

複数の衛星 SAR 画像を用いた土砂災害発生箇所推定手法の高度化の検討

国土技術政策総合研究所 ○瀧口茂隆 三浦俊介（現アジア航測） 中谷洋明（現 STC）
国際航業株式会社 佐藤匠 山下久美子 本田謙一 田口智大

1 はじめに

大雨や地震などの後、河道閉塞発生箇所や土砂移動の集中発生地域をいち早く把握することは、その後の対策の早期着手に繋げるために重要である。

広域的に調査が可能な衛星画像はこのために有用であるが、光学画像は夜間・悪天候時以外の利用に限られる。このため、そのような条件でも観測可能な合成開口レーダー（以下「SAR」）に着目し、SARを用いた土砂移動発生箇所の早期推定手法の信頼性の向上に関する研究を進めている。

現在実務では、ALOS-2 から災害前後の同一観測条件で取得した SAR の後方散乱強度差分に色づけした画像を目視判読して発生箇所を推定する手法を基本としている。しかしながら、判読結果の信頼性に関して主に2つの課題がある。1つ目は適合率に関する課題で、災害後の緊急観測と同一の条件で観測された災害前のアーカイブ画像が数年前の古いものでは、それぞれの観測の間に崩壊に似た後方散乱強度の変化を示す例えば森林伐採のような状況変化があると、誤判読を行うことが多い。

2つ目は捕捉率に関する課題で、地表面に対して斜め方向からマイクロ波を照射するという特性から、斜面では、衛星に正対する側ではフォアショートニング等、裏側ではレーダーシャドウといった不可視領域が発生し（山下ら、2021）、その領域では基本的には崩壊を見逃すことになる。

そこで、これら2つの課題が影響を及ぼしている現状の信頼性を向上することを目的として、これまでの判読で基本条件としていた「同一衛星による同一観測条件で災害前後に観測した画像を使用する」を緩めた場合の影響を把握するための簡単な実験を行ったので以下に報告する。

2 実験の概要

実験の対象災害は、ALOS-2 が観測を開始した2014年以降の土砂災害から、多数の土砂災害が発生していること、崩壊地判読ポリゴンデータがあること、他衛星も含めアーカイブが充実していることから選定し、以下の2災害とした。

- ① 平成29年7月豪雨災害（福岡県）
- ② 平成30年7月豪雨災害（広島県）

2.1 ALOS-2 の異なる観測条件ペアに関する実験

観測条件を緩めるメリットとして、災害前後の観測間隔が短くなることが期待できる一方、強度差分画像が明瞭で無くなり、発生箇所推定の信頼性が低下する可能性があるためその程度を評価した。

実験は、従来の入射角中（ 29.1° ～ 42.7° ）の同一入射角のペアと比較するため、災害後の観測時の入射角を

- ① 入射角低（ $< 29.1^{\circ}$ ）
- ② 入射角中（ 29.1° ～ 42.7° ）（ただし前後の角度は一致しない）
- ③ 入射角高（ $> 42.7^{\circ}$ ）

にカテゴリ分けして画像のペアをつくり、それぞれで後方散乱強度の差分合成画像を作成した。

その合成画像についてペア毎の崩壊地の捕捉率と観測期間の日数の2指標で評価を行った。崩壊地の捕捉率の算出にあたっては、対象災害の崩壊地ポリゴンの中から崩壊面積3クラス、斜面の向き（相対方位角）3クラス、崩壊形状2クラスにわけそれぞれから1つずつ計18箇所の崩壊地を選定して、鈴木ら（2020）の判読手法に準じて技術者の目視判読が可能かどうかを評価した。

2.2 異なる衛星条件ペアに関する実験

バンドの異なる複数の SAR 搭載衛星を用いることのメリットとして、不可視領域の早期低減や ALOS-2 搭載の L バンド波長では検知しにくい土砂移動を抽出することが期待できる一方、実験 2.1 と同様、発生箇所推定の信頼性が低下する可能性があるためその程度を評価した。なお、2010 年以降に発表された論文等の既往研究を調査したところ、複数の SAR 衛星を用いて変化抽出に用いたものは無かった。

実験は、 35° 程度の中程度入射角の観測データを使用し、災害前後を X バンド同士、L バンド同士のペアを基準として異なるバンドのペアの場合との比較を行った。X バンドは COSMO-SkyMed（以下「CSK」）の HIMAGE モード、L バンドは ALOS-2 高分解能モード分解能 3m を使用した。評価は実験 2.1 と同様に捕捉率で評価した。

3 実験の結果

3.1 ALOS-2 の同一観測条件を緩めた実験の結果

平成30年7月豪雨の18箇所の崩壊地を判読した際の捕捉率を表-1に示す。災害後の入射角中程度のデータが複数無かったため、災害後のデータを固定し災害前のデータを変えたペアで判読を行った結果、入射角中程度同士のペアでは必ずしも同一の観測条件では無くても同程度の捕捉率で判読が可能であった。一方災害後の入射角が高い画像とのペアの場合、平成30年豪雨では同一条件よりも捕捉率が高く（50.0%）なったが、平成29年7月豪雨では逆に低くなる（44.4%→22.2%）など傾向はつかめなかった。

また、平成29年7月豪雨、平成30年7月豪雨の際に

取得した緊急観測データに対して、最新の災害前データまでの観測条件毎の間隔日数を表-2に示す。同程度の捕捉率となった入射角中程度に条件を緩めた場合、同一観測条件に比べて大幅に間隔日数を短縮できることがわかった。

3.2 同一衛星条件を緩めた実験の結果

表-3に、ALOS-2とXバンド衛星のCSKのペアで実験3.1と同様の実験を行った結果を示す。ALOS-2同士のペアに比べて、CSKを用いた場合に捕捉率が高い結果となった。表-3は平成29年7月豪雨の崩壊地を対象にしたものであるが、平成30年7月豪雨でも同様の傾向であった。

4 考察

2.1の実験において、同一条件ペアに比べて災害後の入射角が高いデータをペアにした場合に対象災害により捕捉率がばらつく結果となった。これは、谷筋の赤の変状が強調され視認しやすくなる一方で、土砂移動が発生していない谷筋でも赤の変状が出ることによるものと思われる。また、入射角が高いと同一条件と比較して不可視領域が拡大するというデメリットもある。このため、入射角中程度までのペアを用いることで観測間隔を短縮した結果誤判読が減少し信頼性の向上が見込める可能性がある。

2.2の実験において、災害後にXバンドを活用した方が、Lバンドよりも捕捉率が高い結果になったのは、短い波長の画像を用いることで、災害後の土地被覆の変化がより明瞭になり視認性が高まったためと考えられる。一方で、今回使用したCSKを初めとした現在運用中のXバンド衛星は、観測幅がALOS-2に比べて小さいものが多くまたアーカイブも少ないため、現時点では、災害前をALOS-2のLバンドを使用し、災害後については、LとXを適切に組み合わせただけ短時間に不可視領域を低減することで見逃しを減らすような運用が考えられる。

また、今後の小型化された複数の衛星による観測体制の充実が期待されており、それにあわせた運用方法の最適化も検討する必要がある。

5 終わりに

本研究で得られた結論をまとめると以下のとおり。

- ALOS-2の災害前後の強度差分画像を用いて判読する場合、これまで実施してきた同一の観測条件で無くても、同方向からの照射で入射角が中程度(29.1°~42.7°)のペアであれば、同一の観測条件と同等の信頼性を確保できる可能性がある。
- 入射角を中程度にすることにより、観測間隔日数を大幅に短縮できる可能性がある。これにより森林伐採などの人為的な変化の誤判読が減少することが期待できる。
- 災害前の画像をLバンド、災害後画像をXバンドのように異なるバンドの組み合わせであっても、これま

で使用してきたLバンド同士のペアと同等以上の信頼性を確保できる可能性がある。

なお、今回の実験は入手できたデータの制約から限られた条件での実験結果であり、今後は災害事例や、使用する観測データの組み合わせの事例を増やすことにより、今回得られた結論の普遍性を確認する必要がある。

<参考文献>

- 山下ら(2021): SAR強度画像を用いた土砂移動箇所検出特性と課題・令和2年7月豪雨の事例-、令和3年度砂防学会研究発表会概要集 pp.135-136
- 鈴木ら(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第1110号

表-1(a) 災害前観測条件と捕捉率の関係(平成30年7月豪雨)

災害前	災害後
観測日:2018/3/17 入射角:32.4° 観測方向:北行右	観測日:2018/7/21 入射角:32.4° 観測方向:北行右
災害前と同一条件	66.7% (12/18)
観測日:2018/5/17 入射角:40.6° 観測方向:北行右	66.7% (12/18)

表-1(b) 災害後観測条件と捕捉率の関係(平成30年7月豪雨)

災害前	災害後	災害前と同一条件	入射角:低	入射角:中	入射角:高
観測日:2018/6/20 入射角:35.4° 観測方向:南行右	観測日:2018/8/29 入射角:35.4° 観測方向:南行右	観測日:2018/8/29 入射角:35.4° 観測方向:南行右	無し	無し	観測日:2018/7/8 入射角:48.0° 観測方向:南行右
	33.3% (6/18)				50.0% (9/18)

表-2 災害前の観測条件とペアの観測間隔

災害前	災害後	観測日:2017/7/7 入射角:29.1° 観測方向:南行左	観測日:2017/7/7 入射角:21.9° 観測方向:北行左	観測日:2018/7/21 入射角:32.4° 観測方向:北行右
同一条件	434日	266日	126日	
入射角低	433日	266日	-	
入射角中	017日	025日	065日	
入射角高	746日	432日	032日	

表-3 使用するバンドの違いによる崩壊地の捕捉率

災害前	災害後	CSK:X-band	ALOS-2:L-band
ALOS-2:L-band 観測日:2017/5/18 入射角:29.1° 観測方向:北行右	CSK:X-band 観測日:2017/7/18 入射角:35.4° 観測方向:北行右	観測日:2017/7/18 入射角:35.4° 観測方向:北行右	観測日:2017/9/7 入射角:29.1° 観測方向:北行右
	61.1% (11/18)	61.1% (11/18)	16.7% (3/18)
CSK:X-band 観測日:2017/6/4 入射角:35.9° 観測方向:北行右		55.6% (10/18)	5.6% (1/18)