

森林土壌中の不飽和鉛直浸透過程の定量化手法

Evaluation of vertical infiltration process in unsaturated forest soils

小杉 賢一朗[1]

Ken'ichirou Kosugi[1]

[1] 京大・農・森林科学

[1] Forest Sci., Kyoto Univ.

森林流域における水循環に不飽和鉛直浸透過程が果たす役割を定量化する目的で、土壌の雨水貯留量指標 S を提示した。 S は、土層の下端に定常地下水面があり、土層内の水分移動が無い状態から一定強度の雨を継続してかけた場合に土層内に貯留される水分量という、明確で平易な物理的意味を持つ。 S の値は、土層の長さ、降雨強度ならびに土壌の水分特性によって決まり、不飽和浸透過程を特徴づける土壌の水分拡散係数とよい対応関係を持っている。 S の妥当性を検討するために、団粒状構造およびカベ状の森林土壌に関してシミュレーションを行った。その結果、より大きな S を持つ団粒状土壌が、ハイドログラフをより緩やかにすることが確かめられた。

1. はじめに

多くの実験・観測から、森林土壌が大孔隙に富み大きな透水性を持っていることが明らかにされた。このため、通常の林地においては雨水の大部分が表層土内に浸透し Horton 型地表流の発生が押さえられていることは、現在広く認められている。従って森林流域における水循環を解明するには、一端土層内に浸透した水が河川に流出するまでの過程を解析する必要がある。

観測に基づけば、林地斜面に達した雨水はまず表層土内を不飽和鉛直浸透し、透水性の低い層（いわゆる水文学的基盤面）まで達すると、飽和側方流として斜面下方に流下する。飽和側方流に関しては、パイプなどのマクロポアの存在が水の移動に大きな影響を及ぼしていると考えられるが、その分布状況や集水機構は明らかにされていない。また、地質によっては基盤面が完全に不透水性でないことも多いが、この面を通過した深部浸透水の流動機構はよくわかっていない。これに対して表層土内の不飽和鉛直浸透過程では、一般に Darcy-Buckingham 式によって水の移動を表現できるため、数値シミュレーションによる定量的な解析が盛んに行われてきた。その結果、降雨条件や土壌の保水性・透水性によって鉛直浸透の特徴が多様に変化することが次第に明らかになってきた。しかしながら、この過程はきわめて非線形性が強く、土壌の比水分容量関数と透水係数関数の両方が影響を及ぼす複雑なものである。このため、どのような降雨条件や土壌条件の下でどのような浸透が起き、それが流域の水循環に如何なる影響を及ぼすかに関しては、十分な理解は得られていない。このようなことから本研究では、複雑な不飽和鉛直浸透過程を簡易な指標を用いて定量化することを試みた。

2. 雨水貯留量指標 S

土層の下端に定常地下水面があり土層内の水分移動が無い状態から、一定強度の雨を継続してかけることを想定した場合、土層下端からの流出量は降雨開始直後はゼロであるが、その後徐々に増加してついには降雨強度と等しくなると考えられる。また、その後降雨を停止すると、流出量は徐々に減少して最終的にはゼロになる。そこで本研究では、この増水過程もしくは減水過程における降雨波形と流出波形の差の時間積分値 S を、土層の雨水貯留量指標として定義した。 S の値は降雨強度が大きくなるほど大きくなる。さらに S は、比水分容量が大きく不飽和透水係数が小さい土壌ほど大きくなるため、不飽和鉛直浸透過程を特徴づけると考えられている土壌の水分拡散係数の特性を反映した指標であるということが出来る。

3. 団粒状構造およびカベ状の森林土壌の不飽和鉛直浸透過程の数値シミュレーション

団粒化の進んだ森林土壌と、団粒状構造の見られないカベ状の森林土壌について特定された保水性・透水性を与え、下端に地下水面を持つ長さが 1 もしくは 1.5 m の土層からの降雨浸透流出量を、数値シミュレーションによって求めた。その結果、団粒状土壌からの流出ハイドログラフは、カベ状土壌に比べて降雨時のピーク流出量が小さく、無降雨時の逡減流出量が大きくなった。一方、両土壌について求められた貯留量指標 S を比べると、団粒状土壌の方がカベ状土壌よりも大きくなり、ハイドログラフの特徴とよい対応を示した。このことから、 S が適切な指標であることが確かめられた。

4. 不攪乱森林土壌サンプルを用いた鉛直浸透過程の解析

風化花崗岩を母材とし、植生の異なる林地に発達した森林土壌を不攪乱採取し、人工降雨実験によって貯留量指標 S の計測を行った。続いて、同サンプルを用いて自然降雨の浸透過程を計測した。その結果、 S の大きなサンプルほど降雨時により多くの雨水を土層内に不飽和状態で保持し、降雨後に遅れて流出させることが明らかとなった。さらに、鉛直方向に不均質な保水性・透水性を示す不攪乱森林土壌サンプルにおける浸透現象を、そのサンプルと等しい貯留量指標 S を持つ均質な土壌の浸透現象で近似できることが示された。このことから、貯留量指標 S は、不飽和土壌の水分特性（保水性および透水性）のスケールアップに応用可能であると考えられた。