

農業水路系における生物多様性保全のための技法と留意事項 (概要)

～環境配慮対策実施地区の効果検証に基づいて～

令和4年7月

実証調査の概要

◆本書について

- 農業農村整備事業で整備した生態系配慮施設の7割が供用後10年以上経過していますが、これまで設置後の効果検証は十分になされていませんでした。
- 農業用排水路における生物多様性保全に向けた取組の促進と効果の更なる発現を図るため、全国10地区の環境配慮対策実施後の当該配慮対策の効果等を評価し、生態系配慮施設の整備手法等に係る留意事項・課題等を技術情報として取りまとめた「農業水路系における生物多様性保全のための技法と留意事項（以下、本編という）」を作成しました。
- 本書はその概要として内容を分かりやすくしたものです。
- 本書および本編は、農業農村整備事業の調査・計画担当者はもとより、土地改良区等施設管理担当者等におかれましてもご活用いただけると幸いです。

◆調査の目的

- 本書で取り扱う現地調査結果や解析結果は、令和元年度～令和3年度に農林水産省農村振興局が実施した「二次的自然環境における生物多様性保全検討調査」の成果である。
- 本調査の目的は以下の2点である。
 - 生態系配慮施設による生物多様性保全効果を分析・評価し、その機能向上のための管理手法や留意点などを整理・検討する
 - 主に淡水魚類を対象にした採捕調査と環境DNA 調査の出現種比較等により、農業農村整備事業における環境調査の効率化に資する手法を検討する

◆調査対象地区

- 全国10カ所の農業農村整備事業地区にて現地調査を行った。
- 各地区の保全対象生物や、設置されている生態系配慮施設は右表のとおり。

各調査地区における保全対象生物と生態系配慮施設の概要

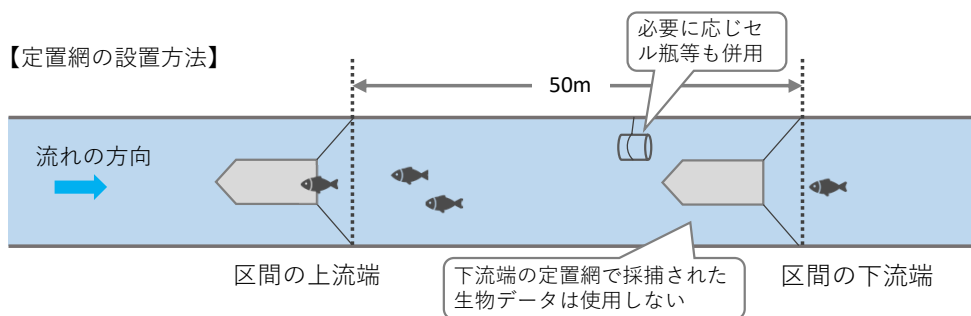
地区		保全対象生物	実証区		対照区
			生息場確保	移動経路確保	
東北	B	ギバチ、スナヤツメ、アカヒレタビラ	緩勾配、魚巣ブロック、幅広水路、深み工、現況保全（非装工）	階段式落差工（魚道タイプ）	三面張り水路
関東	D	ミナミメダカ、ニホンアカガエル	魚巣ブロック、脱出スロープ、蛇笥		三面張り水路
北陸	E	ドジョウ、カワヨシノボリ	土水路、井桁沈床工、石積み護岸、現況保全区間	水路魚道、水田魚道	二面張り水路 三面張り水路
東海	F	ヤリタナゴ、ミナミメダカ、イシガイ、マツカサガイ	玉石詰め工、魚巣ブロック、深み工、ワンド	魚道	三面張り水路
近畿	G	ホトケドジョウ、ヒメタイコウチ	魚溜り、脱出スロープ	水路魚道	三面張り水路 合流升
中国四国	H	ヤリタナゴ、ドジョウ、（イシガイ類）※	土水路、石積み水路、深み		三面張り水路 合流升
九州	I	ヨドゼゼラ、メダカ	ワンド、魚巣ブロック、石張り水路、深み		三面張り水路
中国四国	J	ドジョウ、ギンブナ、タカハヤ、イシガメ、カスミサンショウウオ、シュレーゲルアオガエル、ニホンアカガエル、トノサマガエル、タイコウチ、ミズカマキリ、ゲンゴロウ、クロゲンゴロウ、ガムシ	魚溜り、脱出スロープ	水路魚道（千鳥X型、粗石付き）、水田魚道、脱出用スロープ、脱出用階段	三面張り水路
九州	K	メダカ、タナゴ類、ドジョウ	浅瀬護岸、砂底水路、砂底水路（ぬくめ付）、魚巣ブロック	水田魚道	二面張り（柵渠）水路

※H地区のイシガイ類は保全対象生物ではないが、ヤリタナゴの生息において重要な生物であり、別途イシガイ科二枚貝生息状況調査も実施されていることから（ ）書きで含めた。
注：本書および本編において実証地区名は全てアルファベットで表記している。

◆調査方法

小項目	概要
(1) 調査範囲の設定の考え方	調査地点は、配慮効果の比較検討のため、以下の区分で複数地点を設定した。地点は原則、排水路の50m区間を1地点とした。 実証区：生態系配慮施設を含む路線 対照区：通常の水路構造（コンクリート三面張り等）
(2) 生物調査	- 採捕調査では、魚類、両生類、貝類等を調査対象とし、かんがい期と非かんがい期それぞれで実施した。 - マニュアル※に基づき、1地点当たり、水路長50 m区間を基本とし、区間の上下流端に小型定置網を設置して魚類の移動を制限した上で、区間内の生物をタモ網、投網等を用いて採捕した。 - 新しい調査技術検討のため、環境DNA調査に係る採水作業も実施（詳細は本編を参照。）
(3) 水路内の物理環境調査	マニュアル※に基づき、調査地点を10mずつに区切り、各区間の表断面において、水深、流速、植生、底質を観察・記録した。

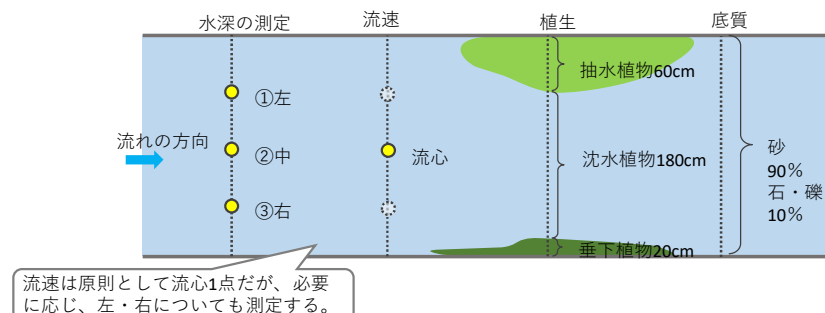
【定置網の設置方法】



魚類等の採捕方法



調査対象範囲と調査地点の設定の考え方



水路の物理環境調査のデータ測定イメージ

※マニュアル：「魚が棲みやすい農業水路を目指して～農業水路の魚類調査・評価マニュアル～」(国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門,2018)

環境配慮対策の実施効果の検証

◆解析の内容（データセットの解説）

- 解析対象とした生態系配慮施設は、下表に示す8種類の施設である。
- 保全対象生物として選定されることが多い魚類を対象に、各地点の魚類採捕データより、魚類の多様度指数（シャノン・ウィーバー※）や希少種の個体数等を算出・整理したほか、水路の物理環境データから地点内平均流速や水深等を整理し、データセットを作成した。
- 全国10地区のデータを同じ解析手法でまとめて解析するため、データのスクリーニングやデータのグルーピングの試行により比較可能なデータに絞り込み、最終的に1042データを用いた。

データセット作成のポイント

- 予備検討において、全国10地区の魚類の多様度指数の一括比較では配慮効果の有意差が見えにくかったため、土地分類図を参考に、地区を平坦地と傾斜地に区分し、データ解釈の一要素とした。
- コンクリート三面張りの地点であっても、土砂堆積や植生繁茂により魚類の多様度指数が高い地点があり、配慮効果の有意差を見えにくいていたため、決定木分析により対照区（経年変化あり）として切り分けて解析した。

※ シャノン・ウィーバーの多様度指数：生物群集の均等度と多様度を評価するための指数の一種。種数が多くそれぞれの種類の個体数が均等であるほど大きな値をとることが知られており、自然環境では、0.5～3.5 の値をとると言われている。

区分	施設の種類	主な機能	施設設置により想定される環境の変化	施設の種類の
生態場	配慮護岸（水路壁の配慮）	産卵場・隠れ場・退避場の提供	植生繁茂（水際）、流速緩和（水際）、空隙などの多様な空間の出現	石積護岸、井桁沈床工、蛇籠工、木柵階段工、空石積断面、浅瀬護岸、現況保全※
	二面張り水路（水路底の配慮）	産卵場・隠れ場・退避場の提供	土砂堆積、植生繁茂（水路底）	二面張空石積断面、二面張割栗石積断面、玉石、土水路、ポーラスコンクリート、砂底水路、砂底水路（ぬくめ付）
	深み工	産卵場・隠れ場・退避場・越冬場の提供	土砂堆積、流速緩和、水深の確保	深み工（滯筋）、深み工（低水溝）、堆砂工、人工淵、配慮マス
	ワンド工	産卵場の提供、隠れ場・退避場の提供	流速緩和、土砂堆積、植生繁茂	ワンド工
	魚巢ブロック	隠れ場・退避場の提供	遮蔽された空間の出現	魚巢ブロック、魚巢ブロック（横穴）
	ピオトーブ	産卵場、越冬場の提供	低水位時期の水深の確保、止水域の確保、隠れ場となる空間の出現	ピオトーブ
移動経路	水路魚道	落差等がある水路網における移動性の確保	水路—水路の連続性の確保	水路魚道（千鳥X型）、階段式落差工（魚道タイプ）、粗石付き魚道
	水田魚道	産卵場への移動経路の提供	水路—水田の連続性の確保	水田魚道

※現況保全是自然護岸であるため、配慮護岸に含めた。

解析に用いたデータ項目

データ項目	
魚類データ	地点別の魚類の多様度指数
	フナ類（ゲンゴロウブナ、キンブナ、ギンブナ、フナ属）およびコイの地点別個体数
	タナゴ類（ヤリタナゴ、アブラボテ、カネヒラ、アカヒレタビラ、タイリクバラタナゴ、ニッポンバラタナゴ、カゼトゲタナゴ）の地点別個体数
	ドジョウ属（在来種）の地点別個体数
	ドジョウ属（外来種含む）の地点別個体数 ※カラドジョウ含む
	ナマズ目（ギギ、ギバチ、ナマズ、アカザ）の地点別個体数
	メダカ（ミナミメダカ）の地点別個体数
	ハゼ科の地点別個体数
	環境省レッドリスト2020掲載種の地点別個体数
環境データ	地点内（複数断面）の平均流速
	地点内（複数断面）の平均水深
	地点内（複数断面）の最大水深
	地点内（複数断面）の最小水深
	地点内（複数断面）の沈水植物の平均幅
	地点内（複数断面）の抽水植物の平均幅
	地点内（複数断面）の垂下植物の平均幅
	地点内（複数断面）のリター（落ち葉など）の平均幅
	地点内（複数断面）の河床材料（石礫）の平均比率
	地点内（複数断面）の河床材料（砂）の平均比率
	地点内（複数断面）の河床材料（泥）の平均比率
	地点内（複数断面）の河床材料（コンクリート）の平均比率

解析に用いたデータ数の内訳

調査地区/年度	かんがい期			非かんがい期		総計
	R1	R2	R3	R1	R2	
A 地区	20	20		20	20	80
B 地区	6	6	6	6	6	30
D 地区	26	26	24	26	26	128
E 地区	12	20	20	12	10	74
F 地区	0	33	18	23	18	92
G 地区	28	52	3	56	26	165
H 地区	12	5	5	12	10	44
I 地区	16	8	9	16	18	67
J 地区	27	69	35	52	69	252
K 地区	41	30	4	20	15	110
総計	188	269	124	243	218	1042

※ A 地区は R 3 年度調査を実施していない。

※ F 地区の R 1 年度かんがい期調査データはスクリーニングの結果、解析対象外とした。

環境配慮対策の実施効果の検証

◆解析の内容（解析方法の解説）

- 全国10地区の魚類と水路環境データを用いて、環境配慮対策の実施効果を解析した。
- 全国10地区のデータを用いた解析と、地区ごとのデータを用いた解析を行った。

全国10地区のデータを用いた解析

解析① 環境配慮対策の効果の解析

解析② 生態系配慮施設ごとの設置効果の解析

解析③ 二次的自然に依存する魚種の生息に適した環境条件の解析

地区ごとのデータを用いた解析

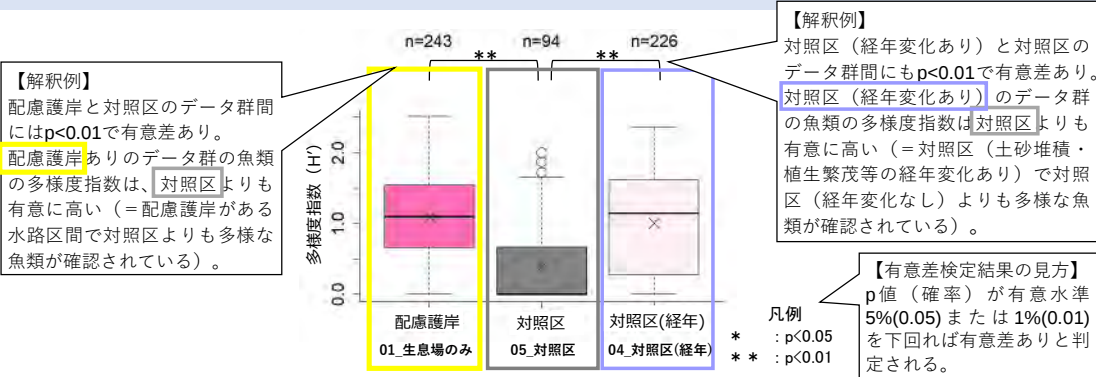
解析④地区ごとの環境配慮対策の実施効果の解析

解析⑤各地区の保全対象生物の経年的な確認状況の把握（配慮効果の継続性）

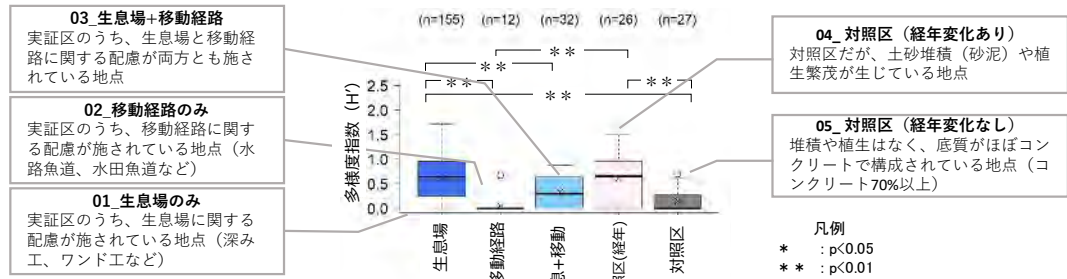
※解説をわかりやすくするため、便宜上、本書内でのみ、解析①～⑤と表記した。

- 上記、「①、②、④」の解析は、魚類の多様性指数などについて、異なる配慮区分（右表参照）のデータ群間（例：生息場のみのデータ群vs. 対照区のデータ群）での有意差検定を行うとともに、データ群間の違いを可視化するためボックスプロットを作成した。有意差検定においては、一般化線形モデル（GLM）※および一般化線形混合モデル（GLMM）※を用いた。
- 上記③の二次的自然に依存する魚種の生息に適した環境条件の解析では、二次的自然に依存するドジョウ、タナゴ類（流水性・止水性）、ミナメダカを対象に、一般化線形混合モデルを用いて、生息に適した環境とその組合せを推定するための解析を行った。
- 上記⑤の解析は、事業実施前～事業完了後の過去データを収集整理し、主に保全対象生物の確認状況の推移を定性的に把握し、環境配慮対策の実施効果の考察の材料とした。

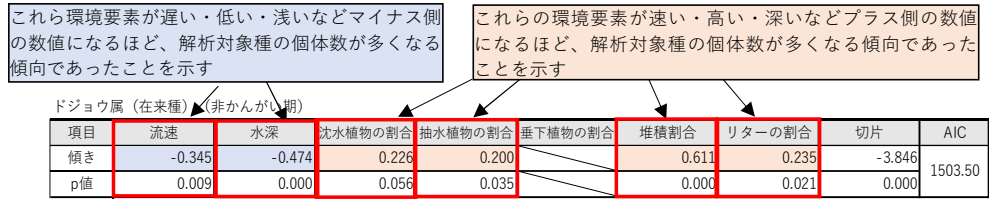
※ 一般化線形モデル（GLM）は、残差を任意の分布とした線形モデルで、線形回帰、ポアソン回帰、ロジスティック回帰などが含まれる。データ特性（連続値、個体数などの離散値、割合値など）に併せた分布系を仮定した柔軟な解析が可能であり、近年よく生物データの解析に用いられている。一般化線形混合モデル（GLMM）は、一般化線形モデルにグループ化のためのランダム効果（例えば、地域名のようなカテゴリ変数）を組み込むことができる、一般化線形モデルの拡張的な手法である。



生態系配慮施設ごとの設置効果の解析（解析②）における有意差検定結果とボックスプロットの作成例



地区ごとの環境配慮対策の実施効果の解析（解析④）における有意差検定結果とボックスプロットの作成例



この例では、流速、水深、沈水・抽水植物、堆積割合、リター（落ち葉等）の割合が、ドジョウ属の生息に適した環境と関係がある可能性が高いとされている。

二次的自然に依存する魚種の生息に適した環境条件の解析（解析③）のモデル構築結果の読み取り方

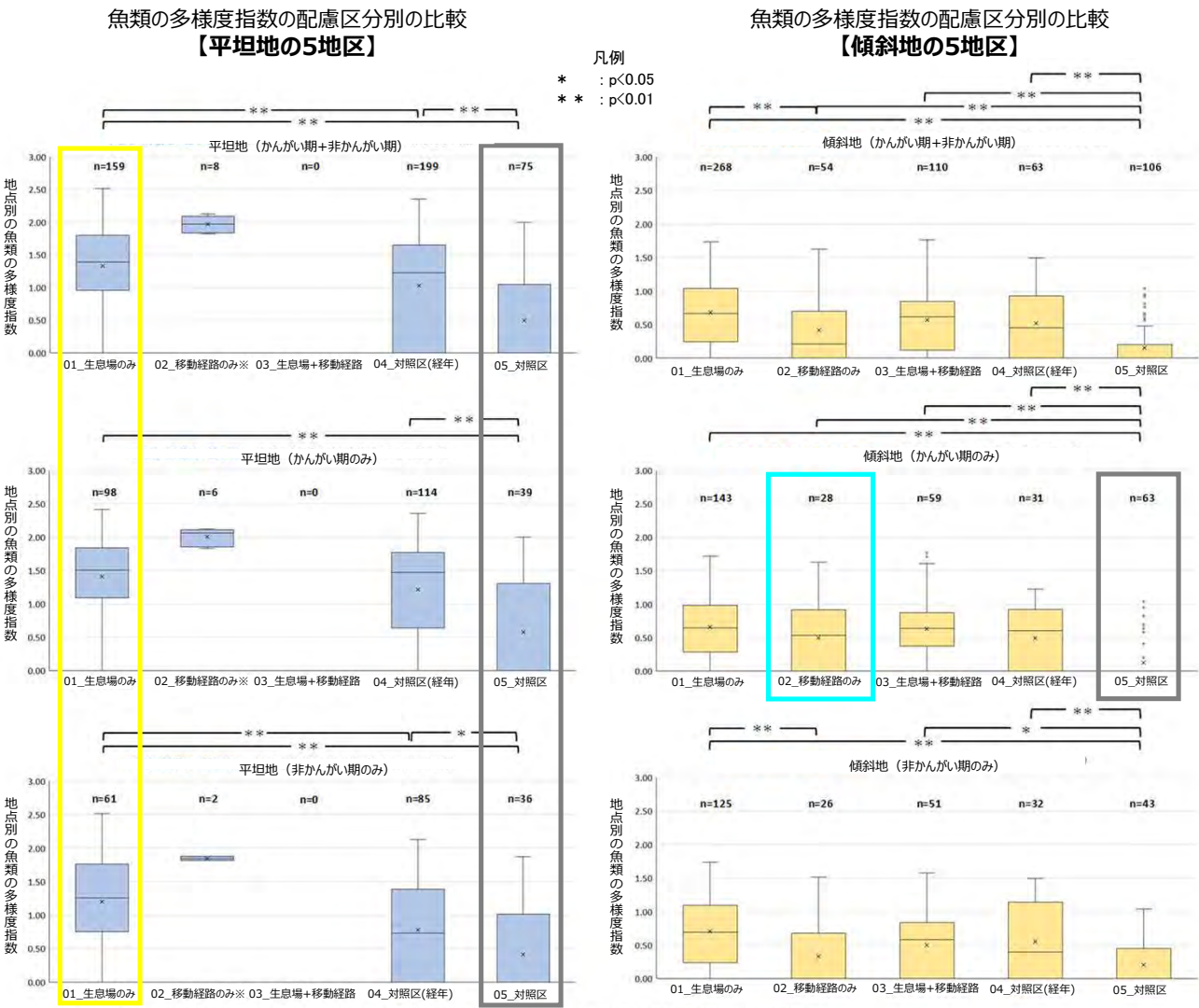
環境配慮対策の実施効果の検証

◆環境配慮対策の効果の解析（解析①）

- 全国10地区の全調査回・全地点の魚類の多様度指数（シャノン・ウィーバー）を算出し、一般化線形モデルを用いて配慮状況の異なるデータ群間の有意差を検定した。
- 検定は、平坦地（5地区）、傾斜地（5地区）のデータセットで分けて実施。配慮状況の違いで5つのデータ群に区分。
- 平坦地の01_生息場のみと05_対照区の組合せ比較では、通年で実証区の魚類の多様度指数が有意に高い傾向がみられた。平坦地では年間を通して生態系配慮施設の設置効果が発揮されていることが示唆された。
- 傾斜地の02_移動経路のみと05_対照区の組合せ比較では、かんがい期のみ魚類の多様度指数が有意に高い傾向がみられた。傾斜地では、移動経路確保のための魚道等の施設の設置効果がかんがい期に発揮されていることが示唆された。

配慮区分に応じたデータセットの区分と本書での表記

データセット区分		本書での表記	説明
実証区	生息場のみ	01_生息場のみ	地点内に、魚類等の生息場確保を目的とした配慮施設（深み工、魚巢ブロック、ワンド工、配慮護岸、土水路、等）がある
	移動経路のみ	02_移動経路のみ	地点内に、魚類等の移動経路の確保を目的とした配慮施設（水路魚道、水田魚道等）がある
	生息場＋移動経路	03_生息場＋移動経路	地点内に、魚類等の生息場確保を目的とした配慮施設と、移動経路の確保を目的とした配慮施設の両方がある
対照区	対照区（経年変化あり）	04_対照区（経年）	コンクリート三面張りの水路で、地点内に配慮施設は設置されていないが、経年変化により魚類等にとって良好な環境（土砂の堆積、水際や水中に植生が繁茂・定着、等）が形成されている
	対照区（経年変化無し）	05_対照区	コンクリート三面張りの水路で、地点内に配慮施設は設置されておらず、経年変化による環境の変化も特にみられない



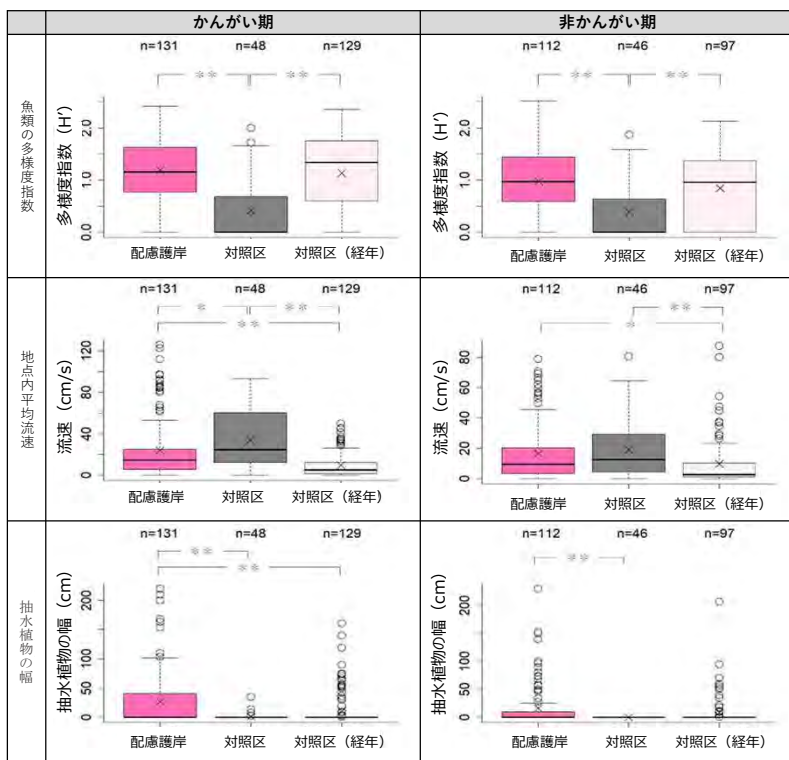
※平坦地の「02_移動経路のみ」は、他のグループと比べてサンプル数が少ないため、参考情報としてグラフ上に表記するが、統計解析には含まなかった。

環境配慮対策の実施効果の検証

◆生態系配慮施設ごとの設置効果の解析（解析②）

【配慮護岸】

- 配慮護岸は、魚類の生息場・産卵場・隠れ場等として、水際の多様な流速、植生繁茂などの環境を創出することを目的とする施設である。
- かんがい期・非かんがい期とも、配慮護岸（実証区）が対照区よりも、「魚類の多様度指数」が有意に高く、「平均流速」は有意に遅く、「抽水植物の幅」は有意に大きくなっていた。
- 配慮護岸が設置されている地点群で、魚類の多様度指数が高く、流速緩和や植生繁茂といった環境が創出されている傾向が確認され、配慮護岸が設置されてから数年以上が経過しても、多くの地点で生態系配慮効果が継続していることが示唆された。



配慮護岸 (I地区)



井桁沈床工 (A地区)

凡例

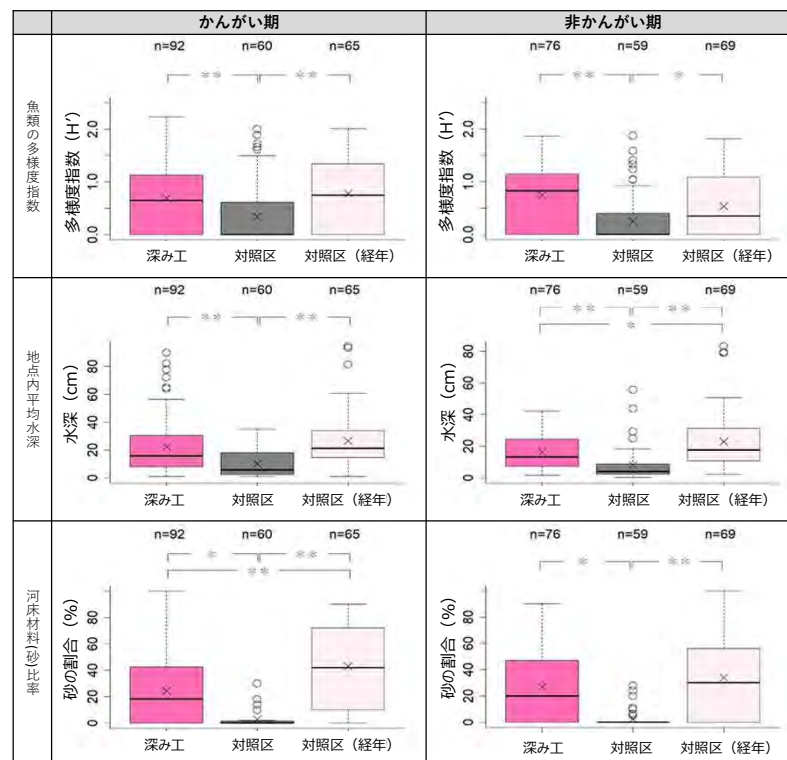
- * : $p < 0.05$
- ** : $p < 0.01$

本書では、令和元年度～令和3年度に実証調査を行った全国10地区の生態系配慮施設（**配慮護岸**、魚巢ブロック、二面張り水路、**深み工**、ワンド工、ビオトープ、水路魚道、水田魚道）について、実証区と対照区の施設の設置による配慮効果を解説しています。

□ は本書掲載分

【深み工】

- 深み工は、魚類の生息場や隠れ場、越冬場等として、水深確保や多様な底質、植生繁茂などの環境を創出することを目的とする施設である。
- かんがい期・非かんがい期とも、深み工（実証区）が対照区よりも「魚類の多様度指数」が有意に高く、「地点内の平均水深」が有意に高く、「河床材料の砂比率」が有意に大きくなっていた。
- 深み工が設置されている地点群で、魚類の多様度指数等が高く、水深確保や底質堆積といった環境が創出されている傾向が確認され、深み工が設置されてから数年以上が経過しても、多くの地点で生態系配慮効果が継続していることが示唆された。



深み工 (F地区)



低水溝 (J地区)

凡例

- * : $p < 0.05$
- ** : $p < 0.01$

環境配慮対策の実施効果の検証

◆二次的自然に依存する魚種の生息に適した環境条件の解析（解析③）

- 一般化線形混合モデル解析により、二次的自然に依存するドジョウ属（在来種）、タナゴ類（流水性・止水性）、ミナメダカを対象に、生息に適した環境の推定を行った。
- ドジョウとミナメダカの生息環境として流速が遅く土砂の堆積がある環境が適していること、流水性タナゴ類の生息環境はある程度流れがあり植生や土砂堆積がある環境、止水性タナゴ類の生息環境は水深があり流速が緩い環境がそれぞれ適していることが示唆され、この結果は従来の知見を裏付けるものであった。（本書ではドジョウ属と流水性タナゴ類の解析結果を掲載）

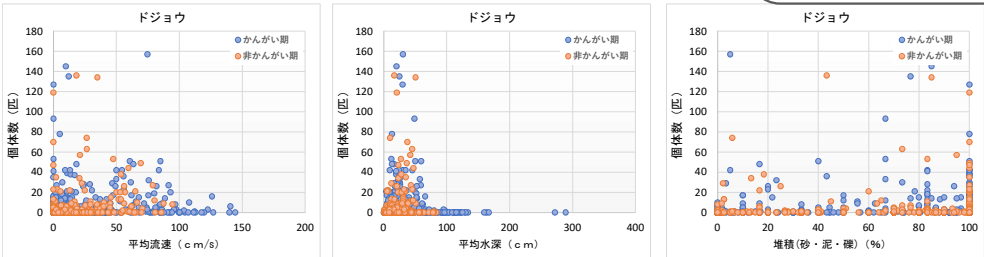
一般化線形混合モデル解析によって推定されたドジョウ属（在来種）の生息に適した環境

ドジョウ属（在来種）（全期間）									
項目	流速	水深	沈水植物の割合	抽水植物の割合	垂下植物の割合	堆積割合	リターの割合	切片	AIC
傾き	-0.311	-0.294	0.122	0.130	0.154	0.650	0.280	-3.289	3871.50
p値	0.002	0.002	0.106	0.046	0.034	0.000	0.000	0.000	
ドジョウ属（在来種）（かんがい期）									
項目	流速	水深	沈水植物の割合	抽水植物の割合	垂下植物の割合	堆積割合	リターの割合	切片	AIC
傾き	-0.416	-0.530				0.716	0.301	-3.329	2331.80
p値	0.003	0.000				0.000	0.000	0.000	
ドジョウ属（在来種）（非かんがい期）									
項目	流速	水深	沈水植物の割合	抽水植物の割合	垂下植物の割合	堆積割合	リターの割合	切片	AIC
傾き	-0.345	-0.474	0.226	0.200		0.611	0.235	-3.846	1503.50
p値	0.009	0.000	0.056	0.035		0.000	0.021	0.000	

通年・期別とも流速と水深が、ドジョウ属の生息に適した環境と関係がある可能性が高いとされている。今回の調査データ範囲においては、流速が遅い場所ほど、且つ水深が浅いほど個体数が多い傾向。

通年・期別とも土砂堆積の割合が、ドジョウ属の生息に適した環境と関係がある可能性が高いとされている。今回の調査データ範囲においては、土砂堆積の割合が多い場所ほど個体数が多い傾向。

【結果の解釈】
ドジョウは、流れが緩やかで、水深が浅く、土砂堆積がある場所で多く確認される傾向がある。



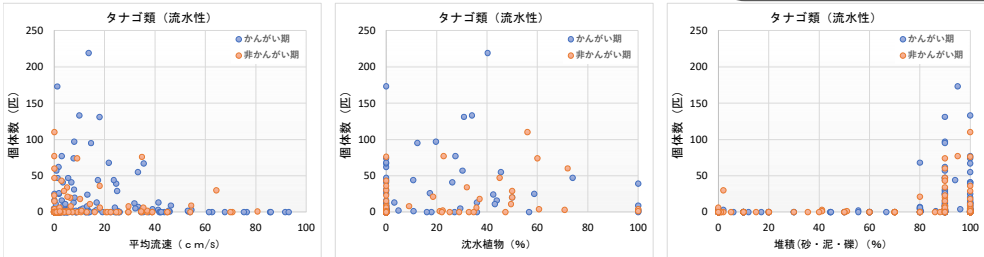
ドジョウ属の生息に適した環境と関係がある可能性が高いとされた環境要素（流速、水深、土砂堆積）のデータ分布状況

一般化線形混合モデル解析によって推定された流水性タナゴ類の生息に適した環境

流水性タナゴ類（全期間）									
項目	流速	水深	沈水植物の割合	抽水植物の割合	垂下植物の割合	堆積割合	リターの割合	切片	AIC
傾き	0.352	-0.256	0.391			0.818	0.371	-3.485	1187.90
p値	0.057	0.064	0.001			0.000	0.004	0.000	
流水性タナゴ類（かんがい期）									
項目	流速	水深	沈水植物の割合	抽水植物の割合	垂下植物の割合	堆積割合	リターの割合	切片	AIC
傾き		-0.571	0.328			0.918	0.599	-3.724	767.60
p値		0.004	0.016			0.000	0.001	0.000	
流水性タナゴ類（非かんがい期）									
項目	流速	水深	沈水植物の割合	抽水植物の割合	垂下植物の割合	堆積割合	リターの割合	切片	AIC
傾き	0.769		0.699			0.765		-3.242	423.40
p値	0.000		0.001			0.004		0.000	

非かんがい期・通年では、流速が流水性タナゴの生息に適した環境と関係がある可能性が高いとされている。また通年・期別とも沈水植物の割合と土砂堆積の割合が流水性タナゴの生息に適した環境と関係がある可能性が高いとされている。今回の調査データ範囲においては、非かんがい期に流速が速く、沈水植物・土砂堆積の割合が多い場所ほど個体数が多い傾向。

【結果の解釈】
流水性タナゴは、通年で流れがある程度確保され、沈水植物と土砂堆積がある場所で多く確認される傾向がある。



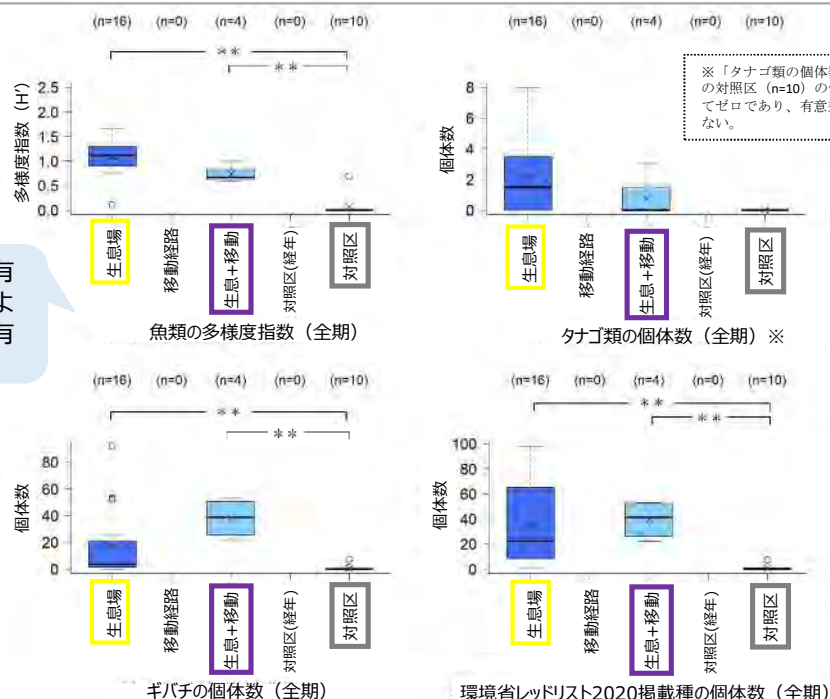
流水性タナゴの生息に適した環境と関係がある可能性が高いとされた環境要素（流速、沈水植物、土砂堆積）のデータ分布状況

環境配慮対策の実施効果の検証

◆地区ごとの解析（解析④） ※B地区の整理例

ボックスプロットを用いた実証区と対照区の比較整理

- B地区の実証区は、下流部が現況保全区間、中流部が二面張り区間（緩勾配、階段式落差工、幅広水路、魚巣ブロック等）、上流部が三面張り区間（深み工、階段式魚道等）となっている。対照区は、現況保全区間に並行して流れる三面張り水路である。保全対象生物はギバチ、スナヤツメ、アカヒレタビウである。
- 調査対象の6地点のうち、二面張り区間及び現況保全区間の3地点を「生息場」、深み工と階段式魚道が設置されている1地点を「生息＋移動」、三面張り区間の2地点を「対照区」とし、魚類多様度指数、タナゴ類・ギバチ個体数、環境省レッドリスト掲載種の個体数を比較した結果、実証区では多様度指数や個体数が対照区よりも有意に高い結果となった。



データ群間の有意差検定結果より配慮効果の有無を考察

本編では、全10地区の解説を掲載しています。

地区の特性をふまえた配慮効果の分析

- 実証区においてギバチ、スナヤツメ等の保全対象種の生息が確認され、対照区と比較して種数・個体数・多様度指数のいずれも良好な結果となったことから、生態系配慮施設の整備が魚類の生息環境の保全に寄与していると推察された。このような結果の背景（要因）を下表に整理した。

実証区の環境配慮対策の内容	多様性に寄与する環境要素と生態系配慮との関連性
緩勾配（二面張り区間）	【流速】緩勾配にすることで水路内の流れが緩やかになり、農業用水路内において好適な流速環境の創出につながり、魚類の生息環境の質的向上に寄与 【水中植生・カバー】緩勾配にすることで水路内の流れが穏やかになり、水路内の植生の創出を促す効果が発生。また、かんがい期においては、魚類の休息場、仔稚魚の隠れ場等の提供に繋がり、魚類の生息環境の質的向上に寄与 【流速の多様度】緩勾配にすることで水路内の流れが緩やかになり、これに加えて水路底の深み等の影響もあり、非かんがい期においては魚類の越冬場の提供等につながり、魚類の生息環境の質的向上に寄与 【最少水深】緩勾配にすることで水路内の流れが穏やかになり、非かんがい期において、深い水深が確保・維持ができない場所でも魚類の生息に適した環境が確保され、越冬場の提供等につながり、魚類の生息環境の質的向上に寄与
深み工／水路内魚道	【最大水深】三面張り区間内の深み工や魚道直下の深みは、特に非かんがい期において流量が大きく減少する農業用水路においては、魚類の越冬場の提供につながり、魚類の生息環境の質的向上に寄与
土砂による埋め戻し	【自然河床】二面張り区間の水路底を土砂で埋め戻すことによって、水路内の河床が自然河川と同等の環境となり、底生魚の生息場の他、産卵基質の提供につながり、魚類の生息環境の質的向上に寄与

計画段階の技術情報

◆環境配慮対策の検討における留意事項

地区特性を考慮した環境配慮対策の検討

- 魚巣ブロックを設置している6地区について、地区特性別で以下の傾向がみられた。
【平坦地】:実証区・対照区とも魚類の多様度指数が相対的に高く、有意差がない。
【傾斜地】:実証区の方が対照区よりも多様度指数が有意に高い。
- 平均流速は、平坦地・傾斜地ともに、実証区の方が対照区よりも有意に遅い傾向がみられた。魚巣ブロックは流速緩和自体を目的とした施設ではないが、深み工とセットで設置されることが多いこと、水路壁の穴により水際の流れを複雑化し、結果として魚巣ブロック周辺で流速の緩和が生じやすくなっていることが想定される。
- 傾斜地では、捕食者からの避難場としての利用に加え、施設周辺の流速が遅いことで魚類が利用しやすい環境となっていることが想定される。同じ施設であっても、地区特性によって施設の機能の発揮状況が異なる可能性を考慮して工法を選定することが望ましい。

ネットワークの接続性を考慮した環境配慮対策の検討

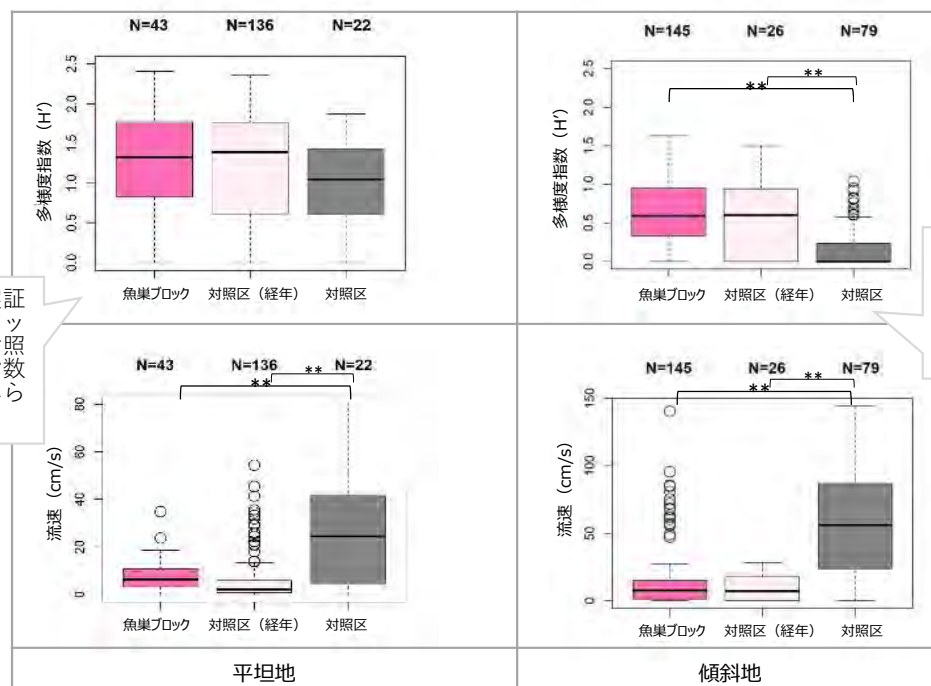
【傾斜地】

- 一部の地区では、地区内の水路網のネットワークは確保されているものの、河川と地区内水路との接続が分断されているために、魚類相が単調化しつつある傾向がうかがえた。
- ネットワークの分断が起きやすい山間部の地区は特に、地区周辺に生息する多様な魚種の河川－水路間の移動経路となるような環境配慮対策を検討することが望ましい。

【平坦地】

- 一部の地区では、水路網全体で特定外来生物が確認されているケースがあった。勾配が緩く水路のネットワークの接続性が確保されやすい一方、外来種の移動も容易となっている。
- 配慮対策の計画段階では、当該及び周辺水域の特定外来生物等の外来種の生息状況と侵入可能性などを考慮した上で、配慮施設の種類や配置、施工時の工夫などを考えることが望ましい。

平坦地では実証区（魚巣ブロックあり）と対照区で多様度指数の有意差がみられていない。



傾斜地では魚巣ブロック設置地点の多様度指数が対照区よりも有意に高い。



可動堰



落差工

設計段階の技術情報

◆配慮工法の選定に係る留意事項

- 令和元年度～令和3年度に実証調査を行った全国10地区の生態系配慮施設（環境配慮工法）について、現況評価と工法選定に係る留意事項を解説した。

<解説した環境配慮工法>

- 移動経路の確保に寄与する工法（水路における生物のネットワーク）：**水路魚道（千鳥X型、ハーフコーン型、粗石付き魚道）**
- 生息・生育環境の確保に寄与する工法：**二面張装工区間、井桁沈床工、環境配慮護岸、カゴ型護岸ブロック、蛇籠、浅瀬護岸、土水路、魚巣ブロック、砂底水路、ポーラスコンクリート、深み工（低水溝）、深み工、集水枡、ワンド工、幅広区間、ビオトープ**
- 移動経路の確保に寄与する工法（水路と水田における生物のネットワーク）：**水田魚道**

 は本書掲載分

■水路魚道（千鳥X型）（A地区）

【現況評価】

- かんがい期には越流深が確保され、プール部ではドジョウや、ギバチの成魚・稚魚が確認された。上流側のドジョウ水路は魚類や両生類、水生昆虫等の繁殖場利用を想定して整備されており、本水路もかんがい期に魚類を遡上させ、非かんがい期までに流下させるという機能を発揮していた。
- 非かんがい期は上流部で接続するドジョウ水路の通水が止まるため、通水が無い。維持管理が定期的になされており、プール部の堆積物などは無かった。

【工法選定に係る留意事項】

- 本事例のように繁殖場への移動経路の確保であれば、周年で通水していなくても問題はない。どの場所に何のために魚類を遡上させるかという目的を明確にし、通水状況を考慮した上で設置の可否や適切な配置を検討する。



水路魚道（千鳥X型）



水路魚道（千鳥X型）の上流部

■二面張装工区間（B地区）

【現況評価】

- 排水路の中流部は、河床は土砂で埋め戻し、護岸は魚巣ブロックを組み合わせた二面装工、落差工は階段式落差工としている。整備後10年以上経過後においても、一部区間で堆砂と抽水植物の繁茂が進み、流路や流速が多様な区間となっており、多くの魚類が確認されている。
- 堆砂や水路幅の狭窄により非かんがい期に滞り状の流れが生じており、結果として少ない流量でも魚類の生息に必要な水深が確保される状態となっている。
- 通水阻害の視点では堆砂や抽水植物の繁茂はマイナスだが、多様な生息環境の提供や、環境の変化（出水や非かんがい期の流量減）に対する調整能力を有するという点で、重要な区間となっている。

【工法選定に係る留意事項】

- 本来の排水機能を阻害しない範囲での維持管理の方法（土砂除去の程度等）を明確にし、管理者間での共有が必要である。



配慮護岸（二面装工区間）

設計段階の技術情報

令和元年度～令和3年度に実証調査を行った全国10地区の生態系配慮施設の現況評価と工法選定に係る留意事項を解説しています。

■環境配慮護岸（I地区）

【現況評価】

- 生態系配慮施設により多様な環境が創出されており、経年で水路の状況に変化が少なかったため確認個体数が安定して多い。非かんがい期にはカダヤシ（国外外来種）の割合が多くなる傾向がある。

【工法選定に係る留意事項】

- 配慮護岸は国外外来種にとっても好適な環境を提供するため、地区内に国外外来種（特定外来生物）が既に侵入している場合、意図せずして生息範囲の拡大に寄与してしまう可能性がある。事業実施前での魚類相の確認と、水域ネットワークの接続性の変化による外来種侵入の可能性についても検討する必要がある。



環境配慮護岸①



環境配慮護岸②

■魚巣ブロック（D地区）

【現況評価】

- 水路底とフラットになるように砂泥が堆積しており、深みとしては機能していなかった。水中カメラによる映像からも、利用頻度は高くない結果であり、施設規模が不足している可能性が考えられる。

【工法選定に係る留意事項】

- 水路勾配や土砂供給状況をふまえ、土砂が堆積しやすいことが想定される場合には、機能低下や維持管理の手間の増加が想定されるため、設置の可否に熟慮が必要である。



魚巣ブロック①



魚巣ブロック②

■浅瀬護岸（K地区）

【現況評価】

- タナゴ類等の小型魚の生息、待避場として設置されているが、水位が護岸まで達しておらず、出水時に冠水している状態となっている。
- 浅瀬護岸から水路内への植生侵入、木杭による流速変化や隙間に植物が生育し、小型魚の隠れ場として部分的な機能発揮になっている可能性がある。

【工法選定に係る留意事項】

- ほ場整備後は水路断面の拡大に伴い、大型魚や肉食性の種が進入する可能性があるため、魚類の多様性維持のため、多様な水深を確保することが効果的であるが、水路の管理水位や下流の堰管理の運用を踏まえ、適切な高さで設計する必要がある。



浅瀬護岸

■ワンド工（H地区）

【現況評価】

- 底質として泥分が堆積しており、砂質を好むオバエボシガイなど含むイシガイ類にとって望ましくない生息環境になっている。

【工法選定に係る留意事項】

- 泥分は流失するが砂分は堆積する最適な流速が維持できる路線を選定し、設置する。



ワンド工

設計段階の技術情報

令和元年度～令和3年度に実証調査を行った全国10地区の生態系配慮施設の現況評価と工法選定に係る留意事項を解説しています。

■ポーラスコンクリート（E地区）

【現況評価】

- ・ポーラスコンクリート設置場所の一部に水草が繁茂していた。水草の繁茂により流速が緩やかとなり、堆積した砂泥にドジョウが多数生息していたことから、本施設は緩流域を好む魚類にとって有効であると考えられる。

【工法選定に係る留意事項】

- ・水草が繁茂しすぎると水路の流れが悪くなり、土砂やゴミの堆積を誘発する可能性があるため、地区内の水路の一部のみに設置することが望ましい。
- ・地下水位が低いところは地下浸透により水量の減少が懸念、設計時に湧水量を考慮する必要がある。



水草の繁茂状況



川底の状況

■ビオトープ（J地区）

【現況評価】

- ・当地区のビオトープは、水路とは区分されたため池型ビオトープと、水路内の一部区間の幅を広げたワンド型ビオトープに大別される。ため池型ビオトープは、山肌からの染み出し水により常に水深が一定に保たれた止水環境が維持されており、キイトンボ等の止水性水生昆虫、アカハライモリ、モリアオガエルの成体などが確認され、止水性水生動物の繁殖場所や成育場所としてよく機能していると考えられた。
- ・ワンド型ビオトープも、コンクリートでライニングされた水路内において貴重な緩流部や深場を提供しており、このような環境が維持されたワンド型ビオトープでは、タカハヤ、ドジョウ、ミズカマキリ、ガムシ等の良好な生息場所となっていると考えられた。
- ・一方、ワンド型ビオトープではほとんどの地点で土砂の堆積が進んでおり、水みちだけ残りビオトープのほぼ全面が陸化した地点、陸生植物が繁茂し水面が見えない地点も多く、従前の代替環境として機能していない箇所もみられた。

【工法選定に係る留意事項】

- ・ワンド型ビオトープは、単調な流れが連続する水路内にあって、ほ場整備前に旧水路（土水路）が有していた緩流部や深みなど魚類等様々な生物が好む生息環境の代替環境として有効な配慮工法であるが、水流で運ばれてきた土砂が堆積しやすく、陸化し植生が繁茂しやすい。機能を維持するには定期的に草刈や土砂を取り除く必要がある。
- ・ドジョウなど魚類の生息場として整備する場合は、田んぼとの移動経路（魚道等）と併せて整備するなど、保全対象生物が生活史を全うできるネットワークを確保することが重要である。適切な設計条件で魚道が設置できない場合や、田の耕作者の理解が得られない場合は、別の方法で代替環境を検討する必要がある。
- ・水生生物を対象としたビオトープは水の供給条件も重要な要素である。ビオトープ設置位置の選定に当たっては、改変前の現地調査で山際の染み出し水や湧水のある場所など把握しておき、それら事前情報や条件を活かしてビオトープを造成することも、生物の保全、管理労力の軽減につながる。



ため池型ビオトープ



ワンド型ビオトープ



水田魚道を整備したビオトープ

設計段階の技術情報

◆施設の詳細設計において参照可能な情報の整理

- 本書の「二次的自然に依存する魚種の生息に適した環境条件の解析（解析③）」の結果ならびに既存知見に基づき、ドジョウ属（在来種）、タナゴ類（流水性・止水性）及びミナミメダカの生息に適した環境を保全・再生・創出するために、施設設計段階で参照可能な情報を整理した。

	ドジョウ属（在来種）※1	止水性タナゴ類	流水性タナゴ類	ミナミメダカ※2
保 全 ・ 再 生 ・ 創 出 す べ き 環 境	流速が緩やかで水深が浅く、土砂堆積がある環境 ①物理環境 - 体長4cm台のドジョウを対象として魚道設計を行う際に、流れ場の流速を30cm/sもしくは40cm/s程度とする場合は、必要通過距離をそれぞれ30cm以下、10cm以下とする（矢田谷ら、2015） ②生息環境 - 底質（砂や泥）が堆積している	流速が緩く、水深がある安定した止水域 ①物理環境 - 平均流速10cm/s以下で個体数が多い - 水深が50cm以上確保されている箇所で個体数が多い（本検討） ②生息環境 - 底質（砂や泥）が堆積している - 産卵母貝のイシガイ類の生息環境が近傍にあり、その環境との接続が確保されている	一定の流速が確保され、沈水植物の繁茂や土砂堆積がある環境 ①物理環境 - 平均流速30cm/s程度まで個体数が多いが、60cm/sを超えると減少する（本検討） ②生息環境 - 沈水植物が繁茂。 - 底質（砂や泥）の堆積割合が80%以上の箇所で個体数が多い（本検討） - 産卵母貝のイシガイ類の生息環境が近傍にあり、その環境との接続が確保されている	安定した抽水植物の繁茂や土砂堆積がある環境 ①物理環境 - 通年で平均流速10cm/s以下（石川ら、2005）。 - メダカにとって安全な流速は15-20cm/s以下、自由な遊泳を阻害されない流速は1-3cm/s以下（端ら、2001） - 農業用水路に生息するメダカの環境要因の選好強度は、流速は3.8cm/s、遮蔽率は35%、水深は8cm（阿部ら、2005） ②生息環境 - 平均流速が10cm/s以上の場合でも、植物による流速の軽減や障害物による流れの変化があり、局所的に10cm/sになることが望ましい（石川ら、2005） - メダカの群れは10～15cm/s以下の流速に対して抵抗性を持ち、泥が堆積しかつ植生が存在する環境を選好する（竹村ら、2004）
特に効果的な施設	生息場：深み工（特にかんがい期）、ワンド工、二面張り水路 ネットワーク：水田魚道、水路魚道	生息場：配慮護岸（通年）、深み工（特に非かんがい期） ネットワーク：水路魚道	生息場：配慮護岸（通年）、深み工（特にかんがい期）、魚巣ブロック ネットワーク：水田魚道（かんがい期）	生息場：配慮護岸（通年）、深み工（特に非かんがい期） ネットワーク：水田魚道

※1 調査対象地区はキタドジョウの分布域を含むが、本調査は同定後の再放流を原則としており、解剖による同定が必要なキタドジョウについてはデータ上は報告されていないため、本検討ではドジョウ属（在来種）として表記した。同じドジョウ属のカラドジョウは解析データに含めていない。

※2 今回の調査対象地区での確認種がミナミメダカのみであったため、キタメダカを含むメダカ属とは表記せず、ミナミメダカとした。

維持管理・モニタリング段階の技術情報

◆維持管理に関する技術情報等

- 土砂搬出のトラックの進入路が確保できないなど、施設の設置当時には気づかなかった維持管理上の課題が明らかとなってきた。維持管理計画の検討段階で、作業内容に応じた留意点（例えば重機や土砂搬出のトラックの進入路の必要性等）を整理し、設計段階に引き継いでいく必要。
- 維持管理の担い手不足は全国的な課題である。担い手不足への対応として、UAV等の新たなツール活用による省力化や、情報共有や引き継ぎを想定した情報の電子化なども盛り込んでいくとよい。



◆モニタリングに関する技術情報等

- 現状では、環境に配慮した施設や取組の効果を検証したり、事後評価（施工後のモニタリング）を行ったりする仕組み（体制）を有する都道府県は半数以下となっている。
- 地元の小学校と連携することで生き物調査を毎年のイベントとして継続している例や、地元大学生が生き物観察会の講師として参加している例などがあり、若い世代をモニタリングに巻き込むことにより、地域の資源としての施設や生物への理解・保全意識の醸成につながっている可能性がある。
- 施工時に浚渫土砂中の水草内でタナゴ類の稚魚が確認されたり、事業完了後に数年経過したビオトープにアメリカザリガニが侵入していることが確認されたりなどの事例があるため、施工時や事業完了後においても定期的な生物モニタリングを行うことが望ましい。
- モニタリングに求められる専門性や労力を軽減できる新たな調査技術として、環境DNA調査が注目されている。現時点で技術的課題も残されているが、従来型の採捕調査と環境DNA調査を併用することで、保全対象生物の生息・生育状況やネットワークの状況をより効果的、かつ、高精度に把握することが可能となる。

維持管理・モニタリング段階の技術情報

参考事例も掲載しています。

参考事例：生きもの生息環境に配慮した順応的管理の提案事例

農業用水路では、維持管理作業として、油圧ショベルによる水路内の土砂の掘削が行われることがある。土砂撤去により通水機能が確保されるようになる一方で、土砂とともに水中植生・カバーが消失し、魚類の休息場や当歳魚等の小さい個体の隠れ場所等が一時的に消失するというトレードオフが懸念されるため、本調査の実証地区の中では、維持管理と生態系配慮の効果を両立するための留意点として以下のように整理して提案している事例がある。

掘削された箇所は植生が回復するまで一定の期間を要すると考えられるため、一度に広範囲の土砂を除去してしまうと魚類をはじめとした水生生物の生息に与える影響が大きくなる。このため、必要な通水量を確保した上で一部の土砂を残すように作業することで生息環境の一部を保全し、影響を緩和することが重要と考えられる。

また、掘削箇所の検討においては、土地改良区が保有しているUAVによる空中写真を活用することも有効である。空中写真を活用した掘削箇所の検討のイメージは、右図に示すとおりである。



【実証区間の二面装工区間】



【拡幅水路】

空中写真を活用した掘削箇所の検討イメージ

参考事例：経年変化に応じた維持管理頻度と体制構築の必要性

下図は、J地区におけるビオトープの設置直後から直近の調査までの変遷を示したものである。①及び③は定期的に管理の手が入っているため現在もビオトープの機能が維持されているが、②は管理されていないため経年変化でビオトープの様相を呈していない。

地区内に設置された14地点のビオトープのうち6地点では年3回程度の草刈りが実施され、管理していない地点と比較して水生生物の種数・個体数ともに多い傾向がみられている。草刈りにより開放水面が確保され、適度に植生も保たれることで、昆虫類をはじめ多くの生物種に棲みやすい環境になっているためと推察されている。

J地区は勾配の大きい山間農業地域にあり、豪雨出水のたびにビオトープへ土砂が流入し、年々堆砂が進行する。やがてそれが陸化し、植生の繁茂が進み、管理が行き届かず一部に生態系配慮施設機能の劣化が見られる。

現状では、J地区の地元農家及び保全活動団体の継続的な取組により概ね良好に保全されているが、地域の過疎化・高齢化が進む中、これまで施設管理を担ってきた人手の減少によって、近い将来、施設機能の劣化による生物多様性の減退が懸念されている。

① 整備後継続的に管理されているワンド型のビオトープ



② 整備後管理の手が入っていないワンド型のビオトープ



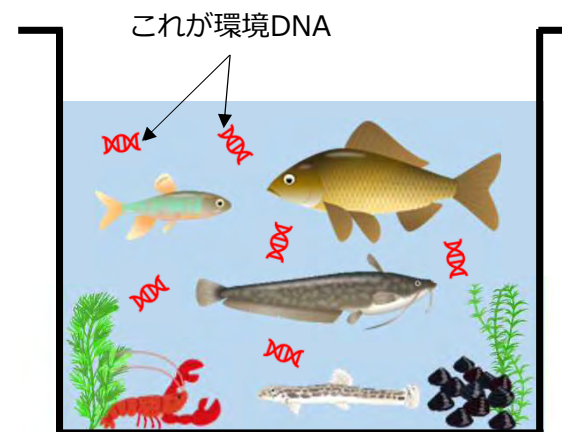
③ 整備後継続的に管理されている湧水を活かしたため池型のビオトープ



新しい調査技術に関する技術情報

環境DNA調査に関する解説

小項目	概要
(1) 環境DNAとは	- 環境DNAとは、水環境中に存在するDNAの総称であり、水中に生息する生物の体表からはがれ落ちた細胞片や粘液等がその由来である。 - 環境DNA調査とは、河川や用水路などで採水したサンプルに含まれる環境DNAの情報を分析機器で読み取り、そこに生息する生物種を間接的に調べる方法である。 - 環境DNA調査は、調査員が滅菌もしくは消毒済みのボトルを用いて現場の環境水を採水して分析会社に送るだけであることから、誰でも簡単に行うことができ、現場での作業が簡便であるという利点が注目されている。 - 採水したサンプルの分析作業は、一般的には環境DNA分析を受託している民間企業や大学等に委託することになる（環境DNA分析費用の市場価格は、1検体3～4万円程度）。
(2) 現地調査方法	- 採水する容器には、滅菌済みの新品のポリプロピレン製ボトルを使用する - 採水量は、1地点当たり1,000 mLが標準的である。 - サンプル中の環境DNAはそのままでは自然分解してしまうため、DNAの分解を抑える試薬を採水した直後にサンプルに添加する必要がある（DNAの分解を抑える試薬は、多くの場合、分析を委託する会社から提供される）。 - 採水したサンプルは、採水当日のうちに、分析を委託する会社へクール宅配便（冷蔵）で発送する。



川や水路、池などの水中には、そこに生息する魚などの生物からはがれ落ちた粘膜や細胞などに由来するDNAが存在しています。これを**環境DNA**と呼びます。



採水サンプルは、採水した当日のうちに、クール宅配便で分析を受託している会社へ発送します。

新しい調査技術に関する技術情報

環境DNA調査に関する解説

小項目	概要
(3) 環境DNA分析の方法と適用可能な生物分類群	- 環境DNA分析の分析方法には、調査したい生物群（例えば、魚類、両生類など）をまとめて検出する「網羅的解析」と、調査したい1種（例えば、ホトケドジョウ、アカハライモリなど）を決めた上でその種だけを検出する「種特異的解析」の2種類がある。 - 網羅的解析では、検出された全種のリストが得られ、種特異的解析では、調査地点間の相対的な生物量の比較ができる。 - 網羅的解析の分析の流れと概要は、下図の通りである。



フィルター



分析会社に届いたサンプルは、すぐに専用のフィルターでろ過して、水からDNAを回収します。



分析装置

フィルターから回収されたDNAを分析装置で調べます。



分析装置で読み取ったDNA情報から、採水した地点にいた魚の種類が分かります。

新しい調査技術に関する技術情報

環境DNA調査に関する解説

小項目	概要
(4) 環境DNA調査の利点と課題	- 環境DNA調査の利点としては、以下の通りである。 - 生物自体を捕獲する必要がないため、生物を傷つけない。 - 捕獲や観察では見つけにくい生物が確認できる可能性がある（例：右上図）。 - 調査員は種同定（種を識別すること）に関する専門知識が不要である。 - 現場で行う作業が水を汲むだけであるため、調査員の経験や技術により、結果が大きくばらつくことがない（現場の環境によっては、一般市民や学生でも調査が可能である）。 - 環境DNA調査の課題としては、以下の通りである。 - 家庭排水等に由来するDNAが存在した場合、実際には採水地点に生息していない種が検出されることがある。 - 採水時や分析時に、サンプルの中に外部からDNAが混入してしまうと、採水地点に生息していない種を誤検出することがある。 - 生息密度が非常に低い種は、水中の環境DNA濃度が非常に薄いため、その種が検出できないときがある。 - 採水地点の流量が多い時期は、環境DNAが希釈されることで一部の種が検出できないときがある。
(5) 環境DNA調査の流れ	- 調査の大まかな流れは以下の通りである。 ①調査準備 ➡ ②採水 ➡ ③DNA分解抑制試薬を入れる ➡ ④分析会社へ発送 - 本編の参考資料には、「採水マニュアル」を掲載している。



環境DNA調査により、生物が生息しやすいように配慮した水路で非常に珍しい魚が発見されたことも！



参考資料として採水マニュアルも付いています！



新しい調査技術に関する技術情報

環境DNA調査に関する解説

小項目	概要
(6) 環境DNA調査を実施する上での留意事項	- 環境DNAは、水の流れの影響を受けて下流側へ拡散するため、例えば、河川から取水している農業水路内の地点（特に河川からの距離が近い地点）で採水すると、水路に生息する種だけでなく、河川に生息する種の環境DNAも同時に検出されることがある。 - 下流側の用水をパイプラインにより上流側に揚水して循環利用しているような地域で環境DNA調査を行うと、調査地点の下流側にしか生息していない生物が検出されることがある。 - 農業水利施設において環境DNA調査を行う際は、水がどこから来て、どのように流れているのかを知っておくために、取水源や水路系統のつながり等を事前に把握しておく必要がある。 - 農業水路内のある地点にいた魚から放出された環境DNAが、水の流れに乗ってどの程度下流まで検出できるのかという実験調査を行った結果、環境DNAが拡散する範囲は、おおよそ1～3km程度であることが分かった。 - 流速が早い水路ほど、放出された環境DNAは遠くまで拡散する傾向があった。
(7) 環境DNA調査の現場適用性	- 農林水産省が全国10地区で3年間にわたって環境DNA調査を行った結果、魚類を対象とした環境DNA調査では、採捕調査で確認された魚類の約90%が環境DNA調査でも確認されており、採捕調査とほぼ同程度の調査精度があることが分かった。 - 両生類を対象とした環境DNA調査では、採捕調査で確認された両生類の約30～75%が環境DNA調査でも確認されたが、調査する地区によって調査結果に大きくばらつきがあった。 - 両生類は、非かんがい期（秋～冬）の時期には一般的に活動が鈍る（冬眠する種もいる）ため、環境DNA調査によって検出される効率が低下するので、調査時期としては避けることが望ましい。

本編の第7章には、環境DNA調査に関する以下の解説が詳しく書かれています。

- 環境DNAとはどんなものか
- 現地調査の作業の流れ
- 環境DNA調査で調べることができる生物の種類
- 環境DNA調査の利点と課題
- 環境DNA調査を行うときに注意すべきポイント
- 農林水産省が行った環境DNA調査の事例



環境DNA調査を試して、どんな魚がいるか調べてみよう！