

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01544

研究課題名（和文）漁船ビッグデータ同化による沿岸地形の戦略的モニタリング手法の構築

研究課題名（英文）Advanced monitoring of coastal morphology using data assimilation

研究代表者

岡辺 拓巳（Okabe, Takumi）

三重大学・生物資源学研究所・准教授

研究者番号：50464160

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：地形が頻繁に変動する沿岸・浅海域の地形を高分解能・高頻度にモニタリングするシステムの構築を、ビッグデータ同化手法を用いて試みた。システムの基礎となる沿岸域地形のビッグデータは、沿岸漁業者と土木工学者が協働して生成する漁船ビッグデータのほか、リモートセンシングや現地観測から得られる情報を統合して作成した。また、汀線位置の変化や河川から海域に供給される土砂のダイナミクスや特徴をレーダリモートセンシングと観測により明らかにした。地形変化モデルでは、one-lineモデルを構築し海岸地形の変化を再現するとともに、漁船ビッグデータへ粒子フィルタを適用し、水深の時間変化の算出を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で活用する漁船ビッグデータは、沿岸漁業とのコラボレーションで得られるビッグデータを基にした世界的にも類を見ない特徴的なものであり、これを高度に利活用する先駆的な研究である。本手法によって生成される浅い海域の地形情報は、沿岸域の土砂や砂浜の管理手法を飛躍的に効率化することができる。ここで提案する費用対効果が高い海底地形モニタリング手法は、沿岸域の開発と海岸侵食に直面する開発途上国での技術展開も期待されている。また、得られる分析データを無償で公開して地理・地形情報を誰でも利用可能できるようになり、津波シミュレーション（防災）や環境・国土保全、漁業などの産業活性・創出に対する波及が期待できる。

研究成果の概要（英文）：This research project attempted to construct a high-resolution and high-frequency monitoring system for coastal morphology using big-data assimilation approaches. The massive coastal morphologic data, which is the basis of the system, was assembled by integrating information obtained from remote sensing and big data of fishing boats generated through collaboration between coastal fishers and civil engineers. Radar remote sensing and observations clarified the dynamics and characteristics of shoreline position changes and sediment supplied from rivers to the sea. A one-line model reenacted changes in coastal morphology, and a particle filter with the big data analyzed temporal changes in bathymetry.

研究分野：海岸工学

キーワード：漁船ビッグデータ データ同化 海底地形 リモートセンシング Xバンドレーダ 密度流 土砂管理

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

海と陸が接続する浅海域では、波によって地形が頻繁に大きく変わるため、高頻度かつ継続的な地形データの更新が必要であり、膨大な測量コストに悩まされる。各海岸では土木工事等の事業毎に限定的な領域のみを測量するに留まっており、海岸管理に必要な広域・高頻度・継続的な地形計測を実施する上で課題である。土砂動態の活発な水深 20 m 以浅の地形を効率よく低コストでモニタリングするためには、従来手法にとらわれない革新的な技術が必要であり、沿岸域、特に海底地形のデータ取得手法にブレイクスルーが求められている。

### 2. 研究の目的

本研究では、地形が頻繁に変動する沿岸・浅海域の地形を高分解能・高頻度にモニタリングするシステムをビッグデータ同化手法によって確立することを目的とする。基礎となる沿岸域地形のビッグデータは、沿岸漁業者と土木工学者が協働して生成する漁船ビッグデータのほか、リモートセンシングや現地観測から得られる情報を統合して作成する。これを解析して時空間分解能の高い広域の海底地形データセット(客観解析データ)を生成する。また、地形変化や土砂動態(川から海への流出土砂量など)をレーダリモートセンシングと観測により明らかにし、地形変化予測モデルの境界条件として用いる。これらビッグデータと地形変化モデルとの同化により、近い将来の地形変化をより精度良く予測する。また、同様に過去の地形変化を予測・同化し直すことで、過去から現在までの地形変遷が外力変化と整合するように再現される再解析データセットの生成を目指す。

### 3. 研究の方法

静岡県遠州灘海岸を対象として、この沿岸で申請者が構築してきたビッグデータやリモートセンシングなどのユニークな観測手法を融合し、データ同化システムへと発展させる。世界標準的にデータ同化が実務で使用されている気象・海洋数値予報システムの構造を参考に、同化に必要な要素(観測値、数値モデル、高速計算環境)を3つのテーマで構築する。

(1) 漁船ビッグデータから高品質な観測地形を生成する手法の構築: 時空間に不均一な漁船ビッグデータを時空間内挿し、地形データを求める手法を構築する。また、リモートセンシングによる汀線データと融合することで、特に汀線近傍の水深データが内挿された海底地形データセットの作成方法を構築する。

(2) リモートセンシングと現地観測に基づいた地形変化モデルのための計算・境界条件の推定: Xバンドレーダや衛星画像、現地観測から地形変化予測モデルの境界条件(河川からの供給土砂量や汀線)を推定する。

(3) 漁船ビッグデータ同化手法の構築: 生成した観測地形データを地形変化モデルに同化させ、広域沿岸の地形変化予測を得る。地形変化モデルは、平面地形変化モデルと汀線変化(one-line)モデルを用いる。また、現在までの過去地形データセットを構築する。

### 4. 研究成果

#### (1) 漁船ビッグデータから高品質な観測地形を生成する手法の構築

操業中の漁船から水深(魚群探知機)や位置(GNSS)を継続的に記録することで地形に関するビッグデータを形成した。主に静岡県沿岸で操業するシラス漁船から2007年より取得しているデータを、本研究期間も継続して取得するとともに、データロガーを搭載する漁船を拡大し、より大量・広域のデータを取得した。このデータ(水深、位置、時刻)は、潮位や音速度を補正し、任意の時間幅で内挿やノイズ除去などの処理を経て時間平均的な海底地形データを作成できる。ただし、曳網できない浅い水深帯の海底地形は取得できない。この海底地形データと可視衛星画像より読み取った汀線位置から海岸地形データを作成した。汀線データはオープンデータである中分解能の可視衛星データから水際を判別でき撮像時の入射波浪が小さいと判断された36シーンを対象とした。最尤分類法により陸域と水域を区別し、データ取得時の観測潮位(御前崎、気象庁)と各沿岸域の前浜勾配(1/15あるいは1/30、既存の測量結果より決定)を用いて潮位補正を行ない、汀線位置(T.P. 0 mで定義)を定めた。漁船ビッグデータには汀線から水深約3 mまでの水深データがほとんど含まれないため、この領域の海底地形を汀線データとの線形補

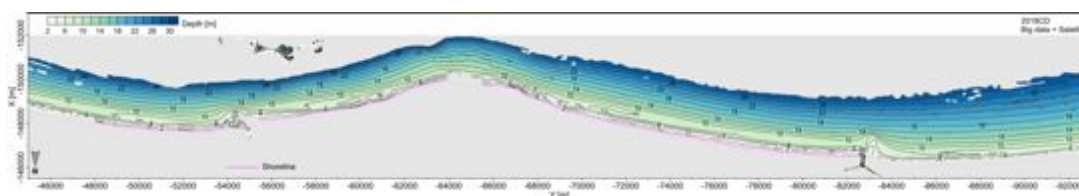


図1 衛星画像による汀線位置と漁船ビッグデータを合成して作成した海底地形図

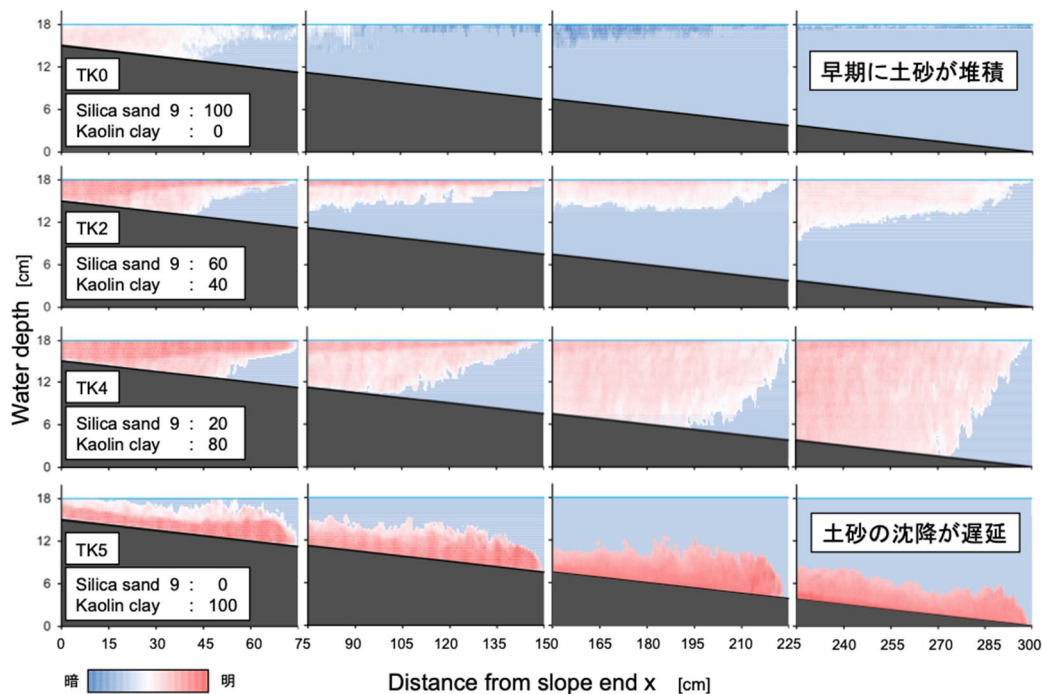


図2 細粒分の割合が異なる泥水流の塩水中での挙動

間により作成した(図1).両データの時間的な対応については,汀線データを漁船ビッグデータの作成期間に合わせて平均化し,2016年から2021年間で20の広域(沿岸方向におよそ50km)な海底地形データセットを構築した.

### (2) リモートセンシングと現地観測に基づいた地形変化モデルのための計算・境界条件の推定

河川からの土砂供給を明らかにするため,大規模出水時に土砂が高濃度の泥水流となって河口から海域に供給される場合を想定し,塩水中に泥水流が放出され,土砂堆積を伴う密度流として海域を流下・拡散する際の泥水塊の挙動と土砂の堆積特性を実験的に明らかにすることを目的とした.そのために,周囲水および流入水の条件を種々変えて密度流の挙動を実験的に調べた.特に,塩水流と泥水流の挙動の違い,および泥水流に含まれる細粒分の影響に着目した.さらに,出水直後の天竜川河口沖で塩分及び濁度の観測を行った.その結果,淡水中に塩水および泥水が流入する場合の挙動は類似しており,いずれも底層密度流となるが,泥水流の場合は流下過程で土砂の堆積が生じるため,水塊の先端速度は,一定値に漸近する淡水流とは異なり次第に低下することがわかった(図2).また,塩水中に密度差を有する塩水が流入する場合は,密度差により底層密度流となる場合と表層密度流になる場合に明確に分かれる.泥水流の場合には,土砂が堆積するので,流下過程で泥水塊が周囲水より低密度となり,その時点で表層密度流に変化する場合が多かった.沈殿しにくい細粒分を含む泥水が塩水に流入する場合については,その混合割合によって泥水流の挙動が異なる.細粒分の割合が高い場合には土砂堆積による密度低下が遅れるため,最終的に表層流となる場合でも,粗粒分が深部まで輸送される.細粒分のみの場合には,淡水に流入する場合と同様の挙動を示した.天竜川河口沖での出水後の観測では,水面下3m程度の範囲に高濃度(低塩分)の水塊が確認できたが,底層での塩分や濁度は小さかった.これより,比較的大きな出水であっても,泥水が海底を這うような底層密度流とはなっていないことがわかった.ただし,塩分と濁度の相関は高く,同一塩分では沖合観測点ほど濁度が低くなっており,流出土砂の沈降が示唆された.

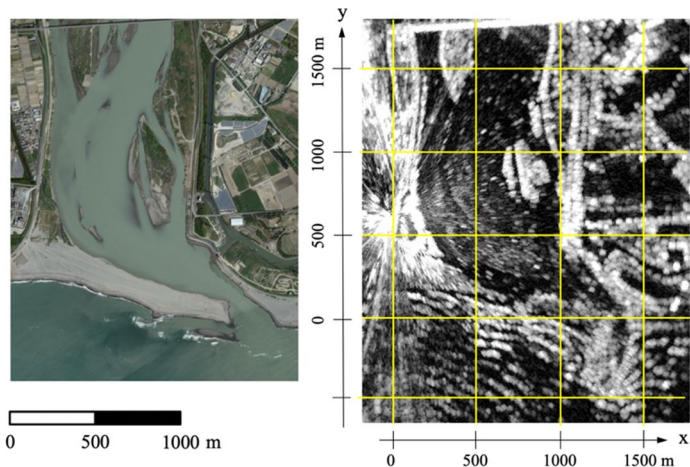


図3 天竜川河口とエコー画像の一例(2020年7月1日4時)  
レーダー設置位置  $(x, y) = (0 \text{ m}, 600 \text{ m})$

リモートセンシングによるモニタリングでは,Xバンドレーダにより取得したエコー画像を解析することにより,出水時の天竜川河口付近の表面流速分布を推定した.天竜川河口右岸の下水

道処理施設の屋上に X バンドレーダを設置し、出水中のエコー (= レーダ波の反射強度) 分布を画像形式で収集した (図 3)。水面はレーダ信号を吸収するため暗く、陸地・河川上漂流物などからは反射が強く高輝度部として映る。エコー画像は 2 秒毎に記録し、これを連続的に再生すると、河川表面にある漂流物が下流方向に移動する状況を判読できる。エコー画像は、2010 年 7 月 (最大流量: 4,800 m<sup>3</sup>/s) と 2020 年 7 月 (6,900 m<sup>3</sup>/s) の出水時に取得した。各エコー画像に映る河道内の高輝度部分の移動量を PIV 解析により計測し、これを河川表面流速と考えた。推定された表面流速分布を図 4 に例示する。図より、洪水流が湾曲した河道に沿って流れていること、河道内の砂州を避けて流れていること、河口に向かって縮流されること、流速の最大は 4 m/s のオーダーとなることなどが読み取れる。2010 年以降に河道内砂州の掘削が行われており (x ~ 750 m, y ~ 750 m)、異なるイベント時にはこの掘削下流領域の流速が大きくなっていった。推定された表面流速と流向、河川流量、水面勾配の経時変化を調べたところ「表面流速は出水ピーク時に大きく、その後、出水の減衰と共に減少した」「水面勾配に応じて流速が変動すること」などを確認した。河川断面の測量結果、最大流量 (2010 年出水) より平均流速を求めたところ約 1.5 m/s を得た。これに対して、同一位置の推定結果の横断平均は約 1.0 m/s であった。この差は、レーダ観測では漂流物がない領域の流速値が得られないことにあると考えられた。

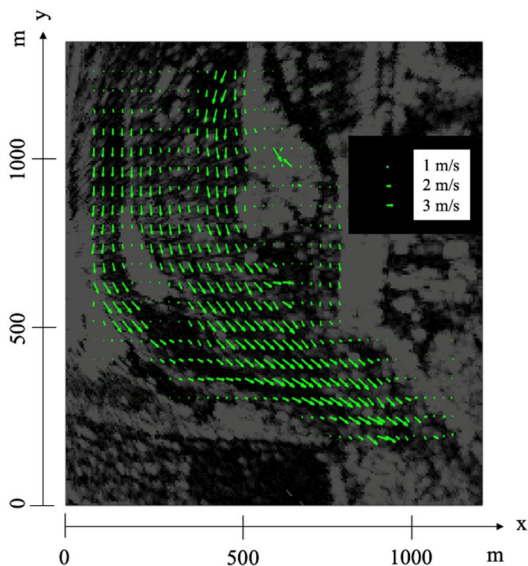


図 4 表面流速分布の推定結果  
2010 年 7 月 15 日 0 時, 流量: 4,860 m<sup>3</sup>/s



図 5 ARM 法によるメッシュ設定の検討結果

### (3) 漁船ビッグデータ同化手法の構築

汀線変動の予測には one-line モデルを採用し、モデルを構築して実海岸のデータを用いた計算を行った。対象海岸には、富山湾沿岸および遠州灘海岸を選択し、10 年程度の再現計算を行って波浪と汀線変化の関連性を検討した。その結果、海底地形が汀線変化に影響を与えていることが再現されるなど、構築したモデルの妥当性を確認した。また、静岡県浜松篠原海岸の長期再現計算を行い、海岸侵食の傾向を試算した。対象領域は沿岸方向 8 km、岸沖方向 3 km (格子間隔 200 m) とし、沖波の波高 2.19 m (観測における年平均)、汀線に入射角 0 deg の波を 1984 年の初期地形に与え、2004 年までの 20 年間で計算した。その結果、2004 年時の汀線観測結果を概ね再現できており、構築したモデルを検証できた。さらに沿岸域における高精度シミュレーション実現のために、Adaptive Mesh Refinement (AMR) 法の適用に関して検討を行った。図 5 は富山新港周辺に対してこの AMR 法を適用した例で、地形の変動が激しいと考えられる沿岸域に高精度メッシュを利用し、比較的变化が穏やかと考えられる沖合では粗いメッシュを適用することで計算資源を効率よく利用することができるようになる。また、汀線が動的に変化する問題にも陸水境界に高精度メッシュを自動的に張ることで、その位置を追隨している。本手法では計算メッシュが動的に変化するため、深度データの空間的な密度が十分にあることが要求されるが、得られたビッグデータとの融合によりこの問題に対応可能であると考えられる。

データ同化手法に関しては、漁船ビッグデータに対する粒子フィルタの適用を検討した。漁船ビッグデータは継続的かつ受動的に情報が蓄積される一方、季節や漁獲による操業エリア・水深帯の変化や荒天時などの休漁に伴って、時空間的にデータの密度がまばら (欠測) となる。しかし、漁船が通過しなかった (欠測) 場所には、時間的に遡れば過去に航行した際のデータが存在している場合もある。ある空間的な位置に、時間軸で蓄積されている水深データを現在の予測や欠測の内挿に活用できれば、時空間的に高密度な地形データを生成することもできる。粒子フィルタを用いた水深経時データの内挿を試みた。粒子フィルタの適用に際して、誤差情報が必要となるため、深浅測量成果と漁船ビッグデータによる海底地形情報を比較・評価して得た誤差の特徴を用いた。これは、漁船ビッグデータの空間的な密度と取得水深の精度に関係があり、空間的なデータ数から、その地点で得られる水深の誤差を把握できるものである。また、簡便なモデルとして、システムノイズと観測ノイズが正規分布に従うローカルレベルモデルを用いた。データウィンドウは 2 週間とし、ある 1 つの地点において半径 20 m の範囲に 2 週間蓄積されたデータから 1 つの水深 (観測値) を算出する。その際、蓄積されていたデータの個数 (密度) より誤差

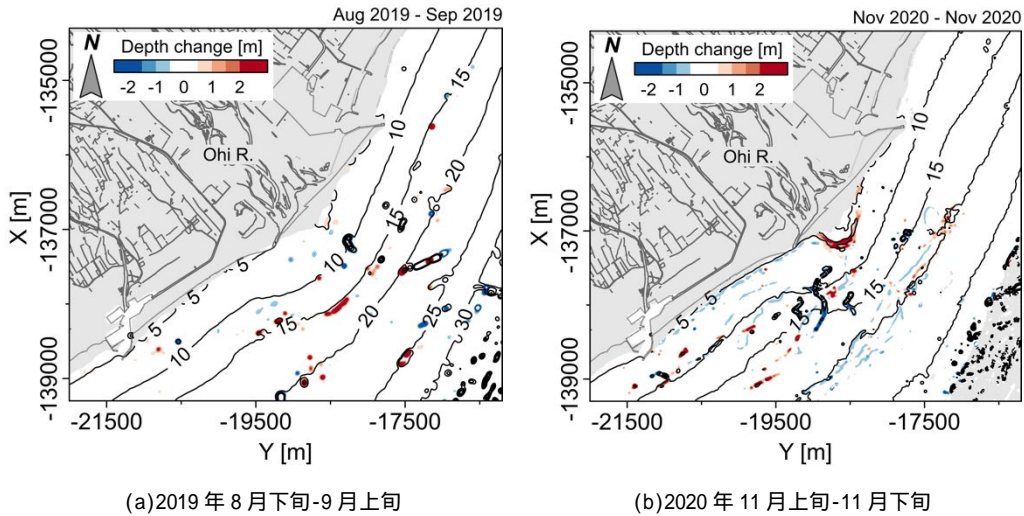


図6 粒子フィルタで算出した水深の経時変化

情報も求め、観測値および観測誤差を得る。2019年～2020年を対象として20セットの地形データを粒子フィルタにて作成した。図6は、粒子フィルタで生成した地形データセットのうち、2019年8月下旬と9月上旬と、2020年11月上旬と下旬について、それぞれの2週間の水深分布の差分（経時変化）を示したものである。漁船ビッグデータより空間的な内挿処理のみで地形算出する方法では、船が航行しなかった領域は虫食い状態になり、その領域の時間変化は計算できなかったが、このようなデータの欠測箇所も時間的な内挿がなされることによって空間的に充実した海底地形データを取得することができている。一方、水深10mより沖側などでは、魚群探知機のエラーデータ（気泡などに起因する水深の異常値）に起因する水深変化が多数みられる。ここでは、空間的なデータ密度が高くなるにつれ、取得される水深の精度は高くなることが前提となっているため、魚群探知機が気泡などに反応して異常値を記録し続けた場合、水深のエラー値を精度が高いデータであると評価してしまう。そのため、このようなエラー値の除去について新たな手法を検討する必要がある。一方、2020年11月（図6(b)）における河口前面の水深変化では、テラス先端部において堆積している領域が確認できた。ここで用いた線形的な水深変化の仮定ではなく、物理的な根拠に基づいたデータ同化のためには、先に構築したone-lineモデルなどの地形変化を再現する物理モデルを用いなければならない。本研究においては、物理モデルを利用したデータ同化の検討に及ばなかったものの、今回使用した状態空間モデル以外で地形変化を説明できるものがある可能性もあるため、様々なモデルにおけるデータ同化の検討を課題とし、今後も継続した研究を実施する予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Kishimoto S., Umeda S., Aoki S.	4. 巻 -
2. 論文標題 Experimental Study on Density Flow and Sedimentation of Turbid Waters Off aRiver Mouth	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 10th International Conference on Asian and Pacific Coasts	6. 最初と最後の頁 535-541
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-0291-0_74	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 橋口喬太・武若 聡	4. 巻 76
2. 論文標題 オープン衛星画像を用いた広域の汀線変動モニタリング	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_654 ~ I_659
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.76.2_I_654	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 岸本周平・青木伸一・梅田 崇	4. 巻 74
2. 論文標題 河口泥水流の挙動と堆積特性に及ぼす細粒分の影響に関する実験的研究	5. 発行年 2018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_781 ~ I_786
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.74.I_781	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 橋口喬太・岡辺拓巳・武若 聡	4. 巻 77
2. 論文標題 オープン衛星画像と漁船ビッグデータによる浅羽海岸の海岸地形モニタリング	5. 発行年 2021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_1093 ~ I_1098
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.77.2_I_1093	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 武若 聡・内堀圭一郎・海老原友基・森 信人	4. 巻 76
2. 論文標題 沿岸漂砂量の時空間分布の推定	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_451 ~ I_456
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_451	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 和田勇樹・武若 聡	4. 巻 27
2. 論文標題 天竜川河口付近における洪水時の表面流速の推定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 25 ~ 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/river.27.0_25	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 岡辺拓巳・下園武範・武若 聡・増田隆宏・松野英昭・鈴木高行・松尾幸二郎	4. 巻 76
2. 論文標題 ベイズ推定を用いた海底地形データの融合手法に関する研究	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_1345 ~ I_1350
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_1345	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 栗谷 樹・加藤 茂・岡辺拓巳・仁木将人	4. 巻 76
2. 論文標題 干潟における流動場と地形変化の数値解	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_336 ~ I_341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.76.2_I_336	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 Nguyen Hao Quang, Takewaka Satoshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Shoreline Changes along Northern Ibaraki Coast after the Great East Japan Earthquake of 2011	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1399 ~ 1399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs13071399	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7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Hiroki Deno, Shingo Yashiki, Shoichi Furuyama and Takumi Okabe
2. 発表標題 Simulation of shoreline changes over a long period and a wide area
3. 学会等名 第3ブロック専攻科研究フォーラム (名古屋国際センターNIC) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroki Deno, Shingo Yashiki and Shoichi Furuyama
2. 発表標題 Long-term and wide-range shoreline change simulation
3. 学会等名 The 38th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (ニューウェルシティ宮崎) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Deno, S. Yashiki and S. Furuyama
2. 発表標題 Shoreline change simulation on the Enshu-nada coast
3. 学会等名 13th International Forum on Ecotechnology (IFE13) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 S. Yashiki, H. Deno and S. Furuyama
2. 発表標題 Coastline Change Simulation with Numerical Calculation
3. 学会等名 13th International Forum on Ecotechnology (IFE13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 出野弘揮・屋敷真吾, 古山彰一
2. 発表標題 長期間における汀線変化シミュレーションと構造物による影響
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

1. 発表者名 岡辺拓巳
2. 発表標題 土木分野における漁業ICTの活用に向けた取り組み
3. 学会等名 マリンITワークショップ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mohamed, H. B., Kato, S. and Toyoda, M.
2. 発表標題 Study on Topographic Monitoring and Analysis of Topographic Changes on Maeshima Tombolo Tidal Flat in 5 Years
3. 学会等名 令和3年度土木学会中部支部研究発表会
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
研究分担者	青木 伸一  (AOKI Shin-ichi)  (60159283)	大阪大学・工学研究科・教授   (14401)	
研究分担者	武若 聡  (TAKEWAKA Satoshi)  (80202167)	筑波大学・システム情報系・教授   (12102)	
研究分担者	古山 彰一  (FURUYAMA Shoichi)  (90321421)	富山高等専門学校・その他部局等・教授   (53203)	
研究分担者	加藤 茂  (KATO Shigeru)  (40303911)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授   (13904)	

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