

山地森林小流域の長期間観測による流出解析 —愛媛県大洲市天貢試験地の洪水流出解析—

愛媛大学農学部 ○戎 信宏 石川県立大学 高瀬恵次

1. はじめに

筆者らは、長年共同で森林の洪水緩和機能、水源涵養機能を解明するために、愛媛県内で、森林水文観測施設を設置し、雨量・流量の観測を始め、林内雨量観測、フラックス観測、森林調査を行ってきた。しかしながら、人工林施業、人工林と広葉樹林、土壌と地質等、それらが洪水災害、土砂災害、渇水災害等に及ぼす影響は、未だ十分に明らかになっていない。そのために、長期間にわたって森林水文観測を地道に維持・管理し、適切な基礎データを記録・整理し、解析して行くことは、非常に重要であると考えている。

愛媛県大洲市天貢地区の森林水文試験地（以降、天貢試験地と言う）で、1985年～2015年の約30年間（2000～2001年の2年間の観測休止を含む）、観測を行ってきた。今回、その試験地を廃止して観測を終了した。その長期観測データを取り纏めるにあたり、観測期間のうち、24年分のデータについて、現在、流出解析を行っている。この解析で、洪水流出の流出特性について検討を行ったので、ここに報告する。

2. 試験地概要と解析方法

天貢試験地¹⁾は、愛媛県の南予地域に位置し、大洲市市街地の中心より東南東約7 km（北緯33°28′、東経132°37′）にある。標高は約220 m～433 m、北向き斜面（図-1）で、平均斜面勾配27°、流域面積は21.0 haである。流域の森林植生は、スギ、ヒノキの人工林が11 haで、広葉樹が10 haである。広葉樹の樹種は、低木のヒサカキ、ネズミモチの常緑樹と中高木のヤブツバキ、ツブラジイの常緑樹、ネジキ、クヌギ、コナラの落葉樹である。広葉樹林のごく一部には、本来マツ林としてあったアカマツも見られる。人工林の林齢は、スギ45年～60年、ヒノキ10年～37年で、1985～1990年代の人工林の施業は積極的でなかったと思われるが、2000年代には、間伐、一部伐採が行われている。この観測期間の30年間、広葉樹林の人工林への樹種変更はなく、広葉樹林は未整備である。地質は、チャート混じりの砂岩粘板岩互層である。

水文観測において流量観測は、流域末端に直角三角堰を設置し、その越流水深を自記記録し、雨量観測は、直角三角堰から約10 mの林道端と、約780 m離れた集落の畑（以降、集落と言う）で行った。それぞれ0.5 mmの転倒マス自記雨量計で記録した。また、雨量観測が欠測した場合、あるいは異常値などの場合の補完として、アメダス大洲観測地点（北西約8.0 km、以降、アメダスと言う）と近傍の2003年から開始したフラックス観測の杭瀬試験地の雨量計（西約2.9 km）の観測値を用いた。本試験地の30年間の平均雨量は、1706 mm（アメダスの平年値は1649 mm）で、集落の観測の平均気温の値（2006～2011年）は、14.7℃（アメダスの平年値は15.6℃）である。

解析方法は、減水曲線解析、総雨量－総損失量の関係（保留量解析）、長期間流出モデル（以降、高瀬モデル²⁾と言う）による解析を行った。高瀬モデルは、2つの樹冠遮断タンクと不浸透域のタンク、地中の1段目のタンクにホートン型の侵入能方程式を導入し、2段目

以降、地中流出に5段のタンクの計6段のタンクモデルで構成された流出モデルである。この高瀬モデルを用いるには、解析期間の可能蒸発量の値も必要なため、アメダスと大洲市内の消防署の湿度の値から計算されるペンマン式の値と、過去にこの流域の近傍で実施された小型蒸発計の値とから、現地の可能蒸発量の値とした。

3. 解析結果と考察

解析については、本流域の森林植生、森林土壌の長期変化が流出特性に与える影響を調べる目的で、24年分のデータのうち、1985年～2003年（第1期）、1994年～1999年（第2期）と2002年～2010年（第3期）にわけた。その観測期間で、洪水流出特性の差を検出するために、第1期と第3期について解析を行った。それぞれの期間で、第1期の最大24時間雨量は167 mm、時間最大雨量は41 mm、第3期の最大24時間雨量は188 mm、最大時間雨量は64 mmである。

まず、各年から出水の洪水イベントの減水曲線を示したものが図-2である。図中にある逓減係数 0.06h^{-1} 、 0.024h^{-1} 、 0.011h^{-1} の直線は、洪水ハイドログラフから直接流出を分離するために、高ら³⁾が示した、1週間前後に出現する数値である 0.011h^{-1} と、それより応答の早い流出成分の分離の逓減係数である 0.024h^{-1} 、 0.06h^{-1} である。図から、第1期より第3期の方がゆるやかに減水しているように見えるが、それほど明瞭ではない。

さらに、逓減係数 0.06h^{-1} と 0.011h^{-1} で直接流出を分離し、総雨量と総雨量から直接流出量を引いた値である総損失量を図-3に示した。図中の斜線の1:1の直線より離れると、直接流出成分が多いことを示す。二時期の違いは、総雨量50 mm～100 mmで第3期の方が第1期より、総損失量が大きくなる傾向が見られ、100 mm以上でその違いが小さくなる傾向を示す。これは、森林の変化、ここでは林齢が大きくなると、表層土壌の保水状態が変化し、保水性が高くなって⁴⁾、総損失量が増えるが、降雨量の総量がある程度以上になると、その保水量

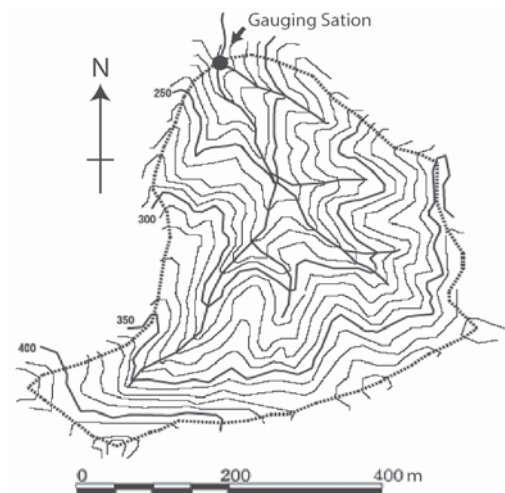


図-1 天貢試験地地形図

にも限界があって、100mm 以上ではその差がなくなると考えられる。

そこで、それを確認するために、高瀬モデルを用いて、第1期と第3期のそれぞれ9年間の観測降雨量と流量を用いて流出波形の再現を行い、モデルパラメータの同定を行った。その結果、第1期期間のモデル計算の相対誤差は20%、Nash係数は0.67、第3期期間のモデル計算の相対誤差は24%、Nash係数は0.68と良好な再現性が得られた。こうして得られたモデルパラメータによって、同じ年間の時間降雨(2004年と2006年の観測雨量)データで、再現される洪水出水波形を比較した。ここで2004年と2006年は、第3期で多雨の年である。天貢試験地の過去最大1時間雨量(64mm)が発生したのも2004年である。

それぞれ最適化で得られたモデルパラメータより計算した流出量が正しいと仮定し、2004年、2006年の計算流量を比較した。そこで、年間の流量波形から出水の35イベント(流量:0.17mm/hr~14.4mm/hr)を抽出し、ピーク流量の差を第1期のピーク流量で割った値(増減率)とピーク流量で整理したのが、図-4a)である。さらに、ピーク流量時までの6時間雨量との関係を調べたのが図-4b)である。この結果を見ると、ピーク流量が大きいと、また、ピーク時までの6時間雨量が多くなると、ピーク流量は減少ではなく、増加に転じる傾向を示している。これはつまり、ピーク流量の低減(洪水緩和)で、森林の生長に伴う保水性の変化と大規

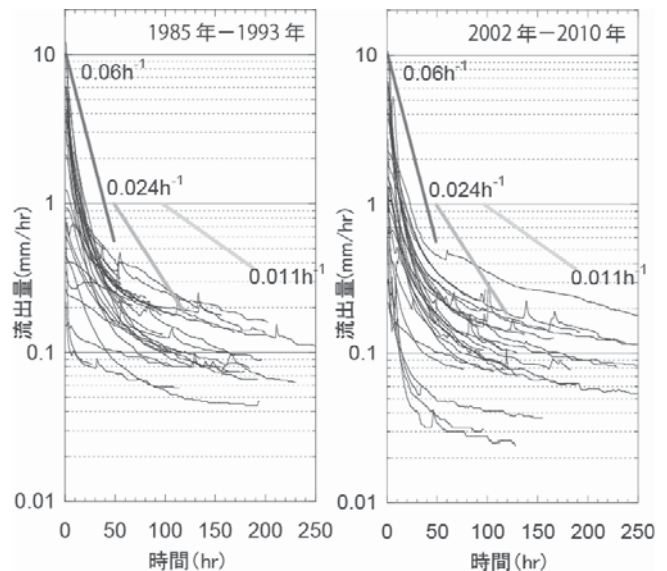


図-2 減水曲線解析(第1期、第3期)

模出水時の最大流量には関係がないことを示唆している。しかしながら、森林の水源涵養機能の洪水緩和については、児島ら⁵⁾は、森林流域の長期観測で指摘している。今回、この結果とは異なる洪水緩和を見いだせない結果であった。

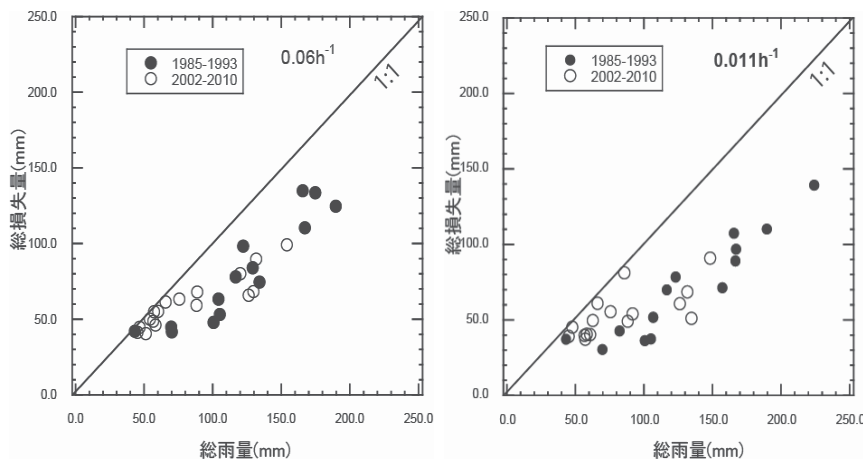


図-3 総雨量と総損失量の関係(逓減係数:0.06h⁻¹と0.011h⁻¹で分離)

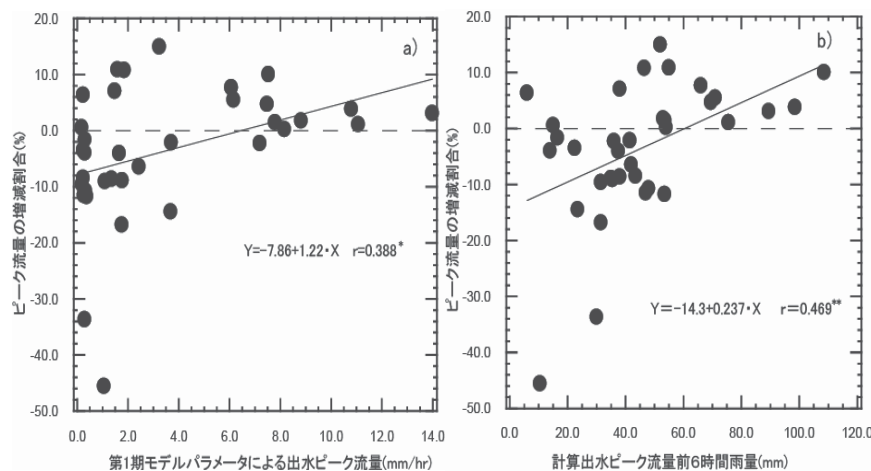


図-4 モデル計算で比較したピーク流量の増減割合

3. おわりに

今後は、高瀬モデルの流量の再現性を良くするためのモデルの改良、今回の結果の詳細な検討と渇水災害(水資源解析)についても行って行く予定である。

なお、天貢試験地の長期間の観測で、多くの関係者から協力を受けた。ここに、謝意を表します。

引用文献

- 1) 戒信宏:衛星リモートセンシングと現地観測手法を組み合わせた森林の水源涵養機能評価. 平成14~17年度科学研究補充金研究成果報告書. p. 106, 2006
- 2) 竹下伸一・高瀬恵次ほか:侵入能方程式を導入した長期間流出モデルの開発. 農業土木論文集 212, p. 71-77, 2001
- 3) 高綉紡・高瀬恵次:棚田流域と山林地流域の直接流出特性比較. 農業土木論文集 248, p. 7-13, 2007
- 4) 谷誠:森林の保水力はなぜ大規模な豪雨時にも発揮されるのか? 森林科学 67, p. 26-31, 2013
- 5) 児島利治ほか:タンクモデルと長期水文観測データを用いた森林小集水域における緑のダム機能の評価. 土木学会論文集G(環境), Vol. 69, No. 5, p. I_137-I_144, 2013