

サーフェス記述子を用いた山岳形状における積雪の表現

中谷 文香 藤代 一成 大野 義夫
慶應義塾大学 理工学部 情報工学科

1 背景と目的

近年, CG は現実と見分けのつかないようなリアルな表現を可能にしているが, 専門知識をもたない人がそのような CG 画像をつくることは, 未だ容易ではない. これは, より現実に近い CG をつくるには背景となる物理とそれに関連する多数のパラメータの意味や役割を理解し, シーン生成に対して適正な数値を選択する必要があるためである. それと対極に位置する現象学的モデル (phenomenological model) は, 物理的原理を抽象化し, 制御の容易さを追求したものである.

本研究では, 山岳形状における積雪の様子を再現する現象学的モデルを提案する. ここでは, 積雪の時間変化や山肌とのコントラストなどの美しさを手軽に表現し, しかも制御可能にすることを目的としている. 山肌における積雪の度合いを決めるためには, その場所での気候や気象, 雪の密度・粘性・固さなど, 一般的に現実世界の多くの物理的ファクタを考慮する必要があるが, 本手法では独自のサーフェス記述子を介することで積雪を効果的に再現する. そのサーフェス記述子は, 基盤となる高さ場の平滑化における高低差と, Tangent Sphere Accessibility を中心に, 方角や高度などの幾何学的条件を限定的に考慮している. さらに, 実際の標高データを用いた山岳形状に適用し, 本手法の視覚的效果を検証する.

2 雪山のサーフェス記述子の設計

ここでは, 本手法でサーフェス記述子を構成するにあたって基盤となっている, 高さ場の平滑化前後における高低差と Tangent Sphere Accessibility について, またそれらを基盤に設計したサーフェス記述子についてそれぞれ説明していく.

2.1 平滑化前後の高低差を利用する方法

高さ場の平滑化前後の高低差を利用して雪山を表現する方法は文献 [1] で試みられている.

元データとなる高さ場を平滑化すると, 周囲より凹んでいるところは元データよりも平滑化後のデータのほうが標高が高くなる. 反対に周囲より盛り上がっているところは, 元データよりも平滑化後のデータのほうが標高が低くなる. 地形が周囲より盛り上がっているところは風で雪が飛ばされて比較的雪が積もりにくく, 逆に凹んでいるところは雪が積もりやすいと考えられるので, 高低差の値は雪を積もらせるかどうかを決定する材料となる. 今回は凹んでいるところの高低差を使用する.

また平滑化の高低差の値によって, 山の凹凸の大きさも判断することができる (図 1).

さらに, 平滑化領域の大きさを変化させることで局所性を制御することができる. 平滑化領域を大きくしていくと, 大域的に平滑化されるようになる.

2.2 Tangent Sphere Accessibility を利用する方法

Accessibility は元来, 計算化学の分野で利用されてきた考え方である. 多くの化学変化は, ある分子の, 溶媒分子表面への到達しやすさに依存するので, その幾何学的指標は化学変化の理解において重要な要素となる.

1994 年に Miller [2] はこの考え方を CG 分野に導入し, エイジングの視覚効果に適用した. Tangent Sphere Accessibility

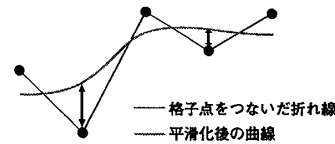


図 1: 平滑化前後の高低差の例. 元の地形が大きく凹んでいるところは高低差が大きくなっている.

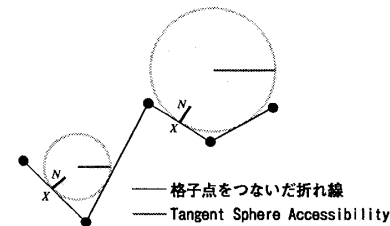


図 2: Tangent Sphere Accessibility の例. X を通り中心が N 方向にある円が隣接するメッシュと接するとき, 元の地形が大きく凹んでいるところは円の半径が小さくなる.

(TSA) は, 球状の probe がオブジェクトと接し, 他のどの表面とも交差しないときの最大半径と定義される. ハケ先を球状の probe としたとき, 固定された大きさの probe がオブジェクトの間に入り込めるかどうかを判断する. このとき, ハケが届くところは排除される. 平らなところほど TSA が大きく, 大きな半径のハケで掘くことが可能であり, 周囲より凹んでいるところほど TSA は小さくなる (図 2).

今回は風が雪山を掃いていくことを考え, 残雪を再現していく. TSA が大きい箇所ほど雪が掃かれ易く, TSA が小さい箇所ほどは雪が掃かれにくい.

2.3 設計したサーフェス記述子の概要

平滑化前後の高低差の値と TSA の値のほかに, 次に挙げる幾何学的条件は積雪の度合いを決定する上で重要な意味をもつファクタである.

- 標高: 標高による気温差を制御
- ポリゴンの法線: 方角によるおおよその総日射量を制御

以上を組み合わせ, 新しいサーフェス記述子を提案する. 平滑化前後の高低差を利用する場合のサーフェス記述子決定アルゴリズムは次の通りである.

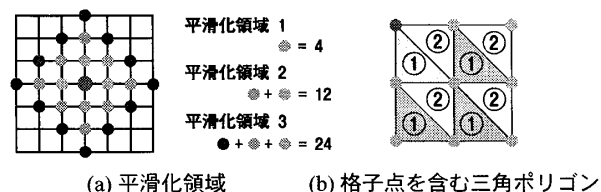


図 3: 格子点への操作の詳細. (a) 平滑化領域 1 で周囲 4 点, 3 で周囲 24 点, 平滑化領域 n で周囲 $4n + 2n(n-1)$ 点の平均標高値を使用する. (b) 1 つの格子点を含む三角ポリゴンのとり方は 2 通り.

Rendering snow-covered terrain based on surface descriptors
Ayaka Nakatani Issei Fujishiro Yoshio Ohno
Department of Information and Computer Science, Keio University

#平滑化

```
1:FOR 格子点 in 高さ場 DO
2: 周囲の格子点 (図 3(a)) の平均標高値と自身の標高値を
   足して 2 で割り, 平滑化後の標高値とする
```

```
3:ENDFOR
```

#ポリゴンの色の決定

```
4:FOR 格子点 in 高さ場 DO
5:  d = 平滑化後の標高値 - 平滑化前の標高値
6:  d を 0 から 1 の値に正規化
7:  IF 標高値がある高さよりも高い THEN
8:    d = 0
9:  ELSEIF 格子点を含む各ポリゴン (図 3(b)) 法線の
   水平面への射影が南方向 ± 45 度の範囲に入っている THEN
10:   各ポリゴン法線の角度を 0 から 1 に正規化
11:   d = d * 角度 + 1 * (1 - 角度)
12: ENDIF
13: ポリゴンの色 = 山肌の色 * d + 雪の色 * (1 - d)
14:ENDFOR
```

9 行目の「格子点を含むポリゴン」のとり方は図 3 (b) のように 2 通りあり, それぞれについて法線方向を考える。

TSA を利用する方法では平滑化は行わず, 隣接する 12 個の三角ポリゴンとの TSA をそれぞれ算出し, その中の最小値が 5 行目の d に代入される。その局所性ゆえ, そのままポリゴンの色に使用すると色がまばらになってしまうので, 一度全ての TSA を計算したあと, その値を平滑化して使用する。

3 実験結果

国土地理院が提供する標高データ (50m メッシュ) を使用して 300×100 の標高値をもとに穂高岳周辺の山岳地形を作成し, 雪の色を塗る箇所を決定した。Mac OS X (プロセッサ: Intel Core 2 Duo, 3.06GHz, メモリ: 4GB) 上で実装し, 1 枚の画像は 0.3~0.5 秒で作成された。水平方向の格子点間隔は 0.1×0.1 である。

2 種類の方法の結果をそれぞれ図 4, 図 5 に示す。平滑化前後の高低差を利用する方法 (方法 1) は平滑化領域を変化させることで局所性を制御することができる。TSA を利用する方法 (方法 2) は, 隣接するポリゴンを対象に計算を行っているので, 方法 1 に比べると局所的である。

また, 方法 1 と方法 2 を組み合わせた結果を図 6 に示す。ここでは標高データ全体を平滑化してから TSA を計算している。これにより凹凸が減って雪を掃きやすくなるため, 方法 2 のときに比べ全体のコントラストがはっきりする。



(a) 平滑化領域が 1 の場合

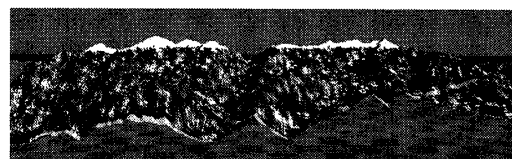


(b) 平滑化領域が 3 の場合

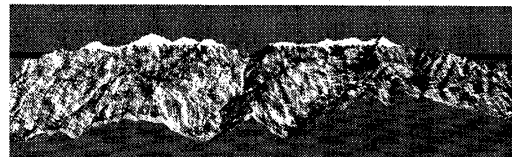


(c) 平滑化領域が 8 の場合

図 4: 平滑化前後の高低差を利用した方法の結果画像。



(a) ハケ先半径が 0.02 の場合



(b) ハケ先半径が 0.1 の場合



(c) ハケ先半径が 0.3 の場合

図 5: TSA を利用した方法の結果画像。



図 6: 方法 1 と方法 2 を融合した場合の結果画像。

4 まとめと今後の課題

本稿では, 高さ場の平滑化前後の高低差と Tangent Sphere Accessibility を中心に, 方角や高度などの条件を考慮した新しいサーフェス記述子を提案した。また主要なパラメータの値を変化させることにより, 雪の積もり方を多様に変化させることを示した。

現時点では山肌の色と雪の色を塗り分けているだけなので, 木の生えた山を表現することができないが, テクスチャの参照によってこの問題は解決される。これによって, 紅葉を含む四季の移り変わりも表現可能であると考え。

また微細構造を考慮した雪のレンダリングや空気遠近法の適用により, さらに本物に近い CG 画像を生成していくことが, 今後の課題である。

謝辞

本研究の一部は, 科学研究費補助金基盤研究 (B)20300033 の支援により実施された。

参考文献

- [1] 古一成一, 大野義夫:「フラクタルを用いた季節感のある山岳の表示」, 情報処理学会第 32 回全国大会, 1986 年 3 月, pp.2025-2026.
- [2] Miller, G.,:“Efficient Algorithms for Local and Global Accessibility Shading,” In *Proc. SIGGRAPH 94*, August 1994, pp. 319-326.