

人工の貯水池と緑のダム

—それぞれの効用と限界—

寶 馨

1. はじめに

平野に広々と展開する田畑。山腹斜面には水を張った棚田が一つの月をいくつも映し出す。美しい農村風景の所々にため池がある。また、川には堰があり、注意深く見るとそこから細い水路に水を取り込み田畑を潤しているのがわかる。河川の上流を訪れると、満々と水が貯められたダムがある。雨や雪によって流域に降った水が、農業のみならず、電力、飲料水などのために利用されている。治水の目的を持つダムの場合、洪水のおそれがある時期には、予め水の量を少なくしておいて、大雨と洪水によってもたらされる大量の水を貯め込む。こうして、下流の河川流量を低減させ洪水氾濫による災害を防いだり軽減したりすることができる。

現在の我が国の山林は豊かであると言える。海外の多数の諸国と比べて、森林の面積の国土に占める割合は明らかに大きい。第二次世界大戦直後の時点ではかなり荒廃していた山林が、戦後の植林・砂防などの施策によって著しく回復した。その一方で、建築資材を安い輸入材に頼り、木炭や薪などの火力エネルギーは、石炭、石油、ガスなどに取って代わられた。これにより、林業が衰退し、管理や手入れの行き届いていない山林の割合が多くなっている。そして、このことが山林の保水機能や水源涵養機能を損なわせていると言われている。こうした森林のもつ望ましい機能は、上に述べたような人工の貯水池に対比して、「緑のダム」と呼ばれることがある。近年注目されているところである。

本講座では、近年、対比的に議論の俎上に乗せられ、あたかも対立する概念であるかのように喧伝されている傾向のある、「人工の貯水池」と「緑のダム」について最新の議論や知見を取りまとめる。特に、それぞれの効用と限界を客観的に提示し、両者が相補う形でなければ、治水・利水さらには環境といった観点から望ましい流域像は描けないことを強調したい。

2. 山腹斜面と森林の機能

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。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、表層土壤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(図1)。

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、山腹の水分が大気に返される。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、山林がなく表層土壤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。

我が国の山腹斜面のかなりの部分は森林で覆われている。森林の重要な機能として、以下のようなものが知られている(たとえば、宝, 1998)。

- ・生態系機能---動物や植物の生息、遺伝子資源の保存。
 - ・物質循環機能---エネルギー、水と物質の循環の場。
 - ・治水機能---流出抑制(洪水流量の減少、土砂生産量の減少)。
 - ・利水機能---水資源涵養、表流水浄化。
 - ・地域環境維持機能---自然に満ちた空間、健康で快適な生活環境を提供。
 - ・地球環境維持機能---気候の安定化、酸素供給、炭素固定(温暖化抑制)。
 - ・レクリエーション機能---キャンプ、オリエンテーリング、森林浴、動植物採取・狩猟。
 - ・生産機能---木材、薪、食糧、ゴム、油、薬など。
- これらの一方で、悪い(人間にとって迷惑な)方の機能(森林がもたらしうる被害など)がない訳でもない。たとえば、
- ・動物による被害---害虫・害鳥・嫌悪感を与える生物・野獣の生息。
 - ・植物による被害---スギ・ヒノキなどの花粉の散乱、毒性の植物の繁茂、斜面崩壊時の流木。
 - ・森林火災---煙害、大気汚染、日照不足。
- などである。

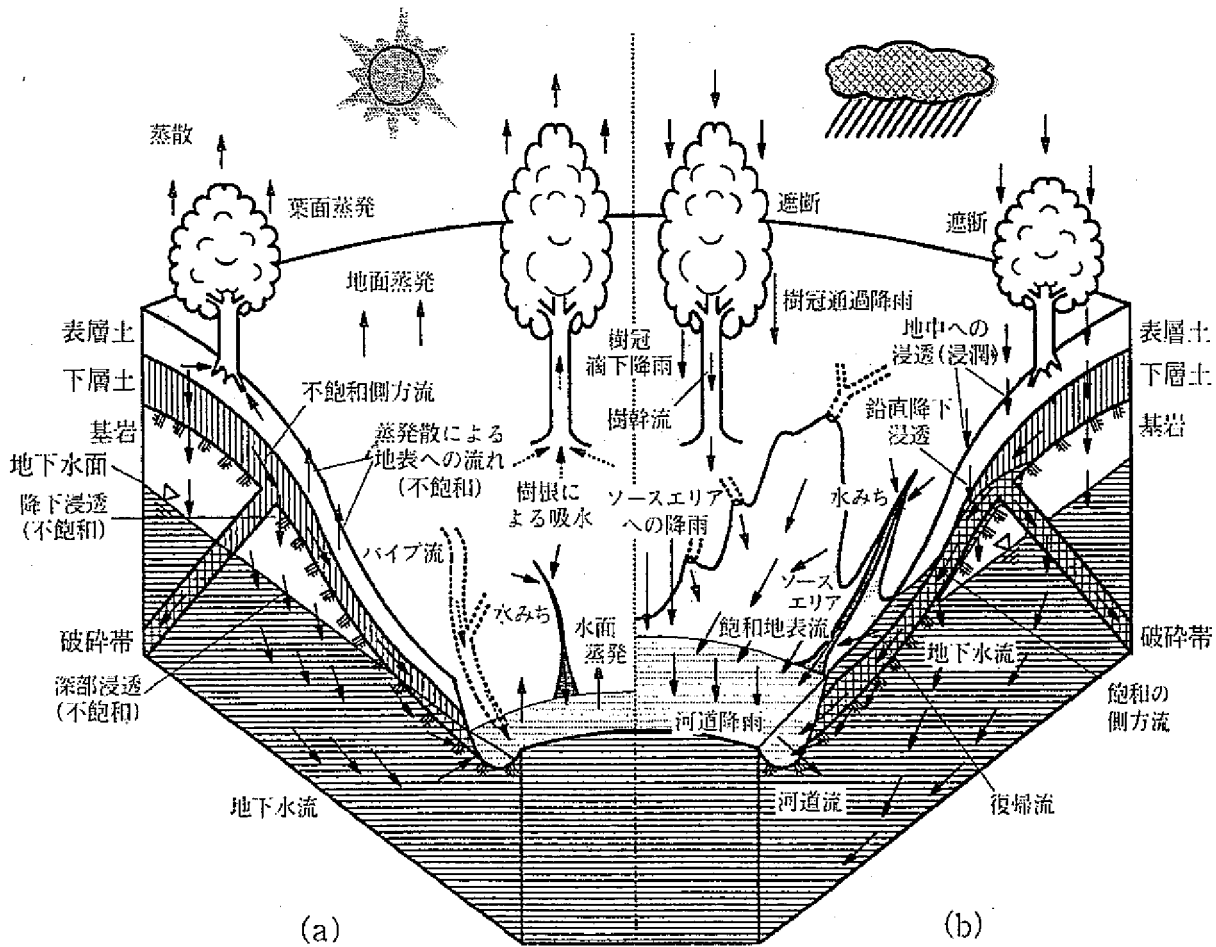


図1 森林における降雨流出過程 (塚本(1992), p. 126の図を翻案; 宝 (1998))
 (a) 無降雨時 (大雨後1週間程度経過した時期) (b) 大雨時

3. 山腹斜面と雨水流出に関する過去の研究

山腹斜面の表層土壌が流出に及ぼす影響に関する研究は、1930年代からなされてきている(たとえば、金丸・高棹(1975) pp. 112-114を見よ)。1960年代には、山腹斜面や山林の役割については、水文学的観点から、実証的・理論的にまた定性的に知られていた。さらに古くは1910年代から、森林水文学の研究者達によって、主として試験流域や大学の演習林などにおいて詳細な研究が積み重ねられてきた。いわゆる「森林理水試験」である(たとえば、中野(1976)のpp. 159-188)。1980年代には、小川(1983ab)、小林ら(1984)、福嶋(1987)、鈴木(1988)、鈴木・福嶋(1989)らによって、流出に及ぼす山腹斜面の影響の定量的な評価研究がなされている(塚本, 1992)。

ただし、従来の山林効果の研究は、斜面レベル・試験地レベルの話が多く、その対象とする流域がかなり狭い(ほとんどが100ha=1km²程度以下の面積)。流域スケールでの定量的な議論がほとんどできていなかったと言える。

また、洪水がたまにしか起こらない現象であり、洪水が起こったとしてもその時に量水堰が土砂で埋まったり、破壊されたりして流量の把握が出来ないことも多いので、中小洪水時の観測データで議論していることが多かった。そして、このような事情により、数十から数百平方キロメートルというようなダム流域レベルでの話がしにくかったのである。

山腹斜面の様相を極めて単純化すると図1のようになる。実際には、さらに複雑な様相を示す。図1で、若干説明を加えると、左側(a)は、晴天が続いた場合で、樹木からの蒸散、葉面・地面・水面からの蒸発など、山腹斜面から大気へ水分が出て行く現象が卓越する。

一方、右側(b)は降雨時であり、降雨は樹冠(木の葉や枝など)で一部捉えられ(遮断という)、樹冠を通過した降雨が地面に到達する。樹木がなければ雨は直接地面に降る。樹木や草で覆われた山腹の地表面には、表層に透水性の高い土壌がある。そこでは、雨水は地中に浸透(浸潤)し、一部はさらに深部に浸透し地下水流となる。地下水流とならなかったものは、

山腹斜面表層を斜面に沿って側方浸透流あるいは地中流（専門的には中間流とも呼ばれる）として流下する。地中を流下する過程で、表層を飽和させ地表面に水が出て地表面流となることもある。これを飽和地表面流と呼ぶ。

山林におけるこうした透水性の高い表土層は、樹木の落ち葉や下草などが腐食してできた土壌であり、樹木の種類やその混在の仕方、年齢などにより、土壌の厚さ、雨水が流れる空隙の多さや透水性は異なる。また、普段はほとんど水が流れていないが、降雨時に地表面流として水を流す、いわゆる水みちも存在する。このような一時的な水みち、林道、踏地などの透水性の低い地表面や岩石が露出した部分も山腹には存在する。そこでは、降った雨はすぐに流下する。

4. 緑のダムとその功罪

2. で述べた森林の好ましい機能のうち、治水・利水に関わるものは、人工の貯水池が果たす役割と同じである。これらの機能は水循環の観点から望ましいものであり、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。

一部の人たちによって「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」というような議論がなされることが近年よくある。さらには人工の貯水池の不要論が横行することも少なくない。しかしながら、こうした議論には注意が必要である。蔵治（2003）は、「森は緑のダム」という言葉が、科学的な裏付けなしに情緒的、観念的に用いられてきているとして、これまで世界や日本でどのような研究がなされ、どのような結果が得られているのかを整理・紹介した。その後、蔵治・保谷野（2004）は、最近の各分野における「緑のダム」に関する議論を賛否両論も含めて取りまとめている。

科学者サイドからの情報提供としては、平成 13（2001）年 11 月に公表された日本学術会議「地球環境・人間生活にかかわる農業および森林の多面的な機能の評価について（答申）」の中に、森林の水源涵養機能（緑のダム論）に関する記述がある。

それによると、いわゆる「緑のダム」機能とは「水源涵養機能」のことであり、「水源涵養機能」＝「洪水緩和機能」＋「水資源貯留機能」＋「水質浄化機能」としている。そして、「しかし、森林整備だけで、洪水を抑え、水源を確保することはできません。（スポンジ論）」として、洪水緩和機能の限界を「大洪水時には、すでに、初期の降雨が土壌中に充満しているため、ピーク流量の低減効果は大きくは期待できません。森林は、中小洪水においては洪水緩和機能を発揮しますが、大洪水においては顕著な効果は期待できません。」と表現している。ただし、その文書の中では、流出が緩和されるとしてもどの程度の豪雨に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、定量的に言及されていない。

前節で述べたように山林の蒸発散が水資源量を減らす効果があることから、緑のダムに否定的な意見もある。例えば、榎根（2002）は、「森林は『緑のダム』である」という俗説が流布している。しかし実際は、森林は蒸発散の作用で大気中へ水を余分に失わせるの

で、水源涵養という面から見ると『緑のダム』説は間違いである。（中略）つまり森林にはダムのように水をためる能力はない。したがって、水源涵養機能だけを考えれば森林は『緑のダム』ではなく『緑のフライパン』ということになる。」と述べている。

「大量の水を蒸発散させる森林は必要ない。山腹の土壌が重要なのであって土壌の流亡を防ぐ草や低木などの植生があればよい」という議論さえある。ただ、これは欧米のような安定な地盤において成り立つであろうが、変動帯で地形・地質が崩れやすい上に、強い雨を受けるアジアモンスーン地域に位置する我が国のようなところでは、少し乱暴な議論かも知れない。

次章では、「緑のダム」について、特に洪水緩和機能に関して筆者らが行ったコンピュータ実験の結果を示す。

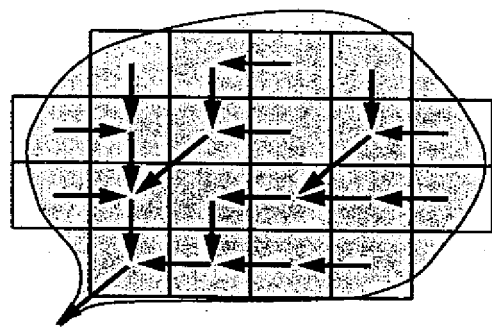


図2 セル分布型流出モデル

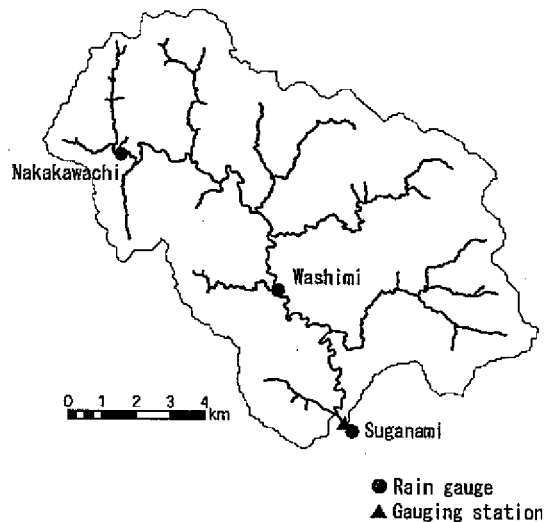


図3 高時川流域（菅並地点に雨量・流量観測所、中河内、鷺見に雨量観測所がある）

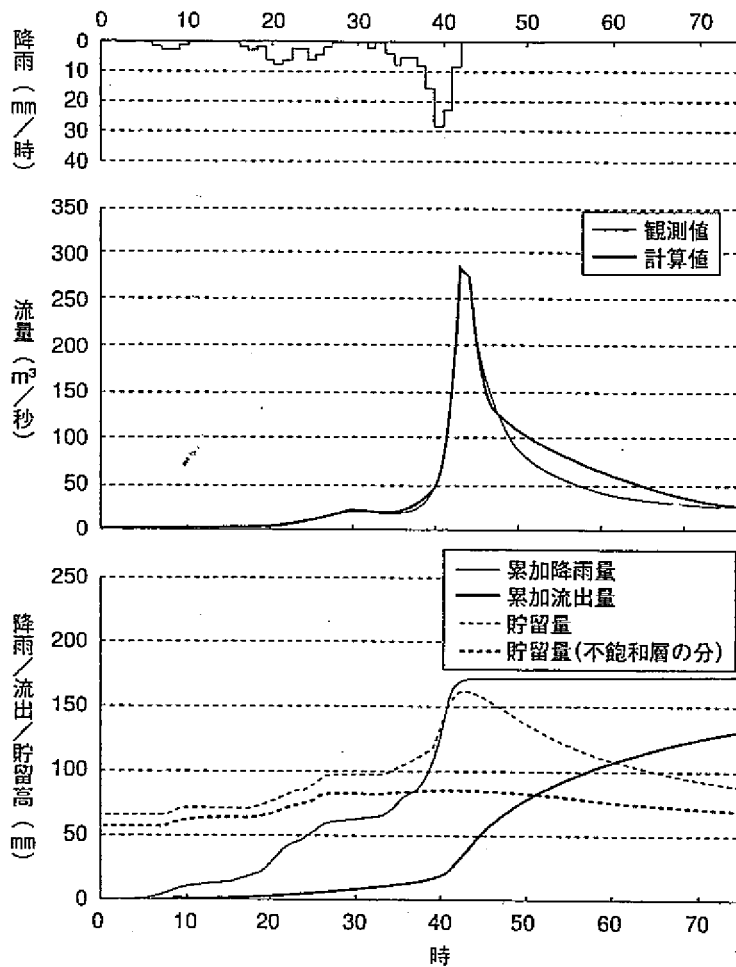


図4 1998年9月21-23日の出水の再現ハイドログラフとRRS図

5. 洪水緩和機能についての検証

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, 2004)。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(図2)。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キネマティックウェーブ(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)。

以下では、計算手順を省き、滋賀県東北部の高時川流域(100 km²)を対象として得た結果を中心に述べる。詳細については、室ら(2004)を参照されたい。

高時川流域(図3)に対して、50 mメッシュの数値標高データ(DEM)とそれから得られた雨水の流下方向と勾配を求めた。また、50 m×50 mの各セルは表層土壌で覆われるものとし、飽和・不飽和浸透流を考慮する。流域を50 m×50 mのセルで覆い尽くすと、40,042個のセルに分割された。また、雨量は、3箇所の地上観測所のものを用い、各セルに最も近い雨量計のデータを、そのセルへの入力として用いることとした。

1998年9月21日~23日の間に生じた洪水事象に対し、セル分布型洪水流出モデルの同定を行った。河道セルを除くすべてのセルが森林で被覆され同一の表層を有しているという条件で、等価粗度を固定(森林で0.7、河道で0.05)し、表層厚、透水係数、流域下流端での初期流量などを試行錯誤的同定法によって定めた。こうして得られる再現ハイドログラフは、

図4のようである。

ここで得られたパラメタによれば、表層厚 850mm、飽和・不飽和浸透層の実質深さは 170mm と推定された。これは、高棹（2001 年度実践水文システム研究会）が示唆した 160mm、石原ら（1962）が由良川において導出した 120mm と近い値であると言える。面積 100 km² の流域に様に分布する 170mm の表層が充滿されるときの水量は 17 百万 m³ となる。

図4の最下段に注目して頂きたい。4本のグラフのうち、右側が水平な直線になっているのが、毎時毎時の雨量を順に加算（累加）していった曲線である。これを累加雨量曲線という。降雨が終了した時点で、累加雨量曲線は水平になり、このときは合計すると 170mm の雨が降ったことがわかる。累加雨量曲線と同様に、ゼロから始まり、途中から上昇しているグラフが流量を累加した曲線である（累加流出曲線という）。流量（m³/s）を、流域面積を考慮して mm 単位に変換し流出高さで表していることに留意されたい。

その他の2つの曲線のうち上側のグラフ（貯留高曲線）は、山腹斜面に貯留されていると推定される雨水の量（これも mm 単位で表現）の変化を表す。これは流域を覆い尽くす 4 万個以上（40042 個）の 50m 四方のセルに貯留されている水量をすべて足し合わせて求めたものである。その下側のグラフは、貯留量のうち、不飽和層に蓄えられた分を参考のため示している。

これらのグラフにより、「緑のダム」と言われる森林に覆われた山腹斜面の貯水量と、雨量・流出量が流域規模で直接比較できることになった。「緑のダム」の効果を見るには、この図4に示された累加雨量曲線、累加流出曲線、貯留高曲線の三者を比較すればよい。図4の洪水の時には、170mm の雨が降った。図4によれば、貯留高曲線は 160mm まで上昇しており、この時に降った雨は、ほとんど山腹斜面に貯留されたことが見て取れる。「緑のダム」が効果を発揮した典型的な例である。流域全体が最も湿ったところで、ちょうどたまたま降雨が終了し、貯留高曲線が低減を始める（表層に貯められていた雨水が河川に流出し始める）時に洪水ハイドログラフはピークになったことが分かる。

流域に降った雨、流出量と貯留量の関係とそれらの時間的変化をこのように明瞭に表したのはこの図が初めてであり、RRS 図（Rainfall-Runoff-Storage diagram）と呼んでいる（宝ら、2004）。これにより、水文学的観点から「緑のダム」の効果を流域レベルで定量的に明らかにしたことになる。

従来この種の検討が、試験地レベルの微小流域であり、かつ、大雨時のデータが必ずしも取り扱われていなかったという点で、不十分であった。ここでは、大雨を想定して、当該地域における 50~200 年確率の 2 日雨量を上記のセル分布型洪水流出モデルに与えて、累加雨量、累加流量、表層における雨水の貯留量の時系列を定量的に評価する。

6. 確率降雨による検討および考察

この流域で想定される 50 年確率から 200 年確率の豪雨（2 日雨量で 350mm から 480mm 程度）に対して

「緑のダム」は、どの程度の洪水緩和効果を発揮するのであろうか。以下では、このことについて考察を加えてみる。

6.1 確率降雨による検討（矩形降雨の場合）

当該流域の 50, 100, 150, 200 年確率 2 日雨量は、1896-1996 年の 101 年間の年最大 2 日雨量に一般化極値（GEV）分布をあてはめて、それぞれ、357, 415, 451, 478 mm であることが知られている。

この雨量を時間的に様に分布させた降雨波形（いわゆる矩形降雨ハイトグラフ、定常降雨ともいう）を与えて、RRS 図を描いた例を図5に示す。この図の上段から順に、ハイトグラフ、ハイドログラフ、RRS 図を示している。

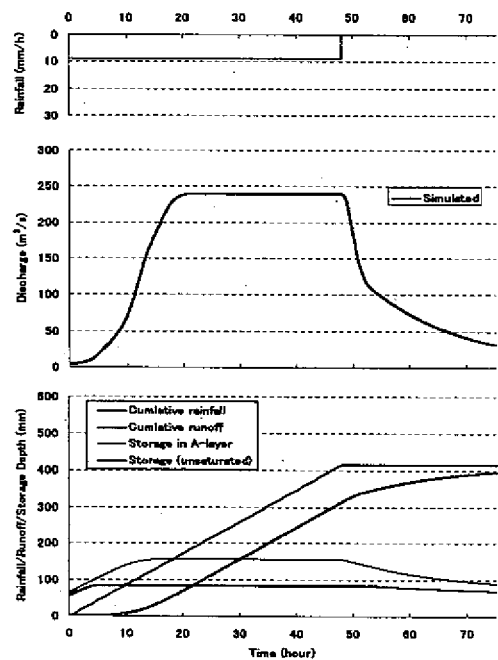


図5 100年確率雨量（矩形降雨）に対する降雨流出の関係

時間が経過すると、与えた平均雨量強度に相当する洪水流出の値に到達し、ハイドログラフが水平（流出量が一定）になる。すなわち、ある程度時間が経つと、表層土壌に雨水が十分に溜まりきってしまい、降った雨量の分がそのまま流出してくるのである。2 日間（48 時間）に時間的に様に 415mm 降るということは、毎時約 8.6mm の時間量があるということになる。これを流量に直すと、239 m³/s となる。

表層に貯留されている雨水の量の時間変化、流出の変化が、図5の下段の貯留高、累加流出のグラフを見るとよく分かる。中段のハイドログラフを見ると、流量が増加して 100 m³/s に到達するのが降雨開始から 12 時間後ぐらい、200 m³/s に到達するのが降雨開始から 17 時間後ぐらいであることがわかる。

RRS 図（mm 単位で表示されている）を見るとわかるように、最終的には総流出量は、100 年確率 2 日雨量 415mm に漸近するが、表層での貯留は、160mm

で頭打ちになっており、これが、いわゆる緑のダム
の貯留しうる上限値であると言える。

結局、表層の空隙が、流域全体に170mm相当ある
としても、100年確率の雨として415mmが2日の間
降り続いたとすれば、そのうちの245mmに相当する
雨水は表層に蓄えることができず、流域外に流下する。
この水量は、流域面積をかけると、2450万 m^3 になる。
50年確率、200年確率の場合はそれぞれ、1870万 m^3 、
3080万 m^3 ということになる。

6.2 確率降雨による検討（三角形降雨の場合）

雨の実際の降り方を考えると、48時間の間ずっと一
定強度で降ることはなく、時間的に変動する。したが
って、ピーク雨量はさらに大きくなる。確率雨量の時
間分布を、中央ピーク型の三角形ハイエトグラフとし
て前節と同様の計算をしてみた。図6を見ると、矩形
降雨の場合（雨量は $415/48=8.65mm$ ）のピーク流量
（240 m^3/s ）に比べて、三角形降雨の場合、ピーク量
が約2倍になるのでそれに応じてピーク流量がかなり
大きくなる（440 m^3/s であり240 m^3/s
の1.8倍）。降雨波形（降雨の時間分布）が洪水ピー
ク流量に大きく影響するのである。

一方、山腹斜面表層で貯留される量は、最下段の
RRS図を見てもわかるように、160mmで頭打ちとなっ
ている。すなわち、このような大雨が発生すると、流
量はかなり大きい、それをすべて森林の表層土壌に
溜め込むことは到底不可能であることがわかる。これ
を安全に流下させる河道を設計するか、ピーク流量を
低減させる貯留施設が必要であるということになる。

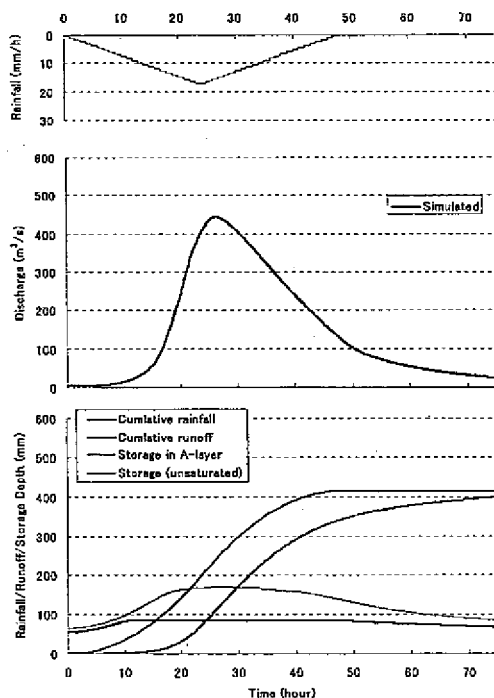


図6 100年確率雨量（三角形降雨）に対する
降雨流出の関係

また、ここでは流域全体が良好な表土層を持つ森林
で覆われていると仮定している。実際には、森林以外

の土地被覆も存在するので、この仮定は「緑のダム」
にとっては有利な設定であると言える。目一杯「緑の
ダム」の効果を発揮したとしても処理できない雨水の
量が、筆者らのモデルによって定量化できることを示
したわけである。

なお、山腹表層の厚さや空隙率については、既往の
多数の研究があり、結局、雨水を貯留するのに有効な
空隙は100~200mm程度に相当するようである（た
とえば、石原・高棹、1962や金丸・高棹、1975）。

6.3 緑のダムは人工の貯水池に匹敵するか

ここで取り扱った流域の最下流端には、人工の貯水
池（ダム）の計画がある。その洪水調節容量は、3300
万 m^3 なので、この集水域の「緑のダム」の容量の二倍
に相当する。ということは、流域がかなり乾燥してい
る状況であれば、人工ダム+「緑のダム」は、200年
確率2日雨量（478mm）に相当する容量を持つこと
になる。流域が十分に湿っている状態であれば、3300
万 m^3 は、50年確率2日雨量（357mm）に相当する水量
にも満たない。なお、この人工ダムの総貯水容量は1
億5000万 m^3 であり、仮に空っぽであれば、100年確率
級の雨を3回立て続けに受け止めることができる。森
林域の表層土壌のみに頼る「緑のダム」にはこのよう
なことを期待すべくもない。

山林およびその表層土壌は、洪水緩和について一定
の効果を発揮するが、大雨時には限界があることとい
うことはずっと以前から認識されてきた。実際の洪水
防御計画（治水計画）においては、こうした山林の洪
水調節効果は織り込み済みで治水施設の計画・設計が
なされてきたのである。

表1 菅並・川合地点における降雨流出
（2001.6.18-23）

地点	降雨量 (千万 m^3)	観測流量 (千万 m^3)	観測流量 /降雨量
菅並	1.32	1.01	0.765
川合	2.37	1.80	0.759

7. 森林の洪水緩和効果の定量的検討および考察

上記の研究結果を踏まえた上で、以下では、森林に
おける降雨遮断の影響、および人工ダムで一般的に行
われている貯留量制御を考慮に入れ、その上で「緑の
ダム」がどの程度の規模の人工ダムに匹敵するかを考
える。

7.1 降雨遮断の影響

降雨時の森林を観察すれば、樹の幹や葉に雨水が蓄
えられているのが分かる。このことは、雨に濡れた樹
木を下から揺らすと、水が大量にポタポタと落ちるこ
とからも理解できる。すなわち、山腹斜面に雨が降る
際には、斜面上の樹木により、降雨の一部が遮断され
る。

そこで、本対象流域において、どの程度の割合で降

雨遮断されているのかを検証した。2001年6月18日～23日の降雨において、菅並・川合（流域下流）地点における観測雨量（体積に換算）および観測流量を表1に示す。表1により、観測流量/降雨量の値は、菅並地点で0.765、川合地点で0.759となった。すなわち、本流域のこの例では総降雨量のうち、およそ24%程度の雨水がすぐには流出しないと言える。

また、時間が経つにつれ、地中に浸み込んだ降雨が、遅い中間流や地下水流などでさらに流出することを考慮すれば、総降雨量のうち、森林によって降雨遮断される雨水の割合は、たかだか20%程度と考えられる。よって、本研究で用いる流出率（総降雨量に対する地表面到達雨量の割合）は0.8および1.0とした。

7.2 森林流域と不透水性流域の比較

ここでは、小杉(2004)の研究を参考にし、流域全体にわたって不透水性の地表面（緑のダムがない場合を想定）を仮定した場合と、流域のほとんどが森林に覆われた実際の地表面の場合とを比較する。

以下の手順によって「緑のダム」の治水効果を定量的に示す。

- 1) 流域には全く森林が無く、不透水性の地表面に覆われているとし、流域の下端にダム貯水池があるとする。
 - 2) 1)で仮定した流域に、今回対象とする降雨を与え、計算流量を得る（図7の不透水性流域のハイドログラフ）。
 - 3) セル分布型流出モデルを用いて、流域が森林で覆われている場合の流出計算を行う。
- 2)で得た計算流量のうち、3)で得た森林流域の計算ハイドログラフの最大ピーク流量を上回る分を全量カットするとし、必要な貯水池容量を計算する。この貯水池容量を、治水に対する「緑のダム」容量であるとする。

図8に示されるように、2001年6月の降雨（132mm）で、不透水性流域からの流出を森林流域のピーク流量以下に抑えるのに必要なダム容量（言い換えると、流域の森林が洪水緩和に貢献した貯水量）は、最大で約306万 m^3 と計算された。この値は、対象流域で計画されている人工ダムの洪水調節容量（3300万 m^3 ）と比較すれば、10分の1にも満たない数値であり、この容量と比較すると、はるかに小さい値であることが分かる。

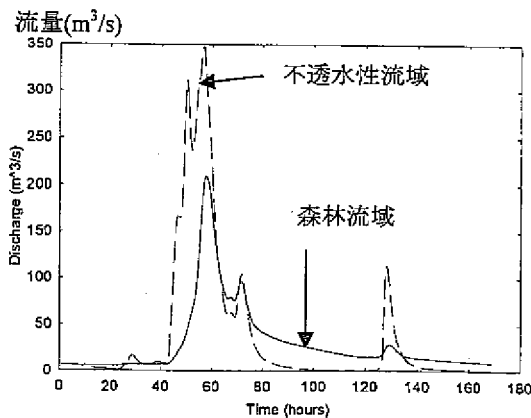


図7 森林流域および不透水性を仮定した流域におけるハイドログラフ(2003.8.7-13.菅並)

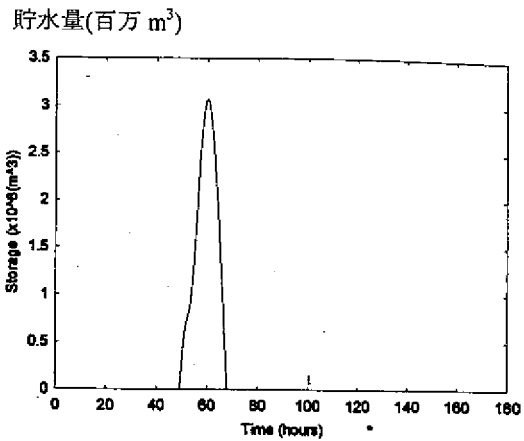


図8 不透水性流域からの流出を森林流域のピーク流量以下に抑えるのに必要なダム容量

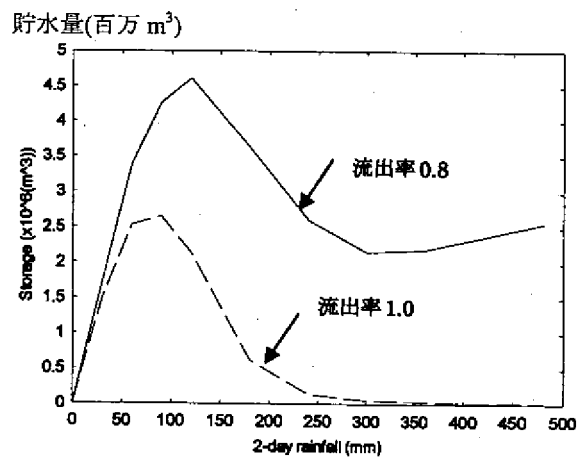


図9 2日間降雨30～480mmに対して「緑のダム」が洪水低減に寄与する容量（貯水量の最大値）

7.3 仮想降雨による流出シミュレーション

流域に三角形降雨（2日間降雨30～480mm）を降らせ、「緑のダム」が洪水低減に寄与した容量（貯水量の最大値）の変化を図9に示す。森林による降雨遮断がない場合（流出率1.0）の場合も併記している。

この図より、高時川流域の「緑のダム」の貯水量は、2日間雨量が120mm程度するとき、最大値約450万 m^3 をとり、このときこの流域における「緑のダム」効果は最も強く発揮されると考えられる。

2日間三角形降雨の総量が180mm、300mm、420mmのときの流出率=0.8（森林流域）および流出率=1.0（森林流域、不透水性流域）におけるハイドログラフを図10に示す。図9の流出率=1.0の場合のグラフで示される値が、ピーク流量低減に及ぼす「緑のダム」の貯水量であるが、このグラフによれば、2日間降雨量が90mm程度するとき最大となり、その後「緑のダム」の貯水量は減少し、2日間降雨量が300mmを超えると、「緑のダム」の貯水量はゼロに近づき、ほとんどダムの効果を発揮できないことが分かる。

このことは、図 10 において 2 日間降雨量が 300 mm (図 10 (b)) および 420 mm (図 10 (c)) の場合で、流出率 = 1.0 のときの森林流域と不透水性流域のピーク流量の差異がほとんど見られないことから言える。

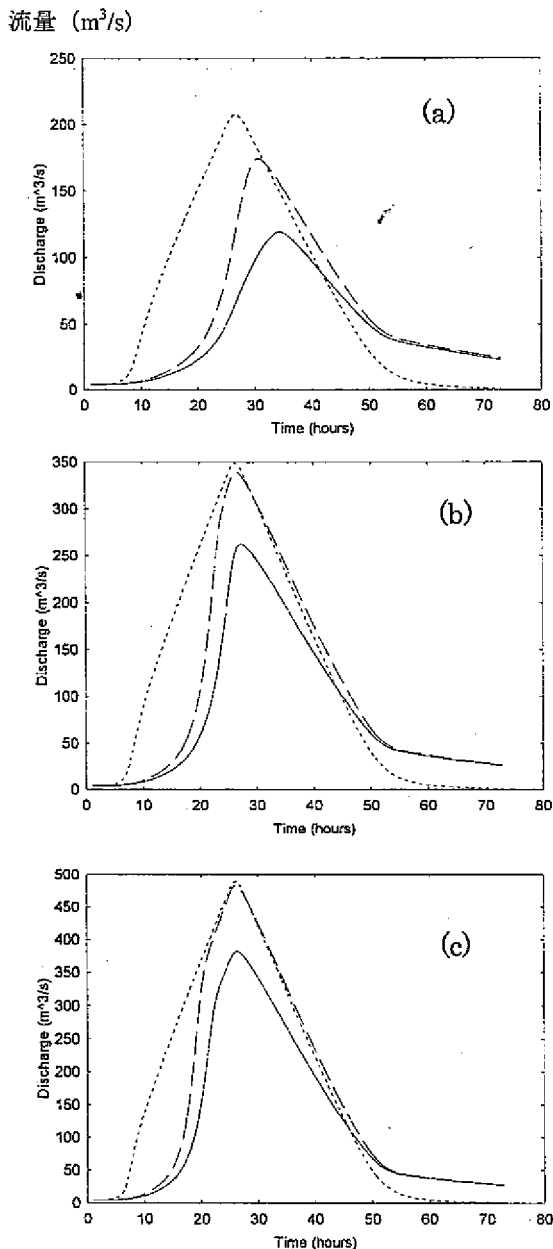


図 10 三角形降雨を与えた場合のハイドログラフ [それぞれの図で、ハイドログラフの大きいものから順に不透水性流域 (流出率 1.0), 森林流域 (同 1.0), 森林流域 (同 0.8); 2 日降雨量は (a) 180 mm (b) 300 mm (c) 420 mm]

8. おわりに

「緑のダム」という言葉が、いかにも環境保全の万能薬のように用いられている現状を憂慮している。政治的なプロパガンダに利用されている側面がないとも言えない。

我が国は、面積比率からいえば、森林は諸外国に比べて十分にある。ただし、特に近年、森林の手入れが行き届いていないことがしばしば指摘されている。山林の土壌の発達が損なわれ、保水能力が低くなっているところも多数あると言われている。それらを良好な山林に整備することは大歓迎である。洪水流出緩和 (治水) という観点からは、「緑のダム」と称される良好な山林の実現に反対する者は皆無であろう。しかしながら、ここで指摘したいのは、良好な山林に整備し尽くしたとしても、治水の観点からは限界があることに留意しなければならないということである。

本稿では、山林の洪水流出緩和機能に着目し、「緑のダム」の限界貯留量を定量的に評価することを試みた。そのために、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したのである。セル分布型流出モデルのような、山腹斜面表層を陽に詳細にとらえたモデルとここで提案したような RRS 図を用いることにより、山腹斜面表層に実際に貯留される水量を定量的に時系列の形で表現することができる。

ここでは、「緑のダム」の洪水緩和効果と人工の貯水池のそれとを比較した。「人工の貯水池」と記したのは、人工ダムが「コンクリートのダムはもういらぬ」というような言い方で、目の敵にされるような風潮を危惧してのことである。

人工の貯水池としては、農業用のため池がある。これは必ずしもコンクリートダムとは限らない。ただし、ため池は本来の役割として洪水調節機能を持たない。空き容量があればたまたま洪水を少し蓄えられるだけである。その他の利水用貯水池にしても同様である。そのところが誤解されていて、洪水時にそれらの貯水池についてお門違いな批判がなされることがある。

2002年の韓国を襲った台風15号 (RUSA) によって、韓国・江陵の農業用ダムが決壊した。このとき、江陵では1日に900 mm もの豪雨が記録された。農業用ダムの余水吐け (spillway) の容量以上の水が溢れ出て、余水吐けそのものが決壊し、下流の人家を何軒も流失させた。農業用貯水池は、年代の古いもの、構造的に強度が十分でないものが少なくない。このような施設の点検を行っておく必要がある。これは我が国でも同様である。

人工の貯水池、特に多目的ダムは、「緑のダム」の不足容量や限界を大いに補うことのできるものである。しかし、流域の上流に位置するダムの集水面積は流域全体の面積の何分の1以下にすぎない。したがって、ダムだけで洪水を防ぎうるものではない。また、少雨が何ヶ月も続くと、もう山林からは十分な水が供給されない。そのようなときは、大きなダムでさかカラカラになってしまう。人工の貯水池と緑のダム、それぞれ効用と限界をもつ両者が相補い合いながら、流域における望ましい治水、利水、環境のあり方に貢献していくべきものである。

参考文献

- 石原藤次郎・石原安雄・高棹琢馬・頼 千元 (1962) : 由良川の出水特性に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第 5 号 A, pp. 147-173.
- 石原藤次郎・高棹琢馬 (1959) : 単位図法とその適用に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第 60 号別冊 (3-3), pp. 1-34.
- 石原藤次郎・高棹琢馬 (1962) : 中間流出現象とそれが流出過程に及ぼす影響について, 土木学会論文集, 第 79 号, pp. 15-23.
- 太田猛彦・服部重昭 監修, 財団法人水利科学研究所編 (2002) : 地球環境時代の水と森—どうまもり・はぐくめばいいのか, (株)日本林業調査会, 222 pp.
- 小川 滋 (1983a) : 山林地における水土保全機能の定量的評価について (I) ---機能評価のための流出モデル, 水利科学, 149, pp. 51-73.
- 小川 滋 (1983b) : 山林地における水土保全機能の定量的評価について (II) ---評価モデルと評価方法, 水利科学, 150, pp. 10-23.
- 金丸昭治・高棹琢馬 (1975) : 水文学, 朝倉土木工学講座 4, 朝倉書店, pp. 91-215.
- 榎根 勇 (2002) : 水と女神の風土, 古今書院, pp. 238-239.
- 蔵治光一郎 (2003) : 森林の緑のダム機能 (水源涵養機能) とその強化に向けて, (社)日本治山治水協会, 76 pp.
- 蔵治光一郎・保屋野初子 編 (2004) : 緑のダム—森林・河川・水循環・防災, 築地書館, 260 pp.
- 児島利治・宝 馨・岡 太郎・千歳知礼 (1998) : ラスター型空間情報の分解能が洪水流出解析結果に及ぼす影響, 水工学論文集, 土木学会, 第 42 巻, pp. 157-162.
- 小杉賢一朗 (2004) : 水資源管理において森林が果たす役割について, 平成 16 年水資源学シンポジウム「転換期を迎えた水資源学—水資源管理変革前夜—」講演集, 平成 16 年 3 月 23 日, 日本学術会議, pp. 45-49.
- 小林慎太郎・田中丸治哉・丸山利輔 (1984) : 造成農地の流域および洪水流出特性—農地造成に伴う流出特性の変化 (I), 農業土木学会論文集, 第 113 号, pp. 241-247.
- 佐山敬洋・寶 馨 (2003) : 斜面侵食を対象とする分布型土砂流出モデル, 土木学会論文集, 第 726 号 /III-62, pp. 1-9.
- 鈴木雅一 (1988) : 山地流域の流出に与える森林の影響評価のための流況解析, 日本林学会誌, 70 (6), pp. 261-268.
- 鈴木雅一・福嶋義宏 (1989) : 風化花崗岩山地における裸地と森林の土砂生産量—滋賀県南部, 田上山地の調査資料から, 水利科学, 190, pp. 89-100.
- 高棹琢馬・椎葉充晴 (1981) : Kinematic Wave 法への集水効果の導入, 京都大学防災研究所年報, 第 24 号 B-2, pp. 159-170.
- 宝 馨 (1998) : 森林の流域への影響, 岩波講座・地球環境学第 7 巻, 水循環と流域環境 (高橋裕・河田恵昭編), pp. 40-69.
- 宝 馨・立川康人・児島利治・可児良昭・池淵周一 (2004) : 降雨流出に及ぼす山腹斜面の影響—いわゆる「緑のダム」の洪水流出効果の流域水文学的検討—, 京都大学防災研究所年報, 第 47 号 B, pp. 171-182.
- 立川康人・永谷 言・寶 馨 (2003) : 分布型洪水流出モデルにおける空間分布入力情報の有効性の評価, 京都大学防災研究所年報, 第 46 号 B, pp. 233-248.
- 立川康人・永谷 言・寶 馨 (2004) : 飽和不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発, 水工学論文集, 土木学会, 第 48 巻, pp. 7-12.
- 塚本良則 (編) (1992) : 森林水文学, 文永堂出版, 現代の林学 6, 319 pp.
- 中野秀章 (1976) : 森林水文学, 共立出版, 水文学講座 13, 228 pp.
- 福井新聞社 (2005) : 川—生命の水脈, 福井新聞社, 345 pp.