

合成開口レーダ（SAR）衛星を 活用した山地災害判読ガイドブック

林野庁

国有林野部 業務課

目次

1. はじめに
2. SARの基本事項
3. SAR画像を活用する際の留意点
4. SAR画像による山地災害判読調査のフロー
5. SAR画像による山地災害判読調査の判読事例
6. 判読環境

【参考資料】 山地災害の解説・山地災害の発生要因とその事例

1. はじめに

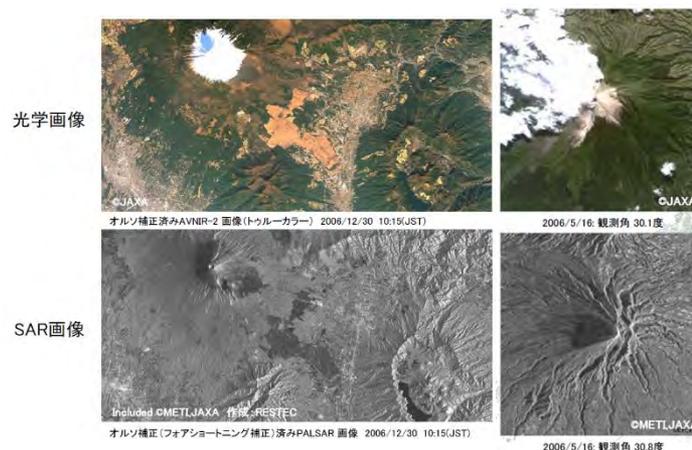
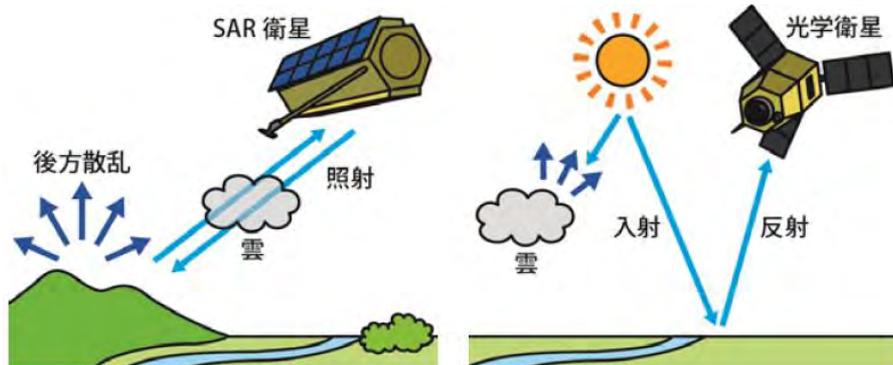
- 大規模災害発生時には迅速に被災地の状況を把握し、対策を講じる必要があります。そこで、陸域観測衛星（ALOS-2）をはじめとした人工衛星を用いた観測は、現地に赴く必要が無く、広域の状況を調査することができるため、災害時には有効な手段であると考えられます。
- 本ガイドブックでは、山腹崩壊、地すべり、土石流、崩壊土砂の堆積、流木等の漂流、河道閉塞による湛水（天然ダム）及び風倒木を対象として、合成開口レーダー（SAR）衛星画像を用いて、山地災害の判読を行うための知識および手順を解説します。

2. SARの基本事項

地球観測衛星の種類

地球観測衛星には主に光学衛星と合成開口レーダ(SAR)衛星がある。

地球観測衛星種別	特徴
光学衛星	自然の放射光や反射光を観測する。そのため、撮影された画像は、一般の写真と同様の解釈が可能である。ただし、太陽光が当たらない地球の夜側や雲で覆われた地表面は観測することができない。
合成開口レーダ衛星 (SAR衛星)	マイクロ波を地表面に斜めに照射し、地表面からの反射波(後方散乱)を観測する。SAR衛星のマイクロ波は雲を透過することができ、観測に太陽光を必要としないため、天候や時間に関わらず観測が可能。ただし、撮影された画像の解釈には、専門知識を要する。



内藤(2018)より引用

2. SARの基本事項

• SARの基本事項(1)

■ 空間分解能

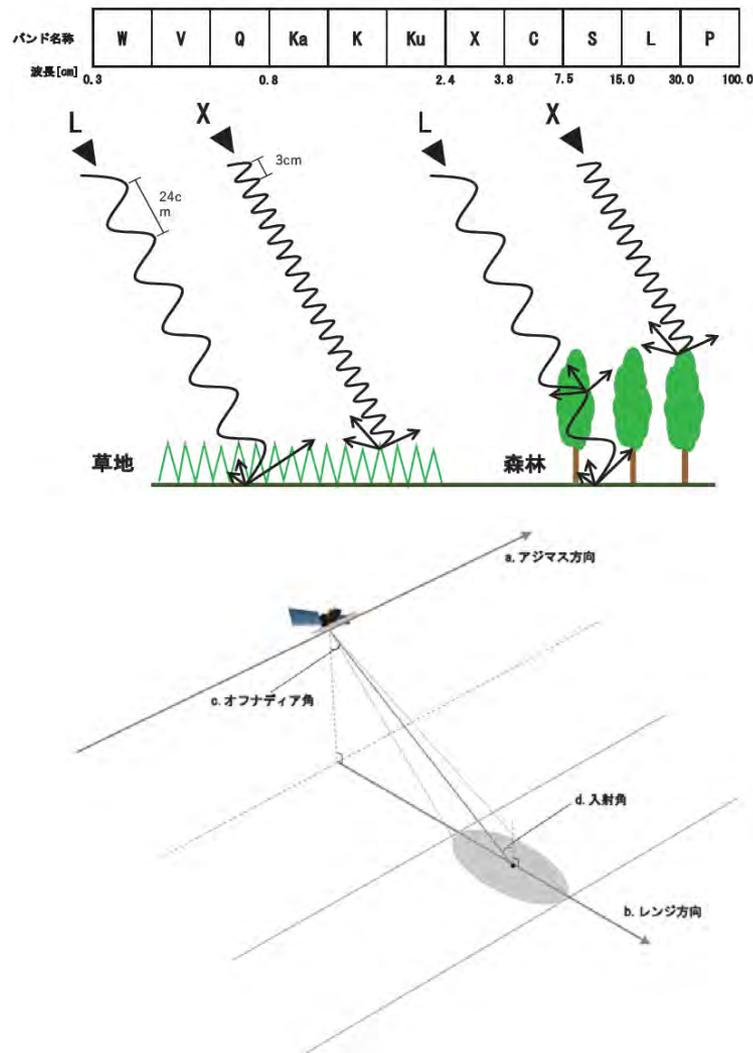
「空間分解能」は地上における1画素当たりの辺の長さを表す。一般的に特定の対象を見るためには、その対象物が分解能の10～20倍程度の大きさが必要とされている。

■ 波長

SARで主に使用されるマイクロ波の波長はXバンド (25-37.5 mm)、Cバンド (37.5-75mm)、Lバンド (150-300mm) の3種類である。波長が小さいほど小さい物体に対しても反射しやすくなり、波長が大きいほど透過しやすくなるため、葉や枝など小さなものを見る場合にはXバンドやCバンドが、森林の幹や地表面などを見る場合にはLバンドがそれぞれ適している。

■ オフナディア角

SAR衛星は衛星の進行方向に直角に、右斜め下あるいは左斜め下に電磁波を発信します。このとき、衛星から地表面に向かって垂直な角度を 0° とし、そこからの傾きの大きさを「オフナディア角」と呼ぶ。



鈴木ほか(2020)より引用

2. SARの基本事項

• SARの基本事項(2)

■ 散乱

衛星から照射されたマイクロ波が地表面等で散乱した後に、照射方向側に戻るマイクロ波の強さを「後方散乱強度」と呼ぶ。後方散乱強度に関する散乱の種類には、表面散乱、体積散乱、二重散乱が挙げられる。

①表面散乱

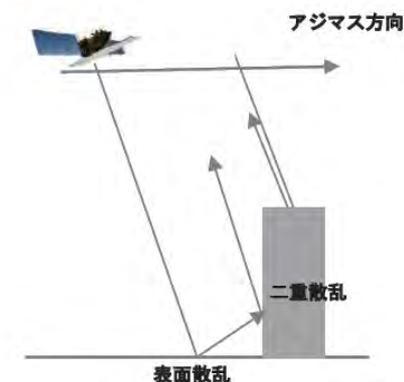
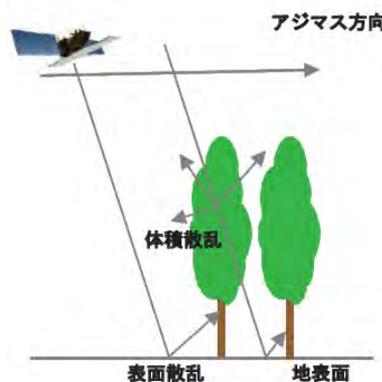
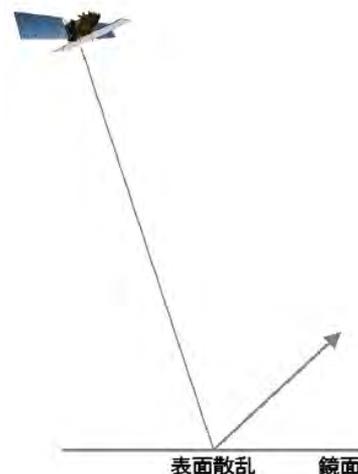
SARから照射されたマイクロ波が地表などの境界面で散乱することを「表面散乱」という。表面散乱は境界面の粗さの影響を受ける。滑らかな表面に対してはマイクロ波の照射方向と反対側への散乱（前方散乱）が大きくなり、粗い境界面に対してはマイクロ波の照射方向側への散乱（後方散乱）が大きくなる特性がある。

②体積散乱

SARから照射されたマイクロ波が境界部を透過して進入し、内部の誘電率の不均一性によって散乱が生じることを「体積散乱」という。Lバンドの場合には森林内部における体積散乱が典型例であり、樹木内部での体積散乱と地表面での表面散乱を同時に考慮する必要がある。

③二重散乱

表面散乱した後に再度散乱が生じて、後方散乱が大きくなることを「二重散乱」という。建物や構造物などに対してマイクロ波の照射方向が正対する場合などに強く発生することがある。



鈴木ほか(2020)より引用

2. SARの基本事項

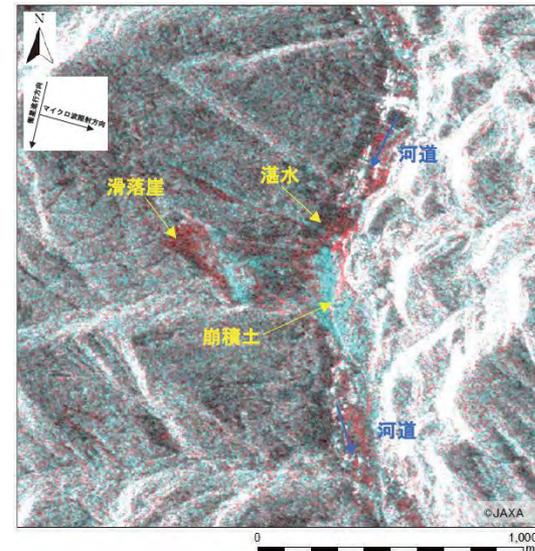
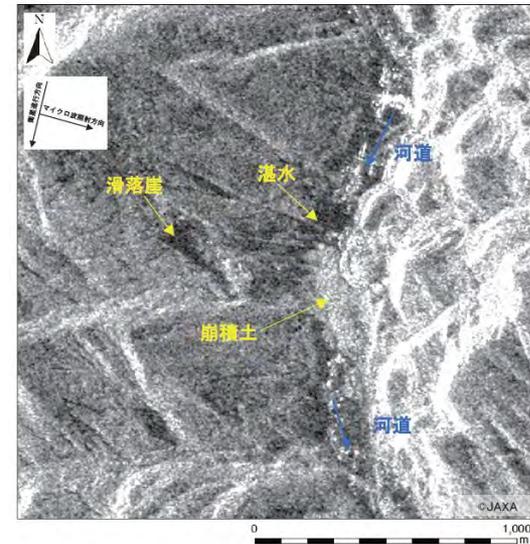
• 本ガイドブックで使用するSAR画像

■ 強度画像

照射して返ってきた電磁波の強度を白黒のグレースケールで表現した画像を「強度画像」と呼ぶ。電磁波は滑らかな面にあたるとほとんどが反射してしまい、衛星に向かって跳ね返ることはないが、凹凸の大きい面にあたると後方散乱により、一部が衛星に向かって跳ね返る。そのため、強度画像では森林や農地などの凹凸が多い箇所は白く表現され、水面や崩壊面などの滑らかな箇所は黒く表現される。

■ 二時期カラー合成画像

二時期カラー合成画像は、合成開口レーダ衛星の前時期画像の後方散乱強度の高いことを示す白色部分を赤色に、後時期画像の後方散乱強度の高いことを示す白色部分を青色及び緑色に着色し、合成することで作成する。災害前後の二時期カラー合成画像では、災害発生後に電磁波の強度が強くなっている部分がシアン、弱くなっている部分が赤で表現されるため、シアンに表現された部分は土砂や漂流物の流入によって表面に凹凸が生じた部分、赤に表現された部分は崩壊、あるいは浸水によって表面が滑らかになった部分と推測できる。



2. SARの基本事項

• ALOS-2について

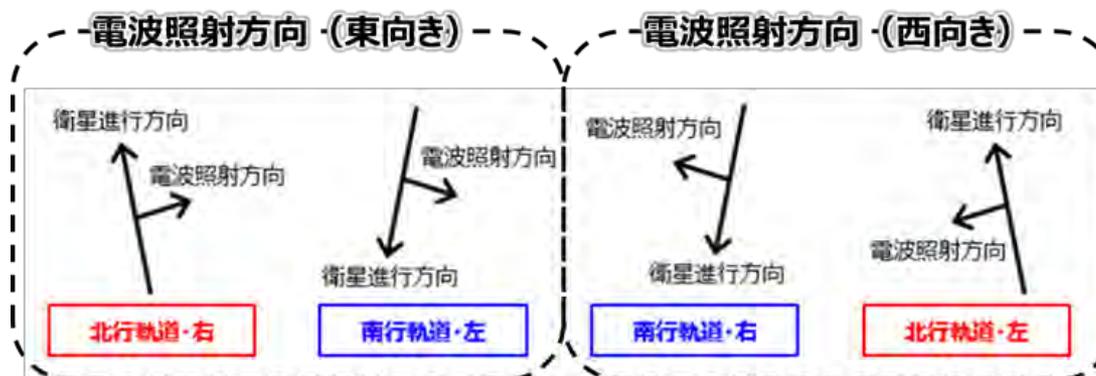
■ 諸元

ALOS-2の主要な諸元を示す。ALOS-2には大きく3つの観測モード（スポットライト、高分解能、広域観測）があり、それぞれで分解能や観測幅が異なる。災害前後二時期のALOS-2画像を使う場合には、それぞれの観測モードに留意する。

■ 観測パターン

ALOS-2の観測パターンは、衛星進行方向（北行軌道、南行軌道）と電波照射方向（右向き、左向き）から4通りの組合せがある。また、電波照射方向を方位で分類する場合、東向きと西向きの2つに分類される。

観測開始年	2014年	
回帰日数	14日	
波長帯	Lバンド	
分解能	スポットライト	3 m × 1 m
	高分解能	3/6/10 m
	広域観測	100/60 m
観測幅	スポットライト	25 km
	高分解能	50/50/70 km
	広域観測	350/490 km



3. SAR画像を活用する際の留意点

• SAR画像の歪み

SAR衛星は、衛星進行方向に対して、斜め下方向に電波を照射するため、SAR画像特有の現象が生じ、視認性が低下することがある。ALOS-2では、東向きと西向きの両方の照射方向を組み合わせることでこれら不可視領域を低減することができる。

■ フォアショートニング

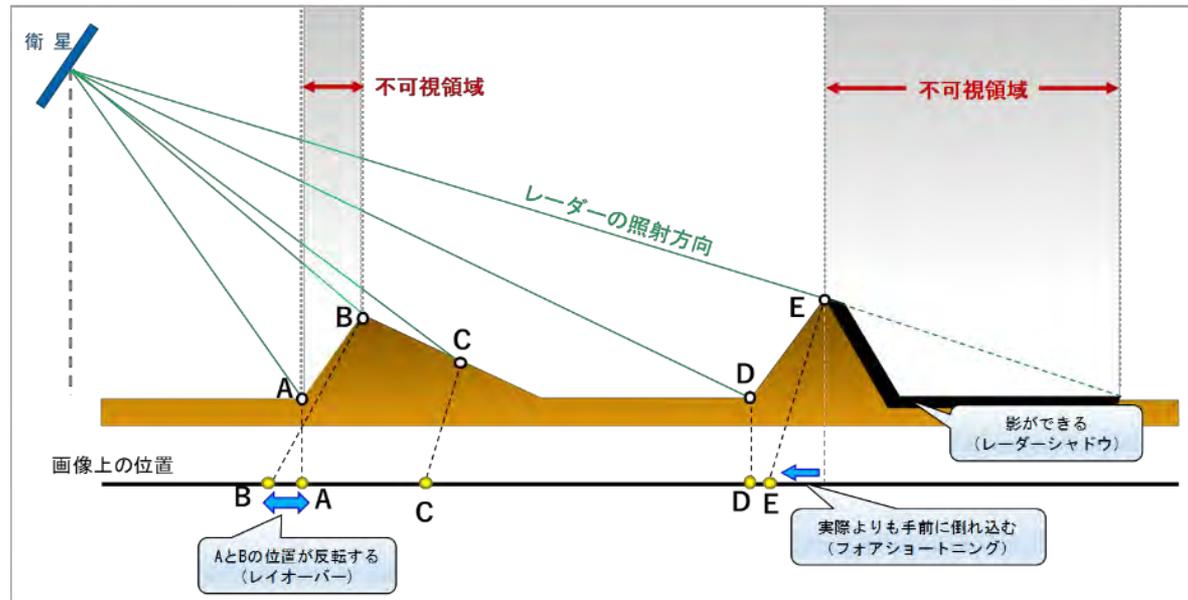
観測対象物に高さがある場合はマイクロ波の送受信時間が短くなる分だけ手前側に投影され、SAR画像上の標高を持つ対象物はマイクロ波の照射方向側に倒れ込んだように見える。

■ レイオーバー

斜面の傾斜度が大きくなると、フォアショートニングの効果が大きくなって斜面の上端と下端の位置関係が逆転して投影される場合がある。

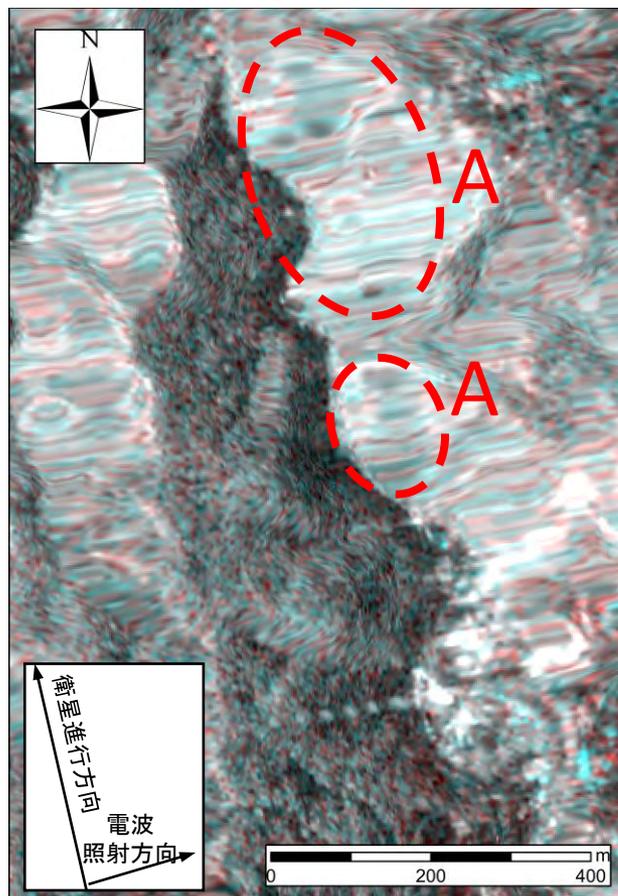
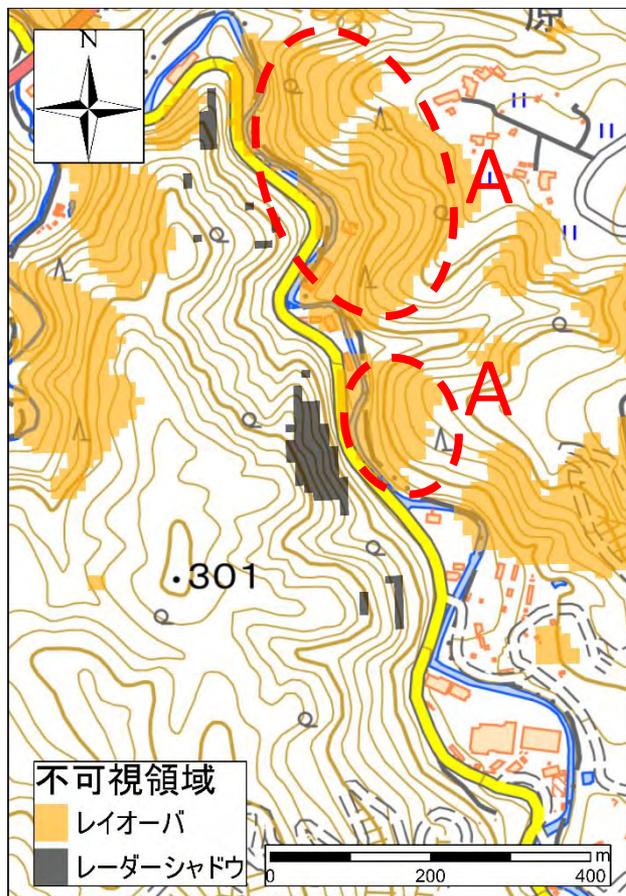
■ レーダーシャドウ

斜面の陰となってマイクロ波が照射されない場所では散乱が一切発生せずに、SAR画像上では陰影効果が生じたように投影される。



3. SAR画像を活用する際の留意点

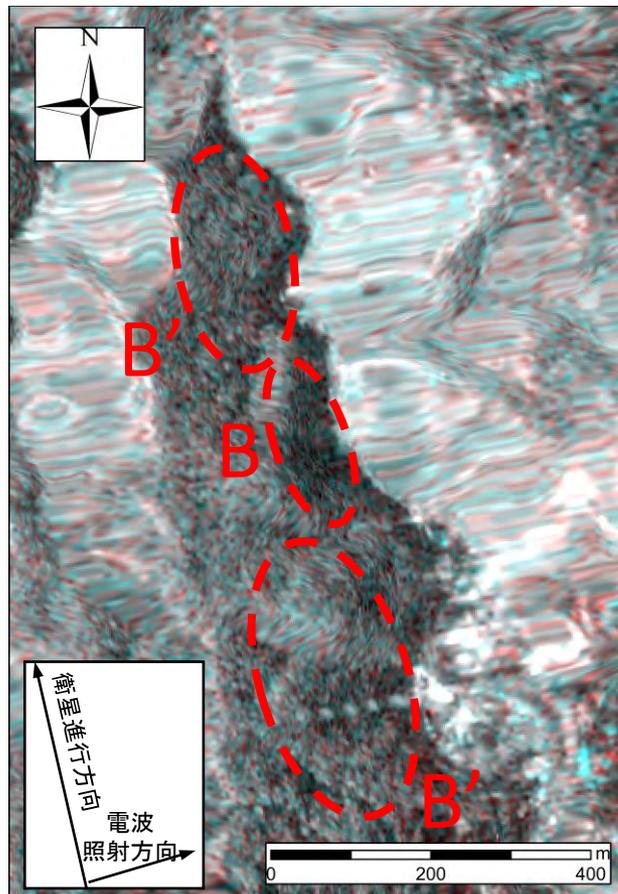
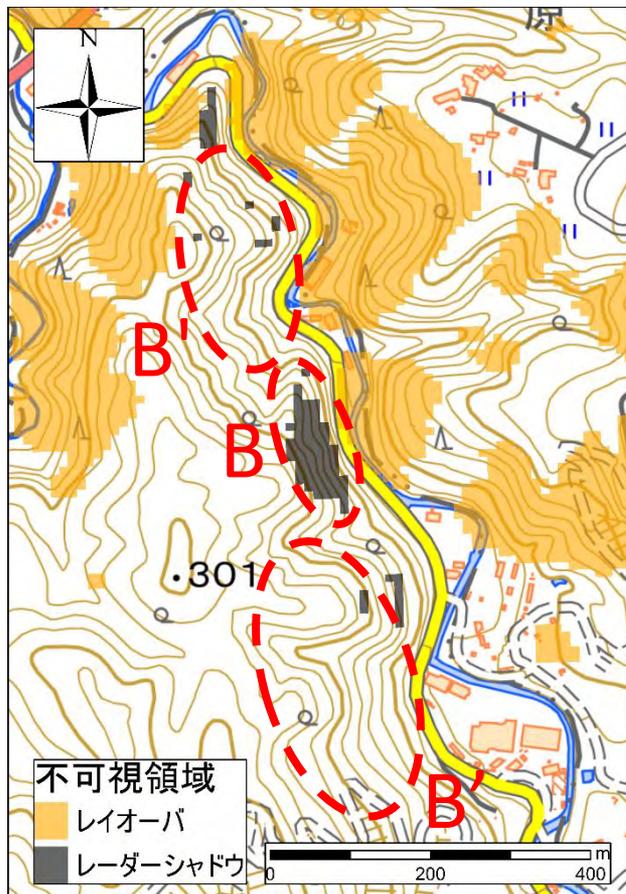
- フォアショートニング、レイオーバ



Aは電波照射方向に
対し向かい合う方向の
斜面であり、マイクロ波
の送受信時間が短くな
る。このような場所では
フォアショートニングの
影響が大きくなるため、
レイオーバが発生する。
レイオーバ部は明るく、
電波照射方向に引き伸
ばされたように表示され
る。

3. SAR画像を活用する際の留意点

• レーダーシャドウ



画像中央のBは、斜面の陰であるためマイクロ波が地表面まで届かず、レーダーシャドウが生じている。レーダーシャドウ部では散乱するマイクロ波がないため、暗い色になる。ただし、B'はBとほぼ同じ向きの斜面であるが、電波照射方向に対し傾斜が急ではないためレーダーシャドウにはならず、視認することができる。

4. SAR画像による山地災害判読調査のフロー ーステップ1ー

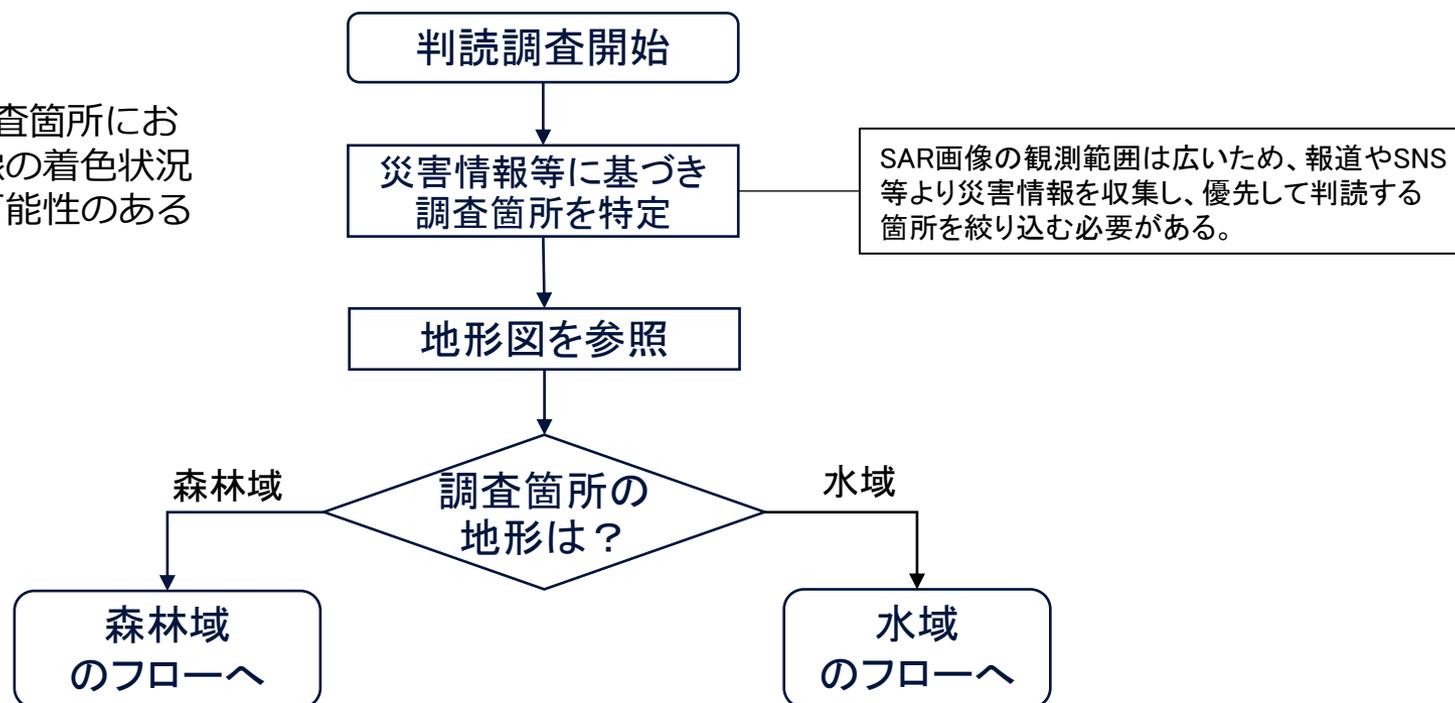
ALOS-2災害速報図を用いて山地災害判読調査を実施する場合、本フローにしたがって調査を進める。緊急度に応じてステップ1とステップ2の2段階に分けて実施する。

ステップ1:速報性を重視し、地形図とSAR画像を用いて判読を実施

ステップ2:ステップ1で抽出した箇所のうち、精度を上げる（誤判読を減らす）ために災害前の光学画像を参照して実施

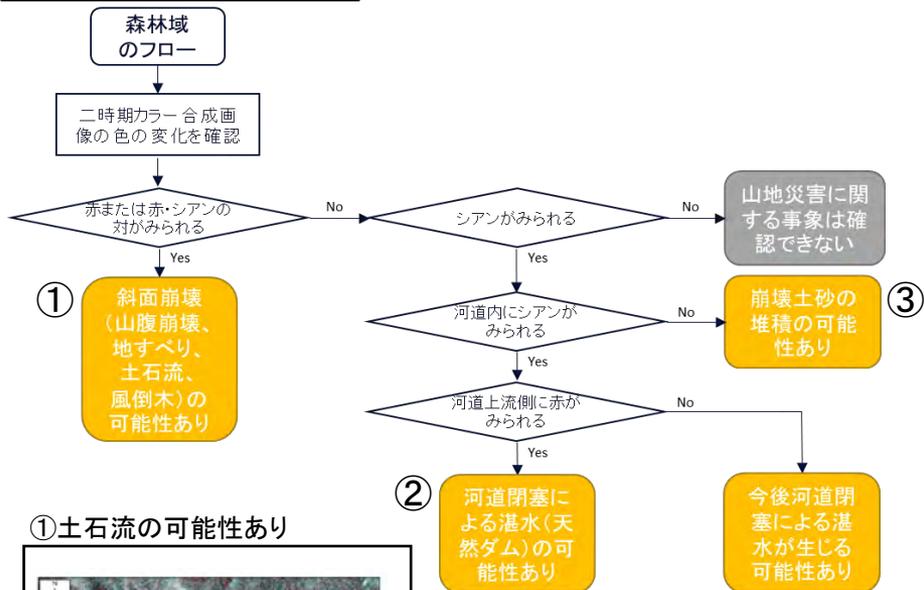
ステップ1

ステップ1では、調査箇所における地形とSAR画像の着色状況から、山地災害の可能性のある地点を抽出する。

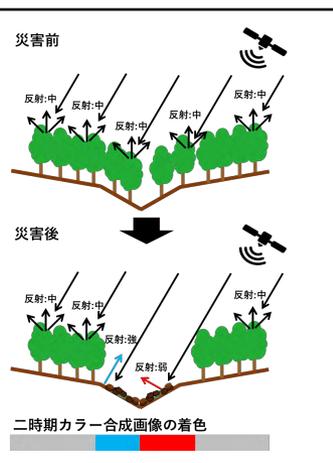


4. SAR画像による山地災害判読調査のフロー —ステップ1—

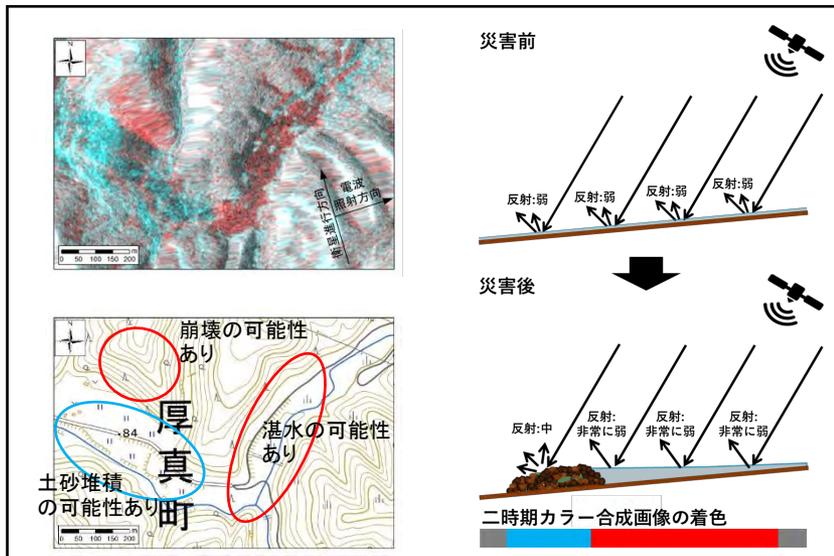
ステップ1 (森林域)



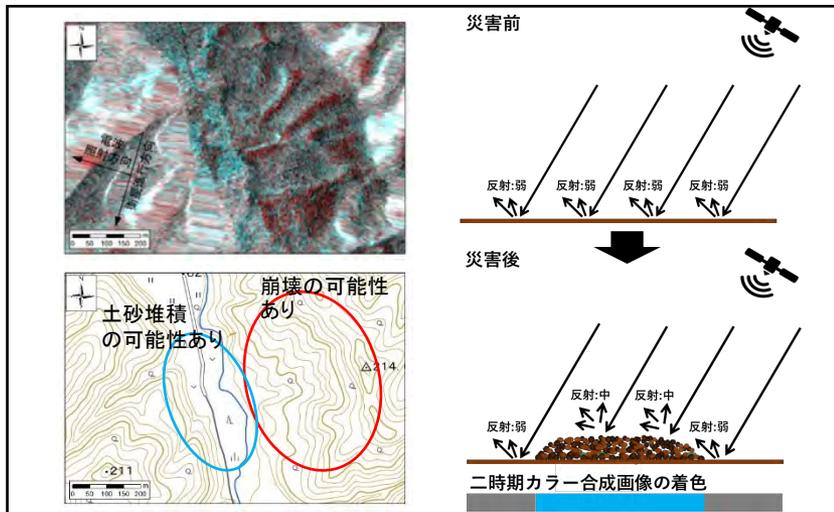
① 土石流の可能性あり



② 河道閉塞による湛水の可能性あり

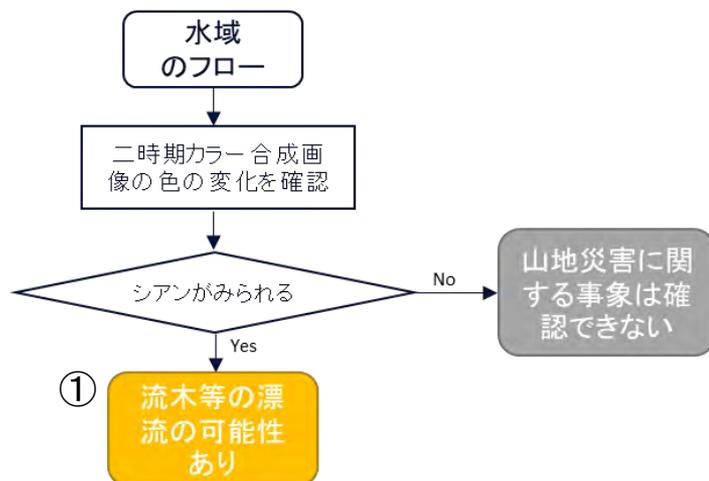


③ 崩壊土砂の堆積の可能性あり

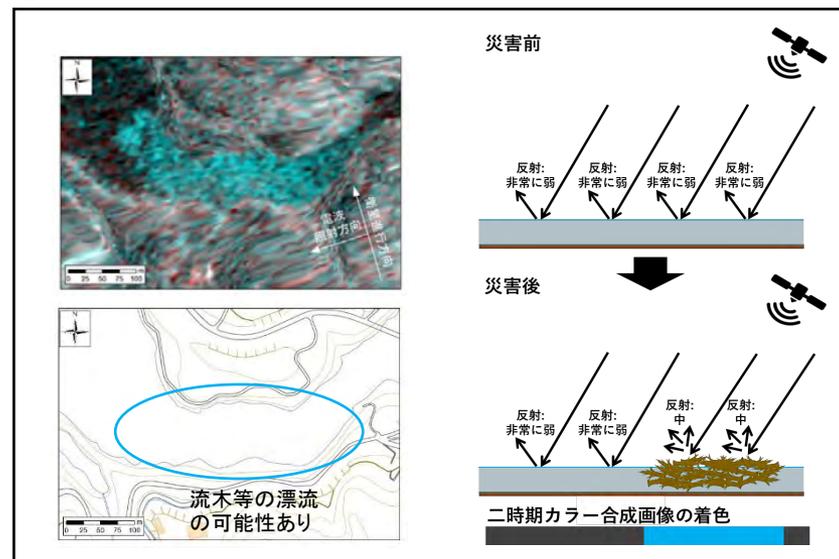


4. SAR画像による山地災害判読調査のフロー ーステップ1ー

ステップ1 (水域)



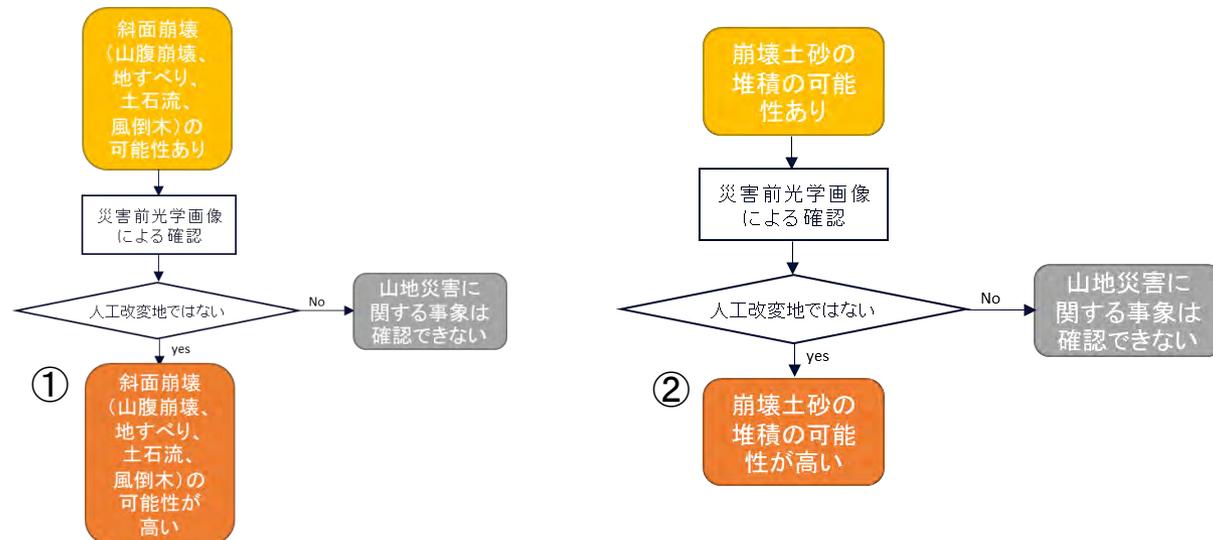
①流木等の漂流の可能性あり



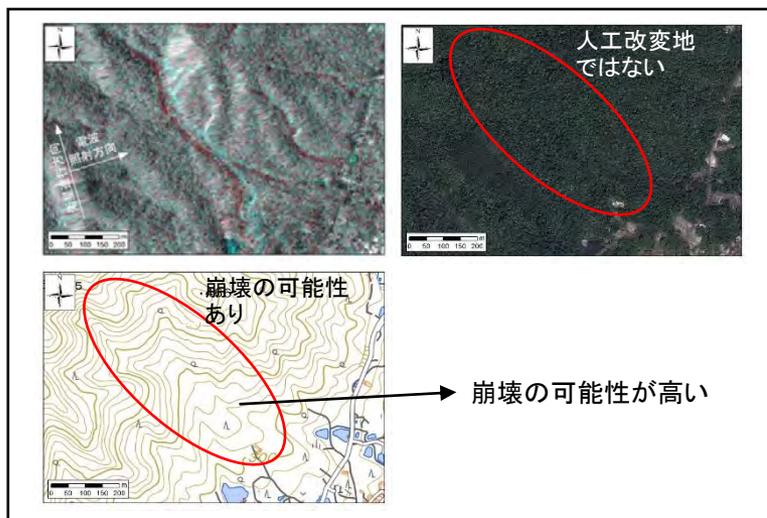
4. SAR画像による山地災害判読調査のフロー —ステップ2—

ステップ2

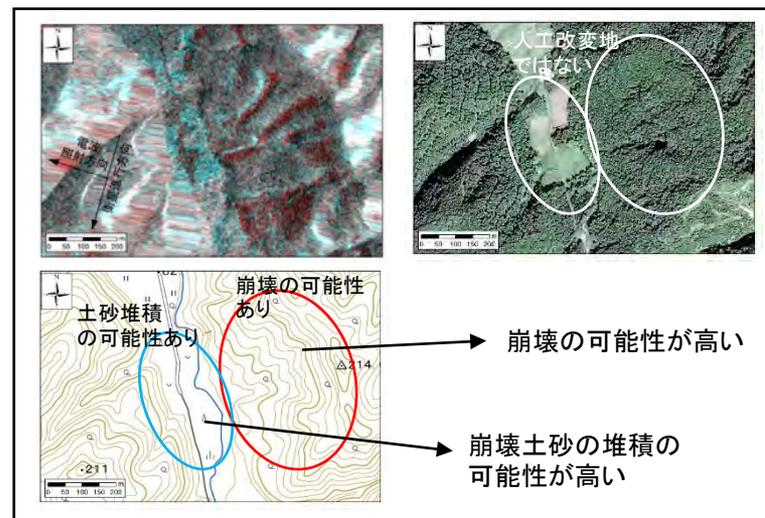
ステップ2では、ステップ1で抽出した地点について災害前の光学画像を参照し、人工改変地や湛水施設を識別することで判読の精度を向上させる。



①土石流の可能性が高い

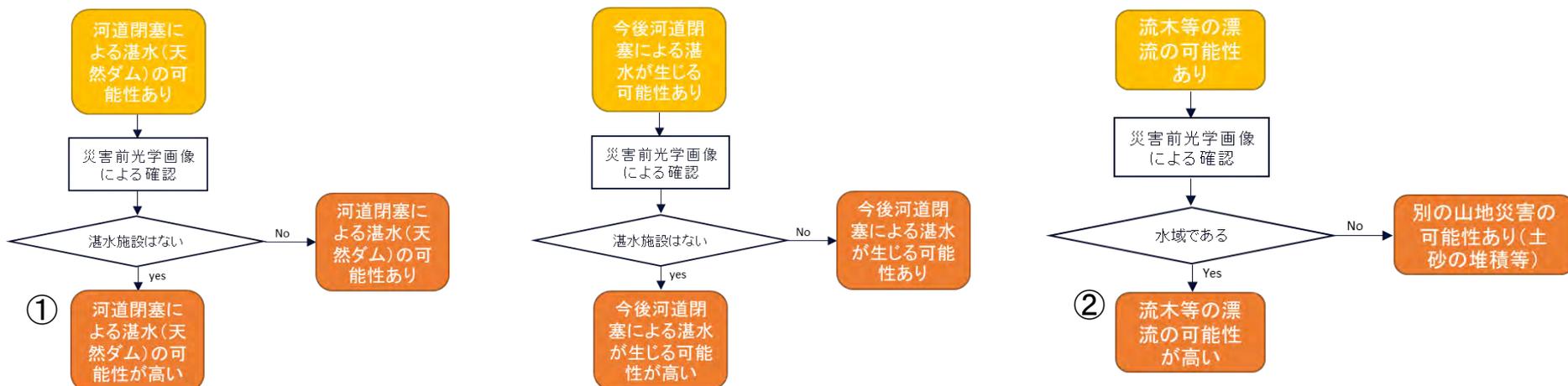


②崩壊土砂の堆積の可能性が高い

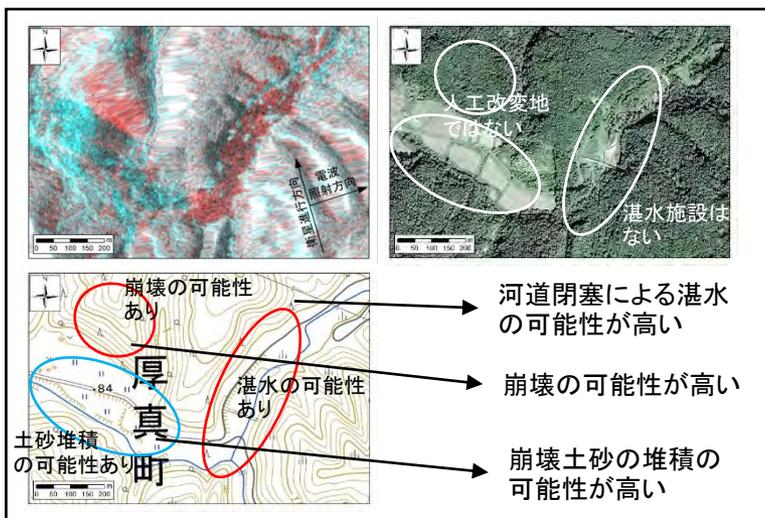


4. SAR画像による山地災害判読調査のフロー —ステップ2—

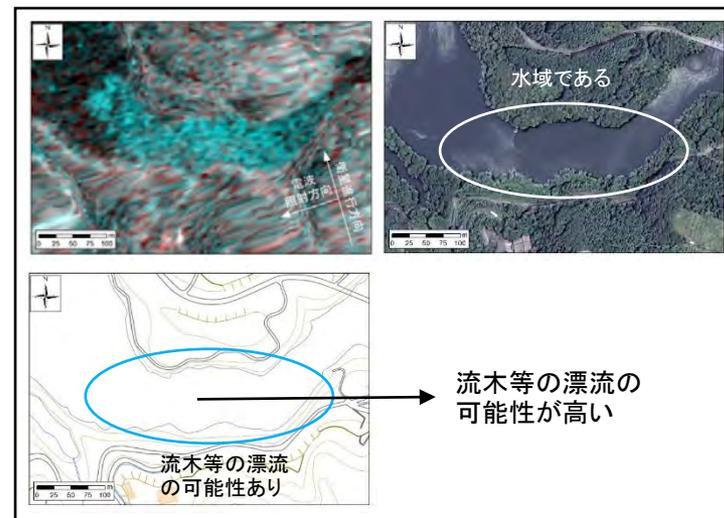
ステップ2



①河道閉塞による湛水の可能性が高い



②流木等の漂流の可能性が高い



4. SAR画像による山地災害判読調査のフロー —判読時の注意事項—

注意事項①:

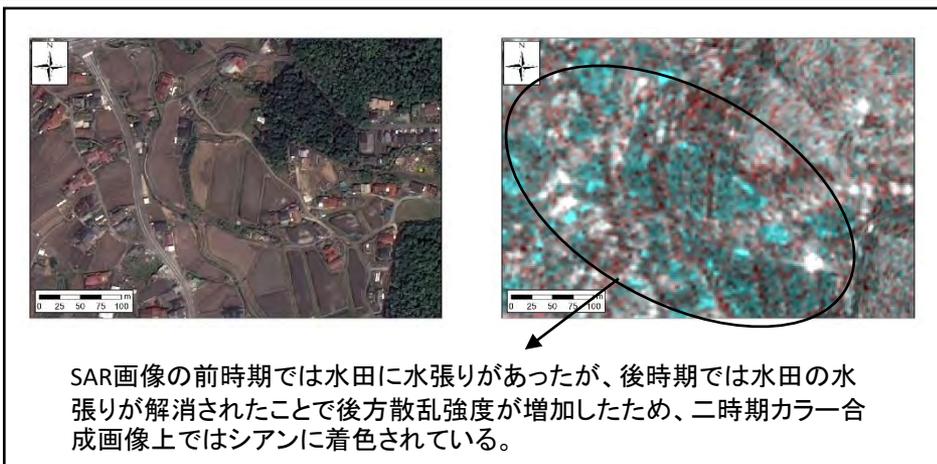
二時期カラー合成画像上にはノイズの影響により、ピクセル単位での赤やシアン着色が無数に確認されるため、着色箇所の面的な広がりに着目しつつ、地形図を参照しながら判読を進めることが肝要である。

注意事項②:

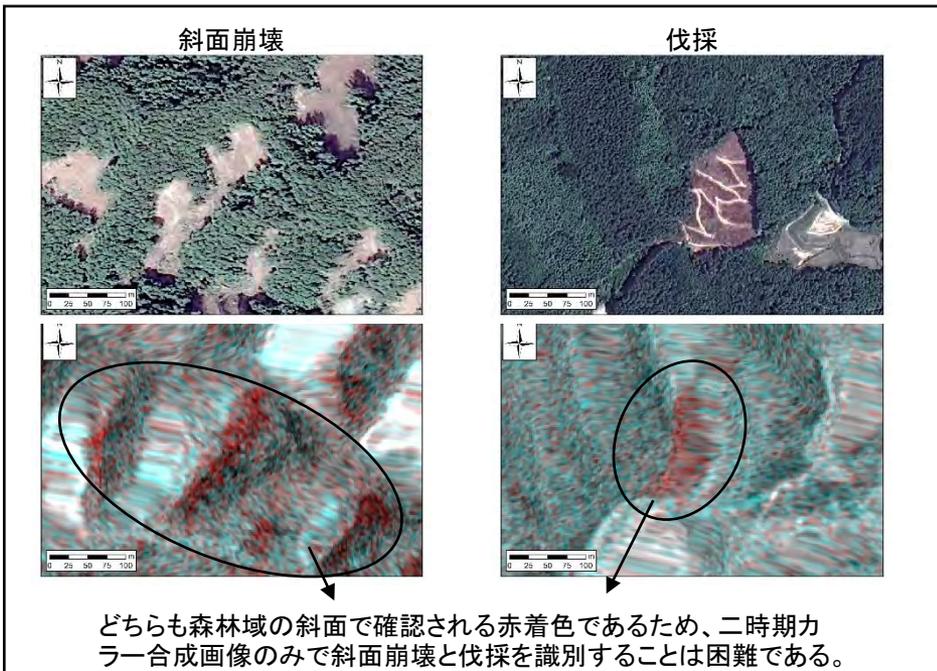
SAR画像の撮影時期によって水田の水張り状況が異なるため、二時期カラー合成画像上で水田が赤やシアンに着色されることが多く、湛水や土砂の堆積と誤判読しやすいので留意を要する(右上図)。地形図から土地利用を確認することで誤判読を低減できる。

注意事項③:

森林における斜面崩壊と伐採の場合、地表被覆としてはどちらも森林から裸地への変化であり、二時期カラー合成画像上では赤く着色されるので留意を要する(右下図)。災害前の光学画像を確認することで、誤判読を低減できる。



SAR画像の前時期では水田に水張りがあったが、後時期では水田の水張りが解消されたことで後方散乱強度が増加したため、二時期カラー合成画像上ではシアンに着色されている。



どちらも森林域の斜面で確認される赤着色であるため、二時期カラー合成画像のみで斜面崩壊と伐採を識別することは困難である。

5. SAR画像による山地災害判読調査の判読事例

- 山地災害事例の紹介

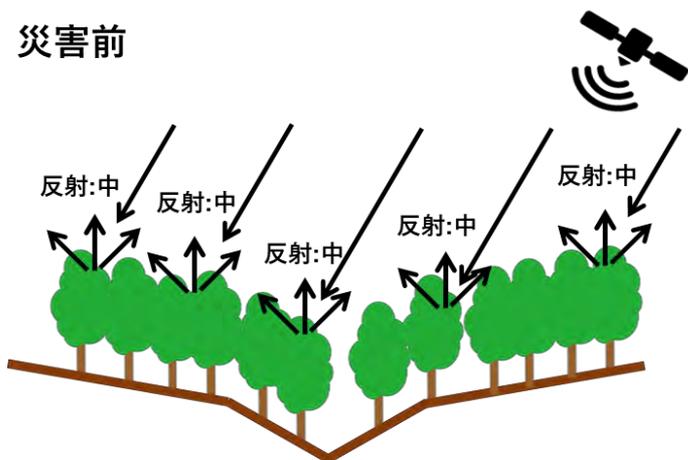
各山地災害の事例を次頁より紹介する。なお、解説文中の後方散乱強度について、SAR画像の前後の時期における相対的な強弱関係を示したものであることに留意を要する。

5. SAR画像による山地災害判読調査の判読事例

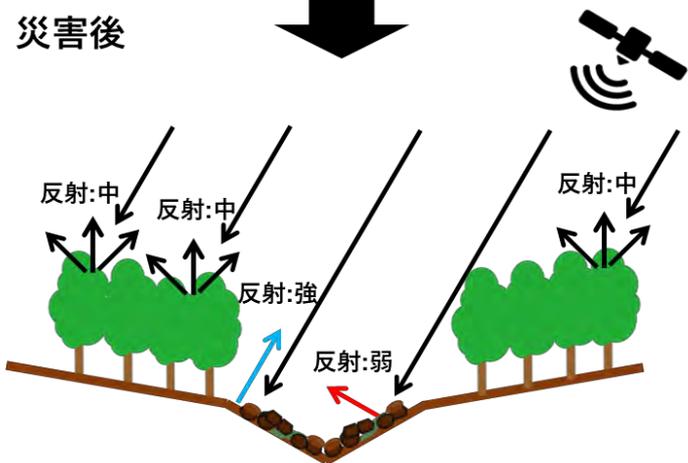
—地すべり、山腹崩壊、土石流（斜面崩壊）—

地すべり、山腹崩壊、土石流（斜面崩壊）

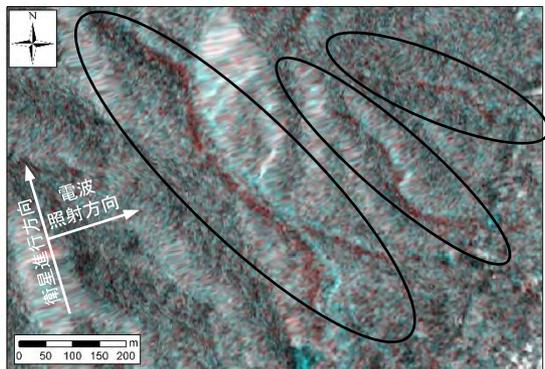
災害前



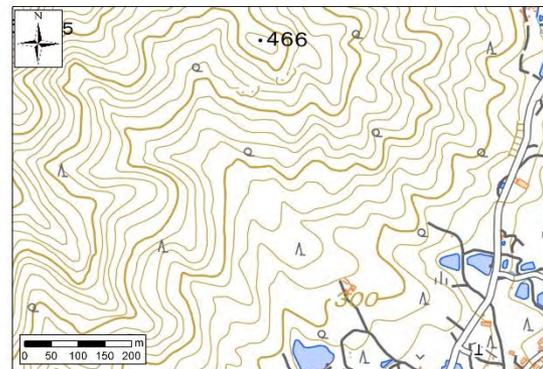
災害後



二時期カラー合成画像の着色



二時期カラー合成画像



地形図



光学画像(災害前)



光学画像(災害後)

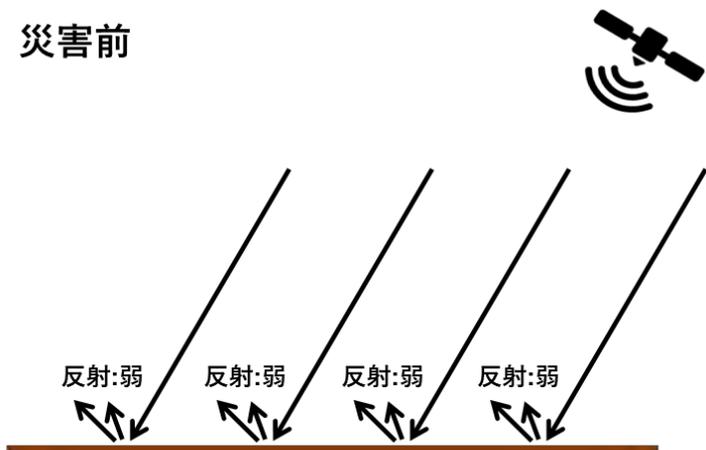
災害前の森林斜面では、樹木からの体積散乱が生じている。災害後の森林斜面のうち、レーダー照射方向と正対しない斜面では裸地になったことにより前方散乱が卓越するため、後方散乱強度が減少し、赤く着色される。また、照射方向と正対する斜面では後方散乱が卓越するため、後方散乱強度が増加し、シアンに着色される。

5. SAR画像による山地災害判読調査の判読事例

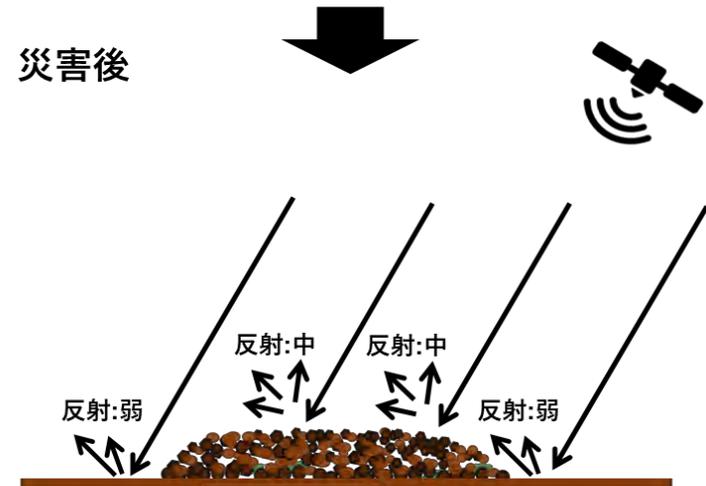
—崩壊土砂の堆積—

崩壊土砂の堆積

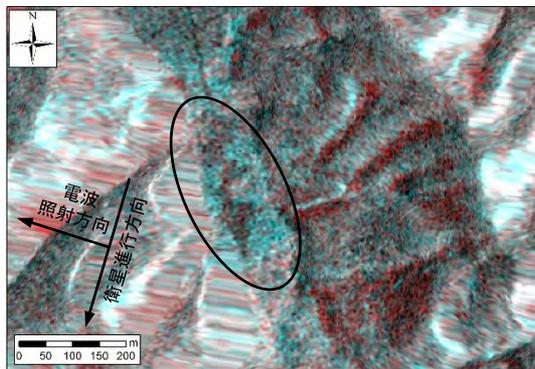
災害前



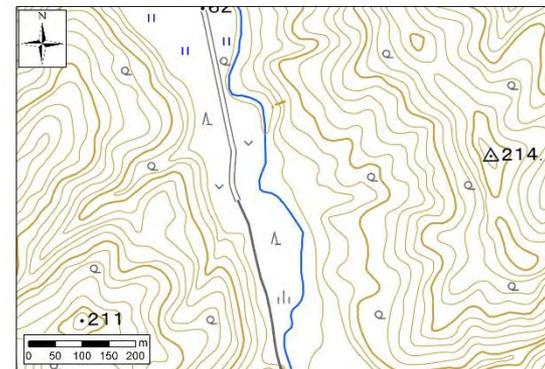
災害後



二時期カラー合成画像の着色



二時期カラー合成画像



地形図



光学画像(災害前)



光学画像(災害後)

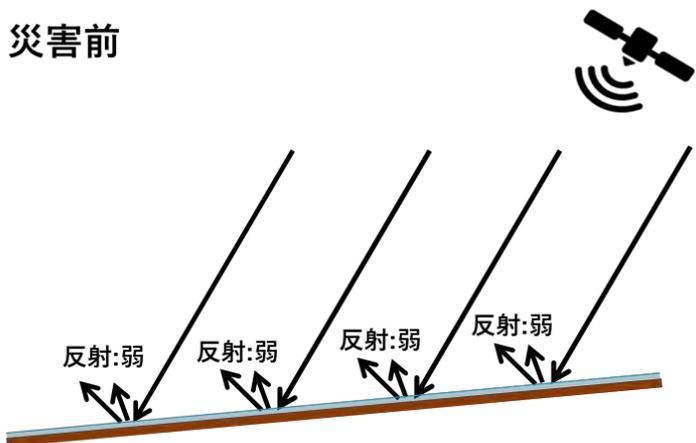
災害前の起伏の小さい地面では、前方散乱が卓越するため後方散乱強度が小さい。災害によって土砂が流入すると、後方散乱が大きくなり、後方散乱強度が増加するため、当該箇所はシアンに着色される。

5. SAR画像による山地災害判読調査の判読事例

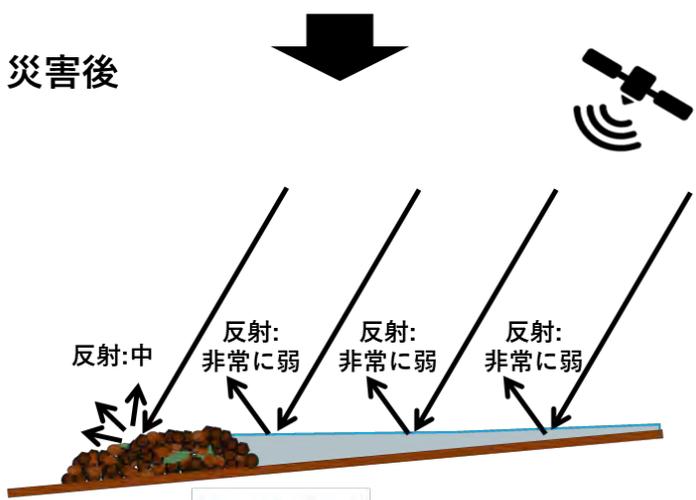
—河道閉塞による湛水（天然ダム）—

河道閉塞による湛水(天然ダム)

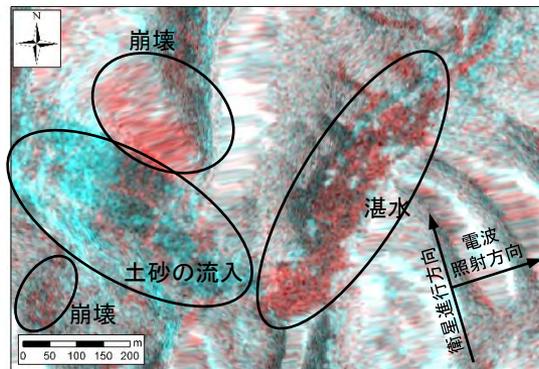
災害前



災害後



二時期カラー合成画像の着色



二時期カラー合成画像



地形図



光学画像(災害前)



光学画像(災害後)

※光学画像では災害発生から時間が経過しておらず、湛水は発生していない。

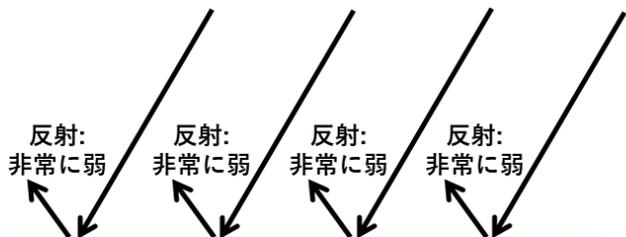
災害前の河道では、多少の起伏はあるものの全体的に前方散乱が卓越するため後方散乱強度が小さい。災害によって土砂が流入することで河道閉塞による湛水が発生すると、上流側の湛水箇所では前方散乱がさらに卓越するため後方散乱強度が減少し、赤く着色される。また、下流側の土砂が流入した箇所では、後方散乱が卓越するため後方散乱強度が増加し、シアンに着色される。

5. SAR画像による山地災害判読調査の判読事例

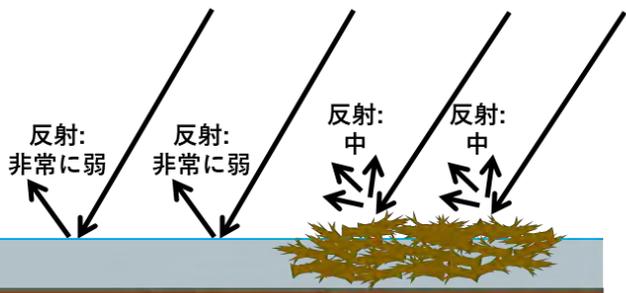
—流木等の漂流—

流木等の漂流

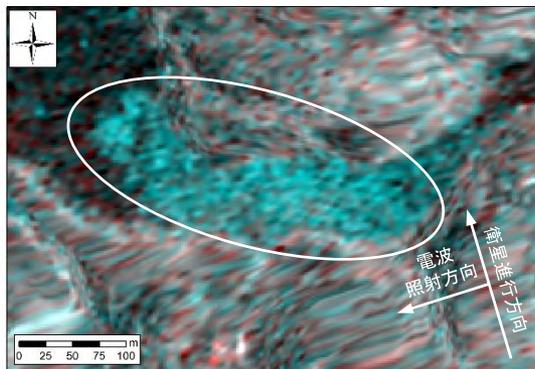
災害前



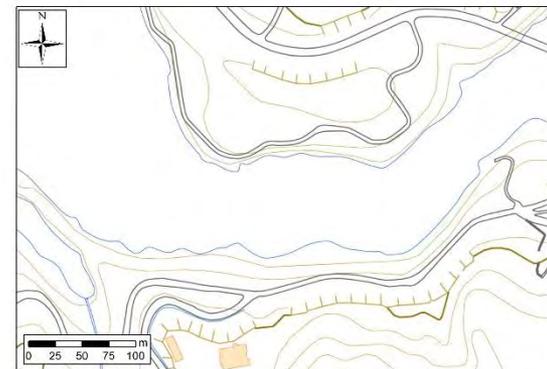
災害後



二時期カラー合成画像の着色



二時期カラー合成画像



地形図



光学画像(災害前)



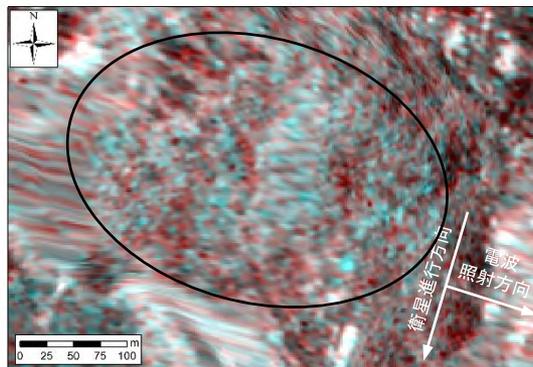
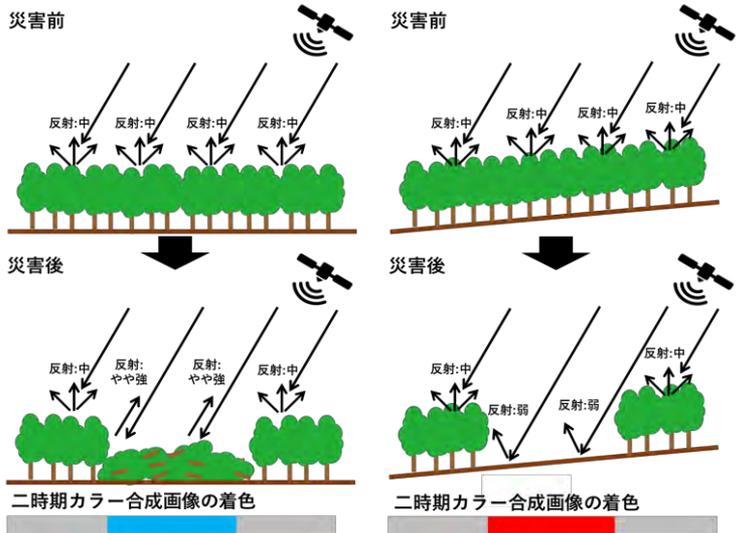
光学画像(災害後)

災害前の湖・池では、前方散乱が卓越するため後方散乱強度が非常に小さい。災害によって流木や土砂等が流入すると、後方散乱が卓越するため、後方散乱強度が増加し、当該箇所はシアンに着色される。

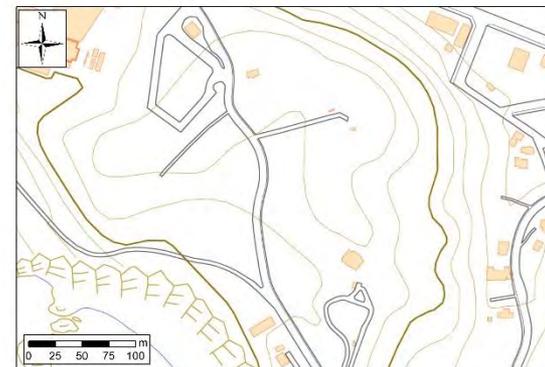
5. SAR画像による山地災害判読調査の判読事例

—風倒木—

風倒木



二時期カラー合成画像



地形図



光学画像(災害前)



光学画像(災害後)

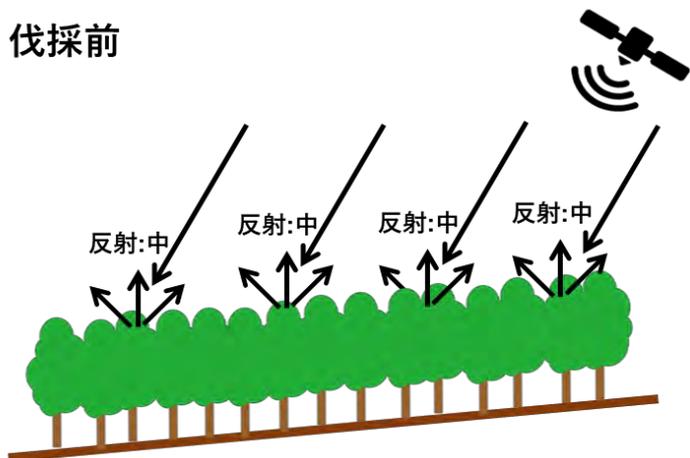
災害前の森林では、樹木からの体積散乱が生じている。災害によって倒木が発生すると、後方散乱が卓越するため、後方散乱強度が増加し、当該箇所はシアンに着色される。また、倒木により樹木が斜面を流下した場合は、前方散乱が卓越するようになるため、後方散乱強度が減少し、当該箇所は赤く着色される。ただし、樹木の倒れ方や、電波照射方向と斜面向きの関係等により、着色の仕方が変化する可能性があるため留意が必要である。

5. SAR画像による山地災害判読調査の判読事例

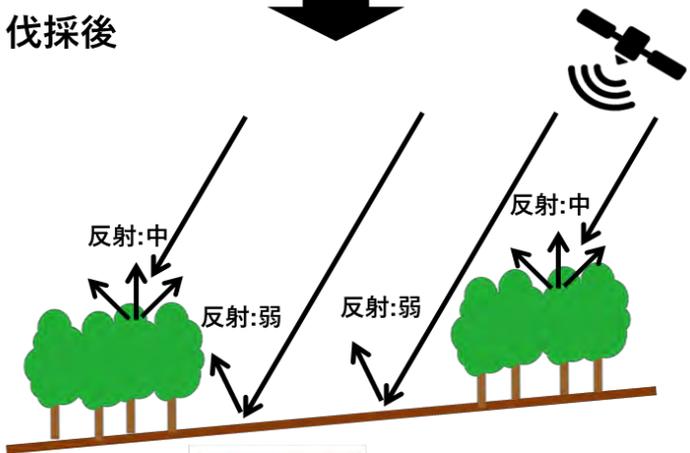
—伐採—

伐採

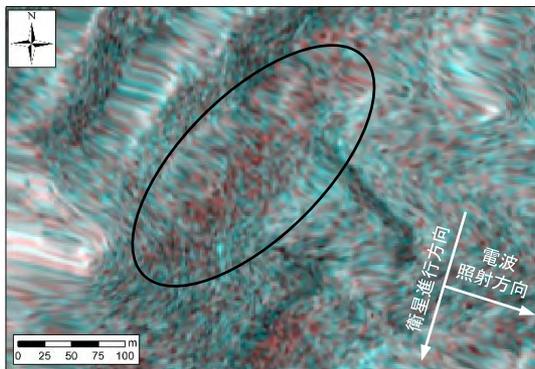
伐採前



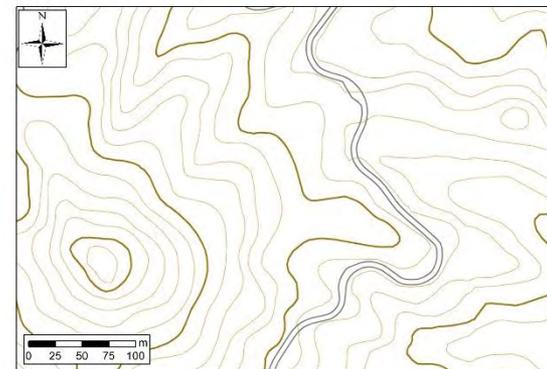
伐採後



二時期カラー合成画像の着色



二時期カラー合成画像



地形図



光学画像(伐採前)



光学画像(伐採後)

伐採前の森林では、樹木からの体積散乱が生じている。伐採によって樹木が除去されると前方散乱が卓越するため、後方散乱強度が減少し、当該箇所は赤く着色される。

5. SAR画像による山地災害判読調査の判読事例

判読精度について

過去の災害を対象に、SAR画像と光学画像を段階的に使用して斜面崩壊（山腹崩壊、地すべり、土石流及び崩壊土砂の堆積）の判読を実施し、精度を算出した。精度の算出にあたっては、衛星画像から判読した土砂移動範囲を示す「判読ポリゴン」と外部機関により公表されている土砂移動範囲を示す「検証ポリゴン」を使用し、以下に示す適合率と再現率を計算した。

適合率：全ての判読ポリゴンのうち、検証ポリゴンと一部でも重なる判読ポリゴンの割合。高いほど誤判読が少ないことを示す。

再現率：全ての検証ポリゴンのうち、判読ポリゴンと一部でも重なる検証ポリゴンの割合。高いほど判読漏れが少ないことを示す。

判読精度は、対象とする災害ごとに差はあるものの、本ガイドブックのステップ1と比べてステップ2を実施することで、伐採等の人工改変地の誤判読が減少し、適合率が向上する。また、本ガイドブックを活用した判読の対象外ではあるものの、災害後の光学画像を参照することで判読漏れが減少し、再現率が向上する。

また、検証ポリゴンを面積が1ha以上のものに絞って、精度を計算した結果、いずれの判読方法においても再現率が大幅に向上した。このことから、1ha以上のような比較的規模の大きな崩壊地であれば、衛星画像でも漏れが少なく抽出できていると考えられる。なお、適合率については、1ha未満の検証ポリゴンと重なる小規模な判読ポリゴンが誤判読として判定されることから低下している点に留意を要する。

対象災害	判読エリア	判読方法	全ポリゴン		1ha以上の検証ポリゴン		検証データ出典	
			適合率	再現率	適合率	再現率		
平成30年7月豪雨	広島県安芸郡坂町、府中町、熊野町、海田町	地形図 +SAR画像	判読フロー ステップ1	90%	26%	39%	65%	広島大学平成30年7月豪雨災害調査団
		地形図 +SAR画像 +災害前光学画像	判読フロー ステップ2	92%	25%	40%	65%	
		地形図 +SAR画像 +災害前後光学画像	本ガイドブックによる判読対象外	91%	46%	32%	88%	
平成29年7月九州北部豪雨	福岡県朝倉郡東峰村	地形図 +SAR画像	判読フロー ステップ1	41%	11%	5%	78%	国土地理院
		地形図 +SAR画像 +災害前光学画像	判読フロー ステップ2	60%	10%	8%	78%	
		地形図 +SAR画像 +災害前後光学画像	本ガイドブックによる判読対象外	59%	41%	6%	89%	

6. 判読環境

- ArcGIS

- 特徴

ArcGISはESRI社により提供されているGISソフトウェアである。地図の閲覧・作成のほか、高度な分析などが可能であるが有償である。

- 推奨スペック(ArcMap 10.6.1の場合)

OS : Windows 10(64-bit)、Windows 8.1

CPU : 2.2 GHz以上

メモリ : 8 GB

参考 : https://www.esri.com/products/arcgis-desktop_old/environments/arcmap/

- QGIS

- 特徴

QGISはオープンソースのGISソフトウェアである。無償で利用でき、地図の閲覧・作成・分析などが可能であるが、分析機能やサポートが限られている。

- 推奨スペック

OS : Windows/MacOS/Linuxほか

CPU : なし

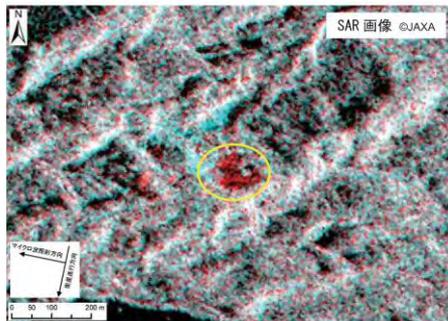
メモリ : なし

参考 : <https://qgis.org/ja/site/forusers/download.html>

【参考資料】 1. 山地災害の解説

- 山腹崩壊（令和3年の山腹崩壊発生事例：福岡県八女市矢部村）

地盤が緩むことによって山地の斜面が崩れると、麓に向かって土砂が流れ落ちます。このとき、急な勾配の斜面を高速で土砂が移動する現象を「山腹崩壊」と呼びます。山腹崩壊は、水を集める谷型斜面や、過去の崩壊や人為的な斜面の切り取りによって傾斜が急になっている斜面などで発生する危険性が高くなります。山腹崩壊は突然発生することが多いため、居住区域の近くで発生した場合は人的被害が生じやすい災害です。

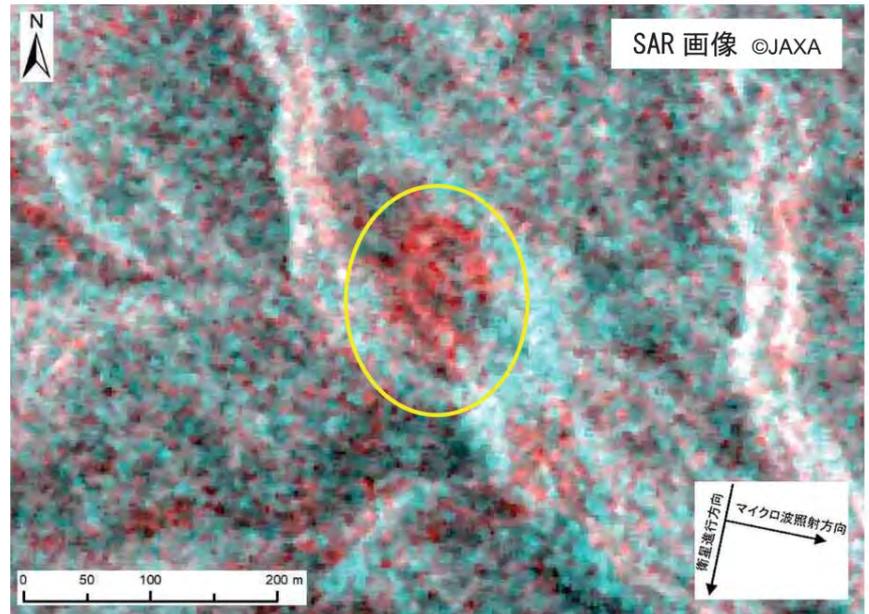


また、居住区域から離れた場所で発生する場合や、小規模な場合であっても、土砂や流木を溪流に供給することで後述の土石流の被害を大きくすることがあります。特に流木の起因となる崩壊地は0.5ha未満の崩壊がほとんどで、小規模な崩壊の同時多発が土石流や流木の引き金になっているとされています。

【参考資料】 1. 山地災害の解説

- ・地すべり（令和3年の地すべり発生事例：長野県長野市篠ノ井、熊本県天草市本渡町）

傾斜の比較的緩い斜面が広い範囲にわたって徐々に下方に移動していく現象を「地すべり」と呼びます。地すべりは、すべり面において地下水等の影響により、土塊が下方に移動する力に対抗する摩擦抵抗が減少することで発生します。一般的に山腹崩壊と比べると移動速度が小さいため、人命にかかわる被害は生じづらいと考えられますが、地震や豪雨等により移動が加速する場合があります。しかし、溪流の閉塞により大雨時に土石流化する可能性もあります。

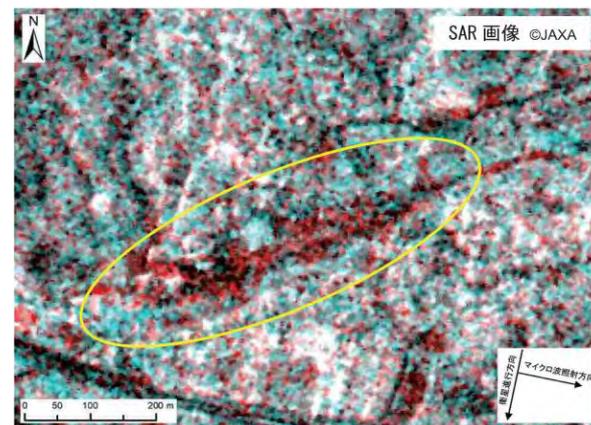
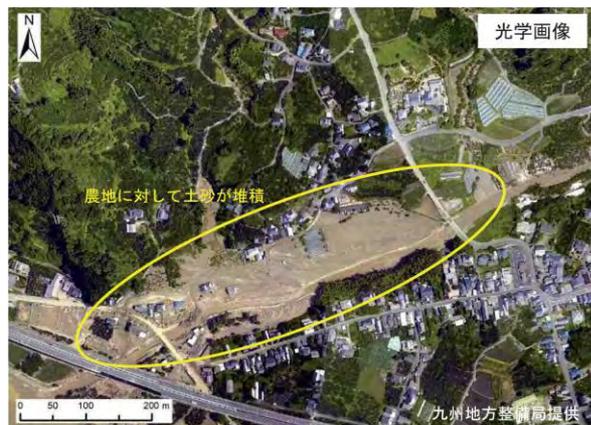


【参考資料】 1. 山地災害の解説

- ・土石流（令和3年の土石流発生事例：広島県広島市西区田方、静岡県熱海市伊豆山）

土砂や石が溪流を流れる水と一体となって流れ出る現象を「土石流」と呼びます。土石流には、溪流の流量が増加することで、①溪床に堆積した土砂等が押し流される場合、②新たな山腹崩壊や地すべりによって発生した土砂等が、そのまま流される場合、③天然ダム崩壊（後述）によって大量の水と土砂が一気に流れ出る場合の3つの発生形態があります。

土石流は移動速度が非常に速く、移動距離も長いため、仮に居住区域まで到達した場合は、人的被害や家屋等の破壊といった甚大な被害が発生しやすい災害です。また、土石流の中に流木が含まれている場合、流木が橋梁などにつかえて流路をせき止め氾濫を誘発したり、流木の直撃により家屋等への被害を大きくしたりするなどの危険が生じます。

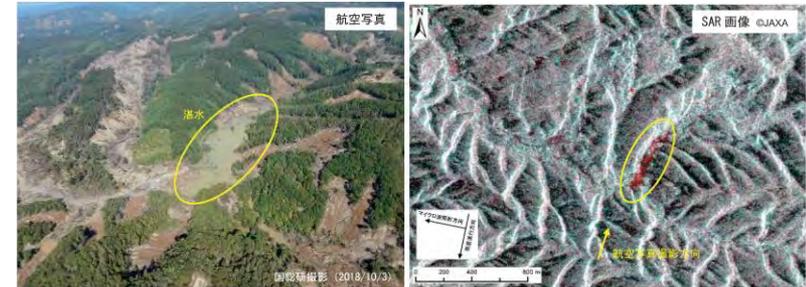


【参考資料】 1. 山地災害の解説

- 災害を甚大化する要因となるもの

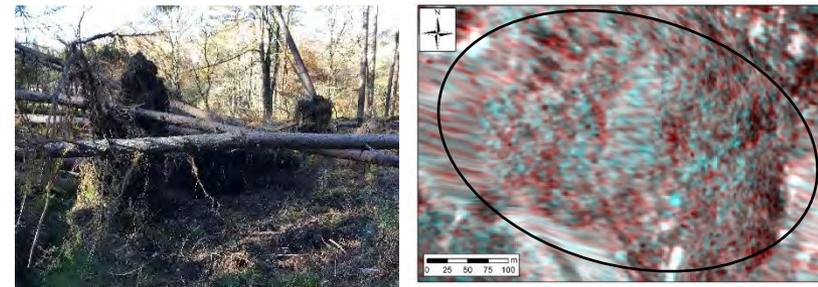
■ 河道閉塞による湛水（天然ダム）

斜面の崩壊によって移動した土砂や流木が河川の流れをせき止めると、河川の上流側に水が溜まり、ダムのような地形（天然ダム）が形成されます。そして、流れをせき止めている土砂が再び崩れると、溜まっていた水が土砂とともに一気に下流に流れ出すため、大規模な土石流が発生する危険性があります。



■ 風倒木

台風や突風などで立木が倒れることで、地面が掘り返されたり、根系による土壌緊縛効果を失ったりすることで地盤が緩み、斜面の崩壊が生じやすくなります。また、風倒木の発生した後、山腹崩壊や、土石流が発生した場合、これらが流木となって被害を大きくする要因となります。



【参考資料】 2. 山地災害の発生要因とその事例

- 大雨

地中に浸透し地盤を緩めたり、地下水位を上昇させたりすることで山腹崩壊や地すべりを誘発します。また、河川の流量を増加させることで斜面からの崩壊土砂、河床の堆積物、流木等を押流し、土石流を引き起こします。

- 地震

地盤を緩めることで地すべりや山腹崩壊を誘発します。地震によって地すべり斜面内部で液状化が生じた場合、高速地すべりが発生する場合があります。また、天然ダムを形成している土塊が緩んで崩壊した場合、土石流の発生につながります。

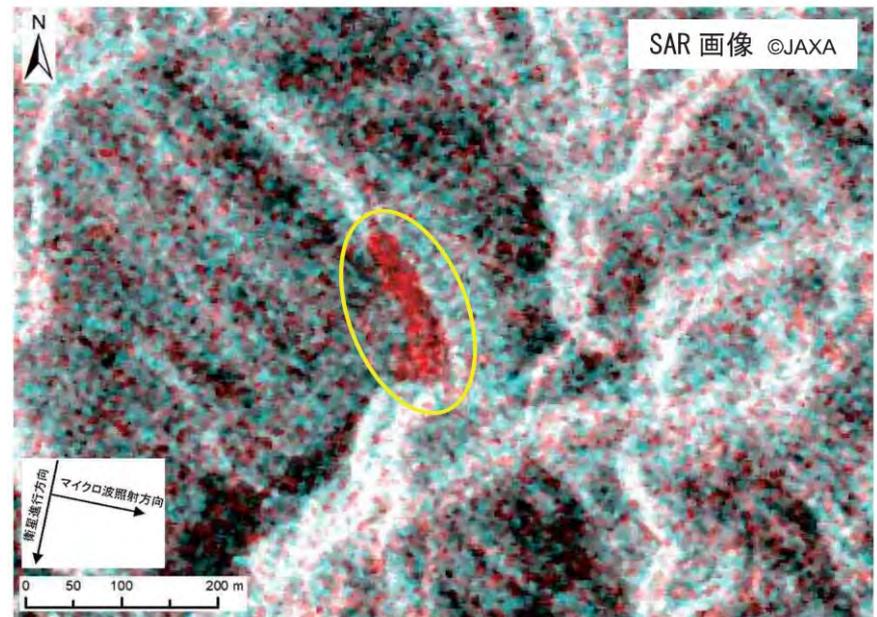
- 大雪

雪解け水となって地中に浸透すると地盤が緩み、地すべりや山腹崩壊の誘因となります。また、地中に浸透した水が凍った場合、地中の割れ目が大きくなり、崩壊しやすくなります。

【参考資料】 2. 山地災害の発生要因とその事例

- 伐採

立木が伐採された山腹斜面は時間が経つと樹木の根系による土壌緊縛効果を失い、土砂崩壊防止機能が低下します。また、露出した地表は降雨によって侵食されたり、表面が締め固まって透水性が低くなることで雨水が地中に浸透せず、河川の流量を増加させたりします。



参考文献

- 広島大学平成 30 年 7 月豪雨災害調査団（地理学グループ）, 2019, 平成30 年7 月豪雨による広島県の斜面崩壊の詳細分布図（第二報：最終報告）. <https://ajg-disaster.blogspot.com/2018/07/3077.html>
- 国土地理院,2017, 平成29年 7 月九州北部豪雨に関する情報. https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H29hukuoka_oita-heavyrain.html
- 内藤一郎, 2018, 内閣府 国と地方・民間の「災害情報ハブ」推進チーム 第5回 人工衛星の防災活用について. <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/saigaijyohouhub/dai5kai/pdf/shiryo5.pdf>
- 鈴木大和・松田昌之・瀧口茂隆・野村康裕・山下久美子・中谷洋明, 2020, 合成開口レーダ（SAR）画像による土砂災害判読の手引き. 国土技術政策総合研究所資料, 1110.
- 鈴木大和・松田昌之・中谷洋明, 2021, 災害時における合成開口レーダ(SAR)の散乱変換事例解説集. 国土技術政策総合研究所資料, 1159.

林野庁

国有林野部 業務課

令和4年度陸域観測技術衛星を活用した災害対応手法等検討調査(受託者:株式会社パスコ)