

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 5月23日現在

機関番号：24402
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22710233
 研究課題名（和文） トキの主要な採餌環境である水田における生物多様性の決定要因の解明と応用
 研究課題名（英文） Examination and application of factors affecting on biodiversity in paddy fields as a foraging habitat of Japanese crested ibises
 研究代表者
 武山 智博（TAKEYAMA TOMOHIRO）
 大阪市立大学・大学院理学研究科・特任講師
 研究者番号：70452266

研究成果の概要（和文）：新潟県佐渡島再導入されたトキの主要な採餌環境である水田を、生物多様性の高い状態へと再生することを目指し、高い再生の効果が期待される地域（水田群）を抽出するため、水田内の局所スケールおよび水田周辺の景観スケールでの環境異質性に基づく統計予測モデルを構築した。次に、佐渡島中央部に広がる国仲平野およびその周辺の里山環境を含む地域の水田を対象に、出現種数の多かったコウチュウ目、カメムシ目、トンボ目（幼虫）それぞれのモデルを適用して種多様性予測マップを作成した。

研究成果の概要（英文）：In the present study, we focused on the heterogeneity of environmental factors of local and landscape in the paddy fields, and evaluated species diversity of aquatic insect communities from the examination of mathematical models (Generalized linear models). Our goals are to build the “potential maps” of the species richness of aquatic insects in the middle part of Sado Island, for restoring and management the paddy fields as the suitable foraging habitats for the Crested Ibises that have been re-introduced into Sado Island. The taxon-specific (for Coleoptera, Hemiptera, larvae of Odonata) statistic model that predicts the number of species was applied to each paddy field on the GIS database in the middle area of Sado Island and constructed the maps of potential biodiversity of aquatic insect communities in the paddy fields.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	920,000	4,020,000

研究分野：資源保全学

科研費の分科・細目：生物多様性保全

キーワード：トキ、水生昆虫、水生生物群集、水田生態系、生物多様性

1. 研究開始当初の背景

トキはかつて日本を含む東アジア地域に広く分布していたが、狩猟や生息環境の悪化などにより個体数が減少し、平成15年に飼育下で最後の個体が死亡して国内個体群は絶滅に至った。その後、環境省はトキの飼育増

殖および野外への再導入をすすめ、平成20年9月に10羽を、翌年9月にはさらに20羽を試験放鳥し、平成27年までの島内60羽の定着を目標に掲げている。トキは水田や小河川などを主要な採餌環境とする里地里山の水鳥であることから、佐渡島内では水田を中

心とした生息環境の再生や整備が行われてきたが、島内の限定的な地域にとどまっており、その方法も科学的検証という手続きを経て来なかった。そこで、申請者らは平成19年度より、佐渡の水田をトキの好適な採餌環境のみならず、水生生物の生物量および生物多様性を増加させる水田管理技術の確立を目指し、野外実験による生態学的検証を行ってきた。ここでは、水田の湛水状態の通年維持が、水生生物の現存量や種多様性の増加と維持に効果があるとの仮説を立て、2種類の湛水方法（休耕田の通年湛水、水田内への小土水路の創出）の処理区水田と無処理区水田を設定し、水田周辺の景観要因としての森林（里山林に接する里山水田と、接しない平場水田）も考慮に入れ、2年間の定量調査より検証を行った。その結果、2種類の通年湛水処理には、水生生物の現存量や種多様性の増加に対して、処理直後の年から継続的な効果が認められ、有効な再生方法の一つであることが実証された。種多様性の増加に大きく寄与していたのは、水生コウチュウ目成虫とトンボ目幼虫であり、前者は水田内の局所要因（水深など）のみが出現に関係していた一方、後者は局所要因と景観要因（里山林）の両方が関係する傾向が認められた。また、炭素と窒素の安定同位体比分析を用いて食物網構造を検討したところ、水田水田の水生生物群集が、水田内の食物網に強く依存する生物と、水田外の食物網から水田内へ移動してきたような、水田内の食物網にあまり依存していない生物の両方で構成されていること、水田の種多様性の豊富さには水田周辺の別の水域食物網（生態系）とのネットワークが重要であることが示唆された。よって、水田の水生生物群集の生物量と多様性を効果的に高めるためには、(1) 水田周辺の景観要因や水域ネットワークを考慮に入れ対象とする水田群を選定すること、(2) 年間を通じた湛水環境を水田内に創出することが有効な方法であると考えられた。しかし、再生の対象水田を抽出する際に、水田周辺の環境要因（森林、水田、ため池など）の組み合わせと、水田と周辺環境の距離（スケール）がどの程度であれば、水田の生物群集の現存量と種多様性の増加にとって高い効果が得られるのかという点については未解明である。

2. 研究の目的

水田内の局所と水田を取り巻く景観の複数のスケールにおいて、各スケール内の環境異質性に着目し、これらの違いが水田の水生生物群集の構造に与える影響を、現地調査による生物の定量サンプリングおよび局所要因のデータと、GSIによる景観要因のデータに基づき、統計モデル解析を行って明らかにする。これらの生態学的な評価手続きを得た上

で、再生手法の導入によって生物量と種多様性の高い増加が見込まれる地域（水田群）の抽出へと応用可能な統計モデルを構築し、再生候補地マップを作成する。

3. 研究の方法

(1) 野外調査と局所環境要因の計測

佐渡島内の野外調査は、佐渡島中部の国中平野内と、平野周辺の丘陵地にかけての水田と里山林がモザイク状に入り組んだ地域において、水生生物量が最も多いと見込まれる7月に実施した。対象とした水田タイプは、通年湛水休耕田22枚と、稲作水田54枚（うち、水田内に小土水路である「江」がある水田13枚）の合計76枚である。各調査水田内にコドラート（45×90cm）を3つ設け、水田内の局所環境要因として、コドラート内の水温、水深、稲と草本の草丈と植物被度を測定した。各コドラートでは、手網（1mmメッシュ）を用い、すべての水生生物の捕獲を行った。その他、稲作水田に関しては農薬や化学肥料の使用状況の情報を収集した。採集した水生生物は実験室にて種同定と重量の測定を行い、各調査水田の種数と種ごとの現存量を算出した。

(2) 景観レベルの環境要因の抽出

佐渡島の植生、土地利用のデータベースから地理情報システム（GIS、Arc GIS；ESRI）を用いて、各調査水田周辺の環境要因を景観レベルで抽出した。調査水田を中心に半径50、100、200、300、400、500、750、1000mの同心円状のバッファを発生させ、各バッファ内に占める景観環境要因（水田面積、休耕田面積、ため池面積、林縁総延長距離）を算出した。

(3) 局所・景観要因から水田の生物量および種を予測する統計モデルを構築するため、目的変数として(1)の種数を、説明変数として(1)の局所環境要因と(2)の景観環境要因をそれぞれ設定し、一般化線型モデル（GLM）を(2)のバッファごとに作成する。構築された複数のモデルから、赤池情報量基準（AIC）に基づき目的変数を最も良く説明するモデルを選択した。

(4) 出現種数を決定する要因の検討

水生生物の種数を決定する局所要因と景観要因の組み合わせ、ならびに景観要因が影響を与えるスケール（バッファサイズ）を検討した。

(5) 水生生物の種多様性・現存量の予測マップ作成

上述の手順によって得られたモデルを、GIS上で佐渡島全域の水田に適用し、水田の水生生物群集の種多様性を予測するマップを作成した。

4. 研究成果

(1) 2010年7月に実施した佐渡島内の水田における野外調査の結果、採集された水生動物は、トンボ目幼虫15種、水生カメムシ目9種、水生コウチュウ目15種、貝類4種、その他ハエ目10種などであった。生物量の多い生物群は、水生コウチュウ目およびカメムシ目であった。また、出現種数は水生コウチュウ目、次いでカメムシ目であったが、周囲に森林が多い水田ではトンボ目幼虫が多い傾向があった。

(2) 上述(1)のサンプリング結果に基づき、水田に出現する水生昆虫の種多様性を、局所および景観環境要因で予測するモデルの解析を行った。解析には水田内の局所環境要因として5変数(水温、水深、植生被度、水田もしくは休耕田、江(水田内の小土水路)の有無)を用いた。水田周辺の景観環境要因として用いた4変数

(水田面積、休耕田面積、ため池面積、林縁総延長距離)の算出は、GISデータベース上で行った。調査対象の水田の重心より同心円状に8サイズのバッファ(半径50、100、200、300、400、500、750、1000m)を発生させ、バッファごとに景観要因4変数を算出した。水田に生息する水生昆虫のうち出現種数の多かった水生コウチュウ目、水生カメムシ目、トンボ目(幼虫)を対象に、それぞれのグループの出現種数を局所と景観要因で予測する多変数モデル解析を行った。この解析には、各バッファにおけるすべての環境要因の変数を総当たりで組み込んだ一般化線形モデル(GLM; 負の二項分布を仮定)を用いた。得られた複数のモデルのうち、赤池の情報基準

(AIC)の値が最小となったバッファサイズおよび変数の組み合わせを、「最良モデル」として採用した。その結果、コウチュウ目における最良モデルはバッファサイズ50mで得られ、出現種数に対し植生被度は正の効果、休耕田面積および林縁長は負の効果および林縁長のみ認められた。トンボ目(幼虫)では最良モデルがバッファサイズ500mのときに得られ、植生被度と水深が出現種数に対して正の効果をもたらす一方、水田面積が負の効果をもたらすことが判明した。以上の結果から、水生昆虫の種多様性を決定する局所および景観環境要因が分類群に応じて異なること、さらに出現種数に影響を与える環境要因のスケール(範囲)も分類群ごとに異なることが示唆された。

(3) 上述(2)の解析で得られたモデルに基づき、これらのモデルをGIS上で佐渡の水田に対して外挿し種多様性予測マップを構築した。水生昆虫の種多様性を決定する局所および景観環境要因が分類群に応じて異なっていたため、各3種群のマップを作成した。今回のマップ作成の対象としたのは、佐渡島中央部に広がる国仲平野およびその周辺の里山環境を含む地域の水田であり、放鳥されたトキの採餌行動が観察されている場所とも重複する。コウチュウ目の出

現予測マップでは、国仲平野全域および平野周辺の里山林に接する地域を含む広範囲の水田において比較的多い種数が出現することが示された。カメムシ目では、国仲平野全域では出現種数は比較的多いものの、周辺の里山環境を含む地域の水田では出現種数は少ないことが示された。一方、トンボ目(幼虫)の出現種数が高い地域は平野周辺の里山林に接する水田であり、平野部の水田で見込まれる出現種数は少ないことが予測マップによって示された。従って、本研究の対象地域では、水田の水生昆虫の種多様性の復元や維持には、分類群ごとに対象地域を設定し適切な自然再生の対策を採ることが重要だと考えられる。

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12件)

①Hiroki Hata, Rieko Takahashi, Hiroshi Ashiwa, Satoshi Awata, Tomohiro Takeyama, Masanori Kohda, and Michio Hori.

Inheritance Patterns of Lateral Dimorphism Examined through Breeding Experiments in Tanganyikan Cichlid (*Julidochromis transcriptus*) and Japanese Medaka (*Oryzias latipes*). 2012, *Zoological Science*, 29, 49-53. (査読有)
<http://dx.doi.org/10.2108/zsj.29.49>

②Omar Myint, Tomohiro Takeyama, Noboru Okuda, Nobuhiro Ohnishi and Masanori Kohda. Mate availability facilitates cannibalistic behaviour in a nest brooding fish: effects of timing during the brood cycle. 2011, *Behaviour*, 148, 247-264. (査読有)

<http://dx.doi.org/10.1163/000579511X554242>

③Seiji Matsumoto, Tomohiro Takeyama and Masanori Kohda. Mating system and size-advantage in mating in the protogynous swamp eel *Monopterus albus* with paternal care. 2011, *Zoological Science*, 28, 360-367. (査読有)

<http://dx.doi.org/10.2108/zsj.28.360>

④Omar Myint, Tomohiro Takeyama, Nobuhiro Ohnishi, Hajime Tsujimoto and Masanori Kohda. Mate availability to males affects female choice in a fish with paternal care: female counterstrategies against filial cannibalism. 2011, *Journal of Ethology*, 29, 153-159 (査読有)

[10.1007/s10164-010-0238-9](http://dx.doi.org/10.1007/s10164-010-0238-9)

⑤Kano, Y., Kawaguchi, Y., Yamashita, T., Sekijima, T., Shimatani, Y. Taniguchi, Y. A passive integrated transponder tag implanted by a new alternative surgical

method: effects on the oriental weather loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) and application in a small irrigation system. Landscape and Ecological Engineering, 2011 (査読有) 10.1007/s11355-011-0152-5
⑥Ishiniwa H., Sogawa, K., Yasumoto K., Hoshi, N., Yokoyama, T., Tasaka, K., Sekijima, T. Effects of dioxin pollution on population structure in the Japanese field mouse, *Apodemus speciosus*, using a molecular indicator related to dioxin sensitivity. Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Science and Technology. pp A767-A774. 2011 (査読有)

<http://dx.doi.org/10.1016/j.etap.2010.03.006>

⑦Zin' ichi Karube, Youichirou Sakai, Tomohiro Takeyama, Noboru Okuda, Chikage Yoshimizu, Toshi Nagata, Ichiro Tayasu. Carbon and nitrogen stable isotope ratios of macroinvertebrates in the littoral zone of Lake Biwa: as indicators of anthropogenic activities in the watershed. 2010, Ecological Research, 25, 847-855 (査読有) 10.1007/s11284-010-0715-1

⑧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。2010、応用生態工学誌, 13, 61-76, (査読有)

⑨Ishiniwa H., Sogawa K., Yasumoto K., Sekijima T. Polymorphisms and functional differences in aryl hydrocarbon receptors (AhR) in Japanese field mice, *Apodemus speciosus*. Environmental Toxicology and Pharmacology, 29, 280-289, 2010 (査読有) 10.1016/j.etap.2010.03.006

⑩ Ishiniwa H., Sogawa K., Yasumoto K., Hoshi N., Yokoyama T., Tasaka K., Sekijima T. Organohalogen Compounds, 72, No. 1324, 2010 (査読有)

⑪ 布野隆之・関島恒夫・阿部學。落葉樹の展葉に伴うイヌワシ *Aquila chrysaetos* の給餌様式の変化, 日本鳥学会誌, 59, 148-160, 2010 (査読有)

⑫Sekijima 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, The Ministry of Environment, 130-142, 2010 (査読無)

[学会発表] (計 13 件)

①協同繁殖魚ブリシャードイは顔の特徴で

個体を識別する 谷山雅美・小坂直也・武山智博・幸田正典、日本動物行動学会第31回大会 奈良女子大学 2012年11月23-25日

②タンガニイカ湖産カワスズメ科魚類における優劣関係の推移的推察 堀田崇・武山智博・幸田正典 日本動物行動学会第31回大会 奈良女子大学 2012年11月23-25日

③協同的一妻多夫魚の雌による雄の父性認識の操作とその効果 李寧・山内考太・坂井茜・武山智博・幸田正典 日本動物行動学会第31回大会 奈良女子大学 2012年11月23-25日

④No effects of the operational sex ratio on the direction of sexual competition in a paternal mouthbrooding fish. Tomohiro Takeyama, Masanori Kohda and Yasunobu Yanagisawa, International Society for Behavioral Ecology, Lund, Sweden, August 12-17, 2012

⑤Self-recognition in fish: cleaner wrasse passes the mark test. Masanori Kohda, Takashi Hotta, Tomohiro Takeyama, Sayaka Horie, Naoya Yoshimura, L. Alex Jordan, International Society for Behavioral Ecology, Lund, Sweden, August 12-17, 2012.

⑥Fish can use transitive inference to predict social dominance, Masanori Kohda, Takashi Hotta, Dik Heg, Satoshi Awata, L. Alex Jordan, Tomohiro Takeyama. International Society for Behavioral Ecology, Lund, Sweden, August 12-17, 2012.

⑦The ancient Lake Biwa as a model of Asian lake ecosystems: historical and geographical patterns of biodiversity. SHIBATA, Junya. KARUBE, Zen'ichi. SAKAI, Yoichiro. TAKEYAMA, Tomohiro. TAYASU, Ichiro. SATOH, Yuichi. YACHI, Shigeo. NAKANO, Shin-ichi. OKUDA, Noboru. 5th EAFES International Congress March 19-22 2012 Ohtsu, Ryukoku University

⑧水田の生物量と種多様性を向上させる農地管理。大石麻美、武山智博、石間妙子、日本生態学会 第59回大会 大津市 龍谷大学 2012年3月17-22日

⑨水田生態系の環境の異質性が水生昆虫の多様性に与える影響。武山智博、大石麻美、関島恒夫 日本生態学会 第59回大会 大津市 龍谷大学 2012年3月17-22日

⑩水界動物群集の「生物多様性 - 生態系機能関係」を再考する: 栄養段階の重要性。奥田昇、苅部甚一、酒井陽一郎、武山智博、陀安一郎・由水千景、永田俊 日本陸水学会第76回大会 島根大学 2011年9月22-25日

⑪魚類の血縁ヘルパー型の協同繁殖についての紹介 武山智博 日本進化学会 2011年大会ワークショップ 「脊椎動物における協同繁殖とその進化: 魚類と鳥類の比較からの展望」 京都大学 2011年7月29-31日

⑫Mate availability accelerates filial cannibalism by a paternal male in a nest brooding gobiid fish. Tomohiro Takeyama, Naoko Namizaki, Omar Myint and Masanori Kohda International Society for Behavioral Ecology, Perth, Australia, 26 September - 1 October 2010..

⑬Female control of male paternity recognition in a cooperative polyandrous fish. Masanori Kohda, Satoshi Awata, Tomohiro Takeyama, Dik Heg. International Society for Behavioral Ecology, Perth, Australia, 26 September - 1 October 2010.
〔図書〕(計3件)

①Noboru Okuda, Tomohiro Takeyama, Takefumi Komiya, Yoshikazu Katoh, Yutaka Okuzaki, Jin-ichi Karube, Yoichiro Sakai, Michio Hori, Ichiro Tayasu & Toshi Nagata. A food web and its long-term dynamics in Lake Biwa: stable isotopic approach. Lake Biwa: Interactions between Nature and People, H. Kawanabe, M. Nishino and M. Maehata (Eds.), pp.205-210, 2012, Springer

②Sekijima T., Ishiniwa H., Kondo N. Phylogeny of hibernation specific proteins(HP) in Sciuridae. Ruf/Bieber/Arnold/Millesi (Eds.), Living in a Seasonal World: Thermoregulatory and Metaboloc Adaptation, pp327-335, 2012 (査読有)

③Ishiniwa H., Sogawa, K., Yasumoto, K., Hoshi, N., Yokoyama, T., Tasaka, K., Sekijima, T. Genetic variation in AhR gene related to dioxin sensitivity in the Japanese field mouse, *Apodemus speciosus*, in: Portela, M.B. (Eds.), Immunosuppression, pp57-76, Intech, Croatia. 2012 (査読有)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武山 智博 (TAKEYAMA TOMOHIRO)
大阪市立大学・大学院理学研究科・
特任講師
研究者番号：70452266

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

関島 恒夫 (SEKIJIMA TSUNEO)
新潟大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号：10300964
大石 麻美 (OHISHI MAMI)
新潟大学・超域学術院・博士研究員
研究者番号：80467068