生態系保全を目的とした小型魚道の開発

大平　裕*・柴田幸次**・林田創*

1. はじめに

ほ場整備などの農業生産基盤が行われた地域では，水資源の効率的な使用などが可能となり，生産性の向上が図られた。一方，水路や水田では，水路内の堰，落差工および三面水路によるエコロジカルコリドー（生態的回廊）の分断などの生態系への影響が生じている。

水田地域の魚道は，水路と水田の接続を目的とした千鳥X型魚道などの研究が行われている[1), 2)]。しかし，水路内の堰などによる移動阻害を対象とした小型魚道の開発は，用水や施設の維持管理などの課題があり，取り組みが遅れている。

本報は，水路のエコロジカルコリドー機能の再構築を目的に開発した6タイプの小型魚道のうち，布製のラダー型魚道とアルミ板製のフリューム型魚道の2タイプについて，基礎実験と現地実験の結果を報告するものである[3), 4)]。

2. 材料と方法

2. 1　調査地

調査地は，図1に示す福岡県久留米市の巨瀬川左岸に広がる平地水田である。水路の標準的な構造は幅1m，深さ1m，勾配0.2%，護岸が空石積またはコンクリート柵渠，堰が高さ0.6m，幅1m，水位差0.4mであった。

調査地のかんがいは，例年5月25日から10月10日に行われる。かんがい期の流量は2,000m^3/d，非かんがい期では1,200m^3/dであった。

2. 2　保全対象

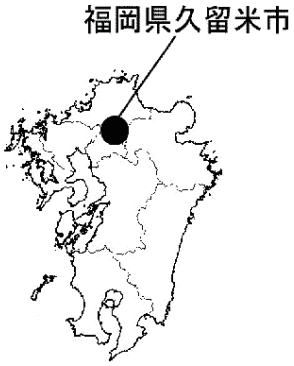


図1　調査地の位置

堰と落差工は，水路を生息環境とする魚類の移動に影響を与える環境要因である。魚類の移動が盛んな時期は、かんがい期に当たり、水田では代かきや中干しなどの水管理が行われる。水路には取水用の堰が多数設置され、魚類などのエコロジカルコリドー機能が分断されている。

これらのことから，調査地の環境保全目標は，水路をエコロジカルコリドーとして利用する生物の生育環境の保全とした。

そこで，現地調査にて確認した20種の魚類等を水路の利用目的と生活史に注目した生活史型による類型区分を行った。その結果，産卵のために水路を移動する産卵移動型のギンブナ，ドジョウ，ナマズ，トウヨシノボリなど，索餌のために水路を移動する索餌移動型のオイカワ，カワムツ，ヌマムツ，タカハヤ，カワヨシノボリなど，水路を一時的な避難場所として利用する機会移動型のウグイ，アリアケギ

*九州環境環境管理協会　計画部，**九州環境管理協会　環境部

表１　保全対象種の特性

対象地区における生活史型		種名	体長 (m)	巡航速度 (m/s)	突進速度 (m/s)
産卵移動型	水田・水路遡上型	ギンブナ	0.25	0.1 ～ 0.7 （0.2）	0.3 ～ 1.20 （0.45 ～ 0.7）
		ドジョウ	0.1	0.1 ～ 0.2	1.0 ～ 1.3
		ナマズ	0.5	0.7 ～ 1.1	1.5 ～ 2.0
	河川遡上・降下型	トウヨシノボリ	0.05	0.3	0.5
		（参考） モクズガニ	0.07（甲幅）	－	－
索餌移動型		カワムツ	0.15	0.05 ～ 0.15 （0.45）	0.1 ～ 0.3 （0.55 ～ 0.8）
		ヌムマツ	0.13	不明	不明
		オイカワ	0.13	0.05 ～ 0.15 （0.275）	1.0 （0.5 ～ 0.7）
		タカハヤ	0.09	0.1 ～ 0.2 （0.225）	0.1 ～ 0.21 （0.55 ～ 0.75）
		カワヨシノボリ	0.05	0.3 （0.1）	0.5 （0.75）

体長 [5]，巡航速度と突進速度 [6]，括弧書きの巡航速度と突進速度 [7]

バチなど，河川または水路に定着し移動性が低い定住型のアブラボテ，メダカなどに類型区分した。

さらに，保全対象種は，表１に示す生活史において水路のエコロジカルコリドーが重要な機能を持つ産卵移動型と索餌移動型の 10 種類とした。保全対象種の特性は，表１に示す保全対象種の特徴に基づき，体長をカワムツの標準体長である 0.15m，休息可能な流速に相当する巡航速度をドジョウとギンブナの巡航速度の下限である 0.1m/s，遡上可能な流速に相当する突進速度をギンブナの突進速度の下限である 0.45m/s とした。

2．3　魚道の開発

魚道の勾配は，魚類の遡上に適した 1/10 ～ 1/20 の範囲で，施設規模が最小となる 1/10 を用いた [8]。魚道の幅は，対象魚類の体長の 1/2 以上，かつ地元農家の要望に基づく水路幅の 1/2 以下を満足する 0.3m とした。プール長は，保全対象種の体長の 2 倍以上，かつ現地水路で採捕した最大個体の体長 0.3m に余裕を持たせた 0.4m とした。

プールの隔壁は，参考とした千鳥 X 型魚道 [2] では，保全対象がメダカとドジョウであることから隔壁の越流部を交互配置としている。しかしながら，本報では，保全対象を遊泳力がメダカよりも強いオイカワやギンブナなどとしたことから，隔壁の越流部を直線的に配置した。

ラダー型魚道の本体は，堰管理の負担を軽減するために帆布を用い，軽量化を図った。試作と実験による改良を加え，図 2a) に示すとおり布製の本体を樹脂被覆鋼管にて支持した。

フリューム型魚道は，耐久性の向上を目的に，図 2b) に示すとおり厚さ 4mm のアルミ板を用いた。

ラダー型魚道は重量 3.9kg/m，材工を含む単価 16,700 円 /m，フリューム型水路は重量 12.3kg/m，材工を含む単価 58,300 円 /m であった。

2．4　基礎実験

2．4．1　実験装置

上記 2 魚道の実寸大模型を 7.0 × 1.2 × 0.4 m の実験プールに設置した。また，魚道の下流側には 5mm 目の生簀を置き，実験個体の逃亡を防いだ。用水は，水中ポンプ（100V，0.4kW）を用いて，現地水路の流量を参考に 0.002m^3/s にて循環供給した。

2．4．2　流況測定

流速と流向は，3 次元電磁流速計（ケネック社 VM-1001，VMT3-200-20P）を使用し，魚道中段のプールにて計測した。測点は，横断方向を隔壁の短辺，中央および長辺の 3 断面，水平方向を水面，2 割と

8 割水深および底面の 4 断面，流下方向を隔壁真上，プール長の 1/4，1/2 および 3/4 の 4 断面にて各交点の 48 点とした。また，気泡流の発生，隔壁における流れの剥離などの遡上に影響する要因を目視観測した。

2．4．3　室内遡上実験

室内遡上実験は , 流況測定と同じ実験装置を用いた。

魚類は，表 2 に示す体長 38-105mm のカワムツ 10 個体，体長 35-88mm のオイカワ 20 個体，体長 54-100mm のギンブナ 3 個体，体長 27-43mm のバラタナゴ 5 個体, 体長 46-77mm のドジョウ 10 個体, 体長 32mm のナマズ 1 個体，体長 58mm のカマツカ 1 個体の合計 7 種 50 個体を使用した。

ドジョウは市販の個体を購入し，他の魚類は福岡市内の河川で採捕し，1t 水槽にて 10 日間蓄養した。

遡上実験は，全個体を同時に魚道下流側の生簀へ放流し，魚道上流端に設置したカゴ罠で遡上個体を採捕した。遡上個体は，放流後 10 分，30 分，60 分，以降 60 分ごとに 360 分まで，種類と個体数および体長を記録し，実験プール外の水槽に放流した。同時に生簀内や遡上中の魚類の行動を目視観察した。

基礎実験は 2005 年 4 月から 6 月に行った。室内遡上実験は 6 月 9 日と 10 日の 13 時から 20 時に実施した。

2．5　現地実験

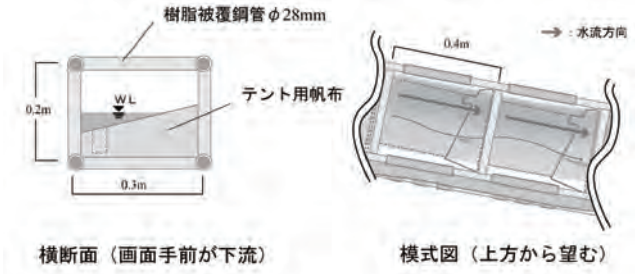
2．5．1　現地実験地

現地実験は，図 1 に示す久留米市田主丸町の水路と堰で行った。ラダー型魚道の実験を行った堰は，図 3 に示す幅 0.9m，高さ 0.6m で，堰下流では流量 0.03m^3/s，平均流速 0.14m/s であった。また，フリューム型魚道は，図 4 に示す幅 1.0m，高さ 0.6m の堰に設置し，堰下流の流量は 0.03m^3/s，平均流速が 0.50m/s であった。

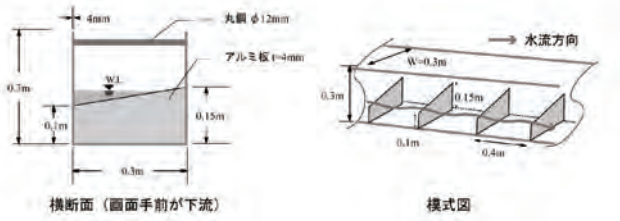
各魚道の下流は，5mm 目の生簀を設置し，実験個体の逃げ出しを防いだ。

2．5．2　遡上実験

実験に供した魚類は，表 3 に示す保全対象である体長 30-119mm のヌマムツ（カワムツを含む），



a) ラダー型魚道



b) フリューム型魚道

図 2　小型魚道の形状

図 3　ラダー型魚道の実験箇所

図 4　フリューム型魚道の実験箇所

体長 10-107mm のオイカワ，体長 27-110mm のギンブナ，体長 30-90mm のドジョウおよび体長 30-40mm のトウヨシノボリなどの 17 種であった。このうち , ラダー型魚道の実験は 13 種 113 個体，フリューム型魚道では 14 種 121 個体を用いた。

実験個体は，調査前日に実験地の水路と河川で採捕し，水路内に設けた網カゴで蓄養した。実験では，全個体を同時に魚道下流の生簀へ放流し，魚道上流端にカゴ罠で遡上個体を採捕した。

遡上個体の計測は，室内の遡上実験と同じ方法を用いた。生簀内や遡上中の魚類の行動は目視観察を行った。なお，遡上個体は，混入を防止するために現地実験水路とは異なる水路に放流した。

流況については，水深の計測，電磁流速計（アレック電子 ACM100-D）とプロペラ式流速計（タマヤ計測システム UC-304）を用いた流速測定，気泡流などの目視観察を行った。

現地実験の期日は，2005 年 7 月 24 日から 26 日に行った。うち，遡上実験は 25 日と 26 日の 13 時から 20 時に実施した。

3. 結果

3. 1 基礎実験

3. 1. 1 流況

ラダー型魚道の流況は，目視観察ではプール内の流れは安定しており，隔壁では隔壁の短辺側に主流が生じていた。また，魚類などの遡上を妨げる気泡流や流れの剥離はなかった。

鉛直断面の流速と流向は，図 5 のとおり短辺では隔壁直下などが 0.47-1.05m/s の早い順流であった。中央では流速 0.06-0.33m/s であった。長辺では流速 0.02-0.25m/s であった。水平断面の流速分布は，水面と 2 割水深では流速 0.04-0.60m/s で，8 割水深と水底では 0.02-0.67m/s であった。

主流は，保全対象種の突進速度をやや上回る 0.6m/s 程度で，上流隔壁の短辺側からプール内に降下し，プールの底層を通過し，下流隔壁の短辺側を上昇していた。また，保全対象種の巡航速度に相当する 0.10m/s 前後の場所は水面や 2 割水深などに広く生じていた。

フリューム型魚道の流況は，ラダー型魚道よりも穏やかで，遡上を妨げる気泡流や流れの剥離は生じなかった。水面と 2 割水深では流速 0.09-0.22m/s の緩やかな逆流で，8 割水深と水底では流速 0.1-0.32m/s の順流で，各測点とも安定した流向と流向であった。

主流は，ラダー型魚道と同様に上流隔壁の短辺側からプールの底層に潜り，下流側隔壁の短辺側に上昇していた。流速は，各測点とも保全対象種の突進速度以下で，遡上魚が休息可能な 0.1m/s 以下の測点も水面や 2 割水深などに広く見られた。

3. 1. 2 室内実験における魚類の遡上

1) ラダー型魚道

表 2 に示すカワムツ，オイカワ，ギンブナ，バラタナゴ, ドジョウの 5 種 27 個体が遡上し, 遡上率（遡上個体数 / 放流個体数）は 54％であった。保全対象

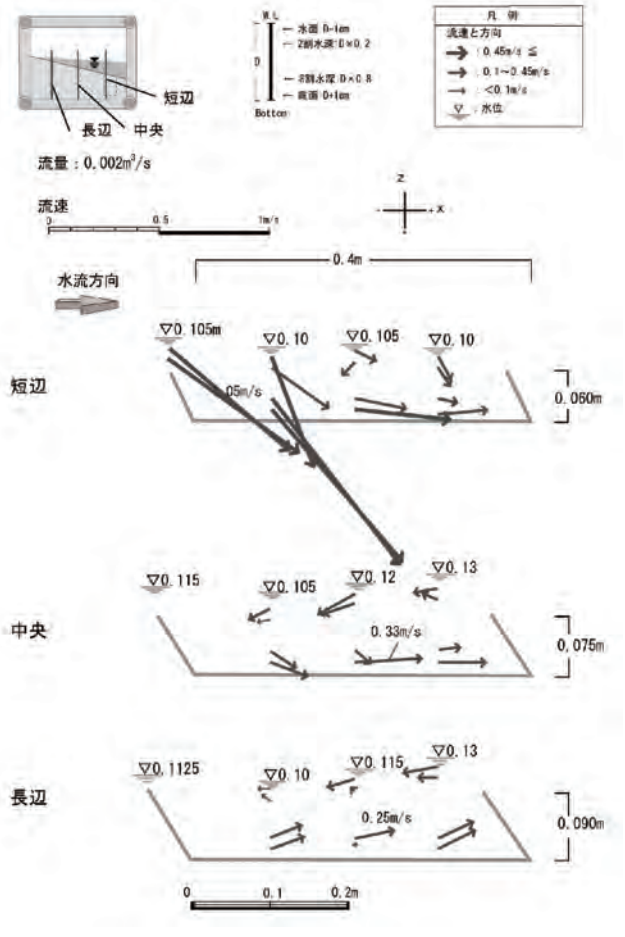


図 5　ラダー型魚道の垂直断面における
２次元流向および流速分布

種では，索餌移動型のオイカワと産卵移動型のギンブナでは全個体が遡上し，索餌移動型のカワムツと産卵移動型のドジョウでは各 1 個体が遡上した。

遡上の経時変化は，放流後 60 分間で遡上個体の 30％にあたる 8 個体が遡上し，その後も継続的に遡上した。

カワムツとオイカワは，数個体の群れを作り，下流隔壁では短辺側に生じた 0.6m/s 程度の主流に沿って隔壁を越えた。プール部では 8 割水深や底面の 0.3-0.6m/s の区域を休むことなく通過し，上流隔壁も下流隔壁と同様に短辺の主流に沿って遡上した。

ギンブナとバラタナゴおよびドジョウは単独で遡上した。これらはプール部の 2 割水深などの 0.1-0.2m/s の箇所にて休息を取るように遊泳し，隔壁では中央から長辺側に生じた流速の遅い区域を越えた。また，魚道の中途で降下し，再度遡上を試みる個体が複数見られた。

2)　フリューム型魚道

表 2 に示すカワムツ，オイカワ，カマツカ，ギンブナ，バラタナゴの 5 種 25 個体が遡上した。遡上率（遡上個体数 / 放流個体数）は 50％で，ラダー型魚道よりも少なかった。遡上個体の体長と遡上経路および種別の遡上行動は，ラダー型に類似していた。遡上の経時変化は，放流後 60 分間で遡上個体の 52％が遡上した。特に，オイカワは放流直後に 4-5 個体の群れを作って速やかに遡上した。

3．2　現地実験結果

3．2．1　流況

ラダー型魚道の流量は約 0.004m^3/s であった。魚類の遡上を妨げる気泡流や流れの剥離は観察されず，室内実験に類似した流況であった。魚道の設置に伴う堰上流の水深と流速の変化はわずかであった。

フリューム型魚道は流量 0.003m^3/s で，ラダー型魚道と同様に気泡流，流れの剥離および魚道の設置に伴う影響はなかった。

3．2．2　現地実験における魚類の遡上

1) ラダー型魚道

表 3 に示す 10 種 49 個体が遡上し，遡上率は 43％であった。索餌移動型のオイカワとヌマムツは遡上率 48％と 86％で，産卵移動型のギンブナは遡上率 80％であった。また，機会移動型のカマツカとカワヒガイも遡上した。

遡上行動は，室内実験に類似し，放流後 10 分間で遡上個体の 46％にあたる 6 種 24 個体が遡上し，放流後 120 分までに 43 個体が遡上した。

ヌマムツ，オイカワ，カワヒガイおよびコイは，室内実験におけるオイカワなどと同様に，隔壁短辺側に生じた主流に沿って遡上し，プール部の中層や底層を通過した。カマツカ，ギンブナおよびアブラボテは，室内実験のギンブナと同様に，2 割水深などの流れの遅い箇所で休息しながら遡上した。ドジョウは，護岸や魚道の陰などに隠れたまま，日没を過ぎても遡上しなかった。

2) フリューム型魚道

表 3 に示す 7 種 39 個体が遡上し，遡上率 32％であった。保全対象とした索餌移動型のヌマムツとオイカワおよび産卵移動型のギンブナでは遡上率 30％以上であった。機会移動型のカマツカ，イトモロコ

表 2　室内実験における魚類の遡上

種名	生活史型	保全対象 ＊	ラダー型魚道			フリューム型魚道		
			供試個体数	遡上個体数	遡上率	供試個体数	遡上個体数	遡上率
カワムツ	索餌移動	＊	10	1	10％	10	3	33％
オイカワ	索餌移動	＊	20	20	100％	20	18	90％
カワツカ	機会移動		1	0	0％	1	1	100％
ギンブナ	産卵移動	＊	3	2	100％	3	1	33％
バラタナゴ	定住 (止水)		5	2	40％	5	2	40％
ドジョウ	産卵移動	＊	10	1	10％	10	0	0％
ナマズ	産卵移動	＊	1	0	0％	1	0	0％
7 種			50 個体	27 個体	54％	50 個体	25 個体	50％

注) 個体数の少ない種類についても参考として遡上率を示した。

とオヤニラミ，定住型のメダカも遡上した。

遡上行動は，ラダー型に類似していた。メダカは，プール水面にて休息をとるように遊泳した後に，隔壁中央の流れの緩やかな箇所を遡上した。

4. 考察

4. 1　流況

ラダー型魚道は，ほとんどの測点にて流速が保全対象種の突進速度 0.45m/s 以下で，巡航速度 0.1m/s 以下の測点も多かった。フリューム型魚道は全測点にて流速が突進速度以下で，巡航速度前後の測点が水面や 2 割水深などに広く見られた。また , 両魚道とも流れの剥離や気泡流が発生しなかった。

これらのことから，保全対象種の遡上に適した流況であると思われた。また，隔壁の短辺側やプールの下層には，突進速度前後の測点があり，遡上の刺激となっていると思われた。

4. 2　室内実験における遡上行動

カワムツとオイカワは, 突進速度前後の主流に沿って隔壁を越え，プール部で休息することなく遡上することができた。このことから, ラダー型とフリューム型魚道の構造や流速分布は，保全対象としたカワムツなどの遡上に余裕があると思われた。

ギンブナとカマツカは，プール内で休息を取りながら遡上した。このことから，2 タイプの魚道の流況は，扁平な体型であるギンブナや底生魚のカマツカの遡上にも適していると思われた。

なお，生活史による遡上行動の比較や成長段階を揃えた個体群などを用いた統計的な検証が求められる。

4. 3　現地実験における遡上行動

索餌移動型のオイカワやヌマムツは，ラダー型魚道とフリューム型魚道とも遡上率が高かった。ギンブナとカマツカの遡上行動も室内実験結果と類似していた。現地実験においても 2 タイプの魚道は，オイカワやギンブナなどの遡上に適していると思われた。

なお、ドジョウの遡上効果を確認するために，産卵期前の成魚や田植え時などの活動が盛んな条件で実験を行うことが求められる。

5. 結論

ラダー型魚道とフリューム型魚道の特徴は，小型，軽量，既存の水利施設が活用できることである。

基礎実験にて，ラダー型魚道とフリューム型魚道は，保全対象種の遡上に適した流速と流向分布であ

表 3　現地実験における魚類の遡上

種名	生活史型	保全対象（＊印）	ラダー型魚道			フリューム型魚道		
			供試個体数	遡上個体数	遡上率	供試個体数	遡上個体数	遡上率
ヌマムツ	索餌移動	＊	7	6	86%	7	3	43%
オイカワ	索餌移動	＊	40	19	48%	55	26	48%
イトモロコ	産卵移動		―	―		1	1	100%
タカハヤ	索餌移動	＊	―	―		1	0	0%
コイ	機会移動		1	1	100%	―	―	
ムギツク	定住 (河川)		3	1	33%	1	0	0%
カワヒガイ	定住 (河川)		3	2	66%	―	―	
カマツカ	機会移動		5	4	80%	3	2	66%
ギンブナ	産卵移動	＊	10	8	80%	12	4	33%
ヤリタナゴ	定住 (河川)		1	1	100%	―	―	
アブラボテ	定住 (河川)		10	6	60%	5	0	0%
カゼトゲタナゴ	定住 (河川)		―	―		2	0	0%
ドジョウ	産卵移動	＊	10	0	0%	10	0	0%
メダカ	定住 (止水)		10	0	0%	10	1	10%
オヤニラミ	機会移動		5	1	20%	7	2	29%
ドンコ	定住 (河川)		8	0	0%	5	0	0%
トウヨシノボリ	産卵移動	＊	―	―		2	0	0%
17 種			113 個体	49 個体	43%	121 個体	39 個体	32%

注) 個体数の少ない種類についても参考として遡上率を示した。

ること，およびオイカワなどの保全対象種が遡上可能であることがわかった。また，現地遡上実験にて，保全対象種を含む魚類の遡上を確認した。

以上のことから，ラダー型魚道とフリューム型魚道は，オイカワやフナなどの用水路をエコロジカルコリドーとする水生生物の保全に効果があり，さらに水路や堰などの既存施設が活用できることから，水田地域における農家や地域住民による環境保全活動に適した小型魚道であると思われた。

最後に，本調査は生態系保全技術検討調査の一環として行ったもので貴重な資料をご提供いただいた農林水産省九州農政局，灌漑利水などのご指導をいただいた九州大学大学院農学研究院の中野芳輔教授，魚類の生活史や現地調査のご指導をいただいた近畿大学農学部の細谷和海教授と福岡県立田主丸養護学校の橋本哲男先生に感謝します。

参考文献

1）端憲二：小さな魚道による休耕田への魚類遡上試験, 農業土木学会誌, pp.67(5), 497-502（1999）

2）鈴木正貴，水谷正一，後藤章：水田水域における淡水魚の双方向移動を保証する小規模魚道の試作と実験，応用生態工学　4（2），pp.163-177（2001）

3）農林水産省九州農政局：平成 17 年度生態系保全技術検討調査（巨瀬川地区）報告書，pp.81-86，pp.194-199（2006）

4）大平裕，中野芳輔，弓削こずえ，林田創：農家や地域住民によるエコロジカルコリドーの保全を目的とした小型魚道の開発，農業土木学会論文集，pp.93-101，（2007）

5）中坊徹次編：日本産魚類検索全種の同定，東海大学出版会，pp.253，pp.262，pp.264，pp.272，pp.279，pp.1254-1255（2000）

6）農林水産省：よりよき設計のために「頭首工の魚道」設計指針，農業土木学会，pp.21，pp.51-52（2002）

7）森下郁子，森下依理子：共生の自然学　川と湖の博物館 8，山海堂，pp.69（1997）

8）広瀬利雄編集代表：最新　魚道の設計 - 魚道と関連施設，信山社サイテック，pp.234.