

リアルタイム土砂・洪水氾濫予測モデルの紹介

樋田 祥久・岡村 誠司・越智 尊晴

近年、中山間地での複数の斜面崩壊・土石流と、それに伴う下流域での土砂・洪水氾濫の発生により、甚大かつ広域な被害が頻発している。土砂災害による被害の軽減には、氾濫範囲をリアルタイムで予測することが重要である。

本稿では、パターンマッチング処理による土砂・洪水氾濫予測モデルの予測精度の適用性を示すとともに、今後の課題・展開について紹介する。

キーワード：土砂・洪水氾濫、分布型降雨流出計算、河床変動計算、パターンマッチング、d4PDF

1. はじめに

土砂・洪水氾濫は、豪雨により上流域から流出した多量の土砂が谷出口より下流の河道で堆積することにより、河床上昇・河道埋塞が引き起こされ土砂と泥水の氾濫が発生する現象である（図—1）。

都道府県は、土砂災害を防止するため、土砂災害警戒情報等を住民に伝達する体制を整備（ハザードマップ等）しているが、対象とする現象は斜面崩壊・土石流及び地すべりであり、土砂・洪水氾濫ではない。

平成30年7月の西日本豪雨では、広島県の総頭川流域において、この土砂災害警戒区域より下流で、土砂・洪水氾濫が発生し、甚大かつ広域な被害が発生した。

このような土砂・洪水氾濫に対し、国土交通省では、「河床変動計算を用いた土砂・洪水氾濫対策に関する砂防施設配置検討の手引き（案）H30.11」を示し、数値解析の有用性と、解析を活用した砂防堰堤等の配置検

討をとりまとめており、各地で対策が検討されている。

一方、砂防堰堤等のハード対策は、完成までに時間がかかる他、気候変動の影響により計画規模を上回る規模の洪水が発生した場合の対応は十分ではない。このため、住民の命を守るためには、高精度のリアルタイムの予測情報を活用した住民避難（ソフト対策）が必要である。

2. リアルタイム土砂・洪水氾濫モデルの概要

（1）解析モデルの概要

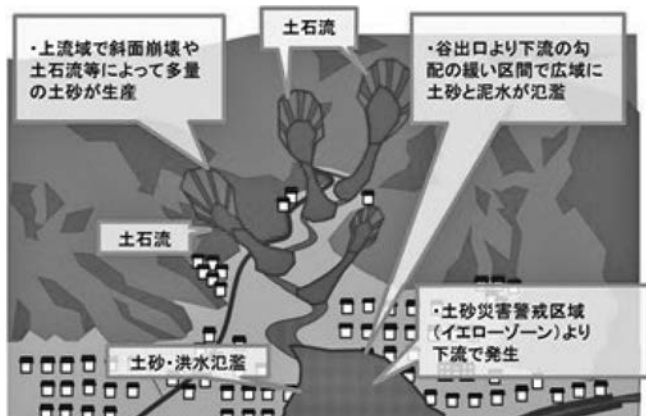
解析モデルは、将来的なリアルタイム予測を念頭に、表—1に示すとおり、①降雨予測モデル、②降雨流出モデル、③土砂流出モデル、④土砂・洪水氾濫モデル、⑤リアルタイム予測対応に大別される。

土砂・洪水氾濫のモデルは、実績雨量や予測降雨といった降雨量を入力条件として、斜面から河川への流出量を算定するとともに、河川を流れる流量と土砂量、河床が上昇することによる氾濫発生、浸水範囲や土砂堆積厚を算定することができる（図—2、3）。

（2）リアルタイム土砂・洪水氾濫モデルの構成

リアルタイムの土砂・洪水氾濫の予測計算は、避難情報として有益なリードタイムを確保するため、実績雨量と予測雨量が10分ピッチで入手できる現状を踏まえ、予測計算結果が10分以内に表示可能なモデルを構築するものとした。

一方、平面二次元土砂・洪水氾濫の計算時間はメッシュ数に依存するが、浸水域や堆積深の再現精度を考



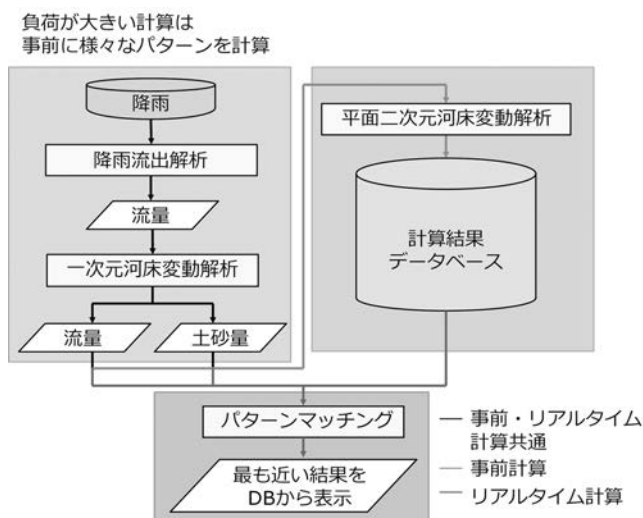
図—1 土砂洪水氾濫のイメージ（国土交通省 HP より）

表－1 モデルの構成

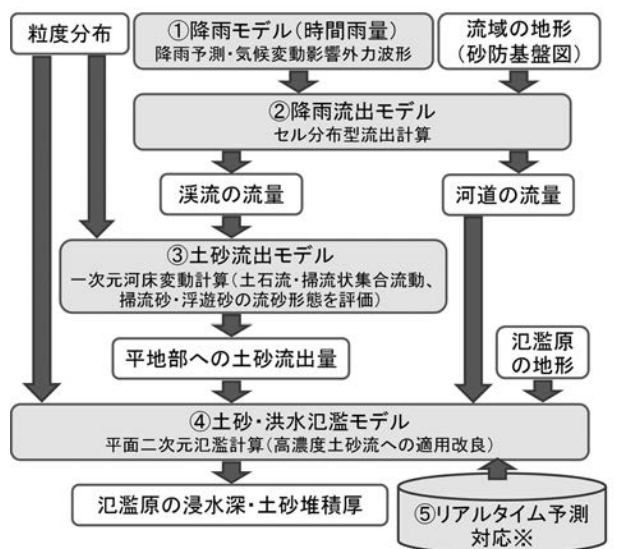
モデル	内 容
①降雨モデル	・レーダ雨量による短時間降雨予測技術と数値モデルによる長期降雨予測技術を用いたハイブリッド降雨予測モデル ・d4PDF 等のアンサンブル将来予測降雨による気候変動影響を考慮した外力設定
②降雨流出モデル	・洪水予測等において適用実績のあるセル分布流出モデルを適用
③土砂流出モデル	・土石流から掃流状集合流動、掃流砂・浮遊砂までを一連で計算可能な一次元河床変動モデルを適用
④土砂・洪水氾濫モデル	・掃流砂・浮遊砂領域を対象に、高濃度の土砂流へ適用するため、掃流力には流水密度に水と土砂の混合密度、浮遊砂の沈降速度には干渉沈降を考慮した平面二次元氾濫モデルを適用
⑤リアルタイム予測	・計算負荷の大きい④土砂・洪水氾濫モデルについては、想定最大降雨を含む模擬降雨による計算結果をデータベース化し、降雨予測に基づく土砂・氾濫計算結果をリアルタイムに出力するパターンマッチングを適用



図－2 土砂・洪水氾濫のモデルの概要



図－4 リアルタイム予測計算のフロー



※模擬降雨による土砂・洪水氾濫結果をデータベース化
降雨予測に基づく土砂・洪水氾濫計算結果をリアルタイムに出力

図－3 土砂・洪水氾濫シミュレーションフロー

イムでの計算が時間内に終了しない。

そこで、モデルの構成は、図－4に示すように一次元河床変動計算まではリアルタイムで計算し、二次元計算結果はデータベース（事前に多数のシミュレーションを実施）から抽出するものとした。

3. パターンマッチング処理の予測精度検証

本章では、平成30年7月西日本豪雨下の総頭川流域（広島県坂町）を対象として、予測モデルの再現精度を検証し、シミュレーションの有効性を示す。その上で、本モデルを活用して総頭川流域を対象としたパターンマッチング処理による予測精度の検証を行う。

(1) 土砂・洪水氾濫モデルの構築

予測モデルは、XRAINの10分間雨量を外力条件とし、セル分布型降雨流出モデル（25mメッシュ）による流量、および一次元河床変動モデルによる土石流出量を境界条件として、総頭川下流域の二次元土砂・

えるとメッシュサイズを小さくする必要があり、広範囲の計算を実施する際は計算負荷が大きく、リアルタ

洪水氾濫計算（5 m メッシュ）を行い、再現性を確認した。予測モデルの計算条件は表―2 に示し、総頭川流域の落水線網を図―5 に示す。

予測による浸水の氾濫域は実績の氾濫域を概ね再現できており、シミュレーションの有効性を示した（図―6 参照）。

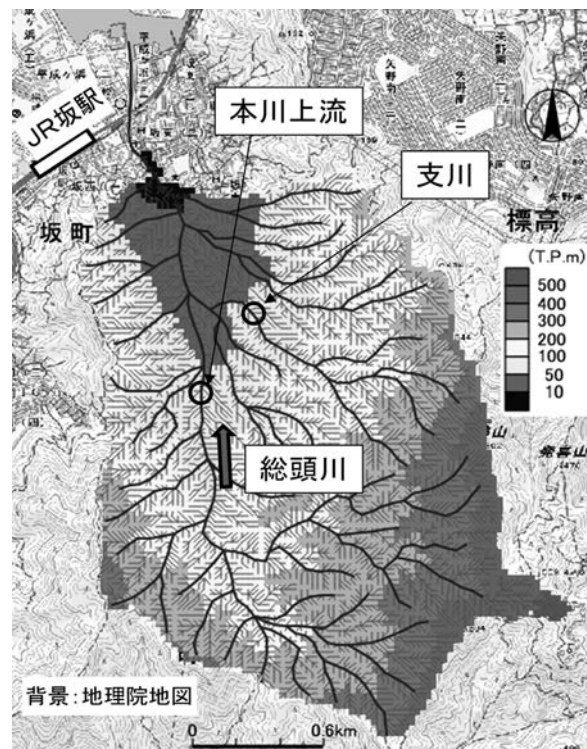
(2) データベースに登録する対象洪水の設定

データベースに登録する対象洪水は、総頭川流域で発生しうる洪水として、1 km メッシュのレーダ雨量が存在する 2006 年～2019 年までに発生した洪水から、様々な降雨要因、降雨分布、降雨波形となるよう 10 降雨波形を選定した（表―3）。また、選定した降雨波形を 0.1 倍～想定最大規模相当まで引伸ばして対象洪水とした（186 洪水）。さらに、未経験洪水や気候変動の影響を考慮して将来土砂災害が発生すると想

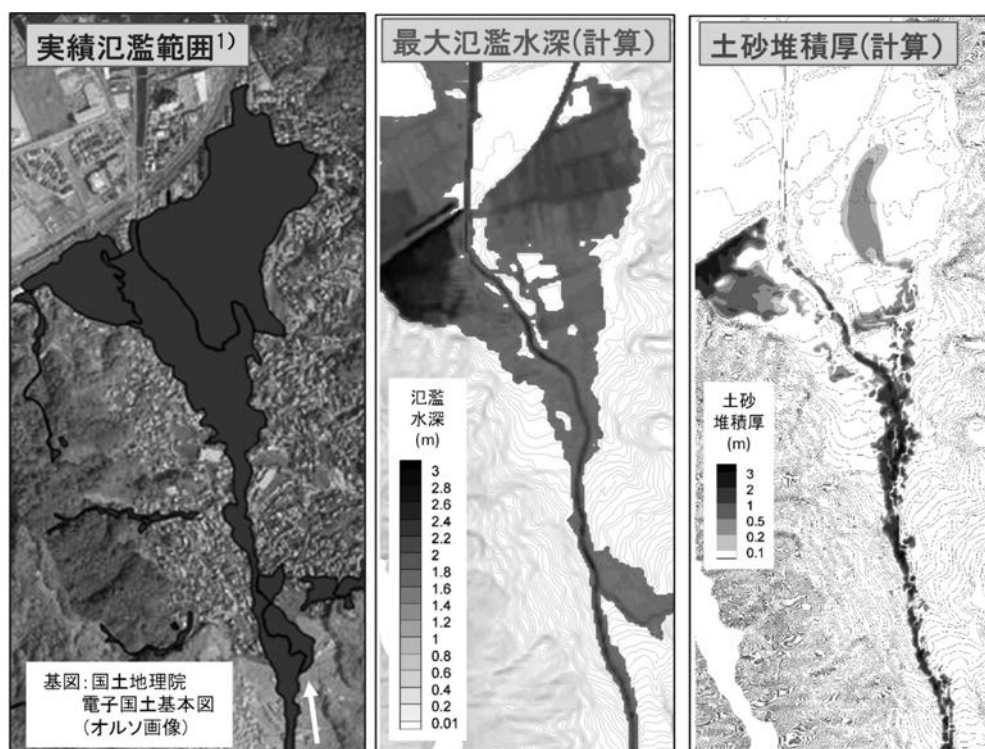
表―2 二次元土砂・洪水氾濫計算モデルの概要

流水	平面二次元浅水流方程式
掃流砂	芦田・道上式（掃流力算出時に水と土砂の混合密度を使用）
浮遊砂	浮上量：板倉・岸の式（掃流力算定時に水と土砂の混合密度を使用） 沈降速度：Rubey の式（干渉沈降を考慮） 土砂流送：浮遊砂濃度の平面二次元移流拡散方程式
河床変化	流砂の連続式，混合粒径（交換層モデル）

定される洪水への対応として、d4PDF の過去実験及び将来 2℃ 上昇実験の降雨データから 71 洪水を追加し、計 267 洪水を選定した。なお、d4PDF は、崩壊の実績が確認された H28.6 降雨時の土壌雨量指数 166 以上となる洪水を対象とした。



図―5 総頭川流域の落水線網



図―6 土砂・洪水氾濫範囲の再現計算結果

※広島大学 平成 30 年 7 月豪雨災害調査団（地理学グループ）：平成 30 年 7 月豪雨による広島県の斜面崩壊の詳細分布図（第二報），2019.6

表―3 対象洪水波形

発生年	開始日	終了日	最大 時間雨量	累加 雨量	土壌 雨量指数	降雨の特徴			
						崩壊発生	降雨要因	洪水発生月	降雨分布 降雨波形
2009	7/20	7/21	26	191	129	－	前線	7月	平野部 2山
2009	7/24	7/27	44	203	136	－	前線+低気圧	7月	山地部 前方集中
2010	6/25	6/28	23	170	108	－	前線+暖湿流	6月	平野部 中央集中
2010	7/11	7/15	33	289	164	－	前線+低気圧	7月	フラット 2山
2013	8/24	8/26	35	165	114	－	前線+暖湿流	8月	フラット 散発的
2013	9/1	9/4	26	220	145	－	台風	9月	フラット 2山
2013	10/23	10/25	12	181	112	－	前線+台風	10月	平野部 フラット
2014	8/5	8/6	27	122	124	－	暖湿流	8月	フラット 後方集中
2016	6/19	6/24	41	345	166	○	前線+低気圧	6月	山地部 3山
2018	7/5	7/8	62	560	259	○	前線	7月	フラット 3山

(3) 一次元河床変動計算結果と平面二次元土砂・洪水氾濫計算結果の関係性の分析

一次元河床変動計算結果と平面二次元土砂・洪水氾濫計算のマッチングにあたり、両者の計算結果の関係性を分析した。

一次元河床変動計算結果の各地点（図―5における本川上流と支川，河口部）におけるピーク流量，総流出量，総流出土砂量の各指標に対して，二次元土砂・洪水氾濫計算の浸水面積（河道域も含む）と土砂堆積量について分析し，比較的高い相関関係が見られた本川上流の結果を図―7に示す。

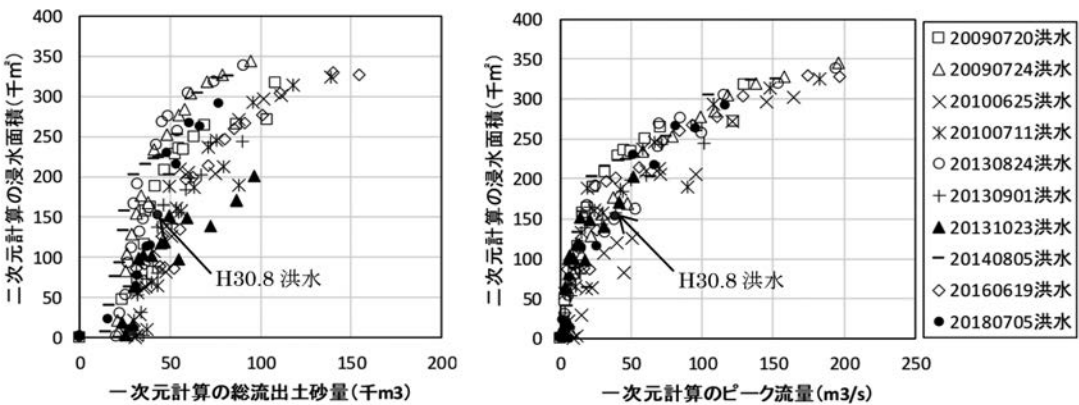
この結果によると，浸水面積は，総流出土砂量が25千m³程度より大きくなると急激に増加することと，ピーク流量と高い相関関係があることがわかった。以

上の分析結果より，総流出土砂量が25千m³を超えた際に氾濫したと見なしてマッチング処理を行うものとし，マッチングの評価指標は流量とすることとした。

(4) パターンマッチングの適用性評価

パターンマッチングは，有意な河床変動が発生する10m³/s以上からピーク流量までの流量ハイドログラフを評価対象とし，Nash-Sutcliffe 係数（以降NS係数と呼ぶ）が最も高い洪水を抽出するものとした。適用性の評価は，西日本豪雨（降雨倍率1.0倍，1.4倍，1.8倍）を対象洪水とし，この洪水波形以外の洪水から抽出するものとした。

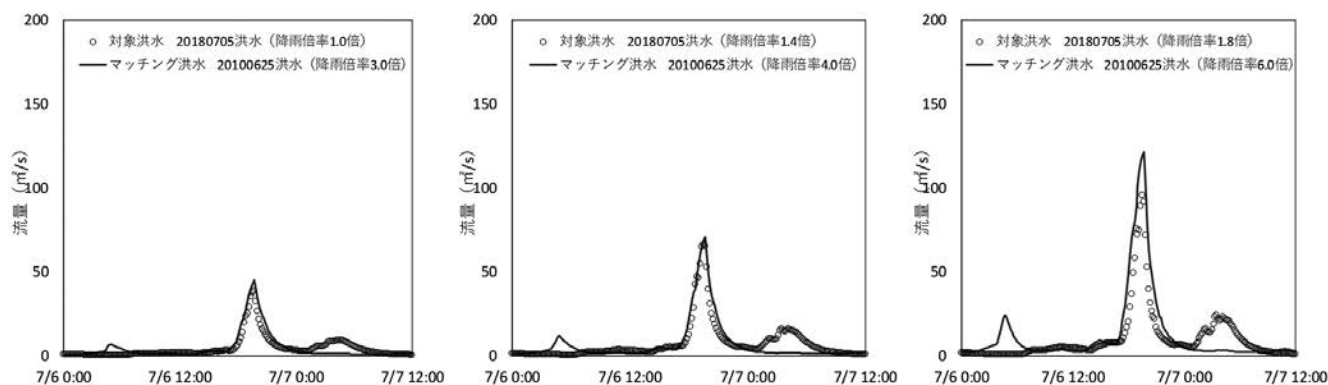
パターンマッチングの評価結果は，表―4に示すとおり，NS係数は0.07～0.21程度となった。また，



図―7 一次元河床変動計算結果と平面二次元土砂・洪水氾濫計算結果の関係性

表―4 パターンマッチングの評価結果

対象洪水		マッチング洪水		一次元計算	二次元計算
洪水名	最大浸水面積 (m ²)	洪水名	最大浸水面積 (m ²)	NS 係数	浸水面積の誤差率
2018/7/5 洪水 (降雨倍率 1.0 倍)	153,675	2010/6/25 洪水 (降雨倍率 3.0 倍)	126,000	0.21	18%
2018/7/5 洪水 (降雨倍率 1.4 倍)	215,600	2010/6/25 洪水 (降雨倍率 4.0 倍)	204,725	0.17	5%
2018/7/5 洪水 (降雨倍率 1.8 倍)	262,100	2010/6/25 洪水 (降雨倍率 6.0 倍)	271,525	0.07	4%



図一八 対象洪水とマッチング洪水の流量ハイドログラフ（本川上流地点）

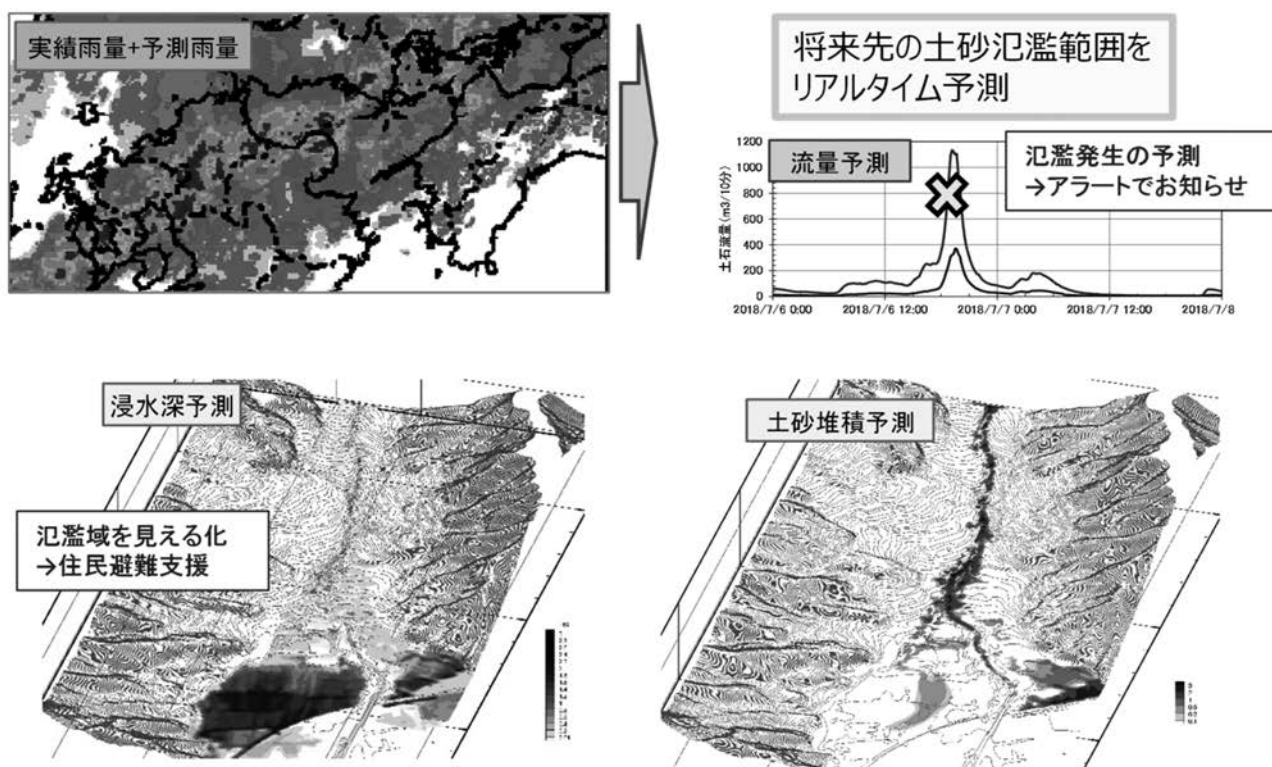
最大浸水面積の誤差率は4%～18%であり、規模が大きいと誤差が小さくなる傾向が見られた。一次元の流量ハイドログラフは図一八に示すとおり、流量が同程度の洪水が抽出されており、整合性が高いと言える。

4. 今後の展望

本稿では、降雨予測と連動させたリアルタイムでの土砂・洪水氾濫予測モデルを構築するため、計算負荷の削減とリアルタイム予測を可能とする処理手法として、予めデータベース化した模擬降雨による計算結果と予測降雨による計算結果のパターンマッチング処理による予測精度の適用性を評価した。これにより平成

30年7月西日本豪雨下の総頭川流域（広島県坂町）における再現性を確認し、パターンマッチング処理の有効性を示した。本モデルは、中山間地での土砂流出と洪水氾濫に対する住民の主体的避難の促進、行政の危機管理対応の的確な判断に資する有効なツールとして活用できる（図一九）。

総頭川流域では浸水面積とピーク流量に有意な関係性が見られたため流量で評価したが、流出土砂量による評価が適当な流域もあると考えられる。今後は、他流域やより広範囲での適用性について研究を進める予定である。



図一九 土砂・洪水氾濫予測システムの構築

5. おわりに

XRAIN については国土交通省より提供されたものであり、利用したデータセットは文部科学省の委託事業により開発・運用されているデータ統合解析システム（DIAS）の下、収集・提供されたものである。土石流を含む一次元河床変動モデルについて、立命館大学理工学部里深教授よりプログラムの提供と指導をいただいた。ここに記して謝意を表します。

J|C|M|A

《参考文献》

- 1) 広島大学 平成 30 年 7 月豪雨災害調査団（地理学グループ）：平成 30 年 7 月豪雨による広島県の斜面崩壊の詳細分布図（第二報），2019.6
- 2) 加藤陽平ら：西日本豪雨災害（広島県坂町）における土砂・洪水氾濫モデルの適用，砂防学会研究発表会概要集 85-86，2020.
- 3) 樋田祥久ら：パターンマッチング処理を用いた土砂・洪水氾濫予測モデルの構築，砂防学会研究発表会概要集 283-284，2022.

【筆者紹介】

樋田 祥久（ひだ よしひさ）

いであ(株)

社会基盤本部 国土保全事業部 流域減災部
グループマネージャー



岡村 誠司（おかむら せいじ）

いであ(株)

社会基盤本部 国土保全事業部 河川部
グループ長



越智 尊晴（おち たかはる）

いであ(株)

東北支店 河川部
技師

