

災害時の人工衛星資料を用いた地被判読の精度評価と効率化について

THE EVALUATION OF RESOLUTION ACCURACY AND APPLICATION FOR REMOTE SENSING TECHNIQUE TO IDENTIFY SLOPE FAILURE DISTRIBUTION USING GIS

村上泰啓¹・山下彰司²
Yasuhiro MURAKAMI, Shoji YAMASHITA

¹ 正会員 独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ 水環境保全チーム
(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

² 正会員 独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ 水環境保全チーム
(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

Satellite imagery is often used in environmental research and post-disaster studies. Improved systems of post-disaster information dissemination are now in place, as exemplified by the immediate provision of data on slope failure after the Niigata Chuetsu Earthquake of 2004 and on the tsunami after the Sumatra Earthquake of 2004. The LANDSAT and SPOT (medium-resolution) satellites launched in the 1970s and 1980s, respectively, accumulated great amounts of image databases. Such databases are important in identifying changes in ground cover conditions. One such image can cover an area of over 3,000 km², which is useful in identifying environmental changes in river basins. However, with regard to these medium-resolution satellite images, few discussions have addressed the pixel density required to achieve the desired accuracy of image interpretation.

This study clarifies the accuracy of determining the area of a landform under different resolutions and reports the results of a method that uses GIS data to identify slope failure areas. The study found that an 8:1 ratio of object size to pixel density is required to accurately estimate the area of a landform (accuracy of 80% or more). Also, a method is proposed that enables easy extraction of landslide areas by effectively removing bare ground other than slope failure using commercially available GIS data.

Key Words: Remote sensing, Resolution, GIS, Slope failure, Sediment yield.

1. はじめに

豪雨や地震などにより広範囲に発生した斜面災害状況などを流域規模で把握することは、流域における荒廃の状況を把握する上で重要である。国土交通省の報告¹⁾でも、今後リモートセンシング技術を活用していく重要性が指摘されている。一般に、広範囲な被害状況の把握のためには航空写真が多用されているが、被災面積など正確な被災状況を知るためにはスキャンニング・幾何補正など煩雑な手続きを踏み、時間がかかりすぎる。高解像度衛星画像も徐々に利用が高まっているが、撮影範囲、価格面、撮影時期などで必ずしも十分な情報が得られるとは限らない。したがって、ここでは現在利用可能な人工衛星画像とその利活用上の問題点を明らかにするため、解像度に着目した判読可能な量の限界を明らかにすることを試みた。その上で、崩壊地以外の裸地をいかに効率よく除去するかについて、市販の数値地図資料を用いた方法を提案した。

2. 現在利用可能な人工衛星データ

図-1に示すようにLANDSAT, SPOTなどの中解像度(10~30m)衛星画像は、1970年代からの膨大なライブラリ

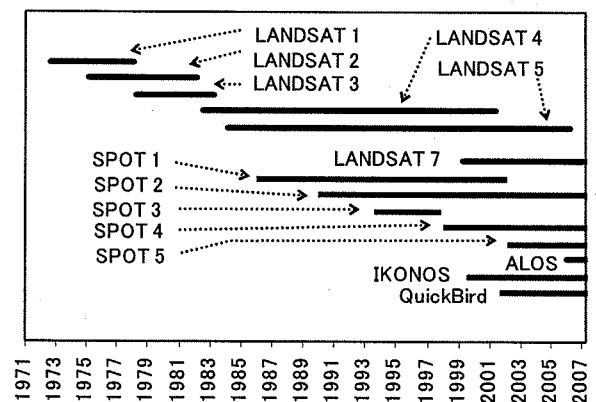


図-1 現在利用可能な主な中・高解像度衛星(RESTEC, JAXA Web サイトより衛星の運用期間を参照)

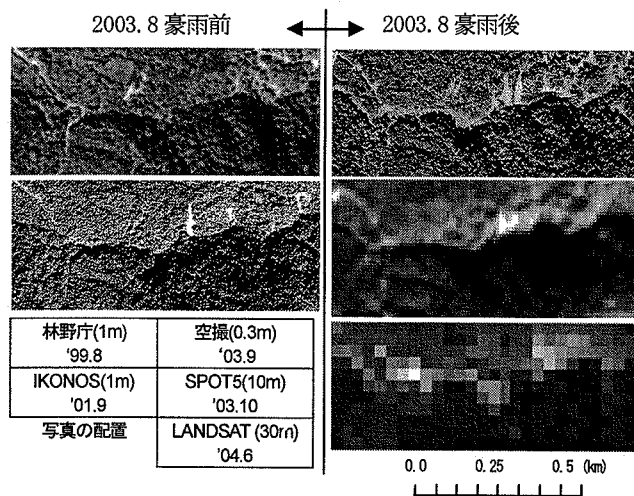


図-2 解像度の違いによる地表の見え方の差
(カッコ内は解像度)

を保有しており、2006年1月からは、わが国で打ち上げた陸域観測衛星ALOS(だいち)も加わった。中解像度衛星画像のメリットは、60km～180kmに及ぶ比較的広範囲なエリアが撮影されていること、分光放射計(マルチスペクトルセンサ)のデータが利用できること、数日から十数日程度で比較的頻繁に撮影されていることなどが挙げられる。人工衛星に搭載された分光放射計の赤外や近赤外領域の様々な波長(バンド)で観測されたデータを用い、バンド間演算を行うことにより得られる指標などにより様々な地被判読が行われている。指標の代表的なものとしては、NDVI(正規化植生指標)、NDWI(正規化水指標)、NDSI(正規化土壌指標)など²⁾が知られ、斜面崩壊箇所の検出³⁾や強風による森林被害の推定⁴⁾などに活用されている。

しかしながら、解像度が10m～30mというデータで、果たしてどこまで判読できるかといえるのか、例えば長さや形状や面積といった幾何学的な量の判読限界がどこまであるかといった点に言及した資料は極めて少ない。図-2に示すように、同一箇所を撮影したリモートセンシング画像を比較すると、数百メートル区間の崩壊地の有無や形状までを把握する為には、LANDSAT画像の解像度では必ずしも十分とはいえないということが読み取れる。

3. 解像度別の地被判読精度について

ここではまず、地上対象物が解像度や撮影位置の違いによりどのように見え方(判読結果)が異なるかを把握するため、図-3に示す様な形で机上実験を行った。本来、リモートセンシング画像の場合、1ピクセルの画像領域に複数の地被が存在する、いわゆるミックスセル(ミクセル)が発生するため、一義的にピクセルの地被状態を決められないが、ここでは、問題を単純化するため、対象物の形状を四角形、三角形、円形の3種類を設定し、さらに、対象とする形状がセル内に

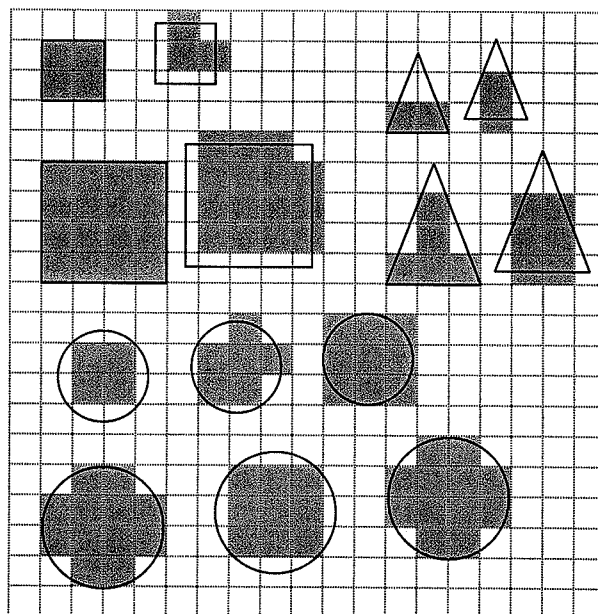


図-3 判読位置を変化させた場合の対象図形の見え方の比較(ここでは対象図形を格子内で移動させ、枠内に判読対象が5割以上存在する場合、「見えている」とし、グレーに彩色している)

50%以上含まれる場合にそのセルを見えている、と仮定し、何ピクセル見えているかをカウントした。

図-3に示す図形のうち、小さい方の図形は解像度を大きくした場合と同等の判読結果の違いを表し、さらに、対象物をどの位置で判読するかにより、結果が異なる場合があることを示している。正方形、円形、3種類の図形について、様々なサイズを設定してピクセル単位で面積を測定し、ピクセルずれと解像度の差による影響の2つで整理した結果を以下(1)～(3)に示す。

(1) 判読対象が正方形の場合

一辺の長さの違いと面積誤差の関係を示した図-4によれば、解像度10mの場合、対象物の1辺が8mの時に実際の面積とピクセルで計測された面積の測定誤差が56%、それ以下はピクセルとして認識されない(=地上分解能10mの場合、対象物が $8\text{m} \times 8\text{m} = 64\text{m}^2$ 以上であれば、誤差が56%以下となる)。地上分解能30mの場合、対象物の1辺が200mの時に面積誤差が20%以下となる(=地上分解能30mの場合、対象物が $200\text{m} \times 200\text{m} = 40,000\text{m}^2$ 以上で

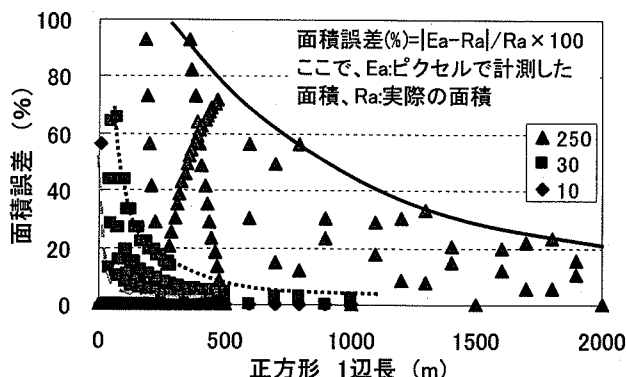


図-4 正方形を判読した場合の面積誤差分布

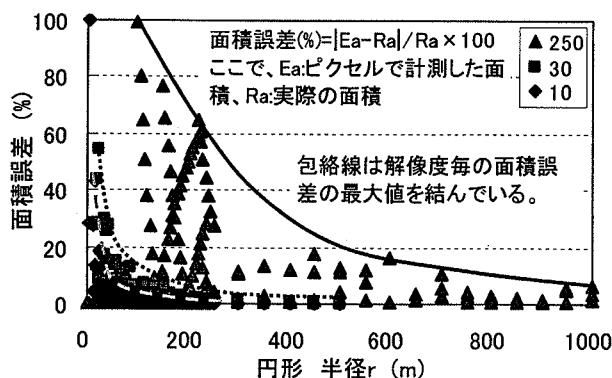


図-5 円形を判読した場合の面積誤差分布

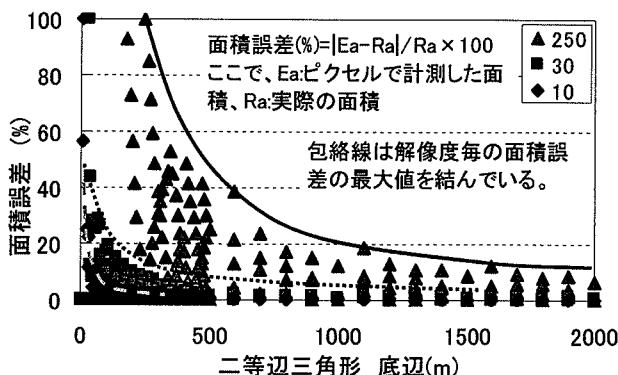


図-6 二等辺三角形を判読した場合の面積誤差分布

あれば、誤差が20%以下となる)。地上分解能250mの場合、対象物の1辺が2,000mの時に誤差20%以下となる(=地上分解能250mの場合、対象物が2,000m×2,000m=4,000,000m²以上であれば、誤差が20%以下となる)。

(2) 判読対象が円形の場合

円の半径の長さと言面積誤差の関係を示した図-5によれば、地上分解能10mの場合、半径20m以上の時に誤差が20%以下になる(=地上分解能10mの場合、20m×20m×π=1,256m²以上であれば、誤差が20%以下となる)。地上分解能30mの場合、半径50m以上の時に誤差が20%以下になる(地上分解能30mの場合、50m×50m×π=7,850m²以上であれば、誤差が20%以下となる)。地上分解能250mの場合、半径500m以上の時に誤差が20%以下になる(地上分解能250mの場合、500m×500m×π=785,000m²以上であれば、誤差が20%以下となる)。

(3) 判読対象が二等辺三角形の場合

地上分解能10mの場合、底辺50m以上の時に誤差が20%以下になる(=地上分解能10mの場合、50m×100m×0.5=2,500m²以上であれば、誤差が20%以下となる)。地上分解能30mの場合、底辺110m以上の時に誤差が20%以下になる(地上分解能30mの場合、110m×220m×0.5=12,100m²以上であれば、誤差が20%以下となる)。地上分解能250mの場合、半径800m以上の時に誤差が20%以下になる(地上分解能250mの場合、800m×1,600m×0.5=640,000m²以上であれば、誤差が20%以下となる)。

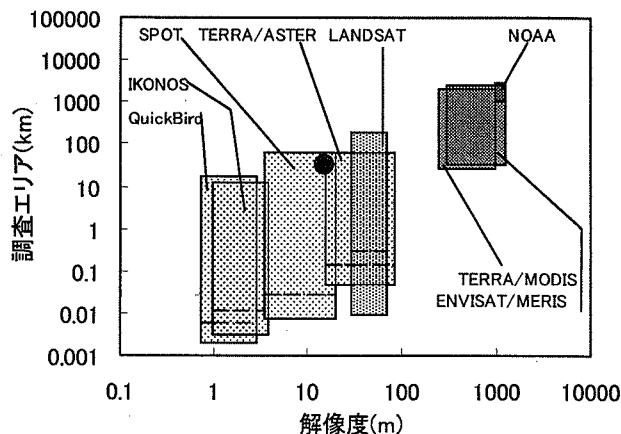


図-7 人工衛星毎の解像度と調査エリア(1辺)における撮影シーン当たりの適用範囲(枠内破線は解像度の10倍の位置)

以上の検証より、判読面積の誤差を20%以下に保つためには、四角に近い調査対象物の場合、一辺の長さが、地上分解能の7~8倍必要となること、円形に近い調査対象物に対しては分解能の約2倍の半径が必要となること、二等辺三角に近い調査対象物の場合、底辺の長さが、分解能の3.5~5倍必要となることが分かった。

以上の結果から、リモートセンシング画像を判読して地被の形状を測定する場合、実用的には、解像度の概ね10倍の辺長以上を有する対象物であれば、幾何学的性状を把握するためには十分であるといえる。図-7に人工衛星毎の解像度範囲と、上限を撮影シーンの幅、下限を解像度の3倍の値で枠を描いた。枠内にある破線は解像度の10倍の位置である。これを用いることで、判読エリアの規模と、8割以上の精度で地被の形状を判読したい場合、どの人工衛星画像を用いれば適切かが示されている。例えば、30km×30km以内の領域で斜面崩壊地を判読する場合で、幅25m以上の崩壊地を判読しようとする場合(図-7中の丸印位置)、SPOT衛星クラスの衛星画像を入手して判読を行うことが望ましいといえる。しかしながら、速報値などで構わない場合は、解像度の2,3倍程度のピクセルサイズで判読された崩壊地でも、災害の有無を把握する上では実用上十分といえる。

4. 判読結果のフィルタリング

斜面崩壊地が数千箇所、被災範囲が数百km²に及ぶ様な場合では、河川流域における土砂・流木収支を推定する上で、崩壊地個々の面積の判読は必須であるといえる。近年、レーザープロファイラと同期された航空デジタルカメラが登場し、撮影からオルソ化までの時間が著しく短縮されたが、一般的には航空写真撮影(GPS-IMU搭載型)が多用されている。この場合、撮影、現像、スキャニング、オルソ化などの手順を踏む必要

表-1 リモートセンシングの種類に応じた崩壊地判読のメリット・デメリット

種類	メリット	デメリット	地被判別の自動化の可否
航空写真	解像度が 20cm 程度と高解像度.	地被判読を実体視(図化機)で行う必要がある.	データが膨大になるため、ソフトウェアでの処理は可能だが、困難.
SPOT5 号	バンド 2.5m, マチ(4 バンド)10m の解像度を有する. 1 シーンの撮影幅が 60km	8×8m 未満の細かい崩壊地の面積判読は誤差がは写らない可能性.	容易: 各種ソフトウェアで NDVI などの指標を用いた地被判別の自動化が可能. また、市販の数値地図と組み合わせ、低平地や林道などの除去を GIS ソフトを用いて自動化が可能. また、植生分布と材積資料を GIS 化することで、被災後の発生倒木量推定 ⁵⁾ も可能.
LANDSAT	マチ(7 バンド)30m 解像度を有する. 1 シーンの撮影幅が約 180km. 1970 年代からのライブラリ.	崩壊地判読には解像度 30m では粗い. しかしながら、被災規模が数百 m に及ぶ場合は有効	

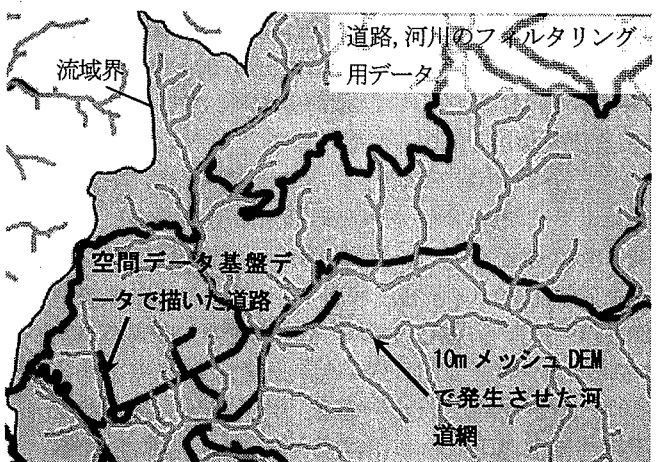
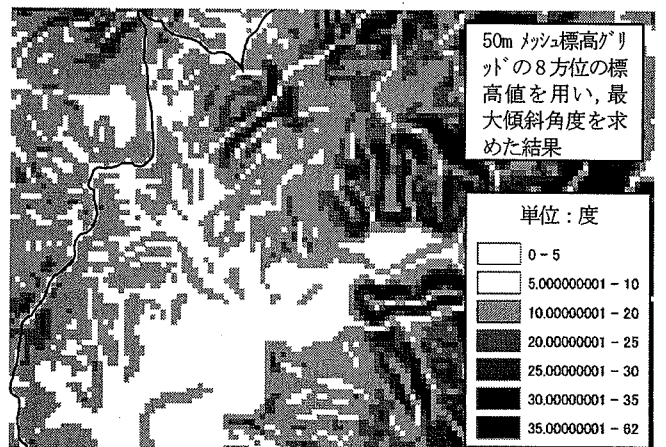
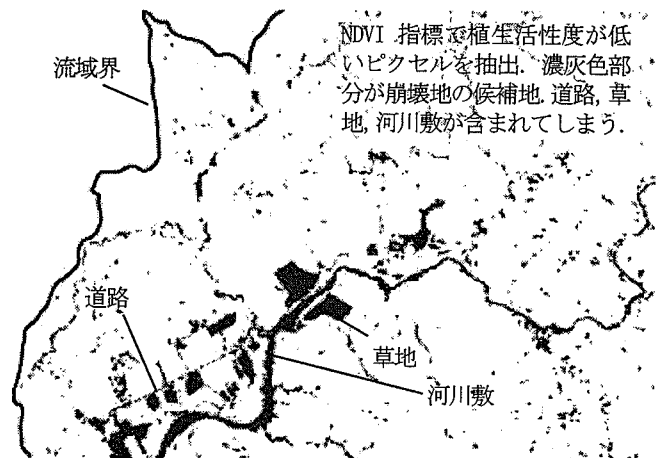
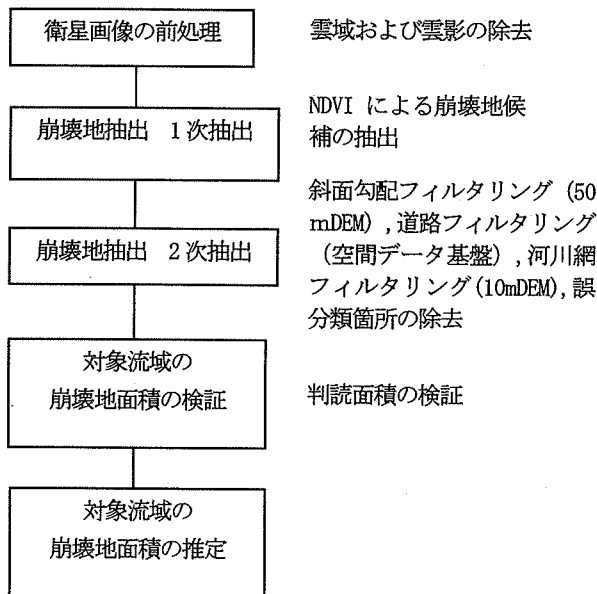


図-8 NDVI 指標で抽出した崩壊候補地(上段), フィルタリングデータ(勾配)(中), フィルタリングデータ(道路)(下段)

図-7 斜面崩壊地抽出フロー (人工衛星画像+GIS)

があり、崩壊地の判読は一連の作業の後に実施される。しかしながら、こうした判読作業は目視で行われ、形状の記録を図化機で行う場合が多く、誤判読をする可能性が高かった。表-1 に示すように、人工衛星画像は高高度からの撮影のため、幾何補正が航空写真に比べ格段に容易であり、1 画素に複数のセンサの情報を持っているため、例えば NDVI に代表されるバンド間演算指標を用いることで、誤判読する可能性は極めて低くなる。しかしながら、単に NDVI 指標を用いた場合、図-8 上部の図に示すように、草地、河川敷、道路なども斜面崩壊地候補地に含まれてしまうため、フィルタリング操作を行い、斜面崩壊地のみを抽出する必要がある。ここでは、図-7 に示すフローでフィルタリングの手順を提案し、中解像度人工衛星画像を用いた効率的な災害調査手法の例を紹介する。

(1) 50mDEM による斜面勾配フィルタリング

2003 年 8 月豪雨後に判読された額平川流域の斜面崩壊地個々の斜面勾配を 50m メッシュ DEM 資料から計測した結果、斜面勾配が 10 度以下で発生した崩壊地数が全体数量の 5% 以下であったことが分かっている⁵⁾。ここでは、市販の 50m メッシュ DEM 資料から GIS ソフト (ESRI 社 ArcMap9.0) を用い、対象領域の 50m メッシュ

毎の傾斜を算出した。傾斜角は着目メッシュ周囲の 8 つの標高との間で最大傾斜角度を求めており、結果の一部を図-8 中段に示す。図中、白抜き部分は傾斜角 10 度以下の部分であり、この部分の崩壊候補地を消去(フィルタリング)することで、畑や河川敷などの裸地を効率よく消去できた。

(2) 道路ベクトルデータによるフィルタリング

図-7 上段に示されるように、道路部分も崩壊候補地に誤判読される場合が多いため、国土地理院で試験的に WEB 公開されている数値地図 25000 (空間データ基盤)を用いて道路部分のフィルタリングを行った。この資料には、2万5千分1地形図に相当する精度を持つ、道路中心線、鉄道中心線、河川中心線、水涯線、海岸線、行政界、基準点、地名、公共施設、標高の10項目のデータが含まれる。このうち、道路に該当するデータをGISソフト上に移植し、道路幅を一律10mとして崩壊候補地を消去(フィルタリング)した。

(3) 河川ベクトルデータによるフィルタリング

前述の空間データ基盤に収録される河川ベクトルデータでは、山地溪流部までのデータが含まれていないため、山地溪流部での誤判読部分を十分にフィルタリングできなかった。このため、ここでは市販の10mメッシュDEM(Digital Elevation Model)資料を用い、GISソフト(ArcMap9.1)の河道網生成機能(Hydrology Modeling)を用いて河道網を作成し、この河道データを用いて河道部のフィルタリングを行った。ここで、フィルタリングに用いた河道の幅は一律20mとした。

以上のフィルタリングを行った結果、図-9に示される崩壊地分布が得られた。人工衛星画像の判読解析を行う場合、畑、休耕地、林地などは多くの場合、裸地と誤判読されやすいが、今回用いた手法により、山地斜面における崩壊地を効率よく抽出可能であることが示された。しかしながら、この結果を図-10に示す航空写真からの崩壊地判読結果と比較すると、必ずしも一致しているといえない場合がある。これは、航空写真判読結果では数箇所の崩壊地が判読されたエリアが、SPOT画像では2,3のピクセルで代表されているという場合や、航空写真で判読していなかった部分をSPOT画像では判読していたという場合(図-11)もあるためである。解像度が航空写真に比べ多少悪くても、太陽高度が十分あり影の少ない画像からは、航空写真では判読されなかった崩壊地が判読されている場合もあり、このことから、速報性を重視する場合で、航空写真撮影時期よりも早期に衛星画像が入手可能な場合は、SPOTやLANDSATなどの中解像度衛星画像による崩壊地判読は実用上は十分であるといえる。次に、今回崩壊地を判読した結果について、画像素材毎の判読面積の比較を行った。

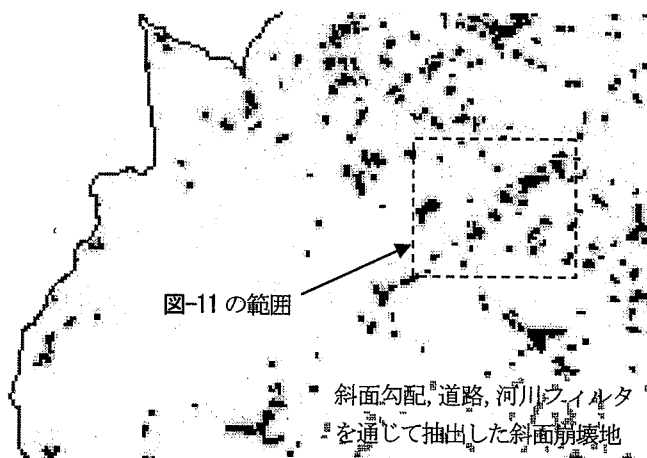


図-9 フィルタリングにより得られた崩壊地分布

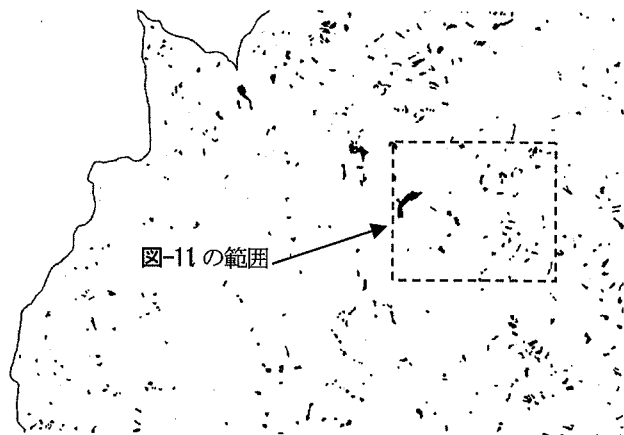


図-10 航空写真判読により得られた崩壊地分布

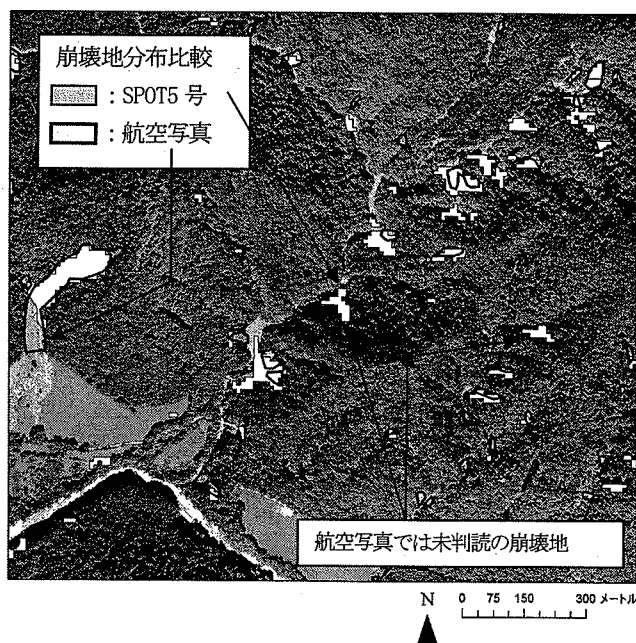


図-11 航空写真と SPOT 衛星で判読した崩壊地分布

5. 人工衛星画像の判読結果の評価について

人工衛星画像を判読した結果は、グランドトルースを行って判読結果の信頼性を確認する作業が必須であるが、ここでは、航空写真撮影結果を元に、SPOT画像

表-2 1km メッシュ当たりの SPOT-5 抽出崩壊地と航空写判別崩壊地の面積比

崩壊地確認状況		メッシュ数	崩壊地面積 km ²		面積比 b/a
航空写真	SPOT		航空写真 a	SPOT b	
○	○	334	3.43	3.95	1.15
○	×	48	0.06	0	
×	○	9	0	0.01	
×	×	77	0	0	
合計		468	3.49	3.96	1.13

ここで、○×はメッシュ内に崩壊地が認められたか否かを示す。

から崩壊地を判読した結果の精度評価を試みた。

図-11 に示されるように、崩壊地分布は判読されたソースと手法により異なる場合がある。つまり、高解像度な航空写真を用いた場合でも陰影部では崩壊地と認識されにくい場合があり、SPOT 衛星画像を用いた場合では NDVI 指標で判別したため、航空写真では撮影時刻の関係で陰となり、認識できなかった崩壊地が逆に衛星からは太陽の南中時刻付近で撮影されたため認識された、といった事が起きたといえる。したがって、崩壊地個々に合っている、合っていないといった評価ではなく、ここでは比較的大きな範囲で崩壊地面積を計測し、航空写真と SPOT 衛星で判読した崩壊地面積がどの程度異なるか、という比較を試みた。今回用いた SPOT5 号衛星画像には一部雲があったため、雲とその陰部分をマスキングし、その上で各々の崩壊地面積を 1km メッシュ単位で計測し、結果を表-2 に示した。これによれば、航空写真、SPOT 衛星画像とも、崩壊地面積の計測結果は 3.43~3.95km² であり、両者の比は 1.13 であった。SPOT 衛星画像を用いた場合、航空写真で判読した場合よりも 1 割程多めに崩壊地面積が計測されたといえるが、速報値として用いる上では実用上十分であるといえる。しかしながら、太陽高度の高かった 6 月中旬であるにも関わらず、標高 1000m を越える山地北斜面の沢沿いには、残雪が残る場合が多く、こうした部分のフィルタリングは今後の課題となった。今回、調査エリアとした額平川流域は、日高山脈の最高峰幌尻岳(標高 2,052m)を源頭部に持ち、上流部は急峻な地形を持つ。残雪を含むエリアや早春で十分に植生が繁茂していない場合に崩壊地判読を行う場合は誤判読に十分注意する必要がある。

6. おわりに

近年、国土交通省や自治体で国内の河川流域や都市域において、レーザープロファイラによる測量が進められ、地形の三次元データ化が進められているほか、2006年1月に打ち上げ成功した国産の陸域観測衛星ALOS(だいち)には、分光放射計、地表の三次元情報(Digital

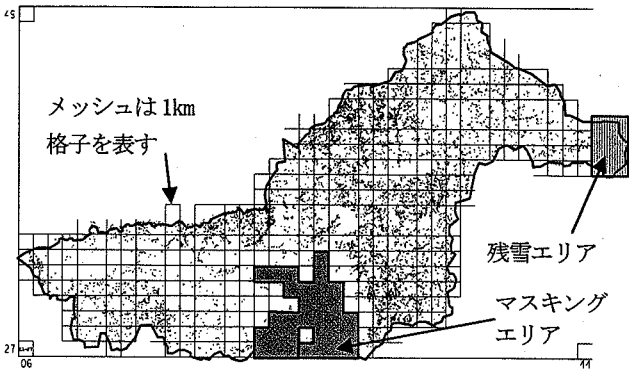


図-12 崩壊地面積比較のために用いた流域(額平川)

Elevation Model)を作成するためのセンサや合成開口レーダーも搭載されており、観測結果の防災面での活用が期待される。1m未満の高解像度センサを持つ商用人工衛星は今後も打ち上げが予定されていると聞けるが、高解像度衛星は撮影範囲が10数キロ程度であり、大流域を扱う場合には必ずしも十分とはいえない。また、SAR(合成開口レーダー)やレーザー計測によるリモートセンシング手法もあるが、地形変化量を把握するためには被災前の情報が必須となる。現段階では豊富な過去画像のライブラリを有し、航空写真判読結果と遜色ない結果が得られたSPOT5号衛星クラス(災害規模によってはIKONOSやQUICKBIRD、LANDSAT)の被災前後の画像を入手することが、地震や豪雨前後の広範囲な災害調査(崩壊地判読)を行う上で必要であるといえる。また、公開されている数値地図情報をベースにGISソフトを用いた崩壊地候補地のフィルタリングも概ね良好な結果が得られたといえるが、今後も同様の災害事例の解析と検証を行い、中解像度衛星資料を用いた災害調査手法の精度向上を図っていく必要がある。

謝辞：なお、本報告は国土交通省北海道開発局の受託業務による補助を受けて行った。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) 災害等に対応した人工衛星利用技術に関する研究総合報告書, 国土交通省総合技術開発プロジェクト, 2004. 1.
2) 布和敦斯尔, 金子正美, 高田雅之, 土屋清, 福岡博史: 湿原植生分類のためのリモートセンシング手法の研究, 北海道環境科学研究センター所報, 第 29 号, p53-58, 2002.
3) 福島彩, 仲野公章, 清水孝一, 山越隆雄: 衛星リモートセンシングによる斜面崩壊等の監視手法の検討, 土木技術資料, 43-6, pp54-59, 2001.
4) 北海道森林災害リモートセンシング研究会: リモートセンシングによる森林風倒木被害解析報告書, 2005. 3.
5) 土木学会水工学委員会: 土木学会 2003 年 8 月台風 10 号豪雨災害北海道胆振・日高地方災害調査団最終報告, 第 3 章 斜面崩壊・土砂生産・流木発生, pp45-65, 2004.

(2006. 4. 6 受付)