

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 28 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03887

研究課題名（和文）魚類縦断探索システムを用いた農業水路系生態系配慮施設の戦略的整備手法の構築

研究課題名（英文）Strategic Development Method for Eco-Friendly Facilities in Agricultural Channel Network Using a Fish Detection System

研究代表者

吉川 夏樹 (Yoshikawa, Natsuki)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：90447615

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,400,000円

研究成果の概要（和文）：申請者らが先行開発し、基本的技術が確立しつつある魚類資源量調査装置（水上版ドローン）および「超音波画像解析」アルゴリズムの開発を進め、農業用水路系における（1）魚類の縦断探索・評価システムの技術的な課題を解決し、実用性の高い技術を確立するとともに（2）事例地区の既設生態系配慮施設の機能評価を行った。こうした評価に加えて、施策面の課題とその解決に向けた制度的な枠組みを検討し、実質的に機能する生態系配慮施設整備のあり方と制度的な支援体制を提示した上で、今後の（3）ネットワーク拠点形成のための適切な施設とその戦略的整備手法を構築を目指す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで水田地帯における魚類等の生物資源量調査は、網や電気ショック等の調査漁具を用いた捕獲調査が主流であったが、高い技術力や膨大な調査労力、費用を要した。そのため、適切なネットワークの確保に向けた計画設計に必要な不可欠である魚類の縦断的な資源量分布等の把握が不十分な状態であった。本研究で開発した「魚類縦断探索システム」は魚類探索用の超音波エコーを自律航行ボートに搭載し、水路内を走査することで水域全体の生物資源量を推定するものである。また、取得した映像から機械学習の技術で魚類を検出・計数するアルゴリズムも開発したため、簡便な調査から評価までの手続きによって効果的な施設整備計画の立案を可能にした。

研究成果の概要（英文）：By solving the technical problems of (1) a "fish resource survey device" for agricultural channel systems and establishing highly practical technology, we conducted (2) a evaluation of existing eco-friendly facilities by applying the algorithm for "ultrasonic image analysis" in the case study areas. In addition to these evaluations, we examined the issues in terms of policies and the institutional framework for their resolution, proposed the ideal form of development of eco-friendly facilities that can function practically and the institutional support system. Based on these examinations, we aim to (3) establish appropriate facilities and strategic development methods for the formation of sound ecosystems of agricultural water channel network.

研究分野：農業水文学

キーワード：魚類資源量探索システム 医療用超音波診断装置 農業用水路 生態系ネットワーク

## 1. 研究開始当初の背景

2001年の土地改良法改正によって、農業農村整備事業は環境との調和に配慮することが義務化されて以降、全国各地で農業水路系を中心とした生態系配慮施設の整備等が進められている。一方、効果が不明な施設が多いこと、施設計画において最適な設置位置・間隔等、特に生態系ネットワーク（以下、ネットワーク）の確保に関わる検討が不足していること<sup>1)</sup>が指摘されている。

ネットワークの形成に関わる研究は、水路内魚道、水田魚道等の局所的対策に関わる研究がいくつかあるものの<sup>2) 3)</sup>、農業水路系全域に亘る調査に基づきネットワーク拠点の特定、拠点形成のための適切な施設の空間的配置について検討した事例は少ない。水田生態系が水田を中心とした農業水路等を含む水系ネットワークとして成立している以上、実質的に機能する生態系配慮整備の推進には、農業水路系のみならず、水田と水路の連続性や面的に広がる水田等の生息ポテンシャルを適切に評価し、重要なネットワーク拠点に効率的かつ効果的に配慮施設を配置する必要がある。

水田地帯の水利施設における魚類等の生物資源量調査は、長大な水路網内に調査地点を点的に配置し、調査漁具（網や電気ショッカー等）を用いた捕獲調査が主流であった<sup>4)</sup>。しかし、これらの手法は、高い技術力や膨大な調査労力、費用を要するため、長大な水路延長に対し調査範囲は限定的であった。そのため、既往の生態系配慮整備では、適切なネットワークの確保に向けた計画設計やその整備効果の検証に必要不可欠である魚類の縦断的な資源量分布等の把握が不十分な状態で整備され、効果が明らかでない施設が全国各地に拡大再生産されてきた<sup>5)</sup>。

## 2. 研究の目的

申請者らが先行開発し、基本的技術が確立しつつある魚類資源量調査装置（水上版ドローン）および「超音波画像解析」アルゴリズムの開発を進め、農業用水路系における（1）魚類の縦断探索・評価システムの技術的な課題を解決し、実用性の高い技術を確立するとともに（2）事例地区の既設生態系配慮施設の機能評価を行う。こうした評価に加えて、施策面の課題とその解決に向けた制度的な枠組みを検討し、実質的に機能する生態系配慮施設整備のあり方と制度的な支援体制を提示した上で、（3）ネットワーク拠点形成のための適切な施設とその戦略的整備手法を確立することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 縦断探索・資源量評価システムの確立

本課題では、「魚類の縦断探索・資源量評価システム」の技術の実用化に向けて、(a) 狭小な水路での利用に供するための自律航行精度の向上を図ることに加えて、浅水域の超音波計測で課題となる (b) 発振線発生への対策を検討するとともに、(c) 超音波画像解析による生物資源量の自動計測技術を開発する。

### (2) 魚類の縦断探索・資源量評価システムの現地適用による生態系配慮施設の評価

特徴的な生態系配慮の個別事例地区において「縦断探索・資源量評価システム」適用し、生態系配慮整備施設によるネットワークの保全・形成状況を評価する。

### (3) 生態系配慮施設の戦略的整備手法の構築

ネットワーク拠点形成のための生態系配慮施設の戦略的整備手法について技術的な視点から提案するとともに、本手法の導入実現性を担保する制度的枠組みのあり方について提言を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 縦断探索・資源量評価システムの確立

#### ① 超音波エコーの改良

超音波エコー画像の取得には、本研究で開発した NGT-304NX (Lequio Power Technology Corp. Okinawa, Japan) を用いた。本装置は、発展途上



図1 魚類探索用に開発した NGT-304NX



図2 各種パラメータ設定、映像の表示のためのソフトウェア (PsCAMViewer)

国の医療現場用に開発されたレキオ・パワー・テクノロジー株式会社製 US-304 をベースに、魚類探索用に改良したものである (図 1)。PC に USB 接続する仕様であり、電力も USB 経由で供給される。超音波エコー画像撮影の設定および閲覧・記録は専用ソフトウェア (ACSECHOV Ver 1.2.0.0.E) (図 2) で行える。本装置は、小型で、可搬性が高く、比較的安価 (国内向け医療用装置の 1/20 程度) であるため、野外での使用に適している。改良版の装置は医療用の US-304 にセンシング深さの延長、画面解像度の向上、処理性能の向上、防水性の向上などの改良を施すことで、浅水域での魚類資源調査に適したシステムにした。

### ②機械学習による定量評価法の開発

取得した長時間の超音波映像から魚類を目視で計数するのは多大なる時間と労力を要するうえ、計数者の主観によるエラーが生じる。そのため、魚類の定量評価手法として、機械学習を行ったカスケード分類器を用いることとした。カスケード分類器とは、複数の教師画像がもつ特徴量を学習させ、それらを 1 つにまとめた学習データであり、主に顔検出などに広く用いられている。本研究では、映像内の魚体を自動検出し、魚体が検出された超音波映像のフレーム数と撮影時のフレームレートをもとに、魚類を計数する手法を開発した (図 3)。

分類器作成に必要な各種パラメータを試行錯誤的に検討し、最も誤検出の小さい値を決定した結果、検出精度を示す F 値を 0.88 (F 値は 0~1 の範囲) まで高めることができた。また、光学カメラによる目視確認数とカスケード分類器による自動計数結果には有意な相関 ( $R^2$ : 0.95~0.97) が認められ誤差はあるものの本手法による魚類の自動検出が有効であることが示された。

### ③自律航行装置の開発

2016 年の研究開始当初に開発した装置は機体の推進を担うファン 1 つとその後方に操舵のためのプレート状の舵があるのみであったため、姿勢の制御が困難であった。そこで、多数の自律航行ボートの開発に豊富な経験をもつ東京大学大学院農学生命科学研究科の海洋裕准教授に開発協力を要請、新装置を製作した (図 4)。

装置は浮体のボディーボード上に推進機である電動ダクトファンを取り付けたものであり、動力源にはリポバッテリーを使用した。また、GPS 受信機および GNSS アンテナを搭載したことで、センチメートル単位の精度で航行することが可能となった。自律航行にはフライトコントローラとして製品化されている Pixhawk を用いた。Pixhawk は小型の PC の機能とコンパスを搭載しており、位置情報から目的地までの移動経路の計算および推進機制御を行い速度調整するなど、本装置の中核的役割を担うものである。ダクトファンのモーターを制御するモーターコントローラには RoboClaw を用いた。また、PC 上で設計した航路を装置に送信するため、テレメトリトランスミッターユニットを実装した (図 5)。更に位置情報をテキストデータで出力するために、Bluetooth アンテナおよび Bluetooth 受信対応の



図 3 カスケード分類器を用いた魚の自動検出と検出されたフレーム枚数の計数

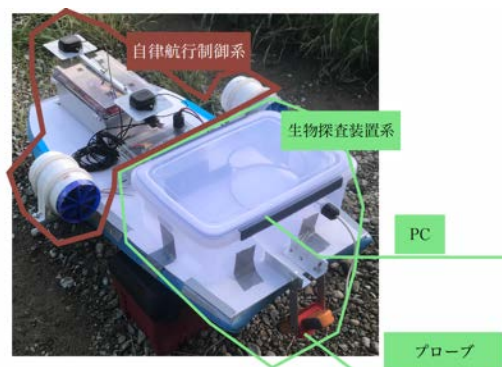


図 4 開発した自律航行装置

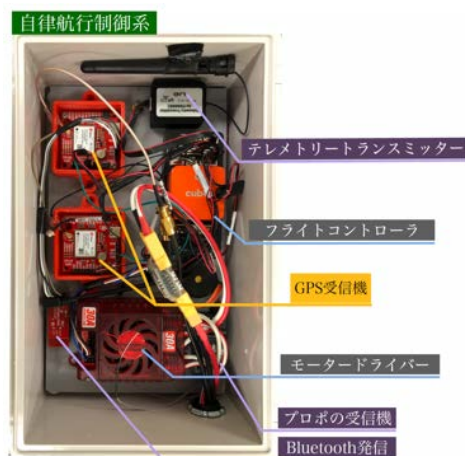


図 5 自律航行装置の制御部



図 6 スマートフォンによる位置情報の取得



スマートフォンを搭載した（図6）。

航路設計はフリーウェアである Q Ground Control を使用した。Google Map 上で航路を設定し Pixhawk に送信した。本ソフトウェアを用いた航路設計は以下の手続きで行った。(i) 調査開始のポイントに Takeoff-point を配置する。(ii) 通過地点（Waypoint）を配置する。Q Ground Control ではそのほか、航行速度の設定、バッテリー残量の確認、ボートの航路の現在地の確認などが可能である。

本自律航行装置の性能を検証するため、新潟市西区の広通川を対象に長距離（2,500 m）での連続航行実験を行った（図7）。走破に要した時間は40分程度で、速度は常に一定（1 m/s）であった。途中、緩やかなカーブは問題なく通過した一方、8つある橋梁のうち、最も大きな橋梁では位置情報信号を更新不可となり、ファンが停止し、短時間漂流したが、通過後は自律航行のルートに復帰した。そのため、水上ドローンは流下方向を進行方向とした航路設計が望ましいことが示唆された。

この結果から、新たに開発した自律航行装置は、十分に実用に資するものであることが確認された。

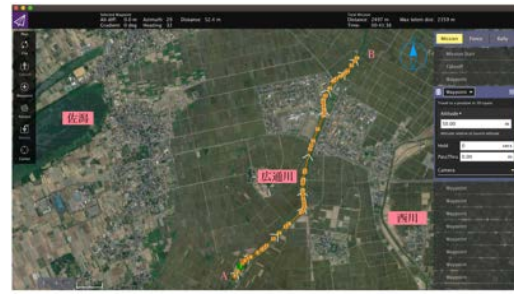


図7 排水河川における自律航行経路の設計

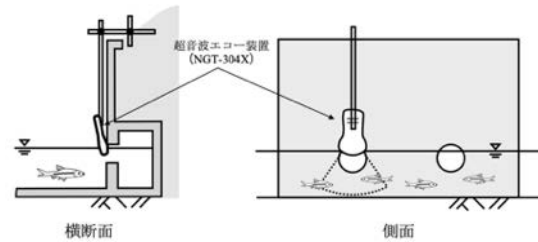


図8 超音波エコー装置の設置方法

### (3) 事例地区の生態系配慮施設の機能評価

新潟県新潟市西蒲区の排水路に施工された魚巢ブロックを対象に定点観測を実施した。魚巢ブロックの内部に魚類が移動するための孔の上部に超音波エコー装置を固定し、魚巢ブロックを利用する生物を撮影した（図8、図9）。撮影は朝、昼、夜、それぞれ2時間ずつ行った。その結果、超音波エコー装置の出力映像（以下、超音波映像）は、魚や他の水棲生物が魚巢ブロックを利用する様子を鮮明に捕捉することができた。また、前述のカスケード分類器を用いて、魚類が自動検出されたフレーム数から魚巢ブロックの利用時間を推定した。その結果、朝は約55秒間、昼は約35秒間、夜は約2205秒間であり、魚類は夜間に魚巢ブロックを利用することが確認された。



図9 現地試験の様子

### (4) 生態系配慮施設の戦略的整備手法の構築

コロナ禍の影響もあり、遠方での配慮施設の調査ができなかったこともあり、申請時に企画していた多数地点での開発手法の適用に基づく「戦略的整備手法の構築」は十分に行うことができなかった。一方で、前述の通り勤務地近傍での調査の結果、少なくとも配慮施設の一つである魚巢ブロックについては、実際に魚類の生息に貢献することが明らかになった。また、本研究課題で構築した技術を利用し、多地点での観測を実施し、情報量を増やすことで戦略構築に繋がるものが革新できた。本研究期間終了後に、民間企業との共同研究契約を締結したことから、構築した基礎的な技術を用いて、継続して研究を行う予定である。

#### <引用文献>

- 1) 佐藤太郎：アンケート調査による道府県営土地改良事業における生態系配慮の実態について、環境情報科学学術研究論文集, 28, 2014, 131-136.
- 2) 守山拓弥・藤咲雅明・水谷正一・後藤章：新設された魚道における魚類の遡上が上流の農業用小河川の魚類相におよぼす影響, 245, 2006, 805-806.
- 3) 佐藤太郎・佐藤学・稲垣雅則・佐藤武信・安実千恵・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土壌の遡上との関係, 農村計画学会誌, 26(4), 2008, 433-440.
- 4) 佐藤太郎・東淳樹：農業用小河川における生態系に配慮した排水路改修が魚類相と生息環境に及ぼす影響, 野生生物保護, 9(1), 63-76, 2004.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 梅木信尚・吉川夏樹・佐藤太郎・元永佳孝・本間航介・宮津進・河村哲・長井裕
2. 発表標題 改良型超音波エコー画像装置を用いた魚類資源量分布の調査手法に関する研究
3. 学会等名 2019年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Motonaga, N. Yoshikawa, T. Sato, N. Umeki, K. Homma
2. 発表標題 Development of Underwater Biological Resource Assessment System Using a Boat with Automatic Navigation System and an Ultrasound Imaging Sensor
3. 学会等名 AFITA/WCCA 2018 Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本間航介・佐藤太郎・梅木信尚・元永佳孝・吉川夏樹
2. 発表標題 超音波画像診断装置を用いた水田ピオトープでの水生生物探査手法の確立
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Motonaga, N. Yoshikawa, T. Sato, N. Umeki, K. Homma
2. 発表標題 Development of Underwater Biological Resource Assessment System Using a Boat with Automatic Navigation System and an Ultrasound Imaging Sensor
3. 学会等名 AFITA/WCCA 2018 Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本間航介・佐藤太郎・梅木信尚・元永 佳孝・吉川夏樹
2. 発表標題 超音波画像診断装置を用いた水田ピオトープでの水生生物探査手法の確立
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	本間 航介 (Honma Kosuke)  (50323960)	新潟大学・佐渡自然共生科学センター・准教授  (13101)	
研究分担者	元永 佳孝 (Motonaga Yoshitaka)  (60334653)	新潟大学・自然科学系・准教授  (13101)	
研究分担者	満尾 世志人 (Mitsuo Yoshito)  (90736951)	新潟大学・佐渡自然共生科学センター・准教授  (13101)	
研究分担者	宮津 進 (Miyazu Susumu)  (30757844)	新潟大学・自然科学系・助教  (13101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------