

# ASTER 画像データを利用した 斜面崩壊危険性評価に関する研究<sup>†</sup>

楠 見 晴 重\* 渡 辺 宏\*\* 森 本 裕\*\*\*

## Analytical Evaluation of Slope Failure Location Using ASTER Image Data

by

Harushige KUSUMI<sup>\*</sup>, Hiroshi WATANABE<sup>\*\*</sup> and Yu MORIMOTO<sup>\*\*\*</sup>

In this research, the applicability of the satellite multispectral data to the predictions of slope failures has been attempted by using the data characterized by its broadness, synchronism, and periodicity, and by analyzing the causalities of various elements considered to be involved in the slope failures through the use of the qualification theory II. Moreover, the risk assessment chart for slope failure will be made based on the result of it, which ultimately will make it possible to specify the slopes with failure risks on the basis of the development of risk assessment system for slope failure.

**Key words** : ASTER, Satellite multispectral data, Failure of slope danger evaluation, Qualification theory II, NDVI

### 1 緒 言

わが国は、島国の特徴として地形起伏に富んでおり、尚且つ気候は、典型的な温暖性気候帯に属している。そのため、台風、津波、洪水といった災害は後を絶たない。さらに、地球温暖化が進むにつれて、21世紀末には発生する台風の数が減る一方、勢力は強大になる傾向があるとの試算が発表されている。実際に平成16年には、度重なる台風により集中豪雨が頻発しており、本研究対象地である淡路島においても、数多くの地すべりや、斜面崩壊・落石・土石流などの土砂災害によって、地域生活に深刻な被害が出た。このような土砂災害について、被災状況を迅速に把握することや、どこでどのような災害が起こるのかを事前に評価することが大きな課題となっている。しかしながら、斜面崩壊の危険度評価に関する研究<sup>1), 2)</sup>がなされているものの、斜面崩壊箇所の事前予測が困難であることや、斜面崩壊の危険性のある箇所が非常に多いことなどの理由により、いまだ斜面崩壊による突発的災害を未然に防止するには至っていない。そこで本研究では、広域性・同時性・周期性といった特徴を有する衛星マルチスペクトルデータを利用し、斜面崩壊に関わると考えられているさまざまな要因の因果関係を数量化理論Ⅱ類<sup>3)~5)</sup>により解析し、斜面崩壊予測への衛星マルチスペクトルデータの適用性について検討を試みた。そして、その結果を基に斜面崩壊危険性評価図を作成し、斜面崩壊危険性評価システムを構築することにより、未然に危険斜面を特定し対策を講じることを目的としている。

### 2 研究対象地区<sup>6)</sup>

本研究の対象地区である淡路島のASTER画像をFig. 1に示す。淡路島は、南北55km(淡路町松帆~南淡町沼島)東西28km(洲本市由良~西淡町阿那賀)、周囲203kmの北東-南西に細長い形状をした島である。総面積は、592.17km<sup>2</sup>で兵庫県の県土面積の約7%を占めている。

対象地区の地形は、北部に北東-南西に延びる津名山地が広く発達しており、山地北部域では津名町、東浦町境の妙見山(標高522m)を最高点とし、南側にやや起伏の大きい山地が、北側には起伏の小さな山地が分布し、一方、山地南部域では先山(標高448m)を最高点とし、全体としては起伏の小さな山地が大半を占めている。島の中部から南部にかけては、島内最大の平坦地である三原山地が広がり、洲本川や三原川が流れている。さらに、南部には島内最高峰の論鶴羽山(608m)を有する起伏の大きい論鶴羽山地が東西方向に走っており、断崖絶壁の海岸線を形成している。

そして、対象地区の地質としては、北部の津名山地は主に花崗岩から構成されており、その北半分の地域では、神戸層群が花崗岩を覆っている箇所が点在している。津名山地の南部では、大阪層群が全地域にわたって広く分布している。また、山地の山麓部・海岸沿いには後期更新世の段丘堆積物が各地に分布している。これらは、ほとんどが礫岩・砂岩層を主体とする河成堆積物で、全体的には、高位段丘・中位段丘・低位段丘・最低位段丘の4つに区分できる。南部の論鶴羽山地は、その大部分が白亜紀の和泉層群と呼ばれる礫岩・砂岩・泥質岩の層か

† 原稿受理 平成18年12月18日 Received Dec. 18, 2006 ©2007 The Society of Materials Science, Japan

\* 正会員 関西大学環境都市工学部都市システム工学科 〒564-8680 吹田市山手町, Dept. of Civil, Environmental and Applied System Eng., Kansai Univ., Yamate-cho, Suita, 564-8680

\*\* 国立環境研究所 〒305-8506 つくば市小野川, National Inst. for Environmental Studies, Onogawa, Tukuba, 305-8506

\*\*\* 関西大学大学院工学研究科 〒564-8680 吹田市山手町, Dept. of Civil. Eng., Graduate School of Eng., Kansai Univ., Yamate-cho, Suita, 564-8680

らなり、この和泉層群は東方の和泉山脈から、淡路島南部、鳴門海峡を経て西方の讃岐山脈へと続き、中央構造線北縁の山地の一部と位置づけられている。

3 研究概要

研究対象地区について、兵庫県提供の資料より、実際に斜面崩壊が発生した箇所のデータを用いた。それらのデータを利用し、数量化理論Ⅱ類により崩壊・非崩壊という目的変数を予測した場合、実際の崩壊の分布と一致するのか検証した。今回説明変数は傾斜・植生・斜面方位・表層地質の4つを用いることとした。

以下、衛星画像データ、ならびに数量化理論Ⅱ類の概要について述べる。

3・1 衛星画像データ<sup>7)</sup>

本研究で使用したデータは、可視域から熱赤外領域にバンドを有する高性能光学センサ ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) のものである。以下に ASTER の特徴を示す。

(1) Table 1 に ASTER バンドの詳細を示している。

この表のように、幅広い波長域帯 (可視・近赤外 [VNIR] 域に3バンド、短波長赤外 [SWIR] 域に6バンド、熱赤外 [TIR] 域に5バンド：全14バンド) を持つ。

- (2) 同一軌道からの立体視観測が可能。
- (3) 位置・高度などに関して、高精度を実現。
- (4) 全世界をカバーしている。
- (5) 安価である。

なお、本研究で使用したデータは斜面崩壊が発生する以前に取得された2002年5月27日のものである。

3・2 数量化理論Ⅱ類の概要

本研究で使用した解析手法は、質的データの判別・予測分析のための方法論である数量化理論Ⅱ類である。Table. 2 に数量化理論に用いられる変数を示しているが、このように、説明変数  $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, p$ ) がそれぞれ  $m_i$  個の選択枝を持ち、各選択枝が選択されれば1、選択され

Table 1 Correspondence table of each band.

Radiometer	band	Wavelength belt ( $\mu m$ )	Resolution
VNIR	1	0.52-0.60	15m
	2	0.63-0.69	
	3N	0.78-0.86	
	3B	0.78-0.86	
SWIR	4	1.600-1.700	30m
	5	2.145-2.185	
	6	2.185-2.225	
	7	2.235-2.285	
	8	2.295-2.365	
TIR	9	2.360-2.430	90m
	10	8.125-8.475	
	11	8.475-8.825	
	12	8.925-9.275	
	13	10.25-10.95	
	14	10.95-11.65	

なければ0を取るような  $\sum m_i$  個の変数  $C_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, m_i$ ) を定義する。

ここで、各カテゴリーに特定の数値  $a_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, m_i$ ) を割り当てて、サンプルスコア (合性値)  $Z = \sum \sum a_{ij} c_{ij}$  を計算することにより、各ケースがどの群に属するのか判別するのである。Table 2 に示した例に関して検討するとき、例えば1番目のケースの判別を行うためには  $a_{11} + a_{22} + a_{32}$  を計算し判別することとなる。

4 斜面崩壊危険性評価<sup>8)~10)</sup>

4・1 解析方法

本研究対象地区である淡路島の衛星画像データを用いることにより、斜面崩壊危険性評価図を作成する方法について述べる。

全体的な評価の方法は以下のようなになる。対象地域である淡路島の ASTER 画像を用い、説明変数を傾斜・植生指標 (NDVI)・斜面方位・表層地質の4つとし、数量化理論Ⅱ類を適用することにより合性値  $Z$  を求めた。評価方法の妥当性を示すために、淡路島における任意の代表的な地域に対して実際に評価した結果も示している。

4・2 サンプルの抽出方法

斜面崩壊発生箇所グループは、兵庫県淡路県民局洲本農林水産振興事務所提供を受けた淡路島の崩壊に関する

Table 2 Variable of qualification theory used for analysis.

Induced variable (Crowd variable)		Explaining variable (Category variable)								
		$X_1$			$X_2$			$X_3$		
$Y_1$	$Y_2$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	$C_{21}$	$C_{22}$	$C_{23}$	$C_{31}$	$C_{32}$	
1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	
0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	
1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	
1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	
0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	
0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	
:										
Value given to category		$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{31}$	$a_{32}$	

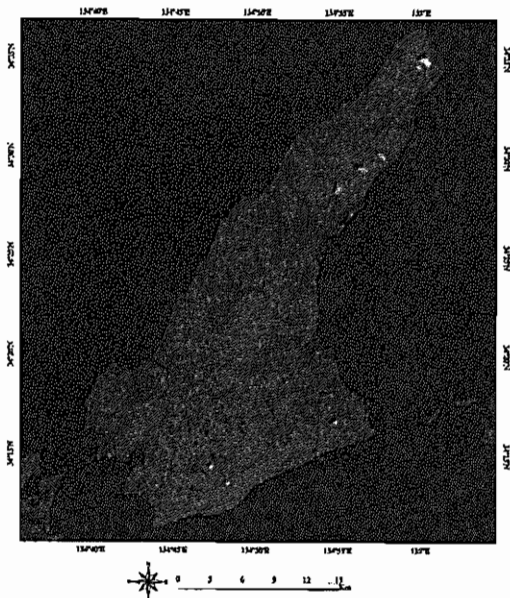


Fig. 1 ASTER image of district for research.

る資料を基に作成している。実際に斜面崩壊が発生した箇所のデータ (111 箇所) のうち、雲がかかっているなどの理由により使用できないデータを省いた 109 点を選定した。斜面崩壊箇所については Fig. 2 に示した通りである。

また、斜面崩壊未発生箇所グループの選定については、走向・傾斜・表層地質などにより分類し、発生箇所グループの選定数に近づくように任意に抽出し、105 点を選定した。

#### 4・3 閾値の決定

本研究で用いる解析手法、数量化理論Ⅱ類を適用するために、各説明変数に閾値の設定をする必要がある。閾値とは、一般にはなんらかの反応を惹き起こすために必要な最小のエネルギー値のことを言う。価値判断の問題で「～である」と評価する最低線のことである。本解析では、これまで行ってきた解析結果から、最も妥当性があると思われる閾値を利用することとした。これら設定した閾値を基に、全てのサンプルを分類し、数量化理論Ⅱ類を適用することにより連立方程式を得る。以下に各カテゴリー内の分類について簡単に記し、対応画像も示す。

##### (1) 傾斜

一説には、最も斜面崩壊が発生しやすい<sup>2)</sup>という傾斜角【15～25°】を基準として、「～15°」、「15～25°」、「25°～」に設定した。分類画像を Fig. 3 に示しており、「～15°」が緑色、「15～25°」が黄色、「25°～」が赤色と対応している。

##### (2) 植生指標 (NDVI)<sup>7)</sup>

広葉樹に当たると考えられる「0.47～」、針葉樹に当たると考えられる「0.26～0.47」、その他と思われる「～0.26」に設定した。分類画像を Fig. 4 に示しており、「0.47～」が深緑色、「0.26～0.47」が緑色、「～0.26」が黄色と対応している。



Fig. 2 Slope failure part.



Fig. 3 Slope.

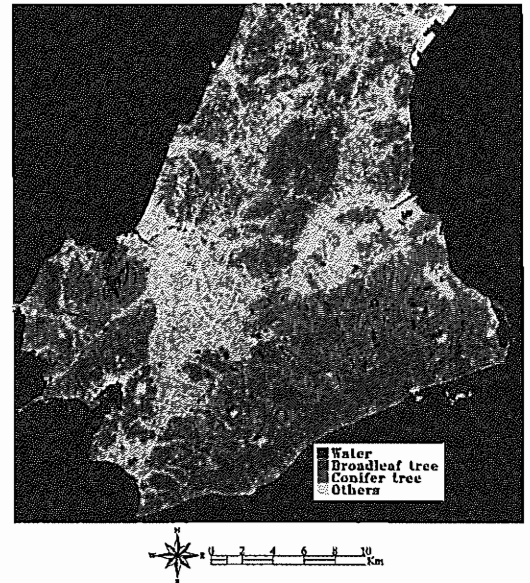


Fig. 4 NDVI.

##### (3) 斜面方位

斜面方位は日照量と密接に関係するため植被生育量や表層風化を表す指標として用いられる<sup>11)</sup>こともあり、今回は「北」、「南」、「その他」を設定した。分類画像を Fig. 5 に示しており、「北」が赤色、「南」が緑色、「その他」が黄色と対応している。

##### (4) 表層地質

地質と密接に関係すると言われている<sup>7)</sup>短波長赤外 [SWIR] のバンド演算を行い独自の分類を行っている。今回は、「花崗岩」、「礫・泥・砂岩」、「その他」を設定した。分類画像を Fig. 6 に示しており、「花崗岩」が赤色、「礫・泥・砂岩」が緑色、「その他」が黄色と対応している。

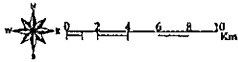


Fig. 5 Aspect.

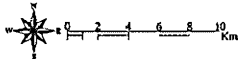
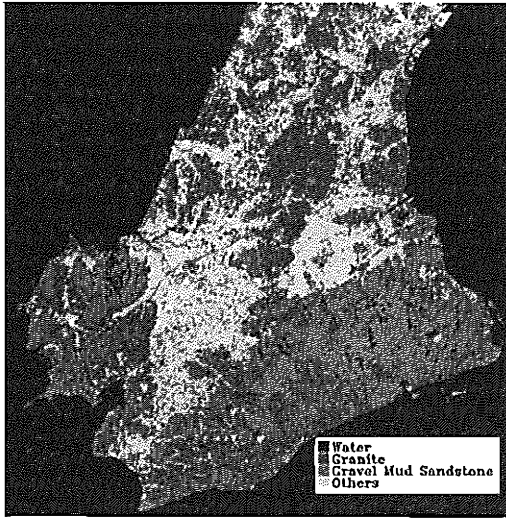


Fig. 6 Geological features.

5 解析結果

5・1 斜面崩壊危険性評価の境界値検討

サンプルから得られた連立方程式を行列計算することによって、得られた各カテゴリーに与える値  $a_{ij}$  を Table 3 に示す。ここで、 $j = 3$  の部分が全て 0 となっているのは、行列式を解く際に rank 落ちの処理を行っているためである。この値により、合性値  $Z$  を計算し、斜面崩壊グループ ( $Y_1$ ) と斜面未崩壊グループ ( $Y_2$ ) の境界値を求めることとなる。今回は、Fig. 7 に示すように  $Z = 0.13255$  を斜面崩壊危険性評価の境界値として設定することとした。

5・2 的中率

本研究で、的中率とは「(実際に斜面崩壊が発生した箇所) / (斜面崩壊が発生すると判定された箇所)」並びに、「(実際に斜面崩壊が未発生であった箇所) / (斜面崩壊が発生しないと判定された箇所)」のことを指す。

Table 3 Value  $a_{ij}$  given to each category.

a	j		
	1	2	3
1(slope)	0.32108 (Less than 15degrees)	0.13554 (Less than 25degrees)	0 (25degrees or more)
2(NDVI)	-0.13159 (Others)	0.05294 (Conifer tree)	0 (Broad leaf tree)
3(aspect)	-0.12684 (North)	-0.33222 (South)	0 (Others)
4(Surface geological features)	0.00537 (Gravel Mud Sand stone)	0.13256 (Granite)	0 (Others)

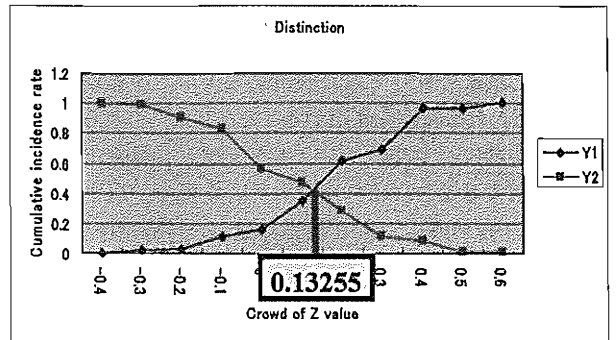


Fig. 7 Boundary value Z decision.

今回の解析では、実際の斜面崩壊発生箇所において、発生箇所と判定されたのは、109 箇所中 72 箇所であり的中率は  $72/109 = 66.1\%$ 、斜面崩壊未崩壊箇所と判定されたのは、105 箇所中 77 箇所であり  $77/105 = 73.3\%$  であった。合計すると、214 箇所中 149 箇所の的中ということでの的中率は、 $149/214 = 69.6\%$  ということになった。ただし、このような評価法だと、過去の崩壊・未崩壊地点の分布パターンを忠実に再現できないと、崩壊正解率、未崩壊正解率はともに 100% とならないことに注意する必要がある。しかしながら、今後の豪雨を伴う斜面崩壊の発生を待って、斜面崩壊危険性評価の信憑性を確かめることが困難であること。さらに、本研究の目的である数量化理論Ⅱ類による崩壊・未崩壊の評価結果の妥当性を検証するためには、他の客観的な評価法が見当たらないことから、以上のような中率で評価することとした。斜面崩壊対策のためには、ある程度予測地点を絞り込めるような、より高い崩壊・未崩壊の中率を目指していく必要があると考えている。

5・3 斜面崩壊危険性評価図の作成<sup>12)</sup>

本解析の結果を用いることにより作成された斜面崩壊危険性評価図を Fig. 8 に示す。図中の赤い部分が危険度「高」、緑の部分が危険度「低」を表している。また、Fig. 8 では範囲が広域であり、実際の斜面崩壊発生箇所との比較が難しいので、Fig. 8 中の四角に囲われた地域 Fig. 9 ~ Fig. 11 に焦点を当て、実際の斜面崩壊発生箇所との比較を行った。この地域を選択した理由としては、ASTER 画像  $50 \times 50 = 2500\text{pixel}$  (750m 四方) 内で、実

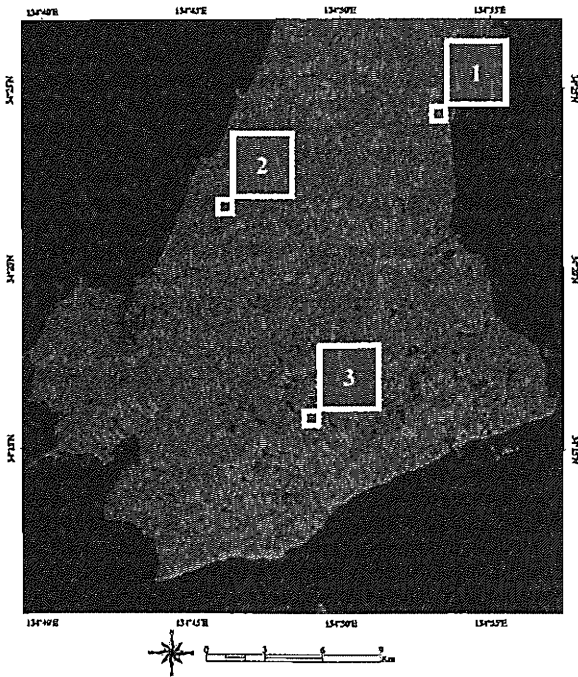


Fig. 8 Failure of slope danger evaluation chart.

際に斜面崩壊が発生した箇所が3箇所以上あること、かつ、4つのカテゴリーが偏らない離れた地域であることである。なお、Fig. 9は山間部の集落であり、Fig. 10は丘陵地、そしてFig. 11は山地である。これら3つの図を見てみると、実際に斜面崩壊が起こった箇所（白丸部）と斜面崩壊が起こるであろうと評価された箇所（赤色部）で一致した割合は6～7割程となり、淡路島全域で同程度の評価精度を実現できたと言えるのではないかと考えている。

#### 6 ま と め

本研究では、衛星画像データを利用した斜面崩壊危険性予測システムの構築として、斜面崩壊の予測に衛星マルチスペクトルデータの適用性についての検討を行い、

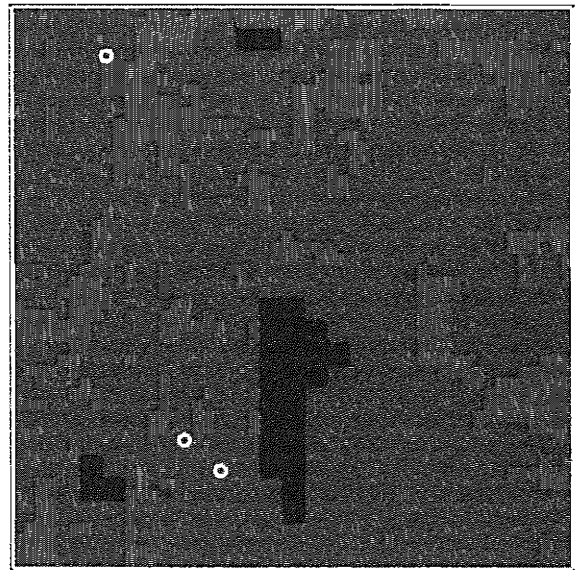


Fig. 10 Detail chart II.

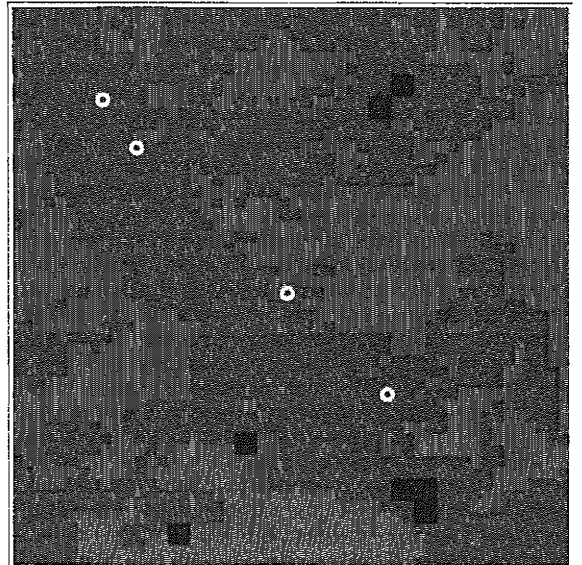


Fig. 11 Detail chart III.

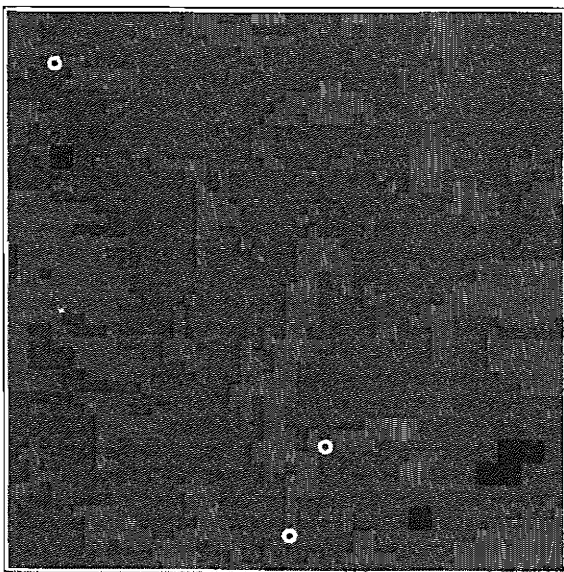


Fig. 9 Detail chart I.

予測モデルによって実際に斜面崩壊危険性評価図を作成するシステムの確立を試みた。以下に本研究で得られた成果について要約する。

(1) 今回の解析では、現地の地盤情報を利用せず、衛星画像データのみの使用により検討を行う統計的手法を採用した。本研究で最も重要となる斜面崩壊発生箇所の見逃し率が33.9%とやや低い結果となったが、一方、過抽出率は26.7%であり、同程度の精度になったということは評価できるのではないかと考えられる。過抽出率が低いということは、対策防止工などを行う時の順位付けをする際に有効な指標であることを意味すると考えている。したがって、今後不的中箇所が何故不的中箇所と評価させたのかの検討が必要となるが、斜面崩壊の予測に衛星マルチスペクトルデータを適用することは可能であることが認められた。

(2) 数量化理論Ⅱ類を用いることにより、説明変数  $X_i$

(本研究では傾斜・植生指標 (NDVI)・斜面方位・表層地質の4 カテゴリー)と、従属変数  $Y_i$  (本研究では、斜面崩壊発生箇所・未発生箇所) が共に定性的である問題を定量的な問題として取り扱うことができた。

(3) 斜面崩壊未発生箇所の標本抽出方法 (いままでは、走向・傾斜・表層地質により場合分けしランダムに抽出) や、カテゴリー・閾値の選定方法の検討を行う必要があると考えられるが、当初の目的であった斜面崩壊危険性評価図の作成を行うことができた。

以上に記したように、衛星画像データを用いて予測のモデル化を行うことが可能であるということがわかった。また、斜面崩壊危険性予測システムから斜面崩壊の危険性を評価することができた。

今後の展開としては、説明変数  $X_i$  を検討し、崩壊地点の評価をより確からしいものとする工夫が考えられる。今回使用した『傾斜』、『植生指標 (NDVI)』、『斜面方位』、『表層地質』以外の例としては、『標高』、『風化指標』、『地表面温度』、『集水面積』などがあり、随時検討していく予定である。これら以外にも斜面崩壊に関係があるのではないかと考えられるもの全てを適用し、精度向上に努めていきたいと考えている。

また、本研究では光学センサである ASTER を用いての解析を実施してきたが、ALOS (衛星「大地」) に搭載されている PALSAR<sup>13)</sup> (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) の打ち上げが2006年1月24日に成功したことを受け、合成開口レーダを用いての斜面崩壊危険性評価も並行して行っていくことができれば、さらに精度の向上、可能性が広がるのではないかと考えている。

最後に、本研究を行うにあたり、貴重なデータを提供していただいた兵庫県淡路県民局洲本農林水産振興事務所に感謝申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) N. Obayashi, N. Kojima and K. Fuji, "Improvement of evaluation accuracy of landslide dangerous part where satellite multi-spectrum data was used", Journal of Japan Society for Civil Engineer, No.534, pp.173-184 (1996).
- 2) H. Sato, T. Sekiguchi, I. Kamiya and S. Homma, "Comparison between neural net work and maximum likelihood method classification in risk evaluation of slope failure", Journal of Japan Landslide Society, Vol.42, No.4, pp.293-302 (2005).
- 3) T. Komazawa, "The theory of numerized method and data management", pp.49-88 (1987) Asakura Co. Ltd..
- 4) H. Taura, "The statistical analysis for civil Engineer", pp.133-159 (1985) Yoshii Co. Ltd..
- 5) R. Kobayashi, "The concept of theory of numerized method", pp.47-62 (1984) Nikkagiren Co. Ltd..
- 6) Kansai Branch for JGS, "The reports of ground disaster for the typhoon No.23 in 2004", Japan Geotechnical Engineering Society, pp.49-54 (2005).
- 7) ERSDAC (Earth Remote Sensing Data Analysis Center), "The remote sensing for mineral resources and environment on practical Series No.1", pp.167-169, pp.84-87, pp.72-84 (2001) Chikuma shubansha.
- 8) N. Obayashi, N. Kojima and H. Kasa, "On practical method using satellite multi-spectrum data for forecasts of slope failure", Journal of Japan Society for Civil Engineer, No.415, pp.71-80 (1990).
- 9) Y. Arakawa, T. Tachikawa and T. Araki, "Development of forecast and sampling method of slope and landslide failure locations using satellite multi-spectrum data", Proceedings of SEGF, No.113, pp.91-94 (2005).
- 10) Hyogo Prefecture, "The report of slope failure in Awajishima" (2004).
- 11) Committee of Rock mechanics for JSCE, "The stable analysis and measurement of rock slope", JSCE, pp.3-7 (1994).
- 12) N. Obayashi, "Remote sensing for practitioner (Data processing/From the base of the analysis to making the estimate and specifications)", pp.216-236 (1995) Fuji Techno System.
- 13) ERSDAC HP : PALSAR sensor (<http://www.palsar.ersdac.or.jp/>).