

複数衛星データ利用による砂防堰堤等の定点土砂監視について

中電技術コンサルタント(株)岩田 直樹, ○高橋 裕徳, 荒木 義則, 河井 恵美
(株) New Space Intelligence 長井 裕美子, Noppawan Tamkuan, Vaibhav Katiyar

1. はじめに

砂防指定地等への衛星データの活用は、大規模かつ広域で土砂移動現象が発生した場合の土砂災害発生状況の迅速な把握や、砂防指定地内の土地利用状況の把握、流域内土砂変化の面的評価などに適用されつつある。衛星リモートセンシング技術には、航空写真と同様に地表面の状態を撮影する光学センサーを搭載した光学衛星と、天候や昼夜に関わらず観測できる合成開口レーダ（SAR : Synthetic Aperture Radar）を搭載したSAR衛星がある。しかし利用される衛星データは、ある1種類の光学衛星もしくはSAR衛星を利用した場合が大半であり、複数の衛星データを選定し、統合して評価を行った事例はほとんどない。近年、様々な小型衛星の打ち上げが数多く進んでおり、これらの多様な衛星データの中から適切なデータを選択し、複数のデータを上手く統合することで、高頻度化、低コスト化、多様な衛星利用による誤検知や検出漏れの低減、評価精度の向上等が見込まれる。

本研究では、砂防指定地内の溪床や砂防堰堤周辺の変状について、光学衛星とSAR衛星などの複数の衛星データを利用し、これらを統合することで高頻度に、砂防堰堤における土砂等の堆積、溪床の変化や山腹崩壊などを検出する新たなモニタリング手法の検討を行った。

2. 検討手法の概要

様々な衛星データから最適なものを選択し、それらのデータを統合して解析を行い、情報を提供するという一連のプロセスをシステム化した「衛星データパイプラインシステム」により、複数の衛星データを利用する概念図を図-1に示す。過去の衛星データを用いて長期間の時系列解析を実施し、AI技術により「異常」を検知する。本研究では、既往の土砂災害発生箇所を対象として、このシステムを利用して解析を行い、砂防施設や溪床等の変化を捉えることができるかを検討した。

光学衛星（Sentinel-2）と SAR 衛星（Sentinel-1A/1B）のデータを用いて、次の3つの解析手法により評価を行った。① SAR データを用いた時系列解析（PSInSAR）による地表面変状の検出、② SAR データを用いた反射強度変化検出による土地被覆変化の検出、③ 光学衛星画像を用いた植生指数（NDVI）による土地被覆変化の検出。図-2に多様な衛星を活用した評価のイメージ図を示す。光学衛星では、Sentinel-2は観測間隔12日、分解能10mであるが、雲がかかっている場合には観測できないため、必ず観測できるわけではない。SAR衛星のSentinel-1A/1Bは観測間隔12日、分解能5m（衛星進行方向）×20m（進行直角方向）であるが、天候の影響を受けづらい。これらを組み合わせることで、観測頻度向上と多様な指標を用いた異常検知が可能になる。

AIによる異常検知に当たっては、事前にモニタリングしたい点を設定し、そのモニタリング点の周囲10mの変化を過去の衛星データを用いて統計処理し、観測されたデータが95%信頼区間から外れた場合に「異常」と判断する。

3. 対象地区とモニタリング点

対象地点は、図-3に示す広島市安佐南区の相田地区と緑井地区の砂防堰堤およびその流域とした。この砂防堰堤の流域では、2021年8月14日の豪雨により土石流が発生したが、砂防堰堤により土砂および流木が捕捉され、下流人家等への被害は発生していない¹⁾。相田地区のモニタリング点は、砂防堰堤周辺に2ヶ所（A-1：遊砂地、A-2：堰堤）、上流溪床の土砂流出箇所に1ヶ所（A-3）を設定し、緑井地区では砂防堰堤付近に1ヶ所（M-1）、上流溪床の土砂流出箇所に4ヶ所（M-2～M-5）を設定した。

4. 豪雨後の異常検出結果

PSInSARにより2021年8月14日の豪雨時の挙動を評価するために、2021年1月～12月のSARデータ

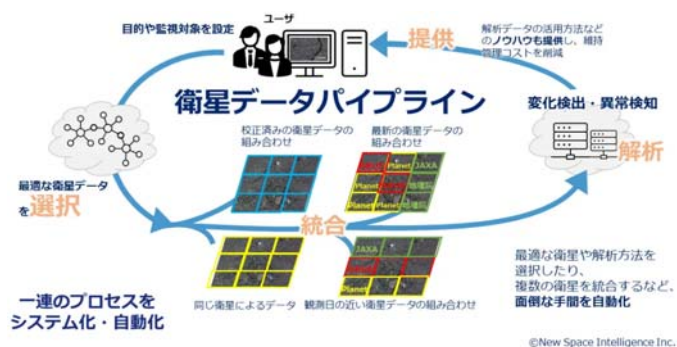


図-1 衛星データパイプラインシステムの概念図

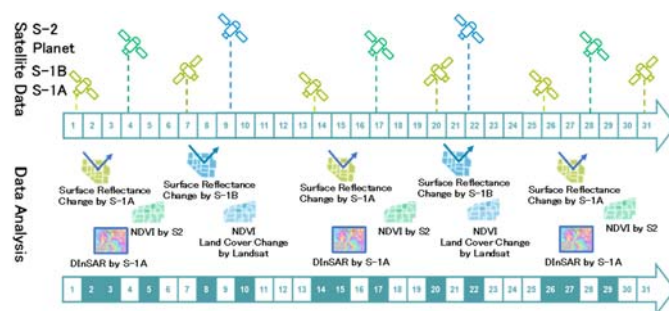


図-2 多様な衛星を活用した評価のイメージ図

(アセンディング(北行軌道, 西側より観測): 29 シーン, ディセンディング(南行軌道, 東側より観測): 31 シーン)を用いて地表面変位を算定した。図-4 は、ディセンディングの年平均地表面変位速度の分布を示す。砂防堰堤周辺や山地部では、コヒーレンスが低いため解析結果が得られていない。これは、今回使用した Sentinel-1A/1B は C バンドでレーダの波長が短く、植生の影響を受けやすかったことが原因と考えられる。

SAR データを用いた反射強度による土地被覆変化の検出では、2017 年 3 月～2023 年 2 月までのデータを用いて解析を行った。図-5 に反射強度の時系列変化と異常を検出した事例を示す。反射強度の時系列データが 95%信頼区間の上限もしくは下限を超えたものを異常と判断しており、地点 A-1 と M-3 では 2021 年 8 月 14 日の豪雨後に異常を検出しているが、地点 M-1 では検出できていない。なお、今回設定した 8 カ所のうち 5 カ所で豪雨後に異常を検出した。図-5(a)に見られるように、地点 A-1 では検討期間内に 17 回の異常を検出しているが、2021 年 8 月 14 日の豪雨後以外は現地が確認できておらず、検出結果が現地状況の変化によるものか、SAR データのノイズ等によるものかは判断できていない。

光学衛星画像を用いた NDVI による土地被覆変化の検出では、2018 年 12 月～2023 年 3 月までの画像を用いて解析を行った。図-6 に NDVI の時系列変化と異常検出箇所を示す。地点 A-1 では豪雨後に異常を検出しているが、地点 M-1、M-3 では検出できていない。なお今回設定した 8 カ所で異常を検知できたのは地点 M-1 のみであった。検出できなかった光学衛星画像を見ると、溪流の形状が不明瞭であり、画像の分解能 10m が選定した地点の溪流幅よりやや大きいため判読できなかったと考えられる。分解能が 3m 程度の Planet による光学衛星画像を見ると、溪流の形状や土砂堆積状況が確認できることから、分解能が小さい画像を使用することで検出精度が向上すると考えられる。

5. おわりに

本研究では、無償で入手可能な衛星 SAR データと光学衛星画像を用いて、異なる評価手法により 2021 年 8 月 14 日の豪雨後の変状を評価し、衛星データパイプラインによる砂防堰堤や溪床のモニタリングへの適用性を検討した。複数の衛星データを利用することで、観測頻度や異常検出の可能性は格段に向上すると考えている。一方で、個々の衛星データの

性能により現状では検出結果にばらつきが出る。このため本検討では、衛星 SAR データの反射強度では変状を検出できたが、レーダの波長の短い衛星 SAR データによる変形評価や、分解能の大きい光学衛星を用いた NDVI による評価では異常検出が困難であった。

今後は、衛星データパイプラインを用いて、L バンドの衛星 SAR データと分解能の小さい光学衛星画像により複合的な評価を行い、検出精度と頻度の向上について引き続き検討を行う予定である。

参考文献：1) 国土交通省：令和 3 年度の砂防施設効果事例、

https://www.mlit.go.jp/river/sabo/shisetsu_kouka/r3/r3_koukagirei_aita1.pdf

https://www.mlit.go.jp/river/sabo/shisetsu_kouka/r3/r3_koukagirei_torigoegawa1.pdf



図-3 モニタリング点と土砂捕捉状況¹⁾

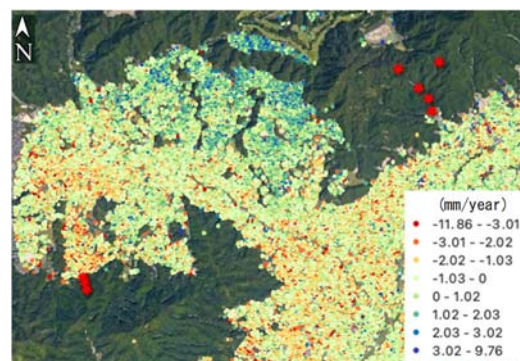


図-4 PSInSAR による年平均変位速度分布

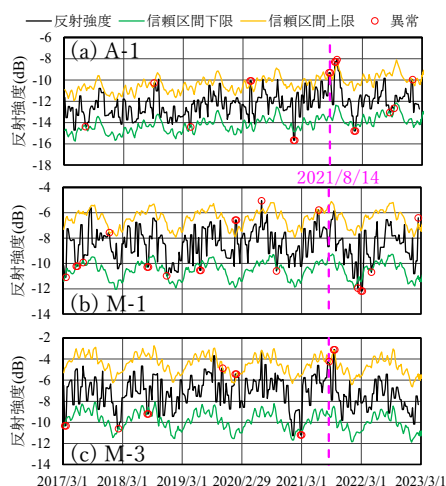


図-5 反射強度による異常検出例

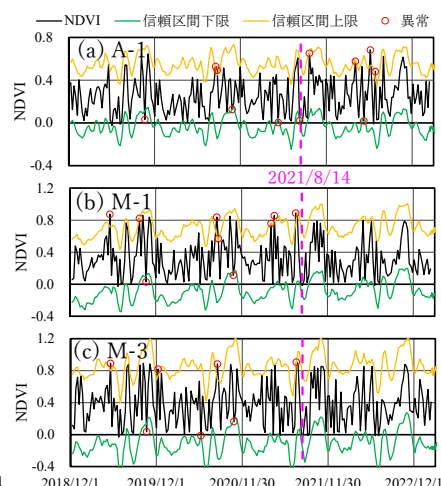


図-6 NDVI による異常検出例