

N-12 物理・化学的鉱物学解析による 水系の土砂輸送経路追跡手法の提案

○荒生 靖大¹・伊藤 健一²・大石 博之³・村上 俊樹⁴・鈴木 祥広^{5*}

¹宮崎大学大学院工学研究科土木環境工学専攻（〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西一丁目1番地）

²宮崎大学国際連携センター（〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西一丁目1番地）

³西日本技術開発株式会社 調査解析部（〒160-0004 福岡市中央区渡辺通一丁目1番地）

⁴九州電力株式会社（〒880-8544 福岡県福岡市中央区渡辺通二丁目1番地）

⁵宮崎大学工学部社会環境システム工学科（〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西一丁目1番地）

* E-mail: suzuki@civil.miyazaki-u.ac.jp

1. はじめに

我が国では、河川から沿岸域に至る水系全体の土砂移動場を流砂系という概念で捉える「総合的土砂管理」が重要な施策の一つとして推進されている¹⁾。流砂系の一貫した土砂管理には、土砂輸送の量と質を高精度で解析し、土砂動態の実態を把握することが極めて重要である²⁾。現在までに、土砂量（堆砂量、侵食量、土砂輸送量、土砂生産量および沿岸漂砂量など）を対象として、多くの土砂動態調査が実施され、データ・情報が集積されている。しかしながら、水系における土砂量の増減のみで土砂動態の実態を把握することは困難であるため、ダム貯水池の堆砂、河川河床の粗粒化、海岸侵食などへの効果的な対策は講じられていないのが現状である^{1,3)}。このような背景において、土砂の質に関するデータ・情報から、堆積物の移動履歴を正確に推定できる手法の開発が求められている³⁾。土砂の元素組成と鉱物組成は、土砂の質的な評価・解析に有効である。そこで本研究では、水系における各地点の土砂の元素組成と鉱物組成の類似性から^{4,5)}、土砂発生源から土砂輸送・堆積に至る土砂動態の追跡手法を提案する。対象とした水域は、ダム貯水池、河口干潟、および砂浜海岸である。

2. 追跡手法の提案

本研究で提案する土砂発生源・輸送経路追跡法の特色は、「成分元素組成率」と「鉱物組成率（X線回折ピーク強度比）」についてクラスター分析を実施し、各試料間の類似性を総合的に評価する点にある。具体的には、水系における各地点の土砂を採取し、類似性をスコア化して土砂の特徴付けと分類を行い、土砂起源の特定、土

砂輸送・堆積経路を推定する。この手法で得られる情報は普遍性が高いため、土砂の質に関する基礎的データとしてベース化でき、国内の土砂あるいは土砂を生産する地盤の解析に広く利用できる。

3. 試料および実験方法

(1) 試料採取

a) ダム堆砂およびダム上流域の土砂

図1-a)に、一ツ瀬ダム貯水池とダム上流域の調査地点を示す。本研究では、宮崎県の一ツ瀬ダム流域を対象として、ダム貯水池内において調査ボーリングを実施し、基盤岩の上層部である深度16 mまでの柱状試料（ダム堆砂）を採取した。柱状試料は、粒径や色調など土砂の基

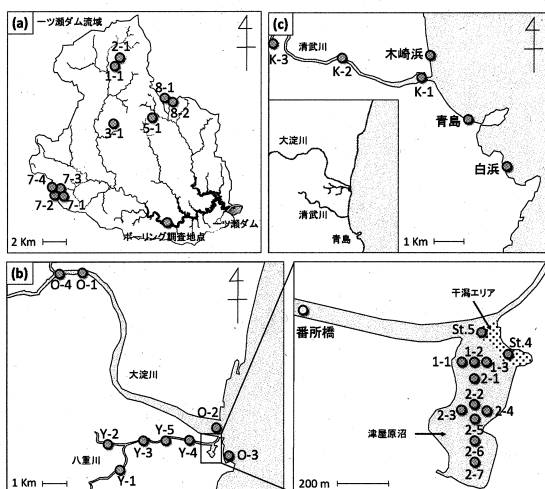


図1 調査位置図

本的な特徴の違いによって14層に区分し、各層から全岩試料と、20 μm のふるいを通した粒径20 μm 以下（以降、 $\leq 20 \mu\text{m}$ 試料とする）の試料を採取し分析に供した。また、ダム堆砂の発生源の候補である一ツ瀬ダム上流域の土砂は、主要な10地点の地層帯から、母岩、破碎帯（中層）、およびその上層の三つの土砂、岩石、粘土を採取し、合計29試料を分析に供した。

b) 干潟と周辺水域の底質

図1-bに、干潟と周辺水域の底質調査地点を示す。宮崎県の津屋原沼に隣接する八重川および大淀川の上流から下流にかけて、各地点に堆積する土砂を採取した。また、大淀川河口付近の赤江海岸においても底質を採取した。一方の干潟の底質は、大淀川支川の八重川下流に接する沼口付近とコアマモの生息地である入り江を選定し、各地点から柱状試料（50 cm）を採取した。津屋原沼の底泥は、沼口から沼奥にかけて試料を採取し、合計22試料を分析に供した。

c) 砂浜海岸を形成する海岸砂

海岸砂は、宮崎県の本崎浜、青島、および白浜の各海岸を対象とし、表層10 cmの砂質堆積物を採取した。また、海岸周辺の大淀川、八重川、および清武川の上流から下流にかけて、各地点に堆積する土砂を採取した。海岸砂と河川の堆積土砂の合計15試料を分析に供した。

(2) 粒子の性状解析

エネルギー分散型蛍光X線（Energy dispersive X-ray spectroscopy : EDX）分析によって、全試料に含まれる各元素を測定した。また、粉末X線回折（X-ray diffraction : XRD）分析によってX線回折パターンを取得し、得られたピークから含有鉱物を同定した。さらに、顕著なピーク強度を用いて、ピーク強度比を算出し定量的評価を行った。なお、全試料は、日本粘土学会が定める粘土ハンドブックに準じて5処理の定方位試料を作成し、X線回折の測定を実施した。クラスター分析による類似性の評価については、各試料が、20%以内でクラスターを形成した場合、類似性が極めて高いと評価した。

4. 結果と考察

(1) ダム堆砂の原因となる土砂発生源の特定

a) ダム堆砂における各堆砂層の比較

EDX分析で成分組成を測定した結果、全岩試料と $\leq 20 \mu\text{m}$ 試料の各試料間の成分組成率は、ほぼ均等であった。図2に、各堆砂層における未処理のXRD分析の結果を示す。全岩試料および $\leq 20 \mu\text{m}$ 試料の全試料における未処理のXRD分析の結果、全試料は類似した回折パターンを示した。また、全岩試料と $\leq 20 \mu\text{m}$ 試料の全試料において、同一の6種類の鉱物（Anorthite, Chlorite, illite, Kaolinite, Muscovite, Quartz）が同定された。16 mの柱状試料を14層に土質分類し、それぞれの試料について、鉱物組成と成分元素から比較した結果、全ての試料間にお

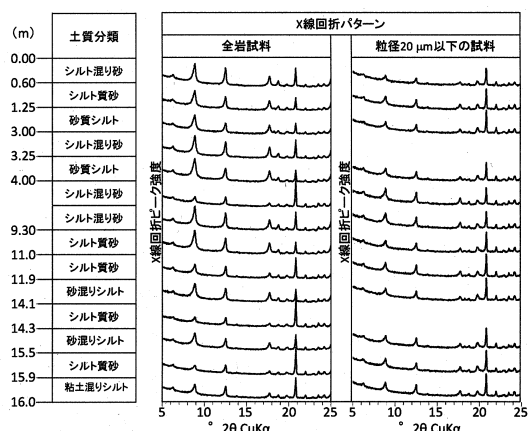


図2 各堆砂層における粉末X線回折分析結果の比較

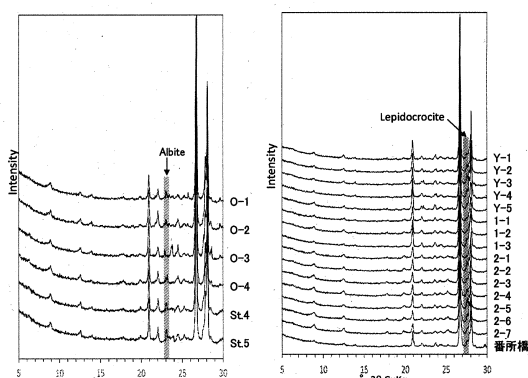


図3 津屋原沼、干潟、および各河川における粉末X線回折分析の結果

いて極めて高い類似性が認められた。したがって、一ツ瀬ダム貯水池に堆積した土砂は、50年間同質の地層帯から流入していることが示唆された。

b) ダム上流域の土砂とダム堆砂の類似性

図4-aに、X線回折ピーク強度比についてクラスター分析を行った結果を示す。X線回折ピーク強度比および成分元素の二項目でクラスター分析を行った結果、基準粒子（ダム堆砂）と最も類似性の高い上流域の土砂は、3-1下層と7-1上層となった。3-1下層と7-1上層は、風化および変成作用を受けた頁岩層であり、雲母質や粘土質の岩石が多く、他の地層帯と比較して、土砂流出が発生しやすい地層帯である。以上の結果から、基準粒子と非常に高い類似性を示した地点3の3-1下層および地点7の7-1上層は、50年間にわたって一ツ瀬ダムに堆積している土砂の発生源である可能性が極めて高い。

(2) 干潟を構成する底質の起源追跡

図3に、津屋原沼、干潟、および各河川における未処理のXRD分析の結果を示す。干潟2地点と大淀川流域の各地点の試料から同定された鉱物は、すべて一致した（Albite, Anorthite, Chlorite, illite, Kaolinite, Muscovite, Quartz）。一方の津屋原沼底泥と八重川流域の各地点の

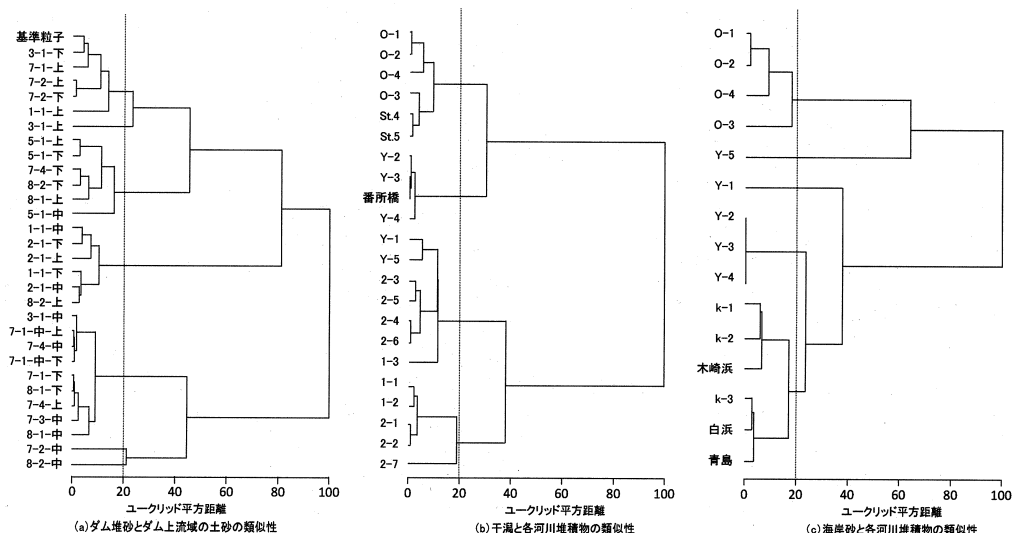


図4 X線回折ピーク強度比におけるクラスター分析の樹形

試料においても同一の鉱物が同定された (Anorthite, Chlorite, illite, Kaolinite, Lepidocrocite, Muscovite, Quartz). 干潟2地点と大淀川流域にみられるAlbiteは、八重川の各試料からは検出されず、また、津屋原沼底泥と八重川の試料に共通するLepidocrociteは、干潟2地点と大淀川流域からは検出されなかった。これらのことから、津屋原沼の干潟は、沼底泥とは全く異なる鉱物学的特徴を有することがわかった。

図4-bにX線回折ピーク強度比についてクラスター分析を行った結果を示す。X線回折ピーク強度比と成分元素の各クラスター解析の結果、いずれのクラスターにおいても、干潟2地点と大淀川流域の各地点は類似性が高く、津屋原沼底泥および八重川流域とは全く異なるクラスターに分類された。また、沼底泥は八重川流域の各試料と同じクラスターに分類された。以上のことから、津屋原沼の沼底は、八重川からの土砂供給が主要な経路である可能性が高い。一方の干潟を構成する底質は、大淀川起源の土砂によって形成されていると推定された。

(3) 砂浜海岸を形成する海岸砂の輸送経路

X線回折ピーク強度比についてクラスター分析を行った結果、木崎浜、青島、および白浜の各海岸砂は、清武川流域の各地点の試料と同一のクラスターに分類された (図4-c)。また、成分元素においても、各海岸砂は清武川河口と極めて高い類似性を示した。したがって、各海岸を形成する砂は、隣接する清武川からの土砂供給が主要な経路であると推定された。

5. まとめ

ダム貯水池、河口干潟、および砂浜海岸における各地点の土砂の元素組成と鉱物組成の類似性から、土砂発生源から土砂輸送・堆積に至る土砂動態を追跡した。得られた知見を以下にまとめる。

- (1) ダム堆砂の発生源は、地点3の3-1下層と地点7の7-1上層であると推察された。
 - (2) 干潟を構成する底質は、大淀川起源の土砂によって形成されており、沼底は、八重川からの土砂供給が主要な経路であると考えられた。
 - (3) 砂浜海岸における海岸砂は、隣接する清武川からの土砂供給によって形成されていると推定された。
- 以上のことから、本提案手法は、科学的根拠に基づいた土砂動態に関する資料・情報を提供でき、流砂系の土砂管理を講じる上で極めて貴重な知見となる。

参考文献

- 1) 河川審議会総合土砂管理委員会 (1998) 「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」 報告。
- 2) 重田京助, 二瓶泰雄, 坂井文子, 大塚慧 (2008) 東京湾主要流入河川における浮遊土砂輸送特性に関する基礎的検討, 水工学論文集, 52, pp.913-918.
- 3) 藤原弘和, 佐藤慎司, 白井正明, 田島芳満 (2007) 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, 海岸工学論文集, 54, pp.591-595.
- 4) Murakami, T., Suzuki, Y., Oishi, H., Ito, K., Nakao, T., (2013) Tracing the source of difficult to settle fine particles which cause turbidity in the Hitotsuse reservoir, Japan, *Journal of Environmental Management*, 120, 37-47.
- 5) James, H. R., Kira, M., Patrick, B. L., (2013) Sand sources and transport pathways for the San Francisco Bay coastal system, based on X-ray diffraction mineralogy, *Marine Geology*, 345, 154-169.

謝辞

本研究を実施するに当たり、試料採取にご協力いただきました西日本技術開発 (株) の大石部長代理、パシフィックコンサルタンツ (株) の一柳課長をはじめ、関係者の方々に深く感謝の意を表します。