

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

A BASIN-WIDE DISTRIBUTION MODEL OF LANDUSES AND
HUMAN POPULATIONS BY USING STREAM ORDERING
AND THEIR INTER-BASIN COMPARISON

宮本仁志¹・橋本 翼²・道奥康治³

Hitoshi MIYAMOTO, Tsubasa HASHIMOTO and Kohji MICHIOKU

¹正会員 博士(工学) 神戸大学准教授 工学研究科市民工学専攻(〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

²学生会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 博士課程前期課程(同上)

³フェロー会員 工学博士 神戸大学教授 工学研究科市民工学専攻(同上)

In this paper, we develop a mathematical model using the well-known Horton-Strahler's stream order to describe basin-scale distributions of human activities, such as landuses and human populations, in many river basins with various geomorphologic features. In the model, we assume that mean areas or numbers of each human activity, such as the paddy field, forest, urban areas or human populations, of each stream order form a geometric sequence with the order number, which is the same representation as the conventional Horton-Strahler laws of river geomorphology. GIS datasets of the landuses and human populations in 109 large river basins of Japan are used for geographic analysis. We verify the model applicability and then examine relationships between the Horton-Strahler's ratios and the ratios obtained from the present model for the human activities. Furthermore, we evaluate averages and deviations of the human activity distributions of the 109 river basins by using the present model and attempt a river basin classification based on the evaluated statistics from the model.

Key Words: river basin management, human activity, stream order, geometric model, landuse, human population

1. 序 論

近年, 流域一貫の健全な水文循環保全や総合土砂管理が重要となっている. このように流域全域を考慮するとき, そこで展開される土地利用や人口など人間活動の分布形態が河川環境や水資源配分に大きく影響すると考えられる. しかしながら, 精緻な水理モデルが適用できる河川セグメント規模での解析と違い, 流域規模での水環境は人間活動からの負荷因子が上流から河口まで多様に分布するため, セグメント規模での解析の延長線上では容易に評価できない. したがって, 流域各部での仔細にこだわることなく, これら人間活動の流域分布を大観的に単純モデル化し, 水資源や河川環境の解析に繋げていく工夫が必要となる.

流域内で展開される人間活動は地形に強く影響されると予想されるため, 筆者らは流域一貫の河川環境解析の鍵が流域地形特性にあると考えて研究を展開してきた¹⁻³⁾. 河川水温を水環境指標とした研究¹⁾では, 河道位数に基づく流域地形則とマグニチュードを用いて水温予測のた

めの地形則モデルを定式化し, 試験流域での観測値との比較を行った. その結果, 土地利用ごとの流入水温変化を考慮する必要はあるが, 流域全域にわたる河川水温の変化が概ね評価できることを確認した. また, 流域地形則との類似性を仮定して人口²⁾や土地利用³⁾を等比数列型の数学モデルで定式化し, 少数の流域においてその有効性を示した.

流域地形の相似性を仮定した位数化手法はHorton⁴⁾にはじまりStrahler⁵⁾によって洗練され, 流域地形則が実証的に見出された. その後, 河道の合流をより適切に表現するためにShreve⁶⁾によりマグニチュードの手法が提案された. 高棹⁷⁾は河道形成過程に関する確率統計的考察により河道分岐比の理論値を導き, また, 岩佐・小林^{8,9)}はマグニチュードによる地形則を統計理論より考察し, 位数とマグニチュードの関係を明らかにした. 流出解析に関して, Rodriguez-IturbeとValdes¹⁰⁾は分岐比・河道長比・流域面積比などのHorton-Strahler比を単位ハイドログラフの理論的枠組のなかに組み入れる方法を開発している. しかしながら, 本論文のように, 土地利用や人口

表-1 流域地形則

地形則名	記号	第n項	指数部	初項	公比	備考
		a_n	n	a	r	
河道数則	N	N_u	$k-u+1$	1	R_b	点
河道長則	L	\overline{L}_u	u	\overline{L}_1	R_L	線
流域面積則	A	\overline{A}_u	u	\overline{A}_1	R_A	面
河道勾配則	S	\overline{S}_u	$2-u$	\overline{S}_1	R_S	立体

※ここに、 u : Strahler位数($u=1\sim k$)、 k : 流域最大位数、 $N_u, L_u, \overline{S}_u, \overline{A}_u$: それぞれ、 u 次河道の数、平均河道長、平均河道勾配、 u 次流域の平均流域面積、 $R_b = N_{u-1}/N_u$: 分岐比、 $R_L = \overline{L}_u/\overline{L}_{u-1}$: 河道長比、 $R_A = \overline{A}_u/\overline{A}_{u-1}$: 流域面積比、 $R_S = \overline{S}_{u-1}/\overline{S}_u$: 河道勾配比。これらの4つの公比を総称してHorton-Strahler比とする。

表-2 低平地面積・土地利用・人口の等比数列モデル

等比数列モデル	記号	第n項	指数部	初項	公比	備考
		a_n	n	a	r	
低平地面積	AL	\overline{AL}_u	u	\overline{AL}_1	R_{AL}	面
土地利用面積	$LU^\#$	$\overline{LU}^\#_u$	u	$\overline{LU}^\#_1$	$R_{LU^\#}$	面
人口	PO	\overline{PO}_u	u	\overline{PO}_1	R_{PO}	点

※ここに、 $\overline{AL}_u, \overline{LU}^\#_u, \overline{PO}_u$: それぞれ、 u 次流域の平均低平地面積、平均土地利用面積、平均人口である。また、 $R_{AL} = \overline{AL}_u/\overline{AL}_{u-1}$: 低平地面積比、 $R_{LU^\#} = \overline{LU}^\#_u/\overline{LU}^\#_{u-1}$: 土地利用面積比、 $R_{PO} = \overline{PO}_u/\overline{PO}_{u-1}$: 人口比である。

など人間活動の流域分布を河道位数で統一的に表現し、今後Rodriguez-IturbeとValdes¹⁰⁾のような地形則に基づく流出解析との融合により、研究を流域の河川環境解析に展開させようとする試みは、著者らの知る限り見あたらない。

本論文では、まず、従来の流域地形則とのアナロジーより、人間活動が展開される低平地面積および土地利用面積・人口分布に関して等比数列型の数学モデルが定式化される。次に、対象とする日本の109の一級水系およびGIS解析の方法が紹介される。その後、検討結果の考察として、人間活動の流域分布に関する等比数列モデルの適用性、低平地面積を含む地形則と人間活動の分布則との関連性、本モデルを用いた流域間の分布特性の相対評価と流域類型化、などが議論される。最後に、得られた成果がまとめられるとともに今後検討すべき課題が示される。

2. 位数モデル

流域地形則は次の単純な等比数列で一般化される。

$$a_n = a r^{n-1} \quad (1)$$

ここに、 a_n : 第n項、 a : 初項、 r : 公比である。従来の河道数・河道長・流域面積・河道勾配に関する地形則と式(1)の関係を表-1に示す。最大のStrahler位数が k 次の流域において、内部の各次数流域間で幾何相似が成り立つことを仮定すると、式(1)・表-1に示す地形則が定式化

され、多くの流域でその適用性が実証されている^{5,11)}。

本論文では、新たに地形則として人間活動が展開される低平地面積 AL を考え、それに加え、土地利用面積 $LU^\#$ や人口 PO など水環境に影響を及ぼす人間活動もまた流域内部の各次数間で幾何相似性が成立すると仮定し、式(1)の等比数列型分布モデルの適用を試みる。表-2に低平地面積、土地利用、人口と式(1)の関係を示す。ここに、土地利用 $LU^\#$ における $\#$ は各種類を表し、森林: F 、田: P 、農用地: A 、建物用地: C 、河川湖沼: W とする。なお、本論文では後述のように、低平地面積 AL の定義には、人間活動が展開される場としての土地利用を総和した面積を用いた。研究の初期段階において、本論文の検討範囲では地形的な低平地と土地利用で定義された低平地に大きな結果の差異は生じないことを確かめた。

さらに、土地利用形態や人口の分布は流域地形の影響を様々に受けながら平野など低平地を中心に分布することから、表-1のHorton-Strahler比と表-2の各公比の間に以下の関係を仮定する。

$$R_{AL} = \alpha \cdot R_b^\beta \cdot R_L^\gamma \cdot R_A^\eta \cdot R_S^\kappa \quad (2)$$

$$R_{LU^\#} = \alpha \cdot R_b^\beta \cdot R_L^\gamma \cdot R_{AL}^\eta \cdot R_S^\kappa \quad (3)$$

$$R_{PO} = \alpha \cdot R_b^\beta \cdot R_L^\gamma \cdot R_{AL}^\eta \cdot R_S^\kappa \quad (4)$$

ここに、 $\alpha, \beta, \gamma, \eta, \kappa$ は、低平地・土地利用・人口のそれぞれについて、多くの流域データより求められる定数である。式(3),(4)の土地利用面積比 $R_{LU^\#}$ および人口比 R_{PO} については、流域面積比 R_A ではなく低平地面積比 R_{AL} の関数を仮定している。これは、人間活動が主に低平地をベースに展開されるため、 R_{AL} を用いる方が式(3),(4)で仮定する関係が明確に検出されたと考えたからである。

本論文では、式(1)・表-2に示す人間活動の流域分布則、および式(2)~(4)に示す流域地形則との関係を日本の一級水系のデータを用いて実証的に明らかにする。さらに、得られた等比数列モデルを用いて人間活動の流域分布を統計的に相互比較する。

3. 対象流域とGIS解析データ

解析の対象流域は日本の109の一級水系である。流域面積の最大は利根川の16,840km²、最小は本明川の87km²、本川流路延長の最大は信濃川の367km、最小は本明川の21km、流域内人口の最大は利根川の約1,214万人、最少は沙流川の約1.3万人と、非常に広範に値が分布する。流域形状に関しても、細長い羽状流域から丸型の放射状流域、それらの複合流域と様々である。

地理情報解析にはArcGISを用いた。流域地形に関しては、国土地理情報の50mメッシュ標高データ(Digital Elevation Model: DEM)を用いて、流域界・河道・位数・マグニチュードなど各種地形特性値を算出した。GIS解

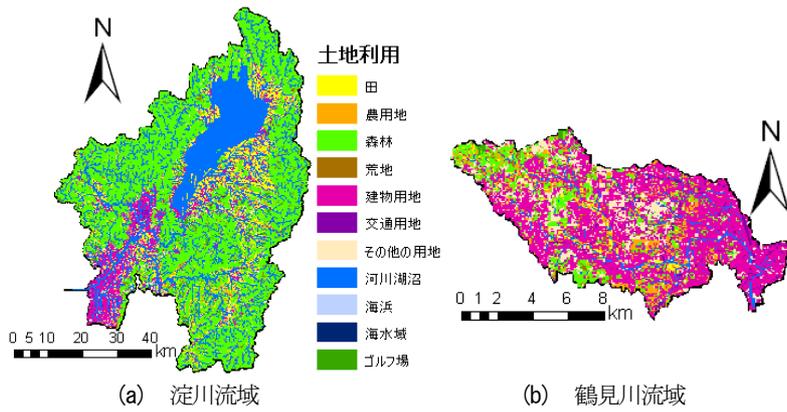


図-1 土地利用の流域分布

析の際、109流域すべてにおいて一次流域の最小値(解析における最小一次流域面積の閾値)を約1km²に設定した。土地利用に関しては、国土交通省の国土数値情報ダウンロードサービス¹²⁾から100mメッシュの平成9年データを取得し使用した。土地利用は11種に分類されるが、本論文では全流域面積に占める割合を考慮して、上述の森林、田、農用地、建物用地、河川湖沼の5種を解析の対象とした。人口に関しては、平成17年国勢調査のデータを使用した。低平地に関しては、本論文では土地利用面積を利用し、森林、海浜、海水域、ゴルフ場を除く土地利用面積の合計値を低平地面積と定義した。

図-1に土地利用の流域分布を例示する。流域面積が大きい淀川流域(図-1(a), 8,240km²)では、全体的に森林が広範囲に分布しており、河川沿いに建物用地や田・農用地などが存在する。特に、大阪の市街地を含む下流域では建物用地が大きい割合を占め、その上流の琵琶湖周辺では田・農用地の存在が目立つ。一方、流域面積が小さい鶴見川流域(図-1(b), 235km²)では、全域が建物用地に覆われる。これは流域全体が人口密度の高い首都圏に属するためである。本論文では、このように流域ごとに様々な特徴をもって分布する土地利用や人口など人間活動の流域分布を対象として流域分布モデルの検討を行う。

4. 結果と考察

(1) 従来の流域地形則の確認

地形解析におけるGIS手法の妥当性を確認し、併せて基礎的な地形情報を得るために、109の一級水系を対象として従来の流域地形則(式(1), 表-1)を確認した。図-2に淀川流域における河道数則を例示する。決定係数 r^2 が0.98となっており河道数則への適合性は非常に高い。同様に、一級水系全109流域を対象として河道数則・河道長則・流域面積則・河道勾配則への適合性を検証した結果、いずれも適合性は非常に高いことが確認された。得られた分岐比 R_b 、河道長比 R_L 、流域面積比 R_A 、河道勾配比 R_S などHorton-Strahler比の平均値はそれぞれ4.15, 2.24, 4.66, 2.54であり、既往の研究¹¹⁾の値に合致する。

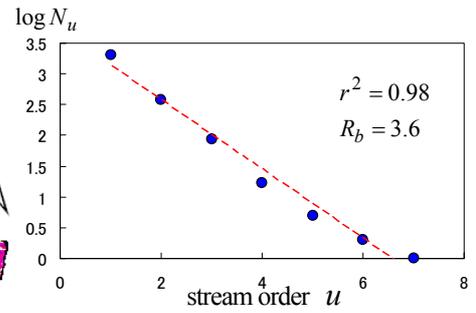
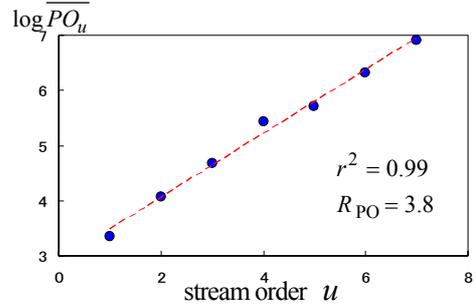
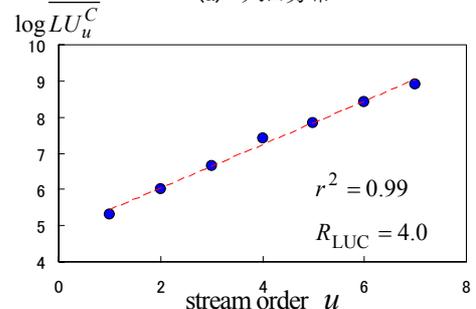


図-2 河道数則(淀川流域)



(a) 人口分布



(b) 土地利用面積(建物用地)

図-3 等比数列モデルへのあてはめ(淀川流域)

(2) 低平地面積・土地利用・人口の等比数列モデルの適合性

次に、式(1)・表-2に示される人間活動に関する等比数列型分布モデルの適合性を同様のGIS解析により検討した。図-3に、淀川流域における人口および土地利用(建物用地)の等比数列モデルへの適合性を例示する。決定係数 r^2 はどちらも0.99となりモデルへの適合性は非常に高い。ほとんどすべての流域での低平地面積・人口・各土地利用面積に関して、決定係数 r^2 が0.9以上をとる結果となった。 r^2 が低い値をとるものとしては黒部川の建物用地での0.42が唯一あげられる。以上より、モデルの高い適合性が示されており、低平地面積・人口・各土地利用面積すべてに関して等比数列モデルが成立することが確認される。低平地面積比 R_{AL} 、土地利用面積比 R_{LUF} 、 R_{LUP} 、 R_{LUA} 、 R_{LUC} 、 R_{LUW} および人口比 R_{PO} の平均値はそれぞれ、4.95, 4.56, 5.01, 4.84, 5.19, 7.11, 4.58であった。

(3) 低平地面積比・土地利用面積比・人口比とHorton-Strahler比の関係

これまでに得られた公比の値を用いて、最小自乗法に

表-3 等比数列モデルにおける公比間の関係

	公比 記号	α	β	γ	η	κ	決定係 数 r^2	式
低平地	R_{AL}	1.01	-0.34	—	1.35	—	0.94	(2)
森林	R_{LUF}	0.99	0.68	—	0.35	—	0.97	(3)
田	R_{LUP}	1.01	0.05	—	0.96	—	0.90	(3)
農用地	R_{LUA}	1.00	0.04	—	0.95	—	0.87	(3)
建物用地	R_{LUC}	1.00	-0.48	0.01	1.45	—	0.82	(3)
河川湖沼	R_{LUW}	1.01	-0.29	—	1.48	-0.01	0.69	(3)
人口	R_{PO}	1.00	0.35	—	0.64	—	0.92	(4)

※ —は、得られた定数の絶対値が0.01以下となる場合を示す。

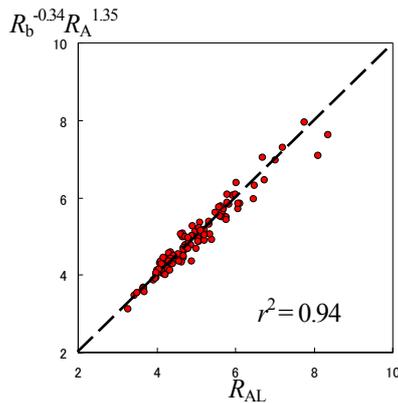


図-4 低平地面積比とHorton-Strahler比の関係

より式(2)~(4)の関係を検証する。図-4に、同定された低平地面積比 R_{AL} とHorton-Strahler比の関係を、表-3に、式(2)~(4)における定数とモデルへの適合性を示す決定係数 r^2 を、それぞれ示す。

図-4より、低平地面積比 R_{AL} と分岐比 R_b 、流域面積比 R_A の間には式(2)を介して非常に強い相関があることが確認される(決定係数 $r^2 = 0.94$)。一方、河道長比 R_L 、河道勾配比 R_S との相関は見られない。同定された定数値から判断すると、低平地面積は、上流から下流にむかって流域面積が増大するよりも大きい割合で増大し($\eta = 1.35$)、河道分岐が少ないほど下流への増加が大きくなる($\beta = -0.34$)ことがわかる。

表-3より、土地利用面積比 $R_{LU\#}$ および人口比 R_{PO} についても、河道長比 R_L 、河道勾配比 R_S への依存性はほぼ見られず、分岐比 R_b と低平地面積比 R_{AL} のみで表現できることがわかる。同定された定数の値を見ると、田・農用地に関しては低平地面積への依存性が非常に大きく、反対に森林については河道分岐の影響が強い。建物用地と河川湖沼については、下流への低平地面積の増大よりも大きい割合で増大し、河道分岐が少ないほど下流へ大きく増加する。この傾向は、上述の低平地面積比に関する増加傾向と類似する(ただし、この場合は流域面積比との比較になる)。人口に関しては、低平地面積への依存性が若干大きい、他のものに比較すると、河道分岐・低平地面積の両方から影響を受けると判断される。

以上の結果より、土地利用や人口などの人間活動は、

流域地形特性に非常に強く制約を受け、それぞれが上流から河口にかけて特徴をもって分布していることが実証された。さらにその依存性は、主に河道分岐と面積(低平地・流域)のみで表現されることがわかった。

(4) 低平地面積則・土地利用面積則・人口則を用いた人間活動分布の流域間比較と流域の類型化

本節では、得られた人間活動の流域分布に関する等比数列モデルを用いて、流域間の分布特性の比較を行う方法を提案する。特徴ある流域を対象にして結果を例示し、さらに人間活動の分布特性に基づく流域類型化を試みる。

まず、等比数列モデルを再考察する。表-3および式(2)~(4)より、分岐比 R_b と流域面積比 R_A が分かれば、低平地面積比 R_{AL} 、土地利用面積比 $R_{LU\#}$ 、人口比 R_{PO} が推定できる。ここで、表-3に示される河道長比、河道勾配比の若干の依存性は無視し、また $\alpha = 1.0$ と近似した。一方、表-2、式(1)で示される人間活動に関する等比数列モデルにおいて初項は一次流域の値が設定されていたが、これを情報が比較的得やすい流域全体での値に変更する。すなわち、土地利用面積 $\overline{LU\#}_u$ 、人口 \overline{PO}_u に関して、次のように式を書きなおす。

$$\overline{LU\#}_u = \overline{LU\#}_k (R_b^\beta \cdot R_{AL}^\eta)^{u-k} \quad (5)$$

$$\overline{PO}_u = \overline{PO}_k (R_b^\beta \cdot R_{AL}^\eta)^{u-k} \quad (6)$$

ここに、 $\overline{LU\#}_k$ 、 \overline{PO}_k ：流域全体(k 次流域)の各土地利用面積および流域内人口である。分岐比 R_b と流域面積比 R_A に関してはGIS解析からも求められるが、以下のように最大位数 k と最大マグニチュード m (一次河道の総数)、全流域面積 A 、および一次流域の平均面積 A_1 から推定可能である。

$$R_b = k \sqrt[k]{m} \quad (7)$$

$$R_A = k^{-1} \sqrt[k]{A/A_1} \quad (8)$$

ここで、 A_1 は全流域でほぼ一定と仮定され、本論文のGIS解析からは 2.5km^2 が得られている。以下の流域間比較においては、その値を用いる。

以上の考察より、最大位数 k 、最大マグニチュード m 、流域面積 A 、各土地利用面積 $\overline{LU\#}_k$ 、人口 \overline{PO}_k など流域全体の値が与えられれば、式(7),(8)を介して R_b 、 R_A が求められ、式(2)~(6)および表-3より土地利用・人口など人間活動の流域内分布が位数を独立変数として推定される。なお、GIS解析からの R_b 、 R_A と簡略式(7),(8)からの R_b 、 R_A との平均偏差はそれぞれ0.10、0.15であり、その偏差は後述の式(9)における偏差値 FSD において、平均として人口:0.1、田:0.1、農用地:0.1、森林:0.4、建物用地:0.2、河川湖沼:0.2程度の違いとなって表れる。

流域間比較を行うためのもう一つの重要な仮定は、一

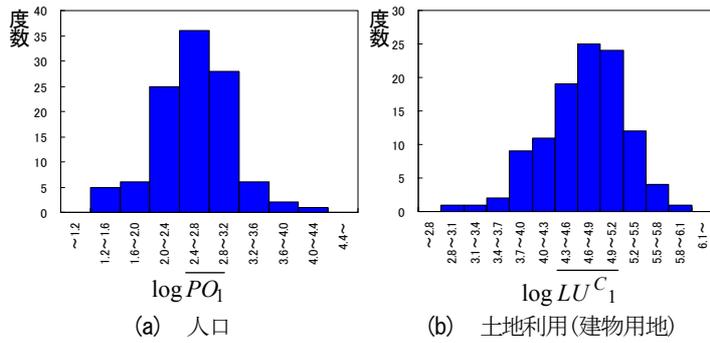


図-5 一次流域における人口・土地利用の度数分布
(a) 人口 (b) 土地利用(建物用地)

次流域における土地利用面積・人口分布のランダム性である。これは、流域全域の値を対象とする場合はその流域特有の地形形態が人間活動に大きく影響を及ぼすが、源流付近の一次流域においては、流域ごとの地形特性の影響は小さくなり、観測される人間活動面積などのバラツキには確率的なランダム性が仮定できるというものである。

図-5に、対象とした109水系の一次流域における人口と土地利用(平均値)の度数分布を例示する。これより、人口・建物用地面積の対数値は、若干の歪みはあるが、正規分布に近似可能である。他の土地利用面積についても同様に正規分布近似が可能であることが確認されており、上述の一次流域におけるランダム性の仮定が成り立つことが検証される。

以上の検討結果をもとにして、次のような手順を考え、流域間の分布特性の比較を行う。

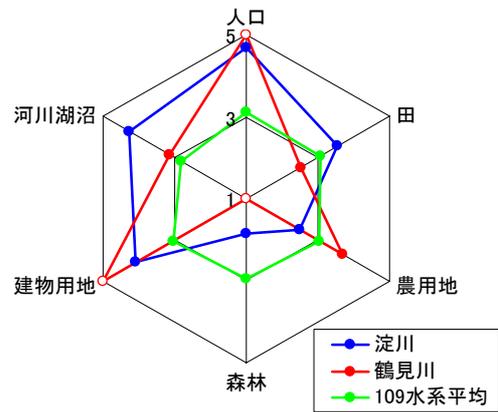
- ① ある流域の最大位数や最大マグニチュード、流域面積、人口、土地利用面積割合など全域のデータを準備する。
- ② 等比数列モデルを用いて①の流域全体の情報から一次流域の値を算出する。
- ③ 一次流域における人間活動のランダム性の仮定より、実際の面積・人口などの平均値と②で得られた値との偏差を用いて、各流域の分布特性を相対的、統計的に比較する。本論文では、次式で示される基準化された偏差値を用いて流域間比較を行った。

$$FSD = \frac{\overline{HA_1} - \overline{HA_{1all}}}{\sigma_{all}} + 3 \quad (9)$$

ここに、 FSD ：ある流域の一つの人間活動分布の大小を表す偏差値であり、平均を3に、1単位を全水系の一次流域の標準偏差 σ_{all} に基準化している。

$\overline{HA_1}$ ：ある流域の一つの人間活動分布の平均値であり等比数列モデルから算出される。 $\overline{HA_{1all}}$ ：全流域での平均値である。

図-6は、上記の手順で評価した淀川と鶴見川の人口・土地利用の流域分布に関するレーダーチャートである。



【目盛】1 : $\mu - 2\sigma$, 3 : μ , 5 : $\mu + 2\sigma$
(μ : 109水系の平均値, σ : 標準偏差)
※中抜きのお：1以下 or 5以上

図-6 流域の人口・土地利用の分布特性比較(例示)

表-4 主成分得点係数

主成分	主成分得点係数						寄与率 (%)
	PO	LU ^P	LU ^A	LU ^F	LU ^C	LU ^W	
第1	-0.48	-0.35	-0.22	0.47	-0.54	-0.29	51.6
第2	-0.23	-0.18	0.76	-0.25	0.07	-0.51	20.3

第3章の図-1において流域土地利用の概要を紹介したが、ここでは流域規模が大きく異なるこれら2つの流域の比較が等比数列モデルを介して可能となっていることがわかる。非常に都市化が進んだ鶴見川流域では、人口、建物用地が日本の109水系平均に比べて突出して大きくなっており、森林は極端に少ない。一方、関西経済圏の中心である淀川流域では、人口が相対的に多く、琵琶湖を流域に含むため河川湖沼も平均より大きくなる特徴が明確に抽出されている。

得られたFSDに主成分分析を適用することにより人間活動の分布特性に基づく流域類型化を試みる。ここでは主な結果の一部を示す。表-4に主成分得点係数と寄与率を示す。第1主成分の得点係数は森林LU^Fのみが正値を示し、人口POと建物用地LU^Cの値が大きく負値となる。これより第1主成分は流域の森林もしくは都市化の割合を表すと推察される。同様の考察により、第2主成分は農用地と河川湖沼に大きく依存する成分と考えられる。これらの累積寄与率は71.9%であり、この2つの主成分により人間活動の流域分布特性が概ね評価される。

図-7は、横軸を第1主成分に、縦軸を第2主成分にとった主成分得点散布図である。上述の考察より、第2象限に入る流域は人工的(都市化、農用地)、第4象限の流域は自然豊か(森林、河川湖沼)と判断される。図-8は、この散布図での象限分類を日本地図上に可視化したものである。第2象限(人工)の流域を赤で、第4象限(自然)の流域を青で示している。これより、等比数列モデルを介して評価された人間活動の分布特性に基づき、流域が合理的

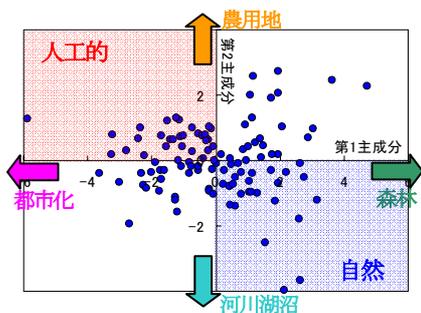


図-7 主成分得点散布図(第1, 第2主成分)

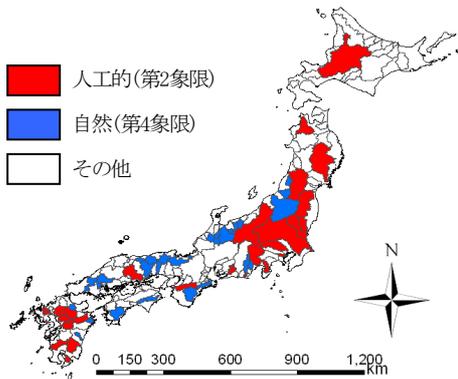


図-8 人間活動の分布特性に基づく流域分類

に類型化されていることがわかる。石狩川や関東都市圏の流域が人工的と分類され、日本海側や四国の流域が自然豊かと評価される。淀川流域が人工的と分類されないのは、琵琶湖を含め河川湖沼の割合が大きいことが要因と推察される。このような定量的、合理的な流域間比較や流域類型化は、地形特性や流域の規模が大きく反映される流域全域の値では不可能であり、統計的な考察が可能となる本論文で提案した方法の有用性が示されたといえる。

5. 結 論

本論文では、日本の109の一級水系における現在のデータを用い、人間活動が展開される低平地面積および土地利用面積・人口分布に関して河道位数を用いた等比数列型の数学モデルを開発した。また、そのモデルを用いて人間活動分布の流域間比較と流域類型化を行う手法を提案した。得られた主な成果を以下に列挙する。

- ① 流域地形則とのアナロジーを仮定して、低平地面積・土地利用面積・人口など人間活動の流域分布に関する等比数列モデルの定式化し、その有効性を確認した。
- ② 流域地形則におけるHorton-Strahler比と、本論文の等比数列型モデルにおける低平地面積比、土地利用面積比、人口比など公比の間に非常に明確な関連性が見出された。この事実は人間活動が地形特性に大きく影響されて流域内で展開されていることを明示

していると考えられる。

- ③ 同定した等比数列モデルと一次流域におけるランダム性の仮定より、人間活動分布の流域間比較を行うための手法を提案し、特徴的な二つの流域を対象に手法の有効性を検証した。
- ④ 主成分分析を③で得られた結果に適用することにより、人間活動の分布特性を基軸にして109の流域を合理的に類型化した。

本論文では、流域の河川環境に影響を及ぼす土地利用や人口など人間活動そのものを対象にして河道位数を用いたモデル化を行った。したがって、水工学的な課題である河川環境や水資源管理との関連性に関しては直接議論されておらず今後の課題となる。Horton-Strahler比と単位ハイドログラフとの理論的關係は既に先行研究¹⁰⁾が存在しており、それに本論文での人口・土地利用分布の成果を組み合わせることによって、今後水工学課題への展開を図る予定である。

謝辞: 本研究を遂行するにあたり、費用の一部を平成20年度科学研究費補助金(萌芽研究, No.20651010, 研究代表者: 道奥康治)から補助いただきました。前神戸大学COE研究員の田中貴宏博士には、GIS解析にあたり技術指導いただきました。以上、記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 宮本仁志, 道奥康治: 流域地形則を用いた河川水温分布モデル, 水工学論文集, 第52巻, pp.1069-1074, 2007.
- 2) Miyamoto, H., Michioku, K., Tanaka, C., and Tanaka, T: GIS application to evaluate relation of stream order to population distribution in river basins, *Proc. 7th Int. Conf. on Hydroinformatics 2006*, Vol.3, pp.2181-2187, 2006.
- 3) 宮本仁志, 道奥康治, 谷初, 田中千尋, 田中貴宏: 河道位数を用いた社会・自然環境因子の流域分布の表現手法, 第62回土木学会年次学術講演会, 講演概要CD-ROM, CS部門, 2007.
- 4) Horton, R.E.: Erosional development of stream and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology, *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol.56, pp.275-370, 1945.
- 5) 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.
- 6) Shreve, R.L.: Infinite topologically random channel network, *Journal of Geology*, Vol.74, 1967.
- 7) 高棟琢馬: 出水系とその機構, 石原藤次郎編, 水工水理学, 第9章, 丸善, pp.356-422, 1972.
- 8) 岩佐義朗, 小林信久: マグニチュード理論による河道網の連結構造に関する統計則と指標, 土木学会論文報告集, 第273号, pp.35-46, 1978.
- 9) 岩佐義朗, 小林信久: マグニチュードに基づく流域地形統計則およびその位数理論との関連性, 土木学会論文報告集, 第273号, pp.47-58, 1978.
- 10) Rodriguez-Iturbe, I. and Valdes, J.B.: The geomorphologic structure of hydrologic response, *Water Resour. Res.*, 15(6), pp.1409-1420, 1979.
- 11) 土木学会水理委員会: 水理公式集, 平成11年度版, pp.28-29, 1999.
- 12) <http://nlfip.mlit.go.jp/ksj/>

(2008. 9. 30受付)