

平成21年 5月 10日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18560508
 研究課題名（和文）小河川・農業用水路網における魚群行動モデルの構築と遺伝的にみた個体群ネットワーク
 研究課題名（英文）Evaluation of habitat potential for field gudgeon in drainage canals using microsatellite DNA marker and underwater acoustic system
 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

研究成果の概要：

本研究は小河川や農業用水路網における魚類生息場保全に向けて、環境改善の効果を事前に検討するために、魚群行動予測モデルの構築、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、水中音響診断システムによって、魚類生息場の評価、個体群の「ネットワーク＝遺伝的交流」の実態を解明することを目的として実施した。魚類の遊泳力に基づく避難場所の水路設計、既設魚道の改善策、ドジョウ個体群間の遺伝的交流の実態が明らかにされ、さらに、魚類生息場の特性を水中音響によって診断・評価する新たな手法を提案した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,900,000	0	1,900,000
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	480,000	3,980,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：(1) ハビタット評価, (2) 遊泳能力曲線, (3) 魚群行動モデル, (4) マイクロサテライト DNA, (5) 遺伝的多様性, (6) ドジョウ, (7) 魚道評価, (8) 水中音響診断システム

1. 研究開始当初の背景

(1) 魚類生息場の保全対策と課題

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) 魚群行動モデルと個体群ネットワーク

以上を背景に、主要な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は、まず、魚類自体の遊泳ポテンシャルの把握、平水時の魚群行動・洪水時の避難行動を明らかにして、流れ場と関連づけた魚群行動予測モデルの構築が必要である。さらには、遺伝的多様性の観点から個体群ネットワークのアプローチが重要となる。

2. 研究の目的

(1) 水理実験および現地調査による魚類の

遊泳ポテンシャルと魚群行動の把握:

河川や農業用水路に生息する一般的な魚類を対象にして、小河川や農業用水路における微小ワンドなどの避難場所の形状、形態が魚類の遊泳行動にどのような影響を与えているかについて、リボンタグ付け調査および室内水理実験により魚類個体群行動の複雑さを定量的に把握する。一方、不連続性を緩和する手段である魚道の設計、微小ワンドの配置間隔算定などに必要な魚類の突進速度、巡航速度などの遊泳能力は、従来体長に比例する算定式により求められている。ただし、すべての魚種に対して適用できるわけではなく、対象魚種によってはそれらの遊泳速度の値や流れ場に対する基本的な遊泳能力の特性が異なることも予想され、この遊泳能力の評価についても明らかにされていないのが現状である。そこで、本研究では、対象とする農業用水路で採捕された在来魚種について、その基本的な遊泳能力を把握するために簡易二次元水路実験により、個体差や魚種の特性を考慮した基本的な魚類の遊泳能力を推定し、休憩場所(微小ワンドなど)の配置間隔の算定方法など、水路施設設計の基礎資料としようとするものである。

(2) 個体群間ネットワークの遺伝的交流の

実態解明

マイクロサテライト多型はヒトや樹木の親子鑑定や個体識別、魚類については集団解析の他に、河川横断工作物による遺伝的多様性への影響評価に利用されつつある。本研究では、河川・農村環境の魚類保全に向けて、落差等により河川から分断化されている支川および農業用水路のネットワークを対象に、一部のマイクロサ

テライトが解読されている在来魚類(ドジョウ類など)の遺伝的特性を検討する。このような遺伝情報の解析は、標識個体の分布からだけでは判らない次世代個体の移動等について、個体が移動、繁殖を繰り返す、水路網環境変化に応じて維持してきた個体群の血縁関係をもとに、外部標識手法では解決できない世代を越えた移動の履歴についても考察できるところに大きな意義がある。このように、魚種と個体数分布データの生物情報をもとにした魚群行動予測モデルに、個体群の独立性や交雑化についての情報が付加されれば、ダイナミックな長時間・空間的なスケールを考慮に入れた動的な魚類生息場の評価手法が確立できる。

(3) 水中音響診断システムを用いた魚道

および魚類生息場の評価

近年、多くの河川には魚道が設置され、回遊魚の遊泳能力(突進速度など)との関係で魚道設計が実施されてきた。魚類がプール式魚道を通る困難さは、魚道内の乱流および気泡の含有量とともに増大すると考えられ、流量、水位差、プール内体積などを用いた散逸仕事率の大小によってプール内の攪乱状態の指標化が行われている。一方、プールの役割は、堰の越流から生じるエネルギーを渦・乱流、音、熱などの散逸過程を通じて減勢すること、魚類の遡上経路に隣接して十分休憩可能な場所の確保などである。そこで本研究では、散逸仕事率という単純な流れのエネルギー指標ではなく、騒音に満ちた魚道プール内の状況を、水中音響の空間的な広がり方と関連づけて、プール内のエネルギー減衰や休憩場所の存在などを総合的に評価する方法を見出そうとするものである。

3. 研究の方法

(1) 水理実験および現地調査による魚類の

遊泳ポテンシャルと魚群行動の把握:

対象魚について環境要因(水温、流速、水深)、成長段階、種類数、単独と複数個体(魚群行動)などの差異を考慮した遊泳曲線を作成して、在来魚類の遊泳ポテンシャルや魚群行動を定量的に把握した。さらに、室内実験における魚群行動のビデオ観察データ、流速分布、乱れ強度などから、魚群行動の複雑さを3次元の移動座標データをフラクタル次元解析し、魚サイズの空間スケールの選択性について、定量的に評価する方法を提案し、複数の魚類を用いた事例を提示した。

(2) 個体群間ネットワークの遺伝的交流の

実態解明

河川・農村環境の魚類保全に向けて、落差等により河川から分断化されている支川および農業用水路のネットワークを対象に、一部のマイクロサテライト DNA が解読されている在来魚類(ドジョウ類)の遺伝的特性を検討した。調査事例として、長良川・根尾川流域の落差などにより分断されている小河川や農業用水路網において、各

水域におけるドジョウ個体群の多型を推定し、その空間分布と類型、ヘテロ接合度による遺伝的多様性について考察した。

(3) 水中音響診断システムを用いた魚道および魚類生息場の評価

実験水路および現地魚道における階段式魚道の水音響レベルを計測し、音圧レベル特性とプール内における散逸仕事との関係を把握した。水理実験は、可変勾配開水路(幅 40cm, 高さ 40cm, 長さ 15m)の中央部に、二ヶ所の隔壁部(高さ 15, 25cm, 厚さ 5cm, 間隔 25, 40, 70cm)を設置し、その区間内に小型水中マイク(オキシテック製)などを固定した。水中音響測定システムは、水中マイクから SC ボックス, AD 変換を通じてノートパソコンに入力され、Lab-View(水中音響アナライザ)によりモニター出力されている。なお、気泡混入などの状況は水中ビデオにより記録した。計測位置はプール内の越流直下(隔壁下流端)と、越流エネルギーが減勢した隔壁下流端の二ヶ所で計測し、流量、プール(隔壁)間隔別に測定を行った。一方、現地魚道は、兵庫県西部を南北に流れる揖保川(一級河川)の魚道群を選定とした。対象魚道は全体を「魚道システム」として捉えて、平常時だけではなく増水末期を考慮した魚介類の遡上・降下するための改善が試みられている。計測魚道は、河口から 36km 地点の河東統合頭首工左岸(ノルウェー型)であり、プール形状が異なるために魚道流量が一定でもプール内の流況に差異があることが特徴である。このノルウェー型は、従来のアイスハーバー型を改良し、流れの直進性とプール内減勢とのバランスを考えた階段式魚道である。他にも吉島統合頭首工(斜隔壁式)、片島井堰(導流壁式)において実測を行った。

4. 研究成果

水理実験および現地調査による魚類の遊泳ポテンシャルと魚群行動の把握から得られた成果は以下のようである。

- (1) 室内実験における在来魚類(オイカワ、イワナなど)の遊泳ポテンシャルや水流と関連した魚群行動をビデオ画像解析などにより定量的に把握した。魚群行動の動的特性を評価するために 12 指標を抽出し有効性を確認して、魚群行動の可視化ソフトの作成を行った。このツールにより、魚群の空間分布を視覚的に捉えることができ、水流と魚類避難場所の選択性等の評価が容易になることなどが示された。
- (2) 魚類のリボンタグ付け現地調査により、農業用水路に設置された避難場所(微小ワンドや魚巢など)の利用状況は魚種によって大きく異なることが明らかにされた。また、簡易的な遊泳能力算定法が提案され、魚種(オイカワ属、タナゴ亜科など)による遊泳曲線の差異が明確にグルーピングされた。さらに、提案した遊

泳曲線を用いて、対象魚種やその遊泳能力を考慮した農業用水路における避難場所の配置間隔の目安を算定する方法を提案した。加えて、スリットなどの微小な休憩部のアスペクト比と個体群行動の関係について定量的に評価し、遊泳行動が単なるランダム行動ではなく、ある秩序を伴ったカオス的な性質を伴った一面が示された。これらの解析によって、魚類の運動軌跡の複雑性の変化から、避難場所の評価を行うことができることが指摘された。

- (3) 既設魚道の改善では、間伐材や仮設堰板の設置により水面勾配の緩和や流速分布を変化させて既設魚道の越流エネルギーを減衰させ、魚類遡上時の休息場として利用できるプール部などや移動経路の連続性を確保することに成功した。対象水域の流量や水位は常に変動しているため、水位計によるモニタリング、流量変動に対応可能な魚道構造形式の検討、現地実験を行い、その有効性が確認された。

個体群間ネットワークの遺伝的交流の実態解明から得られた成果は以下のようである。

- (4) 河川・農村環境の魚類保全に向けて、落差等により河川から分断化されている支川および農業用水路のネットワークを対象に、一部のマイクロサテライト DNA が解読されている在来魚類(ドジョウ類)の遺伝的特性を検討した。圃場整備が進んだ管瀬川・揖斐川流域の不連続的な農業用水路網において、各水域におけるドジョウ個体群の多型を推定し、ヘテロ接合度による遺伝的多様性、その空間分布について考察した。サンプル数は少数であるが、8 種類のプライマーを利用して各水域の多型を推定することができ、同水域内においても遺伝的差異が表れるなど、落差や水路形態などと遺伝的な多様性の評価が考察された。

水中音響診断システムを用いた魚道および魚類生息場の評価から得られた成果は以下のようである。

- (5) 騒音に満ちた魚道プール内の状況を散逸仕事率と音圧レベルを関連づけ、プール内のエネルギー減衰や休憩場所の存在などを水中音響の空間的な差異から評価する試みを示した。越流直下では、散逸仕事率が大きくなるにつれてプール内の水中音圧レベルも増大し、流量増加によって越流エネルギーと水中音が大きくなることが明らかにされた。また、1kHz 以下の低周波数帯では、流量による音圧レベルの周波数依存性が強く、その絶対値も大きい。特に、流量が大きい場合には、ある特定の卓越周波数(100Hz 程度)の発生と低周波音の増加が顕在化することが示された。
- (6) 主流部と休憩場所において、ほぼ全周波

数帯で音圧スペクトルの形状に大きな違いがあり、水中音響の空間的な差異が大きいほど休憩場所として機能していることなど、魚道の空間特性を評価する手法としての可能性が示された。

- (7) 水中スピーカーとマイクを併用した水中音響診断システムにより、ホワイトノイズなどの発生音の反射特性などから、人工的なコンクリート護岸と多自然護岸(植生・砂礫河床など)では、音圧スペクトル形状に大きな違いが示され、この診断システムにより、魚類生息場の物理的評価の一指標として有効となることが示された。

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 3 件)

① 和田 清・桑原真吾・稲川啓太・寺町 茂：在来魚類の遊泳能力算定と農業用水路網の避難場所における個体群行動，土木学会・河川技術論文集，第12巻，pp.371-376,2006.

② Noriyuki, KOIZUMI et.al.: Isolation and characterization of polymorphic microsatellite DNA markers in the Omono type of ninespine stickleback, genus *Pungitius*, Molecular Ecology Notes, Primer Note, Vol. 7, pp.1315 -1318, 2007.

③ Noriyuki, KOIZUMI et.al.: Evaluation of Habitat Potential for Field Gudgeon in Drainage Canals Using Habitat Suitability Indexes: a Case Study of Yatsu Paddy Fields, Chiba Prefecture, Japan, Japan Agricultural Research Quarterly (JARQ), Vol.42, No.1, pp57-62, 2008.

[学会発表] (計 6 件)

① 和田 清・高橋祐樹・桑原真吾・小出水規行・寺町 茂；マイクロサテライトDNAを用いたドジョウ個体群の遺伝的特性に関する研究 -長良川・根尾川水系の小河川と農業用水路ネットワークを対象として-，平成18年度土木学会・中部支部研究発表会，2007年3月2日，名古屋工業大学（名古屋市）。

② 和田 清・鍵谷瑠美・喜田紗知子；植生およびマイクロバブルを用いた水質環境改善に関する実験的研究，平成18年度土木学会・中部支部研究発表会，2007年3月2日，名古屋工業大学（名古屋市）。

③ 和田 清・桑原真吾・西尾圭祐・寺町 茂：壁面の凹凸形状に着目した魚類行動の複雑性に関する実験的研究，平成18年度土木学会・中部支部研究発表会，2007年3月2日，名古屋工業大学（名古屋市）。

④ 和田 清・山中貴之・澤田賢吾：開水路における円柱群のスロッシング現象の発生限界，平成18年度土木学会・中部支部研究発表会，2

007年3月2日，名古屋工業大学（名古屋市）。

⑤ 和田 清・小出水規行・早野陽介・寺町 茂：マイクロサテライトDNAを用いたドジョウ個体群の遺伝的特性に関する研究 -管瀬川・揖斐川農業用水路の水系ネットワークを対象として-，平成19年度土木学会・中部支部研究発表会，2008年3月7日，金沢大学（金沢市）。

⑥ 和田 清・中村俊六・藤井貴洋：プール式魚道における水中音の周波数特性とエネルギー減衰量の評価，平成20年度土木学会・中部支部研究発表会，2009年3月3日，名城大学（名古屋市）。

[図書] (計 1 件)

① 小出水規行（水谷正一・森淳編著）：春の小川の淡水魚-その生息場と保全-（第6章DNA解析からみた淡水魚とその保全）分担執筆，学報社，pp.121-148, 2009.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

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

(3) 連携研究者

小出水 規行 (KOIZUMI NORIYUKI)

農村工学研究所・農村環境部・主任研究員
研究者番号：60301222