熊野川流域における流砂水文観測データを用いた土砂移動状況の把握（その４）
—ヒステリシスループによる土砂動態変化把握とアラート情報提供に向けて—

アジア航測株式会社　○井元成治・岡野和行・吉安征香・滝澤雅之・武石久佳
国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所　山本悟司・小杉恵
国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター　木下篤彦・北本楽

1. はじめに

平成 23 年（2011 年）9 月の紀伊半島大水害では，新宮川水系をはじめ多数の深層崩壊が発生し，多量の土砂が生産された．深層崩壊による多量の土砂生産が見られた流域において，土砂流出等の流域監視を目的の一つとして，観測所を設け，ハイドロフォン等を用いた流砂観測，インターバルカメラによる動画撮影，UAV 撮影等を実施している．ここでは，流砂観測結果による水位 - 掃流砂量のヒステリシスを用いた土砂生産および流出の把握と，それに基づくアラート情報提供に向けた検討について紹介する．

2. 対象流域

対象流域は，新宮川水系の川原樋川，栗平川（滝川支流），神納川，三越川，高田川，及び日置川水系の熊野（いや）川である（図 1）．各流域の横断構造物にハイドロフォン，水位計，濁度計等の流砂観測機器を設置している（表 1）．川原樋川は，上流の池津川合流付近と下流の赤谷川合流付近の 2 箇所で観測を実施している．また，流砂観測機器の他，表面流速を計測するためにインターバルカメラを設置し，動画を取得している．

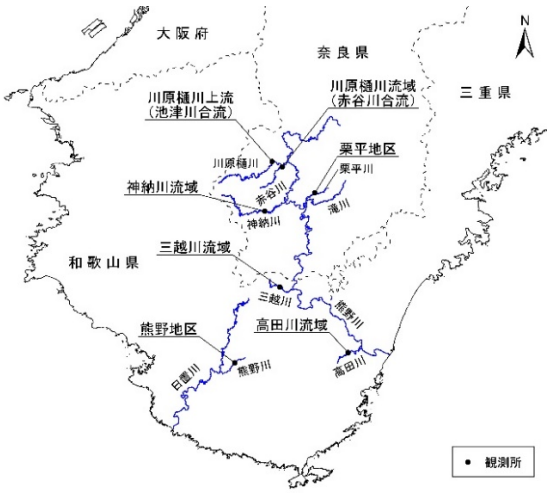

図 1.　各観測所の位置

表 1.　各観測所の設置機器

観測所	水系	流域	設置機器	運用開始
川原樋川上流（池津川合流）	新宮川	川原樋川	ハイドロフォン、水位計、濁度計	2018年9月～
川原樋川流域（赤谷川合流）	新宮川	川原樋川	ハイドロフォン、水位計、濁度計、自動採水機	2018年3月～
栗平地区	新宮川	滝川	ハイドロフォン、水位計	2018年3月～2021年9月
熊野地区	日置川	熊野川	ハイドロフォン、水位計、濁度計	2018年3月～
三越川流域	新宮川	三越川	ハイドロフォン、水位計、濁度計	2018年9月～
神納川流域	新宮川	神納川	ハイドロフォン、水位計、濁度計、雨量計、浮遊砂サンプラー	2019年4月～
高田川流域	新宮川	高田川	ハイドロフォン、水位計、濁度計、雨量計、浮遊砂サンプラー、PH計	2019年4月～

3. ヒステリシスを用いた土砂動態変化の把握

桜井ら[1]では，ハイドロフォンによる水位観測結果と掃流砂観測結果を用いてヒステリシスを描かせ，土砂の生産・流出を検出する手法を提案している（以下，ヒステリシス解析とする）．通常出水で生じうる水位 - 掃流砂量の範囲を超過し，ヒステリシスが左回りのループを描く場合，土砂流出の可能性が高いとしている．

熊野地区では，平成 30 年（2018 年）台風第 20 号時のヒステリシスが大きく領域から外れ左回りのループを描いた（図 2）．この出水では，当時設置していたパイプ型ハイドロフォンが損傷したことから，大規模な土砂の流出があったことが確認できている．

ヒステリシス解析の結果，熊野地区以外のヒステリシスは，概ね類似した範囲を通過していた．平成 28 年（2016 年）の観測開始以降，明瞭な土砂流出が見られたのは平成 30 年（2018 年）台風第 20 号時の熊野地区のみであったことを勘案すると，紀伊山系でも，観測データからヒステリシスを描き，特定の領域から逸脱する場合を確認することで，土砂の生産，流出を把握できる可能性がある．

4. アラート情報提供に向けた検討

水位 - 掃流砂量のヒステリシスループが特定の領域から逸脱する際に，警戒避難のためのアラート発出ができるかどうかを検討した．警戒避難のためのアラート発出には，情報発出の基準線を設定する必要がある．アラート対象となる土砂移動現象時には，観測結果が一般的に認知されている流砂量式に当てはまらない可能性が高いと考え，従来の流砂量式をベースとしたアラート情報発出の基準線設定の可能性を検討した．芦田・高橋・水山の掃流砂量式[3]（以下，A.T.M 式）と Meyer-Peter-Müller の実験式[4]（以下，M.P.M 式）に複数の粒径を適用して算出した線と，観測から得られたヒステリシスとを比較し，ヒステリシスを包絡する線が，観測所周辺で取得された粒度分布の何%程度の粒径に相当するかを確認した．

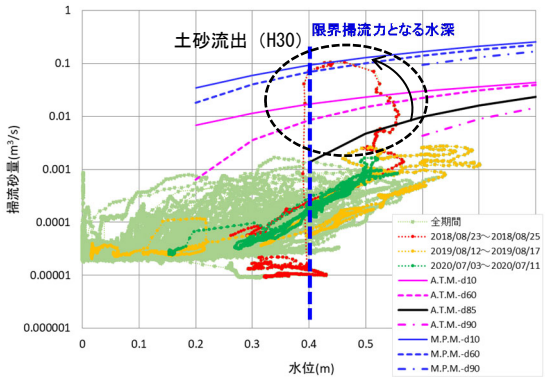

図 2. 基準線の検討結果（熊野地区）

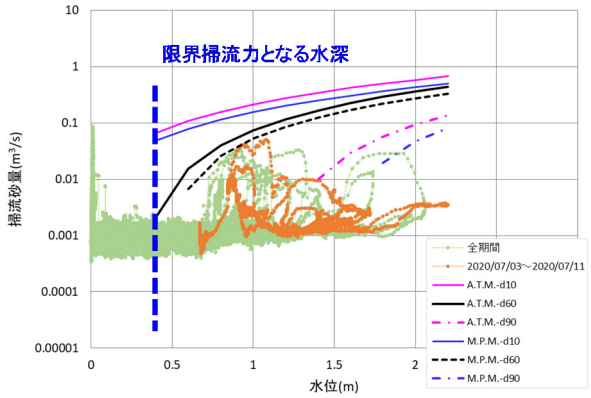

図 3. 基準線の検討結果
（川原樋川上流〈池津川合流〉）

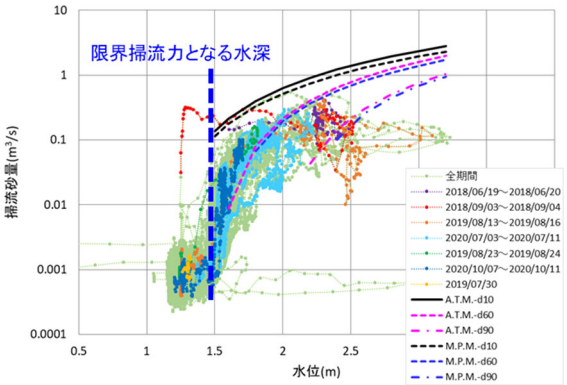

図 4. 基準線の検討結果
（川原樋川流域〈赤谷川合流〉）

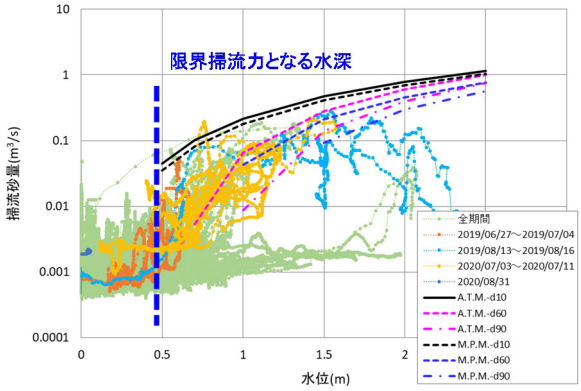

図 5. 基準線の検討結果（三越川流域）

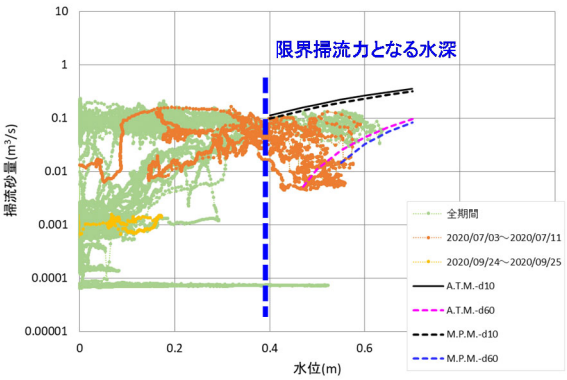

図 6. 基準線の検討結果（神納川流域）

明瞭な土砂流出が見られた平成 30 年（2018 年）台風第 20 号を含む熊野地区のイベントを対象に，基準線の設定を検討した（図 2）．その結果，A.T.M 式を基準線とした場合，各粒径の限界掃流力となる水深以下は対象外と考えると，いずれの粒径でも上記イベントとその他を分離する境界となることが分かった．特に，A.T.M 式の 85%粒径（d85）は，現在までの観測結果を包絡する境界となっていた．一方 M.P.M 式による線は，イベント発生時の上限付近に位置し，その他の観測結果と離れていた．

明瞭な土砂流出がみられなかった 4 箇所の観測所においても，同様の手法で基準線の検討を行った（図 3～図 6）．各観測所で流砂量式や粒径でばらつきがあるが，限界掃流力となる水深以下を対象外とすることで，概ね流砂量式を基準とした境界線を設定できる可能性が示唆された．特に，三越川流域，川原樋川流域（赤谷川合流），神納川流域では，共通して A.T.M 式の d10 が，基準線としての活用が期待できる結果であった．

4. 考察

水位と流砂量の関係によるヒステリシス解析を行った結果，多くの降雨イベントで類似した領域をヒステリシスの軌跡が通過していることが分かった．これは流量と流砂量との間に関係が見られるためと推察される．その中で，ヒステリシスが通常の領域を大きく逸脱して左回りのループを描くときに，土砂流出の事例が確認された．このことにより，紀伊山系においてもヒステリシス解析によって流域内の土砂流出状況の変化を把握できる可能性がある．

また，警戒避難のためのアラート発出に向けて，ヒステリシス解析の結果から基準線の設定を検討した．その結果，従来の流砂量式をベースとして，粒径による流砂量式の上下でイベント感知の基準線を検討できる可能性があることが分かった．今後，各観測所で適合する流砂量式と粒径を検討し試行していくことで，精度向上を図ることができると考えられる．

5. おわりに

アラート情報提供の実用化に向けては，基準線の設定および精度向上が必要である．そのためには，紀伊山系のみならず，全国の事例を用いたヒステリシス解析や基準線設定の検討が有効である．

謝辞

本研究を進めるにあたり，三重大学生物資源学部森林環境砂防学研究室の堤大三教授に多大なご助言・ご協力をいただいた．ここに記して感謝の意を表する．

参考文献

1）桜井ら（2019）：流砂水文観測から得られた異常な土砂生産時の掃流砂流出特性と観測結果の山地流域監視への適用について，砂防学会誌，Vol.72,No.2,p.25-31,2019
2）桜井ら（2016）：近年の山地河川における流砂水文観測，国土技術政策研究所資料，No.887,2016.3
3）芦田ら（1978）：山地河川の掃流砂量に関する研究，砂防学会誌（新砂防）,Vol.30,No.3,p.9―17,1978
4）E. Meyer-Peter and R.Muller（1948）：Formulas for Bed-Load transport, IAHSR 2nd meeting, Stockholm, p.39-64, 1948