寄 稿

災害状況の早期把握をめざす調査技術

野呂（のろ） 智之（ともゆき）
国土交通省　国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部
土砂災害研究室長

1. はじめに

国土交通省では、大規模な災害が発生した直後に地方整備局の境界を超えて職員を被災地に集め、短時間に集中して調査、応急対策の助言にあたる機動的な集団を組織化している。平成20年（2008）の創設から11年目に入った今では、緊急災害対策派遣隊という正式名称よりもTEC-FORCEの呼び名のほうが認知されているのではないだろうか。

平成28年（2016）熊本地震では10,912名（のべ人日）が参加し、そのうち半数以上の6,410名（同）は北海道開発局から沖縄総合事務局に至る全国からの派遣であった。これだけの大部隊を被災地のどこに集中させたらよいか、全体で何人派遣したらよいか、どの地方整備局等まで派遣を呼びかけるべきかなど、発災後数日以内に検討される派遣計画の前提となるのが現地の被災状況である。できるかぎり早期に被害の全体像を把握することで適切な派遣計画の作成とその後の迅速な活動が可能となる。あるいは大きな被害が発生していないことの把握も情報として重要で、防災対応で向き合う場面としてはこちらのほうがはるかに多い。

今回はこういった災害直後の場面で近年用いられている調査技術として「合成開口レーダ（Synthetic Aperture Rader、以下SAR（サー））」と「ヘリコプター」を用いた展開例をご紹介したい。

2. SAR

被害状況を理解しやすいのは目視する方法であることは言うまでもない。被災直後であれば地方整備局で所有している防災ヘリコプターに搭乗し、上空から山腹の崩壊地や河道閉塞（天然ダム形成）の有無の確認を行う。ひと目見てわかりやすいのは職員以外にとっても同様なので、被災状況の共有のため早い段階で地元の市町村長にヘリコプターへの同乗を呼びかけるのは合理的な判断といえる。このように有用な手段であるヘリコプターであるが、欠点としては悪天候下では運用ができない点があげられる。また、現地が晴れていても移動ルート上が天候不良の場合など、途中で飛行できない区間がある場合も支障がでる。夜間は飛行が禁止されるため、どれだ

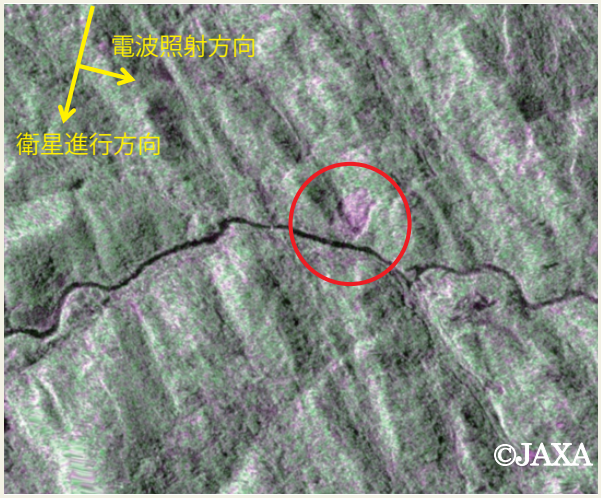

図-1a　スリランカ豪雨での判読事例
SAR 画像は災害後の 2017/5/30 撮影。高さ約 150m、幅約 300m の崩壊地を円内に示す変化として捉えた。裸地に対して感度の高い偏波を赤紫、森林に感度の高い偏波を緑で着色。地面に比べ水面は後方散乱が少ないため、河川や天然ダムの湛水域は SAR 画像で暗く表示される。

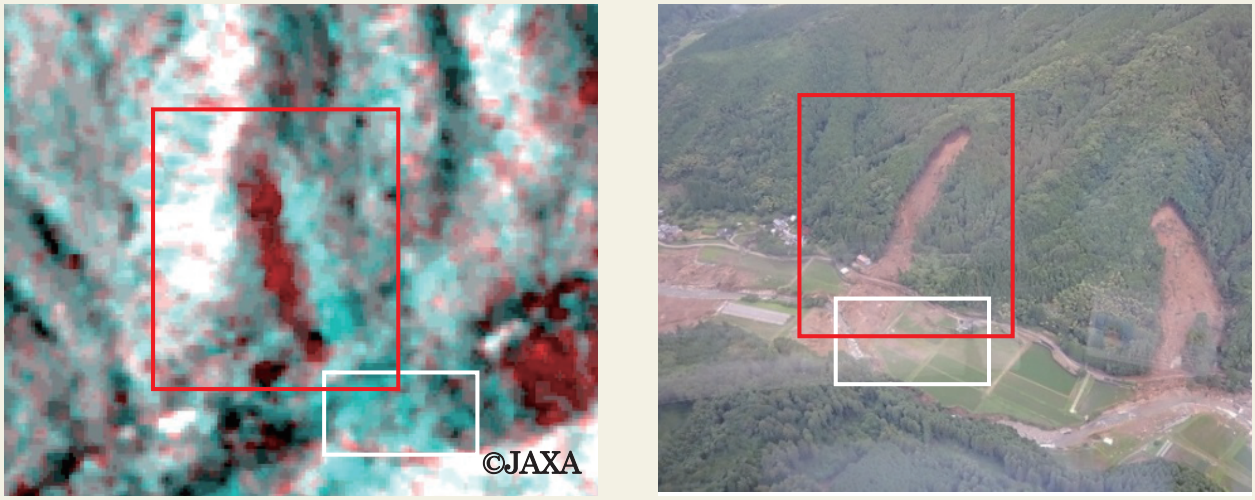

図-1b　九州北部豪雨での判読例

SAR 画像は災害前 2016/4/29、災害後 2017/7/7 撮影。前後の比較では後方散乱が弱くなった箇所を赤、逆を青で着色。赤枠内の赤い領域は反射体である立木がなくなったため後方散乱が弱くなった、青い領域は崩壊地側部の急崖で反射が強くなったと考えこの場所を崩壊地と判断した。白枠内は水を張った水田が土砂堆積地に変化したため後方散乱が強くなったと考えられる。仮に土砂堆積がなくとも、撮影時期を考慮すると成長した稲穂が原因で強くなる可能性が高い。

け天候に恵まれていてもヘリコプターが能力を発揮できるのは一日の半分程度が限界とも言える。これは光学衛星や航空機により撮影された画像でも同様であり、砂防の現場で使い慣れた手法である空中写真判読が悪天候や夜間では利用できない場面が出てくる。

このデメリットに対処するために国土技術政策総合研究所が開発を進めているのがSARで撮影した画像を用いる手法である。衛星から地表にむけてマイクロ波を照射すると、地面や建物、樹木などにあたってさまざまな方向に波が散乱する。このうち衛星に戻ってくる波（これを後方散乱という）の強弱の度合いで地表の状況を評価する。可視光ではないので、日中でも夜間でも同じ画像取得が可能である。ただし取得できるのは戻ってきた波の強弱のため、その段階でわかるのは地形ではなく地表の反射状態にすぎない。崩壊の有無や地形の変化として判断を下す際には「○○のため以前より強く（あるいは弱く）なった」という考察を間に入れる作業が必要となる。○○に入る要素として例えば「樹木が倒れた」「植生の被覆がなくなった」「土砂が氾濫した」「渓岸が侵食され地表がなくなった」等が挙げられる。崩壊現象とその結果生ずるであろう地形や地表の変化を結びつけながら判断を行うことになる（**図-1a、b**）。レーザー測量を始めとする、地形の凹凸情報を直接取得する方法と比べると評価にある程度の熟練が求められる点がこの手法の特徴であり、判読に関する技術開発上のポイントでもある。

SARで使われるマイクロ波は波長が短いものからXバンド、Cバンド、Lバンドと呼ばれる帯域で、波長はそれぞれ約3cm、約5cm、約24cmである。一般的には波長が短い帯域ほど地表面の細かな差異を見つけ出すことができるが、途中の余計なものの影響も受けやすくなってしまう。じゃまなものの代表例が雨域や樹木の枝葉である。Xバンド、Cバンドが降雨レーダで使われているのは雨滴で散乱することを利用しているためだが、斜面崩壊の発見を目的として地表を観測するには、雨滴を無視できる長めの波長が望ましい。国土交通省は国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）と災害対応における取得画像の利活用について協定を結んでいるため、JAXAから画像提供を受けることが多い。JAXAが運用している陸域観測技術衛星２号「だいち２号」がLバンドを採用している理由は、降雨量と森林地域が多い日本での観測を考慮しているためで、悪天候での運用を重視しない航空機SARや、降雨量が少ない諸外国で運用しているSAR衛星では、Xバンドを採用している例がある。

災害後の山間地の状況をSAR観測により把握してその後の対応につなげた国内最初の事例は平成23年（2011）紀伊半島で発生した天然ダムの形成であった（**図-2**）。当時は災害後の１時期だけ観測したデータを使っており、崩壊地や天然ダムなどの異変を発見できる面積の目安は約10,000m^{2}以上であった。その後SAR衛星の運用期間が長くなり、平常時に観測したデータがアーカイブとして充実してきたため、最近では災害前後の２時期のデータを比較して判断する方法に移っている。この方法だと約2,500m^{2}と以前の1/4程度の小さな面積の崩壊地を見つけた例もある。

3. ヘリコプター

ヘリコプターを用いた調査は以前から行われているが、活用の場面をさらに広げる余地があると考えている。従来から行っているのは、広域的な被災範囲の把握や甚大な被害が発生している箇所の特定を目的とした、発生当日または翌日に行う先遣調査である。その後、土砂災害危険箇所の危険度が、従前と比べ増加していないかどうかを一斉確認する調査をおよそ一週間程度で行うが、緊

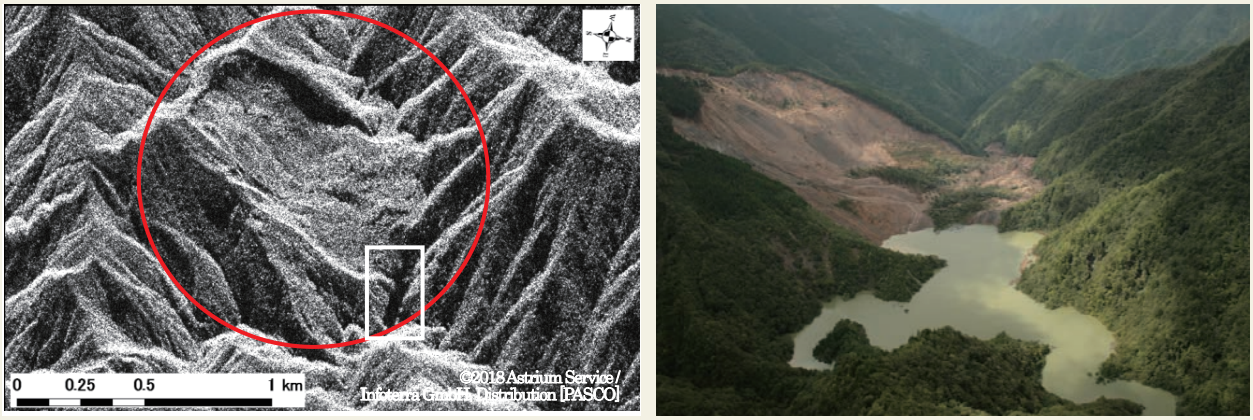

図-2　天然ダム形成箇所の判読例

円内は河道を閉塞させた深層崩壊箇所（栗平地区）。森林に覆われた周囲の斜面と、崩壊によって出現した裸地の反射状態が質感の違いとして判別できる。SAR 画像は TerraSAR-X（2011/9/5 撮影）。湛水域（白色）の範囲が斜め写真（2011/9/22 撮影）に比べてまだ小さいことがわかる。

急点検と呼ぶこの作業では、家屋被害や斜面変状、土砂の流出状況を一箇所ずつ人海戦術で行っている。近づけない箇所についてはヘリコプターからの調査で補っているが、基本は危険箇所に近づく地上調査である。しかし、余震や降雨が続く中で渓流や斜面に近づく行動には危険が伴う。中止基準が予め定められ、現地作業の継続・中止は作業班の判断が優先されているが、安全確保と使命感のバランスに苦慮する声を多く聞く。他地域から派遣されて、現地の土地勘に乏しい作業班ならなおさらである。この緊急点検の主役を、地上調査からヘリコプターによる上空調査にシフトできないか、と考え試行的に分析した結果をここで紹介する。

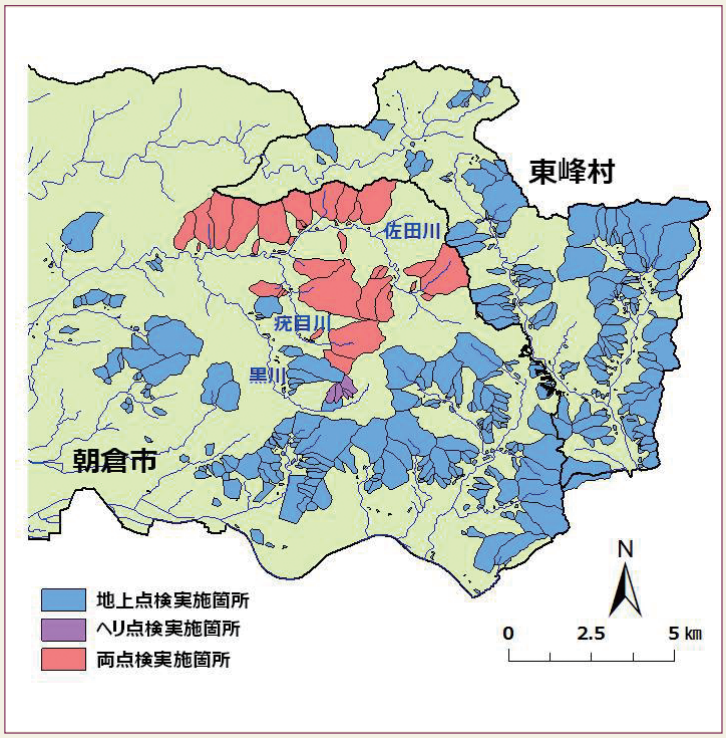

図-3　緊急点検の対象箇所（福岡県）

橙色の地区が上空調査・地上調査ともに実施した箇所（51 箇所）。被災範囲の中心にある紫色の地区では地上で近づけず上空調査のみを実施した（12 箇所）

平成29年（2017）九州北部豪雨では福岡県、大分県を中心に集中豪雨となり、福岡県朝倉市では気象庁のレーダ解析で約1,000mmの大雨が降り、死者行方不明者41名、家屋の全半壊1,116戸に及ぶ大災害となった。福岡県は直後に554箇所を対象に土砂災害危険箇所の緊急点検を行ったが、このうち12箇所は道路の寸断等により地上調査を行えなかった。この12箇所を含む63箇所でヘリコプターによる調査を行ったので、51箇所において上空調査と地上調査の両方で危険度を評価することができた（**図-3**、**表-1**）。そのうち上空・地上の評価結果が一致したのは43箇所、残る8箇所で評価が分かれた。この8箇所はすべて土石流危険渓流で、急傾斜地崩壊危険箇所で評価が分かれた事例はなかった。今回の事例では、全体的に上空調査のほうが、危険度をより高く評価する傾向にあった。これは谷出口や保全対象付近の土砂流出状況が樹冠等に隠れて、上空から目

表-1　判定方法

判定	上空調査	地上調査
A	家屋等被災または一定規模の崩壊等あり。応急対応が必要。	
B	上空からは判断不能、地上調査が必要	A、Cに該当しないが警戒が必要
C	降雨後の変状なし	

視できなかったことが理由と考えられる。上空から被災と判断した家屋が、地上調査の結果廃屋であると後に判明した事例もあった。樹木の陰等で上空から目視できない場所の判断に迷うことは予想していたが、地上からでは確認が難しい渓流の上流の様子を見通せるなど、上空調査の有効性をあらためて確認できたものと受けとめている（図-4a、b）。上空、地上それぞれのアプローチに応じた長所や課題を整理し、ヘリコプターの活用場面を広げて地上調査にともなう作業員の安全確保や点検期間の短縮化につなげたい。

図-4a　ヘリコプターから見た土石流危険渓流
谷上部（黄色）は視認しやすい一方、谷出口（白色）は樹冠に遮られるため上空からの確認が困難な場合がある。危険箇所を記入した斜め写真を準備しておくと上空からの危険箇所同定が容易になる。

図-4b　ヘリコプターから見た急傾斜地崩壊危険箇所
斜面に正対すれば崩壊地（黄色）を視認しやすい。家屋被災（白色）は敷地への土砂流出を明瞭に確認できるが、斜面と家屋が近接していると確認が厳しい場合があるかもしれない。

4. おわりに

近年用いられている災害直後の調査技術の一部をご紹介した。このうちSARは、機器そのものの性能向上と、利用者側の解析技術や利活用方法の向上が並行して進む、日進月歩の分野である。言い換えると、使う場面では常に課題に直面し、少しずつ改善を図っている状態である。現在は経験を積んだ技術者に頼っている崩壊地の抽出作業も、将来的には人工知能（AI）を活用して、ある程度の自動抽出化を取り入れる方向に進んでいくと考えるが、研究はまだ緒についた段階で、実用化までには解決すべき課題が多い。

今回取り上げた手法は「飛び道具」に偏ったが、ポールを抱えて地上を這い回る方法でしか把握できない現象も少なくない。このような従来からの調査においても、UAV（これも飛び道具ではあるが）の併用など、効率性を更に高める余地が十分あると思われる。飛行高度が低いUAVは狭隘な土砂災害危険箇所の調査と相性が良く、撮影した映像はヘリコプターより鮮明である場合が多い。

把握した結果の使われ方にも触れておく。結果を必要とするのは冒頭で触れたTEC-FORCEなどの技術者や専門家だけでなく、住民まで含まれることを考慮しておく必要がある。警戒避難や復旧対策の場面で使われることがその理由だが、調査手法の改善は精度の確保を追求するだけでなく、結果のわかりやすさの観点も重要といえる。極端にいえば「見るだけでわかる」姿を理想と考えている。本誌の購読者である皆さんのお知恵もお借りして技術開発を図っていきたい。

参考文献

1) JAXA：陸域観測技術衛星2号「だいち2号」判読事例集、2015
http://www.sapc.jaxa.jp/work/antidisaster/images/ALOS2report.pdf
2) 九州地方整備局：平成29年7月九州北部豪雨災害に関する情報
http://www.qsr.mlit.go.jp/bousai_joho/H29hokubugouu.html
3) 山下久美子ら：衛星観測条件に着目したSAR強度画像による土砂移動箇所判読精度の検証　－九州北部豪雨の事例－、平成30年度砂防学会研究発表会概要集、pp737-738、2018
4) 鈴木大和ら：ヘリコプターによる土砂災害危険箇所の緊急点検の提案、土木技術資料、vol.60、pp8-11、2018
5) 水野秀明：ドローン使用の今後の展望、地質と調査、通巻148号、pp1-4、2017
https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/geo-se/pdf/jgca148.pdf