中国地方における流域の流程区分図の作成とそ の活用法の検討

STUDY ON STREAM CLASSIFICATION MAP IN RIVER BASIINS OF CHUGOKU DISTRICT

赤松良久1·上鶴翔悟2·高村紀彰3·神谷大介4·清木隆博5·竹村紫苑6· 乾隆帝⁷·鎌田磨人⁸ Yoshihisa AKAMATSU, Syogo KAMITSURU, Yoshiaki TAKAMURA, Daisuke KAMIYA, Takahiro SEIKI, Shion TAKEMURA, Ryutei INUI and Mahito KAMADA 1 正会員 博(工) 山口大学大学院准教授 理工学研究科社会建設工学専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1) 2学生会員 学(工) 山口大学大学院生 理工学研究科社会建設工学専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1) ³非会員 修(工) (株) 中電技術コンサルタント (〒734-8510 広島市南区出汐二丁目3番30号) 4正会員 博(工) 琉球大学助教 工学部環境建設工学科(〒903-0213 沖縄県西原町千原1) ⁵非会員 学(工) 山口大学 工学部社会建設工学科(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1) ⁶正会員 博(工) 総合地球環境学研究所(〒603-8047 京都市北区上賀本山457番地4) 7非会員 博(農) 山口大学大学院学術研究員 理工学研究科社会建設工学専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1) ⁸正会員 学術博 徳島大学大学院教授 ソシオテクノサイエンス研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島2-1)

River basins are customarily classified into upstream, midstream and downstream, however the classification is not distinct. The classifications based on the physical features of rapid and pool and on bed slope and bed material are proposed. However, these classifications need the detailed survey of bed form. In this study, stream classification method using Digital Map 50m Grid (Elevation) is proposed and application method is considered in river basins of Chugoku District.

A stream classification map is created by GIS analysis and model based clustering for the small drainage basins in Chugoku District. They are classified into 8 types. This map is applied for water quality analysis and it revealed that there is a distinct difference of BOD and T-N between 8 types of the small drainage basins.

Key Words : stream classification, river basin, , model based clustering, Chugoku District

1. はじめに

河川は慣例的に上流,中流,下流と分類される.河川 工学的には上流は浸食作用が卓越し,中流は運搬作用が 卓越し,下流は堆積作用が卓越する地形であると説明さ れる.しかし,これらの区分は河川の管理区間によって 分けられていることも多く,厳密には物理的特徴による 区分を行っていない.一方で,河川生態という観点から は「淵・平瀬・早瀬」を一つの単位として、その特徴か ら渓流型、中流型、下流型と分類する方法¹⁾が提案され ている(図-1).上流では一つの蛇行区間において多く の瀬と淵が交互に出現し、この地形的特徴をA型、中・ 下流では瀬と淵が一つずつ出現し、この地形的特徴をB 型としている.さらに、瀬から淵への流れ込み方で、上 流で滝のように落ち込むa型、中流で波立ちながらなめ らかに流れるb型、下流でほとんど波立たずに流れるc型 に分類される.両者を組み合わせて、河川形態をAa渓



表-1 セグメントによる地形区分²⁾

項目	セグメントM	セグメント1	セグ 2-1	メント2 2-2	セグメント3
地形区分	山間地	扇状地			
		谷底平	Ź野		
			自然	然堤防	
				デルタ	
粒径	さまざま	2cm以上	3cm~1cm	1cm~0.3mm	0.3 c m以下
勾配	さまざま	$1/60 \sim 1/400$	1/400	~1/5000	1/5000~水平

流型,Bb中流型,Bc下流型の三つに分けられる.また, 治水・河川管理上の河川の類型化として,主に河床勾配 や河床材料に着目して,山間地河道区間のセグメントM, 扇状地河道区間のセグメント1,自然堤防を有する中間 地河道区間のセグメント2,デルタ区間のセグメント3に 区分する方法²が広く用いられている(**表-1**).

しかし、これらの方法には河床形状・河床材料の詳細 なデータや現地踏査が必要であり、流域内のすべての支 流も含めた河川区分は困難である.そこで、本研究では 日本全国のすべての地域において同精度で入手可能な国 土地理院数値地図データを用いて流域内の河川の流程区 分法を提案するとともに、その活用法を検討する.

2. 解析方法

(1) 流程区分図の作成

中国地方を解析対象地とし、地理情報システム (GIS:Geographic Information System)を用いて流程区 分図を作成した.流程区分図の作成フローを図-2に示す. まず,i)図を作る際の基盤となる河道と、各河道を含む 小流域を抽出する.50m×50m単位で標高の値を持つ中 国地方の標高データをもとに、標高値の高低差から 50m×50m格子における水の流れる向きおよび集水面積 を算出し、一定以上の集水面積を持つ格子の集合体を河



図-3 樹林地率,農用地率,市街地率の定義

鉄道

道とみなす. ii)GISを用いて解析に用いるパラメータ, 傾斜角, Stream Power Index (以下SPI), Topographical Wetness Index (以下TWI)を50m×50m格子単位で算出す る. SPIは集水面積が大きく,傾斜が急峻な場所ほど値 が大きくなり,土砂侵食の起こりやすさを示している. 一方,TWIは集水面積が大きく,傾斜がゆるやかな場所 ほど値が大きくなり,土砂堆積の起こりやすさを示して いる. SPIとTWIは以下の式(1), (2)によって算出される³⁾.

$$SPI = ln(As \times tan\theta) \tag{1}$$

$$TWI = ln(As/tan\theta)$$
(2)

ここで, Asは任意の50m×50m格子に流入する集水域面 積をあらわし, θは格子における傾斜角をあらわす.な お,小流域の抽出とSPI及びTWIの算出にはArcGISの水 文解析ツールを用いた.次に,iii)各小流域の地形条件と して,小流域内の平均標高,平均傾斜角,平均SPI,そ して,平均TWIを算出した.同時に,iv)各小流域より上 流域の地形条件として,上流域面積,上流域平均傾斜角, 上流域平均SPI,そして,上流域平均TWIを算出した. ここでは,各小流域の持つ河道の最上流側にポイントを 発生させ,その点より上流の全ての集水域を上流域とし ている.

最後に各小流域における平均標高,平均傾斜角,平均 SPI,平均TWI,上流域面積,上流域平均傾斜角,上流 域平均SPI,上流域平均TWIの8つのパラメータを用いて 統計ソフトRにより,総当たりによる最適パラメータの



図-4 各クラスの上流域平均SPI,上流域平均TWIの箱ひげ図



図-5 中国地方の流程区分図

選定を行う. 選定されたパラメータをもとにクラスター 分析を行い,物理的環境要因から分けられた集水域の結 果から流程区分図を作成した.

(2) 土地利用類型図の作成

流程区分図と同様の小流域を用いて,土地利用類型図 を作成する.「国土数値情報」から得られる土地利用細 分メッシュデータをもとに,各小流域の上流のすべての 集水域における田,森林,建物用地など12種の土地利用 割合を算出した.さらに,単純化を図るため,これらを 樹林地(森林,荒地)率,農用地(田,その他農用地) 率,市街地(建物用地,道路,鉄道)率に再分類した (図-3).この3つの環境要因をもとにクラスター分析 を行い,土地利用類型図を作成した.

(3) 水質データベースの作成

国土交通省の公開している水文水質データベースを用いて、中国地方一級水系のBOD、COD、T-P、T-Nデータの整理を行った.流程区分図との相互利用による水質解析を円滑に行うため、各観測地点の2000~2011年にかけての平均値を算出し、位置情報を持つGISのデータと

して整理した.

3. 中国地方の流程区分図と土地利用類型図

(1) 中国地方の流程区分図

中国地方を対象として、総当たりによる最適パラメー タの選定を行った結果、上流域平均SPI、上流域平均 TWIの2つが選ばれた.これは吉野川流域を対象とした 同様の解析⁴によって選択されたパラメータと一致した. 各クラスの上流域平均SPI、上流域平均TWIの箱ひげ図 を図-4に示す.なお、箱ひげ図の箱の下端がデータの第 1四分位(25%)、上端がデータの第3四分位(75%)、 箱の中の線が中央値(50%)を示す.上下に延びる「ひ げ」の長さは、箱の長さの1.5倍以内にある最大値、最 小値までの距離である.クラス1、2、3の特徴としてSPI の値が高く、TWIの値が低いことがあげられ、流れのエ ネルギーが強く浸食作用が大きい小流域であることが分 かる.クラス6、7、8はSPIの値が低くTWIの値が高いため、 水が滞留しやすい小流域と見られる.また、これらを用 いてクラスター分析を行い、8つのクラスに流域を分類 した結果を図-5に示す.瀬戸内海側の沿岸域や宍道湖・ 中海にクラス8にあたる小流域が存在していることがわ かる.宍道湖・中海より西側の日本海側では沿岸域にク ラス7,8にあたる小流域はほとんど見られない.また, 中国山地の津山・荘原・三好盆地においてはクラス6に あたる小流域がみられる.図-6に各クラスの上流平均 TWI,上流平均SPIおよび標高の三次元散布図を示す. クラス7,8は標高5m以下にしか存在しないものの,ク ラス6は標高500m程度のところにも分布していることが わかる.一方で,クラス1~5は標高によらず広く分布し ていることがわかる.これは支流や支支流の上流域でク ラス1~5に該当する小集水域は様々な標高に存在するた めである.

さらに、中国地方の一級河川の国土交通省直轄区間に 着目して、先述のセグメントによる区分と流程区分の比 較を行った(図-7).流程区分は一級河川の直轄区間を 含む小流域に色付けを行っている.ここで、セグメント 区分は表-1の河床勾配を用いて分類を行った.直轄区間 にはセグメントMに相当する区間は見られず、セグメン ト1,2,3のみの分類となった.セグメント区分では上 流から下流にセグメントの順番通りに並ぶのに対して、 流程区分においては上流から下流にクラスの順番通りに 並んではおらず、旭川や江の川のように順序が逆になる 河川も見られる.流程区分においては日本海側の高津川, 江の川や瀬戸内海側の小瀬川では河口に近い小流域でも クラス4に属している.流程区分図では河川の上流から 下流の特徴を各小流域区間の上流の集水域の平均のSPI, TWIで分類しており,区間そのもののだけの特徴ではな くその区間が影響を受ける集水域全体の影響を考慮した 分類となっている.



図-6 各クラスの上流平均TWI,上流平均SPIおよび 標高の三次元散布図



図-7 中国地方の一級河川のセグメント区分と流程区分の比較





図-9 中国地方の土地利用類型図

既存のセグメント区分等の分類は河床勾配や河床形状 のデータが十分に得られていない二級河川や普通河川へ の適用が困難であったが,流程区分は図-5に示したよう にすべての河川や潜在的河川(実際には河道が形成され てない)に関して分類が可能である.また,既存の分類 法に比べて,より詳細な8つのクラスに分類されている ことも活用上の大きな利点になると考えられる.例えば, 日本全国の様々な河川の中流から下流域で起こっている 河道内の樹林化に関しても,その発生場所の物理的特徴 によって区分した上で,樹林化の発生要因の解明や対応 策の検討が必要である事が指摘されており⁵,ここで提 案する流程区分が有効であると考えられる.

(2) 中国地方の土地利用類型図

流程区分と同様に各小流域区間の上流の集水域の土地 利用形態を反映した土地利用類型図を作成した.ここで はクラスター分析によって、中国地方の各小流域は3つ のクラス(中間型,森林卓越型,市街地卓越型)に分類 した.各クラスの樹林地率,農地率,市街地率の箱ひげ 図を図-8に示す.森林卓越型クラスは樹林地率が最も高 いクラスで、小流域の上流の集水域がほぼ樹林地になっ ている.市街地卓越型クラスは市街地率と農用地率が最 も高く、小流域の上流の集水域の樹林地率が5割を下回 る.中間型は森林卓越型に比べて市街地率と農用地率が 高く、樹林地率が少し低い.図-9にこれらの三つのクラ スを用いた中国地方の土地利用類型図を示す.沿岸域だ けでなく、上流域にも市街地卓越型の小流域があること がわかる.

4. 流程区分図および土地利用類型図を用いた水

質解析

中国地方の国土交通省の水質観測地点(図-10)を対



図-11 流程区分の各クラスに属する観測地点数

象として流程区分図および土地利用類型図を用いた水質 解析を行った.

(1) 流程区分図による水質解析

図-11に流程区分の各クラスに属する観測地点数を示 す.観測地点はクラス4,5に集中しており,他のクラス ではわずかな観測地点しか存在しない.各クラスにおけ る2000~2011年にかけてのBOD,T-Nの平均値を図-12 に示す.クラス4,5,6については箱ひげ図も示してい る.なお,クラス1,2には観測地点が存在しなかった. 上流側の物理的性質を持つクラス3の小流域ではBOD, T-Nの値が小さく,水質は良好であるといえる.一方で, クラス7の下流域の特性をもった小流域ではBOD,T-N



の値が高く、クラス3などに比べ水質が悪いことが確認 できた.したがって、流程区分のクラス間には、水質の 違いがあることが分かった.

(2) 土地利用類型図による水質解析

観測地点数の多かった流程区分のクラス5を対象として、3つの土地利用クラスの2000~2011年にかけてのBOD,T-Nの平均値の箱ひげ図を図-13に示す.これより、森林卓越型のBOD,T-N値は低く、中間型、市街地卓越型のBOD,T-N値は高くなっており、人間活動による負荷の水質への影響が表れている.さらに、中間型と市街地卓越型を比較すると、中間型の方がわずかにBOD,T-N濃度が高い.これは市街地卓越型においては下水道等の整備が進むことによって、河川への汚濁負荷の影響が軽減されていることによるものと推察される.

5. 結論

本研究では中国地方を対象に,流域基盤図として河川 環境の物理的性質を表す流程区分図および土地利用分類 図を作成し,これらを用いた水質の解析を行った.

流程区分図では各小流域の上流の集水域の平均SPIや TWIなど物理的環境要因から中国地方の小流域を8つに 分類された.また,土地利用類型図では各小流域の上流 の集水域の平均樹林地(森林,荒地)率,農用地(田, その他農用地)率,市街地(建物用地,道路,鉄道)率 によって森林卓越型,市街地卓越型,中間型の3つに分 類された.

これらの流域基盤図を用いて中国地方の水質観測地点 を流程区分および土地利用類型に分類し、各クラス間の 比較を行った.その結果、流程区分のクラス間には水質 の違いがあることが明らかとなり、流程区分の有用性が 確認された.

謝辞:本研究は国土交通省受託研究「佐波川の河床掘 削・堰撤去が河川環境に与える影響の研究」および河川 整備基金指定課題(助成番号25-1115-002,研究代表者: 宮本仁志)の補助を受けて行った.また,国土交通省中 国地方整備局から測量成果等の貴重なデータの提供を頂 いた.ここに記して謝意を表します.

参考文献

- 可児藤吉:生態.「日本生物誌,昆虫,上」(古川晴男 編),研究社,1994.
- 山本晃一:構造沖積河川学 その構造特性と動態 ,山海 堂, 2004.
- Wilson, J. P. and Gallant, J. C.: Terrain Analysis: Principles and Applications, John Wiley and Sons, Inc., 2000.
- 4) 田川良:流域基盤図としての流程区分図の作成および活用
 手法の提案,徳島大学建設工学科卒業論文,2009.
- 宮本仁志,赤松良久,戸田祐嗣:河川の樹林化課題に対する研究の現状と将来展望,河川技術論文集,第19巻, pp.441-446,2013.