

高解像度衛星データの災害時利用のための基本仕様に関する調査・研究

(国土地理院 地理調査部 環境地理課)

1. 目的

我が国は、世界でも有数の地震発生地帯に位置し、これまでに数々の甚大な被害をもたらされてきた。近くは1995年の阪神・淡路大震災では、災害発生時に被災状況を迅速かつ正確に把握し、適切な救助活動や復旧計画を講じることの重要性が、改めて浮き彫りにされてきたところである。衛星や航空機等によるリモートセンシング技術は、近年高分解能化や観測の高頻度化、センサの多様化により、災害発生時の情報収集に重要な役割を担うものとして再認識されている。

このような状況を踏まえ、高解像度衛星画像等を用いた震災情報の抽出可能性の調査・研究を行った。特に、2004年に打ち上げが予定されている国産の地球観測衛星 ALOS (陸域観測技術衛星: Advanced Land Observing Satellite) 画像の利用を想定して、航空写真から作成したシミュレーション画像を用い、その判読手法や自動抽出手法及びその自動抽出精度等について、他の衛星画像 (SPOT) との比較検証を行った。本調査は、これらの比較検証結果を基に、実際に震災が発生した際の衛星画像の解析マニュアルを作成し、衛星画像をより一層活用していくための提言を行うことを目的として実施したものである。

2. 内容

本調査では、高解像度衛星画像による震災情報抽出可能性を把握するため、画像の前処理に関する検証、単画像での判読に関する検証、複数画像の利用に関する検証、地理情報の併用に関する検証、自動抽出に関する検証を行った。検証の対象とした衛星画像は、ALOS 搭載の AVNIR-2 (マルチ: 地上分解能 10m) および PRISM (パンクロ: 同 2.5m) に相当するシミュレーション画像と、SPOT 搭載の HRV (マルチ: 同 20m およびパンクロ: 同 10m、パンシャープン: 同 10m) データとした。ALOS 相当のシミュレーション画像は航空写真を用いて作成した。

調査対象は、阪神・淡路大震災 (1995年(平成7年)1月17日発生) で引き起こされた6種の被災タイプ (建物倒壊、延焼、液状化、地盤沈下、高架橋落下、山腹崩壊) に対応する神戸市内の9地区 (三宮駅付近、本山地区、長田地区、ポートアイランド、三宮駅南、メリケン波止場、東灘区深江地区、灘区御影地区、住吉台地区) とした。

3. 成果

3.1 画像の前処理に関する検証

3.1.1 内挿法の比較

通常の幾何補正では、補正後の出力画像上に正方格子を設定し、その格子点に対応する画像データを元画像から求める。求めたい点の画素値は、元画像上での対応点及びその周辺の画素値から内挿によって求めている。一般的に用いられる内挿法には、最近隣内挿法、共1次内挿法、3次たみこみ内挿法があり、それぞれに特徴的な画像が得られる。

判読画像作成のための幾何補正に用いる内挿法の違いは、次のとおりとなった。

最近隣内挿法: 対象地域が狭域であるほど画像のきめが粗くなり、判読を阻害する可能性がある。

共1次内挿法：画像のきめは細かく、判読に適した画像を作成することができる。一方、平滑化の効果があるため、ぼやけた印象の画像となり、微細な色調の差を把握することが困難となる。

3次たたみこみ内挿法：画像のきめは細かく、判読に適した画像を作成することができる。先鋭化の効果があるため、シャープな印象の画像となり、判読が容易である。

以上のことから、全体的に3次たたみこみ内挿法が判読画像作成に適しているという結果を得た。この傾向は特に広域な液状化（ポートアイランド）区域の抽出に対して顕著だった。埋立地における液状化区域と非液状化区域の境界を抽出するために、平滑化と鮮鋭化の効果が大きいと考えられる。

3.1.2 色調補正法の比較

色調補正は、画像を強調して判読者にわかりやすい画像を作成するための処理である。ここでは、一般的によく用いられる線形変換、統計量変換、ヒストグラム平滑化の3種類についての比較検証を行った。

色調補正法による違いは、次のとおりである。

線形変換：線形変換は画像全体の色調を一律に調整する方法で、被災箇所の色調が極端に低い場合には効果がある。しかし、被災箇所と非被災箇所の色調差が小さい場合は、処理を行っても色調差が保存され、効果は見られない。

統計量変換：この方法は画像濃度の平均値と標準偏差を用いるため、被災箇所と非被災箇所の色調差が小さい場合には効果がある。全体の色調バランスがよくなり、判読が容易な画像が作成できる。

ヒストグラム平滑化：ヒストグラム平滑化では、原画像のヒストグラムを各画像濃度値に対する頻度が一定になるように変換する。高い頻度を持つ濃度区間が伸長され、頻度の低い区間が圧縮されるため、色調差が強調された画像が得られる。ただし、ハレーションが生じる可能性も高い。

以上の処理によって作成した画像の判読による検証から、標準偏差を用いた統計量変換が判読に適しているという結果を得、とくに延焼区域の抽出に対して顕著だった。統計量変換は画像濃度の平均値と標準偏差を用いて小さい色調差を増大させるため、色調差の小さい延焼に対しての効果が大きいと考えられる。

3.1.3 フィルタリングの比較

フィルタリングは、 $N \times N$ の領域を対象に、入力画像にフィルタ関数を当てはめ、改良された出力画像を得る技術である。その効果は、雑音の除去、エッジの強調、画像の鮮鋭化などがある。ここでは、 3×3 画素の領域でフィルタ処理を行い、その効果を検証した。検証結果は表 - 1 に示す。

フィルタリング効果	フィルタ	延焼 (長田地区)	液状化 (ポートアイランド)	山腹崩壊 (住吉台地区)
エッジ抽出	Edge Detect			
エッジ強調	Edge Enhance High Pass Summary			
平滑化	Low Pass			

:非常に有効 :有効 :効果は小さい

表 - 1 フィルタリング検証結果

各フィルタリング処理を行った画像を用いて、判読による検証を行った結果、全体的に色調のバランスを保ちつつ被災箇所と非被災箇所の境界を鮮鋭にするエッジ強調の有効性が認められた。一方、エッジ抽出フィルタでは境界の自動抽出が期待されたが、広く一様な色調を示す被災箇所以外は不要なエッジを抽出してしまうため、処理後

の画像の解釈が困難となる結果となった。

3.2 単画像での判読に関する検証

単画像での判読に関する検証は、ALOS シミュレーション画像のマルチ、パンクロと SPOT 画像のマルチ、パンクロ、パンシャープン画像を用いて行った。SPOT の単画像判読で被災状況が確認できたのは、延焼、液状化（広域）、山腹崩壊の 3 種類であった。地盤沈下、高架橋落下（大規模）については、10m 解像度の SPOT パンクロ画像および SPOT パンシャープン画像のみで一部確認できた。その他の被災状況は SPOT 画像からは困難であった。一方、ALOS シミュレーション画像からは、SPOT 画像では困難だった建物倒壊（本山）、高架橋落下（灘区御影）が確認でき、高地上分解能化の効果が認められた（参考 1 を参照）。

3.3 複数画像の利用に関する検証

3.3.1 立体視画像の利用

立体視判読による効果は、震災後の SPOT パンクロ画像のみを対象として検証した。単画像判読との比較検証を行った結果、建物倒壊（三宮駅付近）、液状化（ポートアイランド）、山腹崩壊（灘区住吉台）で有効性が認められた。建物倒壊に対しては、横倒しになった建物の抽出に対して立体視判読が有効であった。しかし、鉛直方向に押しつぶされたような倒壊に対しては、立体視判読の効果はあまり見られなかった。液状化に対しては、液状化地盤と類似した色調を示す建物を区分することができる点で有効であった。山腹崩壊に対しては、崩壊地の形状が読み取れることから、裸地や建物と崩壊地を区分する上で有効であった。

3.3.2 震災前後の衛星画像の利用（重ね合わせ、比演算、差分解析）

震災前後の衛星画像の重ね合わせ、比演算、差分解析を行い、被災地の抽出に対する効果を判読により検証した。

重ね合わせでは、赤チャンネルに震災後の SPOT パンクロ画像、緑チャンネルと青チャンネルに震災前の SPOT パンクロ画像を割り当ててカラー合成する手法について検証した。その効果は、延焼（長田）、液状化（ポートアイランド）、山腹崩壊（灘区住吉台）に対して認められた。延焼箇所は輝度値（CCT 値）が低くなり、重ね合わせ画像では青色に発色する。液状化箇所と崩壊箇所は輝度値が高く、今回作成したカラー合成画像では赤色に発色する。崩壊箇所は、震災後の画像のみでは困難であった裸地や人工改変地との区別、さらに震災前から存在した崩壊地と震災で発生した崩壊地との区別が容易になった(参考 2 を参照)。

比演算による効果は、重ね合わせと同様に延焼、液状化、山腹崩壊に対して認められた。しかし、濃淡で表現される比演算画像よりも色調で表現される重ね合わせ画像の方が判読は容易であった。

差分解析は、SPOT 画像、ALOS シミュレーション画像ともに震災前後のパンクロ画像同士の差分解析、およびテクスチャ解析後の差分解析の 2 通りの処理を行い、判読によって検証した。2 時期のパンクロ画像の差分解析は、被災に伴う輝度値の変化に着目した手法である。この処理により、被災のために裸地化するなどで輝度値が高くなった箇所や火災によって輝度値が低くなった箇所が抽出された。被災タイプ別では、液状化、地盤沈下（メリケン波止場）、山腹崩壊に対して有効であった。震災前後の画像の情報を用いることにより誤抽出が大きく軽減され、抽出精度が著しく向上した。とくに液状化については、液状化区域と非液状化区域の区分にきわめて有効であった。2 時期のテクスチャ解析画像の差分解析は、被災に伴うきめの変化に着目した手法である。この処理により、被災のために裸地化するなどで輝度値が高くなった箇所や火災によって輝度値が低くなった箇所が抽出された。被災タイプ別の効果では、延焼、地盤沈下（メリケン波止場）、高架橋落下（東灘区深江）、山腹崩壊に対して有効であっ

た。これらの区域は、被災によるきめの変化が顕著であるためと考えられる。とくに山腹崩壊は、他の手法と比べても最も高い精度で抽出されている。

3.4 地理情報の併用に関する検証

衛星画像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 2,500 (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。衛星画像は、SPOT、ALOS シミュレーションとともにパナクロ画像のみを用いた。

衛星画像の前処理では、前述の検証の結果判読画像の作成に最も有効と判断された 3 次たたみこみ内挿法、色調補正は統計量による方法 (標準偏差 2.0)、フィルタリングはエッジ強調を施した。

地理情報の併用による最も大きな効果は、衛星画像から震災情報が抽出できた場合、地図画像の利用による場所の特定と街区、道路、公園等の情報による被災範囲の絞り込み等であった。地理情報によって位置と境界が明確になることから、より正確に震災情報が抽出できると言える。

ここまでの検証の結果は、表 - 2 の被災タイプ別に適した抽出手法に整理した。

	重ね合わせによる概略把握	立体視判読	単画像判読		
			3次たたみ込み内挿法	統計量変換	エッジ強調
建物倒壊 (高層ビル)	-		-	-	-
延焼		-			
液状化 (広域)			-	-	-
地盤沈下	-	-			-
高架橋落下 (大規模)	-		-	-	-
高架橋落下 (小規模)	-		-	-	-
山腹崩壊			-	-	-

付き数字は効果の順位

表 - 2 被災タイプ別に適した抽出手法

3.5 自動抽出に関する検証

3.5.1 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 (衛星画像の場合 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。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。

レベルスライス処理は、液状化 (ポートアイランド)、地盤沈下 (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。延焼 (長田) 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。

山腹崩壊箇所について、裸地やコンクリート地と区別するために地理情報の斜面傾斜データを用いてマスク処理を行い、精度の向上を図った。

3.5.2 クラスタ分類

クラスタ分類は、特徴の類似したデータを「似たものどうし」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。本調査では迅速性を重視してクラスター分類を検証した。

クラスター分類は、液状化（ポートアイランド）、地盤沈下（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。

3.5.3 テクスチャ解析

画像上で認められる被災地区の特徴として、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箇所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。

テクスチャ解析は、延焼（長田）、地盤沈下（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。これらの地区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。

3.5.4 差分解析

次に単画像ではなく、震災前後の衛星画像から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。

その抽出結果を、目視判読によって抽出された被災地を真値として、面積率で表した。表-3に震災前後のSPOT画像およびALOSシミュレーション画像を用いた差分解析の抽出精度の一覧を示す。

被災種類	使用データ	衛星データ及び地理情報			
	解析方法	パンクロ差分		テクスチャ差分	
	衛星データ	SPOT	ALOS	SPOT	ALOS
延焼				17.5	23.0
液状化		76.2	69.3	69.4	61.4
山腹崩壊		75.2	102.3	14.9	7.1

表-3 自動分類（差分解析）の正解率（単位：％）

4. 結論

4.1 より高度な震災情報を抽出するための提言

ここでは、より高度な震災情報を抽出するために、必要な衛星画像の性能や取得条件等を、これまでにまとめられた現状と課題に基づいて提言する。表-4には、地震災害におけるその特徴、衛星画像の活用現状と要望を示す（「航空宇宙技術の災害への利用可能性に関する調査」の報告書より抜粋）。

災害タイプ	災害の特徴		発生前	発生直前	発生直後	救助・復旧時	復興時	復興後
地震災害	<ul style="list-style-type: none"> ・きわめて突発的（「発生直前時」がない） ・ステージの推移が速い ・都市型災害が顕著 	現状		-				
		要望		-				

現状 ... : 利用例多、 : 利用例少 / 要望 ... : 高、 : 中

表-4 地震災害における衛星データの活用現状と要望

4.1.1 センサの条件

(1) 地上分解能

震災による被災状況についての情報は、衛星画像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画像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画像を利用した方が、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、衛星画像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画像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。さらに、中分解能衛星画像の利点は、より広い範囲のデータを取得することが可能なことであり、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。

したがって、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。

(2) その他（ステレオペア画像）

地上分解能の他、震災被災地の抽出に重要な衛星画像の性能に、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つ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、震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 画像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なうことはできない。ALOS 画像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。

したがって、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 PRISM は、一度に3方向（前方、直下、後方）の 2.5m 解像度のデータ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。災害発生直後に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を周回する衛星が必要である。

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ケースが多い。現時点で衛星画像を適用した場合、被災地の衛星画像を入手するまでに要する時間は、早くても2～3日、遅くても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。

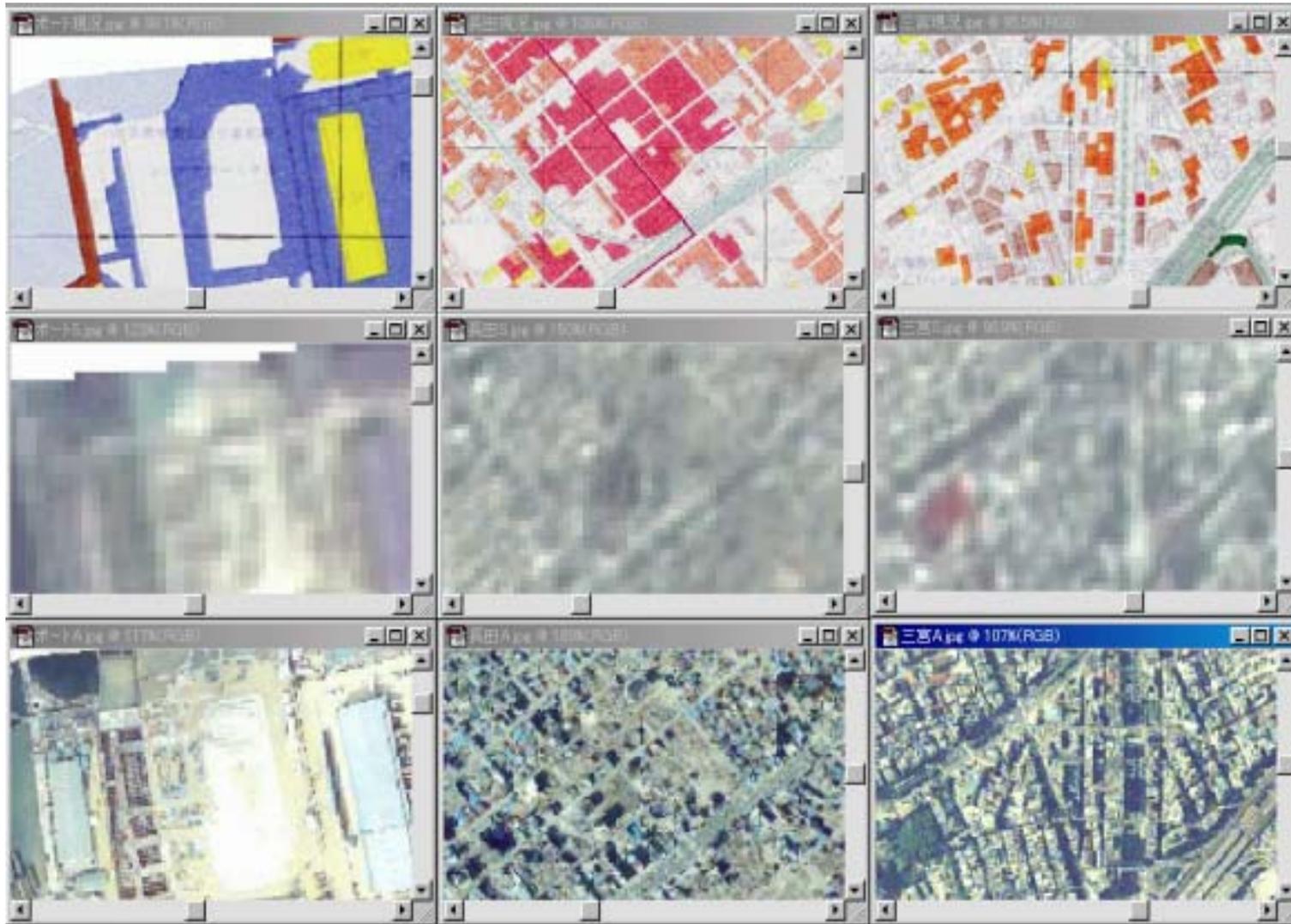
災害発生時には数時間以内に情報を得ることが望ましく、現状では被災初期における実利用は困難といわざるを得ない。しかしながら、カナダの RADARSAT の例に見るように、あらかじめデータの供給体制を確立しておくことにより、数時間以内のデータ入手も可能となりうる。

将来的には、衛星画像入手期間の短縮を実現するシステムの構築、従来のマニュアルによる幾何補正から自動マッチング等を組み込んだ自動化アルゴリズムの開発などが必須である。さらに、衛星画像と併用する高精度 DEM や社会基盤データ等の GIS データの整備、円滑なモニタリングを実現させるための時系列衛星画像アーカイブの整備などのデータベースの整備も重要課題である。

4.2 衛星画像の解析マニュアル

震災発生時に実際に衛星画像を解析する職員が震災情報を抽出することを想定し、本調査で得られた結果・知見を踏まえて、衛星画像の選択から入手、前処理、解析について、各作業段階の手順を解説したマニュアルを作成した。

参考1. 単画像判読のための画像例1



検証結果にしたがって、
最良の内挿法、色調補正
法、フィルタリングを使
用して判読用画像を作
成した。

液状化

SPOT 画像からは辛う
じて判読可能、ALOS 画
像からははっきり判読
ができる

延焼

SPOT 画像からは辛う
じて判読可能、ALOS 画
像からははっきり判読
ができる

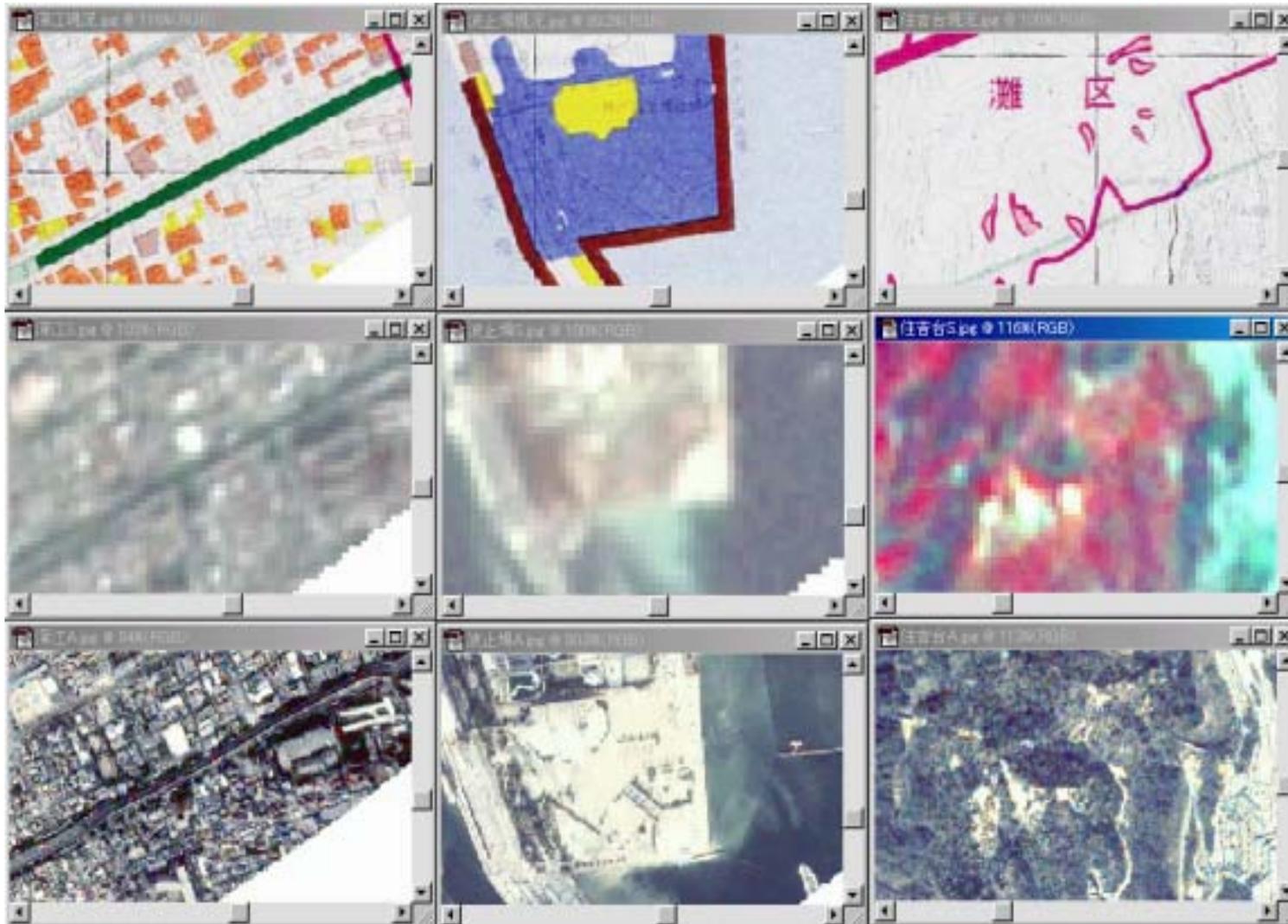
建物倒壊

SPOT 画像では判読不
可能、ALOS 画像からも
判読は困難

左列より右列へ、液状化（ポートアイランド）、延焼（長田地区）、建物倒壊（三宮駅付近）

1 段目は災害現況図（国土地理院） 2 段目は SPOT パンシャープン画像（地上分解能 10m）、3 段目は ALOS パンシャープン画像（地上分解能 2.5m）

単画像判読のための画像例 2



高架橋落下
SPOT 画像からは判読不可、ALOS 画像からは判読ができる

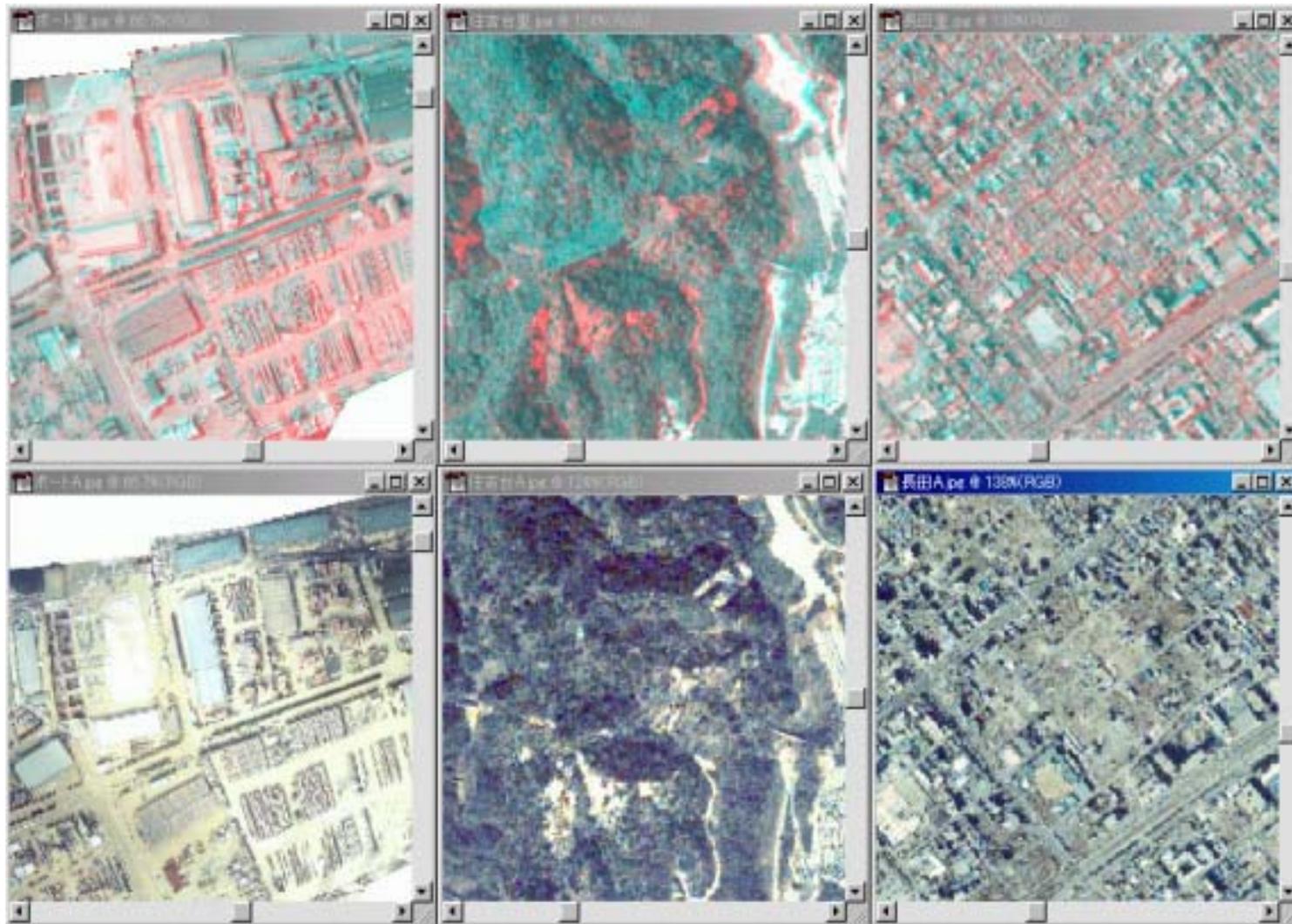
地盤沈下
SPOT 画像からは判読不可、ALOS 画像からは判読ができる

山腹崩壊
SPOT 画像からは辛うじて判読可能、ALOS 画像からははっきり判読ができる

左列より右列へ、高架橋落下（東灘区深江）、地盤沈下（メリケン波止場）、山腹崩壊（灘区住吉台）

1 段目は災害現況図（国土地理院） 2 段目は SPOT パンシャープン画像（地上分解能 10m）、3 段目は ALOS パンシャープン画像（地上分解能 2.5m）

参考2 . 震災前後の画像を重ね合わせた判読用画像



崩壊箇所は、震災後の画像のみでは困難であった裸地や人工改変地との区別、さらに震災前から存在した崩壊地と震災で発生した崩壊地との区別が容易になった。

液状化

液状化箇所は輝度値（CCT値）が高くなるので、今回作成したカラー合成画像では赤色に発色する。

山腹崩壊

崩壊箇所は液状化と同様。

延焼

延焼箇所は輝度値が低くなるので、重ね合わせ画像では青色に発色する。

左列より右列へ、液状化（ポートアイランド）山腹崩壊（灘区住吉台）延焼（長田地区）

1 段目は ALOS パンシャープン画像の重ね合わせ（赤：震災後、緑・青：震災前、地上分解能 2.5m）、2 段目は ALOS パンシャープン画像（地上分解能 2.5m）