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 三重県松阪市 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 三重県松阪市 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著しいであり、液状化地域では地震前においては可視域から中間赤外域まで輝度値が高く、建物焼失地域では、液状化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、災害後及び地震後の比較観察からの変化を説明変数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
後から地盤計測ネットワークと地形情報システム(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、このような推定結果はあくまで推定であって、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、必要精度と要所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、応急危険度判定や震災
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ガーで、被害の大まか
な分布と程度把握することも、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
同一地域の状況の変化を容易に得ることができ
る。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
効な情報となりえる。

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)、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)3)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は言及した
がら、将来、われが国を初めとして、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いる
ており4)、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い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
とはスペクトル特性が異なることが明らかにされ

177
表-1 Landsat/TMおよびSPOT/HRVの仕様

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th>Landsat/TM</th>
<th>SPOT/HRV</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>バンド数</td>
<td>可視域:3バンド</td>
<td>可視域:2バンド</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>近赤外域外:3バンド</td>
<td>近赤外域:1バンド</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>熱赤外域:1バンド</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>観測幅</td>
<td>185 km</td>
<td>60 km</td>
</tr>
<tr>
<td>地表分解能</td>
<td>30 m, 120 m(熱赤外域)</td>
<td>20 m</td>
</tr>
<tr>
<td>回帰周期</td>
<td>16日</td>
<td>26日</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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①。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データと算定され②、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の阪神・淡路地域を観測したLandsatとSPOT衛星画像を用いて、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③。ここで、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、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、相対的変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1〜3,7で約30m,熟赤外のバンド6で約120mである。SPOT/HRVは地上分解能は約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域を植物、土壤、水の分光反射率と共に示す。なお、本研究では被災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、地震後に得られる画像との観測間隔が短いもののが望ましいが、光学センサを使用する以上、雲の影響が少ないものを選定する必要がある。地震前後に得られた画像について調べた結果、結果、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冬、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

図-2 対象地域
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)の報告の内、「阪神地区地盤変状概要図（縮尺5万分の1）」中で、砂・堆砂の確認された地域を数値化して利用した。従って、本論文中の記述で「液状化地域」とは、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。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、外観上の被害なら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
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
被災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を閾値とした。被災地域については、以下に示すNVIを算出して適当な閾値により除去した。

\[ \text{NVI} = \frac{\text{DN}_{ir} - \text{DN}_{ir}}{\text{DN}_{ir} + \text{DN}_{ir}} \]  (1)

ここで、DN_{ir}は近赤外域バンドの輝度値、DN_{ir}は可視域バンドの輝度値を示す。なお、ここでは、DN_{ir}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は幾何補正を行い、被害データとGIS上で重ね合わせ、流状化、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。流状化は流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内に含まれる画素より、大被害および街区内の全建物が全壊・大破で占められている街区内に含まれる画素より抽出した。また、無被害および流状化による碎砕や外観上建物に被害がない街区内に含まれる画素を選択した。そして、小被害とは上記の被害項目に該当しない街区内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。
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）

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

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

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

表-5 Landsat/TM画像の比演算値変化（地震後－地質前）の平均（標準偏差）

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

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に地震後の各被害地域の輝度値の平均値を、表-3には標準偏差を併せて示す。なお、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パラッキがあるが、無被害地域に比べ汎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、前者は後者に比して、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
表-6 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の変化（地震前-地震前）の平均値（標準偏差）

<table>
<thead>
<tr>
<th>被害項目</th>
<th>HRVバンド1 [地震前]</th>
<th>HRVバンド2 [地震前]</th>
<th>HRVバンド3 [地震前]</th>
<th>HRVバンドノーバンド1</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>液状化</td>
<td>56.6 (5.6)</td>
<td>46.0 (7.4)</td>
<td>39.4 (7.6)</td>
<td>68.8 (10.4)</td>
</tr>
<tr>
<td>建物焼失</td>
<td>49.8 (2.5)</td>
<td>36.4 (2.6)</td>
<td>30.6 (2.7)</td>
<td>63.4 (5.2)</td>
</tr>
<tr>
<td>建物大被害</td>
<td>50.7 (3.5)</td>
<td>37.4 (3.0)</td>
<td>31.7 (3.3)</td>
<td>63.8 (5.6)</td>
</tr>
<tr>
<td>建物小被害</td>
<td>50.1 (3.5)</td>
<td>36.8 (3.2)</td>
<td>31.7 (3.4)</td>
<td>62.9 (5.9)</td>
</tr>
<tr>
<td>無被害</td>
<td>49.9 (3.5)</td>
<td>37.1 (3.1)</td>
<td>32.1 (3.4)</td>
<td>65.4 (6.5)</td>
</tr>
</tbody>
</table>

ここで，\( MDN_i \)はバンド\( i \)の比演算値，\( DN_i, DN_j \)はそれぞれバンド\( i, j \)の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-5に，表-5には基準差も併せて示す。なお，他のバンドを基準とした場合では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の比演算値の平均値の変化を考察すると，図-1に示したように，一般的に砂や塩霧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ピ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，地震後での比演算値（基準バンド2はバンド1）の差を図-6に示す。なお，図-1に示すように，SPOT/HRVのバンド2,3,4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-5～7には被害地域におけるSPOTでの値をLandsatの結果と対応させて示す。

図-5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，建築焼失地域や被害地域での輝度値は無被害地域とはほとんど違いがない。これは既往の研究とも調和的である。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-7に示す地震前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の違いがなく，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。これを受け，ます，SPOTとLandsatとはセンサの形式が異なり，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-5）と地震前後の比演算値の差（図-7）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：堆砂・堆砂地形，赤色：全壊・大破率≧30%
緑色：全壊・大破率≧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、教師あ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の比変化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。Landsat, SPOT 画像について、それぞれ被害地域分類をした結果を図－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%程度で幾分高くなる。また、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
地域や建物焼失地域には、実際の被害が含まれ、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%以上の地域を対象に、被災の歴史的傾向をも考慮する。しかしながら、山岳域においては液状化地域と誤分類される地域もあるため、山岳地域での誤分類箇所の多い地域には、観測時における面の色合い等が液状化による砂石の staining に伴う特徴を含めていたものと考えられる。また、液状化以外の地域では、表7に示すように被害の分類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も、多くは被災が焼失あるいは大破被害として想定される傾向にある。

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、機械的画分類に基づく衛星画像により被災推定の限界を示している。しかし、発災直後から刻々と変化する詳細な被害情報や地震計ネットワークを利用した被災推定結果を統合し、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を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、今後の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年兵庫県南部地震時の現地調査に基づく被害データと衛星前後の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後に比べて可視域から中間赤外域を輝度値が高く、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、山岳域の複雑な地形が液状化と分類され、実際には小被害や無被害であっても多くの画像が焼失あるいは大破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田中敏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蔵のものであり、宇宙開発事業団を通じて、Space Imaging EOSAT、SPOT IMAGEより提供を受けた。図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総務省第26号）。

参考文献
2) 後藤信之助、坂元誠、沢沢俊雄、野原雄雄：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) 福田哲、岸本康、北山浩平：液状化地域におけるランドサットTMデータのパンド特性、第15回土質工学研究発表会講演集、pp.119-120, 1990.
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推定の可能性に関する研究、東京工業大学修士論文、1990.
6) 田山俊次：衛星観測「情報立国」への日本での転機、朝日新聞週刊AERA 1月11日号、1999.
7) 髙宮真、竹内孝司：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.
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.