

◆ 報 文 ◆

数値標高モデルを用いた地すべり地形抽出手法の開発

杉本宏之* 森下 淳** 野村康裕*** 石井靖雄**** 藤澤和範*****

1. はじめに

地すべり地形の分布図は、防災計画および開発計画を策定する際、その合理性かつ経済性を高めるために重要な基礎資料のひとつである¹⁾。現在は熟練した技術者が空中写真や地形図を判読し地すべり地形を抽出している。しかし、この方法では、判読者の熟練度や経験によって結果が異なり、対象範囲が広い場合には多くの時間と労力を必要とする²⁾。そこで、高性能なパーソナルコンピュータと数値標高モデル (digital elevation model、以下DEMという) の普及に伴い、コンピュータによる地形解析から地すべり地形を抽出しようとする研究がこれまでも数多く行なわれている。DEMを用いることで地形を定量的に扱うことができるため客観性が高く、一度アルゴリズムを作成すれば広範囲を迅速に解析できる利点がある。

しかし、これまでの研究の多くは、個々の格子点ごとに勾配、ラプラスian等の地形量を計算し微地形を表現する、もしくは分類することで地すべりに関係する格子を抽出しようとするもの³⁾であり、解析対象範囲内における地すべり地の分布状況を把握しようとする手法の検討はほとんど行なわれていない。そこで、本研究では、まず地すべり地形が特有の微地形の集合体であることに着目し、地形的特徴の類似した隣接する格子同士を統合し1つの集合体とした。次にそれぞれの集合体の形状や相互の位置関係についてパターン認識的アプローチにより地すべり地の抽出を試みた。以下、その検討結果について報告する。

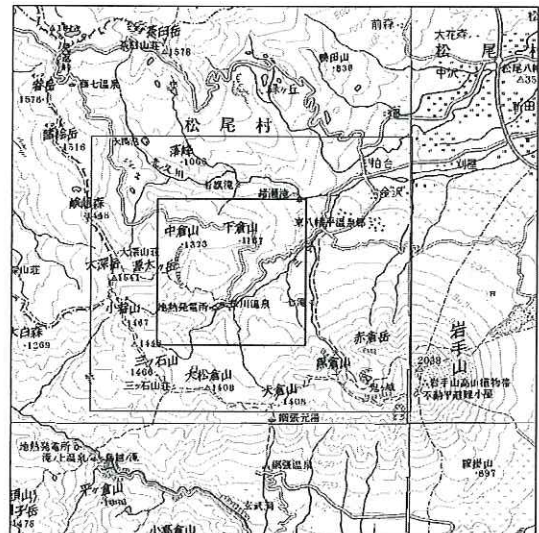
2. 検討対象地域

本検討は、岩手山北西部の松川温泉周辺で行なった。解析対象範囲は比較的地すべり地の多い東西5km、南北5kmの範囲とした (図-1)。検討地域の地質は火山岩類が主で、非溶結の凝灰岩を主とする新第三紀の関東ノ沢層を第四紀の火山岩類が覆っている⁴⁾。本地域は、火山岩類が緩斜面を形成し、大小の地すべりがそれを開析している。

なお、解析に用いたDEMは、1/25,000地形図の等高線から生成されたもので、格子間隔10mで作成した5000m×5000mの範囲の平面直交座標系メッシュデータ (平面座標ならびに標高値) である。

3. DEMを用いた自動抽出手法

一般に地すべり地形は、大きく見ると、移動により生じた地表面が凹凸に富む乱れた緩斜面 (移動ブロック) とそれを囲む急傾斜地 (滑落崖) と



調査位置図 (松川温泉)

図-1 調査位置図

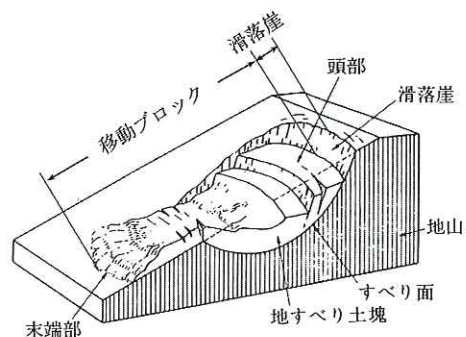


図-2 地すべり様式図⁵⁾

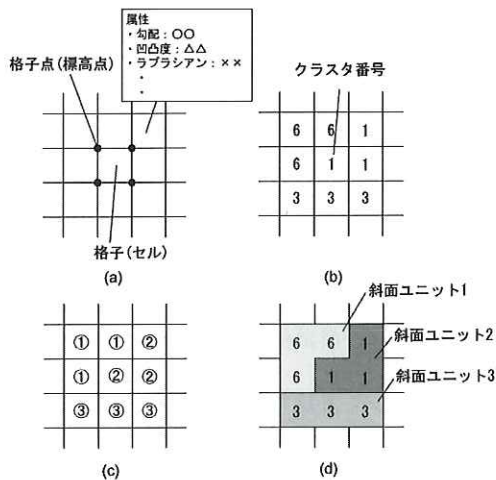
A Study on Landslide Extraction Method by Digital Elevation Model

いう二つの特徴的な地形により構成されている(図-2)。そこで、これら二つの地形に着目し、地すべり地を抽出する手法を考案した。本手法は、まず各メッシュの地形量をもとに、対象地域を地形的特徴の類似した地形単位ごとに分割し(領域分割)、分割された地形単位の中から地形的、形状的に地すべり地の特徴を有する領域を抽出する(地すべり地の抽出)こととした。以下にその概要を述べる。

3.1 領域分割

対象地域の領域分割は、DEMの各メッシュの4つの標高点を結んだ一辺10mの正方形格子(以下セルと呼ぶ)のうち地形的特徴が類似している近接したセルをまとめ、1つの地形単位を形成することで行なった。図-3に領域分割作業の概念図を示す。

各セルを分類する手法としては、画像処理分野で領域分割の際に用いられるクラスタリング処理⁶⁾を用いた。これは、複数の地形量(例えば勾配、凹凸度など)を各セルに属性として与え、これらを軸とした多次元ベクトル空間上に各セルをプロットした時の分布状態から統計的にクラスタ分類するものである。即ち、この解析により複数の地形量の類似したセルが、ひとつの集合(クラスタ)として分類できる。しかし、これだけでは解析対象地全体について地形的特徴から各セルを分類したにすぎないため、次にラベリング処理⁷⁾を行い、それぞれを地形単位として分割する。これは、同じクラスタに分類されたセルが隣接している場合にはそれをひとつの地形単位として統合



(a) セルと地形量 (b) クラスタリング処理結果
(c) ラベリング処理 (d) 領域分割結果

図-3 領域分割の方法

し、地形的特徴が類似したセルの集合体を作成する作業を言う。以下、この集合体を斜面ユニットという。

3.2 地すべり地の抽出

次に、分割された斜面ユニットの中から地すべり地特有の地形である滑落崖と移動ブロックを抽出し、地すべり地を決定する。本検討では、滑落崖や移動ブロックに見られる地形的な特徴のほか、これらの地形単位が持つ形状と二つの地形の位置関係(距離、斜面勾配方向)に着目し、パターン認識的アプローチ⁸⁾によりその抽出を試みる。以下手順を示す(図-4)。

1) 滑落崖の形状の評価

クラスタリングの結果、既知の滑落崖の分布とよく一致するクラスタ番号の斜面ユニットを暫定的に滑落崖とする。また、一般的に滑落崖の形状は特徴的な形状(馬蹄形、円弧状、直線状など)を示すことが知られている¹⁾。そこで、円弧度、極断面2次モーメント⁸⁾を用いて該当斜面ユニットの形状を評価し、既存の滑落崖形状と調和的になるように閾値を設定する。この閾値条件に当てはまらない斜面ユニットは除去する。なお、円弧度、極断面2次モーメントはそれぞれ次の式で与えられる(図-4の①~③)。

$$\text{円弧度} : R = 4 \pi A / L^2 \quad (1)$$

$$\text{極断面2次モーメント} : J = \sum (r^2 a) / a^2 \quad (2)$$

A : 斜面ユニット面積

L : 斜面ユニット周囲長

r : 重心とメッシュとの距離

a : 1メッシュあたりの面積

2) 移動ブロックの形状の評価

クラスタリングの結果、既知の地すべりブロックの分布とよく一致するクラスタ番号の斜面ユニットを暫定的に移動ブロックとし、その形状を1)での斜面ユニットの評価と同様に、円弧度、極断面2次モーメントで評価する。一般的に移動ブロックは「ある広がりと厚みを持った1つの集合体として滑動し、その集合体の動いた範囲内に、結果としてのいくつかの運動の状況に即応した地形が配置され、寄せ集まって統一され⁹⁾」ており、比較的平坦な矩形状や楕円状を示すと考えられる。そこで、既知の移動ブロック形状に調和的になるように閾値を設定する。この閾値条件に当てはまらないものを除去する(図-4の①~③)。

3) 滑落崖と移動ブロック間の距離の評価

以上により抽出された滑落崖候補と移動ブロッ

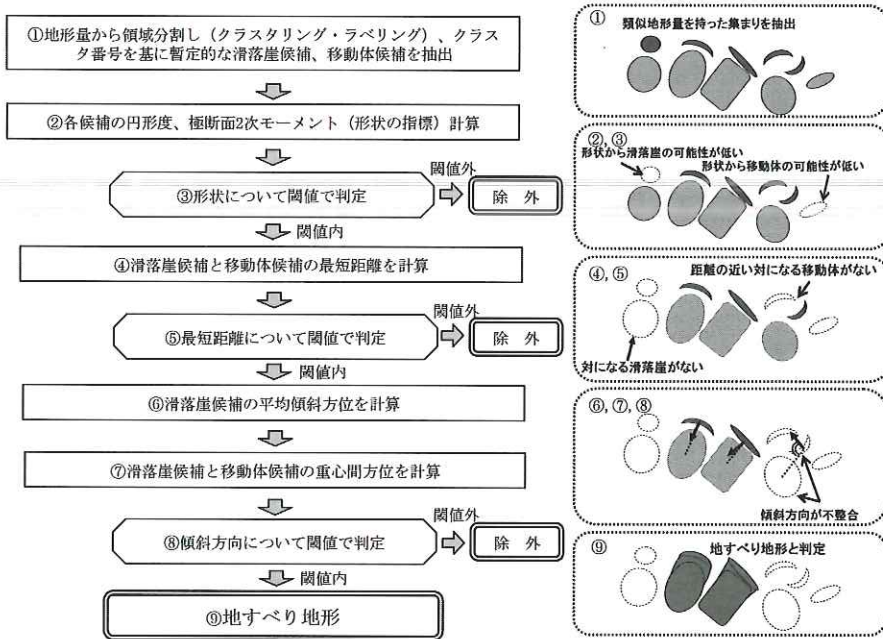


図-4 地すべり地形抽出アルゴリズム

ク候補に対し、各々の斜面ユニット間の最短距離を計算し、既知の移動ブロックを最も良く抽出できるように閾値を設定する。そして、閾値以下となる滑落崖と移動ブロックの組み合わせを地すべり地候補とする（図-4の⑤）。

4) 滑落崖と移動ブロックの斜面方位の評価

地すべり地候補となった滑落崖の平均斜面方位を計算し、滑落崖と移動ブロックの重心間方位との差を調べ、既知の移動ブロックを最も良く抽出できるように閾値を設定する。そして、閾値以下となる組み合わせを地すべり地として抽出する（図-4の⑥～⑨）。

4. 調査地への適用

3. で考案した地すべり地形の自動抽出手法を2. の調査対象地に適用し、抽出精度の検証を行った。その結果について以下述べる。

4.1 地形量の検討

滑落崖の一般的な地形的特徴は、急崖とそれにとまなう勾配変化線（遷急線と遷緩線）の存在が挙げられる。また、移動体の一般的な地形的特徴は、ブロック内が緩傾斜で凹凸に富む乱れた地形を呈し（図-2参照）、周辺に水系異常¹⁾を示すことが挙げられる。そこで、地すべり地抽出の指標として、勾配¹⁰⁾、凹凸度、地上開度¹¹⁾、地下開度¹¹⁾、ラプラシアン¹²⁾、起伏量¹²⁾、水系密度¹²⁾といった地形量について各セルごとに計算し、そ

の値の高低を黒～白で示した色調分布と既知の地すべり分布の分布傾向を比較した。

なお、今回用いた計算手法の特性上、上記の地形量算出に使用する隣接セルの範囲の取り方（考慮距離）によって地形量の算出結果が変化する。そこで、本検討では考慮距離を50～500mで変化させ地形量を計算した。

以下、各地形量の検討結果について述べる。

- ・勾配を計算した結果、既知の滑落崖付近で値が大きく、移動ブロック付近で中程度の値を示した。考慮距離を50～100mとすると勾配の色調分布が既知の滑落崖の分布傾向と整合する傾向が見られた。
- ・凹凸度を計算した結果、既知の滑落崖頂部や溪岸部付近で大きな値を示し、移動ブロック付近で中程度の値を示した。
- ・起伏量を計算した結果、既知の滑落崖付近で大きな値を示し、移動ブロック付近で中程度の値であった。考慮距離を30～50mとすると起伏量の色調分布が滑落崖の分布傾向と整合する傾向が見られた。
- ・ラプラシアンを計算した結果、既知の滑落崖の頂部付近で大きな値を、滑落崖の末端部付近で小さな値を示した。移動ブロック付近では値のばらつきが大きくなった。考慮距離については値を変化させても大局的な傾向の変化が見られなかった。

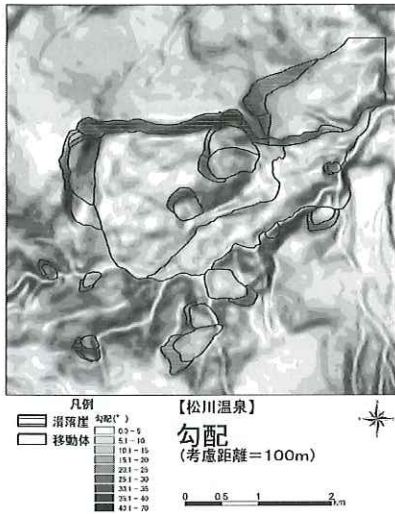


図-5 勾配の分布



図-6 ラプラシアンの分布



図-7 凹凸度の分布



図-8 クラスタリング処理結果

- ・地上開度、地下開度を計算した結果、滑落崖付近で低い値を示し、移動ブロック付近で中程度の値であった。考慮距離を100mとすると地上開度、地下開度の色調分布の傾向が既知の地すべり地分布と整合する傾向が見られた。
 - ・水系密度を計算した結果、地すべり地形の分布傾向とは整合が見られなかった。本調査地では地すべりによる水系への影響は小さいと考えられる。
- 本検討で各セルに属性として与える地形量には、上記の計算結果で滑落崖や移動ブロックの地形分布に整合する色調分布を示すものの中から、勾配、ラプラシアン、凹凸度を選択した。この3つの地形量について、考慮距離を100mとし色調表示し

て既存の地すべり分布図を重ねたものを図-5~7に示す。

4.2 クラスタリングの検討

前述の3つの地形量を属性として与え、クラスタリング処理を行った。クラスタ数を10以上とすれば滑落崖と移動ブロックの地形量の違いを比較的良く表現できたことから、収束させるクラスタ数は10とした。分類された10個のクラスタを色調表示し、既存の地形図と重ね合わせた図を図-8に示す。当地区では値の大きなクラスタ番号が与えられているセル(クラスタ番号7~10)が滑落崖とよく一致し、中間の値を示すクラスタ(クラスタ番号3~6)が移動ブロックとよく一致した。なお、河川は最も値の小さなクラスタ(クラスタ

番号1)に分類された。

4.3 地すべり地の抽出

既存の地すべり分布図との比較からクラスタ番号が7、8である斜面ユニットを暫定的に滑落崖候補とし、それらの斜面ユニットの円形度、極断面2次モーメントを計算した。計算結果と既存の地すべり分布図における滑落崖の分布とを比較した結果、円形度0.2以下、極断面2次モーメント0.5以上の斜面ユニットが実際の滑落崖の分布と比較的一致することが分かった。そこで、この値を閾値として滑落崖候補となる斜面ユニットを抽出した。

同様に、クラスタ番号が4と5である斜面ユニットを暫定的に移動ブロック候補とし、それらの斜面ユニットの円形度、極断面2次モーメントを算出した。滑落崖の場合と同様に既存の地すべり分布図と比較したが、今回用いた形状を評価するパラメータでは、既知の移動ブロック分布と調和するような閾値の設定を行うことができず、移動ブロック候補の絞り込みはできなかった。そこで、本調査においてはこれらのパラメータによる閾値を設定せず、クラスタ番号が4と5である斜面ユニットをすべて移動ブロック候補とした。

続いて、滑落崖候補と移動ブロック候補となった斜面ユニットすべての組み合わせについて、斜面ユニット間の最短距離を計算した。斜面ユニット間の最短距離に閾値を設定して滑落崖候補と移動ブロック候補をさらに選別した結果と既存の地すべり分布図を比較したところ、閾値を100mより大きくした場合には地すべり地以外の箇所が増えることが分かった。そこで、最短距離が100m以上となる組み合わせを地すべり候補から除いた。次に、滑落崖候補である斜面ユニットの平均斜面方位を計算し、滑落崖候補からみた移動ブロック候補の重心の方位と滑落崖候補の平均斜面方位の差を算出した。滑落崖候補の重心位置からみた移動ブロック候補の重心の方位と滑落崖候補の平均斜面方位の差を用いて滑落崖候補と移動ブロック候補をさらに選別した結果と既存の地すべり分布図を比較したところ、閾値を45°より大きくすると、地すべり地以外の箇所が増えることが分かった。そこで、重心間方位と滑落崖の傾斜方位の差が45°以上となる組み合わせを候補から除いた。

以上の手順を経て最終的に地すべり地候補として残った移動ブロックと滑落崖の組み合わせを地すべり地として抽出した。

4.4 抽出結果と考察

以上の手順により抽出された地すべりを既存の地すべり分布図に重ねて図-9に示す。また、そ

の各ブロックの抽出割合を表-1に示す。10ha以上の規模の地すべり地では10箇所中6箇所、各地すべり地の面積の20%以上の地域が滑落崖もしくは移動ブロックとして抽出されている(図-9に示す④、⑥、⑩、⑪、⑬、⑭、⑯)。約6ha以下の規模の地すべり地(図-9に示す①、②、⑤、⑦、⑧、⑨、⑫、⑮)では、滑落崖もしくは移動ブロッ



図-9 地すべり地抽出結果

表-1 地すべり地抽出割合

ブロック No.	ブロック面積 (ha)	抽出セル数	抽出面積 (ha)	割合 (%)
①	3.7	0	0.0	0.0
②	3.5	0	0.0	0.0
③	18.1	0	0.0	0.0
④	10.1	219	2.2	21.7
⑤	3.5	0	0.0	0.0
⑥	18.4	996	10.0	54.1
⑦	3.0	0	0.0	0.0
⑧	2.6	0	0.0	0.0
⑨	5.8	0	0.0	0.0
⑩	10.2	216	2.2	21.2
⑪	12.1	327	3.3	27.0
⑫	2.0	0	0.0	0.0
⑬	21.8	182	1.8	8.4
⑭	28.8	198	2.0	6.9
⑮	1.6	0	0.0	0.0
⑯	16.9	27	0.3	1.6
⑰	481.9	13198	132.0	27.4
⑱	157.7	5569	55.7	35.3

クとして抽出されたセルは認められない。よって、メッシュ間隔10mのDEMを用いた場合、6ha以下の規模の地すべり地は抽出が困難であると言える。解析に用いるメッシュ間隔を小さくすることによって、抽出できる地すべりブロックは増加すると考えられる。

図-9に示す⑩は、地すべりブロック（図-9の⑰）内の小さな地すべりブロックである。よって、滑落崖が明瞭な場合、本手法を用いて地すべり地内の小さな地すべりブロックも抽出できる可能性があると言える。一方で、地すべりでない地域が滑落崖もしくは移動ブロックとして誤抽出されている場合が見られるが、誤抽出された箇所の地形条件に一定の傾向は認められなかった。

5. まとめ

本研究では、DEMから算出される地形量をもとに地すべり地を定量的に抽出することを試みた。一般的に考えられる地すべり地特有の地形的特徴から地すべり地を抽出する手法を考案し、これを実際の地すべり地へ適用した結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 本研究で検討した抽出手法を用いることにより、10ha以上の規模の地すべり地については、10箇所中6箇所で、各地すべり地の面積の20%以上の地域が滑落崖もしくは移動体として抽出できた。
- 2) 本手法では6ha以下の規模の地すべり地については抽出することができなかったが、メッシュ間隔を小さくすることで微地形の把握精度が向上し、規模の比較的小さな地すべり地についても抽出できると考えられる。
- 3) 今回、地すべりブロック内の小さな地すべりブロックも一部抽出できており、本手法が大規模地すべりブロック内小ブロックの抽出にも適用できる可能性がある。

参考文献

- 1) 日本測量調査技術協会：「空中写真による地すべり調査の実際」、鹿島出版会、1984。
- 2) 井口 隆・清水文健・内山庄一郎：防災科学研究所の地すべり地形分布図の意義と今後の展望と課題、第43回日本地すべり学会研究発表会、p.181-184、2004。
- 3) 西 真佐人：数値地形モデルによる地すべり微地形の判読、第33回地すべり学会研究発表会講演集、p.13-16、1994。
- 4) 須藤 茂：「仙台地域中心部地熱地質図」、特殊地質図21-5、地質調査所、1992。
- 5) 山田剛二・渡 正亮・小橋澄治：「地すべり・斜面崩壊の実態と対策」、山海堂、p.49、1978。
- 6) 高木幹雄・下田陽久：画像解析ハンドブック、東京大学出版会、1990。
- 7) 平岩篤信・布施圭介・小松尚久・小宮一三・池田弘明：特徴に基づく領域分割法の検討、画像電子学会誌、第28巻、第3号、1999。
- 8) 尾崎 弘・谷口慶治：画像処理、共立出版、1989
- 9) 古谷尊彦：ランドスライド、古今書院、1996。
- 10) 外山みさ子：プログラマのための幾何学入門、啓学出版、p.110-113、1985。
- 11) 横山隆三・白澤道生・菊池 祐：開度による地形特徴の表示、写真測量とリモートセンシング、Vol.38、No.4、p.26-34、1999。
- 12) 野上道男・杉浦芳夫：パソコンによる数理地理学演習、古今出版、p.37-53、1992。

杉本宏之*



国土交通省河川局砂防部
砂防計画課計画係長（元
独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ地
すべりチーム研究員）
Hiroyuki SUGIMOTO

森下 淳**



国土交通省近畿地方整備
局国営明石海峡公園事務
所調査設計課長（前 独
立行政法人土木研究所土
砂管理研究グループ地す
べりチーム研究員）
Atsushi MORISHITA

野村康裕***



独立行政法人土木研究所土砂管
理研究グループ地すべりチ
ーム研究員
Yasuhiro NOMURA

石井靖雄****



独立行政法人土木研究所土砂管
理研究グループ地すべりチ
ーム主任研究員
Yasuo ISHII

藤澤和範*****



独立行政法人土木研究所土砂管
理研究グループ地すべりチ
ーム
首席研究員
Kazunori FUJISAWA