

雨水供給の非定常性の影響が森林土壌中の水移動及び保水特性に与える影響

九州支所 小林政広

1. はじめに

森林に期待される公益的機能の一つである水源かん養機能の評価には、水や溶存物質の移動・貯留の場として大きな位置を占める森林土壌の特性、特にその水移動及び保水特性の解明が必要である。土壌中の水分動態の定量的な解析には、土壌水のエネルギーレベルを表す水分ポテンシャル(ψ)、水の量を表す含水率(θ)、及び水の通りやすさを表す透水係数(K)の関係が必要になる。従来これらの関係を求める場合、長い時間をかけて試料を平衡状態あるいは定常状態にする「静的な」方法で測定することが多かった。しかし実際の降雨浸透は、様々な土壌の乾湿状態を初期条件とし、雨水供給の速度が多様に変化する「動的な」現象である。豪雨時の雨水浸透のように特に非定常性の強い現象を、静的な測定で得られた土壌特性で再現することの妥当性は確かめられていない。以上を背景として本課題では、雨水供給の非定常性の影響が森林土壌中の水移動及び保水特性に与える影響を明らかにした。

2. θ - ψ 関係

高さ100cm、内径31cmのアクリル製円筒を用い、森林総合研究所に隣接するヒノキ平地林の土壌を非攪乱の状態で採取し、土壌カラム上部の人工降雨装置からの水供給、下端からの重力排水を繰り返し行った。土壌は関東ロームを母材とする適潤性褐色森林土(BD型)である。吸水過程の実験は同一の試料を用いて3回行い、降雨強度は1回目(吸水1)が20mm/h、2回目(吸水2)は2回目とほぼ同じ18mm/h、3回目(吸水3)は1回目の約2.5倍の52mm/hとした。初期の ψ は3実験でほぼ同じ(深度2cmで約-110cm)になるようにした。実験中カラムの10深度(2, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90cm)において、テンシオメータで ψ を、TDR水分計で θ を測定し、各深度で動的な θ - ψ 関係を求めた。深度2cmでは同一の ψ での θ が、吸水1、吸水2、吸水3の順に小さかった(図1)。特に、 ψ が-10cm以上の飽和に近い領域において吸水1の

(右上へ)

カーブは、吸水2、吸水3に比べて著しく低含水率、高ポテンシャル側にプロットされている。ここで実験時の土壌試料の状態に着目すると、吸水1では開始から5分以上、土壌試料最上面で滴下した水が水滴の状態で停滞することが観察された。吸水2及び吸水3では、このような水滴の停滞は観察されず直ちに土壌試料中に浸入した。このことは吸水1実施時のみ表層土壌に濡れ性の低下、すなわち覆水性が生じていたことを示している。吸水1ではこの覆水性により水を吸引し得る有効な間隙が減少していたこと、吸水2及び吸水3では水との累積接触時間が長くなるにつれて覆水性を呈していた間隙が親水的になったことが、吸水1のカーブが後の2実験のカーブより著しく低含水率、高ポテンシャル側にプロットされた理由と考えられる。深度20cmでは(図2)、3回の吸水過程の結果に大きな違いはなく、排水過程との差も小さかった。これは、深度20cmでは土粒子が常に親水的な状態にあったためと考えられる。以上のように、吸水過程の動的な θ - ψ 関係には、土壌の濡れ性が強く関与することが明らかになった。

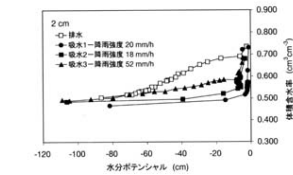


図1. 非攪乱土壌、深度2cmの動的な θ - ψ 関係 (拡大図 約2.4 kb)

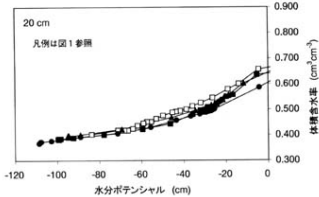


図2. 非攪乱土壌、深度20cmの動的な θ - ψ 関係 (拡大図 約2.4 kb)

(左下へ)

3. K- θ 関係

高さ16cm、直径10.7cmの土壌カラムを用い、上部の人工降雨装置からの供給と下端からの強制的な吸引排水を行い、動的なK- θ 関係を求めた。供試土壌は、茨城県岩瀬町のヒノキ人工林の関東ロームを母材とする適潤性褐色森林土(BD型)のA層土壌で、団粒構造に富み、乾燥時には撥水性が発現する。この土壌を深度0~5cmから攪乱状態で採取した後に、5mmメッシュで篩別、通過画分から有機物をできるだけ除去して半分に分け、一方を3日間飽水した後吸引法により ψ が約-300cmになるまで排水、他方を風乾、その後風乾状態の試料と一度飽水した試料をほぼ同量とって混合、の手順で粒径と水分状態を調整して塩化ビニール製の円筒に充填した。この処理により、混合直後の試料には弱度の撥水性(水滴が平らにならしたサンプルに浸入するまでの時間が約9秒)が発現していた。同じカラムを2セット用意し、混合から約2時間経過後に後に吸水過程の実験を行った。降雨強度は一方(カラム1)を7mm/h、もう一方(カラム2)を20mm/hとした。吸水過程の実験終了から約12時間後、両カラム同一条件(下端に-230cmの吸引圧)で排水過程の実験を行った。給排水中の ψ と θ をテンシオメータとTDR水分計で測定した。これらとカラム端の流量データから、水分分布法(instantaneous profile method)により3~600分の時間間隔で平均フラックスと平均動水勾配の比を計算してこれをKとし、K- θ 関係を求めた(図3)。吸水過程では、同じ θ に対するKの値がカラム2よりカラム1で大きく、一時的に最大10倍に達した。それに対して排水過程では、同じ θ に対するKの値は両カラムでほぼ等しかった。一般にK- θ 関係においては、ヒステリシスは存在しないか存在しても無視し得る程度であるとされている。弱度の撥水性を呈する試料を用いた本実験では、降雨強度が大きい場合、吸水過程のKに対して排水過程のKが最大10倍大きくなり、明らかなヒステリシスが認められた。

この理由は以下のように考えられる。試料は風乾状態の疎水的な団粒と湿润状態の親水的な団粒の混合物になっていた。吸水過程の初期において、疎水的な団粒は吸水までにある程度の接触時間を要するが、親水的な団粒は直ちに吸水する。降雨強度が大きい場合には、供給開始の時点で疎水的であった団粒が親水的になる前に、供給された水の多くが重力により団粒間の間隙を通過して下部に達すると考えられる。降雨強度が小さい場合には、最初に疎水的であった団粒も親水的になり、供給された水のほとんどは団粒内に吸収されると考えられる。同量の水が供給された時点で両者を比較すると、降雨強度が大きい場合には多くの水が団粒内に入りきらずに通水抵抗の小さい団粒間の大きな間隙に存在し、降雨強度が小さい場合にはほとんどの水が通水抵抗の大きい団粒内の小さな間隙に存在するという違いがあり(図4)、この違いが同一の θ における両者のKの違いをもたらしていると考えられる。

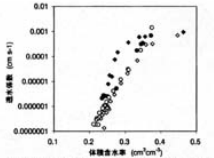


図3. 調整した土壌の動的な透水係数-含水関係 (拡大図 約19kb)

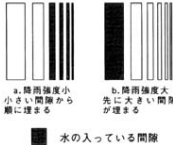


図4. 間隙に水が入る順番に対する降雨強度の影響の概念図 (拡大図 20kb)

4. おわりに

一般的な ψ - θ -K関係のモデルは、土壌が乾燥から湿润に移行するときには、まだ水が入っていない最小の間隙から順に埋まるという静的な毛管現象の考え方に基いている。しかし、降雨強度が大きく非定常の度合いが強い条件下では、この順番が逆転し、大きな間隙が先に埋まることが考えられる。特に、本研究で用いたような明らかに濡れ性が低下している土壌では、非定常の度合いが小さい場合にもこの逆転現象が容易に起こり得る。この場合、雨水は細かい間隙に十分に吸収される前に重力により粗大な間隙を通じて土層の深部に移動してしまうことになる。さらに、土壌動物の活動や樹木根の腐朽などに由来する連続した粗大間隙がある場合、雨水はこの限られた空間だけを通じて急速に下方へ移動することになり、土層全体という大きなスケールで見た場合、表層土壌の大部分が雨水をほとんど貯留せずに土層下部へ流してしまうことにつながると予想される。今後、間隙に水が入る順番の逆転現象を再現できる、より現実に近い土壌の水移動・保水モデルを開発する必要がある。