

高分解能SAR衛星による 大規模土砂災害監視体制の推進

N I L I M

国土交通省 国土技術政策総合研究所
危機管理技術研究センター 砂防研究室

佐藤 匠

1. SAR衛星による広域土砂災害発生時の緊急対応

衛星による土砂災害監視体制・現状の課題

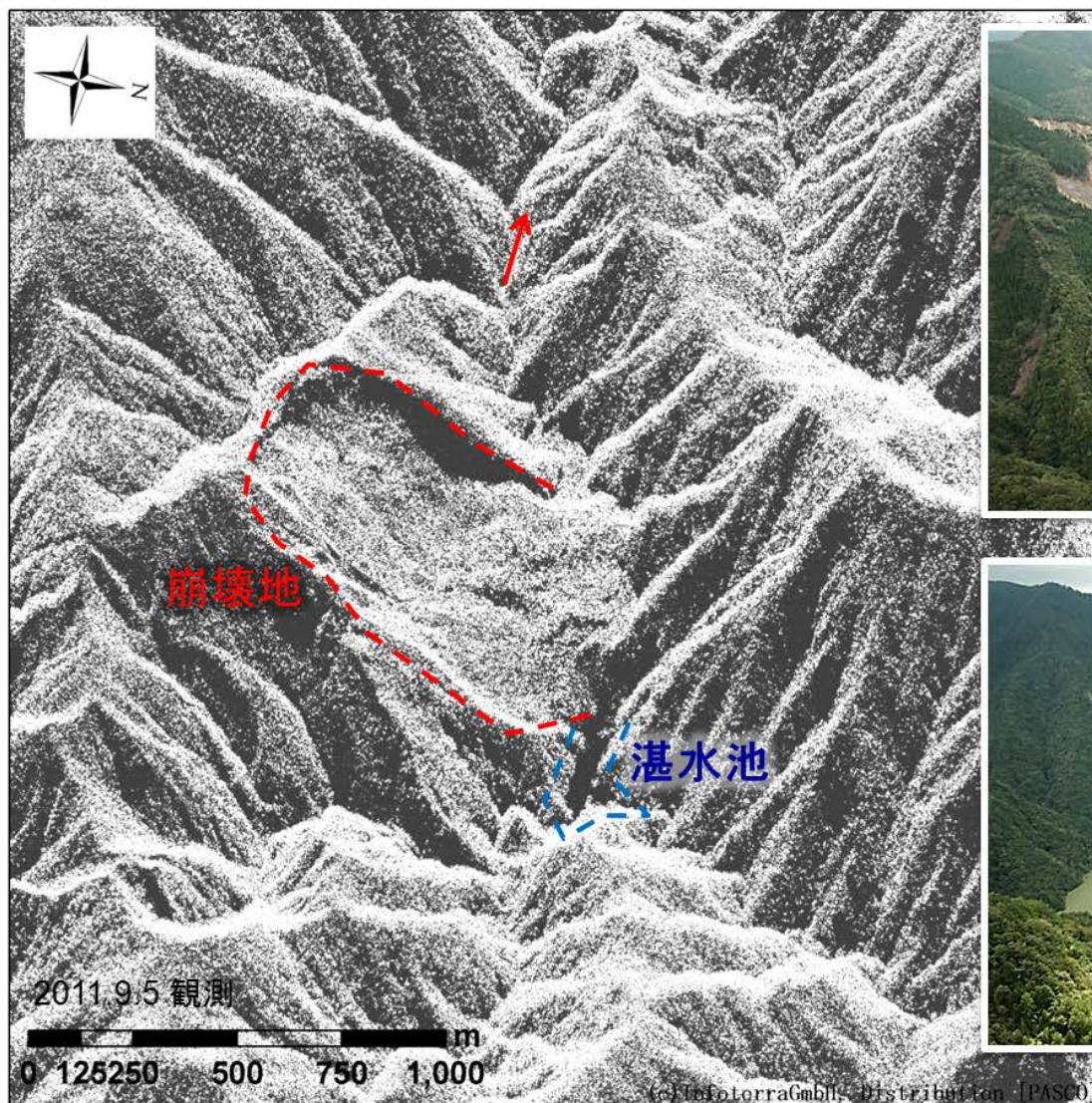
他国の衛星に依存した観測体制

センチネルアジア・国際災害チャータ・・・**大規模災害時に発動**

- 災害直後以外に利用できない（継続モニタリング不可）
- 観測パラメータがバラバラ（目立つ箇所だけに集中してしまう）
- アウトプットの時期が不明、定形図面のため詳細分析困難

[illegible]

SAR衛星による河道閉塞の発見(栗平ほか8箇所)

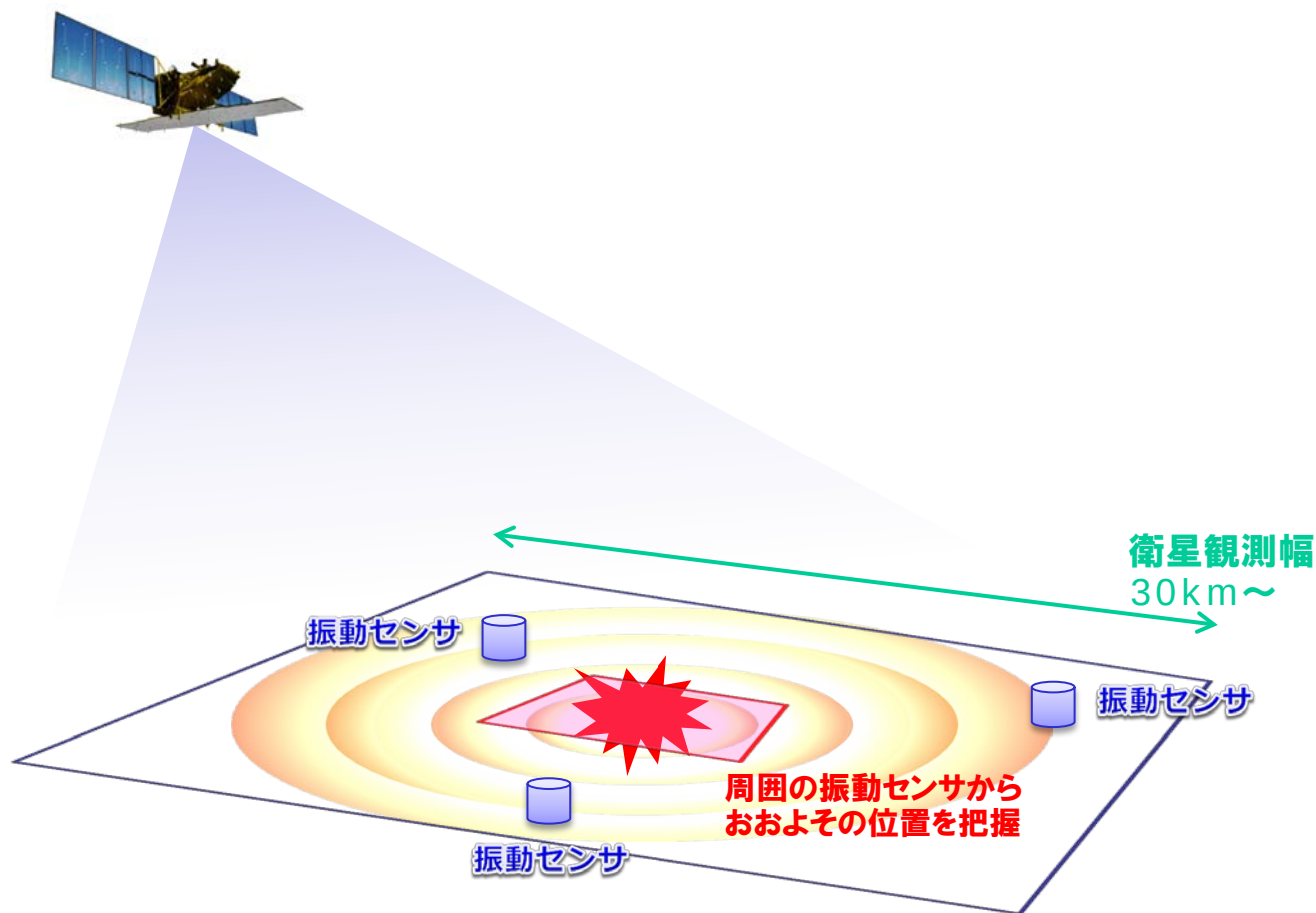


© 2012 Astrium Services / Infoterra GmbH, Distribution [PASCO]



大規模崩壊監視警戒システム(H24-)

- 豪雨を対象とした大規模土砂災害の早期発見システム
- 3箇所の振動センサからおおよその大規模崩壊の位置を特定
- 商用SAR衛星画像によって河道閉塞の発生状況を確認



SAR単偏波画像における河道閉塞視認性の調査

①②③坪内

確認範囲	項目	評価
河道	湛水域	○
周辺地形	斜面勾配	○
崩壊地	滑落崖	○
	崩壊地内	○
	崩積土砂	○
	崩壊規模	○
	画像の肌理	○
位置関係	上下関係等	○
	周辺地物	○
総合評価		○

確認範囲	項目	評価
河道	湛水域	○
周辺地形	斜面勾配	○
崩壊地	滑落崖	○
	崩壊地内	○
	崩積土砂	○
	崩壊規模	○
	画像の肌理	○
位置関係	上下関係等	○
	周辺地物	○
総合評価		○

国総研H23年度業務で必要条件を検証

- ・ 地上分解能: 3m
- ・ 抽出規模限界: 100m×100m程度
- ・ 有効入射角: 35-50°
- ・ 実行所要時間: 利用衛星による

確認範囲	項目	評価
河道	湛水域	△
周辺地形	斜面勾配	○
崩壊地	滑落崖	○
	崩壊地内	○
	崩積土砂	○
	崩壊規模	○
	画像の肌理	○
位置関係	上下関係等	○
	周辺地物	×
総合評価		○

© 2012 Astrium Services / Infoterra GmbH, Distribution [PASCO]

画像No.	取得	撮影日	軌道	照射方向	分解能	入射角	偏波	補正	視認性①	視認性②	視認性③
0	TerraSAR-X	2011/9/5	北行軌道	東向き	3m	39°	HH	GEC	◎	◎	○

河道閉塞抽出の判読手順マニュアル化

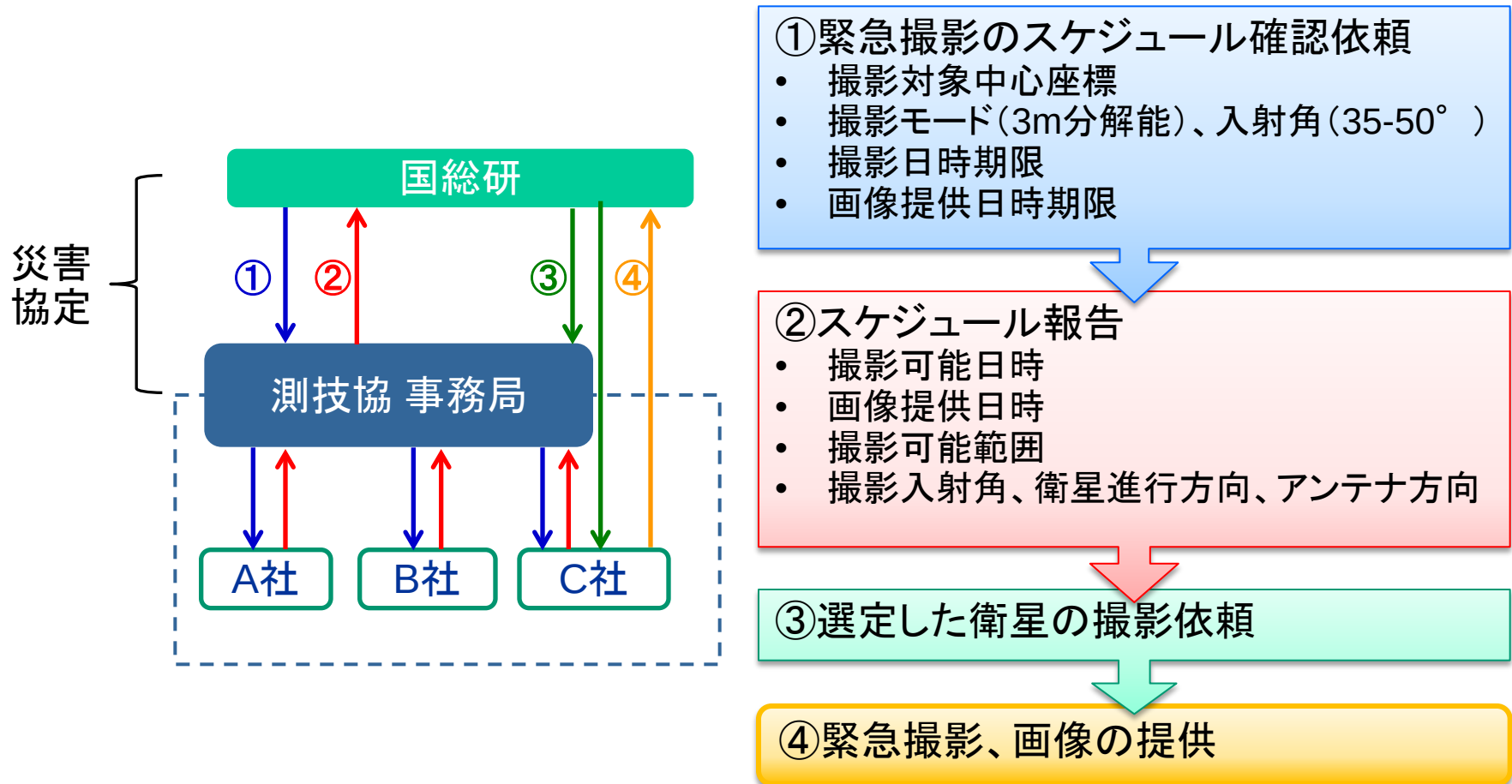
判読はこのステップで実施

確認範囲	チェック項目	判断基準	評価（例）
河道	湛水域	・湛水域がシャドウとして確認されるか ・上下流の滞筋幅と比べ不自然な幅となっているか ・ダム・取水堰等の人工構造物による湛水では無いか	○
周辺地形	斜面勾配	・湛水域近傍に斜面は存在するか ・周辺斜面は発生する程度の急勾配斜面か 等	○
崩壊地	滑落崖	・湛水域周辺に滑落崖が確認できるか ・滑落崖周辺に段差によるシャドウ・レイオーバーは確認できるか ・滑落崖の形状は斜面方向に対し円弧状となっているか 等	○
	崩壊地内	・滑落崖の下に崩壊形状は確認されるか ・崩壊形状は斜面方向と整合しているか 等	○
	崩積土砂 （河道閉塞部）	・崩壊地内から下部にかけて崩積土は確認できるか ・崩積土の形状は舌状になっているか ・崩積土の到達範囲は地形形状と整合しているか ・河道閉塞部は谷を埋積する形状となっているか ・河道閉塞部の上流に湛水域は形成されているか ・崩積土上に倒木等の形状は確認されるか 等	△
	崩壊規模	・河道閉塞が発生する程度の崩壊規模か	○
	画像の肌理	・崩壊地内・崩積土等の表面は周辺林地と比べ平滑になっているか ・周辺斜面にみられる強度パターンと違うパターンとなっているか 等	△
相対的位置関係	上下関係等	・滑落崖・崩積土・湛水域等の位置関係に不自然さはないか ・崩積土の到達範囲は地形と整合しているか 等	○
	周辺地物	・周辺の道路網に分断はないか ・建物が埋積されているような状況は確認されるか	△
総合評価			○

○：形状が読みとれる箇所 △：不明瞭だが形状が確認できる箇所 ×：形状が読みとれない箇所

SAR画像調達体制(現行)

国総研と(財)日本測量調査技術協会の間で災害協定を締結、災害時は協定に基づき最適な画像を調達する体制を構築。

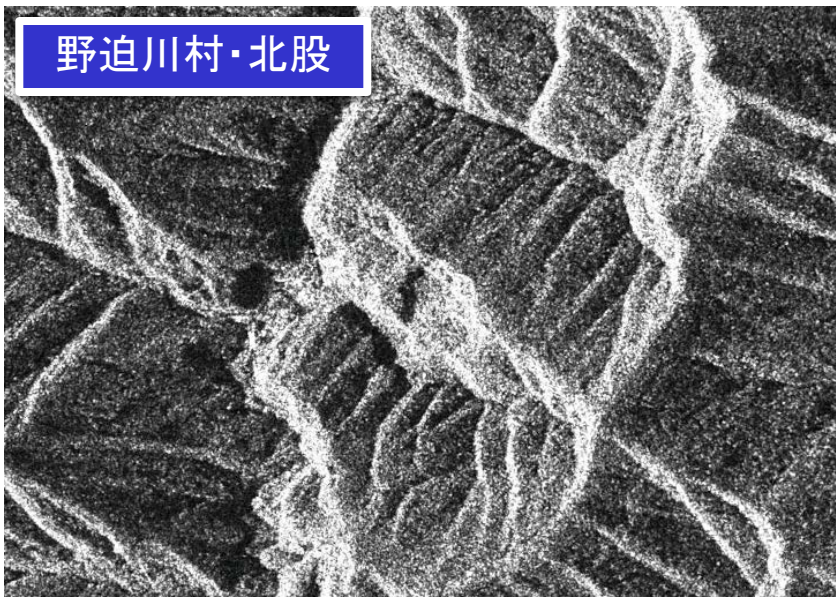


SAR画像判読における現在の課題

災害後の単画像での判読抽出における課題:

- 湛水が無い場合は発見が困難
- 崩壊地と旧崩壊地形、崩土と段丘で識別がつきにくい
- フォアショートニング部の投影面積の狭さ

→モノクロ画像による視認性の低さが大きく影響



© 2012 Astrium Services / Infoterra GmbH, Distribution [PASCO]

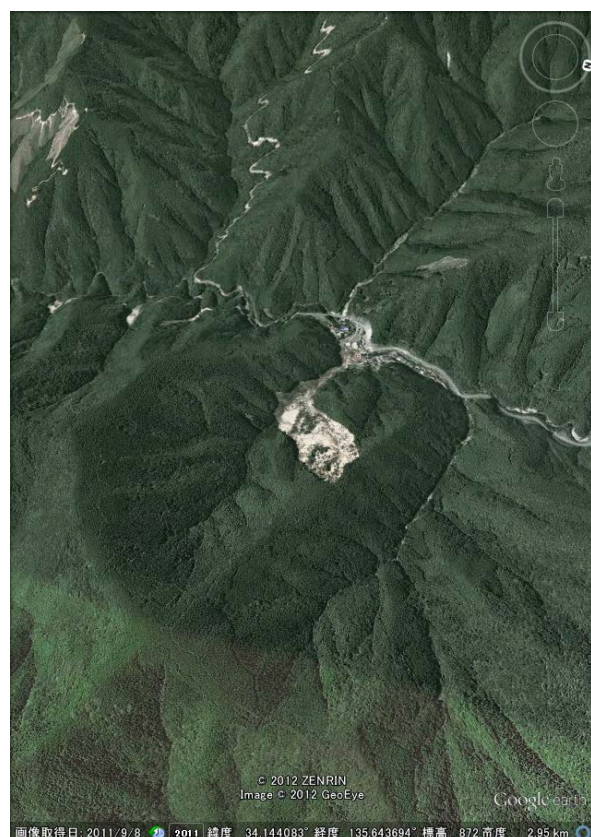


Google / GeoEye

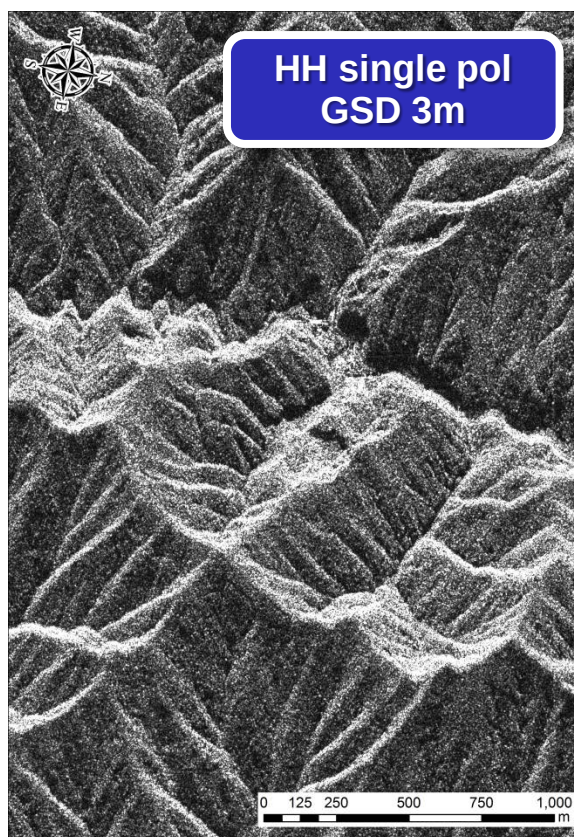
SAR偏波画像カラー合成による判読視認性検討

偏波画像(水平・垂直)のカラー表現により
大規模崩壊地の検出確実性を高められる可能性あり。

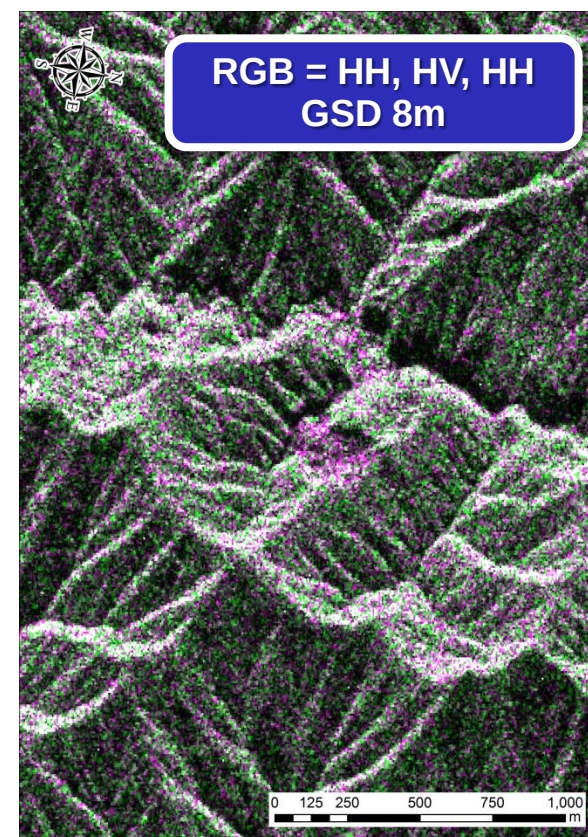
→RADARSAT-2のQuad(4偏波)モードで検証中



Google / GeoEye



TerraSAR-X
© 2012 Astrium Services / Infoterra GmbH, Distribution [PASCO]



RADARSAT-2 Data and Products
© MacDONALD, DETTWILER AND ASSOCIATES LTD. (2012) - All Rights Reserved

広域土砂災害へのSAR偏波画像の適用

商用衛星は単偏波に比べて観測面積か分解能が犠牲になり
広域土砂災害対応として利用しづらい。

ALOS-2の多偏波モードは必要十分な性能あり。

Satellite	Observation Mode		Swath multi-pol. (single-pol.)	GSD multi-pol. (single-pol.)
TerraSAR-X	Strip Map	Dual	15km (30km)	6.6m (3.3m)
COSMO-SkyMed	STRIPMAP	PINGPONG (Dual)	30km (40km)	20m (3m)
RADARSAT-2	Fine	Dual	50km (50km)	8m (8m)
	Wide Fine※	Dual	150km (150km)	
		Quad	50km (150km) < Azimuth 25km@1scene >	
ALOS-2	高分解能	SP / DP	50km (50km)	3m (3m)
		SP / DP / FP / CP	50km (50km)	6m (6m)
			70km (70km)	10m (10m)

※Wide Fineモードは入射角20-40° : 急峻な山岳地においてレイオーバーの可能性大。

2. InSARによる平常時の斜面変状モニタリング

深層崩壊

「山崩れ・崖崩れなどの斜面崩壊のうち、すべり面が表層崩壊よりも深部で発生し、表土層だけでなく深層の地盤までもが崩壊土塊となる比較的規模の大きな崩壊現象。」 ※(「改訂 砂防用語集」)

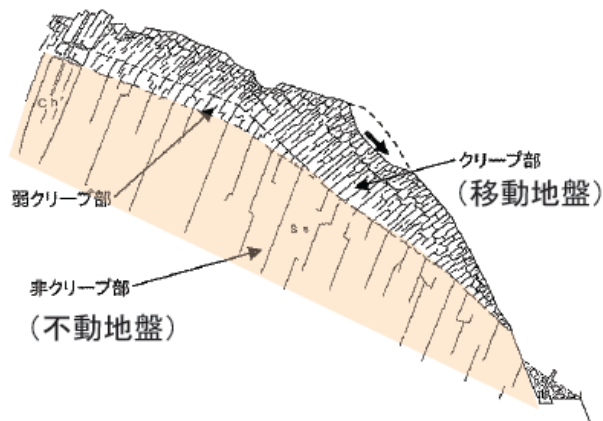


深層崩壊の前兆現象

地すべり・岩盤クリープ(ゆっくりとした斜面変形)等により斜面が不安定化

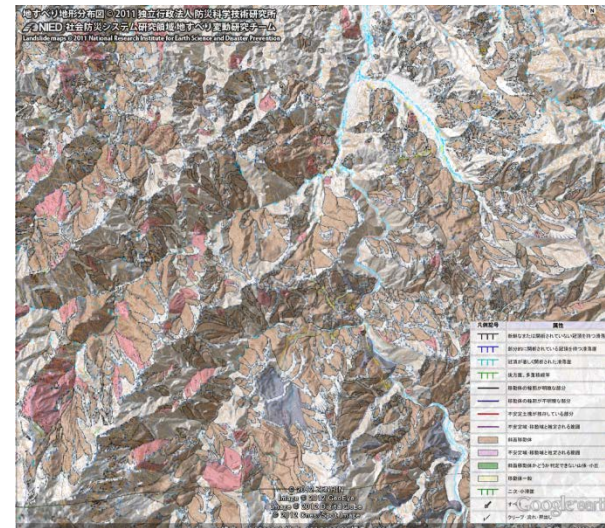
原因:地殻隆起・地下水浸透・風化・重力変形

→地震・豪雨などの大きな外力をトリガーにして岩盤もろとも崩落



深層崩壊の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル(案)

(独) 土木研究所 土木研究所資料 第4115号



地すべり地形分布図©(独)防災科学技術研究所

- 地形的特徴（円弧状クラックや多重山稜）は知られている
- 全国に多数分布しており個々の緊急性の程度が不明

深層崩壊危険箇所の抽出条件

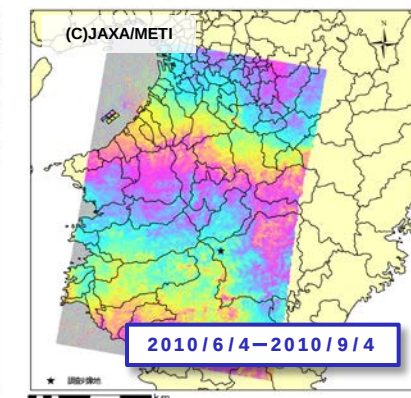
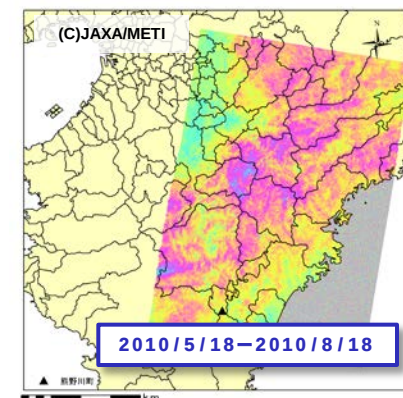
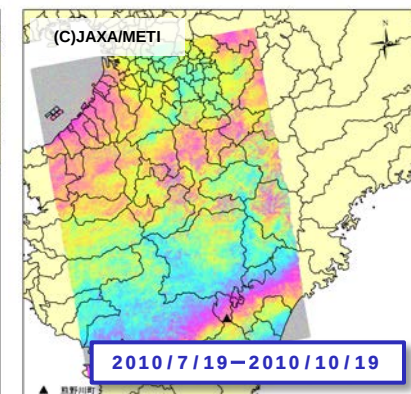
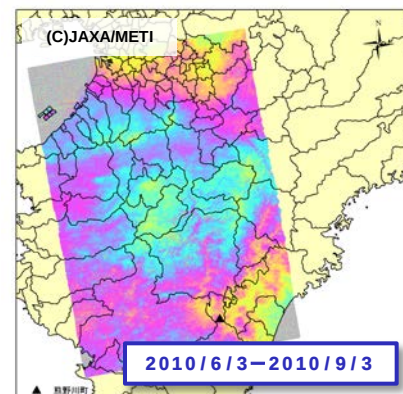
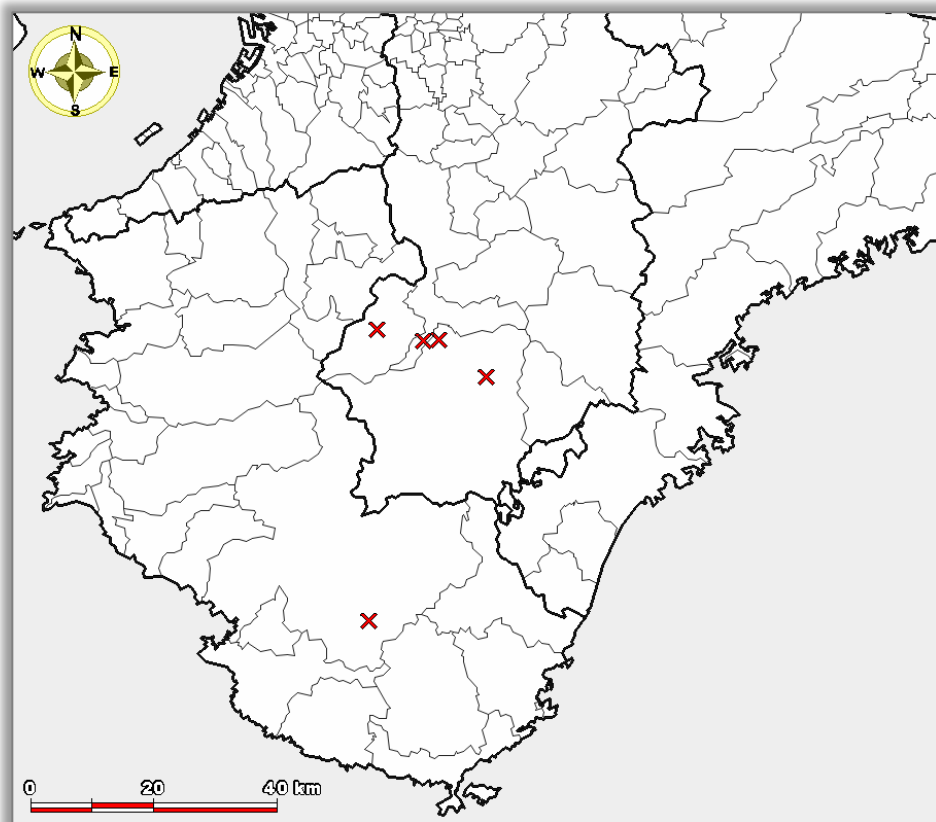
検索・抽出対象

- 土地被覆： 森林植生に覆われている
- 検索面積： 広域（数百km²以上）
- 抽出規模： 100m×100mオーダー
- 変状速度： mm～cm/年（？）
- 観測頻度： 年1回以上の定常的モニタリング

L-band衛星SARによる干渉解析が有効

DInSARによる大規模崩壊地の予兆検出検討

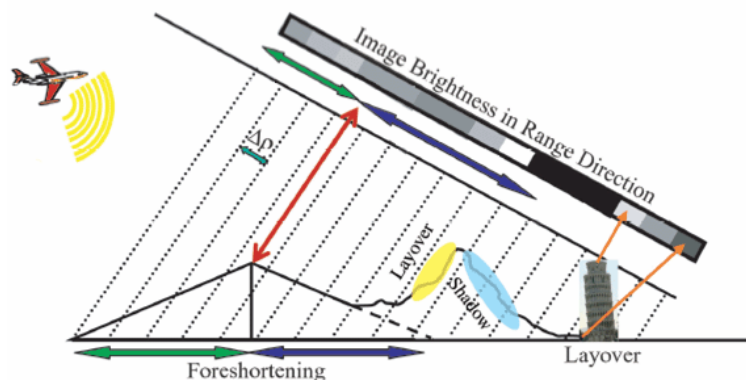
紀伊半島大水害：緊急調査大規模崩壊地 5箇所



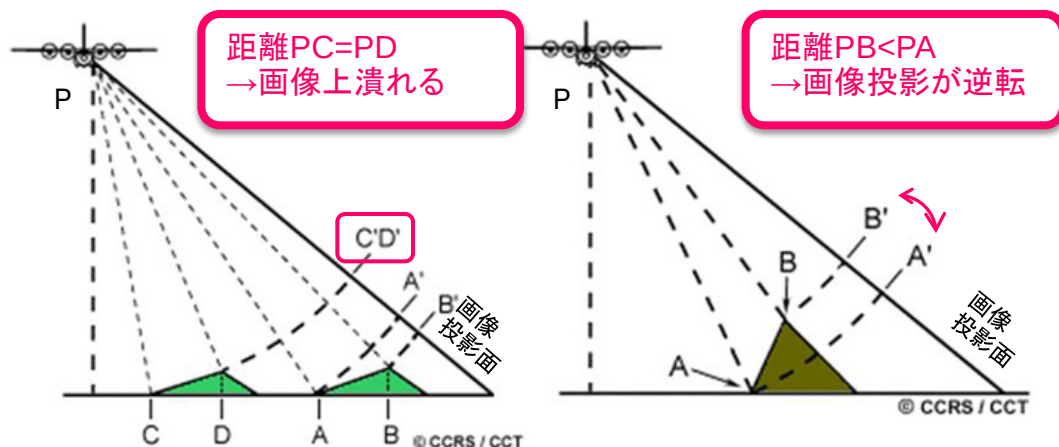
DInSAR解析による変位抽出との一致箇所なし
→同災害では単ペアによる干渉解析で捉えられていない。

SARの原理特性に基づく観測可能範囲の課題

レイオーバー・シャドーイング領域・・・解析不可能



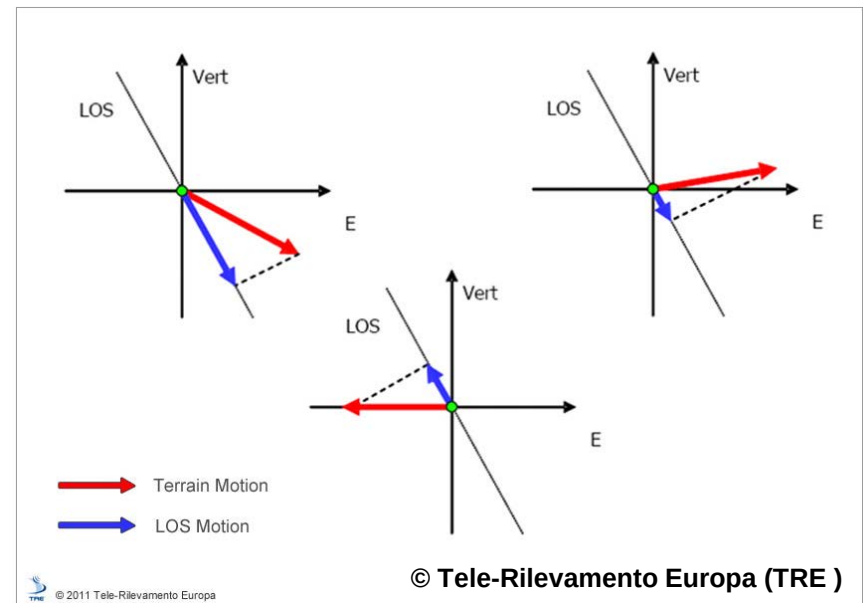
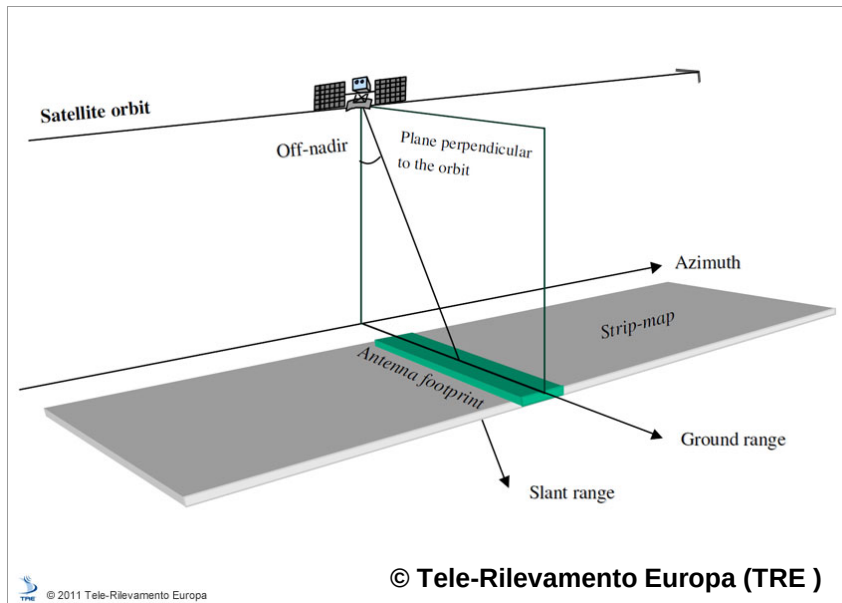
© 2012 The Pennsylvania State University
<https://courseware.e-education.psu.edu/courses/bootcamp/lo04/cg.html>



© 2012 The Pennsylvania State University
<https://www.e-education.psu.edu/geog883/node/470>

InSARの原理特性に基づく斜面変状把握の課題

Line-Of-Sightの位相差検出・・・アジマス方向の評価困難



Single Satellite Geometry: Line of Sight (LOS) Displacements

DInSARでの崩壊予兆抽出における課題

●対象現象に対するS/Nの不足

- 短期間の干渉ペアでは変位量が少なく抽出困難
- 長期間の干渉ペアでは干渉性が低下・ノイズが載りやすい
(地被変化・大気遅延等の影響と斜面変状の混在)

・・・多数ペアによる時系列解析で解消可能

●SAR/InSARの原理による評価困難領域

- アジマス方向の変位抽出が困難
- 急峻地形におけるレイオーバー・シャドーイングの発生

・・・Descending, Ascendingの組み合わせで軽減可能

L-band干渉解析用データセットの充実が必要！

3. InSAR解析による火山噴火時の降灰分布推定

（独立行政法人土木研究所 火山・土石流チーム）



■目的

- 2011年1月の新燃岳噴火による降灰範囲に対して、
コヒーレンス解析法による火山灰堆積深推定の可能性を検証
- 小澤(2011)によって示されたSAR干渉法の適用性確認のため
ALOS PALSAR画像6ペア(+噴火前1ペア)に対して検証、留意点を検討

■資料

(a) ALOS PALSAR 7ペア(噴火前後6ペア+噴火前1ペア)

(b) 文献における降下火砕物の堆積範囲と堆積深

2011年1月26日 - 27日に噴出した降下火砕物の等重量線図

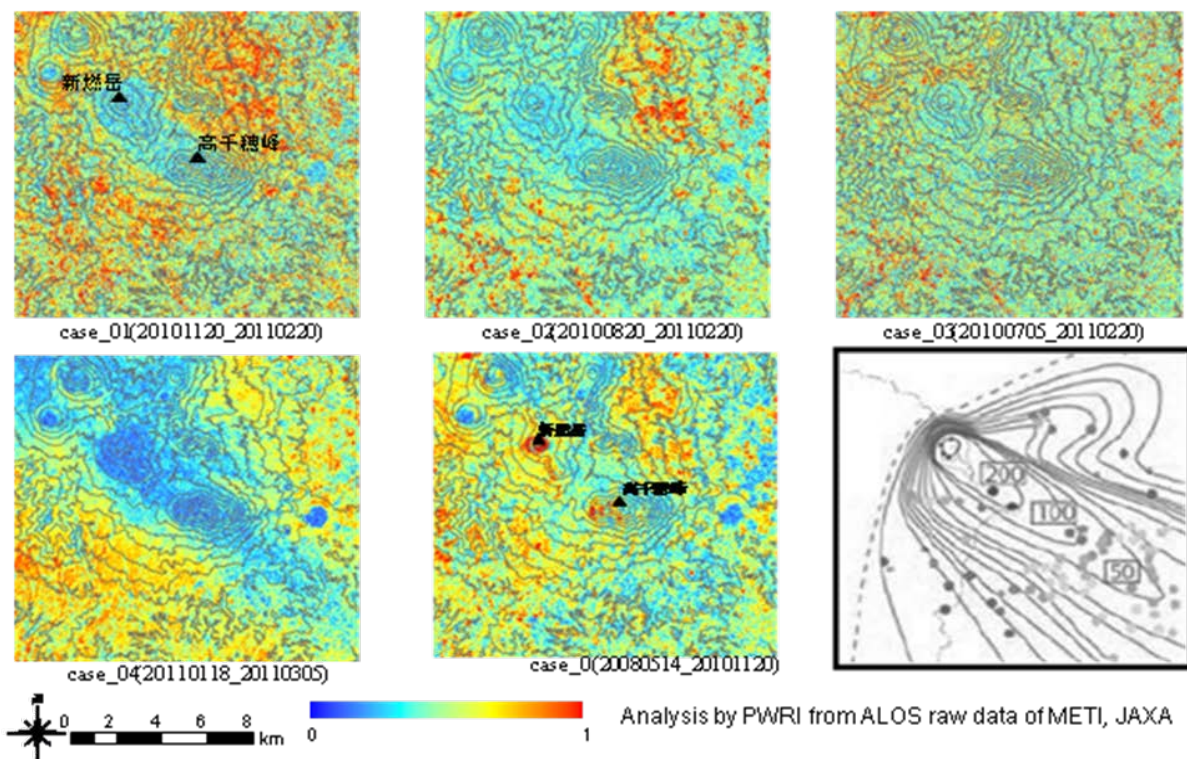
(産業技術総合研究所・アジア航測(株), 2011)

(c) 現地調査

2011年6月14日の火山堆積状況調査結果

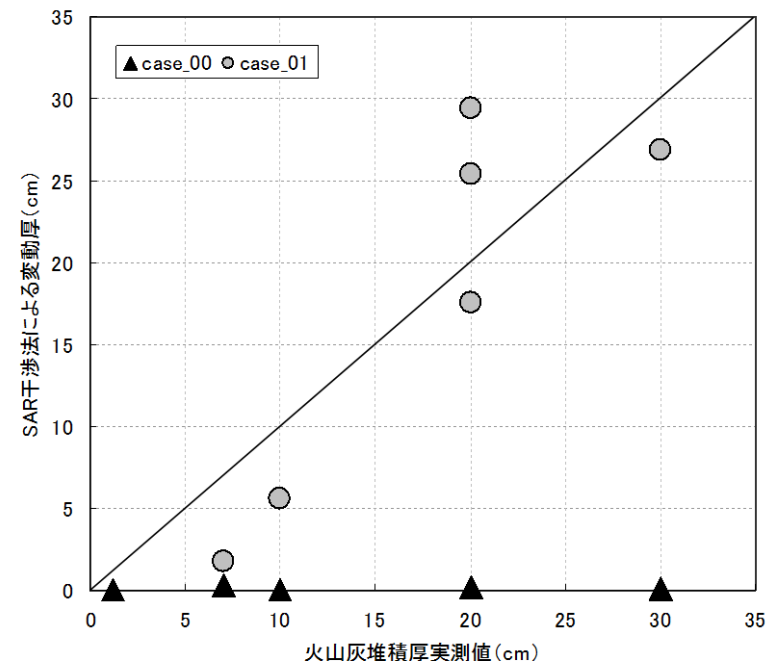
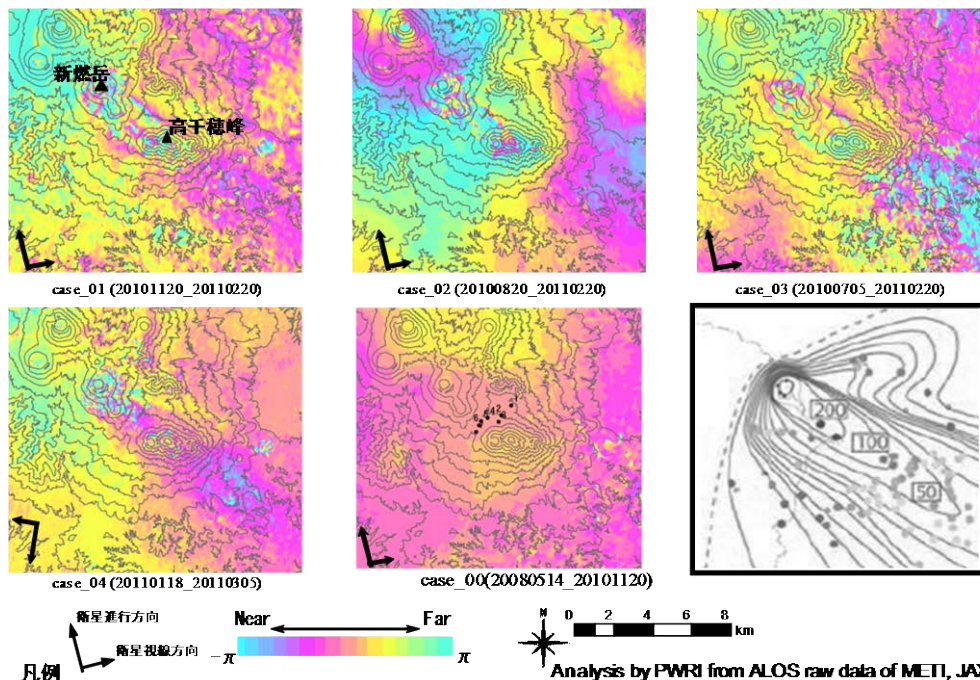
InSAR解析と降灰厚の比較検討(コヒーレンス)

- **降灰範囲の抽出手法**
地覆の状態変化による干渉性の低下を利用して降灰範囲を抽出
- **文献における降下火砕物の堆積範囲**
case_04のコヒーレンス低下領域は
概ね 50kg/m^2 と 100kg/m^2 の等重量線の間ぐらいに分布



InSAR解析と降灰厚の比較検討(干渉縞)

- **InSAR干渉縞による降灰範囲抽出の特徴**
InSAR干渉縞による方法はコヒーレンスの場合と異なり、複数回の噴火に伴う降灰範囲を抽出ができる可能性がある。
- **火山灰堆積深の推定**
InSAR解析の推定火山灰堆積深と実測値の間で良好な相関が見られる。
(観測時期の不一致等の誤差要因により完全に一致はせず)



まとめ

ALOS-2: 高分解能・高頻度観測SAR衛星

①天候の影響を受けにくい観測システム

- 緊急時の早期広域被害把握・二次災害の回避

②DInSAR解析による地表の微小変化抽出

- 平常時における大規模崩壊兆候の抽出
- 火山噴火時における広域降灰分布の効率的把握

大規模土砂災害の調査・監視ツールとして有用！