

雪の不規則な動きを考慮した

積雪のリアルタイムシミュレーション

森木 大樹[†] 床井 浩平[‡]

[†]和歌山大学大学院システム工学研究科

[‡]和歌山大学システム工学部

コンピュータグラフィックスにおいて、自然現象や自然物体を表現することは現実感の向上にとって非常に重要である。そのような自然現象の中でも、季節感を表す際に重要な役目となる積雪の表現の考察は必要不可欠といえる。本研究では、障害物の判定・雪の不規則な動き・積雪後の雪の移動を考慮することによる積雪形状の決定方法を提案する。障害物の判定と雪の不規則な動きはシャドウマップ法を応用して実現し、積雪後の形状は雪を安定な位置へ移動させることによって決定する。また、本稿ではテクスチャをベースとした手法とポリゴンをベースとした手法の2種の手法について述べ、それぞれの特徴について考察する。

Real-time simulation of the fallen snow

with consideration to the irregular motion of the snow

Hironori Moriki[†] Kohe Tokoi[‡]

[†]Graduate school of Systems Engineering, Wakayama University

[‡]Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

In CG a natural phenomenon and a natural object are very important for improvement in an actual feeling. In such a natural phenomenon, when we show a sense of the season, to express the fallen snow is indispensable. In this paper, we propose the method that considers the irregular motion of the snow, and finding obstacle and movement of snow after fallen snow. We realize the irregular motion of the snow and the finding obstacle by applying the shadow map method and movement of the snow after fallen snow by processing of flat-and-smooth by the relation with an adjoining point.

1. はじめに

映画やゲームといった分野で、自然現象や自然物体の表現に関心が集まっている。そのような自然現象の中でも雪の表現は季節感を表すのに非常に重要であるといえる。従来の積雪を対象とする研究として、物体表面からパーティクルを打ち上げたときの障害物との衝突の有無と安定の処理により積雪形状を決定する方法[1]などがある。しかし、この方法は処理に時間がかかる。

本研究では、雪を降雪と積雪の2つの状態に分けて表現する方法を提案する。このため、降雪時には雪を粒子として取り扱い、積雪時には雪を量として取り扱っている。降雪の表現にはパーティクルを用い、風の影響を受けた降雪の方向と正規乱数によって雪の不規則な動きを簡略化して表現する。積雪の表現には、シャドウマップ法を応用して、複数のシャドウマップを合成することでシーン上の積雪の確率分布を決定し、さらに隣接点との関係による安定化処理を加えることによってシーン上の積雪形状を決定する。また、テクスチャをベースとする積雪形状の決定方法と、ポリゴンをベースとする積雪形状の決定方法の2種について提案し、それぞれの特徴についても考察する。

2. 積雪形状の生成

積雪形状は雪が降る空間内にある、様々な要因によって決定される。たとえば、降雪を妨げる障害物の有無・雪の不規則な動き・風向き・積雪後の雪の移動・温度変化による融雪・なだれ・雪の圧縮・雪の種類による粘性の違いなどの影響が挙げられる。しかし、それらを全て考慮した物理シミュレーションを実現するには、膨大なデータ量・計算量が必要になる。そこで本研究では、降雪を妨げる障害物の有無・雪の不規則な動き・積雪後の雪の移動を考慮してシ

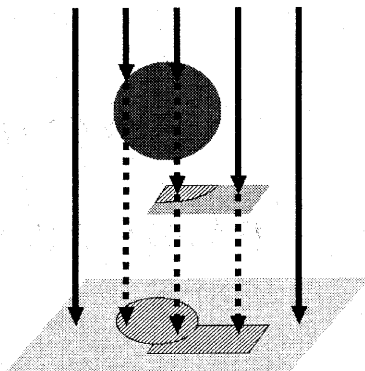


図1. 影付けによる障害物の判定

ミュレーションすることにより、積雪形状を決定する。本稿では、テクスチャをベースにした手法とポリゴンをベースにした手法の2種の手法を提案する。以下に、それらの手法において共通する処理について述べる。

2.1. 共通の処理

(1) 障害物の判定

障害物の判定には、シャドウマップ法[2]を応用する。シャドウマップ法は、光源方向からのZバッファの内容を利用して、シーン上の影を高速に生成する手法である。本研究では、このシャドウマップ法を障害物判定の方法として用いる。

まず、降雪の方向を光源からの光の方向として考え、平行投影したときのシャドウマップを作成し、そのシャドウマップを元に、シーン上に影付けを行う。観測点が影になっていた場合には、降雪を妨げる障害物があると判定し、その場所には降雪しないと考える。逆に、観測点が影になっていない場合には、降雪を妨げる障害物が存在しないと判定し、その場所には降雪すると考える(図1)。

(2) 雪の不規則な動きの考慮

雪の動きは直線的なものではなく、気流の影響などで不規則な動きをする。しかし、(1)で述べた障害物の判定を1つの降雪方向のみで

行う場合、直線的な降雪の判定しか考慮できない(図)。そこで、微妙に角度が異なる複数の投影面によるZバッファの内容についても合わせて考えることによって、雪の不規則な動きを表現する。これにより、障害物下の境界周辺でのブレを表現することが可能になる。また、降雪方向と投影面との角度によって、積雪への影響度を変化させることによって、風の影響も考慮することができる。このとき、角度と影響度の関係は正規乱数によって決定する。

(3) 積雪後の雪の移動

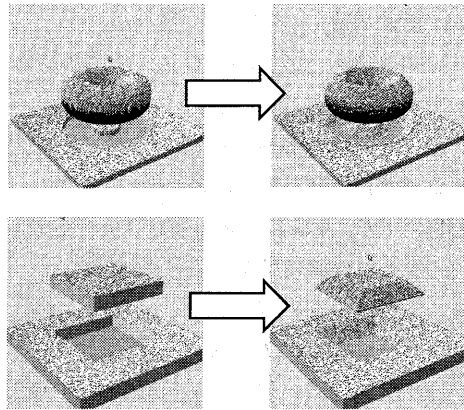
ある積雪点の積雪量と、その近傍の積雪量との差が大きくなると、不自然な形状を呈することになる。そこで、積雪後の形状が安定した形状となるように、隣接する場所との積雪量を平滑化する必要がある。この処理は、着地した雪をより安定な位置に移動することによって実現する。ここでは、本研究において提案する隣接点との関係による雪の安定化処理の概略について述べる。

ある特定の地点(図2では中心に位置する場所)について考えた場合、そこに隣接する4点との関係によってより安定な場所に移動することで雪の安定を表現する。本手法では、以下のような3種類の場合分けを行う。

- ① 隣接4点が対象となる場所の積雪量と同じ、または高い場合(図2(a))には積雪量

の移動は行わない

- ② 隣接4点のうち、1点のみが対象となる場所の積雪量より低い場合(図2(b))には、1点のみ低い場所に積雪量を移動する
- ③ 隣接4点のうち、2点以上が対象となる場所の積雪量より低い場合(図2(c))には、対象となる場所より低い位置にある点に分配して積雪量を移動する



安定化処理の実行結果を図3に示す。雪の移動を考慮せずに積雪させた場合には左の図のようになるが、安定化処理を加えることによって、右の図のように積雪量の分布が安定した状態なる。

(4) 積雪が非常に少量の場合

本研究では、雪を降雪として考える場合にはパーティクルとして扱い、積雪として考える場合には量として扱う。しかし、雪の降り始めや障害物の境界周辺などでは、積雪量が非常に少量な部分が発生し、積雪を粒子として捉える方が効果的な場合がある。そこで本研究では、非常に少量の積雪は、雪片がまばらな付着したものとして考える。積雪量に対応した雪のまばらな付着を表すテクスチャを生成し、それを貼

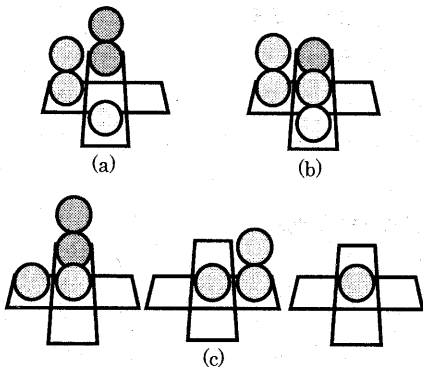


図2 隣接点との関係による場合分け

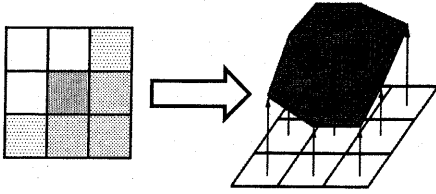


図4.テクスチャから積雪量への変換

ることで少量の積雪を表現する。

2.2. テクスチャをベースとした積雪形状の決定

(1) 積雪場所

シーンの真上からのシャドウマップの Z バッファの内容により、積雪する場所を決定する。Z バッファには観測点から一番近い距離にある点が保存されており、積雪場所の決定にこれを利用する。つまり、シーンを真上から見て最初に見える位置に積雪すると考える。

(2) 積雪量の求め方

積雪確率は2.1 (2) で得られた複数のシャドウマップを合成したものから算出する。積雪確率はテクセルごとに求めることができ、それぞれのテクセルの積雪確率に対して降雪量と経過時間を掛け合わせることで、テクセルごとの積雪量を算出できる。

(3) 安定化の処理

テクセルに高さ情報と積雪量を保持させることで、テクスチャ内での安定化の処理を行う。隣接するテクセルとの関係から雪の移動を求める。

(4) 積雪形状の表示方法

(2)~(3)の処理によって各テクセルに対する積雪量が得られる。また、(1)の処理により積雪場所が判明するため、そのテクセルの中心に位置する点を積雪量に応じて上昇させることで積雪形状を示す。具体的な例を図に示す。

2.3. ポリゴンをベースにした積雪形状の決定

(1) 積雪場所

ポリゴン自体に積雪量を反映させるため、積雪場所はポリゴンの位置により決定する。

(2) 積雪量の求め方

対象となるポリゴンを2.1 (1) および2.1 (2) でシャドウマップを作成したときに用いた投影面に投影する。シャドウマップの Z バッファの内容との比較により影の判定を行い、それぞれの投影による影の比率を足し合わせることで、そのポリゴンの積雪確率を算出する。

また、スムーズシェーディング時の法線の求め方と同様に、ある頂点が属すポリゴンの積雪確率を平均することで頂点ごとの積雪確率を求める。

各頂点の積雪確率に、降雪量と経過時間を掛け合わせることでその時点での積雪量を決定する。シーン上の全てのポリゴンについてこれらの操作をする。

(3) 安定化の処理

隣接している頂点との関係に対して、2.1 (3) で述べた安定化の処理を行う。また、安定化の処理による同一物体内の雪の移動は可能であるが、別々の物体同士での雪の移動について考える場合、雪の落下方向にあるポリゴンを検出する操作が必要となる。

(4) 積雪形状の表現方法

(3)の処理によって、安定した頂点ごとの積雪量が求められる。その積雪量にしたがって、対象となる頂点を上昇させることで積雪形状を表現する。

(5) 例外的な処理

地表面との角度が90度以上の切り立った面は、雪が積もることはないが雪片が貼りついた状態になる場合がある。そのような場合、雪のまばらな付着を表したテクスチャを貼ること

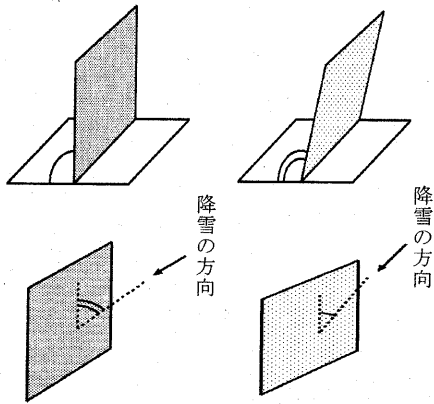


図5. 雪のまばらな付着の度合いの比較
(色が濃い方が雪の付着への影響大)

で表現する. まばらさの度合いを決定する条件には, 地表面との面との角度・降雪の方向を用いる. それぞれの条件を以下で述べる.

- ・ 降雪の方向と面との角度が大きい場合(図5), 雪の貼りつきへの影響は大きいと判断する. 逆に小さい場合, 雪の貼りつきへの影響は小さいと判断する.
- ・ 地表との角度が大きい場合(図5), 雪の貼りつきへの影響が大きいと判断する. 逆に小さい場合, 雪の貼りつきへの影響は小さいと判断する.

これらの条件を組み合わせるにより, 対象となるポリゴンのまばらさの度合いを決定する.

3. 考察

それぞれの手法の特徴について考察を行う.

3.1. テクスチャをベースとする積雪形状の決定

2.1(1) で述べた障害物の判定する際, 真上からのシャドウマップを作成することによって, 障害物の判定と積雪場所の決定を1回のシャドウマップの作成で行うことができる. 安定化処理については, テクスチャは方形配置なので隣接点との関係の把握も非常に単純である. また, 積雪確率についてもテクスチャの合成に

よって算出できるという利点がある.

しかし, テクスチャでは2次元的な処理しか行えないため, 障害物周辺の雪の不規則な動きによる影響は考慮できるが, 障害物の真下にあたる部分については, 積雪確率が算出されていても積雪点がわからないため, 反映されない.

また, 真上からのシャドウマップの解像度を調節することによって, 積雪形状を細分化することが容易であるが, 解像度を上げれば, それだけ処理時間の増大を生じる.

3.2. ポリゴンをベースにした積雪形状の決定

物体のポリゴンの接続条件により隣接点が判断できるので, 同一物体内の雪の移動が考慮できる. ゆえに, 障害物の下で生じる雪の移動も考慮できる. ただし, 違う物体への雪の移動(落下)を考える場合, 落下方向のベクトルとシーン上の全てのポリゴンとの交差の判定が必要となり, 現実的ではない.

ポリゴンが粗いと積雪形状の表示が大まかとなり, 不自然な形状になってしまうため, ポリゴンの細分化が必要となる. また, ポリゴン1つ1つに対して判定を行うため, 処理に時間がかかるという欠点が考えられる.

4. まとめ

本研究では, シャドウマップ法を応用することで, 降雪を妨げる障害物の判定と雪の不規則な動きの考慮を行う方法について提案した. また, 積雪後の形状を隣接点の関係による安定化処理により平滑化し, なめらかな積雪形状を決定する方法を提案した.

今後の課題としては, テクスチャをベースとする手法とポリゴンをベースとする手法のそれぞれの長所短所を補うような総合的な手法を考える必要がある.

最後に、本研究の手法を用いて得られた実行結果を図6に示す。

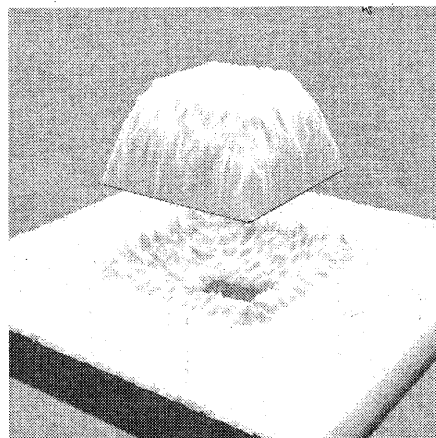
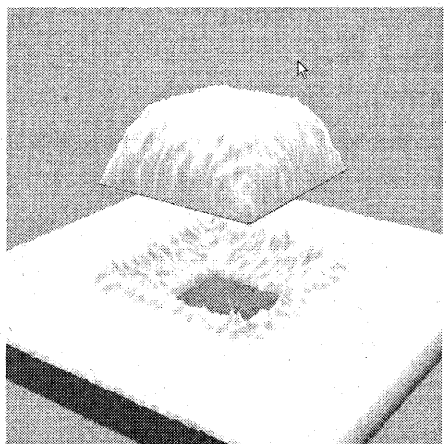
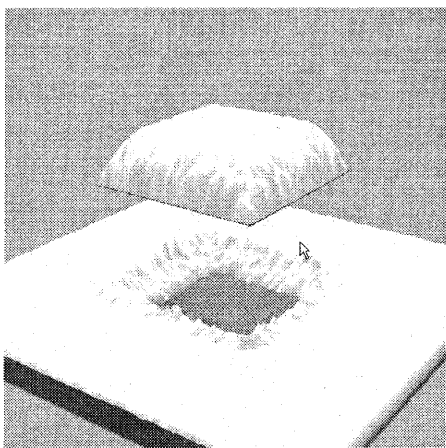
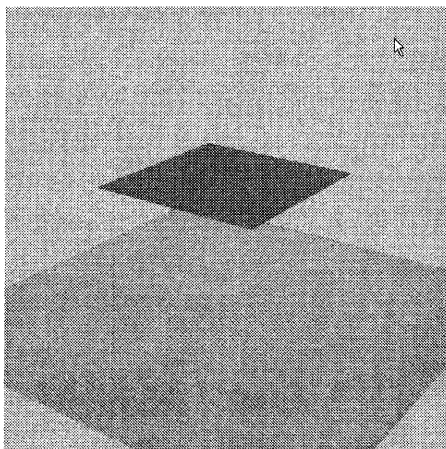


図6. 積雪量の時間的变化

参考文献

- [1] Paul Fearing: Computer Modelling Of Fallen Snow, *SIGGRAPH2000*
- [2] Mark Segal, Carl Korobkin, Rolf van Widenfelt, Jim Foran, Paul Haerberli: Fast Shadows and Lighting Effects Using Texture Mapping, *SIGGRAPH1992*