

ヒノキ人工林流域における浸透能の空間分布が表面流の発生と河川への流出に及ぼす影響の評価 -分布型流出モデルを用いた解析

東京農工大学大学院農学府 ○五味高志・宮田秀介 京都大学大学院農学研究科 小杉賢一朗
筑波大学大学院生命環境科学研究科 平岡真合乃・恩田裕一 京都大学防災研究所 Roy C. Sidle

1. はじめに

日本の国土の約 40%は人工林であり、その半数以上がスギ・ヒノキ林である。間伐などの保育作業が行われていない植栽後 30~40 年経過したヒノキ林では、立木密度が高く林冠が閉塞している。そのため林床の植生が少なく、裸地化した林床では土壤浸透能の低下による表面流の発生と表土流失が観測されている。土壤の植生被覆量が少ないと、土壤浸透能が低下する事例や、表面流の発生には土壤クラストの形成による浸透能の低下とともに、土壤の撥水性が影響していることが報告されている。一方で、流域スケールでは、浸透能や土壤撥水性は空間的に不均質であることが報告されている。このような不均質性により表面流の発生や浸透に「ばらつき」が生じることが予想される。また、これらの空間的な不均一性は斜面から河川へ流出する表面流量に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、本研究では、土壤表面の物理条件とその分布を考慮した分布型流出モデルを用いて、流域スケールにおける土壤表面条件の不均質性を考慮し、表面流の発生および流域の流出量と応答を解析することを目的とした。本研究は、三重県中部に位置する、40 年生ヒノキ人工林に覆われた 0.3ha の小流域（ヒノキ植栽密度 4500 本/ha）を対象とした。本研究は JST/CREST 「森林荒廃が洪水・河川環境に及ぼす影響の解明とモデル化」の一部として行なわれた。

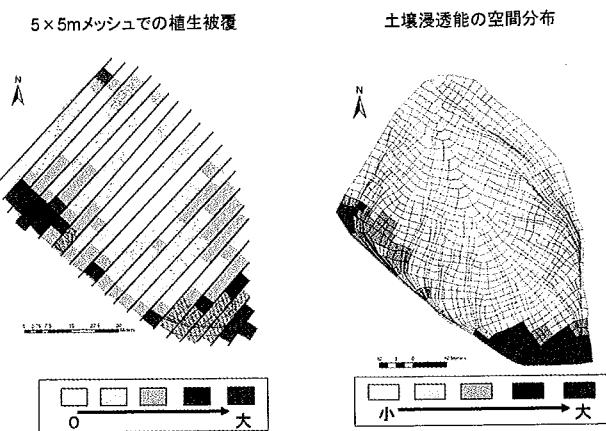


図 1 植生被覆と土壤浸透能の空間分布

2. 解析に用いた分布型流出モデルの構造

分布型流出モデルの基礎となる流域地形の解析を行うために、従来のグリッド（正方形要素）による分割ではなく、等高線による地形要素の分割を用いた。TOPOTUBE は、等高線上で与えられた任意の間隔に、斜面上部から下部へ最短距離になる線を引くアルゴリズムで作成される（図 1）。等高線に対して、直角に交わる線（flow line）を基準とし分割することで、水移動のベクトル（TOPOTUBE）方向および、尾根部や谷部における水分配を適切に再現することができる。TOPOTUBE の各地形要素間の水の動きについては、1 次元で取り扱うことができるため、水流出に関する計算を簡略化しやすい利点もある。本研究では LiDAR 地形測量による詳細な等高線（2m）を用いて、TOPOTUBE を作成した。TOPOTUBE の作成は ArcGIS と C++ プログラミングを用いた。表面流の発生については、Horton (1933) の降雨に対する浸透能の関係を用いた。表面流および地中流が TOPOTUBE を流下するプロセスについては、キネマティックウェーブ式を用いた。

3. 土壤パラメータ

(1) 土壤被覆量と浸透能の空間的不均一性：分布型流出モデルでは、TOPOTUBE 要素に土壤の浸透能などのパラメータを与えることができる。浸透能については振動ノズル型の散水試験器を用いて植生被覆量と浸透能の関係について求めた（平岡, 2008）。林床が裸地化しているヒノキ林における最小浸透能は平均 30mm、林床に有機物や下層植生がある場合の浸透能は平均 130mm であることが計測された。対象流域の土壤被覆を把握するために、流域を 5×5m のメッシュに区切り、写真撮影することに土壤被覆量を 5 段階で評価した（図 1）。流路付近の斜面では林床が裸地化（被覆率<10%）している状態が分布しているが、尾根部付近では植生やリターの被覆（被覆率 80~100%）であった。散水実験の結果から得られた土壤被覆量と浸透能の関係と流域内の被覆量の空間分布から、分布型流出モデルに用いる土壤浸透能の空間分布データを作成した。

(2) 降雨強度と土壤浸透能：土壤浸透能は降雨強度に依存することが知られている。浸透能と降雨強度の関係について、散水実験結果から導いた田中・時岡（2007）の式を用いた。

$$FIR = FIR_{\max} \times \tanh\left(\frac{R}{FIR_{\max}}\right)$$

ここで、FIR は実験によって得られた安定浸透強度、 FIR_{\max} は降雨強度を十分に大きくした時の浸透強度、R は降雨強度を示す（単位は mm h^{-1} ）。

(3) 土壤の撥水性と選択的鉛直浸透：ヒノキ林の表層土壤では、土壤撥水性が表面流の発生に影響を及ぼしていることが報告されている（Miyata et al. 2007; Gomi et al. 2008）。土壤の撥水性は降雨イベントの初期に顕著にみら

れ、降雨強度が計測された浸透能より小さい場合においても、表面流が発生する要因となっている。そこで、降雨初期の降雨量によって土壤浸透能が変化する関数をモデルに組み込み機水性の影響を考慮した。また、土壤の染色実験によって斜面には選択的な鉛直浸透を起こす箇所が存在することが報告されており、このような浸透の場を「浸透スポット」と定義した。

4. 表面流の発生と流域の流出解析

(1) 浸透能の空間的不均質性と流出：流域全体に均質な浸透能を与えた場合と比べ、浸透能の空間分を考慮した場合（計算値1）では、流域の流出量と応答の計算値は実測値に近い値となった（図2）。ただし、斜面大プロットで観測された表面流と比べると、表面流の発生の計算値は観測値に対して大きくなる傾向がある。すなわち植生被覆クラスに対応した浸透能クラスの空間分布を考慮した場合でも本モデルでは、表面流の流出量を過大評価する傾向があることが考えられた。そこで、各浸透能クラス内においても浸透能に「ばらつき」があると仮定し、TOPOTUBEの40%に浸透能の高い箇所（浸透スポット：130mm/h）がランダムに存在するとし、表面流の発生量を計算した（計算値2）。表面流が空間的に不連続に発生している様子が再現され、表面流の発生の観測値と計算値の整合性が改善された（図2）。

(2) 斜面から河川への表面流出寄与の変化：浸透スポットの存在が流域での表面流の発生と流下に影響を及ぼしていることが予想された。そこで、流域内の浸透スポットをランダムに100回与えて計算した場合の斜面から河川への表面流の流出量を計算した。また、浸透スポットの与え方は流域面積の0から10%ごと100%まで与え計算した。その結果、流域内での浸透スポットの与え方（ランダムのパターン）によって斜面から河川への表面流量に違いが生じることが示された（図3）。また、流域面積あたり30~40%程度の浸透スポットを与えた場合に、斜面から河川への表面流出量が小さくなり、それ以上浸透スポットが増えてても河川への流入量は減少しないことが示された。

5. まとめ

分布型流出モデルを用いて、ヒノキ林斜面における表面流の発生量とその分布の再現を行った。土壤浸透能の空間的な分布などの土壤の不均質性を考慮することによって、表面流発生量の再現性が改善された。浸透能の不均質性については、土壤構造による土壤の鉛直浸透のみならず、樹木根茎や土壤発達そのもの違いによっても生じていると考えられてるために、森林流域における流出解析を行うためには、それらの不均質性や空間分布を考慮したモデル化を行う必要があると考えられた。

キーワード：分布型流出モデル、TOPOTUBE、表面流、土壤浸透能、ヒノキ林

参考文献

- Gomi T., Sidle, R. C., Miyata, S., Kosugi, K., Onda, Y. 2008. Dynamic runoff connectivity of overland flow on steep forested hillslopes: scale effects and runoff transfer. Water Resources Research. doi: 10.1029/2007WR005894, (in press)
- 平岡真合乃（2008）現地散水実験によるヒノキ人工林の荒廃度評価。筑波大学大学院環境科学研究科、修士論文。
- Horton, R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrological cycle. Transactions, American Geophysical Union 14: 460-466.
- Miyata, S., Kosugi, K., Gomi, T., Onda Y. and Mizuyama, T. 2007. Occurrence of overland flow and its effect on storm discharge at a headwater catchment with water repellent soil. Hydrological Processes 21(17): 2365-2367.
- 田中茂信・時岡利和（2007）現地散水試験による流出・浸透特性の把握手法に関する検討。土木学会講演集。

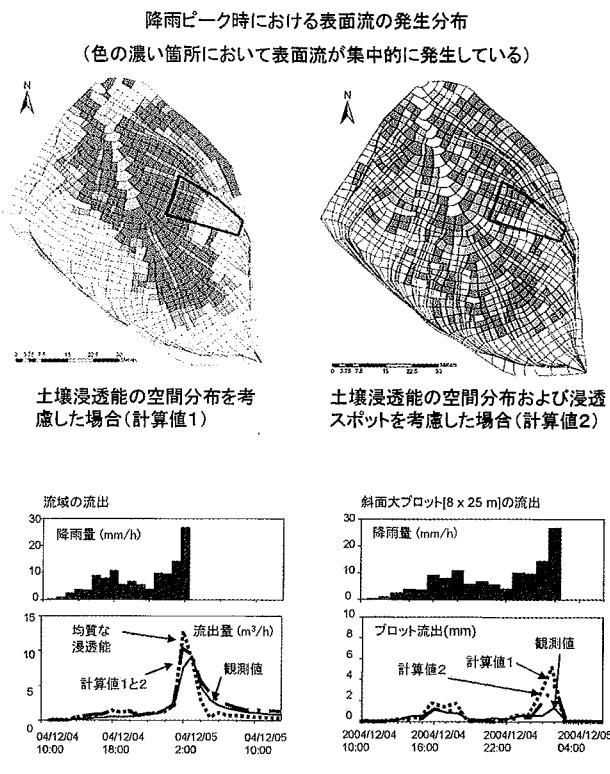


図2 浸透能の空間分布と表面流の発生

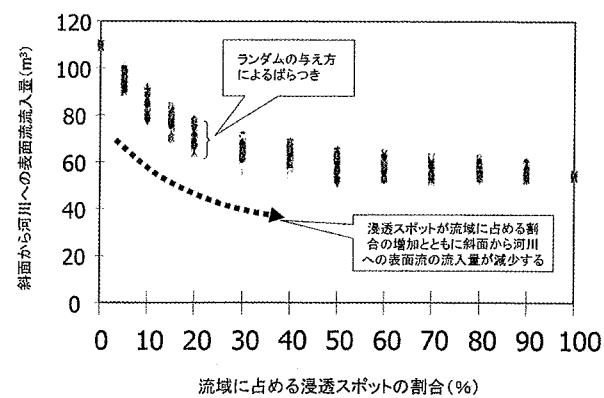


図3 斜面から河川へ流入する表面流量の変化