

京都大学防災研究所 正員 永井 明博・角屋 睦

1. まえがき 洪水解析に雨水流法・貯留関数法がよく用いられるが、その適用に際して有効降雨をいかに合理的に推定するかという問題点があり、特に洪水のオンライン予測を考えるとこれが重要な問題となる可能性がある。一般に、有効降雨は出水前の表層土の土壤水分に大きく左右され、長期流出と密接に関係している。ここでは、土壤水分の状態をよく表現すると思われるタンクモデルの長所を生かしつつ、パラメータ数が少なく、かつ物理性をも考慮して、洪水と低水を同時に解析できるモデルを検討したので、その概要を報告する。

2. 長短期両用モデル 代表的な洪水流出モデル（雨水流法・貯留関数法）と長期流出モデル（タンクモデル・補給能モデル）との対応性を念頭におき、図1に示すいくつかのモデルを考えた。各モデルについて最適同定を行い、試行錯誤的に最良のモデルを探した。現在、最良と判断されるモデルを図2に示す。ここに、 Q_1 は表面流出でManning則に従うものとして(1)式で表わしている。 Q_2 は早い中間流出、 Q_3 は遅い中間流出、 Q_4 、 Q_5 は地下水流出を表わしている。また浸透能 f は、1段目下層の空容量に比例するものとして(3)式で表現する。このようにすると、(4)式のHortonの浸透能式が得られる。また蒸発散に伴う貯留高の減少割合 E_v には(5)式を採用し、時間雨量 $r=0$ ならば常に1段目のみから E_v があるものとしている。

計算法：各タンクについて微分方程式を立て、それを数値的に解いて S ・ Q を求める。ただし、洪水時と低水時とでは時間さきみを変えてよく、ここでは $S_1 > 0$ または（日雨量） > 0 のときは1時間ごと、他の場合は24時間ごとに S ・ Q を求めることにしている。

最適同定法：(6)式の評価基準の下でSP法により最適定数を探索する。ただし、同定初日には中間流は発生していないものとして $S_1 = 0$ 、表面流はManning則に従うものとして $m=5/3$ に固定する。

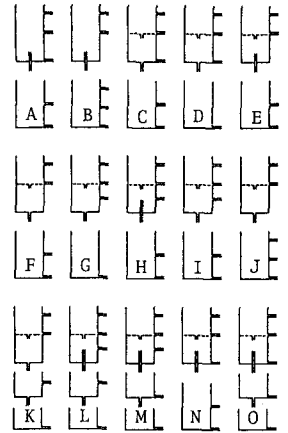


図1 検討した長短期両用モデル

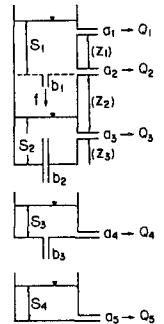


図2 Model M

表1 日流出高の再現誤差

[上段 Jxs: mm/d, 下段 (JRE: %)]

モデル	段数 (未知 定数)	浸透 能の 考慮	同定期間 平均 75-78	予 測 期 間				平均 '79-82
				1979	80	81	82	
A	2 (12)	X	0.293 (30.5)	0.300 (36.8)	0.299 (29.6)	0.286 (34.7)	0.240 (35.0)	0.281 (34.0)
C	2 (12)	O	0.246 (26.1)	0.279 (34.1)	0.260 (21.5)	0.272 (32.5)	0.188 (28.6)	0.250 (29.2)
H	2 (13)	O	0.215 (23.4)	0.227 (29.3)	0.305 (27.2)	0.184 (25.1)	0.185 (28.9)	0.225 (27.6)
M	3 (14)	O	0.201 (24.1)	0.240 (30.8)	0.247 (21.9)	0.182 (27.4)	0.175 (28.0)	0.211 (27.0)
N	2 (13)	O	0.234 (26.2)	0.257 (32.1)	0.269 (23.4)	0.263 (34.1)	0.196 (30.2)	0.246 (30.0)
O	3 (14)	O	0.196 (23.5)	0.208 (25.0)	0.240 (19.8)	0.188 (27.0)	0.175 (26.8)	0.203 (24.7)
タンク モデル	4 (16)	X	0.385 (28.9)	0.398 (30.1)	0.703 (27.6)	0.292 (31.0)	0.382 (33.4)	0.444 (30.5)

E_vの扱

Model H, M - (5)式。

Model A, C, N, O - (5)式の正式のみ、雨天日でも $\alpha=1$ 、1段目のみからE_v。タンクモデル - 雨天日の入力: $\Sigma r + \alpha \Sigma E_v$ ($\alpha=3/4$)。

$$Q_1 = a_1 (S_1 - Z_1)^m, m=5/3 \quad (S_1 \geq Z_1) \quad (1)$$

$$Q_2 = a_2 S_1 \quad (2)$$

$$f = b_1 (Z_2 + Z_3 - S_2) \quad (3)$$

$$f = f_c + (f_0 - f_c) \exp(-Ct); S_2 \geq Z_3 \quad (4)$$

$$f_c = b_1 Z_2 (a_3 + b_2) / C, C = a_3 + b_1 + b_2$$

$$E_v = \alpha E_{pan} \quad S_2 \geq Z_3$$

$$= \alpha E_{pan} (S_2 / Z_3) \quad S_2 < Z_3 \quad (5)$$

$$Jxs = (Q_0 - Q_c)^2 / Q_0 \rightarrow \min \quad (6)$$

$$JRE = 100 |Q_0 - Q_c| / Q_0 \quad (7)$$

f_c: 最終浸透能, E_{pan}: 月平均蒸発強度Q₀: 実測流量, Q_c: 計算流量 α : 晴天日 $\alpha=1$, 雨天日 $\alpha=3/4$

3. 解析資料 京都市西南部カマ谷自然丘陵地流域 (0.245 km^2 , 古生層) の昭和 50～57 年の 8 年間にわたる 1 時間ごとの流量・雨量記録を解析の対象とする。このうちモデルの同定には昭和 50～53 年の 4 年間のデータを用い、残りはモデルの検証に利用する。

4. 検討結果 (1) 浸透能を考慮することの効果: いくつかの両用モデルの再現誤差を(7)式の相対誤差とともに表 1 に示す。同表から, Model A に浸透能式を考慮することにより (Model N), 同定期間・予測期間とも再現性が向上することがわかる。また, 同一の未知パラメータ数をもつモデル間 (Model A と C) で対比しても, Model C の方が誤差が小さくなっており, 浸透能を考慮することの効果は大きいといえる。

(2) 3 段にすることの効果: Model H と M あるいは Model N と O を対比すると, いずれの場合も 2 段のモデルよりも 3 段の場合の方が再現誤差が小さくなっている。しかしこれ以上段数をふやすことは, 湯水年 (昭和 52・53 年) の低水時の再現性からみて不必要と判断された。

(3) Model M の再現性: 得られた定数を図 3 に, このモデルによる予測結果を図 4 に示す。良好な結果ともみられるが, 10～12 月では $Q_o < Q_c$ となっており, 再現性に向題がある。これは, 秋には強度の弱い雨が多く, 樹木による降雨・雪断がかなりあるにもかかわらず, モデルではそれを考慮していないためと思われる。図 5, 6 に洪水の再現例を示す。まずまずの結果となっているが, 図 6 ではピーク流量の再現性に若干の問題がある。これは, カマ谷のような小流域のピーク流量を詳細に議論するには, データの単位時間をもっと小さくする必要のあることを示唆するものと思われる。

(4) 長期流出タンクモデルとの対比: タンクモデルでは日単位のデータを用いており, 長短両用モデルとはデータの単位時間が異なること, あるいは両用モデルの方が未知パラメータ数が少ないことのために両者の厳密な比較はむづかしいが, 表 1 の結果を単純に対比すれば, 浸透能を考慮した両用モデルの方が再現性が良いといえる。また, 2 段型・3 段型の両用モデルの腹孔の係数 Q_4, Q_5 は, タンクモデルの 3 段目あるいは 4 段目の流出孔の値にほぼ対応している。

5. あとがき 今後は, 上記の問題の他にも不浸透域の考慮などの点を検討して, モデルの改善を計るとともに, 他の流域にも適用してみたいと考えている。

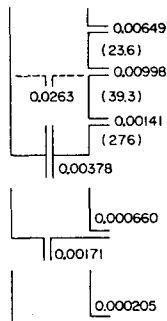


図 3 Model M (mm-hr)

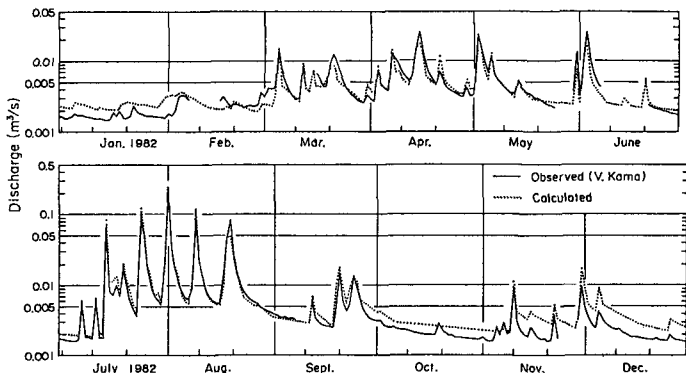


図 4 Model Mによる4年後の予測結果 (毎0時の瞬間流量)

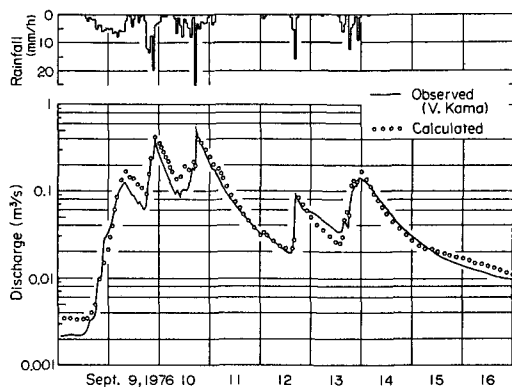


図 5 洪水時の再現例

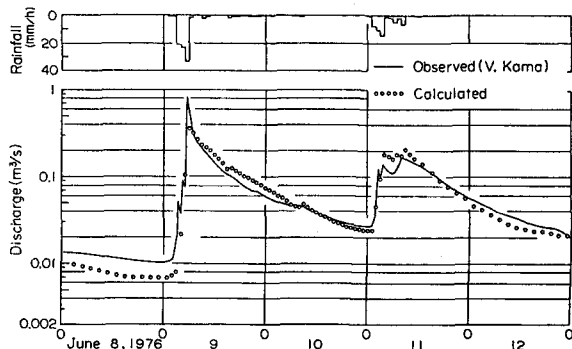


図 6 洪水時の再現例