

1 まえがき

流域の地形は、小さな斜面要素より成立している。降雨の間、山腹斜面を流下する水は集まって水溝となり、無数の一時的な水路(rillwash, 雨溝洗滌網)を刻む。雨溝洗滌網の形状は、永久的な水流網(通常の意味における河道網)の形状に極めて類似していることが知られている。

本研究は、斜面の流出機能を示す指標として到達時間を考え、到達時間と地形構造の関係を考察しようとするものである。一般に到達時間は、斜面長、斜面勾配、粗度、降雨強度等種々の要素に関係している。既に平野¹は、斜面長の分布を考慮して到達時間の確率密度関数の概念を導入した解析法を提案し、2,3の小流域において、到達時間の分布と斜面長の分布が等しいという興味ある結果を示している。ここでは、特に雨溝洗滌網と河道網の類似性に着目して小流域(位数1位の流域)の斜面特性について考察する。

2 斜面特性と流出

斜面上で連続の式、運動の式を(2.1), (2.2)式で与える。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r \quad (2.1)$$

$$h = Kq^p \quad (2.2)$$

ここに h : 水深, q : 単位幅流量, r : 有効雨量強度である。平野によると斜面からの流出量 Q は

$$Q = A \int_0^\infty \psi(T) R(t, T) dT \quad (2.3)$$

$$R(t, T) = p \frac{\left[\int_0^T r(t-\tau) d\tau \right]^{1/p}}{\int_0^T \left[\int_u^T r(t-\tau) d\tau \right]^{1-p/p} du} \quad (2.4)$$

$\psi(T)$: 到達時間 T の確率密度関数, A : 斜面の面積したがって $\psi(T)$ が与えられると流出量を求めることができる。

一方藤田²は、Shreve³らの提案したLink-Magnitude方式による河道区分法を採用して、Magnitude N の河道網において本流に流入する支流数の分布を与えている。図2.1は、本流に流入する支流を単純化して示したものである。 $x_{N,i}$ は、上流から i 番目の支流のMagnitudeである。図2.1において、本流の流路長は j 個の内部リンク長と1個の外部リンク長より成っている。したがって本流の流路長 $L_{N,M}$ は

$$L_{N,M} = L_{ex} + \sum_{i=1}^j L_{in,i} \quad (2.5)$$

L_{ex} : 外部リンク長 L_{in} 内部リンク長
(2.5)式の L_{ex} , L_{in} , j はいずれも確率変数である。藤田の求めた j の確率密度関数 $F_N(j)$ を用いるとMagnitude N の全ての河道網パターンについての本流の流路長を考えることができる。

$$L_{N,M} = L_{ex} + \sum_{i=1}^j \{F_N(j)\} L_{in,i} \quad (2.6)$$

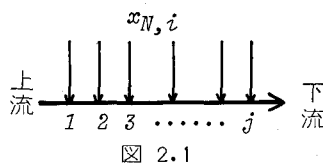
$$\log_2 N \leq j \leq N-1 \quad (2.7)$$

(2.7)式において $\equiv$ は、小数点以下を切上することを意味する。

(2.6)式において N の値が大きくなると、右辺第1項を無視することができる。各内部リンク長が独立であると仮定すると $L_{N,M}$ の期待値、分散は次式で与えられる。

$$\bar{L}_{N,M} = \bar{L}_{in} \sum_j j F_N(j) \quad (2.8)$$

$$\sigma_{N,M}^2 = \sigma_{in}^2 \left[\sum_{j=1}^{N-1} \{j^2 F_N(j) + 2j F_N(j) \sum_{k=j+1}^{N-1} F_N(k)\} \right] \quad (2.9)$$



$\bar{L}_{in}$: 内部リンク長の期待値

σ_{in}^2 : 内部リンク長の分散

図2.2は、石狩川上流部において5万分の1地形図より著者らが測定した本流長の平均値、分散と(2.8),(2.9)式で与えられる結果をMagnitudeに関して図示したものである。実測値と極めて適合していることがわかる。

集水面積が、Magnitudeの1乗に比例していることを考慮²すると、(2.8)式は本流長と集水面積に関するHackの式に相当している。図2.2によると $\bar{L}_{N,M}$ は、Magnitudeの0.5~0.6乗に比例していることがわかる。この値は、Hackの式を実際の流域に適用したとき本流の流路長が集水面積の0.5~0.6乗に比例していることに一致している

一方島野⁴は、外部リンク長の分布に関して対数正規分布、内部リンク長に関してはガンマ分布が適合することを実測例にもとづいて報告している。内部リンク長をガンマ分布で近似できると仮定すると(2.6)式より本流の流路長は、ガンマ分布に従う量の和の分布となる。室田、江藤⁵らは、ガンマ分布の和の分布もまたガンマ分布で近似できることを示している。したがって本流の流路長は、ガンマ分布に従うことが予想される。図2.3は著者が石狩川上流部においてMagnitude4の流域を対象として(標本数70)その本流長の分布形を求めたものである。図にはガンマ分布をあてはめた曲線をプロットしてあるが、適合度はよいようである。

図2.1の本流をMagnitude 1の河道、支流群を雨溝洗滌網におきかえて考えてみる。したがって支流長が斜面長を代表するものとする。各支流のMagnitude $\alpha_{N,i}$ を(2.6)式のNに代入すると支流長がわかり、この値を通じて斜面長の分布を知ることができる。支流のMagnitude $\alpha_{N,i}$ もまた確率変数であるので、次の変数を定義する。すなわちMagnitude Nの流域において、Magnitude Kの支流がj個生起する確率は次式で求まる。ただし、 $P(i, N)$ はMagnitude Nの河道網を最下流の合流点で切断した時Magnitude $i, N-i$ の2つの河道網が生じる確率である。

$$C_{N,k}(1) = \sum_{i=1}^{[N/2]} P(i, N) [C_{N-i,k}(j-\delta_{i,k}) + \delta_{i,k} \{1 - \sum_{l=1}^j C_{N-i,k}(l)\}]$$

$$C_{N,k}(j) = \sum_{i=1}^{[N/2]} P(i, N) C_{N-i,k}(j-\delta_{i,k}) \quad (2.10)$$

$$C_{3,1}(2) = C_{2,1}(1) = 1 \quad 2 \leq j \leq N-1 \quad 1 \leq k \leq [N/2] \quad \delta_{i,k} = \begin{cases} 1 & i=k \\ 0 & i \neq k \end{cases}$$

したがって雨溝洗滌網のMagnitudeを仮定すると(2.8),(2.9),(2.10)式を用いて斜面長の分布を求めることができる。

参考文献

- 1) 平野宗夫, 小川滋, 木川良二: 山腹斜面からの流出について, 土木学会第29回年講, 昭和49年
- 2) 藤田睦博: 河道網における支流の分布特性に関する研究, 土木学会論文報告集, 246号, 1976
- 3) Shreve, R.L.: Statistical law of stream numbers, J. Geol. 74, 1966
- 4) 高山茂美: 河川地形, page 58, 共立出版, 1974
- 5) 室田明, 江藤剛治, 田中剛: 水文量の和に関する統計的研究, 土木学会論文報告集, 223号, 1974

