

京都大学防災研究所 正員 椎葉 充晴
 京都大学工学部 学生員 ○ 山田圭二郎

1. はじめに 近年の計算・情報処理技術の発展に伴い、流出計算の簡便さを重要視する必要性は薄れ、降雨と流出との応答関係のみを問題にしてその間の諸機構をブラックボックスとするようなモデルや、簡単な概念的な機構を持つモデルから、諸機構をより明示的に取り入れたモデル、実地形の地形形状をできるだけ忠実に取り込んだモデルへと研究の方向性が移ってきている。このような観点から本研究では、現地の土壌試験及び地形分析によって得られる情報を基にモデルの同定を行う実用的モデルである TOPMODEL を構造的モデル化システムに加えるために、C++ 計算機言語により要素モデルの記述を行い、これを実流域へ適用してその適用性を評価した。

2. TOPMODEL TOPMODEL は Kirkby の開発したモデルである。TOPMODEL では、流出諸機構の中から対象流域に適した機構を組み合わせてモデルを作成することが基本方針とされている。したがって、モデルは一つの決まった形として与えられる訳ではなく、これまでも様々なモデルが作られてきた ([1, 2, 3] 参照)。それらに共通する TOPMODEL の中心的な仮定として、貯留-流量関係には指数法則が成り立つ、各地点の動水勾配はその地点の地表面の勾配で近似できる、という二つの仮定がある。これらの仮定を基にして、地点 i における単位幅当りの地中流の流出量 Q_i を次のように表す。

$$Q_i = T_0 \exp(-S_i/m) \tan \beta \quad (1)$$

ここに、 T_0 は飽和側方浸透係数 (m^2/sec)、 S_i は地点飽和不足量 (m)、 m は飽和透水係数 K_s (m/sec) の深さに伴う変化が、 $K_s(z) = K_0 \exp(-z/m)$ と表されるときのパラメタ (m)、 β は地点勾配である。流域平均の飽和不足量は、地点飽和不足量を積分して求めることができ、次のような関係式が導かれる。

$$S_i = \bar{S} + m\lambda - m\ln(a/\tan \beta) \quad (2)$$

ただし、 $\lambda = A^{-1} \int_0^A \ln(a/\tan \beta) dA'$ 、 A は流域面積、 a は単位等高線幅当りの上流の面積である。式中の $\ln(a/\tan \beta)$ は地形特性を表すパラメタのみから成るため、地形指標と呼ぶ。 $S_i < 0$ の時、 $|S_i|$ が地表流として流出するが、 $\ln(a/\tan \beta)$ の値が大きいく程 S_i の値は小さくなるから、地表流は発生しやすくなり、このことは一般的な水文特性

を良く反映しているといえる。この地形指標の算出には、Quinn ら [3] のモデルを使用する。グリッドデータを用いて流れの方向を分析する場合、最急勾配方向への単一の流れを考えることが多い。しかし、Quinn らの方法では、一つのグリッドを囲む他の 8 個のグリッドへの多方向の流れを考慮する。

3. 構造的モデル化法 《構造的モデル化法》とは、斜面、河道等の流域の構成要素や流出機構に対して《要素モデル》を作成し、それを対象流域の構造を反映するように接続しモデル化する方法である。構造的モデル化法を用いることにより、水文系全体のモデル《全体系モデル》の作成作業は、要素モデルの組み立て作業に、修正作業は構成要素の交換作業に簡素化できる。この構造的モデル化法を計算機シミュレーションに適用したのが、《構造的モデル化システム》である。構造的モデル化システムは、流域の水文過程のモデルに共通な構造を抽出して、あらかじめモデル化しておき、個々の要素モデルはその共通構造を継承して作成しようとするシステムである。このように、共通構造を抽出しあらかじめモデル化することが可能な機能は、オブジェクト指向言語により実現可能である。構造的モデル化システムでは、C++ によって実現している。

本研究では、流域内の流出計算を行う要素モデル《Topmodel》と、河道における遅れ時間を考慮するための要素モデル《LTD_System》を用意した。流域面積が大きく流域を更に細かい部分流域に分割する場合には、それぞれの部分流域に要素モデル Topmodel を適用し、それらを要素モデル LTD_system に接続させる。データの授受は端子を介して行われるが、要素モデル Topmodel は、二つの受信端子から雨量データ・蒸発散データを受け取り、一つの送信端子から流出高を出力する。要素モデル LTD_system は、その流出高データを受信端子から受け取り、時間遅れを考慮して送信端子から出力する。

4. 実流域への適用 愛知県瀬戸市にある東京大学愛知演習林白坂試験地に適用した。

4.1 白坂試験地の概況 白坂流域は、集水面積 0.88km^2 、高低差 335m 、平均傾斜角 25 度である。地形は急峻な V 字型溪谷を呈している。流域の森林被覆状況

は、良好林相面積率が 75%, 粗悪林相面積率が 15%, 崩壊跡地面積率が 9%, 県道面積率が 1% で、山腹斜面および溪流部は植生が密集している。

4.2 適用 本研究では現地土壌試験を実施しなかったため、データのないパラメタについては、観測値と計算値のハイドログラフが良く一致するように試行錯誤によって定めた。また、土壌特性値は流域全体で一定である。表 1 に、シミュレーションに用いたパラメタ及び初期状態量を示す。 t_d は単位飽和不足量当りの不飽和帯における時間遅れ、 r_v は流域内の流速、 S_{r20} は根群域の初期不足量、 Q_{init} は初期観測流量、 S_{rmax} は圃場容量量、 K_0 は地表面 ($z=0$) における飽和透水係数、 $\Delta\psi$ は濡れ前線の吸引力 (m)、 $\Delta\theta$ は濡れ前線通過後の含水率と初期含水率との差である。タイムステップは、600(sec) である。

表 1 パラメタ・初期状態量の設定

$m(m)$	0.0017	$S_{rmax}(m)$	0.10
$T_0(m^2/sec)$	0.0412	$K_0(m/sec)^{\dagger}$	0.0010
$t_d(sec/m)$	18000	$\Delta\psi(m)^{\dagger}$	0.04
$r_v(m/sec)$	1.0	$\Delta\theta^{\dagger}$	0.4
$Q_{init}(m/time\ step)$	0.000033	$S_{r20}(m)$	0.002

$\dagger$ 白木克繁：飽和不飽和浸透計算による土壌水分分布と地下水位変動の再現計算, ANT95 発表会, 1995. を参考に定めた。

シミュレーションの結果、図 1 に示すハイドログラフが得られた。この結果は、パラメタの修正作業により得られた結果であるが、ピーク流量・減速部の流量とともに観測値とほぼ一致しており、非常に良いシミュレーション結果である。

ハイドログラフに大きく影響するパラメタは、 m の値と初期状態量であった。 m は、飽和不足量と流量との関係を決めるパラメタであり、一降雨期間中の総流出量を基にして修正した。 m の値がハイドログラフの減速部及びピーク流量にどのように影響しているかを図 2 に示す。また、初期状態量の一つとして、初期流出量がハイドログラフにどのように影響しているかを図 3 に示す。

5. おわりに 実流域への適用の結果、モデルの実流域への適用の可能性が十分にあることが分かった。今後、現地土壌データを取得する、長期のシミュレーションを実行する、他の多くの流域へモデルを適用する等によって、更にモデルの適用性を正しく評価する必要がある。

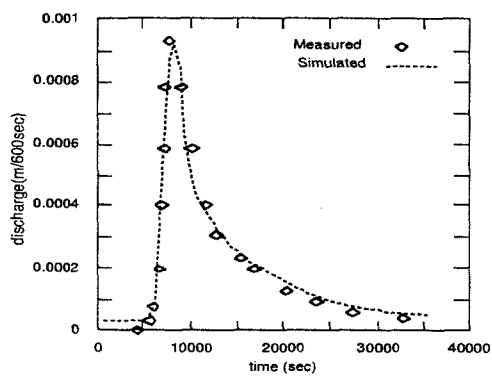


図 1 流出高の観測値と計算値の比較

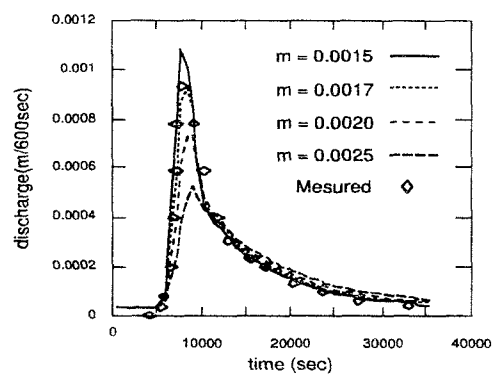


図 2 m 値によるハイドログラフの変化

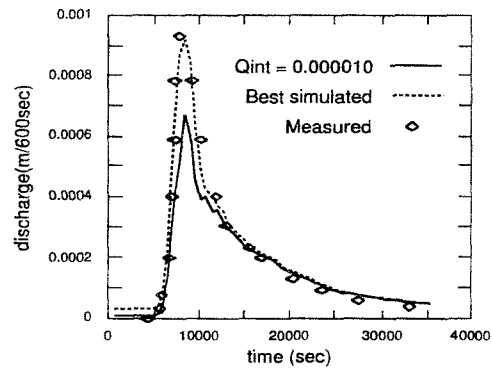


図 3 初期流出量によるハイドログラフの変化

参考文献

- [1] Beven, K.J. and Kirkby, M.J.: A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrological Sciences - Bulletin*, 24(1), 43-69, 1979.
- [2] Beven, K.J. and Wood, E.F.: Catchment geomorphology and the dynamics of runoff contributing areas, *Journal of Hydrology*, 65, 139-158, 1983.
- [3] Quinn, P., Beven, K.J., Chevallier, P. and Planchon, O.: The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models, *Hydrological Processes*, 5, 59-79, 1991.