

航空レーザ測量データと衛星画像を利用した災害危険斜面抽出法

Evaluation of Natural Slope Stability by Digital Elevation Model and Satellite Imagery

長谷川 淳 (はせがわ あつし)

財団法人総合技術研究所防災技術研究部 地質 副主任研究員

太田 岳 洋 (おおた たけひろ)

財団法人総合技術研究所防災技術研究部 地質 研究室長

1. はじめに

自然斜面の崩壊や落石等の斜面災害の発生には、地震や降雨などの誘因の他に、素因としての地形・地質条件、地下水条件、植生、人工改変などの環境条件が関与すると考えられる。このうち斜面災害と地形との関係については多くの研究者によって議論されており¹⁾、近年では数値標高モデル (DEM) を用いた地形計測により斜面災害の発生に関わる地形条件を定量的に評価し、それをもとに災害発生危険箇所を予測する手法が試みられている^{2),3)}。しかし、現状では地形条件のみから災害の発生危険度を定量的に精度良く評価することは困難であり、植生等の環境条件や地質条件もあわせた評価法の確立が望まれている。

地形と植生の関係については、これまで環境保全を目的とした地生態学的観点から議論されてきた。特に菊池は、斜面崩壊地や土石流堆積地などの植物群の特徴と成立過程をまとめている⁴⁾。また、砂防分野では空中写真判読による斜面崩壊後の植生回復状況の経年的変遷に関する研究例⁵⁾や、森林伐採や植栽面積の変化と流域の土砂生産および崩壊面積の関係を論じた研究例^{6),7)}があり、また砂防や治山における植生と土砂災害の関係については、塚本⁸⁾が包括的に論じている。

また、広範囲にわたる植生の繁茂状態や樹種等の区分に関する定量的な評価については、LANDSAT に代表される衛星画像が利用されてきた。近年では高分解能な衛星画像を入手することが可能になり、より詳細な植生判読が可能となってきている。例えば、高分解能衛星画像の一つである IKONOS 画像を用いて、森林の樹種の抽出方法や植生図の作成方法が検討されている^{9),10)}。

このような背景から、自然災害の発生に関与する諸条件のうち地形条件と植生条件を、DEM と衛星画像を用いて定量的に評価し、その結果から災害が発生する恐れのある不安定斜面を抽出できる可能性がある。本報告では、DEM や衛星画像を用いた災害危険斜面の抽出方法等について事例を紹介し、その現状を述べる。

2. DEM による地形条件の定量的評価

近年の航空レーザ測量技術の発展により、格子点間隔が 1 m 程度の細密な DEM を比較的容易に取得することが可能になった。細密な DEM は地表の細かな凹凸を表現することができるため、これを解析することで災害

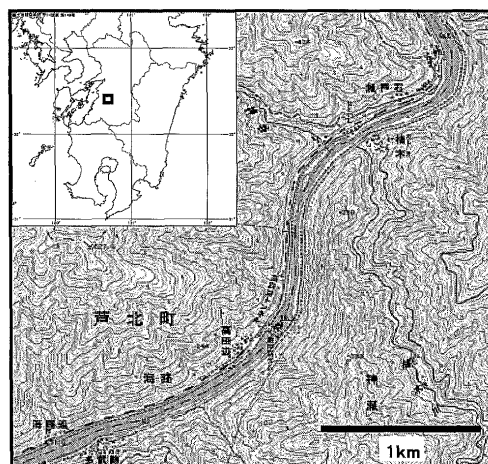
にかかわる微地形を抽出できる可能性がある。災害発生箇所について DEM を用いて地形解析を行った例としては、地すべり地や崩壊地の地形を解析する手法^{11),12)}などが挙げられる。また、DEM から崩土到達範囲予測を行ってハザードマップを作成する手法¹³⁾が提案されるなど、細密な DEM の利用に関しては様々な検討が行われている。しかし、崩壊危険箇所を予測する手法についてはまだ確立されていない。

2.1 DEM による落石発生源の抽出

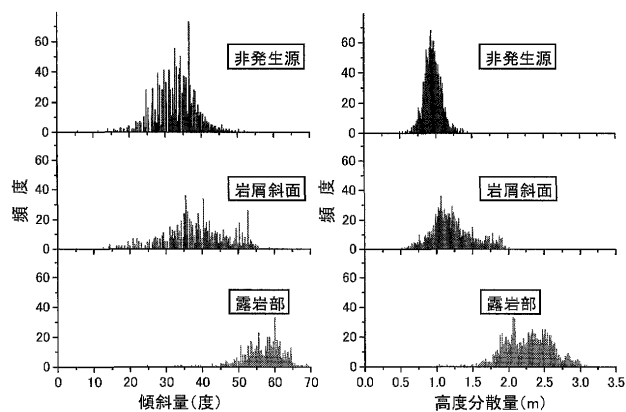
長谷川らは、熊本県南部の球磨川中流域 (図—1) において、格子点間隔が 1 m の DEM を用いて落石危険斜面を抽出する手法について検討を行っている¹⁴⁾。ここではまず、落石の発生源に着目し、現地の地形を剥落型落石の発生源となりうる露岩部、転落型落石の発生源となりうる岩屑斜面、落石の発生源がほとんど見られない非発生源に区分した。これらの地形区分と、DEM から得られた地形特性値とを比較すると、地形の凹凸や陰しさを表す複数の指標で、露岩部はその他の地形に比べ大きい値を示すことがわかった¹⁴⁾ (図—2)。この結果をもとに、傾斜量と高度分散量を用いて露岩部の抽出を試みている¹⁴⁾ (図—3)。一方、本手法では岩屑斜面と非発生源を区分できないこと、岩盤が露出していない箇所を露岩部として誤分類している箇所があり、抽出手法の精度向上や、他地域での検証が課題であるとしている¹⁴⁾。

2.2 DEM による不安定斜面の地形の定量的評価

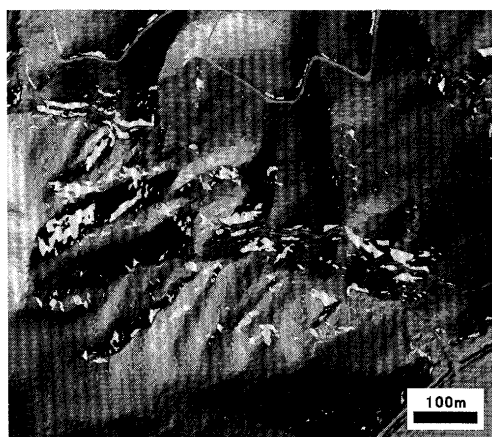
一般に地質が異なると地形的な特徴も異なるため、



図—1 球磨川中流域における検討対象地域¹⁴⁾



図一 2 地形ごとの各地形特性値の頻度分布
(文献14)の図一2を修正)



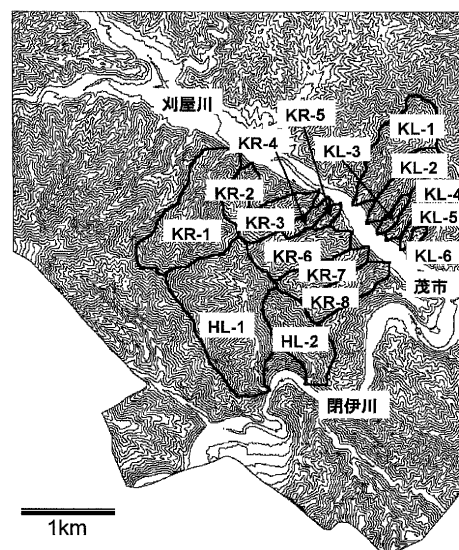
図一 3 露岩部の抽出結果(白色:露岩部)
(文献14)の図一3を一部修正)

DEMを用いて災害の危険性がある不安定斜面を抽出するためには、地質条件が均質であると考えられる範囲で検討することが望ましい。ここでは、硬質の堆積岩がほぼ一様に分布する北部北上山地の閉伊川と刈屋川の合流点付近(図一4)を対象とし、格子点間隔が5mのDEM(以後5m-DEMと称する)を用いて地形計測を行った結果と、空中写真を用いた不安定斜面の判読結果を比較し、斜面の不安定性に影響する地形条件について検討した例を示す²⁾。

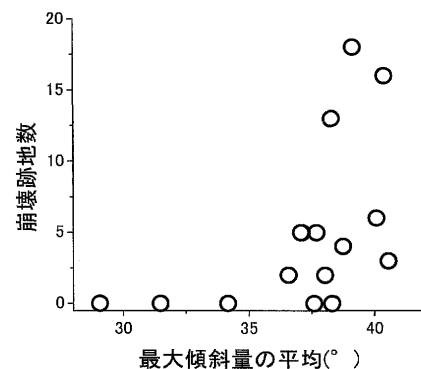
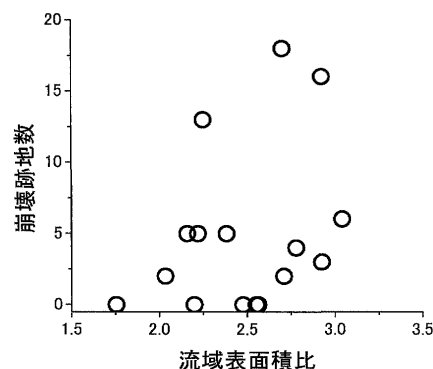
対象地域のうち図一4に示す16流域について、流域地形量¹⁵⁾と流域ごとの局所地形量¹⁵⁾および区域地形量¹⁵⁾の平均値を5m-DEMから求めた。また斜面の崩壊や浸食を表すガリ長、崩壊跡地数や、土砂生産量を表す溪床堆積物の分布面積を空中写真から判読した。ガリや崩壊、溪床堆積物の生成などの地形変化を土砂災害と読み替え、これらの地形を「災害地形」²⁾と称する。

流域表面積比および最大傾斜量の平均値と崩壊跡地数の関係を見ると、流域表面積比と崩壊跡地数の間には不明瞭ながら正の相関が見られ、最大傾斜量の平均値が37度を超えると崩壊跡地数が急増する傾向がみられる²⁾(図一5)。

また、流域ごとの地形特性値と災害地形の分布を比較すると、KR-1やHL-1のように流域面積が大きく、最



図一 4 北部北上山地における検討対象流域²⁾



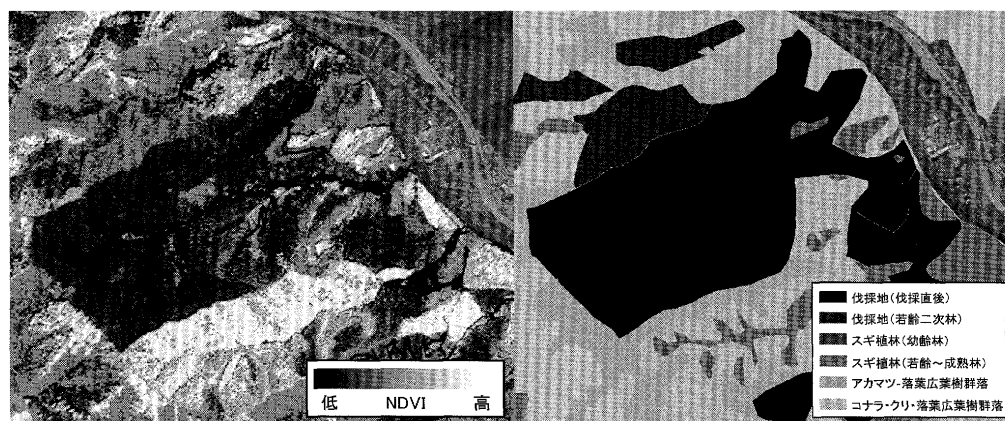
図一 5 地形特性値と崩壊跡地数との関係
(文献2)を一部修正)

大傾斜量の平均も大きい流域で崩壊地、溪床堆積物が多く認められる。このことから、災害地形の分布量、つまり流域内の斜面の不安定さは地形条件と関係している可能性がある。一方、類似した地形条件にあるKR-6、KR-7、KR-8をみると、KR-6では他の2流域よりも災害地形が発達する(表一1)。これは、地形や地質条件がほぼ同様であっても災害地形の分布量、すなわち斜面の不安定さが異なることを示唆している²⁾。

以上のことから、均質な地質条件のもとでは、地形条件と斜面の不安定性の間にある程度の関係が認められるため、細密なDEMを用いて崩壊危険斜面を抽出できる可能性があるが、類似した地形条件であっても災害地形

表一 対象流域の地形特性値と災害地形の分布状況²⁾

流域 番号	局所地形量の平均		区域地形量の平均			流域地形量					災害地形分布状況			
	平均標高 (m)	最大傾斜 量の平均 (°)	表面積比 の平均	起伏量の 平均(m)	高度分散 量の平均 (m)	流域面積 (km ²)	流域 表面積比	流域 起伏量 (m)	流域高度 分散量 (m)	流域 平均比高 (m)	ガリー長 (km)	崩壊跡地 数	渓床堆積物 分布面積 (km ²)	
HL-1	335.3	39.16	2.70	19.07	5.43	1.82	2.70	578.0	109.8	268.1	1.4	18	0.128	
HL-2	268.3	40.57	2.92	19.80	5.63	0.64	2.93	387.2	82.2	204.3	3.3	3	0.017	
KL-1	329.2	38.76	2.78	18.76	5.31	0.74	2.78	492.6	108.5	267.3	0.7	4	0.033	
KL-2	279.5	40.09	3.04	19.91	5.61	0.35	3.04	457.1	99.5	221.2	0.5	6	0.023	
KL-3	179.4	37.60	2.48	17.70	5.05	0.08	2.48	246.0	58.3	122.7	0.1	0	0.000	
KL-4	211.8	38.03	2.72	18.38	5.21	0.15	2.71	320.4	76.8	156.7	0.7	2	0.000	
KL-5	167.5	34.17	2.56	15.97	4.60	0.10	2.55	256.7	69.2	113.6	0.5	0	0.000	
KL-6	138.2	29.06	1.84	12.64	3.53	0.06	1.76	205.7	59.3	86.2	0.6	0	0.000	
KR-1	358.7	40.40	2.93	19.60	5.57	1.27	2.93	606.1	130.3	279.0	1.7	16	0.036	
KR-2	307.8	38.31	2.57	18.25	5.20	0.24	2.56	382.9	84.0	230.6	0.4	0	0.003	
KR-3	291.2	37.70	2.16	18.25	5.07	0.38	2.16	417.4	97.0	226.1	0.5	5	0.016	
KR-4	216.4	37.12	2.39	17.57	4.90	0.12	2.38	284.4	62.3	151.5	0.2	5	0.003	
KR-5	142.3	31.48	2.20	14.05	4.00	0.07	2.20	162.7	43.5	79.8	0.0	0	0.000	
KR-6	275.3	38.28	2.26	18.24	5.16	0.62	2.25	407.0	97.3	207.6	1.7	13	0.023	
KR-7	284.1	36.58	2.04	17.08	4.90	0.42	2.04	406.2	92.3	227.2	1.3	2	0.003	
KR-8	258.9	37.08	2.24	17.58	4.96	0.41	2.22	386.8	87.9	204.8	0.6	5	0.000	

図一 北上山地のNDVI画像(左)と現地の植生区分図(右)
(文献2)の図一5を加筆、修正)

の発達程度に差が見られることから、地形条件のみで斜面の不安定性を評価することが困難な場合もあると考えられる。

3. 衛星画像による植生条件の定量的評価

一般に、植生は浸食に対する抵抗力や斜面の保水力に関係するため、間接的には斜面の安定性に影響をおよぼすと考えられる。太田らによると、図一4に示した範囲内のいくつかの流域において、伐採などにより植生の活性度が低下すると崩壊の発生が顕著となり、渓床堆積物の量が増加するなど、災害地形の増減が植生の分布率の変化と明瞭に対応している¹⁶⁾。このことは、植生の活性度の低下が斜面の不安定化に寄与している可能性を示唆している。

植生の活性度を定量的に評価するために一般的に用いられる手法として、衛星画像から算出される正規化植生指数(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)¹⁷⁾が挙げられる。

これは植生が近赤外の波長帯域を反射し、赤色の波長帯域を吸収する特性を利用したもので、この値が大きいほど植生の活性度が高いことを示す。図一4の地域について、高分解能衛星画像であるIKONOS画像からNDVI画像を作成し、現地踏査により実際の植生状況と比較したところ、両者はおおむね対応することが確認さ

れた(図一6)²⁾。このことから、高分解能衛星画像は植生状況を評価するうえで有効なデータであるといえる。

4. DEMと衛星画像による災害危険斜面の抽出

これまで述べたように、災害地形の発達に関わると考えられる地形条件と植生条件については、それぞれ細密DEMを用いた地形計測による地形特性値と衛星画像解析による植生分類により定量的に評価することが可能である。太田らは、植生の不活性度を表す指標として $rNDVI$ (式1)を提案し、これと地形特性値を組み合わせる崩壊危険斜面の抽出を試みている²⁾。

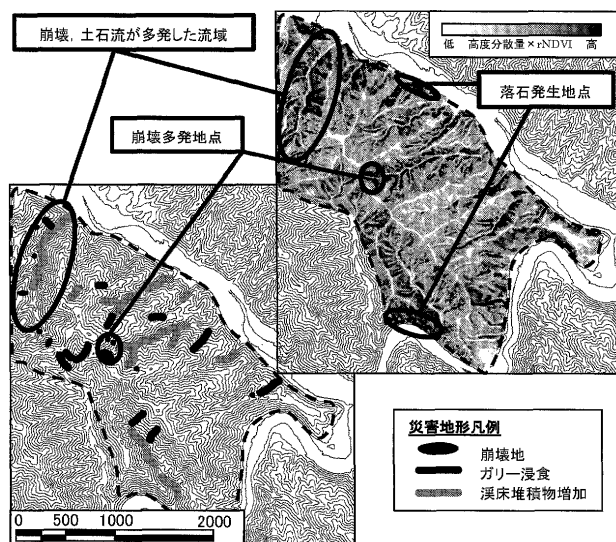
$$rNDVI = \left(1 + \frac{red - nir}{nir + red} \right) \times C \quad \dots\dots\dots (1)$$

nir : 近赤外線波長帯域の反射強度

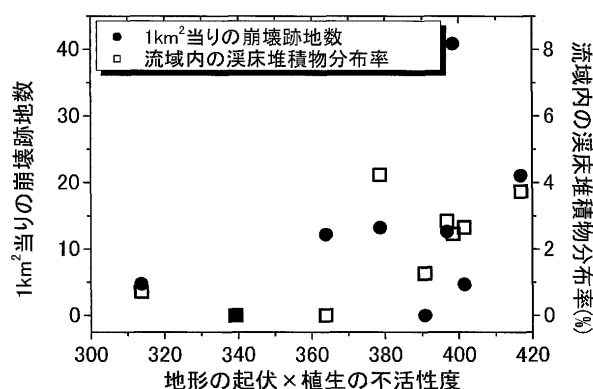
red : 赤色の波長帯域の反射強度

C : 定数

図一7に地形特性値として高度分散量を用い、これと $rNDVI$ 値を乗算した値により斜面の評価を行った事例を示す²⁾。この値は植生が不活発で地形の起伏に富む箇所では大きくなり、植生が繁茂し地形の起伏が少ない箇所では小さくなる²⁾。この結果と災害地形の分布状況を比較すると、値の大きい箇所が災害地形が発達していることが分かる(図一7)。また、図一8に流域ごとの高度



図一7 DEMと衛星画像の解析結果(右上)と災害地形分布図(左下)²⁾



図一8 流域ごとの高度分散量× $rNDVI$ 値と災害地形分布量との関係
(文献2)の図一7を一部修正)

分散量と $rNDVI$ 値の乗算値の平均値と表一1に示した災害地形の分布状況との関係²⁾を示す。図から、高度分散量と $rNDVI$ の乗算値が大きくなると、単位面積あたりの崩壊跡地数も増加することが分かる。

以上のことから、図一7に示した結果は斜面の災害発生危険度を表していると考えられる。DEMから求められる地形特性値と衛星画像から得られる植生に関する指標を用いた手法は、災害危険斜面を抽出する上で有効な手法であるといえる。

5. おわりに

本報告では、災害危険斜面抽出のためのDEMや衛星画像の利用の現状について述べた。近年、国土に関するあらゆる情報が数値化され、整備されはじめた。今後、GISのような強力なツールを用い、空間数値情報を解析

することで災害の予測やハザードマップの作成が進むことが期待される。

参 考 文 献

- 1) 羽田野誠一：最近の地形学，8. 崩壊性地形（その1），土と基礎，Vol. 22, No. 9, pp. 42～49, 1974.
- 2) 太田岳洋・長谷川淳・榎本秀明：空間数値情報を利用した斜面の不安定性評価法，鉄道総研報告，Vol. 19, No. 10, pp. 27～32, 2005.
- 3) 太田岳洋：数値地図50mメッシュ（標高）による三浦半島における斜面崩壊地の地形的特徴に関する検討—50m-DEMによる自然災害評価の限界と期待—，応用地質，Vol. 46, No. 6, pp. 353～356, 2006.
- 4) 菊池多賀夫：地形植生誌，東大出版会，220p., 2001.
- 5) 鈴木雅一：航空写真による最近57年間の丹沢山地北部の崩壊地と森林の変遷，砂防学会誌（新砂防），Vol. 54, No. 5, pp. 12～19, 2002.
- 6) 平松晋也・黒岩知恵・荒砂隆文：森林伐採や植栽面積の変化が流域の土砂生産状況に及ぼす影響，砂防学会誌（新砂防），Vol. 55, No. 4, pp. 3～11, 2002.
- 7) 黒岩知恵・平松晋也：森林伐採や植栽を指標とした崩壊面積予測手法に関する研究，砂防学会誌（新砂防），Vol. 57, No. 2, pp. 16～26, 2004.
- 8) 塚本良則：森林・水・土の保全 湿润変動帯の水文地形学，朝倉書店，138p., 1998.
- 9) 河邑 眞・辻野和彦・辻子裕二：森林の樹種に関する高分解能衛星画像特性の分析，写真とリモート・センシング，Vol. 44, No. 5, pp. 82～90, 2005.
- 10) 鎌形哲稔・原慶太郎・森 大・赤松幸生・李 雲慶・星野義延：高分解能衛星データのオブジェクト指向分類による植生図作成手法の提案，写真とリモート・センシング，Vol. 45, No. 1, pp. 43～49, 2006.
- 11) 土志田正二・千木良雅弘・戸邊勇人：航空レーザ測量データを用いた崩壊地形解析から推定する山体斜面の形成過程，日本応用地質学会平成19年度研究発表会講演論文集，pp. 15～16, 2007.
- 12) 笠井美青・池田 学・藤澤和範・松田昌之・鈴木雄介：航空レーザ測量データから作成されたDEMの解析に基づく地すべり地形発達プロセスの推定，地すべり，Vol. 45, No. 2, pp. 118～124, 2008.
- 13) 福田徹也・佐々木靖人・協坂安彦：表層崩壊による崩土到達範囲確率予測手法の開発，応用地質，Vol. 46, No. 5, pp. 265～279, 2005.
- 14) 長谷川淳・川越 健・浦越拓野・太田岳洋：DEMを用いた落石危険斜面抽出に関する検討，日本応用地質学会平成19年度研究発表会講演論文集，pp. 69～70, 2007.
- 15) 太田岳洋・八戸昭一：数値標高モデルによる地形計測の現状と応用例，応用地質，Vol. 46, No. 6, pp. 346～359, 2006.
- 16) 太田岳洋・高見智之・川村晃寛：空中写真判読による地形・植生経時変化とその関係の検討—北部北上山地の例—，日本応用地質学会平成16年度研究発表会講演論文集，pp. 317～320, 2004.
- 17) Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. and Deering, D. W.: Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS, Proceedings of Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt, NASA SP-351, pp. 301～317, 1974.

(原稿受理 2008.10.30)