

筑後川の流域解析について

九州大学 学生員 北島 清仁

〇竹石 和夫

1. まえがき

洪水流出の解析に於いて最も水文学的な方法は、活性層を考慮した特性曲線法である。同法は流域を適当な単位流域に分割し、山腹斜面と河道との組み合わせに於いて雨水を合成していくものであるが、普通用いられている単位流域は数 km² に及び斜面長をもつことが多く、このような山腹斜面から雨水が一様に河道へ流入するという仮定は妥当ではない。実際、多くの計算結果によって、同法に於いて最も重要な役割をもっている山腹の粗度係数 N の値は分割された流域の大きさに関係している。このような難点をさける為に、上田教授は河川の樹枝状構造の概念を導入しているが、ここでは Horton, Langbein, Strahler¹⁾, 高村²⁾, 岸³⁾ などによって研究されてきた河道位数の手法を適用して、流域を組織化することを試みる。本文は筑後川上流、枕立川(流域面積 307 km²)を対象とし、 $1/50000$ 地形図に基いて山岳部細流まで位数分類を行ない、分岐比、流路長、流域面積などの特性量について調べ、同時に流出解析に妥当であり、かつ簡便な流域の system 化を行なったものである。

2. 枕立川上流の流域特性

Horton が定義した河道の order は最上流の位数を 1 とし、2 つの位数 1 の河川の合流によって位数 2 の河川になるというように、同一位数 u の 2 つの河道が合流して作られる河道を位数 $(u+1)$ とするものである。Horton 以来の流路網に関する定量形態学によると、位数 u の河道数を N_u とし、次の 4 つの地形則が成立することが経験的に知られている。

$$(a) \text{ 河道数則 } R_b = N_u / N_{u+1} \quad N_u = R_b^{u-1} \quad (1)$$

$$(b) \text{ 河道長則 } R_L = \bar{L}_{u+1} / \bar{L}_u \quad \bar{L}_u = \bar{L}_1 R_L^{u-1} \quad (2)$$

$$(c) \text{ 集水面積則 } R_F = \bar{F}_{u+1} / \bar{F}_u \quad \bar{F}_u = \bar{F}_1 R_F^{u-1} \quad (3)$$

$$(d) \text{ 河道勾配則 } R_S = \bar{S}_u / \bar{S}_{u+1} \quad \bar{S}_u = \bar{S}_1 R_S^{u-1} \quad (4)$$

ここに、 N_u は位数 u の河道数、 $\bar{L}_u$ 、 $\bar{F}_u$ 、 $\bar{S}_u$ はそれぞれ位数 u の河道の平均的な長さ(部分長)、集水面積、河道勾配をあらわす。 $\bar{S}_1$ は流域最下流河道の位数である。また、 R_b 、 R_L 、 R_F 、 R_S は分岐比、河道長比、集水面積比、河道勾配比とよばれる。一流域については、すべての位数についてはほぼ一様な値をとるといわれている。洪水流出については上記法則の他に、河道 u の直接流域面積(部分長のもつ) A_u 、流域斜面長 $\bar{L}_u = 1/2 \cdot \bar{A}_u / \bar{L}_u$ 、斜面勾配 $\bar{S}_u$ についての知識をも必要とするので、枕立川 (order $S=5$) について一括表示すると表-1 及び図-1 のようである。すなわち、order ④ である志賀瀬川、馬場川合流点 A と order ⑤ である津江川合流点 B の間が order ⑤ の河道を形成し、B 点を流れる洪水流量 $Q_{S(5)}$ は上流よりの mode を形成する 2 つの $Q_{S(4)}$ 、途中より流入する 4 個の $Q_{S(4)}$ 、低位の流入量

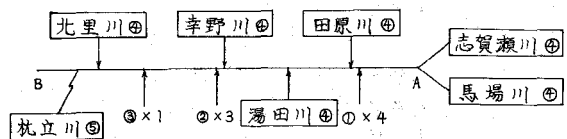
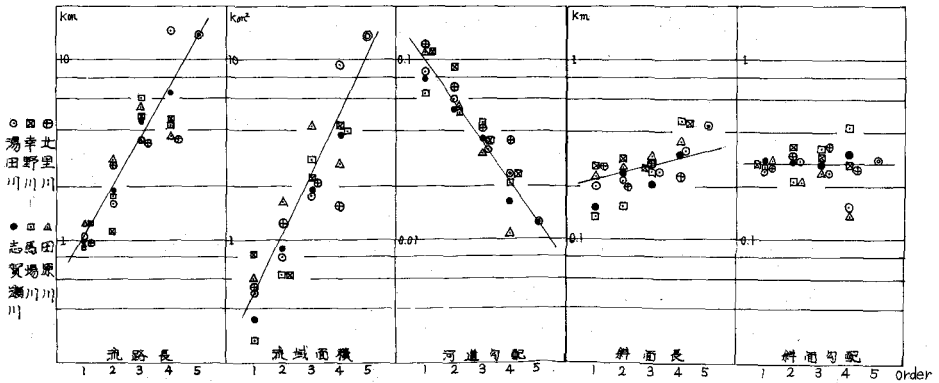


図-1

図 - 2



平均的にはそれぞれ $R_a=2.1$, $R_b=1.90$, $R_c=1.64$, $R_d=1.17$, $R_e=1.0$ である。また、この流域では実用上斜面長、斜面勾配は位数に無関係に一定とみなすことができるのが一つの特徴であって、これは流出計算を非常に簡易化するものである。なお、分岐比則、河道長則が成立すると n を最大位数として、周知の式、

$$\text{位数 } u \text{ の河道の延長 ; } \sum L_u = L_1 R_b^{n-u} R_d^{u-1} \quad (5)$$

$$\text{総延長 ; } \sum \sum L_u = L_1 R_b^{n-1} \frac{(R_c/R_b)^n - 1}{(R_c/R_b) - 1} \quad (6)$$

が成立する。就立川 ($n=5$) について上式と実測値と比較したものが表-2である。また流域面積 A_u についても上と同様な式が成立するが $F = \sum \sum A_u$ の計算値 291.63 km^2 に対して、実測値は 309.48 km^2 である。表-2のように、流路長は各位ともかなりよく一致しており、総延長における違いは約 4.5% である。

表-2 流路長 (km)

u	1	2	3	4	5	総延長
計算値	333.26	146.33	79.61	43.62	16.80	619.62
実測値	323.83	139.37	75.30	37.80		593.10

3. 合流則

一般に u 位の河川数を N_u とし、そのうち i 位 ($i > u$) の河川に流入する数を iN_u とすると、 $\sum iN_u = N_u$ の関係と、河道が平衡状態に達し河道配置が random である条件 $iN_u / (i-1)N_u = R_b$ から、既に岸らが導いている関係式、

$$iN_u = \left(\frac{1}{R_b} \right)^{i-u-1} \frac{1 - (1/R_b)}{1 - (1/R_b)^{n-u}} N_u \quad (7)$$

が得られる。(7)式と実測値を比較したものを表-3に示した。

表-3 流入河道数

u	N_u		1	2	3	4
1	308	実測値	246	48	9	5
		計算値	236	55.0	12.7	2.9
2	71	実測値	—	56	12	3
		計算値	—	54.5	12.6	2.9
3	17	実測値	—	—	16	1
		計算値	—	—	13.1	3.1
4	6	実測値	—	—	—	6
		計算値	—	—	—	4.6

表-3でみると1位から5位に、3位から4位5位に、4位から5位に流入する個数は、頻度が少ない事も原因してかなり異なっているが、その他の合流個数はかなり良く一致している。

なお、合流則がきまると、order i の河道流入の平均的な形態が次式により求められる。

$\sum_{u=1}^n q_u(t)$ 及び延長 L にわたり斜面長 L_u の直接流域より流入する斜面よりの流入量 $q_u(t)$ を適当な時間遅れを考へて合成したものである。

流域	位数 u	N_u	L_u km	$\bar{A}_u$ km ²	$\bar{S}_u$	$\bar{L}_u$	$\overline{\tan \theta}_u$	$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$	河川形状		
									(2)	(3)	(4)
志賀瀬川	1	73	0.98	0.351	0.078	0.16	0.283	4.30			
	2	17	1.93	0.887	0.054	0.24	0.281				
	3	4	4.50	1.940	0.037	0.21	0.266				
	4	1	6.40	3.790	0.017	0.30	0.300				
馬場川	1	32	0.91	0.271	0.064	0.14	0.273	4.00			
	2	8	1.83	0.630	0.050	0.16	0.213				
	3	2	6.05	2.860	0.045	0.24	0.325				
	4	1	4.30	3.960	0.021	0.46	0.421				
田原川	1	38	1.28	0.577	0.113	0.23	0.230	4.75			
	2	8	2.81	1.713	0.056	0.26	0.207				
	3	2	5.40	4.220	0.030	0.29	0.240				
	4	1	3.80	2.680	0.011	0.35	0.146				
湯田川	1	76	1.07	0.477	0.086	0.20	0.254	4.75			
	2	17	1.71	0.800	0.060	0.22	0.286				
	3	4	3.60	1.865	0.032	0.24	0.235				
	4	1	15.00	9.330	0.023	0.31	0.167				
幸野川	1	21	1.29	0.822	0.115	0.26	0.273	3.00			
	2	7	1.16	0.637	0.091	0.28	0.328				
	3	2	4.75	2.350	0.036	0.25	0.282				
	4	1	4.70	4.220	0.023	0.45	0.165				
北里川	1	48	0.77	0.543	0.125	0.26	0.275	5.33			
	2	9	2.68	1.282	0.067	0.20	0.297				
	3	3	3.43	2.183	0.042	0.27	0.331				
	4	1	3.60	1.630	0.036	0.23	0.250				

表 - 1 order ④ の流域の特性

表 - 1 には各流域についての分岐比 $R_b = N_u / N_{u+1}$ の値も示されている。3 位流域までの R_b は order の増加とともに若干減少する傾向がみられるが、ほぼ一様な値をとり $R_b = 4.3$ の程度であって、(1) の関係が成立している。一般に平衡状態に達した河道に就いては $R_b = 4$ が期待されるから枕立川支流の河道配列は定常状態に近いものと思われる。

図 - 2 では直接流域面積 $\bar{A}_u$ 、流路長 $\bar{L}_u$ 、河道勾配 $\bar{S}_u$ 、斜面長 $\bar{L}_u$ 、斜面勾配 $\overline{\tan \theta}_u$ と位数 u との関係と片対数紙上にプロットしたもので、(2)、(4) の関係が成立していること、及び $\bar{A}_u$ 、 $\bar{L}_u$ 、 $\overline{\tan \theta}_u$ についても同様な式形が成立している事がわかる。また、比の大きさは R_a 、 R_L 、 R_S 、 R_L 、 R_S の順であって、

$$\frac{\sum_{i=1}^n i N_u}{N_i} = \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{R_b} \right)^{i-u-1} \frac{1 - (1/R_b)}{1 - (1/R_b)^{n-u}} N_u \quad (8)$$

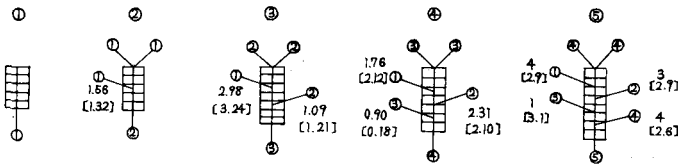
$$= \sum_{i=1}^n R_b \frac{1 - (1/R_b)}{1 - (1/R_b)^{n-u}} \quad (9)$$

(8)式による結果は図-3に〔 〕で示してある。

4. 流域モデルの設定

位数⑤である秋立川の流出計算を厳密に行なうためには、⑤に流入する6個の位数④の各支川について、表-1に示した平均値及び河道配列を用い、オ1位、オ2位……の計算を順次実行して4位の $Q_u(u)$ などを求め、図-1に従って合成すればよい。この計算は電算によって処理すればそれ程困難とは思えないが、活性層を考慮した特性曲線法では流域パラメーターとして、活性層の厚さ、透水係数、斜面粗度係数、各orderの河道係数など多くのパラメーターを含むので、計算の簡便化及び流出機構を解明するためには適当な平均化、システム化がなされなければならない。一方、既にみてきたように、この流域の河道はほぼ同一の地形則、分岐比則に従っているので、図-2に示すように統計的なモデルを設定することもできる。しかし、実際河川では高位の河川例に於いて、統計モデルからかなり大きく偏るので、ここでは河道の配置条件として現実のものの平均値ととり入れる。また、 $\bar{A}_u$ 、 $\bar{L}_u$ 、 $\bar{S}_u$ などは流域によって異なるが、ほぼ同一の河道則に従う流域においては平均値で代表されるものとする。但し、この場合流域面積が最も重要であるので、流域面積 F_u の重みをつけた平均値を用いる事にする。このようにして作られた流域モデルは図-3で、 $\bar{A}_u$ 、 $\bar{L}_u$ などは表-4のようである。

図-3 流域モデル



〔 〕内の数字は統計モデルの河川数、〔 〕ナシは配置を考慮した河川数

なお、図-3のmodelによるorder 5末端部までの流域面積は292 km^2 で実際の流域面積309 km^2 に比べて約5.7%小さい。この誤差に対する修正の便法として、図-3による計算流量を1.057倍することが考えられる。

あわりに、この研究は橋教授の指導のもとにおこなわれ、今後、流出解析法とともに他流域にも拡張、実施する予定である。

表-4 流域モデルの平均値

u	$\bar{A}_u$	$\bar{L}_u$	$\bar{S}_u$	$\bar{L}_u \sec \theta_u$
1	0.512	1.082	0.077	0.220
2	1.028	2.061	0.062	0.236
3	2.494	4.423	0.036	0.257
4	4.678	7.270	0.022	0.338