

砂山遊び模型のリアルタイム地形スキヤニングに基づく災害危険度評価

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 木全 椋也

1. 序論

名古屋大学減災連携研究センターでは、近年の豪雨災害等の多発を背景に、児童向けのサンドボックス¹⁾(砂で作った地形をリアルタイムで検知し、プロジェクションマッピングにより標高を色分けして表示する製品)を応用して防災教育のための教材開発を行うこととした。砂遊びで作られる地形の標高情報を、即座に災害危険度へ変換し投影することで、地形と災害の関係を楽しみながら学べる教材とする。本研究では、標高のみによる地形量の把握と災害危険度の推定方法について検討を行った。

2. 標高から算出される地形量

2.1) 傾斜量・起伏量

図1のような9セルを用いた計算方法により、中心セルeに傾斜量と起伏量を与えた。式(1)はy方向も同様である。

$$\frac{dz}{dx} = \frac{Z_c + 2 \times Z_f + Z_i - Z_a - 2 \times Z_d + Z_g}{m \times 2} \quad (1)$$

$$\text{傾斜量: } \tan \alpha = \sqrt{\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dy}\right)^2} \quad (2)$$

$$\text{起伏量: } U_e = Z_a \sim Z_i \text{の最高} - Z_a \sim Z_i \text{の最低} \quad (3)$$

$Z_a, Z_b, Z_c, Z_d, Z_e, Z_f, Z_g, Z_h, Z_i$: 標高 / m m : メッシュ間隔 / m

図1 傾斜量と起伏量の算出方法

2.2) 山地分類・山地距離

地形の成り立ちを考えるため、山地を分類し山地からの距離という地形量を算出した。全国から5地点505,620個のデータを対象に、J-SHISから公表されている松岡・他(2020)²⁾による24の微地形分類を表1に示すように大きく3つの中地形にグループ化し地形量の特徴を得た。表2に結果を示す。傾斜量は正接を1000倍した値を用いた。結果を踏まえ、相対的な値であり、土地の凹凸を簡便に表現することのできる起伏量を山地の分類に用いることにし、起伏量150m以上を山地と分類した。甲府盆地周辺を対象にJ-SHISによる地形分類と起伏量150mを基準とした山地分類の比較をしたものを図3に示す。

表1 微地形グループ

山地系			台地系			低地系																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
山地	山麓地	丘陵	火山地	火山性丘陵	岩石台地	砂礫質台地	ローム台地	谷底低地	扇状地	自然堤防	後背湿地	旧河道	三角州等	砂州砂礫州	砂丘	砂丘間低地	干拓地	埋立地	岩礁	河原	河通	湖沼	

表2 各地形の平均地形量

	標高 / m	傾斜量	起伏量 / m
山地系	687	197	142
台地系	180	37	31
低地系	55	5	4

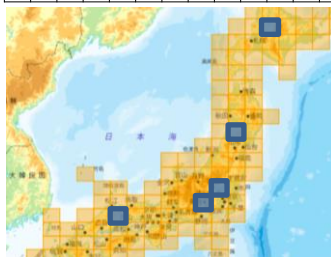


図2 対象地域

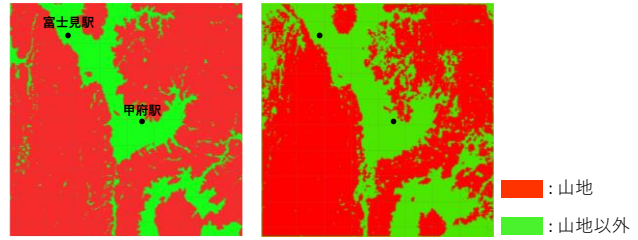


図3 J-SHIS地形分類(左)と起伏量地形分類(右)の比較

2.3) 谷筋抽出

傾斜方向から流体の動きを得るためにJenson and Domingue(1988)³⁾による考え方を参考に谷筋の抽出を行った。図4のように各セルに最大傾斜方向の方向コードを与えて、図5のように方向コードをもとに各セルへの流入量を累積し、一定値以上となったセルを谷筋とした。複数流向の候補がある場合には周囲の傾斜状況より流向を決定し、標高が周りよりも低いくぼ地となる場合には流出点が見つかるまで標高を上げ、谷筋の連続性を確保した。谷筋を抽出可能なメッシュサイズに関して、250m・50m・10mの3つを用いて検討を行ったところ、50mメッシュでも十分に谷筋抽出ができ、砂山模型で作られる地形の粗度も考慮に入れて谷筋抽出は50mメッシュで行うこととした。

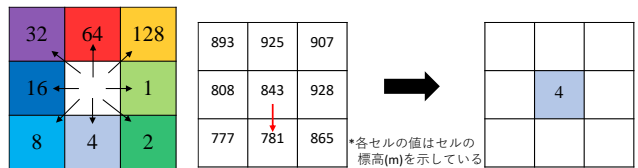


図4 方向コード(左) 方向コード決定の例(右)

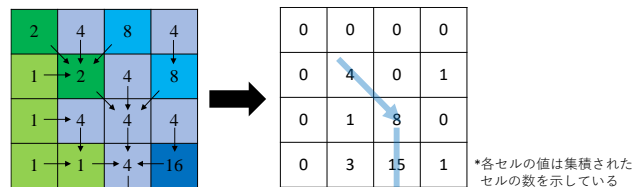


図5 メッシュ累積の例

3. 災害危険度と結び付けた地形

3.1) 土砂災害危険度

本研究では標高・急傾斜量・谷筋という3地形量から土砂災害危険度の投影を行うことを試みた。ここで述べる急傾斜量は2.1)で述べた平均的な傾斜量ではなく、縦横斜めいずれかの最大傾斜方向の傾斜量である。国土交通省が公表している土砂災害警戒区域の基準⁴⁾も参考に、傾斜量30度以上のセルと25度以上のセルを着色することとした。3要素を同時に投影することによって、どこで土砂崩壊が発生し、その土砂がどの道筋を辿るのか、谷口からどういった広がりをするのかを使用者が主体的に考えることができる。谷筋が土砂の流れを表現するものとして適切であるかハザードマップと比較して示したものが図6である。

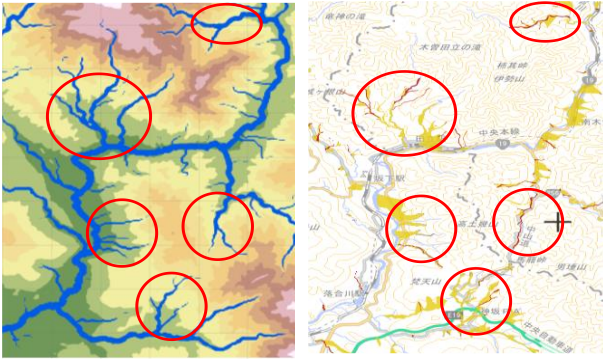


図6 谷筋抽出(左)とハザードマップ(右)の比較

3.2) 表層地盤増幅率

地盤の揺れやすさを示す指標として、表層地盤増幅率 (ARV) の投影を試みた。J-SHIS では、松岡・他(2005)⁵⁾が 2.2) でも示した微地形分類ごとの AVS30(地表から深さ 30 m までの平均 S 波速度)の計測データと地形量の関係から導いた式(4)により、AVS30 を推定し、その値から ARV を求め、全国 250 m メッシュごとの ARV を公表している。

$$\log AVS30 = a + b \log E_v + c \log S_p + d \log D_m \pm \sigma \quad (4)$$

E_v : 標高(m), S_p : 傾斜(正接の千倍), D_m : 山地・丘陵からの距離 (km)

標高のみでの微地形区分が困難である本研究では、微地形区分を行わず、標高と 2 節で算出した傾斜量・山地距離を用いて一律の ARV 推定式を導くことを試みた。対象データは 2.2) と同様の 505,620 点とし、山地以外と分類された 359,731 点において J-SHIS 公表の ARV と多変量回帰分析を行った。結果を表 3・表 4 に、ARV 推定式を式(5)に示す。

表 3 式全体について

表 4 各変量について

観測数	359,371	標準誤差	影響度 (t値)
重相関係数	0.7967	切片	0.0066 268
重決定	0.6347	標高 E_v	0.0014 127
標準誤差	0.2416	傾斜量 S_p	0.0010 348
		山地距離 D_m	0.0012 44

$$ARV = 1.7715 - 0.1742 \log E_v - 0.3580 \log S_p + 0.0543 \log D_m \quad (5)$$

E_v : 標高(m), S_p : 傾斜(正接の千倍), D_m : 山地・丘陵からの距離 (m)

松岡・他(2005)の分析結果と同様に標高が低く傾斜量が小さく、山地からの距離が遠いほど ARV の値が大きくなるという傾向を読み取ることができる。これは上流部 (標高が高く、傾斜が大きい地域) では堆積物の粒径が大きい、山地や丘陵に近いほど岩盤までの深さが浅いことが要因と考えられる。関東平野周辺を対象に J-SHIS 公表の ARV と式(5)により推定した ARV の比較をしたものを図 7 に示す。

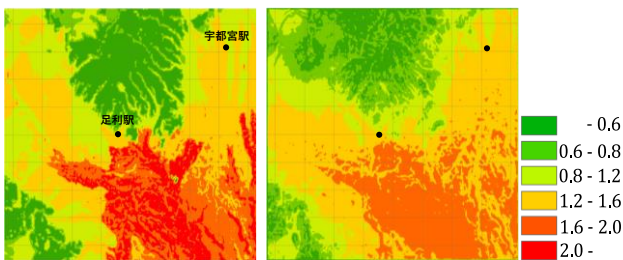


図7 J-SHIS 増幅率(左)と式(5)による増幅率(右)の比較

4. PC 上での自由地形への投影

砂山模型に導入前の予備検討として、ゲームエンジン Unity の Terrain 機能を用いて地形を自由に作成し、これまで述べた危険度の投影が可能であるか検証した。図 8 に、50 m 間隔・200×200 メッシュで作成した地形に土砂災害危険度の描画を行ったものを示す。図 9 に、250 m 間隔・300×300 メッシュで作成した地形に ARV の描画を行ったものを示す。図 10 に ARV 推定に用いた地形量を示す。

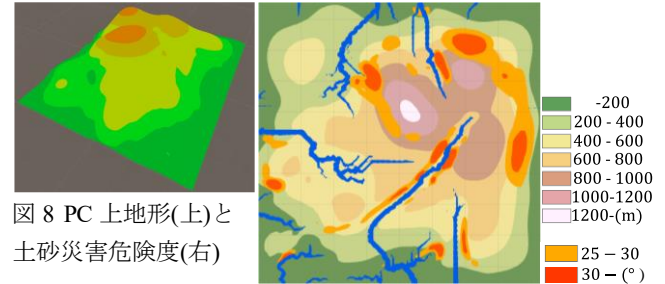


図8 PC 上地形(上)と土砂災害危険度(右)

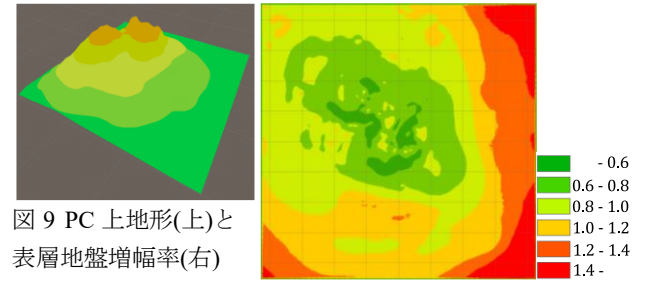


図9 PC 上地形(上)と表層地盤増幅率(右)

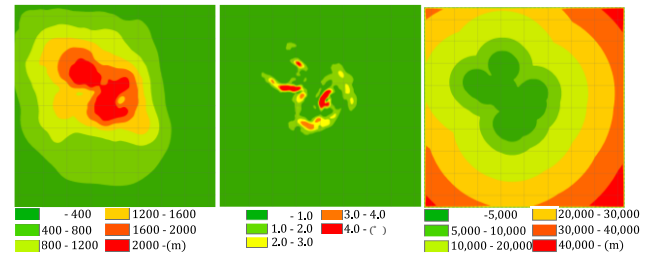


図10 標高(左)と傾斜量(中)と山地距離(右)

5. 結論

本研究より、標高から算出される地形量を用いて、災害危険度の傾向を読み取ることが出来ると分かった。人工的に作成した地形に関しても概ね本論で検討した災害危険度の投影は可能といえる。砂山による地形は安息角の影響も受けるため、傾斜量・起伏量の計算に工夫を要するが、児童向けの砂山模型を用いた教材開発の妥当性は証明された。今後、液状化や水害と地形の関係性を投影するなど、教材としての機能を発展させていくことも可能である。

参考文献

- 1) 株式会社デジタルガーデン HP <https://isandbox.tokyo/#Products>
- 2) 若松加寿江, 松岡昌志: 地形・地盤分類 250m メッシュマップの更新, 日本地震工学会誌, 2020
- 3) S.K.Jenson, J.O.Domingue: Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis, PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING AND REMOTE SENSING, 1988
- 4) 国土交通省 HP 土砂災害警戒区域について <https://www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/gaiyou.pdf>
- 5) 松岡昌志, 若松加寿江, 藤本一雄, 翠川三郎: 日本全国地形・地盤分類メッシュマップを利用した地盤の平均 S 波速度分布の推定, 土木学会論文集, 2005