

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

①研究代表者		氏 名（ふりがな）	所 属	役 職			
		竹林洋史（たけばやしひろし）	京都大学防災研究所	准教授			
②研究テーマ	名称	F S スタート 【テーマ名】 マルチスケール流域土砂動態モデルの開発と動的土砂災害対策への応用					
③研究経費（単位：万円） ※端数切り捨て。		令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度			
		296万円	843万円	843万円			
				総 合 計			
				1982万円			
④研究者氏名（研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）							
氏 名		所属機関・役職（※令和5年3月31日現在）					
藤田正治		京都大学防災研究所・教授					
宮田秀介		京都大学防災研究所・准教授					
山野井一輝		京都大学防災研究所・助教					
⑤技術研究開発の目的・目標（様式地砂-1、地砂-2に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。） 【FSスタートの場合は、FS研究と一般研究を別立てで記入してください】							
FS研究							
（目的）2011年の台風12号による豪雨発生時の那智川流域における土砂動態の実態をデータ解析、現地観測および数値シミュレーションによって明らかにする。さらに、マルチスケールの流域土砂動態を把握するための数値シミュレーションモデルの開発を行う。							
（目標）那智川流域において、TDRを用いた浮遊砂及び河床変動の観測を実施する。また、申請グループの研究者によって開発されている流域土砂動態モデルSiMHiSと土石流モデルMorpho2DHの統合のため、各モデルの改良を行う。							
一般研究							
（目的）2011年の台風12号による豪雨発生時およびその後の那智川流域における土砂動態の実態をデータ解析、現地観測によって明らかにする。また、様々な時空間スケールの土砂動態を解析するマルチスケール流域土砂動態モデルを開発し、土石流渓流からの生産土砂量を土石流による渓床や渓岸の浸食現象により評価可能とする。さらに、マルチスケール流域土砂動態モデルを那智川流域に適用し、時間的・空間的に動的な土砂災害対策を提案する。							
（目標）那智川流域において、TDRを用いた浮遊砂及び河床変動の観測を実施する。申請グループの研究者によって開発されている流域土砂動態モデルSiMHiSと土石流モデルMorpho2DHを統合するための各モデルの改良を進める。また、改良したモデルを連動したマルチスケール流域土砂動態モデルを開発し、2011年台風12号通過時に那智川流域で発生した土砂流出現象を対象に数値シミュレーションを行うとともに、解析結果を用いて動的な土砂災害対策を提案する。							

⑥研究成果

(具体的にかつ明確に記入下さい。4ページ程度。)

【FSスタートの場合は、FS研究と一般研究を別立てで記入してください】

FS研究

那智川流域の土砂動態の実態の把握とマルチスケール流域土砂動態モデルの開発のための各モデルの改良に関する研究を進めた。FS研究で得られた成果をまとめると以下のようなものである。

FS研究実施年度において、規模の大きな出水が無く、那智川ではまだ十分なデータが取得されていないため、宮田がこれまで行った観測データを解析することでTDRの計測下限について検討した。イタリア北部のSolda流域で2019年5~8月にTDRおよび採水サンプルで計測した浮遊砂濃度（それぞれCTDR、Csampleとする）を検討に用いた。Solda流域は夏期に氷河が融解することで土砂流出が発生している。また、降雨時には非常に激しい土砂流出が観測される。TDRでは10分間隔で河川水中の土砂濃度を計測した。もう一方の採水サンプルは、毎日午前1時に自動採水器により採取されたものを実験室で炉乾燥して土砂濃度を求めた。採水時刻のCTDRとCsampleをペアとすると、観測期間中に48組のセットが得られた。解析に用いたCsampleは0.0091~0.23 % (=0.24~6.0 g/L) であった。ここではCsampleを浮遊砂濃度の真値に近似したものとして扱い、CTDRがどの程度Csampleに近いかを調べた。CTDRとCsampleのペア48組についてCsampleの大きい順から5組ずつ解析対象を増やし、それぞれについて統計指標を計算した。

したがって、10のデータセットについて統計指標を求めたことになる。統計指標としては、決定係数 (R^2)、Nash-Sutcliffe efficiency (NSE)、CTDR/Csampleの平均 (μ)、CTDR/Csampleの標準偏差 (SD)、CTDR/Csampleのばらつき (P_{50} 、 P_{90}) を用いた。各データセットのCsampleの最小値 C_{min} とこれら統計指標値からTDRによる計測下限値を検討した。

解析結果を図-1に示す。NSEは1に近いほど適合度が高いことを示す指標であるが、いずれのデータセットでも負の値となった。それ以外の統計指標値では、 C_{min} が高いほどTDRによる計測の精度が高くなることを示した。すなわち、高濃度ほどTDRが浮遊砂濃度計測に適することが現地観測データからも示された。ここで、 $R^2 > 0.6$ 、 $0.8 < \mu < 1.2$ 、 $SD < 1.0$ 、 $P_{50} \& P_{90} < 2.0$ を基準とすると、 $C_{min} \geq 0.05\%$ (=1.3 g/L) であった。さらに厳しい基準 ($R^2 > 0.65$ 、 $0.8 < \mu < 1.2$ 、 $SD < 0.5$ 、 $P_{50} < 1.2$ & $P_{90} < 2.0$) を適用する場合、 $C_{min} \geq 0.077\%$ (=2.0 g/L) となり、TDRによる浮遊砂計測の下限は $C = 0.077\%$ であることが定量的に示された。この時のCTDR/Csampleの標準偏差は $SD < 0.5$ であった。TDRによる濃度計測の誤差が95%確率で $\pm 0.077\%$ (± 2.0 g/L) の範囲であることを示す。この誤差は一般的な濁度計に比べると非常に大きい、他の研究者によって報告されている掃流砂の計測誤差と同程度である。浮遊砂濃度が0.077%を超えるのは大規模な出水がほとんどであり、掃流砂の計測誤差と同程度であっても土砂災害対策を検討する上で十分な精度で観測可能であることは大きな意味を持つといえる。

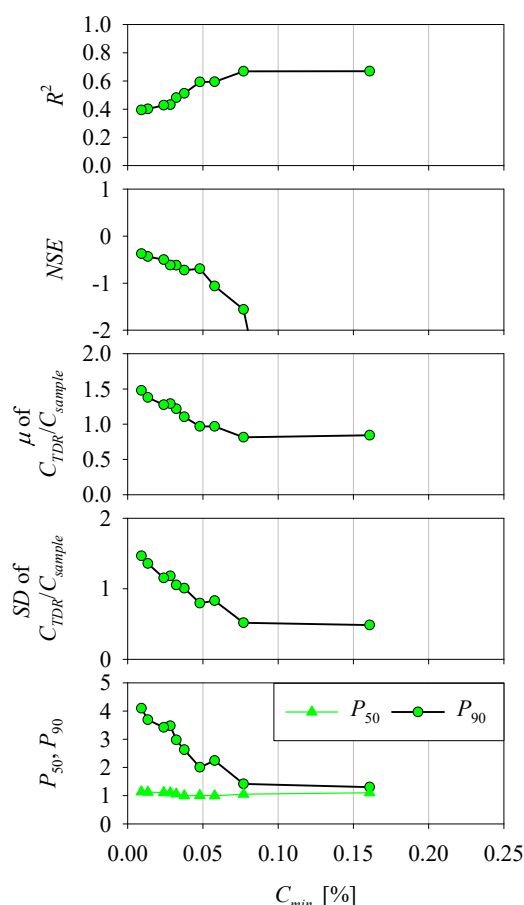


図-1 解析対象データの濃度最小値 C_{min} と各統計指標の関係

これにより、次年度以降の那智川流域で観測データが得られれば、高濃度の浮遊砂量のリアルタイム観測が可能となり、出水中の流砂・河床変動特性を考慮した砂防政策の立案に大きく貢献できると考えられる。

平成23年の台風12号による豪雨によって、那智川流域では多くの土石流が発生した。初年度である令和2年度は、那智川流域で発生した土石流の中でも比較的規模の大きい土石流であった金山谷川の土石流の数値シミュレーションを実施するとともに、地盤内の水の飽和度の違いが土石流の流動特性に与える影響について検討した。

地盤の標高データは、国土地理院の5mDEMを用いた。数値シミュレーションは、地盤内の水の飽和度を変化させた3つの条件で実施した。Case1は地盤内の間隙が水で飽和している条件とした。Case2は地盤内の水の飽和度を50%とし、空間的に一様な飽和度とした。Case3は地盤内の水の平均飽和度を50%とし、解析格子上流端で25%、解析格子下流端で75%となるように、流下方向に沿って線形的に飽和度を変化させ、水の飽和度の空間的な変化を考慮した。なお、Morpho2DHとSiMHiSを連動して計算する場合、水の飽和度の時空間的な変化の値は、SiMHiSから与えられることとなる。

図-2にCase1による土石流の深さの時空間的な変化を示す。土石流は時間とともに発達し、発生から約550秒で那智川に到達している。計算された土石流の平均速度は約4.5m/sであり、比較的速度が遅い。これは、平均河床勾配が約12度と比較的緩やかであることが一つの理由である。土石流の流速が遅いことを考慮すると、小規模な砂防ダムやワイヤネットを複数設置するような対策でも対応可能であることがわかる。また、土石流発生から下流域に到達するまでに比較的時間があるため、土石流センサーを設置することにより、土石流発生後に近くの安全な場所や建物の高階に避難することも可能である。図-3にCase3による土石流の深さの時空間的な変化を示す。Case1と比較すると土石流の速度が遅くなっているとともに、特に上流域で土石流の発達が抑制されていることがわかる。

以上の結果より、地盤内の水の飽和度が土石流の規模や速度に大きく影響を与えることが明らかとなった。これは、土石流発生時の地盤内の水の飽和度の把握が重要であることを示唆するものであり、SiMHiSとの連携によって土石流による土砂流出量の予測精度が大きく向上することが期待されるものである。

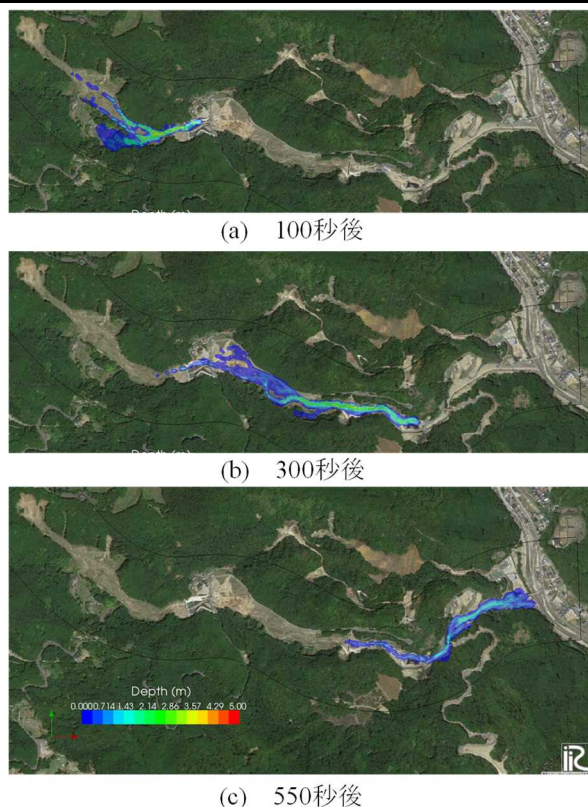


図-2 流動深さの時空間変化（飽和度 100%）

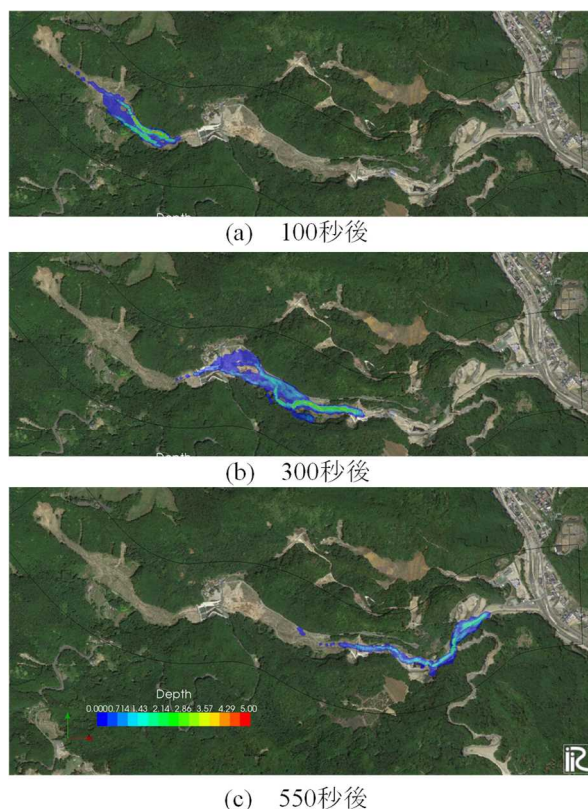


図-3 流動深さの時空間変化（飽和度 50%）

一般研究

一般研究では、FS研究に引き続いて、那智川流域の土砂動態の実態の把握を行った。また、マルチスケール流域土砂動態モデルの開発を進めるとともに、開発したモデルを用いて動的土砂災害対策に関する研究を進めた。一般研究で得られた成果をまとめると以下のようなものである。

那智川流域での土砂流出観測

高濃度の浮遊砂流の濃度の観測が期待できるTDRを利用した浮遊砂観測システムを那智川左支川の内の川流砂観測施設に導入した。また、濃度を観測することにより、TDRが水中と土中のどちらに存在するのかが分かるため、出水中の河床変動の観測も可能となると考えられる。そこで、出水中の河床変動を計測するため、TDRセンサーを那智川の源道橋地点に設置した。上に述べたTDRを利用した河川での浮遊砂濃度計測手法は、水（比誘電率 ≈ 80 ）中の砂粒子（比誘電率 ≈ 3 ）の存在比を比誘電率計測結果から推定するものであり、高濃度の計測に適することがわかっている。また実験室スケールでは浮遊砂の粒径にかかわらず、高濃度を精度よく計測できることが明らかにされている。したがって現地観測では低濃度（通常出水での浮遊砂濃度）には濁度計、大規模出水時の高濃度にはTDRによる計測とそれぞれの特徴を活かした組み合わせが有効と考えられる。内の川地点は砂防堰堤の水通し部側岸にセンサーを設置し、土砂濃度観測を実施した。TDRセンサーは堤体の影響をなるべく受けないよう、堰堤表面から約5 cm離して取り付けた。また出水中の損傷を考慮してステンレス製の保護カバーをかぶせた。源道橋地点は土石流が発生した金山谷川と本流の合流点直上流にあたる。TDRセンサーを現河床付近で鉛直方向に護岸に取り付けた。比誘電率の変化から、河床の上昇量を計測することができる。またロッドが全て河床に埋没したときには、河床の空隙率（ $=1-\text{土砂濃度}$ ）を求めることができる。源道橋地点では、河床変動を支障なく観測できるようにセンサーの保護カバーは用いなかった。センサーは全て設置時の河床より上に位置しており、出水中には河川水の土砂濃度計測が期待できる。

TDRセンサーによる土砂濃度計測はセンサーが完全に水没する必要があるが、内の川地点では2022年度に土砂濃度を正確に計測できるほど水位が上昇しなかった。源道橋地点における2022年度の出水期の観測結果を図-4に示す。現地でのデータ回収、メンテナンス作業時もセンサーが露出していることを確認しており、観測開始以降、顕著な河床上昇が起こっていないことを確認している。したがって、ここで計測された比誘電率の変化は河川水の土砂濃度変化を反映している。日雨量が

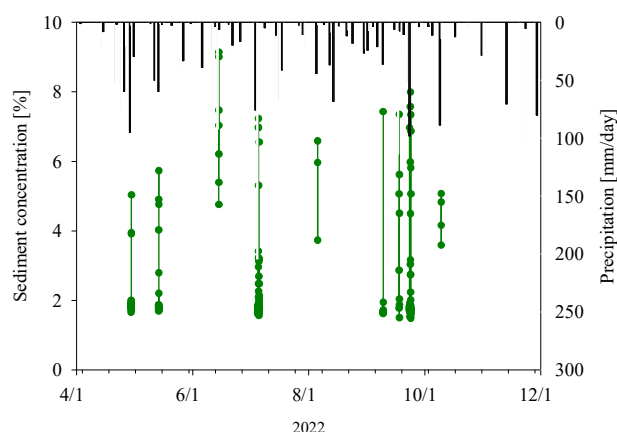


図-4 源道橋における土砂濃度観測結果

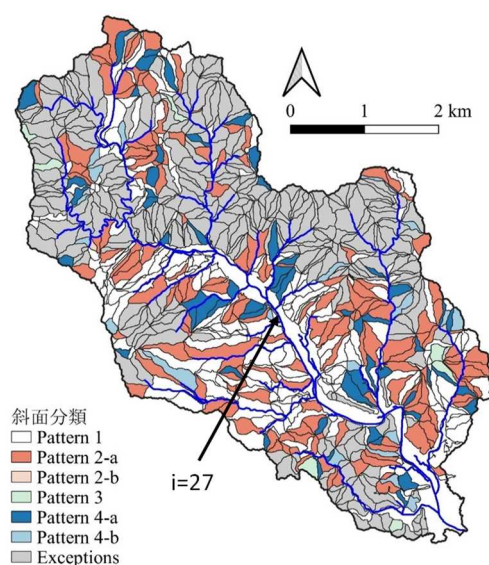


図-5 那智川流域全体における斜面崩壊の判定結果。Pattern 1 は疑似安全率が 1.05 以上の斜面（崩壊なし）、Pattern 2, 3 は疑似安全率が 0.95~1.05 の範囲にあり、Pattern 4 は 0.95 未満となる斜面である。a, b は土石流初期条件に寄与すると考えられる表面流水深が a: 0 より大きく 1.4 d_m 以上（ d_m : 粒径）b: 1.4 d_m 未満となる斜面である。Pattern 3 は表面流が 0、すなわち不飽和状態の斜面を示す。

50 mmを超えるようなイベント時には河川水位が十分に上昇し、土砂濃度が計測できたと考えられる。一部、センサー全てが水没していないデータが含まれる可能性もあるが、出水にともなって土砂濃度は最大約9.2%に上昇した。この計測結果を利用することにより、年間での浮遊砂流出量の把握につながる。また、流域土砂動態シミュレーションの検証データとしての利用も考えられる。

SiMHISの斜面崩壊計算結果を入力値とした土石流シミュレーション

降雨条件は平成23年台風12号通過時の解析雨量を用いた。本研究では、従来のように斜面崩壊で発生した土砂量を河道に供給するのではなく、まず斜面崩壊の判定までの計算を実行し、その結果をMorpho2DHに受け渡すことで、土石流の計算を実行する。

得られた斜面要素の崩壊判定結果を図-

5に示す。ここでは計算期間中の疑似的な安全率と、水分状態に応じて斜面崩壊の形態を分類して表示している。Pattern 2と4はいずれも飽和に近い状態で疑似安全率が低下した斜面であるが、Pattern 2では相対的に安全率が大きく(0.95以上)崩壊の臨界状態にある斜面である。これを踏まえ、Pattern 2となった斜面では、次の土石流計算では上端部の境界条件に低濃度の水を、Pattern 4では土砂を高濃度で含む流体を与えるものとした。不飽和で崩壊が発生するPattern 3となる斜面は、後述の土石流計算の対象領域内には存在しなかった。

土石流の始点位置は各斜面要素の重心の位置とした。計算ケースは、地形条件の異なる3ケースを設定した。Case1は国土地理院、国土基盤地図情報のDEMを用いたものである。元の測量データがH23災害の前後いずれに得られたものかは不明であるが、災害後に建設された堰堤は地形に反映されていないことを確認している。Case2は国土交通省より提供を受けたLiDAR観測データを用いたものであり、堰堤状の構造物が部分的に反映されている。Case3ではCase2と同様の条件を用いるが、各谷の出口付近に新規に高さ10mの堰堤を設置したものである。なお、後述するように、Case3では谷出口に新規に設置した堰堤が土石流として流出した土砂を全て捕捉するが、SiMHISでは谷から生産された土砂が谷の流水によって浸食されて徐々に本川に流入する計算となっている。つまり、Case1は災害発生前の堰堤が無い地形条件で土石流として土砂が急激に本川に流れ込む状態、Case2は堰堤が一部建設された地形条件で土石流として土砂が急激に谷を流下して一部の土砂が堰堤に捕捉される状態、Case3がピーク流量後の流量の少ない期間に徐々に本川に土砂が流出する状態を想定している。Case1とCase2では、土石流シミュレーションによって得られた地形変化量を、降雨ピーク時(T=76[h])に本川の単位河道に与えることで、土石流による土砂供給を考慮した土砂動態シミュレーションを実行した。各斜面要素の斜面崩壊発生タイミングや河道部に到達するタイミングは厳密には異なるが、簡単のためここでは同一タイミングで土砂供給が生じるものとした。また、土砂供給量は単位斜面毎に積算し、隣接する単位河道に与えた。なお、土砂供給量が負の場合には、対応する単位河道を供給量に見合った深さで浸食させるものとした。Case3は、前述の通り、ピーク流量後の流量の少ない期間に徐々に本川に土砂を供給した。

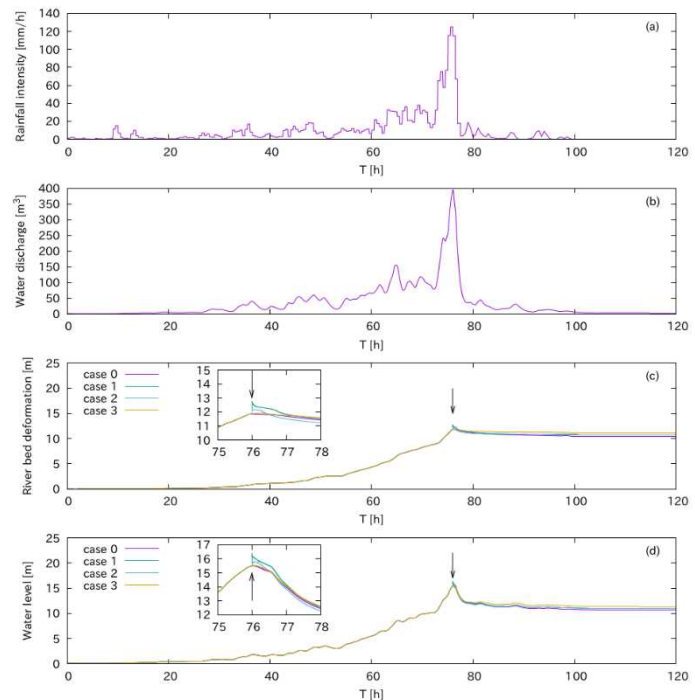


図-6 単位河道 i=27 における(a)降雨強度、(b)流量、(c)河床変動量、(d)初期河床位を基準とした水位の計算結果。矢印は土石流を発生させたタイミングを示す。

図-6に降雨強度、単位河道 $i=27$ 地点における流量、河床変動量、水位（初期河床位を基準）の時間変化を示す。ここでは、土石流による支川から本川への土砂の供給を考慮せず、河床の土砂のみが移動するケースとしてCase0を設定した。いずれのケースでも土石流発生時刻である $T=76[h]$ までは差異がないが、 $T=76[h]$ の時点で、土石流による土砂供給が発生し、Case1では河床位・水位ともに1.5m程度瞬間的に上昇していることが分かる。また、谷出口に新規に堰堤を設置したCase3ではこのような河床位・水位の上昇が発生しておらず、堰堤による急激な土砂の本川への流入抑制効果が発揮されたことが分かる。また、現況の堰堤を含む地形を用いたCase2ではCase1とCase3の中間的な結果であり、既に一定程度の河床位・水位の急激な上昇を低減する効果が期待できる状態にあるといえる。一方、ピーク流量時から2時間後（計算開始から78時間後）の河床位を見ると、Case1やCase2よりもCase3の方が高いことがわかる。これは、Case1やCase2では、本川に大量の土砂が流入した時間帯は本川の流量が多いため、流入した土砂が下流に流れやすいが、Case3は流量が減少し、本川の流砂量が少なくなっても支川から土砂が本川に流入するため、本川下流に土砂があまり運ばれず、土砂が支川流入地点周辺に残るためである。これら結果は、例えば、土石流としての支川からの急激な土砂供給が発生しても本川の河積が十分にあり、急激な土砂供給による水位上昇が氾濫を発生させないのであれば、全ての土砂を堰堤などで捕捉するのではなく、一部を本川に流入させる方が対象地点の長期的な河床上昇を抑制できることを示している。また、堰堤の建設によって急激な土砂供給による水位上昇を抑制したCase3の場合、本川の長期的な河床上昇を抑制するためには、堰堤に堆積した土砂を堰堤下流に置土するのではなく、流域外に搬出する必要があることを示している。

以上のように、土石流モデルMorpho2DHと流域土砂動態モデルSiMHISを連動した解析を行うことにより、土石流溪流からの生産土砂量を土石流による溪床や溪岸の浸食現象により評価可能となった。これにより、土石流溪流からの生産土砂量を合理的に評価できるとともに、砂防堰堤などの土砂流出をコントロールする施設の河道条件に応じた設置場所やタイミングなどを検討することが可能となった。

⑦研究成果の発表状況・予定

(本技術研究開発の成果について、論文や学会への投稿等又はその予定があれば記入して下さい。)(以下記入例)

・これまでに発表した代表的な論文

東豊, 堤大三, 宮田秀介, 藤田正治 (2022) : パルス法による山地河川における流砂量推定手法の高度化, 砂防学会誌, 74(5), 3-13

宮田秀介, 野中理伸, 鶴本孝也, 上小牧和貴, 岩男忠明, 藤田正治 (2021) : TDRセンサーを用いた土石流の間隙流体土砂濃度の現地観測, 砂防学会誌, 74(4), 42-47

Miyata, S., Mizugaki, S., Naito, S., Fujita, M.: Application of time domain reflectometry to high suspended sediment concentration measurements: laboratory validation and preliminary field observations in a steep mountain stream, Journal of Hydrology, 585, Article 124747, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124747>

山野井一輝, 藤田正治, 鈴木豪太 (2021). SiMHiSとNHRCM05出力データを用いた土砂・洪水災害の将来変化に関する研究. 土木学会論文集B 1 (水工学), 77(2), 1_481-1_486, 2021

Yamanoi, K., Oishi, S., Kawaike, K., & Nakagawa, H. (2022). Predictive simulation of concurrent debris flows: How slope failure locations affect predicted damage. Journal of Flood Risk Management, 15(2), e12776. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12776>

・著書(教科書、学会妙録、講演要旨は除く)

宮田秀介・藤田正治・市田児太郎, 『砂防の観測の現場を訪ねて3 ～水の動きの不思議～』(公益社団法人 砂防学会編) 第1編

第3章「フラッシュフラッド現象の解明を目指す」公益社団法人 砂防学会 (2022)

・国際会議、学会等における発表状況

Kazuki Yamanoi, Satoru Oishi, Kenji Kawaike: Development of probabilistic debris-flow hazard map considering the uncertainty of initiation points, The 9th International Conference on Flood Management

西尾潤太, 藤田正治, 山野井一輝: 気候変動による降雨条件の変化を想定した土石流発生危険度の解析, 2021年度砂防学会研究発表会 2021年

西尾潤太, 藤田正治, 竹林洋史, 山野井一輝: マルチスケール流域土砂動態モデルの開発と適用, 2022年度 砂防学会研究発表会

伊東直哉, 竹林洋史, 藤田正治: 土砂による橋梁部の河道閉塞と氾濫についての研究, 2022年度 砂防学会研究発表会

Takebayashi H.: Numerical simulation of debris flows occurred in Marumori in 2019 and countermeasures against debris flow using the numerical simulation result, RiverFlow2022, 2022.

・研究成果による受賞、表彰等

公益社団法人砂防学会 令和4年度砂防学会技術賞「TDRによる土砂濃度計測を用いた山地河川での浮遊砂鉛直分布の観測」内藤秀弥、宮田秀介、岸本昌之、服部浩二、石塚忠範、永田葉子、小菅尉多、藤田正治

River Flow 2022, IAHR, 2022, Best Introduction Award

⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

・マスメディア

産経新聞, 熱海市土石流1年 小規模土石流8回発生、下流域到達まで5 0分, 2022年7月2日.

新建新聞社 リスク対策.com, 令和3年熱海市伊豆山で発生した災害を学ぶ, 2022年6月18日.

NHK総合, 明日をまもるナビ, 2022年6月5日.

NHK総合, 長野県岡谷市で発生した土砂災害の特性, 2021年8月18日,

朝日新聞, 熱海市伊豆山で発生した土砂災害の現地調査, 2021年7月13日.

読売新聞, 熱海市伊豆山で発生した泥流の流動特性, 2021年7月6日.

大分合同新聞, 熱海市伊豆山で発生した泥流の流動特性, 2021年7月5日.

毎日新聞, 熱海市伊豆山で発生した泥流の流動特性, 2021年7月4日.

朝日新聞, 熱海市伊豆山で発生した泥流の流速, 2021年7月3日.

宮崎日日新聞, 宮崎県椎葉村下福良地区で発生した土石流の流動特性, 2020年12月23日.

日経BP 日経コンストラクション, 土石流数値シミュレーションによる土砂災害危険度評価, 2020年11月23日.

日経BP 日経コンストラクション, 土砂災害警戒区域における土石流の氾濫特性, 2020年8月7日.

日経BP 日経コンストラクション, 熊本県芦北町田川地区・熊本県津奈木町福浜地区で発生した土石流の流動特性, 2020年7月20日.

読売新聞, 熊本県芦北町田川地区で発生した土石流の流動特性, 2020年7月13日.

・公開イベント

土砂災害の予測シミュレーション, 防災フロンティア研究センター2022年度第2回セミナー「防災シミュレーション技術の最前線」, 2022年10月21日, 参加人数: 100人.

iRIC講習会, Morpho2DHを用いた土石流・泥流の数値シミュレーション, 2022年9月9日, 参加人数: 25人

第 57 回水工学に関する夏期研修会, 土砂災害を発生させる物理現象, 2022年9月6日, 参加人数: 100人.

京都市消防局自然災害講座, 土砂災害の予測と防止軽減, 2022年6月10日, 参加人数: 50人.

Joint Seminar 減災, 令和3年熱海市伊豆山で発生した泥流の実態, 2022年4月29日, 参加人数: 30人

紀伊半島大水害10年講演会, 土砂災害防止のための最新技術, 2022年1月18日, 参加人数: 100人.

International Forum of Feng Chia University, iRICの河床変動解析モデルの紹介 - スマートシティ実現のために -, 2022年1月12日, 参加人数: 100人.

International Islamic University Malaysia Special Lecture, 土石流の数値シミュレーションモデルとその土砂災害への応用, 2021年11月26日, 参加人数: 30人.

⑨表彰、受賞歴

(単なる研究成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

公益社団法人砂防学会 令和4年度砂防学会技術賞「TDRによる土砂濃度計測を用いた山地河川での浮遊砂鉛直分布の観測」、
内藤秀弥、宮田秀介、岸本昌之、服部浩二、石塚忠範、永田葉子、小菅尉多、藤田正治
River Flow 2022, IAHR, 2022, Best Introduction Award, Hiroshi Takebayashi

⑩技術研究開発の今後の課題・展望等

(研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ、技術研究開発の更なる発展や砂防政策の質の向上への貢献等に向けた、技術研究開発の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

出水中の流砂量の観測は、土砂災害対策を考える上で貴重な基礎データを提供する。この度の技術研究開発で浮遊砂については、低濃度から高濃度までの浮遊砂の観測が可能となった。しかし、掃流砂については、ハイドロフォン等では流砂量が多い場での観測が困難であり、新たな観測方法の開発が必要と考えている。

流域全体の土砂動態の把握については、本技術研究開発で開発したマルチスケール流域土砂動態モデルによって、土石流溪流からの生産土砂量を合理的に評価できるとともに、砂防堰堤などの土砂流出をコントロールする施設の河道条件に応じた設置場所やタイミングなどを検討することが可能となった。しかし、現モデルは予測計算及び再現計算は可能であるが、リアルタイムでの計算（特に流域内で複数の土石流が発生する条件）は不可能である。そのため、並列計算用に計算プログラムを改良するなどによって、より短時間で計算結果が得られるとともに、リアルタイムハザードマップなどへの応用も可能となる。また、単位河道として評価されている溪流・河川については、狭窄部や砂防ダムなど、土砂流出に強く影響を与えるサブグリッドスケールの地形や現象を十分評価できていない。これらを計算速度が遅くならない程度の簡易なモデルで評価することにより、より高精度に土砂動態を評価できると考えられる。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本技術研究開発で得られた研究成果の実務への反映等、砂防政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

本技術研究開発で開発したTDRによる浮遊砂濃度観測方法によって、広い濃度範囲での浮遊砂の観測が可能となった。これまでの浮遊砂観測では、濁度計が使われることが多かった。しかし、濁度計は高濃度の浮遊砂の観測精度が悪いことに加え、採水などによる直接採取した浮遊砂濃度を用いたキャリブレーションが必須であった。しかし、TDRによる浮遊砂濃度の観測にはキャリブレーションが不要であり、非常に容易に浮遊砂濃度の観測が可能となっただけでなく、出水中や出水ごとの流砂の質の変化についてもキャリブレーション無しで対応できるため、より正確に浮遊砂現象を把握できるようになった。これにより、流域からの土砂流出量の正確な把握や土砂マネジメント方法の検討など、様々な場面で砂防政策の質の向上に貢献できると考えている。

本技術研究開発で開発したマルチスケール流域土砂動態モデルを用いた解析を行うことによって、土石流溪流からの生産土砂量を土石流による溪床や溪岸の浸食現象により評価可能となった。これにより、土石流溪流からの生産土砂量を合理的に評価することが可能となった。また、流域スケールや溪流スケールなど、マルチ時空間スケールで流域土砂動態を解析することが可能となったため、土石流・泥流・掃流砂・浮遊砂などの様々な流砂形態による土砂流出や土砂・洪水氾濫のような土砂流出現象についても評価可能となった。これにより、砂防堰堤などの土砂流出をコントロールする施設の河道条件に応じた設置場所やタイミング等の検討など、様々な場面で砂防政策の質の向上に貢献できると考えている。