

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 30 日現在

機関番号：14101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24658135

研究課題名(和文)人工林施業が表面流の時空間分布と侵食土砂の溪流内移動に与える影響

研究課題名(英文)Influence of forest management on surface flow over forest floor and sediment discharge into the stream

研究代表者

沼本 晋也 (Numamoto, Shinya)

三重大学・生物資源学研究科・准教授

研究者番号：60324555

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：手入れ不足人工林に間伐等の施業を施した場合，作業過程で林床の落葉落枝による被覆状態が地表面の水移動・土砂移動にどのような効果をもたらすのかを調査した．人工林内の林床表層に至った降水により表面流がどのように発生するかという性状と経時変化から，降雨時に表層付近で早い流出を形成し，表層を被覆するリターと有機物量，土壤水分から，下層植生に加えリター等の有機物量の季節的な増減が侵食抑制効果と関連することを確認した．このような斜面経路を辿った侵食土砂が溪流へ流入堆砂し流域からの流出に影響すると考えられる．

研究成果の概要(英文)：Through the forest management such as thinning, effects of the coverage by litter on the forest floor to the water movement and sediment discharge process were investigated in mountainous slope covered by coniferous forest in Japan. Observed rainfall and surface runoff events showed quick discharge process on the forest floor surface layer. And relation of seasonal change of organic matter content and litter on the forest floor were measured. Those materials are able to become effective prevention of soil and sediment discharge. To consider sediment discharge from mountainous stream, the treatment of litter coverage must by a important factor.

研究分野：治山砂防学

キーワード：人工林施業 表面流 侵食土砂量

1. 研究開始当初の背景

近年、人工林の手入れ不足の影響として最も問題視されている土砂侵食の研究は各地で存在し多くの知見が報告されている。しかし、間伐が直ちに土砂移動の変化に結びつかないなど、プロセス研究で報告されている特性が必ずしも人工林管理問題の解釈・解決につながらない事例が多く存在する。本研究では、同様な立地条件で異なる施業履歴を持つ人工林流域での観測をもとに、表面流や土砂侵食が間伐など実際の森林施業とどのように関連して発生するか探ることを目的とする。申請者は三重県林業研究所との共同研究において、無間伐ヒノキ人工林内に設置した調査区で強度間伐実施前後の土砂動態を観測してきた。この観測では、降雨と侵食土砂量の応答について予想される一定の関係が見られる一方、斜面下端で観測された表面流量と侵食土砂量についての関係は不明瞭な対応が多く、実際に侵食に寄与する表面流がどのように分布して発生し、溪流への流入に至るのか、について明らかにすることが、実際の侵食現象の解明、説明には不可欠であると考えられた。

2. 研究の目的

本研究では以下の点に着目し人工林の林床で起こる土壌の侵食現象を評価を試みた。

- 1) 地表流はどのような条件で発生するか(降水量・地表到達雨量との関連性)
- 2) 地表流はどこに、どのように発生するか(寄与域・分布域の解明)、Horton型地表流と呼べる現象かどうか(浸透能・土壌水分との関連性)
- 3) 土粒子の侵食・移動はどこで発生したか(侵食場と移動経路の把握)

社会的にも注目されている手入れ不足人工林に間伐を施した場合、地表面プロセスにおいて単純な応答関係だけでは説明不足であり“斜面で起こっている実態”を正しく説明しうる情報を得ようとする点に主眼を置く。特徴的な侵食場とそれを引き起こす条件との関係が具体的に得られることが期待され、実際の人工林現場における管理手法の検討において(強度の)間伐等は結局、林内の水移動と土砂移動プロセスにどのような仕組みではたらくのかという科学的な説明を与えることになる。

以上を整理し、人工林内の林床表層に至った降水に対し、表面流がどのように発生するかという性状と経時変化、表層土層の浸透能、土壌水分分布との関連性を明らかにすることを目標とする。また、表面流発生・土壌侵食に強く関連する下層植生被覆の寄与について整理したうえで、リターと有機物量と流出土砂量との関連を調べる。このように斜面経路を辿り土砂が溪流に流入する実態を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

人工林の手入れ不足からくる下層植生の衰退とそれとともなって引き起こされる土壌侵食および土砂流出について、実際の侵食や移動現象の実態を詳細に観測することが当初計画である。本研究の中心として位置づけている調査候補地のプロットは、三重大学平倉演習林内の高密度ヒノキ人工林における既設調査区を継続利用する計画であった。しかし平成23年に紀伊半島に広く被害をもたらした台風12号の影響で、平倉演習林では1200mmを超える記録的な積算雨量を観測し、施設被害のみならず森林斜面で大規模地すべり、土砂ダム、表層崩壊および土石流などが発生する事態となった。当該プロットでも既設部分が大きく損傷したり機器が流失するなどの被害を受け、高強度の表面流出と土壌侵食の痕跡が確認される結果となったが、観測プロットを再考する状況となった。

表面流発生に関連し直接流出率については、三重大学平倉演習林内で既存観測が行われている7林班ぬたの谷流域(30.1ha)、土壌侵食・土砂流出の要因となる降雨時の表面流発生について、同支流わさび谷斜面を利用し観測を実施した。ここでは特に侵食現象を直接的に引き起こす表面流発生に関連する森林斜面表層付近を流れる速い流出成分に関連する項目を観測した。流出量ピークと温度変化タイミングを見るため、林外雨水温度/気温、渓流水温、湧水温の関係を整理していたが、続いて深度別土壌水分と地温変化についても観測を実施した。

地表面における土砂侵食の抑制要因として林床被覆の存在があり(服部, 1992)、下層植生の植被率と乾重量が浸透能を説明する上で有用とされるが、被覆要素を下層植生とリターで分けた場合、浸透能との関係にはばらつきが生じると報告されている(平岡ら, 2010)。また、ヒノキ人工林の強度間伐前後で林床の照度が増すことから下層植生の被度が増加し、流出土砂量は急激に減少することが示されている(沼本ら, 2008, 2010)。ここで林床被覆として下層植生による緑被率と、枯死固体とリターも含む被度に分けているが、リターと土壌流出の関係については触れていない。下層植生にある程度覆われた林床では、移動しうる被覆成分であるリターの侵食防止効果はあまり重要ではないが、下層植生の乏しい林床では、リターが土砂侵食・土壌流出量に影響することも考えられる。そこで、ヒノキ人工林斜面におけるリター量と土砂流出との関係について、三重大学平倉演習林8林班ヒノキ林分において経年的に侵食土砂量を計測したデータについて分析した。

4. 研究成果

(1)人工林斜面における流出成分

森林の水源涵養機能のうち洪水緩和機能は中小洪水時に発揮されるが、大洪水時には顕著な効果は期待できない。一方で渇水期の流量が少ない時期は森林樹冠部の蒸散作用によって水分を消費し、河川流量の減少に至る場合もある。山地森林流域からの流出生成には土壌水分が大きな役割を果たしている。土壌による雨水貯留変動の効果によって洪水流量と基底流量の配分や洪水流のピーク形成が変化するなどが示されている。山地森林流域からの流出生成には土壌水分が大きな役割を果たすが、林床が乾燥状態の場合に表面流が発生する。蒸散量の高い夏期に寡雨のため発生した夏期渇水時において、降雨イベントがあった場合に森林土壌の土壌水分と流出率の関係について推察した。

三重大学平倉演習林ぬたの谷と、左支沢わさび谷を対象流域とした。わさび谷源頭部右岸平型斜面で土壌水分を観測した。土層厚(Nd<50)は-70 cm程度で砂礫を多く含み、Nd=50の深度は礫層であった。この斜面側線の中点地点に森林土層内の-5 cm, -10 cm, -50 cm, -70 cmの土壌水分を5分間隔で観測した。流域出口で流出量を計測した。解析対象期間は2012年1月~2013年12月、期間内における雨量5mm以上かつ、前後24時間が無降雨状態のものを1降雨イベントとした。降雨イベントごとに直接流出量、直接流出率を算出し、降雨開始時点での土壌水分量、土壌水分変化率との関係を考察した。

期間中2013年8月22日に観測された年最小日流出量は1.1 mm/dであった。この値はぬたの谷における過去6年間の年平均最小日流出量1.2 mm/dよりも低い値であった。降雨ピークが発生した後土壌水分ピークも発

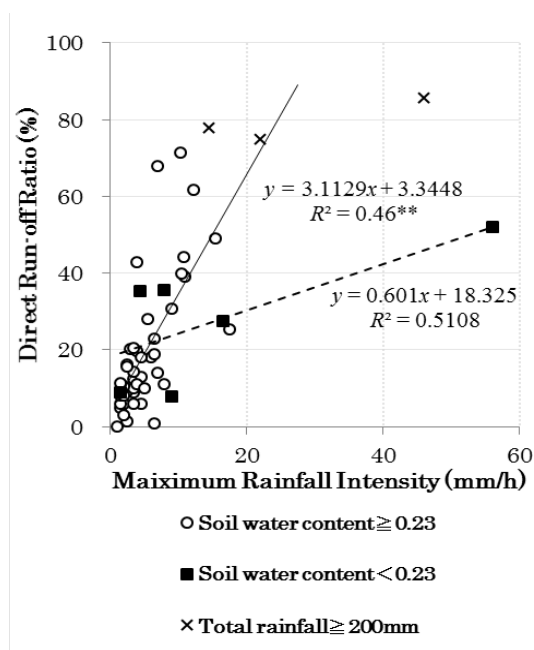


図 - 1 最大降雨強度と直接流出率の関係

生した。観測期間 50 回の降雨イベント中の最大降雨強度 (mm/h) と直接流出率 (%) の関係を図 - 1 に示す。ぬたの谷流域では、総降雨量が 200 mm を超えると流出率が頭打ちとなり一定割合に近づく傾向があるため、観測されたデータの内 200 mm 未満のイベントについて最大降雨強度と直接流出率の関係を求めた。同程度の降雨強度に対して、イベント開始時の土壌水分量が高いとき、直接流出率も高くなる結果が得られた。イベントによる土壌水分変化率と直接流出率のグラフを図 - 2 に示す。土壌水分変化率 1.2 付近から直接流出率が高いイベントとそれ以上の土壌水分変化率で直接流出率が低いイベントが見られた。これは、土壌水分変化率 1.2 付近で直接流出率の高いイベントは降雨前から土壌水分状態が湿潤であり、一方の土壌水分変化率が高いイベントは土壌水分状態が乾燥しており、土壌に雨水が貯留されたことにより直接流出率が低くなったためと考えられる。土壌水分変化率の高いイベントには夏期渇水時のイベントが 2 つ含まれ、それ以外のイベントも 4 月~10 月の冬期渇水ではない時期に観測された。ここから、直接流出率が低く変化率が高いイベントは森林からの蒸散が活発となる夏期に発生しやすいことが推察される。

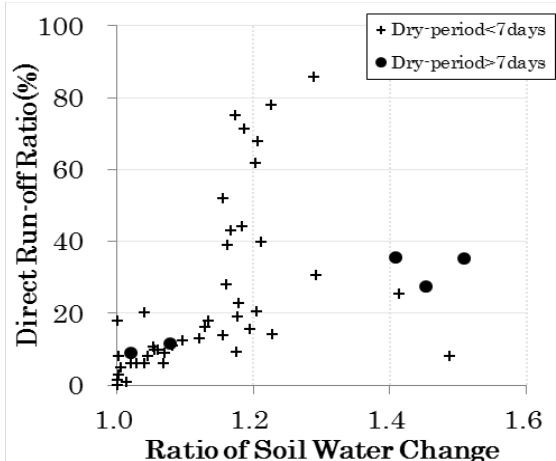


図 - 2 土壌水分変化率と直接流出率の関係

(2) 流出土砂量と含有有機物量の関係

土砂流出調査プロットにおける流出土砂量と有機物量の年間推移を見ると、8 月から 10 月初めに最小値となり 12 月に最大値を示した。いずれも、最小値から約 3 ヶ月で 30% 程有機物率が増加した後減少に転じ、2 月から 4 月の間に一度増加した後、最小値になるまで減少した。ヒノキは秋季に 1 年の落葉成分の 7~8 割を落葉させることから、落葉による侵食防止効果によって、流出土砂に含まれる有機物率が秋に最小値となると考えられる。その後急激に上昇するのは落葉の侵食抑制効果が減少し、土砂流出に伴って

流下することが推察される。一方、春季から夏季にかけての増加は、春季の大雨や夏季の台風により生じた落葉・落枝によるものと考えられる。流出土砂内に含まれる有機物が、侵食抑制効果を失って流下した表層のリターであると考え、林床被覆としてのリターと土砂侵食関係を明らかにする上で、流出土砂内の有機物量がひとつの指標となる。しかし、流出土砂量と有機物量の関係では良い相関が得られなかった($R^2=0.4782$)。そこで、含有する有機物率の季節変化に着目し、春季から秋季にかけてなだらかに増加する期間を Term I、秋季から翌年春季にかけての最小・最大を含む期間を Term II とし、それぞれ有機物量と流出土砂量の関係を見た(図-3、Term I: $R^2=0.6021$, Term II: $R^2=0.8074$)。Term I の近似線の傾きは Term II の約 2 倍で、Term II 後期に落葉したリターの侵食抑制効果が失われ、Term I において流された有機物量とともに流出土砂量が大きくなっていく現象を現していると考えられる。年流出土砂量は、591.2 g, 463.8 g, 633.3 g で減少傾向は認められなかった。年降水量も増減傾向が認められなかったことから、閉鎖型プロットにおいて外部からの土砂流入が無い状況で流出土砂量が減少しないのは、本プロットが土砂侵食の初期段階にあるためか、もしくは土砂侵食が局所的な現象のため、プロット内の各所で侵食と堆積を繰り返し、その結果の一部が下端で回収されているためと考えられた。

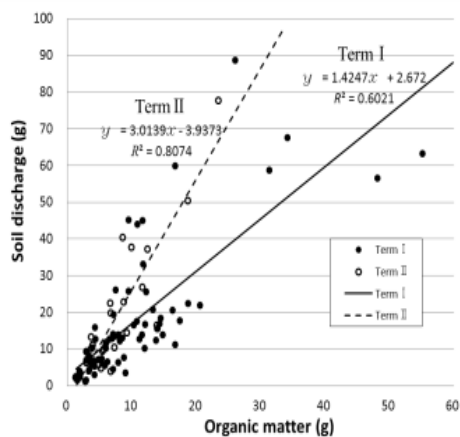


図-3 Term I・II の有機物量と土砂流出量の関係

本研究は、人工林斜面で発生する表面流に起因する土砂侵食現象を、土壌水分状態との関連、林床を覆うリターと有機物含有量の視点から検討したもので、特に季節変化が大きいリターについて被覆物としての効果が見られる時期と流出して効果が失われる時期に注意する必要があることが考えられた。

手入れ不足が懸念されている人工林の取扱いについて例えば三重県では災害に強い森づくりとして森林管理を進める方向を示しているが、実施にあたり、間伐率や作業の方策だけでなく、林床表面からの侵食抑制を

考える場合、従来から指摘されている下層植生の多寡のみならず落葉落枝、リター等の配置や取扱いに考慮することで実効的な効果が期待される。この観点から地域や施業形態ごとに様々な状態が想定される人工林表面被覆状態における侵食現象を詳細に明らかにすることが、今後の具体的な林床管理のために必要な情報となると考えられる。

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0件)

〔学会発表〕(計4件)

沼本晋也・田原口草太, 平倉演習林ヒノキ人工林における林床被覆物と土壌流出量の関係, 日本森林学会, 2015年03月28日~2015年03月28日, 北海道大学

渡邊暢・沼本晋也, 三重大学平倉演習林西俣谷における溪流地形特性と Step-Pool 形状の関係, 中部森林学会, 2014年10月25日~10月25日, 名古屋大学

西澤啓司・沼本晋也, 2013年夏期暴雨時の平倉演習林内小流域における流出量と土壌水分, 中部森林学会, 2013年10月19日~2013年10月19日, 岐阜大学

沼本晋也・武澤永純・伊藤英男・松岡暁・林拙郎, 平成23年台風12号により三重県大台町で発生した深層崩壊と土砂移動, 砂防学会研究発表会, 2012年05月23日~2012年05月24日, 高知市

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

沼本 晋也 (NUMAMOTO, Shinya)

三重大学・生物資源学研究所・准教授

研究者番号: 60324555