

1. まえがき 河道網系における洪水の形成過程の一般理論を確立するには複雑な河域の地形構造に内在する普遍的な統計的特性を明らかにすることと一つの要件と考えられる。本報告は、河道網の最小構成単位であるという意味で重要と考えられる枝路(link)に関する平面量(長さ, 付随面積等)の分布特性に注目し、滋賀県大戸川上流域(約90 km²)で計測した結果について、他の若干の報告資料と対比しながら、主に各量のおてはまる分布関数を探るとともに、Weibull確率紙によって枝路の形成過程の確率的特性を検討してみたものである。

2. 大戸川上流域における計測と解析

i) 水源の定義と計測法: 計測

は1/50000の地形図によることにした。いつも問題となる水源(外部枝路の始点)の定義として、客観性を重視して、最近Shreveが試みた外部枝路の勾配の上限を0.2とする方法を模倣した。当該地形図では等高線間隔が20 mだから外部枝路長の下限を100 mとしたわけである。図-1はこの定義に基づいて得たもので、その全ての外部・内部枝路の長さ, 付随面積の計測はグラフペンデータ解析システムという比較的精度の高い装置を用いて行った。

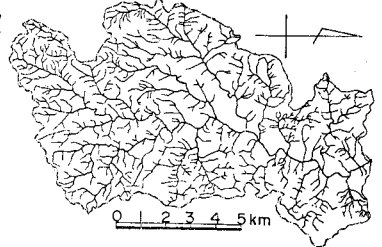


図-1. 大戸川上流域の河道網

ii) 長さ l_e と付随面積 a_e の相関解析: 図-2は外部枝路(543)について、長さ l_e (km)と付随面積 a_e (km²)の関係を両対数紙上にプロットしたもので、 $\log l_e$ と $\log a_e$ の相関係数は0.735, $\log l_e$ の $\log a_e$ に対する回帰線(実線), その逆のもの(破線)はそれぞれ(1), (2)式のようになった。なお、前述のように l_e の下限を0.1 kmとしたため、 a_e の下限は0.01 km²程度と

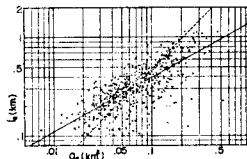


図-2. $\log l_e$ と $\log a_e$ の関係

なっている。 $\log l_e = 0.546 \log a_e + 0.133 \dots (1)$, $\log a_e = 0.990 \log l_e - 0.673 \dots (2)$ 。

図-3は内部枝路(542)の長さ l_i (km)と付随面積 a_i (km²)について同様の関係を示したもので、相関係数は0.838, $\log l_i$ の $\log a_i$ に対する回帰線(実線), その逆のもの(破線)はそれぞれ(3), (4)式(図中)のようになった。なお、計測不能なほど小さく、同図にのらない点がある。 iii) 内部枝路と外部枝路の平面量の度数分布の比較: 図-4(a)は l_e と l_i の度数分布の比較図である。いずれも右側に歪んだよく似た形をしており、 l_e のものはその下限値0.1 kmだけ右へずらしたようになっている。平均値の比は $\bar{l}_e/\bar{l}_i = 1.352$ となっている。

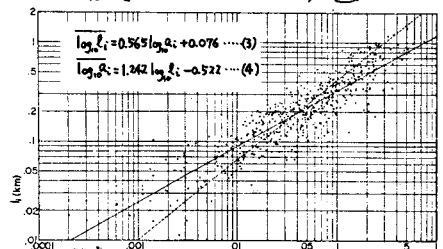


図-3. $\log l_i$ と $\log a_i$ の関係

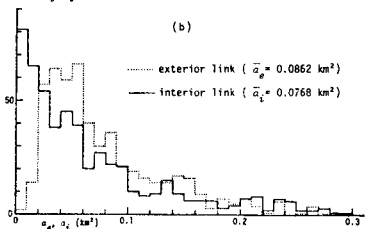
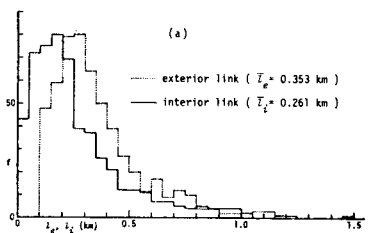


図-4. 長さ l と付随面積 a の度数分布

図-4(b)は a_e と a_i のもので、分布の形状は全く異なっているが、平均値の差はわずか、 $\bar{a}_e/\bar{a}_i = 1.122$ となっている。つぎに、河川密度 $D = l/a$ と形状指数 $\phi = l/a = l/b$ ($b = a/l$: 平均幅)の度数分布の比較図も示しておく。図-5(a)は D_e と D_i のもので、かなり異なり、平均値の比は $\bar{D}_e/\bar{D}_i = 0.598$ となっている。図-5(b)は ϕ_e と ϕ_i のもので、これもかなり異なり、 $\bar{\phi}_e/\bar{\phi}_i = 1.387$ である。

3. 分布関数のあてはめと考察

i) 従来の説と考察: 位数1の河道である外部枝路については、計測例が比較的多く、 l_e , a_e 共に対数正規分布に従うというのが定説のようになっている。図-6はここで得た l_e , a_e の累積分布と、Shreveが1/4000の地形図で勾配0.2の制限なしで得た(Shreve(1)とする) l_e のもの、および勾配0.2の制限をつけて得た(Shreve(2)とする) l_e , a_e のものを対数正規確率紙にプロットしたもので、いずれもほぼ直線状になっている。問題

は対数正規分布の物理的意義が明確でない
ということであろう。つぎに内部枝路で
あるが、 Q_i の計測例は極めて少なく、その
分布形を記述した文献は見当たらない。 l_i に
ついてはガンマ分布説やSmartの指数分布説
等がある。ここで得た l_i は形状母数が1.5の
ガンマ分布にほぼ従う(χ^2 レベル15%)が、形
状母数が整数でないガンマ分布の物理的意
義は明確でない。ところで、指数分布説は
枝路の形成過程について、「河道に合流点が
できる確率は合流点なしに経過した距離に

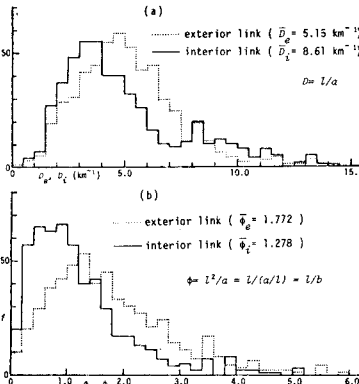


図-5. 河川強度と形状指数の度数分布

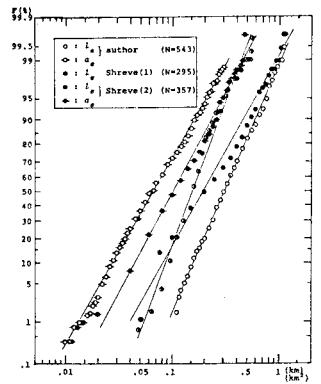


図-6. l_e, a_e の累積分布(対数正規分布)

無関係である」という仮定のもとに理論的に得たもので、その意味で興味深
いが、その仮定は現実的でないようである。そこで、このような枝路の形
成過程の確率的特性を比較的明確に把握できるWeibull確率紙によって、まず
 l_i について、ついで他々量についても拡張して、検討してみた。

ii) Weibull確率紙による枝路の形成過程の検討: Weibull分布は信頼性理論の分野
で故障率分布としてよく用いられ、その密度関数、超過確率はそれぞれ、
 $f(x) = \lambda m x^{m-1} \exp(-\lambda x^m) \dots (5)$, $1-F(x) = \exp(-\lambda x^m) \dots (6)$ ($x \geq 0, \lambda, m > 0$)で、
この分布の特長は、 $z(x) = f(x)/(1-F(x)) = \lambda m x^{m-1} \dots (7)$, すなわち、 x を
枝路長と考えたとき、合流点なしに x だけ経過したときに合流点ができる
確率密度、が x^{m-1} に比例するという簡単な形になり、Weibull確率紙上の直線の
勾配が m に相当する点にある。なお、信頼性理論の分野では、 x は故障す

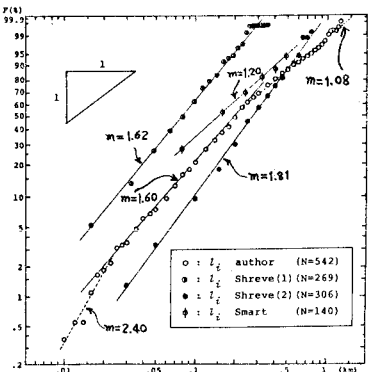


図-7. l_i の累積分布(Weibull確率紙)

るまでの時間を表わし、 $0 < m < 1$, $m = 1$, $m > 1$ に対し、それぞれ、
初期故障期、偶発故障期、摩耗故障期と判定される。
図-7が l_i の累積分布をWeibull確率紙にプロットしたもので、
ここで得たものは3本の折線、他のものは1本の直線状(た
だしクラス分けが粗いため詳細は不明)になっており、図中
に示した m の値がすべて、 $m > 1$ となっていることに気づく。
すなわち、合流点なしに経過する距離が大きければ合流点
ができるやすいことを意味する。図-8は l_e, a_e, a_i について、
その下限と思われる値を差引いたものの累積分布である。
 l_e については、ここで得たものとShreve(2)のものとはこ
ろかい傾向は異なっているが、下限値よりの経過距離が短い

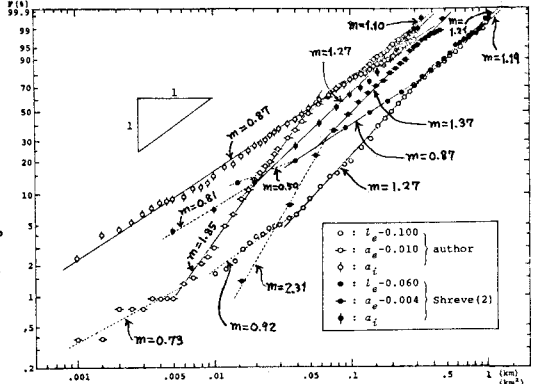


図-8. l_e, a_e, a_i より下限値を引いたものの累積分布(Weibull確率紙)

うちは $m < 1$ で、かなり長くなると $m > 1$ となっている点で交差している。つぎに面積のものであるが、その形成
過程の解釈は枝路長のように一次的でなく複雑で理解し難いが、とにかく、枝路長における経過距離と合流点
に対応するような二次元的な「何か」があると拡大解釈することにしよう。まず、 a_e のものの両者の共通点は、こ
で得たもののごく小さいところで $m < 1$ になっている以外は、 $m > 1$ になっている点であろう。一方、 a_i のものはその意
味での共通点はないようである。なお、ここで得たものは $m = 0.87$ の1本の直線状になっており、 l_i のものが $m < 1$
になることがなかったことを考えると、「何か」は枝路長におけるものとは若干異なった性格のものようである。

(文献) 1) Shreve, R.L.: Variation of Mainstream Length with Basin Area, in River Networks, Water Resources Research, vol. 10, No. 6, 1974. 2) Shreve, R.L.: Stream Lengths and Basin Areas in Topologically Random Channel Networks, Jour. of Geol., vol. 75, 1967. 3) Smart, J.S.: Statistical Properties of Stream Lengths, Water Resources Research, vol. 4, No. 5, 1968.