

# 「地すべり解析へのリモートセンシングとGISの活用」

高知工科大学 社会システム工学科 高木方隆

## 1. はじめに

衛星リモートセンシングの技術による地すべり解析は、1970年のLandsat打ち上げ依頼検討が続けられている。当初は、地上分解能が30～50mと良くないために、地すべり自身を明確に捉えることは、よほど大規模の地すべりでない限り困難であった。したがって、植生等の地すべり地周辺の土地被覆状態を解析することで、地すべりとの因果関係を探る研究が主として行われていた。しかし、地すべりは、地形・地質・土質・水収支などの要素が複雑に絡みあって発生するものであり、土地被覆の状態のみからの解析は困難である。1999年には商業用のリモートセンシング衛星IKONOSが打ち上げられ、地上分解能0.8mという高分解能の画像が販売されており、個々の地すべりに対するデータが得られるようになってきた。特に、ステレオペア画像より、三次元の地形データを取得できることに大きなメリットを有している。

一方、地上での測量技術の進歩も目覚ましい。トータルステーションもレーザーを利用したノンプリズム型のものが利用でき、モータードライブによる自動追尾機能も付加されてきた。また、スキャニング型レーザーにより、周辺の三次元情報を瞬時に取得できるようにもなってきた。さらにデジタルカメラの進歩により、デジタル写真測量の技術でも非常に効率良くデータを取得できる時代となっており、このような技術も地すべり観測への応用において、大きな期待が寄せられている。

さて、地理情報システム（GIS）も1970年頃より水道管理システムとして利用され始め、現在では位置情報を伴うデータの管理に非常に多くの分野で利用されている。リモートセンシング等の計測技術は、言うなれば「データ取得のための技術」であるのに対し、GISは、「データ解析のための技術」といえる。したがって、両者を有効に活用することが重要な課題といえよう。先にも述べたように、地すべりの発生は、多くの要素が影響しているため、GISは解析において大きな力を発揮する。

本稿では、地すべりに焦点を当て、現在のリモートセンシングやGISの技術を駆使すれば、どのような解析が可能かについて言及する。

## 2. リモートセンシングによる地形データの取得

リモートセンシングに用いられるセンサは、大きく次の三つに大別できる。

- a. 光学センサ： デジタルカメラで利用されているCCDに代表されるセンサである。太陽などの光源の反射や物体自身の放射による電磁波をセンサが感知して画像化するものである。様々な波長帯での画像を取得することができるため、土地被覆の状況を把握するのに適している。また、ステレオペア画像を取得することにより、三次元計測も可能で地形データを得ることができる。ただ、気象の影響を受けるのが難点である。
- b. マイクロ波センサ： 観測する物体にマイクロ波を照射し、その物体によるマイクロ波の後方散乱成分を観測することによって画像化される。したがって、物体のラフネス（粗さ）を見ることができる。マイクロ波という、比較的長い電磁波の波長帯域のため、雲などの影響を受けにくい特徴を持つ。さらに、2時期のマイクロ波データより、マイクロ波の干渉を利用することによって三次元計測も可能で、地形データを得ることができる。
- c. レーザースキャナ： 観測する物体にレーザーを照射し、返ってきたレーザーの時間や周波数を解析することで物体までの距離を測ることができる。このレーザーをスキャニングすることによって距離画像を生成することができる。現在、スキャニング型レーザーが人工衛星に搭載されている例はないが、近年は航空機に搭載され、航空機自身の位置と姿勢をそれぞれGPSとジャイロにより計測することで、三次元計測が行われている。

ところで、センサを搭載する機器は、プラットフォームと呼ばれている。地上で三脚などに据置くタイプからバルーン、飛行機、人工衛星など様々である。地上に近いほど分解能が高いが、

地上から離れるほど広範囲をカバーできるが分解能が低くなる。

### 3. リモートセンシングによる地すべり変位観測の実態

現在、地すべり地において行われている地上での変位観測は、伸縮計やGPSの観測に頼っている。伸縮計は、ある測線の変位を捉え、GPSは、ある点の変位を捉える。地すべりは、非常に動きが緩慢であることから、不動土塊と移動土塊との境界を特定することが難しく、何処が最も変位が大きいのかを把握することは非常に難しい。したがって、面的な地形の変位観測が望まれている。面的な観測においては、リモートセンシングが期待されている技術の一つである。

リモートセンシングによって地すべりの変位観測を行う場合、大規模な地すべりにはプラットフォームとして人工衛星の利用も可能であるが、多くの地すべりの規模は水平距離にして100m前後である。現在の高分解能衛星は、IKONOSの0.8m、Quick Birdの0.6mであり、衛星リモートセンシングでは、地すべりの変位観測には分解能が低すぎて対応できない。したがって、比較的近い距離からの三次元計測であるデジタル写真測量が適している。

ここで、リモートセンシングによって地すべりの変位を捉えるには、どのようなスペックが必要かを整理しておきたい。地すべりは、年間に数cm～数10cmと動きが緩慢なので、変位状況を明確に捉えるには、少なくとも地上分解能は1cm未満でなければならない。特に地すべり監視システムを実現する場合には、1mm未満の分解能が要求される。リモートセンシングによって1mm未満の分解能を実現するには、現段階では極めて困難である。このスペックに対しては、今後も測線間の距離を測る伸縮計でしか対応できないであろう。さて、GPSの精度にしても干涉測位で1cm程度の分解能である。1cm程度の分解能であれば、デジタル写真測量でも実現可能である。デジタル写真測量によって面的なデータを得られるのであれば、解析においては、そちらの方が有用なデータとなり得る。

デジタル写真測量における分解能は、撮影距離、レンズの口径と焦点距離、CCDの密度、B/H（カメラ間の距離Bと物体までの距離H）に依存する。撮影距離を短くし、大口径・長焦点レンズで、高密度のCCDを用いB/Hを1程度にすれば、1cmの分解能は簡単に実現できる。そこで、一般に販売されているデジタルカメラを用いて、どの程度の精度で計測できるかについて実験を行った。利用したデジタルカメラのスペックは、以下の通りである。

製品名：Fuji FinePix4700z

レンズ口径： 2.96mm

レンズ焦点距離： 8.3mm

CCD画素数： 2400×1800

CCDサイズ： 7.524×5.650mm

このカメラをバルーンを利用したプラットフォームに載せ、様々な距離からステレオペア画像を取得し、それぞれ3次元計測を行った。右の写真は、当研究室にて作成したプラットフォームである。ジャイロセンサを搭載し、テールロータを取り付けてあるのでカメラの姿勢を制御することができる。このプラットフォームをバルーンにつり下げて撮影する。今回は、直径3mのバルーンを使用した。このバルーンでおよそ15kgのプラットフォームを釣り上げる能力がある。

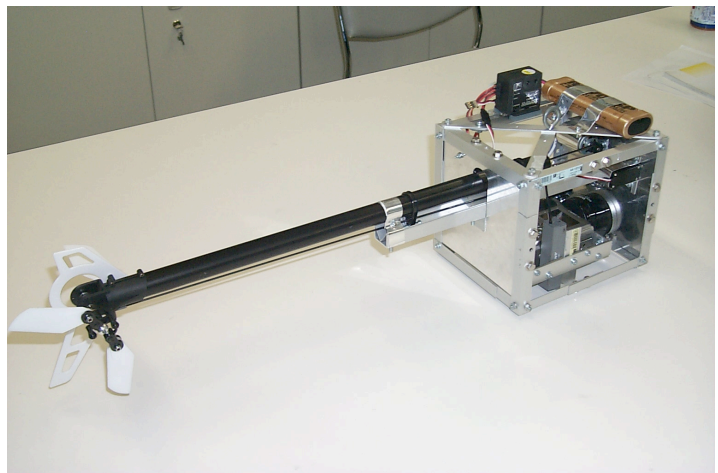


図1. バルーン搭載型プラットフォーム

図2は、高度別のB/Hと誤差との関係を表したものである。この図より、B/H 1～2において安定した誤差量を示している。今回は、一般的な400万画素タイプのデジタルカメラで、ディストーション（レンズ歪み）のあまり良くない製品を利用したが、それでも20m程度の高さから、8cm程度の誤差で測量することができた。ディストーションの補正、或いはディストーションの

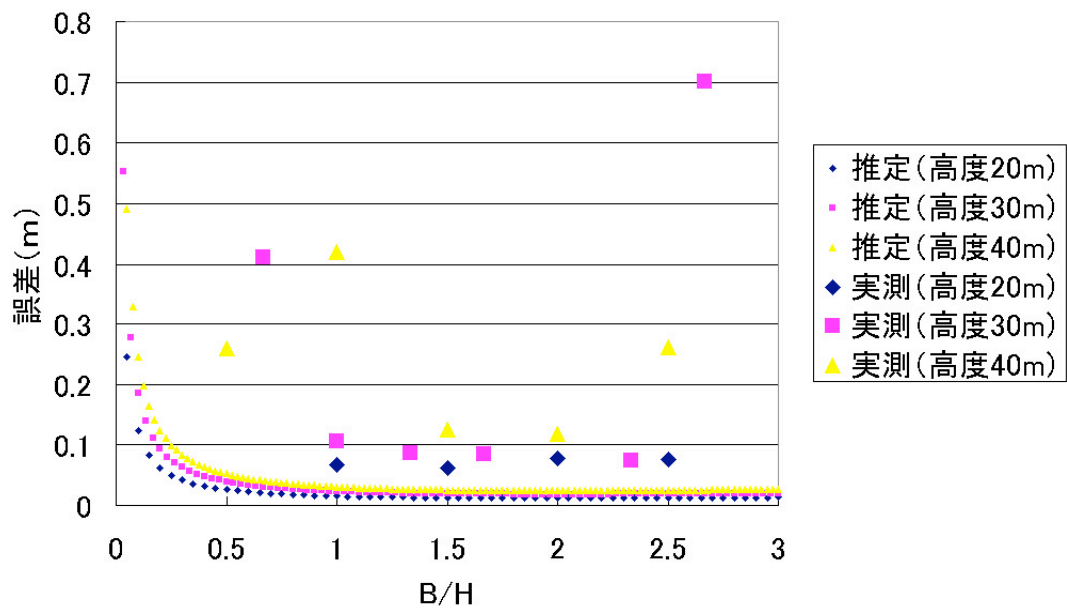


図2. 高度別のB/Hと誤差との関係 (Z軸方向)



図3. 地すべり地における三次元モデルの例

少ない高性能レンズを使い、さらに高密度CCDのデジタルカメラを用いれば、数cmの精度での三次元計測は簡単に行えるものと期待できる。

さて、最近ではレーザーを利用した測量機器もどんどん市場に投入されている。ノンプリズムタイプのトータルステーションは、レーザーを利用したものが多い。レーザーは、プラットフォームから物体までの距離を測ることができるため、プラットフォームの位置と姿勢さえ分かっているならば、三次元計測は簡単に行うことができる。このレーザータイプの測量機器は、トータルステーションにモータードライブが内蔵され、ユーザーの指示した個所を自動的に計測するタイプ

と、レーザーを一定の角度ずつ縦方向・横方向にスキャンし、面的な計測をするタイプとに大別できる。スキャニング型のレーザーは、トータルステーション型に比べて精度は劣るものの面的な情報を瞬時に捉えることができる。つまり、面情報を重んじる場合は、スキャニング型レーザー、各点の精度を重んじる場合は、トータルステーション型が適していると言えよう。

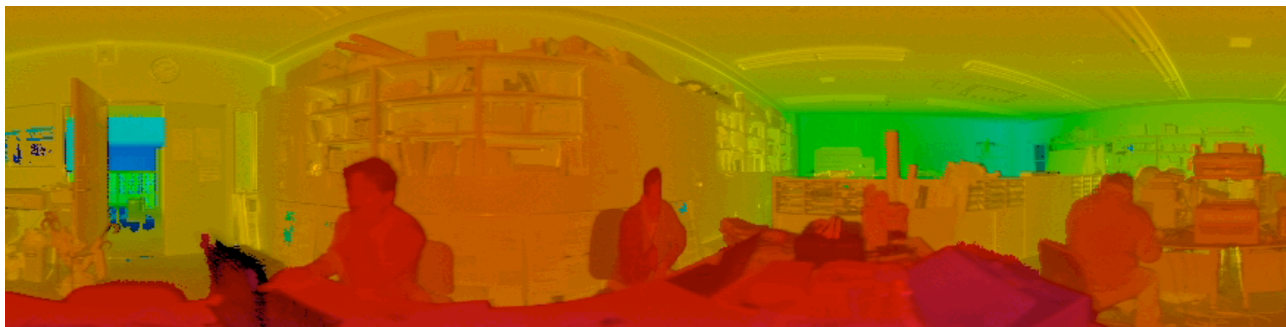


図4. スキャニング型レーザーで取得した室内の様子（近い物体ほど赤色）

図4は、スキャニング型レーザーで捉えた室内の距離画像である。近い物体ほど赤い色で表示されている。スキャニング時間は数分間なので、リアルタイムに近い計測が可能である。デジタル写真測量は、ステレオペア画像から対応点を探索する必要がある。この作業はステレオマッチングと呼ばれ、ある程度自動化ができるが、B/Hが大きくなると、ステレオペア画像はそれぞれ見た目の異なる画像となり、自動マッチングが困難になる。一方、スキャニング型レーザーは、ステレオマッチングのような作業なしでデータの三次元化が可能のため、極めて効率が良い。現時点では、スキャニングが他レーザーは非常に効果であるが、今後重要な測量機器になると考えられる。

#### 4. GISによる地すべり解析

リモートセンシングがデータ取得技術なのに対して、GISはデータ解析技術といえる。地すべりは、先にも述べたように様々な要素が複雑に絡みあって発生するものなので、GISを用いた解析は極めて自然な取り組み方である。今まで地すべりに関する研究は、特定の地すべりを対象に地形・地質・土質などの個々の分野において行われているのがほとんどで、発生しているたくさんの地すべりを対象に様々な分野の特徴量を系統的に解析しているものは少ない。これは、系統的に多くの地すべりを解析しても際立った特徴を見出すことが困難だったからであろう。GISは、系統的に地すべりに関連するデータを蓄積し、柔軟な解析を行う能力を有している。したがって近い将来、地すべりに関連する詳細なデータを収集し、GISを利用することによって、各地すべりの特徴量が導かれ、定量的に分類し、正確な地すべり危険マップを作成することができると期待している。著者の研究室において保有しているGISデータは、一般に入手可能で精度もあまり良くないものであるが、それらを用いて地すべり解析を行った結果を紹介する。以下は、今回使用したデータのリストである。

データ	データ整備主体
地すべり防止区域	四国地方建設局1/200000地図
地質	工業技術院地質調査所CD-ROM による（日本列島の地質）250mメッシュ
標高	国土交通省 国土地理院 四国地方の数値地図 50mメッシュ
土地利用	国土交通省 国土地理院 国土数値情報 100mメッシュ
水系	国土交通省 国土地理院 1/50000地図より取得
地形	標高データより作成 50mメッシュ

図5は、四国の地質図に地すべり防止区域をプロットしたものである。一般に言われているように、三波川変成帯、御荷鉢帯、秩父累帯に多く分布している。和泉層群における地すべりは、徳島県側では多く見られるが、愛媛県側ではほとんどない。

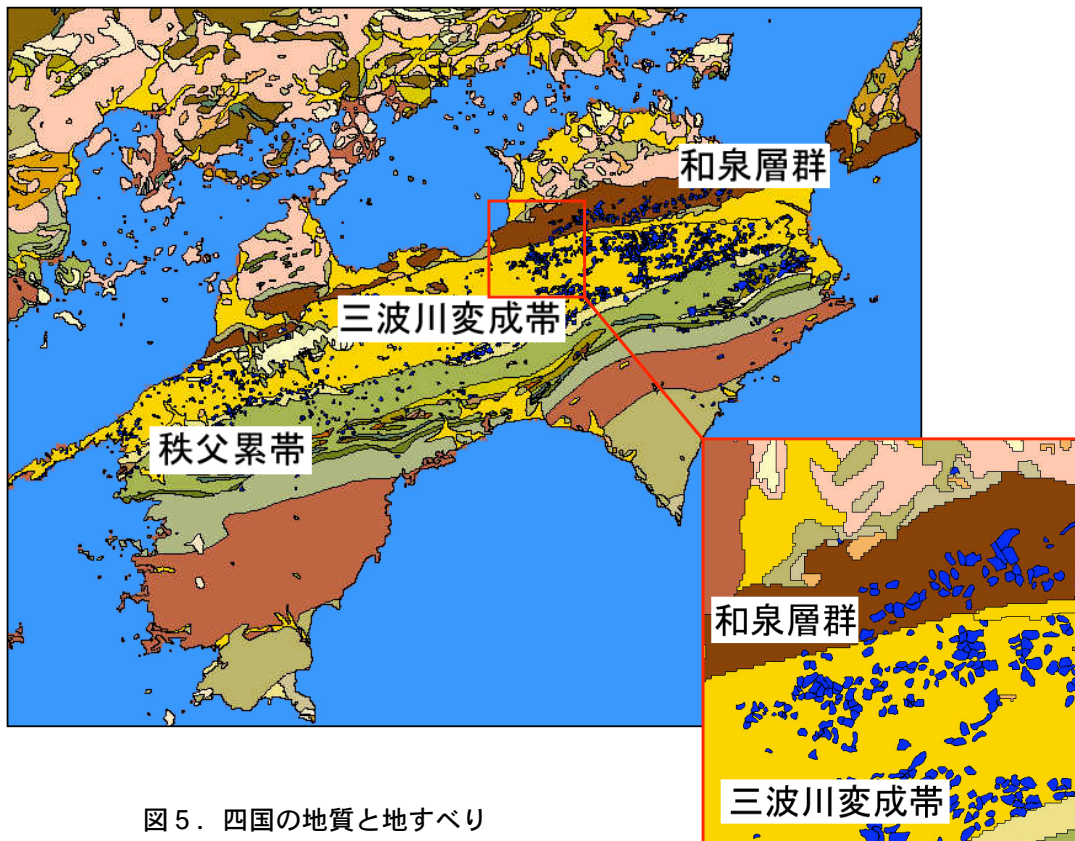


図5. 四国の地質と地すべり

次に地形について検討したい。地形分類は、目視によって分類することが多いが、デジタルの標高データがあれば、ある程度コンピュータによって自動分類できる。特にメッシュ型の標高データであれば、画像処理手法を適用することで分類が可能である。そこで今回は、「標高データを用いた画像処理手法による地形分類」、岩橋純子、神谷泉(1995)を参考に分類を行った。

#### a. 傾斜の分類

傾斜の分類では、緩やかな傾斜と急な傾斜に分類した。四国地方における平均傾斜を閾値として、平均以上であれば急傾斜地形とし、平均傾斜未満であれば、緩傾斜地形とした。

#### b. 凹凸の分類

凹凸は3×3画素の局所領域においてLaplacian filterを施し、傾斜量の変換点を抽出した。Laplacian filterによって正の値になる画素を凸地形、負の値になる画素を凹地形とした。

#### c. 尾根・谷・平地の分類

Median filter は、尾根・谷などの鋭いエッジの角が丸まって出力される。出力画像から原画像を引くと尾根は、正の値に、谷は負の値に、そして平地は0として表現される。

作成された3つの分類画像をオーバーレイすることにより地形は、12カテゴリーに分類することができる。図6に地形分類結果を示す。この図からは判断し辛いですが、集計した結果、凹地形に地すべりが多いことが判明した。

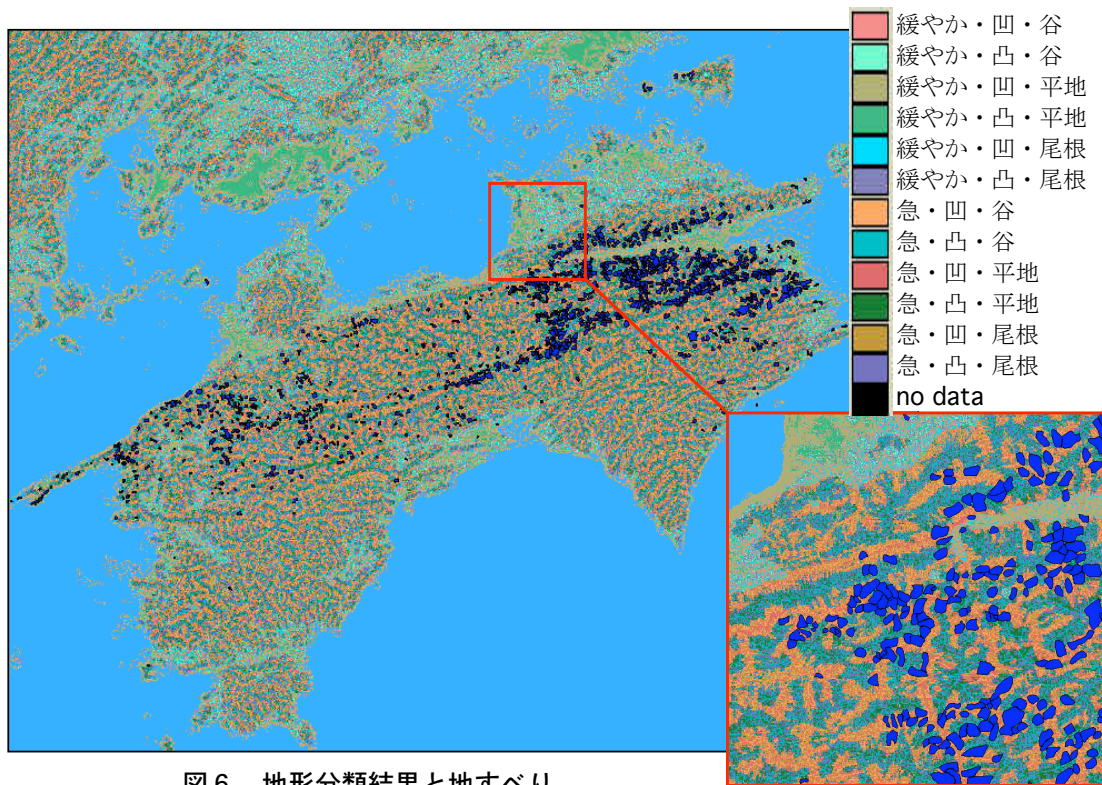


図6. 地形分類結果と地すべり

地質に着目すると、和泉層群では徳島県側には地すべり防止区域が多かったのに対し、愛媛県側にはほとんどなかった。一方、地形に着目すると、和泉層群では徳島県側には大規模な凹地形が多かったのに対し、愛媛県側にはほとんどなかった。したがって、地質と地形をを総合的に考察するだけでも地すべりの発生ヶ所を特徴づけることが可能であるといえる。

## 5. おわりに

現時点で容易に利用できる地質データの地上分解能は250m、標高データは50mと、非常にラフなものである。したがって今回は、地すべり発生ヶ所ではなく、地すべり防止区域というラフなものを地すべり発生ヶ所と見なして集計した。今後は、さらに詳しい標高データを取得し、厳密な地すべり発生ヶ所のデータを利用して集計する必要がある。標高データは、デジタル写真測量やスキャン型レーザーによって容易に高精度のデータを取得することが可能となってきている。地すべりに関する詳細な情報をGISによって積み上げて行くことが、地すべり発生の解明においては極めて重要であると考えられる。