

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18360235  
 研究課題名（和文） 土砂の量的・質的構成に基づく流域総合土砂追跡法の開発  
 研究課題名（英文） Development of Sedimentation Tracking Method based on  
 Quantitative and Qualitative Component of River Bed  
 研究代表者  
 砂田 憲吾（KENGO SUNADA）  
 山梨大学・大学院医学工学総合研究部・教授  
 研究者番号：20020480

## 研究成果の概要：

本研究では、流入土砂量の他に礫種構成比、X線回折法を用いた細粒土砂の鉱物構成比、細粒土砂の粒径分布比を用いた土砂生産源の追跡方法を開発してきた。また、微地形、土地利用状況、雨滴衝撃エネルギーを考慮して新たな2つのタイプの土砂生産モデルを開発した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2007年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2008年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
年度			
年度			
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：土砂生産，総合土砂管理，鉱物組成，礫種構成，土砂粒径分布

## 1. 研究開始当初の背景

日本国内およびアジア域の貯水池の中には土砂の堆積によって有効貯留容量が減少し、ダム本来の機能を発揮することができなくなる可能性があるものがいくつかある。一方で、貯水池や湖沼などでは土砂に含有する有機物質が嫌気性環境下において腐敗し止水域の環境を悪化させるという事態も起きている。このように貯水池などに堆積する土砂は種々の問題を引き起こしているが、それは流入する土砂の量、粒径などの物理的性質、化学成分比などの化学的性質、有機物含有量などの生物学的性質について個々に調査されていたために、流域での総合的な土砂動態を把握するに至らなかったためである。

しかし、逆にそれらの諸性質を総合して利用することによって土砂生産源追跡のパラメータが増加して分布型の土砂生産量把握を行うことができる可能性がある。

貯水池に堆積する土砂の問題は、国内外を問わず深刻である。そのため、貯水池土砂堆積量の推定が求められている。一方、貯水池に堆積した土砂はヘドロ化して湖底環境を悪化させるだけでなく、そのヘドロが排出される時には下流の環境に大きな負荷を与えることになる。これらの状況に対して科学的に適切な情報を提供するためには、貯水池に流入する土砂量の推定のみならず、土砂起源の特定、土砂内部の化学物質組成および生物学的物質組成の把握が必要になる。従来の研

究では経験的係数決定に基づく土砂生産量推定モデルや水文モデルを拡張した土砂流出モデルがあるが、斜面からの土砂生産については多様なアジア地域の土地利用形態を十分に考慮しているとはいえない。また、現場採取データによる化学物質組成および生物学的物質組成の把握が個々に行われてきているため、土砂量は湖底の測量以外にはキャリブレーションするすべがなく、化学物質および生物学的物質組成は空間分布を考慮しにくいといった問題点があった。

## 2. 研究の目的

本研究では、流入土砂量の他に礫種構成比、細粒土砂の鉱物構成比、水・土砂・含有有機物の安定同位体比といった異なる視点に基づく観測結果を用いた土砂追跡法を開発した。また、本研究では微地形、土地利用状況、風雨の影響を考慮した新たな土砂生産モデルを開発した。さらに、既存の土砂流出モデルに新たに開発される土砂生産モデルを結合して流域総合土砂追跡モデルを開発し、その結果と観測結果に基づく土砂源追跡方法を比較して、モデルと観測結果解析方法の両面の精度向上を図った。

## 3. 研究の方法

以下の方法で研究を行った。

- (1) 土砂の量的・質的構成として4つの異なる視点・学問分野からのアプローチ
  - A. 比較的大きな粒径の礫種構成比を用いた土砂生産源の把握
  - B. X線回折法による鉱物構成比を用いた土砂生産源の把握
  - C. 土砂に含まれる水および物質の同位体分析による土砂生産源の把握
- (2) 斜面の微地形、土地利用状況、風雨の影響を考慮した新たな土砂生産モデルを組み込んだ流域総合土砂追跡モデルの開発

## 4. 研究成果

### (1) 概要

本研究では、Sisinggih et al.(2007)が提案したX線回折による鉱物組成判定とクラスター解析を用いた土砂生産源推定手法を用いて、富士川全流域における土砂供給に関する支川からの影響を類推した上で、各支川ごとの影響を詳細に検討する方法を提案する。

さらに河床材料の岩質分布の縦断変化データを用いて岩種構成比の変化に着目した各小流域からの土砂供給量比を推定する手法を比較手法として用いる。ここでは、富士川全流域における岩種構成比の変化に着目して土砂供給に関する支川からの影響を把握し、鉱物組成を用いる方法と比較する。

## (2) 手法と対象

### ① 鉱物組成同定

本研究では、鉱物組成を同定するためにX線回折を用いている。X線とは、高速度の電子ビームが対陰極に衝突する際に原子の1s軌道の電子を弾き飛ばし、空になった1s軌道に外側の軌道から電子が遷移する際に発生する電磁波である。X線は波長が1Å前後で、対陰極により固有の波長を持っている。一方、鉱物は原子が3次元に規則的な配列を持つ結晶構造からなり、規則的配列の最小単位として、単位格子を持つ。すなわち、単位格子の各軸の長さとそのなす角度は結晶ごとに特有である。

同定のためには、標準試料の情報がデータベース化されたJCPDS Mineral Powder Diffraction File や International Center for Diffraction Data (ICDD) を用いる。

表 4.1 本研究で扱った鉱物

English name	日本語名
Quartz	石英
Plagioclases	斜長石
Albite	曹長石
Anorthite	灰長石
Sanidine	ハリ長石
Osumilite	大隅石
Pyroxene	輝石
Zeolite	沸石
Kaolin	カオリン
Serpentine	蛇紋石
Chlorite	緑泥石
Smectite	スメクタイト
Talc	滑石
Mica	雲母
Amphibole	角閃石
Arsenolite	方砒素鉱
Sassolite	硼酸石
Bavenite	バイブナイト

また、X線回折による鉱物組成の定性分析によって鉱物の種類の特定を行ったので、鉱物の有無を表すバイナリーデータをクラスター解析し、地点ごとの相対的な類似度を算出した。すなわち、本川の各支川合流点直下流付近で採取地点を設けているので、本川と支川の鉱物組成がよく類似していれば、その支川からの土砂流出の影響が大きいと考えられる。逆に類似度が低ければ、その支川からの土砂流出の影響は小さいと考えられる。

クラスター分析とは、類似の個体あるいは変数のグループ化を行うデータマイニングの一つである。結果はデンドログラム(樹状図)として表現される。クラスター分析には様々な手法があり、データの種類などによって使い分けられている。本研究では階層的ク

クラスターと呼ばれる方法のうちユークリッド平方距離を用いるウォード法を採用した。

また、本研究では鉱物の存在の有無のデータ（有りが1で無しを0で表したバイナリデータ）を用いてクラスター解析を行っているので、クラスター解析の前には変数変換はしていない。

## ② 岩種構成比

本研究で用いている富士川の岩種構成比データの概略を示す。

富士川上流から下流までの計30地点において調査を行っている。ここでは、それぞれの地点で直径15~20cm程度の礫を無作為に100~200個サンプリングし、岩種ごとに数量をカウントし、この岩種構成比を求めた。

岩種は、砂質岩、泥質岩、凝灰岩、富士山、安山岩、玄武岩、花崗岩、閃緑岩、変成岩、その他の10種類に分類した。

得られた岩種構成比データに対して、以下の3つの仮定がなり立つとして各支川からの掃流砂量比を推定する。すなわち、粒径によらず岩種の構成比率の分布は定まる、供給土砂の岩種構成比率は変化しない、ある区間における供給土砂の量と流出土砂の量は一致する、の3つの仮定をたて、合流点の岩種構成を考える。

## (3) 鉱物組成を用いた富士川流域における土砂生産源推定

### ① 結果

富士川流域においてX線回折によって検出した鉱物組成をクラスター解析した結果のデンドログラムを作成し、類似度を示すユークリッド距離が6までのものを同一グループとして同じ色で表した。その色で塗られた円をサンプル採取地点にプロットすることによって地図上に類似度を表したものを図4.1に示す。円の中に書かれた数字は河川番号を表しており、デンドログラムの河川番号と対応している。ここで、本研究ではユークリッド距離が6までのものを類似性が高いと判断し、7以上を類似性が低いと判断している。

### ② 本川全体に適用した結果と考察

図4.1を見ると、富士川本川（笛吹川合流点より上流は釜無川）最上流の河川番号2（以下河川2と呼ぶ）では黄色のグループである一方、釜無川上流域の本川II（河川4）では緑のグループになっている。このことは立場川（河川1）または尾白川（河川3）の影響が強いと考えられる。また、釜無川の本川III（河川7）は黄色のグループである一方、釜無川と笛吹川の合流点上流部である本川IV（河川10）では赤のグループに変化している。これから、本川IV（河川10）においては、塩川（河川8）と御勅使川（河川9）の影響が強いと考えられる。一方、富士川下流域で

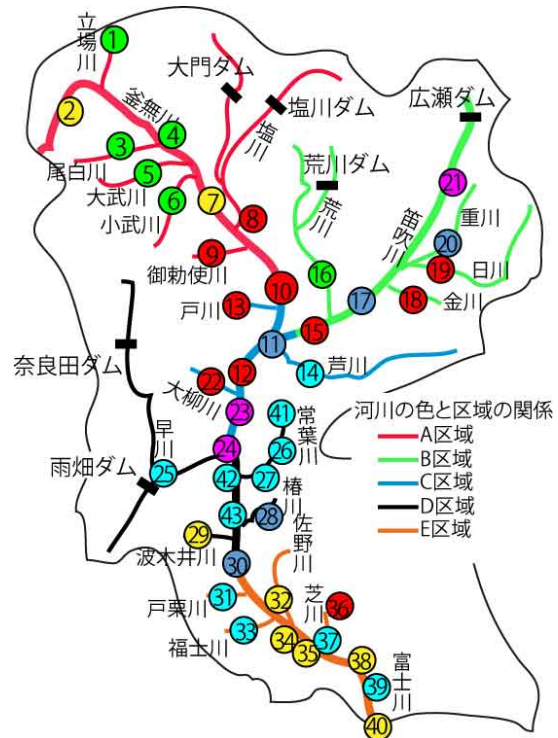


図4.1 クラスター解析による類似地点を同色で示した富士川流域地図。

は早川（河川25）が合流する本川IX（河川42）から河口部の本川XVI（河川40）まで水色と黄色の星が多く点在している。これは水色で表示されている早川（河川25）と常葉川（河川27, 41）、黄色で表示されている波木井川（河川29）と佐野川（河川32）の影響が富士川下流域で現れていると考えられる。逆に赤で表示されている稲瀬川（河川36）の影響は少ないと考えられる。

5区域のクラスター解析結果から、本川に与えている土砂流出の影響が強いと考えられる支川を表4.2に挙げる。

表4.2 本川に与えている土砂流出の影響が強いと考えられる支川（かっこは河川番号）

A区域	尾白川(3)・御勅使川(9)・塩川(8)
B区域	金川(18)
C区域	笛吹川(h11, 15)・芦川(14)
D区域	早川(25)・常葉川(27)・椿川(28)
E区域	佐野川(32)

### (4) 岩種構成比を用いた方法との比較

データを用いてそれぞれ計算された岩種構成比の結果を適用して比較した。岩種構成比と鉱物組成を用いた結果の比較にあたっては、円形のグラフで鉱物の存在の有無を示して区域内の鉱物組成を詳細に解析した。この円形のグラフは存在比を表しているのではなく、一定の方向に鉱物ごとの色が塗られ

ていれば、対応する鉱物が存在することを表している。その結果、以下のようなことがわかった。

図 4.2 に A1 地点における岩種構成を用いた各支川からの土砂の供給量の推定比を示す。A1 地点では尾白川からの供給が 60%以上を占め、神宮川からの供給はなかった。その理由は、尾白川と神宮川は岩種構成がほとんど同じ河川であるが、神宮川では緑色閃緑岩があると判断されており、尾白川ではその割合がごく小さかったためである。合流後の本川では緑色閃緑岩が検出されていないために、神宮川からは供給がないと推定された。

次に、岩種構成比および流砂量式を用いた各支川からの土砂供給量推定比と鉱物組成による土砂生産源推定手法とを比較するために、A 区域の鉱物組成を図 4.3 に示す。釜無川右岸側の尾白川・大武川・小武川には雲母が存在し、本川 II と大武川にはペイブナイトが存在しており、釜無川右岸側は花崗岩質の土砂流出が多いことがわかる。また、ペイブナイトの存在によってデンドログラムにおける本川 II (河川 4) と大武川 (河川 5) の類似性が高いと判断されていると考えられる。

また、御勅使川からの影響が強く、合流後の本川 IV (河川 10) と御勅使川 (河川 9) は、X 線回折からは石英と斜長石だけが検出されていて、全く同じ鉱物構成となっている。そのためデンドログラムでも類似性が最大となっている。

このように、河床を構成する鉱物組成の類似性を詳細に解析することはかなりの時間が必要な作業であるが、クラスター解析によっておおよその類似性は算定できる。また、岩種構成比を用いる方法を追求すると専門家による野外調査が必要になってくるが鉱物組成は少量のサンプルを使って室内解析が可能であり、解析過程も規格化しやすい。したがって、X 線回折によって鉱物組成を算出し、クラスター解析によっておおよその類似性を算出した後に、本研究で用いたような流域区分ごとの鉱物組成図を示して解析する方法は大流域の河川における土砂生産源の特定に有効な方法であるといえる。

#### (5) おわりに

本研究では、X 線回折による鉱物組成判定とクラスター解析を用いた土砂生産源推定手法の富士川への適用性の調査を行うと同時に、岩種構成を用いる方法を富士川全流域に適用して比較を行い、手法の頑健性を調査した。

鉱物組成を用いる土砂生産源推定手法では、比較的希少な鉱物の有無が推定される土砂生産源を決めてしまうことや、それぞれの土砂生産源の比率などの量的な結果が得ら

れないといった欠点があることが改めて理解された。また、河川合流の直下には土砂が堆積されず、合流後流送してから土砂が堆積される場合と、合流地点に土砂が堆積された後に別の支川の土砂の影響で下流に流される場合を特定するためには、土砂の鉛直プロフィールとそれが堆積した年代についての調査が必要になることが示唆された。さらに、本川への横流入を 1 つずつ支川のように考察することで、本川側岸の土砂崩壊が本川の河床構成に与えている影響を考察できるといった今後の課題も発見された。

一方で、本手法の調査方法には専門家による野外調査の必要や、人間による判断が入る余地が少なく、規格化しやすいといった利点がある。また、クラスター解析で全体的な類似性を理解した上で、流域区分ごとに鉱物組成を示して支川からの土砂供給が本川に与えている影響を詳細に理解する土砂生産源推定方法を示すことができた。それは、今後の土砂生産源推定においては検討する価値があるものと確信する。

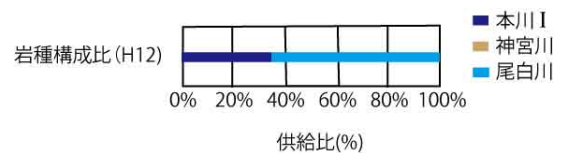


図 4.2 A1地点における河床土砂の供給量比

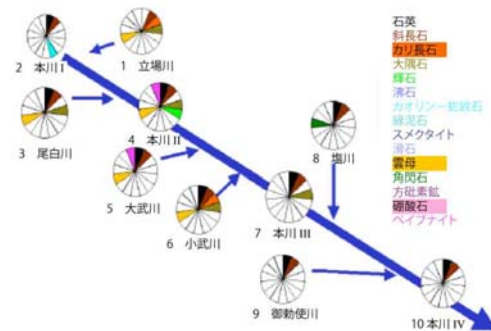


図 4.3 A地区における本川・支川の鉱物組成

#### 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 7 件)

① S.Pech, K.Sunada, S.Oishi, N.Miyazawa, D.Tanaka: Trends of fish resources in the Tonle sap basin – their correlation

with the hydrological conditions of the Mekong river, International Journal of River Basin Management, Vol.6, No.3, pp.277-282, 2008. (査読有)

② D.Sisinggih, S.Oishi, K.Sunada: Flood Inundation Model for Highly Urbanized Area and its Application to Simulate the Flood Inundation in 2004, Kofu city Japan, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.52, pp.115-120, 2008. (査読有)

③ N.Miyazawa, K. Sunada, and S. Pech: Is bank erosion in my town caused by the activities of my neighbors, Modern Myths of the Mekong, Water & Development Publications, pp.19-26, 2008. (査読無)

④ D.Sisinggih, S.Oishi, K.Sunada: A Method for Detecting the Source of Sedimentation Using Mineral Composition in Sengguruh Basin, Indonesia, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.51, pp.121-126, 2007. (査読有)

⑤ S.K.Chapagain, G.Du Laing, M.Verloo, S,Shrestha, F.Kazama: Monitoring of Arsenic Occurrence in Intertidal Sediments of River Scheldt (Belgium), CIGREjournal, Vol.10 No.2, LW07009, 2007. (査読有)

⑥ 宮沢直季・砂田憲吾・大石哲：火山流域における土砂堆積の評価のための2次元泥流モデルの開発, 砂防学会誌, 第59巻第5号, pp.23-34, 2006. (査読有)

⑦ D.Sisinggih, K.Sunada, S.Oishi: Qualitative Methods for Detecting the Sediment Sources by Grain Size Distribution and X-Ray Diffraction, Annual Journal of Hydraulic Engineering, pp.157-162, 2006. (査読有)

[学会発表] (計7件)

① 岡部真佳, 砂田憲吾, 甲山 治, 大石哲: トンレサップ湖氾濫域における植物被覆の変化特性について, 土木学会第63回年次学術講演会概要集, II-266, 2008.9.12, 宮城県

② 水谷直貴, 砂田憲吾, 宮沢直季: メコン河本川における河岸浸食危険区域特定に関する研究, 土木学会第63回年次学術講演会概要集, II-237, 2008.9.12, 宮城県

③ 柿澤一弘, 砂田憲吾, 宮沢直季: メコン河における流域土砂動態に関する基礎的検討, 土木学会第63回年次学術講演会概要集, II-135, 2008.9.12, 宮城県

④ 飯島健介, 大石哲, 中北英一, 鈴木賢士: レーダーを用いた上空雨滴粒径分布算出精度向上に関する研究, 水文・水資源学会2008年度総会・研究発表会, 2008.8.27, 東京都

⑤ 滝井宗一, 大石哲, 中北英一, 鈴木賢士

ほか: 沖縄における雨滴粒径分布測定に関する研究, 水文・水資源学会2008年度総会・研究発表会, 2008.8.27, 東京都

⑥ D.Sisinggih, S.Oishi, K.Sunada: Flood Inundation Model for Highly Urbanized Area and its Application to Simulate the Flood Inundation in 2004, Kofu city Japan., 水工学講演会, 2008.3.4, 広島県⑦

⑦ D.Sisinggih, S.Oishi, K.Sunada: A Method for Detecting the Source of Sedimentation Using Mineral Composition in Sengguruh Basin, Indonesia, Annual Journal of Hydraulic Engineering, 水工学講演会 2007.3.6, 東京都

[図書] (計2件)

① 森林水文学編集委員会(大石哲を含む)編: 森林水文学 - 森林の水のゆくえを科学する, 森北出版, pp.251-262, 2006.

② 砂田憲吾他著(大石哲, 宮沢直季を含む): アジアの流域水問題, 技報堂出版, pp.1-3, 10-11, 31-53, 86-103, 297-301, 2008.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

砂田 憲吾 (KENGO SUNADA)

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・教授 研究者番号: 20020480

### (2) 研究分担者

大石 哲 (SATORU OISHI)

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・准教授 研究者番号: 30252521

### (3) 連携研究者

風間 ふたば (FUTABA KAZAMA)

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・教授 研究者番号: 00115320

西田 継 (KEI NISHIDA)

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・准教授 研究者番号: 70293438

宮沢 直季 (NAOKI MIYAZAWA)

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・助教 研究者番号: 80166165