

# 山地大流域における支流単位での土砂流出寄与率推定手法の提案

宮田秀介<sup>1</sup>・田中碧<sup>1</sup>・水垣滋<sup>2</sup>・小杉賢一朗<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院農学研究科 <sup>2</sup> 国立研究開発法人土木研究所

## 1. はじめに

山地流域で生産された土砂は河道に取り込まれ、流水の作用により下流へ輸送される。このような土砂移動現象は地形形成に不可欠である一方、豪雨や地震時には土石流等の災害を招きうるため、流砂系を一体として捉えた総合的な流域管理が求められる。特に山地流域は土砂供給の出発点であり、土砂の起源の把握が重要である。

流砂観測は流域内の土砂動態を把握する基本的な手段であるが、労力やコストの制約から観測地点が流域末端などに限られる場合が多く、流域全体の土砂動態を十分に把握することは難しい。これに対し、観測では把握が困難な上流も起源推定の対象とすることができる手法として、土砂の元素組成や放射性同位体などを追跡子として用いるトレーサー手法が提案されている (Walling et al., 1999)。しかし、生産源土砂のトレーサーを用いる従来の手法は山地大流域では土砂生産源のサンプリング上の制約が大きく、統計解析に必要な試料数の確保が難しいため適用に限界があった (田中ら, 2025)。そこで本研究では、河床堆積土砂の構成元素をトレーサーとし、山地大流域における支流単位の土砂流出寄与率を推定する手法の構築を目的とした。

## 2. 方法

掃流砂および浮遊砂は流水による輸送中に河床との交換が起こる点に着目し、河床堆積土砂がその地点を通過した流砂の特性を反映すると仮定して手法を構築した。採取された河床堆積土砂はその集水域からの流出土砂を代替すると考える。河川の合流地点の下流側の流出土砂は上流側の複数河道からの流出土砂の混合で成り立つと考えると、合流点上流の複数河道の河床堆積土砂の構成元素をトレーサーとし、下流の河床堆積土砂の構成元素を説明できるような混合比率を推定することができる。この混合比率が支流ごとの土砂流出寄与

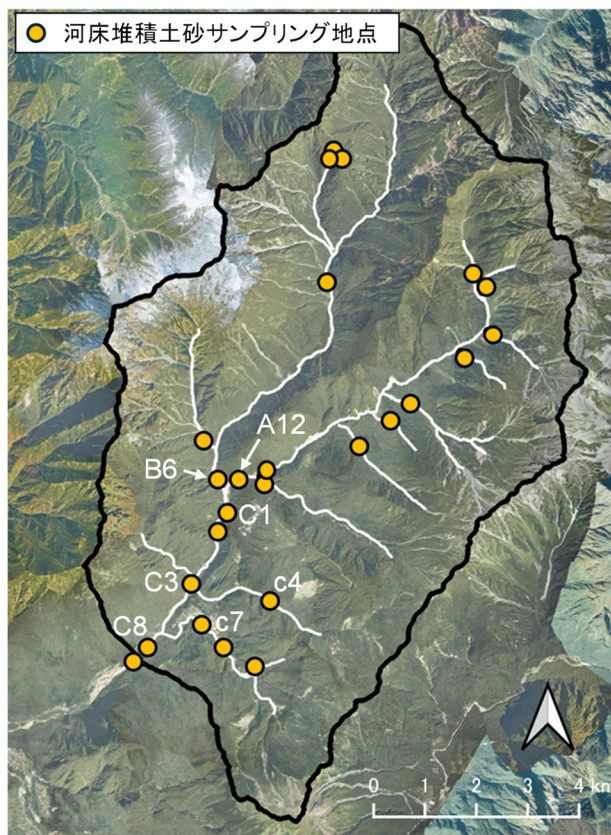


図1 対象流域およびサンプリングの位置 (地理院地図に加筆)

率となる。

本研究は岐阜県高山市に位置する神通川水系蒲田川流域 (流域面積: 約 94.2 km<sup>2</sup>) を対象とした (図 1)。本流および主たる支流の 25 地点で河床堆積土砂を採取し、粒径 0.25~0.425 mm、2.0~4.75 mm、9.5~19 mm の試料について波長分散型蛍光 X 線分析装置 (ZSX Primus IV) の簡易定量測定 (FP 法) により元素組成 (mass %) を測定した。同じ粒径 0.25~0.425 mm を対象としてトレーサーとなる元素を選定した。全試料で定量可能であった 12 元素をトレーサー候補とし、これら候補がとりうるすべての組み合わせについて、次の手順によりトレーサーとして最適な元素の組合せを選定した。

(i) 階層クラスター分析からデンドログラムを作成し (図 2)、2 地点間のコフェネティック距離行列を作成

- (ii) 集水面積に基づく河川網上のサンプリング地点間の距離行列を作成
- (iii) 両行列の Spearman 順位相関係数  $\rho(T)$  を一致度の指標として評価
- (iv)  $\rho(T)$  が最大となる元素組み合わせ  $T$  をトレーサーとして採用

この統計的な手法をもとに選定したトレーサーを多変量混合モデル (Collins et al., 2010) に適用し、支流ごとの土砂流出寄与度を定量的に評価した。

### 3. 結果と考察

Spearman 順位相関係数  $\rho(T)$  が最大 (0.823) となる元素の組合せは (Ca, S, K, Ti, Na, Rb) であり、これらをトレーサーとして選定した。これらトレーサーの妥当性を検証するため、トレーサー選出に用いなかった地点を対象に判別分析を行い、各試料が採取地点の属する支流域に正しく分類できるかを評価した。交差検証の結果、判別の正しさを示す Macro-F1 は 0.802 (1 が最大) となり、6 元素の濃度特性が流域内の区分情報を高い精度で識別できることが示された。

この 6 元素を多変量混合モデルに適用し、地点 C1 の河床材料に対する 2 支流域 (A12、B6) の土砂流出寄与率を推定した (図 3)。粒径 0.25~0.425 mm では A12、B6 の寄与率はそれぞれ 61.1、38.9% となった。一方、粒径 9.5~19 mm では B6 の寄与率が 95.0% と粒径が粗いほど支流 B の寄与が卓越した。このことは、支流 B での過去の崩壊地などからの粗い土砂の流出が継続した可能性や支流 A での新規崩壊地からの細粒土砂の流出の可能性を示す。

また、本流末端の C8 に対する本流 C3 および支流 c4、c7 の寄与率はそれぞれ 100、0、0% であった。C1 と C3 の間には主な支流からの流入がないことから、粒径 0.25~0.425 mm については、流域末端の土砂流出に支流 A (A12) をおよび支流 B (B6) の寄与がそれぞれ 61.1、38.9% と求めることができる (図 4)。また粒径 2.0~4.75 mm、9.5~19 mm の粗い粒径では c4 や c7 の寄与が増えることが示された。

### 4. おわりに

本研究では河床堆積土砂の構成元素から統計的

な手法に基づいてトレーサーを選定し、多変量混合モデルからとして支流ごとの土砂流出寄与率を推定する方法を提案した。本手法を山地大流域に適用し、粒径ごとに支流の土砂流出寄与率を求めることができた。本研究で提案した手法はサンプリングの容易さに特長があり、寄与率推定結果を蓄積することで豪雨などによる流域土砂動態変動を捉えることが期待できる。

### 参考文献

- Collins et al. (2010) Geoderma, 155, 249-261.
- 田中ら (2025) : 砂防学会研究発表会概要集, P-226.
- Walling et al. (1999) Hydrological Processes, 13, 955-975.

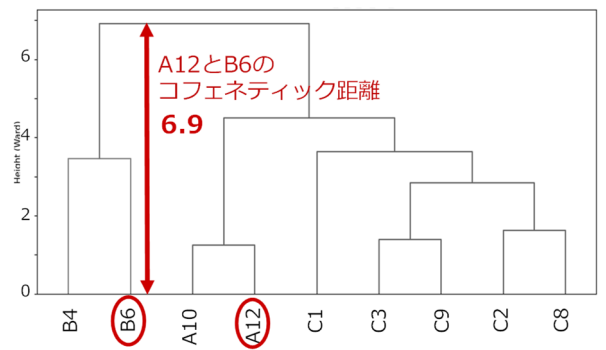


図 2 デンドログラムおよびコフェネティック距離の例

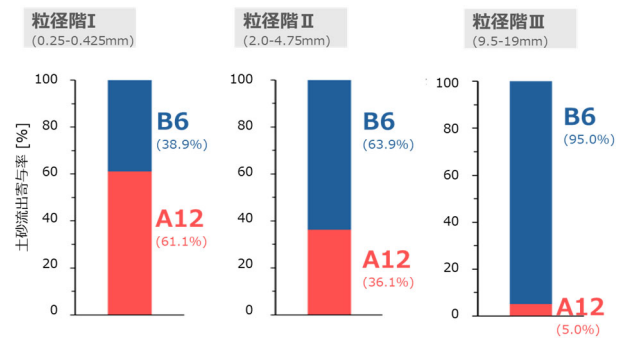


図 3 C1 に対する A12、B6 の寄与率推定結果

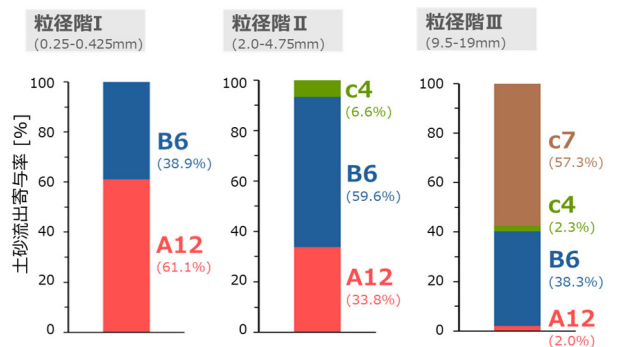


図 4 C8 (流域末端) に対する A12、B6、c4、c7 の寄与率推定結果