### 地層を持つ3D地形モデルの自動生成による土砂移動現象の可視化

# Visualization of Debris Flow Phenomenon by Automatic Generation of 3D Terrain Models with Strata

村瀬 孝宏\*1, 杉原 健一\*2
Takahiro MURASE\*1, Kenichi SUGIHARA\*2
\*1 中京学院大学 短期大学部
\*1Junior College, Chukyo Gakuin University
\*2 岐阜協立大学 経営学部情報メディア学科
\*2Information Media, Gifu Kyoritsu University
\*1Email: murase@chukyogakuin-u.ac.jp

**あらまし**: 筆者らのこれまでの研究で、外周線等のキー等高線から等高線群を自動作図し、それらに基づいて、3次元地形モデルを自動生成した。また、建物境界線に基づいて、3次元建物モデルを自動生成する研究も行ってきた。本研究では、大量の移動要素を斜面に配置し、「力学シミュレーションを行える要素群から成るレイヤー」を備えた3次元地形モデルを自動生成し、仮想空間で土石流などの土砂移動現象を可視化した。さらに、3次元建物モデルを「力学シミュレーション可能な部品」で構築し、「土石流による3次元建物モデル倒壊のシミュレーション」を行えるシステムを開発した。これらは防災科学の数値実験や防災教育の教材、整備案の合意形成などで活用できる。

キーワード: 自然災害シミュレーション、3次元CG, 地理情報, 自動生成, 防災教育, 地形モデル

### 1. はじめに

世界各地で、これまでに経験したことのないような気温の上昇や集中豪雨、記録的な大雪などの異常気象が頻繁に発生している。一連の異常気象は温室効果ガスの増加による長期的な地球温暖化が大きな要因であると指摘されている。今後も気候変動の影響により、台風や集中豪雨などの自然災害が頻発化・激甚化し、甚大な被害の発生が懸念されている。このた土石流などの自然災害を防止・軽減を割り、担害などの構造物によって土砂移動現象を無害化するような防災対策が急務である。このためにも地質学など、土石流や土砂崩れのメカニズムを研究する「防災科学」やそれを学ぶ「防災教育」が重要である。このとき土石流等のシミュレーションを行える3D地形モデルは防災教育には有効である。

本研究では、「土砂移動現象を再現できる要素群」を備えた3次元地形モデルと「力学シミュレーションの行える部品」で構築された3次元建物モデルを自動生成し、3次元仮想空間内で、「土石流による建物倒壊のシミュレーション」を行えるシステムを提案する.

### 2. 自動生成システムの構成とプロセス

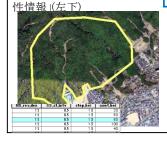
本研究における自動生成のシステム構成と「3次元地形モデル」の自動生成のプロセス,及び「動的3次元建物モデル」を用いた「土石流による建物倒壊シミュレーション」を図1に示す。3次元地形モデルの情報源は図1左に示すような電子地図上に描いた属性情報を関連付けた「キー等高線(外周ポリゴン)」である。キー等高線は、本研究で開発した

## GIS Application (ArcGIS)

\*電子地図やオルソ画像の蓄積・管理

\*地形モデルを生成する外周線 (キー等高線)の描画

\*高さ,等高線点群の密度,地 形モデルへのテクスチャマッピ ング用イメージコードなどの「属



### **GIS Module**

(Python & Visual Basic)

\* ArcPy(ArcGIS)をインクル ードした Pythonによる電 子地図上のキー等高線の頂 点情報の取得

\*ストレートスケルトン手法による等速度線群の生成 \*等速度線点群からのBスプライン曲線の生成

\*点群に対してドローネ三 角形分割

\*分割された三角形群をフィーチャ(法面や造成平面など)の境界線に基づいて分類

### CG Module

(MaxScript)

\*造成平面, 街路, 公園 等の各フィーチャの点 群に対して三角面の割 り当てとフィーチャ毎に 個々のテクスチャマッピ

\*これまでの研究成果で 自動生成した建物の3 Dモデルの地形モデル への配置

\*土石流数値実験のため の境界条件となる整備 案の3Dモデルの設定, 様々な設定の移動要 素の生成



自動生成した3 D地形モデルと移動要素



土石流による建物倒壊シミュレーション

図 1 移動要素を配置した 3 D 地形モデルの自動生成システムの構成と建物倒壊のシミュレーションのプロセス

計算した粒子の動きと位置

#### 重なりの検出

重なりあう粒子を見つけ、その粒子間の「重なりの深さ」を調べる. 重なりの深さから反発力を算出する.

重なり合う粒子の位置 や深さ情報



### ニュートンの第2法則

算出された力とモーメントを入力したニュートン の第2法則から粒子の動きと位置を計算する.



フックの法則

重なりが検出された粒子の動きと位置を入力した支配方程式から力とモーメントを算出する.

図-2 DEM (離散要素法) における各粒子の動きと位置を計算するループ

ArcPy(ArcGIS)をインクルードした Python プログラムより,外周ポリゴンの頂点と属性情報などを取得する.GISモジュールによって,図1に示すような前処理を行い、CGモジュールに渡す.

等高線を描くには、後退と共に自らとの交差判定を行って生成されるストレートスケルトン手法を用いた. Simple ポリゴン(交差していない形状)において、ポリゴンの各辺がポリゴン内部に、各辺自らに平行に一定速度で移動縮小するとき、各頂点の軌跡を辿ることで得られる直線状の骨格が「ストレートスケルトン」である. Simple ポリゴンの縮小プロセスは、辺消失イベントあるいは分割イベントが生じるまで続く.

### 3. 物理シミュレーション手法

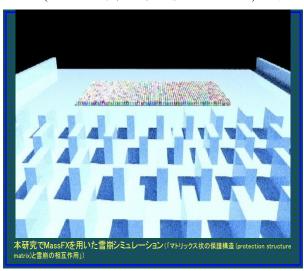
乾いた土石流やなだれは「粒子の流れ (granular flows)」とみなすことができるが、DEM (離散要素法)はこれら粒子の流れをシミュレートするには最適のツールとされる. DEMの「要素」の素材は「硬さ」と「摩擦」で特徴づけられる. DEMにおける各粒子の動きと位置を計算するループを図-2に示す. 本システムの土石流の物理シミュレーションは、DEMに基づき、代表的な3次元CGソフトである 3ds Max の「MassFX による物理シミュレーション」を用いて、自動モデリングしたオブジェクトを構成する要素(壁や屋根板、球状の移動要素など)に対して、

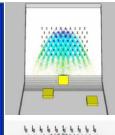
要素が持つパラメータ(「動的摩擦」,「静止摩擦」,「跳ね返り性」など)に様々なシナリオで考えられる色々な値を与え,物理シミュレーションを行う.

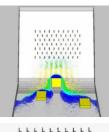
図3において、DEMを用いた雪崩のチャネルフローのシミュレーション結果(2011)と本研究でのMassFXを用いたチャネルフローのシミュレーション結果を比較した.図3左は本研究でMassFXを用いた雪崩シミュレーションの様子であり、右図はDEMとMassFXによる時系列の「マトリックス状の保護構造(protection structure matrix)と雪崩の相互作用」を示す.同じような粒子群のトラジェクトリーがみられ、MassFXの土石流シミュレーションには妥当性があると考えられる.

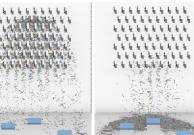
### 4. まとめ

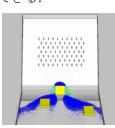
これまでの研究で、地形を囲む外周線であるキー等高線から、それに囲まれる「盛り上り」である3次元地形モデルを自動生成するシステムを開発した.本研究では、この土石流等の土砂移動現象をシミュレートできる要素を地形モデルの表面である「ドローネ3角形」上に配置し、また、力学的にシミュレートできる要素から成り立つ3次元建物モデルを自動生成し、それらの間の相互作用をシミュレーションした.これらは防災科学における数値実験や防災教育の教材、整備案の合意形成などで、現実に近いイメージ、アニメーションを提供できる.











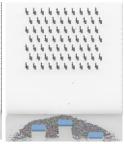


図3.DEMを用いた論文の雪崩の数値実験結果(上)と、MassFXを用いた土石流の数値実験結果(下)の比較