

特集報文：日本の安全と成長を支える土木技術

土砂災害を早期検知する技術の開発動向

渡 正昭・桜井 亘・松下一樹・神山嬢子

1. はじめに

平成26年8月に広島市で発生した土石流災害をはじめとして近年、社会的に大きな影響を及ぼす大規模な土砂災害がたびたび発生している。このような土砂災害から人命を守るためには「いつ」、「どこで」発生するかを事前に予測することが必要であり、現在、市町村においては降雨による土砂災害警戒情報に基づいて住民に対する避難の勧告や指示を行っている。

その一方で、土砂災害には予兆や前兆現象を伴う場合があることが古くから知られており(表-1)、実際にこれらの情報をもとに事前避難して助かった事例が報告されている(図-1)。しかし、こういった情報が自治体まで共有されることは少なく、自治体レベルでの活用には結びついていないのが現状である。降雨以外にもこうした情報もできるかぎり活用してゆくことで土砂災害の発生をいち早く検知し、住民の警戒避難や発災時の初動体制の強化につなげてゆくことが望ましい。

表-1 土砂災害の前兆現象

	土石流	がけ崩れ	地すべり
視覚	<ul style="list-style-type: none"> 川の水が濁る 降雨継続中に川の水位が下がる 落石 濁水に流木が混じる 渓流内の火花 	<ul style="list-style-type: none"> がけに割れ目・緩み 小石が落ちる 表面流が生じる 斜面上での湧水 湧水の濁り 樹木の傾斜 	<ul style="list-style-type: none"> 地面にひび割れ、陥没・隆起 沢、井戸の水の濁り 斜面上の湧水 池沼水位の急減 樹木の傾斜 家屋、擁壁の亀裂や傾斜
聴覚	<ul style="list-style-type: none"> 地鳴り、山鳴り、 転石同士の衝突音 	<ul style="list-style-type: none"> 樹木の揺れる音 樹木の根が切れる音 地鳴り 	<ul style="list-style-type: none"> 樹木の根が切れる音
嗅覚	<ul style="list-style-type: none"> 腐った土の匂い 	-	-


■前兆現象が避難勧告発令や避難につながった事例
 平成24年九州北部豪雨災害
 (福岡県うきは市)

平成24年7月13日
 23:59 土砂災害警戒情報発表
 深夜 自主避難

- ・ **地域住民からの情報**
- ・ **浸水情報**
- ・ **人家裏の崖から小石が落ちてくる**

6:45 避難勧告発令
 9:00頃 土石流発生

※国土交通省砂防部資料より



土石流による土砂の氾濫と家屋等の被害

図-1 事前に避難した事例(福岡県うきは市)

そこで、土砂災害に関する降雨以外の情報を警戒避難に有効に活かす観点から、本稿では、広域的な情報の収集・分析に有利と考えられるリモートセンシングの手法としてSAR(合成開口レーダ)や、現地の土砂移動現象をより直接的に観測する手法としてハイドロフォンなどの流砂量や水理水文観測機器を用いた土砂災害検知技術を紹介する。さらに、これらの物理的なセンサ類とは全く異なるSNS(Social networking service)等のいわゆるつぶやき情報を「ソーシャルセンサ」ととらえて土砂災害の前兆・予兆を検知するための技術開発動向について紹介するものである。

2. 土砂災害検知に関する研究開発の動向

2.1 SARによるリモートセンシング

SARは、衛星に搭載するなどして、離れた場所から土地被覆の変化や微少な変位を面的に観測可能であり、例えば写真を取得する光学系センサと比較して天候や昼夜の影響を受けず観測できる利点がある。そこで繰り返し観測を実施し位相差を計測することで、地表変位の範囲や規模等を把握(干渉SAR¹⁾解析)しようとする研究が行われてきた。すでに地震や火山噴火に伴う地表変位については、国土地理院により人工衛星から撮像したSAR(PALSAR-2)画像を用いた解析が実施されホームページにおいて公表されている²⁾。地すべりや崩壊についても干渉SAR解析により予兆や前兆現象となる地表変位が観測できないか研究開発が行われてきている³⁾(図-2)。

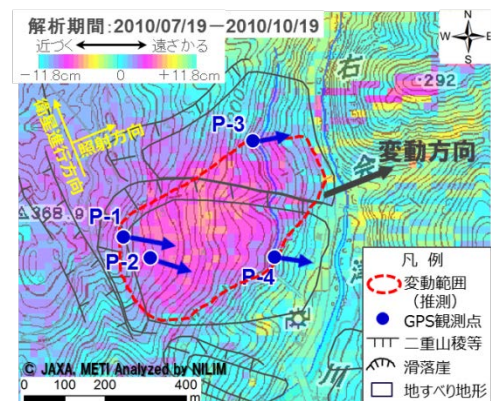


図-2 干渉解析による斜面変動検出事例²⁾

しかし、地表変位は観測環境や土地被覆状況等の要因により良好な干渉性が得られないことも多い。例えば、予め継続的な測量が実施されている地点について干渉SAR解析により地表変動が検出できるか検討を実施した結果によれば⁴⁾、衛星視線方向の地表変動量35mmから85mmの範囲に収まる地点については地表変動が検出できたが、その範囲外の地点については検出できない割合が増えた。これまでに、干渉SAR画像から判読した斜面変動範囲と現地調査等から推定された斜面変動範囲を対比することで、地すべり地におけるGPS観測点の設定に活用された事例がある⁵⁾。しかし、干渉SAR解析のみから土砂災害の前兆と考えられる地表変位を検知しようとする、監視基準値の検討や斜面変動箇所の抽出が可能な環境条件、変動特性（変動速度、規模等）などを明らかにして、解釈の難しさを改善する必要がある。さらに、実対応の判断に結びつけるためには、斜面変動箇所と保全対象との位置関係から土砂移動の影響が保全対象に及ぶか評価する研究を進めることが重要だと考えている。

一方、光学系センサ等の使用条件が十分に整わない状況において情報空白時間を生じさせることは危機管理上、望ましく無い。そのため、広域観測手法にSAR観測を選択肢として増やすことで土砂災害検知の遅延を防ぎ早期対応に結びつけようとする研究開発が行われている。平成23年紀伊半島大水害時の対応では、悪天候が続いたため、人工衛星搭載SAR（TerraSAR-X）による単偏波SAR画像を用いた河道閉塞箇所の判読が行われ、土砂災害防止法に基づく緊急調査に活用された⁶⁾。今後、SAR画像判読による土砂災害対応を定着化させるためには、機器や電送技術の開発はもとより、崩壊地や河道閉塞箇所抽出を目的とした画像解析技術の開発、機動性や分解能の異なる人工衛星搭載SARや航空機搭載SAR（ドローンを含む）を組み合わせた運用について検討が必要と考えている。

このように、SARによる土砂災害早期検知技術が現場で活用されつつある一方で、確実に土砂災害を早期検知するためには課題も多い。国土監視に向けた研究開発を推進する必要があると考えている。

2.2 流砂量・水理水文観測情報による土砂災害検知

現在、山地流域の土砂動態を把握するため、直轄砂防事務所により約90箇所において、ハイドロフォン（掃流砂が河床に設置した金属製パイプに衝突する際に発する音により、掃流砂量・掃流砂の粒径を計測する機器）や濁度計等を用いた流砂量観測が実施されている（図-3）。国総研砂防研究室においても、流砂量観測手法の提案や、観測を行う直轄砂防事務所職員への助言を行うなど、観測の普及に取り組んできた。

流砂量観測の目的は、砂防基本計画の策定や総合的な土砂管理の検討に資することである。一方、近年、大規模な土砂災害が頻発しているため、危機管理の観点から流域監視の技術向上が求められている。そこで、出水期間中の流域内の土砂動態をリアルタイムで把握できる流砂量観測により、土砂災害の発生予測や早期検知等、流域監視を行うことが考えられる。以下に流域監視へ流砂量観測の適用が可能と考えられる観測事例を示す。

天竜川右支与田切川では、源流域に土石流が頻発する荒廃溪流があるため、天竜川上流河川事務所が直接採取による土砂濃度やハイドロフォンを用いた流砂量観測を実施（図-3）するとともに、観測地点から6km上流でCCTVによる監視を行っている。このうち、土砂濃度の観測結果とカメラ画像の解析から、体積土砂濃度／水位の値がある値以上になると、土石流や土砂濃度が高い流れが発生していることが確認されている⁷⁾。同程度の水位でも土石流発生の有無があるため、土砂濃度と水位観測の実施により、土石流発生検知や発生タイミングが把握できる可能性を示す事例である。

図-4には、ハイドロフォンによる観測結果を示す。通常の出水では、掃流砂量の増減は水位変化



図-3 山地河道における流砂水文観測状況の例（天竜川水系与田切川流域坊主平砂防堰堤）

と比例する関係が見られるが（図-4上段）、上流で土石流が発生した降雨時の観測結果（図-4下段）では、水位減少期において、増水期より掃流砂量が多く、水位との関係は、左回りのループを描くヒステリシスが見られる。また、土石流の影響が伝搬したと考えられる時間帯以降、水位減少期に

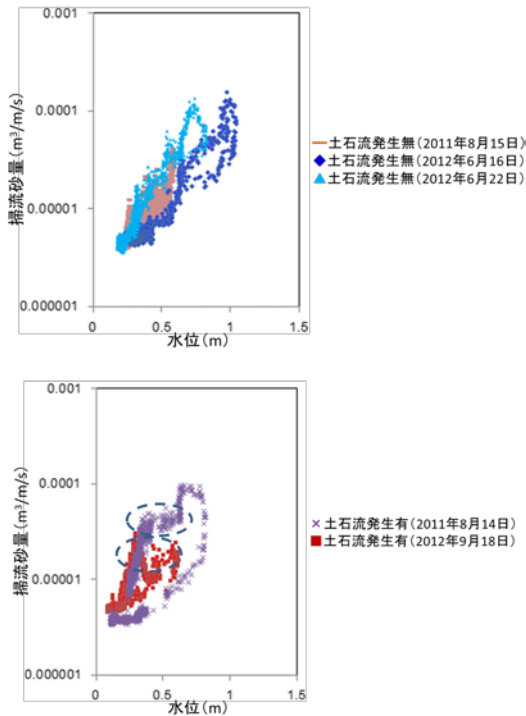


図-4 掃流砂量と水位の関係
上段；土石流非発生、下段；土石流発生

も関わらず、一時的な掃流砂量の増加や低減しない傾向（破線内）が見られる。このように、ハイドロフォンを用いて土砂流出特性の変化をリアルタイムで把握することにより、上流域の土砂生産の早期検知、発生予測が可能と考えられる。

今後は、全国における出水時の流砂量観測結果の分析を行い、土砂生産時やその前後の土砂流出特性の変化から、土砂災害の早期検知や予測につながる手法の検討を行っていく予定である。

2.3 SNSなどのソーシャルセンサ

インターネット接続が可能な携帯端末やコミュニケーションを重視したインターネット上のサービスであるSNSの普及により、これらを防災分野において活用する動きが加速している。

高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部防災・減災分科会では、SNS等民間情報の防災活用について検討が行われ、これを受けてSNSを利用した情報収集を行うための「検索用語集」が提案されている⁸⁾。また、国立研究開発法人情報

通信研究機構では、災害時にSNS上の膨大な災害関連情報に対して、平易な質問を入力するだけで有用な情報を容易に取得できるシステムが開発されている⁹⁾。

これまで、雨量計や地震計などの物理量を計測するセンサ（物理センサ）が防災対応における監視に用いられてきた。一方、人（ソーシャルセンサ）によって感知（見た、聞いた、感じた等）された防災に関する情報は、物理センサでは観測できなかった多様な現象を把握できるようになるとの指摘がある¹⁰⁾。

このような中、国総研では、内閣府「避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン」において避難指示の判断基準として位置づけられている「山鳴り」や「流木の流出」等の前兆現象や、災害の発生状況をソーシャルセンサで把握し、これらの情報を警戒・避難システムに組み込むための研究を行っている。本研究では、Twitterを用いて、前兆現象等に関するキーワードにより収集するツイートが投稿された場所を推定し、その地域の土砂災害の切迫性の高まりを把握する手法を検討している。Twitterは、SNSの中でも情報のリアルタイム性が高く、他ユーザーとの情報交換・転送が容易であるといった特徴がある。これまでに、人口規模が大きい地域ではソーシャルセンサから得られた情報（Twitter情報）による前兆現象等の把握は相当程度有効であることや、住民がおかれた状況における心情・心理等もとらえることができ、避難勧告・指示等の判断に役立つ可能性があることが分かってきている¹¹⁾（図-5）。そこで、このような情報を警戒・避難システムに組み込むため、Twitter情報を活用した災害情報収集システムの試作版の開発とユーザーインターフェース等のあり方の検討を行っている。詳細は、本号の一般報文を参照されたい。

ソーシャルセンサを防災情報として活用する施策は、平成11年に開始され、住民から土砂災害の前兆や発生に関する情報を地方自治体の防災部に連絡してもらう「土砂災害110番」など、これまでも取り組まれてきたが、携帯端末やSNSの普及が、よりソーシャルセンサとしての機能を高め、防災システムにおける実効性を高めているように考える。

今後、ソーシャルセンサから得られる有効な情

報を防災システムにおいて活用できるよう、研究開発された技術の社会実装に向けた取り組みが進められることが期待される。

災害についての研究・技術開発を進め、これらの早期検知技術と効果的に組み合わせることが有効であると考えられる。

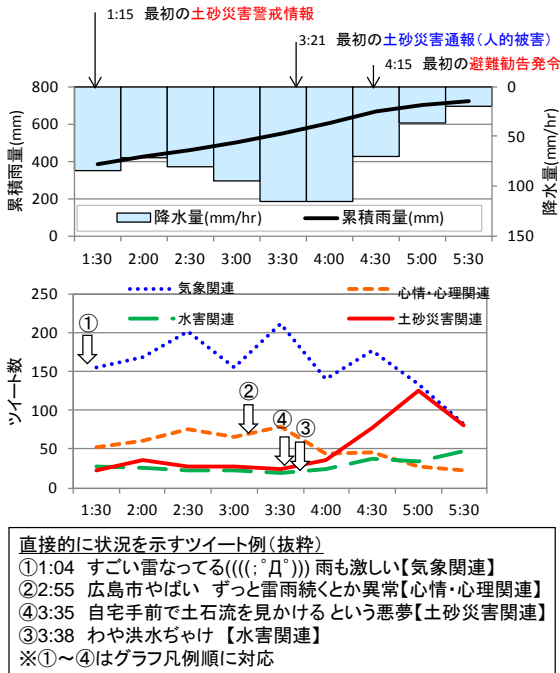


図-5 ツイートによる災害情報の把握 (平成26年8月広島豪雨災害)

3. まとめ

降雨以外の情報を元にした土砂災害検知技術のうち現在、国総研で取り組みを進めているものについての開発動向を紹介した。

SARやSNSなどは必ずしも土砂災害検知を目的に技術が進んできたわけではないし、スマートフォンなどの流砂量・水理水文観測情報についても元々は砂防事業の実施や総合土砂管理の観点から観測機器を設置し収集されてきたものである。このように技術の革新により新たな情報の入手が可能になり、土砂災害の早期検知に役立つ途が開かれるようになりつつある。

今後、さらに土砂災害の警戒避難をより迅速かつ高精度にしてゆくには、いま一度、降雨と土砂

参考文献

- 1) 佐藤弘行：用語解説（干渉SAR）、土木技術資料、第56巻、第1号、2014
- 2) 国土地理院HP：国土地理院干渉SARホームページ、<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/>、2015
- 3) 神山嬢子、江川真史、水野正樹、國友優：干渉SAR解析による斜面の微小変動の把握、土木技術資料、第57巻、第5号、pp.14～17、2015
- 4) 江川真史、國友優、神山嬢子、松下一樹、吉川和男、三五大輔、平田育士：国土監視ツールとしてのLバンドSAR干渉解析の活用について、平成27年度砂防学会研究発表会概要集B、pp.194～195、2015
- 5) 鈴木啓、雨貝知美、森下遊、佐藤浩、小荒井衛、関口辰夫：山形県月山周辺におけるSAR干渉画像を用いた地すべりの検出、国土地理院時報、No.120、pp.1～7、2010
- 6) 国土技術政策総合研究所、(独) 土木研究所：平成23年（2011年）紀伊半島台風12号土砂災害調査報告、国総研資料第728号・土木研究所資料第4260号、pp.17～21、2013
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0728.htm>
- 7) 蒲原潤一、中島一郎、福本晃久、玉置和基、山下伸太郎、内柴良和、家田泰弘、佐伯響一、梅村裕也、江口友章：天竜川水系と田切川における土砂移動特性に関する考察、平成24年度砂防学会研究発表会概要集、pp.300～301、2012
- 8) 内閣官房情報通信技術(IT)総合戦略室：SNSを活用した情報収集 検索用語集－防災・減災－、2015、
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/pdf/kensakuyougosyu.pdf
- 9) 国立研究開発法人情報通信研究機構：対災害SNS情報分析システム「DISAANA（ディサーナ）」をWeb上に試験公開、2014
<http://www.nict.go.jp/press/2014/11/05-1.html>
- 10) 楠剛史：ソーシャルセンサとしてのTwitter-ソーシャルセンサは物理センサを凌駕するか？-、人工知能学会誌27巻1号、pp.67～74、2012
- 11) 國友優、神山嬢子：Twitter情報を活用した土砂災害の前兆・発生状況把握の可能性、土木技術資料、第57巻、第9号、pp.18～21、2015

渡 正昭



国土交通省国土技術政策
総合研究所土砂災害研究
部長
Masaaki WATARAI

桜井 亘



国土交通省国土技術政策
総合研究所土砂災害研究
部砂防研究室長
Wataru SAKURAI

松下一樹



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 主任
研究官
Kazuki MATSUSHITA

神山嬢子



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 主任
研究官
Joko KAMIYAMA