

平成 28 年 5 月 19 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420517

研究課題名(和文) 沿岸砂州を基幹とした海浜システムの人為的環境変化に対する適応機構の解明と比較実証

研究課題名(英文) Long-term variation of multiple sandbars and related coastal system under the influence of human interference

研究代表者

由比 政年 (YUHI, Masatoshi)

金沢大学・環境デザイン学系・教授

研究者番号：20262553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：石川海岸・千里浜海岸を対象に、海底地形の長期観測データを解析して、沿岸砂州の組織的変遷を中心とした3次元長期海浜変動の特徴を明らかにした。また、人為的影響の発現前後を比較し、海底地形の周期的変遷形態が定性的に維持される中で、砂州移動範囲や発達規模等において人為的影響への応答が発現・進行する適応過程を示した。併せて、マルチコプター等を活用してローカルリモートセンシング観測を行い、海浜地形を面的に計測・推定する画像解析システムの構築を行った。

研究成果の概要(英文)：This study analyzed the decadal-scale field observation datasets in order to clarify the systematic three-dimensional behavior of coastal morphological systems along the Ishikawa Coast, Japan. During the adaptation processes to the new environmental conditions under various human impacts, the inter-annual and large-scale transition of multiple sandbars were repeated in qualitatively similar way, while the inter-cycle comparison indicated considerable differences in the extent and magnitude of bar migration. Additionally, an image processing system for the video observation from small unmanned aerial vehicles or network cameras was developed to efficiently measure the coastal morphological changes.

研究分野：海岸工学

キーワード：沿岸砂州 海浜システム 広域流砂系 長期動態

1. 研究開始当初の背景

沿岸砂州は、多くの砂浜海岸において汀線に平行に発達する浅瀬地形であり、海浜地形システムの時空間変動を特徴付ける基幹要素の1つである。砂州頂部の浅瀬部分では碎波が促進されて天然の防波堤として機能し、水深の深いトラフ部分では稚魚類の生息域となるなど、沿岸砂州は、自然と共生した海岸防災や生態環境再生を考える上で中核的役割を担ってくる。これまでに、多くの研究により、砂州の形成、移動、発達、減衰に関わる基本特性の解明が進められてきたが、海浜地形システムの各種構成要素との相互作用、および、自然・人為の複合作用による環境条件変化への応答など不明な点も多い。

沿岸砂州の変動に関して、近年、世界数地点で多段砂州の組織的沖向き移動 (Net Offshore Migration: NOM) の存在が報告されてきた。NOM は、砂州の形成・沖向き移動・消失という一連のサイクル (数年~20年程度) が、地域特有の再現周期 (数年程度) で多重に繰り返される現象である。一連のサイクルの駆動力は、波浪と海浜地形のフィードバック機構と推定されているが、その内部機構や応答特性の検討には長期・広域の現地観測データの蓄積が必須であり、特に、3次元の挙動に関して未解明な点が多い。国内外のNOM観測点における比較検討も進められているが、現状では、外力条件や地形学的パラメータを表層的に比較検討する域に留まっている。

視点を広域に転じると、山地・河川・海岸を包含する広域流砂系に加えられた人為的インパクトは、随所で土砂輸送のアンバランスを誘起し、20世紀後半に急速な海岸侵食を顕在化させた。この間、土砂輸送の最下流に位置する海浜においては、数年から数十年という時間スケールで人為的インパクトに対する応答が進行し、旧来の自然サイクルとは異なる、「人為的影響下の新しい平衡サイクル」への遷移・適応が進んできた。

このような変化の中、砂州動態についても、旧来サイクルからの乱れが発現・進行し、一定の緩和・適応期間を経た後に、新しい動的平衡状態へと収束することが予想できる。しかしながら、砂州の中長期変動に関する従来の研究は、人為的影響が比較的小さく、準安定な海岸を対象に、擬似定常的性質を暗に仮定したものが大部分を占める。つまり、NOMに代表される中期的 (数年の時間スケール) 砂州変動のサイクルと一連のフィードバック過程が、人為的インパクトの前後でどのように遷移・適応したか、という観点から検討を行った例は国内外ともに見当たらない。

研究代表者らは、これまでに、河川土砂供給の量と質の変化や港湾開発が周辺海岸の侵食過程に及ぼす影響について、現地観測、統計解析および数値解析を連携させた複合

的視点から検討を進めてきた。これら一連の研究と並行して、研究代表者らは、外洋および内湾に位置する性状の異なる海岸において、沿岸砂州動態の分析とそのための観測技術開発を進めてきた。

これらの流砂系研究と砂州動態研究を連携して推進することにより、人為的改変が海浜動態に及ぼす直接的・間接的な影響や、旧来の動態サイクルから新しい動態サイクルへと遷移・適応が進行するプロセスについて多角的、広域的な知見を獲得・蓄積することが期待できる。これらの工学的知見は、土砂循環の不均衡に起因する海岸侵食の軽減策検討の基礎としても有効であると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、石川県沿岸域 (石川海岸、千里浜海岸、鉢ヶ崎海岸等) を対象に、沿岸砂州を基幹要素とした海浜の中長期動態について多角的検討を行う。従来未解明の点が多く残される沿岸砂州の中長期・広域変動の実態に加え、広域流砂系に対して長期的・複合的に加えられた人為インパクトに沿岸地形が応答し、旧来の状態から新しい平衡状態へと適応するプロセスについて解析を行う。海浜の変動指標として、沿岸砂州の中・長期 (数年~10年程度) 変動サイクルに着目し、長期観測データを基軸に、複合的人為改変の影響下における沿岸砂州の3次元動態とその遷移・応答機構を解明する。さらに、IT技術を活用したローカルリモートセンシングを活用した沿岸地形の観測技術の発展・高度化を試みる。その目的は以下のように表される。

(1) 沿岸砂州の3次元動態に関する総合的理解の深化

沿岸砂州の中長期変動に関しては、それ自身未解明の点も多い。そこで、本研究では、長期観測データの統計的解析により経験的モデルを構築し、砂州移動・変形の3次元特性の実態を解析する。併せて、周期的砂州変動と土砂移動との関係、汀線変動への影響、基準断面地形との相関等について多角的な検討を行い、その特性を明らかにすることを試みる。

(2) 複合的人為改変の影響下における沿岸砂州の遷移・応答機構の解明と比較実証

石川海岸・千里浜海岸を中心に、人為的改変前後の砂州動態を比較検討し、その影響を明らかにする。また、変動サイクルの遷移・応答過程を類型化するとともに、それらの比較実証を行う。

(3) 砂州動態に関わる観測技術の構築

ネットワークカメラシステムを活用して、砂州の短・中期的変動の面的情報を取得分析する技術を発展させ、効率よい画像解析技術を確立する。また、その技術を小型マルチコプター (ドローン) による低空撮画像の解析に転用し、海底地形を推定するシステムの構築を試みる。

3. 研究の方法

サブテーマとして設定した3つの研究課題について、本科学研究費の申請期間中に、以下のようにして研究を行った。

(1)沿岸砂州の3次元動態に関する総合的理解の深化

石川海岸および千里浜海岸を中心に長期間蓄積されてきた地形観測データを活用して、地形変動データベースを構築・整備し、沿岸砂州の中長期砂州変動の実態を解析した。まず、3次元動態の代表モードの特徴や砂州移動・遷移特性の定量化、物理環境変化によるサイクル間の共通点・相違点の抽出・解明を行った。この際、砂州の切断や分岐、再接続などの大規模変動の発現や沿岸方向の形状変化の進展など、3次元的な変動特性に着目した。また、経験的固有関数法等の統計解析手法を活用した経験的モデル(Data Driven Model)を開発し、現象論的な解析を行って、各サイトにおける砂州3次元動態の代表モードの特徴や、サイト間の共通点・相違点を抽出・解明し、国内外の観測例との比較実証を行った。さらに、経験的モデルに基づき、砂州変動の主要モードと土砂移動の関係、前浜地形との相互干渉、土砂収支との関連等を解析した。

(2)複合的人為改変の影響下における沿岸砂州の遷移・応答機構の解明と比較実証

上記(1)の解析と並行して、人為的改変前後の砂州動態を比較解析し、変動サイクルの遷移・応答過程を類型化することを試みた。解析結果をベースに、各種の人為的インパクトの発動前後で、砂州配置の変遷パターンや移動範囲、発達規模等に代表される砂州の3次元動態がどのように変化したかを解析した。石川海岸については、対象領域を沿岸方向に分割し、土砂供給源である手取川からの距離に着目して砂州長期変動の変遷を比較し、河川土砂供給の減少に伴う海浜土砂量の減少との相関解析を行って、その影響を検討した。

(3)砂州動態に関わる観測技術の構築

ネットワークカメラや小型マルチコプター(ドローン)を活用してローカルリモートセンシング観測を行い、沿岸砂州の短期(季節)・中期的変動を連続(高頻度)計測するシステムを確立し、沿岸砂州やメガカブの発達・移動といったビーチサイクルの面的観測への適用性を検証した。鉢ヶ崎海岸においては、ネットワークカメラシステムを運用し、画像解析法の汎用化・効率化を試みた。さらに、この技術を転用して、低空空撮画像を用いた海底地形の推定システムを構築し、砂州や汀線の位置・形状、海底地形の変動等、面的な地形変動情報を高頻度で効率良く取得する基盤技術を確立した。

4. 研究成果

(1)沿岸砂州の3次元動態に関する総合的理解の深化

石川海岸において50年以上に渡って取得されてきた広域深浅測量データに基づいて、多段砂州システムの中長期変動を解析した。まず、沿岸方向21.5kmの範囲で観測期間中に発達した計6世代の沿岸砂州を対象に、その動態をLagrange的に追跡することで、10年スケールの周期的変動特性を明らかにした。2段砂州システムの移動形態は、(1)形成、(2)冲向き発達、(3A)冲向き減衰、(3B)岸向き減衰の連続したステージで特徴づけられ、石川海岸に固有の3次元形状変化を伴う変遷パターンを有することを明らかにした(図-1)。この組織的変遷過程において、領域中央部と両端側で同世代の砂州が時間差を有して冲向き移動するパターンが繰り返され、砂州の切断や分岐、再接続などの大規模な3次元変動も確認された。サイクルの再現周期は9-12年、個々の砂州のライフスパン(形成~消失)は21-24年に達している。国内外の諸地域における既往のNOM観測例との比較では、岸向きの移動減衰ステージが存在し、ライフスパン中に占める減衰期間の割合が大きいことが特徴的である。

また、石川県千里浜・高松・七塚海岸に対する深浅測量データを基に、多段砂州の周期的冲向き移動に伴う変動を抽出し、経験的固有関数(EOF)法に基づく解析を行って、砂州移動の固有モードや岸沖漂砂分布、土砂量変動の解析を行った。砂州の形成・移動・消失から成る地形変動は、EOF第1、第2モードの組合せで表現され、両モードが符号を変えつつ交互に支配的となる4つの型を1サイクル間に推移することを示した。対応する岸沖漂砂分布は、地形変動に対する空間固有関数の空間積分と時間固有関数の時間微分の積により規定される。砂州移動に伴い、汀線での土砂輸送も岸向・冲向に周期変化して汀線付近の地盤高が変動する(図-2)。前浜との土砂授受により断面内土砂量は周期変動を示すが、1サイクル経過すると元の状態に戻り、土砂量の長期変動には寄与しないことを明らかにした。

続いて、現地観測データから経験的固有関数法により抽出された砂州移動の固有モード情報を活用することで、砂州の周期移動に伴う海底地形の時空間変動を簡潔に表現可能なモデルを構築し、砂州変動の位相・振幅特性やモデルの適用性について検討を行った。各測線に対して、時間固有関数を正弦・余弦関数で近似し、時間的な位相変化および振幅変化を線形回帰で表現した。空間位相および振幅変化は、指数関数および1次、2次多項式の組み合わせでその特徴を再現した。両者の組み合わせにより、砂州地形の時空間変動を最終的にモデル化した。その結果を基

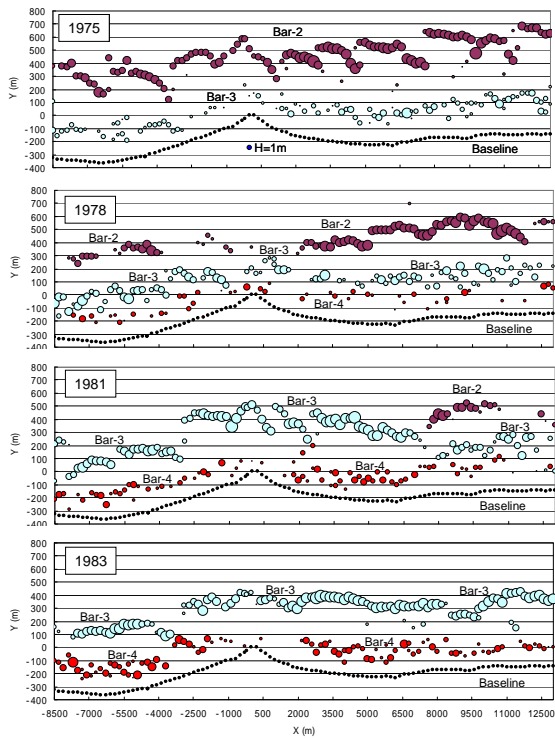


図-1.石川海岸における砂州配置の変遷例

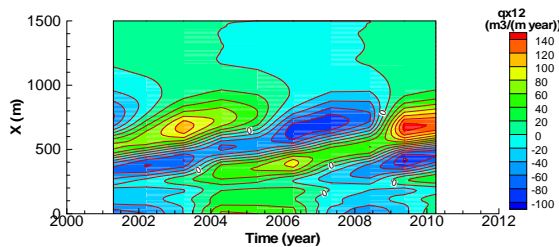


図-2. 砂州移動に伴う岸沖漂砂の時空間変動の解析例(高松海岸)

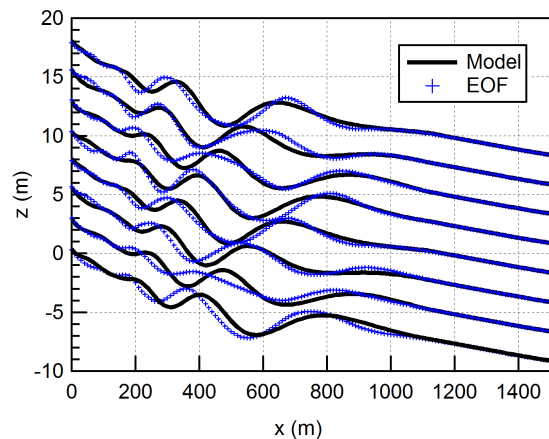


図-3. 千里浜海岸における砂州の周期的沖向き移動に対するモデル化例

に砂州配置や規模の変遷を表現し、本モデルは砂州移動に伴う地形変化の特徴を良好に再現できることを示した(図-3).

(2)複合的人為改変の影響下における沿岸砂州の遷移・応答機構の解明と比較実証
上記(1)の解析と並行して、人為的改変前

後の砂州動態を比較解析し、砂州配置の変遷パターンや移動範囲、発達規模等に代表される砂州の3次元動態がどのように変化したかを解析した.石川海岸において約50年間の解析期間中に識別された計6世代の砂州について、配置の3次元特徴やその変遷について解析した結果、第1世代から第4世代までは、平面配置の変遷パターンは基本的に共通であることが確認された.ただし、長期的な海岸侵食の影響下で、砂州の発達規模(図-4)および移動範囲(図-5)は、第3世代(1980年代)で顕著に縮小し、その後、発達規模については第2世代と同等のレベルに回復する傾向が、移動範囲については、第1,第2世代より縮小した範囲で安定化する傾向が示された.第5世代以降に関しては、領域中央部から北東部にかけてはそれ以前と同様の変遷が見られたが、領域南西部分では、砂州移動や世代交代が停滞し、准定常状態で推移する傾向が確認されるなど、侵食影響の発現前後での砂州動態の変化が顕在化している様子が示された.

また、石川海岸について、対象領域を沿岸方向に10分割し(区間幅約2kmで、南西側からエリア1,2,...と表記),各エリア内で沿岸方向に平均化された地形の変遷を解析した.その結果、海浜土砂量(海浜断面積)は、土砂供給源の手取川河口付近で1970年代から1980年代半ばにかけて急速に減少し、その後わずかに回復する傾向が見られた(図-6).手取川河口からの距離が大きいエリア9等では、乱れの発現も比較的小さく、その後の回復も速やかである.これらの傾向と対応する形で、砂州の周期的変遷も、手取川河口

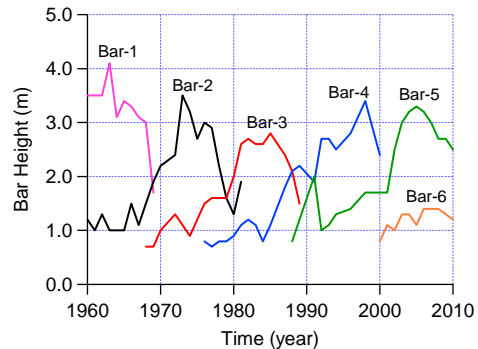


図-4. 石川海岸における砂州比高の長期的変遷

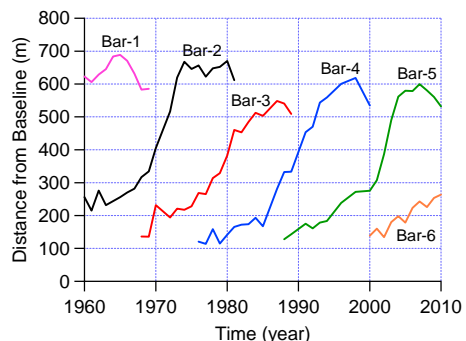


図-5. 石川海岸における砂州峯位置の長期的変遷

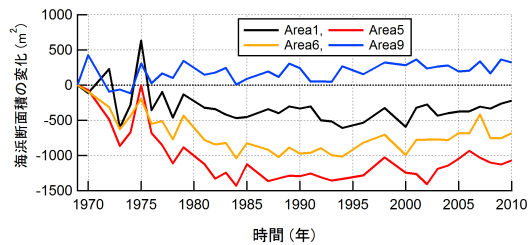


図-6. 石川海岸を沿岸幅 2 km毎に区分・平均して求めた海浜土砂量の変化 (1969 年基準)

付近で侵食進行後 (特に 1980 年代) の乱れが大きく, 近年の回復進行も緩やかである。一方で, 河口から離れたエリアでは, 期間全体に渡って比較的安定した形でサイクルが繰り返されたことが確認された。

(3) 砂州動態に関わる観測技術の構築

沿岸域の環境保全のためには, 広範囲で長期継続的な海浜地形変動モニタリングによる情報取得と解析が不可欠であるが, そのコストや解析時間が膨大となることが多い。本研究では, 鉢ヶ崎海岸に設置したネットワークカメラ観測システムを運用し, 汀線の短中期変動や対応する砂州地形変化に関わる画像解析システムの効率化を行った。既往の画像解析研究では汀線位置を特定する手法として画像輝度値の閾値による画像二値化解析やデジタイザーの援用による目視マニュアル処理が多く行われているが, 前者は現地での汎用性に, 後者は効率性と客観性に難があることから, 本研究では処理の自動化, 高速化および汎用性の向上に視点を置き, コンピュータにより自動的に汀線を抽出可能な画像解析法を提案した。自動抽出汀線と目視マニュアル汀線, 現地測量汀線との RMS 誤差は 1 Pixel 程度であり, 十分な解析精度を有することが確認できた。撮影条件が多岐にわたる連続観測画像群へこの手法を適用した結果, 提案手法により, 様々な海浜状態での汀線位置・形状の変化を効率良く客観的に抽出可能であることが確認された。本手法は, 広範囲の汀線変化とともに局所的な変化も捉えることが可能であり (図-7), 広範囲の継続的モニタリングに有効である。また, 本手法は汀線変化に加えて, 沿岸砂州やメガカスプの発達・移動・減衰を伴うビーチサイクルの面的観測にも適用可能であることを別途確認した。さらに, 空撮画像等における波峰線抽出に適用することで, 波・流れ解析への応用も可能である (図-8)。

続いて, この技術を転用して, 小型マルチコプター (ドローン) による低空空撮画像を利用した, 海岸地形の簡易観測システムを開発し, 砂州や汀線の位置・形状, 海底地形の変動等, 面的な地形変動情報を高頻度で面的に取得する基盤技術を確立することを試みた。ここでは, 連続撮影された海面画像から波峰線の運動を先の手法により抽出・追跡し,

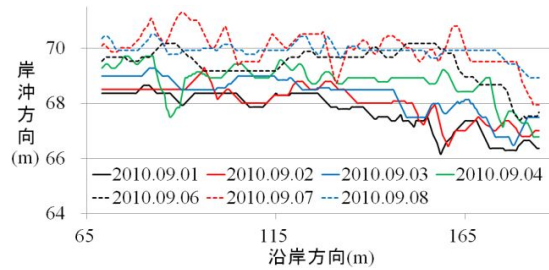


図-7. 汀線短期変動解析への適用例

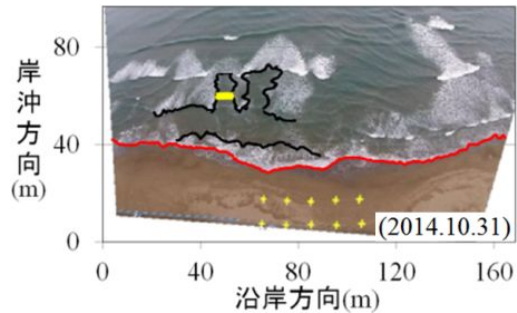


図-8. 空撮画像での波峰線・遡上端抽出例

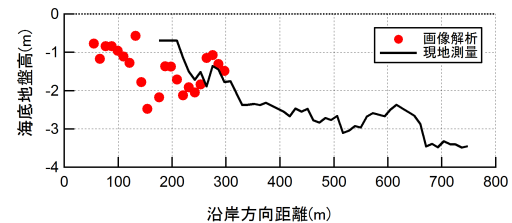


図-9. 低空空撮画像から推定された水深と現地観測結果の比較例 (沿岸方向断面)

微小振幅波理論に基づく分散関係式に基づいた解析を行うことで, 水深の空間分布を推定した。推定結果は現地測量結果の地形変動を定性的に再現し, 定量的にも全体に良好な一致が見られた (図-9)。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

由比政年, 小椋太智, 松山正之, 2015, 多段砂州システムの周期的沖向き移動と岸沖漂砂・土砂量変動の関係に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol. 71, No. 2, pp. 1_643-1_648, DOI: http://doi.org/10.2208/kaigan.71.1_643.

黒崎弘司, 由比政年, 2015, 画像解析による汀線自動抽出法の汎用性向上と波・流れ解析への応用に関する研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 査読有, Vol. 71, No. 2, pp. 1_987-1_992, DOI: http://doi.org/10.2208/jscejoe.71.1_987.

C.T. Nguyen and M. Yuhj, 2015, Long-term

variation of wave characteristics on the Kaetsu Coast, Japan, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B3 (Ocean Engineering), 査読有, Vol.71, No.2, pp.1_359-1_364, DOI: http://doi.org/10.2208/jscejoe.71.1_359.

由比 政年, 渡部 雅也, 吉崎 平太, 松山 正之, 黒崎 弘司, 2014, 石川県内灘海岸における汀線変動とリズミック地形の発達に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 査読有, Vol.70, No.2, 1_672-1_677, DOI: http://doi.org/10.2208/jscejoe.70.1_672.

M.H. Dang, S. Umeda, and M. Yuhi, 2014, Long-term riverbed response of lower Tedori River, Japan, to sediment extraction and dam construction, Environmental Earth Science, 査読有, Vol.72, pp.2971-2983, DOI <http://doi.org/10.1007/s12665-014-3202-0>

由比政年, 2013, 石川海岸における沿岸砂州の形成・移動・消失に関する長期変動解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol.69, No.2, pp.1_641-1_645, DOI: http://doi.org/10.2208/kaigan.69.1_641.

由比政年, 松山正之, 2013, 千里浜海岸周辺における砂州の周期移動特性とその沿岸方向変化, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol.69, No.2, pp.1_656-1_660, DOI: http://doi.org/10.2208/kaigan.69.1_656.

M.Yuhi, M.H.Dang, and S.Umeda, 2013, Comparison of accelerated erosion in riverbed and downstream coast by EOF analysis over a decadal scale, Journal of Coastal Research, 査読有, SI No.65, pp.618-623, DOI: <http://dx.doi.org/10.2112/SI65-105.1>.

[学会発表](計3件)

山腰 司, 石川海岸における砂州の周期移動と漂砂移動特性に関する基礎的研究, 平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会, 2016 年 3 月 4 日, 豊田工業高等専門学校 (愛知県・豊田市)

黒崎弘司, 画像解析による汀線自動抽出法の汎用性向上に関する研究, 平成 26 年度土木学会中部支部研究発表会, 2015 年 3

月 6 日, 豊橋技術科学大学 (愛知県・豊橋市)

小椋太智, 北部加越海岸における沿岸砂州の移動・発達特性に関する基礎的研究, 平成 25 年度土木学会中部支部研究発表会, 2014 年 3 月 7 日, 岐阜大学 (岐阜県・岐阜市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

由比 政年 (YUHI, Masatoshi)
金沢大学・環境デザイン学系・教授
研究者番号: 20262553

(2) 研究分担者

楳田 真也 (UMEDA, Shinya)
金沢大学・環境デザイン学系・准教授
研究者番号: 30313688

山田 文彦 (YAMADA, Fumihiko)
熊本大学・自然科学研究科・教授
研究者番号: 60264280