

## 微小平面を用いた人工自然のモーションデザイン

野地 朱真

### A Study of Artificial Motion Design using Particle Polygons

NOJI Suma

#### Abstract

This paper presents a new method of motion design for the particle behavior in fluid object such as cloud, snow, or wind. Particle dynamics simulation systems to simulate particle motions have been developed through the ordinal 3DCG applications. In fluid dynamics simulations, the vectors of each particle are calculated taking the collision with other particles and the affection of eternal forces such as gravity or turbulence into consideration. On the other hand the particle dynamics ignore the interaction between each particle in approximations of fluid dynamics. Even though the simplification of the simulation, almost all animator and users who are not familiar to dynamics cannot control the particle dynamics parameters and motions in these approximations mentioned above. These issues are caused by a large number of input parameters and its complexity. In addition, the simulation program cannot save the vector data for each particle which have been evaluated according to the procession. In this paper, the particle motions developed through the calculation of geometrical transformation instead of the dynamics simulation are presented. This method gives the artificial fluid motions which meet the creator's requirement.

Key Word: particle, geometrical transformation, subdivided polygon, motion path, 3D mapping

#### [ 要約 ]

水流、風といった流体のモーション作成には、一般的にCGアプリケーションが提供するパーティクルダイナミクス（粒子を扱う力学）の手法が用いられている。微小な平面、または物体を対象としてそれらの相互干渉と重力などの外的環境要因を流体力学の近似として動作を算出する。しかし、力学に疎遠なユーザやアーティストにとって、アプリケーションが用意する膨大なパラメータを意図どおりに制御し望むモーションを得るのは至難の技である。また力学シミュレーションゆえの問題点として、時系列に算出した各パーティクルのベクトルデータを蓄積できない、などの欠点もある。本論文は流体状の表現を作成するにあたり、ユーザの負担を軽減し演出意図の要求を容易に満たすことを目的とし、力学の代わりに幾何学計算のみで人工的に微小平面のモーションを制御する手法を提案する。また微小平面のモーションデザインを応用し、2次元と3次元空間を行き来する新しい人工的なモーションデザインの手法を紹介する。

キーワード：パーティクル、幾何学変換、微小平面分割、軌跡、3次元マッピング

## 1. はじめに

CGを用いた映像の中で、水流、雲、霧のような形状の曖昧な流体のモーションはしばしば視覚効果をあげる演出として用いられる。これは微小かつ大量な物体の相互の衝突や重力、風などの外力による影響を反映した流体の動きの描写である。既存のアプリケーションではこのような流体状のモーションを生成する機能を備えており、一般にパーティクルダイナミクスと呼ばれている。波しぶき、噴水や花火などのほか同様の計算式を用いてキャラクタの集団の動作を生成する場合にも使用されている。パーティクルは、メインキャラクタのモーションを「主」とするとそれらを引き立てる効果として「従」の立場で用いられてきた。しかし、アニメーション制作で対象とするモーションはドラマの演技者としてのキャラクタモーションだけではない。定型的な動作や自然界のシミュレーションにとどまらず、視覚の快楽を追求し新しいモーションをデザインし創出することも挑戦的な課題である。本論文では、具象と抽象の中間領域で、視覚の生理的快楽に訴求するモーションデザインの実現を目的にツールプログラムの開発を行った。流体状の物体として微小平面を用意し、その多量の断片が生成され拡散し消失してゆくようなモーションを、自然界の物理現象を参照し人工的に生成する手法を構築した。本論文で制作したアニメーションでパーティクルは「従」ではなく「主」として扱っている。さて、パーティクルの動作を演出意図どおりに制御することを考える。ここで問題となるのは、既存アプリケーションでのパーティクルシステムのシミュレーションに用いる力学パラメータの複雑さと多量さである。一般のユーザやアニメータは長時間に渡る試行錯誤を繰り返さないと要求にかなう動作が得られないことが多い。また物理シミュレーションであるがゆえに、時間進行は未来方向にいくらかでも進行することができるが、過去に遡ることが出来ない点も課題である。すなわち、生成・放出されたパーティクルを元の位置に戻すような計算は不可能だということである。本論文では、これらの問題を解決し効率的に意図するモーションを得る手法として、力学処理の代わりに幾何学的な変換処理を用いて動作を生成する手法を提案する。

## 2. 従来のパーティクルダイナミクス

既存アプリケーションが提供するパーティクルダイナミクスでは、粒子はユーザが用意した物体表面または指定した位置座標から発生させられる。表示に用いられる基本形状は、点、線、小球、小平面、スモーク、などがある。ユーザはそれに対し、生成される空間や重力、風、乱気流などシステムが提供する外力を用いそれらの多数のパラメータを入力することでモーションを得る。また放出されたパーティクルの発生から消失に到る寿命（表示時間）単位時間あたりの放出量を指定する。表1はmayaのパーティクル生成に inputs するパラメータの一部である。図1は3DCGアプリケーションであるmayaにより作成したパーティクルの

噴水シミュレーションにおける設定画面と計算結果を示す。放出はエミッタとよばれる装置の示す位置または物体表面から無重力空間に向けて行われる。噴水の形状に沿わせて生成するためには、放出の方向と空間を制御するために円錐やトーラス形状を用意し、さらに重力の大きさを調整している。それにもかかわらず、意図するようなモーションを得ることは困難である。それは入力した力学パラメータが直接的に視覚上の効果を制御するものではないからである。与える重力の大きさがどのような視覚効果になるかは、シミュレーションプログラムを実行してからでないと直感的に把握できないことが理由である。これがパーティクルのモーションを作成する際の大きなデメリットのひとつになっており、ユーザが直面する制作上の障害である。流体力学では、文献 [ 1-2 ] で述べられているように各粒子の相互干渉を逐次計算する。雲の計算で例えるならひとつの水滴が自分自身を除く他のすべての水滴に及ぼす力の作用を総当りで計算する。また風や重力などの外力の作用も勿論計算する。そのため1画面分のシミュレーション計算に非現実的なまでの膨大な時間がかかってしまう。アプリケーションにおけるパーティクルダイナミクスでは、計算の負荷を軽減し現実的な描画時間の範囲で一定の効果を得るために、本来の流体力学の相互干渉の計算を削除している場合が一般的である。もうひとつの欠点は放出されたパーティクルを元の位置に戻すことができない点である。シミュレーションのための力学計算は時間パラメータ  $t$  をプラス方向に加算しながら逐次計算を行うが、各  $t$  におけるパーティクルの位置情報を保存する仕様となっていない。位置ベクトルを蓄積してゆくとデータ量が膨大になりシステムが破綻するためである。従って、一旦放出したパーティクルを逆流させるには映像編集で逆転する他はない。例えばしばしば爆発のシーンに用いられる煙の拡散のパーティクルシミュレーションでも、吹き飛んだ煙や物体が元に戻って再形成されるような演出は困難なのである。

図2はmayaが提供するパーティクルダイナミクスによる花火の画像である。花火の爆発時間や色の变化、最大時のサイズ、落下に作用する力などのパラメータをユーザが入力する。また、図3は球体から発生した炎の表現である。一見それらしいものが容易に得られるメリットはあるが、そのモーションをコントロールするのはほぼ不可能で、システムの成すがままといえる。既存アプリケーションでは、ほかに物体間の衝突とバウンスの計算を行う力学計算の機能が備えられている。しかしこれもパラメータの調節が難しくまた重心位置が変化するキャラクタの衝突計算などは実現されていない。キャラクタ動作の力学シミュレーションについては文献 [ 3-5 ] で中嶋、藤井らとすでにリアルタイムでインタラクティブにモーション生成するシステムを構築している。図4はそのシミュレーション画面である。

表1 . パーティクルダイナミクスの入力パラメータ

Parameter	Pos (x,y,z)	Velocity (x,y,z)	Rate (Number/sec)
意味	発生位置	初期速度	秒あたりの発生数
Parameter	Direction (x,y,z)	spread	speed
意味	初期方向	拡散の度合い	速度変化

図 1. パーティクルダイナミクスによる噴水

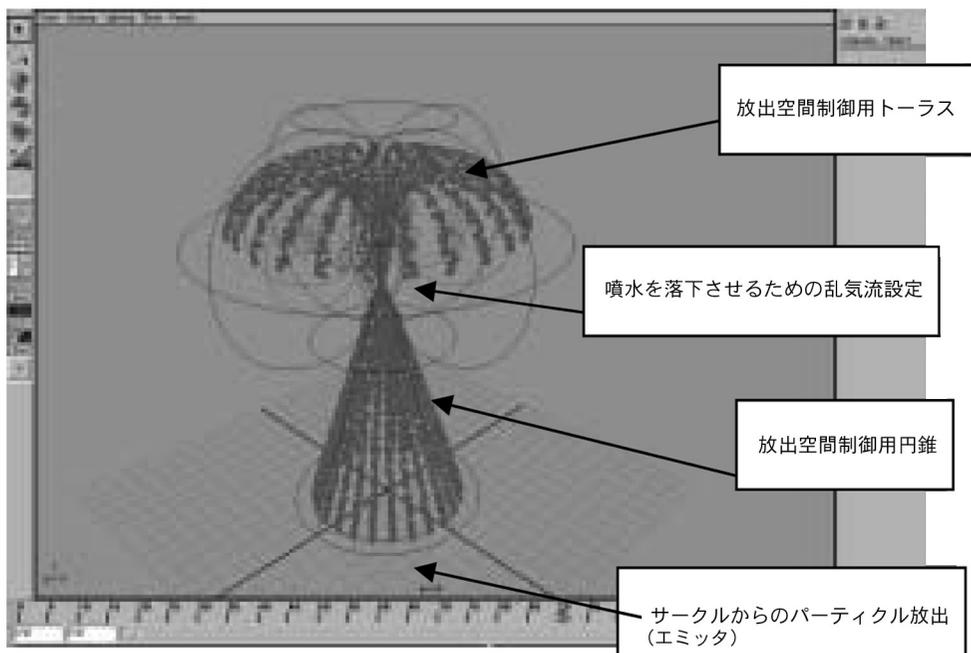


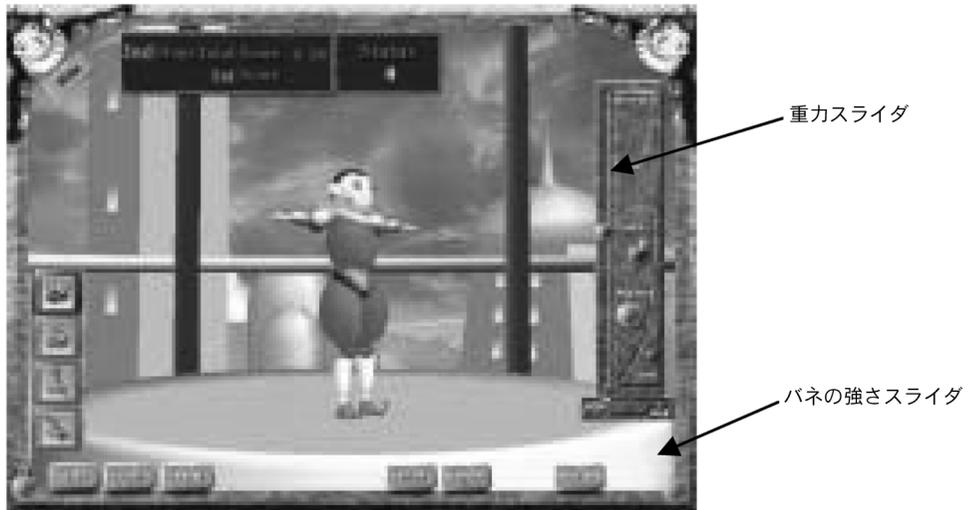
図 2. パーティクルダイナミクスによる花火



図 3. パーティクルによる炎



図4 . キャラクタのダイナミクスシミュレーション生成システム画面



### 3 . 人工自然のモーショ

自然界の中で生じる流体を観察すると、一定の法則性がありながらも複雑で滑らかな動き・振る舞いをしていて、そこには人を惹き付ける深い魅力がある。本論文におけるアニメーションが意図するのは、物体が粉みじんになり流出・消失しその後また虚空から細かい霧となって出現するという半抽象的なモーシ

ョンの作成である。砂漠でミイラが風にさらされてはらはらと散ってゆくような、あるいは粉雪が風に舞い霧となってまた現れるというような出現と消失を繰り返す「雲散霧消」のアニメーションである。視覚的には自然界の流体の動作を模倣しさらに演出を加え再デザインするところから、人工自然のモーシ

ョンと称することとした。「人工自然」という用語は工作舎が出版した文献[5]で編集者の松岡正剛が考案している。この本では生物学者の寺田虎彦や雪の結晶合成に成功した中谷宇吉郎など自然界の形体の謎と取り組んだ人物の説話が収録されている。本論文の標題はこれをモーシ

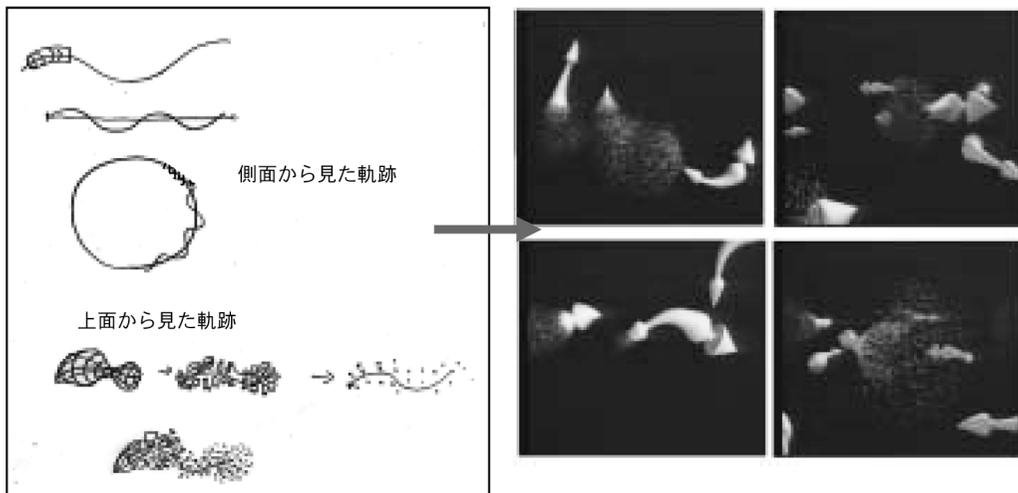
ョンに拡張する視点に立脚するところから引用した。人工自然のモーシ

ョンデザインのねらいは、自然現象の動作を参照し音楽を聴くことと同様に非説明的かつ身体に直截的に訴える心地よいアニメーションを作成することである。一方、「タイタニック」に代表されるハリウッド映画では、波しぶきや爆発シーンあるいは雲や雨などの自然現象を作成するために実写合成などで使用されることが多い。これはビジュアルエフェクツとよばれ特にSFやアクション映画に欠かせないCGの活用ジャンルとして確立されている。国内の例では東京ジョイポリスにあるモーシ

ョンライドの3D映像「ワイルドリバー」でさかんに水しぶきが描かれている。これもパーティクルのシミュレーションと実写を組み合わせているが、既存のアプリケ

ーションで実現できない画像を作成するために制作したCGプロダクションでは自社開発のツールも用いている。このようにパーティクルによる表現は需要が多いが基本的にシミュレーションであり、自然現象に忠実であろうとする傾向が見て取れる。本論文ではシミュレーションの実現ではなく、動作の魅力を参照しながらもむしろ自然現象では起こり得ない動作を創出することを目的としている。図5は闇の虚空から魚のように泳ぐ抽象形状が、粒子状に現れたり、飛び散って消えていったりしながら増殖してゆくイメージを描いたものである。

図5. 物体の微小分割、出現と消失（作品 DOT & Polygon より）

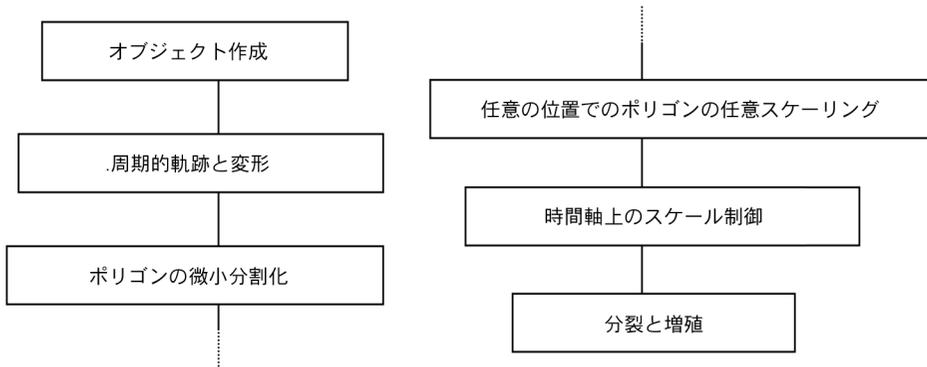


#### 4. 提案手法の流れ

意図するアニメーションの流れでは、まず3Dの物体が魚のように軌跡上を泳ぎながら物体の先頭から粉碎し消失しては最後部からまた霧のように出現してくる、というものである。また展開部ではひとつの物体から霧のように分裂・増殖してゆく様を描く。図6はこの演出に沿ってモーションを作成するための提案手法のフローである。

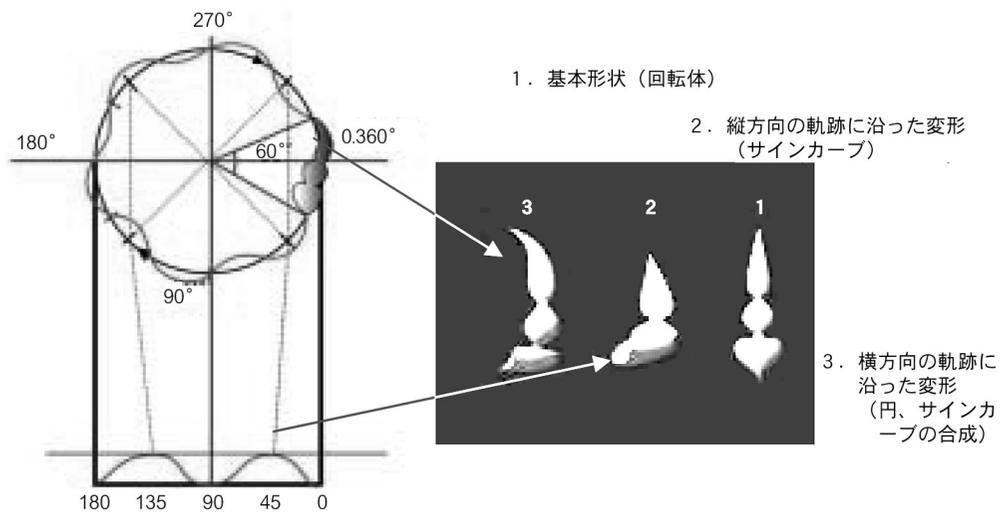
##### 4.1 周期的軌跡と変形

図6. 提案手法のフロー



まず、微小化に用いる主役の物体を回転体により作成した。回転体は複数のポリゴン（小平面）により構成されている。物体は円周上の軌道を魚が泳ぐように移動するがこのとき形状は軌道に沿って変形する。そこでこの軌道を円とサイン波の合成関数として作成し、その軌道に沿って回転形状を構成する各ポリゴンを回転変換により変形させて泳ぐ動作を得た。図7に軌道上を変形しながら移動する仕組みを示す。

図7. 回転形状の軌道における変形



## 4.2 物体の微小分割とスケーリング

既存のアプリケーションを用いて3章で述べたアニメーションを作成する場合の問題点を以下にあげる。

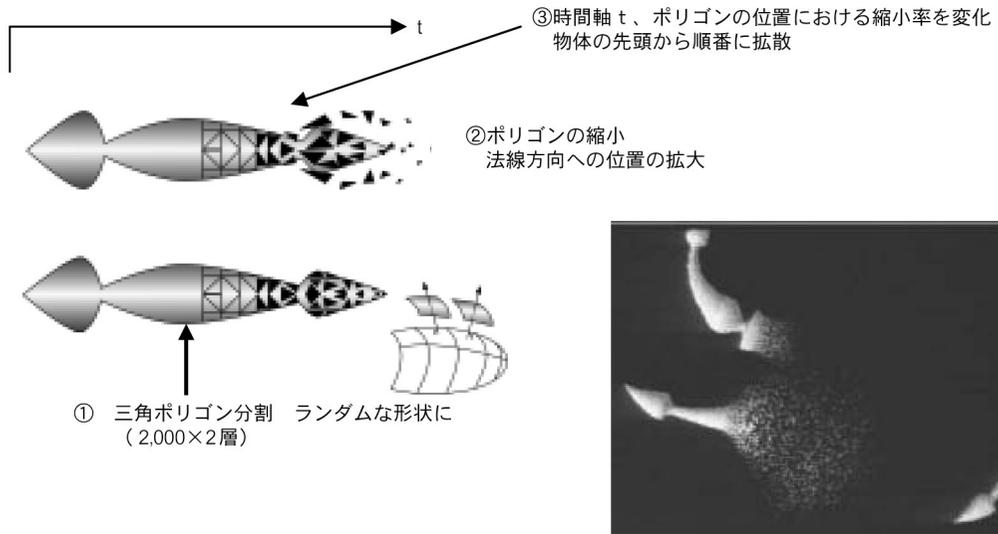
3次元のオブジェクトをパーティクルのような微小物体に変形させる、またはその逆を行う手法が用意されていない。

微小物体に変形する際、全体が均一に同時に変化を生じるのではなく、元のオブジェクトの任意の位置から任意の速度で漸次変化してゆく手法が用意されていない。

拡散し消失した微小物体がまた出現し元のオブジェクトを構成する手法が用意されていない。

そこで、上記 ~ の問題を解決し求める動作アニメーションを得るために、微小平面を用いて幾何学的な変換処理により、オブジェクトの任意の位置で任意の時間に細小分割し、任意方向に拡散させるようなツールプログラムを開発し、モーション作成を実現した。逆に細分割から元のオブジェクトへの変換や拡散から収束への変化はパラメータの正負フラグを交換することで実行できる仕組みになっている。主役の回転形状の物体を次の手順によりパーティクル状に分割し霧のように拡散または収束させる。微小分割では、物体表面上にランダムに付した座標点を近傍の3点で結合し三角ポリゴンを形成する。更にそのポリゴンの内部に乱数を用いて位置座標を算出し、三角形の頂点から新たに分割するエッジを形成する。分割は各ポリゴンが十分小さくなり物体表面が2000ポリゴンに分かれるまで繰り返し計算する。次にその微小平面の大きさが0になるまで時間軸  $t$  をパラメータとしてスケーリングする。断片の大きさがゼロになったら、物体は完全に消失した状態を得る。また縮小に伴い、各微小平面の法線方向に位置座標をスケール変換することにより、それらが拡散し遠ざかりながら消えてゆくような表現が可能となる。反対にスケーリングを大きくしてゆくことで微小平面は元の物体を再構成し、空間に出現してくる画像となる。一連の幾何学的な変換操作の手順を図8に示す。

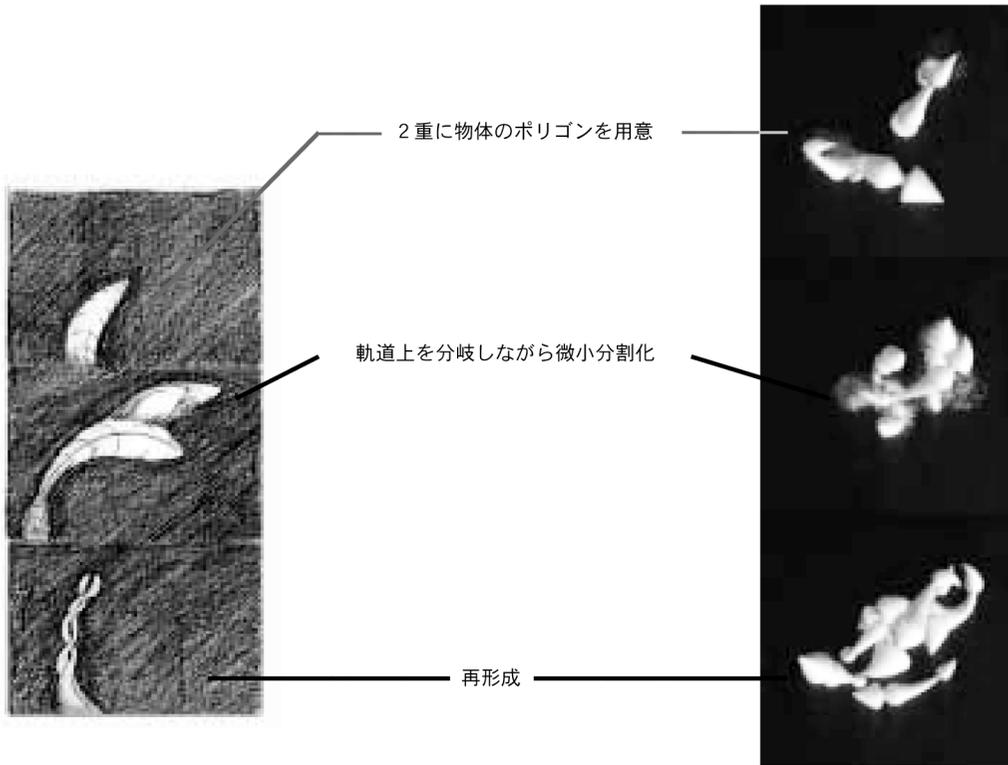
図8. 微小分割とスケーリング変換



#### 4.3 分裂と増殖

4章図5で述べたアニメーションの流れでは、展開部で物体が分裂・増殖してゆくイメージを設計している。そこで、今までに述べた物体の微小ポリゴン化と任意スケーリングの手法を用いて、ひとつの物体から霧のようにもう一つの物体が出現し形成されるモーションを実現するための方法を考案した。まず、あらかじめ2重の構造にした物体を用意する。物体を構成するポリゴンには理論上厚みがないので、同じ座標値に物体を配置しておけば、重なって存在する状態は視覚的に認識されない。一方の物体はそのまま可視状態を保ち、もう一方は4.2で述べた分割とスケーリングにより十分微小な断片としてあってアニメーションの開始時には非可視である。時間  $t$  が大きくなるに従ってスケーリングの値を大きくしてゆき、物体は細胞分裂で生じた如くもうひとつの物体が出現することとなる。図9にイメージと対応するモーションの結果を示す。

図9. 分裂（軌道の分岐）とスケーリングによる増殖（出現）



### 5.3次元マッピングによる効果

微小平面への分割とスケーリングにより「雲散霧消」したまたその逆に出現してくるような人工的なパーティクルのモーションをこれまでにデザインした。ここではさらにこの手法を応用し2次元平面上を移動する物体が霧のようにパーティクルの状態で3次元空間に出現し形成され、空間内を動きまわりまた2次元平面へと吸い込まれるように消えてゆくアニメーションを作成した。視覚的な効果としてはM.C.エッシャーの平面作品のなかで錯視として扱われているテーマを3次元空間の中で次元の往来するアニメーションとして試みたものである。これには3次元マッピングとよばれる手法を併せて用いることで平面から空間への物体属性の変位を自然な見せかけで実現している。エッシャーの錯視画を3DCGアニメーションで表現することは、今までにJhon Sanbobornプロデュースの作品「INFINITE ESCHER」など2、3例で果敢に試みられているが、いずれも3次元物体のスケーリングと変形のみにも頼っているところから、変位の描写にやや違和感が生じている。本論文では、4章までに述べた微小平面分割、スケーリングにテクスチャマッピングを併せて用いることで平面から3次元物体へ浮き出てくる印象を与えることに成功している。図10は、机の上で泳ぎ回る物体

をバンプマップで表現した画像である。バンプマップはモデリング形状として変形するわけではなく、物体平面の法線の向きを操作することにより擬似的に凹凸があるように見せる光反射モデルの計算手法である。3Dの軌道に沿って泳ぐ物体のアニメーションをテクスチャ画像として、連続的に貼り替えてゆくことで、平面上に凹凸のある物体が移動してゆく様子が表現できる。次に空間への出現を4章で述べた微小平面のスケーリングを用いて徐々に立体として形成するアニメーションを作成する。またその逆に微小平面と化して霧のように消失しながら机の天板の2次元平面に取り込まれてゆく。そしてマッピングの画像と切り替わる。図11はイメージコンテと、平面上にカラーマッピングのみを用いて3次元物体との補間を試みた実験アニメーション画像の一部である。ここではカラー情報がかえって邪魔になって平面上での物体の存在感がやや希薄になっている。また3次元への変位でも微小分割化が十分でなかったため、視覚効果が満足のゆくものになっていない。図12はそれらの点を改善し、最終的に完成したアニメーションの結果である。

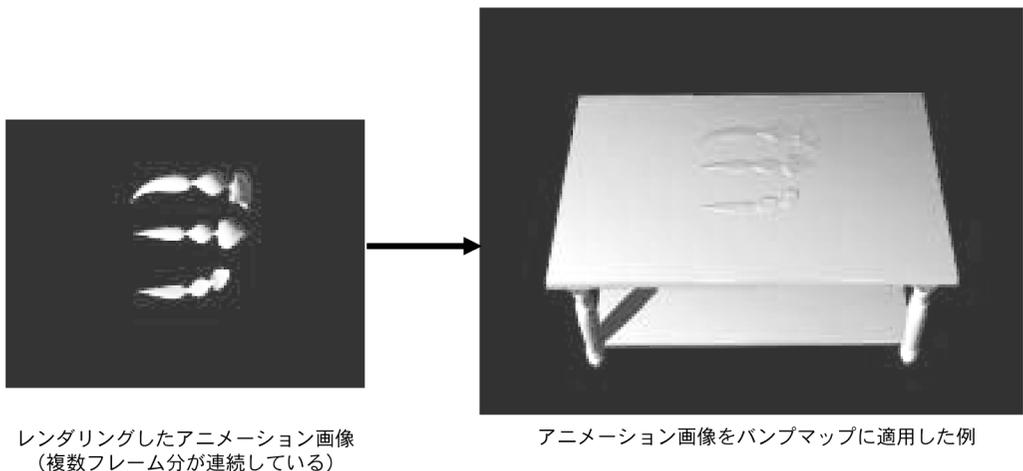


図 10. 3次元マッピング

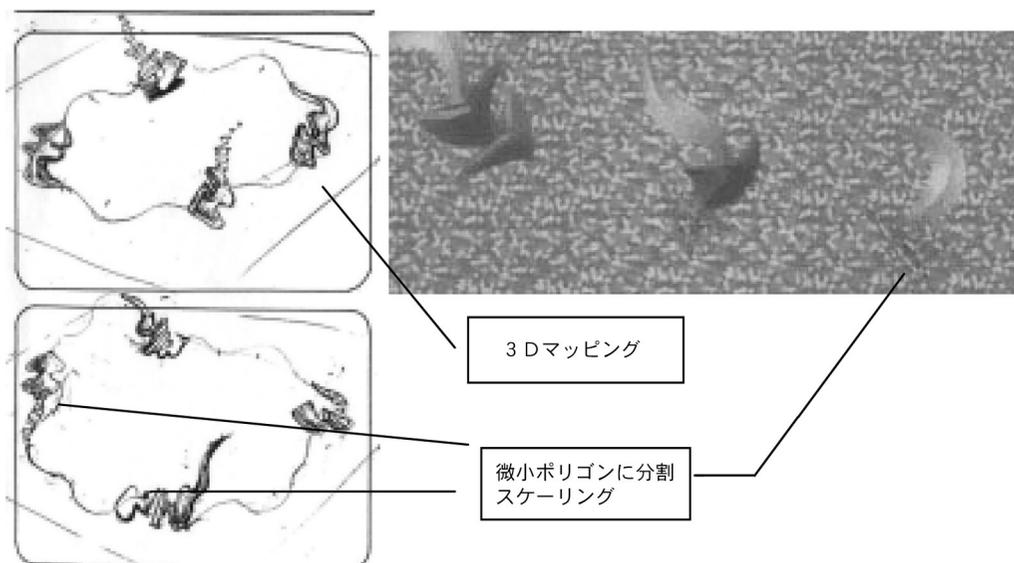


図 11. カラーマッピングと微小平面を用いたアニメーション実験

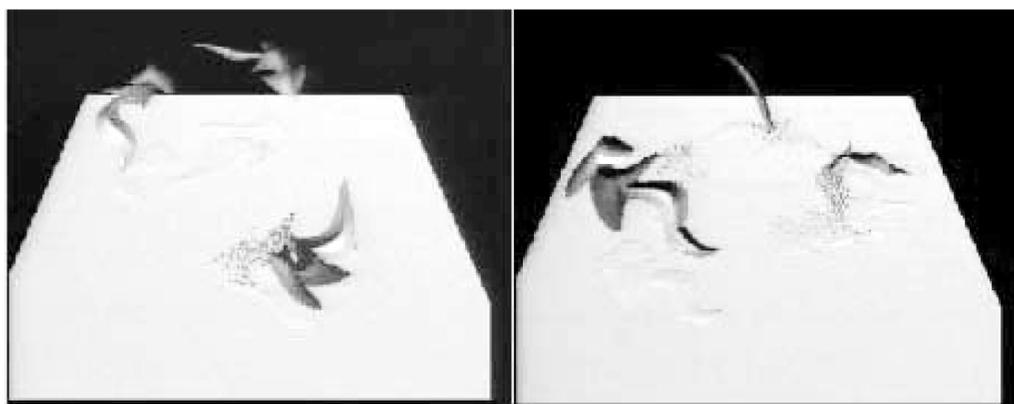


図 12. 2次元と3次元を往來するアニメーション. パンプマップを利用

## 6. まとめ

既存のアプリケーションでは制御が困難であり不可能であるようなパーティクルの動作を微小なポリゴンを用いてスケーリング変換により任意に操作可能な手法を、今回提案した。霧や雲のような流体の自然の動きは視覚的に魅力があるが、アプリケーション上の力学シミュレーションでは意図するようなモーションとして作成することが困難である。そこで本論文では力学の代わりに幾何学的な変換操作によって、演出の要求を効率的に満足しかつ自然現象を想起させるモーションのデザインを実現することが出来た。それにより、ストーリーを説明するのではなく生理的に心地良く視覚に直截に訴求する新しいCGの表現を示した。今後の課題として、拡散するときの微小ポリゴンの分布状態や速度を一樣でなく変化に富む動作にするために、分割した後に仮想重力などの力学的な要素を一部に用いて合成関数を作成し、幾何学操作とシミュレーションを統合するようなシステムを構築したいと考える。

## 参考文献

- [ 1 ] 木村竜治, “ 流れの科学 ”, 東海大学出版会,
- [ 2 ] 野地朱真、高橋裕樹、中嶋正之 “ モーション・ジェネレータによるヴァーチャル・サーカス ”、映像情報メディア学会誌, vol.57 No.2, pp242-246, 2003
- [ 3 ] 野地朱真、高橋裕樹、中嶋正之 “ 力学を用いたサーカスゲームのエデュテメント 力学と創造性の育成支援 ”、映像情報メディア学会技術報告書 vol.27 No.46, pp21-24, 2003
- [ 4 ] Suma Noji, M. Nakajima, H. Takahashi "Edutainment Content of Circus Acrobats Based on Dynamics", International Simulation and Gaming Association 2003 Proceedings, pp.251-260 , 2003
- [ 5 ] Suma Noji, T. Fujii, M. Nakajima, "Dynamics Interactive Acrobatic Motion Generator, Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), pp243-247, 2002
- [ 6 ] 高橋秀俊 ( 監修 ) “ 人工自然のデザイン 選集 - 日本の科学精神3 ”、工作舎、1978