

## 風を考慮した降雪・積雪情景の表現

小板橋 礼佳<sup>†</sup> 松原 典子<sup>‡</sup> 森谷 友昭<sup>‡</sup> 高橋 時市郎<sup>†</sup>  
 東京電機大学 工学部<sup>†</sup> 東京電機大学大学院 工学研究科<sup>‡</sup>

### 1. まえがき

近年、3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)を用いた降雪・積雪情景を表現する手法が数多く研究されている[1][2][3]. 降雪・積雪情景をリアルに表現するために、物理法則に従ったシミュレーションを行うアプローチがある. 物理シミュレーションの場合、リアルな結果を得られるが、膨大な処理量になるため、リアルタイムで表現することは困難である.

本研究では、シャドウバッファ法を利用することにより、物理シミュレーションを行わずとも、リアリティを損なうことなく、風の影響を考慮した降雪・積雪情景をリアルタイムで表現することを目的とする.

### 2. 従来研究

Wangら[1]は、多数の雪粒が描画された1枚のテクスチャを、2つの円錐の底面を合わせた形状にマッピングして、降雪情景を表現している. 雪粒が重力によって落下する分、マッピングする位置を変えている. この手法は、多数の雪粒を一度に扱うため、高速表示が可能である. しかし、雪粒単体の不規則な動きを再現することは困難である.

Dudash[2]と Fearing[3]は、テクスチャをマッピングしたビルボードを用いて降雪アニメーションを生成している. また、シャドウバッファ法を利用した積雪アニメーションも行っている. Dudash [2]はリアルタイムでの処理を可能としている. しかし、降雪に関しては、[1]と同様、風や大気の流れによる雪粒の不規則な動きが考慮されていない.

そこで、本研究では、先ず、雪粒の落下時にブラウン運動を付加し、雪粒の不規則な動きを表現した降雪アニメーション手法を提案する.

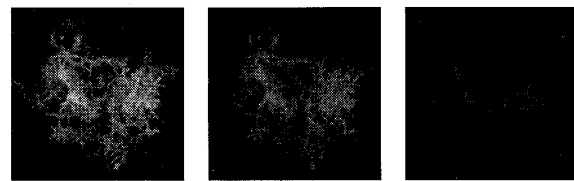
次に、シャドウバッファ法を用いた積雪計算処理[2][3]を改良し、風向きと降雪量によって場所ごとの積雪量が変化するような、リアリティのある積雪情景を表現する.

### 3. 降雪情景表現

#### 3.1 雪粒のモデル

降雪時、雪はいくつもの微細な結晶が結合し合い、塊となって落ちてくる. この塊を雪粒と呼ぶ. 雪粒を模したテクスチャ(雪粒テクスチャと呼ぶ)を、実際の雪粒の実写画像[4]を基に作成した(図1). 作成した雪粒テクスチャをビルボードにマッピングして降雪情景を表現した場合、遠方の雪粒もはっきり見えてしまい、違和感を生じる.

一方、実際の降雪情景では、遠方の雪粒ほど霞んで見えにくくなる. そこで、霞みの効果を表現するために、不透明度( $\alpha$ 値)の異なるテクスチャを3種類作成した. 図1(a)~(c)に示す雪粒テクスチャの $\alpha$ 値はそれぞれ0.75, 0.5, 0.25である.



(a)  $\alpha=0.75$  (b)  $\alpha=0.5$  (c)  $\alpha=0.25$   
 図1 雪粒テクスチャとその不透明度( $\alpha$ 値)

雪粒テクスチャをビルボードにマッピングし、雪粒を表現する際、視点とビルボードの距離に比例して、 $\alpha$ 値の小さい(透明度の高い)雪粒テクスチャをマッピングし、霞みの効果を実現する.

#### 3.2 降雪アニメーション

雪粒テクスチャをマッピングしたビルボードを3次元空間にランダムに配置する. 風向きを考慮してビルボードを自由落下させ、降雪の様子を表現する. ビルボードが地面に到達した時、降り始めの位置に戻す処理を繰り返すことにより、リアルタイムで連続的な降雪情景を表現できる.

雪粒が落下する際、風や大気の流れによって生じる不規則な動きを表現するために、ブラウン運動による摂動を雪粒の自由落下運動に加えた. さらに、風の向きと強さを与え、雪粒が風に吹かれながら降る様子を表現可能である.

### 4. 積雪情景表現

#### 4.1 積雪面のモデル

四角形ポリゴンを1つのメッシュとして、任意

A Computer Model for Wind-driven Snowfall

<sup>†</sup> School of Engineering, Tokyo Denki University

<sup>‡</sup> Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University

の数のメッシュで構成した面を積雪面とする。これに、実写画像[4]から作成した積雪テクスチャを積雪面にマッピングし、積雪の様子を表現する。

#### 4.2 積雪アニメーション

3次元空間に積雪面のメッシュを配置する。積雪前(初期)の状態では、メッシュの形状は、空間内に配置された他のモデルと同じ形状となる。

次に、風向ベクトルを視線ベクトルとしてシャドウバッファ法によりレンダリングする。シャドウバッファ法により、影の中であると判定されたメッシュには雪が積もらない。影の中ではないと判定されたメッシュには雪が積もる。雪が積もると判定されたメッシュの積雪量を求め、積雪量だけメッシュの頂点の高さを更新する。

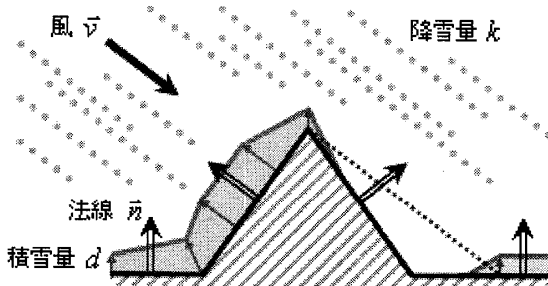


図2 シャドウバッファ法による積雪場所の判定

図2より、時刻 $t$ での、単位時間(この場合、1回のdrawに要する時間)当たりの積雪量 $d(t)$ は、前章の降雪アニメーションで用いるビルボードの枚数 $k(t)$ に比例するものとする。風向ベクトル、重力方向ベクトルをそれぞれ $\vec{v}(t)$ 、 $\vec{n}$ としたとき、積雪量 $d(t)$ を次式(1)で近似する。

$$d(t) = w \cdot k(t) \cdot (\vec{v}(t) \cdot \vec{n}) \quad (1)$$

ここで、 $w$ はビルボードの枚数と積雪量との関係を換算するための係数である。

各メッシュの頂点での積雪量が求まったら、その4近傍の頂点の高さを平均し、積雪量の不連続になるのを防ぐ。

したがって、時刻 $t$ までに積雪した量 $D(t)$ は、次式(2)で近似することができる。

$$D(t) = D(t-1) + r \cdot d(t) \quad (2)$$

ここで、 $r$ は乱数である。

#### 5. 実験結果

提案手法を用いて、降雪・積雪情景のリアルタイムアニメーションを生成した。CPU: AMD

Sempron Processor 1.80GHz, メモリ: 960MB, GPU: NVIDIA GeForce 6150 LEのPCを用いた。降雪・積雪情景のアニメーション生成結果を図3に示す。積雪面が平坦ではなく、微妙に高さが変化している。

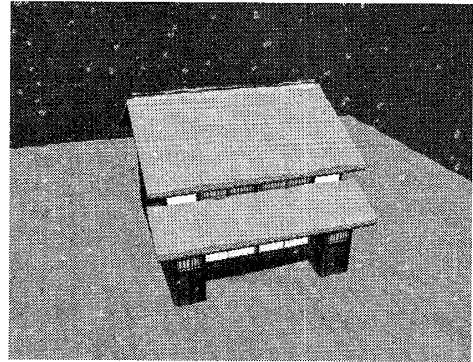


図3 生成した降雪・積雪情景(雪粒の数: 5000個)

また、雪粒の数の変化による描画速度を計測した。その結果を表1に示す。雪粒の数が5000個の時、降雪のみの描画速度が50.6FPSであるのに対し、積雪を含む場合の描画速度は44.0FPSである。これは、提案手法がリアルタイムでの処理が可能であることを示している。

表1 雪粒の数による描画速度の比較

雪粒の数 [個]	1000	5000	10000
降雪のみの描画速度 [FPS]	150.5	50.6	27.0
積雪を含む描画速度 [FPS]	104.0	44.0	24.8

#### 6. むすび

雪粒テクスチャをマッピングしたビルボードを用いて、風の影響を受けながら雪が降る情景のリアルタイムアニメーションを可能とした。

視点からの距離に応じて、 $\alpha$ 値の異なるテクスチャをマッピングしたビルボードを用いることにより、霞みの効果を表現した。

また、シャドウバッファ法を用いて、風の向きを考慮した積雪アニメーションを可能とした。

#### 参考文献

- [1] Niniane Wang, Bretton Wade, "Rendering Falling Rain and Snow", ACM SIGGRAPH 2004 Sketches, p.14, 2004
- [2] Bryan Dudash, "Snow Accumulation", nVIDIA Technical Report, 2/9/2005
- [3] Paul Fearing, "Computer Modeling Of Fallen Snow", ACM SIGGRAPH 2000, pp.37-46, 2000
- [4] 北海道 雪たんけん館  
http://yukipro.sap.hokkyodai.ac.jp/ (2009年1月)