

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26850096

研究課題名（和文）森林流域における表層土壌の水分状態の空間分布に与える植物による吸水の影響評価

研究課題名（英文）Effects of water absorption by tree roots on spatial variation in surface soil water conditions on a forested hill slope

研究代表者

小田 智基 (Oda, Tomoki)

東京大学・大学院農学生命科学研究科（農学部）・特任助教

研究者番号：70724855

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、森林流域の斜面における土壌水分の空間分布に対する、物理浸透プロセスや蒸発・植物による吸水影響を評価することを目的とする。森林斜面において土壌水分・林内降水量・土壌物理性・地表面蒸発量・細根量の空間変動を計測し、浸透モデルによって表層の土壌水分形成に与える要因の解析を行った。観測の結果、斜面上部ほど表層土壌の含水率は低く、細根量は多かった。地表面蒸発量や樹冠遮断蒸発量は斜面上下で大きな違いは見られなかった。モデルによる検討により斜面上下での表層の土壌水分は土壌物理性によって主に説明され、植物の吸水や地表面蒸発が表層の土壌水分形成に与える影響は比較的小さいことが分かった。

研究成果の概要（英文）：This study evaluated the effects of water uptake by trees on spatial variation in surface soil water content on a forested hill slope. Soil water content, canopy interception, ground evaporation, physical properties of soil and fine root volume in the surface layer were measured in upper and lower hill slope plots, and the effects of water uptake were estimated using model simulations. Spatial variation in soil water content was mainly explained by spatial patterns of physical characteristics of the soil. The effects of water uptake depth of trees and evaporation were weaker.

研究分野：農学

キーワード：土壌水分 森林斜面 硝酸態窒素 吸水深度 地表面蒸発

1. 研究開始当初の背景

日本の森林は、主に急斜面に成立しており、このような森林流域においては、斜面位置によって空間的に土壌水分状態が異なる。特に、表層土壌の水分状態は、微生物活性や植物による養分吸収に影響を与えるだけでなく、土壌の浸食や浸透にも影響を与えている。そのため、表層土壌水分の空間分布は、森林生態系における物質循環だけでなく、水・土砂移動を予測する上で重要な情報となる。しかし、土壌水分の空間的不均一性については、主に物理浸透プロセスによって説明され、植物による吸水の影響や微生物活性への影響など、生物的な要素との相互作用を考慮した決定メカニズムは十分に検討されていない。

2. 研究の目的

土壌水分は微生物活動に影響を与え、硝化の抑制など、土壌中の養分状態に影響を与える。さらに、水の移動と伴に、養分は下部に移動すると考えられ、斜面上部ほど、養分獲得のために根を表層に多く張っている傾向があり、より表層から養分や水を吸収していると考えられる。このような養分循環における植物の養分・水吸収が表層の乾燥状態を促進させている可能性がある。これらを明らかにするためには、表層土壌水分状態の形成に関わる次の項目(1、土壌の物理性、2、植物による吸水量・深度、3、地表面蒸発量、4、林内における降水の供給量 5、土壌中の窒素濃度)について流域内での空間分布を把握する必要がある。

本研究では、斜面においてこれらの要素がどのように分布しているのかを把握し、植物による吸水の影響について評価することを目的とした。

3. 研究の方法

東京大学千葉演習林袋山沢試験地 A 流域のスギ・ヒノキ人工林の尾根部から谷部まで、およそ 100m の斜面を対象とした。

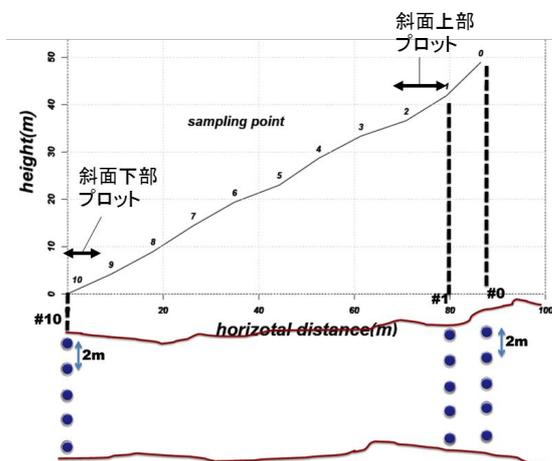


図1 対象森点林斜面の地形と土壌サンプリング地点

(1) 森林斜面における土壌水分・栄養塩の蓄積量の空間変動

100m の斜面において 10m おきに 5 繰り返し返して土壌を採取した。土壌は、A0 層、0~10cm の深度で 2013 年 9 月 9 日に行った。土壌は研究室に持ち帰り、重量含水率・細根量・KCl 抽出法による NO₃⁻ 濃度・NH₄⁺ 濃度の計測を行った。また、TDR (CS-615, CS-616 Campbell Scientific 社)を用いて 2014 年 5 月から 2015 年 10 月まで斜面上部・下部プロットにおいて表層 10cm、30cm の堆積含水率を 10 分間隔で計測した。

(2) 樹冠遮断量・地表面蒸発量の空間分布の把握

対象斜面において、上部下部の 2 プロットを設置し(図 1) 樹冠遮断量・地表面蒸発量を計測した。樹冠遮断量は、林外雨から林内雨・樹幹流量を差し引いた値とした。林内雨は上下でそれぞれ 8 地点、7 地点、樹幹流はそれぞれ 3 本、1 本のスギにて計測を行い、林外雨は 200m 程度離れた気象観測所のデータを使用した。

地表面蒸発量は、風速・温度・湿度・林内日射量を斜面上部のプロットにおいて 15 分間隔で計測し、Penman 式を用いて地表面蒸発量の推定を行った。さらに口径 25 cm のライシメータを斜面上部と下部に 1 つずつ設置し 30 分間隔で重量を計量台 (SB-15K10,A&D 社) とデータロガー (CR10X,Campbell Scientific 社)を用いて計測し、9月27日から30日にかけて口径14.5cmの小型ライシメータを上部、下部にそれぞれ6点設置し、蒸発量の計測を行うことで、推定値の補正を行った。

(3) 土壌物理特性の空間分布の把握

斜面上部、下部において 100cc の土壌を 7 点ずつ採取し、土壌透水性測定器(DIK-4011、大起理化学工業社)によって飽和透水係数を計測した。また表層の土を 60 度で 3 日間乾燥させた後、53 μm, 106 μm, 250 μm, 500 μm, 1 mm, 2 mm の目の篩にかけて粒径分布を調べた。

(4) モデルを用いた表層土壌水分分布に与える植物の吸水深度の影響評価

飽和不飽和浸透モデルを用いて土壌水分の経日変化を検討した。土壌水分を計算するにあたっては土壌の保水性(体積含水率 θ と圧力水頭 ψ の関係)を定式化する必要があり、θ - ψ 関係式には Kosugi(1994)が提示した VK モデルを用いた。VK モデルは

$$S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r) = 1 / \{ 1 + m_K [((\psi_{cK} - \psi) / (\psi_{cK} - \psi_{0K}))]^{1/(1-m_K)} \}^{m_K}$$

..... 式(1)

で表される。ここで S_e : 有効飽和度、θ_s : 飽和体積含水率、θ_r : 残留体積含水率であり ψ_{cK}, ψ_{0K}, m_K は土壌別の変数である。θ_s,

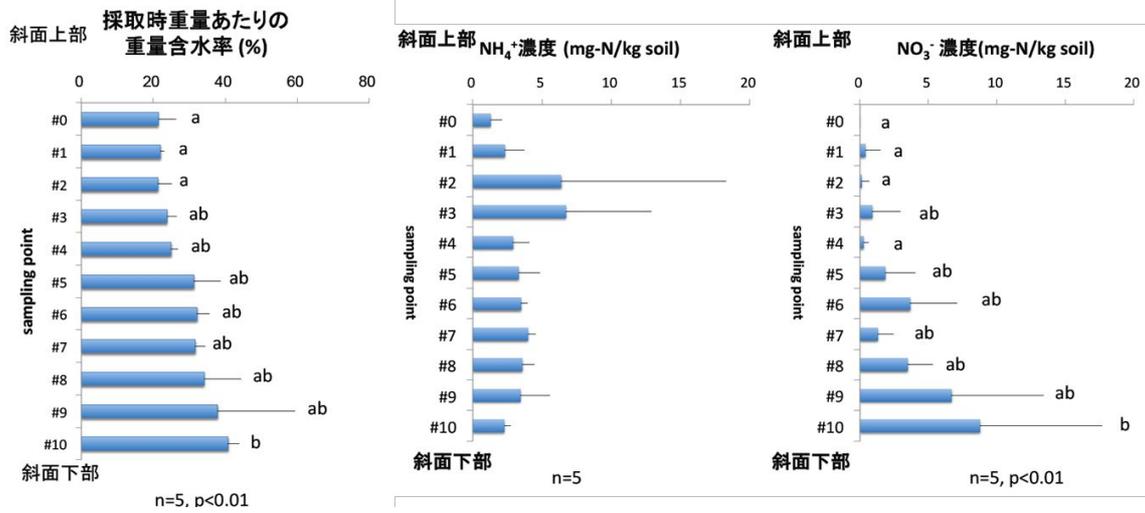


図2 斜面上部から下部における重量含水率・NH₄⁺濃度・NO₃⁻濃度の分布

$\theta_r, \psi_{cK}, \psi_{0K}, m_K$ は過去に本試験地において測定された値を用いた(熊谷ら, 1997)。

水分フラックスは鉛直流れのバッキンガム-ダルシー則で表される。

$$J_w = -K(h)(\partial h / \partial z + 1) \quad \dots \text{式(2)}$$

ここで J_w : 水分フラックス、 $K(h)$: 不飽和透水係数、 h : 圧力水頭、 z : 重力ポテンシャル水頭である。不飽和透水係数は Brooks and Corey(1964)によって提案された $K-\psi$ 関係の次式より求めた。

$$K(h) = K_s(\psi_{cr}/\psi)^\eta \quad (\psi < \psi_{cr})$$

$$K = K_s \quad (\psi \geq \psi_{cr})$$

..... 式(3)

ここで K_s は飽和透水係数、 ψ_{cr} は限界毛管水頭、 η は圧力水頭の低下に対する不飽和透水係数の低下を示すパラメータである。 K_s, ψ_{cr}, η の値は熊谷ら(1997)によって算出された値を用いた。

以上の式から求められた $\theta-\psi$ 関係及び $K-\psi$ 関係からモデルを作成した。土壌水分モデルにおいて、損失量として地表面蒸発、根による吸水、地下水流出を与えた。地表面蒸発量は本研究で推定された値を与えた。樹木による土壌深度ごとの吸水量は年損失量から樹冠遮断量、リター遮断量、地表面蒸発量を差し引くことで蒸散量を求め、この量を深さ 60 cm の土層に細根量に応じて分配した。流出量はモデル土壌の底面における下向き水分フラックスとした。

土層厚は、過去に計測された結果から斜面

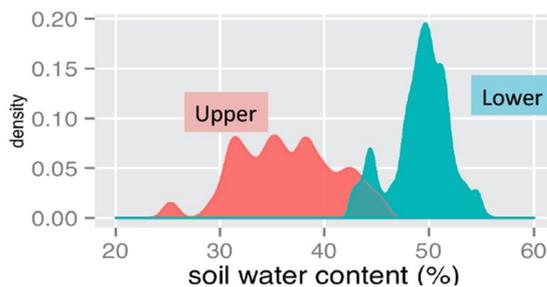


図3 斜面上部下部における堆積含水率のヒストグラム

上を 1 m、斜面下を 6 m とした。モデルの初期条件は降雨直後で土層全体が飽和しているとした。

4. 研究成果

(1) 森林斜面における土壌水分・栄養塩の蓄積量の空間分布特性

表層土壌の重量含水率は斜面上部で小さく、斜面下部で大きいこと、土壌中の NO₃⁻濃度は明らかに斜面上部で小さいこと、NH₄⁺濃度は差が見られないことが分かった(図2)。また、斜面上部、下部の堆積含水率の連続データ及びヒストグラムから、斜面上部の方が降雨後の含水率の低下が大きく、斜面下部では降雨後でも斜面上部ほどの含水率の低下は見られなかった(図3)。表層土壌における細根量は、斜面上部で多かった。斜面において、上部と下部では明らかに水文環境が異なっており、表層の土壌水分が微生物活性に影響を与え、土壌中の養分量の決定要因になっていると考えられた。

(2) 樹冠遮断量・地表面蒸発量の空間分布の把握

樹冠遮断量の計測により、斜面の上部・下部においてそれぞれ降雨の 24%、25% であると推定され、森林内に供給される雨量は斜面上下で大きな差はないという結果が得られた。また、地表面蒸発量の実測及び気象観測による推定結果から、斜面上下における差は平均 0.01mm/day 程度であり、大きな違いは見られないことが分かった。

(3) 土壌物理特性の空間分布の把握

飽和浸透係数の平均は斜面上部で 0.11 m/s に対し斜面下部で 0.025 m/s であり、土壌物理性は斜面上下において大きな違いを示した。土壌の粒径分布の計測の結果、斜面上部よりも斜面下部で 53 μm 以下の細粒成分の割合が大きかった。

(4) モデルを用いた表層土壌水分分布に与える植物の吸水深度の影響評価

観測結果を元に、浸透計算を行い計測された土壌水分がどのような条件で再現できるのかを検討した。

同じ透水性、保水性を示す土壌を用いたモデルによって、地表面蒸発量・樹木による吸水の影響を計測に基づいて与えることにより表層 10 cmの土壌の体積含水率の経日変化をシミュレーションした結果(初期条件:飽和状態) 15日後に3%程度の土壌水分の差が見られ、斜面上部で乾燥している傾向は見られたが、現実観測されたような斜面位置による土壌水分の違いを表現することはできなかった。それに対し、斜面上下で土壌の透水性・保水性の違いを考慮したところ、現実観測された土壌水分に近い結果が再現された。

以上のモデルによる検討の結果と各要素の観測結果から、斜面位置による表層 10cmの土壌水分形成には土壌の透水性・保水性や空隙率といった土壌の物理特性が大きく影響していることが考えられ、植物に根による吸水深度の違いや地表面蒸発の違いの影響は比較的小さいことが明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

小田智基、江草智弘、堀田紀文「東京大学千葉演習林袋山沢試験地における対照流域法による水文観測」『砂防学会誌』70号(1)、2017(査読無し)

Urakawa R, Ohte N, Shibata H, Isobe K, Tateno R, Oda T, Hishi T, Fukushima K, Inagaki Y, Hirai K, Oyanagi N, Nakata M, Toda H, Tanaka K, Kuroiwam M, Watanabe T, Fukuzawa K, Tokuchi N, Ugawa S, Enoki T, Nakanishi A, Saigusa N, Yamao Y, Kotani A. 「Factors contributing to soil nitrogen mineralization and nitrification rates of forest soils in the Japanese archipelago」『Forest ecology and Management』361, 2015, pp382-396 (査読あり)

Isobe K, Ohte N, Oda T, Murabayashi S, Wei W, Senoo K, Tokuchi N, and Tateno R. 「Microbial regulation of nitrogen dynamics along the hillslope of a natural forest」『Front Environ Sci』2. 2015 (査読あり)

[学会発表](計 5 件)

藤目直也、小田智基、酒井佑一．森林斜面における表層土壌の水分環境形成メカニズムの解明．第 128 回日本森林学会大会 2017 鹿児島大学(鹿児島)

酒井佑一・小田智基．カラム土壌を用いた降雨中の浸透流出及び水質形成の実験的検討．第 128 回日本森林学会大会

2017 鹿児島大学(鹿児島)

Tomoki Oda, Marino Hiraoka, Kazuki Nanko, Norifumi Hotta, Nobuhito Ohte, Masakazu Suzuki, Yoshimi Uchiyama. Spatial pattern of the throughfall volume on a steep slope dominated by deciduous broad-leaved trees AGU Fall Meeting 2015 San Francisco, USA

加藤宏有・大手信人・小田智基・磯部一夫・浦川梨恵子 スギ・ヒノキ林内での斜面に沿った土壌中の無機化・硝化および含水率の空間的変動 第 126 回日本森林学会大会 2015 北海道大学(札幌)
Tomoki Oda, Tomohiro Egusa, Nobuhito Ohte, Manami Takeda, Masakazu Suzuki. Long-term changes of water and chemical budgets after clear-cutting of a small headwater catchment in Japan. AGU Fall Meeting 2014 San Francisco, USA

6. 研究組織

(1)研究代表者

小田 智基 (ODA TOMOKI)

東京大学大学院・農学生命科学研究科・特任助教

研究者番号：70724855