

|         |      |       |
|---------|------|-------|
| 京都大学工学部 | 正員   | 高棹 琢馬 |
| 京都市     | 正員   | 和田 章仁 |
| 京都大学大学院 | ○学生員 | 椎葉 充晴 |

## 1. はしがき

流出現象は、降雨から流出への変換として把握することができ、変換場である流域の諸条件と入力である降雨条件によって、この変換過程は複雑な様相を呈する。したがって、変換場としての流域地形の計量化とその特性の把握は、流出系を表現するにあたって、一つの基本的課題である。

流域地形の諸特性を定量的に把握・表現しようとする計量地形学は、河道位数の概念と統計的方法によって展開せられ、特に米国河川についてはかなり調査され幾つかの経験則が示されている。筆者らは、由良川流域の地形量を解析し、各地形要素の分布性状を把握し、幾つかの経験則の妥当性を検証してきたが、さらに他の経験則について検討し、出水特性との関連について若干の考察を行う。

## 2. 地形量特性の検討

流出系は、その流出機構の差異を考慮すると、斜面と河道の結合として把握される。この面と線の結合を確定する際、河道表示が恣意的である市販の地形図をそのまま使用するのでは適切でない。筆者らは、由良川水系土師川上流部の1/25000の地形図を用い、河谷に溯って河道表示し、上記の不備を補い、Horton-Strahler位数系にしたがい、地形量を計量化し、特性を検討した。

## a) 河道長と集水面積との関係

Eaglesonは、集水面積 $A_k$ 、幹川長 $L_m$ の間に

$$A_k/L_m^2 = 1/3 \quad (1)$$

なる関係があるとしている。これは幾何学的相似性を示すものとみられるが、対象流域では上記のような関係は成立せず、むしろ

$$\log A_i = a_i \log L_i + b_i \quad (2)$$

$$a_i, b_i \text{ は定数で } a_i \approx 1$$

なる関係式が成立する。ここに添字 $i$ は位数を示している。 $A_i$ 、 $L_i$ は対数正規分布し、 $\log A_i$ 、 $\log L_i$ の分散も略等しく、②式を裏づけている。②式は、対象流域においては、矩形モデルを考えたとき、矩形中の変動が小さいことを意味しており、出水特性を左右する斜面長の平均化の一つの根拠をもたらすものとみてよいだろう。

小流域では、雨水流下に必要な時間は、ほとんど斜面流下に必要な時間に等しいから、同一位数の出水の分布性状はその集水面積の分布性状、すなわち対数正規分布に近い形を示すものと考えられる。

## b) 単位セル特性について

河道分布が流域全体につき一様なものとすれば、地表面流の平均流下長 $\bar{L}_g$ は、近似的に各河道間の距離の1/2に等しいと考えることができ、

$$\bar{L}_g = 1/2D \quad (3)$$

と書ける。ここに $D$ は河道密度である。Hortonは平均河道勾配 $\theta_c$ 、平均斜面勾配 $\theta_g$ による補正を加えて、

$$\bar{L}_g = 1/2D\sqrt{1-\theta_c/\theta_g} \quad (4)$$

としている。しかし、理論的には

$$\bar{L}_g = 1/2D\sqrt{1-(\tan\theta_c/\tan\theta_g)^2} \quad (5)$$

を得る。河道分布が流域全体につき一様と考えられ、河道勾配と斜面勾配の比の変動があまりない流域では、④

⑤式による流域平均斜面長の算定は十分意味をもつ。②で述べたことからあきらかに、単位セルに限定すればこの条件は満足される。そこで土師川上流部の単位セルについて、上式の適合度を検討した結果が次表である。

Hortonの式よりも⑤式の方が適合度はよい。⑤式の適合度は良好であり、少なくとも単位セルについては、斜面長の分布の分散は小さいと考えたことの妥当性を示している。

| 計算式                                                                                                                       | 計算値      | 測定値からの誤差 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|
| ③                                                                                                                         | 0.118 Km | 23.4%    |
| ④                                                                                                                         | 0.196 Km | 27.3%    |
| ⑤                                                                                                                         | 0.148 Km | 4.0%     |
| 測定値 $\bar{\alpha}_1 = 18.0^\circ$ $\bar{\theta}_1 = 28.3^\circ$<br>$D_1 = 4.224/\text{Km}$ $\bar{L}_g = 0.514 \text{ Km}$ |          |          |
| 土師川上流部の $L_{g1}$ の算定                                                                                                      |          |          |

### 3. 出水特性との関連

出水機構を、斜面の地表面流と河道流として把握できる場合は、斜面の粗度と流下長がほとんどその変換特性を支配する。

上記の地形量特性は、この流下長の分布が小さいことを示し、代表流下長を設定することの妥当性を示すものとみられる。

そこで、①出水は斜面上の地表面流よりなり、地表面流の発生域は斜面全体とし、②河道での遅れ変化特性は斜面でのそれに比し無視できる程度とし、③代表流下長を⑤式より算定される  $\bar{L}_g$  に等しいものとすれば、Kinematic wave法により

$$\frac{Q(t)}{A} = \frac{1}{M} \left[ \int_t^t r_e(t) dt \right]^{\frac{1}{P}}$$

$$PM = \int_t^t ds \left[ \int_t^s r_e(z) dz \right]^{\frac{1}{P}-1}, \quad M = \frac{n \bar{L}_g}{\sqrt{\sin \theta_g}} \quad (6)$$

となる。ここに  $Q(t)$  は対象地点流出、 $r_e(t)$  は有効降雨、 $n$  は斜面の等価粗度、 $A$  は流域面積、 $t$  は、時刻  $t$  に斜面下流端に到達する特性曲線が、上流端を出発した時刻である。したがって hydrograph は、 $M$ 、 $P$  によって定まる。 $1/P$  は非線形度を示し、 $P=1$  のとき線形、 $P$  が小さい程非線形性は増大する。斜面粗度  $n$  と、斜面勾配の平方根の逆数  $1/\sqrt{\sin \theta_g}$ 、平均斜面長  $\bar{L}_g$  の hydrograph に与える影響は、流量配分、流量の大きさの両方について全く同等である。⑤式から、河道密度の影響を定量的に把握することができる。すなわち、 $1/D$  は粗度と全く同様の特性を有する。このように、斜面粗度の影響が、他の要素によっても全く同様に表現できるならば、hydrograph から試算的に求められた粗度は相対的な意味を有するに過ぎない。流域分割に応じて、計算される粗度が変動するからである。流域が大きく、河道での遅れ変化特性を無視できないときは、上述した簡単な関係は成立せず、粗度と  $1/D$  との等価性は崩れる。線形河道で、時間の遅れのみを考慮するとすれば、下流端 hydrograph の流量配分について、粗度と  $1/D$  とは等価である。非線形河道では、等価性はない。したがって、非線形河道としての追跡が十分正しければ、斜面粗度は下流端 hydrograph より正しく推定されるであろう。しかし、hydrograph の適合性の判定基準が確立されていない現段階では、試算によって求められた等価粗度は物理的意義が不明瞭である。事実、豊国らは同一の流域について、斜面と流路の両方を Kinematic wave法で追跡し、モデリングに応じて粗度が変動することを指摘している。したがって、斜面分割の普遍的方法が確立していない現在では、流域間の粗度の比較には疑問がある。

### 4. あとがき

流域地形の計量化と出水解析の結合は容易でなく、十分議論できるには到っていない。今後、さらに検討をすすめる予定である。

### 参考文献

1. 高橋, 和田, 川村: 由良川の地形量特性について 土木学会関西支部年講概要 昭48
2. V.T. Chaw: Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill Book Company 1964
3. P.S. Eagleson: Dynamic Hydrology, sixteen, McGraw-Hill Book Company 1970
4. 豊国, 荻原: 都市域の流域モデルに関する一考察 土木学会第27回年講概要 昭47