

□ 広域を対象とした土砂災害の予測・評価技術

東北大学災害科学国際研究所准教授

森 口 周 二

1. はじめに

我が国は国土の7割を急峻な山岳地帯が占め、毎年のように発生する土砂災害により多くの被害が生じている。その防災・減災は、我が国のみならず、世界の多くの国や地域の共通の課題でもある。土砂災害の被害を最小化するために、予測・評価技術に関する研究が長年に渡ってなされてきており、その成果が社会に実装されてきた。また、1つの斜面に対する予測技術だけでなく、広域を対象とした評価を可能とする技術も発展している。この「広域の評価」という観点は防災・減災を論じる上で極めて重要なものである。なぜなら、広域で土砂災害が発生するような災害の場合に、特に多くの人命や財産が失われるからである。そのような広域災害の中では、救命、即時支援、応急復旧などの発災直後の行動を最適化する必要がある、そのためには広域を俯瞰した形で被害を予測することが必要不可欠なのである。本稿では、特に広域を対象とした土砂災害の予測・評価技術に焦点を絞り、現状の技術を概説するとともに、著者らが進めている最新の研究について説明する。

2. 現状の予測・評価技術

(1) 土砂災害の定義と誘因

ここでは、現状の土砂災害の予測・評価技術について説明する。ただし、その前に、土砂災害の

基礎的事項について簡単に確認しておく。我が国では、土砂災害防止法（正式名称：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）が平成13年に施行され、その中で土砂災害の発生形態として、急傾斜崩壊（がけ崩れ）、土石流、地すべりの3種類が定義されている。報道などでは、「土砂崩れ」という言葉でまとめて表現されたり、3種類の発生形態を意識せずに伝えたりするような状況も多くあるが、発生形態によって被害形態や必要な対応が変化し、ハザードマップ等でも区別されて表現されている場合があるため、これらの違いを認識することで、防災情報をより効果的に使えるようになる。なお、土砂災害と似た言葉として斜面災害という言葉があるが、斜面災害はより広い意味を持っており、例えば落石や雪崩など他の斜面に関する災害を含めて使う言葉である。

土砂災害の誘因（発生させる原因となるもの）は、基本的には地震と降雨（または雪解け水）と考えればよい。地震については、地震力で揺すられることによって斜面が崩れるのに対して、降雨の場合は斜面内部に雨水が浸透し、それによって土の強度が下がるために斜面が崩壊する。これらの誘因がない状況下でも発生するケースもある（例えば、2018年大分県耶馬溪町金吉地区の崩壊¹⁾）ものの、そういったものはレアケースであり、そもそもそのようなケースの予測や評価は極めて難しいものであるため、地震と降雨というわ

かりやすいハザードの下での予測や評価を中心に考えるべきである。次節以降では、現状の社会実装されている土砂災害の予測・評価技術について説明する。

(2) ハザードマップと Web ツール

土砂災害のリスクを知ることが可能な社会実装された技術として最も認知されているものはハザードマップであろう。今さらそのような基本的なものを説明する必要があるのかと思われるかもしれないが、ハザードマップの存在は知っているも見ることがない、またはどう見ればよいのかわからないという方も多いのではないと思われるため、あえてここで説明をしたい。ハザードマップは市町村レベルで作成されるものであるが、近年では Web 上でまとめた情報として閲覧可能な仕組みも発展している。例えば、国土地理院が提供するハザードマップポータルサイト²⁾の「重ねるハザードマップ」では、土砂災害だけでなく、洪水、高潮、津波などの他の災害のハザードマップも表示することが可能であり、それらを重ねて

表示することもできる。図1は仙台市の一部地域の土砂災害に関するハザードマップを重ねるハザードマップで表示したものである。先述の3種類の土砂災害について、危険箇所、警戒区域、特別警戒区域の3つのレベルで被害が発生する範囲が表示されている。特に警戒区域と特別警戒区域は、土砂災害が発生した際に物的・人的被害が発生する可能性が高い区域として指定されるものである。当然ながら、地図を拡大すれば、自宅や勤務先などの建物レベルで近くに存在する土砂災害リスクを確認することができる。ハザードマップの情報は、周辺のリスクを知るためではなく、通勤路や通学路、または避難所へのアクセス道路の検討にも役立つ。災害時には、多くの選択肢を持っていることが生死を分ける強みの1つになるため、今一度、高度化されているハザードマップの情報に触れて頂きたい。

(3) キキクル

地震に伴う土砂災害については、地震自体がいつどこで発生するのかを予測することが難しいため、

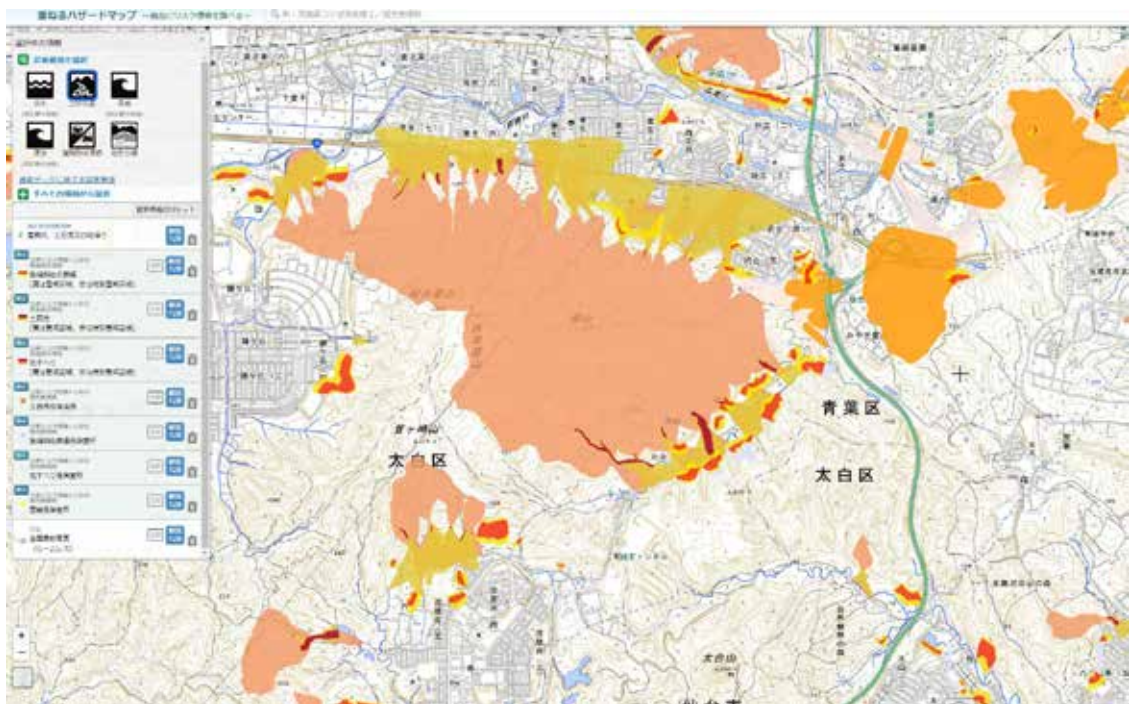


図1 重ねるハザードマップ（仙台市の一部の例）

それに誘発される土砂災害の場所や時間を予測することもやはり難しい。また、土砂災害については、緩慢な地すべりなどを除いて発生後に逃げるということが難しい場合が多い。そのため、個人で出来る対策と言え、事前にハザードマップを確認し、もしも土砂災害の被害にあったとして命がなんとか助かった場合のために保険に入ったり、可能な限り避難生活が苦痛にならないように事前に準備をしたりすることぐらいであろう。一方で、降雨に伴う土砂災害については、近年の気象予測技術の著しい発展の後押しもあって、発災直前のリアルタイムの予測の社会実装が実現している。気象庁が提供しているキキクル³⁾は豪雨災害のリスクを地図上で確認できるリアルタイム予測システムである。土砂災害の他にも、浸水害や洪水のリスクもリアルタイムで表示可能である。土砂災害に関する予測マップは土砂キキクルと呼ばれ、土砂災害警戒区域の情報も重ねて表示可能であるため、リアルタイムの情報を見ながら同時にハザードマップの情報も確認することができる。リスクのレベルは5段階で表示され、白、黄色、赤、紫、黒の順に危険度が上がる。この色の段階は2022年6月に変更されて最高レベルが黒になったが、それ以前は黒の代わりに濃い紫が使われており、名前も土砂キキクルではなく、土砂災害警戒判定メッシュ情報と呼ばれていた。図2はその時代の情報であり、2016年台風第10号の襲来時にキキクル上で表示された土砂災害のリスクマップと実際の土砂災害の発生分布の対応関係を分析した結果⁴⁾である。黄緑色の丸や三角が実際の土砂災害の発生個所を示している。当然ながら、リスクマップがWeb上に表示されていた時点では、実際の土砂災害がどこで発生しているかは不明であったわけであるが、予測と実際の土砂災害は非常に良い一致をしていることが理解できる。現状でキキクルの分解能は1kmメッシュであるため、自宅の周辺のリスクをピンポイントで評価するようなものではないが、広域の中で自分達がいる地

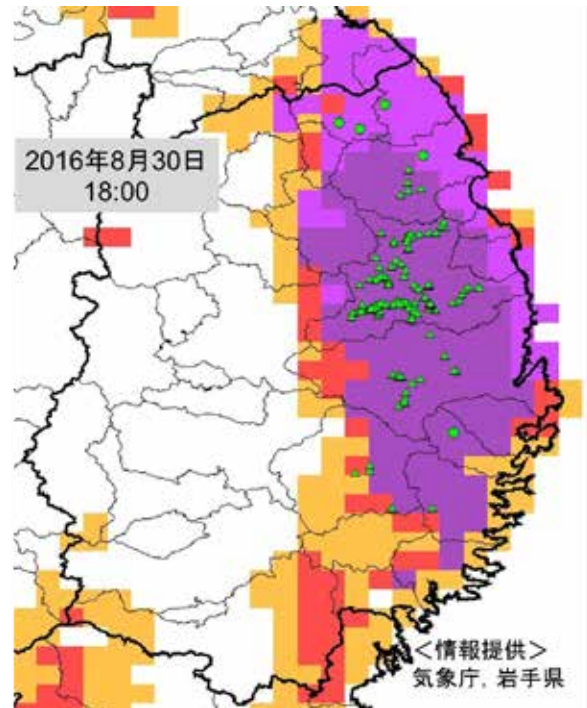


図2 土砂災害リスクマップと実際の土砂災害発生分布 (2016年台風第10号襲来時)

域の危険度を知るという意味で極めて有効なリアルタイム予測システムである。キキクルは、優れた性能を有するだけでなく、使用性も非常に優れている。ただし、発災時に初めて触れるという状況では、システムの能力を十分に活用できない。日頃から触れて表示される情報の意味を理解しておくことが非常に重要である。また、日頃から見て表示情報に対する感覚を養っておくことで、「いつもと違う」と感じる嗅覚を研ぎ澄ますことにもなる。自分が住む地域だけでなく、他地域での豪雨災害の際にも、他人事と思わずにキキクルを眺めることで防災力が養われるはずである。

3. 力学に基づく予測技術

ここからは、著者らの研究グループで開発してきた力学に基づく予測技術について説明する。この技術は社会実装のレベルには達しておらず、今後多くの検証が必要な段階ではあるが、近未来型の土砂災害予測技術の1つとして紹介するもので

ある。先述のキキクルでは、土壌雨量指数（地中に雨水が浸透している量を示す指標）と短期雨量のデータを使って土砂災害の危険度を評価しているが、これらは主に雨のデータから得られる数値である。そのため、土砂災害そのものを予測しているわけではなく、雨のデータから間接的に危険度を評価していることになる。それでも十分に有用な予測技術ではあるが、著者らは、より高精度で高精細な予測技術の開発を目指し、力学に基づく予測の枠組みを高度化してきた。つまり、雨が降って雨水が地面にしみ込み、雨水の浸透によって強度が低下した斜面が崩壊するという複雑な物理現象を数式で表現されたモデルで計算し、シミュレーションによって豪雨による土砂災害を表現する手法の開発を行ってきた⁵⁾。また、最近で

は、地中に入りきれない雨水が地表流となって河川氾濫を引き起こすプロセスまでを含めて表現することを試みている。本稿ではモデルや計算の詳細は省略するものとして、計算結果の例のみを示す。図3は、令和元年東日本台風(2019年台風19号)による宮城県丸森町の被害を再現した結果である。丸森町では、中心市街地付近で内水・外水氾濫による浸水、山間部では河川氾濫と土砂災害の複合的な災害となり、人的被害（死者10名、行方不明者1名）を含む甚大な被害が発生⁶⁾した。丸森町は約273km²の面積があるが、5mメッシュの解像度でシミュレーションを実施しているため、市町村レベルの広域を対象にしなが、1つの斜面を解像するレベルの高精細な計算を行っている。また、まだ簡易的ではあるものの、土砂災害による

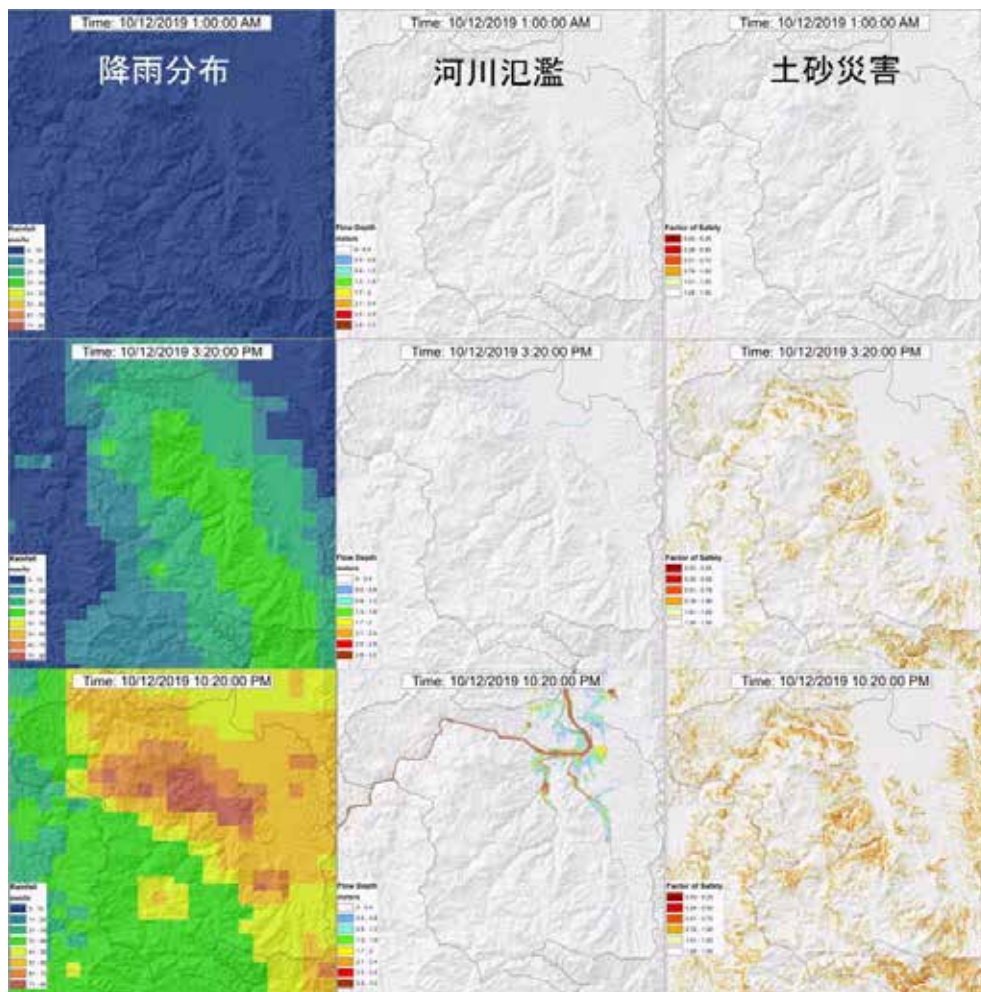


図3 令和元年東日本台風（2019年大風第19号）襲来時の斜面崩壊分布の再現

道路遮断なども評価できる枠組みの構築も進めている。今後、多くの過去の豪雨災害の再現を経て、さらなる高度化を目指す予定である。ここで、課題についても触れておく。このような力学に基づく予測手法の大きな課題として、入力データの精度向上が挙げられる。つまり、物理に忠実であるが故に、地形、地質、降雨などの必要となる入力データの精度も高いものが求められる。特に地質を含む地下の情報の整備は大きな課題である。そのため、予測手法の高度化と並行して、それらの情報の整備も高度化していく必要がある。

4. おわりに

本稿では、土砂災害の予測・評価技術について、現状の技術と著者らが研究を進めている力学に基づく近未来的な技術を紹介した。様々な技術が高度化された現代においても、土砂災害の予測や評価は未だ難しい点が多い。しかしながら、その技術は確実に進歩しており、防災・減災に役立つ情報の確度が上がっている。その情報の有用性を理解し、自分や家族の命を守るために、常日頃から手に入れられる情報にアクセスし、発災時に備えて頂きたい。

【参考文献】

- 1) 耶馬溪町金吉地区 山地崩壊原因究明等検討委員会, 平成30年(2018年)4月に中津市耶馬溪町で発生した山地崩壊について最終報告(概要), https://www.pref.oita.jp/uploaded/life/2045589_2349104_misc.pdf
- 2) 国土地理院, ハザードマップポータルサイト, <https://disaportal.gsi.go.jp/>
- 3) 気象庁, キキクル, <https://www.jma.go.jp/bosai/risk/>
- 4) 森口周二・大河原正文・呉修一, 2016年台風10号による岩手県内の被害の分析ー地盤工学と河川工学の観点からー, 地盤工学ジャーナル, 13巻, 2号, 149-158, 2018.
- 5) Moriguchi, S., Matsugi, H., Ochiai, T., Yoshikawa, S., Inagaki, H., Ueno, S., Suzuki, M., Tobita, Y., Chida, T., Takahashi, K., Shibayama, A., Hashimoto, M., Kyoya, T., Dolojan, N. L. J., 2021. Survey report on damage caused by 2019 Typhoon Hagibis in Marumori Town, Miyagi Prefecture, Japan. *Soils and Foundations*, 61(2), 586-599.
- 6) Dolojan, N.L.J., Moriguchi, S., Hashimoto, M., Terada, K., Mapping method of rainfall-induced landslide hazards by infiltration and slope stability analysis, *Landslides*, Vol. 18, No. 6, pp. 2039-2057, 2021.