

# 建物被害自動抽出手法のトルコ地震 空撮ビデオ画像への適用と考察

三富 創<sup>1</sup>・吉田 望<sup>2</sup>・山崎 文雄<sup>3</sup>・松岡 昌志<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター (〒673-0433 三木市福井三木山 2465-1)

<sup>2</sup> 工博 佐藤工業株式会社 中央技術研究所 (〒103-8639 東京都中央区日本橋本町 4-12-20)

<sup>3</sup> 工博 防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター (〒673-0433 三木市福井三木山 2465-1)

1999年8月17日に発生したトルコ・コジャエリ地震の被災調査のため、地盤工学会はヘリコプターからデジタルビデオカメラによって被害の様子を撮影した。本研究ではこの空撮ビデオ映像の静止画像を用いて建物被害地域の自動抽出を試みた。建物被害地域を抽出するために色相、彩度、明度の色彩画像3種類、エッジ強度、エッジ強度の分散、エッジ方向の最頻度のエッジ要素画像3種類を作成し、教師つき分類であるマルチレベルスライス法と最尤分類法を適用した。この画像を用いた結果は実際の建物被害分布と概ね一致するものの、これと同じ閾値、同じ教師データを他地域に適用した場合、よい結果が得られない場合があることがわかった。

**Key Words :** *the 1999 Kocaeli (Turkey) Earthquake, automated detection, building damage, multi-level slice method, maximum likelihood classifier*

## 1. はじめに

大規模地震災害の発生直後に被災地の状況を迅速かつ的確に収集する技術として、ヘリコプターなどのように上空から取得できる画像の高度利用が期待されている<sup>1)</sup>。人工衛星画像においても航空写真に匹敵する分解能を有する高分解能衛星IKONOS<sup>2)</sup>の画像供用が1999年末から開始されたことをはじめ、2003年には国産の高分解能衛星であるALOSの打ち上げが予定されていることから、高分解能衛星シミュレーション画像を用いた地震被害検出のための研究<sup>3)</sup>が行われている。このような背景のもと著者らはヘリコプターや航空機から得られる空撮映像や航空写真を用いた建物被害の自動抽出に関する研究を行っている<sup>4)-6)</sup>。具体的には建物被害を色彩情報とエッジ情報で特徴づけたマルチレベルスライス手法および最尤分類法による被害建物の自動抽出を提案し、推定被害分布が実際の建物被害と概ね一致する結果を得た。

1999年8月17日、トルコ西部でトルコ・コジャエリ地震が発生した。(社)地盤工学会は地震発生から2~3週間後に被災地の調査を実施した<sup>7)</sup>。その際、デジタルビデオカメラを用いてヘリコプ

ターから被災地の状況を撮影した。本研究では建物の被害が著しかったギョルジュクおよびアダバザールの画像に対してマルチレベルスライス法と最尤分類法による建物被害の自動抽出を試み、手法の汎用性と課題について考察した。

## 2. ギョルジュクの空撮画像を用いた建物被害の自動抽出

### (1) マルチレベルスライス法

色相、彩度、明度、エッジ強度、エッジ強度の分散、エッジ方向の最頻度の6指標について建物倒壊地域に特徴的な画素値の範囲を調べ、それを被害建物抽出の閾値とする<sup>4)</sup>。そのため図-1に示すようにギョルジュクの空撮画像から建物倒壊地域を含む画像対象物を教師データとして選択した。教師データは倒壊建物(C1, C2)、無被害建物(N1, N2, N3)、道路(R1)から選んだ。倒壊建物の閾値は、各指標画像に対する各教師データの累積相対頻度分布から建物倒壊地域に特徴的な画素値の範囲とした。色相に関しては同じ倒壊建物でもC1とC2とでは特徴的な値の範囲が明瞭に異なり、C1は約125度(赤みの橙)、C2は約295度(緑青)

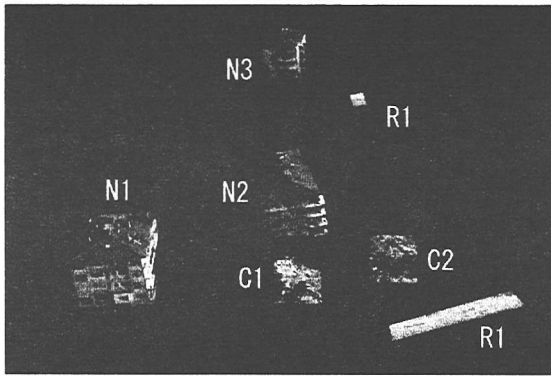


図-1 ギョルジュク空撮画像から設定したマルチレベルスライス法の教師データ



図-2 ギョルジュク画像の閾値を用いたマルチレベルスライス法による推定建物被害分布

表-1 マルチレベルスライス法で用いた閾値

指標	閾値
1 色相中間値 (0-360度)	105 - 208 270 - 323
2 彩度中間値 (0-255)	13 - 73
3 明度中間値 (0-255)	57 - 153
4 エッジ強度 (0-255)	4 - 60
5 エッジ強度の分散 (0-255)	0 - 16
6 エッジ方向の最頻度 (0-255)	8 - 113

に鋭い傾きをもつ。したがって色相の閾値は2区間設定することとした。設定した閾値を表-1に示す。被害建物を構成する画素は全ての閾値条件を満たすものとした。表-1の順で閾値条件を組み合わせると画素を抽出したとき、各教師データ領域に対する抽出画素の割合(画素抽出率)がどのように変化するかを調べた。すると無被害建物は彩度、道路は明度の閾値条件を加えると画素抽出率が大きく下がり倒壊建物との識別が明瞭になる。全ての閾値を組み合わせた後の画素抽出率は倒壊建物のC1とC2でそれぞれ36.4%と45.5%、道路は0.4%であった。無被害建物は13.9%となり、用いた6指標の閾値では道路のようなきわめて小さい画素抽出率とはならなかった。これは、画素抽出の際、無被害建物の外壁が倒壊建物C2と類似した特徴を有することに起因するものである。次に建物被害分布を画素レベルではなく建物1棟レベルで表現するため、全ての閾値を満たす画素の抽出結果を用いて建物1棟サイズのある大きさのウィンドウで近似したテクスチャ解析を行った。ここでは既往の研究<sup>6)</sup>にならいうィンドウ内に含まれる抽出画素の割合( $R_{px}$ )が最大値の3分の1以上となる場合を建物被害とみなした。なお、建物1棟のウィンドウサイズはカメラから遠方の画像上部で57x57画素、カメラから近傍の画像下部で83x83

画素とし、この間はウィンドウサイズを線形的に変化させた。またギョルジュクの画像における $R_{px}$ の最大値が約48%であったことから、その3分の1にあたる $R_{px}$ 16%以上を被害建物の閾値とした。テクスチャ解析の結果を図-2に示す。倒壊建物C2の影響で建物外壁に誤抽出が認められるものの瓦礫のほとんどは抽出できていることから、概ね実被害分布と対応しているようにみえる結果を得た。

## (2) 最尤分類法

既往の研究<sup>5)</sup>にならいうィ色相、彩度、明度、エッジ強度、エッジ強度の分散、エッジ方向の最頻度の特徴画像を用いて主成分分析を行い、全ての主成分画像を用いて最尤分類法<sup>8)</sup>を適用した。用いた教師データを表-2に示す。教師データは分類クラスあたり10x10画素の領域5個(500画素)を適当に選んだ。マルチレベルスライス法において倒壊建物に設定した教師データC1、C2に対応する分類クラスc1、c2の画素分類結果を統合し、これをもとにマルチレベルスライス法と同じ条件でテクスチャ解析を施した結果を図-3に示す。なおこのとき用いた閾値は $R_{px}$ の最大値が約60%であったことから $R_{px}$ 20%以上とした。瓦礫とともに窓枠やベランダ付属の建物外壁も推定被害地域に含まれてしまうが、例えば $R_{px}$ 40%以上のようにウィンドウ内でより多くの画素が抽出されている地域にはほとんど含まれなくなる。表-2には各教師データの何%の画素が正確に抽出されたかを表す分類の中率もあわせて示す。分類の中率はマルチレベルスライス法の教師データC1に対応する倒壊建物c1で78.2%、教師データC2に対応する倒壊建物c2で92.8%と高い。ところが窓枠・ベランダc4の分類の中率は48.6%と低い。これは窓枠・ベランダを代表する教師データのうち34.8%

表-2 教師データと分類精度

分類クラス	的中率
ギョルジュク (%)	
c1 建物瓦礫・茶系色・日向	78.2
c2 建物瓦礫・灰色色・日向	92.8
c3 建物外壁・付属物なし・日向	92.8
c4 建物外壁・付属物あり・日向	48.6
c5 建物外壁・日陰	63.0
c6 建物屋根・日向	96.6
c7 建物屋根・日陰	90.0
c8 道路・日向	91.0
c9 道路・日陰	90.6
c10 水部	95.2
アダパザール (%)	
c1 建物瓦礫・茶系色・日向	99.2
c2 建物瓦礫・灰色色・日向	97.8
c3 建物瓦礫・日陰	96.4
c4 建物外壁・付属物なし・日向	95.8
c5 建物外壁・付属物あり・日向	96.0
c6 建物外壁・日陰	85.2
c7 建物屋根・付属物なし・日向	100.0
c8 建物屋根・付属物あり・日向	100.0
c9 建物屋根・茶系色・日向	100.0
c10 植生・日向	97.8
c11 植生・日陰	97.8

が最尤分類法により倒壊建物とみなされるためである。建物外壁の一部が誤抽出されるというこの傾向はマルチレベルスライス法適用の際にみられたものと同様である。

### 3. アダパザールの空撮画像への適用

兵庫県南部地震やインド西部地震の空撮被災画像を用いた研究<sup>4)6)</sup>では、マルチレベルスライス法の閾値は同じ地震災害の画像ならば教師データや閾値設定に用いた画像以外でも実際の被害を概ねとらえることができることを示した。本研究においてもこれを実証するためギョルジュク画像の閾値を用いてアダパザールの空撮画像にマルチレベルスライス法を適用した。その際テクスチャ解析のウィンドウサイズを画像上部の31x31画素から57x57画素まで線形的に変化させた。テクスチャ解析の閾値はギョルジュクの空撮画像のときと同様にRpx最大値の3分の1に相当する20%以上とした。結果を図-4に示す。これにより倒壊建物は概ね抽出できたが、それとともに無被害建物の屋根や外壁の一部が抽出された。Rpx40%以上に抽出画素の密度が大きい地域は、瓦礫に代表される建物倒壊地域よりもむしろ赤や茶の色相を有



図-3 ギョルジュク画像の教師データを用いた最尤分類法による推定建物被害分布。白曲線内はRpx40%以上の領域を表す



図-4 マルチレベルスライス法によるアダパザールの推定建物被害分布。白曲線内はRpx40%以上でテクスチャ解析を実施した結果

する建物屋根が該当した。つまりギョルジュクの画像から設定した閾値を用いて建物倒壊地域を抽出することは可能であるが、赤系色や茶系色の建物屋根などを誤って抽出する危険性をともなうことがわかった。

次にギョルジュクの教師データから得られた各分類クラスの統計量をもとにしてアダパザールの画像に最尤分類法を適用した。ギョルジュクの倒壊建物c1およびc2として分類された画素を用い、Rpx最大値の3分の1に相当する20%以上を閾値としてテクスチャ解析を施した。結果を図-5に示す。しかし倒壊建物として抽出される領域は実際の分布と比べて不十分であった。そこでアダパザールの画像から表-2に示す教師データをあらためて設定して倒壊建物を分類クラスに含む最尤分類を行った。教師データはギョルジュクの画像に最尤分類法を適用した場合と同じく各分類に対し10x10画素領域5つの500画素を選んだ。アダパザールの画像からは同じ瓦礫域の中で茶系色c1、灰色色c2、日陰c3の3通りを設定した。倒壊建



図-5 最尤分類法によるアダバザールの推定建物被害分布。教師データはギョルジュクの空撮画像から設定したものを使用



図-6 最尤分類法によるアダバザールの推定建物被害分布。教師データはアダバザールの空撮画像から設定したものを使用

物を代表するこれらの教師データは、c1の無彩色的傾向が強いこと、c2の明度がやや大きめであること、およびc3の彩度がやや大きいことが特徴的である。倒壊建物を表すc1, c2, c3の画素分類結果を統合し、図-5を求めたときと同じ条件でテクスチャ解析を施した。結果を図-6に示す。マルチレベルスライス法を適用した図-4と比べて建物屋根の誤抽出は少なくなり、ほぼ同程度の瓦礫域を抽出することができた。表-2に示すこの場合の分類的中率は全ての教師データで85%以上であり、窓枠やベランダなどを含む誤抽出も少なくなった。これは、先に述べたように同じ瓦礫域でもギョルジュク画像とアダバザール画像では彩度や明度に僅かな違いがあることと、植生や道路のようにアダバザール画像では存在するがギョルジュク画像では存在しない画像対象物があることなどが原因であると考えられる。本研究においてもインド西部地震の場合<sup>6)</sup>と同じように、最尤分類法を用いる場合は画像ごとに教師データを変えた方がよいことがわかった。

#### 4. まとめと今後の課題

1999年トルコ・コジャエリ地震の2~3週間後、ギョルジュクとアダバザールの被災状況を撮影した空撮画像を用いて、色彩情報とエッジ情報の計6指標を組み合わせたマルチレベルスライス法と最尤分類法による建物被害地域の自動抽出を試みた。いずれの方法でもギョルジュクとアダバザールの各画像から教師データや閾値を決めた場合、瓦礫と類似する建物外壁の誤抽出を含みつつも建物被害地域は概ね抽出される結果を得た。一方、ギョルジュクの画像で決めた教師データの情報をアダバザールの画像に適用した場合は建物被害地

域を十分に抽出することができなかった。その理由として、本研究で用いた6指標において瓦礫域に代表される建物倒壊地域と窓枠・ベランダを含む建物外壁の画像上の特徴が類似すること、それぞれの画像で倒壊建物の特徴が若干異なること、一方の画像に存在しても他方には存在しない画像対象物があること等が考えられる。今後、建物被害地域の自動抽出手法を高度化させるためには、今まで用いてきた6指標の効果を検証するとともに、必要があれば倒壊建物とそれ以外の画像対象物を識別するより効果的な指標を検討・導入することも視野に入れ研究を進める予定である。

#### 参考文献

- 1) 自治省消防庁防災情報室：緊急支援情報システムの構築について、近代消防，vol.474，2000。
- 2) 日本スペースイメージングホームページ：  
<http://www.spaceimaging.co.jp/>
- 3) 根本正美，安藤恵美，柴田健一，今井靖晃：ALOSシミュレーション画像の判読による地震災害状況の把握，日本写真測量学会秋季学術講演会，2000。
- 4) 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，2001(投稿中)。
- 5) Mitomi, H., Yamazaki, F. and Matsuoka, M.: Development of automated extraction method for building damage area based on maximum likelihood classifier, *The 8th Conference on Structural Safety and Reliability*, 2001.
- 6) 三富 創，齋田 淳，松岡昌志，山崎文雄：インド西部地震の空撮ビデオ画像を用いた建物被害地域の自動抽出，第26回地震工学研究発表会，2001。
- 7) 地盤工学会：1999年トルコ・コジャエリ地震第1次調査速報，1999。
- 8) 高木幹雄，下田陽久：画像解析ハンドブック，東京大学出版会，1991。