

# 数値標高モデルを用いた傾斜地カンキツ園の斜面崩壊危険度の評価

福本昌人・島崎昌彦\*・吉村亜希子

Key words : orchard, slope failure, heavy rainfall, digital elevation model

## 目 次

I 緒 言	119	IV 結果および考察	125
II 対象地区と現地調査	120	1 判別分析	125
1 対象地区	120	2 斜面崩壊危険度の評価手法	126
2 園地の斜面崩壊状況	120	3 集水度	127
3 園地斜面の表土層厚	121	4 活用面	127
4 園地斜面の降雨浸透特性	122	V 摘 要	127
III 材料および方法	123	謝 辞	127
1 利用したDEM	123	引用文献	127
2 利用したGIS	123	Summary	129
3 傾斜度と集水度のメッシュデータの作成	123		

## I 緒 言

2004年には過去最多の10個の台風が日本に上陸し、各地で災害が発生した。四国地方では、特に台風15号、台風21号、台風23号により寡雨地域である香川県と愛媛県東部を中心に土石流や斜面崩壊等の土砂災害が多数発生した<sup>5)</sup>。

香川県と愛媛県の県境近くの傾斜地には果樹園が多く立地している。このため土石流が流入して被害を受けた園地や斜面崩壊が起きた園地が多く見られた。そこで、防災対策に資することを目的として、斜面崩壊が多数発生した傾斜地カンキツ園において斜面崩壊状況や降雨浸透特性等の現地調査を行い、その調査結果を踏まえて、数値標高モデル（DEM：Digital Elevation Model）を用いて斜面崩壊危険度の評価を試みた。DEMとは、地表面を等間隔のメッシュで区切り、メッシュの中心または四隅の標高

値を記載した標高のメッシュデータである。

現地調査の結果、降雨時に多量の地下浸透水が発生することが確認され、斜面崩壊は地下浸透水に起因していると推察された。地下浸透水に起因して発生する斜面崩壊の危険度をDEMを用いて評価する手法はこれまでにいくつか提案されている。沖村・市川<sup>2)</sup>は、10mメッシュのDEMを用いて各メッシュの降雨後の地下水位上昇をシミュレート（飽和浸透モデルにより斜面勾配に伴うメッシュ間の地下水移動量を計算）し、メッシュ毎に斜面安定解析を行って各メッシュの崩壊危険度を評価する手法を提案した。この手法は森林域の自然斜面での比較的大きな崩壊を対象としたものであり、かつ容易に入手できない表土層厚分布の調査データを必要とする。また、川本・菅谷<sup>1)</sup>は、急傾斜地カンキツ園を対象に3次元有限要素モデル（水平方向は50cmメッシュ）により降雨時の地下水流動をシミュレート（園地全域が地表面まで飽和していると仮定して飽和定常浸

(平成19年9月20日受付、平成19年12月11日受理)

中山間傾斜地域施設園芸研究チーム

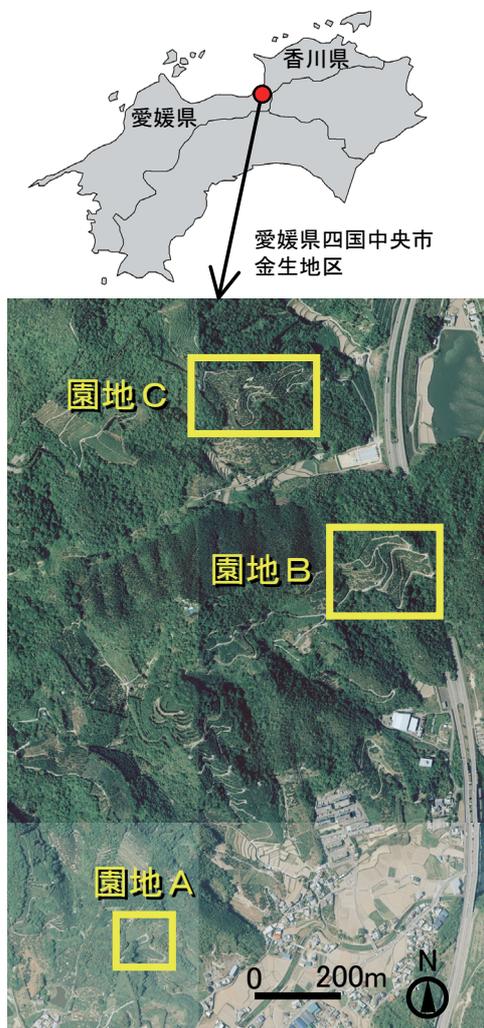
\*次世代カンキツ生産技術研究チーム

透流解析) し、地表面での地下水の浸出程度を指標として崩壊危険度を評価する手法を提案した。この手法はプログラミングにかなり専門的な知識を要し、かつ園内作業道の形状が読み取れるほどのかなり詳細な標高データが必要である。そこで、既存のDEMのみを地理情報システム (GIS: Geographic Information System) で利用して急傾斜地カンキツ園の各地点 (メッシュ単位) の崩壊危険度を評価する手法を提案する。

## II 対象地区と現地調査

### 1 対象地区

対象地区は、第1図に示す愛媛県四国中央市の金生地区である。当地区は香川県と愛媛県の県境近く



第1図 対象地区と調査園地

背景はデジタルオルソ画像 (Ⅲ. 2節)

に位置し、堆積岩の砂岩泥岩互層 (和泉層群) が分布している。泥岩はスレーキング (乾湿の繰返しを受けると細片・細粒化する現象) を起こしやすく、また砂岩は亀裂に富んでいる。このため砂岩泥岩互層は風化しやすく、基岩層である砂岩泥岩互層の上に風化土・崩積土が表土層として数10cm~1m程度堆積した地盤構造を呈している<sup>5)</sup>。

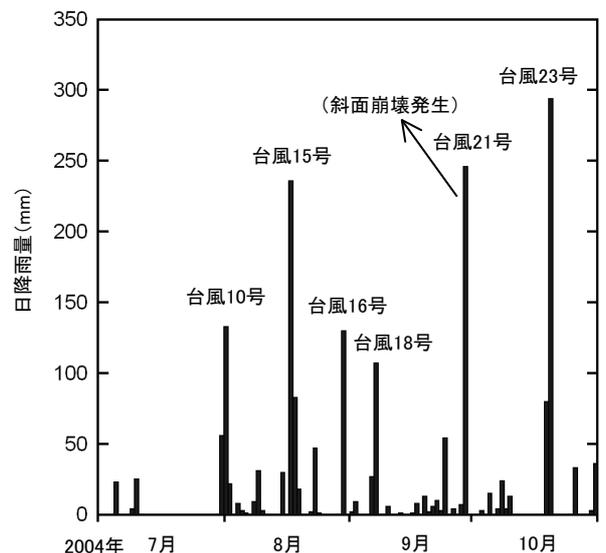
### 2 園地の斜面崩壊状況

対象地区から約4km離れた位置にあるアメダス三島が観測した2004年7月~10月の日降水量を第2図に示す。2004年には多くの台風が襲来し、頻繁に大雨があった。そのうち台風21号による9月29日の大雨 (日降雨量246mm, 最大1時間雨量49mm/h) で、対象地区内の傾斜地カンキツ園において斜面崩壊 (表層崩壊) が多数発生した。

第1図に示した園地A、園地Bおよび園地Cにおいて、斜面崩壊状況の踏査とラジコンヘリによる空中撮影を行った。各園地の斜面崩壊状況をそれぞれ第3図、第4図および第5図に示す。

園地Aでは、谷地形を呈する勾配25°のやや急傾斜な斜面 (第3図のa地点) で比較的大きな崩壊が発生していた。その崩壊規模は、第3図の左側の崩壊が最大幅6m, 深さ2.5m, 長さ18m, 右側の崩壊が最大幅8m, 深さ2.0m, 長さ18mであった。

園地Bでも、谷地形を呈する勾配27°のやや急傾



第2図 2004年7月~10月の日降水量 (アメダス三島)



第3図 園地Aの斜面崩壊の状況

ラジコンヘリ撮影写真（2005年10月18日）に5mメッシュのDEM（Ⅲ．2節）から作成した等高線を描画



第4図 園地Bの斜面崩壊の状況

ラジコンヘリ撮影写真（2005年6月16日）に5mメッシュのDEM（Ⅲ．2節）から作成した等高線を描画



第5図 園地Cの斜面崩壊の状況

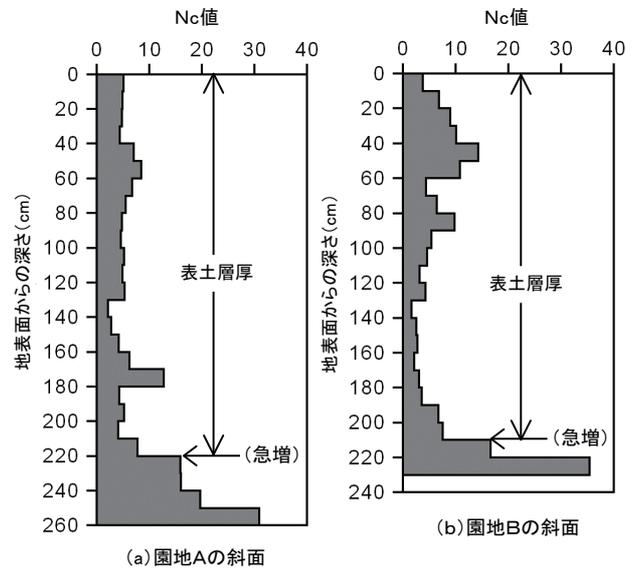
ラジコンヘリ撮影写真（2005年6月16日）に5mメッシュのDEM（Ⅲ．2節）から作成した等高線を描画

斜な斜面（第4図のa地点）で比較的大きな崩壊が発生していた。その崩壊規模は、最大幅12m、深さ1.7mであった。崩壊土砂が表土を削り取りながら園地周辺まで流下していたので、崩壊部の長さは不明瞭であった。また、園内作業道の山側の切り立った法面において小さな崩壊が多数発生していた。なお、その切り立った法面には、基岩層が地表近くまで張り出し（一部の場所では硬い砂岩が露出）、またサカキの小木やシダ類等が繁茂している。

園地Cでは、園内作業道の山側の法面や谷地形を呈する斜面で小さな崩壊が多数発生していた。なお、第5図のa地点で長細い崩壊が見られたが、これは上流部の林地斜面で発生した多量の地表流出水が林道を通じて流れ込んできたことに起因した土壌侵食である。

### 3 園地斜面の表土層厚

比較的大きな崩壊が発生していた園地Aの斜面（第3図のa地点）と園地Bの斜面（第4図のa地点）において簡易貫入試験を行い、表土層厚を調査した。簡易貫入試験では、5kgの重りを50cmの高さから自由落下させることにより、先端にコーンが取り付けられたロッドを地中に打ち込む。その落下毎の貫入深の記録から、コーンを10cm打ち込むのに要した落下回数を求め、これをNc値と呼び、地盤強度として表す。試験結果を第6図に示す。Nc値が急激に大きくなる深度までを表土層厚と考えると<sup>4)</sup>、表土層



第6図 簡易貫入試験結果

厚は、園地Aの斜面が2.2m、園地Bの斜面が2.1mである。

#### 4 園地斜面の降雨浸透特性

比較的大きな崩壊が発生していた園地Aの斜面のすぐ上に道路がある。この道路のコンクリートブロック法面から崩壊地頭部までの地表面を踏査したところ、道路から多量の地表流出水が斜面に流れ込んだ形跡は見られなかった。また、崩壊地頭部の露出断面を観察したところ、パイピングホールと呼ばれる水みち（直径約6cmのパイプ状の空洞）がいくつか確認され、多量の地下浸透水が浸出した形跡が見られた。このことから、大雨により崩壊エリアの上流側で多量の地下浸透水が発生し、それが谷地形を呈する園地Aの斜面の表土層に集まって崩壊が発生したと推察された。そこで、上流側で大雨時に多量の地下浸透水が発生することを確かめるために、2005年に上流側の勾配17°の園地斜面（第3図のb地点）において水収支観測を行い降雨浸透特性を調査した。なお、園地斜面で現場透水試験（直径10cm、深さ45cmの孔に深さ25cmまで注水し、水位の経時変化を測定）を行った結果、透水係数は $3 \times 10^{-5} \text{m/s}$ であり、透水性は高かった。

##### 1) 調査方法

園地斜面において次の水収支式が成り立つ。

降雨量 = 蒸発散量 + 地表流出量 + 表層90cmの水分増加量 + 深さ90cm下への地下浸透量 …………… (1)

大雨時の水収支を把握するために、2005年7月～9月に各種の計器を園地斜面に設置し、大雨が降るのを待った。

##### (1) 降雨量

転倒升雨量計を設置して降雨量を測定した。

##### (2) 蒸発散量

日射計、温湿度計、風速計（高さ2m）を設置して、日射量、気温、湿度および風速を測定した。それらの日平均値を用いてペンマン式で可能蒸発散量（土壌が十分に湿潤な時の蒸発散量）を求め、それを蒸発散量とした。

##### (3) 地表流出量

第7図に示すように、溝を切って繊維排水材を挟んだ塩ビ管を地表面直下に埋めて地表流出水を捕らえ、捕らえた水を雨量計の転倒升に導いて集水量を測定した。さらに測量により上流側斜面の微地形を把握して、捕らえた地表流出水の発生エリア（流域）を特定し、そのエリアの面積（ $8.5 \text{m}^2$ ）で集水量を除して単位面積当りの地表流出量を求めた。



第7図 地表流出量の測定状況

##### (4) 表層90cmの水分増加量

TDR土壌水分計（プローブ長30cm）を設置して、深さ0～30cm、30～60cmおよび60～90cmの各層の体積含水率を1時間毎に測定し、その経時変化から表層90cmの水分増加量を求めた。

##### (5) 深さ90cm下への地下浸透量

水収支式（1）に降雨量、蒸発散量、地表流出量、および表層90cmの水分増加量の各値（単位面積当りの水量）を代入し、残差として深さ90cm下への地下浸透量を求めた。

##### 2) 調査結果

2005年9月4日～9月7日に台風14号により計250mmの大雨（9月6日19時に最大1時間雨量29mm/hを記録）があった。この時の水収支を第1表に示す。地表流出はほとんど発生せず、9月5日には87mmの降雨の98%は表層90cmに貯留され、翌日の9月6日には154mmの降雨の96%は深さ90cm以深に地下浸透していた。すなわち、大雨により多量の地下浸

第1表 2005年台風14号による大雨時の水収支

	9月4日	9月5日	9月6日	9月7日	計
①降水量	7.0	87.0 (100)	154.0 (100)	1.5	249.5 (100)
②蒸発散量	1.6	0.5 (1)	1.1 (1)	3.3	6.5 (3)
③地表流出量	0.0	0.2 (0)	0.3 (0)	0.0	0.5 (0)
④表層90cmの水分増加量	4.0	85.4 (98)	5.0 (3)	-35.0	59.4 (24)
⑤深さ90cm下への地下浸透量	1.4	0.9 (1)	147.6 (96)	33.2	183.1 (73)

単位はmm. ①=②+③+④+⑤. ( )内は①を100とした割合.

透水が発生することが確認された. なお, 台風14号が去った9月7日午前に現地に向かい, 前述した崩壊地頭部の露出断面のパイピングホールを観察したが, 地下浸透水が浸出した形跡は見られなかった.

### Ⅲ 材料および方法

まず, 園地Bの斜面崩壊(第4図)を対象として, GISによりDEMから傾斜度と集水度という2つの地形量をメッシュ毎に算出し, それらを説明変数, 各メッシュの崩壊の有無を目的変数として判別分析を行い, これらの地形量から崩壊地点をどの程度判別できるのかを調べる. 集水度は, 局所的な集水性を表すために筆者らが考案した地形量である. 次に, 判別分析結果に基づいて, 斜面崩壊危険度の評価手法を提案し, 園地Bおよび園地Cに適用して評価の妥当性を検証する. なお, 斜面崩壊には, 地形条件だけでなく, 地下の地盤状態(表土層厚分布等)や法面の植被状態等も関与しているが, それらの素因はデータ化が容易でないので, 崩壊危険度の評価に利用することは難しい.

#### 1 利用したDEM

利用したDEMは, 中山間地域等直接支払い制度の導入にあたって農林水産省の農地環境緊急対策事業により2000年に作成された5mメッシュのDEMである. この5mメッシュのDEMは, 航空写真のペア画像を用いてステレオマッチング手法により作

成(植生や建物の高さ補正なし)された. また, DEMと同時に作成された航空写真のデジタルオルソ画像も利用した. デジタルオルソ画像はDEMを用いて航空写真画像をオルソ処理(正射投影)して作成された. なお, これらのDEMとデジタルオルソ画像を主体とするデータセットは, 中山間地域等空間データ基盤と呼ばれている.

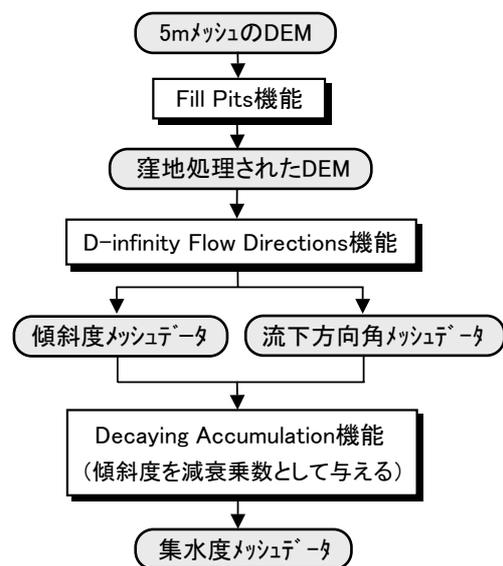
#### 2 利用したGIS

利用したGISは, 一般に広く普及しているESRI社のArcGIS(ArcView)である. このArcGISに地形分析ツールTauDEM(Terrain Analysis Using Digital Elevation Models)というソフトウェアを組み込んだ. TauDEMはユタ州立大学のTarboton教授が開発したArcGIS用のプラグインで, インターネットでフリーにダウンロード(<http://hydrology.neng.usu.edu/taudem/>)できる. このTauDEMを利用して, 5mメッシュのDEMから傾斜度と集水度のメッシュデータ(5mメッシュ)を作成した.

#### 3 傾斜度と集水度のメッシュデータの作成

##### 1) 作成手順

TauDEMによる傾斜度と集水度のメッシュデータの作成手順を第8図に示す. 周囲のメッシュより標



第8図 TauDEMによる傾斜度と集水度のメッシュデータの作成手順

高が低く窪地になっているメッシュがあると、そこで流下計算が止まってしまう。これを避けるために、Fill Pits機能によりその窪地メッシュの標高をかさ上げする前処理（窪地処理）を行った。この前処理が行われた5 mメッシュのDEMを用いて、D-infinity Flow Directions機能により傾斜度と流下方向角のメッシュデータを作成した。次に、それらを用いて、Decaying Accumulation機能により集水度のメッシュデータを作成した。なお、メッシュデータの作成領域は、園地A、園地Bおよび園地Cを含む東西2 km×南北2.25km（メッシュ数は東西400×南北450）の範囲である。

2) 傾斜度

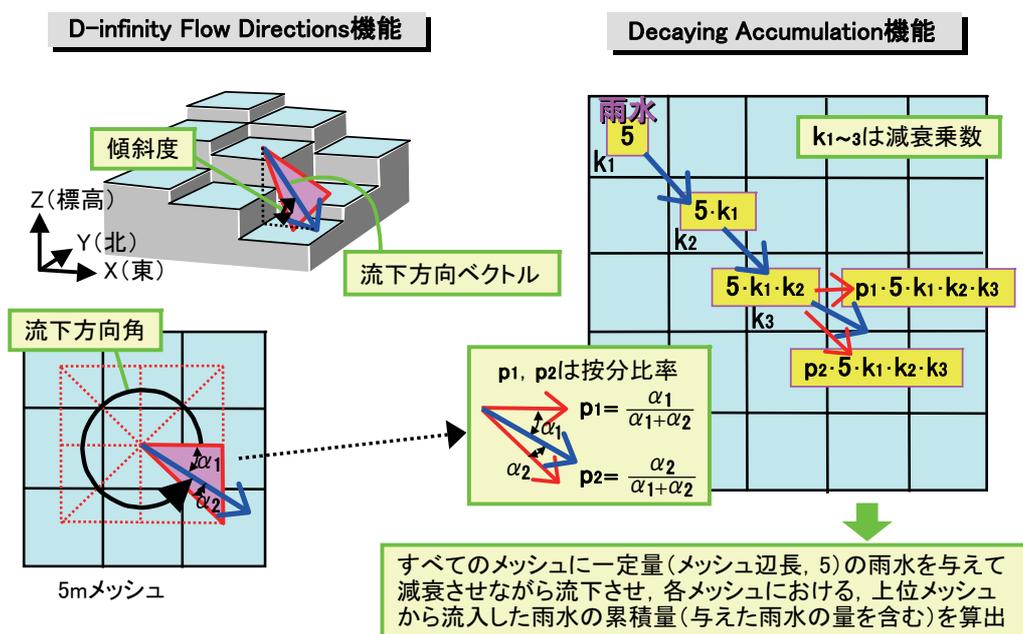
D-infinity Flow Directions機能は、第9図に示すように、3次元の流下方向ベクトルがXY平面となす角度（下向き勾配）を垂直距離と水平距離の比で表し、それを傾斜度として算出する。また、流下方向ベクトルをXY平面に投影してできるベクトルの向きを東から反時計回りの回転角（0～2πラジアン）で表し、それを流下方向角として算出する。流下方向ベクトルは、当該メッシュの中心点（標高をZ値）と隣接メッシュの中心点を結んで形成される8つの三角面に位置するベクトル（始点は当該メッ

シュの中心点）のうち、下向き勾配が最大であるベクトルである。三角面の傾き具合によっては、流下方向ベクトルは三角面の一辺に位置することになり、その時には、流下方向は8方位（北、北東、東、…）のいずれかと一致する。

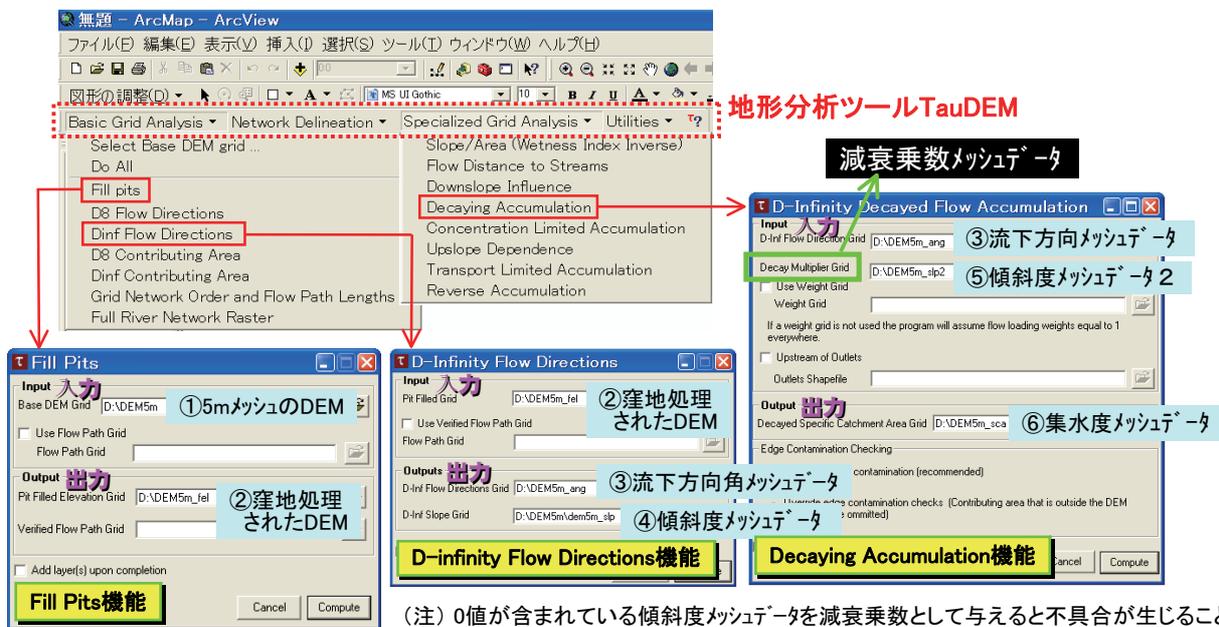
なお、本機能の名称に使われている「D-infinity」は、infinity direction（無数の方向）を意味している。GISの一般的な機能では、流下方向は8方位でしか算出されないが（TauDEMにも8方位で算出する機能もあり）、本機能では流下方向は0～2πラジアンで算出されるので、8方位に対してinfinityという単語が用いられている。

3) 集水度

Decaying Accumulation機能は、第9図に示したように、一定量（メッシュ辺長；ここではメッシュ辺長は5 mであるので、5という量）の雨水をメッシュに与え、それを流下方向の隣接メッシュに減衰（減衰の大きさは減衰乗数で設定）させながら流出させる。流下方向に隣接メッシュが2つある場合（つまり、流下方向が8方位のいずれとも一致していない場合）にはそれぞれに比例按分（按分比率は流下方向に基づいて算定）して流出させる。すべてのメッシュに一定量の雨水を与えてこの流下処理を



第9図 D-infinity Flow Directions機能とDecaying Accumulation機能の概要



第10図 TauDEMのメニュー画面で表した集水度メッシュデータの作成手順

行い、各メッシュにおける、上位メッシュから流入した雨水の累積量（始めに与えた雨水の量を含む）を算出する。

減衰乗数はメッシュ毎に設定することができる。そこで、傾斜度が小さいメッシュほど流出時の減衰が大きくなるように、各メッシュの傾斜度（＝垂直距離／水平距離）を減衰乗数として与えた。このようにして算出した流入雨水の累積量を集水度と呼び、局所的な集水性を表す地形量として用いた。

なお、この集水度は流入の程度を示す指標であり、貯留の程度を示す指標ではないことに留意されたい。例えば、一様な急勾配斜面の中間地点に位置するメッシュは、上位から雨水の流入を受けやすく集水度が大きい。同時に下位に雨水が流出しやすいので、そこでは雨水の貯留（貯留量＝流入量－流出量）は起こりにくい。また、ここでは雨水のほとんどは地下に浸透し、地下浸透水として斜面の傾斜方向に流下（横浸透）するという想定で同機能を適用している。

参考までに、集水度メッシュデータの作成手順をTauDEMのメニュー画面で表すと、第10図のようになる。

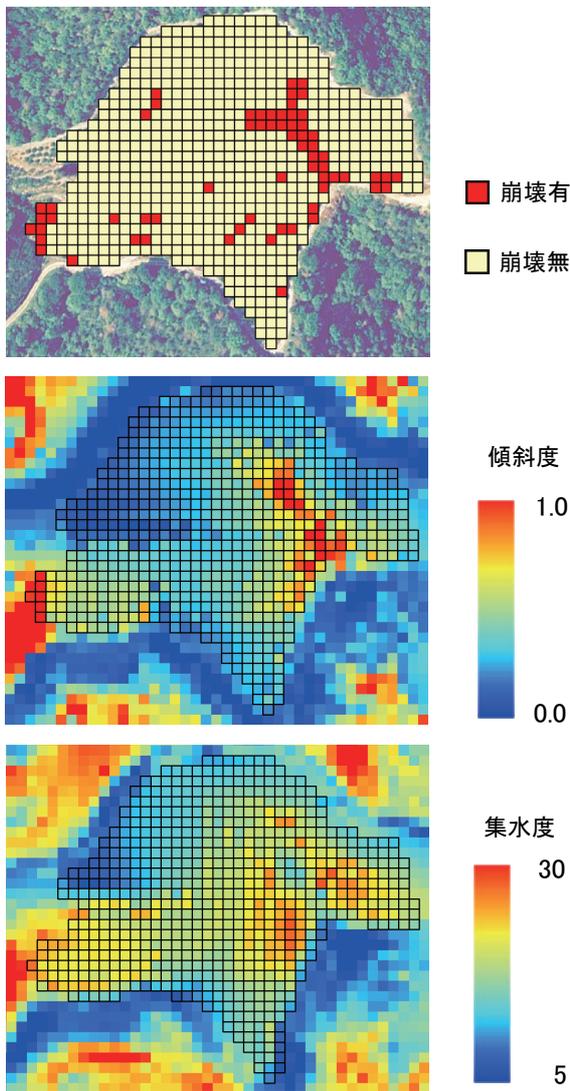
#### IV 結果および考察

##### 1 判別分析

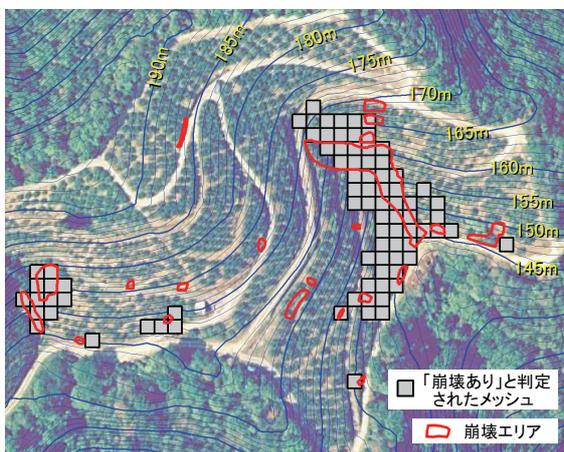
園地Bの崩壊エリア（第4図）をデジタルオルソ画像上にプロットするとともに、デジタルオルソ画像に5mメッシュを配置し、各メッシュ内で崩壊があったかどうかを調べた（第11図のa）。この崩壊の有無を目的変数、5mメッシュのDEMから計算した各メッシュの傾斜度（第11図のb）と集水度（第11図のc）を説明変数として判別分析を行った結果、次の判別式が得られた。

$$Z = -5.402 \times \text{傾斜度} + 1.065 \times \text{集水度} - 9.115 \dots\dots\dots (2)$$

この判別式に傾斜度と集水度を代入してメッシュ毎に判別得点Zを計算し、Zが0より大きければ「崩壊あり」、Zが0より小さければ「崩壊なし」と判定した。判別の中率は89%と高かったが、これは大多数を占める崩壊がなかったメッシュ（570個）の92%が「崩壊なし」と正しく判定されたためであり、崩壊があったメッシュ（63個）のうち「崩壊あり」と正しく判定されたメッシュの割合は62%であった。第12図に、「崩壊あり」と判定されたメッシュ



第11図 崩壊有無 (a), 傾斜度 (b) および集水度 (c) のメッシュデータ (園地B)



第12図 判別分析の結果 (園地B)

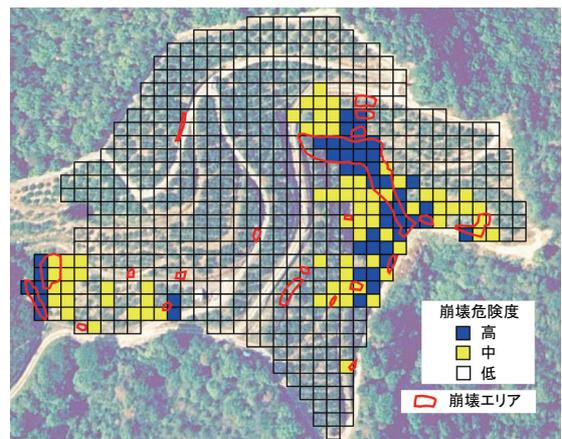
図中のラインは5 mメッシュのDEMから作成した等高線 (太線は5 m間隔, 細線は1 m間隔)

を崩壊エリアとともに示す. 小さな崩壊があった10個のエリアが「崩壊あり」と判定されていなかった.

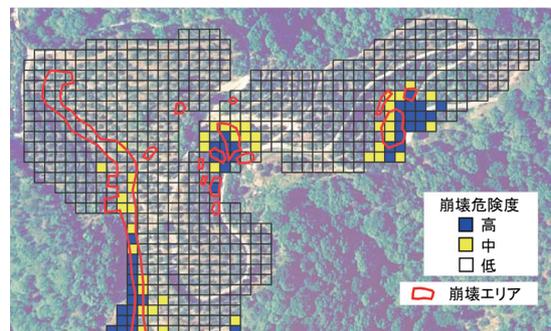
## 2 斜面崩壊危険度の評価手法

判別において傾斜度の寄与は小さく, また判別式の傾斜度の係数は負であった. 傾斜度を除いて集水度のみを説明変数として判別分析を行ってみたところ, その結果は傾斜度と集水度の2つを説明変数とした場合とあまり変わらず, 崩壊がなかったメッシュを「崩壊あり」と誤判定する割合が多少大きくなる程度であった.

そこで, 集水度のみを用いて斜面崩壊の危険度を評価することにした. すなわち, 集水度が10.5未満なら「危険度は低い」, 10.5以上12.5未満なら「危険度は中程度」, 12.5以上なら「危険度は高い」としてメッシュ単位で崩壊危険度を評価した. その評価基準は, 園地Bの崩壊エリアを参照しながら試行錯誤により決定した. この集水度を指標とした評価手法を, 斜面崩壊危険度の評価手法として提案する.



第13図 園地Bの崩壊危険度の評価結果



第14図 園地Cの崩壊危険度の評価結果

本評価手法を園地Bと園地Cに適用した結果をそれぞれ第13図と第14図に示す。園地Bでは、比較的大きな崩壊があったエリアを「危険度は高い」と評価することができ、また小さな崩壊があったエリアの半数以上を「危険度は高い」あるいは「危険度は中程度」と評価することができた。園地Cでも、上流部からの地表流出水の流入に起因した、第5図のa地点の長細い崩壊（土壌侵食）を除けば、崩壊エリアの半数以上を「危険度は高い」あるいは「危険度は中程度」と評価することができた。したがって、本評価手法により、斜面崩壊の危険性のある場所を概略的に把握することができると判断される。

### 3 集水度

DEMを用いて算出できる、集水度に類似した地形量として「等高線単位長さ当りの集水面積」がある。これは世界的に広く使われている流出モデルTOPMODEL<sup>3)</sup>のパラメータである。TauDEMはこの地形量を算出する機能（D-infinity Contributing Area機能）も備えている。その機能で行う流下処理は、Decaying Accumulation機能で行う流下処理（第9図の右）において各メッシュの減衰乗数を1としたものと同じである（各メッシュの等高線長さはメッシュ辺長に等しいと仮定しているため、メッシュ辺長を雨水として与えて、それを減衰させずに流下させると、流入雨水の累積量が「等高線単位長さ当りの集水面積」になる）。当初この地形量の利用を検討したが、この地形量は明瞭に谷地形を呈している斜面が特に大きな値となるため、判別分析でこの地形量を利用すると、比較的大きな崩壊しか判別することができなかった。

一方、筆者らが考案した集水度は、傾斜度を減衰乗数として与えて流下処理を行うことによって算出されている。このため、「等高線単位長さ当りの集水面積」が大きくても集水域の平均的な傾斜度が小さいと集水度は特に大きな値になることはない。また、「等高線単位長さ当りの集水面積」がやや小さくても集水域の平均的な傾斜度が大きいと集水度は大きな値になり得る。集水度を指標として小さな崩壊についてもある程度評価することができたのは、この調整がうまくなされていたためと言える。

### 4 活用面

本評価手法は、現況の園地に防災対策を講じる場合に、防災対策に必要な法面等を判断するために活用できる。また、現況地形で局所的に集水しやすい地点がわかるので、園地の再整備（地形改変）や園内作業道の造成を行う場合に、十分な補強が必要な切盛土部や法面、暗渠の設置場所等を判断するために活用することができる。なお、地質構造や土質条件等の異なる他の地域で適用する場合には、評価基準を再検討する必要がある。

## V 摘 要

愛媛県四国中央市の傾斜地カンキツ園において、2004年に大雨により斜面崩壊が多数発生した。この斜面崩壊状況等を調査するとともに、5mメッシュの数値標高モデルを用いて園内各地点の斜面崩壊の危険度を評価する手法を開発した。本手法では、局所的な集水性を表す集水度という地形量を地形分析ツールTauDEMを用いて算出し、それを指標にして危険度を評価する。本手法により斜面崩壊の危険性のある場所を概略的に把握することができる。

## 謝 辞

本研究は、地域農業確立総合研究「カンキツ経営安定生産のための連年果実生産システムの確立」の予算で実施したものである。現地調査にあたり、愛媛県西条地方局農政普及課の鴻上隆徳氏、当研究センター研究支援センター業務第2科の加賀宇昌宏氏に多大な協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

## 引用文献

- 1) 川本 治・菅谷 博 2005. 香川県における農地の平成16年台風災害に関して. 土木学会四国支部平成17年自然災害フォーラム論文集. 151-160.
- 2) 沖村 孝・市川龍平 1985. 数値地形モデルを用いた表層崩壊危険度の予測法. 土木学会論文集. 358. 69-75.
- 3) 田齋秀章・平松和昭・森 牧人・四カ所四男美

2004. TOPMODELによる山地小流域の長短期流出解析. 九大農学芸誌. 59 (2). 173-183.
- 4) 寺田秀樹・荒木繁幸 2003. 講座 豪雨時における斜面崩壊のメカニズムと危険度予測 4. 危険度の高い斜面抽出法 (その2). 土と基礎. 51 (11). 69-74.
- 5) 矢田部龍一・長谷川修一・ネトラ バンダリー・岡村未対 2005. 平成16年の四国の台風災害の概要と特性. 自然災害科学. 24 (2). 139-149.

## Evaluation of Potential Slope Failure caused by Heavy Rainfall in Steep Citrus Orchards using a Digital Elevation Model

Masato FUKUMOTO, Masahiko SHIMAZAKI\*, Akiko YOSHIMURA

### Summary

In steep citrus orchards in Shikokuchuo City, Ehime Prefecture, heavy rainfall in 2004 caused many slope failures. We proposed a way to evaluate slope failure potential in citrus orchards using a 5-m mesh digital elevation model. The topographical index we designed shows the degree of local catchments, which is calculated using the program TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models). The topographical index was useful in determining potential slope failure area.