

河川流域の地形形態的特徴について

京都大学工学部 正員 岩佐 義朗
 京都大学大学院 学生員 小林 信久
 京都大学大学院 学生員 ○棚橋 通雄
 京都大学工学部 学生員 吉田 八左右

(1)はじめに：流域の複雑な地形的全体像を定量的に把握，表現するため、河道網を節点およびリンクより構成される河道ネットワークと考えると、各節点およびリンクに対しては、それぞれ高さ (height) およびマグニチュードが一義的に決まる。ここで、高さとは、節点と対象流域最下流端の点つまりシンクを結ぶパス (path) 中に含まれるリンク数を表わし、マグニチュードとは、対象とするリンクより上流にあるソース数と定義される。

本報では、これらの概念を用い、個々の流域の地形的特徴をも考慮に入れたマグニチュードに対する種々の地形則を統計的に求め、これら地形則より Strahler 位数の概念を基礎として経験的に得られた地形則を理論的に誘導している。

(2)平均ソース高ささと最大ソース高さ：河道の分岐状況ならびに密集度を示す重要な指標である平均ソース高さならびに最大ソース高さが Jarvis あるいは Werner によって提案されている¹⁾。ソース数 n の河道ネットワークの平均ソース高さは、 n 個のソースに対する高さの平均値、そして最大ソース高さは、 n 個のソースに対する高さの最大値と定義される。

「地形的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的にランダムである。」という仮定 (I) を用いれば、ソース数 n 、最大位数 r の河道ネットワークに含まれるマグニチュード 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 \bar{e}_i および \bar{d}_i で表わせば、それぞれ近似的につきのように表わされる²⁾。

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{e}_i = 1 \quad (i=1) \\ = 2 \quad (i=2) \quad \dots (1) \\ = 1.78\sqrt{i-1} \quad (3 \leq i \leq n) \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \bar{d}_i = 1 \quad (i=1) \\ = 2 \quad (i=2) \quad \dots (2) \\ = 3.56\sqrt{i-1} - (1 + \log i / \log R_b) \quad (3 \leq i \leq n) \end{array} \right.$$

ここで、 R_b はこの河道ネットワークの幾何学的平均としての分岐比で、 $R_b = n^{\frac{1}{r-1}}$ と定義される。この分岐比 R_b は回帰分析あるいは算術平均として求めた分岐比とほぼ一致する³⁾。

(3)マグニチュードに対する地形則：「気候および地質条件が一樣な流域においては、内部リンク長および外部リンク長はそれぞれ別個の統計的分布を持ち、位置に無関係である。」という仮定 (II) を仮定 (I) とともに用いれば、マグニチュード i リンクより上流のソース数 i の小流域に対する本川長、平均流域長および全リンク長の平均値 \bar{l}_i 、 $\bar{e}l_i$ 、 \bar{d}_i はそれぞれほぼ近似的につきのように表わされる²⁾。

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{l}_i = l_e \quad (i=1) \\ = l_e + l_i \quad (i=2) \quad \dots (3) \\ = l_e + l_i (3.56\sqrt{i-1} - 2 - \log i / \log R_b) \quad (i \geq 3) \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \bar{e}l_i = l_e \quad (i=1) \\ = l_e + l_i \quad (i=2) \quad \dots (4) \\ = l_e + l_i (1.78\sqrt{i-1}) \quad (i \geq 3) \end{array} \right.$$

$$\bar{L}_i = l_e \cdot i + l_i(i-1) \quad \dots(5)$$

ここで、本川長および平均流域長はそれぞれこのマグニチュードリンク最下流端より*i*個のソースへ至るパスに対する河道長の最大値および算術平均値と定義した。また l_e 、 l_i は、ソース数*n*、最大位数*n*の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長である。つぎに、この対象流域に対して、その内部リンクおよび外部リンクへ直接流出する部分の面積に関しても仮定(II)が満足されるものとすれば、対象流域内のマグニチュード*i*の小流域の集水面積 A_i の平均値 \bar{A}_i はつぎのように表わせる。

$$\bar{A}_i = a_e \cdot i + a_i(i-1) \quad \dots(6)$$

ここで、 a_e 、 a_i はそれぞれ外部リンクおよび内部リンクへ直接流出する部分の平均面積である。つぎに、河川流域の三次元的特徴を表わす重要な地形量としては、マグニチュードリンクの高低差 h_i とその勾配 S_i 、そしてこのマグニチュードリンクより上流の小流域に対する本川の高低差 H_i および勾配 BS_i 、そして平均流域長と関係する平均流域高低差 EH_i および勾配 ES_i がある。これらの平均的な値はそれぞれつぎのように表わすことができる。²⁾

$$\bar{S}_i = \bar{S}_i \{ (1+r_a)i - r_a \}^{SF}, \quad r_a = a_i/a_e \quad \dots(7) \quad \bar{h}_i = l_e \bar{S}_i \quad (i=1), \quad \bar{h}_i = l_i \bar{S}_i \quad (i \geq 2) \quad \dots(8)$$

$$\bar{BS}_i = \bar{S}_i \{ (1+r_a)i - r_a \}^{SB} \quad \dots(9) \quad \bar{BH}_i = \bar{L}_i \cdot \bar{BS}_i \quad \dots(10)$$

$$\bar{ES}_i = \bar{S}_i \{ (1+r_a)i - r_a \}^{SE} \quad \dots(11) \quad \bar{EH}_i = \bar{L}_i \cdot \bar{ES}_i \quad \dots(12)$$

ここで、 \bar{S}_i は外部リンクの平均的な勾配である。また、SF、SB、SEは個々の流域に対して決まる定数で、それぞれ河道リンク勾配係数、本川勾配係数、平均流域勾配係数と呼ぶ。

(4) Strahler位数に対する地形則：位数*u*の河道より上流にあるソース数の平均値 \bar{L}_u は、ほぼ近似的につぎのように表わすことができる。³⁾ $\bar{L}_u = R_u^{u-1} \quad \dots(13)$

式(13)の関係を用いれば、マグニチュードに対する地形則よりつぎに示す位数に対する地形則がほぼ成立することが証明される。²⁾

$$\text{全河道長則} : \quad \bar{L}_u = \bar{L}_i R_u^{u-1}, \quad \bar{L}_i = l_e, \quad R_u = R_b(1+r_e)^{\frac{1}{u-1}}, \quad r_e = l_i/l_e \quad \dots(14)$$

$$\text{本川長則} : \quad \bar{L}_u = \bar{L}_i (R_u')^{u-1}, \quad \bar{L}_i = l_e, \quad R_u' = \sqrt{R_b}(3.56R_e)^{\frac{1}{u-1}} \quad \dots(15)$$

$$\text{河道長則} : \quad \bar{L}_u = \bar{L}_i R_u^{u-1}, \quad \bar{L}_i = l_e, \quad R_u = R_e' (1 - \frac{1}{\sqrt{R_e}})^{\frac{1}{u-1}} \quad \dots(16)$$

$$\text{集水面積則} : \quad \bar{A}_u = \bar{A}_i R_u^{u-1}, \quad \bar{A}_i = a_e, \quad R_u = R_b(1+r_a)^{\frac{1}{u-1}} \quad \dots(17)$$

$$\text{河道勾配則} : \quad \bar{S}_u = \bar{S}_i R_u^{1-u}, \quad R_u = R_a^{-SF} \quad \dots(18)$$

$$\text{本川勾配則} : \quad \bar{S}_u = \bar{S}_i (R_u')^{1-u}, \quad \bar{S}_i = \bar{S}_i, \quad R_u' = R_a^{-SB} \quad \dots(19)$$

$$\text{本川高低差則} : \quad \bar{H}_u = \bar{H}_i R_u^{u-1}, \quad \bar{H}_i = l_e \cdot \bar{S}_i, \quad R_u = R_e/R_a \quad \dots(20)$$

$$\text{河道高低差則} : \quad \bar{H}_u = \bar{H}_i (R_u')^{u-1}, \quad \bar{H}_i = l_e \cdot \bar{S}_i, \quad R_u' = R_e'/R_a' \quad \dots(21)$$

(5) 結語：以上によって流域全体のマクロ的特徴を示す指標の相互関係が明らかにされた。また、流域内の任意のリンクのマグニチュードがわかれば、このリンクおよびそれより上流の小流域の地形的特徴を表わす地形量の値を知ることができる。さらに、流域を小流域に区分するとき、河道ネットワークのトポロジ-的特性のみならず河道の幾何学的特性として流域の形状および構造をも考慮して流域区分を行なうことが可能となった。

文献 (1) Jarvis, R.S., Wetly, A.: Some comments on testing random topology stream network models, W.R.R., 11(2), 1975

(2) 小林信久; 流域の地形形態に関する河川工学的研究, 京都大学修士論文, 1976

(3) 岩佐義朗, 小林信久, 棚橋通雄; 河道ネットワークに関する基礎的研究, 土木学会年次講演会集, 1975