

## ダムによる流況平滑化指標と底生動物群集との応答

### Response to Hydrologic Alteration of Benthic Animals in the Downstream Reaches of Reservoir Dams

波多野圭亮<sup>(1)</sup>・角哲也・竹門康弘

Keisuke HATANO<sup>(1)</sup>, Tetsuya SUMI and Yasuhiro TAKEMON

(1)京都大学大学院工学研究科

(1)Graduate School of Engineering, Kyoto University

#### Synopsis

This study reports some responses to hydrologic alteration of benthic animals in the downstream reaches of reservoir dams for figuring out what kind of hydrologic alteration by dam operation makes influence to benthic animals. Some correlations between reduced ratio of index of hydrologic alteration (IHA) and quotient of similarity (QS) of the number of taxa of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) shows that reduction of annual maxima flow degrades number of EPT taxa and on the other side increase of annual minima flow degrades number of EPT taxa.

**キーワード:** 貯水ダム, 底生動物群集, 流況平滑化

**Keyword:** reservoir dams, benthic animals, hydrologic alteration

#### 1. はじめに

自然生態系は適度の攪乱条件下において種多様性が最大化すると考えられており (Connell 1978) 「中規模攪乱仮説」と呼ばれている。河川生物において、河床の攪乱およびそれによって形成される環境に対応して生息していることから同様と考えられ、Townsend et al. (1997) により実証されている。

河川においてダムが建設されることで、ダム下流の河川環境が変化することが報告されている。その主な要因としては流況変化と土砂供給量の減少が揚げられ、流況変化の 카테고리については①出水時流量の規模・頻度の減少、②平時流量の増減、③短期的な流量変動の増加、④季節

的な流量パターンの変化が揚げられている (Poff et al. 1997)。また、ダム下流における底生動物の変化の例として、河床の物理環境の変化や餌環境の変化から特定の種が増大、または減少することにより種の多様性が低下していることが報告されている (波多野ら 2005)。

このような中、ダムにおける流況改善対策として、ダムの弾力的管理や洪水期制限水位への水位低下操作 (ドローダウン) 等を利用したフラッシュ放流等が幾つかのダムで実施されているが、流況変化のどのカテゴリーがダム下流の河川生態系へ影響するかは十分に把握されていない。

本研究は、流況変化のどのカテゴリーがダム下流の底生動物群集へ影響するかを把握することを目的として、底生動物の変化指標とダムによる流況変化の指標との関係か

Table 1 Correlation coefficient between QS (EPT) and reduced ratio of IHAs

| Regime characteristics | Hydrologic parameters  | Passed years from dam management |       |         |        |       |       |        |
|------------------------|--|----------------------------------|-------|---------|--------|-------|-------|--------|
|                        |  | 2-8                              | 10-17 | 21-27   | 30-39  | 40-46 | 51-57 | all    |
|                        |  | n                                | 7     | 14      | 14     | 15    | 19    | 11     |
|                        | Annual integrated value  | -0.32                            | 0.27  | 0.28    | 0.37   | 0.18  | -0.10 | 0.15   |
| Magnitude              | Annual minima 1-day means  | 0.45                             | -0.09 | -0.12   | 0.57 * | -0.31 | -0.12 | -0.04  |
| Duration               | Annual maxima 1-day means  | -0.58                            | 0.51  | -0.43   | 0.06   | 0.28  | 0.14  | 0.14   |
|                        | Annual minima 3-day means  | 0.52                             | -0.06 | -0.16   | 0.62 * | -0.25 | -0.29 | -0.06  |
|                        | Annual maxima 3-day means  | -0.59                            | 0.45  | -0.06   | 0.14   | 0.25  | 0.08  | 0.17   |
|                        | Annual minima 7-day means  | 0.56                             | -0.05 | -0.19   | 0.59 * | -0.22 | -0.22 | -0.06  |
|                        | Annual maxima 7-day means  | 0.05                             | 0.43  | -0.55 * | 0.18   | 0.22  | 0.02  | 0.08   |
|                        | Annual minima 30-day means   | 0.63                             | 0.06  | -0.12   | 0.51   | -0.22 | 0.52  | 0.07   |
|                        | Annual maxima 30-day means   | -0.07                            | 0.13  | 0.06    | 0.33   | 0.12  | 0.02  | 0.07   |
|                        | Annual minima 90-day means   | 0.66                             | 0.31  | 0.45    | -0.32  | 0.14  | 0.45  | 0.27 * |
|                        | Annual maxima 90-day means   | -0.17                            | 0.19  | -0.17   | 0.43   | 0.18  | 0.01  | 0.07   |
| Frequency              | Means of all positive differences between consecutive daily values | 0.03                             | 0.21  | -0.13   | -0.28  | 0.43  | 0.14  | 0.12   |
| Rate of change         | Means of all negative differences between consecutive daily values | -0.39                            | 0.16  | -0.12   | -0.26  | 0.17  | 0.00  | 0.04   |
|                        | No. of rises   | -0.58                            | 0.18  | 0.14    | 0.10   | -0.15 | -0.11 | -0.03  |
|                        | No. of falls   | 0.16                             | 0.38  | 0.27    | 0.14   | 0.20  | 0.03  | 0.18   |

\*:P<0.05

ら考察した。

## 2. 研究方法

全国の国土交通省・水資源機構の管理するダムの流入量・放流量データ（ダム諸量データベース）と河川水辺の国勢調査の底生動物調査の結果（n=80）を用いて、底生動物の変化指標とダムによる流況変化の指標との相関関係を求めた。

底生動物群集の変化指標として、式(1)で与えられる河川水辺の国勢調査による底生動物調査結果から各ダムの流入河川と下流河川におけるカゲロウ目（E）・カワゲラ目（P）・トビケラ目（T）の種類数の変化程度を示す Sørensen(1948) による類似係数 QS を用いた。類似係数 QS の値が大きい程、流入河川と下流河川の種類数の変化が小さいことを示す。

$$QS = 2c / (a+b) \quad (1)$$

a: 流入河川での EPT 種類数

b: 下流河川での EPT 種類数

c: 流入河川, 下流河川での共通の EPT 種類数

流況変化の分析のため、ダム諸量データベースより各ダムの日平均の流入量・放流量データを用いた。流況変化の指標として、Richiter et al. (1996) による指標および1年間の積算流量について、流入量と放流量でそれぞれ算出し

た上で、式(2)で与えられる流入量の指標から放流量の指標を差し引いた差分を流入量の指標で除した流入量に対する放流量の低減率を流況平滑化指標として算出した。なお、指標の算出については、各ダムの底生動物調査日までの1年間における日平均流量データを用いた。流況平滑化指標の値が大きい程、ダムによる変化の程度が大きいことを示す。

$$\text{Reduced ratio of IHA} = (A-B) / A \quad (2)$$

A: Hydrologic parameters of inflow

B: Hydrologic parameters of outflow

## 3. 研究結果と考察

経年的な影響の蓄積を仮定し、ダム管理開始から底生動物調査日までの経過年数別に流況平滑化指標の変化率と底生動物群集の類似係数 QS との相関係数を Table 1 に示す。

1年間の積算流量の流況平滑化指標と類似係数 QS には相関関係はみられなかった。また、連続する2日間の流量の増加や減少の程度および頻度の流況平滑化指標と類似係数 QS にも、相関関係はみられなかった。

### 3.1 最大流量の変化による底生動物群集への影響

管理開始から10年未満のダムにおいて、最大流量（年最小1日、3日）の流況平滑化指標と類似係数 QS に負の

相関関係がみられた (ns). また, Fig.1 に示す通り, 最大 1 日平均流量の流況平滑化指標と類似係数 QS との関係では累乗の曲線近似が有意であった ( $P < 0.05$ ).

なお, 最類似係数 QS が最大値を示したのは, 経過 8 年のダムであった. 管理開始から 10 年以上の年代および全年代のデータからは相関関係はみられなかった (Table 1).

以上から, 管理開始から 10 年未満という短い期間においては, ダム運用により最大流量の平滑化が生じることで, 急速に底生動物群集の種類に変化が生じる可能性が示された.

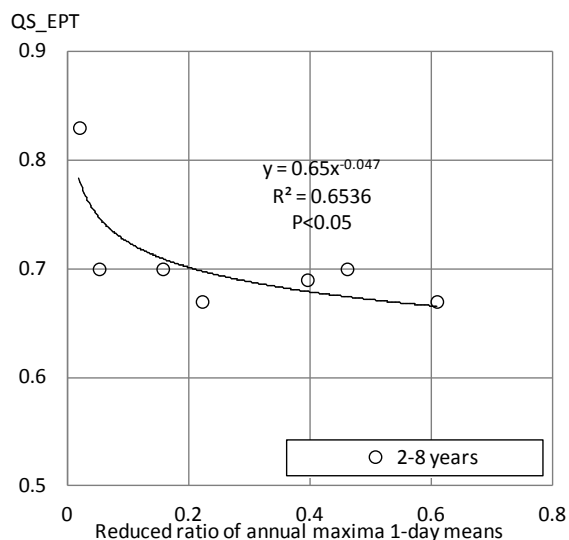
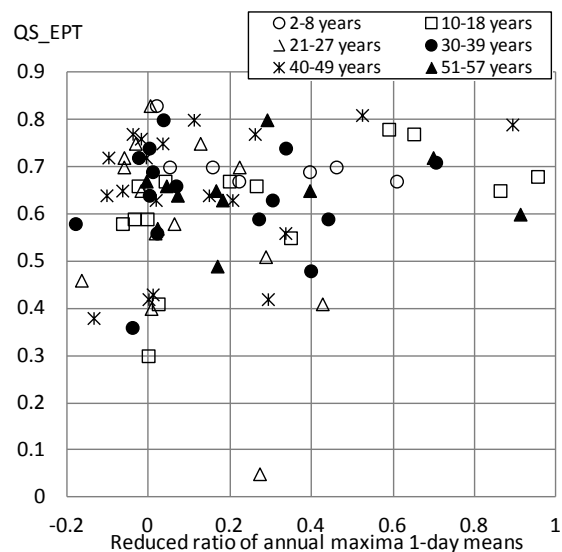


Fig. 1 Correlation between QS\_EPT and reduced ratio of annual maxima 1-day means

### 3.2 最小流量の変化による底生動物群集への影響

管理開始から 10 年未満のダムにおいて, 最小流量 (年最小 3 日, 7 日, 30 日, 90 日) の流況平滑化指標と類似係数 QS に正の相関関係がみられた (ns). また, 30~39 年経過のダムにおいてもいくつかの最小流量 (年最小 1 日,

3 日, 7 日, 30 日) の流況平滑化指標と類似係数 QS に正の相関がみられた (最小 1 日, 3 日, 7 日平均値:  $P < 0.05$ , 最小 30 日平均値:  $P = 0.05$ ). Fig.2 に年最小 7 日平均流量の流況平滑化指標と類似係数 QS との相関図を示す. Fig.2 から管理開始から 10 年未満のダムと 30 年代のダムの上下流の類似係数 QS だけを比較すると, 10 年未満のダムの類似係数 QS に比べて 30 年代のダムの類似係数 QS の低下傾向があった (ns, t-test).

なお, 管理開始から 20 年以上, 40 年以上および全年代のデータからは相関関係はみられなかった (Table 1).

以上より, ダム運用による最小流量の増加がダム下流の底生動物群集の種類を変化させ, 最小流量の増加による影響は 40 年程度経過したダムにおいても影響している可能性が示唆された.

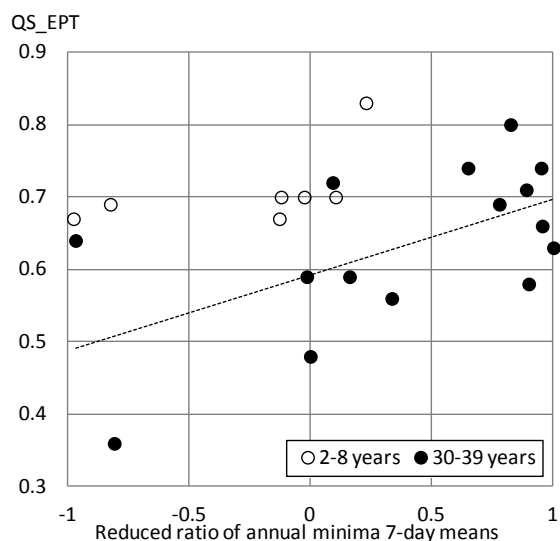
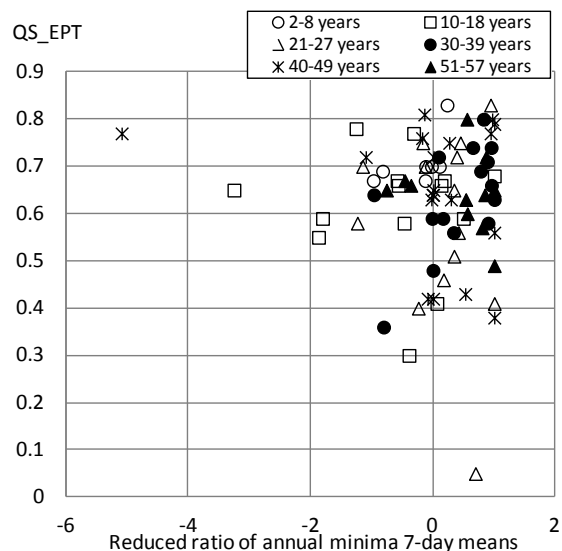


Fig. 2 Correlation between QS\_EPT and reduced ratio of annual minima 7-day means

#### 4. おわりに

本稿では、全国のダム下流河川における底生動物の変化指標とダムによる流況変化の指標との相関関係から流況変化のどのカテゴリーがダム下流の底生動物群集へ影響するかを検討した結果、ダムの管理開始から10年未満という短い期間で最大流量の平滑化が底生動物群集の種類に変化を与え、さらに、最小流量の増加は長期に渡り底生動物群集の種類に変化を与える可能性が示された。これらの要因やFig.1に示すように40年以上経過しても底生動物群集の低下が生じていないダムも存在している要因については、物理環境の変化が類似係数QSでは表現できないことから、今後、底生動物群集のうち物理環境に応じた種の変化を詳細に確認する必要がある。

また、Fig.3に示すように流況平滑化に加えて河床攪乱の程度を示す一因となる河床材粒度の変化の視点から、ダム下流河川に土砂還元を実施しているダムと実施していないダムで分類すると土砂還元を実施しているダムの方が同程度の流況平滑化指標に対して、類似係数QSが高くなる傾向がうかがえた。今後、流況平滑化だけでなくダムによる土砂供給の減少について考慮した河床攪乱変化指標を検討していく。

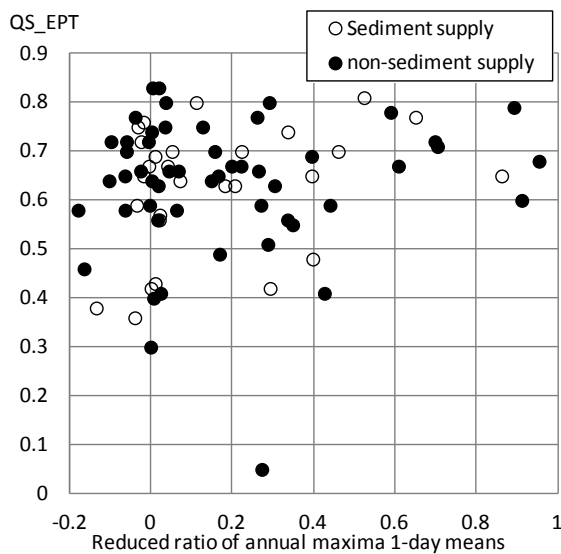


Fig. 3 Correlation between QS\_EPT and reduced ratio of annual maxima 1-day means

#### 参考文献

- 波多野圭亮・竹門康弘・池淵周一 (2005) : 貯水ダム下流の環境変化と底生動物群集の様式, 京都大学防災研究所年報, 第48号B, pp.919-933
- Connell, J. H. (1978) : Diversity in tropical rainforests and coral reefs. *Science*, vol.199, pp.1302-1310.
- Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E. and Stromberg, J.C. (1997): The natural flow regime, A paradigm for river conservation and restoration, *Bio Science*, 47, pp.769-784
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Powell, J. and Braun, D. P. (1996) : A method for assessing hydrologic alteration within Ecosystems, *Conservation Biology*, Vol.10, Issue 4, pp.1163-1174.
- Townsend, C. R. and Scarsbrook, M. R. (1997) : The intermediate disturbance hypothesis, refugia, and biodiversity in streams, *Limnology and oceanography*, Vol.42, Issue 5, pp.938-949.
- Sørensen, T. (1948) : A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Biologiske Skrifter*, Vol.5, pp.1-34.

(論文受理日 : 2017年6月13日)