

平成 22年 5月 14日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008 年度～2009 年度
 課題番号：20710023
 研究課題名 (和文) トキの餌場環境の復元へ向けた水田管理方法の生態学的評価
 研究課題名 (英文) Ecological evaluation of restration techniques on paddy fields as feeding sites of Japanese crested ibises
 研究代表者
 武山 智博 (TAKEYAMA TOMOHIRO)
 新潟大学・大学院自然科学研究科・科学技術振興研究員
 研究者番号：70452266

研究成果の概要 (和文)：トキの主要な採餌環境である水田において、生物量と種多様性を通年維持するための管理方法として、里山と平野の水田を対象に、稲作水田では「江 (え)」とよばれる水田内の小土水路を、休耕田では「通年湛水」をそれぞれ実験的な通年湛水处理区として創出し、生物量と種多様、安定同位体比分析による食物網構造の検討を行った。通年湛水处理によって、生物量と種多様性は年間を通じて増加することが明らかになった。また、これらの処理区食物網構造は水田と同様の構造が形成されていた。

研究成果の概要 (英文)：I aimed to evaluate the effectiveness of the two restoration techniques on paddy field, i. e. newly created 'e' (a small irrigation ditch system in a paddy) and flooded fallow paddy field (keeping flooded condition throughout the year), for the purpose of increasing biodiversity and biomass of prey species for the crested ibis in Sado island, Niigata prefecture, Japan. To clarify the ecosystem in paddy field, I examined the food-web structure of aquatic community by nitrogen and carbon stable isotopes analyses. Newly created 'e' and flooded fallow paddies kept higher both in abundance and species richness compared to the paddy fields. From the stable isotopes analyses, food-wed structures of created 'e' and flooded fallow paddies were similar to those of paddy fields.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2008 年度 | 2,200,000 | 660,000 | 2,860,000 |
| 2009 年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,300,000 | 990,000 | 4,290,000 |

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：(1) 生態系修復・整備 (2) 生態系影響評価 (3) 水田生態系 (4) 生物多様性

(5) 安定同位体比分析 (6) トキ *Nipponia nippon*

1. 研究開始当初の背景

日本国内ではトキ (*Nipponia nippon*) は野生絶滅種であるが、佐渡では飼育下の中国産のトキが 100 羽程度まで数を増やし、環境省による試験放鳥が 2008 年に予定され、2015 年までに小佐渡地域への 60 羽の定着目標が設定されている。しかし、トキの生息地という視点から見れば、現在の佐渡の環境は決して好ましい状況であるとは言えない。特に、トキの野生復帰にとって生命線とも言える餌場環境の整備とその生態学的評価はまだ十分でなく、生態系保全の観点からの対策が急がれる。トキの餌は小型の魚類・甲殻類・両生類・昆虫類・貧毛類で、好適な餌場としては浅場の湿地・水辺・裸地および草丈の短い草地であることが知られている (Li et al., 2002, Ecol. Res.: 17, 565-573)。これらの環境は、日本では水田やため池、氾濫した小河川などの「里地。里山生態系」にあたる。佐渡では流れの緩い河川・水田・畑のほか、特に佐渡の湿地環境の約 8 割を占める水田が該当する環境であり、これらがトキにとっての有効な採餌場所だと考えられる。従って、トキの自然復帰にとって不可欠な餌場環境の復元と保全には、水田とその周辺環境での餌生物の持続的な確保が最重要の課題である。

2. 研究の目的

様々な自然環境において、人為的な環境の改変に伴い生物群集の組成や群集構造が変化することは報告されているが、それら生物群集の変化が、生態機能群の構造や生態系全体に及ぼす影響を定量的に評価する客観的手法は未だ確立されていない。本研究では、水田とその周辺環境の生物多様性や生態系に対する水田管理の影響を定量的に評価するため、野外調査における生物現存量と種多様性の定量的評価および安定同位体比分析による食物網構造の解析を用いる。生物の体を構成する主要元素である窒素や炭素の安定同位体比を測定することより、基礎生産者から高次捕食者までの食物網の全体構造および各機能群の栄養段階を定量的に評価すること、物質循環のソース（一次生産者）から高次消費者までを追跡することができる。こういった情報に基

づいて生物量や多様性に影響を与える環境要因を特定し、豊かな餌場としての水田環境の創出に応用することを目的とする。

3. 研究の方法

調査は、佐渡島の小佐渡東部に位置する新穂地区の水田と休耕田において実施した。なお、調査地は 2008 年 9 月 25 日にトキの試験放鳥が行われた地域にあたる。調査対象とした水田は、はじめに、景観スケールとしての立地環境の違いを考慮し、森林からの距離に基づき里山および平地環境に 2 区分した。その上で、江に関しては、それぞれの環境において江の創出水田と対照水田を隣接してそれぞれ 3 ヶ所ずつ設けた。休耕田に関しても同様に、湛水処理した休耕田と無処理の休耕田を対で、里山に 4 ヶ所ずつ、平地に 3 ヶ所ずつ設けた。これらの水田において、生物量と種数の評価を実施するとともに、2008 年からは新規に水田生態系の生物多様性を規定している要因を解明するため、水田生物群集の食物網構造を評価した。

生物量と種多様性の定量調査は 2007 年 8 月から毎月実施したが、2008 年の調査は水田の農事暦に対応させ、4 月（田植え前）、6 月（田植え後）、9 月（稲刈り直前）、12 月（稲刈り後）に行い、生物量および種数の調査と同時に、安定同位体比分析用のサンプルを採集した。定量調査はコドラート法を用いて、一枚の水田または一つの江あたりに 3 ヶ所のコドラート（水中：90cm×90cm、土中：20cm×30cm）を設け、金魚網を用いてコドラート内の魚類、両生類、昆虫類（水生・陸生）、貝類をすべて捕獲した。安定同位体比分析用の試料は、生物量および種数調査で得られた試料の一部を冷凍または 70%エタノール中で保管した後分析用に用いた。加えて、現地で採取した水から水中の植物プランクトンを含む懸濁態有機物（particulate organic matters: POM と略す）を 47mmGF/F ガラスフィルター上で吸引ろ過して種集した。表泥上に堆積した有機物、底生生物（イトミミズ類・ユスリカ類）、藻類、草本、リターについては別途採集した。分析用の試料は、乾燥と粉碎の後、動物について

はメタノールとクロロホルム混合溶液（1:2 体積比）による脱脂処理を、藻類、草およびリターについては、0.5 規定の塩酸水溶液による炭酸塩除去処理を、それぞれ施した後、再び乾燥させたものを用いた。なお、安定同位体比分析には、安定同位体自然存在比測定用質量分析計（フィニガン社 Delta-S）を用いた。炭素および窒素の安定同位体比は δ 値（‰）として以下の式で求めた。

$$\delta X = [(R_{\text{サンプル}} / R_{\text{標準物質}}) - 1] \times 1000$$

ここで、X は ^{13}C もしくは ^{15}N 、R は $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ もしくは $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ であり、炭素および窒素の標準物質はそれぞれ、Peedee Belemnite limestone (PDB) と大気中の窒素である。立地環境と湛水処理の違いによる各分類群の生物量と種数の比較解析に関し、一般線形混合モデル (GLMM, JMPver. 7.0) を適用した。なお、本研究は、平成 19 年度と 20 年度の京都大学生態学研究センターの共同利用・共同研究事業（安定同位体分析システム）の支援を受け行った。

4. 研究成果

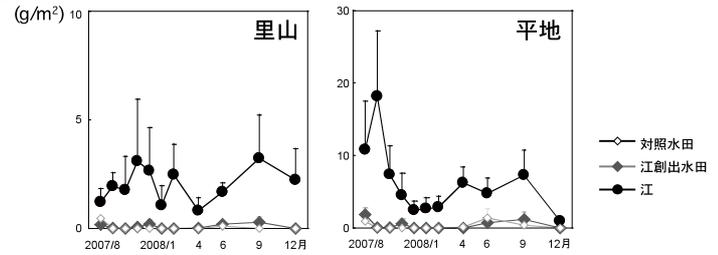
①水田生態系の生物現存量に対する通年湛水環境創出の効果

通年湛水環境である江および湛水休耕田の新規創出が、水田における生物現存量を増加させる効果について、農事暦や季節的变化を考慮し、2007 年 8 月～2008 年 12 月の年間を通じて各環境の生物現存量の推移を評価した（図 2）。江の生物現存量は、一時的湛水環境である水田に比べて、創出 1 年目から年間を通して多い傾向を示した。一方で、江創出水田における生物現存量は、対照水田との差はみられなかった。湛水休耕田における生物現存量は、休耕田と比べ、年間を通して多い傾向はみられず、逆に陸生昆虫が発生する時期は、休耕田の方が多い傾向にあった。江の生物現存量は、一時的湛水環境である水田に比べて、創出 1 年目から年間を通して多い傾向を示した。一方、湛水休耕田における生物現存量は、休耕田と比べて、年間を通して多い傾向はみられず、バッタ類など陸生昆虫が発生する 9 月では、休耕田で多い傾向がみられた。

②水田生態系の出現種数に対する通年湛水環境創出の効果

江および湛水休耕田の創出が出現種数に与える効果について、出現種数が他の分類群に比べて多い水生昆虫綱（カメムシ目、コウチュウ

A) 水田



B) 休耕田

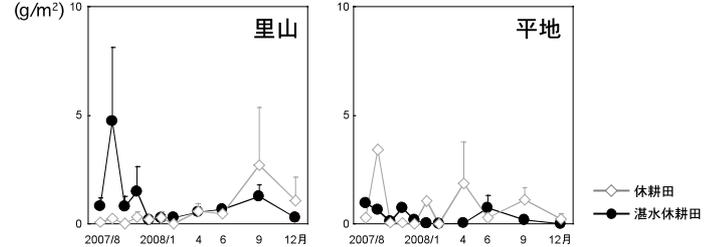


図 2. 通年湛水環境の創出方法と立地環境の違いによる生物現存量の比較。各値は平均値（乾重量 g/m^2 ）、誤差線は標準誤差を示す。

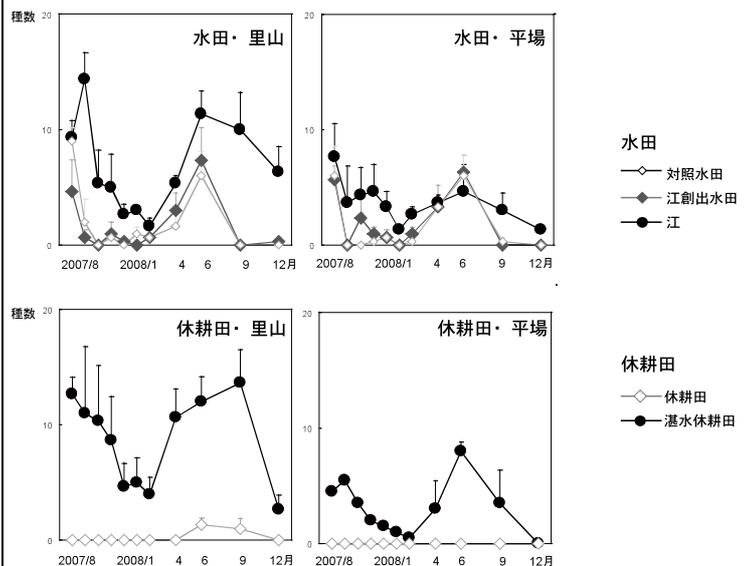


図 3. 通年湛水環境の創出方法と立地環境の違いによる水生の昆虫綱（カメムシ目、コウチュウ目、トンボ目）における出現種数の比較。各値は平均値（種数）、誤差線は標準誤差を示す。

目、トンボ目）を対象に検討した（図 3）。江や湛水休耕田における水生昆虫綱の種数は、対照水田、江創出水田、および休耕田に比べ、年間を通して多い傾向が示された。一方、水田が湛水環境となる 6 月および 8 月においては、水田における出現種数に、江との差はみられなかった。これらより、通年湛水はトキの餌生物を含む水生生物の生息場所を、年間を通じて確保する有効な方法の一つであるということが

明らかになった

③水田生態系のお食物網構造

里山および平地環境における水田・江・湛水休耕田それぞれの水田生態系の構造が、農事暦や季節的变化に伴いどのような動態を示したかを評価するために、2008年に4回行った調査から安定同位体比分析に基づく食物網構造を検討した。ここでは、出現種数・個体数ともに最も多かった6月の結果を示す。まず、里山の水田の食物網構造を図4に示した。

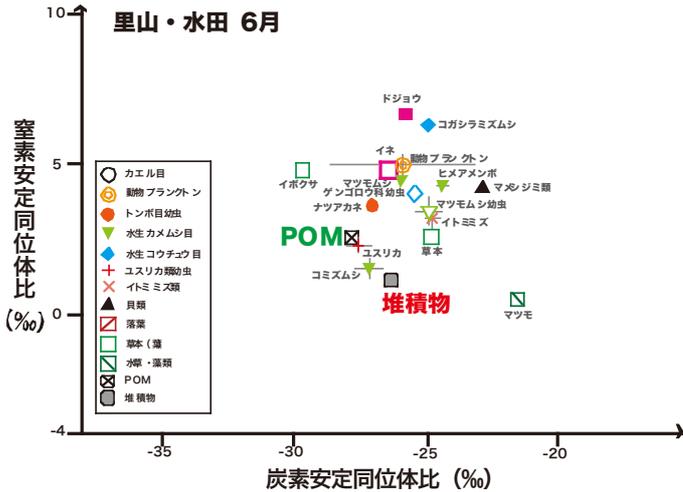


図4. 安定同位体比分析による里山の水田の食物網構造。各値は平均値(‰)、誤差線は標準偏差を示す。

里山水田の6月の食物網構造は、POMと表泥に堆積した有機物が一次生産者(物)であり、ドジョウが最高次の消費者であるという構造であった。イネやその他の草本の葉は、水生生物群集の一次生産者ではないと考えられた。里山水田では、窒素同位体比の値が比較的低い(一次生産者の値に近い)、すなわち栄養段階の低い生物種群であるコウチュウ目やカメムシ目が増加することにより、種多様性が増加している事が明らかになった。

次に、里山の江の食物網構造を図5に示した。里山の江の基本的な食物網構造は、水田と同様、POMと表泥に堆積した有機物が一次生産者(物)であり、ドジョウが最も高次の消費者であった。一部のトンボ幼虫(ヤゴ)やコウチュウ目では、POMや堆積物を基点とする水田内の食物網に比較して、炭素同位体比の値が低く、これは水田内とは異なる一次生産者を基点とする食物網に属していたものが、水田内に移入してきたか、もしくは、POM

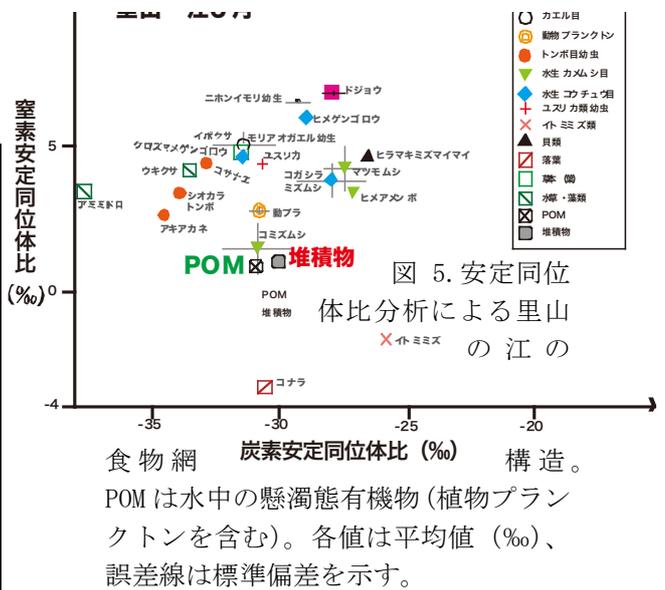


図5. 安定同位体比分析による里山の江の食物網構造。POMは水中の懸濁態有機物(植物プランクトンを含む)。各値は平均値(‰)、誤差線は標準偏差を示す。

または堆積物ではない一次生産者を基点とする食物網に属している可能性がある。江の種多様性は、さまざまな栄養段階の生物種群が増加することだけでなく、水田外の食物網に属する生物が増加する事によって決定されることが示唆された。

次に平地の水田の食物網構造を図6に示した。

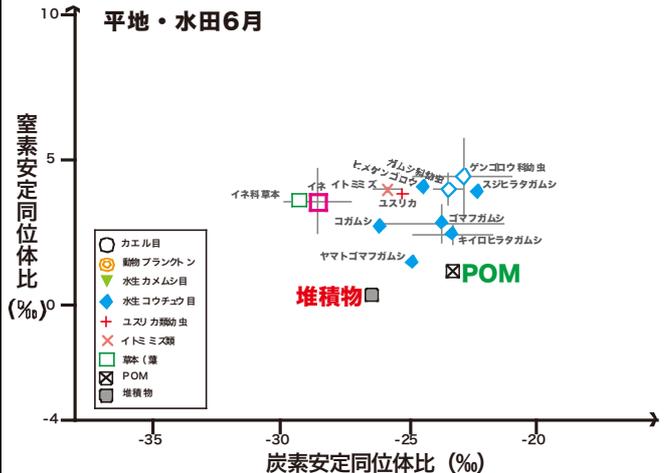


図6. (前項) 安定同位体比分析による平地の水田の食物網構造。POMは水中の懸濁態有機物(植物プランクトンを含む)。各値は平均値(‰)、誤差線は標準偏差を示す。

基本的な食物網構造は、里山の水田や江と同様に、POMと表泥上の堆積有機物が一次生産者であった。ここでもイネやその他の草本の葉は、水生生物群集の一次生産者ではないと考えられた。この水田では魚類(ドジョウ)が捕獲されず、最高次の消費者は肉食性のコウチュウ目幼虫であった。

続いて平地水田の江の食物網構造を図7に

示した。江の食物網構造は、平地の水田の6月と同様に、POMと表泥上の堆積有機物が一次生産者であった。江の最高次の消費者はドジョウであった。

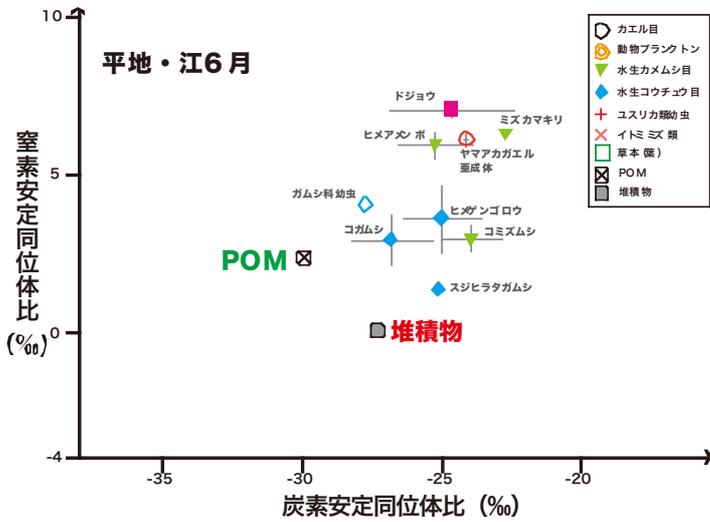


図 7. 安定同位体比分析による平地水田の江の食物網構造。POM は水中の懸濁態有機物 (植物プランクトンを含む)。各値は平均値 (‰)、誤差線は標準偏差を示す。

6月の江では、さまざまな栄養段階の生物種群が増加することによって、種多様性が高まった。

次に、年間を通じて湛水処理を行った休耕田のうち、里山の湛水休耕田の食物網構造の季節的推移を図8に示した。これらの食物網構造は、水田や江と同様に、POMと表泥上の堆積有機物が一次生産者であり、最も高次の消費者はマツモムシであった。里山の水生生物群集では、低次から中程度の栄養段階の生物が年間を通じて出現しており、これによって通年の高い種多様性が維持されていた。一部のトンボ目幼虫 (ヤゴ) やコウチュウ目の炭素同位体比の値は、POMや堆積物を基点とする水田内の食物網と比較して低かった。一方、コウチュウ目の一部には、POMや堆積物よりも高い炭素同位体比をもつ種が出現していた。これらのトンボ目幼虫やコウチュウ目は、水田外の食物網に属していたものが、水田内に移入してきたか、あるいはPOMまたは堆積物とは異なる水田内の一次生産者を基点とする食物網に属している可能性が考えられた。

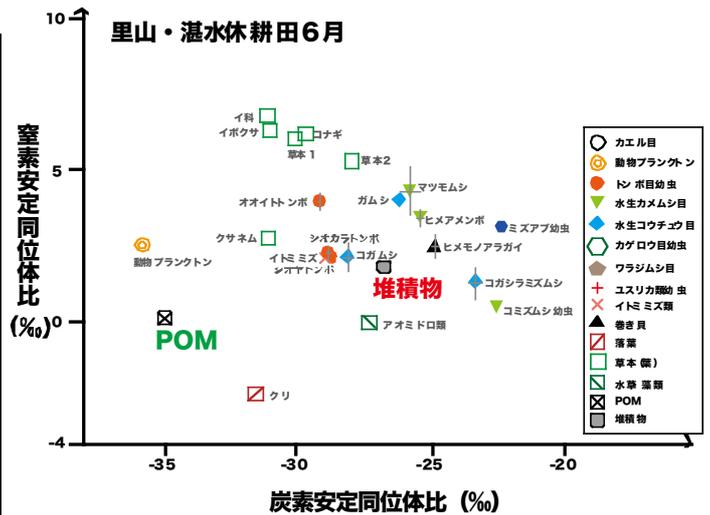


図 8. 安定同位体比分析による里山の湛水休耕田の食物網構造。POM は水中の懸濁態有機物 (植物プランクトンを含む)。各値は平均値 (‰)、誤差線は標準偏差を示す。

最後に、平地の湛水休耕田の食物網構造を図9に示した。平地の湛水休耕田の食物網構造は、POMと表泥上の堆積有機物が一次生産者であった。しかし、最高次の消費者がツチガエルであった点が、他の水田や江と異なっていた。コウチュウ目や水生カ

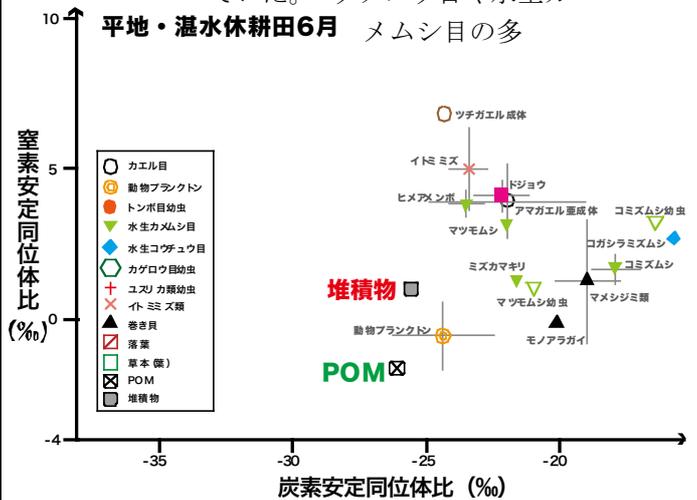


図 9. 安定同位体比分析による平地の湛水休耕田の食物網構造。POM は水中の懸濁態有機物 (植物プランクトンを含む)。各値は平均値 (‰)、誤差線は標準偏差を示す。

くが、POMや堆積物の炭素同位体比よりも高い値を示していた。これらの種群は水田外の食物網に属していたものが、水田内に移入してきたか、もしくは、POMまたは堆積物とは

異なる水田内の一次生産者を基点とする食物網に属していると考えられた。

④まとめ

佐渡の水田において、通年湛水（江と湛水休耕田）の実験的創出が水生生物群集に与える影響を生態学的に評価したところ、創出1年目から継続的に、水生生物現存量や種数を増加させるという効果が認められた。従って、これらの通年湛水方法は、トキの餌生物を含む水生生物の増加や通年の維持に対して有効な方法の一つであるということ強く支持する結果が得られた。また、従来は生物現存量や種数のみで検討されてきた生態系の評価に対して、生態系を食物網構造としてとらえる安定同位体比分析を用いることにより、水田内の生態系の構造としての食物網構造は、POMと堆積物の二つを基点とし、最上位の消費者が魚類であることが明らかになった。また、新たに水田内へ実験的に創出された江や湛水休耕田も、水田内とほぼ同様の構造であることを明らかにした。水田の水生生物群集の構成を検討したところ、水田内に形成された生物群集が、水田内の食物網に含まれる生物のみならず、水田外の食物網に由来する生物の両方で構成されている事を示した。これらのことから、生物現存量や生物の種多様性が高い水田生態系の復元には、水田内の生態系だけではなく、水田と関わりのある周辺の生態系も含めることが重要であると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

①川本思心、浅羽雅晴、大石麻美、武山智博、関島恒夫、島谷幸宏、西條美紀、トキ野生復帰に関するサイエンスカフェの企画・準備・実施の記録と分析：理系研究者による対話活動を支援するための手法の検討、科学技術コミュニケーション、査読有り、5巻、2009年、19-40

〔学会発表〕(計5件)

①武山智博

水田生態系の生物多様性はどのように決まる？、第57回日本生態学会大会、企画シンポジウム、「トキの野生復帰を実現する自然再生シナリオをつくる」、日本生態学会第57回全国大会、2010年3月、東京大

②大石麻美、武山智博、関島恒夫

トキの野生復帰における自然再生：生物量と種多様性を高める水田管理と環境要因
日本生態学会第57回全国大会、2010年3月、東京大

③大石麻美、武山智博、関島恒夫

トキの採餌環境創出を目的とした水田生態系の実験的評価 I. 湛水管理方法と生物多様性・生物量との関係、日本生態学会第56回全国大会、2009年3月、岩手県立大

④武山智博、大石麻美、関島恒夫

トキの採餌環境創出を目的とした水田生態系の実験的評価 II. 安定同位体比分析を用いた食物網構造の解明、日本生態学会第56回全国大会2009年3月岩手県立大

⑤武山智博、大石麻美、関島恒夫

佐渡におけるトキの採餌場所創出の実験的検証、日本生態学会自由集会「大型水鳥を支える里地生態系の構造、機能、再生技術」、日本生態学会第56回全国大会、2009年3月、岩手県立大

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武山 智博 (TAKEYAMA TOMOHIRO)
新潟大学・大学院自然科学研究科・科学技術振興研究員
研究者番号：70452266

(2) 研究協力者

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

大石 麻美 (OHISHI MAMI)

新潟大学・大学院自然科学研究科・科学技術振興研究員
研究者番号：80467068