学研究施設

コンピュータグラフィクス(CG)を用いた自然物体の生成に関する研究の紹介を行う。コンピュータグラフィクス表現の対象は、大きく分けて機械部品や建築物のような人工的に作られた物体と自然界に存在する山、雲、樹木などの自然物体であり、自然物体も無機物(個体、流体、自然現象、等)と生命体(植物、動物、等)に分けられる。本報告では無機物及び、生命体の中の植物について、主なCG生成技法及び文献について紹介する。またCGによる物体表現の問題点と主な応用についても述べる。

尚、グラフィクスとCAD研究会は、毎年夏に浜名湖において集中研究会を行っているが今年のテーマは「自然対象物のモデリングと表現技術」となっている。本報告は、当集中研究会の最後に行う恒例の総合討論における「キーノート」に相当している。

NATURAL OBJECTS GENERATION TECHNOLOGY USING COMPUTER GRAPHICS

Masayuki NAKAJIMA

Tokyo Institute of Technology, Imaging Science and Engineering Laboratory
4259 Nagatuta, Midoriku, Yokohama, 227, Japan

I introduce the natural object generation methods using computer graphics(CG) technology. The objects rendered by computer graphics are almost divided into two groups such as artificial objects (mechanical products, building, etc.) and natural objects (mountain, cloud, tree, etc.), and natural objects consist of inorganic matters and organism (plants, human, etc.).

This paper report main methods and paper about computer rendering of inorganic matters and plants.

This report is "Key note" of finishing discussion at intensive meeting '89 of SIGCG(Computer Graphics and man-machine communication) in Lake Hamana.

1. はじめに

コンピュータグラフィクス（以下CGと略す）で取り扱う対象は表1に示すように大きく分けて機械部品や建築物などのような人工的につくられた人工物体と自然界に存在する山、雲、樹木や人間のような自然物体である。その中で人工物体は、その形状が確定的に与えられるため、比較的モデリングやレンダリングが行い易く計算機での生成も比較的容易であり、CAD/CAMへの応用、レイトレーシングなどの新しいレンダリング方法の研究などで、3次元コンピュータグラフィクスにおける主流となっていた。それに対して、自然物体は、確定的にモデリングすればするほど人工的に感じられ自然さを失うため、コンピュータでの取り扱いが容易ではなかった。しかし、フライトシミュレーションにおける背景の生成、各種自然現象のシミュレーション、新しい物体表現法の研究の進展などを背景として、近年急速に自然物体のCGによる表現技法の研究が盛んになってきた。

2. 自然物体について

現在試みられているCGによる自然物体の分類を表1に示す。表1から明らかなように、自然物体は、大きく分けて無機物と生命体に分けられ、生命体は、更に形状の時間的変化が比較的少ない植物と、自らの意志や目的を持って動く動物に分けられる。その中で、人間や動物のCGによる表示は、きわめて重要かつ多くの応用分野が挙げられ、特に人間その中でも顔のCG表示は、重要なテーマであるが、顔のCG表示だけでも現在膨大な文献があり⁽²⁾、かつわが国でも多くの研究者がこのテーマに取り組んでおり、次回以後の集中研究会のテーマにもなりうるので、今回は、特に自然対象物の中でも植物および無機物を対象としたCG表現に限定することにした。

一方、無機物は大きく分けて、固体、流体および自然現象に分類することができる。その中で、現在最も研究が進んでいるのは固体であり、山岳形状、岩石、服地、などの多くの研究がなされている。また、流体は、流体のシミュレーションとも関係し、河川の流れ、

海、波の生成などの研究が行われている。一方、自然現象に関しては、フライトシミュレータにおける、より自然な背景の生成を目的として、各種の気象条件（霧、モヤ、雨）の生成の検討が行われている。

以上述べたように、現在、無機物体から生命体まで各種の自然物体のCGによる表現の検討が行われている。

表1 CGで対象とする物体の分類

人工物体	建築物、機械部品、自動車、CAD/CAM		ソリッドモデル サーフェスモデル		
自然物体	無機体	固形	木目、岩石、山岳形状、天体、金属		
		柔物体	服地、カーテン		
		流体	管流	河川、血管	
	生物体	自然現象	表面波	海、波、さざなみ	
			気象	霧、モヤ、雲、大気	
		その他	噴火、爆発、火災、煙		
生命体	植物	樹木	森林、木（ケヤキ、イチヨウ、桜）		
		草花	草、花		
	動物	人間	顔	顔の表情	
		動物（人間以外）	以外	毛髪、皮膚	
		不定形生物	定形動物	魚、鳥、馬	
		不定形生物	アメーバ、ブラウン運動		

3. CGにおける自然物体表現の問題点

CGの研究分野において、主としてCAD/CAMを目的としてソリッドモデルを中心に研究が行われており、CGにおける自然物体の表現は、余り注目を浴びていなかった。この原因として、以下の問題点が考えられる。

第1の問題点としては、自然物体の個々別々に、その取り扱いが異なる場合が多く、統一的な手法が現れなかった。すなわち、表1に示す自然物体の全ての生成に有効な手法が現在存在していない。そのため、個々の研究が別々に行われ、大きな研究の方向が定まらなかった。しかし、フラクタル手法の出現により、ある程度汎用性のある方法が生まれ、自然物体の表現と
言うことで研究の方向が定まりつつあると感じられる。

第2の問題点としては、第1の問題点と共通するが、自然物体の表現のための入力パラメータの指定が極めて困難であり、各種自然物体の入力のための共通の方式が定まっていない。今後自然物体のCG表現が将来発展するためには、自然物体が存在するシーンをインタラクティブに指定できるツールの開発、特に、所望の自然形状を得るのに必要なパラメータの決定を支援するヒューマンインタフェースの開発が必要と考える。

第3の問題点としては、CGによる自然物体の表現の必要性がいまいであるという点である。例えば自然情景なら写真を使用すれば最も現実感のある風景画表示できるということである。この点については、CGにより、現実にはない風景や物体が表現でき、ビジュアル化することができることになり、CGによる自然物体の研究が進み、手軽に表示可能になったら、必然的にそこにニーズが生まれてくるものと考えられる。

4. CGによる自然表現の主な応用

今後、CGによる自然表現が高速かつ手軽に行われるようになった場合には以下のような応用が考えられる。

服地・カーテン …… アパレルやインテリア
 山・水・気象 …… フライトシミュレータの背景
 樹木・草花 …… 都市景観シミュレーション

その他、各種の自然表現は高度なゲーム、新しいコマーシャルフィルムの作成、タイトル、等に有効になると考えられる。

5. 自然物体のCG生成技法

5.1 CG生成技法の分類

自然物体のCGによる生成技法は、極めて多数提案され、かつ実際の画像作成においては、同時に複数の手法が利用される場合もあり、それらを的確に分類することは不可能であると考えられるが、独断により分類すると表2に示すようになると考えられる。

表2 CGによる自然物体の表現方法

理 論		使 用 例	特 徴
モ デ ル	フラクタル理論	山岳, 木, 岳, 樹木,	自己相似形
	パーティクルシステム	炎, 煙, 雲, 樹木	オブジェクト量で与える
リ ン グ 方 式	幾何学的方法	樹木(二股分枝) 草	生成規則が存在
	形式的言語	樹木(Lシステム) 山岳(三角形分割規則) 大理石(PSE言語)	文法が存在
関 数 近 似	関数近似	水(1/f ^p 近似) 人間(三角関数近似) 布(カタナリー曲線)	近似関数が存在
		地形 樹木	形状は2次曲面で近似し、テクスチャマッピングを施す
レ ン ダ リ ン グ 方 式	テクスチャマッピング方式	岩, 石, 雲	2次元テクスチャが存在
	シミュレーション方式	霧, モヤ, 宝石, 大気	物理法則

大きく分けてCG表現すべき対象物体に対応して、的確なモデルや生成規則を構成し、そのモデル、法則に基づいて生成を行うモデリング方式と、テクスチャマッピングやレイトレーシングなどの従来のレンダリング技法を応用して、CG表現を行うレンダリング方式に分類される。

モデリング方式は、更に次のように分類される。

フラクタル理論は、自己相似性に基づき、大まかなモデルを決定の後、その後フラクタルブラウン運動（簡易的には正規乱数による乱れを与えて、自然性を付与する方式）であり、パーティクルシステムは、フェジオブジェクトをモデリングするために提案され、パーティクルと呼ばれるオブジェクトの量で記述するものである。また手続きの方法は、生成手続き法則や、文法に基づき、順次生成させながら対象を生成するものであり、関数近似法は、対象物体の形状または、動きを三角関数、スプライン関数などで近似表現するものである。

一方レンダリング方式は、対象とする実物体の画像を利用したり、自動的に生成したりして求めたテクスチャ画像をマッピングするテクスチャマッピング方式や、レイトレーシングや光の法則を利用するシミュレーション方式に分類される。

6. おわりに

現在、無機物体から生命体まで各種の自然物体のCGによる表現の検討が行われて、今後ますますこの方面の研究は盛んになると考えられる。

その主な文献を、物体項目別に整理したものを以下に示す。ただし、ここに掲載されたものはその一部であり、今後とも毎年多数の研究文献が発表され、この方面の研究が盛んになってゆくものと期待される。

文献

自然形状の生成に関する解説的文献

- (1) 中嶋, 安居院: “コンピュータグラフィクスへのフラクタル理論の応用”, 昭和63年電気・情報関連学会連合大会, 4-31(1988).
- (2) 中嶋, 安居院: “生成体動作の画像解析とその応用”, TV学会誌, 41, 10, pp.919-923(1987).
- (3) 数理科学: “特集フラクタル”, 1981年1月号.
- (4) B.B.Mandelbrot: “Fractals Form, Chance, and Dimension”, Freeman, San Francisco(1977).
- (5) 高安秀樹: “フラクタル”, 朝倉書店, pp.1-7(1986).
- (6) 日経CG12月号: “自然物のCG表現”, (1988).

物体別の文献

(A) 山岳, 地表

- (1) A. Fournier, D. Fussell, L. Carpenter: “Computer Rendering of Stochastic Models”, ACM-SIGGRAPH, 25, 6, pp.371-384(1982).
- (2) 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, J69-D,12, pp.1905-1912(1986).
- (3) 安居院, 長, 中嶋: “等高線地図に忠実な山岳形状再生に関する研究”, 情処学会グラフィクスとCAD研究会, 27-7(1987).
- (4) 三沢, 斉藤, 千葉: “自然の画像生成, 山の手続き的形狀定義法”, 情処学会グラフィクスとCAD研究会, 21-1(1986).
- (5) 石川, 青木: “フラクタルによる図形の生成とその応用”, 信学技報, IE84-104, pp.49-54(1984).
- (6) 安生健一: “ $1/f^D$ スペクトルを持つ確立過程を用いた自然形状モデリング”, 第15回画像工学コンファレンス, 2-4, pp.31-34(1984).
- (7) 三沢, 千葉, 斉藤: “自然の画像生成”, 情処学論, 28, 1, pp.35-45(1987).
- (8) G.Y.Gardner: “Simulation of Natural Scenes Using Textured Quadric Surfaces”, Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH '84).
- (9) S.G.Satterfield, D.F.Rogers: “A Procedure for Generation Contour Lines from a B-spline Surface”, IEEE CG&A, 5, 4, pp.71-75(1985).
- (10) J.K.Yan: “Advances in Computer-generated Imagery for Flight Simulation”, IEEE CG&A, 5, 8, pp.37-51(1985).
- (11) W.Dungan: “A Terrain and Cloud Computer Image Generation Model”, ACM-SIGGRAPH, 13, 2, pp.143-147(1979).

(B) 岩, 石

- (1) 岡田, 堀, 横井, 鳥脇: “3次元フラクタルを利用した大理石の質感表現”, NICOGRAPH'86論文集, pp.97-105(1986).
- (2) 海野, 千葉: “コンピュータグラフィクスにおける岩石の形状定義について”, 第34回情処全大, 5E-3, pp.1855-1856(1986).
- (3) K.perlin: “An Image Synthesizer”, ACM-SIGGRAPH, 19, 3, pp.287-296(1985).
- (4) 鶴岡, 鈴木, 木村, 横井, 三宅: “フラクタル手法を用いた物体の材質感表現”, NICOGRAPH'85論文集, pp.107-113(1985).

(C) 金属

- (1) W.N.Newman,R.F.sproull: "Principles of Interactive Computer Graphics", McGraw-Hill, pp.390-393 (1979)
- (2) 山本, 高木: "非晶質合金薄膜の腐良成長のモデル化とそのパターン生成", TV学会全大, 15-3(1987).

(D) 樹木

- (1) J.Bloomental: "Modeling the Mighty Maple", ACM-SIGGRAPH,19,3,pp.305-311(1985).
- (2) Peter E. Oppenheimer: "Real Time Design and Animation of Fractal Plants and Trees", ACM-SIGGRAPH, 20, 4, pp.55-64(1986).
- (3) M. Aono, T. L. Kunii: "Botanical Tree Image Generation", IEEE CG & A, pp.10-33(1984).
- (4) 奥村, 小川: "光天球の中で成長する樹形", SIENCE ON FORM, 2,1,pp.59-88(1986).
- (5) 金丸, 千葉, 斎藤: "CGのための樹木の成長モデルについて", 情処論, 87,7,pp.19-27(1987).
- (6) Philippe de Reffye, Claude Edelin, Jean Francon, Marc Jaeger, Claude Puech: "Plant Models Faithful to Botanical Structure and Development", ACM-SIGGRAPH, 22, 4, pp.151-158(1988).
- (7) Alvy Ray Smith: "Plants, Fractals, and Formal Languages", ACM -SIGGRAPH, 18,3,pp.1-10(1984).
- (8) Premyslaw Prusinkiewicz, Aristid Lidenmayer, James Hanan: "Developmental Models of Herbaceous Plants for Computer Imagery Purposes", ACM-SIGGRAPH, 22, 4, pp.141-150(1988).
- (9) Hisao Honda, Jack B.Fisher: "Ratio of Tree Branch Lengths: The Equitable Distribution of Leaf Clusters on Branches", Proc.Natl.Acad. Sco.USA, 76,8,pp.3875-3879 (1979).

(E) 木目

- (1) D.R.Peachey: "Solid Texturing of Complex Surfaces" ACM-SIGGRAPH, 19, 3, pp.279-286(1985).
- (2) 鶴岡, 新帯, 木村, 横井, 三宅: "ポテンシャル法を用いた木目の表示方法について", NICOGRAPH'85論文集, pp.83-88(1985).

(F) 草, 花

- (1) Alvy Ray Smith: "Plants, Fractals, and Formal Languages", ACM-SIGGRAPH, 18,3,pp.1-10(1984).
- (2) W.T.Reeves: "Particle Systems - A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects", ACM-SIGGRAPH,17,

3, pp.359-376(1983).

- (3) M. Aono, T. L. Kunii: "Botanical Tree Image Generation", IEEE CG & A,pp.10-33(1984).

(G) 水, 海, 波, 泡等

- (1) 安生健一: "自然物モデリングのためのスペクトル表現", 昭和63年前期情処全大, IZ-3(1988).
- (2) 中川, 千葉, 斎藤, 他: "流れのシミュレーションのための粒子の行動モデル", NICOGRAPH'88論文集, pp.104-109 (1988).
- (3) K.Perlin: "An Image Synthesizer",ACM-SIGGRAPH,19,3, pp.287-296(1985).
- (4) N.Max: "Vectorized Procedural Models for Natural Terrain", ACM-SIGGRAPH, 15, 3, pp.317-324(1981).

(H) 雲

- (1) 宮田, 安居院, 中嶋: "等濃度線を用いた雲画像の生成", 昭和62年後期情処全大, 2G-3(1987).
- (2) G.Y.Gardner: "Simulation of Natural Scenes Using Textured Quadric Surfaces", ACM-SIGGRAPH,18,3,pp.11-20(1984).
- (3) G.Y.Gardner: "Visual Simulation of Clouds", ACM-SIGGRAPH, 19, 3,pp.297-303(1985).
- (4) S.Coquillart: "Displaing Random Field", Computer Graphics Forum,4, pp.11-19(1985).
- (5) W.Dungan: "A Terrain and Cloud Computer Image Generation Model",ACM-SIGGRAPH,13,2,pp.143-147(1979).

(I) 気象

- (1)(大気) T.Nisita,Y.Miyawaki,E.Nakamae: "A Shading Model for Atomospheric Scattering Considering Luminous Intensity Distribution of Light Sources", ACM-SIGGRAPH 21, 4, pp.303-310(1987).
- (2)(霧) N.L.Max: "Light Diffusion through Clouds and Haze", Computer Graphics and Image Processing, 33, pp.280-292(1986).
- (3) 牧野, 大石: "レイ・トレーシングを用いた大気中のビーム光の表現", NICOGRAPH論文集, pp.161-168(1987).
- (4) 野村, 横井, 鳥脇: "霧状物体の表示アルゴリズムに関する検討",NICOGRAPH'86論文集, pp.126-135(1986).
- (5) H.E.Rushmeier, and K.E.Torrance: "The Zonal Method for Calculating Light Intensities in the Presence of a Participating Medium", ACM-SIGGRAPH '87 Conference Proceedings, pp.293-302(1987).

- (6) R.V.Klassen: "Modeling the Effect of the Atmosphere on Light", ACM Transactions on Graphics, 6,3,pp.215-237(1987). (M) 人間, 動物
(1) 文献(2)に多数有り.

(J) 服地, 布

- (1) J. Weil: "The Synthesis of Cloth Objects", ACM-SIGGRAPH, 20,4,pp.49-54(1986).
(2) D.Terzopoulos, J.Platt, A.Barr, and K.Flescher: "Elastically Deformable Models", ACM-SIGGRAPH, 21, 4,pp.205-214(1987).
(3) 宇田, 鶴岡, 木村, 三宅: "布地物体の材質感表現", NICOGRAPH'87論文集, pp.192-199(1987).
(4) 安居院, 大川, 中嶋: "拘束条件の強い布地物体の表現", 信学春期全大, 2, pp.285-286(1987).
(5) 安居院, 西井, 中嶋: "変形過程における布地物体の表現", 信学春期全大, SD-8-4(1989).
(6) 木元, 大野: "テクスチャ・マッピングによる布の材質感表示", 情処第37回全大, pp.1685-1686(1988).
(7) J. Blinn, M. Newell: "Texture and Reflection on Computer Generated Images", Communications of the ACM, 19,10, pp.542-547(1976).
(8) 宇田, 鶴岡, 木村, 三宅: "被服の着装表現", NICOGRAPH '88論文集, pp.249-254(1988).
(9) 今岡ほか: "衣服構造解析のためのモデリング", 精密機械, 51, 6, pp.22-27(1985).

(K) 火(炎, 爆発)

- (1) Paramount: "Star Trek II;The Wrath of Khan"(film), (1982).
(2) W.T.Reeves: "Particle Systems - A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects", ACM-SIGGRAPH,17, 3, pp.359-376(1983).
(3) W. T. Reeves: "Approximate and Probabilistic Algorithms for Shading and Rendering Structured Particle Systems", ACM-SIGGRAPH,19,3, pp.313-322,(1985)
(4) 大島, 板橋: "2次元テクスチャを用いた炎の簡易表示の試み", 情処学会グラフィクスとCAD研究会, 30-5(1987).
(5) 安居院, 河野, 中嶋: "セルオートマトンを用いた火炎の表現", 信学春期全大, SD-8-5(1989).

(L) 星, 天体, 惑星

- (1) 大島, 板橋: "テクスチャを利用したアニメーションの制作", NICOGRAPH '88論文集, pp.110-119 (1988).