

京都大学大学院 学生員 ○吉田 八左右
 京都大学工学部 正員 岩佐 義朗
 建設省 正員 桐橋 通雄

(1)はじめに：河道ネットワークに対する定量的研究は、Horton(1945)が河道位数によつて河道を分類する方法を考へ、河道数、河道長に関する経験的地形則を提案したこととに端を発した。以後、Shreveらによつて、河道ネットワークを構成するリンクおよび節点に対して定義されるマグニチュードおよび高さの概念が提案され、ランダムモデルより河道ネットワークのトポロジー的特徴が統計的に明らかにされるようになつた。すなわち、『地形の影響が強く作用しない場合には、自然の河道ネットワークはトポロジー的にランダムである。』という仮定Ⅰと、『気候および地質条件が一様な流域においては、内部リンク長および外部リンク長は、それ各自別個の統計的分布をもつ位置に無関係である。』という仮定Ⅱとを用い、マグニチュードに対する一次元、二次元および三次元的地形則が理論的に求められた。また、これらマグニチュードに対する地形則より、位数に対する地形則が十分説明されている。わが国における流域の地形態の特性を知るため、二、三の河川について実測値と地形則による理論値とを比較し、これまでにも発表してきたが、ここでは、その後の研究成果とともにそれらをまとめたものである。

(2)河道ネットワークのトポロジー的特性：Fig. 1にソース数10の河道ネットワークを示す。数字は各リンクに対するそのマグニチュードおよび各節点に対する高さを表わす。この河道ネットワークは、マグニチュードが1, 2, 3, 4, 7, 9, 10のリンクをそれぞれ10, 4, 1, 1, 1, 1, 1個持ち、またソース高さが6, 5, 4, 2のソースをそれぞれ6, 1, 2, 1個持つ。この河道ネットワークの最大ソース高さは6であり、平均ソース高さは5.1である。

(3)河道数則と分岐比：Strahlerの位数nの河道セグメント数を N_n 、流域の最大位数をまで表わすと、Hortonの河道数則は次式で表わされる。

$$N_n = R_b^{k-u}, \quad R_b \approx N_{n-1}/N_n \quad (u = 2, 3, \dots, k) \quad (1)$$

ここで、分岐比 R_b は、同一流域においては、すべての位数に対してほぼ一定の値(3~5)をとることが確かめられている。すなわち、 R_b は流域における河道ネットワーク構造のトポロジー的特性を表わす値と考えられる。

(4)トポロジー的にランダムな河道ネットワーク：ソース数n=5に対する14個の

TDCN(Topologically Distinct Channel Networks)をFig. 2に示す。この場合、いずれのTDCNも確率 $1/14$ で出現する。また各TDCNは交換、結合法則の成立しない代数における X^5 の解釈と対応しており、それぞれのTDCNに対応させてそれを示してある。TDCNの総数 Z_n は次式で表わされる。

$$Z_n = z_{n-2} C_{n-1}/n \quad (2)$$

(5)河道リンク数則：ソース数nの河道ネットワークにおけるマグニチュードiのリンクの総数を M_i^n 、その期待値を m_i^n で表わすと、 m_i^n は

$$m_i^n = (n-i+1) \cdot z_i \cdot Z_{n-i+1} / Z_n \quad (3)$$

で表わされる。また、標準偏差を σ_i^n で表わせば、エピシエフの不等式により、

$$m_i^n - \sigma_i^n \leq M_i^n \leq m_i^n + \sigma_i^n \quad (4)$$

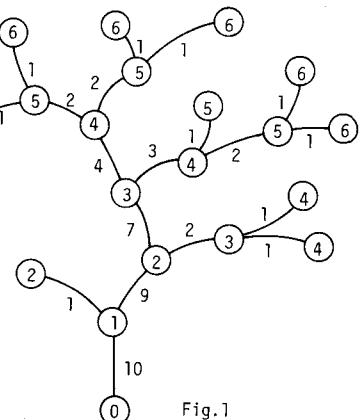


Fig. 1

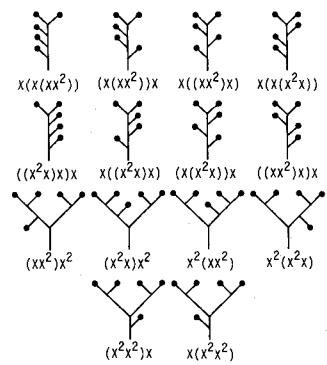


Fig. 2

の範囲に M_i^u が入る確率は β^{u-1} 以上となる。ここに(4)式を、河道リンク数則と名づける。

(d) マグニチュードと Strahler 位数の関係: Strahler 位数 i の河道より上流の小流域に含まれるソース数の平均値を \bar{L}_u で表わせば、 $u=1$ の時 $\bar{L}_u=1$ であることを考慮して、次のように表わされる。

$$\bar{L}_u = \beta^{u-1}, \quad \beta = \bar{L}_u / \bar{L}_{u-1} \quad (u=2, 3, \dots, L) \quad (5)$$

ここで、 β をソース数比と名づけることにする。このことは \bar{L}_u に対しても、Horton の河道数則と同様の地形則が成立することを示している。また、無限トポロジー的にランダムな河道ネットワークに対しても β はほぼ 4 である。

(e) 平均ソース高さと最大ソース高さ: マグニチュード i のリンクより上流の小河道ネットワークに対する平均ソース高さおよび最大ソース高さの平均値を、それそれ \bar{C}_i および \bar{C}_i' で表わせば次のようになる。

$$\begin{cases} \bar{C}_i = 1 & (i=1) \\ = 2 & (i=2) \\ = 1.78\sqrt{i-1} & (i \geq 3) \end{cases} \quad \begin{cases} \bar{C}_i' = 1 & (i=1) \\ = 2 & (i=2) \\ = 3.56\sqrt{i-1} - (1 + \log i / \log R_b) & (i \geq 3) \end{cases} \quad (6)$$

(3) 河川流域の一次元的特性: 河道長に関係する地形量としては、対象流域内のマグニチュードリンクより上流のソース数 i の小流域に対する本川長 L_i 、平均流域長 \bar{L}_i およびその小流域に含まれる全リンク長 T_{L_i} が考えられる。同様に、Strahler 位数に対して、位数 u の河道セグメントより上流の全河道長 T_{L_u} 、位数 u の河道セグメント長 L_u および Strahler 位数に対する本川長 \bar{L}_u が考えられる。

(a) 全河道長則: $\bar{T}_{L_u} = \bar{T}_{L_1} R_{T_L}^{u-1}$, $\bar{T}_{L_1} = l_e$, $R_{T_L} = R_b (1 + Y_e)^{\frac{1}{u-1}}$ (7)

(b) 本川長則: $\bar{L}_u = \bar{L}_1 (R_L)^{u-1}$, $\bar{L}_1 = l_e$, $R_L = \sqrt{R_b} (3.56 Y_e)^{\frac{1}{u-1}}$ (8)

(c) 河道長則: $\bar{L}_u = \bar{L}_1 R_e^{u-1}$, $\bar{L}_1 = l_e$, $R_e = R_L (1 - \sqrt{Y_e})^{\frac{1}{u-1}}$ (9)

ここに、 R_{T_L} , R_L , R_e はそれぞれ全河道長比、本川長比、河道長比と呼ばれ、 l_e , l_i は対象流域内に含まれるすべての外部リンクおよび内部リンクの平均値であり、 Y_e は l_i/l_e でリンク長比と呼ばれる。

(4) 河川流域の二次元的特性: Strahler 位数に対する流域の二次元的特徴を表わす重要な地形量としては、位数 u の河道より上流の小流域の集水面積 A_u 、この小流域の河川密度 D_u が考えられる。

(a) 河川密度: $\bar{D}_u = \bar{T}_{L_u} / \bar{A}_u$ で定義され、次式のように表わされる。

$$\bar{D}_u = \{l_e (1 + Y_e) R_b^{u-1} - Y_e\} / \{a_e (1 + Y_a) R_b^{u-1} - Y_a\} \quad (10)$$

(b) 集水面積則: $\bar{A}_u = \bar{A}_1 R_a^{u-1}$, $\bar{A}_1 = a_e$, $R_a = R_b (1 + Y_a)^{\frac{1}{u-1}}$ (11)

ここに、 a_e は n 個の外部リンク面積の平均値であり、 a_i は $(n-i)$ 個の内部リンク面積の平均値である。 Y_a は a_i/a_e で表わされ、「リンク面積比」と呼び、 R_a は集水面積比と呼ばれる。

(5) 河川流域の三次元的特性: Strahler 位数に対する流域の三次元的特徴を表わす重要な地形量は、位数 u の河道セグメントの高低差 H_u 、そしてその勾配 S_u および Strahler 位数に対する本川の高低差 H_u' とその勾配 S_u' が考えられる。

(a) 河道勾配則: $\bar{S}_u = \bar{S}_1 R_s^{u-1}$, $R_s = R_a^{-SF}$ (R_s : 河道勾配比, SF : 河道リンク勾配係数)

(b) 本川勾配則: $\bar{S}_u = \bar{S}_1 (R'_s)^{u-1}$, $R'_s = R_a^{-SB}$ (R'_s : 本川勾配比, SB : 本川勾配係数)

(c) 河道高低差則: $\bar{H}_u = \bar{H}_1 R_h^{u-1}$, $\bar{H}_1 = l_e \bar{S}_1$, $R_h = R'_s / R_s$ (R_h : 河道高低差比)

(d) 本川高低差則: $\bar{H}_u' = \bar{H}_1' (R'_h)^{u-1}$, $\bar{H}_1' = l_e \bar{S}_1$, $R'_h = R'_s / R_s$ (R'_h : 本川高低差比)

(6) 結語: ここでは主要な地形則を列挙したが、この理論式の妥当性を、当日スライドを使つて比較、検討する。なお、河川およびその流域の複雑な地形の全体を包括的に把握、表現することは、総合河川計画における基本的情報の一つであり、将来は、これら地形則に降水量および流量などの水文的諸量をも加えれば、個々の流域の流出現象、土砂流出過程を明らかにすることになろう。

参考文献。Shreve, R. L.: Variation of Mainstream Length Basin Area, W. R. R. 1974.

・岩佐、小林、棚橋: 流域の地形形態に関する定量的研究、京都大学防災年報 19B-2, 1976.