

間隙の連結性を考慮した森林土壌における降雨浸透の解析

京都大学大学院農学研究科 ○村上智哉・小杉賢一朗・正岡直也

1 はじめに

森林斜面において土壌の水分特性、つまり保水性や透水性を的確に把握することは、森林斜面における水循環機構や斜面崩壊の発生機構を解明する上で重要な課題である。土壌の水分特性のうち、保水性は各大きさの間隙がどれだけ存在しているかという間隙の分布特性に支配されていると考えられる。これに対し、土壌の透水性は間隙の分布特性に加え、間隙のひずみ・屈曲の度合や、異なる大きさの間隙の連結確率といった間隙の透水性に関する特性も関与していると考えられる。しかしながら、従来の研究において土壌水分特性は間隙の分布特性の観点のみから説明され、間隙の透水性に関する特性についてはほとんど検討されてこなかった。一方で小杉・大手（1992）はこの間隙の透水性に関する特性を統括して間隙の連結特性とよび、これを解析する手法の検討を行った。本研究では、改良型蒸発法（Masaoka and Kosugi, 2018）による土壌の不飽和水分特性の計測データと小杉・大手（1992）の解析手法を用いて土壌間隙の連結特性を解析する手法を検討し、さらに1次元浸透計算によって土壌間隙の連結特性が森林土壌における降雨浸透に及ぼす影響を検討することを目的とした。

2 方法

2.1 間隙の連結特性解析

解析対象として、国内4地点（大分、北海道、滋賀、千葉）の森林土壌で5サンプルずつ採取された計20サンプルの蒸発法データを用いた。まず、間隙の連結特性を定量的に評価するために、間隙径 r の間隙の透水係数に当たる物理量として間隙のコンダクタンス $C(r)$ を導入し、間隙と同じ半径 r の円管のコンダクタンスの理論値 $C_p(r)$ との比 $C(r)/C_p(r)$ を間隙の連結特

性を示す指標として、各サンプルの $C(r)/C_p(r)$ を算出した。

2.2 蒸発法

土壌の不飽和水分特性を計測する手法として、改良型蒸発法(Masaoka and Kosugi, 2018)を用いた。蒸発法は、土壌サンプルを飽和させた後、水分の蒸発に伴う重量変化と動水勾配の変化を計測することで、保水性を表す体積含水率 θ -圧力水頭 ϕ 関係（水分特性曲線）と、透水性を表す透水係数 K -圧力水頭 ϕ 関係の双方を算出する手法である。改良型蒸発法は、従来の蒸発法と比べて、差圧センサーによる高精度化や、下面蒸発による他手法への応用性などが特徴である。

2.3 1次元浸透計算

不飽和水分特性を表す従来の関数モデルにおいて不飽和透水係数は間隙系分布から推定されることが多く、そこでは間隙の連結特性が不飽和透水係数に及ぼす影響は考慮されていない。そこで本研究では間隙の連結特性が森林土壌における降雨浸透に及ぼす影響を検討するために、従来の不飽和透水係数の関数モデルに $C(r)$ を導入し、この関数モデルを用いて1次元の浸透計算を行った。浸透計算は鉛直浸透を表す基礎方程式であるリチャーズ式を用いて、150cmの土壌に1ヶ月間の自然降雨を降らせる条件のもとで行い、現実的に想定される範囲でのパラメータの変化や、森林土壌の発達に伴う間隙の連結特性の変化が降雨浸透に及ぼす影響を検討した。

3 結果・考察

蒸発法の結果から各サンプルの間隙のコンダクタンス C - r 関係を算出した結果、両対数軸において直線的な傾向を示した（図1）。このことから、 C - r 関係を単純なべき関数 $C(r)=Br^n$ で

近似できるとし、全 20 サンプルのデータに対して最小二乗法で $C(r)$ をフィッティングしたところ、フィッティングパラメータ B 、 n はそれぞれ $10^1 \sim 10^3$ 、 $1.5 \sim 3.5$ の範囲内に収まった。

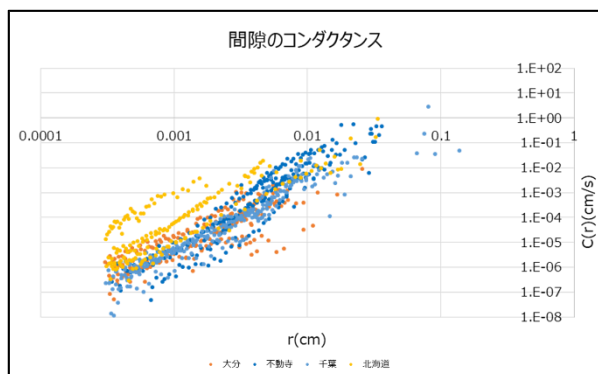


図 1. 全サンプルの間隙のコンダクタンス

全サンプルから得られた土質パラメータの平均的な値を用いて 1 次元浸透解析を行った。さらに、土壌の保水量に有効な間隙量を表すパラメータである有効間隙率 θ_e と、間隙の連結特性に関するパラメータ B についてそれぞれ全サンプルの範囲内で増減させ、各パラメータが降雨浸透に及ぼす影響をそれぞれ 1 次元浸透計算によって解析した (図 2)。

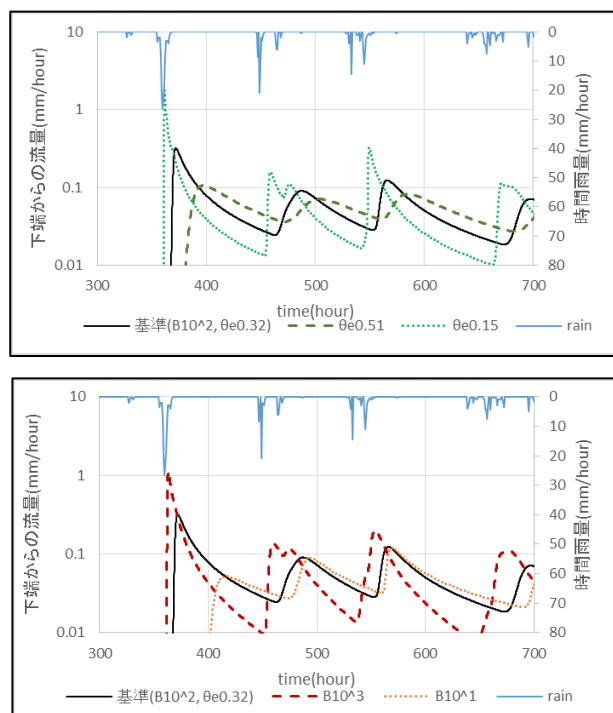


図 2. 各パラメータを増減させたときの 1 次元浸透計算の結果 (上: θ_e , 下: B)

この結果において、 θ_e が大きくなるほど、また B が小さくなるほど、ピークの流量は小さく、かつタイミングは遅くなった。また、この 2 つのパラメータの変化に伴うピークの流量とタイミングの変化量に大きな差は見られなかった。この結果より、間隙の連結特性は有効間隙率と同程度に森林土壌の降雨浸透特性に影響を及ぼす可能性があることが示唆された。

また、実際の森林土壌を解析して得られた水分特性のパラメータを用いて 1 次元浸透計算を行った結果、森林土壌の発達に伴う間隙の連結特性の変化がある場合は、ない場合と比べて降雨流出がわずかに緩やかになっており、森林土壌の発達に伴う雨水貯留機能の向上には、間隙の分布特性の変化だけでなく間隙の連結特性の変化も寄与していることが確認された (図 3)。

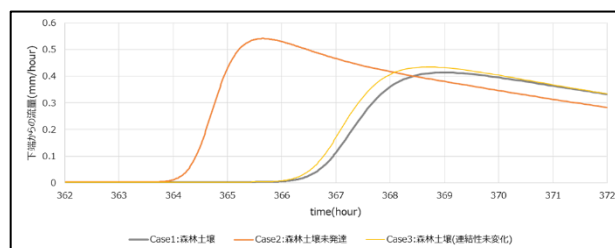


図 3. 1 次元浸透計算による森林土壌の発達が降雨流出に及ぼす影響の検討

参考文献

- 1) 小杉賢一朗・大手信人, 森林土壌の透水性の評価における土壌間隙の連結特性の解析, 1992
- 2) Masaoka N., K. Kosugi, Improved evaporation method for the measurement of the hydraulic conductivity of unsaturated soil in the wet range, 2018
- 3) Mualem Y., A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, 1976
- 4) 坂井勝・取出伸夫, 水分保持曲線と不飽和透水係数の水分移動特性モデル, 2009