

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2014～2016

課題番号：26340091

研究課題名（和文）大規模流量・生物データ解析による攪乱レジーム - 河川生物群集関係の解明

研究課題名（英文）Relationship between flow regime and river faunal composition: A large-scale analysis of discharge and faunal data

研究代表者

三宅 洋 (MIYAKE, Yo)

愛媛大学・理工学研究科（工学系）・准教授

研究者番号：90345801

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、既存の国内流量・生物データを活用した大規模解析を行うことにより、流量変動・河川生物群集関係を広域的に解明することを目的とした。この結果、国内河川において底生動物・魚類の保全に考慮した流量管理を行う際には、出水の継続時間および春季出水規模に注目するべきであることが示された。これら流量レジーム特性の改変に関連しているダムの運用方法の改善および土地利用の影響の緩和が河川生態系の保全にあたっては重要であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：We aimed to elucidate the relationship between flow regime and river faunal composition across Japanese rivers. Our results showed that the duration of high flow events and the magnitude of spring flood have strong influence on the community structure of stream-dwelling invertebrate and fish in Japanese rivers. We concluded that environmental flow management, such as improvement of dam operation and mitigation of the impact of human land use, is essential for river ecosystem conservation.

研究分野：生態工学，生態学，生態系修復・整備，土木環境システム

キーワード：生態工学 河川生態学 群集生態学 大規模データ解析 物理的攪乱 流量レジーム 河川性底生動物  
河川性魚類

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 流量変動は河川における最も普遍的な現象の一つであり、河川生態系特性の支配的な決定要因である。大規模な流量変動は物理的攪乱として河川生物を死滅させるとともに、生息場所構造を改変することにより、種多様性や生物群集の構造に影響を及ぼす。このため、河川生物の多くは長期的な流量変動様式(流量レジーム)に適應した生態的特性を有し、流量レジームに対応した生息分布をすると考えられている(Poff et al. 1997)。

近年の人間活動の活発化により河川の流量レジームは著しく改変されている。治水・利水を目的としたダム建設、河川改修、河川水・地下水の利用、さらに流域の土地被覆の改変や人間活動に起因する気候変動などの人間活動は、流量レジームの人為的改変を介して河川生態系の劣化をまねくことが危惧されている。これを受けて、北米やヨーロッパ、オーストラリアなどの地域で、広域流量データを利用した流量レジーム解析が行われている。

(2) 流量レジームは5つの構成要素(規模、頻度、持続時間、タイミングおよび変化率)により定量的に評価することができる。流量レジーム解析では、流量の長期観測データを利用し、これら5構成要素について多岐にわたる水文指標(Hydrologic indices)を算出する(例えば、年間最大流量、年間豊水頻度など)。さらに、主成分分析(PCA)等の系列化解析により情報を集約し、少数の指標(以後、流量レジーム変数とする)を得る(Olden & Poff 2003)。

この流量レジーム変数と流域の人為改変特性との関係を検討することにより、流量レジームに影響を及ぼす人間活動要因とその改変様式を解明することができる。また、自然状態に近い流量レジームを持つ地点(リファレンス地点)を抽出することにより、自然条件下での流量レジーム特性の把握が可能になる。さらに、類似した自然流量レジームを有するグループ(水文地域, Hydrologic region)に分類し、それらグループ毎に解析を行うことにより解析結果を高精度化できる(Kennard et al. 2010)。

既往研究による流量レジーム解析は、対象地域の流量管理手法の発展に貢献するとともに、河川生態系の保全・再生に資するものとして期待されている。流量レジーム-河川生物群集関係を把握することにより、群集構造の決定に関与する流量レジーム要素が解明され、具体的な流量管理手法の提案が可能になる。しかしながら、河川生態系を構成する生物の多様性や群集構造と流量レジームとの関係を広域的に検討した研究は少なく、特に、流量レジームの改変が生物群集の広域パターンに及ぼす影響は明らかになっていない。

### 2. 研究の目的

本研究は、既存の国内流量・生物データを活用した大規模解析を行うことにより、流量レジーム-河川生物群集関係を広域的に解明することを目的とした。さらに、流量レジームを決定する自然要因と人為的要因の解明、流況復元の目標となるリファレンス地点の抽出、自然・改変流量レジームが生物群集に及ぼす影響の把握により、生態系保全を目的とした流量管理手法に応用可能な具体的情報を提供することを目指した。具体的には次の4点を目標とした。

- I) 攪乱レジーム解析により、攪乱レジームを決定する自然・人為的要因を解明する。
- II) 水文地域分類を実施するとともに、リファレンス地点を抽出する。
- III) 日本全域および各水文地域内で流量レジーム-底生動物・魚類群集関係をそれぞれ解析し、自然・改変流量レジームが生物群集に及ぼす影響を把握する。
- IV) 群集構造の決定に関与する流量レジーム要素を特定し、具体的な流量管理手法を提案する。

### 3. 研究の方法

(1) 国土交通省水文水質データベースの流量データを利用して解析を実施し、国内河川の流量レジーム特性を把握した。(独)土木研究所の協力により、クリーニング済みのデータベースを取得した。水文水質データベースに収録されている全国2078流量観測所についてデータ整備状況を検討し解析対象地点および解析対象期間を決定した。

流量レジームの5構成要素について、水文指標を算出した(Olden & Poff 2003)。各解析対象地点で算出した水文指標についてPCAを実施し、少数のPCA軸に情報を集約した。以後、これら各PCA軸の値を「流量レジーム変数」とし、各流量観測地点の流量レジーム特性を表す指標として用いた。

(2) 河川流況の決定要因を把握した。GISを用いた地理情報解析により、各流量観測地点について、自然環境変数(緯度経度、流域面積、流域の平均勾配、流域の最高標高、流域の気候特性、地質の面積割合など)を算出した。同様に、人為改変に関する変数(流域の土地利用の面積割合、ダム集水域面積割合など)を算出した。

これら環境変数を説明変数、上記の流量レジーム変数を応答変数とする統計モデリング(一般化線形モデル[GLM]を使用)により、環境-流量レジーム間のパターンを明らかにした。人為改変変数と各最適モデルにおける貢献度とを考慮して、人為改変の程度が比較的小さな地点を抽出し、自然の流量レジームに近い地点(リファレンス地点)とした(Poff et al. 2007)。

(3) 流量レジーム変数を用いたクラスター分析を行い、日本国内の各地点を流量レジームが類似したグループに分類した。これにより、国内河川の「水文地域」を明らかにした。

(4) 国土交通省が全国の一級河川(109 河川)で実施している河川水辺の国勢調査による底生動物および魚類のデータを利用して流量観測 - 生物調査地点のマッチングを行った。同一の調査マニュアルが適用され、調査実施地点数が多く、データの整理が進んでいる3 巡目(2001~2005 年度実施)のデータを対象とした。

各生物調査地点について、流量観測地点とのマッチングを行った。同一のセグメント(主な支流の流入が見られない一連の河川区間)に位置する流量観測地点を特定した。

(5) 上述の河川水辺の国勢調査データより底生動物・魚類相情報を抽出した。解析対象地点における総出現種数(分類群数)、優占種の存否、生態特性毎の優占度等を算出した。

(6) 上記(1)および(5)でそれぞれ得られた「流量レジーム変数」および「群集変数」を用いて解析を実施した。これらの結果より、底生動物・魚類の群集構造の決定に關与する流量レジーム要素を特定し、具体的な流量管理の指標として提案する。

#### 4. 研究成果

(1) 全国 2078 流量観測所のデータの利用可能性を検討した結果、1992-2011 年の 20 年間、418 地点が解析対象となった。統計解析ソフト R のパッケージである EflowStats を使用してこれら地点の日流量データから 122 種類の水文指標を算出した。

これら水文指標を用いた PCA により得られた 6 つの軸の値を流量レジーム変数とした。各 PC 軸(PC1-6)の特性は、PC1: 流量変動が激しく基底流量が小さい河川を指標する軸、PC2: 出水の持続時間が長く発生頻度が低い河川を指標する軸、PC3: 出水の持続時間が長く出水流量の変動が小さい河川を指標する軸、PC4: 低水流量の変動が小さい河川を指標する軸、PC5: 流量が変化している日数が多い河川を指標する軸、PC6: 低水の頻度が高い河川を指標する軸であった。Olden & Poff (2003) による北米河川の研究と比較して、出水の頻度、継続時間および変化率に關する軸が得られており、これら要素は国内河川の流量レジームの特徴を表すものと考えられた。

(2) 自然・人為環境変数と流量レジーム変数との関係を解析した結果、Kennard et al. (2010) によるオーストラリア河川の研究と同様に、流量レジームは気候の影響を強く受けていることが明らかになった。

人為的影響については、Poff et al. (2007)

が北米河川における流況改変の主要因として挙げているダム建設に加え、土地利用の重要性が確認された。ダム集水域面積割合が大きい河川では流量調整により出水の程度が小さくなる(PC2, PC3, PC6 の値が増加すること、水田・都市域の土地利用強度の高い河川では不浸透域割合の上昇により出水の程度が大きくなる(PC2, PC3, PC6 の値が減少すること)が示唆された。上記 3 人為環境変数が全て中央値以下の 69 地点が国内におけるリファレンス地点として抽出された(図 1)。

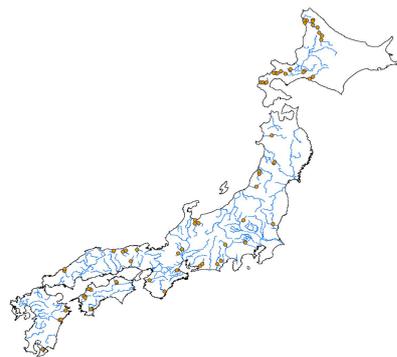


図 1 リファレンス地点の分布

(3) 流量レジーム変数を用いたクラスター分析により、国内河川を 8 つの水文学的グループに分類した(図 2)。これらの分布と各グループの主成分得点を検討した結果、Kennard et al. (2010) のように地理的に限定された分布を示すグループも見られたが、広域に分布するグループ、流量変動の大小により規定されるグループ、出水頻度により規定されるグループなどグループ特性は多様であった。

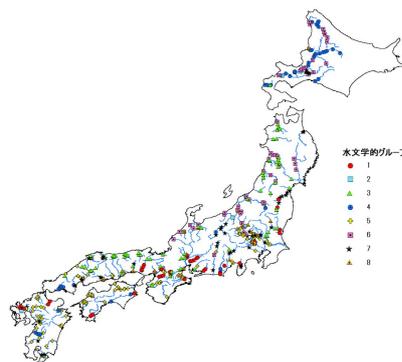


図 2 水文学的グループ

(4) 生物調査地点について流量観測地点との位置関係を検討した結果、底生動物については 285 地点が、魚類については 256 地点が流量観測地点とマッチングした。

(5) (4) で抽出された地点について底生動物および魚類のデータを整理した。底生動物については 512 分類群が対象となり、分類群数は北日本または大都市域で少なかった。魚類については、在来種 23 種および外来種 4 種の存否が群集構造の指標として抽出され、

国内河川は在来種データに基づき6つの地域に分類された。

(6) 人為環境変数との関係が見られた流量レジーム変数に注目すると、底生動物の分類群数は、出水の持続時間が長く出水流量の変動が小さい河川を指標するPC3の値が小さな地点で少なくなった(図3)。これは、出水の激しい河川で低攪乱耐性分類群の喪失が起こっているためと考えられた(Poff et al. 1997)。実際に、固着性で移動性が低い造網性トビケラの分類群数割合はPC3の値が小さな地点で低下した。

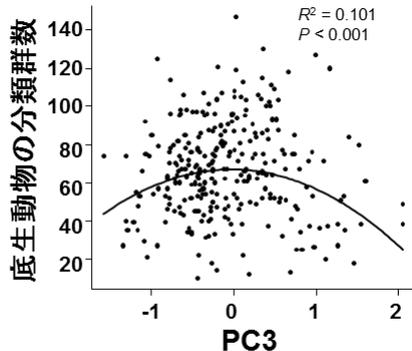


図3 出水継続時間を指標する流況レジーム変数(PC3)と底生動物の分類群数の関係

出水規模に関する水文指標は、ウグイやカワムツ、カマツカ、トウヨシノボリといった在来種の出現率に対して正の効果をもたらし、外来種であるオオクチバスやブルーギルには負の効果を示していた(図4)。春季の出水規模の大小が在来種と外来種の産卵に適した環境の創出に正反対に働くことがこの原因として考えられた。

以上より、国内河川において底生動物・魚類の保全に考慮した流量管理を行う際には、出水の継続時間および春季出水規模に注目するべきであることが示された。さらには、これら流量レジーム特性の改変に関与しているダムの運用方法の改善および土地利用の影響の緩和が河川生態系の保全にあたっては重要であることが示唆された。

<引用文献>

Poff N. L., Allan J. D., Bain M. B., Karr J. R., Prestegqrd K. L., Richter B. D., Sprks R. E. and Stromberg J. C. (1997) The natural flow regime: paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* 47: 769-784.

Olden J.D. and Poff N.L. (2003) Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. *River Research and Applications* 19: 101-121.

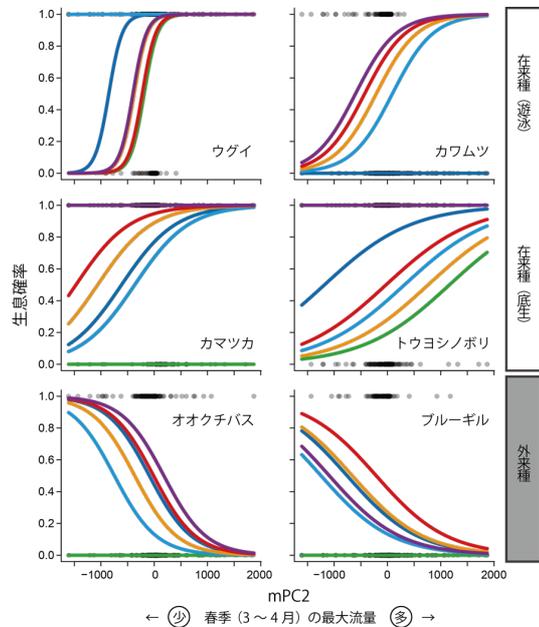


図4 春季出水規模を指標する流況レジーム変数(mPC2)と優占魚類の出現率の関係

Kennard M. J., Pusey B. J., Olden J. D., MacKay J. L. & Marsh N. (2010) Classification of natural flow regimes in Australia to support environmental flow management. *Freshwater Biology* 55: 171-193.

Poff N. L., Allan J. D., Bain M. B., Karr J. R., Prestegqrd K. L., Richter B. D., Sprks R. E. and Stromberg J. C. (1997) The natural flow regime: paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* 47: 769-784.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

Mori T., Onoda Y. and Kayaba Y., Geographical patterns of flow-regime alteration by flood-control dams in Japan, *Limnology*, 査読有, 印刷中. DOI: 10.1007/s10201-017-0518-y

Kawanishi R., Dohi R., Fujii A., Inoue M., and Miyake Y., Vertical migration in streams: seasonal use of the hyporheic zone by the spinous loach *Cobitis shikokuensis*, *Ichthyological Research*, 査読有, 印刷中. DOI: 10.1007/s10228-017-0576-5

末吉 正尚・赤坂 卓美・森 照貴・石山 信雄・川本 朋慶・竹川 有哉・井上 幹生・三橋 弘宗・河口 洋一・鬼倉 徳雄・三宅 洋・片野 泉・中村 太士, 河川水辺の国勢調査を保全に活かす データがもつ課題と研究例, 保全生態学研究, 査読有, 21巻, 167-180, 2016.  
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40021029770>

井上 幹生, 河川生態系における人為的インパクト, 愛媛ジャーナル, 査読無, H26年6月号, 76-79, 2016.

[学会発表](計31件)

川西 亮太, 日本の河川に生息する魚類の分布と攪乱レジームとの関係性, 第64回日本生態学会大会, 2017年3月16日, 早稲田大学(東京都・新宿区).

三宅 洋, 日本国内河川の流量・攪乱レジームと底生動物の反応, 日本陸水学会第81回大会, 2016年11月6日, 琉球大学(沖縄県・西原町).

川西 亮太, 日本の河川における国外外来魚の分布と攪乱レジームとの関係性, 第49回日本魚類学会年会, 2016年9月24日, 岐阜大学(岐阜県・岐阜市).

渡辺 裕也, 国内河川における攪乱レジームと底生動物相の関係, 応用生態工学会第20回大会, 2016年9月2日, 東京大学(東京都・文京区).

森 照貴, 河川におけるダムが存在が底生動物群集に及ぼす影響, 応用生態工学会第20回大会, 2016年9月2日, 東京大学(東京都・文京区).

渡辺 裕也, 国内河川における攪乱レジームと底生動物相の関係, 土木学会四国支部第22回技術研究発表会, 2016年5月28日, 高知工科大学(高知県・香美市).

Miyake Y., Flow regime and invertebrate community response across Japanese rivers, Society for Freshwater Science 2016 Annual Meeting, 2016.5.24, Sacramento (USA).

川西 亮太, 日本の河川における魚類群集と攪乱レジームとの関係性, 第63回日本生態学会大会, 2016年3月24日, 仙台国際センター(宮城県・仙台市).

森 照貴, 流況指標から捉える日本の特徴, 日本陸水学会第80回大会, 2015年9月28日, 北海道大学函館キャンパス(北海道・函館市).

三宅 洋, 長期流量データ解析による国内河川の攪乱レジームの評価, 第18回河川生態学術研究発表会, 2015年11月6日, 東京証券会館(東京都・中央区).

吉村 研人, 長期流量データ解析による国内河川の攪乱レジームの評価, 応用生態工学会第19回大会, 2015年9月10日, 日本大学工学部キャンパス(福島県・郡山市).

吉村 研人, 攪乱レジームに基づく国内河川の分類, 土木学会四国支部第21回技術研究発表会, 2015年5月23日, 香川大学(香川県・高松市).

森 照貴, 流況指標から捉える日本の川の特徴, 第62回日本生態学会大会, 2015年3月19日, 鹿児島大学(鹿児島県・鹿児島市).

三宅 洋, 河川生態系における攪乱研究の現状と課題, 応用生態工学会第18回大会, 2014年9月19日, 首都大学東京(東京都・八王子市).

吉村 研人, 大規模流量データ解析による河川攪乱レジーム特性の広域的把握, 応用生態工学会第18回大会, 2014年9月18日, 首都大学東京(東京都・八王子市).

吉村 研人, 大規模流量データ解析による河川攪乱レジーム特性の広域的把握, 土木学会四国支部第20回技術研究発表会, 2014年5月31日, 徳島大学(徳島県・徳島市).

[その他]

ホームページ等

<http://www.cee.ehime-u.ac.jp/~ecology/top.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

三宅 洋 (MIYAKE, Yo)

愛媛大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号: 90345801

### (2) 研究分担者

森 照貴 (MORI, Terutaka)

東京大学・大学院総合文化研究科・特別研究員  
研究者番号: 50600095

川西 亮太 (KAWANISHI, Ryota)

北海道大学・大学院地球環境科学院・特任助教  
研究者番号: 50609279

赤坂 卓美 (AKASAKA, Takumi)  
帯広畜産大学・畜産学部・助教  
研究者番号：40748357

(3)連携研究者

井上 幹生 (INOUE, Mikio)  
愛媛大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：10294787

渡辺 幸三 (WATANABE, Kozo)  
愛媛大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号：60634435

(4)研究協力者

吉村 研人 (YOSHIMURA, Kento)  
岡田 裕成 (OKADA Yusei)  
泉 哲平 (IZUMI Teppei)  
渡辺 裕也 (WATANABE, Yuya)  
椋田 勇希 (MUKUDA Yuki)