

# 竜巻のCGアニメーション

## CG Animation of The Tornado

東京工科大学 メディア学部 メディア学科 唐 國曜<sup>1)</sup>,  
指導教員 菊池 司<sup>2)</sup>,

1) 東京工科大学 メディア学部 メディア学科 菊池研究室

キーワード：竜巻，ビジュアルシミュレーション，CGアニメーション，デジタルコンテンツ

### 1. はじめに

近年PC(パーソナルコンピューター)の普及に伴い、CG(コンピュータグラフィックス)の技術もそれに追従するようにして発展している。コンピューターグラフィックスとは、コンピュータによって制作された画像や映像のことを指しており、一般的にはCGと呼ばれている。

近ごろ、これを利用し実写で撮影した画像や映像を合成することで映像効果を生み出すことが出来る。それをVFXという。VFX(ビジュアル・エフェクト)は、視覚効果という意味を持っています。特撮や映画、テレビドラマにおいて、現実ではありえない現象や作り出すことが出来ない画面上での効果を実現する映像効果である。

映画やドラマ、ゲームなどのエンターテイメント分野において3DCGのアニメーションが多く使われており、日々開発を重ねられている。このような時代背景において、本論文において見た目を重視した研究をする要因の一つとなった。よって一つのテーマとして本論文では竜巻を元にしたビジュアルシミュレーション法を提案する。

### 2. 粒子シミュレーションの仕組み

#### 2. 1. ナビエ・ストークス方程式について

本手法において、視覚的に熱帯低気圧を扱うため、流体によるシミュレーション法の元となるナビエ・ストークス方程式を用いる。

ナビエ・ストークス方程式は以下となる(1)[1]。

$$\nabla \cdot v = 0$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} + (\mu \cdot \nabla) = -\frac{1}{\rho} \nabla p + v \nabla^2 \mu + F \quad (1)$$

$\mu$ は流体速度、 $v$ は動粘性係数、 $\rho$ は流体の密度、 $p$ は圧力、 $F$ は重力などの外力である。式(1)は非圧縮性流体の質量保存を表す。

左辺の第2項は移流項、右辺は圧力項、粘性拡散項、外力項である。

ナビエ・ストークス方程式について、詳細を本論文の記述では割愛する。文献[1]に詳細が記述されているので、そちらを参照されたい。

#### 2. 2. S PH法について

本研究では流体シミュレーション法の中でもS PH法を使用する。理由としては、S PH法は、銀河系の衝突や天体の形成などの宇宙物理学におけるシミュレーションのために提案された手法であるため、大量の粒子を扱う3DCGシミュレーションに対して強いという側面がある。よって本手法は、竜巻のCGアニメーションを実現するため適していると考えた。

S PH法では、ナビエ・ストークス方程式の移流項は実質微分を使って省略され、以下の式のようにあらわされる。(2)

$$\frac{D\mu}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + v \nabla^2 \mu + F \quad (2)$$

粒子自体が流体を表しているため質量保存を明示的に考える必要がなく、移流項の計算も単に粒子を移動させるだけでよい。

### 3. 提案手法の概要

本論文で提案する竜巻のCGアニメーションは、以下のようになる。

#### 3. 1. モデルの自動生成

ここでは竜巻の元となるモデルの生成方法について説明する。まず、地面となる部分に八角形のサークル状のモデルを配置し角の部分のポイントに時間経過で変化するラインを当てる以下の図1のようになる。図2はそれを変化させたときの図である。この手法は参考資料[2]を参考にしたものである。

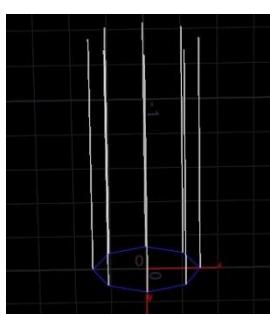


図 1

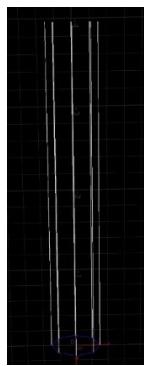


図 2

次に、モデルのラインの部分は時間経過に応じてポイントの数が増加するように設定する。ラインが上に増えるときの法線ベクトルを利用して竜巻が現実で可視化される際の塵や水蒸気の表現を行うためである。その後、空間のy軸に向かってモデルが伸びているため、ラインのy軸上にあるポイントを右方向にy軸を軸に円移動させることで螺旋状のモデルにする。その際に、時間経過で精されるポイント量と伸びる量の比率を保つ必要がある。図3と図4はy軸を元に変形後の画像となる。

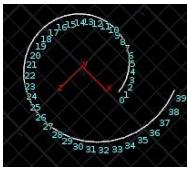


図 3

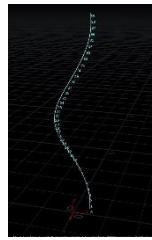


図 4

ラインのポイント増加量を増やすことでよりなめらかな曲線になる1:7の比率で1のビルごと

に7倍ポイントが増えるように設定したのが図5である。

#### 3. 2. パーティクルを生成する

上記で説明したようにラインのモデルにあるポイントの法線ベクトルを利用して塵を巻き上げる。それぞれのラインのポイントから新たにパーティクルを生成することでパーティクルが螺旋状に舞い上がる表現をすることが出来る。図6はシミュレーションの結果である。

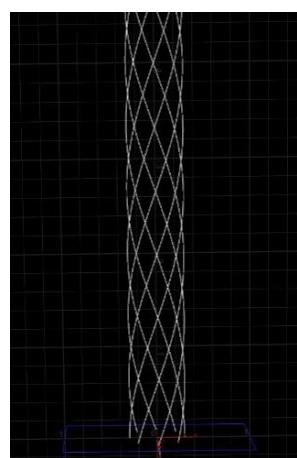


図 5



図 6

#### 4. おわりに

今回の提案手法の結果としてパーティクルを纏わせ竜巻を表現した。まだ、だまになっている部分もあり、竜巻のような渦の変形が出来ないためそこを改良する必要がある。

#### 5. 参考資料

[1] 藤沢 誠 “CGのための物理時ミュレーションの基礎” 2013年11月28日 発行

[2] Born Digital サポート 2017発表年  
(最終閲覧日：2019年10月18日)

<https://support.borndigital.co.jp/hc/ja/articles/115008743588-%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%83%97%E3%82%92%E4%BD%9C%E6%88%90%E3%81%99%E3%82%8B>