

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

1. はじめに

近年、流域一貫の河川環境保全や統合水資源管理が重要となっている。筆者らは、この統合環境管理を効果的に実行するための理論の構築をめざして、河道位数やリンクマグニチュードに代表される河川ネットワークの数理表現を用いた研究を展開してきた。本報では、日本の一級水系を対象に開発された自然・社会環境の河道位数モデル¹⁾について世界の大河川流域への適用性を検討し、その流域分布特性の評価を試みた。

2. 対象流域

解析対象として、世界の大河川 70 流域および日本の一級水系 7 流域を選んだ。これらの流域では、集水域面積や河川ネットワーク構造などの流域地形や自然・社会条件などがさまざまに異なり、多様な流域環境特性をもつ。日本の一級水系に関しては、流域面積が相対的に大きく、既報¹⁾での類型分類において非常に特徴的な河川流域と判断されたものを選んだ。

3. 自然・社会環境の河道位数モデル¹⁾

土地利用・人口に関する河道位数モデルは以下の式で与えられる¹⁾。

$$\overline{LU}_u^\# = \overline{LU}_1^\# \cdot R_{LU\#}^{u-1}, \quad \overline{PO}_u = \overline{PO}_1 \cdot R_{PO}^{u-1} \tag{1), (2)}$$

ここに、 $\overline{LU}_u^\#$: u 次流域の平均土地利用面積、 \overline{PO}_u : u 次流域の平均人口、 $R_{LU\#}$: 土地利用面積比、 R_{PO} : 人口比である。 $\overline{LU}_u^\#$ における上添字#は土地利用面積の種類を示し、森林 : F 、低木・草原 : SH 、農用地 : A 、混合地 : M 、荒地 : B 、水域 : W 、市街地 : C の 7 種類を本報では対象とした。

土地利用のデータは GLC2000(Global Land Cover 2000)²⁾を用いた。このデータの土地利用区分は 22 あるが、本報では類似の区分を上述の 7 種類に再整理して解析に用いた。人口のデータは、CIESIN の Population Density Grid³⁾を用いた。

4. 結果と考察

本報で選んだ世界の河川水系 70 流域を対象として式(1),(2)の河道位数モデルの適合性を検証する。図-1 にライン川における土地利用・人口と河道位数の関係を示す。これより、すべての要素で決定係数 r^2 は非常に高く、式(1)(2)は土地利用・人口の流域分布をよく表現できることがわかる。図-2 は、70 流域に対する河道位数モデル(式(1),(2))の決定係数 r^2 の相対度数分布である。これより、ほぼ全ての流域で決定係数 r^2 が非常に高く、広範に河道位数モデルが適用可能であることが確認できる。その一方で、 $r^2 < 0.7$ となるのは、アシュバートン川の水系($r^2=0.54$)、テヴェレ川の市街地($r^2=0.66$)、オトラ川の人口($r^2=0.68$)であった。これらの流域では、当該の土地利用区分や人口は極端に小さく、下流に集中しており、流域全体に分布されていないため適合性が低く

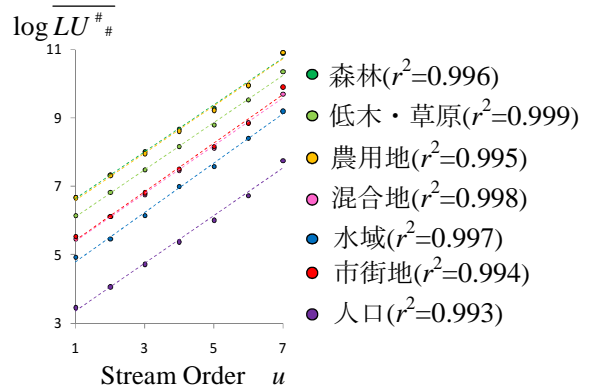


図-1 ライン川流域における

土地利用・人口と河道位数の関係

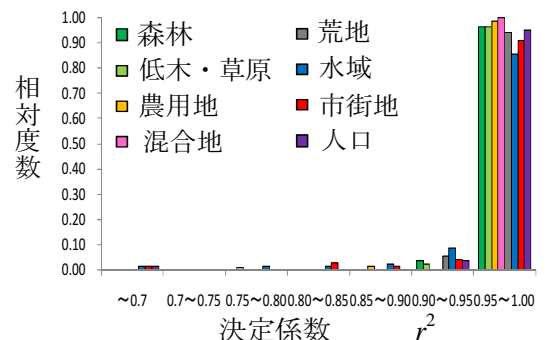


図-2 土地利用・人口の河道位数モデルの検証(世界の河川流域)

なったものと考えられる。

土地利用や人口に対する流域間比較を行うために既報¹⁾で提案した HAS(Human Activity Score)を算出し、得られた HAS の値を用いて

主成分分析により 77 流域の類型分類を試みた。HAS は、河道位数モデルに内包される河川ネットワークの自己相似性を利用して流域規模の違いを規準化し、修正型の標準得点(Standard Score)を算出することで土地利用・人口の区分間の比較を可能にするものである。図-3 に例としてテムズ川における HAS のレーダーチャートを示す。流域開発が進んでいるテムズ川では、市街地、農用地、人口が平均値より非常に大きく、森林は平均値よりも非常に小さい。このように HAS を用いることで対象とするすべての流域から見た場合に、当該流域がもっている自然・社会環境の特徴を定量的に評価することが可能となる。HAS に関する詳細は既報¹⁾を参照されたい。

表-1, 図-4.5 に HAS の主成分分析の結果を示す。表-1 は土地利用・人口の HAS に対する主成分分析の固有ベクトル, 図-4 は第 1・2 主成分得点を用いた流域分類の四象限分布, 図-5 は分類された河川流域の世界分布である。表-1 より, 第 1 主成分は人口・市街地・農用地など人間活動に伴う土地利用がプラスで大きく, 一方, 森林がマイナスに大きくなっている。これより, 第 1 主成分は, 「都市-自然」の程度を表現するものと考えられる。一方, 第 2 主成分は, 水域のみがプラスで大きくなっていることから, 河川流域に含まれる「水域」の大きさの程度を表現するものと推察される。図-4 における横軸は第 1 主成分, 縦軸は第 2 主成分であるので, 図-4 の第 1 象限は「都市・水域大」, 第 2 象限は「自然・水域大」, 第 3 象限は「自然・水域小」, 第 4 象限は「都市・水域小」と特徴づけられる。第 2 象限において原点から最も離れているマッケンジー川は北極海に流れている河川で湖を多く有しており, 森林の土地利用面積率が非常に高い。主成分分析の結果はこの特徴をうまく評価出来ているといえる。図-5 の類型分類の世界分布をみると, ライン川をはじめとするヨーロッパの多くの河川流域やインダス・ガンジス川などは都市化された流域と分類される。その一方で, 北極海に河口をもつエニセイ川やオビ川, 北アメリカ大陸のマッケンジー川などは自然の多い流域と判断される。さらに, 日本の利根川・淀川をはじめとする多くの河川流域は, 図-4 の第一象限(都市・水域大)にプロットされており, 世界の河川流域に比較して日本の一級水系は湿潤でよく都市化された流域と判断される。以上より, ここで得られた土地利用・人口など自然・社会環境の流域分類は, 全般的な流域分布特性を大雑把には表現しているといえる。しかしながら, 世界の大河川は日本の河川に比較して 2 オーダー以上流域面積が大きいものも多く, 流域特性をうまく分類できていない部分も大きい。今後は, 本報の前半で検証した河道位数モデルのもつ自己相似性をいかし, 大きな河川流域に対しては内部の小流域規模での分析も考慮し, 分析手法の精緻化を検討する予定である。

【参考文献】 1) Miyamoto, H., et al.: Basin-Wide Distribution of Land Use and Human Population: Stream Order Modeling and River Basin Classification in Japan, Environmental Management, 47(5), 885-898, 2011. 2) Europe Commission: http://ec.europa.eu/index_en.htm (2012 年 3 月 6 日接続確認). 3) The Center for International Earth Science Information Network, <http://www.ciesin.org> (2012 年 3 月 6 日接続確認).

表-1 土地利用・人口の HAS に対する主成分分析の固有ベクトル

	森林	農用地	水域	市街地	人口	寄与率
第 1 主成分	-0.44	0.53	-0.04	0.48	0.55	0.51
第 2 主成分	0.32	0.00	0.92	0.16	0.18	0.21

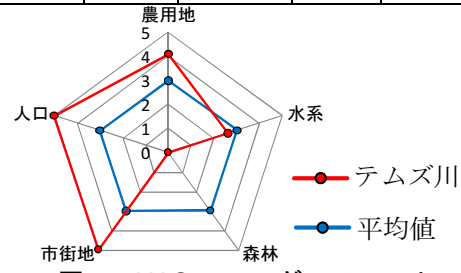


図-3 HAS のレーダーチャート

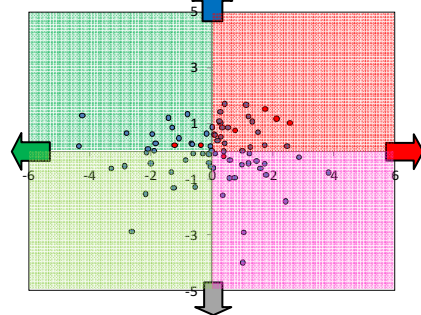


図-4 主成分得点による流域の類型分類 (横軸; 第 1 主成分, 縦軸; 第 2 主成分)

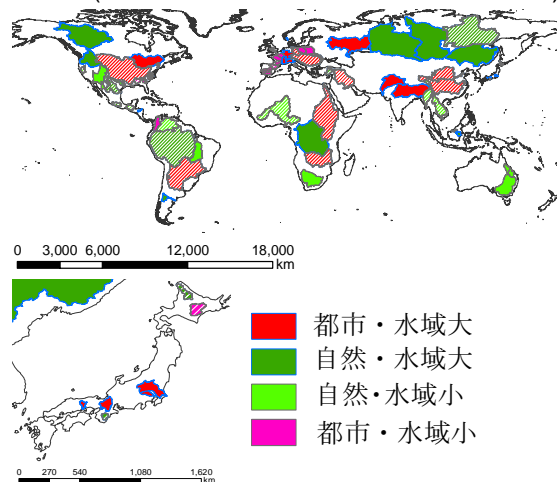


図-5 流域類型分類の世界地図