

人為改変の進んだ流砂系における土砂動態変化の分析

Analysis of Sediment Movement Mechanisms in Watersheds Characterized by Anthropogenic Impacts

石橋 徹¹・西嶋宏介¹・高川智博²・劉 海江³・佐藤慎司⁴

Toru ISHIBASHI, Kousuke NISHIJIMA, Tomohiro TAKAGAWA, Haijiang LIU and Shinji SATO

Sediment movement dynamics were investigated on the basis of sediment analyses sampled on the watersheds and the downdrift coasts of the Mimigawa River, the Niyodo River and the Ohkohzu Channel, in which significant anthropogenic activities have been introduced in the last centuries. Sand and gravels were sampled on more than 150 locations along the rivers and coasts. Spatial and temporal changes in sediment movement were described from the sediment retention rates in reservoirs, roundness of gravels as well as the distributions of mineral and luminescence properties of sand particles.

1. はじめに

深刻化している海岸侵食問題を根本的に解決するためには、主要な土砂供給源である河川流域も含む流砂系全体の土砂動態を把握する事が重要である。本研究では、土砂採取や河川横断構造物の建設が進み、著しい海岸侵食も見られる仁淀川・高知海岸流砂系と耳川・日向灘海岸流砂系、および100年程度のスケールで海浜への急激な土砂堆積が見られた大河津分水・野積海岸流砂系を対象とし、底質砂の露光履歴の定量的指標であるルミネッセンス強度などの底質分析によって、流砂系の土砂動態特性を検討した。特に仁淀川水系および耳川水系の地質は、ともに西南日本外帯に属し、上流域にジュラ紀の付加体である秩父帯が、下流域に白亜紀から第三紀の付加体である四万十帯の地層が分布するなど多くの共通点をもつ。そのため、表層堆積物の鉱物特性やルミネッセンス特性を比較することにより、地形や人為改変の影響などそれぞれの流砂系の土砂動態特性の抽出を試みることにした。

2. 対象地域

(1) 仁淀川・高知海岸流砂系

仁淀川は愛媛県の石鎚山に源を発し、高知県を流下して太平洋に注ぐ、幹川流路延長124km、流域面積1560km²の一級河川である。河床勾配は、中流部の越知町より上流では1/100~1/150程度、下流は1/1000程度である。仁淀川流砂系の河道や海岸は主に礫で構成されており、砂はほとんど見られない。高知海岸は仁淀川が主な土砂供



写真-1 塚原ダム直下における大規模斜面崩壊 (宮崎県提供)

給源であるが、仁淀川河口部で過去に約400万m³ほどの海底掘削が行われた影響で現在も河口部に掘削穴が存在し、そこに流出土砂が多く落ち込んでいると推測されており、近年の高知海岸の侵食問題に関連があると考えられている (森本ら, 2006)。

(2) 耳川・日向灘海岸流砂系

耳川は九州山地の三方山に源を発し日向灘に注ぐ、幹川流路延長91.1km、流域面積884km²の二級河川である。流域は新生代第四紀以降、急激に隆起しており、耳川は険しい渓谷を流れる急流河川となっている。急流かつ台風が多く来襲するために水害が多く、1993~2008年の15年間で4回もの大きな水害が発生した。特に2005 (平成17)年9月の台風14号時には、被害戸数424戸と過去最大の被害であった。また同時に大規模な斜面崩壊が発生し、河川やダム貯水池に1060万m³にも及ぶ大量の土砂が流入した (写真-1)。

(3) 大河津分水・野積海岸

大河津分水は、信濃川河口から58km上流地点にある燕市大川津地区において信濃川から分岐し日本海に注ぐ分水路である。信濃川下流域越後平野において繰り返し発生した氾濫と信濃川河口に位置する新潟港の土砂による埋没を防ぐために建設された。大正11 (1922)年に通水されて以来現在に至るまで、大河津分水路は150万m³

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
2 正会員 理博 東京大学大学院 助教 同上
3 正会員 工博 東京大学大学院 准教授 同上
4 フェロー 工博 東京大学大学院 教授 同上

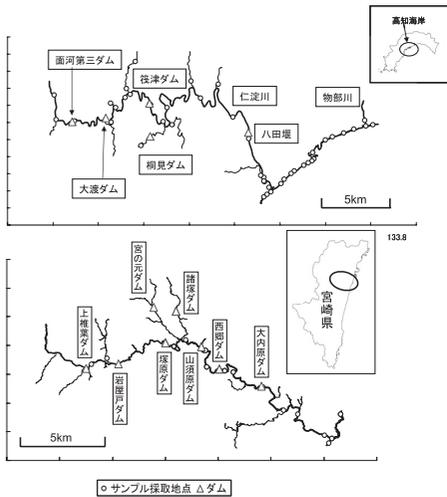


図-1 仁淀川・高知海岸流砂系と耳川・日向灘海岸流砂系

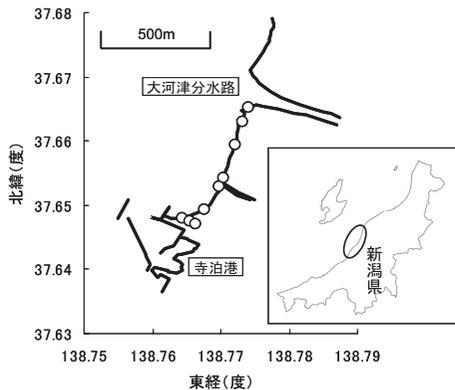


図-2 大河津分水・野積海岸流砂系

～600万 m^3 /年にも及ぶ多量の土砂を排出してきた。これにより大河津分水河口域の野積海岸では砂浜の堆積・前進が著しく進行してきた(磯部, 1978)。

図-1および図-2に、それぞれの流砂系における試料採取地点を示す。

3. 分析方法

対象流砂系において河床および海浜の表層堆積物を採取して、ルミネッセンス特性や、礫の円磨度など土砂の質に関する分析を行った。また、比流砂量・河床勾配などのデータを用いて流送土砂量に関する比較分析も合わせて行った。比流砂量は芦田・奥村(1974)と同様にして整理し、勾配については国土地理院数値地図50mメッシュ(標高)を用いて河道に沿って標高を測定し概略図を作成しその傾向を把握した。

(1) ルミネッセンス強度

流砂系の各地点において露光に注意して採取した砂試料から180～300 μm の長石を抽出し、熱ルミネッセンス

(Thermoluminescence: TL) 及び光励起ルミネッセンス(Optically-stimulated luminescence: OSL) 強度を測定した。ルミネッセンスとは、砂粒子の埋積・露光状態を表す指標であり(小川ら, 2009; 岸本ら, 2010)、これにより、支川やダム・堰および沿岸構造物などの影響を考察した。

(2) 礫の円磨度

高知海岸では「五色石」とも呼ばれるチャート系の礫が多く見られたため、粒径1cm程度の礫を約100個ずつ無作為に採取し、円磨度・岩種分析を行い、礫底質についてもその動態と人工構造物による影響を考察した。円磨度はKrumbein(1941)の表を用いて礫1つずつに0.1～0.9の円磨度を判定し、各地点における円磨度平均値を算出し、円磨度の沿岸分布を推定した。岩種分析ではチャート系の礫の色に着目した。礫を色別に分類し、赤・白・緑色の礫個数と全体に占める割合(以下、チャート系割合)を算出し、考察を行った。海岸については試料採取地点が近接しているため、傾向を把握しやすいよう移動平均を取りグラフを平滑化した。

4. 分析結果

(1) 仁淀川・高知海岸流砂系

高知海岸におけるTL値・円磨度・チャート系割合の分析結果を図-3に示す。小川ら(2009)は遠州灘において天竜川河口から離れるにつれTL値が減少する傾向にあること、また、海食崖の発達する区間においてはTL値が沿岸方向にあまり変化せず、ほぼ一定となることを見出し、遠州灘における沿岸方向の土砂移動特性を推定した。これに対し、高知海岸では仁淀川河口部から沿岸方向に顕著な変化が認められず、遠州灘海岸の海食崖区間と同様、岸沖方向の土砂移動の方が卓越しているものと考えられる。また、より細かいスケールで見ると、春野漁港から桂浜に向かうにつれてTL値がやや減少する傾向が認められ、弱いながら東向き沿岸漂砂が見取れる。春野漁港の東側においてTL値が上昇しているのは、1986年に建設された春野漁港防波堤の土砂遮断効果によって東側では侵食が進み、海浜表面にTL値の高い砂が現れてきているためと考えられる。

物部川における河口直前河道でのTL強度が15程度なのに対し、河口近傍の海岸におけるTL強度が5程度で安定していることから、物部川からの砂供給の影響は小さいと考えられる。

五色石に代表されるチャート系礫の割合をみると、仁淀川から桂浜にかけて、チャート系礫の割合がほぼ一定で、かつ円磨度は上昇していることから、仁淀川から供給された礫は東向きに輸送されていると考えられる。また、春野漁港周辺でも礫の円磨度は上昇していることか

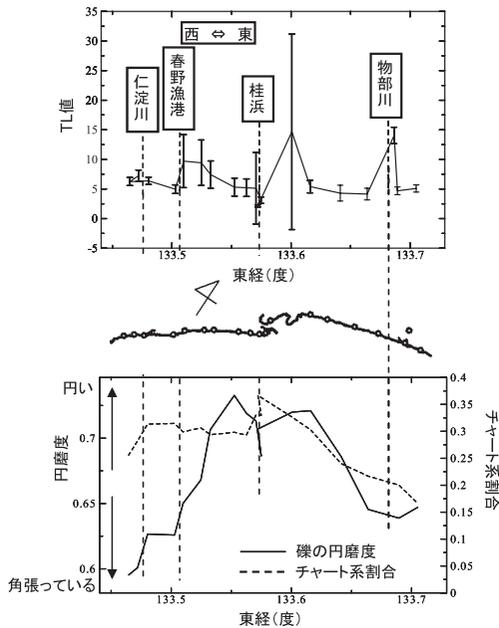


図-3 高知海岸TL・円磨度・チャート系割合

ら、礫の移動に関しては春野漁港の影響は認められない。砂に関しては影響が認められ、礫に関して影響が見えないのは、砂移動の時間スケールに比べて礫移動の時間スケールが長く、建設されてから十数年しか経っていない春野漁港ではまだ礫の遮断効果が確認できないことを意味している。

桂浜-物部川間では、チャート系礫の合計割合・礫の円磨度共に物部川に近づくにつれて下がっている。これは、物部川から供給された礫の影響を受けているためと考えられる。

仁淀川水系におけるTL値・礫の円磨度・チャート系割合の分析結果を図-4に示す。横軸は試料採取位置を上流(左)から下流(右)に並べたものであり、右端が河口である。礫の円磨度を見ると、大渡ダム、筏津ダム、八田堰を境にして、それぞれの区間で礫の円磨度が上昇しており、上流から下流まで一貫して円磨度が上昇しているわけではないことが分かる。このことから、河川横断構造物によって礫が捕捉され、その結果上流で生産された礫が下流まで到達していないと考えられる。その考察を支える結果として、波介川導水路工事の際に発見された江戸時代の堤防跡で採取した礫の円磨度が2地点とも約0.58と現在の河口部の礫の円磨度よりも高かったことが挙げられる。また、採取した礫のチャート類割合を見ると、河川の上流から下流にかけて大きく変化していることが見て取れる。このことから、上流で生産された礫が単調に下流に運ばれているのではなく、所々で支川の合流などによる土砂供給が起きていると

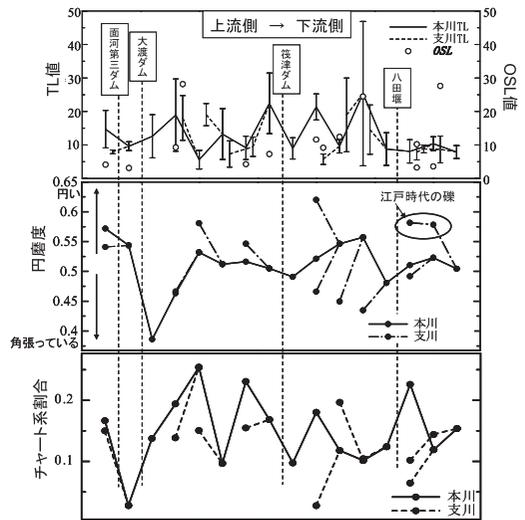


図-4 仁淀川水系TL・円磨度・チャート系割合

考えられる。

しかしながら、円磨度やチャート系礫の割合からは支川合流の影響は必ずしも顕著ではない。一方、砂のTL値を見ると、TL値の大きい支川が合流した直後では本川のTL値が高くなり、その逆の現象も見られることから、礫とは異なり、砂に関しては支川からの影響が大きいと認められる。

(2) 耳川・日向灘海岸流砂系

図-5に、耳川水系における分析結果を示す。耳川では上流域ではTL値が単調に減少している。これは上椎葉ダムから西郷ダムにかけての上流域では支川の数が少ないため、天竜川と同様に本川の土砂輸送が支配的であるうえに、またこの区間の数少ない支川である柳原川・七ツ山川にはダムが存在し、土砂供給が制限されているためと考えられる。一方、大河内ダムより下流の区域ではTL値が増加傾向にあるが、これは下流域に存在する多数の支川から供給された土砂が短い露光時間で本川に合流し、その土砂の一部が耳川河道に留まりTL値の平均値

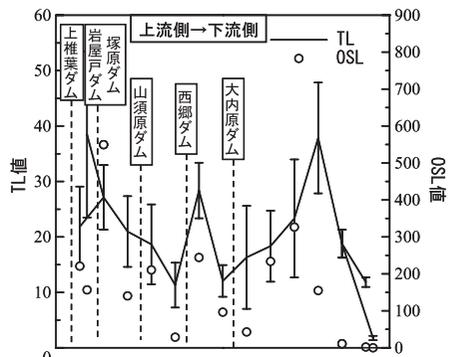


図-5 耳川水系TL・OSL

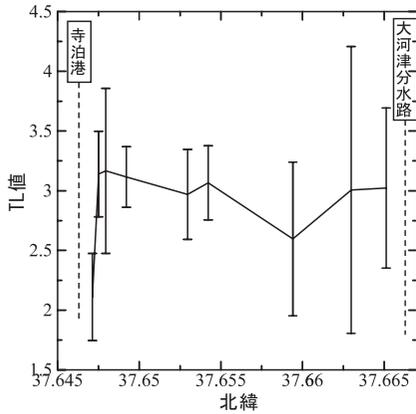


図-6 野積海岸水系TL

を引き上げているためと考えられる。

耳川の河口部のTL値は19であり、河口から北側の海岸ではTL値1.8、南側の海岸ではTL値12程度となった。河口から流出したTL値の高い砂は南向きに輸送され一部が南側の海岸に堆積していると考えられる。北側海岸はポケットビーチ地形になっており、耳川の流出土砂の直接的な影響は少ないと思われる。一方OSLは短い露光時間で急激に減少するため、その値が高い箇所ではごく近い地点で斜面崩壊に伴う土砂供給が生じていると考えられる。塚原ダム-山須原ダム間、西郷ダム-大内原ダム間、そして大内原ダム-河口間にそれぞれOSL値の高い地点が見られる。この3地点においては写真-1にも示したような土砂供給が起こっていると考えられる。この3地点においてTL値は上昇しており、TL値測定結果と合致する。

(3) 大河津分水・野積海岸流砂系

大河津分水河口の野積海岸では、寺泊港近くの海浜部で飛砂の影響と思われるTLの減少が一部見られるものの、TLの沿岸分布に顕著な傾向は見られなかった(図-6)。中下流部が緩勾配である信濃川を輸送される過程で土砂の露光が一様に進み、100年程度の埋積期間ではTL強度の増加は生じないためと考察された。

(4) 流砂系の比較分析

a) 比流砂量による比較

年平均比流砂量を算出して、芦田・奥村(1974)の図上にプロットしたものが図-7である。年平均比流砂量で比較すると、土砂供給能力の高い順に、天竜川流域>耳川流域>仁淀川流域であることが分かる。耳川の土砂供給能力は天竜川の約10分の1程度であるが、台風が来襲し大量の土砂が河川やダム貯水池に流れ込んだ(図-9)2004~2005年に限定して比流砂量を計算すると、耳川流域の比流砂量は天竜川流域と同程度になる。

また、河川全域におけるTL値を比較すると、天竜

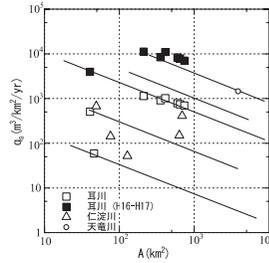


図-7 各河川の比流砂量

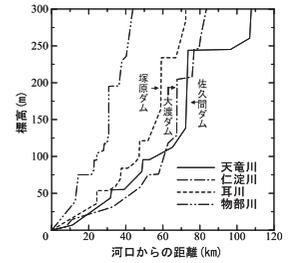


図-8 河川勾配図

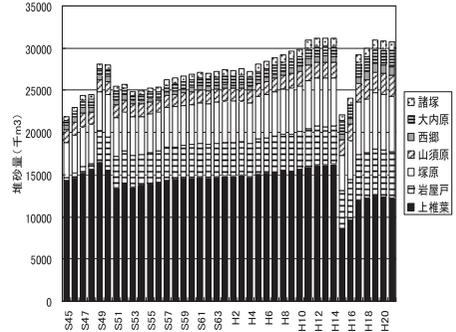


図-9 耳川水系ダム堆砂量の推移(宮崎県提供)

川・仁淀川ではTL値が5~25程度なのに対して、耳川では10~40程度となっている。これは耳川が比較的最近に土砂崩れを起こし、TL値の高い砂を供給したためと考えられる。

b) 本川・支川合流部のTL値

TL値に関して、天竜川では河道の堆積土砂が支川の影響をあまり受けていないのに対し、耳川や仁淀川では支川の影響を受けている。これは土砂運搬能力の差によるもので、耳川や仁淀川では蛇行が顕著で流送過程で混合した土砂が河原に堆積しやすいのに対し、天竜川では直線的な線形区間が多いうえに本川の流送土砂量が多いため、支川の影響が顕著に表れないためと考えられる。

c) 河口TL値と下流域の勾配

河口におけるTL値は耳川・物部川が12~15程度と高く、仁淀川・天竜川は5程度と低い。これは下流域における勾配に関係していると思われる。図-8より、仁淀川・天竜川は下流域において耳川・物部川よりも緩勾配であることが分かる。緩勾配であればあるほど土砂移動に時間を要し十分に露光されやすいうえ、流速が遅くなることで河道からの新たな土砂供給も相対的に少なくなるためと考えられる。

d) ダムの影響

天竜川のダム群において、多くのダム直下ではTL値が急上昇している。これはダムで砂がせき止められることによりダム直下の侵食が進み、TL値の高い砂が供給されているためと考えられる(岸本ら, 2010)。一方で、

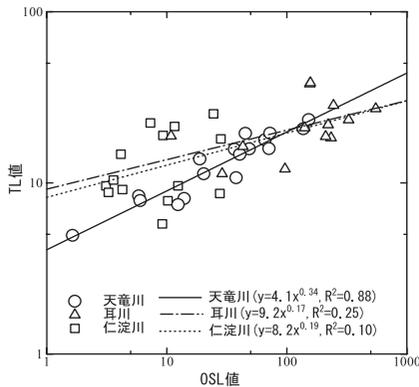


図-10 各河川のTL・OSL相関

仁淀川・耳川流域のダム群ではそのような傾向が見られなかった。これは流送される砂の量が多い天竜川流域に比べて、仁淀川・耳川流域では砂成分が少なく、侵食が進むダム直下においても流砂遮断の影響が顕れにくいと考えられる。現地調査の際に、仁淀川・耳川流域では下流域においても礫・岩片が卓越し、砂成分が少ないことを確認できた。

e) TL/OSL値による比較

天竜川・仁淀川・耳川流域において縦軸にTL値、横軸にOSL値をとると図-10のようになった。図-10より、天竜川流域では他の流域に比べて R^2 値は0.88と非常に強い相関があることがわかる。これは流域におけるTL・OSLの減少過程が一定の傾向にあり、本川における土砂流送が支配的であることを示す。仁淀川や耳川では相関が低いことから、土砂輸送が本川での流送のみの単一過程で支配されているのではなく、突発的かつ一時的な土砂供給も大きな影響を及ぼすためであると考えられる。

5. 結論

本研究では、人為改変の進んだ流砂系として、仁淀川・高知海岸流砂系、耳川・日向灘海岸流砂系、大河津分水・野積海岸流砂系の3流砂系で採取した底質の分析を行うとともに、天竜川・遠州灘流砂系の分析も含めた比較を行い、以下の結論を得た。

- (1) 高知海岸では、仁淀川・物部川からの土砂供給は限定的で、岸沖方向の土砂移動が卓越していると思われる。平均的には東向きの変動傾向が確認され、春野漁港は砂成分の移動を遮断していると考えられる。礫の分析より、礫は沿岸方向に輸送されているが、砂と礫では移動に要する時間スケールが異なるために、人為構造物の影響は礫については認められない。
- (2) 仁淀川においては、礫については河川横断構造物の影響が認められたが、砂のTL強度については上流から下流まで単調に減少する傾向は見られなかった。

- (3) 耳川では、下流域では支川からの影響を受けてTL強度が上昇する区間が認められた。海岸では、耳川からの供給土砂は南向きに輸送されていることが分かった。さらにOSL分析結果より、斜面崩壊による主な土砂供給地点を特定できた。
- (4) 野積海岸におけるTL結果より、100年程度の埋積期間ではTL強度の増加は生じないことが分かった。
- (5) 比流砂量は天竜川>耳川>仁淀川の順に大きい。耳川は天竜川・仁淀川に比べて河川全域におけるTLの平均値が高い。これは比較的最近に大規模土砂崩れを経験したことによる。
- (6) 天竜川では支川の影響が見られず、耳川や仁淀川では支川の影響が見られる。これは天竜川ではその高い運搬能力により河道に滞留しにくく、一方耳川や仁淀川では蛇行などの原因により土砂が河道に滞留しやすいことを示している。
- (7) 天竜川ではダムの直下でTL強度が上昇する傾向があるが、仁淀川・耳川流域のダム群では、TLの上昇は顕著ではない。これは、流送土砂量の相違によるものと考えられる。
- (8) TLとOSLの相関の強さは、それぞれの河川本川の土砂供給量と関係があり、土砂供給量が多いほどTLとOSLの相関が強くなると考えられる。

謝辞：本研究は河川整備基金による援助を受けて実施されたものであることを付記する。研究の実施にあたり、国土交通省四国地方整備局高知河川国道事務所および九州電力耳川水力整備事務所には、現地調査の実施や資料の提供に多大な協力をいただいた。また、耳川水系の貯水池堆砂資料は宮崎県より提供いただいた。関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 芦田和男・奥村武信 (1974)：ダム堆砂に関する研究，京都大学防災研究所年報，第17号B，pp.555-570。
- 磯部一洋 (1978)：新潟県寺泊海岸における堆積過程について，地質調査所月報，第29巻第12号，pp.773-792。
- 小川裕貴・劉海江・高川智博・佐藤慎司 (2009)：長石の熱ルミネッセンス特性から推定した広域的な土砂移動特性，海岸工学論文集，第56巻，pp.616-620。
- 岸本 瞬・劉海江・高川智博・白井正明・佐藤慎司 (2008)：長石の熱ルミネッセンス特性に基づく流砂系の土砂移動の分析，海岸工学論文集，第55巻，pp.686-690。
- 岸本 瞬・劉海江・高川智博・佐藤慎司 (2010)：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，海岸工学論文集，第57巻，投稿中。
- 森本精郎・久藤勝明・矢野慎二・鷺田正樹・赤川嘉幸 (2006)：直轄高知海岸の土砂動態解析と土砂管理計画，海岸工学論文集，第53巻，pp.516-520。
- Krumbein, W.C. (1941)：Measurement and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles, J. Sed. Petrol., 11, pp.64-72。