

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月10日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22380133

研究課題名（和文） 生態系配慮施設が持つリスクを軽減する維持管理手法の開発

研究課題名（英文） Development of maintenance means that mitigates risks of ecosystem conservation facilities

研究代表者

森 淳 (MORI ATSUSHI)

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所・資源循環工学研究領域・
上席研究員

研究者番号：10414418

研究成果の概要（和文）：

生態系配慮施設は生物多様性の保全に寄与する一方で、堆積が水路の機能を低下させたり、物質フローの均質化をもたらすことが確かめられた。

本研究では水路内の遷移を計測する手法をいくつか開発した。

江払い、草刈りは重労働であることが確かめられ、高齢化の進む農村部では生態系配慮施設の導入に対する障害となり得ると考えられる。

遺伝的多型を持つ集団が局所的に生息していることが確認された。

生態系配慮施設を造成する際に必要な条件は以下の通りである。

- 1) 流域の土地利用など上流からの土砂供給量を決定する要因に配慮すべきである。
- 2) 人力による維持管理能力に応じて、近自然的工法と従来工法の組み合わせを検討する必要がある。
- 3) 水路のネットワーク化を進める時、個体群内の遺伝的特性を考慮する必要がある場合がある。

研究成果の概要（英文）：

It was confirmed that ecosystem conservation facilities pose depression of canal ability and homogenization of material flow in canals, although it contribute largely to conserve biodiversity. Some methods were developed to measure transition of ecosystem. It became clear that to shovel dirt and to cut grass were heavy labor for farmers. Shoveling and cutting would be obstacles to introduce ecosystem conservation facilities to aging rural area. Inhabitation of small group that had genetic polymorphism locally was observed.

Requirement for construction of ecosystem conservation facilities are as follows.

- 1) To consider environmental elements, for example land use in upper reaches, that determine quantity of sediment is important.
- 2) It is necessary to examine combination of Semi-natural construction method and traditional method depending on the maintenance ability by humans.
- 3) To consider genetic characteristics may be needed for networking of canals.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2011年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2012年度	2,800,000	840,000	3,640,000
総計	12,300,000	3,690,000	15,990,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：生態系配慮、安定同位体比 DNA、植物群落、維持管理

1. 研究開始当初の背景

近年、水田や水路などの二次的自然を保全しながら生産・生活基盤を整備するための研究が進められている。その成果を活用しながら農業農村整備事業の生態系配慮対策は順調に広がりを見せているが、一方で新たな課題・リスクも明らかになりつつある。

その一つは生態系の遷移に伴うリスクである。配慮施設内の環境は、たとえ竣工直後は健全な生態系が創出されたとしても、時間の経過とともに環境要素が不可逆的に遷移して環境が均質化し、生物相が劣化する事例がみられる。特に底質が細粒化・半固結した場合、特殊な環境に適応可能な少数の水生生物のみが優占する生態系に陥ることがある。

さらに攪乱のリスクも存在する。ビオトープネットワークの断点が修復され個体群の移動分散の範囲が拡大すると、個体群消滅のリスクが軽減される一方で、種間相互作用と群集構造の変化をもたらすだけでなく、遺伝的グループの構造に影響を与える恐れがある。農業農村整備事業において生態系配慮施設の造成が進むなか、施設が持つリスクを分析し適切な生態系配慮を実施する必要がある。

2. 研究の目的

農業農村整備事業などにより農業水利施設の生態系配慮施設が造成されているが、導入前には想定されないリスクが存在することが明らかになりつつある。一つは生態系の遷移の過度な進行により健全な生態系が持続しないリスク、一つはネットワーク化により遺伝子の多様性が消失するリスクである。本研究では、維持管理されない水路と維持管理される水路における生態系の遷移を把握することにより維持管理と生態系の健全性の関係を明らかにし、またネットワーク化による遺伝子攪乱のモデル予測等を通じて、これらのリスクを軽減するための維持管理手法を立案する。

(1) 環境配慮施設（二面張り水路）における底質の変化を把握し魚類・ベントス相の把握と遷移を観測する。特に水路における堆積を簡易に計測する手法を開発し、今後の農業農村整備事業における、より適切な配慮施設の提案につなげる。また、水域環境の変化と生物界との相互作用の変化を把握するため物質フローに着目し、ベントスを中心とする炭素・窒素安定同位体比の解析を用いた物質フローの特性を解明する。

(2) リセットされた環境配慮施設における植物群落遷移の評価手法の開発を行う。具体的には、カメラおよび各種センサと通信装置を一体化した屋外用の簡易計測機器システムである FieldServer に改良を加え、圧力式水位センサを組み込み、また太陽光パネルでの電源供給による自律型システムを構築し、環境配慮型水路における植生や流況などの常時モニタリングを実現する。

(3) 農業用排水路と畦畔の維持管理労力を明らかにするとともに、圃場整備前後による維持管理面積の変化を定量的に評価する。具体的には、農業排水路の泥上げ作業と畦畔法面における草刈り作業の管理労力を定量的に評価するとともに、その規定要因を明らかにする。また圃場整備前後における維持管理面積の変化を客観的に評価する。

(4) 魚類等の遺伝的多様性のネットワーク化による攪乱の評価手法の開発を行う。具体的には、農業農村整備事業における生態系配慮の実施地区を対象に、魚類の遺伝的多型を分析する。分析した遺伝的多型の頻度や地理的分布等を考慮して、注目すべき遺伝的グループを特定する。

3. 研究の方法

(1) 農業農村整備事業における生態系配慮の実施地区である岩手県奥州市胆沢区小山の原川排水路を対象とし、浚渫後の水路にて土砂の堆積状況や植生の遷移をモニタリングした。

浚渫後から進みつつある土砂の堆積量を継続的に測量し、遷移を把握した。加えて水路の画像から堆積状況を定量的に評価する手法として画像解析システムを現地に適用した。

また水域環境の遷移に伴う魚類やベントス相の変化を把握する生物調査を実施し、炭素・窒素同位体比の変化を解析し、水域環境の多様性およびその変化と物質フローの関係を解析した。分析には Thermo Electric 社製の質量分析計 DELTA plus Advantage（前処理：Flash EA-ConFloIII）を用いた。

(2) 流況や河道も常時、遠隔で監視できるシステムとして農研機構が開発した FieldServer を利用することとした。FieldServer には、ネットワークカメラ（Panasonic BB-HCM715）が搭載され、左右旋回（173°）、上下チルト（104°）、ズーム（×6）が、WiFi ルーターおよびデー

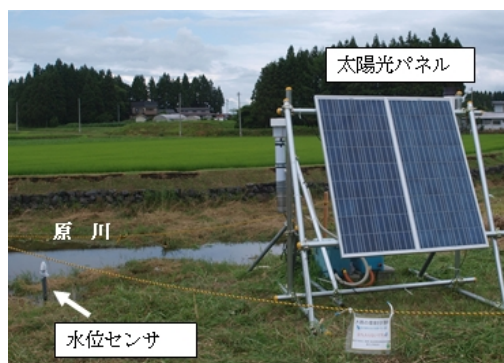


図1. 開発したモニタリングシステム

タ通信カードを経由して、遠隔操作が可能である。また、センサ入力部として16チャンネルが用意されており、今回のモニタリング目的のため、温度センサ (S-8100B) および水位計 (豊田工機 TD4000-12-03) を接続した。センサからの入力値 (mV) は、データ収集プログラムであるフィールドサーバ・エージェントを通じて記録され、インターネット経由にてサーバーに送られる。記録のインターバルは、60min とし、夜間も計測を行った。また、電源部として12Vディープサイクルバッテリーを4機連結したボックスを設置し、2枚の太陽光パネル (SUNTECH STP135-12/Tb (135W)) から充放電コントローラー (Morning Star SS-10L-12V) を通して充電を行う自律的システムを開発した (図1)。

(3) 農業農村整備事業によって生態系配慮型の施設整備が行われた栃木県宇都宮市のA地区、栃木県市貝町のB地区を事例地区に選定した。A地区では江払い作業と溝畔法面の草刈り作業を2011年1月に、B地区では畦畔・溝畔法面の草刈り作業を2011年8～9月に実施し、その管理労力を心拍数の関数である%HRRとRMRにて評価するとともに、作業時にかかるストレスを唾液アミラーゼ値によって評価した。属性の異なる被験者に心拍計を装着させ各試験区において管理作業を実施させた。なお江払い作業にはスコップを、草刈り作業には刈り払い機を用いた。また管理労力とストレスの規定要因を明らかにするために%HRRとRMR、アミラーゼ値を目的変数に、環境条件と被験者の作業動作を説明変数とする重回帰分析を施した。

圃場整備前後における維持管理面積の定量化については、2012年度に圃場整備が施工された栃木県市貝町のB地区 (IおよびII工区) を対象地区に選定した。維持管理面積は長辺方向の畦畔と溝畔の草刈り面積を対象として、市販のGISソフトを用いて算出した。整備前の圃場形状と畦畔・水路の断面データは、現地にて電子平板測量を行い、圃場

整備後の圃場形状・畦畔断面のデータは、事業主体から入手した。

(1) 農業農村整備事業における生態系配慮の実施地区として、岩手県奥州市のいさわ南部を選定した。当該地区の原川には幅広水路や急流落差工等の生態系配慮施設が施工され、一部の区間においては現況が保全されている。また、原川の比較として、近隣の白鳥川と北股川も調査対象に含めた。

遺伝的多型分析はドジョウを対象に行った。2011年5～11月にかけて、原川の6地点で計129個体、白鳥川の6地点で計156個体、北股川の1地点で34個体を分析サンプルとして採捕した (図1)。分析には各個体の尾鰭の一部を切除し、100%エタノールで固定したものを用いた。

遺伝的多型分析では、ミトコンドリアDNAのシトクローム*b*遺伝子と核DNAのマイクロサテライト遺伝子座をマーカーとして利用した。各個体の尾鰭サンプルからDNAを抽出し、各マーカー所定のプライマーを用いてPCR増幅を行った。シトクローム*b*遺伝子については塩基配列を決定し、配列の種類 (ハプロタイプ) とその頻度を特定した。マイクロサテライト遺伝子座については遺伝子型を決定し、対立遺伝子数とヘテロ接合度を算出後、遺伝集団構造を解析した。

4. 研究成果

(1) いさわ南部地区の原川排水路における継続的な測定の結果、堆積量は浚渫後4年目で増加しなくなった。浚渫前の堆積量は不明であるが、当時の画像から判断してほぼ同じ堆積状態に収束したと考えられる。

通水断面の阻害率を試算したところ10年確率の降雨量に十分耐えることが明らかになった。また竣工後の洪水痕跡から推定した最高水位からも、溢水は想定されないと判断した。

土砂の堆積量は流域の土地利用の影響を受けるから、施設計画を樹立するにはこれを考慮する必要がある。

複数の水路横断面のうち、陸化に至っていない湿地など多様な環境を含む横断面は、遷移が進まない均質な水路横断面や、遷移が進んだ横断面より水生動物の多様性指数が大きかった。生態系配慮型水路では、悉皆的な土砂上げ・草刈りをする場合、逆に管理できず遷移が進む場合は種多様性が小さくなると考えられる。

物理的・生物的環境が複雑な横断面で採取されたユスリカの炭素安定同位体比の標準偏差は大きく、評価指標の一つとなり得ることが示された。

環境配慮型水路における魚類の炭素・窒素安定同位体比は、遷移が進んだり多様な生態

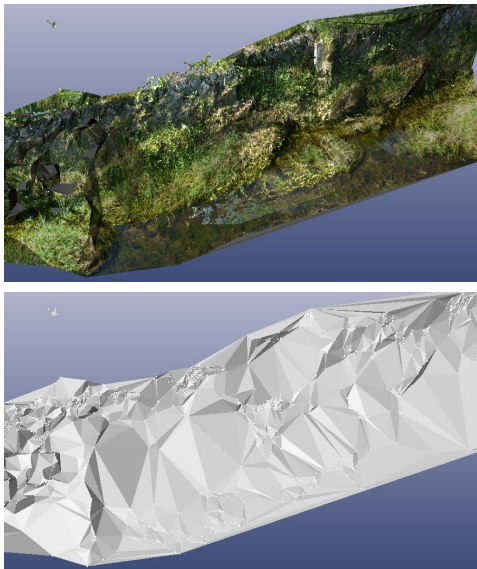


図2 堆積の状況（上）と画像処理した結果（下）

系を含む場合、分布域が広がるなど固有性を示すことが明らかになった。このため、たとえば溜池と水路の組み合わせの水利施設系においては炭素・窒素安定同位体比は固有の環境条件の影響を受けるため遷移の指標となりにくい。単調・均質的な生息環境においては炭素・窒素安定同位体比は遷移の状態を評価する手法として用いることができる。

インターバルレコーダーと画像解析ソフトを組み合わせることにより、農業水路における土砂の堆積状況を計量する手法を開発した（図5）。これを利用して、環境配慮型水路における堆積予測システムを開発することが可能と考えられる。

(2)原川水路に設置した FieldServer によるモニタリングシステムを図1に示した。また、2011年8月1日から約15日おきの9時に同じ画角で撮影した水路状況を図6に示した。写真奥が上流である。右岸・左岸および水位計設置付近のよどみにはクサヨシやヨシなどのイネ科草本群落が見られるが、FieldServer 設置の直前に草刈りを行っているので、8月1日には刈り残された草しか目立たない。しかし、1ヶ月も経過するとヨシやマコモなどの草勢が回復し、兩岸を覆うほど群落が拡大することがわかる。モニタリングの結果、夏生イネ科植物の群落のピークは9月中旬であることがわかった。9月下旬以降、夏草は枯れ始め、11月上旬には8月1日と同様の被覆程度となった。

また、同期間の水位の変動について図7に示した。通信環境の不安定のため、一部欠損値がみられたが、排水路水位は9月から11月中旬にかけて上昇傾向が続き、11月下旬以降、急激に低下する傾向が認められた。

当課題では、原川排水路において、流況や植生遷移のモニタリングシステムを開発し、遠隔操作によるデータ収集を可能としたが、通信環境の不安定さによるデータ欠損がみられ、安定したモニタリングを可能とするためには無線基地等の中継地点を設置するなどの対策が必要であった。今後、さらに改良を加えた水路植生等の遠隔モニタリングシステムの確立が望まれる。

(3) A地区におけるフィールド試験の結果、江払い作業・草刈り作業のRMRはいずれも「重労作」に該当していた。分析の結果、江払い作業については土の重量やスコップで浚う高さなどが、草刈り作業について被験者のBMIや機器操作の熟達度、心理的要因等がRMRを規定していることが示唆された。

B地区における草刈り作業についても、全作業の6割が中労作、約2割が重労作に該当していた。またRMRおよび%HR Rの値は、WBG Tの高い試験区や刈り上げ作業時に相対的に高くなる傾向が見られた。他方、アメリカ値については、作業内容と労働負荷との明確な傾向は認められず、唾液の採取・計測方法の見直しが必要と考えられた。重回帰分析の結果、WBG T・草丈・作業動作に有意差(5%水準)が認められ、これらが%HR Rを規定する重要な要因と考えられた。

B地区の圃場整備前後における耕区と畦畔の面積を算出した結果、耕作道や排水路の創出のため、耕区面積は2割程度減少していた。しかし区画の再編統合によって、一区画あたりの面積はI工区で約1.1倍、II工区で約2.0倍に増加し、畦畔の総延長は整備前と

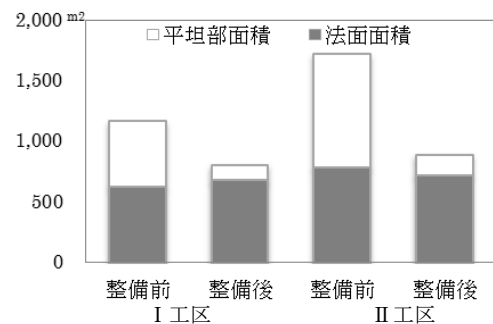


図3 工区ごとの維持管理面積と内訳

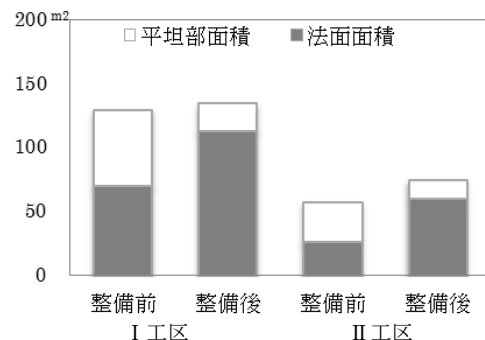


図4 一耕区あたりの維持管理面積と内訳

比較して4～5割程度減少、維持管理面積も3～5割程度減少していた。維持管理面積の内訳をみると、整備後の畦畔平坦部の面積は整備前よりも7～8割程度減少しているのに対し、法面面積には大きな変化は認められなかった(図3)。平坦部面積の顕著な変化は、整備前に1.0m程度あった畦畔天端が、整備によって0.3m幅に統一されたことが主な原因と考えられた。

維持管理面積を整備前後の耕区面積で除したところ、整備後の維持管理面積比は両工区ともに減少していたが、法面面積の占める割合は整備前よりも増加傾向を示した。また耕作者の労力負担の変化を類推するために、便宜的に耕区あたりの維持管理面積を算出した結果、こちらも微増傾向を示した(図4)。その内訳をみると両工区ともに平坦部面積は5～6割程度減少していたのに対し、法面面積はI工区で約1.6倍、II工区では約2.3倍に増加していた。これは区画の再編統合による圃区数の減少や、排水路の深掘による溝畔の大断面化などの影響と考えられた。なおこれらの値は、畦畔法面を単純な長方形とみなして計算していることや、一区画を個別の耕作者が管理するという仮定に立脚した値であり、一般的な傾向を把握するためには追加調査・分析が必要と考えられた。

(4)シトクローム *b* 遺伝子のハプロタイプとして、全サンプル(319 個体)の塩基配列データから19タイプが出現し、そのうち、8タイプはDNAデータベースに未登録の新規タイプであった。系統解析を利用して日本におけるドジョウの遺伝子タイプに当てはめた結果、ロシア系、中国系、在来系はそれぞれ2、1、16タイプとなり、当該地区は主として、在来系の遺伝子タイプをもつドジョウ集団と推定された。

次に、採捕地点別にハプロタイプを整理し、その出現頻度を比較した。結果として、各地点におけるハプロタイプ組成や分布に大きな偏りは見られず、特異的な傾向は確認できなかった。このことは当該地域の空間スケールが小さく、シトクローム *b* 遺伝子では地域の変異までを反映できないと考えられる。当該地域内における遺伝的差異を特定するためには、個体レベルでの変異を特定可能なマイクロサテライト遺伝子座による分析が必要と判断された。

マイクロサテライト遺伝子座についての分析では、5つの遺伝子座(Mac37、49、262、364、449)を利用した。全サンプルの遺伝子型データには、遺伝子座あたり19～31個の対立遺伝子が含まれ、このことは分析に用いた5つの遺伝子座が、遺伝的多型を調べるマーカーとして有効なことを示した。

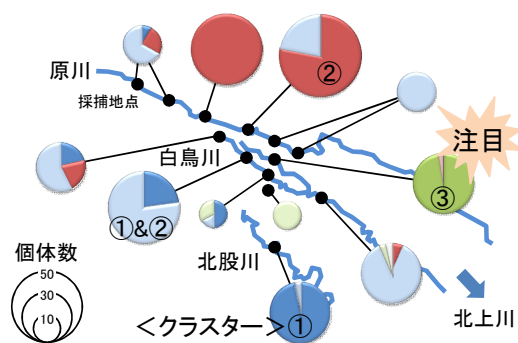


図5 採捕地点と遺伝集団構造

各採捕地点における対立遺伝子数は平均で5～16となった。対立遺伝子数が少ない地点では採捕個体数が少なく、対立遺伝子数が多い地点では採捕個体数が多い傾向が見られたため、対立遺伝子数の差は遺伝的多様性の劣化ではなく、採捕個体数に関連したものと推察された。

遺伝子型の頻度に基づき算出されるヘテロ接合度は、その期待値においてどの地点も平均で0.769～0.891と高く、同程度となった。さらに、これらの期待値と観測値(0.665～0.866)との間には有意差も認められなかった。先述の対立遺伝子数における見解を踏まえると、各採捕地点のドジョウの遺伝的多様性レベルは高く、近親交配等をはじめとする遺伝的問題は生じていないと考えられた。

次に、当該地区の遺伝集団構造を解明するため、遺伝的クラスター解析を実施した。結果として(図5)、当該地区は3つのクラスターによって構成され、各採捕地点の地理的配置やクラスター組成を考慮すると、原川と北股川の各集団は水系レベルで遺伝的に異なることが明示された。さらに、白鳥川は北股川と原川の混合集団と考えられ、当河川の1地点においては、河川固有の遺伝集団が局所的に存在することも明らかとなり、白鳥川における固有集団を特定することができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

- ① 森 淳、森岡伸介、小出水規行、Vongvichith, B、渡部恵司、西田一也、人為的攪乱を受けない環境における魚類の炭素・窒素安定同位体比特性-ラオス国農業水路系を例とする水域環境多様性の検討、農村工学研究所技報、査読有、214、1013年、197-208
- ② 森 淳、渡部恵司、小出水規行、竹村武士、西田一也、カエル類の保全に向けた築付き肋木式脱出工の開発、農業農村工学会誌、査読有、80(10)、2012年、823-526
- ③ 田村孝浩、加藤怜、守山拓弥、景観モデルを用いた新たな圃場整備計画手法に関

する考察、農業農村工学会誌、査読有、81(3)、2012、195-198

- ④ N. Koizumi、S. Morioka・T.W. Quinn・A. Mori・B. Vongvichith・K. Nishida・K. Watabe and T. Takemura, Isolation and characterization of 40 polymorphic microsatellite markers from *Parambassis siamensis*, *Conservation Genetics Resources*, 査読有, 4, 2012, 1031-1035
- ⑤ 森 淳、渡部恵司、小出水規行、西田一也、多様な流速を創出した水路における生産者の特徴農村工学研究所技報、査読有、212、157-166
- ⑥ 森 淳、小出水規行、竹村武士、渡部恵司、ユスリカ類の炭素安定同位体比を利用した農業水路の生物生息環境の把握、平成 22 年度農村工学研究所研究成果情報、査読有、39-40

〔学会発表〕(計 10 件)

- ① 森 淳、森岡伸介、小出水規行、渡部恵司、竹村武士、西田一也、ラオス国農業水路系における魚類の炭素・窒素安定同位体比特性、2012 年
- ② 鈴木正貴、竹村武士、森 淳、田代優秋、皆川明子、守山拓弥水田魚道の効果的な配置間隔の検討 2012 年 9 月 19 日、北海道大学
- ③ 嶺田拓也、森 淳、竹村武士、野外監視計測システム FieldServer を利用した環境配慮型水路のモニタリング、平成 24 年度農業農村工学会大会講演会、2012 年 9 月 19 日、北海道大学
- ④ 田村孝浩、水田畦畔における除草管理労力の定量化とその規定要因の解明、平成 24 年度農業農村工学会大会講演会、2012 年 9 月 20 日、北海道大学
- ⑤ 加藤怜・田村孝浩、G I S を用いた圃場整備の計画手法の開発、平成 24 年度農業農村工学会大会講演会、2011 年 9 月 20 日、北海道大学
- ⑥ 田村孝浩、農業排水路とその法面における維持管理労力の評価、平成 23 年度農業農村工学会大会講演会、2011 年 9 月 8 日、九州大学
- ⑦ 小出水規行、西田一也、渡部恵司、森 淳、竹村武士、いさわ南部におけるドジョウの遺伝子タイプ、平成 24 年度農業農村工学会大会講演会、2012 年 9 月 19 日、北海道大学
- ⑧ 小出水規行・森 淳・渡部恵司・西田一也・竹村武士・メダカ里親の会、ドジョウとカラドジョウを見分ける関数式の作成、活動・研究発表会「あつまれ！自然好き」、2012 年 2 月 26 日、栃木県立博物館
- ⑨ 小出水規行・森 淳・渡部恵司・西田一

也・竹村武士・メダカ里親の会、遺伝子解析による栃木県のドジョウの特徴について、活動・研究発表会「あつまれ！自然好き」、2012 年 2 月 26 日、栃木県立博物館

- ⑩ 森 淳、渡部恵司、竹村武士、小出水規行、水の流れの多様性による藻類相の違い平成 23 年度農業農村工学会大会講演会 2011 年 9 月 6 日九州大学

〔図書〕(計 1 件)

- ① Atsushi Mori, Analysis of Rural Ecosystem in Japan Using Stable Isotope Ratio, Applied Photosynthesis, Intech, 2012

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 淳 (MORI ATSUSHI)

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・資源循環工学研究領域・上席研究員

研究者番号：10414418

(2) 研究分担者

小出水 規行 (KOIZUMI NORIYUKI)

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・資源循環工学研究領域・主任研究員

研究者番号：60301222

嶺田 拓也 (MINETA TAKUYA)

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・農村基盤研究領域・主任研究員

研究者番号：70360386

田村 孝浩 (TAMURA TAKAHIRO)

宇都宮大学・農学部・准教授

研究者番号：20341729

(3) 連携研究者

竹村 武士 (TAKEMURA TAKESHI)

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・農村基盤研究領域・主任研究員

研究者番号：20373227

渡部 恵司 (WATABE KEIJI)

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・資源循環工学研究領域・研究員

研究者番号：50527017