

II-45

表層土湿指標と有効降雨推定への活用に関する研究

京都大学防災研究所 正員 ○田中丸治哉
 京都大学防災研究所 正員 角屋 睦
 鴻池組 正員 永井 康

1. まえがき 洪水解析における有効降雨を合理的に推定するには、流域表層の土壤水分を精度よく把握し、これをうまく利用することが望まれる。ここでは、長短期流出両用モデルの山地小流域への適用結果を基に、洪水直前流量などの表層土湿に関連する諸量と土壤水分状態（タンク空容量）の関係を調べ、これらを指標とした場合の有効降雨推定式を検討した結果を示す。解析には、京都市西部のカマ谷試験流域（0.245 km²）における昭和50年～61年の12年間の時間雨量・流量資料および京大農場の計器蒸発量資料を用いる。

2. 流出モデルの適用結果 (1)再現性の評価： 解析には図1の長短期流出両用モデル¹⁾を用いる。カマ谷流域では、すでに昭和50年～53年の4年間の資料により図2に示すモデル定数が同定されている²⁾。このモデルによる日流出高の相対誤差を調べると12年間の平均で24%、ピーク比流量 0.5m³/s以上の38出水を対象に評価した毎時流量の平均相対誤差は25%で、再現性は良好である。(2)直接流出高の算定： このモデルでは、Q₁が表面流出、Q₂が中間流出に対応している。ここでは、Q₁+Q₂を直接流出とみなし、さきの38出水について一出水ごとの総直接流出高を求めた。以下の考察では、この流出モデルを介して得られた直接流出高あるいは流域保留量を解析資料とする。

3. 表層土湿指標 長短期流出両用モデルでは、下層タンクへの浸透能 f は空容量 $S' = Z_2 + Z_3 - S_2$ に比例するものと仮定され、次式のように表現される。

$$f = b_1(Z_2 + Z_3 - S_2) \quad (1)$$

図3に洪水直前の S' に応じて分類した累加雨量—累加保留量関係を示すが、これによると同じ雨量でも保留量はかなりばらつき、 S' が大きいくほど保留量が大きくなる傾向が読み取れる。この S' は最も有効な表層土湿指標の一つと考えられるが、モデル適用後に得られる値であるから、実用的にはより簡便に求められる指標が望ましい。ここでは、表層土湿指標として洪水直前流量 q_b 、先行降雨指数API、前期無降雨日数 T を取り上げ、 S' との対応関係を調べてそれらの妥当性を検討する。APIは次式で求める。

$$API = P_0 + KP_1 + K^2P_2 + \dots + K^mP_m \quad (2)$$

ここに、 P_i ： i 日前の日雨量(mm)、 K ：係数で0.85を採用、 m ：30を採用する。

図4に S' と q_b , API, T の関係を示すが、 q_b とAPIは、いずれも S' と明確な対応が認められ、図のように指数型回帰式が当てはめられる。 T については、ばらつきが大きく S' との関係ははっきりしない。 $\ln(S')$ と q_b , API, T との相関係数を求めると、それぞれ -0.91, -0.88, 0.44 となった。この結果より、 q_b , APIはどちらも有効な土湿指標になりうると判断できる。 S' と q_b の関係は、 q_b が小さいとばらつきが大きくなるが、こ

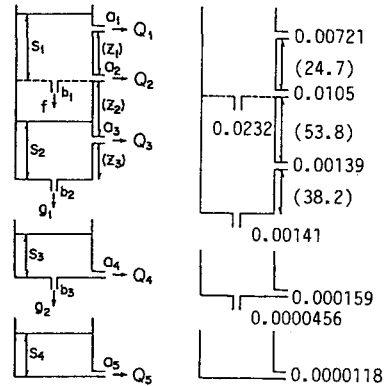


図1 モデル構造

図2 最適定数 (mm-h)

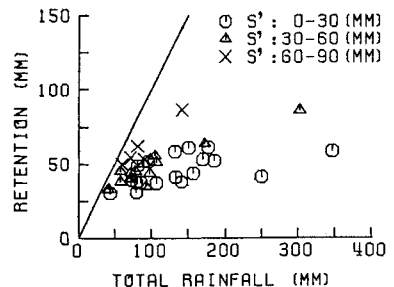


図3 累加雨量—累加保留量関係

これは流域の乾燥が進むと q_b の主成分が表層土壌水分と直接関係しない深部の地下水成分となるためと解釈できる。

4. 有効降雨(流域保留量)の推定式 有効降雨の推定は流域保留量の推定に他ならない。ここでは、流出モデルの構造を考慮し、 q_b , APIを媒介とした流域保留量の推定式を提案する。長短期流出両用モデルでは、 $S_1 > 0$ となる期間、すなわち直接流出が生起している期間($0 \leq t \leq t_d$)については、浸透強度 f の時間的变化がHortonの浸透能方程式(3)で表現される。

$$f = f_c + (f_0 - f_c) \exp(-ct) \quad (3)$$

ここに、 f_0 ：初期浸透能、 f_c ：最終浸透能。

したがって、直接流出継続時間 t_d およびパラメータ c, f_0, f_c が分かれば上式を時間 $0 \sim t_d$ について積分して一出水の流域保留量 F を求めることができるが、ここでは、いくつかの仮定を導入してより単純化された推定式を検討する。まず、 f_c の項が無視できるものと仮定して $f_c = 0$ とする。また、 f_0 は流域の乾湿状態を考慮して出水ごとに定める必要があるが、空容量 S' が指数型回帰式によって q_b , APIより推定できるとすれば、(1)式より f_0 を次式のように表現することができる。

$$f_0 = A' \exp(-B'W) \quad (4)$$

ここに、 A', B' ：係数、 W ：表層土湿指標(q_b , API)。

さらに、 t_d と総雨量 R との関係を調べると相関が認められたことから($r=0.75$)、これを $t_d = C'R$ として推定する。これらの仮定を(3)式の積分形式に代入し係数を整理すると次のような流域保留量推定式が得られる。

$$F = A \exp(-BW)(1 - \exp(-CR)) \quad (5)$$

さきの38出水を対象として最適化手法(Powell法, 2乗誤差基準)により未知パラメータ A, B, C を同定した結果およびその推定精度を表1に示す。表1には、蔽ら³⁾の提案式の適用結果も併記している。 q_b をパラメータとした①式と蔽らの③式は、かなり類似した式になっている。いずれの式もまずまずの精度が得られているが誤差を見る限り APIを採用した②式が最良となった。図5に②式の適用結果を示す。さらに実用性を高めるためには、より簡単なパラメータ同定法を検討する必要がある。

【参考文献】 1) 角屋ら：土木学会年講, 1984. 2) 塚本：京都大学卒業論文, 1984. 3) 蔽ら：農業土木学会論文集, No.91, 1981.

表1 流域保留量推定式と誤差評価

流域保留量推定式	相対誤差	2乗誤差
① $F = 97 \exp(-6.1q_b)(1 - \exp(-0.013R))$	13.7%	63.6mm ²
② $F = 96 \exp(-0.011API)(1 - \exp(-0.012R))$	12.3	47.7
③ $F = (93 - q_b/0.0024)(1 - \exp(-0.013R))$	13.8	64.2

注) F, R, API の単位は(mm), q_b の単位は(mm/h)。

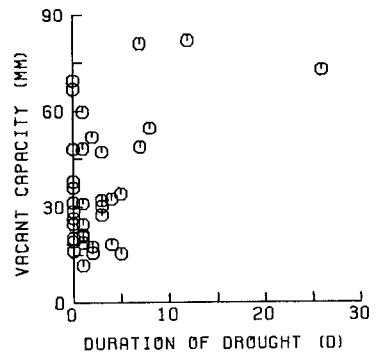
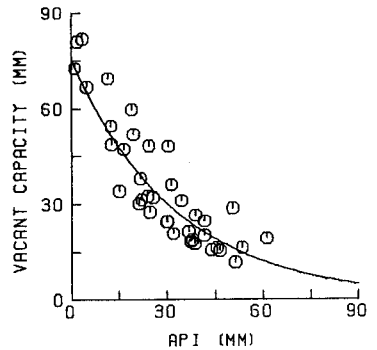
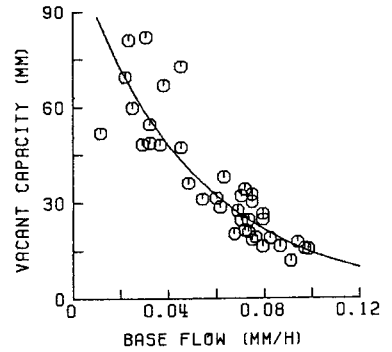


図4 空容量 S' と q_b , API, T の関係

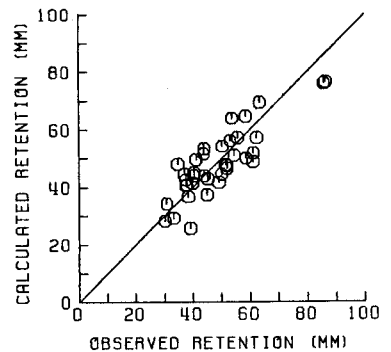


図5 流域保留量の推定(②式)