一ツ瀬川河口導流堤周辺における 土砂動態の解明

東 峻太¹・佐藤 慎司²

¹学生会員 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷七丁目3-1)

E-mail:r-east@coastal.t.u-tokyo.ac.jp

²フェロー会員 東京大学教授 工学系研究科社会基盤学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷七丁目3-1)

E-mail:sato@coastal.t.u-tokyo.ac.jp

海岸侵食が進む宮崎海岸の北部に位置する一ツ瀬川河口域において、土砂動態を解明した。過去の地形図及び航空写真による汀線の抽出を行い、近年の深淺測量結果から導流堤周辺の地形変動を分析した。次に河口両岸の表層土砂試料および河口部鉛直コア試料に対して、粒度分布や長石粒子のルミネッセンス強度を計測し、それらと土砂動態の関連を議論した。その結果、導流堤左岸近傍には、捕捉された沿岸漂砂とともに一ツ瀬川から供給された細砂が地中深くまで均質に堆積しているものの、侵食が進む右岸側では河川供給土砂の堆積は少なく、 10^3 年程度前の堆積土砂を含めて過去の海浜地形が侵食されつつあり、細砂層と粗砂層の互層が形成されていることが明らかとなった。さらに南側の海浜で採取した土砂からは、近年実施されている大規模養浜の影響が検出された。

Key Words : *sediment transport, erosion, thermoluminescence, Optically Stimulated Luminescence*

1. はじめに

一ツ瀬川から宮崎港の間に位置する宮崎海岸では、海岸侵食が深刻な問題となっている。佐藤ら¹⁾によると、その北側の境界となる一ツ瀬川河口域では漂砂の移動方向は南向きであるが、河口に位置する導流堤を挟んで左岸側で堆積傾向、右岸側では侵食傾向にある。

既往の調査では佐藤ら¹⁾の航空写真による汀線変動の追跡や杉山ら²⁾によるトレーサの追跡などが行われているが、これらの調査のみでは導流堤を越えた土砂移動量の把握が難しく、土砂動態が解明できていないのが現状である。本研究は一ツ瀬川河口域において、両岸の鉛直コア試料を含む底質のルミネッセンス分析をおこない、土砂動態を明らかにすることを目的とする。

2. 現地調査

(1) 沿岸試料採取

2015年10月に宮崎県宮崎市の一ツ瀬川河口から左岸側3kmから右岸側3kmの海岸線を対象に、図-1(a)に示す8地点において地表面下40cmの土砂を採取した(図-1(c))。露光を防ぐため黒色フィルムケースを用いて採取した。

(2) 一ツ瀬川流域調査と鉛直コア試料の採取

2015年11月に一ツ瀬川の本川河道及び周辺構造物の調査を実施した。河口から約8kmに位置する柳瀬大橋付近と河口から500mの富田浜入江付近において地表面下10cmの土砂を採取した(図-2)。また同じ時期に満潮位の汀線から約2~3m陸側地点で、図-1(a)中の緑で示されているNo.4及びNo.5において鉛直コア試料を採取した(図-1(d))。直径86mm、長さ1mの掘進鋼製管内を同じ径の円筒ビニール袋によって被覆することによって、各1mの不攪乱試料を得た。それぞれの地点で、地表面下1mから6mまでの5本を抜いた。1mの円柱型のコアを暗室にて縦に半分割し、各深度における土砂の粒度分布、不攪乱試料上端部から30~40cmの試料におけるTL(熱ルミネッセンス)強度、OSL(光励起ルミネッセンス)強度を求めた。

3. 一ツ瀬川河口域の特徴

(1) 一ツ瀬川流砂系の特徴

一ツ瀬川は、流域面積約852km²、幹川流路延長約88kmの二級河川である。流域は主に堆積岩(四万十層群)からなる上流の深峡谷部と、主に洪積層・沖積層から成る下流平野部で形成される。過去に洪水が頻発したため、昭和の初めからダム・護岸などによる治水事業がおこなわれてきた。本流である一ツ瀬川には取水ダムを除くと

図-1 土砂試料の採取と TL 強度 (a)試料採取位置, (b)TL 強度, (c)TL 用表層土砂採取の様子, (d)ボーリング調査の様子)

一ツ瀬ダム、杉安ダムがあり、双方ともに1963年に完成している発電用のアーチ式ダムである。特に一ツ瀬ダムは堤高約130 m、総貯水容量約2億6000万 m^3 であり、九州最大規模を誇る。宮崎県によると1997年から2002年の5年間で一ツ瀬川流域の全ダムの総堆砂量は69万 m^3 /年となっており、貯水池堆砂が進行し、ダム直下での河床低下や粗粒化の影響が指摘されている(侵食対策検討委員会³⁾、中部流砂系委員会⁴⁾。調査で採取した柳瀬大橋付近と富田浜入江付近の表層土砂は、前者の中央粒径は約0.8 mm、後者の中央粒径は約0.2 mmであった。前者の地点では図-2に示すように、比較的大きな礫が表面を覆っており、ルミネッセンス分析に用いる細砂は採取できなかった。同地点を含め、一ツ瀬川本川河道で細砂が採取できる地点を見つけることはできなかったことから、細砂がダム貯水池に捕捉されており、河口部への砂の供給が近年において極めて減少していることが示唆された。

(2) 伊能図・航空写真による沿岸方向の土砂動態分析

伊能図、明治時代の地形図及び1962年から2014年の間の航空写真を用いて、汀線を抽出した(図-3)。潮汐の影響は考慮していない。導流堤建設前では、河口位置が南北に大きく振れていることがわかる。河口の導流堤は、一ツ瀬川河口右岸の入り江に位置する富田漁港の利用を中心とした安全な航路の確保を目的として1967年に設置された。現在の長さは左岸約800 m、右岸約600 mであり、先端水深は2014年時点で約4.5 mである。特に1982年から1985年にかけて実施された左岸導流堤延伸によって多くの土砂が捕捉されるようになったことが宮崎県⁵⁾によって報告されており、図-3からも建設後は左岸河口導流堤近傍で汀線の前進があったことが読み取れる。また右岸

図-2 柳瀬大橋付近での土砂採取の様子

では、洪水により大きく変化するものの、長期的な変化は小さく、導流堤近傍では近年は安定傾向にある。

(3) 深淺測量結果に基づく岸沖方向の土砂動態分析

海浜断面地形の変化を確認するため、ナローマルチビームによる2009年と2014年の深淺測量結果から、導流堤兩岸の岸沖断面地形を比較した(図-4)。それぞれT.P. 0 mとT.P. 4 m地点の位置を比較すると、左岸において顕著な堆積傾向が見られ、右岸では大きな変動がないことが確認された。これらの結果から一ツ瀬川河口周辺では、北側からの土砂供給が導流堤で捕捉され、導流堤北側浅海部に堆積しているのに対し、導流堤南側では顕著な堆積は見られず、地形変化が小さいことが確認された。

4. ルミネッセンス計測

(1) ルミネッセンスの原理

図-3 一ツ瀬川河口周辺の汀線変遷過程 ((a)1810年伊能図, (b)1962年航空写真, (c)2005年航空写真, (d)河口汀線遷移図)

図-4 試料採取位置周辺の水深と汀線変動

地表面下の石英や長石は自然放射線による影響を受け、結晶に不対電子が励起状態で維持されている。熱や光の刺激を受けるとこれらが基底状態に戻り、減少したエネルギー分だけ蛍光を発光する現象が起きる。この発光をルミネッセンスといい、熱刺激によって生じる発光をTL、光刺激による発光をOSLという。砂粒子の場合、地中埋積中は不対電子は露光せず自然放射線のみがあたることで増加し、土砂移動中に露光することで減少する。露光による信号の減少速度としてTL信号がほぼ0になるには時間～数日のオーダーであるが、OSL信号は秒～分

のオーダーで減少する。この特性によりTL信号の方は、Rink⁹⁾、岸本ら⁷⁾の研究などによって、河口から海岸に沿って土砂が運搬される場合、土砂の供給源である河口から離れるに従ってTL強度が減少することが示されている。一方でOSL信号は、砂粒子の運搬過程における露光で信号がほぼ0(完全ブリーチ)になることが多く、堆積年代の測定に適している。

(2) ルミネッセンス強度の測定方法

現地で採取した試料からカリ長石粒子を抽出した。前処理の過程での露光を最小限に抑えるため、暗室にてオレンジ光の下で作業をおこなった。試料は180～500 μmの粒子をふるいわけ、過酸化水素水による有機物除去、塩酸による炭酸塩除去、暗所常温乾燥をおこなった上で、再度ふるい分けによって180～300 μmの試料を抽出した。その後カリ長石抽出のための重液分離、暗所常温乾燥という順に前処理をおこなった。測定用ディスクの作成の際にはTL、OSL信号に影響のないグリスを用いてmono-layer方式で測定用ディスクの中央に長石粒子を固定した。TL信号測定前にDelay testとPreheat testを行い、不安定な信号成分を消すための事前加熱温度と時間の決定をおこなった。以下に本研究でのTL信号の測定条件をまとめる。

- (1) 予熱処理(preheat) : 200℃10秒, 温度上昇率10℃/s
- (2) TL測定 : 0-500℃, 温度上昇率5℃/s
- (3) 加熱 : 450℃30秒
- (4) 人工放射線(test dose)照射 : β線60秒
- (5) 予熱処理(cut heat) : 200℃10秒, 温度上昇率10℃/s
- (6) 基準TL測定 : 0-500℃, 温度上昇率5℃/s

OSLの測定方法はWallinga⁸⁾、劉ら⁹⁾、岸本ら¹⁰⁾によるものを参考にし、余熱処理温度は同海岸を調査した劉ら⁹⁾の設定を採用した。以下に本研究でのOSL信号の測定条件をまとめる。

- (1) 予熱処理(preheat) : 140℃10秒, 温度上昇率5℃/s
- (2) OSL測定 : 測定時間100秒, 赤外線照射
- (3) 加熱 : 450℃30秒
- (4) 人工放射線(test dose)照射 : β線5秒
- (5) 予熱処理(cut heat) : 160℃10秒, 温度上昇率5℃/s
- (6) 基準OSL測定 : 測定時間100秒, 赤外線照射

また、OSLの年代推定はSAR(Single Aliquot Regenerative-dose)法を用いた。測定方法は石橋ら¹¹⁾に準じた。それぞれの深度で4枚ずつディスクを用意し、パーシャルブリーチによる埋積後の蓄積線量の過大評価の影響を小さくするため、計測値が中央値の2倍以上あるいは半分以下となった計測値を棄却した。試料が変動の激しい汀線付近で採取されたものであることに鑑み、本研究では堆積年代の正確な推定は追求せず、相対的な比較のみを議論することとした。そのため年間線量は、Buylaert¹²⁾による年間線量が1~6Gyに収まるという研究成果を参考にして

3.5Gy/年と仮定し、また、フッ酸による長石粒子のエッチング処理を省略した。

5. 一ツ瀬川河口域土砂動態

(1) 鉛直コア分析結果

鉛直コア試料を縦に半分分割した際に、右岸側試料に大粒径の土砂層が含まれていることが確認された。そのため、図-5中の四角の実線の枠で示されているような特徴的な層から試料を抽出し、ふるい分けによる粒度分析をおこなった。図-5の枠線の色と図-6の棒グラフの色は対応しており、図-5の点線の枠で囲まれている部分は目視の確認で周辺の実線で囲まれている部分と同様の粒径であると判定していることを示している。色は100 μm以上の粒径を順に200 μmずつ、青色、水色、緑色、黄緑色、橙色、赤色の6色で分類している。

左岸側の粒度は深さ方向に大きな差がなく、均質である一方で、右岸側では卓越する細砂層とは顕著に違う粗砂層が複数見られることから、両岸における近年の堆積過程の違いが示唆された。

ルミネッセンス計測結果を図-7(a)に示す。0 mから1 mの深度におけるTLの値は、10月に採取した試料を計測に用いた。TL、OSL双方の信号強度ともに左岸側では深度によっても変わらずほぼ一定であるのに対し、右岸側では深度が増すと増大した。SAR法を用いた年代推定の結果を示した図-7(b)においても、図-7(a)に示されたOSLの信号強度と同様の増減傾向がある。右岸側の地下5 mから6 mの試料の年代が10³年のオーダーであるのに対し、左岸側の同深度の試料は10⁴年のオーダーであり、導流堤の左右岸で大きな差があることがわかる。さらに左岸側の堆積年代が深度によらずほぼ一定であるのに対し、右岸側の地下2 mから3 m、3 mから4 mの試料は、左岸側よりやや古い土砂で形成されていることが確認できる。

(2) 河口周辺の土砂動態に関する考察

左岸における沿岸方向の表層土砂のTL結果(図-1(b))と佐藤ら⁴⁾による同沿岸のTL結果に注目すると、左岸側のNo.1～3の地点の結果は、北から南へ向かう沿岸漂砂により下手側ほど粒子の露光が進むことを示しているが、No.4のみ信号強度が上記の3点に比べて著しく大きく不連続である。この原因としては、一ツ瀬川からTL強度の大きい土砂が供給された影響か、あるいは、北から南へ向かう沿岸漂砂が導流堤によって捕捉され、TL強度が大きくなった背後の過去の土砂と混合したか、の2つの原因が考えられる。しかしながら、地点No.3からNo.4にかけてのTL強度の増加量は、年代に換算すると10³年程度となり、導流堤の影響期間や図-7において左岸の表層土砂の堆積年代が10⁴年程度であることと整合しない。

図-5 鉛直コア試料の断面写真

図-3における鉛直コアの採取位置が2005年の汀線位置より海側に位置することからも、No.4地点の土砂は近年の堆積土砂と考えられる。したがって左岸の堆積土砂は、一ツ瀬川から供給されたTL強度の大きい土砂が近年堆積したものであると結論づけられる。

一方で上記のように河川の影響が強い場合、右岸側のNo.5の表層土砂のTLの信号強度もNo.4と同様に大きい値を示すことが考えられるが、著しく小さい値が測定されている。ここで鉛直コアの粒径、TL、OSLの結果より、両岸で堆積過程の違いが示唆されていることから、左岸側では河川からの比較的新しい砂が均質かつ急速に堆積していることがわかり、右岸側ではこの新しい砂が表層にのみ堆積していることがわかる。さらに河川からの供給土砂が左右岸に同等に割り振られると仮定した場合、上記の推定と図-3の航空写真、図-7の年代推定より、右岸側導流堤近傍においては河川からの供給土砂の多くが沿岸漂砂によってさらに南に輸送され、表層にのみ新しい土砂が堆積しているものの、汀線が前進するほどの量の土砂の堆積傾向はないことがわかる。したがって現在の右岸側の海岸線は数十年から数百年前に堆積して形成された海浜が侵食され続けているものと考えられる。

また右岸側のNo.6～8の地点の結果では沿岸漂砂の方向とは逆に南に向かって信号強度が増加している。右岸側海浜では、侵食対策として図-1(a)に示す位置にて十万 m^3 を超える大量の養浜が実施されている。養浜はTL強度の高い河川浚渫土砂で実施されているため、その影響が検出されたものと考えられる。

図-6 鉛直コア試料の粒度分析

図-7 鉛直コア試料の分析 (a) TL, OSL (b) 年代推定

6. 結論

一ツ瀬川河口周辺の汀線変化分析や土砂分析などにより、汀線変化過程や土砂移動の卓越方向など、導流堤による沿岸漂砂不連続性と現状の土砂動態を明らかにした。主要な結論は以下の通りである。

(1) 航空写真分析により、導流堤建設前では河口位置が南北に大きく変動していたことが確認された。導流堤建設後は、左岸では顕著な堆積が見られる一方で、右岸では長期的な変動は小さいことが確認された。

(2) 左岸側のTL信号強度は南向きに減少傾向であるのに対し、右岸側では大規模養浜の影響が検出された。また一ツ瀬川による土砂供給の影響は小さく、近年では河口近傍のみに限定されることが示唆された。

(3) 鉛直コアの粒度分析により、左岸は深さ方向に細砂層が均質であるのに対し、右岸は細砂層と粗砂層が複数互層を形成しており、近年の堆積過程が大きく異なることが示された。

(4) 鉛直コアのルミネッセンス分析の結果から、左岸近傍には一ツ瀬川から供給された細砂が地中深くまで均質に堆積しているものの、侵食が進む右岸側では河川供給土砂の堆積は表層のみに限られ、 10^3 年程度前の堆積土砂を含めて過去の海浜地形が侵食されつつあり、細砂層と粗砂層の互層が形成されていることが明らかとなった。

謝辞：本研究は科学研究費基盤(A)の研究成果の一部である。深浅測量結果は国土交通省より提供いただいた。また現地調査では宮崎大学鈴木祥広教授および水環境研究室諸氏の協力を得た。関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐藤慎司・岸本瞬・平松遥奈: 日向灘流砂系の土砂動態と砂礫海浜の長期変形, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.65, No.1, pp.671-675, 2009.
- 2) 杉山光徳・門田仁・堀口敬洋・八木裕子・永田千広・高木利光: 宮崎海岸の土砂移動の実態, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.65, No.1, pp.676-680, 2009.

- 3) 宮崎海岸侵食対策検討委員会: 第 1 回技術分科会技術検討資料(閲覧資料), 国土交通省九州地方整備局宮崎河川国道事務, 2009.
- 4) 宮崎県中部流砂系検討委員会: 宮崎県中部流砂系 総合的な土砂管理の取組 連携方針, 2010.
- 5) 宮崎県中部港湾事務所・国際航業株式会社: 平成 17 年度一般地域第 3-2-B 号一般地域水産物供給基盤整備事業, 2005.
- 6) Rink W.J.: Quartz luminescence as a light-sensitive indicator of sediment transport in coastal processes, *Journal of Coastal Research* 15(1), pp.148-154, 1999.
- 7) 岸本瞬・劉海江・高川智博・白井正明・佐藤慎司: 天竜川・遠州灘流砂系におけるルミネッセンス強度測定に基づく土砂移動過程の解明, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.66, No.1, pp.626-630, 2010.
- 8) Wallinga, J., Murray, A., & Wintle, A. : The single-aliquot regenerative-dose (SAR) protocol applied to coarse-grain feldspar. *Radiation Measurements*, 32(5-6), 529-533. doi:10.1016/S1350-4487(00)00091-3, 2000.
- 9) 劉海江・浜本あゆみ・佐藤慎司: ルミネッセンス計測に基づく養浜土砂の追跡に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.66, No.1, pp.666-670, 2010.
- 10) 岸本瞬: 長石の熱ルミネッセンス及び光励起ルミネッセンスによる天竜川・遠州灘流砂系での土砂移動の推定, 東京大学大学院社会基盤学専攻修士論文, pp. 65.
- 11) 石橋徹・鈴木一省・劉海江・高川智博・佐藤慎司: 長石を用いた光励起ルミネッセンス年代測定法による浜松沿岸低地の発達過程の考察, 海岸工学論文集, 第 56 巻, pp. 611-615, 2009.
- 12) Aitken, M.J. : *An Introduction to Optical Dating*, Oxford Science Publications, pp. 6-36., 1998.
- 13) Buylaert, J.-P., Jain, M., Murray, A. S., Thomsen, K. J., Thiel, C., & Sohbati, R. (2012). A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments. *Boreas*, 41(3), 435-451. doi:10.1111/j.1502-3885.2012.00248.x

(2016.3.16 受付)

A FIELD STUDY ON SEDIMENT TRANSPORT AROUND THE JETTY OF HITOTSUSE RIVER MOUTH

Ryota HIGASHI and Shinji SATO

Sediment transport mechanisms were investigated around the Hitotsuse River mouth located on the northern part of the Miyazaki Coast, where significant beach erosion is developed on the downdrift side of the jetty. Alongshore distribution of thermo-luminescence properties of feldspar grains sampled on the beach within 3 km from the river mouth demonstrated entrapment of sediments discharged from the Hitotsuse River on the north side while the sediment delivery to the south side was limited. Effects of noruishments were identified on the further south coast. Vertical distribution of sediment size and optically-stimulated-luminescence property indicated that the beach on the south side is eroding the past morphology created in the time scale of 10^3 years.