

# 樹木および土壌特性が降雨流出過程に与える影響

中央大学大学院 学生員 ○堀内 顕哉 中央大学大学院 学生員 呉 修一  
 (社) 福島県建設産業団体連合会 正会員 江花 亮 中央大学理工学部 フェロー会員 山田 正

## 1. はじめに

山地流域における降雨流出過程を解明する上で、樹木による降雨の貯留・遮断効果、降雨流出過程に大きく影響を与える土壌特性、地下水流れの挙動を把握することは非常に重要である。本論文は、降雨流出機構を解明することを目的とし、林内観測に基づき降雨が地表面に到達する前の段階である樹木による降雨遮断の定量的評価、不飽和浸透理論に基づいた数値解析による土壌特性の把握を行った。

## 2. 樹木による樹冠遮断効果

### 2. 1 観測概要

観測サイトは福島県小野町にある標高約500m地点に位置する試験林を対象に2年半の連続観測を行った。この地方は太平洋側であるため降雪は稀であり、通年の観測に適している。林内の観測では空間的ばらつきを抑制するために、塩化ビニール製の樋を用いて集水面積を大きくすることで解消した。降雨は転倒ます式雨量計を林外に1基と林内に5基(針葉樹林内2基、広葉樹林内3基)設置して観測し、樹幹流は樹木に巻きつけたビニールホースで集水して転倒ます式雨量計で測定した。広葉樹林は主にクヌギ、ミズナラ、コナラの混合林からなっており、観測地点100m<sup>2</sup>あたり18本の広葉樹がある。針葉樹林は上層が主にアカマツ、下層がクヌギ、コナラの混合林からなっており、観測地点100m<sup>2</sup>あたり7本の針葉樹、低層を形成する34本の細い広葉樹がある。

### 2. 2 観測結果

ここで、樹冠通過量(率)とは林外降雨量から林内降雨量を引いた値である。

- 1) 林外総降雨量と樹冠遮断率との関係を図-1に示す:図-1に示されるように、針葉樹の方が広葉樹より降雨を樹冠部分で遮断することが分かった。これは、降雨が針葉樹の細い葉と葉の間に一時的に貯留されたと考えられる。観測期間内での平均樹冠通過率でみると、広葉樹林で76.0%、針葉樹林で60.7%となり広葉樹林の方が針葉樹林よりも約1.2倍の降雨が通過していることが分かる。
- 2) 林外総降雨量と樹幹流量の関係を図-2に示す:図-2に示されるように、夏季と冬季に分けて比較してみた。樹種の違いによる季節ごとの相違はなかったが、広葉樹において冬季の方が夏季より樹幹流量が多い。これは、広葉樹が冬季に落葉して樹幹に直接降雨があたるので、その量が樹幹流量として増加していると考えられる。

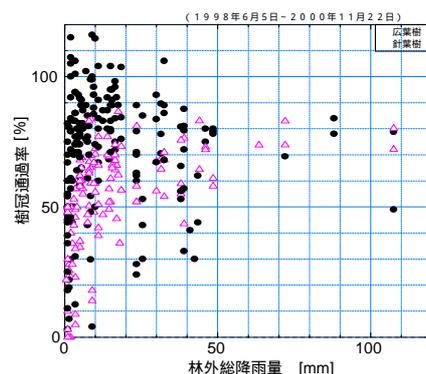


図-1 林外総降雨量と樹冠通過率の関係

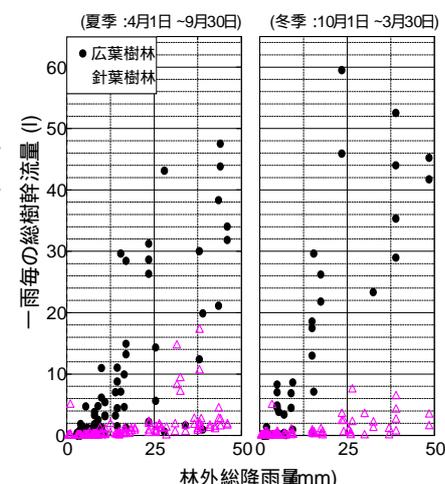


図-2 林外総降雨量と樹幹流量

## 3. 不飽和浸透理論に基づいた数値解析

降雨流出過程において最も重要なのは土壌特性の把握である。そこで、表層土層厚、斜面長、斜面勾配、飽和透水係数の変化が流出特性にどのような影響を与えるか検討するため、不飽和浸透理論に基づいた数値解析を行った。不飽和域に拡張したダルシー則(1)と、連続式(2)より(3)式を得る。ここに、 $\theta$ :含水率、 $K(\theta)$ :不飽和透水係数、 $S$ :根の吸収である。(3)式を圧力水頭を唯一の変数とする形に変形すると、(4)式を得る。ここに、 $C$ :水分特性曲線の勾配、 $\Psi$ :圧力水頭である。(4)式を不飽和鉛直浸透流の基本式とする。また、不飽和鉛直浸透の後、斜面の下層で飽和に達した時点でダルシー則に従い飽和側方流が発生するものとして計算を行う。

$$q = -K(\theta) \frac{\partial h}{\partial z} \quad (1) \quad \frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} - S(z) \quad (2) \quad \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K(\theta) \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} - s(z) \quad (3) \quad C \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} - s \quad (4)$$

キーワード: 樹冠遮断効果、土壌特性、不飽和浸透流

連絡先: 中央大学理工学部 東京都文京区春日 1-13-27・TEL03-3817-1805・FAX03-3817-1803

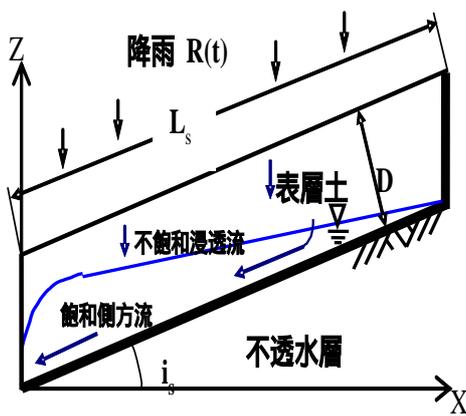


図-3 計算に用いた山地斜面の模式図

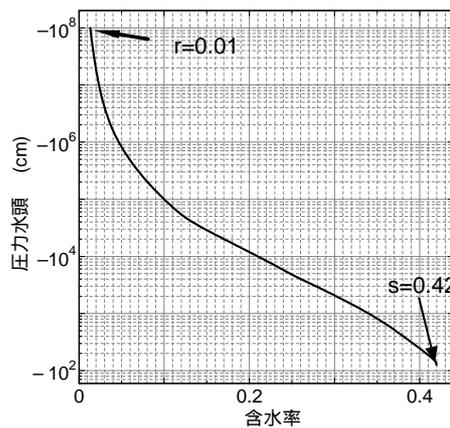


図-4 含水率と圧力水頭の関係

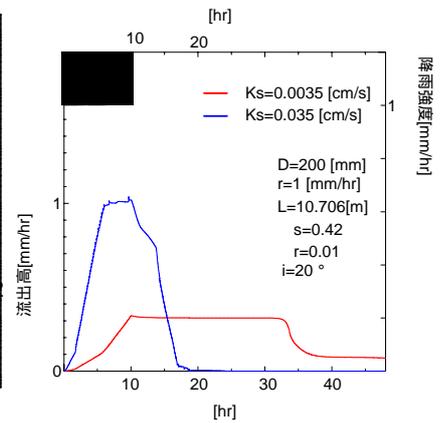


図-5 飽和透水係数の変化が流出に与える影響

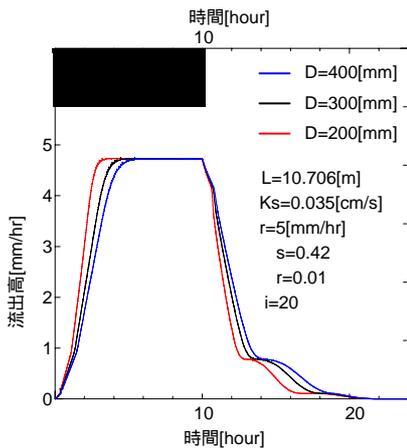


図-6 表層土層厚が流出に与える影響

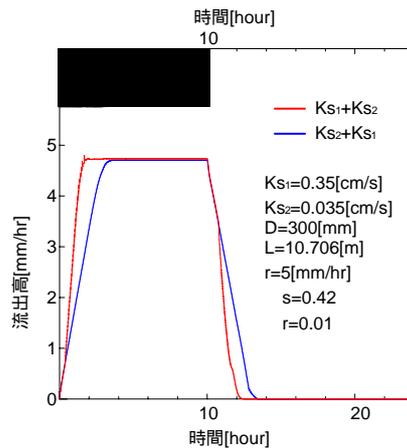


図-7 飽和透水係数の鉛直分布構造が流出に与える影響

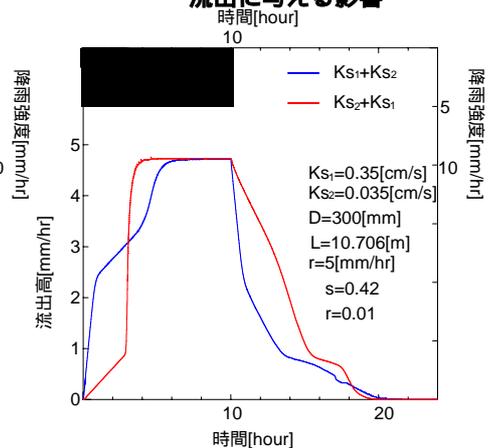


図-8 飽和透水係数の水平分布構造が流出に与える影響

### 3. 1 計算条件

斜面は単位幅とし、境界条件は図-3に示す通り斜面上流端、表層土と不透水層の境界は不透水、斜面下流端は自由流出条件を用いた。各パラメータ値は斜面長  $L=5, 10, 15\text{m}$ 、表層土層厚  $D=20, 30, 40\text{cm}$ 、斜面勾配  $i=20, 30, 40^\circ$ 、飽和透水係数  $k_s=0.35, 0.01, 0.0035\text{cm/s}$ 、有効空隙率  $w=0.4$ 、飽和含水率  $\theta_s=0.42$ 、最小含水率  $\theta_r=0.01$ 、透水性の減少の程度をあらわす無次元パラメータは  $\beta=5$  とした。土壌の水分特性曲線は図-4に示すような含水率と圧力水頭の関係を用いた。土壌パラメータは鉛直方向、斜面流下方向で均一の分布を与えて計算をした。時間ステップ  $\Delta t$  は  $0.3\text{s}$ 、 $\Delta x$  は  $10\text{cm}$  で(4)式を差分化し完全陰解法で解いている。なお時間差分は前進差分、区間差分は中心差分を用いた。次に、表層土層厚  $40\text{cm}$  の土壌を考え鉛直方向、斜面流下方向に2層になるような飽和透水係数の分布構造を与えて計算した。 $\Delta t$ 、 $\Delta x$  は同じ値を用いた。また、今回の計算は植生による効果  $S$  は考慮していない。

### 3. 2 解析結果

飽和透水係数、表層土層厚だけ変化させた場合を図-5, 6に示す: 図-5に示されるように、飽和透水係数が小さいとピークの流出高も小さく、降雨がすべて流出するまで2倍以上の時間がかかる。図-6に示されるように、ピーク到達時間は土層厚が大きくなるにつれ遅くなる。これは、土層厚が大きいほど浸透する時間が長く、流出するまで時間が遅れるためである。斜面長、斜面勾配の変化も同様の結果が得られた。次に、斜面流下方向と鉛直方向にそれぞれ2層に分けた場合を図-7, 8に示す: 図-7に示されるように、鉛直方向に2層に分けた場合はハイドログラフの形状は似ている。図-8に示されるように、斜面流下方向に2層に分けた場合では逆にハイドログラフの形状が違ってくる。これは、同じ飽和透水係数であっても、土層厚の違いから生じるものである。

### 4. まとめ

1) 全観測期間の平均樹冠通過率は、広葉樹林(74.0%)の方が針葉樹林(60.7%)より約1.2倍高い。2) 飽和透水係数の変化が降雨流出機構では大きく影響している。飽和透水係数が大きいとピーク到達時間は早くなり、逓減は急になる。また、土層厚が小さいとピーク到達時間は早くなり、逓減は急になることが分かった。

参考文献 1) 塚本良則: 森林水文学、文永堂出版、1992 2) 三橋勇介・松木浩志・大原憲明・志村光一・山田正 (1998年): 樹木の降雨遮断効果に関する現地観測、第26回土木学会関東支部技術研究発表会公演概要集