

# 多様な3次元デジタル計測・リモートセンシング技術を活用した 災害発生箇所の抽出手法の比較

— 令和5年台風第7号による土砂流出現場を事例として —

株式会社ウエスコ 技術推進本部 ○今西 将文  
空間情報事業部 宮田 真考  
防災・環境事業部 武田 有香

## 1. はじめに

近年、土石流や斜面崩壊などの土砂災害は、雨の降り方の変化に呼応して増加傾向が言われており、今後も繰り返し発生することに加え、技術者不足の現状と将来をも念頭に、デジタル技術の変革によって有効な対処を見出そうとする時流にある。平野部のみならずアクセス困難な山地部にも広範に生じる災害箇所を、早期にスクリーニングするのみならず、対策の検討や設計に供しうる高い精度の調査計測データをも得るための様々な手法が普及しつつある。本要旨では、R5年7号台風による土石流発生溪流を対象として、①写真画像の比較、②航空測量DEMの標高差分、③SAR衛星によるマイクロ波の後方散乱強度変化について示し、講演では④光学衛星スペクトルによるNDVI値の変化についても比較した事例を紹介する。

## 2. 主要なセンシング技術の種類と既存の活用事例

地表面の態様を遠隔より観測するセンサの種類は多様であり、これらは光学センサと電波センサに大別され、観測対象が反射・放射する可視光線、赤外線、マイクロ波などを観測する受動型と、センサユニット自身が照査した後の反射波を観測する能動型がある(図-1参照)。これらは、人工衛星に搭載されて宇宙空間より広域に観測するものの他、固定翼機や回転翼機に搭載して低高度から高解像度に計測するタイプもあり、プラットフォームの違いに応じてデータ取得が可能な頻度や即時性、経済性の他にも様々な特徴の違いやメリット・デメリットが存在する。

従来、地球規模の観測や研究目的での利用が主体であったセンシングデータは、近年、民間による衛星の打ち上げやドローン等の普及が後押しとなり、土木・建設分野での活用や実装の機運が見え始めている。例えば、既存盛土の分布調査を目的として表-1のように、空中写真・数値標高モデル(DEM)・衛星データを利用した机上調査の方法例が示されている。

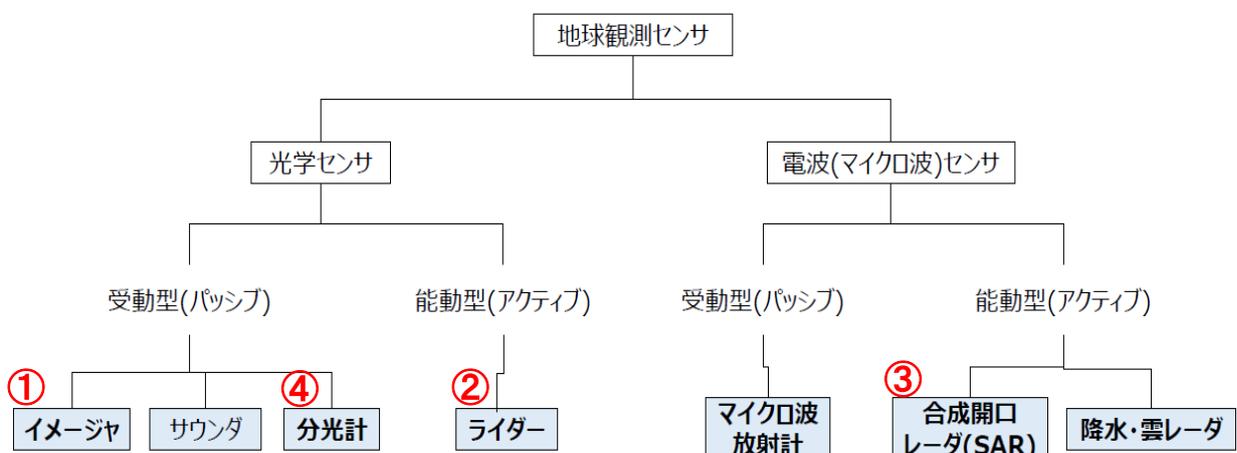


図-1 主要なデジタルセンシングセンサ

(CONSEO もくもくスクール 2023 リモートセンシング概論 p. 27 より引用・加筆)

表-1 センシングデータを活用して地表面の変状を検出する手法の事例

既存盛土等の分布調査（基礎調査） 机上調査の方法例（1/2）

緒元	調査方法	数値標高の差分で抽出する方法				画像の色調や反射性状の変化で抽出する方法		
基礎データ	使用する資料	空中写真		数値標高モデル (DEM)		衛星データ		
		米軍撮影	国土地理院等	国土地理院 (1/25,000地形図から作成)	国土地理院、国土交通省、林野庁等 (航空レーザ測量利用)	光学画像 (無償)	光学画像 (有償)	SAR画像
	画像例				(画像イメージは同左: 航空レーザ測量による)		(画像イメージは販売機関のサイト等で確認できる: (例) https://www.sed.co.jp/sug/contents/satellite/satellite_worldview1.html)	
	撮影時期	1945~1957年	1957年頃~	—	2008年頃~	2006年~ 衛星名:ALOS/AVNIR-2など	1999年~ 衛星名: SPOT6, 7 など	2014年~ 衛星名: Sentinel-1
	縮尺 [解像度]	1/10,000~1/40,000		1/25,000 (10mメッシュ)	1/1,000程度 (1mメッシュ)	[10m]	[数m~数10cm程度]	—
	入手、検索先	国土地理院HP等			航空レーザ測量データポータルサイト	無償: 衛星画像保有者HPよりダウンロード 有償: 衛星画像販売権保有機関から購入		
解析	概要	①空中写真からDEMを作成し、標高増加範囲を抽出 ②衛星写真等により盛土の可能性がない箇所を除外		①既存のDEMを重ね合わせ、標高増加箇所を抽出 ②衛星写真等により盛土の可能性がない箇所を除外		①色調箇所を抽出 ②衛星写真等により盛土の可能性がない箇所を除外		①画像の散乱強度低下箇所を抽出 ②衛星写真等により盛土の可能性がない箇所を除外
	解析画像例							
	盛土抽出精度 (抽出できる目安)	盛土高さ規模: ±0.6~4m (面積: 3,000㎡以上)		盛土高さ規模: 5m (面積: 3,000㎡以上)	盛土高さ規模: 1m (面積: 500㎡以上)	面積: 1,000㎡以上	面積: 500㎡以上	面積: 1,000㎡以上

(国土交通省; 基礎調査実施要領 (案) (既存盛土調査編) 参考資料 p. 11 より引用)

3. 令和5年台風第7号による被害と本件の対象現場

台風第7号(990hPa)は、2023年8月15日に鳥取県東部~中部にかけて線状降水帯を発生させて県内に記録的大雨を降らせた。気象レーダでは、鳥取市佐治付近で24時間雨量(8月15日0時~24時)が700ミリで、平年の8月1ヶ月分の3倍を超える総雨量となった。河原町北村にある赤井谷川では、同日不明時刻に土石流が発生して下流の治山堰堤と砂防堰堤が埋まり、末端にある県道へ土砂を流出させ隣接河川の護岸を崩落させた。林道が寸断した崩壊の頭部より土石流の末端までの延長はおよそ2kmに及ぶ。



図-2 赤井谷川 (鳥取市河原町北村) の土砂流出

(鳥取県; 令和5年台風第7号災害復旧・復興本部会議 (第1回) 資料 p. 10 より引用)

#### 4. 収集データ

赤井谷川の斜面崩壊と土石流の流下現象を捉えるために収集したセンシングデータを表-2に示す。

①写真画像は②LP-DEM データの計測時に汎用カメラで同時に撮影された画像からオルソ化されたものである。発災前後のデータ共に、回転翼機で計測された鳥取県の既往成果物から借用した。③SAR 衛星の観測データは、ALOS-2 の SLC1.1 フォーマットを JAXA より購入した。当該台風の襲来に合わせて緊急観測されたものであり、これと対になる従前の同軌道・同フレームのデータを得るにはアーカイブを 25 か月遡る必要があった。④光学スペクトルデータは SPOT6/7 衛星によるもので、AIRBUS 社から購入したものである。発災時を挟む前後期間かつ同月のデータで、関心領域内に雲が入り込んでいないことを条件にアーカイブを検索すると 12 ケ月間隔のデータセットが得られた。

表-2 収集データの種類と取得時期

データ	スペック	データ取得時期
① 写真画像 (航空写真)	解像度 前0.25m、後0.2m	前) 2021/11 後) 2023/8 間隔: 21ヶ月
② LP-DEM (航空レーザ)	解像度 0.5m	前) 2021/11 後) 2023/8 間隔: 21ヶ月
③ SAR (衛星ALOS-2)	解像度 3m → マルチルック10m (Lバンド)	前) 2021/7 後) 2023/8 間隔: 25ヶ月
④ 光学スペクトル (衛星SPOT)	解像度 1.5m (RGB+NIR)	前) 2022/10 後) 2023/10 間隔: 12ヶ月

#### 5. 図化・解析結果の比較

①写真画像の解像度は精細であり、発災前のものが 0.25m、発災後のものが 0.2m である。撮影時期の違いから植生の活性に差がある場合や、陽光の向きで陰影の差が目につきやすい場合は、テクスチャの違いが顕著に表れて写真判読の際に障害となる。当該事例における発災後（夏季 8 月）の簡易オルソ画像は、影の映り込みが比較的少なく、植生は単一の緑色でテクスチャが単調なことから、崩壊起点部の寸断された道路や滑落崖にはじまり、土石流の流下跡に至る土砂移動の痕跡が明瞭に判読できる。

②LP-DEM データの精度は、1 メッシュ内にグラウンドデータがある場合は 0.3m 以内、無い場合は 2.0m 以内と規定されている。発災前後の差分（②・後－②・前）をとると、発災後の写真画像（①・後）に映る土砂移動の痕跡の中で、標高の最大変化量がマイナス側では-24m、+側では+11m であった。変化が 0m を緑色、マイナス側を水色・プラス側を赤色に配色しそれぞれ-1m と+1m でカットオフしたところ、土石流による浸食区間（崩壊起点からの直線距離 680m）と堆積区間（末端までの直線距離 1,070m）が明瞭に判別できる。LP-DEM は、メッシュ値に対してある種の計算（空間フィルタ処理）を施すと、地表面の局所的な傾斜量や凸凹度合を表す数値を求めることができる。これらに適宜配色を行えば、標高値の高低に対してそのまま配色しただけの標高段彩図よりも、細かい地形的な特徴をより詳しく把握することが可能となる。発災後の DEM（②・後）による傾斜量図では、起点の崩壊地形の他、古い地すべり地形や森林管理のための路網が明瞭に表れている。ウェーブレット解析図では、この度の土砂移動の起点となった崩壊地形の他、集水地形領域内における葉脈状の流水・浸食跡が良くわかる。また、傾斜量図と比較すると尾根谷の区別が付きやすい。

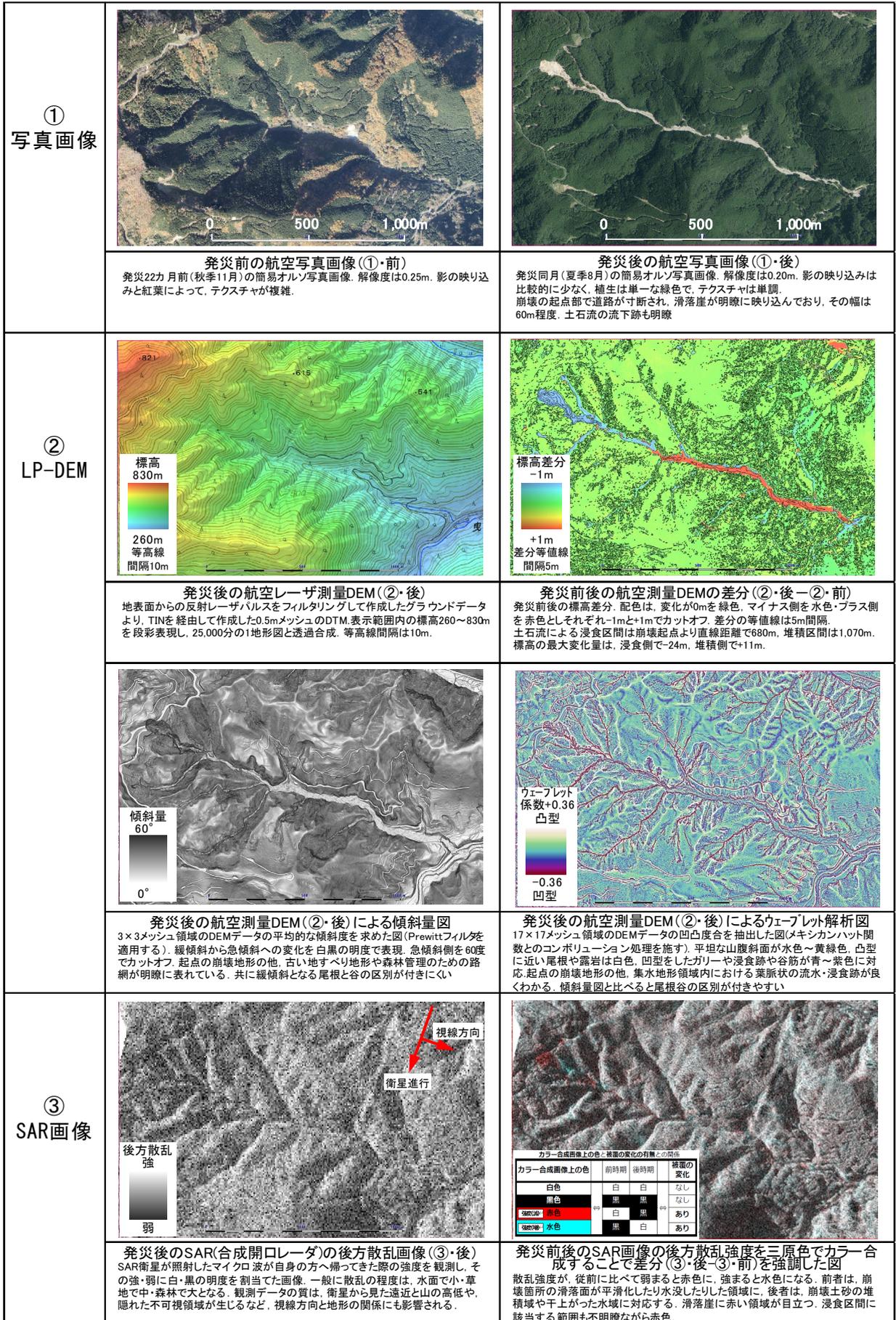


図-3 各種センシングデータの図化・解析結果

③SAR 衛星が観測する後方散乱波は、地表面に対するマイクロ波の入射方向や地表面の粗度、誘電率等で変化する。強度画像は、その強・弱に白・黒の明度を割当てた画像であり、一般に散乱の程度が水面で小、草地で中、森林で大となる。また、観測データの質は、衛星から見た遠近と山の高低や、隠れた不可視領域が生じるなど、視線方向と地形の関係にも影響される。発災前後に対応する2枚の SAR 画像の後方散乱強度を、光の三原色に割り当てた上で合成すると、強度の差分（③・後—③・前）が強調された画像が得られる。散乱強度が、従前に比べて弱まると赤色に、強まると水色になる。前者は、崩壊箇所の滑落面が平滑化したり水没したりした領域に、後者は、崩壊土砂の堆積域や干上がった水域に対応する。当該現場の事例では、滑落崖に赤い領域が目立ち、浸食区間に該当する範囲も不明瞭ながら赤色気味となって検出されている。

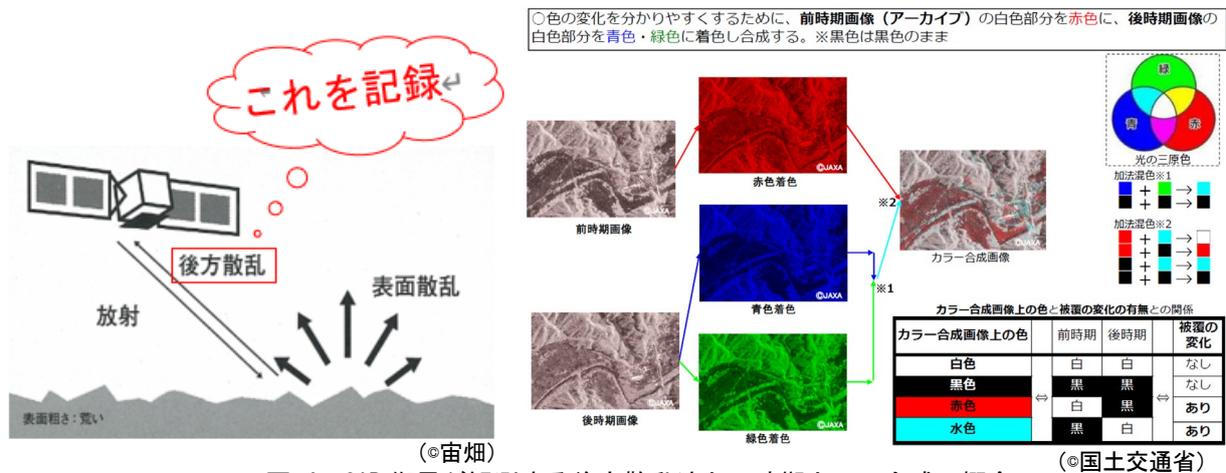


図-4 SAR 衛星が観測する後方散乱波と二時期カラー合成の概念

## 6. まとめ

3次元デジタル・リモートセンシングデータには様々な種類のもがあるが、それぞれに利点と欠点を合わせ持っている。航空写真は映り込んだ画像を目視して直感的に判読できることで容易だが、天候不良の場合は撮影できず即応性に制限を受ける場合がある。また、写真から図化を行う場合にはデータの仕上がりにまでに作業時間を要する。

LP-DEM データは0.5m メッシュサイズの規格が標準的になっており、従前の比較データがあれば差分演算等を容易に行うことができるのみならず、データの処理を工夫することで実用性の高い地形解析を机上で行うことができる。一方で、0.5m メッシュサイズと言えども、元となっているグラウンドデータの地表面の補足状況が良くないと、例えば防災点検などで、転石や露岩をはじめとする超極微地形類の把握を期待することは難しい。さらに近年は、ドローンレーザ計測装置の普及も見られるが、広域なデータを一度に整備するには作業手間やコスト面の負担はまだ大きい。しかしながら、特に災害等のイベントが発生した際には、比較対象となるデータの必要性や有用性は極めて高いことから、国内全域をカバーする LP-DEM データの早期の整備が望まれる。

衛星データはその種類も価格も多種多様であるが、これまで一般的には高価でなおかつ取扱える PC やソフト環境にも高性能で専用ものが必要であったり、データの時間・空間解像についても実務用途に対して不十分な状況にもあった。しかし近年、民間のスタートアップ企業によって、小型の人工衛星を低軌道へ数多く配置する（コンステレーション）計画が複数進んでいることもあって、高頻度かつ経済的にデータ入手できる環境となっていくことが期待される。また、これらのデータを扱える汎用ソフトの公開や PC の

性能向上のおかげで、誰でもが容易にそれらの技術に触れられる環境になってきた。さらに、衛星データは過去のアーカイブや広域な観測視野を活かした越境性などの利点を併せ持つことから、広域災害等のスクリーニング技術として一段と実用性が高まることに期待が寄せられる。

とは言え、期待値の高いセンシング技術も常に万能ではない。互いに保管し合うことで有効なツールとなったり特効薬になる場面がある。日進月歩の技術を適切かつ効果的に現場や課題に対して処方するには、これらのオペレーションに特化したあるいは強みを持った会社へアウトソーシングするのみならず、データそのものや解析結果のエンドユーザたるコンサルタント自らも解析技術に関する知識や理解、取扱いの経験を蓄積し、理解を深めて使うことが重要と考える。

## 7. 参考文献

- 1) CONSEO もくもくスクール 2023 リモートセンシング概論 村木祐介 JAXA 衛星利用運用センター
- 2) 基礎調査実施要領（案）（既存盛土調査編） 国土交通省
- 3) 災害時の人工衛星活用ガイドブック（土砂災害版） 国土交通省

## 8. 謝辞

この度の検討と発表に際して、鳥取県土整備事務所河川砂防課様には鳥取県が保有する LP-DEM データの一部を使用することを許諾して頂いたことに誠の感謝を申し上げます。

以 上