

地形因子の効果に関する研究（その1）

岐阜大学 土木工学科 教授 増田 重臣
" 院生 ○ 久保田 稔
" 学生 中谷 芳孝

はじめに

この研究は降雨一流出過程において、いわゆる遷移領域と見なし得る地形のうちどのような地形因子が流出に影響を及ぼしているかを調べ、降雨一流出過程にその地形因子の影響を加え、より良く流出過程を理解する目的で始めた研究の第1報である。

ここではまず、多重回帰分析を使用し、ピーク比流量および流出率に影響を及ぼしている地形因子を見出すことを主目的にしたため、できる限り多くの地形因子を使用した。

1) ピーク比流量および流出率にどのような地形因子が影響を及ぼしているかを調べるために流域面積250 km²以下の流域において、それぞれ5万分の1の地図より地形因子を読み取り、またピーク比流量および流出率はティーン分割法により連続降水量が100 mm前後と200 mm以上に対応する時間流量からそれぞれの値を読み取った。

なお、基底流分離にはハイドログラフの立上り点と変曲点とを直線で結ぶこととした。使用した流域はく表1>を参照。

2) ピーク比流量および流出率への地形因子による影響を調べるためには、河道密度 N_w / A はそれぞれの流域における侵食の程度を表わしていると考えられるから、同一オーダーで、河道密度 N_w / A の直線が同じグループに入る流域を使用することにした。

それぞれの流域の $N_w / A - W$ 直線をかくとく図1>のようになり、それぞれの流域は同一のグループに属しているとみなせるからく表1>を使用した。

3) 各地形因子の計測について く表2>は各地形因子の値をしめす。

谷密度：谷としては谷津氏の「谷の幅が谷のわん入の長さより小さなるものを全て谷とする。」という定義にしたがい

$$\text{谷密度} = \frac{\sum L}{A}$$

$\sum L$: 谷の総延長
 A : 流域面積

起伏比：本流の長さで平均高度を除いたものとした。

山腹斜面長：それぞれのオーダーでの河道延長でそれに対応する流域面積を除した。

$$L_w = \frac{A \cdot w}{2 L_o \cdot w}$$

ビフケイションレイト：各オーダーの水路数 N_w の対数（縦軸）とオーダー W （横軸）との間の

$$\text{図1式} \quad \log N_w = a - b W \quad \text{より}$$

$$\text{ビフケイションレイト} \quad r_b = \log^{-1} b \quad \text{として求めた。}$$

表 1, 使用した流域

流域名	河川名	流域面積 km ²	河川の 最大変数
長 横	指斐川—根尾川	1635	5
川 上	木曾川—飛騨川	760	5
五 加	木曾川—白 川	151.3	5
一之宿	木曾川—益田川	71.3	5
沢	木曾川—森野川	899	5
彌師原	神通川—野濃川	26.4	5
西 村	木曾川—森野川	158.5	5
奥平沢	片貝川—片貝川	88.5	5
蘭	木曾川—蘭川	43.5	5
折敷地	神通川—荒城川	31.6	5
剣	長良川—上保川	236.5	5
下津原	長良川—吉田川	118.2	5
羽 入	小 川—小 川	43.3	5
大 洞	木曾川—益田川	57.1	5

表 2, 各流域の地形因子

流域名	流域面積(A)	平均幅員(B)	形状係数(F)	周囲長(R)	平均高差(H)	集中度	起伏比
長 横	163.5 km ²	7.71 km	0.364	67.2 km	705 m	0.6743	0.0333
川 上	82.8	5.75	0.399	49.0	1081	0.6583	0.0751
五 加	151.3	5.31	0.186	66.1	784	0.6595	0.0275
一之宿	71.3	4.35	0.265	48.6	1347	0.6160	0.0821
沢	89.9	6.42	0.459	52.1	629	0.6450	0.0449
彌師原	26.4	2.69	0.275	23.3	985	0.7820	0.1005
西 村	158.5	4.06	0.104	77.4	986	0.5760	0.0253
奥平沢	88.4	5.70	0.368	41.5	1140	0.8030	0.0735
蘭	43.5	4.10	0.387	35.2	1174	0.6642	0.1108
折敷地	31.6	2.47	0.193	26.9	1206	0.7410	0.0942
剣	236.6	7.86	0.261	75.8	827	0.7193	0.0275
下津原	122.0	5.57	0.254	50.1	882	0.7813	0.0403
羽 入	44.2	4.70	0.500	27.8	700	0.8470	0.0745
大 洞	57.4	5.74	0.574	31.8	1159	0.8445	0.1159

流域名	インテグラル	Lw1	Lw2	Lw3	Lw4	Lw5	ピクノメトリク	谷密度
長 横	33.1	6.381	5.235	6.341	7.876	9.257	4.160	1.695
川 上	39.5	7.184	5.763	5.392	7.517	7.604	4.167	1.758
五 加	26.3	4.620	4.272	7.265	11.594	7.647	4.123	2.224
一之宿	21.3	5.423	5.721	6.581	7.579	7.500	3.651	2.105
沢	31.8	4.820	3.577	4.799	6.025	7.556	4.058	2.512
彌師原	49.6	4.243	2.649	4.839	5.263	5.952	3.163	2.830
西 村	43.1	6.688	4.014	4.797	6.799	8.675	4.236	2.044
奥平沢	41.6	6.172	5.000	8.239	8.984	8.441	3.500	1.777
蘭	36.0	4.526	7.619	5.273	3.472	6.667	3.210	2.487
折敷地	55.8	3.808	3.039	3.595	4.759	4.464	3.266	2.930
剣	36.8	5.445	5.981	6.395	11.621	9.751	4.431	1.905
下津原	39.7	4.838	4.292	5.357	7.591	7.609	4.123	2.441
羽 入	41.9	5.665	4.075	6.651	6.628	7.576	3.186	1.977
大 洞	43.5	4.628	4.375	6.744	5.106	12.500	3.590	2.526

インティグラル：相対面積を（横軸）に、相対高度を（縦軸）に取り、相対高度 Y の相対面積 X に関する連続関数のプロットをパーセンティジヒプソメトリック曲線といい、Strahler はヒプソメトリック曲線形を

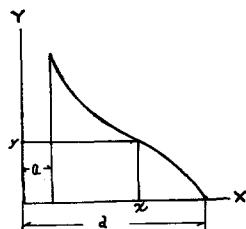
$$y = \left\{ \frac{d-x}{x} \cdot \frac{a}{d-a} \right\}^z \text{ と定め}$$

パーセンティジヒプソメトリック曲線においては

$$R = (x-a) / (d-a) \quad (0 < R < 1)$$

$$r = a/d \text{ として}$$

$$y = \left[\frac{r}{1-r} \right]^z \left[\frac{1}{(1-r) + r - 1} - 1 \right]^z \text{ を導いた。}$$



インティグラルとはヒプソメトリック曲線と横軸・縦軸で囲まれた面積の相対的割合をいう。代表的な流域のヒプソメトリック曲線をく図2>にします。

4) 解析方法

最良回帰方程式を選定する手法には

- ①全ての可能な回帰式の検討 ②後退消去法 ③前進選定法 ④段階的回帰法
⑤段階的回帰法

など、種々の方法があるが、この場合には段階的回帰法 (stepwise regression procedure) に従って行なつた。

この方法は、ある変数を回帰式に導入した場合、前の段階で導入された変数が最良であつても、その時に回帰式に導入されている他の変数との関連性のために役に立たないものになってしまうことがあり、その場合各変数の寄与の程度を判断し、有意でない程度の寄与しかもたらないような変数は回帰式から除去される。

このようにして導入すべき変数が無くなるまで演算が続けられる。

5) 解析データ

①ピーク比流量 <表3> <表4>

②流出率 <表5> <表6>

表3, 連続降水量 100mm の場合

流域名	観測値
剣	1.38
西村	146.097.081.049
沢	0.59
長瀬	0.34.047.018
一之宿	0.89.040
大洞	0.56
下津原	0.27
羽入	0.50
折敷地	1.19

表4, 連続降水量 200mm 以上の場合

流域名	観測値
西村	0.68.130
沢	2.31
長瀬	0.68
一之宿	0.90
羽入	0.93
折敷地	1.50
五加	3.64.579

表 5, 連続降水量 100 mm の場合

流域名	観測値
西村	0.554 0.364 0.162 0.376
長瀬	0.237 0.274
一之宿	0.284 0.852
大洞	0.201
下津原	0.146
折敷地	0.252

表 6, 連続降水量 200 mm 以上の場合

流域名	観測値
沢	0.264
一之宿	0.244
折敷地	0.309
五加	0.336 0.402

6) 解析結果

イ) ピーク比流量について

○ $r \neq 100$ mm において重回帰分析を行なった結果、

$$\hat{Y} = 0.24140 - 0.74955 \log F$$

$$\hat{Y} : r \neq 100 \text{ mm でのピーク比流量}$$

F : 形状係数

なる回帰式を得た。そして上式の多重相関係数 R は

$$R = 0.24137$$

とはなはだ悪いので、残差をプロットしてみると、残差にある傾向が存在しているから、観測値 y を対数変換した値を使用して、再び解析すると、

$$\log \hat{Y} = 5.53400 + 0.03142 R - 8.63044 \log B + 4.74195 \log F$$

$$\hat{Y} : \text{降水量 } r \neq 100 \text{ mm でのピーク比流量}$$

R : 周囲長

$B : A / L_0$ 流域平均幅員

F : 形状係数 A / L_0^2

従つて、上式は

$$\hat{Y} = C \cdot \frac{B^{8.630}}{F^{4.74195}} \cdot e^{0.03142 R} \quad \text{但し} \quad e^{5.53400} = C \cdot (\text{const})$$

と置いている。

となり、この時の多重相関係数は $R = 0.6705$ となつた。

この時の残差を検討した結果、残差にある傾向が存在するとは認められなかつた。

○ $r \geq 200$ mm において重回帰分析を行なった結果、

$$\hat{Y} = 3.97784 - 0.11222 B - 0.21494 L_{w1}$$

の回帰直線を得る。その多重相関係数 R は

L_{w1} : オーダー 1 の山腹斜面長

$$R = 0.84649 \quad \text{であつた。}$$

残差の検討を行なった結果、この場合は著しい傾向が残差に含まれているとは考えられないため、上式を採用することにした。

以上、ピーク比流量に対するそれぞれの降水量における地形因子との重回帰式は、

結局

$$r \neq 100 \text{ mm の時} \quad \hat{Y} = C \cdot \frac{B^{8.630}}{P^{4.74195}} \cdot e^{0.03142 R}$$

$$C = e^{5.534} \quad = C \cdot \frac{A^{3.888}}{L_0^{12.518}} \cdot e^{0.0314 R}$$

多重相関係数 $R = 0,6705$

$$r \geq 200 \text{ mm の時} \quad \hat{Y} = 3,97784 - 0,11222 B - 0,21494 L_{0.1}$$

多重相関係数 $R = 0,84649$

上2式により、連続降雨量が100 mm以下の場合には、流出において非線形性が強く、連続降雨量が200 mm以上の場合には線形性が強く表われるように思われる。

ロ) 流出率について

○ $r \neq 100 \text{ mm}$ について重回帰分析を行なった結果、

$$\hat{Y} = e^{0.65196} \cdot e^{-2.08534 R + 3.61365 R}$$

$\hat{Y}$: 流出率

P : 集中度

R : 起伏比

この時の多重相関係数は、 $R = 0,46042$ である。

○ $r \geq 200 \text{ mm}$ において重回帰分析を行なった結果、

$$\hat{Y} = e^{-0.67540} \cdot e^{0.00293 I + 0.00074 D}$$

$\hat{Y}$: 流出率

I : インティグラル

D : 谷密度

であり、この時の多重相関係数は $R = 0,89697$ であつた。

流出率と地形因子の関係の場合、重回帰分析に使用したデータ数が少なかつたため、単に多重相関係数を大きくする式を探すことを目的とした。

従つて流出率の場合は

$$r \neq 100 \text{ mm の時} \quad \hat{Y} = e^{0.65196} \cdot e^{-2.08534 P + 3.61365 R}$$

多重相関係数 $R = 0,46042$

$$r \geq 200 \text{ mm の時} \quad \hat{Y} = e^{-0.67540} \cdot e^{0.00293 I + 0.00074 D}$$

多重相関係数 $R = 0,89697$

である。

結論

- 1, ピーク比流量および流出率の両者については、降雨量が大きくなると、それぞれの多重相関係数は地形因子に大きく影響されている。
- 2, ピーク比流量については、100 mm以下のとき、流出において非線形性が強く、連続降雨量が200 mm以上のとき、線形性が強く表われているようである。

最後に、データーの絶対数が少なく、また一地方に偏っているが、今後はデーター数を増し、流出に影響を及ぼすと思われる他の因子（降雨ピークと流出ピークのずれ、降雨継続時間、ハイドログラフの形、他の定義による起伏比等）も加えて、重回帰分析を行ない、流出を研究していきたいと考えている。

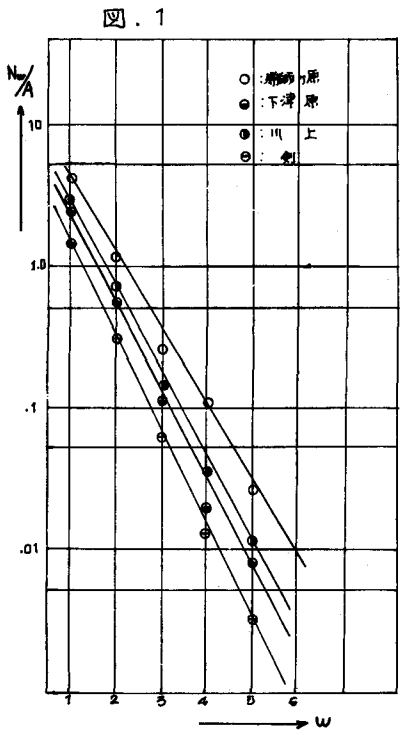
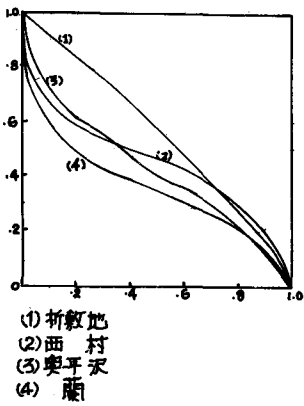
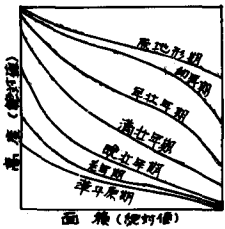


図2 <ヒフソマトリック曲線>



<参考図>



参考文献

- 1, "洪水比流量と流域条件との関係", 中野他 日本林学会大会講演集 1964年第75回
- 2, "洪水流出に及ぼす地形効果について", 長尾 京大防災研年報第9号 (S41)
- 3, "山地に於ける砂石の生産に関する研究", 村野 土木研究所報告第114号
- 4, "応用回帰分析", 中村訳
- 5, "Mathematical methods for digital computers", Vol 1
Anthony Ralston 他 John Wiley