

土壌水分を考慮した分布型流出モデルの開発

Development of Distributed Rainfall-Runoff Model Incorporating Soil Moisture Model

○竹内 潤一郎 ・ アラム アブル H.M.B. ・ 河地 利彦

○Junichiro Takeuchi, Abul H.M.B.Alam and Toshihiko Kawachi

1 はじめに

長期流出をモデル化する場合、土壌水分は蒸発散や浸透、直接流出などに影響を与えるため水文過程において重要な要素である。本研究は、蒸発散や浸透などの水文要素を動的に扱うことのできる土壌水分モデルを採用して、分布型流出モデルを開発することを目的とする。

2 分布型流出モデル

2-1 モデルの構成 図1に示されるように、流域はメッシュで分割され、各セルからの流出量は隣接するセルまたは河川に流入し、最終的に流出セルに到達する。流下方向と河道は流域の標高データを基に決定される。また、図2に示されるように、本研究の分布型流出モデルは地表流出モデル、土壌水分モデル、中間流タンクモデル、河道モデル、地下水タンクモデルの5つのモデルから構成される。

2-2 土壌水分モデル ここで用いる土壌水分モデルはSMAR(Soil Moisture Accounting and Routing)法と呼ばれる集中型流出モデルにおいて、流域全体の平均的な土壌水分量を考慮するために用いられているものである。

このモデルは不飽和帯の土壌を圃場容水量まで水を保持することのできる層が複数積み重なったものとしてモデル化する。無降雨時には、まず表層から蒸発散能 E_p で水分が失われていく。この層の水分がなくなると、下層から CE_p ($0 < C < 1$) で水分が失われていく。以下同様に第 i 層から $C^{i-1}E_p$ で水分が失われていく。降雨時には、地表から第5層までの土壌水分量 w_a と土壌水分容量 w_c から地表流出量 R_o と地表面からの浸透量 I 、降下浸透量 P が以下のように推定される。

$$R_o = r_e - I + (1 - G)S \quad (1)$$

$$I = \min \left\{ Y, \left(1 - H \frac{w_a}{w_c}\right) r_e \right\} \quad (2)$$

$$P = GS \quad (3)$$

$$Y = Y_c + (Y_m - Y_c) e^{-\alpha \frac{w_a}{w_c - w_a}} \quad (4)$$

$$S = \max\{I - (W_c - W_a), 0\} \quad (5)$$

ここで、 r_e は有効雨量、 S は土壌に保持されずに下

方あるいは側方に流動する水分量、 Y は地表面からのポテンシャル浸透量、 Y_c は定常浸透量、 Y_m は最大浸透量、 W_c は土壌全体の水分容量、 W_a は土壌全体の水分量、 H, G, α はモデルパラメータである。(1)式の右辺の第3項は一旦土壌に浸透した水が浸出する成分を表す。この土壌水分モデルを各セルに適用することによって、分布型へ拡張する。

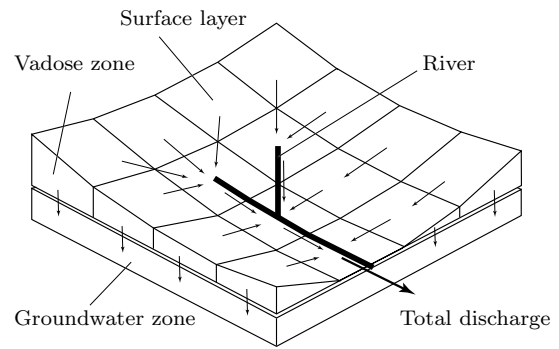


図1 流域の概念図

Fig.1 Concept of watershed

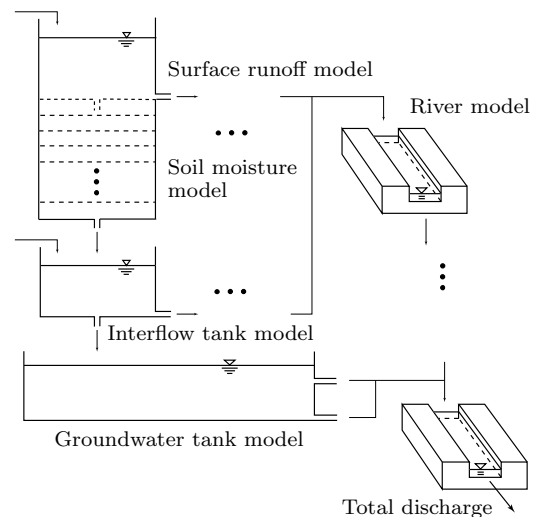


図2 モデルの構造

Fig.2 Structure of model

2-3 評価指標 ここでは、以下に示す2つの指標を用いてモデルを評価する。

$$R^2 = \frac{F_0 - F}{F_0} \quad (6)$$

$$V^f = \left\{ \sum_{t=1}^T Q'_t \right\} / \left\{ \sum_{t=1}^T Q_t \right\} \quad (7)$$

ここで、

$$F = \sum_{t=1}^T (Q_t - Q'_t), \quad F_0 = \sum_{t=1}^T (Q_t - \bar{Q}) \quad (8)$$

$$\bar{Q} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T Q_t \quad (9)$$

であり、 R^2 はモデルの効率性に関する指標、 V^f は総流出量に関する指標、 Q_t は観測流出量、 Q'_t は計算流出量、 \bar{Q} は平均流出量、 T は計算期間の日数である。

3 適用例

上述の分布型流出モデルを滋賀県南部に位置する大戸川流域に適用する。この流域の面積は約 189km² であり、下流域と中流域の一部に水田と市街地が存在する以外、大部分は山地であり、森林に覆われている。この流域を 500m メッシュに分割し、標高データから流下方向と河道を推定する。図 3 にこの流域の土地利用と推定された河道を示す。

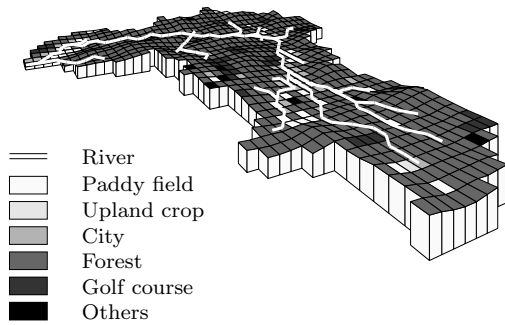


図 3 大戸川流域

Fig.3 Daido river watershed.

地表流出タンクと土壌水分モデルの各種パラメータは土地利用によって決まり、中間流タンクモデルのパラメータは表層地質によって決まると仮定して、各種土地利用、表層地質に共通した値を物理的特性を考慮しながら、2001 年の気象データと流量データを用いて試行錯誤的に決定した。また、1998 年から 2000 年のデータでパラメータの妥当性の検証を行ったところ、表 3 に示すように概ね良好な結果が得られた。図 4 に 2001 年の観測流出量と計算流出量を示す。120 日から 220 日の間に観測流量と計算流量の差が見られるのは、流域の農地への灌漑用水として取水が行われているためと推測される。

表 3 モデルパフォーマンス

Table 3 Model performance

Period	Year	R^2	V^f
Calibration	2001	85.70	1.05
Verification 1	1998	71.18	0.85
Verification 2	1999	68.41	0.87
Verification 3	2000	71.06	1.07

4 まとめ

土壌水分量によって蒸発散や浸透などの水文要素を動的に扱うことのできる土壌水分モデルを組み込んだ分布型の長期流出モデルを開発した。適用例から、本モデルは概ね流出量を再現できることが示された。今回は、1つの属性によってパラメータが決まるとの仮定を用いて同定を行ったが、複数の要因が関わっていると考えるほうが自然であり、その同定手法が今後の課題である。

参考文献 [1]Abbott,M.B. *et al.* (1986), *J.Hydrol.*, 87, pp.45-59. [2]Choi,J.Y. *et al.* (2003), *JAWRA*, 39(3), pp.623-635. [3]Kachroo,R.K. (1992), *J.Hydrol.*, 133, pp.1-15. [4]Kachroo,R.K. (1992), *J.Hydrol.*, 133, pp.141-178. [5]Polarsky,M. (1997), *Hydrol.Process.*, 11, pp.1-11. [6]Tan,B.Q. *et al.* (1996), *J.Hydrol.*, 185, pp.275-295. [7]Suzuki,T. *et al.*(1996), *Civil Engineering J.*, 38(10), pp.26-31.

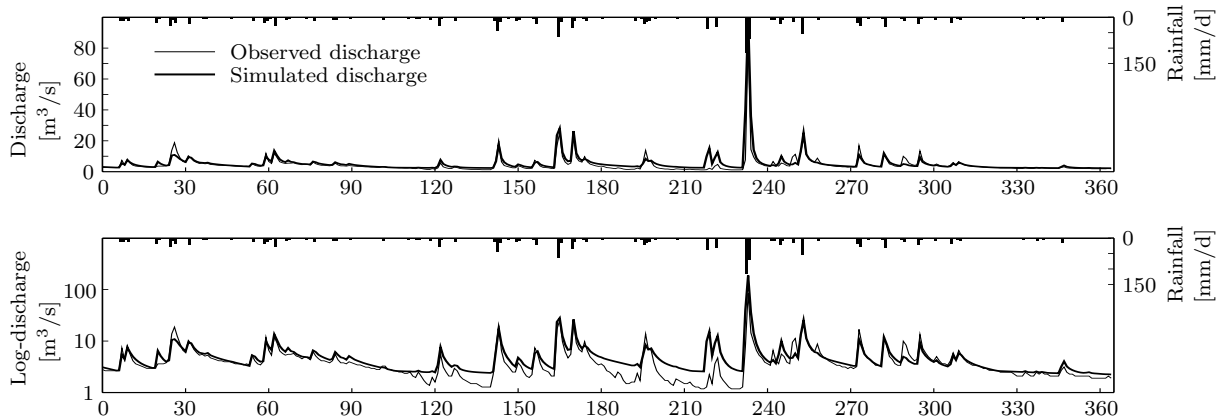


図 4 2001 年のハイドログラフ

Fig.4 Observed and Simulated hydrograph of 2001