

降雨流出に及ぼす山腹斜面の影響

○寶 馨・立川康人・児島利治・可児良昭

1. 山腹斜面の機能

わが国の山腹斜面のかなりの部分は森林で覆われている。森林は、流域に降った雨を遮断、貯留するとともに地中から水を吸い上げて蒸発散により大気へ水を返す。このような山腹斜面における雨水とその流出にかかわる森林の機能として、保水、斜面安定、流出緩和などがある。

森林のある山腹斜面には、空隙が多く透水性の高い A 層と呼ばれる表面土壌がある。この土壌中に浸透した雨水は、土壌中を下方に移動する。その際、斜面を伝って下方に飽和状態であるいは不飽和状態で流れる。これを中間流（地中流）という。また、表面土壌に降った雨が浸透流下しその下にある透水性の低い地盤や岩盤に到達して、そこからさらに深部に浸透する。深部に到達した雨水は地下水流としてゆっくりと山体を流下し、下方の河川・湖沼や扇状地などに流れ出る。

このような一連の降雨流出過程において、雨水が山腹に貯留される効果があるので、特に近年山林を「緑のダム」と称し、その洪水緩和機能、保水機能に衆目が集まっているところである。

2. 緑のダム？

降雨が終了ししばらく晴れの日が続いても、山からは清涼な水が河川に供給され、山地溪流ではその水を楽しむことができる。これは、表層土壌にしみこんで貯留された雨水、さらに深部に浸透した山体の地下水がゆっくりと河川溪流に流出してくることによる。

一方、山腹表面に近いところでは、植生が土中の水分を根から吸い上げ蒸散作用により土中の水分を大気中に排出する。また、晴天が続くと蒸発により、山腹の水分が大気へ返される。雨量の少ない時期や場所において植生が存在すると、逆に、河川に出てくる水が少なくなるのである。

雨が降ると、山林のある山腹斜面はスポンジのように雨水を吸収し、ゆっくり雨水を流出させる効果があるので、山林がなく表層土壌が発達していない山腹斜面に比べて河川流量が小さくなり、その分長期にわたって流出が続くことになる。すなわち、山林の効果により流出現象が比較的穏やかになり時間的にも長く続くことになる。

このような効果は「緑のダム」として山林の好ましい効果として近年注目されているところである。しかしながら、上述のような山林の蒸発散が水資源量を減らす効果があること、流出が緩和されるとしてもどの程度の豪雨までその効果が発揮されるのかということ等については、まだ、定量的に明らかになっていないとは言えない。このことが、「山に木を植えたら全て解決」、「緑のダムが実現できれば大丈夫」というような感覚的議論に陥らせている可能性がある。

本研究では、これらのうち山林の流出緩和機能に着目し、それを定量的に評価することを試みる。物理的基礎を持つ水文学的モデルを山腹斜面系に用いることにより、科学的知見を提示しようとする。

3. 方 法

筆者らはこれまで、河川流域の地形情報、地理情報を

10 m～250 m の空間分解能で取り扱い、詳細な分布型水文流出モデルを構築してきた（児島ら, 1998; 佐山・寶, 2003; 立川ら, 2003）。これは所定の空間分解能の矩形セルによって流域を覆い尽くし、一つ一つのセルが山腹斜面、農地、都市域、河川を含む地域などを表すもので、各セルにおいて雨水が流下し、その直下のセルに流出するというモデルである。たとえば、100 km² の流域を 50 m×50 m のセルで覆い尽くす場合、4 万個のセルについて雨水流出を追跡することになる。このような詳細な流出計算ツールが手元にあるので、山腹斜面の流出機構を定量的に解明することが今日いよいよ可能になってきたと言える。

一つ一つのセルの雨水流出の追跡は、水理学的基礎を持つ kinematic wave 法を用いる。これは、石原・高棹 (1959) により水文学的に詳細に検討された後、山腹斜面の表層の効果が導入され（石原・高棹, 1962）、高棹らの研究グループによってさらに発展させられてきたものである（高棹・椎葉, 1979）。最近では、山腹斜面のセルについては、表層内の地中流を飽和・不飽和浸透流として記述し、地表面流と統合して解析できるようになっている（立川ら, 2003）。

降雨流出に及ぼす山腹斜面の影響を解析するため、本研究では、以下の手順を用いる。

- (1) 集水面積 100 km² 程度の森林で覆われた山地流域を対象とする。
- (2) 空間分解能 50 m の数値地形情報（DEM）を用いそれを UTM 座標に変換し、流域全体を 50 m×50 m の多数のセルに分割する。
- (3) 各セルの雨水の流れ方向と勾配は DEM および河道網の数値化位置データにより規定される。セルの土地被覆は森林とし、この土地被覆がセルの等価粗度を規定する。
- (4) セルに入力される降雨は近傍の雨量観測所のデータを用いる。
- (5) 過去の雨量・流量データから、斜面表層厚、表層内の空隙率、飽和浸透層厚、不飽和浸透層厚、透水係数、表面流等価粗度などの斜面パラメータを同定・検証する。
- (6) 表層の厚さ、降雨規模などの組み合わせを変えて降雨流出シミュレーションを行い、当該流域の山腹斜面の流出緩和機能を、降雨量、流域全体の斜面表層における貯留水量、出水流量に基づいて定量的に評価する。

4. 結果と考察

若干の例について講演時に示す。

参考文献

- 石原・高棹 (1959)：土木学会論文集 60 別冊。
 石原・高棹 (1962)：土木学会論文集 79。
 児島・宝・岡・千歳 (1998)：水工学論文集、42。
 佐山・寶 (2002)：土木学会論文集、726/II-76。
 高棹・椎葉 (1979)：京大防災研年報、22B-2。
 立川・永谷・寶 (2003)：京大防災研年報、46B。