

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月15日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22580276

研究課題名（和文）水田魚道を含んだ広域的な水田水利システムにおける
流れと魚類行動のモデリング研究課題名（英文）Modeling of water flow and fish movement in paddy
irrigation-drainage systems including fishways

研究代表者

藤原 正幸 (Fujihara Masayuki)

京都大学・大学院農学研究科・教授

研究者番号：40253322

研究成果の概要（和文）：生態系豊かな農村を創生するために、水田と農業排水路を接続する水田魚道の設置が試みられている。本研究は、河川から水田に水を引き、水田魚道から排水路を経由して河川まで戻る水利システム全体における水の流れとその中の魚の移動を予測するためのコンピュータモデルを作成したものである。

研究成果の概要（英文）：Fishways connecting a paddy field to an agricultural drainage channel have been increasingly installed in order to enhance ecological diversity in rural areas. In our project, a computational model coupling water flow and fish movement is developed and applied for an integrated paddy irrigation-drainage system including the fishways.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,300,000	990,000	4,200,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学，農業土木学・農村計画学

キーワード：水田魚道・数値流体力学・水田水利システム・魚類行動モデル・有限体積法

1. 研究開始当初の背景

農業用水路および排水路と水田が構成する水田水域ネットワークは、一昔前まではフナやメダカの生息地として機能し、「生き物の賑わいのある農村」を支えていた。しかしながら、水田の高度利用のために、水田と排水路の落差が大きくとられる土地改良事業が実施されてきたことから、水田水域ネットワークは、そのような生物にとっては分断されたことに等しくなり、「生き物の賑わい」が消えていった。昨今、水田水域ネットワークを復活させるため、小規模魚道が水田と排水路を接続するために設置されはじめている。そのような水域ネットワークの復活を評価す

るためには、水田水利システム全体の水の流れとそこに侵入する魚類の行動を予測するモデルが有用である。しかしながら、水田を含んだ広域的な水域ネットワーク内での流れと魚類の挙動を連成させた総合的、広域的な拡張型モデルを開発する試みは、世界的にも未だなされていない。

2. 研究の目的

水田魚道が設置された水田水利システム（河川－幹線用水路－支線用水路－水田－水田魚道－支線排水路－幹線排水路－河川）における水の流れと魚類の行動を予測する数値モデルを開発することを目的とする。対

象領域は、頭首工の魚道と水田魚道の2種類の魚道を含んだ水利システムとなっている。魚道における流れの研究に関しては、模型実験、現地観測、数値計算のように複数のアプローチがあり、それらは既に今まで取り組まれてきている。しかし、魚道の中の流れが解明されたところでそれで魚道が機能するかどうかを判定することはできず、さらに魚類の遡上能力や特性に関する情報が必要である。魚類の遡上能力に関係する研究として、いわゆる突進速度が多く魚類で測定されてきた。しかし、それらは水槽内での人工的な一様流れの条件下でのものがほとんどであった。最近になってやっと実際の魚道や自然条件下での研究が行われるようになってきた。しかしながら、実際の魚道内での挙動については、定性的な傾向だけで、定量的に評価できる段階には至っていない。さらに、魚道を切り出して考えるのではなく、水域ネットワークの一部であると考えて評価する必要があるにもかかわらず、そのようなアプローチはあまりされていない。

上述の現状を踏まえ、本研究では、頭首工の魚道は河川の一部であること、水田魚道は水田水利システムの一部を構成しているということの基本思想として、効果的な魚道の設計に資するため、河川を含んだ水田水利システム全体の流れを再現するモデルを作成し、計算された流れ場に魚類の挙動モデルを組み込むことにより、再生された水域ネットワークの評価に資するシミュレーションモデルを構築する。

3. 研究の方法

図1で示された水田水利システムを対象モデル領域とする。頭首工にはパーティカルスロット式魚道、水田魚道には導流壁型魚道が採用されている。

まず、水田水利システム全体の水の流れを計算する流水モデルを構築する。流水モデルは、水平二次元浅水流方程式を基礎方程式と

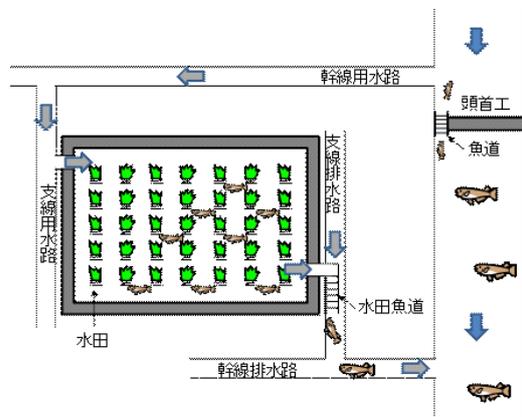


図1 水田水利システム(対象モデル領域)

する。魚道内では、常流と射流が混在するため、それらの流れを適切に計算する Godunov 型スキームを採用した有限体積法に基づくモデル化を行う。また、計算格子には、複雑な形状でも適切に適合する四分木格子を採用する。

つぎに、流水モデルによって計算された流れを用いて、魚類行動モデルを構築する。魚類行動モデルは、流水抵抗と魚の推進力の合力により、魚が運動する力学モデルを採用した。推進力は、巡航速度で泳ぐ場合と突進速度で泳ぐ場合の二種類を流れの状況に応じて選択可能とした。また、それぞれの魚の挙動は確率過程にあるとして、推進力の方向は流線を遡上する方向を中心に正規分布するようにモデル化した。正規分布における標準偏差とその流速への依存性は、既往の実験結果を基に推定されたパラメータ値を中心値としてパラメータスタディーを行うとともに、表1に示す体長の異なる4種類(Fish1~Fish4)の魚種をモデルとして遡上状況について検討した。

表1 魚類の種類

	Fish1	Fish2
体長(m)	0.2	0.15
体高(m)	0.04	0.03
体重(g)	30	20
付加質量(g)	9.9	4.18
基準面積(cm ²)	15.7	11.8
巡航速度(m/s)	0.8	0.6
突進速度(m/s)	3.0	2.25
休息時間(s)	30	30
想定される魚種	フナ	カワムツ
	Fish3	Fish4
体長(m)	0.1	0.05
体高(m)	0.02	0.01
体重(g)	15	7.5
付加質量(g)	1.24	0.155
基準面積(cm ²)	7.85	3.93
巡航速度(m/s)	0.4	0.2
突進速度(m/s)	1.5	0.75
休息時間(s)	30	30
想定される魚種	オイカワ	メダカ

水田魚道の諸元および頭首工の魚道の諸元を表2と3に示す。

表2 水田魚道（導流壁型魚道）の諸元

魚道勾配	1/14.8
魚道幅 (m)	0.3
魚道全長 (m)	7.4
隔壁間距離 (m)	0.15
隔壁長 (m)	0.15
上下流端落差 (m)	0.5

表3 頭首工の魚道（パーティカルスロット式魚道）の諸元

魚道勾配	1/30
魚道幅 (m)	2.44
魚道全長 (m)	15
スロット幅 (m)	0.3
隔壁間距離 (m)	3.05
上下流端落差 (m)	0.5
プール数	5

河川は、幹線排水路の合流地点より下流側で1/1000の勾配、その他の領域の河床は平とした。水田と水路等の領域も魚道以外は水平とした。河川における境界条件として、上流端および下流端の水深をそれぞれ20cm、36cmと設定した。マニングの粗度係数は全領域で $0.015\text{m}^{-1/3}\text{s}$ とした。

4. 研究成果

水田魚道入口付近の流速ベクトル図を図2に示す。最大流速が2cm/s程度の非常に遅い流れとなっており、魚類の遡上を阻害する流速ではない。

また、頭首工における魚道最下流のプールの流速ベクトル図を図3に示す。スロット中心部の流速は1m/s以上であったが、スロット周縁部は0.3m/sと遅くなるので、魚はその領域を利用して遡上することができる。しかしながら、突進速度がこの流速以下の魚は遡上できない。さらに、スロット直下流にはより速い流速場が形成されているので、小さい魚にとっては、最下流のスロットまで到達できない可能性がある。50匹のシミュレーションで体長が10cm以下のもの（Fish3とFish4）は頭首工の魚道に侵入できなかった。

水田水利システム全体における魚の遡上経路(50匹)の一例を図4に示す。また、水田魚道および頭首工の魚道部分の拡大図を図5

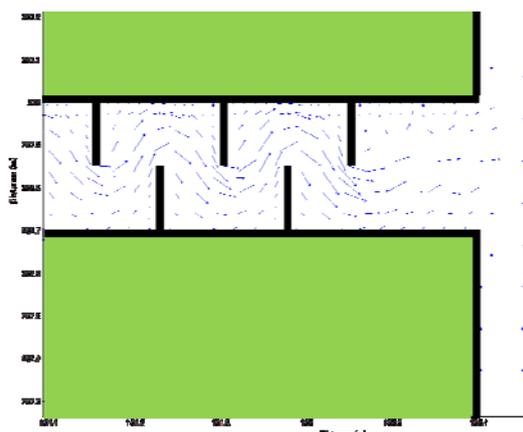


図2 水田魚道の流速ベクトル

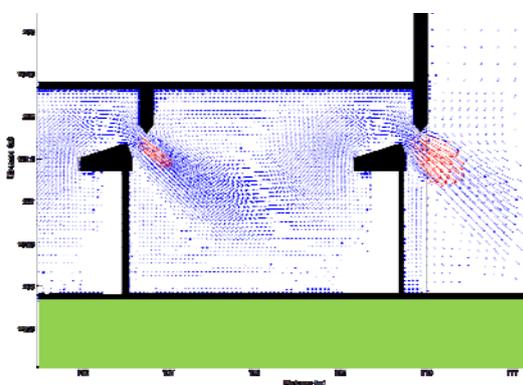


図3 頭首工の魚道の流速ベクトル

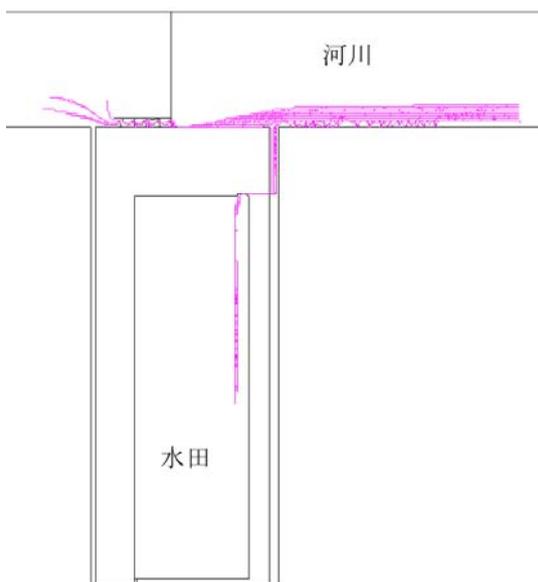


図4 遡上経路全体図（一例）

および6に示す。

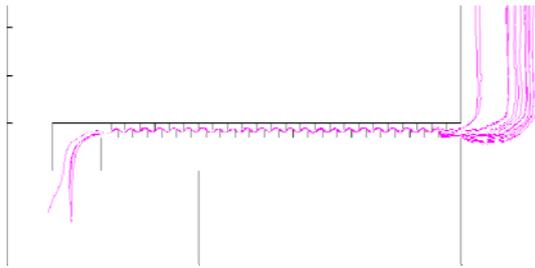


図5 水田魚道の遡上軌跡図

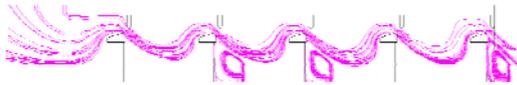


図6 頭首工の魚道の遡上軌跡図

体長に対する平均到達時間（魚道の遡上に成功した魚がスタートから遡上を完了するまでに費やした時間の平均値）とそのばらつきを図7に示す。水田魚道では体長と平均到達時間に反比例の関係があることが分かる。これは、流速の変化が小さいので、ほぼ同じような経路を遡上しているためと考えられる。頭首工の魚道では、そのような関係は見られない。その一因は頭首工に侵入するまでにかかった時間に既に差があるためである。つまり、Fish2（体長 15cm）は最も流速が大きくなり厳しい条件となる魚道の入口を突破するまでに、多くの時間を費やしているため、到達時間と体長は単純な反比例の関係にはならないと考えられる。ただ、魚道を通る時間のみで検討しても、反比例とはなっていない。これは、ばらつきを表すパラメータを切り換える基準となる流速が異なることと、流況が複雑であるため、渦に取り込まれてしまったりして、遡上する距離がかなり異なってきてしまうためと考えられる。魚類行動モデルによるシミュレーション

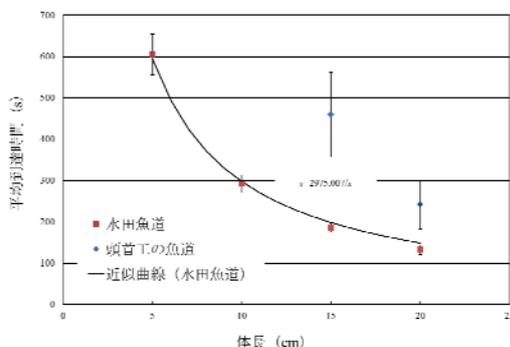


図7 体長と平均到達時間・ばらつきの関係

結果では、体長が大きくなるにつれ、遡上数が多くなることや遡上に要する時間が短くなること、推進力の方向のばらつきが大きくなるにつれ、遡上数が少なくなることや遡上に要する時間が長くなることなどが示された。また、それらの効果は、水田魚道よりも、流速の分布範囲が広い頭首工の魚道で大きく効いてくることが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計4件）

- ① Masayuki Fujihara, Satoshi Yamanaka, Tomoki Izumi and Edward Lapong (2012): Numerical Investigation of Flow in Various Types of Vertical Slot Fishways and the Function of Baffles, *Fisheries Engineering*, Vol.49, No.2, pp.85-92. 査読有り
- ② Masayuki Fujihara, Satoshi Yamanaka, Tomoki Izumi, Edward R. Lapong (2012): Numerical Investigation on the Effect of Baffles on Flow in Vertical Slot Fishways, *Proceeding of International Conference of Agricultural Engineering, CIGR-AgEng2012*. 査読有り
- ③ 泉完・神山公平・藤原正幸(2010): 全面越流型階段式魚道プール内の流況と魚の遊泳行動－岩木川取水堰の全面越流型魚道を事例にして－, 農業農村工学会論文集, No.269, pp.127-135. 査読有り
- ④ Masayuki Fujihara and Mai Akimoto (2010): A Numerical Model of Fish Movement in a Vertical Slot Fishway, *Fisheries Engineering*, Vol.47, No.1, pp.13-18. 査読有り

〔学会発表〕（計2件）

- ① 泉智揮・藤原正幸：潜孔式魚道の流況解析への粒子法適用に関する水理学的検討，日本雨水資源化システム学会第20回研究発表会講演要旨集，pp.33-38，2012.11. 沖縄県座間味村
- ② 藤原正幸：水利施設に関わる流れ，平成23年度農業農村工学会大会講演要旨集，pp.86-87，2011.9. 福岡市

〔その他〕

- ① 藤原正幸(2012)：大学発産業界行シーズ（研究成果）探訪 Vol.94: 魚に優しい農業水利施設で生物のにぎわいのある農村創造，月刊愛媛ジャーナル，7月号，pp.84-87.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤原 正幸 (FUJIHARA MASAYUKI)

京都大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号：40253322

(2) 研究分担者

河地 利彦 (KAWACHI TOSHIHIKO)
京都大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号：50026564

泉 智輝 (IZUMI TOMOKI)
愛媛大学・農学部・助教
研究者番号：40574372