

## 山岳形状における積雪量を制御するサーフェス記述子の提案

中谷 文香<sup>†</sup> 藤代 一成<sup>‡,†</sup> 大野 義夫<sup>‡,†,1</sup>

<sup>†</sup>慶應義塾大学 大学院 理工学研究科    <sup>‡</sup>慶應義塾大学 理工学部 情報工学科

### Design of Surface Descriptor for Rendering Snow-Covered Terrain

Ayaka Nakatani    Issei Fujishiro    Yoshio Ohno

Keio University

nakatani@fj.ics.keio.ac.jp    fuji@ics.keio.ac.jp    ohno@koeki-u.ac.jp

#### 概要

本論文では、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の現象学的再現を試みる。そのサーフェス記述子は、平滑化された高さ場における Tangent Sphere Accessibility をベースに、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。本論文ではさらに、実際の標高データを用いた山岳形状に適用し、提案手法の視覚的効果を検証する。

#### キーワード

積雪, 山岳形状, サーフェス記述子, 現象学的モデル

#### Abstract

Seasonally-transient contrast between snow and mountain surfaces makes a big appeal to every viewer. Generally, when deciding how much snow covers the mountain, we need to take many climatological factors into account, and it is likely to complicate the rendering process. In this paper, we present a phenomenological model which easily depicts snow-covered mountains. Our method relies on our own surface descriptor, which is based primarily on Tangent Sphere Accessibility of smoothed height field, and also considers geometric features like azimuth direction and altitudes to a limited extent. The feasibility of the proposed method is illustrated through application to a real height map dataset.

#### Keywords

snow, terrain, surface descriptor, phenomenological model

---

<sup>1</sup> 現在は、東北公益文科大学

## 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 をつくるためには、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。

本論文では、映画やゲームに背景として頻繁に描かれ、また「美」を感じる典型的なシーンである「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の現象学的再現を試みる。そのサーフェス記述子は、平滑化された高さ場における Tangent Sphere Accessibility をベースに、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。本論文ではさらに、実際の標高データを用いた山岳形状に適用し、提案手法の視覚的効果を検証する。なお、本論文の初期の原稿は第 26 回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集に掲載されている [1]。

## 2 関連研究

関連研究として、積雪表現に関する研究、サーフェス記述子に関する研究が挙げられる。

### 2.1 積雪表現に関する研究

積雪の表現に関する研究には、どの地点にどれくらいの量が積もるのか、どれだけ正確に雪の量を計算できるか、といった点を重視したものが多い。その中でも文献 [2] では、全ての雪の降り得る面をメッシングし、その面から粒子を上空に向けて発射する。粒子は雪が降るときと同じように揺らぎを考えながら上昇し、空まで他の物体に衝突することなく上昇できれば、その面には雪が降るといった計算を行っている。また、降り積もった後の雪の移動も考慮している。隣接するメッシュにどれくらい雪が積もっているかを比較し、差が大きいときには雪の移動を行う。このアルゴリズムを使用すると、どの地点にどれくらいの雪が積もるかをかなり正確に計算できるが、現在汎用的に使用される PC 環境をもってしても、リアルタイムに描画することは困難である。

一方文献 [3] では、遮蔽物判定、雪の不規則な動き、積雪後の雪の移動の 3 つを考慮して、積雪情景のリアルタイムなモデリングを行っている。積雪形状を求めるアルゴリズムには Z バッファ法を、遮蔽物の検

出と雪の不規則な動きの影響の算出にはシャドウマップ法をそれぞれ応用している。積雪現象を簡略化・単純化して捉え、さらに GPU の機能を利用することによって、高速に積雪形状をモデリングすることができるが、真上からの降雪による結果を示しているため、垂直に近い面への雪の付着や、風が吹いて雪が窪みに溜まってしまったような情景は表現できない。

そこで風の影響を考慮した積雪情景を表現するため、文献 [4] では、Precomputed Radiance Transfer (PRT) を使用して、風向きおよび遮蔽物を考慮した積雪量を幾何学的に近似計算し、近似された積雪量を基に、Geometry Shader を用いて積雪情景をリアルタイムで表現する手法を提案している。事前にテクスチャとして UV 展開された地形の各地点に対し PRT を適用して各地点周囲の遮蔽物情報を求め、球面調和関数の係数として保存しておくことによって、高速なレンダリングが可能である。ただし、 $512 \times 512$  画素の画像を生成するための事前計算には、現行の標準的な GPU 搭載 PC でも 12.93 分ほど必要とする。レンダリングでは、低積雪面 (地面が透けて見える程度の積雪がある箇所) と高積雪面 (積雪により地面が完全に見えなくなった箇所) に対して異なった方法を用いている。この手法では、UV マップの画素ごとの GPU 処理時間が等しいことから、UV マップの解像度に反比例して実行速度が低下してしまい、複雑な地形に適さない。

以上に述べたように、積雪表現に関する従来の手法では垂直に近い面への雪の付着や、風が吹いて雪が窪みに溜まってしまったような情景が表現できなかったり、複雑な地形に対応できなかったりする問題点がある。また事前計算を必要とし、表現したいシーンを作成するための試行錯誤が簡単には許されないため、山岳形状における積雪表現には適さない。

### 2.2 サーフェス記述子に関する研究

サーフェス記述子 (surface descriptor) とは物体表面の各点における特徴量であり、CG 作成の際の指標を与える。古典的なものではポリゴンの法線や曲率、拡散反射率や鏡面反射率などを挙げるができる。より複雑な属性を効果的に付与するために、新たなサーフェス記述子の計算法や使用法に関する研究が現在でもなお精力的に継続されてきている。

例えば、ハッチング (製図や絵画などで細い平行線を引いて、影の効果を付ける技法) において従来からよく使用されていたサーフェス記述子は曲率である。しかし曲率に沿って線を配置して線画を生成すると、線が込みすぎでしまう、あるいは線が不用意に分断されてしまうといった特徴がある。これはある点における曲率が、その周囲のひじょうに小さな範囲しか考慮していないためである。

そこで文献 [5] では、ある 1 点の曲率に注目するのではなく、その周囲の点の情報も考慮したサーフェス記述子を提案している。その際、考慮する周囲の点の領域は可変であり、その領域の大きさによって異なった結果画像を生成可能である。

加水分解酵素の分子のハッチング例では、局所的な曲率に従った描画と、大局的に情報を使用し、推定される曲率に従った描画を比較している。後者は線が均

一な方向を向き、本数もより少なくなるという結果が示されている。

本論文では、積雪情景を表現するために用いるサーフェス記述子を考案し、その値によって山岳形状における各ポリゴンの色を決定する。

### 3 サーフェス記述子の設計

ここでは、本手法の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, またその値を計算機内で表現可能にするために必要な伝達関数、積雪の度合いを決定する上で重要な意味をもつ他のファクタについて説明していく。

#### 3.1 平滑化前後の高低差を用いた山岳形状の積雪表現

文献 [6] では、標高値を用いてただ山岳形状を作成するだけでなく、山岳形状における四季の移り変わりを表現している。まず標高値のデータに対し独自の関数を用いることで曲面を当てはめ、その後それぞれの季節に対応した処理を行う。その際の関数は、散らばって与えられた点データから、これらの点を内挿する曲面を求める、シェパードの式をベースとしている。

表現している季節は、早春、夏、秋、初冬、真冬で、それぞれの特徴によって手法を変えて画像を作成している。例えば、早春の山では凸部の雪が溶け、雪崩のため急斜面に降った雪が谷や緩やかな斜面に溜まる特徴がある。そこで山の原形面を平滑化したものと平滑化前の原形面の標高を比較し、積雪させる箇所を決める手法を提案している。

元の高さ場を平滑化すると、周囲よりも凹んでいるところ（雪が溜まり易いところ）は、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（雪が飛ばされやすいところ）は、平滑化後のデータのほうが標高が低くなる（図 1）。

この考え方を利用し、平滑化前後の高低差を調べることでつくられた画像を図 2 に示す。平滑化後、それを雪面と仮定して、山面・雪面のうち高度の高い方の三角形を表示している。山肌は、当てはめた曲面に対し、中点変位法を用いて凹凸を付けているため、所々盛り上がっている。

本論文では、平滑化した高さ場を用いることで積雪量を決定するというこの考え方を利用している。

#### 3.2 Tangent Sphere Accessibility

Accessibility（到達度）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 [7] はこの考え方をサーフェス記述子として CG 分野に導入し、八ヶではらっても掃き

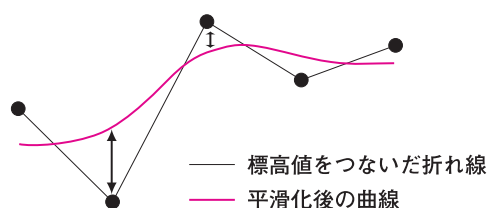


図 1: 標高値をつないだ折れ線と平滑化後の曲線。周囲よりも凹んでいるところは平滑化後のデータ、周囲より盛り上がっているところは平滑化前のデータのほうが標高が高くなる。



図 2: 早春の雪山 [6]。平滑化後の曲面を雪面と仮定し、山面・雪面のうち高度の高い方の三角形を表示している。

きれない複雑な面の汚れの視覚効果に適用した。その計算手法を 3.2.1 項で詳しく説明する。

##### 3.2.1 平面と接するときの Tangent Sphere Accessibility

八ヶ先を球状の 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、八ヶが届くところは掃除される。

Tangent Sphere Accessibility (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（図 3）。平らなところほど TSA が大きく、大きな半径の八ヶで掃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。

ここで、tangent sphere が平面と接することを考える（図 4）。

まず、位置 X で法線 N をもつ tangent sphere の中心 C は、その半径 t を用いて

$$C = X + tN \quad (1)$$

と表すことができる。

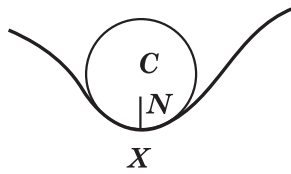


図 3: 最大半径で曲面の点 X に接する球の例. C は tangent sphere の中心, N は X での法線である.

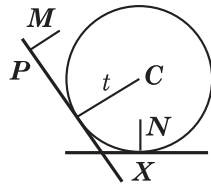


図 4: 平面 (位置 P での法線が M) と接する tangent sphere .

また,  $t$  は次の内積で表される:

$$t = (\mathbf{C} - \mathbf{P}) \cdot \mathbf{M} \quad (2)$$

このとき,  $\mathbf{M}$  は接している平面の法線ベクトルであり,  $t$  は  $\overrightarrow{PC}$  の  $\mathbf{M}$  方向への射影の大きさを表す. ここに式 (1) を代入すると, TSA を求める次式を得ることができる:

$$t = \frac{(\mathbf{X} - \mathbf{P}) \cdot \mathbf{M}}{1 - \mathbf{N} \cdot \mathbf{M}} \quad (3)$$

図 5 に高さ場における TSA を 2 次元で図示する. 地形が大きく凹んでいるところは円の半径が小さくなっていることがわかる.

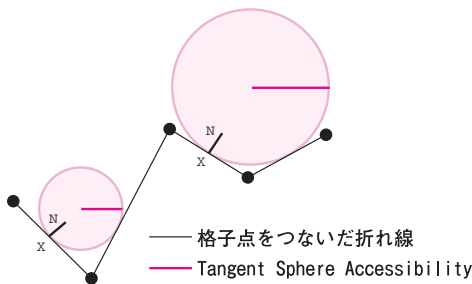


図 5: 高さ場における Tangent Sphere Accessibility . X を通り中心が N 方向にある円が隣接するメッシュと接するとき, 元の地形が大きく凹んでいるところは円の半径が小さくなる.

### 3.3 伝達関数

文献 [8] では, TSA を用いてエイジング効果のレンダリングを行っている. 計算された TSA の値域は 0 から正の無限大なので, これを計算機内で表示できるように伝達関数を独自に考案している (図 6). この伝達関数によって, どのように汚れの表現に反映させるかを調整することができ, 同じ TSA の値からの異なる汚れの表現が可能になる.

$r$  を probe の半径としたとき, 伝達関数  $g(t)$  を次の式で表している:

$$g(t) = \begin{cases} 1 & (t \geq r) \\ \frac{1-b}{r}t + b & (0 \leq t \leq r) \end{cases} \quad (4)$$

式 (4) に示されたとおり, TSA が probe 半径よりも大きいか小さいかによって関数が異なっている.

TSA が probe 半径よりも大きいときは, その点にハケ先が届くことを意味しているので, ホコリは掃きとられる. よってホコリの影響を受けず, 元の色が表示される.

一方, TSA が probe 半径よりも小さいときには, その点にハケ先は届かないので, ホコリの影響を考慮する. この区間では, TSA の値に応じて元の色とホコリの色の割合を決定している. TSA が 0 に近づくにつれて, 元の色は薄れてホコリの色が強く現れる.

また, 式 (4) の  $b$  は, TSA が 0 の場合にどの程度もとの色を残すかを定める定数である ( $0 \leq b \leq 1$ ).  $b$  の値を 0 に設定すると, TSA が 0 であるところではホコリの色となり, 1 に設定すると, どこも全くホコリの影響を受けなくなる.

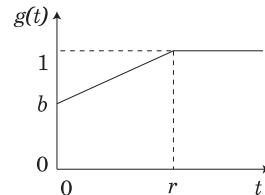


図 6: 文献 [8] で使用された伝達関数  $g(t)$  のグラフ. この関数を介することで, TSA の値を有限にでき, レンダリングに使用できるようになる.

本論文においては風が雪山を掃いていくことを考え, 雪の積もり具合を決定するために計算された TSA の値を使用する際, 同様の伝達関数を用いている. TSA が大きい箇所ほど雪が掃かれ易く, TSA が小さい箇所ほど雪が掃かれにくくなる.

### 3.4 その他に考慮するファクタ

Tangent Sphere Accessibility の他に, 積雪の度合いを決定する上で重要な意味をもつ 2 つのファクタについて説明する.

### 3.4.1 標高

標高が高くなるにつれて気温が低くなっていくことを考慮する。標高の高さによって、雪の溶けやすさは異なるので、標高が最も高い地点で 1 を、標高が 0 の地点で 0 をとるような 2 次関数を乗ずることで、気温差の制御を行い、サーフェス記述子の値とする。

### 3.4.2 ポリゴン法線

山の斜面が南方向を向いている場合、北を向いている場合と比べて太陽光が当たりやすく、雪が溶け易いと考えられる。そこで、おおよその総日射量を制御するため、サーフェス記述子に日当たりの影響を与えることにする。

地球は地軸を傾けて自転しているため、季節によって太陽の昇る軌道は異なる。夏は日照時間が長く、冬は短い。春分・秋分の日、太陽は真東から登って真西に沈むが、雪の降る冬は真東よりも南寄りから登り、真西よりも南寄りに沈む。そこで図 7 に示すように、真南の方角から  $\pm\theta_1$  までを太陽光による雪解けの影響を受ける範囲とした。ポリゴン法線の水平面への射影と真南方向のなす角が  $\theta$  のとき、 $0 \leq |\theta| \leq \theta_1$  の範囲にあれば、サーフェス記述子の値は太陽光によって影響を受ける。 $\theta_1$  の値を小さくすると、冬至の太陽の軌道に近くなり、大きくすると、初冬や初春の太陽の軌道に近くなる。

本論文では山岳形状における積雪を考えており、季節は初冬から初春と考えられるので、 $\theta_1$  の範囲は  $0 \leq \theta_1 \leq 90^\circ$  とする。

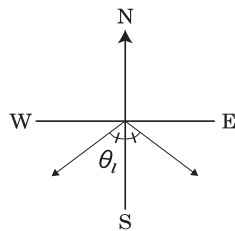


図 7: 太陽光の影響を受ける範囲  $\theta_1$  .

$n$  , ハケ先の大きさ, 雪どけの影響を与える角度の範囲の 3 つの制御パラメタを入力すると、ポリゴンごとにサーフェス記述子  $t$  を出力する。

#### # 平滑化

```
1:FOR 格子点 in 高さ場 D0
2: 周囲の格子点 (図 8) 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
```

#### # TSA の計算

```
4:FOR 格子点 in 平滑化後の高さ場 D0
5: 隣接する 12 個の三角ポリゴンとの TSA をそれぞれ算出し, その中の最小値を t とする
6: 伝達関数  $g(t)$  を用いて t を 0 から 1 に正規化
7: t に標高値に関する 2 次関数を掛けて標高の影響を与える
8:ENDFOR
9:t の平滑化
```

#### # t の補正

```
10:FOR 格子点 in 高さ場 D0
11: IF 格子点を含む各ポリゴン法線の水平面への射影が太陽光の影響を受ける範囲に入っている (図 9) THEN
12: 各ポリゴン法線の角度を 0 から 1 に正規化
13:  $t = t * \text{正規化後の角度} + 1 * (1 - \text{正規化後の角度})$ 
14: ENDFOR
15:ENDFOR
```

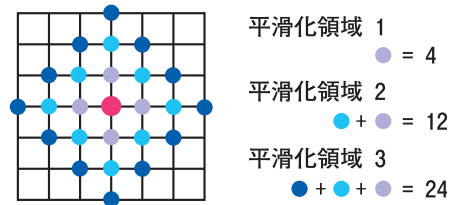


図 8: 平滑化領域と周囲の点の個数。平滑化領域  $n$  で周囲  $4n + 2n(n - 1)$  点の平均標高値を使用する。

## 4 サーフエス記述子の算出

3.2 節で説明した TSA の値に、3.4 節で説明した標高、ポリゴン法線方向の影響を与えた、新しいサーフェス記述子を提案する。4.1 節でサーフェス記述子算出のアルゴリズムを示し、4.2 節で算出した値を用いたレンダリングについて記述する。

### 4.1 算出アルゴリズム

以下に、規則格子構造をもつ高さ場に対するサーフェス記述子  $t$  の算出アルゴリズムを示す。平滑化領域

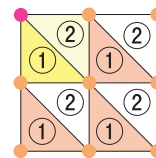


図 9: 1 つの格子点に対する三角ポリゴンのとり方。1 つの格子点を含む三角ポリゴンのとり方は 2 通りある。



2 行目で、高さ場における格子点の標高値を平滑化する。4 行目で平滑化後の高さ場に対して TSA を計算することで、元の高さ場よりもなだらかな地形の TSA を算出できるので、大局的な地形の情報を利用することが可能になる。

5 行目では隣接する 12 個の三角ポリゴンとの TSA をそれぞれ算出し、その中の最小値を  $t$  に代入している。ハケ先の大きさと TSA を比較し、ハケ先のほうが大きければ掃けずに雪が残り ( $t = 0$ )、小さければ雪が掃ける。ハケ先のほうが小さい場合、TSA が小さくなるほど、山肌の色が濃くなるような独自の伝達関数を用いて、ポリゴンの色を決定する。

$t$  はポリゴンの色を決定するために使用するので、6 行目で 0 から 1 の範囲に正規化する。また標高の高いところでは気温が低いため雪が溶けにくく、標高の低いところでは雪が溶けやすいという影響を与えるため、7 行目で高さに関する関数を乗じている。これは高さ場の中で最も標高の高い地点で 1、標高値 0 で 0 を返すような 2 次関数である。またその局所性のため、 $t$  の値を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、一度全ての格子点における  $t$  を計算したあと、9 行目でその値を平滑化している。

11 行目では太陽光の影響を考慮しており、南に向いているほど雪がとけ、山肌の色が強くなる。「格子点を含むポリゴン」のとり方は図 9 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。

## 4.2 レンダリング

上掲のアルゴリズムを利用して、各ポリゴンごとにサーフェス記述子  $t$  の値が求めれば、対応するポリゴンの色は次の式によって求められる：

$$\text{各ポリゴンの色} = t * \text{山肌の色} + (1-t) * \text{雪の色}$$

サーフェス記述子  $t$  が 0 に近いほど雪の色が強く表れ、1 に近いほど山肌の色が強く表れる。

なお、ここでは三角ポリゴンの色の決定には平滑化後の格子点を使用しているが、そのまま平滑化後の格子点を使用して描写すると山の高さが変わってしまう。よって色を決めるときには平滑化後の格子点を使用し、実際に画像を表示する時には平滑化前の格子点を使用していることに注意してほしい。

サーフェス記述子  $t$  を用いて各ポリゴンの色を決定した後、空気遠近法を表現する処理を行った。空気遠近法とは大気のもつ性質を利用した表現法であり、遠景を見る際に遠くの方がぼやけ、青みがかって見えるような効果を与える。遠景のぼやけを表現するために、遠くのポリゴンほど RGB 成分の平均の色に近づき、近くのポリゴンほど元の色が強く出るよう、RGB 成分の平均と各成分をポリゴンの奥行き情報に応じてブレンドした。また遠景の青みを表現するため、ブレンドの際に奥行き情報に応じて R 成分と G 成分の値を若干小さくすることで B 成分を際立たせた。

## 5 実験結果

国土地理院の標高データ (400 × 200, 50m メッシュ) をもとに穂高岳周辺の山岳地形 (図 10) を作成し、4 節で示したアルゴリズムに従って各三角ポリゴンの色を決定した。Mac OS X (プロセッサ: Intel Core 2 Duo, 2.66GHz, メモリ: 8GB) 上でプログラムを実装し、1 枚の画像 (900 × 600 画素, ポリゴン数: 160,000) は 0.8 秒程度で作成された。ただし 4 節のアルゴリズムにおける平滑化から TSA の計算までは、事前処理にすることが可能であり、ポリゴンの色の決定のみを行う場合、1 枚の画像は 0.2 秒程度で作成される。なお、水平方向の格子点間隔は 0.1 × 0.1 である。格子点間隔の大きさは、TSA 計算時のハケ先半径の大きさに影響を与える。



図 10: 雪が積もっていない状態の山岳形状の画像。

### 5.1 パラメータ変化による積雪の制御結果

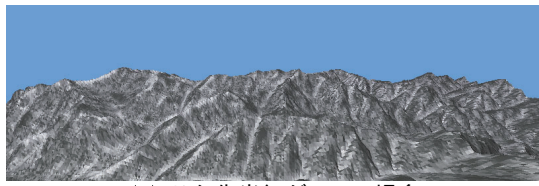
制御パラメータを変化させることによって得られた積雪の結果画像を図 11, 図 12 に示す。ハケ先の半径を変化させることで雪の積もり具合を制御することができ、平滑化領域を変化させることで局所性を制御することができる。ハケ先の半径、平滑化領域  $n$  はそれぞれ 0 以上の値とする。

なお今回の実験では、平滑化の効果を高めるため、4 節 1~3 行のステップを 5 回繰り返した。結果画像はすべて、太陽光の影響を受ける角度の範囲  $\theta_i$  を  $60^\circ$ 、伝達関数  $g(t)$  における定数  $b$  (TSA が 0 の場合にどの程度山肌の色を残すか決める定数) を 0 としている。

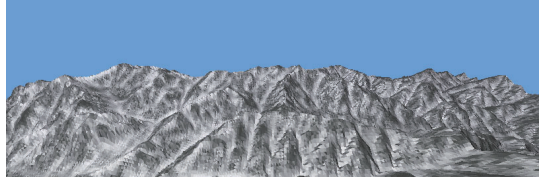
### 5.2 山岳写真との比較

次に、実際の山岳写真と結果画像を比較していく。図 13(a) は長野県の常念岳で撮影された穂高岳の写真である。一方、図 13(b) は、平滑化領域が 3、ハケ先半径が 5.5 という条件で作成された穂高岳の画像である。視点は常念岳山頂の位置を考え、できる限り元の写真のものと合わせるようにした。

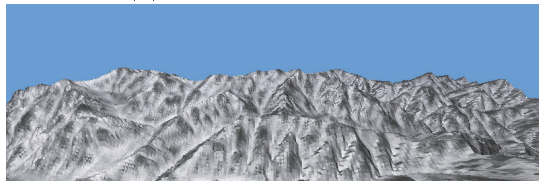
写真を撮った日の天候や風向き、日照時間などは不明であるが、画像中央の窪みに雪が溜まっている様子は効果的に再現されている。標高の低いところは、標高による雪だけの影響を与える関数を工夫することで、より最もらしい積もり方を表現することが可能であると考えられる。



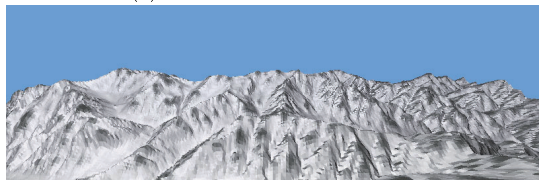
(a) ハケ先半径が 2.0 の場合



(b) ハケ先半径が 2.0 の場合

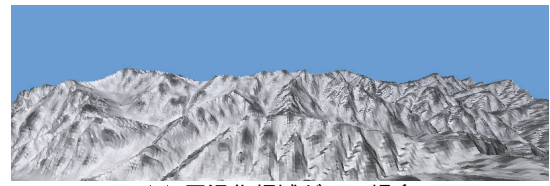


(c) ハケ先半径が 3.5 の場合

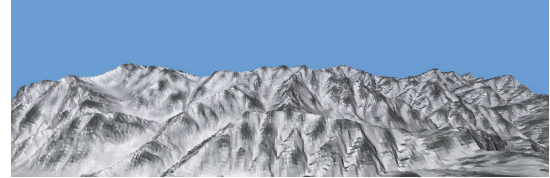


(d) ハケ先半径が 12.5 の場合

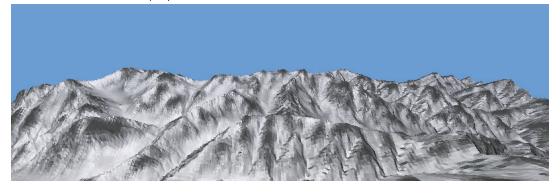
図 11: 平滑化領域を 1 に固定し, ハケ先半径を変化させた場合の結果画像. ハケ先を大きくしていくと雪が掃かれない領域が広がり, 雪が積もっていく.



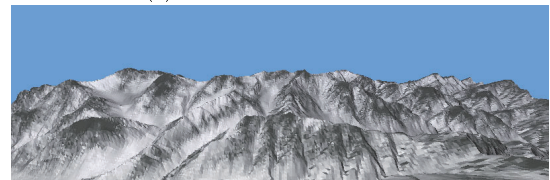
(a) 平滑化領域が 1 の場合



(b) 平滑化領域が 2 の場合



(c) 平滑化領域が 3 の場合



(d) 平滑化領域が 7 の場合

図 12: ハケ先半径を 7.5 に固定し, 平滑化領域を変化させた場合の結果画像. 平滑化領域を大きくしていくと, 雪の積もり方が大局的になっていく.

## 6 まとめと今後の課題

本論文では, 平滑化後の高さ場における Tangent Sphere Accessibility をベースに方角や高度などの条件を考慮した, 積雪の現象学的再現のための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变化させられることを示した. 本手法では, 従来手法では対応が難しかった山岳形状における積雪を高速に描画でき, 表現したいシーンを作成するための試行錯誤の手間を極小化できる.

現時点では山肌の色と雪の色をブレンドした色を塗っているだけなので, 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られる.

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



(a) 穂高岳の写真



(b) 本手法で作成された穂高岳

図 13: 穂高岳の写真と CG 画像. 雪の分布のバランスや, 窪みにおける積雪の様子が効果的に再現された.

## 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] 中谷文香, 藤代一成, 大野義夫:「山岳形状における積雪量を決定するサーフェス記述子の提案」第26回 NICOGRAPH 論文コンテスト, 2010年9月.
- [2] Fearing, P.: "Computer Modelling of Fallen Snow," in *Proc. SIGGRAPH 2000*, July 2000, pp. 37-46.
- [3] 床井浩平, 森木大樹:「積雪形状のリアルタイムモデリング」, 情報処理学会論文誌 Vol. 47 No. 5, 2006年5月, pp. 1558-1565.
- [4] 森谷友昭, 高橋時市郎:「PRT を用いた積雪情景のリアルタイム生成」, *Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2010*, 2010年6月.
- [5] Cipriano, G., Phillips Jr., G., Gleicher, M.: "Multi-Scale Surface Descriptors," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 15 No. 6, November 2009, pp. 1201-1208.
- [6] 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.
- [7] Miller, G.: "Efficient Algorithms for Local and Global Accessibility Shading," in *Proc. SIGGRAPH 94*, August 1994, pp. 319-326.
- [8] 江浦 由佳, 藤代 一成:「Tangent Sphere Accessibility にもとづくエイジング効果のレンダリング」, 情報処理学会研究報告 96-CG-81, 1996年8月, pp. 79-84.

中谷 文香



2010年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。同年慶應義塾大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻入学, 現在在学中。サーフェス記述子の研究に従事。

藤代 一成



1985年筑波大学大学院博士課程工学研究科修士号取得退学。1988年理学博士(東京大学)。東京大学理学部助手, 筑波大学電子・情報工学系講師, お茶の水女子大学理学部助教授/教授, 東北大学流体科学研

究所教授を経て, 2009年より慶應義塾大学理工学部教授, 現在に至る。1994年から1年間, 米国ニューヨーク州立大学ストーニーブルック校客員教授。現在, *Computers & Graphics* 誌エディタ, 画像電子学会代議員, 本会理事。IEEE Computer Society, ACM, Eurographics, 情報処理学会, 他会員。

大野 義夫



1968年慶應義塾大学工学部管理工学科卒業。1973年同大学大学院工学研究科博士課程単位取得退学。1970年同大学情報科学研究所助手。1995年同大学理工学部教授。2011年同大学を退職。現在は東北公益文科大学特任教授。この間, 1978年から80年まで米国ユタ大学訪問研究員。情報処理学会, 芸術科学会, 他会員。