

ISSN 1346-7328

国総研資料 第362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.362

December 2006

新潟県中越地震・スマトラ沖地震津波施設被害の

衛星画像による把握

日下部毅明・真田 晃宏

Detection of Facility Damages by the Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004 &
Sumatra-Andaman Islands Earthquake Tsunami in 2004 by Using Artificial Satellite

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

新潟県中越地震・スマトラ沖地震津波施設被害の 衛星画像による把握

日下部毅明*
真田 晃宏**

Detection of Facility Damages by the Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004 & Sumatra-Andaman Islands Earthquake Tsunami in 2004 by Using Artificial Satellite

Takaaki KUSAKABE *
Akihiro SANADA **

概要

リモートセンシング技術は広域エリアの情報を短時間で把握することが可能な点に特徴を有する。このことから、大規模災害時の迅速な被害把握にリモートセンシング技術が貢献できるものと考えられる。そこで、2004年10月に発生した新潟県中越地震及び同年12月に発生したインドネシア・スマトラ沖地震津波の被害施設について人工衛星取得画像からの抽出・把握を試行した。

キーワード：地震、津波、リモートセンシング、被害把握

Synopsis

This note shows the result of the application of the remote sensing technologies for the detection of facilities damages caused by the Mid-Niigata Prefecture Earthquake in 2004 & Sumatra- Andaman Island Earthquake in 2004

Key Words : earthquake, tsunami, remote sensing technologies, 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 . 新潟中越地震被災施設の人工衛星画像からの抽出	1
1 . 1 被害状況	1
(1) 被害の概要	1
(2) 被害形態・規模	5
1 . 2 画像処理手法を適用した被害箇所の抽出	10
(1) 被害箇所への画像処理手法の適用	10
(2) 被害箇所抽出結果の検証	27
2 . スマトラ沖地震による被害箇所の人工衛星画像からの抽出	30
2 . 1 被害状況	30
2 . 2 画像処理手法を適用した被害箇所の抽出	30
2 . 3 衛星画像を利用した概況把握	31
(1) 中分解能衛星画像の利用	31
(2) 高分解能衛星画像の利用	40
2 . 4 まとめ	75
巻末資料	
巻末資料 1	76
巻末資料 2	78

1 . 新潟中越地震被災施設の人工衛星画像からの抽出

1 . 1 被害状況

(1) 被害の概要

平成16年10月23日17時56分に発生した新潟県中越地震は新潟県小千谷市、川口町、堀之内町、山古志村など山間部を中心に大きな被害をもたらした。地震の規模はマグニチュード6.8、地震の深さは13kmと浅く川口町では最大震度7を観測した。その後地震は震度6弱以上を観測する余震が4回発生するなど活発な余震活動が続いていたが、11月後半には地震活動も低下し、11月10日の地震(M5.3)を最後に震度5弱以上となる余震は発生せず有感地震も減少した(巻末資料1)。

地震に伴い山間地や河川沿いでは斜面崩壊、地すべり、地盤の変状、液状化などの災害が各所で発生し、家屋の倒壊や道路、鉄道、河川堤防など構造物への被害が多発した。とりわけ斜面崩壊による被害が著しく、国土交通省が空中写真(判読地域1,310km²)からまとめた判読結果では、斜面崩壊は3,791箇所へのぼり、そのうち362箇所が崩壊幅50m以上あった。これら崩壊土砂量の合計は1億m³に達し、100万m³以上の大規模な崩壊・地すべりは12箇所発生していることがわかった(平成17年1月13日:巻末資料2)。これにより高速道路、一般国道をはじめ各所で道路が寸断され通行止めとなった。山間地では集落が孤立状態に陥りピーク時には61集落にもなった。

道路被害による通行止め箇所を表1-1-1に示す。土砂崩れや路面陥没・路肩決壊による全面通行止めは241箇所、このうち直轄国道は17箇所、補助国道(県管理)61箇所、県道163箇所であった(新潟県道路管理課 平成16年12月28日)。このうち補助国道および県道の被害状況は土砂崩れ78箇所、道路陥没78箇所、事前通行規制22箇所、道路・路肩決壊30箇所、その他16箇所(平成16年11月1日)である。そのほかの市町村道は2,200箇所以上にのぼった。

表 1-1-1 道路被害による通行止め箇所数

通行規制状況 (H16.12.28 現在)		被災直後全面 通行止め箇所数
直轄国道	国道 8 号	7
	国道 17 号	9
	国道 116 号	1
	小 計	17
補助国道		61
県道		163
合計		241

北陸地方整備局道路管理課(H16.12.28 現在)

高速道路は関越自動車道、北陸自動車道ともに地震直後から全面通行止めとなった。関越自動車道における被害は小出IC~堀之内IC間の路面にひび割れ及び段差、堀之内IC~越後川口IC間の盛土のり面崩落、小千谷IC~長岡IC間の本線橋梁部や横断ボックス部付近における多数の段差の発生が特徴的であった。比較的大きな被害は堀之内IC~越後川口IC間の214KP~216KP付近で発生した被害で4カ所で大規

模な路肩盛土の崩壊が起きた。この区間では沢などをいくつも盛土した部分が連続しており、214.5KP付近では両車線（4車線）にも及ぶ大規模なものとなった。215.1KPや215.9KP地点でも大きな崩壊が発生している。

国道17号では川口町牛ヶ島付近の切土のり面が崩落、さらに路面に亀裂が生ずる被害が出た。このため一般車両はのり面補強工事のため29日まで通行止めとなっている。川口町^{てんのう}天納では沢部の高盛土が約80mにわたり下のJRとともに大きく崩落し道路が完全に遮断された。ここでは迂回路の建設によって復旧対応している。またこのすぐ南では高盛土に段差が生じ交通の障害となっている。規模は大きくないが随所で発生し多くの道路で交通の障害となった。川口町^{わなづ}和南津トンネルではトンネル内のコンクリート剥落により長期間の通行止め（平成16年11月2日に片側交互通行を確保）が行われた。道路橋梁の被害では小千谷大橋など橋脚部分の損傷や継ぎ手段差の被害など多数発生した。

河川施設等への被害は429箇所（河川堤防・護岸亀裂等が280箇所、河川埋塞が147箇所、海岸護岸が2箇所）であった。被害の形態としては亀裂が圧倒的に多く、これは堤防の縦断方向に亀裂が入ったもので、アスファルトで舗装された面も大きく地割れしており、多数の亀裂被害箇所がみられた。のり面の崩壊箇所もいくつかあり、このうち最大の被害は、長岡市三俵野町の堤防箇所（信濃川右岸29.25km付近）で発生し、長さ150m、天端幅7mのうち4mが崩壊する裏法面滑りの被害が起きた。

地すべり・崖崩れ等による土木災害は267箇所が発生している。これによる家屋被害は全壊が18棟、半壊17棟、一部破損が4棟であった。山古志村寺野地区、竹沢地区、樽木地区、南平地区や小千谷市十二平地区など信濃川支流芋川流域では土砂の崩落により水が堰きとめられ天然ダムが形成された。国土地理院によると芋川流域では45の天然ダムが確認されている。これが急速に拡大し決壊の恐れがあるため排水による応急措置が取られた。

図1-1-1に地震による被害箇所の分布図を示す。「平成16年新潟中越地震 災害状況図 速報版」および10月24日に撮影された航空写真をもとに、次章で画像処理した地域を中心に追加判読し地図上に示したものである。

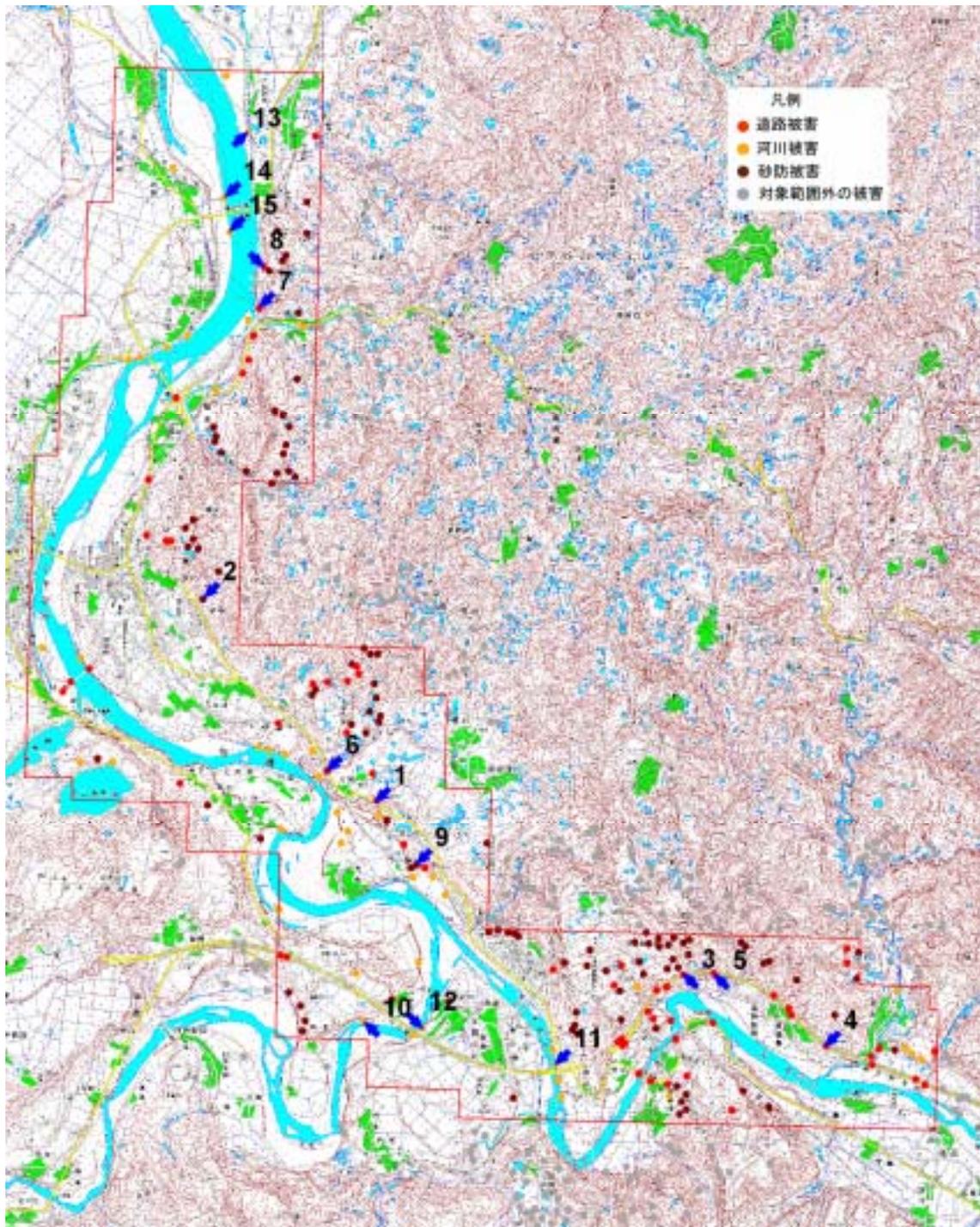


図1-1-1 信濃川および魚野川沿いの地震被害分布

「平成16年新潟県中越地震災害状況図 速報版」および10月23日撮影の空中写真による

: IKONOS画像範囲

(2)被害形態・規模

今回の新潟県中越地震で発生した被害のうち、初動期に被災箇所を判定すべき道路および河川構造物の被害について空中写真などの判読から規模や形態をまとめると下記のようになる。

[道路]

- 路線
- ・切土のり面の変状・・・切土のり面の崩壊やのり面ののり枠を巻き込んで崩壊しているものが多い。崩壊に至らないまでも変状が発生しているのり面も見られる。空中写真では土砂が路面にせり出しているのが確認できる。
 - ・盛土の崩壊・・・沢部の高盛土で多く見られ規模も比較的大きい。路肩部が大きく片側に崩壊しているのが多く確認できる。
 - ・路面の変状・・・路面の亀裂、陥没、変形はいたる所で見られる。切盛の境部で変状が発生しているものも多い。規模の大小にかかわらず交通の障害となっており、車の渋滞箇所からも判断できるものもある。その他空中写真で確認できない小さな変状もかなりあるとみられる。
 - ・路面覆土・・・道路が大規模な土石流や斜面の崩壊土砂によって覆われ、路線が寸断しているのが比較的判断は容易である。

道路施設・構造物・・・被害箇所は橋梁などの段差や横ずれ、橋脚部の破損、擁壁倒壊、壁面剥離・落下等であるが空中写真でこのうち確認できるのは、比較的大きな段差や横ずれの被害箇所が対象となる。橋梁などの変状は交通規制された車の状況からも判断が可能な箇所もある。

[河川]

河川・池等の施設・構造物

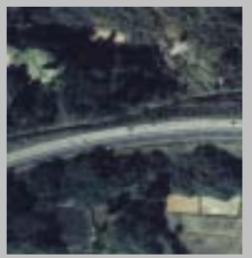
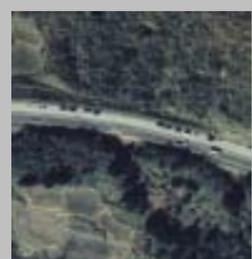
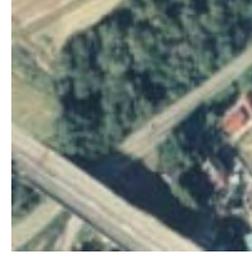
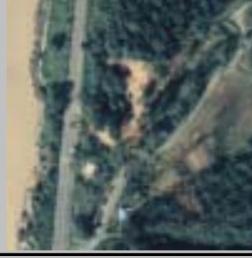
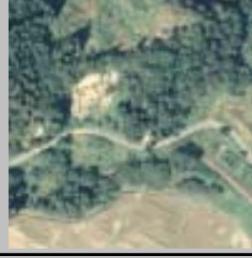
- ・河岸斜面の崩壊・・・信濃川や魚野川沿いの段丘崖に沿って崖や斜面の崩壊が多く見られる。崩落した土砂は水面まで達し河床にとどまっている。
- ・堤防法面および護岸構造物の変形・・・堤防の裏法崩れや天端部の亀裂、堰や水門施設の損傷が発生している。規模の大きな被害であれば確認できる。

河川敷・谷底低地

- ・液状化・・・河川敷や水田などに利用されている河川沿い低地で噴砂の痕が確認できる。噴砂や噴出した水の範囲は周囲と色調が異なるため容易に判別できる。
- ・土砂堰き止めによる自然ダム、湛水被害・・・崩落土砂などにより河川が堰き止められたことによりその上流側で湛水域が生じている。湛水域は周囲との色調が異なるため容易に判別が可能である。

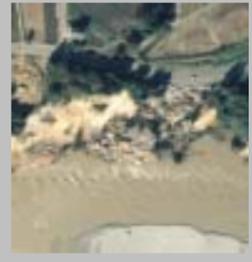
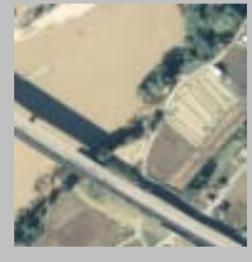
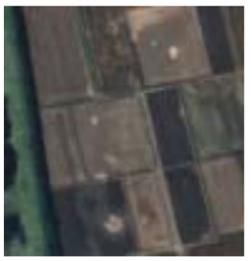
今回の地震被害では、阪神・淡路大震災と異なり中山間地が激震に見舞われたことを踏まえ、土砂による路面覆土、河岸斜面の崩壊の項目を検討した。表1-1-2に10月24日に撮影された空中写真による代表的な被災箇所を示した。空中写真の撮影が行われた24日昼の時点では道路被害についてはまだ主要幹線道路の復旧も行われ始めたばかりで、被災状況がそのまま維持されていると考えられる。高速道や国道などの一部の幹線道路はすでに26日には復旧が完了している箇所も見られた。このことから、道路の被災については初動期における判読・把握が重要だと言える。表1-1-3には、各被害形態の代表的な空中写真と初動期の現地写真および被害状況を示す。

表 1-1-2 被害別形態表（その1）

被災箇所	被害	← 大規模		小規模 →
道路	切土法面の変状			
		国道17号 川口町牛ヶ島	川口町木津大原地先	関越自動車道 (堀之内～越後川口)
		盛土の崩壊		
	関越自動車道 (堀之内～越後川口) KP214.5km		関越自動車道 (堀之内～越後川口) KP215.9km	国道17号 川口町天納
				
	関越自動車道 (堀之内～越後川口) KP215.1km		国道17号 川口町 路肩崩壊	路肩崩落
	路面の変状 (亀裂・陥没等)			
	路面覆土 (土石流・崩土)			
		信濃川右岸 31.0km付近 小千谷市浦柄	信濃川右岸	
	道路施設・構造物	段差・横ずれ 構造物の破損		

1. 網掛は1.1.2にて画像処理を適用した箇所
2. 規模の大小は被害範囲の中から判断した

表 1-1-2 被害別形態表（その2）

被災箇所		被害	← 大規模		小規模 →
河川	河川・池等施設・ 構造物	河岸斜面の崩壊			
			信濃川右岸	魚野川右岸	魚野川右岸
		堤防法面および 護岸構造物の変 状			
			信濃川右岸29.25km付近 長岡市三俣野町	信濃川左岸 三仏生	信濃川左岸 三仏生
	河川敷・谷底平地	液状化			
		堰き止めによる 自然ダム・冠水	/		

1. 網掛は1.1.2にて画像処理を適用した箇所
2. 規模の大小は被害範囲の中から判断した
3. 斜線は撮影時には被害がなかったことを示す

表 1-1-3 画像処理に用いた代表的な被害箇所（表 1-1-2 より抜粋）

被災箇所	被害	空中写真(10/24)	現地写真	被害状況	
道路	路線	切土のり面の 変状			のり枠外側の斜面がのり枠の一部を巻き込んで崩壊。崩土が道路片側にせり出し道路を塞いだ。
		国道17号 川口町牛ヶ島	切土のり面の崩壊		
	盛土の崩壊			上り車線の法肩付近まで及ぶ大きな崩壊が発生した。	
		関越自動車道 KP214.5km (堀之内～越後川口)	盛土の崩壊		
	土砂による閉塞(土石流・崩土)			県道589号沿いでの大規模な地すべり崩壊。道路は土砂により押し流された。斜面崩壊部の下方には巨大な岩塊(鮮新世の軟質な堆積岩)が多く堆積し、信濃川に流れ込む朝日川を堰き止める。このため上流側では周辺の田畑が冠水した。	
		信濃川右岸 31.0km付近・ 小千谷市妙見町 ・小千谷市浦柄	一般県道小千谷長岡線の道路崩壊 ・朝日川の河道閉塞		
河川	河川・池 等施設・ 構造物	河岸斜面 の崩壊			信濃川沿いの段丘崖が、激しい地震動により崩壊した。震源域付近には時代の異なる段丘が多く分布しており、信濃川や魚野川に沿った急崖部での崩壊が多発している。
		信濃川右岸	河岸斜面崩壊		
	堤防法面およ び護岸構造物 の変状			妙見堰付近の信濃川堤防では長さ150m、天端幅7mのうち4mが崩壊し裏法面が滑った。	
		信濃川右岸29.25km付近 長岡市三俵野町	裏法崩れ (150m)		

*現地写真は北陸地方整備局、日本道路公団および土木研究所で撮影した写真を掲載

1.2 画像処理手法を適用した被害箇所の抽出

(1) 被害箇所への画像処理手法の適用

使用する新潟県中越地方の IKONOS 画像を図 1-2-1 に示す。また、被害形態ごとに適用する画像処理手法を表 1-2-1 に示す。画像（バンド）間演算として NDVI（正規化植生指標）を用いることとした。NDVI は赤色波長帯と近赤外波長帯の 2 つの画像（バンド）の比から算出する。新潟県中越地方は山間部のため、IKONOS の近赤外波長帯を使用することにより、その波長帯に大きく反応する植生部分の抽出が容易となるため、NDVI を適用した。

表 1-2-1 被害形態と画像処理手法

		エッジ抽出	エッジ強調	教師なし分類	テクスチャ	画像間演算 (NDVI)
道路	切土法面の変状					
	盛土の崩壊					
	路面覆土					
河川	河岸斜面の崩壊					
	堤防法面および護岸構造物の変状					

印：今回画像処理を適用した形態と手法

各被害形態（5種類）につき被害規模の大・中・小の3種類、合計15箇所について画像処理を行った結果を図 1-2-2～図 1-2-16 に示す。画像処理を適用したのは表 1-1-3 に示した 15 箇所である。（位置は図 1-2-1 に示す）



図 1-2-1 新潟県中越地方 IKONOS 画像(図 1-1-1 の赤枠範囲)

赤丸数字は図 1-1-3 ~ 図 1-1-17 の画像 No.を示す

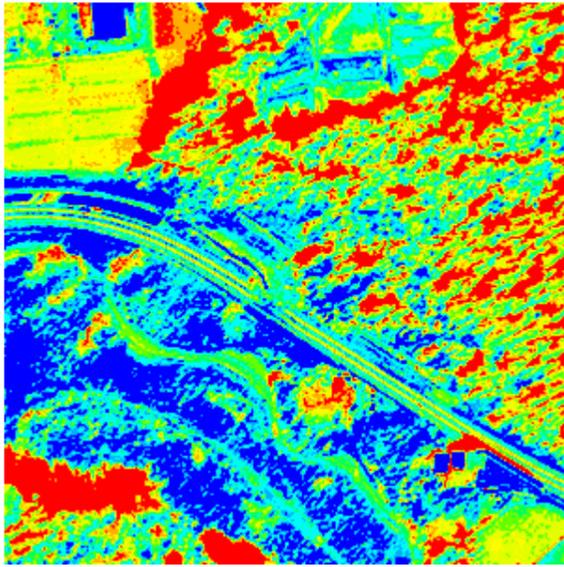
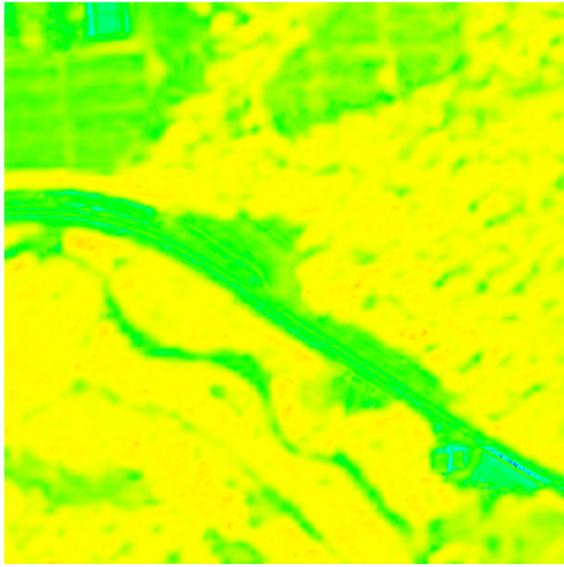
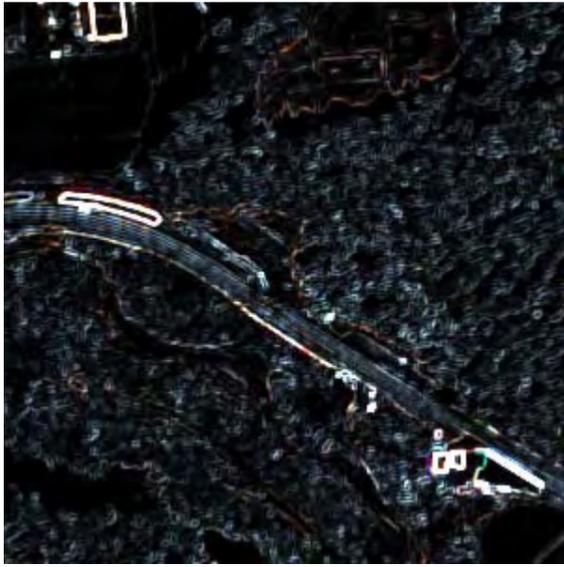
No.001	国道 17号 川口町牛ヶ島	被害形態：切土法面変状	被害規模：大
<p>【被災後 IKONOS パンシャープン】</p> 	<p>【教師なし分類】 評価：×(×)</p> 	<p>【エッジ抽出】 評価：(×)</p> 	
<p>切土法面が道路上に崩れている</p>	<p>分類が明確でないため、教師なし分類からは判読できない</p>	<p>道路の直線部分に湾曲部が見られるため、道路上への被害があることが判読できる</p>	
<p>【エッジ強調】 評価：()</p> 	<p>【画像間演算 (NDVI)】 評価：×(×)</p> 	<p>【テクスチャ】 評価：×(×)</p> 	
<p>エッジが強調されているが、判読しやすさは変わらない</p>	<p>植生範囲と道路・土地の範囲は確認できるが、被害範囲の判読まではできない</p>	<p>テクスチャの抽出が弱いため、被害箇所を判読できない</p>	

図 1-2-2 切土法面変状 (大規模) の各種画像処理結果

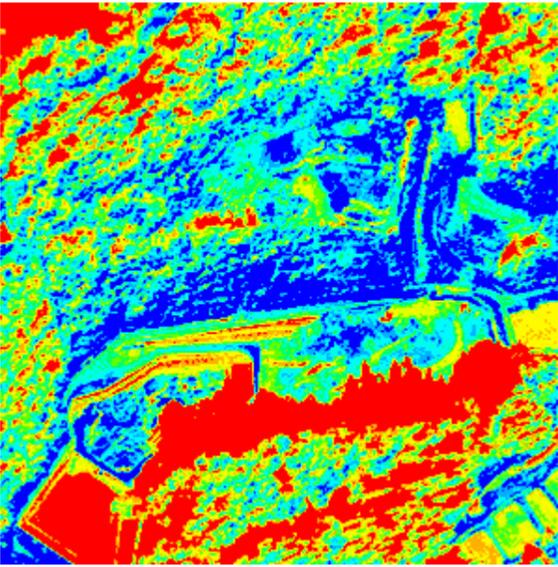
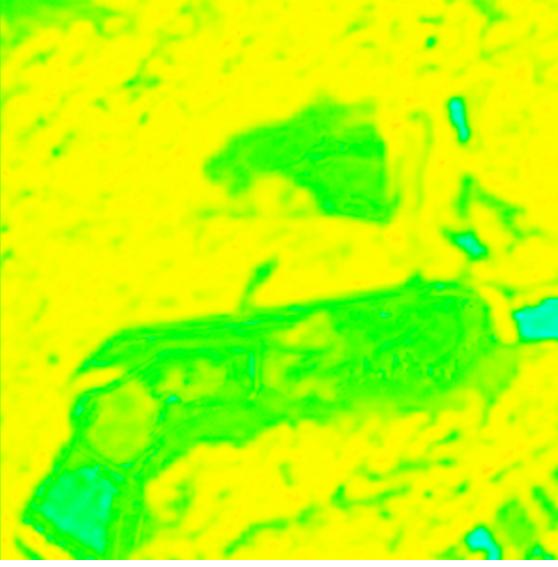
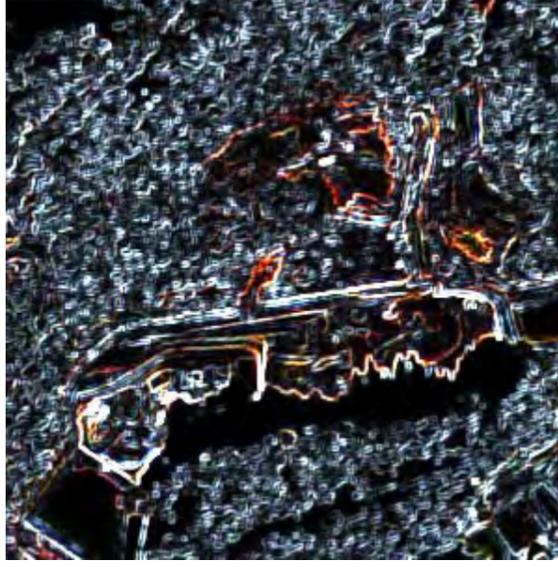
No.002	小千谷市 木津大原	被害形態：切土法面変状	被害規模：中
<p>【被災後 IKONOS パンシャープン】</p> 	<p>【教師なし分類】 評価：×(×)</p> 	<p>【エッジ抽出】 評価：×(×)</p> 	
<p>山の斜面から道路に土砂が流出している</p>	<p>明確なパターンもなく、教師なし分類からは判読できない</p>	<p>山の細かい輪郭を沢山抽出しているため、被害箇所が判読できない</p>	
<p>【エッジ強調】 評価：()</p> 	<p>【画像間演算 (NDVI)】 評価：()</p> 	<p>【テクスチャ】 評価：()</p> 	
<p>原画像と判読のレベルは変わらない。山肌が崩れているのが目視確認できる</p>	<p>山(黄色)の中にある裸地(緑色)の部分が、山肌が崩れた箇所と判断できる</p>	<p>崩壊していると思われる部分(裸地の輪郭が赤線で抽出されている)は確認できるが、特定までには至らない</p>	

図 1-2-3 切土法面変状(中規模)の各種画像処理結果

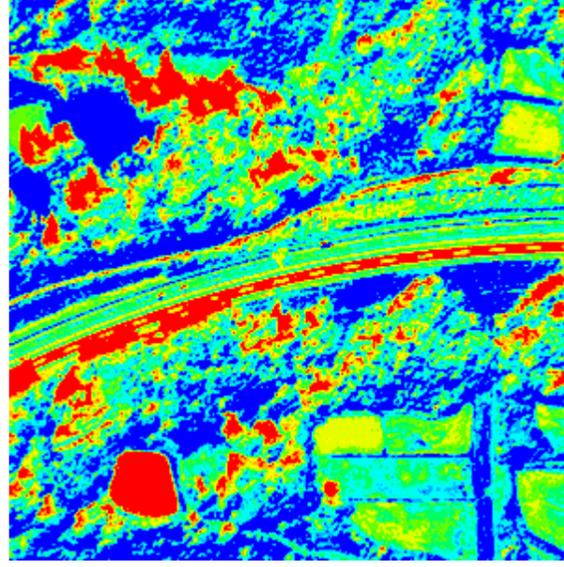
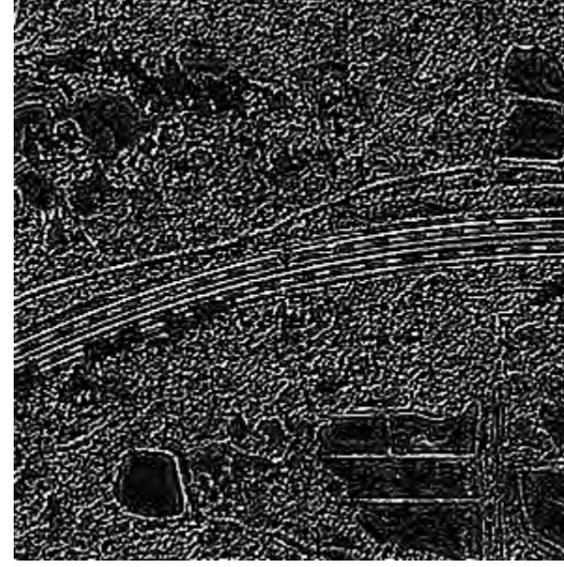
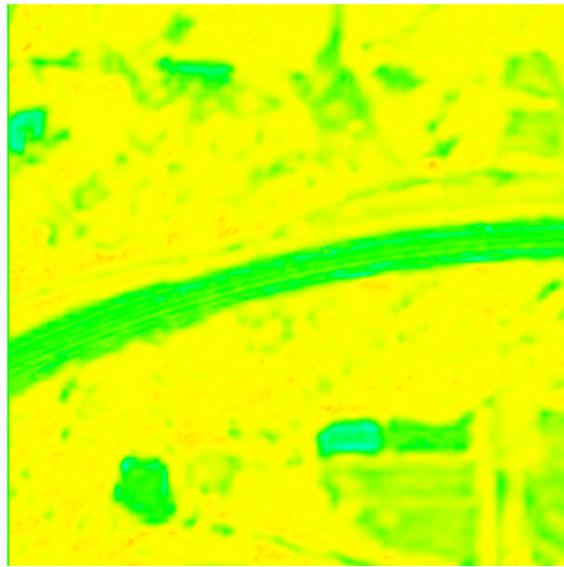
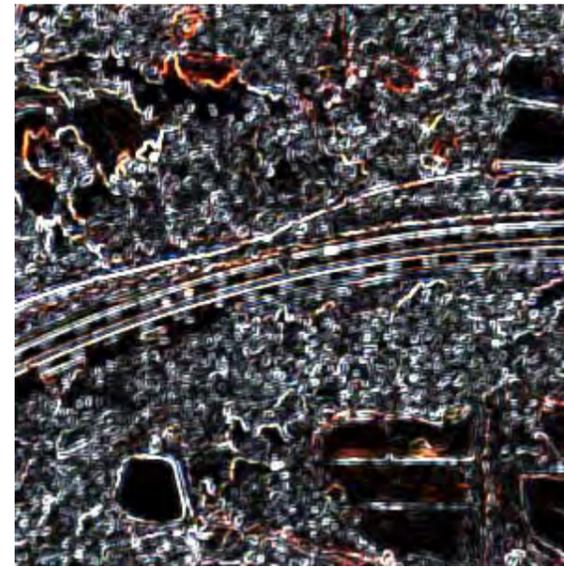
No.003	関越自動車道（堀之内～越後川口）	被害形態：切土法面変状	被害規模：小
<p>【被災後 IKONOS パンシャープン】</p> 	<p>【教師なし分類】 評価：（ ）</p> 	<p>【エッジ抽出】 評価：（ ）</p> 	
<p>規模が小さいが道路に土砂が被さっている</p>	<p>道路の一部に黄色の横筋が入っているため被害箇所を判読できる</p>	<p>道路上に亀裂のようなものが見られるが、規模が小さいため、周りのエッジが細かいため判断が付けづらい</p>	
<p>【エッジ強調】 評価：（ ）</p> 	<p>【画像間演算（NDVI）】 評価：×（×）</p> 	<p>【テクスチャ】 評価：（ ）</p> 	
<p>被害規模が小さいため、エッジ強調の効果が現れず、原画像と判読のレベルは変わらない</p>	<p>道路上に色調の変化はないため、NDVI からは判読できない</p>	<p>道路に着目して画像を見ると、横向きに亀裂のようなものが見られる。この部分が被害箇所と判読できる</p>	

図 1-2-4 切土法面変状（小規模）の各種画像処理結果

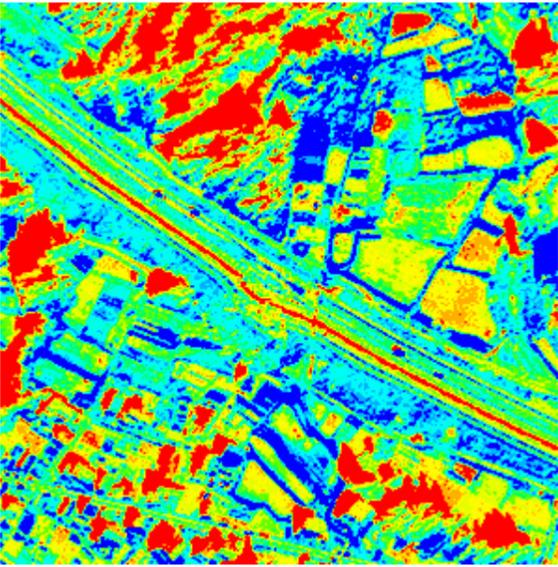
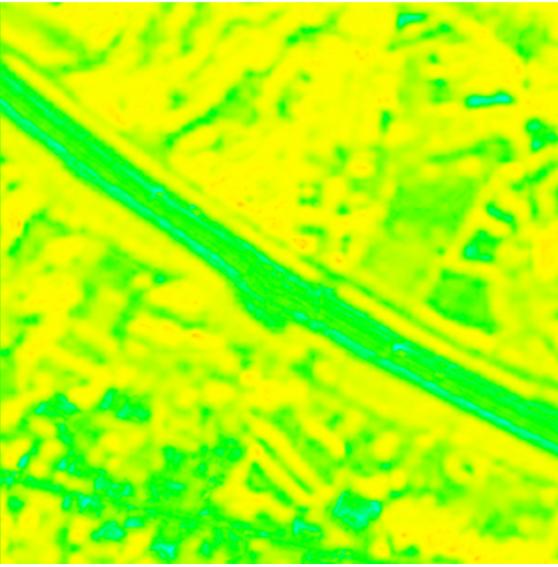
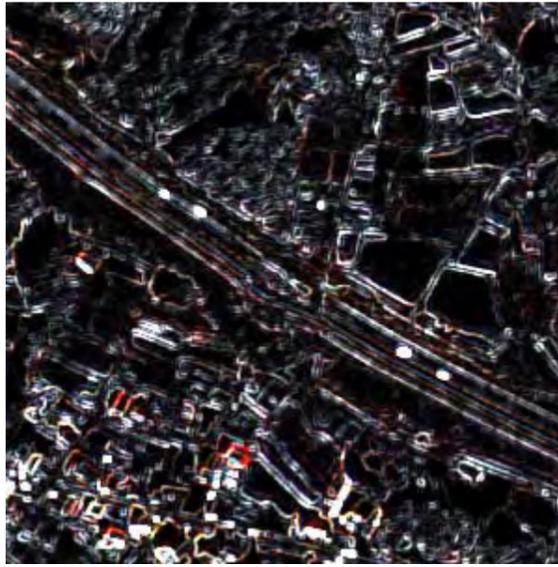
No.004	関越自動車道（堀之内～越後川口）	被害形態：盛土崩壊	被害規模：大
<p>【被災後 IKONOS パンシャープン】</p> 		<p>【教師なし分類】 評価：（ ）</p> 	<p>【エッジ抽出】 評価：（ ）</p> 
<p>道路の盛土部分が大きく崩れている</p>		<p>色情報からの判読はできなかったが、道路の形状が変化していることから被害の判読は可能である</p>	<p>道路の線状が大きく変わっているので、被害箇所を判読できる</p>
<p>【エッジ強調】 評価：（ ）</p> 		<p>【画像間演算（NDVI）】 評価：×（×）</p> 	<p>【テクスチャ】 評価：（×）</p> 
<p>エッジが強調されているが、被害が大きいため、判読しやすさは変わらない</p>		<p>道路の待避所のようにも見えるため、NDVI からは被害は判読できない</p>	<p>やや線形が不明瞭ではあるが、道路の線状が大きく変わっているので、被害箇所を判読できる</p>

図 1-2-5 盛土崩壊（大規模）の各種画像処理結果

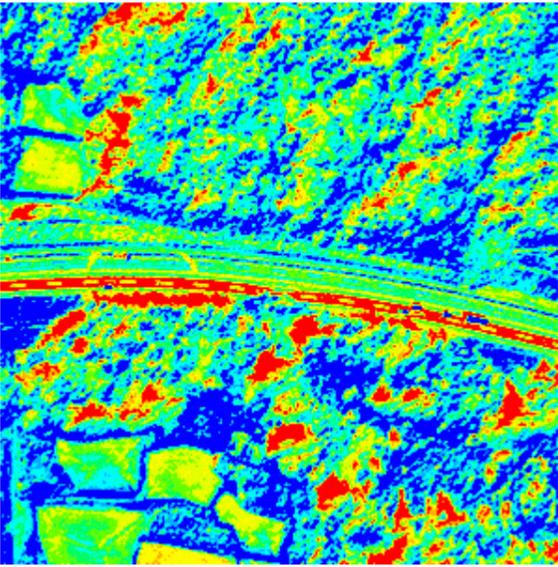
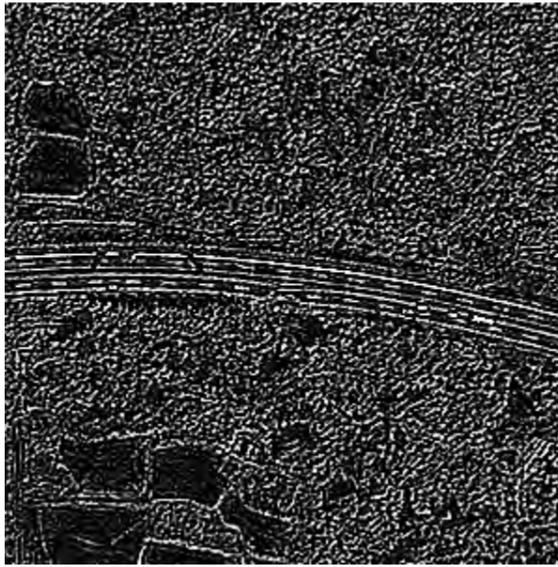
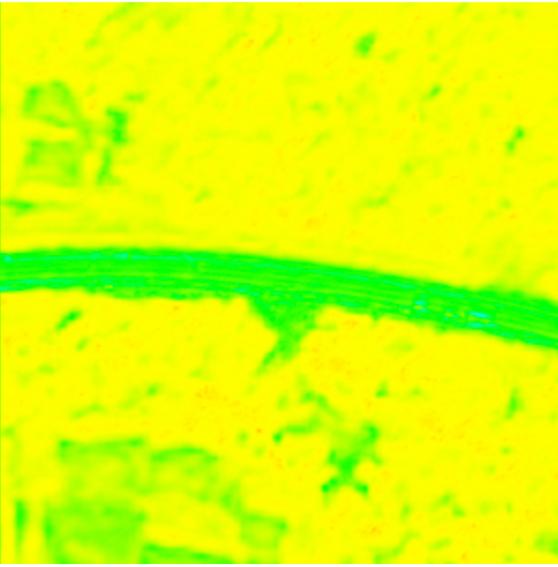
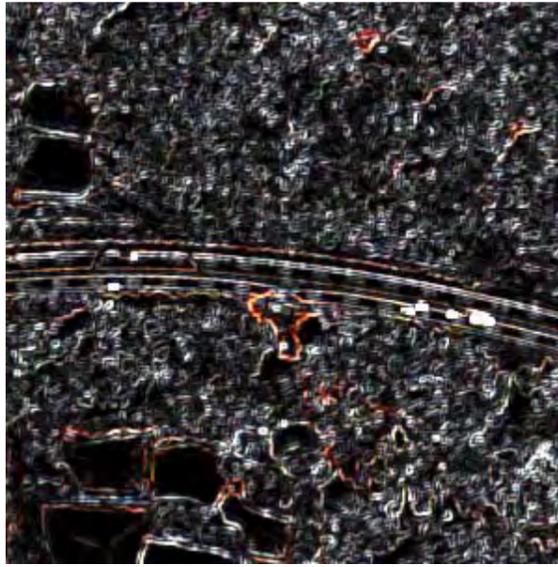
No.005	関越自動車道（堀之内～越後川口）	被害形態：盛土崩壊	被害規模：中
<p>【被災後 IKONOS パンシャープン】</p> 	<p>【教師なし分類】 評価：×（×）</p> 	<p>【エッジ抽出】 評価：×（×）</p> 	
<p>路面も含めて盛土が崩壊している</p>	<p>崩壊の部分が明確に分類できなかったため、色情報からの判読はできなかった</p>	<p>山の樹木によりエッジが細かく抽出され、崩壊部分の判読はできなかった</p>	
<p>【エッジ強調】 評価：（ ）</p> 	<p>【画像間演算（NDVI）】 評価：（×）</p> 	<p>【テクスチャ】 評価：（ ）</p> 	
<p>原画像と比べて判読しやすさは変わらない</p>	<p>道路の線形情報があれば、崩壊した部分が判読できる</p>	<p>崩壊した部分が赤い枠で抽出できている</p>	

図 1-2-6 盛土崩壊（中規模）の各種画像処理結果

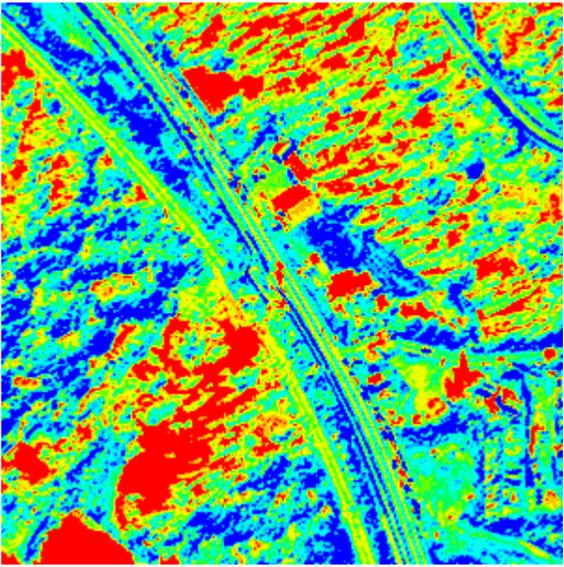
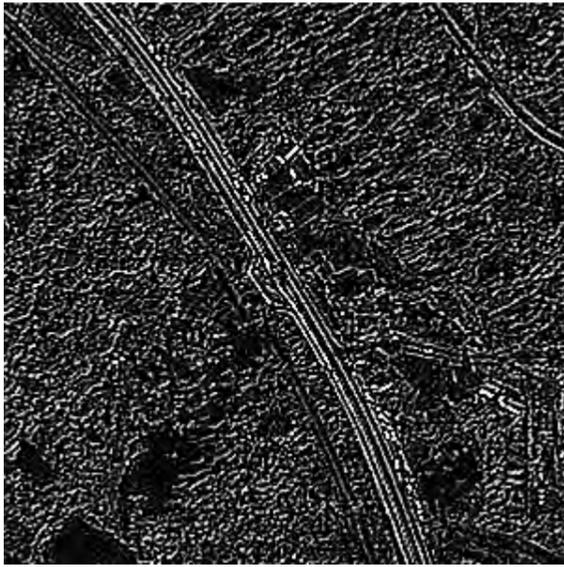
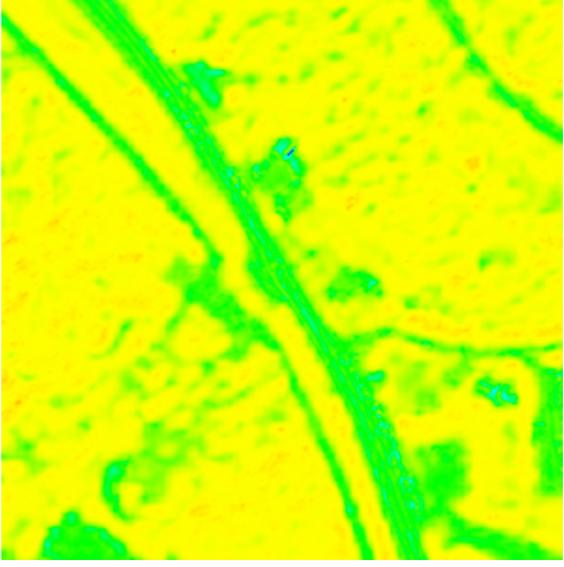
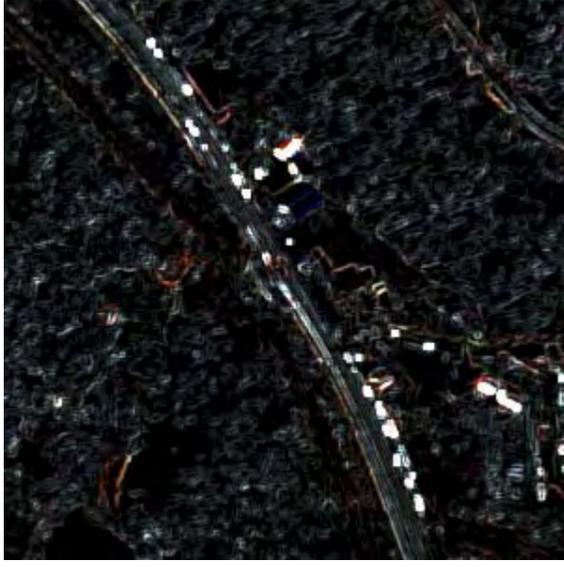
No.006	国道 17号 川口町天納	被害形態：盛土崩壊	被害規模：小
<p>【被災後 IKONOS パンシャープン】</p> 	<p>【教師なし分類】 評価： (×)</p> 	<p>【エッジ抽出】 評価： (×)</p> 	
<p>道路脇の盛土が崩壊している</p>	<p>道路上の色が異なるため崩壊箇所が判読できる</p>	<p>道路の線形は細かいが、注視すれば崩壊箇所が判読できる</p>	
<p>【エッジ強調】 評価： ()</p> 	<p>【画像間演算 (NDVI)】 評価： × (×)</p> 	<p>【テクスチャ】 評価： × (×)</p> 	
<p>樹木や斜面のエッジが強調されているが、被害判読には大きな効果はない</p>	<p>道路脇の崩壊のため、道路範囲の情報があれば、崩壊した部分が判読できる</p>	<p>画像全体が暗く、テクスチャからは判読はできない</p>	

図 1-2-7 盛土崩壊 (小規模) の各種画像処理結果

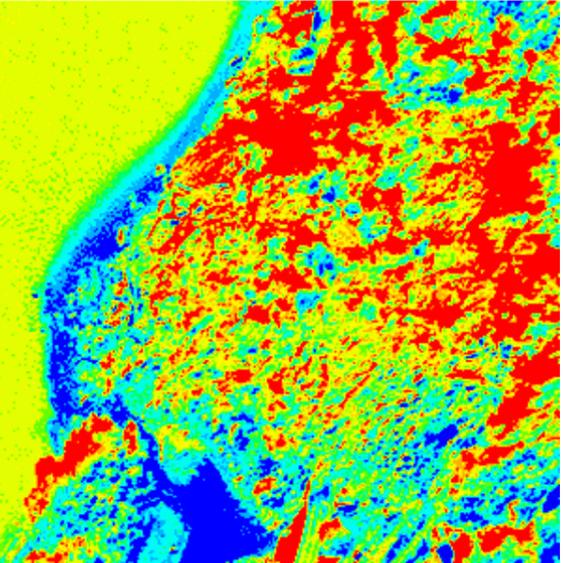
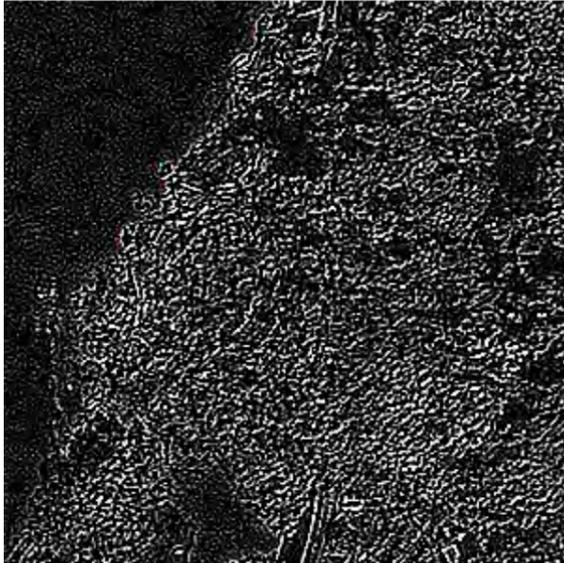
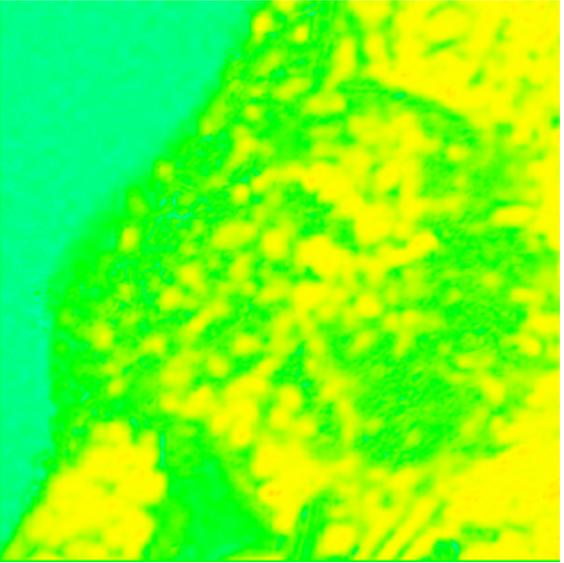
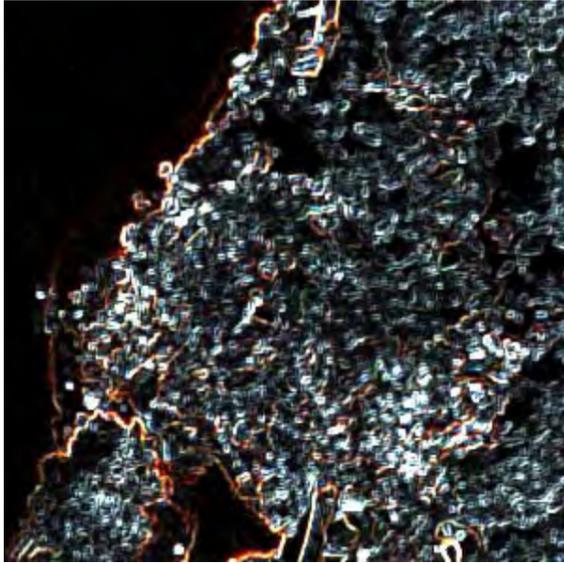
No.007	信濃川右岸 31.0km 付近	被害形態：路面覆土	被害規模：大
<p>【被災後 IKONOS パンシャープン】</p> 		<p>【教師なし分類】 評価：×(×)</p> 	<p>【エッジ抽出】 評価：×(×)</p> 
<p>画像全体が路面覆土となっていて明瞭に判読できる</p>		<p>全体的に色が分散していて、教師なし分類からは判読できない</p>	<p>細かいエッジが多いため、エッジ抽出からは判読できない</p>
<p>【エッジ強調】 評価：()</p> 		<p>【画像間演算 (NDVI)】 評価：×(×)</p> 	<p>【テクスチャ】 評価：×(×)</p> 
<p>被害規模が大きいため、エッジ強調を行わなくても判読できる</p>		<p>土砂と樹木が混在しているため不明瞭であるが、黄色と緑色の円形の境界線が被害範囲のようにも読み取れる</p>	<p>エッジ抽出同様、テクスチャからも判読できない</p>

図 1-2-8 路面覆土 (大規模) の各種画像処理結果

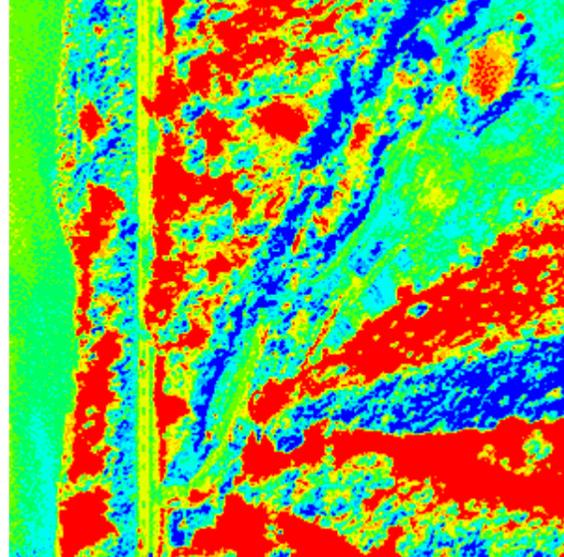
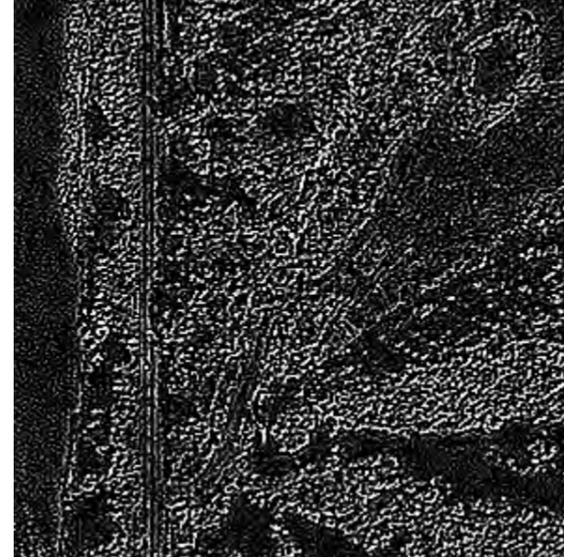
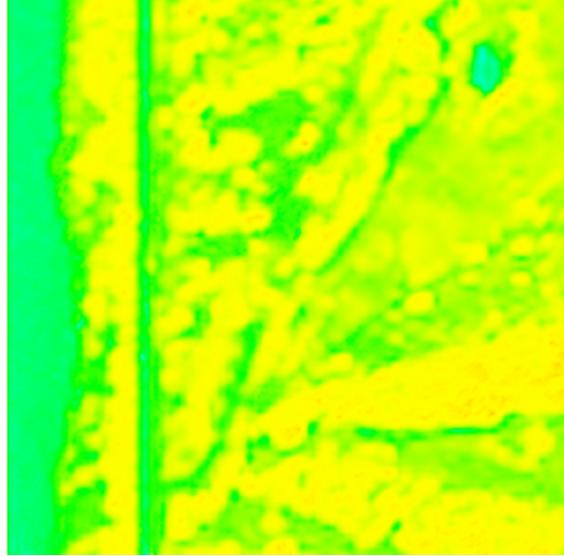
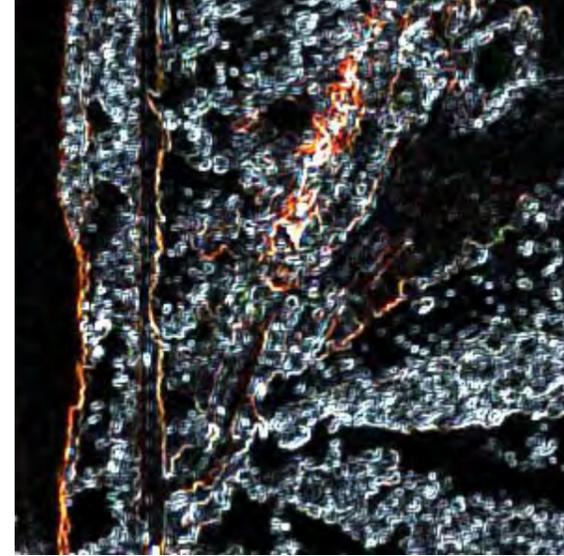
No.008	小千谷市 浦柄	被害形態：路面覆土	被害規模：中
<p>【被災後 IKONOS パンシャープン】</p> 	<p>【教師なし分類】 評価：×（×）</p> 	<p>【エッジ抽出】 評価：×（×）</p> 	
<p>道路が土砂で覆われている</p>	<p>分類のまとまりはみられるが、教師なし分類から明確には判読できない</p>	<p>エッジが細かいため、エッジ抽出からは判読できない</p>	
<p>【エッジ強調】 評価：（ ）</p> 	<p>【画像間演算（NDVI）】 評価：×（×）</p> 	<p>【テクスチャ】 評価：（×）</p> 	
<p>エッジは強調されているが、原画像と判読のレベルは変わらない</p>	<p>教師なし分類同様、NDVI からも判読できない</p>	<p>赤色（裸地の輪郭）がまとまっている箇所が被害範囲のように見えるが、不明確である</p>	

図 1-2-9 路面覆土（中規模）の各種画像処理結果

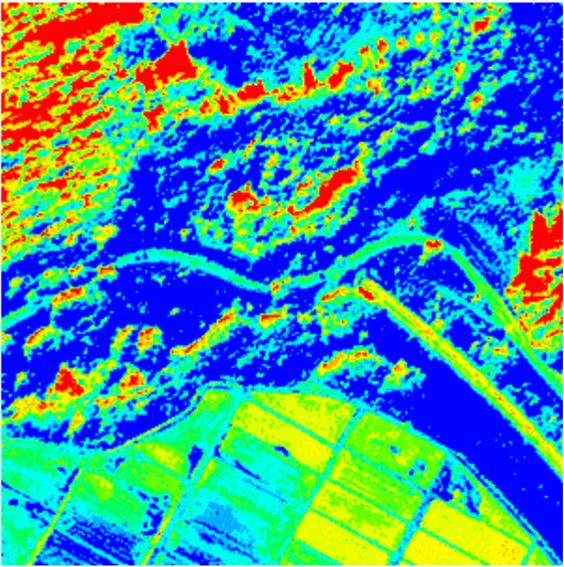
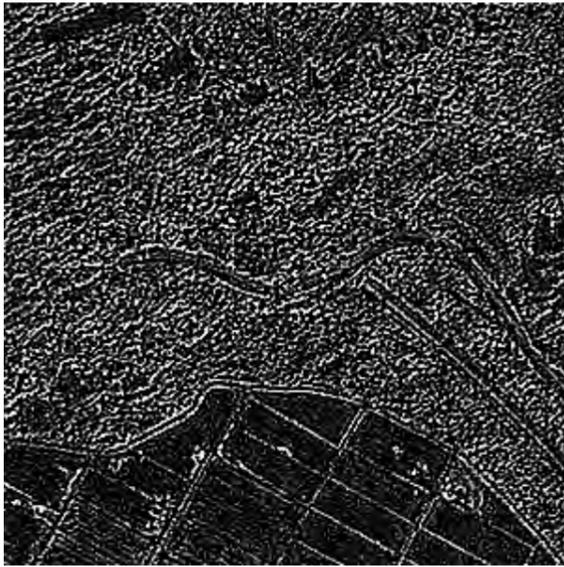
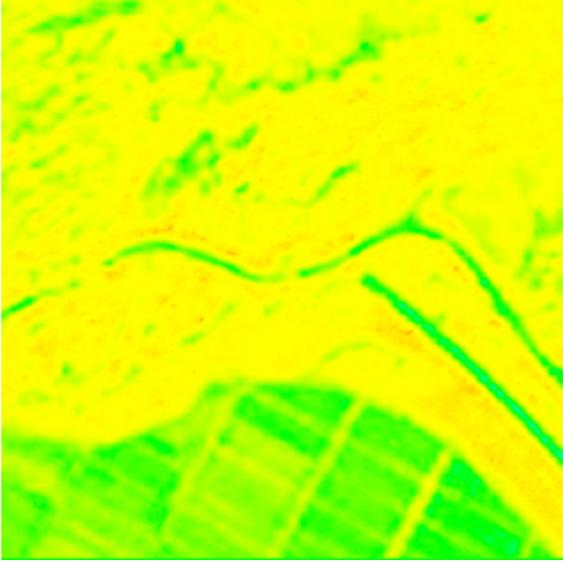
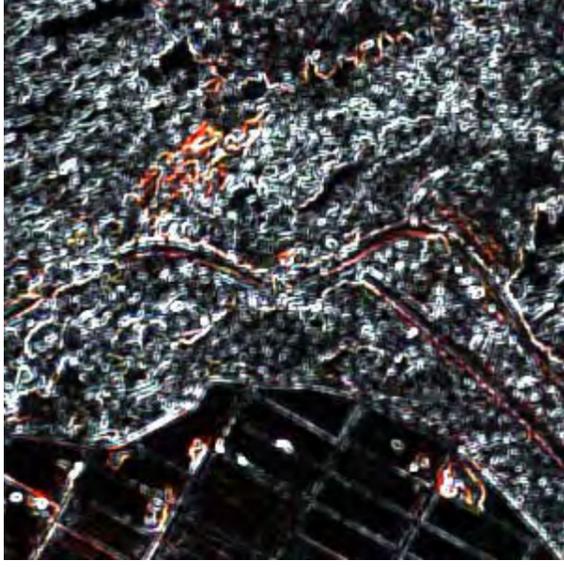
No.009	川口町 牛ヶ島	被害形態：路面覆土	被害規模：小
<p>【被災後 IKONOS パンシャープン】</p> 	<p>【教師なし分類】 評価： (×)</p> 	<p>【エッジ抽出】 評価： × (×)</p> 	
<p>小規模の土砂が道路上に覆われている</p>	<p>道路上にいくつか赤い部分があるが、道路脇の樹木のようにも判断できるため、被害箇所とは言い切れない</p>	<p>エッジが細かいため、エッジ抽出からは判読できない</p>	
<p>【エッジ強調】 評価： ()</p> 	<p>【画像間演算 (NDVI)】 評価： (×)</p> 	<p>【テクスチャ】 評価： × (×)</p> 	
<p>樹木のエッジは強調され判読しやすくなっているが、被害箇所の強調まではできていない</p>	<p>道路上に一部疑わしい場所 (黄色の塊) があるが不明確である</p>	<p>樹木のテクスチャは抽出できているが、被害箇所は判読できない</p>	

図 1-2-10 路面覆土 (小規模) の各種画像処理結果

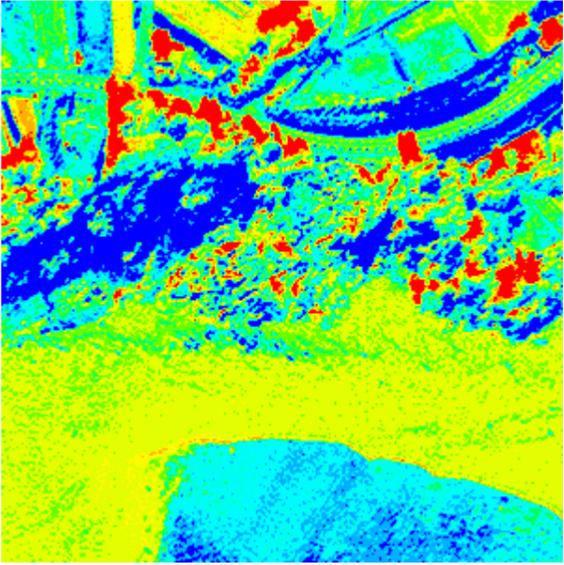
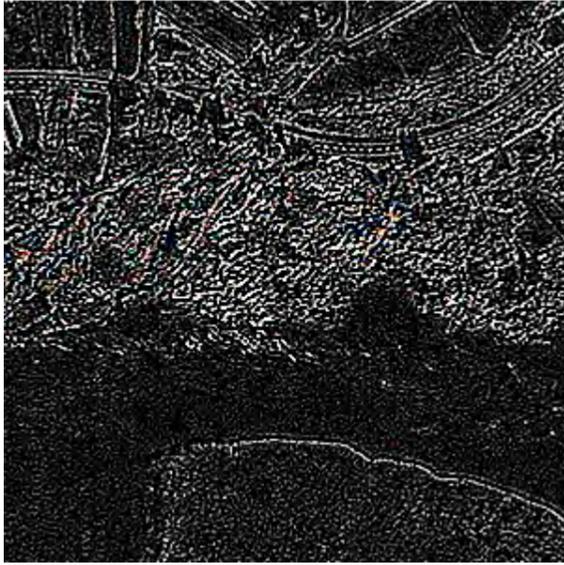
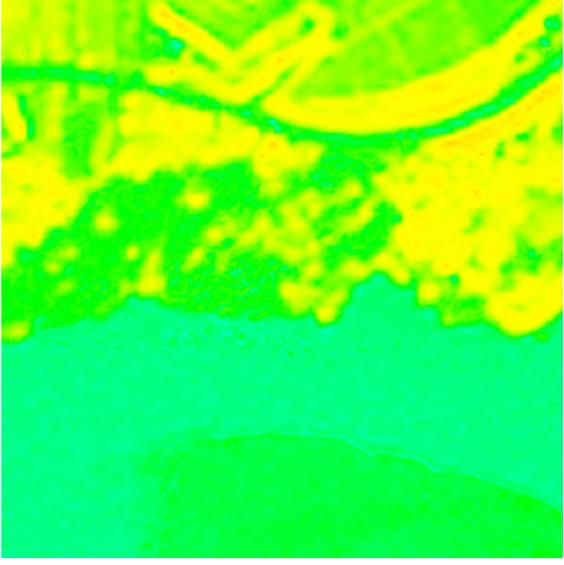
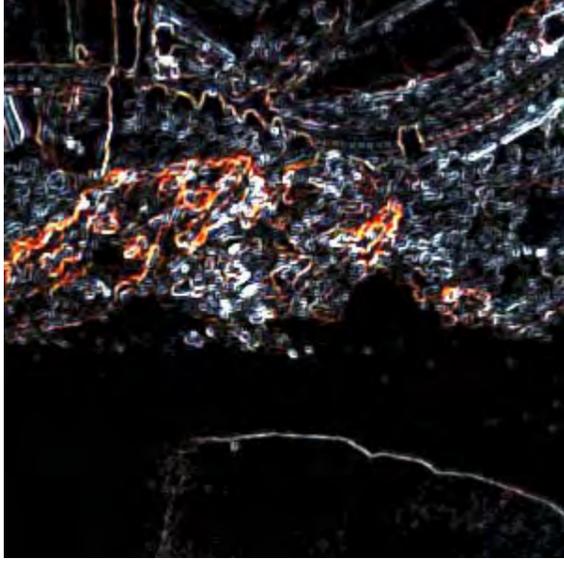
No.010	川口町 卯ノ木	被害形態：河岸斜面崩壊	被害規模：大
<p>【被災後 IKONOS パンシャープン】</p> 	<p>【教師なし分類】 評価： (×)</p> 	<p>【エッジ抽出】 評価： × (×)</p> 	
<p>河岸斜面が大きく崩壊している</p>	<p>崩壊部分が分類できているように見えるが、地形情報等がないと断定できない</p>	<p>エッジが細かいため、エッジ抽出からは判読できない</p>	
<p>【エッジ強調】 評価： ()</p> 	<p>【画像間演算 (NDVI)】 評価： × (×)</p> 	<p>【テクスチャ】 評価： ()</p> 	
<p>崩壊した部分のエッジが強調され、判読しやすくなっている</p>	<p>斜面の範囲が別情報で認識可能であれば、NDVI から斜面の緑色の部分が被害箇所と判読できる</p>	<p>赤い範囲が斜面崩壊した箇所である</p>	

図 1-2-11 河岸斜面崩壊（大規模）の各種画像処理結果

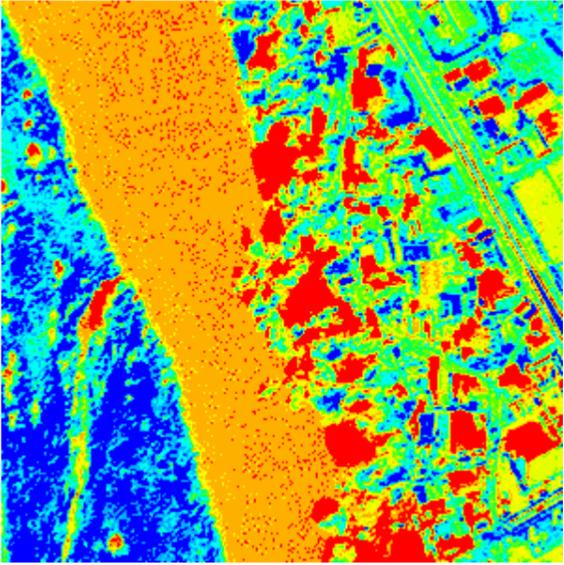
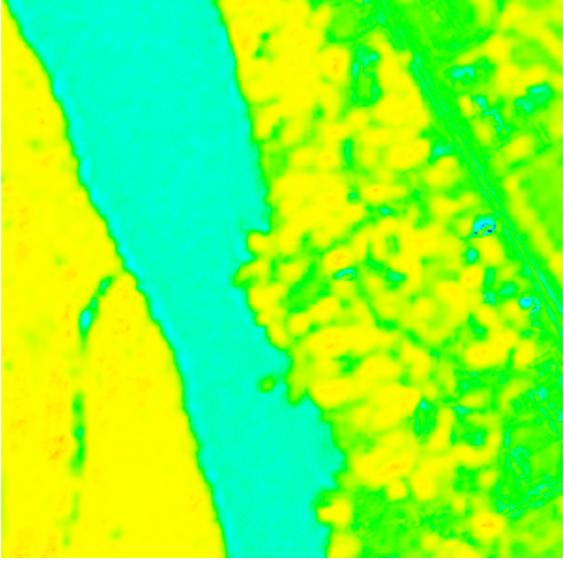
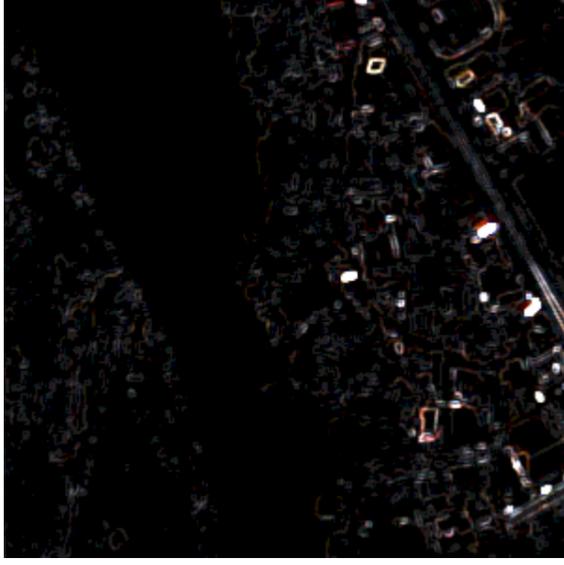
No.011	川口町 中山	被害形態：河岸斜面崩壊	被害規模：中
<p>【被災後 IKONOS パンシャープン】</p> 	<p>【教師なし分類】 評価：×（×）</p> 	<p>【エッジ抽出】 評価：×（×）</p> 	
<p>河岸斜面が崩壊している</p>	<p>崩壊した土砂の赤色と、周辺の建物の赤色との区別ができないため、明確に被害箇所を判読できない</p>	<p>全体的にエッジが細かいため、エッジ抽出から被害範囲は判読できない</p>	
<p>【エッジ強調】 評価：（ ）</p> 	<p>【画像間演算（NDVI）】 評価：×（×）</p> 	<p>【テクスチャ】 評価：×（×）</p> 	
<p>原画像と判読のレベルは変わらない</p>	<p>明確な分類ができないため、NDVI からは判読できない</p>	<p>テクスチャの抽出ができなかったため判読できない</p>	

図 1-2-12 河岸斜面崩壊（中規模）の各種画像処理結果

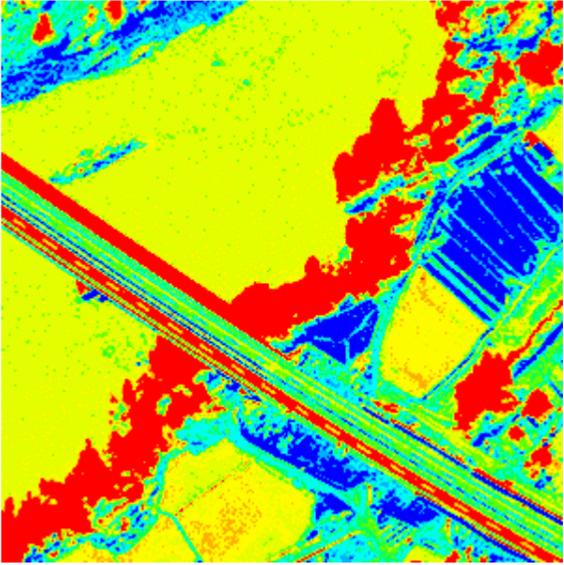
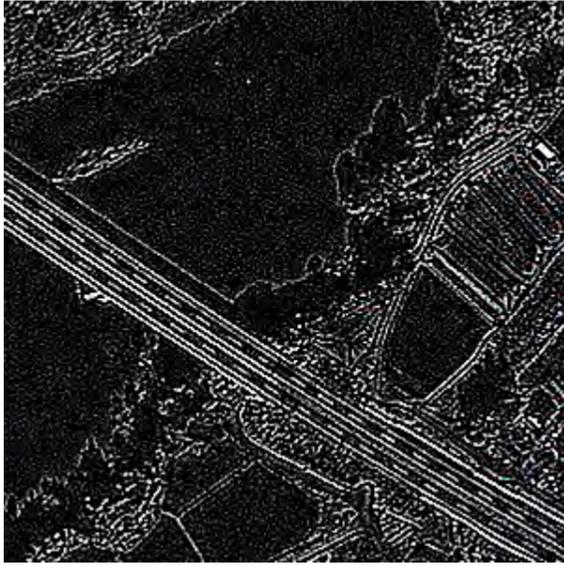
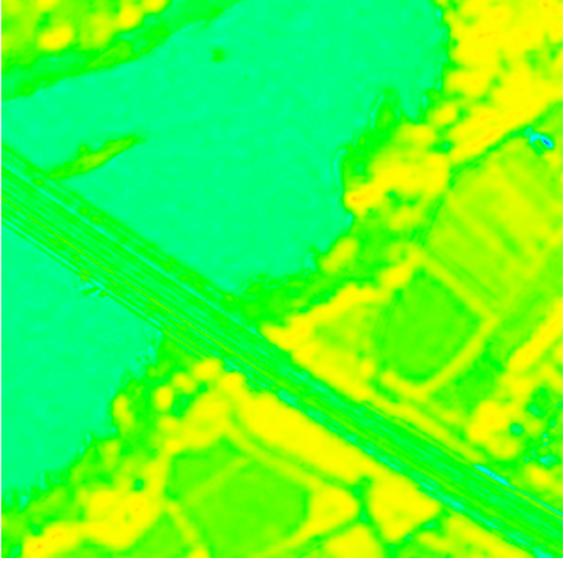
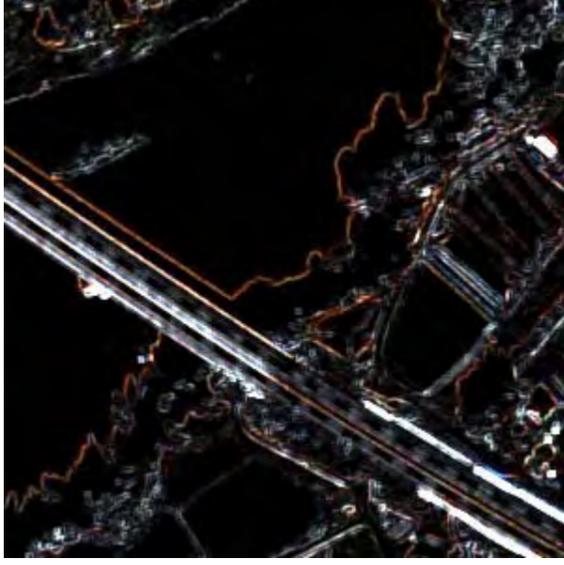
No.012	川口町 西川口	被害形態：河岸斜面崩壊	被害規模：小
<p>【被災後 IKONOS パンシャープン】</p> 	<p>【教師なし分類】 評価： (×)</p> 	<p>【エッジ抽出】 評価： × (×)</p> 	
<p>河岸斜面が崩壊しているが、影になっているため不明瞭である</p>	<p>赤色の影の中に小さな青い箇所が見られるが、被害箇所かどうかの明確な判断はできない</p>	<p>エッジ抽出からは判読できない</p>	
<p>【エッジ強調】 評価： ()</p> 	<p>【画像間演算(NDVI)】 評価： × (×)</p> 	<p>【テクスチャ】 評価： × (×)</p> 	
<p>原画像が明瞭なため、判読のレベルは変わらない</p>	<p>NDVI からは判読できない</p>	<p>輪郭は明瞭に抽出されているが、テクスチャから被害箇所は判読できない</p>	

図 1-2-13 河岸斜面崩壊（小規模）の各種画像処理結果

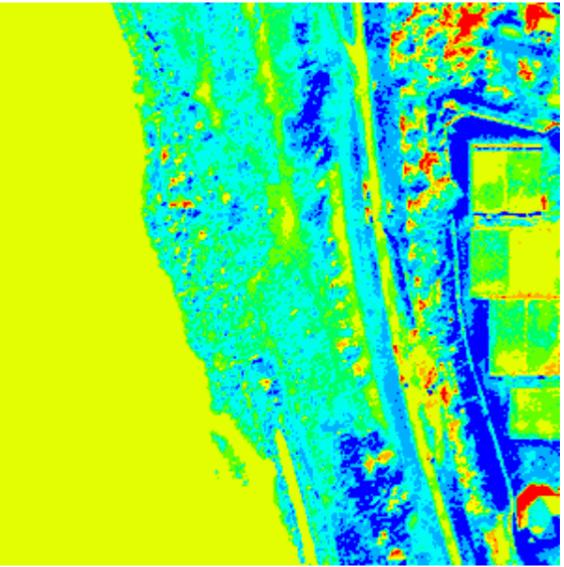
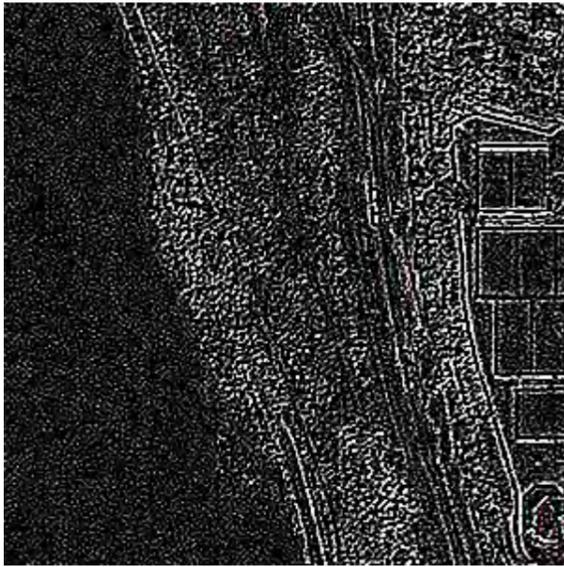
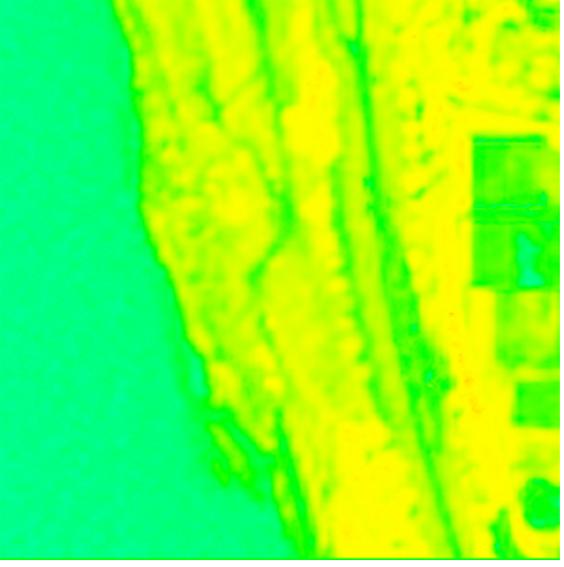
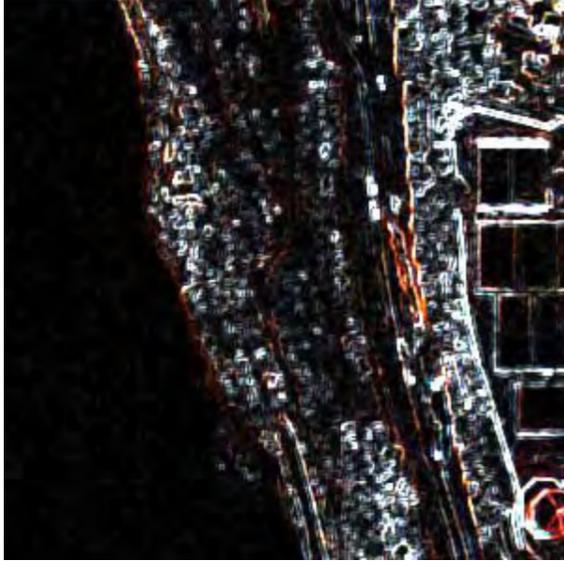
No.013	長岡市 三俣野町	被害形態：堤防護岸変状	被害規模：大
<p>【被災後 IKONOS パンシャープン】</p> 	<p>【教師なし分類】 評価： (×)</p> 	<p>【エッジ抽出】 評価： (×)</p> 	
<p>堤防が大きく崩れている</p>	<p>川の中に青色の部分が崩れ出ているように見えるため、川側に対しての被害範囲は判読できる。陸側は不明瞭である</p>	<p>堤防の線状が変形して被害を受けていることが判読できる</p>	
<p>【エッジ強調】 評価： ()</p> 	<p>【画像間演算 (NDVI)】 評価： (×)</p> 	<p>【テクスチャ】 評価： (×)</p> 	
<p>堤防が崩れている部分のエッジが強調されて、判読しやすくなっている</p>	<p>色情報からは判読できないが、教師なし分類同様に川側への被害範囲は判読できる</p>	<p>堤防の線状が変形して被害を受けていることが判読できる</p>	

図 1-2-14 堤防護岸変状 (大規模) の各種画像処理結果

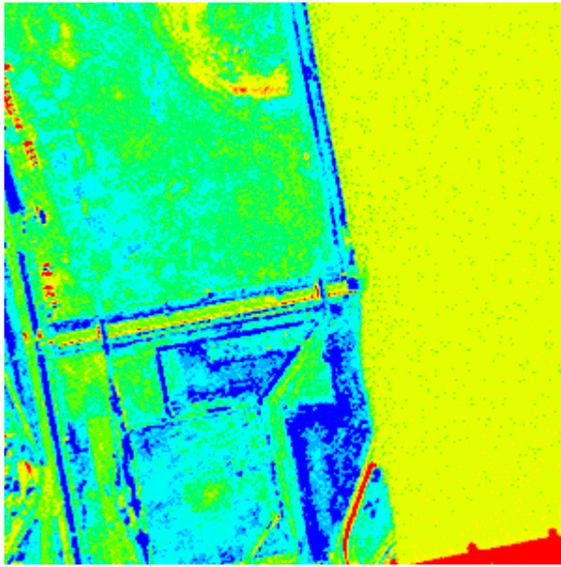
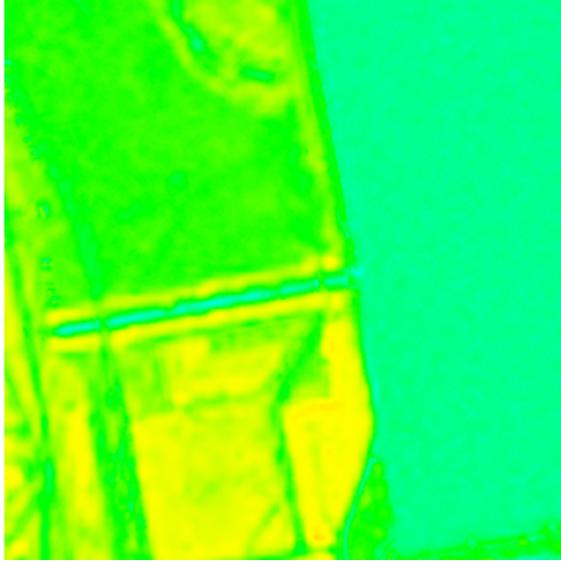
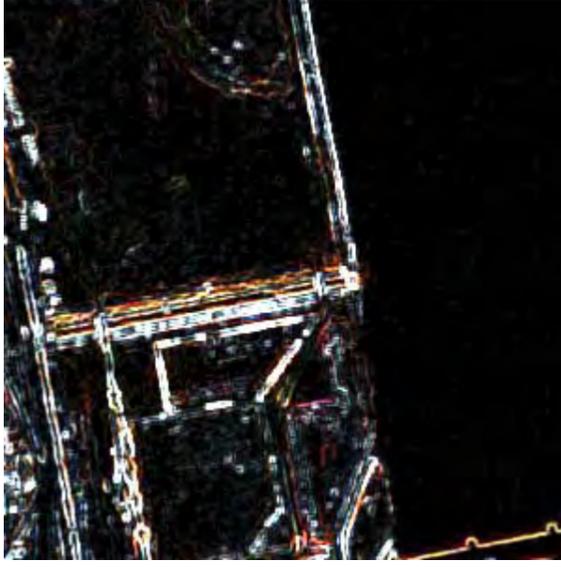
No.014	信濃川 妙見堰付近	被害形態：堤防護岸変状	被害規模：中
<p>【被災後 IKONOS パンシャープン】</p> 	<p>【教師なし分類】 評価：×(×)</p> 	<p>【エッジ抽出】 評価：(×)</p> 	
<p>堤防護岸が変状している</p>	<p>被害箇所が分類できていないため、教師なし分類から判読できない</p>	<p>線状の堤防が変形しているように見えるが、エッジが細いため不明瞭である</p>	
<p>【エッジ強調】 評価：()</p> 	<p>【画像間演算 (NDVI)】 評価：×(×)</p> 	<p>【テクスチャ】 評価：×(×)</p> 	
<p>エッジは強調されているが、原画像と判読のレベルは変わらない</p>	<p>堤防のラインがぼやけているため NDVI からは判読できない(植生指標であるため、構造物の被害判読には向かない)</p>	<p>輪郭が太いため、テクスチャから被害箇所は抽出できなかった</p>	

図 1-2-15 堤防護岸変状 (中規模) の各種画像処理結果

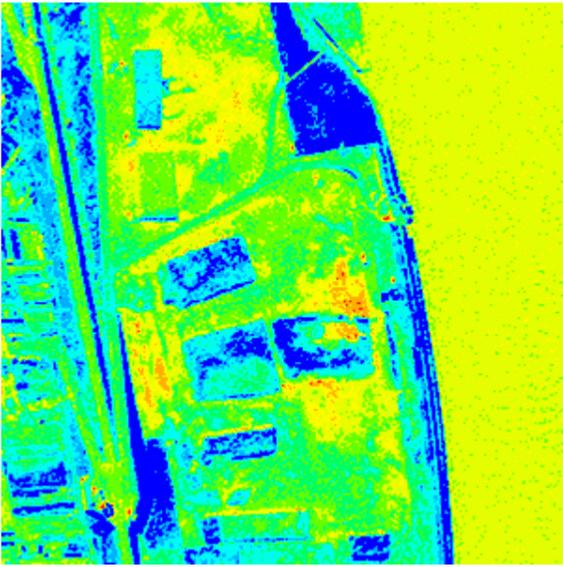
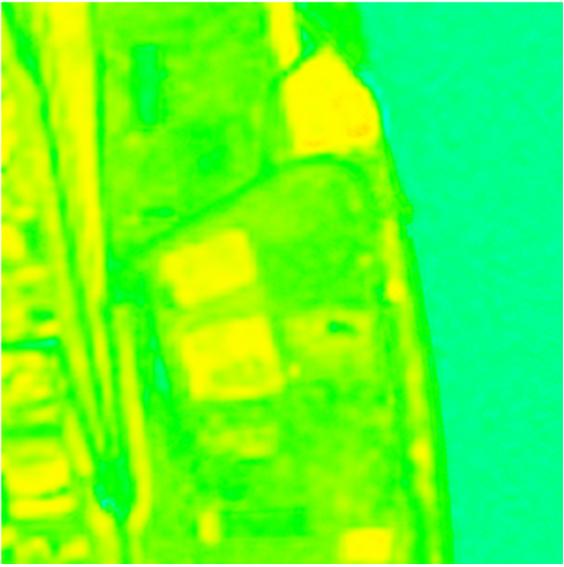
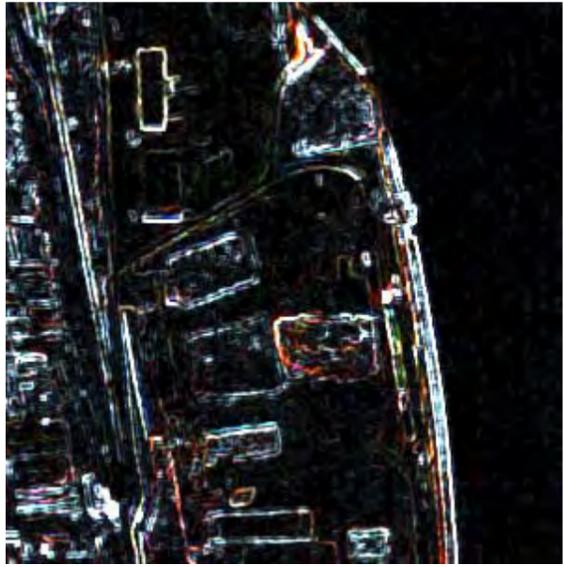
No.015	信濃川 妙見堰付近	被害形態：堤防護岸変状	被害規模：小
<p>【被災後 IKONOS パンシャープン】</p> 	<p>【教師なし分類】 評価： ()</p> 	<p>【エッジ抽出】 評価： ()</p> 	
<p>堤防護岸が変状している</p>	<p>被害箇所の分類はできていないが、護岸のラインに注視すると、護岸が崩れていることが判読できる</p>	<p>エッジは細いが、護岸が変状していることが判読できる</p>	
<p>【エッジ強調】 評価： ()</p> 	<p>【画像間演算 (NDVI)】 評価： × (×)</p> 	<p>【テクスチャ】 評価： × (×)</p> 	
<p>輪郭が強調され、護岸の変状が判読しやすくなった</p>	<p>堤防のラインがぼやけているため、NDVI からは判読できない</p>	<p>輪郭が太いため、テクスチャから被害箇所は抽出できなかった</p>	

図 1-2-16 堤防護岸変状 (小規模) の各種画像処理結果

(2) 被害箇所抽出結果の検証

画像処理手法の被害形態別の適用性検討結果を表 1-2-2 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 1-2-2 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				
施設	被災形態	エッジ抽出	エッジ強調	教師なし分類	テクスチャ	画像間演算 (NDVI)
切土法面変状	大			×	×	×
		×		×	×	×
	中	×		×		
		×		×		
	小					×
						×
盛土崩壊	大					×
					×	×
	中	×		×		
		×		×		×
	小				×	×
		×		×	×	×
路面覆土	大	×		×	×	×
		×		×	×	×
	中	×		×		×
		×		×	×	×
	小	×			×	
		×		×	×	×
河岸斜面崩壊	大	×				×
		×		×		×
	中	×		×	×	×
		×		×	×	×
	小	×			×	×
		×		×	×	×
堤防護岸変状	大			×	×	×
		×		×	×	×
	中			×	×	×
		×		×	×	×
	小				×	×
					×	×

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

次に、画像処理手法・被害形態・被害規模別に抽出結果を整理した。まず、画像処理手法別の抽出結果をまとめた結果を表 1-2-3 に示す。

表 1-2-3 画像処理手法別の抽出結果

画像処理手法	抽出結果	評価
エッジ抽出	構造物に対しては有効であったが、山間部においては樹木の樹冠 1 つ 1 つを抽出してしまうため逆に判読しづらくなった。	×
エッジ強調	エッジ抽出は二値化となるが、エッジ強調は「画像情報 + 輪郭強調」となり、処理前の画像情報も残るため、比較的判読しやすくなった。	
教師なし分類	色情報となるため、面的な被害形態に関しては有効であった。特に「構造物の上に土砂が被さる」といった形態では、被害箇所の色変化があるため判読しやすかった。	
テクスチャ	エッジ抽出と同様な処理結果となるが、道路や堤防などラインの太さによりテクスチャの方が判読しやすい場合もあった。	
画像間演算(NDVI)	樹木や土砂についての被害状況は判読できたが、道路や構造物についての被害状況は判読できなかった。	×

凡 例

	判読可能
	判読は難しい
×	判読不可能

そして、被害形態別に抽出結果をまとめた結果を表 1-2-4 に示す。どの被害形態も判読は可能であるが、規模が小さいと判読は難しいという結果となった。

表 1-2-4 被害形態別の抽出結果

被害形態	抽出結果	評価
切土法面変状	崩れた土砂が道路に被さっていれば抽出可能であるが、法面の形状からの判読は難しい。	
盛土崩壊	盛土が崩れて形状が変化しているため、エッジ抽出やテクスチャで判読が可能であった。	
路面覆土	規模の大小により判読の可否が分かれた。判読可否は画像処理手法には因らなかった。	
河岸斜面崩壊	大規模でないと判読は難しい。また、斜面の角度により撮影の影と重なり判読できない場所もあった。	
堤防護岸変状	堤防は線状のため比較的判読しやすいが、規模が小さいと判読は難しい。	

凡 例

	判読可能
	判読は難しい
×	判読不可能

最後に、被害規模別に抽出結果をまとめた結果を表 1-2-5 に示す。やはり大規模な被害形態については明確に抽出することが可能であったが、中規模以下になると画像処理によって抽出可否の違いが見られた。

表 1-2-5 被害規模別の抽出結果

被害規模	抽出結果	評価
大規模被害	どの画像処理を適用しても概ね判読可能であった。	
中規模被害	画像処理結果が線状になるもの（エッジ抽出やテクスチャ）については、被害形態により判読の良し悪しが分かれた。	
小規模被害	かなり判読は難しいが、道路（構造物）の被害についてはかろうじて判読可能であった。	×

凡 例

	判読可能
	判読は難しい
×	判読不可能

2. スマトラ沖地震による被害箇所の人工衛星画像からの抽出

2.1 被害状況

スマトラ沖地震は平成16年（2004年）12月26日、インドネシア西部時間午前7時58分50秒（日本時間午前9時58分、UTC午前0時58分）にインドネシア西部、スマトラ島北西沖のインド洋を震源としたマグニチュード9.0の地震であった。これは1900年以降、世界で4番目に大きい規模の地震であった。この地震により大津波が発生し、特にスマトラ島北端のアチェ特別州西海岸は甚大な被害を受け、州都バンダ・アチェや西アチェ県のムラボーなどはほぼ壊滅した。2005年1月現在、死亡者は166,320人、負傷者は最大で10万人と想定されている。

2.2 画像処理手法を適用した被害箇所の抽出

スマトラ沖地震による被害抽出のフロチャートを図2-2-1に示す。今回のように、大規模な被害でかつ地理情報の少ない海外で被害抽出を行う際には、中分解能衛星による処理を初めに行い概要を把握し、

解析範囲を絞り込んだ後に高分解能衛星による処理を行い、被害の詳細を把握するという手順とする方が効率的である。しかし、撮影のタイミングによっては高分解能衛星画像を先に入手する可能性もある。その場合、画像を購入する場所を決定することが難しいが、震源・震度情報や様々な地理情報から解析範囲を絞り込む必要がある。

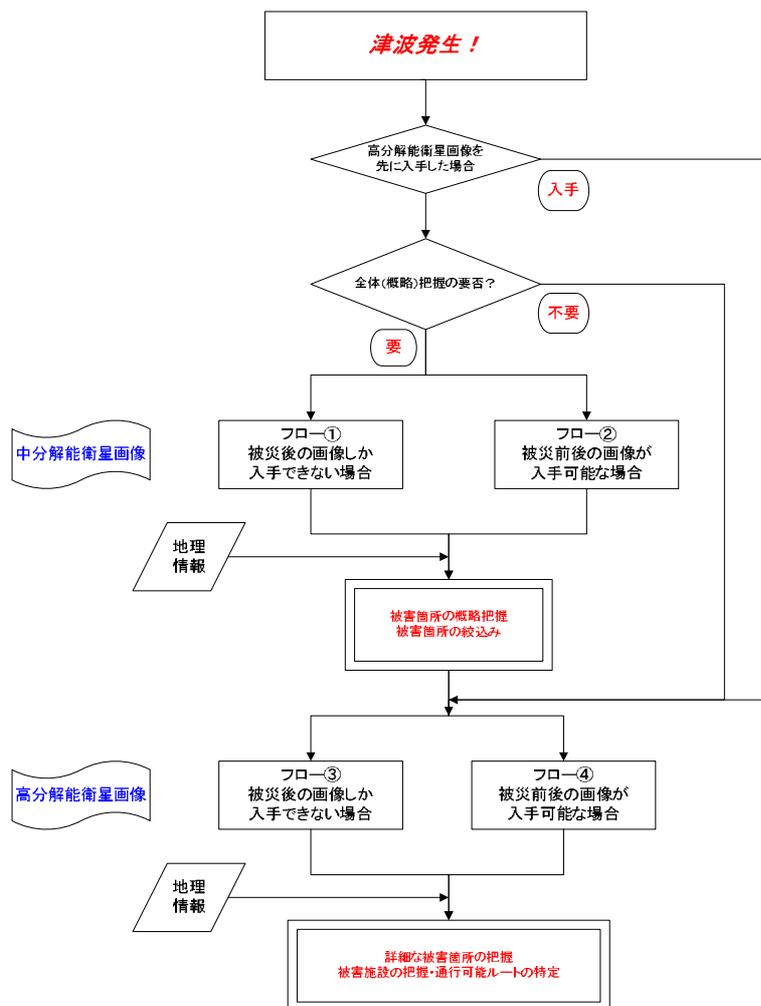


図 2-2-1 処理全体のフロチャート

2.3 衛星画像を利用した概況把握

(1) 中分解能衛星画像の利用

まず、スマトラ島北部の被害状況を全体的に把握するために、観測幅が広域である Landsat 衛星を利用した。画像検索の結果、地震の前後ともに直近の撮影があり、かつ、雲の影響も少ないので、次に示す画像を使用することにした。使用した Landsat 画像のうち、被災前（2004 年 12 月 21 日撮影）のフォルスカラー画像を図 2-3-1 に、被災後（2005 年 1 月 6 日撮影）のフォルスカラー画像を図 2-3-2 に示す。

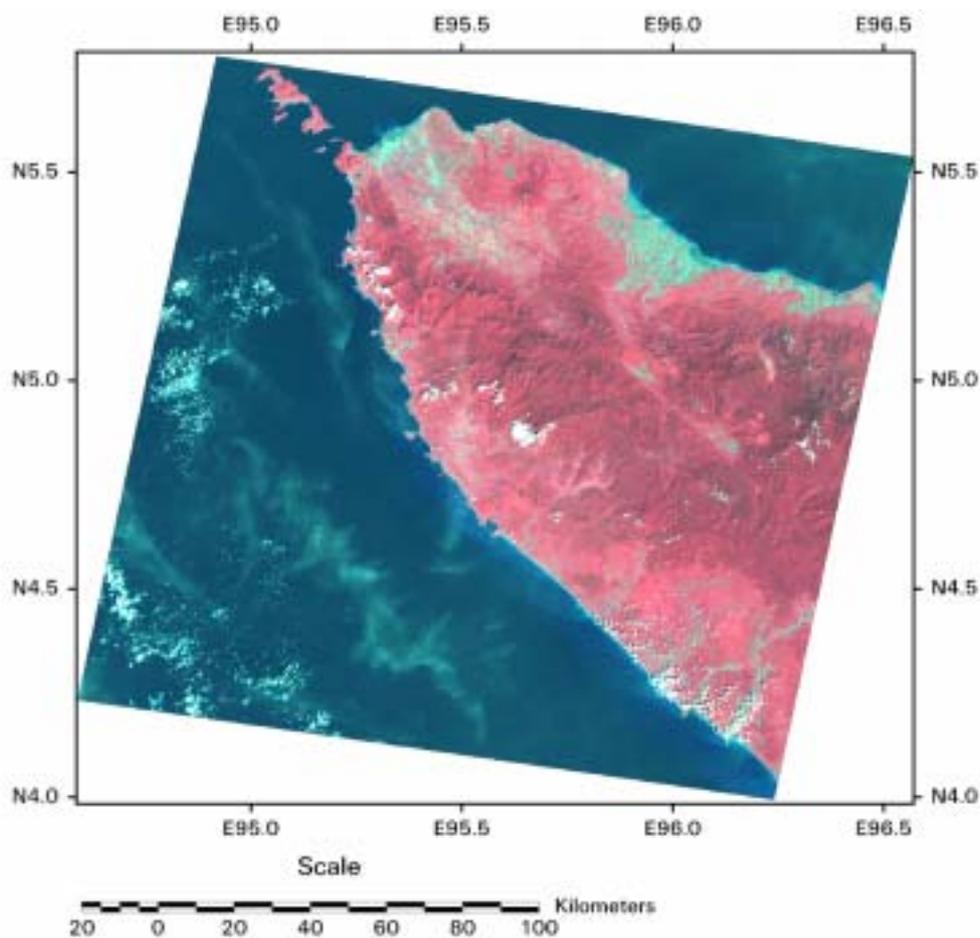


図 2-3-1 被災前（2004 年 12 月 21 日撮影）Landsat 画像（R:G:B=B4:B3:B2=近赤外:緑:青）

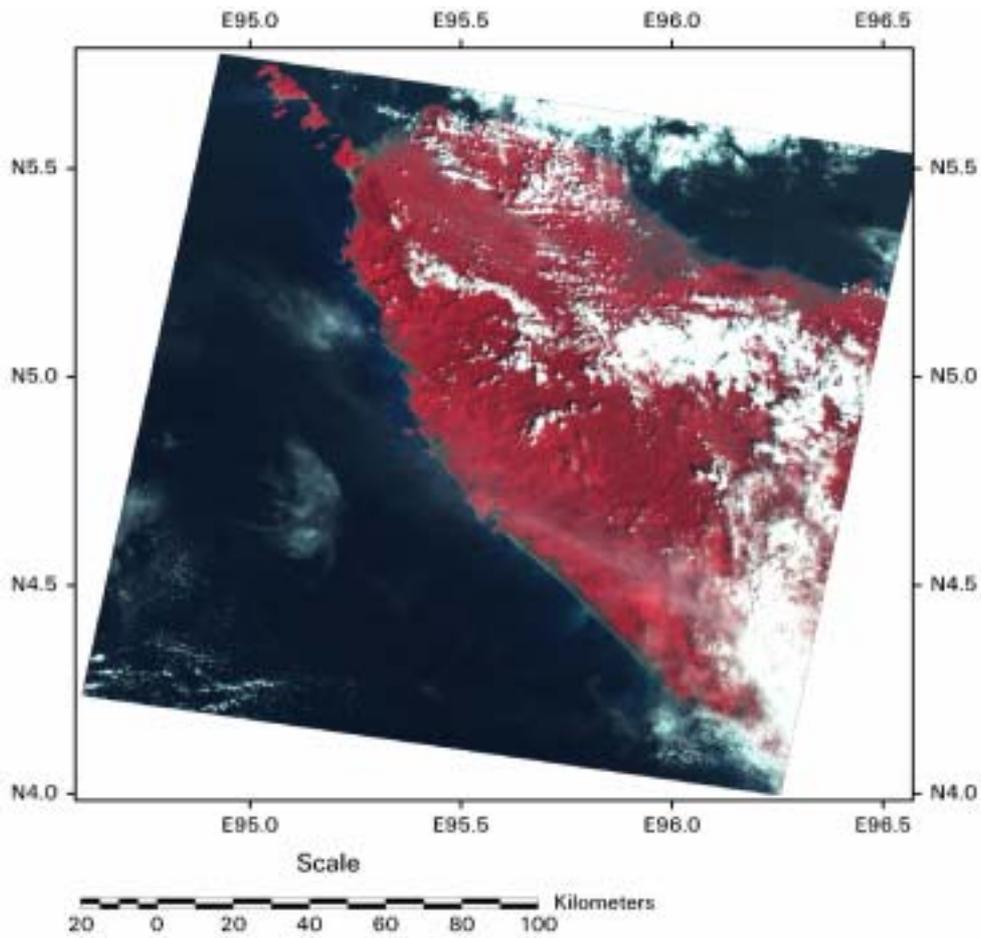


図 2-3-2 被災後（2005 年 1 月 6 日撮影）Landsat 画像（R:G:B=B4:B3:B2=近赤外:緑:青）

次に、スマトラ島の中分解能衛星画像を使用して行う画像処理について、フロチャートにとりまとめた。被災後のみの画像しか入手できなかった場合の処理フロチャートを図 2-3-3 に示す。被災前後の画像が入手出来た場合の処理フロチャートを図 2-3-4 に示す。

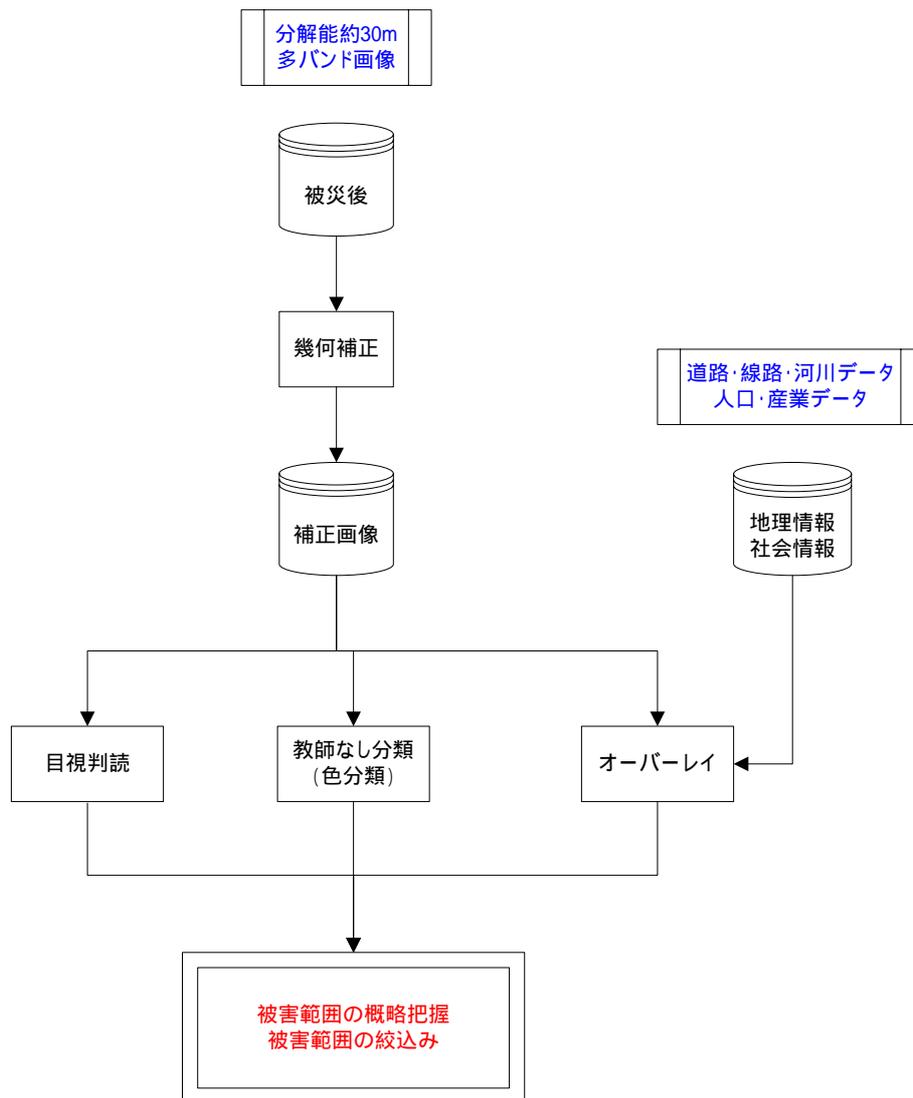


図 2-3-3 中分解能衛星を用いた画像処理フローチャート（被災後の画像のみ使用する場合）
（全体フロー（図 2-2-1）のフロー の部分に相当）

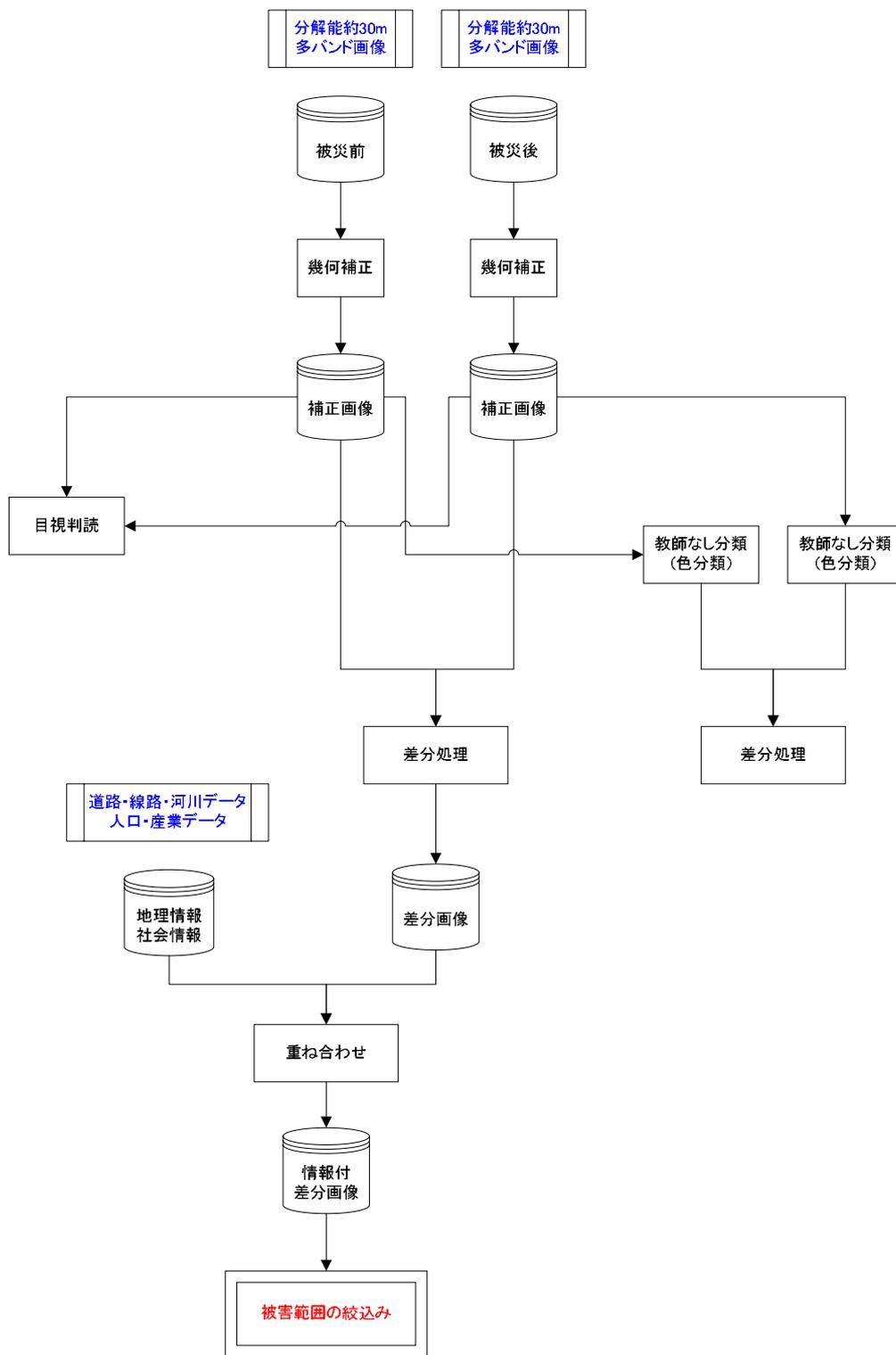


図 2-3-4 中分解能衛星を用いた画像処理フローチャート（被災前後の画像を使用する場合）
（全体フロー（図 2-2-1）のフロー の部分に相当）

被災前後の画像が使用可能であるため、図 2-3-4 のフロチャートに沿って進めた。今回の中分解能衛星での処理は概略の把握を目的としているため、被災前後の画像があり変化範囲が明確に抽出できる差分処理を適用した。他にも画像処理手法として目視判読や教師なし分類（色分類）によっても被災範囲の把握は可能であるが、それらの処理は高分解能衛星画像の使用時に行うこととした。差分の手法として、あらかじめ被災前後の画像に教師なし分類を行い、その差分を利用するというフローも考えられるが、作業が 2 段階になるため今回は適用除外とした。また、他の画像処理手法（エッジ抽出、エッジ強調、テクスチャ）については、適用しても分解能が低く有効でないためフロチャートから除外した。

フロチャートに沿って、被災前後の画像を重ね合わせて各バンド間で差分をとり、被害範囲の抽出を行った。その結果を図 2-3-5 に示す。赤色の範囲が被害範囲である。雲の部分については、一部灰色でマスクしてある。

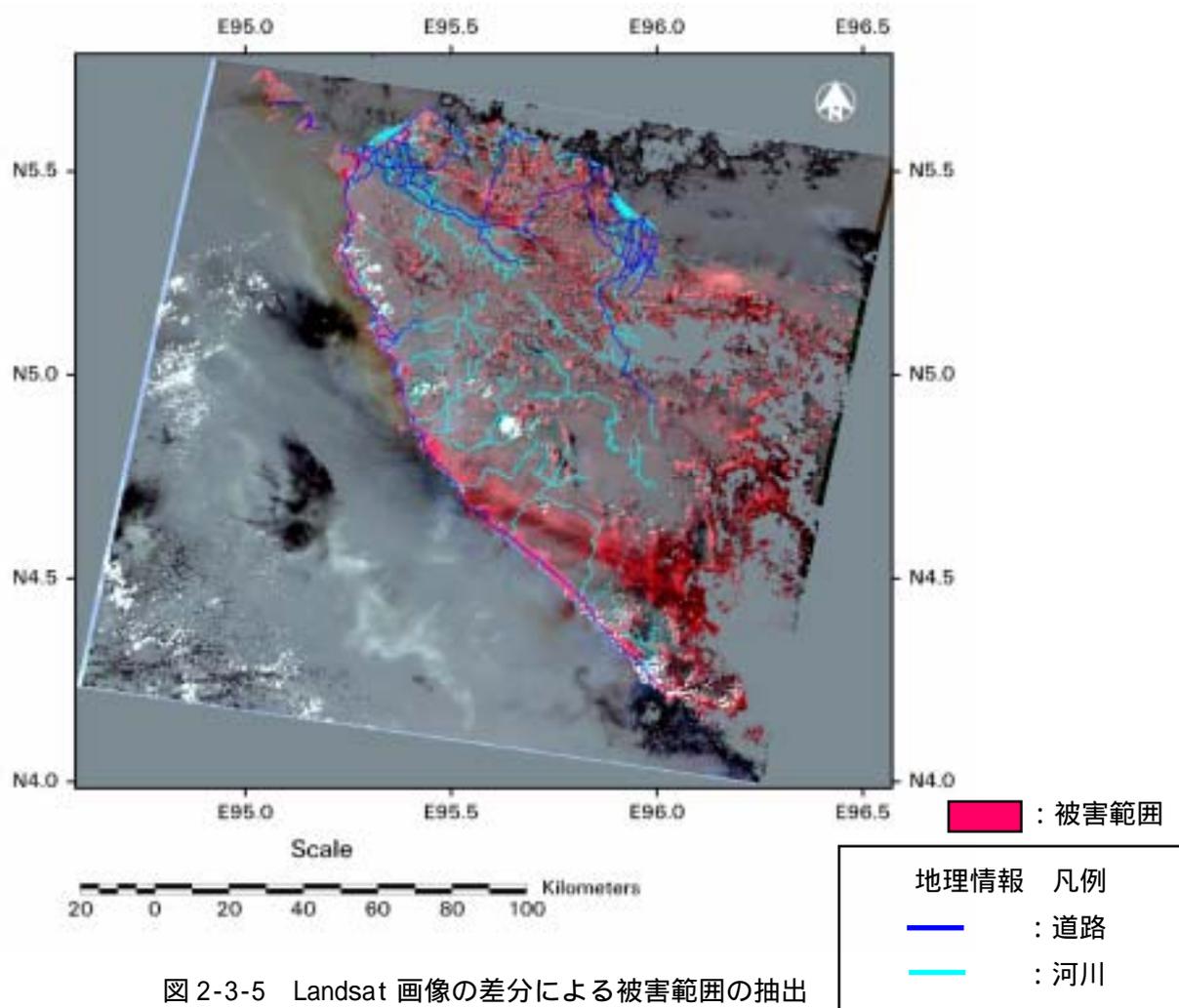


図 2-3-5 Landsat 画像の差分による被害範囲の抽出

また、図 2-3-5 には道路等の社会情報や河川等の地理情報を重ね、道路が集中している地域や河口周辺地域を「人口が集中する都市域」と判断した。スマトラ半島西部の海岸線沿いから人的被害が大きいと思われる範囲を選択し、高分解能衛星を用いて詳細な被害状況把握を行う範囲を図 2-3-6 に示す。選択した被害エリアの拡大図を図 2-3-7 から図 2-3-10 に示す。

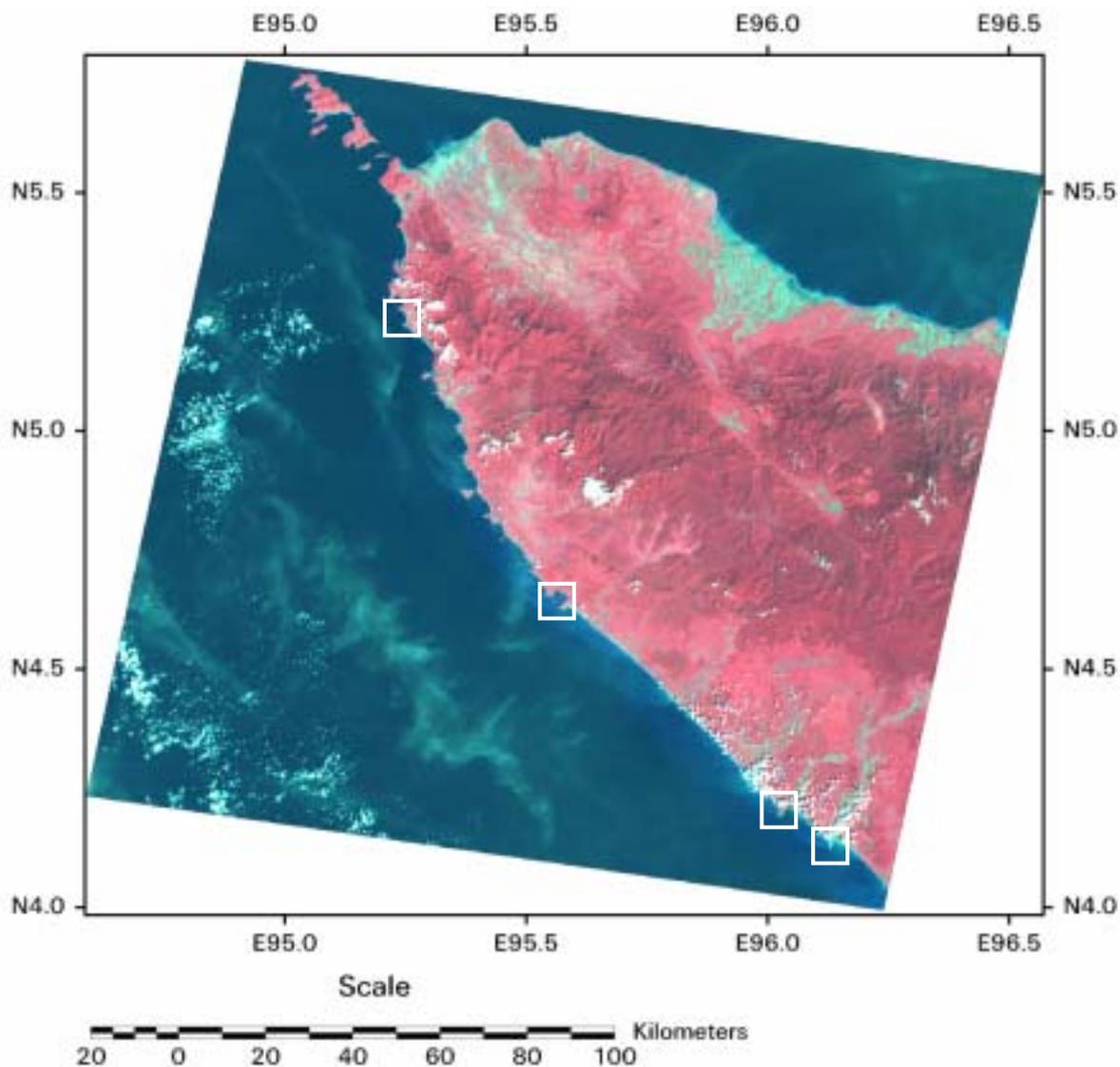


図2-3-6 選択した被害エリア（白枠が選択範囲）

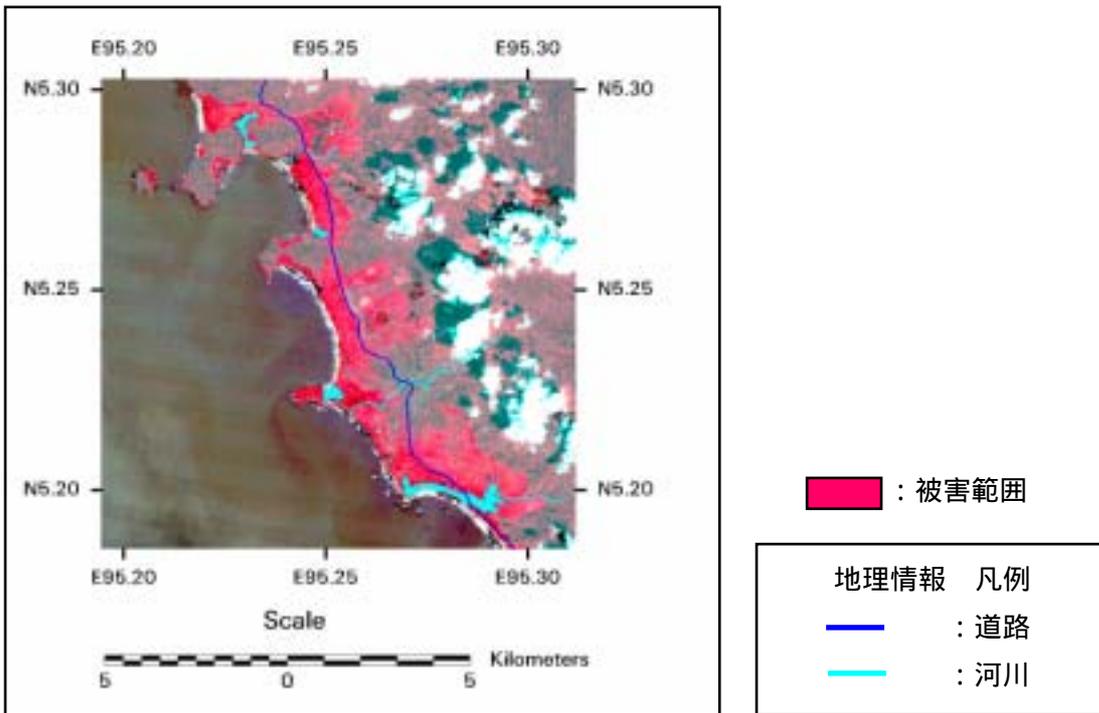


図2-3-7 重大被害エリア（その1：Blangme）

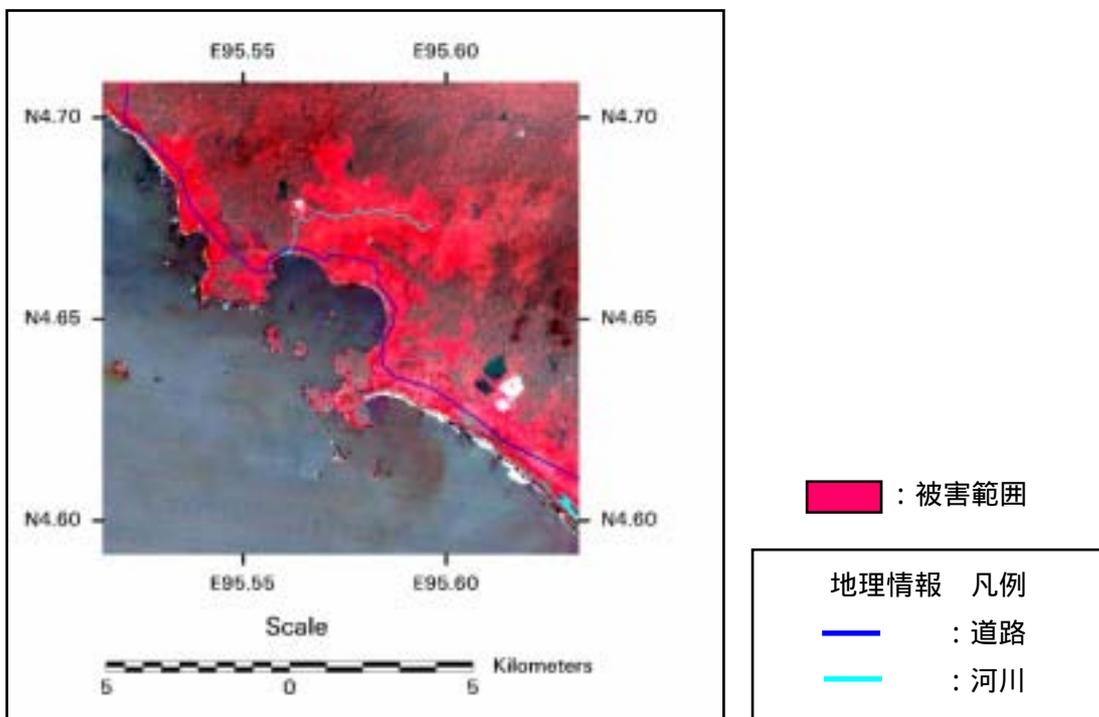


図2-3-8 重大被害エリア（その2：Calang）

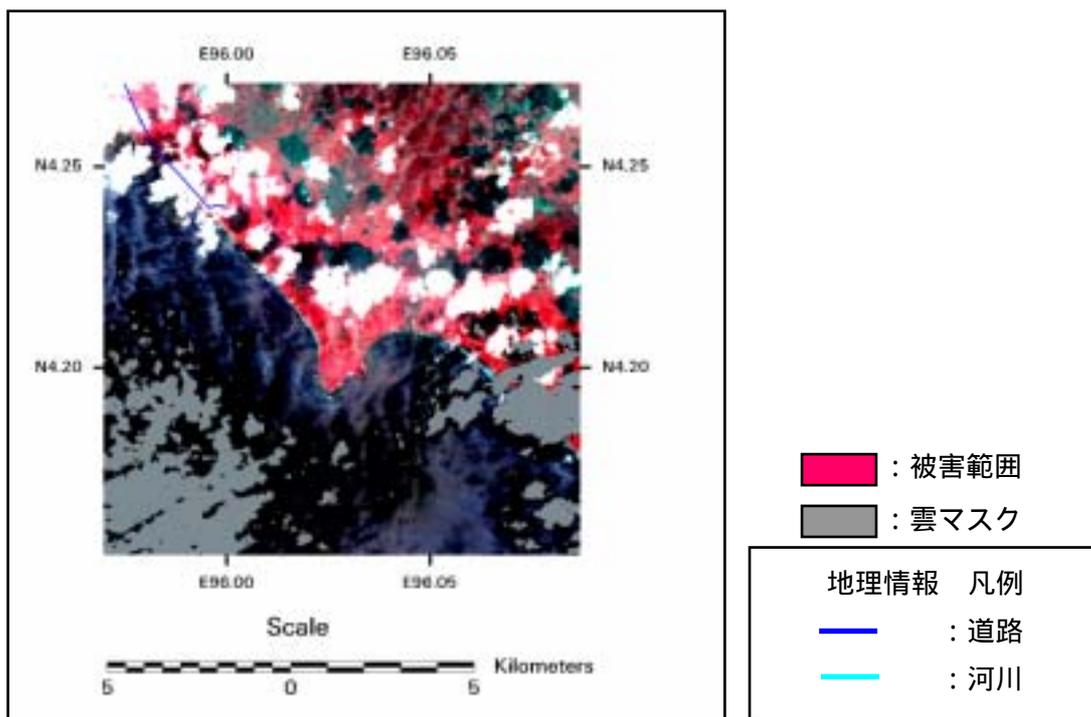


図2-3-9 重大被害エリア（その3：Kuala Bubon）

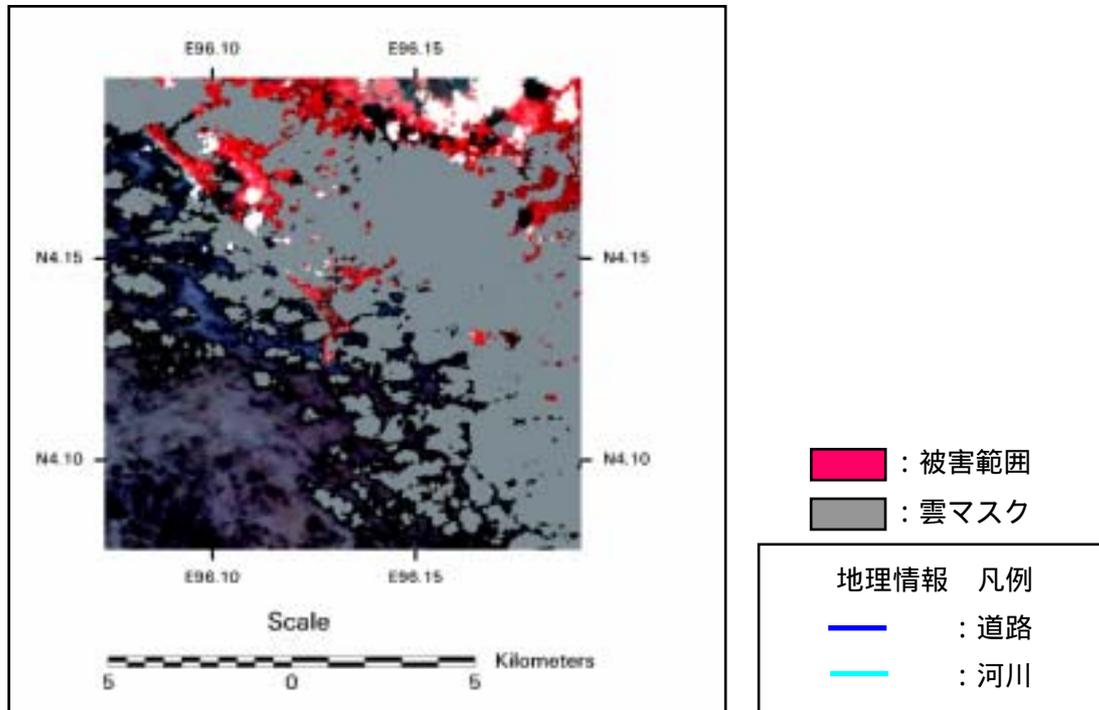


図2-3-10 重大被害エリア（その4：Meulaboh）

図2-3-7から図2-3-10は、フォルスカラー画像のため（R:G:B=B4:B3:B2=近赤外:緑:青）、被災前後の差分画像において「赤色が濃く残って表示された」ということは、近赤外波長の差分が大きいということである。すなわち、近赤外波長帯域に大きく反応する植生の変化が大きいことを示している。このことから、津波により植生が大きく被害を受けている範囲が判読できる。さらに、道路や河川といった都市情報を重ね合わせることによって、人口の集中する場所を推定することができる。今回は、人口が集中する都市域、かつ、植生の被害が大きい場所を、中分解能衛星を利用して選択した。選択した範囲の詳細な被害把握については、高分解能衛星を利用することとした。

(2) 高分解能衛星画像の利用

前項で選択した被害範囲について、高分解能衛星 (QuickBird) の画像を借用し、詳細な解析を行った。QuickBird の画像はパナクロマティック (モノクロ : 解像度約 0.6m) とマルチスペクトル (青、緑、赤、近赤外 : 解像度約 2.4m) があるが、今回はこの 2 種類の画像を合成し、パンシャープン画像 (青、緑、赤、近赤外 : 解像度約 0.6m) を作成して利用した。QuickBird の仕様を表 2-3-1 に示すとともに、使用した被災前後の QuickBird 画像を図 2-3-11 から図 2-3-18 に示す。

表 2-3-1 QuickBird の仕様

スペック項目	QuickBirdデータ
軌道高度	450Km
軌道傾斜角	太陽同期極軌道 (98 °)
衛星重量	950Kg
平均再訪時間	1 ~ 3.5日
センサ機構	プッシュブルームセンサ
ポインティング機構	前後・左右 ±30 °
パナクロセンサ分解能	0.61m (直下点で)
パナクロバンド帯域	450 ~ 900nm
カラーセンサ分解能	2.44m (直下点で)
カラーバンド帯域	Blue 450 ~ 520nm
	Green 520 ~ 600nm
	Red 630 ~ 690nm
	Near IR 760 ~ 900nm
観測幅	スナップショット: 16.5Km × 16.5Km
	ストリップ : 16.5Km × 165Km
	ステレオ (標準) : 16.5Km × 16.5Km

日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社 ホームページより



図 2-3-11 False 画像



図 2-3-11 True 画像

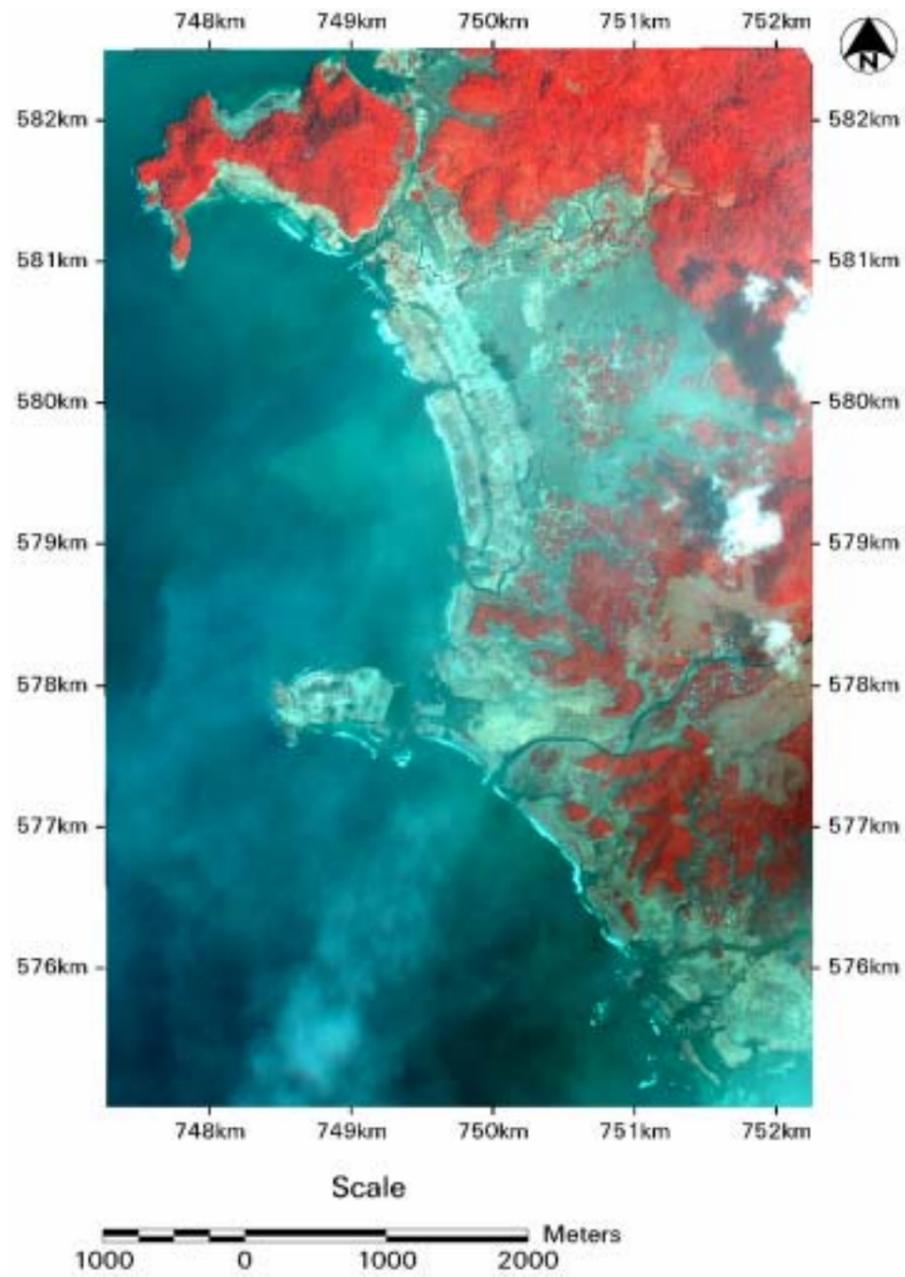


図 2-3-12 False 画像



図 2-3-12 True 画像

Calang 被災前 2004年4月17日撮影

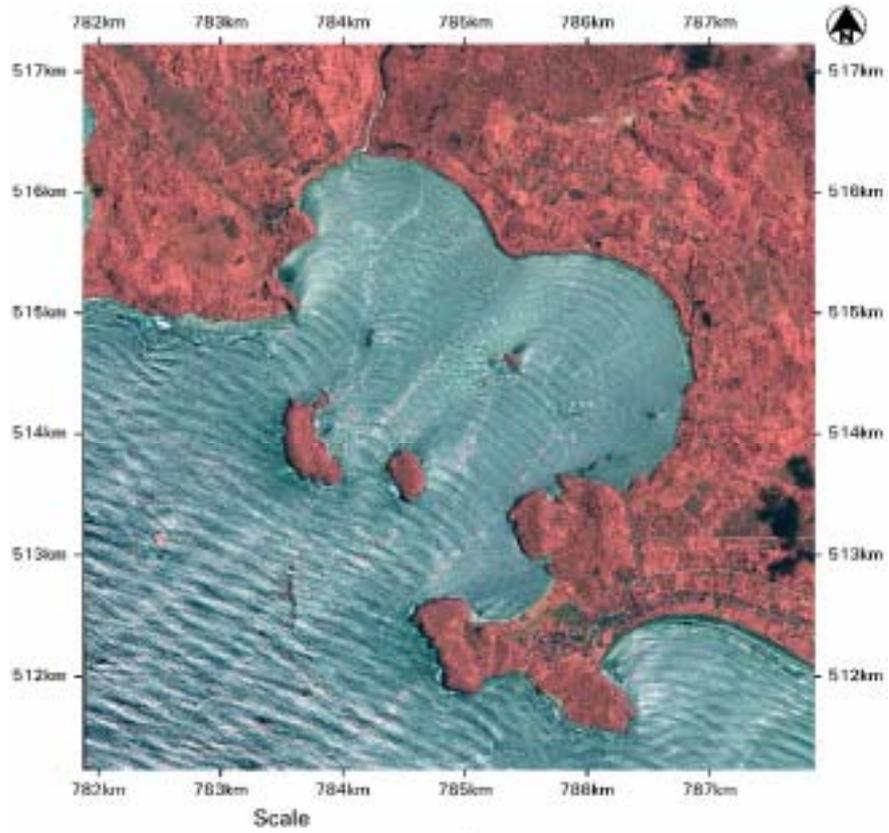


図 2-3-13
False 画像

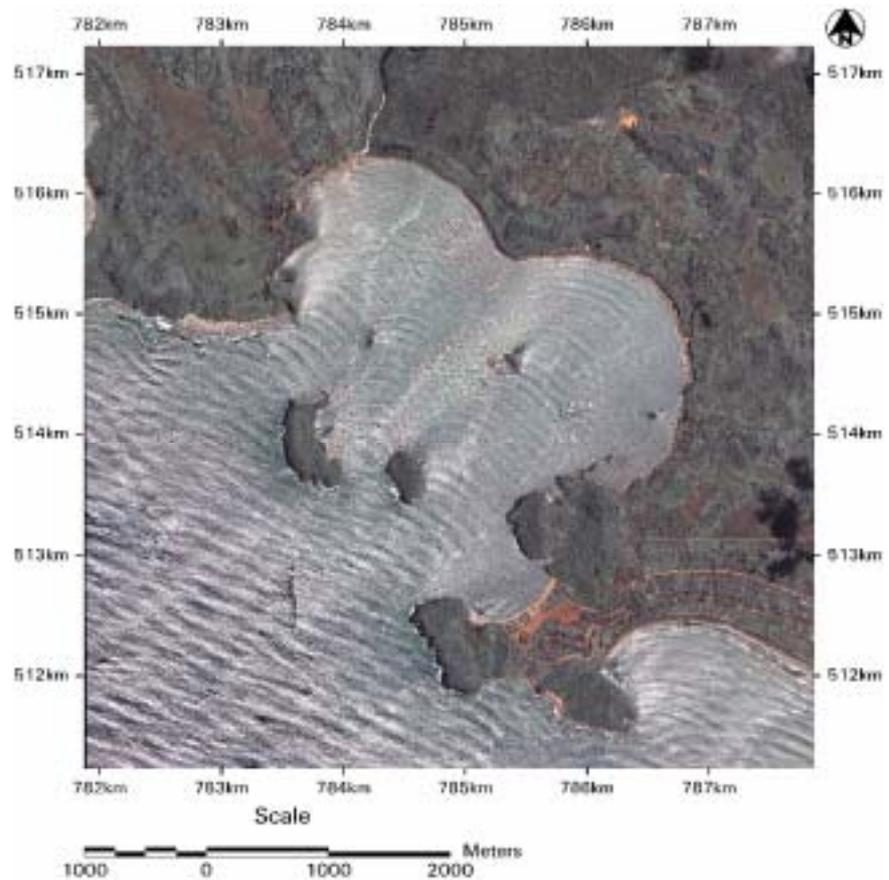


図 2-3-13
True 画像

Calang 被災後 2005年1月7日撮影

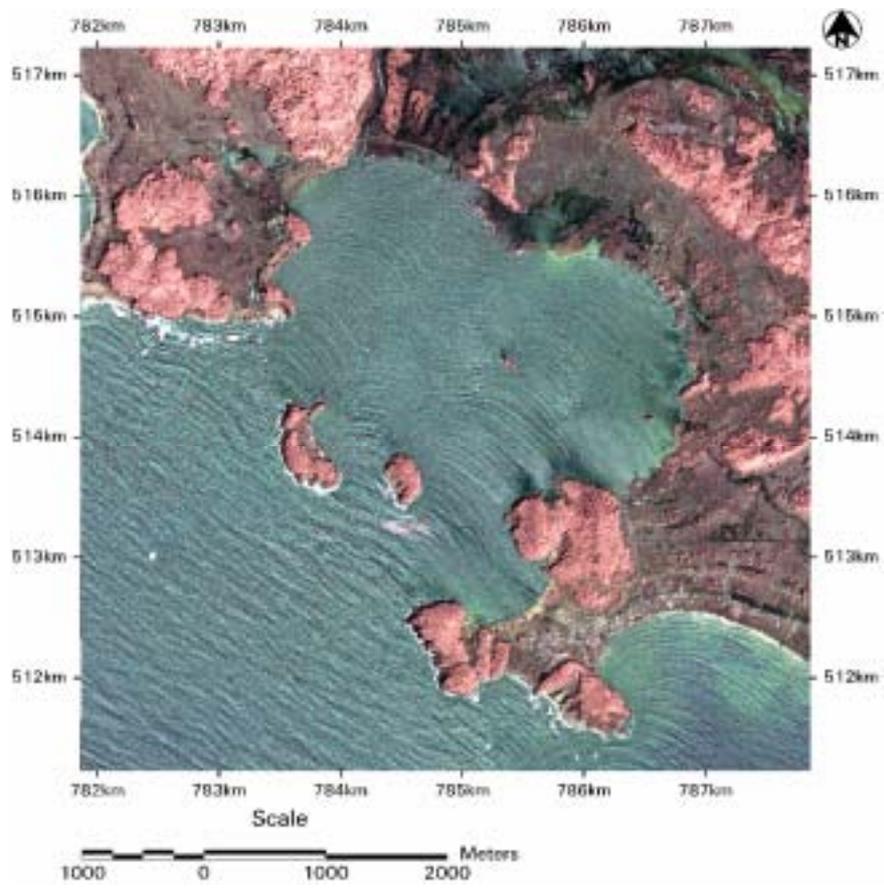


図 2-3-14
False 画像

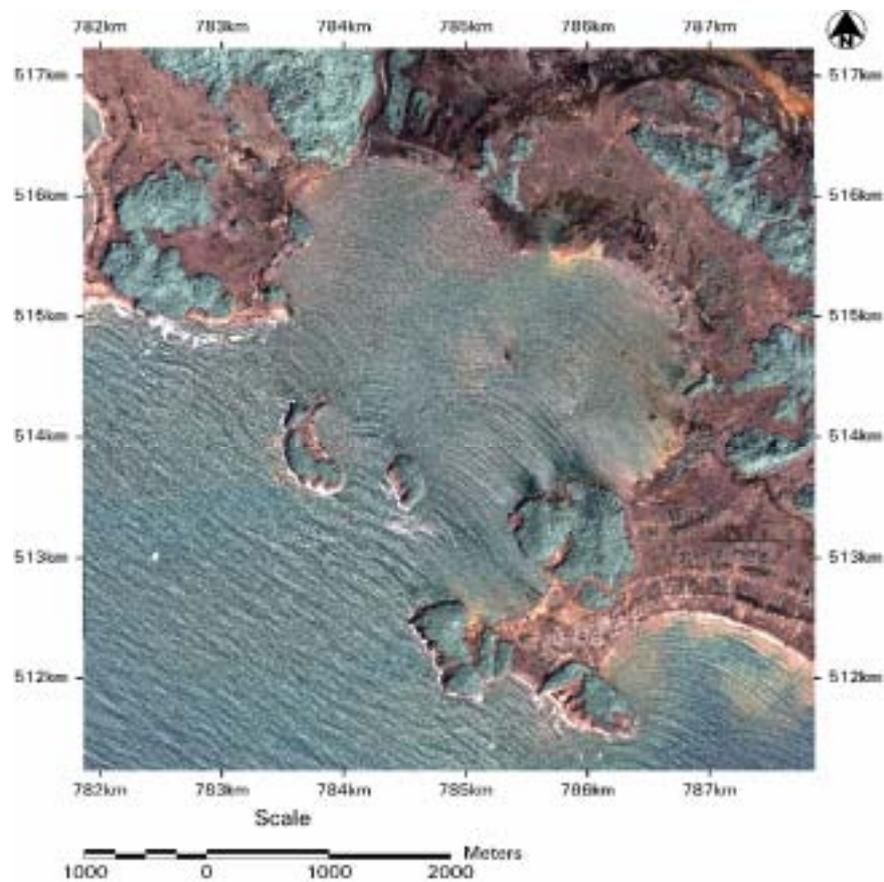


図 2-3-14
True 画像

Kuala Bubon 被災前 2002年9月19日撮影

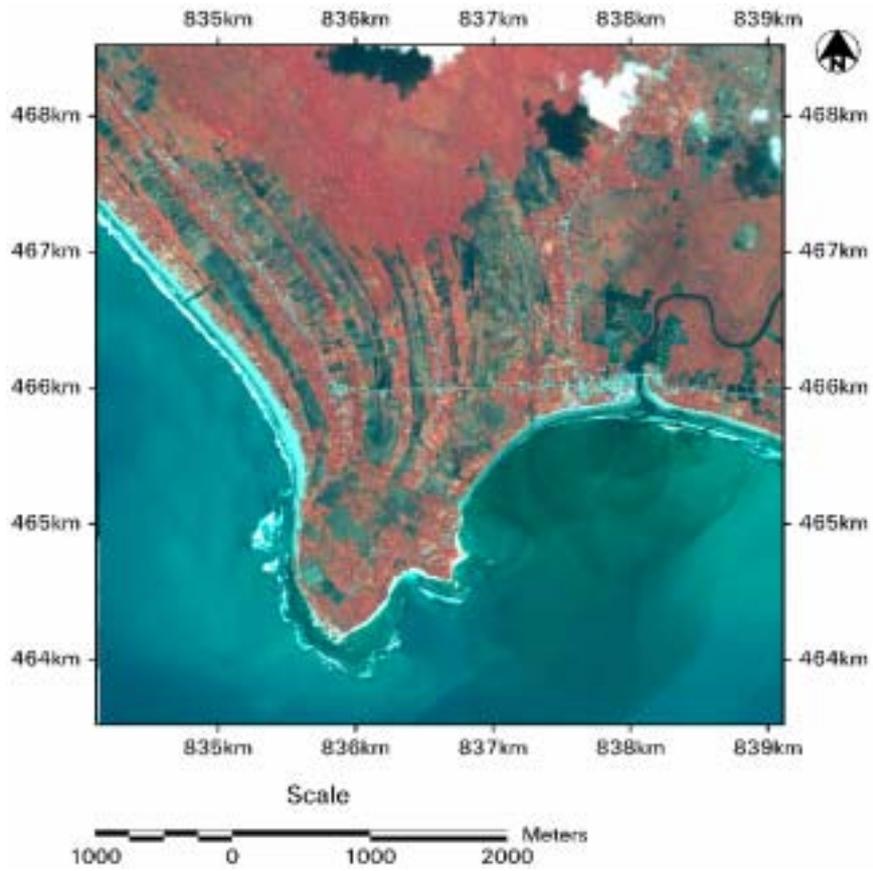


図 2-3-15
False 画像

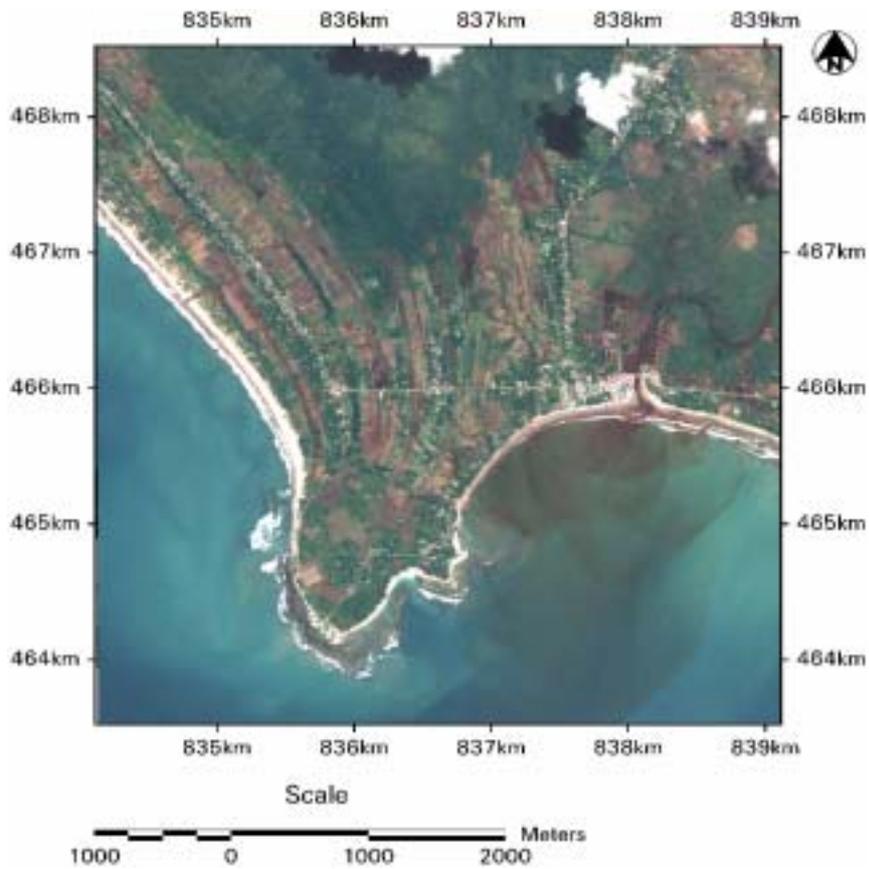


図 2-3-15
True 画像

Kuala Bubon 被災後 2005年1月7日撮影

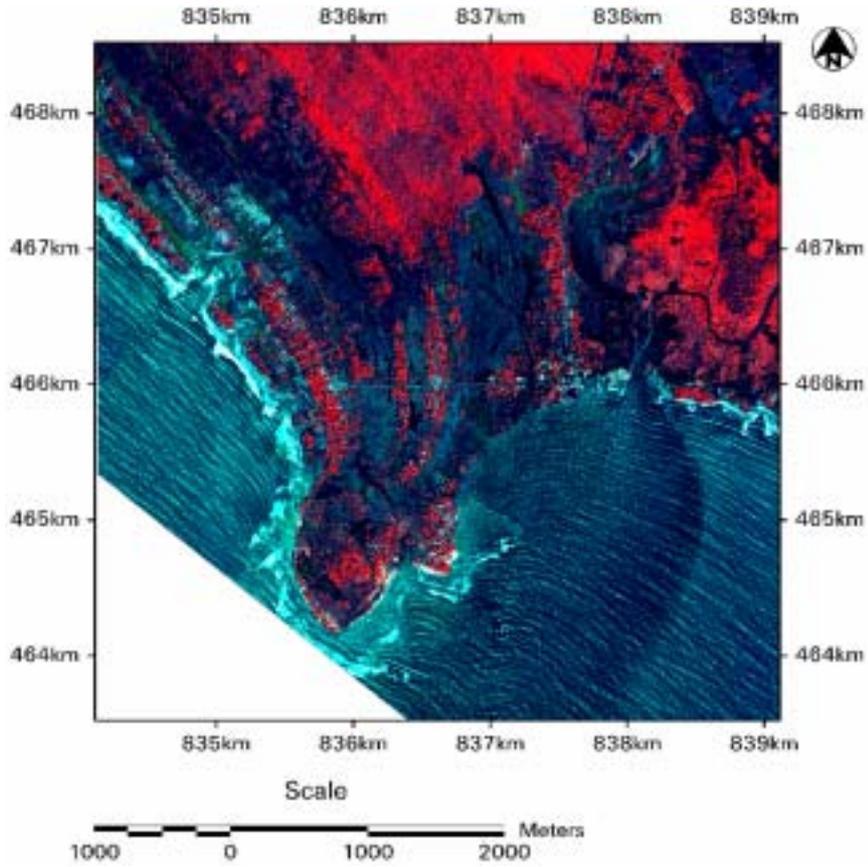


図 2-3-16
False 画像

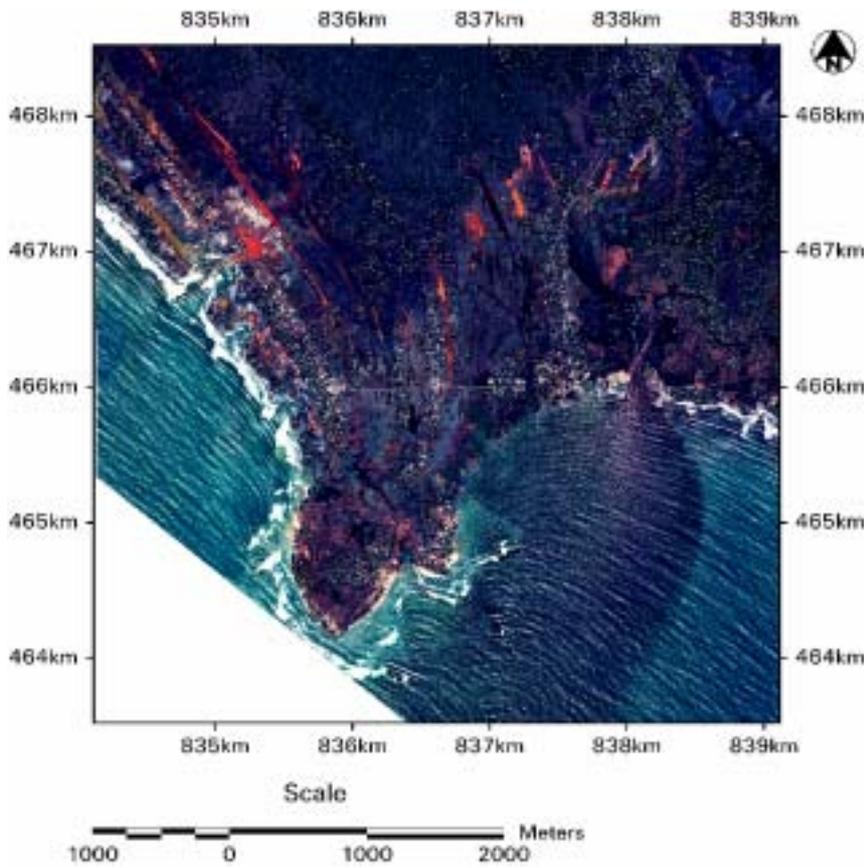


図 2-3-16
True 画像

Meulaboh 被災前 2004年5月18日撮影

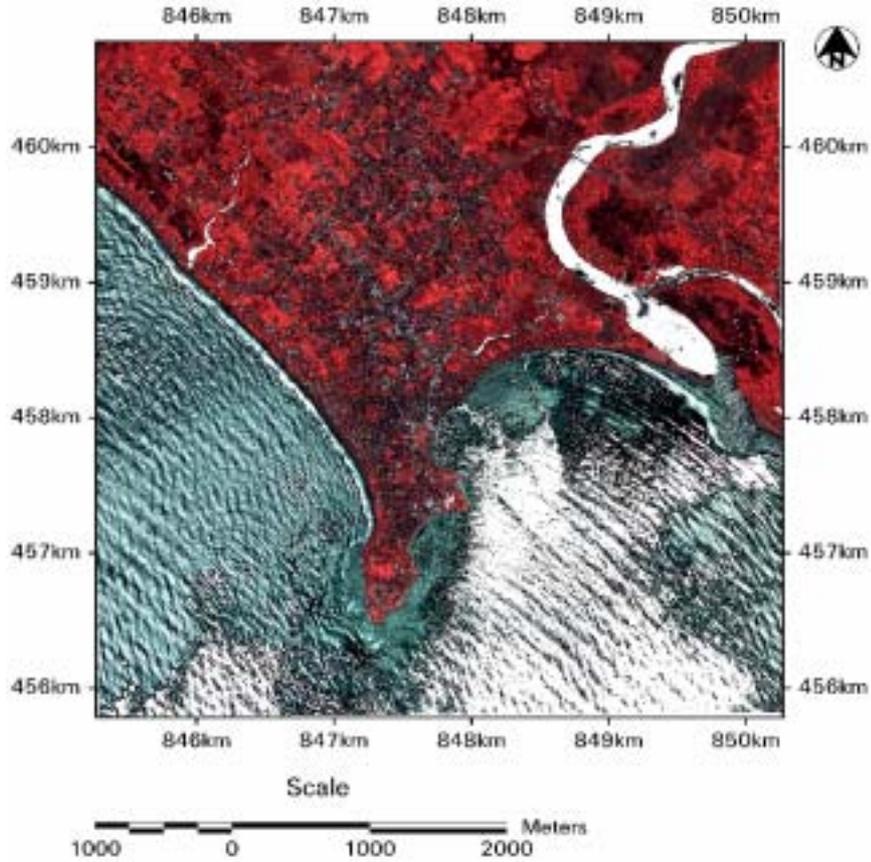


図 2-3-17
False 画像

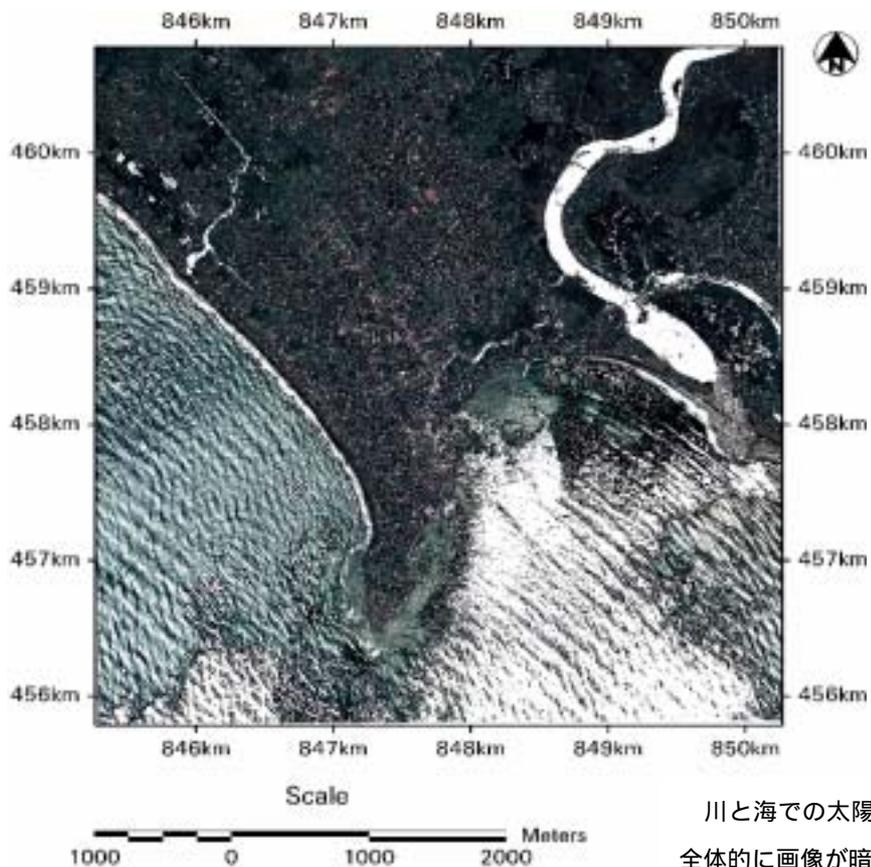


図 2-3-17
True 画像

川と海での太陽光の反射が強いため、
全体的に画像が暗くなっている。

Meulaboh 被災後 2005年1月7日撮影

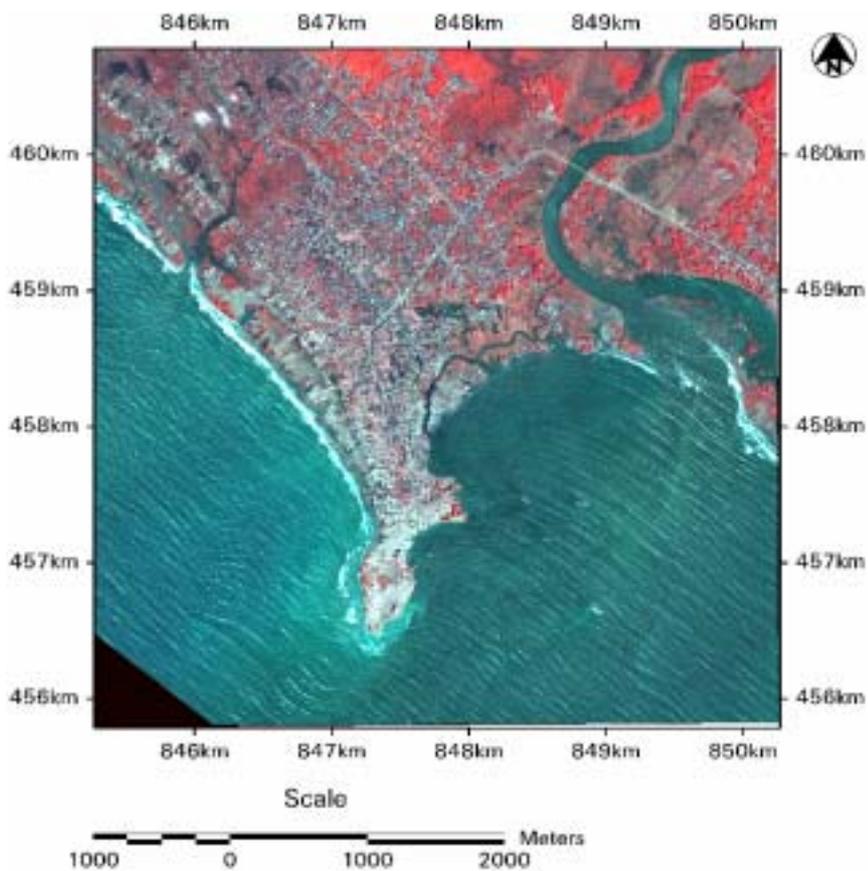


図 2-3-18
False 画像

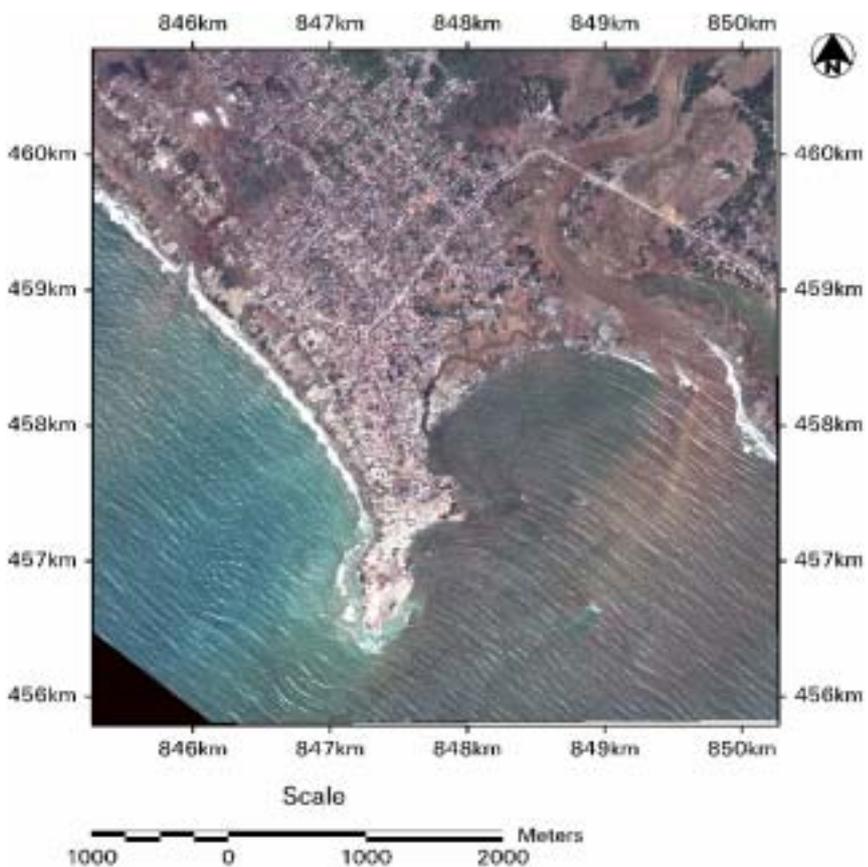


図 2-3-18
True 画像

次に、スマトラ島の高分解能衛星画像を使用して行う画像処理について、フロチャートにとりまとめた。過年度までの報告書や、前節の IKONOS 画像での結果や中分解能衛星での結果を踏まえて、被災後のみの画像しか入手できなかった場合の処理フロチャートを図 2-3-19 に示す。被災前後の画像が入手出来た場合の処理フロチャートを図 2-3-20 に示す。

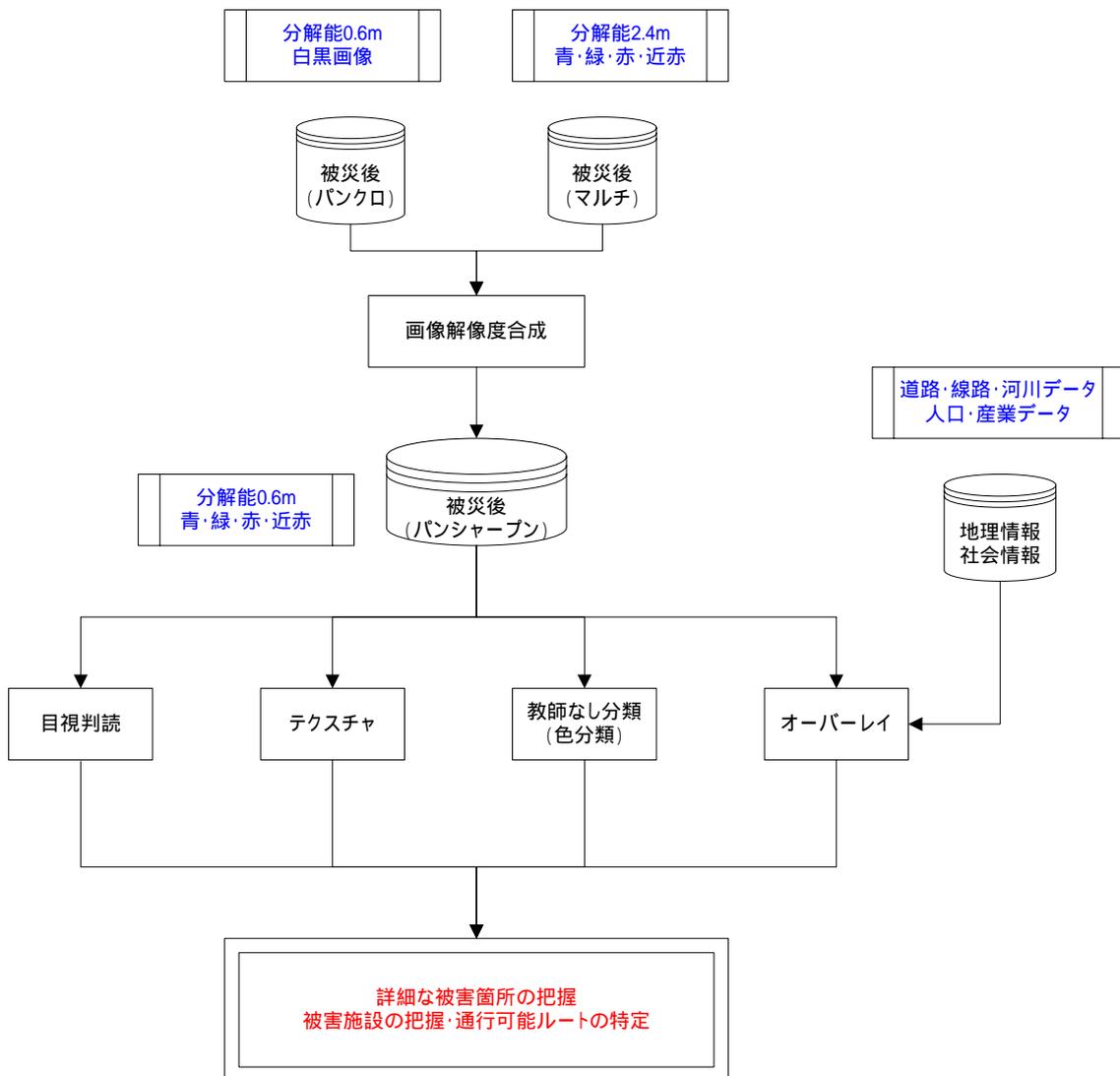


図 2-3-19 高分解能衛星を用いた画像処理フロチャート(被災後の画像のみ使用する場合)
(全体フロー(図 2-2-1)のフローの部分に相当)

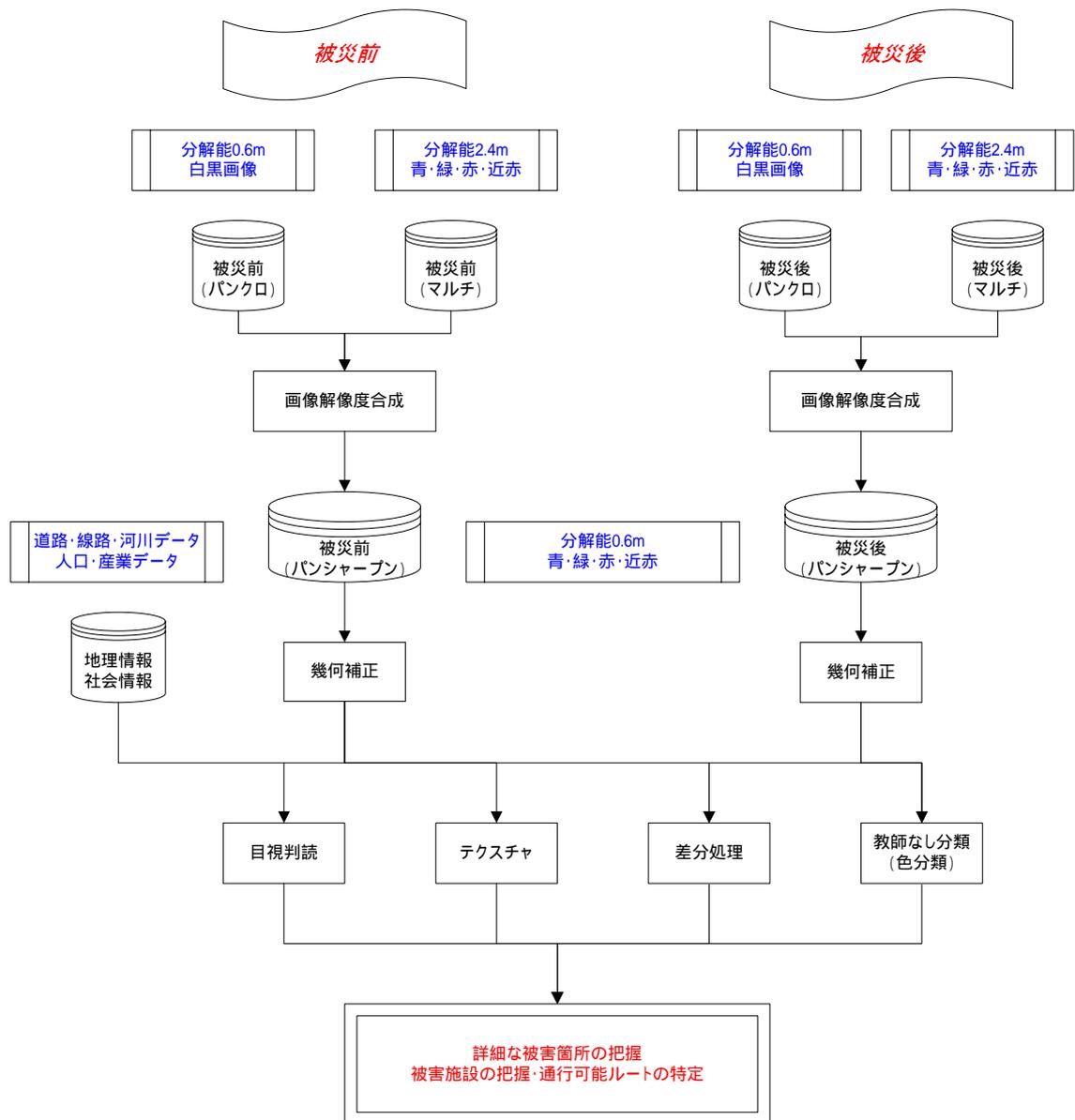


図 2-3-20 高分解能衛星を用いた画像処理フローチャート(被災前後の画像を使用する場合)
(全体フロー(図 2-2-1)のフローの部分に相当)

今回は被災前後の画像が使用可能であるため、図 2-3-20 のフローチャートに沿って画像処理を進めることとした。

被災後画像による目視判読

まずは、高分解能衛星画像から目視により被害状況をどこまで把握できるかを確認した。画像の表示方法については、QuickBirdには植生の被害が明瞭に判読できる近赤外のバンドが含まれているため、トゥルーカラーの他にフォルスカラー（R：G：B＝近赤外：緑：青）とした。解像度が約0.6mの画像であるため、構造物の被害については図2-3-21から図2-3-24に示す4事例のように、かなり詳細に把握することが可能である。

トゥルーカラーの画像は通常の航空写真と同じ色合いであり、一般の人が目視判読を行っても読み取ることが可能である。一方フォルスカラーの画像は、植生（緑）からの反射が大きい近赤外を赤色に表示するため、画像解析の経験者でないと判読に戸惑う可能性がある。しかし、近赤外の波長帯を用いることにより、森林や樹木の被害や変化が明瞭に判読できるというメリットがある。目視判読を行う際には、表示方法についても注意する必要がある。

事例 1 : 橋の崩壊

Blangme における橋の崩壊について目視判読を行った。高分解能衛星であるため、道路は明瞭に確認できる。道路を道沿いに追っていくと橋が崩壊していた。津波により落橋し、冠水していることが読み取れる。

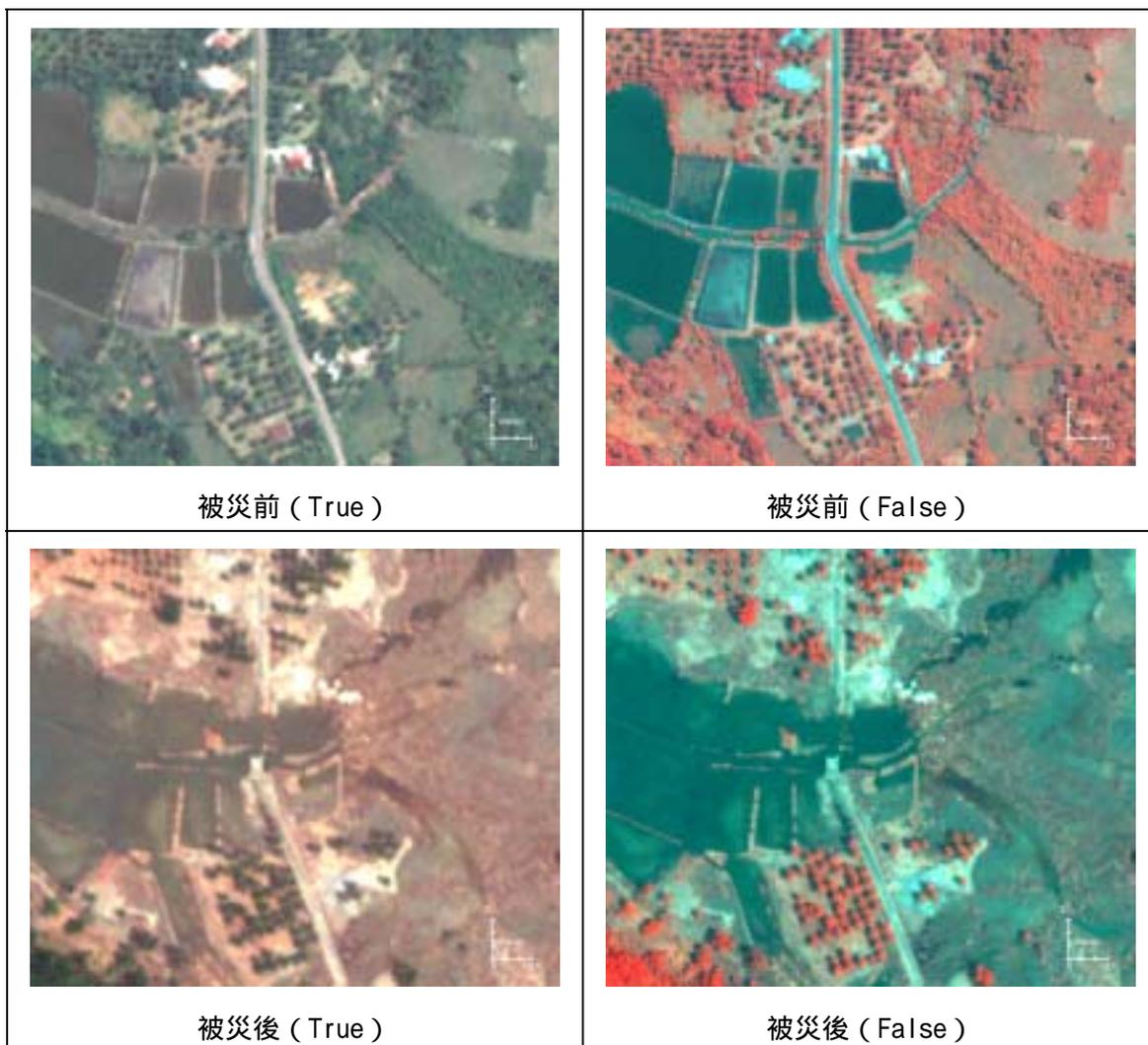


図 2-3-21 目視による被害判読 (事例 1 : 橋の崩壊)

事例 2 : 道路の通行不可

津波による土砂により道路が埋もれてしまった事例である。True Color の被災後の画像からは、道路が泥に埋もれていることが画像の色から判読できる。False Color の画像からは、被災前後の画像の比較より津波による植生の減少（赤色の減少）が判読できる。True Color から判読できた被災後の泥については、False Color では淡い緑色で表現されるため判読が難しい。

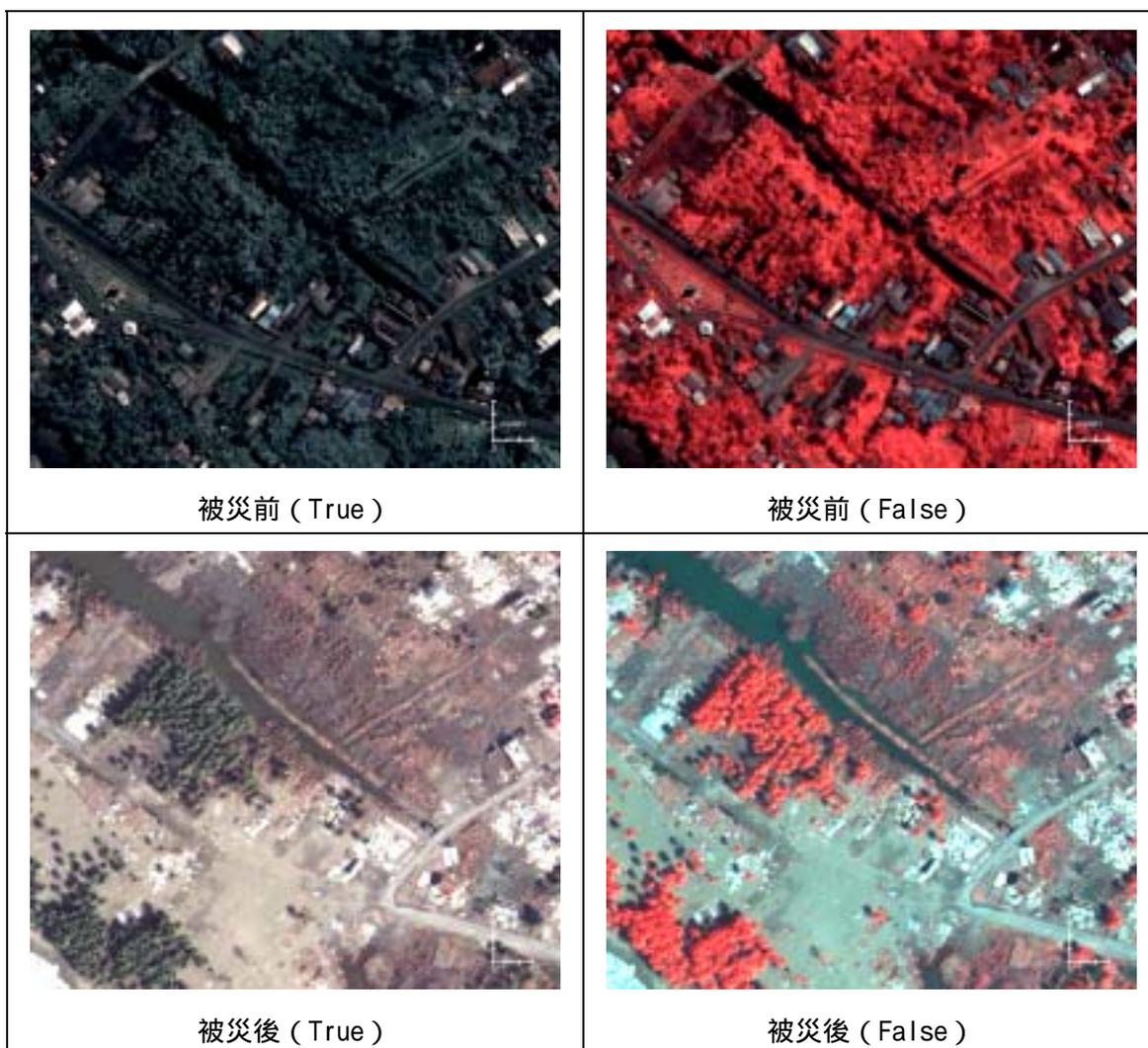


図 2-3-22 目視による被害判読（事例 2 : 道路の通行不可）

事例 3 : 海岸付近の津波被害

津波による海岸線付近の被害状況を目視判読した。被災前は田畑の区画が明瞭に読み取れるが、被災後は水に流されて確認できない状態である。また、被災前の画像では把握できないが、画像右上の範囲は高低差があり、被災後の画像では水が溜まっていることが読み取れる。海岸線付近の小さな樹木は完全に流されてしまっている。

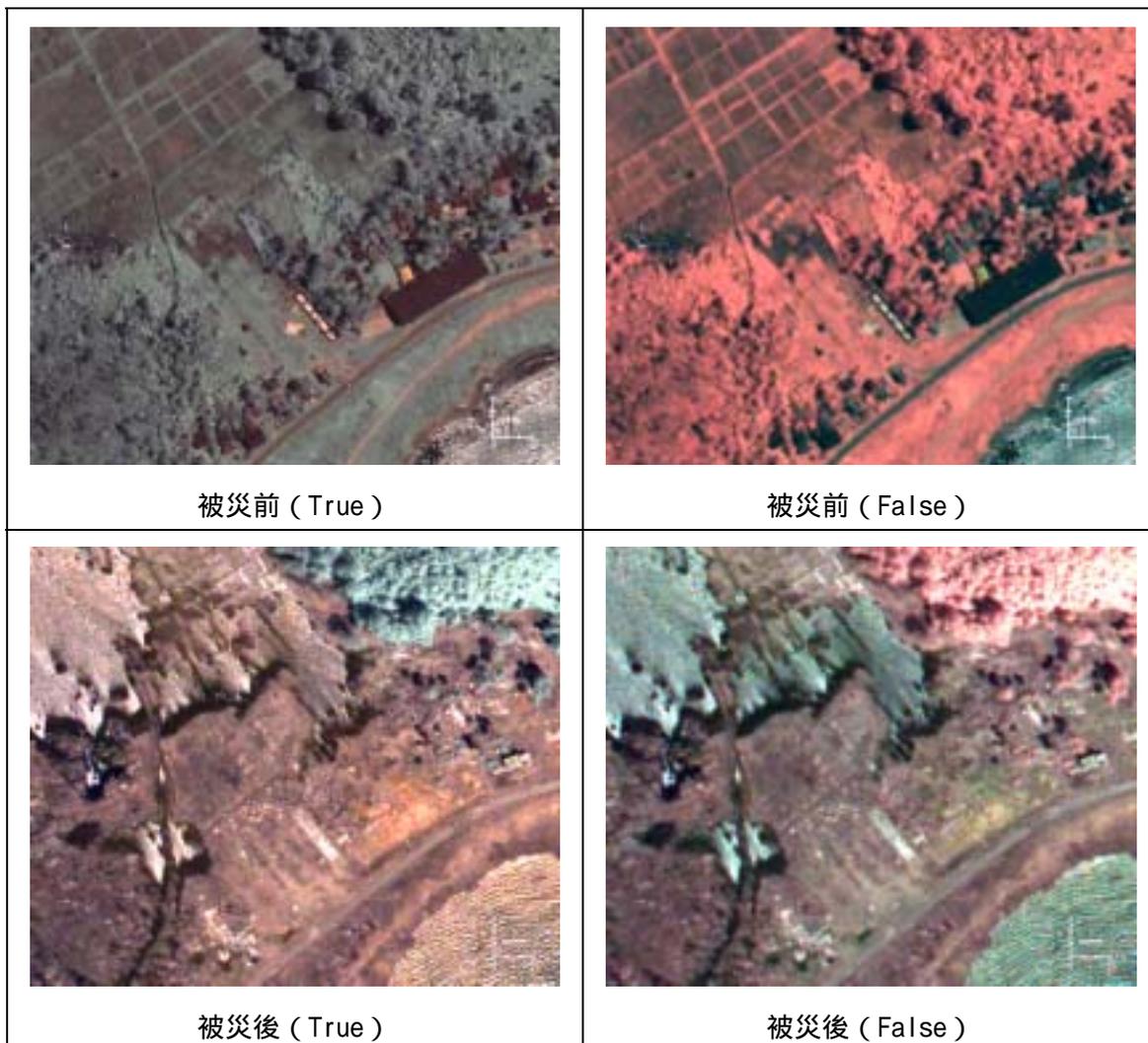


図 2-3-23 目視による被害判読 (事例 3 : 海岸付近の津波被害)

事例 4 : 構造物の崩壊

ムラボ一の市街地における構造物の崩壊について目視判読を行った。被災後の画像では、津波により大きな構造物以外は崩壊していることが読み取れる。また地表面では、構造物の残骸が白っぽく映り、流されてきた泥も堆積していることが読み取れる。



図 2-3-24 目視による被害判読 (事例 4 : 構造物の崩壊)

画像処理による被害判読

図 2-3-20 のフロチャートにより、使用する画像処理手法は「教師なし分類（色分類）」と「テクスチャ」とした。教師なし分類（色分類）は 5 種類（赤・黄・黄緑・水色・青）に分類を行った。教師なし分類であるため（現地の状況も被災の状況も画像処理段階では分からないため）分類項目はなく、画像毎に似ている特徴を抽出して分類している。そこに便宜的に色をつけているため、この色自体には意味はない。分類結果を確認して、被災前後の分類画像やツール画像と比較して始めて分類結果の意味付けが可能になる。テクスチャにおいては、画像の模様やきめの粗さ・細かさをバンド（青・緑・赤・近赤外）毎に抽出しているが、これも被災前後の色やパターンの変化によって被害範囲の把握が可能になる。高分解能衛星（QuickBird）においてこの 2 つの画像処理手法が有効であるかを検証した。なお、テクスチャ処理の結果表示についてはフォルスカラーで行ったため、赤色は植生、青から緑は水域、白は構造物のテクスチャを示している。黒色はテクスチャなしである。

被災前後の画像にそれぞれ教師なし分類（色分類）とテクスチャ処理を行った結果を2-3-25から図2-3-32に示す。被災前後の画像を比較することにより、色分解処理においては5つに分類された特徴の変化、テクスチャ処理においては植生や構造物の線形パターンの変化によって被害範囲の把握が可能である。

1．Blangmeについて（主な土地利用：農地）

図2-3-25と図2-3-26の分類結果の比較より、教師なし分類（色分類）においては被災後に赤色に分類されている範囲、テクスチャにおいては被災前が赤色で被災後が白色に変化している範囲が被害範囲である。テクスチャの色の変化は、植生の変化によるものである。

2．Calangについて（主な土地利用：農地）

図2-3-27と図2-3-28の分類結果の比較より、教師なし分類（色分類）において特に明瞭に把握できる被害範囲は、被災後の左上の黄色～黄緑色に分類されている範囲と、上側中央付近の青色に分類されている範囲である。テクスチャにおいては、被災前が赤色で被災後が白色に変化している範囲が被害範囲である。テクスチャの色の変化は赤色が多いため、同様に植生の変化によるものである。

3．Kuala Bubonについて（主な土地利用：市街地・農地）

図2-3-29と図2-3-30の分類結果の比較より、教師なし分類（色分類）においては、被災前が黄色～黄緑色に分類されていて、被災後に青色に分類されている範囲が被害範囲である。テクスチャにおいては、被災後の画像に白色の部分が広がったことが明瞭に把握できる。これは構造物が崩壊し、瓦礫のきめを検出しているからである。被災後に白色に変化している範囲が被害範囲である。また、赤色の部分も減少しているため、植生も影響を受けているといえる。

4．Meulabohについて（主な土地利用：市街地）

図2-3-31と図2-3-32の分類結果の比較より、Meulabohは衛星画像（トゥルー画像）を見る限り構造物が多いため市街地であると判断できるが、教師なし分類（色分類）において市街地では特徴が細かく分類されてしまうため、被害範囲を括ることが難しい。また、テクスチャについては上記1～3と結果が異なる。市街地であるために、植生の赤色が出ないことや、被災前は黒色であるが被災後は構造物の崩壊等で瓦礫のきめを検出することにより白色になっている点が異なる。このため、被災前後で黒色から白色に変化している範囲が被害範囲である。

1) Blangme 被災前 (2004/04/12)

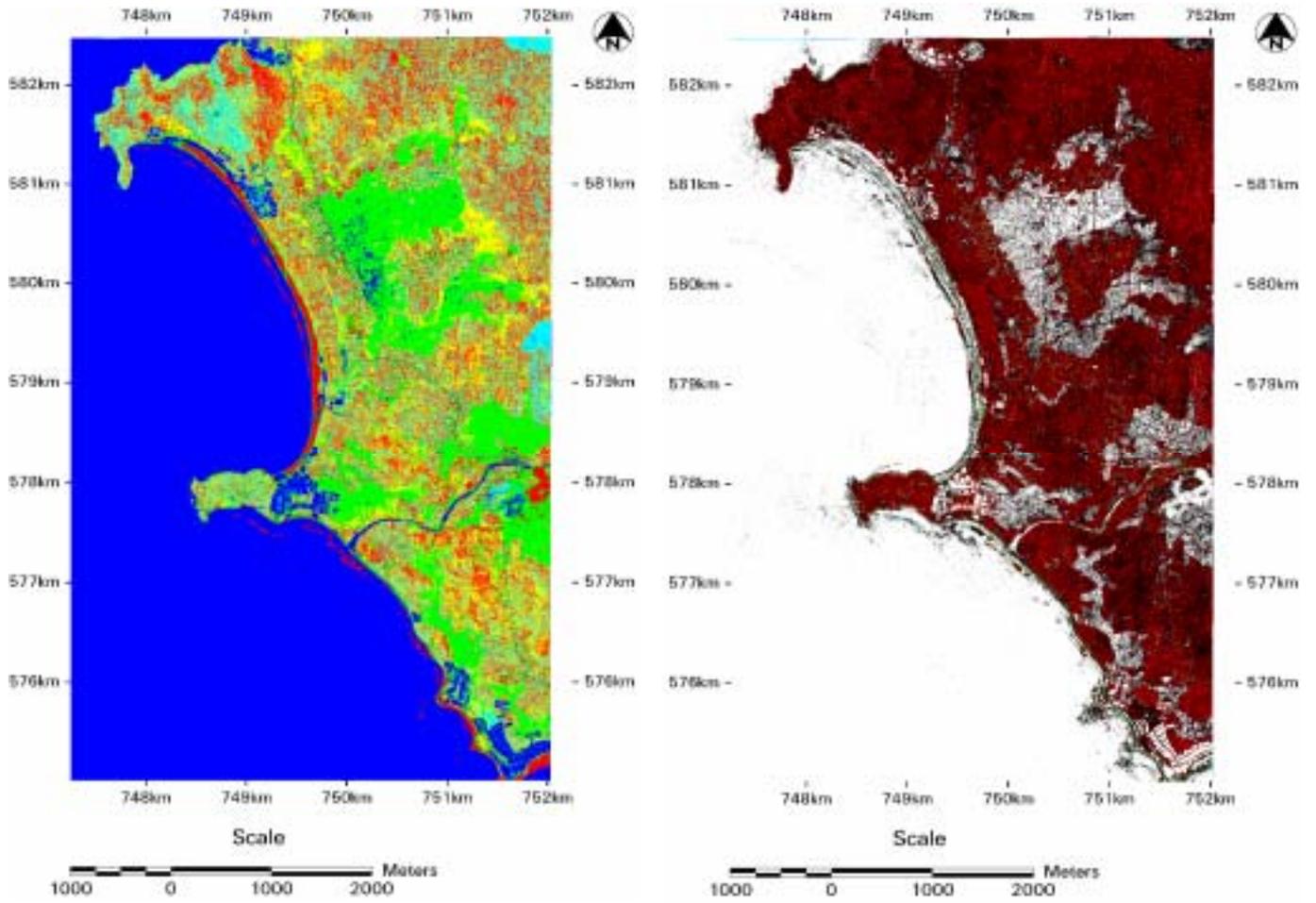


図 2-3-25 教師なし分類 (色分類) 処理 (左) とテクスチャ処理 (右)

2) Blangme 被災後 (2005/01/02)

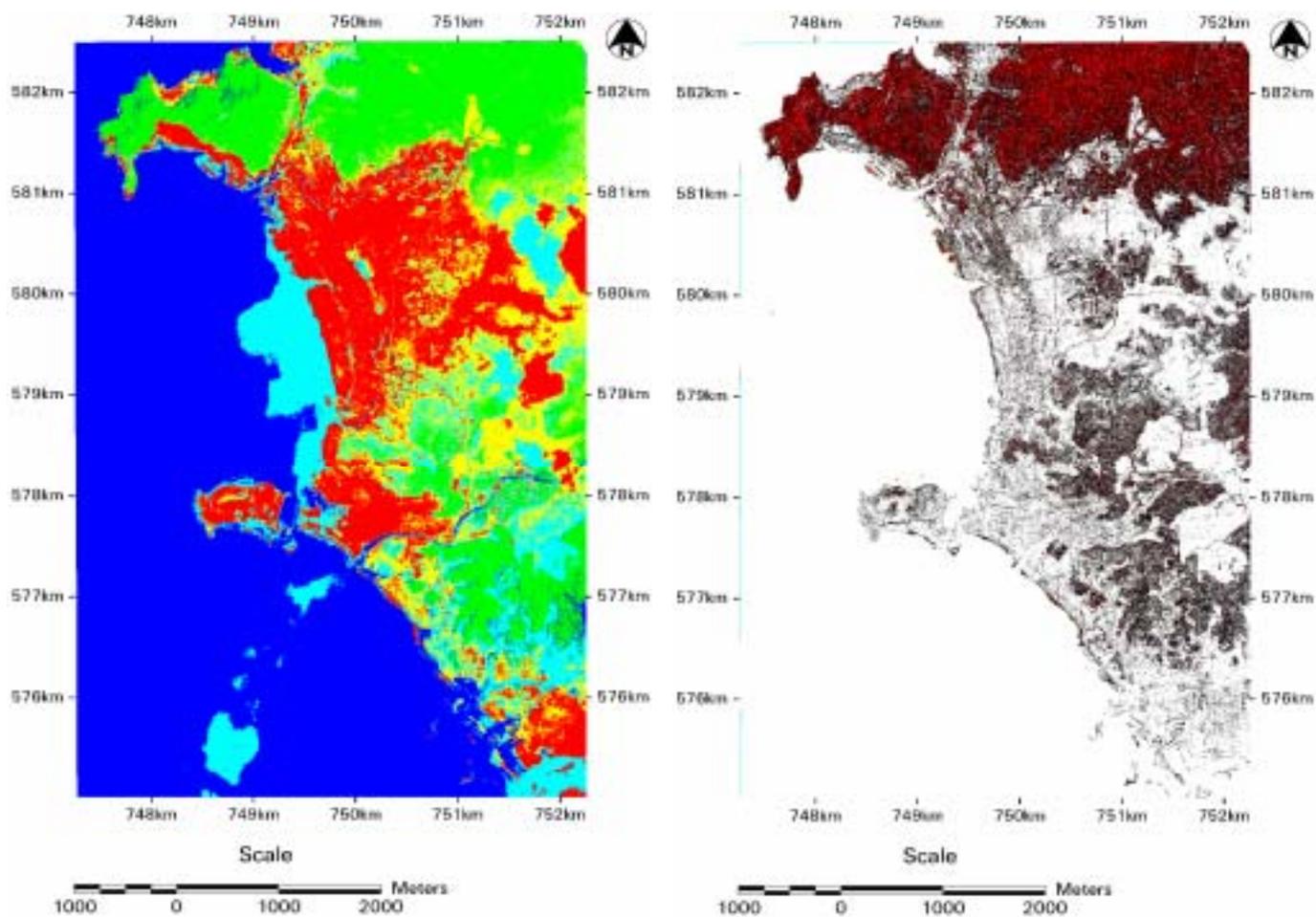


図 2-3-26 教師なし分類 (色分類) 処理 (左) とテクスチャ処理 (右)

3) Calang被災前 (2004/04/17)

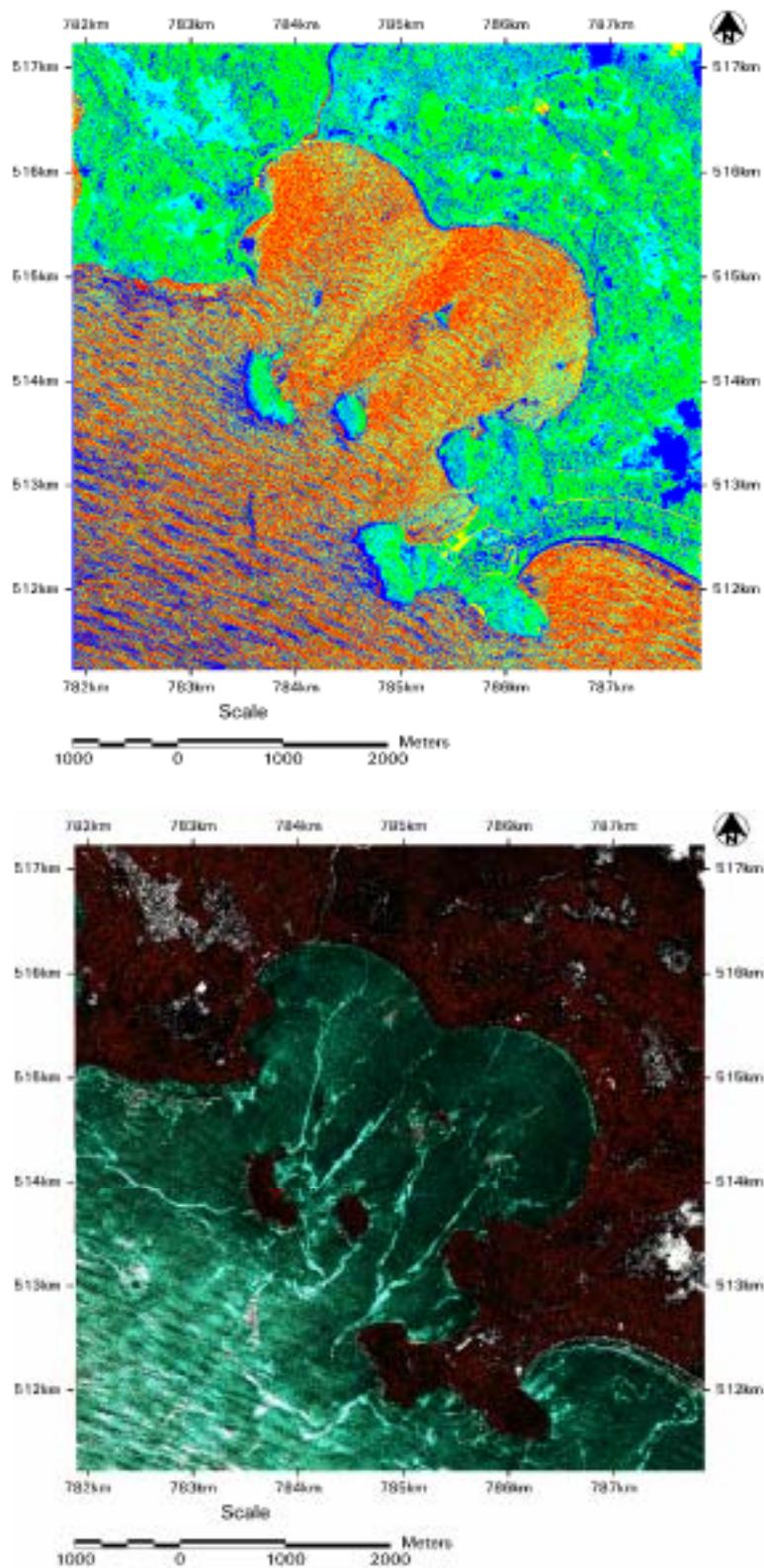


図 2-3-27 教師なし分類 (色分類) 処理 (上) とテクスチャ処理 (下)

4) Calang被災後 (2005/01/07)

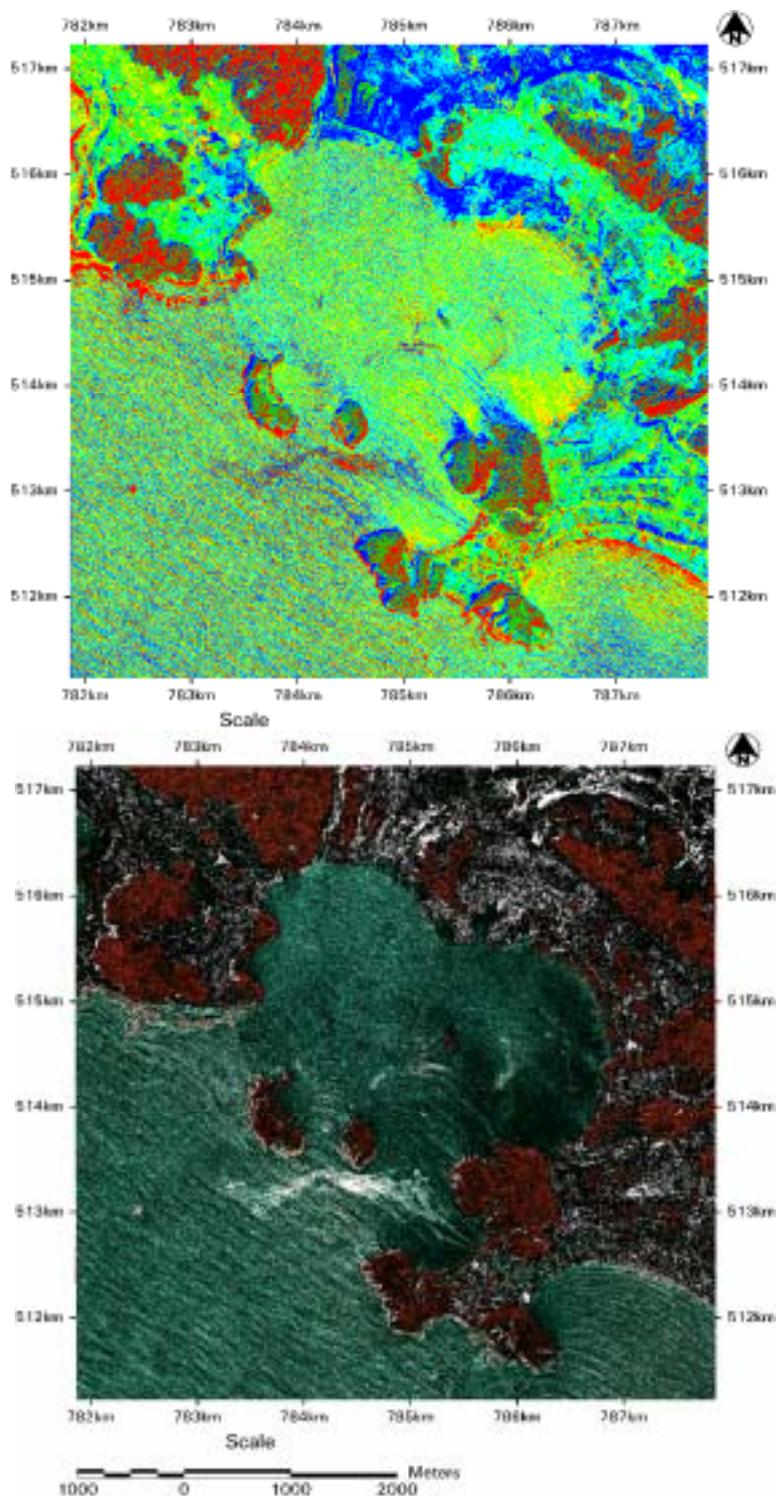


図 2-3-28 教師なし分類 (色分類) 処理 (上) とテクスチャ処理 (下)

5) Kuala Bubon被災前 (2002/09/19)

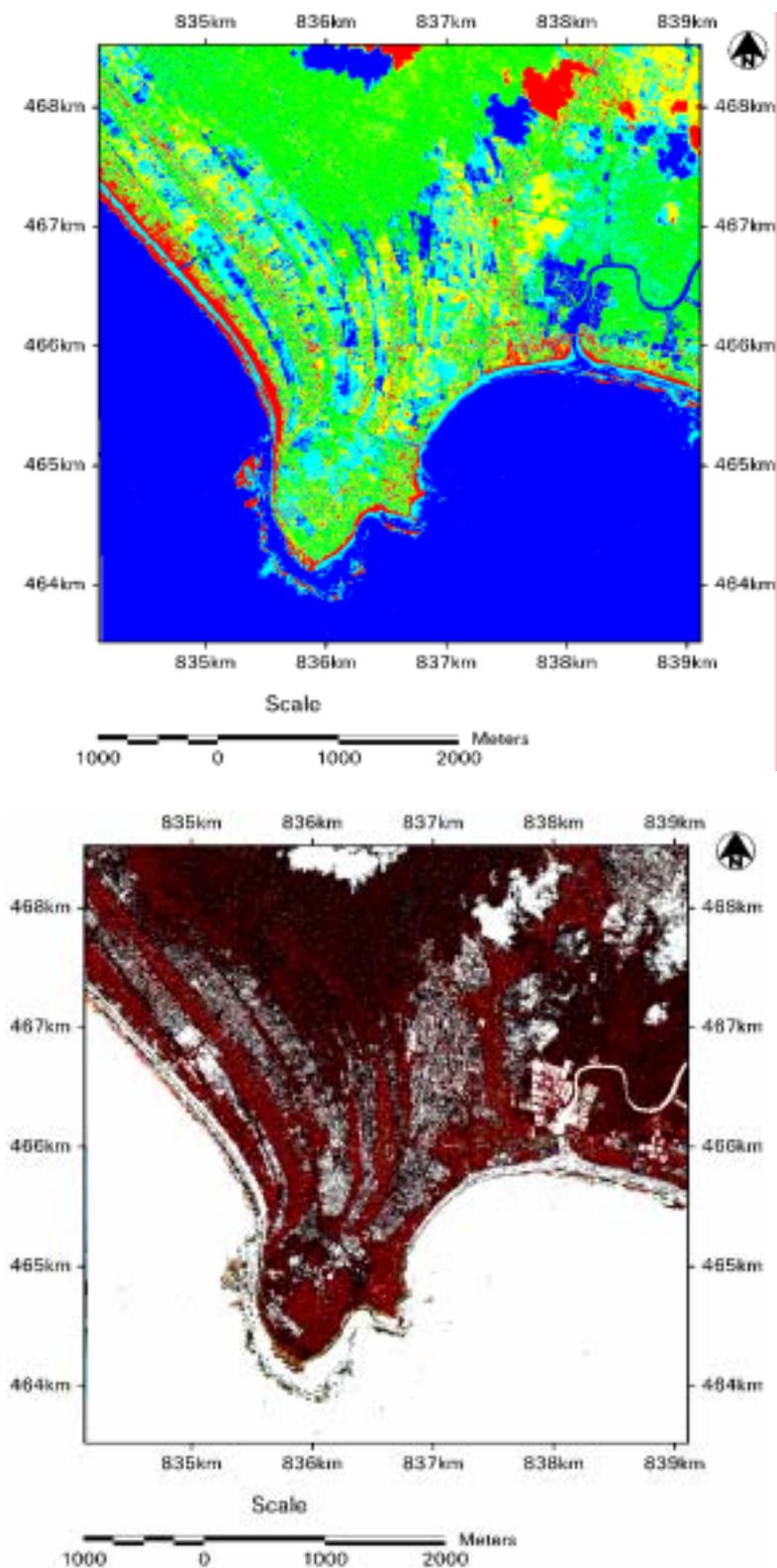


図 2-3-29 教師なし分類 (色分類) 処理 (上) とテクスチャ処理 (下)

6) Kuala Bubon被災後 (2005/01/07)

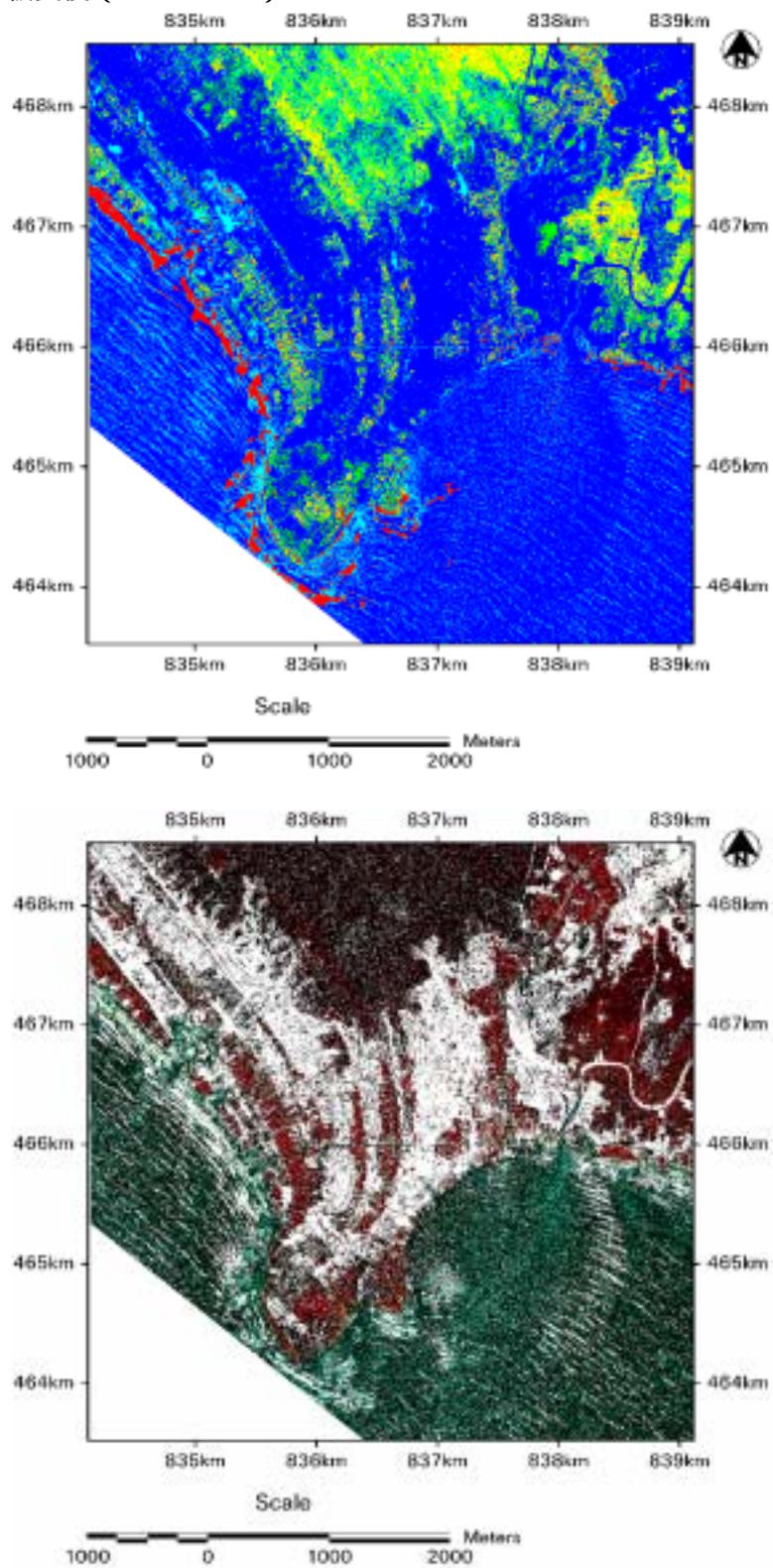


図 2-3-30 教師なし分類 (色分類) 処理 (上) とテクスチャ処理 (下)

7) Meulaboh被災前 (2004/05/18)

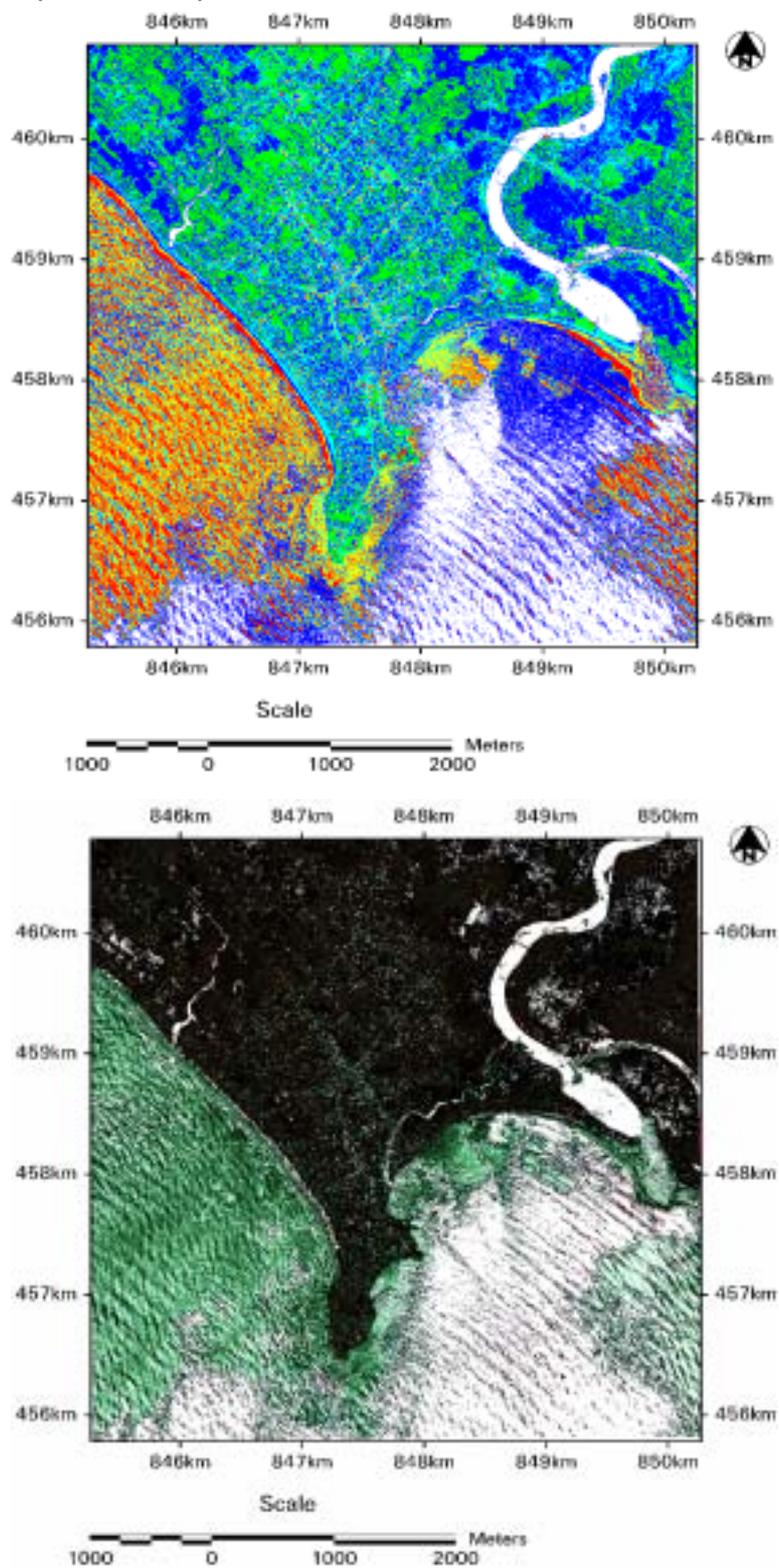


図 2-3-31 教師なし分類 (色分類) 処理 (上) とテクスチャ処理 (下)

8) Meulaboh 被災後 (2005/01/07)

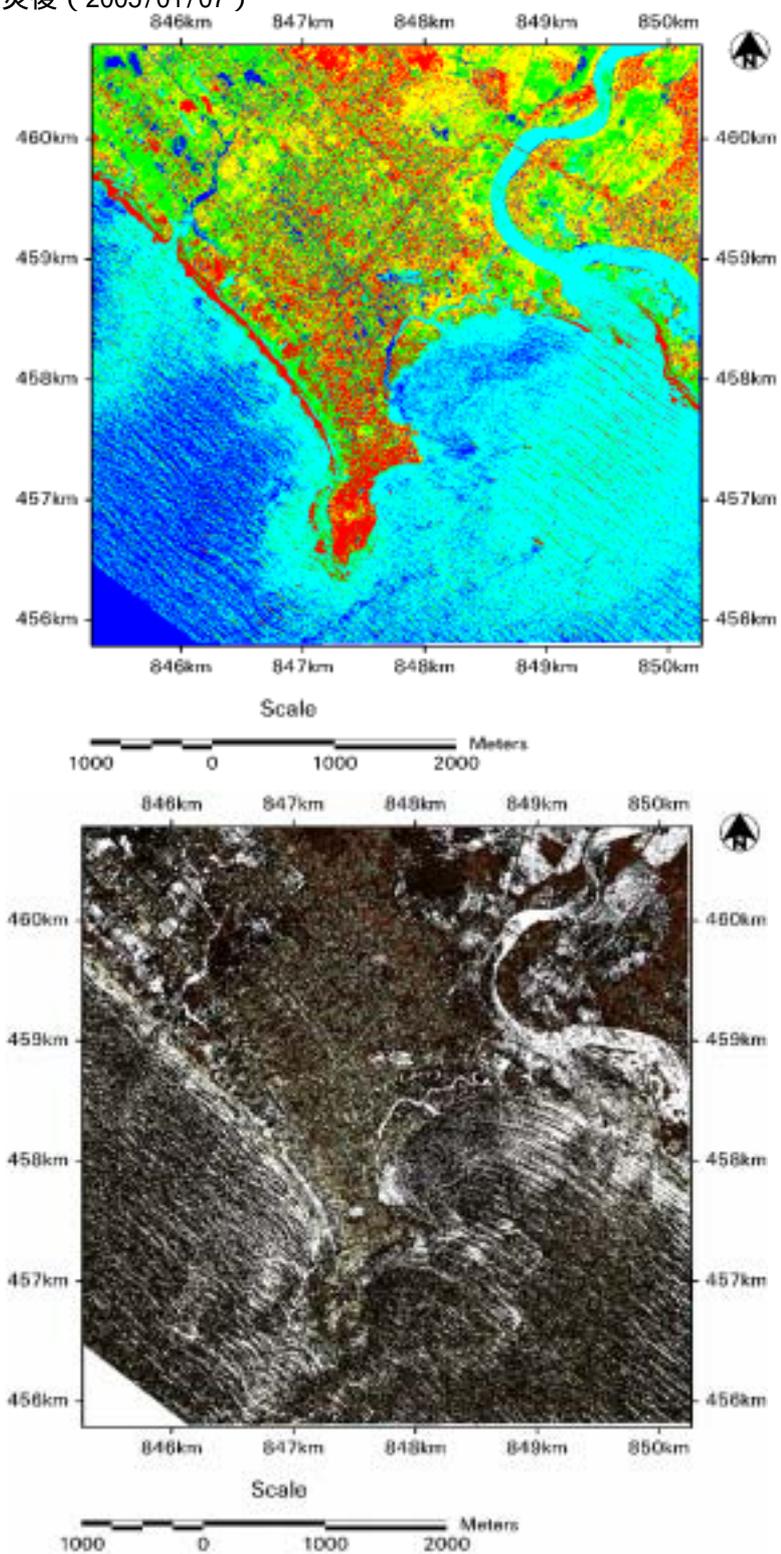
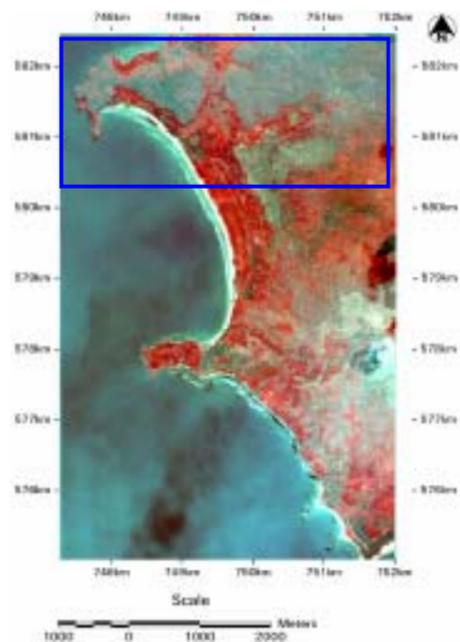
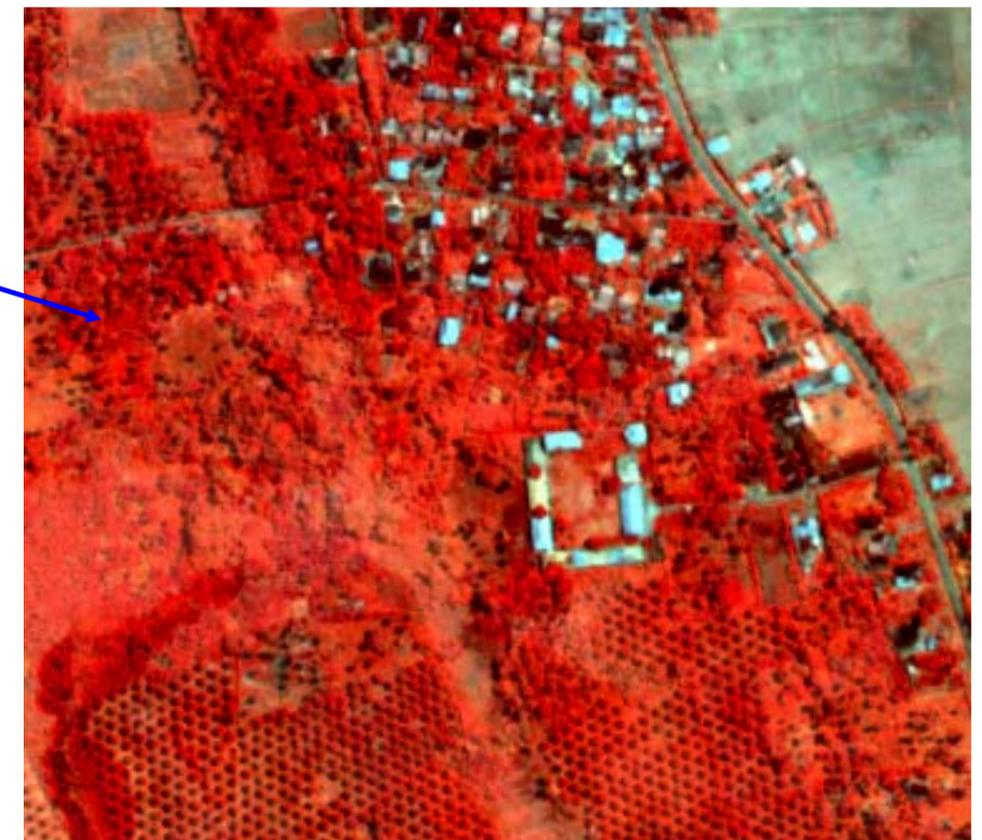
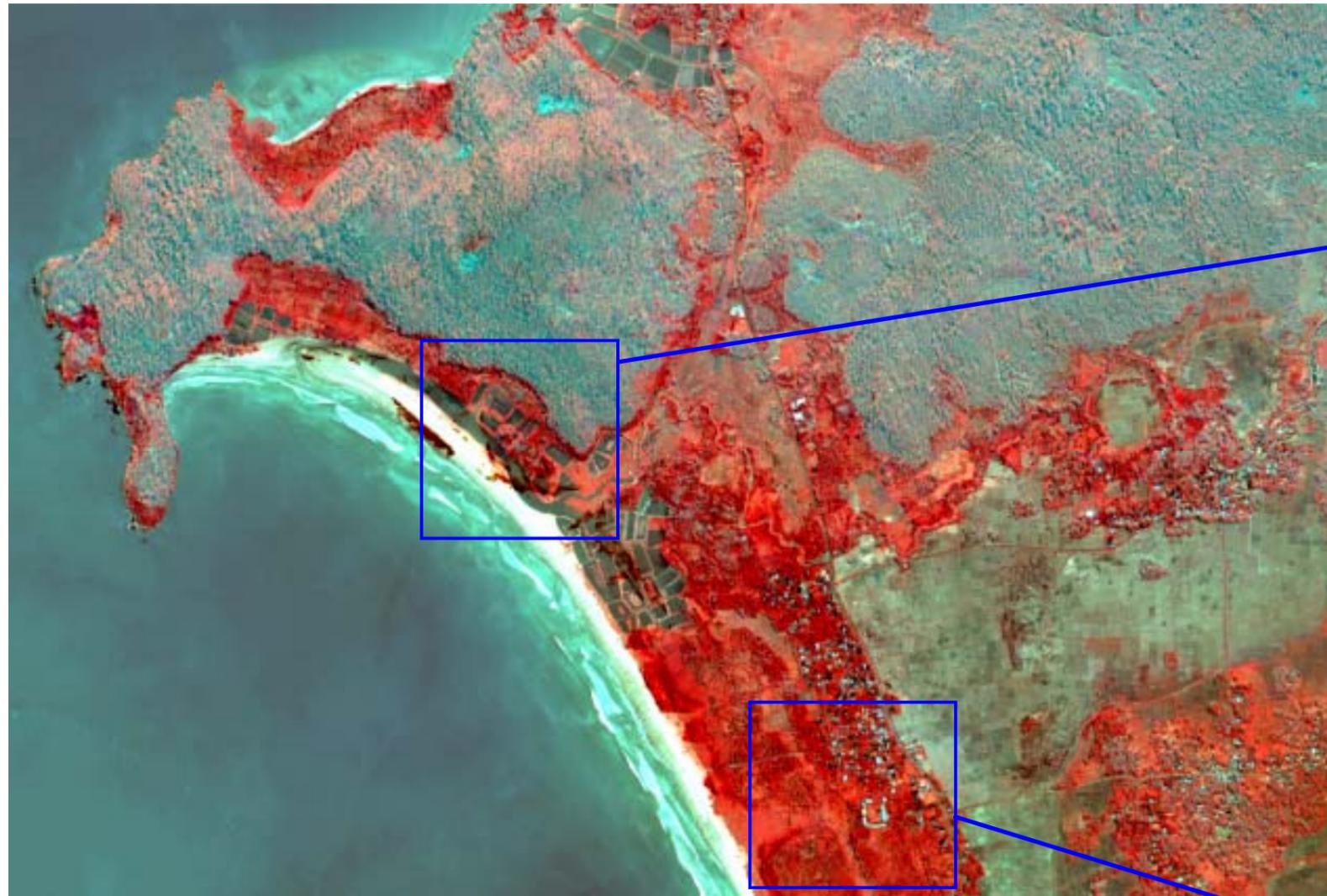


図 2-3-32 教師なし分類 (色分類) 処理 (上) とテクスチャ処理 (下)

差分処理による被害判読

次に、被災前後の画像を利用して、詳細な被害範囲を抽出した。被災前から被災後の画像の差分をとり、各バンドの変化状況を確認した。差分画像の表示は同様にフォルスカラー（R：G：B=近赤外：緑：青）とした。その結果を図2-3-33から図2-3-36に示す。既に概略の被害範囲として絞り込んであるため、画像全域が被害範囲になっているが、土地利用が農地の部分においては赤色が濃い範囲（主に植生の被害）が被害範囲として抽出できている。市街地においては黒い範囲（主に構造物の被害）が被害範囲として抽出できている。

1) Blangmeの差分 (主な土地利用: 農地)

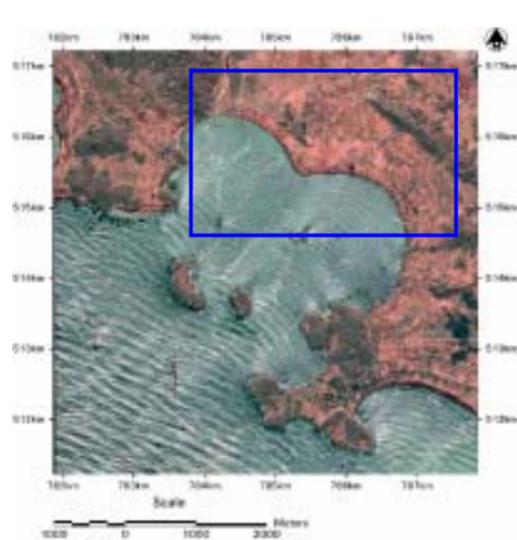
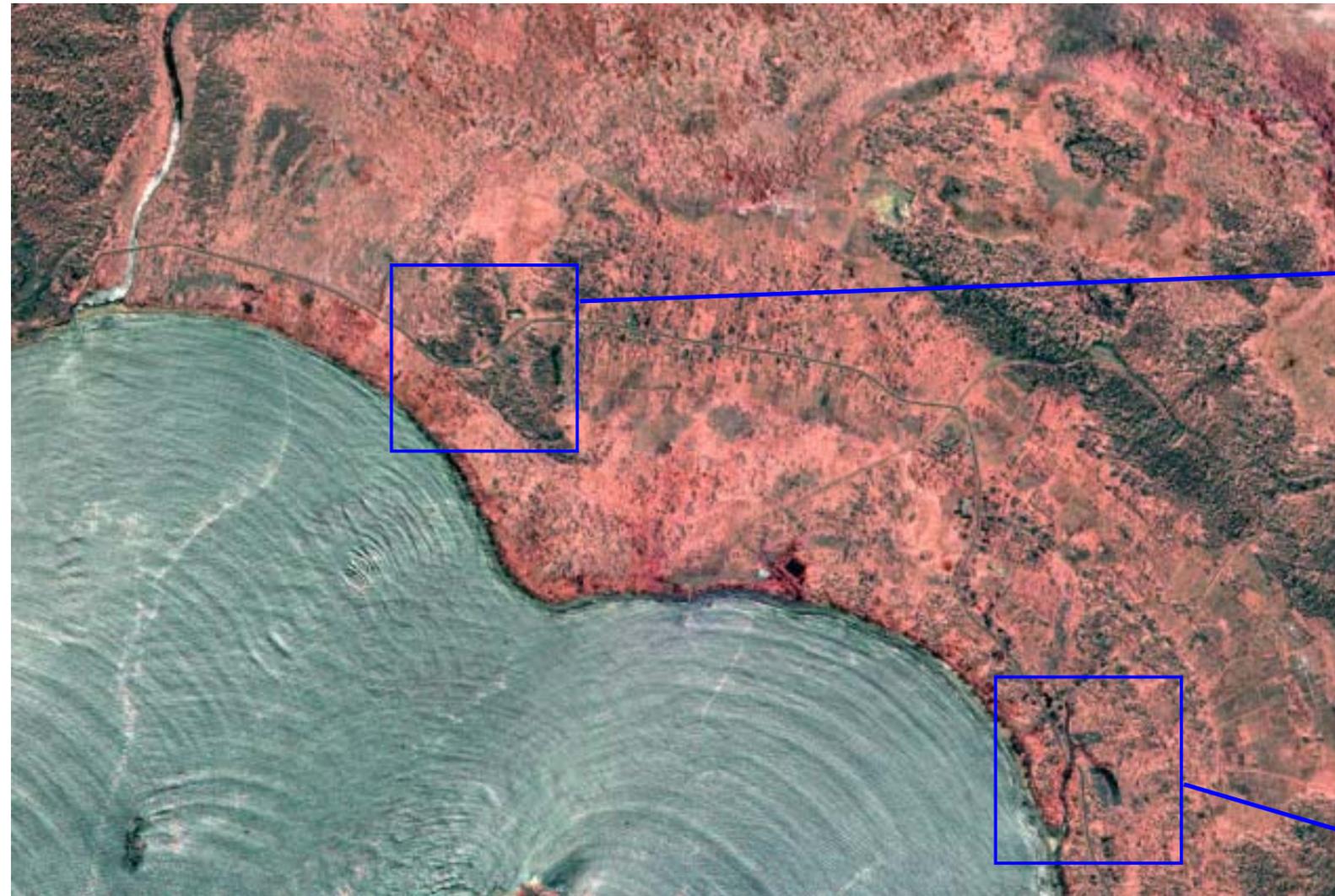


被災前の海岸線には植生分布が見られたが、津波により海岸線周辺の植生が被害を受けたため、「被災前 被災後」の処理を行うと、被災前の植生の部分が濃い赤で表示される。赤い範囲が主に被害を受けた範囲となる。

右上の拡大図において、海岸線付近の白色や黒色や所々にある赤色は、波の大小による反射の違いによって現れたものである。その内側にある赤い樹木やため池のような区画は、色が濃いことから差分の値が高く、津波の被害に遭い変化があったことを示している。さらに内側の樹林地は色が薄いことから被害を受けていないと言える。

図 2-3-33 Blangme 差分画像

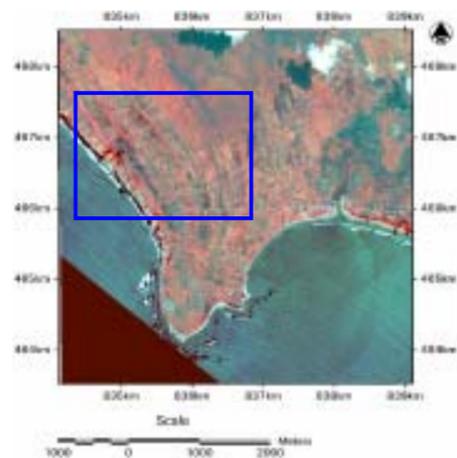
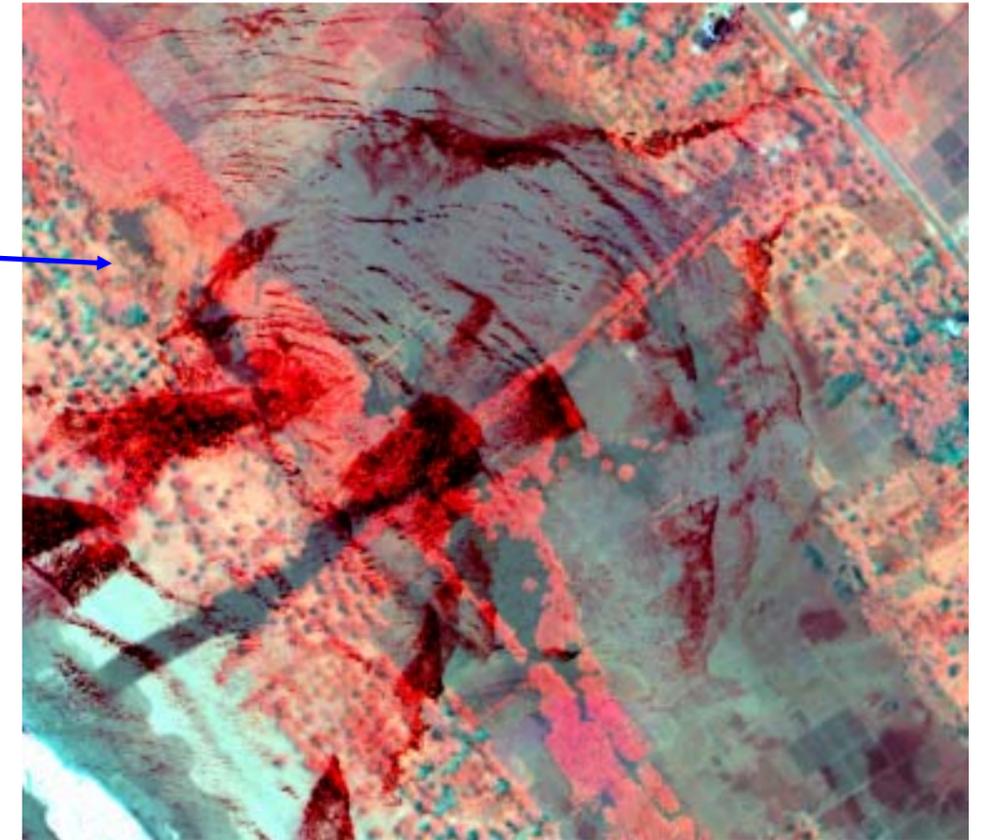
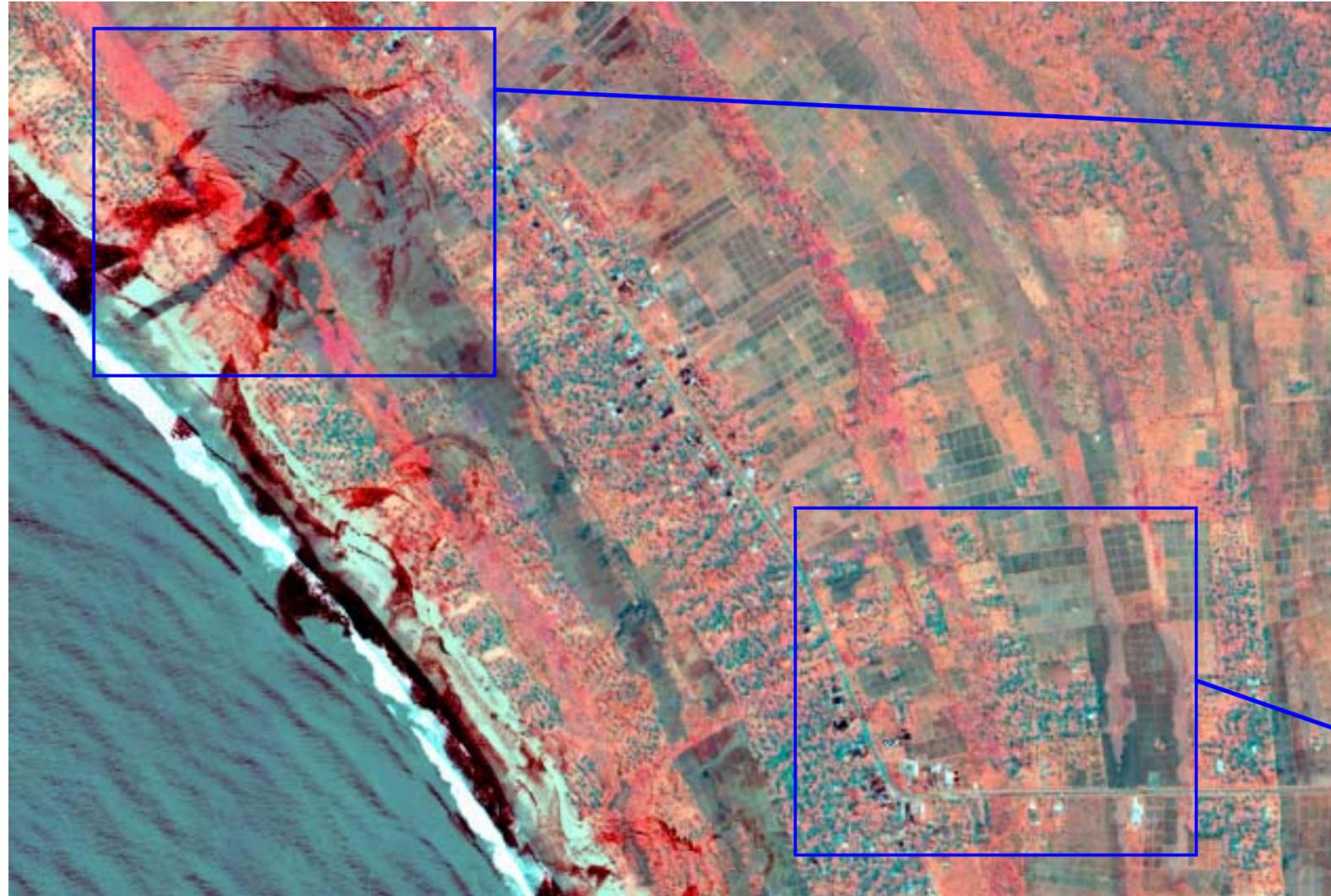
2) Calangの差分 (主な土地利用: 農地)



海岸線沿いに道路が走っているが、全体的に樹木が多い場所である。標高の低い部分はほとんど津波による被害を受けているため、差分画像では赤く表示されている。ただし、図2-3-33と色の濃さが違うのは、被災前・被災後ともに撮影日が異なるため、日照量の違いによる反射輝度が異なるためである。小さな丘のような樹木地の部分は被害を逃れている為、黒く表示されている。道路が黒く表示されているのは、道路自体は津波を受けても構造物としては残っているため、被災前後で変化していないからである。

図 2-3-34 Calang 差分画像

3) Kuala Bubonの差分 (主な土地利用: 市街地・農地)

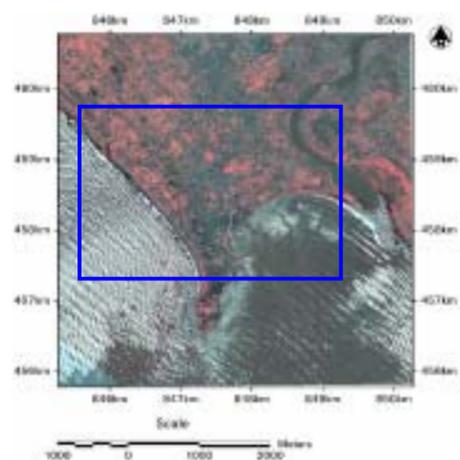
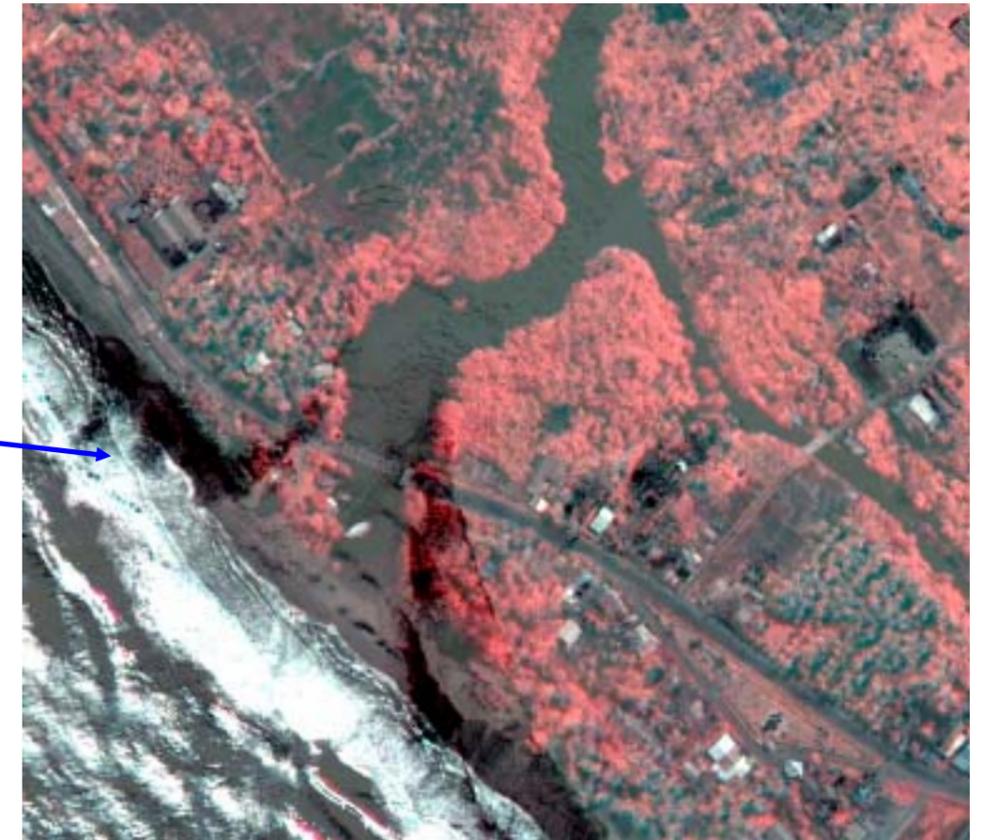


道路沿には建物や橋梁といった構造物があるが、周辺は農業地域である。この範囲は5km四方であるが、ほぼ全域津波による被害を受けているので、差分の結果も全体的に被災前の状況を示すような色が付いている。赤い部分が植生被害、黒い部分が構造物の被害を受けた箇所である。

右上の拡大図は、被災後において津波の水が引く際の流路になった場所である。被災前の状況を表す画像と被災後の波の画像が合成された画像になっている。赤色が特に濃い部分は波による反射が強い部分である。

図 2-3-35 Kuala Bubon 差分画像

4) Meulabohの差分 (主な土地利用: 市街地)



この範囲は都市部であるため、主に構造物が津波による被害を受けた。被災後に構造物が崩壊・散乱して画像上では明るく（反射が強く）なっているため、差分画像では黒く表示されている部分が構造物が崩壊した箇所となる。

右上の拡大図は、河口の形状が大きく変わってしまっていることが読み取れる。また、川に架かっている橋も二重に見えるため、被災前後で位置が変化した（流された）ことが確認できる。

図 2-3-36 Meulaboh 差分画像

橋の被害抽出

高分解能衛星において、橋の被害が判読可能かを検討した。橋の現地調査写真と比較して判読の可否を評価した。検討した事例を図2-3-37から図2-3-39に示す。高分解能衛星を用いているため、橋が流されていたり落下している状況は明瞭に確認できた。橋が残っている場合でも、周辺の河川の状況や橋の路面の色の変化により、津波による浸水の被害を受けている状況までは確認することができた。判読可能な橋の大きさについては、高分解能衛星画像上で橋と認識できる幅、すなわち車両が通行できる幅の橋（幅員4画素以上：2.4m以上）については、前述したように橋の有無や浸水の有無が確認できる。橋のこれらの結果から、目視判読により道路を追うことにより橋の通行可否が確認できるため、災害時の通行経路の確認には十分利用できることが分かった。

事例1：橋が残った例（浸水はしている）

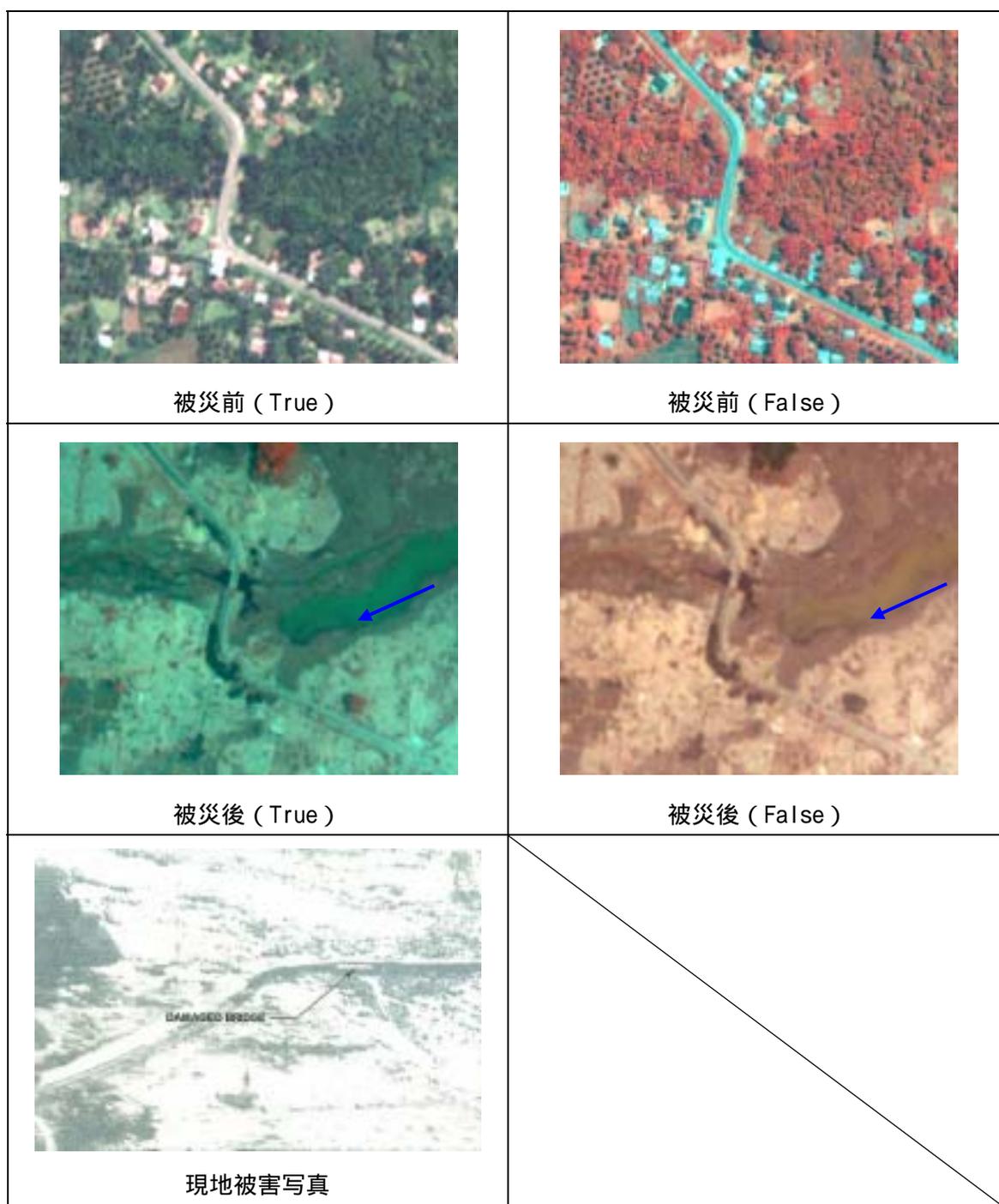


図 2-3-37 橋の被害状況（事例1：持ち堪えた例） 矢印は現地被害写真の撮影方向
被災後の画像は浸水しているため、True・False共に色のイメージが被災前と変わっている。

事例 2 : 橋が流された例

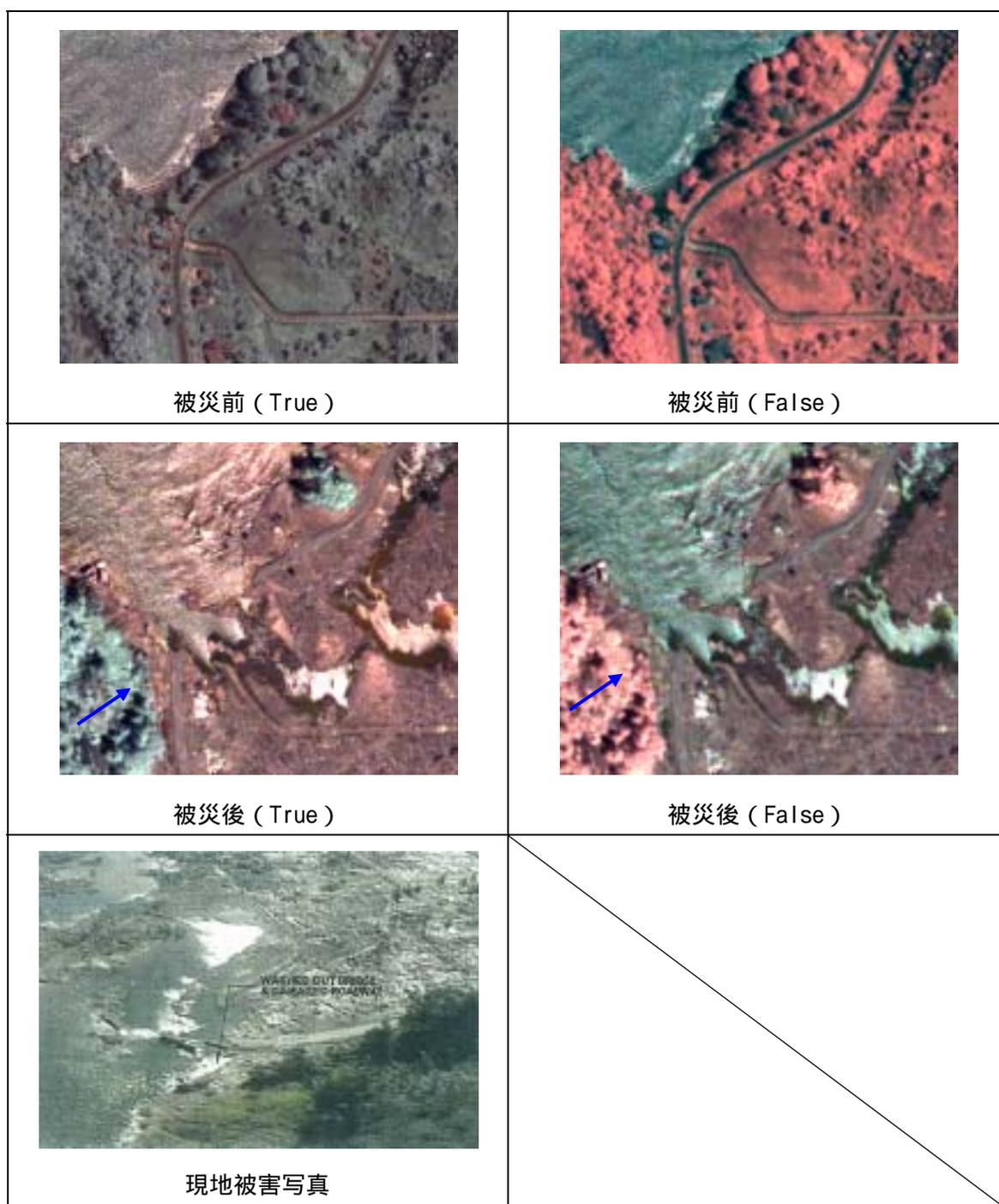


図 2-3-38 橋の被害状況 (事例 2 : 流された例) 矢印は現地被害写真の撮影方向
被災後の画像は浸水しているため、True・False共に色のイメージが被災前と変わっている。

事例 3 : 橋が流された例

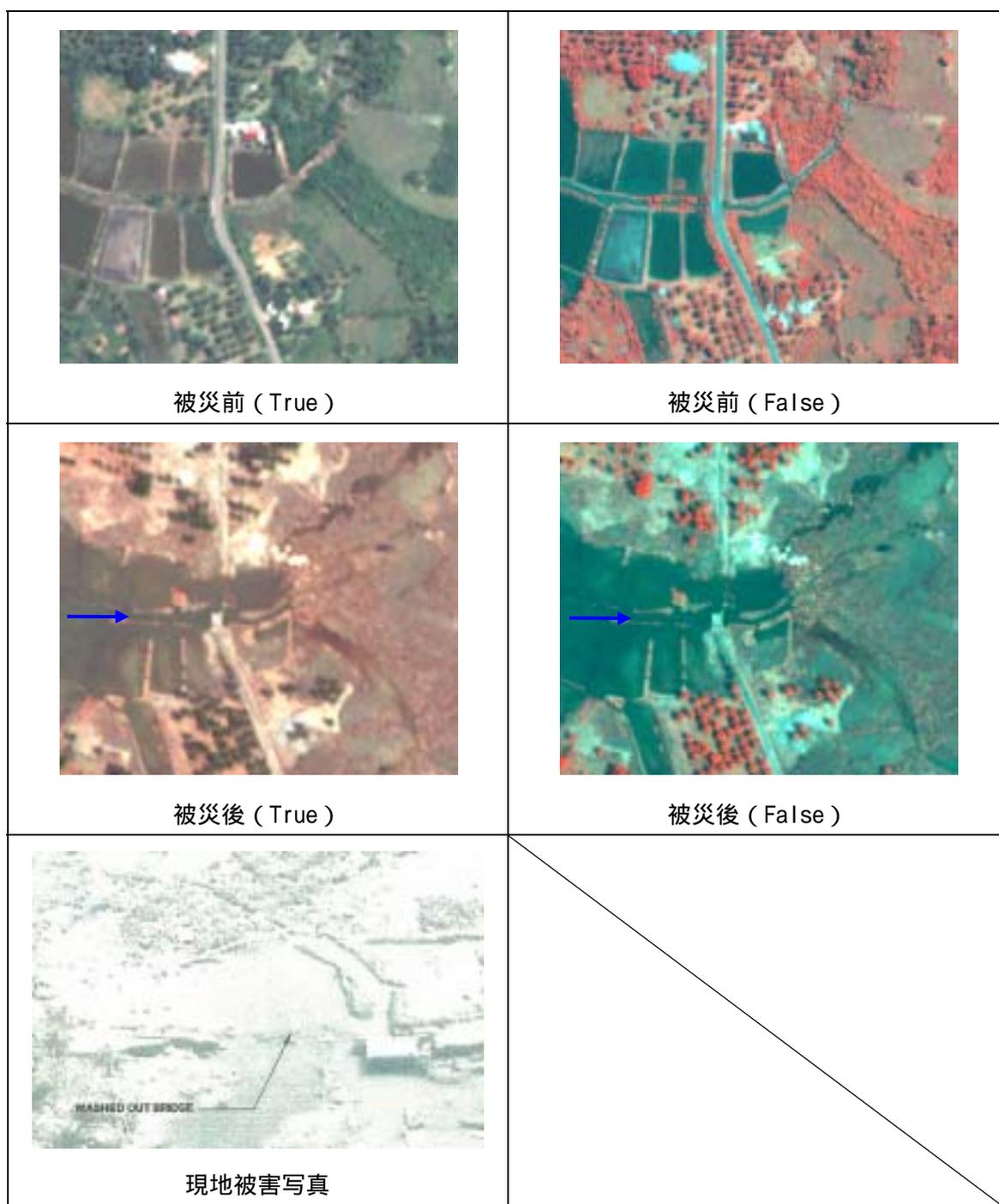


図 2-3-39 橋の被害状況 (事例 3 : 流された例) 矢印は現地被害写真の撮影方向
被災後の画像は浸水しているため、True・False共に色のイメージが被災前と変わっている。

2.4 まとめ

今回のスマトラ島の被害については、規模が広域に亘ることもあって2段階の手順により被害状況を把握した。中分解能衛星を利用して、被災前後の差分処理により土地被覆変化があった範囲を被害範囲として、広域的な被害範囲を概略で把握することができた。被害範囲の絞込みには地理情報を参考にした。道路沿線は住宅が密集することから道路情報を利用して、画像処理により詳細な被害状況把握を行う範囲を決定した。そしてその範囲について、高分解能衛星を利用して目視判読や画像処理により、構造物の崩壊や落橋、津波による海岸線の被害等を詳細に把握することができた。表 2-4-1、表 2-4-2 に分解能別に画像処理手法をまとめた。

表 2-4-1 中分解能衛星の画像処理と評価（広域を対象：100km 四方）

処理手法	被災後		被災前・被災後	
目視判読		衛星画像を見慣れていないと、被災後の画像のみから判読するのは難しい。		分解能は低いが、被災前後を見比べれば、ある程度広域的な被害範囲は確認できる。
テクスチャ	×	分解能が低いため難しい。	×	分解能が低いため難しい。
教師なし分類(色分類)		色分類は可能だが、被害範囲かどうかの判断が難しい。		色分類処理後の被災前・被災後を比較すると、面的に変化(被害)のあった範囲が把握できる。
オーバーレイ		被害範囲の限定が難しいが、地理情報と社会情報より、重大な被害だと思われる範囲が想定できる。		道路幹線や河川周辺の被害範囲が把握できるため、概略ではあるが重大な被害範囲を絞り込むことができる。
差分	-	-		被災前後の各バンドの差分を計算することにより、被害範囲の概略把握が可能。

表 2-4-2 高分解能衛星の画像処理と評価（狭域を対象：5km 四方）

処理手法	被災後		被災前・被災後	
目視判読		分解能が高いため、構造物(道路・橋・建物)の崩壊、海岸線の浸食が確認できる。		左記に加え、被災前後の画像を見比べれば、農地の被害や樹木の流出など山間部の被害も確認できる。
テクスチャ		特に都市部においては、建物の崩壊が把握できる。		特に都市部においては、建物の崩壊が把握できる。
教師なし分類(色分類)		色分類は可能だが、被害範囲かどうかの判断が難しい。		面的に被害を受けた範囲を抽出することができる。
オーバーレイ		画像が高分解能のため、重ねる地理情報の精度によっては有用でない場合もある。		画像が高分解能のため、重ねる地理情報の精度によっては有用でない場合もある。
差分	-	-		被災前後の各バンドの差分を計算することにより、詳細な被害範囲を把握できる。

	最も有効な手法
	有効な手法
	場合によっては有効
×	無効な手法
-	処理不可能

巻末資料 1

[気象庁]

平成16年(2004年)新潟県中越地震について(第31報)より

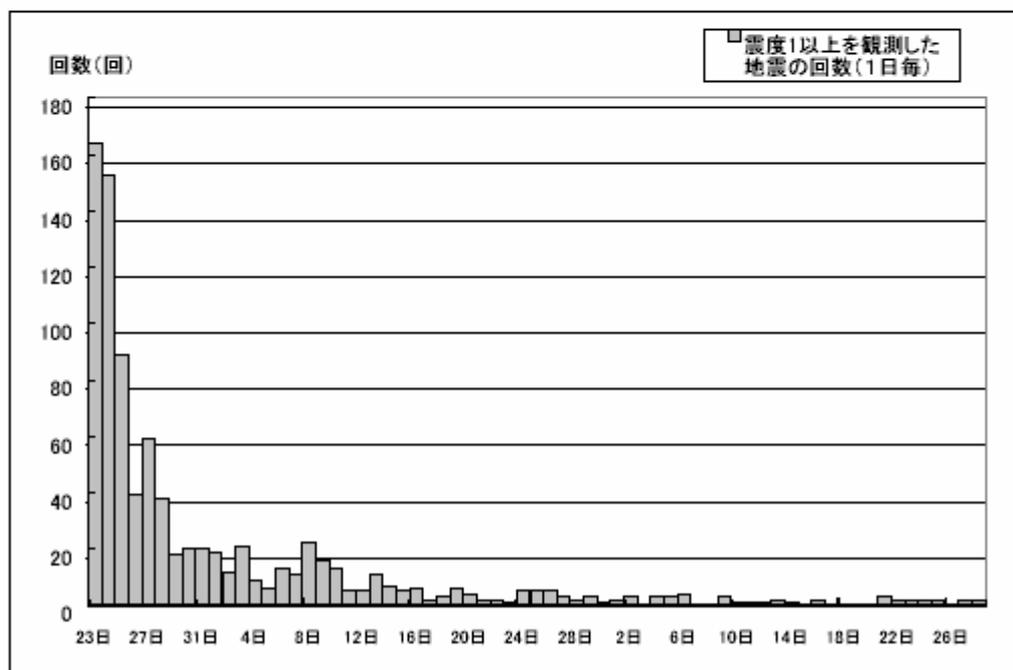
平成16年12月28日19時現在
気象庁地震火山部

平成16年(2004年)新潟県中越地震(2004年10月23日 17時56分～)

最大震度別有感地震回数表

*この資料は速報値であり、後日の調査で変更されることがあります。
*新潟県中越地方に発生した地震でも、余震と推定されない地震は回数に含めていません。

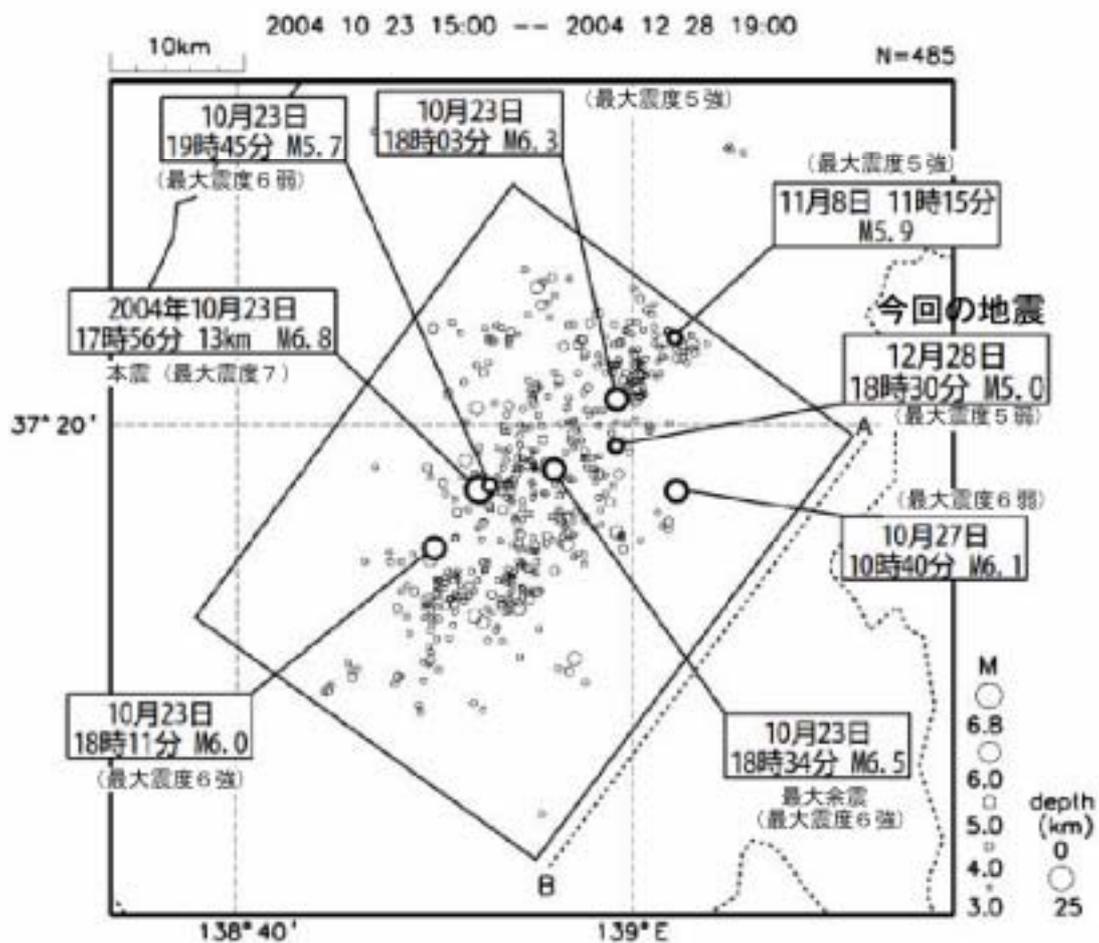
期 間	最大震度別回数										有感回数		備考
	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7	回数	累計		
10/23.17:56-10/31.24:00	304	173	78	30	4	6	2	2	1	600	600		
11/01.00:00-11/10.24:00	80	38	12	9	1	2	0	0	0	142	742		
11/11.00:00-11/20.24:00	32	16	5	1	0	0	0	0	0	54	796		
11/21.00:00-11/30.24:00	16	11	2	0	0	0	0	0	0	29	825		
12/01.00:00-12.10.24:00	14	4	1	0	0	0	0	0	0	19	844		
12/11.00:00-12.20.24:00	10	8	0	0	0	0	0	0	0	18	862		
12/21.00:00-24:00	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3	865		
12/22.00:00-24:00	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	867		
12/23.00:00-24:00	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	869		
12/24.00:00-24:00	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	871		
12/25.00:00-24:00	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	873		
12/26.00:00-24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	873		
12/27.00:00-24:00	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	875		
12/28.00:00-19:00	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	877		



平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震の活動



震央分布図（2004 年 10 月 23 日 15 時～、 $M \geq 3.0$ ）



巻末資料 2

[国土交通省河川局砂防部保全課]

平成 17 年 1 月 13 日

平成 16 年新潟県中越地震に伴う斜面崩壊の発生状況 について（続報）

空中写真から判読された斜面崩壊は、計 3,791 箇所（前回 1,662 箇所）で発生しており、そのうち 362 箇所（前回 234 箇所）が崩壊幅 50m 以上の規模の崩壊でした。

崩壊土砂量を推定したところ、合計約 1 億 m³（前回 7 千万 m³）に達することが、また崩壊土砂量 100 万 m³ 以上の大規模な崩壊・地すべりが 12 箇所（前回 10 箇所）あることが分かりました。

今後、融雪期を向かえることから、再度崩壊が起こる可能性のある箇所においては注意喚起を促すとともに、再度災害発生の防止に努めて参ります。

1. 判読範囲等（別紙 1）

1) 判読に用いた空中写真

○撮影月日＝平成 16 年 10 月 24～29 日 ○縮尺＝約 1：10,000～12,000

2) 判読範囲の面積：東西約 25 km、南北約 50 km で、面積は約 1,310 km²

判読範囲内における規模別崩壊箇所数

判読範囲市町村名	判読範囲	幅50m以上の崩壊	幅50m未満の崩壊	崩壊箇所計	最大震度
小千谷市	〈ほぼ全域〉	115	660	775	6強
山古志村	〈全域〉	78	181	259	6強
川口町	〈全域〉	44	388	432	7
長岡市	〈一部〉	40	215	255	6弱
十日町市	〈ほぼ全域〉	25	489	514	6強
穂高市	〈一部〉	22	275	297	6弱
魚沼市(旧堀之内町)	〈全域〉	11	484	495	6弱
魚沼市(旧守門村)	〈ほぼ全域〉	8	209	217	6弱
魚沼市(旧志村)	〈一部〉	8	131	139	6弱
川西町	〈一部〉	3	13	16	6弱
南魚沼市(旧大和町)	〈一部〉	3	114	117	6弱
小国町	〈一部〉	2	65	67	6強
南魚沼市(旧六日町)	〈一部〉	2	108	110	6弱
越路町	〈一部〉	1	50	51	6弱
魚沼市(旧入立瀬村)	〈一部〉	0	3	3	6弱
魚沼市(旧小出町)	〈ほぼ全域〉	0	7	7	5強
滝沢町	〈一部〉	0	4	4	5強
中里村	〈一部〉	0	3	3	6弱
三島町	〈一部〉	0	7	7	6弱
見附市	〈一部〉	0	22	22	5強
魚沼市(旧湯之谷村)	〈一部〉	0	1	1	5強
計		362	3,429	3,791	

※震度6強以上の市町村が、崩壊幅50m以上の大規模な崩壊のうち約7割を占めているが、崩壊幅50m未満の崩壊については約5割であった。

このことから、揺れの激しい地域においては崩壊の規模が大きくなったことが伺われる。

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No . 3 6 2 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