

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

松岡 昌志¹・山崎 文雄²・翠川 三郎³

¹博士(工学) 理化学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正会員 工博 理化学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)

³工博 東京工業大学教授 大学院総合理工学研究科 (〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259)

人工衛星リモートセンシングによる地震被害把握の可能性について検討するために、1995年兵庫県南部地震の際の現地調査に基づく被害データと地震前後のLandsat/TM及びSPOT/HRV画像とを用いて、被害地域における衛星画像の輝度値の変化について検討した。その結果、特にLandsat画像において輝度値の変化が特徴的であり、液状化地域では地震前に比べて可視域から中間赤外域で輝度値が高く、建物焼失地域では輝度値が低くなり、建物被害地域においても無被害地域とは異なる輝度値変化を示した。また、地震後の輝度値及び地震前後の比演算値の変化を説明変量とした最尤法により被害地域を分類し、それが実際の被害調査結果と概ね対応することを確認した。

Key Words : *satellite optical images, damage area, remote sensing, spectral characteristics, the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake*

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震では阪神・淡路地域の広域にわたり甚大な被害が発生し、災害発生初期における被害情報の重要性が認識された。近年、地震発生直後から地震計ネットワークと地理情報システム(GIS)に基づいて早期被害推定を行う、リアルタイム地震防災システムの開発・導入が盛んになっている¹⁾。しかし、この推定結果はあくまでも推定であって、非常に高い精度を有しているとは限らない。被害把握の方法は、必要精度と所要時間とのバランスで選択すべきである。建物被害についていえば、地上踏査による一棟一棟の被災度調査は、応急危険度判定や罹災証明等のためにはもちろん必要である。しかし、もっと早く数時間から数日のオーダーで、被害の大まかな分布と程度を把握することも、特に、国レベルでの緊急対応や応急復旧計画の立案のために極めて重要である。

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として人工衛星や航空機等を利用したリモートセンシングがある。特に人工衛星によるリモートセンシングは広範囲の情報を、ほぼ同一時刻に、かつ同一地域の状況の経時変化を容易に得ることができ、従って、被災地における人工衛星画像から地震被

害の分布が把握できれば、復旧・復興計画立案時に有効な情報となりうる。

リモートセンシング画像と地震被害を対比する研究には、液状化の発生のしやすい地域を人工衛星画像から推定するといった危険度推定の観点から論じたものは幾つかある²⁾⁴⁾。しかし、地震発生後の比較的早い時期に観測された画像に基づいて、被害地域の把握を試みた例は数少ない。例えば、藤岡(1990)⁵⁾は1985年メキシコ地震での被害地域におけるLandsat画像の可視～近赤外域のスペクトル特性から、倒壊等の著しい建物被害が判別可能であることを示唆している。しかし、一方で、衛星画像の分解能やリアルタイムでの入手についての課題についても言及している。将来、わが国を初めとして、分解能が1m程度の高分解能衛星が複数打ち上げられる計画になっており⁶⁾、これらの課題は克服される可能性がある。従って、現在利用可能な衛星画像に基づき、実被害地域におけるスペクトル特性を検討するこの種の事例的研究は、リモートセンシングを利用した地震被害の早期把握技術の実用化へ向けて重要と考えられる。

兵庫県南部地震では、地震後に実施された航空機搭載のマルチスペクトルスキャナを用いたリモートセンシングにより、液状化や焼失地域と無被害地域とではスペクトル特性が違うことが明らかにされ⁷⁾、

表-1 Landsat/TM および SPOT/HRV の仕様

	Landsat/TM	SPOT/HRV
バンド数	可視域: 3バンド 近・中間赤外域: 3バンド 熱赤外域: 1バンド	可視域: 2バンド 近赤外域: 1バンド
観測幅	185 km	60 km
地表分解能	30 m, 120 m (熱赤外域)	20 m
回帰周期	16日	26日

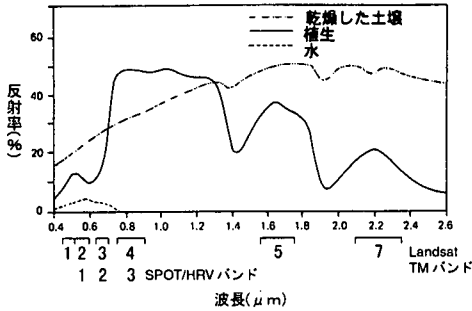


図-1 人工衛星の観測波長帯と分光反射特性 (文献 13 に加筆)

地震前後の衛星搭載の光学センサ画像による目視判読やスペクトルパターンの変化から被害地域の抽出可能性を示唆する例が示されている⁸⁾⁹⁾。しかし、いずれの研究においても、現地踏査による詳細な被害調査結果と衛星画像の特徴の関係を定量的に調べておらず、被害分布の抽出可能性を十分には検討してはいない。

この地震の被害調査結果の一部は GIS データとして整備され¹⁰⁾、各種被害の定量的な分析が可能である。そこで、本研究では、地震被害データと地震前後に阪神・淡路地域を観測した Landsat と SPOT 衛星画像とを用いて、液状化、建物焼失、建物被害地域における衛星画像データのスペクトル特性の変化を定量的に評価し、衛星画像を用いた被害分布の抽出を試みた。

2. データ

(1) 人工衛星画像

兵庫県南部地震後に幾つかの人工衛星が阪神・淡路地域を観測した¹¹⁾。その中で、地表分解能が比較的高く、複数の観測センサ(マルチスペクトルデータ)を有するものとして、1995年1月20日にフランスの SPOT 衛星の HRV センサが、1995年1月24日に米国 Landsat 衛星の TM センサが震災地域を観測し、良好

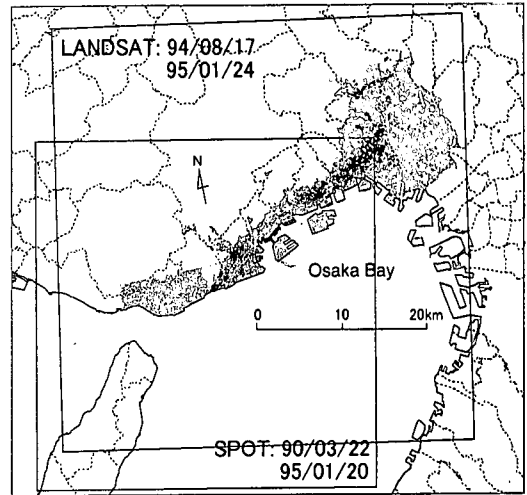


図-2 対象地域

な画像を取得している。衛星及びセンサの特徴を表-1に示す。センサから得られる画像は可視域から赤外域までの波長帯域の地表における反射あるいは放射輝度情報(輝度値)である。なお、ここでの輝度値とは提供される衛星データのデジタル値(DN)を示している。この値は絶対物理量ではなく、センサの感度に依存するため、衛星によっても、バンドによっても異なるものであるが、同一画像中の同一バンドの空間的・相対的变化や複数画像の同一バンドの経年変化を調べる上では意味のある値である。

Landsat/TM は7つのバンドを有し、地上での分解能は可視から中間赤外のバンド1~5,7で約30m、熱赤外のバンド6で約120mである。SPOT/HRV は地上分解能が約20mという衛星画像ではトップクラスの性能を持っているが、観測バンド数が3バンドと少ない。図-1はLandsat/TM及びSPOT/HRVの可視~中間赤外域での観測波長帯を植物、土壌、水の分光反射率と共に示す。なお、本研究では被害地域における地震前後のスペクトル特性の変化(輝度値変化)についての考察も行うため、地震前のデータも用意する。地震前後の画像を比較する場合、観測時の季節が同じで、地震後に得られた画像との観測間隔が短いものが望ましいが、光学センサを利用する以上、雲の影響が少ないものを選定する必要がある。地震前に得られた画像について調べた結果、結局、地震前のデータとしてLandsatについては1994年8月17日、SPOTについては1990年3月22日の画像を選んだ。特に、Landsatについては地震前の季節が夏、地震後が冬と全く異なるが、後述する輝度値の補正によって、その影響をできるだけ排除して以降の解析を行う。利用



(a) 地震前(1994年8月17日観測)



(b) 地震後(1995年1月24日観測)

図-3 Landsat/TM 画像



(a) 地震前(1990年3月22日観測)



(b) 地震後(1995年1月21日観測)

図-4 SPOT/HRV 画像

した衛星画像はそれぞれ図-2に示す領域である。図-3、4にLandsat/TM, SPOT/HRVの画像を示す。

(2) 地震被害データ

地震被害として液状化と建物被害を取り上げた。液状化はHamada *et al.*(1995)¹²⁾の報告の内、「阪神地区地盤変状概要図(縮尺5万分の1)」中の噴砂・堆砂の確認された地域を数値化して利用した。従って、本論中の記述で「液状化地域」とは、噴砂・堆砂が確認さ

れた地域を意味する。

建物の被害調査報告は幾つかあるが、震災復興都市づくり特別委員会の結果に兵庫県都市住宅部計画課による結果を加えた被災度調査結果が、建設省建築研究所により整理されている¹⁰⁾。これは建物の被災度を全壊または大破、中程度の損傷、軽微な損傷、火災による焼失、外観上の被害なしと判定したもので、街区ないし町丁目単位でまとめられ数値化されている。ここでは、街区単位で整理された低層建物の被災

表一 雲、陰、海、植生域の除去のための閾値
(DN_i はバンドiの輝度値)

対象	時期	Landsat/TM	SPOT/HRV
雲	地震前	DN_7 が170以上	DN_1 が75以上
	地震後	DN_7 が77以上かつ DN_6 が93以下	DN_1 が67以上
陰、海	地震前	DN_5 が45以下	DN_3 が15以下
	地震後	DN_5 が23以下	DN_2 が32以下
植生	地震前	NVI が0.04以上	-
	地震後	-	NVI が0.01以上

度データを建物被害データとして用いた。図-2には大破あるいは全壊家屋が10%以上の街区を黒色で表示している。

(3) データセットの作成

被害地域における衛星画像の輝度値を検討するためには、被害データとの正確な位置合わせを行い、被害地域を代表する画素を抽出する必要がある。衛星画像には観測時の天候によって、雲や雲影が存在する。また、季節によって植物の反射特性が異なる。そのため、本研究では雲や雲影、海域については輝度値をもとに適当な閾値を用いて除去した。それぞれの除去対象地域の輝度値およびそれ以外の陸域での輝度値の両者のヒストグラムの境界値¹³⁾を閾値とした。植生地域については、以下に示す NVI ¹⁴⁾を算出して適当な閾値により除去した。

$$NVI = (DN_{nir} - DN_{vis}) / (DN_{nir} + DN_{vis}) \quad (1)$$

ここで、 DN_{nir} は近赤外域バンドの輝度値、 DN_{vis} は可視域バンドの輝度値を示す。なお、ここでは、 DN_{vis} に赤色光のバンドを用いた。本研究で用いた閾値をまとめて表-2に示す。その後、位置合わせのために幾何補正を行い、被害データとGIS上で重ね合わせ、液状化、建物焼失、建物の大被害、小被害、無被害地域における画素を抽出した。液状化は液状化データを含む画素より、建物焼失は街区内の全建物が火災により焼失した街区に含まれる画素より、大被害とは街区内の全建物が全壊・大破で占められている街区に含まれる画素より抽出した。また、無被害とは液状化による噴砂や外観上建物に被害がない街区に含まれる画素を選定した。そして、小被害とは上述の被害項目に該当しない街区に含まれる画素より抽出し、それぞれの被害項目について無作為に同じ数の画素を抽出した。抽出した画素数はLandsat画像で各200画素、SPOT画像で各300画素である。

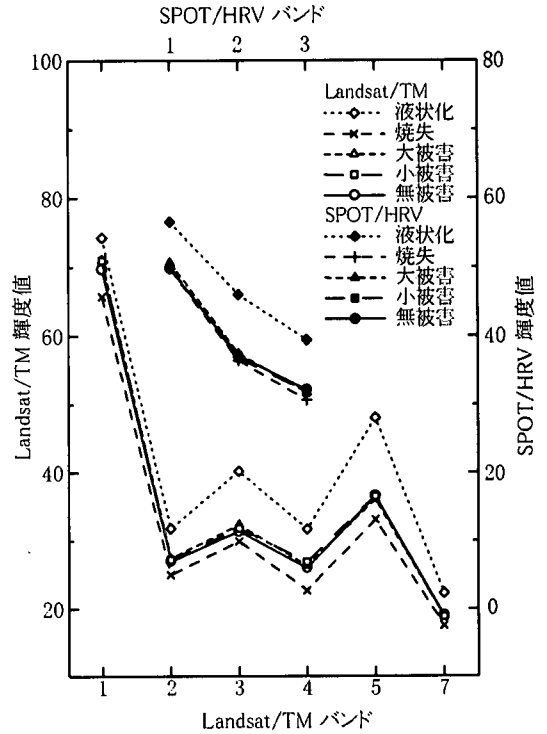


図-5 被害地域における地震後の平均輝度値

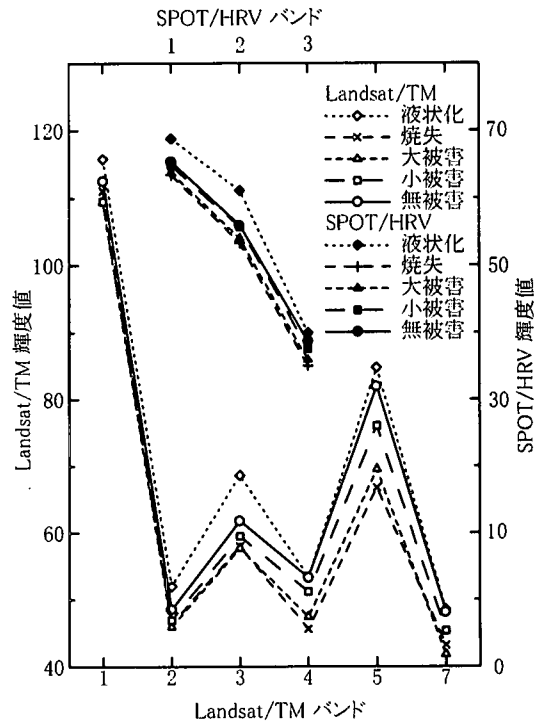


図-6 被害地域における地震前の平均輝度値

表-3 被害地域における地震後のLandsat/TM画像の平均輝度値(標準偏差)

被害項目	TMバンド					
	1	2	3	4	5	7
液状化	74.3 (7.0)	31.8 (4.8)	40.2 (7.9)	31.7 (6.6)	48.0 (12.2)	22.3 (6.8)
建物焼失	65.7 (3.9)	25.0 (2.5)	29.9 (4.0)	22.7 (3.5)	33.1 (6.2)	17.5 (3.6)
建物大被害	71.0 (6.0)	27.4 (3.2)	32.3 (4.7)	26.3 (4.1)	36.1 (7.3)	18.9 (5.6)
建物小被害	71.0 (6.4)	27.2 (3.8)	31.8 (6.0)	26.9 (5.4)	36.6 (9.5)	18.8 (5.5)
無被害	69.5 (5.1)	27.0 (3.5)	31.4 (5.5)	26.0 (4.9)	36.6 (9.5)	19.0 (5.8)

表-4 被害地域における地震前のLandsat/TM画像の平均輝度値(標準偏差)

被害項目	TMバンド					
	1	2	3	4	5	7
液状化	115.8 (15.9)	52.0 (12.7)	68.6 (21.2)	53.4 (17.2)	84.7 (35.6)	48.5 (20.8)
建物焼失	111.0 (10.1)	46.3 (5.9)	58.0 (8.3)	45.6 (6.8)	66.8 (12.2)	43.2 (7.5)
建物大被害	109.4 (11.9)	45.9 (6.5)	57.7 (9.5)	47.4 (7.7)	69.5 (14.0)	41.8 (10.0)
建物小被害	109.5 (10.8)	46.9 (7.5)	59.5 (11.9)	51.2 (11.2)	76.0 (22.1)	45.3 (13.5)
無被害	112.5 (13.5)	48.5 (8.2)	61.8 (12.9)	53.3 (11.6)	81.9 (23.1)	48.1 (15.0)

表-5 Landsat/TM画像の比演算値変化[地震後-地震前]の平均値(標準偏差)

被害項目	TMバンド/バンド2				
	1	3	4	5	7
液状化	8.1 (23.2)	-4.8 (8.7)	-2.3 (10.9)	-9.2 (28.4)	-21.4 (17.9)
建物焼失	22.1 (15.0)	-5.8 (7.0)	-7.9 (8.1)	-12.7 (18.7)	-23.8 (15.2)
建物大被害	20.4 (14.4)	-7.3 (6.5)	-7.6 (10.1)	-19.9 (22.6)	-21.9 (20.5)
建物小被害	26.9 (17.5)	-9.6 (7.6)	-9.9 (11.7)	-26.4 (25.3)	-27.0 (18.0)
無被害	26.0 (15.9)	-10.5 (7.0)	-12.9 (9.8)	-32.6 (20.8)	-28.3 (16.4)

3. 被害地域における衛星画像の輝度値

(1) Landsat/TM画像と被害の関係

図-5に地震後における各被害地域の輝度値の平均値を、表-3には標準偏差も併せて示す。なお、熱赤外のバンド6は他のバンドより地表分解能が粗いため、検討対象から除外している。標準偏差がいずれも大きくバラツキがあるが、無被害地域に比べ液状化地域では全てのバンドで平均輝度値が大きい。建物焼失地域では無被害地域より平均輝度値が小さく、建物が被害を受けた地域は無被害地域と平均輝度値の違いがほとんどない。図-6と表-4は地震前におけるそれぞれの地域での平均輝度値を示す。抽出した地域によって輝度値に違いがみられる。小被害地域と無被害地域、焼失地域と大被害地域でそれぞれ類似の傾向を示し、前者は後者に比べて、バンド1以外のバンドで輝度値が大きい。この地震では被害の小さかった地域が山や海側に分布している。これらの地域では建物周囲の空地や、前章の手順において完全に除去しきれない程度の規模の小さな植生が存在するなど、可視～近・中間赤外域において輝度を高める要因があることが、この理由のひとつと考えら

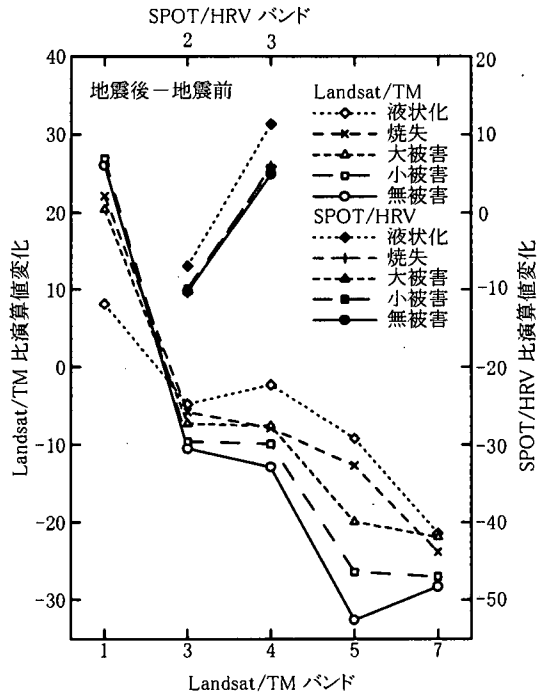


図-7 被害地域における地震前後の比演算値変化

表一六 被害地域における地震前後の SPOT/HRV 画像の輝度値と比演算値変化 [地震後－地震前] の平均値(標準偏差)

被害項目	HRVバンド [地震後]			HRVバンド [地震前]			HRVバンド/バンド1	
	1	2	3	1	2	3	2	3
液状化	56.6 (5.6)	46.0 (7.4)	39.4 (7.6)	68.8 (10.4)	61.1 (13.8)	40.0 (10.6)	-7.0 (8.5)	11.3 (10.6)
建物焼失	49.8 (2.5)	36.4 (2.6)	30.6 (2.7)	63.4 (5.2)	53.3 (5.9)	35.0 (4.1)	-10.4 (3.4)	5.9 (3.9)
建物大被害	50.7 (3.5)	37.4 (3.0)	31.7 (3.3)	63.8 (5.6)	54.0 (6.6)	35.9 (5.3)	-10.3 (3.6)	6.0 (4.4)
建物小被害	50.1 (3.5)	36.8 (3.2)	31.7 (3.4)	62.9 (5.9)	52.8 (6.5)	36.0 (4.7)	-9.9 (4.3)	5.7 (4.9)
無被害	49.9 (3.5)	37.1 (3.1)	32.1 (3.4)	65.4 (6.5)	55.9 (8.0)	38.7 (5.8)	-10.3 (5.0)	4.9 (5.4)

れる。従って、図一五で示した輝度値の違いは地震に伴う輝度値の変化だけを表しているとはいえない。そのため、地震に伴う地表の変化を表すものとして、地震前後での輝度値の変化を検討する必要がある。

観測時期の異なる衛星画像データでは太陽光の強弱、大気の状態や地形等の影響により反射輝度の大きさが異なることから、両画像データを定量的に比較するには輝度値の補正を行う必要がある。本研究では、簡便な補正方法として、式(2)に示す各バンドの輝度値をある基準とするバンドの輝度値に対する比をとるバンド間比演算¹⁴⁾を利用した。

$$MDN_i = (DN_i / DN_r) \cdot 100 \quad (2)$$

ここで、 MDN_i はバンド*i*の比演算値、 DN_i 、 DN_r はそれぞれバンド*i*、基準バンドの輝度値を表す。Landsat画像についてはバンド2を基準バンドとした。そして、地震後の比演算値と地震前のそれ引いた値を求め、その平均値を図一七に、表一五には標準偏差も併せて示す。なお、他のバンドを基準とした場合¹⁵⁾や無被害地域での差分がゼロになるように基準化した場合¹⁶⁾でも以後の被害推定には大きな影響がないことを確認している。

液状化地域は無被害地域と比べるとバンド1以外のバンドで変化の平均値は相対的に大きい。建物大被害を受けた地域における値は、液状化地域や焼失地域と類似の傾向を示す。また、建物小被害地域はバンド1の青色光でやや値が大きいが、他バンドでは大被害地域と無被害地域の間の値をとる。

被害地域における地震後の輝度値及び地震前後での比演算値の平均値の変化を考察すると、図一七に示したように、一般的に砂や土壌は可視域から中間赤外域での反射率が大きいことから、液状化地域での輝度値の増加は妥当である。また、建物の大被害地域において近赤外・中間赤外域での輝度値が大きくなる現象は、この地域における倒壊した古い木造住宅の多くは土壁を持ち、屋根瓦の下に土を敷いている場合があり、倒壊に伴い土が現れて反射率を高めたことで説明できる。小被害を受けた地域での青色光

の増加は、建物の屋根が青色のビニルシートで覆われたことによるものと考えられる。建物焼失地域は黒褐色を呈することから、地震後の反射輝度は低下する。

(2) SPOT/HRV 画像と被害の関係

地震前の輝度値、地震前後での比演算値(基準バンドはバンド1)の差を表一六に示す。なお、図一八に示すように、SPOT/HRVのバンド1,2,3の観測波長帯はLandsat/TMのバンド2,3,4にほぼ対応することから、図一五～七には被害地域におけるSPOTでの値をLandsatの結果と対応づけて示す。

図一五に示す地震後における被害地域の輝度値はLandsatのそれと同様の傾向を示し、液状化地域では輝度値が高い。しかし、建物焼失地域や被害地域での輝度値は無被害地域とほとんど違いがない。これは既往の研究¹⁷⁾とも調和的である。地震前の輝度値についても傾向はLandsatとほぼ同様であり、被害の大きい地域での輝度値が他地域に比べると小さい。図一七に示す地震前後の比演算値の変化については、液状化地域以外ではほとんど違いがなく、SPOT画像からは液状化以外の被害地域の判別は困難であることが示唆される。これは、SPOTとLandsatとではセンサの形式が異なり¹⁸⁾、SPOT/HRVの地表分解能はLandsat/TMと比べると高いにもかかわらず、地表からの放射を検出するセンサの感度が低いことが理由のひとつと考えられる。

4. 衛星画像を用いた地震被害分布の抽出

液状化や建物焼失は現象後の状態が特徴的で、地震後の輝度値が液状化地域では高く、焼失地域では低くなる。また、建物が大きな被害を受けた地域においても、地震前後の比演算値の変化が無被害地域のそれとは異なっている。そこで、地震後の輝度値(図一五)と地震前後での比演算値の差(図一七)に基づき、被害の分類可能性について検討した。マルチスペ

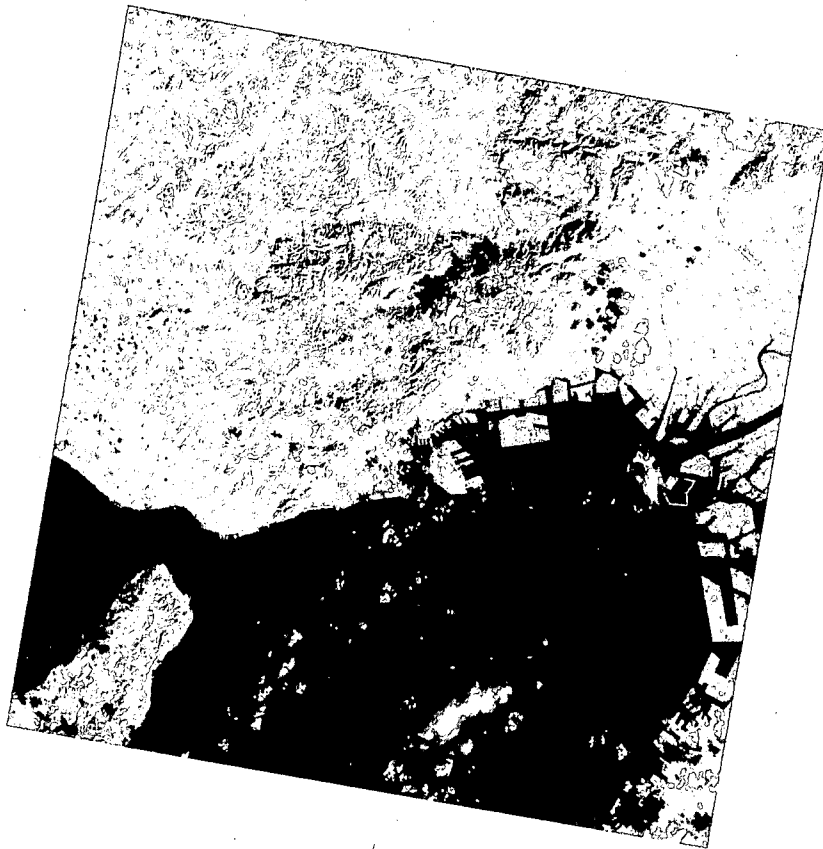


図-8 Landsat 画像から推定した被害分布(黄色：液状化, 青色：焼失, 赤色：大被害, 緑色：小被害, 青色：無被害)

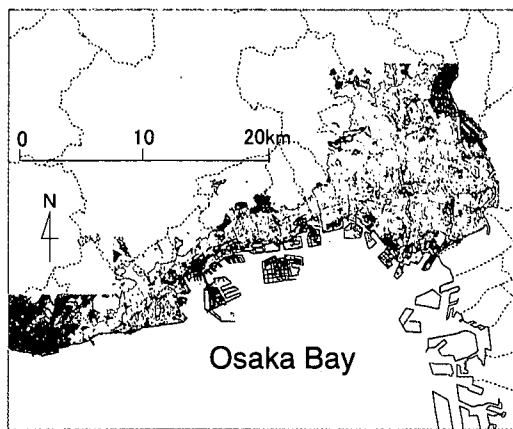


図-9 被害データに基づく被害分布
 (黄色：噴砂・堆砂地域, 赤色：全壊・大破率 $\geq 30\%$
 緑色：全壊・大破率 $\geq 10\%$, 青色：全壊・大破率 $< 10\%$)

クトルデータを利用した分類手法は数多く存在する。ここでは、教師有り分類のひとつである最尤法を用いた。前節で抽出した被害項目を代表する画素における地震後の輝度値と地震前後での比演算値の変化を教師

とする。これらから得られる平均値と分散・共分散を変量とする確率密度関数(尤度)を被害項目ごとに設定し、任意の地点はその画素において計算される尤度のうち最大尤度をもつ被害項目に分類される¹³⁾。Landsat, SPOT 画像について、それぞれ被害地域分類をした結果を表-7に示す。表中の的中率とは対象とした画素に対する正しく分類された画素の割合を示している。

Landsat 画像を用いた場合、液状化地域や焼失地域ではそれぞれの的中率が70, 80%強と比較的高い。建物小被害地域や無被害地域では的中率が低いものの、建物大被害地域の的中率は50%程度と幾分高くなる。また、全的中率は約60%となる。SPOT 画像については液状化と焼失地域ではLandsatの結果と同等の分類精度を有するが、他の被害については的中率が低い。これは、液状化以外の被害については、輝度値にほとんど差がみられないため、多くの画素が焼失地域に分類されるためである。

分類精度が比較的高いLandsat画像の全域における分類結果を図-8に、液状化データと建物被害データに基づく被害分布を図-9に示す。分類された液状化

表一 最尤分類による判別表(太字が Landsat 画像, 斜体文字が SPOT 画像による結果)

		最尤分類					画素数	的中率 (%)
		液状化	焼失	大被害	小被害	無被害		
実 際	液状化	147 214	14 14	14 29	10 19	15 24	200 300	74 71
	建物焼失	5 7	168 234	14 28	8 16	5 15	200 300	84 78
	建物大被害	6 16	39 121	103 84	25 33	27 46	200 300	52 28
	建物小被害	13 18	23 110	55 50	74 52	35 70	200 300	37 17
	無被害	18 21	26 75	41 36	29 49	86 119	200 300	43 40
画素数		189 276	270 554	227 227	146 169	168 274	1000 1500	58 47

地域や建物焼失地域には, 実際の被害が概ね含まれ, 液状化や建物焼失地域では, 地震後の状態が特徴的であることから比較的精度よく分類できる。また, 大被害に分類された地域についても, 実際の被害が大破・全壊率 30%以上の地域を概ね含み, 被害の帯の傾向もほぼ対応する。しかし, 山岳部において液状化地域と誤分類されたり, 大阪市域では建物焼失あるいは大被害と誤分類される地域も存在する。山岳部での誤分類箇所の多くは裸地であり, 観測時における地面の色合い等が液状化による砂とほぼ似たような特徴を有していたものと考えられる。また, 液状化以外の地域では, 表一に示すように被害の分離が不十分であるために, 実際には小被害地域や無被害地域であっても, 多くの画素が焼失あるいは大被害地域と誤分類されてしまう傾向にある。

以上の結果は, 限られた地点での被害状況を教師とした場合の, 機械的な画素分類に基づく衛星画像による被害推定の限界を示している。しかし, 発災直後から刻々と集まる詳細な被害情報や地震計ネットワークを利用した被害推定結果と統合し, 修正等を加えることで, より精度の高い広域地震被害把握手法へと発展することが可能と考えられる。ただし, 本手法は神戸での地震を対象にした一例にすぎず, この結果の適用性については, 今後, 他の地震被害の事例から検討する必要がある。

5. 結論

衛星リモートセンシングによる地震被害把握の可能性について検討するために, 1995年兵庫県南部地震の際の現地調査に基づく被害データと地震前後の Landsat/TM 及び SPOT/HRV 画像とを用いて, 被害地域における衛星画像の輝度値の変化について検討した。その結果, 特に Landsat 画像において輝度値の変化が特徴的であり, 液状化地域では地震前に比べて可視域から中間赤外域で輝度値が高く, 建物焼失地

域では輝度値が低くなり, 建物被害地域においても無被害地域とは異なる輝度値変化を示した。また, 最尤法により被害地域を分類したところ, 山岳部の裸地が液状化と分類されたり, 実際には小被害や無被害であっても多くの画素が焼失あるいは大被害と誤分類される傾向があるものの, 大局的には被害調査結果と概ね対応することを確認した。

謝辞:(財)リモート・センシング技術センターの稲永麻子博士より画像処理について御指導頂きました。記して謝意を表します。Landsat 及び SPOT 画像はそれぞれ米国政府, フランス国立宇宙研究センター所有のものであり, 宇宙開発事業団を通して, Space Imaging EOSAT, SPOT IMAGE より提供を受けた。図一2, 9の一部は, 建設省建築研究所が建設省国土地理院長の承認を得て, 同院発行の数値地図 10000(総合)を複製したCD-ROMデータに基づいて作成したものである(承認番号平8総複, 第26号)。

参考文献

- 1) 山崎文雄:リアルタイム地震防災システムの現状と展望, 土木学会論文集, No.577/I-41, pp.1-16, 1997.
- 2) 後藤恵之輔, 坂元 誠, 沢園佳稔, 陶野郁雄:液状化地盤のランドサットデータ特性, 第21回土質工学研究発表会講演集, pp.831-832, 1986.
- 3) 栗田 哲, 岸田英明, 北山浩平:液状化した地域におけるランドサット TM データのバンド特性, 第25回土質工学研究発表会講演集, pp.119-120, 1990.
- 4) 戸松征夫, 佐藤靖彦:リモートセンシングデータを利用した液状化危険度解析の事例的研究, 第9回日本地震工学シンポジウム, Vol.1, pp.127-132, 1994.
- 5) 藤岡宏一郎:ランドサット TM データを利用した地震時広域被害調査の可能性に関する研究, 東京工業大学修士論文, 1990.
- 6) 田岡俊次:偵察衛星「情報独立」へ日本の転機, 朝日新聞週刊 AERA 1月11日号, 1999.
- 7) 見富 恭, 竹内章司:航空機 MSS データによる液状化および焼失地域のスペクトル特性の解析, 日本リモートセンシング学会 第18回学術講演会論文集, pp.117-118,

- 1995.
- 8) Inanaga, A., Tanaka, S., Takeuchi, S., Takasaki, K. and Suga, Y. : Remote Sensing Data for Investigation of Earthquake Disaster, *Procs. of the 21st Annual Conference of the Remote Sensing Society*, pp.1089-1096, 1995.
 - 9) 吉江 隆, 津 宏治 : 衛星データによる1995年兵庫県南部地震被災状況推定画像の作成—特に神戸市中央区の木造住宅の被災域と液化化現象発生地域について, 日本リモートセンシング学会 第18回学術講演会論文集, pp.119-122, 1995.
 - 10) 建設省建築研究所 : 平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書, 1996.
 - 11) 須藤 昇, 多田 孝, 中野良志, 長 幸平, 下田陽久, 坂田俊文 : 多段階リモートセンシングによる阪神大震災調査, 日本リモートセンシング学会 第18回学術講演会論文集, pp.115-116, 1995.
 - 12) Hamada, M., Isoyama, R. and Wakamatsu, K. : *The 1995 Hyogoken-nanbu (Kobe) Earthquake, Liquefaction, Ground Displacement, and Soil Condition in Hanshin Area*, 地震予知総合研究振興会, 1995.
 - 13) 大林成行 : 実務者のためのリモートセンシング, フジテクノシステム, 1995.
 - 14) 日本リモートセンシング研究会 : リモートセンシング用語事典, 共立出版, 1989.
 - 15) Matsuoka, M. and Yamazaki, F. : Characteristics of Satellite Images of Damaged Areas due to the 1995 Kobe Earthquake, *GIS and Applications of Remote Sensing for Disaster Management*, CD-ROM, 1999.
 - 16) 松岡昌志, 山崎文雄 : 人工衛星光学画像を用いた1995年兵庫県南部地震での被害地域の抽出, 第3回都市直下地震災害総合シンポジウム, pp.431-434, 1998.
 - 17) 細川直史, 座間信作 : 地震被害地域抽出のための衛星データ分類手法の比較, 消防研究所報告, 第85号, pp.10-21, 1998.
 - 18) 土屋 清 : リモートセンシング概論, 朝倉書店, 1990.
- (2000. 4. 17 受付)

CHARACTERISTICS OF SATELLITE OPTICAL IMAGES IN AREAS DAMAGED BY THE 1995 HYOGO-KEN NANBU EARTHQUAKE

Masashi MATSUOKA, Fumio YAMAZAKI and Saburoh MIDORIKAWA

Satellite and airborne remote sensing is expected to provide effective spatial information on earthquake-induced damage. Several satellites observed Kobe area before and after the Kobe earthquake. Since a part of the damage survey results of this earthquake is maintained as GIS data, a quantitative analysis of the surface changes in the damaged area is possible. Spectral characteristics of the damaged area were investigated using Landsat and SPOT optical images taken before and after the earthquake, for examining the possibility of extracting the earthquake damage distribution by satellite remote sensing. The damage distribution extracted by the discriminant analysis of the spectral characteristics agreed with the results of the field survey.