

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 22 日現在

機関番号：13904

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656294

研究課題名(和文) 蛍光X線分析法を用いた河口・沿岸部での土砂移動追跡手法の開発

研究課題名(英文) Sediment Movement Tracking using X-ray Fluorescence Analysis at River Mouth and Coastal Area

研究代表者

加藤 茂 (Kato, Shigeru)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40303911

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：蛍光X線分析により土砂中の化学元素種および含有量を調査することにより、河口部および沿岸部での土砂動態の把握を試みた。太平洋に面した遠州灘海岸の西部域では、約50kmにおよぶ表浜海岸における海浜の堆積・侵食状況調査と化学元素含有量の空間分布から、土砂動態調査における蛍光X線分析法の利用可能性を確認した。三河湾奥部の豊川河口干潟では、着色砂による土砂移動追跡調査を蛍光X線分析による土砂中の化学元素含有量調査を同時期に行い、特定のトレーサー元素による土砂移動追跡の実施可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：The investigation of sand movement at a river mouth and a coastal area by X-ray fluorescence analysis was conducted. The X-ray-fluorescence analysis detects kinds of chemical element and the quantity of the element in a material. In case of the western region of the Enshu-Nada Coast, the results of survey on erosion/accretion and the distribution of contents of chemical elements were compared, and the applicability of X-ray fluorescence analysis in the investigation of sediment movement was demonstrated. In case of the tidal flat at the Toyo river mouth, the surveys of sediment movement by color sand tracing and X-ray fluorescence analysis were conducted simultaneously. It is confirmed that some specified elements can be used as the tracer for sediment movement survey.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：蛍光X線分析 土砂移動 化学元素 地形変化 海岸工学

1. 研究開始当初の背景

移動土砂の追跡調査には、人工的に色付けされた着色砂や蛍光砂が広く用いられてきた(例えば, Cabrera ら, 2010; 齋藤ら, 2010). 礫に発信機を埋め込む方法(田中ら, 1997)や、現地海滨の砂質とは異なる砂を投入して蛍光 X 線分析(XRF: X-Ray Fluorescence Analysis)を用いた調査事例(永井ら, 2004)も報告されている. しかし、これらは追跡できる砂量(トレーサー)が少量のため、追跡できる範囲・期間は限られている. 着色砂・蛍光砂においては、分析に多大な労力を要するという問題点もある. 河川では流出土砂の供給源推定に XRF が用いられた例(田代ら, 2009)もあるが、土砂の移動方向が既知な河道内に限られている. また、各地点のサンプルから特定の岩石種を検出し、地質情報と組み合わせることで定性的に土砂供給源(移動経路の始点)の推定を行うことも可能である(青島ら, 2011)が、岩石種同定に経験と時間を要するため現場での利用は限られている.

2. 研究の目的

XRF を用いることで人工砂投入等の人為的な調査準備をすることなく、現地土壌(自然砂)を用いた河川・沿岸域を対象とした広域・高頻度の土砂移動追跡を可能とすることを最終目的として、本研究では実際の現地調査に適用し、土砂動態調査における XRF の利用促進に繋がる知見の取得と利活用方法を検討する.

3. 研究の方法

XRF により土砂中の化学元素種および含有量を調査することにより、河口部および沿岸部での土砂動態の把握を試みた. 具体的には以下のケースにおいて、XRF の現地調査への適用を試みた.

- (1) 約 50 km におよぶ表浜海岸(太平洋に面した遠州灘海岸の西部域)における海滨の堆積・侵食状況調査
- (2) 三河湾奥部の豊川河口干潟における土砂移動追跡調査

4. 研究成果

- (1) 表浜海岸における化学元素組成の空間分布の把握と土砂堆積・侵食域調査への適用

① 海浜砂の含有元素の特徴

図-1 は、静岡県浜名湖今切口から愛知県渥美半島先端の伊良湖岬に至る約 50 km の範囲において採取した海浜砂 20 サンプルに対して、XRF で得られた各採取地点での元素含有量を示している. 含有量の値が数 ppm~数万

ppm の範囲に及ぶため、含有量は対数軸を用いている. 図に示した 23 元素が計測可能であるが、すべての元素が検出されることは無く、検出される元素の数は地点によって様々である. しかし、Fe の値が他元素に比べて突出している傾向は、全ての採取地点で確認された. 最も多数の元素が検出された地点は

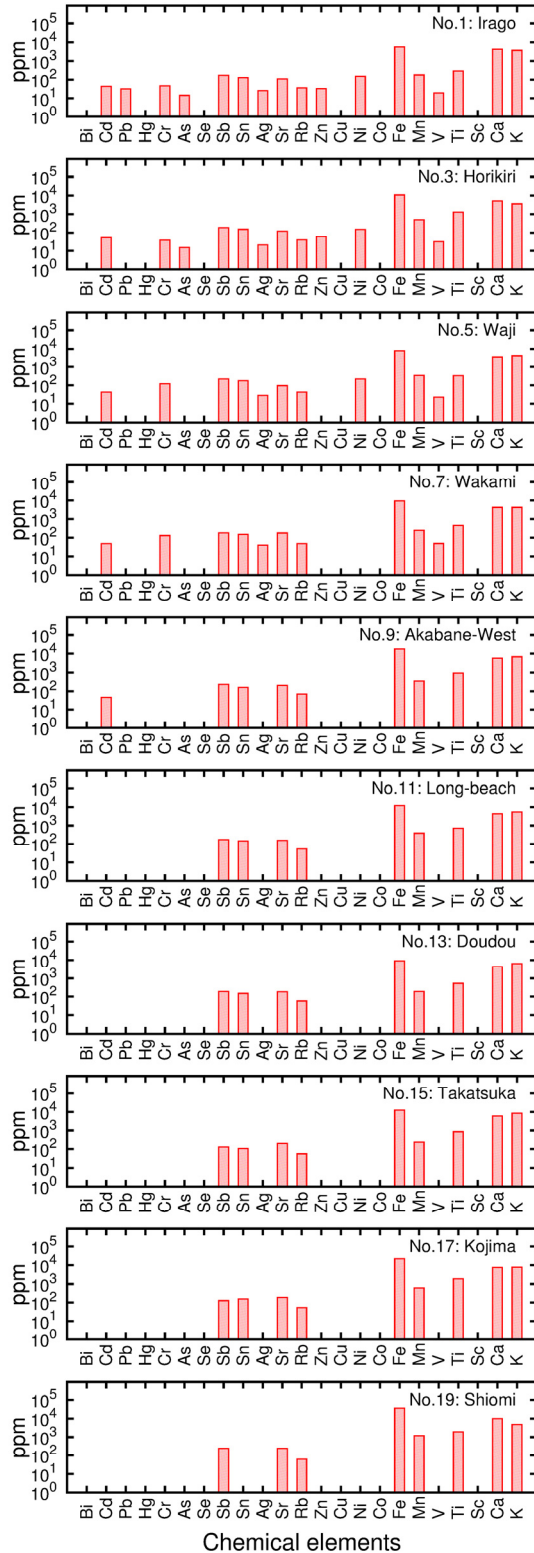


図-1 各地点での化学元素含有量(採取地点 1~20 番のうち奇数番地点のみ表示)

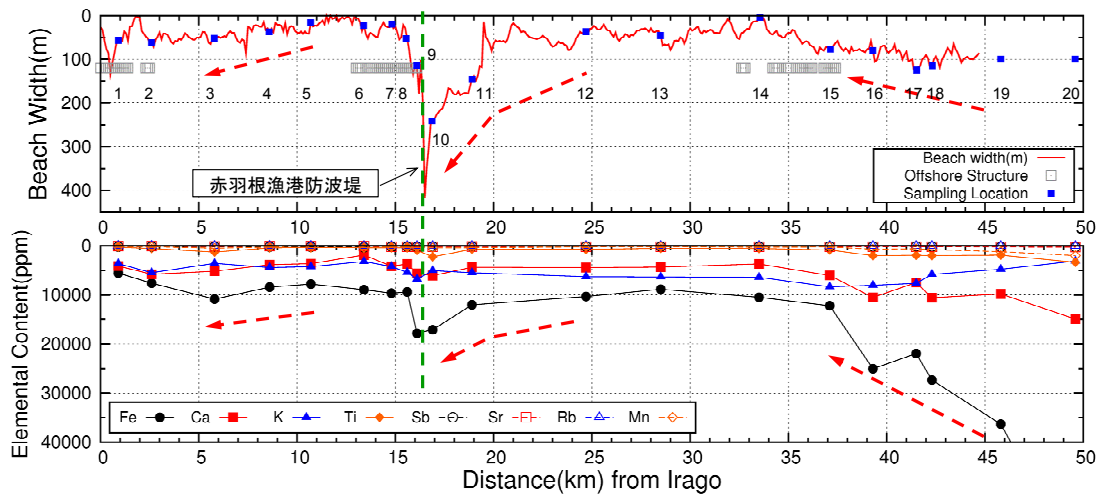


図-2 浜幅（上段）と化学元素含有量（下段）の沿岸方向変化の比較

No. 1（恋路が浜）であり、17 元素が検出されている。採取地点が東（土砂移動の上流側）に向かうに連れて、検出される元素数は徐々に減少し、No. 11 以降はほとんど同じ元素(Sb, Sn, Sr, Rb, Fe, Mn, Ti, Ca, K の 9 元素)が検出されている。最も東側の 2 地点 (No. 19, 20) では更に 1 元素 (Sn) が検出されなくなっており、同じ天竜川（河口は今切口よりもさらに約 20km 東側に位置する）を主な土砂供給源とする遠州灘海岸にあっても海岸によって化学元素から見た特徴は異なっていることが明らかとなった。言い換えると、土砂輸送の上流から下流に向かうに連れて、検出される元素数が増加しており、土砂の流下に伴って特定の元素成分が下流側に流されている、もしくは上流からの土砂供給が非常に減少している現状では、主要な土砂供給源である天竜川の土砂とは質の異なる土砂が、陸域から供給されていることが推測される。

② 浜幅と元素含有量の関係

図-2 には、2011 年に撮影された航空写真から判読した今切口西側の愛知県境から伊良湖岬先端までの浜幅分布と、XRF によって全地点で検出された 8 元素の含有量の沿岸方向分布を示している。図中の矢印で示したように、Fe 含有量の沿岸方向変化は浜幅の増減傾向に対応しており、海浜砂の化学元素含有量を調査することで、浜幅の相対的な変化傾向を比較的簡易に調査可能であることが示された。

図-3 には、含有量の多かった Fe, Ca, K について、含有量と試料採取地点での浜幅の関係を示している。浜幅 100m 付近までは、浜幅の増加に対応して含有量も増加する傾向が見られるが、どの元素も浜幅 100m 付近で最大値を取っている。また、全地点で検出された Fe 以外の元素 (Sb, Sr, Rb, Mn, Ti, Ca, K) の増減と Fe の増減の相関を調べたところ、Mn, Ti, Ca が高い相関 (0.91, 0.93, 0.84) を示した。したがって、これらの元素も砂浜調査に活用可能であると考えられる。

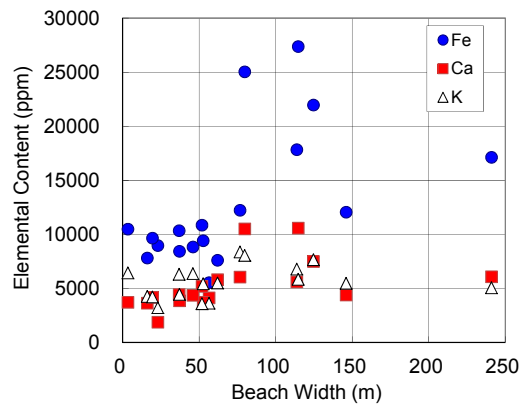


図-3 浜幅と化学元素含有量の関係

(2) 河口干潟における化学元素組成の空間分布の把握と土砂動態調査への適用

① 着色砂による河口干潟での土砂移動追跡

図-4 および 5 に示した干潟上での調査範囲において、着色砂 (黄色, 平均粒径 0.3mm) による土砂移動追跡調査を行った。2012 年 9 月 14 日に着色砂 250kg を P4 に投入した後、2 週間後 (9 月 27 日), 1 ヶ月後 (10 月 13 日) 及び 2 ヶ月後 (11 月 14 日) の計 3 回、底質採取 (各点で約 2L) を行った。採取した底質は、洗浄・乾燥した後に砂粒子分析システム (齋藤ら, 2010) を用いて 2000 枚の画像撮影を行い、その中に含まれる着色砂個数を計測した。

図-6 は、前述した 3 回の採砂およびその分析によって得られた干潟上での土砂の移動 (拡散) 状況を示している。図中の丸の大きさは、相対的な検出個数の大小を示している。ただし、投入点周辺では 2 週間後および 1 ヶ月後の調査においても、投入した着色砂が十分に拡散せず、目視で容易に確認できるほど大量の着色砂がその場に残っていたため、便宜上、検出個数が 50 個以上の場合には 50 個として表示している。着色砂投入から 2 週間後



図-4 河口干潟（六条潟）および調査範囲の位置

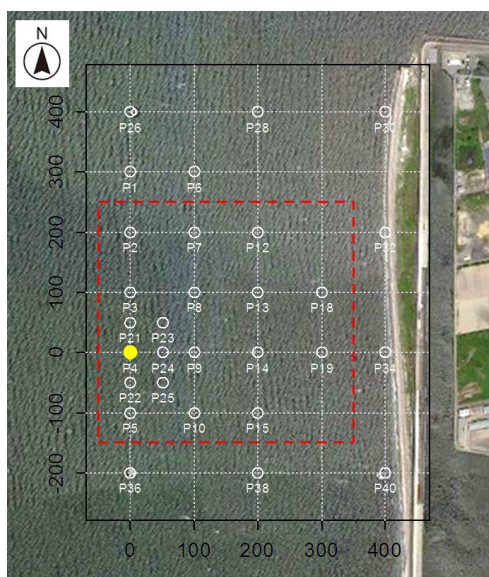


図-5 調査範囲内での採砂地点 (P4:投入点) およびXRF分析対象範囲(赤破線の枠内)

(9月27日)には、着色砂は既に南北および西(岸)側へ移動している。1ヵ月後(10月13日)にはさらに北(P26)および北西(P28)への移動が確認されている。また、2ヵ月後(11月17日)には投入点北側のP3での検出個数が増加し、その北西に位置するP12においても着色砂が検出された。検出個数は僅かではあるが、調査期間を通して干潟上では北および北西方向への着色砂の移動が確認された。移動土砂量の観点から図-6を見ると、北西方向の移動に比べて移動距離は短いものの南東方向への土砂移動も確認できる。2ヵ月後にはP4での検出個数が少なくなった一方で、P3やP5、P10での検出個数が増加している。しかし、P38、P40での採取底質からは着色砂が検出されていないため、南東方向については調査対象範囲内に収まる程度の移動であったと推測される。

② XRFによる土砂移動追跡の可能性の検討
採取した底質を用いて蛍光X線分析(XRF

分析)を行い、底質中の化学元素含有量の計測を行った。前述したように、XRF分析では試料(粒径)の不均一に伴う計測誤差が問題となる場合がある。しかし、エネルギー分散型分析器であるXLt792YWでは、試料のある程度の深さ(1~2mm)までX線が透過し、また計測結果がX線照射角度にあまり依存しないため、試料表面の凹凸に影響されにくいという特徴もある。そのため、実務者によっては試料の粒径がある程度小さければ、そのまま分析に用いても計測結果にそれほど影響はないとの見解もある。干潟の底質は粒度分布は立っており、均等係数 U_c も2.2~2.4と比較的粒径の揃った土砂である。そこで、本研究ではふるいによって1mm以上の砂粒子や貝殻などを取り除いた後にサンプルカップを作成し、同じカップに対して3回の計測を行うことで、その平均値を計測結果として用いることとした。

図-7は、着色砂投入地点(P4)周辺における採取土砂のXRFによって得られた化学元素含有量のうち、Feの空間分布の経時変化を示している。9月27日には空間的に比較的一様だった含有量が、10月13日にはP4の北西に位置するP8において高含有量が計測されており、11月14日にはさらに北西のP12で高含有量が計測されている。この高含有量地点の時間変化は着色砂の移動方向とも対応している。また、同様の対応がFe以外にCr, Mn, Tiでも確認された。

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2件)

1. 加藤 茂・岡辺拓巳・光山英典・中垣聡：着色砂調査と蛍光X線分析を併用した河口干潟での土砂移動追跡，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 69，I_576-I_580，2013。(査読有)
2. 加藤 茂・光山英典・岡辺拓巳・青木伸一：沿岸域での土砂堆積・侵食域調査における蛍光X線分析の適用に関する検討，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 68，pp. I_651-I_655，2012。(査読有)

[学会発表] (計4件)

1. 青木勇介・岡辺拓巳・加藤 茂：豊川河口干潟における冬季の流動特性と底質の移動，平成25年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，II-24，CD-ROM，2013。(2014/3/7，岐阜大学)
2. 村田充彦・加藤 茂・岡辺拓巳・光山英典：鉱物種及び化学元素を指標とした海浜砂特性の把握に関する研究，平成25年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，II-24，CD-ROM，2013。(2014/3/7，岐阜大学)
3. 中垣 聡・岡辺拓巳・加藤 茂：六条潟

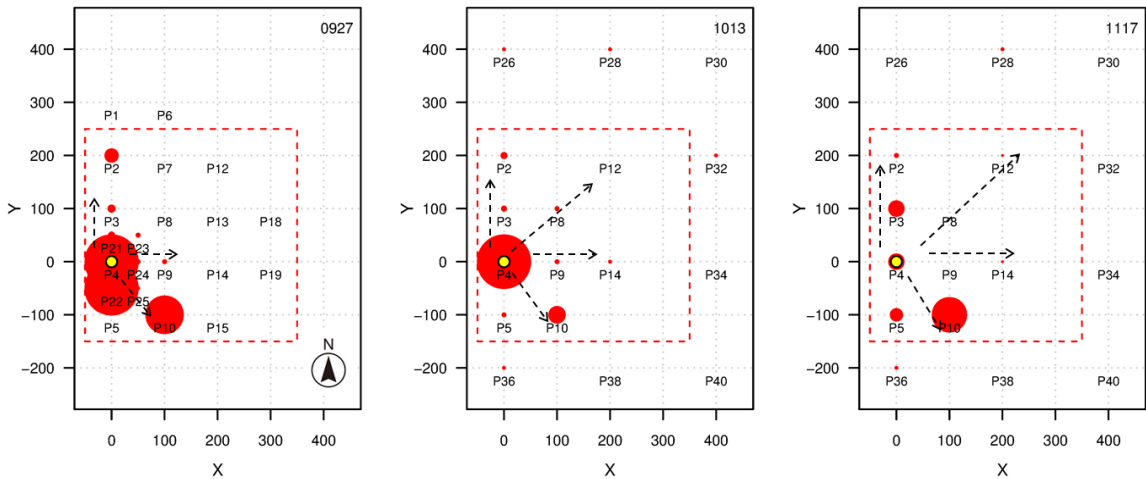


図-6 着色砂調査による土砂の拡散状況（黄：投入点(0,0)／左から、投入から2週間後、1ヵ月後および2ヵ月後）

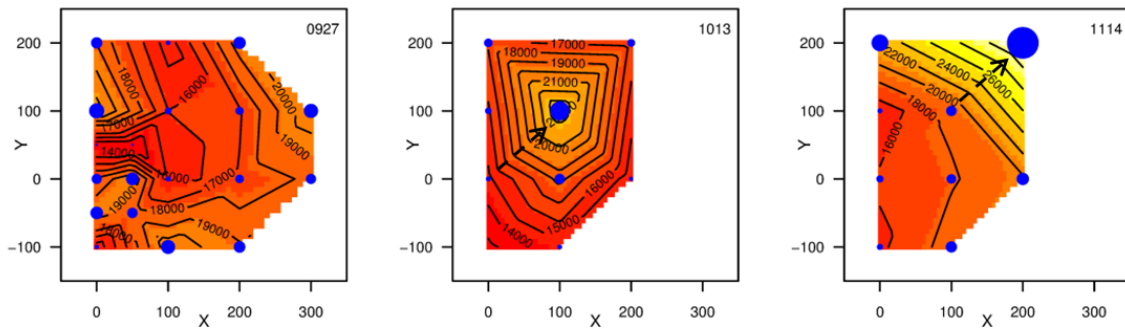


図-7 XRF分析によるFe含有量分布の時間変化（左から、投入から2週間後、1ヵ月後および2ヵ月後）

における底質移動の把握に関する研究，平成 24 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，II-44，CD-ROM，2012。（2013/3/8，愛知工業大学）

4. 小川和真・加藤 茂：蛍光 X 線分析による海浜砂分析方法の検討とそれによる含有元素の岸沖方向分布特性の把握，平成 24 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，II-14，CD-ROM，2012。（2013/3/8，愛知工業大学）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 茂 (KATO SHIGERU)
 豊橋技術科学大学・建築・都市システム学系・准教授
 研究者番号：40303911

(2) 研究分担者

岡辺拓巳 (OKABE TAKUMI)
 豊橋技術科学大学・建築・都市システム学系・助教
 研究者番号：50464160