特　集　土砂災害と防災・減災（その１）

□近年の多発する土砂災害にどう備えれば良いのか

岩手大学名誉教授・NPO 法人土砂災害防止広報センター理事
井良沢　道　也

１．はじめに

近年においても集中豪雨等により土砂災害があとを絶たない。令和４年には、42道府県で788件の土砂災害が発生し、死者２名、人家被害284戸の被害が生じた（土石流等、地すべり、がけ崩れが発生した件数、１月１日から12月21日までの速報値）[1)]。国土交通省によると、８月・９月の合計では、32道県で524件の土砂災害が発生し、直近10年（H24-R３）の同期間の平均発生件数（366件）を上回った。８月３日からの大雨は全国各地の36のアメダス観測地点で１時間降水量の観測史上１位を更新、その結果、土砂災害が局所的かつ集中的に発生した。台風第15号では全数の９割以上の167件の土砂災害が静岡県で発生した。これは単一の台風、単一の県で発生した件数として歴代２位であった（※１位は令和元年東日本台風での宮城県の254件）。さらに、大晦日の令和４年12月31日には山形県鶴岡市西目で大規模斜面崩壊が発生し、２名の方が犠牲となった。

図-１に昭和57年以降の土砂災害発生件数の推移を示す。近年の土砂災害の発生件数の推移は減少するどころか、増加している状況にある。

2010年代以降の日本は多雨期に入った可能性あり、温暖化による水蒸気輸送量の増大が豪雨の極端化につながっているとの指摘もある。これまで

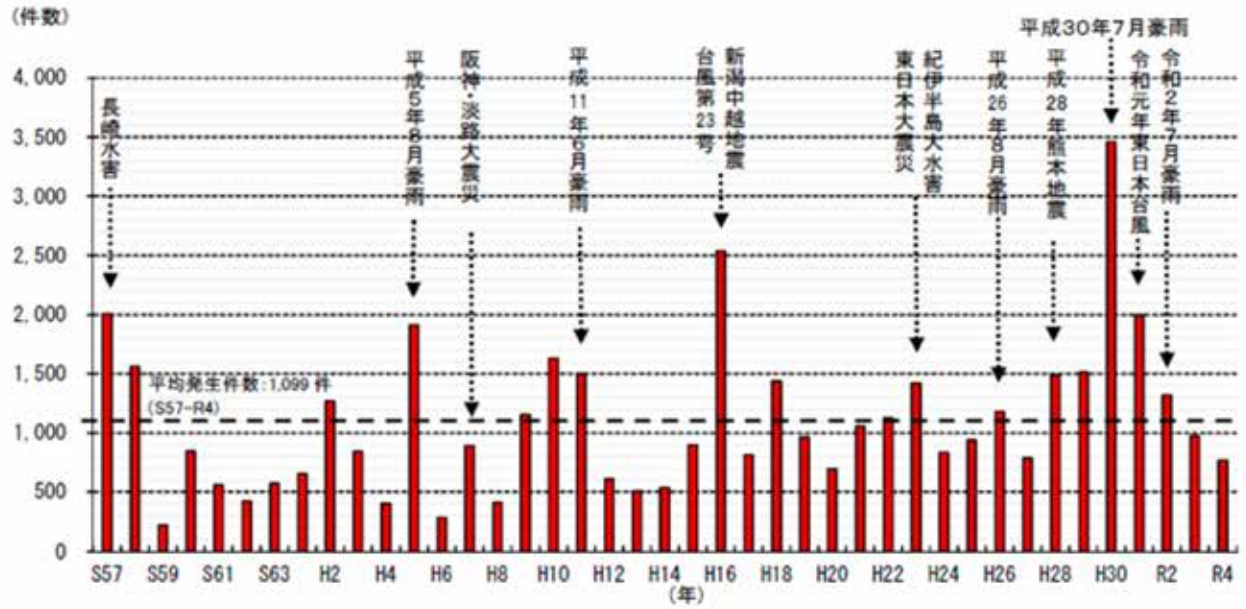


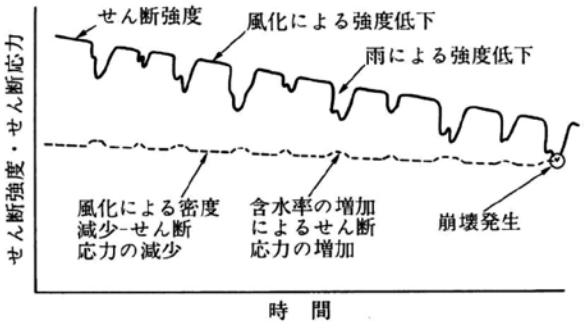
図-１　土砂災害発生件数の推移（Ｓ57～Ｒ４）（１月１日から12月21日までの速報値）[1)]

豪雨の少なく「雨慣れ」のしていない斜面が多くある北海道や東北地方で豪雨災害の多発化傾向が顕著である。

２．土砂災害発生の仕組み

山がちで平地の少ない我が国では、近年は年間で平均約1000件程度の土砂災害が発生している（図−１）[1)]。土砂災害は山地流域や中山間地だけではなく、都市部での斜面や谷・沢でも発生する。

代表的な土砂災害としては、表層崩壊、地すべり、土石流があげられる。表層崩壊は、斜面土層内のせん断強度が、土層の風化等により徐々に低下したり、豪雨時に含水率や地下水位が上昇することにより一時的に低下し、斜面土層にかかっているせん断力よりも小さくなったときに発生する。土のせん断強度の長期的及び短期的変化と崩壊発生の条件を模式的に図−２に示す。経年的な風化により斜面中の土の強度は低下していることに留意すべきである。



図−２　土のせん断強度の長期的及び短期的変化と崩壊発生の条件

表層崩壊の発生の仕組みについて述べる。表層崩壊の崩壊地の横断形状は一般に、深さに比べて幅が非常に大きいため、側面の抵抗、拘束などの３次元的な影響を考慮しなくて良い。このため、２次元的な取り扱いが可能である。このため、無限長斜面を想定した斜面安定解析がよく用いられる。無限長斜面を想定した斜面安定解析は、仮定として、地表面、地下水面、基盤（すべり面）は互いに平行な平面であるとし、すべり面上で単位面積を底辺とする斜面のつり合条件を考えると、図−３に示すようになる。

自重：$W = (w_0 h_0 + w_1 h_1)\cos\theta$

すべり面にはたらく垂直力：$N = W\cos\theta$

崩壊（すべり）を起こそうとする力（せん断力）：$T = W\sin\theta$

間隙水圧（浮力）：$u = \rho_w h_1 \cos\theta$

ただし、θ：斜面勾配、：h すべり面の深さ、w_0：土中が浸透水で満たされていない状態での単位容積重量、w_1：土中が浸透水で満たされている状態での単位容積重量、h_0：地下水面までの深さ、h_1：地下水層の厚さ、ρ_w：水の比重、すべり面にはたらく土の極限せん断抵抗力はモール・クーロンの破壊規準にならい、崩壊（すべり）に対する抵抗力Ｒは次式となる。

$$R = C + (N - u)\tan\phi \qquad (1)$$

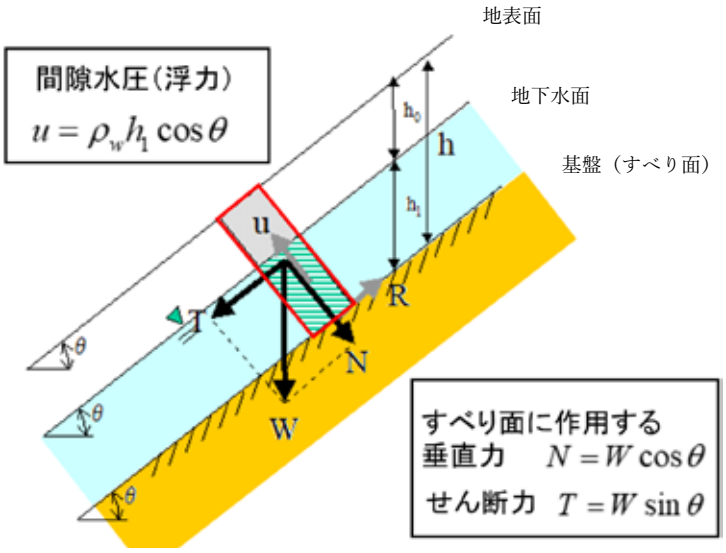
ただし、C：土の凝集力（粘着力）、ϕ：土のせん断抵抗角（内部摩擦角）である。なお斜面に生えている樹木の根径の緊縛力は C を増加させることで評価される。

以上より斜面が安定であるための条件は、斜面の安全率 F_s という概念を導入すると、次のように表すことができる。

$$F_s = \frac{\text{崩壊に抵抗する力}}{\text{崩壊を起こそうとする力}} = \frac{\mathrm{R}}{\mathrm{T}} \qquad (2)$$

通常は崩壊を起こそうとする力Ｔに対して、崩壊に抵抗する力Ｒがまさっているため、斜面は安定している。しかし、大雨や融雪水が地中に入り浸透すると、（１）式のように間隙水圧（浮力）Ｕが働くため、崩壊に抵抗する力Ｒは小さくなり、土塊は安定を失い崩壊する。地震の場合は、地震力が土塊の崩壊を起こそうとする力Ｔに加わって増大し、土塊は安定を失い崩壊することとなる。

このように、斜面には絶えず重力方向に崩壊を起こそうとする力（Ｔ）とそれに抵抗する力（Ｒ）が働いている。通常は釣り合っているか、抵抗す



図−３　無限長斜面のつり合い条件

る力（R）が大きいため、崩壊は発生しない。しかし、豪雨時や地震時などでは、斜面の安全率 F_s が変化し、崩壊が発生する。また、図−２に示すように年々風化が進行することも留意すべきである。

以下に典型的な土砂災害である表層崩壊、地すべり、土石流について概説する。

表層崩壊はがけ崩れ（急傾斜地の崩壊）とも呼ばれ、斜面に水がしみこんで、土や石が突然くずれ落ちる現象である。突然くずれるので、大変危険な災害である。表層の土層と基盤岩の境目で崩れることが多く、規模は小さいが、移動速度は急速で崩壊土塊は原型をとどめないことが多い。一度の雨で何百箇所も起こる場合もある。

地すべりは地層の弱面（すべり面）を使って緩慢な運動・停止を繰り返すものであり、移動体は源頭部から完全には流出せず、滑落崖とはらみ出し（移動体）のペアからなる地すべり地形を呈する。地すべりは地下水が地面のすべりやすい面にたまり、一度に広い範囲の土地がすべる現象である。地すべりは表層崩壊に比べて、崩壊地の深さが大きく、円弧すべり面を想定した安定解析（簡便法）がなされることが多い。このため、地形その他の条件を考慮して、円弧のすべり面を想定する。想定したすべり円弧を適当な幅の細片（スライス）に分割する。それぞれのスライスごとに無限長斜面の安定解析の通り計算し、合計して安定を算出する。

写真−１は2009年７月の山口県防府市の表層崩壊（左）と2011年３月の東日本大震災の余震で発

写真−１　表層崩壊と地すべりの違い
（左）2009年７月 山口県防府災害で発生した表層崩壊　（広島県砂防課提供）
（右）2011年３月の東日本大震災の余震で発生したいわき市才鉢の地すべり　（福島県砂防課提供）

生した福島県いわき市才鉢の地すべり（右）である。表層崩壊（左）は崩壊した斜面には斜面下部以外にほとんど崩土が無いのに対し、地すべり（右）は多くの樹木をのせた地すべり移動体がまだ斜面に残存しており、今後二次災害が発生する可能性が高い。災害時のマスコミ報道では斜面崩壊は、「土砂崩れ」と呼ばれることが多い。このように、表層崩壊と地すべりは地表変形が異なることでリスクの違いがある。斜面崩壊では表層崩壊と地すべりのどちらの形態なのか見極める必要がある。

土石流は写真-２のように、山腹や川底の石や土砂が豪雨などにより水と一体となって流れ出す現象であり、水と巨礫を含んだ土砂の集合状流動である。岩塊や大礫、流木などを含む場合が多く、それらの内、大きな岩塊が先頭になり、回転・滑動しながら流下することが多い。渓流にたまった土砂の侵食に起因した土石流が発生する勾配は約15°以上（天然ダムが決壊して発生する土石流は、勾配15°以下でも発生する危険がある）である。

他にも以下のような特徴がある。

●比重が大きく直進性があるため屈曲部でも曲がらず真っ直ぐに流下する。

●最大速度は、20m/sec 程度になることがある。

●勾配が10°～２°程度までの区間に堆積する。このため土石流の危険区域は末端の勾配を２°で設定する。

●土石流の流出土砂量は、最大で50,000m^3/km^2程度が多い。

●一度荒れた山の渓流には、沢山の土砂がたまっている。大雨の時には、これらの土砂が侵食されて土石流になる場合がある。

写真-２　2011年９月の台風12号によって発生した三重県紀宝町の土石流災害

（三重県提供）

これまで豪雨を起因とする土砂災害について述べてきた。日本海側を中心とする豪雪地帯では毎年、融雪に起因する土砂災害が発生している。融雪に起因する土砂災害は、文字通り「雪が融ける」ことによって発生する災害であるが、崩壊などに限って言えば「雪が融けることによって発生した水分が土壌に供給される」ことによって発生する災害と言い換えることができる。融雪による土砂災害は「降雪」⇒「積雪」⇒「融雪」⇒「地下水上昇・地盤の強度低下」⇒「崩壊の発生」⇒「土石流化」といった一連の機構からなっている。つまり、積雪によって地上に水分が蓄えられ、春先の気温や日射量の上昇の影響を受け土壌へと水分が供給される。その結果、崩壊や地すべりなどの土砂災害が発生しやすくなるということになる。そのため、積雪がある斜面では、少量の降雨でも崩壊や土石流、地すべりへの警戒をする必要がある。

1997年には秋田県鹿角市八幡平澄川温泉で、全体量250万m^3に及ぶ大規模な地すべりが発生し、温泉施設は全壊した。地すべりの末端部から発生した土石流は２km 下流まで流下し、澄川温泉、近郊の赤川温泉の計16棟を全壊、国道341号線を寸断するなど、大きな被害を残した。そのほか最近では、写真-３に示す2008年４月20日に岩手県雫石町葛根田で移動土塊量約６万m^3の地熱発電所の一部を被災させた地すべりである。2012年３月に発生した新潟県上越市板倉区で発生した国川（こくがわ）地すべりは人家11戸が全半壊するとともに、21世帯83人が２ケ月以上の避難を余儀なくされた。

写真-３　2008年４月20日に発生した岩手県雫石町葛根田の地すべり。発生した地すべりの背後地形をみるとかつて発生した大きな地すべり地の末端部に位置していることがわかる
（国土交通省提供）

３．近年の土砂災害の特徴

近年の土砂災害の特徴について述べる。ここでは、流木災害、深層崩壊、土砂・洪水氾濫について述べる。

近年、流木を伴った災害が全国的に多く発生している。流木を伴った土石流が家屋に衝突することによって、建物の倒壊・破壊の程度を増大させる例が数多く報告されている[2)]。また、流木が流下することで、ボックスカルバートや橋梁を閉塞させ、その地点から氾濫が発生する災害事例も非常に多い[3)]。写真-４は2013年（平成25年）８月９日に秋田県仙北市供養佛地区で発生した土石流災害の状況である[4)]。本災害では大量の流木を伴った土石流により、犠牲者６名、負傷者２名、住家全・半壊６棟の甚大な被害が生じた。特徴的なのは家屋に深々と突き刺さった大径のスギ流木である（写真-１）。発生した流木量は1279m^3～2558m^{3}と推定されている[5)]。

災害発生後の空中写真判読により長さ１m以上の流木を判読したところ、ちょうど600本あった。そのうち、家屋と衝突したと判読できたものは66本存在した。66本のうち、26本が家屋１階を突き抜けるなど、流木は土砂災害の被害を大きくする要因となった[5)]。

他にも2017年九州北部豪雨での大量の流木流出や、2022年８月３日からの豪雨により新潟県村上市小岩内（こいわうち）で大量の流木を伴った土石流などの事例がある[1)]。流木は、水や土砂とともに流下し、災害発生のきっかけを与えたり、災

写真-４　2013年８月に秋田県仙北市供養佛地区で発生した土石流

写真-５　2012年９月に台風12号により発生した深層崩壊と河道閉塞（天然ダム）奈良県十津川村
（国土交通省提供）

害を大きくすることから対策が必要である。

深層崩壊はがけ崩れなど斜面崩壊の一つの形態であるが、すべり面が表層崩壊よりも深部で発生し、表土層だけではなく深層の地盤まで崩壊土塊となる大規模崩壊現象である。写真−５に示すように、2011年９月の台風12号では奈良県、和歌山県に深層崩壊が多数発生した。2004年の中越地震や2008年６月の岩手・宮城内陸地震でも発生している。深層崩壊は山地流域で発生しやすいため、深層崩壊の発生した土塊が山地の河道を閉塞することが起こる場合もある。こうした現象を「河道閉塞」といい、河川が閉塞されることで「天然ダム」が形成される。地すべりにより河道閉塞が引き起こされることもある。河道閉塞（天然ダム）の土塊は崩壊したばかりの土砂そのものであり、安定性に乏しい。天然ダム背後にたまった貯水が満杯となり、天然ダムを越流する場合などは浸食が急激に進み、決壊することが多いなど二次災害への備えが必要である。

冒頭で述べた2022年12月31日に発生した山形県鶴岡市西目地区の大規模崩壊は崩壊深さが最大8,9m程度もあり、「ミニ深層崩壊」とも言える斜面災害である。住民からの聞き取りでは前兆現象は無く、予兆の無かった災害であった。同様の事例は2018年４月11日に、大分県中津市耶馬溪町で発生した大規模崩壊があげられる。本災害は直前２週間の降雨が６mm であり、突然発生し、犠牲者６名を出した。今後は同様の災害事例を抽出し

写真−６　2019年東日本台風による宮城県丸森町五福谷川で発生した土砂・洪水氾濫
（国土交通省宮城南部復興事務所提供）

危険度判定などをしていく必要である。

土砂・洪水氾濫は、流域において多数の斜面崩壊や土石流が発生し、一度に大量の土砂が供給されると、流速の低下する中下流域で堆積することで、河床上昇や河道閉塞が生じ氾濫する現象である。2017年九州北部豪雨による福岡県朝倉市、2018年の西日本豪雨災害による広島県呉市等、2019年東日本台風による宮城県丸森町、2020年７月の熊本県球磨村など毎年のように発生している。土砂・洪水氾濫による土砂・流木の氾濫は広範囲に及び、大量の土砂・流木は地域の復旧・復興の妨げとなっている。また、今後も、気候変動の影響により、土砂・洪水氾濫の頻発化が懸念されており、土砂・洪水氾濫により大きな被害のおそれのある流域の調査と対策が急がれる。

これまで述べてきたように、土砂災害の特質としては以下の３点があげられる。

○突発的（ex: 地震→崩壊、降雨→土石流等）
○死者・行方不明者の発生確率が高い
○素因・誘因が多様（降雨、地下水の増加、地震、地形・地質等）

こうしたことが、近年でも土砂災害の発生件数が減少しない要因になっている。

４．土砂災害防止法による土砂災害警戒区域・土砂災害特別警戒区域の指定の取り組み[6)]

上述したように、土砂災害についてはその発生メカニズムや想定被害範囲についてはある程度把握することが可能となってきたものの、その発生場所や日時を予測することは未だに困難である。また、近年発生した土砂災害の特徴として、古くから形成されてきた地域社会においては、土砂災害に関する前兆現象等が伝承され、災害の防止軽減に役立てられてきた例がある。一方で、新興住宅街などにおいては危険性の認識すら不十分で、

警戒避難体制が確立できない状況が顕在化している。

こうした現状をふまえて、土砂災害におけるソフト面の新たな取り組むべき施策の充実を図るため、平成13年４月より「土砂災害危険区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」（通称、土砂災害防止法）が施行されている。本法律は行政の「知らせる努力」と住民の「知る努力」が相乗的に働くことを期待した法律である。行政は過去の土砂災害の実態や土砂災害の恐れのある土地の区域等に関する情報を、その内容に正確を期するように配慮した上で、積極的に提供することにより、地域や個人が土砂災害に適切に対応できるよう、「知らせる努力」をすることが求められる。一方で、住民は行政が提供するこのような情報を日頃から把握するよう努めるとともに、土砂災害に関する特徴やその前兆等について正しい地域を得るための「知る努力」を惜しまないことが重要である。

これまで、土砂災害を対象としたソフト対策（主に警戒避難体制の整備等）は法律に基づかない形（いわゆる行政サービスとして）で実施されてきた。土砂災害防止法は土砂災害を対象としたソフト対策を法制化することで、警戒避難体制の整備に加えて、土地利用規制にも踏み込んだ画期的な法律である。具体的には、土砂災害防止法では土砂災害のおそれのある区域として、土砂災害警戒区域（以下、「警戒区域」）と、警戒区域のうち、土砂災害が発生した場合には建築物に損壊が生じ住民等に生命等に著しい危害が生ずるおそれがある土砂災害特別警戒区域（以下、「特別警戒区域」）が定められてる。土砂災害は急傾斜地の崩壊（がけ崩れ）、土石流、地滑りの３種類があり、それぞれの区域指定のイメージは〈図-４〉のとおりである。

それぞれの区域のイメージをわかりやすく伝えるため、法律施行直後から、砂防の関係者の間では警戒区域を「イエローゾーン」、特別警戒区域

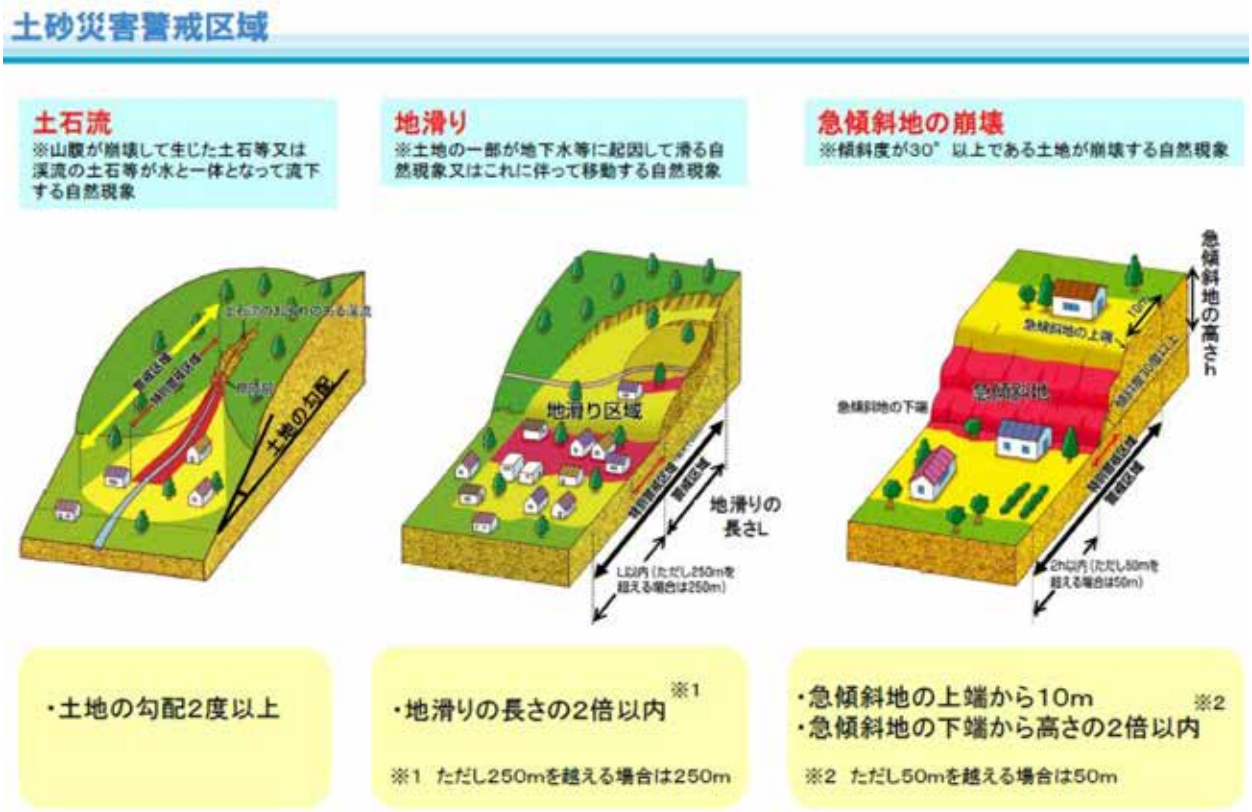


図-４　土砂災害防止法による区域指定のイメージ[7)]

を「レッドゾーン」と通称呼んでいる。

区域指定の進捗については、令和元年度末には、全国的に一通りの基礎調査が完了し、令和３年度末をもってそれら基礎調査完了箇所についての警戒区域等の指定が概ね完了している。

土砂災害警戒区域等の指定が進み、土砂災害のおそれのある区域が全国で約68万箇所も存在することが明らかとなった。わが国が土砂災害に対して大きなリスクを負っていることが改めて明らかとなった。土砂災害のリスクが「見える化」されたことにより、特別警戒区域に係る箇所の開発規制の強化、移転支援の充実等などが望まれる。

今後の課題としては、基礎調査の精度向上、警戒区域等の認知・理解度の向上、まちづくり・住宅分野との連携などがあげられる。このように土砂災害防止法が施行され、土砂災害対策のソフト対策が法的根拠に基づいて強力に推進されることとなった。土砂災害による減災を計るためには、行政と住民が常に情報を共有し、役割を的確に分担する社会システムの構築が急務であると言える。

６．まとめ

これまで述べてきたように、令和４年も８月・９月を中心に全国各地で土砂災害が多発している。令和３年は７月３日に静岡県熱海市で発生した土石流の甚大な災害は全国に衝撃を与えた。あらためて土砂災害は我々の身近な場所で、どこで発生してもおかしくないことを痛感させられた。今後、気候変動とともに土砂災害の被害が激甚化することが予想される中、住民と連携した土砂災害の取り組みが一層求められている。

ここでは、筆者が所属した岩手大学農学部砂防学研究室における、地域住民と連携し土砂災害の減災を目指した取り組みを通して、大学が地域防災に果たす役割について考えてみたい[8)]。

現在も、継続で取り組んでいる住民と一緒に作る「まるごと里ごとハザードマップ」への支援について紹介する。

写真-７　住民らによる避難の意思決定訓練
（2021年６月）

写真-８　住民と実際の渓流や砂防施設を確認
（2020年６月）

上述したように、土砂災害から身を守るためには、行政による対策（公助）だけでは限界があり、普段から自分で身を守る（自助）ための行動・考え方を学び、地域の住民が協力してお互いを助け合う体制（共助）をつくることが重要である。特に「自助」だけでは解決が困難なことに対して、住民や自主防災組織など、地域で協力して助け合う「共助」の充実を図ることが重要である。ここでは、３年前から国土交通省新庄河川事務所が進める「まるごと里ごとハザードマップ」作成の一環として、国土交通省東北地方整備局新庄河川事務所とともに、土砂災害の専門家として、弘前大

学、秋田大学、岩手大学が共同で始めた事例を紹介する。

対象地区は、2018年に被災した戸沢村角川の滝ノ下地区である。こうしたマップについては「作って終わり」ではなく、地域の安全・安心のために永続的に使ってもらえるようにすることが重要である。このように、行政と地域が連携した取り組みに、大学も土砂災害の専門家として参画することは大学研究室の重要な役割と言える。行政の担当者は２～３年で異動することが多い一方、大学の研究者（教員）は、長年、地域をフィールドにした研究を実施しており、地域に精通した土砂災害の専門家として、継続性を持って活動に参加することは大学砂防研究室の強みと言える。さらに、地域防災力強化の観点から、行政と住民それぞれの立場を理解し、両者を結びつけるコーディネーターも大学の役割と言える。令和４年度は大蔵村肘折温泉を新たな対象地区として実施している。

今後激甚化していく土砂害に対しては、行政による公助だけでは地域住民の命を守ることが難しくなってくる。したがって、住民自身が自らの命は自らの手で守るという考えのもと、住民自身や地区の住民と自助・公助の重要性を認識するため、より一層大学が主体となり、行政や住民と連携することで、土砂災害から人命を守っていくことができるのではないだろうか。

なお、マスコミなどの報道では土砂災害は「土砂崩れ」という言葉で表現されることが多い。これは「土石流」「がけ崩れ」「地すべり」など土砂災害の詳細な形態がわからないためである。土砂災害の正確な種類が判別されることで、今後、どのような対応をすべきなのがわかるので、早期に調査をし、どのような土砂災害の種類なのか区分し、公表することが望ましい。

近年の災害では、住民の避難率の低下が指摘されている[4)]。地区での警戒避難の課題としては、過疎化、高齢化、防災リーダーなどの人材確保などの課題が山積している。防災教育による次世代の人材育成、とりわけ若い世代も含めた地域の防災活動の拡充など求められている。地域の日頃の防災活動は、地域にあった方法を検討していくべきであるが、「楽しく」「気軽に」訓練や活動を行うことで、防災を知るきっかけづくりをつくっていくことも必要かと思われる。

【参考文献】

１）国土交通省：８月から９月は平年を上回る土砂災害が発生～令和４年の土砂災害発生件数の速報値を公表～，https://www.mlit.go.jp/report/press/sabo02_hh_000135.html，参照2023-01-13

２）丸谷 知己ら：2017年7月の九州北部豪雨による土砂災害，砂防学会誌 Vol.70，No.4，p.3l-42，2017

３）南 哲行ら：1998年8月栃木県余笹川災害で発生した流木の実態，砂防学会誌 Vol.53，No.4，p.44-51，2000

４）井良沢 道也ら：2013年７月下旬及び８月９日豪雨により東北地方で発生した土砂災害，砂防学会誌 Vol.66，No.5，p.53-60，2014

５）佐藤翔汰，井良沢道也，林一成（2015）：2013年８月９日秋田・岩手豪雨災害で発生した土砂産及び流出の特徴，平成．27年度砂防学会研究発表会概要集，P2-006

６）今森直紀：土砂災害防止法施行後の20年間と今後の展望，月刊河川５月号、p.27-32，2021

７）国土交通省：土砂災害防止法の概要，http://www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/gaiyou.pdf，参照2023-01-13

８）井良沢道也：地域と共に歩む大学砂防学研究室を目指して，砂防と治水，vol.54,，no.5，p4-5，2021

９）全体に，丸谷知己編：砂防学，朝倉書店，2019