

# 地すべり発生誘因となる降雨指標の検討 —2021年8月に発生した国道9号出雲市多伎町 地すべりを対象として—

STUDY ON PRECIPITATION INDEX FOR LANDSLIDE WITH HEAVY RAINFALL:  
A CASE OF LANDSLIDE IN TAKI DISTRICT, IZUMO, JAPAN, ON AUGUST 2021

和田 孝志<sup>1,2</sup>・梶川 勇樹<sup>1,2</sup>・河野 勝宣<sup>1,2</sup>・金氏 裕也<sup>1,2</sup>

Takashi WADA, Yuki KAJIKAWA, Masanori KOHNO and Yuya KANEUJI

<sup>1</sup>鳥取大学 学術研究院工学系部門 (〒680-8550 鳥取市湖山町4丁目101番地)

E-mail: wada-t@tottori-u.ac.jp

<sup>2</sup>鳥取大学工学部附属地域安全工学センター (〒680-8550 鳥取市湖山町4丁目101番地)

**Key Words:** landslide, long-term precipitation index, soil water index, three-layer tank model

## 1. はじめに

わが国では近年の豪雨規模の増大に伴って、発生する土砂流出現象(斜面崩壊, 土石流等)の密度・規模が増大している。平成23年9月には台風12号がもたらした長期間豪雨により、紀伊山地(奈良県・和歌山県・三重県)で3077箇所(箇所)の斜面崩壊が発生し、概ね10万m<sup>3</sup>以上の崩壊土砂量を有する大規模崩壊も76箇所発生し、これらの合計土砂量は1億m<sup>3</sup>に及んだ<sup>1)</sup>。これにより、奈良県、和歌山県では河道閉塞が17箇所確認され、那智川の谷底平野では両岸の山地溪流から同時多発的に土石流が発生するなど、紀伊山地を中心に甚大な被害となった。

このような土砂流出現象は誘因が素因に作用することで生じる。素因には地形、地質、土質(土壌)、植生、水文環境等があり、誘因には降雨、地震、融雪、強風、人工的斜面改変、火山噴火等があげられる。大規模崩壊の素因・誘因についてみると、素因では隆起量、地質体(特に風化度)、層理・断層・褶曲といった地質構造が、誘因では山体地下水との関連性が大きいことが知られている。この大規模崩壊の素因特性を利用して、国土交通省では「深層崩壊推定頻度マップ」<sup>2)</sup>を作成し、大規模崩壊発生リスク

分布の把握を試みている。

一方、地すべり現象(ここでは、日本地すべり学会<sup>3)</sup>に準拠し、「斜面を構成する物質が斜面下方へ塊の状態では運動する現象」と定義する)も大規模崩壊と同様、移動土層厚が大きい現象であり、大規模崩壊と同様の素因特性を有する。実際に大規模崩壊発生履歴を有する斜面では、岩盤クリープ等の地すべり前兆現象が確認されており<sup>4)</sup>、両者の素因が重複していることが推察される。これらの素因因子に着目した河野ら<sup>5,6)</sup>は斜面変動履歴から地すべり現象に影響が強いと推察される因子をAHP法を用いて数値指標化し、これを中国地方全域に適用して地すべりハザードマッピングを行い、高ハザードランクに分類される領域と実際の地すべり地形分布が良好に合致することを確認している。

上記の国土交通省<sup>2)</sup>や河野ら<sup>5,6)</sup>の手法は大規模崩壊や地すべり現象が「どこで発生する可能性があるか?」を把握するものであるが、「いつ発生するか?」を把握するためには前述の誘因の考慮が必要不可欠となる。このことから、梶川ら<sup>7)</sup>は、セル分布型流出解析により降雨に伴う山地斜面内の地下水分布時系列変化を算出し、各セルにおける無限長斜面の斜面安定性や河野ら<sup>5,6)</sup>の地すべり素因因子の数値指

標をあわせて評価することで、誘因としての豪雨を加味した斜面崩壊リスク分布の把握手法を提案している。しかし、本手法は計算コストが大きく、中国地方などの広範囲を対象としたリアルタイムのリスク分布把握は現時点では困難であると考えられる。

誘因としての豪雨を考慮した斜面崩壊リスク評価手法として、わが国では降雨の積算的影響を評価するための指標（長期的降雨指標）と、降雨強度の影響を評価するための指標（短期的降雨指標）を連携させた手法（スネーク曲線と Critical Line）<sup>8)</sup>が全国的に導入されている。短期的降雨指標は1時間雨量が、長期的降雨指標には Ishihara and Kobatake<sup>9)</sup>によって提案された3段直列タンクモデルを活用した気象庁の土壤雨量指数<sup>10)</sup>が用いられている。この他、短期・長期どちらの降雨指標にも対応可能な実効雨量<sup>11)</sup>も活用されている。土壤雨量指数および実効雨量は、山地斜面内への降雨浸透プロセスに伴う地下水水位上昇を概念的に考慮しており、長期降雨による地下水変動（降雨の積算的影響）に起因する大規模崩壊や地すべり発生予測に対する簡便な評価手法として使用実績が多い。現在もこれらの降雨指標と大規模崩壊や地すべり発生との関連性に関する検討が実施され、その適用性・汎用性や活用方法が検討されている<sup>12-16)</sup>。なお、これらの多くは人的・物的被害を引き起こす大規模な土塊移動を伴う現象を対象としており、道路変状や施設の部分的損壊を招く程度の地すべり現象を対象としている例は少ない。

以上を踏まえ、本研究では、比較的規模が小さい地すべり現象を対象として、発生時の土壤雨量指数および実効雨量の推移を把握することで、これらの評価法の適用性を検証するとともに、地すべり現象発生のタイミングを再現し得る指標の活用方法について検討を行った。

## 2. 本研究で対象とする長期降雨指標

### (1) 土壤雨量指数<sup>10,17)</sup>

土壤雨量指数は降雨が土壌中にどの程度蓄えられているかを把握するための概念的な指数として、図-1に示すような直列3段のタンクモデル貯留高  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  [mm]の合計値と定義され、解析雨量（気象レーダーおよび雨量計データを組み合わせ1時間の降雨量分布を1km四方メッシュごとに算出したもの）を用いて算出している。図-1に示す各タンクには側面流出孔が設けられており、1段目タンクからの流出は表面流出、2段目のタンクからの流出は表層浸透流出、3段目のタンクからの流出は地下水流出に

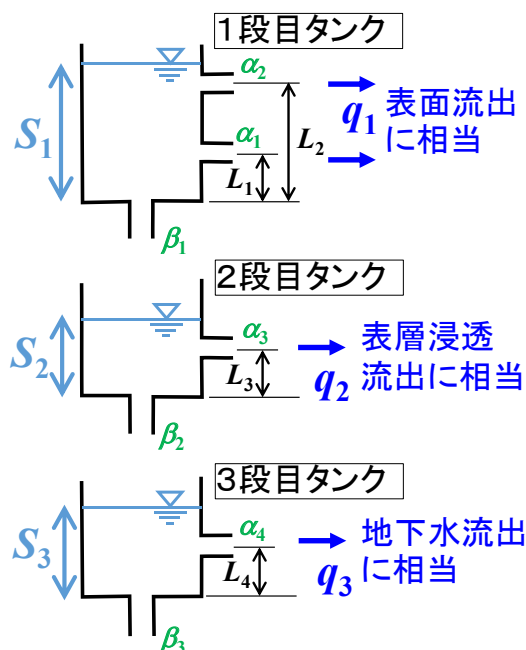


図-1 気象庁タンクモデルの概略<sup>10)</sup>

表-1 気象庁タンクモデルのパラメータ。

	1段目タンク パラメータ	2段目タンク パラメータ	3段目タンク パラメータ
流出孔高 $L$ [mm]	$L_1=15$ $L_2=60$	$L_3=15$	$L_4=15$
流出係数 $\alpha$ [1/h]	$\alpha_1=0.10$ $\alpha_2=0.15$	$\alpha_3=0.05$	$\alpha_4=0.01$
浸透係数 $\beta$ [1/h]	$\beta_1=0.12$	$\beta_2=0.05$	$\beta_3=0.01$

それぞれ対応している<sup>10)</sup>。なお、図中の  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$ は側面流出高、 $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$ は側方からの流出係数、 $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ は下層への浸透係数である。これらのパラメータは、表-1の Ishihara and Kobatake<sup>9)</sup>の No.3 流域（木津川月ヶ瀬の主に花崗岩が分布する流域、流域面積 615 km<sup>2</sup>）の値を適用しており、全国で同じ値となっている。ここでは、全国統一パラメータによる直列3段タンクモデルを「気象庁タンクモデル」と称する。

各タンクの貯留高  $S_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) の算定式は以下のようである。

$$S_1(t+\Delta t) = (1-\beta_1\Delta t)S_1(t) - q_1(t)\Delta t + R(t) \quad (1)$$

$$S_2(t+\Delta t) = (1-\beta_2\Delta t)S_2(t) - q_2(t)\Delta t + \beta_1 S_1(t)\Delta t \quad (2)$$

$$S_3(t+\Delta t) = (1-\beta_3\Delta t)S_3(t) - q_3(t)\Delta t + \beta_2 S_2(t)\Delta t \quad (3)$$

気象庁タンクモデルでは上式の時間刻み  $\Delta t$  を10分とし、降雨量  $R(t)$  [mm]は1時間雨量を1/6とした値を入力して算出している<sup>17)</sup>。なお、本検討では気象庁・出雲観測所の10分間雨量を用いるため、入力雨量については観測値をそのまま活用している。

各タンク側面流出孔からの流出量  $q_i(t)$  ( $i=1, 2, 3$ ) の算定式は以下のである。

$$q_1(t) = \alpha_1 \{S_1(t) - L_1\} + \alpha_2 \{S_1(t) - L_2\} \quad (4)$$

$$q_2(t) = \alpha_3 \{S_2(t) - L_3\} \quad (5)$$

$$q_3(t) = \alpha_4 \{S_3(t) - L_4\} \quad (6)$$

## (2) 実効雨量<sup>11-13)</sup>

実効雨量は、数学的演算により比較的簡便に算出でき、かつ、積算的な影響（長期的影響）と強度の影響（短期的影響）を単一のパラメータ（半減期）で調節可能とする指標である。1993年の総合土砂災害対策検討会（建設省）では、花崗岩地帯を対象としたタンクモデル貯留高の推移特性と類似する長期的指標として半減期72時間実効雨量を、短期的指標として半減期1.5時間実効雨量を採用すると定められ、5地域での適用性についても確認されている<sup>8)</sup>。

時刻  $t$  [h]における半減期  $M$  [h]の実効雨量  $X(M, t)$  [mm]は以下のである。

$$X(M, t) = X(M, t-1)e^{\alpha} + R(t)e^{\alpha/2} \quad (7)$$

ここに、 $X(M, t-1)$  [mm]は1時間前実効雨量（本研究では  $t-1 \sim t$  間における10分間雨量の60分積算値を使用）、 $\alpha$  [1/h]は減少係数である ( $\alpha = \ln(0.5)/M$ )。上式により、実効雨量  $X(M, t)$ はある時刻  $t_0$ に降った雨量  $R(t_0)$ の影響が半減期  $M$ だけ経過すると  $R(t_0)/2$ となり、さらに  $M$ だけ経過すると  $R(t_0)/4$ となることを示しており、半減期  $M$ の設定次第で任意の降雨の影響期間を反映可能となる。

## 3. 出雲市多伎地区地すべりの概要

本研究では、令和3年8月に発生した「出雲市多伎地区地すべり」（移動土塊面積約3000m<sup>2</sup>、最大滑落高3m、図-2参照）を対象とする。当該地すべり発生地点は河野ら<sup>5,6)</sup>による地すべりハザードマッピングにおいて「ハザードランクが高い」と評価されていた地域内に存在する。

図-3に令和3(2021)年7~8月の気象庁出雲観測所10分間雨量と3種類の降雨指数の推移を示す。図に示す降雨指数は、気象庁による土壌雨量指数、半減期1.5時間実効雨量、半減期72時間実効雨量である。これらの降雨指数の基となる雨量データは気象庁出雲観測所のものを使用し、雨量指数算出期間は先行降雨の影響を考慮するため当該豪雨2か月前の2021/5/1から行った。雨量データは地すべり地点から約10km離れた地点(図-2参照)のものであり、地すべり地点の降雨状況を厳密には反映できていな



図-2 出雲市多伎地区地すべりと降雨観測所  
(写真は国交省松江国道事務所・JR西日本<sup>18)</sup>より引用、  
※の地すべり名称は河野<sup>6)</sup>による)

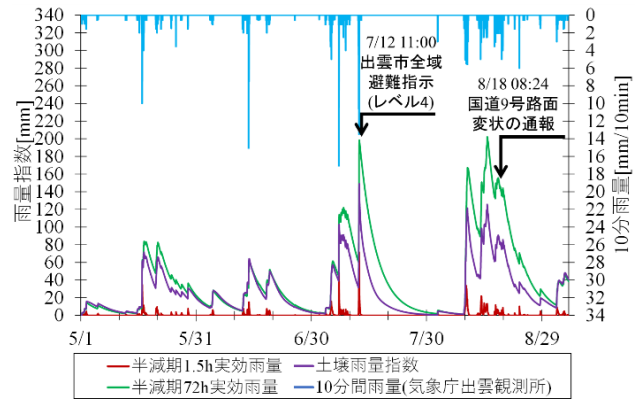


図-3 令和3年5~8月の降雨量と雨量指数の推移

いが、10分間隔の高密度データが欠損無しで記録されているため使用することとした。図-3に示すように、当該期間では出雲市で複数回豪雨に見舞われており、特に7月7~12日は顕著な豪雨となり、近隣の松江市八雲町で最も高い警戒レベルである「緊急安全確保(レベル5)」の避難情報が出され、出雲市でも7月12日に全域で「避難指示(レベル4)」が発令された<sup>19)</sup>。7月豪雨により土壌雨量指数で最高148mm、半減期72時間実効雨量で最高197mmまで到達したにもかかわらず当該地すべりは発生しなかった。当該地すべりは翌月8月の長期降雨を経て

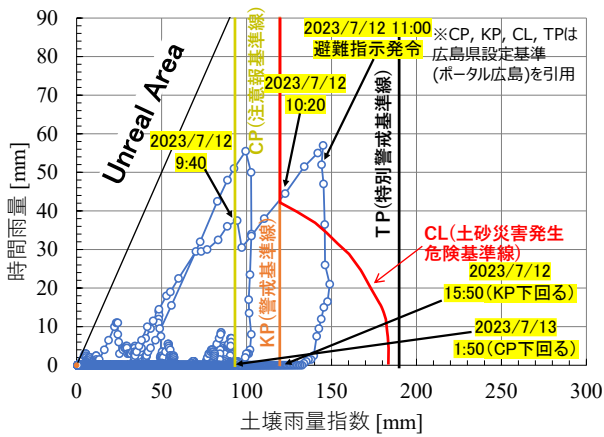


図-4 令和3年7月気象庁出雲観測所10分雨量に基づくスネーク曲線(地すべり発生なし)

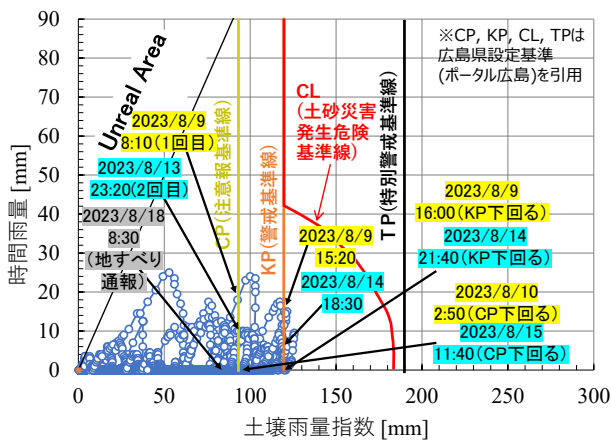


図-5 令和3年8月気象庁出雲観測所10分雨量に基づくスネーク曲線(8/18 08:24 地すべり確認)

発生し、18日朝に約100mにわたって路面の亀裂・隆起、歩道の崩落、現場付近の水道管破損（その後3日間断水）が確認され、国道9号が通行止め、並走するJR山陰本線も運休の措置がとられ、周辺住民の生活に多大な影響を及ぼした<sup>20)</sup>。8月豪雨では土壌雨量指数で最高125mm、半減期72時間実効雨量で最高202mmを記録しているが、地すべり現象が発生したにもかかわらず土壌雨量指数は7月豪雨よりも小さい値、半減期72時間実効雨量は7月豪雨と同程度となり、両指標ともに当該地すべり発生の予測に繋がるような傾向を示していなかった。

図-4および図-5に現行の短期・長期的降雨指標の連携に基づく7月、8月豪雨時のスネーク曲線を示す。なお、図中に示す土砂災害発生危険基準線（Critical Line, CL）は、島根県のは非公表のため、隣接する広島県の広島市基町（2024/05/29時点）のCL<sup>21)</sup>を代用した。また、その他の基準線（CP, KP, TL）についても同様に広島市基町のものを代用した。図-4に示すように、7月豪雨では後半の7月12日からの降雨により広島市CLを一時上回るほど



図-6 地すべり近傍流域での水位-流量観測の様子

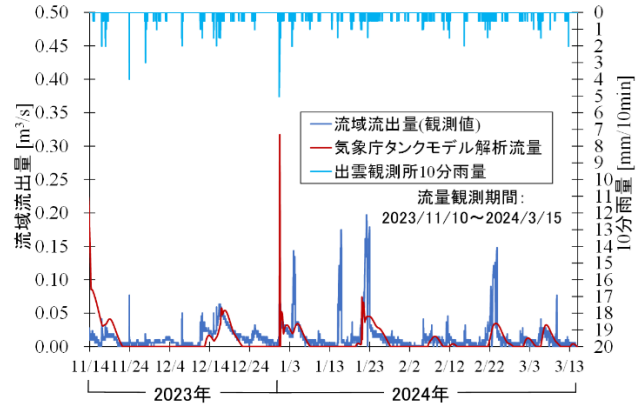


図-7 対象地すべり近傍流域流出量に関する観測結果と気象庁タンクモデル解析結果の比較

の激しい降雨強度となり、これを受けて出雲市全域で「避難指示（レベル4）」発令に至っている。一方、図-5に示す8月豪雨では横軸の土壌雨量指数が比較的低調で推移したため、広島市CLを上回ることにはなかったが、7月豪雨に比べて土壌雨量指数が60～120mmの間で推移する時間が長く（8月13～20日の約7日間）、この長期降雨が当該地すべり発生の誘因となったことが推察される。

#### 4. 地すべり近傍流域流出量に着目した気象庁タンクモデルの適用性検討

前述の通り、土壌雨量指数の基となる気象庁タンクモデルのパラメータは全国統一の値であり、対象地域によって異なる地質体・地質構造等の違いを考慮していない<sup>17)</sup>。現行では地質体・地質構造の違いは地域別にそれぞれ異なるCLを設定することで反映させている。したがって、中村・日置<sup>15)</sup>が着目するように地質体・地質構造が異なる場合の気象庁タンクモデルの適用性（対象地ごとのパラメータ変更の必要性）については検証が不十分な状況である。

そこで、図-2に示す対象地すべり地点近傍の恵堂川流域（主に砂岩・礫岩が分布、流域面積0.187km<sup>2</sup>）を対象として、恵堂川と国道9号交差点部の落差工上流で水位計（HOBO MX2001-01-SS, Onset社）を図-6のように設置して約4ヶ月間水位-流量観測を行った。図-7に観測結果と気象庁タンクモデル解析流量

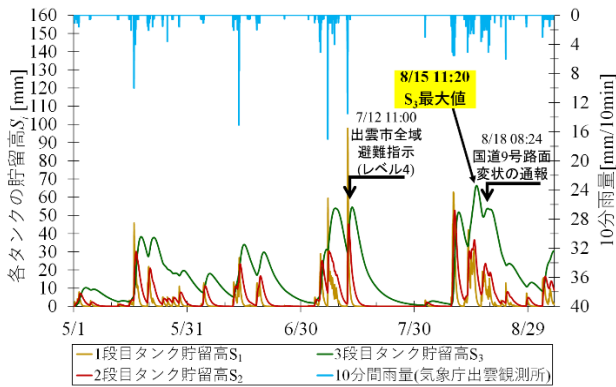


図-8 令和3年5～8月における気象庁タンクモデルの各タンク貯留高  $S_1 \sim S_3$  の推移

(図-1 に示す  $q_1, q_2, q_3$  の総和) を示す。気象庁タンクモデル解析流量は直接流出に対して適用性が低いものの、基底流出については概ね合致しており、現行の気象庁タンクモデル(全国統一パラメータ)が基底流出、すなわち大規模崩壊や地すべりとの関連性が強い地下水流出に対して適用可能であることが推察された。ただし、中村・日置<sup>15)</sup>は、平成23年9月豪雨時の紀伊山地における大規模崩壊発生タイミングに適合させるためには現行パラメータを変更する必要があると指摘しており、基底流出傾向に加え、大規模崩壊や地すべり発生タイミングに対する適用性確保のためには更なる工夫が必要となる。

## 5. 地すべり発生の誘因となる降雨指標の検討

### (1) 気象庁タンクモデルに基づく降雨指標の検討

前章の地すべり近傍流域流出量の観測結果との比較から、少なくとも基底流出(地下水流出)が支配的な期間においては気象庁タンクモデルが適用可能であることが推察された。本検討では、当該地区の基底流出傾向に対する適合性が確認された気象庁タンクモデル(パラメータ)には手を加えず、その解析結果の取り扱いを工夫することで地すべり発生の誘因となる降雨指標を検討する。

図-8 に7月、8月豪雨時の気象庁タンクモデルの各タンク貯留高の推移を示す。この図より、1～3段目タンク貯留高の中では3段目タンク貯留高  $S_3$  のピーク時刻が地すべり発生時刻に最も近いことがわかる。これは、地すべり現象が地下水挙動を表す3段目タンク解析値と比較的関係性が強く、地すべり発生の指標として当該解析値を活用することが妥当であることを示唆している。このことは、中村・日置<sup>15)</sup>の紀伊山地の大規模崩壊発生に対するタンクモデル解析結果の傾向とも一致する。

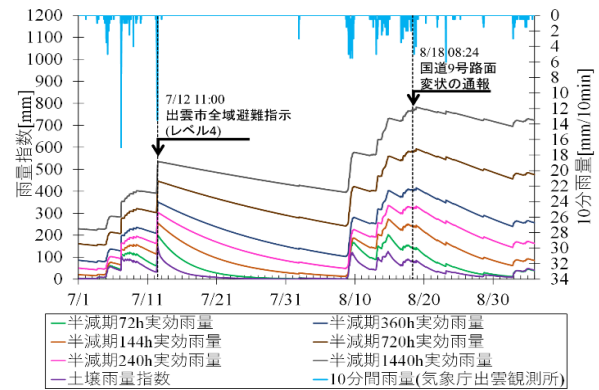


図-9 令和3年7～8月の長期間半減期実効雨量の推移

### (2) 実効雨量に基づく降雨指標の検討

小杉らは4地域の地下水位変動観測値を再現し得る実効雨量の最適な半減期は地点ごとに大きなばらつき(3.1～1400時間)があることを指摘し<sup>12)</sup>、紀伊半島の深層崩壊発生斜面における半減期は120時間が比較的適合性が良いとしている<sup>16)</sup>。これらより、移動土層厚が大きい現象に対しては従来の長期的指標である半減期72時間実効雨量よりもさらに長い半減期(超長期半減期と称する)の実効雨量を用いるべきであることが推察される。本検討では、対象地すべり発生時の超長期半減期実効雨量の推移から地すべり発生の誘因となる最適な半減期を検討する。なお、超長期半減期実効雨量の算出期間も図-3と同様に当該豪雨2か月前の2021/5/1から行っている。

図-9 に7月、8月豪雨時の超長期半減期実効雨量の推移を示す。240時間半減期実効雨量では短い半減期の実効雨量で見られた8/15頃のピークが減衰して地すべり通報時刻付近のピークと同程度になり、360時間半減期実効雨量では通報時刻付近のピークの方が大きくなっている。さらに長い720時間、1440時間半減期の実効雨量では、地すべり通報時刻よりも後にピークを迎える傾向がある。以上より、実効雨量ピーク時に当該地すべり現象が生起したと仮定すると、8/15頃にピークが現れる240時間より短い半減期や通報時刻より後にピークが現れる720時間以上の半減期による実効雨量よりも、240～360時間の半減期による実効雨量の方が当該地すべり現象と比較的関係性が強いことが示唆される。この結果は、紀伊半島の深層崩壊発生斜面での検討結果よりもやや長いものであったが、対象とする地質体や地質構造の違いが影響した可能性が考えられる。

## 6. まとめと今後の課題

本研究では令和3年8月に発生した「出雲市多伎地区地すべり」の誘因となった降雨の評価手法に関

して、気象庁タンクモデルおよび実効雨量の適用性と、これらの降雨指標の適用性向上策を検討した。本研究の結果・推察をまとめると以下の通りである。

[1]半減期 72 時間実効雨量ピーク値およびスネーク曲線の傾向は当該地すべり発生と関係性が低い。

土壌雨量指数 60~120 mm が長期間継続したことが当該地すべり発生の誘因となった。

[2]気象庁タンクモデル（全国統一パラメータ）は基底流出、すなわち大規模崩壊や地すべりとの関連性が強い地下水挙動に対する適用性が高い。

[3]地すべり現象と関係性が比較的強い指標として、気象庁タンクモデルの 3 段目タンク解析値、半減期 240~360 時間による実効雨量が考えられた。

上記の結果・推察は、1 地点の地すべり現象を対象とした検討より得られたものであり、これらの妥当性を検証するためには、より多くの災害事例を解析し、知見の蓄積を行う必要がある。

**謝辞：**本研究は鳥取大学「令和 5 年度工学部特別共同プロジェクト—多角的視点を取り入れた斜面崩壊の高精度予測手法の開発—（代表：河野勝宣）」の助成を受けて実施した。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所：事業紹介パンフレット，p.4, 2021。  
<https://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/outline/pdf/pamph.pdf>.
- 2) 国土交通省 HP：深層崩壊推定頻度マップ，2010。  
[https://www.mlit.go.jp/report/press/river03\\_hh\\_000252.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/river03_hh_000252.html)
- 3) 日本地すべり学会地すべりに関する地形地質用語委員会編：地すべり—地形・地質的認識と用語—，2004。
- 4) 丸谷知己編：砂防学，pp.73-77，朝倉書店，2019。
- 5) 河野勝宣，野口竜也，西村 強：AHP 法および GIS を用いた中国地方における地すべりハザードマッピングの試み，日本地すべり学会誌，Vol.57, No.1, pp.3-11, 2020。
- 6) 河野勝宣：地すべりハザードマップ作成範囲の大きさが地すべり危険度に及ぼす影響—国道 9 号出雲市多伎町地すべり地域の例—，第 11 回土砂災害に関するシンポジウム論文集，pp.245-250, 2022。
- 7) 梶川勇樹，宮崎雅大，大石瑞穂，河野勝宣，黒岩正光：地すべり危険度得点と地下水分布情報を用いたセル分布型流出解析に基づく表層崩壊予測，第 10 回土砂災害に関するシンポジウム論文集，pp.55-60, 2020。
- 8) 寺田秀樹，中谷洋明：土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法，国土技術政策総合研究所資料第 5 号，国土交通省，58 pp, 2001。
- 9) Y. Ishihara and S. Kobatake：Runoff Model for Flood Forecasting, Bull. Disaster Prevention Res. Inst., Kyoto Univ., Vol.29, pp.27-43, 1979。
- 10) 岡田憲治，牧原康隆，新保明彦，永田和彦，国次雅司，斉藤 清：土壌雨量指数，天気，Vol.48, No.5, pp.349-356, 2001。
- 11) 鈴木雅一，小橋澄治：がけ崩れ発生と降雨の関係について，砂防学会誌，Vol.34, No.2, pp.16-26, 1981。
- 12) 小杉賢一朗，三道義己，藤本将光，山川陽祐，正岡直也，水山高久，平松晋也，福山泰治郎，地頭菌隆：関数モデルを用いた深層崩壊の要因となる基岩地下水位変動の解析，砂防学会誌，Vol. 66, No.6, pp.3-14, 2014。
- 13) 小杉賢一朗：斜面崩壊の誘因となった降雨の評価手法，砂防学会誌，Vol.67, No.5, pp.12-23, 2015。
- 14) 執印康裕，堀田紀文，鈴木雅一：斜面崩壊発生時刻に影響を与える降雨条件の確率年を用いた評価について，砂防学会誌，Vol.72, No.1, pp.3-11, 2019。
- 15) 中村聡司，日置和昭：豪雨時土砂災害発生予測に用いる 3 段直列タンクモデルのパラメータについて，日本地すべり学会誌，Vol.60, No.1, pp.1-15, 2023。
- 16) 小杉賢一朗，千野佑輝，中谷加奈，正岡直也，小竹利明，菅原寛明，田中健貴：深層崩壊に対する警戒避難の発表ならびに解除に資する雨量データ解析，2019 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.279-280, 2019。
- 17) 太田琢磨：土壌雨量指数・表面雨量指数・流域雨量指数の概要と基準の設定方法について，2018。  
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/minkan/koushu180228/shiryu1.pdf>
- 18) 国土交通省中国地方整備局松江国道事務所，西日本旅客鉄道株式会社米子支社：「国道 9 号出雲市多伎地区地すべり対策検討委員会」の開催結果に基づいた今後の見通しについて，2021。  
[https://www.cgr.mlit.go.jp/matsukoku/information/pressrelease/2021/5\\_1038.pdf](https://www.cgr.mlit.go.jp/matsukoku/information/pressrelease/2021/5_1038.pdf)。
- 19) 島根県 報道発表資料：第 2 回島根県災害対策本部会議開催結果及び被害状況等（第 11 報）（7 月 6 日からの大雨について），2021。  
<https://www3.pref.shimane.jp/houdou/uploads/154592/135147/9fd45cbabd8c8f03dec922372b1f7609.pdf>。
- 20) 新谷浩矢，近藤弘嗣，横山悠実子：一般国道 9 号（出雲市多伎町）における地すべりの災害対応について，第 74 回（令和 4 年度）土木学会中国支部研究発表概要集，pp.34-37, 2022。
- 21) 広島県土砂災害危険度情報 HP（ポータル広島）  
<https://www.d-keikai.pref.hiroshima.lg.jp/public/MapDosh.aspx?p=risk>

(2024. 5. 31 受付)