

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360205

研究課題名(和文)河口海岸域における洪水堆積物の再配分と砂浜地形の形成・涵養過程

研究課題名(英文)The Development of Sandy Beaches on an Initially Rocky Coast through Evolving Fluvial Supply and Oceanic Dispersal

研究代表者

関口 秀雄 (Sekiguchi, Hideo)

大阪市立大学・理学(系)研究科(研究院)・客員教授

研究者番号：20027296

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円、(間接経費) 4,230,000円

研究成果の概要(和文)：健全な海岸環境再生のために、貯水池堆砂を洪水時を利用して海に還元するアイデアへの期待も大きい。しかし、実のところ、洪水流出土砂の海域での再配分過程には不明の点が多い。本研究では、外海に面する海岸における河川土砂供給と砂浜地形のなりたちのつながりを解明するために、大河津分水 - 寺泊野積海岸系に着目した。2011年7月新潟・福島豪雨出水では大量の砂泥堆積物が海域に流入した。特筆されるのは、2011年3月福島第一原発事故由来の放射性セシウム蓄積状況を、沖合海底から採取した柱状堆積物コアの化学分析を通じて明らかにしたことである。それをふまえ、大河津分水通水以降の洪水史と沖浜堆積環境変遷を検討した。

研究成果の概要(英文)：This research project looks at the performance of "beach nourishment" that has been occurring on the coast of Teradomari-Nozumi facing the Japan Sea since the full operation of the Okotsu diversion channel in 1931. The geomorphological studies showed that the formation of sandy beaches on both sides of the river mouth developed at a significant rate in the first thirty years or so, but undergoing a standstill from early 1990s on. This reasoning has led the research team to focusing on how the shoreward and offshore boundary conditions of the littoral cell have evolved, in particular, with respect to the fluvial supply and oceanic dispersal beyond the depth of closure. It is of importance to record here that the offshore sediment retrieval made immediately after the July 2011 Niigata-Fukushima flood event revealed the accumulation of the March 2011 Fukushima-event-associated radioactive nuclides there, enabling a otherwise unimaginable pursuit of sediment transport offshore.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：国土保全 自然災害 海岸侵食 漂砂環境 洪水堆積物

1. 研究開始当初の背景

(1) 陸と海を繋ぐ土砂分配過程の研究は、流域環境の変遷を理解し将来のあり方を洞察するうえで不可欠な重要課題である (Crossland *et al.*, 2005)。日本の海岸の特徴は、大陸縁海の変動帯に位置しアジアモンスーンの影響を受けることに由来する。変動帯の海岸として、アメリカ西海岸等の地形環境と共通性があり、比較流域論の視点からも情報発信が期待されている。

(2) 漂砂の研究は、海岸工学分野で盛んである。しかし、主たる検討対象は、地形変化限界水深 (日本では概ね水深 10m 程度 (宇多, 1997) よりも浅い砕波帯であり、砂浜海岸の中長期マネジメントに不可欠な 10 年~100 年オーダの海浜変形予測は射程外となるくらいがある。海洋地質学分野では、地質年代学等の進歩を反映して、大陸棚の現世堆積作用の研究も活発になってきた (Nittroer *et al.*, 2007)。しかし、波浪や海浜流にともなう多様な堆積物移動過程に特徴づけられる内側陸棚や外浜の地形環境は、調査空白域になることが多い。

(3) 研究代表者らは、これまでイベント堆積物に着目した災害環境の復原に関する研究を推進しており、大河津分水の治水史的意義はもとより、分水河口海岸が有する海浜地形発達の特異な "natural laboratory (自然に学ぶ場)" としてのポテンシャルに注目してきた。

2. 研究の目的

(1) 日本では全国規模で海岸侵食が顕在化し、海岸保全事業が広範に展開されてきたため、自然の砂浜は極めて少なくなった。健全な海岸環境の再生を目指して、貯水池堆砂を漂砂源とする土砂還元のアプローチへの期待も大きい。しかし、河口海岸域における流砂/漂砂変換過程、すなわち洪水流出土砂による砂浜地形涵養の機構には不明な点が多い。本研究では、大河津分水河口海岸に着目し、河川流出土砂による最近 100 年間の海浜地形発達を可視化する。さらに、粒径を考慮した堆積物収支解析を実現し、外海に面する河口海岸における流砂/漂砂変換効率に及ぼす海底地形の影響を明らかにする。

(2) 侵食による最近までの日本の海浜面積の減少量は 7500ha、平均汀線後退量にして 7.5 m に達する (田中他, 1993)。この著しい海岸侵食の背景には、大量の川砂利採取やダム建設等による、自然の堆積物分配過程の乱れがある。ちなみに、1990 年代初頭までに建設されたダムの貯水池には、12 億 m³ の土砂 (日本の自然生産土砂量の約 6 年分に相当) が滞留している (Suzuki, 2000)。健全な海岸環境を再生するために、堆砂資源の活用 (下流域への土砂還元) が模索されている所以である。しかし、河口海岸域において洪水流出土砂

がどのように砂浜地形を涵養するのか、その物理機構には不明の点が多い。

(3) 本研究では、上述の状況をふまえ、流砂漂砂環境の連関の実相を調べるフィールドとして、大河津分水の河口海岸 (特に北側の野積海岸) に着目する。河川流出土砂による最近 100 年間の海浜地形発達を可視化を基にして、粒径を考慮した堆積物収支解析を実現し、外海に面する河口海岸における流砂/漂砂変換効率に及ぼす海底地形の影響を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 本研究は三つの柱からなる。すなわち、「十年~数百年スケールの海浜地形発達の復元」、「粒径を考慮した高解像度の堆積物収支の評価」、および「流砂/漂砂の変換過程の研究」である。

(2) 平成 23 年度には以下のような研究を実施した。

海浜地形発達の可視化； 陸域部表面波探査を実施し基盤深度を推定した。その結果を基に、3 箇所オールコアボーリングを実施した。地中レーダ探査結果も参照して、大河津分水以降の堆積物層の同定を行った。

底質調査； 野積海岸沖の 3 地点 (水深 30m、20m、15m) において、パイプロコアリング法により海底堆積物の柱状コアを採取し (図 1)、堆積環境変遷の解読につながる粒度分析はじめ、放射性核種分析、主要元素および重金属濃度分析を行った。

流砂/漂砂の転換機構； 河口テラスにおける堆積物の貯留効果を評価するために、海底地形情報を収集するとともに、拡張 one-line モデルに基づく試算を進めた。



図 1 2011 年 8 月 2 日、野積海岸沖パイプロコアサンプリングによる柱状堆積物コアの船上への回収

(3) 平成 24 年度には以下のような研究を実施した。

海底堆積物の化学分析と堆積速度の評価；平成 23 年度に採取した海底堆積物の柱状コアの化学分析を進めた。特筆すべき成果は、2011 年 7 月新潟福島豪雨による洪水堆積物を同定できたこと、そしてそれらが 2011 年 3 月福島第一原発事故由来の放射性セシウムを含有していることを見出したことである。

海岸基盤構造の把握；大河津分水通水以前の原地形を把握するために、野積海岸陸域において 2 本の連続柱状コアを採取した。

広域海底地形の把握；寺泊野積海岸における海底地形の現況を把握するために、STRATABOX による音波探査を実施した（延長約 70 km）。

(4) 平成 25 年度には以下のような研究を行った。

融雪出水時の河口域土砂流出実態の把握；平成 25 年 4 月上旬に河口テラス域を中心にして、音波探査と重力式サンプリングを行った。

河川供給土砂の沖合流出実態の把握；平成 25 年 8 月に野積海岸沖合 3 箇所（平成 23 年 8 月採取地点と同一箇所）において、パイプコアサンプリング法により、海底堆積物の柱状試料を採取し、堆積環境変遷を調べるために、一連の化学分析を行った。

流砂環境変遷の把握；大河津分水路の最下流流量観測点における浮遊砂濃度 流量特性に着目し、1955 年から 50 年間の河川土砂流出量の経年変化特性を分析した。

4. 研究成果

(1) 河川供給土砂量の評価；河口砂浜海岸における物質収支の検討に漂砂セルの考え方を適用する際には、河川供給土砂量が流入端の境界条件を与える。大河津分水路最下流流量観測点（渡部観測所）における、採水法による浮遊物質（SS）の観測結果はその意味でも重要である。1955 年から 2004 年までの 50 年間における平均浮遊砂流出量は、40 万 m^3/yr である。この間に、大出水（低水路満杯流量 $4000m^3/s$ を超える規模）は計 8 回発生しており、砂浜海岸地形の涵養には、このような洪水イベントの発生頻度が大きな影響を有していることを明らかにした（図 2）。

(2) 放射性物質収支；2011 年 8 月実施調査では、2011 年 7 月新潟・福島豪雨出水（渡部観測所では既往最大値を超えるピーク流量 $8318m^3/s$ を記録（図 3 参照））にともなう、泥質洪水堆積層を採取した。採取堆積物の化学分析、とくに放射性核種（Cs-134, Cs-137）の分析を通じて、2011 年 3 月 11 日に発生した福島第一原発事故由来の放射性セシウムの含有を実証した（表 1）。沖浜泥質洪水堆積層中の放射性セシウム蓄積量と、大河津分

表 1 沖浜泥質洪水堆積層における放射性セシウム蓄積量と平均濃度

地点	層厚 d (m)	固相堆積量 $\rho_s(1-n)d$ (kg/m^2)	放射性セシウム	
			蓄積量 (Bq/m^2)	平均濃度 (Bq/kg)
VC1 (水深 30m)	0.04	36.9	11300	306.2
VC2 (水深 20m)	0.23	184	26800	145.7
VC3 (水深 15m)	0.11	113	17700	156.6

(注) 放射性セシウム分析はガンマ線スペクトロメトリ（近畿大学山崎研究室）による

水路における浮遊物質（SS）の流出特性の分析結果を突き合わせるにより、2011 年 7 月新潟・福島豪雨出水イベントにともない、大河津分水路流域から海域へ流出した放射性セシウム量に関して、 $3 \times 10^{11}Bq$ という推定値を得た。その推算の前提は次のとおりである：2011 年 7 月 30 日の渡部観測所の日平均流量は $5500m^3/s$ ；対応する SS は $2kg/m^3$ ；したがって、1 日当りの固相総流出量は 10^9kg ；これに放射性セシウム平均濃度 ($300Bq/kg$) を乗じると上記の推定値を得る。

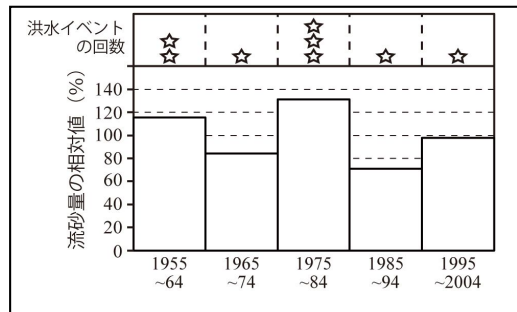


図 2 1955 年から 2004 年の期間における 10 年平均浮遊砂流出量の変化（50 年平均流出量 ($40 万 m^3/yr$) で除し、無次元表示している；原データは渡部観測所における浮遊物質（SS）の観測値；データ解析は細山田による）

(3) 河川流出にともなう海浜地形形成と海浜涵養総土砂量の推定；

寺泊・野積海岸における汀線位置の経年変化を国土院発行地形図等の空間情報資料と GIS に基づいて検討したところ、大河津分水通水以降、汀線は最大で 600m 前進し、海浜面積は $230 万 m^2$ 増加している。ただし、近年（1990 年代初頭以降）では、海岸全体の海浜面積はほぼ一定である。

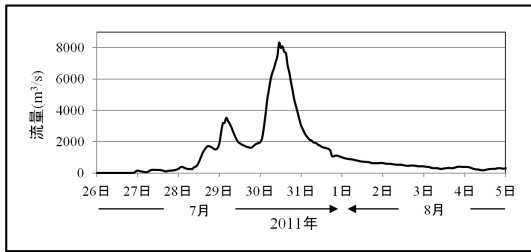


図3 2011年7月新潟・福島豪雨出水記録（国土交通省大河津分水路渡部観測所による；ピーク流量発生は2011年7月30日11時；本研究における野積海岸沖の堆積物柱状コア採取は2011年8月2日である）

野積海岸現汀線に直交する陸域コアボーリング（計5箇所）の結果に基づいて、基盤（泥岩層）出現深度を明らかにした。基盤表面は海に向かって約 1/40 の勾配で傾斜しており、現汀線位置では T.P. -10.6m の深度に出現する（図4）。基盤面より上位の堆積物は中砂主体であり、大河津分水通水以後に貯留したものと判定した。

海底地形の特徴は、水深 30m 付近までは勾配約 1/120 であるのに対し、水深約 40m より沖合では勾配は約 1/60 であり、やや急勾配になっている。

大河津分水通水以後の河川供給土砂によって形成された海域貯留体の主要部分は、現海底面を上辺とし、現汀線下深度 10m から沖合海底面（水深 40m）を下辺とする三角形と推定できる（図5参照）。その断面積に、汀線に平行な海浜長（7.5km）を乗ずると堆積くさびの総貯留量に得られるが、より精確にはポケットビーチ地形の3次元効果（低減係数=0.6）を考慮する必要がある。このようにして、大河津分水通水以後の未固結堆積物の総貯留量は、1億2000万 m^3 と推定できる。

大河津分水通水再開（1931年）以来、2011年現在で80年を経過している。上記の推定貯留量を80年で除すと、年平均河川供給土砂量は150万 m^3/yr になる。この値は大河津分水から供給される堆積物流束の上限を与えるものと解釈できる。1990年初頭以降は、寺泊野積海岸の海浜面積はほぼ一定値にとどまっていることから、大河津分水路からの堆積物供給量は最盛期（1931年の通水再開から概ね30年間）に比べて、減少している可能性が高い。したがって、汀線地形の消長を予測するには、粒径を考慮した堆積物流束の評価がきわめて重要になる。

今後の課題： 以上のような堆積物貯留量および堆積物流束の変遷に関する推定精度を上げるには、サブボトムプロファイラー

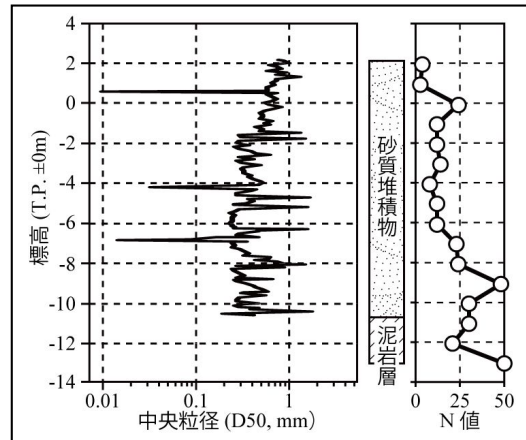


図4 野積海岸現汀線際の柱状コア採取に基づく堆積物粒度（左図）および標準貫入試験N値の深度分布（右図）；（左図中には大出水イベント由来と考えられる泥質薄層の挟在が3層準に認められる）

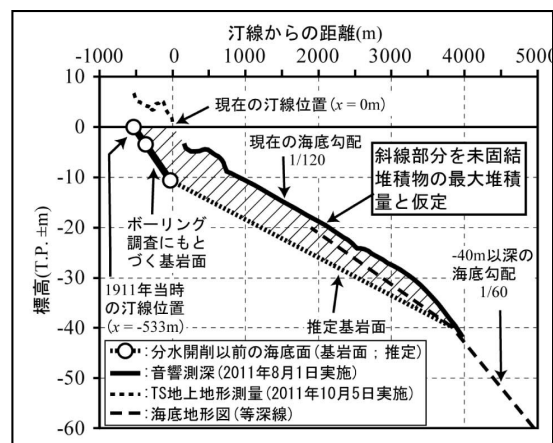


図5 大河津分水河口北東側に隣接する野積海岸の海底地形調査成果のまとめ；図中斜線部分は推定した堆積くさびの断面を表す；堆積くさび上面は現海底面（2011年8月1日実施の音響測深結果）と現砂浜下の標高ゼロ面から成る；堆積くさび下面は大河津分水通水以前の旧海底面（推定）と砂浜域の基盤面（泥岩層上面）から成る（なお、図中の破線表示の海底地形は海上保安庁発行海底地形図（佐渡海峡、1/20万）に基づく）

を活用した音波探査が有効な調査法の一つになると考えられる。ただし、実際には、今後解決すべき課題も多い。ちなみに、本研究チームによる寺泊野積海岸海域における数度の試行調査によると、海底面直下に砂層が分布するような状況では、音響断面の解像度が十分ではなく、大河津分水建設以前の旧海底面を同定できる段階には至っていない。有力な打開策としては、大水深域でも機動的な長尺堆積物柱状コア採取が可能なピストンコアラーサンプリングの適用により鍵層（泥質洪水堆積層等）の分布を詳細にとらえておき、それらを音響層序の ground truth として活用することが考えられる。海底堆積物の粒度特性に応じた最適音波探査周波数を明らかにするうえからも、多周波数方式音波探査との突き合わせを行うことにより、地層解像度を高め、広域展開への途を切り拓くことができよう。流砂漂砂環境の連関研究の新たな視座である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文](計2件)

関口秀雄、山崎秀夫、中川亮太、石田真展、東良慶、原口強、細山田得三：河口砂浜海岸の堆積環境変遷における洪水土砂流出の重要性、土木学会論文集 B2 (海岸工学) 69 巻 2 号、I_691-I_695、2013、査読有
東良慶、平石哲也、関口秀雄：河口海岸域における砂浜地形の形成過程を読み解く試み、土木学会論文集 B1(水工学) 69 巻 4 号、I_1477-I_1482、2013、査読有

[学会発表](計7件)

関口秀雄、山崎秀夫、中川亮太、石田真展、東良慶、原口強、細山田得三：河口砂浜海岸の堆積環境変遷における洪水土砂流出の重要性、第 60 回海岸工学講演会、土木学会、2013 年 11 月 14 日、九州大学医学部小講堂
東良慶、平石哲也、関口秀雄：河口海岸域における砂浜地形の形成過程を読み解く試み、第 57 回水工学講演会、土木学会、2013 年 3 月 7 日、名城大学天白キャンパス

石田真展、門馬弘樹、内田百合子、中川亮太、東良慶、関口秀雄、山崎秀夫：信濃川大河津分水河口域底質中で見いだされた福島第一原発事故由来の放射性セシウムの蓄積機構、第 14 回環境放射能研究会、日本放射線安全管理学会共催、2013 年 2 月 26 日-27 日、高エネルギー加速器研究機構研究本館小林記念ホール/ラウンジ

関口秀雄、海岸と地盤のかかわり、地盤工学会関西支部福井地盤研究会、招待講演、2012 年 10 月 10 日、福井県国際交流会館

Azuma, R., Hiraishi, T. and Sekiguchi, H.: Evolution of beach morphodynamics in light of sediment budget assessment with the coast of Joetsu, Niigata, Japan, The 6th Int. Conf. on Scour and Erosion, 31 August 2012, Arts et Metiers-Paris, France

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関口 秀雄 (SEKIGUCHI HIDEO)
大阪市立大学・大学院理学研究科・客員教授
研究者番号：20027296

(2) 研究分担者

原口 強 (HARAGUCHI TSUYOSHI)
大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：70372852

山崎 秀夫 (YAMAZAKI HIDEO)
近畿大学・理工学部・教授
研究者番号：30140312

細山田 得三 (HOSOYAMADA TOKUZOU)
長岡技術科学大学・工学部・教授
研究者番号：70262475

東 良慶 (AZUMA RYOUKEI)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号：50464201

