

12. 保水能効果を有する降雨流出予測手法の 高精度化に向けた陸面モデルの活用

山田朋人^{1*} 呉修一²

¹正会員 博士(工学) 北海道大学大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

²正会員 博士(工学) カリフォルニア大学デービス校 (One Shields Ave, Davis, CA 95616, USA)

本研究の目的は、保水能理論を有する降雨流出予測手法に陸面モデルによる水文諸量の効果を取り込んだ高精度な流出予測手法の提案である。山地流域における流出特性は対象流域の土壌水分量に基づく有効降雨によって決定され、有効降雨と直接流出は降雨直前の土壌水分量に極めて大きく依存するものである。本研究は利根川水系草木ダム流域を対象に、AMeDAS等の気象データと陸面モデルによる水文量と保水能理論の効率的な活用によって、より高精度な降雨流出予測が可能となることを示した。

* E-mail: tomohito@eng.hckudai.ac.jp

Key Words: Initial soil moisture condition, Mountainous basins, Land surface Model, Runoff method

1. はじめに

これまで半世紀以上に渡り多くの降雨流出計算手法が提案されており、(a)～(c)に大別することができる。(a) 概念モデル：合理式や単位図法といった降雨に対する流出の応答関数を利用する手法；(b) 概念的物理モデル：タンクモデルや貯留関数法が該当し、流出現象の非線形性を考慮することができる長所を有する一方、物理的根拠の乏しいパラメータの推定が困難；(c) 物理モデル：1940年代のHortonに端を発し、現在まで多くの科学的知見の発見により発展してきたものであり、降雨流出過程を陽に扱うモデル。流出過程の解明および流出モデルの発展に関する詳細なレビューは、例えば、呉ら¹⁾、Kampf et al.²⁾、Kavvas et al.³⁾などを参照されたい。

上記の流出プロセスに関する知見により、多くの分布型物理モデルが開発・使用されるようになってきた。しかし、概念モデルや概念的物理モデルの問題点として、水文情報の不足した流域においてモデルパラメータを如何に決定するか、有効降雨や初期条件の決定は如何に行うかなどが挙げられる。特に山地流域における降雨流出現象は非線形性を示し、土壌の初期水分状態に応じて降雨流出特性が大きく異なることが知られている(例えば、山田⁴⁾、真坂ら⁵⁾など)。よって、短期流出モデルにおいていかに土壌水分などの初期条件を決定するかは非常に大きな問題である。長期流出モデルでは、対象出水前の1年などを事前に計算し、その計算結果を初期条件として使用することが行われるが、短期流出モデルにおいては、連続計算を対象としないモデルも多々ありこのような対応は取れない。出水イベント前の土壌の初期水分状態を

推定する方法としては、先行降雨や先行降雨指標、増水直前の水位や流量を利用する方法などが提案されているが(例えば、竹内⁶⁾、日野ら⁷⁾、真坂ら⁸⁾)、いずれも観測データに基づいており、水文情報の不足した流域などでは適用が困難であると考えられる。また、分布型物理モデルを適用する際に大きな問題・課題となるのは、入力として用いる降雨や日射量、風速などの気象情報が時空間的に密に存在しないことであり、データの不足した流域などへの適用が極めて難しいことは周知の事実であることから、PUB(Predictions in Ungauged Basins)などの取り組みが精力的に行われている⁹⁾。

以上より、分布型流出モデルの入力情報の不足や短期流出モデルの初期条件の決定に関する問題を克服するために、ほぼリアルタイムで入手可能な衛星データなどのリモートセンシングデータや全球スケールで気象データをカバーするGCM(General Circulation Model)やメソスケール気象モデルなどの出力データを利用することが昨今期待されている。これらのデータは全球規模で利用可能であるために、データ精度やバイアス補正の問題は存在するが、水文情報の不足した流域においても適用が可能であると考えられる。

ここで陸面モデルに着目してみる。陸面モデルは気候モデルにおける陸域の受け皿として水熱収支の計算を目的に1960年代から開発されたものである。初期の陸面モデルは、陸域をグリッドごとにBucketモデルとして表現し、蒸発効率に従って蒸発量を大気過程に渡す役割を担っている⁹⁾。その後、フィールドや人工衛星による水文気象観測の充実化、水文過程の理解が進み、さらには計

算機資源の発展に伴い、陸面モデルの開発が進み、積雪、土壌凍結、蒸散や葉面からの蒸発等の物理過程も考慮されるようになった。陸面モデルを用いた流出過程の再現の特徴として、AMeDAS データと併用した水文場の再現や GPV を利用したリアルタイム計算が可能になりつつある¹⁰⁾。また準季節スケールの水文気象予測精度には陸面モデルを用いた土壌水分情報が有効であるとの指摘がなされている¹¹⁾。

分布型物理流出モデルには蒸発散量などを推定するために上記の陸面過程モデルが組みこまれているものも多々存在する。本来であれば、大気、境界層、陸面、流出モデルは同時に双方向モデルとして計算されるべきであるが（例えば、Seuffert et al.¹²⁾, Yoshitani et al.¹³⁾）、その実現は現象の時空間スケールの相違や計算負荷の影響から未だに難しいのが現状である。しかしながら、流出モデルの適用に際してこのような気象モデル、陸面モデル情報などを統合・利用することで多くの問題が解決可能であると考えられる。本論文は、その一例として、AMeDAS により得られる陸面モデル情報の土壌水分データを利用することで、短期降雨流出モデルの精度向上を行うことを目的とする。また、土壌の初期水分状態が降雨流出に与える影響を草木ダム流域（254km²）における実測データおよび陸面モデル情報を用いて考察する。

2. 使用するモデルおよびデータの概要

1) 対象流域の概要

適用流域は、利根川水系の渡良瀬川上流 78km 地点に位置する多目的ダムである草木ダム流域とする。流域面積は 254km² であり、全体的に山地流域である。使用する降雨データは、流域内 6 地点雨量観測所データにティーセン分割法により流域平均雨量としたものであり、流量データは草木ダム貯水位から換算したものをを用いる。

2) 降雨流出モデルの概要

本研究で使用する降雨流出計算手法は、山田ら¹⁴⁾の土壌・地形特性に基づく降雨流出計算手法を用いる。本手法は、Kinematic Wave 法に基づき斜面流下方向流れに対して集中化を行うことで、単一斜面における降雨流出の基礎式(1)を導出している。

$$\frac{dq_s}{dt} = a_0 q_s^\beta (r(t) - q_s) \quad (1)$$

$$\text{ただし, } a_0 = aL^{\beta-1} = (m+1)\alpha \frac{1}{L^{m+1}} \frac{-1}{L^{m+1}} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{m}{m+1} \quad (3)$$

ここに、ここに、 q_s ：流出高(mm/h)、 L ：流出寄与斜面長(mm)、 $r(t)$ ：有効降雨強度(mm/h)、 m ：流出パラメータ（抵抗則）、 α ：流域の流出特性を表すパラメータである。また、流域特性を示すパラメータ α と抵抗則 m の値は(4)、(5)式に示すよう土壌・地形特性から決定される。

$$\alpha = \frac{k_s i}{D^{r-1} w^\gamma} \quad (4)$$

$$\gamma = m + 1 \quad (5)$$

ここに、 D ：表層土層厚(mm)、 γ ：土壌の透水性を表す無次元パラメータ、 k_s ：飽和透水係数(mm/h)、 i ：斜面勾配、 w ：有効空隙率であり $w = \theta_s - \theta_r$ (θ_s ：飽和含水率、 θ_r ：残留含水率)で定義される。

また、呉ら¹⁵⁾は、本手法を表面流、鉛直浸透流、飽和・不飽和側方流に関する多層流れを考慮した降雨流出計算手法へと拡張している。このような多層構造を考慮することで損失雨量の表現、長期流出計算への拡張が可能であることを理論的に示したものである。しかしながら、本論文では短期流出モデルにおける初期土壌水分量などの初期条件を如何に決定するかを主たる目的としているため、式(1)に示す一層のみの斜面流下方向流れを対象とし短期降雨流出計算を行う。

3) 陸面モデル MATSIRO

本研究で使用する陸面モデルは MATSIRO (Minimal Advanced Treatment of Surface Infiltration and RunOff) である¹⁶⁾。MATSIRO は植生による蒸散や葉面からの蒸発散の効果やグリッド内の地形変化に伴う流出など陸域が有する物理過程を可能な限り考慮している。ここでは、水平スケール 10km 格子とし、草木ダム流域に近い黒保根を中心とする周辺観測サイトから得られる気象庁 AMeDAS データ（降雨量、風速、湿度、気温データ等）を元に MATSIRO を用いて水文諸量データを算出する。植生や地形等の入力データの詳細は Yoshimura et al. (2008) を参考にされたい¹⁰⁾。

ここで水平スケール 10km 格子を用いることは草木ダム流域の流域面積（254km²）を考えた場合に、妥当では無いと思われる。しかしながら、この陸面モデルで算出される空間平均としての水文情報がいかに流域スケールの降雨流出現象を代表的に表現することができるかを確認する点も、興味深い観点であり本論文の目的の一つと考えている。

また、MATSIRO への入力 AMeDAS データを用いるが、降雨流出モデルへの入力にはダム流域内 6 地点で観測されたものであることに注意されたい。本来であれば同一のデータを使用すべきであるが、土壌水分状態が降雨流出に与える影響に本論文は着目しており、入力降雨は精度の高い観測雨量を用いている。

3. 初期土壌水分量が降雨流出に与える影響

本章では、草木ダム流域における実測の降雨流出データおよび陸面モデルより得られた土壌水分データを用いることで、初期土壌水分状態が降雨流出に与える影響を評価する。

データとしては、1978 年から 2008 年までの出水を対象とし、ティーセン分割より得られた流域平均雨量および

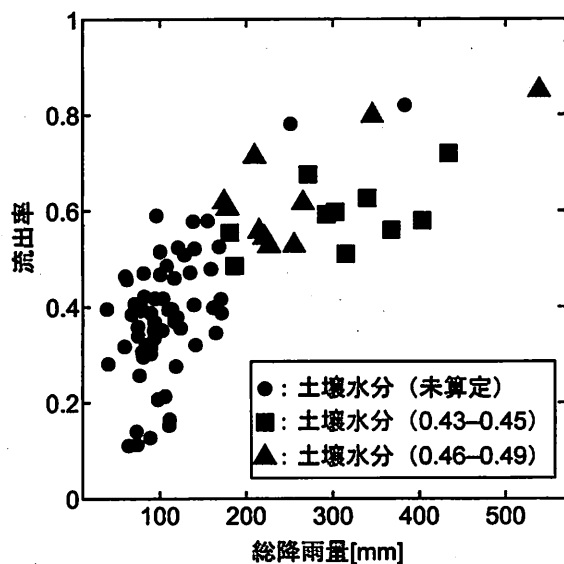


図-1 草木ダム流域における総降雨量、流出率および初期土壌水分量の関係

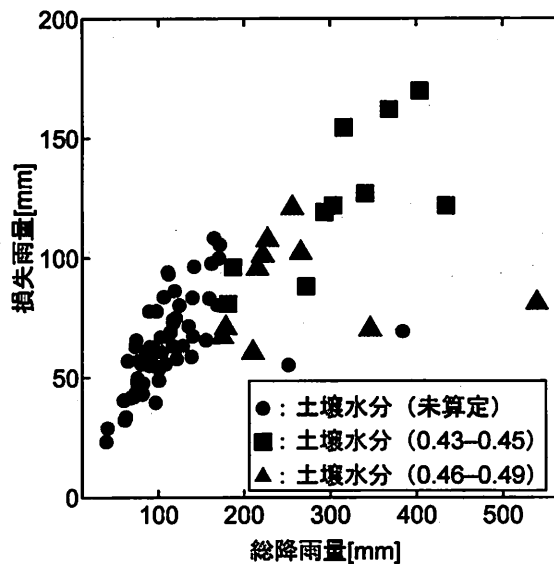


図-2 草木ダム流域における総降雨量、損失雨量および初期土壌水分量の関係

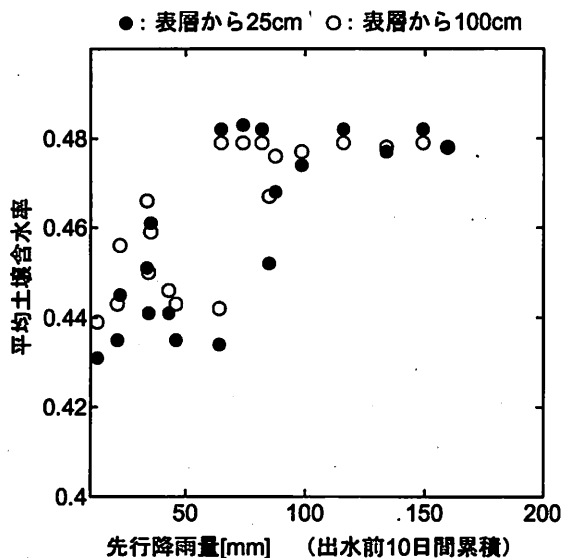


図-3 草木ダム流域における先行降雨量（出水前10日間の累積）と損失雨量の関係

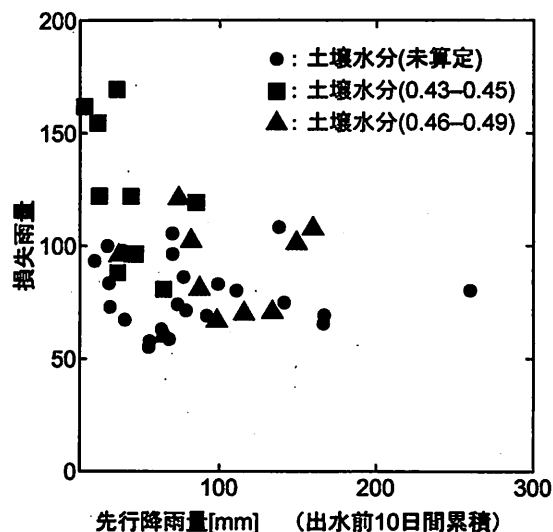


図-4 草木ダム流域における先行降雨量（出水前10日間の累積）と土壌含水率の関係

草木ダムへの流入量から各出水の流出率、損失雨量を算定した。一つの出水としては、降雨開始から流量が出水開始時の値まで逡減する期間とした。直接流出量は平常時流量を基底流量とし除去することで算出した。同時に草木ダム流域の位置に該当する領域における MATSIRO の計算結果より、降雨開始時における土壌水分量を抽出することで、初期土壌水分量とした。MATSIRO では、土壌水分量を鉛直方向2地点 (25cm, 100cm) で算出されている。土壌水分量を算定したのは、総降雨量が 200mm 以上の 20 ケースのみを対象とした。初期土壌水分量として本論文では含水率 θ (無次元) を用いている。

図-1 に、草木ダム流域における総降雨量、流出率および初期土壌水分量 (25cm 地点) の関係を示す。本研究は

主に総降雨量が多い事例を対象とするため、総降雨量の小さい事例についての土壌水分量は評価せず、図中「未算定」と表記する。図-1 より総降雨量が多いほど流出率が大きく直接流出量が増大していることがわかる。また、同程度の総降雨量では初期土壌水分量が多いほど、流出率が高くなる傾向にあることがわかる。図-2 に、草木ダム流域における一雨総降雨量、損失雨量および初期土壌水分量 (25cm 地点) の関係を示す。図-2 に示されるよう、一雨総降雨量に対する損失雨量は、総降雨量の増加とともに増大するがそのばらつきの程度も増大することがわかる。このばらつきは、降雨前の土壤中に蓄えられた土壌水分量に依存するものであり、初期土壌水分量が多いほど損失雨量が少なくなっていることがわかる。

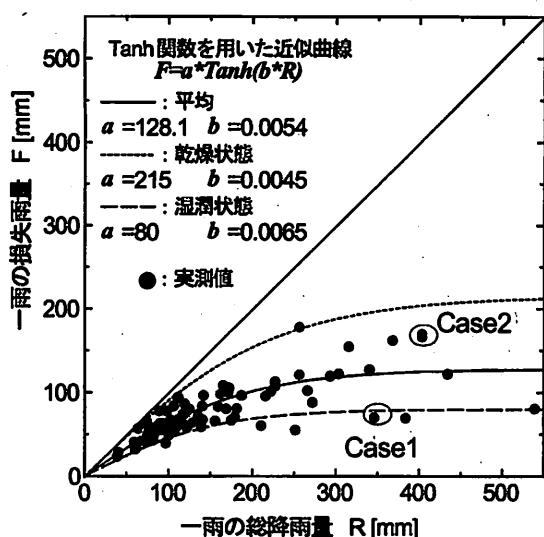


図-5 草木ダム流域における総降雨量と損失雨量の関係および回帰曲線

図-1、図-2に示されるように、初期土壌水分量が降雨流出に与える影響は大きく、初期土壌水分量が多いほど直接流出量が増加する傾向にあることが示された。また、総降雨量 200mm から 250mm 程度では流出率、損失雨量に関して初期水分量による差異があまり見られない。このような出水では降雨波形などの降雨の時空間分布など他の要因も影響しているためと考えられる。

図-3に、草木ダム流域における先行降雨量と損失雨量の関係を示す。先行降雨量としては、出水前10日間の累積雨量を用いた。図-3に示されるよう、先行降雨量が多いほど損失雨量が少なく直接流出量が増大していることがわかる。これは上記した土壌水分の関係を先行降雨量という観点から見たものである。また図-3より、先行降雨量が約70~90mmに達して以降は陸面モデルにおいて流域の土壌水分が飽和状態に達していることも分かる。飽和状態の定義は、土壌水分が飽和含水率 θ_s に達している状態である。この状態では MATSIRO において地中浸透は生じず表面流のみが発生している。実際の流域においては、飽和・不飽和状態は時空間的に異なることに注意されたい。図-4は、先行降雨量に対する出水直前の土壌水分量の関係を示している。先行降雨量が多いほど陸面モデルで算定される土壌水分量が大きくなっていることがわかる。図-3、図-4より、先行降雨に伴い流域土壌内の水分量が上昇し、初期土壌水分量が増加していることがわかる。

ここで特筆すべきは、10km×10km グリットと粗い（降雨流出過程としては）計算領域を用いて算定された土壌水分量が、草木ダム流域における流出率、損失雨量などの降雨流出関係を上手く表現していることである。これにより、降雨流出計算結果に大きな影響を与える要因である土壌水分量を、AMeDAS と陸面モデルにより得られた面的平均データより代表的に算定することが可能であることを明らかにした。また、草木ダム流域における土壌の

初期水分状態が直接流出量・損失雨量に与える影響は非常に大きい事を明らかにした。

4. 土壌の初期水分状態が降雨流出計算結果に与える影響

上記より、土壌の初期水分状態が降雨流出に与える影響は非常に大きく、この影響を考慮した降雨流出計算が必要である。本章では土壌水分の影響を如何に流出計算で考慮するかを説明するとともに、初期土壌水分の影響が草木ダム流域における流出計算結果に与える影響を評価する。

1) 損失雨量曲線

式(1)に示した降雨流出に関する基礎式は、直接流出量を算定するものであり、有効降雨を算定する必要がある。山田ら¹⁰⁾は、有効降雨の算定手法として流域土壌の保水能の流域に占める割合から保水能分布を求めることにより有効降雨を決定する理論を提案している。これにより累積雨量に応じて時々刻々と変化する有効降雨もしくは流出寄与域の算定が可能となる。保水能の理論を用いた有効降雨の算定に関する詳細は、例えば呉ら¹¹⁾を参照されたい。

山地流域における損失雨量 $F(R)$ は累積降雨量 R に対して図-2の関係が存在し、保水能の理論において損失雨量曲線は式(6)で表現することが可能である。

$$F(R) = a \tanh(bR) \quad (6)$$

このとき、式(6)の a , b は総降雨量に対する損失雨量の関係を回帰するためのパラメータである。保水能の理論では、式(6)に示す損失雨量と総降雨量の関係を用いることで、流出に寄与する有効降雨および流出寄与割合を、累積雨量に応じて次々刻々と算出している。

ここで重要な点は、図-2に示したように、土壌の初期水分状態に応じて、総降雨量と損失雨量の関係は変化するということである。つまり、土壌の初期水分状態が異なる場合は、式(6)中のパラメータを変え異なる損失雨量曲線を用いる必要がある。土壌の初期水分状態が乾燥、平均、湿潤状態を想定した場合の総降雨量と損失雨量の関係を式(6)から算定したものを図-5に示す。図-5において乾燥・湿潤状態の回帰曲線は、多くの出水イベントから得られた一雨の損失雨量に対し、総降雨量が 200mm 以下のイベントを対象として最大・最小の損失雨量に沿うように決定された。図-5に示すようパラメータ a , b の値を変えることで、土壌の初期水分状態の相違を考慮して損失雨量・総降雨量曲線を決定することが出来ることがわかる。つまりは、土壌の初期水分状態に応じて、この曲線を使いわけすることで、更に精度よく流出に寄与する有効降雨・流出寄与域を算定することが可能となる。この土壌の初期水分状態の決定に関しては、MATSIRO からリアルタイムで算定される土壌水分データが利用可能で

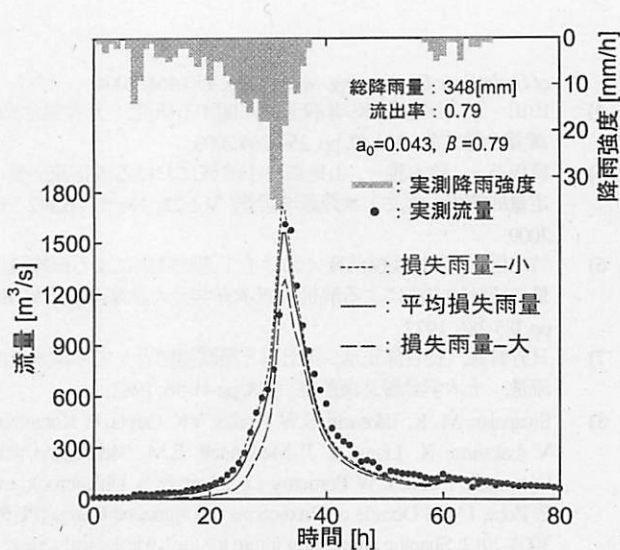


図-6 草木ダム流域における降雨流出計算結果(Case1)

ある。

2) 損失雨量曲線の違いが降雨流出に与える影響

図-5 に示すよう、初期土壌水分状態の相違に応じて各損失雨量曲線が決定される。これらの損失雨量曲線の違いが降雨流出計算結果に与える影響に関して、実際の草木ダム流域における出水を対象として降雨流出計算を行うことで評価する。

対象とする出水は、1982年7月31日の出水(Case1, 総降雨量:348mm, 流出率:0.79, 初期土壌水分量(25cm):0.48, 損失雨量曲線:湿潤)と2002年7月9日の出水(Case2, 総降雨量:403mm, 流出率:0.58, 初期土壌水分量:0.45, 損失雨量曲線:乾燥)の2ケースを対象とした。Case1は損失雨量曲線が湿潤な場合であり、Case2は損失雨量曲線が乾燥した状態である。これらのケースは図-5に同時にプロットしている。この二つの出水に見られるよう同程度の総降雨量でも流出率が大きく異なることがわかる。これがまさに土壌の初期水分状態の影響である。

流出計算としては、式(1)に示す基礎式を用い、流出寄与域として有効降雨を想定した。流出パラメータはハイドログラフの通減特性から算定した平均パラメータを使用している。草木ダム流域に対して河道追跡計算や流域の分割は行わず、単一計算領域として流出計算を行った。これは著者らのグループの研究¹⁷⁾からダム流域程度の空間スケールでは、水文特性の空間分布や河道追跡計算が流量ハイドログラフに与える影響は非常に小さいことが示されているからである。計算の詳細に関しては呉ら¹⁾を参照されたい。ここで初期流出高 $q(0)$ に関しては一定の0.1mm/hを両出水で用いた。山田⁵⁾が既に示しているよう、この初期流出高も土壌初期水分の影響を受けると考えられる。この影響に関しても今後検討する必要がある。

図-6にCase1の出水に対する流出計算結果を示す。損失雨量曲線として乾燥、平均、湿潤状態を想定した3つの曲線を用いたときの計算結果を示している。Case1の出水は降雨前の土壌が湿潤な状態であり、損失雨量の少な

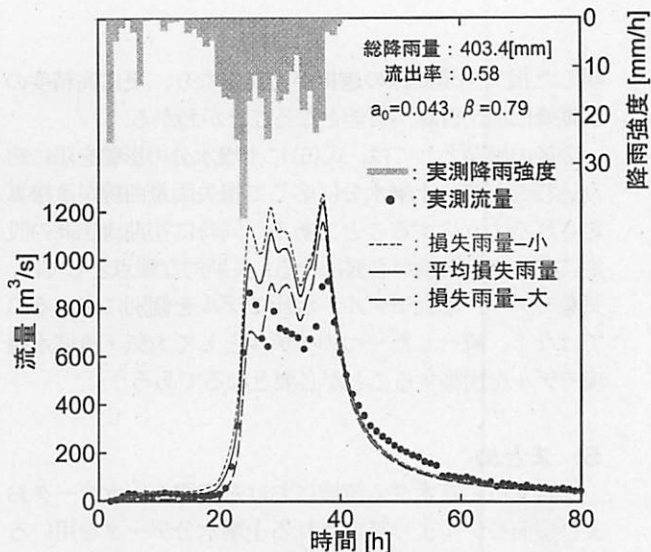


図-7 草木ダム流域における降雨流出計算結果(Case2)

い曲線を用いた結果が実測値と最良の一致を示している。特に流量の立ち上がり部分でその差は大きい。平均状態の曲線を用いたときはさほど大差は無いが、乾燥状態の損失雨量曲線を用いたときの計算流量は過小評価して計算されていることがわかり、実際の流出計算においても土壌の初期水分状態の影響が非常に大きいことがわかる。図-7にCase2の出水に対する流出計算結果を示す。Case2の出水は損失雨量曲線上で乾燥の位置にあり、乾燥した土壌の状態では降雨を迎えている。よって、損失雨量曲線としても乾燥状態を想定し損失雨量の大きい曲線を用いた流出計算結果が最も実測値に近い値を示しており、平均・湿潤状態で計算された流量ハイドログラフは総量が過大に計算されていることがわかる。しかしながら、初期ピーク流量に関しては平均損失曲線を用いた場合のほうが実測値と良い一致を見せている。これは、損失雨量曲線の時間変化は、多くの出水データの総降雨量および総損失雨量、つまりトータルボリュームから算定された曲線を用い、対象出水の累積雨量に応じて決定されるためである。Case2の出水においては洪水初期に非常に強い降雨強度を観測しており、このような状況を使用した損失雨量曲線の時間配分では捉えきれていないため、初期ピーク流量の再現性が低いと考えられる。降雨開始38時間後の流出量は損失雨量曲線により得られる土壌の湿潤状態に関わらず似かよった値となっているが、これは降雨開始後十分時間が経過することにより流域平均として土壌が飽和状態に達しているためと考えられる。

以上示したように、土壌の初期水分状態の相違は異なる損失雨量曲線を用いることで降雨流出計算に組み込むことができることを示すとともに、損失雨量曲線の違いが降雨流出計算結果に与える影響が非常に大きいことを示した。陸面モデルのMATSIROはリアルタイムで土壌水分量の算定が可能であり、この情報を用いることで、流出計算を行う前に土壌の水分状態を想定することが可能となる。これにより、実際の流域の土壌の水分状態を表

現した損失雨量曲線の選択が可能となり、更に高精度の短期降雨流出計算が可能となることわかる。

今後の課題としては、式(6)に土壤水分の影響を陽に組み込むことで、土壤水分に応じて損失雨量曲線が直接算定されるようにすることである。同時に初期流出高の設定に関しても議論が必要になる。長期的な観点としては、気象モデル、陸面モデル、流出モデルを個別に用いるのではなく、統合した一つのモデルとして大気・流域水循環モデルを構築することが必要となるであろう。

5. まとめ

本論文は、草木ダム流域における実測の出水データおよび陸面モデルより算定される土壤水分データを用いることにより、土壤の初期水分状態が降雨流出に与える影響を評価したものである。また、陸面モデルの情報を利用することで、保水能の理論を有効かつ効率的に活用し、その結果として高精度な短期降雨流出計算が可能であることを明らかにした。これによって、これまで各流域単位で研究が進められてきた降雨流出手法と広域な面的評価を可能とする陸面モデルとの長所を併せ持つことが可能となり、詳細かつ広域スケールの流出量の予測ならびに気候変動下における高精度な水文諸量アセスメントに結びつくものと考えられる。また、水文データの不足した流域においてもリアルタイムでの高精度な洪水予測が行える可能性を示したものである。

謝辞：本研究は文部科学省気候変動適応研究推進プログラム「北海道を対象とする総合的ダウンスケーリング手法の開発と適用」(代表 山田朋人)、JST/CREST「世界の持続可能な水利用の長期ビジョン作成」(代表 鼎信次郎)、JICA/JST「気候変動に対する水分野の適応立案・実施支援システムの構築」(代表 沖大幹)の成果の一部である。

参考文献

- 1) 呉 修一, 山田 正, 吉川秀夫, 有効降雨の推定に関する研究, 土木学会論文集B, Vol. 65, No.3, pp.231-245, 2009.
- 2) Kampf, S. K., and S. J. Burges, A framework for classifying and comparing distributed hillslope and catchment hydrologic models, *Water Resour. Res.*, 43, W05423, doi:10.1029/2006WR005370, 2007.
- 3) Kavvas, M.L., Z.Q. Chen, C. Dogrul, J.Y. Yoon, N. Ohara, L. Liang, H. Aksoy, M.L. Anderson, J. Yoshitani, K. Fukami and T. Matsunura, Watershed Environmental Hydrology (WEHY) model, based on upscaled conservation equations: hydrologic module, *ASCE Journal of Hydrologic Engineering*, Vol.9, No.6, 450-464, 2004.
- 4) 山田 正, 山地流出の非線形性に関する研究, 土木学会水理講演会論文集 Vol.47, pp. 259-264, 2003.
- 5) 真板英一, 鈴木雅一, 山地森林小流域における直接流出量の定量的解析, 水文・水資源学会誌, Vol. 22, No. 5, pp.342-355, 2009.
- 6) 竹内信治, 森林伐採前後における1連続降雨による直接流出量の統計的方法による解析, 日本林学会大会発表論文集, 88, pp.385-386, 1977.
- 7) 日野幹雄, 長谷部正彦, 流出率と湿潤指標としての洪水直前流量, 土木学会論文報告集, 328, pp.41-46, 1982.
- 8) Sivapalan, M., K. Takeuchi, S.W. Franks, V.K. Gupta, H. Karambiri, V. Lakshmi, X. Liang, J. J. McDonnell, E.M. Mendorio, P.E. O'connell, T. Oki, J. W. Pomeroy, D. Schertzer, S. Uhlenbrook, and E. Zehe, IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 3003-2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences, *Hydrol. Sci. J.*, 48(6), 857-880, 2003.
- 9) Manabe, S., Climate and the ocean circulation. 1. The atmospheric circulation and the hydrology of the Earth's surface, *Mon. Wea. Rev.* 97(1969)(11), pp. 739-774.
- 10) Yoshimura, K., T. Sakimura, T. Oki, S. Kanae, and S. Seto, Toward flood risk prediction: a statistical approach using a 29-year river discharge simulation over Japan, *Hydrol. Res. Let.*, 2, 22-26, 2008.
- 11) Yamada, T.J., R.D. Koster, S. Kanae, and T. Oki. Hydrological Forecast Skill Associated with Land Surface Initializations, *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, JSCE, 54, 55, 2010.
- 12) Seuffert, G., Gross, P., and Simmer, C., The influence of hydrologic modeling on the predicted local weather: Two-way coupling of a mesoscale weather prediction model and a land surface hydrologic model, *J. Hydrometeor.*, 3, 505-523, 2002.
- 13) Yoshitani, J., Z.Q. Chen, M.L. Kavvas, K. Fukami, Atmospheric Model-Based Streamflow Forecasting at Small, Mountainous Watersheds by a Distributed Hydrologic Model: Application to a Watershed in Japan, *ASCE Journal of Hydrologic Engineering*, Vol.14, No.10, pp.1107-1118, 2009.
- 14) 山田 正, 山崎幸二, 流域における保水能の分布が流出に与える影響について, 土木学会水理講演会論文集, Vol.27, pp.385-392, 1983.
- 15) 呉 修一, 山田 正, 吉川秀夫, 表面流の発生機構を考慮した斜面多層降雨流出計算手法に関する研究, 土木学会水工学論文集, Vol.49, pp.169-174, 2005.
- 16) Takata, K., S. Emori, and T. Watanabe, Development of the minimal advanced treatments of surface interaction and runoff (matsiro). *Global Planetary Change*, Vol. 38, pp. 209-222, 2003.
- 17) 呉 修一, 下坂将史, 山田 正, 降雨流出における流域スケールに応じた斜面と河道の効果, 土木学会水工学論文集, Vol.51, pp.421-426, 2007.

(2011. 4. 11 受付)
(2011. 6. 30 受理)

A Rainfall-Runoff Prediction System with a Theory Regarding to Soil Water Storage Capacity in Association with a Land Surface Model

Tomohito J. YAMADA¹ and Shuichi KURE²

¹Faculty of Engineering, Hokkaido University

²University of California Davis

The main objective of this study is to propose a new rainfall-runoff method with a theory of soil water capacity associated with hydrological information with a land surface model. Runoff in mountainous basins is uniquely determined by the effective rainfall amount which is based on a water-holding capacity of basins. The effective rainfall and direct runoff is strongly influenced by initial soil moisture content of the basins. Here in this paper, we showed a new estimation method of rainfall-runoff process by using the initial soil moisture condition based on a land surface model and the Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS). This paper confirmed that the system which we proposed would contribute to better runoff predictions in mountainous basins.