

京都大学 工学部 正員 ○ 椎葉 亮晴
 京都大学 大学院 学生員 川端 僚二
 京都大学 工学部 正員 高梅 琢馬

[1] まえがき

山腹斜面と河道区分とをセットにしたものを流域単位とよぶと、河川流域は流域単位網から構成されていることになる。河川流域の流出現象を雨水の流れに着目してモデル化しようとする、山腹斜面での流れのモデルと河道区分での流れのモデルとをやって流域単位のモデルを構成し、対象とする河川流域の流域単位網の構造に従って、これを結合・編成することが必要である¹⁾。

しかし、この方法では、流域単位の個数が大きいと計算量の点で問題となる。そこで、何らかの方法で計算量を減らす工夫が必要であるが、それには以下の2つの方策が考えられよう。1つは、全ての流域単位をある基準でグループ分けし、各グループの代表流域単位を設定し、代表流域単位の流出計算のみを行ない、代表でない流域単位の流出はそのグループの代表流域単位の流出で代用して計算を進めていくという方策である。もう1つは、流域単位網全体を、流域単位の個数の少ない新しい流域単位網に簡略化して計算するという方策である。今回は前者の方策について報告する。

なお、以下の議論では、降雨から斜面流出への変換は、流域全体で一様と仮定し、河道での流れはKinematic wave法によって追跡するとしている。

[2] 河道網系効果の差を表現する指標²⁾

斜面特性を一様と仮定した、流出計算は図-1に示すような2段階の計算となる。ただし、 $r(t)$ は降雨、 $q(t)$ は単位面積あたりの斜面流出、 $Q(t)$ は流域末端からの流出である。

$q(t)$ から $Q(t)$ への変換は、Kinematic wave法によると、以下のようにして計算される。すなわち、各流域単位 B_i ($i=1, \dots, N$),

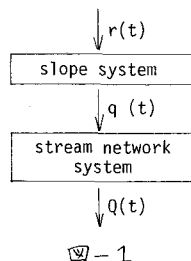


図-1

N は流域単位の個数)内の河道区分内の流れは、

$$\begin{cases} \partial Q_i / \partial x_i + \partial A_i / \partial t = (F_i / L_i) q \\ Q_i = \alpha_i A_i^m \end{cases} \quad (1)$$

を基礎式として算定する。ただし、 Q_i は流量、 A_i は流積、 F_i は B_i の面積、 L_i は河道区分長、 α_i 、 m は河道の抵抗特性を表わす定数、 x_i は L_i に沿う距離、 t は時間である。 B_i の上流に流域単位があれば、それらの流域単位からの流出が、 B_i の上流からの境界流入量になる。

さて、図-1は、個々の流域単位からの流出を考える場合にも適用されるから、各流域単位からの流出の差を2段階目の河道網系効果の差によることとなる。そこで、河道網系効果の差を表現する指標-距離を導入することを考えよう。そのために、まず河道網系効果を陽に表現することを考える。 $m > 1$ であるので、河道網系効果を陽に表現するのは一般には困難である。そこで、定常時河道流速を固定して、河道網系を定常線形化し、その単位インパルス応答を求めることを考える。すなわち、 $q(t)$ が一定値 q_0 をとつた時の①式の定常解から定常時流速 $v_i(x_i, q_0)$ を求めて、河道流の式を

$$\partial Q_i / \partial x_i + (1/v_i(x_i, q_0)) \cdot \partial Q_i / \partial t = (F_i / L_i) q \quad (2)$$

とすると、こうして線形化すると、 $q(t) = \delta(t)$ (ディラックのデルタ関数)としたときの流域単位 B_j ($j=1, \dots, N$)からの流出を $h_{ij}(t)$ と表わすと、 $h_{ij}(t)$ は

$$h_{ij}(t) = \sum_{B_i \in B_j} h_{ij}(t) \quad (3)$$

ただし、 $T_{ij} \leq t \leq T_{ij} + t_{ri}$ で、

$$h_{ij}(t) = q_0^{(m-1)/m} \cdot \alpha_i^{1/m} (F_i / L_i) \times \left[(F_i + F_i)^{1/m} - q_0^{(m-1)/m} \frac{\alpha_i^{1/m} F_i}{m L_i} (t - T_{ij}) \right]^{m-1}$$

もく T_{ij} , もく $T_{ij} + t_{ri}$ じ, $h_{ij}(t) = 0$ として求めらる。ここに, B_f は B_f より上流の流域単位の集合 (B_f を含む), T_{ij} は河道区分 L_i の末端から河道区分 L_j の末端までの雨水流下時間, t_{ri} は河道区分 L_i を流下する時間, F^u は B_i の上流域面積である。

任意の2つの流域単位 B_{f1} , B_{f2} をとったとき, それぞれを最下流流域単位とする部分流域の河道網系効果の差異は, それぞれの河道網系の単位インパルス応答 $h_{f1}(t)$, $h_{f2}(t)$ を用いて,

$$d_0(h_{f1}, h_{f2}) = \sqrt{\int_0^T [h_{f1}(t) - h_{f2}(t)]^2 dt} \quad (4)$$

で評価することが考えられる。このままでは, d_0 は定常線形化に使った値 q_0 が関係するが,

$$d(h_{f1}, h_{f2}) = d_0(h_{f1}, h_{f2}) / q_0^{(m-1)/m} \quad (5)$$

とみると, d は q_0 に関係しない。明らかに, d は距離の公理を満たしている。

[3] 流域単位の分類と代表の決定

流域単位をグループ分けするとき, 各グループ内の流域単位の流出特性は「近く」なければならぬ。この「近さ」の尺度として, [2] で定義した距離 d を用いてよい。

問題は, グループの分け方と代表の設定の仕方である。すなわち, ある基準距離 ϵ_0 を定めて, n 個の流域単位のグループ $S_1, \dots, S_n$ を作り, 各 S_i に代表流域単位を選ぶ。ただし, 各 S_i の代表流域単位を B_i とするとき,

$$\begin{cases} \forall B_f \in S_i \text{ に対して } d(B_i, B_f) \leq \epsilon_0 \\ \bigcup_{i=1}^n S_i = \{\text{全流域単位の集合}\} \end{cases} \quad (6)$$

となるようにする。そして, 各 S_i の要素で, 代表でないものは流出計算をせずに, 代表流域単位の流出で代用するものとする。こうして矛盾なく全流域単位の流出が求められるようにすべきときの n の値が, 最小となるものを選べば, これが基準距離 ϵ_0 に対して最も計算効率のよいグループの分け方・代表の設定の仕方であるということになる。

一般には, 上述の決定は困難であるので, 次の近似

解法にするとよい。すなわち, $i=1, \dots, N$ に対して, S_i を,

$$S_i = \{B_f \mid d(B_i, B_f) \leq \epsilon_0\} \quad (7)$$

と定め, 流域単位 B_i を S_i の代表とし, B_i の流出を計算するのに必要な S_i 内の流域単位 (B_i を含めず) の個数を C_i として,

$$\bigcup_{k=1}^n S_{ik} = \{\text{全流域単位の集合}\} \quad (8)$$

となるもののうち,

$$\sum_{k=1}^n C_{ik} \rightarrow \min \quad (9)$$

となるような $\{B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{in}\}$ を求めて, これを代表とし, この n 個の地に流出計算する必要がある流域単位を代表に加えするという方法をとりのである。

この問題は, ちょうど Set Covering Problem³⁾ として定式化されている問題そのままであるので, SCP の解法のアプローチに従って容易に解くことができる。

[4] あとがき

流域単位相互の流出特性の差異を, 河道網系の単位インパルス応答の差異で表わせるとした。数値計算によるとこの対応は良好である。これについては, 本報告に基づく流出計算の結果とともに, 講演時に示すことにする。

また, ϵ_0 の与え方が問題となるが, これは今後検討したい。

なお, 蛇足ながら, こうした流域単位群の分類と代表の設定を小体にかつりの計算量を要する(手計算では無理)が, それは1度だけでよいので, 流出計算を何度もすることから考えると問題にならない。

参考文献

- 1) 高梅琢馬・椎葉充晴: 河川流域の地形構造を考慮した出水系モデルに関する研究, 土木学会論文報告集, No 248.
- 2) 高梅琢馬・椎葉充晴・川端保二: 河川流域の洪水流出計算に関する二, 三の考察, 昭和三十二年西支部年報.
- 3) Nicos Christofides: Graph Theory, Academic Press.