

土石流発生時の住民の避難行動に関する考察

国土交通省国土技術政策総合研究所 ○水野秀明、鈴木拓郎、小山内信智
中電技術コンサルタント株式会社 倉本和正、金本 満

1. はじめに

平成 16 年から平成 20 年の 5 カ年の平均で 15 名の方々が土石流によって犠牲となっており、土砂災害の中で最大である。また、温暖化により豪雨の頻度が増えると予想されており、土石流による土砂災害リスクは今後高まっていくと想定される。

国土交通省や都道府県は土石流による土砂災害リスクを低減させるために、砂防堰堤といった「構造物による対策」や、土砂災害警戒区域等の指定や土砂災害警戒情報の発信といった「構造物によらない対策」を講じてきている。しかしながら、砂防事業費は近年の経済状況の悪化等から年々減少しているため、今後より一層効率的に土砂災害リスクを低減させる対策を講じなければならない。

国土交通省は平成 16 年 2 月に「公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針」を通知し、砂防事業といった防災事業による期待被害額の低減効果という視点で投資効率性を評価することとなった。従って、砂防事業においても、土砂災害リスクを期待被害額で定量的に評価していく必要がある。しかしながら、構造物による対策による期待被害額の低減効果を定量的に評価する手法は策定されているものの、その対策と構造物によらない対策を組み合わせた対策による期待被害額の低減効果を定量的に評価する手法は策定されていない。このような背景のもと、著者らは両対策を組み合わせた対策による期待被害額の低減分を定量的に算定する手法を開発することを目標に、2 次元土石流氾濫計算とマルチエージェントを組み合わせた数値計算モデル¹⁾を検討してきた。前報²⁾では、計算方法の開発を主眼としていたことから、住民の避難行動をかなり簡略したモデルを用いており、また、実際に発生した土砂災害への適用性も検討できていなかった。

そこで、前報で示した住民避難追跡モデルのうち「避難行動ルール」をより実際の避難行動を簡潔な方法で再現できるよう改良することを目的として検討を行った。また、平成 21 年台風 9 号での事例にみられるように、住民が避難行動中に洪水等に巻き込まれて被災する場合もある。特に、山地では、豪雨時に土石流だけでなく、急激な流出による洪水も生じることが予想される。そこで、土石流だけでなく洪水の氾濫も加味できるようモデルを改良した。それらの検討結果の概要を以下に報告する。

2. 住民避難追跡モデルの改良の概要

住民避難追跡モデルは次の 2 つから構成される。まず、2 次元土石流・洪水氾濫計算モデルを用いて、土砂と水の流れを時系列的に推定する。その後、各住民が降雨状況、土石流又は洪水の状況、地形、避

難所との相対的な位置といった情報に基づいて移動する過程を推定する。

2.1. 土石流・洪水氾濫計算モデルの概要と改良点

前述のように土石流だけでなく洪水の氾濫も算出できるように、2 次元浅水流モデルを採用した。逐次計算に際して差分法を用いて離散化した。なお、河床面に作用するせん断応力は土石流の場合で石礫型土石流の抵抗則、洪水の場合で Manning 型の抵抗則を用いた。

2.2. 住民移動過程計算モデルの概要と改良点

2.2.1. 移動過程の計算

移動過程は前報の考え方³⁾と同様とし、ある時刻での位置ベクトルに、その時刻での条件に応じた移動速度に時間をかけた値の長さのベクトルで移動する方向に向いたものを加えることで逐次追跡した。

2.2.2. 移動速度と方向の設定（避難行動ルール）

表 1 は移動速度と方向の計算方法を示したもので、本報告では避難行動ルールと呼んでいるものである。なお、本報告では、住民が土石流又は洪水に巻き込まれた時点で、行動の種類に関わらず、移動速度を 0m/s とした。また、移動手段は徒歩のみとし、その移動速度は平均的な速度である 4km/h とした。

表 2 は目的地の選択と変更を示したもので、土砂と水の流れの状況に応じて目的地を選択あるいは修正する。目的地を修正した場合には、目的地への最短道路を新たに選択する。視野は半径 10m とした。

2.2.3. 移動の開始を判断する方法の改良

前報では、土石流の発生と同時に住民が避難すると仮定したが、近年の調査結果⁴⁾と比較すると、その仮定は実際と差異が生じていると考えられる。そこで、避難者数の推移と、防災気象情報と防災情報の推移を実際の例に基づいて整理してみる。図 1(a)

表 1 避難行動ルールと計算方法

行動の種類	行動の内容
判断	以下の判断を行う。 ・移動の開始 ・目的地(避難所・自宅・高台等)の選択と変更 ・目的地への最短道路の選択と変更 ・移動手段(徒歩・自動車など)の選択
移動	目的地への最短道路に沿って、移動手段に応じた速度で動く。(本報告では徒歩のみ選択可)

表 2 目的地の選択あるいは変更の考え方

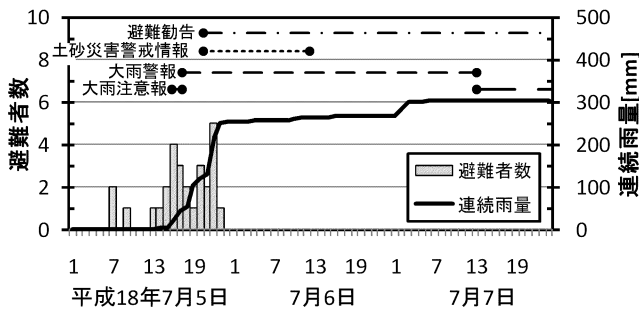
土石流又は洪水の状況	目的地
「土石流又は洪水が住民の視野の中にある」かつ「避難所までの道路がある」	避難所
「土石流又は洪水が住民の視野の中にある」かつ「避難所までの道路がない」	自宅
土石流又は洪水が住民の視野に入る	高所

は既往文献²⁾を参考に平成19年7月に土石流により土砂災害の発生した鹿児島県垂水市二川地区、(b)は平成18年7月に土石流により土砂災害の発生した同市上市木地区で事例である。これらの図から、避難者数の推移は降雨の状況や防災気象情報、防災情報の時系列変化と大まかな関係を有していると考えられる。そこで、降雨の状況すなわち防災気象情報の発表のタイミングと防災情報の発令のタイミングから、2つの事例での避難者数を整理すると表3のようになる。ここで、表の横方向は降雨状況に関する情報で、①から④に行くにつれて危険な状況である。また、表の縦方向は防災情報の有無に関する情報で、⑤から⑦になるにつれて危険な状況と判断できる。表3の割合(累計)は、まず①から④の方向で割合を足し合わせた後、その値をさらに⑤から⑦の方向で足し合わせた値である。そのため、割合(累計)の値は④かつ⑦の条件を満たす状況で100%となり、全員が避難することとなる。本報告では、避難を始める住民は乱数を発生させて選定した。その人数は表3に示した割合を満たすように調整した。それぞれの事例に適用するに際しては、100回計算を繰り返して計算し、各回の計算で避難所までたどり着いた住民の合計を100で割って平均化した人数を避難した住民の数とした。①かつ⑤の条件は避難し始める時刻の判断材料がないため、本報告では除外した。

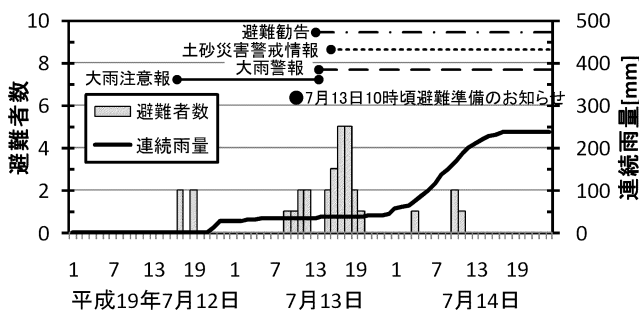
3. 改良結果についての考察

今回適用した2つの事例では本川での洪水氾濫は見られなかったため、2.2の改良結果について考察する。災害が発生した日時にどれだけの数の住民が自宅にいたのか、把握していないので、避難という行動をとった住民の割合が変化する過程を比較した。

図2は計算結果と実際との比較結果である。上市



(a) 鹿児島県垂水市上市木地区 (28人)



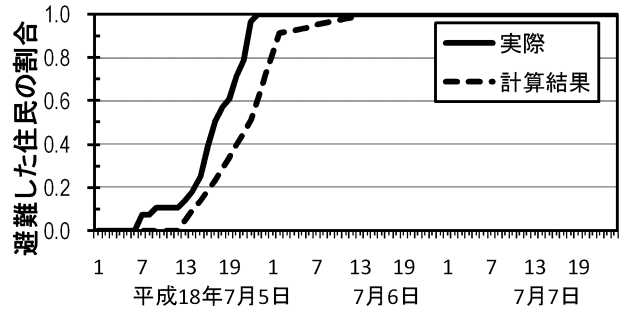
(b) 鹿児島県垂水市二川地区 (32人)

図1 避難者数の推移と各種情報発令の推移

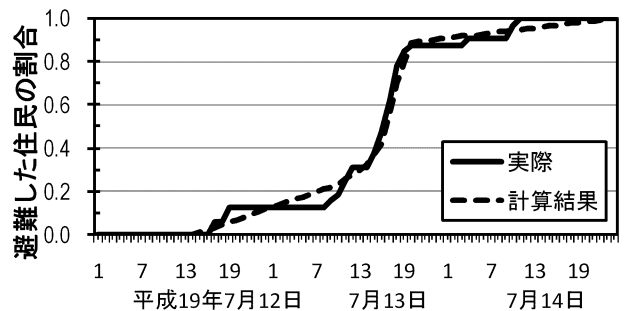
表3 避難した方々の割合(累計)

	①	②	③	④	凡例
⑤	5.0	26.7	45.0	45.0	①降雨なし
⑥	5.0	35.0	53.3	53.3	②降り始め~大雨注意報の発表
⑦	5.0	35.0	56.7	100.0	③大雨警報の発表
					④土砂災害警戒情報の発表
					⑤防災情報なし
					⑥防災情報(避難所開設・避難準備)の発令
					⑦防災情報(避難勧告)の発令

単位: %、避難者数の総数: 60人



(a) 鹿児島県垂水市上市木地区



(b) 鹿児島県垂水市二川地区

図2 避難した住民の時系列変化の比較

木地区の場合では、計算結果は実際よりも遅くなった。これは前述のように降雨なしの状況で避難をされた住民の行動を反映できなかったためである。この地区では災害の2日前に土砂流出があったと報告されているため、住民の避難に対する心構えができており、早めの避難につながった可能性がある。この点は今後改良すべき課題と考えている。一方、二川地区については、計算結果は実際の傾向と概ね一致しており、表3で設定した判断方法は概ね妥当であったと考えられる。

4. おわりに

本報告では、平成18年と19年に鹿児島県垂水市で発生した土砂災害を参考に移動の開始を判断する方法を改良するとともに、洪水の氾濫も考慮できるように改良した。そのモデルを実際の事例に適用したところ、いくつかの課題が明らかとなった。今後それらの改良を行いたいと考えている。

参考文献; 1)水野秀明ら(2008):土石流による土砂災害リスク評価手法に関する考察、平成20年度砂防学会研究発表会概要集、p.28-29、2)三上幸三ら(2008):土砂災害警戒区域等の指定による警戒避難に関する住民の意識と行動の変化について~鹿児島県垂水市でのアンケート調査~、平成20年度砂防学会研究発表会概要集、p.228-229