

# ドジョウの魚道遡上に刺激を与える 物理環境条件の実験的検証 —時間を限定した魚道運用のために—

## EXPERIMENTAL STUDY ON THE PHYSICAL CONDITIONS INDUCING FISHWAY UP MIGRATION OF THE LOACH -IMPLICATION FOR TIME-LIMITED FISHWAY MANAGEMENT-

山下奉海<sup>1</sup>・島谷幸宏<sup>2</sup>・佐藤辰郎<sup>3</sup>・  
稲熊祐介<sup>4</sup>・立道大伸<sup>4</sup>・横内良介<sup>4</sup>・池松伸也<sup>5</sup>

<sup>1</sup>非会員 工博 九州大学大学院工学研究院 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744)

<sup>2</sup>フェロー会員 工博 九州大学大学院工学研究院 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744)

<sup>3</sup>学生会員 工修 九州大学大学院工学府 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744)

<sup>4</sup>学生会員 九州大学大学院工学府 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744)

<sup>5</sup>正会員 九州大学大学院工学府 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744)

In order to contribute to effective fishway management, we experimentally revealed physical conditions when the oriental weather loach, *Misgurnus anguillicaudatus*, migrates up fishways. Six patterns of physical condition change (no change as a control, increase of water flow, decline of water temperature, increase of turbidity, no illuminance and body sensory stimulation) were examined whether loaches in spawning season migrate up a small fishway in experimental devices indoors. The results are as follows. 1) There was no significant difference between the body size of loaches which migrated up the fishway and not. 2) Two physical condition changes, no illuminance and body sensory stimulation, led significant increase of migration ratio. On the other hand, there were no significant increases of migration ratio in the other physical condition changes. In brief, loaches migrate up fishways in rainfall or at night regardless of the body size. The results suggest that it is effective to activate portable fishways only in rainfall or at night in places where have difficulty to install normal fishways.

**Key Words :** fishway, irrigated area, migration, *Misgurnus anguillicaudatus*, night time, physical condition, rain time

### 1. はじめに

近年, 本邦では小河川や水路など少流量域でも利用できる小型魚道の開発が盛んである<sup>1)・2)</sup>. この種の魚道は, 取水堰など既設の横断構造物に設置されることが多く<sup>3)</sup>, 実際に設置が行われた場所では, 分断されていた魚類の移動経路を復元したという効果も報告されている<sup>4)</sup>. しかしその一方で, 少流量域にこのような魚道を設置する際には, 灌漑期に水田への水分配が可能なこと, または魚道による堆砂やごみの引っかかりが生じないことといった水利用上や防災上の条件が求められ<sup>5)</sup>, これが解決できない場合には, 農業者などから魚道の設置や常時運用に合意が得られない場合がある.

魚道設置の合意が得難い場では, 都合により限定的に魚道を機能させる方法が一つの有効な手段であると考えられる. すなわち, その場の時期や環境に応じて, 水利

用や防災に問題が生じない時のみに魚道を運用する方法である. このような方法は未だ研究事例が乏しいものの, 現在はコルゲート式魚道などの容易に操作することのできる可搬式魚道が開発されているため<sup>6)</sup>, これを状況に応じて河道から出し入れすることなどで有効な魚道運用を行うことが技術的に可能だと考えられる.

他方で, 時間を限定した魚道運営方法を実用する際には, 魚類がどのような物理環境条件下で魚道を利用するかを加味しなければならない. なぜなら, 魚道が短時間のみ機能する場合には, 魚道を魚類が利用しやすい条件下で機能させなければ, 遡上効果が期待できないからである. これまでに, 魚類がどのような物理条件時に魚道を利用しやすいかを検証した研究例は少数存在する<sup>7)</sup>. しかし, 既存研究で検証が行われた条件は限られており, 野外で魚類の魚道遡上がどのような条件に刺激を受けているかは明らかであるとは言い難い. したがって, 今後時間を限定した魚道運用法を考案するためには, できる

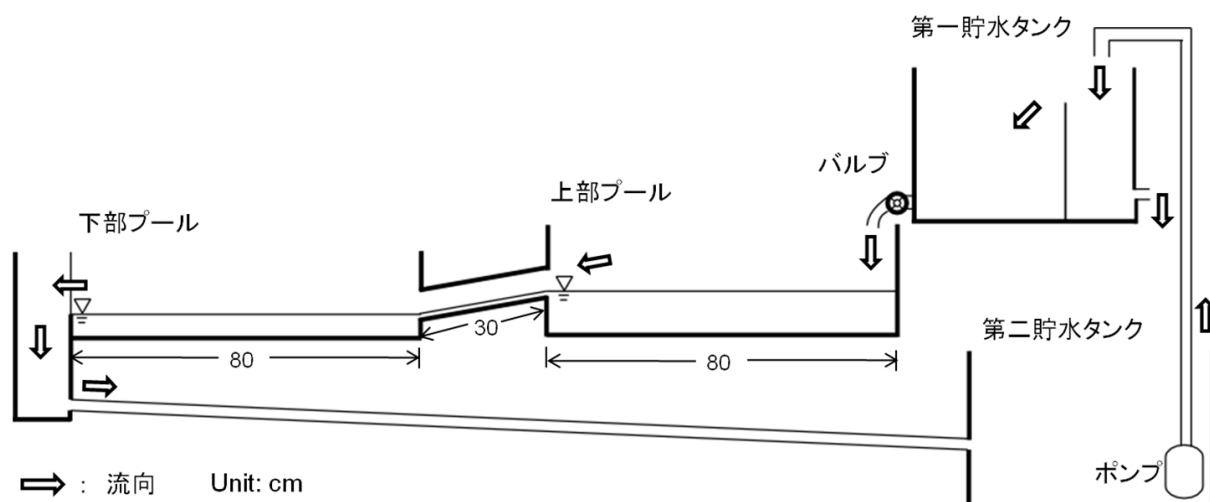


図-1 実験装置の模式図.

だけ多くの物理条件を仮定し、魚類の遡上行動を刺激する条件を検証する必要がある。

本研究では、合意形成などとの関係から魚道の設置が困難な場においての時間を限定した魚道運用手法の開発を念頭に、魚類が魚道を多く利用する際の物理条件を明らかにすることを目的とした。そのため、複数の物理条件を仮定のもと、産卵期のドジョウを対象に疑似魚道を用いた遡上実験を行った。実験対象としたドジョウは、灌漑水系に生息する魚種であり<sup>8)</sup>、生活史のなかで河川—水路—水田を行き来するため<sup>9)・10)・11)</sup>、小型魚道の主要な対象魚類とされることも多い<sup>4)・6)</sup>。産卵期のドジョウの移動生態に関しては、既存研究により、実験下で夜間に魚道遡上数が多くなる傾向や<sup>7)</sup>、降雨時にドジョウの移動が活発になること<sup>12)</sup>、逆にドジョウの水田移入と降水量に相関は見られないこと<sup>13)</sup>が報告されているが、これまでに同一の実験装置で複数の物理条件を仮定し、遡上状況を比較した研究は存在していない。

## 2. 材料と方法

### (1) 実験装置

既存の魚道遡上実験を参考に<sup>7)</sup>、実験装置を作成した(図-1)。装置は、第一貯水タンク、上部プール、魚道、下部プール、第二貯水タンク、ポンプで構成され、流水はこの順に循環するようにした。流水の流量は、第一貯水タンクに付属のバルブで調整することができる。実験では、供試魚のドジョウを下部プールに投入し、ドジョウが遡上行動を起こす場合には、魚道部分を通過し上部プールに到達するようになっている。

ドジョウを投入する下部プールは直方形で、その大きさはL:80cm×W:80cm×H:30cmである。実験中は、下部

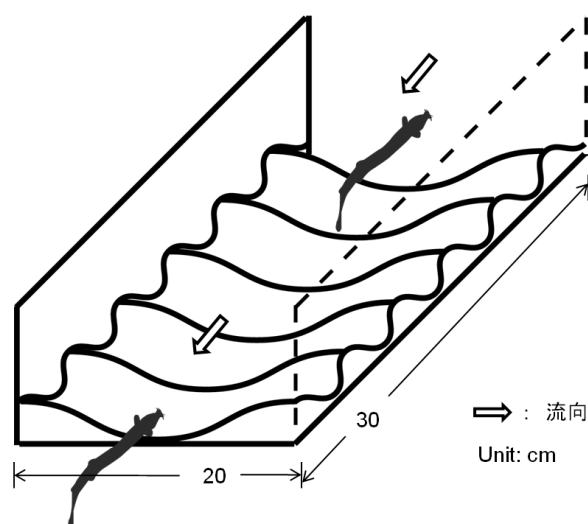


図-2 実験に用いた魚道の模式図。通水面は蛇腹構造になっている。

プールに魚道を経由した流水が絶えず流れ込み、下部プールの水深8cmの高さで排水される構造となっている。ドジョウが通過する魚道はU字構造であり、魚道長30cm、幅20cm、高さが10cm、その勾配は10°である(図-2)。魚道の床は、ドジョウが遡上しやすいように、コルゲート式魚道を模した凹凸のある蛇腹構造となっている<sup>6)</sup>。魚道は、装置に流水が循環している間、最下部が下部プールの貯水中に2cm程度沈み込む状態となる。ドジョウが到達する上部プールは立方形で、L:80cm×W:80cm×H:40cmの大きさである。

### (2) 供試魚

実験に使用したのは新潟県佐渡島の灌漑域で採捕したドジョウである。このドジョウは2010年の3月に採捕し、実験を開始した2010年6月まで水槽飼育を行っていた。

飼育水槽内にはドジョウが300個体程度入っており、実験を行った時期が繁殖期であったため、雌では腹部が膨らむ<sup>15)</sup>、雄では腹部にくぼみができる<sup>15)</sup>といった成熟期の特徴が見られた個体が多数いた。1回の実験では、飼育水槽の中から40個体のドジョウをランダムに選定し実験に用いた。実験に用いたドジョウ個体は延べ1440個体であり、その全長平均±標準偏差は79.6±16.71mm、最大全長は145mm、最小全長は55mmであった。

### (3) 実験方法

夜間、または降雨時にドジョウの活動が活発になるという既存知見をもとに<sup>7), 12)</sup>、ドジョウの魚道遡上行動を刺激する物理条件として、①条件変化なし（コントロール）、②流量増加、③水温低下、④濁度増加、⑤照度0、⑥体感的刺激を仮定した。

すべての条件における1回の実験の手順としては、まず装置内を流水循環状態とし、魚道に流量100mL/secの水が流れるようにした。この際魚道内では、中央部に幅約8cmに渡って水が流れており、水深は深いところで3cm程度、流速は流心部で9cm/sec程度であった。続いて、体長を計測した供試ドジョウ40個体を下部プールに投入した。この時点で実験開始とし、最初の30分間は無操作条件（条件変化前）として、魚道を通過し上部プールに遡上するドジョウの数とその体長、遡上時刻を計測した。この間に上部プールに遡上したドジョウは、直ちに装置内から除外していった。その後実験開始から30分～60分の間には、ドジョウの遡上行動に刺激を与えると仮定した各物理条件（上記の②～⑥の条件、①は変化させない）を急激に変化させ（条件変化後）、変化前と同じように30分間のドジョウの遡上数、体長、時刻を計測した。この間にも上部プールに遡上したドジョウは直ちに装置内から除外していった。尚、すべての実験において下部プールの水深は8cmと一定である。魚道の流量も実験②の条件変化後以外は100mL/secで一定とした。また1回の実験ごとに開始から10分後と40分後（条件変化後10分）に下部プール内循環水の水温、pH、電気伝導度、溶存酸素、濁度、加えて下部プール直上の照度を計測した。その結果、すべての実験の無操作時の物理条件はpH7.7前後、電気伝導度12S/m前後、濁度10mg/L以内、溶存酸素飽和度8mg/L前後、水温25℃前後、照度600Lux前後であった。

実験①条件変化なし（コントロール）では、実験開始から30分が経過しても条件を変化させず無操作実験を継続した。②流量増加では、実験開始から30分後にバルブを調整することで魚道流量を100mL/secから300mL/secに増加させた。流量を300mL/secに変化させた際には、魚道中央部に幅約10cmに渡って水が流れ、水深は深いところで4cm程度、流心の流速は12cm/sec程度となった。③水温低下では、実験開始から30分後に上部プールに大量の氷を投入することで水温を2℃程度低下させた。た

だし、この実験では水温が2℃程度低下するまでに10分間程度の時間を要した。④濁度増加では、実験開始から30分後に上部プールに水田から採取した泥を投入することで濁度を900g/L以上に変化させた。⑤照度0では、実験開始30分後から実験室を消灯し、カーテンを閉めることで照度を0にした。⑥体感的刺激では、実験開始30分後から下部プールに流水シャワーを噴霧し続け、疑似的な降雨の環境をつくることで、プール内のドジョウに視覚、聴覚、触覚といった体感的刺激を与えた。

①～⑥の実験は、それぞれ6回ずつ計36回行った。各実験は、①～⑥の順に6回繰り返す、1度の実験終了後には供試魚をすべて飼育水槽に戻し、供試魚に実験装置への慣れが生じないように努めた。すべての実験は2010年の6月下旬から7月上旬（ドジョウの繁殖期<sup>16)</sup>）、9:00～17:00の時間帯に行った。

### (4) データ解析

ドジョウの魚道遡上に刺激を与える物理環境を検証するにあたって、魚道遡上に対する体サイズの影響も考慮した。そのために、すべての実験中で魚道を遡上したドジョウ個体と、しなかったドジョウ個体の体長をMann-WhitneyのU検定により比較した。

ドジョウの魚道遡上に刺激を与える物理条件を明らかにするため、仮定した①～⑥の条件のそれぞれにおいて、条件変化前後の魚道遡上率をU検定により比較した。ここでの魚道遡上率とは、条件変化前後のそれぞれで、実験開始時に下部プールに存在した個体のうち、魚道遡上を行った個体の割合である。したがって、条件変化前の遡上率は、条件変化前に魚道を遡上した個体数を、下部プールに投入した全個体数（40個体）で割った値であるが、条件変化後の遡上率は、条件変化後に遡上した個体数を、下部プールに投入した個体数からその実験の条件変化前に遡上した個体数で引いた数で割った値となる。尚、解析の際のソフトウェアには、すべてR 2.12.2<sup>17)</sup>を用いた。

## 3. 結果

実験条件①～⑥の計36回の実験を行った結果、魚道を遡上したドジョウは合計で144個体であった。遡上したドジョウ個体としなかった個体の体長±標準偏差は、それぞれ80.7±16.5cm（N=144）と79.6±16.5cm（N=1296）であった。両者をU検定により比較した結果、有意な差は見られなかった（U=88078.5, P=0.34）。

実験条件①～⑥の10分間ごとの累積魚道遡上個体数（魚道遡上個体数平均の累積値）を図-3に示す。それぞれの実験条件で、条件変化前終了（実験開始後30分）までの累積魚道遡上個体数は、①1.67、②2.17、③2.17、

④1.17, ⑤0.83, ⑥1.17であった。その後条件を変化させ、条件変化後終了（実験開始後60分）までの累積魚道個体数は、それぞれ①2.83, ②3.67, ③3.67, ④2.83, ⑤5.17, ⑥5.83であった。

それぞれの条件における条件変化前後の変化条件、魚道遡上率、および魚道遡上率のU検定の結果を表-1に示す。各実験条件の条件変化前後の魚道遡上率は、変化前で①4.2±2.3, ②5.4±1.5, ③5.4±1.2, ④2.9±0.8, ⑤2.9±1.2, ⑥2.1±1.2（各%, 平均値±標準誤差）、変化

後で①3.2±1.9, ②3.9±1.6, ③4.0±1.5, ④4.3±1.5, ⑤12.1±5.7, ⑥11.1±2.1（各%, 平均値±標準誤差）であった。条件変化前後の遡上率をU検定により比較した結果、①-④の条件では遡上率に有意な差がなかったが、⑤と⑥の条件では、条件変化前後の遡上率に有意な差が見られ、共に変化後の遡上率が大きかった（表-1）。

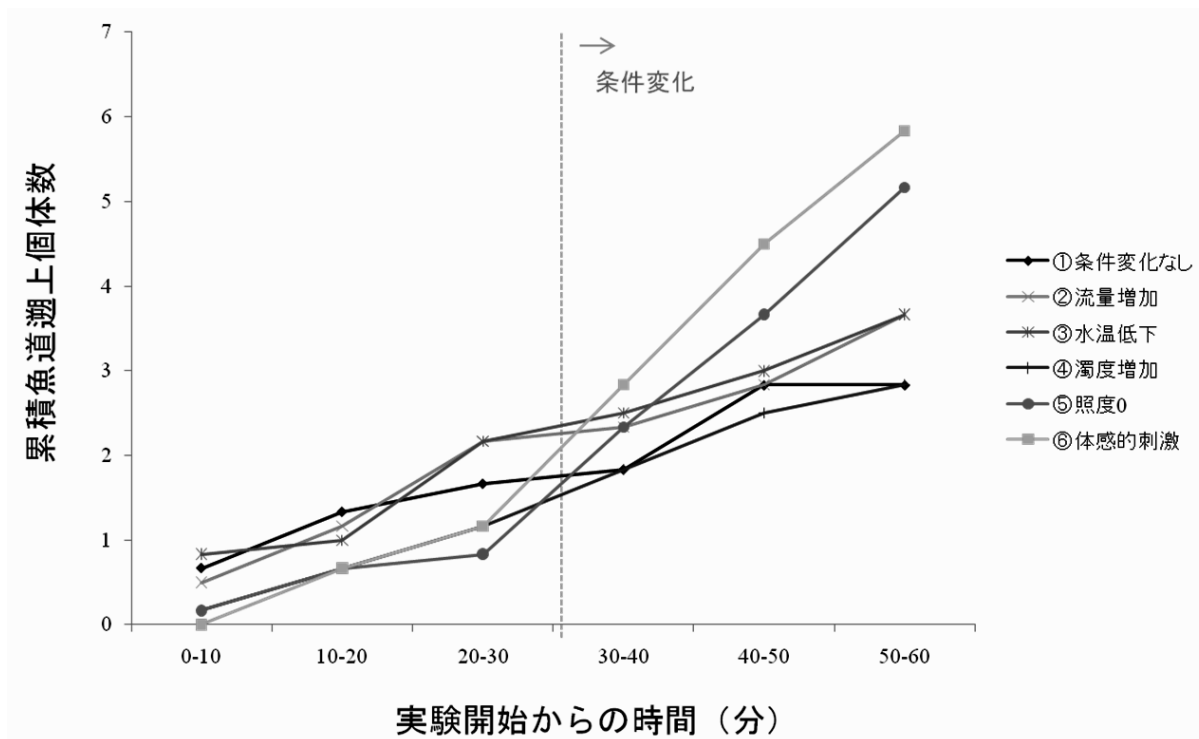


図-3 それぞれの実験条件における10分ごとの累積魚道遡上数。平均遡上個体数の累積値を示す。

表-1 それぞれの実験条件における条件変化前後の変化条件、魚道遡上率、および魚道遡上率のU検定の結果。変化条件に示した水温、濁度、照度は平均値±標準偏差を、魚道遡上率は平均値±標準誤差を表す。

| 実験       | 条件変化前後 | 変化条件        | 魚道遡上率 (%) | U検定の結果 |       |
|----------|--------|-------------|-----------|--------|-------|
|          |        |             |           | U値     | P値    |
| ① 条件変化なし | 前      | なし          | 4.2±2.3   | 16.00  | 0.74  |
|          | 後      |             | 3.2±1.9   |        |       |
| ② 流量増加   | 前      | 流量 (mL/sec) | 5.4±1.5   | 14.50  | 0.57  |
|          | 後      |             | 3.9±1.6   |        |       |
| ③ 水温低下   | 前      | 水温 (°C)     | 5.4±1.2   | 12.50  | 0.37  |
|          | 後      |             | 4.0±1.5   |        |       |
| ④ 濁度増加   | 前      | 濁度 (mg/L)   | 2.9±0.8   | 11.00  | 0.25  |
|          | 後      |             | 4.3±1.5   |        |       |
| ⑤ 照度0    | 前      | 照度 (Lux)    | 2.1±1.2   | 2.50   | <0.05 |
|          | 後      |             | 11.1±2.1  |        |       |
| ⑥ 体感的刺激  | 前      | 体感的刺激       | 2.9±1.2   | 5.00   | <0.05 |
|          | 後      |             | 12.1±5.7  |        |       |

## 4. 考察

実験の結果、遡上を行ったドジョウ個体は全体で144個体であり、遡上を行ったドジョウと行わなかったドジョウの間に体サイズの偏りは見られなかった。このことから、今回行った実験では、ドジョウの魚道遡上に体サイズは影響しなかったと考えられた。

各実験条件において、条件変化前後の遡上率を比較することで、ドジョウの魚道遡上に影響を与える物理条件を検証した結果、ドジョウの遡上行動を刺激したと考えられた物理条件は、条件変化後に遡上率が大きくなった⑤照度0と⑥体感的刺激であった（図-3、表-1）。これに対して、②流量増加、③水温低下、④濁度増加は、コントロールである①条件変化なしと同様に、条件変化前後で魚道遡上率が変化しなかったため、ドジョウの遡上行動に影響を与えなかったと考えられた（図-3、表-1）。

⑤照度0で実験室を真っ暗にした際にドジョウの魚道遡上率が増加したことは、ドジョウが夜のような暗い環境になると魚道遡上を行うことを示唆している。本研究では、日中の1時間の間に照度を600Lux程度から0に変化させた際に魚道遡上率が増加したが、鈴木ほか（2001）<sup>7)</sup>の魚道実験では、昼の時間帯に比べ、夜の時間帯に魚道遡上数が多かったことが報告されている。本実験の結果と鈴木ほか（2001）の結果を併せて考察すると、ドジョウは視覚的な夜と体内の既日リズムで感じる夜のいずれにも反応し、遡上行動を起こすことが予測される。ドジョウが夜に遡上行動を起こす理由としては、ドジョウは夜間から早朝にかけて産卵行動を行う種であるため<sup>18)</sup>、産卵期には夜のうちに産卵場となる氾濫原の水たまりや水田などの一時的水域に遡上する習性を有していること、あるいはドジョウが魚道のような狭所を通過する際には、鳥などからの捕食を避けるため夜間に遡上する回避習性を持っていることが考えられる。

一方、⑥体感的刺激で流水シャワーによる疑似的な雨刺激を受けドジョウの魚道遡上率が増加したことは、ドジョウが雨による視覚的变化、流れの変化、振動などを眼、内耳、側線などの体器官で感じ取り、「雨」を認識して遡上行動を起している可能性を示唆する。これまでに、降雨時にドジョウの移動が活発になるという知見は存在するが<sup>12)</sup>、降雨関連の物理条件を分離して検証した実験は存在しなかった。本研究では、降雨関連の物理条件を②流量増加、③水温低下、④濁度増加、⑥体感的刺激に分離して実験を行い、その中でも体感的刺激にドジョウが反応することを明らかにした。ドジョウが雨による体感刺激を受け遡上行動を起こす理由としては、ドジョウは増水時に河川と連絡する一時的水域に遡上して産卵を行う種であるため<sup>19)</sup>、産卵期に一時的水域に移動できるように、雨という一時的水域ができる際のシグ

ナルを感じ取る潜在能力を有していることや、降雨に伴う増水により下流へ流されることを避けるため、降雨刺激を感じ取ることで増水前に流れの弱い退避場（一時的水域など）へ逃げ込む習性を有していることが考えられる。

これらの結果から限定的な魚道運用法を思索する。本研究からは、合意形成等との関係から容易に魚道を設置できない場所において時間を限定した魚道運営を行う場合、少なくとも産卵期のドジョウにとっては夜と降雨刺激が配慮すべき条件であることが示唆された。すなわち、ドジョウを対象に時間を限定した魚道を設計する場合、その状況によって夜間のみ、または降雨時のみにコルゲート式魚道などの可搬式魚道を稼働させる、または雨天時のみ水が流れる新しい魚道を設置するといった方法をとれば、農業者等の理解が得られ、かつドジョウの遡上行動も補助することができる可能性がある。加えて、その場の状況によっては、魚道直下流でシャワーのような人工的降雨刺激や人工的な暗環境をつくりだすことで、ドジョウの魚道遡上を誘発することも可能かもしれない。

本研究では、魚道の設置が困難な場において、産卵期のドジョウの遡上行動を助ける方法を提案した。ただし、今回の研究で対象としたのは、産卵期のドジョウのみであり、今後実際に時間を限定した魚道設計を行っていく際には、当然他魚種においても同様な知見を得なければならない。そして総合的な判断のもと、その場に適した魚道運営方法を考案していかなければならないであろう。

現在までに、河川改修や圃場整備などにより、灌漑域に生息する生物の移動経路の分断が報告されている<sup>20)</sup>。このような状況下でも、魚道の性質上、場によっては魚道設置の合意が得られない場合もある。本研究で示した時間を限定した魚道運用の考え方は、差し当たりドジョウが生息する灌漑域の水田魚道運用に役立つ。また、そのみならず、水利関係者との合意が難しい河川においても魚道運用が可能となる考え方である。

## 参考文献

- 1) 鈴木正貴、水谷正一：ネットワーク復元の目的、高橋清孝編著、田園の魚をとりもどせ！、恒星社厚生閣、pp.112-117、2009。
- 2) 鈴木正貴、三塚牧夫、中茎元一、水谷正一：水田魚道によるネットワーク復元の事例、高橋清孝編著、田園の魚をとりもどせ！、恒星社厚生閣、pp.122-128、2009。
- 3) 山下奉海、河口洋一、谷口義則、鹿野雄一、石間妙子、大石麻美、田中亘、斉藤慶、関島恒夫、島谷幸宏：佐渡島の小河川における魚類を対象とした農業用取水堰改良効果の検証、応用生態工学、13（1）、pp.61-76、2010。
- 4) 鈴木正貴、水谷正一、後藤章：小規模魚道による水田、農業水路および河川の接続が魚類の生息に及ぼす効果の検証、農業土木学会論文集、234、pp.59-69、2004。

- 5) 和田吉弘：魚道見聞録，山海堂，2003.
- 6) 佐藤太郎，佐藤学，稲垣政則，佐藤武信，安実千智，土田一也，三沢眞一：コルゲート管を用いた水田魚道の設置条件および水田の水管理とドジョウの関係，農村計画学会誌，26（4），pp.434-441，2008.
- 7) 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.
- 8) 大西正修，長谷川明宏：ドジョウやナマズを育む川と田んぼのつながり —身近な水域における魚類生息環境改善のための事業連携方策調査成果より—，圃場と土壌，36（8），pp.36-42，2004.
- 9) 斉藤憲治，片野修，小泉顕雄：淡水魚の水田周辺における一時的な水域への侵入と産卵，日本生態学会誌，38，pp.35-47，1988.
- 10) Naruse, M. and Oishi, T.: Annual and daily activity rhythms of loaches in an irrigation creek and ditches around paddy fields, *Environ. biol. fish.*, 47, pp.93-99, 1996.
- 11) 田中道明：水田周辺の水環境の違いがドジョウの分布と生息密度に及ぼす影響，魚類学会誌，46，pp.75-81，1999.
- 12) 杉原知加子，水谷正一：河川と水田間に連結する人工池が魚類の生息に果たす役割：栃木県上三川町谷川水系の事例，農業土木学会論文集，74（4），pp.467-474，2006.
- 13) 皆川明子，高木強治，後藤眞宏，樽屋啓之：早場米生産水田における魚類の移入と移出について，農業農村工学会論文集，261，pp.315-323.
- 14) 松浦康修：ドジョウの人工採苗試験，水産増殖，15（1），pp.65-74，1967.
- 15) 斉藤憲治：ドジョウ，川那部浩哉，水野信彦，細谷和編，日本の淡水魚，山と溪谷社，pp.382-385，2005.
- 16) Fujimoto, Y., Ouchi, Y., Hakuba, T., Chiba, H. and Iwata, M.: Influence of modern irrigation, drainage system and water management on spawning migration of mud loach, *Misgurnus anguillicaudatus* C., *Environ. biol. fish.*, 81, pp.185-194, 2008.
- 17) R Development Core Team: R: A Language and Environment for Statistical Computing. <http://www.R-project.org>, 2011.
- 18) 川村厚生，大家正太郎，石田力三，梶純夫，鈴木規夫：ドジョウ，養魚講座 第5巻 ヘラブナ，ドジョウ，スッポン他，緑書房，pp.111-186，1969.
- 19) 斉藤憲治：淡水魚の繁殖場所としての一時的な水域，長田芳和，細谷和海編，日本の希少淡水魚の現状と系統保存，緑書房，pp.194-204，1997.
- 20) Khoa, S. N., Lorenzen K., Garaway C., Chamsinhg B., Siebert D. and Randone M.: Impacts of irrigation on fisheries in rain-fed rice-farming landscapes, *J. Appl. Ecol.* 42, pp.892-900, 2005.

(2011. 5. 19 受付)