

人工衛星データによる阪神・淡路大震災の被災地抽出調査

後藤 恵之輔*・全 炳 徳*・西 川 麗**

Investigation of Stricken Area in the Hanshin-Awaji
Earthquake Disaster by Satellite Image Data

by

Keinosuke GOTOH*, Byungdug JUN* and Urara NISHIKAWA**

The Hyogoken-Nanbu Earthquake occurred on January 17, 1995 in Kobe district. This earthquake caused a heavy loss of human lives. There were huge damages by liquefaction, landslide, fire and so on. In this paper, stricken areas before the earthquake are compared with the same areas after that by using satellite image data of MOS and LANDSAT, and analyzed environmental factors. The possibility of disaster investigation by using satellite image data is checked, furthermore liquefaction damage, fire and collapsed houses are investigated.

1. はじめに

1995年1月17日の未明に、神戸を中心とした大都市域において、最大規模の都市直下型地震（阪神・淡路大震災）が起った。この震災では、高速道路が倒れたり鉄道が不通になり、ライフラインにまでその影響が及んだ。また、液状化や地滑り、火災などの被害により、死者および行方不明者が6,000人を越える、関東大震災クラスの大惨事となった。

そこで著者らは、17日あるいは16日ごとに観測する人工衛星データ（MOS, LANDSAT）により、震災前と後での被災地の差異を比較し、衛星データが持つ災害調査能力や可能性について調べた。

この人工衛星データは、不意の災害でも限りなく近い日のデータを容易に入手することができる特徴を持っており、観測の広域性と反復性、さらに経済的な特徴がある。

本研究は、地震災害後の被災地状況把握や復興のための基礎資料として、人工衛星データの有効性を打診するものである。

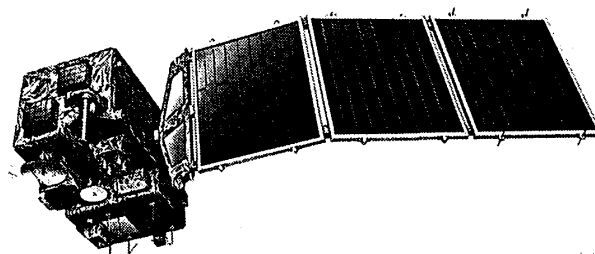
2. 人工衛星データ

2.1 MOSとLANDSAT

人工衛星には代表的なものとして、SPOT, LANDSAT, MOS, JERS-1などがあるが、今回解析に使用したのは、MOSのデータとLANDSATのデータである。

MOSは高度約909kmの宇宙から観測機器を常に地球に向けながら、約103分かけて地球を一周する仕組みとなっている。

図-1にMOSの外観を示す。このMOSは、各種

図-1 MOSの外観¹⁾

平成8年4月26日受理

*社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

**大学院修士課程社会開発工学専攻 (Graduate Student, Department of Civil Engineering)

センサーを用いて陸域および海洋の観測を行う地球観測衛星であり、観測機器としてMESSR (Multispectral Electric Scanning Radiometer, 可視近赤外放射計), VTIR (Visible and Thermal Infrared Radiometer, 可視熱赤外放射計), MSR (Microwave Scanning Radiometer, マイクロ波走査放射計) が搭載されている。

MESSRは可視域バンド2つ, 近赤外域バンド2つの計4つのバンドにより地表面を観測する放射計で, 衛星進行方向に対し直角に幅約100kmの地表面を測定する。検出素子にはCCDを用いており, 地表観測の分解能は50mである²⁾。

2. 2 使用したデータ

解析にはMOSのMESSRデータとLANDSATのTM熱赤外データを用いた。その観測日は, MOSのデータで震災前の91年12月16日と震災後の95年1月19日であり, LANDSATの熱バンドデータでは90年2月9日と95年2月7日である。観測時間としては, MOSデータで午前10時, LANDSATデータで午後9時のものである。

3. 衛星画像の前処理

人工衛星データをリモート・センシング技術センターから購入して, 磁気テープからフロッピーディスクに落とし, 画像解析を行った。画像解析の結果から, 地震前後のデータを比較し, その変化を追跡した。使用したデータは, 地震前と後が限りなく同じ条件でなければ, 季節の影響による電磁波の反射または放射率が変わるため, 震災が起きた2日後の95年1月19日のデータと, 季節的に限りなくこの時期に近い, 91年12月16日のデータを入手し使用した (MOSの場合, 写真-1参照)。LANDSATも同じ条件のもとで, 90年2月9日と95年2月7日のデータを選んだ。

衛星画像の前処理は, まず大気補正と幾何補正を行って震災前後のデータの条件を同じくし, 両データを比較することとした。この前処理をMOS/MESSRデータについて以下に記す。

図-2に示すように, 人工衛星データをそのまま使用すると, 霧や雲などの大気状況によって, 各バンド値に大きな差が生じる。地球を被覆している物質の反射や放射する電磁波を, 正確な値で捕えるには, 大気の影響を考慮すべきである。すなわち, 大気条件が異なる2時期のデータを同じ条件として正確な比較を行うためには, 大気によって増えたCCT値を取り除く作業が必要である。

そこで, 基礎統計量の計算を行い画像全域の統計量

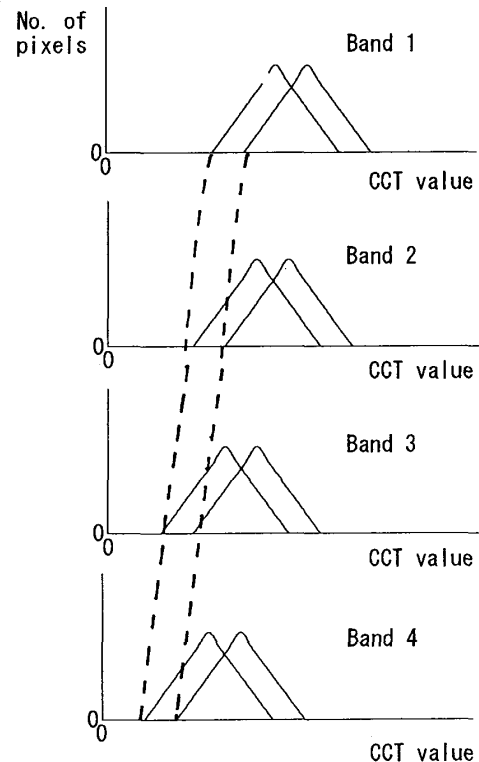


図-2 各バンドの大気による影響 (MOS)

を求め, CCT値の最小値を画像全体のCCT値から引く方法 (Bulk Collection)³⁾により, 両者で大気の影響が同じになるように大気補正を行った。表-1に示されている値が, 本研究で用いたMOS/MESSRデータの各バンドにおけるCCT値の最小値である。

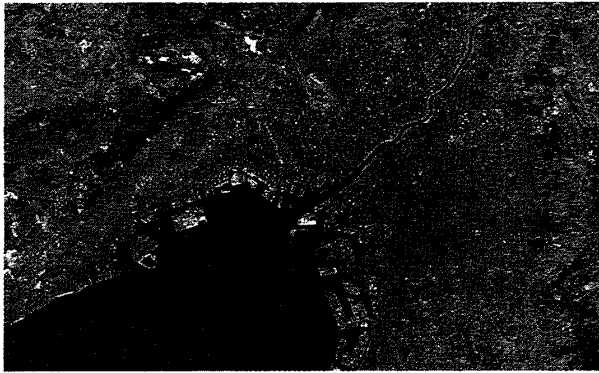
また衛星画像は, 地軸の傾きや地球の自転などの影響により歪んでいるため, 両データが合致するように幾何補正を行った。これらの前処理によって両データにおける同一場所での比較ができるように施した。

4. MOS/MESSR 画像の解析

2つの画像の差異を解析するために, 大気補正および幾何補正を行ったデータに対して画像間四則演算を行った。方法としては, 91年の画像データから95年の画像データのCCT値を減算した。バンド-1からバンド-4を通して, どの画像もほとんど差が見られなかった。これは, 全般的に95年の被災地の被覆状況が, 各バンドにおいて91年の画像データと比較して, 高い

表-1 各バンドにおける大気補正值

	BAND1	BAND2	BAND3	BAND4
91年	11	6	2	1
95年	7	7	2	1

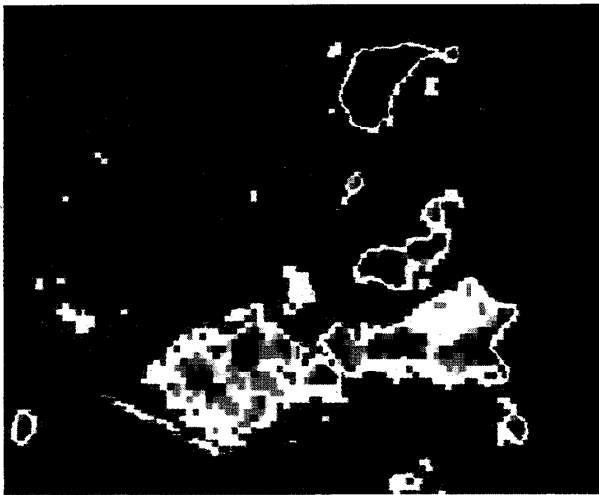


(a) 震災前 (1991年12月16日)

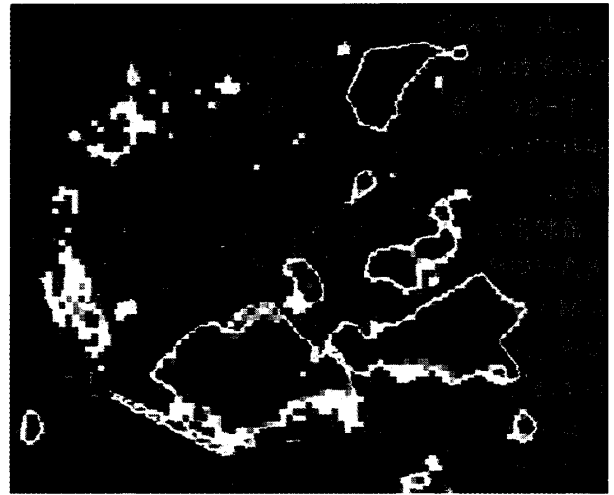


(b) 震災後 (1995年1月19日)

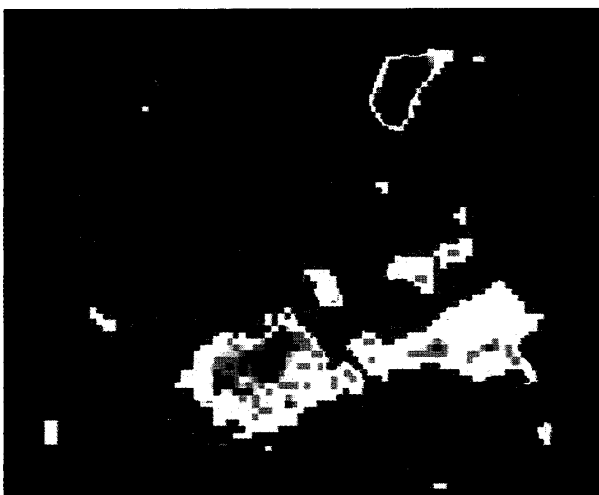
写真-1 前処理前の MOS/MESSR 画像



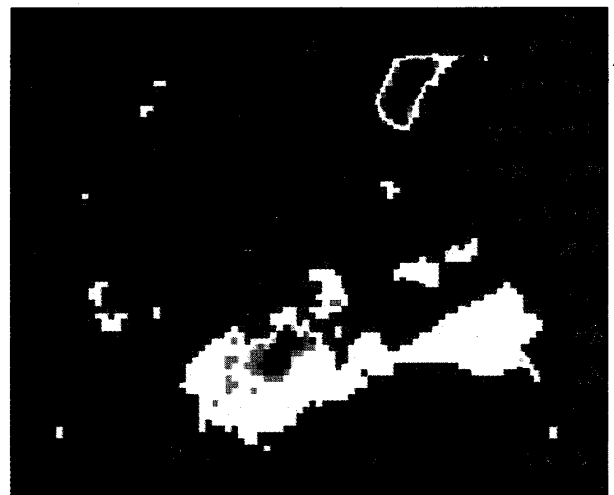
(a) BAND-1



(b) BAND-2



(c) BAND-3



(d) BAND-4

写真-2 ポートアイランドの差画像 (MOS/MESSR による)

CCT値として捕えられたからではないかと推察される。一方、95年の画像データから91年の画像データを引いた結果は、雲の影響によりところどころ白く現れているものの、被災地の部分において明らかに差が現れていたため、この差画像をもとに評価を行った。

4.1 液状化

阪神・淡路大震災では、被災の特徴として液状化がある。最も液状化の被害が広大であった場所は、ポートアイランドである。そこで液状化の解析としては、ポートアイランドに着目した。図-3に液状化の被災分布を示す。黒い部分が液状化の発生した箇所である。

衛星画像データとしては、ポートアイランドを拡大し、同じバンド同士で照合を行った。その解析結果を差画像として写真-2に示す。

これらの結果から伺えるように、バンド-2の画像ではきれいに液状化の所が浮き彫りになっており、バンド-3の画像ではバンド-2ほどではないが液状化が現れている。これは、次のような要因に基づくものである。

液状化とは、地震動により今まで安定していた土の構造が破壊されるもので、一時的に土粒子同士の付着が崩される現象である。この時、土粒子は宙に浮いた状態となり、地震が治まることにより、再び新しい土粒子構造が作られる。その土粒子構造は、以前の土粒子構造よりも密になる。そのために今までの間隙水が一気に地表面近くに現れ、軟弱な土となる。換言すれば、液状化は土のせん断強さが著しく弱まり、液体のような挙動を示す現象である⁵⁾。

表-2に示されているように、MOS/MESSRのバンド-2の波長域は610~690nmで、バンド-3の波長域は720~800nmである。砂の反射率は、図-4に示されるように、砂の上に水がない試料で最も反射率が高く、水が含まれている場合、反射率が低くなっていることが伺える。特に、バンド-3の波長域では、水が多いほど反射率の値が著しく下がる傾向がある。砂の上に水がある試料は、バンド-2の波長域でピークを迎える。それ以上の波長域では下降線として現される。

このことから、液状化により水を含んだ砂はバンド-2の波長域で最も反射率が高く、液状化域はこの波長域で捕え易いということがいえる。次にバンド-3では、バンド-2に比べてやや劣るが液状化域を捕えることができる。他の波長域ではほとんど捕えられない。

4.2 火災

神戸市長田区では火災による被害が多発した。本研

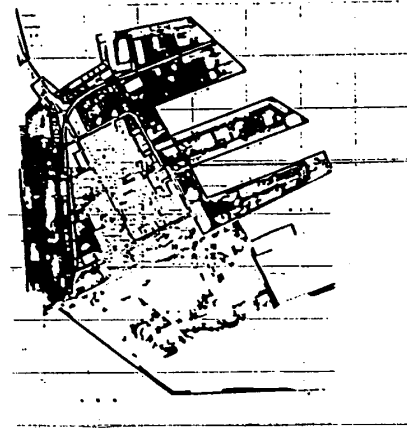


図-3 ポートアイランドにおける液状化の被災箇所⁴⁾

表-2 各バンドの波長域 (MOS/MESSR)⁶⁾

	観測波長 (nm)
BAND-1	510~ 590
BAND-2	610~ 690
BAND-3	720~ 800
BAND-4	800~1100

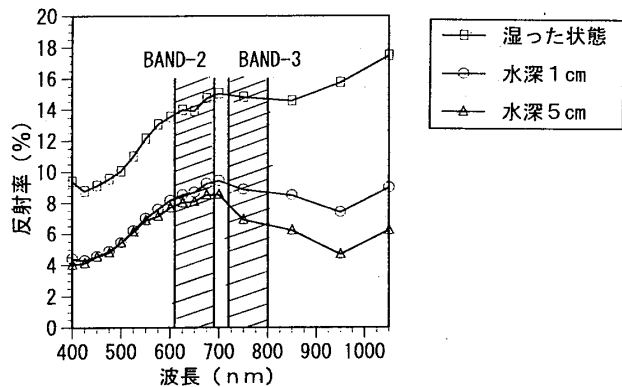


図-4 砂の反射特性 (著者らの実験による)

究では衛星データによる火災箇所の解析を行った。方法としては液状化と同様に、画像間四則演算で減算を行ったが、差異は稀少であった。そこで減算を行わず、もとの画像上での比較を行った。

図-5に長田区の被災状況を示す。黒で囲まれている箇所が火災現場である。衛星データと照合した結果、比較的雲の少ない長田区において、大阪ガス製造所北西方角の火災現場を抽出できた。図-6に、火災現場の各バンドにおけるCCT値を示す。バンド-1と3

の CCT 値の差は 1 くらいである。1 の差では、はっきりと火災によるとは言えない。大気補正は、雲の影響までは除ききれないので、これが原因ではないかとも考えられる。バンド-2 では、91年のデータで CCT 値が 11, 95年のデータで CCT 値が 13~14 を示している。この結果から、火災現場は MOS/MESSR データのバンド-2 が有効であると言える。

そして、バンド-4 で全体に差が現れているが、被災地だからとは一概に言えない。大気補正を行っている上で広域的に差が大きく現れたことは、何らかの異常現象として捕えてよいのではないかと考察される。このことは、今後の検討課題のひとつである。

4. 3 家屋の倒壊および破損

神戸市灘区は今回のデータで雲が無く、家屋の倒壊や破損の被害が多かったため、解析はこの灘区に着目した(図-7参照)。灘区の画像データも長田区と同じ様に減算を行わないそのままの画像で比較を行った。

これらの結果からは、バンド-1~3を通して、ほとんど変化はない結果となった(図-8参照)。バンド-3で CCT 値が微妙に差があるが、4.2で述べたようにはっきりと判断しにくい。この灘区のデータでも、バンド-4で広域的に何らかの異常現象が現れている。

このような結果から、灘区のデータでは、今後の検討課題であるバンド-4を除いて、バンド-1~3で変化がない。これは、MOS/MESSR データの場合、1ピクセルが50m×50mであることから、家屋の倒壊や破損はあまりに細かい情報なので、捕えることはできないと考えられる。例えば、1ピクセルが10m×10mや1m×1mの細かい解像度ならば、家屋の倒壊なども捕えることができると思われる。

5. LANDSAT 熱画像の解析

LANDSAT/TM データによる夜9時の阪神地区の



図-5 長田区の被災状況⁷⁾
黒く囲んである部分が火災範囲

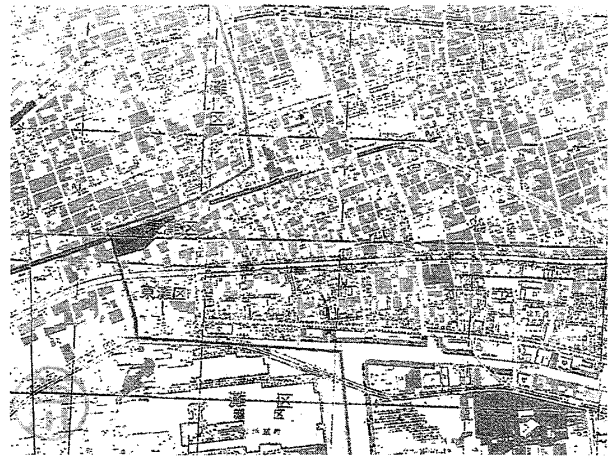
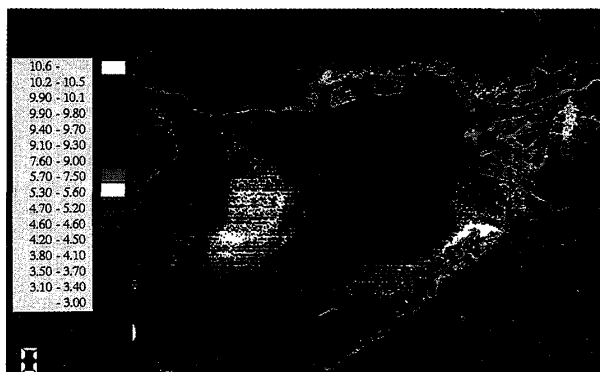
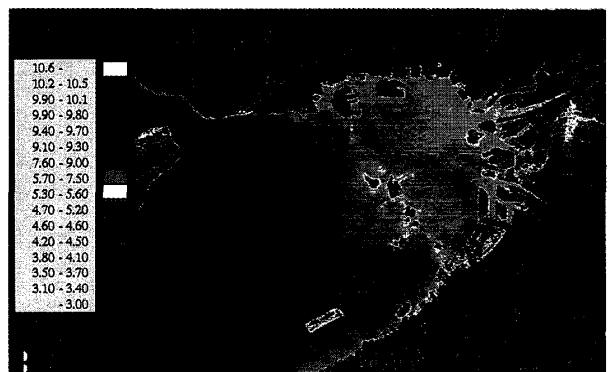


図-7 灘区の被災状況⁸⁾
黄・橙色の部分が家屋・建物の倒壊および破損の箇所

熱画像を写真-3に示す。写真左にカラーコードを併記しているが、温度表示色は上に行くに従い温度が高いことを示す。震災前では、神戸やポートアイランド



(a) 震災前 (1990年2月9日)



(b) 震災後 (1995年2月7日)

写真-3 震災前後における阪神地区の熱画像 (LANDSAT/TM による)

		Pixel No.					
		110	111	112	113	114	115
Line No.	80	10	10	10	10	10	10
	81	10	10	10	10	10	10
	82	10	10	10	10	10	10
	83	10	10	10	10	10	10
	84	10	10	10	10	10	10
	85	10	10	10	10	10	10

① BAND-1

		Pixel No.					
		110	111	112	113	114	115
Line No.	80	11	11	11	11	11	11
	81	11	11	11	11	11	11
	82	11	11	11	11	11	11
	83	11	11	11	11	11	11
	84	11	11	11	11	11	11
	85	11	11	11	11	11	11

① BAND-1

		Pixel No.					
		110	111	112	113	114	115
Line No.	80	11	11	11	11	11	11
	81	11	11	11	11	11	11
	82	11	11	11	11	11	11
	83	11	11	11	11	11	11
	84	11	11	11	11	11	11
	85	11	11	11	11	11	11

② BAND-2

		Pixel No.					
		110	111	112	113	114	115
Line No.	80	14	14	14	14	14	14
	81	13	13	13	13	13	13
	82	13	13	13	13	13	13
	83	13	13	13	13	13	13
	84	13	13	13	13	13	13
	85	13	13	13	13	13	13

② BAND-2

		Pixel No.					
		110	111	112	113	114	115
Line No.	80	7	7	7	7	7	7
	81	8	8	8	8	8	8
	82	8	8	8	8	8	8
	83	8	8	8	8	8	8
	84	8	8	8	8	8	8
	85	8	8	8	8	8	8

③ BAND-3

		Pixel No.					
		110	111	112	113	114	115
Line No.	80	8	8	8	8	8	8
	81	8	8	8	8	8	8
	82	8	8	8	8	8	8
	83	8	8	8	8	8	8
	84	8	8	8	8	8	8
	85	8	8	8	8	8	8

③ BAND-3

		Pixel No.					
		110	111	112	113	114	115
Line No.	80	4	4	4	4	4	4
	81	4	4	4	4	4	4
	82	4	4	4	4	4	4
	83	4	4	4	4	4	4
	84	4	4	4	4	4	4
	85	4	4	4	4	4	4

④ BAND-4

		Pixel No.					
		110	111	112	113	114	115
Line No.	80	8	8	8	8	8	8
	81	8	8	8	8	8	8
	82	8	8	8	8	8	8
	83	8	8	8	8	8	8
	84	8	8	8	8	8	8
	85	8	8	8	8	8	8

④ BAND-4

(a) 震災前 (1991年12月16日)

(b) 震災後 (1995年1月19日)

図-6 長田区の火災現場における各バンドのCCT値

		Pixel No.					
		150	151	152	153	154	155
Line No.	75	9	9	9	9	9	9
	76	9	9	9	9	9	9
	77	9	9	9	9	9	9
	78	9	9	9	9	9	9
	79	9	9	9	9	9	9
	80	9	9	9	9	9	9

① BAND-1

		Pixel No.					
		150	151	152	153	154	155
Line No.	75	9	9	9	9	9	9
	76	9	9	9	9	9	9
	77	9	9	9	9	9	9
	78	9	9	9	9	9	9
	79	9	9	9	9	9	9
	80	9	9	9	9	9	9

① BAND-1

		Pixel No.					
		150	151	152	153	154	155
Line No.	75	7	7	7	6	6	6
	76	7	7	7	6	6	6
	77	7	7	7	6	6	6
	78	7	7	7	6	6	6
	79	7	7	7	6	6	6
	80	7	7	7	6	6	6

② BAND-2

		Pixel No.					
		150	151	152	153	154	155
Line No.	75	7	7	7	7	7	7
	76	7	7	7	7	7	7
	77	7	7	7	7	7	7
	78	7	7	7	7	7	7
	79	7	7	7	7	7	7
	80	7	7	7	7	7	7

② BAND-2

		Pixel No.					
		150	151	152	153	154	155
Line No.	75	7	7	7	6	6	6
	76	7	7	7	6	6	6
	77	7	7	7	6	6	6
	78	7	7	7	6	6	6
	79	7	7	7	6	6	6
	80	7	7	7	6	6	6

③ BAND-3

		Pixel No.					
		150	151	152	153	154	155
Line No.	75	7	7	7	7	7	7
	76	7	7	7	7	7	7
	77	7	7	7	7	7	7
	78	7	7	7	7	7	7
	79	7	7	7	7	7	7
	80	7	7	7	7	7	7

③ BAND-3

		Pixel No.					
		150	151	152	153	154	155
Line No.	75	5	5	5	5	5	5
	76	5	5	5	5	5	5
	77	5	5	5	5	5	5
	78	5	5	5	5	5	5
	79	5	5	5	5	5	5
	80	5	5	5	5	5	5

④ BAND-4

		Pixel No.					
		150	151	152	153	154	155
Line No.	75	8	8	8	7	7	7
	76	8	8	8	7	7	7
	77	8	8	8	7	7	7
	78	8	8	8	7	7	7
	79	8	8	8	7	7	7
	80	8	8	8	7	7	7

④ BAND-4

(a) 震災前 (1991年12月16日)

(b) 震災後 (1995年1月19日)

図-8 灘区の家屋倒壊および破損した場所における各バンドのCCT値

の表面温度が5.2~5.6℃の値を示し、震災後では3.0~3.4℃の値となっている。このことは震災後には、熱が低くなっている事を示すものである。人が存在する以上、冬の夜であるので電気などを使い、熱を発生しているはずだが、温度は逆に低くなっている。これは、震災による人間活動のダメージをみごとに現していると言える。

6. まとめ

阪神・淡路大震災の前後における人工衛星画像を解析した結果、次のようなことが判明した。

- (1) 砂の液状化は、MOS/MESSR データのバンド-2と3の波長域で、明確に捕えることができる。
- (2) 火災の跡は、MOS/MESSR データを用いると非常に微かだが分かる。
- (3) 家屋の倒壊は、MOS/MESSR データとしては捕えることが難しい。
- (4) LANDSAT/TM の夜間熱バンドにより、人間活動のダメージを捕えることができる。

以上、人工衛星 MOS/MESSR と LANDSAT/TM の熱バンドのデータ解析結果から、これらが砂の液状化や火災跡あるいは人間活動のダメージの把握に有効であることが分かった。

人工衛星データは、雲の影響までは除ききれないという不利な点はあるが、環境変化を継続的に観測する

のに適している。その上、安全かつ容易に災害後の被災地把握ができる。今回の研究結果からも伺えるように、人工衛星データは家屋の倒壊などの細かい対象物は捕えにくい、液状化および火災については判読できる。特に液状化は、発生とその範囲をかなり高い精度で捕えることができている。これらの結果は、災害復興のための基礎資料になり得ると考える。

参 考 文 献

- 1) (財) リモート・センシング技術センター：日本の地球観測衛星，pp.7~10, 1994.
- 2) 宇宙開発事業団 地球観測センター：地球観測データ利用ハンドブック 第6章，p.25, 1982.
- 3) John A. Richards：Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer-Verlag, pp.40~41, 1986.
- 4) 国土地理院：平成7年兵庫県南部地震災害現況図(第II版)，pp.16~17, 1995.4.
- 5) 藤吉敏生：土木用語辞典 第2版，日刊工業新聞社，p.39, 1988.11
- 6) 土屋清：リモートセンシング概要，朝倉書店，pp.13~14, 1990.
- 7) 前出4)，p.19.
- 8) 同上，pp.13~16.