

高分解能衛星データの災害時利用に関する調査・研究2 Research on utilization of high resolution satellite data for disasters 2

地 理 調 査 部 坂部真一・石浜佐栄子
Geographic Department Shinichi SAKABE, Saeko ISHIHAMA

要 旨

本調査・研究は、平成11年度から平成13年度に行われた国土交通省総合技術開発プロジェクト「災害等に対応した人工衛星利用技術に関する研究」の一環として行われたものである。

ここでは、阪神・淡路大震災を事例に、高分解能衛星データを用いて、被害状況の把握を行うための調査・研究を行った。また、三宅島噴火を事例に、熱赤外域データを用いて熱分布等の把握を行うための調査・検証を行った。

得られた成果は、以下の通りである。地震によって引き起こされる6つの被災種類（建物倒壊、延焼、液状化、沈下、高架橋落下、山腹崩壊）について、地図画像等の地理情報を併用した場合の衛星データからの被災情報抽出可能性の検証、5種類の自動抽出手法を用いた抽出可能性の検証を行い、衛星データの場合との比較検討を行った。その結果、それぞれの被災種類に応じて被災情報抽出に必要とされる衛星データの仕様が明確になった。

次に、地震発生時に実際に衛星データを解析する職員のための「衛星データを用いた震災情報抽出マニュアル」を作成した。

そして、より効果的に被災状況を把握するために必要となる人工衛星のセンサ、観測・供給体制に関する提言をまとめた。

最後に、衛星データが将来、災害発生後24時間以内に入手できるようになった場合を想定して、その時間経過や活用手法について取りまとめた。

なお、本報告は根本他（2000）の続編となっている。

1. はじめに

我が国の建設行政は、戦後一貫して行ってきた「国土建設」から総合的な「国土マネジメント」への転換を進めているところである。そのためには、国土全体の状況を面的・広域的かつ定常的に観測・監視し、国土管理に関わる情報を包括的に収集・管理・分析・提供するための「国土管理技術」を早急に確立する必要がある。

このような状況を踏まえ、平成11年度より3年間にわたって国土交通省総合技術開発プロジェクト「災害等に対応した人工衛星利用技術に関する研究」が行われた。

本調査・研究はその一環として、今後打ち上げが予定されている高分解能衛星データを災害時に利用すること

を想定し、どのような基本仕様に基づく衛星データが災害時利用に最適なのかを明らかにすることを目的としている。

本調査・研究の全体計画は、ALOSデータ（ALOS衛星は2004年に打ち上げ予定）とSPOTデータを対象として、以下のように設定した。ただし、地震災害発生時の衛星データの利用に特化している。このうち（1）～（5）及び（7）の成果については根本他（2000）で既に報告済みであるので、今回は残りの課題について報告する。

- （1）各手法による抽出結果の評価
- （2）高分解能画像の必要性
- （3）画像のステレオ化の必要性
- （4）画像の繰り返し受信の必要性
- （5）画像の多チャンネル化の必要性
- （6）地理情報の併用の必要性
- （7）画像前処理の効果
- （8）被災情報の自動抽出の効果
- （9）熱赤外域データの有効性
- （10）災害時利用の為に技術マニュアル作成
- （11）衛星データの災害時利用のための提言

2. 調査・研究の方法

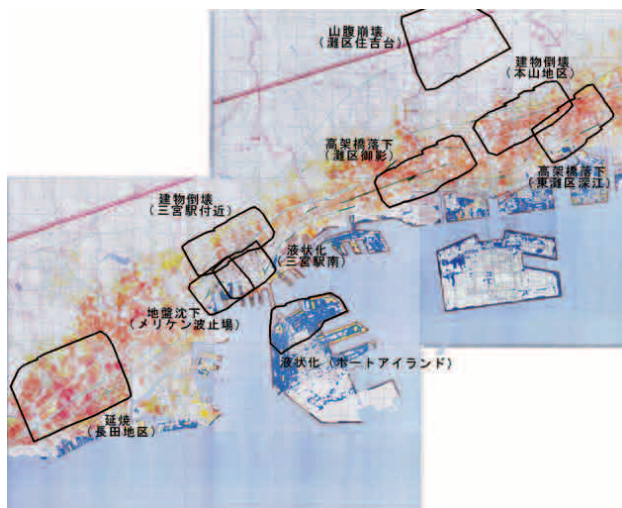
2.1 調査・研究の全体概要

本調査・研究は、地震災害時に発生する各種の被災状況を把握するために必要となる高分解能衛星データの仕様を明確にすることを目的としている。

被災状況を把握するための事例として、平成7年1月17日発生した阪神・淡路大震災において引き起こされた被害を取り上げた。具体的な対象範囲（9地域）と対象被災種類（6種類）を、図-1及び表-1に示す。また熱赤外域データの有効性検証については、阪神・淡路大震災時に観測された適当な衛星データがなかったため、三宅島噴火を事例とした。

衛星データは、中分解能衛星データであるSPOTデータと高分解能衛星データであるALOSデータを用意した。それぞれ、震災前後の衛星データと震災後のステレオペアの衛星データを用意し、単画像での判読の他、震災前後の比較判読と立体視判読ができるよう準備した。ただし、ALOS衛星はまだ打ち上げられていないため、空中写真から作成したALOS衛星シミュレーションデータを代わりに用いた。熱赤外域データについては、

LANDSAT ETM+とTerra ASTERデータを用意した。また、被害区域の抽出精度を検証する際のリファレンスデータとして、国土地理院作成「平成7年兵庫県南部地震災害現況図〔第Ⅱ版〕」を用いた。



図－1 対象範囲

表－1 対象被災種類

	被災種類	対象地域	面積 (km ²)	被害状況
(1)	建物倒壊	JR三宮駅周辺	3.0	高層ビルの倒壊が顕著だった
(2)		JR摂津本山駅周辺	3.5	一般家屋の倒壊数が極めて多かった
(3)	延焼	JR新長田駅 鷹取駅周辺	6.7	地震後の火災により焼失が著しかった
(4)	液状化	ポートアイランド	3.4	埋め立て地で、大規模な液状化が発生した
(5)		JR三宮駅南	1.9	埋め立て地ではないが、道路上に小規模な液状化が発生した
(6)	沈下	メリケン波止場	1.9	沈下により岸壁が崩壊した
(7)	高架橋落下	東灘区 深江地区	2.7	阪神高速道路の高架橋が約500mにわたって落下した
(8)		灘区 御影地区	3.4	阪神電鉄の高架橋などが落下した
(9)	山腹崩壊	灘区住吉台地区	7.1	多数の山腹崩壊が発生した
	火山噴火	三宅島		大規模な噴火と火砕流が発生した

2.2 今回の調査・研究の概要

本調査・研究では、根本他(2000)に引き続き、以下に挙げる課題に取り組んだ。

● 地理情報の併用の必要性

根本他(2000)では衛星データのみで災害状況がどの程度判読できるのかについて考察してきたが、本調査・研究では、土地利用データや標高データなどの地理情報を併用した場合、衛星データのみに比べてどの程度判読能力が向上するかについて検証を行った。

● 被災情報の自動抽出の効果

根本他(2000)では目視判読のみについて考察してきたが、本調査・研究では、レベルスライス、クラスター分類、テキスト解析、2種類の差分解析の手法を用いて、被災区域の自動抽出の精度検証を行った。

● 熱赤外域データの有効性

三宅島噴火を事例に、熱赤外域データによる高温域の把握と大気中の二酸化硫黄(SO₂)の把握の可能性を検討した。

● 災害時利用の為の技術マニュアル作成

実際の地震発生時に対処するために、衛星データの選定方法、入手方法、データ処理手法、判読・解析手法等について、技術マニュアルをとりまとめた。

● 衛星データの災害時利用のための提言

以上の結果を踏まえて、地震災害発生時の被災状況を把握し、救助・復旧作業に生かすために必要となる人工衛星のセンサの条件、データ取得頻度、データの取得・供給体制について提言をまとめた。

3. 得られた成果

3.1 地理情報の併用の必要性

地理情報を併用した場合、衛星データのみに比べてどの程度判読精度能力が向上するかについて検証を行った。〔 〕内は使用したデータ項目を示す。

衛星データとともに用いた地理情報は、数値地図25000(地図画像)、デジタルマップ2500[等高線・DEM]、細密数値情報(10mメッシュ土地利用)、数値地図2500(空間データ基盤)[街区・道路]、1/25,000都市圏活断層図[地形分類・活断層]、1/25,000都市計画図[用途地域・公園・防災地域]である。衛星データは、SPOT、ALOSシミュレーションデータともにパナクロ画像のみを用いた。

衛星データの前処理は、根本他(2000)の検証の結果、判読画像の作成に最も有効と判断された以下の方法を使用し、幾何補正された判読用画像を作成した。

- 幾何補正時の内挿法…3次たみこみ内挿法
- 色調補正…統計量による方法(標準偏差2.0)
- フィルタリング…エッジ強調

3.1.1 地理情報を併用した単画像判読

地理情報を併用した場合についての被災箇所視認性検証の結果を、表－2に示す。

なお、視認性検証の方法は、以下のとおり。

視認性の検証は、衛星データ及び地理情報をモニタ

上に並べ、デジタルデータ化した災害現況図を参考としながら、衛星データ上で被災状況を確認する方法を用いた。

併用効果のあった地理情報は、被災種類別に以下のとおり。

- 液状化…数値地図25000（地図画像）
- 沈下…数値地図25000（地図画像）
- 高架橋落下…数値地図2500の道路データ
- 山腹崩壊…数値地図25000（地図画像）、デジタルマップ2500（等高線・DEM）

表－2 地理情報併用の視認性検証結果

（影の部分は衛星データのみでより評価が向上した項目）

被災種類	対象地域	衛星データ＋地理情報					
		SPOT			ALOS		
		モノクロ	カラー	パンシャープ	モノクロ	カラー	パンシャープ
		10m	20m	10m	2.5m	10m	2.5m
建物倒壊	JR三宮駅周辺	△	△	△	○	△	○
	JR摂津本山駅周辺	△	△	△	○	△	○
延焼	JR新長田駅、鷹取駅周辺	○	○	○	◎	○	◎
液状化	ポートアイランド	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	JR三宮駅南	△	△	△	△	△	△
沈下	メリケン波止場	◎	○	◎	◎	○	◎
高架橋落下	東灘区深江地区	◎	△	◎	◎	○	◎
	灘区御影地区	△	△	△	○	△	○
山腹崩壊	灘区住吉台地区	◎	◎	◎	◎	◎	◎

凡例 ◎判別可能、○やや困難、△不可

この結果は、SPOTデータの利用において、半分の被災種類で地理情報の併用効果が見られることを示している。地理情報によって位置と被害発生範囲の候補域が明確になることから、より効率的に被災範囲が抽出できると言える。

3.1.2 地理情報を併用した立体視判読と震災前後の比較判読

ステレオペアの衛星データと震災前後の衛星データについて、地理情報を併用した場合の視認性検証結果を、それぞれ表－3及び表－4に示す。また、図－2に、地理情報併用効果のあった事例を示す。

表－3では、単画像判読では認識不可能であった高層建物の横転個所が、一部ではあるが、立体視判読で認識できたことが示されている。

表－4では、SPOTデータによる建物倒壊の判読のみ効果があったが、あえて震災前後の衛星データを用いる効果は見られなかったことが示されている。

表－3 立体視判読の視認性検証結果

（パンクロ画像のみで検証、影の部分は単画像判読より視認性が向上した項目）

被災種類	対象地域	衛星データのみ		衛星データ＋地理情報	
		SPOT	ALOS	SPOT	ALOS
		10m	2.5m	10m	2.5m
建物倒壊	JR三宮駅周辺	△	◎ ^{*1}	○	◎ ^{*1}
	JR摂津本山駅周辺	△	○	△	○
延焼	JR新長田駅、鷹取駅周辺	○	◎	○	◎
液状化	ポートアイランド	○	◎	○	◎
	JR三宮駅南	△	△	△	△
沈下	メリケン波止場	○	◎	○	◎
高架橋落下	東灘区深江地区	○	◎	○	◎
	灘区御影地区	△	○	△	○
山腹崩壊	灘区住吉台地区	◎	◎	◎	◎

凡例 ◎判別可能、○やや困難、△不可

*1…横転した高層建物の一部が把握できた

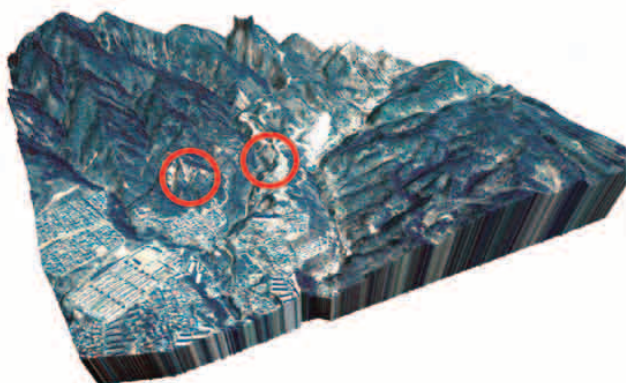
表－4 震災前後の衛星データ判読の視認性検証結果

（パンクロ画像のみで検証、影の部分は単画像判読より視認性が向上した項目）

被災種類	対象地域	衛星データのみ		衛星データ＋地理情報	
		SPOT	ALOS	SPOT	ALOS
		10m	2.5m	10m	2.5m
建物倒壊	JR三宮駅周辺	○	○	○	○
	JR摂津本山駅周辺	△	○	△	○
延焼	JR新長田駅、鷹取駅周辺	○	◎	○	◎
液状化	ポートアイランド	○	◎	◎	◎
	JR三宮駅南	△	△	△	△
沈下	メリケン波止場	○	◎	◎	◎
高架橋落下	東灘区深江地区	○	◎	◎	◎
	灘区御影地区	△	○	△	○
山腹崩壊	灘区住吉台地区	○	◎	◎	◎

凡例 ◎判別可能、○やや困難、△不可

図－2では、DEMを併用することにより地形及び傾斜の程度を読み取ることができ、山腹崩壊候補地を効率的に把握することが可能となることがわかる。



図－2 DEMを活用した山腹崩壊の判読例

以上の結果より、被災種類別に必要となる衛星データ及び地理情報を表－5にまとめる。

この結果より、地理情報併用の最も大きな効果は、

- (1) 数値地図25000（地図画像）等を利用した場所の特定の効率化
 - (2) デジタルマップ2500を利用した地形把握による被災候補範囲の絞り込み
 - (3) 数値地図2500（空間データ基盤）等の街区、道路、公園等の情報による被災候補範囲の絞り込み
- であり、地理情報併用は、半数以上の被災種類において、衛星データの地上解像度のレベルを上げるのと同程度の大きな効果があることが明らかになった。

表－5 被災種類別の判読に必要な衛星データ等の条件

被災種類		最低限必要な衛星データと地理情報
建物 倒壊	高層建物	高分解能パナクロデータの立体視画像
	中・低層建物	－（判読困難のため）
延焼		高分解能パナクロデータの単画像
液状化	大規模	高分解能パナクロデータの単画像 又は 中分解能データ＋地理情報
	小規模	－（判読困難のため）
沈下		高分解能パナクロデータの単画像 又は 中分解能データ＋地理情報
高架橋 落下	大規模	高分解能パナクロデータの単画像 又は 中分解能データ＋地理情報
	小規模	－（判読困難のため）
山腹崩壊		中分解能パナクロデータの単画像 又は 中分解能カラーデータ＋地理情報

3.2 被災情報の自動抽出の効果

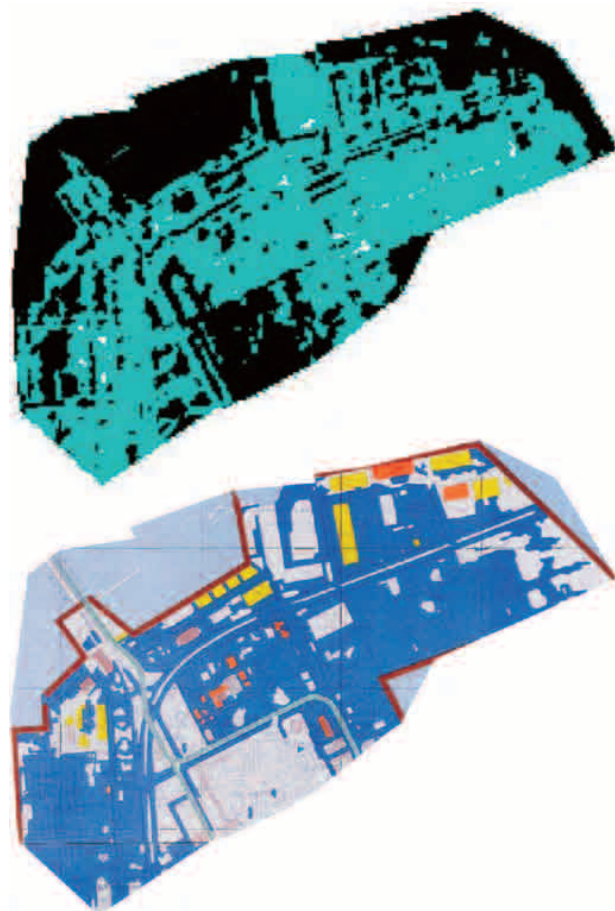
本調査・研究では、レベルスライス、クラスター分類、テクスチャ解析、2種類の差分解析の手法を用いて、被災範囲の自動抽出について精度検証を行った。

3.2.1 レベルスライス

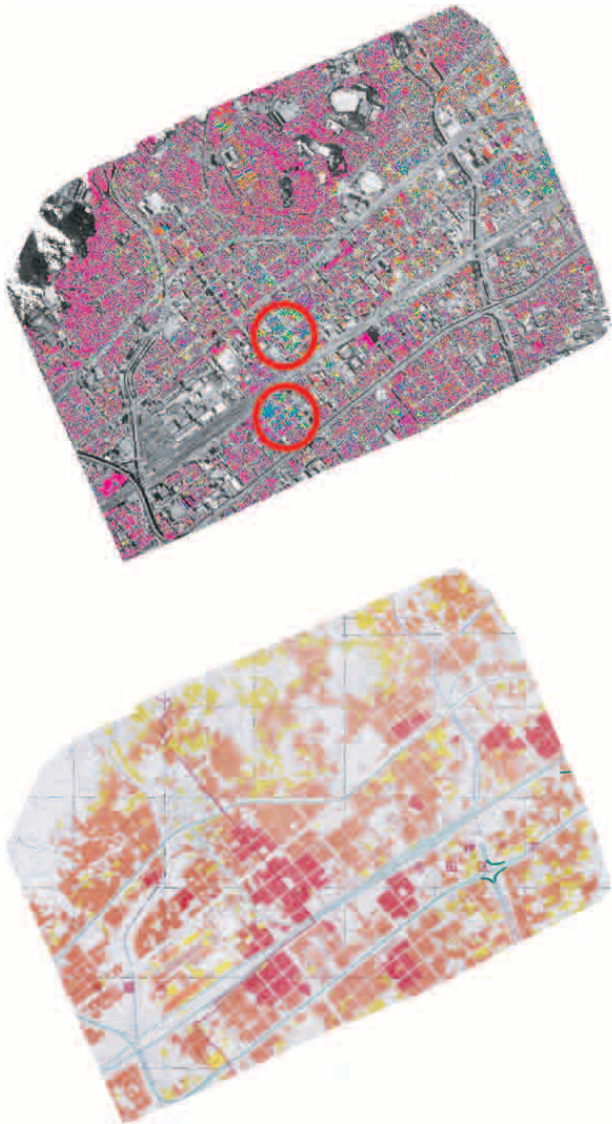
レベルスライスは、画像の輝度値に着目した自動抽出手法で、画像濃度（衛星データの場合CCT値）に任意のしきい値を設け、そのしきい値で区分することによって情報の抽出を行う手法である。ここでは、各対象地区の震災後のパナクロ画像を用いて被災地域の抽出を試みた。次に被災地の立地条件等を考慮し、地理情報の併用による精度の向上を図った。

液状化の事例を図－3に、延焼の事例を図－4に示す。

図－3で示すように、レベルスライス処理は、液状化（ポートアイランド）、沈下（メリケン波止場）、山腹崩壊（灘区住吉台）に対して有効であった。これらはいずれも被災状況が画像の色調に明瞭に現れるためであると考えられる。また図－4に示すように、延焼（長田）他は色調変化が比較的小さく、誤抽出が多くなる傾向があった。

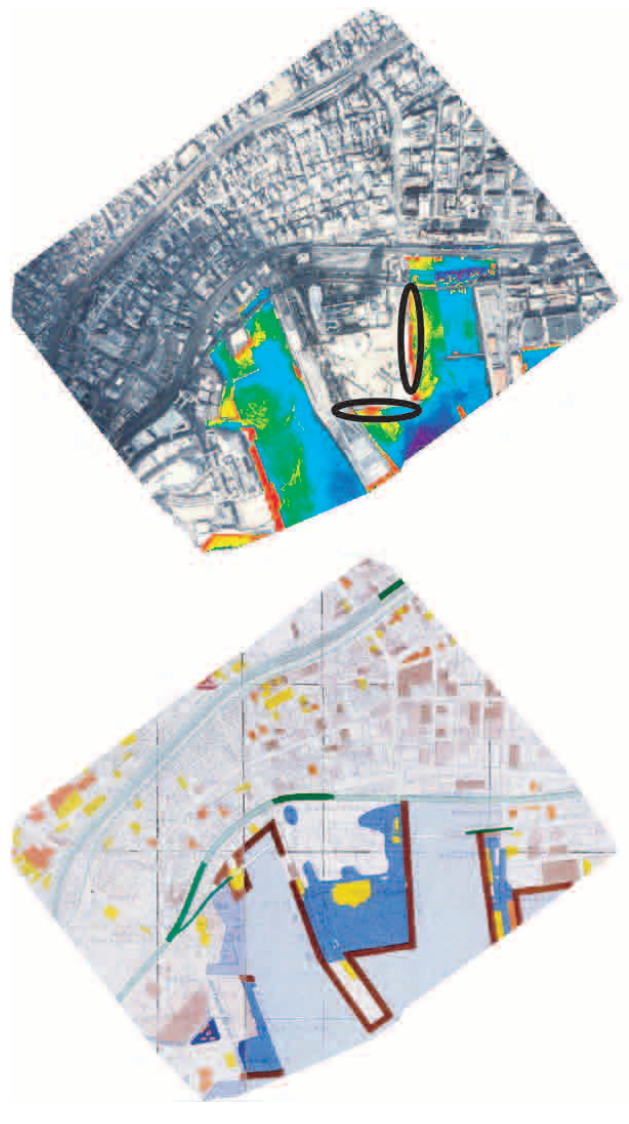


図－3 レベルスライスによる液状化域自動抽出
（上段はSPOTパナクロ画像のレベルスライス、下段は災害現況図（青色部分が液状化域））



図－４ レベルスライスによる延焼域自動抽出

(上段はALOS PRISM画像のレベルスライス、下段は災害現況図(赤色部分が液状化域))



図－５ クラスター分類による沈下域自動抽出

(上段は地理情報マスク後のALOSパナシャープン画像をクラスター分類したもの、下段は災害現況図(茶色部分が沈下域))

3.2.2 クラスター分類

クラスター分類は、特徴の類似したデータを「似たもののどうし」としてグループ化(クラスタ化)する手法であり、トレーニングデータを用いない「教師無し分類」の代表的な手法である。自動分類には、あらかじめ分類する項目を指定する「教師付き分類」手法もあるが、教師となるトレーニングデータを正確に取得するには時間がかかる。本調査・研究では迅速性を重視してクラスター分類を用いて検証した。

沈下の事例を図－5に示す。

クラスター分類は、液状化(ポートアイランド)、沈下(メリケン波止場)、山腹崩壊(灘区住吉台)に対して有効であった。これらの被災タイプは被災による色調

変化が明瞭であり、他の土地被覆とのクラス分けが容易であるためと考えられる。

3.2.3 テクスチャ解析

衛星データ上で認められる被災区域の特徴として、きめの変化が挙げられる。そこで、きめを数値的に表すことができるテクスチャ解析によって被災区域の自動抽出を試みた。加えて被災地の立地条件等を考慮し、地理情報の併用により精度の向上を図った。

ここでは、テクスチャ解析の代表的な手法の中から、統計的特徴を利用した解析手法を用いた。具体的には3×3の領域を対象に、頻度の総和が1になるように正規化された濃度ヒストグラムから分散を算出し、テクス

チャの特徴量とした。すなわち、値が大きい箇所はきめが細かく、値が小さい箇所はきめが粗いという画像を作成した。

高架橋落下の事例を図－6に示す。



図－6 テクスチャ解析による高架橋落下域自動抽出
(上段は地理情報マスク後のALOS PRISM画像をテクスチャ解析したもの、下段は災害現況図(緑色部分が高架橋落下域))

テクスチャ解析は、延焼(長田)、沈下(メリケン波止場)、高架橋落下(東灘区深江)、山腹崩壊(灘区住吉台)に対して有効であった。これらの区域は被災箇所のきめが周辺と異なるため、その違いがテクスチャ画像に敏感に反映されたものと考えられる。ここまでの検証結果を、表－6にまとめて示す。

表－6 自動抽出の効果のあった被災種類

自動抽出手法	効果のあった被災種類
レベルスライス	液状化(ポートアイランド) 沈下(メリケン波止場) 山腹崩壊(灘区住吉台)
クラスター分類	液状化(ポートアイランド) 沈下(メリケン波止場) 山腹崩壊(灘区住吉台)
テクスチャ解析	延焼(JR新長田駅鷹取駅周辺) 沈下(メリケン波止場) 高架橋落下(東灘区深江) 山腹崩壊(灘区住吉台)

3.2.4 差分解析

次に単画像ではなく、震災前後の衛星データから2種類の差分解析を行い、その変化量による震災情報の自動抽出を試みた。1つは、パンクロ画像の差分解析で、もう一つは、パンクロ画像のテクスチャ差分解析である。表－7に検証結果を示す。

表－7 差分解析の効果があった被災種類

自動抽出手法	効果のあった被災種類
パンクロ画像の差分解析	液状化(ポートアイランド) 沈下(メリケン波止場) 山腹崩壊(灘区住吉台)
パンクロ画像のテクスチャ差分解析	延焼(JR新長田駅鷹取駅周辺) 沈下(メリケン波止場) 高架橋落下(東灘区深江) 山腹崩壊(灘区住吉台)

差分解析については、面積に広がりのある3つの被災種類(延焼、液状化、山腹崩壊)の抽出精度を検証した。表－8に目視判読によって抽出された被災区域を真値として、面積率で表した検証結果を示す。

表－8 差分解析の被災区域抽出精度(面積%)

被災種類	使用データ	衛星データ+地理情報			
	解析方法	差分解析		テクスチャ差分解析	
	衛星データ	SPOT	ALOS	SPOT	ALOS
延焼 (JR新長田駅鷹取駅周辺)				17.5 (+6.6)	23.0 (+9.1)
液状化(ポートアイランド)		73.6 (+3.9)	69.0 (+9.4)	69.4 (+6.5)	61.4 (+7.6)
山腹崩壊(灘区住吉台)		7.2 (+4.9)	10.4 (+3.9)	14.9 (+9.6)	7.1 (+4.8)

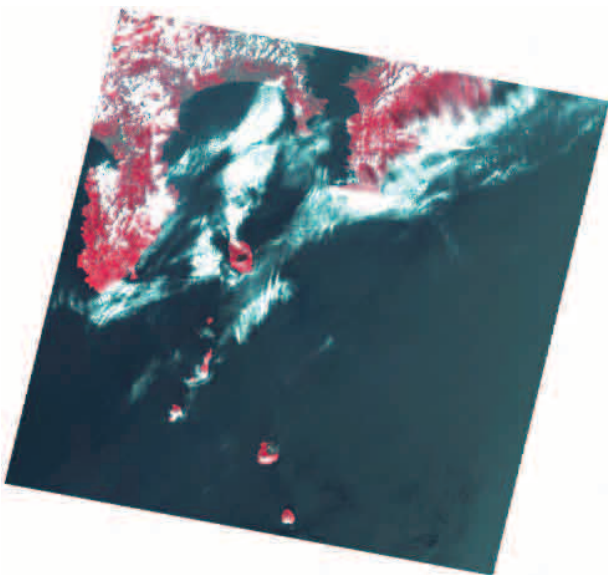
(()内の数値は、衛星データのみの場合と比較した際の増減)

表－8は、液状化区域の抽出に差分解析が有効であることがわかるが、その他については全く効果が不十分であることを示している。

従って、差分解析は目視判読を行う前の被災区域候補地の絞込みに有用であることがいえる。

表－9 使用した熱赤外画像

	撮影日 (H12)	空間分解能	バンド数
LANDSAT	7月19日	60m	1
ASTER	7月19日 11月8日	90m	5



図－7 LANDSAT画像

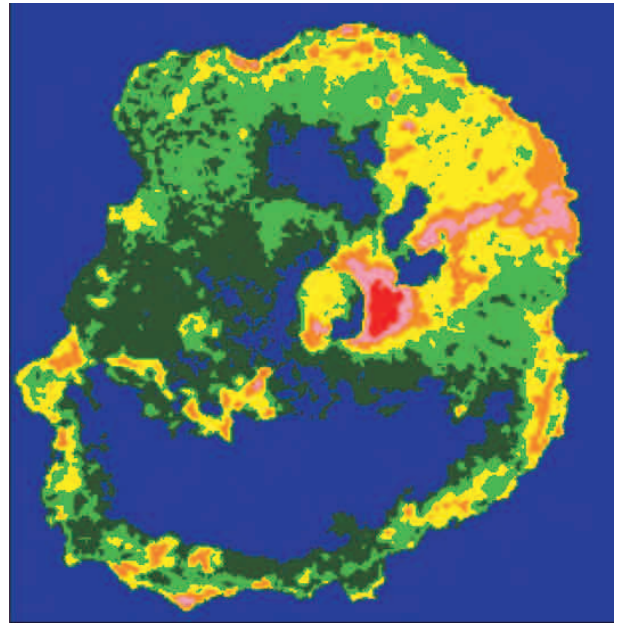
3.3 熱赤外域データの有効性

三宅島を例に、熱赤外域データによる高温域の把握と大気中の二酸化硫黄 (SO_2) の把握の可能性を検討した。準備したLANDSAT及びASTER画像の撮影年月日等を表－9に示す。またLANDSAT画像を図－7に示す。

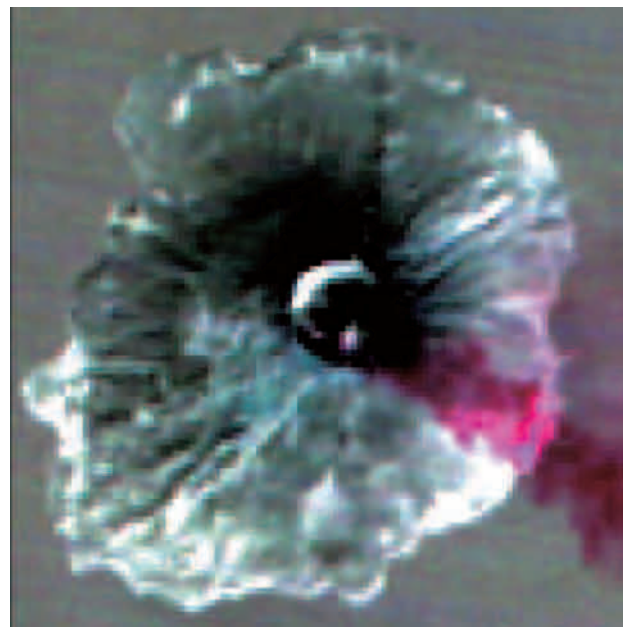
LANDSAT画像のバンド6をレベルスライス処理した結果、図－8に示すとおり、火口の東側から北東にかけて、また火口の南西にかけて高温域があることがわかった。

次に11月8日撮影のASTER画像のバンド10～14をシュードカラーで表示させたところ噴煙が赤く発色した(図－9に示す)。

浦井他(1999)によると、 SO_2 を含む大気の透過率は8～9.5 μm で低下する事が指摘されている(図－10を参照)。8～9.5 μm に相当するバンド10及びバンド11の輝度が低いために赤く発色していると解釈する事ができ、 SO_2 濃度の計測の可能性があることが示唆される。これは、複数の熱赤外バンドを保有するASTERの大き



図－8 LANDSAT熱赤外域データから作成した温度分布図
(赤色に近いほど高温を示す。外側の青色部分は海、陸中の青色部分は雲の存在により温度が低く示されている)



図－9 ASTER熱赤外画像
(R:G:B=バンド14:11:10)

な利点であり、今後の研究が期待される。

今回は、図－8に示すような温度分布及び図－9に示すような SO_2 濃度分布について検証を行うための観測データを入手することができなかったため、これ以上の考察は行っていない。

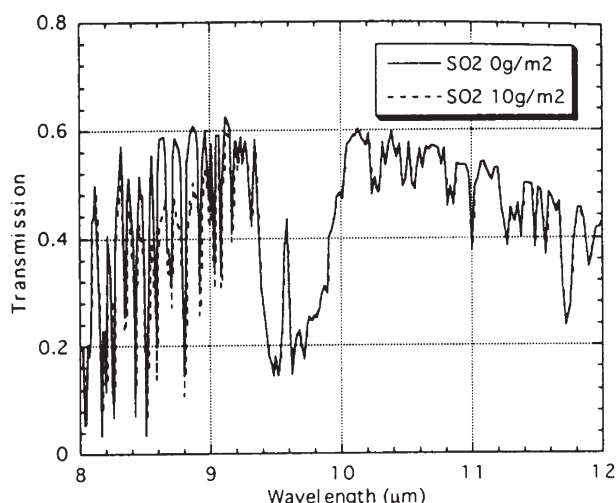


Fig. 2. Atmospheric transmission calculated with MODTRAN in the thermal infrared region. Solid line indicates atmospheric transmission of Tropical Model. Dashed line indicates atmospheric transmission of Tropical Model with 10g/m^2 of SO_2 .

図-10 SO_2 を含む大気の透過率と波長の関係

3.4 災害時利用の為の技術マニュアル作成

3年間の調査・研究で得た知見とリモートセンシングの現状を元に、地震発生時に実際に衛星データを解析する職員を想定して、「衛星データを用いた震災情報抽出マニュアル」を作成した。このマニュアルは国土地理院(2002)に収められている。

以下に目次を示す。

1. 総則
 - 1.1 本マニュアルの位置づけ
 - 1.2 本マニュアルの構成
2. 衛星データの入手
 - 2.1 衛星データの種類
 - 2.2 衛星データの選択
 - 2.3 衛星データの検索
3. 衛星データの前処理
 - 3.1 データのインポート
 - 3.2 表示バンドの選択と画像表示
 - 3.3 色調補正
 - 3.4 幾何補正
4. 処理・解析
 - 4.1 フィルタリング処理
 - 4.2 重ね合わせ及び比演算
 - 4.3 自動抽出
5. 判読画像の作成事例

本調査・研究の中で、被災種類によって必要となる最適な衛星データが明らかになったので、注目する被災タイプによって使用すべき最適な衛星データを「2.2 衛

星データの選択」で紹介している。また「5. 判読画像の作成事例」では、判読画像の作成事例を紹介すると共に、判読事例集として活用できるようになっている。

4. 提言

これまでにまとめられた現状と課題に基づいて、より効果的に被災情報を抽出するために必要となるセンサの条件、データ取得頻度、データの取得・供給体制等について提言を行い、また災害発生後24時間以内に衛星データを入手できた場合の活用シナリオを提案する。

4.1 災害時利用のための提言

4.1.1 センサの条件

(1) 地上分解能

地震による被災状況についての情報は、衛星データの地上分解能に大きく依存することが、今回の調査で明らかとなった。とくに建物倒壊や高架橋落下といった人工建造物の被害抽出については、地上分解能の影響が非常に大きく、SPOT画像のような中分解能の衛星データでは抽出が困難である。また、延焼や山腹崩壊の場合でも、被害の面積によって高い地上分解能をもつ衛星データを利用した方が、より正確な被災状況を把握することができるといえる。

一方、衛星データの自動分類結果から見ると、大規模な液状化の抽出精度は中分解能衛星データの方が高い結果となり、被害の規模と種類、抽出の手法によって、中分解能が有利となる場合もあることがわかった。さらに、中分解能衛星データの利点は、より広い範囲のデータを取得することが可能であり、広域に及ぶ被害を短時間で把握することが可能と考えられる。

以上のことから、センサの地上分解能については1m以下の高分解能をもつセンサと、中分解能、広範囲観測ができるセンサの両方が必要であるといえる。

(2) その他(ステレオペア画像)

地上分解能の他、被災区域の抽出に重要な衛星データの性能に、立体視があげられる。立体視判読によって得られる高さの情報は、高さが重要な判読キーとなる震災情報においてメリットが大きい。

今回設定した震災情報の中では、建物倒壊、高架橋落下、山腹崩壊の3種類が、高さが判読キーとなるものである。建物倒壊は、立体視判読により高さを読み取り、被災前の高さと比較することによって、色や形だけでは把握できない倒壊状況(中階が押しつぶされるケースなど)を把握することができる。高架橋落下については、高さの情報により、落下した高架橋と落下しない高架橋を明瞭に区別することができる。山腹崩壊については、高さの情報によって崩壊の痕跡を把握することができ、崩壊土砂量の計測の可能性がある。

これらの情報の中で、SPOTデータレベルの地上分解能(10m~20m)で把握できる情報は、山腹崩壊のみで

ある。その山腹崩壊もかなり規模の大きい崩壊でない限り、崩壊の痕跡や崩壊土砂量の計測を行うことはできない。ALOS データレベルの地上分解能（2.5m～10m）では、対象物の規模にもよるが建物倒壊、高架橋落下、山腹崩壊のすべての情報を抽出することができる。

以上のことより、立体視判読のメリットは、地上分解能が高くなるほど増大すると考えられる。ALOS に搭載される予定の PRISM は、一度に 3 方向（前方、直下、後方）の 2.5m 解像度の画像を観測することができ、災害時の被災箇所抽出には非常に有効と考えられる。

4.1.2 データ取得頻度

現在運用されている衛星は、ポインティング機能を有するものが多く、単一の衛星で同一の場所を 1～2 日に 1 回観測することが可能なものもある。こうした衛星が複数運用されることによって、1 日に数回の観測も可能となりつつある。

災害は 1 日 24 時間のうち、どの時刻にも起こり得る。しかしながら、現在の地球観測衛星は、午前 10 時 30 分前後に地上を観測するように設定されているものが圧倒的に多い。これは、衛星に地上をほぼ同じ条件で観測するために最も都合が良い軌道を周回させているためである。

従って災害発生直後にいち早く地表を観測するためには、通常の地球観測衛星とは異なる軌道又は時間帯を周回する衛星が必要であるといえる。

4.1.3 データの取得・供給体制

災害発生時には、被災者の避難、損壊物の復旧、救援物資の搬送など、迅速な措置を即時にとらなければならない場合が多い。現時点で衛星データを利用する場合、被災地の衛星データを入手するまでに要する時間は、早くて 2～3 日、遅くて 1～2 週間である。被災地の抽出結果を得るまでには、さらに時日を要することとなる。

災害発生時には数時間以内に情報を得ることが望ましく、現状では被災初期における実利用は困難といわざるを得ない。しかしながら、カナダの RADARSAT の例に見るように、あらかじめデータの供給体制を確立しておくことにより、数時間以内のデータ入手も可能となりうる。

将来的には、衛星データ入手期間の短縮を実現するシステムの構築、自動マッチング機能等を組み込んだ自動幾何補正アルゴリズムの開発などが必須である。さらに、衛星データと併用する高精度 DEM や社会基盤データ等の地理情報の整備、円滑なモニタリングを実現させるための時系列衛星データアーカイブの整備など、データベースの整備も重要課題であるといえる。

4.2 高分解能衛星データ活用シナリオ

通常、衛星データの入手は撮影後早くても数日かかり、撮影側及びデータ提供側の体制整備等により入手までの必要日数が減ってきているとはいえ、現状では被害状況

を即座に把握するためのツールとして役に立つケースは少ないと考えられる。

そこで本調査・研究では、撮影依頼後 24 時間以内で衛星データを入手することができた場合を想定し、その際どのようなことが可能であるのかについて検討した。

4.2.1 24 時間以内に入手する為の時間経過

24 時間以内に衛星データを入手するための時間経過例を、現状と実行可能性を含めて、表－10 に示す。また、この時間経過を検討するにあたって設定した仮定を以下に示す。

表－10 衛星データ入手までの時間経過例

時刻	事象・行動	現状	可能性
5:40	地震発生		
6:30	観測要求提出	観測の 72 時間前 (RADARSAT の場合)	迅速な観測計画の変更に対応できるようなシステムを構築することにより即時対応が可能
10:30	衛星による観測		
11:00	地上局でデータ受信	10 分程度 (60Mbps)	ALOS では最大 240Mbps が可能
14:00～17:00	データ処理	(RADARSAT は数時間以内)	ALOS ではデータ受信後 180 分以内を計画
17:00～	データ配信	1 週間以内	超高速専用回線で 600MB のデータであれば、4 分程度で入手可能
翌日	データ入手		

- 地震発生は、午前 10 時半以前とする
- 天気は快晴
- 衛星による観測は午前 10 時半頃とする
- 解析に必要な地理情報は、デジタル形式で予め保有しているとする

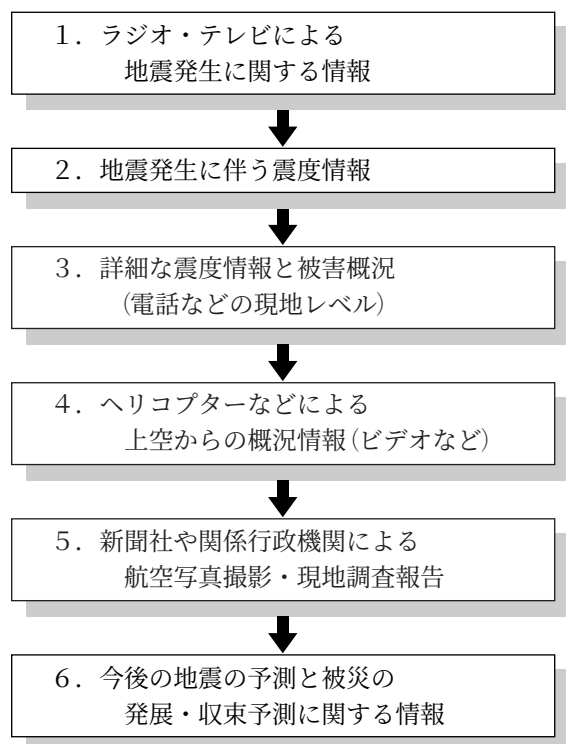
4.2.2 衛星データ入手後の利用シナリオ

実際に地震が発生した場合の情報流通は、図－11 の様に整理できる。

1、2 は地震発生後数分以内に行われる体制が整っている。3以降については、阪神・淡路大震災時の経過を参考にすると、24 時間以内に以下の対応がとられていると考えられる。

- ヘリコプター・航空機による上空からの被害調査開始
- 専門家による崖崩れなどの現地調査
- 被災者の救援

- 救助・救急医療活動開始
- 救援物資調達開始
- 第1回被害状況発表
- 各機関に応援要請
- 消火活動開始
- ライフライン関係の緊急対応
- 災害対策本部の設置



図－11 地震が発生した場合の情報流通

また、地震発生から24時間後以降では、初動の対応が既に開始され、二次災害・被害拡大の防止対応や被災者の救援のための緊急輸送、都市基盤の復旧が開始されていると想定される。被災地についての情報収集は、航

空機やヘリコプターによって上空から行われているほか、被災地からの直接の被害報告もなされているが、面的な被害の把握はまだこれからの状態である。

このような状況下での衛星データからの情報収集の目的は、主として被災範囲の特定や、被害規模の面的な把握となる。時間経過と共に衛星データの活用事例を以下に記す。

- 衛星データ入手までの時間…関係機関からの情報を元に解析範囲を概定し、使用する地理情報や災害以前の衛星データを収集する
- 衛星データ入手後…簡易幾何補正がなされている状態と考えられるので、地図画像やDEMを用いて、オルソ画像を作成する。
- 画像解析・判読段階…(自動分類)大規模な液状化、延焼、山腹崩壊の範囲や位置を自動分類により解析し、地震発生翌日に速報として提供する。さらに、テクスチャ解析、差分解析等の地理情報及び地震発生前の衛星データと組み合わせて詳細な解析を行い、被災箇所や範囲のより正確な情報を抽出し、地震発生3日～4日目を目処に提供を行う。

(目視判読)自動分類では抽出困難な建物倒壊、高架橋落下、沈下、また港湾施設被害、河川堤防被害等を判読するために、最適な判読用画像を1日以内に作成し、地震発生3日目を目処に判読作業を開始し、4日目には面的な被害把握や対策のための資料として判読結果を公表する。

5. おわりに

本調査・研究では、高分解能衛星データの可視光及び近赤外センサデータを中心に取り扱い、SARデータについては全く触れなかったが、SARデータは地殻変動や悪天候時での活用が大きく期待されるセンサであるので、今後とも双方ともに一層の研究が必要となる。また今回は、地震のみを対象として取り扱ったが、日本で発生する可能性のある火山災害、風水害、雪氷災害等についても、順次研究を進めていく必要があると思われる。

参考文献

- 浦井 稔・福井敬一・山口 靖・David C. Pieri(1999):「ASTERによる火山観測の可能性とグローバル火山観測計画」, 火山, Vol.44, No.3, 131-142.
- 国土地理院(2002):「震災情報抽出のための衛星データ及びその他地理情報の活用に関する調査・検証報告書」.
- 根本正美・宇根 寛・佐藤 浩・安藤恵美(2000):「高分解能衛星データの災害時利用に関する調査・研究」, 国土地理院時報 No.94, 48-60.