

令和 5 年 5 月 10 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14831

研究課題名（和文）シームレス広域土砂輸送 - 地形変動モデルの構築と流域内の水土砂災害への脆弱性評価

研究課題名（英文）Vulnerability assessment of water and sediment-related disasters by using large-scale water, sediment transport, and morphodynamic model

研究代表者

岩崎 理樹 (Iwasaki, Toshiki)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：70727619

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、広域水土砂現象を数値計算する際に、効率的かつ力学的に合理的な格子構成を動的に実現するフレームワークをAdaptive Mesh Refinementを導入することで構築した。また、流域内、河道内において顕著な被災・災害形態を引き起こす大規模流路変動といった物理要素や流量ハイドログラフ、土砂供給条件といった境界条件を明らかにし、気候変動下において予期される外力条件の変化がこれら河道内被災リスクへ与える影響について定量的に評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動下においては様々な災害リスクが増加することが懸念される中、河道内において水土砂災害に関するハザードやリスクがどのように変化し得るかはいまだ定量化されていない。本研究はこのような社会的問題に対して、数値計算的なアプローチをとることでこれまで技術的に困難であった広域的な水土砂災害現象を表現可能なフレームを提案しただけでなく、近年の気候変動研究から予測されている流量増加という外力変化が河道内被災リスクに与える影響を、大量アンサンブル降雨・流出計算から得られるデータセットをベースとした河床変動計算から定量的に評価したものであり、国民の安全安心な社会の実現に貢献する知見を得るものである。

研究成果の概要（英文）：This study develops a numerical model for simulating large-scale flood and sediment-related disasters by using Adaptive Mesh Refinement technique to minimize the computational cost, but have sufficient accuracy. In addition, some important physical processes (e.g., dynamics of river channels) and boundary condition (e.g., water and sediment hydrograph) affecting the natural disasters are investigated. Proposed framework is applied to assess the effect of climate change on the water and sediment-related disasters.

研究分野：水工学

キーワード：河道脆弱性 適合細分化格子法 河床変動 洪水氾濫 流路変動 ハイドログラフ 土砂供給

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年頻発化している大型台風や線状降水帯は、極めて強い降雨を長時間、連続的に発生させることで大規模な出水を引き起こすだけでなく、山地領域において大規模な地滑り、斜面崩壊を誘発し、下流域に大量の土砂を供給する。このように生産された土砂を含む洪水流が下流域の河道地形を大きく変化させることで、河道内構造物の破壊や、河川堤防の流出・決壊を引き起こし、中下流域の広い範囲において極めて深刻な人的、経済的被害が毎年のように発生し続けている。また、気候変動に起因すると予想されている台風経路の変化に伴い、これまで上記のような水土砂災害に対するリスクが相対的に低い地域においても、流域内の広い範囲において新たな災害リスクが顕在化している（例えば2016年北海道豪雨災害）。さらに、2018年北海道胆振東部地震において発生した大規模斜面崩壊は、流域内の土砂動態を大きく変化させうる極端現象であり、河道の粒度変化による生態系への影響や海域の土砂動態変化による水産資源への影響が懸念されている。このような近年、頻発化する極端現象は、広範囲にわたる複合的な水土砂移動現象を引き起こすことで、流域内に災害をもたらすだけでなく、不可逆的環境変化の要因となる。これらの現象を理解・予測し、現在から未来にわたる流域内水土砂災害に対する脆弱性の変化と対策を講じるためには、広領域で発生する複合的な水土砂移動現象を山地 - 河道 - 氾濫域といった領域を分けることなくシームレスに扱う方法が合理的である。しかしながら、これを満足するフレームワークは、各領域間に必要なモデルや知見が必ずしも結合されていないことに加えて、計算器負荷の問題により、実用的かつ経済的なモデルとして整備されておらず、複雑な複合現象として現れる現象の理解を困難にしているだけでなく、リスク評価や対策を講じるうえでの障害となっている。

2. 研究の目的

本研究は、山地から河口に至る流域スケールの水土砂輸送過程を、適合格子細分化法の一つである Adaptive Mesh Refinement を導入することでシームレスに扱う数値計算モデルを開発し、流域内において強い相互作用のもとに発生している水土砂移動、並びにそれらに起因する自然災害形態を合理的に説明するとともに、気候変動による降雨特性変化といった将来的な外力変化に対する流域内の水土砂災害への脆弱性変化を評価しようとするものである。以下の三つの個別課題を実施することで、上記本研究の目的を達成する。

【個別課題1】 適合細分化格子法を用いた広域水土砂移動モデルの構築

【個別課題2】 広域水土砂移動現象の相互作用系の理解と災害形態の可視化

【個別課題3】 アンサンブル計算による水土砂災害に対する流域内脆弱性の評価

3. 研究の方法

研究期間内に以下の個別研究を実施することで、流域内、河道内の脆弱性を評価するフレームを作成するとともに、気候変動による生じる現在から将来にわたる降雨 - 流出形態の変化がこれら脆弱性に与える影響について評価する。

【個別研究1】 適合細分化格子法を用いた広域水土砂移動モデルの構築

本研究では、広域にわたる水土砂移動現象を物理的に合理的かつ、限られた計算リソースの中で現実的に実行するために、着目する現象によって格子解像度を時空間的に変動させる適合細分化格子法の一つである Adaptive Mesh Refinement (AMR) 法を利用する。本研究では、NASA が配布している AMR ライブラリである PARAMESH を、これまでの研究において構築してきた流れ - 土砂輸送 - 河床変動モデルに適用することで、広い領域における水土砂移動問題を解析可能なモデルを構築する。

【個別研究2】 広域水土砂移動現象の相互作用系の理解と災害形態の可視化

広域における水土砂災害現象において、各物理要素がどのような相互関係が成立しているかについて明らかにすることで、災害を引き起こす要因と結果の因果関係について明らかにする。まず、2016年北海道豪雨災害時に特に顕著な被害が見られた十勝地方で発生した水土砂災害イベントをモデルとし、モデルの再現性と予測可能性を評価する。そのうえで、広域水土砂現象に起因すると考えられている大規模流路変動といった災害形態の発生原因について明らかにし、流域内における災害リスクを可視化する。

【個別研究3】 アンサンブル計算による水土砂災害に対する流域内脆弱性の評価

モデルを用いたアンサンブル計算によって、現在から未来にわたる流域内の水土砂災害に対する脆弱性について評価する。そのために、降雨 - 流出といった外力条件を多数変化させた大量アンサンブル計算を実施し、多数のメンバーによって計算された水土砂移動現象とそれに誘発される災害形態を統計的に解釈することで、流域内の脆弱度を明らかにする。この際、2016年北海道豪雨災害を契機として実施された大量アンサンブル降雨計算結果から評価された降雨形

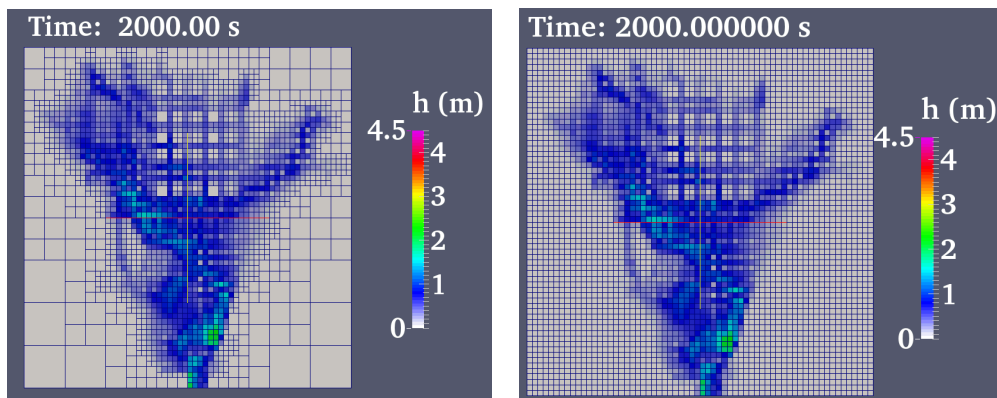


図1 札幌市街地における氾濫計算．AMRを用いた計算結果（左図）とAMRにおける最小格子を用いた場合の計算結果（右図）．AMRにより効率的に格子幅が細分化されることで，必要な格子数を最小にしつつ，最小格子のみを用いた計算結果と同様の精度を達成している．

態の将来変化をモデルの外力条件として入力し，将来にわたる水土砂災害に対する脆弱性変化を評価する．

4．研究成果

【個別研究1】空間スケールの異なる流れ - 地形変動過程を同時に計算する Adaptive Mesh Refinement (AMR)法を組み込んだ洪水流，河床変動モデルを構築した．既存の平面二次元河床変動モデルに対して AMR ライブラリである PARAMESH を用いることで，格子解像度を時空間的に変化させるモデルを開発し，これを用いて札幌市中心部を模したモデル領域について性能を評価した．建物群を有する複雑な地形を有する場においても，洪水流の広がりとともに，格子解像度が適切に変化する手法について検討し，計算精度を低下させずに高速に洪水氾濫流を計算可能となることを示した．

【個別研究2】河川上流からの土砂供給はある地点の河岸侵食や河床変動に強く影響する一方，その影響時間は範囲については明確に区別する必要がある．このような空間的に土砂供給の影響が異なることを明確にするために，実河川の河道条件，流量ハイドログラフを単純化した場において，非定常ハイドログラフと給砂条件を変化させた河床変動解析を実施し，1洪水といった時間スケールにおいては，上流端の給砂条件の違いは及ばず範囲は供給位置付近に限定されることを示した．さらに，代表的な沖積河道地形の一つである交互砂州へ与える影響を二次元移動床計算から検討した．その結果，給砂条件の違いが下流に与える影響は比較的給砂条件を変化させた境界付近に強く表れる一方で，その領域より下流に形成される交互砂州へ与える影響は小さいことが明らかとなった．

また，水土砂災害時における特徴的河道脆弱性を明らかにするために，2016年北海豪雨時において顕著な河道変化が生じたペケレベツ川をモデル化した河床変動解析を実施した．現地データの解析により，被災が生じた個所は山地部から平野部に遷移する地点であり，河道には河床勾配と川幅変化が生じていた．このような場における基礎的河床変動特性の把握を目的として，ペケレベツ川の特性をモデル化した水路において，動的平衡状態に至るまで数値計算を行い，動的平衡形状とそれ至るまでの過程を明らかにした．得られた結果より，動的平衡形状に関しては，勾配変化点を有する水路では一定勾配に，上流が狭く下流が広い川幅を有する水路では変化点を中心に上に凸な縦断形状をとった．これを現地のペケレベツ川の河床変動特性と比較した

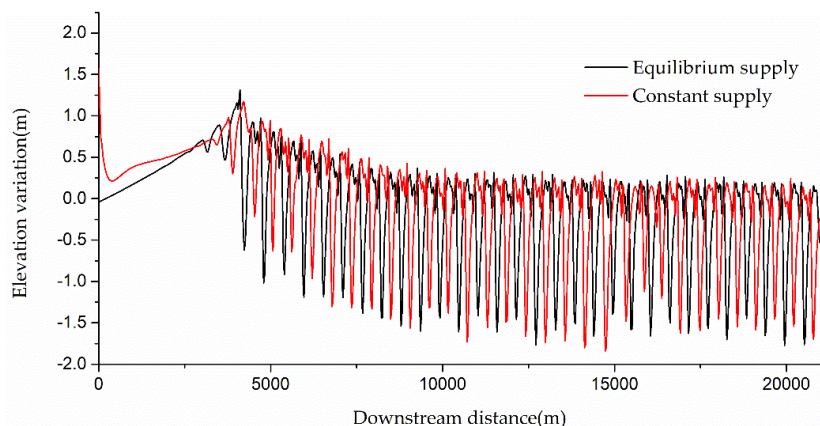


図2 平衡流砂量（黒線）と一定給砂量（赤線）とした給砂条件において，非定常ハイドログラフの繰り返し形成する砂州地形．給砂条件の影響は上流端付近にのみ現れる．

ところ、特にペケレベツ川水害後の縦断形状は川幅変化に大きく影響を受けたものとなっており、川幅変化点における河床変動特性の把握が重要であることが示唆された。

【個別研究3】今後予期される気候変動を踏まえた河道脆弱性評価を行うために、北海道を対象とした大量アンサンブル降雨 流出計算データを解析し、移動床計算に重要と考えられるハイドログラフパターンについて、K-shape クラスタリング手法により検討した。これにより、数百という多数の流量データから重要と考えられる流量ハイドログラフのパターンを十数までに特徴化することが可能となった。クラスタリングから得られた代表ハイドログラフを移動床計算の境界条件として用い、河床 - 河岸侵食に関しても起こりうる可能性をより網羅的な外力条件から評価可能な手法について開発できた。これを用いて音更川上流を対象とした堤防侵食発生確率を定量化し、気候変動下において新たに発生するリスクや、ハイドログラフ波形が及ぼす河道内被災リスクへの影響を特徴化することができた。

上記、短期的河道脆弱性評価に使用可能な1洪水データに加えて、より中長期的な河道脆弱性を検討するために、アンサンブルメンバーごとの連続流量ハイドログラフを確率水文統計し、長期的に起こりうる条件をより網羅的に検討した。急流河川を対象とした移動床計算の結果、現在気候条件においては平均的な外力条件において、比較的堤防内で流路変動が収まる状態であっても、気候変動後の条件においては、最小流量シナリオにおいても、堤防が高い割合で流路変動に伴う侵食の影響を受けることを明らかにした。

これらを要すると、本研究では、大量アンサンブル降雨 - 流出計算データを用いた水土砂河床変動解析を行うことによって、降雨から河道形態変化までを一連として扱うフレームを構築し、河道脆弱度を評価できる一手法を提案した。

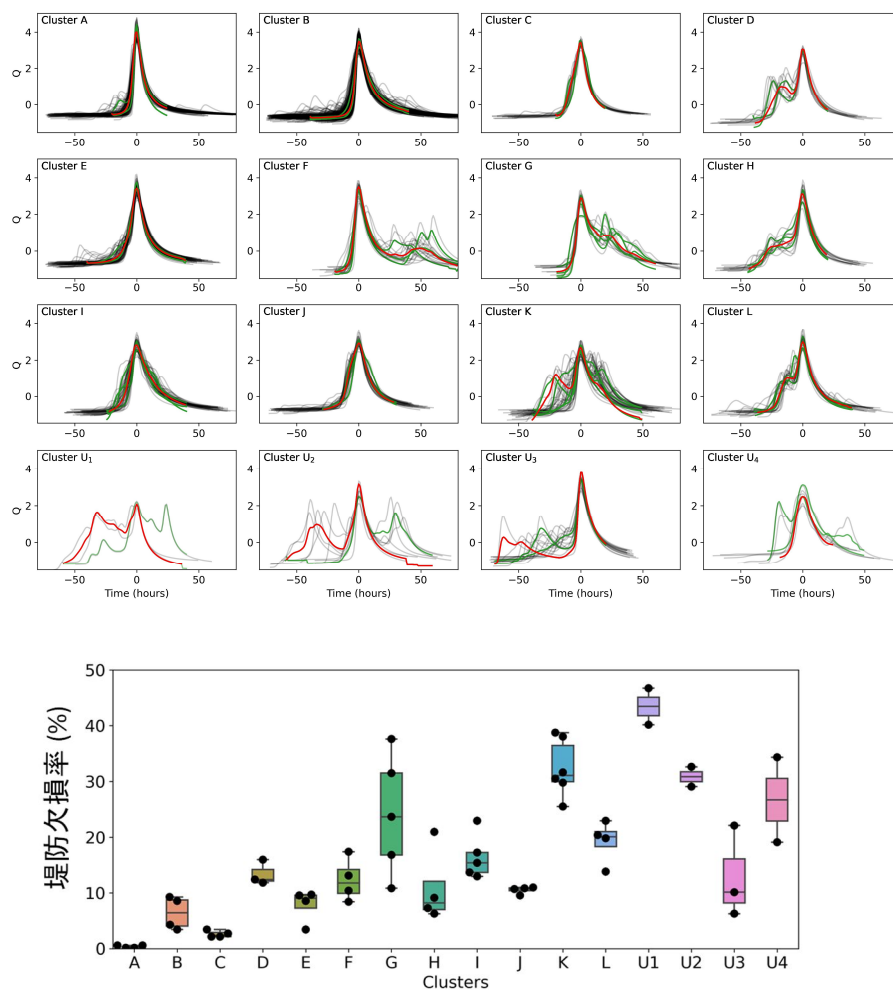


図3 大量アンサンブル降雨 - 流出計算から得られたハイドログラフの K-Shape 法によるクラスタリング結果 (上図) と、それを境界条件とした河床変動計算により評価した堤防欠損率のばらつき (下図)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Dai Huang, Iwasaki Toshiki, Shimizu Yasuyuki	4. 巻 13
2. 論文標題 Effect of Sediment Supply on Morphodynamics of Free Alternate Bars: Insights from Hydrograph Boundary Layer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 3437 ~ 3437
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w13233437	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 平松裕基・山口里実・岩崎理樹	4. 巻 77
2. 論文標題 置き土の設置位置がその流掃過程に与える影響に関する実験	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_781 ~ I_786
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山口里実・久加朋子・南郁慧・清水康行・岩崎理樹	4. 巻 77
2. 論文標題 河岸植生が流路形態に与える影響に関する実験 - 河岸高さに対して根が浅い場合 -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_721 ~ I_726
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Gong, W., Shimizu, Y. and Iwasaki, T.	4. 巻 1
2. 論文標題 A case study of flood modeling with Adaptive Mesh Refinement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 22nd IAHR-APD Congress 2020	6. 最初と最後の頁 1 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Naito, K., Iwasaki, T., Guerrero, L., Valverde, H., Estrada, Y. and Abad, J	4. 巻 1
2. 論文標題 Can a meander cutoff-induced channel degradation be alternative for the channel dredging? Case study for the Huallaga River, Peru	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 22nd IAHR-APD Congress 2020	6. 最初と最後の頁 1 ~ 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Okitsu, T., Iwasaki, T., Kyuka T., and Shimizu, Y.	4. 巻 13
2. 論文標題 The Role of Large-Scale Bedforms in Driftwood Storage Mechanism in Rivers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 811 ~ 811
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w13060811	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Inoue T., Watanabe Y., Iwasaki T., and Otsuka J.	4. 巻 45
2. 論文標題 Three dimensional antidunes coexisting with alternate bars	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth Surface Processes and Landforms	6. 最初と最後の頁 2897 ~ 2911
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/esp.4938	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 舩屋繁和・井上卓也・岩崎理樹・清水康行	4. 巻 26
2. 論文標題 気候変動を考慮した将来気候下における川幅の推定	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 31 ~ 36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中誠・岩崎理樹・清水康行	4. 巻 77
2. 論文標題 遡上反砂堆に関する数値計算	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会北海道支部論文報告集	6. 最初と最後の頁 B-02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Huang Dai, Iwasaki Toshiki, Yamada Takashi, Hiramatsu Yuki, Yamaguchi Satomi, Shimizu Yasuyuki	4. 巻 175
2. 論文標題 Morphodynamic equilibrium of alternate bar dynamics under repeated hydrographs	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advances in Water Resources	6. 最初と最後の頁 104427 ~ 104427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.advwatres.2023.104427	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanabe S., Iwasaki T., Shimizu Y.	4. 巻 9
2. 論文標題 The influence of riverbed slope and channel width transitions on downstream flow and bed evolution characteristics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of 9th International Conference on Flood Management (ICFM9)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 有田圭吾・岩崎理樹	4. 巻 79
2. 論文標題 種々の混合粒径モデルが河床変動計算に与える影響	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会北海道支部論文報告集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 橋詰竜人・岩崎理樹	4. 巻 79
2. 論文標題 網状砂州形成下における礫トレーサー粒子の移動分散に関する数値計算	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会北海道支部論文報告集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 岩崎理樹
2. 発表標題 HLLスキームを利用した自由砂州の数値計算
3. 学会等名 第35回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Huang, D., Iwasaki, T., and Shimizu, Y.
2. 発表標題 Response of alternate bar morphodynamics to sediment supply condition under a cycled hydrograph
3. 学会等名 第24回応用力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村上大知・高橋広大・岩崎理樹・清水康行
2. 発表標題 連続流量ハイドログラフのばらつきが長期流路変動過程に与える影響
3. 学会等名 第35回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大河内駿・高橋広大・岩崎理樹・清水康行
2. 発表標題 中小河川を対象とした氾濫リスクに関する研究：ペケレベツ川を例として
3. 学会等名 令和3年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Gong, W.
2. 発表標題 A case study of flood modeling with Adaptive Mesh Refinement
3. 学会等名 22nd IAHR-APD Congress 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naito, K.
2. 発表標題 Can a meander cutoff-induced channel degradation be alternative for the channel dredging? Case study for the Huallaga River, Peru
3. 学会等名 22nd IAHR-APD Congress 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中誠
2. 発表標題 遡上反砂堆に関する数値計算
3. 学会等名 土木学会北海道支部年次研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tanabe, S., Iwasaki, T., and Shimizu, Y.
2. 発表標題 The influence of riverbed slope and channel width transitions on downstream flow and bed evolution characteristics
3. 学会等名 International Conference on Flood Management 9 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 有田圭吾・岩崎理樹
2. 発表標題 種々の混合粒径モデルが河床変動計算に与える影響
3. 学会等名 土木学会北海道支部令和4年度年次技術研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 橋詰竜人・岩崎理樹
2. 発表標題 網状砂州形成下における礫トレーサー粒子の移動分散に関する数値計算
3. 学会等名 土木学会北海道支部令和4年度年次技術研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shakya, A., Giri, S., Iwasaki, T., Nabi, M., Bhattacharya, B., Solomatine, D.P
2. 発表標題 Towards developing a generic method for predicting Flow Resistance in Alluvial Rivers using Machine Learning
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------