

山地小流域における土層厚の変化が豪雨時の洪水流量に与える影響

立命館大学総合科学技術研究機構
 京都大学大学院農学研究科
 筑波大学大学院生命環境科学研究科
 名古屋大学大学院生命農学研究科
 東京大学大学院農学生命科学研究科

○糸数 哲
 小杉賢一朗 (兼 JST), 水山高久
 恩田裕一
 太田岳史
 蔵治光一郎, 田中延亮, 後藤太成

1. はじめに

森林が降雨流出および土砂流出に影響を与えることは従来の研究により明らかにされているが、豪雨時の森林の洪水緩和機能についてはいまだその評価が定まっていない状況にある。豪雨時の森林の洪水緩和機能に関する評価が定まらない理由の一つに、森林の洪水緩和機能の定量的評価が進んでいないことが挙げられる。森林の洪水緩和機能の定量的評価は、気候変動による降雨特性の変化を考慮した治水対策を考える上で重要である。山地小流域を対象に三次元飽和・不飽和浸透計算モデルを用いて解析した結果、土層厚は豪雨時の洪水流出波形に影響を与える重要な因子であることが示された(糸数ら, 2014)ことから、本研究では流域平均土層厚の変化が豪雨時の洪水流量に与える影響を調べ、森林の洪水緩和機能を定量的に評価する。

2. 方法

2.1 解析対象地

解析対象流域を東京大学演習林生態水文学研究所(愛知県瀬戸市)内の森林流域(0.08 ha)とした(図-1)。対象流域は過去に人為的な影響によって裸地化したか、現在では森林が回復し、流域上流部はアカマツと広葉樹の混合林、流域下流部がスギと広葉樹の混合林となっている。流域平均傾斜は 31.9° 、流域平均土層厚は104 cm、基岩地質は花崗岩となっている。

2.2 解析方法

本研究では、三次元のリチャーズ式を有限要素法により解き、10分間雨量から10分間流量の数値解を求めた。斜面崩壊や洪水災害を引き起こした東海豪雨イベント(総雨量457.0 mm, 最大時間雨量80.1 mm/hr)を解析対象の降雨イベントとし、遮断量推定モデル(鈴木ら, 1979)を用いて観測雨量から推定した林内雨量を与えて流量計算を行った。計算モデルのパラメータとして必要な土層厚は貫入試験結果から求めた。また、複数深度から採取した土壌サンプルのpF試験結果から土壌の保水特性パラメータを求め、飽和透水試験結果から透水性パラメータを求めた。本研究で使用した飽和・不飽和浸透計算モデルは基岩への雨水浸透を考慮しており、基岩は浸透損失層として扱っている。基岩の保水特性および透水性パラメータはKatsura *et al.* (2009)が花崗岩で実測した値を参考に設定した。東海豪雨時のハイドログラフの再現計算を行い、洪水流出波形の再現性を確認したのち、解析対象流域の基岩地形および土層の分布状況を変えずに流域平均土層厚を変化させ、東海豪雨時の計算ハイドログラフおよびピーク流出率の変化から、土層厚の変化が豪雨時の洪水流出特性に与える影響を調べ、森林の洪水緩和機能の定量的評価を行った。

3. 結果と考察

東海豪雨時のハイドログラフの実測値と計算値を図-2に示す。計算ハイドログラフは、実測ハイドログラフの流出特性を比較的良好に再現している。基岩の保水特性・透水性パラメータ以外のモデル入力パラメータすべてに実測値を用いて比較的良好な再現結果が得られたことから、本研究で適用した三次元飽和・不飽和浸透計算モデルは実流域を対象としたハイドログラフの再現に有効であることが示された。ただし、計算流量は降雨の継続に伴って実測流量を過小評価する傾向を示すが、これは豪雨時の基岩層内の水位上昇による基岩浸透域の縮小を再現していないことによると考えられ、基岩層内の雨水流

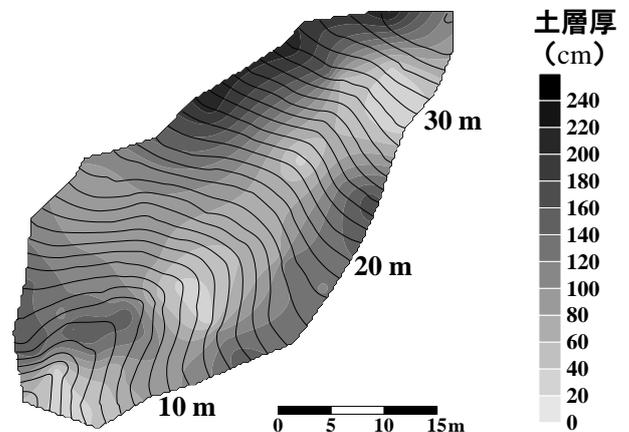


図-1 解析対象流域の地形および土層厚分布

動の再現性が向上することによって、より精度の高いハイドログラフが再現されると考えられる。降雨イベント後半にハイドログラフの再現精度が低くなる点はあるものの、イベントの前半にピーク雨量が観測された東海豪雨時のピーク流量が再現可能であることが示された。

図-3 に流域平均土層厚の実測値 (1.0 m)、流域平均土層厚を小さくした場合 (0.2 m)、および大きくした場合 (1.8 m) のそれぞれの計算ハイドログラフを示す。流域平均土層厚を小さくした場合、流量変動やピーク流量が大きくなり、流出波形が降雨波形に類似する傾向を示すが、流域平均土層厚が大きくなるにつれて流量変動やピーク流量が小さくなり、降雨波形に対する流出波形の応答が緩慢になる結果となった。これは、土層厚の大きさはピーク流量の低減と流量変動の緩和に大きく寄与し、森林流域の降雨波形変換機能が土層の厚さによってもたらされることを示している。

図-4 に流域平均土層厚とピーク流出率の関係を示す。本研究では、流域平均土層厚を 0.2 m から 2.0 m まで変化させた場合のピーク流出率の変化について調べた。なお、ここでのピーク流出率は、図-3 中の▲で示した降雨ピークの雨量に対する計算ハイドログラフのピーク流量の比率としている。図-4 より、土層厚の増加に伴ってピーク流出率が指数関数的に低下することが分かり、豪雨時の森林の洪水緩和機能は土層の厚さによって発揮されることが表れている。ここで、図-4 の流域平均土層厚とピーク流出率の関係について、以下の式を得た。

$$Q_{pr} = Q_{pr0} e^{-aD^b} \quad (1)$$

ここで、 Q_{pr} : ピーク流出率 (%), Q_{pr0} : $D=0$ の Q_{pr} (ここでは、 $Q_{pr0}=100$), a, b : 係数, D : 流域平均土層厚であり、図-4 に示した破線の係数は、 $a=1.16, b=0.95$ である。

花崗岩山地小流域を対象に三次元飽和・不飽和浸透計算モデルを適用し、土層厚の変化が豪雨時の洪水流量に与える影響を調べた結果、洪水流出波形の平準化は土層の厚さによってもたらされており、土層厚の増加が洪水流量の指数関数的低下に大きく寄与していることが確かめられた。

参考文献

系数ら (2014) : 森林回復が洪水流出特性に与える影響—飽和・不飽和浸透計算による解析—, 平成 26 年度砂防学会研究発表会概要集, A, p.86-87.
Katsura et al. (2009) : Hydraulic properties of variously weathered granitic bedrock in headwater catchments, *Vadose Zone Journal*, Vol. 8, No. 3, p.557-573.
鈴木ら (1979) : 桐生試験地における樹冠通過雨量、樹幹流量、遮断量の研究 (I) 樹冠通過雨量と樹幹流量について, 日本林学会誌, Vol.61, No.6, p.202-210.

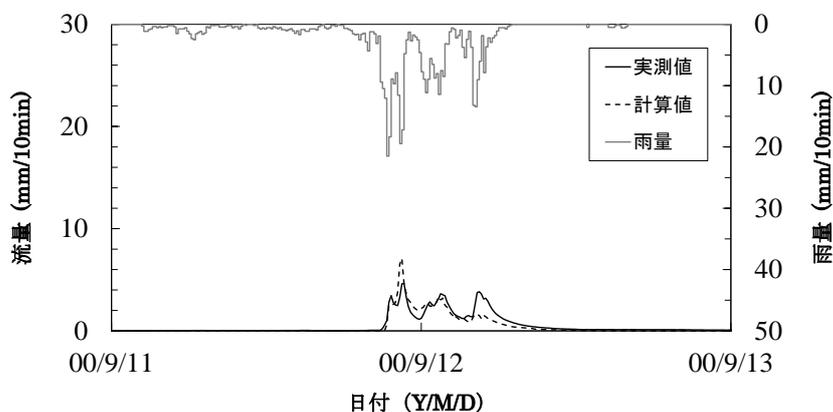


図-2 ハイドログラフの実測値と計算値

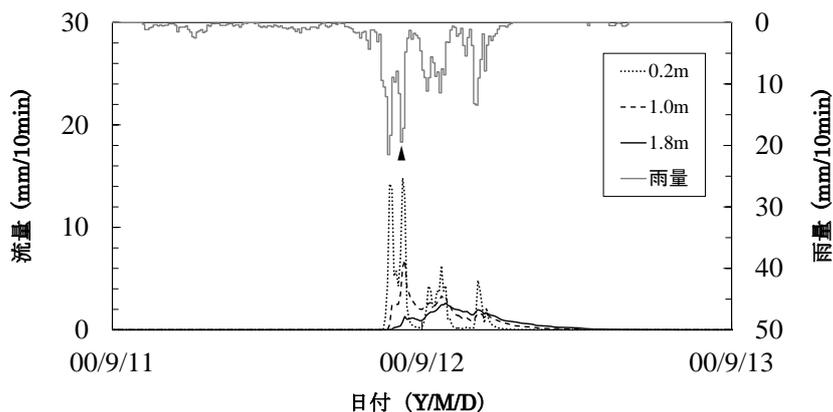


図-3 流域平均土層厚の違いによる計算ハイドログラフの違い

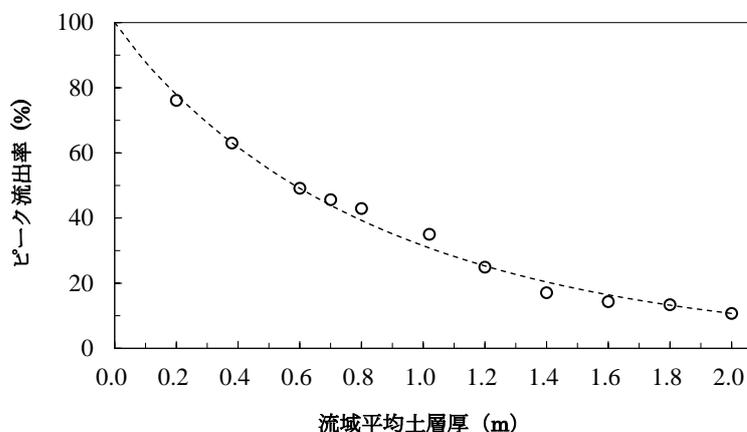


図-4 流域平均土層厚とピーク流出率の関係