

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：13904

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26820201

研究課題名(和文) 漁船ビッグデータを用いた河口テラスの変動解析と土砂フラックスの評価

研究課題名(英文) Analysis of estuarine morphodynamics and coastal sediment budget using big data

研究代表者

岡辺 拓巳 (OKABE, Takumi)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：50464160

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、漁船から得られる航行中の水深・位置情報(漁船ビッグデータ)から海底地形を生成する水深モニタリング手法を用い、遠州灘沿岸の河口域の地形変化を解析するとともに、そこでの広域な沿岸漂砂量を推定した。これより、天竜川河口テラスで継続している侵食のほか、河川出水や波浪に対するテラスの応答を明らかにした。浜名湖今切口では引き潮デルタの高波浪に対する地形変化を解析するとともに、デルタ域の土砂動態を推定した。また、50 kmにわたる遠州灘の沿岸漂砂量を推定し、近年の海岸の土砂環境を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：To clarify the characteristics of estuarine morphodynamics and regional sediment budget, it is necessary to monitor bathymetry frequently and persistently. This study focused on the morphologic changes in estuaries and an inlet in Enshu-nada coast, Japan, at several temporal scales. The longshore sediment transport was also evaluated. The bathymetric information was collected from multiple small fishing vessels. The position and depth of the vessel during operation were acquired with a GNSS antenna and fish finder, respectively. An assessment of the bathymetry monitoring data in the mouth of Tenryu River showed the trend of erosion in the delta. In Imagire-guchi inlet, the bathymetries of the ebb-tidal delta revealed several reversals of the trends and various rates of accretion or erosion in the terminal lobe. The regional sediment budget in the coast was evaluated by the bathymetric changes along 50 km of the shore, and this spatial feature indicated the recent morphologic situation.

研究分野：海岸工学

キーワード：ビッグデータ 総合的土砂管理 海底地形 河口 小型漁船 地形モニタリング

1. 研究開始当初の背景

日本の沿岸で拡大を続ける海岸侵食は、人為的要因で生じる土砂フラックスの減少・遮断が主な原因である。多用されてきた海岸構造物による局所的な侵食対策は、それ自身が土砂移動の不連続を生み、海岸侵食が地域に広く長く根付いて防災・環境問題に発展する。近年はその反省より、山から海にまたがる広域漂砂系の視点で総合的に土砂を管理する動きが活発化している。

広域漂砂系の中では、河口テラスは河川から供給された土砂のストックとして振る舞い、沿岸域への土砂輸送過程で重要な役割を担っている。また、インレットでは引き潮デルタの発達に沿岸漂砂が捕捉されるなど、河口域のテラス・デルタは漂砂系に対して大きな影響力を持つ。また、河口域は数値計算でも境界として扱われることが多く、そこでの土砂フラックスの把握は不可欠な情報である。しかし、波や流れが複雑に干渉しあう河口域では様々な観測が困難であり、特に短期的な土砂移動は未解明な点が多い。

このような側面からも、総合的土砂管理の実現には漂砂系内の河口域における地形変化や土砂フラックスの把握は欠かせない。加えて、漂砂量の全体最適化のためには、河口域を含む広域な沿岸地形のモニタリングが必須である。一方で総合的土砂管理は長期間（数十年）の事業であり、計測手法に高い費用対効果が求められる。そのために解決すべき技術課題は多く、中でも広域な浅海域の海底地形を高頻度かつ継続的に計測する手法の開発が不可欠である。これに対し、研究代表者は浅海域で操業する小型漁船の操業活動データを収集・解析する新たな海底地形計測手法を開発し、システムを発展させてきた。

2. 研究の目的

本研究では、先述したモニタリング手法を発展させ、収集した漁船ビッグデータ（位置・水深・時刻）を基に河口テラス・デルタで生じる短期～数年スケールの地形変化を明らかにするとともに、河口域での土砂フラックスの定量的把握を目指す。遠州灘沿岸に位置する異なる特徴を持った複数の河口域を対象とし、発生した地形変化を多様な時空間スケールで解析して外力に対する応答特性を明らかにする。さらに、河口域での土砂変化量を把握するとともに、広域沿岸での漂砂量を推定する。以下に研究内容を示す。

(1) 土砂供給河川である天竜川河口を対象とし、地形変化外力に対する河口テラスの応答特性を明らかにする。河川からの出水や波浪に対応するテラス前面の前進・後退から応答を評価するとともに、水深変化から土砂変化量を算出する。

(2) 浜名湖今切口インレットに形成されている引き潮デルタを対象に、デルタの成長トレ

ンドとその機構にトラップされる漂砂量を把握する。また、気象イベントで生じた短期的なデルタの地形変化を明らかにする。

(3) 遠州灘における沿岸漂砂量を推定する。これを基に、河口港を有する河口域が漂砂系に与える影響も検討する。

3. 研究の方法

(1) 漁船ビッグデータ生成のため、データ記録システムを拡大するとともに、これらを運用する。これまでの知見より、海底地形図の精度と漁船操業データの空間密度に相関があることから、より正確な海底地形情報生成のためにロガーを搭載する船を増やし、取得データ数を増加させる。漁協への協力依頼と設置工事を行うとともに、これら漁船から定期的にデータを回収する。この操業ログに対して潮位、水温（水中音速）、魚探振動子から水面までのオフセットを補正し、座標変換を行うことで空間的な水深分布を得る。これをデータベース化し、解析対象とする時空間で抽出して内挿や平滑化を行うことで、地形データや断面図を算出した。

(2) 天竜川河口の外洋側に形成された河口テラスに着目し、周辺を含めた海底の地形変化およびテラスでの土砂変化量を検討する。さらに、テラスの変化と地形変化外力となる波浪および河川出水との関連について、年および気象イベントの時間スケールで考察する。解析に用いる海底地形は、継続的に漁船から取得した地形情報の期間平均値を kriging による空間内挿を用いて算出した年間を代表する地形を算出する。加えて、テラス先端を通る岸沖縦断測線を定義し、テラスの前進・後退に対して高波浪・出水の前後の期間の断面地形を漁船ビッグデータから算出する。この地形変化を河川流量（日流量の観測値）や波浪情報と比較した。

(3) 浜名湖今切口インレットの外洋側に発達している引き潮デルタの分析についても、先述した河口テラスの分析方法を用いた。引き潮デルタの発達を年スケールで検討する。デルタの発達速度を明らかにするとともに、そこにトラップされる沿岸漂砂量を推定する。さらに、台風の来襲に伴う高波浪で生じた短期的な地形変化を、その外力である波浪の特徴とともに検討した。

(4) 遠州灘の沿岸漂砂量分布については、静岡・愛知県境から静岡県大須賀海岸に至る約 50km の浅海域を対象として算出した。2014～2016 年に生じた水深変化を基に、この地形変化量を沿岸方向に積分することで沿岸漂砂量分布を算出した。また、河口漁港を有する太田川河口域の土砂動態も推定し、得られた漂砂量分布や地形変化の空間的な特徴を基に、遠州灘の漂砂や河口域の特徴を考察した。

4. 研究成果

(1) 小型漁船へデータロガーを設置し、2017年3月までに27隻の漁船から操業中の情報を取得するまで拡大した。遠州灘のシラス漁船は二艘で浅い水深を曳網することから、浅海域の水深データが大量に取得できた。図1は漁船から取得した日毎のデータ数の経時変化を示したものである。ロガーを設置した漁船が増えるにつれて取得データ数も経時的に増加している。2017年現在、27隻の小型漁船から操業中の情報を取得しており、そのうち24隻がシラス漁船であるため、休漁期(毎年1~3月)には収集データ数がほとんどない。また、データ数は好不漁に左右されるほか、2008年には原油価格の高騰にも影響された。

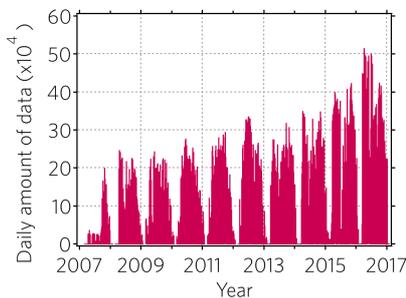


図1 記録された漁船データ数の経時変化

(2) 天竜川河口前面では、2008年から2013年にかけて沿岸方向に約1kmの範囲で-2mを越える侵食域が広がっており、テラス頂部が陸側に後退していた。一方、その侵食域に隣接する東西側では堆積が生じており、特に東側の堆積域における5年間の水深変化量は大きかった。この河口前面における2008年を基準とした2013年までの土砂変化量の経時変化を図2に示す。これより、河口前面では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 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{y}$ である。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 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ が堆積していた。2009年以前は高波浪の来襲も少なく、河川出水に伴う土砂供給が少なかったため、河口前面は侵食傾向となったことが推察される。また、2010年の波浪も静穏であったが、低気圧や前線に伴った複数回の出水による海域への土砂供給が堆積傾向へ転じた要因と考えられる。

次に河口テラスの沖側への発達や陸側への後退と、波浪や河川出水との関連を分析した。年間のテラス前面の岸沖移動トレンドを求め、その速度を代表値とした。有義波高 $H_{1/3}$ が3mを越える期間を荒天時とし、その間の全沖波エネルギーフラックス E_f およびその間の日流量の最大値 Q_{max} を総和した値を比較に用いた。図3および図4は、それぞれ各年の E_f および Q_{max} とテラスの移動速度の関係を示したものである。なお、正の速度はテラス斜面が岸向

きに移動したことを示している。図より、2010年にテラスは沖向きにやや発達した後、2011年以降は早い移動速度で斜面が陸側に移動しており、テラス前面が急激に後退していた。特に2011年の移動速度は大きく、テラス前面の年間の後退量に換算すると100mに及んでいた。沖波エネルギーフラックス E_f との関係(図3)については、漁期の総エネルギーとテラス前面の移動トレンドは関連があるようにも見える。特に高波浪が頻繁に来襲した2011年は斜面の後退速度が大きい。しかしながら、2009年と2012年は E_f に大きな差はないものの、移動トレンドは異なっている。 Q_{max} との関係(図4)については両者に明確な関連性は見られないが、波浪が小さかった2010年は出水量が多く、これがテラス斜面の前進に寄与しと考えられる。また、2011年は Q_{max} 、 E_f ともに大きく、テラスへの土砂供給が増加したと推測されるが、結果的には最も後退が進んだ年となった。これらのことから、海域では沿岸漂砂や波向、河川では出水と流出土砂量の関係など、テラス前面の挙動を決定する別の要因が複合的に関連することがわかった。

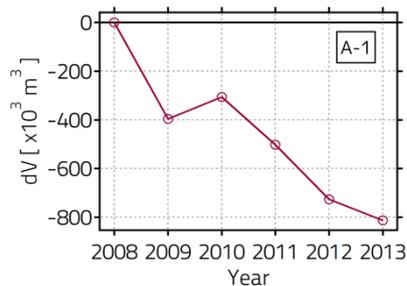


図2 記録された漁船データ数の経時変化

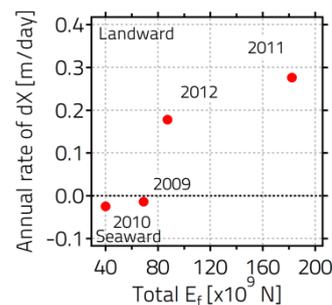


図3 波浪とテラス斜面の年間移動速度の関係

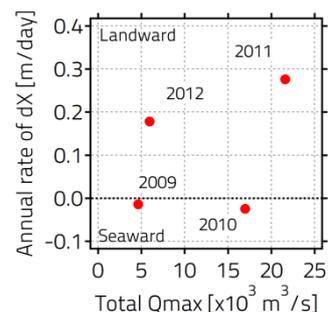


図4 出水量とテラス斜面の年間移動速度の関係

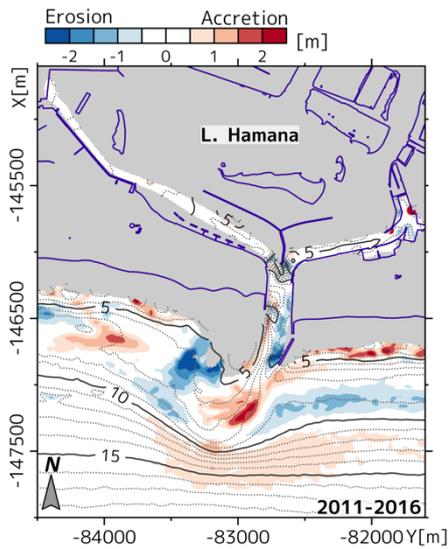


図5 浜名湖今切口の水深変化 (2011~2016年)

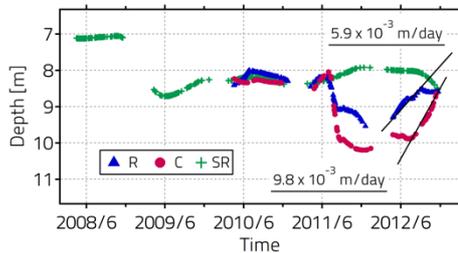


図6 解析領域(今切口)の水深の経時変化

(3) 2011年と2016年の浜名湖今切口における水深変化の空間分布を図5に示す。顕著な堆積が水路の延長上の外洋側に生じている。その西側では2mを越える侵食域が形成されており、デルタ上では複雑な地形変化が生じていることがわかった。また、デルタ前面の水深10~15mの範囲でも生じている。遠州灘の底質の移動限界水深が約10mであることや、長期的な沿岸漂砂は西方であることを考えると、この堆積は沿岸漂砂を含めた土砂がデルタ成長機構に捉えられ、沖側へ押し出されたものと考えられる。今切口の導流堤による固定化工事以降、近年も引き潮デルタが発達中であることがわかった。また、移動限界水深より深い水深へ押しやられた土砂は、その後の沿岸漂砂への寄与が見込めないことも指摘されており、土砂管理にとって、この土砂の損失は小さくないことも明らかとなった。

短期的な地形変化に対しては、台風・高波浪の影響が大きいことを明らかにした。中でも台風1106号によってデルタ先端部の侵食が生じたイベントへでは、波エネルギーは高波浪であった台風0918号の4割り程度であったものの、長周期のうねりが長期間継続的に来襲したことによって、作用した波浪エネルギーの総量は0918号の約2.7倍であり、これが地形変化の原因であることを明らかにした。この局所的な侵食地形を利用し、土砂の埋め戻り速度から漂砂量を推定した。複数の推定領域を設け、漁船データから水深の時系列を用いた。図6はこの水深を時間平滑化し

て測深誤差から生じるノイズを除去した経時変化である。侵食域の中心に位置する領域Cでは2012年8月から埋め戻しが見られた。この水深変化速度と領域面積より求めた土砂堆積速度(m^3/day)を、各領域の岸沖幅で除して単位幅あたりの沿岸漂砂量($\text{m}^3/\text{day}/\text{m}$)と仮定した。これを導流堤先端の洗掘がない位置から、移動限界水深 $h_c=10\text{m}$ までの岸沖距離で積分すると、領域Cでは $347.5\text{m}^3/\text{day}$ の沿岸漂砂量が推定された。これは $12.7 \times 10^4\text{m}^3/\text{y}$ の沿岸漂砂量に相当し、過去の研究事例で推定されてきた $10 \times 10^4\text{m}^3/\text{y}$ 以上の沿岸漂砂量大きく異ならず、本手法を用いても漂砂量の推定が可能であることを示した。

(4) 太田川河口(福田漁港)から東側の浅羽海岸における2014~2015年および2015~2016年の沖合(水深約4~15m)の沿岸漂砂量分布を、漁船ビッグデータから推定した(図7)。図中では東からの沿岸漂砂 Q_{in} を基準とし、正の漂砂量が東向きを示している。これより、漁港東端($Y=54\text{km}$)と比較して、浅羽海岸では東向きの漂砂量が $2 \times 10^4\text{m}^3/\text{y}$ 以上へと増加しており、海域の土砂量減少が続いていることを示している。領域東端の沖合では Q_{in} に対して $1 \sim 2.5 \times 10^4\text{m}^3/\text{y}$ の土砂量が東向きに通過していることがわかる。この漂砂量は、漁港を砂が迂回するサンドバイパスシステムの稼働で補うことが計画されており、2014年3月からの3年間で、試験稼働を含めて約 $20 \times 10^4\text{m}^3$ の土砂を浅羽海岸へバイパスした実績がある。本手法による分析より、2015~2016年において漁港東側の突堤での堆積や土砂吐出口沖の領域での $1.5 \times 10^4\text{m}^3$ の土砂堆積が確認されており、サンドバイパスの効果が海域側に現れていることを示唆する結果を得た。

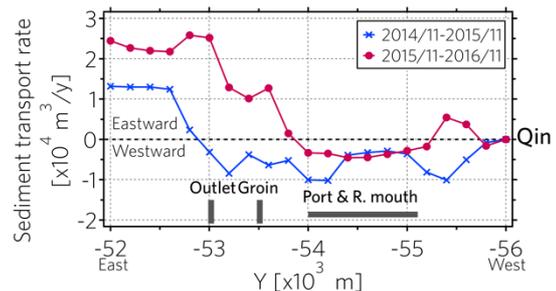


図7 浅羽海岸における沖合の沿岸漂砂量分布

遠州灘の広域沿岸における水深変化分布(2014~2016年)を図8(左)に示す。水深変化は天竜川河口より東西8kmの範囲で顕著に生じているほか、浜名湖今切口では引き潮デルタの成長と導流堤西側での侵食がみられるなど、地形変化を広域に把握することが可能となった。馬込川河口から西側にかけては沖側に堆積が生じているが、これは河川の影響よりも、養浜や構造物によるものと考えられる。この地形変化量を沿岸方向に積分することで沿岸漂砂量分布を算出した(図8右)。今切口で $10 \times 10^4\text{m}^3/\text{y}$ の西向き漂砂となるよ

う調整し、天竜川からの土砂供給はない条件設定とした。ここでは、陸域および水深 3m 以浅の海域における土砂収支は考慮していない。これより、構造物を伴わない小規模な河川は、全体的な沿岸漂砂に与える影響は小さい。しかし、今切口西側の侵食傾向や福田漁港周辺での堆積傾向などを見ると、導流堤や港湾を伴う河口域では沿岸漂砂の阻止など影響が大きいことがわかる。本手法による沿岸漂砂量の推定結果は、その分布形が大まかに海岸の状態を捉えられたと考えられる。漂砂量については既往研究の結果と大きくは異ならないオーダーで推定できているものの、推定精度の向上のためには養浜や飛砂、3m 以浅の漂砂量などを考慮することが今後の課題である。

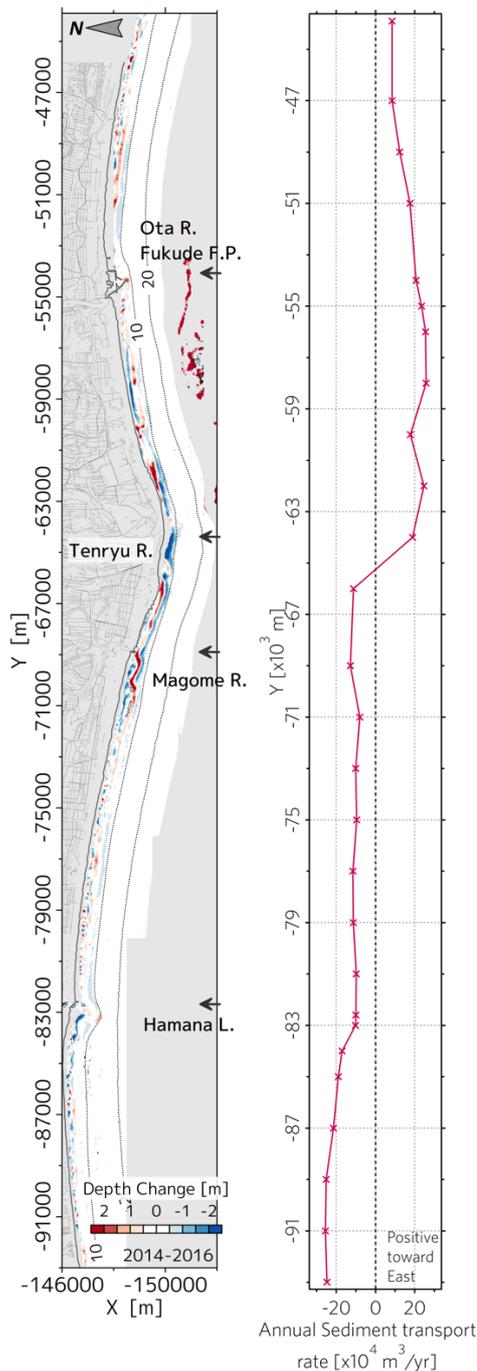


図 8 2014~2016 年の水深変化と推定沿岸漂砂量

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- ① 岡辺拓巳, 加藤 茂, 漁船ビッグデータを用いた静岡県福田漁港・浅羽海岸の海底地形モニタリング, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol. 73, No. 2, 2017 (採択済).
- ② 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), 査読有, Vol. 70, No. 2, 2014, pp. I_626-I_630.

〔学会発表〕(計 8 件)

- ① 岡辺拓巳, 青木伸一, 武若 聡, 加藤 茂, 堀口敬洋, 八木裕子, 戸田晃裕, 漁業と協働した広域漂砂系の浅海域地形モニタリング—遠州灘での 10 年間の取り組み—, 第 64 回海岸工学講演会, 2017 年 10 月 25 日 (発表採択済), TKP 札幌駅カンファレンスセンター (北海道・札幌市).
- ② 後藤穂高, 武若 聡, 岡辺拓巳, レーダ観測と漁船測深で捉えた天竜川河口域の地形変化, 第 44 回関東支部技術研究発表会, 2017 年 3 月 7 日, 埼玉大学 (埼玉県・さいたま市).
- ③ 舘岡良太, 岡辺拓巳, 加藤 茂, シラス漁船の操業データを利用した汀線変化の推定手法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講演概要集, 2017 年 3 月 3 日, 金沢大学 (石川県・金沢市).
- ④ Boon Natasha, 岡辺拓巳, 加藤 茂, Field Investigations for Topographically Controlled Rip Currents at Enshu Nada Coast, 平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2016 年 3 月 4 日, 豊田工業高等専門学校 (愛知県・豊田市).
- ⑤ Aoki, S., S. Kato and T. Okabe, Observation of flood-driven sediment transport and deposition off a river mouth, The 8th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2015), Sept. 7-10, 2015, IIT Madras, India.
- ⑥ 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, Coastal Sediments 2015, May 11-15, 2015, San Diego, USA.

⑦ 清水翔平, 岡辺拓巳, 加藤 茂, 海底地形モニタリングへの最適内挿法の適用に関する基礎的検討, 平成 26 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2015 年 3 月 6 日, 豊橋技術科学大学 (愛知県豊橋市)

⑧ Okabe, T., S. Kato and K. Takaoka, Bathymetric changes related to wave and flood in the Tenryu river delta-front, Japan, 24th International Offshore (Ocean) and Polar Engineering Conference (ISOPE-2014), June 15-20, 2014, Busan, Korea.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡辺 拓巳 (OKABE, Takumi)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号 : 50464160