

信楽試験流域を対象とした洪水中の斜面表面流モニタリングと降雨流出解析への応用 Slope surface flow monitoring and its application to rainfall-runoff simulation in the Shigaraki experimental catchment

○田中智大・Choi SEONJUN・萬和明・山口弘誠

○Tomohiro TANAKA, Choi SEONJUN, Kazuaki YOROZU, Kosei YAMAGUCHI

Although some physically based rainfall-runoff models represent rainfall-runoff processes on hillslopes, it is challenging to reflect slope-scale observations on parameter identification. If the parameters of the slope elements in rainfall-runoff models are estimated from hillslope observations, it is expected to lead to more robust rainfall-runoff modeling. This study tries surface flow monitoring using time-laps cameras on hillslopes during floods to obtain spatial information on hillslopes. The results show that the extent of surface flow generation varies markedly with the total rainfall and maximum rainfall intensity. The current rainfall-runoff model was not able to reproduce both downstream flow and surface flow generation. Monitoring results show that surface flow generation was limited to water channels with large catchment areas, indicating a way to improve the structure of rainfall-runoff models.

1. はじめに

降雨流出現象の正確な予測は、リアルタイム洪水予測や河川計画を立てる上で重要であり、様々な規模の洪水を正確な予測する頑健な降雨流出モデルが希求されている。頑健で汎用性の高い降雨流出モデルとして物理モデルがあるが、観測河川流量を用いてモデルパラメータを同定する点では概念モデルと共通している。物理モデルは山腹斜面での降雨流出プロセスを表現しているにもかかわらず、パラメータ同定やモデル構造の決定に斜面の観測情報は活用されていない。山腹斜面に関わる観測データから物理モデル内の斜面要素のパラメータを推定することができれば、より頑健な降雨流出モデリングに繋がることを期待できる。

斜面観測として一般的な土壌水分観測は測定コストが高く、複数地点に拡大することが困難な点で空間代表性の制約があり、工学的な降雨流出モデリングに応用しにくい。本研究は、部分的ではあるもののより低コストに山腹斜面の空間的な情報を得る方法として、洪水時の斜面における地表面の流れを撮影し、下流側の流量計と上流側の表層流モニタリングによる観測情報によってモデルを構築する方法を検討した結果を報告する。

2. 観測方法

本研究は、滋賀県の信楽実験流域 (24.6 ha) を対象とする (図 1)。図中、南北の線が河川の本流

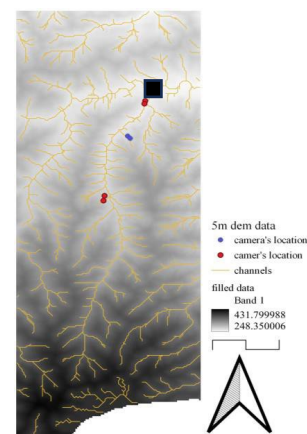


図 1. 対象流域図。黒い四角が流量堰、赤丸および青丸がカメラ設置斜面を表す。

であり、最下流地点で流量堰による流量観測が行われ、流域内の複数の地点で雨量計が設置されている。本研究は新たに本川に流入する 3 つの山腹斜面に複数台のタイムラプスカメラを設置した。

斜面内の表面流の違いを捉えるため、各斜面で下流と中流の 2 地点にカメラを設置した (図 1 の各斜面の丸点)。タイムラプスカメラでは 10 分ごとに自動的に撮影を行い、撮影期間は 2022 年 8 月 9 日から 2022 年 11 月 9 日とした。

3. 観測結果

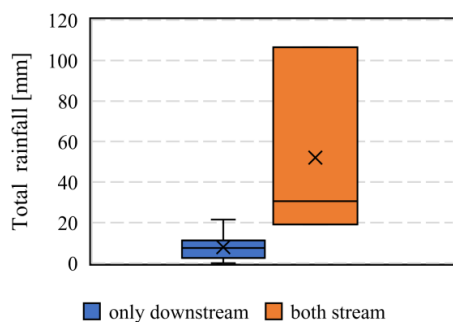


図 3. 斜面下流のみ（青）および下流と中流の両方（橙）で表面流が発生した事例の総降水量のヒストグラム。

2022年8月16日から18日にかけて3日間総雨量106.5mm、最大雨量は27.5mm/hrの洪水が発生した。このとき、図1中の青丸の斜面において下流と中流の両方で表層流が発生した。同社面では他にも複数の洪水で表面流が発生しており、下流でのみ表面流が発生した事例と下流・中流の両方で表面流が発生した事例が存在する。各ケースでの総降水量の違いを示した箱ひげ図を図2に示す。両者の降水量には平均総雨量で44.12mm、平均最大雨量で3.35mmの明瞭な差が見られた。一方、両地点で表層流が発生する降水量にもかかわらず下流でしか表層流が発生しない事例もあった。これは、その日の前に3日間降水がなく、土壌がかなり乾燥していたためである。一方、両河川で表層流が発生した日は、ちょうど1日前に降雨があった。このように先行降雨の影響は見られるものの、全体としては表面流の発生範囲が総降水量と関連する様子を観測結果から確認することができた。

このことから、降雨流出モデル1K-DHMにおいて累積雨量に応じた表面流域が拡大する構造は観測結果に即していることを確認することができた。一方、図1中の青丸の斜面のうち表面流が確認できたのは集水面積が比較的大きな水みちと呼べる部分であり、周辺の小規模な斜面では表面流が発生していなかった。図1中の赤丸で示した集水面積の小さい斜面でも同様の結果となり、表面流発生域は斜面の中でも水みちと呼ばれるエリアに限られることがわかった。

4. 分布型降雨流出モデルによる再現計算

降雨流出計算には物理モデルである1K-DHM¹⁾を用いた。1K-DHMはセル分布型流出モデルであり、

集水面積が閾値未満の小さいセルでは斜面流を、大きいセルでは河道流と斜面流を解く。河道流には運動波式を用い、斜面流には中間流を考慮した流量流積関係式を適用する。同関係式では、土壌が飽和すると表面流が発生する。

2022年8月洪水を対象に流量堰での観測流量と計算流量を比較した結果を図3に示す。計算流量は観測流量を良く再現している。一方、表面流発生期間は撮影結果では8月16日21:10～8月18日16:20に対してモデルでは8月17日4:10～8月18日6:10となり表面流発生期間の計算値が短いことがわかった。下流のハイドログラムと表面流発生を再現するモデル構造およびパラメータの検討が求められる。

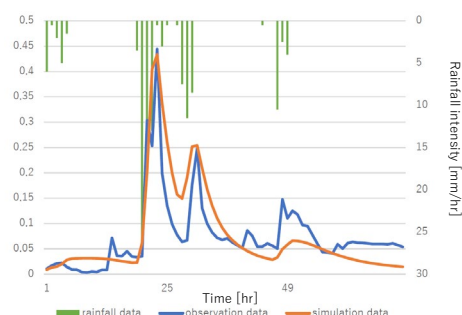


図 4. 流量堰の流量観測値（青）と計算値（橙）。第2軸（緑色）は降雨強度を表す。

5. 結論

複数の山腹斜面にタイムラップカメラを設置して地表流発生の様子を撮影した。その結果、表層流の発生範囲は総雨量と最大雨量強度に大きく影響されることがわかった。また、表面流が発生するのは集水面積が大きな水みちに限定されており、モデル構造の改良の方策を見出した。現状の降雨流出モデルは下流の流量と表面流発生を再現することは難しかった。今後、より長期の観測によって表面流発生構造を明らかにし、飽和表面流をより適切に表現するモデル構造を検討する。

参考文献

1) T. Tanaka, Y. Tachikawa, Hydrological Sciences Journal, 2015

謝辞 本研究は防災研究所一般共同研究（課題番号：2022G-04）の研究成果である。石川県立大学の高瀬恵次名誉教授、愛媛大学の戒信宏名誉教授と佐藤嘉展准教授に観測データをご提供頂いた。記して謝意を表す。