

緑のダムを評価する

森林総合研究所東北支所 藤枝基久

1. はじめに

森林の水源かん養機能とは、健全な森林生態系の存在により豪雨時における河川の増水量（直接流出量）を軽減させるとともに、無降雨時の流量（基底流量）を安定的に供給する作用と考えられている。森林は長い年月をかけて林地に特有の表層土壌を生成し、そこに雨水を一時的に貯留するため、このような水文現象が生じる。これは、主に森林土壌の物理的性質と土壌層の厚さに依存する。水源かん養機能のうち、洪水量に着目したものが洪水軽減機能であり、低水量に着目したものが渇水緩和機能である。本報告では、森林流域の洪水軽減機能（緑のダムの貯水容量）に焦点を絞り、いわゆる緑のダムとはどのような作用であり、それはどのような方法により評価されているかについて述べることにする。

2. 水文学的評価

洪水ハイドログラフは増水量の時間的変化を示したもので、その形状は流域特性（地形、地質、土壌、植生など）により異なる。図1において、総降雨量（ P : mm）と直接流出量（ Q_D : mm）および損失雨量（ L : mm）の関係は(1)式で示される。ここで、損失雨量とは遮断貯留量（ I_s : mm）、窪地貯留量（ D_s : mm）、土壤水分貯留量（ S_s : mm）の3成分(2)式から成り、これらの成分は一時的に森林流域に貯留される雨水である。

$$L = P - Q_D \quad (1)$$

$$L = I_s + D_s + S_s \quad (2)$$

山地流域では窪地貯留量は極めて僅かであるため、森林流域の損失雨量は遮断貯留量と土壤水分貯留量の和となる。遮断貯留量とは雨水が樹冠層や下層植生に雨滴として貯留された後、大気中に蒸発する損失成分である。一方、土壤水分貯留量は雨水が土壌に浸透して土壌孔隙に貯留された後、樹木の根から吸収されて蒸散量となる損失成分と地中水として山腹斜面を移動し、地下水となる成分とに分けられる。したがって、損失雨量の多い流域は、①直接流出量を減少させ洪水軽減に貢献すること、②地下水のかん養成分が多いため基底流量の安定供給に貢献すること、が考えられる。すなわち、緑のダムは森林流域における貯留効果と換言できる。

本報告では、流域保留量（流域に貯留される雨水で、流域貯留量と同義）を指標として、緑のダムの貯水容量を評価する。図2は、森林総合研究所宝川理水試験地の初沢1号沢（6.5ha）と2号沢（4.4ha）を対象に、代表的な増水例を抽出し、総降雨量と損失雨量の関係を示したものである。両者の関係は保留量曲線と呼ばれ、例えば(3)式で示される（ K は流域による定数）。

$$L = S \cdot [1 - \exp(-kP)] \quad (3)$$

損失雨量は総降雨量の増加に伴い増大し、限りなく最大保留量（ S ）に近づくが、この最大保留量が洪水軽減機能の限界、換言すれば、緑のダムの最大貯水量と考えられる。流域内の水

分状態により点がバラツクため（図2 参照）、（3）式は平均的な水分状態での保留量曲線を示す。近接して地形および地質が類似する1号沢（207.5 mm）と2号沢（80.7 mm）の最大保留量の差は、主に土壌層の厚さの相違に起因するものと推察される。

さて、図3は報告者が森林総合研究所の森林理水試験地や林野庁の水土保持事業などによる量水試験の結果について、前述の方法を用いて最大保留量を求めたものである。これらの流域は、流域面積が数haから数千haに及ぶ森林流域である。図3より、概ね、堆積岩類流域の最大保留量100~200 mmの範囲に、花崗岩類流域では200~500 mmの範囲に分布していることがわかる。前者は比較的狭い範囲に最大保留量が分布するのに対して、後者は点のバラツキが大きいのが特徴として挙げられる。すなわち、緑のダムの貯水容量は表層地質の影響を強く受けることが分かる。しかしながら、花崗岩類流域であっても、荒廃地を含む放牧草地流域や流域内に採石現場を含む流域では、最大保留量は100 mm以下となっている。この結果は、森林流域の保留量は表層土壌の攪乱や喪失と密接な関係があり、緑のダムの維持向上には土壌保全が極めて重要な課題であることを示唆するものである。

水文学的方法では、 I_s 、 D_s 、 S_s の他に基盤岩層に貯留される水分も評価するため、深層風化を受けた花崗岩類流域や堆積岩類流域であっても基盤岩層に亀裂の多い流域や火山灰に厚く覆われた流域では、最大保留量が大きい値を示す傾向がある。

3. 土壌学的評価

森林流域における水流出の調節は、 $pF_{0.6}$ ~ $pF_{2.7}$ の土壌孔隙量（ Θ_i ：容積%）により行われている（例えば、竹下、1987）。すなわち、 $pF_{0.6}$ 以下の孔隙では孔隙が大きいため毛管張力を受けの力が弱く、孔隙中の水は自由に移動して透水・排水機能を果たす。一方、 $pF_{2.7}$ 以上の孔隙では土壌水は極めて強い毛管力により保持されるため、樹木の蒸散に使用されても水資源としては利用できない。そこで、森林土壌学では保水容量（ S_s ；土壌層に貯留される水分の最大値）を指標として、（5）式により評価が行われている。ここで、 H_i を土壌層の厚さを示す。

$$\Theta_i = \Theta_{(0.6)} - \Theta_{(2.7)} \quad (4)$$

$$S_s = \sum (H_i \cdot \Theta_i) \quad (5)$$

有光ら（1995）は図2と同一流域について、精密な土壌調査を行い保水容量の推定を行った。この結果、流域の保水容量は1号沢が340 mm、2号沢が186 mmとなった。この数値は空の孔隙中に貯留され得る水分の最大可能量で、豪雨時に実際に孔隙に貯留される雨水ではない。ここで、宝川試験地における流域保留量と保水容量を比較検討すると、絶対値は異なるが大小関係は一致するため、両者の間には何らかの関係式が成立するものと推察される。

さて、表1は、有光らの方法により推定された保水容量を整理したものである（藤枝・吉永、1994）。なお、 Θ_i を中孔隙量（ $pF_{0.6}$ ~1.8）と小孔隙量（ $pF_{1.8}$ ~2.7）とに区分し、保水容量を示した。表-1より、保水容量は筑波流域の533 mmという値を除くと、概ね200~350 mmの範囲に分布している。中孔隙量は100~200 mmの流域が多いが、定山渓流域と筑波流域では300 mm以上となっている。一方、小孔隙量は定山渓流域で21 mmと少なく、筑波流域では191 mm

mと大きな値を示す他は、50～150 mmの範囲に分布している。これらの数値からも明らかのように、森林流域では通常の総降雨量をほぼ貯留できる容量の孔隙が存在するものと考えられる。なお、筑波流域の保水容量が他の流域と比較して著しく大きな値を示したのは、この流域が関東ローム層に覆われて土壌層が極めて厚いためである。

『森林の公益的機能計量化調査報告書』（林野庁、1974）によれば、土壌層（A層+B層）を100 cmと仮定して、全国各地の土壌貯水量（保水容量と同義）を算出している。計算結果を母材別に整理すると、第三系堆積岩が130～170 mm、中・古生層堆積岩が160～220 mm、変成岩が170～220 mm、花崗岩類が170～250 mm、火山岩類が160～210 mm、火山灰が200～240 mmとなっている。これらの数値は、土壌貯水量は母材（基盤岩層）の影響を強く受け、花崗岩類と火山灰地帯の土壌貯水量は堆積岩地帯のそれより大きいことを示している。

ここで、土壌貯水量と表1の保水容量を比較すると、保水容量は200～350 mmであるのに対し、土壌貯水量は130～250 mmであり、前者は後者の約1.5倍となった。この結果は、流域の保水容量の推定に際し、土壌層の厚さをどの様に見積もるか（C層を含めた取り扱い）が重要な課題であることを示唆するものである。

4. まとめと今後課題

水文学と森林土壌学の両面から、緑のダムの貯水容量について評価を試みた。前者は総降雨量と直接流出量の差が流域に貯留された雨水（S：最大保留量）とし、後者は孔隙量と土壌層厚の積を保水容量（ S_s ）とするものである。堆積岩流域（基盤岩層に亀裂の多い流域を除く）では、両者の間に（6）式が成立する。ただし、 $0 < \alpha \leq 1$ である。

$$S = \alpha \cdot S_s \quad (6)$$

この式は、森林土壌層を大きな仮想貯留槽（タンク）と仮定した時、土壌学的方法はタンクの全容量を評価し、水文学的方法は土壌水分のある自然状態でのタンクの容量を評価することを意味する。すなわち、 $\alpha=1$ は流域内の全粗孔隙量が空気で満たされる強度の乾燥状態を表す。わが国のような湿潤温帯地域では、溪畔部や斜面下部では湿潤状態に維持されている場合が多いため、恒に $\alpha < 1$ と考えられる。したがって、 α の範囲が定めれば任意の流域において土壌学的方法により緑のダムの貯水容量を推定することが可能となる。そのためには、量水試験の行われている流域で精密な土壌調査を行い、保水容量の推定例を蓄積することが重要である。

参考文献

- 有光一登ほか（1995）：宝川森林理水試験地における土壌孔隙量をもとにした保水容量の推定
— 初沢小試験流域1号沢および2号沢の比較 —、森林立地37（2）、49～58
- 藤枝基久・吉永秀一郎（1994）：森林の水源かん養機能と地下水、地下水問題この10年とその
将来展望、27～34、日本地下水学会
- 林野庁（1974）：森林の公益的機能計量化調査報告書（Ⅲ）、47～66
- 竹下敬司（1982）：森林土壌の水源かん養機能とその評価、第2回水資源に関する
シンポジウム前刷集、604～611

表-1 森林流域の保水容量

試験流域名	中孔隙量	小孔隙量	保水容量	森林植生	土壌型
定山溪 (北海道)	303	21	324	混交天然林	ポドソル・褐色土
常陸太田 (茨城)	128	148	276	スギ・ヒノキ林	褐色土
筑波 (茨城)	342	191	533	スギ・ヒノキ林	褐色土
宝川1号沢 (群馬)	193	147	340	落葉広葉樹	ポドソル・褐色土
宝川2号沢 (群馬)	106	80	186	落葉広葉樹	ポドソル・褐色土
山城北谷 (京都)	148	140	288	落葉広葉樹	褐色土
南明治山 (沖縄)	124	50	174	常緑広葉樹	黄色土

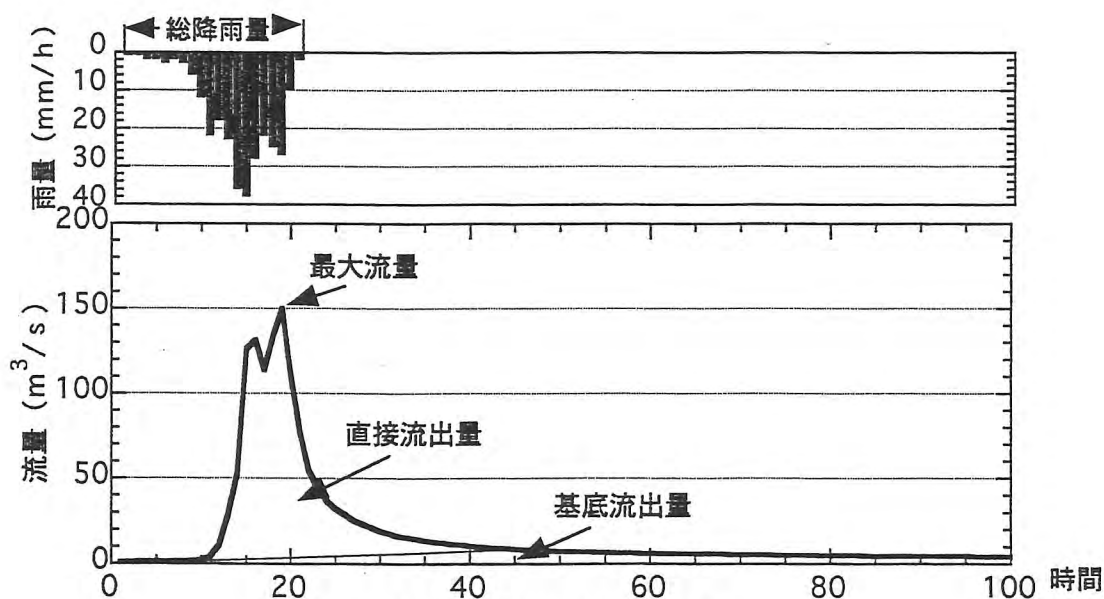


図1. 洪水ハイドログラフ

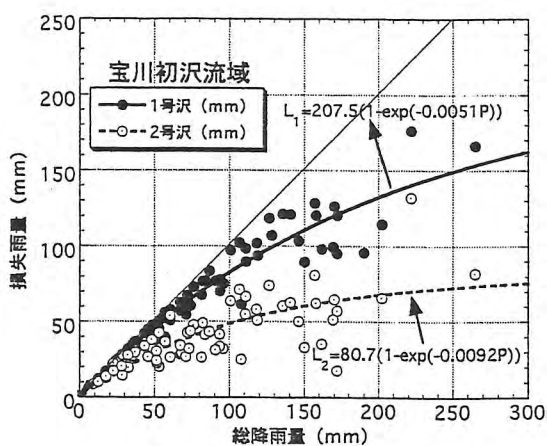


図2. 総降雨量と損失雨量の関係

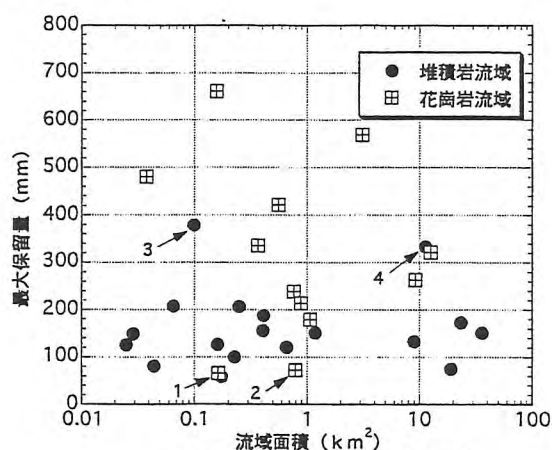


図3. 森林流域の流域保留量

1: 荒廃地を含む放牧草地流域、2: 採石現場を含む流域
3: 基盤岩層が亀裂に富む流域、4: 火山灰層を含む流域