

パーティクルシステムに基づく自然現象シミュレーション

武田 龍斗 竹内 浩太 野村 昇矢 郭 清蓮

金沢工業大学 情報工学科

1. はじめに

パーティクルシステム (particle system) はコンピュータグラフィック分野においてよく用いられる研究手法である。沢山の粒子が関連する現象であれば、パーティクルシステムを用いて精密かつリアリティーの高いシミュレーション結果が得られる。

既存のシミュレーション実例として、炎、爆発、煙、流水、火花、落葉、雲、霧、雪、埃、流星などが挙げられる。それぞれのパーティクルは発生、移動、消失の経過を経る。また、グローバル環境もパーティクル群に影響を与える。

本研究の目標は、粒子が関連する3つの自然現象、ダイヤモンドダスト、砂時計、エアロゾルの沈着過程、をシミュレートする、また、コンピュータグラフィックスでこれらの現象をビジュアル的に再現する。ダイヤモンドダストのシミュレーションは、雪の結晶が落下しながら、光の中で反射する様子を再現する。砂時計の場合は、砂がガラス容器の曲面に依存しながら、落下・積上げる過程を再現する。エアロゾルの沈着に関しては、降雨により空気中のエアロゾルが吸収され消える過程を再現する。本論文は具体的に我々の研究方法と成果について報告する。

2. 研究方法

Blender^[1]には、キーフレーム、リジッドボディダイナミクス、流体シミュレーション、パーティクルなどのアニメーション機能がある。私たちは、Blenderの剛体力学 (リジッドボディダイナミクス) を選択し、3つの現象のシミュレーションを実現した。一部でBlenderのパーティクル機能を使わなかった理由は、粒子全体の動きをコントロールできるが、個々の粒子の制御ができないからである。

剛体力学は、重力、摩擦、およびこれらの物体間の衝突によって引き起こされる外力を受ける固体の運動を扱う。それぞれの粒子を変形しないポリゴンメッシュでモデリングする。また、それぞれの粒子の位置、方向、初速度、材質特性などの属性を設定しなければならない。更に、すべての粒子に関連するグローバルパラメータとして、重力、空気抵抗、風などを設定しなければならない。必要の時、すべての粒子を囲む大型の環境モデルも必要となり、これもリジッドボディとして作る。

以上のモデリングと設定があれば、時間の経過に伴う剛体粒子の動きとシミュレーションは実現できる。Blenderでは、リジッドボディダイナミクスを使用して、移動、回転、衝突する粒子のダイナミクスをアニメーション化できる。もちろん、手動設定に比べ python script はより簡単、高速、現実的にできる。単純な場合でも、数百または数千の粒子が落下して互いに衝突し、静的な障害物が発生する可能性がある自然現象には特に適して

いる。ただし、環境モデルやパーティクルの材質特性に注目している場合は、手動設定でより多様なケースに対応できる。

3. ダイヤモンドダストの再現

ダイヤモンドダスト現象とは、大気中の水蒸気が昇華してできた小さな氷の結晶が降り、太陽の光が当たり反射し、輝く現象である。発生する条件として、氷点下10℃以下、快晴、最適な湿度などの条件が揃うことが必要である。また、肉眼で物体をはっきりと確認することができる最大距離である視程は1km以上ある。

粒子は雪の結晶であるため、まず簡単に六角柱でモデリングした (図1(a))。粒子が受けるグローバル力として、重力、空気抵抗を考慮した。それぞれの粒子に設定した特徴パラメータは、重力 9.8m/s^2 、空気抵抗 0.035 に設定を行った。

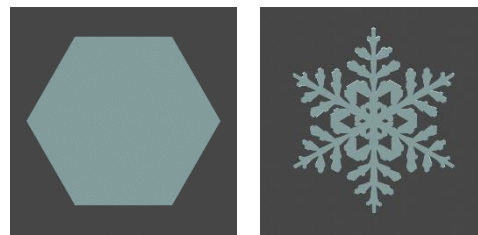


図1. 雪の結晶を表すシンプルな六角柱モデル(a)と、より複雑な枝モデル(b)

動きだけではなく、材質と光源も考えなければならない。雪の結晶のモデルの材質は、サーフェスは光沢BSDF、カラーはHSVモードでH0.5、S0.2、V1.0、A1.0、ボリュームはプラスBSDF、カラーはHSVモードでH0.0、S0.0、V1.0、A1.0、粗さは0.0、IORは1.45に設定した。照明はサンとスポット2個の設定を行い、サンの設定は、カラーモードHSVモードでH0.0、S0.0、V1.0、強さは10.0、スペキュラーは0.15、スポットの設定はカラーモードHSVモードでH0.0、S0.0、V1.0、パワーは50000W、スペキュラーは1.0、半径は1m、スポット形状のサイズは10°、ブレンドは0.15に設定した。

更に、雪の結晶をより精密かつ複雑にモデリングした。図1(b)に示すように、六角形をベースにブーリアン演算を行いモデリングした。このような粒子に対して、粒子間の衝突、空気抵抗、風の影響を計算するために、かなり多くの時間がかかるが、光が反射する面が増加するため、実際のダイヤモンドダストに近い条件にした。

ダイヤモンドダストのシミュレーションは、環境光の影響を考えなければならない。背景に樹木モデルを置き、明暗が変化する環境を作り、図2のような照明を反射しながら回転・落下中の結晶がリアルなダストに近い結果

を作れた。

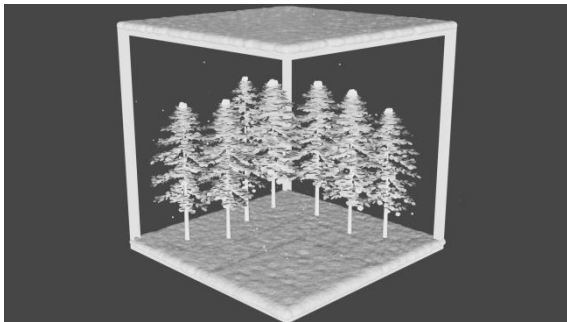


図 2. 雪の結晶モデルと背景環境モデルによるダイヤモンドダストシミュレーション結果

4. 砂時計のシミュレーション

砂時計は昔から人々に親しまれている置物であるが、ガラス容器の中で、砂が悠々と落ちる過程は自然の力である。砂粒の形、砂粒同士の衝突、ガラス容器の形、砂時計首の部分の形などの物理要素が、砂の落ちる速度、積み上げを決める。

砂時計の形をモデリングする方法として、砂時計の下半分を作り、それを 180 度回転させたものを結合させることで砂時計をモデリングしている。また、ガラスの質感を再現するために、マテリアルの設定を変更し、金属質の設定であるメタリックを 1、透明度の設定であるアルファを 0.6 に設定し、ブレンドモードをアルファブレンドにして透明度を有効にしている。

砂時計に砂粒を設定するとき、Blender のパーティクルシステムを用いず、一粒の砂粒を設定し、その砂粒を基にした複製を使用している。また、複製された砂粒は基になった砂粒と設定がリンクしているため、砂粒の形状やマテリアルの設定などの変更を簡単に行うことができる。砂粒はできる限り球体に近い多面体としてモデリングし、それぞれの砂粒の接触判定を球体として設定した。このようにすることで砂時計の動作を自然に見えるようにしつつ、アニメーションの動作の処理を軽くすることが出来た。

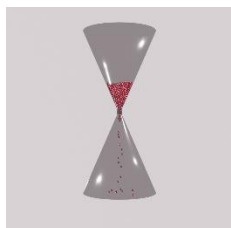


図 3. 砂時計のモデル

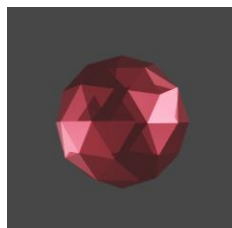


図 4. 砂粒のモデル

5. 降雨によるエアロゾル沈着

本研究に注目するエアロゾルは、空気中に浮遊する飛沫核であり、サイズがおおよそ $1.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 程度の微小な粒子である。降雨によって、エアロゾルが雨粒に吸収され、沈着する様子を可視化することが目標である。研究手法として、Blender の Python Programming 環境を利用し、飛沫核と雨粒を 2 種類の剛体粒子として扱い、粒子の動き、衝突、吸収をシミュレートする。また、これらの変化をビジュアル化する。

飛沫核エアロゾルの形を 12 面体でモデリングする。12

面体の直径は $1.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$ の範囲で、質量はその直径を基にして設定する。それぞれの粒子が独立し、変形したり、結合したりしない。すべての粒子は同じ重力場において、降下する重力を受けながら、動きと逆方向に空気抵抗も受ける。図 5(a)に示すように、粒子(赤い点)は速度ベクトル(青い矢印)を持つ。また、粒子には重力(赤い矢印)と空気抵抗(緑の矢印)による力が加わっている。ここでの黒い矢印は粒子にかかる重力と空気抵抗の合力である(図 5(b))。粒子の速度ベクトルはこの合力によって変化する(図 5(c))。このような粒子の動きを、粒子モデルと動きシミュレーションによって可視化した。

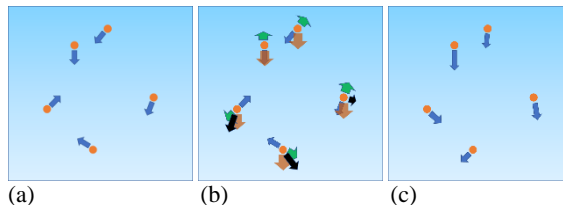


図 5. 重力と空気抵抗によって、飛沫核粒子の移動速度(ベクトル)が変化しているイメージ図

雨粒は飛沫核粒子と同様にモデリングを行った。ただし、直径は $0.3 \sim 0.5 \text{mm}$ の範囲内である。雨粒と飛沫核粒子の衝突は、両者の位置情報を利用して判定する。衝突した場合は、飛沫核粒子を消し、雨粒がそのまま落下する。この衝突は吸収として解釈し、雨粒の落下はほぼ影響を受けない。

6. まとめ

粒子が関連する 3 つの自然現象、「ダイヤモンドダスト」、「砂時計」、「エアロゾルの沈着過程」のシミュレートを行った。それぞれの現象を表すために、個々のパーティクルに適切な剛体特性、すべてのパーティクルに自然な環境モデルと力学の場を設定することによって、3 つの現象をかなりリアルに再現できた。今後は、自然現象に関わる多くの要素を考慮することで、シミュレーションの可視化の正確さを高めることを期待する。

- [1] Blender、<https://www.blender.org/> (2020 年 12 月 9 日アクセス)
- [2] ダイヤモンドダスト、<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%B4%B0%E6%B0%B7> (2020 年 12 月 9 日アクセス)
- [3] 日本エアロゾル学会、<https://www.jaast.jp/new/home-j.html> (2020 年 12 月 9 日アクセス)
- [4] 藤吉康志 「雨滴の最大粒径について」・日本気象学会北海道支部・2007、<http://www.metsoc-hokkaido.jp/saihyo/pdf/saihyo53/saihyo53-002.pdf> (2020 年 12 月 9 日アクセス)