

# パーティクルシステムを用いた噴水のアニメーション

花田 俊輔 金田 和文  
(広島大学・大学院工学研究科)

## 1. はじめに

近年、コンピュータグラフィックスを用いた景観設計が盛んに行われている。公園などの景観設計においては噴水などを含めて表示を行う必要があり、噴水のリアルな表示やアニメーションの作成手法の開発が求められている。

本論文では、火や水などの特定形状をもたない物体をモデル化するためのパーティクルシステム[1]を用いた噴水のアニメーションを作成する手法を提案する。本編では、主としてパーティクルの動きを決定するための水滴の軌道シミュレーションについて述べる。最終的に、環境マッピングを用いて噴水のレンダリング[2]を行う。

## 2. 水滴の軌道シミュレーション

噴水ではノズルから水が噴射されて落下するまでに水は様々な状態をとる。ノズルから水が連続的に射出されてできる水流の状態、水流から小さな水滴へ飛散し、飛散後の大きさの異なる水滴の状態などである。

本論文では、パーティクルシステムを用い、噴水を水滴の集まりとして表現する。水流を表現するために、ノズルから水滴が連続して射出されるような射出時間間隔を設定する。これにより、各状態での水を同一のモデルに基づいてモデリングすることができる。

水流ならびに水滴状態での水滴の軌道シミュレーションを行うために、それぞれの水滴にかかる重力、空気抵抗力を考慮し、軌道を算出する。また、自然のゆらぎを考慮して、各水滴の大きさを正規分布を用いて決定する。

### 2.1 水流の表現

水流を表現するための水滴の射出時間間隔は、水滴の平均半径に相当する距離を最速時のスピードで進む時間  $\Delta t$  とする。

$$\Delta t = r_{ave} / v_0 \quad (1)$$

によって決定する。ここで、 $v_0$ はあらかじめ与えられた水滴の初速度の大きさ、 $r_{ave}$ は水滴の平均半径である。

### 2.2 水滴の位置算出

提案手法では重力と空気抵抗力を考慮して水滴の位置を算出する(図1参照)。空気抵抗力  $F_a$  は次式で算出する[3]。

$$F_a(t) = -\frac{CS\rho_a}{2} |\mathbf{v}(t)|^2 \cdot \frac{\mathbf{v}(t)}{|\mathbf{v}(t)|} \quad (2)$$

ここで、 $C$ は空気抵抗係数、 $S$ は水滴の断面積、 $\rho_a$ は空気の密度、 $\mathbf{v}(t)$ は水滴の速度である。

水滴に働く重力  $F_g$  をあわせて考慮し、運動方程式を解くことにより、ノズルから射出された水滴の  $t$  秒後の位置  $\mathbf{P}$  は次式で表される。

$$\mathbf{P}(t) = \mathbf{P}_0 + \int_0^t (\mathbf{v}_0 + \mathbf{a}(t)) dt \quad (3)$$

ただし、 $\mathbf{a}(t)$ は水滴の加速度であり、次式で表される。

$$\mathbf{a}(t) = (\mathbf{F}_g + \mathbf{F}_a(t)) / m \quad (4)$$

ここで  $m$  は水滴の質量である。

式(4)を離散化し、式(1)により算出した微小時間間隔  $\Delta t$  ごとに次式により水滴の位置  $\mathbf{P}$  を算出する。

$$\mathbf{P}_{k+1} = \mathbf{P}_k + \mathbf{v}_k \Delta t + \mathbf{a}_k \Delta t^2 / 2 \quad (5)$$

ここで、 $\mathbf{v}_k = \mathbf{v}_{k-1} + \mathbf{a}_{k-1} \Delta t$  である。

ただし、初期値  $\mathbf{P}_0, \mathbf{v}_0$  はそれぞれ、ノズルの先端位置、ノズルから射出される時の水滴の速度である。

## 3. 適用例

提案手法を用いて噴水のアニメーションを作成した結果を図2に示す。また、表1にアニメーションを作成する際に用いたパラメータを示す。提案手法を用いることにより水流やその軌道が表現できている。

## 4. まとめ

本論文ではパーティクルシステムを用いた噴水のアニメーション手法を提案した。

今後の課題としては、水がさらに細かい水滴に分かれて水流の周辺に飛散する現象を表現する手法の開発が挙げられる。

## 参考文献

- [1] William T. Reeves: "Particle Systems-A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects," Proc. SIGGRAPH'83, pp. 359-376 (1983).
- [2] 松本良治: "物体表面からの落下を考慮した水滴の流れのシミュレーションと画像補間を用いた高速レンダリング手法の開発" 広島大学大学院工学研究科修士論文(1999)
- [3] 平山直道: "流体力学" 森北出版(1968)

表1:パラメータ

空気抵抗係数 $C$	0.3
空気密度 $\rho_a$	1.2 kg/m <sup>3</sup>
水の密度 $\rho_w$	1000 kg/m <sup>3</sup>
水滴の平均半径	2.0 cm
水滴の半径の標準偏差	0.5 cm
水滴の初速度	10.05 m/s(鉛直成分 10 m/s)



図1:水滴に作用する力



図2:噴水のアニメーション