

VR デバイスを用いた雪崩現象を把握するための 没入体験システムの開発

伊藤 智也[†]・戸島 隆文^{††}・高瀬 慎介^{†††}

Development of An Immersive Experience System for Understanding Avalanche Phenomena Using VR Devices

Tomoya ITO[†], Takafumi TOSHIMA^{††} and Shinsuke TAKASE^{†††}

ABSTRACT

In recent years, the importance of disaster prevention education has been reaffirmed, and natural disaster prediction and simulation analysis of disaster phenomena have been used in many cases to prepare for future disasters. Avalanches are one of the natural disasters. Avalanche disasters occur in mountainous areas with a lot of snowfall, and they pose a threat to residents. However, these numerical simulations are not sufficient to capture the reality of avalanche disasters. In this study, we developed an experience system using a VR head-mounted display for intuitive understanding of the avalanche phenomenon, based on numerical analysis of the avalanche phenomenon, with the addition of snow smoke effects to improve its appearance.

Key Words: *Virtual Reality, Avalanche, Disaster Prevention Education, Head Mounted Display, Visualization*

キーワード: バーチャルリアリティ, 雪崩, 防災教育, ヘッドマウントディスプレイ, 可視化

1. はじめに

近年, 防災教育の重要性が再認識され自然災害予測や災害現象のシミュレーション解析が将来の災害に備えるための課題として数多く行われている。自然災害の一つに雪崩によるものがある。雪崩災害は積雪の多い山間部で発生し,

住民にとって雪崩は脅威となっており, 毎年のように犠牲者が出ているとともに, 生活面でも多大な被害を受けている。災害の予測解析は, 地震, 火災, 煙, 水害といった災害ごとにその災害の専門家が個別にシミュレーションや解析実験を行ってきたため, その研究成果は解析データの可視化ソフトウェアの機能の範囲において作成されたものが大部分である。現状ではこれらの素のデータは研究者のための可視化されたものであり, CG技術・情報提示技術が活用されておらず一般向けとはいえない。

そこで, 一般の人に向けた「もし雪崩にあつたら」という災害の啓発のためにヘッドマウントディスプレイを用いた没入体験システムを開発した。雪崩のCGアニメーションは, 雪崩現象を有限要素法をベースとしたシミュレーション

令和3年2月12日受付

[†] 工学部システム情報工学科・准教授

^{††} 工学研究科電気電子・情報工学専攻博士前期課程・1年

^{†††} 工学部土木建築工学科・准教授

結果を基にしたもので、さらに見栄え向上のため雪崩によって発生する雪煙の振る舞いをCGを用いて追加した。本システムでは、シミュレーション結果の再生だけではなく、シミュレーション空間の移動、様々な数値情報を組み合わせることで、雪崩災害のビジュアルシミュレーション環境を提供することを可能となる。

2. 関連研究

菅野ら¹⁾は、洪水や雪崩といった大規模な流れのシミュレーションでは流れ現象を物理的なシミュレーションによって再現・予測することはCG映像に用いるための計算手法ではないと指摘し、山の斜面を移動する雪崩と雪崩から発生する雪煙が舞い上がる現象を個別に発生させることで雪崩のCGアニメーション映像を効率的に再現している。ただ、効率的ではあるが、リアルタイムに動作するものではなく、非リアルタイムの映像制作を目的としたものである。

VRヘッドマウントディスプレイによる没入体験システムに関しては、板宮ら²⁾、浅井ら³⁾、秋田市⁴⁾、アイデアクラウド⁵⁾が研究・製品開発を行なっている。しかし、雪崩災害に関する没入体験システムの事例はほとんどない。

3. 雪崩のシミュレーション

3.1 雪崩の種類

雪崩は、積雪の状態が多様な姿を見せ発生仕方や雪の乾き具合などで以下の用語で分類されている⁶⁾。

・点発生と面発生

発生の際、ある一点から始まるか、ある範囲が面として動き出すか。板状の性格を持った雪層が形成されていれば、面発生となる。

・乾雪と湿雪

雪崩が乾いているのか、濡れているのかの違い。

・表層雪崩と全層雪崩

積雪の雪面に近い上層が雪崩れるものと、積雪

の底から積雪すべてが流れるものがある。

本論文で提案するVR体験の表現対象としている雪崩は泡雪崩と呼ばれる表層雪崩の一種で、大規模な煙型乾雪表層雪崩の様子を再現することを目的としている。

3.2 数値解析による雪崩のシミュレーション

雪崩のような自由表面を有する流れの数値解析手法は、非圧縮性粘性流体の流れの支配方程式であるNavier-Stokes方程式と連続式を用いて離散化し計算することが一般的であり、その記述方法は大きく二つの方法に分類することができる。一つは流体粒子に注目しその運動を追いかけるラグランジュ法である。もう一つはオイラー法で、一定の座標値の位置に注目対象(格子)を固定し、そこに存在する流体の入れかわりを計算するものである。

本研究で使用する雪崩シミュレーションの時系列データは、後者のオイラー法によって雪崩を有限要素法で数値解析した山口ら⁷⁾によるデータを使用した。この解析手法では、雪崩の流動特性の表現のために、時間・空間的に粘性が変化するビンガム流体モデルを用いている。雪崩の自由曲面形状を表現するため、界面補足法の一つであるVOF (Volume of Fluid) 法を用いることで界面をポリゴンデータとして抽出した(図1)。

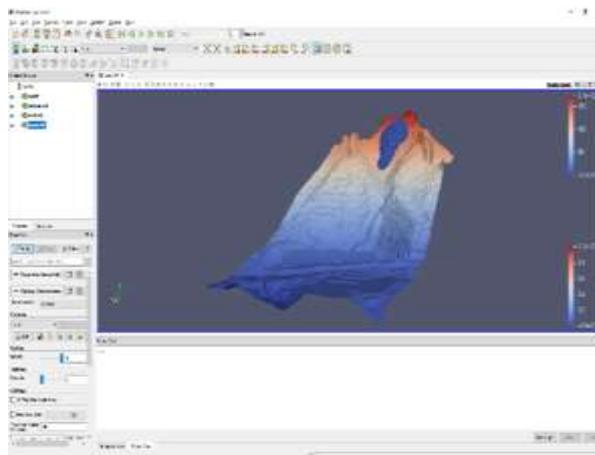


図1 可視化ソフトウェアParaViewによる数値解析データの可視化例

4. システム概要

本 VR 体験システムは、ハードウェアとしてソフトウェアが稼働するための PC、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)、コントローラーを用いる。

4.1 ハードウェア

a) HMD (ヘッドマウントディスプレイ)

VRの没入感で重要な点は高品質なCG映像と視野角の広さである。スマートフォンタイプのHMDは独立(スタンドアローン)したシステムとして手軽にVR体験を提供することが可能であるが、シミュレーションの時系列データをリアルタイムに処理し表示し続けることは現時点では難しい処理性能となっている。そこで本研究では、パソコン接続型VRデバイスFacebook社製「Oculus Rift S」を用いた。Oculus Rift Sには、左右両眼用のレンズと片目あたり1280x1044ドットのOLEDディスプレイが装備されている。また、Oculus Rift Sは、デバイスの向きと位置情報を6自由度(Dof, Degree of Freedom)で認識するためのトラッキングを行うセンサーが装備されており、VR空間内で自由に動くことができる。Oculus Rift Sには「Oculus Touch」という専用のハンドトラッキングコントローラーを使用し、HMD使用中に各種操作を直感的に行うことができる。図2に体験者が装着している様子を示す。



図2 Oculus Rift S 装着の様子

b) PC

システム全体の制御は、デスクトップPC(CPU: Core i5-8400, メモリ:16GB, GPU Nvidia GTX1650)で処理を行う。これは、一般的なPC接続型VRシステムの動作要件の性能である。

4.2 ソフトウェア(VR体験システムの特徴)

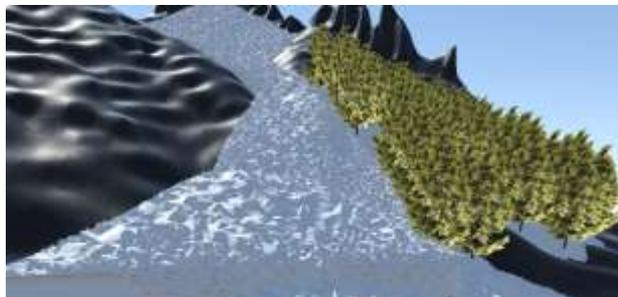
本ソフトウェアによるVR表現は、体験時に3DCGの描画計算をリアルタイムに実行される。単にシミュレーション結果の時系列データを入力するだけでなく、地形、樹木、および雪崩によって巻き上げられる雪煙の表現を効果として加えた。また、雪崩の空間的な大きさや広がり、雪崩が迫ってくる体感速度を理解するために、3DCGの人物モデルを配置した。

雪崩の数値解析データ結果そのままではCG映像に求められる品質に対してポリゴン数が少なく不十分である。そのため、なめらかな曲面形状に近似させるために、三角形ポリゴンデータを細分割しポリゴンを追加した。また曲面をポリゴンの集まりで近似するために、ポリゴンの頂点の法線ベクトルからポリゴン内の表面の法線ベクトルを線形補間で求めるフォンシェーディング[®]を適用した(図3)。

VR空間内の移動方法はコントローラーを用いて体験者自身が空間内を連続的に自由に移動する方法と、あらかじめ地形上にいくつかの観測地点を設置しそれらをコントローラーで選択する方法を採用した(図4)。

雪崩から発生される雪煙効果(エフェクト)は雪塊を発生源としてパーティクル(粒子)を生成し、それらの粒子に擬似的に煙の振る舞いとして発生源から拡散していく動きを与えた。画面描画の際は、各粒子にテクスチャ画像によるアニメーションを割り当てることで、計算処理の負荷を軽減させている。ここで使用される雪煙のアニメーションを構成するテクスチャを図5(a)に示す。テクスチャアニメーションは、一枚の画像に連続した画像を等間隔で順番に並べることで構成され、左

上から右下に向けて画像を切り替え、連続して見せることでアニメーションとしている(図(b))。



(a) 細分割前のデータ



(b) 細分割後、フォンシェーディングを適用
図3 雪崩モデルを細分割した結果

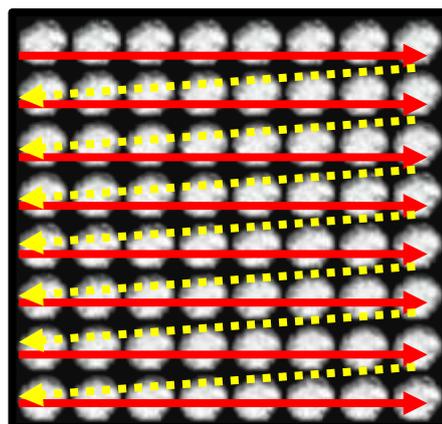


(a) 観測地点を選択



(b) 選択先へ移動

図4 OculusTouchを使用した空間内の移動



(a) 雪煙アニメーションテクスチャ画像.
矢印の順に表示される.



(b)左:アニメーションテクスチャ無し
右:アニメーションテクスチャ有り

図5 雪煙エフェクト

5. 雪崩のビジュアルシミュレーション

図6~10に本VRシステムによる表示結果を示す。観測者の視点の目の高さはシミュレーション空間の大きさに合わせ、1.6mの高さに設定した。また空間の大きさを把握するための目安として配置された人物モデルの身長は約1.5mとした(図6)。3Dシーンに配置された各物体の表示切り替えはボタンインターフェースを表示させることで、HMDを装着した状態で切り替えることが可能である(図7)。これらの3DシーンはHMDを装着した体験者が頭を上下左右の方向に向けた場合においても画面描画がリアルタイムに行われていることを確認した(図8)。図9は、数値シミュレーションによる結果をそのまま反映したもので、雪崩で移動している雪塊

を画面描画した結果である。図 10 は雪煙エフェクトを加えた描画結果である。雪崩の広がりと共にリアルタイムに雪煙が舞い上がる効果が確認できる。また、今回の実験では試験的に臨場感を加えるため雪崩の位置を音源と設定し、雪崩が観測者に近づくことで、観測者に聞こえる雪崩からの音が大きくなるよう工夫した。

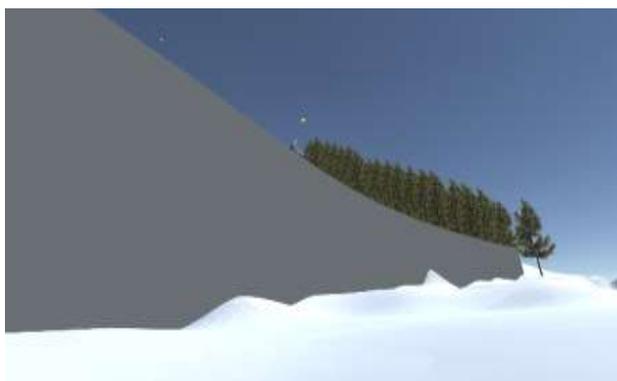


図6 本 VR システムによる
体験者からの視点 © UTJ/UCL



図 7 ボタンインターフェースによる表示対象の切り替え



図 8 本システムによる VR 表現

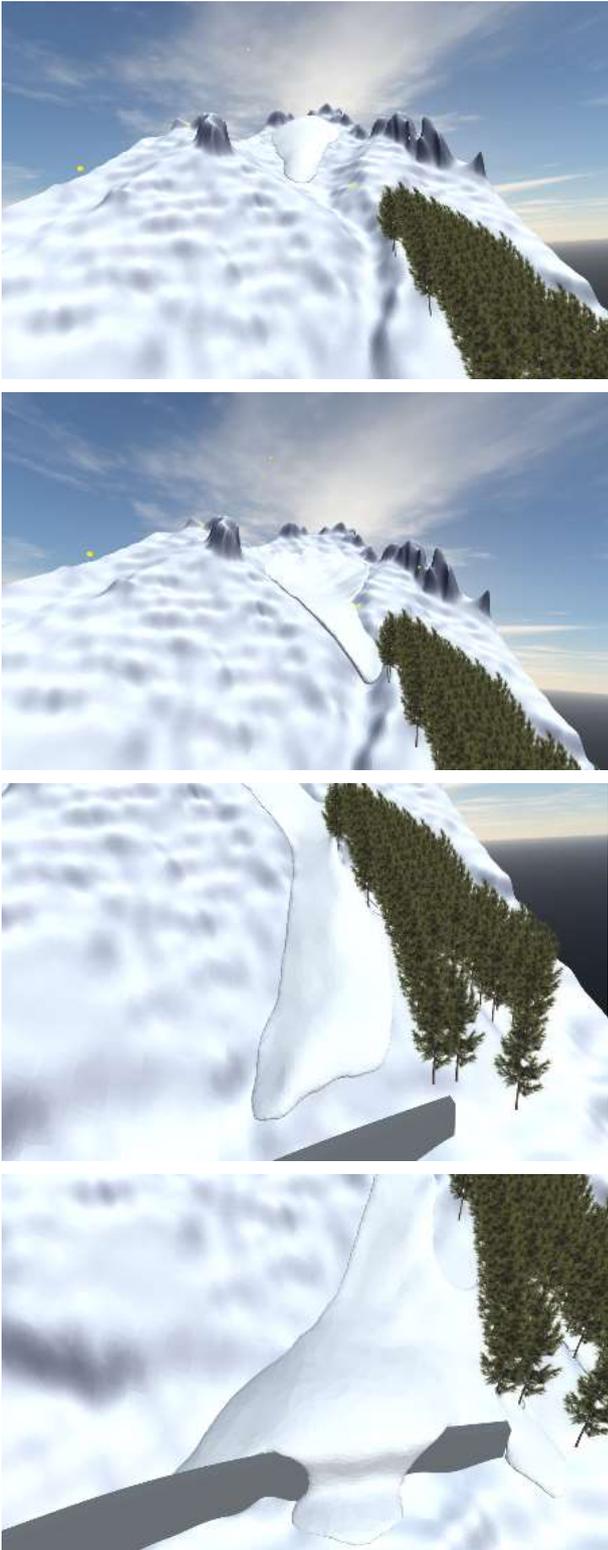


図9 雪崩の移動の様子

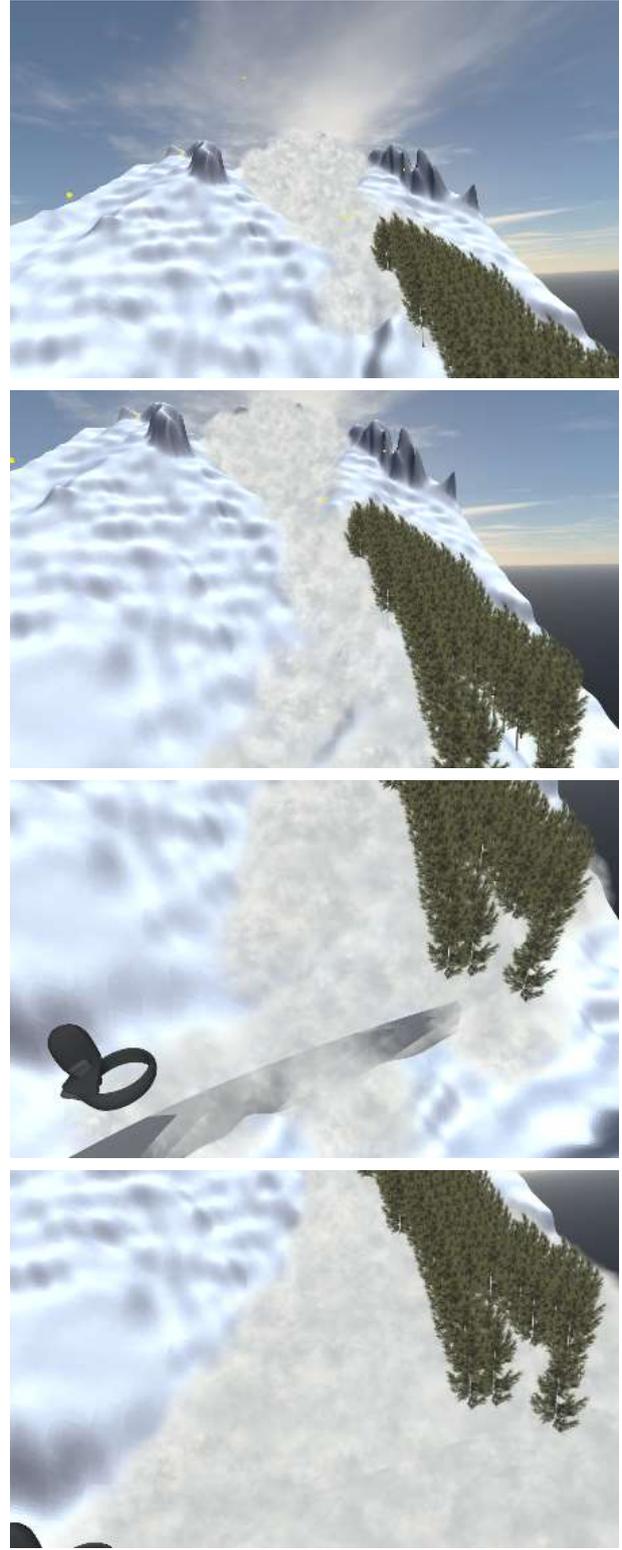


図10 雪煙効果を加えた場合

6. まとめ

本研究では、VR デバイスを用いた雪崩現象を把握するための没入体験システムの開発を行った。本システムは、数値計算で得られた雪崩の挙動を基に、雪崩現象の体験だけではなく、身近におこりうる災害を意識してもらうことで、防災意識と防災知識の向上を目的としている。

今後は、より高精細な CG シーンを構成することで利用者がよりシステムに没入できるような改良を加えたい。また 1 通りの時系列データとなったため今後は数を増やして様々なパターンの雪崩現象に対応させていきたい。さらに VR 環境においては、生理的な違和感を生じる VR 酔いについては今回は考慮されていないため、健康被害についての対策も考慮する必要がある。

参考文献

- 菅野, 菊池: 雪崩による雪煙のビジュアルシミュレーション, 芸術科学会論文誌, Vol14, No.3, pp83-90, 2014.
- 板宮, 村上, 小笠原, 川崎, 下川: スマートフォン用ヘッドマウントディスプレイを用いた高潮想定没入体験システムの開発, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 74(2) L_773 - L_778 2018年9月.
- 浅井光輝: VR ヘッドマウントディスプレイと歩行コントローラーによる津波避難の疑似体験システム, <https://kyushu-u.wixsite.com/structural-analysis/tsunami-fluid-analysis>, <2020年10月21日アクセス>.
- 秋田市, 津波シミュレーションシステム, <https://www.city.akita.lg.jp/bosai-kinkyu/bosai/1002188/1009670/1020829.html>, <2020年10月21日アクセス>.
- 株式会社 アイデアクラウド, 防災訓練 VR, <https://bosai-vr.com/>, <2020年10月21日アクセス>.
- デビッド・マックラング/ピーター・シアラー, 日本雪崩ネットワーク訳: “雪崩ハンドブック”, 東京新聞出版局, 2007.
- 山口, 高瀬, 森口, 寺田, 小田, 上石: 非ニュートン流体モデルを用いた雪崩の3次元非構造有限要素解析, 日本計算工学会論文集, 2017 卷 p. 20170011, 2017.
- Phong, B.T. "Illumination for Computer-Generated Images," Ph.D Dissertation, University of Utah, 1973.

要 旨

近年、防災教育の重要性が再認識され自然災害予測や災害現象のシミュレーション解析が将来の災害に備えるための対策として数多く行われている。自然災害の一つに雪崩がある。雪崩災害は積雪の多い山間部で発生し、住民にとって雪崩は脅威であり毎年のように犠牲者が出ているとともに、生活面でも多大な被害を与えている。雪崩災害の対策の一つにコンピューターによる雪崩のシミュレーション解析によるものがあるが、これらの数値解析されたデータは実際に災害をリアルに捉えるには不十分である。そこで本研究では雪崩現象の数値解析結果を基に、見栄え向上のための雪煙エフェクト処理を加え雪崩現象を直感的に理解してもらうための VR ヘッドマウントディスプレイを用いた体験システムを開発した。

キーワード: バーチャルリアリティ, 雪崩, 防災教育, ヘッドマウントディスプレイ, 可視化