

〈特集〉

土砂災害における衛星リモートセンシングの活用

長 井 正 彦

山口大学応用衛星リモートセンシング研究センター
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 E-mail:nagaim@yamaguchi-u.ac.jp)

概 要

宇宙から地上を観測する頻度が飛躍的に向上しつつあり、今までにはない新たな衛星データの利用が期待されている。特に災害対応における衛星データの利用は、様々な分野で期待されており、災害時の衛星データ利用は多岐にわたる。特に、土砂災害の発生直後の緊急対応では、早急に被害地域を把握し、災害の全容を把握することが重要である。本稿では、光学衛星画像やSARデータを利用した土砂災害における様々な解析手法について紹介する。SARデータを利用した手法については、いくつかの事例をあげて3解析手法を紹介する。

キーワード：衛星リモートセンシング、光学衛星データ、SARデータ、土砂災害

原稿受付 2021.12.27

EICA: 26(4) 50-53

1. はじめに

衛星リモートセンシングの分野では、今、大きな変化が起こっている。従来からの国家主導の宇宙開発に加えて、多くの民間企業が、地球観測衛星の打ち上げに参入し、大きな成果を上げている。例えば、米国のPlanet Lab社は100機以上の小型衛星による衛星コンステレーションを実現し、全球の陸域を常時撮影している。衛星コンステレーションとは、複数の人工衛星を連携させて一つの機能やサービスを実現する方法である。従来の衛星リモートセンシングでは、一機の大型観測衛星で観測しているため、観測周期が数週間に1度程度で、気象条件を考慮すると、実際に地表面を観測できるのは数ヶ月に1度程度であったが、衛星コンステレーションでは、観測頻度が飛躍的に向上し、世界中のどこでも毎日観測することが可能になった。

日本においても、(株)アクセルスペースが、2023年を目途に、GRUS-1衛星10機の衛星コンステレーションにより、世界のあらゆる地点が毎日観測できる観測網を構築している。(株)シンスペクティブは、2020年12月に小型レーダ衛星Strix-αの打ち上げに成功し、合成開口レーダ(SAR)によるSARデータ取得に成功した。九州大学発ベンチャーであるQPS研究所も、2021年1月に超小型レーダー衛星の2号機イザナミの打ち上げに成功している。また、2020年11月に打ち上げられたキャノン電子の超小型衛星3号機CE-SAT-IIBでは、超高感度カメラによる夜間撮影が可能になった。この様な民間企業の地球観測衛星により、衛星リモートセンシングは、今まで以上に、身近な存在になりつつある。

さらに、2021年6月に総理大臣官邸で実施された第24回宇宙開発戦略本部会議では、小型衛星コンステレーション、宇宙基本計画工程表改訂に向けた重点事項等について議論された。その重点事項として、多数の小型衛星を互いに連携させることで、災害時の被災状況の迅速な把握などを可能とする、我が国独自の小型衛星コンステレーションを構築するなど、基盤技術の開発を推進すると発表された。

土砂災害危険箇所は、全国に約52万箇所存在し、ハード対策の整備率は約20%程度と低い。また、地球温暖化による気候変動の影響等から、平成30年7月西日本豪雨災害等の激甚な災害が頻発している。自然災害が多発する最近では、防災・減災を目的とし、地震、土砂災害、地盤沈下、火山等に関連する地盤変動を、継続的に監視することの需要も高まっている。これらの監視には、いくつかの手法が用いられている。IoT技術の進歩により、電子杭等を設置し、GNSS等を用いたセンサーにより変動量を監視する手法や、航空機レーザ測量やドローンを用いることで、上空から監視する方法である。一方で、宇宙から地上を観測する頻度が飛躍的に向上しつつあり、衛星リモートセンシングによる新たなサービスが期待されている。本稿では、土砂災害における衛星データ利用について、光学衛星データとSARデータに関する様々な解析手法について事例を交えて紹介する。

2. 光学衛星データ

2.1 画像分類

光学衛星データ(衛星画像)は、可視光線と赤外線

(近赤外線, 中間赤外線, 熱赤外線) からなる波長帯の情報をバンドとして持っている。この複数のバンドから得られる情報を統計的に処理し, 特徴を抽出する手法を画像分類という。土砂災害においても, 土砂災害の特徴を持つ裸地などの土地被覆を画像分類により検出することができる。画像分類には, 教師付き分類と教師無し分類がある。教師付き分類は, あらかじめ土砂災害の場所が分かっている場合に, 土砂災害の特徴量を教師データとして画像分類処理を行, 同一の画像内から同じ特徴をもった箇所を検出する。教師付き分類では, 様々な分類器が用いられる。サポートベクターマシン, 最短距離法, 最尤法, ランダムフォレストなどがある。教師なし分類は, 解析を実行する際に, 教師データを必要とせず, 各バンドのピクセル値の分布から自動的に分類する手法である。光学衛星画像を用いたこれらの手法では, 一般的に災害発生の前後に観測された二時期の衛星画像を利用し, 数値標高データをマスク処理した上で, 土地被覆が森林から裸地に変化した箇所を検出することにより, 土砂災害を検出する。

2.2 NDVI

土砂災害に関しては, 土砂災害の発生により植生(森林)が消失するという観点から, 正規化植生指数(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)を土砂災害の検出の指標として用いることができる。NDVIは, 植物に含まれるクロロフィルなどの光合成色素の働きで, 可視域の光を効率的に吸収すると共に, 近赤外の光を反射する特徴を使った指標である。NDVIは -1 から $+1$ までの値をとり, 値が大きくなるほど植生の活性度が高いことを示す指標である。つまり, 災害発生の前後に観測された二時期の衛星画像を利用し, 山間部においてNDVIの数値が極端に減少した箇所を検出すれば, 土砂災害を検出することができる。

2.3 機械学習

機械学習は, 人工知能における一つのデータ処理手法であり, 人間の経験にもとづく判断によって理解していたデータ解析を自動化し, データの分析や予測ができる。近年, 地球観測衛星の増加により取得される衛星データの量は飛躍的に増え, 従来の人間の経験による解析だけではなく, 効率的に膨大な量のデータを自動的に解析する手法として, 機械学習が注目されている。また, 近年は, 空間解像度が数十cmの高解像度衛星画像も入手できるようになり, 衛星画像から識別できる対象物が増え, データの精細さという観点からも, 自動処理の需要が高まっている。機械学習の一種であるCNN(畳み込みニューラルネットワーク)

は, 建物, 樹木, 土地被覆, 道路などといった地物の教師を作成し, 全画像の中から対象物の検出を行っている。CNNでは, 畳み込みとプーリングの処理を繰り返して, 画像内のパターンを検出している。畳み込みは, 画像の濃淡パターンやエッジなどの特徴抽出を行い, プーリングは, 物体の位置が変わっても同一の物体であるとみなす処理を行っている¹⁾。

3. SAR データ

3.1 二時期カラー合成

合成開口衛星レーダ(SAR)衛星のマイクロ波による地球観測の特徴は, 雨や雲など天候の影響を受けず, 昼夜を問わず観測することができることである。例えば, 台風や大雨に起因する土砂災害の場合でも, マイクロ波の電波は雲を透過し地表面に到達するので, 広範囲の被害を検出することができる。特に, 悪天候により, 地上から被害の現況把握が困難な場合, 宇宙から迅速かつ効果的に被害域を検出することができ

る。SARデータの反射強度画像を判読することで, 突発的な土砂災害などの土砂移動による地表面の変化を容易に観測することができる。変化検出には, 災害前後のSARデータを用いる。災害前のSARデータを赤色および緑色に, 災害後のSARデータを青色に割り当てることで二時期カラー合成画像を作成する。災害前後で, 後方散乱強度が低なった箇所が赤く表示され, 後方散乱強度が高くなった箇所が青く表示される。

2017年7月の記録的な豪雨による九州北部豪雨災害を例として二時期から合成画像について説明する。九州北部豪雨災害は, 福岡県朝倉市や大分県日田市など広範囲にわたり, 災害直後から宇宙航空研究開発機構(JAXA)は「だいち2号(ALOS-2)」による被災地域の観測を行った。発災前後のALOS-2データ(処理レベルL1.5)によりカラー合成画像(赤色:災害前画像, 緑色:災害後画像, 青色:災害後画像に配

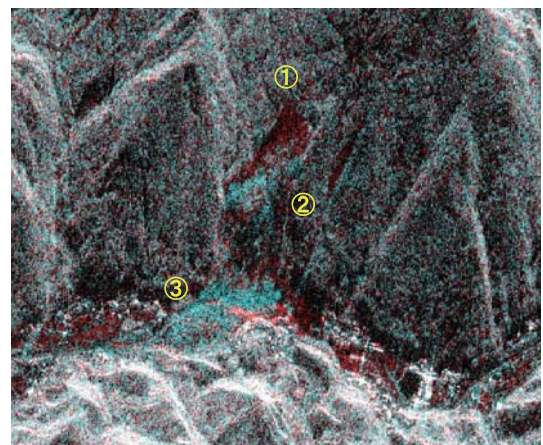


Fig. 1 ALOS-2による大分県日田市小野地区の土砂災害

色)を作成した例 (Fig. 1) を示す。

画像中央の箇所が土砂の箇所である。発災後も天候が悪く雲に覆われていたため、航空機による撮影やドローンの利用ができないなか、合成開口レーダーが効果を発揮した。Fig. 2 に、大分県日田市小野地区の土砂災害の現地写真を示す。また、衛星画像と現地写真の対応を①～③に示している。①については、災害の前後で森林が土砂に変化しており、後方散乱強度が低なった箇所として衛星画像では赤く表示されている。②と③については、樹木や土砂の堆積により後方散乱強度が高くなった箇所として衛星画像では青く表示されている。このような変化した箇所が傾斜部であれば、土砂崩れなどが発生したと考えられる。



Fig. 2 大分県日田市小野地区の土砂災害

3.2 SAR インターフェロメトリー

SAR 衛星が照射したマイクロ波の差分から地表面の変動を捉えることのできる SAR インターフェロメトリー (InSAR) は、地震や火山による地殻変動や地盤沈下などの検出において多くの実績があるが、山間部における土砂災害にも適応できる。特に、ALOS-2 の L バンドの PALSAR2 は、C バンドや X バンドと比べて波長が長く、森林樹木の影響を受けずに直接地表の変動を数 cm の精度で観測することができる。Fig. 3 に土砂災害における InSAR の利用概念を示す。1 回目と 2 回目の観測の間に地表面の変動があった場合、観測の位相差として検出することができる。

2018 年の 6 月末から 7 月にかけて台風 7 号と梅雨

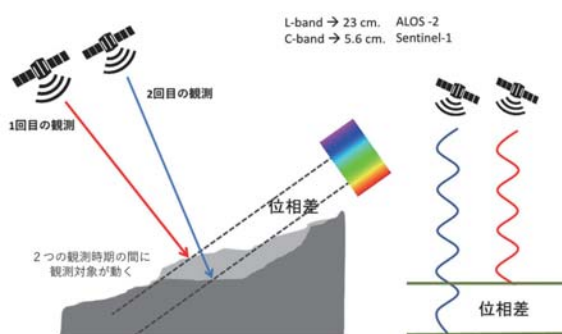


Fig. 3 土砂災害における InSAR の利用

前線により西日本を中心に日本の広範囲で発生した記録的な豪雨を例に InSAR について説明する²⁾。長時間の降雨により広域かつ同時多発的に河川の氾濫および土砂災害が発生した。二時期の ALOS-2 データ (処理レベル L1.1) を用意し、位相情報を保持した Single Look Complex (SLC) データを作成する。マスター画像とスレイブ画像のマッチングを行いスレイブ画像の位置ずれを修正するよう再配置が行われる。そうして得られた二つの SLC データをもとに干渉処理が行われ、最終的にコヒーレンス画像および変動縞画像 (Fig. 4) が得られる³⁾。このようにして、InSAR 解析は、同位置の衛星軌道上で観測されたデータを用い、観測日の間隔と垂直起動距離間の短い干渉ペアを求め、それぞれの観測日における変動量を推定する手法である。

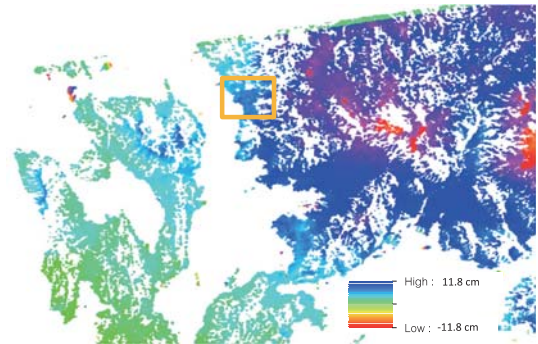


Fig. 4 InSAR による変動縞画像

Fig. 4 の上部中央の囲まれた箇所を時系列の InSAR 解析結果を用い GIS を用いたラスタ計算により、変動が大きい地域を抽出した。地表面で大きな変動のあった平成 30 年 7 月豪雨の斜面崩壊箇所 (Fig. 5) を参考に DInSAR 画像が示す色の濃い箇所を堆積、薄い箇所を流出と判断した。ラスタ値のラベリングを行い、 -1 もしくは $+1$ に近い値を地表面変動として表示した (Fig. 6)。

InSAR 処理では変動量を知ることができるので、土砂災害などの大きな差分がある地域においては明らか



Fig. 5 平成 30 年 7 月 豪雨災害調査団 (地理学グループ) による 広島県の斜面崩壊分布図

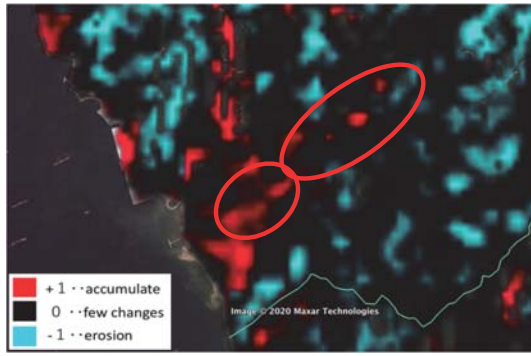


Fig. 6 DinSARによる地表面変動

かな変化を見ることができる。しかし、土砂の流出や堆積といった微細な変化においては、樹木の影響や山間部におけるレーダ観測の特性なども影響し抽出が難しい点もある。

DinSARでは、二時期間で発生した地表面変化をコヒーレンス値から数値化するラスタ計算処理により、微細な変化を知ることができる。しかし、ラスタ計算処理で変化量の上限下限を統一して強調処理をし、相対的な変化としてのみ捉えることとなる。相対的な変化ではあるものの、長期的に分析を行うことによって相対的な変化が続いている地域においては土砂の流出、堆積の変化を検出ができる。これにより、ハザードマップを更新したり、土砂災害に関するメカニズムの解明に資する情報構築を行ったりできる。

3.3 SAR衛星マーカー

SARデータによる斜面等の監視のためのSAR衛星マーカーを利用する。SAR衛星マーカーは、SAR衛星が照射する電波（マイクロ波）を高い効率で反射するマーカーである。SAR衛星は地表で反射して戻ってくる電波の強度と時間の変化によって観測する。監視対象にマーカーを設置すれば、解像度の低い衛星画像でも正確な位置を確認し、数センチ単位の変動を把握できる。

SAR衛星マーカーは、小型のコーナーリフレクター（Fig. 7）で、コーナーリフレクターは、衛星データのキャリブレーションの際に用いられる。地球観測衛星が観測する衛星データのノイズや歪みを補正し、ノイズを除去してデータを校正することをキャリブレーションと言う。SAR衛星データの場合、コーナーリフレクタとよばれる地上のターゲットによりSAR衛星データも幾何補正が行われている。このキャリブレーション手法を応用すれば、数cmの精度で地表面の変動が監視することができる。SAR衛星マーカーを多数の観測対象物に設置すれば、土砂災害の長期的変動や広範囲の面的把握の監視に対応可能である。また、地上の監視やIoTと比較して大幅なコスト削減も考えられる。Fig. 8にSAR衛星マーカー



Fig. 7 SAR衛星マーカー

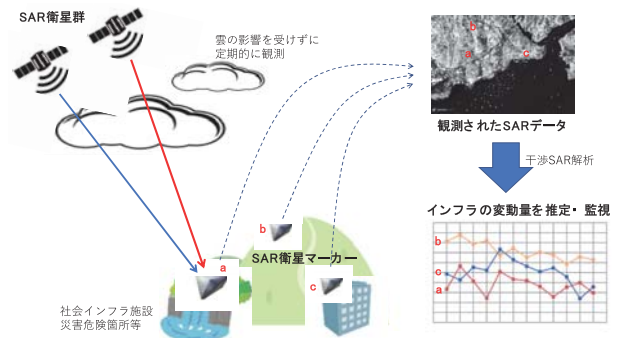


Fig. 8 SAR衛星マーカーによる監視手法の概要

による監視手法の概要を示す。

4. まとめ

宇宙から地上を観測する頻度が飛躍的に向上しつつあり、今までにはない新たな衛星データの利用が期待されている。特に、災害対応における衛星データの利用は、様々な分野で期待されている。土砂災害においては、光学衛星画像の様々な波長帯の情報により二時期の変化抽出や機械学習による自動処理など膨大なデータを扱う手法の開発が進められている。SARデータを利用した手法では、マイクロ波の反射強度やInSARによる変動量の推定などの利用が進められており、新しいサービス開発の期待も高まっている。

参考文献

- 1) V. Katiyar, N. Tamkuan, M. Nagai: Near-Real-Time Flood Mapping Using Off-the-Shelf Models with SAR Imagery and Deep Learning, Remote Sensing, Vol. 13, No. 12, p. 2334, (2021).
- 2) 和田里花, 長井正彦: 干渉 SAR 解析による土砂災害前後の地表面変化の監視手法に関する基礎研究, 日本写真測量学会令和2年度秋期学術講演会 (2018).
- 3) N. Tamkuan and M. Nagai: Fusion of Multi-Temporal Interferometric Coherence and Optical Image Data for the 2016 Kumamoto Earthquake Damage Assessment, ISPRS International Journal of Geo-Information, Vol. 6, No. 7, pp. 188-205, (2017).