画像の重ね合わせ手法と数量化理論を併用した 斜面崩壊発生箇所の分析

瀬戸島政博*・森 大*・後藤恵之輔**

Analysis on the Occurrence of Slope Collapse by Jointly Using the Image Overlay Method and Quantification Method

Masahiro SETOJIMA*, Masaru MORI* and Keinosuke GOTO**

Key words : リモートセンシング remote sensing, 画像の重ね合わせ手法 image overlay method, 数量化理論 quantification method, デジタル画像解析 digital image analysis, カラー空中写真画像 color photograph image, 斜面崩壊 slope collapse, 素因分析手法 analysis method on the factors

Abstract

In this study, we clarified the factors which highly relate to the occurrence of collapse by jointly applying the image overlay method and quantification method on the places where the collapse occurred at the surface layer in the past.

We also discussed the necessity to analyze the hazardous places where the collapse is anticipated occurring at the surface layer in the future, respectively for each pattern of occurrence.

We could obtain the following findings through this study :

(1) The collapses in the study area caused by the same reason (124 places) could be roughly classified into 6 patterns.

(2) By employing the analysis method with which image overlay method and quantification method were jointly used, we were able to surmise the relation between the location of past collapses and hazardous places where the collapse is anticipated in the future.

1. 概要

斜面崩壊は、特定の素因を有する場所で、同一の誘因によって発生する場合でも、異なった崩壊の発生パターン（例えば、傾斜を主因とする場合、集水条件を主因と

する場合等）を有することがある。従来、同一の素因情報をを用いて、同一の崩壊発生パターンを想定し、斜面崩壊の素因を分析することが多かった。

崩壊の発生パターン別に区分を行った上で発生素因を分析すれば、崩壊発生パターン別に卓越する素因や表層部の崩壊に関与すると考えられる素因等が判明する可能性がある。加えて、表層部で発生する崩壊の発生パターン区分に応じた解析を行うことができれば、発生素因に基づく発生危険度予測の精度の向上が図れる。

* 国際航業(株) Kokusai Kogyo Co., Ltd.

** 長崎大学工学部 Faculty of Engineering, Nagasaki University

そこで、本研究では、1982年7月に発生した長崎大水害に伴う表層部の崩壊箇所を対象に、表層部の崩壊の発生パターン区分を画像解析手法を主体に試みた。それにより、崩壊発生パターン別に関与度合の高い素因情報を明確にし、崩壊発生パターン別の類似箇所の推定を試みた。

2. これまでの研究上の課題

最近、斜面災害の発生危険度評価に関して、リモートセンシングによる土地被覆・植生指標情報を加えた研究がなされている。例えば、後藤ら¹⁾の研究では、植生指標を斜面災害の発生素因の一つと考え、これまでの地形・地質的な素因に付加し、数量化手法を適用している。さらに、杉山ら²⁾は、植生情報と地形・地質的な素因に数量化Ⅲ類を適用した一連の解析を道路防災の予知システム確立のための手法として位置付けている。また、大林ら³⁾は、ミニマックス法を主体に、衛星データから求めた植生指標情報と地形・地質情報を用いた数量化Ⅱ類による斜面災害の発生の危険性の有無について研究している。

しかし、これらの研究では、対象とする地すべりや崩壊を、その発生パターンが同一のものと仮定して、発生危険度評価を試みている。さらには、各発生素因情報をメッシュ単位でとらえている場合が多い。

メッシュ単位で崩壊発生に関与する各発生素因を抽出していく場合、災害の発生部と不安定土塊の部分とが、同じように扱われてしまうおそれがあり、崩壊の発生箇所に沿って「線状」に素因を抽出し、分析することができる手法の確立が必要である。

3. 研究の内容

3.1 崩壊発生素因情報の抽出と斜面崩壊との関連

一般的に斜面災害の発生箇所における素因を分析していく際、「どこで発生したか」という側面から発生素因を分析していく場合と、「どんな規模で発生したか」という側面からの分析とに大別されよう。「どこで発生したか」という側面からとらえる場合は、斜面災害の発生区や堆積区などを一つの点として代表させて扱うもので、平均的な面から斜面災害箇所の素因を分析しているにすぎない。また、「どんな規模で発生したか」という側面からとらえる場合には、斜面災害の発生区を一つの点として代表させるのではなく、面として扱っていく必要がある。さらに、発生素因の分析をより深めていく場合、「どんなところで発生したか」という側面から発生素因を分析していく必要がある。その場合、例えば崩壊

の発生箇所や地すべりの滑落崖などを線として分析することが重要であり、解析方法としては、これらを表現できる大きさの画素を単位として画像を重ね合わせる手法が有効である。

「どんなところで斜面災害が発生したか」という側面から発生素因を線状に分析していくには、災害発生前後に撮影された空中写真画像と、関連する素因情報（土地条件的な素因情報を画像化したもの）との画像同士の重ね合わせ処理⁴⁾を適用する。そのためには、空中写真画像の厳密な幾何学的な歪み補正⁵⁾を行う。これにより、斜面災害発生前後の空中写真画像と、関連する各種の素因情報（とくに土地条件に基づく素因）を画像として重ね合わせ、どんな土地条件のところで斜面災害が発生したか、さらには同じような土地条件の組み合わせが考えられる所が他にあるか（あるとすれば、土地条件から見て今後、災害発生箇所として懸念されよう）を知ることができる。

3.2 崩壊発生素因情報のグループ化と崩壊発生パターンの区分

ここでは、3.1節での適用手法によって抽出された崩壊地を線状に、各素因情報を用いて類似の素因グループ単位で集合化を図る。それによって関連の深い素因同士の関係を分析していくことができる。そのために、本研究では、数量化Ⅲ類⁶⁾、クラスタリングの2手法を用いる。

数量化Ⅲ類は質的データに対する正準相関分析であり、外的基準を必要とせず、多数の要因を少数の総合項目に縮約する場合に用いられる。

数量化Ⅲ類の計算では、サンプル数が極めて少ないカテゴリーを統合し、繰り返し計算を行う。この計算結果が原データの情報を十分縮約しているか検討した後、崩壊パターンの分類に用いる軸を設定する。検討は、①軸毎の意味付け、②使用軸の設定、について行う。

数量化Ⅲ類の計算結果では、計算に用いたアイテム、カテゴリーと同数の固有値が抽出される。それぞれの固有値（値の大きいものから順に第1、第2……とする）に対応して、アイテム、カテゴリー毎に得点（カテゴリー・スコア）が与えられる。このうち、固有値の大きな場合（すなわち、カテゴリー・スコアとサンプル・スコアの相関が高い場合）、同時に出現することの多いカテゴリーには値の近いスコアが与えられるため、その得点をもとに分類を行うことができる。

数量化Ⅲ類により算出された素因カテゴリーのスコアに対し、クラスタリング手法を適用し、素因カテゴリーのグループ化を行う。これにより、既往崩壊箇所をクラ

スタリング結果に従って類型区分する。類型区分の方法は、崩壊発生パターン毎に関与する素因カテゴリーを重ね合わせた画像を作成し、各崩壊地がどの類型と重合するか検討し、類型区分する。

3.3 崩壊発生パターン別の類似箇所の推定

ここでは、3.2節でなされた崩壊発生形態別の素因情報の重なり具合を基準として、発生形態別に卓越する素因情報を重ね合わせ、崩壊の発生形態を区分する。崩壊類型別の画像を作成するに際しては、類型毎に崩壊発生に重要な影響を及ぼすと考えられるカテゴリーのみを抽出して重ね合わせる。崩壊発生に関与して、かつ重要なカテゴリーの抽出にあたっては、相対頻度を用いた（筆者らは、これを相対頻度法と仮称する⁷⁾。以下、本文中では相対頻度法として用いる）。相対頻度法は、図-1に示すように、各カテゴリーの崩壊地における出現率と対象斜面全域での出現率の比で表すものである。すなわち、既往崩壊箇所の画像と各発生素因画像を画像解析システム上で重ね合わせることで、崩壊地に対応する画素を発生素因情報から抽出する。抽出した画素に対して、カテゴリー毎に崩壊地の全画素数で除し、崩壊箇所におけるカテゴリー別の面積率を求め、その値をカテゴリーの寄与度と考える。さらに、求めた寄与度を対象斜面全体におけるカテゴリー別面積比で除して求めたものが相対頻度である。相対頻度が1以上であれば、崩壊発生に何らかの関係がある発生素因カテゴリーであると考えられる。

図-1 相対頻度の計算方法

図-2 解析対象地域位置図

4. 解析対象地域および使用データ

本研究では、1982年7月23日夕方から24日未明にかけて長崎地区を襲った局地的な集中豪雨に伴う表層崩壊地を対象とし、解析対象地域は長崎市内と大村空港を結ぶ長崎バイパス沿いの山岳地とした（図-2、写真-1）。

この豪雨災害の経過は次のようであった⁸⁾。九州南岸にあった梅雨前線は23日朝、北上して九州北部に停滞し、対馬海流方面に現れた低気圧に向かって湿った空気が流れ込み、前線を刺激した。このため、高さ10 kmを越す厚い雨雲が長崎市から雲仙にかけての一帯を覆った。この雨雲は、長浦岳で23日午前6時から7時までの1時間に115 mmという記録的な大雨を降らせた。この結果、長崎市とその周辺地域では、山地における土石流や崩壊などの土砂災害、河川の下流部における浸水や土砂の堆積などを引き起こした。

この豪雨による土石流・山崩れの発生地域を地質的に分類すると、①川平閃緑岩地域、②長崎火山岩地域、③井桶ノ尾火山岩地域、④古第三紀層地域、⑤西彼杵変成

岩地域に区分される。このうち、解析対象とした前岳地区は長崎火山岩地域に相当している。

長崎火山岩地域は、輝石安山岩と凝灰角礫岩とが重なり合う構造を持つ。この岩石の分布地域は、傾斜の小さい谷地形に降雨が集中し、表層部を被覆する崩積土を洗掘しつつ崩壊している場合が多い。

解析に使用したデータは次のとおりである。

- (1) 災害発生前撮影のカラー空中写真（スキャナー入力後、画像データとして使用）
- (2) 災害発生後撮影のカラー空中写真（スキャナー入力後、画像データとして使用）
- (3) 1:2,500都市計画図の等高線を入力して作成した数値地形モデル（Digital Terrain Model: DTMと略される。以下、DTMを用いる。さらにDTMより傾斜、斜面縦断面、斜面横断面データを作成）

5. 崩壊発生素因情報と崩壊地との関係

5.1 使用した崩壊発生素因情報

本研究では、長崎バイパス沿いの前岳地区（約1.5

表-1 解析に使用した発生素因情報

アイテム	カテゴリー	
遷急線からの距離	1	0-10m
	2	11-20m
	3	21-30m
	4	31m以上
ガリ・水系からの距離	1	0-10m
	2	11-20m
	3	21-30m
	4	31-40m
	5	41m以上
集水地形の有無	1	集水地形
	2	集水地形以外
傾斜	1	0-10°
	2	11-20°
	3	21-30°
	4	31°以上
斜面形状		横断 縦断
	1	凹 凹
	2	凹 平坦
	3	平坦 凹
	4	平坦 平坦
	5	平坦 凸
	6	凸 平坦
	7	凸 凸
植被分類	1	裸地
	2	草地
	3	広葉樹 (密)
	4	広葉樹 (粗)
	5	針葉樹 (密)
	6	針葉樹 (粗)
植被境界からの距離	1	0-10m
	2	11-20m
	3	21-30m
	4	31m以上

km×2.2 km) を解析対象地域とし、地形・植生等の素因情報を空中写真判読、画像解析、DTMを用いて、画像データ化した。その際、画像データの最小単位である1画素の大きさは、実長で2m四方とした。すべての素因データに対して、統一の座標系を設定し、正射変換、アフィン変換により位置を合わせた。また、素因情報は数量化計算に用いるため、表-1に示すカテゴリーデータとした。写真-2,3には、代表的な素因情報を示す。

① ガリからの距離

ガリは、カラー空中写真の判読により抽出した。ガリの影響は、その直上のみではなく、周囲に対しても考えられることから、ここでは画像の全画素について最近隣のガリからの距離を計算し、素因画像とした。

② 集水地形

集水地形は、地形図の等高線の並びから判然とするものと、現地調査による補足を加えて明らかにしたのを用いた。

③ 遷急線からの距離

遷急線は地形図の判読から抽出し、ガリの場合と同様に遷急線の位置からの距離について計算した。

④ 傾斜

地形図上から2m間隔で等高線をすべて入力し、デジタル標高データを作成した。これを用いて計算処理し、各画素の最大傾斜方向の傾斜角を求めた。

⑤ 斜面縦断形

斜面縦断形画像の作成は、傾斜と同様に計算処理により、斜面形状を凹形、平坦形、凸形に区分した。

⑥ 斜面横断形

斜面縦断形と同様の手法で、最大傾斜方向に直交する方向の斜面形状を求めた。斜面形状は凹形、平坦形、凸形に区分した。

⑦ 植被

難波⁹⁾によれば、無林地よりも有林地の方が崩壊が少なく、また、有林地のなかでは林齢が高いほど崩壊が少ないことを指摘している。

そこで、有林地と裸地や草地等の無林地をカラー空中写真画像を用いて、自動判別により分類した。なお、カラー空中写真画像の自動判別に当っては、カラー空中写真を、入力用のスキャナーを通して青色・緑色・赤色データに色分解したうえで、画素単位で植被状況を分類した。

⑧ 植生境界からの距離

植生境界とは、植生タイプの境界線や森林内での樹高階の境界線、植生域と人工構造物の境界線等がこれに当る。植生境界付近では、表流水の流れや、樹木の根茎による表土の締め固め力が急激に変化することから崩壊の発生しやすい状況にある。そこで、植被分類画像から異なるカテゴリーが接する地点を抽出し、その地点からの距離を全画素について計算したものを素因情報の一つとして用いた。

以上の各素因情報に加え、災害発生直後に撮影したカラー空中写真を正射変換し、崩壊発生箇所の情報も整備した。

写真-1 空中写真画像

写真-2 植被分類画像

表-2 アイテム別のレンジ

No.	ア イ テ ム	レ ン ジ				
		第1軸	第2軸	第3軸	第4軸	第5軸
1	遷急線からの距離	6.49185	9.15052	8.64468	5.13092	9.84002
2	ガリ・水系の距離	5.86641	5.94777	8.42902	10.6299	7.35063
3	集水地形の有無	6.27048	2.35336	3.29625	1.54546	1.95129
4	傾 斜	5.26209	9.85391	7.86692	5.52406	8.40901
5	斜面縦横断形	5.99859	7.26313	7.25530	14.6213	8.97405
6	植 被 分 類	4.77453	3.40874	6.76989	5.67737	6.51256
7	植被境界の距離	3.10419	5.28204	8.22600	8.13476	14.9350

5.2 崩壊発生素因情報と崩壊箇所との関係

ここでは、崩壊発生パターンを客観的に類型区分することを目的として、発生素因情報の集計結果に対し、数量化Ⅲ類を適用した。数量化の適用に先立って、7種の発生素因画像に対して崩壊発生箇所画像を画素単位に重ね合わせ、124箇所の崩壊地における発生箇所に該当する1306画素（124箇所の崩壊の発生箇所を線状に画像化した総画素数）のカテゴリー頻度を集計し、数量化計算を用いた。数量化Ⅲ類の計算では、サンプル数が極めて少ないカテゴリーを統合し、繰り返し計算を行った。

次に、数量化Ⅲ類の計算結果が原データの情報を十分縮約しているかを検討した後、崩壊発生パターンの分類に用いる軸を設定した。

(1) 軸毎の意味付けの検討

解析対象地域の崩壊発生素因情報に対して数量化Ⅲ類

写真-3 傾斜区分画像

を適用した結果、表-2に示すカテゴリー・スコアのレンジを得た。レンジは、アイテム別のカテゴリー・スコアの最大、最小値の差であり、レンジが大きいアイテムほど、その軸における群別分類に重要な因子と考えられる。

次に、表-2に基づき、軸毎の意味付けについて検討した。

第1軸は、遷急線からの距離、集水地形の有無のレ

写真-4 崩壊発生の類似箇所 (A タイプ)

写真-5 崩壊発生の類似箇所 (B タイプ)

写真-6 崩壊発生の類似箇所 (E タイプ)

図-3 各軸の寄与率および累積寄与率

レンジが比較的大きいものの、概ね全アイテムに均等なものとなっている（すなわち、後述の第2軸以降に比べ、アイテム毎のレンジに大きな差が見られない）。

第2軸は、傾斜、遷急線からの距離のレンジが大きく、主として傾斜の違いに関する情報を縮約していると考えられた。

第3軸は、遷急線からの距離、ガリ・水系からの距離と植被境界からの距離のレンジが概ね同程度であり、

第1軸、第2軸と異なった情報を縮約しているのがわかった。

第4軸以降のレンジは第1～第3軸のいずれかと類似した傾向を示すと考えられた。

(2) 使用軸の検討

数量化Ⅲ類により得られた32軸のカテゴリー・スコアの中から、クラスタリングによるグループ化に用いる軸とそのカテゴリー・スコアを選別した。

図-3に各軸の寄与率および累積寄与率を示す。また、表-3に寄与率の計算に用いた各軸の固有値を示す。図-3では、第3軸以降の寄与率が漸減傾向を示している。寄与率の大きさが、比較的に明瞭に変化するのは第2軸と第3軸の間と、第25軸と第26軸の間においてである（第29軸以降は計算誤差である。これは、使用した計算プログラムが、限りなく0に近い固有値を正確に表示しないためである）。最初に現れる寄与率の大

表-3 数量化Ⅲ類による固有値

No.	固 有 値	No.	固 有 値
1	0.271512	17	0.122258
2	0.246789	18	0.116513
3	0.198018	19	0.111427
4	0.191699	20	0.109438
5	0.175493	21	0.102037
6	0.169743	22	0.099009
7	0.160995	23	0.089530
8	0.155335	24	0.071367
9	0.152984	25	0.058826
10	0.149547	26	0.000021
11	0.147415	27	0.000003
12	0.143938	28	0.000001
13	0.136173	29	計算誤差 *
14	0.134094	30	〃
15	0.130442	31	〃
16	0.126874	32	〃

* 計算結果の出力に際しては、8桁表示のため不確定な数値が表示された。
筆者らはこれを「計算誤差」と表記した。

きな変化は主要な情報の多くが、その軸までに抽出されたことを示すものと言える。しかし、累積寄与率に着目すると、第1、第2軸まででは0.5と低く、第1、2軸をもって原データを代表しているとは不十分であると考えられた（菅¹⁰⁾は、累積寄与率0.6程度を軸数設定の目安としている）。これと、(1)の各軸の意味付けにおいて第1～第3軸が異なる主要な情報を縮約していたことを考え合わせ、第3軸（累積寄与率0.6）を解析に加えることが妥当と判断した。

以上のことから、解析対象地域の解析には第1～第3軸までのカテゴリー・スコアを用いることとした。

6. 崩壊発生素因情報のグループ化と崩壊発生パターンの区分

数量化Ⅲ類による第1～第3軸のカテゴリー・スコアの値を階層的クラスタリング手法により分類した。階層的クラスタリング手法として、ワード法（クラスター統合後の情報損失量を最小とするクラスターの統合を行う方法）を適用した。

階層的なクラスタリング手法では、全データが1つのクラスターに統合されるまで計算を続けるため、最終クラスターの数を任意に指定して希望のクラスター数にする必要がある。図-4でクラスター毎のまとまりが明

図-4 クラスター統合のためのデンドログラム

瞭となる距離（今回の場合は3.5付近）に基づき、6種類のクラスターを採用した。

各クラスターに含まれる素因と、それから類推される崩壊発生パターンを表-4に示す。

- (1) タイプAは、遷急線の近傍や急傾斜地で発生していた崩壊のパターンであり、いわゆる傾斜に起因した崩壊である。
- (2) タイプBは、遷急線近傍や急傾斜地との関連は薄い、植被の貧弱なところで発生していた崩壊である。
- (3) タイプCは、タイプBと類似するパターンであり、主として森林内で植被の少ない箇所（例えば伐採跡地など）で発生していた崩壊である。
- (4) タイプDは、タイプAに近いパターンであり、比較的傾斜の急な箇所で発生していた崩壊である。
- (5) タイプEは、集水しやすい地形条件（斜面の縦横断形がともに凹形、集水地形が存在、ガリ・水系から近距離内に存在）の所で発生していた崩壊である。
- (6) タイプFは、耕作地内（段々畑など）や林道内の法肩で発生していた崩壊である。

各タイプの素因カテゴリーをもつ崩壊箇所数を集計したところ、タイプA～Fに属すると考えられるものが、それぞれ、20箇所（16.1%）、31箇所（25.0%）、17箇所（13.7%）、18箇所（14.6%）、4箇所（3.2%）、3箇所（2.4%）であった。この他に、31箇所（25.0%）が、複数のタイプの素因を合わせ持っていた（この集計は、実長2m四方の画素を単位とした素因情報に基づくもの

表-4 崩壊の発生パターン

崩壊類型	説 明	関 連 素 因 カ テ ゴ リ ー	
タイプ A	遷急線の近傍で、急傾斜地においても発生しているもの。	遷急線からの距離	0~10m
		ガリ・水系からの距離	21~30m
			41m以上
		傾斜	31°以上
		斜面縦横断形	凸凸
		植被分類	広葉樹(疎) 針葉樹(疎)
タイプ B	植被のうすい箇所において発生しているもの	植被境界からの距離	11~20m 21~30m
		遷急線からの距離	21~30m
		ガリ・水系からの距離	31~40m
		傾斜	11~20°
		斜面縦横断形	凸平坦
		植被分類	裸地
タイプ C	樹林による被覆の少ない箇所や伐採跡地に見られ、植被条件と崩壊発生の関連が強いと考えられるもの。	集水地形の有無	集水地形以外 平坦 平坦
		斜面縦横断形	平坦 凹
		植被分類	草地
		植被境界からの距離	0~10m
		ガリ・水系からの距離	11~20m
		傾斜	21~30°
タイプ D	比較的傾斜の急な箇所において発生しているもの	斜面縦横断形	平坦 凸
		植被分類	広葉樹(密) 針葉樹(密)
		植被境界からの距離	31m以上
		ガリ・水系からの距離	11~20m
		ガリ・水系からの距離	0~10m
		集水地形の有無	集水地形
タイプ E	集水地形やガリ近傍等水の集まりあひ箇所のみみられるもの。	斜面縦横断形	凹 凹 凹 平坦
		遷急線からの距離	11~20m
		ガリ・水系からの距離	0~10m
		集水地形の有無	集水地形
		斜面縦横断形	凹 凹 凹 平坦
		遷急線からの距離	31m以上
タイプ F	耕作地内の法肩等で発生しているもの	傾斜	0~10°

であり、4章で述べた対象地域における崩壊分布の地形的特性に比べ微視的なものである。

7. 崩壊発生パターン別に見た類似箇所の抽出

ここでは、崩壊発生パターン毎に崩壊発生に重要な影響を与えたと考えられるカテゴリのみを抽出して重ね合わせ、崩壊発生パターン別の類似箇所の抽出を試みた。崩壊発生に重要な影響を与えたと考えられるカテゴリの抽出には、相対頻度法を用いた。

この方法では、あるカテゴリが斜面全体での出現率に比べ、崩壊地において特に多く分布するほど大きな寄与度として算定される。

以上の2手法により計算された各カテゴリの頻度、相対頻度を表-5に示す。同表の相対頻度が1.0より大きなカテゴリは、崩壊発生に関与しているものと考えられる。逆に相対頻度の値が1.0以下の場合、崩壊発生とカテゴリの関連性がない、もしくは非発生に関与していると言える。

次に、崩壊発生パターン別の関連素因カテゴリの中から、相対頻度の高いもののみを画素単位で重ね合わせた。その代表的な解析結果を写真-4~6(p.19, 背景は崩壊発生前の空中写真)に示す。

表-5 アイテム・カテゴリ別の頻度(A)・相対頻度(A/B)

アイテム	カテゴリー	A 崩壊地に出現するピクセル数(率)	B 対象地域全体での出現ピクセル数(率)	相 対 頻 度 (A/B)
遷急線からの距離	0~10m	793 (60.8%)	237033 (50.1%)	1.21
	11~20m	280 (21.4%)	102746 (21.7%)	0.99
	21~30m	149 (11.4%)	54343 (11.5%)	0.99
	31m以上	84 (6.4%)	78860 (16.7%)	0.38
ガリ・水系からの距離	0~10m	499 (38.2%)	158774 (33.6%)	1.14
	11~20m	364 (27.9%)	116567 (24.6%)	1.13
	21~30m	187 (14.3%)	85937 (18.2%)	0.79
	31~40m	159 (12.2%)	48142 (10.2%)	1.20
	41m以上	97 (7.4%)	63572 (13.4%)	0.55
集水地形の有無	集水地形	259 (19.8%)	67215 (14.2%)	1.39
	集水地形以外	1047 (80.2%)	405767 (85.8%)	0.93
傾斜	0~10°	85 (6.5%)	48858 (10.3%)	0.63
	11~20°	260 (19.9%)	121914 (25.8%)	0.77
	21~30°	639 (48.9%)	198878 (42.1%)	1.16
	31°以上	322 (24.7%)	103332 (21.8%)	1.13
斜面縦横断形	横 凹 縦 凹	159 (12.2%)	48443 (10.3%)	1.18
	凹 平坦	138 (10.6%)	39677 (8.5%)	1.25
	平坦 凹	160 (12.2%)	40863 (8.7%)	1.40
	平坦 平坦	572 (43.8%)	226500 (48.2%)	0.91
	平坦 凸	76 (5.8%)	31733 (6.8%)	0.85
	凸 平坦	116 (8.9%)	40655 (8.7%)	1.02
植被分類	凸 凸	85 (6.5%)	41053 (8.8%)	0.74
	裸 地	114 (8.7%)	42582 (9.0%)	0.97
	草 地	347 (26.6%)	92397 (19.5%)	1.36
	広葉樹(密)	423 (32.3%)	154456 (32.7%)	0.99
	広葉樹(疎)	221 (16.9%)	80030 (16.9%)	1.00
	針葉樹(密)	116 (8.9%)	95576 (20.2%)	0.67
針葉樹(疎)	針葉樹(疎)	25 (1.9%)	7941 (1.7%)	1.12
植生境界からの距離	0~10m	792 (60.6%)	218259 (46.1%)	1.31
	11~20m	275 (21.0%)	109574 (23.2%)	0.91
	21~30m	121 (9.3%)	56216 (11.9%)	0.78
	31m以上	118 (9.1%)	88933 (18.8%)	0.48

(1) タイプAの類似箇所は、遷急線の近傍に多く、傾斜が急な斜面中央部に多く見られる。このタイプの既往崩壊地および類似箇所が比較的多い。このタイプの類似箇所と現地調査での崩壊懸念箇所との整合性は概ね高かった。

(2) タイプBの類似箇所は、斜面中の植被の薄い箇所にも多く分布していた。現地調査でBタイプの崩壊懸念箇所の確認を行ったところ、露岩地等が植林地の中に点在している箇所や、伐採跡地内の崩壊地や危険箇所が対応していた。

(3) タイプCの類似箇所は、道路の路肩や植林地の林道沿い等の植生境界近傍や伐採跡地等の植生の疎な箇所によく見られた。現地調査では、林道の周辺にクラックが生じている箇所等が確認された。

(4) タイプDの類似箇所は、タイプAの同様の箇所と似た分布を示していた。両タイプの違いは、植生の疎密が異なることである。すなわち、表-4に示したように、タイプAでは広葉樹・針葉樹とも(疎)のカテゴリーから構成されるのに対し、タイプDでは(密)のカテゴリーから構成されるためである。

(5) タイプEの類似箇所は、集水地形である凹地や、ガリの付近に点在していた。現地調査においても、斜面中や表土が流出してできたと考えられる凹地形等を確認できた。

(6) タイプFの崩壊は耕作地の人工的な斜面で発生しているものである。解析による類似箇所は概して、実際よりも広範囲に抽出されていた(今後、人工構造物の位置を加えて解析を行うことにより、解析結果の絞り込みが必要となろう)。

8. ま と め

本研究は、1982年7月に発生した長崎大水害に伴う表層部での崩壊箇所を対象に、表層部の崩壊の発生パターン区分を画像解析手法を主体に試みた。それにより、発生パターン別の崩壊に対する関与度合の高い発生素因情報を明確にし、発生パターン別に崩壊を分析する方法について検討した。

本研究を通じ、次のような知見を得ることができた。

(1) 前岳地区の解析では、長崎大水害時の同一誘因によって生じた崩壊地(124箇所)について、画像の重ね合わせ処理と数量化理論を併用した手法を適用した。その結果、崩壊の発生パターンを概ねA~Fの6パターンに大別することができた。今後、崩壊発生の予測に当たっては、それぞれ個別の発生パターン毎に発生の危険度を検討することが必要とされよう。

(2) 画像の重ね合わせ処理と数量化理論を併用した手法を適用することにより、解析結果をビジュアルなカラー画像として表示することができ、加えて、抽出された類似箇所は今後の崩壊発生の懸念箇所と考えることができる。

以上のような研究成果が得られたが、今後、本研究をより一層進めていくうえでは、次のような課題が残されている。

(1) 数量化Ⅲ類による崩壊発生のパターン化に関する検証

本研究は、上記のように崩壊発生のパターン別に分析することを目的に、そのための解析手法に主眼をおいて進めた。したがって、マクロな視点からの解析であり、数量化Ⅲ類の適用に当たっては、次のような面からの詳細な検証を今後とも必要とされる。すなわち、数量化Ⅲ類は、外的基準を与えない場合の群別分類を意図した手法であり、アイテム・カテゴリーとサンプルのグループ化に用いられる。しかし、本研究ではアイテム・カテゴリーの分類のみを用い、サンプル側の分類結果については検証を行っていない。そのため、崩壊発生パターンの分類結果について、今後は十分な検証が必要とされる。また、解析結果のうち、固有値が最大である第1軸において、カテゴリーとサンプル間の相関係数は0.53であるが、筆者らは相関係数0.4~0.7は経験的に中程度の相関があるものとして判断した。今後、より実用性の高い解析手法を確立していくには、十分な検討が必要とされる。

(2) 崩壊発生素因としての植被情報の重要性和そのための情報抽出手法

本研究で明らかのように、植被情報の差異(植物の被覆度の違い、植被の境界線など)により発生した崩壊の発生パターンが見られた。すなわち、同じ植生域であっても、被覆度の違い(例えば、森林内の裸地や草地のように周囲の植物被覆との差異)に起因した崩壊が発生していた。このようなことから、崩壊発生素因として植被情報の重要性が考えられる。植被情報は、リモートセンシングが最も得意とする領域である。衛星データやカラー空中写真から植被情報を正確に収集するためには、地形の陰影による影響を除去したり、特殊なフィルターを用いた画像処理手法の適用による改善が必要とされる。

(3) 画像の重ね合わせ処理と数量化理論の併用による今後の崩壊発生予測手法

従来から数量化理論は、災害箇所の分析や危険度予測に用いられてきた手法であり、定量的で、客観的な解析結果を得ることができるものである。しかしながら、解析過程の手順の複雑さや繰り返し計算の手間、解析結果の視認性などに課題が存在する。そのためには、数量化理論の前段で、画像の重ね合わせ処理を適用し、解析に使用するカテゴリーの絞り込みを行う。次に、有力なカテゴリーを用いて数量化理論を適用し、崩壊の発生パターン別に見た今後の発生危険度判定を行うといった段階的な解析が必要となろう。

さらに、その判定結果を3次元画像上に表示したり、地形図あるいは写真などの画像上に重ね合わせて表示すること等により、解析結果の視認性が向上し、解析結果

の妥当性の判断が迅速に進められることとなる。そのためには、上記のような併用手法の改善・改良が今後の課題となる。

参 考 文 献

- 1) 後藤恵之輔, 棚橋由彦, 後藤正孝, 藤田 徹, 吉住龍也 (1988): リモートセンシングデータを導入した数量化理論による地すべりの危険度評価, 第23回土質工学研究発表会発表講演集, pp. 1819~1820.
- 2) 杉山和一, 後藤恵之輔, 三浦国春, 峰浩二 (1990): 衛星データを導入した道路防災の予知システム, 日本写真測量学会平成2年度秋季学術講演会発表論文集, pp. 27~30.
- 3) 大林成行, 小島尚人, 笠 博義 (1990): 斜面崩壊予測を対象とした衛星マルチスペクトルデータの実利用化について, 土木学会論文集, 第415/VI-12, pp. 71~80.
- 4) 瀬戸島政博, 白石一夫 (1992): 斜面災害発生地点における素因分析の一手法と応用性について, 応用地質, Vol. 33, No. 2, pp. 22~30.
- 5) 瀬戸島政博, 大山容一 (1991): 斜面災害の発生地点における土地条件分析を目的としたカラー空中写真データの画像解析手法, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 11, No. 2, pp. 41~53.
- 6) 駒澤 勉 (1982): 数量化理論とデータ処理, 朝倉書店, 289p.
- 7) 瀬戸島政博, 森 大, 野口達雄, 杉山友康 (1991): 画像のオーバーレイ手法を用いた斜面災害懸念箇所の抽出に関する検討, 日本写真測量学会平成3年度秋季学術講演会発表論文集, pp. 115~118.
- 8) 長崎大学学術調査団 (1982): 昭和57年7月長崎豪雨による災害の調査報告書.
- 9) 難波宣士 (1978): 大政正隆監修/帝国森林会編「森林学」4. 侵食に対する森林の影響, 共立出版, pp. 500~515.
- 10) 菅 民郎 (1993): 「実践多変量解析」, 社会情報サービス, p. 130.

(1993年8月2日受付, 1993年12月1日受理)