

## 足洗谷流域における粒径別の土砂生産源推定

(国研) 土木研究所寒地土木研究所    ○水垣 滋・谷瀬 敦・村山雅昭  
 京都大学防災研究所                    宮田秀介  
 三重大学生物資源学部                堤 大三  
 株式会社ハイドロテック              野中理伸

## 1. はじめに

流砂系の総合的な土砂管理では、山地から下流河川・海岸・沿岸への土砂動態において、土砂生産源の定量評価は重要な課題の一つである。欧米では、微細土砂を対象に複数トレーサを用いた多変量混合モデルによる fingerprinting (土砂生産源推定) が主流となっており (Walling et al., 1999; Collins et al., 2010)、生産源土砂のトレーサ特性から、生産源の区分法と有効トレーサの組み合わせを統計的に抽出することで、信頼性の高い生産源寄与度の定量評価を行っている。わが国では、古くから海岸砂や河床材料の生産源推定に岩種や鉱物組成、元素組成などがトレーサとして用いられてきたが、生産源区分と有効トレーサの組み合わせを検討した事例は極めて少ない (Mizugaki et al., 2012)。流砂系の総合土砂管理の観点から、幅広い粒径に適用できる生産源推定手法の構築が望まれるが、使用するトレーサ特性に粒径依存性を有する場合が多く、微細土砂に用いるトレーサ特性をそのまま砂礫に適用できない可能性がある。本研究の目的は、様々な粒径階に適用可能な土砂生産源推定手法を構築することである。

## 2. 方法

**2.1 調査地及び野外調査** 調査流域は、神通川水系蒲田川流域の足洗谷 (6.7 km<sup>2</sup>) である (図-1)。生産源土砂のトレーサ特性を調べるために、地質図 (原山, 1990) をもとに調査地点を 54 箇所設定し、裸地斜面の表層約 5 cm から土砂試料を採取した。流出土砂は、下流端の観測水路 (図-1) のスロットサンプラーで捕捉された土砂を 3 深度から採取した (2017 年 7 月 8 日回収)。

**2.2 分析方法** 採取した土砂試料は、絶乾した後、a~e の 5 段階 (a: <0.075 mm、b: ~0.425 mm、c: ~2 mm、d: ~4.75 mm、e: ~9.5 mm) に篩別し、b~e については粉砕器で粉砕して均一化したものを分析試料とした。分析試料のトレーサ特性について、γ線スペクトロメトリーにより岩石由来の放射性同位体 (ウラン-238 系列、トリウム-232 系列、ウラン-235 系列、カリウム-40) 及びセシウム-137、放射性降下物の過剰鉛-210 の 13 種類を定量分析した (Mizugaki et al., 2012)。

**2.3 解析方法** 流域内の土砂生産源をトレーサ特性により複数地域に区分するため、生産源土砂の採取地点の地質区分とトレーサ特性に対して統計解析 (Kruskal-Wallis 検定及び判別分析: Walling et al., 1999; Mizugaki et al., 2012) を行った。また土砂生産源を定量評価するため、多変量土砂混合モデル (Collins et al., 2010) により流出土砂に対する各生産源区分の寄与度を算出した。

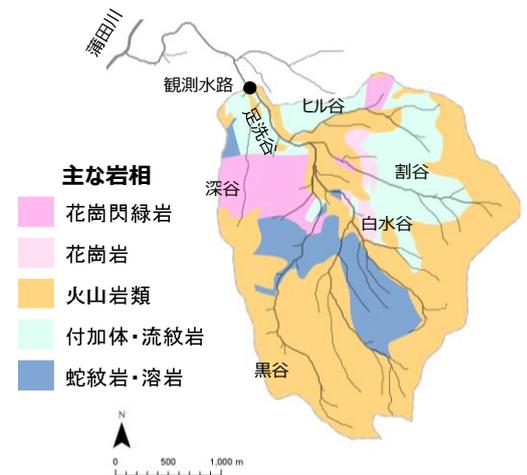


図-1 足洗谷流域と流域内の生産源区分

$$E = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{(C_i - (\sum_{s=1}^m P_s S_{si} Z_s O_s SV_{si}))}{C_i} \right\}^2 W_i \quad \text{with} \quad \sum_{s=1}^n P_s = 1, \quad 0 \leq P_s$$

ここに  $C_i$  は流出土砂のトレーサ  $i$  の濃度、 $P_s$  は生産源  $s$  の流出土砂に対する寄与度、 $S_{si}$  及び  $SV_{si}$  は生産源  $s$  に

おけるトレーサ  $i$  の平均濃度及び分散を考慮した加重、 $Z_s$  及び  $O_s$  は生産源  $s$  の流出土砂に対する粒径及び有機物含量の補正係数、 $W_i$  はトレーサ特性  $i$  の判別力による加重、である。 $E$  が最小となるような生産源  $s$  の寄与度  $P_s$  を数値計算により求めた。

### 3. 結果と考察

生産源区分とトレーサ特性の組み合わせを探索したところ、いずれの粒径階においても 5 種の放射性同位体 ( $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) により 5 つの生産源区分を 94.4%~98.1%の正答率で判別できることがわかった(表-1)。これらの複数トレーサにより、流出土砂に対する各生産源区分(図-1)の寄与度を精度よく推定できることを意味している。

多変量土砂混合モデルを適用するにあたり、生産源土砂のトレーサ特性について粒径依存性を調べたところ、同一岩種であっても粒径階によってトレーサ濃度が異なり、その傾向もトレーサ特性や岩相によって様々であることがわかった(図-2)。このようにトレーサ特性の粒径効果は定式化が困難

であることから、粒径階別にモデルを適用することで粒径補正係数を除外することとした。また生産源土砂・流出土砂の有機物含量が小さく、有機物補正係数も除外した。生産源区分内のトレーサ特性の平均値  $S_{si}$ 、分散を考慮した加重  $SV_{si}$ 、各トレーサの正答率(判別力)に基づくトレーサ特性の加重  $W_i$  (表-1) を整理し、多変量土砂混合モデルにより各生産源の寄与度を推定した。

各生産源の寄与度は、粒径階によって大きく異なることがわかった(図-3)。黒谷・白水谷に分布する蛇紋岩・溶岩の寄与度はどの粒径階でも認められた。上流に広く分布する火山岩類の寄与度は粒径階 **b** と **d** で大きい。他の粒径階では小さい。花崗閃緑岩も寄与度が顕著な粒径階は限定的であった。付加体・流紋岩の寄与度は粒径階 **a** と **e** で大きく、生産源土砂の粒径組成から、前者は流紋岩、後者は付加体の寄与度が影響したと推察される。花崗岩の寄与度はどの粒径階でも小さく、風化特性や流域内の面積割合を反映したと考えられる。今後、さらに事例を蓄積し、構築した手法の堅牢性を検証する必要がある。

【引用文献】 Collins et al. 2010. Geoderma 155: 249-261.; 原山智. 1990. 5 万分の 1 地質図幅「上高地」・上高地地域の地質, pp. 175.; Mizugaki et al. 2012. IJECE 5: 60-69.; Walling et al. 1999. Hydrological Processes 13: 955-975.

表-1 粒径階別の判別分析結果

粒径階	選択段階	選択されたトレーサ特性	積算正答率 %	各トレーサの正答率 %	各トレーサの判別能力による加重 $W_i$
a	1	$^{228}\text{Ac}$	83.3	83.3	2.80
	2	$^{40}\text{K}$	85.2	61.1	1.00
	3	$^{212}\text{Pb}$	92.6	72.2	1.90
	4	$^{214}\text{Bi}$	92.6	68.5	1.60
	5	$^{214}\text{Pb}$	96.3	72.2	1.90
b	1	$^{40}\text{K}$	77.8	77.8	1.80
	2	$^{212}\text{Pb}$	83.3	75.9	1.70
	3	$^{214}\text{Pb}$	87.0	68.5	1.30
	4	$^{214}\text{Bi}$	85.2	63.0	1.00
	5	$^{228}\text{Ac}$	94.4	68.5	1.30
c	1	$^{40}\text{K}$	79.6	79.6	3.60
	2	$^{228}\text{Ac}$	74.1	31.5	1.00
	3	$^{214}\text{Pb}$	88.9	66.7	2.90
	4	$^{212}\text{Pb}$	92.6	48.2	1.90
	5	$^{214}\text{Bi}$	94.4	40.7	1.50
d	1	$^{40}\text{K}$	68.5	68.5	1.50
	2	$^{214}\text{Pb}$	83.3	68.5	1.50
	3	$^{214}\text{Bi}$	92.6	59.3	1.00
	4	$^{212}\text{Pb}$	96.3	63.0	1.20
	5	$^{228}\text{Ac}$	98.1	66.7	1.40
e	1	$^{40}\text{K}$	66.7	66.7	1.30
	2	$^{228}\text{Ac}$	83.3	66.7	1.30
	3	$^{214}\text{Bi}$	90.7	61.1	1.00
	4	$^{212}\text{Pb}$	90.7	68.5	1.40
	5	$^{214}\text{Pb}$	96.3	75.9	1.80

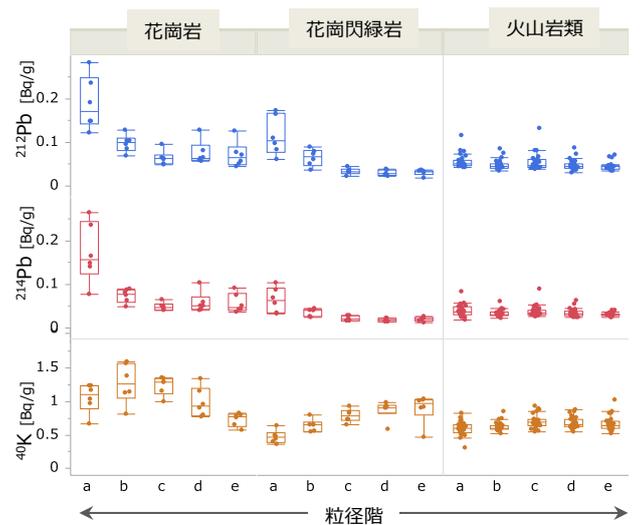


図-2 放射性同位体トレーサの粒径依存性

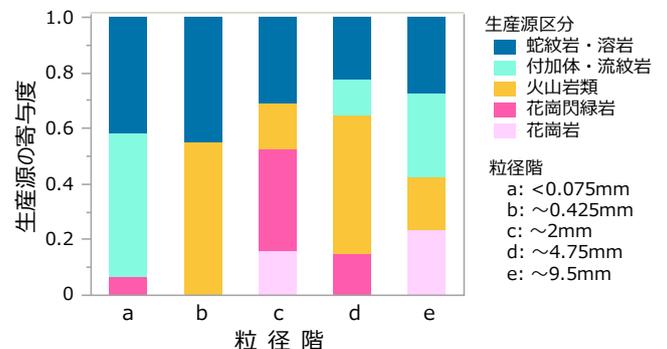


図-3 流出土砂の粒径階別の生産源寄与度 (3 深度の平均)