グラフィクスとCAD 46－1
（1990．8．17）

ＣＧによる自然物体の生成に関する研究動向

中嶋　正之

東京工業大学・工学部・像情報工学研究施設

情報処理学会のグラフィクスとＣＡＤ研究会では，毎年夏に泊まり込みで，ある１つのテーマを，決めて集中的に討論するとともに研究者どうしの情報交換を目的にして集中研究集会を開催している．昨年のテーマは，「自然対象物のモデリングと表現技術」と題して，主に自然界に存在する無機物（個体，流体，柔物体，等）や自然現象のＣＧによる表現技法について検討し活発な討論が行われた．そこで，本年は，引き続き自然物体のＣＧ表現の第２回目として，「人物のモデリングと表示技術」と題し，主に人間を対象とするＣＧ表現の問題点，最新の動向，等について集中的に検討することにした．

本報告は，昨年の集中研究集会において討論されたＣＧによる自然物体の生成技法について紹介するとともに，本年のテーマである，人物の生成技法との関係について述べ，自然物体と人物のＣＧ表現技術について総括したものである．

IMAGE GENERATION TECHNIQUES FOR NATURAL OBJECT USING COMPUTER GRAPHICS

Masayuki NAKAJIMA

Tokyo Institute of Technology ,Imaging Science and Engineering Lab.,

SIGCG(Graphics and CAD group in IPSJ) is holding special intensive meeting every summer. At last this meeting, we discussed about computer modeling and rendering algorithm for natural objects like mountain,cloud,metal and etc. ,so this year we will discuss computer modeling and rendering for human being as 2nd. meeting for natural object.

This report , I introduce about main themes and problems at last meeting and image analysis methods of moving object.

1．　はじめに

情報処理学会のグラフィクスとCAD研究会では，前主査である川合教授らの発案で，毎年夏に泊まり込みで，ある1つのテーマを，決めて集中的に討論するとともに研究者どうしの情報交換を目的にして集中研究集会を開催している．本年は第4回目に当り，過去のテーマは以下の通りである．

第1回　ユーザインターフェース
　昭和62年8月20，21日　伊豆
第2回　ステレオグラフィックスの新しい展開
　昭和63年8月25，26日　浜名荘
第3回　自然対象物のモデリングと表現技術
　平成元年8月17，18日　　浜名荘

この様に例年，話題となっているテーマを取り上げ多大の成果を挙げている．昨年も自然対象物のモデリングと表現技術と題して，主に自然界に存在する無機物（個体，流体，柔物体，等）や自然現象のCGによる表現技法について検討し活発な討論が行われた[1]．そこで，本年は，引き続き自然物体のCG表現の第2回目として，「人物のモデリングと表示技術」と題し，主に人間を対象とするCG表現の問題点，最新の動向，主な応用分野，等について集中的に検討することにした．

2．　自然物体について

2．1自然物体の分類

現在，コンピュータグラフィクス（以下CGと略す）の分野において，我々の身の回りにある様々な物体や現象を，極力現実通りに再現，表示する研究が，アメリカや日本において活発になってきている．この研究は，写真の様に現実的な画像・映像を生成することを第一の目的としていることからフォトリアリスティックビジュアライゼーションとも呼ばれている．しかし対象として，普段我々が身近に目にする物や現象を取り上げており，かつ物体や現象ごとにCG処理が大きく異なっている場合が多いので，自然物体の表現技法と総称し，昨年の集中研究集会では，自然物体の分類を試みた[2]．しかし昨年は，人工物体と自然物体の区別が明確でなく例えば人工的な自然物体（庭園，石柱，等）や自然的な人工物体（衣服，金属板，等）等があるとの議論がなされ結論は出ていないが，改めて表1に示す分類をおこなってみた．即ち，自然物体を大きく無機物と生命体だけに分け，人工物体を無機物の中の構造物として分類した．

表1　主なCGの対象物体

無機物	固体	人工構造物	橋，建築物，自動車	
		固形	木目，岩石，山岳形状，金属	
		人工柔物体	服地，カーテン，紙	
	流体	管流	河川，血管	
		表面波	海，波，さざなみ	
	自然現象	気象	霧，モヤ，雲	
		その他	煙，噴火，爆発，火災	
生命体	植物	樹木	森林，木（ケヤキ，イチョウ，桜）	
		草花	草，花	
	動物	人間	顔	顔の表情
			以外	毛髪，皮膚
		動物（人間以外）	定形動物	魚，鳥，馬
			不定形生物	アメーバ，ブラウン運動

2．2　自然物体のCG表現

無機物のCG表現が，昨年の本集中研究集会のテーマであった．これは，表に示す様に大きく分けて，個体，流体，および自然現象に分類することが出来る．その中で，現在最も研究が進んでいるのが個体であり，人工構造物は，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やすく，従来の3次元CGの主流となっている物体である．また，

自然物体の生成技法ということで山岳形状，岩石，服地，などの多くの研究がなされている[2]．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，海洋，波の生成等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，より自然な背景の作成を目的として，各種の気象状況（霧，雨，モヤ）の生成の検討が行われている．

一方，生命体は，更に時間的な変化が比較的少ない植物と，自の意志や目的を持って動く動物に分けられる．植物は，フライトシミュレータの背景，建築物のシミュレーション，等に利用されており，ＣＧの分野において重要な対象物になりつつある．しかし，ＣＧの分野における表現やモデリングの方式としては，無機物と同様に扱われているので今回の集中研究集会では，議論しない．また，動物は，ＣＧの取扱のモデリングからは，表１に示す様に，人間と人間以外の動物に分類される．現在，人間のＣＧ表現が重要なテーマとなっており，今回は特に人物だけに焦点を絞り集中研究集会のテーマにした．

現在，人物を含め，多くの自然物体のＣＧ表現の研究がなされているが，しかし，これらの自然物体の現実感のある表現には，いまだ多くの問題点がある．例えば，昨年の集中研究集会に於て議論された主な問題点は，以下の通りである．

（１）対象物体ごとに最も効果的なモデリングやレンダリング法が異なる場合が多い．そこで統一的な取扱が困難である．

（２）現実感のある物体を高速かつ手軽に生成する方法とその物理法則を重要視すべきであるとの考え方との兼ねあい．

（３）ＣＧの分野においては，現実感のある物体表現の研究の目的が明確となっていないため，大きな研究の流れとなっていない．

今回も，これらの問題点については，引続き議論していきたいと考えている．

３．　生命体の画像解析

始めに人間や動物の動きに対する画像解析の動向について紹介する．今回のテーマがＣＧ表現ということではあるが，より現実感の高いＣＧ表現を行うには始めに画像解析に基ずくモデリングが必要とされる．

生命体の動画像解析は表１の生命体の分類ときわめて似ているが表２のように分類される[3]．　すなわち，人間や動物のように，自らの意志や目的を持って動く“生命体”の動きと，主として外力に基づき物理公式に従って動く“剛体”の動きである．この剛体の動きの解析については，コンピュータビジョンの分野において，精力的に研究が行われ，多大な成果を挙げている．それに対して，生命体の動きは，剛体の動きに較

表２　生命体の画像解析とその応用

生命体		画像例	主な応用
人物	顔	テレビ電話 テレビ会議 顔画像の生成 表情のデータベースの作成	情報圧縮 次世代通信 コンピュータアニメーション
	動作	動作解析 歩行，走行，スポーツ動作 人体計測 ラバノーテーション	人間工学 運動学 アパレル 予防医学 芸術，ダンス
動物		動作解析（馬，尺取虫，魚，蛇，ムカデ等） 微生物の動き	ロボット工学 医用画像解析
不定形生物		細胞形状変化 アメーバの動き解析	医学
植物		花，木，森林	成長シミュレーション リモートセンシング

べて複雑であり，予測不可能な要素も含まれるため，画像解析が困難とも考えれていた．しかし，人間や動物の動作の解析は，知的符号化，３次元通信，コンピュータアニメーション，運動学，さらに芸術の分野において，その重要性が認識され始め，精力的に研究がなされ始めている[4]．

４．　人間の画像解析

４．１　人間の動作解析

人間の動作の解析を最初に試みたのは，１４世紀の科学者レオナルド・ダビンチであると考えられる．しかし当時は，適格な記録法や表示法もなく，その問題提起で終わっている．本格的な人間の動作解析が開始されたのが，1839年の写真術の出現以後であり，1880年に至り，フランスの生理学者 Etienne Jules Marey が１台のカメラを用いて人間の運動の連続分解動作画像を記録し，グラフ化された連続写真を作った．その後，映画の出現により動作の記録は極めて容易になり，近年では，コンピュータを用いて多量の画像（動画像）を解析処理することが可能となり，以下に述べる多くの解析手法が提案されている．

（１）　動画像解析システム

複雑な動作をする各種のスポーツ（ゴルフのスイング，バレーボール等）の選手の連続動作を解析するためには，ビデオや映画で撮影された連続画像を１コマずつ再生して，オフラインで解析するシステムが使用されている．すなわち，計算機を用いた実時間解析が困難な動作に対しては，１コマごとにスクリーン上に拡大して投影し，その上にグラフ用紙を置き，人間の各部位の動きを記録し，人間自身により読み取り，計算機へ入力する作業が行われている．このような動画像解析システムが多数開発されている[5],[6]．

（２）　動作区分点

人間の動作の解析には，対象物体上に，複数の指定点を設定して，その動きから全体の動きを解析する方式がある．　このような点を動作区分点と呼んでいる[7]．たとえば，人間を対象とした場合，主として関節部に動作区分点が設定される．この動作区分点の動きを計測し，グラフ上にプロットすると，対象物体の動きが分かる．

（３）　動作関数近似

各部位の３次元空間内での動作区分点の数値列が計測された次の処理としては，それらの数値列に存在する規則性を導くこと，一般的には，関数式で近似することが行われる．

人間の動作を対象とした場合は，各部位の動きが関節を中心とした三角関数により近似されるという仮定に基づき，三角関数近似法が提案されている[8]．

（４）　ラバノーテーション

音楽の記法である楽譜に対して，人間の動作の記録としてラバノーテーションが使用されている[9]．このラバノーテーションは，1928年に， Rudolf Laban が提案した方式で，人間の動きを表示するための２次元グラフィック記述システムで，その主な応用はクラシックバレーやモダンダンスの記録にある．

（５）　コンピュータアニメーション

人間の動作の解析の目的としては，座りよい椅子や机の設計などを目的とする人間工学，より良好な運動形態を求めることなどを目的とする運動学，適格な型紙さらに服装を作成するためのアパレル，外力により人体がどのように影響を受けるかの安全工学など，多岐にわたっている．しかし，最も強力に研究が進められているのがコンピュータアニメーションの分野である[6]．従来，人間や動物の忠実な動きを計算機により作成することは困難なものとされており，より自然に近い動きを記録し，解析し，再生するための研究がなされている．

現在，より忠実に人間の動きを実現するための各種の方式が試みられている．例えば，Forest らは，キーフレーム方式とアルゴリズム方式を統一した方式[10]，Badler らのイメージベース方式[11]， Zeltser らの形状内挿方式[12]などがある．

４．２　人間の表情解析

人間全体の動作の解析と共に，手[13]，足[11]や顔などの人間の各部位ごとの動きの解析が試みられている．その中で最も重要かつ広い応用が期待されるのが顔である．

（1） 顔画像処理

人間の顔画像の計算機解析手法は古くから行われている．この場合，目，口，鼻等の各部位の位置を1枚の画像から忠実に抽出することが主体となる．その方法としては，階調画像として入力された顔画像を微分等の処理を施して主として線成分を抽出し，さらに各部位の相対関係から位置を求めるものがある．

（2） 顔画像の動き検出

主として，テレビ電話における伝送帯域圧縮を目的として，各種の顔画像の動き検出処理が，行われている[14]．例えば2枚のフレーム間で変化があった部分を検出し，そのブロックと動きベクトルを伝送するものであり，多くの研究がなされている．

（3） 知的画像符号化

顔画像の解析，符号化さらに合成に関する研究が次世代通信を目的として，精力的に行われている[15]．

これは，テレビ電話のように対象を限定した場合，送信側では，話者の顔画像を分析し，特徴抽出，さらに符号化を行い，受信側では，抽出特徴に基づき画像合成を行う新しい知的符号化である．この符号化によれば特徴量や認識結果のみを伝送すればよいため超低ビットレートでの符号化が可能になる．

知的画像符号化は，実現には多くの問題点（対象が限定されている．各種表情の作成方法，自動画像解析など）があると考えられるが，知識工学やＡＩの手法を通信の分野に導入したインパクトは極めて高く，またＣＧの分野の研究者に与えた影響も大きい．

（4） 表情データベース

人間の複雑な表情の忠実な作成は極めて困難な作業とされ，様々な試みがなされている．ある表情を生成することは，基本的には，目や口などの各造作を変形させたり，移動したりして作り出すことになる． 文献（16）では，無表情の顔図形に対して，各造作の変化量をデータとして与えることにより表情を表現する手法が行われており，喜怒哀楽の表情の作成が行われている．

（5）3次元通信

我々は，3次元世界の中で生活しており，もしも3次元のままでの通信が可能であれば，より高いコミュニケーションが成立する．次世代通信の分野においては，現在テレビ会議のデータ圧縮を主な目的として顔画像生成の研究が盛んにおこなわれているが，3次元画像通信を，ターゲットにした場合，世の中に存在するすべての自然物体を対象にしなければならない．ここでは，ＣＧによる自然物体表現技法が重要な要素となっている．

5． 動物の画像解析

人間以外の各種の動物の動作の研究もなされている．この場合，馬や牛などの骨格を有する動物は，人間と同様に動作区分点を設定して，その動きの解析が行われている[7]．

また，ヘビ，トカゲ，尺取虫などの比較的細長い物体に対しては，頭部から後尾までを等間隔に分割して区分点を設立して，動きの計測が行われている．

一方，水槽内のメダカやオタマジャクシのような小動物の動きの解析には，個々の動きよりも全体の動きが重要となる．例えば，水槽内のオタマジャクシの第1コマと最終コマの位置を求め，その動きをベクトルで表示し，このベクトル群に対してその角度のヒストグラムを求める．これにより全体として，どの方向へ移動しているオタマジャクシが多いかということが分かる．また，このベクトルからオタマジャクシの平均速度，最も近いオタマジャクシとの距離や方向など，群としての動きの様子が解析されることになる．

6． おわりに

以上述べた生命体に対する解析手法から得られた結果を利用して，生命体のＣＧ表現が行われることになる．即ち，解析により求められた各種のパラメータ（

立体，動き，質感，等）に従って，画像を再生する作業を実行することになる．最も重要な作業は，３次元画像の再生部であり，通常，立体モデルに従ったレンダリング処理を施すことになる．具体的なレンダリング法としては，従来のＺバッファ法やスキャンライン法が広く使用されるが，並列処理が可能であれば光線追跡法が有効な方式である．また，視点の変更に強くかつホトリアリスティックな新しいレンダリング法としてラデオシティ法が注目されており，またボリュームレンダリングが使用されるものと考えられる．

終わりに，今回の研究会は，特に人物のＣＧ表現に限定したが，近い将来植物や人間以外の動物を含めたＣＧ表現の集中研究会等が開かれることを望む．

参考文献

（１）情報処理学会，グラフィックスとＣＡＤ研究会１９８９年度集中研究集会資料

（２）中嶋：ＣＧによる自然物体の生成技法，情報処理学会，グラフィックスとＣＡＤ研，４０－１０，（１９８９）

（３）中嶋，安居院：生命体動作の画像解析とその応用，ＴＶ学会誌，Vol.41,No.10,PP.919-923(1987)

（４）安居院，中嶋：人の動きの記述と表示，画像電子学会誌，Vol.10,No.5,PP.429-438(1981)

（５）M.J.Potel,R.E.Sayre:Motion Analysis with Vector Graphics,Workshop on Picture Data Description Management,'77,pp.184-186(1977)

（６）Baeker,D.Miller,W.Reeves:Towards a Laboratory Insturument for Motion Analysis ,ACM.SIGGRAPH ,Computer Graphics,Vol.15,No.3,pp.191-197(1981)

（７）安居院，中嶋，大江：コンピュータアニメーション，産報出版（１９８３）

（８）安居院，大江，富沢，中嶋：アニメーションプリミティブの合成による三角関数近似動画像，信学会論文誌，63-D,1,pp.87-92(1981)

（９）S.W.Smoliar,W.Tracton:A Lexical Analysis of Labanotation with an Associated Data Structure ,Proc.ACM,Annu.Cnf.,2,pp.727-736(1978)

（１０）L.Forest,N.Magnenat-Thalmann and D.Tahalmann:Integration Key-Frame Animation and Algorithmic Animation of Articulated Bodies,Advanced Computer Graphics(Ed. by Kunii),pp.263-278,Springer Verlag(1986)

（１１）S.N.Steketee,N.I.Badler:Parametric Keyframe Interpolation Incorporating Kinetic Adjustment and Phrasing Control,ACM.SIGGRAPH,19,3(1985)

（１２）D.Zeltzer:Towerds an Integrated View of 3D Computer Animation,The Visual Computer,1,4,pp.249-259,Springer (1985)

（１３）M.Girard ,A.M.Maciejewski:Computational Modeling for Computer Animation of Legged Figure ,ACM SIGGRAPH,19,3,pp.263-270(1985)

（１４）例えば，論文特集号”高能率符号化技術とその応用”，ＴＶ誌，39,10(1985)

（１５）原島，相沢，斉藤：次世代画像符号化の構想，信学技法，ＩＥ８７－１（１９８７）

（１６）野口，安居院，中嶋：データベース駆動型アニメーションシステムのデータ構造，信学技法，ＩＥ86-3,pp.17-24(1986)