■被害が広域に及ぶ大規模な土砂災害に対する調査技術の活用事例に基づく定量的分析

A quantitative analysis of emergency survey techniques for large-scale sediment disasters

林 真一郎* Shin-ichiro HAYASHI / 北海道大学大学院農学研究院 Research faculty of Agriculture, Hokkaido University

内田太郎 Taro UCHIDA / 国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management

桂 真也 Shin'ya KATSURA / 北海道大学大学院農学研究院 Research faculty of Agriculture, Hokkaido University

笠井美青 Mio KASAI / 北海道大学大学院農学研究院 Research faculty of Agriculture, Hokkaido University

小山内信智 Nobutomo OSANAI / 北海道大学大学院農学研究院 Research faculty of Agriculture, Hokkaido University

丸谷知己 Tomomi MARUTANI / 北海道大学大学院農学研究院 Research faculty of Agriculture, Hokkaido University

キーワード：土砂災害，調査技術

Key words: Sediment disaster, Survey technique

1. はじめに

近年，平成23年（2011年）3月の東日本大震災や同年9月の紀伊半島大水害等の激甚な地震・豪雨により，複数の都道府県に被害が及ぶような，被害が広範囲に及ぶ大規模な土砂災害（以下，広域大規模土砂災害）が発生している。広域大規模土砂災害に対する危機管理における初動時の対応の代表的なものとして，国土交通省が実施する土砂災害防止法に基づく緊急調査（以下，緊急調査，全国治水砂防協会，2016），TEC-FORCE（緊急災害対策派遣隊，国土交通省水管理・国土保全局，2016）による被災自治体支援等の制度・体制の整備・運用が行われている。

上記のような初動時の対応を円滑に実施するためには，例えば，緊急調査では河道閉塞（天然ダム）の形成の有無，TEC-FORCEの活動では土砂災害が集中して発生している地域といった被害状況を初動時に迅速に調査し，把握することが，危機管理に関する人的資源・資機材の配分を適切に行うために重要である。広域大規模土砂災害発生時に，どのような種類の調査技術が用いられたか，及び，調査結果については個別に多く記録がなされているものの（例えば，国土技術政策総合研究所・土木研究所，2011；国土技術政策総合研究所・土木研究所，2013），調査技術の調査能力を定量的に把握・比較し，評価を行った事例はほとんどない。また，被害の及んでいる可能性のある範囲・天候等の災害の発生状況，調査技術の特徴に基づいて，調査技術の組み合わせについて検討した事例もほとんどない。このため，より迅速な被害状況把握ができるような，調査技術のさらに適切な活用方法

について検討ができていない。

本研究では，近年の広域大規模土砂災害の事例として，平成23年に発生した東日本大震災（地震）と紀伊半島大水害（豪雨）の2つの誘因の異なる災害を取り上げ，その初動時にどのような調査がどのような量で行われたかを評価し，その結果に基づいて，初動時にどのように調査技術を組み合わせると効率的であるかについて考察を行う。

2. 災害の概要

2.1 東日本大震災

東日本大震災による土砂災害については，福島県白河市葉ノ木平地区における地すべり災害により13名の死者が生じた他，余震及び長野県北部地震，静岡県東部地震等の関連地震も含め，12県において，土石流等13件，地すべり29件，がけ崩れ97件，雪崩2件の計141件の土砂災害が発生し，死者19名，人家全壊28戸，半壊10戸，一部損壊39戸の被害が発生した（国土交通省砂防部，2011a）。国土交通省ヘリコプターによる広域調査，土砂災害発生箇所への専門家の派遣等のTEC-FORCEによる被災自治体支援が行われている（国土交通省，2011）。

2.2 紀伊半島大水害

平成23年9月の台風12号による紀伊半島大水害では，奈良・和歌山両県で17箇所の河道閉塞，和歌山県那智勝浦町において同時多発的な土石流が生じる等，特に紀伊半島に激甚な災害が発生した。21道都県において，土石流等94件，地すべり32件，がけ崩れ82件の計208件の土砂災害が発生し，死者49名，行方不明者13名，人家全壊99戸，半壊46戸，一部損壊45戸の被害が発生した（国土交通省砂防部，2011a）。河道閉塞に対する緊急調査，TEC-FORCEによる被災自治体支援が行われた（国土交通省近畿地方整備局紀伊半島大水害記録誌事務局，2014）。

* 連絡著者 / corresponding author

a) 北海道大学農学研究院
Research faculty of Agriculture, Hokkaido University
〒060-8589 北海道札幌市北区北9条西9丁目
Kita9, Nishi9, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido

b) 国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

3. 調査技術の種類と調査能力

それぞれの災害における初動時に用いられた調査技術の活用事例について、種類と調査能力の把握のために文献調査を行った。本研究において、調査能力は1日あたりの調査面積、悪天候時・夜間の調査の可否で評価を行うこととした。調査面積については、各調査技術を用いて調査が行われたと推定される面積とした。また、調査日数・時間数については、調査に着手したと推定される日・時点から調査結果が公表された時点、もしくは、次の調査のための資料となった等の結果の活用が確認された日・時点までの期間としている。1日あたりの調査面積については、調査面積を調査日数・時間数で除して求めている。

活用された調査技術の種類は以下のとおりである。

- ・ヘリコプターによる調査
- ・航空写真
- ・航空レーザ測量
- ・人工衛星により撮影された光学画像
- ・人工衛星により撮影されたSAR画像
- ・無人飛行機
- ・土砂災害危険箇所の緊急点検
- ・災害報告

各技術の概要、調査の目的・内容、文献調査結果を以降記載する。

3.1 ヘリコプターによる調査

3.1.1 技術の概要、調査の目的・内容

国土交通省では、平成28年9月現在、全国に8機のヘリコプターを保有しており、土砂災害の発生した範囲・地震や豪雨後に被害の発生が予測される範囲の調査を実施する。例えば、国土交通省北陸地方整備局の「はくりく号」(ベル式412EP型)は最大航続距離736km, 最大航続時間4.21時間の能力を有している(国土交通省北陸地方整備局, 2016)。広域大規模土砂災害の調査時においては、ヘリコプターから目視による土砂災害箇所の発見、写真・映像の撮影を行う。また、土砂災害の発生位置が確定している場合には、天然ダムの監視等にも用いられる(例えば、国土交通省近畿地方整備局紀伊半島大洪水記録誌事務局, 2014)。ヘリコプターは有視界方式による飛行のため(国土交通省関東地方整備局, 2013)、視界が確保できない悪天候時・夜間は調査ができない。

3.1.2 東日本大震災における調査事例

東日本大震災のうち、平成23年東北地方太平洋沖地震において、地震によって土砂災害が発生しやすいとされている震度5弱以上の地域の面積は56,747km²であり(小山内ら, 2014), 国土交通省砂防部(2011b)によると、崩壊地分布・天然ダムの形成の有無の把握のため、平成23年3月12日～4月12日に延べ23回のヘリコプターによる調査が実施されており(図-1), 市町村の内訳は明記されていないものの、点検対象となる震度5弱以上の212市区町村のうち、約120市町村について調査を

図-1 東日本大震災時の土砂災害に対するヘリコプターによる調査の範囲と経路((国土交通省, 2011) から抜粋)

図-2 紀伊半島大洪水における天然ダム形成状況調査のヘリコプターによる調査の範囲と経路(国土技術政策総合研究所・土木研究所(2013)より抜粋)

施した。調査結果としては、多数の土砂崩れを発見し、天然ダムが発生するような大規模な斜面崩壊は確認されなかったと記録されている。この記録に基づく、大まかな計算になるものの、1回(=1日)あたりの調査面積は1396.56km²(56,747km²÷212×120÷23)程度、有効数字を2桁とすると1,400km²と推計される。

3.1.3 紀伊半島大洪水における調査事例

紀伊半島大洪水におけるヘリコプターによる調査の事例としては、平成23年9月6日に天然ダム形成状況調査が実施され、天然ダムの湛水池の発生状況、越流侵食による水流の状況、崩壊地の規模等が調査されている(国土技術政策総合研究所・土木研究所, 2013)。調査範囲は天然ダムが発生させるような大規模な崩壊が存在した可能性のあった奈良県五條市・黒滝村・天川村・十津川村・野迫川村、和歌山県田辺市であり、この1日の調査範囲の市・村の総面積は2369.75km²である、有効数字を2桁とすると2,400km²である(図-2)。

3.2 航空写真

3.2.1 技術の概要, 調査の目的・内容

航空写真による調査は, 固定翼・回転翼の航空機に設置されたカメラにより上空から写真を撮影し得られた地表の写真について, 崩壊・土石流等の土砂移動現象を判読するものである。写真撮影のための航空機は, 有視界方式による飛行のため, 視界が確保できない悪天候時・夜間は撮影ができない。

3.2.2 東日本大震災における調査事例

国土地理院によって, 主に青森県～茨城県の沿岸部において航空写真の撮影, 及び, 写真の公開が行われているものの, 土砂災害の被害状況調査に活用された事例の記録は見当たらない(砂防学会東北地方太平洋沖地震災害調査委員会, 2013)。

3.2.3 紀伊半島大水害における調査事例

筆者らの調査(森山ら, 2011)によると, 紀伊半島大水害による崩壊土砂量の合計は約1億 m^3 であると推定される。この推定は, 大半の範囲において航空写真の判読によって実施した(図-3)。判読範囲は約48億 m^2 である。国土交通省により災害調査の先遣班が派遣された平成23年9月4日(国土交通省近畿地方整備局紀伊半島大水害記録誌事務局, 2014)を調査開始日とし, 国土交通省砂防部(2011c)によるこの調査結果の記者発表の日である10月11日までの38日間を調査期間とすると, 1日あたりの調査面積は約126.31 km^2 , 有効数字を2桁とすると130 km^2 となる。

3.3 航空レーザ測量

3.3.1 技術の概要, 調査の目的・内容

航空レーザ測量は, 航空機から地上に向けてレーザを照射し, 地表物・地物からの反射光を捉え照射した時間との差を計測するレーザ測距とGNSS測量機・IMU(慣性計測装置)から得られた航空機の位置・姿勢情報を統

図-3 紀伊半島大水害における崩壊土砂量算出のための航空写真判読範囲(森山ら(2011)より抜粋)

合し, 高精度の地形データを取得する技術である。固定翼・回転翼の航空機が用いられ, 1日あたり百数十 km^2 の計測が可能とされている。用いる飛行機は, 有視界方式による飛行が一般的であり, 視界が確保できない悪天候時・夜間の測量あまり行われない。(国土地理院, 2016; 横尾, 2014)

3.3.2 東日本大震災における調査事例

砂防学会東北地方太平洋沖地震災害調査委員会(2013)によると, 2011年4月11日に福島県いわき市で発生したマグニチュード7.0の地震に対し, 同年5月18日にいわき市内の湯ノ岳断層及び塩ノ平断層の周辺約36 km^2 の範囲において, 朝日航洋によって航空レーザ測量が実施され, 断層の動きに関する地形判読が実施されている(図-4)。

3.3.3 紀伊半島大水害における調査事例

木下ら(2012)によると, 深層崩壊による河道閉塞のあった8地区(赤谷・長殿・栗平・北股・熊野・清水・坪内・三越)について, 災害前と災害後の2時期の航空レーザ測量結果の差分解析により, 土砂移動量の算出が行われている。解析の範囲は計1.91 km^2 である。この結果の一部は, 国土交通省砂防部(2011c)による崩壊土砂量の合計に使用されており, 国土交通省により災害調査の先遣班が派遣された平成23年9月4日を調査開始日とし, 記者発表の日である10月11日までの38日間を調査期間と考えると, 1日あたりの調査面積は約0.05 km^2 となる。

3.4 人工衛星により撮影された光学画像

3.4.1 技術の概要, 調査の目的・内容

人工衛星に搭載された光学センサにより受動的に可視光・赤外線を観測し, 光学画像が撮影される。高い高度から撮影されるため, 航空写真に比べ, 一度に撮影される範囲は広い。土砂災害調査時には, 可視光の光学画像の判読を行う場合が多い。可視光を観測するため, 雲の下・可視光の得られない夜間は撮影ができない。

図-4 2011年4月11日福島県いわき市で発生した地震に対する航空レーザ測量の計測範囲(砂防学会東北地方太平洋沖地震災害調査委員会(2013)より抜粋)

図－5 東日本大震災時の土砂災害に対する光学画像の判読範囲（武士ら（2012）より抜粋）

3.4.2 東日本大震災における調査事例

既往の調査（Mizuno et al., 2011；武士ら, 2012）では、崩壊地分布の把握を目的にALOS AVNIR-2 画像（分解能10m）、ALOSパンシャープン画像（分解能2.5m）、ALOSステレオセット画像（分解能2.5m）、Google Earthコンテンツ用衛星画像に用いられているGeoEye-1等の高分解能光学画像（分解能概ね1m以下）を用い、約40,000km²の光学画像の判読を行い、崩壊地の抽出を行っている（図－5）。地震の翌12日から、調査結果が国土交通省砂防部（2011b）から公表された6月6日までの87日間の1日あたりの調査面積は約459.77km²、有効数字を2桁とすると460km²となる。

3.4.3 紀伊半島大水害における調査事例

国土交通省砂防部（2011c）の記者発表において崩壊土砂量の合計が約1億m³と算出された際に、崩壊地判読の一部に衛星写真が使用されたとの記載があるものの（国土技術政策総合研究所・土木研究所, 2013）、調査面積については記載が見当たらず不明である。

3.5 人工衛星により撮影されたSAR画像

3.5.1 技術の概要、調査の目的・内容

人工衛星に搭載された合成開口レーダー（SAR, Synthetic Aperture Radarの略）から地上に向け、斜めに照射されたマイクロ波の後方散乱波の強度を画像として記録することにより、SAR画像は取得される。SAR画像はその撮影方法からモノクロの鳥瞰図のような画像として取得される。合成開口レーダーのマイクロ波は雲を透過するため、悪天候・昼夜を問わず観測が可能である。衛星の周期・回帰日数・位置に影響をうける撮影頻度、

図－6 紀伊半島大水害災害対応時SAR画像の撮影範囲（林ら（2012）から抜粋）

衛星運用者・画像入手先の体制等により、撮影の依頼から入手まで衛星によっては十数時間から数十時間かかる（水野ら, 2013）。

3.5.2 東日本大震災における調査事例

パスコによりドイツの衛星TerraSAR-Xによる青森県～神奈川県複数のSAR画像（1画像の範囲東西約30km×南北約50km、地上分解能3m、StripMapモード）の撮影が行われているものの、土砂災害の被害状況調査に活用された事例の記録は見当たらない（砂防学会東北地方太平洋沖地震災害調査委員会, 2013）。

3.5.3 紀伊半島大水害における調査事例

筆者らは、3.1.3で実施されたヘリコプターによる天然ダム形成調査に先立って、高分解能SAR画像（衛星TerraSAR-X、撮影範囲東西約30km×南北約50km、地上分解能3m、StripMapモード）の判読により天然ダムの位置の推定を行った（林ら, 2012）。約1,500km²の範囲（図－6）について調査を実施し、観測計画の立案開始から国土交通省近畿地方整備局が判読結果を入手するまで約29時間を要した。1日あたりの調査面積は1,241.37km²、有効数字を2桁とすると1,200km²である。

3.6 無人飛行機

3.6.1 技術の概要、調査の目的・内容

無人飛行機は、航空法では、人の乗ることができない飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船であって、遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができないものと定義されており、日中の飛行・目視の範囲内での飛行等のルールの下に飛行させることとなっている（国土交通省航空局, 2016）。土砂災害における災害調査においては、ドローン（マルチコプター）による写真・動画撮影による崩壊等の被災状況把握が行われる事例がある。

3.6.2 東日本大震災における調査事例

東日本大震災における土砂災害の被害状況調査に無人飛行機が活用された事例の記録は見当たらない。

図一七 赤谷地区におけるドローンによる調査の飛行ルート (木下ら (2013) から抜粋)

3.6.3 紀伊半島大水害における調査事例

木下ら (2013) は、奈良県五條市の赤谷地区の深層崩壊において、平成24年台風4号により発生した拡大崩壊の調査にドローンを用いている (図一七)。調査は、準備・撤収を含め、平成24年6月27日9:00~17:00に実施され、調査範囲は幅450m、長さ1,100mの範囲であり、調査面積は約0.49km²である。

3.7 土砂災害危険箇所の緊急点検

3.7.1 技術の概要、調査の目的・内容

地震・豪雨による大規模な土砂災害発生により二次災害の恐れがある場合において、国土交通省・都道府県によって、土砂災害危険箇所の緊急点検が実施される。緊急点検を実施する際は、早期に終了させるため、国土交通省・都道府県では地方整備局・都道府県間の応援等の特別な調査体制を構築する。緊急点検では、土砂災害危険箇所を悉皆的に点検し、

- ・分類A 変状が大きく、緊急的な工事等を行う必要がある箇所
- ・分類B 変状が軽微で、詳細調査の実施後、必要に応じて工事等を行う箇所
- ・分類C 当面、工事等を行う必要がない箇所

のように危険度を3段階に分類して評価を行う (南・小山内, 2014)。豪雨時・夜間を除いて実施される。

3.7.2 東日本大震災における調査事例

震度5弱以上の地域の面積は56,747km²である。この範囲には、32,392箇所の土砂災害危険箇所があり、国土交通省砂防部 (2011b) によれば、平成23年6月6日時点で14都県212市区町村の31,374箇所の点検が終了している。地震が発生した平成23年3月11日の翌12日から、6月6日までの87日間を調査日数とすると、1日あたりの調査面積は約631.76km² (56,747km²×31,374÷32,392÷87)、有効数字を2桁とすると630km²となる。

3.7.3 紀伊半島大水害における調査事例

紀伊半島大水害において、土砂災害危険箇所の緊急点検が実施された記録は見当たらない。

図一八 東日本大震災と紀伊半島大水害における発生からの経過日数と災害報告件数の関係

3.8 災害報告

3.8.1 技術の概要、調査の目的・内容

災害報告は、土砂災害の被害状況把握のために恒常的に運用されている制度であり、土砂災害発生時には、都道府県の砂防主管部局は国土交通省砂防部に災害の実態を調査し発生状況を報告することとなっている (全国治水砂防協会, 2001)。国土交通省砂防部で集計され土砂災害の発生に係る公式な統計値となり、一般に公表される (例えば、国土交通省, 2012; 国土交通省, 2016)。豪雨時・夜間を除いて、災害報告のための調査は実施される。

3.8.2 東日本大震災における調査事例

国土交通省 (2016) の記録に基づき、東日本大震災の発生 (平成23年3月11日) からの経過日数と災害報告件数の関係を図一八に示す。震度5弱以上の地域の面積は56,747km²であり、災害報告件数の増加に変化がほぼ見られなくなる121日目までの1日あたりの調査面積は約468.98km²、有効数字を2桁とすると470km²である。

3.8.3 紀伊半島大水害における調査事例

国土交通省 (2012) の記録等に基づき、紀伊半島大水害に対し国土交通省近畿地方整備局に災害対策本部が設置された平成23年9月1日 (国土交通省近畿地方整備局紀伊半島大水害記録誌事務局, 2014) からの経過日数と災害報告件数の関係を図一八に示す。降雨が集中し、被害の著しかった紀伊半島の奈良・和歌山・三重3県の面積の合計は14190.03km²であり、災害報告件数の増加に変化がほぼ見られなくなる41日目までを調査期間とすると、1日あたりの調査面積は約346.09km²、有効数字を2桁とすると350km²である。

4. 結果と考察

4.1 定量的評価に基づく調査技術の組み合わせに関する考察

3.において実施した調査技術の活用事例に関する文献調査結果を調査能力の定量的評価として、1日あたりの調査面積、悪天候時・夜間での調査の可否、調査の項目について表一にまとめた。

実際の初動時の対応を念頭において、横軸には気象庁

による週間天気予報が示される 1 週間 (= 7 日間) のうちの晴天の日数を取り, 縦軸には表-1 の各調査技術の 1 日あたりの調査面積の最大値を用いて晴天の日数に応じた 1 週間の調査面積を算出した値を取り, 各調査技術の 1 週間の調査面積を図-9 に示す。無人飛行機については, 1 日あたりの調査面積が他の調査技術に比べ小さいため図-9 には含めていない。

実際の初動時の対応では, ヘリコプターによる調査は国土交通省, 土砂災害危険箇所の緊急点検・災害報告は国土交通省及び都道府県の自らの人的資源・資機材を用いて優先的に実施される。一方で, 例えば, 悪天候が続いた場合, これらの調査に悪天候時に調査可能な調査技術を組み合わせなければ, 調査面積を広げることができず, 迅速な被害状況の把握が困難となる。

調査技術の定量的な評価に基づいて, 図-9 のような図を作成することによって, 向こう 1 週間の天候と被害が及んでいる可能性のある面積を指標に, 調査技術の適切な組み合わせの選択を行うことが考えられる。今回の検討は, 少ない事例に基づくものであり, 更なるデータの蓄積による精度向上が必要である。また, 土砂災害危険箇所の緊急点検や災害報告の調査の効率については, 従事する職員数, 交通途絶の状況等の対象地域の調査の容易さにより, ある程度変化するものと考えられるが, 現時点で入手可能な資料では評価が困難であり, 本研究では議論ができていない。

4.2 調査技術の調査の項目に基づく組み合わせに関する考察

3. で述べたとおり, 調査技術によって, 得られる情報が異なることから, 調査技術の特徴に応じて調査の項目は異なっていると考えられる。

調査の項目から調査技術の特徴について, 整理すると, 調査技術は, 崩壊地分布・天然ダム形成の有無の把握を行う概略的な調査技術と崩壊土砂量の算出・断層の動きの把握・拡大崩壊の状況把握・土砂災害危険箇所の危険度の評価・土砂災害の発生状況を行う詳細な調査技術として大別することができる(表-2)。表-1, 図-9 で分析を行った被害が及んでいる可能性の範囲の広さを項目に加え, 調査技術について, 表-2 のとおり整理を行った。表-2 のような整理を実施することにより, 定性的ではあるものの, 調査技術の調査の項目・調査能力に基づいた調査技術の選択の目安とすることができると考えられる。

5. おわりに

本研究では, 広域大規模土砂災害の代表事例として平成23年に発生した東日本大震災, 紀伊半島大水害における調査技術の活用事例について文献調査を実施し, 調査技術の定量的評価を試みた。また, 実施した定量的評価に基づいて, 調査技術の適切な組み合わせについて考察を行った。以下, 本研究で明らかにした事項について記載する。

表-1 東日本大震災と紀伊半島大水害における調査技術の活用事例に基づく調査能力

調査技術	文献	調査面積 (A)	調査日数 もしくは 調査時間数 (D)	1日あたりの 調査面積 (A/D)	悪天候時・夜間での 調査の可否
ヘリコプターによる調査	東日本大震災: 国土交通省河川局砂防部 (2011) 紀伊半島大水害: 国土技術政策総合研究所・土 木研究所(2013)	東日本大震災: 32,121km ² 紀伊半島大水害: 1機あたり 2369.75km ²	東日本大震災: 23回 (=23日) 紀伊半島大水害: 1回 (=1日)	2,400km ² ~ 1,400km ²	×
航空写真	紀伊半島大水害: 森山ら(2011)	4,800km ²	38日	130km ²	×
航空レーザ測量	東日本大震災: 砂防学会太平洋沖地震災害調 査委員会(2013) 紀伊半島大水害: 木下ら(2012)	東日本大震災: 36km ² 紀伊半島大水害: 1.91km ²	東日本大震災: 1回 (=1日) 紀伊半島大水害: 38日	36km ² ~ 0.050km ²	×
人工衛星により撮影された 光学画像	東日本大震災: Mizuno et al.(2011), 武士ら (2012)	40,000km ²	87日	460km ²	×
人工衛星により撮影された SAR画像	紀伊半島大水害: 林ら(2012)	1,500km ²	29時間	1,200km ²	○
無人飛行機	紀伊半島大水害: 木下ら(2013)	1機あたり 0.49km ²	1日	0.49km ²	×
土砂災害危険箇所の緊急点検	東日本大震災: 国土交通省河川局砂防部 (2011)	54,964km ²	87日間	630km ²	△ (豪雨時・夜間は除く)
災害報告	東日本大震災: 国土交通省(2016) 紀伊半島大水害: 国土交通省(2012)等	東日本大震災: 56,747km ² 紀伊半島大水害: 14,190km ²	東日本大震災: 121日 紀伊半島大水害: 41日	470km ² ~ 350km ²	△ (豪雨時・夜間は除く)

図－9 1 週間の内の晴天の日数と 1 週間の各調査技術の調査能力（無人飛行機は除く）

表－2 調査技術の調査の項目・調査能力に基づいた調査技術選択の目安

	被害の及んでいる可能性の範囲	広い	狭い
概略的な調査技術	防災ヘリコプター	○	○
	光学衛星画像	○	
	SAR衛星画像	○	
詳細な調査技術	災害報告	○	○
	土砂災害危険箇所の緊急点検	○	○
	航空写真	○	○
	航空レーザ測量	○	○
	無人飛行機		○

- ・東日本大震災、紀伊半島大水害における調査技術の活用事例について文献調査を実施し、広域大規模土砂災害に用いる調査技術の定量的評価を行った（表－1）。
- ・定量的評価結果を踏まえ、被害のおよんでいる可能性のある範囲と天候に基づいて、調査面積を最大にする調査技術の組み合わせを明らかにした（図－9）。
- ・調査の項目に着目し、調査技術の特徴・被害のおよんでいる可能性のある範囲に着目し、調査技術の選択する際の目安となる表を作成した（表－2）。

謝 辞

本研究は、砂防・地すべり技術センターの平成28年度砂防・地すべり技術センター研究開発助成「土砂災害規模の定量的評価手法に基づく大規模災害の特徴と社会的影響に関する研究（研究代表者 小山内信智）」による助成を受けて行った。

また、本研究を進めるにあたり、北海道大学流域砂防学研究室の針ヶ谷元基さん、溝口芽衣さん、野坂隆幸さんには、東日本大震災の記録等の資料整理に多くの協力

を頂いた。
査読者からは本稿の改善に多くの有益な意見を頂いた。
ここに謝意を表します。

引用文献

林真一郎・岡本敦・水野正樹・佐藤匠・山越隆雄・中野陽子・横田浩・野田敦夫・吉川和男（2012）：高分解能SAR衛星画像を用いた台風12号災害での河道閉塞箇所の推定，平成24年度砂防学会研究発表会概要集，No. 66, pp. 186－187.

木下篤彦・神野忠弘・江川佳苗・島田徹・林栄明・笠原拓造（2012）：紀伊半島大水害で発生した河道閉塞における航空レーザ計測データを活用した土砂移動実態把握，平成24年度砂防学会研究発表会概要集，No. 66, pp. 596－597.

木下篤彦・島田徹・笠原拓造・林栄明・名草一成・小川内良人・村木広和（2013）：回転翼型マイクロUAVを用いた深層崩壊箇所の災害調査，砂防学会誌，Vol. 66, No. 3, pp. 51－54

国土地理院（2016）：航空レーザ測量，http://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser_index.html（参照日2016年9月19日）

国土技術政策総合研究所・土木研究所（2011）：平成23年（2011年）東北地方太平洋地震土木施設災害調査報告，国土技術政策総合研究所資料646号・土木研究所資料4202号，486p.

国土技術政策総合研究所・土木研究所（2013）：平成23年（2011年）紀伊半島台風12号土砂災害調査報告，国土技術政策総合研究所資料728号・土木研究所資料4260号，213p.

国土交通省（2011）：今後の土砂災害対策を考える会第2回（平成23年6月1日）配布資料 資料4－1 東日本大震災における土砂災害対策への対応について，http://www.mlit.go.jp/river/sabo/kongo_dosyasaigai/02/110601_shiryu4-1.pdf（参照日2016年5月4日）

国土交通省（2012）：災害・防災情報 平成23年台風第12号及び15号による被害状況等53報，http://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_110901.html（参照日2016年09月13日）

国土交通省（2016）：災害・防災情報 東日本大震災災害情報1報～130報，http://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_110311.html（参照日2016年9月13日）

国土交通省北陸地方整備局（2016）：ほくりく号の概要，<http://www.hrr.mlit.go.jp/bosai/hgo/>（参照日2016年5月16日）

- 国土交通省関東地方整備局 (2013): 防災ヘリコプター維持管理・運営事業業務要求水準書, http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000084202.pdf (参照日2016年9月13日)
- 国土交通省近畿地方整備局紀伊半島大洪水記録誌事務局 (2014): 2011年紀伊半島大洪水 国土交通省近畿地方整備局災害対応の記録, 199p.
- 国土交通省航空局 (2016): 無人航空機 (ドローン, ラジコン機等) の安全な飛行のためのガイドライン, <http://www.mlit.go.jp/common/001128047.pdf> (参照日2016年9月21日)
- 国土交通省水管理・国土保全局 (2016): TEC-FORCE (緊急災害対策派遣隊) について, <http://www.mlit.go.jp/saigai/TEC-FORCE.PDF> (参照日2016年5月23日)
- 国土交通省砂防部 (2011a): 平成23年に発生した土砂災害, http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h23dosha/h23doshasaigai_gaiyo.pdf (参照日2016年9月13日)
- 国土交通省砂防部 (2011b): 東北地方太平洋沖地震等に伴う土砂災害危険箇所の緊急点検結果について, <http://www.mlit.go.jp/common/000146556.pdf> (参照2016年8月8日)
- 国土交通省砂防部 (2011c): 台風12号に伴う豪雨による奈良県・和歌山県・三重県での崩壊土砂量について (速報値), <http://www.mlit.go.jp/common/000168726.pdf> (参照日2016年9月17日)
- 南哲行・小山内信智 (2014): 現代砂防学概論, 古今書院, 184p.
- 水野正樹・神山嬢子・江川真史・佐藤匠・蒲原潤一・林真一郎 (2013): 単偏波の高分解能SAR画像による河道閉塞箇所判読調査手法 (案), 国総研資料760号, 30p.
- Mizuno M., Sato T., Hayashi S., Nishi M., Katsura S., Nakagawa K. (2011): Investigation of landslides caused by the 2011 Tohoku Earthquake using optical satellite images, *International Journal of Erosion Control Engineering* Vol. 4, No. 2, pp. 48–56.
- 森山裕二・岡本敦・水野正樹・内田太郎・林真一郎・石塚忠範 (2011): 2011年台風12号による紀伊半島における土砂災害の速報, *土木技術資料*, Vol. 53, No. 12, pp. 4–7.
- 小山内信智, 高原晃宙, 井上公夫, 宅見唯明, 小川洋 (2014): 南海トラフ巨大地震による土砂災害の発生に関する一考察, 平成26年度砂防学会研究発表概要集B, pp. 320–321.
- 砂防学会東北地方太平洋沖地震災害調査委員会 (2013): 砂防学会砂防学会東北地方太平洋沖地震災害調査委員会報告書, 203p.
- 武士俊也・水野正樹 (2012): 地震による地すべり発生箇所予測と衛星による広域崩壊地調査, 平成24年3月13日 (東京会場)「国総研・土研東日本大震災報告会～震災から一年経て, 見えてきたこと」, <http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h23tohoku/houkoku2/happyou/10.pdf> (参照日2016年9月14日)
- 横尾泰広 (2014): 航空レーザ測量の概説と最新動向, *フォレストコンサル*, No. 137, pp. 17–26.
- 全国治水砂防協会 (2001): 砂防関係事業災害対策の手引き, 289p.
- 全国治水砂防協会 (2016): 改訂版土砂災害防止法令の解説－土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律－, 365p.
- (原稿受付2016年10月13日, 原稿受理2016年12月21日)