

## 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 24 年 6 月 8 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21310149

研究課題名（和文）試験放鳥したトキの行動追跡に基づく生息適地評価と自然再生計画の検証手続き

研究課題名（英文）Evaluation of a suitable habitat for the crested ibis and the restoration scenario with satellite tracking of the re-introduced ibis

研究代表者

関島 恒夫（SEKIJIMA TSUNEO）

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：10300964

研究成果の概要（和文）：トキの再定着に向けた自然再生シナリオを完成させるため、トキの餌生物量、放鳥トキの営巣環境および採餌環境特性について予測モデルを構築し、それをもとに佐渡島におけるそれぞれのポテンシャルマップを作成した。これらの結果を佐渡島生物多様性地域戦略の中に反映させることで、自然再生シナリオの有効性を検証し、順応的な修正を実施するための仕組みを構築した。また、放鳥トキの個体群の確立を予測するため、存続可能分析を行い、現状の繁殖状況では存続が困難であることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：To complete a restoration scenario for the resettlement of the crested ibis, we created the potential maps for predicting prey biomass, nesting habitat, and foraging habitat of ibis, using generalized linear model. By reflecting this information on the Sado city's strategy for improving biodiversity, a system that verify effectiveness of restoration scenario and modify it sustainably could be built up. Next, in order to evaluate whether re-introduced population will persist for 50 years on Sado Island, population viability analysis (PVA) was conducted using population parameters of wild population in China and revealed that establishment of the re-introduced population on Sado island will be difficult under current fragile reproduction.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2010年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2011年度	2,500,000	750,000	3,250,000
年度			
年度			
総計	13,200,000	3,960,000	17,160,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：資源保全学・資源保全学

キーワード：保全生物

## 1. 研究開始当初の背景

トキは、山間部の水田や氾濫した小河川を生息の場とする典型的な里地生態系の水鳥で、かつては、シベリア東南部、朝鮮、

日本、中国東北部に広域に分布していた。しかし、狩猟や湿地の開墾などにより、1900年代初頭にはシベリア東南部で姿を消し、中国でも1960年以降、湿地の消失や河川の

汚染に加え、農薬の使用が追い打ちとなり、急速に減少し、その姿を見ることは出来なくなかった。我が国でも明治時代初期までは全国に広く分布していたが、狩猟による乱獲などにより急激に個体数を減らし、昭和56年、環境省の増殖計画の一環として行われた全頭捕獲をもって、日本国内の野生のトキは消失した。その後の人工増殖も成功にはいたらず、平成15年の国内最後の個体「キン」の死亡により、国産種のトキは絶滅した。このような状況を受け、トキはIUCN版レッドリストにおいて絶滅危惧種に位置づけられるとともに国際保護鳥にも指定され、日本版レッドリストでは野生絶滅種となっている。

環境省は、国産トキの絶滅後、遺伝的に同一とされる中国産トキの保護増殖を推進し、2008年の時点で飼育下のトキは121羽を数えるまでになった。人工増殖活動と併せ、同省は、2015年に小佐渡東部に60羽のトキを定着させるという目標を設定し、野生復帰させるための段階的手続きとして、一年間にわたるトキの野生順化訓練を実施した後、今年9月に試験放鳥に辿り着いた。時を同じくして中国でも、現在陝西省洋県に生息域が限定されるトキ個体群のセーフサイトを確保するため、同省寧西県にトキを新たに再導入した。これにより、日中両国の連携を通し、一度絶滅に瀕したトキを、国境を越えて野生復帰させるという壮大な再導入実験がスタートすることになった。

しかし、日中両国ともに、トキの野生復帰を保障できる明確な自然再生の方針を打ち出せているわけではない。そこで、申請者らは、平成19年度から環境省地球環境総合研究推進費の助成のもと（研究期間：平成19～21年度）、自然の仕組みと社会の仕組みの再生を掲げた「トキの島再生研究プロジェクト」を立ち上げ、その中で、広域スケールと局所スケールを組み合わせた餌資源評価と営巣場所評価を通し、佐渡島における再生重点候補地の抽出と、その結果をもとにした再生計画の素案作りを進めてきた。上記プロジェクトも終盤に入り、再生シナリオの骨子が見えつつある中、次の課題としては、立案した再生シナリオの有効性をトキの視点から検証し、実態に即したシナリオに適宜修正していく手続きが必要となっている。折しも、2008年9月にトキが試験放鳥され、トキの生息地選択や採餌生態の情報が得られる状況になったことで、再生シナリオを検証できる条件が整ったといえる。自然再生に対する順応的管理の重要性が唱われる昨今、対象生物となるトキと餌生物の情報をもとにした空間明示的な再生手順は、わが国における順応的管理の実証的研究事例として、将来的に希少野生動物の再導入計画に大きく活かされることが期待される。

## 2. 研究の目的

わが国では、2008年9月25日、日本で一度野生絶滅したトキが、長い人工増殖の期間を経て佐渡島の空に再び放鳥されたことで、野生動物の再導入に関する歴史的な一頁が刻まれた。これは、野生絶滅した種を自然界に甦らせるという壮大な国家プロジェクトであり、わが国ではコウノトリに続いて2番目の事例となる。本種の野生への定着と、それに伴う生態系の再生は、今まさに世界の注目が注がれているといっても過言ではない。一方、本種の生息環境に関する整備は、試験放鳥以前からNPOや公的機関を中心に進められてきたが、未だに地域限定的な活動に留まり、全島的な広がりを見せていない。その背景として、トキの野生復帰を推進する関連諸機関の組織横断的なネットワークが十分機能せず、トキを佐渡に定着させるという最終ゴールに向けた具体的かつ統一的な生息環境再生に向けたシナリオが、未だに描けていないことも一因にある。われわれは、現在、トキと餌生物の情報に基づく科学的手続きにより、トキの持続的な生息を可能にする自然再生シナリオの素案を作成中であり、その完成も間近になっている。本研究では、試験放鳥されたトキの行動追跡を通しトキの生息地選択や行動ルールを推定することで、立案した自然再生シナリオの有効性を検証し、さらに順応的な修正を適宜実施していくことで、トキの野生復帰を実現可能にするための手続きを確立することを目的とする。

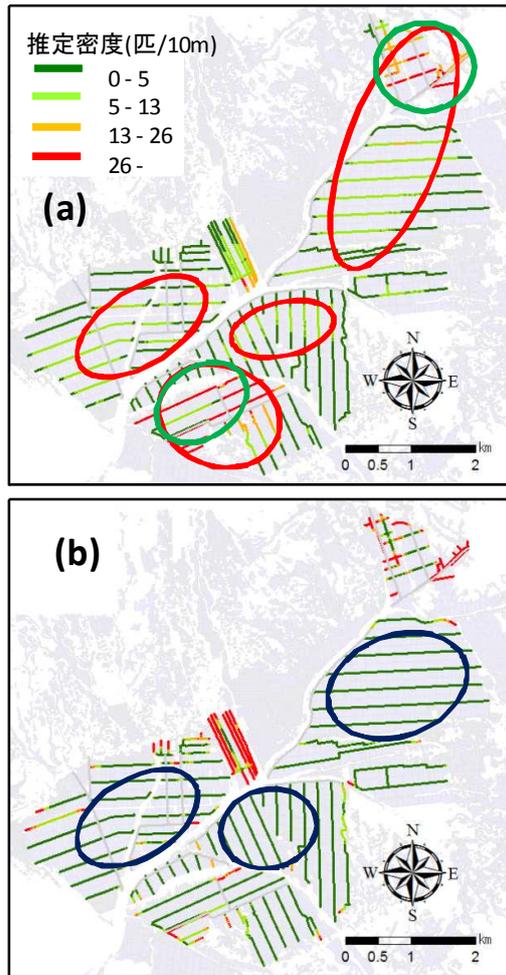
## 3. 研究の方法

### (1) トキの餌資源マップの作成

#### (a) ドジョウ

新潟県佐渡市の国中平野にある圃場整備された支線排水路を調査地とし、2010年8月下旬～9月上旬(夏)19地点、2011年4月下旬～5月上旬(春)53地点、現地調査および水路網調査を行った。現地調査ではドジョウの個体数、物理環境(流速、水深、河床材料、水路幅、植生)を測定した。水路網調査では、排水路の合流点で落差がなく流れているか(接続性)、ポンプを利用した排水施設があるかどうか(排水機能)、用水のパイプライン化による取水がおこなわれているかどうか(ポンプ機能)について現地で確認した。またGISを用いて水田面積、幹線排水路までの距離、標高、傾斜を抽出した。

物理環境データを局所要因、GISと水路網調査で得たデータを景観要因とし、季節ごとのドジョウの生息量との関係性を明らかにするため一般化線形モデル(GLM)による解析を行い要因の抽出を行った。また、GLMによる解析によって作られたモデル式を国中平野の圃場水田域の排水路網に外挿することでドジョウの推定密度の分布を地図化した。



図X(a)春におけるドジョウの推定密度分布図、  
(b)夏におけるドジョウの推定密度分布図

#### (b) 両生類

新潟県佐渡市で行われているトキの個体群の復元を目的とした環境保全型農業のうち、冬期湛水および「江」の設置が水田で繁殖する両生類3種（ヤマアカガエル、クロサンショウウオ、ツチガエルの一種）の個体数や出現確率に与える影響を探った。佐渡市東部の20箇所の水田群（計159枚の水田）において各種両生類の個体数を調べ、一般化線形モデルと赤池情報量基準（AIC）を用いて、水田と水田群の2階層における個体数を説明する統計モデルを探索した。

#### (2) トキの採食環境の予測

水田への水入れ、田植え、稲刈りなどの佐渡の農事暦と、トキは夏期に稲の成長に従い、水田内に入らなくなることを考慮し、1年を4つの季節に分類し、季節ごとにまとめたトキの採餌水田と、ランダムに選んだ水田において、水深、草丈などの局所変数とGISによる景観変数を用いてモデル解析し、季節ごとにトキの採餌環境の利用を説明する特性を解明した。

#### (3) トキの営巣環境の予測

中国のトキ営巣情報と、衛星リモートセンシングを活用した土地被覆情報から営巣適地モデルを構築した。この営巣適地モデルを佐渡全域に外挿することで、トキが営巣しやすいエリアを抽出した。

#### (4) 放鳥トキの定着と個体群の確立

放鳥されたトキの一部にはARGOS発信機が装着されていて、日中3時間に1回、GPS受信を行いGPS位置情報が蓄積している。この位置情報を用いて、試験放鳥トキの放鳥後の定着に影響を与える要因を解析した。また、放鳥後のトキの生存状況を追跡することで、放鳥コホートごとの年生残率を求め、中国の個体群変数を用いて、個体群変数を変えながら放鳥トキ個体群が50年後まで存続できるかどうかのシミュレーションをすることで、放鳥トキの存続可能性分析(PVA)を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) トキの餌資源マップの作成

##### (a) ドジョウ

GLMによる解析により、ドジョウの生息環境要因は、春では「流速の変動係数、水田面積、幹線排水路との接続性」が正の要因となり、「排水機能、コンクリート床、標高」が負の要因としてドジョウの生息量に影響することが明らかになった。また夏では、「水中植生、給水機能」が正の要因となり、「排水機能、コンクリート床、水田面積」が負の要因としてドジョウの生息量に影響することが示された。さらに、これらの解析結果をもとに、国仲平野の水田域の排水路網におけるドジョウの推定密度の分布図を作成した（図1）。

春季、ドジョウは水路内で流速の大きい場所と小さい場所が同所的に見られる環境で多く確認された。調査時は、田植えに向け水路に水が流れだして間もない時期であり、水路の水位は頻繁に変動していた。水路における流速の変動係数が大きいことは、水が安定して流れていることを示し、その中で流れの緩やかな場所をドジョウは利用していたと考えられる。また、幹線排水路と排水路の接続性が正の要因となったのは、接続部に落差がないため、ドジョウが遡上できたからと考えられた。一方負の要因だった標高については、低い場所(国仲平野の中央あたり)ほど水が溜まりやすいことからドジョウが多く生息していると考えられた。

夏季、ドジョウは水中植生が多く泥が堆積した環境に多く生息していた。また、ポンプ機能が正の要因となったのは、用水のパイプライン化により併設された農業用貯水池が、ドジョウの越冬地もしくは再生産場として

機能していたと考えられた。

両季節に共通して言えることは、移動経路を分断する排水施設の存在や、水路の流れを単調にするコンクリート床といった圃場整備による改変要因が、ドジョウの生息環境を悪化させていると推定された。また、水田面積の大きさは、春は大きいほど夏は小さいほどドジョウ密度に影響するという反対の結果になったが、春はドジョウの産卵に向けて移動し始め、水田面積の大きさは、すなわち排水量の多さと考えられ、排水量が多いほどドジョウが遡上しやすくなるためだと考えられる。一方夏は、繁殖期を終えたドジョウが比較的水位が安定した環境を求めることが考えられ、水田面積の総和が小さい排水路の末端に集中したと考えられた。

ドジョウの推定密度の分布図は、春と夏で対照的な分布図となった(図X(a)(b))。春の分布図から、推定密度の高い、緑や赤の円で囲まれた地域に魚道を設置すると、その効果が大きいと考えられた。夏の分布図からは、推定値が小さい地域(青の円で囲まれた地域)で、水中植生を増やしコンクリート床から泥を堆積させるような小規模な修復を行うことで、ドジョウの好適生息環境を創出することができると考えられる。

#### (b) 両生類

ヤマアカガエルとツチガエルの一種において、冬期湛水もしくは江の設置が強い正の影響を与えることが明らかになった。ヤマアカガエルでは、水田と水田群レベルで異なる農法が正の効果を示した。これは、個体群レベルの応答を評価するためには適切な空間

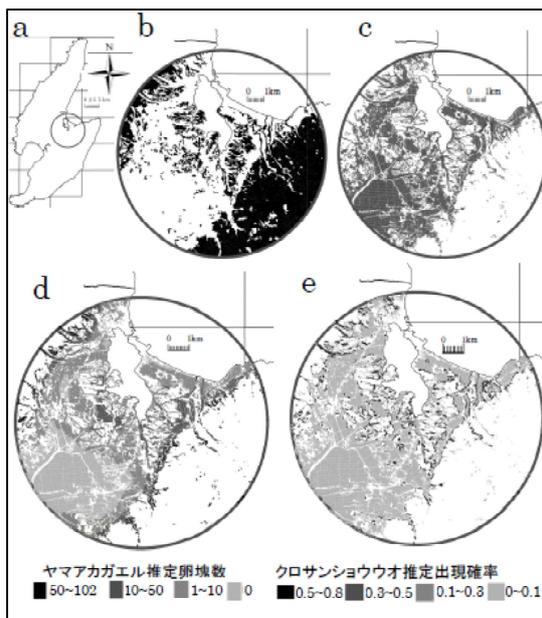


図 2. ヤマアカガエルの推定卵塊数とクロサンショウウオの推定出現確率

スケールを定める必要があることを示唆している。景観要因としては、ヤマアカガエルとクロサンショウウオで水田周辺に適度な森林率が必要であるが、その空間スケールは大きく異なること、またツチガエルの一種では景観の影響を受けないことが明らかになった(図2)。この結果は、日本の里山のように景観の異質性が高い環境では、環境保全型農業の効用評価の際に、一律の指標種ではなく、局所的な生息地ポテンシャルにもとづいた指標種の設定をする必要があることを示唆している。

#### (2) トキの採食環境の予測

季節ごとに利用環境の特性は異なっており、田植え後の春期には、森林面積が大きく住宅面積の小さく、森林の入り組んだ地形を利用し、夏期の稲が成長してトキが水田に入らない時期には、谷筋の奥の湛水休耕田など限られた環境を利用し、稲刈り後の時期には、平坦な平野部の水田(刈り田)を広く利用し、冬期には、林縁の湿った環境を利用する傾向がみられた。局所要因からは、部分調整田や額縁減反、休耕田の湛水化などが有効であることが示唆された。得られたモデルを用いて、佐渡全島の採餌適地の分布を予測したところ、特に夏期に採餌環境が非常に少ないことが示された(図3)。夏期の採餌環境不足に早急に対策をたてるとともに、景観レベルでトキが利用可能な環境において、適切な農地管理を行うことが望まれる。

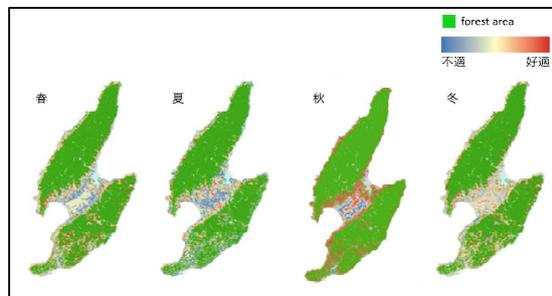


図 3. 各季節におけるトキの潜在的な好適採餌環境

#### (3) トキの営巣環境の予測

営巣選択において、生息域の林縁形状や水田といった環境要因が重要だった。また、佐渡全域の営巣適地推定においては、国仲平野と大佐渡・小佐渡地域の境界線と加茂湖周辺、小佐渡南西部が、営巣に適したエリアである事がわかった(図4)。高い営巣適地を示すエリアは、複雑な林縁形状を持った森林域と農耕地の境界部分であった。トキの餌資源となるヤマアカガエルなどの両生類も同様に、このようなエリアに対し選好を示すことが報告されている。つまり、トキは餌資源が豊富にあると考えられる谷津地形のような環境を好むことが示唆された。自然再生では、

トキの好む谷津地形を中心としたエコロジカル・ネットワークの形成が不可欠であると考えられる。さらに、営巣情報に加え、採餌環境や餌資源の分布と重ねて評価することで、より具値的な自然再生候補地の抽出が可能となる。また、推定したトキの営巣適地は、環境省が指定した保護区域とはあまり重なっていないかった(図4)。実際に放鳥されたトキの行動を見ても、われわれが予測したエリアを利用しており、この結果は妥当であると考える。このことは、自然再生計画において、対象種の生態情報を考慮した計画作りの重要性を示す。

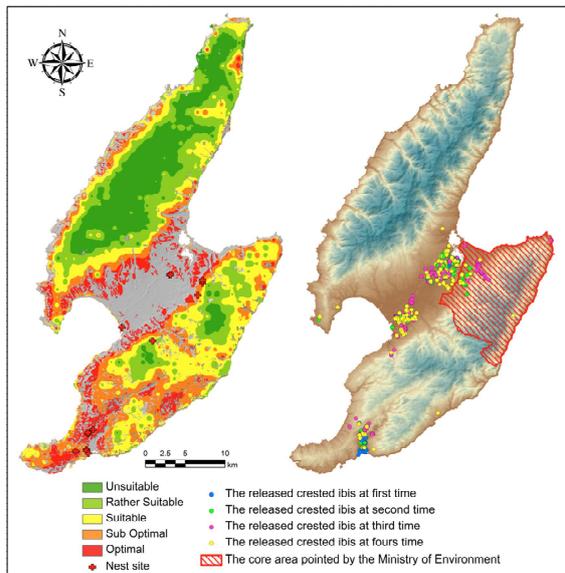


図4. トキの営巣適地マップと環境省が指定した保護地域

#### (4) 放鳥トキの定着と個体群の確立

ハードリリース法で放鳥した1次放鳥個体は、ソフトリリース法で放鳥した2次放鳥個体に比べて、放鳥直後の測位地点間の移動距離が大きい傾向があった(図5)。しかし、1月以降になると、2次放鳥個体の移動距離が大きくなっていった。個体と月を入れ子にした誤差構造をもつ2元分散分析を行った結果、トキの移動距離には放鳥法と性別が大きな影響を与えていることが明らかになった。すなわち、ハードリリース法の1次放鳥の方が初期の移動分散が大きいが、2-3月の繁殖期になると雌が大きな移動を行うことが明らかになった。放鳥トキの年生残率は1-2次放鳥では73%と高いが、3-4次放鳥では44-54%と低く、4回の放鳥を平均すると61±7%であった。また、1年目の年生存率は58±6%であったが、2年目以降の年生存率は79%と中国の個体群よりも高かった。佐渡島においても、中国の野生個体群と同等の繁殖成功が達成できれば放鳥個体群は定着成長

できるが、現状の繁殖状況、および、捕食圧等の繁殖を阻害する要因が少しでもある場合は、再導入個体群はいずれ絶滅することが明らかになった。そのため、再導入個体群を維持するには、中国の野生個体群と同等の繁殖成績になるまで放鳥を継続する必要がある。

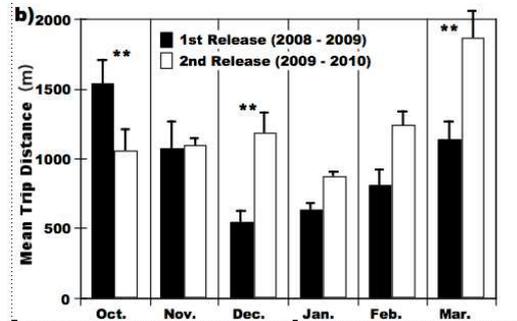


図5. 1次放鳥と2次放鳥における放鳥直後の測位地点間の移動距離

#### 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7件)

- ① Endo, C., Nagata, H., Seasonal changes of foraging habitats and prey species in the reintroduced Japanese Crested Ibis *Nipponia nippon*, 査読有、2012 (印刷中)
- ② 永田尚志、トキ (*Nipponia nippon*) の野生絶滅と野生復帰への道程. 日本鳥学会誌. 2012 (印刷中)
- ③ 永田尚志、山岸哲、新潟県佐渡島におけるトキの再導入個体群の存続可能性、野生復帰、査読有、第1巻、2011、55-61
- ④ 中津弘、上野祐介、永田尚志、山岸哲、新潟県佐渡島における放鳥トキ単独個体の環境利用、野生復帰、査読有、第1巻、2011、63-70
- ⑤ 永田尚志、佐渡島における放鳥トキの移動分散と採餌行動、環境研究、査読無、158、2010、pp.69-74
- ⑥ Sekijima T., Kawaguchi Y., Miyashita T., Mitani Y., Watanabe R. Restoration scenario and capacity building for resettlement of Crested Ibis, Messages from Japan's Green Pioneers: Living in Harmony with Nature, 査読無、158、2010、130-142
- ⑦ 山下奉海、河口洋一、谷口義則、鹿野雄一、石間妙子、大石麻美、田中亘、齊藤慶、関島恒夫、島谷幸宏、佐渡島の小河川における魚類を対象とした農業用取水堰改良効果の検証、応用

生態工学会誌、査読有、13 巻、2010、  
31-76

〔学会発表〕（計 5 件）

- ① Chihiro Endo, Kaori Ebihara,  
Yasuhiro Mitani, Mami Oh-ishi,  
Hisashi Nagata, Ushio Nishikawa,  
Ryugo Watanabe, Tsuneo Sekijima.  
Estimation of potential foraging  
habitats for effective management  
strategies of reintroduced Japanese  
Crested Ibis on Sado Island.  
International Congress for 25<sup>th</sup>  
International Congress for  
Conservation Biology. December 5<sup>th</sup>,  
2011, New Zealand.
- ② Tsuneo Sekijima. Restoration of  
paddy field for the Crested ibis. 韓中  
日 3 カ国トキシシンポジウム、2011 年  
11 月 9 日.韓国慶尚南道
- ③ Tsuneo Sekijima. Nature restoration  
for the Crested ibis in Japan. 中国ト  
キシ発見 30 周年記念式典ワークショッ  
プ、2011 年 5 月 23 日、中国洋県.
- ④ 関島恒夫. トキを象徴種とした農地の  
再生. シンポジウム「トキとコウノト  
リが会おうとき」. 第 58 回日本生態学  
会大会、2011 年 3 月 9 日、札幌.
- ⑤ Tsuneo Sekijima. Building up  
scenario of nature restoration to  
push for resettlement of the crested  
ibis. COP10, October 30<sup>th</sup>,  
2010,Nagoya.

〔図書〕（計 2 件）

- ① 宮下直・矢原徹一（編）、2010、『なぜ地  
球の生きものを守るのか』、文一総合出版、  
34-45
- ② 近辻宏典・永田尚志、2010、『野生動物保  
護の事典』、朝倉書店、513-515

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

関島 恒夫 (SEKIJIMA TSUNEO)  
新潟大学・自然科学系・准教授  
研究者番号：10300964

### (2) 研究分担者

河口 洋一 (KAWAGUCHI YOICHI)  
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・准教授  
研究者番号：20391617  
宮下 直 (MIYASHITA TADASHI)  
東京大学・農学生命科学研究科・准教授  
研究者番号：50182019  
三谷 泰浩 (MITANI YASUHIRO)  
九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：20301343

村上 拓彦 (MURAKAMI TAKUHIKO)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：20332843

箕口 秀夫 (MIGUCHI HIDEO)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：30291355

永田 尚志 (NAGATA HISASHI)

新潟大学・研究推進機構超域学術院・准教授

研究者番号：00202226

### (3) 連携研究者

天野 達也 (AMANO TATSUYA)

独立行政法人農業環境技術研究所・生物多様性研究領域

研究者番号：10442724