

数値標高モデルを用いた地形解析による土砂・洪水氾濫の発生可能性のある箇所の抽出方法の提案

Proposal of a Method for Identifying Potential Areas of Sediment and Flood Inundation by Topographic Analysis Using a DEM

鈴木 素之¹⁾, 楮原 京子²⁾, 松木 宏彰³⁾, 川島 尚宗⁴⁾

1) Motoyuki SUZUKI, 教授, 山口大学大学院創成科学研究科, msuzuki@yamaguchi-u.ac.jp

2) Kyoko KAGOHARA, 准教授, 山口大学教育学部, k-kago@yamaguchi-u.ac.jp

3) Hiroaki MATSUGI, 復建調査設計高知支店, matsugi@fukken.co.jp

4) Takamune KAWASHIMA, 准教授, 広島大学総合博物館, takamune@hiroshima-u.ac.jp

本研究では、花崗岩および変成岩が分布する山口県防府市佐波川右岸から周南市戸田地区までの西エリアと、花崗岩が主に分布する周南市小松原地区の島田川流域を含む東エリアに対して 10m DEM を用いた地形解析を実施し、県内における過去の豪雨によって崩壊・土石流が多発した箇所の各地形指標の分布に基づき、土砂流出と河道閉塞の可能性のある箇所の地形特性を検討した。その結果、土砂・洪水氾濫の発生可能性が高い箇所の地質と地形指標（谷密度、高度分散量、起伏量等）の条件を抽出し、それに基づく土砂・洪水氾濫の発生可能性に関する評価判定フローを検討した。

キーワード：土砂・洪水氾濫，地形解析，数値標高モデル

(IGC : B-09, E-06)

1. はじめに

近年の豪雨災害では土砂・洪水氾濫の被害が特に大きい。山口県周南市の島田川上流部には花崗岩等の脆弱な風化層をもつ山地があることから、その地域一帯が平成 30 年 7 月豪雨の規模以上の大雨に見舞われれば、上流部およびその周辺部で土砂・洪水氾濫が発生する可能性がある。したがって、平成 30 年 7 月豪雨の規模以上の降雨に対して、花崗岩だけでなく県内に分布する様々な地質に対して土砂・洪水氾濫リスクを把握する必要がある。そこで、著者らは県内の土砂・洪水氾濫リスクのある箇所を洗い出すプロセスを確立することを目的とした研究を進めており^{1),2)}、谷密度等の地形指標に着目した土砂・洪水氾濫の発生リスクの高い箇所を抽出するフローを検討した。本文では、山口県防府市佐波川右岸から周南市戸田までの地域と周南市島田川流域を含む地域に対して数値標高モデル (DEM) を用いた地形解析を行い、得られた地形指標と崩壊発生箇所の関係から土砂・洪水氾濫の発生可能性が高い箇所の条件を抽出し、土砂・洪水氾濫の発生可能性の評価判定フローを検討した。

北部豪雨で土砂・洪水氾濫が発生した防府市佐波川右岸および防府市富海、周南市戸田の 2 地区を含む西側のエリア（以下、W エリアと称す）と、平成 30 年 7 月豪雨で土砂災害と浸水害が発生した周南市小松原地区の島田川を含む東側のエリア（以下、E エリアと称す）を対象に実施した。地形解析に用いた地形データは、W エリアに関しては、1/25,000 地形図の「矢田」「島地」「防府」「福川」、E エリアに関しては、1/25,000 地形図の「菅野湖」「玖珂」「呼坂」「上久原」内の 10m DEM である。

2.2 解析方法

2.2.1 谷線の抽出

本研究では、谷地形を「地形図上で認識できる全ての等高線の屈曲、曲線部を上流に延長したもの」と定義したうえで、曲面上の任意の点を通る全ての測地線の曲率の最大値と最小値の平均である平均曲率から谷線を抽出した。平均曲率 H は次の式 (1), (2a), (2b) から算出される。ここに、 h は標高値である。

$$H = \frac{h_{xx}(1+h_y^2) + h_{yy}(1+h_x^2) - 2h_x \cdot h_y \cdot h_{xy}}{2(1+h_x^2 + h_y^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

$$h_x = \frac{\partial h}{\partial x} \quad h_y = \frac{\partial h}{\partial y} \quad (2a)$$

$$h_{xx} = \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad h_{yy} = \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \quad h_{xy} = \frac{\partial^2 h}{\partial x \partial y} \quad (2b)$$

2. 山口県南部の数値標高モデル (DEM) に基づく地形解析による地形指標データの取得と分析

2.1 DEM 解析

DEM を用いた地形解析は、平成 21 年 7 月中国・九州

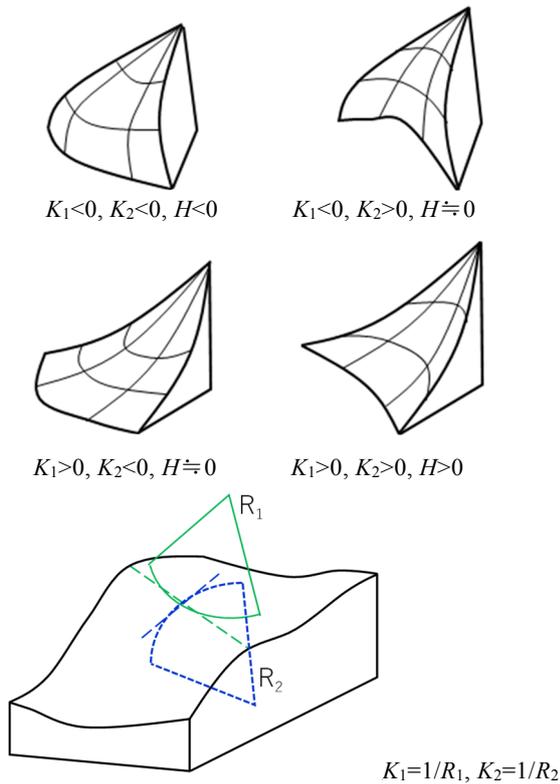


図-1 平均曲率による地形表現の概念図

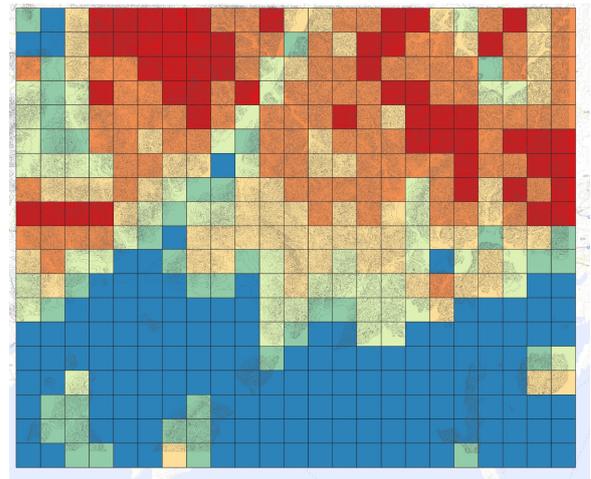
ここで、 H は、図-1に示すように、斜面の最大傾斜方向の曲率（縦断曲率） K_1 とそれと直交する方向の曲率（横断曲率） K_2 により、斜面形状を地形量として表現するものであり、縦断形状が上に凸の地形であれば、 K_1 は負の値となり、横断形状が凸地形であれば K_2 は正の値となる。これら2つの形状が両方とも凸であるならば、尾根地形を呈し、 H の値は負となる。また、両方とも凹であるならば、谷地形を呈し、 H の値は正となる。

2.2.2 谷密度の算出

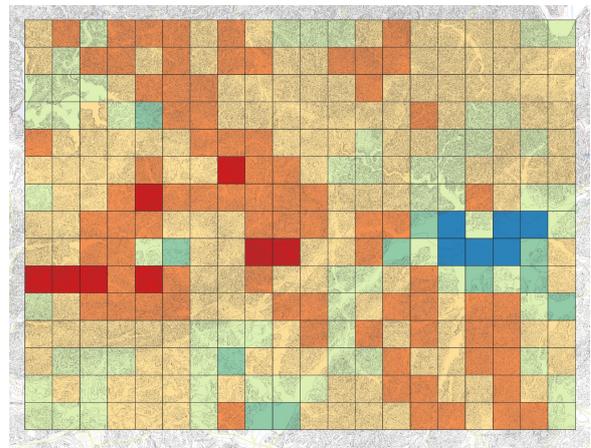
谷密度は単位面積あたりの谷地形の発達程度を表したものであり、谷線の総延長を流域の面積で除すことで得られる。本研究では、単位メッシュ内（ km^2 ）にある谷線の総延長（ km ）を谷密度 D (km^{-1}) とした。10m DEMを使用したことから、谷線を構成する最小ピクセルは $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ で、ピクセルが連続した矩形で谷線を表現した。

谷線の延長計算では、1ピクセルを 10 m とみなし、ピクセルの総数 $\times 10\text{ m}$ として算出した。流域面積はセル1つの面積が 100 m^2 であるから、対象領域のセルの総数 $\times 100\text{ m}^2$ として、次の式(3)から谷密度を求めた。

$$\begin{aligned} \text{谷密度 } (\text{km}^{-1}) &= \frac{\text{谷線の総延長 } (\text{km})}{\text{領域の面積 } (\text{km}^2)} \\ &= \frac{\text{谷線のピクセル数} \times 10\text{m}}{\text{領域のピクセル数} \times 100\text{m}^2} \\ &= 100 \times \frac{\text{谷線のピクセル数}}{\text{領域のピクセル数}} \end{aligned} \quad (3)$$



(a) W エリア



(b) E エリア

図-2 両エリアの谷密度分布 (1 km メッシュサイズ)

ただし、この方法では、谷幅が広いところではセルの数が多くなり谷幅が重複すると、谷線の延長を過大に算出する問題もあるため、木下ら³⁾の手法と同様に、フリーソフトの細線化プログラム ver.1.21 を用いて、幅のある線形を1つのセル幅で細線化させた。

2.3 解析結果 (1 kmメッシュサイズ)

図-2 (a), (b)にそれぞれ W および E エリアの 1 km^2 あたりの谷密度を算出した結果を示す。なお、抽出においては、コンターの平均曲率 H が 0.1 を超える部分を谷地形とし、細線化処理を行っている。

2.4 谷密度分布と地質の関係

2.4.1 両エリアの地質状況

W エリアの中央を流下する佐波川を境に、西側の山地は白亜紀花崗岩が、東側の山地は三疊紀～ジュラ紀泥質片岩が広く分布する (図-3 (a))。また、泥質片岩には花

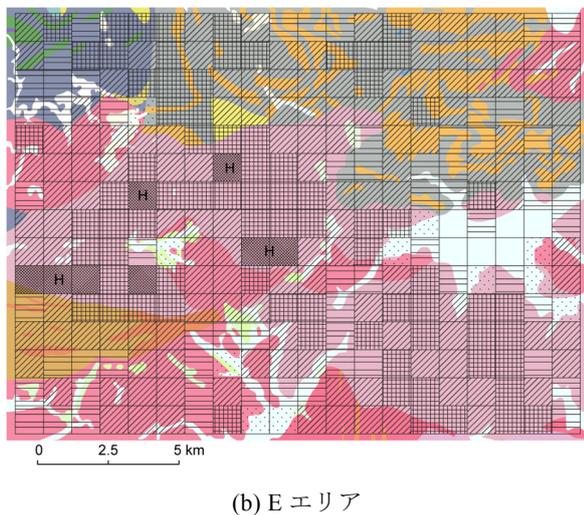
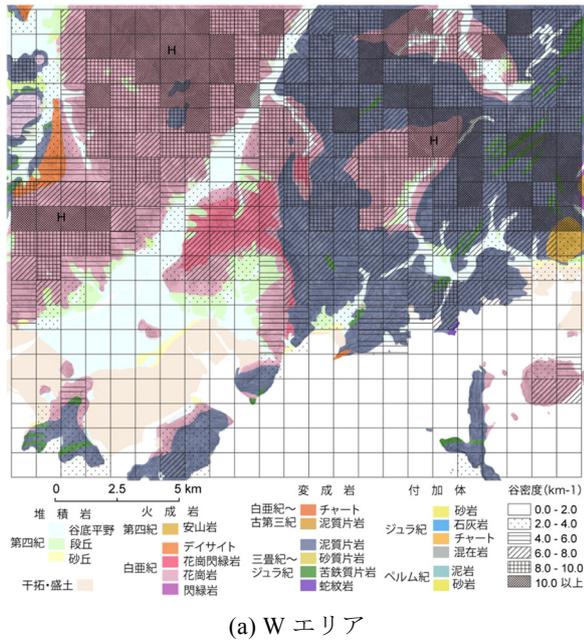


図-3 両エリアの地質図と谷密度区分図

(地質図は、産業技術総合研究所日本シームレス地質図, <https://gbank.gsj.jp/seamless/v2/viewer/>を用いた。凡例は図-3 (a)に示す。図中の H は高谷密度の領域を示す。)

崗岩・花崗閃緑岩が貫入している。これら山地の裾部には第四紀の段丘堆積物が分布する。また、E エリアの中央から南半は白亜紀花崗岩および花崗閃緑岩が広く分布し、一部、白亜紀～古第三紀泥質片岩、珪質チャートが分布する (図-3 (b))。エリアの北半はジュラ紀付加体が分布する。

2.4.2 谷密度分布と地質との比較

ここでは1kmメッシュで地質ポリゴン(シームレス地質図, 図-3)を分割して各地質ポリゴンの面積を求めたのち、メッシュ内の谷密度を一定と仮定して、分割された地質ポリゴンにメッシュの谷密度の値を付加し、それらを地質別に合計することで、地質別の谷密度の分布傾

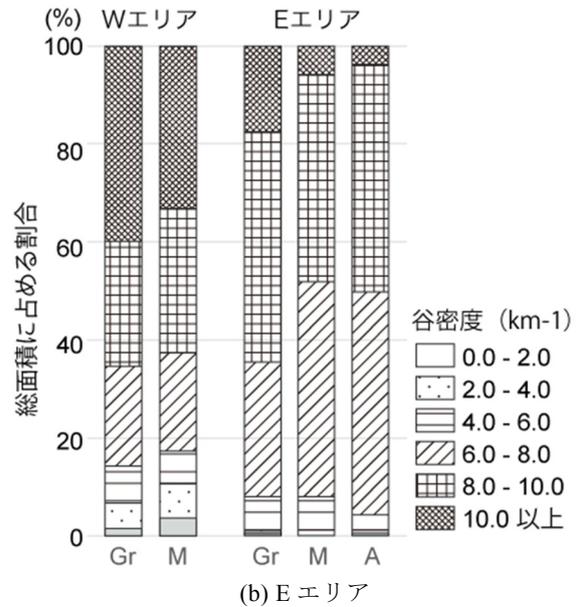


図-4 地質別谷密度

(Gr は花崗岩類, M は変成岩類, A は付加体。花崗岩類の詳細については表-1 に示す。)

表-1 花崗岩類における谷密度比較

谷密度 (km-1)	Wエリア (km ²)		計
	花崗岩	花崗閃緑岩	
0.0 - 2.0	2.079 (1.75)	0.059 (0.69)	2.139 (1.67)
2.0 - 4.0	6.288 (5.28)	0.111 (1.29)	6.400 (5.01)
4.0 - 6.0	8.974 (7.54)	0.881 (10.19)	9.855 (7.72)
6.0 - 8.0	20.714 (17.40)	4.998 (57.81)	25.712 (20.13)
8.0 - 10.0	30.233 (25.39)	2.568 (29.70)	32.801 (25.68)
10.0 - 12.0	38.979 (32.74)	0.028 (0.33)	39.008 (30.54)
12.0 以上	11.803 (9.91)	-	11.803 (9.24)
総面積 (km ²)	119.070	8.646	127.716

谷密度 (km-1)	Eエリア (km ²)		計
	花崗岩	花崗閃緑岩	
0.0 - 2.0	0.052 (0.05)	-	0.052 (0.03)
2.0 - 4.0	0.215 (0.21)	0.917 (1.69)	1.133 (0.71)
4.0 - 6.0	4.767 (4.55)	6.481 (11.97)	11.247 (7.08)
6.0 - 8.0	17.296 (16.51)	26.526 (49.00)	43.822 (27.58)
8.0 - 10.0	55.040 (52.53)	19.348 (35.74)	74.389 (46.81)
10.0 - 12.0	26.405 (25.20)	0.859 (1.59)	27.264 (17.16)
12.0 以上	1.000 (0.95)	-	1.000 (0.63)
総面積 (km ²)	104.775	54.131	158.906

注: 1kmメッシュ内における谷密度を一定と仮定し、メッシュに占める花崗岩および花崗閃緑岩の面積を集計した。()内の数値は花崗岩・花崗閃緑岩別の総面積に占める割合、太字は各地質において最も割合の高い値を示し、-は値なしを示す。

向をみた (図-4)。W エリアに関しては、花崗岩類と変成岩類(大部分は泥質片岩)の谷密度の傾向は類似しており、8km⁻¹以上が占める割合が50%を超えるが、わず

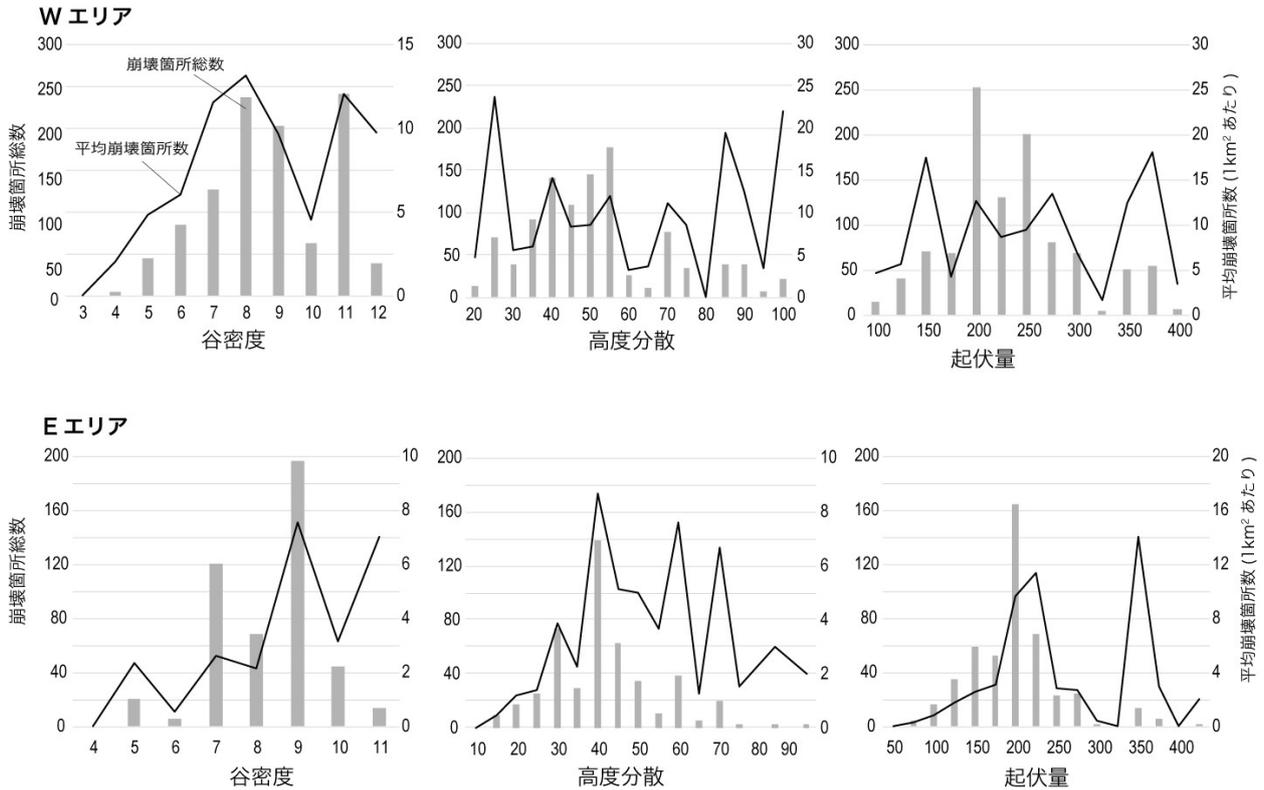


図-5 抽出条件の検討

かながら、変成岩類に比べて花崗岩類では高谷密度（10 km⁻¹以上）の占める割合が高い。E エリアに関しては、花崗岩分布域において谷密度が高い（8 km⁻¹以上）傾向が認められる。変成岩および付加体の谷密度は、類似しており 8.0 km⁻¹未満の領域が 50%程度を占める。

以上のような、地質による谷の発達状況の違いは、各地質の耐侵食特性を反映しており、高温高压で再結晶化した変成岩類に比べ、花崗岩類は風化・変質の程度が大きいため、耐侵食性が低く、谷地形が発達しやすいと考えられる。ただし、花崗岩類の中でも、花崗岩分布域に比べて、花崗閃緑岩分布域は谷密度が低い傾向にある(表-1)。

2.5 地形量からみた土砂・洪水氾濫危険地域の検討

既往調査により、谷密度が高い流域ほど豪雨時に不安定となり崩壊が発生しやすい場所が多く存在し³⁾、降雨強度の低い日常的な降雨においても土砂を運搬する能力があると推定される。このことから、豪雨に伴う多量の土砂流出が生じやすい場所は、谷密度が相対的に低い地域と考えられる⁴⁾。一方、山地の土砂流出量は流域における侵食速度、地形的な条件としては地形の起伏と相関があることが知られている。これまでに標高および傾斜を基とする地形指標を基に検討してきたが^{1),2)}、傾斜の標準偏差は、山麓付近や河川の狭窄部において大きい(概ね 10.0 以上)傾向があり、定性的に理解される土砂・洪水氾濫で土砂の堆積が促される場所に対応すると考えら

れる。また、長谷川・西金⁵⁾は流域比高や平均溪床勾配を用いた土石流要注意溪流の一次スクリーニングを試行している。以上を参考に、ここでは 1km メッシュを基準に、高度分散量、傾斜のばらつき、起伏量の分布を算出した。高度分散量は 1 km メッシュに含まれる標高データを集計して、その標準偏差をとった値であり、同様に傾斜のばらつきは 1 km メッシュに含まれる傾斜データの標準偏差を集計した値である。また、起伏量は 1 km メッシュに含まれる標高データの最小値・最大値の差である。これらの地形量分布図に平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨および平成 30 年 7 月豪雨における表層崩壊および土石流発生箇所をマッピングしたデータと照らしあわせて、地形量の階級区分とそれぞれの階級における崩壊箇所数の頻度分布を作成した(図-5)。また、図には谷密度・高度分散・起伏量の階級区間ごとに求めた 1 km²あたりの平均崩壊箇所数を示している。これらの図から崩壊箇所総数の頻度分布が概ね山型となっており、崩壊が多発しやすい地形条件があると推察される。そこで、崩壊箇所数の多い階級を中心として、災害時に発生した崩壊地の 90%以上を補足する区間を、崩壊しやすく土砂生産量の多い地形条件とした。各地形量の解析結果図を、W エリアに関しては、図-6~9、E エリアに関しては、図-10~13 に示す。また、崩壊が多発し、土砂流出量が多くなると予想される箇所として、W エリアでは「谷密度が 6.0~12.0 km⁻¹、高度分散量 25~90、起伏量 125~375 m」のメッシュ、E エリアでは「谷密度が 7.0~10.0 km⁻¹、高度

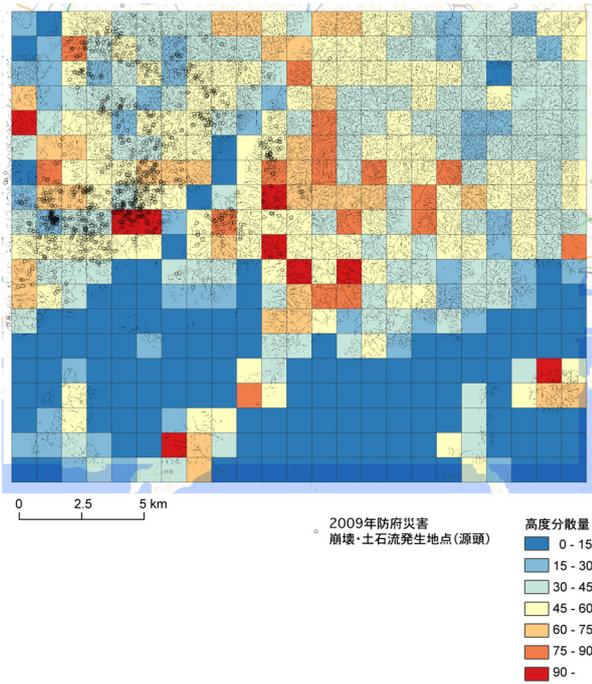


図-6 W エリアの高度分散図（基図は本研究による水系図. 2009 年防府災害の崩壊・土石流発生地点は地理院地図オルソ画像の判読による.）

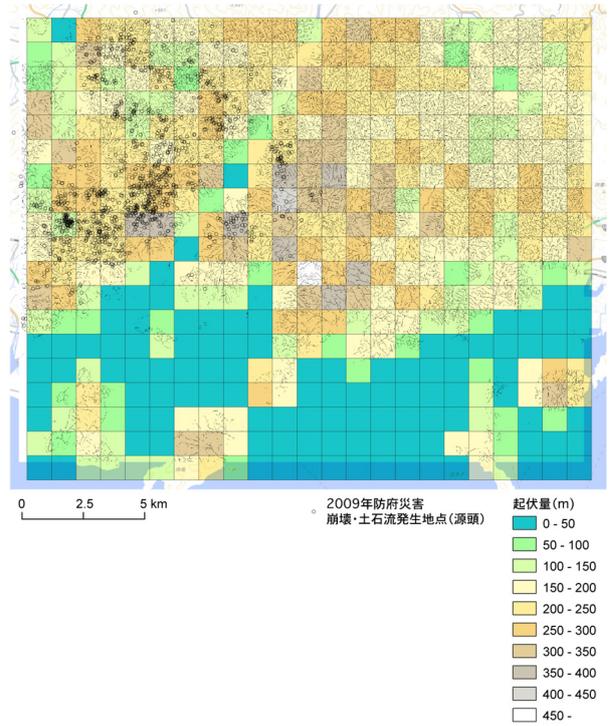


図-8 W エリアの起伏量図（1 km メッシュに 10 m DEM を重ねて、メッシュ内標高の最大値と最小値の差を起伏量とした. 基図等は図-6 に同じ.）

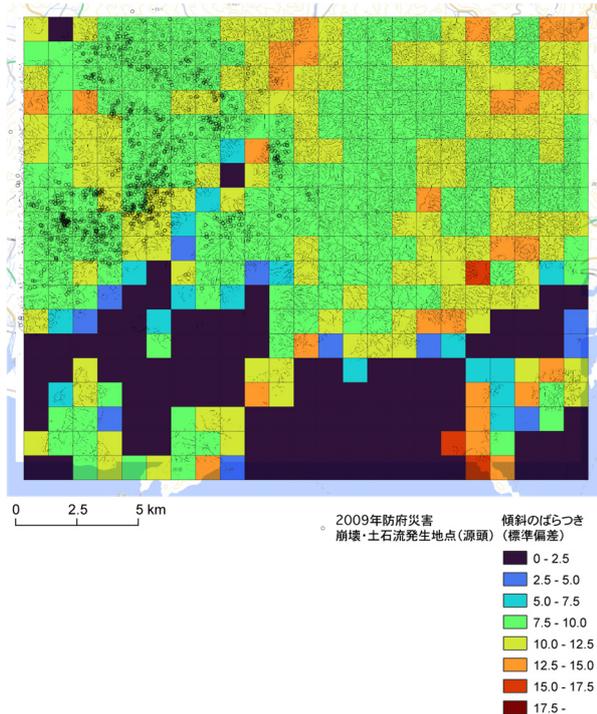


図-7 W エリアの傾斜のばらつき（標準偏差）（基図等は図-6 に同じ）

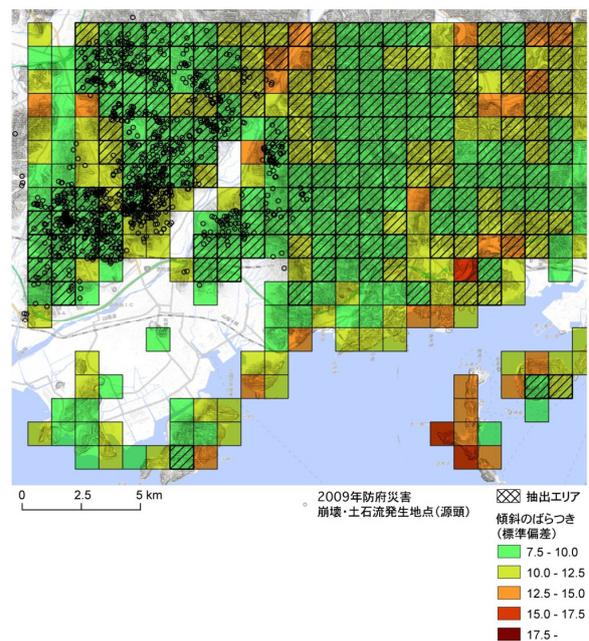


図-9 W エリアにおける多量の土砂流出と河道閉塞が生じると推定される地域（土砂流出量が多いとみなしたメッシュの抽出条件は谷密度が $6 \sim 12 \text{ km}^{-1}$, 高度分散量 $25 \sim 90$, 起伏量 $125 \sim 375 \text{ m}$ とした. また, 傾斜のばらつきが概ね 10.0 以上の地域は山麓付近または河道の狭窄部を含む. 基図は傾斜量図と地理院地図「淡色地図」である.）

分散量 $20 \sim 70$, 起伏量 $150 \sim 250 \text{ m}$ のメッシュを抽出した. なお, 土砂・洪水氾濫は, 土砂流出量が多いという要因のみならず, 河川の狭窄部等で生じやすいことから, 土砂・洪水氾濫が発生しやすいと推察される地域を検討できる地形指標として, 傾斜のばらつき（標準偏差）分

布を上記の抽出エリア分布図に重ねることで絞り込むことにした.

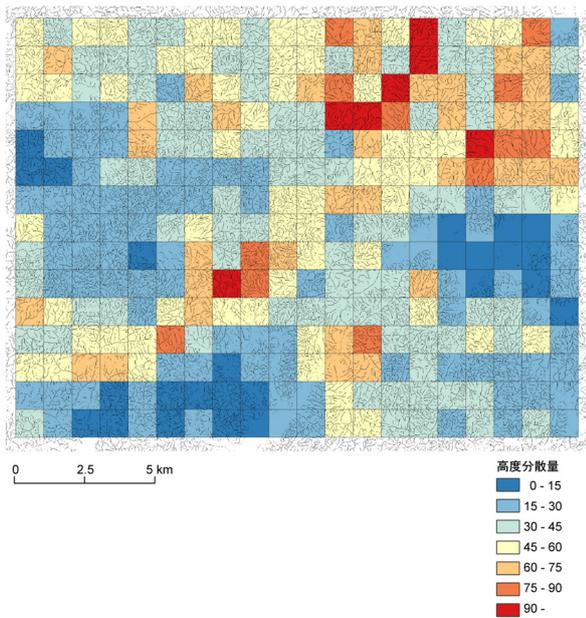


図-10 E エリアの高度分散図（基図は本研究による水系図、2018 年豪雨災害の崩壊・土石流発生地点は楮原⁶⁾による。）

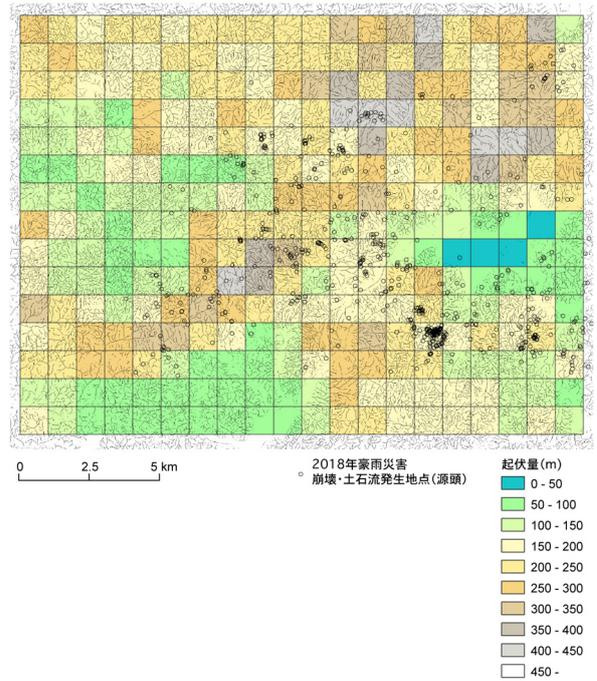


図-12 E エリアの起伏量図（1 km メッシュに 10 m DEM を重ねて、メッシュ内標高の最大値と最小値の差を起伏量とした。基図等は図-10 に同じ。）

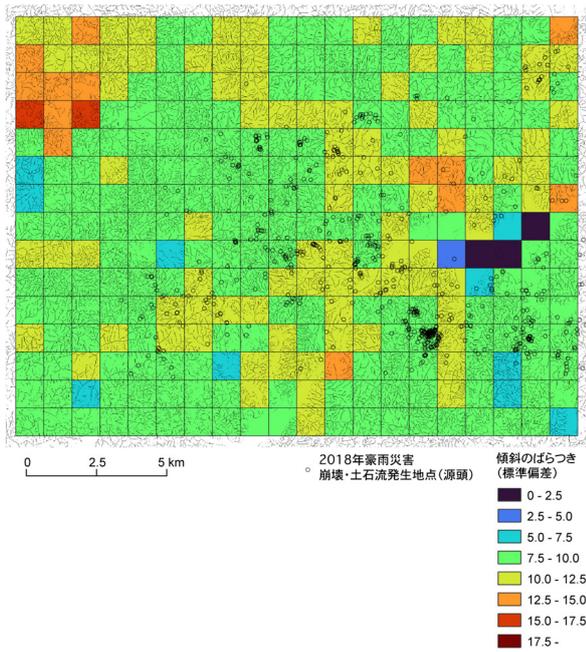


図-11 E エリアの傾斜のばらつき（標準偏差）（基図等は図-10 に同じ。）

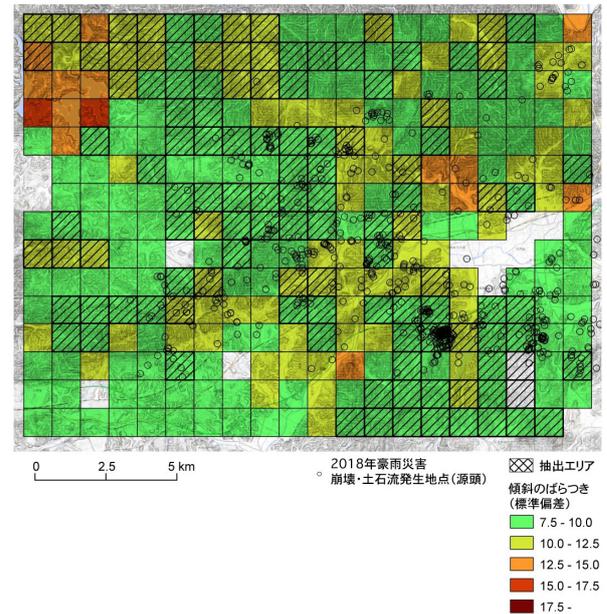


図-13 E エリアにおける多量の土砂流出と河道閉塞が生じると推定される地域（土砂流出量が多いとみなしたメッシュの抽出条件は谷密度が 7~10 km⁻¹、高度分散量 20~70、起伏量 150~250 m とした。また、傾斜のばらつきが概ね 10.0 以上の地域は山麓付近または河道の狭窄部を含む。基図は傾斜量図と地理院地図「淡色地図」である。）

3. 土砂・洪水氾濫の危険度判定フロー

3.1 危険度判定の事例と調査要領

地質、地形等の諸条件をもとに土砂・洪水氾濫の発生可能性が高いと想定される箇所を抽出するフローを以下に示す。この目的に対して参考になる研究成果としては、高速道路に影響を与える土石流危険渓流の評価手法⁷⁾や、

2015年~2019年にかけてのNEXCOの高速道路で発生した高速道路への土砂流入災害の被災事例の分析調査⁸⁾な

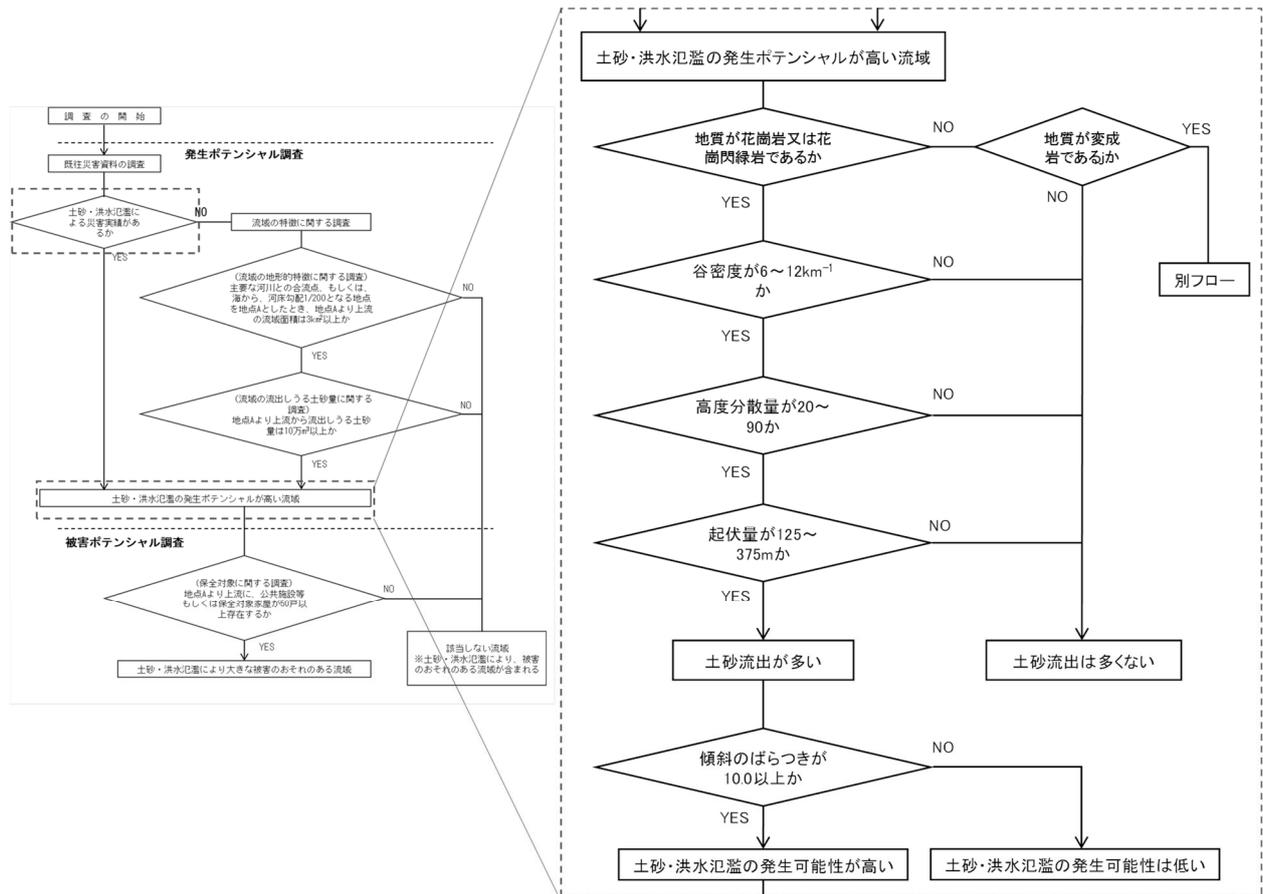


図-14 土砂・洪水氾濫の発生可能性に関する評価判定フロー（左側の図：著者が文献9)の図-2をトレースした）

どがある。それらによれば、渓床勾配が 10° 以上の「流下区間」と「発生区間」で流出・氾濫すれば、高速道路に対して「特に影響が大きい」と評価され、高速道路に被害をもたらした土石流発生溪流の数も多くなっている。また、渓床勾配が $2^\circ \sim 10^\circ$ 未満の「堆積区間」でも「影響が大きい」と評価される。

また、平成30年7月豪雨等を受けて、国土交通省から土砂・洪水氾濫により大きな被害のおそれのある流域を抽出する調査要領(案)の試行版が発表されている⁹⁾。これは、流域における土砂・洪水氾濫の発生の可能性の有無、土砂・洪水氾濫による被害の可能性の有無を評価するものではなく、災害リスクの高い流域を段階的に評価するものである。そのため、これで抽出される流域以外でも、発生する可能性があることに留意が必要であると付記されている。また、過去に土砂・洪水氾濫が発生した流域の特徴^{10),11)}から以下のことが明らかになっている。

- ・ 流域面積が 3 km^2 以上
- ・ 生産土砂量の合計が 10 万 m^3 以上（ただし、比生産土砂量が $1 \text{ 万 m}^3/\text{km}^2$ を下回らない）
- ・ 家屋流出等の深刻な家屋被害は、河床勾配 $1/150 \sim 200$ 以上の区間で生じている（ただし、最深河床から比高差 5 m 以内となる区域、かつ、河道中央から 350 m 以内）

地質に関しては、NEXCO 中国支社管内の災害発生溪

流の地質ごとの評価区分が整理されており、花崗岩類と土石流堆積物の分布域の土砂災害の発生率が最も高く、高速道路へ特に影響が特に大きいとされている⁷⁾。次に続く地質は花崗閃緑岩、流紋岩類、関門層群、玖珂層群、三郡変成岩類等とされている。

3.2 評価判定フロー

図-13 に土砂・洪水氾濫の発生可能性に関する評価判定フローを提案する。このフローでは、国土交通省が提示した調査要領(案)⁹⁾で土砂・洪水氾濫の発生ポテンシャルが高い流域が抽出された結果に対して評価判定フローを追加している。調査要領(案)⁹⁾のフローには「土砂・洪水氾濫による災害実績があるか」との問いがあるが、既往の土砂・洪水氾濫による災害事例¹²⁾によると、土砂生産プロセスは表層崩壊、地質は花崗岩類（花崗岩、花崗閃緑岩）が共通しており、地質ごとの土石流発生頻度¹³⁾を考慮して、対象地質は「花崗岩」「花崗閃緑岩」に絞った。そのうえで、表層崩壊と土石流が多発した既往災害実績をベースに谷密度、高度分散量、起伏量の順に土砂量の多寡を評価し、傾斜のばらつき（標準偏差）の値でもって土砂・洪水氾濫の発生可能性の高低を評価した。なお、花崗岩、花崗閃緑岩、変成岩以外の地質帯では谷の発達が進んでいないとみられ、土砂流出量は多くないと推察される。また、変成岩のみの分布域での土砂・洪

水氾濫の災害実績はないため、別フローの検討とした。

4. 結論

本研究から以下の知見が得られた。

- (1) 平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨で土砂・洪水氾濫が発生した防府市佐波川右岸および防府市富海、周南市戸田の 2 地区を含む西側のエリアに関しては、花崗岩類と変成岩類の谷密度の傾向は類似しており、 8km^{-1} 以上が占める割合が 50%を超えるが、わずかながら、変成岩類に比べて花崗岩類では 10km^{-1} 以上の高谷密度の占める割合が高い。他方、平成 30 年 7 月豪雨で土砂災害と浸水害が発生した周南市小松原地区の島田川を含む東側のエリアに関しては、花崗岩分布域において谷密度が高い (8km^{-1} 以上) 傾向が認められる。変成岩および付加体の谷密度は、類似しており 8.0km^{-1} 未満の領域が 50%度を占める。
- (2) 地形量の階級区分とそれぞれの階級における崩壊箇所数の頻度分布において、災害時に発生した崩壊地の 90%以上を補足する区間を、崩壊しやすく土砂生産量の多い地形条件としたところ、西側のエリアでは谷密度が $6.0\sim 12.0\text{km}^{-1}$ 、高度分散量 25~90、起伏量 125~375 m のメッシュ、東側のエリアでは谷密度が $7.0\sim 10.0\text{km}^{-1}$ 、高度分散量 20~70、起伏量 150~250m のメッシュが抽出された。ただし、同じ条件下で崩壊が発生した箇所と発生していない箇所の地形量分布に統計的に有意な違いがあるかの検討が必要であると考えられることから、この結果の解釈には注意が必要である。

謝辞

本研究は科研費基盤研究(A) (鈴木素之, 19H00785) ならびに(一財)山口県建設技術センターとの共同研究の一環として実施したものである。地形解析では復建調査設計・木下博久氏に助力いただいた。ここに記して謝意を表明する。

参考文献

- 1) 鈴木素之, 楮原京子, 松木宏彰, 川島尚宗: 山口県周南市島田川沿いの土石流・洪水氾濫の状況と堆積物の特徴, 地盤と建設, Vol.39, No.1, pp.113-120, 2021.
- 2) 鈴木素之, 楮原京子, 松木宏彰, 川島尚宗: 変成岩

分布域の土砂災害リスクとその地形的特徴—山口県防府市富海地区を例として—, 地盤と建設, Vol.40, No.1, pp.121-129, 2022.

- 3) 木下博久, 長谷川修一, 野々村敦子, 山中稔: 谷密度を指標とした流域スケールにおける斜面崩壊危険度評価手法の検討, 応用地質, 第 58 巻, 第 6 号, pp.472-484, 2019.
- 4) 小柳賢太, 平田遼, 石井靖雄, 本田健, 石井一徳, 松本史子: 平成 30 年 7 月豪雨による広島県内 7 山地小溪流における土砂流出の実態, 2021 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.101-102, 2021.
- 5) 長谷川淳, 西金佑一郎: 推定流出土砂量を用いた土石流要注意溪流の抽出方法, 鉄道総研報告, 36-4, pp.23-29, 2022.
- 6) 楮原京子: 平成 30 年 7 月豪雨における山口県の斜面崩壊とその背景, 地理科学, 75-3, pp.136-145, 2020.
- 7) 村上豊和, 下野宗彦, 中田幸男: 高速道路に影響を与える土石流危険溪流の資料調査に基づく評価手法, 地盤と建設, Vol.34, No.1, pp.19-27, 2016.
- 8) 村上豊和, 久田裕史, 柳迫新吾, 下野宗彦: 高速道路における土砂流入災害の傾向分析と土砂流入を防止した落石防護工の事例報告, 地盤と建設, Vol.39, No.1, pp.103-112, 2021.
- 9) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部: 土砂・洪水氾濫により大きな被害のおそれのある流域の調査要領(案)(試行版), 令和 4 年 3 月, https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/sabo/dosyakouzuihan_ran_youryou_r0403.pdf (参照 2023.4.26).
- 10) 坂井佑介, 山越隆雄, 對馬美紗: 土砂・洪水氾濫による家屋被害の実態把握と地形分析, 土木技術資料, Vol.63, No.1, pp.30-35, 2021.
- 11) 坂井佑介, 山越隆雄, 對馬美紗: 近年に発生した土砂・洪水氾濫における土砂生産状況, 土木技術資料, Vol.63, No.3, pp.30-35, 2021.
- 12) 国土交通省: 気候変動を踏まえた砂防技術検討会(第 1 回), 資料 4-1 近年の豪雨に伴う象徴的な土砂災害, https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee_kikohendo/200108/04shiryoi.pdf (参照 2023.4.28).
- 13) 鈴木素之: 近年の豪雨による土石流災害と過去 2000 年間の発生状況, 地盤工学会誌, Vol.71, No.8, pp.1-4, 2023.

(2023 年 6 月 19 日 受付)