

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04363

研究課題名(和文) 河川・河口と沿岸海域の水理現象と地形・底質のマルチスケール相互作用系の解明

研究課題名(英文) Short to medium-term sediment transport at a river mouth and hydro-morphodynamic features at a multiple sandbar beach

研究代表者

榎田 真也 (Umeda, Shinya)

金沢大学・地球社会基盤学系・教授

研究者番号：30313688

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：洪水と波浪による河口域の地形変化過程および土砂移動特性を理解するため、手取川の河口を対象に、波・流れ・底質輸送と地形変化の数値解析を行った。大規模な河口テラスが波浪により変形・消失する過程では、沖波波高3 mを超える高波浪時の波向きが河口部の堆砂や隣接海岸への土砂供給バランスを左右すると推察された。

砂州海岸における風波と長周期波の伝播・遡上特性について観測データと数値解析に基づいて研究した結果、沿岸砂州は波高1~2 m以上の侵食性の波の遡上を抑制し、波高0.6 m程度の堆積性の波の遡上を促進した。砂州の移動は汀線を平衡位置近傍で変動させ、汀線位置を安定化する働きが見られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

河口・周辺海岸における土砂移動過程に関する知見は、海岸侵食の問題に対処するため有用である。土砂の質と量を考慮して時間スケールの異なる洪水と波浪による一連の河口域の水理・土砂移動現象と地形変化を捉えた本研究は希少であり、工学的な価値がある。

波の遡上高の変動特性は、対象海岸の利用・保全方法を議論する上で役立つ。また、長周期波を考慮した遡上高と汀線位置や砂州配置との関係性の議論は、国内外の砂州海岸の海浜変形の基本特性や地域特性に関する知見を得る上で有用で、学術的な価値があると考えられる。

研究成果の概要(英文)： For understanding of sediment transport and morphological response of terrace and sandbar due to large summer flood and high-energy winter waves, the hydro-morphodynamics at the mouth of Tedoru River, Japan have been investigated using the process-based numerical model. The wave direction of the stormy waves with over 3 m height become a dominant factor in transporting sand to beach and river channel during the erosion process of river mouth terrace induced by annual maximum flood.

Characteristics of short and infragravity wave propagations and runup on a multiple sandbar beach have been investigated by comparing with observational data of cross-shore profile and wave and the results of systematic numerical simulation. The sandbars reduce wave runup of stormy wave with over 1-2 m height, while the sandbars enhance wave runup of moderate wave around 0.6 m high. The cyclic change of sandbar configuration plays an important role in keeping shoreline around equilibrium position.

研究分野：海岸工学

キーワード：海浜変形 河口・海岸水理 底質輸送 砂州 汀線変動 波の遡上 波浪 洪水

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

海岸侵食による沿岸域の防災・環境機能の低下は、多くの先進国、発展途上国に共通の課題である。海岸侵食は土砂の流入・流出のアンバランスから生じ、自然外力(気象・海象条件)の変化や人為活動(土砂採取、構造物、河川整備、土地利用など)の複合的要因が関係する。河口域は河川・海岸の防災上の重要箇所であるとともに、広域流砂系の土砂動態・収支解明の要である。流れと波の相互作用、水温・塩分などによる密度流および潮汐等の影響を受けて、土砂や栄養塩類等の物質輸送の過程は複雑に変化する。洪水により数時間で河口部に土砂が堆積し、テラス地形(舌状に堆積した土砂による河口出口部分に形成される浅瀬)が形成され、数日から数か月の波浪の作用によりテラスの消滅や河口砂州の形成が起こる。さらに、季節的・年々の流量・波浪等の変動に伴い周辺海岸の地形が応答し、数年から数十年スケールの気象・海象・地象の変動や流域・沿岸域の人為活動の影響を受けて、河川・海岸域で広域的な地形変化が進行してきた。河川・海岸で過去に起きた時・空間的に様々なスケールの流体・底質・地形の相互作用系の内部機構を解明することは、将来起こりうる事象を的確に予測し、流域・沿岸環境の持続的発展を実現する上で工学的に重要である。

### 2. 研究の目的

本研究は、海岸・河口周辺における様々な水理現象(洪水・波浪・海浜流等)による土砂移動や地形の様々な時間スケール(時間～日～季節～年々)の変動特性に着目して、未解明な点が多い(1)河口域における河川流出土砂の周辺海岸への供給過程と波浪条件の変化が左右岸の海岸への土砂供給バランスに及ぼす影響、及び(2)海岸で発達する沿岸砂州(海岸線に平行な方向に形成される浅瀬)の約5年周期の地形変化と海岸汀線や波の遡上位置との関係を明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1)石川県加越沿岸域への最大の土砂供給源と考えられる手取川の河口・周辺海岸を対象に、河川・海岸域の流れ・波・底質輸送と地形変化に関する詳細な数値解析を行った。まず過去に観測された洪水・波浪による一連の地形変化を数値解析モデルで再現可能か検証するため、連続観測された3段階の地形変化: 洪水による河口テラスの形成、夏から秋の低波浪によるテラス浅水部の変形、冬季の高波浪による河口テラスの消失と河口砂州の形成過程をコンピュータでシミュレーションした。河川流・海岸波浪・海浜流等が同時に作用する河口域の水理・地形変化過程を統一的に解析するため、波・流れ・底質輸送・地形変動の結合モデルを用いた。また観測された流量、波高、潮位および底質調査の記録等を計算条件の設定に活用した。次に、河口周辺の波・流れおよび土砂移動に及ぼす波向の影響を調べるため、沖合での波向き発生頻度の高い3方向の波浪条件下における河口テラスの変形・消失過程と土砂移動過程を解析し、河川流出土砂の海岸への供給や河口部への回帰について分析した。

(2)手取川河口から北東へ40km以上離れ、広域的な漂砂領域の末端部に位置すると考えられる千里浜海岸を対象として、5年周期で変化する砂州地形における波の岸沖方向の伝播・遡上過程に関する数値解析を行った。沿岸砂州の成因、配置や変形と長周期波との関連性が指摘されているため、風波と長周期波の両方の波動成分の水理、漂砂及び海浜変形を解析可能なオープンソースの数値解析モデルを用いた。波の計算は波群の包絡波と長周期波の沿岸域における伝播・遡上を捉えると同時に波・流れ相互作用を考慮した。砂州位置の周期的変化および砂州の存在が波の伝播や遡上に及ぼす影響を究明するため、2001～2005年の各年の岸沖断面地形および期間平均の断面地形における風波・長周期波成分の波高、平均水位や遡上高を解析し、砂州地形による沿岸水理特性の変化、波の遡上高と波浪条件・砂州地形との関係について検討した。

### 4. 研究成果

#### (1)河口域における河川流出土砂の周辺海岸への供給過程に関する研究

河川の洪水による河口部のテラス地形の形成と流出土砂量

年最大流量の平年値と同程度のピーク流量を持つ7月の出水期を解析した結果、河口導流堤から沖へ舌状に発達するテラス地形が形成された。テラス先端部は水深5～6m付近に達し、深浅測量で実測された地形変化の特徴を良く捉えると同時に、手取川河口部で観測された河川水位の時間変化も精度良く再現することができた。

洪水後の各粒径集団の構成率は、テラスを形成した底質の大部分は洪水前に導流堤間や上流河道に存在した砂分であるが、河道に存在した礫分の一部も洪水により導流堤部やその沖に流出することが示され、数値解析結果は現地の底質分布状況と概ね整合した。また、導流堤沖側先端部から海岸へ流出した流砂量と粒径を調べた結果、海岸砂と同程度の細砂は河川流量が $100\text{m}^3/\text{s}$ 程度以上になると急増し、礫分の流出は河川流量が $500\text{m}^3/\text{s}$ 以上になると顕著になると等が推定され、洪水による手取川からの流出土砂の質と量に関する知見が得られた。

### 洪水後の波浪による河口テラスの変形・消失と河口砂州の形成過程

洪水後約3カ月を解析した結果、期間平均波高0.8m、最大波高2.1mの夏季から秋季の低波浪の条件では、テラス地形のため沖側に突出した等深線のうち比較的浅い水深3mと4mの等深線は平坦化し、測量結果を良好に再現することができた。その後1カ月の冬季の高波浪期の解析では、水深5mの等深線も平坦化し、テラス地形はほぼ消失して、導流堤右岸側に河口砂州が形成され、夏季から冬季における河口周辺地形の主要な特徴を捉えることができた。

### 洪水と波浪による土砂の流出と回帰のバランス

地形変化に伴う砂の移動範囲や岸沖・沿岸断面の流砂・漂砂量を算定して、洪水期の河川土砂の流出量、秋季・冬季の波浪による河口部への回帰量と沿岸方向への輸送量の割合を評価した。河口テラスを形成した砂の3~4割は4カ月の波浪により導流堤内に押し戻され、沿岸方向に移動した砂の割合も3~4割であった(図1)。

沖波が左岸側から入射すると河川から流出した土砂の多くが右岸側海岸に供給され、右岸側から波が入射すると、多くの土砂が導流堤区間に押し戻されて堆砂するため、左岸側海岸への河川土砂の供給量は少なくなることがわかった(図2)。波高・波向と漂砂量フラックスの夏季から冬季の変動状況を調べた結果、沖波波高3mを超える高波浪時の波向きが河口部の堆砂や河口周辺の海岸への土砂供給バランスを左右すると推察された。

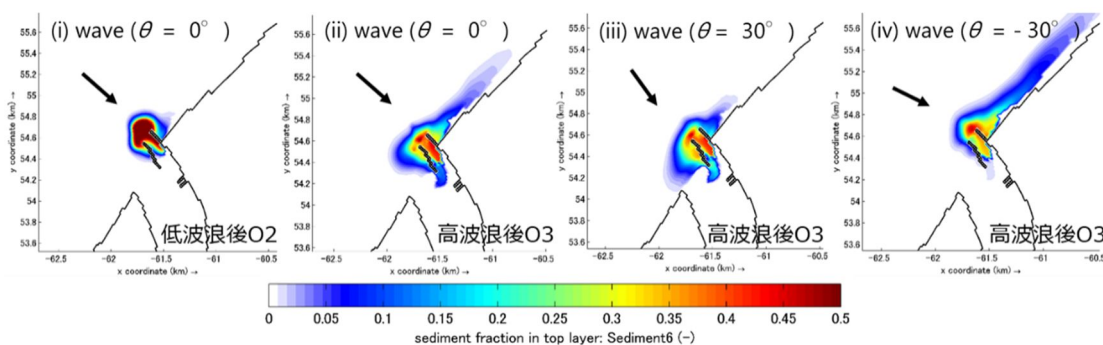


図1 底面表層における河口テラス形成土砂の構成率分布 (θ = 波向, 導流堤に平行をゼロ)

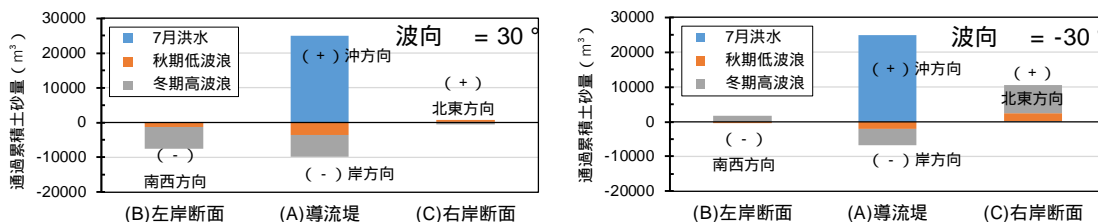


図2 河口3断面の通過累積土砂量に及ぼす波向の影響

### (2) 砂州海岸の波浪と長周期波の伝播・遡上特性に関する研究

#### 砂州地形による沿岸水理特性の変化

砂州は夏季の平均的な波浪を低減する効果はほぼ無いが、冬季の平均的な波浪条件では、不規則波に含まれる比較的高い波を沖側の砂州周辺で砕波させ、さらに岸側の砂州周辺でより多くの波を砕波により低減される効果が認められた。

砂州により長周期波高が低下する範囲は風波の低下範囲より広く、汀線付近まで砂州による長周期波の低減効果が表れた。長周期波高は汀線付近では風波を上回るため、汀線付近の漂砂や地形変化への長周期波の重要性は高いと推察された。また汀線付近まで長周期波を低減可能な砂州地形は汀線周辺の地形や汀線位置の変化に大きな影響を及ぼしている可能性がある。

千里浜海岸で発達した複数段の沿岸砂州により、冬季の平均波高以上の侵食性の強い波浪およびそれに伴う長周期波の伝播は低減され、波の低減度合いは砂州の配置や比高によってある一定の範囲で変動していると推測された。

#### 波の遡上高と波浪条件、砂州地形や汀線変動との関係

沖波の波高が大きくなるにつれて遡上高は高くなり、同一波高でも波形勾配が小さい方が遡上高は高くなった。砂州による波の遡上高の低減効果が期待できる波浪条件は、本海岸では沖波の有義波高1~2m以上であった。この場合の波の遡上高は約0.5m以上になり、砂州の有無による遡上高の低下は最大0.3m程度になると推定された。

砂州の周期的沖向き移動の周期5年間における砂州位置の違いによる遡上高の変化は0.2m程度であり、振幅に換算すると約4~8mであった。遡上幅の岸沖方向の変動範囲は汀線測量から得られた砂州移動に伴う汀線位置の岸沖変動幅と良く一致し、汀線の季節的変動の平均値と同程度であった。その結果、汀線位置や周辺地形の年スケールの変動過程を把握するには、砂州の周期的変動性を考慮することが重要であることがわかった。

冬季の平均波高 1.6m 以上の波になると、波の遡上高が砂州の存在により低下し、その低減率は砂州の配置や波形勾配により変化した。波形勾配の大きな波に対する遡上高の低減割合が高くなる傾向が認められた。波高が 3m 以上になると、砂州の発達する水深帯より沖側でも砕波が生じるため、砂州による砕波減衰の割合は相対的に小さくなった。一方、波高 0.6m の低波浪では、砂州の存在により波の遡上高が増加する傾向を示した。汀線測量や波浪観測データを加えて分析した結果、汀線を前進させる作用が見込まれる夏季平均波高 0.6m 程度の堆積性の波は沿岸砂州により遡上高が促進される可能性が示唆された（図 3 上部）。

冬季平均波高 1.6m 以上の侵食性の強い波は、2005 年や 2001 年断面の方が 2003 年断面に比べて遡上高の低減効果が平均的に高い。汀線位置は 2003 年断面より 2005 年や 2001 年断面の方が後退していた。汀線が期間平均位置より後退していた 2005 年断面における遡上高の低減効果は高く、汀線が前進していた 2003 年断面の波の遡上高の低減効果は比較的低い。従って、本海岸の砂州地形は、汀線の前進に寄与する堆積性の波の遡上高を促進し、侵食性の波の遡上高を抑制する作用があり、砂州の周期的変動は汀線を平衡位置近傍で変動させて、汀線位置を安定化する作用があると推察された（図 3 下部）。

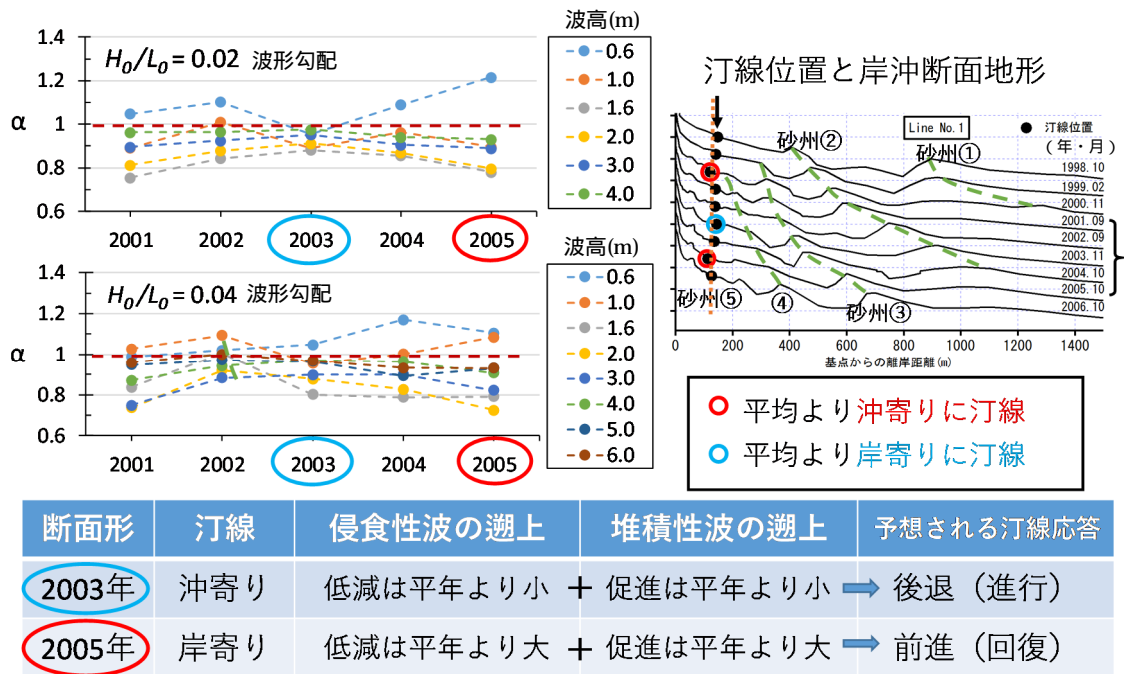


図 3 波の遡上高の低減率 と砂州地形，汀線位置との関係

### (3) 研究成果の位置付けと今後の展望

河口域における波・流れ・底質輸送・地形変化の相互作用は特に複雑で、総合的な観測は容易でないため、河川から海岸への土砂の実質的な流出量および周辺海浜への供給量を正確に評価することは難しく、海岸管理上の重要な課題である。これに対して、本研究(1)で構築された数値解析モデルと解析結果から得られた河口・周辺海岸における土砂移動過程に関する知見は有用であり、土砂の質と量を考慮して時間スケールの異なる洪水と波浪による一連の河口域の水理・土砂移動現象と地形変化を捉えた本研究の成果は希少であり、工学的な価値も高いと考えられる。

本研究(2)の波の遡上高の変動特性に関する定量的評価結果は、波打ち際に沿って乗用車が走行できる千里浜なぎさドライブウェイを有する対象海岸の利用・保全方法を議論する上で役立つとともに、長周期波を考慮した波の遡上高と汀線位置と砂州形状の周期的変化との関係に関する議論は、国内外の砂州海岸の海浜変形の基本特性や地域特性に関する知見を得る上で有用であり、学術的な価値があると考えられる。

本研究(1)では河口域の地形測量記録が存在する期間を対象としたが、構築した数値解析モデルと河川・海岸の流れや波等の定点観測データを用いることで、海岸管理に役立つ中長期の河口・周辺海域の土砂動態と地形変化過程の究明へと展開が可能である。本研究(2)で対象とする北部加越海岸は沿岸方向に緩やかに湾曲しており、海岸に作用する波・流れの沿岸方向の変化が長期的な海浜変形に影響を及ぼしている可能性がある。今後は、沿岸方向に異なる地点における海岸水理と地形変化の関係を比較・検討するとともに、研究(1)のモデル等をベースに長周期波を考慮して、海浜流や沿岸漂砂の分布特性に着目した研究へと発展が期待できる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 村田祐太, 由比政年, 榎田真也	4. 巻 76
2. 論文標題 多段砂州の組織的移動が波浪伝達特性に及ぼす影響に関する基礎的研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2(海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_649-I_654
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.76.2_I_649	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 榎田真也, 根岸和憲, 由比 政年	4. 巻 75
2. 論文標題 手取川河口域における洪水・波浪による地形変化及び土砂移動過程	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_631-I_636
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.75.I_631	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 榎田真也, 岩倉浩士	4. 巻 75
2. 論文標題 堤体材料の粒径分布を考慮した河川堤防の越水破堤・氾濫解析モデルの有用性	5. 発行年 2019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_1387-I_1392
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 M.H.Dang, S.Umeda and M.Yuhi	4. 巻 11
2. 論文標題 Morphological Changes of the Lower Tedoru River, Japan, over 50 Years	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 1852
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w11091852	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 Umeda Shinya, Yuhi Masatoshi, Karunaratna Harshinie	4. 巻 85
2. 論文標題 Seasonal to Decadal Variability of Shoreline Position on a Multiple Sandbar Beach	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Coastal Research	6. 最初と最後の頁 261 ~ 265
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2112/S185-053.1	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 該当する

1. 著者名 Yuhi Masatoshi, Umeda Shinya	4. 巻 85
2. 論文標題 Characteristics of Systematic Migrations of Multiple Sandbars and Related Cross-Shore Sediment Transport at Chirihama and Adjacent Coasts, Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Coastal Research	6. 最初と最後の頁 231 ~ 235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2112/S185-047.1	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 UMEDA Shinya, YAMAMOTO Hiroyuki, YUHI Masatoshi, MASE Hajime	4. 巻 74
2. 論文標題 ANALYSIS WITH XBEACH MODEL TO UNDERSTAND CHARACTERISTICS OF SHORT WAVE AND INFRAGRAVITY WAVE ON A SANDBAR BEACH	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_775 ~ I_780
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.74.I_775	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 UENO Takuya, TAYASU Masashige, YUHI Masatoshi, UMEDA Shinya	4. 巻 74
2. 論文標題 RELATION AMONG SHORELINE CHANGE, RIVER MOUTH LOCATION, AND ALONGSHORE SEDIMENT TRANSPORT AT THE SANRIHAMA BEACH, FUKUI, JAPAN	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_973 ~ I_978
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.74.I_973	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 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 村田祐太, 由比政年, 榎田真也
2. 発表標題 多段砂州の組織的移動が波浪伝達特性に及ぼす影響に関する基礎的研究
3. 学会等名 第67回海岸工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩倉浩土, 榎田真也
2. 発表標題 河川堤防の越水破堤・氾濫特性に及ぼす洪水流量の影響評価
3. 学会等名 第65回水工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 根岸和憲, 榎田真也, 由比 政年
2. 発表標題 手取川河口域における洪水・波浪による地形変化及び土砂移動過程
3. 学会等名 第66回海岸工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩倉浩土, 榎田真也
2. 発表標題 堤体材料の粒径分布を考慮した河川堤防の越水破堤・氾濫解析モデルの有用性
3. 学会等名 第64回水工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Umeda Shinya、Yuhi Masatoshi、Karunaratna Harshinie
2. 発表標題 Seasonal to decadal variability of shoreline position on a multiple sandbar beach
3. 学会等名 The 15th International Coastal Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuhi Masatoshi、Umeda Shinya
2. 発表標題 Characteristics of Systematic Migrations of Multiple Sandbars and Related Cross-Shore Sediment Transport at Chirihama and Adjacent Coasts, Japan
3. 学会等名 The 15th International Coastal Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 榎田真也、山本拓之、由比政年、間瀬 肇
2. 発表標題 XBeachモデルを用いた砂州海岸の波浪と長周期波の伝播・遡上特性に関する研究
3. 学会等名 第65回海岸工学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上野卓也、田安正茂、由比政年、榎田真也
2. 発表標題 高頻度現地測量による福井県三里浜海岸の汀線変化および河口変動と自然外力の解析
3. 学会等名 第65回海岸工学講演会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 山本拓之, 榎田真也, 由比政年
2. 発表標題 石川県千里浜海岸における波の遡上と長周期波に関する基礎的研究
3. 学会等名 平成30年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2019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
研究協力者	由比 政年  (Yuhi Masatoshi)		

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
---------	---------