

特集：激甚な土砂災害等への対応

衛星SAR画像による大規模崩壊の緊急判読調査手法の実用化

水野正樹* 神山嬢子** 佐藤 匠*** 林 真一郎**** 岡本 敦*****

1. はじめに

豪雨時に天然ダム形成につながる異常現象が発生した場合、天然ダム形成の有無と規模を広い地域からより迅速に把握し、決壊等による被害を防止する必要があるが、従来、夜間や悪天候時にはヘリによる天然ダム形成確認調査ができなかった。

しかし、人工衛星による合成開口レーダー（以下「SAR」という。）画像は、従来のヘリ等による調査と異なり、マイクロ波を使用することにより夜間や悪天候（曇りを含む）等の状況に左右されることがなく撮影をすることが可能であり、実際に2011年台風12号災害では曇天時の衛星SAR画像から8箇所の大規模崩壊が抽出できた(図-1) 1)。

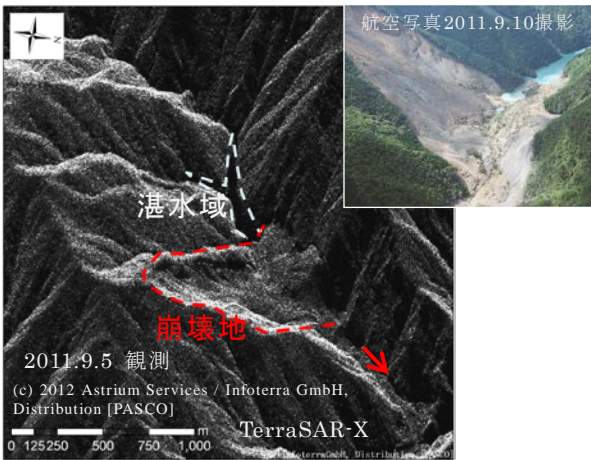


図-1 衛星SAR画像で発見された2011年台風12号による奈良県五條市赤谷の河道閉塞

これらを踏まえて国土交通省では、雨量レーダー、振動センサ、及び「衛星SAR画像による大規模崩壊の緊急判読調査」の3つの手法を組み合わせた大規模崩壊監視警戒システムを全国の深層崩壊の危険性の高い流域において構築し、順次運用開始することとしている。

このため国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）は、2011年台風12号で大規模崩壊が多数発生したエリアを対象に、撮影条件の異なる各種衛星SAR画像を用いて比較検討し、単偏

波の「衛星SAR画像による大規模崩壊の緊急判読調査」の手法を実用化したので報告する。

2. 画像の視認性評価と撮影条件

SAR画像の判読は、図-2に示すように、直下視に近い光学画像の判読とは異なる特徴がある。

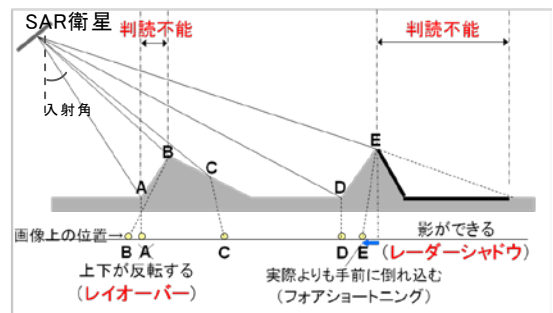


図-2 SAR画像に特徴的な現象とマイクロ波入射角と衛星SAR画像で確認できない場所の概念図

そこで、SAR画像の撮影条件を検討するため、COSMO-SkyMed、RADARSAT-2、TerraSAR-Xの3つのSAR衛星で撮影した、マイクロ波の照射方向・照射角度(入射角)等の異なる合計8種類のSAR画像(表-2)を用いて崩壊地を判読し、視認性を評価した。

視認性の評価を行った河道閉塞箇所は、2011年台風12号で発生して、国土交通省が紀伊半島で確認し公表した17箇所の河道閉塞のうち、図-3に示すエリアに含まれる11箇所の河道閉塞箇所である(表-1)。

このうち奈良県天川村坪内の3箇所の大規模崩壊①②③(写真-1)の評価例を図-4～図-9に示す。

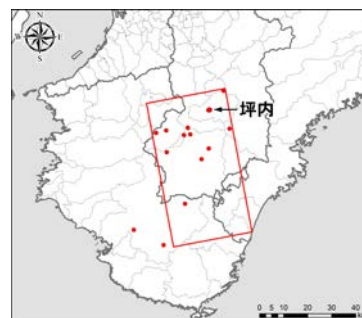


図-3 撮影範囲と河道閉塞位置

表-1 視認性評価対象河道閉塞箇所

崩壊箇所名	面積 (ha)	崩壊の向き	崩壊前平均勾配※
坪内①	2.3	南東	32
坪内②	7.4	東	31
坪内③	3.6	北西	33
宇井	6.5	北東	38
長殿	19.1	北西	37
赤谷	32.6	北西	37
栗平	37.0	北	35
野尻	14.0	北西	36
松股	1.2	西	36
北股	5.4	南西	35
三越	5.0	北	36

※ 崩壊前の国土地理院10mDEMの斜面メッシュ勾配の平均値(°)

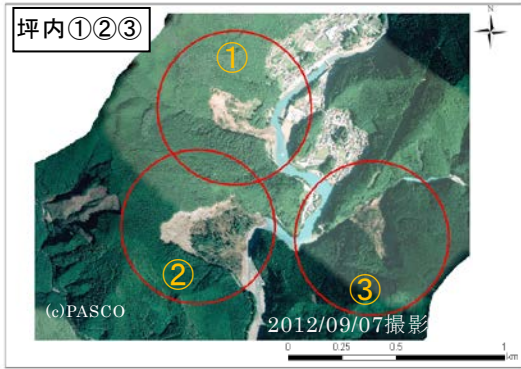


写真-1 航空機による垂直写真から作成した光学画像（オルソ画像）

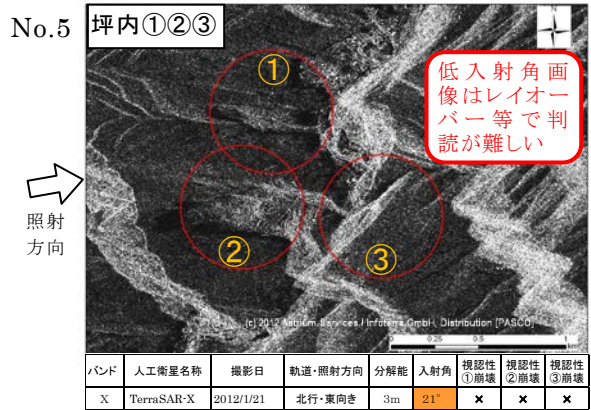


図-7 電波入射角が低入射角で河道閉塞が判読困難な衛星SAR画像

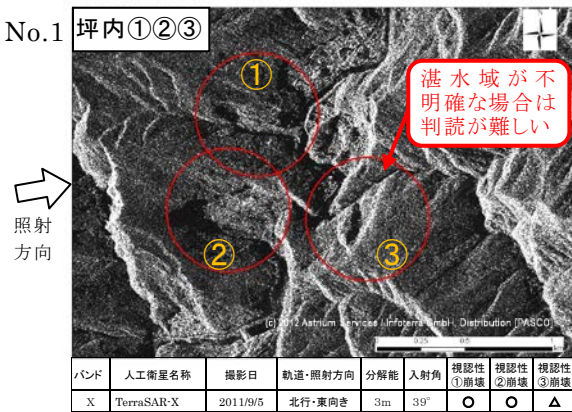


図-4 視認性が良好な衛星SAR画像(Xバンド)

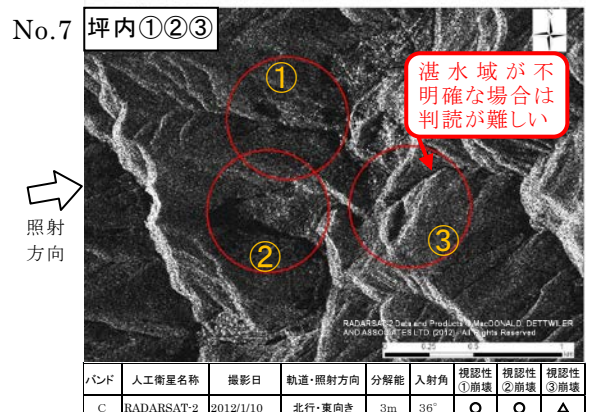


図-8 視認性が良好な衛星SAR画像(Cバンド)

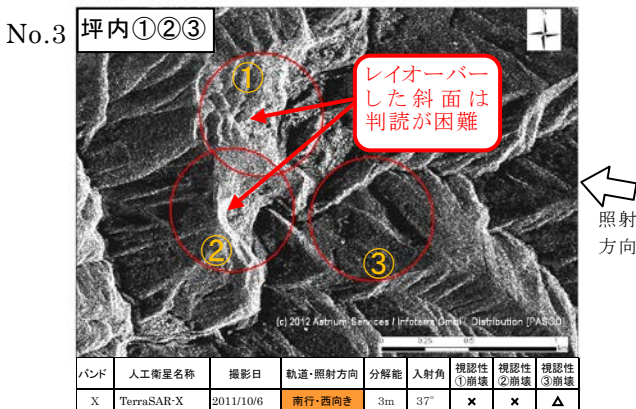


図-5 電波入射方向と正対する斜面の判読が困難な衛星SAR画像

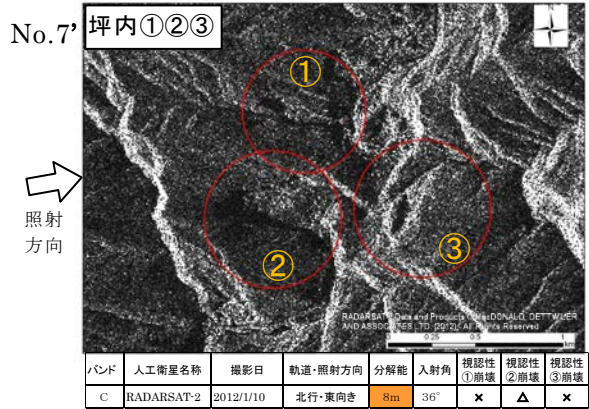


図-9 低分解能(8m)で河道閉塞が判読困難な衛星SAR画像

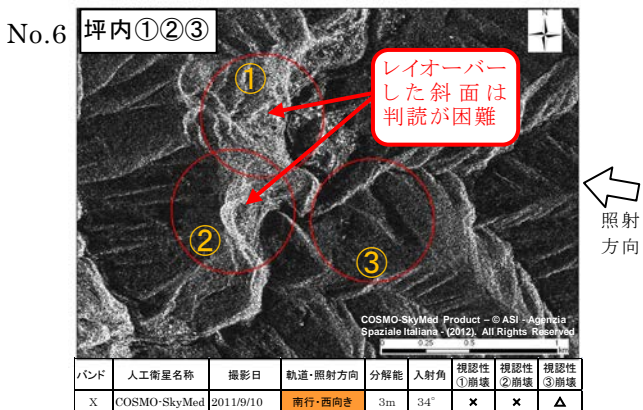


図-6 電波入射方向と正対する斜面は判読困難な衛星SAR画像

表-2 視認性評価に用いた衛星SAR画像一覧

No.	人工衛星名称	バンド	撮影日	軌道	照射方向	分解能	入射角	偏波	使用目的
1	TerraSAR-X	X	2011/9/5	北行	東向き	3m	39°	HH	基本
2		X	2011/9/20	南行	西向き	1.7m	51°	HH	高分解能
3		X	2011/10/6	南行	西向き	3m	37°	HH	照射方向
4		X	2011/11/19	南行	西向き	3m	39°	HH	照射方向
5		X	2012/1/21	北行	東向き	3m	21°	HH	低入射角
6	COSMO-SkyMed	X	2011/9/10	南行	西向き	3m	34°	HH	衛星の違い
7	RADARSAT-2	C	2012/1/10	北行	東向き	3m	36°	HH	バンドの違い
7'	RADARSAT-2	C	2012/1/10	北行	東向き	8m	36°	HH	低分解能

注) 7'は7画像からリサンプリングして8m分解能画像を作成。

視認性評価の結果、次のとおり、衛星によるSAR画像の撮影条件を明確化した。

(1)電波の入射角

図-2、図-7に示すとおり、SAR画像取得時の入射角が小さくなると、入射方向と正対する斜面と

河道付近の場所がレイオーバー※となって判読不能となる。反対に入射角が大きいと急勾配地域でレーダーシャドウ※の割合が大きくなる。そこで河道閉塞を判別するためには、一定程度の入射角を確保する必要があり、概ね35°～50°程度の電波入射角が良好となる。

(2)分解能

河道閉塞を抽出する際のSAR画像分解能は、図-9に示すとおり低分解能（8m程度）では、河道閉塞の判読が困難であるため、図-8に示す3m以下の高分解能が必要である。しかし、1m程度の高分解能SAR画像ではより詳細な現地状況が判読されるが、現在運用中の衛星の性能では撮影範囲が、分解能3mの1,500～2,500km²と比べ、分解能1mの49～144km²と大幅に狭くなるため注意を要す。

(3)バンド

図-4、図-8に示すとおり、XとCのバンドの違いによる視認性の差は生じないので、災害発生時には画像入手時刻がより早い衛星画像を選定する。

(4)撮影回数

片側照射のSAR画像1枚では、図-5、図-6に示すように斜面方位や斜面の傾斜角度によってはレイオーバーやレーダーシャドウ等が生じて抽出率が落ち、2011年台風12号の河道閉塞の事例では50～70%程度の抽出率であった。東西両側からの画像2枚を用いれば抽出率は約90%に向上した。このため、片側照射方向の画像1枚では読みとれない範囲をカバーするために、逆方向からの照射画像も取得し、抽出率を高めることが望ましい。

3. SAR画像判読時の主な留意点

(1)判読するSAR画像の正立配置

より正確に判読するためにSAR画像は、立体感を持って正立するように回転させる。

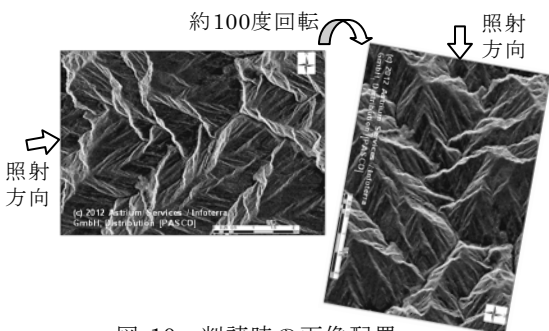


図-10 判読時の画像配置

図-10に示すとおり、「SAR画像はSARの照射方向が上」となるように、「白い尾根線が上」となるよう配置すると判読しやすい。

(2)崩壊地を見逃し易い条件

台風12号紀伊半島における判読結果では、平面投影面積1ha程度の大きさである桧股地区の河道閉塞は判読が困難であった。また、視認性が良好な画像で崩壊地が大きい場合でも、図-4、図-8の坪内③崩壊箇所のようにレーダーシャドウと湛水域の判別が難しい場合や、図-11の野尻地区崩壊箇所のように土石流形態で流下して、湛水域が生じていない場合は、崩壊地を見逃し易い。

このため、SAR画像から抽出できる崩壊地は、一定規模以上で判別できる湛水域を持つ深層崩壊等と解釈することができる。

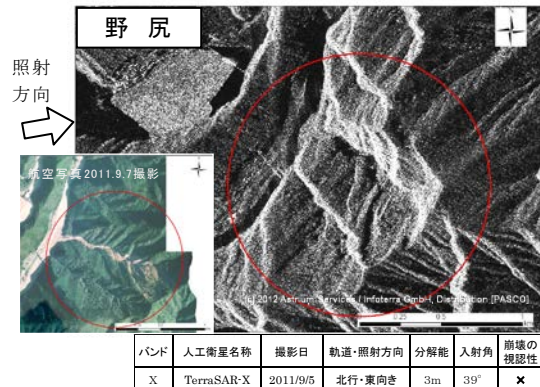


図-11 崩壊地に湛水域が無く崩壊地が判読困難な衛星SAR画像

(3)判読時のチェック項目

河道閉塞の判読基準と手順を標準化するため、各種SAR画像の視認性評価の結果と、崩壊地や河道閉塞の判読に利用できる地形的特徴を踏まえて判読チェックリストを作成した²⁾。

表-3 判読チェックリスト

確認範囲	チェック項目	判断基準	評価
河道	湛水域	・湛水域がシャドウとして確認されるか	
		・上下流の滞り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域は無い	
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	
		・湛水域周辺に滑り崖が確認できるか ・滑り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 ・滑り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	崩壊地内	・滑り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	
	崩壊地内から下部にかけて崩壊土は確認できるか		
	崩壊土の形状は舌状になっているか		
	崩壊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 ・崩壊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・崩壊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	・滑り崖・崩壊土・湛水域等の位置関係に不自然さはないか ・崩壊土の到達範囲は地形と整合しているか 等	
	周辺地物	・周辺の道路網に分析はないか ・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

※土木用語解説：レイオーバー、レーダーシャドウ

判読の際には、特に、新たに形成された湛水域等に着目し、その他の地形要素との組み合わせにより総合的に判断して河道閉塞箇所を抽出する。

表-3に示す判読チェックリストは、上から順次チェックし、該当するものに○(不明瞭な場合△)を記していく。該当しない場合×を記す。判読後は、根拠として保存する。

(4)画像判読の順序

河道閉塞箇所の判読・抽出を行う際には、まず、第1ステップとして広域の概査判読を行い、全体の概要と特に大規模な崩壊地の有無を把握した上で、第2ステップとして順次細部詳細判読を行う。

さらに、判読すべき優先箇所として、河道閉塞・決壊に伴う被害が甚大になると予測される集落の上流や、満水し越水までの時間が短いと予想される集水面積が大きい本川沿いを最優先に確認を行う。次に主要支川、支溪レベルへと順次判読確認を行う(図-12)。

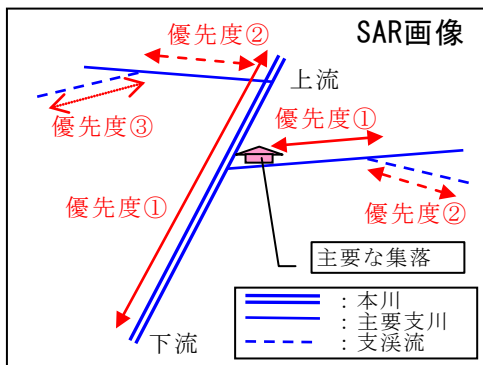


図-12 画像判読の順序イメージ図

4. 画像入手に要する時間

衛星SAR画像を有効に活用するためには、航空機画像より早く、衛星SAR画像が入手できる必要があるが、衛星SAR画像の撮影発注から撮影までに要する時間、及び撮影から判読用画像の作成に要する時間が、衛星毎に異なる点に留意す

る必要がある。

画像撮影発注から画像入手(判読開始前)までに必要な時間は、現時点で運用されているSAR衛星が約15時間~数十時間、2013年度打ち上げ予定のALOS-2が6時間以内程度、を要する。

そして、衛星軌道位置から決まる各衛星の撮影頻度は、4日に1回程度の衛星から、4機体制衛星の約12時間に1回程度までである。これらについて確認し、SAR画像が必要となった時点の軌道位置から最も早く必要な観測範囲の良好な条件の画像が入手できる衛星を迅速に選定する必要がある。

5. おわりに

大規模崩壊や河道閉塞箇所を判読・抽出するために必要な単偏波衛星SAR画像の撮影諸元と判読基準・留意点をとりとまとめた。本成果の大規模土砂災害時の活用が期待される。特に、今回、SAR画像判読のために作成した判読チェックリストは、誤判読・見落とし防止、判読者の判読技術向上に寄与すると思われ、河道閉塞の抽出率向上に役立つと考えられる。

今後は、更なる崩壊地の見落とし防止のため、崩壊地がより判読し易いと考えられる、多偏波のSAR画像の解析手法の研究を実施していきたい。

参考文献

- 1) 林真一郎、岡本敦、水野正樹、佐藤匠、山越隆雄、中野陽子、横田浩、野田敦夫、吉川和男：高分解能SAR画像を用いた台風12号災害での河道閉塞箇所の推定、平成24年度砂防学会研究発表会概要集、2012
- 2) 鶴殿俊昭、岡本敦、水野正樹、林真一郎・佐藤匠・野田敦夫・吉川和男：高分解能SAR画像を用いた河道閉塞箇所抽出手法の検討、平成24年度砂防学会研究発表会概要集、2012

水野正樹*



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 主任研究官
Masaki MIZUNO

神山嬢子**



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 研究官
Joko KAMIYAMA

佐藤 匠***



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 部外研究員
Takumi SATOU

林 真一郎****



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 研究官
Shin-ichiro HAYASHI

岡本 敦*****



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長
Atsushi OKAMOTO