



デジタル航空画像を用いた新潟県中越沖地震の建物被害抽出

鈴木大輔¹⁾, 丸山喜久²⁾, 山崎文雄²⁾

1) 非会員 有楽土地株式会社 開発本部 開発事業部 (元 千葉大学大学院生)

e-mail : yellow_march_6085@ybb.ne.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

e-mail : ymaruyam@tu.chiba-u.ac.jp, yamazaki@tu.chiba-u.ac.jp

要 約

本論は、リモートセンシング技術を防災分野に利用し、大地震発生後の早期被害把握を行なうことを目的としている。近年では、自然災害発生時の緊急撮影に従来のアナログ航空カメラだけではなく、デジタル航空カメラが使用されている。デジタル航空画像は高い輝度分解能や近赤外波長帯を有するため、衛星画像やアナログ航空画像よりも詳細な被害把握が可能となる。これらのデジタル航空画像の利点を活かし、2007年新潟県中越沖地震で瓦礫と化した倒壊建物を画像解析によって自動的に抽出する方法を提案した。

キーワード： リモートセンシング, デジタル航空画像, 2007年新潟県中越沖地震, 建物被害, オブジェクト分類

1. はじめに

航空機、ヘリコプター、人工衛星などにより被災地の上空から得られる画像・映像情報は、その広域性・情報量から大規模な災害時に被害状況を把握するうえで非常に有効である。とくに、現地踏査が困難な地域や時期における地表モニタリングの手段として、リモートセンシング技術は有用であると考えられる。例えば、Landsat 衛星画像 (地上解像度 30m) の利用により焼失地域や液状化による噴砂が確認されることが兵庫県南部地震を事例に示されている¹⁾。その後、より地上解像度の高い光学センサ画像が取得できるようになり、2001年インド・グジャラート地震の際に人工衛星 Ikonos が撮影した画像のパンシャープン画像 (地上解像度約 1m) が建物被害把握に用いられ²⁾、2003年イラン・バム地震の際に人工衛星 QuickBird が取得した画像のパンシャープン画像 (地上解像度約 60cm) によって個々の建物被害の目視判読が行われた³⁾。また、建物被害以外の様々な形態の地震被害の把握を目指し、Ikonos 画像によって斜面崩壊の検出が行われたり⁴⁾、津波浸水域の把握⁵⁾や津波暴露人口⁶⁾が算出されたりもしている。

航空機等をプラットフォームとした航空画像は、地形図の作製に用いられる⁷⁾などリモートセンシングにおいて最も古くから利用されてきた。また、風水害⁸⁾、土砂災害⁹⁾、火山災害¹⁰⁾などの大規模な災害が発生した場合、当日あるいは翌日から写真が撮影され被害状況把握のための調査・解析に利用されてきた。航空写真は一般に飛行高度 1000~2000m から撮影されるため、それをスキャンしてデジタル化した画像の地上解像度は 10~20cm と衛星画像をはるかに凌ぐ。そのため、1995年兵庫県南部地震の後に撮影された航空写真による建物被害の目視判読¹¹⁾や、マルチレベルスライス法による建物被害の自動抽出¹²⁾が検討されるなど、地震被害を把握する手法としても期待されている。

近年では、従来のフィルムを用いるアナログ航空カメラだけでなく、高性能のデジタル航空カ



図1 新潟県柏崎市を撮影した航空画像

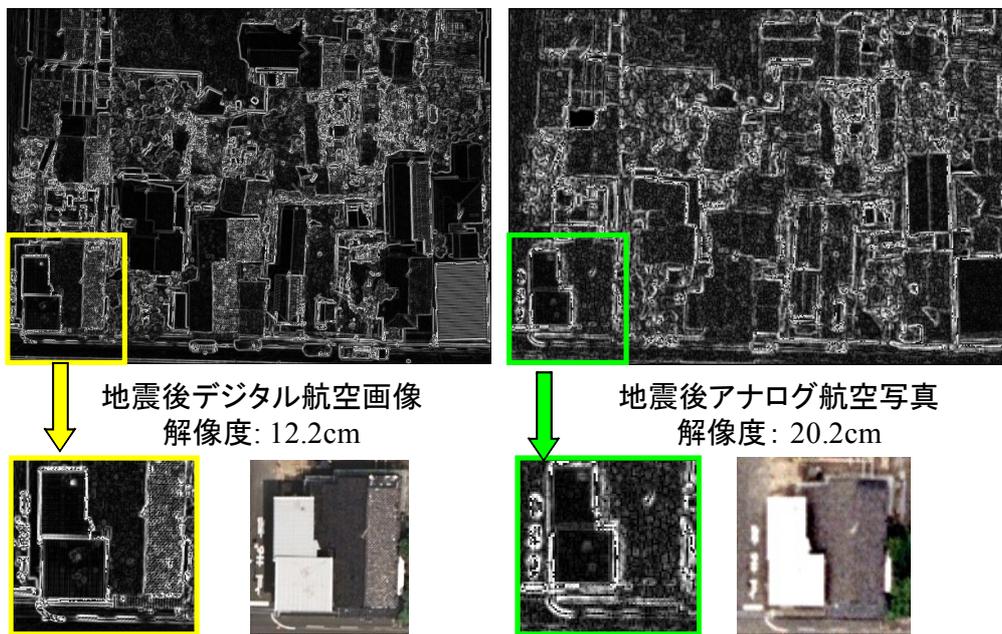


図2 デジタル航空画像とアナログ航空写真のエッジ画像の比較

メラ^{13), 14)}が使用されるようになってきた。デジタル航空カメラは、地上解像度だけではなく輝度値の分解能も卓越しているため、同じ地上解像度でもアナログ航空カメラで撮影したものと比べるとより鮮明な画像を入手することができる¹⁵⁾。また、赤 (R)・緑 (G)・青 (B) といった可視領域の波長帯に加えて、近赤外 (NIR) の波長帯をとらえるセンサを有しており、植生領域の抽出に効果がある¹⁶⁾。

そこで本研究では、2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震の際に建物被害が多数生じた新潟県柏崎市を対象に、デジタル航空画像を用いて瓦礫の自動抽出に関する検討を行う。瓦礫を精度良く自動抽出することができれば、建物被害の分布を推定するのに役立つことができると期待される。柏崎市では地震発生前にもデジタル航空画像が撮影されており、地震前後のデジタル画像が得られている希少な事例である。デジタル航空画像はその地上解像度の高さから、従来用いられているピクセルベースの解析手法ではノイズの発生が懸念される。そこで、オブジェクトベースの解析法を導入し、スペクトル特性だけではなくオブジェクトの大きさや形状を考慮した分類を行うこととする。

2. 新潟県柏崎市を捉えた航空画像

2007年7月16日10時13分に発生した新潟県中越沖地震 ($M_{JMA}=6.8$) では、死者15名、全壊家屋

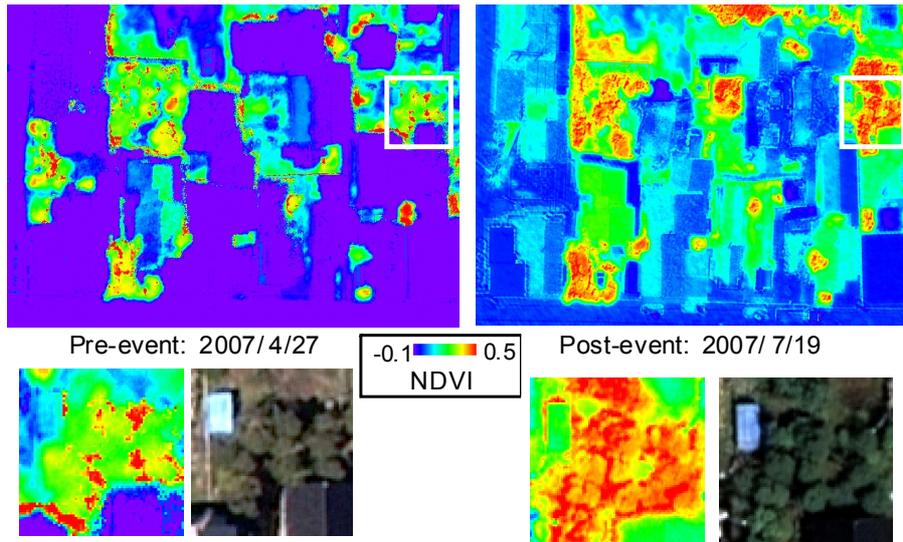


図3 地震前と地震後のNDVIの比較

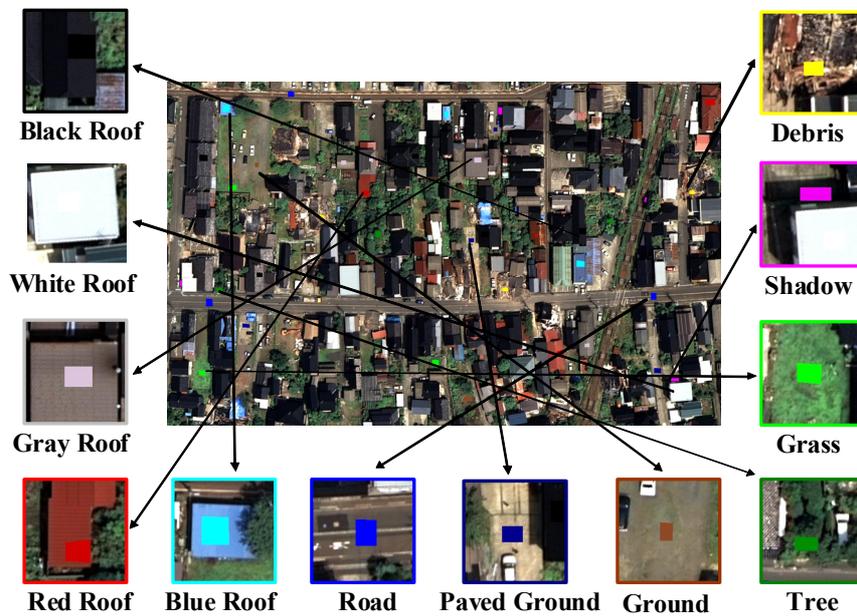


図4 ピクセルベースの教師付き分類におけるトレーニングデータ

1,331棟という被害が生じた¹⁷⁾。震源に近い新潟県柏崎市では、死者14名、全壊家屋1,121棟の甚大な被害を受けた。近年の国内における被害地震後には、様々な機関が被災地の上空で航空写真の撮影を行う。新潟県中越沖地震に関しても、撮影された航空写真をもとに災害状況図^{18),19)}がまとめられたりしている。

本研究で入手した新潟県柏崎市を撮影した航空画像をまとめると図1のようになる。地震発生後については、アジア航測(株)がDMC(Digital Mapping Camera)を用いて撮影したデジタル航空画像(地上解像度12.2cm)と国土地理院が航空カメラRC30で撮影したアナログ航空写真(撮影縮尺10000分の1)を地上解像度20.2cmに電子化した画像を入手した。デジタル航空カメラが地震被害把握に利用されるようになったのは最近であり、地震後画像が得られている事例も数少ないが、新潟県柏崎市に関しては図1に示したように、UDC(UltraCam-D)を用いて地震発生約3ヶ月前にデジタル航空画像(地上解像度:16.9cm)が撮影されている。

デジタル航空画像の特徴としては、アナログ航空カメラで撮影された画像をスキャンして電子化しても8ビット程度の画像情報しか持たないのに対して、DMCでは12ビットで画像情報が取得できる

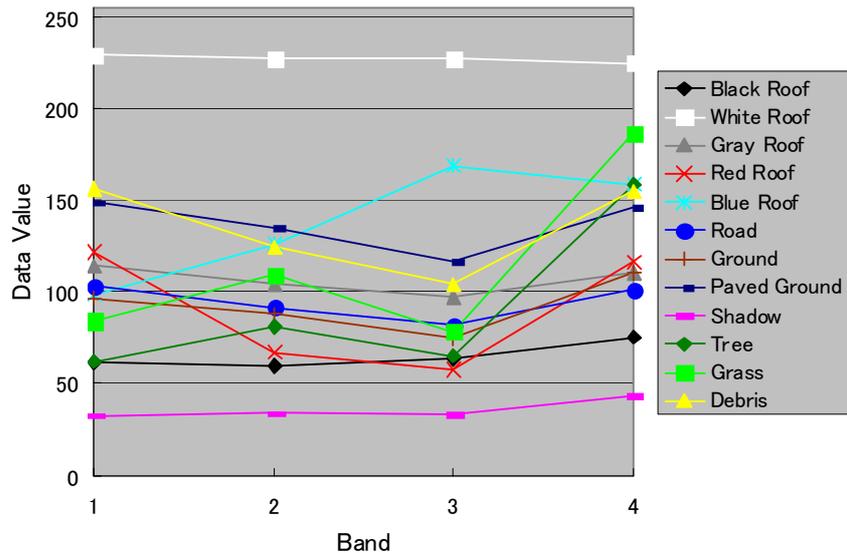


図5 トレーニングデータの各バンドの平均輝度値

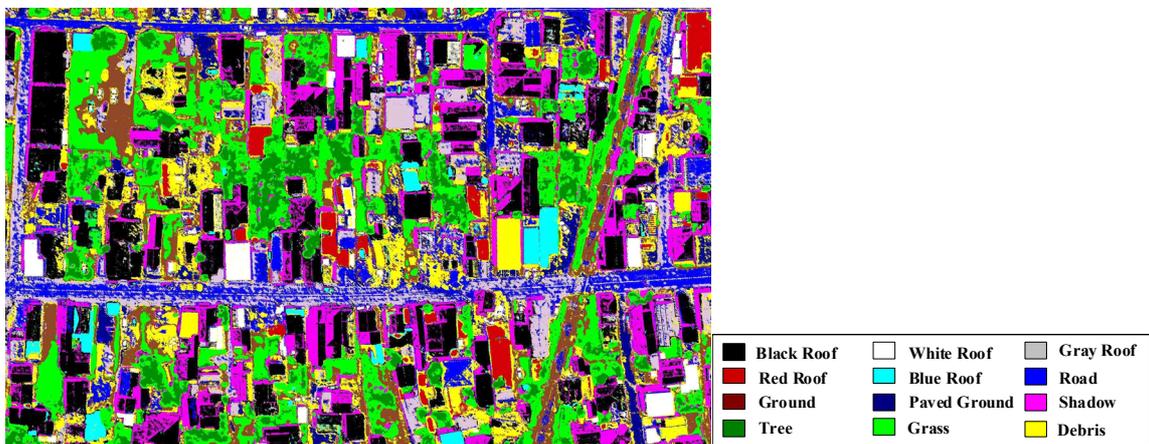


図6 ピクセルベースの教師付き分類結果

ため鮮明な画像を提供できる点があげられる。図2に示すように、デジタル航空画像とアナログ航空写真（共に地震後画像）のエッジ（輪郭線）を比較すると、鮮明な画像であるデジタル航空画像の方が明瞭なエッジ情報を提供可能であることがわかる。また、デジタル航空画像は、可視領域の波長帯（R, G, B）に加えて、近赤外バンド（NIR）を有している。そのため、植生の抽出が容易に行えるという利点がある。式(1)で表される正規化植生指数（NDVI）¹⁶⁾は、植物の持つ葉緑素が赤の波長帯を吸収して、近赤外の波長帯を反射するという特性を利用したものであり、葉緑素が多く活発な植物であるほど高い値を示す。

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

図3に、地震前、地震後のデジタル航空画像のNDVIを比較する。画像内で比較すると植生部分のNDVIが高くなっていることが確認でき、近赤外バンドの使用は植生部分の抽出に役立つことが分かる。一方、画像間のNDVIを比較すると、2007年4月と7月で同位置の植生部のNDVIに違いがみられる。植生が活発に活動していると考えられる2007年7月の方がNDVIが大きい。したがって、NDVIを撮影時期の異なる画像間で比較する際などには、季節による植生の活性度を考慮する必要があると考えられる。

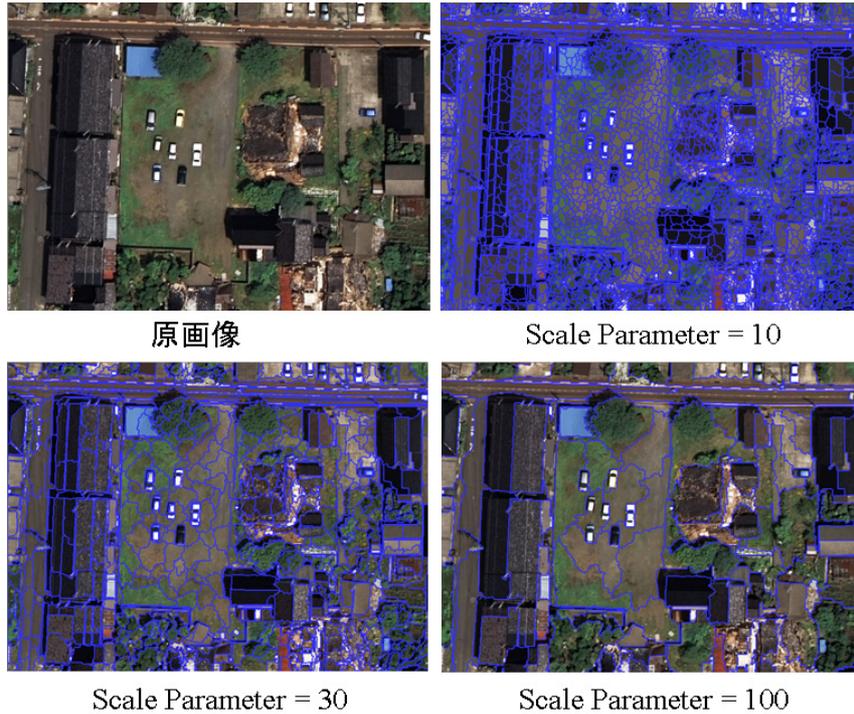


図7 セグメンテーションにおけるスケールパラメータの影響

3. ピクセルベースとオブジェクトベースの教師付き分類結果の比較

前章の検討で明らかとなったように、デジタル航空画像の方がアナログ航空写真よりも明瞭な画像が得られるなどの利点も多く、今後の更なる利用が期待されるので、本研究ではデジタル航空画像を用いた建物被害把握について検討を行う。より詳細にデジタル航空画像の基礎的性質を把握するため、デジタル航空画像の教師付き分類をピクセルベースとオブジェクトベースで行い、両結果を比較する。オブジェクトベースの教師付き分類は、Definiens Professional 5を使用した。まず、図4のように、トレーニングデータとして対象地域の画像に含まれるものを12種類選定し、ピクセルベースの教師付き分類を行う。トレーニングデータは、無被害の建物の屋根をその色別に5種類 (Black, White, Gray, Red, Blue Roof)、地表面をアスファルト舗装 (Road) とコンクリート舗装 (Paved Ground)、裸地 (Ground) の3種類、植生領域を高木 (Tree) と草地 (Grass) の2種類、建物等の陰影部 (Shadow) と抽出すべき瓦礫 (Debris) となっている。トレーニングデータは、画像中からそれぞれ複数箇所選定した。その代表的な選定箇所を図4に示す。分類の判断基準となるデータは4バンド (R, G, B, NIR) の輝度値を用いた。図5に、トレーニングデータの4バンドの平均輝度値を示す。

ピクセルベースの教師付き分類では、分類手法として最尤法 (Maximum Likelihood) を用いた。最尤法は、最も一般に用いられる分類手法の1つで、各クラスに対するピクセルの尤度 (likelihood) を求め、尤度が最大となるクラスにそのピクセルを分類する方法である²⁰⁾。図6に、ピクセルベースの教師付き分類結果を示す。画像全体にノイズが発生していることが確認される。使用したデジタル航空画像の地上解像度が約12cmと高いことが一つの原因であると考えられる。

次に、オブジェクトベースで教師付き分類を行う。オブジェクト分類では、空間的に隣接する比較的均質なピクセルのまとまりを単位に、トレーニングデータの取得や分類ルールを設定して画像解析を行う²¹⁾。このため、ピクセル分類では周辺ピクセルとの関係が考慮されないためノイズが生じやすいが、オブジェクト分類ではとくに微小領域におけるノイズの発生が回避できるものと考えられる。ピクセルをオブジェクトへ結合 (セグメンテーション) する際の特徴量は、 h_{color} , h_{cmp} , h_{smooth} であり、オブジェクト1とオブジェクト2の結合を判定する場合を考えると以下のように表される²²⁾。

$$h_{color} = \sum_c w_c (n_{merge} \cdot \sigma_c^{merge} - (n_{obj1} \cdot \sigma_c^{obj1} + n_{obj2} \cdot \sigma_c^{obj2})) \quad (2)$$



図8 セグメンテーション後のトレーニングデータの選定

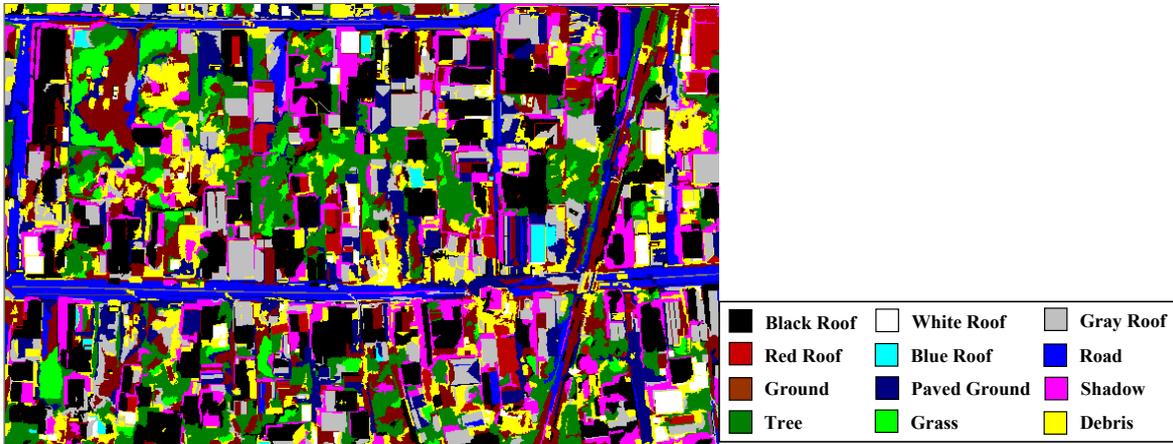


図9 オブジェクトベースによる教師付き分類結果

$$h_{cmp} = n_{merge} \cdot \frac{l_{merge}}{\sqrt{n_{merge}}} - \left(n_{obj1} \cdot \frac{l_{obj1}}{\sqrt{n_{obj1}}} + n_{obj2} \cdot \frac{l_{obj2}}{\sqrt{n_{obj2}}} \right) \quad (3)$$

$$h_{smooth} = n_{merge} \cdot \frac{l_{merge}}{b_{merge}} - \left(n_{obj1} \cdot \frac{l_{obj1}}{b_{obj1}} + n_{obj2} \cdot \frac{l_{obj2}}{b_{obj2}} \right) \quad (4)$$

h_{color} は、各バンドの輝度値の標準偏差 σ_c にバンドごとの重み w_c とオブジェクトのピクセル数 n を乗じ、総和をとったものである。 h_{cmp} はオブジェクトの周長 l とピクセル数 n の平方根の比、 h_{smooth} は l とオブジェクトに外接する長方形の周長 b の比である。添え字 *merge* はオブジェクト結合後、*obj1*、*obj2* は結合前のオブジェクトに対応する。オブジェクトの形状に関する特徴量である h_{cmp} と h_{smooth} を式(5)のように重み w_1 で線形結合し、さらに色情報に関する特徴量である h_{color} と重み w で線形結合され、最終的な結合値 f は式(6)のように算出される。

$$h_{shape} = w_1 h_{cmp} + (1 - w_1) h_{smooth} \quad (5)$$

$$f = w h_{color} + (1 - w) h_{shape} \quad (6)$$

得られた結合値 f をもとに、以下の条件を満たす場合にはオブジェクト1とオブジェクト2が結合される。

$$f \leq SP^2 \quad (7)$$

ここで、 SP はスケールパラメータと呼ばれ、オブジェクトの大小に関する定数である。図7に、スケ

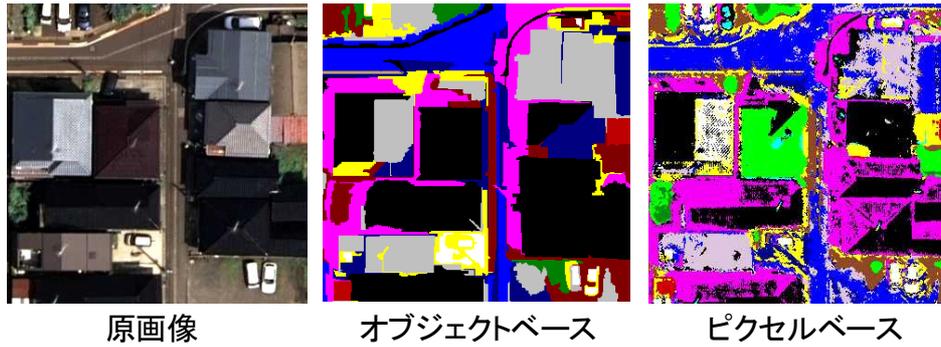


図 10 オブジェクトベースとピクセルベースの分類結果の比較



図 11 建物被害の自動抽出に向けたトレーニングデータの設定

ールパラメータを 10, 30, 100 としたときのセグメンテーションの結果を示す. なお, $w_c=1.0$ (各バンドの重みはなし), $w_1=0.5$, $w=0.5$ としてセグメンテーションを行っている. スケールパラメータを 30 とすると, 屋根や車は数個のオブジェクトから構成されるようになる. スケールパラメータの大小によりオブジェクトの大きさが決まるが, 対象とする地物と地上解像度の両方を考慮して決定する必要がある. ここでは, オブジェクトのサイズとしては自動車 1 台が一つのオブジェクトに分割されることを理想として, スケールパラメータを 40 とすることとした. 地上解像度が定まった場合, 抽出する地物ごとに対して適切なスケールパラメータが存在するものと考えられ, より精度良く対象地物を捉えるためのスケールパラメータを設定することは今後の課題として考えている.

図 8 に示すように, セグメンテーション後にトレーニングデータを設定し, オブジェクトベースの教師付き分類を行った. セグメンテーションにおける各種重みは, $w_c=1.0$ (4 バンドの重みはなし), $w=0.5$, $w_1=0$ とした. $w_1=0$ と設定した理由は, パラメータスタディの結果, w_1 を小さく設定することで瓦礫などの複雑な形状のものを正確に捉えることができることが確認できたためである. なお, トレーニングデータは前述のピクセルベースでの教師付き分類のときとほぼ同等の位置で選定している. 図 9 に, オブジェクトベースの教師付き分類結果を示す. 分類方法は, 特徴ベクトルに 4 バンドの輝度値の平均値, 標準偏差, オブジェクトの周長 l , 式(8)で表される形状指数 (I_{shape}) を採用した最短距離法とした.

$$I_{shape} = l/4\sqrt{A} \quad (8)$$

ここで, A はオブジェクトの面積を表す. ピクセルベースのときに発生していたノイズが発生していないことが概観できる. 図 10 に, 画像の一部について, ピクセルベースとオブジェクトベースの分類結果を比較する. オブジェクトベースの方が, ピクセルベースの分類結果と比べて, 建物や道路の形状を正確に特定している. これには分類方法の違いの他に, デジタル航空画像の地上解像度が高く, さらに 12 ビットで画像情報が取得され鮮明でありエッジ情報が明瞭に取得できることも多分に影響しているものと考えられる. しかしながら, 単純な教師付き分類では誤分類も多く見られる. そこで, 次章では各トレーニングデータの特徴を詳細に分析し, オブジェクトベースで建物被害の自動判読を試みる.

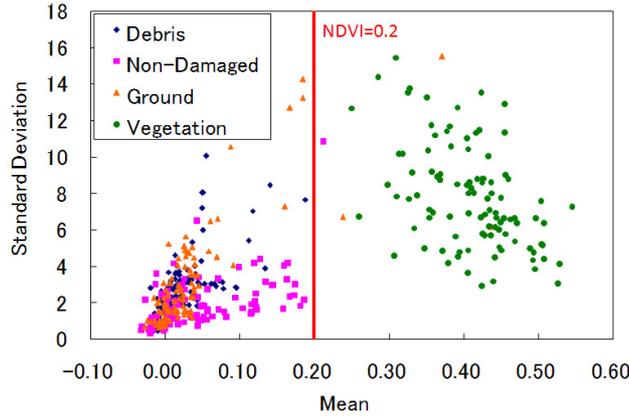


図 12 トレーニングデータの NDVI の平均値と標準偏差

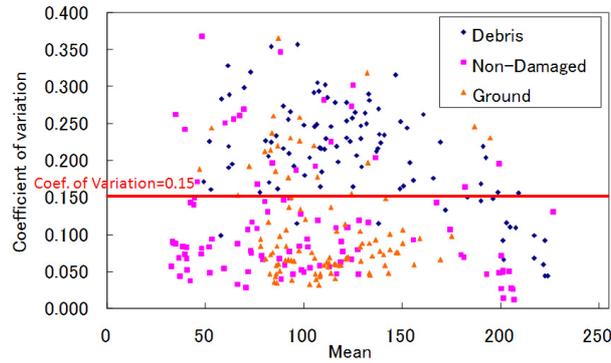


図 13 事後画像の輝度値の平均値と変動係数の関係

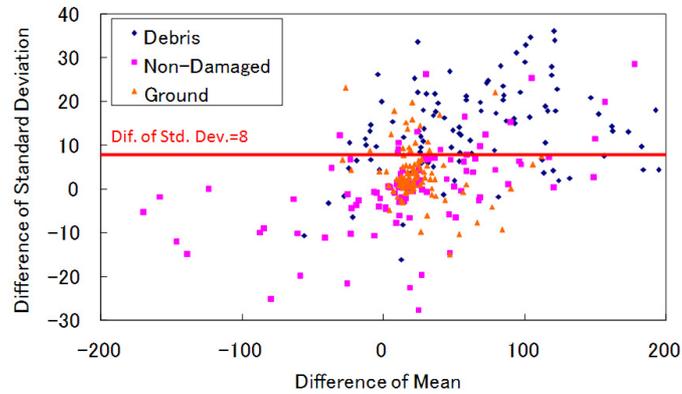


図 14 地震前画像と地震後画像の平均値の差分と標準偏差の差分の関係（地震後—地震前）

4. オブジェクトベースの建物被害の自動抽出

前章のオブジェクトベースの教師付き分類では、4バンド画像の輝度値とオブジェクトの形状に関する特徴ベクトルの最短距離法を用いて分類を行っている。しかしながら、本研究で対象としている地物の色情報は様々であり、色情報を分類の指標に用いる限りはトレーニングデータが多数必要となる。そこで、色情報は使用せず明度画像（パンクロマティック画像）を用いることとする。これによって、例えば、屋根のトレーニングデータを色別に設定する必要がなくなる。色情報を使用しない代わりに、本研究では近赤外バンドを教師付き分類に利用し、植生の抽出精度を高めることを考える。式(1)の

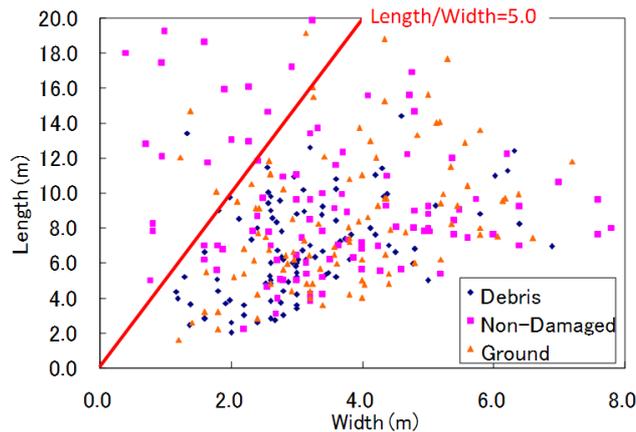


図 15 オブジェクトの長手方向と短辺方向の長さの関係

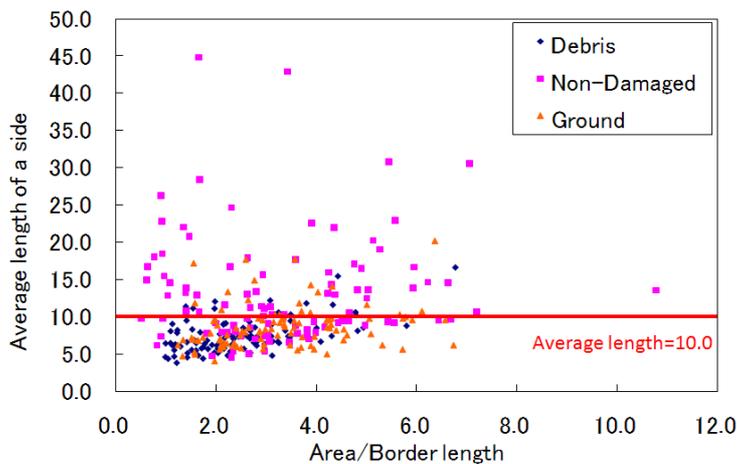


図 16 オブジェクトの面積と周長の比と一辺あたりの平均長の関係

NDVI を 8 ビット (0-255) に変換した画像も建物被害の自動抽出に用いることとする。

新潟県柏崎市は、地震発生前の 2007 年 4 月にデジタル航空画像が撮影されている。事前画像を効果的に利用することで、建物被害の抽出精度が高まることが期待される。そこで、地震前と地震後の明度画像、地震後画像から算出した NDVI 画像を組み合わせた 3 バンド画像を用いて建物被害の自動抽出に関する検討を行う。なお、両画像は簡易オルソ化を施し地震前画像と地震後画像の位置合わせを行った。また、3 バンド画像を作成するには、地震前画像と地震後画像の地上解像度を一致させる必要があるため、ここでは地上解像度はともに 20cm とした。

セグメンテーションにおけるスケールパラメータは自動車 1 台が一つのオブジェクトに分割されるのを理想として、地上解像度を勘案し 20 とした。その後、図 11 に示すようなトレーニングデータを設定した。図 11 はカラー画像を示しているが、実際には明度画像を使用しているため屋根のトレーニングデータは図 7 と異なり色別に設定しておらず、陰影については今回は考慮しないこととした。各トレーニングデータの特徴量を系統的に把握するため、それぞれの分類で 100 個のオブジェクトをトレーニングデータとして選定した。

トレーニングデータのオブジェクトを分析し、各分類の特徴量を明らかにして瓦礫の自動抽出を目指す。図 12 に、各トレーニングデータのオブジェクトにおける NDVI の平均値と標準偏差を示す。NDVI は植生の抽出に効果があり、植生部とその他のトレーニングデータで NDVI の平均値に大きな違いが見られる。NDVI の平均値の閾値を 0.2 以下とすることで、画像中の植生部を除去することが可能と考えられる。図 13 に、各トレーニングデータの事後画像の輝度値の平均値と変動係数 (標準偏差/平均値) の関係を示す。瓦礫には木材や塗装された壁面、屋根瓦といった様々なものが含まれているため、一般的に瓦礫のオブジェクトは様々な輝度値をもったピクセルから構成される。そのため、無被害屋根



(a) オブジェクトの特徴量をもとにした抽出結果



(b) 微小オブジェクト除去後



(c) 目視判読結果



(d) 的中箇所

図 17 オブジェクトベースの建物被害自動抽出結果と目視判読結果の比較

や地面に比べて変動係数が大きくなる傾向にあることから、瓦礫のトレーニングデータに関しては一部を除いて 0.15 よりも大きくなっている。

図 14 はトレーニングデータにおける地震前画像と地震後画像の平均値と標準偏差の差分（地震後—地震前）である。地震の影響で瓦礫化した建物のオブジェクトは、輝度値の標準偏差が大きくなる。したがって、地震後画像の標準偏差と地震前画像の標準偏差の差分は、瓦礫と分類されるオブジェク

トのものが他分類のオブジェクトよりも大きい。図 14 に示すように、差分が 8 以上のオブジェクトが瓦礫であると仮定すると、地表面、無被害屋根と分類されるほとんどのオブジェクトを除外することができる。

次にトレーニングデータのオブジェクト形状に着目する。図 15 に、オブジェクトの長手方向の長さ (Length) と短辺長 (Width) の関係を示す。無被害建物のオブジェクトには、長手方向と短辺方向の長さの比が大きなオブジェクトが含まれている。図 15 のように、Length/Width が 5.0 以上の範囲に限れば、無被害家屋のオブジェクトの一部を除外することができる。図 16 は、オブジェクトの面積を周長で除したものとオブジェクトの一边あたりの平均長さの関係である。オブジェクトの形状が複雑であれば、周長が長くなるので面積との比は小さな値を示すものと考えられる。瓦礫のオブジェクトは複雑な形状をしているため小さな値を示している。また、オブジェクトの一边あたりの平均長は、無被害屋根オブジェクトの多くが長くなっていることが分かる。例えば平均長が 10.0 以上を対象とすると、無被害屋根オブジェクトがほとんどを占めている。

図 12-図 16 に示したオブジェクトの特徴量と閾値をもとに、瓦礫以外に分類されるオブジェクトを除外していき、最終的に残ったオブジェクトを地震によって倒壊した建物の瓦礫と判断することとする。図 17 にオブジェクトベースの解析により抽出された瓦礫と目視判読の結果を比較する。図 17 (a) は、オブジェクトベースの教師付き分類を実施した後に、図 12-図 16 の各閾値で瓦礫と推定されるオブジェクトを絞り込んだ結果である。植生部に誤抽出はないが、道路や無被害屋根、一部の車などにピクセルベースによる結果ほどではないものの微小なオブジェクトが瓦礫と誤抽出されている。そこで、オブジェクトの面積による閾値を導入し、微小なオブジェクトを除去することとした。瓦礫と推定されたオブジェクトが隣接する場合は再結合を行い、1 つのオブジェクトを構成するピクセル数が 800 (32m²) 以下のものは微小なオブジェクトとして抽出結果から除外した。なお、この閾値は、パラメータスタディを行った結果、今回のデータで最も適していると判断したもので (図 17(b))、本研究の解析結果では確認できなかったが、場合によってはもともと孤立していた微小瓦礫領域も除去されてしまうことが予想され、今後はある程度普遍性のある閾値を設定する必要がある。

目視判読結果 (図 17(c)) とオブジェクトベースの自動抽出結果を比較する。目視判読では、28 棟の建物被害が確認できた。建物被害が自動抽出できた箇所は目視判読結果と自動抽出結果が一致した部分 (図 17(d)) であるが、28 棟中 26 棟は少なくとも一部分は抽出することができた。今回の解析における誤抽出箇所としては、横断歩道を含む道路の一部区間や、住宅付近の駐車場などが挙げられる。

5. 結論

本研究では、2007 年新潟県中越沖地震前後に撮影されたデジタル航空画像を使用し、建物被害の自動抽出法の検討を行なった。デジタル航空画像は地上解像度が高く、ピクセルベースの解析手法では、周辺ピクセル間の関係性が考慮されないため、解析結果にノイズが生じやすい。そのため、本研究では、空間的に隣接する比較的均質なピクセルのまとまりを単位とするオブジェクトベースの解析により建物被害の自動抽出法の検討を行った。

地震前、地震後の明度画像と地震後画像から作成した NDVI 画像を用いて 3 バンド画像を作成し、建物被害の自動抽出法の検討を行った。トレーニングデータの分類には、瓦礫、無被害屋根、地表面、植生の 4 つを設定し、各トレーニングデータの輝度値の標準偏差やオブジェクトの形状などの特徴量を分析した。分析された結果をもとに各種の閾値を設定して建物被害を推定したところ、28 棟中 26 棟の建物被害を自動抽出することができた。

本研究の手法で設定した各閾値は、画像の解像度や抽出対象の家屋の大きさなどにより様々に変化するものと考えられる。汎用的な閾値を定めるためには、画像解像度を変化させてパラメータスタディを行うなど更なる検討が必要である。

謝 辞

本研究で使用したデジタル航空画像は柏崎市 (地震前) とアジア航測 (株) (地震後) から提供頂いた。記して謝辞を表す。

参考文献

1) 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, pp. 177-185, 2001.
- 2) Saito, K., Spence, R., Going, C. and Markus, M.: Using High-Resolution Satellite Images for Post-Earthquake Building Damage Assessment: A Study Following the 26 January 2001 Gujarat Earthquake, *Earthquake Spectra*, Vol. 20, No. 1, pp. 145-169, 2004.
 - 3) Yamazaki, F., Yano, Y. and 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, pp. S329-S336, 2005.
 - 4) 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 号, 第 5 巻, pp.1-14, 2007.
 - 5) Kouchi, K. and Yamazaki, F.: Characteristics of Tsunami-Affected Areas in Moderate-Resolution Satellite Images, *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, Vol. 45, No. 6, pp.1650-1657, 2007.
 - 6) 越村俊一: 巨大津波災害の広域被害評価, 第四紀研究, Vol. 46, No. 6, pp. 499-508, 2007.
 - 7) 国土地理院: 国土変遷アーカイブ, <http://archive.gsi.go.jp/airphoto/index.html>
 - 8) 上野鉄男: 余笹川流域の 1998 年水害の発生構造について, 自然災害科学, Vol. 24, No. 3, pp. 303-321, 2005.
 - 9) 山岸宏光, 斉藤正弥, 岩橋純子: 新潟県出雲崎地域における豪雨による斜面崩壊の特徴 -GIS による 2004 年 7 月豪雨崩壊と過去の崩壊の比較-, 日本地すべり学会誌, Vol. 45, No. 1, pp.57-63, 2008.
 - 10) 安田聡, 須藤茂, 遠藤秀典: 空中写真を用いた雲仙・普賢岳周辺の火山活動に伴う地形変動の計測, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 11, No. 3, pp. 61-64, 1991.
 - 11) 小川直樹, 山崎文雄: 航空写真を用いた兵庫県南部地震における建物被害の目視判読, 地域安全学会論文集, Vol.2, pp.119-128, 2000.
 - 12) 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, pp. 413-425, 2002.
 - 13) Hinz, A.: The Z/I digital aerial camera system, *Proceedings of the 47th Photogrammetric Week 1999*, pp. 109-115, 1999.
 - 14) Leberl, F. and Gruber, M.: ULTRACAM-D: Understanding some Noteworthy Capabilities, *Proceedings of the 53th Photogrammetric Week 05*, pp. 57-68, 2005.
 - 15) 津留宏介: 小特集 デジタル航空カメラの最前線 第 1 章デジタル航空カメラ, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 44, No. 5, pp. 37-44, 2005.
 - 16) Nemani, R.R. and Running, S.W.: Estimation of Regional Surface Resistance to Evapotranspiration from NDVI and Thermal-IR AVHRR Data, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 28, No. 4, pp. 276-284, 1989.
 - 17) 新潟県: 平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震関連情報, <http://www.pref.niigata.lg.jp/bosai/0716jishin.html>
 - 18) (株)パスコ: 平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震 災害状況, http://www.pasco.co.jp/disaster_info/200707_chuetsu/status1.html
 - 19) 国際航業(株): 【速報】平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震, http://www.kkc.co.jp/social/disaster/200707_nigata/index.html
 - 20) 高木幹雄, 下田陽久: 新編 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, 2004.
 - 21) 鎌形哲稔, 原慶太郎, 森大, 赤松幸生, 李雲慶, 星野義延: 高分解能衛星データのオブジェクト指向分類による 植生図作成手法の提案, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 45, No. 1, pp. 43-49, 2006.
 - 22) Baatz, M., Benz, U., Dehghani, S., Heynen, M., Holtje, A., Hofmann, P. and Lingenfelder, I.: e-Cognition Professional Users Guide 4, 2004.

(受理: 2009年6月25日)
(掲載決定: 2010年1月21日)

Damage Detection of Wooden Houses after the Niigata-ken Chuetsu-oki Earthquake using Digital Aerial Images

SUZUKI Daisuke ¹⁾, MARUYAMA Yoshihisa ²⁾ and YAMAZAKI Fumio ²⁾

1) Non-Member, Yuraku Real Estate Co., Ltd. (Former Graduate Student, Chiba University)

2) Member, Department of Urban Environment Systems, Chiba University

ABSTRACT

Remote sensing technology is effective to grasp the damage distributions from various natural disasters, such as earthquakes, tsunamis and volcanic eruptions. After the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki earthquake, aerial images were taken in the stricken area by several air survey companies. Airborne remote sensing is more suitable to collect detailed damage distribution because it provides higher resolution images than satellite remote sensing does. The pre- and post-event images taken by a digital aerial camera are employed in this study to detect building damages. Since visual damage inspection takes time to perform for the whole areas that are subjected to severe ground motion, an object-based technique is proposed to extract debris from buildings. The proposed method is expected to contribute for the damage assessment at an early stage after the occurrence of an earthquake.

Key Words: Remote Sensing, Digital Aerial Image, The 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki Earthquake, Building Damage, Object-based Classification