

ヒノキ人工林の土壌表面における細根層が土砂流出及び表面流に与える影響

佐藤貴紀, 田中延亮, NAINAR Anand (東京大学生態水文学研究所)
蔵治光一郎 (東京大学附属演習林企画部)
五名美江 (元東京大学生態水文学研究所)
北岡明彦, 鈴木春彦, 中島諒大 (豊田市産業部農林振興室森林課)

東海地方にあるヒノキ人工林2か所を対象として土砂受け箱を用いた掃流土砂量, リター移動量, 表面流量および浮遊土砂量の観測を行い, さらに土壌表層の細根量の調査を行った。その結果, 大洞では表面流が土砂の移動に強く影響を与えているのに対して, 御内では表面流は土砂の移動に寄与していないことが明らかとなった。その原因として御内では大洞よりも厚いリター層および細根層に覆われていることで雨滴衝撃から土壌を保護していること, そして細根層の中を流れるバイオマットフローは土砂の移動に寄与しないことが示唆された。

キーワード: ヒノキ人工林, 土砂受け箱, 土砂移動, 表面流, バイオマットフロー

I はじめに

間伐遅れのヒノキ人工林は樹冠が閉鎖し, 林床が暗いため林床植生が発達できない。さらに, ヒノキのリターは細かく分解して流亡しやすいためにリター被覆も少ない状況となっている(5)。この状態で雨滴が土壌を直接叩くことで土壌構造が破壊され土壌の浸透能が低下するために(20), 間伐遅れのヒノキ人工林では他の植生に比べて表面流(3)や土砂流出(5, 19)が多く発生することが明らかにされている。

表面流と土砂流出を抑制する効果があるとして着目されているのが林床植生の存在とリター被覆であり, 林床植生やリターの被覆が存在することで地表流の発生及び土砂流出が抑制されることが野外観測から明らかにされている(10, 18, 19)。一方, 細根が土砂流出に与える影響についてはあまり着目されていない。細根は土壌を固定して表面流による流出を防ぐ効果があることが知られており(2), 細根量や細根の長さ, 直径などの細根構造と土砂流出量との関係が明らかにされている(1, 4)。また, 厚い細根層の中を水が流れるバイオマットフローの存在が指摘されており(6), そのような流れが発生するヒノキ人工林では土砂流出が発生しないことが指摘されている(15)。以上のように, 林床植生やリターの被覆に加えて細根も表面流及び土砂流出に大きな影響を及ぼすことが考えられるが, 厚い細根層が存在するようなヒノキ人工林を対象として, 表面流と土砂流出とを同時に観測した研究例は存在しない。

そこで本研究では, 表面流と土砂流出を同時に観測することのできる土砂受け箱を用い, 東海地方にある間伐遅れのヒノキ人工林内2か所を対象として表面流

と土砂流出の同時観測を行った。さらに, 同ヒノキ人工林内において土壌表層の細根量の調査を行うことで, 土壌表層の細根量の違いが表面流と土砂流出に与える影響について検討した。

II 調査概要

調査地は愛知県豊田市大洞町と御内町にあるヒノキ人工林である。大洞の標高は585 m, 年降水量は2017.5 mm, 年平均気温は11.2°Cであり, 御内の標高は869 m, 年降水量は1890.0 mm, 年平均気温は10.2°Cである。大洞, 御内ともにヒノキを中心とした人工林であり, 林齢はそれぞれ28年生, 57年生である。大洞と御内における地質はそれぞれ風化花崗岩, 変成岩(泥質片岩)である。

それぞれのヒノキ人工林の斜面に, 大洞では15個, 御内では10個の土砂受け箱(9, 11, 19)を, 同じ等高線におよそ1 m間隔で設置した。大洞と御内における土砂受け箱を設置した斜面の平均傾斜はそれぞれ30.5°, 27.8°であり, 立木密度はそれぞれ2400本 ha⁻¹, 2167本 ha⁻¹である。土砂受け箱は中空のステンレス製の箱で, 幅25 cm, 高さ20 cm, 奥行き30 cmである。土砂受け箱の上流側には斜面に固定するための奥行き10 cmの差し込み板がある。下流側の開放部にネットを被せることで, 上流から移動してくる土砂及びリターが捕捉される。また, 下流側開放部の下に雨樋を設置しホースによって貯留タンクと接続することで, 土砂受け箱内を通過した表面流も捕捉されるよう改良を行った。

土砂受け箱内の土砂, リターの回収, 及び貯留タンク内に溜まった表面流量の測定は月に1回のペースで

SATO Takanori*, TANAKA Nobuaki, NAINAR Anand, KURAJI Koichiro, GOMYO Mie, KITAOKA Akihiko, SUZUKI Haruhiko, NAKASHIMA Ryota

The effect of fine root cover on soil erosion and overland flow in Japanese cypress plantation.

satot@uf.a.u-tokyo.ac.jp

実施した。回収してきた土砂とリターの混合物は1週間以上風乾した後、水洗によって土砂とリターに選別し、60°C72時間乾燥させてそれぞれの乾燥重量を測定した。貯留タンク内の水位を、スケールを用いて測定し、事前に求めた水位-水量関係を用いて表面流量に換算した。水位測定をした後、貯留タンク内の水をよく攪拌して250 cc程度の水をサンプルした。水サンプルは1 μm径のガラスフィルター (GS-25, ADVANTEC) を用いて濾過することで土砂濃度を算出し、その濃度から貯留タンク内に到達した土砂量を推定した。本研究において、土砂受け箱によって捕捉された土砂を掃流土砂量、貯留タンク内に到達した土砂を浮遊土砂量と定義して扱った。解析に用いたデータは2017年2月から2018年7月の18か月間に得られたものである。

表層土壌の細根量を求めるために土壌サンプリングを行った。土砂受け箱を設置している周辺の斜面5か所において、外径76.0 mm、内径71.6 mm、長さ50 cmの塩ビパイプを20 cm打ち込んで土壌を採取した。採取した土壌は5 cm深さに分けてビニール袋に保存した。回収した土壌は2.0 mm、1.0 mmおよび0.5 mmのふるいを用いた水洗いによって細根のみを取り出した。取り出した細根は95°C48時間乾燥した後重量を測定した。土壌サンプリングを実施した日は、大洞では2018年8月6日、御内では同年8月15日である。

III 結果

1. 期間中の平均土砂量、リター量、表面流量

図-1は全観測期間における土砂受け箱ごとの平均掃流土砂量、リター移動量、表面流量、浮遊土砂量の平均値である。エラーバーは標準偏差である。御内における掃流土砂量は大洞に比べて非常に少なく、またリター移動量は大洞に比べて多い傾向が見られた。大洞と御内における掃流土砂量の平均値は $10.07 \pm 7.11 \text{ g m}^{-1}$ 、 $1.28 \pm 0.88 \text{ g m}^{-1}$ 、リター移動量の平均値は $16.46 \pm 6.61 \text{ g m}^{-1}$ 、 $27.28 \pm 6.07 \text{ g m}^{-1}$ であり、御内の掃流土砂量は大洞に比べて有意に少なく、リター移動量は大洞に比べて有意に多かった (Welch の t 検定 $p < 0.05$)。一方、大洞と御内における表面流および浮遊土砂量の平均値の間には有意な差は見られなかった (Welch の t 検定 $p > 0.05$)。

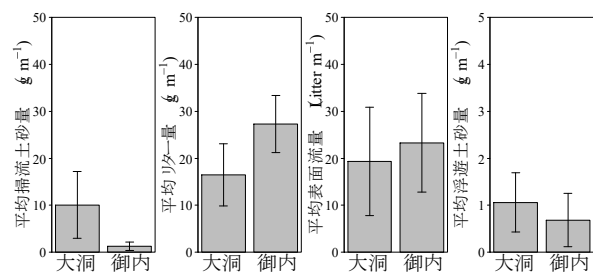


図-1 大洞と御内における平均掃流土砂量, リター移動

動量, 表面流量, 浮遊土砂量。エラーバーは標準偏差を示す。

2. 表面流量と掃流土砂量及び浮遊土砂量との関係

図-2は大洞と御内における観測回ごとの期間降水量, 15個及び10個の土砂受け箱の平均表面流量及び掃流土砂量である。エラーバーは標準偏差を示している。大洞, 御内ともに降水量が多い期間は表面流量も多い傾向が見られた。そして, 大洞では降水量, 表面流量が多いときには掃流土砂量も多いという傾向が見られた。一方, 御内では降水量が多く表面流が多く出ている時でも掃流土砂量は少ないという傾向が見られた。

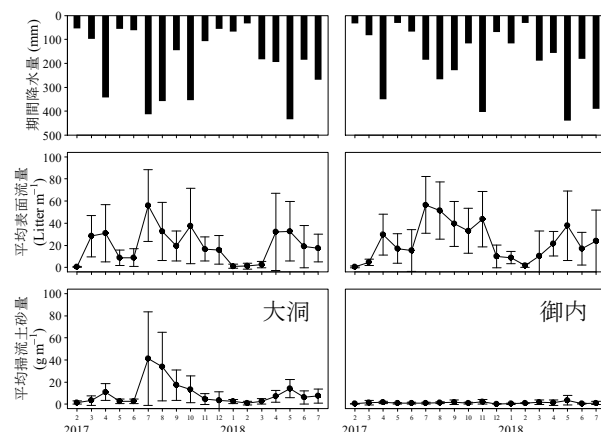


図-2 観測回ごとの期間降水量, 平均表面流量, 掃流土砂量。エラーバーは標準偏差を示す。

図-3は観測ごとの平均表面流量と平均掃流土砂量, 平均浮遊土砂量との関係である。大洞において, 表面流量と掃流土砂量の間には有意な正の相関関係 ($p < 0.001$) が見られ, 浮遊土砂量についても正の相関関係 ($p < 0.05$) が見られた。一方, 御内において表面

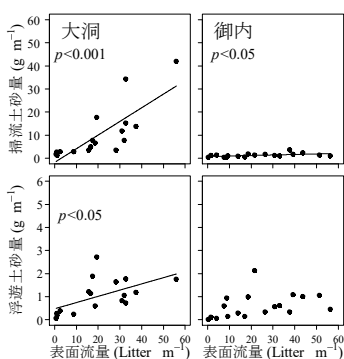


図-3 平均表面流量と平均掃流土砂量, 平均浮遊土砂量との関係。

3. 大洞と御内における土壌表層の細根量とリター量

図-4は, 大洞と御内における細根量の鉛直プロフ

ファイルである。いずれも 0-5 cm 層で細根量が最も多く、深くなるにつれて減少していく傾向が見られた。大洞と御内における 0 cm から 20 cm までにおける総細根量はそれぞれ 3.84 t ha^{-1} 、 12.64 t ha^{-1} であり、いずれの深度でも御内の細根量は大洞に比べて多かった。また、御内において 5-10 cm 層以下の深さにおいても細根量が多い傾向が見られた。この理由として、御内では 5-10 cm 層以下の深さにおいて 1 mm 径以上の比較的太い細根が多く存在していたためであると考えられる。

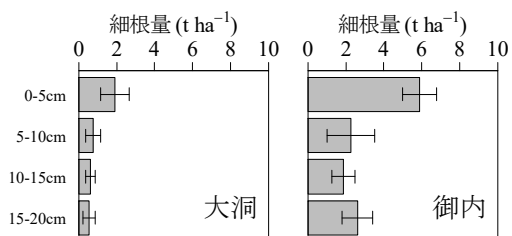


図-4 0-5 cm 層から 15-20 cm 層までの細根量プロフィール。エラーバーは標準偏差を示す。

IV 考察

東海地方にある間伐遅れのヒノキ人工林 2 か所を対象として土砂受け箱による表面流と土砂流出の同時観測を行った。その結果、御内の掃流土砂量は大洞に比べて非常に少なかった。岐阜県にあるヒノキ人工林、スギ人工林、アカマツ人工林を対象として同じ規格の土砂受け箱を用いた土砂流出量の観測によると、1 年間で土砂受け箱 1 つあたりが捕捉した掃流土砂量はおよそ $400 \text{ g m}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、 $100 \text{ g m}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、 $30 \text{ g m}^{-1} \text{ year}^{-1}$ であり (19)、1 か月分に換算するとおよそ 33 g m^{-1} 、 8 g m^{-1} 、 2.5 g m^{-1} となる。これらと比較しても、御内の掃流土砂量は他のヒノキ人工林に比べて非常に少なく、アカマツ人工林に匹敵するほどの土砂流出量であることが分かった。御内の土砂流出量が非常に少ない理由の一つに、大洞と御内のリター被覆の違いが考えられる。御内における土砂受け箱によって捕捉されるリター移動量は大洞に比べて多かった。御内の土砂受け箱を設置している斜面上にはアカマツも生育しているため、大洞に比べてリターの被覆が多かったことが考えられる。また、御内では大洞に比べて表層の細根量が多かった。以上のように、御内では大洞に比べて厚いリター層と細根層が存在し、それらが土壌を覆うことによって、雨滴の衝撃から土壌を保護していることが考えられた。

しかし、御内では大洞に比べて厚いリター層や細根層に覆われているにもかかわらず大洞と同程度の表面流が観測された。大洞において表面流量と掃流土砂量及び浮遊土砂量には正の相関が見られた。以上の結果は、大洞において表面流は土砂の移動に強く影響を与えていることを示している。一方、御内において、表

面流と掃流土砂との間に明瞭な正の相関関係が見られず、浮遊土砂についても表面流との関係性は不明瞭であった。つまり、御内で観測された表面流は土砂の移動に関与していないことを示している。土砂の移動に関与しない水の流れとしてバイオマットフローの存在が考えられる。境ら (14) は管理不足のヒノキ人工林において、地表面に 1 つ、細根層と土壌層との境界に 1 つの雨樋を設置することで表面流を観測し、地表面に発生する流れと細根層の中に発生する流れを同時に観測している。本研究で使用した土砂受け箱には上流部に幅 10 cm 挿入板があるが、御内においてその挿入板の一部が厚い細根層に入っていた。そのために、細根層の中を流れるバイオマットフローと細根層に存在する微細な土砂が浮遊土砂として一緒に土砂受け箱によって捕捉されていたことが考えられる。本研究において使用した土砂受け箱による表面流と土砂流出の同時観測の結果、大洞ではホートン型表面流とそれによって移動させられている土砂が捕捉され、御内では厚いリター層および細根層の表面に発生する流れとその中を流れるバイオマットフローの両方が捕捉されていたと考えられる。そしてバイオマットフローは土砂の移動に寄与しないことが示唆された。

土壌サンプリングによる細根量調査の結果、20 cm 深さまでにおける御内の細根量は大洞に比べて多かった。既往研究におけるヒノキ人工林内の 24 cm 深さまでにおける細根量は 3.4 t ha^{-1} であり (7)、御内は非常に表層土壌の細根量が多いということが明らかとなった。大洞と御内において細根量が大きく異なる理由として、土壌水分条件が異なるためであると考えられる。細根の発達は土壌水分状態と密接にかかわっていることが知られている。ヒノキ人工林において斜面上部、中部、下部の細根量を調査した結果、土壌が乾燥する斜面上部で細根量が最も多く、湿潤な下部で細根量が少ないことが報告されている (13)。上記のように、大洞と御内とで土壌水分条件が異なる、すなわち、大洞では土壌は湿潤であり細根量が少なく、御内では乾燥した土壌であるために表層の細根量が多かったことが考えられる。

森林斜面における土壌水分の移動を明らかにするために、さまざまな地質や植生の森林土壌を対象として透水係数や体積含水率などの土壌物理性が測定され (12, 16, 17)、土壌の保水性と透水性の違いは土壌孔隙特性によってもたらされていることが明らかとなっている (8)。大洞の地質は風化花崗岩であり、御内は変成岩 (泥質片岩) である。この違いが土壌孔隙特性の違いを生み、土壌の透水性や土壌含水率などの土壌物理性の違いをもたらしている可能性が考えられる。今後、大洞と御内において土壌の透水係数や土壌含水率の情報などを収集する必要があると思われる。

V 結論

東海地方にある間伐遅れのヒノキ人工林2か所において、土砂受け箱による表面流と土砂流出の同時観測を行った。大洞において表面流は土砂移動に強く影響を与えているが、御内において観測された表面流は土砂の移動に寄与していないということが明らかとなった。御内は大洞に比べてリターの被覆が多く、さらに厚い細根層が存在することで雨滴の衝撃から土壌を保護していることが考えられた。また、御内で観測された表面流の一部は厚い細根層の中を流れるバイオマットフローであることが示唆された。林床に厚い細根層が存在する場合には、その細根層が土壌を覆う効果、そしてバイオマットフローの存在によって土砂流出を抑制する効果があると考えられる。

謝辞

本研究は、第3次豊田市森づくり基本計画に基づく、森林で行われる間伐等実施効果の検証に資するための調査モニタリング「水源かん養機能モニタリング研究委託」の支援を受けた。

引用文献

- (1) Baets SD, Poesen J, Knapen A, Galindo P (2007) Impact of root architecture on the erosion-reducing potential of roots during concentrated flow. *Earth Surf Process Landforms* 32: 1323-1345
- (2) Reuben B, Poesen J, Danjon F, Geudens G, Muys B (2007) The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture : a review. *Trees* 21: 385-402
- (3) Gomi T, Sidle RC, Miyata S, Kosugi K, Onda Y (2008) Dynamic runoff connectivity of overland flow on steep forested hillslopes: Scale effects and runoff transfer. *Water Resour Res* 44: W08411
- (4) Gyssels G, Poesen J, Bochet E, Li Y (2005) Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: A review. *Prog Phys Geogr* 29: 189-217
- (5) 服部重昭・阿部敏夫・小林忠一・玉井幸治 (1992) 林床被覆がヒノキ人工林の侵食防止に及ぼす影響. *森林総研研報* 362: 1-34
- (6) 平野智章・寺嶋智巳・中村智博・青木文聡・境優 (2008) 管理放棄されたヒノキ人工林および天然性落葉広葉樹林における土壌表層部の水流発生機構. *地形* 29: 255-280
- (7) 今吉直俊・武田博清・岩坪五郎 (1991) ヒノキ林における細根量の季節変動. *京大演報* 63: 37-43
- (8) 小杉賢一郎 (1999) 森林の水源涵養・洪水緩和機能と土壌孔隙特性—森林土壌の孔隙特性が雨水流出に及ぼす影響—. *水利科学* 43: 29-59
- (9) Miura S, Hirai K, Yamada T (2002) Transport rate of surface materials on steep forested slopes induced by raindrop splash erosion. *J For Res* 7: 201-211
- (10) 宮田秀介・恩田裕一・五味高志・水垣滋・浅井宏紀・平野智章・福山泰治郎・小杉賢一郎・Sidle RC・寺嶋智巳・平松晋也 (2009) 森林斜面におけるホートン型表面流の発生に影響を与える要因—地質および降雨特性の異なる3サイトにおける観測結果の解析—. *日林誌* 91: 398-407
- (11) 岡井優樹・沼本晋也・島田博匡 (2018) 三重大学平倉演習林スギ人工林におけるスギリター被覆率と土砂移動の関係について. *中林研* 66: 123-126
- (12) 大手信人・鈴木雅一・坪田順平 (1989) 森林土壌の土壌水分特性 (I) 飽和—不飽和透水特性の鉛直分布の測定法と 2, 3 の測定結果. *日林論* 71: 137-147
- (13) 酒井正治・井上輝一郎 (1986) ヒノキ林の斜面位置と細根量. *日林論* 96: 221-223
- (14) 境優・平野智章・青木文聡・寺嶋智巳・夏原由博 (2009) 森林植生の樹種および管理状態が小流域の短期流出特性に及ぼす影響. *日緑工誌* 35: 306-317
- (15) Sidle RC, Hirano T, Gomi T, Terajima T (2007) Hortonian overland flow Japanese forest plantations—an aberration, the real thing, or something in between? *Hydrol Process* 21: 3237-3247
- (16) 篠宮佳樹・小桧山雅人・窪田順平 (1998) 森林斜面土層の不飽和透水性の鉛直分布特性に与える孔隙の連結特性および孔隙分布特性の影響. *日林論* 80: 105-111
- (17) 田中隆文・小野裕・アルンシリ カムラン (1991) 斜面表層土壌の水文的特性 (II) 大型不攪乱土壌資料を用いた土壌水分移動の実験. *日林論* 73: 11-23
- (18) 若原妙子・石川芳治・白木克繁・戸田浩人・宮貴大・片岡史子・鈴木雅一・内山佳美 (2008) ブナ林の林床植生衰退地におけるリター堆積量と土壌侵食量の季節変化—丹沢山地堂平地区のシカによる影響—. *日林誌* 90: 378-385
- (19) 渡邊仁志・井川原弘和・茂木靖和・横井秀一・平井敬三 (2016) 植栽樹種の違いが同一斜面のヒノキ、スギ、アカマツ人工林の表土移動に及ぼす影響. *日林誌* 98: 193-198
- (20) 湯川典子・恩田裕一 (1995) ヒノキ林において下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響 (I) 散水型透水計による野外実験. *日林誌* 77(3): 224-231