

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450211

研究課題名(和文) 落葉堆積量の違いが林床の濁水ろ過機能におよぼす影響の解明

研究課題名(英文) Effects of leaf litter accumulation on filtration ability of muddy surface flow in forest floor

研究代表者

阿部 俊夫 (Abe, Toshio)

国立研究開発法人森林総合研究所・東北支所・主任研究員

研究者番号：10353559

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：野外実験により林床の濁水ろ過機能を定量化し、人為的に濁水ろ過機能を向上させることが可能か検討した。濁水ろ過実験の結果、ナラ林、スギ林ともに初期のろ過機能は高く懸濁物質の約9割をろ過できたが、土壌表層の目詰まりによって徐々に機能低下した。落葉堆積量を倍増しても機能向上は認められなかった。ただし、越冬後は若干の回復が認められ、冬季の落葉細片化が関係していると推察された。懸濁物のろ過速度は浸透能と正の相関があり、林種によらず同じ式で近似できた。

人工物による落葉堆積実験では、調査地の落葉移動が不活発で明瞭な結果が得られなかったが、落葉堆積量や浸透能にはナラ林とスギ林で差が認められた。

研究成果の概要(英文)：Some field experiments were conducted to elucidate mud water filtration of forest floor, and examined to be able to improve filtration ability by artificial objects. In the first experiments, percentage of fine solid removed were about 90% in both an oak forest and a sugi forest. But filtration abilities degraded by clogging surface soil as the experiments were repeated.

The experiment with doubled litter accumulation indicated no improvement of filtration ability. However there was a little improvement after the winter, probably because fine litter shredded in winter was better for filtration. Filtration rates had positive correlations with infiltration capacities, and were approximated by a same equation regardless of forest types.

The effects of artificial objects on litter accumulation were obscure because litter redistribution was stagnant in our study site, although there were differences in litter accumulation and infiltration capacity between the oak and the sugi forest.

研究分野：森林科学

キーワード：濁水 微細土 ろ過 森林 落葉

1. 研究開始当初の背景

(1) 落葉は濁水流出を抑制する重要な鍵

川の濁りの正体は粒径 0.1 mm 以下の微細土(浮流土砂)である。微細土は飲用水の水質を悪化させるだけでなく、魚類など水生生物の生息にも悪影響をおよぼす()。さらに放射能汚染された森林では微細土に吸着した放射性セシウムが流出することも危惧される。森林からの微細土は伐採や林道建設など森林施業にともなって高濃度に流出する場合があります、対策が求められている()。森林には濁水をろ過する機能があることが知られていたが、その重要な鍵の一つは林床を被覆する落葉リターや林床植生にあると考えられていた()。

(2) 落葉の堆積には林床植生が影響

林床における落葉の移動には、林床植生の被度や斜面傾斜などが影響する()。特に林床植生(ササや低木など)の影響は大きく、被度が20%以上では落葉移動はほとんど起こらない。すなわち、間伐等による林床植生の増加や人工的にササと類似した構造を導入することにより落葉堆積を促進し、濁水ろ過機能を向上させることが期待された。

(3) 林帯の必要幅解明には野外実験が必要

濁水ろ過機能に関して野外観測や屋内実験等がおこなわれていたが、定量化のためには林地に濁水を流下させる野外実験も必要である。しかし、先行の野外実験()では流路長が0.8 mと短く林相も針広混交林のみでの実験であった。広葉樹林、針葉樹林それぞれで流路を長くして実験をおこなうことが望ましい。また、濁水が流下すると林床の目詰まりで濁水ろ過機能は低下するが、時間経過にともなう機能の回復についてはほとんど調べられていなかった。

2. 研究の目的

(1) 林相による濁水ろ過機能の違いの解明

落葉広葉樹林とスギ林の2林相でそれぞれ野外実験をおこない、濁水ろ過機能の違いを定量的に解明する(斜面長あたりの水流出率、微細土の阻止率など)。この際、一定の期間をおいて実験を繰り返し、濁水ろ過機能の回復状況についても明らかにする。

(2) 落葉堆積量に対する林床植生と人工物の効果の解明

林床植生の被度によって、林床の落葉堆積量がどう異なるかを明らかにする。また、落葉堆積を促進するための人工物(園芸用支柱やネット)を林床に設置し、実際の林床植生と同様の効果が得られるかを検証する。

(3) 人為的な濁水ろ過機能向上の可能性と必要な林帯幅について解明

落葉堆積量を実験的に増加させ、濁水ろ過機能の変化を解明するとともに、落葉堆積量

とろ過機能の関係や林床植生分布から必要な林帯幅について明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 調査地

岩手大学御明神演習林(岩手県雫石町)の約20°の緩斜面上に隣接した落葉広葉樹二次林とスギ人工林で調査をおこなった。広葉樹林の林冠は樹高25~30 mのコナラ、ミズナラ、ホオノキなどで構成され、スギ林の樹高は25 m前後であった。林床には広葉樹林では多年生のスゲ類が多く、スギ林は低木とササ類が多かったが、いずれもササが密生する箇所はなかった。以後、調査地の広葉樹林はナラ林と表記する。

(2) 森林での濁水ろ過実験

ナラ林とスギ林の林床にそれぞれ実験水路2本を製作し、濁水を流下させて、水路下端から流出する地表流の水量および懸濁物量を調べた。これらの実験は9月から翌年7月の間に各水路4度実施したが(ナラ林は2014~2015年、スギ林は2015~2016年)落葉供給や経過時間の影響をみるため2本の水路で実施時期をずらしている。具体的には、9月、11月、翌年7月は2水路とも実験をおこなったが、10月は1水路のみ、翌年6月はもう一方の水路のみをおこなった。実験は無降雨日を選んで実施した。

実験水路は幅0.3 m×長さ2.0 mで、水路の側壁として幅20 cmの塩ビ板を土層中に深さ10 cm挿入した。水路下端はトレンチを掘って深さ5 cm程度に地表面と平行に板を挿入し地表流を採取できるようにした。側壁の塩ビ板挿入では植物根や埋没した落枝が障害となったため、ノコギリや根伐りチェーンソーで地面を切ってから挿入し地面との隙間をモルタルやシリコンで塞いだ。なお、調査地は土層中にレキも多く、深さ10 cmまで塩ビ板を挿入するのが限界であった。

濁水は約210 Lの水にカオリンクレ(林化成花印B、平均粒径11.8 μm)1.00 kgを懸濁させて作成し、10 L/min前後の流量で20分かけて流下させた。濁水濃度(4739 mg/kg前後)は作業道から発生する濁水を想定したものであり、水路サイズと濁水流量は、地表流が安定して発生するよう予備実験をおこなって決定した。一度の実験では、この濁水流下を10分空けて5回繰り返した。合間の10分間に流出した地表流量を計測して試料を採取し、次に流下させる濁水の準備をおこなった。流下させた濁水総量は約1050 L、カオリンクレ総量は5.00 kgである。仮に幅4 m×長さ25 mの作業道区間から発生した濁水とすれば降雨量8.4 mm/hに相当する(流出率0.5と仮定)。

また、多量の濁水流入のあった林床が新たな濁水発生源になるか確認するため、濁水ろ過実験の終了後、降雨時に水路跡から流出する地表流の調査も7~11月におこなった。調

査に際しては、地表面で跳ね上がった雨滴が水路から出入りしないよう高さ 30 cm の壁を水路壁の位置に追加し、水路上流端にも水の流入がないよう遮水壁を設けた。雨量は調査地から約 800 m 離れた土場に転倒升雨量計を設置して観測した。地表流量の計測と試料採取は 1~2 週間おきにおこなった。

さらに、ナラ林とスギ林に実験水路を各 1 本追加で製作し、水路内の落葉堆積量を倍にして濁水ろ過実験をおこなった。実験方法は前述のろ過実験と同様であり、2016 年 9 月~11 月に 3 度実施した。ただし、スギ林の水路は初回実験で著しい水漏れが発生したため、以降の実験は中止とした。

なお、ろ過実験、地表流調査ともに採取した濁水試料は、ガラス繊維ろ紙 (Whatman GF/F) で吸引ろ過し、絶乾重量と強熱減量を秤量して、懸濁物の濃度および有機物含有率を算出した。別途、カオリンクレーと水路下端から採取した表層土壌についても有機物含有率を分析し、エンドメンバー法により試料中のカオリンクレー濃度を算出した。

(3) 落葉堆積量に影響する要因の解析

林床の落葉リターの移動は積雪がなければ晩秋から春にかけて活発なことから () この時期の移動を念頭において、2014 年秋~2015 年春に落葉堆積量に影響する要因の調査をおこなった。まず各林分に 15 箇所のコドラート (1 m x 1 m) を設けた。コドラート配置は傾斜方向に約 2 m 間隔で 5 点、等高線方向に約 5 m 間隔で 3 列とした。2014 年秋に各コドラートで斜面傾斜、斜面方位、林床植生被度、リターフォール量を、調査地中央で高さ 1 m の風向・風速を調査した。林床植生被度の調査は 2014 年 9 月 30 日と 11 月 26 日の 2 回目視でおこない平均値を求めた。リターフォール量はコドラートそばに円形リタートラップ (開口部 0.5 m²) を設置して 2014 年 9 月 29 日~11 月 26 日に調査した。風向・風速は 3 杯式風向風速計を用いて計測し、平均風速ベクトルと斜面方位から各コドラートにおける傾斜方向の平均風速を求めた ()。落葉堆積量は翌 2015 年 5 月 15 日に調査した。コドラート内の落葉リターは現地で湿重量を計量した後、試料を採取して研究室で湿重量および絶乾重量を秤量した。

これらデータから、斜面傾斜、林床植生被度、リターフォール量、傾斜方向の風速の 4 変量を説明変数とする重回帰分析 (変量除去法) により、林床の落葉堆積量に影響する要因を解析した。

(4) 人工物設置が落葉堆積量に与える影響

前記(3)のコドラートにおいて人工物を設置し、再度、翌春に落葉堆積量を調査した。人工物の設置は 2015 年 10 月 16~21 日に実施した。人工物として園芸用支柱 (長さ 75 cm) とスキー用防護ネット (網目 37.5 mm) の 2 種類を用いた。支柱はコドラート下端に 19

本 (10 cm 間隔で 2 列) 設置し、ネットはコドラート下端に 30 cm の高さで設置した。設置箇所は、コドラート 15 地点から無作為に各 5 地点を選択した。落葉堆積量調査は、翌年 5 月 16~18 日におこなった。

また、コドラート内の浸透能も調査した。調査は を参考に以下の手順で 2016 年 5 月 30 日~6 月 30 日におこなった。円筒枠 (断面積 100 cm²) を林床に 4~6 cm 挿入し、水 450 cm³ を注ぎ、浸透時間を計測した。注水は連続して 2 回おこない、2 回目の浸透時間から円筒枠浸透能 I_v を求め、 I_v に補正係数 0.2 を乗じて実質浸透能 I_{bo} を算出した。さらに、1~2 日後に濁水を注入した場合の浸透能も調査した。濁水はろ過実験で使用したものとほぼ同様にカオリンクレー 5.0 g を水 1.00 kg に懸濁させて作成した (濃度 4975 mg/kg)。調査は各コドラートにつき原則 2 点おこない平均浸透能を算出した。

落葉堆積量や浸透能については、多元配置分散分析を用いて実験処理や林種などによる差異の有無を解析した。

なお、調査が終わった後、調査地内の攪乱のない箇所から表層土壌を採取し、粒度分析をおこなった。試料はナラ林 2 箇所、スギ林 3 箇所採取し、60 °C で 3 日間以上乾燥してから、2 mm の円孔フルイを通過した試料をピペット法で分析した。

4. 研究成果

(1) 濁水ろ過実験

ナラ林では 2 水路とも問題なかったが、スギ林では 1 水路で水漏れが発生し、補修しても漏れは治まらなかった。そのため、スギ林は漏れのない 1 水路のみを解析した。

ナラ林、スギ林とも初期のろ過機能は高く、懸濁物質の流出阻止率 (地表流として流出しなかったカオリンクレーの割合) は 90 %前後であったが、実験を繰り返すと阻止率は徐々に低下し、4 度目の実験では 80 %前後となった (図-1)。ナラ林では 2 度目の実験を落葉期前と後に実施したが、落葉後の方が阻止率低下が緩和されるということにはなかった。ただし、越冬後の最初の実験では、ナラ林、スギ林とも阻止率がやや回復した。また、落葉堆積量を倍にしたナラ林の実験でも、阻止率は上述の結果とほぼ同様であった。

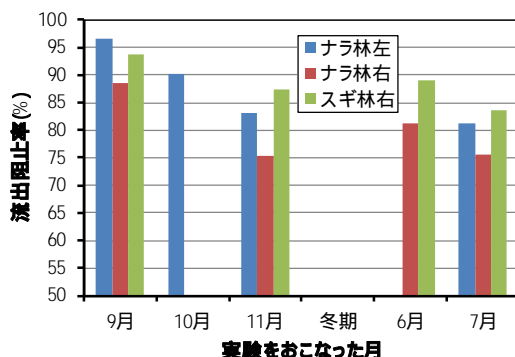


図-1 濁水ろ過実験の流出阻止率の変化

阻止率低下は懸濁物質による土壌表層の目詰まりが原因と考えられるが、一度低下した濁水ろ過機能は一冬以上の期間を開けてもわずかしか回復しないことが明らかとなった。ろ材となる落葉リターも単に供給されるだけでは大きな効果はなく、冬期に分解され細片化することでろ過機能が高まるのではないかと推察された。

次に、単位時間、単位面積あたりにろ過できる懸濁物質量（ろ過速度）と“見かけの浸透能”との関係を調べた。“見かけの浸透能”とは、ろ過実験で流出した地表流量から逆算した浸透能であり、通常の浸透能試験とは濁水を用いている点や試験プロットが細長い水路である点が異なっている。ろ過速度は見かけの浸透能と正の相関があり、林種や水路によらず同じ2次式で近似できた（図-2）。観測されたるろ過速度は、見かけの浸透能から算出されるろ過速度より最大20%程度大きかった。このことから、林床の濁水ろ過機能は土層中への浸透の効果（地表流抑制）が大きいものの、落葉リターを含むA₀層による懸濁物質捕捉の効果（濁水の濃度低下）も小さくないと考えられた。また、濁水ろ過速度と見かけの浸透能が林種によらず同一式で近似できたことは、浸透能を調べるだけで濁水ろ過機能を推定できる可能性を示唆している。

(2) 実験後の水路での地表流流出

実験水路跡から流出した地表流量と微細土量を、研究代表者が以前に調査した北海道の間伐跡地の結果（、林業機械走行跡および未攪乱林地）と比較した。なお、観測期間ごとの降雨量が異なるため、比較には降水量1mmあたりの値を用いた。実験水路跡と未攪乱林地との差は、ナラ林の1水路で微細土量が未攪乱林地より有意に高かったのみ（Tukey HSD 検定、 $p < 0.05$ ）であった。いずれも機械走行跡に比べると、流出量は極めて少なかった。本実験で与えた負荷量 33.3 kg/m² 程度では顕著な地表流は発生しないといえる。ただし、継続して同じ箇所に負荷を与え続けた場合には、その箇所が新たな濁水発生源となる恐れはあると思われる。

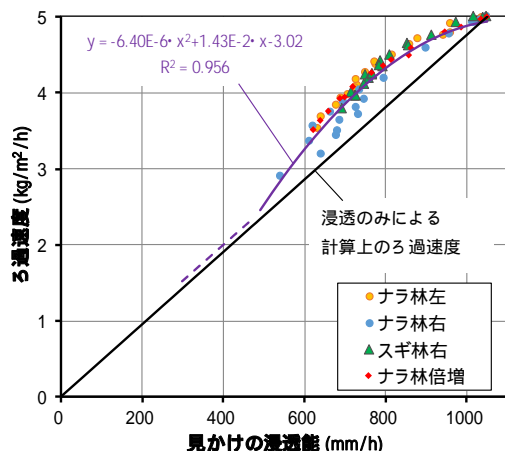


図-2 ろ過速度と見かけの浸透能の関係

(3) 落葉堆積量に影響する要因

重回帰分析の結果、ナラ林では傾斜方向の風速のみが選択され、風が斜面上方へ吹く地点ほど落葉堆積量が多い傾向であった。一方、スギ林では斜面傾斜とリターフォール量の2つが選択され、傾斜が緩い箇所ほど落葉堆積量が多い傾向であった。リターフォール量は少ない箇所ほど落葉堆積量が多い結果であり、合理的な説明はできなかった。

落葉移動が活発であれば、林床植生の密な箇所では落葉が捕捉され堆積量が多くなるはずであるが（）、そうはなっておらず全般に落葉移動が不活発であったことが伺えた。原因は、風が弱く主風向も落葉移動しにくい向きであったためと考えられる。他にも積雪期間が長いことや、スギ落葉では元々移動しにくいことなどが関係したと思われる。

(4) 人工物設置の効果

落葉堆積量に対する3元配置分散分析の結果、人工物による差は認められず、林種と調査年の交互作用が認められた。多重比較検定の結果、ナラ林よりスギ林の堆積量が多く、さらにスギ林では2015年より2016年の堆積量が多いことが分かった（Tukey HSD 検定、 $p < 0.05$ ）。林種により落葉堆積量が異なっただのは、スギ林の方がナラ林よりリターフォール量が多かったためと推察される。国内の調査では、スギ林の年間リターフォール量は広葉樹林と同じか若干多い（）。また、スギ林で2015年より2016年の堆積量が多かった原因もリターフォール量の年変動に起因するものと思われる。

本実験は林床を移動する落葉リターが人工物に捕捉され堆積量が増えることを期待したものであるが、人工物の効果は検出できなかった。これは(3)で前述した落葉移動の不活発さが原因と考えられる。

(5) 浸透能と土壌粒度

林床の浸透能に対する2元配置分散分析でも、人工物設置による差は認められなかった（ $p = 0.107$ ）。ただし、林種による差は認められ（ $p = 0.027$ ）、ナラ林の方がスギ林より浸透能は大きかった。林床植生や落葉堆積量は浸透能に影響することが知られているが（）、本研究では浸透能と落葉堆積量、林床植生被度との間に相関は認められなかった。一般に広葉樹林とスギ林は浸透能が高いため（）、林床被覆物の影響が検出されにくかったものと推察された。

なお、濁水の浸透能は、清浄水を用いた通常の浸透能より低く、ナラ林では通常の浸透能の83.0%、スギ林では94.7%であった。

表層土壌の粒度組成は、スギ林ではシルト・粘土に相当する20 μm以下の細粒成分が65.6%を占めており、ナラ林の57.8%より多かった。シルト・粘土成分が多いと透水性が低下することから（）、林種による浸

透能の差にも粒度組成の違いが関係していると考えられた。土色はナラ林では暗褐色、スギ林では明るい褐色であり、隣接林分にも関わらず土質が異なっていたのは、スギ林における過去の施業による攪乱が影響したものと推察された。

(6) まとめと今後に向けて

ナラ林やスギ林の林床は、基本的には作業道からの濁水流入も十分にろ過できる能力を有するが、繰り返し濁水流入すると徐々に機能低下し、容易には回復しないことが明らかとなった。林道の横断排水溝のように同じ箇所に濁水を排水し続けた場合、林床のろ過機能が著しく低下する恐れがある。排水溝が土砂で詰まった際には、別の箇所に新たに排水溝を設けた方がよいと考えられる。

濁水ろ過機能は落葉リターを含む A_0 層によって機能が高められていることが分かったが、期待された落葉堆積量の増加によるろ過機能回復や、落葉堆積量と浸透能の関係については不明瞭であった。ただし、分解により落葉が細片化されれば濁水ろ過効果が高まる可能性は示唆された。今後、中長期的に林床のろ過機能と浸透能の変化を追跡する研究も必要と考えられる。

また、ろ過速度は見かけの浸透能の2次式で近似できたことから、浸透能を調査するだけでろ過機能を推定できる可能性がある。ただし、通常の浸透能試験とろ過実験による見かけの浸透能は異なるパラメータであり、これらの対応関係の解明も必要である。

<引用文献>

- 山田浩之、細粒土砂堆積による河床構造および河川生物相の変化機構に関する研究、北海道大学学位論文、2002、162pp
阿部俊夫ら、作業道を通じた間伐林分から溪流への浮流土砂流入、北方森林研究、62号、2014、91-94
市川裕子・落合博貴、森林斜面の濁水ろ過機能に関する水路実験、日本森林学会誌、Vol.90、2008、262-266
海虎ら、ブナ林における林床合計被覆率の変化が地表流流出率に与える影響、日本森林学会誌、Vol.94、2012、167-174
阿部俊夫ら、落葉模型を用いた林床における斜面下方への落葉移動距離の推定、日本森林学会誌、Vol.91、2009、104-110
大野泰宏・落合博貴、森林のバイオマットがもつ濁水ろ過機能の定量的評価に向けた予備的実験、日本森林学会誌、Vol.92、2010、171-175
竹下敬司、土壌表層浸透能の物理的構成と植生(II)、水利科学、317号、2011、51-83
阿部俊夫ら、ハーベスタ・フォワードシステムによる間伐跡地からの濁水発生、北方森林研究、63号、2015、53-56
齋藤秀樹、森林におけるリターフォール

研究資料、京都府立大学演習林報告、25号、1981、78-89

平岡真合乃ら、ヒノキ人工林における浸透能に対する下層植生の影響、日本森林学会誌、Vol.92、2010、145-150

村田宏・岩崎勇作、林地の水および土壌保全機能に関する研究(第1報)、林業試験場研究報告、274号、1975、23-84

宮田秀介ら、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、日本森林学会誌、Vol.91、2009、398-407

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1件)

阿部俊夫、岡本隆、篠宮佳樹、落葉広葉樹林とスギ林における林床リター堆積量と浸透能に与える人工物設置の影響、東北森林科学会誌、査読有、Vol.22、印刷中

[学会発表](計 4件)

阿部俊夫、岡本隆、篠宮佳樹、スギ林における濁水ろ過実験とその後の地表流観測、第128回日本森林学会大会、2017年3月26日~29日、鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)

阿部俊夫、岡本隆、篠宮佳樹、林床のリター堆積量に影響する要因と人工物設置によるリター堆積量の変化、東北森林科学会第21回大会、2016年8月25日~26日、岩手大学農学部(岩手県盛岡市)

阿部俊夫、岡本隆、篠宮佳樹、落葉広葉樹林における濁水ろ過実験とその後の地表流発生状況、第127回日本森林学会大会、2016年3月27日~30日、日本大学生物資源科学部(神奈川県藤沢市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿部 俊夫 (ABE, Toshio)

国立研究開発法人森林総合研究所・東北支所・主任研究員

研究者番号：10353559

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者

岡本 隆 (OKAMOTO, Takashi)

国立研究開発法人森林総合研究所・東北支所・チーム長

研究者番号：30353626

篠宮 佳樹 (SHINOMIYA, Yoshiki)

国立研究開発法人森林総合研究所・東北支所・グループ長

研究者番号：20353716