

水生昆虫の新しい生態型分類としての攪乱戦略型の提案と現地データへの適用

埼玉大学 学生会員 ○坂田 良介
 埼玉大学大学院 正会員 古里 栄一
 埼玉大学大学院 正会員 田中 規夫

1. 背景および目的

二瀬ダムにおいては、土砂還元事業により平成16年度以降にダム下流河川における還元土砂の流下と、それに伴う河床材料の小型化や秋季から春季にかけての水生昆虫群集の変化が生じている。しかしながら、従来の水生昆虫分類には出水攪乱影響を考慮したものはなく、土砂還元と水生昆虫群集の変化の応答性は不明瞭である。したがって、水生昆虫群集の攪乱に応じた動態を把握し河川環境事業の効果を評価するために、新しい指標が必要である。本研究は攪乱の応答性を考慮した型分類を作成して、その適用性を評価することを目的とする。型分類の作成においては、従来実施されている種レベルまでの分類ではなく、河川事業における合理性を考慮してより上位の系統分類レベルでの識別可能な型とすることを試みた。

2. 攪乱戦略型の作成

本研究では、水生昆虫の攪乱の応答を攪乱応答仮説として、次のように考える。水生昆虫は、出水時に脚力や蚕糸等の固着力等で攪乱に抵抗し、抵抗できない大きさの攪乱に対しては避難を行って流失を回避する。出水後に攪乱レベルが下がると、流失を回避した水生昆虫は分散して群集の再形成を行う。水生昆虫はそれぞれに形が異なり、それに応じた攪乱に対する戦略を持っているはずである。したがって、戦略の要素を攪乱に対する「耐性」と避難や分散に必要な「移動性」に注目し、この二つの要素を水生昆虫が持つ形から評価し、似た戦略を持つ昆虫の型分類を行った。この型分類を攪乱戦略型として、水生昆虫の主要3目であるカゲロウ目・カワゲラ目・トビケラ目について七つの型に分類した。これを表2-1に示す。同じ科の水生昆虫は非常に似通った形をしているため、戦略攪乱型は科毎に分類した。

表 2-1 本研究で提案する攪乱戦略型一覧

攪乱戦略型	特徴	従来分類(津田 1962)
早期避難型	中小攪乱時に、泳いで避難所へすぐに移動する。	遊泳型とトビロカゲロウ科
無戦略型	大きな体で他の水生昆虫を捕食する。	ヒラタカゲロウ科を除く匍匐型
境界層埋没型	扁平体型で境界層に潜り込む。	ヒラタカゲロウ科
流線携巢型	流線型の巣を纏い流れの抵抗を減らす。	携巢型
比重増加型	体に小礫や砂の巣を纏い重量を増加させる。	携巢型
河床潜隠型	河床材料の中に潜り込む。	トビロカゲロウ科を除く掘潜型
避難所構築型	造巣により避難所を構築。	造網型

3. 攪乱戦略型の適用

3. 1. 現地データの概要

新しく作成した攪乱戦略型が持つ二つの要素のうち、今回は移動性について適用性を評価する。移動性については、攪乱後の水生昆虫採集データで解析可能であるが、攪乱に対する耐性を評価するためには攪乱直前と直後の両データを必要とするからである。ここでは、大規模な出水攪乱があった「津田・御勢(1964)」により得られた1960年の吉野川五条地点データ(以下、津田データと記述する)と埼玉大学で行った二瀬ダム下流地点の秋季から冬季にかけてのリーチスケール調査から得られた短期的なデータと、人工的に作成した巨礫後流生息場を攪乱し、その一週間後に回帰した昆虫量を調査した局所的なデータを使用する。津田データでは、大規模な出水で全ての水生昆虫が流失した後の水生昆虫の回帰状況の評価が可能である。二瀬ダム下流の短期的

キーワード 河川事業, 合理的水生昆虫分類, 流失耐性, 回帰能力,

連絡先〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院 TEL090-2847-4459 E-mail: s10tc030@mail.saitama-u.ac.jp

なデータでは中規模出水後に横断方向・縦断方向を合わせて 5 地点の場所で調査を行っているため、リーチスケールにおける水生昆虫の回帰の方向性の評価が可能である。また、二瀬ダム下流の巨礫後部生息場から得られた局所的なデータは、作成した生息場の選好性や局所的な攪乱に対する回帰応答性を評価することが可能である。

3. 2. 吉野川五條地点データへの適用

津田データの調査地点は、奈良県吉野川五條の瀬である。詳細データは存在しないが 3 月 24 日に川底がひっくり返されるような大規模出水があった。また、7 月 31 日の第五回調査まで大きな出水攪乱はなく、水生昆虫は一回の調査につき 50cm 四方の石礫底を 2 コドラート採集したと記述されている。

攪乱戦略型別に最大個体数で無次元化した水生昆虫の時系列個体数変化図を図 3-1 に示す。戦略攪乱型のうち、流線携巣型と比重増加型昆虫は見られなかったため、五つの型分類を表示している。

個体数の変化には二種類の傾向があることがわかる。早期避難型・無戦略型・河床潜隠型は、早い時期に個体数が増加し、後に減少する山なり型の増減傾向を持つ。それに対して、避難所構築型・境界層埋没型は、増加する時期は遅いものの、後に増加し最大の個体数になる指数関数的な増加傾向を持つ。

これら二つの増加傾向の理由としては、水生昆虫の移動能力が大きくかかわっているものと考えられる。まず、移動能力の高い早期避難型・無戦略型・河床潜隠型は、早い回帰が可能である。しかし、移動能力の低い避難所構築型・境界層埋没型は、破局的攪乱後には回帰をするのに時間がかかると考えられる。また、山なり型の増減傾向を持つ昆虫の個体数が減少する理由としては、主に競合が挙げられる。避難所構築型のトビケラの個体数が増えてくると、避難所を構築する蚕糸によって、水生昆虫の生息場が減少し、他の水生昆虫を排除するのである。

同じように EPT 別に最大個体数で無次元化した水生昆虫の時系列個体数変化図を図 3-2 に示す。EPT とはカゲロウ目・カワゲラ目・トビケラ目昆虫の総称であり、EPT はその合計個体数を示している。

カワゲラ目、カゲロウ目は個体数増加時期が早く、その後減少する山なり型の増減傾向が出ており、ト

ビケラ目は個体数増加が遅く、後に増加する指数関数的な増加傾向を持つ。

EPT 分類ではカゲロウ目昆虫はすべて山なり型の増減傾向を示すが、攪乱戦略型分類ではカゲロウ目ヒラタカゲロウ科昆虫である境界層埋没型は指数関数的な増加傾向を示しており、EPT での分類では攪乱に対する昆虫の戦略を考慮した動態評価が不十分であることを示している。しかしながら、EPT 分類では、カワゲラ目はカゲロウ目と比較して個体数増加が遅れており、また、カゲロウ目よりもその後の個体数減少は少なくなっている。これはカワゲラ目が有する捕食性が競合性に影響を与えているからだと思われる。捕食するための昆虫(ユスリカやカゲロウ)がいなければ、そこに生息できないので回帰が遅れ、捕食することによって場を占有するため、このような傾向となる可能性がある。

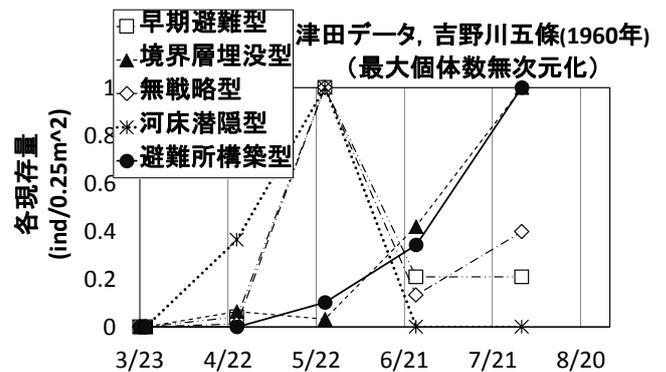


図 3-1 津田データ攪乱戦略型別水生昆虫個体数時系列変化図(最大個体数無次元化)

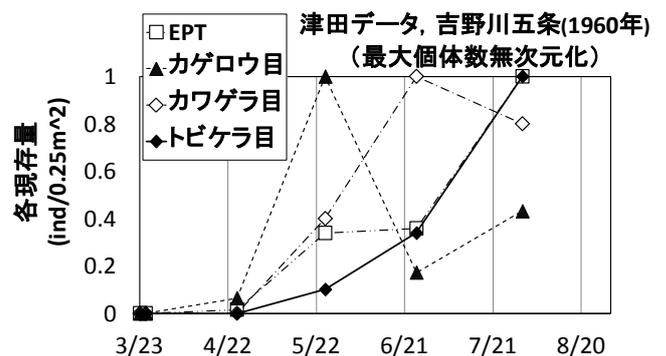


図 3-2 津田データ EPT 別水生昆虫個体数時系列変化図(最大個体数無次元化)

3. 3. 二瀬ダム下流地点調査データへの適用

調査地点は、二瀬ダム下流約 2.7km 地点の瀬 (147.6kp) とした。延長約 150m にわたり平瀬と早瀬

が直線上に並び河道形態が流軸および横断方向に比較的均質な瀬区間である。顕著な蛇行部はこの区間内には存在せず、典型的な Aa 型の河川形態となっている。また、河床勾配は約 1/64 である。横断方向に 3 定点、縦断方向に 3 定点の合計 5 定点で秋季から冬季にかけて、平成 24 年 10 月 18 日から 12 月 17 日まで、3 回ないしは 2 回の昆虫採集調査を実施した。調査地点図を以下の図 3-3 に示す。

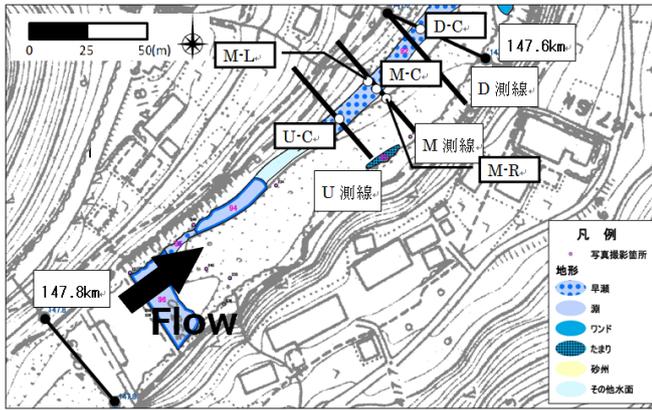


図 3-3 二瀬短期データ調査地点図

記号はそれぞれ U:上流, M:中流, D:下流, L:左岸, C:流心, R 右岸を示している。

3. 3. 1. 二瀬ダム下流 短期データ(秋季から冬季)

まず横断方向に関して、左岸・中心・右岸の 3 定点について EPT の全個体数と早期避難型、無戦略型の個体数の時系列変化を図 3-4 に示す。図の上段には掃流力を三回の調査日(黒矢印)とともに示した。

中下段の模式図の縦軸は観測点を示し、黒丸の大きさが個体数を、白矢印はその区間で増加した昆虫数を示している。なお、掃流力 τ は Wilcock(1996)により算出した。

$$\tau_u = \rho \left(\frac{\kappa U}{\ln(10h / D_{84})} \right)^2 \quad (1)$$

ここに ρ : 水の密度, κ : カルマン定数, h : 水深, U : 平均流速, D_{84} : 84%粒径である。

EPT の全個体数の変化を見ると、攪乱後の第一回調査では全地点で昆虫の個体数は少なく、第二回調査、第三回調査と時間が経つにつれて個体数が増加していく傾向にある。また、第一回目調査では中心よりも左岸・右岸の岸側の方が個体数の多い傾向があり、第二回調査・第三回調査と時間が経つにつれて個体数は均質化する傾向にある。これは中規模攪乱によって昆虫が流失し、その後掃流力の減少とともに水生昆虫が回帰したものと考えられる。岸側で

は水深が浅いため、掃流力が比較的小さく水生昆虫の残存量、あるいは回帰量が多くなったものと思われる。また、第三回調査で中心の個体数が多くなるのは、中心部の方が生息場の許容量が多く、掃流力が小さい時期では昆虫が生息しやすいからだと考えられる。回帰の方向性については、全ての型について右岸および左岸側に残存していた昆虫個体数よりも、回帰後の個体数の方が著しく多いことから、水生昆虫の回帰は河川縦断方向、つまり上流か下流から行われていたことがわかる。

次に、縦断面に関して、横断面と同様に個体数の時系列変化を示したものを図 3-5 に示す。EPT 全個体数の個体数変化を見ると、上流の個体数増加が多く、次いで中流が多く、下流が一番少ない。よって、横断方向データからの結果も考慮すると、主に上流から昆虫が回帰し、下流へ伝搬していると考えられる。しかしながら遊泳行動が得意な早期避難型と匍匐行動が得意な無戦略型の第二回目調査と第三回目の間の個体数変化を比べると、早期避難型は上流・中流の増加量に対して下流の増加量は小さいものの、無戦略型は中流部の増加量よりも下流の増加量がわずかながら多くなっている。よって、早期避難型の

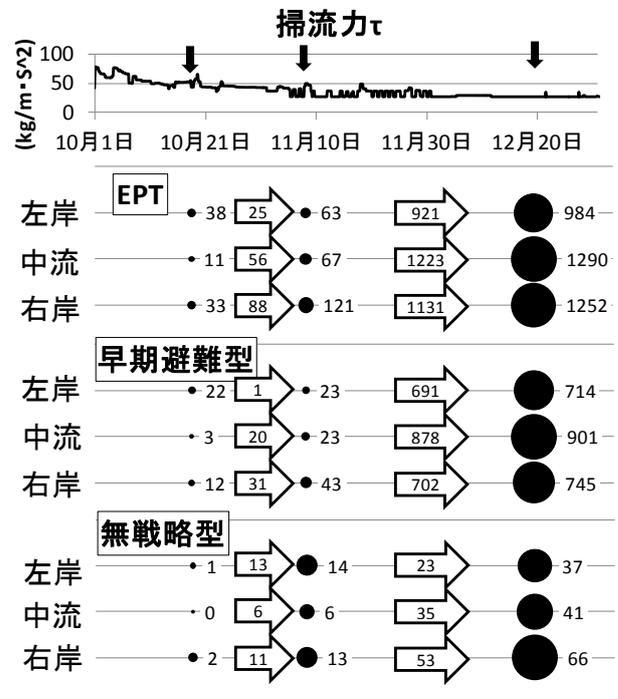


図 3-4 掃流力と昆虫個体数の時系列変化図

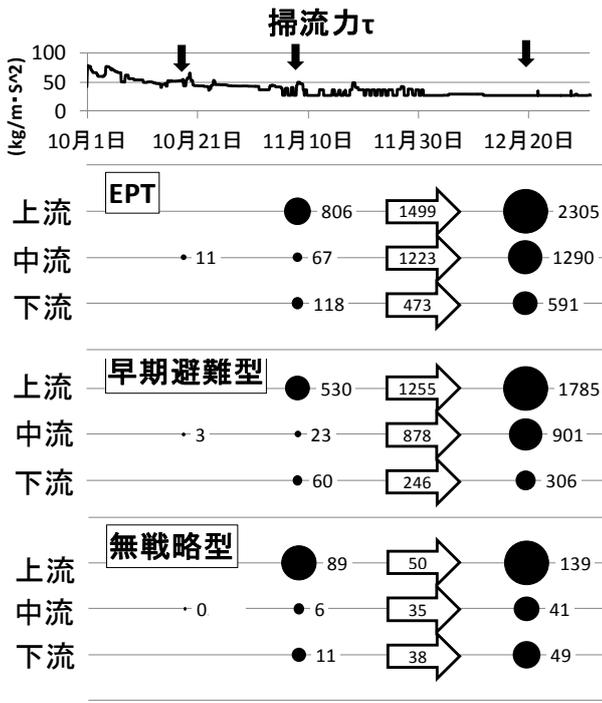


図 3-5 掃流力と昆虫個体数の時系列変化図
上流部, 下流部については, 第一回調査(10月18日)は実施せず。

回帰は, 上流からのドリフトが主であるのに対して, 無戦略型の回帰は, 下流からの匍匐歩行が影響していることが考えられる。

3. 3. 2. 二瀬ダム下流 巨礫後部データ

二瀬ダム下流の巨礫後部データでは人工的に巨礫を移動させ, 局所的な攪乱を行った後に, 巨礫後流部に回帰する水生昆虫を調査した。これにより作成した生息場の選好性や局所的な攪乱に対する回帰応答性を知ることが出来る。水深と礫高さの比である相対水深比が大きい場合は, 巨礫後流部に剥離渦が形成され, Wake Zone と呼ばれる緩やかな後流域が形成される。こうした巨礫後流生息場は一般的に出水時における水生昆虫の避難所になるとされている。調査は平成 25 年 5 月 22 日に巨礫後流生息場を作成し初期値である水生昆虫を採集し, 一週間後の 5 月 29 日に回帰した水生昆虫の採集を行った。調査地点は図 3-3 の M-C 定点から約 2m 上流地点である。

対照区の平均昆虫個体数に対する個体数増加量割合を図 3-6 に示す。数値が 1 に近いほど昆虫が回帰し, 対照区に近い昆虫数になったことを示している。対照区は対象礫とほぼ同一断面に

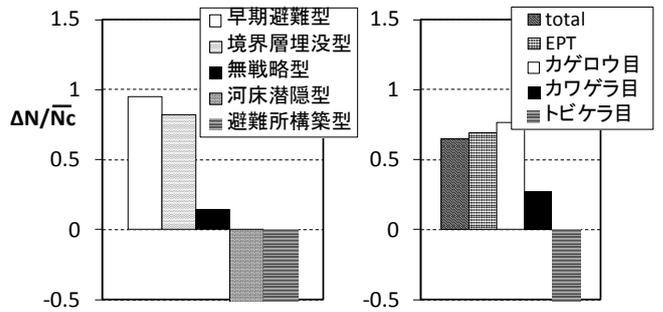


図 3-6 対照区の平均昆虫個体数に対する一週間での個体数増加量割合。

設定した巨礫が無く, 攪乱もされない調査地点である。流線携巣型と比重増加型昆虫は見られなかったため, 五つの型分類を表示している。早期避難型・境界層埋没型・無戦略型の順に数値が大きく, 短期間での短距離移動能力の高さが示されている。河床潜隠型・避難所構築型昆虫の増加は見られなかった。EPT 分類では, 個体数が多いカゲロウ目に支配されこれらの傾向は不明瞭であるため, EPT による分類ではやはり不十分である。

4. まとめ

攪乱という視点を持って水生昆虫の形から作成した新たな攪乱戦略型で解析すると, 今まで考慮されていなかった昆虫の形による回帰の方向性の違いや, 移動能力の違いを考察することが出来る。従来の目レベルの分類である EPT 指標では攪乱を考える上では不十分であると考えられる。今回は比較出来なかったが, 既存の生活型分類も系統分類階層の区切り位置は不明確である。そのため, 攪乱という視点から水生昆虫の形によって分類し, 科の階層で分類階層を区切った攪乱戦略型の方が, 河川事業のための調査という視点では調査コストの面でも有用性が高く, 合理的である。今後は, 競合力の考慮や攪乱耐性の解析を進めること, また生活型等の既存分類との比較解析を進めていくことが課題である。

参考文献

- 1) 津田松苗, 御勢久右衛門 : 川の瀬における水生昆虫の遷移, 生理生態, 12, pp. 243-251, 1964.
- 2) Wilcock, P. R., Estimating local bed shear stress from velocity observations. Water Resource Res., 32(11), pp.3361-3366, 1996.