



ALOS/AVNIR-2 画像を用いた 2008 年岩手・宮城内陸地震における 斜面崩壊の検出

石出貴大¹⁾，山崎文雄²⁾

1) 非会員 セントラルエンジニアリング株式会社 (千葉大学 元 学部生)

e-mail: kuroglasss@yahoo.co.jp

2) 正会員 千葉大学 大学院工学研究科 建築・都市科学専攻 教授

e-mail: yamazaki@tu.chiba.ac.jp

要 約

災害直後の広域における早期被害把握の手段として、2008年に発生した岩手・宮城内陸地震を例に、地震前後のALOS/AVNIR-2画像を用いて、画像解析による斜面崩壊の検出を行った。斜面崩壊を検出する方法として、NDVI (正規化植生指標)と教師付き分類の2つを試した。また誤検出の低減のために、DEM (数値標高モデル)を用いて斜面崩壊の特徴を調べ、平地部分における誤検出箇所を除去を行った。目視判読結果と画像解析結果を比較したところ、全体の斜面崩壊箇所数のうち、NDVIによる検出では約66.5%、教師付き分類による検出では約68.6%の崩壊箇所を検出することができた。目視判読結果から推定した面積が500m²以上の斜面崩壊は、いずれの方法においても90%程度検出することができ、斜面崩壊の分布は概ね捉えられたといえる。したがってALOS/AVNIR-2画像は、広域における地盤災害把握において有効な手段であることが示された。

キーワード: 2008年岩手・宮城内陸地震, 斜面崩壊, ALOS/AVNIR-2, NDVI, 教師付き分類, 数値標高モデル

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)以降、我が国では様々なリモートセンシング技術が、防災分野でも広く利用されるようになった¹⁾⁶⁾。取得された画像データ利用の時間フェーズとしては、1つは災害前の現況データを把握するもので、これはとくに防災利用に限定されたものではなく、都市計画や環境保全分野でも同様の使い方が考えられる。もう1つは、災害発生後に被害状況を把握するもので、これは自然災害のみならず、人為災害や環境破壊なども含めて、ある種、急激な地表面の被覆状況の変化を把握するものである。いずれの利用においても、センサの空間分解能が、最近、大きく向上したことが、防災分野での利用が拡大した最大の要因といえよう。また、撮影対象地域に向きを変える(ポインティングする)機能が付加したセンサが増えたために、災害を観測できる頻度が大幅に向上した。とくに、山間地などのアクセスが困難な地域の災害において、リモートセンシングによる早期の被害把握は、緊急対応のための極めて重要な情報源といえる。

2004年新潟県中越地震⁷⁾($M_f6.8$)や2008年中国四川地震^{8),9)}($M7.9$)は、震源域が山間部に位置するため、数多くの斜面崩壊や崖崩れが起こり、道路や河道の閉塞が多数発生した。このため、山間部の集落

が孤立したり、天然ダムによる堰止め湖が発生したりし、住民の生命・財産を脅かした。このように道路の寸断などで地上からの情報収集が困難であり、被災地域が広い範囲にわたる場合は、衛星からのリモートセンシングが、被害状況を把握する手段として有効と考えられる。近年、世界各国が様々な光学センサや合成開口レーダ(SAR)を搭載した人工衛星を打ち上げている。光学センサによる観測では、空間分解能の向上が目覚ましく、最大 40-60cm ピクセルで画像が取得できる商業衛星も稼働を始め、都市災害の詳細な把握などへの利用が始まっている^{10),11)}。しかし、これらの高分解能センサは観測範囲が狭く、画像コストも大きいため、広域災害において全ての地域を観測するには適さない。とくに中山間地域では大半が山地や農耕地で、その中に集落が点在するような状況においては、10-30m 程度の中解像度衛星によって、広域の被災状況を捉える方が合理的といえよう。このような目的において、従来は Landsat, SPOT, Terra/ASTER などの光学センサ画像が使用されてきたが^{3),12)}、2006 年からは我国が打ち上げた ALOS/AVNIR-2 がこれに加わった^{13),14)}。AVNIR-2 は、中解像度光学センサの中では解像度が 10m と高いこと、また災害把握のために、衛星進行直方向に観測領域を変更するポインティング機能(±44°)を有することが大きな特徴といえる。本研究では、ALOS 衛星の打ち上げ後、我国で最初の中山間地域における広域災害といえる 2008 年岩手・宮城内陸地震を例に、ALOS/AVNIR-2 画像による地盤災害の把握を試みる。

リモートセンシング画像を利用して災害状況を把握する方法としては、目視判読による方法と画像処理による半自動的に検出する方法がある。目視判読による方法は、2003年アルジェリア・ブメルデス地震¹⁵⁾や2003年イラン・バム地震¹⁶⁾における QuickBird 画像を用いた建物被害の把握や、2004年新潟県中越地震¹⁷⁾における Ikonos 画像などに適用されている。目視判読は比較的精度が高いと考えられるが、判読者の技量・経験に依存し、広域の画像を判読するには多大な時間を要するという問題がある。画像処理を用いた半自動による方法として、1995年兵庫県南部地震後に撮影された空撮ハイビジョン画像などを用いて、建物被害地域を自動抽出する手法が提案されている^{5),18)}。また、2004年新潟中越地震を対象に、Ikonos 画像による植生変化と、数値標高モデル(DEM)による斜面勾配を併用して、斜面崩壊の検出が行われている⁷⁾。

本研究では、2008年岩手・宮城内陸地震の前後に撮影された ALOS/AVNIR-2 画像を用いて、広域における斜面崩壊の検出を行う。斜面崩壊の場合、災害前に存在した樹木などの植生が斜面下方に流出し裸地が露出することが多いことから、植生の活性度を示す NDVI (正規化植生指標)を用いて、地震前後の画像から NDVI が顕著に減少する範囲を斜面崩壊として検出する方法を試みる。また、地震前後の画像に対して裸地をトレーニングデータの 1 つとして教師付き分類を行い、地震前後における裸地の差分から斜面崩壊を検出する方法も試みる。また、DEM を用いて斜面崩壊の特徴を調べ、平地部分における誤検出箇所の除去を行う。これらの手法は、植生が流出した箇所の検出法としては、一般的なものであるが、我が国において、大規模な斜面崩壊を多数含む AVNIR-2 画像に適用した事例としては新しいといえよう。

2. 使用した衛星データ

本研究では、2008年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震($M_j7.2$)の前後に撮影された ALOS/AVNIR-2 画像を使用する。表1に画像の撮影諸元を一覧する。地震前画像は、約1年8カ月前の2006年10月17日に撮影されたものであり、地震後画像は地震から18日後の2008年7月2日に撮影されたものである。解析対象域を図1に示すが、震源より南の栗駒山、荒砥沢ダム、湯ノ倉温泉を含む南北約20km、東西約17kmの範

表 1 使用した岩手・宮城内陸地震前後の ALOS/AVNIR-2 画像の諸元

撮影時期	撮影年月日	撮影時刻	観測パス番号	ポインティング角	解像度
地震前	2006 年 10 月 17 日	10 : 53	79	34.3°	10m/pixel
地震後	2008 年 7 月 2 日	10 : 25	67	-2.5°	10m/pixel

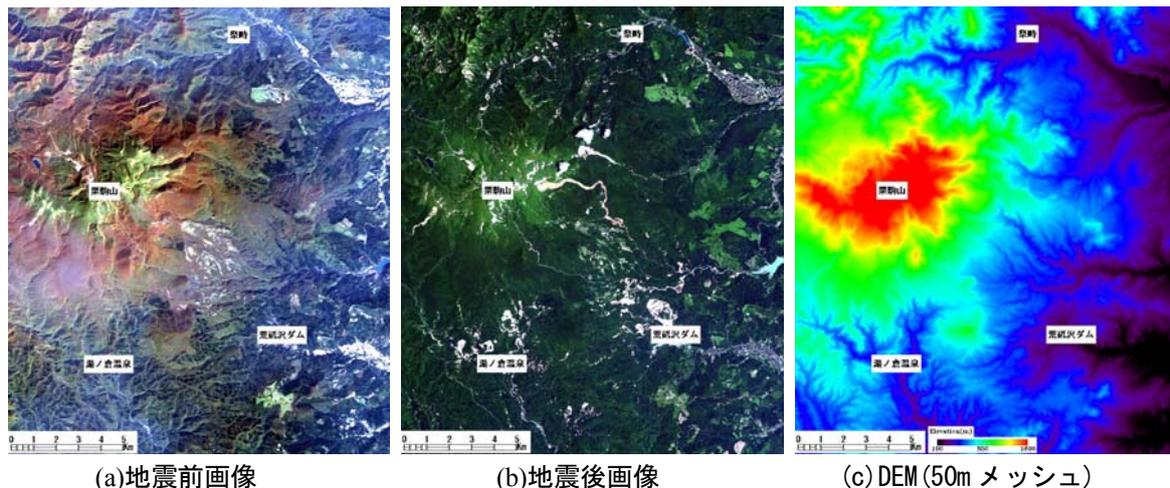


図1 本研究で使用したALOS/AVNIR-2画像とDEM

囲である。画像の地上分解能は10mであり、可視域の3バンド（RGB）と近赤外域（NIR）の1バンドの計4バンドからなる。また、数値標高データ（DEM）として、国土地理院発行の「数値地図 50mメッシュ（標高）」も併せて使用した。解析に先だって、使用する画像間およびDEMの位置合わせを行った。

3. NDVIを用いた斜面崩壊の検出

地震前後の画像から、斜面崩壊により地震前にあった樹木等の植生が斜面下方に流出し、裸地が露出している様子が観察された。そこでこの地域における地盤災害は植生変化との関係が強いと考え、植生の活性度を表す正規化植生指標（NDVI: Normalized Difference Vegetation Index）を次式により算出した。

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

ここでNIRとREDは、近赤外域バンドと可視域赤色バンドにおけるデジタルナンバー(DN値)を表す。NDVIは、-1から+1までの値をとり、値が大きくなるほど植生の活性度が高いことを表す指標である。

算出した地震前後のNDVIの分布のうち、荒砥沢ダムを含む地域について拡大したものをRGBカラー画像とともに図2に示す。図中では赤色に近づくにつれてNDVIの値が大きいくことを表している。地震前後の画像を比較すると、斜面崩壊が発生した地域はRGBカラーでも容易に判別できるが、樹木等が流出したためにNDVIが低下している様子を明瞭に読み取ることができる。したがって、NDVIが地震後に顕著に低下している範囲を抽出することで、斜面崩壊の発生箇所の自動検出を試みる。

一般に、斜面崩壊などの変状がない地点においても季節的な植生の変動があり、異なる時期に得られた画像間のNDVIには違いがある。このような季節変動の影響を軽減するために、地震後のNDVIの補正を行うことにする。本研究で使用する画像の撮影時期は、地震前が10月、地震後が7月と季節が異なるため、植生の活性度は異なっている。地震前画像（図1(a)）からは、栗駒山の中腹が紅葉している様子が観察でき、NDVIの値は夏季に比べると概ね低下していると考えられる。また、図2の植生部のNDVI値を比較すると、地震後の方が明らかに大きい。そこで、地震による以外の変動の影響を除去するために、地震後のNDVIの値を補正する。

まず、NDVI値のヒストグラム形状から植生部分の閾値を決定し、これから植生を抽出する。目視による画像比較により、地震前画像においてはNDVIが0.06以上の範囲を、地震後画像においてはNDVIが0.26以上の範囲を植生とみなすことにした。地震前後の画像の植生部分に関して、NDVI値のヒストグラムを図3に比較する。地震前後におけるヒストグラムより、地震前より地震後の方が、NDVIは全体的に高いことが分かる。そこで、植生領域のNDVIの平均値を算出し、全体的に高いNDVIを示す地震後画像

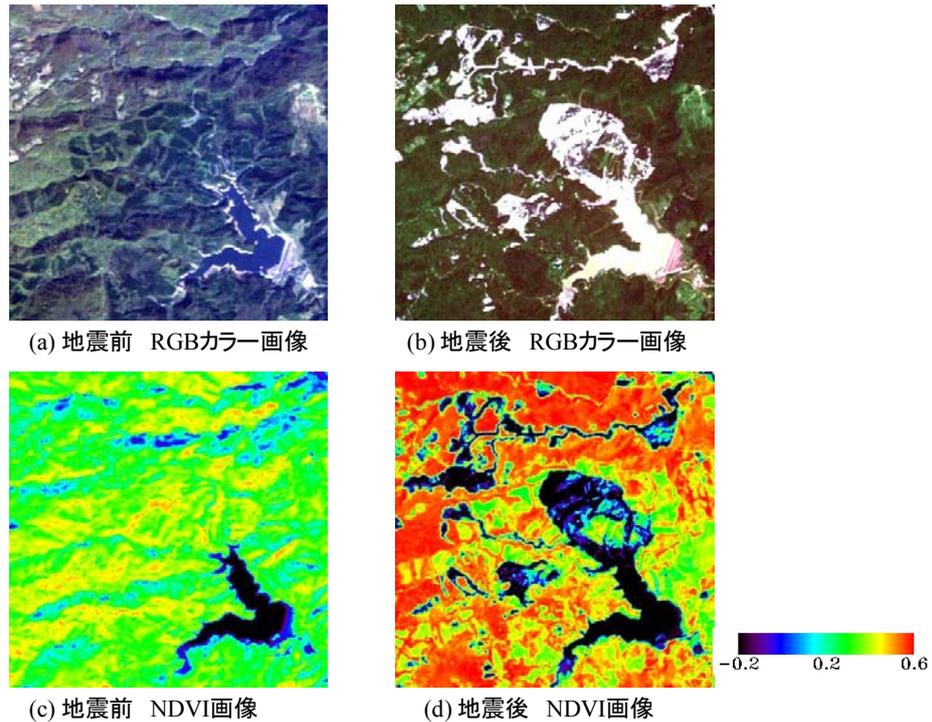


図2 荒砥沢ダム周辺の地震前後画像(上)とNDVI分布(下)の比較.

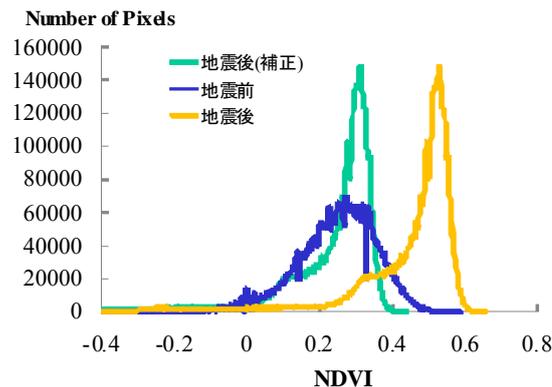


図3 地震前および地震後(補正前後)における植生領域のNDVIのヒストグラム

から、地震前後のNDVIの平均値の差(0.217)を差し引く補正を行った。図3には、補正した地震後のNDVIのヒストグラムも併せて示す。これより、補正を行った地震後のNDVIの分布が、地震前のNDVIの分布に近づいている様子が分かる。

次に、位置合わせ後の地震前後画像について、NDVIの差分(以下D値)をピクセルごとに算出した。図4にD値のヒストグラムを示すが、地震後に植生が減少した場合はこの値が負となる。この時、NDVIの差分には、斜面崩壊による変動に加え、補正後にも残る季節変動の影響や、撮影状況の違いなどの要因が混在するため、D値は非対称で変動幅の広い連続的な形状を示す。このために、ヒストグラム形状から、植生が顕著に減少したことを示す閾値を決定することは困難である。そこで図中に示すように、ヒストグラムの平均値および標準偏差から閾値を設定し、目視により斜面崩壊している範囲との比較を行い、適合度が高いものを閾値として採用する。斜面崩壊の推定範囲として、① $D \leq \mu - \sigma$ 、② $D \leq \mu - 2\sigma$ 、③ $D \leq \mu - 3\sigma$ 、④ $D \leq \mu - 3.5\sigma$ 、⑤ $D \leq \mu - 4\sigma$ の5通りを検討した。ここで、 μ はD値の平均値、 σ は標準偏差を表す。図4には、ヒストグラムでのこれらの推定範囲も示す。それぞれの閾値以下の範囲での全ピクセル数に対する割合は、①約12.8%、②約3.8%、③約1.8%、④約1.3%、⑤約0.8%となった。これらの割合は、

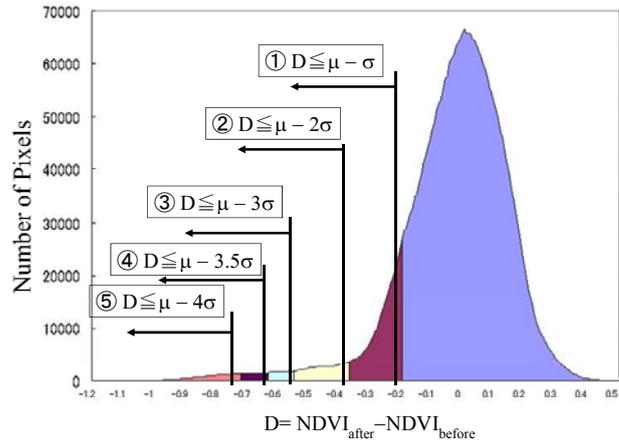


図4 季節変動補正後におけるNDVI差分(D値)のヒストグラム

正規分布のものと比較すると②($\mu-2\sigma$)以下の範囲で大きく、D値が下側の範囲で長いテールを持つ分布であることが分かる。これは、斜面崩壊という通常のNDVIの変動範囲を超える要因が混入したことに対応すると考えられる。このような、衛星画像のピクセル値(または導かれる指標)の差分の標準偏差による閾値によって、異常な変動範囲を抽出しようとした試みは、すでに、災害による夜間光の低下¹⁹⁾、建物倒壊や液状化による明度の変化²⁰⁾、斜面崩壊の抽出⁷⁾などでも試みられている。

図5に地震後の画像とそれぞれの閾値で抽出された範囲とを重ね合わせた画像を示す。この画像から①や②のよう比較的値が大きい閾値だと、地震後の画像において植生が影になっている影響や、水域でNDVIの値が低くなっているピクセルが、多く混入して抽出されている。③、④、⑤の閾値だと、概ね植生が顕著に減少している箇所のみを抽出していることがわかる。しかし、④、⑤の閾値だと、低すぎて抽出しきれない箇所も見られる。以上の結果から、閾値としては③($\mu-3\sigma$)の値を採用することとした。これにより抽出された斜面崩壊を図6(a)に示すが、全対象地域で62,422ピクセルが斜面崩壊として抽出された。当然ながら、この方法では閾値の与え方によって、斜面崩壊として抽出されるピクセルの数は変動し、正解がほぼ確かな領域における見逃しと空振りのバランスを考えて、閾値を決定すべきである。

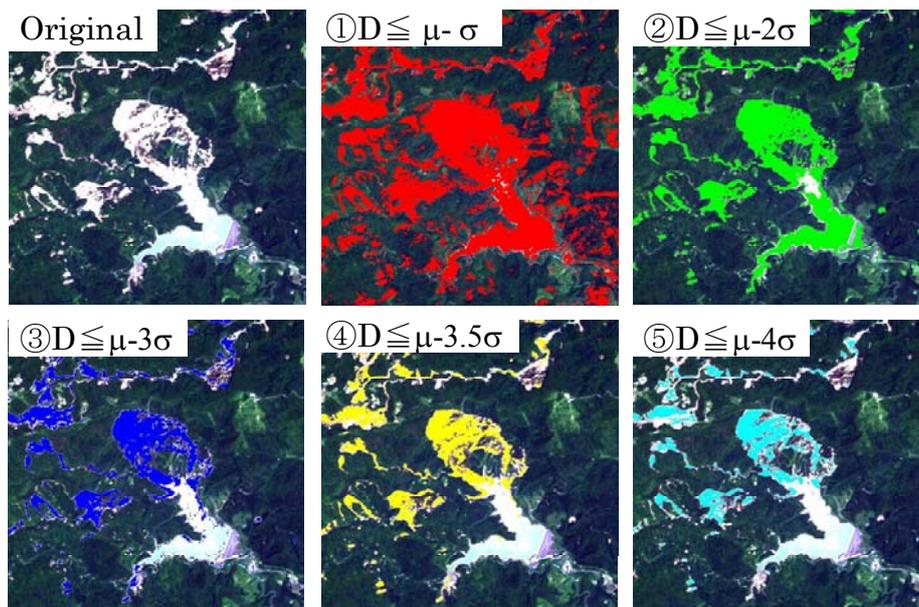
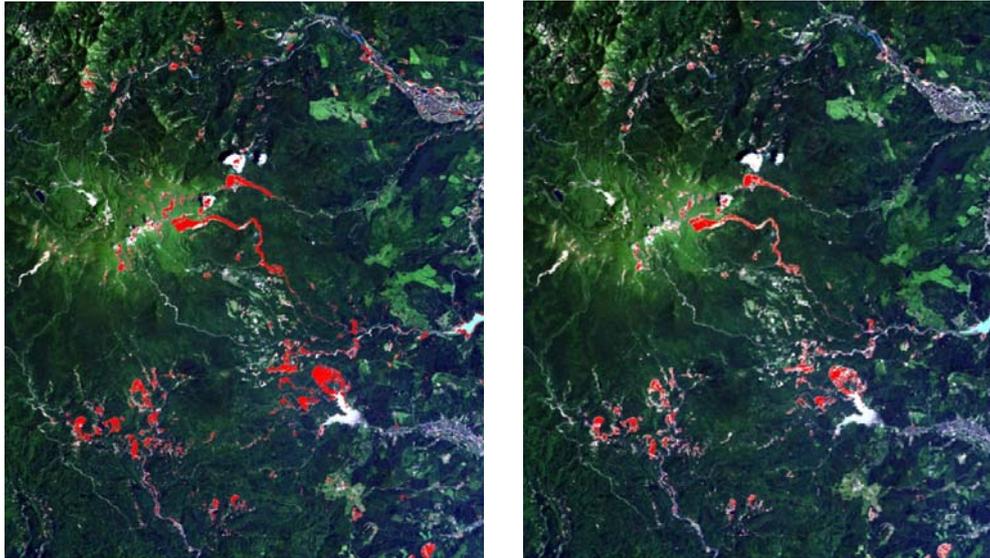


図5 地震後の原画像と各閾値で抽出された斜面崩壊ピクセルの分布



(a) 抽出結果

(b) 抽出結果から平地を除去後

図6 NDVI を用いた斜面崩壊の抽出結果(赤で表示)

4. 教師付き分類による斜面崩壊の検出

斜面崩壊が起こると土壌が露出することが多く、裸地（土砂が露出している地域）が増えることは地震前後の画像を比較すると確認が容易である。そこで、地震前と地震後の画像に対して、それぞれ教師付き分類を行い、求められた地震後の裸地領域から、地震前に裸地であった画素を除いた部分を斜面崩壊と見なす方法も試すことにした。教師付き分類には、ピクセルベースの分類で最も一般的な方法である最尤法 (Maximum Likelihood Classifier)を用いた。最尤法では、土地被覆のクラスごとにトレーニングデータを選定し、それらから各クラスの尤度関数を求め、教師以外の全ピクセルを尤度が最大となるクラスに分類する方法である。

教師付き分類に先立って、誤分類を減らすために、地震前後の画像に対して、NDVIから前節で植生とみなした部分にマスクを行った。しかし、植生の中には影の影響で低いNDVIを示し²¹⁾、この方法では抽出しきれないものもあるため、そのような植生も考えた分類を考えることにした。地震前のクラス分類は、目視により、裸地、水域、集落、NDVIで抽出しきれなかった植生の4クラスとした。また、地震後については、裸地、水域、集落、NDVIで抽出しきれなかった植生、雲の5クラスに分けた。それぞれの画像から、各クラスのトレーニングデータとなる領域を選定し、AVNIR-2画像の4バンドのDN値を用いて教師付き分類を行い、結果を図7に示す。

教師付き分類の結果から、裸地と分類されたピクセルをそれぞれの画像から抜き出し、地震後の裸地から地震前の裸地を差し引いた。地震前画像における裸地は10,710ピクセル、地震後画像における裸地は60,274ピクセルが抽出された。そのうち重なり合うものは3,582ピクセルであったので、56,692ピクセルが斜面崩壊によるものとして抽出された(図8(a))。この教師付き分類による抽出結果とNDVIの差から推定した図6(a)とを比較すると、両者はよく近似した分布となっており、斜面崩壊として抽出されたピクセル数も近い値となっている。

5. 数値標高モデルから見た斜面崩壊の特徴

以上2つの手法による斜面崩壊の抽出結果を見ると、大半は目視判読と一致しているが、斜面以外の平地集落や水域においても、ピクセルが抽出されていることが分かる(図9)。これは2時期の画像間における田畑の植生の変化、水量が異なることによる水陸境界の変化、水の濁り具合の違いなどが理由として

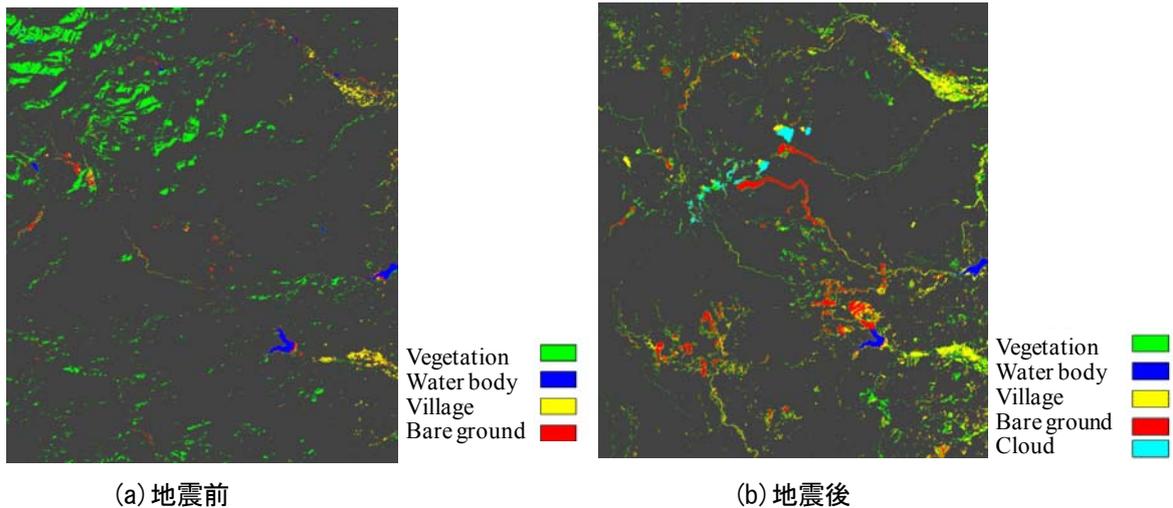


図7 植生除去後の画像に対する教師付き分類結果

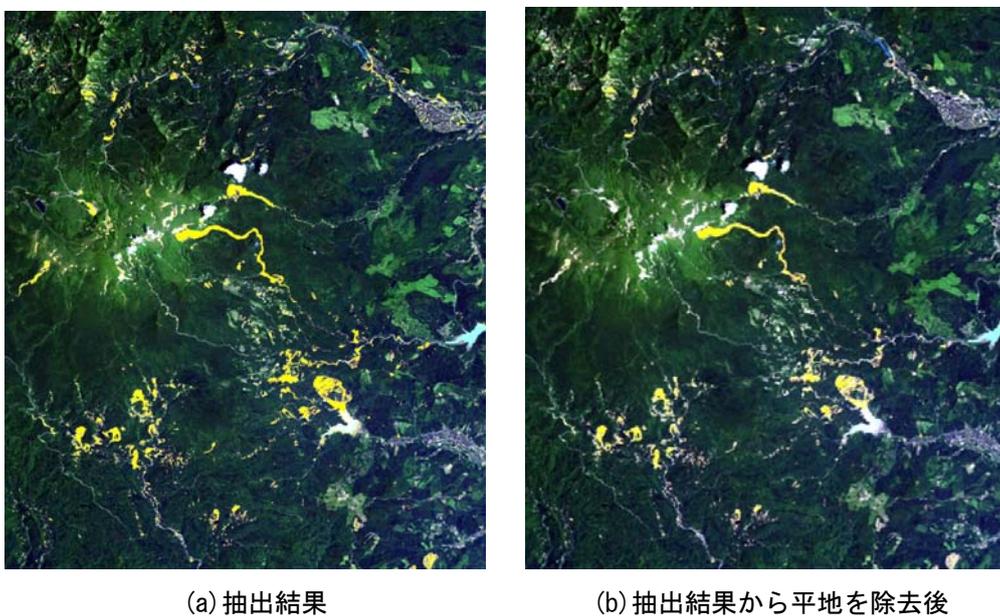
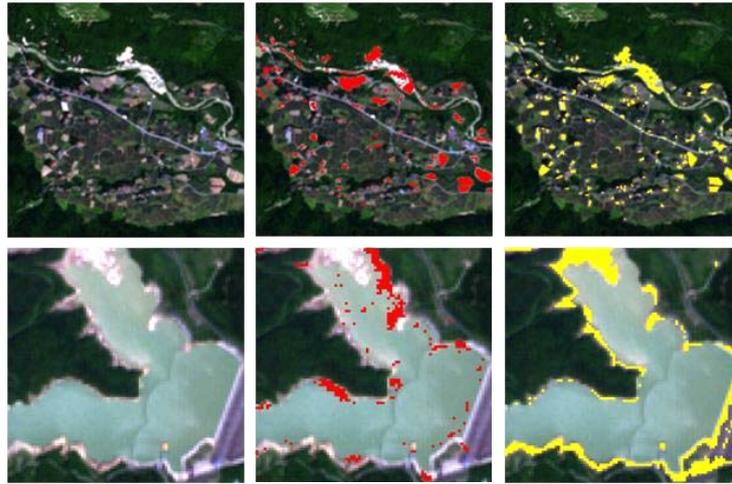


図8 教師付き分類を用いた斜面崩壊の抽出結果(黄色で表示)

考えられる。このような平地・水域における誤抽出を除くため、「標高50mメッシュ(標高)」をDEMとして使用して、斜面崩壊が起こりにくい平坦な地表面・水面の除去を行う。

まず、このDEMを用いてピクセルごとの傾斜度を算出した。算出された傾斜度と災害状況図²²⁾を参考に作成した目視判読結果と重ね合わせ、傾斜度と斜面崩壊の関係を調べた。図10に画像全体の傾斜度のヒストグラム、各傾斜度帯における斜面崩壊が発生したピクセルのヒストグラム、さらにこれらの比より求めた各傾斜度帯における斜面崩壊の割合を示す。これより、傾斜度が高くなるにつれ、斜面崩壊が発生する割合が高くなる状況が読み取れる。同様の状況は、新潟県中越地震⁷⁾や中国四川地震²³⁾においても、衛星画像の解析から推察されている。

斜面崩壊が発生している箇所を個々に調べると、概ね10度以上の傾斜のある領域であることがわかる。崩壊地の一部が傾斜10度未満になるものは数か所見られたが、崩壊斜面の全体が傾斜10度未満となる地点はなかった。また、過去の地震での崩壊事例では、傾斜が15度以上になると斜面崩壊の発生件数が多くなり、30度から60度程度までのものが最も多く、10度未満のものはほとんどないことが指摘されてい



(a)地震後画像 (b) NDVI による結果 (c)教師付き分類結果
 図9 平地集落(上)と水域(下)における斜面崩壊の誤検出例

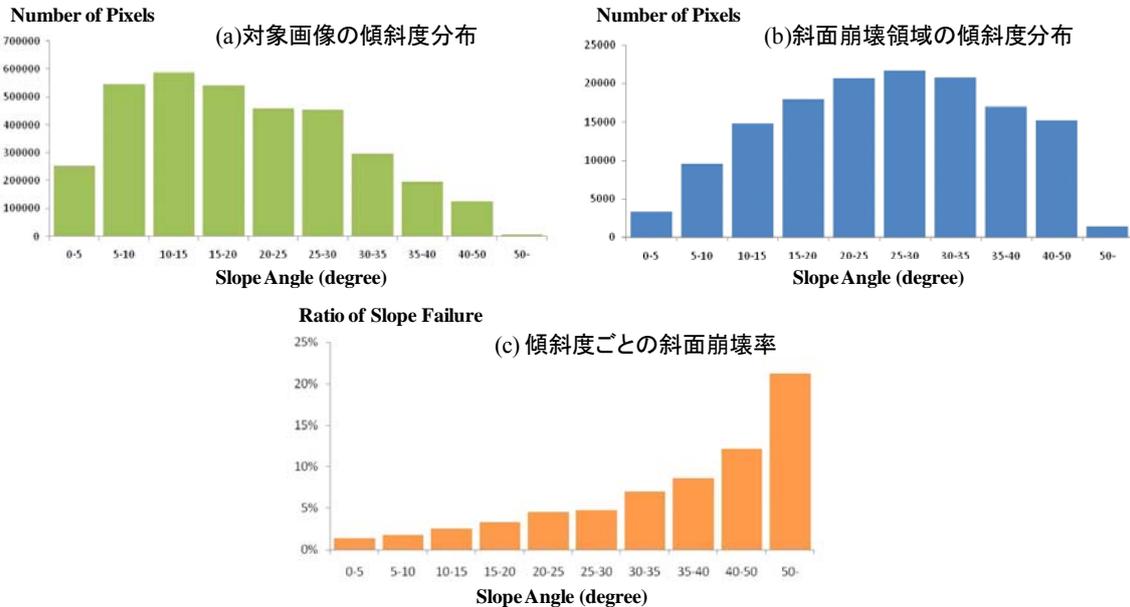


図10 対象画像の斜面傾斜度分布(a), 斜面崩壊領域における傾斜度分布(b), および斜面傾斜度と斜面崩壊率の関係(c).

る²⁴⁾. そこで本研究では, 既往の研究⁷⁾にならない, 傾斜度が10度未満の地域では, 斜面崩壊が発生しないものとして検出対象から除去した.

図6(b)と図8(b)に平地を除去した後の画像全体における斜面崩壊の抽出結果を示す. 平地を除去したことによって, 斜面崩壊と判断されたピクセル数は, NDVIによる推定では52,313ピクセル, 教師付き分類によるものでは47,765ピクセルとやや減少した. 図11に平地集落と水域について, 傾斜度10度未満のピクセルを除去した抽出結果を傾斜度分布とともに示す. これを見ると, 平地の誤検出ピクセルが効率的に除去されていることがわかる. しかし水域における誤検出は, 一部が除去できず残ったままであった. これは使用したDEMが, 2万5千分1地形図の等高線から計測し求めたものなので, 図11(d)に示すように水底の起伏が標高として扱われて, 傾斜度が大きく算定されたためと考えられる. したがって, 水域については予め, 検討対象から外すのも一法と考えられる.

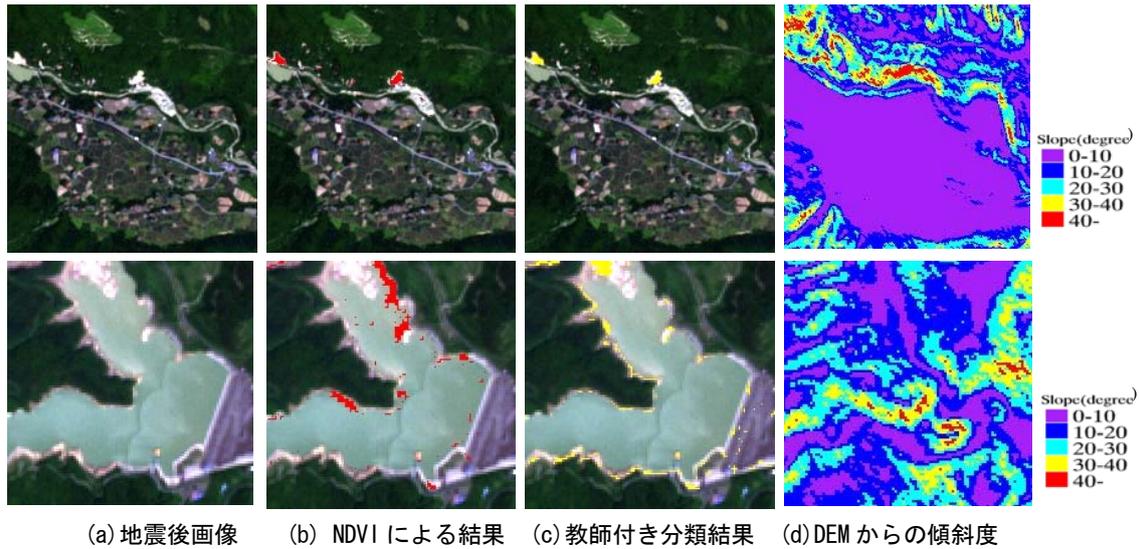


図 11 平地集落(上)と水域(下)における傾斜度 10 度未満のピクセルを除去後の推定斜面崩壊範囲

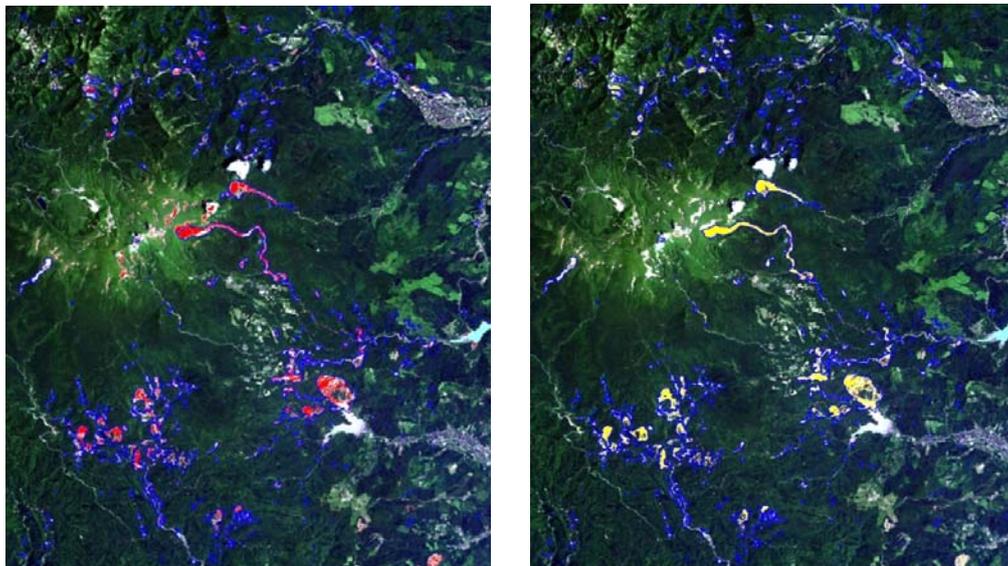
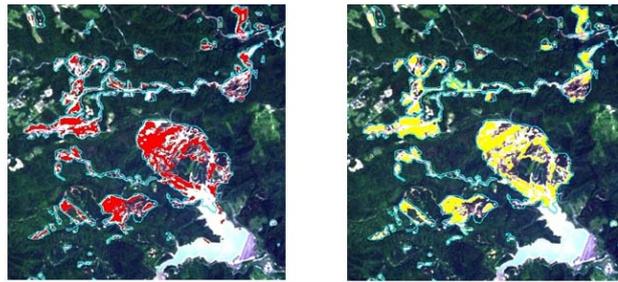


図 12 傾斜度 10 度未満のピクセルを除去後の斜面崩壊の抽出結果

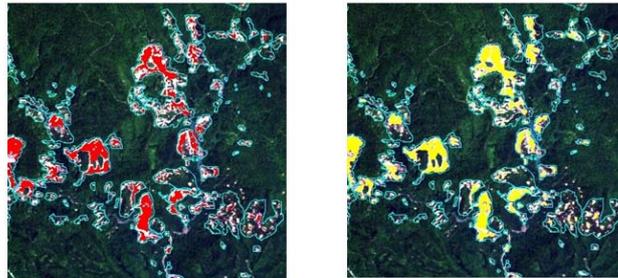
5. 斜面崩壊抽出結果の精度評価

以上の斜面崩壊の画像処理による抽出結果と、災害概況図(国土地理院作成)を参考に作成した目視判読結果との比較を行った。NDVIによる抽出結果、および教師付き分類による抽出結果と目視判読結果を重ねて図12に示す。この比較より、いずれの方法においても、抽出されたピクセルは斜面崩壊の分布と概ね対応していることがわかる。しかし、この図は広範囲を表示するため、目視判読結果の青線が抽出結果に重なって見にくい。荒砥沢ダムと湯ノ倉温泉周辺について、抽出結果を拡大して図13に示す。これより、最終的に抽出されたピクセルが、実際の斜面崩壊分布によく対応していることがわかる。

目視判読結果では、この対象範囲において、斜面崩壊として707カ所を確認ができた。目視判読での検出範囲内に画像解析で抽出されたピクセルが存在すれば(オブジェクト単位で)抽出成功とした場合、



荒砥沢ダム周辺の抽出結果（赤: NDVI法, 黄: 教師付き分類, 青: 目視判読結果）



湯ノ倉温泉周辺の抽出結果（赤: NDVI法, 黄: 教師付き分類, 青: 目視判読結果）

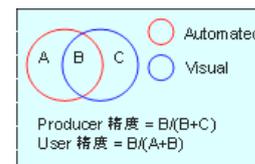
図 13 傾斜度 10 度未満のピクセルを除去後の斜面崩壊の抽出結果

表 2 斜面崩壊箇所の面積とオブジェクト単位での検出箇所数・検出率の関係

斜面崩壊面積	目視判読結果	NDVIによる 検出結果(検出率)	教師付き分類による 検出結果(検出率)
500㎡以下(ヶ所)	373	178 (47.7%)	180 (48.3%)
500㎡以上(ヶ所)	334	292 (87.4%)	305 (91.3%)
合計(ヶ所)	707	470 (66.5%)	485 (68.6%)

表 3 斜面崩壊範囲（裸地）のピクセル単位での抽出精度

精度	NDVIによる抽出	教師付き分類
Producer 精度	68.2%	74.0%
User 精度	72.6%	86.2%



NDVIを用いた結果では470ヶ所、教師付き分類では485ヶ所を正しく抽出することができた。表2には、この判断基準（オブジェクト単位）で、目視判読結果から推定した崩壊面積別の検出結果を示す。これより、崩壊面積が500㎡（AVNIR-2のピクセル5個分の面積）を境として、検出率（プロデューサ精度）に大きく差が出た。これには、目視判読の精度も影響していると考えられる。500㎡以下の崩壊を検出できた割合は、NDVIによる方法、教師付き分類による方法ともに5割を少し下回ったが、500㎡以上の崩壊に関しては、どちらも9割程度を検出することができた。

今回の斜面崩壊の抽出は、裸地に変化した領域をピクセル単位で抽出しているため、ピクセル数による精度の評価も行い、結果を表3に示す。プロデューサ精度²⁵⁾は、誤抽出の有無に関わらず、どれだけ抽出することができたという割合を表す。ユーザ精度²⁵⁾は自動抽出したピクセルのうち、どの程度正しく抽出できたかという正答率を表す。結果から、裸地に変化したピクセルを検出する精度は、教師付き分

類によるものがNDVIによるものよりやや高く、両方法ともに比較的高い値を得ることができた。教師付き分類による方法の方がやや高い精度が得られたのは、4バンドのDN値を全て使っていることと、教師データの設定の手間をかけていることより、ある意味当然ともいえよう。

これらの方法において、主な誤抽出の箇所は、道路の一部、建物の屋根面、栗駒山頂上付近などに見られる。この原因としては、地震前画像のコントラストがやや低く、これらのピクセルが裸地と判別しにくいと考えられる。その他、水陸境界の変動部分や、地震前に森林伐採が行われた地域などにも誤抽出が見られるが、これらは裸地に実際に変化しているので、今回の手法での区別は難しいと考えられる。

6. まとめ

2008年岩手・宮城内陸地震では、震源域が山間地域であったことから、大規模な山体崩壊や土石流を含む地盤災害が多数発生した。本研究では、この地震の前後に撮影されたALOS/AVNIR-2画像を用いて、植生が流出し裸地が露出する斜面崩壊の検出を行った。斜面崩壊を検出する方法として、NDVI（正規化植生指標）に着目し、地震前後の画像から顕著にNDVIが減少する地域を斜面崩壊として検出する方法を試みた。また、地震前後の画像に裸地をトレーニングデータの1つとする教師付き分類を行い、地震前後における裸地の差分から斜面崩壊を検出する方法も試みた。また誤抽出の低減のために、DEM（数値標高モデル）を用いて斜面崩壊の特徴を調べ、平地部分における誤抽出箇所の除去を行った。

目視判読結果と画像解析による抽出結果を比較したところ、全体の斜面崩壊箇所数のうち、NDVIによる方法では約66.5%、教師付き分類による検出では約68.6%の崩壊箇所を検出することができた。このうち、目視判読結果から推定した面積が500m²以上の斜面崩壊に関しては、どちらの方法においても90%程度を検出することができた。また、ピクセル単位での評価でも、高い精度を得ることができ、斜面崩壊の分布は概ね捉えられたといえる。したがって、ALOS/AVNIR-2画像は、広域における地盤災害の早期把握において有効な手段となることが示された。今後、検討対象地域や対象とする災害を増やして、更なる検証を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) Eguchi, R.T., Huyck, C.K., Houshmand, B., Mansouri, B., Shinozuka, M. Yamazaki, F., and Matsuoka, M.: The Marmara Earthquake -A View from space- The Marmara, Turkey Earthquake of August 17, 1999: Reconnaissance Report, Technical Report MCEER-00-0001, 2000, pp. 151-169.
- 2) 山崎文雄：5.2.6.c 上空や人工衛星からの地震被害判読技術，地震防災の事典，岡田恒男・土岐憲三編，朝倉書店，2000，pp.509-512.
- 3) 松岡昌志，山崎文雄，翠川三郎：1995年兵庫県南部地震での被害地域における人工衛星光学センサ画像の特徴，土木学会論文集，No. 648/I-54, 2001, pp. 177-185.
- 4) 松岡昌志，山崎文雄：1995年兵庫県南部地震での建物被害地域における人工衛星 SAR 強度画像の特徴，日本建築学会構造系論文集，No. 546, 2001, pp. 55-61.
- 5) 青木久，松岡昌志，山崎文雄：空撮画像を用いた地震による被害建物の抽出，写真測量とリモートセンシング，日本写真測量学会，Vol. 40, No. 4, 2001, pp. 27-36.
- 6) Yamazaki, F.: Applications of Remote Sensing and GIS for Damage Assessment, Proceedings of the 8th International Conference on Structural Safety and Reliability, CD-ROM, 2001, 12p.
- 7) 三浦弘之，翠川三郎：高分解能衛星画像と数値標高モデルを用いた2004年新潟県中越地震での斜面崩壊地の検出，日本地震工学会論文集，Vol. 7, No. 5, 2007, pp. 1-14.
- 8) Chinese Academy of Sciences: Atlas of Remote Sensing for Wenchuan Earthquake Disaster, ISBN: 9787030228161, 2008.
- 9) Peng Cui, Xiao-Qing Chen, et al.: The Wenchuan Earthquake (May 12, 2008), Sichuan Province, China, and resulting geohazards, Natural Hazards, DOI 10.1007/s11069-009-9392-1, 2009, 18p.
- 10) 松岡昌志：高分解能衛星による災害監視の可能性，予防時報，No.217, 2004, pp.8-13.

- 11) 小荒井衛, 佐藤浩, 宇根寛, 天野一男: 各種光学高分解能衛星画像による地質災害の判読—判読特性の視点から見た各種画像の比較検証—, 地質学会誌, Vol. 114, No. 12, 2008, pp. 632-647.
- 12) Kouchi, K., Yamazaki, F.: Characteristics of Tsunami-Affected Areas in Moderate-Resolution Satellite Images, Transactions on Geoscience and Remote Sensing, IEEE, Vol. 45, No. 6, 2007, pp.1650-1657.
- 13) JAXA ホームページ: http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/index_j.htm
- 14) 野口真弓, 鈴木敬子, 安喰靖, 木村幸一, 関崎賢一, 北原敏夫: 陸域観測技術衛星「だいち」データの防災分野における有効性, 国土地理院時報, 111, 2007, pp. 49-56.
- 15) Yamazaki, F., Kouchi, K., Matsuoka, M., Kohiyama, M., and Muraoka, N.: Damage Detection from High-resolution Satellite Images for the 2003 Boumerdes, Algeria Earthquake, Proceedings of the 13th WCEE, CD-ROM, Paper No. 2595, 2004.
- 16) Yamazaki, F., Yano, Y., Matsuoka, M.: Visual Damage Interpretation of Buildings in Bam City Using QuickBird Images Following the 2003 Bam, Iran, Earthquake, Earthquake Spectra, Vol.21, No. S1, 2005, pp. 329-336.
- 17) 向山 栄: IKONOS 衛星画像を利用した地震発生直後における総覧的災害情報の取得, 写真測量とリモートセンシング, Vol.44, No.1, 2005, pp.55-57.
- 18) 三富創, 松岡昌志, 山崎文雄: 最尤法を用いた空撮画像からの建物被害抽出とその早期被害把握への応用, 土木学会論文集, No.717 / I-61, 2002, pp.137-148.
- 19) 小檜山雅之, 林春男, 牧紀男, 橋寺晋, 松岡昌志他: DMSP/OLS夜間可視画像を用いた早期被災地推定システム (EDES) の開発, 地域安全学会論文集, No. 2, 2000, pp. 79-86.
- 20) Yusuf, Y., Matsuoka, M. and Yamazaki, F.: Damage Assessment after 2001 Gujarat Earthquake using Landsat-7 Satellite Images, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Photonirvachak, Vol. 29, No.1&2, 2001, pp. 17-22.
- 21) Yamazaki, F., Liu, W., Takasaki, M.: Characteristics of Shadow and Removal of Its Effects for Remote Sensing Imagery, Proceedings of the IEEE 2009 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, CD-ROM, 2009, 4p.
- 22) 国土地理院: 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震災害状況図, 2008.
- 23) Liu, W., Yamazaki, F.: Damage Detection of the 2008 Sichuan, China Earthquake from ALOS Optical Images, Proc. 28th Asian Conference on Remote Sensing, Paper No. 119, CD-ROM, 2008, 6p.
- 24) 中村浩之, 土屋 智, 井上公夫, 石川芳治 編: 地震砂防, 古今書院, 2000, 190p.
- 25) 高木幹雄, 下田陽久監修: 新編画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, 2004.

(受理: 2009年 7月 6日)
(掲載決定: 2010年 4月 5日)

Detection of Slope Failures using ALOS/AVNIR-2 Images for the 2008 Iwate-Miyagi Inland Earthquake

ISHIDE Takahiro¹⁾, YAMAZAKI Fumio²⁾

1) Non-member, Former Student, Chiba University.

2) Member, Professor, Chiba University, Dr. Eng.

ABSTRACT

ALOS/AVNIR-2 optical images were employed to extract slope failures which occurred in the 14 June 2008 Iwate-Miyagi Inland, Japan, earthquake. Since the earthquake occurred in the mountainous area, many landslides were caused. In this paper, landslide areas were extracted comparing the pre- and post-event ALOS/AVNIR-2 images by two methods. One method uses the difference of the normalized difference vegetation index (NDVI) obtained from the pre- and post-event images. Another method performs a supervised land-cover classification by maximum likelihood approach, and the difference of extracted bare-ground pixels between the two images was recognized as landslide. The digital elevation model (DEM) was also employed to reveal the relationship between the slope angle and the occurrence of landslide, and to remove the extraction errors on non-sloping ground. Comparing with the visual inspection result, the accuracy of these image processing methods was demonstrated.

Key Words: the 2008 Iwate-Miyagi Inland Earthquake, Slope Failure, ALOS/AVNIR-2, Normalized Difference Vegetation Index, Supervised Classification, Digital Elevation Model