



## 空撮画像を用いた山間部における地震災害後の道路閉塞領域検出

浦部和哉<sup>1)</sup>、佐治齊<sup>2)</sup>

1) 非会員 オムロン株式会社

2) 正会員 静岡大学創造科学技術大学院、教授 博(理)

e-mail : saji@inf.shizuoka.ac.jp

### 要 約

大規模地震災害発生直後において被災地周辺での救助・支援活動を行うにあたり、車両や被災者の移動経路を確立するため、広域道路情報を一括して把握することは重要である。この把握に空撮画像を活用することは、撮影時に災害による影響を受けにくく、広域に渡り早期に情報を得られるため有効である。本研究では、山間部を対象とした道路閉塞領域を検出する手法を提案する。具体的には、地震災害の発生前に撮影された衛星画像と発生後に撮影された航空画像を利用し、それらの比較によって被災領域を検出し、領域の隣接関係を用いることによって道路閉塞領域を検出する。また、被災領域の判別には数値標高データ (DEM) の情報も利用する。最後に、得られた検出結果をデジタル地図の道路領域上へ投影する。提案手法に基づき関連するソフトウェアを計算機上に作成し、実際の画像を解析して手法の有効性を示した。

キーワード： 地震、道路閉塞、航空画像、衛星画像、デジタル地図、数値標高データ

### 1. はじめに

大規模地震災害直後において救助・支援活動を行う上で、種々の車両や被災者の移動経路を確立するために広域道路情報を一括して把握することは極めて重要である。この把握において、空撮画像は撮影時に災害の影響を受けにくく、広域に渡り早期に鮮明な被災情報を得られるという利点がある。以前から空撮画像を用いた研究は広く行われており [1-5]、自然災害時の災害状況把握のための研究にも活用されてきた [6-12]。

2004年に発生した新潟県中越地震では、新潟県とその近隣県の広範囲にわたり甚大な被害を及ぼし、災害発生初期における災害状況把握の重要性が再認識された。また同地震は、都市部だけでなく山間部への大きな被害をもたらし、特に交通網があまり発達していない地域では、道路閉塞によって救助・支援活動が遅れるという問題が生じた。災害時の道路被害検知に関する研究として、航空画像とデジタル地図を用いた都市部における道路閉塞箇所の自動検出手法が提案されている [13]。また、高速道路の被害状況把握に航空写真を活用した研究も見られる [14]。これらに対し、山間部では都市部と異なり高精度なデジタル地図が整備されておらず、また高速道路のように幅員が一定で曲率が小さい道路が少なく、さらに平野部と山間部とでは道路閉塞の発生要因に違いがあり、同じ手法を適用することは困難である。

本研究では、山間部を対象として道路閉塞領域を検出することを目的とし、災害前の被災地を撮影した衛星画像と災害後の被災地を撮影した航空画像を用いる手法を提案する。山間部における道路閉塞で

は、斜面崩壊によって生じる堆積物が主たる要因として挙げられる。提案手法では、災害前後の状況を比較することで斜面崩壊箇所や道路上の堆積物を検出し、それらの隣接関係によって道路閉塞領域を検出する。さらに本研究では、斜面崩壊箇所の厳密な判別を、数値標高データ (DEM) を利用して行う。また、デジタル地図に対して閉塞領域検出結果を投影する手法も提案する。デジタル地図と画像との位置ずれに対処するため、道路の領域について注目し、地図上の道路と画像上の道路を対応付ける処理を行った後に検出結果の投影を行う。

## 2. 道路閉塞領域の検出手法

本手法では、地震災害後に、主に斜面崩壊が要因となって生じる道路閉塞領域の検出を行う。そのために、災害前に撮影された衛星画像と災害後に撮影された航空画像を用い、災害前後の被災地の状況を比較する。なお、衛星画像としては解像度1m程度の高解像度光学センサ衛星画像を、航空画像としては0.2m程度の解像度のものを想定している。災害前の状況を示す衛星画像からは、森林領域、水領域、及び道路領域を検出する。また、災害後の状況を示す航空画像からは、森林領域、土領域、瓦礫領域、及び水領域を検出する。なお、ここでの森林領域や土領域の検出は、過去に我々が提案した手法を活用する[15]。そして、両画像から検出された領域同士を比較し、斜面崩壊箇所や道路上の堆積物を判別し、それらの隣接関係によって道路閉塞領域を検出する。ここで示した処理の流れを図1に示す。

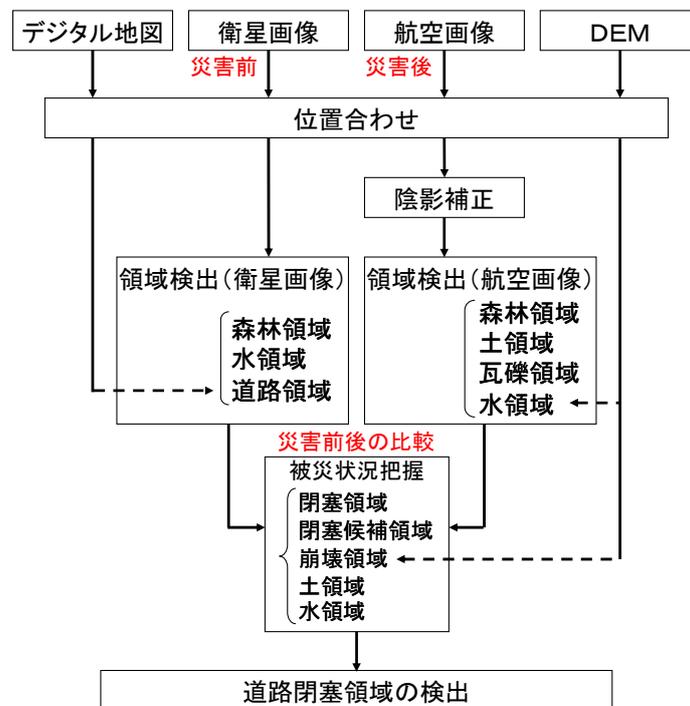


図1 処理の流れ

### 2.1 前処理

#### 2.1.1 位置合わせ

衛星画像、航空画像、デジタル地図、及びDEMの位置合わせを行う。位置合わせには射影変換を用い、衛星画像と航空画像、衛星画像とデジタル地図、及び衛星画像とDEMの3種の組み合わせの位置合わせを行う。対象となる2つのデータから対応する点をそれぞれ4点ずつ目視により選択し、射影変換パラメータを算出して変換に用いる。なお、本研究で活用する衛星画像はオルソ化(正射影化)されているものを想定し、DEMの誤差は水平方向に1m程度、高さ方向に0.3m程度、デジタル地図(縮尺1/25000)は17.5m程度の誤差を含むことを想定する。航空画像については、垂直撮影され電子化されたものを想定しているが、その誤差は撮影状況によって異なる。以上を考慮し、ここでの位置合わせ結果にずれ(今

回の実験では最大 16m 程度) が含まれていることを前提に、以後の処理を行う。

### 2.1.2 航空画像上の陰影領域の補正

航空画像は太陽光の影響を受けやすいという欠点があるため、画像上には多くの陰影が生じる。陰影による影響は大きく、陰影領域内の画素は極端に輝度値が低くなるため、航空画像からの領域検出の処理においてその検出精度が著しく低下してしまう可能性がある。そこで、陰影領域の輝度値を補正し、陰影によって生じる影響を緩和する必要がある。

まず、画像内の陰影領域と日なた領域をモード法によって分類する。ここでのモード法とは、画像の濃度ヒストグラムに双峰性があるとき、山の間の谷の位置を閾値として用い2値化する方法である。次に、陰影領域内における輝度値の平均値と標準偏差、及び日なた領域内における輝度値の平均値と標準偏差を、RGB 毎に別々に算出する。そして得られた陰影領域と日なた領域の平均と標準偏差を一致させるように陰影領域内の画素の輝度値を補正する。

## 2.2 衛星画像からの領域検出

衛星画像からは、森林領域、水領域、及び道路領域を検出する。なお、先に述べたが、ここでの衛星画像は、高解像度光学センサ衛星画像を想定している。

### 2.2.1 森林領域の検出

森林領域の検出には、NDVI値を特徴量として用いる。これは、植物の緑葉の反射特性を利用した植生指数の1つであり、衛星リモートセンシングの多バンドデータから求めることができる。その算出には、カラー衛星画像における赤の輝度値と近赤外線衛星画像の輝度値を用いる。NDVI値は、その値が大きくなるほど植生である可能性が高くなるため、算出値の高い画素を森林領域として検出する。なお、ここでは、0.05を閾値とする。また、ここで森林領域として検出されなかった画素群を非植生領域とし、水領域と道路領域の検出に利用する。

### 2.2.2 水領域の検出

水はその反射特性から、近赤外線領域の波長を吸収する特徴がある。そのため、近赤外線衛星画像における水領域の輝度値は低くなる傾向があり、さらにNDVI値も低くなると予測できるため、先に求められた非植生領域に含まれている可能性が高い。そこで、2.2.1項で判別した非植生領域内に含まれる画素において、近赤外線衛星画像における輝度値の低い画素（ここでの閾値は40）を水領域として検出する。

### 2.2.3 道路領域の検出

ここでの道路領域の検出にはデジタル地図の情報を用いるが、位置ずれが生じるため、近傍に道路領域が存在するという程度の指標としてのみ地図情報を用い、衛星画像に画像処理を適用することで道路領域を検出する。具体的には、エッジ角度を用いたラベリング処理により道路境界を検出した後、その道路境界の膨張処理を行い、道路領域として検出する。

まず、近赤外線衛星画像を用いたエッジ検出結果と非植生領域から道路候補領域を作成する。エッジの検出には、Kirschのエッジ検出オペレータ[16]を用い、さらに非極大点の抑制を行ってエッジの細線化を行う。道路候補領域の作成は、デジタル地図上の道路領域を利用する。デジタル地図と衛星画像は事前に位置合わせがなされているが、双方の誤差のために画像上の道路と地図上の道路にはずれが生じている箇所が多い。これを踏まえ、ここでは地図上の道路領域を1m解像度でラスタライズし膨張処理を（ここでは15回）行う。膨張後の道路領域内に含まれる非植生領域の画素を画像上の道路候補領域とすることで大まかに道路領域を絞ることができる。なお、ここでの非植生領域とは、2.2.1項で非植生領域と判別された画素から2.2.2項において水領域と判断された画素が除かれて残ったものである。また、非植生領域の中には、道路とは関係のない建物や車両のような人工物も含まれている。そのため、道路候補領域内にも人工物が含まれている可能性は高い。人工物は色の鮮やかな物が多く、彩度が高くなる傾向がある。そこで、カラー衛星画像にHSI変換を適用することにより彩度を求める。HSI変換とは、カラーRGBデータを色相 (Hue)、彩度 (Saturation)、明度 (Intensity) の3つの属性に変換する処理である。それ

により得た彩度を特徴量として用いて道路候補領域から人工物を除去し、道路領域を絞り込む。なおここでの彩度の閾値は20とする。

以上の処理結果を統合し、道路候補領域内のエッジ画素が得られる。そこからエッジ角度差が±45度以内で隣接するエッジ画素を連結し、ラベル付けする。ラベリングにより得られた各領域の中で、面積の小さなもの（ここでは10画素以下）を除去することで長いエッジを残し、それを道路境界とする。なおここで得られた道路境界上の画素を白画素、それ以外の画素を黒画素とする。道路境界の両端が正確に検出できているならば、膨張処理を数回行うことで道路境界の両端が繋がり、道路領域が検出できると考えられる。基本的に、膨張処理では、近傍に白画素がある黒画素を白画素へと変換する。これにより、1回の膨張処理で白画素領域が一回り大きくなるが、ここでの膨張処理はエッジ角度を考慮し、膨張方向を限定して行う。図2にその膨張処理例を示す。道路境界として検出された各画素において、その画素の持つエッジ角度に基づいた方向にのみ膨張させていく。また、その膨張方向の垂直方向に対しても同時に膨張を行う。なお、ここではエッジ角度に基づく方向に5回、それに垂直方向に1回の膨張とする。この一連の処理によって得られた領域を道路領域とする。

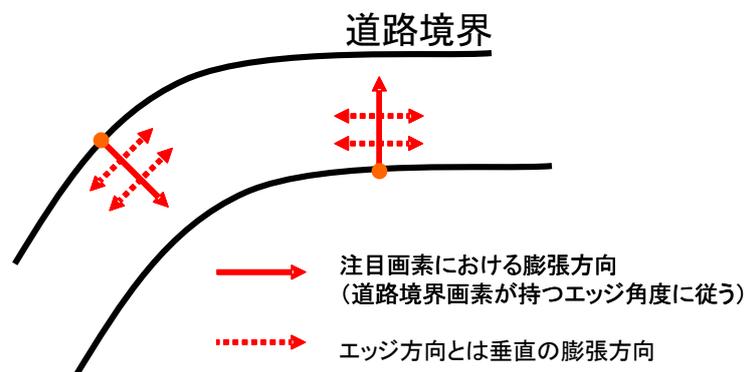


図2 道路境界の膨張例

## 2.3 航空画像からの領域検出

航空画像から、森林領域、土領域、及び瓦礫領域を検出する。なお水領域についてはDEMが含む水領域情報を用いて検出する。

### 2.3.1 森林領域の検出

森林領域の検出には、式(1)に示す比演算を用いる。これは、RGB画像の各バンド間の輝度値の比を求める演算である。

$$Z = (\alpha - \beta) / (\alpha + \beta) \quad (1)$$

森林領域内の画素では、RGBの中でGの輝度値が強くなる傾向があると考えられる。そこで、各画素において式(1)を用いて $(\alpha, \beta) = (G, R)$ 、 $(\alpha, \beta) = (G, B)$ として、それぞれの比演算を行う。そして、いずれの比較においても、Gの輝度値が強く表れる箇所を森林候補領域とする。なお、ここでの閾値は、前者で0.04、後者で0.03とする。

これにより2つの候補領域が得られるので、それらを用い論理積を求めることで得られた結果を森林領域とする。

なお、ここでの森林領域の検出においては、衛星画像における処理と同様に近赤外線画像を用いたNDVI値の利用も考えられるが、実際の災害時での撮影において、近赤外バンド撮影機能がない撮影機も多く飛行する。よって今回は、地域によって種々の事情があることを考慮し、近赤外バンド撮影機能がない場合でも解析可能となるように手法を考案した。

### 2.3.2 土領域の検出

土領域の検出においても、式(1)に示す比演算を用いる。土領域内の画素では、RGBの中でRの輝度値が強くなる傾向があると考えられるため、各画素において式(1)を用いて $(\alpha, \beta)=(R, G)$ 、 $(\alpha, \beta)=(R, B)$ として、それぞれの比演算を行う。そして、2.3.1項における森林領域の検出と同様にして、Rの輝度値が強く表れる箇所を土領域として検出する。なお、ここでの閾値は、前者で0.005、後者で0.05とする。

### 2.3.3 瓦礫領域の検出

瓦礫領域は、エッジ角度の分散値を利用して検出する。ここでの瓦礫領域とは、瓦礫や石などが散乱している領域を意味する。このような領域では、エッジ角度にばらつきが生じており、その分散値は高くなると考えられる。よって、エッジ角度の分散値が高いという条件で瓦礫領域を検出する。ここでの計算では、各画素を中心とした局所領域内のエッジ角度の出現数を求め、それを注目画素における分散値とする。ここで、エッジ角度はKirschのエッジ検出オペレータにより求め、局所領域のサイズは7画素×7画素とし、分散値（出現数）の閾値は6種類とする。なお、瓦礫領域と同様のテクスチャをした森林領域においても、その分散値は高くなると考えられるために誤検出が生じる可能性が高い。そこで、2.3.1項で検出された森林領域の情報を用いて、森林領域に分類されていない領域に限定して、分散値の高い画素を瓦礫領域として検出する。

## 2.4 道路閉塞領域の検出

衛星画像と航空画像の対応する画素において分類された領域を比較することで、災害後の被災状況を判別する。そして、道路周辺の被災状況を考慮し、道路閉塞領域を3段階の処理によって検出する。なお、災害後の航空画像から道路領域の抽出を直接は行わない。これは、地図と航空画像との間の位置ずれが大きいことと、道路領域が災害により土砂に埋まって見えない箇所が多く存在することなどによる。

まず、第1段階として表1に示される対応に従い、閉塞領域、閉塞候補領域、土領域、崩壊領域、及び水領域に分類を行う。そして、小領域の除去を行う。閉塞候補領域と土領域は、以降の処理において周辺領域との隣接関係を用いて閉塞領域かどうか判別を行っていく。なお、この時点で閉塞領域と判別されている箇所は、浸水による道路閉塞箇所である。この箇所は斜面崩壊によって起こる道路閉塞とは条件が異なると考えられ、この段階において道路閉塞領域とみなす。また、ここで崩壊領域として判別されたものを、DEMを用いてさらに厳密に判断していく。まず、DEMから傾斜度の算出を行う。DEMの各点において、自身とその周囲の点とを用いて構成される平面を考え、その平面から法線ベクトルを求める。そして、そのベクトルと鉛直ベクトルとのなす角度を内積によって求めたものを傾斜度とする。斜面の崩壊は、その傾斜が10度未満のものではほとんど発生していないということが報告されている[17]。そこで、崩壊領域と判定された画素について、その画素における傾斜が10度未満のものは斜面崩壊が起きた可能性が少ないとして崩壊領域から除いていく。

次に、第2段階として、閉塞候補領域が実際に閉塞領域か否かの判定を行う。道路閉塞の要因としては、斜面崩壊によるものが多くを占めると考えられ、道路閉塞領域には崩壊領域が隣接している可能性が高いと言える。そこで、図3に示したように閉塞候補領域に対して、自身の面積の2分の1以上の面積を持つ崩壊領域が隣接している場合に閉塞領域と判断する。そうでない場合、閉塞候補領域は非閉塞領域（通行可能領域）と判断する。なお、この処理を省くと、道路領域内で輝度変化がある領域はすべて道路閉塞領域ということになってしまう。また、崩壊領域の面積を考慮せずに崩壊領域と閉塞候補領域の隣接関係のみで判断しただけでは、道路領域内に影響を及ぼしそうな微小な崩壊領域と閉塞候補領域が隣接しているだけでも閉塞候補領域が閉塞領域と判断されることになる。なお、ここでの2分の1という値は本研究で用いたデータに基づき実験的に求めたものである。

最後に最終段階として、土領域が閉塞領域か否かの判定を行う。道路上に土の層が薄く堆積している場合には車両が通行できる可能性はあるが、斜面崩壊が原因となって土が堆積したのであれば、その量は多くその箇所は通行できない可能性が考えられる。そこで、第2段階の処理同様に、土領域に対して自身の面積の2分の1以上の面積を持つ崩壊領域、または閉塞領域（これは2段階目の処理で閉塞として判別された領域）が隣接する場合に、その土領域を閉塞領域とみなす。そうでない場合は、土領域は非閉塞領域（通行可能領域）と判断する。以上の3段階の処理から道路閉塞領域を検出する。

表 1 災害状況の判別

衛星画像 (災害前)	航空画像 (災害後)	被災状況
道路領域	森林領域	閉塞候補領域
道路領域	瓦礫領域	閉塞候補領域
道路領域	土領域	土領域
道路領域	水領域	閉塞領域
森林領域	森林領域	崩れなし
森林領域	瓦礫領域	崩壊領域
森林領域	土領域	崩壊領域
森林領域	水領域	水領域
水領域	森林領域	崩壊領域
水領域	瓦礫領域	崩壊領域
水領域	土領域	崩壊領域
水領域	水領域	水領域

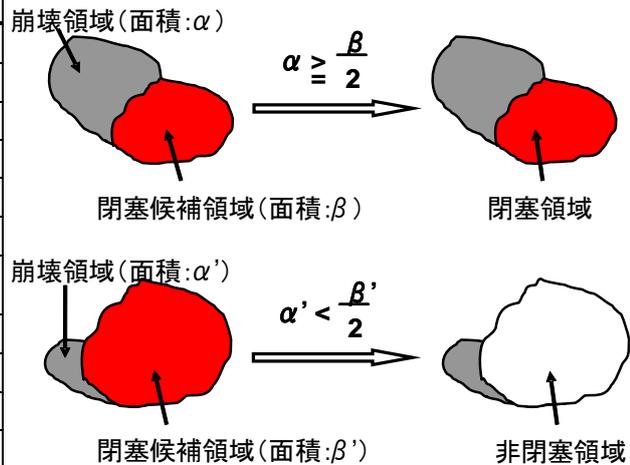


図 3 閉塞候補領域の判別

### 3. デジタル地図上への閉塞箇所の投影

検出された道路閉塞領域をデジタル地図上の道路領域へと投影する。ただし、デジタル地図と画像の位置ずれに対処するため、まず画像上の道路と地図上の道路の対応付けを行うことが必要である。(なお実験で活用したデータにおいては道路境界において最大16m程度のずれが生じた。)

まず前処理として、デジタル地図上の道路方向を特定する。そのために、デジタル地図の道路領域とそれ以外の領域を1m解像度の状態で2色に塗り分けてラスタ化する。次に、Sobelフィルタを用いてデジタル地図内のエッジを検出し、エッジ角度の出力結果(0度以上360度未満)で互いに逆方向のものを同一とみなし、0度以上180度未満の範囲におさめる。そして、道路領域内においてエッジ角度の膨張処理を行い、道路方向を統一していく。これは、各画素を中心とした7×7の局所領域内でエッジ角度についてのヒストグラムを作成し、その中における最頻角度を注目画素の角度とするものである。続いて、デジタル地図上の道路領域に対して細線化処理を行い、道路の中心線を求める。これにより得られる中心線を構成する点を中心線の点列として考える。

得られた地図上の中心線の点列各点に対し、衛星画像上の道路領域を白とした2値画像とのマッチング処理を行う。前処理で求められた地図上の道路方向を利用し、中心線の点列各点において、その点における道路方向に対し垂直の方向を探索方向とする。図4に探索方向を示す。図中の黒い線が地図上の道路中心線を、灰色の領域が画像中の道路領域を示している。そして、その探索方向に沿ってステップ関数とガウス関数を組み合わせて作成された2次元ラインフィルタ[18]を適用し、フィルタ応答が最大となる箇所の中心点を求める。こうして、デジタル地図上の道路領域内の点である中心線の点列を、画像上の道路領域内の点と対応付け、座標値を更新することで本来のずれを緩和する。ここで、中心線の点列の各点において求められたフィルタ応答最大の点をマッチ点列とする。このマッチ点列が更新された座標値ということになる。

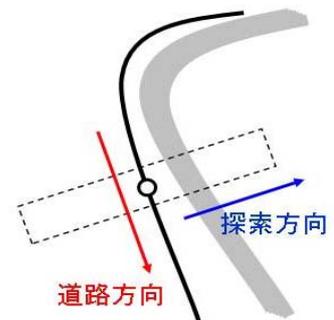


図4 探索方向

最後に、地図上に閉塞箇所のマーキングを行う。求められたマッチ点の周辺において閉塞領域に分類されている画素を探索する。それが見つかったならば、その座標を地図上の座標へと変換し、道路領域を塗りつぶす処理を行う。

#### 4. 実験結果

実験に使用したデータを図5～8に示す。災害前の画像（図5、図6）として2001年8月25日に撮影された新潟中越地区の1m解像度のIKONOS衛星画像（©日本スペースイメージング株式会社）を用いた。なお、ここでは、RGB各11ビットのカラー画像と11ビットの近赤外画像のセットのもので、サイズが1100画素×1100画素のものを3枚活用する。さらに、図7にデジタル地図を、図8にDEMを示す。デジタル地図は、1/25000数値地図（空間データ基盤）であり、鉄道線や河川、公共施設などをあらかじめ除き、道路領域のみを残したものである。DEMは、2mメッシュ標高データ（中越）であり、地震発生後の2005年4月20日～6月3日に計測されたデータである。いずれのデータも国土地理院刊行のものである。図8では、色の変化によってその標高値の高低が示されている。なお、白色の領域は水領域である。



図5 カラー衛星画像

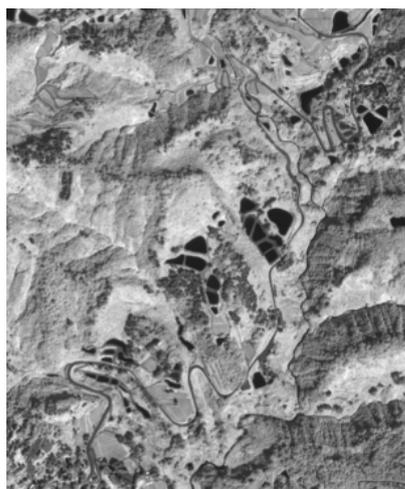


図6 近赤外線衛星画像

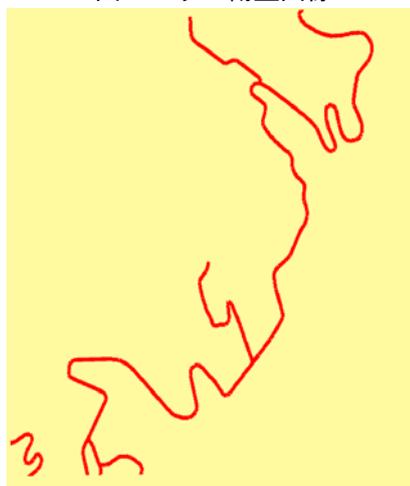


図7 デジタル地図

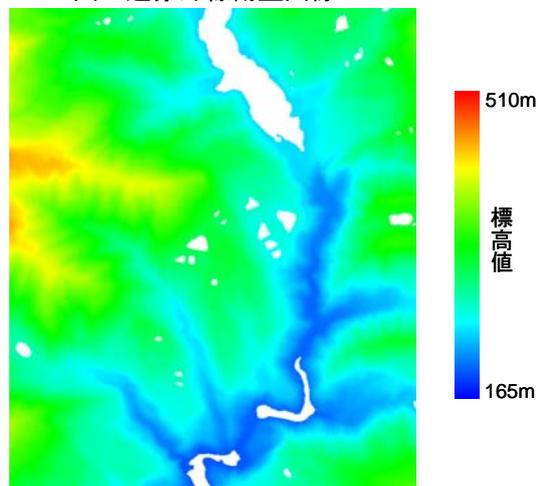


図8 数値標高データ (DEM)

また、災害後の画像として同地区を2004年10月28日に撮影した0.2m解像度の航空画像（©株式会社パスコ）を用いた。なお、ここでは、RGB各8ビットのカラー画像9枚を用い、そのサイズは2600画素×2600画素（2枚）、2600画素×2800画素（3枚）、3400画素×2300画素（1枚）、2000画素×2000画素（1枚）、2000画素×1600画素（2枚）である。なお、ここで活用した航空画像はオルソ化されておらず、道路境界において最大16m程度のずれが生じていた。図9に対象地域（A～I）の配置図、図10～18に各地域での処理結果を示す。図10～18に示したものは、左から順に、災害後の航空画像、道路閉塞領域検出結果、検出結果のデジタル地図上の道路領域への投影結果、及び目視により道路閉塞領域を判読した結果である。図中において、灰色の画素群が通行可能な道路領域を示し、赤色の画素群が道路閉塞領域を示す。



図9 実験対象地域の配置図



図10 A地域の航空画像



道路閉塞領域検出結果



地図への投影結果



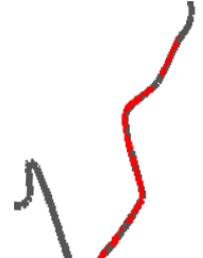
目視判読結果



図11 B地域の航空画像



道路閉塞領域検出結果



地図への投影結果



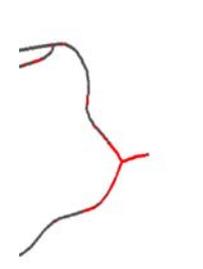
目視判読結果



図12 C地域の航空画像



道路閉塞領域検出結果



地図への投影結果



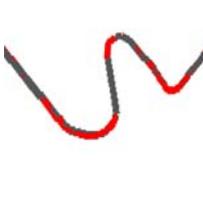
目視判読結果



図13 D地域の航空画像



道路閉塞領域検出結果



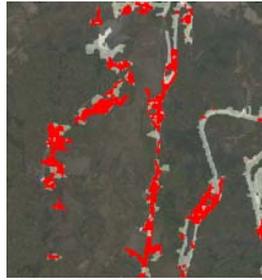
地図への投影結果



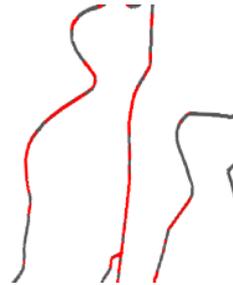
目視判読結果



図14 E地域の航空画像



道路閉塞領域検出結果



地図への投影結果



目視判読結果



図15 F地域の航空画像



道路閉塞領域検出結果



地図への投影結果



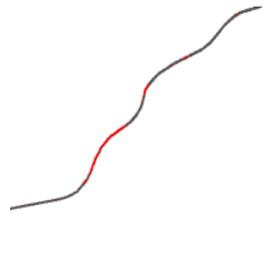
目視判読結果



図16 G地域の航空画像



道路閉塞領域検出結果



地図への投影結果



目視判読結果



図17 H地域の航空画像



道路閉塞領域検出結果



地図への投影結果



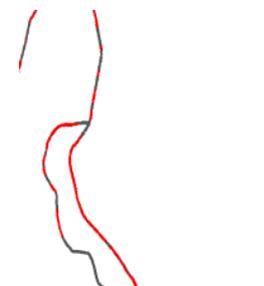
目視判読結果



図18 I地域の航空画像



道路閉塞領域検出結果



地図への投影結果



目視判読結果

なお、ここで示したいずれの例も山間部におけるものであり、大規模地震災害による斜面崩壊や浸水のために生じた道路閉塞領域とその周辺領域を含んでいる。

各実験対象地域において、目視判読結果を正答画像として考え、本手法で検出した結果と比較することによって全体的な精度評価を行った。精度評価は、本手法によって検出した閉塞領域と、作成された正答画像内の閉塞領域を用いて比較を行う。正答に含まれる道路閉塞画素のうち、本手法により閉塞領域として検出できたものの割合を検出率、本手法により検出された道路閉塞画素のうち、正答と一致しなかったものの割合を誤検出率とし、それぞれ検出画素数により算出した。全9例の検出画素数・誤検出画素数を合わせて評価した結果、検出率が約81.8%、誤検出率が約34.3%となった。

閉塞領域の検出率・誤検出率には位置合わせによるずれや、衛星画像からの道路領域検出における精度が大きく影響している。特に、非植生領域を求めるために用いているNDVI値の大小により、道路領域検出結果が大きく変わる。今回の実験の場合は、道路領域検出結果として、未検出領域よりも誤検出領域の割合が多くなっている。例としては、道路も含めその周辺の箇所を余分に検出している場合と、道路以外の全く関係のない箇所を検出している場合の2種類に分けられる。前者の場合は、道路領域が本来よりも太く検出される結果となる。その箇所において斜面崩壊による道路閉塞が発生していた場合、道路領域の太さのために斜面崩壊箇所の一部も道路領域内に含まれ、2.4節における閉塞候補領域の面積が隣接する崩壊領域よりも大きくなりすぎるために閉塞領域として判定されなくなる。それが要因となって閉塞領域の検出率が低下してしまう。一方で後者は、道路領域を衛星画像から画像処理を用いて抽出していることにより生じたものであるが、その箇所が道路閉塞と判定されてしまえば、もともと道路とは関係のない領域であるため、必然的に道路閉塞領域の誤検出となる。以上に対処するため、今後は検出率向上と誤検出率低下を目標に、手法の改善を行う予定である。

## 5. 提案手法についての考察

ここでは、本提案手法を災害対応に実際に活用するために必要となる前提条件や検討すべき課題と、他手法との比較に基づく本手法の位置づけについて述べる。

前提条件としては、まず、災害前の衛星画像、災害後の航空画像、デジタル地図、及びDEMの各情報が容易に入手できることが必要となる。特に、災害後に高解像度の航空画像が迅速に入手できるかどうか、本システムの出力結果が実用に供するか否かに影響を与える。(被災後30分程度で画像が入手できる地域もあるがそうでない地域もある。)

また、解析対象の道路領域が上空から見えていることが大前提である。画像の撮影角度や地形の関係により、あるいはトンネルや立体交差などにより見えない箇所については、本手法だけでは解析できない。ただし、見える箇所における解析結果からの類推によって、見えない箇所もある程度解析可能となる場合もあるので、今後検討していきたい。同様に、本研究は、晴天時の昼間を前提とした解析手法を提案しており、悪天候時や夜間での解析は、本手法のみでは困難である。そのような状況下での解析を可能にするためには、可視画像以外のデータ(赤外線画像や合成開口レーダー画像)を用いた他の解析手法(例えば[9])も検討し、システムに付加実装する必要がある。

さらに、本研究では斜面崩壊や浸水による道路閉塞検出を行っているが、道路自体の破壊による閉塞の検出は行っていない。これについては、道路領域内の色情報やエッジ情報を活用した手法が種々提案されており(例えば[14])、それらの研究成果と本研究成果の融合も今後の課題となる。

道路閉塞検出の他の手法として、災害後に撮影された空撮画像と地図のみを活用したものや、災害後画像のみを活用したものなどがある。いずれも、平野部において形状が単純な道路や、都市部における道路では有用な結果が得られているが、山間部では都市部と異なり高精度なデジタル地図が整備されていない地域が多く、また、直線区間が少なく、幅員も一定ではない道路が多く存在する複雑な環境下では、同じ手法の適用は困難である。

空撮画像を用いない道路閉塞検出手法としては、プローブカーデータを用いたものがある[19]。これは、各車両をセンサとしてとらえ、各車が検知した情報を収集することで道路交通情報を把握するものである。大規模なインフラを必要とせず、広域の道路データを検知できる。また空撮よりも天候の影響を受けにくく、車両近傍の道路状況を正しく判断できる。ただし、山間部での斜面崩壊や浸水などによ

り、車両そのものが進入できない領域内の状況は判断できない。特に、大規模災害直後では、二次災害の危険により車両の通行が困難な道路が通常より多く出現する。そのため、車両の位置により収集されるデータの精度や分布にむらが生じ、また解析に時間がかかる。

本提案手法は、車両が進入することが困難な領域内であっても、道路閉塞状況をその周囲の状況（斜面崩壊、浸水など）も含めて検出できるものである。そして、先に述べた課題を解決できれば、大規模地震災害直後の山間部におけるおおよその道路閉塞状況を広域において一括把握する目的で活用できる。その結果、大規模地震災害直後の山間部における救助・支援活動での利用が可能となり、特に、救助活動初動段階でのルート選定やリソース配分算定に必要な被災地周辺部のおおよその道路情報を生成するシステムの実現が可能となる。

## 6. まとめ

本研究では、山間部を対象とした地震災害時における道路閉塞領域を検出し、デジタル地図上にその検出結果を投影する手法を提案した。中越地震における実データを用いた実験により80%以上の精度で道路閉塞領域を検出できることを確認した。なお、ここでの処理は、画像間の位置合わせや各種閾値の決定を除きすべて自動化されており、様々な応用に活用できると考えられる。例えば、大規模地震災害直後に救助復旧支援を行う組織・団体（例えば緊急消防援助隊）に対し、被災地を含めた広域の道路情報の概略（図面やナビゲーションデータなど）を提供するためのシステムや、Webやカーナビを通じた一般の人々への情報提供システムなどが、本手法を活用することで実現可能となる。

今後の課題として、個々の検出手法の改善を行うことを検討している。例えば、水領域の検出を、DEMからではなく災害後の航空画像から検出する手法がその一つである。今回は災害前のDEMデータが入手できなかったこともあり、災害後のDEMデータを活用し傾斜度を算出すると同時に、浸水箇所（水領域）もそのデータ内の属性値を利用し検出している。しかし本来なら、災害前の傾斜度の大小を災害後の斜面崩壊箇所の判定に活用すべきであり、災害前のDEMデータを用いた方がより正しい結果が得られるはずである。一方、災害前のDEMデータからでは災害後の浸水箇所は判別できないため、災害後画像から浸水箇所を検出する手法が別途必要となるのである。また、今回は主に斜面崩壊によって発生する道路閉塞領域検出についての手法を提案したが、大規模な斜面崩壊に無関係に発生する道路閉塞要因として、道路上に生じる亀裂の存在も重要である。亀裂の生じた規模にもよるが、それ自体が車両の通行を妨げる要因になると考えられる。実応用を踏まえた場合は、この道路上での亀裂も含め、様々な閉塞要因に対応できることが必要となる。以上を踏まえ、様々な状況下における実験例を増やし、手法改善や他手法との融合により検出精度を向上し課題を解決することで、実応用を目指していきたいと考えている。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、財団法人日本交通管理技術協会のご協力をいただいた。また本研究の一部は、総務省消防庁消防防災科学技術研究推進制度の助成によるものである。ここに感謝する。

## 参考文献

- 1) 渡辺真太郎, 宮島耕治, 武川直樹: 屋外光源モデルに基づく航空写真からの建造物の変化抽出, 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol. J83-D-II, No. 12, 2000年, pp. 2554-2566.
- 2) 石井真人, 杉山岳弘, 阿倍圭一: 色情報とエッジ情報を利用した航空写真からの大域的な地震被害の把握, 情報処理学会研究報告・CVIM, Vol. 2001, No. 36, 2001年, pp. 171-176.
- 3) 三浦弘之, 翠川三郎: 建物GISデータの更新を目的とした高分解能衛星画像からの建物の自動検出手法, 地域安全学会論文集, No. 5, 2003年, pp. 37-44.
- 4) 上瀧剛, 内村圭一, 脇坂信治: 交差点の検出に基づく航空画像からの道路の抽出, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 103, No. 302, 2003年, pp. 55-61.
- 5) Miura, H. and Midorikawa, S.: Updating GIS Building Inventory Data Using High-Resolution

- Satellite Images for Earthquake Damage Assessment: Application to Metro Manila, Philippines, Earthquake Spectra, Vol.22, No.1, 2006, pp.151-168.
- 6) 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年, pp.177-185.
  - 7) 長谷川弘忠, 山崎文雄, 松岡昌志: 空撮ハイビジョン映像を用いた兵庫県南部地震による建物被害の目視判読, 土木学会論文集, No.682/I-56, 2001年, pp.257-265.
  - 8) 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, 日本写真測量学会, Vol.40, No.4, 2001年, pp.27-36.
  - 9) 松岡昌志, 山崎文雄: 人工衛星 SAR 強度画像による建物被害地域の検出方法, 日本建築学会構造系論文集, No.551, 2002年, pp.53-60.
  - 10) 三富創, 松岡昌志, 山崎文雄: 最近の地震災害の空撮画像を用いた建物被害地域の自動抽出の試み, 土木学会論文集, No.703/I-59, 2002年, pp.267-278.
  - 11) 三富創, 松岡昌志, 山崎文雄: 空撮画像を用いた汎用的な建物被害抽出方法に関する考察, 土木学会論文集, No.710/I-60, 2002年, pp.413-425.
  - 12) Nichol, J. and Wong, M. S. : Satellite Remote Sensing for Detailed Landslide Inventories Using Change Detection and Image Fusion, International Journal of Remote Sensing, Vo.26, No.9, 2005, pp.1913-1926.
  - 13) 河合荘景, 佐治斉: 航空画像を用いた都市部における地震災害後の道路閉塞状況解析, 日本地震工学会論文集, 第8巻, 第4号, 2008年, pp.46-58.
  - 14) 丸山喜久, 山崎文雄, 用害比呂之, 檜作正登, 岡本拓: 新潟県中越地震における高速道路被害状況と航空写真を用いた被害早期把握に向けた基礎的検討, 土木学会地震工学論文集, Vol.28, CD-ROM, 2005年.
  - 15) Urabe, K. and Saji, H. : Analysis of Road Blockage after Disaster Using Aerial Images, Proceedings of SICE Annual Conference 2007, 2B12-4, 2007, pp.1795-1798.
  - 16) Kirsch, R. : Computer determination of the constituent structure of biological images, Computers and Biomedical Research, Vol.4, 1971, pp.315-328.
  - 17) 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, 第7巻, 第5号, 2007年, pp.1-14.
  - 18) 上瀧剛, 内村圭一, 胡振程: 航空画像と動的形状モデルを用いた道路地図の位置補正, 電子情報通信学会技術研究報告・ITS, Vol.105, No.259, 2005年, pp.1-6.
  - 19) 秦康範, 鈴木猛康, 下羅弘樹, 目黒公郎, 小玉乃理子: 新潟県中越沖地震における通れた道路マップの提供とプローブカー情報の減災利用実現に向けた課題と展望, 日本地震工学会論文集, 第9巻, 第2号, 2009年, pp.148-159.

(受理: 2008年12月26日)  
(掲載決定: 2009年6月18日)

# **Detection of Road Blockage Areas after Earthquake Disaster in Mountainous Districts Using Aerial Images**

URABE Kazuya <sup>1)</sup> and SAJI Hitoshi <sup>2)</sup>

1) OMRON Corporation

2) Member, Professor, Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University, Dr. Sci.

## **ABSTRACT**

In a large-scale earthquake, it is important to understand road conditions over a wide area to establish vehicular and evacuation routes. This will allow us to carry out rescue and support activities rapidly. We propose a method of detecting road-blockage areas in mountainous districts. We use satellite images taken before the disaster and aerial images taken after the disaster. Since we can rapidly obtain information on a wide area from aerial images, we can use the images effectively to understand road conditions. We detect damaged areas by comparing the two images and using the digital elevation model (DEM). Then, we detect road-blockage areas using connectivity relationships between the damaged areas. Finally, we project the results obtained onto the digital map. We developed relevant software on the computer, and we analyzed actual images to evaluate the effectiveness of our method.

*Key Words: Earthquake, Road-blockage, Aerial Image, Satellite Image, Digital Map, Digital Elevation Model*