

桜島黒神川(第1・第2)は斜面長が約3000m, 斜面勾配約20°で全流域にわたって降下軽石層で形成され、高密度のかりによる流路網が発達している。一方、下流部は扇状地として堆積し、その土砂流出は降雨にともなう土石流の形態で頻発し、

Table 1にみられるように両河川で、1974年10月から1976年9月の間に約 $1.6 \times 10^6 m^3$ に達しており、社会的に問題になっている。¹⁾

Table 1. Outflow of debris in Sakurajima

River name	Basin area A (km ²)	Rate of debris (m ³ /km ² /year)	
		Feb. 1971-Oct. 1974	Oct. 1974-Sep. 1976
Kurokami River-1	1.63	135,600	286,000
Kurokami River-2	5.25	53,000	91,500

このような裸地斜面からの土砂流出量の予測は、まず、流路網の発達過程を明らかにする必要があり、ここでは計量地形学の手法を用い、地形解析を行なってみることにする。使用した $1/2500$ の地形図は、1974年10月に建設省大隅工事事務所により航空写真撮影し、図化したものである。流域には、ほとんど植生はみられず、地形則の検討には十分な精度が得られたと考えている。

さて、流路網の形成は、自然発生的でその支川流の合流過程はTopology的にてためな法則に従っていると考えることができよう。いま、てためな尺度としてEntropyの概念を導入すると²⁾、一般に、情報量に対して次式で定義される量がEntropyとなる。(Entropy) = (定数) $\times \log$ (情報量) ——— (1)

Horton-Strahlerの方法³⁾により、各流路の位数分けを行ってある。いま、Entropyとして流路位数 u を採り、そのときの情報量として流路数 N_u 、平均流路長 L_u を並び、定数をそれぞれ C_1 、 C_2 とおき、常用対数を用いれば、次式となる。 $u = C_1 \cdot \log_{10} N_u$ ——— (2) $u = C_2 \cdot \log_{10} L_u$ ——— (3)

1. 流路数則と流路長則

式(2)を最上流流路 $u=1$ の流路数 N_1 で基準化すると、

$$\log_{10} (N_u / N_1) = (u-1) / C_1 \quad \text{————— (4)}$$

Fig. 1から、 $1/C_1 = -\log_{10} 4 = -0.602$ 、即ち、 $C_1 = -1.661$ となる。

従って、 $\frac{N_u}{N_1} = \left(\frac{1}{4}\right)^{u-1}$ 、 $u \geq 1$ ——— (5)

これは、いわゆる流路数に対して $1/4$ 則が成立していることを示している。

流路網のうち下流域では扇状地からの背砂の影響があり、とくに流路長に対して大きいことが予想される。そこで、最下流流路 $u=S$ の流路数 N_S 、流路長 L_S を用いて、改めて、式(2)、(3)を基準化すると、それぞれ、 $S = C_1 \cdot \log_{10} N_S$ 、 $S = C_2 \cdot \log_{10} L_S$ となる。両者から、 S を消去すると、

$$E_0 = \frac{-\log_{10} \frac{L_u}{L_S}}{\log_{10} \frac{N_u}{N_S}} = \frac{-C_1}{C_2} \quad \text{————— (6)}$$

Fig. 2は、 E_0 の実測値を示したもので、 $u=S$ を除けば、 $E_0 \approx 0.45$ となっている。流路数則では、 $C_1 = -1.661$ であるから、 $C_2 = 3.691$ となる。いま、 $1/C_2 = \log_{10} 1.866 \equiv \log_{10} \lambda_S$ とおくと、

$$\frac{L_u}{L_1} = \lambda_S^{u-1} \quad , \quad u \geq 1 \quad \text{————— (7)}$$

従って、流路長則も、最下流部を除き、ほぼ成立していることがわかる。

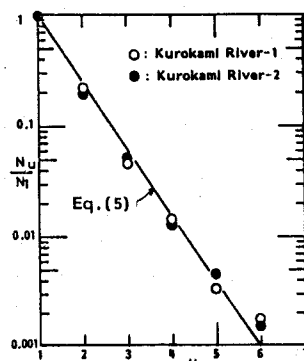


Fig. 1 Law of stream numbers

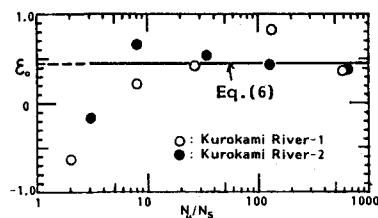


Fig. 2 Law of stream length

2. 流路数の流域内分布

式(5), (7)は, N_u , L_u が等比級数的に変化していることを示している。従って, 流路数 N_u の総和は級数和として求められ, $S \rightarrow \infty$ のときには

$$\sum_{u=1}^S N_u = \frac{1 - (\frac{1}{\lambda_s})^S}{1 - \frac{1}{\lambda_s}} N_1 = \frac{\lambda_s}{\lambda_s - 1} N_1 \quad (8)$$

一方, 流路長 L_u は, 最上流の分水嶺を $x=0$, 斜面に沿って下流端を $x=L$ とくと, その間で等比級数的に分布することが予想される。然し, L の値は地形図の精度に強く左右される。そこで, $u=0$ における L_0 を考えると, これは, $x=0$ から L に至る平均流路長となる。この L_0 も, 式(7)の流路長則に従うものと考えれば,

$$L = \sum_{u=1}^S L_u = \frac{1 - \lambda_s^{S+1}}{\lambda_s(1 - \lambda_s)} L_1 \quad (9)$$

Fig. 3における数値は, 式(8), (9)の関係が S をParameterとして持っていることを示している。従って, 流路数の値をみると, $S=\infty$ では多くなるから, Entropyの法則が成立するのは, $S > 4$ の場合であることがわかる。

さて, 最下流流路 $u=S$ においては, $N_u=1$ であるから, 式(5)から L_u/L が決定される。従って, 再び式(5), (7)を用いると, 任意の u に対応して N_u/N_S と $L_u/L = x/L = \xi$ の関係が離散的に計算することができ, Fig. 3の計算曲線は黒神川の実測値($S=6$)とほぼ対応し, 下流域で離散化誤差が生じていることがわかる。そこで, 両対数線に N_u/N_S と ξ の関係をプロットすると, Fig. 4のようになる。最下流流路では境界条件として, $\xi=1$ で $N_u=N_S$ とおけば, $S=6$ の場合は $\lambda_s=1.866$ を用いた直線は

$$\frac{N}{N_S} = \xi^{-\lambda_s} \quad (10)$$

となる。実測値は式(10)とよく対応しており, $S=10 \approx \infty$ の場合には, $\lambda_s=2.0$ に漸近するようである。また, 通常 $N_u=1$ であるから, $\lambda_s = -\log N / \log \xi$ は, N と ξ のEntropy比を表わしている。即ち, 流路網は下流に行くにつれて, 流路数 N は負のEntropyを持ちながらためさを失い, 下流端の影響を強く受けるようになる。

3. まとめ

従来, Horton-Strahlerの河道位数の概念はTopology的にためめという領域にとどまっていた。然し, 実測値との統合の結果, $S > 4$ の領域においては, Entropy比 λ_s を用いることにより, 場所的に流路数 N を一義的に決定できることがわかった。謝辞: 本研究をすすめるにあたっては, 九州大学平野宗夫教授に有益な御教示を頂いた。また, 地形図の解析には, 農林水産省林業試験場 岩元賢次と専研生であった迫田男君の労力に負う所が大であり, ここに謝意を表する。参考文献: 1) 椿・平野・岩元・椋島の山腹崩壊と流出土砂量について, 昭和51年6月豪雨による鹿児島県の土砂および土石流災害に関する調査研究報告。(1977) 2) 堀 淳一: エントロピーとは何か, 講談社, (1979) 3) 高山茂美, 河川地形, 共立出版 (1974)

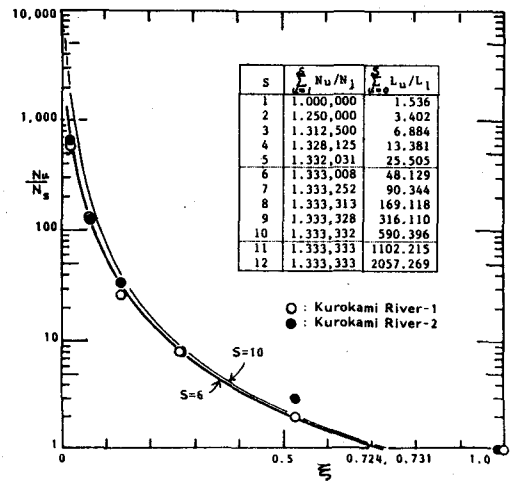


Fig. 3 Distribution of stream numbers in the river basin

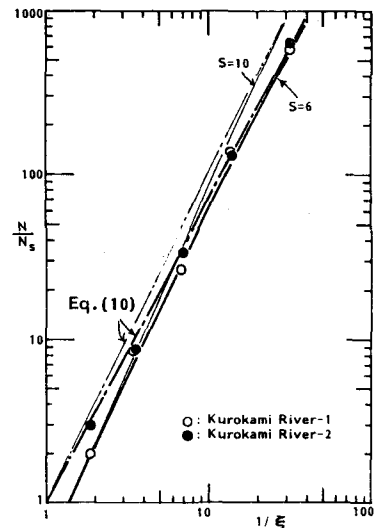


Fig. 4 Eq. (10)