

ヒノキ人工林を主体とする御手洗水試験流域における 土壌の潜在的な撥水性について*

井手淳一郎**, 森 也寸志***, 大槻恭一****

ヒノキ人工林が優先する御手洗水試験流域において土壌の潜在的な撥水性の空間変動性を把握するため、流域内の東向き斜面の上部、中部、下部、谷部において土壌試料を採取し、エタノール溶液滴下試験を行った。その結果、斜面の上部、中部、下部の表層土壌(深度: 0 - 2 cm、2 - 5 cm)において撥水性が観測された。それらの撥水性強度は「none」から「very strong」までの範囲に及んだ。一方、谷部では撥水性は観測されなかった。撥水性試験に供した土壌試料を観察した結果、撥水性強度の高い土壌試料ほど小鱗片状のヒノキの落葉が多く混入している様子がみられた。このことから、ヒノキ林では、土壌中のヒノキの落葉の含有量が撥水性の発現を規定する主要な要因であることが予想された。
キーワード: ヒノキ人工林, 撥水性土壌, MED試験, 疎水性物質, 落葉

To evaluate the spatial variability of potential soil water repellency in the Ochozu Experimental Watershed dominated by a Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) plantation, 'Molarity of an Ethanol Droplet' test was examined for soil samples collected at the upper, middle, lower and bottom parts of east-facing hillslope in the watershed.

Potential soil water repellency was observed for the surface soils (0 - 2 and 2 - 5 cm depths) at the upper, middle and lower parts and their strengths of water repellency ranged from 'none' to 'very strong'. On the other hand, potential soil water repellency was not observed for the soils at the bottom part. It was observed by eye that the soil samples of stronger water repellency appear to include larger amounts of litter leaves of Japanese cypress. Therefore, it is predicted that the content of litter leaves of Japanese cypress in the soils is a critical factor causing soil water repellency in a Japanese cypress plantation.

Keywords : Japanese cypress, water repellent soil, MED test, hydrophobic substances, litter leaves

1. はじめに

森林における土壌の撥水性は森林の水源涵養機構の発揮に大きな影響を与えると考えられる。土壌の撥水性とは土壌が水をはじく性質であり、雨水の浸透を妨げるため、土壌水分の低下を招く。このため、土壌の撥水性は表面流の発生を促し、しばしば土壌侵食を引き起こす(Shakesby et al., 2000)。ヒノキ人工林では土壌の撥水性が発現しやすいため、表面流が他の森林に比べ頻発する傾向にある(小林ら, 2006; Miyata et al., 2007)。このような撥水性の原因は微生物や植物、あるいは植物遺骸に由来する土壌中の有機化合物や菌糸の存在と考えられているが、主要な原因は特定されていない(Doerr et al., 2000)。

九州大学農学部付属福岡演習林の御手洗水試験流域ではヒノキ人工林における水・物質循環の総合的な観測が2001年より継続されている。これまでの観測結果から、御手洗水試験流域では直接流出率が他流域に比べて高く(Chiwa

et al., 2010; Ide et al., submitting), また侵食土砂量も多い(Ide et al., 2009)ことが示されている。これらの原因の一つとして、撥水性に端を発する表面流の頻発(例えば, Miyata et al., 2007)が考えられる。Ide et al. (2008)は御手洗水試験流域でエタノールを用いた撥水性試験を実施し、ヒノキ人工林の土壌において夏季の乾燥した条件下で強い撥水性を観測したことを報告している。また、彼らは、そのような乾燥した条件下では、湿潤な条件下に比べ出水時の流出応答が早かったことを示し、表面流が発生していたことを示唆している。一方で、斜面部位や土壌深度ごとに有機化合物の含量、菌糸の分布、あるいは微生物や植物・植物遺骸の分布等は異なるため、土壌の撥水性やそれが表面流の発生に及ぼす影響は空間的に変動することが考えられる(Dekker and Ritsema, 1994; Shakesby et al., 2000; Doerr et al., 2003)。しかしながら、御手洗水試験流域において、土壌の撥水性が斜面部位や土壌深度によってどのように変動するかについては検証が行われていない。

Jun Ichiro Ide, Yasushi Mori, Kyoichi Otsuki

* Potential soil water repellency in the Ochozu Experimental Watershed dominated by a Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) plantation

** 山梨大学大学院医学工学総合研究部国際流域環境研究センター

International Research Center for River Basin Environment, Interdisciplinary Graduate School of Medicine and Engineering, University of Yamanashi

*** 島根大学生物資源科学部

Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University

**** 九州大学演習林

Kasuya Research Forest, Kyushu University

土壌の撥水性試験には現場の条件を保持したまま行う「実際の撥水性」試験と実験室で行う「潜在的な撥水性」試験の2つがある。前者の方法は土壌の水分状態に依存する指標なので、異なる斜面部位や土壌深度別で土壌の撥水性を比較する場合は一定の水分状態で撥水性を測定する後者の方法が適している。最も簡易に調整できる水分状態は風乾である。このため、旧来から風乾状態の撥水性が測定され、乾燥時に発現しうる潜在的な撥水性の指標として広く用いられてきた (Dekker and Ritsema, 1994; 小林ら, 2006)。前述したように、御手洗水試験流域では異なる水分条件下での実際の撥水性は報告されているが、潜在的な撥水性は報告されていない。本報では、御手洗水試験流域の一つの斜面において土壌の撥水性が空間的にどのように変動するかを、潜在的な撥水性試験を用いて検討することを目的とした。また、撥水性試験を実施した土壌を観察することで撥水性の原因について考察した。

2. 方法

2.1. 試験地概要と土壌試料の採取

土壌試料を採取した試験地は福岡市から東方約15kmに位置する御手洗水試験流域 (北緯33°38′, 東経130°32′) であり、九州大学農学部附属福岡演習林内に設置されている (図1)。流域面積9.5ha, 主流路長265mの北東-南西に細長い流域である。この流域を流した河川水は多々良川を経て博多湾に流入する。

本試験地の地質は、三郡変成岩類中層部の緑泥片岩と蛇紋岩である (東ら, 2005)。土壌は褐色森林土に分類される。土層厚は40 - 100cmと浅い (久米ら, 2008)。

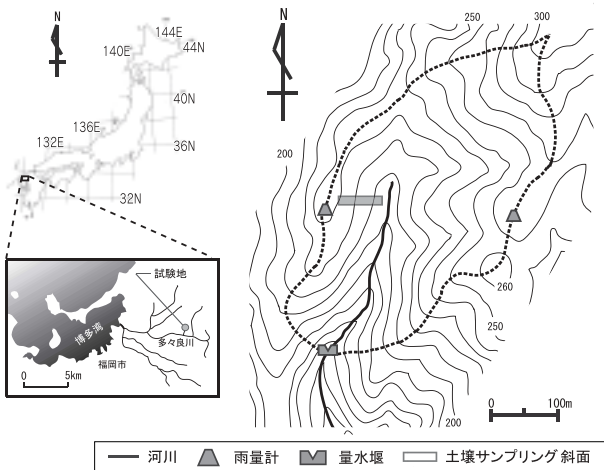


図1 御手洗水試験流域の概要。
Figure 1 Map showing the location of the Ochozu Experimental Watershed.

主流路を挟んだ谷部は樹齢50年のヒノキ人工林によって覆われており、中腹から尾根部はヤマモモ・リュウブなどの常緑・落葉混交二次林によって覆われている。これらの

流域面積に占める割合はそれぞれ46%, 54%である。ヒノキ人工林は1993年に枝打ちが実施されて以来、管理が行なわれておらず、谷部における下層植生は乏しく、また土壌がリターに覆われていないため、裸地化している (Ide et al., 2009)。

本試験地の東向き斜面において撥水性試験に供するため、土壌試料の採取を2007年の7月に行った (図1)。土壌試料の採取を実施した日における先行10日間の雨量は9.5mmであり、先行無降雨期間は7日間であった。斜面の上部、中部、下部および谷部の各3地点、計12地点において土壌試料を採取した (図2)。斜面の中部、下部、谷部はヒノキ人工林で覆われていた。また、斜面の上部は主に常緑・落葉混交二次林で覆われていたが、リター中にはヒノキの落葉の混入が見られた。土壌試料の採取にはライナー採土器 (大起理化学工業製, DIK-110B) を用いた。ライナー採土器は土壌表層から深度30cmまでの柱状の土壌試料を、土壌構造を破壊することなく採取することができる。土壌試料を採取する際、リター層を除いてライナー採土器を差し込んだ。柱状の土壌試料は腐植層 (F-H層), A層, B層を含んでいると考えられる。

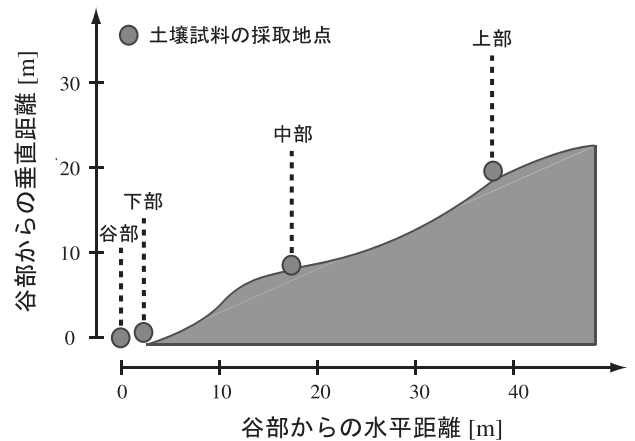


図2 東向き斜面における土壌試料の採取地点。
Figure 2 Soil sampling points on the east-facing hillslope in the Ochozu Experimental Watershed.

2.2. 土壌試料の調整と潜在的な撥水性の試験

潜在的な撥水性の試験を行うため、採取した柱状の土壌試料を0-2, 2-5, 5-15, 15-30cmの4層に切り分け、1日間風乾した。その後、各層の土壌試料を2mmメッシュの篩にかけ、シャーレ (直径50mm, 深さ10mm) に敷き詰めた。シャーレに敷き詰める際は、表面を平らにし、また、極端な隙間ができないように調整した。その後、撥水性試験を実施する前の土壌試料の様子を記録しておくため、斜面の各部位、各深度における土壌試料を写真に収めた。

実験室 (20°C, 50% RH) において、Doerr (1998) の方法にもとづき、エタノール溶液滴下 (Molarity of an Ethanol Droplet: MED) 試験によって土壌の撥水性強度の測定を行った。MED試験はエタノールの表面張力が水のそれより

も小さいために撥水性土壌に浸透しやすいという性質を利用し、土壌試料に即座に浸透するエタノール溶液の最低濃度を決定する方法である。本研究では、エタノール溶液の濃度を、0, 1, 3, 5, 8.5, 13, 18, 24, 36% (体積濃度) の9段階に設定した。マイクロピペットを用いて50 μ lのエタノール溶液を、シャーレに敷き詰めた土壌試料に滴下した。エタノールを滴下する際は雨滴衝撃の影響を配慮して

5mm以内の高さから滴下した。3秒以内に水滴が浸透した時のエタノール濃度を記録した。撥水性強度はDoerr et al. (2003) の指標に従った(表1)。なお、土壌の撥水性の計測には、MED試験の他に、水滴が土壌試料に浸透するまでの時間を計測する水滴浸透時間(Water Drop Penetration Time) 試験が知られているが、MED試験のほうが計測の早さ、利便性の面で有用であるとされている(Scott, 2000)。

表1. Derr et al. (2003) によって定義されたエタノール濃度, 見かけの表面張力および撥水性強度

Table1 Ethanol concentrations, molarity of an ethanol droplet (MED) values, apparent surface tension, and classification of water repellency as defined by Doerr et al. (2003).

| | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|--------|----------|--------|-------------|-------------|---------|
| エタノール濃度 [%] | 0 | 1 | 3 | 5 | 8.5 | 13 | 18 | 24 | 36 |
| エタノール濃度 [mol l ⁻¹] | 0 | 0.17 | 0.51 | 0.85 | 1.45 | 2.22 | 3.07 | 4.09 | 6.14 |
| 表面張力 [10 ⁻² N m ⁻¹] | 72.1 | 66.9 | 60.9 | 56.6 | 51.2 | 46.3 | 42.3 | 38.6 | 33.1 |
| 撥水性強度 | none | none | none | slight | moderate | strong | very strong | very strong | extreme |

3. 結果と考察

斜面の上部と中部において、深度0 - 2cmと2 - 5cmの部位に撥水性が観測された(図3a, b)。また、斜面の下部においても深度0 - 2cmの部位に撥水性が観測された(図3c)。それらの撥水性強度は「none」から「very strong」の範囲に及び、ばらつきが大きかった。これらの結果は、御手洗水試験流域の東向き斜面においては、土壌の表層付近にのみ撥水性が発現し、撥水性強度の空間的な変動性は大きいことを示す。このことはMiyata et al. (2007) が三重県樋谷池流域のヒノキ人工林で行った、実際の撥水性試験の結果と一致する。小林ら(2006)はヒノキ人工林と広葉樹林の土壌についての撥水性と全炭素含有率との関係について調べ、ヒノキ人工林の土壌の潜在的な撥水性のほうが広葉樹林のそれよりも全炭素含有率との間に強い正の相関関係をもっていたことを示している。また、彼らは、土壌の潜在的な撥水性と全炭素含有率との間の回帰直線から、同じ全炭素含有率に対する潜在的な撥水性は広葉樹林の土壌よりもヒノキ人工林の土壌で高かったことを報告している。これらのことからヒノキから供給される有機物の中に土壌の潜在的な撥水性を強める物質が多く含まれることが示唆された。土壌の撥水性とヒノキ落葉の混入率との関係は定量化していないが、撥水性試験に供した土壌試料を観察した結果、強い撥水性を示した土壌ほど小鱗片状のヒノキの落葉が多く混入している傾向が見られた。ヒノキの葉は一般的に落葉後数ヶ月で小鱗片状に分解する(酒井ら, 1987)ため、表層土壌中に混入しやすいと考えられる。ヒノキを含む針葉樹は広葉樹に比べてリター中にエタノールやベンゼンに可溶性成分を多く含むことが報告されている(河田, 1961)。これらの成分とは、ワックス、油脂、樹脂、

脂肪など分子構造中に水になじみ難い部分をもつ物質を指す。このことはヒノキの落葉が土壌の撥水性の主な原因物質となることを暗示する。以上のことから、ヒノキ人工林の土壌の撥水性は主に、ヒノキの落葉の土壌への混入によって引き起こされることが予想された。すなわち、ヒノキの落葉の含有量が多い土壌ほど撥水性を示しやすいのではないかと予想された。また、土壌表層付近のみに撥水性が観測されたのは土壌の表層が深層に比べヒノキの落葉の影響を受けやすいことに起因しているのではないかと考えられた。ヒノキの落葉が微生物による分解の作用を受け、土壌表層へ撥水性の原因物質(疎水性物質)を供給している可能性が考えられる(小林, 私信)。

斜面の上部から下部の土壌において撥水性が観測された一方で、斜面の谷部では、いずれの深度においても撥水性が観測されなかった(図3d)。谷部の土壌試料採取地点には下層植生がほとんどなく、またリター層も発達しておらず、土壌表層が露出した状態となっている。このため、土壌が雨滴衝撃により締め固まっており、比較的大規模な出水時に表面流が発生し水路となることがある。したがって、谷部において撥水性が観測されなかったのは表面流の発生によって表層の有機物、とくにヒノキの落葉が流されてしまうことが原因であると考えられた。一方、本流域の尾根部において下層植生やリターの被覆率が谷部に比べ高いことは、斜面の上部における土壌表層からヒノキの落葉が雨や風により流亡するのを防ぐ。このことは上部の土壌試料が他の斜面部位のそれよりも多く撥水性を示した(図3a)主な原因かもしれない。落葉の空間的な変動性は同一の斜面部位における土壌試料採取地点間での撥水性強度のばらつき(図3a, b, c)を引き起こしている可能性があるだろう。ヒノキからの落葉の供給量に採取地点間でばらつきがあっ

たり、採取地点によっては落葉が供給されても雨や風によって即座に流亡してしまったりすることが土壌へのヒノキの落葉の混入に空間的な変動性を与え、結果として撥水性強度におけるばらつきをもたらしているのかもしれない。

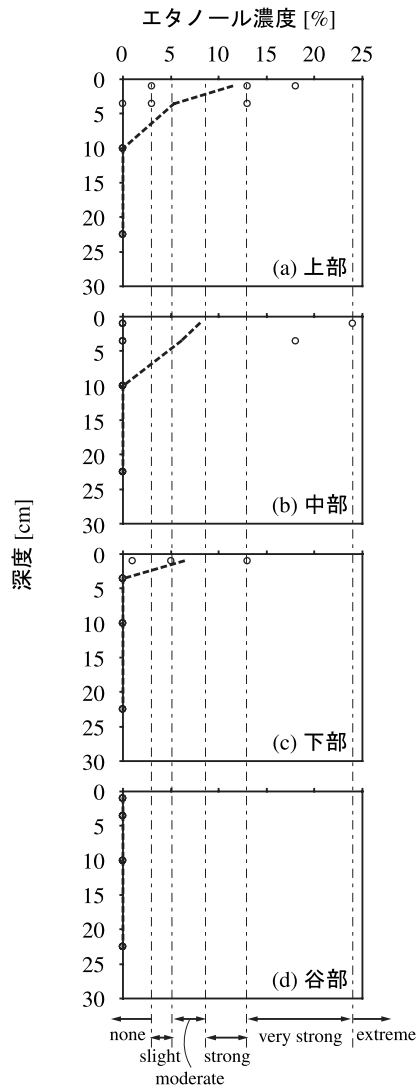


図3 (a) 斜面上部、(b) 中部、(c) 下部および(d) 谷部における土壌試料の潜在的な撥水性の鉛直分布。図中では撥水性強度の指標としてエタノール濃度を用いている。また、撥水性強度の分類は表1に対応している。図中の破線はエタノール濃度の平均値の鉛直分布を示す。

Figure 3 (a) Vertical profiles of potential soil water repellency for soil samples collected at the upper, (b) middle, (c) lower and (d) bottom parts of the east facing hillslope in the Ochozu Experimental Watershed. Ethanol concentrations were used as indices of water repellency in the figure and classifications of water repellency correspond to Table 1. Broken lines in the figure represent vertical profiles of the average ethanol concentrations.

4.まとめ

本報では、御手洗水試験流域における土壌の撥水性の空間的な変動性について検討するため、東向き斜面の土壌を採取し、潜在的な撥水性試験を行い、その結果を示した。斜面の上部、中部および下部では、土壌の表層のみにおいて潜在的な撥水性が観測された。それらの撥水性強度は「none」から「very strong」の範囲に及んだ。一方、斜面の谷部では、潜在的な撥水性は観測されなかった。斜面の土壌における潜在的な撥水性の有無にはヒノキからの有機物の供給が深く関わっていると考えられた。撥水性試験に供した土壌試料を観察した結果、強い撥水性を示した土壌ほど小鱗片状のヒノキの落葉が多く混入している様子がみられた。このことからヒノキ人工林の土壌の撥水性強度はヒノキの落葉の含有量に依存することが予想された。

謝辞

九州大学大学院の藏本康平氏には本研究の調査に快く協力して頂きました。ここに改めて心からお礼申し上げます。本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金（基盤研究B，課題番号14360088；基盤研究B，課題番号17380096；基盤研究B，課題番号18208014；特別研究員奨励費，課題番号04J06809），島根大学重点研究部門研究プロジェクト「地域資源循環型社会の構築 持続可能で活力ある地域を目指して」の援助を受けて行われたことを記して謝意を表します。

引用文献

- Chiwa M, Maruno R, Ide J, Miyano T, Higashi N, Otsuki K (2010) The role of storm flow in reducing N retention in a suburban forested watershed, western Japan. *J Geophys Res* 115:G02004
- Dekker LW, Ritsema CJ (1994) How water moves in a water repellent sandy soil: 1. Potential and actual water repellency. *Water Resour Res* 30:2507-2517
- Doerr SH (1998) On standardizing the 'Water Drop Penetration Time' and the 'Molarity of an Ethanol Droplet' techniques to classify soil hydrophobicity: A case study using medium texture soils. *Earth Surf Process Landf* 23:663-668
- Doerr SH, Shakesby RA, Walsh RPD (2000) Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance. *Earth-Sci Rev* 51:33-65
- Doerr SH, Ferreira AJD, Walsh RPD, Shakesby RA, Leighton-Boyce G, Coelho COA (2003) Soil water repellency as a potential parameter in rainfall-runoff modelling: experimental evidence at point to catchment scales from Portugal. *Hydrol Process* 17:363-377

- 東智洋・井手淳一郎・大槻恭一・小川滋 (2005) 斜面, ライパリアンゾーンの水分状態と流域スケールの流出の関係: 御手洗水試験流域における観測例. 九大演報 86:1-13
- Ide J, Haga H, Chiwa M, Otsuki K (2008) Effects of antecedent rain history on the particulate phosphorus loss from a small forested watershed of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*). J Hydrol 352:322-335
- Ide J, Kume T, Wakiyama Y, Higashi N, Chiwa M, Otsuki K (2009) Estimation of annual suspended sediment yield from a Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) plantation considering antecedent rainfalls. For Ecol Manage 257:1955-1965
- Ide J, Chiwa M, Higashi N, Maruno R, Mori Y, Otsuki K (2010) Determining storm sampling requirements for improving precision of annual load estimates of nutrients from a small forested watershed. Environ Monit Assess submitting
- 河田弘 (1961) 落葉の有機物組成と分解にともなう変化について. 林試験報 128:115-144
- 小林政広・釣田竜也・伊藤優子・加藤正樹 (2006) ヒノキ人工林および隣接する落葉広葉樹林における土壌の撥水性の空間分布. 日林誌 88:354-362
- 久米朋宣・東直子・脇山義史・金丸裕一郎・井手淳一郎・大槻恭一 (2008) 管理放棄人工林を主体とする御手洗水試験流域における土壌の性質と水分保持能. 九大演報 89:13-28
- Miyata S, Kosugi K, Gomi T, Onda Y, Mizuyama T (2007) Surface runoff as affected by soil water repellency in a Japanese cypress forest. Hydrol Process 21:2365-2376
- 酒井正治・井上輝一郎・岩川雄幸 (1987) 粗大有機物の土壌への混入量 (III) 斜面位置の違いによるヒノキ葉混入量. 日林論 98:193-196
- Scott DF (2000) Soil wettability in forested catchments in South Africa; as measured by different methods and as affected by vegetation cover and soil characteristics. J Hydrol 231-232:87-104
- Shakesby RA, Doerr SH, Walsh RPD (2000) The erosional impact of soil hydrophobicity: current problems and future research directions. J Hydrol 231-232:178-191