

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

三富 創¹・齋田 淳¹・松岡 昌志²・山崎 文雄²

¹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)

²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)

2001年1月26日インド西部を震源とする地震が発生し、パキスタンとの国境に近いグジャラート州は甚大な被害を被った。地震防災フロンティア研究センターでは2月10日から15日まで先遣隊を派遣し被災調査を実施した。その間、グジャラート州における主な都市の被災状況を小型飛行機からデジタルビデオカメラで撮影した。本研究ではこの空撮ビデオ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彩情報とエッジ情報で表される6種類の特徴画像を作成し、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。いずれの場合においても教師データを選択した画像からは実際の被害分布に近い良好な結果を得ることができた。

Key Words : *the 2001 Gujarat (India) Earthquake, automated detection, building damage, multi-level slice method, maximum likelihood classifier*

1. はじめに

航空機や人工衛星を利用したリモートセンシングは同一時刻の広範な情報を得ることができるため、従来の環境モニタリングだけでなく災害把握や緊急活動支援のための高度利用が期待されている¹⁾²⁾。特に地震災害の検出を目的として人工衛星画像³⁾や航空写真⁴⁾を用いた地震前後画像の比較による被害地域の推定が試みられている。著者らは地震発生後にヘリコプターや小型飛行機から撮影された空撮画像を用いて建物被害の自動抽出に関する研究を行っている。その中で色彩やエッジなどを用い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手法を提案し、この方法を1995年兵庫県南部地震、1999年台湾・集集地震、1999年トルコ・コジャエリ地震の空撮被災画像に適用した⁵⁾⁷⁾。推定被害地域は実際の被害分布と概ね対応する良好なものであった。

インド西部地震は2001年1月26日に発生した。地震後の被害調査⁸⁾の中で、被害状況の概査を目的に小型飛行機からデジタルビデオカメラを用いて被災映像を空撮した。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の自動抽出を試み、その結果と手法の有効性について検討した。

2. 被害自動抽出に用いる指標

本研究では被害建物を色彩とエッジにより特徴づける⁹⁾。一般にテレビジョン映像で映し出される表色系 RGB は完全に独立な成分でないことから、色彩情報は映像伝送方式の一種である NTSC 方式の輝度信号と色差信号を介して人間の感覚に近い顔色系 HSI に変換した⁹⁾。太陽光の影響を取り除くための比演算処理として、HSI 変換の前に輝度信号すなわち明度 I で RGB の各成分を除いた。なお色相、彩度、明度の値には既往の研究⁹⁾にもとづいて 7x7 ウィンドウにおける中間値を採用した。エッジには Prewitt の 3x3 テンプレート型エッジ検出オペレーター¹⁰⁾を 7x7 に拡張したエッジ強度と、エッジ領域と非エッジ領域のコントラストを表すエッジ強度の分散、および Prewitt 型フィルタで考慮されるエッジ方向において近接画素のエッジ方向が類似するか否か、つまりエッジ領域が方向性を有するか否かを表すエッジ方向の最頻度を用いた。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で表されるこれら 6 種類の特徴は 8 ビットの画像として表し、被害建物抽出のための特徴画像として用いた。

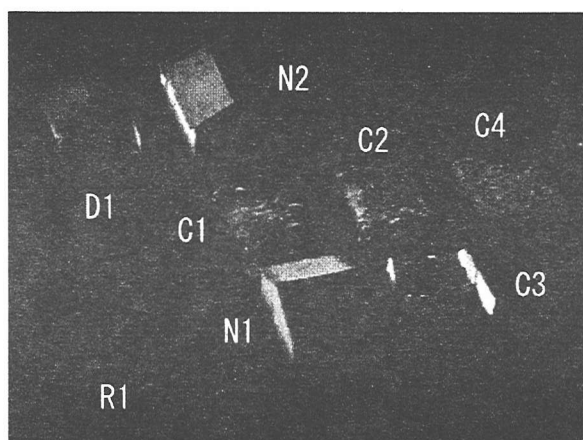


図-1 アンジャールの空撮画像から設定したマルチレベルスライス法の教師データ

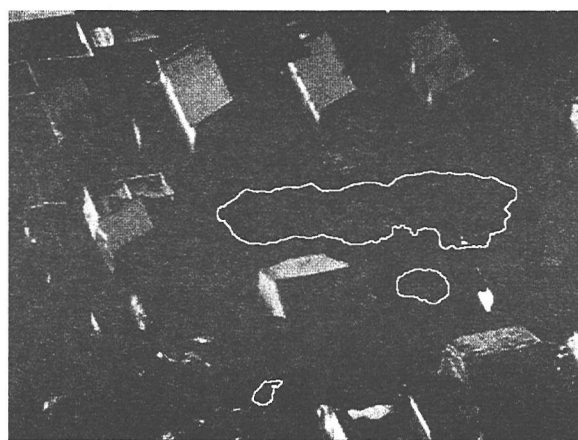


図-2 アンジャール画像の解析結果. 白曲線内は $R_{px}20\%$ 以上の領域を表す

表-1 マルチレベルスライス法で用いた閾値

指標	閾値
色相中間値 (0-360度)	85 - 225
彩度中間値 (0-255)	5 - 35
明度中間値 (0-255)	60 - 165
エッジ強度 (0-255)	20 - 70
エッジ強度の分散 (0-255)	3 - 20
エッジ方向の最頻度 (0-255)	5 - 140

3. マルチレベルスライス法

図-1 に示すようにアンジャールの空撮画像から倒壊建物 (C1, C2, C3, C4), 被害建物 (D1), 無被害建物 (N1, N2), その他・道路 (R1) の教師データを選んだ. 次に各特徴画像について各教師データの累積相対頻度分布を描き, 倒壊建物に特徴的な画素値の範囲を閾値とした. 各特徴画像において設定した閾値の範囲を表-1 に示す. 建物倒壊地域を表す画素はこれらの閾値を同時に満たすものとした. 閾値条件を表-1 の順で重ね合わせたとき, 各教師データの領域に被害とみなされた画素がどの程度含まれるかを表す画素抽出率の変化をみると, 被害建物の画素抽出率は色相の段階から低く倒壊建物と明確に区別することが可能となる. 無被害建物と道路は色相の段階では倒壊建物と類似した特徴を示すが, 彩度で無被害建物, エッジ強度で道路の画素抽出率が急激に低下することにより倒壊建物との識別が容易となる. これは倒壊建物が無彩色的であること, 細かい瓦礫によって比較的大きなエッジ強度を有していること, それに対して道路は非エッジ領域から構成されることなどに起因する. 全ての閾値条件を重ね合わせた結果, 最終的に抽出された画素の抽出率は倒

壊建物で 22.1%, 教師データ D1 で代表される被害建物は 3.0%, 無被害建物は 2.8%, その他・道路は 1.7%であった. 倒壊建物以外の画素抽出率がいずれも小さいため, 画素レベルでは建物倒壊を表す画素を選択的に抽出することが期待できる. この結果をもとにして次に建物被害を画素レベルではなく建物 1 棟レベルで表現することを考える. アンジャールの空撮画像においては建物 1 棟を 83x83 画素で近似した. 既往の研究⁵⁾⁶⁾ではこうしたテクスチャ解析に際し, どのような大きさのウィンドウでもその中に含まれる抽出画素の割合 (R_{px}) が 20%以上ならばその中心画素を建物被害とみなしていた. 本研究では画素抽出の程度に応じて R_{px} の閾値を決めた. 具体的にはアンジャールの空撮画像における R_{px} の最大値約 30%の 3分の1である 10%をテクスチャ解析の閾値とした. これは R_{px} における各教師データの累積相対頻度分布において倒壊建物の累積が $R_{px}10\%$ から急激な増加傾向を示すこと, 倒壊建物以外は $R_{px}10\%$ 以上ですでに累積 90%以上になることを考慮したことによる. 結果を $R_{px}20\%$ 以上のものとあわせて図-2 に示す. 新たに決めた条件では $R_{px}20\%$ 以上の場合よりも建物被害を忠実に抽出できた.

表-1 の閾値をバチャウにおける 2つの空撮画像に適用した. テクスチャ解析において建物 1 棟を一方の画像では 31x31 画素, 他方では 57x57 画素で近似して建物被害抽出を試みた. R_{px} の閾値はアンジャールの画像と同じように各画像における画素抽出の程度を考慮し R_{px} 最大値の 3分の1とした. 結果を図-3 に示す. いずれの場合も建物被害を概ね抽出することができた. 以上よりアンジャールの画像から決めた閾値は他の地域においても適用できることがわかった.



図-3 マルチレベルスライス法によるバチャウの2地区での建物被害自動抽出の結果。(a) 31x31画素のウィンドウでテクスチャ解析を実施した結果, (b) 57x57画素のウィンドウでテクスチャ解析を実施した結果

4. 最尤分類法

最尤分類法はリモートセンシングの分野において従来から土地被覆分類などで用いられている手法である¹⁰⁾。マルチレベルスライス法で用いた指標画像の中でもエッジ関連の画像では、同一色の屋根や建物外壁において近接画素の画素値変化がほとんどない。したがって場合によっては教師データのエッジ強度やその分散などが全てゼロになってしまう、最尤分類の計算に必要な分散・共分散行列の逆行列が存在しなくなってしまう。このような事態を防ぐため、最尤分類の前に6つの指標画像を用いて主成分分析を施した⁶⁾。本研究ではこの方法をマルチレベルスライス法で用いたアンジャールとバチャウの2つの空撮画像に適用した。教師データは分類クラスあたり10x10画素の領域5つ(500画素)を適当に選んだ。選択した教師データを表-2に示す。アンジャールでは同じ瓦礫でも日向と日陰、色合いから3つの分類クラスに分けた。なお主成分分析の結果をみると、これらの画像は色相、明度、エッジ方向の最頻度の3画像による寄与が大きく、第3主成分までの累積寄与率は80%を越える。逆にエッジ強度、彩度、エッジ強度の分散は画像全体にわたり小さい値をとる領域が多いため、主に寄与率の小さい主成分画像に影響を与えることがわかった。次にアンジャールとバチャウの空撮画像において、最尤分類法により各教師データの何%の画素が正確に抽出されたか(分類的中率)を表-2に示す。概ね80%から90%以上の画素が正確に分類されていることがわかる。アンジャールの道路(c8)において分類的中率が約40%となるのは画像左上の灰色の屋根(c7)に誤分類される影響が大きいことによる。

表-2 最尤分類法で用いた教師データと分類精度

分類クラス	的中率
アンジャール	
	(%)
c1 建物瓦礫・灰色系・日向	94.6
c2 建物瓦礫・茶系色・日向	93.8
c3 建物瓦礫・日陰	80.0
c4 建物外壁・日向	89.4
c5 建物外壁・日陰	90.8
c6 建物屋根・赤系色・日向	99.6
c7 建物屋根・灰色系・日向	90.0
c8 道路・日向	41.4
バチャウ	
	(%)
c1 建物瓦礫・日向	98.4
c2 建物外壁・日向	96.2
c3 建物外壁・日陰	100.0
c4 建物屋根・赤系色・日向	96.8
c5 建物屋根・灰色系・日向	97.6
c6 道路・日向	96.4
c7 植生・日向	90.4

この結果をもとにマルチレベルスライス法と同じウィンドウサイズでテクスチャ解析を行った。なお、バチャウ画像の累積相対頻度分布において倒壊建物(c1)を除く全ての教師データがRpx50%で累積90%を越えることから、2画像ともにこれをテクスチャ解析の閾値とした。結果を図-4に示す。バチャウではマルチレベルスライス法に匹敵する程度の建物倒壊分布に近い結果を得ることができた。アンジャールでは日向の分類クラス(c1, c2)を用いた場合は比較的よい結果が得られるものの、日陰の瓦礫(c3)を含むと建物の屋根などが被害とみなされてしまう。つまり色彩のパラメータに比演算処理を施していても、結局今の方法では、影に覆われてしまえば瓦礫化地域と外壁、

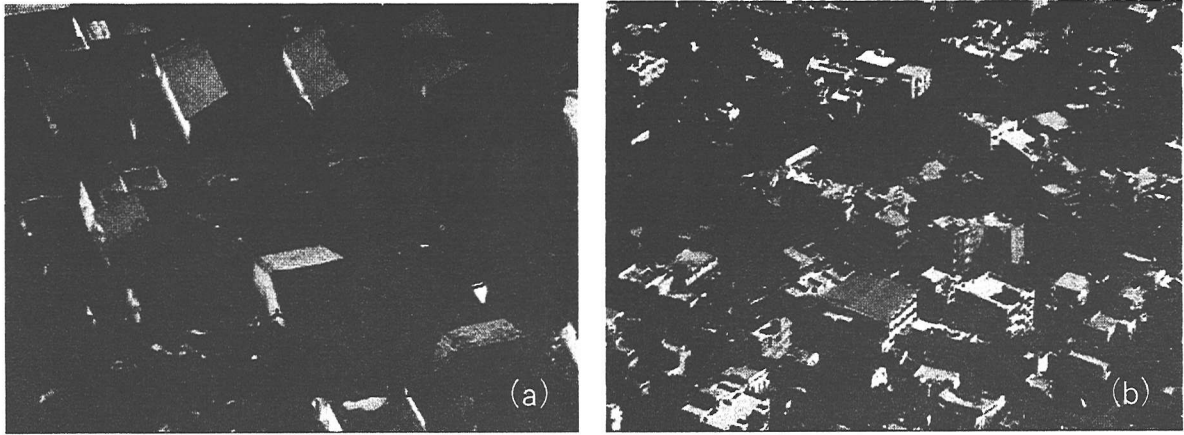


図-4 最尤分類法による建物被害自動抽出の結果。(a) アンジャール：黒は c_1 、灰は c_1+c_2 、閉曲線内は $c_1+c_2+c_3$ の分類結果を用いたテクスチャ解析結果、(b) バチャウ： c_1 の分類結果を用いたテクスチャ解析結果

瓦礫化地域と被害と関係のない地面などの識別は難しいことがわかった。

さらにマルチレベルスライス法のとおりと同じように設定した教師データの情報を他の画像に適用できるか否かを検討した。しかしながら、アンジャール画像の教師データの情報をバチャウに適用した場合の c_1 の整合率は 18.8% と低く、逆の場合は 0.2% ときわめて低い。このことは、最尤分類法を用いて被害地域の抽出を試みる場合、一貫して同じ教師データを用いることが難しいということを示している。画像が複数あることが問題ならば広範な地域を覆う 1 つの大きな画像を用いて最尤分類法を適用してみる手はある。これは今後の課題である。

5. 結論

インド西部地震の後に小型飛行機から撮影された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で表される 6 種類の指標で特徴づけた。自動抽出には教師つき分類の一種であるマルチレベルスライス法と最尤分類法を用いた。マルチレベルスライス法を用いた場合、アンジャールの空撮画像で設定した閾値はバチャウのような他地域の空撮画像にも適用することができた。テクスチャ解析において、従来から用いてきた $R_{px}20\%$ 以上の閾値では建物被害地域を実情に即して抽出することができなかった。そこで対象画像における R_{px} 最大値の 3 分の 1 をテクスチャ解析の閾値としたところ、実際の被害状況とほぼ一致する良好な結果を得ることができた。最尤分類

法ではアンジャールとバチャウのそれぞれの画像について閾値を決めた場合に比較的良好な結果を得た。しかし一方の画像で決めた教師データの統計量を他方の画像に適用することはできなかった。

今後とも被害自動抽出の検討事例を蓄積し、建物被害地域における特徴量の一般化を検討することを含め、災害発生後のみの画像を用いた被害地域抽出の高度化を進める予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ：
<http://www.mlit.go.jp/tec/gaiyou/HTML/j1-09.htm>
- 2) 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。
- 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.668，I-54，2001。
- 4) 福西宗憲，小杉幸夫，Tchimev. P，葛城大介，土居原健：地理画像変化域抽出における特徴量の選択，第11回機能図形情報システムシンポジウム，2000。
- 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，2001(投稿中)。
- 6) 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.
- 7) 三富 創，吉田 望，山崎文雄，松岡昌志：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，第26回地震工学研究発表会，2001。
- 8) Indian Institute of Technology and Earthquake Disaster Mitigation Research Center: *The Bhuj Earthquake of January 26, 2001*, 2001.
- 9) 井上誠喜，八木伸行，林正樹，中須英輔，三谷公二，奥井誠人：C言語で学ぶ実践画像処理，株式会社オーム社，1999。
- 10) 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。