

# 衛星マルチスペクトルデータを適用した 地すべり危険箇所の評価精度の向上

大林成行<sup>1</sup>・小島尚人<sup>2</sup>・藤井克史<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278 千葉県野田市山崎 2641)

<sup>2</sup>正会員 工博 東京理科大学講師 理工学部土木工学科 (同上)

<sup>3</sup>正会員 工修 (株)協和エクシオ 土木部 (〒150 東京都渋谷区恵比寿 2-27-25)

本研究は、筆者らが開発した斜面安定性評価モデルを用いた場合の地すべり危険箇所の評価精度の向上を目的とする。新たな画像特徴として「フラクタル特徴量」を定義した上で、1)ケース1：地理情報+植生指標+フラクタル特徴、2)ケース2：地理情報+フラクタル特徴、3)ケース3：地理情報+植生指標、といった3ケースを設定した。数量化II類およびIII類による分析の結果、フラクタル特徴を使用した場合(ケース1, ケース2)に地すべり危険箇所の抽出精度が向上することが確認された。さらに、フラクタル特徴量の使用の有無によって現れる違いを利用した差画像を作成し、「危険側・安全側」といった2つの視点から評価が展開できることを述べるとともに、崩壊防止計画、危険箇所調査等の事業計画策定時の支援情報として有用性の高いことを示した。

**Key Words :** landslide, fractal, remote sensing, geographical information, quantification method

## 1. はじめに

一瞬にして尊い人命を奪ってしまう斜面崩壊や地すべりによる災害は、古くから社会問題の一つとして取り上げられている。崩壊が「いつ(時期)」、「どこで(位置)」、「どの程度の大きさ(規模)」で発生するのかを事前に予測できる技術の確立が強く求められている。

これら3つの予測要件のうち、筆者らは、崩壊の発生「位置」と「規模」を事前に把握することを目的に、地形や表層地質、土壌といった各種地理情報と衛星マルチスペクトルデータ(以下、衛星データ)を融合利用できる斜面安定性評価モデル(SSE: Slope Stability Evaluation model using satellite data and geographical information)を開発し<sup>1)</sup>、数々の適用事例を通して広域にわたる斜面崩壊発生箇所の事前評価に有効であることを示した<sup>2)</sup>。

SSEモデルでは、衛星データを素因の一つとして組み込み、地理情報との因果関係を分析できる点が特徴であるが、衛星データそのものの有効性については未だ摸索段階にある。斜面崩壊の危険箇所評価に衛星データを使用しようとする代表的な試みは、衛星データから計算される特徴量の一つとして植生指標や土地被覆分類の結果を取り入れることである<sup>3),4)</sup>。しかし、植生指標一つを見ても様々な種類のものが提案されており、影の影響や観測時期の違い等の問題を含めて植生指標あるいは広義には土地被覆の状況と斜面崩壊現象との因果関係について

未だ多くの議論が交わされている。いずれにしても衛星データを斜面安定性評価に利用する場合、画像特徴としての空間的な情報、いわゆる空間情報を利用することにほかならないが、最近、新たな画像特徴として「フラクタル次元」の活用に注目されている<sup>5)</sup>。フラクタル次元は、画像濃度曲面の複雑さを定量的に表す指標としてテクスチャ解析<sup>6),7)</sup>やDTMの補間<sup>8),9)</sup>、雲と雪の判別分類等<sup>7)</sup>に有効であることが報告されている。

そこで、本研究では画像濃度曲面の複雑さを記述した「フラクタル特徴量」を画像特徴の一つとして定義し、この特徴量が崩壊の危険性のある箇所の判定精度を高める上で、効果の高いことを示す。

具体的には、フラクタル特徴量の使用の有無による崩壊危険箇所の判定精度の違いを分析し、フラクタル特徴量を使用した場合に、崩壊の危険性のある箇所を絞り込めることを示す。この効果は、衛星データから計算される植生指標(NVI)に比べても高いことを検証し、フラクタル導入の意義を述べる。

さらに、フラクタル特徴量の使用の有無によって現れる違いを利用した斜面安定性評価図(差画像)を作成し、「崩壊危険側/安全側」といった2つの視点から評価が展開できることを述べるとともに、地すべり地や急傾斜地の調査、崩壊防止計画等といった事業計画策定時の支援情報として有用性の高いことを示す。

## 2. 従来までの研究と本研究の特徴

### (1) 斜面安定性評価モデルの実用上の新たなニーズ

SSE モデルの特徴は従来までのような崩壊危険度のランク付けを行うことなく、崩壊危険性の「有・無」のみを判定することにある。従来までの崩壊危険度の判定は、アイテムやカテゴリーに対して人為的に重み付けを行う等、研究者の経験や主観に大きく左右されるといった問題が指摘されていた。これに対して SSE モデルは、数量化II類によって各画素に付与されるスコア値を計算した後にトレーニングデータ<sup>23)</sup>を基準としたミニマックス2群判別<sup>24)</sup>によって判別区分点を設定し、崩壊側か未崩壊側かのいずれに属するのかを判別する<sup>1)</sup>。

トレーニングデータは、実際に崩壊が発生した箇所を現地調査や既存資料をもとに設定するが、「斜面崩壊型」や「地すべり型」といった異なる種類のトレーニングデータに対しても斜面安定性評価図を作成できることが示されている<sup>2)</sup>。このような適用事例を積み重ねるにつれて、SSE モデルを活用していく上で、次のようなニーズが持ち上がってきた。

①地すべり地の評価の場合：地すべり危険地帯として広域にわたって判定された箇所のうち、調査地点や計測機器を設置する箇所を選定したり、地すべり発生の引金になっている地点を絞り込みたい。

②斜面崩壊地の評価の場合：斜面崩壊危険地として判定された箇所のうち、特に崩壊の危険性のある箇所を特定したい。例えば、急傾斜地に近接する施設計画/土地利用計画や砂防ダム等の建設候補地の選定時にこのような要求が提起される。

いずれの場合においても、危険性「有」と判定された箇所が広い領域におよんでいる場合に、さらに危険地を絞り込むといった要求である。換言すれば、斜面安定性評価図上で危険性「有」と判定された箇所のうち、さらに「危険側」か「安全側」かの評価を下すことに相当する。この2つの判断の情報は、急傾斜地や地すべり調査、砂防計画等において、不可欠なものと言える<sup>3)</sup>。

以上のような崩壊危険地を絞り込むといった命題は、SSE モデルにおいては、トレーニングデータを基準としたミニマックス2群判別精度を高めることに帰着される。この問題に対して新たな画像特徴として「フラクタル次元」を導入し、高い2群判別精度が得られることを示す点が本研究の特色の一つとなる。

### (2) フラクタル特徴量を画像特徴として導入する意義

Mandelbrot によって提唱されたフラクタルは、狭義には無限の繰り返しパターンを持つ自己相似性のことを言う。古くはコンピュータビジョンの分野においてフラクタルを用いた自然形状の生成が試みられており<sup>4)</sup>、最

近では建設分野においてもライフラインの震害評価<sup>10)</sup>、舗装の縦断凹凸の評価や都市の街路形態分類等といった研究がある<sup>11),12)</sup>。しかし、「画像特徴」の解析とその応用という立場からフラクタルを適用した例は意外にも少ない。その中でも代表的なものとして、画像の「きめ」や「あらさ」といったテクスチャの解析を目的とした研究があげられるが、フラクタル次元の計算方法やテクスチャ識別精度の問題に議論が集中し、具体的な活用方法までには言及されていない。

地形の複雑さや地表面の被覆状態の変化は、画像濃度値の変化に反映されることから、SSE モデルに用いる素因データの一つとして適用の可能性が期待できる<sup>13)</sup>。そこで、本研究では、フラクタル性の成立する空間スケール内で計算されるフラクタル次元を画像化したものを「フラクタル特徴量」と定義し、これを素因データの一つとして SSE モデルに適用する。また、本研究では従来から利用されている衛星データから計算される「植生指標」に比べて、フラクタル特徴量が崩壊危険箇所を絞り込む上で極めて効果の高いことを示す点も目的となる。さらに、前述したニーズに応えるべく、フラクタル特徴量を「使用した場合」と「使用しない場合」の斜面安定性評価図の違いを利用して、崩壊「危険側」と「安全側」の評価が展開できることを示す点がフラクタル特徴量を画像特徴の一つとして導入する意義となる。

## 3. 研究の構成

本研究の構成を図-1に示す。

### (1) STEP 1：対象領域の設定と素因データの準備

#### a) 対象領域

対象領域は、地すべり地形がいくつも存在する千葉県房総半島中部の丘陵地帯（東西 3.0 km×南北 1.5 km）を設定した。この地域は既に筆者らが「斜面崩壊型」、「地すべり型」といったトレーニングデータの種類の違いに伴う SSE モデルの評価精度検証を進めたところでもあり<sup>2)</sup>、本研究を進める上で十分なグランドトゥースデータが整備されている。

#### b) 素因データの準備

本研究で使用した素因データを表-1に示す。土地分類基本調査の成果図面を数値化した土地分類図（表層地質、土壌）とDTMからコンピュータ処理によって作成される数値地理データ（傾斜区分、起伏量、谷密度、斜面方位、標高）である。これらは土地に内在する潜在的な因子であり、崩壊危険箇所の評価を進める上で基本となるものである。

#### c) 衛星データの選定

本研究では 30 m/ピクセル<sup>25)</sup>という高分解能を有し、

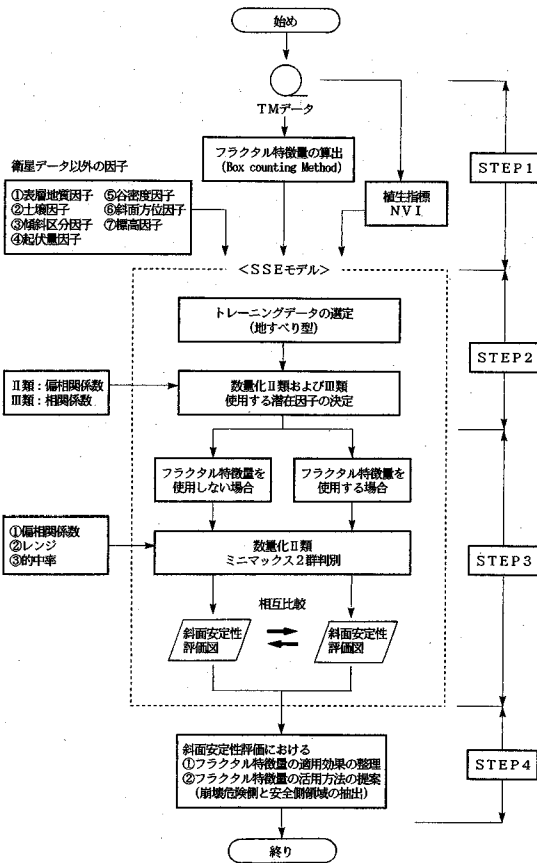


図-1 本研究の構成

表-1 本研究で使用する素因データ

土地分類基本調査成果図		DTMから作成		
表層地質	土壌	斜面方位	傾斜区分	標高
稲子沢泥岩層 清澄砂岩層 子畑れき岩層 泥がち堆積層 天津泥岩層	グライ土壌 褐色土壌 乾性褐色土壌	北 北北東 北東 東北東 東 東南東 南東 南南東 南 南南西 南西 西南西 西 西北西 北西 北北西	以上~未満 (m) 0~5 5~10 10~15 15~20 20~25 25~30 30~35 35~40 40~	以上~未満 (m) 0~20 20~40 40~60 60~80 80~100 100~120 120~140 140~160 160~
DTMから作成		衛星データから作成		
谷密度	起伏量	フラクタル特徴量 (バンド1~5, 7)	植生指標 (NVI)	
(個) 0 1 2 3 4	以上~未満 (m) 0~5 5~10 10~15 15~20 20~25 25~30 30~35 35~40	レベル1 レベル2 レベル3 レベル4 レベル5 レベル6 レベル7 レベル8 レベル9 レベル10 レベル11 レベル12	レベル1 レベル2 レベル3 レベル4 レベル5 レベル6 レベル7 レベル8 レベル9 レベル10 レベル11 レベル12	

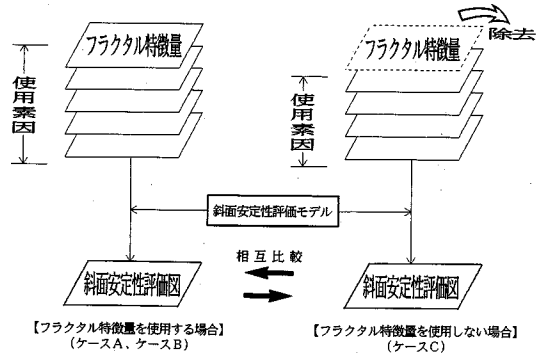


図-2 検討ケース

広く利用されているランドサット TM データ<sup>6)</sup>を用いた。データの観測時期は、1988年3月4日、観測エリアは PATH 107-ROW 34<sup>7)</sup>であり、データの質が良好なものを選定した。この衛星データから画像特徴としてフラクタル特徴量と植生指標 (NVI: Normalized Vegetation Index) を計算する (第4章で詳述)。

なお、熱赤外域であるバンド6については、観測対象が温度情報であり、他の波長帯で観測される物理量とは性質を異にすることから、本研究では対象としない。

## (2) STEP 2: 数量化Ⅲ類による分析

本研究では、1989年7月31日~8月1日にかけての集中豪雨によって、「地すべり」が発生した箇所をトレーニングデータとして設定した。したがって、以降の説明では、言葉の都合上「斜面」や「崩壊・未崩壊」等の記述は、すべて「地すべり」を対象としたものであることを断わっておく。

図-1で示した SSE モデルでは、あらかじめ設定した素因のうち(表-1)、実際に崩壊危険箇所評価に使用する素因の決定問題と素因のデータ構造分析に数量化Ⅲ類を導入している。

本研究では、フラクタル特徴量の使用の有無による崩壊危険箇所評価への影響について検討する上で、数量化Ⅲ類を通してデータ構造を分析し、フラクタル特徴量の有用性を示す。検討ケースについては第5章(2)で述べる。

## (3) STEP 3: 崩壊危険箇所の評価精度の検討

本研究では、図-2に示すようにフラクタル特徴量を使用する場合と使用しない場合の崩壊危険箇所の評価精度の違いを定量的に分析するとともに、斜面安定性評価図上にどのような違いとなって現れるのかについて検討する。さらに、これらの違いを利用して崩壊危険側と安全側といった2つの情報を表現した斜面安定性評価図(差画像)を作成し、技術者支援型の表示形態として有用

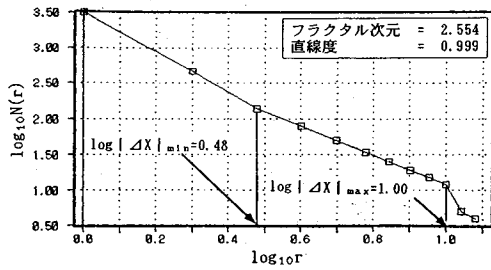
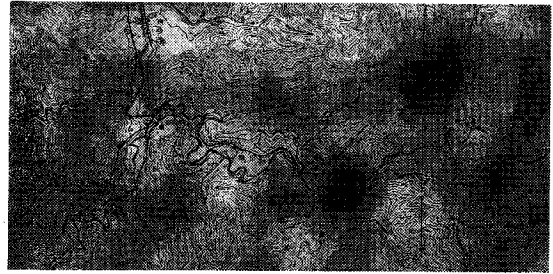


図-3 フラクタルプロット図の例



(白色)→(黒色)  
濃度曲面の複雑さ：小 → 大  
写真-1 フラクタル特徴量 (例：TM・バンド5)

性のあることを示す (第6章で詳述)。

#### (4) STEP 4：研究成果のまとめ

斜面安定性評価におけるフラクタル特徴量の有用性と活用方法に関する本研究の成果をまとめるとともに、今後の展望について述べる (第7章)。

### 4. 衛星データから計算される画像特徴

#### (1) フラクタル特徴量

本研究では、画像濃度曲面の複雑さを表現する上で一般に利用され、テクスチャ解析にも効果があると報告されているボックスカウンティング法を採用した<sup>7),8)</sup>。

この方法では、画素間隔が  $r \times r$  画素の領域を単位領域とし、単位領域の濃度曲面を被覆する1辺の間隔  $r$  の立方体の個数  $n(r)$  を式 (1) から求める。

$$n(r) = \text{floor} \frac{\max(f_i) - \min(f_i)}{r} + 1 \quad (1)$$

但し、 $\text{floor}$ ：整数化 (切捨て) を表す。

$f_i$ ：立方体底面4隅の画像濃度値  
( $i = 1, 2, 3, 4$ )

次にフラクタル次元を求める領域 (面積  $A$ ) 内のすべての単位領域で  $n(r)$  を求め、その平均値が  $\overline{n(r)}$  であるとき、

$$N(r) = \overline{n(r)} \times (A/r^2) \quad (2)$$

を計算する。さらに、点  $(\log_{10} r, \log_{10} N(r))$  をプロットした図 (これをフラクタルプロット図と呼ぶ) において、直線性が成立する空間スケール範囲を決定し、その直線の傾きをフラクタル次元とする。図-3にフラクタルプロットの一例を示した。フラクタルプロットの直線性の評価には、大津が提案した直線度を用い<sup>14)</sup>、この直線度が最大を示すスケール範囲を決定する。

さらに、フラクタル次元を8ビットに規格化し、スタージェスの公式を用いて<sup>15)</sup>、画像特徴として出力する際の分割レベルを計算し画像化する。これを画像濃度曲面の局所の変動を表現した「フラクタル特徴量」と定義する。紙面の都合上、一例としてバンド5のフラクタル特徴量

を写真-1に示した。背景には位置関係を判り易くするために地形図をオーバレイしてある。白色→黒色 (レベル値が高い) になるほど濃度曲面が複雑であることを意味している。この図だけから画像濃度曲面と地形や土地被覆状況等との関係を議論することはできないが、白色の傾向を示す所は平坦な箇所であり、等高線の入り組んでいる箇所が黒色の傾向を示している点は興味深い。

フラクタル次元の計算方法や推定精度の問題についても様々な研究があるが<sup>17)</sup>、本研究ではフラクタル特徴量の斜面崩壊危険箇所評価への有用性を示すことをまず第1の目的とすることから、その他のフラクタル次元の計算方法については、本研究の範囲には含めない。

#### (2) 植生指標

衛星データから計算される植生指標には、種々のものが提案されている。また、斜面崩壊現象と植生指標の因果関係に関する研究も進められているが、有用な植生指標を特定するには至っていない。そこで、本研究では、一般に利用されている植生指標 NVI (Normalized Vegetation Index) を採用した。

$$\text{NVI} = \frac{(\text{BAND 4} - \text{BAND 3})}{(\text{BAND 4} + \text{BAND 3})} \quad (3)$$

衛星データから計算される以上の2種類の特徴量を SSE モデルに適用する。従来から利用されている植生指標よりもフラクタル特徴量が斜面崩壊の危険箇所を判定する上で有用であるか否かについて比較・検討することも以降の論点の一つとなる。

なお、衛星データから土地被覆分類図を作成し、素因データの一つとして取り入れる検討ケースも考えられるが、本研究で対象とした領域は山岳部であり、単一の樹種で広域に覆われている。したがって、本研究では植生指標は、当該領域の土地被覆状況 (植物活性) を反映したもとして取り扱う。評価領域が異なれば、土地被覆分類図そのものを素因データの一つとして組み込む必要性も生じるが、この点に関する議論は、本研究が発展していく一つの方向として認識している。

表-2 素因間の相関係数(数量化Ⅲ類)

素因	斜面方位	標高	表層地質	傾斜区分	谷密度	起伏量	植生指標	土壌
斜面方位	—							
標高	0.187	—						
表層地質	0.165	0.389	—					
傾斜区分	0.197	0.428	0.338	—				
谷密度	0.187	0.607	0.322	0.713	—			
起伏量	0.157	0.310	0.521	0.455	0.251	—		
植生指標	0.148	0.328	0.410	0.709	0.431	0.481	—	
土壌	0.201	0.607	0.358	0.398	0.550	0.242	0.368	—
斜面方位	0.135	0.260	0.448	0.149	0.133	0.311	0.164	0.224
標高	0.286	0.610	0.271	0.458	0.435	0.240	0.398	0.478
表層地質	0.274	0.077	0.253	0.070	0.067	0.044	0.071	0.066
傾斜区分	0.286	0.610	0.271	0.458	0.435	0.240	0.398	0.478
谷密度	0.274	0.077	0.253	0.070	0.067	0.044	0.071	0.066
起伏量	0.162	0.330	0.524	0.140	0.172	0.361	0.236	0.274
植生指標	0.154	0.205	0.311	0.224	0.191	0.258	0.221	0.200
土壌	0.210	0.317	0.314	0.177	0.130	0.205	0.190	0.225

表-3 検討ケース

選定された因子		ケース A	ケース B	ケース C
地理情報	斜面方位	○	○	○
	標高	○	○	○
	表層地質	○	○	○
	傾斜区分	○	○	○
	谷密度	○	○	○
	土壌	○	○	○
衛星	フラクタル特徴量	○	○	×
	植生指標	○	×	○

5. 数量化Ⅲ類による分析 (STEP 2)

(1) 使用する素因データの決定

SSE モデルでは、あらかじめ設定した潜在因子間(表-1)の相関係数を計算するとともに、互いに相関の高い潜在因子のいずれか一方を除去した上で、斜面安定性評価図を作成する。これは数量化Ⅱ類の信頼性を高める上で重要なプロセスである。ここで、相関の高い因子の組を判断する「いき値」が問題となるが、筆者らのこれまでの検討と統計処理上の一般的な判断として、本研究では、0.7以上のものを削除の対象となる組とした。数量化Ⅲ類によって計算した潜在因子間の相関係数を表-2に示す。表中、相関係数が高いものを枠で囲ってある。さらに、これらの組のうち、いずれか一方を除去する際の指標として数量化Ⅱ類の偏相関係数を用いる。表-2では、判りやすくするために偏相関係数の高い因子を上から順に記載してあるので、「バンド7およびバンド4のフラクタル特徴量」と「起伏量」が削除される。

残された11種類の因子を用いて検討を進めるが、ここの分析の結果から、フラクタル特徴量に関して次の知見が得られる。

①バンド5のフラクタル特徴量とバンド4およびバンド7の相関が高い。これら2つのバンドは、以降の分析ではバンド5のフラクタル特徴量によって代替される。

②いずれのフラクタル特徴量も植生指標との相関が低い。他の地理情報との相関も低く、フラクタル特徴量は独立性の高い因子と言える。当初期待していた植生指標や地理情報に対するフラクタル特徴量の代替の可能性については、この分析結果から見出すことはできない。

(2) 検討ケースの設定

SSE モデルにおけるフラクタル特徴量の有効性を評価する上で、フラクタル特徴量を使用する場合と使用しない場合の評価精度を検討する。ここで、注意しなければならない点は、前述の分析において、使用するべき因子として残された植生指標の取り扱い方である。

つまり、フラクタル特徴量そのものの有効性を立証するためには、衛星データから計算されるもう一つの画像

特徴として植生指標の適用効果との比較が不可欠となることである。この点を考慮に入れて本研究では、表-3に示す3ケースを設定した。各ケースの内容は、次のようになる。

ケース A: 地理情報+植生指標+フラクタル特徴量

(選定された11種類の因子を用いる)

ケース B: 地理情報+フラクタル特徴量

ケース C: 地理情報+植生指標

つまり、ケース A とケース B は、植生指標の影響について検証するものであり、さらにケース C が、フラクタル特徴量が植生指標に比べて有効であるか否かを検討するためのケースとなる。

(3) データ構造の分析

本研究ではケース A~ケース C に対し、数量化Ⅲ類によるデータ構造の分析を通してフラクタル特徴量の使用の有無に伴う影響について分析する。

数量化Ⅲ類は、目的変数を設定せずにスコア値が付与された個体の分布状態からデータ構造の分析を行うものである。SSE モデルにおける数量化Ⅲ類の適用概念は文献1)に詳述してあるので紙面の都合上割愛するが、トレーニングデータと評価対象データに対する個体数量散布図上での分布状態の違いによって、土地の性状の違いの有無を裏付けることができる。

対象領域の全個体(画素)に対する個体数量散布図を図-4に示す。なお、第1軸から第3軸までの固有値( $\lambda_n$ )は、

ケース A:  $\lambda_1=0.275, \lambda_2=0.237, \lambda_3=0.177$

ケース B:  $\lambda_1=0.287, \lambda_2=0.256, \lambda_3=0.174$

ケース C:  $\lambda_1=0.322, \lambda_2=0.212, \lambda_3=0.181$

である。いずれも第3固有値は、第1および第2固有値に比べて比較的小さいことから、ここでは第1軸と第2軸で構成される特性空間内で分析した結果を示す。

図-4を見ると、ケース A とケース B は同じような分布状態(V字型)を呈しており、植生指標の使用の有

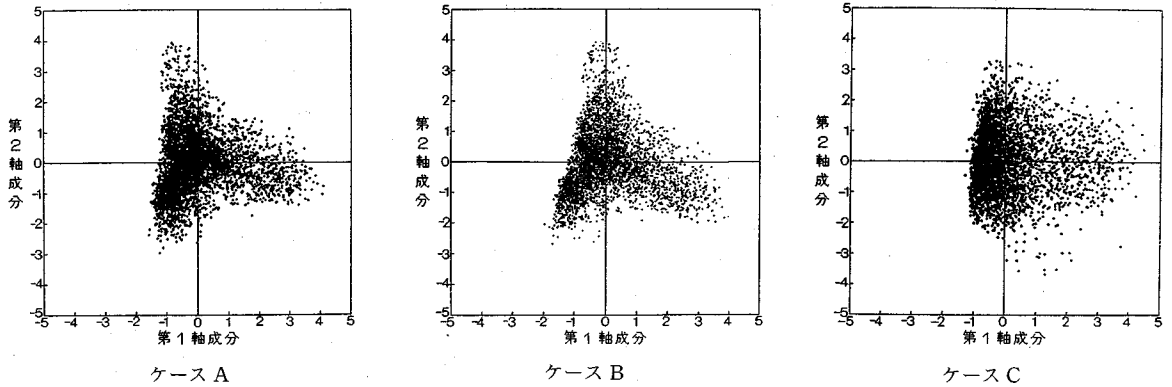


図-4 評価対象領域全域の個体数量散布図

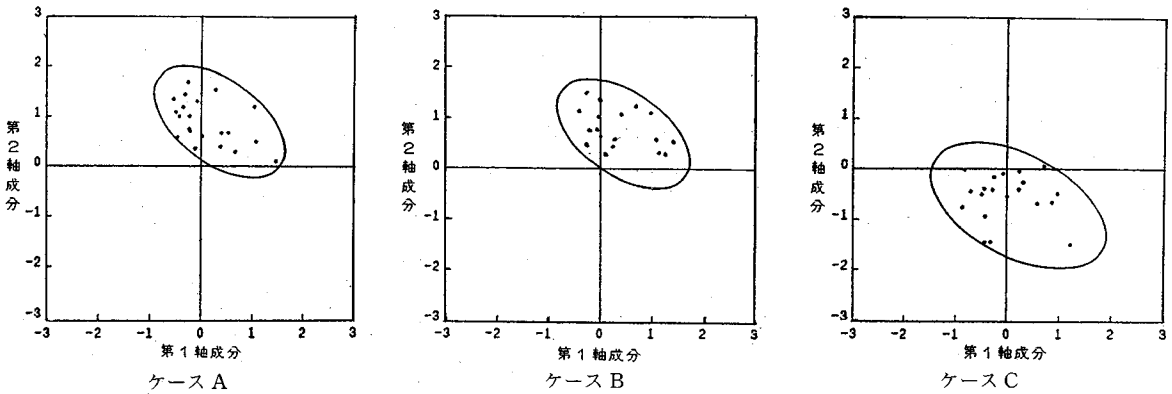


図-5 トレーニングデータの個体数量散布図

無に伴うデータ構造の違いはないことが判る。一方、ケースCでは分布状態が散在する傾向にあり、フラクタル特徴量の使用の有無によって有意な違いが現れている。

さらに分析を進めるために、図-5にトレーニングデータのみに着目した個体数量散布図を示した。ケースAとケースBは、同様な空間位置に分布しているが、ケースCは、第2軸成分のマイナス側に位置しており、フラクタル特徴量の使用の有無の違いが明らかである。

以上の数量化III類の分析結果をまとめると、フラクタル特徴量の使用の有無によってデータ構造に違いが現れるが、植生指標の寄与については有意性は認められないと言える。つまり、フラクタル特徴量の使用の有無に伴って評価図上での違いが現れることが推察できる。

そこで、次章において数量化II類とミニマックス2群判別を通して作成される斜面安定性評価図上に現れる違いを分析することによって、フラクタル特徴量の有効性についてさらに検討を進める。

## 6. 地すべり危険箇所の評価精度の検討

### (1) 数量化II類による分析

SSEモデルは、実際に地すべりが発生した箇所をト

レーニングデータ(外的基準)として設定し、素因との因果関係を分析する機能に数量化II類を適用している。

ケースA~ケースCについて数量化II類によって処理した結果をそれぞれ表-4(a)~(c)に示す。これらの表では偏相関係数の値の大きい順に記載してある。

表-4(a)を見るとバンド1のフラクタル特徴量が斜面方位について2番目に寄与する因子となっているが、その他のフラクタル特徴量については標高、表層地質因子のあとに続いている。また、植生指標は9番目に位置しており、全てのフラクタル特徴量が優位にある。全体としてフラクタル特徴量は上位に位置しており、トレーニングデータを説明付ける上で有用であると判断できる。

さらに、表-4(a)のスコア値に着目して分析を進める。外的基準の欄を見ると、トレーニングデータに対して負の値、評価対象データには正の値が付与されており、数量化II類では、この符号の違いから「外的基準と各カテゴリーとの関連性」を分析できる<sup>1),2)</sup>。

例えば、バンド5のフラクタル特徴量では、レベル5とレベル6、レベル8~レベル11までが負の値を示し、トレーニングデータの性質に関係する因子であると解釈される。数量化II類は、あくまでも外的基準として設定

表一4(a) ケースA: 数量化II類による分析

素因データ	スコア値	偏相関係数 (レンジ)	素因データ	スコア値	偏相関係数 (レンジ)	
斜面方位	北	0.186	レベル1	0.599	0.065 (1.166)	
	北北東	0.095	レベル2	0.337		
	北東	0.184	レベル3	0.173		
	東北東	-0.460	レベル4	0.208		
	東	-2.061	レベル5	-0.202		
	東南東	-0.883	レベル6	-0.184		
	南東	0.254	レベル7	0.261		
	南南東	0.376	レベル8	-0.044		
	南	0.302	レベル9	-0.290		
	南南西	0.317	レベル10	-0.180		
	南西	0.303	レベル11	-0.567		
	西南西	0.295	レベル12	0.135		
	フラクタル特徴量 B1	レベル1	0.241	レベル1	0.065	0.059 (0.846)
レベル2		0.010	レベル2	0.263		
レベル3		-1.579	レベル3	0.096		
レベル4		-0.166	レベル4	0.116		
レベル5		-0.082	レベル5	-0.002		
レベル6		-1.283	レベル6	-0.519		
レベル7		-0.244	レベル7	0.059		
レベル8		-1.087	レベル8	0.237		
レベル9		0.411	レベル9	0.190		
レベル10		-0.310	レベル10	0.326		
レベル11		0.350	レベル11	-0.070		
レベル12		0.349	レベル12	-0.190		
標高	(以上~未満:m)		0 (個)	0.100	0.052 (0.573)	
	0~20	0.090	1	-0.389		
	20~40	0.059	2	-0.302		
	40~60	-0.373	3	0.184		
表層	0~20	-0.633	4	0.078	0.049 (0.942)	
	20~40	0.038	レベル1	0.194		
	40~60	0.207	レベル2	-0.032		
	60~80	-0.038	レベル3	0.031		
	80~100	0.038	レベル4	-0.534		
	100~120	0.207	レベル5	-0.149		
	120~140	0.249	レベル6	0.102		
	140~160	0.230	レベル7	-0.079		
	160~	0.513	レベル8	0.211		
	0~20	0.540	レベル9	0.022		
	20~40	0.189	レベル10	0.146		
	40~60	0.311	レベル11	0.409		
60~80	0.695	レベル12	0.099			
80~100	-0.114	傾	0~5(度)	0.078	0.041 (0.617)	
100~120	0.491	5~10	-0.006			
120~140	0.462	10~15	-0.182			
140~160	0.021	15~20	-0.203			
160~	0.723	20~25	0.012			
0~20	0.169	25~30	0.046			
20~40	-0.040	30~35	0.042			
40~60	-0.184	35~40	0.381			
60~80	0.609	40~	0.414			
80~100	-0.240	土	グライ土壤	0.001		0.025 (0.274)
100~120	0.074	褐色土壤	0.230			
120~140	0.154	壤	乾性褐色土壤	-0.045		
140~160	0.486	外的基準	トレーニングデータ	-3.317		
		評価対象データ	0.018			

表一4(b) ケースB: 数量化II類による分析

素因データ	スコア値	偏相関係数 (レンジ)	素因データ	スコア値	偏相関係数 (レンジ)		
斜面方位	北	0.196	レベル1	0.670	0.105 (1.176)		
	北北東	0.125	レベル2	0.385			
	北東	0.108	レベル3	0.154			
	東北東	-0.305	レベル4	0.276			
	東	-2.159	レベル5	-0.096			
	東南東	-0.885	レベル6	-0.356			
	南東	0.139	レベル7	0.220			
	南南東	0.425	レベル8	-0.035			
	南	0.316	レベル9	-0.177			
	南南西	0.335	レベル10	-0.244			
	南西	0.328	レベル11	-0.506			
	西南西	0.287	レベル12	0.101			
	フラクタル特徴量 B1	レベル1	0.210	レベル1	0.078	0.098 (0.970)	
レベル2		-0.118	レベル2	0.244			
レベル3		-1.794	レベル3	-0.051			
レベル4		0.171	レベル4	0.027			
レベル5		-0.206	レベル5	0.015			
レベル6		-0.834	レベル6	-0.580			
レベル7		-0.252	レベル7	0.056			
レベル8		-1.189	レベル8	0.123			
レベル9		0.469	レベル9	0.273			
レベル10		-0.474	レベル10	0.390			
レベル11		0.435	レベル11	-0.112			
レベル12		0.418	レベル12	-0.192			
標高	0~20	0.530	表層	稲子沢泥層	0.451	0.088 (0.740)	
	20~40	0.585	清澄砂岩層	0.150			
	40~60	0.127	千畑れき岩層	0.278			
	60~80	0.864	泥がち堆積層	0.640			
	80~100	0.252	六雲泥岩層	-0.101			
	100~120	-0.017	土	グライ土壤	-0.270		
	120~140	0.020	壊	褐色土壌	0.277		
	140~160	0.904	区	乾性褐色土壌	0.017		
	160~	-0.327	分	傾	0~5(度)		0.191
	0~20	0.207	5~10	10~15	-0.021		
	20~40	0.128	15~20	20~25	-0.073		
	40~60	0.326	25~30	25~30	-0.056		
60~80	0.197	30~35	30~35	-0.065			
80~100	0.193	35~40	40~	0.186			
100~120	-0.346	外的基準	トレーニングデータ	-3.600			
120~140	-0.083	評価対象データ	0.039				
140~160	0.172						
160~	0.425						

表一5 ミニマックス2群判別結果

(単位:画素)

判別事象	検討ケース	フラクタル特徴量を用いた場合			評価図上の色付け	
		ケースA	ケースB	ケースC		
判別前	トレーニングデータ 評価対象データ	54 4,946	54 4,946	54 4,946	—	
2群判別後	トレーニングデータ	崩壊危険性・有 2	崩壊危険性・無 2	49 5	赤色 青色	
	評価対象データ	崩壊危険性・有 234	崩壊危険性・無 4,712	207 4,739	450 4,496	緑色 白色
	合計	崩壊危険性・有 4,714	崩壊危険性・無 4,741	499 4,501	—	
	約中率	96.3%	96.3%	90.7%		

表一4(c) ケースC: 数量化II類による分析

素因データ	スコア値	偏相関係数 (レンジ)	素因データ	スコア値	偏相関係数 (レンジ)	
斜面方位	北	0.260	植	レベル1	0.035	
	北北東	0.162	レベル2	-0.063		
	北東	0.261	レベル3	0.004		
	東北東	-0.611	レベル4	-0.780		
	東	-2.676	レベル5	-0.187		
	東南東	-1.374	レベル6	-0.139		
	南東	0.332	レベル7	-0.073		
	南南東	0.453	レベル8	0.265		
	南	0.382	レベル9	-0.018		
	南南西	0.370	レベル10	0.238		
	南西	0.385	レベル11	0.448		
	西南西	0.423	レベル12	0.268		
	標高	0~20	-0.175	0 (個)	0.100	0.047 (0.777)
20~40		-0.189	1	-0.453		
40~60		-0.514	2	-0.306		
60~80		-0.805	3	0.324		
80~100		0.066	4	0.265		
100~120		0.297	傾	0~5(度)	0.132	
120~140		0.441	5~10	10~15	-0.174	
140~160		0.526	15~20	20~25	-0.310	
160~		0.642	20~25	25~30	0.031	
0~20		0.455	25~30	30~35	0.063	
20~40		0.407	30~35	35~40	0.031	
40~60		0.501	40~	40~	0.418	
60~80	0.703	土	グライ土壤	-0.144		
80~100	-0.122	褐色土壤	0.291			
100~120		壤	乾性褐色土壤	-0.019		
120~140		外的基準	トレーニングデータ	-3.117		
140~160		評価対象データ	0.015			

したトレーニングデータおよび評価対象データの土地の性状と各カテゴリーとの関連性を分析する手段であり、フラクタル特徴量のレベル値の大小と「崩壊発現象のメカニズムそのもの」との因果関係を直接的に説明付けることは困難であることは言うまでもない。

本研究では視点を変えてケースA~ケースCに対する斜面安定性評価図をそれぞれ作成し、評価図上に現れ





(a) ケース A



(b) ケース B



(c) ケース C

<凡例>

トレーニングデータ (地すべり型)	赤色	現状が地すべり地である画素のうち、「危険性・有」として判別されたもの
	青色	現状が地すべり地である画素のうち、「危険性・無」として判別されたもの
評価対象データ	緑色	評価対象データのうち、「危険性・有」として判別されたもの
	白色	評価対象データのうち、「危険性・無」として判別されたもの
ケース A	地理情報 + 植生指標 + フラクタル特徴	
ケース B	地理情報 + フラクタル特徴	
ケース C	地理情報 + 植生指標	

写真-2 斜面安定性評価図の比較

る違いについて分析を進める。

## (2) 斜面安定性評価図の作成

### a) ミニマックス 2 群判別

SEE モデルでは、数量化Ⅱ類によってスコア一値が付与された個体に対して、トレーニングデータを基準としたミニマックス 2 群判別手法を通して斜面安定性評価図を作成する<sup>13,2)</sup>。ケース A～ケース C に対するミニマックス 2 群判別結果を表-5 に示した。なお、表中の評価対象データは、対象領域内にあるトレーニングデータ以外のすべての画素である。この表から次の 2 点を読み取れる。

①フラクタル特徴量を使用したケース A およびケース B 的的中率は 96.3%、フラクタル特徴量を使用しないケース C 的的中率は 90.7% を示し、フラクタル特徴量を使用した場合には 2 群判別精度が向上する。

②表-5 の合計欄を見ると、崩壊の危険性が有るものとして判別された画素は、ケース A は 286 画素、ケース B、ケース C はそれぞれ 259 画素、499 画素となっており、フラクタル特徴量は植生指標に比べて崩壊危険箇所を絞り込む効果が極めて高いと言える。

この効果が斜面安定性評価図上にどのように現れるのかについてさらに検討を進める。

### b) 斜面安定性評価図の比較

ミニマックス 2 群判別を通して作成したケース A～ケース C までの斜面安定性評価図をそれぞれ写真

2 (a)～(c) に示した。

ケース C に比べてケース A とケース B は、明らかに崩壊危険箇所が絞り込まれていることが判る。また、ケース A とケース B では評価図上での有意な違いは認められない。これらのことから植生指標に比べてフラクタル特徴量の適用効果は高いと言える。

著者らのこれまでの研究では、このような崩壊危険箇所の絞り込み効果を得るには至らなかったことから<sup>15)</sup>、衛星データから計算されるフラクタル特徴量は、有用性の高い因子として提唱できる。

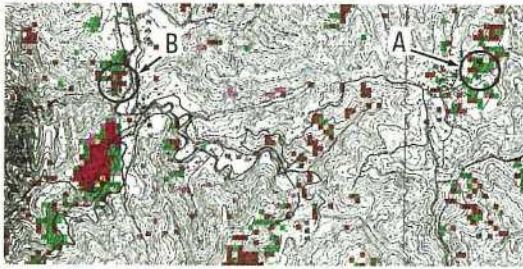
### (3) フラクタル特徴量の活用方法の提案

以上までのフラクタル特徴量の使用の有無による崩壊危険箇所の評価結果の違いを利用し、フラクタル特徴量の活用方法を提案する。

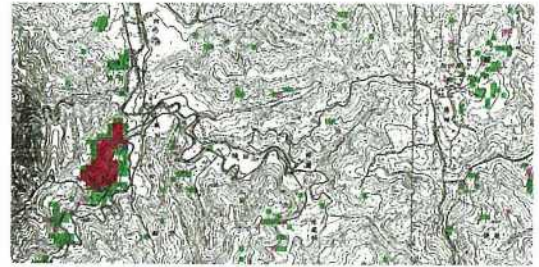
斜面安定性評価図は、ミニマックス 2 群判別を通して 4 つの情報に区分されていることから、ケース A (写真-2 (a)) とケース C (写真-2 (c)) の違いを抽出する場合には、表-6 のような組合せ事象となる。

この組合せに従って作成した差画像を写真-3 (a) に示す。なお、差画像を作成する際には、ケース A とケース B の組合せ、すなわち植生指標の適用効果を検証するケースも考えられる。この差画像が写真-3 (b) となるが、ケース A とケース B の評価結果の違いの有意性は認められない。したがって、フラクタル特徴量の活用方法について考える上で、写真-3 (a) の差画像を用いて





(a) ケース A とケース C の差画像



(b) ケース A とケース B の差画像

写真-3 差画像の作成

表-6 フラクタル特徴量の適用効果の解釈

項目	画素の組合せ 地すべり危険性の有無		評価者の解釈	ケース名	差画像 上での 色付け
	ケースA 写真-2(a)	ケースC 写真-2(c)			
トレーニングデータ	有	有	地すべり再発生の可能性の高い領域	ケース1	赤
		無	フラクタル特徴量を使用したことによって、地すべり危険性・有と判定された領域であり、評価者にとって「安全側評価領域」。	ケース2	黄
	無	有	フラクタル特徴量を使用したことによって、地すべり危険性・無と判定された領域であり、評価者にとって「危険側評価領域」。	ケース3	薄青
		無	地すべり再発生の可能性の低い領域	ケース4	青
評価対象データ	有	有	地すべり危険性の高い領域	ケース5	緑
		無	フラクタル特徴量を使用したことによって、地すべり危険性・有と判定された領域であり、評価者にとって「安全側評価領域」。	ケース6	ピンク
	無	有	フラクタル特徴量を使用したことによって、地すべり危険性・無と判定された領域であり、評価者にとって「危険側評価領域」。	ケース7	茶
		無	地すべり危険性の低い領域	ケース8	白

以降の論述を進める。以下、表-6 に示したケース名に従って、評価者が実際に下す解釈について考察する。

①ケース1 (赤色: 49 画素): フラクタル特徴量の使用の有無にかかわらず地すべり危険性・有と判定された画素である。地すべり型のトレーニングデータとして設定した箇所でもあることから、地すべり再発生の可能性のある領域として継続して注意していくことが必要となる。

②ケース2 (黄色: 3 画素): フラクタル特徴量を使用したことによって地すべり危険性・有と判定された画素である。トレーニングデータとして設定した箇所であり、フラクタル特徴量を使用したことによって、本来の危険性の有る画素として正しく判別されたことになる。評価者にとっては、危険箇所の見落としがなくなり「安全側」の評価領域となる。

③ケース3 (薄青色: 該当画素無し): フラクタル特徴量を使用したことによって、地すべり危険性・無と判定

された画素である。トレーニングデータとして設定した箇所であり、フラクタル特徴量を使用したことによって、トレーニング領域でありながら、危険性の無い箇所として誤って判別されたことになる。現地調査等を通して入念に検証すべき候補領域となり、評価者にとっては「危険側」の評価領域と見なされるが、本研究では該当する画素はない。つまり、フラクタル特徴量を適用することによって、トレーニングデータ自身の判別精度は落ちていないことになる。

④ケース4 (青色: 2 画素): フラクタル特徴量の使用の有無にかかわらず、地すべり危険性・無と判定された画素である。地すべり再発生の可能性の低い箇所として評価できるが、トレーニングデータとして設定した領域でもあることから、現地調査を通して入念な検証が必要となる。

以上までは、トレーニングデータに対する解釈である。さらに、評価対象データに対するケース5~ケース8について考察を進める。

⑤ケース5 (緑色: 200 画素): フラクタル特徴量の使用の有無にかかわらず地すべり危険性・有と判定された画素である。トレーニングデータに類似する土地の性状となっており、地すべりの危険性が最も高い箇所として評価できる。評価者にとって危険箇所に関する判断の情報は少なくなるが、トレーニングデータに極めて類似する危険箇所が抽出されていることになる。地すべり発生の引金になっている箇所を特定したり、計測機器の設置箇所の検討等に有用な情報として活用できる。

例えば、写真-3 (a) の○印で示した A 地点は、広い範囲にわたって壮年型<sup>23,24)</sup>の地すべり地帯となっている。この地帯の麓には住居が立ち並んでおり、特に危険な地すべりブロックを特定・区分し、的確な対策をとっていくことが不可欠となる。写真-3 (a) を活用すれば現地調査計画の立案に役立つだけでなく、詳細な調査を実施する上での誘導的な資料として十分に活用できる<sup>25)</sup>。従来の評価精度であるケースC(写真-2 (c))からだけでは、このような評価を展開することはできない。フラクタル

導入の意義はまさにこの点にある。

⑥ケース6 (ピンク色: 34 画素): フラクタル特微量を使用したことによって地すべり危険性・有と判定された画素である。写真-3(a)を見ても判るようにこれに該当する画素は極めて少ない。このことからフラクタル特微量は、地すべり危険箇所の絞り込みに有効であることが伺える。評価者にとっては、危険箇所の見落としがなくなり「安全側」の評価領域となる。現地調査が必要な箇所と言える。

⑦ケース7 (茶色: 250 画素): フラクタル特微量を使用したことによって地すべり危険性・無と判定された領域である。フラクタル特微量の適用効果が最も反映された画素である。評価者にとっては「危険側」の評価領域となる。この画素と危険性・有として残されたケース5の画素とを相互に参照することによって、地すべり発生箇所の絞り込みが可能となる。現地調査時のルート選定や調査領域の優先順位を決定する際に有用な情報となる。また、この領域を詳細に調査することによって、トレーニングデータとして設定した領域の地すべりの状況との違いがより一層明確になってくる。

例えば実際に現地調査に赴いた結果、写真-3(a)の○印で示したB地点等は、地すべり地形というよりは急傾斜面を形成しており、地すべりの徴候も認められていない箇所であり、フラクタル特微量の適用による絞り込みの効果が確認されている。

⑧ケース8 (白色: 4462 画素): フラクタル特微量の使用の有無にかかわらず、地すべり危険性・無と判定された画素である。地すべりの可能性の低い箇所として評価できる。

以上の評価は、筆者らが開発したSSEモデル<sup>1)</sup>から得られる評価図を組み合わせることによってのみ可能であることは言うまでもないが、フラクタル特微量を導入した斜面安定性評価図(差画像)を活用して「地すべり危険側/安全側」といった2つの視点から多角的に評価を展開できる点は、今までにない研究の特色である。

なお、ここではフラクタル特微量の使用の有無に伴う評価結果の違いを利用した技術者支援型の情報の提供とその解釈の方法を示し、フラクタル特微量そのものの有用性を示すことを第1の目的としている。ケースAとケースCを比較する際には、個体に付与されるスコア値の差についてより詳細に定量分析を進めることも必要となるが、この点については本研究の範囲には含めず今後の課題とする。スコア値の差の量によって、前述した安全側、危険側の領域の危険度を検討できる可能性もあり、興味深い検討課題になると考えている。

## 7. 作業効率

SEEモデルは、現在パーソナルコンピュータをベースとして稼働でき、対話型操作で誰もが容易に利用できるようになっているが<sup>10)</sup>、表-1に示した素因データをデータセットとして整備することが必要となる。

データセットの整備には、次の2つの作業を要する。

①地理データとDTMを構築するためのデータの読み取りおよびコンピュータへの入力作業。

②コンピュータ処理を通して、素因データを作成する作業。すなわち、DTMからは傾斜区分、斜面方位、谷密度等を、衛星データからはフラクタル特微量および植生指標の値を計算し、画像データ(写真-1)として出力する作業。

本研究の対象領域(東西3.0km×南北1.5km: 100×50画素)のデータセットを整備するためには、約6日/人程度で完了する。素因データが整備されれば、トレーニングデータの設定・削除はマウスを用いて簡便にでき、斜面安定性評価図も40秒程度(数量化II類とミニマックス2群判別を合わせた処理)の計算の後に画面に表示される。また、数量化II類やIII類の処理結果等も参照・出力することができ、複雑な処理手順を要しない実用性の高いシステムとなっている。

## 8. まとめ

本研究から得られた成果は、次の3点にまとめられる。

①数量化II類およびIII類による分析を通して、フラクタル特微量は、外的基準であるトレーニングデータ(地すべり型)を説明付ける上で、有用な因子であることが裏付けられた。

②フラクタル特微量の使用の有無に伴う地すべり危険箇所の判定精度を比較・検証した結果、フラクタル特微量を使用した場合には、崩壊・未崩壊といった2群判別精度が向上し、地すべり危険箇所を絞り込めることが判った。この効果は衛星データから計算される植生指標(NVI)に比べても高いことを検証し、フラクタル導入の意義を示した。

③さらに、フラクタル特微量の使用の有無によって現れる違いを利用した斜面安定性評価図(差画像)を作成し、地すべり「危険側/安全側」といった2つの視点から評価が展開できることを述べるとともに、地すべり地や急傾斜地の調査、崩壊防止計画等といった事業計画策定時の支援情報として有用性の高いことを示した。

今後の課題として次の2点があげられる。

①フラクタル次元そのものの推定精度を向上させようとする研究も見られることから<sup>11)</sup>、本研究で採用しなかったフラクタル次元の計算方法についても検討する。

②本研究では、画像濃度曲面が等方性を持つものとして、フラクタル性の成立する空間スケール内においてフラクタル次元を計算している。画像濃度曲面の方向性を考慮してフラクタル次元を推定する研究も見られることから<sup>9)</sup>、この点に関する検討も興味ある課題となる。

以上2つの課題はいずれもフラクタル次元の推定精度の問題となるが、いま以上に地すべり危険箇所の絞り込みの効果が得られることが期待できる。

斜面崩壊の予知・予測に完全な解はありえない。地すべり地や斜面崩壊箇所の現地調査や崩壊防止計画等の策定に際しては、限りある時間と労力、経費を効果的に運用するために、広域にわたって崩壊の危険性に関わる事前情報の質と量、そしてその有用性が問われる。

本研究内容が、このような支援情報を得る上での方法の一つとして、また、衛星マルチスペクトルデータの有用利用技術の一つとして寄与できれば幸いです。

#### <注：用語解説>

- 1) テクスチャ(texture)：画像中の構成要素が表す形状、分布密度、方向など面としての性質が均質な領域のもつ特徴のこと。テクスチャはいわゆる画像の「きめ」や「あらさ」といったものに相当し、従来から写真判読で用いられ、植生、地形、地質判読に重要な要素である。
- 2) DTM (Digital Terrain Model)：格子点の標高値あるいはランダム点のX, Y, Z座標値から構成される地形データを言う。傾斜区分図、谷密度図、鳥かん図の作成や種々の地形分析に利用されている。
- 3) トレーニングデータ (Training Data)：画像を分類する場合に、各カテゴリの母集団を推定するために抽出するサンプルデータのことを言う。
- 4) ミニマックス2群判別：実際に地すべりあるいは斜面崩壊が発生した箇所をトレーニングデータとして設定し、このトレーニングデータを基準として、斜面崩壊の危険性の「有・無」といった2群に判別するノンパラメトリックな分類方法のこと。
- 5) ピクセル (pixel)：画像のうちの一つ一つのデータに対応する構成要素を言う。ピクセルは画素とも言われる。各ピクセルは、空間的には画像あるいは地上で対応する寸法を有しており(地上分解能)、スペクトル的には、特定のバンドの放射量に対応する値を持つ。
- 6) TMデータ (thematic mapper data)：Landsat 4号および5号に搭載された機械光学式走査型のセマティックマップパー(TM)と呼ばれるセンサから観測収集された衛星リモートセンシングデータのこと。
- 7) ROW-PATH：地球観測衛星により観測された画像を地球上の位置と対応付けるための行番号と列番号を言う。行番号をROW(ロー)、列番号をPATH(パス)と称し、この座標系を世界参照座標系(WRS：World wide Reference System)と呼ぶ。
- 8) ボックスカウンティング法 (Box Counting Method)：画像濃度曲面を立方体で被覆し、その数を数えてフラクタル次元を算出することから、このような名称が付与さ

れた(本文の4(1)参照)。

#### 参考文献

- 1) 大林成行, 小島尚人, 笠博義: 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, No. 415/VI-12, pp.71-80, 1990年3月。
- 2) 笠博義, 小島尚人, 大林成行: 異なった斜面崩壊のタイプに対する斜面崩壊予測システムの適用性の研究, 土木学会論文集, No. 444/VI-16, pp.71-80, 1992年3月。
- 3) 後藤恵之助, 瀬戸島政博, 岡崎修平: リモートセンシングによる斜面崩壊発地点の予測手法, 土質工学会論文報告集, Vol. 25, No. 2, pp.185-194, 1985年6月。
- 4) 堺毅, 西川肇, 福山茂: ランドサットMSSデータを用いた山腹斜面崩壊の要因に関する研究, 土木学会第40回年次学術講演会講演概要集, 第4部門, pp.217-218, 1985年9月。
- 5) 荒川賢一, 金子博: 画像工学へのフラクタルの応用, 画像ラボ, pp.40-47, 1994年12月。
- 6) 横谷直和, 山本和彦: フラクタルによる3次元自然形状の解析とその地形モデル作成への応用, 電子情報通信学会論文誌D, Vol. J70-D, No. 12, pp.2605-2614, 1987年12月。
- 7) 中山寛, 曾根光男, 高木幹雄: フラクタル次元と低次統計量とを用いた気象衛星画像のテクスチャ解析, コンピュータビジョン研報, CV 44-4, pp.103-110, 1986年9月。
- 8) 吉岡良朗: 砂防, 地すべり, 急傾斜地崩壊, 土木学会編・新体系土木工学77, 技法堂出版, pp.152-155, 1980年10月。
- 9) Fournier, A., Fussler, D. and L. Capenter: Computer Rendering of stochastic models, *Commun. ACM*, Vol. 25, No. 6, pp.371-384, 1982.
- 10) 中川昌美, 佐武正雄, 猪股亮裕: ライフラインシステムの震害評価におけるフラクタル次元の応用, 土木学会論文集, No. 428/I-15, pp.177-182, 1991年4月。
- 11) 阿部忠行, 小川進: 舗装の縦断凹凸のフラクタルによる評価, 土木学会論文集, No. 480/V-23, pp.131-136, 1994年5月。
- 12) 水野節子, 掛井秀一: 都市街路形態のフラクタル解析, 日本建築学会計画系論文報告集, 第414号, pp.103-108, 1990年8月。
- 13) 大林成行, 小島尚人, 藤井克史: 衛星マルチスペクトルデータの画像処理/解析におけるフラクタル特徴量の適用性について, 日本リモートセンシング学会第13回学術講演会論文集, pp.57-58, 1992年12月。
- 14) 大津展之: 平面上のデータ点列の直線度, 電子通信学会総合全国大会講演集, No. 1571, p.124, 1984年。
- 15) 笠博義, 黒台昌弘, 大林成行, 小島尚人: 地すべりの予測への衛星リモートセンシングデータの応用可能性について, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 12, No. 1, pp. 5-15, 1992年3月。
- 16) 大林成行, 藤田圭一, 小島尚人, 藤井克史: パソコン斜面安定性評価支援システムにおける素因データ分析機能の開発, 土木情報システム論文集, No. 17, pp.151-154, 1992年10月。

- 17) Olsen, E.R., Ramsey, R.D. and D.S. Winn : A Modified Fractal Dimension as a Measure of Landscape Diversity, *Photo. Eng. and Remote Sensing*, Vol. 59, No. 10,

pp.1517-1520, 1993.

(1995. 6. 6 受付)

## IMPROVEMENT OF THE ACCURACY FOR EXTRACTING AREAS IN DANGER OF THE LANDSLIDE USING SATELLITE MULTISPECTRAL DATA

Shigeyuki OBAYASHI, Hirohito KOJIMA and Katushi FUJII

The objective of this study is to improve the accuracy of extracting areas in danger of the landslide by using the SSE model (Slope Stability Evaluation model) developed by ourselves in 1990. In this SSE model, we use not only Geographical Information(GI) but also satellite data. As a new spatial information for the satellite data, a "Fractal feature" calculated with Box Counting Method was defined. To evaluate the accuracy of SSE Model, three examination cases were executed as follows: CASE-1) Using GI, NVI (Normalized Vegetation Index) and Fractal Features, CASE-2) Using GI and Fractal features, CASE-3) Using GI and NVI. As a result, in case of using Fractal features (CASE-1 and CASE-2), it was shown that the best accuracy for discriminating dangerous areas on the landslide could be achieved through analyses with the Quantification method TYPE II and III. Furthermore, a subtracted image extracted different pixels between CASE-1 and CASE-3 was proposed. This subtracted image is very useful for supporting the judgement whether the dangerous or not in the field investigation and the countermeasure against landslide.