

ヒノキ林斜面における表面流発生と土砂生産に関する研究

京都大学大学院農学研究科 ○宮田秀介・小杉賢一朗・西本憲夫・水山高久
 科学技術振興機構 五味高志
 京都大学大学院理学研究科 上野全保
 京都大学防災研究所 Roy C. Sidle
 筑波大学生命環境科学研究科 恩田裕一

1. はじめに

人工林は管理施業が不十分な場合に洪水緩和機能の低下する可能性が指摘されている。その原因は、下層植生が失われ地表面に対する雨滴衝撃力の増加による表面流の発生と考えられている（湯川ら，1995）。一方、撥水性土壌の斜面において表面流が発生することが知られている（Doerr *et al.*, 2000）。小林ら（2000）はヒノキ林土壌が撥水性をもつことを示しており、ヒノキ林流域において撥水性土壌による表面流が発生している可能性が考えられる。ヒノキ人工林は総人工林面積の約25%を占めておりヒノキ人工林の水文プロセスを明らかにすることは今後の防災・水資源問題を考える上で非常に重要である。また下層植生が失われることによって土砂流出が増加することが示されている（服部ら，1992）。土砂流出量が増加することはダムの維持管理など土砂管理上の大きな問題である。本研究はこれらの問題を解決するために有益な情報となりうる 1) 表面流の発生メカニズム 2) 流域スケールの降雨－流出過程において表面流出の果たす役割 3) 斜面での土砂生産について検討する。

2. 観測地と方法

2.1. 観測地概要

三重県大宮町の山林で観測を行った。観測を行った地域は年平均降水量が2200mm（アメダス粥見：1979－2004年）と降雨が多い。観測地は約40年前に植林され15年前までは間伐などの管理施業がなされていた。立木密度は3000－4000本/haでその多くはヒノキであり、残りは同時期に植林されたスギである。林床がほぼ裸地化した“流域5”とシダで覆われた“流域4”が隣接しており、これら2流域とその間の斜面において観測を行った。

2.2. 現地観測項目

“流域5”および“流域4”の末端に設置した堰において流量観測を行った。流域面積はそれぞれ0.43ha, 0.23haである。この2流域にははさまれた斜面において、林床が裸地化したプロット（Plot A-1,2,3）とシダに覆われたプロット（Plot B-1,2,3）を3箇所ずつ設置した。斜面プロットでは幅、1m×長さ2mの区画を波板で囲み下流端に設けた樋で表面流を収集し、その流量を測定した。斜面プロットの近隣でテンシオメータを用いて深度60cmまでの圧力水頭観測を行った。また表面流を収集すると同時にプロットからの流出した浸食土壌を捕捉し、2－4週間に一度採取した。採取した浸食土壌は強熱減量法によって土砂量と有機物量を測定した。

2.3. 土壌物理性測定項目

Plot A, B に隣接する地点においてそれぞれトレンチを作成し、100cc コアサンプラーを用いて飽和透水係数測定用と土壌撥水性測定用の土壌サンプルを採取した。測定結果の代表性を考慮してサンプリングは各深度3回ずつ行った。飽和透水係数は変水位試験法を用いて計測した。土壌の撥水性は、エタノールの表面張力が弱く（水： $73 \times 10^{-3} \text{N/m}$ ，エタノール： $23 \times 10^{-3} \text{N/m}$ ）撥水性土壌にも浸透しやすい性質を利用して計測した。9段階の濃度のエタノール溶液（0－36%）を用意し、低い濃度の溶液から順に土壌サンプルにピペットでエタノール溶液の水滴を5滴以上供給した。全ての水滴が5秒以内に浸透しなければ一段階濃度の高い溶液を用いて同じ作業を繰り返した。水滴が浸透する境界濃度を持つエタノール溶液の表面張力を

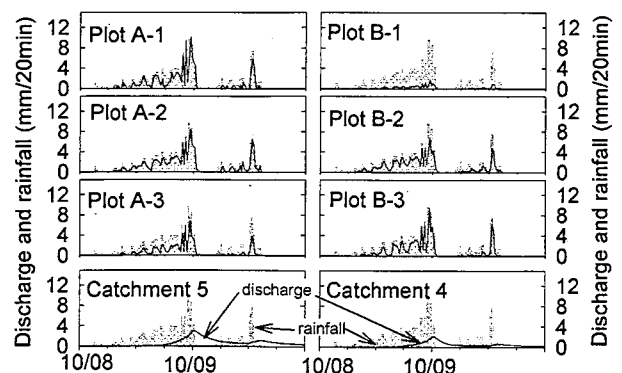


図1 降雨に対する斜面プロットにおける表面流と流域からの流出の応答

土壌撥水性の指標とした (Watson and Letey, 1970)。表面張力が低いほど、土壌の撥水性が強いことを示している。

3. 結果と考察

3.1. 表面流観測結果

図1に2004年10月の台風22号による降雨イベント中の表面流量および流域からの洪水流量について示す。降雨量は198mm、最大降雨強度は20.8mm/hであった。表面流は降雨に対して非常にすばやく応答していた。林床が裸地となっているPlot Aだけでなくシダで覆われたPlot Bにおいても表面流が観測された。なお表面プロット付近では、観測期間を通して深度60cmまでの圧力水頭は負の値であり正の間隙水圧は観測されなかった。このことから観測された表面流は飽和地表流ではなく Horton型表面流であると考えられる。

3.2. 表面流発生要因

Plot A, Bともに表層土層の飽和透水係数 (K_s) は $10^{-2} - 10^{-1}$ cm/s のオーダーと実際の降雨強度と比較して非常に高かった。しかしながら、シダに覆われた斜面プロットにおいても表面流が観測されたことから従来考えられてきた下層植生の消失による雨滴衝撃力の増加以外に表面流の発生に寄与する要因が存在すると考えられる。表面土壌の撥水性測定結果はPlot A, Bでそれぞれ平均 43.0×10^{-3} N/m, 53.9×10^{-3} N/m であり、

強い撥水性を示したことから、ヒノキ林斜面においても撥水性土壌によって表面流が発生していることが示唆された。

3.3. 流域スケールの降雨-流出過程において表面流出の果たす役割

降雨イベントごとの総降雨量に対して斜面プロットにおける表面流量および流域からの流出量の関係を図2に示した。イベント雨量が100mmを超えるような降雨規模が非常に大きいときに表面流量は抑制されていたのに対し、流域からの流出量は急激に増加していた。また表面流が降雨にすばやく応答を示したのに対して流域からの流出は遅れて増加していた(図1)。このように両者の流出特性は大きく異なっていた。したがって斜面において発生した表面流が、直ちに河道まで到達して洪水波形を形成する訳ではないと考えられる。

3.4. 斜面プロットの土砂移動

図3に10月28日に採取された流出土砂の内訳を示す。前回の採取時(10月12日)からの積算降雨量は250mmであった。浸食土壌における有機物の割合はPlot A, Bでそれぞれ平均0.50, 0.55であり、両者に有意な差は見られなかった ($n=3, p>0.1$)。斜面プロットの土壌浸食量は積算降雨量と正の相関がみられた(図4)。Plot Aの平均土壌浸食量はPlot Bの2.5-7.0倍であり、下層植生に覆われることによって土壌の浸食が大きく抑えられていた。この結果から土壌の浸食には雨滴衝撃が大きく寄与していると考えられる。

4. まとめ

ヒノキ人工林流域における表面流の発生に土壌の撥水性が寄与していることが明らかとなった。斜面における土壌浸食に対しては雨滴衝撃が大きく影響し、下層植生によって土壌の浸食が低減されていた。また斜面で発生した表面流は洪水流出に直接影響を及ぼしていないことが示唆された。

引用文献

Doerr *et al.* (2000) *Earth Sciences Reviews*, 51, 33-65 ; 服部ら (1992) *森林総研研報*, 362, 1-34 ; 小林ら (2000) *日本林学会誌*, 82 (2) 132-141 ; 湯川ら (1995) *日本林学会誌*, 77 (3) 224-231 ; Watson and Letey (1970) *Soil Science Society of America Proceedings*, 34, 841-844

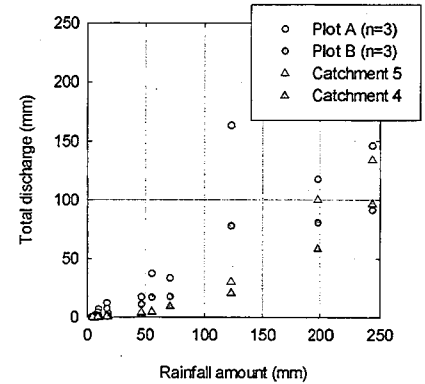


図2 イベント雨量に対する表面流出量および流域からの流出量

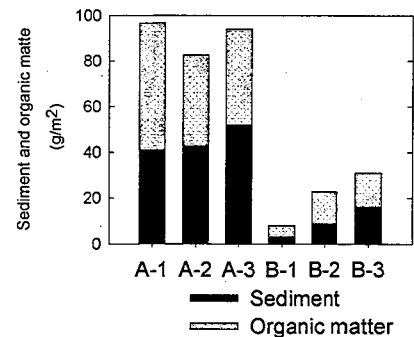


図3 斜面プロットからの流出土砂の内訳 (10/28採取)

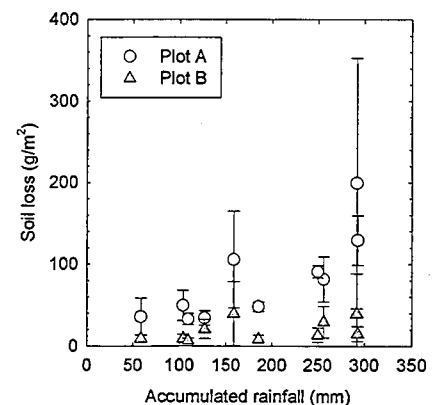


図4 積算降雨量と流出土砂量の関係