

LバンドとXバンドを組合せた強度差分 SAR 画像上における土砂移動箇所の特徴分析

国土技術政策総合研究所 ○村木 昌弘^{※1}、金澤 瑛^{※2}、瀧口 茂隆
 ※1 現 国際航業株式会社、※2 現 国立研究開発法人 土木研究所

1. はじめに

災害初動期において、土砂移動箇所を迅速かつ精確に把握することは重要である。しかし、従来の航空機・ヘリ調査では夜間・悪天候時には情報収集が出来ない等の課題があった。一方、合成開口レーダ（SAR）は夜間・悪天候時にも観測を行うことができ、災害初動期の手段として有効である。土砂災害発生のおそれがあると疑われる場合、現在はいち2号（ALOS-2）の緊急観測1回で被害状況を把握している。しかし、SARは観測原理上レイオーバーやレーダーシャドウといった不可視領域が発生し、土砂移動箇所が不可視領域内にある場合は見落としてしまう。従って土砂移動箇所を迅速かつ精確に把握するためには不可視領域を短時間で縮減する必要があり、そのためにはALOS-2に加えて複数のSAR衛星を使用することが効果的であると指摘されている（村木ほか(2024)）。SAR衛星を使った現在の調査手法は、ALOS-2によって観測された災害前後の画像から強度差分SAR画像を作成し、強度差分SAR画像の色の分布の特徴から土砂災害箇所を判読する手法（以下、強度差分法）である。金澤ほか(2024)ではLバンド（以下、L）とXバンド（以下、X）で強度差分法による目視判読実験を実施し、実験結果を適合率・再現率で評価している。それによると、災害前後L（以下、LL）と災害前L、災害後X（以下、LX）で適合率・再現率が異なっているがその理由は明らかになっていない。そのため、今後複数のSAR衛星を使用する上でどういった箇所で判読結果が異なっているのかについて明らかにする必要がある。XはLよりも波長が短いため、マイクロ波が対象物に照射した際の散乱特性が異なる。LとXのマイクロ波を森林に照射した場合、Lは樹冠を透過し森林内部や地表面で散乱するのにに対し、Xは森林内部までマイクロ波が透過せず樹冠で散乱することが指摘されている（図1、飯塚ほか(1998)など）。そのため、散乱特性の違いに影響を受けやすいような因子があることでLLとLXの強度差分SAR画像上での判読結果が異なった可能性が考えられる。そこで本研究では土砂移動箇所の崩壊形態（崩壊長さ、崩壊幅、崩壊長ささと崩壊幅の比（以下、比））に着目することで、どのような箇所でLLとLXの判読結果が異なっていたのかを分析した。

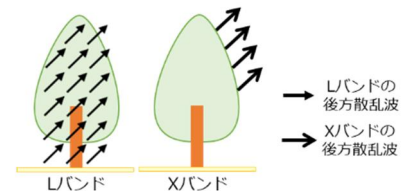


図1：森林でのマイクロ波の後方散乱

2. 方法

対象災害は平成29年7月九州北部豪雨（以下、災害A）と平成30年7月豪雨（以下、災害B）とした。使用した衛星はALOS-2（L）、COSMO-SkyMed（X）の2つとし、ALOS-2の定常観測によりLのSAR画像が今後も広域で充実することや、民間のXバンド小型SAR衛星が近年打ち上げられていることを踏まえて、災害前をLで固定、災害後にLおよびXを使用した。使用した衛星の観測諸元を表1に示す。土砂移動箇所のポリゴンデータは、災害Aは九州地方整備局、災害Bは広島大学平成30年7月豪雨災害調査団（地理学グループ）の判読結果を使用した。なお、本研究では崩壊地のみを土砂移動箇所とした。

表1：使用した衛星の観測諸元

※CSK：COSMO-SkyMed

災害	No.	衛星名	波長帯	軌道方向	観測方向	観測日	オフナディア角
災害A	1 (災害前)	ALOS-2	L	Ascending	Right	2017/5/18	29.1°
	2	ALOS-2	L	Ascending	Right	2017/9/7	29.1°
	3	CSK※	X	Ascending	Right	2017/7/18	35.4°
災害B	1 (災害前)	ALOS-2	L	Descending	Right	2018/7/8	35.4°
	2	ALOS-2	L	Descending	Right	2018/7/9	35.4°
	3	CSK※	X	Descending	Right	2018/7/11	31.99°

最初に、金澤ほか(2024)で検討された手法に沿ってLLとLXの強度差分SAR画像を作成した。続いて、不可視領域を含まず、且つ面積が1000m²以上の土砂移動箇所に対して国総研資料第1110号に基づいて目視判読を行った。また、土砂移動箇所ポリゴンを用いて土砂移動箇所の崩壊長さ、崩壊幅、比を算出した。崩壊長さは土砂移動箇所ポリゴンの頂部と末端部を結んだ直線の長さとし、崩壊頂部から25%、50%、75%地点で崩壊長ささに直交する線分の平均値を崩壊幅とした。比は崩壊幅に対する崩壊長さの比とした。その後、判読結果の整理や判読結果に影響を及ぼす崩壊形態の特徴について分析を行い、崩壊形態の特徴が判読結果に影響を及ぼした理由について考察した。

3. 結果

3.1 判読結果の整理

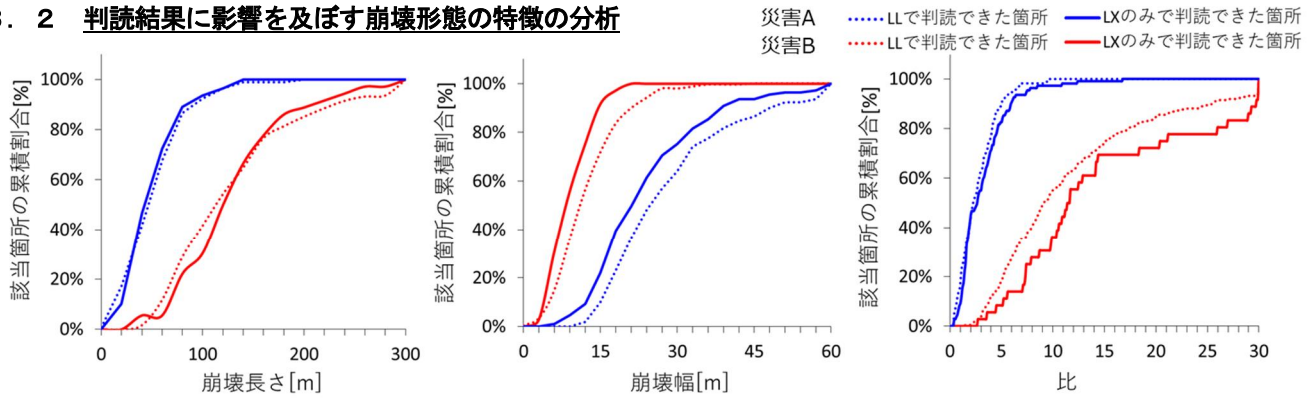
判読結果を表2に示す。ここではLL（LX）で判読できた箇所をLL（LX）：○、判読できなかった箇所をLL（LX）：×、とし整理している。表2より、災害AではLLで判読できた箇所が全体の44%、LXで判読できた箇所が71%となった。同様に災害BではLLで判読できた箇所が全体の68%、LXで判読できた箇所が75%となり、両災害でLLで判読できた箇所よりもLXで判読できた箇所の方が多かった。また、LLのみで判読できた箇所は災害Aで全体の1%、災害Bで3%と両災害で少ないのに対し、LXのみで判読できた箇所は災害Aで28%、災害Bで10%となり、LLのみで判読できた箇所よりも多かった。

表2：判読結果

災害A	LL：○	LL：×
LX：○	167 (43%)	109 (28%)
LX：×	3 (1%)	108 (28%)
災害B	LL：○	LL：×
LX：○	225 (65%)	36 (10%)
LX：×	12 (3%)	75 (22%)

※カッコ内は全判読箇所における割合

3. 2 判読結果に影響を及ぼす崩壊形態の特徴の分析



LLで判読できた箇所とLXのみで判読できた箇所の崩壊形態の比較結果を図2に示す。図2より、崩壊長さは両災害でLLで判読できた箇所とLXのみで判読できた箇所でも明瞭な違いは見られなかった。崩壊幅については両災害でLXのみで判読できた箇所の方がLLで判読できた箇所よりも崩壊幅が狭い傾向にあった。また、比は災害BのみLXのみで判読できた箇所の方がLLで判読できた箇所よりも大きい傾向にあり、災害Aでは明瞭な違いは見られなかった。このことから、両災害で崩壊幅がLLで判読できた箇所とLXのみで判読できた箇所でも異なる傾向を示し、崩壊幅の狭い箇所でもLLとLXの判読結果が異なっていた可能性が高いことが分かった。

4. 考察

崩壊幅の狭い箇所でもLLとLXの判読結果が異なっていた理由について考察した。強度差分SAR画像で目視判読する際、災害後の強度画像上で土砂移動箇所（裸地）と周辺（森林）の後方散乱強度の差（以下、強度差）が大きいほど、画像上の見た目に差が生じて判読しやすくなると考えられる。そこでLXのみで判読できた箇所（災害A：109箇所、災害B：36箇所）に対して、図-3のように災害後のLとXの強度画像上で裸地（1地点）と周辺の森林（2地点の平均値）の強度差を比較した。比較した結果を図4に示す。図4より、両災害でXの強度差がLの強度差よりも大きい傾向にあることが分かった。崩壊幅の狭い土砂移動箇所においてLとXの強度差に違いが見られた理由としてマイクロ波の散乱特性の違いが挙げられる。崩壊幅の狭い土砂移動箇所の場合、Lはマイクロ波が樹冠を透過して裸地まで届くため裸地で散乱が起きるのに対し、Xはマイクロ波が樹冠を透過せず裸地まで届かないために裸地で散乱が起きない。そのため、裸地でのXの後方散乱強度はLよりも小さくなる。したがってXの裸地と森林の強度差がLよりも大きくなることが想定される（図5）。このことから、崩壊幅が狭いことで、マイクロ波の散乱特性の違いが強度差分SAR画像上の見た目に差として現れ、判読結果に影響を与えたと考えられる。

5. 結論

本研究の結果から、崩壊幅の狭い箇所でもLLとLXの判読結果が異なっていた可能性が高いことが分かり、崩壊幅が狭いことでマイクロ波の散乱特性の違いが強度差分SAR画像上に差として現れて判読結果に影響したと考えられる。現在の土砂災害調査ではLバンドのALOS-2のみを使用しているが、最近では、XバンドSAR衛星のコンステレーションによる観測など様々なSAR衛星の利活用が進められている。今後は夜間・悪天候時の広域災害など、Lバンドのみでは土砂移動箇所の把握に時間を要する場合において、Xバンドも併用することで土砂移動箇所を迅速かつ高精度に把握することが可能となると思われる。

一方、LXでは土砂移動していない部分でも一部で強度差分SAR画像上に色変化が見られており、目視判読をする際に土砂移動箇所として誤抽出してしまう可能性がある。そのため、今後はその原因について分析する必要がある。

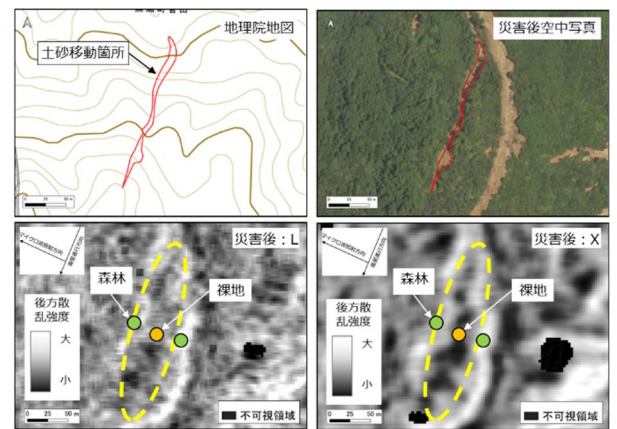


図3：強度差比較に使用した地点の例

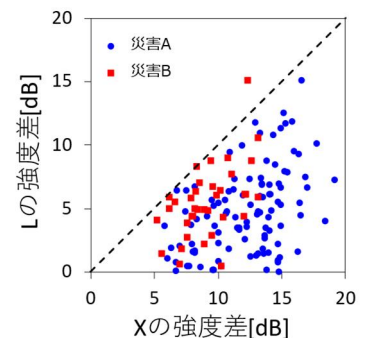


図4：強度差の比較

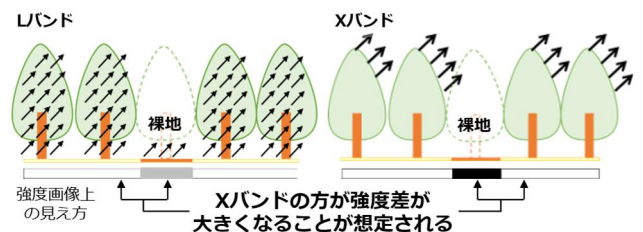


図5：崩壊幅が狭い土砂移動箇所におけるLとXの違い

参考文献 村木ほか（2024）：土砂災害調査における複数のSAR衛星を用いた不可視領域の縮減、（一社）日本リモートセンシング学会 第77回学術講演会論文集。金澤ほか（2024）：異なる波長帯のSAR衛星画像を活用した土砂災害発生箇所判読手法の検討、令和6年度砂防学会研究発表会概要集。飯塚ほか（1998）：合成開口レーダハンドブック 地球環境計測の新しい技術、朝倉書店