

表層堆積物の分析に基づく天竜川・遠州灘流砂系の土砂動態の解明

A Field Study on the Sediment Movement in the Tenryu-Enshunada Watershed

藤原弘和¹・佐藤慎司²・白井正明³・田島芳満⁴

Hirokazu FUJIWARA, Shinji SATO, Masaaki SHIRAI and Yoshimitsu TAJIMA

A field investigation was conducted for sand movement in the Tenryu-Enshunada watershed. Sediment samples on the coast and the riverbed were collected in a wide area including in the trench excavated at the old riverbed, for which mineral analysis based on magnetism and Optically Stimulated Luminescence measurements were applied. The ratio of magnetic and non-magnetic particles was found to be highly correlated with the geology of surface sediments. The spatial distribution of non-magnetic particles represented by quartz and feldspar enriched in the upstream geology, as well as the similarity in OSL intensities for the present and the past riverbed samples consistently supported a significant decrease in sediment supply from the upstream region of dams.

1. はじめに

近年全国各地で著しくなっている海岸侵食は、ダム建設や砂利採取による河川からの土砂供給量の減少や海岸構造物による沿岸漂砂の遮断が大きな原因となっている。問題解決のためには、河川から海岸までを一つの流砂系としてとらえ、系内で土砂輸送のバランスをとることが重要であり、そのためには過去の人為的な活動の影響を含めた流砂系の変遷と土砂収支の関係を定量的に把握することが急務となっている。貯水池排砂などの具体的な施策の効果や影響は、堆積量や侵食量など土砂の量だけで把握することは困難であり、土砂の質の分析を含めて検討することが重要であると考えられる。

本研究では、天竜川・遠州灘流砂系を対象として、表層堆積物が地質に応じて様々な鉱物で構成されることに着目し、岩種・磁性・露光履歴を始めとする土砂の質に関する分析を行い、ダム建設の時期を含む数十年スケールの土砂動態の変化を解明することを目的とした。

2. 対象領域の概要

本研究の対象領域は、海岸部は静岡県の大井川河口から御前崎、天竜川河口、愛知県の渥美半島までとし、河川部は天竜川河口から泰阜ダムまでの約 130 km 区間とした。対象領域の天竜川・遠州灘流砂系は、以下の特徴を有する。

①天竜川は土砂生産が非常に豊富な川であり、運搬土砂

量は $38 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ と推定され (芦田ら, 1983), 日本で最も多い。

②天竜川には、日本を代表する佐久間ダムをはじめ、多くのダムが建設されており、貯水池への堆砂が深刻な問題となっている。

③河口や遠州灘海岸では、土砂供給量の減少や港・導流堤などの建設により、海岸侵食が顕在化しており、離岸堤・消波堤・養浜などの海岸保全対策工が数多く行われている。

④流域の地質は、佐久間ダム付近で天竜川を横切る中央構造線を境界として、北西側上流域は領家帯を始めとする花崗岩を中心とする地質、南東側下流域は四万十帯に代表される堆積岩が中心の地質が分布し、支川の地質も流域ごとに極めて特徴的である。

3. 海岸表層堆積物の分析

2006 年 5 月 12 日から 13 日に、大井川河口から赤羽根漁港までの海浜で表層堆積物を採取した。試料は満潮時汀線付近で表層 10 cm 以浅から砂成分をスコップで採取した。持ち帰った試料を炉乾燥させ、片面を白い紙に貼り付けた両面テープに付着させ、スキャナで読み取った (図-1)。図-1 においてスキャン画像の脇に示した円グラフは、粒径 $75 \mu\text{m} \sim 425 \mu\text{m}$ の砂についての非磁性体 (石英、長石など)、強磁性体 (磁鉄鉱など)、常磁性体 (ざくろ石、黒雲母、角閃石、輝石など) の重量割合を表している。磁性体の分類は以下の方法で行った。粒径によるふるい分けを行った後、試料をアルミバットに一様に重ならないように蒔き、上からフェライト磁石により、強磁性体を分離した。その後、ネオジム磁石により常磁性体を分離した。写真-1 は砂の分離前後の写真であり、いずれの磁石にもつかずに非磁性体と判定された粒子は、主として石英、長石などの無色鉱物である。

1 正 会 員 修(工) 清水建設(株)土木事業本部 土木技術本部
社会基盤統括部 構造橋梁グループ
2 フェロー 工博 東京大学教授 大学院工学系研究科社会基
盤学専攻
3 博(理) 東京大学助教 海洋研究所
4 正 会 員 Ph. D. 東京大学准教授 大学院工学系研究科社会
基盤学専攻

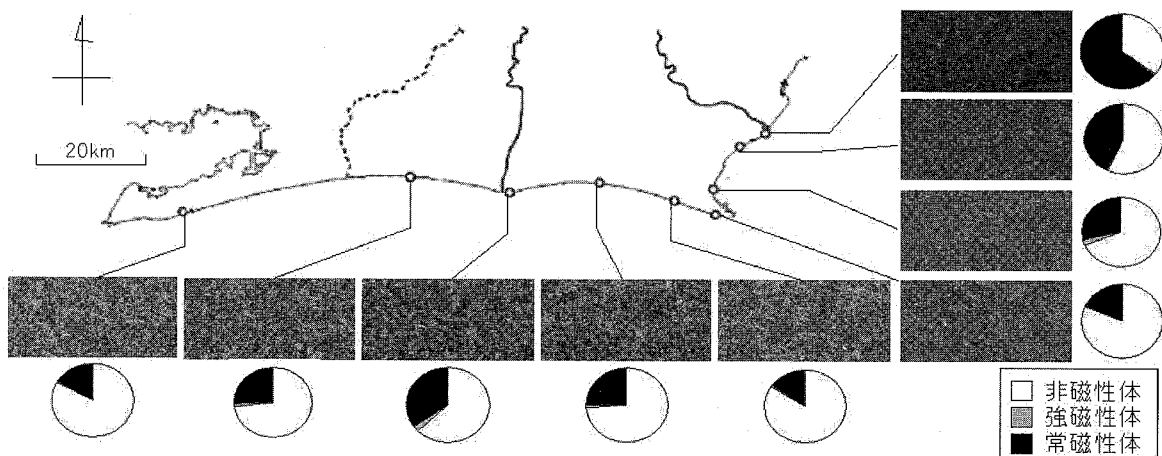


図-1 海岸部での砂のスカナ画像と磁性体の割合（スカナ画像はそれぞれ縦 1.5cm, 横 3.0cm）

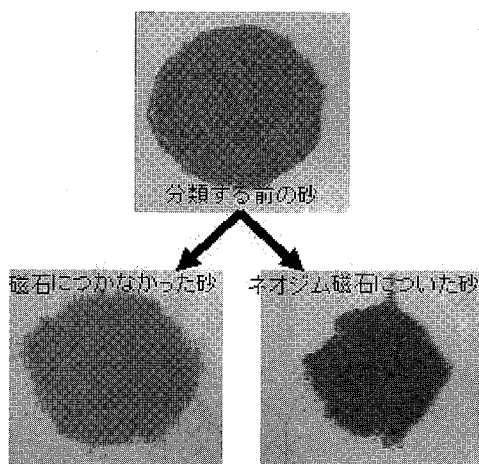


写真-1 砂の分類前後の様子

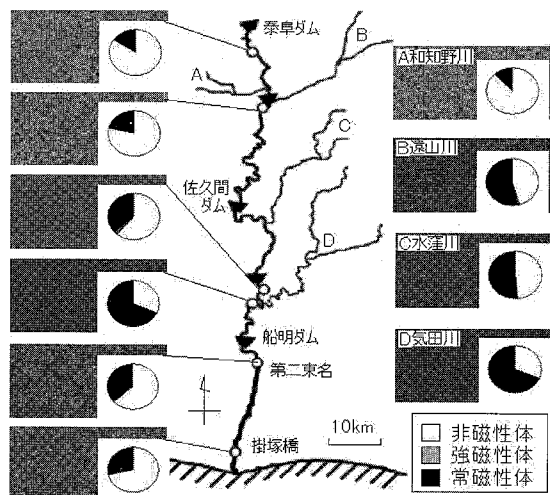


図-2 河川部での砂のスカナ画像と磁性体の割合

ため、白っぽい色が特徴であることがわかる。

図-1 のスカナ画像と磁性体割合を合わせ見ると、遠州灘および駿河湾の海岸の土砂は、四万十帯の堆積岩が卓越する大井川と、上流に領家帯など花崗岩が卓越する天竜川のそれぞれの影響を色濃く反映していることがわかる。すなわち、大井川河口の砂は黒色で常磁性体が卓越しているのに対し、御前崎に近づくとも磁性体の無色または白色の砂の割合が徐々に増えてくる。しかし、さらに天竜川河口に近づくとも、非磁性体の割合が減少傾向となり、天竜川河口からさらに西側に進むと再び非磁性体の白い砂粒の割合が増えていることが分かる。天竜川から供給された土砂が駿河湾にも輸送されていることは、服部ら（1974）や服部ら（2001）などにより指摘されているが、本研究でさらに詳細に分析することにより、天竜川河口付近では大井川河口部に類似の黒っぽい砂粒

子が卓越していることが明らかとなった。ダム建設以後は上流の花崗岩由来の砂が遮断され、気田川など堆積岩質の流域を持つ支川が主要な土砂供給源になっていることを考えると、河口部を中心に海岸への供給土砂の質が変化し始めていることを示していると考えられる。

4. 河道表層堆積物の分析

天竜川流域の表層堆積物の分布を把握するために、2006 年 6 月 16 日から 17 日に天竜川河口から泰阜ダムまでの区間において砂成分に着目して堆積物試料を採取した。代表的な支川である気田川、水窪川、遠山川、和知野川においても試料を採取した。試料は全て水際付近で表層 10 cm 以浅から砂成分を採取した。

海岸部の試料と同様に、試料を炉乾燥させ、スカナで撮影すると共に、磁性による分類を行った（図-2）。

各支川の試料は、流域の地質を反映した特徴的な鉱物組成を有することが分かる。花崗岩域を流域とする和知野川の砂は非磁性体が80%以上で、石英や長石が主成分である白っぽい砂であるのに対し、堆積岩域を流れている遠山川、水窪川、気田川の砂は磁性体の割合が多い黒っぽい砂が卓越している。天竜川本川の試料を見ると、上流の泰阜ダム下流では、和知野川の砂と同様に非磁性体が80%以上の白い砂が卓越するが、遠山川、水窪川、気田川などの堆積岩類起源の流域を持つ支川が合流することで、白い砂の割合が減少していく。特に気田川合流部では、堆積岩由来の土砂供給の影響が強く現れていることが確認できる。しかしながら船明ダムより下流の第二東名地点や掛塚橋周辺では、非磁性体である白い砂の割合が再び増加していることが分かる。

5. 飯田公園におけるトレンチ調査

(1) トレンチ調査の概要

写真-2は天竜川下流域の1946年の米軍による航空写真と現在の航空写真を比較したものである。天竜川下流域の河道はかつて西派川と東派川に分かれていたが、東派川に続いて西派川も1951年に閉め切られた。

旧河道区域のうち現在飯田公園として利用されている部分において調査箇所を選定し、2006年9月13日から14日に、図-3に示すように幅約1m・長さ約4m・深さ2mのトレンチを掘削し、堆積構造を観察したうえで河床堆積物を採取した。西派川閉め切りは佐久間ダム建設前の1951年であるので、ダムによる流砂遮断の影響が少ない河床堆積物であると考えられる。

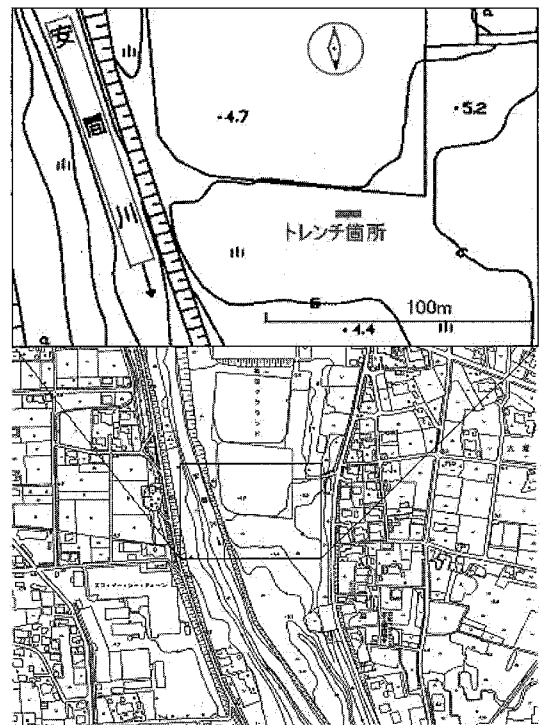


図-3 飯田公園トレンチ地点

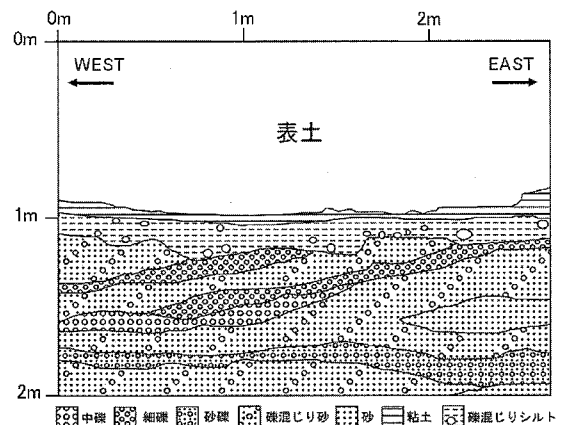


図-4 飯田公園トレンチ北側壁面

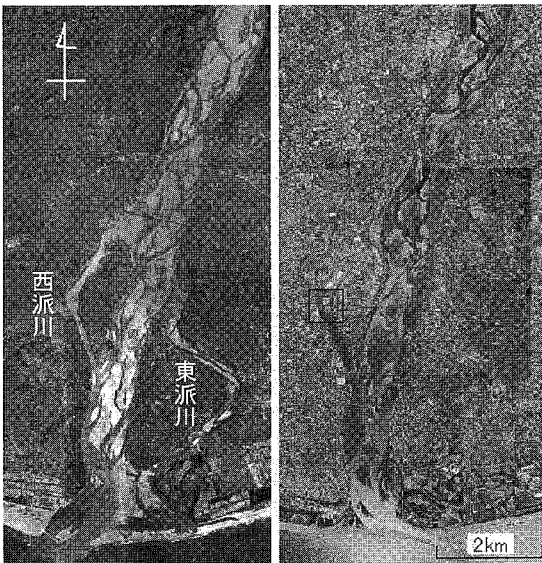
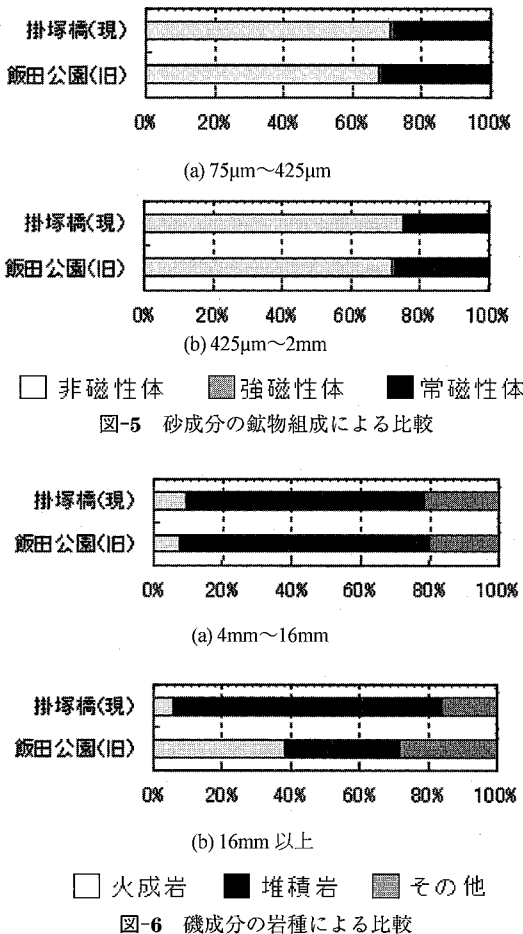


写真-2 天竜川下流域の航空写真(左:1946年 右:1997年, 右写真の方形領域は図-3の飯田公園)

トレンチ壁面の地層の様子を表したものが図-4である。厚さ約1mの表土層の下に、褐色の粘土層と赤褐色の砂礫まじりのシルト層があり、その下には砂層や礫層などの河床堆積物が存在していることが見出された。

(2) 岩種・鉱物組成による分析

飯田公園トレンチにおいて採取した試料を炉乾燥させ砂を抽出し、磁性による分析を行った。その結果が図-5である。現河道の掛塚橋周辺の試料と比較すると、粒径 $75\mu\text{m} \sim 425\mu\text{m}$, $425\mu\text{m} \sim 2\text{mm}$ のいずれにおいても、磁石による砂の鉱物組成において飯田公園トレンチ



の砂と現河道である掛塚橋周辺の砂に大きな違いがないという結果を示している。

礫(粒径4 mm以上)については岩種による比較を行った(図-6)。粒径4 mm~16 mmの礫については砂と同様に、トレンチと現河道で礫の岩種比率に大きな差はなかった。しかし粒径16 mm以上の礫については、トレンチの方が花崗岩を含む火成岩の割合が高く、現河道である掛塚橋周辺の方が堆積岩の割合が高かった。このことから、粒径16 mm以上の礫については現下流河道においては、ダム建設により上流の花崗岩類土砂の供給が遮断され、堆積岩類土砂が相対的に増加していることが分かる。

(3) OSL による露光確率の推定

OSL (Optically Stimulated Luminescence; 光励起発光) とは堆積物に含まれる石英・長石などの鉱物が宇宙線などの自然放射能により損傷を受け、その損傷が光を浴びることにより回復されて蛍光を発する現象である。これを利用し、石英・長石の埋積期間を過去数十万年間にわたって測定することが可能である(例えば、Ait-

ken, 1998)。蛍光の強度は鉱物が浴びた放射線量に応じて増大し、数十秒間光を浴びて蛍光を発すると損傷が回復するため、蛍光強度を測定することで、鉱物が最後に露光してから時間を推定することができる。すなわち鉱物粒子の発光強度から鉱物が埋積期間中に吸収した放射線量(等価線量)を見積もり、これを年代に換算した値がOSL年代であり、鉱物粒子が侵食-運搬-堆積過程に最後に光を浴びてからの年代を表す。この年代推定法は地質学、第四紀学、自然地理学などの分野で、概ね数千年から数十万年前までの測定が主に行われているが、数年から数十年スケールを対象とした計測も行われつつある(Madsenら, 2005)。流砂系の土砂輸送においては、土砂生産域で侵食されて河川を流下する間にOSL信号がリセットされ、河床や海底に堆積して光に曝されなくなつてからの期間を測定することにより、堆積物の輸送時期を推定することができ、土砂移動の変遷を探る貴重な情報となることが期待される。ただし、土砂の運搬過程で全ての粒子が露光するわけではないので、露光確率を考慮した分析を行うことが重要である。

本研究では、50年以上前の河床堆積物である飯田公園トレンチ(旧河道)と掛塚橋周辺の現河道の試料を用いた。トレンチでは深さ1.6 m付近の砂層を対象とし、掛塚橋周辺では水際の表層から10 cm程度の堆積物を、それぞれ光が当たらないように採取した。前処理も暗室において、アルカリ長石粒子が励起発光しにくい波長600 nm前後のオレンジ光源の下で行った。まず、分析用試料をふるい上で水洗いし、粒径500 μm~300 μmの粒子を選別した。この試料を過酸化水素水(10%, 1時間)および希塩酸(5%, 1時間)と反応させ、それぞれ有機物と炭酸塩を除去した後、あらかじめ比重ガラスによって、比重2.55から2.62の間に調整された重液(LST)にて分離を行い、比重の小さいアルカリ長石粒子を抽出した。処理済の試料を乾燥後、直径1 cmの測定用ディスクに一粒ずつ固定し、OSL/TL測定装置(Risoe OSL/TL-DA型)を用いて、OSL強度を測定した。

OSL強度測定の概要は以下の通りである。①試料を加熱し、不安定なOSL信号を除去する。②波長340 nm~350 nmの青色光を試料に照射し、これによって励起される自然状態の蛍光強度(L)を測定する。③ベータ線を一定量照射した後、再び加熱し、上と同じ手順で蛍光強度(T)を測定する。これらから感度補正したOSL強度(L/T)を得る。さらにOSL強度測定後の試料を十分に日光浴させた後、同様の手順で露光した後の状態でのOSL強度を測定し、自然状態(露光前)のOSL強度と露光後のOSL強度を比較して、計測誤差の範囲内で一致したと見なせる場合は最近露光した粒子と判定できる(白井, 2006)。

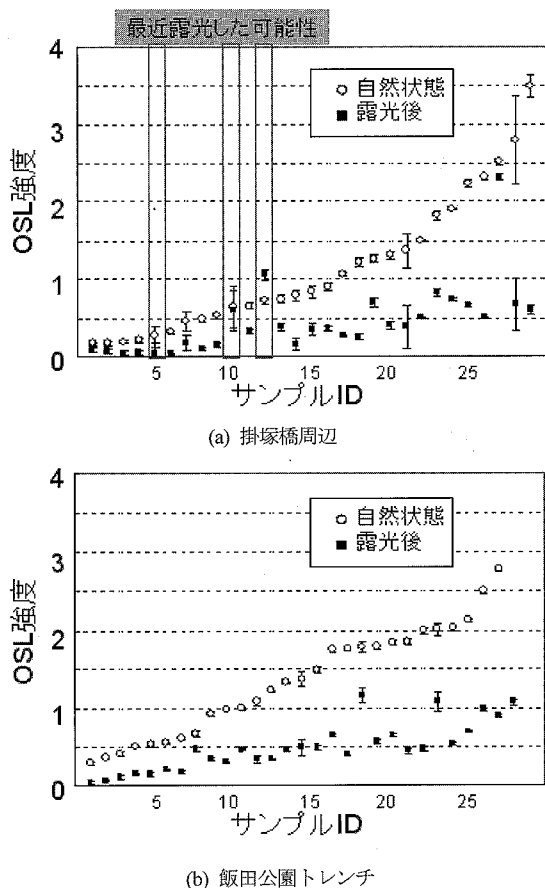


図-7 自然状態と露光後の OSL 強度

図-7 は、飯田公園トレンチの深さ 1.6 m 付近の砂層から抽出した 29 粒子と掛塚橋周辺河床表層から抽出した 28 粒子に対する OSL 強度を示したものである。自然状態の OSL 強度の低い順で左から並べて表示しており、エラーバーは計測器が判定する計測誤差である。図-7 (a) の掛塚橋周辺では数個の例外を除き、ほとんどのサンプルが最近露光していないと判定された。一方、図-7 (b) に示したトレンチのサンプルは全ての粒子に対して最近露光したとは判定されない結果となった。掛塚橋周辺の現河道で採取した砂成分については、近年では新たに堆積した砂は少なく、過去に堆積していた土砂が削られているのみであると考えられる。これは天竜川下流の河道が近年侵食傾向であることと整合している。また旧河道で最近露光した粒子が全く見られないことは合理的であり、OSL 分析により近年の堆積物の運搬・堆積の傾向を把握することが可能であることを示している。

6. 結 論

本研究では、河川部と海岸部での表層堆積物調査、旧

河道におけるトレンチ調査によってそれぞれ得られた試料を分析し、天竜川・遠州灘流砂系の土砂動態に関して、以下の結論を得た。

- (1) 天竜川の表層の砂は上流では花崗岩由来の砂の割合が多く、流下するに従い堆積岩域を流れる支川が合流し堆積岩由来の砂の割合が徐々に増加するものの、船明ダム下流の河道では堆積岩由来の砂の割合は減少する。
- (2) 遠州灘から大井川河口にかけての表層の砂は、堆積岩由来の土砂で構成される大井川周辺の砂浜を南下し、御前崎を廻り天竜川河口に近づく、花崗岩由来の砂の割合が徐々に増加するが、さらに天竜川河口に近づく、花崗岩由来の砂の割合が減少する。
- (3) 旧河道においてトレンチ調査を行うことで得られた 50 年以上前の天竜川下流の河床堆積物と、現在の河道を構成する土砂と比較したところ、粒径 16 mm 以下の土砂については差異はなかったものの、粒径 16 mm 以上の礫については現河道では花崗岩の割合が減り、堆積岩の割合が増加していることが確認された。
- (4) OSL による露光確率の推定手法に関しては、今後最適計測条件の確立など改良すべき点が残されているものの、トレンチでは最近露光したと判定される粒子は全く見られず、数十年間埋積されていたことと整合する結果が得られた。また、現河道の堆積物の分析からは、河床低下が進む天竜川下流河床には最近の砂は堆積していないことが推察された。

謝辞：本研究は、科学技術振興調整費重点課題解決型研究「先端技術を用いた動的土砂管理と沿岸防災」の研究成果の一部である。

参 考 文 献

- 芦田和男・高橋保・道上正規(1983)：河川の土砂災害と対策 一流砂・土石流・ダム堆砂・河床変動一，森北出版，防災シリーズ 5，260p.
- 白井正明(2006)：露光確率からみる河川堆積物の OSL 年代測定用試料採取方法：堆積学的見地からの提案，日本第四紀学会講演要旨集，36 巻，pp. 206-207.
- 服部昌太郎・鈴木隆介・佐藤敏夫(1974)：遠州海岸中央部の海浜変形と漂砂，第 21 回海岸工学講演会論文集，pp. 127-134.
- 服部千佳志・板生考司・寺田利博・片野明良・黒木敬司(2001)：遠州・駿河海岸の広域土砂収支，海岸工学論文集，第 48 巻，pp. 611-615.
- Aitken, M. J.(1998)：An Introduction to Optical Dating, Oxford University Press, 267p.
- Madsen, A.T., A.S. Murray, T.J. Andersen, M. Pejrup and H. Breuning-Madsen(2005)：Optically stimulated luminescence dating of young estuarine sediments: a comparison with ^{210}Pb and ^{137}Cs dating, Marine Geology, 214, pp. 251-268.