

# 衛星多偏波SAR画像による大規模崩壊の緊急判読調査手法

水野正樹・江川真史・神山嬢子・佐藤 匠・蒲原潤一

## 1. はじめに

豪雨時等に天然ダム形成につながる異常現象が広域的に発生した場合、天然ダム形成の有無と規模をより迅速に把握し、決壊等による二次災害を防止する必要がある。この際、ヘリコプターによる目視調査が困難な夜間や悪天候時の場合に国土交通省は、衛星による高分解能単偏波SAR画像<sup>\*</sup>を用いた緊急判読を実施することとしている。しかし、単偏波SAR画像は、モノクロ画像で地表面の状況の判別が難しく、これまで崩壊地の判読見逃しが課題であった<sup>2)</sup>。

そのために国総研では、地表面の状況に応じて反射強度が異なる多偏波SARに着目して、大規模崩壊地の発生状況をより迅速に把握する目的で崩壊地判読に利用するための検討を実施した。検討では、平成23年台風12号により大規模崩壊及び河道閉塞が多数発生したエリアを対象に、複数の偏波データから様々な方法で作成した多偏波SAR画像による判読を試みた。

## 2. 視認性評価方法

### 2.1 偏波の仕組みと見え方の特徴

SAR観測で用いる偏波は、図-1に示すように、

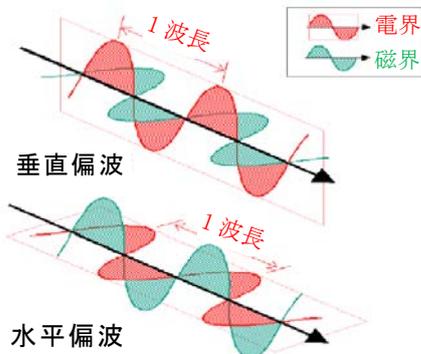


図-1 水平偏波、垂直偏波の概念図

出典：リモートセンシング技術研修テキスト「マイクロ波リモートセンシング」3-2.SAR画像の特徴 ポラリメトリ (RESTEC製作・編集) より

水平偏波（振幅が進行方向に対して水平：H）と垂直偏波（振幅が進行方向に対して垂直：V）に分類され、送受信の組み合わせでHH、HV、VH、VVと表現される。それぞれの偏波は地表面の状況によって後方散乱の特性が異なり、裸地ではHH及びVVが卓越し、森林ではHV及びVHが卓越する。

### 2.2 評価に用いた多偏波SAR画像の種類

評価に用いたSAR画像は、各偏波データを基に画像処理した以下の11種類である。

ここで、R、G、Bとは、Red、Green、Blueの光の3原色に各計算による処理値を割り当ててカラー画像化することを示す。

- ・単偏波画像（HH、HV、VH、VVの計4種類）  
（比較対象となる従来手法）
- ・HH+HV単純合成画像  
（R：HH、G：HV、B：HH）
- ・HH+VV単純合成画像  
（R：HH、G：VV、B：HH）
- ・HH+HV+VV単純合成画像  
（R：HH、G：HV、B：VV）
- ・HV基底画像（簡易計算）  
（R：HH、G：2HV、B：VV）
- ・パウリ基底画像（簡易計算）  
（R：HH-VV、G：2HV、B：HH+VV）
- ・3成分散乱電力分解画像<sup>3)</sup>  
（R：表面散乱、G：体積散乱、B：表面散乱）
- ・HH-VV Correlation（偏波相関）画像

### 2.3 視認性評価方法

評価方法は図-2のとおりである。始めに各多偏波SAR画像の視認性の概要を整理し（一次評価）、二次評価に用いる画像を選定した。そして平成23年紀伊半島大水害による大規模崩壊及び河道閉塞箇所（10箇所）を対象に、後述するチェックリストを用いて判読を行い、大規模崩壊の緊急判読における適用方法を明確化した（二次評価）。

The method of urgent decipherment investigation of large-scale collapses with multi-polarization SAR satellite images

\*土木用語解説：主なSAR画像解析手法

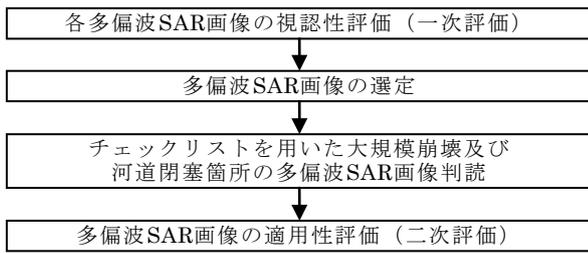


図-2 視認性評価の手順

### 3. 評価結果

#### 3.1 各多偏波SAR画像の視認性評価（一次評価）

各多偏波SAR画像を作成した上で（図-3）、それぞれ特徴を整理し、国総研で視認性の一次評価を行った。

##### (1) 単純合成画像

3つの画像のうち、HH+HVとHH+HV+VVが、植生に覆われた山腹が緑色、裸地や集落が赤紫色に着色され、崩壊地（裸地）を明瞭に色で判別でき、崩壊地が判別し易いと評価できる。そして、単純な画像合成のため、単偏波画像利用時より、合成処理に10分程度時間を要するだけで作成可能である。

##### (2) HV基底画像、パウリ基底画像

HH+HV単純合成画像と比較すると、HV基底画像は視認性に大きな差異は認められず、パウリ基底画像では視認性の低下が認められた。

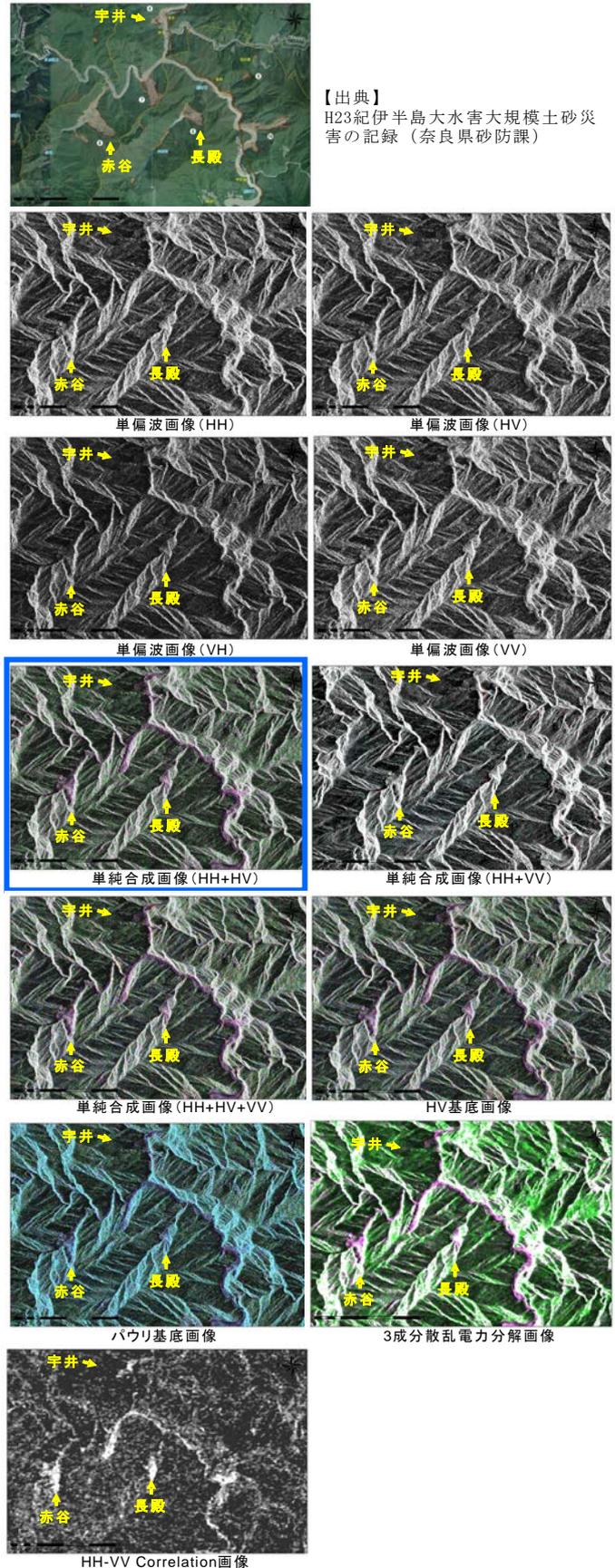
##### (3) 3成分散乱電力分解画像

この画像は、処理過程において分解能が低下するため、細部の判読には適さない。HH+HV単純合成画像と比較すると、裸地が赤紫色、森林が緑色に着色される傾向は同様であるが、集落は着色されないといった違いが認められる。また、画像作成処理に5~6時間を要する。

##### (4) HH-VV Correlation画像

この画像は、他の画像と比べて地形の凹凸がほとんど表現されないため単独での判読は困難である。しかし、森林や集落は黒~暗灰色（暗く）、崩壊地・河道のような裸地は白く（明るく）表現され、画像中に埋没した崩壊地も白く表現されており、崩壊地の抽出には有効性があると考えられる。ただし、画像作成に数時間を要する。

以上より、HH+HV、HH+HV+VV単純合成画像及びHV基底画像の3種が、ほぼ同様の高い視認性と評価した。



【出典】  
H23紀伊半島大水害大規模土砂災害の記録（奈良県砂防課）

利用衛星：RADARSAT-2 軌道方向：Ascending  
 観測日：2012/08/06 地上分解能：8m  
 入射角：39.6°  
 クレジット：RADARSAT-2 Data and Products © MacDONALD,  
 DETTWILER AND ASSOCIATES LTD. (2012) - All Rights  
 Reserved RADARSAT is an official mark of the Canadian

図-3 多偏波SAR画像の視認性比較

### 3.2 二次評価対象の多偏波SAR画像

一次評価で同様に高い視認性が得られた3種の多偏波SAR画像の中では、少ない利用偏波数から対象衛星数（撮像頻度）がより多く、かつ短時間で画像作成が可能な、HH+HV単純合成画像が最も有効と考えられる。以降、HH+HV単純合成画像について、大規模崩壊・河道閉塞箇所の判読方法を検討し、視認性を検証した。

### 3.3 多偏波SAR画像の判読チェックリスト

従来手法の単偏波画像の場合は、水部で後方散乱強度が弱く画像が黒く表現されることを利用して、主に湛水池の発生に着目して判読を行うが、崩壊裸地と植生の判別は困難である。これに対し多偏波SAR画像では、裸地と植生の判別視認性が向上するため、湛水池に加えて崩壊地に着目した判読が可能となった。これらの特徴を踏まえて、多偏波SAR画像判読用チェックリスト（表-1）を作成した。

### 3.4 多偏波SAR画像の適用性評価（二次評価）

表-1を基に複数衛星のHH+HV単純合成画像の多偏波SAR画像を用いて大規模崩壊及び河道閉塞箇所（10箇所）の判読を行った。そして同一エリアで単偏波画像HH（従来手法）による判読を行い、多偏波SAR画像と単偏波画像の判読結果とを比較して視認性を評価した（表-2）。なおその際には、それぞれ軌道や入射角、分解能が概ね同じ画像で2つの手法の比較を行った（表-2の画像No.1とNo.3, No.2とNo.4）。今回検討に用いた画像のエリアでは、単偏波よりも多偏波で視認「可」と判断した割合が高く、今回用いた分解能8m程度以上の高分解能な多偏波SAR画像では、視認性がより良くなる結果が得られた。多偏波SAR画像は、カラー合成画像となり、大規模崩壊地や土石流痕跡の視認性が向上するためと考えられる（図-4参照）。よって、本論で検討したHH+HV単純合成画像は、視認性の向上に加え、少ない偏波数で対象衛星数が多く、短時間で画像作成できる利点を踏まえると、非常時の緊急判読において十分適用可能である。

### 4. 多偏波SAR画像による緊急判読調査手法

多偏波SAR画像の視認性を活かし、表-1を用いた大規模土砂災害時の判読ステップを図-5にまとめた。また、多偏波SAR画像を今後利用するに

あたったの利点や留意点等を以下にまとめた。

#### (1) 分解能について

多偏波での撮影は、単偏波と比較して、分解能が低下するが、分解能8m程度以上の高分解能であれば、カラー合成画像を作成することで、崩壊地の視認性はより向上する。

表-1 多偏波SAR画像判読用チェックリスト

識別番号	所在地・名称・座標	判断基準	評価
確認範囲	裸地	・多偏波画像で赤紫色の裸地を呈するか ・斜面に位置するか(平坦地や緩斜面の集落、河道ではないか) ・湛水域周辺に滑降崖が確認できるか ・滑降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 ・滑降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	・滑降崖の下に崩壊形状は確認できるか ・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 ・河道閉塞が発生する程度の崩壊規模か	
崩壊土砂 (河道閉塞部)	崩壊規模	・河道閉塞が発生する程度の崩壊規模か	
	土石流痕跡	・崩壊地下部から流送部が見られるか ・河道の裾槽、植生の流出等による土石流の流下痕跡が見られるか ・土石流の堆積物(土石流段丘、沖積錐)が見られるか	
周辺地形	流下痕跡	・河道の裾槽、植生の流出等による土石流の流下痕跡が見られるか ・土石流の堆積物(土石流段丘、沖積錐)が見られるか	
	土石流堆積物	・河道の裾槽、植生の流出等による土石流の流下痕跡が見られるか ・土石流の堆積物(土石流段丘、沖積錐)が見られるか	
相対的位置関係	斜面勾配	・湛水域近傍に斜面は存在するか ・周辺斜面は崩壊地が発生する程度の急勾配斜面か 等	
	上下関係等	・滑降崖、崩壊土、湛水域等の位置関係に自然さはないか ・崩壊土の到達範囲は地形と整合しているか 等	
河道	湛水域	・湛水域と想定される暗い領域が確認されるか ・上下流の滑降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ではないか	
	判定	崩壊跡地、露岩地 新規崩壊 大規模崩壊 河道閉塞	表層崩壊 深層崩壊
コメント/備考	土石流痕跡		

【評価に記入する記号の意味】  
 ○ : 形状が読み取れる。「ある」と言える。該当する。  
 △ : 形状が読み取れない。「ない」といえる。該当しない。  
 × : 「ある」ように見えるが不明瞭。不明瞭だが該当する。  
 △ : 「ある」とも「ない」とも判断できない。わからない。

表-2 単偏波・多偏波SAR画像の視認性比較

画像の仕様	単偏波SAR画像		多偏波SAR画像			
	画像No.	No.1	No.2	No.3	No.4	
SAR衛星名	RADARSAT-2	TerraSAT-X	RADARSAT-2	TerraSAT-X		
撮影日	2012/8/6	2011/10/6	2012/8/6	2012/4/21		
軌道	北行軌道	南行軌道	北行軌道	南行軌道		
照射方向	東向き	西向き	東向き	西向き		
地上分解能	8m	3m	8m	6m		
入射角	39.6°	37.0°	39.6°	37.8°		
偏波	HH	HH	HH, HV	HH, HV		
表示	モノクロ画像	モノクロ画像	単純合成画像 R:HH,G:HV,B:HH	単純合成画像 R:HH,G:HV,B:HH		
No	箇所名	崩壊面積ha	判読結果			
1	坪内①	2.0	×	×	(△)	×
2	坪内②	11.8	△	×	(△)	(△)
3	坪内③	5.2	×	○	(△)	(△)
4	宇井	8.7	○	×	(△)	×
5	長股	19.5	×	○	○	○
6	赤谷	29.2	○	○	○	○
7	栗平	33.7	○	○	○	○
8	野尻	16.9	×	△	画像範囲外	画像範囲外
9	松股	0.6	×	画像範囲外	△	画像範囲外
10	北股	5.5	×	画像範囲外	△	画像範囲外
視認性集計	①:判読対象数	10	8	9	8	
	②:○	3	4	3	3	
	③:△	1	1	6	3	
	④:×	6	3	0	2	
視認可の割合(②+③)/①		40%	63%	100%	75%	
備考	(△)は湛水域が確認できれば○(災害直後の画像であれば○と予測)					

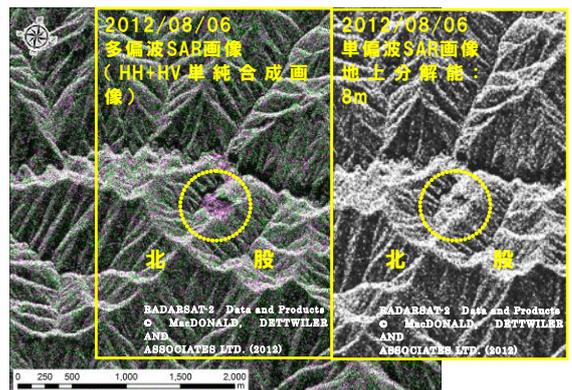


図-4 単偏波SAR画像では抽出が困難な崩壊地

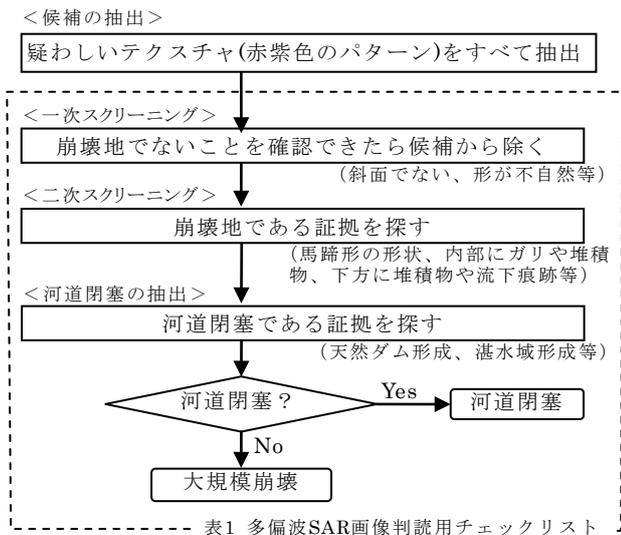


表1 多偏波SAR画像判読用チェックリスト  
図-5 大規模災害時の判読ステップ

(2) 撮影範囲について

多偏波モードでの衛星SAR撮影は、単偏波と比較して、衛星性能から撮影幅が約半分となる場合がある。広域災害の場合、一回の撮影で被災範囲をカバーしきれない恐れがあることに留意して、撮影計画を立案する必要がある。

(3) 作業時間について

HH+HV単純合成画像は、単偏波画像と比較して、画像合成処理に10分程度の追加時間を要するが、視認性向上により判読作業及び画像合成含む作業全体の時間短縮が期待される。

(4) 視認性について

多偏波SAR画像は、裸地の判読視認性向上により、単偏波では判読困難であった土石流痕跡や表層崩壊、伐採跡地等を判別できる可能性がある。さらに、SAR画像特性のフォアショートニング等により地形が歪んでみえる範囲でも判読できる可能性がある。ただし、多偏波SAR画

像は、単偏波画像と同様に、SAR画像の性質上、照射方向と斜面方向の関係による影響（フォアショートニング、レイオーバ、シャドウ）が生ずるエリア又は湛水域が無い時に、崩壊地の判別が困難な場合があるため、東西両方向からの撮影が望ましい。

5. まとめ

今回、崩壊地の緊急判読手法を確立するため、各種多偏波SAR画像の視認性等を比較・評価した。今回検討した多偏波SAR画像では、従来手法の単偏波SAR画像と比較して視認性が向上し、大規模崩壊及び河道閉塞箇所の判読効率と抽出可能な割合が向上した。

そして、崩壊地の緊急判読に最適なSAR画像は、HH+HV単純合成画像であることを明らかにした。

今後、大規模災害が懸念されるような異常現象が発生した場合、多偏波モードでのSAR観測がより有効である。そして、本論で提案した判読ステップと多偏波SAR画像判読用チェックリストを組み合わせた多偏波SAR画像判読により、効果的な緊急判読調査が実施できると考えられる。

参考文献

- 1) 鶴殿俊昭、林真一郎、水野正樹、佐藤匠、岡本敦、吉川和男、野田敦夫：高分解能SAR衛星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、pp.188~189、2012
- 2) 佐藤匠：高分解能SAR衛星による大規模土砂災害監視体制の推進、第4回ALOS-2/3 ワークショップ、2012
- 3) 渡邊学、佐藤源之：フルポーラリメトリLバンドSARデータを用いた水害域、土砂災害域検出、ALOS-2/3 ワークショップ、2010

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

江川真史



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  
Masafumi EKAWA

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



国際航業株式会社(前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 SATO

蒲原潤一



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  
Jyunichi KANBARA