

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420516

研究課題名(和文) 河口 - 沿岸域の土砂ストックとフローのモニタリングシステムの構築

研究課題名(英文) Establishment of sediment flux measurement and bathymetric survey system for river-sea estuary system

研究代表者

武若 聡 (Takewaka, Satoshi)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：80202167

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)：Xバンドレーダと漁船測深システムによる地形モニタリングシステムを構築し、天竜川河口周辺の地形を連続観測した。観測結果を分析し、出水と波浪による河口砂州の浸食、河口テラスの消長等を調べた：a) 河口砂州の浸食パターンと過程を明らかにした。河口砂州の浸食は、大半は出水によるが、波浪の作用により進行する場合も見られた。河口の浸食の程度は出水前の河口幅に依存する。河口砂州がフラッシュする条件は、河口幅別整理できることを示した。b) 観測期間中、河口砂州の存在位置は海側から河道内に断続的に変位していた。c) 河口テラスは長期的な侵食傾向にあり、2008年からこれまでに80万立方メートルの土砂が失われた。

研究成果の概要(英文)：Land based X-band radar and depth sounding device attached to small fishery boats have been employed to monitor continuously and robustly the morphologies at the river mouth of River Tenryu. X-band radar can scan the boundaries between sea and land borders, and can trace the distributions of river sand bar, river terrace etc. Depth sounders attached to fishery boats collect depths distributions from the river channel to the offshore coastal zone. Several flushing of river sand bar were observed during the study. Flushing is mainly due to the flood, however, sometimes the effect of wave motion became dominant. Position of the plan center of river sand bar was shifting to the river channel side during the study period with a speed of approximately 5 m/year. The river terrace decreased its volume drastically during the study period by 800,000 cubic meters. Both results suggest that the area is in an eroding environment and the morphology of the river mouth will change in the near future.

研究分野：海岸工学

キーワード：Xバンドレーダ 河口砂州 河口テラス 小型漁船 海底地形測量 出水 土砂フラックス

1. 研究開始当初の背景

日本の各地で海岸侵食が問題となっており、かなりの時間が経過し、その主因がダム建設や砂利採取に伴う河川から海域への土砂供給減少のほか、沿岸構造物がもたらす土砂フラックスの不連続であることは共通の認識となっている。長らく、侵食対策として局所的な土砂量を維持するストック型の汀線管理が行われてきたが、対策工が漂砂フラックスを変化させ、侵食域が拡大する事例がしばしばみられる。この反省として、流域からの流砂と漂砂系内の土砂移動の連続性を確保しながら、広域沿岸で海岸保安を行うフラックス型の土砂管理へ移行が必要であるというパラダイムシフトが関係者間で共有されつつある。

フラックス管理の実現には、流域から海域への土砂供給の促進方法、土砂フラックスを制御可能な構造物の開発だけでなく、高精度・高分解能で土砂フラックス分布を観測する技術や観測結果の地形予測モデルへの反映方法など、様々な要素技術の検討が必要である。特に、河川から海域への土砂の橋渡しを担う河口部での土砂フラックス情報は不可欠であるが、波や強い流れが干渉する浅い河口において、土砂供給過程を把握するための地形測量は困難な作業を要する。このため、河口域の地形情報はコストの面からも限られた頻度で収集されるだけであり、これを解決するための新たなモニタリング手法の開発が望まれている。

2. 研究の目的

河川から海域に供給される土砂の動態について、河口テラスで生じる輸送過程別に連続モニタリングする堅牢な手法を、主に2つの計測技術の組み合わせによって確立する。平水時には潮汐の入退潮に伴う感潮域の土砂ストックの変動を捉える。出水時には河川から海域へ供給された土砂量を推定するために、河口テラスの発達過程を把握する。さらに、暴浪時には河口テラス消長と沿岸域の汀線・水深分布の変動を計測するため、Xバンドレーダーによるリモートセンシング技術と、小型漁船の操業ログを活用する浅海域海底地形計測手法を用いる。これらの計測結果を踏まえ、河口テラス域における土砂移動の統計的な性質を示す。

3. 研究の方法

天竜川河口右岸（静岡県浜松市）にある下水処理施設の屋上に X バンドレーダーを設置し 2007 年 6 月より観測を継続している（2016 年 5 月時点）。レーダー画像には波の進行状況、水際位置などが映る。図 1 に観測サイト、座標系、レーダー画像を平均化した平均画像などを示す。座標系は、東西方向に x 軸、南北方向に y 軸を設定する。平均画像は解析に用いる部分を取り出して表示してある。高輝度の部分が陸域に対応しており、河道内

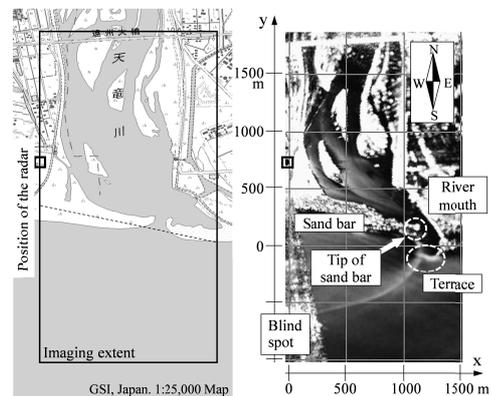


図1 観測域とレーダー平均画像，座標系

の砂州、河口砂州の形状、河口フロントの発生、碎波の状況などを判読できる。下水処理施設の塔が妨げとなってレーダーエコーを取得できない領域が扇状に広がっている。

漁船測深システムについては、まず観測体制の充実を図った。ロギング装置を天竜川内の船溜まりを拠点とする小型遊漁船に取り付け、継続的に河道から河口テラスの水深分布データを収集する。また、外洋側で操業する漁船を活用する既存モニタリングシステムについても、河口域も漁場とする船を選定し、装置を設置して取得データの充実を図る。取得した時刻・位置・測深値は潮位補正や座標変換などを経た後、データベース化されて分析が容易になるよう処理する。

次に、得られたデータを用いて、河口テラスと共通した特徴をもち、既存のモニタリングデータの豊富である浜名湖インレットの引き潮デルタを対象に、テラス変化の分析手法を検討する。分析には、Kriging による空間内挿から作成した海底地形のほか、2週間程度の頻度で算出したデルタを代表する縦断地形を用いる。この時空間的な変化より、デルタの短期変動の分析や漂砂量を推定する手法を提案・検証する。

この手法を用い、天竜川河口テラスの地形変化と土砂移動を明らかにする。漁船ログには新たにシステムに追加した遊漁船から得られたデータも使い、幅広い水深帯でテラスを分析する。平面的な水深変化については、年スケールでのテラスの変化から、河川からの供給土砂量を算出する。また、空間的な水深変化の特徴を明らかにする。テラス縦断地形の分析は、主にその先端の短期変化に着目し、地形変化の外力・要因となる波浪エネルギーや河川出水量と比較して統計的なモデリングを試みる。

4. 研究成果

河口砂州の存在位置の変化を調べた。具体的には、東西方向 $500 \text{ m} < x < 1,000 \text{ m}$ の区間にある河口砂州の面積、南北方向の図心位置 Y_g 、河道内側と海側の平均の水際位置 Y_R 、 Y_S の経時変化を調べた。図心位置 Y_g 、河道内側と海側の平均の水際位置 Y_R 、 Y_S の

経時変化を図 2 に示す。

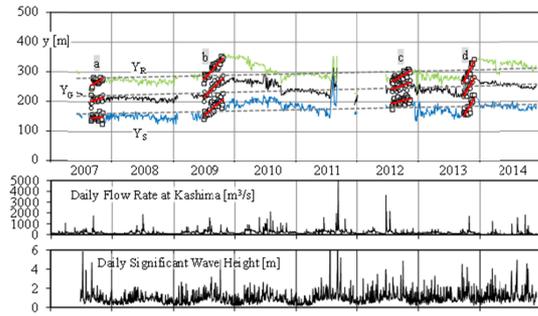


図 2 (上段) 河口砂州の図心位置 Y_g , 河道内側と海側の平均の水際位置 Y_R , Y_S , (中段) 河川流量 (鹿島, 日平均流量), (下段) 波高 (日平均値, 気象庁 GPV) の経年変化。

観測期間中, Y_g は徐々に河道内の方向に変位するトレンドにあり, その速度は 5.3 m/年 程度と評価された。類似の大きさの河道内側への移動速度 (6 m/年 のオーダ) は, 過去 50 年以上の天竜川河口の変遷を航空写真, 測量結果から追跡した研究にも報告されており, レーダ観測を行っている期間中も同様の傾向が継続していることが確認された。

河口砂州が出水によりフラッシュする過程を調べた。その結果, 河口砂州の浸食は三つのパターンに大別できることを示した。パターン A (観測記録中に 13 回) では, 主に河川流の作用により, 河口砂州の先端から浸食が始まり河口幅が拡大する。パターン B (6 回) では出水と高波浪が同時に生起し, 河口砂州が水没した状態で浸食が進む。このパターンでは波浪が大きく, 波の遡上により河口砂州が水没し, 河川流と波浪の作用を受けて浸食が進む。パターン C (4 回) はパターン A と同じく河川流の作用が主たる浸食の要因であるが, 河口砂州の途中に決壊箇所が発生するものである。河道内の水位上昇により, 河口砂州の低い箇所から海側に水が通水して浸食がはじまると考えられる。

漁船測深システムについては, 天竜川河道内の船溜まりを利用する 2 隻の遊漁船の協力が得られたほか, シラス漁船にもロギング装置を取り付け, 取得データが拡大した。遊漁船の操業ログから, 河道の縦断地形を約 2 km にわたり取得できた (図 3)。

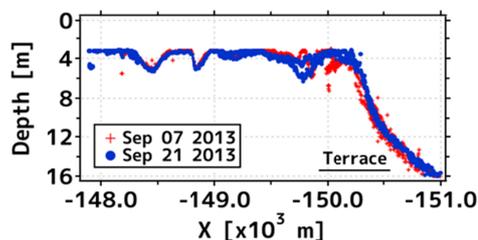


図 3 遊漁船の操業ログから算出した天竜川河道から河口テラスにかけての縦断地形

浜名湖の引き潮デルタでは, 高頻度に計測・算出した縦断地形より, デルタの成長速度を明らかにした。年間のデルタの成長トレンドは, 2011 年半ばまで約 9 m/yr で沖向きに発達していたものの, 長時間にわたり高波浪が継続して来襲した 1106 号台風によって大規模な侵食が生じたことが明らかになった。加えて, それをきっかけとしてデルタ先端部は成長が止まり, 緩勾配化が継続していることを捉えた (図 4)。また, 侵食域の水深変化を経時的に追跡することで, 既往研究と同程度の沿岸漂砂量を推定できた。このことより, ここで用いた分析手法を, 河口テラスでの分析に適用することとした。

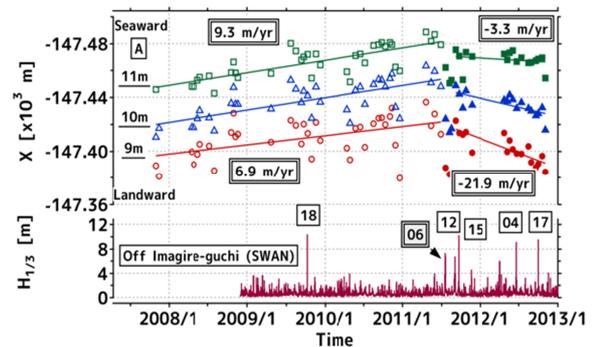


図 4 デルタ先端部の岸沖位置および有義波高の経時変化

天竜川河口テラスでは, 2008 年から 2013 年までの間に, 河口全面のテラスで大規模な侵食が継続していることを把握した (図 5)。鉛直方向に約 2 m を超える侵食量があった。また, その東西沿岸では堆積が生じており, テラスからの土砂が沿岸方向へ供給されていることを示唆した。この侵食領域を含む河口前面の地形変化量の分析より, 5 年間に $80 \times 10^4 \text{ m}^3$ の土砂が減少しており, その速度は 2010 年から 2012 年にかけて約 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ であった (図 6)。2009 年までの 1 年間で約 $40 \times 10^4 \text{ m}^3$ の侵食が生じた後, 2010 年にかけて $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ が堆積したこともわかった。これは波浪が静穏な状況下での出水が複数回生じたことによるものと考えられた。

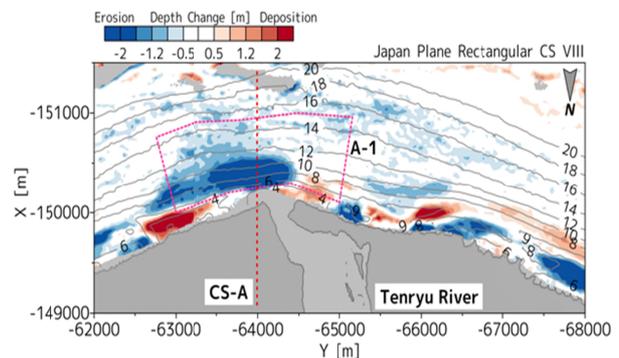


図 5 天竜川河口テラス域の 2008 年から 2013 年の水深変化量

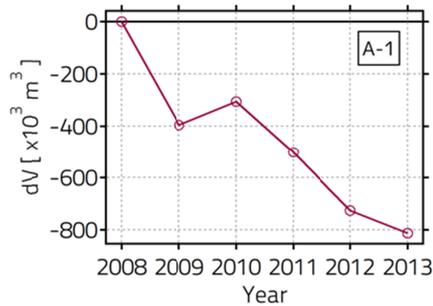


図 6 天竜川河口テラスの土砂量の経時変化

テラス縦断地形を用い、地形変化外力に対するテラスの応答について、両者を定量的に結びつけた。荒天前後におけるテラス先端の斜面部の岸沖方向への変化量と、沖波エネルギーフラックスおよび河川流量との関係を、2009～2012 年を対象に分析した。有義波高が 3 m を超える期間を荒天とし、その全エネルギーフラックスと期間中の最大日流量を用いて三者の関係を検討した(図 7)。この結果、波浪エネルギーが大きくなるに従って、テラスの前進および後退量ともに大きくなる傾向があった。およそ 30～40 m 陸側へ大きく移動した 2 つのケースは、8 m を超える有義波高に出水を伴う台風(1106 号および 1115 号)で生じていた。しかしながら、この三者の関係の中にはテラスの前進・後退を決める要素は確認できなかった。テラスが前進した場合のみを抽出し、三者の関係を最小二乗法で近似すると、 $R^2 = 0.67$ の面を求めることができた(図 8)。これより、テラスの前進は波と出水に対して比例関係にあり、特に波浪の影響が大きいことがわかった。後退に関しても同様に $R^2 = 0.72$ で面が算出され、前進の場合と同様の傾向であったことを明らかにした。

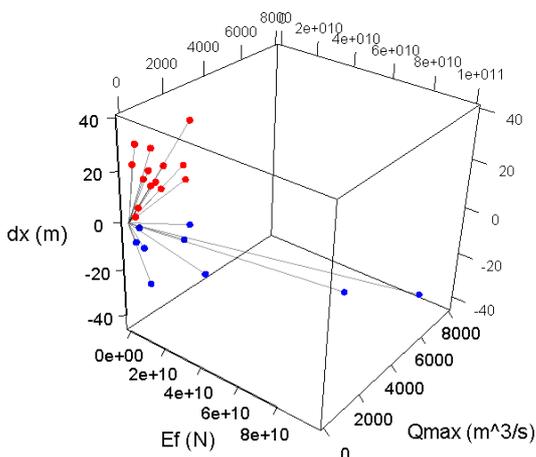


図 7 波浪および流量とテラス斜面部の岸沖移動量の関係

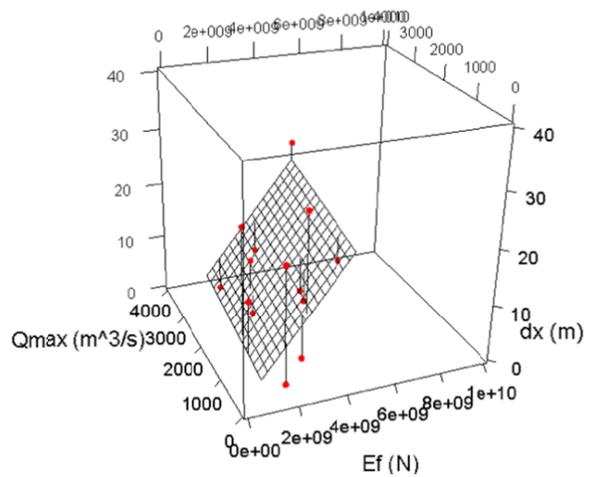


図 8 波浪および流量とテラス斜面部の沖向き移動量の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

1. Satoshi Takewaka: Visibility of River Plume Fronts with an X-Band Radar, Journal of Sensors, Volume 2016, Article ID 6594847, 11 pages, 2016. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/6594847> (査読有)
2. Satoshi Takewaka: Observation of Whole Flushing Process of a River Sand Bar by a Flood Using X-Band Radar, Journal of Marine Science and Engineering, 4(2), 32, 2016. doi:10.3390/jmse4020032 (査読有)
3. 岡辺拓巳, 加藤 茂, 高岡 翔: 天竜川河口テラスの高頻度なモニタリングに基づく地形変化の解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 2, pp. I_626-I_630, 2014. (査読有)
4. 高橋幹人, 武若駿: 天竜川河口域の出水と波浪による地形変動の観測, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, pp. 636-640, 2014. (査読有)
5. 岡辺拓巳・加藤 茂: 高頻度海底地形モニタリングによる ebb-tidal delta での沿岸漂砂量の推定, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. I_651-I_655, 2013. (査読有)

〔学会発表〕(計 4 件)

1. Aoki, S., S. Kato and T. Okabe: Observation of flood-driven sediment transport and deposition off a river mouth, Procedia Engineering, IIT Madras, India, Vol. 116 (Proc. of The 8th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2015)), pp. 1050-1056, India, Sep. 7-10, 2015.
2. Takewaka, S., T. Okabe, S. kato and S. Aoki : Observation of sediment

processes of a flood event at the river mouth of Tenryu, Japan with X-band radar and in situ measurements, The Proceedings of the Coastal Sediments 2015, San Diego, USA, DOI: 10.1142/9789814689977_0160, May 11-15, 2015.

3. Okabe, T., S. Kato and K. Takaoka : Bathymetric changes related to wave and flood in the Tenryu river delta-front, Japan, Proc. of The 24th International Offshore (Ocean) and Polar Engineering Conference (ISOPE-2014), Busan, Korea, Vol. 3, pp. 1076-1081, June 15-20, 2014.
4. Okabe, T. and S. Kato : Frequent monitoring of ebb-tidal delta formation in Imagire-guchi inlet area, Proc. of 7th Int. Conf. on Asian and Pacific Coasts (APAC2013), Bali, Indonesia, pp. 234-237, Sep. 24-26, 2013.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

武若 聡 (TAKEWAKA, Satoshi)
筑波大学・システム情報系・教授
研究者番号 : 80202167

(2)研究分担者

岡辺 拓巳 (OKABE, Takumi)
豊橋技術科学大学・工学研究科・助教
研究者番号 : 50464160