

第II部門

流域地形則における Horton 比の流域スケール依存性

神戸大学大学院 学生員 ○石田 和也

神戸大学大学院 正会員 宮本 仁志 神戸大学大学院 学生員 橋本 翼

神戸大学工学部 学生員 米田 誠也 神戸大学大学院 フェロー会員 道奥 康治

1. はじめに

近年、流域一貫の統合的な水資源管理が重要となっている。筆者らは、その統合流域管理を効果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て研究を展開している。既報では Horton-Strahler の河道位数による土地利用・人口の数理モデル¹⁾、流域面積・流量のリンクマグニチュードモデル²⁾を構築し、それらの有効性を確認した。

本報では、Horton 則³⁾において流域地形特性を反映する Horton 比の流域スケールの依存性を検討した。

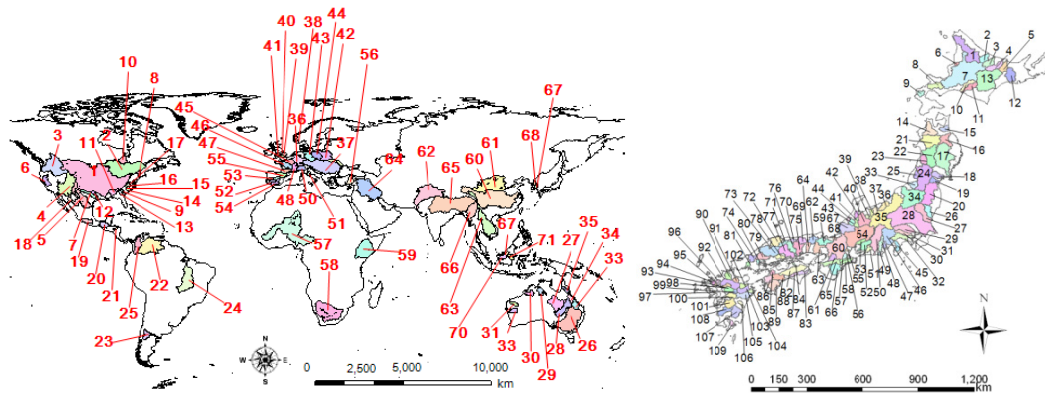


図-1 対象流域

2. 対象流域

対象流域は、図-1 に示す世界各地の 71 流域および日本の一級水系 109 流域の計 180 流域

である。解析対象とする流域の最大面積は、世界ではミシシッピ川流域の 3,250,000km²、日本では利根川流域の 16,840km²である。対象流域の最大位数は 3~9, 最大マグニチュードは 21~171,922 である。

3. Horton 解析

Horton 則³⁾は次式で定義される。

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

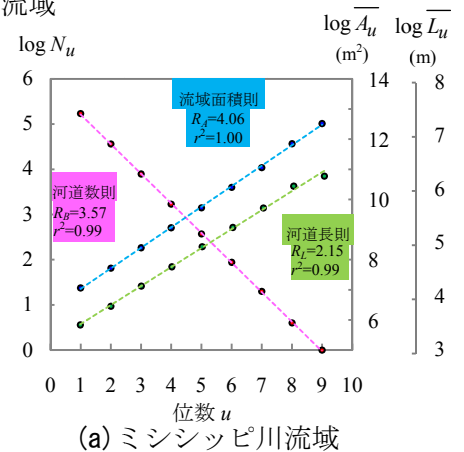
$$\bar{L}_u = \bar{L}_1 \cdot R_L^{u-1} \quad (\text{河道長則}) \quad (2)$$

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

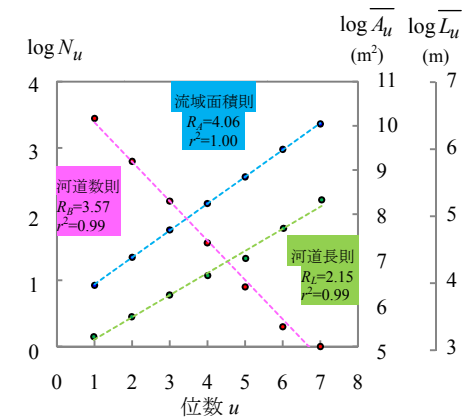
ここに、 N_u , \bar{L}_u , \bar{A}_u : それぞれ k 次流域内部における u 次河道の数, 平均河道長, 平均流域面積, R_B , R_L , R_A : それぞれ分岐比, 河道長比, 流域面積比(総称して Horton 比)である。

図-2 (a), (b) にミシシッピ川流域, 信濃川流域での Horton 解析の結果を示す。決定係数 r^2 は全て 0.99 以上であり Horton 則の適合性は非常に高い。対象の全 180 流域に対して同様に解析を行い, Horton 則の適合性を再確認している。なお, GIS 解析における一次流域の最小値は, 世界の流域では 5km², 日本の流域では 1km² と設定した。

Horton 比に関してはこれまでに様々な研究がなされてきた。徳永⁴⁾は Horton 則を修正し, 水路数の法則, 流域面積の法則および水路長の法則に関する理論式を提案した。そして, これらに組み込まれる最大位数と, ある地点の位数の差を無限大にしたときの片対数紙上での漸近線



(a) ミシシッピ川流域



(b) 信濃川流域

図-2 Horton 解析

Kazuya ISHIDA, Hitoshi MIYAMOTO, Tsubasa HASHIMOTO, Seiya Yoneda and Kohji MICHIOKU

miyamo@kobe-u.ac.jp

の傾きとして、新たに分岐比 Q_B 、流域面積比 Q_A 、河道長比 Q_L を定義した。これらの間には、以下の関係が成り立つ。

$$Q_B = Q_A = Q_L^2 \quad (4)$$

一方、筆者ら²⁾は日本の一級水系 109 流域を対象として、 R_B, R_L, R_A の間に以下の関係が成り立つことを実証的に導いた。

$$R_A = R_B^{1.1}, \quad R_A = R_L^2, \quad R_B = R_L^{1.8} \quad (5-a,b,c)$$

これらより Horton 比間の関係は流域の最大位数 k に依存し、 k が大きくなるに従って $R_A=R_B, R_B=R_L^2$ に漸近すると推察される。以下にこれを検証する。

4. 結果と考察

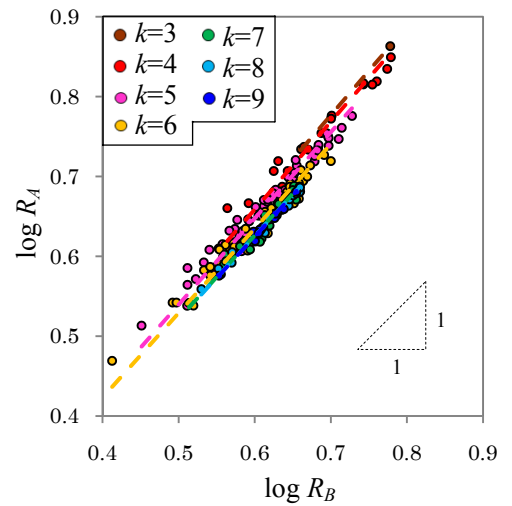
図-3 に、対象全 180 流域の R_B-R_A の関係、 R_B-R_L の関係を示す。図中のプロットは k 毎に色分けして近似曲線を破線で併記した。また、図-3 (b) において、河道長則の決定係数が著しく低い流域は対象外とした(例 本明川 $k=3$, 決定係数 $r^2=0.02$)。図-3 より、最大位数 k が増加するに従って近似直線の傾きが系統的に変化し、後述のように図-3 (a) では 1 へ、さらに、図-3 (b) では 2 へと漸近する。

図-4 に最大位数 k ごとの $\log R_A/\log R_B, \log R_B/\log R_L$ の平均値および標準偏差 σ を示す。図-4 (a) では $k=7$ より、図-4 (b) では $k=5$ より遷移が緩やかになる。これよりさらに k が増加すると、 $\log R_A/\log R_B$ が 1, $\log R_B/\log R_L$ が 2 へと漸近し、理論から誘導された $R_A=R_B, R_B=R_L^2$ に達することがわかる。なお図-4 (b) において、 $k=9$ では $\log R_B/\log R_L$ の値が 2 を超える。これは流域数が 13 と少なく、統計としての標本数が少ないためと考えられる。一方、図-4 (a) に示す $\log R_A/\log R_B$ の σ の平均値は ± 0.03 , $\log R_B/\log R_L$ の σ の平均値は ± 0.38 となり、後者のばらつきの方が大きい。これは、河道長則の適合度(決定係数 r^2 の対象全 180 流域平均値: 0.91)が流域面積則の適合度(決定係数 r^2 の対象全 180 流域平均値: 0.99)に比べて劣るためである²⁾。

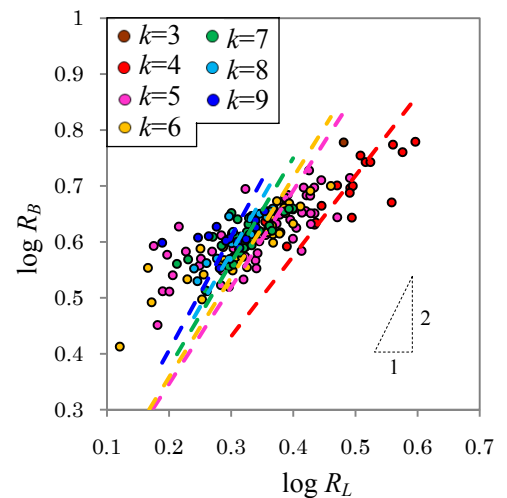
以上より、Horton 比の関係について徳永理論⁴⁾と同様の傾向が示された。その一方で、実際の流域では最大位数は有限値として存在するため、Horton 比の間の関係は理論値とは異なることになる。筆者ら²⁾が実証的に導いた $R_A=R_B^{1.1}, R_B=R_L^{1.8}$

は、日本の一級水系の流域規模を反映した流域地形の特性値といえる。

- 【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)Horton, R.E.: Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol.56, pp.275~370, 1945. 4)徳永英二: 排水網構成に関する統計的法則, 地理学評論, 第 45 巻, pp.351~363, 1972



(a) R_A-R_B の関係



(b) R_A-R_B の関係

図-3 Horton 比間の関係

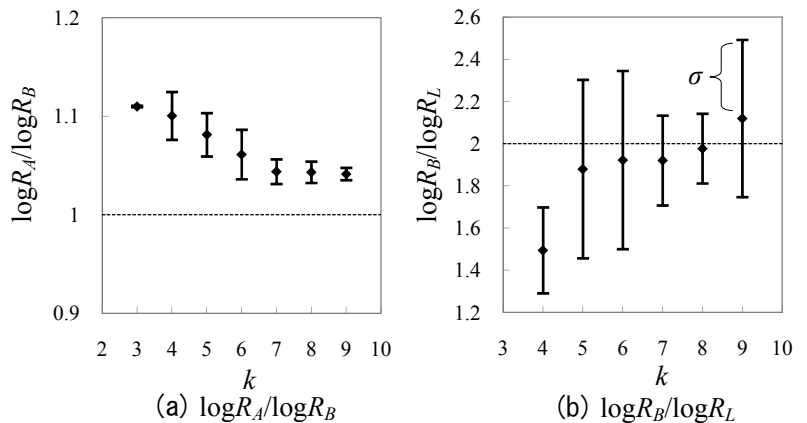


図-4 最大位数と Horton 比の関係