③)教師データ洗練化による同時多発型・斜面崩壊形態分類図の精度向上

内田 一鉱1・小島 尚人2・斎藤 快斗3

¹学生会員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641) E-mail: 7618505@ed.tus.ac.jp

²フェロー会員 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641) E-mail: kojima_h@rs.noda.tus.ac.jp

3 非会員 横浜市役所 (〒231-0017 横浜市中区港町一丁目1番地)

本研究は、同時多発型・異種斜面崩壊危険箇所評価支援を目的として、教師データの洗練化を通して斜面崩 壊形態分類図の精度を向上させたものである. 筆者らが提案した斜面崩壊形態分類アルゴリズムは,外的基準(崩 壊形態別教師データ)を多群とする数量化 II 類(多群数量化 II 類)を中核とする. 「表層崩壊, 深層崩壊, 地すべ り」が同時発生した領域を対象として、教師データの初期分類結果から誤分類画素を除去し, 洗練化教師データと した. 洗練化前後の教師データに対する散布図と判別効率表を比較・分析した結果, 教師データの分離性(代表 性向上)が高まり,総合精度と kappa 係数は, それぞれ 84%から 98%, 0.76 から 0.97 に向上した. さらに, 教師デ ータ洗練化前後の斜面崩壊形態分類図上の違いを利用し, 安全側・危険側評価が展開できることを示している.

Key Words: multiple simultaneous slope failures, training data purification, slope failure types, multigroup discriminant analysis, slope failure hazard mapping, spatial data integration.

1. はじめに

広域にわたって潜在危険斜面を推定することを目的と した「斜面崩壊危険箇所評価モデル」の構築では、土地 の性状に対応する各種地理情報(地形、表層地質、土壌、 傾斜区分、斜面方位、谷密・水系、衛星データ等)を素 因(説明変量)とし、既崩壊領域を教師データ(外的基 準)とした上で、説明変量による目的変量の定式化が目 的となる.しかし、斜面崩壊形態を単一とする教師デー タに基づく斜面崩壊危険箇所評価モデルの構築にとどま っている^{1,2}).予期せぬ巨大地震、集中豪雨を誘因とし、 同時多発的な異種形態の斜面崩壊が発生している今日、 新たな視点に立ったモデル構築が求められている.

この課題に対して、筆者らは、目的変量を多群とする 数量化 II 類 (以下,多群数量化 II 類)を導入した分析ア ルゴリズムを提示した³⁾.このアルゴリズムを通して異 種斜面崩壊(表層崩壊,深層崩壊,地すべり)の危険箇 所推定結果を同時表示した「斜面崩壊形態分類図(slope failure type classification map:以下,FTC マップ)として 提示し、同時多発型・異種斜面崩壊危険箇所評価支援に 寄与できることを示した.しかし、教師データが多群で あることから、FTC マップの判別精度を向上させる上で、 教師データの洗練化が課題となっていた. 以上の背景のもと、本研究は、同時多発型・斜面崩壊 危険箇所評価支援を目的として、FTCアルゴリズムにお ける教師データ洗練化効果の有無について検討したもの である.「表層崩壊、深層崩壊、地すべり」が同時発生 した領域を対象として、教師データを初期分類し、誤分 類画素(Omission & Commission error)を除去し、「洗練 化教師データ」とした.洗練化前後での判別効率表を比 較した結果、総合精度とkappa係数は、それぞれ84%か ら98%、0.76から0.97に向上し、教師データ洗練化処理 の有用性が示された.

2. 教師データと素因データの準備

(1) 崩壊形態別・教師データ(外的基準)

新潟県中越地震(2004年)を誘因として,斜面崩壊と 地すべりの被害受けた長岡市(旧山古志村,評価対象領 域:東西3.0km×南北2.5km)を対象領域とした.現地調 査報告書(土木学会,国土地理院等)に基づき⁴,既崩壊 地として「表層崩壊,深層崩壊,地すべり」を教師デー タとして設定した.図-1(a)にこれらの教師データ(洗練 化前)の分布状況を示す.



図-1 洗練化処理前後の崩壊形態別・教師データ

表-1 教師データ洗練化前後の判別効率表

	観測値			⇒L	TTA			
	表層崩壞	深層崩壊	地すべり	計	UA			
表層崩壞	27	2	0	29	93%			
深層崩壊	2	39	3	44	89%			
地すべり	5	6	28	39	72%			
計	34	47	31	112				
PA	79%	83%	90%					
	表層崩壊 深層崩壊 地すべり 計 PA	表層崩壊 表層崩壊 27 深層崩壊 27 地すべり 5 計 34 PA 79%	観測値 表層崩壊 深層崩壊 表層崩壊 27 深層崩壊 2 39 地すべり 5 6 計 34 PA 79%	<th <th="" col<="" colspan="3" td=""><td>報酬測値 表層崩壊 深層崩壊 地すべり 表層崩壊 27 2 0 29 深層崩壊 2 39 3 44 地すべり 5 6 28 39 計 34 47 31 112 PA 79% 83% 90% 1</td></th>	<td>報酬測値 表層崩壊 深層崩壊 地すべり 表層崩壊 27 2 0 29 深層崩壊 2 39 3 44 地すべり 5 6 28 39 計 34 47 31 112 PA 79% 83% 90% 1</td>			報酬測値 表層崩壊 深層崩壊 地すべり 表層崩壊 27 2 0 29 深層崩壊 2 39 3 44 地すべり 5 6 28 39 計 34 47 31 112 PA 79% 83% 90% 1

(a) 教師データ洗練化前・判別効率表

注)総合精度=84%,Kappa係数=0.76

(2) 素因データ(説明変量)

土地分類基本調査の成果図面から「地形分類, 土壌, 表層地質」を数値化し、数値地形モデル (DTM) から「標 高区分, 傾斜区分, 起伏量, 斜面方位, 谷密度」を用意 した. さらに, IKONOS データから植生指標 (NDVI) を 作成し、計9種の素因データを準備した.

本研究では、多重線形性を排除するため、数量化Ⅲ類 を介して得られる素因データ間の相関係数が高いペアを 判定し、そのうち、数量化Ⅱ類を介して得られる第1固 有値軸における偏相関係数の低い素因を除去する.

素因選定の結果、これ以降の分析には、「地形区分、 傾斜区分,斜面方位,標高区分,表層地質,植生指標, 谷密度」を使用する. 「起伏量, 土壌」は除外される.

3. 崩壊形態別・教師データ洗練化の効果

(1) 教師データ洗練化の必要性

教師データ洗練化前の判別効率表を表-1(a)に示す。判

(b) 教師データ洗練化後・判別効率表

		観測値			⇒L	TTA
		表層崩壞	深層崩壞	地すべり	計	UA
予測値	表層崩壞	27	1	0	28	96%
	深層崩壊	0	36	0	36	100%
	地すべり	0	1	28	29	97%
	計	27	38	28	93	
	PA	100%	95%	100%		

注)総合精度=98%, Kappa係数=0.97

別結果の数値は画素数である. この表から計算される評 価精度として、以下の代表的な評価指標を用いた5.

a) プロデューサ精度(PA: Producer's Accuracy)

判別効率表の縦方向で計算する正当率. 教師データの クラス別信頼度を表す.

b) ユーザー精度(UA: User's Accuracy)

判別効率表の横方向で計算する正当率. 分類クラス別 の信頼度を表す.

c) 総合精度(OA: Overall Accuracy)

OA は、判別効率表の対角要素の総和をサンプル総数 で除した値.対象全画素が正しく判別された割合を表す.

d) Kappa 係数(KC: Kappa Coefficient)

KCは、判別効率表の対角要素に対して計算された OA から「偶然の一致率」を差し引いた値であり、「偶然に 依存しない一致率」を評価する指標である.

表-1(a)を見ると、OAは84%、KCは0.76である.PA は、「表層崩壊、深層崩壊、地すべり」でそれぞれ、79%、 83%,90%となり、教師データそのものに対する判別精度 は高い. UAは「表層崩壊, 深層崩壊, 地すべり」でそれ



(a) 洗練化前・教師データの散布図 図-2 教師データ洗練化前後の教師データ散布図:多群数量化 II 類

ぞれ、93%、89%、72%となり、他の崩壊形態であった画素が、「地すべり」に誤判別(Commission error)される傾向にある.これは、図-2の教師データに対する散布図上で「地すべり」の分布が拡がっているためでもある.

地すべりは、教師データそのものに対する判別精度が 高くとも、他の形態の崩壊クラスに誤判別される傾向に あり、教師データ洗練化が必要と言える.

そこで本研究では,**表-1(a)**における,対角要素以外の 誤分類画素 (Omission & Commission errors)を現状型教師 データから除去し,「洗練化教師データ」とする.その 結果が図-1(b)である.

(2) 判別精度の比較

教師データ洗練化後の判別効率表を表-1(b)に示す.表 -1(a)(洗練化前の判別効率表)と比較すると,以下のこ とが読み取れる.

- a) 教師データの洗練化前後で,総合精度とkappa 係数は, それぞれ 84%から98%, 0.76から0.97 に向上している.
- b) 平均 PA も教師データ洗練化前後で,84.5%から98.3% に向上している.とくに,「表層崩壊,地すべり」で は, PA が 100% となった.
- c) 平均 UA も教師データ洗練化前後で,84.2%から97.7% に向上している.とくに、「深層崩壊」では、UA が 100%となった.

これらのことから、定量的にFTCアルゴリズムにおけ る教師データの洗練化効果があると言える.

(3) 教師データに対する散布図の比較

図-2(b)に洗練化後の教師データに対する散布図を示す.教師データ洗練化前後で比較すると,**図-2(a)**では,

「地すべり」の分布が拡がり、「表層崩壊,深層崩壊」 と重なって分布していた画素が、図-2(b)では減少してい る.図-2(a)の第1軸上で「表層崩壊」と「深層崩壊」が 重なっている箇所も同様である.これは、教師データの 洗練化を実施したことによって、より明確な教師データ の判別を可能にしたという効果を示し、判別精度が向上 したという効果も示唆している.

4. 斜面崩壊形態分類図の比較

(1) 斜面崩壊形態分類図の作成

多群数量化Ⅱ類では、固有値軸毎の群同士の相関比が 最大となるよう、各説明変量におけるカテゴリスコアを 決定する.固有値軸は推定群の数より1少ない個数得ら れる.さらに、各画素について、該当するカテゴリスコ アとダミー変量の積和であるサンプルスコアが得られる.

各画素がどの群(崩壊形態)に属するかを推定する方 法として、サンプルスコアの個体数量散布図上での座標 と教師データの群別重心とのユークリッド距離を用いて、 最短距離によるクラスタリングを実施する.

点 $X = (X_1, X_2, \dots X_n)$ と点 $Y = (Y_1, Y_2, \dots Y_n)$ のユー クリッド距離 D_u は次式により示される.

$$D_u = \sqrt{\sum_{k=1}^{n} (X_k - Y_k)^2}$$
(1)

それぞれの群別重心とのユークリッド距離D_uが最も 短い群別重心が属する群を,その画素の推定群とする.





(2) 斜面崩壊形態分類図への安全側・危険側評価

教師データ洗練化前後の FTC マップをそれぞれ図-3(a)と図-3(b)に示す. 図中, 〇印をつけた箇所は, 図-3(a) では, 表層崩壊, 深層崩壊, 地すべり危険箇所が混在し ているが, 図-3(b)では, 混在した箇所が減少している. 評価者から見ると, 図-3(a)は, 見落としがなくなること から「安全側評価領域」となる. 一方, 図-3(b)は, 危険 箇所を絞りこむことはできるが, 逆に見落とすことにも なり, 「危険側評価領域」となる.

このように、教師データ洗練化前後の FTC マップ上 の違いを利用すれば、崩壊形態別に「安全側・危険側評 価」を展開できる.斜面崩壊防止計画策定,現地調査ル ート選定支援等,教師データの洗練化処理が有用となる.

5. まとめ

本研究は、同時多発型・斜面崩壊危険箇所評価支援を 目的として、筆者らが提案した斜面崩壊形態分類アルゴ リズム (slope Failure Type Classification algorithm: FTC ア ルゴリズム³⁾ における「教師データ洗練化」の有効性 の有無について検討したものである.検討内容は、以下 の3点にまとめられる.

 a)「表層崩壊,深層崩壊,地すべり」が同時発生した領域を検討対象として、教師データの初期分類結果から 誤分類画素(Omission & Commission errors)を除去し、 「洗練化教師データ」とした、教師データ洗練化前後 での教師データに対する散布図を比較した結果、教師 データの分離性(代表性向上)の向上が確認された.
b)教師データ洗練化前後の判別効率表を比較した結果、 総合精度とkappa 係数は、それぞれ 84%から 98%、0.76 から 0.97 に向上した. 平均 UA と平均 PA も全て向上 し、これらの検討結果から、FTC マップを作成する上 で、教師データの洗練化効果が高いことが判った.

c) さらに、教師データ洗練化前後のFTC マップ上の違い を利用すれば、崩壊形態別に「安全側・危険側評価」 を展開できることを示した.崩壊形態別・危険箇所評 価支援策として、教師データ洗練化処理が有用となる. 本研究では、判別効率表の対角要素以外の画素を、誤 分類画素として除去し、洗練化教師データとした.しか し、これら誤分類画素は、当該崩壊形態の土地性状と類 似しており、当該崩壊形態の教師データになり得る.いわ ゆる「再構成教師データ」を作成できる.

今後の課題として、この再構成前後の教師データを用 いた FTC マップの比較・分析を予定している. 再構成され る画素に対応する崩壊形態の影響分析として興味深い検 討課題になると考えている.

参考文献

- Chung, C.F., Kojima, H., and A.G. Fabbri: Applied Geomorphology, Theory and Practice, Stability analysis of prediction models applied to landslide hazard mapping, John Wiley & Sons Publication, pp.3-19, 2002.
- 小島尚人,大林成行,青木太:共分散構造分析法を導入した 斜面崩壊危険箇所評価アルゴリズムの構築,土木学会論文 集,No.714/VI-56, pp.79-93, 2002.
- 3) 内田一鉱、古性華奈、関根洋佑、小島尚人:同時多発型・斜面崩壊危険箇所評価支援を目的とした斜面崩壊形態分類図の提案、日本リモートセンシング学会、第63回学術講演会論文集、pp.13-14、2017.
- 4) 国土地理院:新潟県中越地震災害状況図, 2004.
- 5) (一社)日本リモートセンシング学会編: 基礎からわかるリ モートセンシング,理工図書, pp.249-250, 2013.