住民による避難計画等の検討における
複合土砂災害シミュレータを活用した支援方策について

一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構：○佐光洋一，西山幸治，矢下誠人
京都大学　防災研究所：藤田正治，山野井一輝
松本砂防事務所：石田孝司，石田哲也※1（※１：現　北陸地方整備局）
広島西部山系砂防事務所：熊澤至朗，堀博幸
応用地質株式会社：林幸一郎，田渕圭

1. はじめに

平成 30 年 7 月豪雨では，土砂災害発生件数は過去最高を記録するとともに，多量の土砂の流出（土砂災害警戒区域の外へ）や土砂・洪水氾濫（土砂の堆積等による洪水氾濫被害の拡大），広域災害，交通網への影響等が特徴である．また，避難行動が不十分で，土砂災害警戒区域内で多くの住民の方が亡くなっている．

上述の課題等を踏まえ，人的被害等を軽減するため，京都大学防災研究所山野井一輝助教らが開発した複合土砂災害シミュレータ（SiMHiS）を活用し，対象地区において発生する可能性のある現象（斜面崩壊や土砂・洪水氾濫等）を時系列で把握し，その結果（事前検討）を住民へ分かりやすく伝えることで，土砂災害に対する意識の醸成や具体的な避難行動等の事前の検討などへの活用が期待できると考えられる．

本発表では，土砂災害に備えた取り組みとして，住民による警戒避難（避難タイミング，避難場所・経路等）に関する検討を支援するため，同シミュレータを用いて 3 地区（長野県北部の 1 地区（小谷村千国地区），広島県の 2 地区（呉市天応地区，広島市安芸区上瀬野地区））で検討した結果を紹介するとともに，今後の支援・活用方策についての考察する．

2. 複合土砂災害シミュレータ（SiMHiS）の概要

複合土砂災害シミュレータ（SiMHiS）とは，降雨時に発生する土砂災害や多様かつ避難を阻害しうるハザード群に着目し，その発生危険度を評価可能なシミュレータ（Storm Induced Multi-Hazard Information Simulator）のことである※．具体には，任意の降雨条件と地形条件に対し，降雨・崩壊・洪水に関連するハザード群の発生危険度を 4 段階のリスクレベルで時空間的に評価できる．関連するハザード群とは，下記の通りである．

・降雨：豪雨に起因する圧迫感や恐怖感，路面冠水　等
・崩壊：斜面崩壊，土石流，土砂流出　等
・洪水：溢水，洪水氾濫，橋梁の破壊，堤防の決壊　等

SiMHiS のメリットは，「いつ」，「どこで」，「どのような危険」が迫っているのか直感的にわかること，流域・地域との連続性がわかりやすいことである．

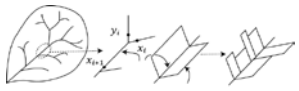
3. SiMHiS による解析結果事例

SiMHiS を用いた解析は，地形データの作成→パラメータの設定→シミュレーションの実行→H30.7 災の記録と同定分析を行い，解析結果を時系列変化の紙芝居の作成や河道区間での危険度レベルや水位・河床変動のグラフ化する手順で実施した．解析結果の一例を次図等に示す．また，同結果を踏まえ，警戒避難の計画検討に活用できるかの考察を行った．

H30.7 豪雨時の防災気象情報の発表タイミングとシミュレーション結果を比較した図 3 より，土砂災害警戒情報（18：10）の発表がされた時点で急激に水位が上

■流域地形モデル

流域を単位河道，単位斜面，斜面要素に分割
下流の単位河道では平野部を複断面に見立てて氾濫を定量評価



■土砂生産，供給モデル

斜面崩壊:土中水分量と限界土中水分量の比で判定

$$R_{st}=\frac{W_t}{\gamma W_{cr}}$$

$R_{st}\geq 1$で崩壊，γは補正係数

土砂供給：単位斜面ごとに堆積可能な土砂量(GISから算出)を超えた分が全て河道に供給

■斜面での降雨流出モデル

表面流，中間流統合型キネマティックウェーブ法

$$\alpha\frac{\partial h_r}{\partial t}+\frac{\partial q_r}{\partial x}=(r-f)\cos\theta$$

$$q_r=\begin{cases}k_A h_r\sin\theta & (D_A\geq h_r)\\ k_A D_A\sin\theta+\frac{1}{n_s}\sqrt{\sin\theta}\,(h_r-D_A)^{\frac{5}{3}} & (D_A<h_r)\end{cases}$$

計算は斜面要素で行う

■河道での水，土砂輸送モデル

水の質量保存則

$$\frac{\partial h}{\partial t}=\frac{1}{B_c L}(Q_{in1}+Q_{in2}-Q_{out})+\frac{1}{B_c}q_r$$

土砂の質量保存則

$$(1-\lambda)\frac{\partial z_b}{\partial t}=\frac{1}{B_c L}(Q_{in1}+Q_{in2}-Q_{out}+Q_{sup})$$

図 1　SiMHiS のモデル概要

■ハザードの危険度指標

Level1: ハザード発生の危険が少ない状態
Level2: ハザード発生の危険が高まっている状態
Level3: モデル上でハザード発生と判定された状態
Level4: Level3よりさらに危険な状態

降雨	斜面崩壊	氾濫
指標:降雨強度I[mm/h] 評価単位:単位斜面 Level1:0≦ I <20 Level2:20 ≦ I < 50 （「強い雨」・「激しい雨」） Level3:50 ≦ I < 80 （「非常に激しい雨」） Level4:80≦I （「猛烈な雨」）	指標:斜面崩壊指標の最大値 R_{smax}と平均値R_{save} 評価単位:単位斜面 Level1:$R_{smax}\leq 0.9$ Level2:$0.9\leq R_{smax}<1$ Level3: $R_{smax}\geq 1, R_{save}<1$ （一部の地点で崩壊発生） Level4: $R_{smax}\geq 1, R_{save}\geq 1$ （単位斜面全体が崩壊の危険）	指標: 水位と溢水水位の比h_* 評価単位:単位河道 Level1: h_* <0.8 Level2:$0.8\leq h_*<1.0$ Level3:$1.0\leq h_*<1.2$ （氾濫発生） Level4:$1.2\leq h_*$ （大きな氾濫が発生）

図 2　ハザード Level

表 1　シミュレータ解析に必要な情報

必要なデータ	必要性	目的	備考
地形データ	○	リスク評価	LPデータ等
主な保全対象	△	リスク評価	危険度リスクの時間的変化表示箇所
災害時降雨データ	○	パラメータの設定	時間雨量、10分間雨量等
災害状況	△	パラメータの設定	災害の位置と発災時刻等
トラブルスポット	△	パラメータの設定	氾濫の危険度が高い箇所と河道断面
粒度分布	△	パラメータの設定	既往の調査結果
層厚等	△	パラメータの設定	既往の調査結果

昇しており，大雨特別警報(19:40)の発表前後には水位・河床ともに想定流路高さを超え，避難困難または，既に被害が発生していると予想される結果となった．

図 4 は，7 月 6 日 18 時頃（紙芝居の一部）の結果である．各タイミングの結果を時系列で確認すると，15：00 の時点で 1 斜面の斜面崩壊リスクが上昇し始め，16：00～17：00 で複数の斜面崩壊リスクが上昇し，土砂災害警戒情報の時点では上流域に斜面崩壊リスクがレベル 3 に，氾濫リスクもレベル 3 に達する河道が生

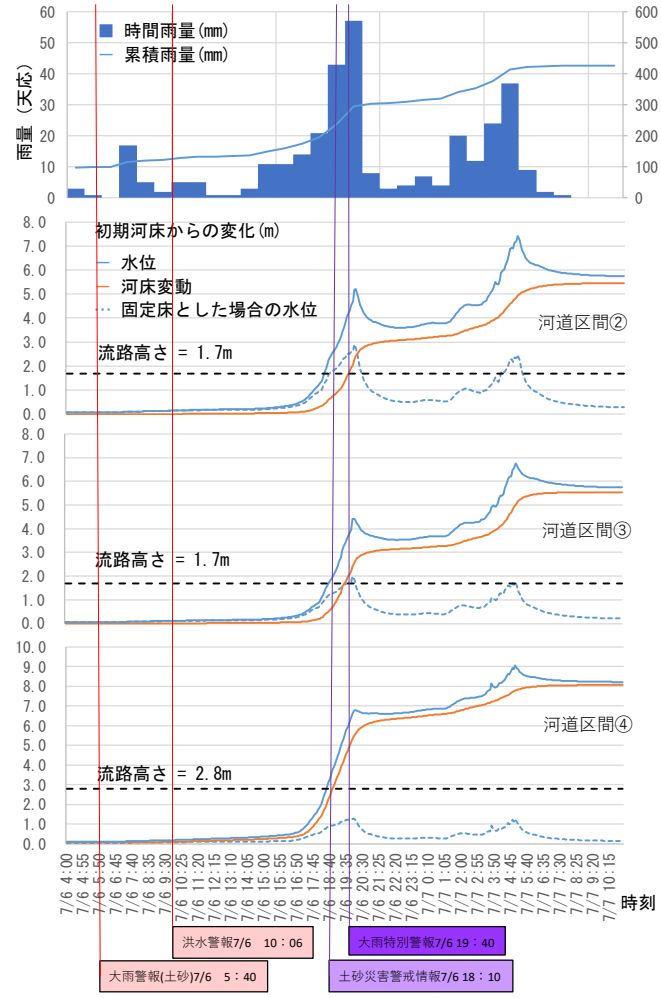


図 3　雨量・水位等の推移グラフ（天応地区の事例）

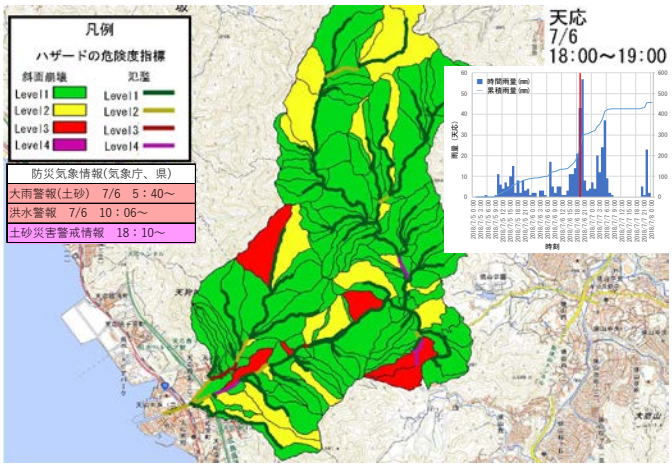


図 4　危険度分布図（天応地区の事例）

じている．18：35 には下流河道の氾濫リスクが最高のレベル 4 に達し，計算上は氾濫していることを示す結果となった．その他の 2 地区においても，上述と同様に時系列でのリスクレベルの変化や設定した河道区間毎の水位変動やリスクレベル変化が把握された．

4. SiMHiS の警戒避難検討への活用

本解析結果を活用した住民による避難計画等の活用支援について，考察した．以下にメリットや活用に際しての留意点を整理した．

(1) 活用のメリット

- 流域の状況を踏まえて，自主避難の必要性や安全な避難の可否，安全に避難するためのタイミング等の判断に資する情報として活用できる．
- 詳細な降雨条件や予想降雨等の条件が得られれば，準リアルタイムに地域の危険度レベルを把握することが可能（さらなる精度向上が必要）．
- 危険度レベルが時空間的に示されるため．住民等が直感的に解りやすい．

(2) 住民等へ解析結果を提供する際の留意点等

- 本モデルで，表現できること，できないこと，再現の限界（精度の限界），想定しうるハザード群等について，解りやすく明示する必要がある．
- 地域で過去に発生した災害事例を対象として，再現計算を実施した際の結果と，対象事例の降雨波形を参考として提供することにより，過去の災害時との比較ができるよう工夫する．
- 適切な避難行動のタイミング（早めの行動）等を踏まえて，避難の必要性等に関する助言を可能な範囲で示すこと，安全な避難が困難と考えらえる場合の次善の策についても，記載する等の対応が望ましい．
- 解析結果図等へ流域内の主な施設や道路等を示すことにより，住民が直感的に位置を解りやすく，また，避難の際のリスクが把握できるよう配慮する．
- 解析図，グラフ等や文章だけでは伝わりづらい状況が生じることから，図上に解りやすく注釈等を書き込むなどに心掛けることが望ましい．

5. おわりに

本発表は，住民よる防災力向上を支援するための一方策について検討した結果である．

今後は，実際に SiMHiS による解析結果を，住民による避難検討時の助言等へ活用していくことを想定している．その際には，提供を受ける住民の反応や意見，指摘を踏まえ，より解りやすい資料を作成し，適切な警戒避難に資する支援策の一つとしたいと考えている．

※引用文献：山野井一輝，藤田正治，豪雨時の水・土砂災害に関わるハザード群の発生リスク評価，土木学会論文集 B1（水工学）2016，72 巻 4 号 p. I_1291-I_1296