

# 山地斜面における水みち分布が降雨浸透過程に及ぼす影響の解明

京都大学大学院農学研究科 ○岩尾健司 柳井鴻太郎 正岡直也 小杉賢一朗

## 1. 研究の背景と目的

山地斜面における流出や崩壊をモデル化し、災害発生を予測するためには地下の複雑な水移動プロセスを観測し、一般化することが重要となる。特に、水みちやパイプといった高透水性の構造が自然斜面において普遍的に存在することがこれまで明らかになっており[1, 2], これらの構造を素早く通過する選択流が流出や崩壊に大きな影響を与えていることが指摘されている[3, 4]。一方で、自然斜面における水みちの観測は限定的であり、その分布を実証的に明らかにした例はほとんどない。そこで本研究では、第一に高密度に土壤透水性分布を測定することで、水みちの分布を詳細に把握すること、第二に水みち周辺で土壤間隙水圧と流出量の観測を行うことで、水みち分布が降雨浸透過程に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とした。

## 2. 調査地と手法

### 2.1 調査地

調査は滋賀県甲賀市信楽町に位置する信楽水文試験地内のB流域で行った。信楽の年間降水量は1534.6 mm、流域面積は2820 m<sup>2</sup>であり、堆積岩地質の小流域である。流域ではLP データ、降水量が利用可能であるほか、流域全体で5-10 m 間隔の55 地点において、基岩面上の土壤飽和透水性係数 $K_s$ の測定が完了している。この結果から、流域内で特に透水性が高く、水みちの存在が示唆された斜面を本研究の対象プロット（図1）とした。

### 2.2 透水性の測定

透水性の測定にはゲルフパーミアメータ法を用いた。この手法は地中に孔を開け、孔内の水位が一定となるように注水し、土壌への浸透流量から $K_s$ を算出する方法である[5]。本研究では正岡ら（2025）によって、山地斜面への適用に向けて改良された京大式ゲルフパーミアメータ法[6]を用いた。測定地点は斜面方向に約5 m 間隔、等高線方向に約1 m 間隔の42 地点（図1 中黒丸）を新たに設定した。この測点において貫入試験を行い、基岩面を決定したうえで、基岩面を不透水面とみなし、不透水面上で $K_s$ を測定した。

### 2.3 間隙水圧・流出量の観測

$K_s$ を測定した地点の内、10 か所（図1 中黒四角）で基岩面上にテンシオメータを設置し、圧力水頭（10 分間隔、2025/11/13～2026/1/7）を測定した。また、水みちが存在する斜面末端に a トレンチ、隣接する透水性が比較的低い斜面末端に c トレンチを掘削し（図1 中黒い太線）、土層内の水が集水されるようにして斜面の流出量（5 分間隔、2025/6/19～2026/1/7）を観測した。2 つのトレンチ上流部の斜面は斜面長さや平均的な勾配、土層厚に大きな違いが無く、集水域を明瞭に分けることができないため、平行斜面とみなして解析を行った。

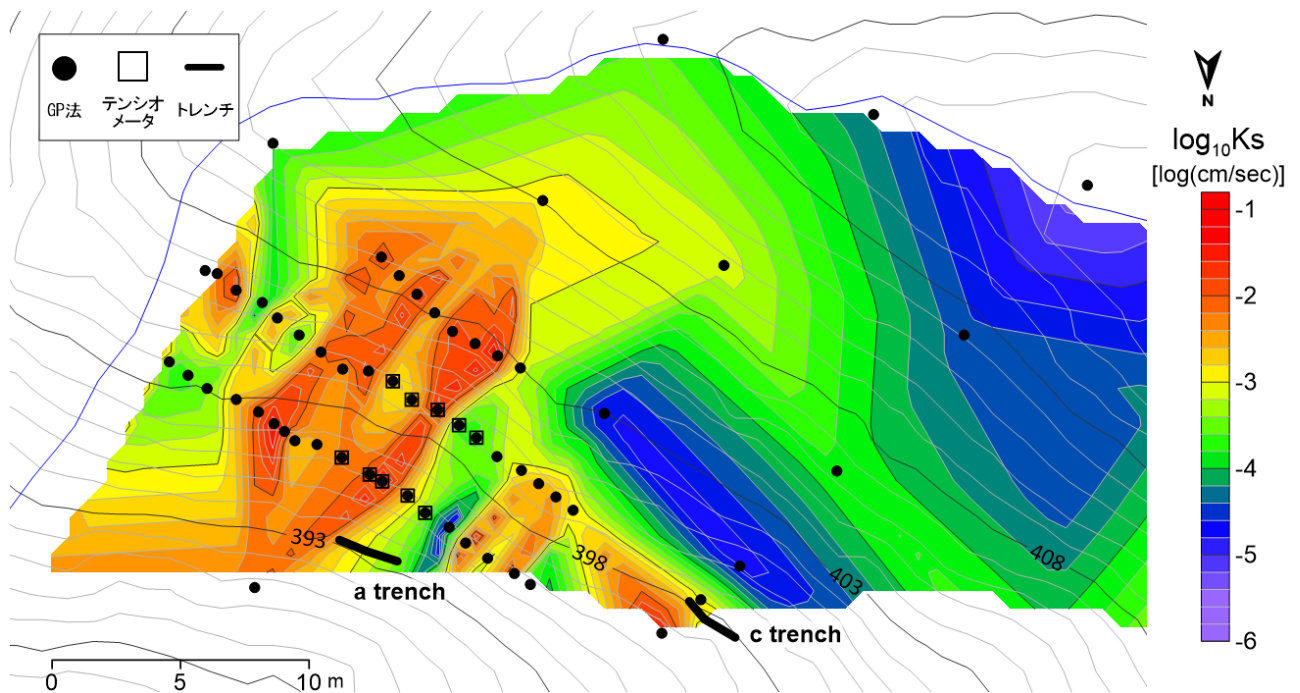


図1 対象プロットの地形、測定地点及び $K_s$ の空間分布

### 3. 結果と考察

#### 3.1 水みちの分布特性

対象プロットにおける透水性分布を図 1 に示す。測定した $K_s$ の最大値は $9.36E-02$  cm/sec, 最小値は $8.22E-06$  cm/sec, 中央値は $3.18E-03$  cm/secであった。透水性の空間分布に着目すると,  $\log_{10} K_s$ が $-3 \log(\text{cm/sec})$ より大きい, 高透水性の領域が等高線方向に幅約 10 m の範囲で分布していることがわかる。その中でも, 特に顕著に透水性が高い箇所は幅 1-2 m で斜面流下方向に連続的に分布しており, これらの箇所が水みちとなっている可能性が示唆された。

#### 3.2 水みち周辺における斜面土層内部の水移動

観測期間中比較的規模の大きかった降雨イベント (2025/12/23~2025/12/26, 総降水量 23.0 mm) における, 各地点の飽和持続時間, 圧力水頭最大値と $K_s$ の関係を図 2 に示す。これを見ると, 飽和持続時間, 圧力水頭最大値のいずれも透水性と弱い負の相関がみられ, 透水性が高いほど地下水位上昇が抑制され, 飽和が速やかに解消されることが示唆された。

#### 3.3 水みちが存在する斜面の流出特性

各トレンチの積算降水量と積算流出量の関係を図 3 に示す。これを見ると, a トレンチの積算流出量は積算降水量に応じて比較的単調に増加している一方で, c トレンチの積算流量は a トレンチに比べて小さく, 積算降水量に対する積算流出量の増加が小さい。このことから, 大規模な降雨時には水みちが排水機構として機能する一方で, 水みちを有しない斜面では降雨の流下/流出が妨げられ, 流量が増大しないという可能性が示された。

### 4. 結論

本研究では透水性の原位置測定及び土壌間隙水圧と流出量の測定により, 水みちの分布及びその影響の解明を目指した。その結果, 水みちと思われる高透水性の領域は等高線方向に幅数 m 程度で存在することが明らかとなった。また, 水みちでは地下水位上昇が抑制され, 大規模な降雨時に排水機構としての機能を発揮する可能性が示唆された。一方で, 大規模な降雨時の圧力水頭変化は今回観測できていないため, 今後観測を継続し, 水みちの持つ排水能力を検証していく必要がある。また, 今後他の斜面, 他の流域における測定を重ねることで, 水みちの分布に影響を及ぼす要因の特定や, 水みち特定に必要な測定間隔を検証することで, 水みち分布の一般化や, 将来的にはモデルへの組み込み等を行えるようになることが期待される。

### 参考文献

- [1] 北原曜・中井裕一郎 (1992) : 一次谷流域における河川流量とパイプ流の関係, 日林誌, Vol.71, p.317-322
- [2] 内田太郎・小杉賢一朗・小橋澄治・水山高久 (1995) : 芦生演習林内トヒノ谷のパイプ網の観測, 京大演報, Vol.67, No.3, p.363-382
- [3] Sidle, R.C., Noguchi, S., Tsuboyama, Y. and Laursen, K. (2001) : A conceptual model of preferential flow systems in forested hillslopes: evidence of self-organization, Hydrological Processes, Vol.15, p.1674-1692
- [4] 水山高久・佐藤一朗・小杉賢一朗 (1994) : 芦生演習林内トヒノ谷におけるパイプ流出とパイプ網に関する研究, 京大演報, Vol.66, p.48-60
- [5] Reynolds, W. D. and Elrick, D. E. (1985) : In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, and the  $\alpha$ -parameter using the guelph permeameter, Soil Science, Vol.140, No.4, p.292-302
- [6] 正岡直也・柳井鴻太郎・岩尾健司・小杉賢一朗 (2025) : ゲルフパーミアメータ法を用いた山地斜面における土壌透水性係数の原位置測定について, 砂防学会誌, Vol.78, No.3, p.3-12

### 謝辞

本研究の一部は令和 7 年度砂防学会若手研究助成の助成を受けたものである。

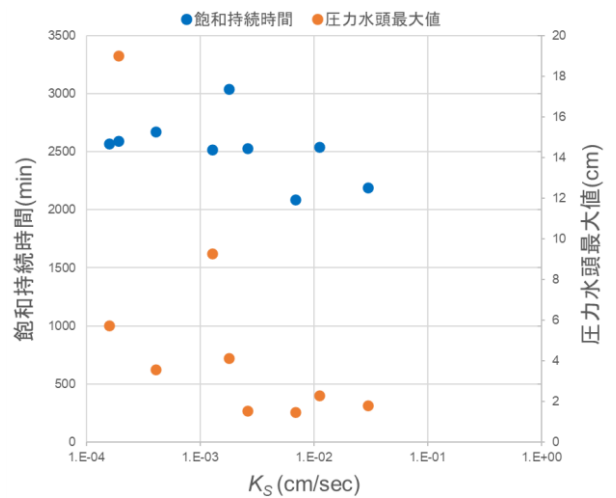


図 2  $K_s$ と飽和ピーク・透減早さ

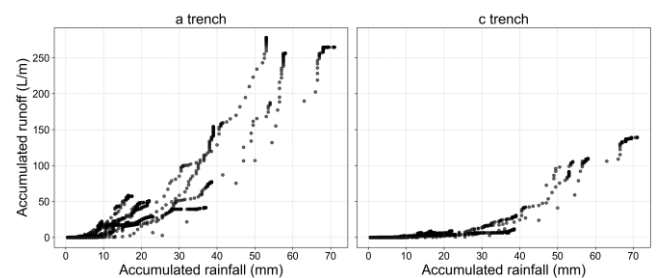


図 3 各トレンチにおける積算降水量と積算流出量