

インド西部地震の被害地域における ランドサット画像の特徴

Yalkun YUSUF¹・松岡 昌志¹・山崎 文雄^{1,2}

¹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)

²工博 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

2001年1月26日、インド西部グジャラート州でマグニチュード7.6の地震が発生し、同州を中心とする地域に甚大な被害をもたらした。近年、地震被害を把握するために様々な手段が用いられており、人工衛星を利用した被災地の上空から得られた画像から被害状況を把握するリモートセンシング技術もその1つである。本研究ではインド西部地震前後のランドサット7号TMパナクロマティックバンドの画像を用い、地震直後に撮影した航空写真を参照して、地震前後の衛星画像からトレーニングデータを作成し、それに基づき教師付きの判別をする方法と、直接地震前後の画像を用いて輝度値の差分量から被害地域推定する方法を比較・検討した。

Key Words: the 2001 Gujarat, India earthquake, damage area, Landsat, image processing, remote sensing

1. はじめに

衛星リモートセンシングでは広域の地表面情報が取得できることから、地震前後の画像を利用することで、大域的な被害分布が把握できる可能性があることが明らかになってきている。兵庫県南部地震やトルコ地震など被害地域の上空から得られた画像を用いて被害状況の把握に成功した例^{1),2)}や、米国の軍事気象衛星DMSPを利用して地震発生後に都市の夜間の光量が減少した地域を被害地域として推定する研究³⁾などから、リモートセンシング技術は早期の災害把握には非常に有効であることがわかる。

ここでは、2001年1月26日インド西部地震前後のランドサット7号が撮影した2時期の画像を用いて、被害地域の抽出を試みた。被害の抽出は地震直後に撮影した航空写真⁴⁾を参照して、地震前後の衛星画像からトレーニングデータに基づき教師付きの判別をする方法と、輝度値の差分量から被害地域推定する方法を適用した。そして両者の結果について比較・検討した。

2. ランドサット7号TM画像と対象地域

ランドサット7号は1999年4月15日、アメリカ合衆国によって打ち上げられた。この衛星は8つのバンドを有し、高度は705km、回帰日数は16日である。地上での空間分解能は可視から中間赤外のバンド1~5,7は約30m、熱赤外のバンド6で約60m、新しく追加されたパナクロマティック(白黒)バンドは約15mである⁵⁾。図-1にランドサット7号TMの

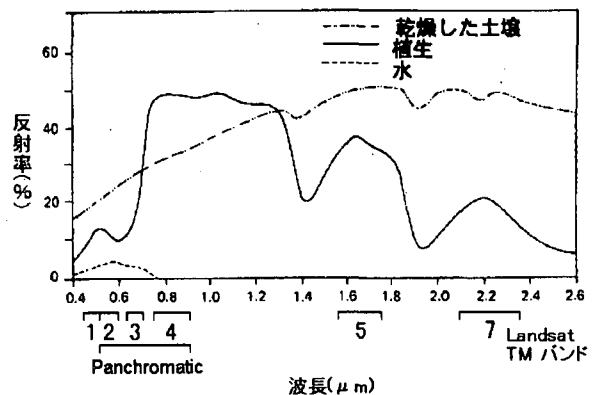


図-1 人工衛星の観測波長帯と物質の分光反射率
(文献6)に加筆)

可視～中間赤外での観測波長帯と土壌、植生、水の分光反射率を示す。

本研究ではインド西部地震前(2001年1月8日)と地震後(2001年2月9日)の2時期のパナクロマティックバンド画像を使用した。前処理として、2時期の画像の位置合わせを行った。図-2には地震前の画像を示す。観測された地震前後の画像には雲の影響がほとんどない。また、観測時期が近いので、季節の影響は無視できると考えられる。

本研究では、教師付き分類に基づき被害地域を抽出する際には、地震で大きな被害を受けたAnjar地域を対象にし、教師なしの方法は、画像全域に対し

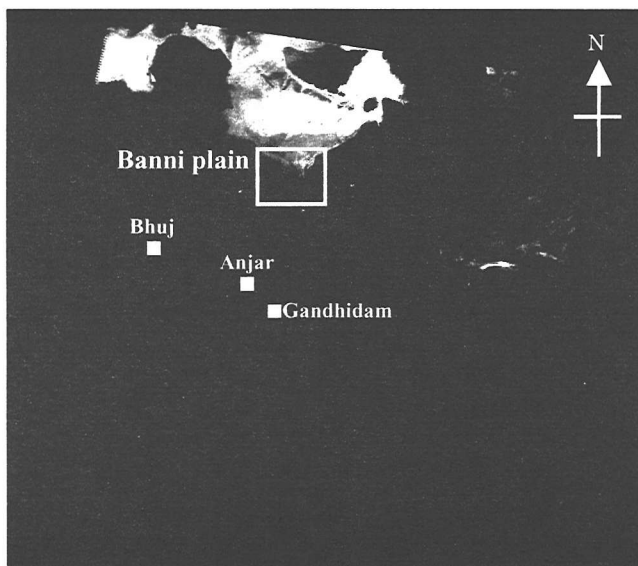


図-2 地震前のランドサット7号パンクロマティック画像

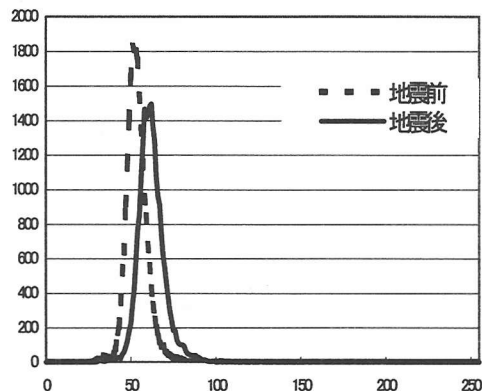
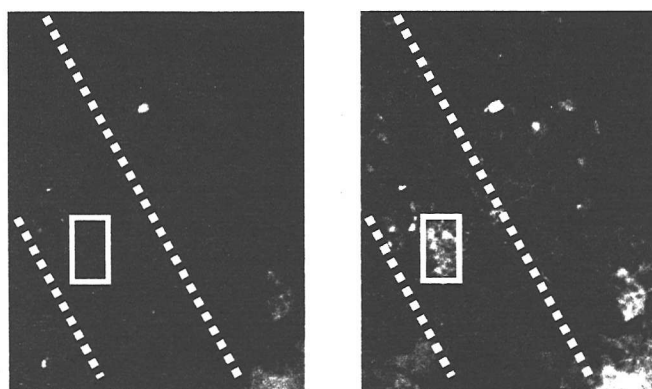


図-4 地震前と地震後のヒストグラム



(a)地震前(2001/1/8) (b)地震後(2001/2/9)

図-3 Anjar 地域のランドサット衛星画像
(矩形はトレーニングエリア)



図-5 Anjar 地域の航空写真

て被害地域の抽出を行った。

3. 教師付き分類による被害地域の推定

対象地域の地震前後のパンクロマティックバンド画像から Anjar 地域を切り出したものを図-3 に示す。図-4 は地震前後の輝度値のヒストグラムを示す。これらから地震後の輝度値が地震前より高くなっていることがわかる。さらに、地震の16日後に被害地域を撮影した航空写真(図-5 参照)と比較すると、輝度値が高くなったところで大きな被害が生じていることがわかる。建物被害が大きい地域での可視～近赤外域で輝度値が増加する傾向は既往の研究^{1),2)}とも整合する。これは、地震で建物が倒壊し、瓦礫や土などが散乱することによって、輝度値が高くなったものと考えられる。

教師付き分類による被害地域の推定にあたっては、本研究では輝度値が正規分布をしていることを仮定し、まずもとの画像からトレーニングデータ(クラ

ス)を選ぶ。そして抽出したトレーニングデータの平均値(M)と標準偏差(σ)を求め、分類しようとする画像のピクセル(輝度値 P)が次の式を満たせば、このピクセルはトレーニングデータのクラスに含まれるものとする。

$$M - 2\sigma \leq P \leq M + 2\sigma \quad (1)$$

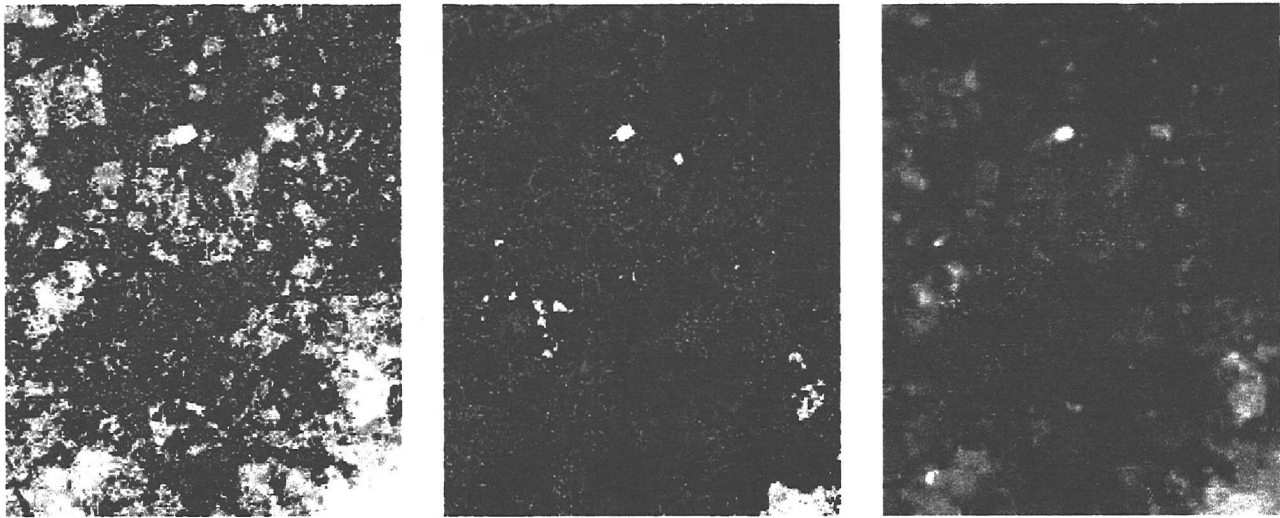
上記の分類方法に基づき、市街地における被害地域の推定を以下のステップで行った。

(1) トレーニングデータの作成

航空写真を参考に市街地がかつ甚大な被害を受けた地域をトレーニングエリアとして選定した(図-3中の矩形の領域)。

(2) 市街地の抽出

トレーニングエリアから地震前画像の輝度値の平均値と標準偏差を求め、(1)式によりピクセル分類を行い市街地を抽出した。図-6(a)に抽出した市街地を示す。



(a) 市街地 (黒色のピクセル) (b) 被害地域 (黒色のピクセル) (c) 市街地における被害地域 (黒色のピクセル)

図-6 トレーニングデータに基づき抽出した市街地と被害地域

(3) 被害地域の抽出

被害地域の抽出の際にも (1) 式を用いるが、画像には地震後の画像のみを用いた。図-6(b)に抽出した被害地域を示す。市街地以外の地域も被害地域として抽出されてしまう。

(4) 市街地における被害地域の抽出

ステップ (2) と (3) にて得られた画像を統合し、市街地以外の被害ピクセルを除去して、市街地における被害ピクセルを抽出した。図-6(c)に抽出された市街地における被害地域を示す。

4. 教師なしによる被害地域の推定

教師付き分類で画像を処理する場合には、トレーニングデータが必要である。しかし、地震が発生した直後に、実被害地域を知ることは困難であるため、この方法で被害地域を抽出することは実用的でない。そこで、トレーニングデータを用いずに地震前後の輝度値の差分量から被害地域を推定することを考える。手法は文献³⁾を参考にしている。被害地域判定の基準を図-7に示す。

上述したように、地震後の画像は被害地域における輝度値が地震前より高くなっていることから、両画像の輝度値の差分量を求めて、それが正規分布していることを仮定し、その平均値 (M) と標準偏差 (σ) を求め、差分量が $M+2\sigma$ 以上の地域を被害地域とみなす。

この方法で地震前後画像の差分量に適用して被害地域を抽出した。その結果から Anjar, Bhuj, Gandhidam 地域をズームアップし、それぞれの地域における抽出した被害地域の結果を図-8に示す。航空写真や現地調査⁴⁾との比較によれば、推定した被

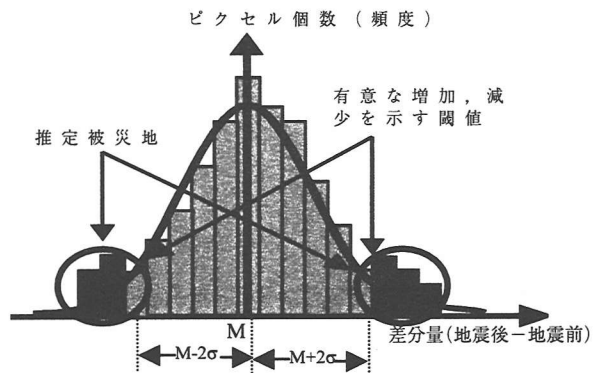


図-7 被害地域判定の基準

害地域は実際の被害と概ね対応する。

一方、地震後に輝度値が低下した地域も地表では何らかの変化があったと考えられることから、輝度値が有意に減少した地域も被害地域である可能性が高い。そこで、差分量が $M-2\sigma$ 以下であるピクセルも被害地域として抽出した。その結果、Anjar, Bhuj, Gandhidam の市街地では抽出されるピクセルの数が少なかった。しかし、Kachchh 地域の北部に位置する Banni plain の周辺では地震後に輝度値が低下したピクセルが多く抽出された (図-9 参照)。この地域では、雨季に水没し、乾季には干上がった塩分が地表に広がる。地震の発生時期は乾季であったことから、この地域の地震前の衛星画像には塩の影響により輝度値が高い。しかし、地震の際に液状化によって地下から泥水が地表に噴出したことで、地震後の輝度値が低くなったものと考えられる^{7),8)}。

実被害状況がある程度収集できる場合には、教師付き分類による推定方法が適用でき、推定精度も高

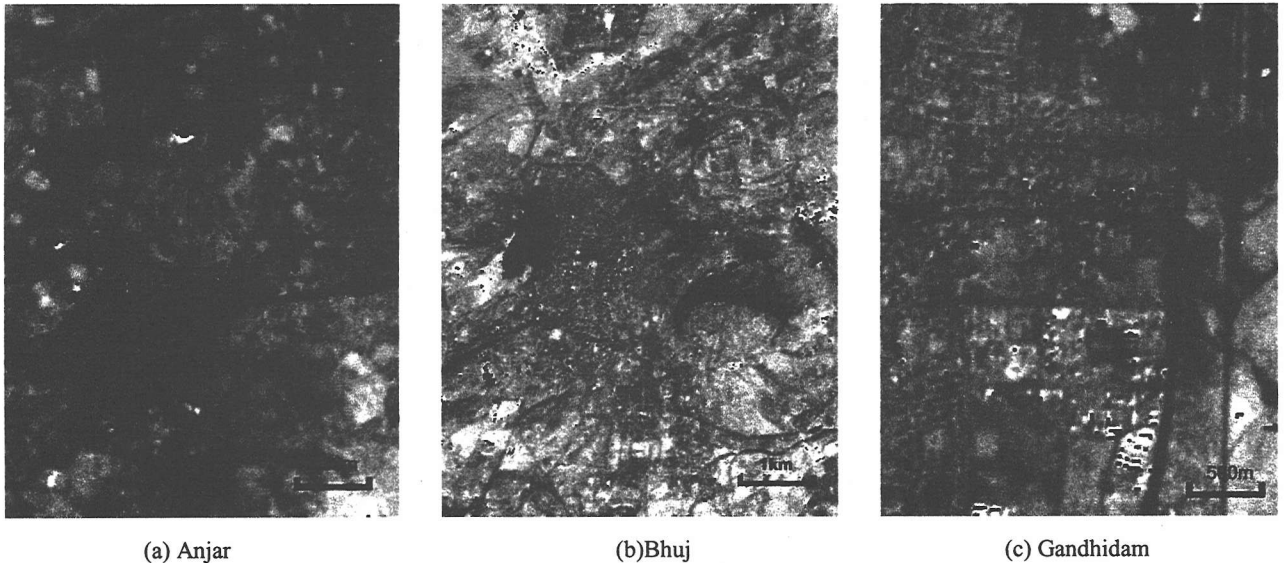


図-8 地震前後の輝度値の差分量 ($M+2\sigma$ 以上) に基づき推定した被害地域 (黒色のピクセル)

いと考えられるが、緊急対応の面から考えると、地震直後にトレーニングデータになりうる詳細な情報を入手することは困難である。実用的な観点では、このような教師なしで、かつ、ある程度高い精度の被害推定が望ましい。

5. まとめ

本研究では、地震被害の早期把握を目的として、地震前後の2時点のランドサット7号TMパナクロマティックバンドを用い、被害情報が全く収集できない状況においても、被災地を推定できる方法を検討した。これは、地震前後の輝度値の差分量から被災地域ピクセルを抽出するものであり、トレーニングデータを必要としない。この手法をインド西部地震の被災地に適用したところ、トレーニングデータを必要とする教師付き分類による推定と類似し、航空写真から判読した被害分布ともよい対応を示した。

ここでは、推定精度について定性的な検討しかしていないが、今後、被害の詳細なデータを入手し、輝度値の変化と被害レベルの関係が明らかにすることで、より定量的な検討ができるものと考えられる。また、インド西部地震以外の被害地震に対して、本手法を適用することで、より一般的かつ高精度な推定手法の構築を目指す予定である。

謝辞：Landsat 画像は米国政府所有のものであり、USGS および宇宙開発事業団より提供を受けた。

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.668/I-54, pp.177-185, 2001.
- 2) M. Estrada, M. Matsuoka and F. Yamazaki: Use of Optical Satellite Images for the Recognition of Areas Damaged by

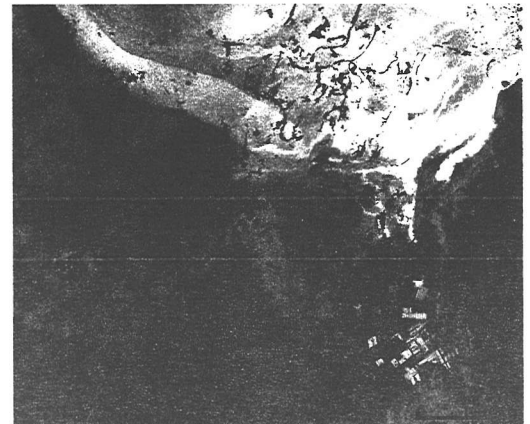


図-9 地震前後の輝度値の差分量 ($M-2\sigma$ 以下) に基づき推定した Banni plain での被害地域 (黒色のピクセル)

Earthquakes, 6th International Conference on Seismic Zonation, CD-ROM, 2000.

- 3) 小檜山雅之, 林春男, 牧紀男, 橋寺晋, 松岡昌志, H. W. Kroehl, C. D. Elvinding, V. R. Hobson: DMSP/OLS 夜間可視画像を用いた早期被害地域推定システム (EDES) の開発, 地域安全学会論文集, No.2, pp.79-86, 2000.
- 4) 地震防災フロンティア研究センターホームページ: <http://www.edm.bosai.go.jp/India2001/Survey1/1strec.html>.
- 5) NASA ホームページ: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/main/documentation.html>.
- 6) 日本リモートセンシング研究会: 図解リモートセンシング, 日本測量学会, 1992.
- 7) Center for Earthquake Research and Information, The University of Memphis のホームページ: <http://www.ceri.memphis.edu/gujarat/report/sld008.htm>.
- 8) インド国立工科大学のホームページ: <http://home.iitk.ac.in/~ramesh/gujrat/gujarat.htm>.