

# 広い流域における流出の応答特性

The reply characteristic of run off models for wide area

北海道大学工学部土木工学科 ○学生員 八幡 江里子 (Eriko Yahata)  
北海道大学工学研究科 助教 正員 田中 岳 (Gaku Tanaka)

## 1. はじめに

近年の水災害は開発途上国などの水文観測が不十分な地域及び国内においては地方自治体が管理し河川整備が十分に行き届いてない二級河川に集中する傾向にある。このような災害を減らすための洪水予測は“迅速”かつ“高精度”でなければならぬ。本研究の目的は、比較的速いスピードで計算負荷のあまりかからない集中定数系モデルをサブ流域に採用することを前提として、これに精度の高い計算結果の出せる分布定数系モデルを組み合わせそれぞれの長所を生かした広い流域を対象とした流出解析システムを構築する事にある。

上記の目的のもと、前報告では、自己相似性を有する模擬されたサブ流域に対して、流域末端での流出量の確率特性(1~2次モーメント)を理論的に推定した。その後、田中は、サブ流域の流出特性と流域面積との関係を検討している。本論文では、上記の報告とは異なる模擬された自己相似性を有するサブ流域に対して、その流出特性(流域面積で除すことで基準化された流出高の1~2次モーメント)と流域面積との関係を検討する。この結果は、サブ流域を集中化するうえで、流域面積に関する適用範囲を確率論的に示すものと考えうる。

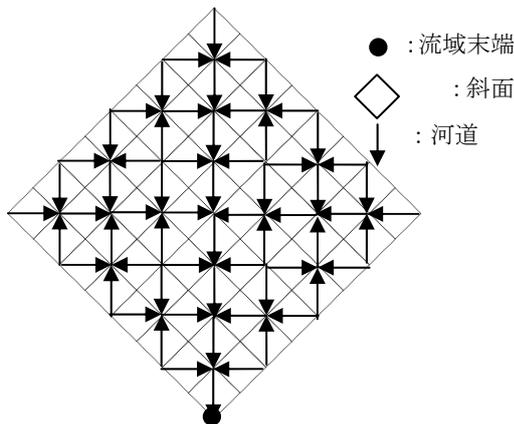


図-1 模擬されたサブ流域

## 2. サブ流域の流出特性を集約化したモデル

### 2.1 地形のモデル化

実際の地図から流域の全体を河道と斜面とに分離して得られた河道網構造は一般に自己相似性を持つことが知られている。実際の流域と同様に、その河道網構造が自己相似性を持つ模擬されたサブ流域を採用し、先ず流域面積の変化と流域末端での流量の1~2次モーメント

との定量化を目指す。

### 2.2 流出モデル

斜面の流出モデルは以下の式を適用する。

$$s_h = k_h q_h^{p_h} \quad (1)$$

$$\frac{ds_h}{dt} + q_h = r \quad (2)$$

ここで、 $s_h$ : 貯留高(L) ; 流出高(LT<sup>-1</sup>);  $r$ : 降雨強度(LT<sup>-1</sup>);  $t$ : 時間(T);  $k_h$ : 貯留係数(L<sup>1-p<sub>h</sub></sup>T);  $p_h$ : 貯留指数(1)を示す。また斜面の流れに対しては Manning 則を仮定し、係数  $k_h$  と  $p_h$  に次式を用いる。

$$k_h = 0.625 \left( \frac{n_h}{\sqrt{i_h}} \right)^5 \left( \frac{l_0}{4} \right)^{p_h} \quad (3)$$

$$p_h = 0.6 \quad (4)$$

ここで、 $n_h$ : 等価粗度(L<sup>1/3</sup>T);  $i_h$ : 斜面勾配(1);  $l_0$ : 二つの三角形斜面が連結された河道の長さ(L)を示す。なお、洪水時の流量の時間変化は、斜面よりも河道での流れに支配される。従って、サブ流域の一部(斜面)を貯留型流出モデルで置き換えても、流域末端での流量の時間変化に与える影響は小さい。

一方、河道での流れに対しては Chezy 則に従う集中化された以下のモデルを用いる。

$$s_i = k_i q_i^p \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{ds_{i+1}}{dt} + q_{i+1} = Aq_h + q_i + 2q_m \\ \frac{ds_1}{dt} + q_1 = Aq_h \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{ds_1}{dt} + q_1 = Aq_h \end{array} \right. \quad (7)$$

$$k_i = c \frac{2}{3} i_i^{-1} l_0 w_i^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

$$p = \frac{2}{3} \quad (9)$$

ここで  $s_i$ : 貯留量(L<sup>3</sup>);  $q_i$ : 流量(L<sup>3</sup>T<sup>-1</sup>);  $k_i$ : 貯留係数(L<sup>3(1-p)</sup>T<sup>p</sup>);  $p$ : 貯留指数(1) Chezy 係数(L<sup>1/2</sup>T<sup>-1</sup>);  $i_i$ : 河床勾配(1);  $w_i$ : 河幅(L)  $m = (2l - 1) \cdot 2^{(n-k)}$   $\left\{ \begin{array}{l} k = 1, 2, 3, \dots, n \\ l = 1, 2, \dots, 2^{k-1} \end{array} \right.$

なお添え字の  $i (\leq 2^n)$  は、河道(リンク)の位置を表す。例えば  $i=1$  は上流端の河道(外部リンク)を  $i=2^n$  は下流端の河道(内部リンク)をそれぞれ示す。

また、 $i > 2$  番目の河道での河床勾配  $i_i$  および河幅  $w_i$  については、これより上流側の流域面積  $A_i$  の関数として次式より与える。

$$i_i = i_1(A_i/A)^{-0.5} \quad (10)$$

$$w_i = w_1(A_i/A)^{0.5} \quad (11)$$

なお、二つの三角形斜面と河道からなる要素の面積  $A$  および  $A_i$  については

$$A = 0.5l_0^2 \quad (12)$$

$$A_i = A + A_{i-1} + 2m(i-i) \quad (13)$$

により与えられる。

### 3 流域末端での流出特性の推定とその考察

周知のように観測された降雨時系列データが確率的に変動することから、降雨流出現象は確率過程に属する。本研究では降雨強度の確率特性が既知の条件下で、上述のモデル ( $i$  番目の河道での単位幅流量  $q_i$ ) の確率特性シミュレーションによって計算する。

$$\bar{r} = \bar{r} + \tilde{r} \quad (14)$$

$$r = R(t) = \sum_j r_{dj} = \sum_j r_{dj} \{U(t - (j-1)\Delta t)\} \quad (15)$$

$U$ : ステップ関数  $r_{dj} = \bar{r} + \tilde{r}_{dj}$

を式 (2) に代入し

$\bar{r} = 1, 3, 5, 7, 10$  (mm/hr),  $\lambda = 1, 2, 4$ ,  $\Delta t = 0$  の条件で 36 時間の模擬降雨を

$$f(\tilde{r}_{dj}) = \frac{1}{\lambda} e^{-\lambda(\tilde{r}_{dj} + \frac{1}{\lambda})} \quad (16)$$

$\lambda$ : 定数

により与えシミュレーションする。

36 時間連続で降雨を与えたシミュレーションにおいて定常状態における (24~36 時間) 各時刻の流出高の分散の平均を取る。

$q_{2^n}$  の ( $2^n$  番目の河道の単位幅流量) の  $n$  が大きくなるにつれて (下流に近づく)  $\sigma_{q_i}$  は小さくなる。  $n$  が小さい場合  $\lambda$  の値が大きくなる (分散が小さくなる) と、 $\bar{r}$  の大小 (降雨の強度の平均) が  $\sigma_{q_i}$  の値の大きさに影響を与える。

分散にかかわらず、 $n$  が大きくなるほど定常状態の流出高は減少傾向にある。

定常になる時間の比較。

図-5 は  $\lambda 2$ ,  $\bar{r}$  が 1~10 における定常になるまでの時間と  $A_i$  の関係を表したグラフである。  $\bar{r}$  (降雨強度) が小さいほうが定常になるまでの時間が長く、面積が広いほど定常になるまでの時間が長い。  $n$  が 5 までの間は降雨強度にかかわらずほぼ同じ時間に定常となる。

### 4. まとめ

今後  $l_0$  の長さがどの程度まで伸ばせるか検討する。

### 参考文献

- 1) 田中岳: 流出モデルの集中化に関する基礎研究
- 2) 田中岳: 流出モデルの確率応答特性評価に基づく集中化に関する基礎的研究, 水工学論文集, No. 53, 2009 (掲載可)

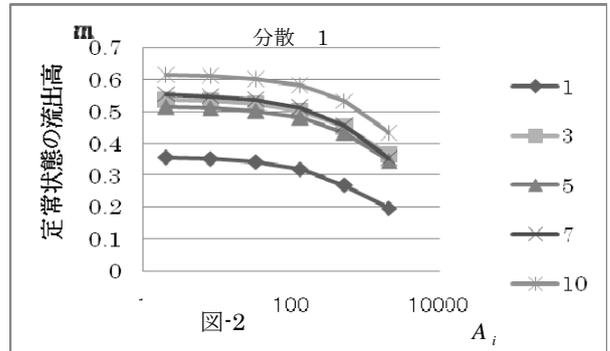


図-2

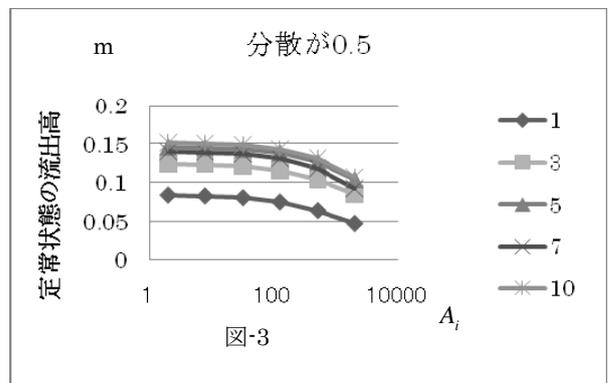


図-3

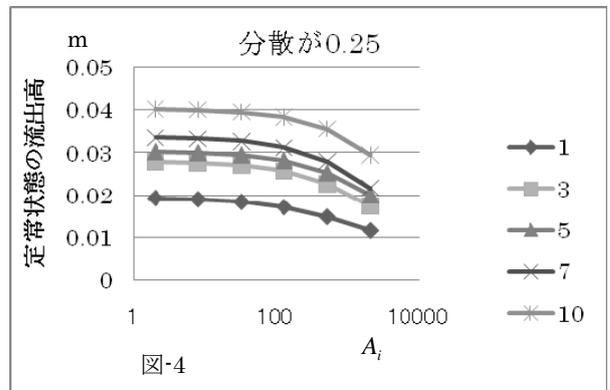


図-4

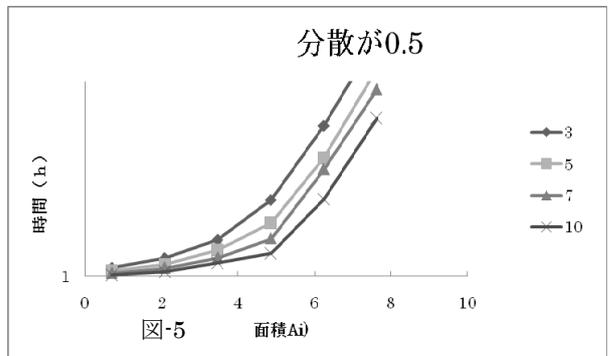


図-5