

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：53701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560630

研究課題名(和文)水中音響特性に着目した魚道の機能評価と河川魚類生息場の自然度診断システム

研究課題名(英文)Functional evaluation of fishway and genetic diversity for native fishes in river network

研究代表者

和田 清(WADA, Kiyoshi)

岐阜工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：50191820

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、岐阜県が進めている魚道カルテデータ(673箇所)の評価分析により主要な魚道機能を抽出し、機能不全に陥っている魚道の具体的な補修工法の提案を行った。また、低落差の堰において魚類が遡上可能なサイフォン・パイプ式の簡易魚道を考案し、密閉式のため、小流量、落差2m以下の魚類遡上ツールとして有効であることを実証した。さらに、農業用水網の生態系ネットワークの連続性を把握するために、在来魚タモロコのマイクロサテライトDNA分析による遺伝的多様性を検討し、同一流路網において遺伝的分化尺度が急変している場所を複数抽出し、その要因分析と生息場の保全に向けたネットワーク強化策を検討した。

研究成果の概要(英文)：At first, we conducted to analyze functional evaluation of the fishway using check-list that Gifu Prefecture carried out investigations and improved the fishway that did not function concretely. Furthermore, in the low weir of water surface difference, we developed the siphon-pipe-fishway that fish could migrate to upstream. Under condition of around 2m for water surface difference, it was demonstrated that fish migrate. We analyzed microsatellite DNA of fish (*Gnathopogon elongatus*) to grasp the continuity of the stream-agriculture waterway network. As a result, because there was the area where a genetic divergence suddenly changed in the same waterway, we examined the conservation plan of the fish habitat background using analyzed the factor.

研究分野：水工学、河川環境生態工学

キーワード：魚道 サイフォン式パイプ魚道 魚道カルテ 遺伝的多様性 マイクロサテライトDNA 水中音響

1. 研究開始当初の背景

一般に、小河川や農業用水路の魚類保全には「水域の連続性によるネットワーク確保」がポイントになっている。これは、魚類が季節や水量等の水理環境変化に応じて水域内を移動し、年一回の繁殖によって個体群を維持することに基づいている。したがって、できるだけ水域を連続させるために、頭首工や落差工には魚道の設置、場合によっては落差工の迂回や水路間を直結するバイパス水路等が設置される傾向にある。魚道設計に際しては、魚類の遊泳力を体サイズ（全長BL）と関連づけ、算定された突進速度や巡航速度を基本にして、所定の流速が魚道内で連続的に確保されているかどうかとの観点から進められているが、そもそも水産対象種ではない在来魚種の多くについて、遊泳速度や遊泳ポテンシャル自体が定量的に把握されていないのが現状である。さらに、この連続性の無制限の確保は生息魚類にとって弊害を引き起こす可能性もある。例えば、外来種の侵入による在来種の消失、加えて、そもそも独立していた個体群の繁殖交流である。独立個体群の交流はいわば個体群の雑種化に相当し、当該地域における遺伝的多様性を減少させる。一方、ある程度の連続した水域が確保されないと、個体群内での繁殖が進み（近親交配の多発）、遺伝的同一化による個体群消滅の可能性も考えられる。

2. 研究の目的

以上を背景に、本研究では、主要なダム湖や河川と連結する小河川や農業用水路、水田・ため池などとの連続性を考慮した魚類保全において以下の4項目を目的とする。

(1) 既設魚道の評価と対策

岐阜県における既設魚道の機能評価・分析を行い、評価軸の検討を行いながら、どのような要因が魚道機能の劣化に関連しているかなどを明らかにして、改善策を提案する。

(2) 低落差に対応する簡易魚道の開発

既設魚道の改善策として、安価で設置が容易な簡易型の魚道を開発し、現地河川等において、実証実験を行う。

(3) 魚類生息場の水中音響診断

ダム湖や魚道などの機能評価に水中音響スペクトル特性を用いた診断手法を導入し、ある種の魚類にとって人工的に創出した流れ場が魚類生息場として必要な機能であるかなどを検討する。

(4) 魚類の遺伝的多様性と保全策

ダム湖、河川と農業水路網における魚類個体群の「ネットワーク＝遺伝的交流」の実態について、分子生物学的手法の一つであるマイクロサテライトDNAによって、世代を越えた移動の過去の履歴から個体群の遺伝的分化状況を把握する。

3. 研究の方法

(1) 既設魚道の評価と対策

岐阜県では、県管理河川および砂防施設の673箇所について魚道カルテの調査が2012～2015年まで行われている。その点検データを用いて、クラスター分析や主成分分析などにより魚道機能を支配する要因の抽出を行い、設計条件、魚道形式、魚道本体、魚道出入口の機能不全の要因（土砂・流木の堆積、魚道本体の破損など）と寄与率などを定量化する。さらに、現地の既設魚道の改善策として、モニタリング調査（自動水位計などを含む）を実施して補修工法を提案する。

(2) 低落差に対応する簡易魚道の開発

既設魚道の改善策として、設置が容易で低コストのサイフォン式パイプ魚道を共同開発する。管路内に複数個設置された急拡急縮部のリデューサーにより流速減勢を行い、魚類の突進速度以下にまで低減させた流速制御構造形式と適度な休憩部の挿入やパイプの透明化などの改良を行い、設置後に設計条件を満たしているかの確認と在来魚を用いた現地遡上実験によって、簡易魚道の適用性を検証する。

(3) 魚類生息場の水中音響診断

岐阜県阿木川ダム湖を対象として、稚アユの再生産過程、既設魚道（阿木川）と新設魚道（岩村川）による遡上調査、特に、新設魚道入口における水中音響を利用した呼び水効果の評価を行った。また、設計段階でプールタイプの魚道の静穏度を判定する簡単な指標として「単位体積当たりの散逸仕事率： P_v 」が用いられている。これはあくまでプール内を平均化した場合の静穏度であり、アイスハーバー型のように空間的な静穏度に偏差を伴う場合には、代表的な空間内の水中音響レベルを計測することによって静穏度を定量化できる可能性がある。この仮説を検証するために、各種魚道における水中音響の計測・分析を行う。

(4) 魚類の遺伝的多様性と保全策

ダム湖、河川と農業水路網における魚類個体群の「ネットワーク＝遺伝的交流」の実態について、分子生物学的手法の一つであるマイクロサテライトDNA分析手法によって、遺伝的多様性の実態把握と簡単な数値モデルによる将来予測を試みた。なお、対象魚種は阿木川湖で再生産する稚アユおよび長良川犀川流域の在来種タモロコである。

4. 研究成果

(1) 既設魚道の評価と対策

魚道点検のデータ分析から、魚道形式、魚道勾配、落差などから、緩勾配、低落差であるほど評価値は向上し、流量変動に対応するアイスハーバー型が有利であることが確認された。補修工法では、土砂、流木対策、隔壁・粗石の補修、魚道下流側の局所洗掘による河床低下などの対策が必要とされ、洪水を意識した事前設計の重要性が指摘された。

(2) 低落差に対応する簡易魚道の開発

パイプ魚道を用いた現地実験は、一級河川根尾川の既設魚道が機能していない固定堰（水位差 1.2m）、魚道が無い農業用水ゲート（水位差 2.1m）の 2 箇所で行った。在来種を用いた遡上実験により、種類、個体数、遡上速度、休憩場所の利用頻度などが定量化され、魚類が遡上可能な範囲までリデューサーを複数個配置し、末端流速が 0.30m/s 以下に低減すれば、多数の魚類が遡上することが確認された（図-1 参照）。



図-1 現地河川のパイプ魚道の設置例

(3) 魚類生息場の水中音響診断

ダム湖や魚道などの機能評価に水中音響スペクトル特性を導入し、ある種の魚類にとって人工的に創出した流れ場が必要な機能であるかなどを検討した。現地調査としては、岐阜県阿木川ダム湖を対象として、稚アユの再生産過程、既設魚道（阿木川）と新設魚道（岩村川）による遡上調査、特に、新設魚道入口における水中音響を利用した呼び水効果の評価を行った。その結果、ダム湖のようにバックランド（雑音）の音圧レベルが低い場所では、水流とともに落下流による水中音響による集魚効果が効果的であることが、魚群探知機やビデオ観察などにより確認された。また、魚道については、設計段階でプールタイプの魚道の静穏度を判定する簡単な指標として「単位体積当たりの散逸仕事率： P_v 」が用いられている。これはプール内を平均化した場合の静穏度であり、アイスハーバー型のように空間的な静穏度に偏差を伴う場合には、代表的な空間内の水中音響レベルを計測することによって静穏度を定量化できる可能性がある。この仮説を検討するために、水理実験および現地調査による予備的な検討を行った。その結果、魚道の代表地点（越流部と静穏域）の水中音響の音圧レベル（dB）と散逸仕事率 P_v の関係は高い相関関係にあることがわかった。この相関関係を用いれば小型魚（アユ等）の P_v の限界値 $150W/m^3$ に対応する騒音レベルは 130dB と算定され、その値以下であれば小型遡上魚が休憩可能な静穏域という一応の目安が得られた。

(4) 魚類の遺伝的多様性と保全策

阿木川湖（人工ダム）では陸封型稚アユが再生産する特徴があり、人工的な貯水環境における稚アユ（琵琶湖産、海産、人工種苗など）が遺伝的にどのような特性を持っているかをマイクロサテライト DNA 分析（実態把握）、

また閉鎖的な環境下で将来的にそのような遺伝的多様性が変化するかを数値モデル（将来予測）による算定した。その結果、阿木川ダム湖の個体群は、琵琶湖産、海産、人工種苗などに比べて、海産系と同程度に多様性が保持されていることが明らかとなった。さらに、小河川、農業用水、水田を往来し、生態系ネットワークの連続性と遺伝的多様性を把握する上で主要な魚種を在来種タモロコとした。そのタモロコのマイクロサテライト DNA 分析による遺伝的多様性を検討するために、12 遺伝子座の中から、ヘテロ接合度の出現割合が 80% 以下のプライマーを絞り込んだ結果、6 遺伝子座が比較的偏りが少なく犀川流域のタモロコに有効であることが明らかにされた。この結果を用いて、同一流路網において遺伝的多様性が急変している場所（遺伝的分化指数が 0.25 以上）を 4 箇所抽出し、その要因分析と生息場の保全策とネットワーク強化策を検討した。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 5 件）

① 和田 清、藤井克哉、寺町 茂、太田有生夫、馬淵洋介：魚道カルテによる機能評価とサイフォン式パイプ魚道による遡上モニタリング、土木学会環境システム研究論文発表会講演集、査読有、42 巻、2014、453-458

② 下村 誠、田上寛之、高野雅夫、和田 清：MPS 法による開放型小水力発電システムの数値シミュレーション、計算工学会、計算工学講演会論文集、査読有、18 巻、2013、101-104

③ 和田 清、田中俊吾、藤井克哉、太田有生夫、寺町 茂：サイフォン式パイプ魚道の技術開発と魚類の遡上モニタリング-岐阜県根尾川を対象として-、土木学会環境システム研究論文発表会講演集、査読有、41 巻、2013、509-514

④ 和田 清、浅野仁美、吉田圭吾：豪雨災害における中小河川の洪水氾濫流の挙動と避難体制 -岐阜県可児川および大谷川を対象として-、土木学会環境システム研究論文発表会講演集、査読有、41 巻、2013、503-508

⑤ 和田 清、寺町 茂、西村美信、岡井貴洋、熊崎文菜：長良川中流域の農業水路改修における生物種の組成変化と生息場の連続性、土木学会環境システム研究論文発表会講演集、査読有、40 巻、2012、1-6

〔学会発表〕（計 11 件）

①藤井克哉、和田 清、玉井水規：岐阜県魚道カルテの機能評価と既設魚道の補修工法、土木学会中部支部研究発表会講演集、2015. 3. 6、豊橋技術科学大学（豊橋市）

②小木曾雄平、和田 清、近藤淳平：流木等が円柱群に作用する流体力と堰上げ効果に関する実験的研究、土木学会中部支部研究発表会講演集、2015. 3. 6、豊橋技術科学大学（豊橋市）

③和田 清、野原里恵、馬淵洋介：DEM 情報を用いた内水氾濫解析および土砂災害危険地区の抽出、土木学会中部支部研究発表会講演集、2015. 3. 6、豊橋技術科学大学（豊橋市）

④渡邊美咲、和田 清、藤井美有、寺町茂：小川川・農業用水ネットワークにおける魚類の多様性と環境要因、土木学会中部支部研究発表会講演集、2015. 3. 6、豊橋技術科学大学（豊橋市）

⑤藤井克哉、和田 清、田中俊吾：サイフォン式パイプ魚道の技術開発と魚類の遡上モニタリングに関する一考察、土木学会中部支部研究発表会講演集、2014. 3. 7、岐阜大学（岐阜市）

⑥浅野仁美、和田 清：2010年7月可児川水害における洪水氾濫流の素過程と避難困難度の評価、土木学会中部支部研究発表会講演集、2014. 3. 7、岐阜大学（岐阜市）

⑦和田 清、稲葉金正、原田正光、加藤克彦：イワダレソウを用いた放射性物質セシウムの吸収性能について、土木学会中部支部研究発表会講演集、2014. 3. 7、岐阜大学（岐阜市）

⑧井藤宏紀、和田 清：発泡ガラス入り保水性ブロックによる温度上昇抑制の持続効果に関する実験的研究、土木学会中部支部研究発表会講演集、2014. 3. 7、岐阜大学（岐阜市）

⑨ Kiyoshi Wada and Hitomi Asano : Evaluating evacuation difficulty using iRIC-model for flood flow caused by heavy rain disaster in Gifu, Japan, Proceedings of SIBE (Sustainable Infrastructure and Built Environment) 2013, 2013. 11. 21, Bandung, Indonesia

⑩和田 清、大江 悠：阿木川ダム湖に生息する陸封型アユの遺伝的多様性、土木学会中部支部研究発表会講演集、2013. 3. 8、名城大学（名古屋市）

⑪和田 清、熊崎文菜：長良川水系農業水路における生態系配慮構造物の機能評価、土木学会中部支部研究発表会講演集、2013. 3. 8、名城大学（名古屋市）

〔図書〕（計 2 件）

①和田 清他（分担執筆）、丸善出版、土木学会水理実験解説書（2015 年度版）、2015、120

②和田 清他（分担執筆）、丸善出版、全世界の河川辞典、2013、850

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等
http://www.gifu-nct.ac.jp/civil/introduction/kyouin_wada.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

和田 清 (WADA, Kiyoshi)
岐阜工業高等専門学校・環境都市工学科・教授
研究者番号：50191820

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：