

ISSN 1346-7328

国総研資料 第361号

平成18年12月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of

National Institute for Land Infrastructure Management

No.361

December 2006

人工衛星画像からの地震被害施設の抽出のための 画像処理手法の適用と実務的手順に関する検討

日下部毅明・真田 晃宏

Study on the Application of Image Processing to Images Acquired by Artificial Satellite for the Purpose of
Detecting Infrastructure Damage Caused by Earthquakes and the feasible Procedure in Disaster Management

Takaaki KUSAKABE

Akihiro SANADA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

人工衛星画像からの地震被害施設の抽出のための 画像処理手法の適用と実務的手順に関する検討

日下部毅明*

真田 晃宏**

Study on the Application of Image Processing to Images Acquired by Artificial Satellite
for the Purpose of Detecting Infrastructure Damage Caused by Earthquakes and the
feasible Procedure in Disaster Management

Takaaki KUSAKABE *

Akihiro SANADA **

概要

高解像度人工衛星で取得した画像から地震により被災した施設を把握するにあたり、より迅速に作業を行うためには画像処理手法を施し自動的に画像から被害箇所を抽出できることが望ましい。そこで、様々な画像処理手法を代表的な地震被害形態を記録した衛星画像に適用し、自動抽出の可能性を検討するとともに、目視で画像から被害箇所を判読する際の作業を支援するGISソフトウェアの一般的な機能を活用した仕組みを検討した。さらに、衛星画像を活用した被害把握手法の災害対応への実務への具体的適用策を検討した。以上の検討成果を示す。

キーワード：地震、リモートセンシング、画像処理、目視判読、被害把握

Synopsis

This note shows the procedure and concrete images to apply the remote sensing technologies for damage detection at a big earthquake. In addition, basic characteristics of typical remote sensing are discussed.

Key Words : earthquake, remote sensing technologies, image processing, detection by hand,
damage detection

- * 北海道開発局留萌開発建設部次長（前国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室長）Deputy Director for River and Road Affairs, Rumoi Development and Construction Department, Hokkaido Regional Development Bureau (Formerly, Head, Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk Management)
- ** 独立行政法人土木研究所企画部研究企画課長（前国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室 主任研究官）Head, Planning and Management Division, Planning and Research Administration Department, Public Works Research Institute (Formerly, Senior Researcher, Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk Management)

目次

1 . 検討の流れ	1
1 . 1 画像処理手法の特徴整理	1
(1) 災害時における画像処理手法の特徴整理	1
(2) 震災初動期に必要とされる被災施設情報の絞り込み	1
1 . 2 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	1
(1) 被害箇所の色情報の特徴整理	1
(2) 画像処理手法と被害形態別の特徴整理	2
1 . 3 画像処理手法の被害形態別の適用性に関する検討	2
2 . 画像処理手法の特徴整理	3
2 . 1 災害時における画像処理手法の特徴整理	3
(1) 画像処理体系の整理	3
(2) 災害初動期における画像処理の特性	10
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	13
(1) 被災施設情報の整理	13
(2) 施設管理者へのヒアリング結果	17
(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	23
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	29
(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	29
(2) 被害箇所の色情報の特徴整理	33
2 . 4 画像処理手法の被害形態別の適用性に関する検討	36
(1) 画像処理（単一処理）の試行	36
(2) 画像処理（複合的処理）の試行	69
(3) IKONOS 画像の適用性検討	85
3 . 被害抽出手法の改良	92
3 . 1 改良に関する検討の方向性	92
3 . 2 被害箇所抽出手法の改良に関する課題整理	94
(1) 適用する画像処理手法の設定	94
(2) 被害箇所抽出手法の改良に関する処理結果と課題	95
4 . 目視判読支援手法の検討	111
5 . 高解像度人工衛星画像を利用した被害把握の現場適用性	115
5 . 1 新潟県中越地震での撮影実績	115
5 . 2 人工衛星運用機関の対応	115
5 . 3 航空機運用機関の対応	118
5 . 4 衛星画像利用手順の整理	121
用語集	124

1. 検討の流れ

大規模災害時には、職員自身の被災、道路網の寸断等により施設被害の概要さえ把握に時間を要する。リモートセンシング技術は広域エリアの地上の状況を迅速に取得できる点に特徴を有している。近年、地上の1m程度の物体を見分けることができる高解像度のセンサを搭載した人工衛星が運用されるなど利用環境が整備されつつある。

そこで、大規模地震発生時において、高解像度人工衛星を活用し被害状況を把握する仕組みを構築することを目的として本調査を実施した。

調査の全体の流れを次に示す。2章以降で具体的成果を示す。

1.1 画像処理手法の特徴整理

(1) 災害時における画像処理手法の特徴整理

人工衛星で取得した画像から被害箇所を抽出する際に利用する代表的な画像処理手法の特徴について整理する。整理対象とした画像処理手法は次のものである。

- ・ エッジ抽出
- ・ 色分類
- ・ 2時点差分
- ・ 3次元化
- ・ 他種類の画像間オーバーレイ処理
- ・ 多次元レベルスライス処理
- ・ テクスチャ解析
- ・ 主成分分析
- ・ フーリエ解析

(2) 震災初動期に必要とされる被災施設情報の絞り込み

地上分解能(1m~4m)程度の高解像度なデータを用いることを前提として、そのレベルの解像度で識別可能でかつ震災初動期に必要とされる被災施設情報に関して次の項目を実施した。

- ・ 震災初動期に必要とされるさまざまな被災施設情報の抽出
(構造物の崩壊状況、火災情報、避難場所の安全情報など)
- ・ 施設管理者が必要としている初動期の被災施設情報を把握するためのヒアリング
- ・ 地上分解能1m~4m程度の分解能の画像からの抽出の可能性

1.2 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

(1) 被害箇所の色情報の特徴整理

1.1で絞り込んだ被災施設情報および画像処理手法に関して、震災初動期における被害箇所を色情報等の特徴から抽出するため、平常時(無被害箇所)に対する被災箇所の色情報の特徴を整理した。ここでは、実際の画像を用いて特徴を整理した。

- ・ 被害情報は、被害の種類別に色情報の特徴を整理
- ・ 色情報の違いから被害の規模が抽出できるか検討

(2) 画像処理手法と被害形態別の特徴整理

震災初動期で必要とされる被災施設情報を抽出するために比較的有効な画像処理手法を選択した。整理にあたっては、1.1 で特徴整理を行った画像処理手法の適用性を念頭に置いた。なお、必要に応じて画像処理やリモートセンシングの学識経験者へのヒアリングも適宜実施した。

1.3 画像処理手法の被害形態別の適用性に関する検討

1.1 及び 1.2 の整理結果を踏まえ、様々な被害形態を有する被害箇所の抽出にあたって画像処理手法ごとの適用性に関する次の検討をした。

- ・これまでの業務で整備した画像（カラー航空写真のスキャナ入力データ）及び I K O N O S データによる、有効な画像処理手法の試行
- ・被害形態の異なる被害箇所抽出の適用性についての検討
- ・適用した手法を複合的に組み合わせて画像処理することによる効果の検討

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。

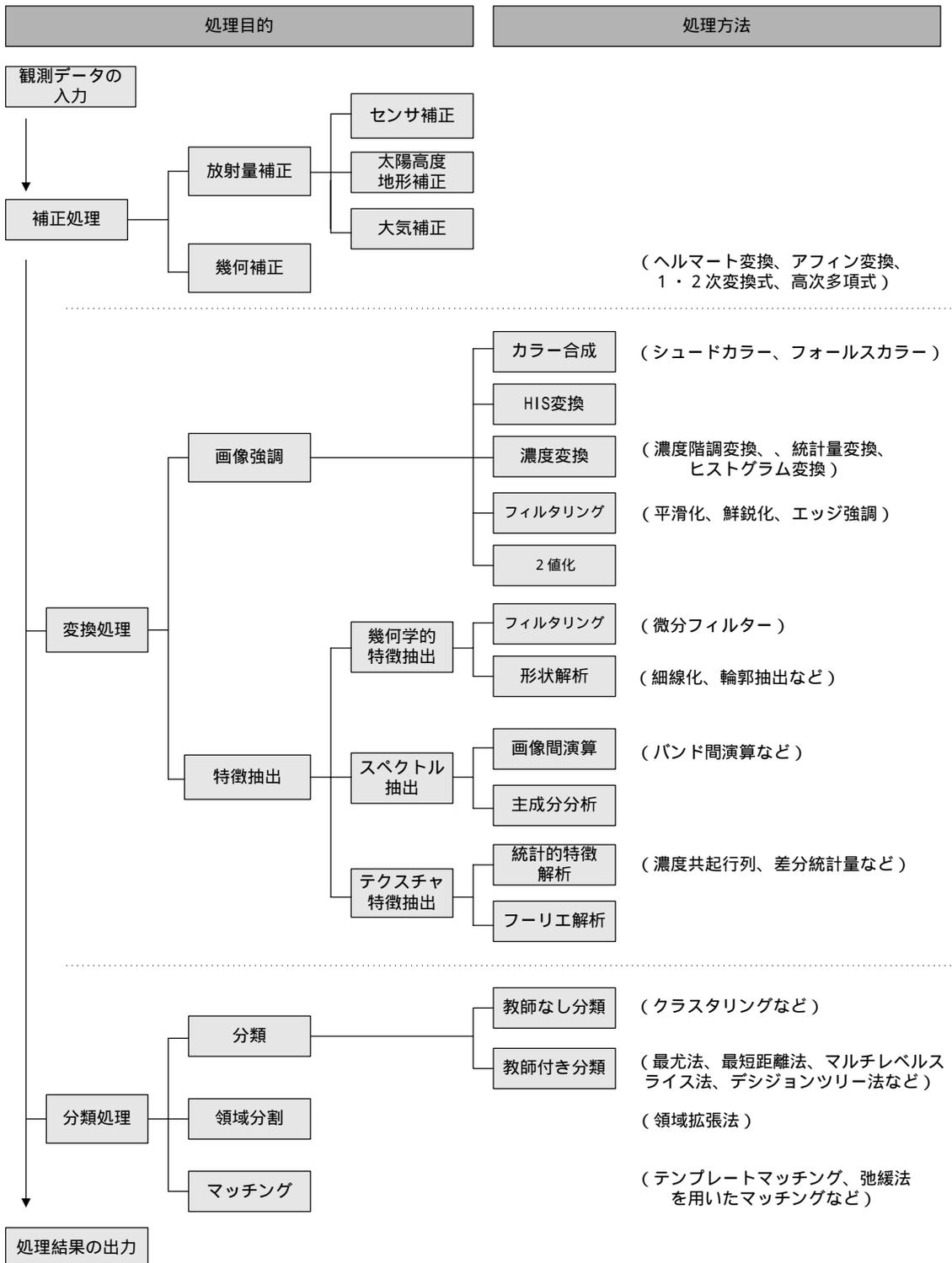


図 2-1-1 画像処理体系の概要

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	多次元の特徴空間（バンド）を各軸上に設定された値域によって分割することで分類する方法。閾値の設定はサンプリングによる方法と経験的な方法がある。分割によって得られた多次元直方体が各分類クラスに対応する。	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。	分類に最も良く用いられる数学的手法。

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		
	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な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で行う場合、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 													
(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 c m以上または、段差量 20 c m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 c m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 m³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るが、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、河川の状態は常に变化しており、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

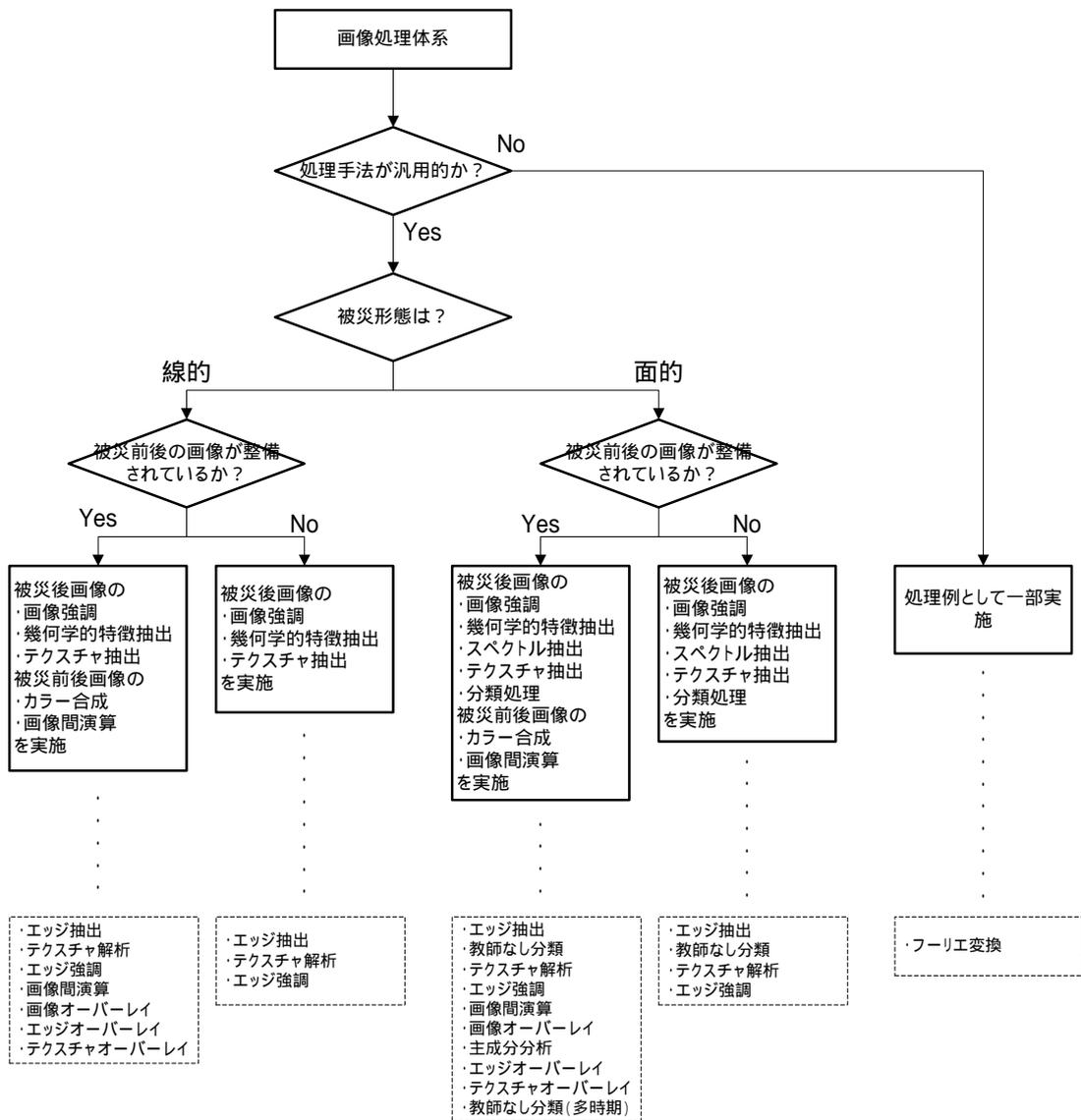


図 2-3-1 試行する画像処理手法の絞り込みフロー

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。

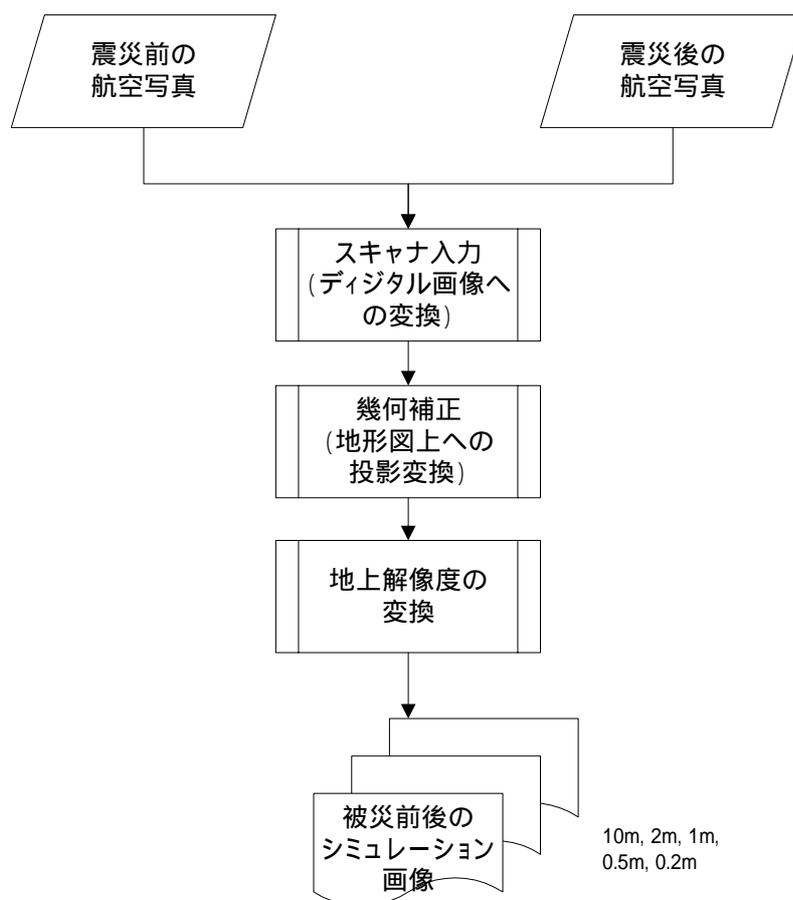


図2-4-1 シミュレーション画像の作成手順

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。

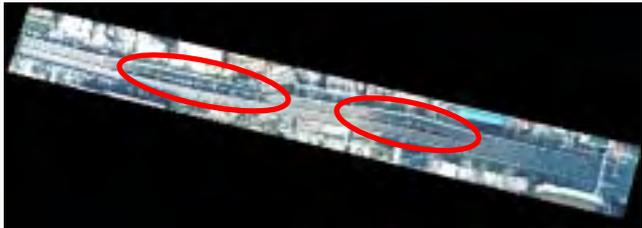
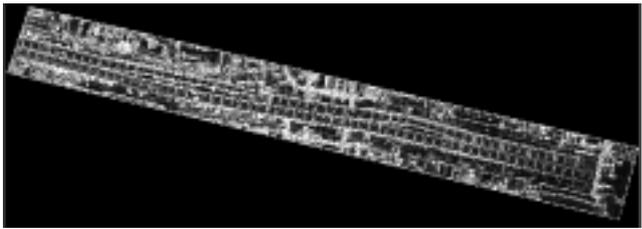
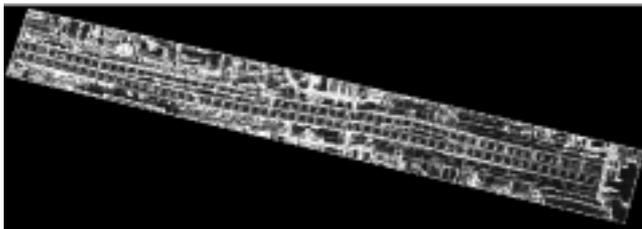
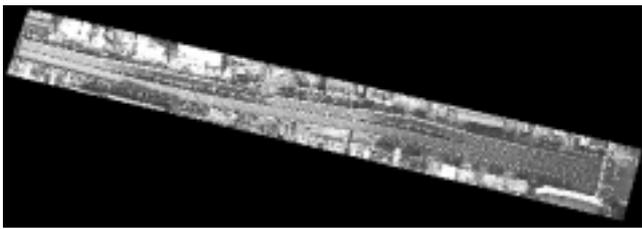
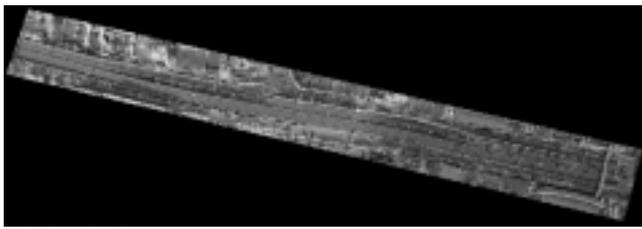
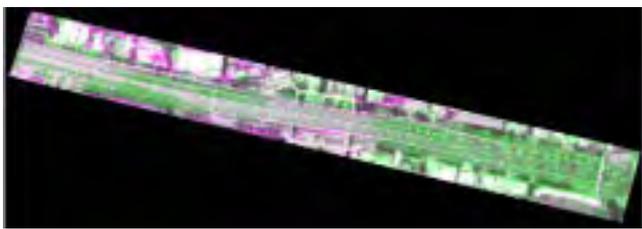
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジ抽出 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素値と隣接画素値との差分の大きいエッジ箇所を明るく表示し、差分の小さいエッジ箇所を暗く示した。</p>	<p>テクスチャ解析 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素と周辺隣接画素との値のばらつきの大きいテクスチャを明るく、ばらつきの小さいテクスチャを暗く示した。</p>
<p>エッジ強調 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後の元画像のエッジの部分周辺に比べ強調して（明るい箇所を明るく、暗い箇所を暗く）示した。</p>	<p>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

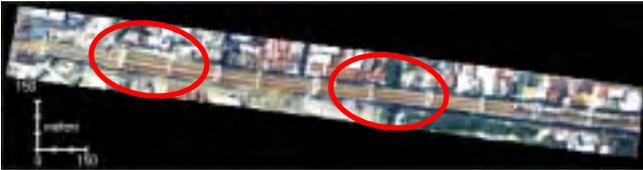
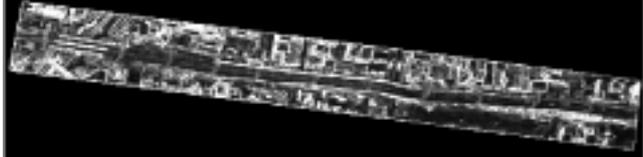
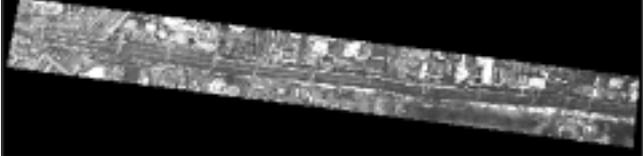
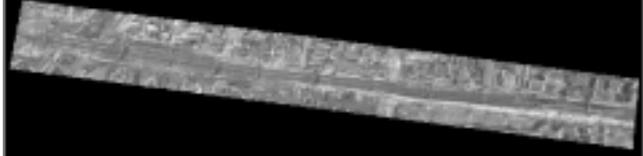
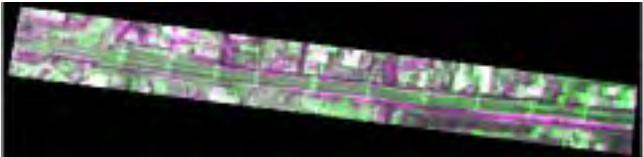
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジ抽出 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素値と隣接画素値との差分の大きいエッジ箇所を明るく表示し、差分の小さいエッジ箇所を暗く示した。</p> <p>【高評価の理由】 エッジ抽出により、原画像の色調や陰影など被災と無関係の情報を除去することができ、視認性が向上している。</p>	<p>テクスチャ解析 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素と周辺隣接画素との値のばらつきの大きいテクスチャを明るく、ばらつきの小さいテクスチャを暗く示した。</p> <p>【高評価の理由】 テクスチャ抽出により、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。

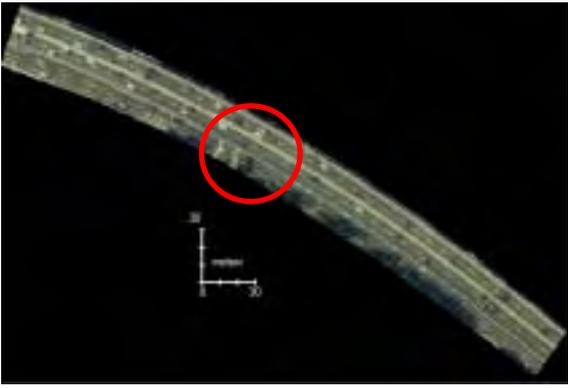
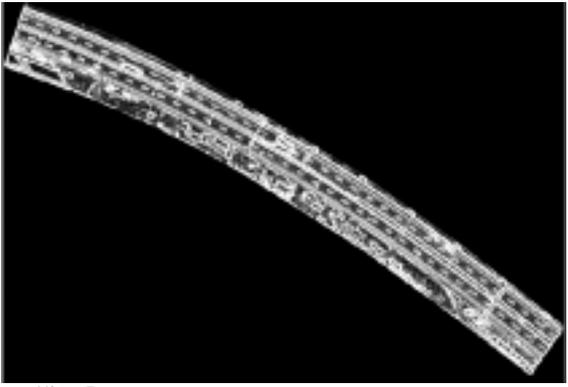
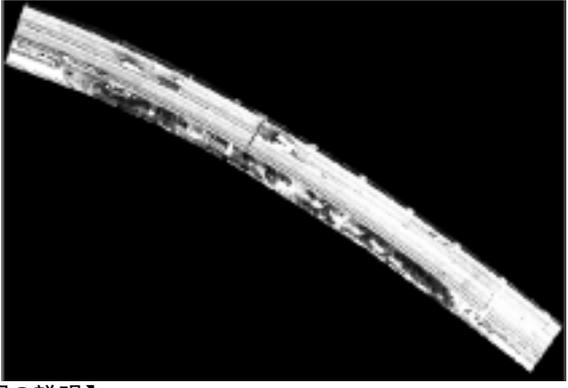
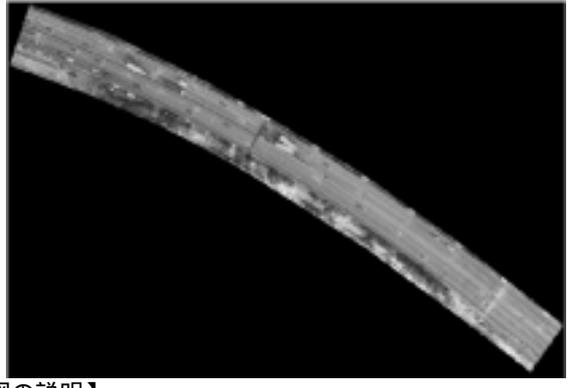
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジ抽出 評価： (×)</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素値と隣接画素値との差分の大きいエッジ箇所を明るく表示し、差分の小さいエッジ箇所を暗く示した。</p> <p>【低評価の理由】 道路横断構造物など、段差箇所以外の要因によるエッジが視認性を低下させている。</p>	<p>テクスチャ解析 評価： × (×)</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素と周辺隣接画素との値のばらつきの大きいテクスチャを明るく、ばらつきの小さいテクスチャを暗く示した。</p> <p>【低評価の理由】 段差箇所が抽出されていない。</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

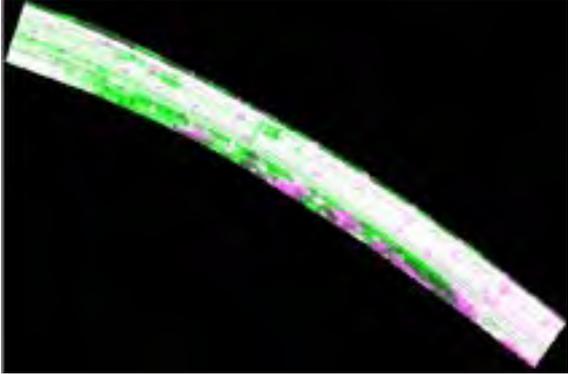
<p>画像オーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価: (×)</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後で変化のある箇所を、白黒は被災前後で変化のない箇所を示した。 グリーンは被災後に暗くなった箇所、マゼンダは被災後に明るくなった箇所、白は被災前後ともに明るい箇所、黒は被災前後ともに暗い箇所を示す。</p> <p>【低評価の理由】 影の影響、画像間の位置ずれなど、被災以外の要因による変化箇所が視認性を低下させている。</p>	<p>< 一連の処理結果の表現の説明 ></p> <ul style="list-style-type: none"> 処理名の右に示す評価は、表 2-4-3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

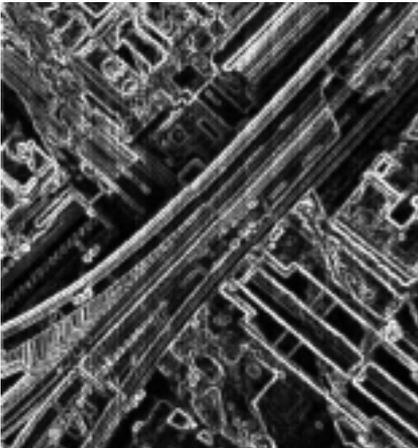
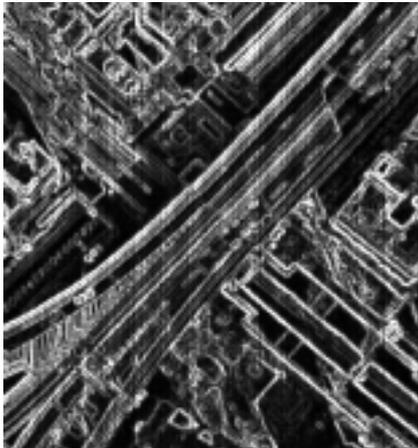
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジ抽出 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素値と隣接画素値との差分の大きいエッジ箇所を明るく表示し、差分の小さいエッジ箇所を暗く示した。</p> <p>【高評価の理由】 エッジ抽出により、原画像の色調や陰影など被災と無関係の情報が除去されている。また、道路壁の線構造がスムージングされ、視認性が向上している。</p>	<p>テクスチャ解析 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素と周辺隣接画素との値のばらつきの大きいテクスチャを明るく、ばらつきの小さいテクスチャを暗く示した。</p>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

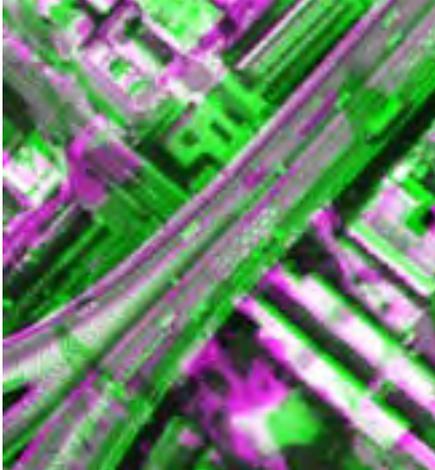
<p>画像オーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価: × (×)</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後で変化のある箇所を、白黒は被災前後で変化のない箇所を示した。 グリーンは被災後に暗くなった箇所、マゼンダは被災後に明るくなった箇所、白は被災前後ともに明るい箇所、黒は被災前後ともに暗い箇所を示す。</p> <p>【低評価の理由】 影の影響、画像間の位置ずれなど、被災以外の要因による変化箇所が視認性を低下させている。</p>	<p><一連の処理結果の表現の説明></p> <ul style="list-style-type: none"> 処理名の右に示す評価は、表 2-4-3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

3) 路面亀裂・路面陥没

本調査で対象とした路面亀裂・路面陥没は、陥没によって亀裂が生じ、その亀裂から液状化した砂泥が吹き出した状態である。この場合、面的な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。画像の解像度は 50cm とした。なお、この現場の被災前の画像は得られなかった。図 2-4-6 に路面亀裂・路面陥没現場の被災後の画像および各種処理結果を示す。

- 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、線構造の揺らぎや濃淡として被災状況が反映されている。とくに、線構造の揺らぎとして視認できるエッジ抽出とテクスチャ解析が明瞭である。

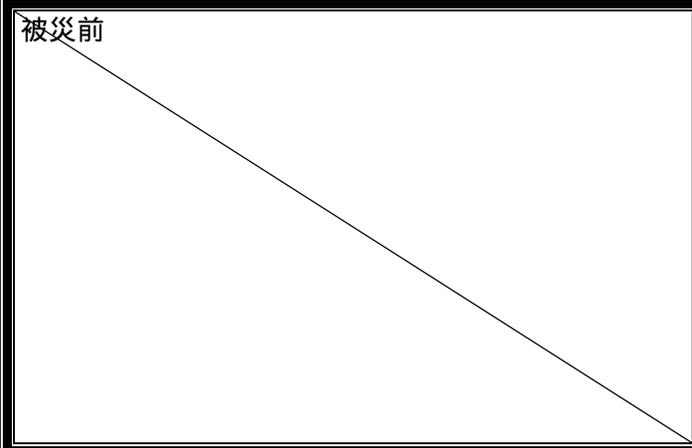
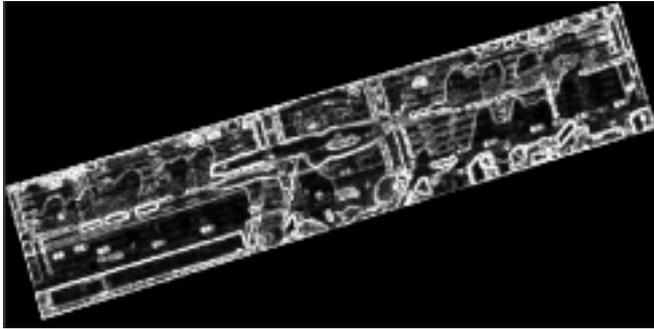
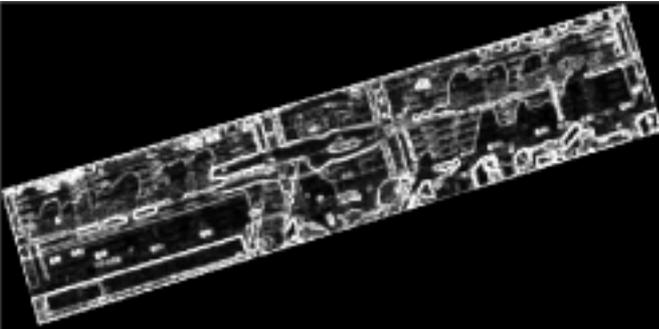
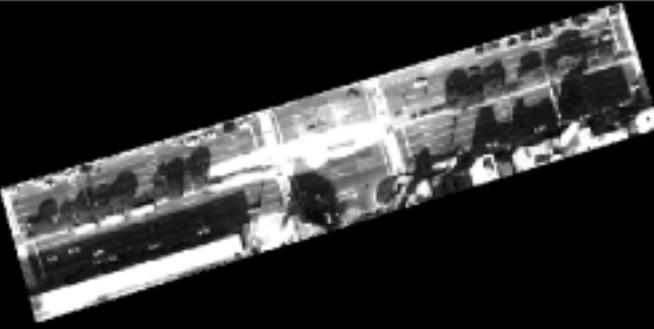
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジ抽出 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素値と隣接画素値との差分の大きいエッジ箇所を明るく表示し、差分の小さいエッジ箇所を暗く示した。</p>	<p>テクスチャ解析 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素と周辺隣接画素との値のばらつきの大きいテクスチャを明るく、ばらつきの小さいテクスチャを暗く示した。</p>
<p>エッジ強調 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後の元画像のエッジの部分周辺に比べ強調して(明るい箇所を明るく、暗い箇所を暗く)示した。</p>	<p><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 2-4-6 路面亀裂・路面陥没現場の被災後の画像および各種処理結果

4) 道路閉塞・建物倒壊

本調査では、建物倒壊に伴って道路閉塞が起こった箇所を対象とした。建物倒壊は建物および道路の線状構造が乱れることや、路面上にがれきが散乱することによってきめや色調が変化することが考えられる。したがって、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、主成分分析を行った。画像の解像度は 1m とした。図 2-4-7 に道路閉塞・建物倒壊現場の被災前後の画像および各種処理結果を示す。

道路閉塞

- 事例では、家屋のがれきが完全に道路を閉塞しており、やや不明瞭ではあるがエッジ抽出、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。
- 教師なし分類、主成分分析では、「クラスまたは色調に乱れがある道路」として反映される可能性があるが、ある程度の予備知識が必要である。
- フーリエ変換では、道路閉塞箇所の識別が困難である。
- 被災前後の画像を用いた処理（画像間演算、画像オーバーレイ、主成分分析）では、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、道路閉塞箇所の識別が不明瞭である。

建物倒壊

- 建物倒壊箇所の抽出は、やや不明瞭ではあるがエッジ抽出、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。
- 教師なし分類では、どのクラスが建物倒壊に該当するかの判断が困難である。
- フーリエ変換では、建物倒壊箇所の識別が困難である。
- 被災前後の画像を用いた処理（画像間演算、画像オーバーレイ、主成分分析）では、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、建物倒壊箇所の識別が困難である。

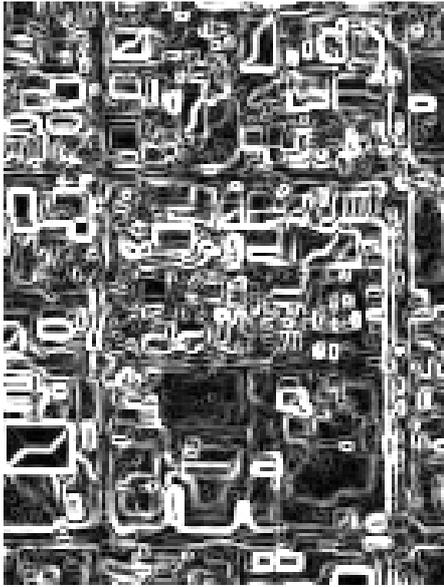
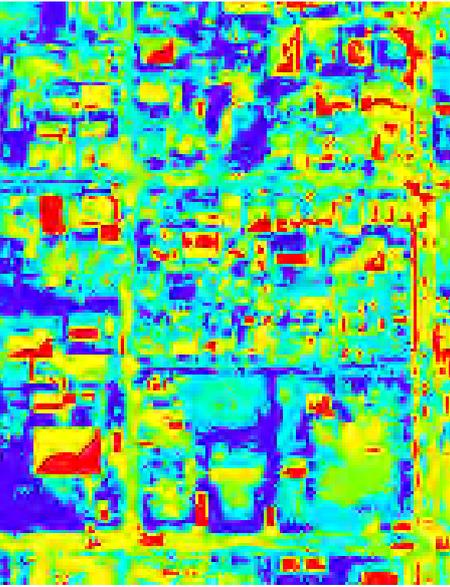
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジ抽出 評価： (×)</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素値と隣接画素値との差分の大きいエッジ箇所を明るく表示し、差分の小さいエッジ箇所を暗く示した。</p> <p>【低評価の理由】 閉塞した道路、倒壊家屋と類似したエッジパターンを示す非被災箇所が多く、視認性が低下している。</p>	<p>教師なし分類 評価： (×)</p>  <p>【図の説明】 6 種類のカラーはそれぞれ、被災後の画像内 (RGB の三次元特徴空間) で互いに類似する特徴をもった 6 つのグループを 6 色の擬似カラーで表示した。色は特に意味を持たないが、寒色系は元画像の暗い箇所 (樹木、影等) を示し、暖色系は明るい箇所 (裸地等) を示す。</p> <p>【低評価の理由】 閉塞した道路、倒壊家屋の色調があいまいであるため、同一の分類クラスに区分される非被災箇所が多く、視認性が低下している。</p>

図 2-4-7(1) 道路閉塞および建物倒壊現場の被災前後の画像および各種処理結果

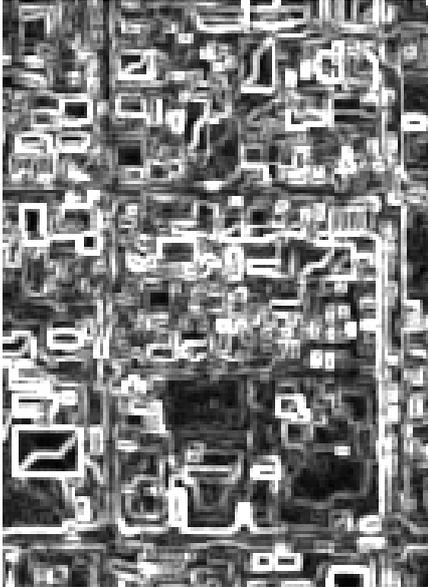
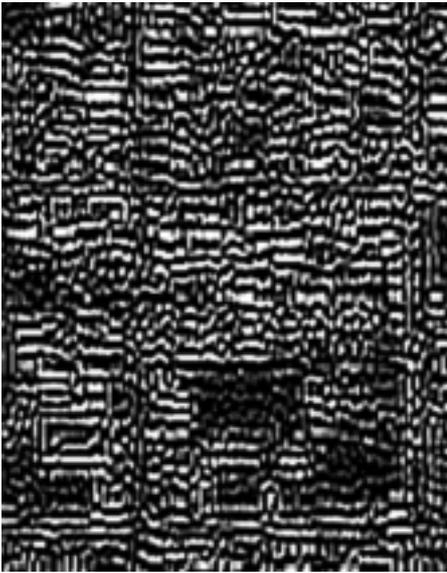
<p>テクスチャ解析 評価： (×)</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素と周辺隣接画素との値のばらつきの大きいテクスチャを明るく、ばらつきの小さいテクスチャを暗く示した。</p>	<p>エッジ強調 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後の元画像のエッジの部分周辺に比べ強調して(明るい箇所を明るく、暗い箇所を暗く)示した。</p>
<p>【低評価の理由】 閉塞した道路、倒壊家屋と類似したテクスチャパターンを示す非被災箇所が多く、視認性が低下している。</p>	
<p>フーリエ変換 評価： × (×)</p>  <p>【図の説明】 テクスチャの特徴的な箇所(中間周波数成分の高い箇所)を明るく示した。</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>【低評価の理由】 閉塞した道路、倒壊家屋と類似した周波数成分を有する非被災箇所が多く、視認性が低下している。</p>	<p>【低評価の理由】 閉塞した道路、倒壊家屋の色調があいまいである上に、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>

図 2-4-7(2) 道路閉塞および建物倒壊現場の被災前後の画像および各種処理結果

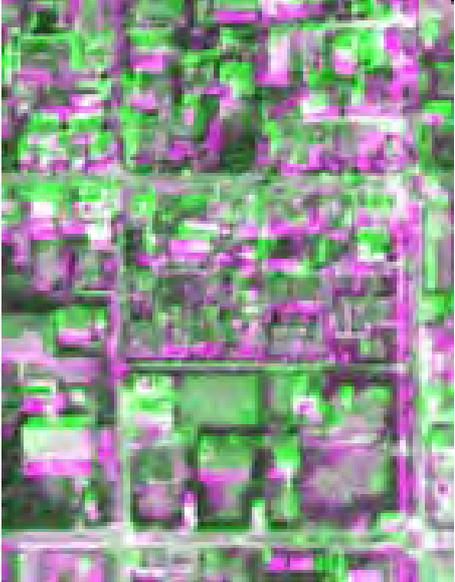
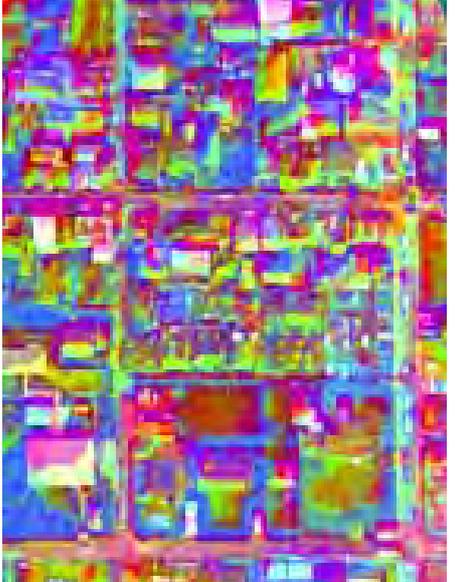
<p>画像オーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価: (×)</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後で変化のある箇所を、白黒は被災前後で変化のない箇所を示した。 グリーンは被災後に暗くなった箇所、マゼンダは被災後に明るくなった箇所、白は被災前後ともに明るい箇所、黒は被災前後ともに暗い箇所を示す。</p>	<p>主成分分析 (RGB = 第1、第2、第3主成分) 評価: (×)</p>  <p>【図の説明】 バンド間の相関に着目して多バンド(被災前後のRGBの6バンド)データを集約する処理であり、寄与率の高い順に第1、第2、第3主成分という。 色は特に意味を持たないが、寒色系は2時期の元画像とも暗い箇所(樹木、影等)を示し、赤系は被災後に暗くなった箇所を示し、白系は被災後に明るくなった箇所を示す。</p>
<p>【低評価の理由】 影の影響、画像間の位置ずれ、2時期間の土地利用変化など、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>【低評価の理由】 影の影響、画像間の位置ずれ、2時期間の土地利用変化など、被災以外の要因による色調変化が主成分に影響し、視認性を低下させている。</p>

図 2-4-7(3) 道路閉塞および建物倒壊現場の被災前後の画像および各種処理結果

5) 堤防破損

堤防破損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。本調査で対象とした堤防破損箇所の規模は長さ数 10m で、画像の解像度は 1m とした。図 2-4-8 には堤防破損現場の被災前後の画像および各種処理結果を示す。

- 堤防破損は、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。画像間演算では濃淡として、画像オーバーレイでは色調として被災状況が反映されている。
- しかしながら、いずれの処理結果も、被災していない箇所も抽出してしまう可能性がある。また、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。

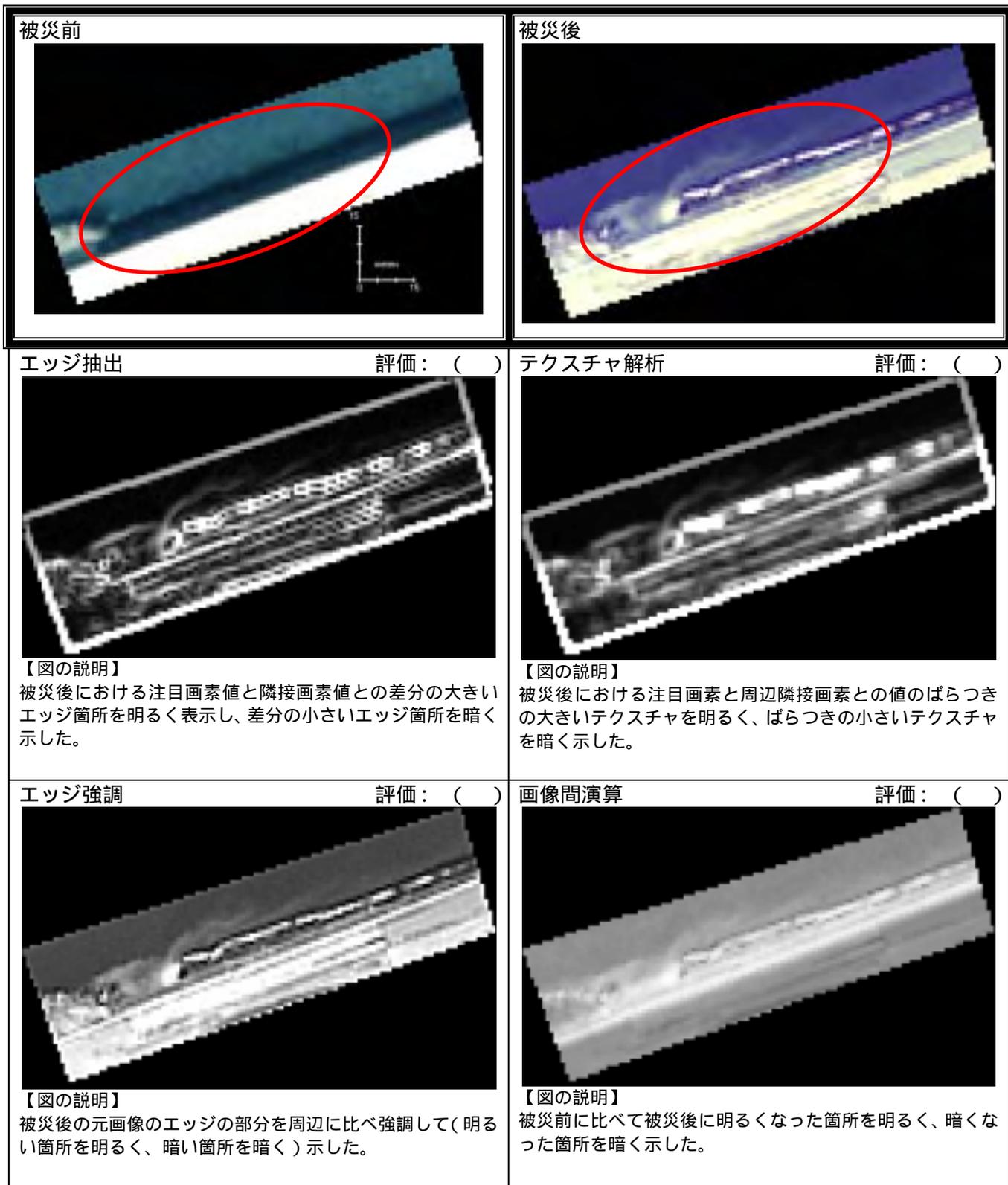


図 2-4-8(1) 堤防破損現場の被災前後の画像および各種処理結果

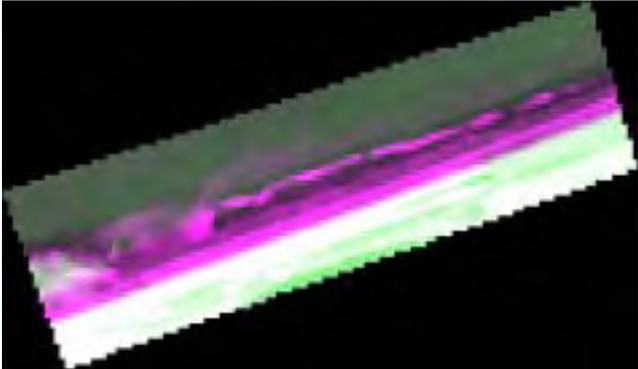
<p>画像オーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価: ()</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後で変化のある箇所を、白黒は被災前後で変化のない箇所を示した。 グリーンは被災後に暗くなった箇所、マゼンダは被災後に明るくなった箇所、白は被災前後ともに明るい箇所、黒は被災前後ともに暗い箇所を示す。</p> <p>【高評価の理由】 被災前画像では堤防部が明るく水部が暗いが、被災後画像では堤防破損により水部に流出した土砂の影響により、水部がやや明るい。画像オーバーレイは、この色調変化が明瞭に表現され、被災後画像のみでは困難な破損箇所の識別に一定の効果がある。</p>	<p><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 2-4-8(2) 堤防破損現場の被災前後の画像および各種処理結果

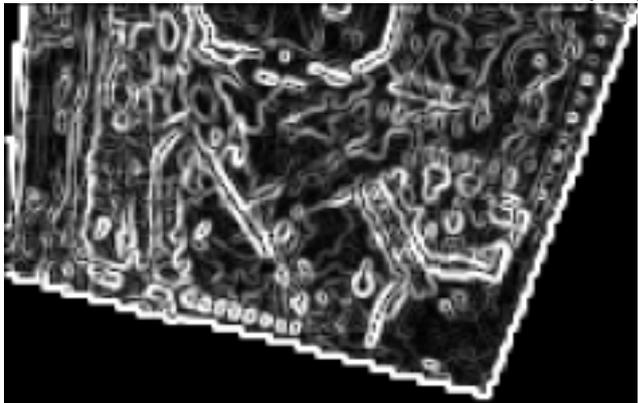
6) 液状化

液状化は、面的に地下の砂が噴出する現象であり、色調の違いに現れる。したがって、エッジ抽出、教師なし分類、テクスチャ解析、エッジ強調を試行した。液状化の規模は様々であるが、本調査では数 10m 四方にわたる広範囲な液状化箇所を対象とした。画像の解像度は 2m とした。図 2-4-9 には液状化現場の被災前の画像および各種処理結果を示す。

- 液状化は、教師なし分類では色調として、エッジ強調では濃淡として被災状況が反映されている。
- エッジ抽出とテクスチャ解析は、地物の構造との識別が困難である。



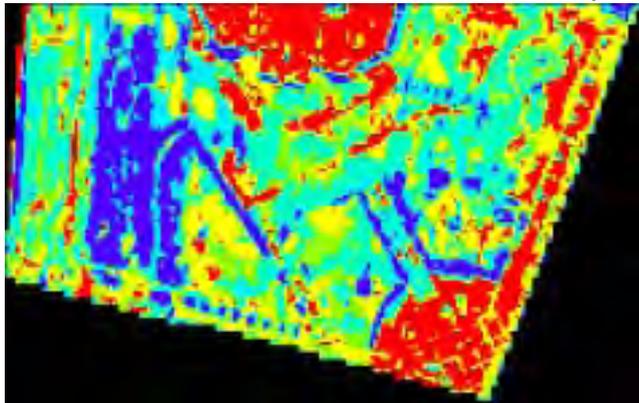
エッジ抽出 評価: (×)



【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。

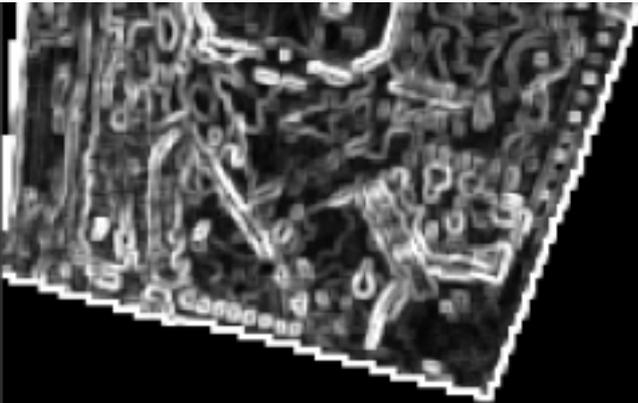
【低評価の理由】
構造物や樹木など、液状化以外の要因によるエッジが抽出されてしまい、視認性を低下させている。

教師なし分類 評価: ()



【図の説明】
6種類のカラーはそれぞれ、被災後の画像内（RGBの三次元特徴空間）で互いに類似する特徴をもった6つのグループを6色の擬似カラーで表示した。色は特に意味を持たないが、寒色系は元画像の暗い箇所（樹木、影等）を示し、暖色系は明るい箇所（裸地等）を示す。

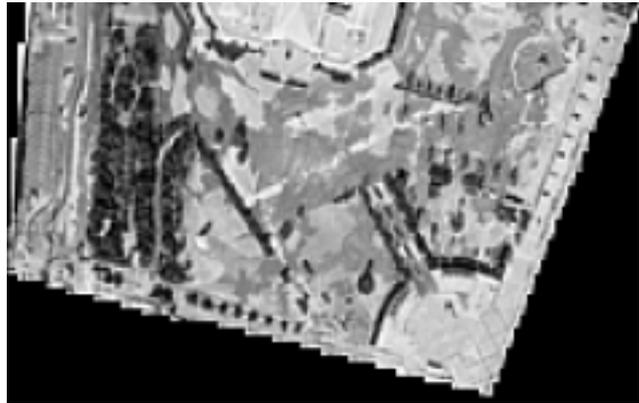
テクスチャ解析 評価: (×)



【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。

【低評価の理由】
構造物や樹木など、液状化以外の要因によるテクスチャが抽出されてしまい、視認性を低下させている。

エッジ強調 評価: (×)



【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。

【低評価の理由】
液状化箇所以外も強調されてしまい、視認性を低下させている。

図 2-4-9 液状化現場の被災後の画像および各種処理結果

7)土砂流出

土砂流出は、ここでは港湾の堤防や護岸が崩壊し、土砂が海面に流出した箇所を対象とした。試行した処理は、エッジ抽出、教師なし分類、テクスチャ解析、エッジ強調の4種である。画像の解像度は2mとした。図2-4-10には土砂流出現場の被災前の画像および各種処理結果を示す。

- 海水域への土砂流出については、教師なし分類では色調として、エッジ強調では濃淡として被災状況が反映されている。
- エッジ抽出とテクスチャ解析は現象を捉えているが、広範囲を対象とした場合は見落とす可能性がある。

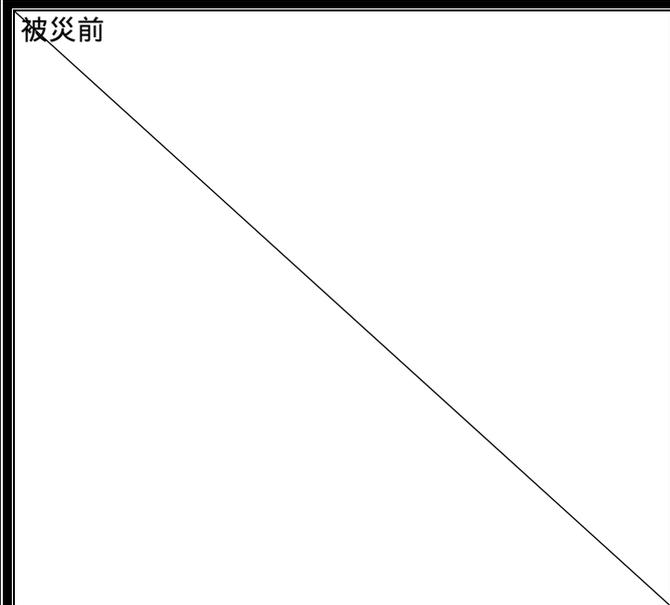
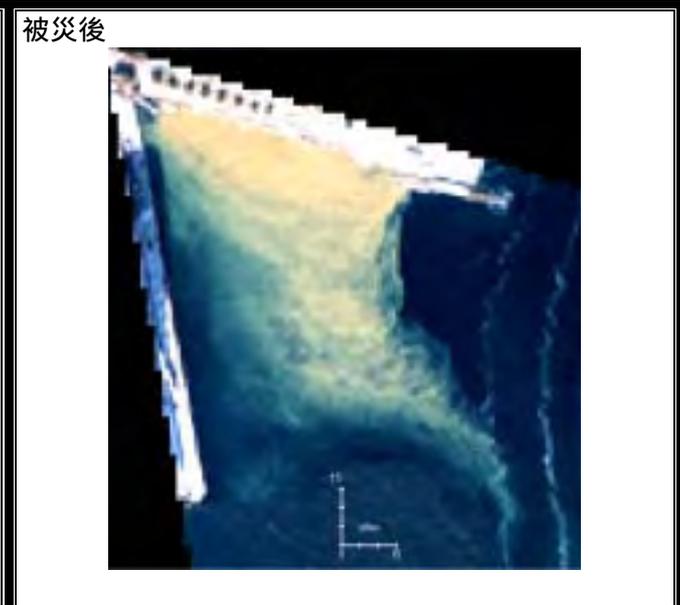
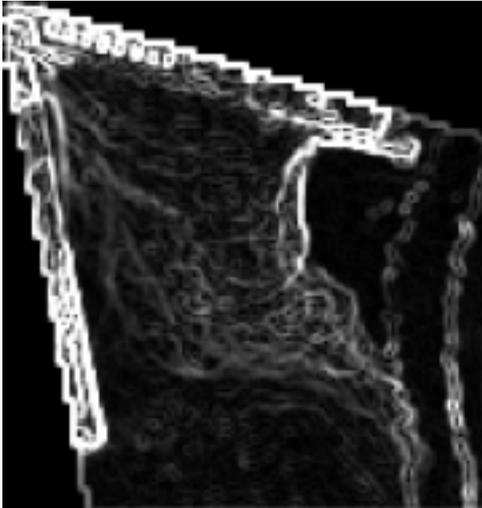
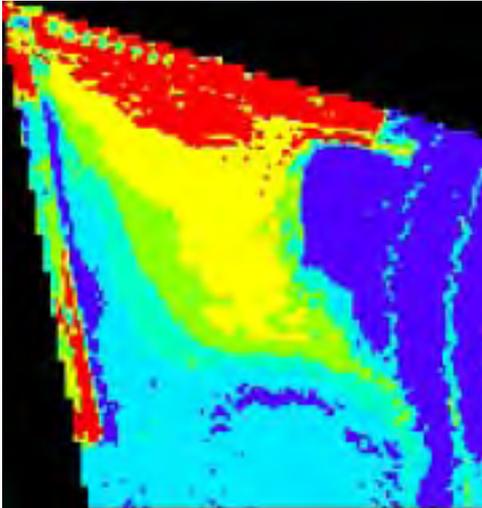
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジ抽出 評価： (×)</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素値と隣接画素値との差分の大きいエッジ箇所を明るく表示し、差分の小さいエッジ箇所を暗く示した。</p> <p>【低評価の理由】 土砂の流出状況が不明瞭で視認性を低下させている。</p>	<p>教師なし分類 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 6 種類のカラーはそれぞれ、被災後の画像内 (RGB の三次元特徴空間) で互いに類似する特徴をもった 6 つのグループを 6 色の擬似カラーで表示した。色は特に意味を持たないが、寒色系は元画像の暗い箇所 (海等) を示し、暖色系は明るい箇所 (裸地、土砂等) を示す。</p>

図 2-4-10(1) 土砂流出現場の被災後の画像および各種処理結果

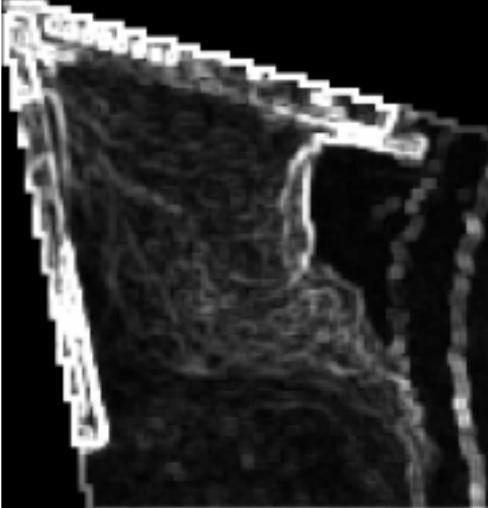
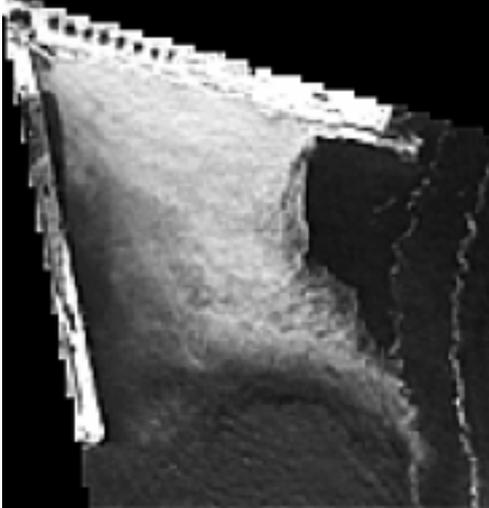
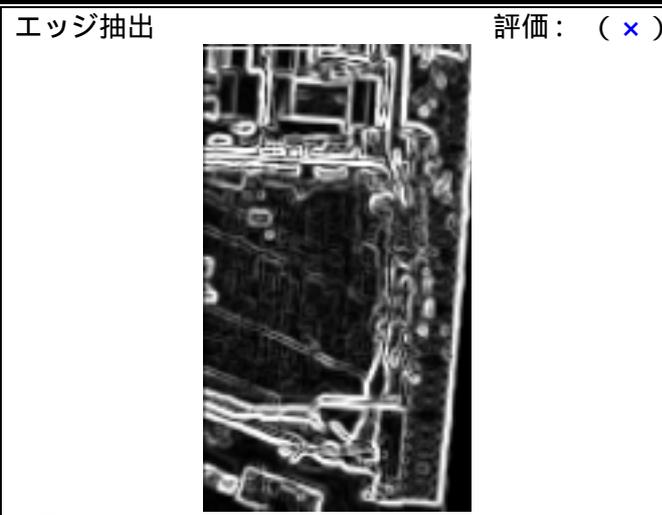
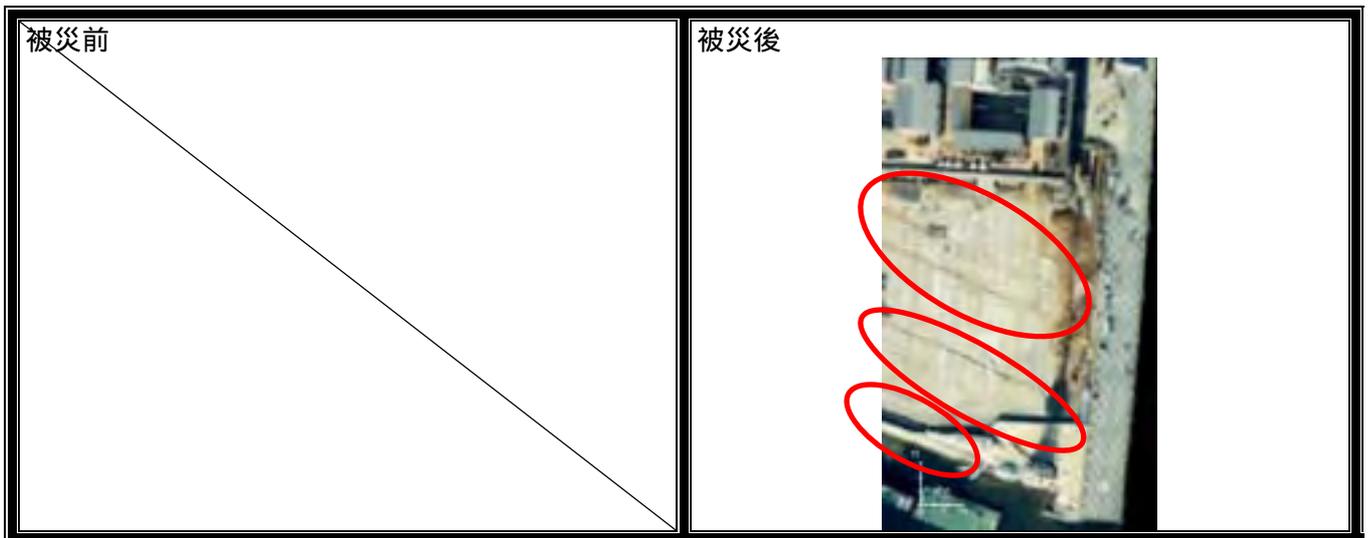
<p>テクスチャ解析 評価： (×)</p> 	<p>エッジ強調 評価： ()</p> 
<p>【図の説明】 被災後における注目画素と周辺隣接画素との値のばらつきの大きいテクスチャを明るく、ばらつきの小さいテクスチャを暗く示した。</p>	<p>【図の説明】 被災後の元画像のエッジの部分周辺に比べ強調して(明るい箇所を明るく、暗い箇所を暗く)示した。</p>
<p>【低評価の理由】 土砂の流出状況が不明瞭で視認性を低下させている。</p>	

図 2-4-10(2) 土砂流出現場の被災後の画像および各種処理結果

8) 施設亀裂

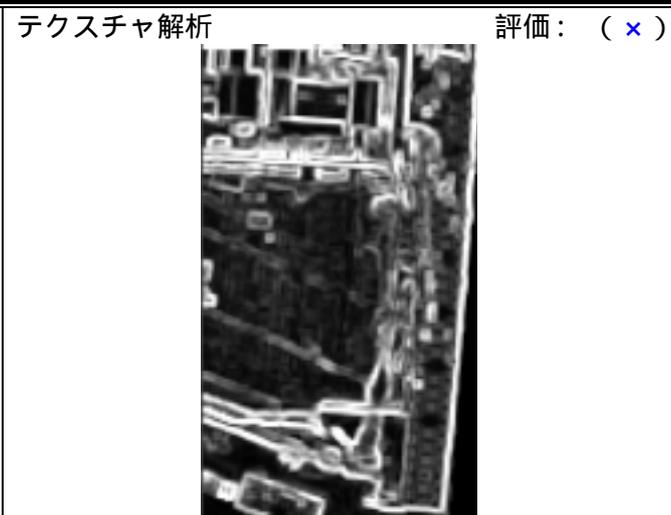
施設亀裂では、港湾の人工被覆地の被災箇所を対象とした。施設亀裂は線状構造に乱れが生じる現象としてとらえられる。したがって、エッジ抽出、テクスチャ解析、エッジ強調を試行した。被災規模は幅数10cm、長さ10数mである。画像の解像度は1mとした。図2-4-11には施設亀裂現場の被災前の画像および各種処理結果を示す。

- 港湾施設の亀裂については、エッジ強調処理結果に、線構造の揺らぎとして被災状況が反映されている。
- エッジ抽出とテクスチャ解析は現象を捉えているが、やや不明瞭である。



【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。

【低評価の理由】
亀裂以外のエッジも抽出されているため、原画像より視認性は低いと判断される。



【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。

【低評価の理由】
亀裂以外のテクスチャも抽出されているため、原画像より視認性は低いと判断される。



【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。

< 一連の処理結果の表現の説明 >

- ・ 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 2-4-11 施設亀裂現場の被災後の画像および各種処理結果

9)土砂災害

土砂災害では多くの場合、被災後に土壌がむき出しになることから、周囲との境界や色調に変化が現れると考えられる。したがってエッジ抽出、教師なし分類、テクスチャ解析、エッジ強調、フーリエ変換を試行した。また、災害前後の画像を用いて画像間演算、画像オーバーレイ、主成分分析を行った。対象としたのは神津島の2箇所、被災規模は幅数10m、長さ数10m程度である。画像はIKONOSを想定して1m解像度のものを用いた。図2-4-12および図2-4-13には土砂災害現場の被災前後の画像および各種処理結果を示す。

- 対象とした土砂災害箇所は、フーリエ変換以外、どの手法でも明瞭に被災状況が反映されている。
- とくに画像オーバーレイ、主成分分析は、被災前後の画像を用いることで崩壊によって裸地化した箇所が明瞭となり、抽出精度の向上効果が認められた。しかし、経年変化によって裸地化した箇所も同様に抽出されるため注意が必要である。また、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。
- 土砂災害は森林地域で起きることが多いため、フーリエ変換は適当ではないことが明らかとなった。

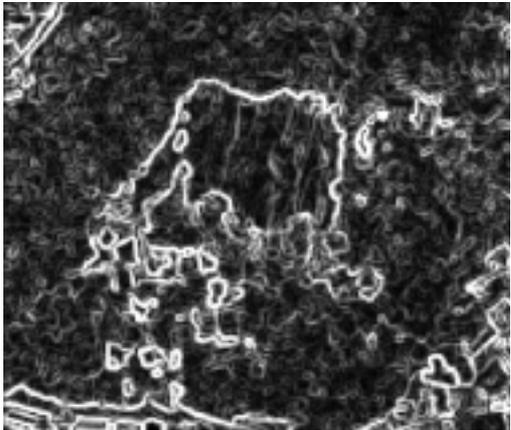
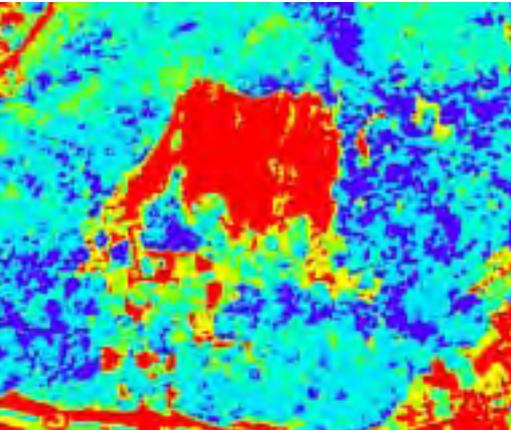
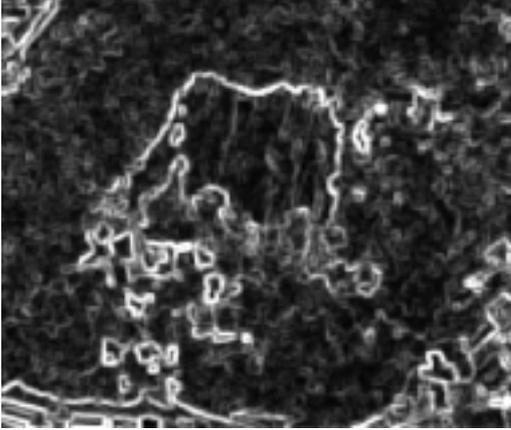
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジ抽出 評価: ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素値と隣接画素値との差の大きいエッジ箇所を明るく表示し、差の小さいエッジ箇所を暗く示した。</p>	<p>教師なし分類 評価: ()</p>  <p>【図の説明】 6種類のカラーはそれぞれ、被災後の画像内（RGBの三次元特徴空間）で互いに類似する特徴をもった6つのグループを6色の擬似カラーで表示した。色は特に意味を持たないが、寒色系は元画像の暗い箇所（樹木、影等）を示し、暖色系は明るい箇所（裸地等）を示す。</p>
<p>テクスチャ解析 評価: ()</p>  <p>【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>

図 2-4-12(1) 土砂災害 現場の被災前後の画像および各種処理結果

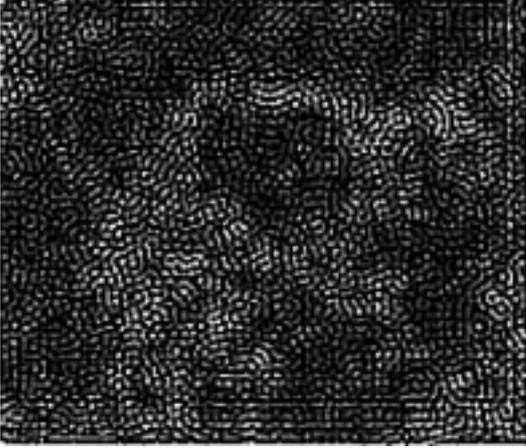
<p>フーリエ変換 評価：×(×)</p>  <p>【図の説明】 テクスチャの特徴的な箇所(中間周波数成分の高い箇所)を明るく示した。</p>	<p>画像間演算 評価：()</p>  <p>【図の説明】 被災前に比べて被災後に明るくなった箇所を明るく、暗くなった箇所を暗く示した。</p>
<p>【低評価の理由】 崩壊地と非崩壊地の境界部の周波数成分と類似した周波数成分を有する非被災箇所が多く、視認性が低下している。</p>	
<p>画像オーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価：()</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後で変化のある箇所を、白黒は被災前後で変化のない箇所を示した。 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>主成分分析 (RGB = 第1、第2、第3主成分) 評価：()</p>  <p>【図の説明】 バンド間の相関に着目して多バンド(被災前後のRGBの6バンド)データを集約する処理であり、寄与率の高い順に第1、第2、第3主成分という。 色は特に意味を持たないが、寒色系は2時期の元画像とも暗い箇所(樹木、影等)を示し、赤系は被災前後ともに明るい箇所を示し、白~黄色系は被災後に明るくなった箇所を示す。</p>
<p>【高評価の理由】 被災前後の画像を重ね合わせることで、崩壊前から裸地だった箇所と崩壊によって裸地化した箇所の識別が明瞭となり、抽出精度の向上に有効であると判断された。</p>	<p>【高評価の理由】 被災前後の画像を用いることで、崩壊前から裸地だった箇所と崩壊によって裸地化した箇所が異なる主成分を示すため、被災箇所の識別が明瞭となり、抽出精度の向上に有効であると判断された。</p>

図 2-4-12(2) 土砂災害 現場の被災前後の画像および各種処理結果

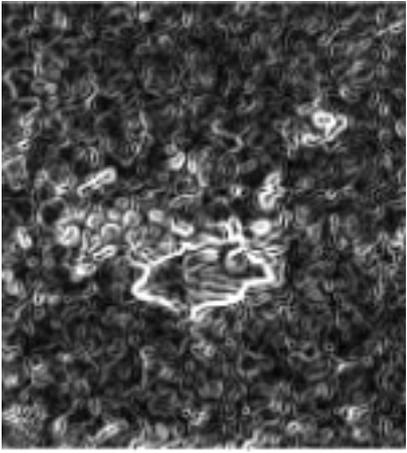
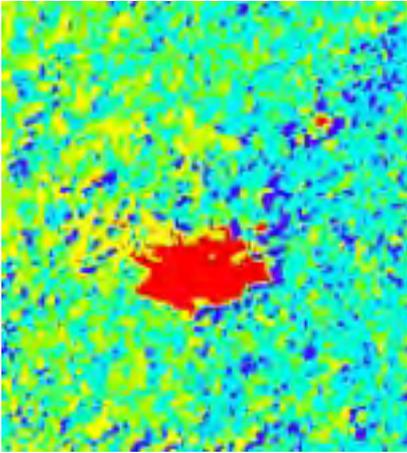
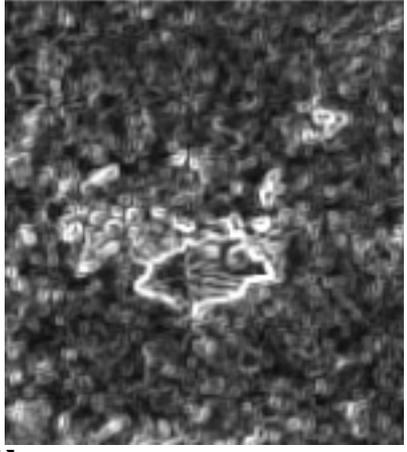
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジ抽出 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後における注目画素値と隣接画素値との差分の大きいエッジ箇所を明るく表示し、差分の小さいエッジ箇所を暗く示した。</p>	<p>教師なし分類 評価： ()</p>  <p>【図の説明】 6種類のカラーはそれぞれ、被災後の画像内（RGBの三次元特徴空間）で互いに類似する特徴をもった6つのグループを6色の擬似カラーで表示した。色は特に意味を持たないが、寒色系は元画像の暗い箇所（樹木、影等）を示し、暖色系は明るい箇所（裸地等）を示す。</p>
<p>テクスチャ解析 評価： ()</p>  <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>

図 2-4-13(1) 土砂災害 現場の被災前後の画像および各種処理結果

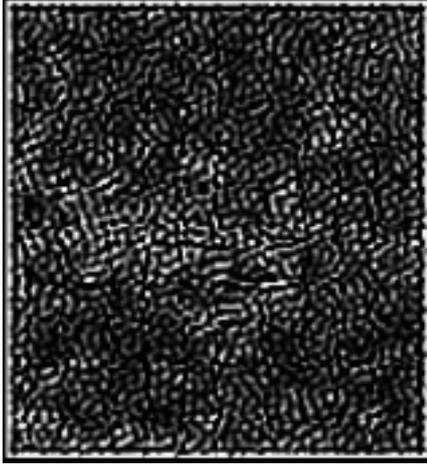
<p>フーリエ変換 評価：×(×)</p>  <p>【図の説明】 テクスチャの特徴的な箇所(中間周波数成分の高い箇所)を明るく示した。</p>	<p>画像間演算 評価：()</p>  <p>【図の説明】 被災前に比べて被災後に明るくなった箇所を明るく、暗くなった箇所を暗く示した。</p>
<p>【低評価の理由】 崩壊地と非崩壊地の境界部の周波数成分と類似した周波数成分を有する非被災箇所が多く、視認性が低下している。</p>	
<p>画像オーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価：()</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後で変化のある箇所を、白黒は被災前後で変化のない箇所を示した。 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>主成分分析 (RGB = 第1、第2、第3主成分) 評価：()</p>  <p>【図の説明】 バンド間の相関に着目して多バンド(被災前後のRGBの6バンド)データを集約する処理であり、寄与率の高い順に第1、第2、第3主成分という。 色は特に意味を持たないが、紫系は被災前の明るい箇所、白～黄色系は被災後に明るくなった箇所を示す。</p>
<p>【高評価の理由】 被災前後の画像を重ね合わせることで、崩壊前から裸地だった箇所と崩壊によって裸地化した箇所の識別が明瞭となり、抽出精度の向上に有効であると判断された。</p>	<p>【高評価の理由】 被災前後の画像を用いることで、崩壊前から裸地だった箇所と崩壊によって裸地化した箇所が異なる主成分を示すため、被災箇所の識別が明瞭となり、抽出精度の向上に有効であると判断された。</p>

図 2-4-13(2) 土砂災害 現場の被災前後の画像および各種処理結果

以上より、画像処理手法の被害形態別の適用性検討結果を表 2-4-3 にまとめた。上段は、各処理画像の視認性に関する絶対評価であり、下段は原画像に対して視認性が向上したかどうかを示す相対評価である。

表 2-4-3 画像処理手法の被害形態別の適用性検討結果

情報ニーズ		被災後画像のみ					被災前後画像使用		
施設	被災形態	エッジ抽出	教師なし分類	テキスト解析	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
橋梁	落橋(道路)							×	
	落橋(鉄道)							×	
	高架段差(縦ずれ)	×		×				×	
	高架段差(横ずれ)							×	
道路	路面亀裂								
	路面陥没								
	道路閉塞・障害	×	×	×		×	×	×	×
建物	建物倒壊		×			×			×
		×	×	×		×	×	×	×
河川・港湾	堤防破損								
	液状化	×		×	×				
	崩壊・土砂流出	×		×					
	亀裂	×		×					
砂防	土砂災害					×			
						×			

凡例(上段)

- ：高い精度で被災箇所が視認できる
- ：視認可能だが被災していない箇所も抽出してしまう
- ：視認可能だがやや不明瞭
- ×：全く視認できない
- ：被災前画像未整備のため適用不可
- ：被災形態と画像処理のミスマッチのため試行せず

凡例(下段)

- ：原画像より視認性が向上した
- ：原画像と同程度
- ×：原画像よりも劣る
- ：被災前画像未整備のため適用不可
- ：被災形態と画像処理のミスマッチのため試行せず

(2) 画像処理(複合的処理)の試行

本項では、解析手法を組み合わせた場合の被害形態別の被害箇所抽出の適用性検討を行った。用いた手法は、被災前後のエッジ抽出画像とテクスチャ解析画像のオーバーレイ(エッジオーバーレイ、テクスチャオーバーレイ)および2時期の画像全てを使った教師なし分類(多時期画像の教師なし分類)とした。なお、用いた手法では被災前後の画像が必要となることから、対象とした被災形態は2時期の画像が入手できた落橋、高架段差、道路閉塞、建物倒壊、土砂災害とした。

また、撮影時期の異なる画像の組み合わせのほかに画像情報以外の組み合わせとして、土砂災害を対象にして地図と標高との組み合わせを試行した。

1) 落橋(道路・鉄道)

落橋の抽出ではエッジオーバーレイとテクスチャオーバーレイを試行した。

図 2-4-14 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 2-4-15 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。

- 被災前後の画像の位置合わせが完全ならば、どちらの手法を用いた場合でも被災状況は明瞭に反映される。ただし、被災箇所以外のエッジ変化箇所も処理画像に反映されるので、注意が必要である。
- とくに鉄道橋の場合は周辺のノイズ成分が少ないことから、落橋箇所の視認性が高い。
- 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。

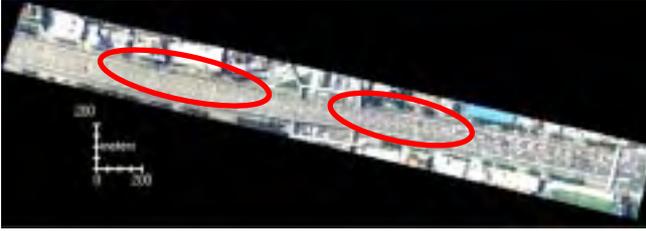
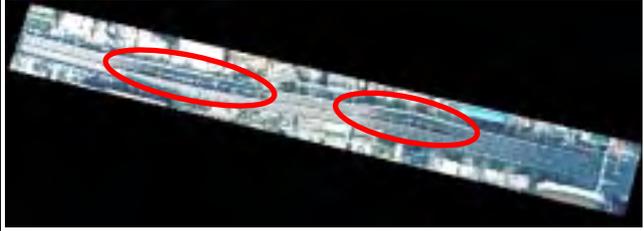
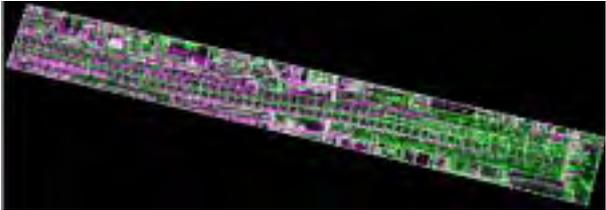
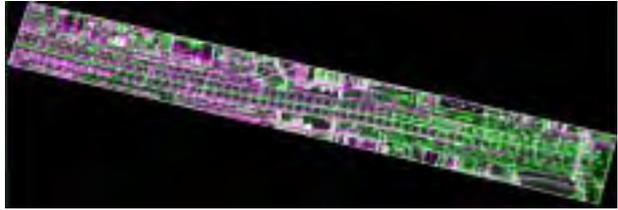
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジオーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価: (×)</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後でエッジに変化のある箇所を、白黒は被災前後でエッジに変化のない箇所を示した。グリーンは被災前でエッジのある箇所、マゼンダは被災後でエッジのある箇所、白は被災前後でエッジのある箇所、黒は被災前後でエッジのない箇所を示す。</p>	<p>テクスチャオーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価: (×)</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後でテクスチャに変化のある箇所を、白黒は被災前後でテクスチャに変化のない箇所を示した。グリーンは被災前でテクスチャのある箇所、マゼンダは被災後でテクスチャのある箇所、白は被災前後でテクスチャのある箇所、黒は被災前後でテクスチャのない箇所を示す。</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エッジ変化箇所が視認性を低下させている。</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テクスチャ変化箇所が視認性を低下させている。</p>

図 2-4-14 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エッジに変化のある箇所を、白黒は被災前後でエッジに変化のない箇所を示した。グリーンは被災前でエッジのある箇所、マゼンダは被災後でエッジのある箇所、白は被災前後でエッジのある箇所、黒は被災前後でエッジのない箇所を示す。</p>	<p>テクスチャオーバーレイ (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テクスチャに変化のある箇所を、白黒は被災前後でテクスチャに変化のない箇所を示した。グリーンは被災前でテクスチャのある箇所、マゼンダは被災後でテクスチャのある箇所、白は被災前後でテクスチャのある箇所、黒は被災前後でテクスチャのない箇所を示す。</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エッジ変化箇所が視認性を低下させている。</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テクスチャ変化箇所が視認性を低下させている。</p>

図 2-4-15 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

高架段差はエッジオーバーレイとテクスチャオーバーレイを試行した。

図 2-4-16 に高架段差（縦ずれ）現場の被災前後の画像および各種処理結果を、図 2-4-17 に高架段差（横ずれ）現場の結果を示す。

- 縦ずれの高架段差は、エッジオーバーレイ、テクスチャオーバーレイともにかろうじて確認できるが、車両の有無や影による影響が大きく、不明瞭である。
- 横ずれの高架段差も同様に、エッジオーバーレイ、テクスチャオーバーレイともにかろうじて確認できる。
- 縦ずれ、横ずれともに被災後のみのエッジ抽出画像およびテクスチャ解析画像を上回る視認性は認められなかった。

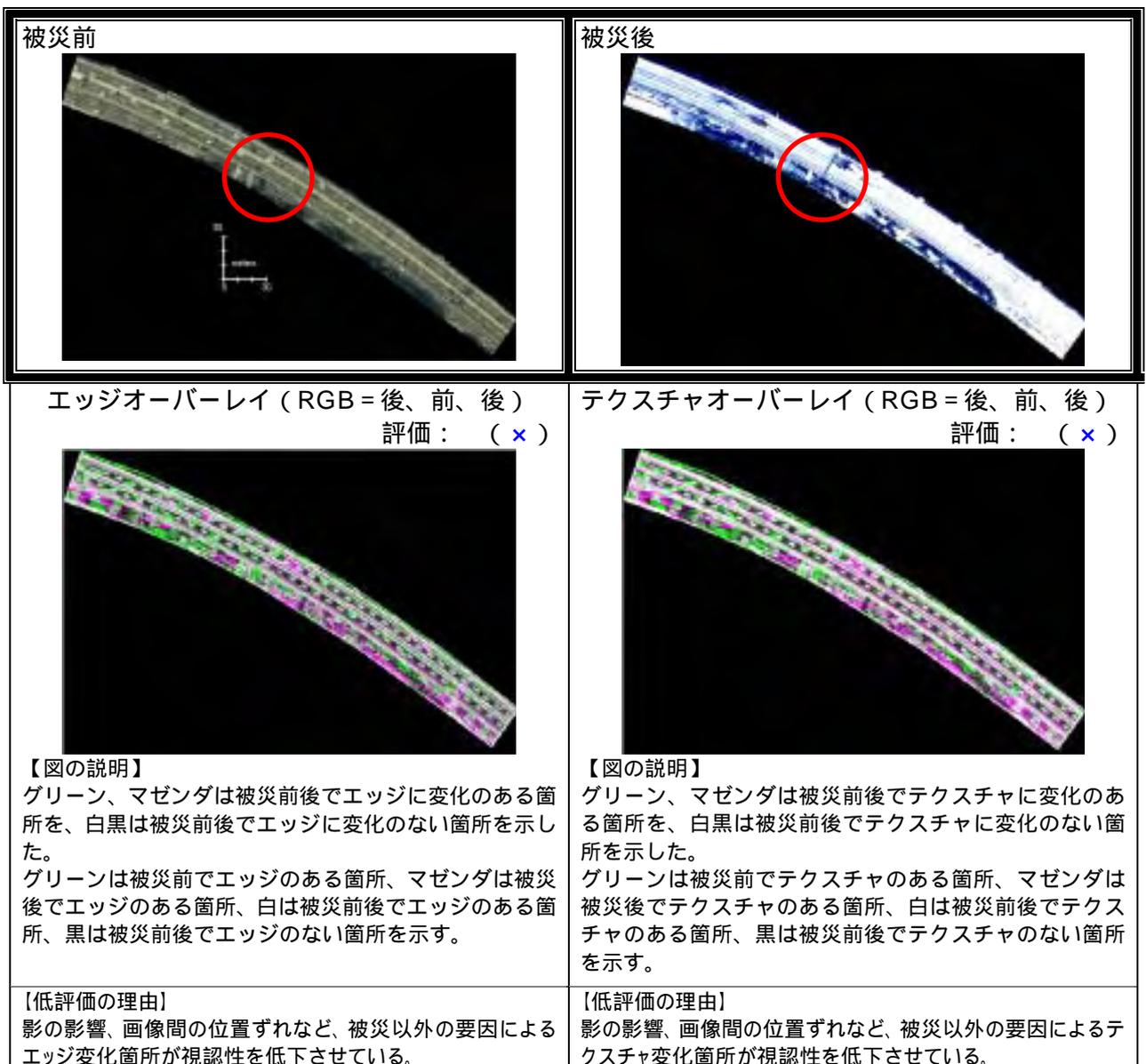


図 2-4-16 高架段差（縦ずれ）現場の被災前後の画像および各種処理結果

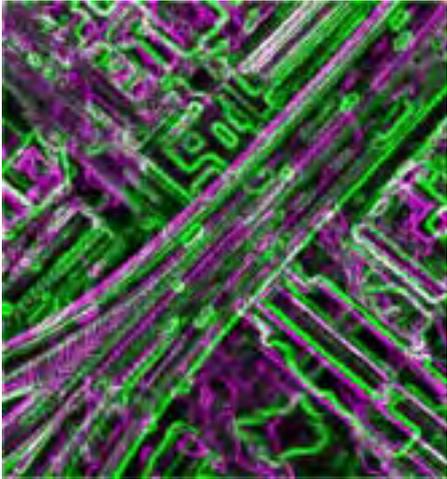
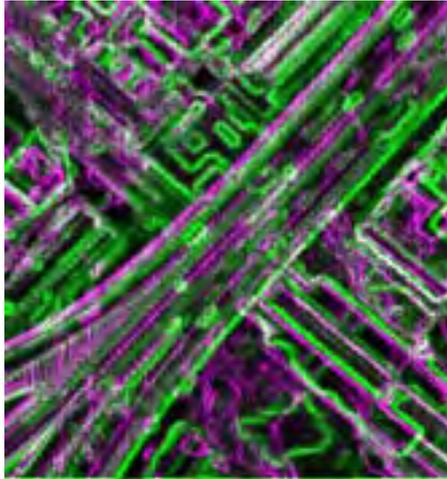
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジオーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価: (×)</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後でエッジに変化のある箇所を、白黒は被災前後でエッジに変化のない箇所を示した。 グリーンは被災前でエッジのある箇所、マゼンダは被災後でエッジのある箇所、白は被災前後でエッジのある箇所、黒は被災前後でエッジのない箇所を示す。</p>	<p>テクスチャオーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価: (×)</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後でテクスチャに変化のある箇所を、白黒は被災前後でテクスチャに変化のない箇所を示した。 グリーンは被災前でテクスチャのある箇所、マゼンダは被災後でテクスチャのある箇所、白は被災前後でテクスチャのある箇所、黒は被災前後でテクスチャのない箇所を示す。</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エッジ変化箇所が視認性を低下させている。</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テクスチャ変化箇所が視認性を低下させている。</p>

図 2-4-17 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

3) 道路閉塞・建物倒壊

道路閉塞または建物倒壊の抽出には、エッジオーバーレイ、テクスチャオーバーレイ、多時期画像による教師なし分類を試行した。図 2-4-18 に道路閉塞・建物倒壊現場の被災前後の画像および各種処理結果を示す。

道路閉塞

- エッジオーバーレイ、テクスチャオーバーレイでは、線の成分が多すぎ、道路閉塞の被災箇所を特定することが困難である。
- 多時期画像の教師なし分類では、道路閉塞箇所は特定のクラスには分類されていないが、建物倒壊が道路の分類クラスを遮る箇所としての認識は可能である。
- エッジオーバーレイ、テクスチャオーバーレイは、被災後のみのエッジ抽出画像およびテクスチャ解析画像を上回る視認性は認められなかった。

建物閉塞

- エッジオーバーレイ、テクスチャオーバーレイでは、線の成分が多すぎ、建物倒壊の被災箇所を特定することが困難である。
- 多時期画像の教師なし分類では、変化箇所が何らかの分類クラスに分類されているが、被災箇所の分類クラスとそれ以外の変化箇所の区別が困難である。

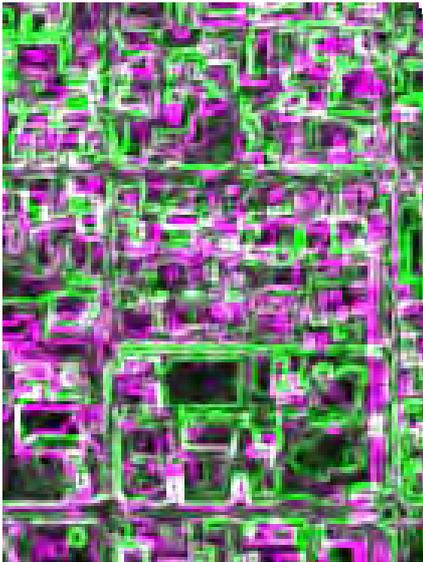
<p>被災前</p> 	<p>被災後</p> 
<p>エッジオーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価: (×)</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後でエッジに変化のある箇所を、白黒は被災前後でエッジに変化のない箇所を示した。 グリーンは被災前でエッジのある箇所、マゼンダは被災後でエッジのある箇所、白は被災前後でエッジのある箇所、黒は被災前後でエッジのない箇所を示す。</p>	<p>テクスチャオーバーレイ (RGB = 後、前、後) 評価: (×)</p>  <p>【図の説明】 グリーン、マゼンダは被災前後でテクスチャに変化のある箇所を、白黒は被災前後でテクスチャに変化のない箇所を示した。 グリーンは被災前でテクスチャのある箇所、マゼンダは被災後でテクスチャのある箇所、白は被災前後でテクスチャのある箇所、黒は被災前後でテクスチャのない箇所を示す。</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エッジ変化箇所が視認性を低下させている。</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テクスチャ変化箇所が視認性を低下させている。</p>

図 2-4-18(1) 建物倒壊現場の被災前後の画像および各種処理結果

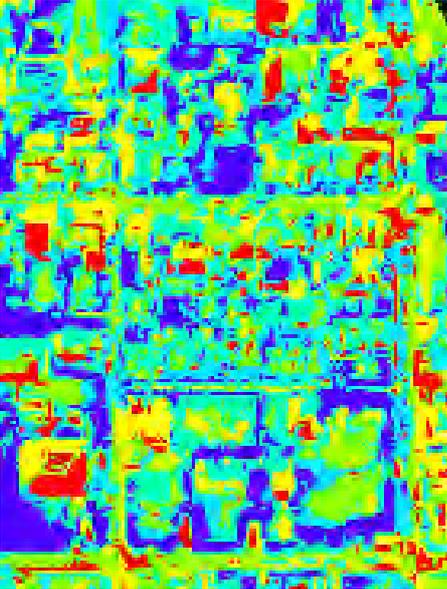
<p>教師なし分類（多時期）</p> <p>評価：（×）</p>  <p>【図の説明】 6 種類のカラーはそれぞれ、被災前後の画像内（被災前後の RGB の六次元特徴空間）で互いに類似する特徴をもった 6 つのグループを 6 色の擬似カラーで表示した。色は特に意味を持たないが、寒色系は 2 時期の元画像とも暗い箇所（樹木、影等）を示し、赤色は被災後に明るくなった箇所を示し、黄色は被災後に暗くなった箇所を示す。</p>	<p>< 一連の処理結果の表現の説明 ></p> <ul style="list-style-type: none"> 処理名の右に示す評価は、表 2-4-4（p84）に示す絶対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。
<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色調変化箇所が視認性を低下させている。</p>	

図 2-4-18(2) 建物倒壊現場の被災前後の画像および各種処理結果

4) 堤防破損

堤防破損はエッジオーバーレイ、テクスチャオーバーレイを試行した。図 2-4-19 には堤防破損現場の被災前後の画像および各種処理結果を示す。

- エッジオーバーレイ、テクスチャオーバーレイともに被災状況が反映されている。被災後画像のみのエッジ抽出、テクスチャ解析と比べて被災によって明るく変化した箇所が明瞭に識別でき、効果的であった。

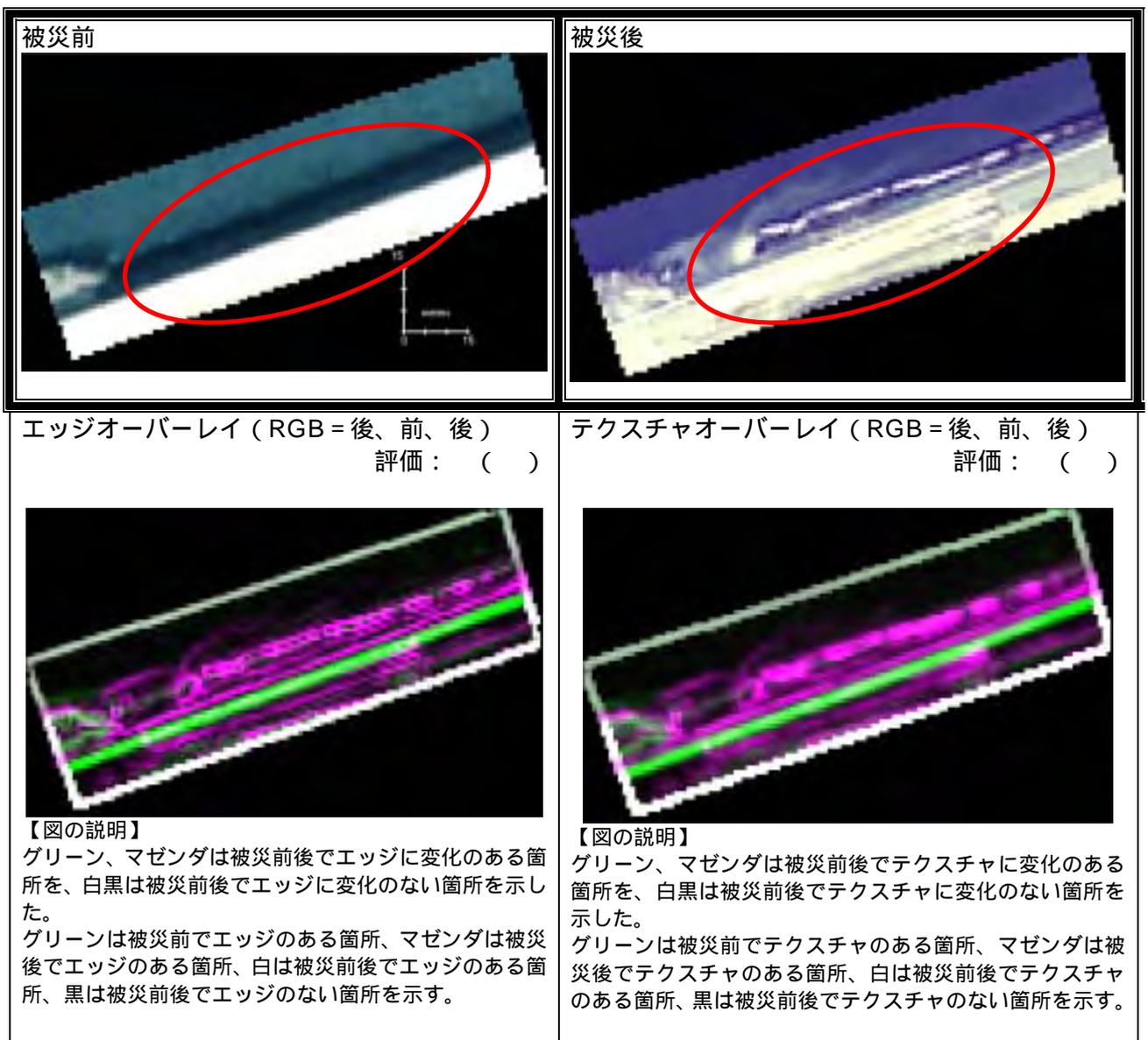


図 2-4-19 堤防破損現場の被災前後の画像および各種処理結果

5) 土砂災害

土砂災害ではエッジオーバーレイ、テクスチャオーバーレイ、多時期画像の教師なし分類を試行した。図 2-4-20 および図 2-4-21 には土砂災害現場の被災前後の画像および各種処理結果を示す。また、図 2-4-22 には、撮影時期の異なる画像の組み合わせのほかに画像情報以外の組み合わせとして試行した、地図と標高との組み合わせ結果を示す。

- エッジオーバーレイ、テクスチャオーバーレイでは、土砂災害箇所の境界線の抽出が可能である。とくにテクスチャオーバーレイでは鮮明な境界のみが抽出されるため、エッジオーバーレイより被災箇所の識別が容易である。被災後画像のみの場合と比べて変化箇所が明瞭に識別でき、効果的であった。しかし、2 時期の日照条件の違いによる樹木の影の差異や経年変化によって裸地化した箇所も同様に抽出されるため注意が必要である。
- 教師なし分類では、森林から裸地への変化箇所が特定のクラスに分類されている。被災後のみの画像の教師なし分類と比較すると、土地被覆が変化した箇所以外の裸地が別クラスに分類されていることがわかり、その分抽出精度が向上しているといえる。しかし、経年変化によって裸地化した箇所も同様に抽出されるため注意が必要である。
- 画像情報以外のデータを用いた複合的処理のうち地図画像との重ね合わせでは、仮に土地勘のない被災地に対しても場所の特定が可能になる点、等高線と重ね合わせることで崩壊地と裸地の区別が可能になる点で効果的であることが示唆された。標高データとの重ね合わせによる鳥瞰画像では、傾斜を可視化することで崩壊地と裸地を直観的に区別することが可能で、有効性が示唆された。ただし、組み合わせる情報は被災形態によって異なる点に注意が必要である。

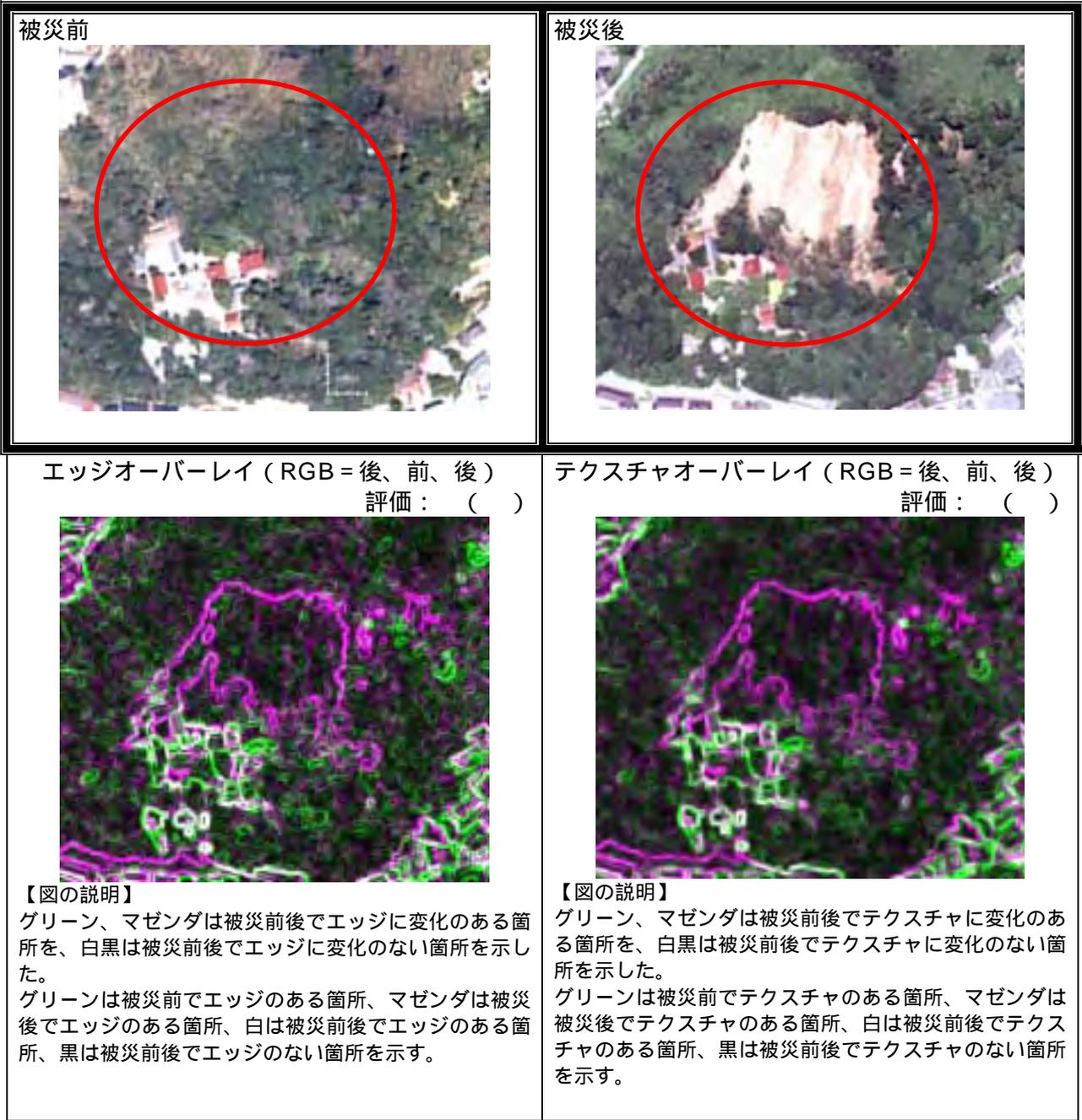


図 2-4-20(1) 土砂災害 現場の被災前後の画像および各種処理結果

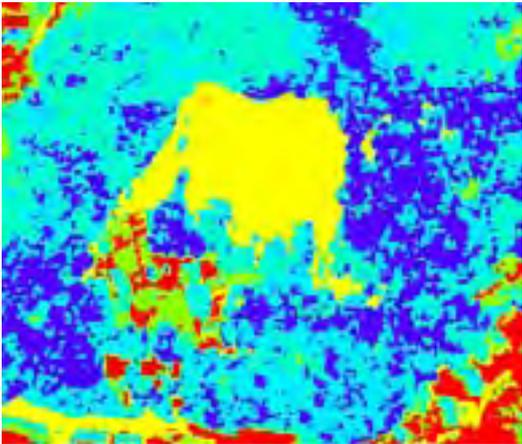
<p>教師なし分類（多時期）</p> <p style="text-align: right;">評価：（ ）</p>  <p>【図の説明】 6 種類のカラーはそれぞれ、被災前後の画像内（被災前後の RGB の六次元特徴空間）で互いに類似する特徴をもった 6 つのグループを 6 色の擬似カラーで表示した。 色は特に意味を持たないが、寒色系は 2 時期の元画像とも暗い箇所（樹木、影等）を示し、赤色は被災前後とも明るい箇所を示し、黄色は被災後に明るくなった箇所を示す。</p> <p>【高評価の理由】 被災前後の画像を用いることで、崩壊前から裸地だった箇所と崩壊によって裸地化した箇所が異なる分類クラスに区分されるため、被災箇所の識別が明瞭となり、抽出精度の向上に有効であると判断された。</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 2-4-4(p84)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 2-4-20(2) 土砂災害 現場の被災前後の画像および各種処理結果

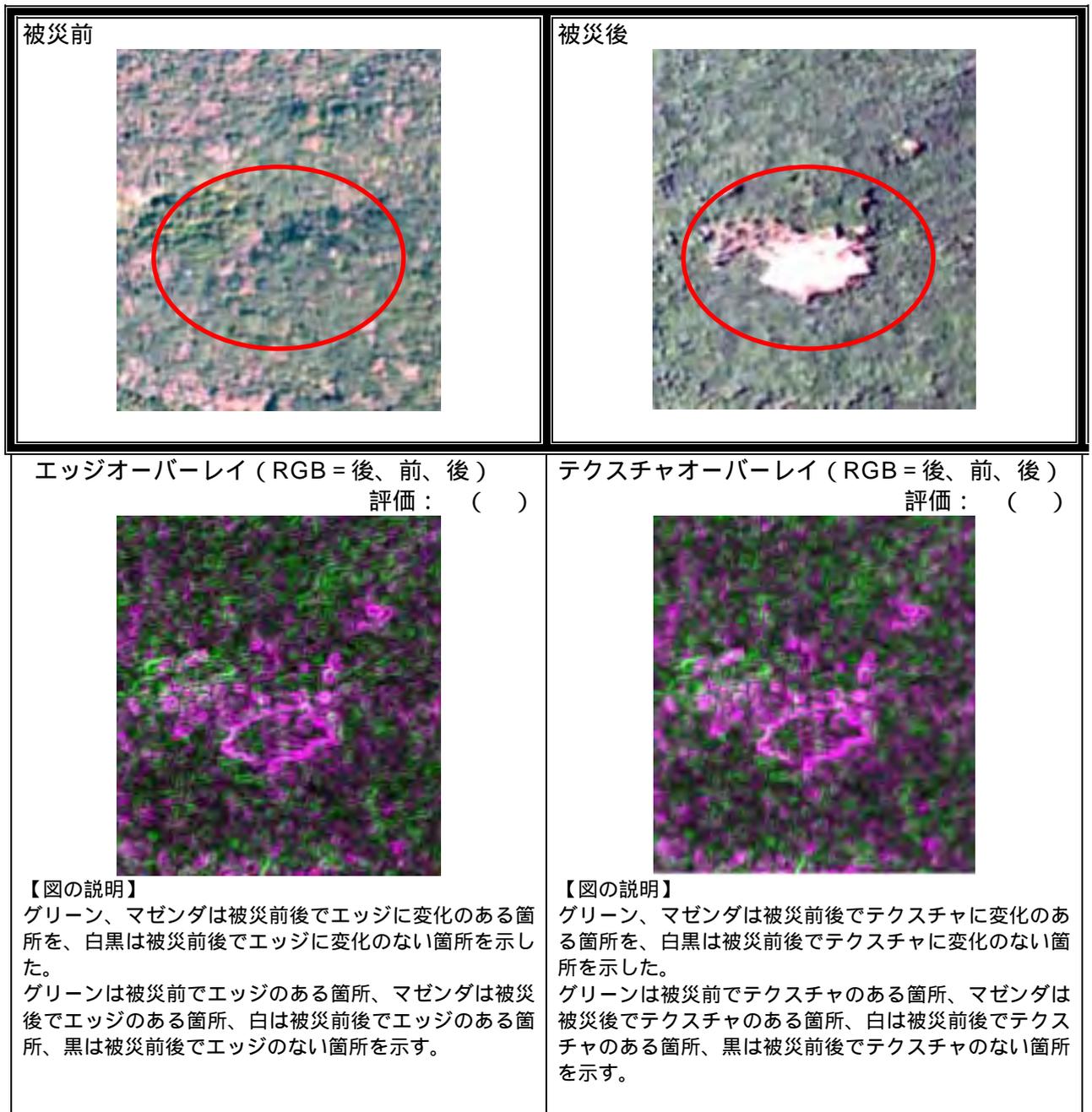


図 2-4-21(1) 土砂災害 現場の被災前後の画像および各種処理結果

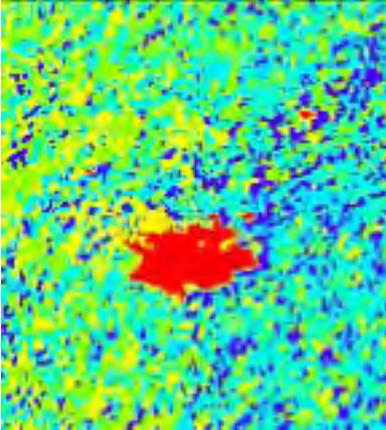
<p>教師なし分類（多時期）</p> <p style="text-align: right;">評価：（ ）</p>  <p>【図の説明】 6種類のカラーはそれぞれ、被災前後の画像内（被災前後のRGBの六次元特徴空間）で互いに類似する特徴をもった6つのグループを6色の擬似カラーで表示した。色は特に意味を持たないが、寒色系は2時期の元画像とも暗い箇所（樹木、影等）を示し、赤色は被災後に明るくなった箇所を示し、黄色は被災後に暗くなった箇所を示す。</p>	<p><一連の処理結果の表現の説明></p> <ul style="list-style-type: none"> 処理名の右に示す評価は、表 2-4-4(p84)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。
<p>【高評価の理由】 被災前後の画像を用いることで、崩壊前から裸地だった箇所と崩壊によって裸地化した箇所が異なる分類クラスに区分されるため、被災箇所の識別が明瞭となり、抽出精度の向上に有効であると判断された。</p>	

図 2-4-21(2) 土砂災害 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>地図との重ね合わせ</p> <p style="text-align: right;">評価： ()</p>  <p>【図の説明】 被災後画像と数値地図 1/25,000 (地図画像) を重ね合わせた例。青色は道路、建物、地名等の情報を、茶色は等高線を示す。</p> <p>【高評価の理由】 地図情報を重ね合わせることで、仮に土地勘のない被災地に対しても場所の特定が可能になる点、等高線と重ね合わせることで崩壊地と裸地の区別が可能になる点で効果的であると判断された。</p>	<p>標高との重ね合わせ (鳥瞰画像)</p> <p style="text-align: right;">評価： ()</p>  <p>【図の説明】 標高データを用いて被災後画像を鳥瞰表示した例。起伏が立体的に可視化される。</p> <p>【高評価の理由】 標高データを重ね合わせ傾斜を可視化することで、崩壊地と裸地を直観的に区別することが可能になる点で効果的であると判断された。</p>

図 2-4-22 土砂災害現場の画像情報以外との複合的処理結果

以上より、画像処理手法の被害形態別の複合処理適用性検討結果を表 2-4-4 にまとめた。上段は、各処理画像の視認性に関する絶対評価であり、下段は原画像に対して視認性が向上したかどうかを示す相対評価である。

表 2-4-4 画像処理手法の被害形態別の複合処理適用性検討結果

施設	情報ニーズ 被災形態	画像処理手法の複合的処理			他の情報との複合的処理	
		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)	地図との重ね 合わせ	標高との重ね 合わせ
橋梁	落橋(道路)	×	×			
	落橋(鉄道)	×	×			
	高架段差(縦ずれ)	×	×			
	高架段差(横ずれ)	×	×			
道路	路面亀裂					
	路面陥没					
	道路閉塞・障害	×	×	×		
建物	建物倒壊	×	×	×		
		×	×	×		
河川・港湾	堤防破損					
	液状化					
	崩壊・土砂流出					
	亀裂					
砂防	土砂災害					

凡例(上段)

- ：高い精度で被災箇所が視認できる
- ：視認可能だが被災していない箇所も抽出してしまう
- ：視認可能だがやや不明瞭
- ×：全く視認できない
- ：被災前画像未整備のため適用不可
- ：被災形態と画像処理のミスマッチのため試行せず

凡例(下段)

- ：原画像より視認性が向上した
- ：原画像と同程度
- ×：原画像よりも劣る
- ：被災前画像未整備のため適用不可
- ：被災形態と画像処理のミスマッチのため試行せず

(3) IKONOS 画像の適用性検討

本項では、IKONOS 画像を用いた場合の被害形態別の被害箇所抽出の適用性検討を行った。本項の目的は、現状での最高レベルの空間分解能を有する IKONOS 画像での適用性を確認することで、前項までの検討結果を実利用可能な衛星画像に展開する上での確からしさや課題を整理することである。用いた画像は、平成 12 年 7 月 23 日観測の神戸地区の画像および平成 12 年 12 月 4 日の神津島の画像である。いずれも被災後にあたるが、神戸地区の場合被災から 5 年を経過しており、被災状況の抽出可能性を検討することは困難である。したがって、神戸地区の場合は、航空写真からシミュレートした 1m 解像度の画像と IKONOS 画像の視認性を比較し、前項までの検討で使用したシミュレーション画像の妥当性を確認した。神津島の画像については、被災からあまり時間が経過していないため、被災状況の抽出を試みた。

1) 高架段差

対象とした被災箇所は、縦ずれ 1 箇所、横ずれ 1 箇所である。図 2-4-23 に縦ずれ箇所のシミュレーション画像および IKONOS 画像の比較結果を、図 2-4-24 に横ずれ箇所のシミュレーション画像および IKONOS 画像の比較結果を示す。なお、シミュレーション画像と IKONOS 画像は撮影時期が異なる（平成 2 年と平成 12 年）ため、構造物の配置や土地利用が異なる点に注意が必要である。

高架段差（縦ずれ）

- 両画像は同一の解像度（1m）であるが、IKONOS 画像に比べてシミュレーション画像はコントラストが明瞭で、視認性はシミュレーション画像のほうが高い。エッジ抽出、テクスチャ解析、エッジ強調等の処理は、隣接画素との差分が大きいほど処理結果が明瞭になるため、IKONOS 画像を用いた処理結果は、図 2-4-2 よりやや劣ると想定される。しかし、2 時期の日照条件の違い等の影響も含まれているため、普遍的な傾向とは言い切れない点に注意が必要である。

高架段差（横ずれ）

- IKONOS 画像に比べてシミュレーション画像は全体に平滑で見やすい画像である。一方、シミュレーション画像に比べて IKONOS 画像はコントラストが明瞭で道路境界がはっきりしており、全体的には両画像の間に視認性の差はないものと考えられる。しかし、2 時期の日照条件の違い等の影響も含まれているため、普遍的な傾向とは言い切れない点に注意が必要である。

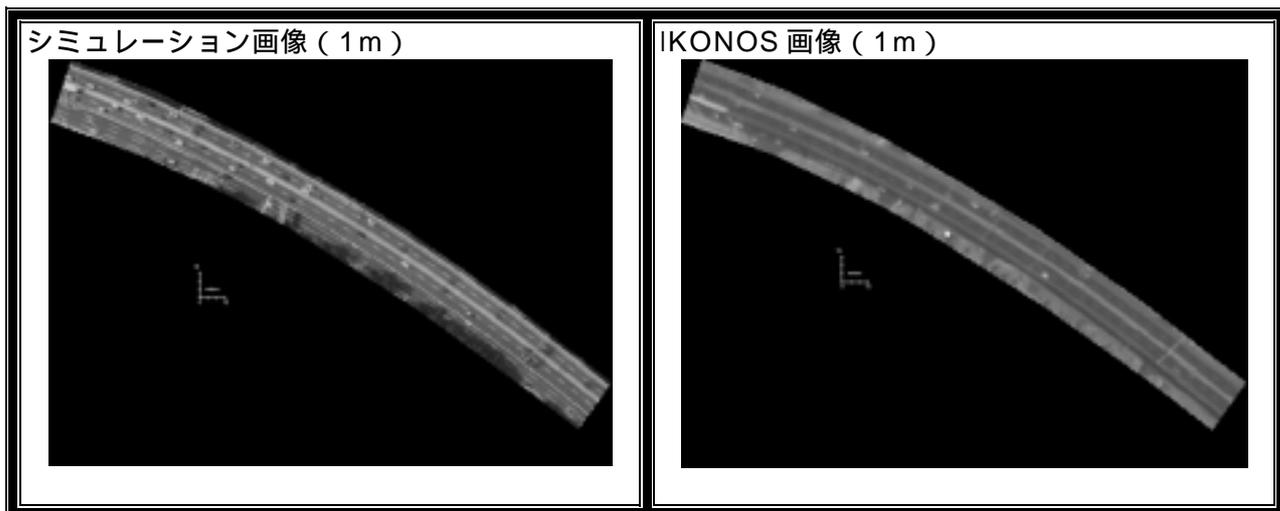


図 2-4-23 高架段差 (縦ずれ) 現場におけるシミュレーション画像と IKONOS 画像の比較

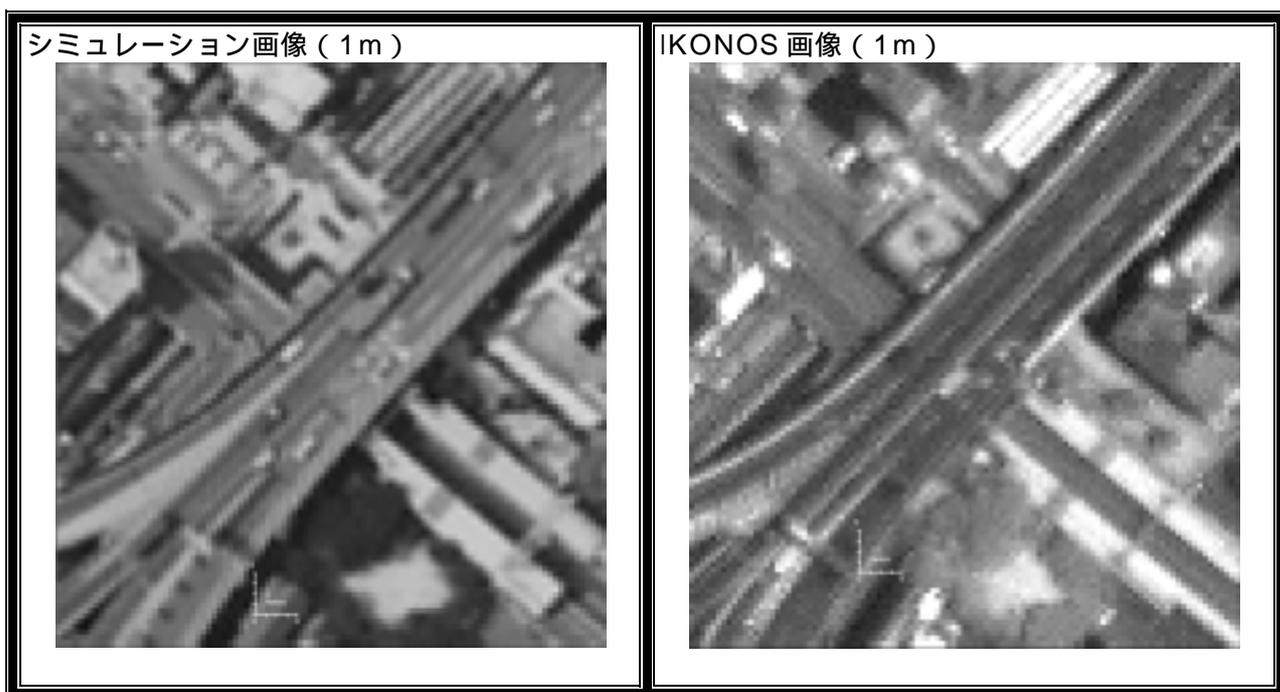


図 2-4-24 高架段差 (横ずれ) 現場におけるシミュレーション画像と IKONOS 画像の比較

2) 道路閉塞・建物倒壊

図 2-4-25 にシミュレーション画像および IKONOS 画像の比較結果を示す。なお、シミュレーション画像と IKONOS 画像は撮影時期が異なる（平成 2 年と平成 12 年）ため、家屋の配置や土地利用が異なる点に注意が必要である。

- 両画像はやや明るさと陰影に違いが見られるが、視認性はほぼ同じであると考えられる。陰影の違いは 2 時期の日照条件の違い等の影響であると考えられる。

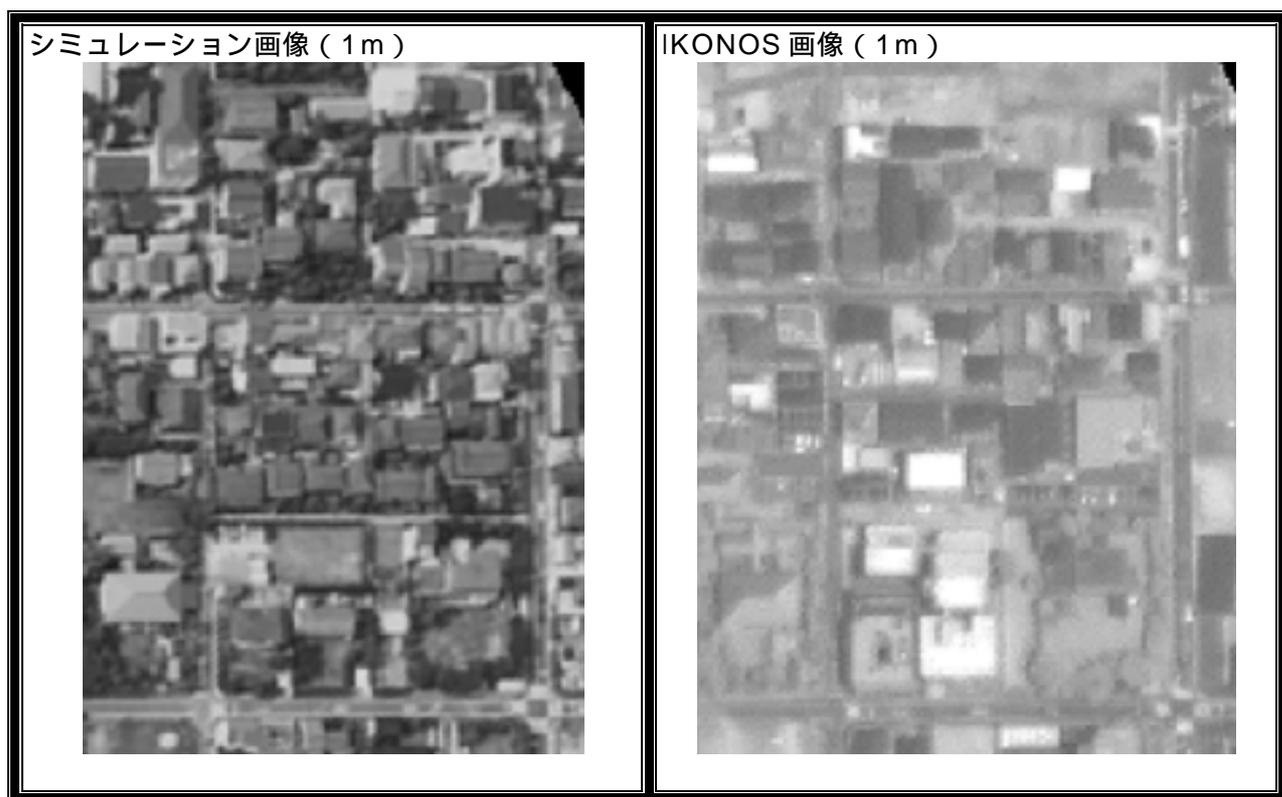


図 2-4-25 道路閉塞および建物倒壊現場におけるシミュレーション画像と IKONOS 画像の比較

3) 堤防破損

図 2-4-26 にシミュレーション画像および IKONOS 画像の比較結果を示す。なお、シミュレーション画像と IKONOS 画像は撮影時期が異なる（平成 2 年と平成 12 年）ため、構造物の配置や土地利用が異なる点に注意が必要である。

- IKONOS 画像に比べてシミュレーション画像はコントラストが明瞭で、視認性はシミュレーション画像のほうが高い。エッジ抽出、テクスチャ解析、エッジ強調等の処理は、隣接画素との差分が大きいほど処理結果が明瞭になるため、IKONOS 画像を用いた処理結果は、図 2-4-8 よりやや劣ると想定される。しかし、2 時期の日照条件の違い等の影響も含まれているため、普遍的な傾向とは言い切れない点に注意が必要である。

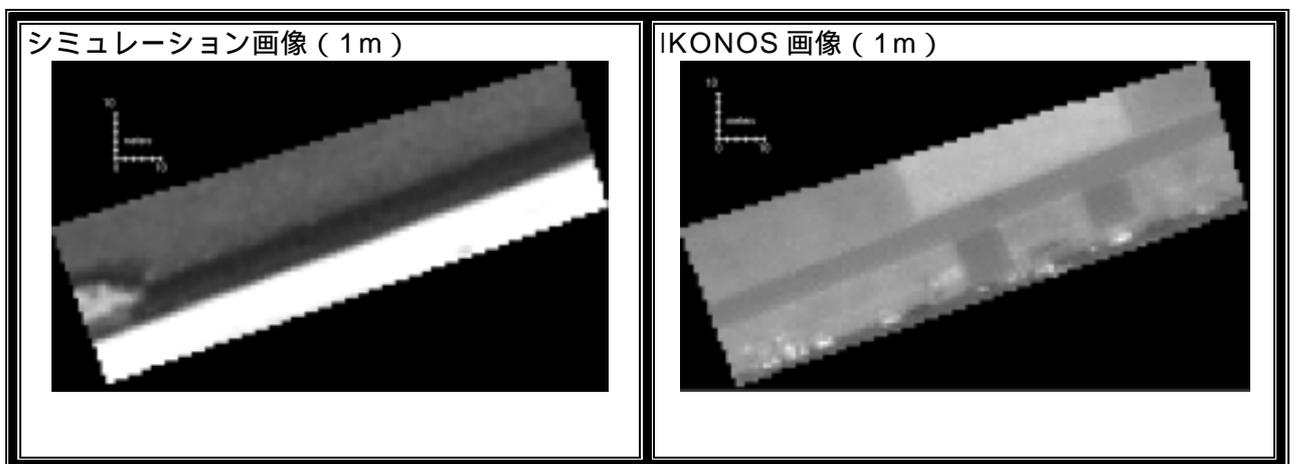


図 2-4-26 堤防破損現場におけるシミュレーション画像と IKONOS 画像の比較

4) 土砂災害

土砂災害の対象地である神津島の画像については、被災からあまり時間が経過していないため、シミュレーション画像と同一の処理（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）を行い、被災状況の抽出を試みた。

対象とした被災箇所は神津島の1箇所、被災規模は幅数10m、長さ数10m程度である。図2-4-13、図2-4-21に示す土砂災害地点は、IKONOS観測時期に植生が回復していたため、検討から除外した。図2-4-27に各種処理結果を示す。

- 対象とした土砂災害箇所は、フーリエ変換以外、どの手法でも抽出可能で、とくにエッジ強調、教師なし分類が有効であった。
- IKONOS画像は1m解像度のパングロマトリック（白黒）画像、4m解像度のマルチスペクトル画像、1m解像度に合成したパンシャープン画像の3種の画像プロダクトがある。教師なし分類は色情報に基づく抽出手法であり、マルチスペクトル画像、パンシャープン画像とも被災箇所が明瞭に抽出されている。しかしながら、マルチスペクトル画像とパンシャープン画像の教師なし分類結果を比較すると、崩壊箇所の境界の鮮明さや崩壊を免れた箇所の識別などの点でパンシャープン画像の分類結果のほうが精密であり、小規模な被災地への適用性や土砂流出量の試算などを念頭に置いた場合、解像度の高いパンシャープン画像を用いた方が効果的であることが示唆された。
- シミュレーション画像と比べてIKONOS画像は地形や樹木の陰影が強く、エッジ抽出、テクスチャ解析で不必要なエッジが抽出されている例が見受けられる。しかし、シミュレーション画像の撮影時期が7月であるのに対し、IKONOS画像は12月であるため、2時期の日照条件の違い等の影響も含まれており、普遍的な傾向とは言い切れない点に注意が必要である。

シミュレーション画像



IKONOS 画像 (1m : パンクロマティック)



IKONOS 画像 (4m : マルチスペクトル)



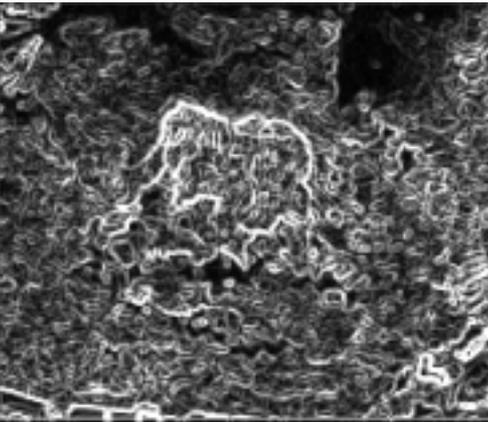
【図の説明】
R:G:B に近赤外：赤：緑のバンドを割り当てたフォールスカラー合成で示しており、植生域が赤色で表現されている。

IKONOS 画像 (1m : パンシャープン)



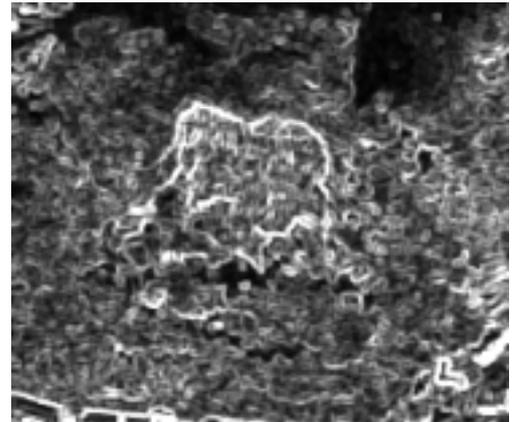
【図の説明】
R:G:B に近赤外：赤：緑のバンドを割り当てたフォールスカラー合成で示しており、植生域が赤色で表現されている。

エッジ抽出



【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。

テクスチャ解析



【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。

図 2-4-27(1) 土砂災害 現場におけるシミュレーション画像と IKONOS 画像の比較および IKONOS 画像処理結果

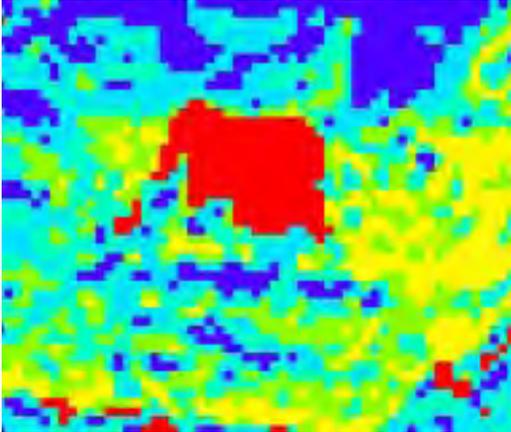
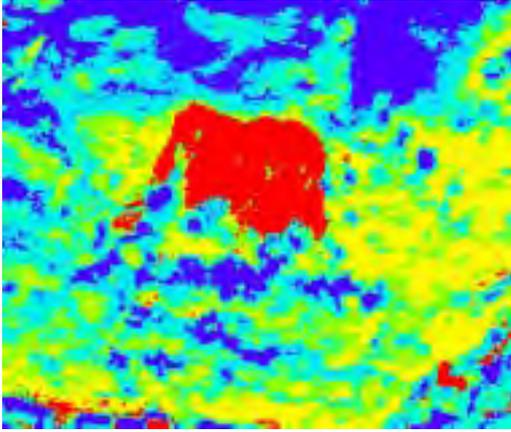
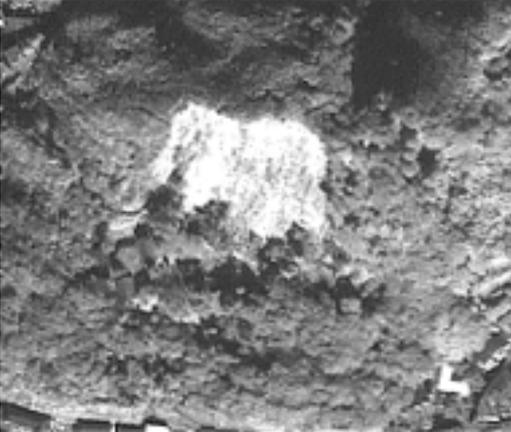
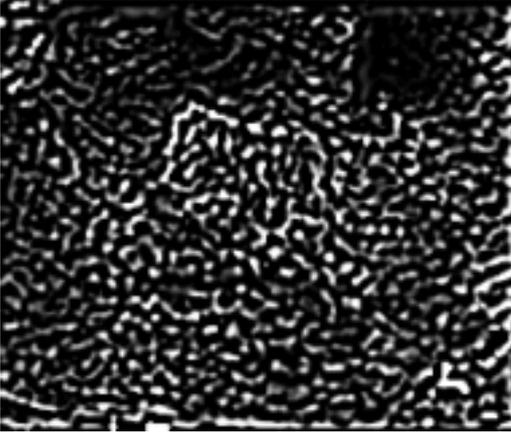
<p>教師なし分類 (マルチスペクトル)</p>  <p>【図の説明】 6種類のカラーはそれぞれ、被災後の画像内 (RGB の三次元特徴空間) で互いに類似する特徴をもった 6 つのグループを 6 色の擬似カラーで表示した。色は特に意味を持たないが、寒色系は元画像の暗い箇所 (樹木、影等) を示し、赤色は明るい箇所 (裸地等) を示す。</p>	<p>教師なし分類 (パンシャープン)</p>  <p>【図の説明】 6種類のカラーはそれぞれ、被災後の画像内 (RGB の三次元特徴空間) で互いに類似する特徴をもった 6 つのグループを 6 色の擬似カラーで表示した。色は特に意味を持たないが、寒色系は元画像の暗い箇所 (樹木、影等) を示し、赤色は明るい箇所 (裸地等) を示す。</p>
<p>エッジ強調</p>  <p>【図の説明】 被災後の元画像のエッジの部分を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>フーリエ変換</p>  <p>【図の説明】 テクスチャの特徴的な箇所 (中間周波数成分の高い箇所) を明るく示した。</p>

図 2-4-27(2) 土砂災害 現場におけるシミュレーション画像と IKONOS 画像の比較および IKONOS 画像処理結果

3 . 被害抽出手法の改良

3 . 1 改良に関する検討の方向性

2章で検討した画像処理手法の適用結果より、既存の画像処理についてはエッジ抽出と分類処理が比較的良好な手法であること、既存の画像処理のみによる被災状況の完全な自動抽出は困難であり、処理後の画像を判読することによって、被災箇所の特定に寄与することが示された(図 3-1-1)。これは、被災後の画像には被災施設の特徴的な情報(キメ、色など)が現れているものの、非被災施設にも類似した特徴を有する箇所があること、被災前後の画像を使用する場合、影や画像間のわずかな位置ずれにより非被災施設まで抽出されることに起因すると考えられる。

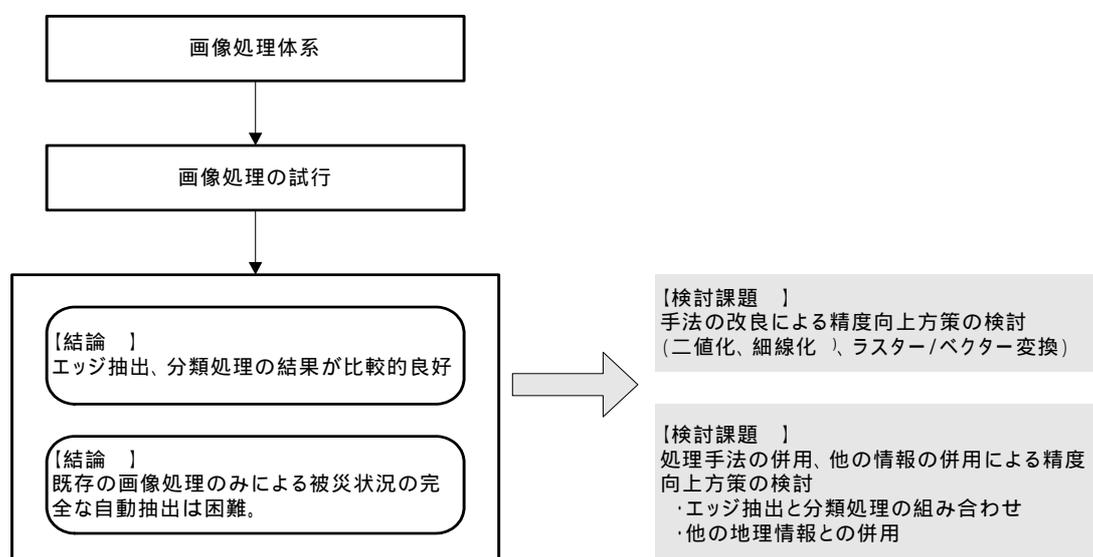


図 3-1-1 画像処理手法の適用結果と改善の方向性

これを改善するための考え方として、

手法自体の開発・改良を行うことで、影や位置ずれ等の誤差を軽減させる

処理手法・他の地理情報の併用によって、被災箇所の条件を絞り込むことで誤差を軽減させる

の2通りが挙げられる。

手法自体の開発・改良は、既存の処理手法の拡張から新規アルゴリズム開発まで幅広く想定される。2章の検討において比較的良好な結果を得たエッジ抽出を例にとると、抽出されたエッジの強度にしきい値を設け、弱いエッジを除去することにより、影の影響等を軽減させることができると考えられる。そのために有効な処理として、二値化処理、細線

化処理、ラスタ/ベクタ変換があげられる。

処理手法の併用については、エッジ抽出と分類処理の組み合わせが一つの方策として考えられ、他の地理情報の併用については、過年度業務で示唆されたように表 3-1-1 のような精度向上効果が期待される。

表 3-1-1 地理情報の併用によって期待される精度向上効果

被災形態	併用する地理情報	想定される効果
落橋（道路）	道路データ（中心線/外形線）	・ 道路から一定距離以遠の画像処理結果をカット
落橋（鉄道）	鉄道データ	・ 鉄道から一定距離以遠の画像処理結果をカット
高架段差	道路データ（中心線/外形線）	・ 道路から一定距離以遠の画像処理結果をカット
路面亀裂 路面陥没	道路データ（中心線/外形線）	・ 道路から一定距離以遠の画像処理結果をカット
道路閉塞 建物倒壊	道路データ（中心線/外形線） 街区データ	・ 道路閉塞に関しては、道路から一定距離以遠の画像処理結果をカット ・ 建物倒壊に関しては、建物街区以外（例、公園緑地）の画像処理結果をカット
堤防破損	街区データ	・ 街区と河道の境界から一定距離以遠の画像処理結果をカット
液状化	標高データ	・ 一定の標高以上の画像処理結果をカット
土砂流出	街区データ	・ 街区と海の境界から一定距離以遠の画像処理結果をカット
土砂災害	標高データ	・ 一定の傾斜度未満の画像処理結果をカット

以上を踏まえ、被害箇所抽出手法の改良について、検討対象とする被災形態と検討内容は次のように設定した。

被害箇所抽出手法の改良については、2章で一定の成果が得られた被災形態に対して抽出精度が向上するか否かが検討の鍵となる。したがって、2章で画像処理対象とした被災形態のうち、エッジ抽出において一定の視認性向上効果が認められた（表 2-4-3 参照）高架段差（横ずれ）を対象に、手法自体の開発・改良や処理手法・他の地理情報の併用に関する検討を行った。

一方、目視判読については、自動抽出の適用が困難な被災対象に対して、地理情報のオーバーレイによって視認性が向上するか否かが検討の鍵となる。したがって、自動抽出の効果が低い（表 2-4-3 参照）高架段差（縦ずれ）、道路閉塞・建物倒壊を対象に、目視判読に関する検討を行った。

3.2 被害箇所抽出手法の改良に関する課題整理

(1) 適用する画像処理手法の設定

前述したように、高架段差（横ずれ）に対してはエッジ抽出において一定の視認性向上効果が認められた。エッジ抽出では、道路の縁、白線など画像の濃淡が急に変化している箇所が強調される。高架段差（横ずれ）の場合、道路の縁や白線が段差の前後で揺らぐため、エッジ抽出が有効であるといえる。一方、同様の性質を示す部位として、日向と日陰の境界、建物の縁などがあげられる。高架段差（横ずれ）の抽出に対しては、道路と関わりのないエッジはノイズと位置づけられるため、これらのノイズを除去することが視認性の向上に寄与するものと考えられる。

これらのノイズのうち、日向と日陰の境界については、前述した二値化処理、細線化処理、ラスタ-ベクター変換を適用し、エッジ抽出手法自体の改良を行うことで誤差の軽減が期待される。

また、建物の縁については、エッジ抽出をベースとした上で道路領域と道路以外領域を区分し、道路以外領域のエッジをノイズとして除去することが有効である。そのための方策として、表 3-2-1 に示す 4 通りの手法が考えられる。

表 3-2-1 道路領域/道路以外領域の区分手法

制限	使用データ	データタイプ	方法
画像データのみ	画像分類 (教師なし分類)	ラスタ-	道路と分類された領域以外の画像処理結果をカット
地理情報併用	細密数値情報 (10mメッシュ土地利用)	ラスタ-	土地利用項目が道路以外の領域の画像処理結果をカット
	数値地図2500 (空間データ基盤)	ベクター	道路中心から一定距離以遠の画像処理結果をカット
	国土数値情報 (道路)	ベクター	道路中心から一定距離以遠の画像処理結果をカット

そこで本業務では、エッジ抽出と表 3-2-1 に示す 4 通りの道路領域/道路以外領域の区分手法を組み合わせた、エッジ抽出 + 画像分類、エッジ抽出 + 細密数値情報、エッジ抽出 + 数値地図 2500 及びエッジ抽出 + 国土数値情報について視認性向上効果を検討した。なお、それぞれの組合せすべてについて、幾何補正、二値化処理、細線化処理、ラスタ-ベクター変換を実施した。

(2) 被害箇所抽出手法の改良に関する処理結果と課題

1) 二値化処理、細線化処理、ラスター/ベクター変換の適用による視認性向上効果

解析に用いた被災後画像を図 3-2-1 に、エッジ抽出画像を図 3-2-2 に、二値化画像を図 3-2-3 に、細線化画像を図 3-2-4 に、細線化ベクターデータを図 3-2-5 に示す。なお、解析に用いた被災後画像は過年度同様、50cm 解像度にシミュレートした画像である。

エッジ抽出画像では、道路の縁、白線などが強いエッジとして明るく（白く）表現され、画像の濃淡変化の乏しい舗装部が暗く（黒く）表現されている。その他に、高架橋を横切る弱いエッジがいくつか存在していることがわかる。原画像と対比すると、これらの弱いエッジは床版の継ぎ目、日向と日陰の境界、標識などであり、高架段差（横ずれ）の抽出に対するノイズであると位置づけられる。

二値化画像、細線化画像、細線化ベクターデータを見ると、これらの弱いエッジのうち床版の継ぎ目は完全に除去されており、二値化処理、細線化処理、ラスター/ベクター変換がノイズの除去に有効であることがわかった（図 3-2-6）。



図 3-2-1 解析に用いた被災後画像

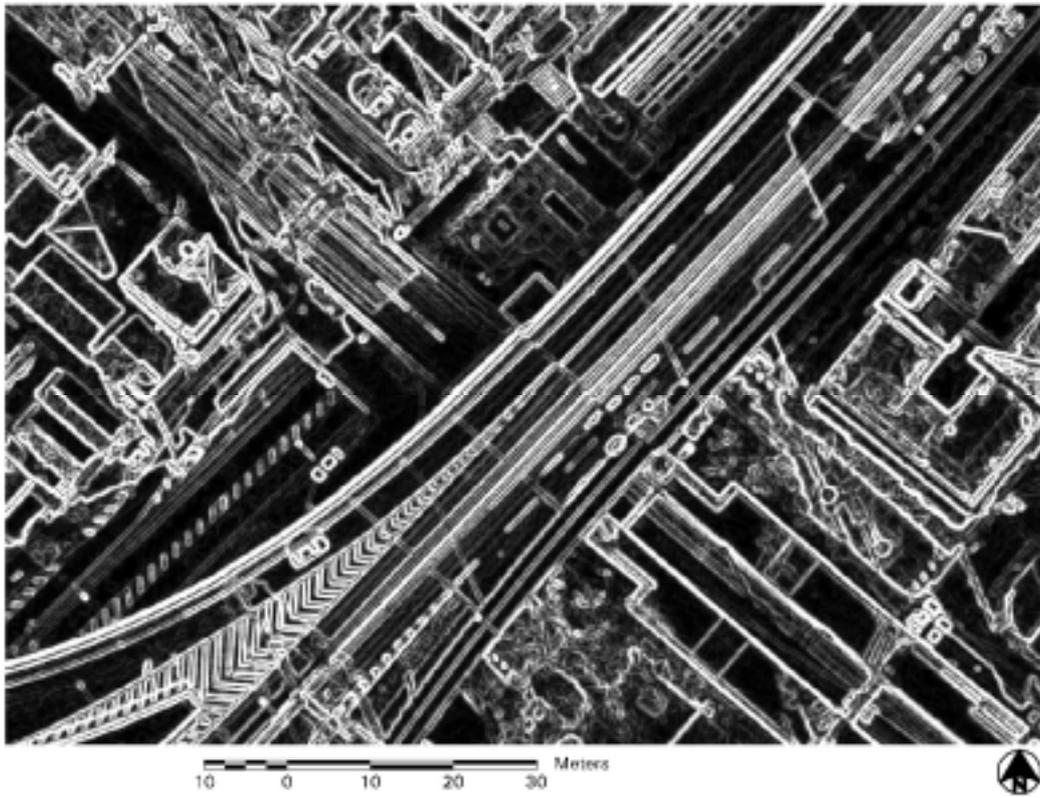


図 3-2-2 高架段差 (横ずれ): エッジ抽出画像

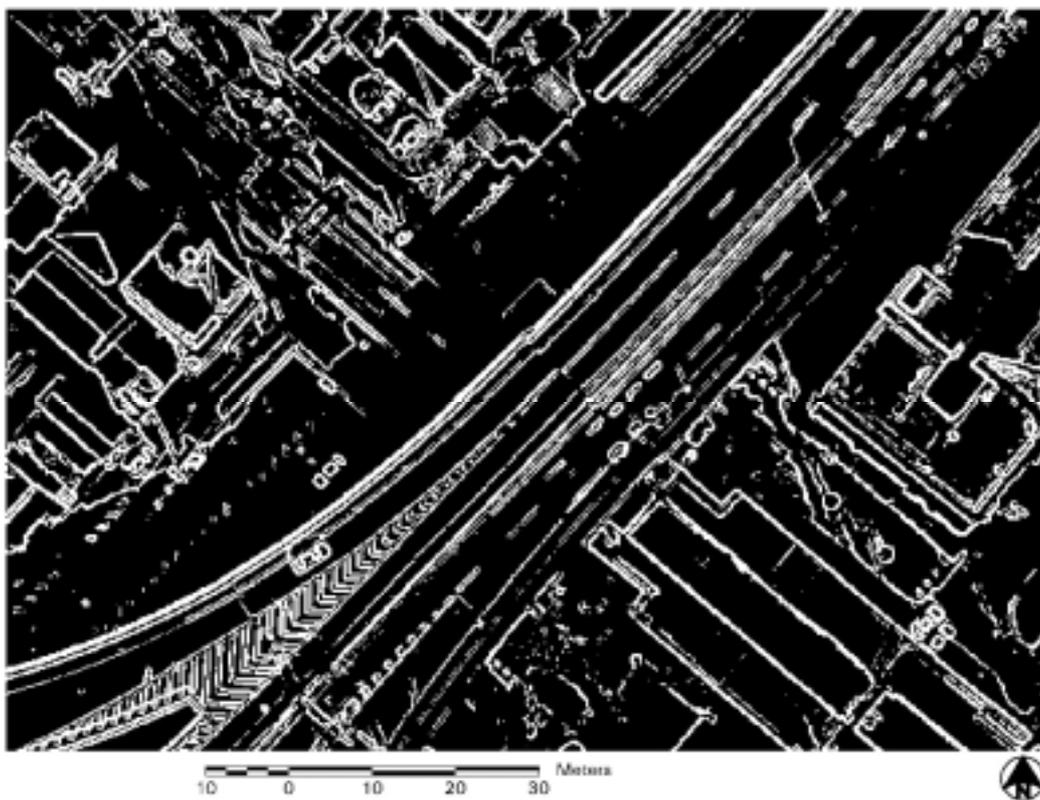


図 3-2-3 高架段差 (横ずれ): 二値化画像

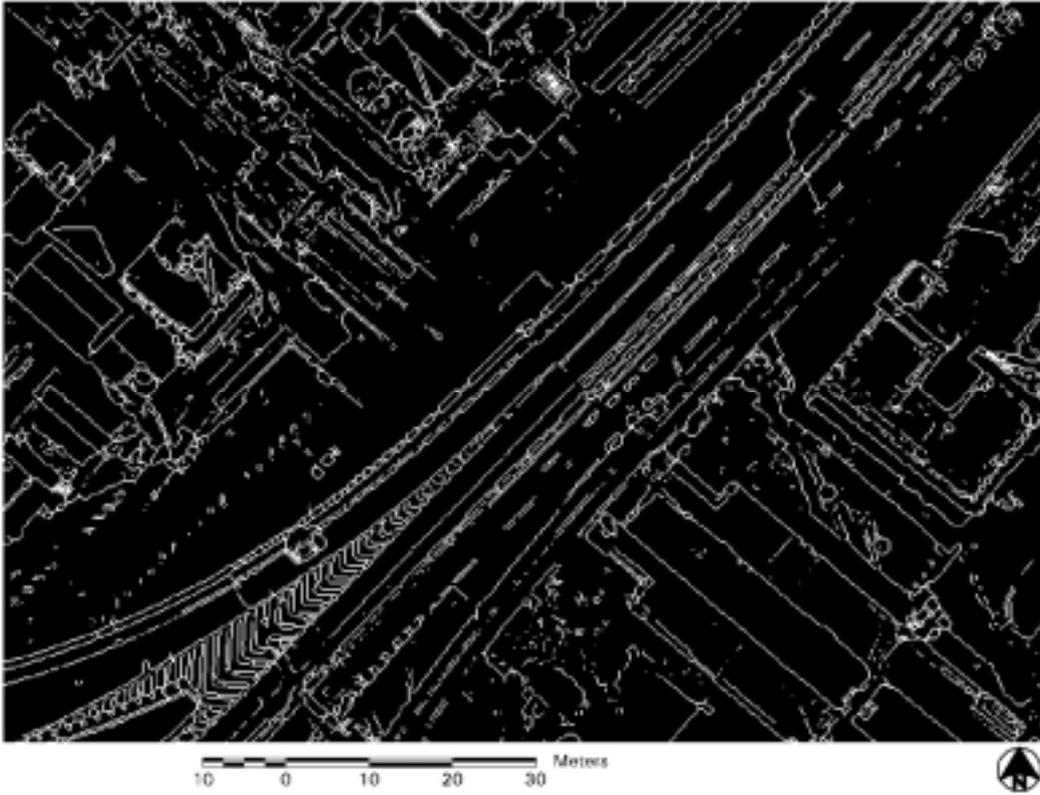


図 3-2-4 高架段差 (横ずれ): 細線化画像

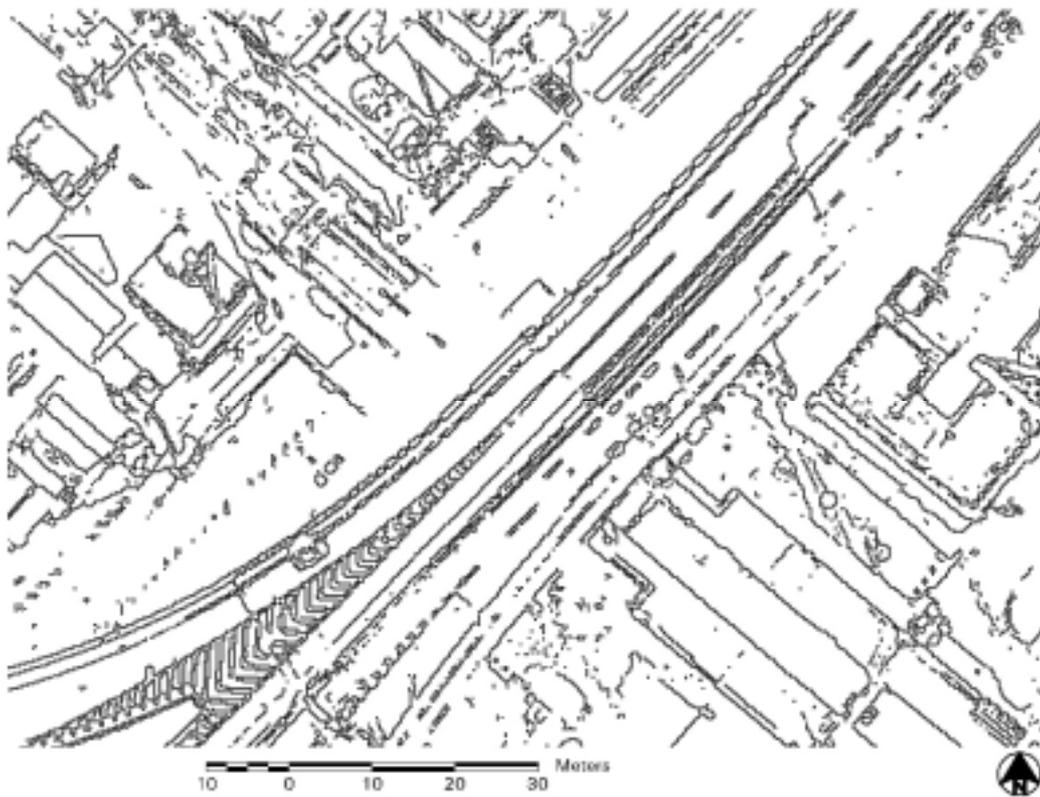


図 3-2-5 高架段差 (横ずれ): 細線化ベクターデータ

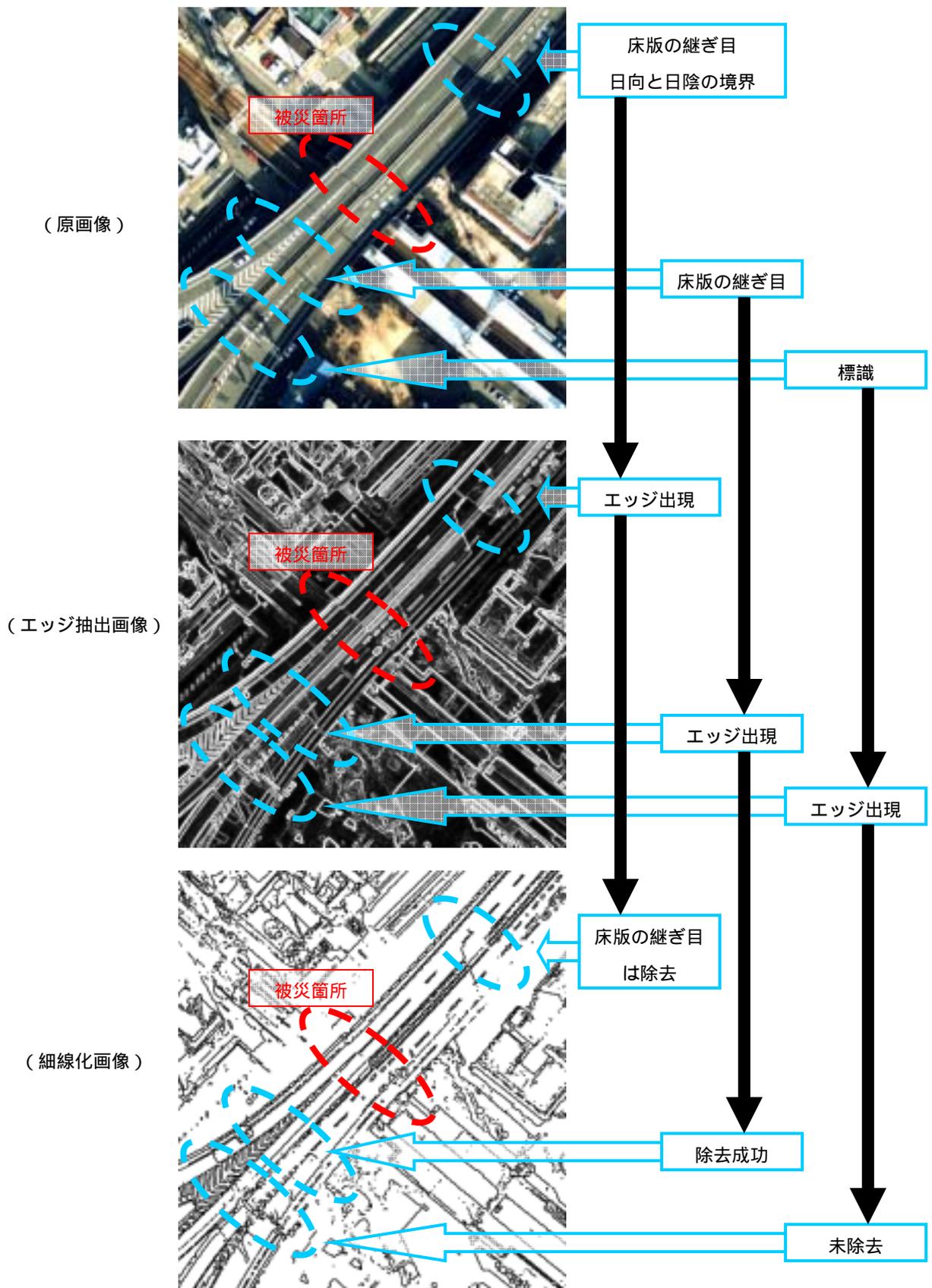


図 3-2-6 二値化、細線化の効果

2) 道路領域/道路以外領域の区分手法の適用による視認性向上効果

検討に先立ち、道路領域/道路以外領域の区分に用いるデータについて概説する。

表 3-2-1 のうち、画像データのみを用いる場合は、画像分類（教師なし分類）によって道路および道路と類似した色調の領域を抽出することで、道路領域と道路以外領域を区分することができる。

地理情報を併用する場合、細密数値情報（10m メッシュ土地利用）データの併用、数値地図 2500（空間データ基盤）の道路データの併用、国土数値情報の道路データの併用の 3 とおりが想定される。

細密数値情報（10m メッシュ土地利用）は、宅地利用動向調査で得られた 10m メッシュの土地利用データである。宅地利用動向調査は三大都市圏（首都圏、中部圏、近畿圏）について行われ、15 項目の土地利用項目（表 3-2-2）に分類されている。この分類項目を道路用地とそれ以外に集約することで、道路領域と道路以外領域を区分することができる。

数値地図 2500（空間データ基盤）は、縮尺 2,500 分の 1 図（一般に都市計画基図と呼ばれている）に表示されている、行政区域・海岸線、道路中心線、鉄道、内水面、建物、基準点等の項目をデジタル化したものである。数値地図 2500（空間データ基盤）のデータ項目は、表 3-2-3 に示す 7 項目であり、このうち道路中心線からバッファを発生させ、一定距離以内と以遠に集約することで、道路と道路以外の領域を区分することができる。

国土数値情報は、国土情報整備事業によって作成されたデジタルデータである。データの作成は、国土庁が発足した昭和 49 年度より開始され、現在でも作成・更新が続けられている。データは、指定区域、沿岸域、自然、土地関連、国土骨格、施設、産業統計、水文の 8 カテゴリーに分けられ、全 42 種のデータが公開されている（表 3-2-4）。このうち、道路データからバッファを発生させ、一定距離以内と以遠に集約することで、道路と道路以外の領域を区分することができる。

表 3-2-2 細密数値情報（10m メッシュ土地利用）のデータ項目

コード	土地利用分類		
	大分類	中分類	小分類
1	山林・農地等	山林・荒地等	
2		農地	田
3			畑・その他の農地
4	造成地	造成中地	
5		空地	
6	宅地	工業用地	
7		住宅地	一般低層住宅地
8			密集低層住宅地
9			中高層住宅地
10		商業・業務用地	
11	公共公益施設用地	道路用地	
12		公園・緑地等	
13		その他の公共公益施設用地	
14	河川・湖沼等		
15	その他		
16	海		
17	対象地域外		

表 3-2-3 数値地図 2500（空間データ基盤）のデータ項目

No	項目	構造	属性
1	行政区域・海岸線 (町丁目 / 大字まで区分)	ベクタ線情報でポリゴンを構成	行政コード、名称
		点情報(位置参照情報)	
2	街区(住居表示の「番」)	ベクタ線情報でポリゴンを構成	街区符号
		点情報(位置参照情報)	
3	道路中心線(ネットワーク)	ベクタ線情報で道路ネットワークを構成	主要なものの名称
4	鉄道、駅	ベクタ線情報、駅については点情報	名称(路線名)
5	内水面、公園等の場地 (都市公園、飛行場等)	ベクタ線情報でポリゴンを構成	名称
6	公共建物	ポリゴン	種別・名称
7	測地基準点(三角点)	点情報	名称

表 3-2-4 国土数値情報のデータ項目

種別	ファイル名	データ形式	資料年度	内容	原資料
指定区域	都市計画区域	座標(面)	S60, H2	5地域・鳥獣保護区(H2は都市計画区域のみ)	都市計画図、自然環境保全全地域位置図、自然公園計画図、土地利用基本計画図、国立公園資料図、鳥獣保護区一覽
	自然公園	座標(面)	S60		
	自然環境保全区域	座標(面)	S60		
	農業地域	座標(面)	S60		
	森林地域	座標(面)	S60		
	鳥獣保護区域	座標(面)	S57		
	指定地域メッシュ	メッシュ(3次メッシュ)	S60		
沿岸域	三大都市圏計画区域	座標(面)	H2	市街地、整備区域、開発区域の位置	都市計画図、三大都市圏計画位置図
	森林・国有地メッシュ	メッシュ(3次メッシュ)	H6	国有地9分類、公有林、公有農牧場	大蔵省国有財産現在額調査、都道府県資料
	リゾート法指定地域	座標(面)	H7	構想名、地区名、面積、指定年月日	都道府県別リゾート法指定区域資料
	潮汐・海洋施設	座標(点)	H2	潮汐・潮流・マリナー・海象観測施設	海図
	港湾	座標(点)	H2	管理者、埠頭延長、フェリー便数、貿易	運輸省資料
	沿岸地域ライン	座標(点、線)、表	S59	漁港・港湾・漁礁・海底施設線・架橋・環境基準類型・鉱区・生活環境項目・航路・漁業権	漁港一覽、漁港連絡図、釣り場案内、都道府県港湾資料、海図
	沿岸海域メッシュ	メッシュ(3次メッシュ)	H2	水深・底質・渦流・藻場・磯釣り場・潮流	海図、水産試験所調査報告
自然	沿岸陸域ライン	座標(線、線)、表	S59	波浪、視程、漁場における魚名	海上保安庁資料
	海岸施設・感潮限界	座標(点)	H2	埋立・干拓区域、海岸線、海水浴台帳、空港、砂利採取場、自然公園区域、国土保全関連情報、低地地形分類、地盤沈下地域等	都道府県資料、建設省資料、営林局資料
	高潮・津波テーブル	表	S49	海岸利用施設・験潮場・感潮限界	都道府県資料、国土地理院資料
	自然地形メッシュ	メッシュ(標高...基準メッシュ及び1/4メッシュ)(谷密度...2倍総合メッシュ)	S56	高潮災害、津波災害	高潮災害記録・津波災害記録(50～100年間)
	気候値メッシュ	メッシュ(3次メッシュ)	S28～S57	埋立・干拓区域、海岸線、海水浴台帳、空港、砂利採取場、自然公園区域、国土保全関連情報、低地地形分類、地盤沈下地域等	国土地理院2万5千分の1地形図
	地価公示	座標(点)	H7～H14	降水量・気温・積雪	気象庁資料、建設省河川局資料
	国土関連	都道府県地価調査	座標(点)	H7～H14	地名、位置、価格、利用状況、用途地域
国土骨格	土地利用メッシュ	メッシュ(1/10細分メッシュ)	S51, S62, H3, H9	地名、位置、価格、利用状況、用途地域	標準価格一覽、基準値位置所在地
	道路	座標(線)	H7	100mメッシュで、田、畑、菜園、森林、建物、水などに分類している。51年は15、62年は12、H3、H9年は14分類	S51, S62は2万5千分の1地形図、H3はLANDSAT画像(一部未整備)、H9は2万5千分の1地形図
	鉄道	座標(線)	H7	位置、管理区分、高速道路、国道、主要地方道	地形図、都道府県資料
	行政区・海岸線	座標(面)	H7～H11	位置、管理区分、駅、全鉄道	地形図、鉄道要覧
	道路密度・道路延長メッシュ	メッシュ(3次メッシュ)	S53	市区町村の境界線、海岸線	地形図、全国市町村要覧
	文化財	座標(点)	S50	メッシュを横切る道路の本数	地形図、道路データ
	施設	公共施設	座標(点)	H2	位置、コード
産業統計	発電所	座標(点)	H7	施設の名称、種別、住所、位置、管理者	都道府県資料、建設省資料、厚生省資料
	商業統計3次メッシュ	メッシュ(3次メッシュ)	S54, S57, S60, S61	位置、種別、出力、発電所名、運転開始日	電源開発要覧
	商業統計4次メッシュ	メッシュ(1/2地域メッシュ)	S54, S57, S60, S61	産業別商店数、従業員数、販売額、売場面積、その後、(S63, H1)と(H3, H4)の2回のデータが通商産業省商業統計課で作成されている。	商業統計調査、事業所統計調査
	工業統計メッシュ	メッシュ(3次メッシュ)	S52, S55, S57	産業別事業所数、従業員数、出荷額、その後、H2のデータが通商産業省工業統計課で作成されている。	工業統計調査
	農業センサスメッシュ	メッシュ(3次メッシュ)	S50, S55	人口、耕地面積、使用機械、家畜頭数	農業センサス
水文	ダム	座標(点)	H7	位置、コード、規模、貯水量、竣工日	ダム総覧
	河川・水系域テーブル	表	H7	河川単位流域台帳・水系域流路延長・水系域人口	河川管内図
	湖沼	座標(面)	S50	短辺100m以上の湖沼の位置、面積	地形図
	湖沼メッシュ	メッシュ(1/10細分メッシュ)	S57	名称、水面標高、最大水深	地形図
	水系域流路延長	座標(点)	S52	河口からの延長距離、河床標高値	河川管内図
	流路延長メッシュ	メッシュ(3次メッシュ)	S52	種類別流路延長	河川管内図
	流域界・非集水域	座標(面)	S52	位置、コード	河川管内図
流域・非集水域メッシュ	メッシュ(1/10細分メッシュ)	S52	水系域コード、単位流域コード	河川管内図	

道路領域と道路以外領域の区分に用いた4とおりのデータを図3-2-7～図3-2-10に示し、処理の流れを表3-2-5に示す。

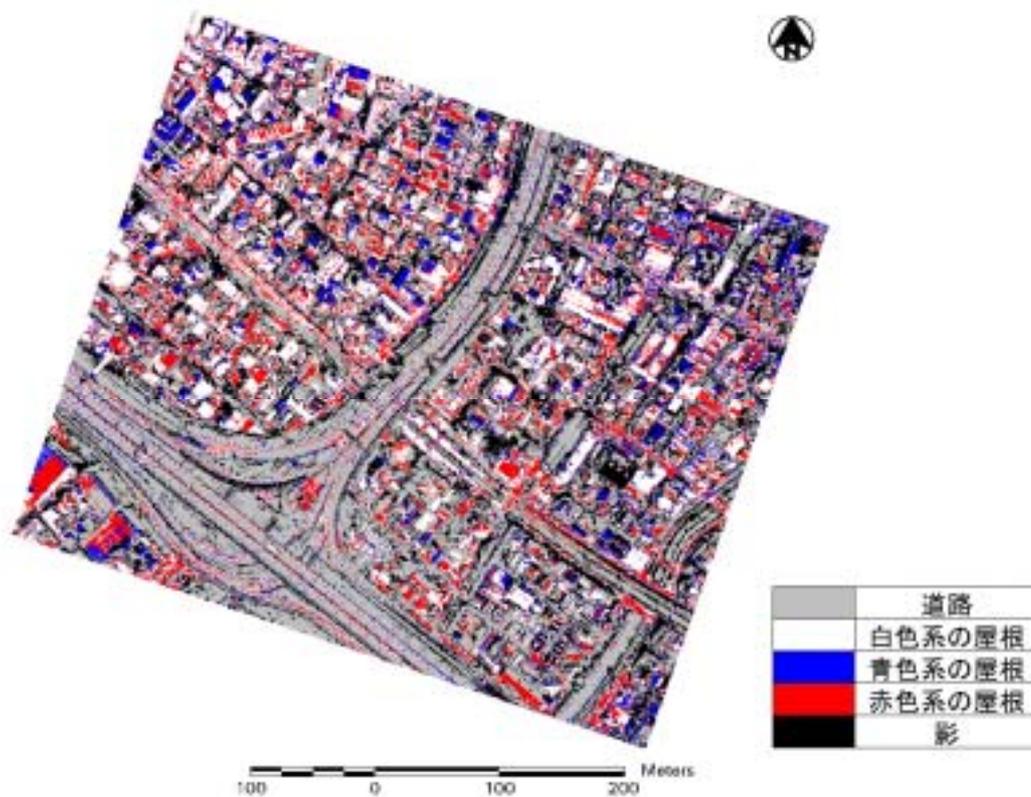


図 3-2-7 道路領域/道路以外領域の区分に用いたデータ（画像分類結果）

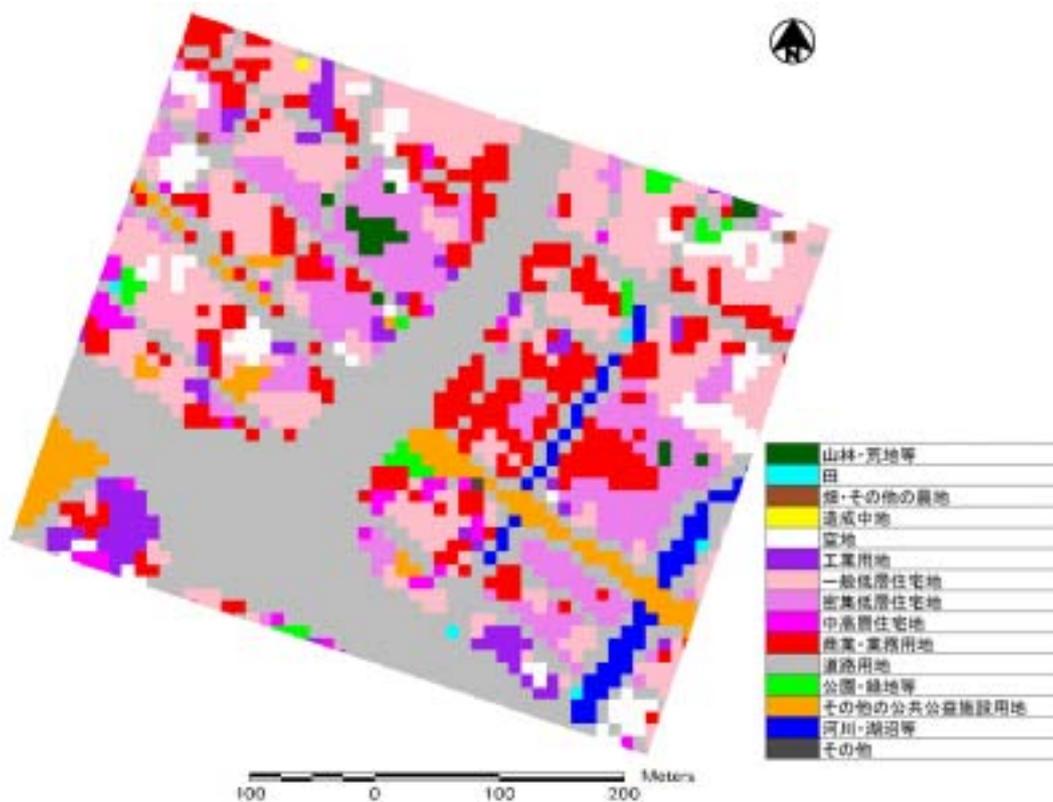


図 3-2-8 道路領域/道路以外領域の区分に用いたデータ（細密数値情報）

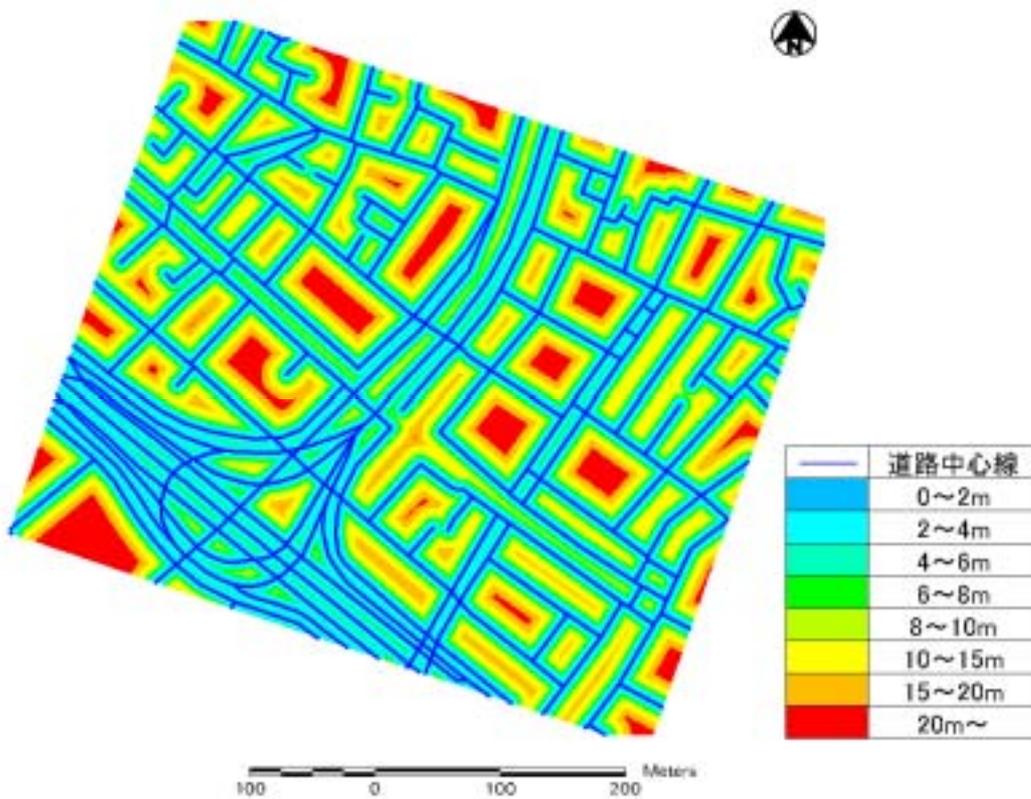


図 3-2-9 道路領域/道路以外領域の区分に用いたデータ（数値地図 2500）

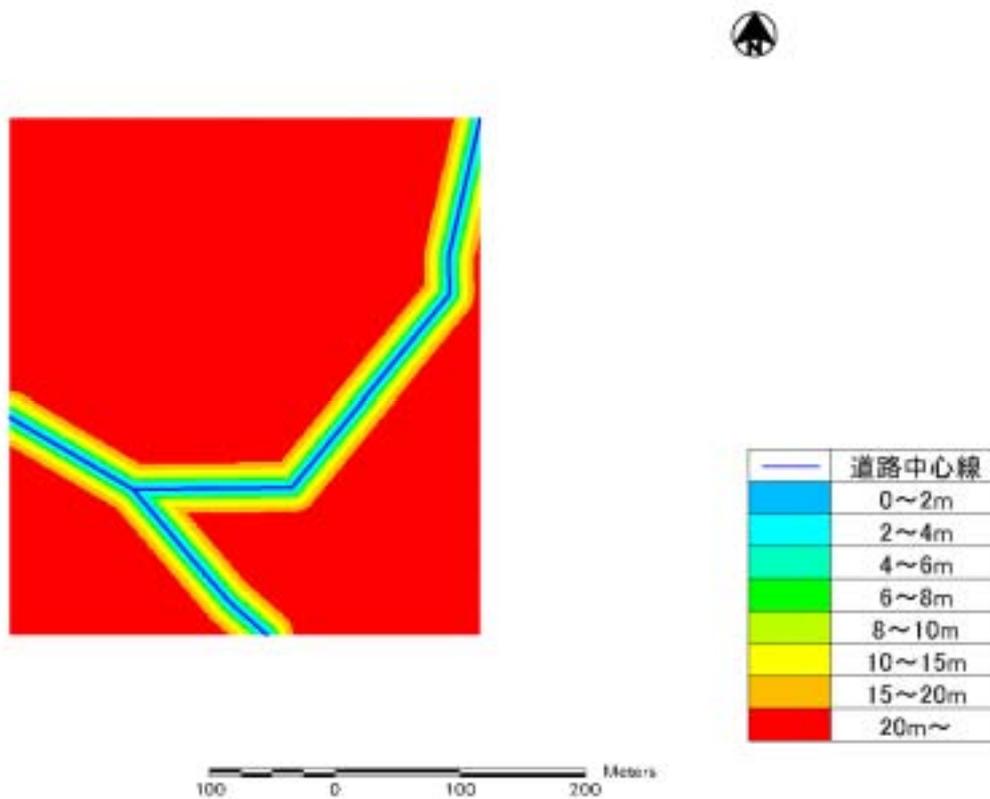


図 3-2-10 道路領域/道路以外領域の区分に用いたデータ（国土数値情報）

表 3-2-5 エッジ抽出と道路領域/道路以外領域区分の併用処理

		エッジ抽出 + 画像分類	エッジ抽出 + 細密数値情報	エッジ抽出 + 数値地図2500	エッジ抽出 + 国土数値情報
被災施設抽出処理の手順		幾何補正			
		エッジ抽出			
		二値化			
		細線化			
		ラスター/ベクター変換			
併用する地理情報	-	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)	国土数値情報(道路)	
道路以外領域のマスク処理の手順		教師なし分類	幾何補正	道路中心線からバッファ発生	道路中心線からバッファ発生
		道路/非道路区分	道路/非道路区分	道路中心からの距離しきい値決定	道路中心からの距離しきい値決定
処理フロー					

表 3-2-5 に示した 4 とおりの処理結果を図 3-2-11 ~ 図 3-2-14 に示す。

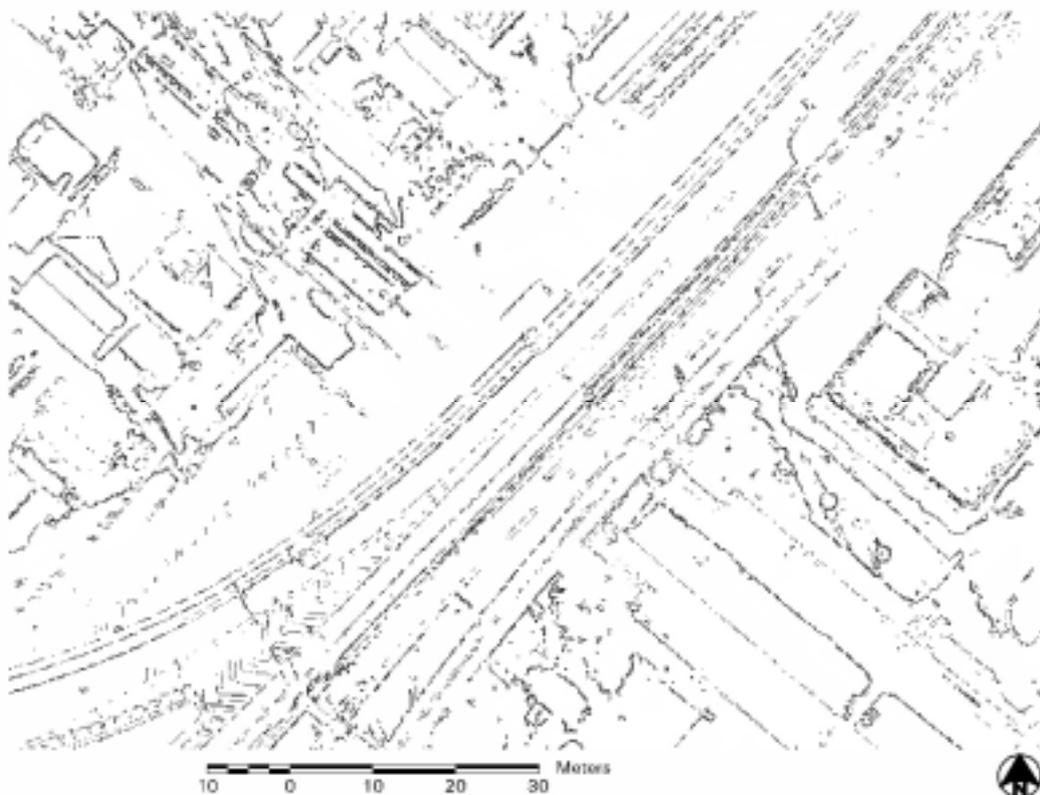


図 3-2-11 エッジ抽出と道路領域/道路以外領域区分の併用処理結果（画像分類結果併用）

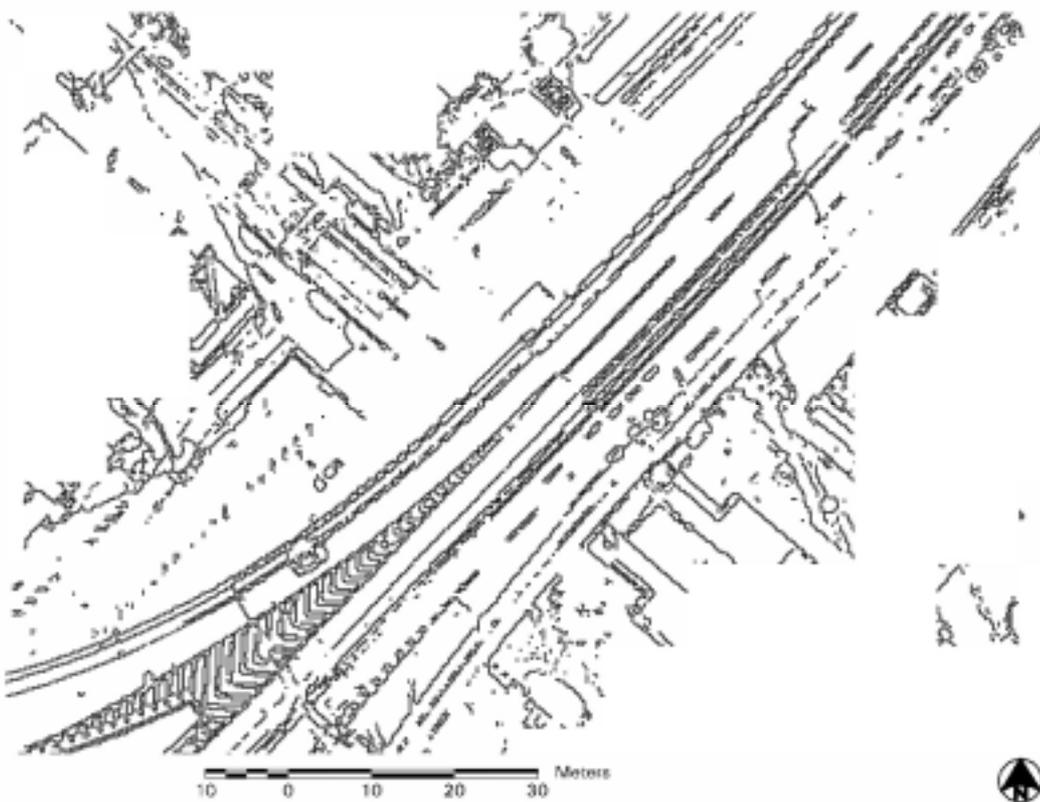


図 3-2-12 エッジ抽出と道路領域/道路以外領域区分の併用処理結果（細密数値情報併用）

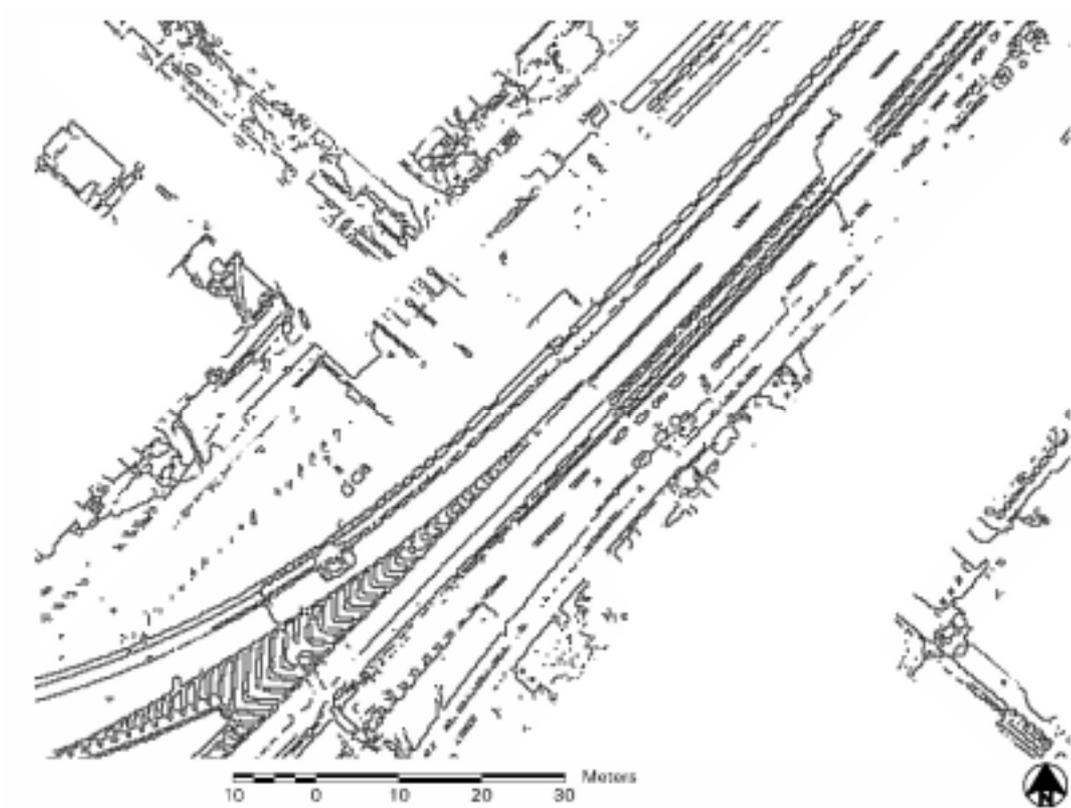


図 3-2-13 エッジ抽出と道路領域/道路以外領域区分の併用処理結果（数値地図 2500 併用）

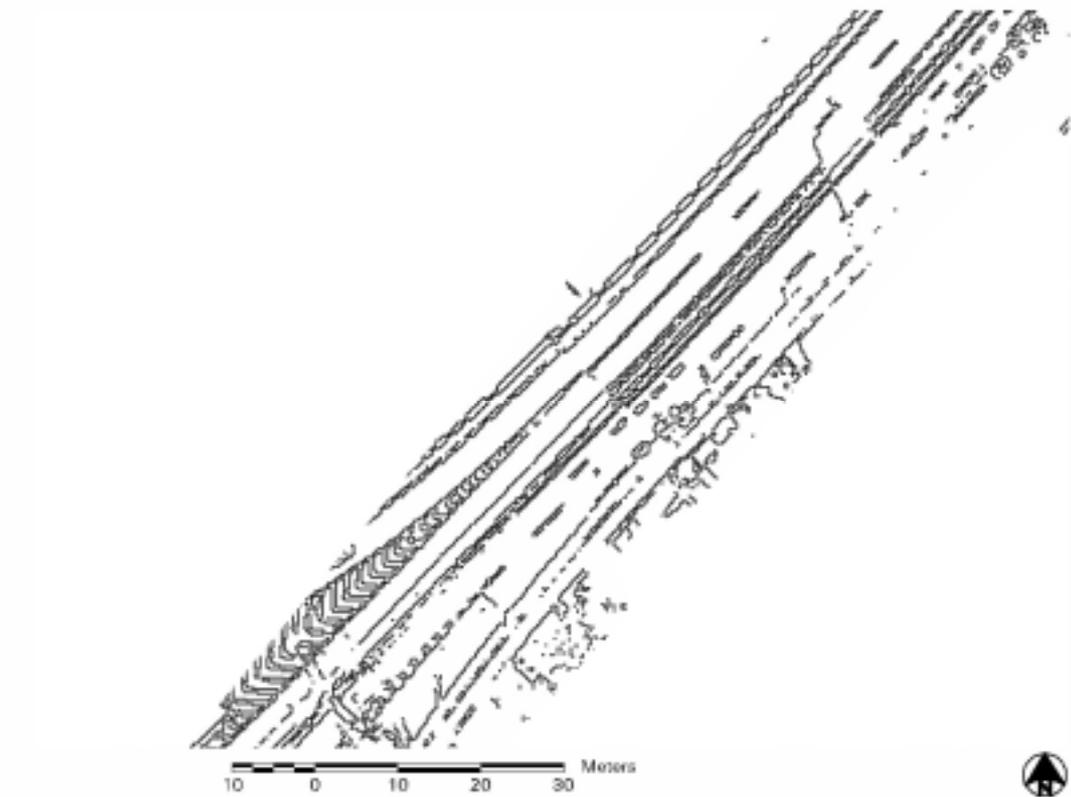


図 3-2-14 エッジ抽出と道路領域/道路以外領域区分の併用処理結果（国土数値情報併用）

エッジ抽出と道路領域/道路以外領域区分の併用処理（図 3-2-11～図 3-2-14）の適用性検討結果を表 3-2-6 に示す。上段は、各処理画像の視認性に関する絶対評価であり、下段は原画像に対して視認性が向上したかどうかを示す相対評価である。

なお、評価にあたっての被験者は、被害箇所が存在を知らない 2 名を採用した。

< 被験者 >

男性、40 歳代後半、写真判読経験あり

女性、30 歳代後半、写真判読経験なし

表 3-2-6 エッジ抽出と道路領域/道路以外領域区分の併用処理の適用性検討結果

情報ニーズ		被験者	従前の画像処理	道路領域/道路以外領域区分に関する処理				
施設	被災形態		エッジ抽出	エッジ抽出 + 画像分類	エッジ抽出 + 細密数値情報	エッジ抽出 + 数値地図2500	エッジ抽出 + 国土数値情報	
橋梁	高架段差 (横ずれ)							
				×			×	
				×				

凡例（上段）

- ：高い精度で被災箇所が視認できる
- △：視認可能だが被災していない箇所も抽出してしまう
- ◇：視認可能だがやや不明瞭
- ×：全く視認できない

凡例（下段）

- ：原画像より視認性が向上した
- △：原画像と同程度
- ×：原画像よりも劣る

評価の根拠と考察は以下のとおりである。

エッジ抽出

- ・ 絶対評価は被験者 、 とも「視認可能だが被災していない箇所も抽出」であり、相対評価は被験者 、 とも「原画像より視認性が向上」であった。
- ・ 絶対的な視認性については、道路上の線状構造物（標識、床版の継ぎ目など）や日向と日陰の境界などを高架段差と誤認することに起因している。
- ・ 原画像との比較については、エッジ抽出によって線構造が強調されるので、原画像よりも高架段差箇所が特定されやすくなっている。

エッジ抽出 + 画像分類

- ・ 絶対評価は被験者 、 とも「視認可能だがやや不明瞭」であり、相対評価は被験者 、 とも「原画像よりも劣る」であった。
- ・ これは、ピクセルベースの分類によって道路と道路以外の領域を区分したため、白線や高欄などアスファルトと異なる道路領域が道路以外の領域に誤分類されること、またアスファルトと類似した色調を示す道路以外の領域が道路領域に誤分類されることにより、線構造が不明瞭になることに起因している。

エッジ抽出 + 細密数値情報

- ・ 絶対評価は被験者 、 とも「視認可能だが被災していない箇所も抽出」であり、相対評価は被験者 、 とも「原画像より視認性が向上」であった。
- ・ 絶対的な視認性については、道路上の線状構造物（標識、床版の継ぎ目など）や日向と日陰の境界などを高架段差と誤認することに起因している。ただし、二値化、細線化によって弱いエッジが除去されたために、エッジ抽出画像のみよりは誤認が少なくなっている（図 3-2-6）。
- ・ 原画像との比較については、エッジ抽出によって線構造が強調されるので、原画像よりも高架段差箇所が特定されやすくなっている。
- ・ 細密数値情報による道路以外領域除去効果については、細密数値情報が 10m メッシュのデータであることもあり、除去しきれない領域も多く残存している。したがって、道路以外の領域での誤認も認められたが、除去前の画像よりは誤認が減少している。

エッジ抽出 + 数値地図 2500

- ・ 絶対評価は被験者 、 とも「視認可能だが被災していない箇所も抽出」であり、相対評価は被験者 、 とも「原画像より視認性が向上」であった。
- ・ 絶対的な視認性については、道路上の線状構造物（標識、床版の継ぎ目など）や日向と日陰の境界などを高架段差と誤認することに起因している。ただし、二値化、細線化によって弱いエッジが除去されたために、エッジ抽出画像のみよりは誤認が少なくなっている（図 3-2-6）。
- ・ 原画像との比較については、エッジ抽出によって線構造が強調されるので、原画像

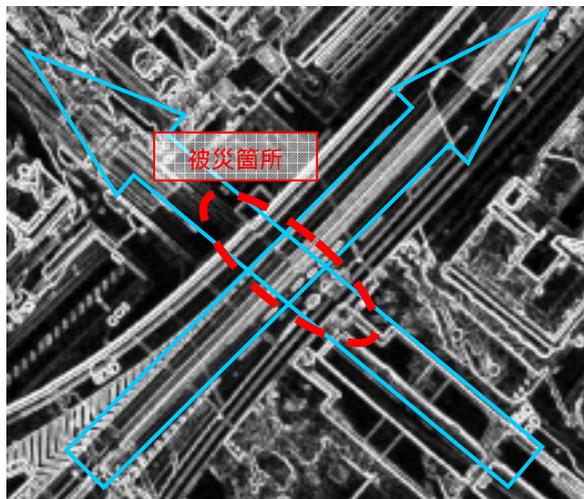
よりも高架段差箇所が特定されやすくなっている。

- ・ 数値地図 2500 による道路以外領域除去効果については、数値地図 2500 が縮尺 2,500 分の 1 レベルの道路情報を網羅していることから、高架橋以外の除去しきれない領域も多く残存している。したがって、道路以外の領域での誤認も認められたが、除去前の画像よりは誤認が減少している。

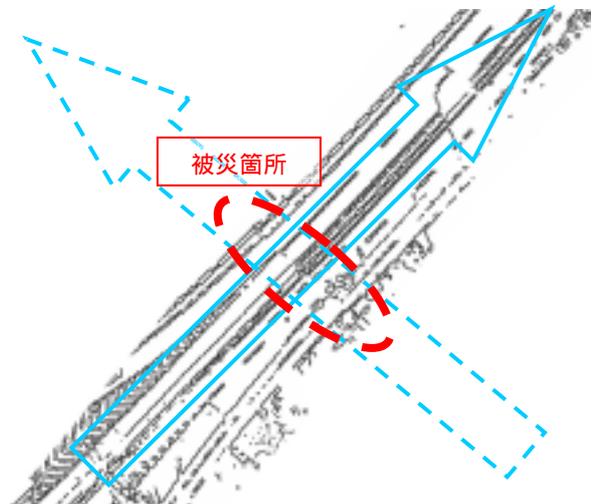
エッジ抽出 + 国土数値情報

- ・ 被験者によって評価が分かれた。
- ・ 被験者 の絶対評価は「視認可能だがやや不明瞭」であり、相対評価は「原画像よりも劣る」であった。
- ・ 写真判読経験が豊富な被験者 は画像全体を見ながら判断するため、道路以外領域をほぼ完全に除去したことにより、却って道路上の線構造と高架段差の関連づけが困難になる傾向にある（図 3-2-15）。
- ・ 被験者 の絶対評価は「高い精度で被災箇所が視認できる」であり、相対評価は「原画像より視認性が向上」であった。
- ・ 写真判読経験の乏しい被験者 は、道路以外領域を可能な限り除去した方が被災箇所を特定しやすい傾向にある（図 3-2-15）。
- ・ 国土数値情報による道路以外領域除去効果については、国土数値情報の道路データが高速道路、国道などの主要道路に限定されていることから、高架橋以外の領域がほとんど除去されている。したがって、道路以外の領域での誤認はほとんど認められなかった。

被験者 の視点



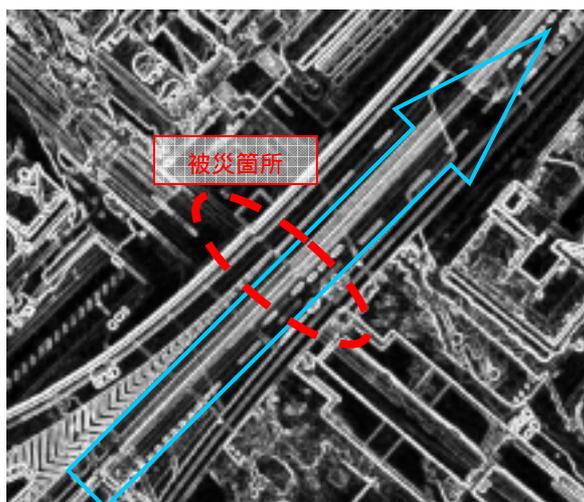
(エッジ抽出)



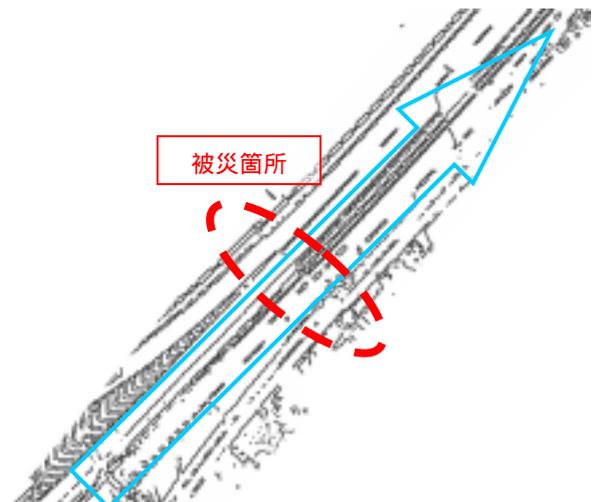
(エッジ抽出 + 国土数値情報)

被験者 は、画像全体のバランス、整合性を重視して判読する。今回のケースでは、北東～南西へ延びる道路と、それに直交し北西～南東へ延びる鉄道が判読キーとなる。被験者 は、両者の重なり具合から道路の方が高架であることを認識し、道路縁が歪んでいるのに対し鉄道は歪んでいないことから被災箇所を認識している。したがって、道路以外領域が完全に除去された画像では北西～南西に延びる鉄道が判読できず、被災箇所の認識が困難になっている。

被験者 の視点



(エッジ抽出)



(エッジ抽出 + 国土数値情報)

被験者 は、画像中の道路縁を重点的に判読する。今回のケースでは、北東～南西へ延びる道路のみが判読キーであるため、道路以外領域が完全に除去された画像の方が目移りせず視認性が高い。

図 3-2-15 被験者による視点の違い

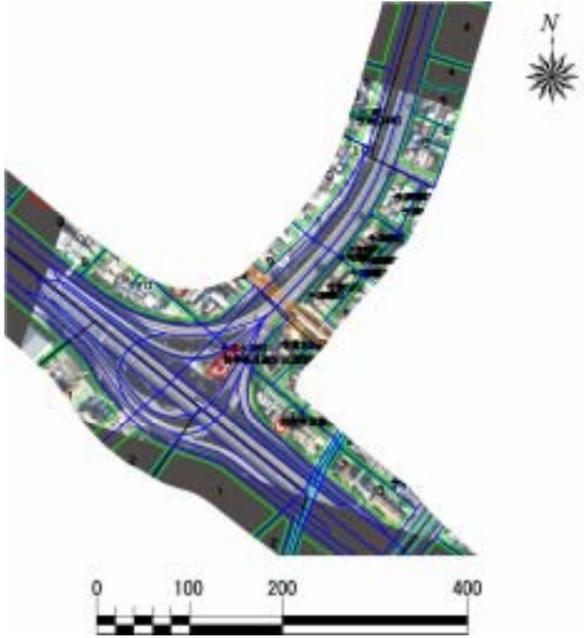
4 . 目視判読支援手法の検討

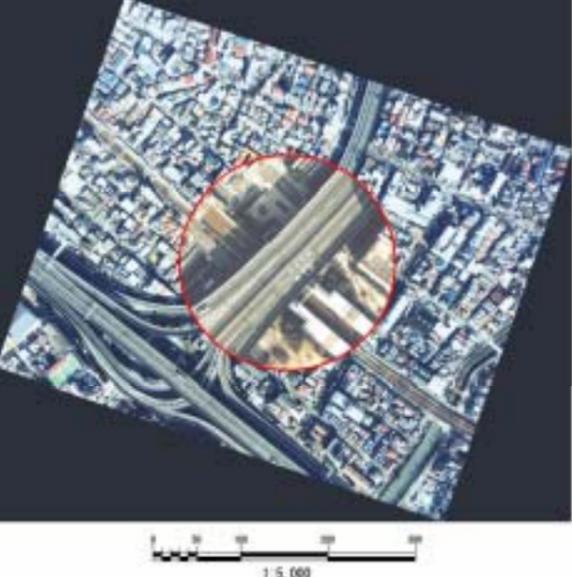
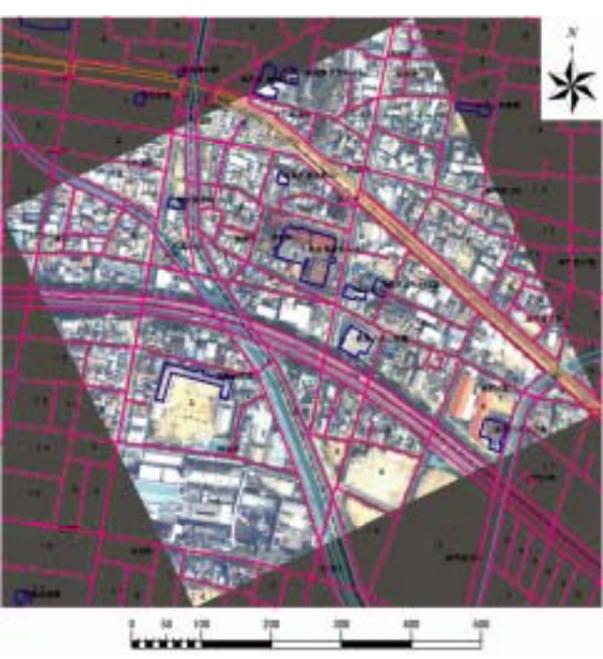
画像処理手法を適用し被害箇所を正確に抽出する上では課題がある。そこで、目視で画像を判読し被害箇所を抽出する作業を支援する機能を開発することとした。目視判読支援機能は、ユーザが被災地を撮影した画像データから被災地を特定する作業を支援するための機能である。目視判読を支援するという性質上、被災画像を加工することはせず、データを付加することや部分的に隠蔽するなどの表示を行ってユーザの作業負担を軽減し、なおかつ速やかに被災地を特定することができるようにする機能が必要になると考えられる。

目視判読支援の具体的な手法とその概要・特徴を表 4-1 に示す。

なお、利用した機能は、GIS ソフトウェアが一般的に装備しているマスク、ハッチ、虫眼鏡及びオーバーレイ機能である。

表 4-1 使用した画像データ

付加機能	説明	イメージ	長所	短所
マスク機能	道路などの項目から距離を指定してバッファを発生させ、その外側を非表示にする機能。		<ul style="list-style-type: none"> 必要な部分のみを表示することで、目視による探索範囲を限定することができる。 描画する要素が少なくなるので、再描画を高速に行なうことができ、ソフトウェアの動作が高速になる。 	<ul style="list-style-type: none"> バッファの範囲が狭いと、周辺の情報がないため場所の特定が難しくなる。 道路沿線のみを表示しているため、抽出される被災形態が限定される。 被災箇所が広範囲に及ぶ場合は、被災箇所全体を表示できない。
ハッチ機能	マスク機能のように指定範囲の外側を網掛け（ハッチ）する機能。		<ul style="list-style-type: none"> 指定範囲の外側を隠蔽するわけではないので、目安として重点箇所を指定するのに向いている。 	<ul style="list-style-type: none"> 指定範囲外のデータも描画対象なので、再描画が高速になるわけではない。

<p>虫眼鏡機能</p>	<p>画像上の一部を拡大する機能。</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・ 広域図と拡大図の両方を表示していることになるので、探索箇所の特定制と判読の両方を、画面を切り替えることなく行なうことができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 拡大画像を注視して探索していると、被災箇所の見落としが起きやすい。
<p>オーバーレイ機能</p>	<p>数値地図 2,500 空間基盤データ</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・ 道路、街区などの情報が詳細に記録されている。 ・ 行政界、行政名、地番がテキストで表記されているので、場所の特定がしやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 広範囲を対象とした場合、データ量が多いためソフトウェアの動作が遅くなる。 ・ 道路情報の表現に面表現と線表現が混在しているので、ユーザが混乱する恐れがある。

	<p>道路管理情報 (道路 GIS データ等)</p> <p>*) ここではシミュレート画像を示す。</p>		<ul style="list-style-type: none"> • 道路に関する詳細情報が記載されている。 • 道路面がポリゴンで表現されているので、路肩部分の形状の異常を検出することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> • 道路以外の箇所は情報がまったくない。 • 項目が非常に詳細なので、すべての項目を表示すると画像の道路面が見えなくなってしまう。
--	---	--	--	--

5 . 高解像度人工衛星画像を利用した被害把握の現場適用性

5 . 1 新潟県中越地震での撮影実績

新潟県中越地震は平成 16 年 10 月 23 日土曜日午後 5 時 56 分に発生した。新潟地方の日没が午後 4 時 56 分であるためすでに周囲は暗く、目視あるいは映像による地震発生直後の情報収集は難しい状況にあったと見られる。とくに山間部での状況把握は道路や通信網も寸断され、情報の入手には困難であった。被災直後からは防災ヘリによる被害状況の把握は始まっているが、実際には上空からの被災状況の映像による確認は翌朝になってからであった。上空からの航空機や衛星による撮影は、地震発生が夜間であったことを除けば天候面では早朝から好天に恵まれたことのほか、撮影までの準備時間、衛星軌道条件等で以下のような点で、ほぼ最良の条件で行うことができたと考えられる。

- ・ 航空機での撮影計画には前夜からの時間的な余裕があったこと、
- ・ 撮影地域への移動時間が東京から 1 時間余りの近距離であったこと、
- ・ 衛星からの観測は、天候条件のほか衛星軌道とその通過時刻のタイミングが問題になるが、高解像度人工衛星が日本上空を地震発生の翌日（24 日 11 時頃）通過する軌道上にあったため、姿勢制御することで新潟地方の撮影を行うことができたこと

さらに、その後 10 月 29 日にも天候が良く再度高解像度人工衛星による観測が行われた。中解像度人工衛星 Landsat の観測も 25 日に行われている。

5 . 2 人工衛星運用機関の対応

地震後に各機関とも緊急対応による指示が出され画像データの取得が行われている。これら画像データの取得・販売を行った機関は表 5-2-1 のとおりである。

このうち、特に日本スペースイメージング社の場合について概略の対応を表 5-2-2 に示した。事例では IKONOS 衛星の撮影対応について公開されたものである。地震発生以後からデータ配信までのタイムラインの概略を図 5-2-1 に示した。図に示される通り、地震発生から 17 時間で撮影が開始され、撮影後画像の配布までに 3 時間余りと、24 時間以内で被災地の詳細な広域画像の配布が可能であることが示された。早期の画像配布であったため初期の被害箇所総覧の把握やその後の復旧に役立っている。

その後の観測は 10 月 29 日と 11 月 23 日にも行っており、山間地域における河川閉塞に伴う天然ダムの状況変化を見るうえで有効な情報となっている。さらに融雪期の山地崩壊斜面や地すべり地域の監視など長期的な観測にも有効であるとみられている。

表 5-2-1 空中撮影の撮影および販売機関

(1)	日本スペースイメージング(株) 地震直後にIKONOS衛星による被災地域の撮影実施を決定、衛星が10月24日に関西上空軌道を通ることから、日本での直接タスキングのメリットを生かし衛星を約60°傾け撮影(11時4分)した。6日後の29日、1ヶ月後の11月23日にも同様に撮影を行った。 (http://www.spaceimaging.co.jp/news/tyuetsu.html)
(2)	日立ソフト(株) QuickBird衛星も24日に衛星を姿勢制御し観測を実施した。 (http://pixterra.net/niigata.html)
(3)	(財)資源・環境観測解析センター(ERSDAC) 地震直後のASTERIによる新潟県中越地域の観測はなく、11月1日に最初の画像が取得されている。その後11月10日にも同地域の観測が行われている。 (http://www.ersdac.or.jp/todayData/05.9/pict.i.html)
(4)	(財)リモート・センシング技術センター(RESTEC) 10月25日にLandsat7が関東上空を軌道通過しており、この時観測された画像の販売を行っている。現在SLC-off*モードでの観測が行われており観測帯間に未観測エリアが生じている。この25日の画像では雲量が多く中越地方は雲に覆われている。その後の観測は11月10日に行われている。その他SPOT、RADARSAT、ENVISATなどで観測された地震後の衛星データの提供・販売も行っている。RADARSATは24日、27日に観測が行われている。 (http://www.restec.or.jp/jpn/jishin/nigata/niigatatop_1.html)
(5)	広島工業大学 Landsatやヨーロッパ宇宙機構(ESA)が運営するENVISAT衛星のデータを受信処理することが可能であり実用面での対応を目指している。ENVISAT衛星はASAR(高性能合成開口レーダ)を搭載しているため、雲のある場合や夜間の観測も可能である。地震後は10月26日に観測している。 (http://www.heeic.jp/search.html)

** SLC-off (Scan Line Corrector)

2003年5月に発生したSLCシステムの一部故障に伴い、画像の一部に欠落部(Gap)が生じている。このため故障後のデータ提供(SLC-offプロダクト)以外に故障前のデータと合成した画像の提供も行われている。

表 5-2-2 日本スペースイメージング(株)社の対応(概略)

日時	対応内容
2004/10/23	17:56 新潟県中越地震の発生
	20:00 内閣府との連絡、協議
	20:30 内閣府からの撮影要求
2004/10/24	7:00 内閣府より撮影範囲の指示
	11:04 IKONOS衛星の観測開始
	12:00 観測の成功を政府関係機関に発表
	14:00 内閣府に1m解像度の画像と地震前の画像を配布
	17:00 「災害状況報告書」の配布
2004/10/25	IKONOS画像をベースにした「災害状況図 速報版」の配布

出典：アジア地域における人工衛星技術の災害利用に係るワークショップ

日本スペースイメージング(株)講演資料

— 新潟県中越地震の事例 —

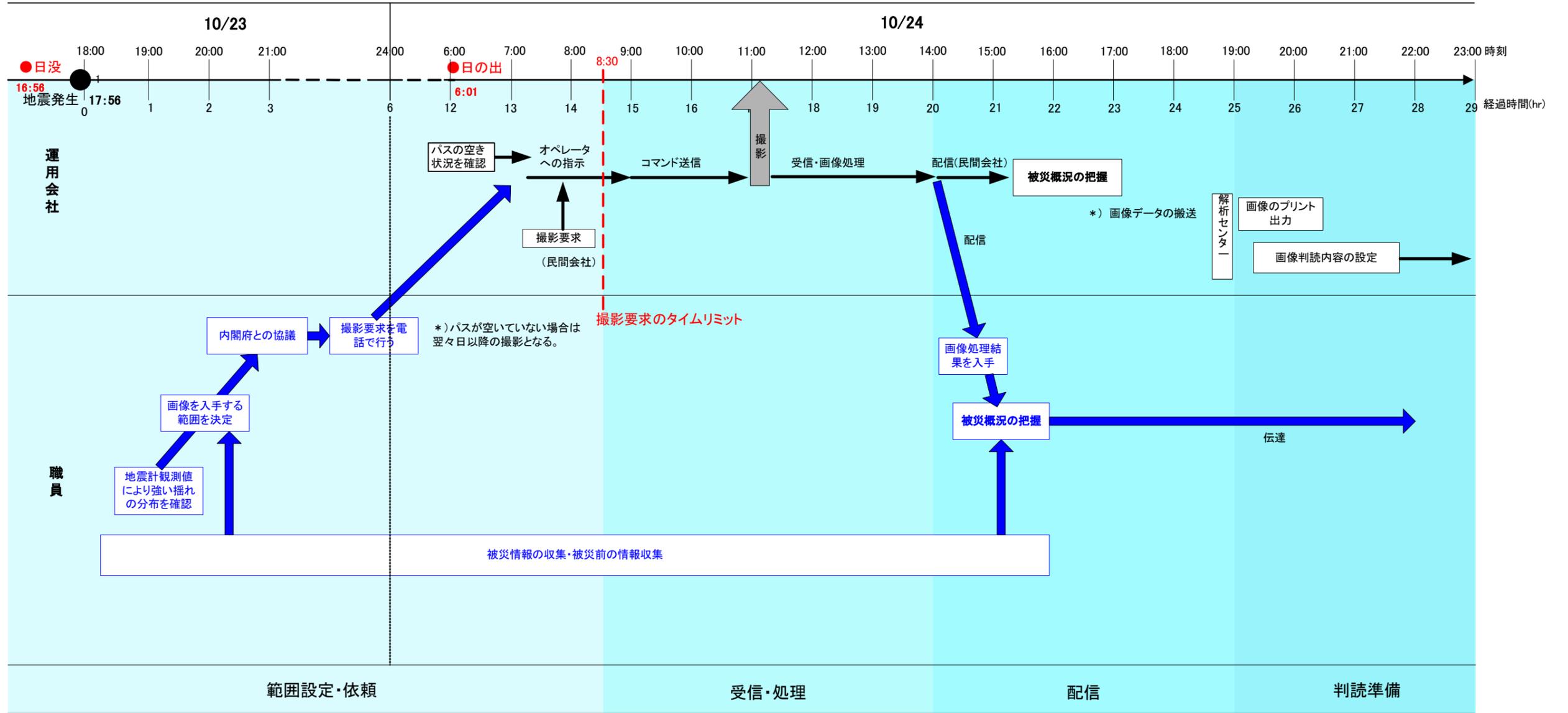


図 5-2-1 IKONOS 衛星画像取得までの流れ

5.3 航空機運用機関の対応

発災後に航空機による空中写真の撮影および販売を行っているのは、表 5-3-1 に示す機関である。多くは自主的対応により早期から撮影の準備がとられ、午前中から撮影が開始されている。撮影された写真の多くは Web 上で公開されている。

表 5-3-1 空中撮影の撮影および販売機関

(1)	(財)日本地図センター 国土地理院が10月24日、28日に撮影した縮尺約1万分の1の空中写真1,279枚の販売を行っている。また国土地理院のWebサイトにて一部画像を公開している。 (http://www.jmc.or.jp/photo/niigata.html)
(2)	国際航業(株) 地震発生直後より被災情報の収集を始め、自主撮影のための実施体制を構築している。翌日から広範囲にわたり被災地の航空写真撮影(垂直521枚:約240km ²)を実施した。航空写真撮影についてはホームページに一部公開している。28日、29日にも撮影が実施されている。 (http://www.kkc.co.jp/social/disaster/200410_niigata_eq/index.html)
(3)	(株)パスコ 夕方の地震発生以後、各種報道機関および新潟県庁等において被害状況を収集し、翌日早朝より甚大な被害が伝えられた山古志村を中心に空中写真撮影(垂直106枚)を実施した。ホームページにて斜め写真等の撮影成果を公開。28日、29日にも撮影を実施している。 (http://www.pasco.co.jp/corporate/disaster/info_04102501.html)
(4)	アジア航測(株) 災害実態の把握および防災対策検討のために、10月24日に緊急撮影(垂直489枚、DMC 684枚)、28日には航空レーザ計測(画像517枚)を実施している。 (http://www.ajiko.co.jp/bousai/tyuetsu/tyuetsu.htm)
(5)	中日本航空(株) 地震発生直後から翌日の撮影・計測飛行実施体制を整えた。翌朝、名古屋空港より2機の航空機を離陸させ、航空レーザ計測および垂直デジタルカメラ撮影、垂直・斜め写真撮影を実施している。 (http://www.nnk.co.jp/disaster/d041023.html)
(6)	朝日航洋(株) 被害の状況を把握するため、10月24日(日曜)10時から13時ごろにかけて、ヘリコプターからの斜め写真撮影を実施している。 (http://www.aeroasahi.co.jp/topics/spa_041025/spa_041025.html)
(7)	(株)ナカノアイシステム 10月28,29日および11月8日に空中写真撮影を実施している。 (http://dns1.nais21.co.jp/jisin_4.htm)
(8)	(株)オリス 災害の状況を把握し、今後の災害復旧及び防災対策のために、10月24日に航空写真撮影(斜め・垂直)を実施している。 (http://www.oris.co.jp/jishin2004/h16jisin_top.htm)

次に災害直後の航空機による撮影から画像を含む情報配信までの対応をある航測会社を事例に具体的に表 5-3-2 及び図 5-3-1 に示す。

表 5-3-2 撮影から情報配信までの対応

日 時		対 応 内 容
2004/10/23	20:00頃	翌日空中写真撮影を行う方向で進められる。マスコミの情報や公共機関から被災地の情報を得る。24日朝に撮影が可能になった時点で、関連部署に動員を要請、25日(月)の朝から判読可能な体制を取った。
	深夜	震源に関する情報から、航空写真の撮影範囲を2地域(液化化などが予想される平野部および震源域周辺の山地部)を決定する。(国土地理院の24日撮影範囲は小千谷市内(都市、道路、鉄道が中心)でIKONOS画像では西側に寄った範囲であった)
2004/10/24	7:00頃	空中写真撮影は早朝から進められ、9時には東京(調布飛行場)を離陸し現地に向かった。現地への移動には1時間余を要した。撮影は斜め写真撮影と垂直撮影を実施した。
	15時頃	空中写真の撮影を終え調布飛行場に引き返す。
	16時頃 夕方～	空港へ戻り急ぎフィルムを現像所に搬送する。 撮影フィルムの現像処理および写真出力を行う。
2004/10/25	朝	空中写真の判読を行う部署に配布する。
	午後～	空中写真判読を行う。約170枚の判読に10人体制で6時間程度を要した。
	深夜～	完成した判読図をデジタル化した。
2004/10/26	朝～	プロッター出力し、「災害状況図 速報版」として都内各官庁へ配布。
	夜	「災害状況図 速報版」を新潟県各機関へ配布した。
2004/10/28		Web上に「災害状況図」を公開した。

概ね民間の航空写真撮影の機関は同様な撮影対応をしており、撮影日も天候に左右されたため同じ日に集中した。

新潟県中越地震の事例

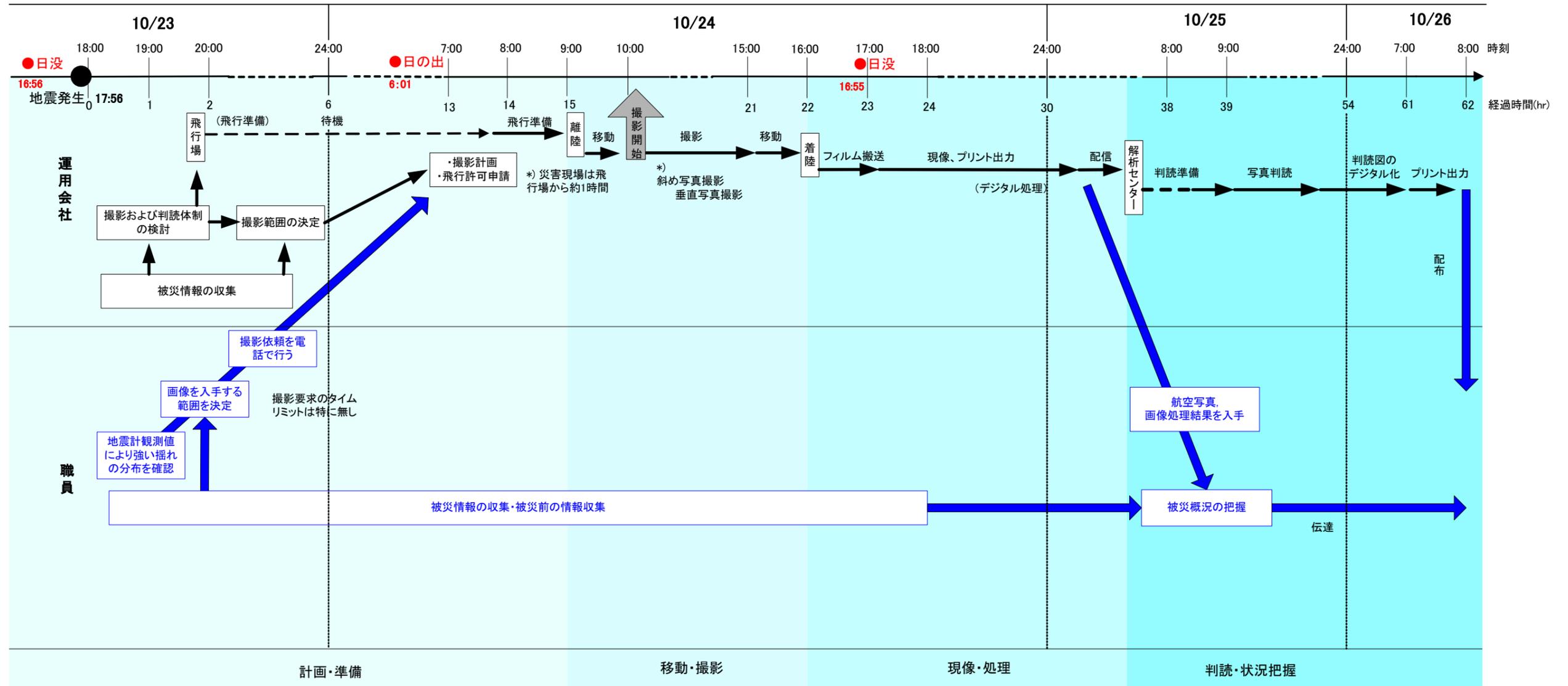


図 5-3-1 航空機による空中写真取得から判読図作成までの流れ

5.4 衛星画像利用手順の整理

高解像度人工衛星により取得した画像により被害把握をするまでの全体の流れを整理する。まず、衛星データ取得・処理段階は人工衛星運用機関が担当している。この処理段階を経て利用者にプロダクトが提供される。このプロダクトを利用し、目視や画像処理手法を適用し被害箇所の把握が行われる。画像処理手法の実施は、民間機関が実施する場合と国土交通省内で実施する場合の2つが想定される。ここでは画像データ入手後の処理対応手順で異なる国交省内機関と民間機関の対応に分けて整理した。なお、人工衛星運用機関から配信されるデータは、専用のビューワーで簡易的に閲覧可能である。

(1) 国土交通省内機関での画像処理

図 5-4-1 に発生後の撮影から各事務所に画像処理・解析結果、集約情報が配信されるまでの流れを示した。衛星運用機関で処理されたデータが省内に配信され、閲覧・解析ソフトによる画像解析が行われる。配信にはオンラインによる入手が望ましいが、ネットワークの寸断を考慮して CD や HD などのメディア媒体による配送やプリント出力画像などでの入手も準備しておく。入手画像データは省内で大判サイズのプリント、目視判読支援システムにより地震発生地域の総覧を行う。その一方で画像処理ソフトにより被害箇所抽出の検討および抽出処理を行う。総合的な判断のもと被災状況の広域把握を行い災害対応の判断資料とする。省内で行う処理であるため緊密な指示や連絡が取りやすいことや迅速な対応が取れるメリットはあるものの、専門的な画像処理のための解析要員を常に必要とする課題も残る。

(2) 民間機関の利用

図 5-4-2 に発災後、画像処理による災害抽出処理を民間機関に委託した場合の対応手順を示す。民間機関への委託の場合は、今回の新潟県中越地震がこの対応事例に概ね相当している。地震の発生時刻や天候条件などで対応時間に差異はあるものの、対応手順が大きく異なることはないと考えられる。

衛星運用機関から配信された画像データは、省内と同時に画像処理民間機関へ配信される。省内では目視判読支援手法(4章参照)により、被災箇所の把握を行う。民間機関へ別途配信されたデータは、対象範囲、判読項目および判読規模、判読の優先順位など、決定された処理手順に従い被災箇所の抽出が行われる。

画像データには位置が特定できるような情報(ランドマーク等)を付加しておく必要がある。その後直ちに省内で閲覧可能なデータあるいはプリント出力画像として配信される。

民間の画像処理専門機関であることから被災箇所の抽出精度は高いといえる。省内との情報のやり取りや画像フォーマットなどの事前の取り決めが確立されているか、画像の高速配信が可能であるかなどがポイントとなる。

いずれも初動期の被害把握であるため、被害箇所の特定を容易に行える支援システムやデータとして機能させることが重要である。

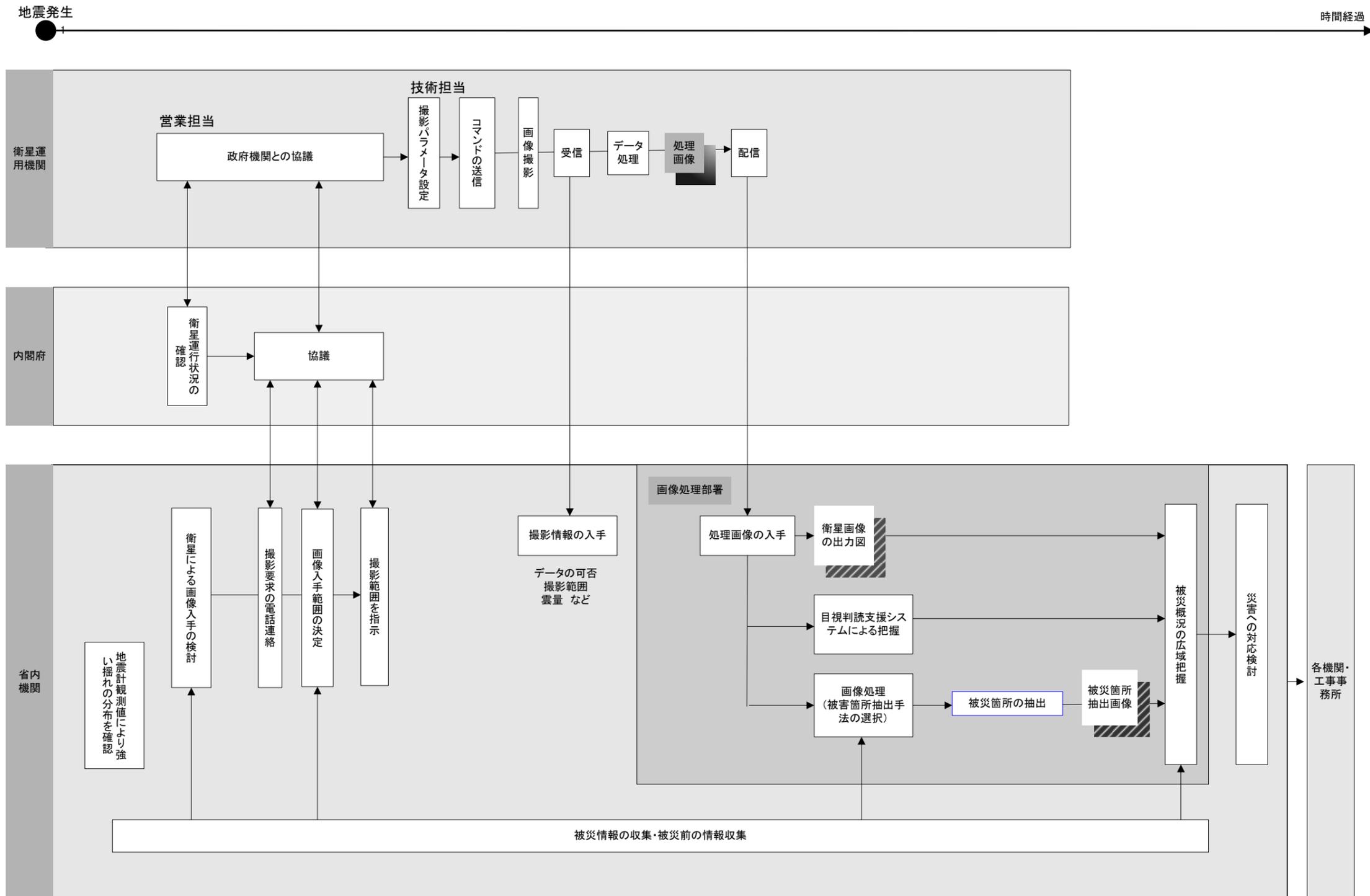


図 5-4-1 衛星画像利用手順の流れ (省内で画像処理を行う場合)

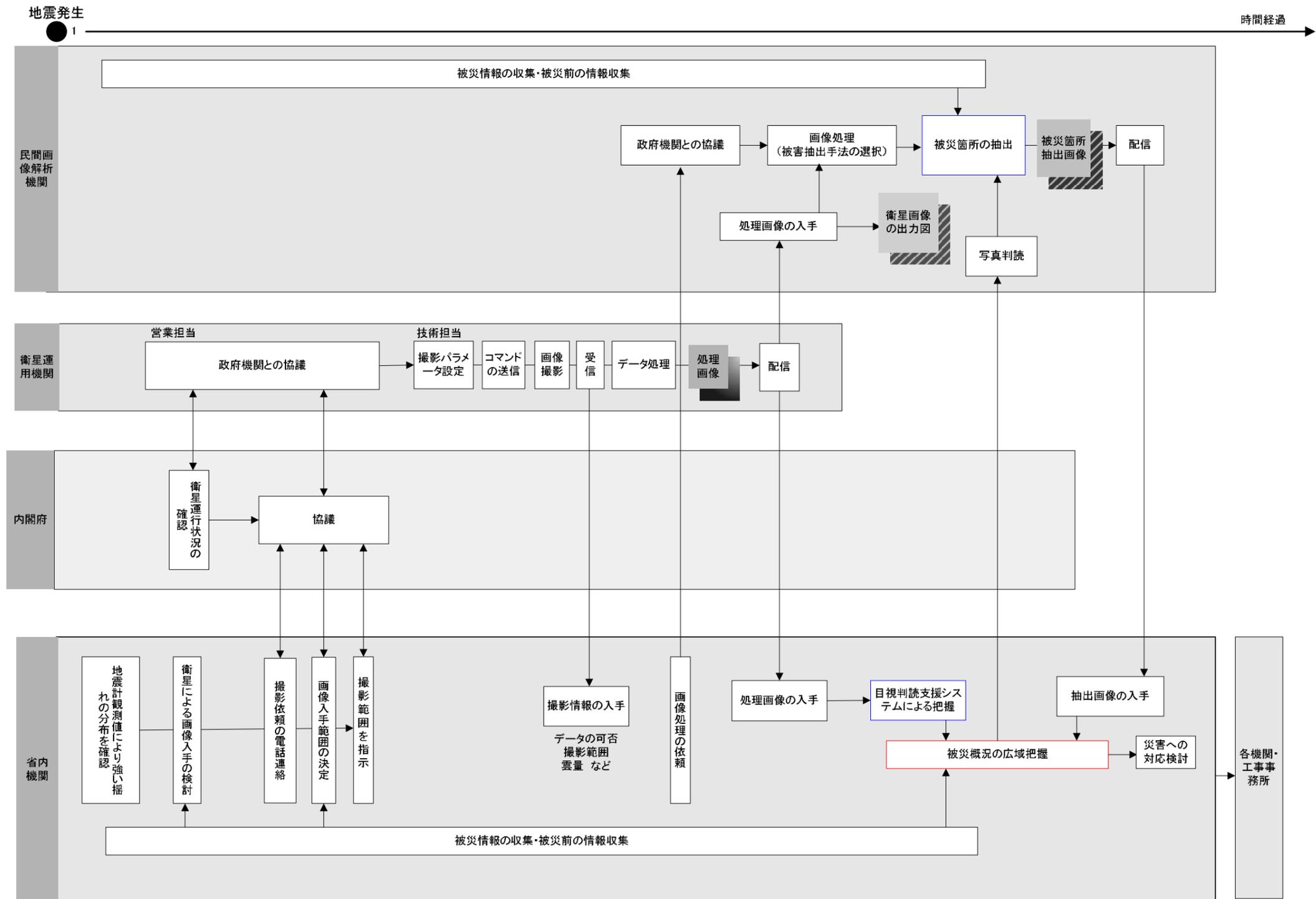


図 5-4-2 衛星画像利用手順の流れ(民間に画像処理を委託した場合)

用語集

エッジ抽出

エッジ強調とは、デジタル画像処理において、線形や面の縁を強調することである。一般に原画像にフィルターを掛けることによってエッジの尖鋭化を図る。フィルターとして差分型オペレータやモーメントオペレータがある。エッジ抽出はそのエッジをとりだすことである。

幾何学的補正

リモートセンシングで得る画像に含まれる幾何学的な歪(主に衛星の移動,姿勢の変化,地球の回転,センサ自身の観測データに対する幾何学的特性などに起因する)を除去する処理

教師付き分類法と教師なし分類法

「教師」とはデータが分類される際に使用されるグラントゥールースデータから求めた「閾値」のことである。従って教師付き分類法とは、分類後の各区分に入るデータ値をあらかじめ把握している場合にのみ使用できる分類法である。一般的にリモートセンシングでは、それぞれのセンサに対する植林地帯の値、都市地帯の値等を統計的に予測できるため、教師付き分類法が用いられる。このような閾値をまとめてトレーニングデータと呼ぶ。

一方で分類後の各区分の予測がまったくできない場合には、教師なし分類法を用いる。教師なし分類法は一般的な画像処理ではクラスタリングと呼ばれ、任意の閾値を動的に設定することができるが、画像により有効な閾値が異なるため実用的な分類を行うことが難しい。

グラントゥールース (Ground Truth)

衛星データとの比較評価用に地上で測定すること

3次元化 (3次元表示)

地形の起伏を斜めから眺めた画像を鳥瞰図という。鳥瞰図は地形の平面的情報のほかに高さの情報を含むので3次元景観ともいわれる。鳥瞰図を作成するには、斜投影を利用する方法と、中心投影を利用する方法があるが、前者の方法でほとんどの場合十分である。

リモートセンシングにより得られる画像データと同じ画素の位置の地形標高が与えられていれば斜投影変換が可能であり、画像データとしてリモートセンシングデータをあてはめればよい。地形データのみしかない場合には地形データから勾配、斜面方位、陰影等の

地形的情報を求め、これに赤、緑、青、あるいは色相(H)、彩度(S)、明度(I)を適当に割当てて出力すれば地形の起伏がよく表現できる。

主成分分析

多変量解析手法の一つで、多くの変量の値を、互いに独立な少数個の変量（主成分）で代表させて表現する手法。主成分は、変量の一次変換によって得られる合成変量であるとし、このうち分散が最大になるものから順に互いに直交する主成分を求めていく。これによって情報の損失が最小の状態データの構造が簡略化できる。各主成分の全分散に対する比をその主成分の寄与率、各主成分までの寄与率の和を累積寄与率と呼び、それぞれその主成分のもっている情報の程度を表している。

多種類の画像間オーバーレイ処理

互いに位置あわせ（幾何補正）した画像（衛星画像や主題図画像等）を重ね合わせ、各プロセスごとに論理演算などを施す処理のこと。

多次元レベルスライス処理

画像を特定の値に注目して複数個の区分に分割し、各区分に特定の色や濃度レベルを割り当てることをレベルスライス処理という。濃度分割ともいう。

テクスチャー解析 Texture Analysis

デジタル画像処理において、テクスチャー特徴を用いて解析を行うこと。とくに分類において、従来の画素ごとの分類と比較して、テクスチャーが面的な情報を表しているため、まったく新しい情報を付加することになり解析精度が向上する。

二値化画像処理

通常さまざまな値を持つ画像を、0と1の二値で表現する手法。目的に合わせた基準値を定め、各画素を0と1に振り分ける。画像の中から処理の対象を形として抽出することができ、処理範囲を限定するためのマスク（表現したくない領域を隠す処理）画像としても頻繁に使用される。ノイズに弱いので、平滑化処理と組み合わせられて使用されることが多い。

DEM (Digital Elevation Model)

地形表現法の一つで、コンピュータ処理に適する。地形面を正方格子状に切り、そこでの標高を配列したものであり、コンピュータによる土量計算、景観表現、地形断面図作成等が、等高線形式の地形表現よりも容易に行える。

IKONOS

米国 SPACE IMAGING 社が 1999 年に打ち上げた商用の高分解能地球観測衛星。分解能はマルチで 4m , パンクロで 1m。観測幅 11km。

IRS 衛星 (Indian Remote Sensing Satellite)

インド リモートセンシング衛星

Landsat

米国が打ち上げている地球観測衛星で , 1972 年に 1 号が打ち上げられた。陸域の観測を主目的とし , MSS と TM と呼ばれる 2 種類のマルチスペクトルスキャナーを搭載している。

QuickBird

米国 Digital Globe 社が 2001 年に打ち上げた商用の高分解能地球観測衛星。分解能はマルチで 2.44m , パンクロで 0.61m。観測幅 16.5km。

SAR (Synthetic Aperture Radar)

合成開口レーダー

SPOT (SPOT Satellite)

フランス国立宇宙研究センター (CNES) が開発 , 1982 年 2 月に打ち上げた地球観測衛星

【参考文献】

- ・ 社団法人土木学会 : 土木用語大辞典 , 1999.2
- ・ 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 , 2003.1
- ・ リモートセンシング用語集 :
<http://www.restec.or.jp/research/glossary/glossary.php?moji=ha#gaitou>

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No . 3 6 1 December 2006

編集・発行 © 国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305 - 0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029 - 864 - 2675