

機関番号：23303

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2010

課題番号：19580284

研究課題名 (和文) 水系ネットワーク内の淡水魚類動態を考慮した水路魚道の開発

研究課題名 (英文) Development of a fishway for irrigation and drainage systems by field monitoring of freshwater fish migration

研究代表者

一恩 英二 (ICHION EIJI)

石川県立大学 生物資源環境学部 准教授

研究者番号：10320912

研究成果の概要 (和文)：石川県内の 3 つの水系において淡水魚類の移動実態調査を実施した。その結果、トミヨ、カジカ回遊型、アユカケの移動が堰や落差工で妨げられていることが明らかになった。このため、魚道水理模型を製作し、トミヨを対象とした遡上実験を実施して、潜孔付き全面越流型魚道が 10～25 L/s の流量範囲において最も高い遡上性能を発揮することを明らかにした。また、野外実験においても、その性能を確認した。

研究成果の概要 (英文)：The field monitoring of freshwater fish migration was conducted in 3 irrigation and drainage systems, Ishikawa, Japan. The monitoring studies revealed that the migration of *Pungitius sinensis* (Guichenot), *Cottus kazika* (Jordan and Starks) and *Cottus* sp. has been interrupted by weirs and drop structures. To solve this problem, laboratory experiment on the migration of *Pungitius sinensis* was conducted by making several hydraulic models of fishway. The experiment revealed that the pool-and-weir fishway with orifices provide the highest performance for fish migration in the range of 10-25 L/s. The performance was also verified in the field experiment.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：水理

## 1. 研究開始当初の背景

我が国では工業や農業の近代化に伴って、身近な二次的自然の生物多様性が失われてきた。生物多様性の問題は一般的には自然地域あるいは自然保護地域の問題と解釈されがちであるが、農業水路のように農業・農村が育んできた二次的自然にも多くの絶滅危惧種等が含まれており、ここでの生物多様性の問題は私たちにとって無視できない問題となってきている。

北陸地方の扇状地では、水田－農業水路－

河川－海域というスケールの大きな水域ネットワークの中を魚類が移動していることが明らかにされつつある。しかし、その水域ネットワーク内には、(i) 堰、落差工、水口、水尻などの河川構造物や水路構造物の存在、(ii) 非灌漑期に完全に水が干上がる水路の存在、(iii) 魚類の遊泳能力を超えた高流速の水路の存在など、魚類の移動を阻害するいくつかの要因があり、その結果、生息場所が分断される、産卵場所や摂餌場所へ到達できない、生息場所が限定される、生息場所が消

失するなどの現象を生み出し、多くの魚類が絶滅の危機に瀕していると考えられている。

これまで、頭首工などに設置する魚道の研究は数多く実施されており、水田魚道については、端(2000)や鈴木ら(2001)の研究が、水田と小排水路の間の問題を解決するものとして注目を浴びている。それに対して、幹線水路については、回遊魚を含む、さらに多種多様な魚類を対象とする必要があり、各地域において、水域ネットワーク内の魚類動態や水管理・水路管理の実態に適合した水路魚道の開発の必要性が高まっている。

## 2. 研究の目的

本研究は、石川県内の水域ネットワークを対象とし、(i) 水系ネットワーク内の堰、落差工などの構造物において、移動(遡上・降下)が阻害されている魚類の種・移動時期・個体数を小型定置網やドジョウかごによる採集調査によって明らかにする、(ii) 石川県内の土地改良区や住民に水管理・水路管理の実態調査やインタビューを行ない、管理面から水路魚道が具備すべき機能について明らかにし、(iii) 魚道設置の緊急性が高い地点で、魚類動態と水管理・水路管理の実態に適合する魚道の検討を行う。その上で室内模型実験によってその設計の妥当性を確認し、野外で実際に対象魚種が遡上するかどうか確認する実証試験を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) 淡水魚類の移動実態調査

緊急性が高い石川県絶滅危惧Ⅰ類のトミヨの生息地を含め、県内の水系ネットワークの中で、魚類の移動に問題があると思われる堰や落差工がある場所などを対象として魚類の移動実態調査を行なう。調査は、小型定置網、ドジョウかごなどを用いて行う。採集した魚類の種、体長、個体数などを記録する。魚類調査と並行して、水位、流速、流量、水温、D<sub>0</sub>、pH、ECなどについて水理環境調査を実施する。

### (2) 水理模型実験による魚道の開発

石川県立大学水理学実験棟の実験水路に魚道模型を製作し、最も遊泳力が小さく、緊急性が高い対象魚種を選定して、遡上実験を実施する。遡上実験では、魚道内の魚の動きを記録するとともに、魚道内の流速分布を3次元流速計によって計測する。また、実験開始時と実験終了時の流量、水温、D<sub>0</sub>、pH、ECを記録する。

### (3) 魚道の実証試験

石川県羽咋郡志賀町の鷺池には、県営事業によって既に試験魚道が設置されている。また、手取川七ヶ用水にも、魚類の移動に配慮した多段プール式落差工などが存在し、これらの魚道や落差工において、実際に魚類が移

動しているかどうか、実証試験を行う。この実証試験のために、魚道や落差工の上流部に定置網を設置して、遡上した淡水魚類の種数・個体数・体長などを調査する。また、定置網以外の投網、サデ網などを用いた個体密度調査を補完的に行う。

## 4. 研究成果

### (1) 湧水水路における淡水魚類の移動

石川県能美市粟生町の湧水水路において、ドジョウかごを用いた魚類調査を2008年から2010年9月まで実施した。トミヨの遡上数は、2008年と2009年は4月に最大になったが、2010年は9月が最大となった(図1)。2010年は春の低水温が4月の遡上数に影響したと考えられる。トミヨの遡上数は2008年に870尾、2009年に662尾、2010年1月~9月に608尾であった。本水路では、2008~2010年の非灌漑期に護岸の改修工事を実施してきたが、この期間を通じて、ドジョウの遡上・降下数の増加やアブラハヤの遡上・降下数の減少、遡上・降下魚の種数の減少(2008年:15種→2010年:8種)など、魚類相の変化が見られた。

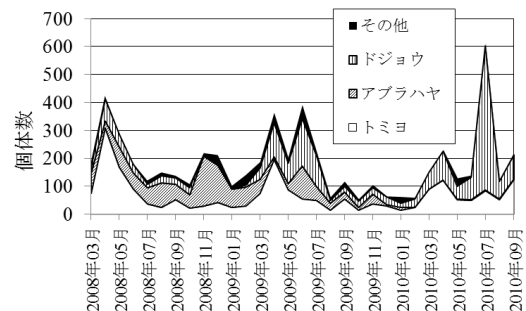


図1 魚類遡上個体数の変化(能美市)

図に示すように、トミヨの遡上時期は3~7月であった。また、遡上数が最大になるのは水路の上下流の水温が約13°Cで一定になる時期であった。本湧水水路の下流の熊田川には、農業用水を取水するために固定堰や板堰、転倒堰などが設置されているが、灌漑期には熊田川下流のトミヨが最上流部の産卵場所へ移動することが堰のために困難になっていることが確認された。このことは、熊田川に設置されている堰に魚道を設置する必要性の根拠となり、魚類調査の結果は魚道設計を行う上で対象魚種や設計流速の設定に必要な情報を提供すると考えられる。また、本生息地は国内、国外のトミヨの分布のほぼ南限に位置している。このため、生息地の水理環境条件やトミヨの移動実態を記録しておくことは、国内、国外のトミヨの保全研究にとって有益であると考えられる。

(2) 海域に流入する農業水路における淡水魚類の分布と移動

直接海域に流入する山島用水の4-2号支線の下流区間約3.5kmを対象として、魚の動態と分布状況を調査した。動態調査は小型定置網で、分布調査はサデ網、投網を用いて、落差工を対象として実施した。落差工は対象区間に19ヶ所あり、下流からd1、d2・・・d19と地点番号をつけた。このうち、d1は水叩き式落差工、d2～d5は段落ち、d6～d18は潜孔付き全面越流型多段プール式落差工、d19は斜路式落差工である。

定置網による遡上調査は、水路最下流の落差工d1の直上流と水叩き下流部にそれぞれ小型定置網を設置して実施した。5月から12月に月一回のペースで調査を行った。落差工の上流で捕獲された魚は、アユ(2008年7月11日、同10月20日)、ウグイ(同10月20日)、アユカケ(同7月11日)、カジカ(同12月17日)の4種で、これらは落差工下流においても分布が確認されており、落差工を遡上している可能性が高いことが明らかになった。

投網調査は、落差工d1～d19の下流10m<sup>2</sup>の範囲において8月から12月に7回の投網による採集調査を行った。その結果、8月から10月にはアユが下流部に連続的に分布していた。また、8月から11月の間は、アユの採集数が全採集数の半分以上を占めていた。

サデ網調査は、主に底生魚の採集を目的として、落差工の下流4m<sup>2</sup>の範囲で実施した。9月はd1～d11の11地点、11月はd1～d19の19地点について調査を行った。

以上の3つの魚類調査で4目8科17種の魚類が採集された。この結果から、魚類の移動に配慮した潜孔付き全面越流型多段プール式落差工の1段あたりの落差を0.20～0.40mにすることで、アユ、ウグイなどの遊泳魚やシマヨシノボリ、ウキゴリ、スミウキゴリ、ドンコなどの底生魚の移動に役立っている可能性が高いと考えられた。しかしながら、カジカはd1～d6に、アユカケはd1～d3に分布が限定されており、多段プール式落差工を遡上するかどうかは明らかではなかった。カジカとアユカケの保全には段落ち式や多段プール式落差工の落差高の検討や底質の改善が必要であると考えられた。

本調査のように、多段プール式落差工が連続する水域で魚類の分布調査を行った事例は極めて少なく、今後、国外、国内の農業水路で環境配慮を行う上で参考になる資料が得られたと考えている。また、土地改良区へのインタビューの結果、土砂やごみが堆積しにくい型式に興味があるとのことであった。今後は、ハーフコーン型や傾斜隔壁型など、土砂やごみが堆積しにくい魚道型式の研究を行う必要がある。

(3) 水理模型実験によるトミヨのための小規模魚道の研究

潜孔付き全面越流型魚道(6連プール式、 $b=1.0\text{m}$ )の水理模型を製作し、トミヨの遡上実験を行った(図2)。

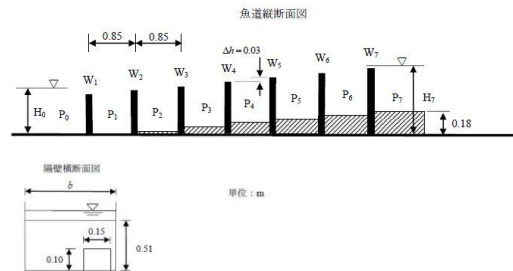


図2 潜孔付き全面越流型魚道(6連プール式)

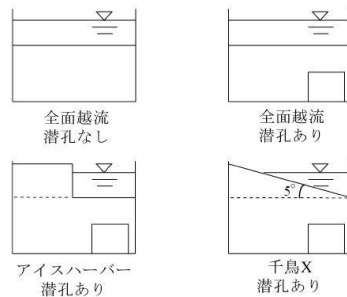


図3 隔壁形状

隔壁形状は、潜孔付き全面越流型以外に図3に示す潜孔なし全面越流型、潜孔付きアイスハーバー型、潜孔付き千鳥X型について実験を行った。その結果、(i)平均流量実験( $Q=14\text{L/s}$ )では、潜孔付き全面越流型81%、潜孔付きアイスハーバー型92%、潜孔付き千鳥X型62%と、潜孔のある魚道型式において比較的高い遡上率を得ることができた、(ii)流量増加実験( $Q=25\text{L/s}$ )では、潜孔付き全面越流型が他の2型式より高い遡上率を記録した、(iii)下流水位低下実験(魚道上下流水位差=0.262m)では、遡上率が8%と大幅に低下した、(iv)トミヨは隔壁上部より潜孔部を好んで遡上する傾向があった、(v)遡上魚の平均体長は供試魚の平均体長より大きい傾向があった、(vi)各魚道型式のトミヨの遡上率は、トミヨの巡航速度とプール内流速分布、トミヨの突進速度と越流部および潜孔部の流速分布の関係などから、ある程度説明可能になると考えられた。

次に、さらに高水位差を対象とする潜孔付き全面越流型魚道(12連プール式、 $b=1.0\text{m}$ )の水理模型を製作し、トミヨの遡上実験を行った(図4)。

合計25回の実験の結果、(i)全面越流滞

孔あり型(標準型)では、6連プール式(14 L/s、上下流水位差 0.153 m) の 81 %の遡上率に対して、12 連プール式(10 L/s、上下流水位差 0.340m、実験時間 57 時間)で 83 %と同様の高い遡上率を記録した、(ii) 全面越流潜孔あり型が広い流量・水位条件に適していた、(iii) 全面越流潜孔なし型魚道は、本研究で長時間実験を行った結果、全面越流潜孔あり型よりも遡上に時間がかかる型式であるが、遡上率は潜孔あり型に匹敵した、(iv) 早春と秋の比較実験から、季節や水温変化によって遡上率は変化した、(v) 長時間実験の結果、トミヨは昼間に遡上を行い、夜間には遡上しなかった、(vi) 全面越流潜孔あり型のプール内流速分布において、低流速領域の割合は 6 連プール式魚道よりも 12 連プール式魚道のほうが高かった、(vii) 全面越流潜孔あり型のプール内流速分布において、流量が変化しても低流速領域の割合の変化が他型式と比較して少なかった、ことなどが明らかになった。

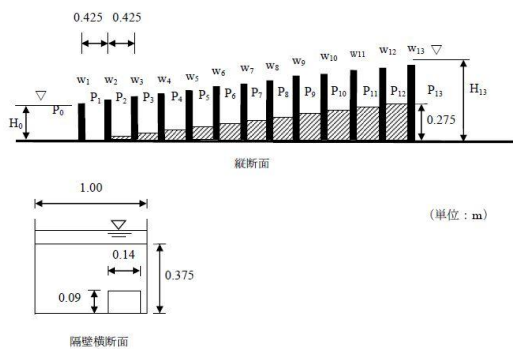


図4 潜孔付き全面越流型魚道 (12連プール式)

トミヨ成魚体長の 10 倍程度を突進速度と仮定して、その速度以下となるように潜孔や越流部の流速を設計すれば、遡上可能な魚道が設計できることが明らかになった。また、トミヨは潜孔があれば、越流部をほとんど利用しないことや夜間に遡上しないことを明らかにできたことは、本研究の成果であると考えられる。また、近年アイスハーバー型、千鳥 X 型など、非越流部を持つ魚道型式が採用されるケースが増加しているが、遊泳力が小さいトミヨのような魚類には、プール内流況が乱れにくい全面越流型が 10~25 L/s の範囲で有利になることが明らかになった。水田、水路周辺に分布するトミヨのように遊泳力が小さいメダカ、タナゴ、タモロコなどを対象とする魚道の設計に参考になるものとする。

(4) 潜孔付き全面越流型魚道におけるトミヨの遡上実態

本研究では、潜孔付き全面越流型魚道(図2、 $b=0.70\text{m}$ )を石川県羽咋郡志賀町の鷺池に設置してトミヨの遡上実態について調査した。

その結果、(i) 2009年9月から2010年12月の期間に、6,900 個体(右魚道: 5,213 個体、左魚道: 1,687 個体)のトミヨが遡上した他、フナ類 1,123 個体、タモロコ 742 個体、アメリカザリガニ 1,823 個体など、11 種の魚類と 2 種の甲殻類が両魚道を遡上した、(ii) トミヨの遡上は、年間を通して確認され、春(3~4月)、初夏(6~7月)、秋(9~11月)に増加しており(図5)、春は主に成魚、初夏と秋は幼魚が多かったこと、(iii) 体長の 20~30 倍もの速度で遡上する体長 20~30 mm のトミヨが多数存在することが確認された、(iv) 魚道下流のトミヨの個体密度は、2009年12月~2010年5月の期間ではほぼ 0 に近く、2010年6~11月の期間は 40~215 個体/ $\text{m}^2$  と高密度であった、(v) トミヨの魚道下流個体の平均体長は、遡上個体に比べて常に小さかった(図6)、などのことが明らかになった。

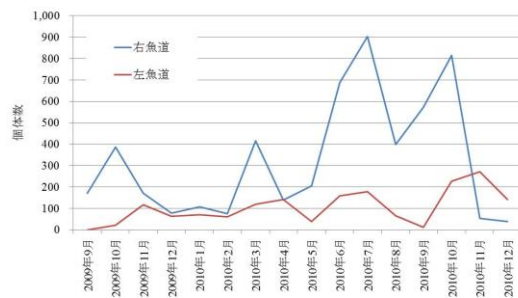


図5 トミヨの月ごとの遡上個体数 (志賀町野外実験)

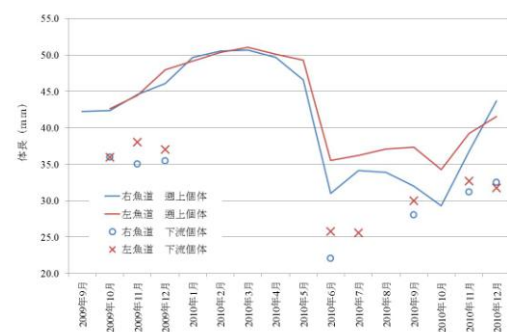


図6 トミヨの月ごとの平均体長 (志賀町野外実験)

これらのことから、室内実験によって高い性能が得られた潜孔付き全面越流型魚道が、野外においてもその性能が実証された。また、トミヨ以外の淡水魚類の移動にも寄与している他、設計上対象としていなかったトミヨ

幼魚についても 25 mm 以上の個体はある程度遡上していることが明らかになった。さらに、どのような体長のトミヨがいつ魚道を利用するのかを明らかにしたことは、国内、国外を通してユニークな成果だと考えられ、今後のトミヨ魚道の研究の発展やトミヨ配慮事業に役立つものと考えられる。

(5) 3次元動画計測法を用いた魚道潜孔におけるトミヨの遡上行動の解析

実験装置は、幅 0.5m の実験水路に設置した。図 7 に示すように、幅 0.1m×高さ 0.1m の潜孔を左側隅に設けた 1 枚の魚道隔壁(幅 0.5m×高さ 0.5m) の模型を実験水路に設置し、その上下流に仕切りネットを設置した。



図 7 実験装置  
(石川県立大学可傾斜実験水路)

この装置に供試魚(トミヨ)を 10 尾入れ、0.02m、0.05m、0.07m、0.10m の 4 ケースの水位差について実験を行った。トミヨの潜孔における遡上行動を 2 台のギガビットイーサネット(1000BASE-T)対応イーサネットカメラによって撮影、AVI フォーマットで録画した。この動画を分析して、トミヨの遡上経路や遡上速度などを解析するとともに、潜孔部周辺の流速場を(株)ケネックの 3 次元流速計(本体:VP-3000、検出器:VPT3-200-13P)を用いて測定した。

その結果、(i) 潜孔をトミヨが遡上する速度  $V_u$  は、0.22 m/s~0.92 m/s の範囲(図 8)で、そのときの遡上時間は 0.23~1.63 s と 1 秒前後である、(ii) 遡上速度  $V_u$  は体長(BL)の 8.0~32.1 倍となり、体長の 10 倍以上の遊泳速度で遡上している個体も多く見られ、特に体長の小さい個体ほど  $V_u/BL$  が大きくなる傾向があった、(iii) 遡上速度は遡上経路平均流速と相関があった、(iv) 遡上経路は、水路中央側や潜孔上部から近づき遡上するものと、潜孔前面を直線的に遡上するものが見られたが、潜孔前面を直線的に遡上するものは潜孔部の流速が大きくなると見られなくなった、などが明らかになった。本研究は、まだサンプル数も少ないが、今後魚道隔壁潜孔模型を使った魚類の遡上速度の測定数が

増えれば、魚道設計のためにより実用的な魚類の潜孔遡上速度を提案できるものと考えている。また、最近の研究では、幼魚が体長の 10 倍を越える突進速度を持つ事例が報告されている。トミヨについてもその可能性が高いことを確認することができた。

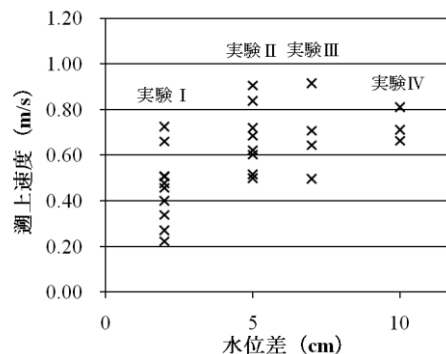


図 8 トミヨの遡上速度

## 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 6 件)

- ①一恩英二・北村邦彦・上田哲行・平松研、トミヨのための小規模魚道の実験、平成 19 年度農業農村工学会大会、平成 19 年 8 月 28 日、松江市
- ②一恩英二・上田哲行・北村邦彦・山本邦彦、手取川七ヶ用水の水利環境と魚類相について、第 15 回日本雨水資源化システム学会、平成 19 年 11 月 2 日、宮崎市
- ③一恩英二・上田哲行・村島和男・山本邦彦、手取川七ヶ用水の淡水魚類の垂直分布について、平成 20 年度農業農村工学会大会、平成 20 年 8 月 27 日、秋田市
- ④一恩英二、湧水水路におけるトミヨの分布・動態とその生息環境について、平成 21 年度農業農村工学会大会、平成 21 年 8 月 5 日、つくば市
- ⑤一恩英二、トミヨのための小規模魚道の開発一設計条件の検討と水理模型実験一、第 17 回日本雨水資源化システム学会、平成 21 年 11 月 1 日、金沢市
- ⑥一恩英二、湧水水路における淡水魚類の移動、平成 22 年度農業農村工学会大会、平成 22 年 9 月 1 日、神戸市

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

一恩 英二 (ICHION EIJI)

石川県立大学・生物資源環境学部・准教授  
研究者番号: 10320912

(2) 研究分担者

北村 邦彦 (KITAMURA KUNIHICO)

石川県立大学・生物資源環境学部・教授

研究者番号：80070853  
上田 哲行 (UEDA TETSUYUKI)  
石川県立大学・生物資源環境学部・教授  
研究者番号：30184930