

流域地形則における Horton 比と最大位数・最大マグニチュードの関係

神戸大学大学院 学生員 ○米田 誠也 神戸大学大学院 正会員 宮本 仁志
 神戸大学大学院 学生員 石田 和也 国土交通省 正会員 橋本 翼
 神戸大学大学院 フェロー会員 道奥 康治

1. はじめに

近年、流域一貫の河川環境の保全や統合的な水資源管理が重要となる。筆者らはその統合流域管理を合理的に実行するための理論構築の鍵が流域の地形特性にあると考え検討を行ってきた。Horton-Strahler の河道位数化システムを用いた検討では Horton 比を介して土地利用や人口など社会環境の流域分布特性を统一的に表現できる位数モデルを構築した¹⁾。一方、Shreve のリンクマグニチュードシステムを用いてマグニチュードと流域面積・流量とに成立する法則間に高い互換性を確認した²⁾。本報では、位数・マグニチュードという二つの異なる順位変数を用いた地形則を普遍的に評価するために、位数・マグニチュードと Horton 比との関係を検討した。

2. 対象流域

対象流域は、図-1 に示す日本の一級水系 109 流域および代表的な世界の河川 76 流域の合計 185 流域である。流域面積の最小は本明川の 87km²、最大はアマゾン川の 7,050,000km²である。GIS 解析によって得られる各流域の最大位数は 3~10 の範囲、最大マグニチュードは 21~334,380 の範囲で広範に分布している。

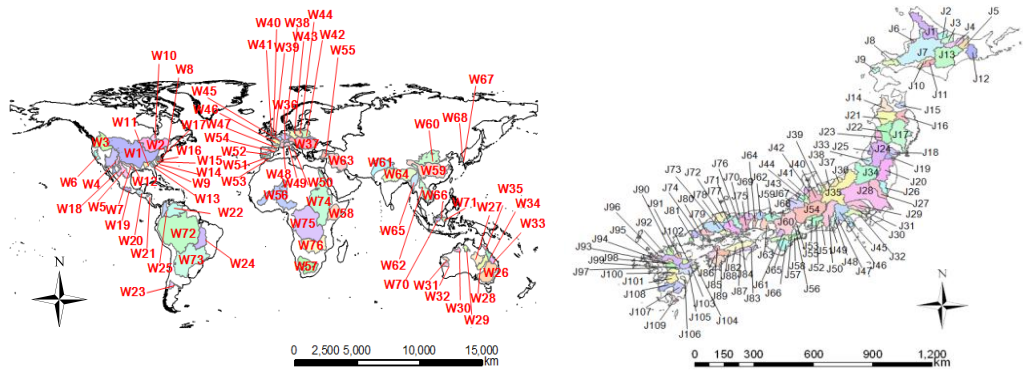


図-1 対象流域

3. Horton 解析

Horton 則は次式で定義される³⁾。

$$N_u = R_B^{k-u} \quad (\text{河道数則}) \quad (1)$$

$$\bar{L}_u = \bar{L}_1 \cdot R_L^{u-1} \quad (\text{河道長則}) \quad (2)$$

$$\bar{A}_u = \bar{A}_1 \cdot R_A^{u-1} \quad (\text{流域面積則}) \quad (3)$$

$$\bar{S}_u = \bar{S}_1 \cdot R_S^{u-1} \quad (\text{河道勾配則}) \quad (4)$$

ここで、 k : 流域の最大位数、 N_u 、 \bar{L}_u 、 \bar{A}_u 、 \bar{S}_u : u 次流域における河道数、平均河道長、平均流域面積、平均河道勾配、 R_B 、 R_L 、 R_A 、 R_S : 分岐比、河道長比、流域面積比、河道勾配比(総称して Horton 比)である。

図-2 にアマゾン川(最大位数 $k=10$)における Horton 則への回帰結果を示す。決定係数 r^2 は 0.94 以上となり Horton 則への適合性は高い。他のすべての流域においても Horton 則への高い適合性を確認した。なお、GIS 解析における一次流域の最小面積は、日本の流域では 1 km²、世界では 5 km² と設定した。

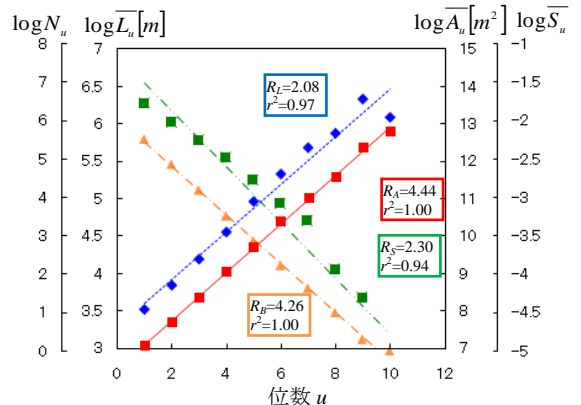


図-2 アマゾン川流域 最大位数 10

本報では、地形解析より得られた 185 流域の Horton 比と、対応する最大位数 k および最大マグニチュード i_{max}

キーワード 流域管理, 河道位数化, 地形則, Horton 比, 位数, マグニチュード

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 宮本仁志 miyamo@kobe-u.ac.jp

の間の関係を検証する。

4. 解析結果と考察

図-3 に Horton 比 R_B, R_L, R_A, R_S と最大マグニチュード i_{max} との関係を示す。各流域の最大位数 k 毎に図中の記号を色分けし、それぞれの近似曲線を破線で併記している。これより河道勾配則を除いて、Horton 比と最大マグニチュードの間に明確な相関が確認できる。特に、河道数則および流域面積則における相関性が高い。各法則において、最大位数 k が大きくなるとともに近似曲線の傾きは順次緩やかになる。また同一の最大位数 k では、最大マグニチュードと Horton 比に正の相関関係が認められる。河道勾配則に関しては、他の Horton 則に比較して適合性が低いことが従来から指摘されており⁴⁾、その影響が $R_S - i_{max}$ の関係に反映されたと考えられる。なお、各法則における近似曲線の決定係数 r^2 は河道数則:0.87~1.00, 流域面積則:0.72~1.00, 河道長則:0.27~0.75, 河道勾配則: -0.60~-0.11 であった。

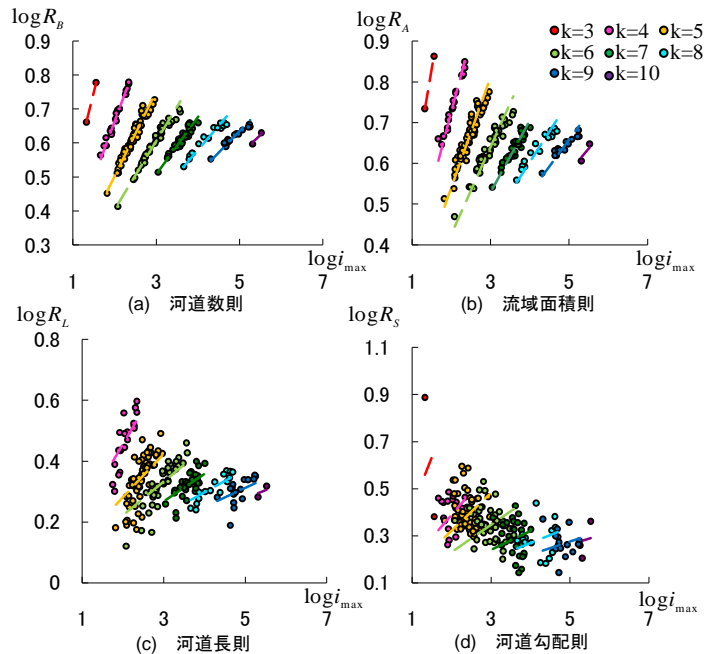


図-3 Horton 比と最大マグニチュードの関係

以上より、河道勾配比を除く Horton 比と最大マグニチュード間には次式のべき乗が成り立つことがわかる。

$$R_{\#} = i_{max}^{\chi_{k\#}} \tag{5}$$

ここで、 $\chi_{k\#}$: 最大位数 k に依存する指数である。また、 $R_{\#}$ における下添記号#は Horton 比の種類(#: B;分岐比, L;河道長比, A;流域面積比)を示す。

次に、 $\chi_{k\#}$ の関数形を検討するために最大位数 k と $\chi_{k\#}$ の関係を図-4 に示す。図中の記号は法則毎に色分けされ、それぞれの近似曲線が破線で併記されている。これより $\chi_{k\#}$ と k は次式の明確な線形関係に従うことが確認される。

$$\chi_{k\#} = \alpha \cdot k^{\beta} \tag{6}$$

ここで、 α, β : 法則ごとに決まる係数および指数である。したがって、式(5),(6)より、河道勾配比を除く Horton 比は最大位数 k と最大マグニチュード i_{max} の関数として次式で表されることが誘導された。

$$R_{\#} = i_{max}^{\alpha \cdot k^{\beta}} \tag{7}$$

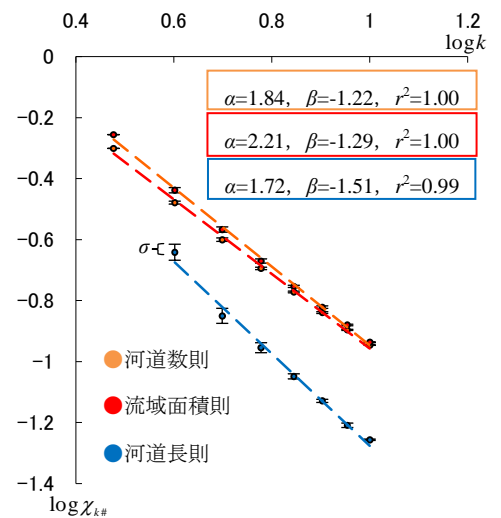


図-4 $\chi_{k\#}$ と最大位数 k の関係

図-4 より、河道数則と流域面積則の近似曲線はほぼ同一である。これより河川によって形成された流域地形特性に関する二つの法則に含まれた地形情報は本質的に等価であることが確認される。

以上のように、本報では最大位数・最大マグニチュードと Horton 比との関係を明らかにした。今後は、この関係に基づいて、河川流域で展開される人間活動と水資源量の関係を検討する予定である。

【参考文献】1) 宮本・橋本・道奥:河道位数を用いた土地利用と人口の流域分布モデルと流域間比較, 水工学論文集, 第53巻, pp.1105-1110, 2009. 2) 宮本・橋本・道奥:河道リンク/マグニチュードと流域面積・河川流量の関係, 水工学論文集, 第54巻, pp.1201-1206, 2010. 3) Strahler, A.N.: Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, in *Handbook of Applied Hydrology*, Chow, V.T. ed., Section 4-II, Geology, pp.4-39-4-76, McGraw Hill, 1964. 4) Rodríguez-Iturbe, I. and Rinaldo, A: *Fractal river basins, chance and self-organization*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 547p., 1997.