

2 . 画像処理手法の特徴整理

2 . 1 災害時における画像処理手法の特徴整理

(1) 画像処理体系の整理

リモートセンシングによる画像処理は、航空機や衛星データなどから目的とする情報を抽出する手法の一つである。処理手法によっては情報抽出の可否を大きく左右するため、目的に合った効果的な処理手法を選ぶ必要がある。

効果的な処理手法を選択するためには、画像処理体系を整理する必要がある。ここでは、地震による管理施設などの被害箇所抽出を念頭におき、文献、書籍等を参考にして画像処理体系をまとめ、その特徴を整理した。画像処理体系の概要を図 2-1-1 に示す。

まず、被害箇所抽出のための画像処理に先立ち、前処理として行われるものにデータの補正処理がある。データの補正処理はプラットフォームと地上間にある大気などの影響や地形的歪みを取り除くための処理である。データ配布機関によってはすでに処理されたデータを利用することが可能であるが、処理時間を要することや被災後の初動期には必ずしも精密な情報を求められることが必要とされないため、補正処理は行わず直接変換処理が行われることも考えられる。ヘリテレなどリアルタイムで伝送される画像は、情報のリアルタイム性から補正処理や変換処理は行われることはほとんどない。幾何補正処理は、地理情報との併用が求められる場合には必要である。

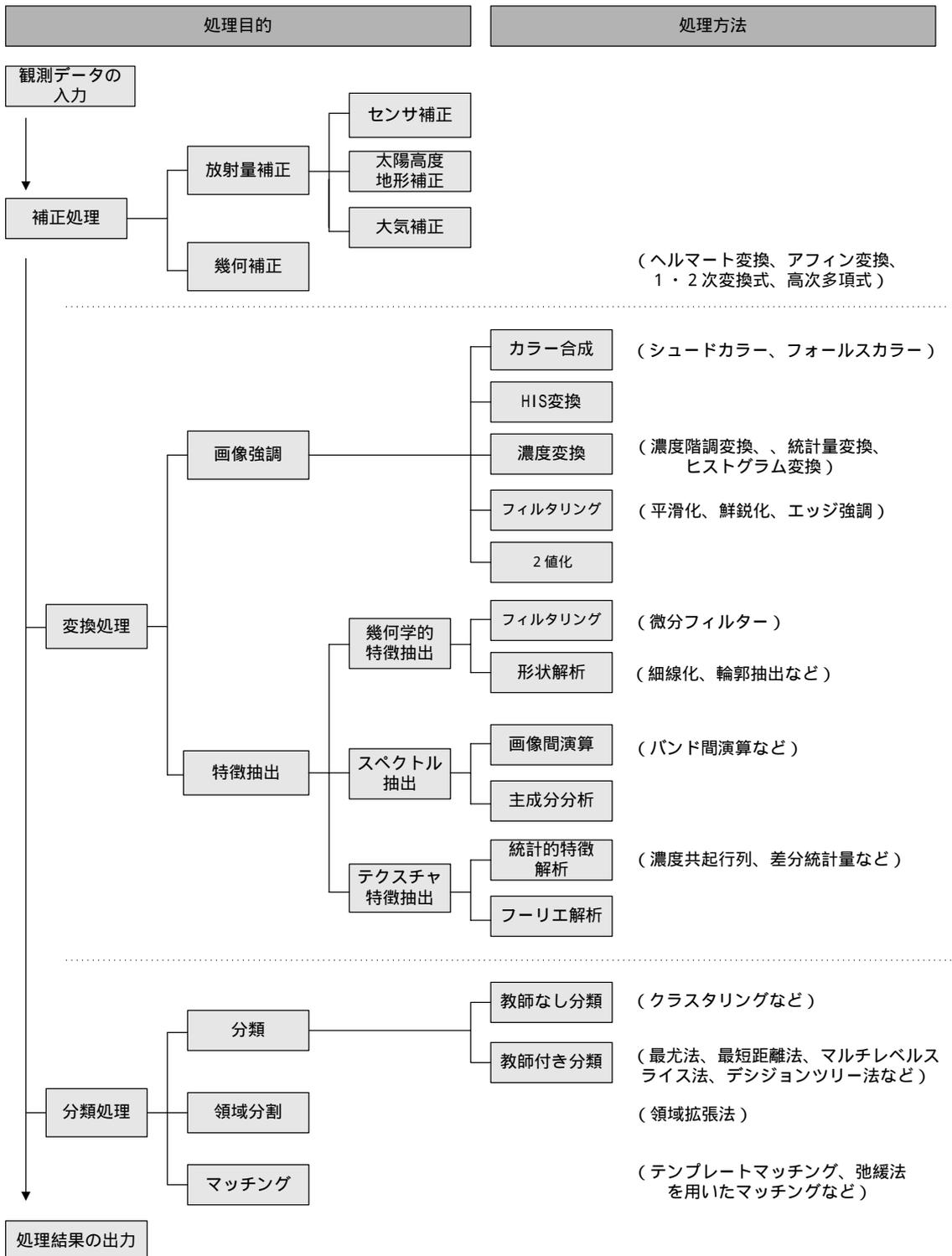


図 2-1-1 画像処理体系の概要

次に、被害箇所抽出のための画像処理として、単画像の画像処理には変換処理と分類処理があり、画像の変換処理には、画像強調と特徴抽出がある。

画像強調処理は、画像のイメージを損なわず画像にコントラストをつけたりノイズの除去を施したりすることにより見やすい画像を得るための処理である。

特徴抽出処理は、画像の中から特徴ある線や濃度域の境を抽出する画像処理である。線構造・断線の有無や領域の広がりなどを知る場合に用いる。

分類処理は、画像全体を共通的な特徴を持つ領域に分類(グループ化)する処理であり、類似する地域を抽出するのに用いることができる。サンプル領域をもとに分類する処理と自動的に分類する処理がある。

それぞれの処理手法の特徴について表 2-1-1 に示す。

表 2-1-1 主な画像処理目的と処理手法

		処理目的		処理手法	
変換	画像強調	画像のイメージを損なわず見やすくし、判読を容易にする。		濃淡画像の強調や特定バンドの色合成。	濃度変換 フィルタリング カラー合成* など
	特徴抽出	幾何学的特徴抽出	画像中の構造的性質を持つ線、濃淡変化域の抽出。	フィルタを用いた演算処理。	フィルタリング 形状解析
		スペクトル抽出	画像のスペクトル情報をもとに特定地域を抽出する。	バンド間の差画像などのスペクトル演算処理。	主成分分析 画像間演算*
		テクスチャ抽出	画像中の同じ形状、分布密度、方向など面としての性質を持つ均質な領域を抽出する。	小領域の特徴比較演算。 パワースペクトルによる解析。	フーリエ解析 統計的特徴
分類	画像全体を同じ特性をもつ領域にグループ化する。 既知のデータ(グランドトゥルスデータ)を用いない場合と用いて行う場合がある。		スペクトル的特徴による自動分類。分類結果に意味付けの必要がある。	教師なし分類 (クラスタリングなど)	
			既知のグランドトゥルスデータをもとに確率統計的に分類。	教師つき分類 (最尤法など)	

*は複数画像または複数バンドによる処理

1) 単画像による画像処理

画像強調処理

表 2-1-2 に主な画像強調処理の概要を示す。画像強調処理には、画像の輝度値を変えらることで色調を強調した画像を作成する濃度変換処理によって画像を強調する方法と画像の輝度値の異なる領域の境を鮮鋭化させたり、平滑化させたりするフィルタリング処理によって画像を強調する方法がある。画像強調処理によって、見やすい画像や画像全体にしまりのある画像を得ることができるため判読用画像として多く用いられる。濃度変換には線形補正、統計量変換、ヒストグラム変換などの手法がある。フィルタリングは、エッジ強調や平滑化処理などの手法がある。

表 2-1-2 主な画像強調処理の概要

処理手法		処理内容・目的	効果
濃度変換	線形補正	画像全体の色調を一律に調整する。	被災箇所と非被災箇所の色調が大きい場合は効果がある。
	統計量変換	画像濃度の平均値と標準偏差を用い、画像全体のバランスをよくする。	被災箇所と非被災箇所の色調が小さい場合に効果がある。
	ヒストグラム変換	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張され、頻度の低い区間が圧縮される。色調差が強調された画像が得られる。
フィルタリング	エッジ強調 (Edge Enhancement)	色調の異なる境界部を鮮鋭にする。	色調のバランスを保ちつつも被災箇所と非被災箇所の境界を鮮鋭にする。
	平滑化 (Low Pass)	画像全体を滑らかにする。	ノイズなどの除去画像。画素単位の濃淡値の平滑化。

なお、判読を容易にするためのその他の処理として、カラー合成、HIS 変換、2 値化処理などがあげられる。

特徴抽出処理

表 2-1-3 に主な特徴抽出処理の概要を示す。処理手法には幾何学的特徴抽出、スペクトル抽出、テクスチャ特性抽出がある。エッジ抽出は線構造や領域の境界を抽出することに多く用いられる。

表 2-1-3 主な特徴抽出処理の概要

処理手法			処理内容・目的	効果
幾何学的特徴抽出	フィルタリング	エッジ抽出	線や色調の異なる境界部を線構造として抽出する。	不明瞭な境界が抽出できる。
スペクトル抽出	主成分分析	主成分分析	変量間の相関関係に着目し、できるだけ情報を失うことなく多くの変量の測定値を少ない個数の総合的指標で集約して記述する方法である。	マルチスペクトル画像では、各バンドのデータ間に相関がある場合が多いため、この処理によってより少ないバンドで表現することも可能である。
テクスチャ特徴抽出	統計的処理		パターンを構成する要素の形状、分布密度、方向性などの類似したテクスチャによって画像の特徴を抽出。小さなウインドウ内の画像に統計量的特徴を求めて指標値とする画像処理手法である。	画像のある範囲にある小さな形状が半周期的、規則的に配置されるパターン領域の抽出が可能。
	フーリエ解析		一定の周波数を持つ波形を重ね合わせることで表現する空間周波数領域で、特定の波長成分の領域を除去する。	周期的成分を持つ画像の情報抽出やノイズ除去に用いられる。

分類処理

表 2-1-4 に主な分類処理の概要を示す。画像のスペクトル情報をもとに類似した特徴を持つグループに分類する処理である。分類されたグループの中から被災箇所など目的とする領域を抽出することになる。

表 2-1-4 主な分類処理の概要

処理手法		処理内容・目的	効果
分類	教師なし分類	クラスタリング グラントゥルースを用いず類似度や距離により分類する方法。客観的な分類が行える。	画像データのみにより計算される。演算時間は多くかかる。主成分分析などの前処理が行われることもある。
	教師つき分類	多次元（マルチ）レベルスライス処理	最も早く簡単な分類。
		最尤法	各クラスにたいする画素データの尤度を求め、尤度最大のクラスにその画素を分類する方法である。

2) 2 時期の画像を用いた画像処理手法

2 時期の画像を用いた画像処理は変化のあった特定地域を抽出する場合に効果的であるといわれている。2 時期の画像を用いた画像処理のうち、カラー合成による手法と画像間演算による手法を表 2-1-5 に示す。2 時期の画像を使った処理手法は、画像間の高い位置精度が求められるため、幾何補正による前処理が必要とされる。

表 2-1-5 2 時期の画像を用いた画像処理手法

処理手法		処理目的	効果
カラー合成	重ね合わせ	2 時期のパンクロ画像を RGB の異なるチャンネルにそれぞれ割り当て、輝度値の変化領域を特徴表示させる。	輝度値の変化した延焼、液状化、山腹崩壊など輝度値の変化が大きい地域では分かり易い。
画像間演算	比演算	2 時期のパンクロ画像を比演算し、輝度値の違いから、変化箇所を判別する。	効果は重ねあわせと同様に認められるが判読の容易さは色調がないので劣る。代表的なものとして植生指数があげられる。
	差分解析	2 時期のパンクロ画像同士の差分およびエッジ抽出、テクスチャ解析後の差分画像を作成することで判読を容易にする。	抽出誤差が大きく軽減され、抽出精度の向上が見られる。

3) 地理情報の併用による画像処理の手法

地理情報の併用は、施設の特定や街区、道路、公園等の情報による被災範囲の抽出や絞り込み等が容易かつ迅速に行える点で効果的である。地理情報によって位置や境界が明確になることから、より多くの情報が効率的に抽出できるといわれている。

SAR 画像、温度画像など地理情報とのオーバーレイがなければ位置の不明な画像にはとくに効果的である。

(2) 災害初動期における画像処理の特性

ここでは、文献、書籍等を参考にして、災害初動期における画像処理の一般的な制約、条件等の特性を整理した。

1) 被害形態の特徴による処理方法の制約

地震による被害は、さまざまな形態的特徴を有する。地震時の被災形態は大まかに、道路橋の段差や地表面の亀裂など幾何学的特徴（線的要素）を持つ被害と、建物倒壊や土砂災害などの広がりを持つ特徴（面的要素）の被害の2つに分けられる。過年度報告書では、線的要素の強い被災形態では、幾何学的特徴抽出が可能なエッジ抽出が有効であり、広がりのある被害抽出でもその輪郭抽出は可能であった。一方、色調が周囲と異なり面的特徴を持つ被害には色分類、色差分等が有効であった。

これより、地震時における画像処理は、それぞれの被災形態の特徴に対応した画像処理手法が求められることがわかる。

線的要素をもつ被害は、落橋や段差などの構造物の隙間、地表面に生じた亀裂などが数メートルから数十メートルにわたるものなどがあげられる。堤防のように幅があるが延長が長いものも含まれる。このような場合、エッジ抽出など幾何学的特徴抽出の処理手法が効果的である。また、幾何学的特徴抽出の処理手法は、広がりのある被害に対しても境界の抽出は可能と考えられる。

面的要素をもつ被害については、数メートル以上の広がりのあるものであれば、解像度の異なる航空機と衛星でも初動期の被災地の抽出に対し大きな違いはなく、中分解能衛星でも抽出は可能であるとされている*。幾何学的特徴抽出によっても輪郭の抽出は可能だが、面として抽出される方が判別は容易である。

面的な被害には次のような種類のものがある。

- ・液状化や斜面崩壊など周辺と明瞭な色調変化が見られる面的性質の被害（色調変化の利用）。比較的広範囲な被害となる。
- ・建物倒壊など個別の被害であってもある程度テクスチャの集まりによって面的な被害として抽出できるもの（テクスチャ解析による方法）
- ・建物延焼など時間経過とともに次第に被災箇所が広がるもの（形状および色調の変化）

面的な被災箇所の抽出には、スペクトルを利用した画像間演算による処理や分類などが有効である。また、建物倒壊や道路閉塞など、面的な要素と線的な要素の両方を持つ被害もあり、一定の広がりを持つ地域内のきめが抽出の要素となっている。

また、被災形態に係わらず、画素間の輝度値の違いやその特徴を利用し、被災前後の2時期の画像によって変化箇所の抽出を行う手法も有効であると考えられる。この場合、被災前後のオリジナル画像間で処理を行う場合とエッジ抽出などの一次処理を行った画像間で処理を行う場合が想定される。

* 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 総合報告書」 国土交通省 平成15年1月

被災形態の特徴に応じた処理手法の概要を表 2-1-6 に示す。

表 2-1-6 被災形態の特徴に応じた処理手法の概要

被災形態		処理手法		抽出画像	具体的な処理手法
線的被災形態	(損壊や亀裂による施設被害) 落橋、高架段差、港湾被害、堤防破損など	特徴抽出	幾何学的特徴抽出	線状	フィルタリング (エッジ抽出) など
面的被災形態	建物倒壊、道路閉塞 (障害物)、路面陥没	特徴抽出	幾何学的特徴抽出	線状	フィルタリング (エッジ抽出) など
			スペクトル抽出	領域	主成分分析、教師付き分類 (色分類) など
			テクスチャ特徴抽出		統計的特徴解析、フーリエ解析
	液状化、土砂災害、土砂流出など		幾何学的特徴抽出	輪郭	フィルタリング (エッジ抽出) など
			スペクトル抽出	領域	主成分分析、教師付き分類 (色分類) など
	分類	教師なし分類など			

2) 画像処理時間の制約

震災初動期は迅速な情報が求められており、画像処理においても被害地域の概観把握や絞り込みに重点をおいた速い処理が要求される。とくに被災地域に対して、処理画像からある程度被災箇所の絞り込みが可能であれば、画像処理の有効性はきわめて高いと考えられる。

被災地の抽出処理における処理方法と時間の関連を表 2-1-7 に示す。画像処理作業は、使用ソフトあるいはハード、画像の状態に加え、画像処理経験や画像判読経験により異なるために一概には言えないが、おおむね表 2-1-7 のような処理時間が必要と考えられる。なお、処理の範囲は高分解能衛星 IKONOS の 1 シーンの範囲 (11x11km 四方) を想定している。

元画像を損なわず判読として用いる画像強調処理は比較的早急に行うことが可能であると考えられる。エッジ抽出や、教師なしの分類では、パラメータによる試行錯誤があるものの数時間で出力画像が得られる。教師付き分類やマッチング処理、周波数空間分析ではさらに前処理やパラメータの調整などの時間を要する。3次元化や目視判読では基礎データの作成が必要になるため、数日程度は要すると考えられる。

表 2-1-7 主な画像処理手法と想定される処理時間

処理時間	処理	処理手法	処理の課題	
短い (数分)	強調処理	カラー合成		
		エッジ強調		
		濃度変換		
(数時間)	色合成	画像間オーバーレイ		
	エッジ抽出	エッジ抽出	パラメータ設定	
	教師なし分類	クラスター分類	パラメータ設定	
	色分類	マルチレベルスライス	パラメータ設定	
	テクスチャ解析	テクスチャ解析	パラメータ設定	
	主成分分析	主成分分析	パラメータ設定	
	教師つき分類	最尤法	トレーニングデータの抽出	
	マッチング	パターン演算処理		
	周波数空間解析	フーリエ解析	パラメータ設定	
	3次元化	DEMによる数値計算処理	DEM作成	
	(数日)	目視判読	経験による判読	個別判断

3) 初動期における画像処理への要求

1) 2)より、災害初動期において求められる画像処理をまとめると次のようになる。

時間を要さない処理手法

初動期に画像をいかに素早く処理し、被災地域の絞り込みを行えるかが重要な鍵となる。したがって画像処理をいかに短時間に行うかがポイントになる。

被災項目の抽出が可能な処理手法

被災施設の抽出が行える処理であり、不安定な処理や効果の少ない処理などはさける。画像の解像度などは抽出の有無に関連する。

汎用的な処理手法

高度な判断などを要する手法や経験的要素を多く有する処理手法は、緊急時に特定の人材や時間が必要とされ現実的ではない。比較的分かりやすい汎用的処理がよいと考えられる。

パラメータ決定などに関する試行錯誤の少ない処理手法

処理手順が比較的単純

とくに複数の処理手法を組み合わせて行う場合、簡単な手順で一連の処理が行えることが望ましい。

処理手法として研究段階でないもの

特殊な場合に用いられるものでなく、色々な状況でも対応可能な手法であることが望ましい。

2.2 震災初動期に必要とされる被災施設情報の絞り込み

2.1 では、技術的側面から災害時における画像処理手法の特徴を整理した。ここでは文献、書籍、ヒアリング等を通じて、震災初動期に施設管理者が必要とする情報を整理し、ニーズ面から画像処理手法の特徴を整理した。

(1) 被災施設情報の整理

震災初動期に施設管理者が必要と想定される情報の概要を表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 震災初動期に施設管理者が必要と想定される情報の概要

地震発生後の時間想定	全体情報内容	施設管理者毎の情報内容												
(発生後1時間程度) 第一段階	発生後半日程度	<ul style="list-style-type: none"> 被災状況の概要： <ul style="list-style-type: none"> 大規模地すべり 沈下（液状化） 大規模津波 ライフラインの被災の有無 官公庁施設の被災の有無 住宅等の倒壊 人的被害の発生の有無 被災エリア 												
(発生後2時間程度) 第二段階		被災状況(概観) <ul style="list-style-type: none"> 道路：被災情報、通行現況等、現在の道路状況 河川：管理区域全体にわたっての被災の有無 被災個所の位置・規模 二次災害のおそれがあり緊急措置の必要な個所 砂防： <table border="1"> <tr> <td>被害対象・発生事象</td> <td>地震による被害</td> </tr> <tr> <td>山腹斜面</td> <td>巨大崩壊($5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 以上)、大規模崩壊($5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上)</td> </tr> <tr> <td>溪床</td> <td>崩土による天然ダム形成と決壊の危険性 施設の被災状況</td> </tr> <tr> <td>地すべり</td> <td>崩壊の発生、亀裂の発生、施設の被災状況</td> </tr> <tr> <td>急傾斜地</td> <td>崩壊の発生、亀裂の発生、施設の被災状況</td> </tr> <tr> <td>落石</td> <td>落石の発生</td> </tr> </table>	被害対象・発生事象	地震による被害	山腹斜面	巨大崩壊($5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 以上)、大規模崩壊($5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上)	溪床	崩土による天然ダム形成と決壊の危険性 施設の被災状況	地すべり	崩壊の発生、亀裂の発生、施設の被災状況	急傾斜地	崩壊の発生、亀裂の発生、施設の被災状況	落石	落石の発生
被害対象・発生事象		地震による被害												
山腹斜面		巨大崩壊($5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 以上)、大規模崩壊($5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上)												
溪床	崩土による天然ダム形成と決壊の危険性 施設の被災状況													
地すべり	崩壊の発生、亀裂の発生、施設の被災状況													
急傾斜地	崩壊の発生、亀裂の発生、施設の被災状況													
落石	落石の発生													
(発生後3時間程度) 第三段階	被災状況(細部) <ul style="list-style-type: none"> 被災個所 被災程度 	海岸：管理区域全体にわたっての被災の有無 被災個所の位置・規模 二次災害のおそれがあり緊急措置の必要な個所												
(発生後1日程度) 第四段階	安全点検 規制・非難の判断材料	二次災害促進要因（余震、気象）情報 道路：応急復旧工事優先度のための被災状況、周辺交通状況 河川：詳細被災状況 砂防：山腹崩壊 中規模崩壊($5 \times 10^2 \text{ m}^3$ 以上) 溪流 土砂堆積状況と二次土石流災害の危険性 斜面災害 危険個所の移動状況 海岸：詳細被災状況												

表 2-2-1 を目的別に整理すると、以下のようにまとめられる。

- 施設の一次被災状況の把握 第一段階
- 二次災害につながるような施設被災の有無の把握 第二段階、第三段階
- 応急復旧に向けた施設被災程度・周辺状況の把握 第三段階、第四段階

これらの目的に対する必要情報を施設別（道路、河川、砂防、海岸）に表 2-2-2 に示す。

表 2-2-2 目的別、施設別に必要とされる情報

施設	必要とされる情報		
	施設の一次被災状況の把握	二次災害につながるような施設被災の有無の把握	応急復旧に向けた施設被災程度・周辺状況の把握
道路	・ 通行現況	・ 交通支障の原因(被災の種類)・規模	・ 管理外の周辺交通状況
河川	・ 越流浸水の有無	・ 浸水規模 ・ 施設変状の有無	・ 浸水範囲の時系列変化
砂防	・ 斜面崩壊の有無 ・ 谷埋め土砂の有無	・ 崩壊規模 ・ 保全対象に影響する恐れのある崩壊土砂の有無 ・ 施設変状の有無	・ 土砂移動状況等
海岸	・ 越波浸水の有無	・ 浸水規模 ・ 施設変状の有無	・ 浸水範囲の時系列変化

1) 施設の一次被災状況の把握

地震発生直後の初動期には、施設の一次被災状況として被災エリア、被災概要（被災施設と被災種類・被災規模）に関する情報が必要となる。施設が保持する機能が喪失しているか否かが緊急措置を必要とするか否かの判断となるため、まずは被害の概要を知る必要がある。応急復旧優先順位判断材料とするための詳細な機能保持程度（被災程度、周辺状況）は次の段階での必要情報となる。

一次被災状況把握のための具体的な必要情報を以下に施設別にまとめる。

道路：

- ・ 車輦交通の停滞状況の把握。
- ・ 同日条件の時間帯における交通状況との比較。
- ・ 付加価値として、幹線緊急輸送路と一般緊急輸送路設定情報、避難地設定情報の事前把握。

河川：

- ・堤防の変形と堤外における水域の把握。
- ・外水氾濫との区別のために、内水氾濫区域の事前把握。

砂防：

- ・斜面の裸地化と斜面下端への土砂移動の把握。
- ・地震前のできる限り直近の斜面状況の健全度比較。
- ・地震前のできる限り直近の保全対象の健全度比較。
- ・土石流危険渓流、急傾斜地崩壊危険箇所等の土砂災害危険箇所データの事前把握。

海岸：

- ・堤防の変形と越波範囲の把握。
- ・気象条件等自然条件が同一条件での比較。

2) 二次災害につながるような施設被災の有無の把握

二次災害の危険性を検知するためには、施設の詳細な被災箇所・被災形状・被災規模の把握が必要となる。さらに、砂防事業に関しては、土砂災害発生箇所と保全対象との関係等、変状の有無、規模の把握が必要となる。

以下に具体的な必要情報を施設別にまとめる。

道路：

路面；

- ・路面陥没、路面障害。

道路盛土；

- ・変状がのり肩に限られるものでは、ほぼ全面通行止め程度の被害と判断される要件である亀裂幅 15 cm 以上または、段差量 20 cm 以上の被害の把握。
- ・変状が道路車線に及ぶものについては、ほぼ全面通行止め程度の被害と判断される要件である亀裂幅 30cm 以上、かつ段差量 50 cm 以上の被害の把握。
- ・盛土形状をある程度保ったままの沈下については、片側通行止め程度の被害と判断される要件である 50cm 以上の被害の把握。

斜面・切土のり面；

- ・被害および対処方針を崩壊量で規定することは厳密にはできないが、片側通行規制程度の被害と判断される要件である部分的な斜面の崩壊や、落石土量が 5 m^3 以上の落石被害の把握。

道路端；

- ・落橋、高欄部の折れ角、伸縮装置の開き、段差等。

河川：

堤防：

- ・変状がのり肩に限られるものでは、中程度の被害と判断される要件である亀裂幅 15cm 以上または、段差量 20cm 以上の被害の把握。
- ・変状が堤体天端中央部に及ぶものについては、中程度の被害と判断される要件である亀裂幅 15cm 以上、かつ段差量 20cm 以上の被害の把握。
- ・堤体形状をある程度保ったままの沈下については、中程度の被害と判断される要件である 50cm 以上の被害の把握。

砂防：

崩壊地*；

- ・被害および対処方針を崩壊量で規定することは厳密にはできないが、片側通行規制程度の被害と判断される要件である部分的な斜面の崩壊や、落石土量が 5 m^3 以上の落石被害の把握。
- ・地震前のできる限り直近の保全対象の健全度比較。

* 「吉松他、千葉県東方沖地震による斜面崩壊地調査、土木研究所資料第 2824 号」によると、1987 年の千葉県東方沖地震では 434 箇所の崩壊が発生し、崩壊土量が 10 m^3 のものが 36.6%、 100 m^3 のものが 74.4% を占めている。崩壊幅は 10～20m ものが多く、崩壊深は 1.0m 前後のものが多い傾向にあることが報告されている。これらのことからこの時の崩壊規模としては幅：10～20m、長さ：5～10m、崩壊深 1m 程度のもものが顕著であったと推測される。

* 「千葉、1978 年宮城県沖地震による地すべり・斜面崩壊について、兵庫県南部地震に伴う地すべり・斜面崩壊研究報告書、地すべり学会、1995」によると 1978 年の宮城県沖地震では大規模崩壊もみられたが、気仙沼市から唐桑町にかけて幅 4～5m 以内の崩壊・落石が数箇所が発生したと報告されている。

* 「中村他、地震砂防、古今書院」において引用されている 1995 年の兵庫県南部地震の山腹崩壊地の地形特徴では、六甲山系全体としては、幅 10～20m、長さ 50～100m、深さ 1～2m 程度の崩壊が多く発生している、急斜面（ $35\sim 55^\circ$ ）での崩壊発生が多いこと等が報告されている。

海岸：

- ・日本海中部地震等で被災報告がされている消波ブロックの散乱に対しては、1 t 用でほぼ 1m の 1 辺長程度の被害の把握。ただし、消波ブロックの形状、種類が多数存在するため、一概には整理できない。

3) 応急復旧に向けた施設被災程度・周辺状況の把握

地震発生から数時間経過した後は、被害の影響拡大の把握と、影響を考慮した応急復旧の優先度と対処方針の検討および広報情報の整理のために被害の時系列的な変化状況、被災地周辺の交通状況等に関する情報が必要となる。

道路、河川、砂防、海岸施設の一次災害による被害の拡大を把握するためには、それぞれ1)の項目の継続した比較が必要である。ただし、崩壊に関する移動は、保全対象に直接的に影響あるものについては、この時点では、警戒避難・応急対応のために現地における動態観測を必要とするため、リモートセンシングにおける情報提供としては、新たな崩壊の発生及び拡大状況の把握が目的となる。

1)～3)の必要情報に対し、災害時の情報収集、情報分析、情報連絡・提供に関する一般的な特徴を表2-2-3に示す。

表 2-2-3 災害時の情報収集、情報分析、情報連絡・提供の特徴

情報収集	情報分析	情報連絡・提供
情報が入りにくい。	早い分析を求められる。	情報連絡窓口がわからないことがある。
断片的な情報が多い。	当初は概況、続いて詳細。	通常の連絡手段が使えないことがある。
情報量が多い。	通行可能状況等、定型的チェックが求められる。	連絡内容が多すぎて取捨選択が難しい。
信頼性に疑問がある。	複数の管理者間で同時に同じ情報の共有が必要。	状況変化時の連絡タイミングの判断が困難。
平常時には取り扱わない情報がある。	次に何をすべきか、優先度順の確認が求められる。	未確認情報が多く情報提供の是非の判断が困難。
収集手段が多様多様となる。		同じ情報を大量に問われる。
内容が頻繁に更新される。		
情報が逸散しがち。		
面的に把握しにくい。		
システムにたよるものは不安定。		

表2-2-3のような特徴を踏まえ、施設管理者に対して外部から情報提供を行う際には、何についての情報であるか明確にし、信頼性がある面的な情報を状況変化に合わせて提供することが求められる。

また、夜間に地震等が発生した場合、特に第一段階における災害概要を把握することが困難であり、民生安定上の観点からも早急な情報提供が求められる。このため施設管理者の安全を確保した状態で、早急な情報収集が必要となる。現在の点検を主体とした情報収集においては、日中の災害に比較して最大で半日程度の遅れが生じる恐れがある。

施設管理者への情報の提供は、夜間においてはより迅速性と信頼性を求められるものとなるため、外部からの提供情報はこの点を十分理解したもので無ければならない。

(2) 施設管理者へのヒアリング結果

本調査では、ニーズ面から画像処理手法の特徴を整理するために、近畿地方整備局道路部、河川部、企画部へのヒアリングを実施し、実際に施設を管理する施設管理者の災害対応に関する考え方や経験を聞き、リモートセンシング技術の平常時施設管理、災害時への適用を検討した。

ヒアリングは概ね次のような内容で実施した。

災害時（特に災害初動期）に必要な情報について

- ・ 必要な情報の優先度
- ・ 情報の精度や役立つアウトプットの形態

過去の災害事例について

- ・ 災害時に役立った情報
- ・ 過去の事例をもとにした課題や問題点

平常時施設管理へのリモートセンシングの利用可能性について

以下および巻末にヒアリング結果についてまとめたものを示す。

1) 過去の災害対応

被害状況に関する情報の収集

- ・ ヘリテレ画像は中継所（近畿7箇所）を經由してマイクロで送信してモニターに映し出される。
- ・ ヘリテレは運航マニュアルがある。
- ・ 被災状況の把握に必要な画像としては、橋脚部の支障等、構造物が被災しているのかどうか判断できるものを必要とする。したがって、斜めに撮影される画像が効果的であると考えられる。また、緊急輸送路が使用可能か否かも判断できることが望ましい。
- ・ 被災時には迂回路の選定等、復旧作業に必要な提供情報の検討を行わなければならない。
- ・ 運航優先については、明確ではない。
- ・ 堤防は mm 単位の被災状況が致命的なものとなる。このレベルの把握は目視でないと困難である。堤防の沈下・陥没の発見も重要である。どのような亀裂なら危険であるか重要なものは何かを絞り込んだ状況把握が必要である。
- ・ 雨が降っている時のデータがほしい。

ヘリテレの長所：

- ・ ピンポイントのデータが取得可能。また、斜め画像の取得が可能。
- ・ ライブ画像として、刻々の変化が見ることができる。
- ・ ヘリテレは、災害発生後 30 分程度で情報取得開始が可能である。

ヘリテレの短所：

- ・ 災害は気象条件が悪い時に発生するが多い。ヘリ・航空機の運航は気象条件に影響される。
- ・ ヘリテレの夜間運航は運航上の問題も大きく赤外線センサはついていないが、使用できな

いのが現状である。ヘリの位置を衛星からの送信で自動運航する等が可能にならないと夜間対応は難しい。

- ・ ヘリ位置(災害位置)を指示する時に的確な指示をすることが難しい場合も考えられる。
- ・ ヘリテレには山間地等に不感地域が存在する。
- ・ 局所的な画像を映しているだけで、思うような画像が得られないことがある。
- ・ 航続距離・時間が短い時もある。
- ・ 夜間運航が困難。
- ・ 施設に対する地理勘が必要。

リモートセンシング画像の利用経験

- ・ なし

リモートセンシングによる被害把握の第一印象

- ・ 一次元的のみの画像情報では被災の判断材料としては不安定である。
- ・ ヘリテレは、災害発生後 30 分程度で情報取得開始が可能である。これに代わるような情報あるいは、ヘリテレ活用に有効な情報も 30 分を切るような時間で提供されないと活用は困難である。
- ・ 衛星画像は精度が高くなっても、一次的情報でしかありえないと認識している。
- ・ 衛星画像は GIS データの一部として、復旧ルート、救援個所までのアクセスルートを示すマップデータとして利用できるのではないか。また、緊急避難路に影響する家屋倒壊状況の把握には使えるのではないか。
- ・ ヘリテレには山間地等に不感地域が存在する。現在この地域を減らす努力をしているが、衛星画像がこれを補うことができるのではないか。
- ・ 1 m解像度程度の縮尺 1/2,500 図でも災害時には使用が困難である。通行障害になるあらゆる情報がわかるようでないと思えない。
- ・ 夜間に面的にとらえた情報になれば、活きた情報となる。
- ・ 提供までの時間が勝負ではないか。3 時間以内に提供できるべき。
- ・ 大規模災害以外には役に立たないと思われる。
- ・ 大きな被害なら読み取れるが、震度 4 程度で生じる被害ではなにも見えないのではないか。

2) 現在の一般的な災害対策方法

初動期

- ・ ヘリテレは、災害発生後 30 分程度で情報取得開始が可能である。
- ・ 河川管理の場合、事務所としては重要水防個所等を優先的に点検する。出張所としては管轄内を全て同じレベルで点検する。

- ・ 震度4以上で連絡が入り、点検を行う。状況によっては、点検時には職員が被災箇所へ到達できるかが問題になる場合もある。
- ・ 災害時の重要点検箇所は、日常の点検で把握している。
- ・ 小規模な地震程度では航空写真を撮るようなことはない。
- ・ 通常の災害対応としては、被災後一週間以内に地形図等ができ、二週間程度で対策設計図までができるようにしている。
- ・ 日没後の点検についての基準はない。災害規模等の状況判断結果により行動する。夜間においても災害対策箇所の監視はおこなう。
- ・ 災害規模によっては防災ドクターに依頼する。
- ・ 災害に対する断片的な情報は、警察・消防から第一報として入る。これに対しては作業車を派遣して情報確認を行う。この断片的情報が線的・面的になるようになれば全体の概要把握等の判断に有効となる。
- ・ 緊急輸送路のうち、どの路線の交通を確保することが効果・効率的か判断して復旧優先度をつける。
- ・ 点検重要箇所は決まっている。
- ・ 震災などでは外観ではわからないような、機能を保持する箇所の破損が生じる場合がある。
- ・ 決められた巡視ルートを巡視点検するが、数的に人海戦術なので時間がかかる。
- ・ 点検時の精度については基準化していない。
- ・ 夜間の場合においも水質事故につながるような要因に対しては巡視点検する。その他、堤防変状等については、夜間は情報が困難なため実施できない。

その後の段階

- ・ 阪神淡路大震災の経験から施設整備も進み危機管理体制も確立されているので、非常時にはかなり迅速な対応が可能だと考えている。
- ・ 阪神淡路大震災時には、情報が一元化しておらず、各自の情報にタイムラグが生じた。今後同じレベルの情報を各セクションでもてるようにするべき。

3) 平常時業務へのリモートセンシングの活用

- ・ 平常時には目視によるパトロールが中心であり、路面状況を重視している。
- ・ 年1回、徒歩で遠望目視点検を実施している。
- ・ 橋梁点検車に対する点検は、管理橋梁1,200橋に対して、およそ1橋あたり1回/10年サイクルで実施している。
- ・ 空洞探査は数年に1回実施しており、不陸点検は1回/3年、全線で実施している。
- ・ 事務所の管理体制としては24時間体制の事務所：5事務所（奈良国道・姫路工事・兵庫国道・大阪国道・京都国道）と8時間体制の事務所がある。

航空写真、CCTV・ITVの使用状況

- ・情報表示場板等、情報を提供するためのシステムは確立できているが、情報を受けて使うというシステムは確立できていない。
- ・カメラ画像の情報は、定点情報で判断できる規制区間の状態把握などには有効であるが、それ以上を望むには限界がある。
- ・定点カメラで今後何ができるか、付加価値をもたせることが課題である。
- ・日常の監視（利用面に対する監視）、洪水時の監視に使用している。
- ・カメラは画像的には見やすいが、エリアが限られるのが課題である。

その他施設管理上のモニタリングセンサリングシステムの使用状況

- ・点検手順等の整備としては、モバイルの試行、点検様式の整備が行われている。
- ・災害対応の時間毎のステップをマニュアルで作っても、災害規模、発生条件により災害対応は異なる。
- ・斜面変状管理として動態観測結果に光ファイバーを利用してモニターしている。
- ・危険と認識した管理施設の内、早急に手当てが困難なものについては、モニタリングなどの監視システムを整備するようにしている。
- ・スノーセンサーによる状況把握。

防災訓練等でのリモートセンシング画像使用の経験

- ・衛星画像は訓練などに使用したことはない。

今後リモートセンシングを管理に取り入れる場合に管理できそうな施設

- ・津波の被害は広範囲になるため、被害をうけていることに対する判断材料には使えるのではないかと。
- ・河床変動の把握には平常時と出水時の状況から利用できるのではないかと。
- ・局地的な雪害範囲の把握が可能であれば、有効である。
- ・洪水時の水位、越流範囲の平面的な現地の変化状況をとらえられるようであれば利用できる。
- ・洪水時のピーク流量のデータと時間変化。
- ・河口付近の拡散状況。
- ・夜間の洪水情報の把握。
- ・天候が悪い状況での早い情報。
- ・人の行けない所の情報提供。

4) 画像処理、数量把握

施設被害分量把握について

- ・ 阪神淡路大震災時には、被害数量は被災後3日で把握して、7日目には再度整理されていたと思われる。

リモートセンシング画像からの被害情報の提供精度

- ・ 広域画像情報には誤差はあっても被害個所の見当がつけられる早い情報の方が活用できる。
- ・ 不確定な被災想定個所情報であれば、確実度等の評価ランクが必要である。ただ単一な判断情報では、致命的被災個所の把握を急ぐ時に不必要な手間となる。
- ・ 変化等を元のデータと比較した結果、違いを表示したようなものであれば、有効だとも思うが、河川の状態は常に変化しており、データの変化が日常的な状況変化なのか、災害によるものなのか判断ができないのではないかと。
- ・ 河川は危機管理部局であるので、大丈夫とした時の見過ごしが生じる可能性をあたえる情報では使えない。

(3) 高分解能衛星及び航空機による被災施設情報の抽出の可能性

ここでは、(1)の被災施設情報の整理、(2)のヒアリング結果から認識された必要情報に対して、リモートセンシング技術の利用制限、条件、限界等を検討した。

1) プラットフォーム別の利用制限

人工衛星データの利用条件

地震発生後の人工衛星による画像取得のタイミングは、撮影要求時の衛星の位置で決まる。この時の撮影範囲は、撮影時における衛星の軌道位置と撮影可能なポイントング角度により設定される。

撮影要求の場合では、衛星の撮影時間帯の多くは、10時30分前後に集中していることにより、撮影直後での発災の場合には、最短でも24時間データ取得の行えない状況が生じる可能性がある。しかし、直下視撮影のみのLandsatと異なり、IKONOS、QuickBirdなどの高分解能衛星ではポイントングによる斜め撮影によって最長でも2~3日以内での取得が可能である。観測時刻前であれば撮影後5~6時間後には入手可能である。

高分解能衛星の場合、撮影の範囲はIKONOSでも11x11km四方であるため、大規模地震などは被災した広範囲な地域を同時刻に一度にカバーできない(ただしポイントング操作によっては東西方向50kmまでは可能)。したがって、今後打ち上げられる衛星も含め複数の衛星による観測では各衛星運営会社との撮影スケジュールについて連帯が必要になる。地域的、時間的補間データとして中・低解像度による利用も考慮する必要がある。

高分解能衛星のほとんどは可視バンドによる観測であるため、天候の影響による観測の可否の問題が起こりうる。初動期の情報の重要性から解像度が落ちるもののSAR画像で代表される全天候型衛星の観測データの利用も重要である。

航空機・ヘリコプターの撮影条件

緊急時に最も利便性があり、被災地の近くで画像の得られる航空機やヘリコプターはデータ取得に関しては有利であるが、撮影時の天候条件に左右されやすいことがあげられる。とくに飛行は有視界で行われるため視界の悪い場合や、夜間では観測は難しく撮影障害となる。ヘリコプターによる撮影目的は被災地の全体像というより個別的な被災状況を速報的なかたちの映像情報として伝達することに重点が置かれている。撮影は斜め方向からによる被災地側面の情報を得ることができる有利さはあるが、画像位置の特定記録には、画像とともにGPSなどによる位置情報の付加による対応が必要である。ヘリコプター単独の対応では広域・長時間運用には限度があり、複数機対応による伝達方法のあり方も検討することは必要である。

画像の伝送に関してはヘリコプターと通信衛星などを活用した直接データ伝送が行えればよいが、地上受信システムでは山や高層建物などが障害となり制限を受けや

すい問題がある。

2) 画像データタイプ別の利用限界

各種プラットフォームから得られる画像データの特徴と課題を表 2-2-4 にまとめた。衛星データはデジタルデータとして取得されるが、航空機は空中写真、ヘリコプターは VTR などのアナログデータとして取得されるため、画像解析を行うためのデジタル変換が必要となる。

表 2-2-4 画像データタイプ別の特徴と課題

プラットフォーム	バンド	データの種類	解像度	特徴と課題
衛星	可視、近赤外	デジタル画像	1m~	デジタル変換は不要。 地理座標が付与されており、迅速な解析が可能。
航空機	可視	アナログ(垂直写真)画像	数十センチ	デジタル変換が必要。 地理座標が付与されておらず、幾何補正やモザイクに時間を要する。 画像間の色調などに違いがある。
ヘリコプター	可視、赤外	アナログ(斜め写真)画像 リアルタイム画像、TVR	数十センチ	写真やビデオなどのアナログデータであるため、デジタル変換が必要。 地理座標が付与されておらず、幾何補正やモザイクに時間を要する。また、プラットフォームの軌道が不安定なため、精密な幾何補正が困難である。 正確な位置情報が得られにくい。 画質が粗い。

3) 解像度による限界

画像情報は、とりわけプラットフォーム上のセンサに依存するものが大きい。センサの解像度別の被災施設抽出の可能性検討は過年度調査で行われている(巻末資料)。

過年度調査では阪神淡路大震災時の空中写真を用いたシミュレーション画像から被災施設の視認性について検討を行っている。シミュレーション画像の解像度は、0.2m、0.5m、1m、2m、10m で 0.2m~0.5m は空中写真、1m~2m は IKONOS などの高分解能衛星、10m は SPOT などの中分解能衛星を想定して作成されている。以下に結果についてまとめた。

地上解像度 0.2m~0.5m の画像の場合、路面の被害などは、ほとんどの被害を十分検出可能である。大きな路面亀裂などの変状を見つけ出すことも可能である。

地上解像度 1m~2m の画像の場合、1m では高架橋のずれ・段差、路面陥没やそのほか小さな被害については判別が困難である。2m では流動化に伴う護岸や河川堤防の被害は困難である。

地上解像度 10m 程度の画像解像度の場合、ほとんど全ての線形的被害状況は困難で

ある。面的な被害の液状化や土砂災害といった被害は判読可能である。個別の変状より地域的な変状を認識する上では可能。

概ね高分解能衛星に相当する 1 m 以下の解像度では被災施設の判別は可能であるが、中解像度以上の衛星では面的な被害以外の判別は難しいとされている。

また、解像度による施設判別については、衛星リモートセンシング推進委員会空間ワーキンググループでも検討されており、85 の判読事例をもとに高解像度データの判読の可能性について調査を行っている。

調査は、都市部と山地部で分解能 1m、2.5m、5.8m、10m の画像から判読を行っている。1m と 2.5m は空中写真から作成されたシミュレーション画像を用い、5.8m は IRS 衛星、10m は SPOT 衛星の各画像を用い判読を行っている。利用データはカラーおよびモノクロ空中写真と IRS、SPOT 衛星画像である。

表 2-2-5 に都市部の地物による判読可能性について検討した結果を示す。

表 2-2-5 都市部での立体視による地物の判読可能性

分類項目 (1/2,500 図式)	細分類項目 (1/25,000 図式で異なる場合の項目名)	分解能の違いによる判読可能性				1/25,000 判読限界 分解能(m)
		1m	2.5m	5.8m (IRS)	10m (SPOT)	
道路	真幅道路			×	×	2.5
	軽車道		×	×	×	1
	徒歩道		×	×	×	1
	庭園路		×	×	×	1
	建設中の道路		×	×	×	1
道路に付随する 施設	道路橋			×	×	2.5
	歩道橋		×	×	×	1
鉄道	普通鉄道			×	×	2.5
鉄道に付随する 施設	鉄道橋			×	×	2.5
	プラットフォーム		×	×	×	1
建物	普通建物			×	×	2.5
	堅ろう建物				×	5.8
	普通無壁舎			-	-	2.5
建物付属物	プール			×	×	2.5
小物体	電柱		×	×	×	1
	タンク				×	5.8
	煙突			×	×	2.5
	電波塔			×	×	2.5
水部	河川			×	×	2.5
	湖池			×	×	2.5
法面	土堤			×	×	2.5
	被覆			×	×	2.5
植生	田		×	×	×	1
	畑		×	×	×	1
その他	学校				×	5.8

(留意事項)

分類項目は、建設省(当時)公共測量規定の定める 1/2,500 用図式である国土基本図図式の主な項目を中心に設定。

判読可能性は、1/2,500 国土基本図の項目が描画もしくは判読可能であることを記号で示した。

(: 描画可能 : 判読可能 × : 判読不可能 - : 地物なし)

1/25,000 判読限界分解能は、1/25,000 地形図レベルの判読可能な地上分解能を示している。

出展：平成 13 年度 人工衛星等を活用した被害早期把握システム検討業務 成果報告書 内閣府 平成 14 年 3 月

表 2-2-5 から判読による判別の可能性についての検討結果を次にまとめた。

分解能 1m の IKONOS 画像を用いれば、判読を試みた項目は概ね判読可能である。道路、鉄道、河川等の主要項目は、分解能 2.5m でも判読可能である。普通建物については判読不能である。

SPOT 画像については、幅員 13m 以上の道路、一部道路の堅ろう建物、河川、田・畑・森林・ゴルフ場などの面的な広がりのある植生・土地利用が判読可能である。

画像の解像度については、被災施設によってはセンチ単位の亀裂などの被災状況を求められるものがある。しかし、解像度の限界もあり、現実的には上空からこれらを判別することは難しく、現地調査以外の方法では検出は困難である。また衛星や航空写真では上空からの垂直撮影であるため、施設側面の被害抽出については困難である。さらに施設の機能障害については外見上からは判別が困難である。ただ機能障害によって生じた 2 次的現象を捉えることは可能であると思われる。

4) 画像処理の限界

画像処理段階での課題を次にまとめた。

雲などの存在（薄雲を含む）が障害となる。薄い雲や煙がかかっている場合でも対象物の判別は可能だが自動分類を行う上では障害となる。

建物の影などによって認識できない箇所が生じる。高分解能衛星では従来の 8 ビットから 11 ビットにし、階調のダイナミックレンジを広げることにより、従来よりは視認性が向上してきている。

山などの地形的なものや高層建物による倒れこみにより生じる影(不可視)の部分では抽出は不可能である。

被災地域の画像のみでは、被災施設のみ抽出は困難で被災前の画像が必要である。

撮影時刻や天候による 2 時期の画像状態（画質）の違いで、処理結果が大きく異なることがある。

2 時期のデータを用いた抽出では撮影方向による倒れ込みの違いや影部分の補正が困難で、差画像などを作成する場合に誤抽出を生みやすい。

また、迅速な処理を行う上では、

デジタル画像の場合は、異なる諸元のデータ間でも利用可能なデータフォーマットに統一しておくことが必要である。

迅速な対応を行うためにも地理情報などによる重ね合わせのための座標系は統一しておくことが必要である。

地形的な歪みのないオルソ画像の作成には DEM などのデータを用いた補正が必要で、作成には時間がかかる。簡易的な画像補正での対応を考慮した処理が必要であ

る。

衛星画像は直下視の映像だけでなくポインティングによる斜めからの撮影が行われるためその補正が必要であるが、提供段階で補正画像を注文することも可能である。

例えば IKONOS 画像に関しては、国内については表 2-2-6 に示す位置精度の異なる 3 種類の画像を提供している。

表 2-2-6 提供される IKONOS 画像

提供データ	処理内容	所要時間	備考
デジタルジオ画像	地球の丸みやシステム の特性によって生じる 画像のひずみを補正(幾 何補正)	通常 10 日以内 緊急時では数時間	位置精度は正確ではな いが、地表の状況を見る 場合に利用 画像間の接合や画像間 の色調補正はない
デジタルオルソ・ライト 画像	デジタルジオ画像の幾 何補正に加え、地上測量 による地上基準点(GCP) と標高データによる正 射投影補正	通常 30 日以内 地上基準点(GCP)のない 地域については現地調 査を含めさらに時間を 要する	ある程度正確な位置精 度を必要とする場合に 利用
デジタルオルソ・エクス パート	デジタルジオ画像の幾 何補正に加え、地上測量 による地上基準点(GCP) と精密な標高データに よる正射投影補正	通常 30 日以内 地上基準点(GCP)のない 地域については現地調 査を含めさらに時間を 要する	正確な位置精度を必要 とする場合に利用

(IKONOS 画像データサービスガイドブックより作成)

デジタルジオ画像は緊急時では数時間で処理提供されるが、デジタルオルソ画像は数日から数ヶ月の日数が必要になる。緊急対応については現在のところ困難である。

5) 画像データ配信の限界

衛星画像は主にデジタルデータとして取得されるが、航空機やヘリコプターの場合は写真やビデオのアナログデータである。迅速に多くの事務所に同時に伝達するためにもデジタルデータとして販売機関や処理センターからの高速通信による配信が必要になる。データの伝送については各省庁でも高速回線を用いた整備が進められている。画像データは大容量となるため高速回線は不可欠である。

2.3 画像処理の自動化を念頭においた画像上での被害形態別の特徴整理

2.1では、文献、書籍、ヒアリング等を通じて、技術的側面およびニーズ面から災害時における画像処理手法の特徴を整理した。ここでは、実際の画像を用いた処理の試行に先立ち、過年度報告書やヒアリング結果をもとに被災形態別にどのような画像処理を行うか処理手法の絞り込みを行った。

絞り込みにあたって、まず画像上で被災箇所の特徴がどのように見えるかを平常時に対する色情報をもとに比較しながら整理した。次にこの中から色情報(スペクトル)などをもとに被災箇所の抽出を行うために、平常時(被災前)の被災箇所の色情報を整理し、色情報の違いから被害規模が抽出可能かを検討した。

(1) 対象とする被災施設形態と試行する画像処理手法の選定

1) 対象とする被災施設形態

2.1で整理した被災施設の特徴に基づき、画像処理の試行対象とする被災形態の特徴を表2-3-1にまとめた。対象施設は橋梁、道路、建物、河川、港湾、砂防施設とした。被災形態では、落橋、路面亀裂・段差といった線的情報を持つものと液状化、土砂災害など一定の広がりを持つ面的情報に区分した。面的な被害には液状化、土砂災害、土砂流出といった施設自体ではなく被災要因となった災害現象を表すものが多く、明らかに被災後に周囲と異なる色調を持つ。また路面陥没、建物倒壊などの必ずしも色情報だけでない被災情報に基づくものもあげられる。

表 2-3-1 画像処理の試行対象とする被災施設形態

施設		対象	被災形態	被害規模		被害要素	
						線的	面的
橋梁	橋梁	全体	落橋	長さ	数 10m		
		上部工	高架段差	段差量	数 10m		
道路	道路	路面	路面亀裂	幅、長さ	数 m		
			路面陥没	面積	数 m 四方		
			道路閉塞・障害	幅、長さ	数 m		
建物	建物	建物倒壊	建物倒壊	面積	数 m 四方		
河川・港湾	堤防	のり面	堤防破損	長さ	数 10m ~		
	埋め立て地等	地盤	液状化	面積	数 10m 四方		
	護岸	のり面・小段	崩壊・土砂流出	面積	数 m		
		施設	亀裂	幅、長さ	数 10 cm		
砂防	急傾斜地等	斜面	土砂災害	範囲	数 10m		

2) 試行する画像処理手法の選定

前節で述べたように処理画像には線的な被災形態および面的な被災形態を持つものに分けられる。一方、被災施設抽出の画像処理方法として、画像強調処理、特徴抽出処理(幾何学的特徴抽出、スペクトル抽出、テクスチャ抽出)、分類処理などがあり、それぞれ単画像あるいは複数画像を用いて処理が行われる。

画像処理を試行する上で、これら全ての処理手法を行うのではなく、効率よく効果のある手法で行う必要がある。2.1における検討で整理されたように、技術的側面からは線的な被災形態に対しては、画像強調処理や幾何学的特徴抽出、テクスチャ抽出などの特徴抽出処理が効果的で、面的な被災対象に対しては、特徴抽出処理による境界の抽出に加え、画像強調処理や分類処理が効果的であることが指摘されている。このことは、表 2-3-2 に示す国土交通省総合技術開発プロジェクトの報告書でも指摘されている。

ニーズ面からは、時間を要さない処理手法、汎用的で研究段階にはない処理手法、パラメータ決定などに関する試行錯誤の少ない処理手法が効果的であることが指摘されている。

これらを念頭に置き、図 2-3-1 に示す考え方にに基づき手法の絞り込みを行った。

表 2-3-2 被災タイプと画像処理手法の適用性

処理手法			被災形態		
			液状化	山腹崩壊	延焼
強調	濃度変換	線形補正			
		統計量変換			
		ヒストグラム変換			
	フィルタリング	エッジ強調 (Edge Detect)			
		平滑化 (Low Pass)			
抽出	フィルタリング	エッジ抽出 (Edge Enhance, High Pass, Summary)			
2 時期の 差画像	カラー合成	重ね合わせ			
	画像間演算	比演算			
		差分解析			

：非常に有効 ：有効 ：効果は小さい

(延焼は長田地区、液状化はポートアイランド、山腹崩壊は住吉台地区)

出典：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」 国土交通省 平成 15 年 1 月

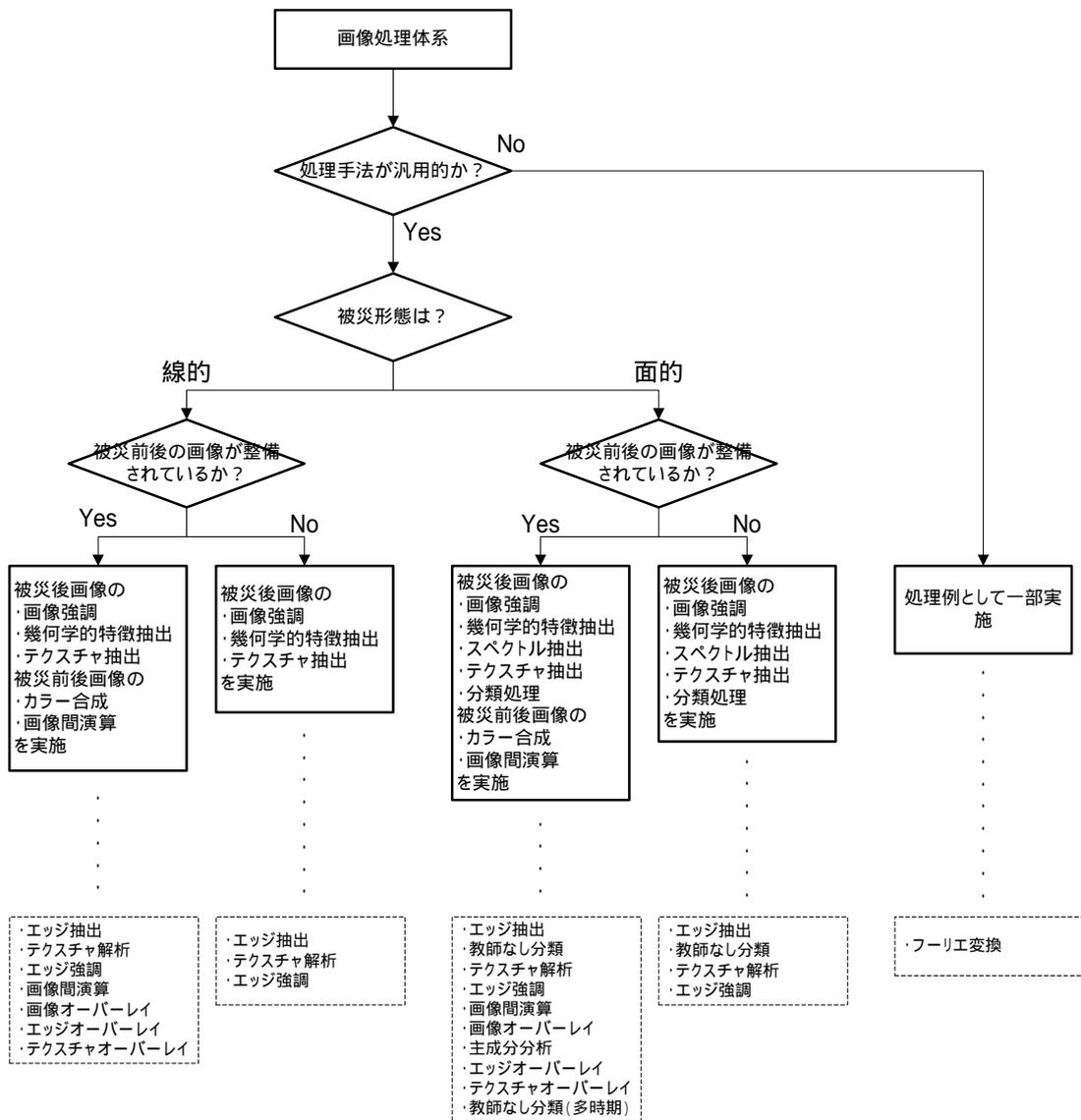


図 2-3-1 試行する画像処理手法の絞り込みフロー

図 2-3-1 の結果まとめられた本調査で試行する処理対象と処理項目を表 2-3-3 に示す。

表 2-3-3 試行する処理対象と処理項目

被災形態		画像処理											
		被災後画像のみ使用					被災前後画像使用						
		エッジ抽出	教師なし分類	テクスチャ解析	エッジ強調	フーリエ変換	画像間演算	画像オーバーレイ	主成分分析	成分	エッジソーレイ	ジオバレイ	テクスチャソーレイ
橋梁	落橋												
	高架段差												
道路	路面亀裂												
	路面陥没												
	道路閉塞・障害												
建物	建物倒壊												
堤防	堤防破損												
埋め立て地等	液状化												
護岸	崩壊・土砂流出												
	亀裂												
急傾斜地等	土砂災害												

(2) 被害箇所の色情報の特徴整理

面的な被災形態に対して適用する分類処理では、構造物などの幾何学的特徴（線情報）によらず、スペクトル情報（色情報）のみに着目し、被災状況を抽出する。分類結果は類似したスペクトル特性を持つ領域を、いくつかの分類クラスにグループ化されたものであり、処理結果を評価するためには分類クラスに意味づけをする必要がある。そのためには被災箇所の色情報の特徴を整理しておく必要がある。そこで、ここでは被災時の画像情報（色情報）に関する特徴を無被災箇所と比較し、被災箇所の色情報の特徴を整理した。

施設被害には数cmの情報を必要とするものもある。しかし施設被害抽出の画像処理では衛星の解像度以上の細かな情報は抽出されることはない。このため線的な施設被害の抽出や判別には画像の解像度が最も大きな要素となる。さらに抽出されたエッジの長さや密度によっても被災施設の判別の難易が変わってくる。一方、色情報による被害施設抽出では広がりをもつ面的な画像情報であるために中解像度衛星でも抽出が可能である。分類処理では、被災施設と周囲あるいは異なる時期における色調(濃淡)の相違が、抽出する上で最も大きな要素となっている。被災を受けても周囲との色調の変化が小さければ抽出することは難しくなる。

次に、画像から得られる被害の特徴から抽出の可能性を表 2-3-4 にまとめた。

抽出は比較的容易とみられるが、類似特性を持つ箇所も同時に抽出する可能性がある点に注意が必要である。

表 2-3-4 画像から得られる被害の特徴と抽出の可能性

被災形態	被害対象	画像から得られる特徴と抽出の可能性
路面陥没	路面	大規模な陥没や変状などは認識が可能とみられる。
液状化	地盤（埋立地、河川敷）	全般に噴砂・噴泥による独特な分光特性を持つため抽出しやすく、被害もある程度の広い面積をもつため抽出しやすい。裸地などでは抽出は困難。
土砂流出	港湾施設	岸壁崩壊による土砂流出は水域と色調が異なり明瞭であるため抽出は容易とみられる。
土砂災害	斜面	斜面の崩落跡は、画像上で裸地としての特性を示す。植生などが被覆していれば、山間地では植生・非植生区分に用いるNDVI等の指標も効果的である。
建物倒壊	建物	建物が全壊している場合は、色調やきめに明らかな違いが認められる。部分的損壊や建物側面の被害の認識は難しい。道路閉塞状況も倒壊によっては認識可能。

図 2-3-2 に過去の災害画像を用い、被害前後での色情報について比較整理した。色情報については広がりのある被害から得られるため、表 2-3-1 から面的被災形態のみ選択した。

図 2-3-2 被災前後の色情報の特徴

施設	被害	色情報の特徴	画像例	
砂防	土砂災害	被災前は植生に覆われ一様に緑色を呈していた。被災後は、崩壊を起こした箇所のみ新たに地表が露出し、色調も淡い茶色に変化する。輝度値も崩壊箇所は高くなる。		
河川 港湾	液状化	液状化によって、砂泥土が噴出した箇所は、黄土色の色調で覆われる。水の乾ききっていないところは周囲より輝度は低い。	画像なし	
河川 港湾	土砂流出	護岸の損壊により土砂の一部が海へ流出している。このため海の色調と大きく異なる。	画像なし	
道路	路面陥没	路面の陥没程度で見え方も変わる。大きく陥没している場合は、地盤が露出するため、地表のアスファルトと大きく異なる色調を持つ。	画像なし	

	<p>道路閉塞</p>	<p>法面の倒壊、すべりによる道路閉塞。 被災前は、道路は一定の幅を持ち、色調は明るい灰色を呈する。被災後は道路幅が不規則で被災箇所で極端に狭まる。輝度も周囲の植生と同じ値まで低下する。</p>	 <p>被災前</p>	 <p>被災後</p>
	<p>道路閉塞 建物倒壊</p>	<p>市街地では、低層住宅の屋根で比較的大きさのそろった多彩な色の矩形が密集する。建物が全壊した箇所は、この矩形が細かなテクスチャで表現される。色調も茶褐色となる。</p>	 <p>被災前</p>	 <p>被災後</p>

2.4 画像処理手法の被害形態別の適用性に関する検討

(1) 画像処理（単一処理）の試行

ここでは、前項で整理した施設被害別に有効な画像処理を行い、その処理時間と処理の課題等を検討した。

解析には主として阪神・淡路大震災前後に撮影された航空写真を用いた。土砂災害に対しては、平成12年に地震が発生した神津島を対象として、被災前後の航空写真を用いて画像処理を行った。

航空写真については、地上解像度の異なるシミュレーション画像を作成して解像度による抽出可能性についても検討した。シミュレーション画像の解像度は、現在入手できるか、または近い将来に計画されている衛星画像を想定して10m、2m、1m、0.5mとした。現行の航空写真との比較のために0.2m解像度の画像も作成し、検討に加えた。図2-4-1にシミュレーション画像の作成手順を、表2-4-1に対象とした施設被害の種類と使用したデータ等を示す。航空写真を用いたシミュレーション画像の解像度は、過去の調査を参照した。

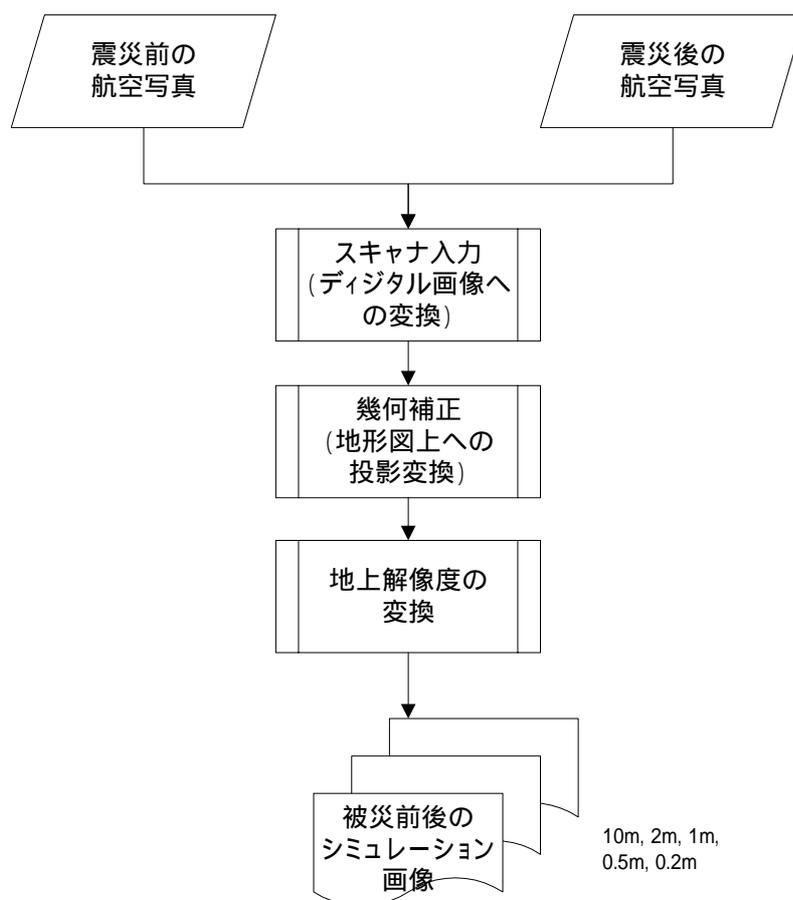


図2-4-1 シミュレーション画像の作成手順

表 2-4-1 施設被害の種類と使用したデータ

情報二ーズ			被害規模	解像度別の視認性					被害分類	被害地域	航空写真		IKONOS 被災後				
施設	対象	被災形態		20cm	50cm	1m	2m	10m			被災後	被災前					
橋梁	橋梁	全体	落橋(道路)	長さ 数 10m					×	道路橋	岩屋高架橋落下	H7.1.25	H2.7.25	-			
			落橋(鉄道)	長さ 数 10m						×	鉄道橋	阪神電鉄線路崩落	H7.1.25	H2.7.25	-		
		上部工	高架段差(縦ずれ)	段差量 数 10 cm							×	14 道路橋	西宮市役所南東方	H7.1.18	H2.7.25	H12.7.23	
			高架段差(横ずれ)	段差量 数 10 cm				×	×	×		15 道路橋	西宮 IC 付近	H7.1.17	H2.7.25	H12.7.23	
道路	道路	路面	路面亀裂	幅、長さ 数m							21 陥没	神戸高速鉄道「大開」駅直上(国道 28 号線)	H7.1.20	-	-		
			路面陥没	面積 数m四方					×	×						×	
			道路閉塞・障害	幅、長さ 数m						×	×	42 道路閉塞	西宮市安井町付近(夙川左岸)	H7.1.18	H2.7.25	H12.7.23	
建物	建物	建物	建物倒壊	面積 数m四方						×	×	42 道路閉塞	西宮市安井町付近(夙川左岸)	H7.1.18	H2.7.25	H12.7.23	
河川・港湾	堤防	のり面	堤防破損	長さ 数 10m ~						×	×	51 河川堤防	淀川左岸(大阪市此花区西島地区)	H7.1.17	H5.1	H12.7.23	
	埋め立て地等	地盤	液状化	面積 数 10m四方							×	32 液状化	メリケンパーク	H7.1.20	-	-	
	護岸	のり面・小段	崩壊・土砂流出	面積 数m								×	32 液状化	メリケンパーク	H7.1.20	-	-
		施設	亀裂	幅、長さ 数 10 cm							×	×	32 液状化	メリケンパーク	H7.1.20	-	-
情報二ーズ			被害規模	IKONOS 画像(神津島)													
施設	対象	項目		20cm	50cm	1m	2m	10m									
砂防	急傾斜地等	斜面	土砂災害	範囲 数 10m	-	-		-	-		土砂災害	神津島	H12.7.9	H8.4.6	H12.12.4		

* 阪神・淡路大震災直後の航空写真は、主として平成 7 年 1 月 17 日～1 月 20 日にアジア航測株式会社が撮影したものを利用した。

施設被害には、道路、橋梁等の落橋、高架段差等の線的な被害や、路面亀裂、陥没等の面的な被害、さらに液状化に見られるような色調の変化を伴うもの等様々なものがある。その被災形態の特徴に適合する処理手法を試行して、実際の適用性を考察するとともに、被災前後の情報の利用性についても検討した。試行した処理は施設被害別に表 2-4-2 に示す。

このうち、1種類の手法を用いた処理については本項(1)で、複数の手法を用いた処理については次項(2)で述べる。

表 2-4-2 試行した処理パターン

情報ニーズ				被災後画像のみ使用					被災前後画像使用					
施設	対象	被災形態	エッジ抽出	教師なし分類	テクスチャ解析	エッジ強調	フーリエ変換	画像間演算	画像オーバーレイ	主成分分析	エッジオーバーレイ	テクスチャオーバーレイ	教師なし分類(多時期)	
橋梁	橋梁	全体	落橋(道路)	-			-			-			-	
			落橋(鉄道)	-			-			-			-	
		上部工	高架段差(縦ずれ)	-			-			-				-
			高架段差(横ずれ)	-			-			-				-
道路	道路	路面	路面亀裂	-			-	-	-	-	-	-	-	
			路面陥没	-			-	-	-	-	-	-	-	-
			道路閉塞・障害											
建物	建物	建物	建物倒壊											
河川・港湾	堤防	のり面	堤防破損	-			-			-			-	
	埋め立て地等	地盤	液状化				-	-	-	-	-	-	-	
	護岸	のり面・小段	崩壊・土砂流出				-	-	-	-	-	-	-	
		施設	亀裂		-			-	-	-	-	-	-	
砂防	急傾斜地等	斜面	土砂災害											

*被災前後画像を使用した複合処理(エッジオーバーレイ、テクスチャオーバーレイ、教師なし分類(多時期):黄色網掛け)については(2)で述べる。

1) 落橋(道路・鉄道)

落橋は線状構造に乱れが生じる現象としてとらえられる。したがって、エッジ抽出、テクスチャ解析、エッジ強調を試行した。また、被災前後の画像を用いて、画像間演算、画像オーバーレイを行った。

対象とした被災箇所は、道路橋、鉄道橋の2箇所とした。ともに長さ数10mにわたって落橋した箇所である。画像の解像度は、2mを対象とした。図2-4-2に道路橋落橋現場の被災前後の画像および各種処理結果を、図2-4-3に鉄道橋落橋現場の被災前後の画像および各種処理結果を示す。

道路橋の落橋

- 解析対象とした大規模な落橋については、被災後画像のエッジ抽出、テクスチャ解析、エッジ強調の3種の処理結果に、線構造の揺らぎとして被災状況が反映されている。
- 被災前後の画像を用いた処理では、道路の落橋の場合は画像オーバーレイが有効である。画像間演算では落橋箇所の色調差より、他の影響による色調差の方がより強調されている。ただし、被災前後の画像を用いる場合は、撮影時刻や撮影季節による影の影響、画像間の位置ずれの影響等を受け、誤判別を生じる可能性がある点に注意する必要がある。

鉄道橋の落橋

- 被災後の画像を用いたエッジ抽出、テクスチャ解析、エッジ強調の3種の処理結果に、線構造の揺らぎとして被災状況が反映されている。とくにエッジ抽出とテクスチャ解析は落橋部分が際だって表現されている。
- 被災前後の画像を用いた画像間演算、画像オーバーレイにおいても、落橋部分が強調されているが、変化箇所が色調で表現される画像オーバーレイの方が視認性が高い。ただし、被災前後の画像を用いる場合は、撮影時刻や撮影季節による影の影響、画像間の位置ずれの影響等を受け、誤判別を生じる可能性がある点に注意する必要がある。

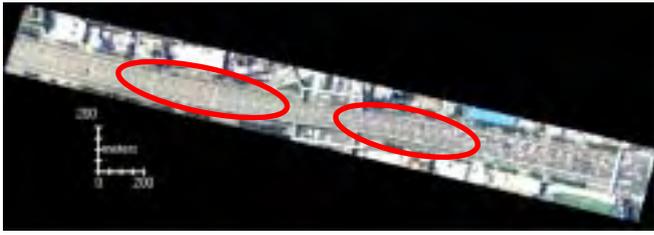
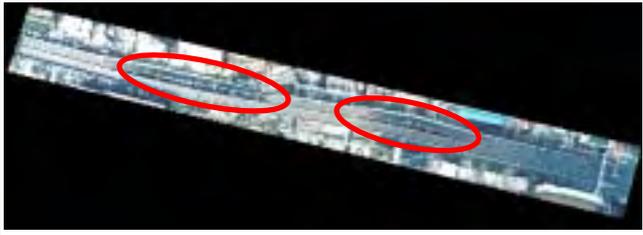
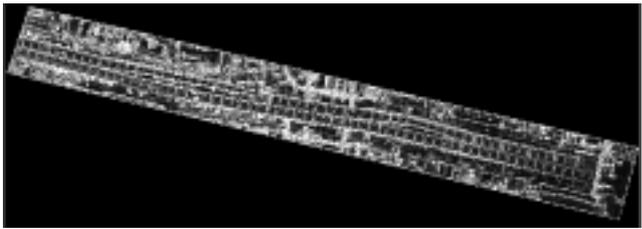
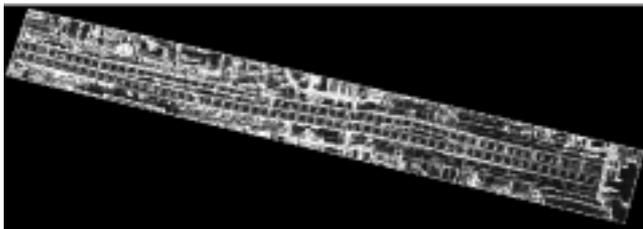
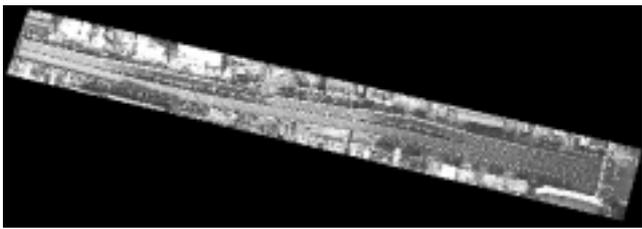
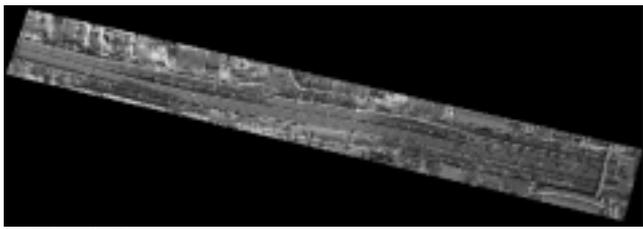
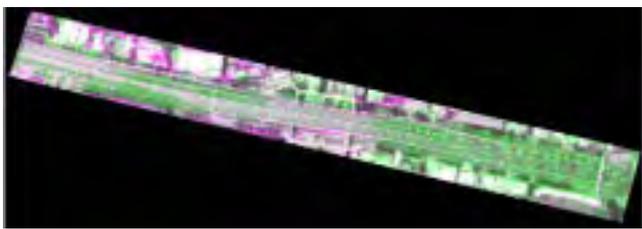
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジ抽出 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素値と隣接画素値との差分の大きいエッジ箇所を明るく表示し、差分の小さいエッジ箇所を暗く示した。</p>	<p>テクスチャ解析 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素と周辺隣接画素との値のばらつきの大きいテクスチャを明るく、ばらつきの小さいテクスチャを暗く示した。</p>
<p>エッジ強調 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後の元画像のエッジの部分周辺に比べ強調して（明るい箇所を明るく、暗い箇所を暗く）示した。</p>	<p>画像間演算 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災前に比べて被災後に明るくなった箇所を明るく、暗くなった箇所を暗く示した。</p>
<p>画像オーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価： (×)</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後で変化のある箇所を、白黒は被災前後で変化のない箇所を示した。 グリーンは被災後に暗くなった箇所、マゼンダは被災後に明るくなった箇所、白は被災前後ともに明るい箇所、黒は被災前後ともに暗い箇所を示す。</p> <p>【低評価の理由】 影の影響、画像間の位置ずれなど、被災以外の要因による変化箇所が視認性を低下させている。</p>	<p>< 一連の処理結果の表現の説明 ></p> <ul style="list-style-type: none"> 処理名の右に示す評価は、表 2-4-3 (p68) に示す絶対評価と相対評価を並記したものであり、括弧内は相対評価を示す。

図 2-4-2 道路橋落橋現場の被災前後の画像および各種処理結果

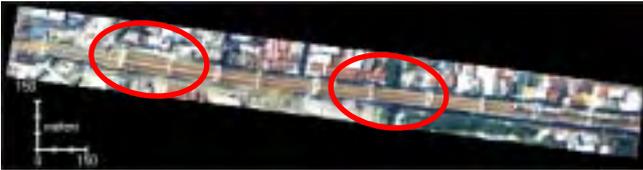
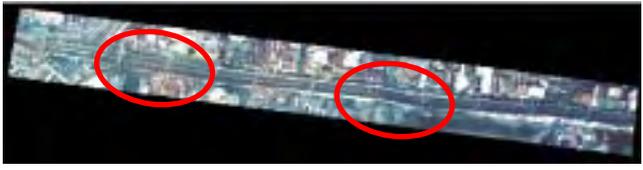
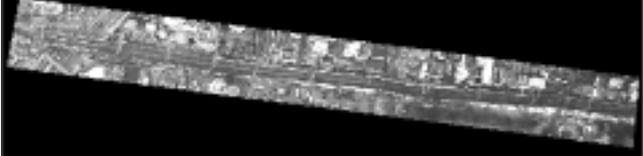
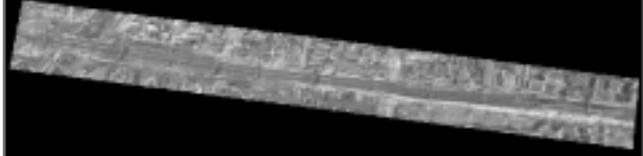
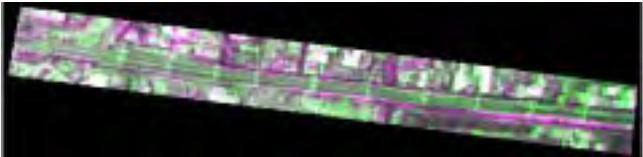
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジ抽出 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素値と隣接画素値との差分の大きいエッジ箇所を明るく表示し、差分の小さいエッジ箇所を暗く示した。</p> <p>【高評価の理由】 エッジ抽出により、原画像の色調や陰影など被災と無関係の情報を除去することができ、視認性が向上している。</p>	<p>テクスチャ解析 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素と周辺隣接画素との値のばらつきの大きいテクスチャを明るく、ばらつきの小さいテクスチャを暗く示した。</p> <p>【高評価の理由】 テクスチャ抽出により、原画像の色調や陰影など被災と無関係の情報を除去することができ、視認性が向上している。</p>
<p>エッジ強調 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後の元画像のエッジの部分周辺に比べ強調して(明るい箇所を明るく、暗い箇所を暗く)示した。</p>	<p>画像間演算 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災前に比べて被災後に明るくなった箇所を明るく、暗くなった箇所を暗く示した。</p>
<p>画像オーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価： (×)</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後で変化のある箇所を、白黒は被災前後で変化のない箇所を示した。 グリーンは被災後に暗くなった箇所、マゼンダは被災後に明るくなった箇所、白は被災前後ともに明るい箇所、黒は被災前後ともに暗い箇所を示す。</p> <p>【低評価の理由】 影の影響、画像間の位置ずれなど、被災以外の要因による変化箇所が視認性を低下させている。</p>	<p>< 一連の処理結果の表現の説明 ></p> <ul style="list-style-type: none"> 処理名の右に示す評価は、表 2-4-3 (p68) に示す絶対評価と相対評価を並記したものであり、括弧内は相対評価を示す。

図 2-4-3 鉄道橋落橋現場の被災前後の画像および各種処理結果

2)高架段差

高架段差は線状構造に乱れが生じる現象としてとらえられる。したがって、エッジ抽出、テクスチャ解析、エッジ強調を試行した。また、被災前後の画像を用いて、画像間演算、画像オーバーレイを行った。対象とした被災箇所は、縦ずれ1箇所、横ずれ1箇所とした。段差量は2箇所とも数10cm程度で、画像の解像度は縦ずれの箇所が2m、横ずれの箇所が50cmとした。図2-4-4に縦ずれの箇所で行った高架段差現場の被災前後の画像および各種処理結果を、図2-4-5に横ずれの箇所で行った結果を示す。

高架段差（縦ずれ）

- 縦ずれの高架段差は、エッジ強調処理結果に濃淡として被災状況がもっとも明瞭に反映されている。
- エッジ抽出は縦ずれ位置は確認できるが、元画像に比べると不明瞭になっている。
- テクスチャ解析では縦ずれ位置の確認が困難である。
- 被災前後の画像を用いた処理では、画像間演算、画像オーバーレイともに被災状況が反映されている。ただし、被災前後の画像を用いる場合は、撮影時刻や撮影季節による影の影響、画像間の位置ずれの影響等を受け、誤判別を生じる可能性がある点に注意する必要がある。

高架段差（横ずれ）

- 横ずれの高架段差は、エッジ抽出、テクスチャ解析、エッジ強調の3種の処理結果に、線構造の揺らぎとして被災状況が反映されている。
- 被災前後の画像を用いた解析では、画像間演算による処理画像の視認性が高い。画像オーバーレイは、被災箇所以外の変化箇所が際立ち、被災箇所の探索を妨害している傾向がみられる。
- 被災前後の画像を用いる場合は、撮影時刻や撮影季節による影の影響、画像間の位置ずれの影響等を受け、誤判別を生じる可能性がある点に注意する必要がある。画像オーバーレイではこれらの影響により被災状況の確認が困難となっている。

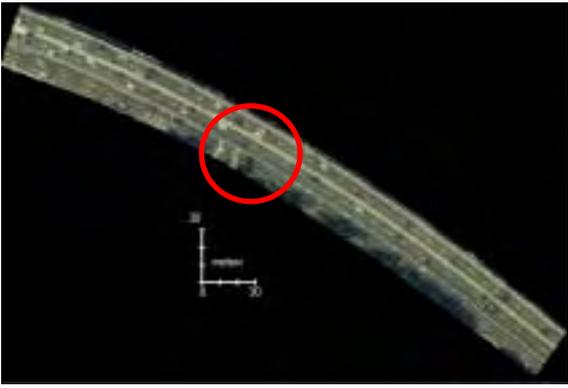
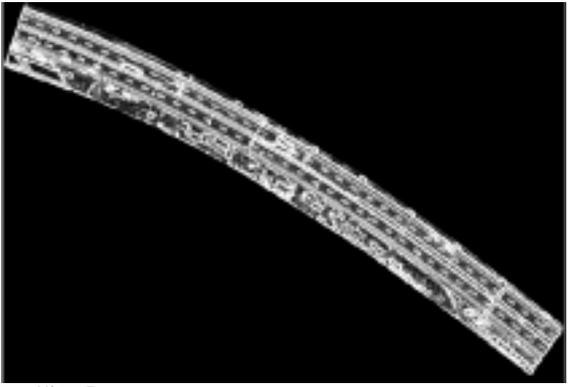
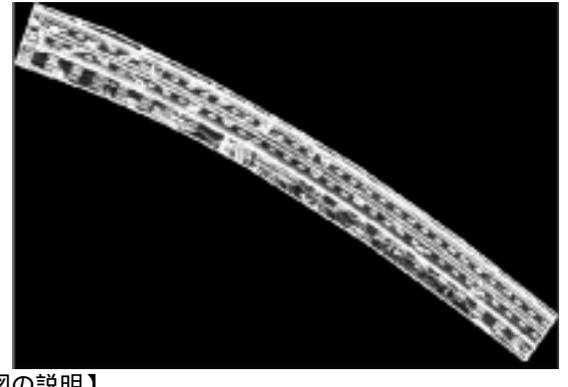
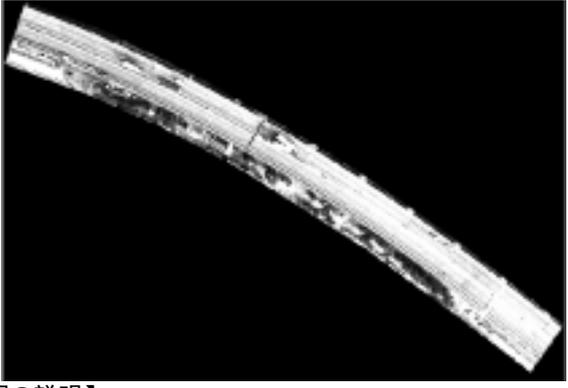
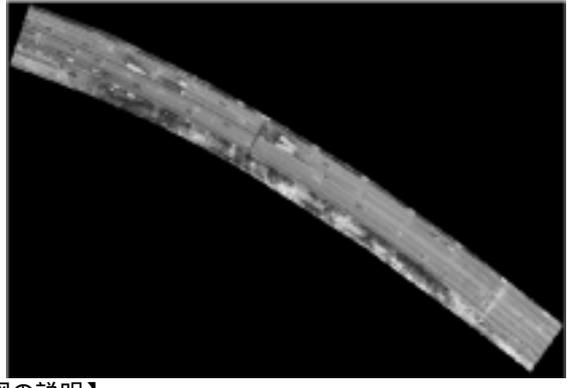
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジ抽出 評価： (×)</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素値と隣接画素値との差分の大きいエッジ箇所を明るく表示し、差分の小さいエッジ箇所を暗く示した。</p> <p>【低評価の理由】 道路横断構造物など、段差箇所以外の要因によるエッジが視認性を低下させている。</p>	<p>テクスチャ解析 評価： × (×)</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素と周辺隣接画素との値のばらつきの大きいテクスチャを明るく、ばらつきの小さいテクスチャを暗く示した。</p> <p>【低評価の理由】 段差箇所が抽出されていない。</p>
<p>エッジ強調 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後の元画像のエッジの部分周辺に比べ強調して(明るい箇所を明るく、暗い箇所を暗く)示した。</p>	<p>画像間演算 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災前に比べて被災後に明るくなった箇所を明るく、暗くなった箇所を暗く示した。</p>

図 2-4-4(1) 高架段差 (縦ずれ) 現場の被災前後の画像および各種処理結果

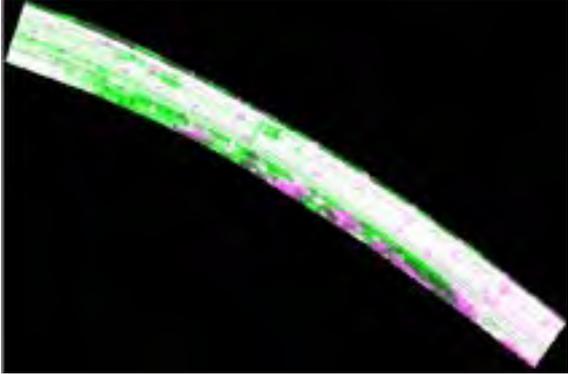
<p>画像オーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価: (×)</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後で変化のある箇所を、白黒は被災前後で変化のない箇所を示した。 グリーンは被災後に暗くなった箇所、マゼンダは被災後に明るくなった箇所、白は被災前後ともに明るい箇所、黒は被災前後ともに暗い箇所を示す。</p> <p>【低評価の理由】 影の影響、画像間の位置ずれなど、被災以外の要因による変化箇所が視認性を低下させている。</p>	<p>< 一連の処理結果の表現の説明 ></p> <ul style="list-style-type: none"> 処理名の右に示す評価は、表 2-4-3 (p68) に示す絶対評価と相対評価を並記したものであり、括弧内は相対評価を示す。
--	--

図 2-4-4(2) 高架段差 (縦ずれ) 現場の被災前後の画像および各種処理結果

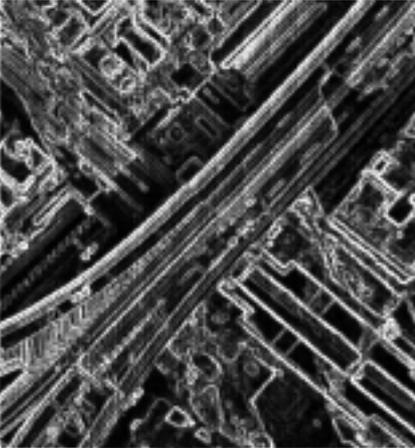
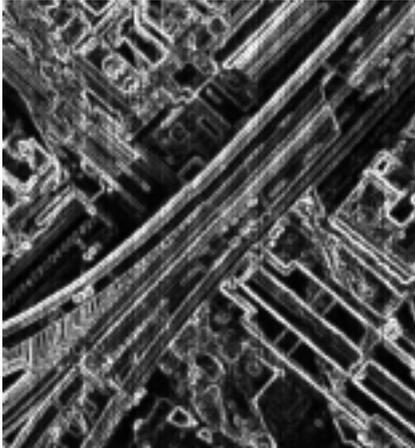
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジ抽出 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素値と隣接画素値との差分の大きいエッジ箇所を明るく表示し、差分の小さいエッジ箇所を暗く示した。</p> <p>【高評価の理由】 エッジ抽出により、原画像の色調や陰影など被災と無関係の情報が除去されている。また、道路壁の線構造がスムージングされ、視認性が向上している。</p>	<p>テクスチャ解析 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素と周辺隣接画素との値のばらつきの大きいテクスチャを明るく、ばらつきの小さいテクスチャを暗く示した。</p> <p>【高評価の理由】 テクスチャ抽出により、原画像の色調や陰影など被災と無関係の情報が除去されている。また、道路壁の線構造がスムージングされ、視認性が向上している。</p>
<p>エッジ強調 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後の元画像のエッジの部分周辺に比べ強調して(明るい箇所を明るく、暗い箇所を暗く)示した。</p>	<p>画像間演算 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災前に比べて被災後に明るくなった箇所を明るく、暗くなった箇所を暗く示した。</p>

図 2-4-5(1) 高架段差(横ずれ)現場の被災前後の画像および各種処理結果

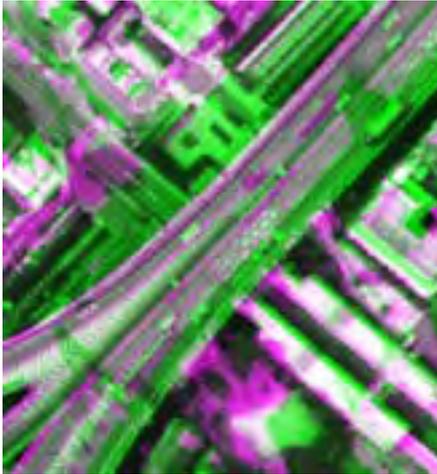
<p>画像オーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価: × (×)</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後で変化のある箇所を、白黒は被災前後で変化のない箇所を示した。 グリーンは被災後に暗くなった箇所、マゼンダは被災後に明るくなった箇所、白は被災前後ともに明るい箇所、黒は被災前後ともに暗い箇所を示す。</p> <p>【低評価の理由】 影の影響、画像間の位置ずれなど、被災以外の要因による変化箇所が視認性を低下させている。</p>	<p><一連の処理結果の表現の説明></p> <ul style="list-style-type: none"> 処理名の右に示す評価は、表 2-4-3 (p68) に示す絶対評価と相対評価を並記したものであり、括弧内は相対評価を示す。
--	--

図 2-4-5(2) 高架段差 (道路橋) 現場の被災前後の画像および各種処理結果