

II-28

小流域からの流出合成に基づく
大流域の流出特性の形成

水資源開発公団 嶋田啓一
北海道大学 正員 山田 正
北海道大学 正員 藤田睦博

1. はじめに 図1は北海道留萌川流域（流域面積270km²）の河川網を示し、図2はこれより算出した集水面積図である。この図よりこの流域は本川の上流部において小流域である谷が良く発達している流域であることがわかる。本研究の目的は上記の小流域の降雨流出とこれらが合成された大流域からの洪水流出の関係を明らかにする目的で行われている。2. 洪水の集水過程 ここでは単位となる小流域からの洪水ハイドログラフを指定したとき、これらが集水、合成されて全体のハイドログラフを形成する過程を考える。このとき単位流域からのハイドログラフを $q(t)$ 、この様な単位流域が流域末端に対して遅れ時間 T_2 のところに幾つあるかを示すいわゆる集水面積の分布図を $A(T_2)$ とし、流域末端からのハイドログラフを $Q(t)$ とすると、 $Q(t)$ は(1)式で与えられる。単位流域からのハイドログラフとしては(2)式を採用する。集水面積図の関数形としてはここでは次のような2つの場合を考える。なお集水面積図と河道網理論との関係を用いた解析は前節に示されている。(1)ガンマ分布を用いた場合 $A(T)$ は(3)式で与えられる。このときには(1)式は解析的に積分され($M=N$ のとき)(4)を得る。ここに I_m は第2種変形Bessel関数である。ここで M, N 等に適当な値を代入すると図3に示すように $q(t), A(T_2), Q(t)$ は計算される。この図より流域内の単位流域からの流域最下端までの到達時間の分布が広く分布するにつれて全体のハイドログラフのピーク値は流出高で言うところの低減し、ハイドログラフの形状は集水面積図と同形のものに漸近している。一方 $A(T_2)$ が値の小さいところに集中すると全体のハイドログラフは単位斜面のそれを単にずらすように働いていることがわかる。(2)ベータ分布を用いた場合 このときには数値計算によって積分を実行した。ここで集水面積図としてベータ分布を採用した理由は図2に示すように流域末端からの小流域の面積の分布形状は右に偏ったベータ分布の形状をしているからである。図4はこのときの結果である。この図より集水面積図の中心が到達時間の小さいところに偏るか、大きいところに偏るかは全体のハイドログラフの遅れ時間に関係し、そのピーク流量の低減を左右するのは集水時間の分布の偏平度に依存していることが分かる。3. 流出計算における流域分割の効果 本節では流域の分割個数が流域最下端部のハイドログラフの再現計算に与える効果を検討した。ここでは図5に示すような主河道に沿った横斜面流域を持つ長方形のモデル流域を設定した。斜面からの流出ハイドログラ

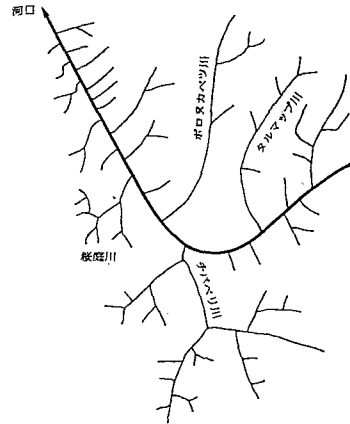


図1 留萌川の河道網の模式図

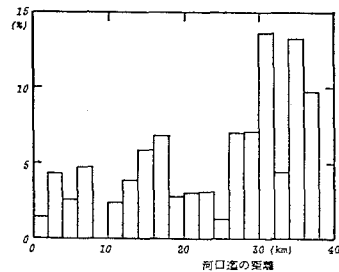


図2 留萌川流域の集中面積図

$$Q(t) = \int_0^t A(T_2) q(t - T_2) dT_2 \quad (1)$$

$$q(t) = \frac{T_1^{-1}}{\Gamma(n)} \left(\frac{t}{T_1}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{T_1}} \quad (2)$$

$$A(T_2) = \frac{\tau^{-1}}{\Gamma(m)} \left(\frac{T_2}{\tau}\right)^{m-1} e^{-\frac{T_2}{\tau}} \quad (3)$$

$$Q(t) = T_1^{-1} \left(\frac{T_1}{\tau}\right)^m \frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma(m)} \left\{ \frac{(t/T_1)}{|T_1/\tau - 1|} \right\}^{m-1/2} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t}{T_1}\right) \left(T_1/\tau + 1\right) \right] \quad (4)$$

$$I_{m-1/2} \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t}{T_1}\right) |T_1/\tau - 1| \right]$$

フの計算においては文献1)に示すものを使用している。河道については各小流域からのハイドログラフの線形和の仮定が近似的に成立することが小葉竹によって報告されている⁶⁾。そこで本研究では河道流速を一定値 V として与えた。流域分割の効果を調べるため斜面長 L_1 、河道長 L_2 とし、分割数 N だけを変化させた計算を $L_2=1, 10, 100$ (km) について行った。斜面については各分割流域の河道への流入は同じであり、流出口迄の距離に応じた時間遅れを考慮している。図6は以上の計算結果を整理してプロットしたものである。横軸は河道の到達時間 $T_2 (=L_2/V)$ と斜面の到達時間 T_1 (斜面のハイドログラフの雨量と流出のピークのずれ (t_0) の2倍) の比を取り、縦軸には河道と斜面のピーク流出高 (q_1, q_2) の比を取ったものである。ただし q_2/q_1 は T_2/T_1 の他に T_1 の値をパラメータとするため図中には $T_1=30, 150$ (min) の2通りの場合についてのみ記入している。図より分割しない場合がピーク比1であることを考慮すれば、分割個数の影響は明確には現れていない。しかし T_1 と T_2 が既知のときピーク流出高に対して斜面流出と流域末端部での流量の関係を示しており、その実用性は極めて高いと考えられる。

2.5 大流域と小流域における洪水ハイドログラフの関係 kinematic wave 法の基礎方程式に特性曲線法を適用すれば理論的に洪水到達時間 t_c やピーク流量 q_p が得られることが示されている。特に降雨波形が理想的な二等辺三角形でかつ線形流出を仮定すると洪水到達時間 t_c とピーク流量 q_p は

$$t_c = \frac{n}{i^p} L_1 \quad (5) \quad q_p = r_p L \left(1 - \frac{T_c}{2T_0}\right) \quad (6)$$

で表される。ここで降雨に対する流出波形を近似的に二等辺三角形で表されるとすると、斜面下流端での流出量を河道に対する降雨と見なして斜面流と同様に計算することができる。図7は本理論の模式図である。以上の手法にしたがって図6中に理論曲線を記入している。おわりに この一連の解析から小流域からの洪水ハイドログラフの精度と河道部における洪水の流速の算定が全体のハイドログラフの精度に敏感に働いていることが分かった。謝辞 本研究を遂行するに当たり著者らは文部省科学研究費 重点研究(1)及び一般研究C (代表山田 正)の補助を受けている。ここに記して感謝の意を表す。参考文献 1)嶋田・山田・藤田、第33回水理講演会論文集、1989。 2)嶋田・山田・藤田・洪、第32回水理講演会論文集、1988。 3)嶋田・山田・藤田・浅野、土木学会第43回年次学術講演会概要集 第2部、1988。 4)藤田、土木学会論文報告集、Vol. 246、1976。 5)山田・石井・山崎・岩谷、第29回水理講演会論文集、1985。 6)小葉竹・石原、土木学会論文報告集、Vol. 337、1983。 7)神田・前田、第30回水理講演会論文集、1986。

