

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月31日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21580197

研究課題名（和文） 逆解析による森林土壌の有効水理特性の評価

研究課題名（英文） Inverse estimation of effective hydraulic properties of forest soils

研究代表者

小林 政広（KOBAYASHI MASAHIRO）

独立行政法人森林総合研究所・立地環境研究領域・主任研究員

研究者番号：50353686

研究成果の概要（和文）：

土壌タイプの異なる2カ所のヒノキ人工林において土壌中の含水率および水移動量を連続観測し、観測結果に逆解析を適用して降雨時における土壌の有効水理特性を推定した。土壌構造に富み撥水性を現す土壌では、推定される飽和含水率が乾燥時には表層から下層まで小さくなった。これは、選択流により不完全な雨水貯留が生じたためと考えられる。逆解析は Physical nonequilibrium の状態にある土層の有効水理特性の推定に役立つと期待される。

研究成果の概要（英文）：

Soil water content and flux were measured in Hinoki plantation forests with different soil types. Using observed data we conducted inverse estimations for "effective" hydraulic properties of the soils under rainfall. The estimated saturated water content of well-structured soil became very small when the soil dried. Preferential flow resulted by water repellency was thought to be the reason for the incomplete saturation. Inverse estimation should be a promising method to obtain effective hydraulic parameters of soils under physical nonequilibrium condition.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：森林土壌、選択流、逆解析、有効水理特性

1. 研究開始当初の背景

森林の水源かん養機能に関わる森林土壌の水理特性（保水性および透水性）は、通常、非かく乱サンプルを用い、十分に平衡させた条件下の実験で求められる（以下、この方法による水理特性を「サンプルによる水理特性」という）。しかし、森林土壌中では動物

の通行や植物根の腐朽などにより生じるマクロポアを選択的に流れる水移動（選択流）が生じやすく（Weiler and McDonnell, 2004）、同じ深度であっても水が流れている部分と流れていない部分が存在するような非平衡状態にあることが多い。そのため、現地の土層の実効的な水理特性（以下、有効水

理特性という)は、サンプルによる水理特性とは必ずしも一致しない。森林土壌中の実際の水移動の影響を反映した有効水理特性を明らかにすることが新たな課題である。

近年ではサンプルによる実験を行わずに現地土層中の複数深度で含水率と水分ポテンシャルを連続測定し、水収支計算から水理特性を求める試みがなされている(例えば、梁ら,2006)。ただし、これらの事例では解析対象が降雨後の排水過程に限られている。吸水過程を扱えないのは、特にテンシオメータのように測定範囲が小さい測器の測定値が選択流による水移動のばらつきに大きく左右され、解析が安定しないためと考えられる。

多量の水移動が生じる降雨時の現象に対応するためには、吸水過程を含めて森林土壌の有効水理特性を明らかにする必要がある。それには選択流による水移動のばらつきに左右されにくい手法を用いる必要がある。

本研究では、そのような手法として、「逆解析」が有効であると考えた。逆解析とは、数値計算が現地観測データを最もよく再現するように水理特性のパラメータを最適化して求める手法である(Zhang et al., 2003など)。測定範囲の大きいTDR水分計で土層の平均的な水貯留量を観測するとともに、ポラスプレートライシメータで不均一な水移動が平均化されると考えられる土層深部の水移動量を観測し、そのデータに逆解析を適用すれば、選択流が卓越する吸水過程についても有効水理特性を求めることができると考え、本課題を立案した。

2. 研究の目的

本研究は、森林土壌中では選択流が発生しやすいという観測事実を踏まえた上で、森林土壌の実効的な保水性と透水性を明らかにすることを目的とする。そのため、サンプルによる測定ではとらえきれない森林土壌の有効水理特性を、現地観測データを用いた逆解析により求める。また、土壌タイプや降雨条件が逆解析による有効水理特性とサンプルによる水理特性の違いに及ぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

土壌中の水分動態の観測は、熊本県山鹿市の鹿北試験地のヒノキ人工林および茨城県石岡市の筑波試験地のヒノキ林で実施した。鹿北試験地の土壌は結晶片岩を母材とし、礫に富み、肉眼で確認できるマクロポアが多い。一方、筑波試験地の土壌は、火山灰を母材とし、比較的均一な構造である。両試験地とも乾燥時には最表層の土壌に撥水性が発現する。

土層の複数深度に TDR 水分計を埋設し、 θ を連続測定した。TDR 水分計のプロブ長

は 30 cm であり、水平方向に設置した。TDR 水分計は、埋設深度毎に採取した土壌をアクリル製容器に現地と同じ乾燥密度になるように充填し、含水率を段階的に変化させて出力値を記録する方法でキャリブレーションした。

筑波試験地の土層には、直径 27cm のポラスプレートと吸引コントローラーからなるポラスプレートテンションライシメータ(小杉, 2000)を深度 1 m に設置した。

水分計等の設置の際、複数深度から円筒試料を非攪乱採取し、排水過程の θ -マトリックポテンシャル(ψ)関係および透水係数(K)- ψ 関係を求めた。

逆解析による有効水分特性の推定は、水移動解析ソフトウェア Hydrus1D の逆解析機能を用いて行った。降雨中の θ の変化を最もよく再現するように θ - ψ 関係の関数(van Genuchten 式)のパラメータを最適化させた。

選択流が生じると一時的な水の貯留に関わる孔隙が少なくなり、見かけ上飽和含水率(θ_s)が低下するモデルを想定し、 θ_s をフィッティングパラメータとした。また、水分特性曲線の変曲点の位置を表すパラメータ α もフィッティングパラメータとした。その他のパラメータは非攪乱試料による測定で求めた値を用いた。

4. 研究成果

(1) 降雨時の含水率変化

乾燥~湿潤の様々な先行水分条件における降雨イベント中の θ の変化を観測した。鹿北試験地のヒノキ林におけるの降雨時の θ の増加のパターンは、非乾燥時と乾燥時とで大きく異なっていた。非乾燥時には、浅い層から順次 θ が大きく増加し、深部へ θ の増加が伝わったが(図1)、乾燥時には、各深度での θ の増加は小さく、短時間で深部まで θ の増

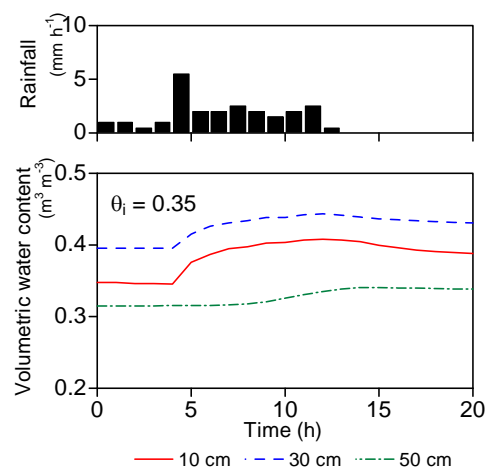


図1 鹿北試験地における非乾燥時の含水率変化(θ_i は降雨前の含水率)

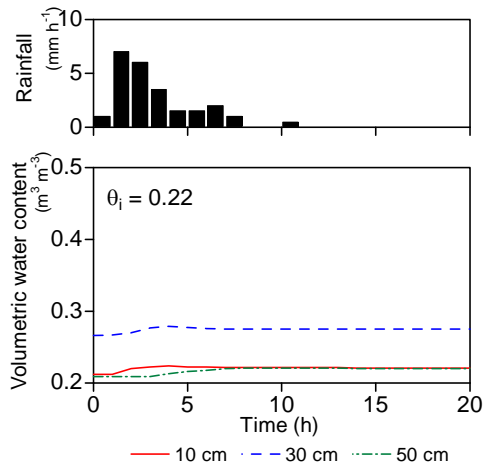


図2 鹿北試験地における乾燥時の含水率変化(θ_i は降雨前の含水率)

加が伝わった(図2)。鹿北試験地におけるこのような乾湿による含水率変化の違いは、乾燥時の撥水性と土層の不均一性のため選択流が卓越し、土層が十分に水を貯留することなく深部に速やかに排水したためであると考えられる。

一方、筑波試験地のヒノキ林では、乾燥時でも浅い層から順次 θ が大きく増加することが多かった。筑波試験地においても乾燥時には地表で撥水性が生じることが頻繁に観察されているが、母材が火山灰で土層が比較的均一であり、選択流が深部まで連続しにくいと考えられる。

(2) 観測データへの逆解析の適用結果

両試験地の観測結果に逆解析を適用した。鹿北試験地のヒノキ林では(図3)、先行水分条件が湿潤なときには、逆解析で推定される θ_s は非攪乱試料で求めた水分特性に近い値になったが、乾燥時には、 θ_s は著しく小さくなった。この傾向は、最表層のみでなく、深度50cmでも認められた。乾燥時の θ_s が小さいということは、少ない θ の増加で ϕ が大きく上昇することを意味する。

構造に富む土壤に、速い速度で雨水が供給されると、相対的に小さい孔隙に雨水が行き渡って、水平断面における平衡が成立しないまま相対的に大きい孔隙を通過して雨水が下方に移動することが考えられる。これは、Physical nonequilibrium (Ross and Smettem, 2000 など) と呼ばれる。鹿北試験地の土壤の場合、弱い塊状構造が認められ、レキや植物根の周囲に隙間マクロポアが多い。乾燥時には、雨水が一部の限られたマクロポアから集中的に地中に入る。そのため、撥水性のない層においても雨水が構造内部に行き渡る前に、マクロポアを通過して下方へ移動すると考

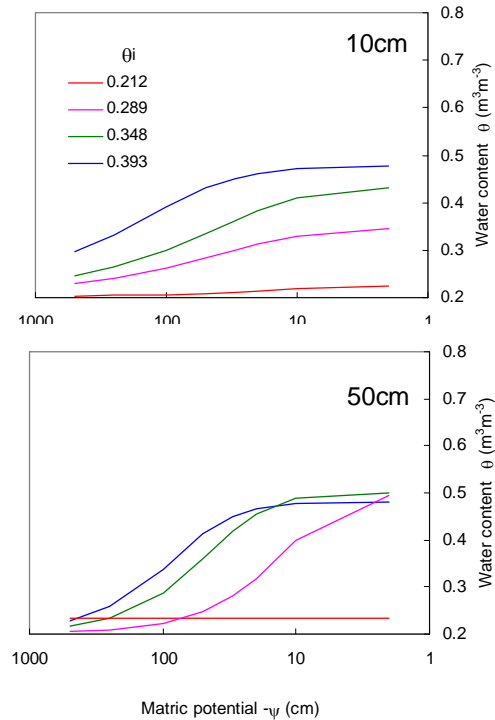


図3 鹿北試験地の異なる先行水分条件における降雨イベント時のデータへの逆解析で求められた水分特性曲線(θ_i は降雨前の含水率)

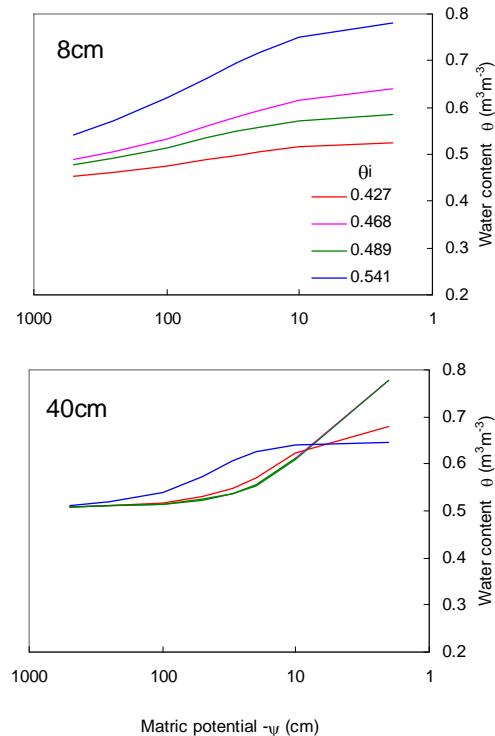


図4 筑波試験地の異なる先行水分条件における降雨イベント時のデータへの逆解析で求められた水分特性曲線(θ_i は降雨前の含水率)

えられる。このとき、水分分布の平衡が成立しない不完全な雨水貯留が起きていたと考えられ、これはPhysical nonequilibriumの状態と言え。逆解析により求まる小さな θ_s はこの反映と言え。

一方、筑波試験地のヒノキ林の場合、逆解析で推定される θ_s が最表層部では鹿北試験地と同様に先行水分条件が乾燥するほど小さくなったが、下層ではその傾向が認められなかった。火山灰を母材とし、比較的均一な土層構造の筑波試験地では、乾燥時に地表付近で撥水性による選択流が生じて、鉛直方向の水移動の早い段階でマトリックス孔隙に吸収されて行き渡り、比較的一様な水移動になるためと考えらる。

(3) 有効水理特性を求めることの意義

現地観測データを用いた逆解析により、撥水性による選択流が生じる森林土壌の有効水分特性が、先行水分条件に応じてあたかも元々の孔隙量が異なる別の土壌のように変化することを現すことができた。これは十分に平衡させた条件下の実験では決して求めることができない。本方法は、森林土壌に代表されるマクロポアに富みしばしば撥水性を現す土壌の有効水分特性を推定する上で今後も有力な手段となる。

また、近年増加傾向にある降雨強度の大きい降雨の下では、強い撥水性を伴わない土壌においてもPhysical nonequilibriumの状態が生じやすくなると考えられる。今後、本方法のような現地観測に基づく逆解析により水移動解析に必要な水理特性を推定することの必要性が一層高まるものとなる場面が多いと予想される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① 釣田竜也、吉永秀一郎、阿部俊夫、Buckingham-Darcy 式を適用した森林土壌下層部の鉛直水フラックス推定、日本森林学会誌、91: 151-158、2009、査読有

〔学会発表〕(計5件)

- ① 小林政広、清水貴範、降雨時の体積含水率測定値を用いた土壌の水理特性の推定、日本森林学会大会学術講演集、2012年3月27日、宇都宮大学(宇都宮市)
- ② 小林政広、吉永秀一郎、釣田竜也、伊藤優子、ポーラスプレートテンションライシメータによる森林土壌中の水・物質移動量の測定、日本森林学会大会学術講演集、2011年3月25~28日、静岡大学(静岡市 ※大会中止のため講演集のみ)
- ③ 小林政広、土壌有機物の濡れと森林土壌中の水移動、日本腐植物質学会講演会講演要

旨集、2010年11月29日、筑波大学(つくば市)

- ④ 小林政広、清水貴範、逆解析による森林土壌の水分特性の推定、2010年4月3日、日本森林学会大会学術講演集、筑波大学(つくば市)
- ⑤ 小林政広、吉永秀一郎、森林土壌中の水収支、土壌物理学大会講演要旨集、2009年10月23日、鳥取大学(鳥取市)

〔図書〕(計1件)

- ① 高橋正通、小林政広、東海大学出版会、第12章 土壌のでき方と性質、「森のバランス 植物と土壌の相互作用」、2012、125-131

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 政広 (KOBAYASHI MASAHIRO)
独立行政法人森林総合研究所・立地環境研究領域・主任研究員
研究者番号：50353686

(2) 研究分担者

篠宮 佳樹 (SHINOMIYA YOSHIKI)
独立行政法人森林総合研究所・立地環境研究領域・主任研究員
研究者番号：20353716

釣田 竜也 (TSURITA TATSUYA)
独立行政法人森林総合研究所・立地環境研究領域・主任研究員
研究者番号：30353775