

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 8 月 16 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24246085

研究課題名(和文)ルミネッセンス計測に基づく流砂系土砂移動と歴史津波の推定手法の構築

研究課題名(英文) Sediment movement in the watershed and tsunami sediment analysis based on luminescence measurement

研究代表者

佐藤 慎司 (SATO, Shinji)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授

研究者番号：90170753

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,000,000円

研究成果の概要(和文)：世界的に激化する海岸侵食を解決するためには、山地から河川・沿岸域を含む広域流砂系の土砂の移動量を高い精度で捉えることが不可欠である。本研究では、流砂・漂砂の分析に世界で初めてルミネッセンス計測を導入し、長期にわたって広域で生じる土砂移動の追跡を可能とする技術確立した。さらに、これを粒子露光モデルなどと組み合わせることにより、流砂系の土砂フラックス推定精度を飛躍的に向上させた。これらをもとに沿岸砂質堆積物の堆積年代と起源を科学的に推定し、歴史津波の同定に応用する科学的な手法を開発し、その妥当性を現地調査により確認した。

研究成果の概要(英文)：In order to mitigate coastal erosion prevailing all over the world, it is essential to estimate sediment movement in the watershed scale, since sediment delivery from land to ocean must be influenced by the watershed scale. This study aims at the development of a framework in which sediment movement is estimated by using luminescence measurement of sediment particles. The luminescence of sediment grains is considered to reflect the exposure time to light during the sediment movement. The sediment transport rate is estimated by combining the luminescence property with light exposure model. Based on the luminescence measurement, an innovative technology has been developed to estimate sediment movement in the watershed scale. The methodology was found to be applicable to identify the sediment deposition due to historic tsunamis. The validity of the skill was confirmed by a series of field studies conducted at Sendai, Kirikiri, Fukui, Yonago and Miyazaki Coasts.

研究分野：海岸工学

キーワード：漂砂 流砂 土砂管理 歴史津波 ルミネッセンス分析

## 1. 研究開始当初の背景

世界的に深刻化している海岸侵食は、山地から沿岸域までの広い範囲の複数のインパクトが相互に関連しながら時間遅れを伴って進行する現象であるため、「地形変形量」に基づく分析のみでは十分な機構説明が進まず、有効な対策を講じることができない。土砂の「量」の分析に加えて土砂の「質」の分析を追加することが有効な手段となるため、ルミネッセンス計測による土砂移動追跡技術を確立する必要があった。さらに、東日本大震災の津波被害を受けて、歴史津波の分析技術を高度化する必要が増し、堆積物から歴史津波を同定する技術を確立する必要があった。

## 2. 研究の目的

世界的に激化する海岸侵食を解決するためには、山地から河川・沿岸域を含む広域流砂系の土砂の移動量を高い精度で捉えることが不可欠である。本研究では、流砂・漂砂の分析に世界で初めてルミネッセンス計測を導入し、長期にわたって広域で生じる土砂移動の追跡を可能とする技術を確立する。さらに、これを水槽実験や現地海域で直接計測した透過光スペクトル特性に基づき構築する粒子露光モデルなどと組み合わせることにより、流砂系の土砂フラックス推定精度を飛躍的に向上させる。これらをもとに沿岸砂質堆積物の堆積年代と起源を科学的に推定し、歴史津波の同定に応用する。

## 3. 研究の方法

- (1) 海岸侵食が深刻な流砂系において、地中探査レーダーとジオスライサ調査により表層堆積構造を詳細に把握し、具体的な試料採取計画を立てる
- (2) 沿岸域での移動砂粒子の露光量モデルを構築する
- (3) 非露光試料を採取してルミネッセンス特性を計測し、パラメタ分析する
- (4) ルミネッセンス計測結果と粒子露光モデルを組み合わせ、流砂系の土砂動態フラックスを時間的変遷を含めて推定する手法を確立する
- (5) 津波堆積物を含む砂層のコアを採取し、歴史津波の同定に応用する。

## 4. 研究成果

流砂系表層堆積物の採取と一部の試料に対するルミネッセンス計測を実施した。さらに、砂粒子露光モデルを構築し、露光率の評価を介して海岸線遡上帯の浜漂砂におけるルミネッセンス計測結果の定量的な活用手法を構築した。

### (1) 仙台平野および三陸地方における分析

海岸侵食が深刻化している宮城県仙台平野荒浜地区とリアス式海岸のポケットビーチである岩手県吉里吉里地区において、地中

探査レーダーによる調査を実施し、堆積構造を把握した。どちらの地点も 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の浸水区域であり、流砂系堆積物に加えて、津波堆積物も採取できるものと期待された。長さ約 2 m のハンディジオスライサを鉛直に貫入させることにより、数年から数千年の時間スケールの土砂移動過程を反映する堆積物コアを採取することができた。コア試料は軟 X 線撮影装置などで堆積構造を分析した後、鉛直方向に細かくスライスし、レーザ粒度計で粒径分布を計測した。さらに、C14 年代分析により、どちらも 3,000 年程度の堆積物であることを確認した。さらに、スライスした各層から暗室にて薬品処理・重液分離などにより石英・長石粒子を抽出し、ルミネッセンス計測用の試料を調製した。試料の一部を既存のルミネッセンス分析器により計測し、これらを C14 年代分析結果と比較することにより、歴史津波の年代同定におけるルミネッセンス分析の有用性を検討した。

### (2) 露光過程を考慮した土砂移動モデル

沿岸における砂粒子露光モデルに関しては、沿岸漂砂の移動過程のモデル化に整合した露光モデルを構築した。同モデルを適用すれば、従来定性的な議論のみであったルミネッセンス計測結果の解釈において、土砂移動量の定量的な評価を行うことが可能となる。モデルの内容と妥当性に関しては、近代に大規模なダム建設により、流砂系の土砂動態が大きく変化したナイル川（エジプト）および天竜川（日本）における現地調査結果で検討した。これらにより、従来定性的な議論のみであったルミネッセンス計測結果の解釈において、土砂移動量の定量的な評価を行うことが可能となった。

### (3) 福井県九頭竜川流砂系における分析

九頭竜川・加越海岸流砂系において、数値計算や表層砂分析などにより、海岸形成過程、漂砂源とその影響範囲、土砂移動の卓越方向など、広域的な土砂移動の実態を明らかにした。九頭竜川・手取川は土砂生産の大きい河川に分類されるが、ダム建設後は海岸への土砂供給が大きく減少していることが明らかとなった。また、海水準変動に伴い、九頭竜川河口付近の流れが河口付近に向かうものから両側へ発散する流れに逆転していることが推定された。九頭竜川河口北側海岸では古砂丘の侵食も主要な土砂供給源であることも示唆され、現在の土砂移動方向は北向きが卓越していることが推測された。

### (4) 鳥取県皆生海岸における分析

古地図分析や熱ルミネッセンス (TL) 測定の結果をもとに、弓浜半島海岸における 200 年程度の時間スケールの土砂移動形態と、日野川の流路変動などに伴う大規模な海岸変形を推定した。図-1 は TL 測定結果の平均値

と最大・最小値をプロットしたものである。まず地表面下 10cm のサンプルにおいて、日野川の試料よりも TL が高いところが 3 カ所あり、東から、日野川河口の東側、大水落川河口の西側、境港マリーナである。日野川河口付近で TL が極大となっているのは日野川河口から東に約 1.2km の佐蛇川河口付近である。同地点はかつて日野川の河口が位置していた地点付近である。日野川河道は中世には現在より東側の佐蛇川付近に位置しており、これが 1550 年や 1702 年の大洪水などによって西に移動していったとされている（景山, 1916）。佐蛇川河口付近において TL がもっとも大きく、東西に向かって TL が小さくなっていく傾向は、地表面下 10cm のサンプルでも確認できるが、50cm のサンプルではさらに明瞭な傾向が確認できる。これらは、かつての日野川河口から供給された土砂が河口の両岸に振り分けられていたことを示していると考えられる。さらに、河口付近に形成されていたデルタ地形が河道の移動とともに侵食され、これにより、古い時代に堆積して海岸地形を形成していた砂層が表面付近に露出してくることも、旧河口付近の TL が増大する要因である。侵食の大きさは、図-1

に示したように伊能図との汀線比較から同地域の侵食が激しいことや、地表から 50cm における TL が極めて高い値となっていることも整合する。

さらに、歴史津波の検討を行うため、米子空港東の地中コア試料の砂質堆積物を分析した。図-2 は各層の測定結果の平均値と最大・最小値を中央粒径とともにプロットしたものである。地中深さは、もとの地表面からの深さで表記してある。深さ 120~130cm の層を境界として、下層は粗く、上層は細かな粒径の砂が堆積している。上下層との境界の OSL 年代は約 180 年であることから、境界付近は 1833 年の庄内沖地震による津波と整合的な年代が得られた。これにより、津波堆積物の判別が困難な砂丘地の海岸などにおいても、OSL 年代測定によって、津波堆積砂層の判別と年代推定が可能であることが示された。大きく変形した海岸の約 200 年前の復元地形に対して、1833 年庄内沖地震の 3 つの波源モデルによる津波伝播計算を行ったところ、1 つのモデルでは津波がコア試料採取地点近くまで遡上することが分かった。さらに、海岸線付近のシルズ数の分布から、津波による土砂移動が生じ得ることが確認

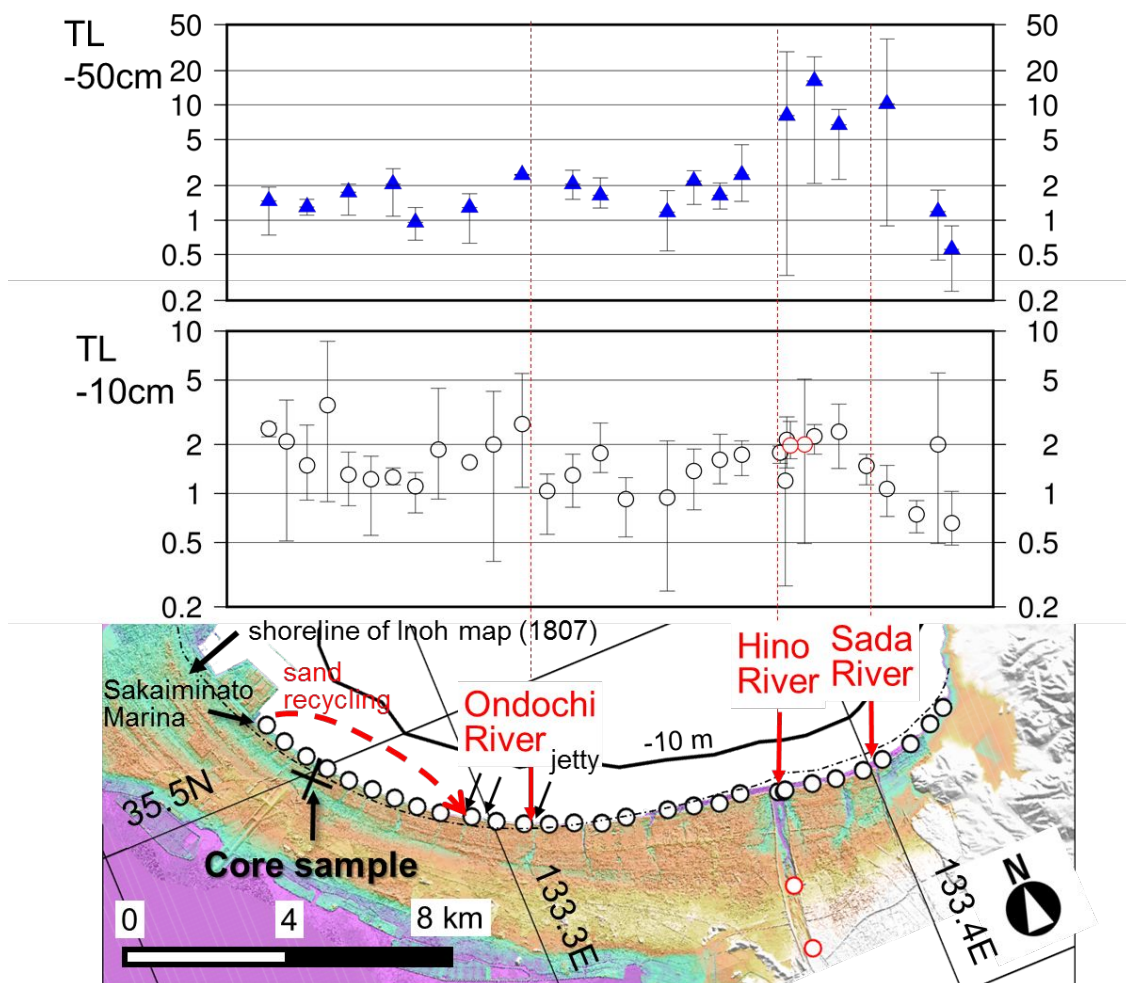


図-1 調査地域と TL の沿岸分布（上：地表面下 50 cm，中：地表面下 10 cm）

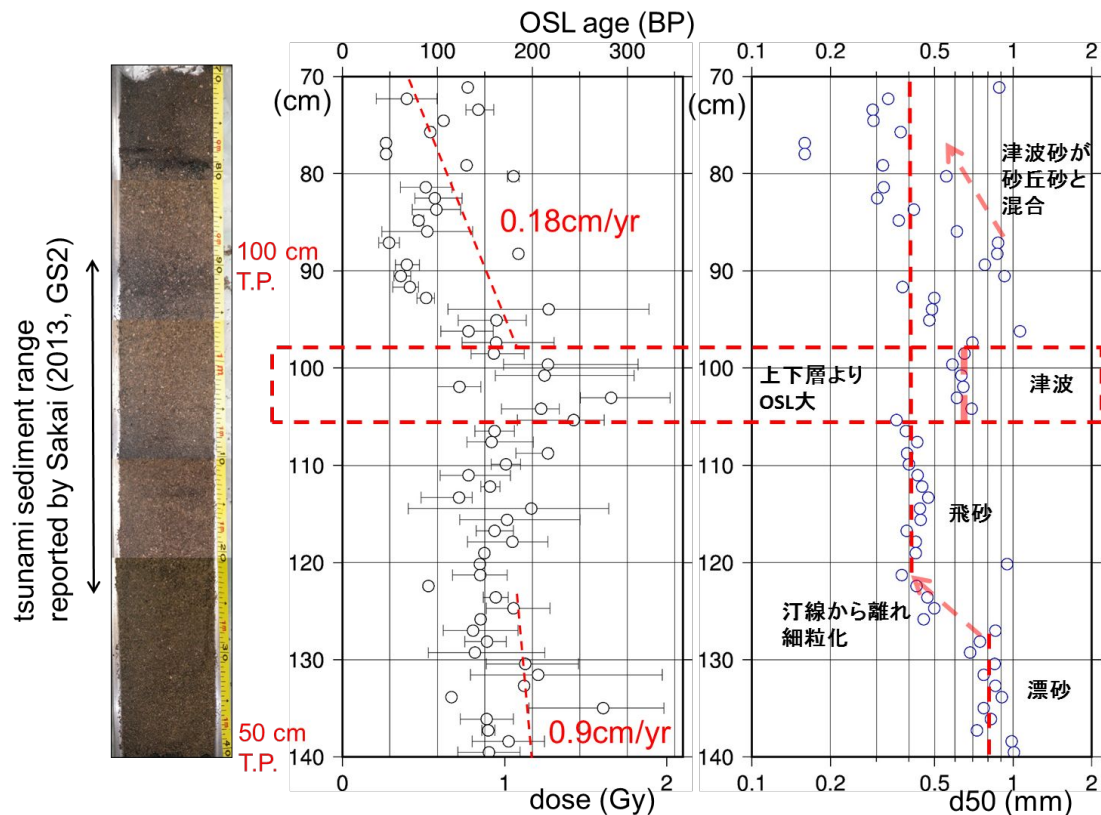


図-2 米子空港東のコア試料における OSL 分布(左)と粒径の分布(右)

された。

#### (5) ベトナム Ma 川周辺における分析

近年海岸侵食が深刻化しているベトナム Ma River 周辺の海岸において、表層土砂試料を採取し、粒径、粒子群の組成を分析するとともに、長石粒子の熱ルミネッセンスを計測した。これらを、衛星画像に基づく汀線変化分析および汀線変化モデルによる数値計算などと合わせて分析し、土砂動態の解明を試みた。その結果、Ma River 河口部周辺では、Ma River から供給された土砂が卓越し、Red River の影響は小さいことが明らかとなった。さらに、河口からの土砂供給量や沿岸漂砂量は比較的小さく、特に河口と南部の岩礁に挟まれた海岸はポケットビーチ化して、平衡状態に近づきつつあると判定された。

#### (6) 宮崎県一ツ瀬川河口における分析

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、近年の深浅測量結果から導流堤周辺の地形変動を分析した。次に河口兩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。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 9 件)

西口幹人、劉海江、佐藤慎司、田島芳満、山中悠資：津波堆積砂の光励起ルミネッセンス分析に基づく歴史津波の分析、土木学会論文集、B2 (海岸工学) 69, doi:10.2208/kaigan.69, 2013.

Mostafa Ahmed, Shinji Sato, and Yoshimitsu Tajima : Quantitative estimation of the longshore sediment transport based on thermo-luminescence: two case studies, around Tenryu and Nile River mouths, *Journal of Coastal Research*, Vol. 29, DOI: 10.2112/JCOASTRES, 2013.

大村森香・佐藤慎司、海水準変動を踏まえた九頭竜川・加越海岸流砂系における土砂移動

実態の解明、土木学会論文集 B2( 海岸工学 )  
69-2, 2013. 査読有

Morika Ohmura, Shinji Sato: Long-term sediment transport in Kuzuryu River and Kaetsu Coast under Holocene sea level variation, *Proc. 34th ICCE*, Seoul, 2014.

大村森香, 下園武範, 佐藤愼司: 福島県勿来海岸における東北地方太平洋沖地震津波による大規模土砂移動と海岸地形変化、土木学会論文集 B2( 海岸工学 ) 70-2, I\_1416-I\_1420, 2014. 査読有

西口幹人, 佐藤愼司, 山中悠資, 竹森 涼: 海岸堆積砂のルミネッセンス計測に基づく歴史津波の分析、土木学会論文集 B2( 海岸工学 ) 70-2, I\_291-I\_295, 2014. 査読有

Shinji Sato, Kanto Nishiguchi, Yusuke Yamanaka: Tsunami sediment analysis based on luminescence measurement, *Coastal Sediments 2015*, San Diego, 2015.

東 峻太, 田島芳満, Kavinda Gunasekara: Red River に隣接する Ma River 河口部沿岸域における土砂収支の解明、土木学会論文集 B2( 海岸工学 ) 71-2, 2015. 査読有

東 峻太・佐藤愼司: 一ツ瀬川河口導流堤周辺における土砂動態の解明, 土木学会論文集 B2 ( 海岸工学 ), Vol. 72, No. 2 , 2016.

〔学会発表〕(計 8 件)

上記論文のうち、土木学会論文集 B2( 海岸工学 ) については、それぞれの年度の海岸工学講演会にて発表した。また、Coastal Sediments 2015 は、論文発表とともに、国際会議での発表を伴っている。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :

番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

〔その他〕  
ホームページ等

6 . 研究組織

(1) 研究代表者  
佐藤 愼司 (SATO Shinji)  
東京大学・大学院工学系研究科・教授  
研究者番号 : 90170753

(2) 研究分担者  
田島 芳満 (TAJIMA Yoshimitsu)  
東京大学・大学院工学系研究科・教授  
研究者番号 : 20420242

下園 武範 (SHIMOZONO Takenori)  
東京大学・大学院工学系研究科・准教授  
研究者番号 : 70452042

(3) 研究協力者  
劉 海江 (LIU Haijiang)  
浙江大学・教授