

令和元年6月20日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06505

研究課題名(和文) 沿岸漂砂方向が時空間的に反転する漂砂系における海浜動態の解明・予測技術の高度化

研究課題名(英文) Variabilities of coastal system characterized by spatial and temporal reversal in dominant directions of longshore sediment transport

研究代表者

由比 政年 (YUHI, MASATOSHI)

金沢大学・地球社会基盤学系・教授

研究者番号：20262553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、石川県北部加越海岸を対象とし、複雑な漂砂移動様式や海浜地形の中長期変動特性の解明と観測技術開発を行った。対象領域の地形変動を特徴付ける組織的砂州移動や汀線変動の特性を経験的にモデル化するとともに、波浪観測や波浪数値計算結果の解析により、対象領域で推定される、海浜流・沿岸漂砂卓越方向の時空間的反転構造の特徴を明らかにし、冬季高波浪の長期的波向き変化が及ぼす影響を推定した。また、複雑な海浜変動解析に資する基盤技術として、小型無人機(ドローン)による低空空撮画像を活用し、海底地形を推定する画像解析システムの構築を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、海浜の季節変動で通常考慮される岸沖漂砂方向の変動に加え、沿岸漂砂方向が季節的(時間的)および岸沖領域により(空間的)反転する漂砂系に着目した点に特色がある。多様な時間スケールの現象が重畳し、海浜動態について未解明な点が多いこの種の海岸に対して、地形変動・漂砂移動の特性解明や長期的波向き変動の影響推定が進められたことで、海岸保全対策の検討に資する基礎的な海岸工学的知見を獲得することができた。また、小型無人機(ドローン)による低空空撮画像を活用し、海底地形を推定する画像解析システムなど、海浜地形学分野でのモニタリングの高度化に有効な基盤技術を構築することができた。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the middle to long-term variabilities of a coastal system characterized by spatial and temporal reversal of dominant directions in longshore coastal currents and sediment transport. The study area selected for this study is the northern Kaetsu Coast, Ishikawa Prefecture, Japan, that is located on the middle north coast of Japan. On the basis of long-term field survey records, the characteristics of large-scale behavior of the coastal system including systematic sandbar migration and shoreline change were investigated in detail and modeled empirically. The characteristics of complicated coastal current system and related longshore sediment transport were analyzed based on the long-term hindcasting as well as observation records of incoming waves. In addition, an efficient local remote sensing system utilizing a small Unmanned Aerial Vehicle was developed to monitor the multi-scale morphological variations of sandy beaches.

研究分野：海岸工学

キーワード：広域漂砂 海浜動態 海浜システム 地形変化 汀線変動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

深刻化する海岸侵食対策の多くは膠着状態にあり、その状況を打開する契機として、海浜地形システムに内在する特性を解明し、その特徴に添って人為的制御を行うという調和的コンセプトが国内外で提示されている。しかしながら、その具現化に向けては学術的・経済的・社会的に多くの障壁が存在している。学術的観点からは、海浜過程に関する知見不足が抜本的問題であり、マルチスケールで進行する海浜変形過程に多く残存する不確定要素を解明するための技術開発と物理的・工学的知見の獲得・蓄積が必要である。

本研究の対象となる石川県北部加越海岸においては、沖合に恒常的流向を有する海流・吹送流が存在する一方、高波浪の卓越入射方向が季節的に変動する。その結果、沿岸漂砂の卓越方向が季節進行に伴って時間的に、また、岸沖方向の領域により空間的に反転する。こうした特徴的漂砂セル構造を有する海岸においては、海浜動態は格段に複雑化することから、大規模な土砂循環系の形成を含めた全体像の掌握や内部機構の解明も不十分である。また、土砂循環に関わる動的平衡状態は、海浜平面形状（汀線直交方向）と入射波向きとの相対関係によって規定されると考えられるが、地球温暖化に伴って予想される波向きの変化による将来変動によっては、入射波向きと汀線直交方向の相対関係が変化して旧来の漂砂バランスが崩壊し、海浜システムに従来とは異なる不可逆的变化が発現する可能性も予見される。

研究代表者らは、河川土砂供給変化や港湾開発が周辺海岸の侵食に及ぼす数十年スパンの長期変動及び数年規模の時間スケールを有する沿岸砂州の中長期動態の解明と観測技術開発を進めてきた。こうした中長期のバックグラウンド変動に関する一連の成果を踏まえた上で、沿岸方向の卓越漂砂方向の反転を考慮した季節変動解析や将来予測、関連する基盤技術開発を進めることで、複雑な海浜動態の特徴に対する知見を蓄積し、将来の変動予測へと発展させることが期待できると考えた。

2. 研究の目的

本研究で対象とする石川県北部加越海岸においては、以下に示す多様な時間スケールを有する変動が重畳する形で海浜過程を特徴づけている。長期的には、数十年スケールで進行する不可逆的な海岸侵食、中期的には、数年の時間スケールで周期的に繰返される沿岸砂州の組織的冲向移動、より短期的には、季節変動に伴う波向き変化による沿岸漂砂方向の変動である。沿岸漂砂方向の時空間的反転により複雑化した海浜動態の解明は、単独の解析技術では解明・予測困難であることから、本研究では、海浜動態解明のための基盤要素技術として、長期観測データを基軸としたデータ駆動型モデル、波浪・海浜地形の時系列変化を考慮したプロセスベース数値モデル、小型 UAV (ドローン) からの撮影画像に基づく画像解析を活用した多角的視点による検討を試みる。

本研究の目的は以下のように表せる。まず、長期スパンに渡る波浪観測・再解析データと地形変動データを精査・解析して、過去の波向き・地形変化の平年特性や特異年を抽出し、海浜動態を特徴付ける沿岸流の特性と想定される中長期変化を現象論的に解析・類型化すること。また、その結果に基づき、現在気候下における土砂循環に対する漂砂方向の時空間的反転の影響や気候変動に伴う波向き変化の影響に関する知見を獲得すること。併せて、対象海岸における海浜地形・波浪の長期観測結果やプロセスベース数値モデルの計算結果を解析・照合して、砂州移動や汀線変化に代表される海浜地形変化の主要モードを抽出して変動解析を行い、データ駆動型の経験モデルを構築してその特性を明らかにすること。さらに、小型 UAV を活用した効率的なローカルリモートセンシング・画像解析システムを構築し、複雑な漂砂移動を有する海浜動態の解明に向けた基盤解析技術の高度化を行うことである。

3. 研究の方法

本研究では、石川県北部加越海岸を対象とし、沿岸漂砂方向の時空間的反転を伴う海浜における漂砂移動や海浜地形の中長期変動に関する多角的検討とそのための技術開発を行った。

(1) 沿岸流方向の時空間的反転の特徴抽出と波候変化の影響、漂砂移動との関係解析

波向き変動場により形成される海浜流場や漂砂移動の特性について波浪観測および再解析データに基づく検討を行った。まず、対象海岸に隣接する金沢港における波向きの観測結果 (NOWPHAS) が活用可能な過去 10 年間の波浪データを精査し、現在気候下における波向き分布の季節変化の平年特性を把握した。次に、入射角と汀線直交方向の関係から沿岸方向波浪エネルギーの季節変化について解析・モデル化を行って、対象海岸における卓越漂砂方向の時空間的反転について、季節変動の特性を解析した。続いて、過去 30 年以上の長期に渡る波浪再解析データを精査し、直近の波浪観測データとの比較によりバイアス補正を行って、精度・適用性検証を実施した後に、波高、周期、波向き分布の変動特性を長期に渡り推定した。併せて、波向き分布の特異年を抽出し、対応する汀線変動の特徴を深淺測量データから対照して、現在気候下における波向き変動の影響を解析した。また、対象領域における波高・周期・波向きの長期変化の解析を行い、冬季高波浪の特性に着目してその変化を明らかにして、沿岸漂砂の反転構造に及ぼす影響について検討を行った。なお、ここで活用した波浪再解析データは京都大学防災研究所より提供されたものであり、JRA55 気象再解析データと WaveWatchIII 波浪推算モデルに基づいて算定されている。また、大規模土砂循環が予想される海浜動態の全容解

明には、汀線付近での波浪外力による変動と沖合海岸流による変動、両者の解明が重要であるが、沖合流れに関しては季節変動、将来変動とも強度の変化に留まり、流向に顕著な変動はないと想定されることから、本研究では、波浪外力による海浜変形を対象に各種の検討を行った。

(2) 海浜地形変動の特徴抽出とデータ駆動型経験モデルの構築

並行して、当該地域における海浜地形変化の特徴解明とそのモデル化を行った。過去 10 年以上に渡る地形測量（国土交通省）データを基に、地形変動を標準地形成分と変動成分に分離した後、変動成分に対して経験的固有関数法に基づく解析を行って、数年程度の時間スケールで繰り返される多段砂州の周期的冲向移動および対応する岸沖漂砂移動を支配する変動モードを抽出して、その特性を解析した。また、抽出されたモード情報をもとに、海底地形の 3 次元変動を簡潔に表現可能な経験的モデルを構築して、適用性を検証するとともに、組織的砂州移動の時空間変動特性に関する解析を行った。汀線変動に対しては、現地観測結果、航空写真、古地図を活用して、汀線位置・形状の長期・季節変動特性に関する解析を行い、長期変動傾向や海底地形、波浪エネルギー変動との相関について検討を行った。また、海岸工学分野において国際標準的に広く用いられているプロセスベースの数値モデル（XBeach モデルおよび Coulwave モデル）を適用した波浪変形解析を行い、主要な海底地形パターン（砂州配置）と波向きを組み合わせた対して、波浪・海浜流場の特徴を解析した。

(3) マルチスケールの海浜変動に対する多角的解析の実現に向けた基盤観測技術の確立

さらに、小型 UAV による低空空撮画像を活用した、平面 2 次元海底地形推定システムの構築と現地観測への適用を行った。システム構築にあたっては、海面観測ビデオ画像から波峰線を抽出・追跡し、波速・周期を算出して、線形波動理論の分散関係式から海底地形（水深分布）を推定する手法を用いた。海底地形の推定にあたっては、既存の海岸地形情報を有効活用して画像内の波峰追跡の安定性を高めることで、推定精度の向上を図ることとした。また、画像解析結果と現地測量結果を比較して、構築されたシステムの適用性を検証した。定性的・定量的な精度検証には、ジェットバイクによる深淺測量結果（国土交通省）を比較対象として用いた。

4. 研究成果

本研究では、沿岸漂砂方向の時空間的反転を伴う海浜における漂砂移動や海浜地形の変動特性の解明と関連する技術開発を行い、以下の成果を得た。

(1) 海浜流方向の時空間的反転の特徴抽出と波候変化の影響、漂砂移動との関係解析

長期波浪観測結果の特徴抽出にあたって、まず、当該海岸近傍に位置する金沢港における過去 10 年間の波浪データを精査し、現在気候下における波向き分布の季節変化の平年特性の解析を行った。続いて、過去 30 年以上に渡る長期波浪再解析データを精査し、直近の波浪観測データとの比較を通じて、波高・周期・波向きのバイアスを補正する手法を提示し、精度・適用性検証を行った。図-1 には、バイアス補正前後における有義波周期の累積出現分布を実測と比較した例を示す。バイアス補正により出現頻度は実測値を良く再現しており、波高や波向きについても同様の再現性が確保された。続いて、バイアス補正を施したデータを活用して、有義波の波高、周期、波向き分布の季節平均について、平年特性および年々変動特性を長期に渡り推定した。その一例として、季節ごとの平均波向きの長期変動を解析した例を図-2 に示す。冬季、春季において長期的な変動が確認され、特に冬季において波浪入射方向が北寄りに変化している。関連する形で、対象領域では、1990 年代以前および以降で波高・周期・波向きの長期変化が観察された。特に、主に冬季に観察される高波浪時における波浪入射方向について有意な変化が観察され、図-3 に示すように高波浪の支配的入射方向が北西から北北西へと変化していることが示された。さらに、沖波の波浪解析結果をベースに、一様勾配斜面を仮定して屈折計算を行い、入射角と汀線直交方向の関係から沿岸方向波浪エネルギーの季節累積値の長期変化について解析を行った。その結果を図-4 に例示する。図-2 および 3 でも観

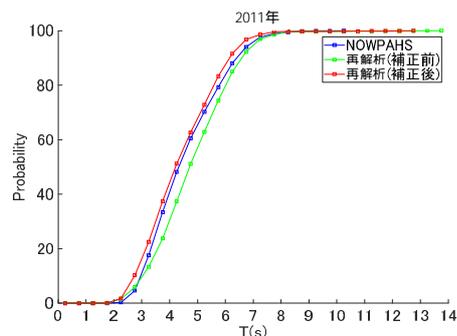


図-1 バイアス補正前後の波浪周期再解析値と実測値の累積出現確率

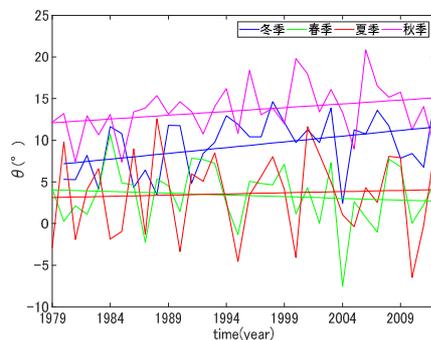


図-2 季節ごとの平均波向きの長期変動解析例
(汀線直交方向がゼロで北寄りを正)

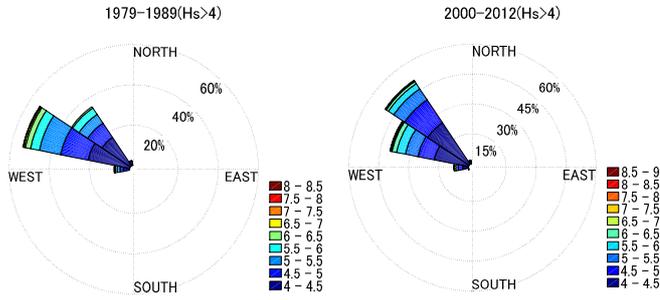


図-3 高波浪時(有義波高4m超過時)における波向き主方向の長期変化

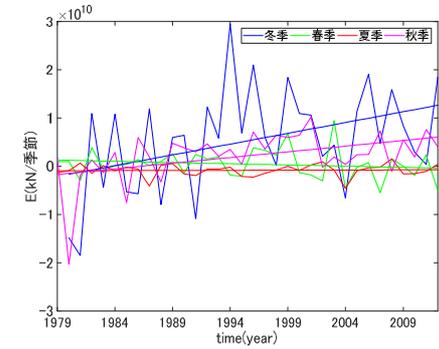


図-4 季節ごとの沿岸方向入射波浪エネルギーの長期変化(南向きが正)

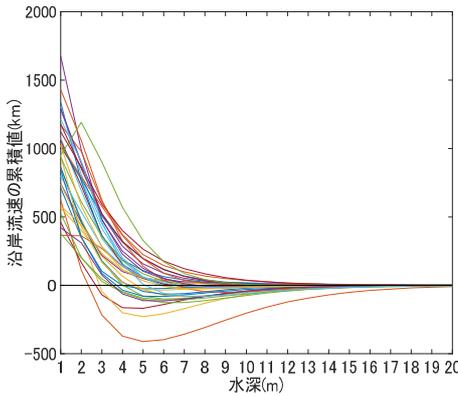


図-5 年間に渡る沿岸方向流速累積値の長期変化(南向きが正)

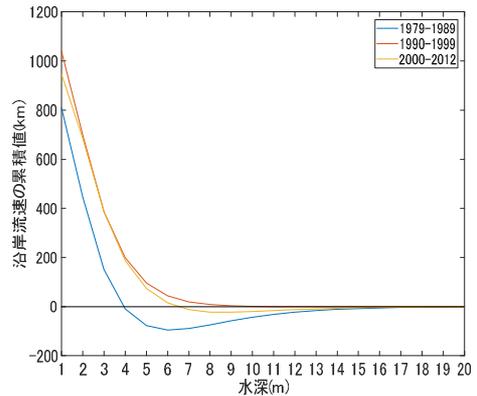


図-6 沿岸方向流速累積値の岸沖分布の長期変化(南向きが正)

察された波向き変化と対応して、冬季において1990年頃を境とした変動が見られる。続いて、水深域に対応した沿岸流・漂砂方向の時空間変動特性を推定した。その一例として、年間に渡る沿岸方向流速の累積値を水深域ごとに推定した例を図-5に示す。沿岸流速(沿岸漂砂もこの分布に準ずる形で対応する)の岸沖分布の特性については、汀線付近で南向きの流れが支配的になる一方、高波浪の影響度合いが相対的に高まる水深域(水深4.5m以深)では、沿岸流(漂砂)方向が北向きに反転するパターンを示す場合が冬季高波浪時を中心に観察されたことが特徴的であり、反転が生じうる水深域は季節により異なることが確認された。水深域に対応した漂砂方向の変動特性とその長期的変化を解析した例を図-6に示す。1990年代以前および以降で沿岸流累積値の岸沖分布パターンに大きな変化が観察され、1990年代以降、漂砂方向が北向きに反転する領域の縮小が顕著である。以上の結果を総合すると、冬季高波浪の入射波向きが北寄りに変化することで、沿岸流、沿岸漂砂方向の時空間的な反転に影響が生じていると推定される。この種の変化は、当該海岸北部への漂砂輸送を減少させる効果を有するため、将来の波向き変動の傾向と併せて注意が必要である。

(2) 地形変動の特徴抽出とデータ駆動型経験モデルの構築

深浅測量による海底地形の変動データを、期間平均地形にフィルタリングを施して得られる標準地形とそこからの変動成分に分離し、それぞれの特性を検討した。まず、変動成分を対象に経験的固有関数(EOF)法に基づく解析を行って、砂州移

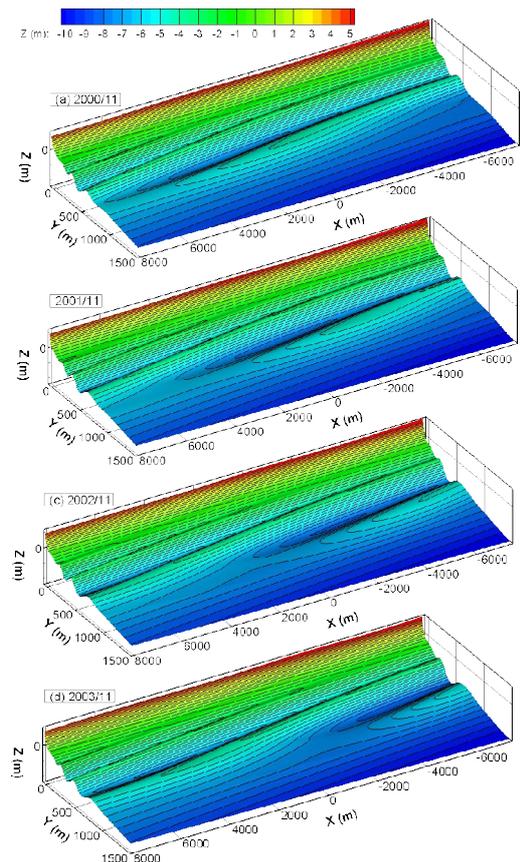


図-7 経験モデルにより再現された3次元地形の変化例

動および対応する岸沖漂砂移動を支配する2つのモードを抽出した。両モードの特性解析により、砂州移動に伴う土砂輸送は岸向・沖向に周期変化すること等を示した。続いて、砂州移動の固有モード情報を活用することで、多段砂州の周期的沖向き移動に伴う3次元地形の時空間変動を簡潔に表現可能な経験的モデルを構築し、その適用性を検証するとともに、3次元地形変動特性について解析を行った。まず、各測線における砂州地形変動を対象に、振幅・位相特性を簡易な関数の組み合わせで近似した後に、測線別の砂州変動パラメータを沿岸方向に最小自乗近似で補間して変動成分の平面構造を決定した。構築したモデルは、複数の砂州配置やその移動・発達・消失等一連のサイクル変動と平面変化の特徴を良く再現することができた。このモデルにより再現された3次元地形変動のパターンを図-7に例示する。最沖砂州の消失後、岸側の砂州が沖向き移動・発達を繰り返す様子や、一連のステージ変化が北から南に進行する平面的変遷過程の特徴が良く再現されている。また、モデル構築対象期間から5年後の地形を推定し、実測と比較した例を図-8に示した。この例では、砂州配置や頂部高等について良好な一致が見られた。さらに、砂州移動の時間変化と沿岸変化の相互関係について検討した結果、沿岸位置を固定して観測される地形の時間変化と時間を固定して沿岸位置を移動させて観察される地形の空間変化は可換的特性を有することを示した。汀線変動については、現地観測結果、航空写真、古地図を活用して、対象領域北部に位置する石川県千里浜海岸における汀線位置・形状の長期変動トレンドを検討するとともに、季節変動、年々変動と波浪エネルギー、海底地形変化との相関を明らかにした。また、プロセスベースの数値モデルとして、XBeachモデルおよびCoulwaveモデルを用いた波浪変形解析を行い、主要な海底地形パターンと波向きとの組み合わせに対して、条件に応じた波浪・海浜流場の特徴を示した。

(3) 小型 UAV による低空空撮画像を活用した海底地形推定システムの構築と適用

併せて、小型 UAV による低空空撮画像を活用し、平面的な水深分布を推定する画像解析システムの構築を行った。空撮画像を幾何補正し、時間平均画像を作成した例を図-9に示す。インターバー上で促進される砕波の影響や汀線の形状を明瞭に読み取ることができる。画像中のコントロールポイントを自動抽出して幾何補正を行うことにより、1,2ピクセル程度の精度で画像内の撮影位置を安定化できることを確認した。撮影領域内に等間隔で検査測線を設定し、個々の測線上の輝度分布の時間変化を解析して、岸向きに伝播する波峯の追跡を行い、画像解析から得られた波速と周期、分散関係から局所的な水深分布を推定した。さらに、その結果を統合することで平面的な海底地形の推定を行った。対象領域南部に位置する石川県内灘海岸において、画像解析により得られた平面地形の例を図-10に示す。水深分布の推定にあたっては、既存の地形情報として、代表的な海底勾配の値を参照活用することで画像内の波峯追跡の安定性を改善し、解析精度の向上を実現した。地形推定結果と深浅測量結果を比較した例を図-11に示す。岸沖方向の断面地形変化に関して、推定地形は現地地形の特徴を定性的に再現可能であり、定量的にも0.2~0.8m前後の推定精度が見込めることが確認された。他の測線位置および沿岸方向断面においても同様の再現性を確認している。本手法は、波峯が明瞭に視認できる水深範囲内では定性的・定量的再現性が良好であり、平面的な海底地形変化をモニタリングする上で有用なツールとなり得ることを示した。

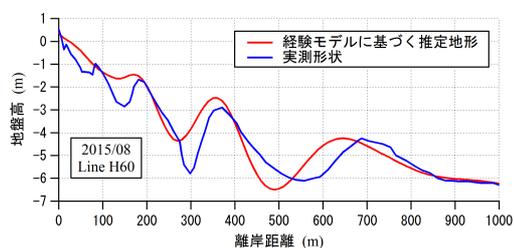


図-8 モデル推定地形と実測との比較例

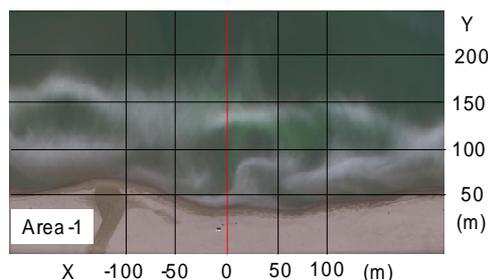


図-9 幾何補正された空撮画像から作成された時間平均画像の例

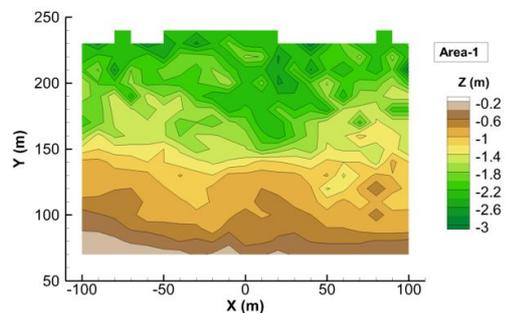
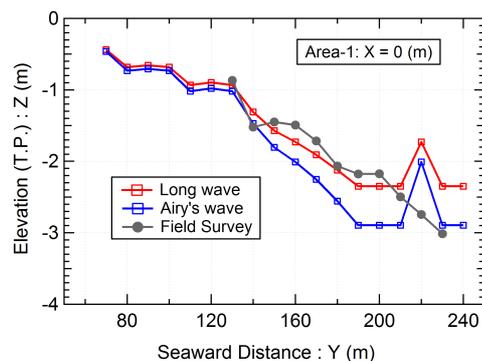


図-10 画像解析から推定された海底地盤高の平面分布例



5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 9 件)

M.Yuhi and S.Umeda, 2018, Characteristics of Systematic Migrations of Multiple Sandbars and Related Cross-Shore Sediment Transport at Chirihama and adjacent Coasts, Japan, Journal of Coastal Research, 査読有, SI85, pp.231-235 .

DOI: <https://doi.org/10.2112/SI85-047.1>.

S.Umeda, M.Yuhi, and H.Karunaratna, 2018, Seasonal to decadal variability of shoreline position on a multiple sandbar beach, Journal of Coastal Research, 査読有, SI85, pp.261-265 .

DOI: <https://doi.org/10.2112/SI85-053.1>.

榎田真也, 山本拓之, 由比政年, 間瀬肇, 2018, 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, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 査読有, Vol.74, No.2, I_775-I_780 .

DOI: https://doi.org/10.2208/kaigan.74.I_775.

由比政年, 山腰司, 榎田真也, 2017, 千里浜海岸周辺の多段砂州システムの組織的移動に伴う3次元地形の時空間変動に対する経験モデルの構築, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 査読有, Vol.73, No.2, pp.I_763-I_768 .

DOI: https://doi.org/10.2208/kaigan.73.I_763

榎田真也, 福井貴大, 由比政年, 2017, 千里浜海岸周辺における汀線の中・長期変動特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol.73, No.2, pp.I_769-I_774 .

DOI: https://doi.org/10.2208/kaigan.73.I_769

M.Yuhi, M.Matsuyama, and K.Hayakawa, 2016, Sandbar migration and shoreline change on the Chirihama Coast, Japan, Journal of Marine Science and Engineering, 査読有, Vol.4, No.2, 40 .

DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse4020040>.

由比政年, 榎田真也, 山腰司, 岡部祐子, 2016, 多段砂州システムの周期的冲向き移動による地形変化に対する簡易表現モデルの構築, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol.72, No.2, pp.I_673-I_678 .

DOI: https://doi.org/10.2208/kaigan.72.I_673.

[学会発表] (計 8 件)

徳永紗彩子, 由比政年, 榎田真也, 北部加越海岸における海浜地形の長期変化に関する基礎的研究, 平成 30 年度土木学会中部支部研究発表会, 2019 .

村田祐太, 由比政年, 榎田真也, 多段砂州周辺の波浪変形および海浜流特性に関する基礎的手研究, 平成 30 年度土木学会中部支部研究発表会, 2019 .

長谷川太郎, 由比政年, 加越海岸における波向きの変動に関する基礎的研究, 平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会, 2018 .

石田俊治, 笹木将人, 黒崎弘司, 由比政年, UAV 撮影画像解析に基づく海底地形の観測・推定法の構築, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2017 .

長谷川太郎, 由比政年, 加越海岸における波浪および漂砂特性の変動に関する基礎的研究, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2017 .

6 . 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 榎田 真也

ローマ字氏名: (UMEDA, Shinya)

所属研究機関名: 金沢大学

部局名: 理工研究域・地球社会基盤学系

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 30313688

研究分担者氏名: 斎藤 武久

ローマ字氏名: (SAITOH, Takehisa)

所属研究機関名: 金沢大学

部局名: 理工研究域・地球社会基盤学系

職名: 教授

研究者番号 (8 桁): 40242531

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。