

## 環境配慮手法による農業排水路の底生動物相の違い

森 淳\*・渡部恵司\*・竹村武士\*・小出水規行\*・朴明洙\*\*

## 目 次

I 緒言	97	2 生態型と整備手法	104
II 調査方法	98	3 配慮手法と物質フロー	104
III 結果	99	4 現況保全区間の評価	105
1 環境配慮手法からみた底生動物相	99	5 底生動物による総合的な評価	105
2 生活型と摂食機能群	102	V 結言	106
IV 考察	103	参考文献	106
1 配慮手法から見た底生動物相の特徴	103	Summary	107

## I 緒 言

農業農村整備事業の実施現場では、環境配慮保全に向けた活動自体は定着してきたが、何を根拠として配慮に関する計画・設計を行うべきなのか、あるいは何を目安として配慮施設の効果を評価すべきなのか、理解は浸透していない。そもそも水路の生物多様性をどのように定量的に評価すべきか、研究サイドも説明し切れていない。

具体的には、農業農村整備事業では保全対象種を選定したうえで環境配慮が実施されていることが多い。他の公共事業でも採用されているこの手法は、農業農村整備事業においては生態系配慮の経験が不足している技術者や受益農家にわかりやすいというメリットがある。しかし事業担当者や農家は、保全対象種を指標とすることが、彼らが生息していることをもって、生息条件が保全され、当該種が生きる生態系が守られているサインとみなすという前提に基づいているということを十分理解していない。そればかりか保全対象種の保全自体が目的化していることすら散見される。

モニタリングが—労力や同定能力の問題もあるが—ほとんどの場合、保全対象種の生息状況の調査のみとなっていることも課題である。整備後の生態系や生息環境条件の多様性がどのように保全されているのか、そして経験と仮定にもとづいて選定された保全対象種が、果たして現場の生態系において適切に生態系を代表しているのかという、保全対象種と生態系・食物連鎖との個々の関

係は確かめられていない。

農業水路に関する事業では、保全対象種として魚類が選定されることが多い。これは技術者や農家にもわかりやすく、従って普及しデータの蓄積もある。しかし魚類だけを保全対象種とすることに課題がある。すなわち、魚は陸上動物に比べれば移動能力が劣るものの、移動分散範囲は1km程度のオーダーに及ぶから、「そこにいたこと(採捕されたこと)」だけで生息環境としての評価が、はたして可能なのかという点である。つまり採捕結果はスナップショットにすぎず、実際の生態系を過大評価しているかもしれないのである。事実「田んぼの生きもの調査」では、コンクリート三面張り水路の方が二面張り水路や土水路より多くの種が採捕されることも珍しくない。もちろん魚類の生息空間として前者は後者に劣っており、魚類はそこで生活史を展開しているわけではなく、たまたまそこに遊泳していただけに過ぎない。魚類のみの採捕調査では、生息情報を過大に評価する危険がある。

このように、魚だけを保全対象種とした場合、その生息の有無だけで配慮対策の効果を把握することは、生態系を評価する上で必ずしも十分ではないと考える。すなわち、魚類の生息の有無だけでは、魚の生息情報を過大評価すると同時に、やや小さい空間スケールにおける水路生態系の多様性の評価を見逃している恐れがある。

谷田(1998)は、河川に生息する底生動物について、河川環境における種の多様性と生態系の多様性の、二つの多様性を支えるには下部構造としての生息場所の多様性が重要であるとしたうえで、生息場所の多様性が棲み場所の分割利用などを通じて種の多様性を生み出し種数の増加は種間の生態関係を多様化させるとしている。さらに、底生動物は地点や区間の河川環境の総合判定に適しており、底生動物の生息場所の保全を考えることで魚

\* 農村環境部生態工学研究室, \*\* 韓国農漁村研究院

平成23年1月7日受理

キーワード：水田生態系，農業農村整備事業，底生動物，農業用排水路，生活型，摂食機能群，多様性指数

類レベルの場も保全されると述べている。

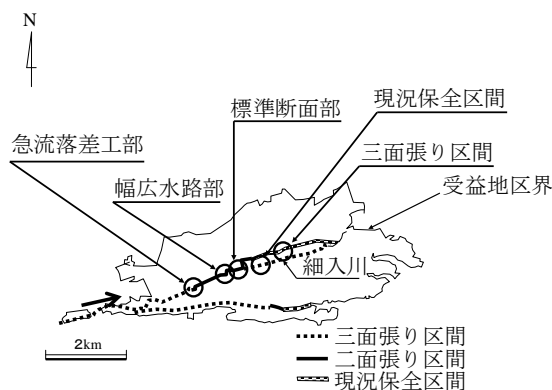
底生動物の生息に必要な環境条件は多種多様であるから、その多様性や種構成は底質などの微生息場所条件や地形条件などと関係が深い。種構成を分析する場合は底生動物の生活要求に応じた摂食機能群や生活型などの生態型の類型が有効である(竹門, 2005)。ここで摂食機能群とは水生動物の餌のとり方からグループ分けをしたもの、生活型とは泥の中に住んでいる(掘潜型)、巣を作って生活している(造網型)など、生活の方法でグループ分けしたものである。生態系配慮対策で用いられている手法・工法の違いは、底生動物の生息場所の環境条件に違いをもたらしていると推察されるから、それぞれの手法等の違いにより底生動物の種や相に差異が生じている可能性がある。配慮手法による底生動物相の違いは、環境評価に重要な情報をもたらすと思われる。

農業水路の生息場所の多様性を底生動物によって評価する研究はきわめて少ない。わずかに日下部・角道(2002)が農業用水路において底生動物の多様性指数と水路環境の関係を調べた例があるものの、農業農村整備事業によって整備された水路において、整備手法の違いという視点から底生動物の生態型と生息場所の多様性を解析した事例は見あたらない。

本稿では、同一事業により異なる環境配慮手法を用いて整備されたいさわ南部地区の幹線排水路(原川)において、配慮手法と底生動物の関係を解析したうえで、底生動物を生息場所の多様性の指標生物とする可能性について考察する。

## II 調査方法

整備水準の異なる区間が含まれる同一水路系内に複数存在する水路系として岩手県奥州市胆沢区の国営いさわ南部地区を選んだ。本地区は1,073haの水田および普通畑の区画整理(圃場整備)を実施する農地再編整備事業である。水生昆虫を中心とする水生動物は季節により出



注: 矢印は流下方向

Fig.1 調査地点位置図  
Location of investigation point



Fig.2 現況保全区間  
Conservation zone



Fig.3 二面張り区間(標準断面部)  
Wall lining zone (Typical cross-section)



Fig.4 二面張り区間(幅広水路部)  
Wall lining zone (Widening section)

現種が異なるが、本研究は2008年8月に採取した結果に基づいており、春(特に早春)、秋を含めた調査を今後行う予定である。

同地区の原川幹線排水路(延長2.4km)および原川のバイパス水路である細入川(延長1.9km)のうち2000年から2002年にかけて改修された区間と現況保全区間で採取した。





Fig.5 二面張り区間（急流落差工部）  
Wall lining zone (Rapid flow section)



Fig.6 三面張り区間  
Concrete lining zone

原川は現況保全された区間（現況保全区間）、水路壁面を積ブロック等の工法でコンクリートとし、二面張りで施工された区間（同様に「二面張り区間」とする）及び三面張りの区間（三面張り区間）に大別される。

水路の構造等を流況、底生動物相の調査結果と併せて表1に示す。現況保全区間は落葉広葉樹を主とする河畔林に覆われ、日射はほとんど遮られていた。流れは平瀬の区間が多く、ところどころに早瀬とトロ場がみられ、一部に淵が形成されていた。流路は蛇行していない。水路勾配は不明であるが、現況地形の勾配から1/500～1/700程度と推定される。二面張り区間では、さらに標準断面部、水路幅を拡張した幅広水路部、落差工の代わりに急勾配にした急流落差工部の3区間で調査した。標準断面部の流れはすべて平瀬だった。幅広水路は、上流から供給された土砂が堆積しているため水面幅が狭くなっていた。流れは平瀬が主であるが一部早瀬やトロ場もみられた。急流落差工は幅広水路よりも流れが速く、早瀬が多くみられた。幅広水路と同様に水路底に土砂が堆積し流れが狭くなっていた。両区間とも水際域は、工事で造成された水路壁ではなく堆積したシルトである。堆積物には陸上植物が生育していた。三面張り区間はフ

リュームを用いており、水路底はシルト質が薄く堆積している。

各調査区間等にて20mの調査区間に5mごとに、水路幅に応じて1m程度の等間隔になるように1～3点調査地点を設けた。このうち現況保全区間については目視したところ環境要因が非常に複雑だったことから、特徴的な地点でも採取した（12地点）。この結果、調査地点の合計は51地点となった。

それぞれの調査地点の流速、水深等の環境要素を計測したほか、25cm×25cmのコドラート付サーバーネット（目合：0.5mm）を用いて、各地点1回、水路の底質ごと採取した。三面張り区間を除き、調査地点には直径20cm程度の石が含まれることがあり、この場合は別途ブラシでこそぎ落として実験室に持ち帰り、底生動物を分離・同定した。

### Ⅲ 結 果

#### 1 環境配慮手法からみた底生動物相

主な環境要因の概要をTable 1に示す。一元配置の分散分析の結果、いずれの項目も調査区間等間に有意差があった（ $p<0.01$ ）。

流速は三面張り区間が最も大きく、一方で標準偏差は最も小さかった。三面張り区間は水深もばらつきが小さく（平均±標準偏差：10.4 ± 0.51cm）、水域環境はかなり均質的だった。平均水深はいずれの区間も10～20cmだったが、現況保全区間の標準偏差は三面張り区間の10倍以上に達した。

底生動物相の概要をTable 2に示す。三面張り区間は個体数が多く、またばらつきが大きかった。二面張り区間（3調査区部）の平均種数は、いずれも現況保全区間と三面張り区間と比べて多く、幅広水路部と急流落差工部で種数のばらつきが大きかった。

採取した底生動物のタクサ数は33種、個体数は11,486匹だった。調査区間等全体で個体数が200個体を越えたタクサ数は10で、多い順にコカゲロウ属（*Baetis* spp.）、コガタシマトビケラ属（*Cheumatopsych* spp.）、ユスリカ類（Chironomidae）、ミミズ類（Oligochaeta）、マダラカゲロウ類（Ephemerelellidae）、ニンギョウトビケラ類（Goeridae）、ヒラタカゲロウ類（Heptageniidae）、ヒメカゲロウ類（Caenidae）、ガガンボ類（Tipulidae）、ヒゲナガカワトビケラ（*Stenopsyche marmorata*）だった。以下、これらを「主な出現種」という。

主な出現種をもとに全51調査地点をクラスター分析したところ、以下の5つ、実質的には4つのグループに分けられた（ウォード法、）。

グループ1：主に現況保全区間と急流落差工

グループ2：主に幅広水路

グループ3：主に標準断面部と三面張り区間

（グループ4：現況保全区間の1調査地点のみ）

## グループ5：三面張り区間

平均総個体数は三面張り区間が最も多く、最も少なかった現況保全区間の8倍以上に達した。標準断面部、三面張り区間で変動係数は小さかったが、現況保全区間の変動係数は大きかった。

平均種数は標準断面部が16.0種で最も多く、次いで同じ二面張り区間である急流落差工部、幅広水路部の順

だった。現況保全区間、三面張り区間で少なかった。変動係数は標準断面部で特に小さかった。出現種数は標準断面部が22種と最も多く、三面張り区間(14種)でも少なかった。

各区間で出現したタクサを多い順に3種示すと、現況保全区間はシマトビケラ類、タニガワカゲロウ類、ガガンボ類、標準断面部はシマトビケラ類、マガラカゲロウ

**Table 1** 水路構造および環境要因の概要  
Summary of canal structure and environment element

調査区間等名	水路構造						環境要因			
	水路底			水路壁		水路勾配	流速		水深	
	材質・形状	底面幅	水面幅	構造	勾配		平均±標準偏差 (m/s)	変動係数	平均±標準偏差 (cm)	変動係数
現況保全区間	シルト～人頭大の石、落葉の堆積もみられる	約15m	約4～5m	(掘込み)	約1:1	不明	0.15±0.14	0.94	10.3±6.0	0.58
二面張り区間							0.26±0.20	0.78	15.4±5.4	0.35
標準断面部	人頭大の石混じりのシルトまたは砂、石は	4.0m	4.0m	積ブロック	1:0.8	1/620	0.20±0.08	0.38	20.0±5.7	0.29
幅広水路部	人頭大の石混じりのシルトまたは砂礫、標準断面部より礫の割合が多い	5.5～7.5m	約2～3m	積ブロック	1:1.5	1/620	0.21±0.15	0.72	13.9±4.7	0.34
急流落差工部	人頭大の石混じりのシルトまたは砂礫、幅広水路より粒径が大きい	3.5m	約1～2m	積ブロック	1:0.5	1/19.7	0.36±0.28	0.78	15.1±5.9	0.39
三面張り区間	コンクリート	2.1m	2.1m	コンクリート	直壁	1/380	0.48±0.05	0.10	10.4±0.51	0.05
平均または全体の値							0.30±0.20	0.66	13.1±5.3	0.41

**Table 2** 底生動物相の概要  
Summary of benthic animals

調査区間等名	底生動物相										
	平均総個体数		種数		出現種数	生活型数*		摂食機能群数		ShannonのH'の平均	
	平均±標準偏差 (匹/箇所)	変動係数	平均±標準偏差	変動係数		平均±標準偏差	変動係数	平均±標準偏差	変動係数	平均±標準偏差	変動係数
現況保全区間	77.4±133.3	1.7	7.0±2.0	0.3	18	3.1±0.8	0.2	4.6±0.9	0.2	2.17±0.67	0.31
二面張り区間	209.9±157.5	0.8	13.0±4.5	0.4	29	4.9±0.9	0.2	4.6±0.8	0.2	2.67±0.67	0.25
標準断面部	298.4±60.0	0.2	16.0±1.0	0.1	22	5.2±0.4	0.1	5.0±0.0	0.0	3.21±0.47	0.15
幅広水路部	198.9±134.5	0.7	11.8±3.8	0.3	25	4.4±1.0	0.2	4.5±0.7	0.1	2.45±0.88	0.36
急流落差工部	175.6±178.8	1.0	12.7±3.0	0.2	19	5.3±0.3	0.1	4.6±1.2	0.3	2.69±0.90	0.33
三面張り区間	342.1±104.1	0.3	5.3±1.0	0.2	14	3.7±0.5	0.1	3.3±0.6	0.2	1.06±0.18	0.17
平均または全体の値	225.2±157.5	0.7	9.6±4.5	0.5	33	4.2±1.0	0.2	4.1±1.0	0.2	2.11±0.90	0.43

\* 底生動物の生活型は、造網型、固着型、葡萄型、携巢型、遊泳型および掘潜型に分類される。

注1：平均総個体数は各区間において実施したコドラート調査の平均を指す。

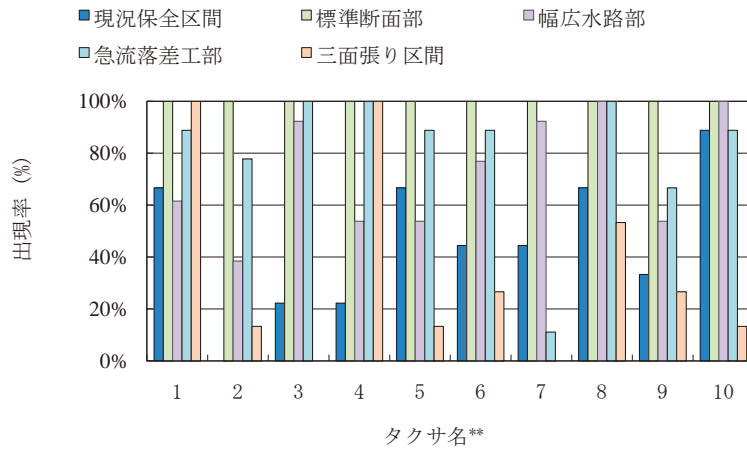
2：コドラート調査は各地点1回行った。

類、ミミズ類、幅広水路はマダラカゲロウ類、ユスリカ類、シマトビケラ類、急流落差工部はシマトビケラ類、ガガンボ類、コカゲロウ類、三面張り区間はコカゲロウ類、シマトビケラ類、マダラカゲロウ類となった。

平均生活型数は急流落差工 (6.2) で最も多く、最も少ないのは現況保全区間 (4.7) だった。平均摂食機能群数は幅広水路が最も多く (5.0)、三面張り (3.3) が最

も少なかった。Shannon の多様性指数は標準断面部で最も大きく (3.21)、三面張りで最も小さかった (1.06)。

調査区間等におけるタクサの出現率をみると (Fig.7)、コガタシマトビケラ類はいずれの調査区間等でも 60% 以上出現した。同じ造網型のヒゲナガカワトビケラは現況保全区間で出現しなかった。ニンギョウトビケラ類は現況保全区間であまり出現しない。ヒラタカゲロウ類は



\*\*タクサ名は以下の通り。1.コガタシマトビケラ, 2.ヒゲナガカワトビケラ, 3.ニンギョウトビケラ, 4.コカゲロウケラ, 5.ヒラタカゲロウ, 6.マダラカゲロウ, 7.ヒメカゲロウ, 8.ユスリカ, 9.ガガンボ, 10.ミミズ

Fig.7 各底生動物の出現率  
Appearance ratio of benthic animals

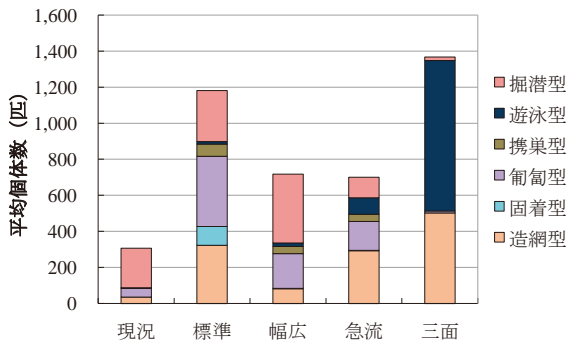


Fig.8 生活型別の平均個体数 (調査区間別)  
Average individual number (Life style)

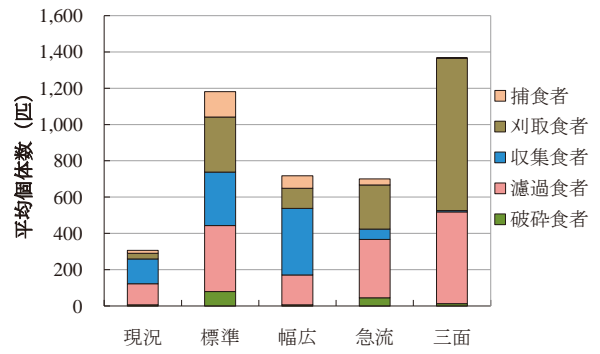


Fig.9 摂食機能群別の平均個体数 (調査区間等別)  
Average individual number (Feeding group)

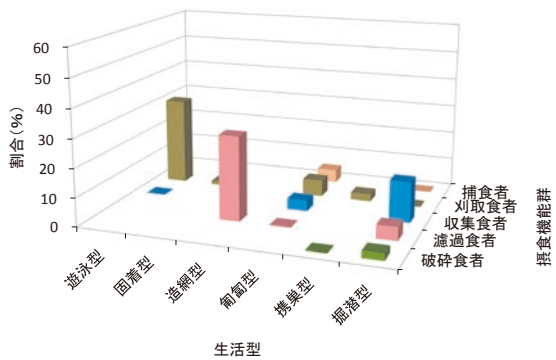


Fig.10 全体の生活型と摂食機能群  
Life style and feeding group (Entirety)

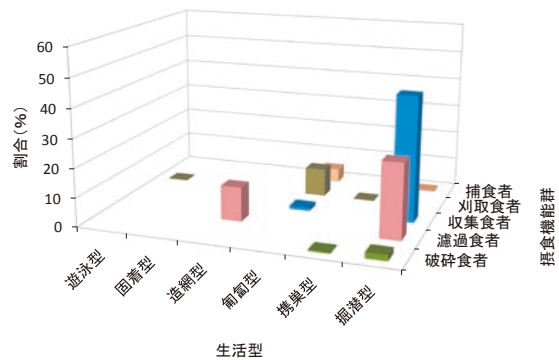


Fig.11 現況保全区間の生活型と摂食機能群  
Life style and feeding group (Conservation zone)

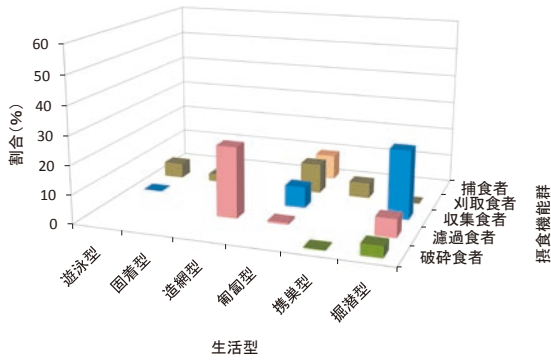


Fig.12 二面張り区間の生活型と摂食機能群  
Life style and feeding group (Wall lining zone)

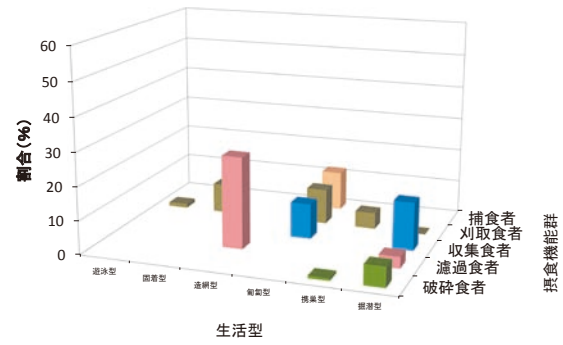


Fig.13 標準断面部の生活型と摂食機能群  
Life style and feeding group (Typical cross-section)

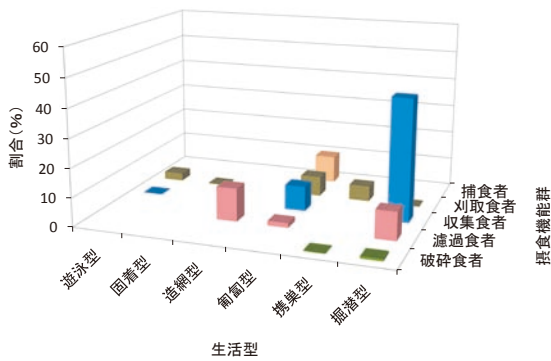


Fig.14 幅広水路部の生活型と摂食機能群  
Life style and feeding group (Widening section)

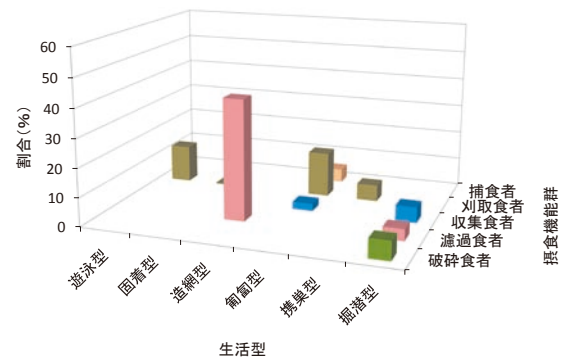


Fig.15 急流落差工部の生活型と摂食機能  
Life style and feeding group (Rapid flow section)

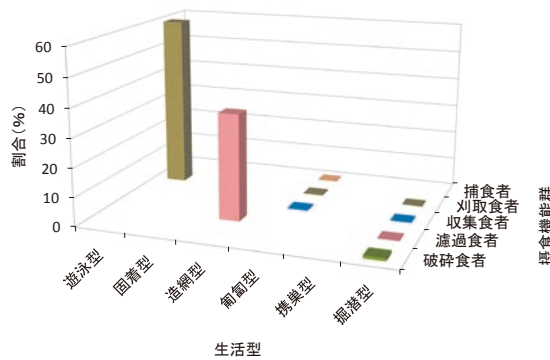


Fig.16 三面張り区間の生活型と摂食機能群  
Life style and feeding group (Concrete lining zone)

三面張り以外で50%以上出現した。コカゲロウ属は現況保全区間で少なかった。マダラカゲロウ類は主に二面張り区間で出現した。ユスリカ類はいずれの区間でも50%以上出現した。ガガンボ類は二面張り区間で50%以上出現した。ミミズ類は三面張り区間で少なかった。コガタシマトビケラ類の個体数と流速の間には-0.59 ( $p < 0.05$ ) の有意な負の相関があった。これは石に巣を作って生活しているコガタシマトビケラは極端に流速が大きな環境を選好しないことを示唆する。また他のタクサについては流速との有意な相関はみられず、底質や水深など他の環境要因の影響を受けており、ミクロな環境要因を指標していると思われる。

## 2 生活型と摂食機能群

各調査区間等で出現した底生動物の生活型割合をFig.8に示す。現況保全区間は掘潜型が多い。これは落葉の堆積物の中に大量のミミズ類が含まれていたためである。現況保全区間の生活型は固着型と遊泳型が少なかった。

二面張り区間の各区部間の大きな偏りは見られなかったが、幅広水路部で掘潜型、急流落差工部で造網型が多かった。二面張り区間はおおむね多様な生活型が出現していることがわかる。

三面張り区間ではコカゲロウ類とコガタシマトビケラ類の個体数割合が多いことから遊泳型と造網型で占めら



れている。遊泳型に属するコカゲロウ類は遊泳能力が高く、三面張り水路でも採捕されることが多い。

**Fig.9**に調査区間等別の摂食機能群の割合を示す。摂食機能群は竹門(2005)を参考にしたが、2種類の摂食機能群に分類されるタクサについては、生息密度を2等分しそれぞれの摂食機能群に計上した(Hawkins et al., 1982, 布川・井上, 1999)。三面張り区間では刈取食者(コカゲロウ)と濾過食者(コガタシマトビケラ)以外の摂食機能群の出現個体数が非常に少なかった。摂食機能群ごとに出現傾向を分析したが、たとえば同じ濾過食者であるコガタシマトビケラ類とヒゲナガカワトビケラの出現傾向が異なるなど、共通的な特徴は見られなかった。

さらに、各区間等別の、生活型と摂食機能群で分類した出現割合を**Fig.10**～**Fig.16**に示す。

調査地区全体で多かった造網型-濾過食はシマトビケラ、遊泳型-刈取食はコカゲロウである(**Fig.10**)。現況保全区間では掘潜型の収集食者、濾過食者が多い(**Fig.11**)。二面張り区間全体での生活型-摂食機能群は**Fig.12**のように造網型・匍匐型・掘潜型、濾過食者・収集食者・刈取食者に分散した。二面張り区間の標準断面では造網型、匍匐型、掘潜型に分散したが掘潜型では濾過食者が少なかった(**Fig.13**)。幅広部では掘潜型-収集食者(ミミズ類)が多かった(**Fig.14**)。

急流落差部で造網型-濾過食者が多かったのはシマトビケラとヒゲナガカワトビケラが卓越したためである(**Fig.15**)。三面張りではコカゲロウ(遊泳型-刈取食者)とコガタシマトビケラ(造網型-濾過食型)に極端に優占したためこの2つのタイプが特に多い結果となった(**Fig.16**)。

## IV 考 察

### 1 配慮手法から見た底生動物相の特徴

クラスター分析の結果、整備手法と底生動物相は深い関係があり、固有性を持つことが明らかになった。

まず、環境配慮手法として採用されることが多い二面張りについて底生動物相と環境配慮手法の関係について考察する。本地区では二面張り区間のいずれの調査区部も、現況保全区間および三面張り区間と比べて平均種数、平均生活型、Shannonの多様性指数が高かった。現況保全水路は改修水路と比較して日照など多くの環境要因が異なるため単純に比較することは出来ないが、魚類の生息個体数が多いことから考えれば、底生動物の個体数が少ないことをもって生息場所としての質をネガティブに評価することは不適当である。このことは改めて論じることにする。一方、三面張り水路と比べて二面張り水路は底生動物の豊かさを保全する上で有効であり、生息場所の多様性が形成されていることが示された。

このうち幅広部、急流落差工部は幅広水路の流速、水深、底質などの水域環境条件が多様であり、加えて急落

差工部は小規模ながら早瀬や淵も形成されている。調査地点数の多寡があるため単純比較はできないが、標準断面部、幅広水路部および急流落差工部を合わせた二面張り区間全体の出現種数は29となり、調査区部等全体の出現種数33のほとんどが二面張り区間で生息していたことになる。

生活型および摂食機能群は、幅広水路部で掘潜型-収集食型が(**Fig.14**)、急流落差工部で造網型-濾過食型が優先していたが(**Fig.15**)、二面張り水路全体で見るとそれぞれの特徴が相殺され、特に突出した生活型、摂食機能群はなくなった(**Fig.12**)。標準断面区だけでなく幅広水路部や急流落差工部を設けたことにより、瀬と淵を含む多様な水域環境が復元され、このことが底生動物相の多様性となって現れたと考えた。多様な断面を造成した場合、ある空間スケールで捉えるとそれぞれの断面に固有な底生動物相が統合されて底生動物相は多様になる。このことを生息場所の多様性とみなすことができるだろう。

幅広水路部および急流落差工部に比較して環境要因が単純な標準断面部において底生動物相が豊かだったことは、調査前の予測とは異なる結果だった。標準断面部の石にはヒゲナガカワトビケラやニンギョウトビケラ類、ヒラタカゲロウ類が付着しており、付着基質および餌場としての役割を果たしていた。また石がマイクロハビタットレベルにおける流速を緩和・多様化し匍匐型の生息に適した環境を作り出すことも、多様な底生動物が生息している要因と考えられる。標準断面部において底生動物が豊かだったことは、水生生物の生息には石の役割が大きいとする日下部・角道(2002)の報告と一致する。後述するように本研究では標準断面区間で水生動物が比較的豊かであると評価されるが、上流から石が供給される本地区固有の事象かも知れない。

また、農業農村整備事業で造成される二面張り水路の底面の施工は、現況基盤の整形にとどめ、敷材を搬入しないことが多い。粒径の小さな土粒子のみ供給される地区では、変化が少ない標準断面二面張り工法を多用することは均質な環境が創出される可能性がある。

三面張り区間は、特定の種(コガタシマトビケラ属とコカゲロウ属)の優占度が非常に高い、特異な底生動物相を呈していた。この区間は、捕食者の底生動物がほとんど生息しておらず、平均種数も少なかったように、多くの底生動物の生息に好ましくないため被食(今回魚類は調査対象としなかったが、魚が生息しにくい環境であるため捕食圧は小さいだろう)や種間競争による個体数の減少量は少ないだろう。このため両種は個体数を非常に増加させたと考えられる。金澤・三宅(2006)はコンクリート基質上には土のような自然基質とは異なる底生動物群集が成立していたことを報告している。これに似た現象が農業用の三面張り水路でも起きている。三面張り区間の多様性指数が小さい原因は、この種組成の著し

い偏りである。種間の相互作用が低調な三面張り水路はカタストロフィックシフト(復帰できない生態系の劣化・不健全化)に陥っていると考えられる。

三面張り水路に生息する生物群集は歪であるが、三面張り区間を造成することが避けられない事業地区が少なからず存在するという現実がある。また、コンクリートの表面の形状、劣化・遷移の状態により水生動物のミクロなハビタットが形成されている箇所もみられる。表面・形状を工夫することにより、三面張りとは異なる区間においても一定の生息環境を用意できる可能性はあると考える。

さらに、水路改修により魚の餌となる底生動物が少なくなると考えられることから、異常発生した底生動物の生態的評価、たとえば三面張り区間から流下した底生動物が下流に生息する魚類等の餌資源としての機能を明らかにする研究も無意味ではないだろう。

## 2 生態型と整備手法

津田(1962)は、河川の瀬では造網型、固着型、匍匐型が多く、淵では匍匐型、携巢型、遊泳型、掘潜型が多いとしており、竹門(1997)によれば固着型、造網型、滑行型は浮き石が多い浸食卓越環境に、掘潜型は砂泥の多い堆積卓越環境に多い。このように底生動物の生息は瀬・淵という河川構造と深い関係がある。

二面張りの標準断面部、幅広水路部および急流落差工部は瀬に多い底生動物、淵に多い底生動物ともみられ、生息環境が多様であることを裏付けている。一方三面張り区間はほとんど瀬に多い底生動物、しかも単一種によってほとんど占められており、均質な環境であることが示された。

Fig.9～Fig.14に示したように、異なる断面に生息する底生動物は異なる生活型、摂食機能群を示す。そして前述のように複数の断面が用意されたことにより、二面張り区間全体の底生動物の生活型・摂食機能群が多様化したと考えられる。このことから、底生動物の種数のほか、生活型と摂食機能群の多様性を考慮して生息場所の多様性を評価出来るだろう。ただし、後述するように一つの、あるいは少数の指標では生態系の特性を把握することは妥当ではない。また、摂食機能群が流域の上流、下流で異なる点、さらには生物地理的な分布の偏在する可能性にも留意しなければならない。

農業水路における底生動物の豊かさが上位消費者に与える影響を明らかにすることにより、底生動物の生活型および摂食機能群を用いた水域生態系全体の多様性評価が可能と考えられる。

## 3 配慮手法と物質フロー

現況保全区間は藻類を餌とする刈取食者の割合が少なく、陸起源有機物とのつながり強い従属栄養的な生態系であることが明らかになった。本区間は河畔林に覆われ、溪流に似た景観を呈している。一般的に流域上流に位置する溪流の食物連鎖は従属栄養的であり、底生動物はリター(落葉落枝)を直接餌とする破碎食者が生息している。一方、現況保全区間にもリターが大量に存在しているにもかかわらず濾過食者、収集食者が多かった。このことは、分解されて粒径が小さくなった有機物が上流から流下することにより、収集食者や濾過食者が生活できるエネルギーが供給され、種間競争に影響を与えている可能性がある。一方で、他区間では確認されなかった破碎食者のカクツツトビケラ類(Lepidostomatidae),

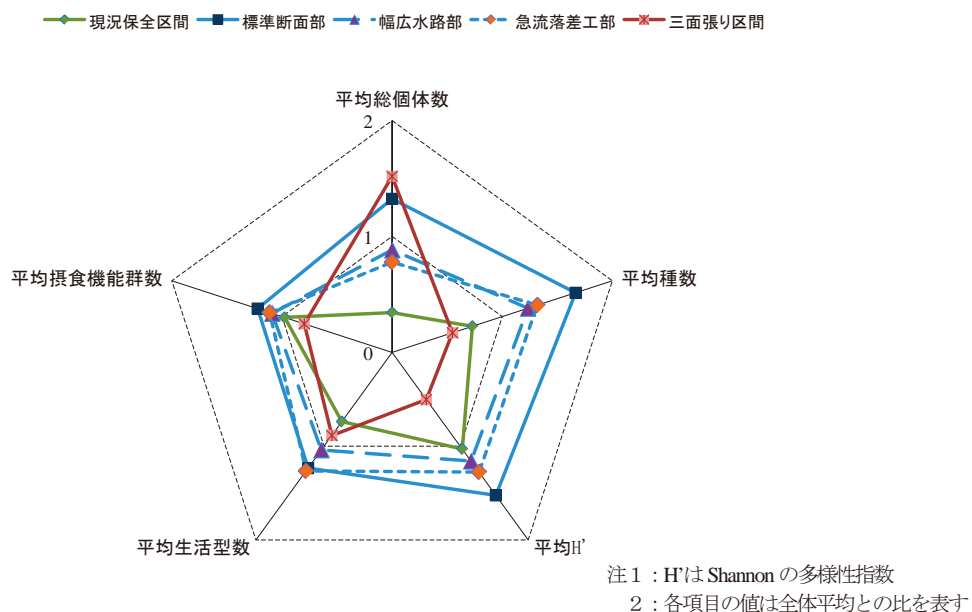


Fig.17 各区間の底生動物相の豊かさ  
Abundance of benthic animal fauna (each section)



マルツツトビケラ (*Micrasema* spp.) がみられ、溪流に似た固有の食物連鎖も存在することが明らかになった。

分解が進んだ有機物が地区全体の底生動物に大きな影響を与えていることは、極端に優占したコカゲロウを除けば、収集食者、濾過食者が多かったことで明らかである。流域の状況から考えれば、陸起源有機物の起源はイネと斜面林の樹木であると考えられる。

ところで、物質フローを化学的に解析する手法として安定同位体比法がある。たとえば底生動物が  $C_3$  植物由来の有機物を餌としていれば動物体の炭素安定同位体比 ( $\delta^{13}C$ ) の  $\delta$  値は  $-27\%$ 前後の低い値を示す。これに対して底生動物が水域内で生産された藻類を餌としていれば様々な値を示す。コガタシマトビケラの炭素安定同位体比は栃木県江川・五千石地区、いさわ南部とも  $-27\%$  となり、陸起源有機物を餌としていることが、一方ユスリカとコカゲロウは地区ごとに固有性を示し水域内で生産された有機物を餌としていることが明らかにされている (森ら, 2010)。

多様な摂食機能群の底生動物の生息は、陸起源有機物を含めた物質フローの複雑化・多様化を促し、動物界に複数ルートで物質とエネルギーが供給されていることを示している。

#### 4 現況保全区間の評価

現況保全区間は景観的にみても生物にとって好ましい生息場所であり、このことは従来の魚類調査でも裏付けられている。しかし本研究では、二面張り区間のいずれの調査区間等より種数、多様性指数とも下回るなど、むしろ人工的に造成された二面張り水路の方が、少なくとも底生動物にとっては好ましい環境であると解釈し得る結果となった。

また、流れの状況や河畔林が排水路を覆うことなど溪流に似た環境であるにもかかわらず、底生動物相の瀬・淵の選好性からみると淵型の底生動物が多く出現したことは、実態と乖離する。本節ではこれらの点について考察する。

まず、底生動物が二面張り区間より必ずしも豊かでなかった点については、採捕された底生動物が現況保全区間の底生動物相を代表していたかという問題があるだろう。本区間は変化に富んだ区間であるため特異な地点、たとえばエグレなどを採捕地点として追加した。この生息密度の偏在性は、採捕された底生動物の平均個体数の変動係数が最も大きかったことから裏付けられる。特異点を追加して採捕したにもかかわらず、サンプルが底生動物を代表するには十分でなかった可能性がある。またこれらの特異点の中にはリターやこれが分解されてきた有機物が堆積しており、掘潜型のユスリカ類とミミズ類が極端に大量に採取された地点もあり、これら淵型の底生動物が結果を増幅した可能性もある。

溪流は内部生産量が少なく底生動物自体の生物量は少

ないことが多い。しかし現況保全区間は、溪流同様に内部生産は少ないものの、収集食者や濾過食者が多く生息していることから、前述のように上流から流入する分解された有機物が多いと推察され、底生動物の餌資源量が生息の制限要因になるとは考えにくい。

一方調査結果が示すとおり、現況保全区間にはそもそも底生動物が少なく、生活型や摂食機能群も複雑ではなかった可能性もある。底生動物の豊かさを確保にとって必要な生息場所の多様性は、魚類の生息の必要条件ではなく十分条件という仮説も成立し得る。すなわち、魚類が依存する生態系内の空間スケールと底生動物のそれは異なるから、魚類の生息にはやや大きな空間スケールとしての水路系全体で生息場所の多様性が保たれていればよく、複雑な底生動物相が持続するにはより小さな空間のなかに多様な小さなモザイクが用意されている必要があるという考えである。仮にそうだとすると、底生動物をモニタリングに加える場合、魚類に必要な生息場所の多様性の把握が困難であるなかにあつては、生態系保全からみればより安全側になるから、底生動物をモニタリングする必要性が減るわけではない。

いずれにしてもこれらを立証するにはサンプルが現況保全区間の底生動物相を代表しているかを確かめる必要があるが、これにはサンプル量と同定レベルという二つの大きな問題がある。現況保全区間は他の区間に比べて横断方向、縦断方向ともに環境要因が複雑であり、仮に横断方向で連続的に採取すれば、隣り合う区間でも採取される底生動物に差異が生じる場合もあると思われる。本研究では縦断方向に 5m 間隔で採取断面を設定したが、間隔を狭めれば異なる結果となる可能性もあろう。

また、本研究ではほとんど科や属レベルで同定し、ミミズ類は綱である。属間でも生息場所の選好性が異なることも考えられる。またユスリカ類のように複数の摂食機能群にまたがるものもある。しかしながら、すべてのサンプルを同定することは不可能である。今後採取密度と、同定しやすい属に絞り同定レベルが分析結果に及ぼす影響の有無を確認する必要があると考える。

#### 5 底生動物による総合的な評価

これまで論じたように、水路における整備の評価—特にマイクロな環境の評価—には、底生動物を用いることが可能であり、緒言で述べたようなかなり大きな空間スケールの生息場所の多様性に依存するという魚類の指標種としての特性を補うことになるだろう。

では、具体的にどの指標を用いればよいのだろうか。たとえば、種数は重要な評価指標ではあるがこれだけでは十分ではない。仮に同じ種数が出現した場合でも、類似する環境に生息する類似種が多かった場合と、様々な環境が用意され、それに依存して生息している底生動物が同じ種数となった場合とでは、生態系の多様性に関する意味が異なる。多様性指数も同様の理由によりこれだ

けで十分評価できる指標とはいえない。

生物間の食う－食われるの関係を種とした相互作用が安定し世代交代が安定的に行われている状態を健全な生態系とするならば、三面張り区間で出現したような、特定の種が優占し捕食者が乏しい生態系は不健全な状態といえる。個体数も重要な指標であるが、不健全な生態系でも評価が高くなるというジレンマがある。

本稿では底生動物相の豊かさを個体数、種数、多様性指数、生活型数、摂食機能群数を統合的にとらえるために、これら指標の全体平均との比をレーダーチャートで示した (Fig.17)。三面張り区間は二面張り水路区間の各部より不均衡さが目立つことがわかる。現況保全区間は平均個体数でかなり下回るが、比較的バランスが取れている。

生息場所の多様性について、共通的な目標値を示すことは困難であろう。なぜなら個々の生態系や生物群集には固有性があり、生態系配慮に必要な共通解・具体的な必要条件は存在しないからだ。現段階では生息場所の多様性を底生動物により評価する手法は各地区の相対的なものになる。これをどのように拡張し共通性を与えるか、今後の研究課題である。

また、本研究では水生昆虫を中心とする水生動物の生息場所の多様性をテーマにして論じてきた。これが上位消費者である魚類の生態にどのような影響を与えるのかを明らかにしなければならない。

本研究の対象とした三面張り区間は、攪乱に強い特定種のみ生息する、生物が住みにくい環境であったが、他地区には土砂が堆積して植物群落が形成され本地区に比べて多くの底生動物が生息している事例も珍しくない。三面張り水路に生息物が生活するためには、遷移の進みややすさと、水路内の土砂の堆積・植物群落の存在を地元農家がどの程度受け入れるかが、水路が持つ潜在的復元力の要因であろう。さらに三面張り水路は、均質的な水路設計をするのではなく、二面張り区間に標準断面部の他に幅広水路部や急流落差工部を設けたように、拡幅部などの比較的生物の住みやすい区間を設置したうえでネットワーク化することにより、二面張り工法に比べれば生態系保全効果は劣るかもしれないが、従来の均質的整備と比べれば生息環境の多様性を保全することができると考える。

## V 結 言

整備手法が異なる区間が同一水路系に存在するいさわ南部地区の原川排水路における底生動物相を解析した結果、底生動物相は整備手法と深い関係があることが明らかになった。このことから底生動物を用いた整備後の生態系への影響を評価する手法開発の可能性が示された。

生息場所の多様性が確保されている二面張り水路で

は、底生動物の生活型や摂食機能群が三面張り水路に比べて多様になった。二面張り区間の標準断面部で底生動物が豊かだったのは本地区で石が供給されるためと考えた。また、複数の断面が施工されたことにより、二面張り区間全体の底生動物の生活型・摂食機能群が多様化した。

底生動物を用いて水路環境を評価するには、種数、多様性指数、生活型など複数の指標を総合的に用いることを提案した。

魚類と底生動物が必要とする、空間スケールを含めた生息場所の多様性の特性を考慮したうえで、底生動物を含めていかに水田生態系を評価するか、また環境が複雑な農業水路におけるサンプリング手法と同定精度が解析に与える影響を明らかにすることが今後の課題である。

なお、原川排水路における水生動物の採捕にあたっては、農村環境部環境評価研究室の松森堅治氏、嶺田拓也氏、廣瀬裕一氏に多大な協力を頂いた。ここに謝意を表す。

## 参考文献

- 1) Hawkins, C. P., Murphy, M. L., and Anderson, N. H. (1982): Effects of Canopy, Substrate Composition, and Gradient on the Structure of Macroinvertebrate Communities in Cascade Range Streams of Oregon. *Ecology*: 63, 6, 1840-1856.
- 2) 金澤康史・三宅洋 (2006) コンクリート基質—自然基質間における河川性底生動物の群集構造の比較. *応用生態工学* 9: 141-150
- 3) 日下部貴規, 角道弘文 (2002): 多様な生物種の生息に配慮した農業用水路の改修計画, *農業土木学会誌*, 70(12), pp.1095-1098
- 4) 布川雅典, 井上幹生 (1999): 北海道北部の小河川における河畔植生と底生昆虫群集との対応様式, *陸水学雑誌*, 600, 385-397.
- 5) 竹門康弘 (1997): 溪流における水生昆虫の棲み場所保全, *砂防学雑誌*, 50, 52-60.
- 6) 竹門康弘 (2005): 底生動物の生活型と摂食機能群による河川生態系評価, *日本生態学会誌*, 55, 189-197.
- 7) 谷田一三 (1998): 河川の底生動物群集—水生昆虫を中心に, 水辺環境の保全—生物群集の視点から, 江崎保男・田中哲夫著, 朝倉書店, 195-216.
- 8) 津田松苗 (1962): 水生昆虫学, 図鑑の北隆館, 239-240.
- 9) 森 淳・渡部恵司・竹村武士・小出水規行・朴明流 (2010): 環境配慮型水路の整備工法とベントス相, 平成22年度農業農村工学会大会講演会

## Difference of Benthos Fauna in Paddy Drainages on Environment-Conscious Method

MORI Atsushi, WATABE Keiji, TAKEMURA Takeshi, KOIZUMI Noriyuki and PARK Myoung Soo

### Summary

We analyzed benthos fauna in a paddy drainage that had been conserved or improved with environment-conscious methods, Conserved section, Wall lining section: only walls of drainage were concrete lined, and Concrete lining section: bottom and walls were concrete lined. Average population and total number of species in Conserved section was less than in Wall lining section. And a proportion of the species that depended on the terrestrial organic carbon was high. In Wall lining section, average number of species, total number of species, diversity index, average number of life type and average number of feeding groups exceeded the other section. Stones seemed to have much to contribute to make the benthic animals abundant even in typical cross-section that had simple configuration. In Concrete lining section, even though total population was the most, the indexes of species diversity was below Wall lining section. The reason for the imbalance was explosive breeding of some species that adjust to the unusual circumstances in Concrete lining section. We recognized that there were the difference of life type and feed groups among some environment-conscious methods.

**Keywords** : paddy field ecosystem, agricultural infrastructure improvement and rural development, benthic animals, drainage canal, life-type, functional feeding groups, diversity index