

河川流域の洪水流出計算に関する二、三の考察

京都大学 工学部	正員	高橋 琢馬
京都大学 工学部	正員	〇 椎葉 充晴
京都大学 大学院	学員	川端 僚二

〔1〕 河川流域の構成

山腹斜面と河道区画とをセットにしたものを流域単位と呼ぶと、河川流域は流域単位のネットワークから構成されていることになる。河川流域での降雨から流出流量への変換は、流域単位における変換と、流域単位のネットワークでの変換とからなるわけである。本研究は前者の変換を取扱い、その特性について二、三の考察をするものである。

〔2〕 河道配列パターンと出水特性——河道配置数¹⁾による解析

河道配列パターンと出水特性の間には強い関係があると考えられる。これを確認するために由良川上流荒倉流域(面積:1594km²)において流出シミュレーションを行った。このとき採用した流域単位のシステムモデルについては、紙数の都合で説明を省略する。5万分の1の地形図より河道表示をもとに同流域を分割すると、105個の流域単位に分割される。各流域単位についてそれより上流の河道配列パターンが同じ(河道配置数が同じ)であるという条件で、この105個の流域単位群を分類すると25個に分類される。

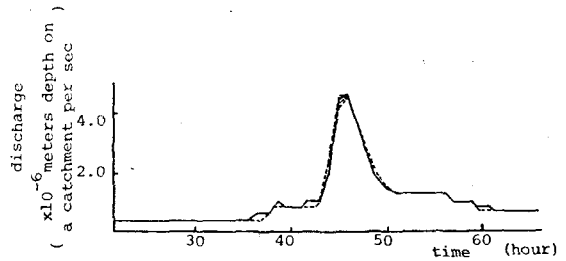


Fig.1 Simulated hydrograph comparison. (—: lumped within the basin elements having the same stream network number, ---: not lumped as above)

流出計算の結果、同一の河道配置数をもつ流域単位群からの出水はほとんど同じであった。また、同一の河道配置数をもつ流域単位群の中で集中化し、全部で25個の集中系群で置換えて計算した結果は、全流域単位を逐一追跡計算して得た結果とほとんど同じであった。紙数の都合で計算結果の一部のみをFig.1に示す。実線は集中系群による計算で計算順位が3である流域単位からの出水を、破線はこれと同じ河道配置数を有する流域単位群からの出水を示す。

以上の結果は、河道配列パターンが同一の流域単位からの出水は同一として十分であることを示している。逆にいえば、出水特性の相違が河道配列パターンの相違で判定されるということを示している。

〔3〕 河道配列パターン空間への距離概念の導入

前節の結果は、ある流域単位と他の流域単位との出水特性が似ているかどうかをそれぞれ河道配列パターンが似ているかどうかで判定する可能性を示唆している。そこで、河道配列パターン間の距離が定義されれば、その距離で流域単位群を集中系群に分類するときの指標となろう。もちろん、その距離は出水特性の差異に対応している必要がある。そこで、まず河道の効果を陽に表現することを考え、それをもとに距離を定義する。

河道内流速が一定であれば河道系は線形で、その効果は単位インパルス応答で陽に表現されるが、河道内流速が通水断面積の指数関数 $v = \alpha A^{m-1}$ (kinematic wave) であるときは河道系は非線形となり、そのすまでは河道系の効果を陽に表現することが困難である。そこで近似的に定常状態にあるとして系を線形化して、その単位インパルス応答で河道系の効果を表わすことを考えよう。このとき、河道内の流れの式は、 Q を河道内流量とすると、 $\partial Q / \partial x + (1/v_0) \cdot (\partial Q / \partial t) = q$ と表わせる。ただし、 v_0 は定常横流入量 q に対する流速である。また、河道区分総数を n 、河道区分長を l とするとき、 q は線密度 $1/nl$ の時刻 0 でのインパルス入力であり、そのときの流域末端からの流出流量が単位インパルス応答 $h(t)$ である。

いま各河道区分に 1 から n までの番号がつけられているものとし、 j 番の河道区分の $h_j(t)$ に対する寄与分を $Q_j(t)$ と表わすことにすると、 $h(t) = \sum_{j=1}^n Q_j(t)$ として求められる。重要なことは $h_j(t)$ の形であるから、 $t^* = t/\beta$ 、 $Q_j^*(t^*) = \beta Q_j(t)$ 、 $h^*(t^*) = \beta h(t)$ 、 $\beta = m(l/\alpha)^{1/m} q^{(1-m)/m}$ において無次元化すると、 $Q_j^*(t^*)$ 、 $h^*(t^*)$ は、 $Q_j^*(t^*) = (m/n) \cdot (T_F^* + (k_j + 1))^{1/m} - t^*)^{m-1}$ 、 $h^*(t^*) = \sum_{j=1}^n Q_j^*(t^*)$ として求められる。ただし k_j は j 番の河道区分の上流にある河道区分の個数で、 T_F^* は j 番の河道区分末端から流域下流端までの雨水の流下時間を β で割ったものである。

以上の方法で、fig. 2 に示す河道配列の無次元化インパルス応答を $m=2$ のときに求めたものが fig. 3 である。直観的には、(a) に示す河道配列の方が非線形性による集中効果のために急激な変換を有すると考えられ、fig. 3 (a), (b) の結果、これをよく示している。

こうして、河道系の無次元化単位インパルス応答が求まれば河道配列パターン間の距離を次のように定義できる。すなわち、2 つの河道配列パターン a , b の無次元化単位インパルス応答を $h_a^*(t^*)$ 、 $h_b^*(t^*)$ とすると、それらの間の距離 $d(a, b)$ を

$$d(a, b) = \sqrt{\int_0^\infty [h_a^*(t^*) - h_b^*(t^*)]^2 dt^*} \quad \text{として定義する。もちろん } a, b \text{ が同一の河道配置数をもてば } d(a, b) = 0 \text{ である。}$$

[4] 河道配列パターン間の距離の流出計算への応用

河道配列パターン空間に距離が定義されると、それを指標として流域単位群を集中系群に変換することが可能となる。このときの流域単位群の分類は SCP (Set Covering Problem) の解法²⁾に従ってやるとよい。その具体的な方法と、この場合の追跡構造決定のアルゴリズムは講演時に述べる。

<参考文献> 1) 高柳琢馬、椎葉光晴：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第243号 2) Nicos Christofides：Graph Theory

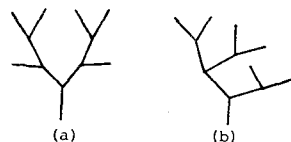


Fig. 2 Example of stream network for calculation of unit impulse response

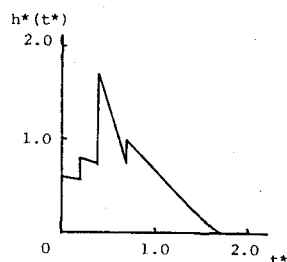


Fig. 3-(a) Nondimensional unit impulse response of stream network system shown in Fig. 2-(a)

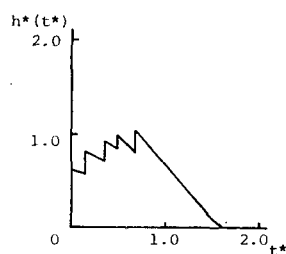


Fig. 3-(b) Nondimensional unit impulse response of stream network system shown in Fig. 2-(b)