

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03886

研究課題名（和文）水利システムが創出する生態水理環境の動的解析手法の開発

研究課題名（英文）Dynamic modelling of ecohydraulic environment of an irrigation system

研究代表者

福田 信二（Fukuda, Shinji）

東京農工大学・（連合）農学研究科（研究院）・准教授

研究者番号：70437771

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、水路や河川を対象とする生態水理学的調査と数理解析に取り組んだ。具体的には、基礎データの収集により、非定常流況解析システム開発に向けた基盤を整備するとともに、淡水魚の空間分布モデルに必要な基礎情報を収集した。調査では面的な水理調査を実施し、解析面では主要な河道や水路網の解析には非一様断面開水路1次元非定常流解析を適用し、必要に応じて平面2次元水理モデルを適用することにより、魚類生息環境の質と多様度を定量的に評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、現地調査からデータ処理、各種数理解析に基づく環境評価に至るプロセスを提示した。研究成果としては、水理モデルと生息場適性モデルの統合を基軸としており、機械学習の応用によりデータ駆動型生息場適性モデルを構築し、対象種の空間分布の高精度モデル化した点に特長がある。今後は、各種データの集積に伴い、様々な要素モデルの開発と高度化が進行することが予想されることから、本研究の成果はデータ駆動型解析手法の発展に寄与するものである。

研究成果の概要（英文）：This study aimed at the development of a framework for simulating the dynamics of water flows and fish behaviours in irrigation channels and rivers. We conducted a series of field surveys and numerical analysis on fish ecohydraulics, in which advanced measurement methods such as acoustic Doppler current profiler (ADCP) were employed to measure high resolution hydrodynamic data. Data-driven models using machine learning were employed for modelling fish species distributions and its dynamics. Process-based models were used for modelling 1D or 2D hydrodynamics in the target reach, based on which habitat heterogeneity was assessed in order to link it with species richness.

研究分野：生態水理学

キーワード：農業水利 水工水理学 水圏現象 生物多様性 データ駆動モデル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

日本は、亜熱帯から亜寒帯までの広い気候帯に属しており、それぞれの地域で、その気候風土に適応した農林水産業が多様に発展してきた。そして、四季折々の風土に根ざした形で、地域特有の景観や自然環境を形成・維持し、特有の生物多様性保全に大きな役割を果たしている。一方、経済性や効率性を優先した農地や水路の整備、農薬・肥料や生活排水等による水質の悪化や外来生物の侵入等が相まって、野生動物の生息環境が劣化し、生物多様性の低下が進行している。そのため、持続可能な農林水産業の実現と生物多様性保全に資する技術開発は喫緊の課題である。

農業生産性の向上のために形成された水利システムは、河川～取水堰～水路～水田等で構成されており、水を介して生態系との有機的なネットワークを形成している。例えば、魚類は生活史を完結するために、産卵場、生育場、摂餌場、避難場等のように、生活史の各段階に応じた空間として、農業農村環境を利用してきた。近年、水田域の魚類に関する研究が集積しつつあるが、各生活段階の舞台となる空間と魚との相互作用に関する研究は非常に少ない。そのため、全生活史を通して、水利システムが創出する水環境と魚との有機的な結びつきを解明する研究が強く望まれている。このような研究は、魚類の保全だけでなく、地域資源の持続的な開発と利用に大きく貢献できることから、農業基盤の整備を担う農業農村工学分野が果たす役割は大きい。

### 2. 研究の目的

本研究では、「水利システムが創出する生態水理学的環境の動的解析手法の開発」に向けて、以下の課題に取り組む。まず、水利システム内の複雑なネットワークの非定常流況シミュレータを開発し、流況ダイナミクスの再現を目指す。続いて、現地調査により魚類の時空間分布情報を収集し、それに基づく種分布モデルを構築する。その際、人工知能や機械学習等を援用してモデルを高精度化する。さらに、統合生態水理シミュレータを用いた水域ネットワークの健全性評価に向けて、保全・修復シナリオを検討する。これにより、生物多様性保全と農業生産性向上の両立を可能にする持続可能な水システム設計と操作・管理のための動的生態水理解析システムの開発に向けた基礎的な知見が得られる。

### 3. 研究の方法

本研究の研究対象地は矢川とした(図1)。魚類相調査および物理環境調査は、対象水域内に設定した15地点の調査区(区間長10m)の上下流端に定置網を設置した後に、タモ網を用いて魚類を採捕した。魚種の同定および全長・体長の計測後に、5m間隔の3横断面上の等間隔な5測点において、水深と流速を計測するとともに、河床材料と植生の被覆度を記録した。魚類移出入調査は、矢川下流端から約200m上流部に定置網を設置し、朝夕に1回ずつ、遡上もしくは降下した魚類を採捕した。また、約10m上流部の計測断面において、流量を計測した。調査期間は、2018年4月から2020年3月とした(瀬切れ期間を除く)。以上の定期調査に加えて、矢川全体の河床地形を把握するための地形測量を2018年5月に実施した。測量は、前述の定期調査区内の45断面を含む計108横断面内の7点~15点設定された測点において実施し、水深と流速、植生被度、河床材料割合を記録した。



図1 研究対象水域

魚類移動個体数推定モデルは、ランダムフォレストにより構築し、説明変数は流量、月齢、日長、日降水量、相対水温差とし、応答変数は捕獲個体数の対数変換値とした。変数の重要度と応答曲線から、移動に影響する環境条件について解釈した。また、一次元水理モデルによる不等流計算法では、流量に応じて上流・中流・下流に区分し、それぞれについて境界条件を設定して、各計算断面の水位・流量・断面平均流速を算出した。魚類生息場モデルは、魚類相調査のデータを用いて、断面平均水深および断面平均流速からランダムフォレストでモデル化した。

#### 4. 研究成果

魚類相調査結果から、ホトケドジョウは6月から8月、カワムツは9月と10月、ヒメハヤ属は6月と7月に捕獲数が多かった。また、ホトケドジョウは上流部と下流部、カワムツとヒメハヤ属は中流部の調査区で多く捕獲された。また、魚類移出入調査結果から、ホトケドジョウは6月から8月、カワムツは7月から9月、ヒメハヤ属は4月と7月に移動個体が多く捕獲された。

移動個体数推定は良好な再現性を示し、対象種の移動方向・成長段階によって移動を引き起こす環境要因に差異がみられた。ただし、魚類の移動ピークを捉えられていない可能性があり、より詳細な解析のためには集中的な調査が必要である。

一次元水理解析の再現結果を図2に示す。水位は良好に再現されたが、流量は全ての計算断面で過小評価となった。断面平均流速および断面平均水深は概ね良好な結果となっており、矢川が有する水理学的環境特性を捉え、解析期間の流況を再現できたと考えられる。

魚種別生息場モデルは、2変数にも関わらず高い再現性を示した(正答率=99%)。これは、解析に用いたデータ数が十分多かったことと、類似した環境条件であっても、ランダムフォレストによって在/不在を判別できたことが理由として考えられる。続いて、魚類生息場モデルを一次元水理解析結果へ適用し、調査月ごとの分布状況を推定した結果(図3)、流況変化に伴う対象種の増減がある程度再現された。しかしながら、魚類相調査結果や直前直後の移出入調査結果を考慮すると、在を過大評価した可能性が示された。これは、水深と流速のみでモデルを構築したため、魚類の分布に影響する他の要因(植生や水面カバーの有無、水温など)を考慮できていないことが原因として考えられる。

今後は、流速の横断面分布を用いた準二次元水理解析への拡張など、計測から生息環境評価と予測までを網羅した統合生態水理モデルへの拡張が課題である。

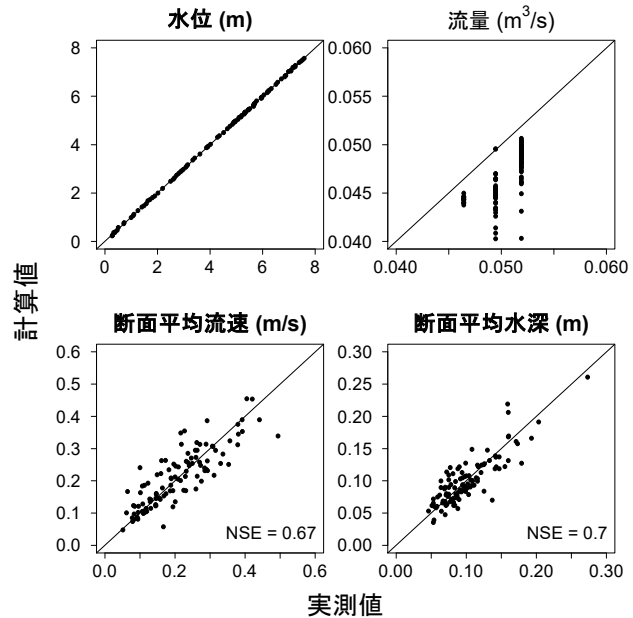


図2 水理解析検証結果

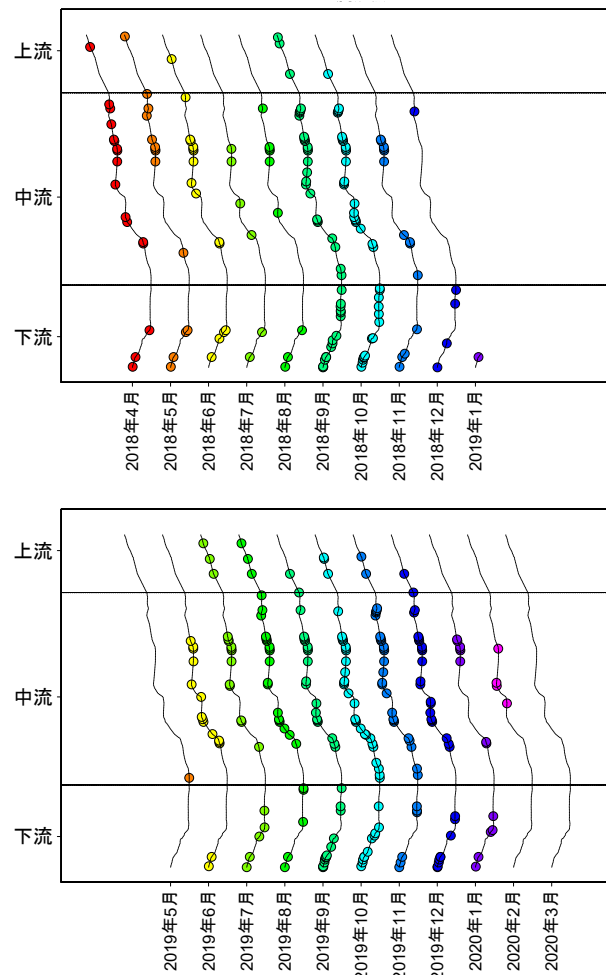


図3 ヒメハヤ属成魚の推定分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Garcia-Vega, A., Fuentes-Perez, J.F., Fukuda, S., Kruusmaa, M., Sanz-Ronda, F.J., Tuhtan, J.A.	4. 巻 65
2. 論文標題 Artificial lateral line for aquatic habitat modelling: An example for Lefua echigonia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ecological Informatics	6. 最初と最後の頁 101388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecoinf.2021.101388	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 松澤優樹・福田信二・大平 充	4. 巻 76(2)
2. 論文標題 都市湧水河川におけるホトケドジョウ未成魚の生息環境評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_1321-I_1326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.76.2_I_1321	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 福田信二・青木興成・松澤優樹	4. 巻 76(2)
2. 論文標題 ホトケドジョウの臨界遊泳速度と粗石による生息環境修復効果の定量評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_1327-I_1332
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.76.2_I_1327	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Garcia-Vega Ana, Fuentes-Perez Juan Francisco, Fukuda Shinji, Kruusmaa Maarja, Sanz-Ronda Francisco Javier, Tuhtan Jeffrey A.	4. 巻 65
2. 論文標題 Artificial lateral line for aquatic habitat modelling: An example for Lefua echigonia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ecological Informatics	6. 最初と最後の頁 101388 ~ 101388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecoinf.2021.101388	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yokota Kazuya、Matsuzawa Yuki、Fukuda Shinji、Takada Hideshige、Mizukawa Kaoruko	4. 巻 806
2. 論文標題 Species-specific debromination of BDE99 in teleost fish: The relationship between debromination ability and bioaccumulation patterns of PBDEs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science of The Total Environment	6. 最初と最後の頁 151265 ~ 151265
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scitotenv.2021.151265	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 笠原太一・福田信二・木村匡臣・浅田洋平・乃田啓吾	4. 巻 掲載決定
2. 論文標題 石垣島宮良川流域の物理環境および魚類相の流程分布と河川横断構造物の影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集G (環境)	6. 最初と最後の頁 掲載決定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 相原 星哉・福田 信二	4. 巻 88(1)
2. 論文標題 群集解析と生息場モデルに基づく魚類の生息環境評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 I_93-I_103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11408/jsidre.88.I_93	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松澤優樹・福田信二・大平充	4. 巻 75(2)
2. 論文標題 ランダムフォレストを用いたホトケドジョウの生息環境評価モデルの構築	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_541-I_546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 De-Miguel-Gallo, M., Martinez-Capel, F., Munoz-Mas, R., Aihara, S., Matsuzawa, Y., Fukuda, S.	4. 巻 4(2)
2. 論文標題 Habitat evaluation for the endangered fish species Lefua echigonia in the Yagawa River, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Ecohydraulics	6. 最初と最後の頁 147-157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/24705357.2019.1614886	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 福田信二・大平充	4. 巻 87(7)
2. 論文標題 定点観測からみた府中用水の生態水理環境	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業農村工学会誌 水土の知	6. 最初と最後の頁 551-554
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 De-Miguel-Gallo, M., Martinez-Capel, F., Munoz-Mas, R., Aihara, S., Matsuzawa, Y., Fukuda, S.	4. 巻 in press
2. 論文標題 Habitat evaluation for the endangered fish species Lefua echigonia in the Yagawa River, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Ecohydraulics	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/24705357.2019.1614886	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 福田信二	4. 巻 13
2. 論文標題 新しい計測技術が拓く生態水理学	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 92-94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計32件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 近藤雅人・福田信二
2. 発表標題 矢川におけるカワムツの降下・遡上実態の解明
3. 学会等名 2019年度応用水理研究部会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笠原太一・福田信二・木村匡臣・乃田啓吾
2. 発表標題 宮良川における優占魚種および塩分濃度の流程分布に関する基礎調査
3. 学会等名 2019年度応用水理研究部会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中智大・福田信二
2. 発表標題 超音波多層流向流速計による高解像水理計測に基づく 魚類生息環境評価の試み
3. 学会等名 2019年度応用水理研究部会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 相原星哉・福田信二
2. 発表標題 水生植物の形態を考慮した魚類の生息環境解析
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 福田信二
2. 発表標題 府中用水と矢川における長期生態水理調査
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 Fukuda, S.
2. 発表標題 Use of fish movement tracks in environmental sciences
3. 学会等名 IMI共同研究プロジェクトワークショップ「数理農学における時系列データのモデル化と解析」(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fukuda, S., Tuhtan, J.
2. 発表標題 Tracking swimming Lefua echigonia to assess the impact of crayfish introduction
3. 学会等名 10th International Conference on Ecological Informatics (ICEI2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Aihara, S., Fukuda, S.
2. 発表標題 Fish habitat assessment based on instream flow conditions and aquatic vegetation assemblage
3. 学会等名 12th International Symposium on Ecohydraulics (ISE2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年



1 . 発表者名 Fukuda, S., Aihara, S., Ohira, M.
2 . 発表標題 Importance of small streams: four-year monitoring of instream flow and fish fauna in an irrigation channel
3 . 学会等名 12th International Symposium on Ecohydraulics (ISE2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Ohira, M., Fukuda, S.
2 . 発表標題 Fish species turnover along hydraulic heterogeneities: designing environmental flows for species co-existence in an irrigation channel network
3 . 学会等名 12th International Symposium on Ecohydraulics (ISE2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 De Miguel Gallo, M., Martinez-Capel, F., Fukuda, S., Kajisa, T.
2 . 発表標題 Application of SEFA, system for environmental flow analysis, to assess the habitat availability for competing fish species in a spring-fed urban stream in Tokyo, Japan
3 . 学会等名 12th International Symposium on Ecohydraulics (ISE2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Munoz-Mas, R., Fukuda, S., Schneider, M., Mouton, A.M., Martinez-Capel, F.
2 . 発表標題 Expert-knowledge or data-driven fuzzy models? A comparison employing the brown trout ( <i>Salmo trutta</i> L.)
3 . 学会等名 12th International Symposium on Ecohydraulics (ISE2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 福田信二
2. 発表標題 データ駆動モデルによる生物の空間分布解析
3. 学会等名 平成30年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 相原星哉・福田信二
2. 発表標題 水生植物群落の機能と構成に基づく生息環境解析
3. 学会等名 平成30年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村匡臣・福田信二
2. 発表標題 携帯型投げ込み式CTD 計を用いたメコンデルタ水路網における塩分観測
3. 学会等名 平成30年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田信二・木村匡臣
2. 発表標題 メコンデルタ水路網における塩分濃度と魚類相に関する基礎調査
3. 学会等名 平成30年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 船越 寛・相原星哉・福田信二
2. 発表標題 水生植物による流速低減効果に関する野外調査と室内開水路実験
3. 学会等名 平成30年度応用水理研究部会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤雅人・福田信二
2. 発表標題 矢川の網羅的水理解析に向けた地形測量と生態水理調査
3. 学会等名 平成30年度応用水理研究部会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田 信二
2. 発表標題 府中用水と矢川における生態水理調査概要
3. 学会等名 平成30年度応用水理研究部会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 相原 星哉・福田 信二
2. 発表標題 群集解析と生息場モデルを用いた淡水魚類の生息環境評価手法の比較検討
3. 学会等名 平成30年度応用水理研究部会講演会
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Fukuda, S.
2 . 発表標題 Habitat assessment in an irrigation system conjoint with a spring-fed stream
3 . 学会等名 5th ISRS symposium (ISRS2017) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Fukuda, S., Aihara, S.
2 . 発表標題 Random forests for instream fish habitat modelling using high resolution ecohydraulic data
3 . 学会等名 The International Society for Ecological Modelling Global Conference 2017 (ISEM2017) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Aihara, S., Fukuda, S.
2 . 発表標題 Data-driven habitat modelling of aquatic flora in the Fuchu Yosui Irrigation System
3 . 学会等名 The International Society for Ecological Modelling Global Conference 2017 (ISEM2017) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Matsuzawa, Y., Fukuda, S.
2 . 発表標題 Can multiclass classification be useful for data-driven habitat modelling in a small spring-fed river?
3 . 学会等名 The International Society for Ecological Modelling Global Conference 2017 (ISEM2017) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Matsuzawa, Y., Ohira, M., Fukuda, S.
2. 発表標題 Microhabitat modelling for an endangered freshwater fish, Lefua echigonia, in a spring-fed urban stream
3. 学会等名 38th IAHR World Congress (IAHR2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fukuda, S., Ohira, M.
2. 発表標題 Data-driven habitat modelling using high resolution ecohydraulic data in an agricultural canal
3. 学会等名 IFSA2017/SCIS2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福田信二
2. 発表標題 簡易GPS機器を用いた小河川の流速分布解析
3. 学会等名 平成29年度農業農村工学会応用水理研究部会講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 相原星哉・福田信二
2. 発表標題 府中用水の水生物相の季節変化
3. 学会等名 平成29年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 相原星哉・福田信二
2. 発表標題 クラスタリングを用いた府中用水の水生植物相と魚類相の生息環境解析
3. 学会等名 平成29年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松澤優樹・青木興成・福田信二
2. 発表標題 室内開水路実験によるホトケドジョウの臨界遊泳速度の定量評価
3. 学会等名 平成29年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大平 充・福田信二
2. 発表標題 農業水路における魚類群集と微生物環境
3. 学会等名 平成29年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福田信二・Jeffrey Tuhtan・Juan Francisco Fuentes Perez・Maarja Kruusma
2. 発表標題 高速度センサーを用いたホトケドジョウの生息環境評価
3. 学会等名 平成29年度農業農村工学会大会講演会（招待講演）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室ホームページ  
<http://shinjifukuda-medaka.com/>

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	木村 匡臣  (KIMURA MASAOMI)  (80725664)	近畿大学・農学部・講師    (34419)	

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
---------	---------