

# 地形スキヤニングとプロジェクションを用いた 災害危険度を実感できる携帯砂場模型の開発

名古屋大学 工学部 環境土木・建築学科  
建築学プログラム 福和研究室 桂川 陽佳

## 1.序論

南海トラフ地震や首都直下地震などの発生が危惧されている。これらの大地震はその被災面積や被災人口の膨大さから、過去の災害以上に公的機関による災害対応資源が不足することが予想される。このような状況に対処するためには公的機関のみならず社会全体に向けて防災的知識を涵養し、現在弱まりつつある自助・共助能力の再生を図ることが肝要である。災害対策の必要性の気づきを企図し「携帯砂場模型」の開発を開始した。これは砂場遊びのように地形を作りその標高分布を元に災害関連の各種地形量を計算し、それらを砂に投影するというものである。容易に携帯でき、起動や操作、説明に特に専門的な知識や技術を要求しない形態を目指している。この教材により子供や一般の方に広く地形と災害との関連に関わる防災的知識を涵養することが期待できる。図1,2はそれぞれ標高分布を元に計算された等高線をそれぞれ画面上、砂地形上に投影したものである。



図1 画面上での描画 図2 砂地形への投影

## 2.開発の経緯

Universal Terminal System 社製の”Interactive SandBox”<sup>1)</sup>の手で均して作った砂地形に等高線を投影するという機能を参考に、携帯砂場模型というプロジェクションマッピングを活用した新しい防災教材の開発が計画されている。これにあたり昨年度木全<sup>2)</sup>によりセンサーによって読み取られた砂地形の標高分布から傾斜角・起伏量、谷筋などの各種地形量を簡易に計算する手法が開発された。その研究の妥当性は防災科研のJ-SHIS(地震ハザードステーション)<sup>3)</sup>における地形量の計算手法や国土交通省発表のDEM(数値標高モデル)<sup>4)</sup>を用いた検討により示されている。

## 3.携帯砂場模型の構成と機能

### 3.1) 携帯砂場模型の構成要素

現状の携帯砂場模型は砂箱・砂・深度センサー(Microsoft Azure Kinect)・プロジェクタ(AKASO Focus mini video projector)・プログラム・ノートパソコンにより構成されている。砂箱は段ボールをブルーシートで覆ったものを用いている。また砂は珪砂7号という<sup>5)</sup>粒がある程度細かい上に白くプロジェクションに干渉をしないものを使用し

ている。センサーは micro soft の Azure Kinect, プロジェクタは AKASO の Focus mini video を用いている。以下にセンサーとプログラムの動作の詳細について述べる。

### 3.1.1) センサー(Azure Kinect)

深度センサーを用いて砂地形表面との距離を一定の間隔で縦横それぞれ1025地点ずつ読み取り、合計1,050,625地点分のデータをプログラムへ送信する。

### 3.1.2) プログラム

あらかじめ設定しておいたセンサーの解析距離の最大値と各地点のデータとの差を計算することで、センサーの解析距離の最大値を標高0とした各地点の標高分布を求める。以降は標高分布を各計測地点を中心とした一定面積の“セル”に様に付与されているものとする。その後には後述の手法を用いて各種地形量を求めた上で設定された閾値に基づいてカラーコードを各地点に割り当て、投影を行う。ここまでの動作を指定した更新頻度で行う。

また深度センサーはある視野範囲を等分割する形で距離を測定するため、その取付位置によって1ピクセルの砂箱上での大きさは変動する。これを校正するため、100×100ピクセルの大きさのテクスチャを表示する機能を設けた。また、砂箱の地形を実際の地形の縮小モデルとみなし、その縮尺を設定する機能を搭載した。さらに、水平方向と高さ方向で異なる縮尺を設定することも可能とした。これにより、地形の起伏を強調して分かりやすく表現することが可能となっている。

### 3.2) 現状の携帯砂場模型の機能

これまでに基本となる「等高線」機能の他に木全<sup>2)</sup>の計算法に基づいて「傾斜角」・「起伏量」・「山地平地分類」機能などを実装した。主要なものを以下に説明する。

#### 3.2.1) 傾斜角

傾斜角は ArcGIS での「平面上での傾斜角」<sup>6)</sup>を参考に当該セルの近傍8セルの標高値を用いて傾斜角を求めたものである。図3にはeのセルの傾斜角の求め方を示す。式(1)~(3)のようにはじめにx,y方向それぞれの勾配を求め、それらの二乗和平方根を正接とする傾斜角を求める。

$$\frac{dz}{dx} = \frac{\frac{c+2 \times f+i}{4} - \frac{a+2 \times d+g}{4}}{m \times 2} \quad (1)$$
$$\frac{dz}{dy} = \frac{\frac{a+2 \times b+c}{4} - \frac{g+2 \times h+i}{4}}{n \times 2} \quad (2)$$
$$\alpha = \tan^{-1} \sqrt{\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dy}\right)^2} \quad (3)$$

図3 傾斜角の計算方法

### 3.2.2) 起伏量

起伏量は指定範囲内の最高点と最低点の標高差として定義した。木全氏は各セルについて、自身を含む近傍9セルを用いてその起伏量を求める手法を開発した。以下に  $e$  のセルの起伏量  $U_e$  の求め方を示す。1. 近傍9セル( $a, b, c, d, e, f, g, h, i$ )の標高の最高値と最低値を求めそれぞれを  $max, min$  とおく。2. 式(4)のように  $max, min$  の差を求めそれを  $U_e$  とする。

$$\text{起伏量} : U_e = \max - \min \quad (4)$$

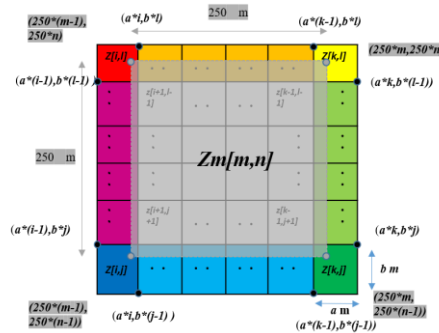


図6 標高分布の再定義の計算方法

## 4.今後の展望

### 4.1) 運搬性能の向上

現在、携帯砂場模型の運搬性能の向上を企図したケースの開発と改良を試みている。現在では図4に示すような形態になっている。このケースによりプロジェクタ・センサーを搭載しての運搬、またケースの展開後に手軽に投影を開始することが可能となっている。投影時には図5のような形態になる。



図4 ケースの概観



図5 投影時の全景

### 4.2) 今後導入予定の機能

今後、標高分布の再定義、谷筋抽出、表層地盤増幅率を投影する機能の追加を行う予定である。

#### 4.2.1) 標高分布の再定義

現状では、先ず  $1025 \times 1025$  のセルに対して与えられた標高分布を受け取り、地形量を計算することになっている。この方法では常に最高解像度の標高分布に対して計算を行うため、傾斜角など計算過程に空間微分を含むものは激しく変動する分布が得られることがある。これを改善するため、数値標高モデルや各種ハザードマップと同様に、標高分布をある大きさのメッシュに再分割する機能を付加する。これにより、空間座標についてハイカットフィルターを施すと同様の効果が得られることとなる。

例として元々のサイズが縦  $a$  m 横  $b$  m のセルによる標高分布  $Z$  を  $250$  m 四方のメッシュによる標高分布  $Z_m$  に変換する場合を図6と式(5)に示す。

$$Z_m[m, n] = \frac{\begin{aligned} & \text{sum}(z[i+1, j+1]:z[k-1, l-1]) * a * b \\ & + \text{sum}(z[i+1, j]:z[k-1, j]) * a * \{b * j - 250 * (n-1)\} \\ & + \text{sum}(z[i+1, l]:z[k-1, l]) * a * \{250 * n - b * (l-1)\} \\ & + \text{sum}(z[i, j+1]:z[i, l-1]) * \{a * i - 250 * (m-1)\} * b \\ & + \text{sum}(z[k, j+1]:z[k, l-1]) * \{250 * m - a * (k-1)\} * b \\ & + z[i, l] * \{a * i - 250 * (m-1)\} * \{250 * n - b * (l-1)\} \\ & + z[k, l] * \{250 * m - a * (k-1)\} * \{250 * n - b * (l-1)\} \\ & + z[i, j] * \{a * i - 250 * (m-1)\} * \{b * j - 250 * (n-1)\} \\ & + z[k, j] * \{250 * m - a * (k-1)\} * \{b * j - 250 * (n-1)\} \end{aligned}}{250 * 250} \quad (5)$$

### 4.2.2) 谷筋抽出

砂地形において、雨水などが通る「谷筋」を予測する機能である。最初に各メッシュに1つづつの量の流体を持たせ、周囲で一番傾斜が強い方向に流れるものとする。最終的にある一定の閾値以上の流体が通ったメッシュを「谷筋」と見立てることになる。

### 4.3) 今後の課題

携帯砂場模型の普及に際しては、描画内容の読み取りやすさ、扱いやすさ、調整しやすさ、備品の準備のしやすさなどが要求される。また、プログラムの面では地形量の計算部分を動的ライブラリとして分離することを検討する。これにより、使用者が独自に定義した地形量を投影することも可能となり、より広い応用が可能になると期待される。

### 参考文献

- 1) iSandBox:iSandBOX :Micro, <https://isandbox.tokyo/>
- 2) 木全 稔也:砂山遊び地形のリアルタイム地形スキャンニングに基づく災害危険度評価, 2021
- 3) 防災科研:J-SHIS(地震ハザードステーション), <https://www.j-shis.bosai.go.jp>
- 4) 国土交通省国土地理院:DEM(数値標高モデル), <https://www.gsi.go.jp/KIDS/KIDS16.html>
- 5) 北日本産業株式会社:東北珪砂データ, 2021, <https://www.ktsangyo.co.jp/data1.html>
- 6) ArcGIS:「平面上での傾斜角」, <https://pro.arcgis.com/ja/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-slope-works.html>