

課題名 D-0906 水田地帯の生物多様性再生に向けた自然資本・社会資本の評価と再生シナリオの提案

課題代表者名 夏原 由博 (名古屋大学環境学研究科都市環境学専攻)

研究実施期間 平成21～23年度

累計予算額 98,626千円 (うち23年度 29,466千円)
予算額は、間接経費を含む。

研究体制

- (1) 土地利用・社会変化および生物多様性ポテンシャルに基づく水田地帯の類型化手法の構築 (徳島大学)
- (2) 小型生物を重視した水田における種多様性の再検討 (滋賀県立琵琶湖博物館)
- (3) 水田生物群集のギルド構造に関する研究 (愛媛大学)
- (4) 水田地帯の生物多様性を回復するための生態系ネットワーク形成と自然再生実証実験
 - 1) 水田地帯の生物多様性を回復するための生態系ネットワーク形成 (名古屋大学)
 - 2) 水田地帯の生物多様性を回復するための自然再生実証実験 (京都大学)
- (5) 水田地帯の生物多様性保全を効果的に進めるための経済的条件に関する研究 (滋賀大学)
- (6) 水田地帯の生物多様性保全を効果的に進めるための社会的条件に関する研究 (滋賀県立琵琶湖博物館)

研究概要

1. はじめに (研究背景等)

わが国で生物多様性を維持・再生していく上で、国土の大きな面積を占め、国民生活とのかかわりが大きい水田の維持・再生が極めて大きな意味をもつ。その重要性は、アジア圏を中心に世界に広く分布する稲作地帯にも共通のものである。しかし、近年、圃場整備や農薬の使用、農法の近代化によって、あるいは耕作放棄によって湿地としての生態系が失われつつある。しかし、それは湿地としての実体が失われたのではなく、ポテンシャルは今なお残されていると考えられる。地域の生物多様性ポテンシャルとその再生技術の開発が急務である。

現在、田園再生事業の多くにおいては、いわゆるアイコン生物を保全指標種として保護・回復を進めるアプローチがとられているが、こうしたアイコン生物がアンブレラ種としての性質をもつかどうかについて、また、指標種アプローチによる施策が生物多様性それ自体の保全にどの程度有効なのかについては、検証する必要がある。

水田地帯における生物多様性の保全施策を実行する上で、当事者である農家に大きな負担をかけずに施策を実行しうる社会的システムの存在が不可欠である。生物多様性保全型農業の実行により、慣行農法よりも労働量や経費が大きくなり、収量も低くなることが多いため、それを補う経済的保証措置の成否を検討する必要がある。また、将来的に施策の規模が拡大したときに継続可能かどうかについても十分に検討すべきである。

2. 研究開発目的

本研究全体の目的は、水田地帯の生物多様性を回復させる施策のために必要な判断材料を提供することである。そのためには、再生のために必要な、ランドスケープの視点からの水田地帯のポテンシャル評価、ポテンシャルに応じて生態系の連環を回復し生物多様性を再生するための実験的手法の導入、そして再生手法を適用するための社会システムの検討、さらに経済的なフィージビリティの検討を行う。そこで、6つのサブテーマを置き、それぞれが以下の目標をもって研究を進める。(1) 水田地帯を土地利用・社会変化および生物多様性ポテンシャルに基づいて類型化し、優先して保全・

再生すべき地域を見いだすための手法を構築する。(2) 甲殻類と微細藻類について、琵琶湖集水域の水田に生息する種が、地理的条件、地質、灌漑水、耕作方法などの違いなどによって群集構造がどのように異なるかを明らかにする。(3) 水田生物群集のギルド構造をモデルとして想定し、実際のデータに基づいてモデルを検証、改良することで、水田の生物群集を構造的にとらえる。(4) 氾濫原としての水田地帯に生息する代表的な魚類・両生類と維管束植物の代表種について、再生手法や水管理、灌漑排水路のあり方を研究し、農業と在来動植物の共存を図る手法を開発する。(5) 生物多様性を保全する農法の経済的成立条件や取り組みを有効に進めるための制度設計に資する政策的含意を導出する。(6) 集落レベルで生物多様性の保全への取り組みを有効に進めるために必要な社会的合意形成のしくみについて明らかにする。

3. 研究開発の方法

(1) 土地利用・社会変化および生物多様性ポテンシャルに基づく水田地帯の類型化手法の構築

気候・地形等の環境条件の違いに対応する生育地を持つ植物種の潜在的分布域を、空間的階層概念に基づいて求めることで、水田および周辺域の環境類型を行う。そして、それぞれの地域における生物多様性の保全・再生シナリオの描き方について検討することを目的とした。

(2) 小型生物を重視した水田における種多様性の再検討

滋賀県の11地域64筆の水田を対象に、概ね1mm以下の小型生物の定量採集を行った。脊椎動物・昆虫・維管束植物以外のさまざまな分類群について、上記定量調査の採集物、他の定性的採集物、博物館収蔵資料などに基づいて分類学的検討を行った。一部の分類群について、農家へのアンケートや水質分析、土壌分析の結果などに基づいて分布と環境条件との対応関係を検討した。水田にフナ仔魚を放流する野外操作実験によって、水田の微小生物の生物間相互作用を調べた。

(3) 水田生物群集のギルド構造に関する研究

滋賀県内9地域において、慣行栽培農家、減農薬栽培農家、有機栽培農家の各水田圃場の昆虫を含む大型水生生物群集の調査を実施した。ヒメゲンゴロウ、ヒメガムシについて各地に普及しているフィプロニルを対象にLC50を算出して、影響評価システムの妥当性を検討した。水田における水生動物群集のギルド構造を推定するために、水生動物について、CN安定同位体比分析を行った。

(4) 水田地帯の生物多様性を回復するための生態系ネットワーク形成と自然再生実証実験

1) 水田地帯の生物多様性を回復するためのネットワーク形成

地域の生態系の特色を明らかにし、ネットワークを形成すべき範囲を明らかにするために、水田生態系と関係が深い鳥類、両生類、魚類、二枚貝について滋賀県内で分布調査を行った。得られた分布を地理情報と重ね合わせ、一般化線形モデルによって生息適地を推定し、重要なネットワークの形成範囲だと考えられた地域において、ネットワークの再生デザインを立案するための研究を行った。

2) 水田地帯の生物多様性を回復するための自然再生実証実験

水田地帯を代表する在来動植物として、植物では水田畦畔に生育するハルリンドウと水路に生育するバイカモ、動物では環境省のレッドリストで絶滅危惧II類に指定されているナゴヤダルマガエルと準絶滅危惧種に指定されているチュウサギを取り上げ、それぞれの生育・生息に影響を及ぼす環境要因を明らかにするため、現地調査を行った。また、干拓地内の休耕田と、丘陵地の水田において、生物多様性を回復するための自然再生実証実験を行い、干拓地では植物、丘陵地では大型水生動物についてモニタリングし、その効果を検討した。

(5) 水田地帯の生物多様性保全を効果的に進めるための経済的条件に関する研究

本研究では、琵琶湖湖辺域の水田地帯で展開されつつある、魚のゆりかご水田の取組を主な対象とし、社会関係資本が果たす役割に着目しつつ、①水田地帯における生物多様性保全に配慮した農業の普及・展開条件の検討や当該農業と慣行農業の経済的成立条件の比較、②生物多様性保全に配慮した農業によって生産された農産物の需要条件の検討を行った。

①については、魚のゆりかご水田に取り組む農業集落における聞き取り調査ならびに琵琶湖湖畔域のゆりかご水田取組集落を対象とした質問紙調査等の実施と調査票の計量経済分析を行った。

②については、生物多様性に配慮して生産された農産物に関する、消費者への質問紙調査の実施と調査票の計量経済分析を行った。

さらに、上記の分析に加え、農業集落における補足調査や経済実験による補足的な分析等を行い、それら結果の取りまとめを通じて、水田地帯における生物多様性保全に配慮した農業を展開するための経済的条件や政策的含意を検討した

(6) 水田地帯の生物多様性保全を効果的に進めるための社会的条件に関する研究

生物多様性保全を促進する仕組みは、農家のように直接環境に働きかける人々が参加する場合、参加者がその場所にある環境からの多様な生態系サービスを直接享受しうる仕組みを基本とすることが重要である。しかし、その仕組みは複雑であり、補助金や市場を通じた経済的利益実現の仕組み以外は十分に変数を特定できているとはいえない。そこで、本研究では、その仕組みを把握するために以下の二つの方法を採用した。

第一に、生物多様性保全活動における農家の社会参加の仕組みについて集落を単位としたケーススタディとして明らかにすることである。調査票を用いた面接調査、集落カード・農林業センサスの分析を実施しそれらの事例から農家の参加要件を抽出する方法を採用した。

第二に、国内事例および中国太湖地域の事例との比較によって、抽出された要件の精度を高めるとともに、水田地帯の生物多様性再生に向けた自然資本・社会資本の評価と再生シナリオの提案という本研究全体に貢献することとした。

4. 結果及び考察

(1) 土地利用・社会変化および生物多様性ポテンシャルに基づく水田地帯の類型化手法の構築

水生・湿性の絶滅危惧植物を指標とする22集群のポテンシャル解析により、9つの景観要因（年平均気温、年平均降水量、最深積雪深、Stream Power Index、Topographical Wetness Index、河口からの距離、窪地面積率、標高、傾斜角）によって広域分布推定できることがわかった。そのうち、特に水田卓越地域に潜在的分布域を持つ、オニバス、ミズアオイ、アサザ、オオアブノメなどについて流域及びサイトスケールで分布解析したところ、洪水時の浸水深といった水文特性の違いによる生育地分化が確認された。この結果をもとに、保全・再生適地の探索手法を提案した。

(2) 小型生物を重視した水田における種多様性の再検討

滋賀県内の水田から、珪藻250種以上、イタチムシ43種、環形動物40種、微小甲殻類50種などが確認された。この中には新種（記載中のものを含む）が少なくとも7種含まれ、他にも水田から報告されたことがない種が多く含まれていた。珪藻の分布には除草剤の使用が、カイエビの分布には冬期の土壌含水率が、それぞれ影響を及ぼしていた。水田にフナ仔魚を放流すると、対照水田に比べてミジンコ類が激減し、その餌サイズに該当する微小生物がのきなみ増加する「トップダウン栄養カスケード」が観測された。

(3) 水田生物群集のギルド構造に関する研究

滋賀県の水田における水生昆虫群集の地域性を生み出す要因として、①水生昆虫の分布域の違い、②水田周辺の景観的な土地被覆の違い、の2つが考えられた。スクミリンゴガイが湖東地域を中心に分布拡大しており、水田雑草への影響が認められた。ヒメゲンゴロウとヒメガムシのLC50の値には、約100倍の差異が認められた。フタバカゲロウ属sp.の $\delta^{15}\text{N}$ は水田間で同等の値であったが、 $\delta^{13}\text{C}$ は水田間で大きく異なった。このことより、植食性種でも、水田により利用する餌資源が異なる可能性が考えられた。

(4) 水田地帯の生物多様性を回復するための生態系ネットワーク形成と自然再生実証実験

1) 水田地帯の生物多様性を回復するためのネットワーク形成

滋賀県内の水田における鳥の種は、主に低地及び台地段丘に分布するチュウサギなどのグループと、主に丘陵地及び山地に分布するサシバなどのグループに大きく分かれた。両生類のうち、モリアオガエルは、山地から丘陵地にかけて分布し、ダルマガエルは低地に広く分布するものの、都市化により分断された水田では出現率が低下した。カスミサンショウウオは、丘陵地に偏在していた。魚類も、丘陵地にホトケドジョウなど、扇状地から低地にはヤリタナゴやタモロコなど、それよりやや低地にナマズ、フナ類などが広く分布した。甲賀市内の110ヶ所のカスミサンショウウオ産卵場所データより、水田タイプ別の生息率は、未整備水田では3.21%、放棄水田では、0.42%、整備水田では0.40%であった。連続した生息場所ごとの個体群存続可能性分析を行い、50年間絶滅リスクは0.3%～87.1%という

結果を得た。イシガイ類とその宿主であるトウヨシノボリが同所的に分布していた水深および流速の範囲は、13-27cm及び3.3-33.1cm/secだった。通年これらの生物に適した水深と流速を維持することができれば、移動能力の低いイシガイ類でも安定して生存できると考えられた。

2) 水田地帯の生物多様性を回復するための自然再生実証実験

ハルリンドウの個体数と相対光量子量との間に正の関係がみられ、草刈りによって明るい環境が保たれることが必要であると考えられた。バイカモにとって粘土の多い環境は生育地として不適であることが示され、水草刈りを行い植物遺体や粘土の堆積を防ぐ必要があることが推察された。側溝による水田間の分断は、ナゴヤダルマガエルの小型個体の移動に特に影響を及ぼすことが示され、側溝からの脱出を助ける装置の必要性が示唆された。チュウサギは、水田に生息する動物を主な食餌物としていることが示され、まずは水田の水生動物の保全、再生が必要であると考えられた。干拓地の休耕田の湛水実験では、絶滅危惧種が発芽した一方で、外来種や耕地雑草が繁茂した。これらの種を抑制するには、発芽が可能な8月頃までは湛水状態を維持する必要があることを示した。丘陵地の水田に隣接して常時湛水の池を造成した結果、大型水生動物の落水期の生息場所となる可能性が示された。

(5) 水田地帯の生物多様性保全を効果的に進めるための経済的条件に関する研究

第一に、生物多様性保全に配慮した農業の展開には、集落における社会関係資本の醸成、生物多様性に配慮して生産された農産物の高付加価値化やブランド形成による価格プレミアムの確保が、水田地帯における生物多様性の再生・保全の取組に重要な役割を果たすことを明らかにした。

第二に、消費者・農家間のネットワークの形成をはじめとする社会関係資本の醸成が、生物多様性に配慮した農業によって生産される農産物の需要拡大に寄与することを明らかにした。また、生物多様性保全に配慮した農業の取組内容の周知や、そうした農業が有する生物多様性保全機能に対する肯定的評価を獲得するための情報周知が、当該農産物の需要拡大に寄与を通じて、当該農業への支持に結びつくことも明らかにした。

(6) 水田地帯の生物多様性保全を効果的に進めるための社会的条件に関する研究

生物多様性保全に係わる活動が開始されるプロセスについての事例研究を行い、集落に内包されている参加要件を抽出した。

その中でもキーと思われる環境アイコン生物については、他班の研究成果や環境社会学における研究史も加味し、その特徴と役割を検討した。環境アイコン生物は、「特定の自然環境を象徴する野生生物や生態系で、その保全ないし再生に多様なステークホルダーが強い関心を示し、環境アイコンを中心として自然環境に多様な活動が起こる可能性をもつもの」と定義されている（佐藤，2008）。そこで、本研究班では、シナリオ提起という本研究の意図を踏まえ、次のように環境アイコン生物を定義した。環境アイコン生物とは、キーストーン種に加えて、住民、専門家集団、行政の相互作用の中で選択され、保全の多様な価値についてゆるやかに合意された、社会的に意味をもつ生物種と暫定的に定義できる。その成立要件は以下の3点である。

- ①コミュニティにおけるかなり多数の住民が体験的にその生物の行動生態を知っており、その保全に関心を持った場合、住民たちが自らの課題解決と結びつけながら環境改善に着手することが可能なこと。
- ②当該地域における生態系のキーストーン種となりうるものが生態学的に見てある程度の確度で実証されているか科学的に推論可能なこと。
- ③その生物の生息・生育環境の改善活動に地方自治体、政府の政策的バックアップが見込めること。

現在この三つの条件を備えているのは、水田地帯を抱える国としては日本が最有力である。しかし、水田地帯を抱える他のアジア諸国においても、上記の条件をそなえた種は存在しており、応用は可能であるという見通しを得た。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

これまで都道府県あるいは市町村レベルの個別的な環境類型図はいくつか提案されてきた。しかしながら、国家的課題であるとの立場からすると、日本全国を取り扱える統一的な考え方が必要であった。本研究では、絶滅が危惧される水生・湿地性植物の分布情報を用いた日本全国を共通して解析できる本方法を適応し、実用性のある地図を提案することができた。

小型生物に関する調査結果は、水田の生物多様性に関する従来の私たちの見方の偏りを、具体的な

データで暴くものになっている。珪藻のような微小生物を除いて、生物の分布は農法よりも冬季の積雪などの地理的条件の影響を強く受けることが明らかになった。魚の導入によって、湖沼などと同様に「栄養カスケード」や「間接ボトムアップ」などの効果が働きくことも明らかになった。珪藻は農薬使用や珪酸供給の指標になることが明らかになり、「安全でおいしいお米」がとれる水田環境の指標として有望であることが示された。

ギルド構造の解析の結果、今後の水田の生物多様性管理をデザインする場合に、水田における天敵の密度を高めればよいという単純な発想ではなく、害虫と天敵の総合作用、天敵間のギルド内捕食、およびそれ以外のコモリグモ類の餌生物の30%を占めたトビムシ類やユスリカ類などを含む間接効果にも留意した群集管理の必要性を示すことができた。

生息地間の移動を組み込むことによって、個体群存続可能性分析を、生態系ネットワークの評価のために応用する手法を開発した。イシガイ類を例として、生物間相互作用に着目した生態系ネットワーク形成の指標化と、保全のための水管理手法を提案できるようになった。水田においても、里山と同様に、希少種の保全には人為的な管理が必要であることを示し、二次的自然の生物多様性の維持機構の解明に貢献する成果を得た。また、干拓後50年以上が経過した湿地における埋土種子相を調べた研究は世界でもほとんどなく、水田耕作により湿地性の1年草が干拓後も長期にわたって維持されることを示した。東南アジアでの調査結果は、天水田に生育する生物が、伝統的な水田耕作サイクルに適応して進化してきたことを示唆するものであり、今後、東南アジア地域の水田の生物の生活史を解明する上で、重要な結果である。

これまで研究蓄積の乏しい、生物多様性保全に資する農業の普及やこうした農業を通じて生産された農産物に対する消費者の購買行動に関して、社会関係資本と農家行動や消費者行動との関係を明らかにした。また、水田地帯における生物多様性保全に資する農業展開のための政策的含意を生産者と消費者の双方の側面について導出した。

集落という単位に備わっている農家の参加要件という形で生物多様性を促進する社会的条件を抽出できた。カテゴリカルデータという形で参加要件の抽出は量的研究と質的研究との統合にとって不可欠なステップであり、今後、様々な応用が可能である。ことに、農家の参加要件としての環境アイコン生物の機能がある程度あきらかにしえたことは、今後のソフトな環境政策を考える上でも重要な成果である。

（２）環境政策への貢献

本テーマのメンバーが、環境省の全国里地里山保全活用行動計画（仮称）の策定の議論に一貫して参画し、水田の生物多様性の保全再生の観点からの環境スチュワードシップの検討の必要性や、各地域における典型的な里地里山の選定にあたっては本推進費研究対象地の情報を提供するなどの貢献を行なった。また、農林水産省の環境配慮施設の効果的な配置手法検討委員会に委員として参画し、本研究成果である空間的階層概念に基づく保全適地の絞り込みに関する考え方が取り入れている。

徳島県生物多様性地域戦略（仮称）においては、本地図が検討材料として取り上げられている。滋賀県豊かな生きものを育む水田づくり専門委員会ならびに魚のゆりかご水田推進協議会において、本研究の調査結果の一部が活用されるとともに、「豊かな生きものを育む水田づくり」手引書の作成に貢献した。また、滋賀県近江八幡市環境審議会ならびに環境基本計画策定部会において、本研究で得られた知見の一部が情報提供された。日本生態学会第59回大会でシンポジウムを開催し、嘉田由紀子滋賀県知事に基調講演を依頼して、今後の水田地帯の環境保全と研究との関係を参加者とともに議論した。

2012年7月にラムサール COP 11 での討議資料として用いられる”Rice paddy as wetland system booklet for Ramsar COP 11”の編集に参画し、ラムサール条約（および生物多様性条約）における水田の位置づけをより重要なものにすることに貢献した。OECDの農業シンポジウムにおいて招待講演し、水田の多面的機能について解説し、日本の稲作への国際理解に貢献した。

6. 研究成果の主な発表状況

（１）主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) Y. TASHIRO, M. MAKADA and Y. SATO : 8th International Symposium on Ecohydraulics 2010, CD-R(SS8E-3),1843-1850(2010)

“Conservation Plan of Irrigation Canal Network for a Small Endangered Fish, *Hemigrammocypripis*

- rasborella*, –A case in Tokushima Prefecture, Shikoku Island, Japan”
- 2) 田代優秋、中川頌将、鎌田磨人：環境システム研究論文集Vol.38,63-71 (2010)
「氾濫原の農業水路における伝統的な半水没水田“縁田”とその変遷」
 - 3) R. J. BLAKEMORE (2010) Opusc. Zool. Budapest 41: 191-206 (2010)
“Unravelling some Kinki earthworms (Annelida: Oligochaeta: Megadrili: Megascolecidae) - Part II.”
 - 4) 藤栄剛、井上憲一、岸田芳朗：地域学研究, 40(2), 397-412 (2010)
「農法普及における近隣外部性の役割ー合鴨稲作を事例としてー」
 - 5) 西村武司、吉野章：2010年度日本農業経済学会論文集, 236-243 (2010)
「生物多様性保全農産物に関する消費者の意識と行動に基づく消費者セグメンテーション」
 - 6) 藤栄剛、松下京平：環境情報科学論文集, 24, 119-124 (2010)
「経済実験によるソーシャル・キャピタルの定量化ー表明選好データとの比較」
 - 7) 松下京平、藤栄剛：環境情報科学論文集, 24, 267-272 (2010)
「農業生産性の向上か生息環境の保全かー消費者のリスク選好と時間選好に着目して」
 - 8) P.YANG: East Asian Sociology of the 21st Century, Japan-China Sociological Society, No3. 194-202. (2010)
“Regional maintenance infrastructure of "waterside-Preservation of living environment by boat dwellers and farmers of Jiang Nan riverside district in China”
 - 9) 楊平・用田政晴：生活文化史, 第58号, 3-12 (2010)
「名水百選認定と農村水環境の歴史的保全.」
 - 10) Y. NISHIMURA., T. OHTSUKA, K. YOSHIYAMA, D. NAKAI, F. SHIBAHARA and M. AEHATA: Ecol. Res. 26: 615-626 (2011)
“Cascading effects of larval Crucian carp introduction on phytoplankton and microbial communities in a paddy field: top-down and bottom-up controls.”
 - 11) R.J. BLAKEMORE and M.J. GRYGIER: Soil Organisms 83: 265-278 (2011)
“Unraveling some Kinki worms (Annelida, Oligochaeta, Megadrili, Lumbricidae) – Part III.”
 - 12) A. IMANISHI, S. KANEKO, Y. ISAGI, J. IMANISHI, Y. NATUHARA and Y. MORIMOTO: American Journal of Botany, 98, e233-e235 (2011)
“Development of microsatellite markers for *Euryale ferox* (Nymphaeaceae), an endangered aquatic plant species in Japan”
 - 13) 松本仁、今西亜友美、今西純一、須崎純一、森本幸裕、夏原由博：環境情報科学論文集, 25, 227-232 (2011).
「巨椋池干拓地の休耕田内の比高が湿地植物の分布におよぼす影響」
 - 14) 西村武司：農林業問題研究, 第182号, 78-83(2011)
「生物多様性に配慮した農業の普及過程と各集落の取り組み水準」
 - 15) Y. NISHIMURA., T. OHTSUKA, K. YOSHIYAMA, D. NAKAI, F. SHIBAHARA and M. MAEHATA: Ecol. Res. 26: 615-626 (2011)
“Cascading effects of larval Crucian carp introduction on phytoplankton and microbial communities in a paddy field: top-down and bottom-up controls.”
 - 16) 河瀬直幹、中西康介、向井康夫：陸水生物学報 (Biology of Inland Waters) 26:21-46 (2011)
「滋賀県の水生甲虫相I (コガシラミズムシ科・コツブゲンゴロウ科・ゲンゴロウ科・ミズスマシ科・ツブミズムシ科・ホソガムシ科・ダルマガムシ科・ガムシ科)」
 - 17) 田代優秋：農業農村工学会論文集271,41-42 (2011)
「泥上げによる水路底泥のAVS低減効果とその提示方法」
 - 18) 田代優秋、鎌田磨人：土木学会論文集B3 (海洋開発) 67(2), I_802-807 (2011)
「地域環境課題の解決を目指した専門家-地域住民との協働継続要因：人的ネットワーク構造に着目して」
 - 19) Y. NATUHARA, A. IMANISHI, M. KANZAKI, S. SOUTHAVONG, I. DUANGVONGSA: Landscape and Ecological Engineering 8, 115-122 (2011)
“Uses of trees in paddy fields in Champasak Province, Southern Lao PDR”
 - 20) Y. B. AKIYAMA: Venus, 69, 206-209 (2011)
“Host fish species for the glochidia of *Anodonta japonica* inhabiting drainage ditches for rice cultivation in Hikone City”
 - 10) 秋山吉寛、西田翔太郎、夏原由博：ちりぼたん, 41, 3-4, 127-128 (2011)

「三重県の農業用ため池でみつかったマツカサガイの殻」

- 21) A. MAKINO and P. YANG: Asian Rural Sociology IV, Vol.2.284-289 (2011)
 “Analysis of the Social Conditions Conducive to Sustainable Organic Rice Farming Around Lake Biwa in Japan”
- 22) 田代優秋、上月康則、東知里：農業農村工学会誌80(1), 15-18 (2012)
 「地域環境課題の解決に寄与するアウトリーチ活動の可能性」
- 23) 田代優秋、犬伏敏真、藤森元浩、河野正弘、鎌田磨人：農業農村工学会誌80(3), 15-18 (2012)
 「維持管理意欲を向上する“工夫の余地”という水路設計思想」
- 24) A. IMANISHI, J. IMANISHI, H. MATSUMOTO, Y. MORIMOTO and Y. NATUHARA: Journal of Environmental Information Science, 40 (5), 119-128 (2012)
 “The Propagule Banks of the Drained Sites and Remnant Wetlands in the Ogura-ike Area of Kyoto, Japan: Implications for Restoration”
- 25) Y. Natuhara, Y. Akiyama: Journal of Environmental Information Science 40 (5), 159-166 (2012)
 “Comparison of fish assemblages in drainage ditches of rice fields in lake Biwa basin, Japan”
- 26) 今西亜友美、今西純一、河瀬直幹、夏原由博：ランドスケープ研究, 75, 5, 419-422 (2012)
 「滋賀県南東部の水田地帯におけるハルリンドウ生育地の環境条件」
- 27) 西村武司、松下京平、藤栄剛：フードシステム研究, 18(4), 403-414 (2012)
 「生物多様性保全型農産物に対する消費者の購買意志－消費者特性の把握と知識の役割－」
- 28) 西村武司、松下京平、藤栄剛：環境科学会誌, 25(3) (2012)
 「生態系・環境保全型農産物の価格プレミアムの決定要因：滋賀県における魚のゆりかご水田米を事例として」（掲載予定）
- 29) K. KAWASAKI, T. FUJIE, K. KOITO, N. INOUE and H. SASAKI: Environmental and Resource Economics, (2012)
 “Conservation Auctions and Compliance: Theory and Evidence from Laboratory Experiments”(in press)
- 30) 大塚泰介、山崎真嗣、西村洋子：日本生態学会誌. (2012)
 「水田に魚を放すと、生物間の関係が見えてくる－多面的機能を解き明かすための基礎として－」(in press)
- 31) 楊平：『日中社会学研究』19号（2012）
 「環境資源としての水を生かした村の実践－琵琶湖からみた太湖との比較研究の試み－」(印刷中)
- 32) Y. NATUHARA: Ecological Engineering. DOI.10.1016/j.ecoleng.2012.04.026 (2012)
 “Ecosystem services by paddy fields as substitutes of natural wetlands in Japan”(in press)
- 33) R. NAITO, M. YAMASAKI, A. IMANISHI, Y. NATUHARA and Y. MORIMOTO: Zoological Science (2012)
 “Effects of management and surrounding land use on habitat selection by frogs in rice paddies in Japan.” (in press)
- 34) 日鷹一雅：日本生態学会誌 (Japanese Journal of Ecology) 62(2) (2012)
 水田における群集構造の潜在食物網と実際食物網：天敵類のギルド内捕食をめぐって(印刷中)
- 35) 楊平：日中社会学研究（2012）
 「環境資源としての水を生かした村の実践－琵琶湖からみた太湖との比較研究の試み－」(印刷中)

（２）主な口頭発表（学会等）

- 1) 田代優秋：応用生態工学会第13回大会（2009）
 「農家と研究者による希少種保全のプロセス分析」
- 2) A. MAKINO・P. YANG: 13th World Lake Conference, Wuhan China, 2009.
 “Is Large-scale Organic Rice farming around Lake Biwa Sustainable?”
- 3) 藤栄剛、井上憲一、佐々木宏樹、川崎賢太郎、小糸健太郎：環境経済・政策学会(2009)
 「環境保全型農業の採択と危険回避度・時間割引率」
- 4) 川崎賢太郎、藤栄剛、小糸健太郎、井上憲一、佐々木宏樹：環境経済・政策学会(2009)
 「オークション型環境支払とコンプライアンス行動：理論分析と経済実験」
- 5) 鎌田磨人、熱田尚子、田代優秋：日本生態学会第57回全国大会（2010）

- 「水生・湿生RDB植物を指標にした日本の水辺類型」
- 6) 田代優秋：日本生態学会第57回全国大会（2010）
「GISを用いた水田域魚類の現実的な“保全工学”：絶滅危惧種カワバタモロコを例として」
- 7) 日鷹一雅・向井康夫・中西康介・本林 隆・横山大輔，第57回日本生態学会大会(2010)
「滋賀県における水生昆虫普通種の分布状況とその成因」
- 8) 日鷹一雅・本林隆・五箇公一，第54回日本応用動物昆虫学会大会(2010)
「水田生物多様性に対する苗箱処理剤の影響評価の総合的考察」
- 9) 日鷹一雅・本林隆・井上雄樹，第54回日本応用動物昆虫学会大会(2010)
「薬剤感受性の種多様性の視点から一数種の箱処理剤に対する水生鞘翅目昆虫の感受性について」
- 10) 向井康夫・野村進也・日鷹一雅・石井 実，第54回日本応用動物昆虫学会大会(2010)
「水生昆虫の水田利用の視点から」
- 11) 夏原由博、大塚泰介：日本生態学会第57回大会（2010）
「普通種がいなくなるときー水田地帯の生物多様性」
- 12) 天野一葉、夏原由博：日本生態学会第57回大会（2010）
「琵琶湖周辺のランドスケープの違いによる鳥・両生類の特徴」
- 13) 西村武司、吉野章、藤栄剛：2010年度日本農業経済学会（2010）
「生物多様性農産物に対する消費者意識と購買行動ー滋賀県の魚のゆりかご水田米を事例として」
- 14) K. TANAKA, J. WU and K. KURIYAMA: Western Economic Association International 85th Annual Conference, Portland, USA, 2010.
“Managing Urban Runoff and Lake Water Quality Through Land Use Regulations”
- 15) K. KAWASAKI, T. FUJIE, K. KOITO, N. INOUE and H. SASAKI: Agricultural and Applied Economics Association Annual Meeting, Denver, USA, 2010.
“Conservation Auctions and Compliance: Theory and Evidence from Laboratory Experiments”
- 16) K. TANAKA. and J. WU: Agricultural and Applied Economics Association Annual Meeting, Denver, USA, 2010.
“A Spatial Analysis of Land Use Change and Water Quality in Lake Biwa, Japan”
- 17) H. SASAKI, T. FUJIE, K. KOITO, N. INOUE. and K. KAWASAKI: 120th European Association of Agricultural Economists Seminar, Crete, Greece, 2010
“Auctioning Conservation Contracts and Evaluating the Risk Attitudes of Farmers: Economic Experiments in Japan.”
- 18) H. MATSUMOTO, A. IMANISHI, J. IMANISHI, J. SUSAKI, Y. MORIMOTO, Y. NATUHARA: URBIO 2010 International Conference, Nagoya, Japan, 2010
“The factors affecting plant distribution in a fallow paddy field under consideration of nature restoration in Oguraike drained land”
- 19) 田代優秋、鎌田磨人：日本景観生態学会第21回千葉大会（2011）
「日本全国凹地マップと津波浸水被害ー国土形成計画への展開の可能性ー」
- 20) 大橋 順、高橋信樹、田代優秋、鎌田磨人：日本景観生態学会第21回千葉大会（2011）
「空間的階層概念に基づく湿生RDB植物の分布決定要因の抽出」
- 21) 今西亜友美、鷺谷寧子、夏原由博、Duangvongsa, I., Southavong, S., Chalernesouk, V.: 日本景観生態学会第21回千葉大会（2011）
「ラオス南部における灌漑施設の導入が水田の植物相に与える影響」
- 22) 田代優秋：応用生態工学会第15回金沢大会（2011）
「農業水路における新たな地域資源管理形態の試みー保全から利用の場ー」
- 23) M. MAEDA, Y. KUSUOKA, M.J. GRYGIER and the Lake Biwa Museum Hashikake Rice Field Organisms Survey Group: The 7th International Large Branchiopods Symposium and Workshop, 2011
“Evaluation of the effect of winter soil moisture on the distribution of large branchiopods in Shiga Prefecture, Japan”
- 24) 秋山吉寛：淡水貝類研究会第17回研究集会（2011）
「イシガイ科貝類幼生の形態比較と多様な寄生戦略の推測」
- 25) 西村武司、松下京平、藤栄剛：2011年度農村計画学会春期大会学術研究発表会（2011）
「生態系および環境に配慮して生産された米の価格プレミアムー滋賀県における魚のゆりかご水田米を事例としてー」

- 26) 西村武司、松下京平、藤栄剛：2011年度日本農業経済学会大会（2011）
「生物多様性に配慮した農業の展開条件－滋賀県における魚のゆりかご水田を事例として－」
- 27) 西村武司、松下京平、藤栄剛：2011年度日本フードシステム学会大会（2011）
「生物多様性保全型農産物に対する消費者の購買意志－消費者特性の把握と知識の役割－」
- 28) 西村武司：第61回地域農林経済学会大会（2011）
「施設栽培トマトの花粉媒介昆虫としての在来種マルハナバチ採用の要因分析」
- 29) P. YANG・Z. WEI・Y. TAKASHI: 14th World Lake Conference, 2011
"Maintenance and management of paddy fields for the conservation of the waterside eco-tone"
- 30) Y. HIRAI・A. MAKINO: 14th World Lake Conference, 2011
"An analysis of contribution factors for environmental protection policies to become established in the waterfront rice paddies of Lake Biwa in Japan"
- 31) 牧野厚史：西日本社会学会第69回大会（2011）
「生活環境としての水田－日本琵琶湖と中国湖沼と関連づけながら」
- 16) 平井勇介：環境社会学会第44回大会（2011）
「自然環境保全とゴミ処理場の誘致－持続可能な地域計画の検討のために－」
- 25) 田代優秋：第54回魚類自然史研究会（2012）
「徳島県におけるカワバタモロコの保全研究史：2011年までを振り返って」
- 32) M.J. GRYGIER: Fifth EAFES International Congress Symposium, 2012
"Preliminary observations on diversity and habitat preference of microcrustaceans in rice fields of Shiga Prefecture, Japan"
- 33) A. IMANISHI, Y. WASHITANI, Y. NATUHARA, I. DUANGVONGSA, S. SOUTHAVONG, V. CHALERNESOUK: Joint Meeting of The 59th Annual Meeting of ESJ and The 5th EAFES International Congress, Otsu, 2012
"Differences in weed vegetation between rain-fed and irrigated paddies in Champasak Province, Lao PDR"
- 34) 藤栄剛：日本生態学会第59回全国大会（2012）
「生態系ネットワーク保全のための社会経済条件」
- 35) 秋山吉寛：第59回日本生態学会企画集会T02（2012）
「水路・河川のネットワークと生物間相互作用」
- 36) 日鷹一雅：日本生態学会第59回全国大会（2012）
「序：なぜ今、里山の在来知？暮らしの中に潜む「内なる生物多様性」」
- 37) 向井康夫：日本生態学会第59回全国大会（2012）
「琵琶湖集水域・内陸部の水田地帯における水生動物の多様性の現状」
- 38) 嶺田拓也、金尾滋史、中井克樹、松田征也、高倉猛、林和典、日鷹一雅：日本生態学会第59回大会（2012）
「スクミリンゴガイの琵琶湖およびその集水域における侵入・定着」
- 39) 日鷹一雅・本林 隆 日本応用動物昆虫学会（2012）
「総合的農業影響評価マネジメントに向けて」
- 40) 向井康夫：日本生態学会国際合同大会ESJ59/EAFES5（2012）
「琵琶湖を取り巻く人の暮らしと生物多様性－琵琶湖集水域・内陸部の水田地帯における水生動物の多様性の現状－」

7. 研究者略歴

課題代表者：夏原 由博

1956年生まれ、京都大学大学院修了、京都大学大学院地球環境学堂教授、現在、名古屋大学大学院環境学研究科教授

研究参画者

(1)：鎌田 磨人

1961年生まれ、広島大学大学院修了、徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部教授

(2)：大塚 泰介

滋賀県立琵琶湖博物館専門研究員

(3) : 日鷹 一雅

1959年生まれ、広島大学大学院修了、愛媛大学農学部准教授

(4) 1) : 夏原 由博 (同上)

2) : 森本 幸裕

1948年生まれ、京都大学大学院修了、京都大学大学院地球環境学堂教授、現在、京都学園大学
バイオ環境学部教授

(5) : 藤栄 剛

1975年生まれ、京都大学大学院修了、滋賀大学環境総合研究センター准教授

(6) : 楊 平

1975年生まれ、筑波大学大学院修了、滋賀県立琵琶湖博物館学芸員

D-0906 水田地帯の生物多様性再生に向けた自然資本・社会資本の評価と
再生シナリオの提案

(1) 土地利用・社会変化および生物多様性ポテンシャルに基づく水田地帯の類型化手法の構築

徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 鎌田磨人、岡部健士
<研究協力者>

徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 田代優秋

平成21～23年度累計予算額：15,795千円

(うち、平成23年度予算額：4,699千円)

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】 本研究は、水田周辺で生育する湿地性植物の保全・再生に向けたスクリーニングのあり方を検討し、提案するものである。生物の分布を規定する要因は、対象とする空間スケールによって影響度が異なる。この考え方、すなわち、「空間階層的概念」に沿って、日本全国スケール・流域スケール・地域スケールの3つのスケールについて、水田周辺で生育する湿地性植物の分布決定要因を抽出する。そして、抽出された環境要因を変容させ、植物の生育リスクを高める駆動要因について検討した。

(1) 全国スケール：環境省RDBに掲載されている維管束植物のうち74種を選定し、水辺の生育地機能の概略を把握するためのクラスター分析、在データのみで分析可能な種分布モデルMaxentを用いて生息適地解析を行った。この結果、潜在的生育地の推定をするにあたり、信頼性の高いモデルを得ることができた。(2) 流域スケール：分布域が重複していた「種群1」と「種群2」に着目し、下位の空間スケールでニッチの違いを見い出せるかを検討した。博物館に収蔵されている標本資料から採集地点情報を得て、淀川流域と吉野川流域において字単位で分布を規定する環境要因について、GLMを用いて解析した。この結果、平野部の窪地面積率や水の溜まりやすさを表す水文指標が抽出された。

(3) 地域スケール：種群1と2に対して、実際の洪水氾濫のシュミレーション結果をオーバーレイして解析した。この結果、種群は僅かな浸水深の違いを使い分けており、このスケールではニッチの差が検出された。本研究では、より細かな水文学的な因子によって、ニッチ分割されている様子を把握することができた。対象種の潜在的生育地を求め、生態学的な特性に基づき水辺域を類型化する上で、こうした空間階層概念に基づくマルチスケールな手法を用いることは非常に効率的であると思われる。

【キーワード】 湿地性植物、絶滅危惧種、空間的階層概念、水田地帯、潜在的生育適地

1. はじめに

水田は、日本を代表する水辺生態系であり、それは、かつて広く分布していた氾濫湿地の代替

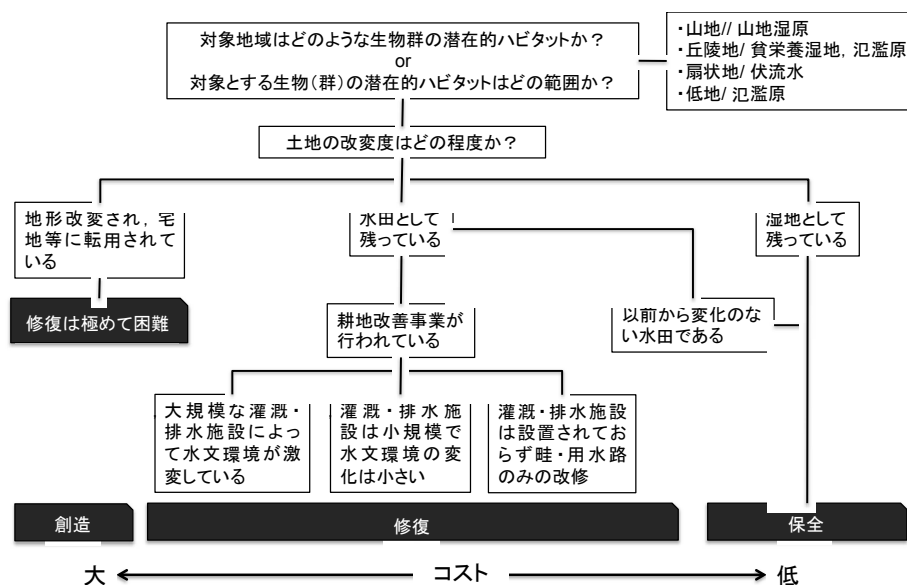
機能を有している。しかしながら、水田が持つ生物の生息・生育地としての機能は、宅地開発による水田の消失、圃場整備による乾田化や用水の暗渠化による水辺の喪失、農薬・肥料による生物相への影響、農法の変化に伴う耕起や畦管理方法の変化等によって、急速に失われ質的劣化が生じている。

水田での生物多様性の効率的な保全・再生を行うためには、保全・再生適地を抽出し、絞り込むためのスクリーニングが必要である。それは、次のような視点を持ちあわせておくことが必要であろう（図(1)-1）。

1) 日本の水田は、気候、地形、水文条件等が異なる、多様な立地環境の上に作られている。そのため、水田がどのような場に立地していて、そこにはどのような生物相を保持するポテンシャルがあるのか、または、あったのかを把握しておく必要がある。それは、保全・再生目標と、その目標を適用し得る範囲を示すことになる。

2) 上記事項を達成するためには、環境指標性を持つ適切な生物種の分布情報とその分布を決定づける環境要因に関する情報が必要である。これを、すべて現地調査で確認することは労力、時間、コストの面から不可能である。既存の資料をいかに活用するかが重要である。

3) 水辺あるいは水田生態系の変化の大きさにより、保全・再生目標とする状態を達成するためのコストや時間は様々である。生物の分布を決定づけるどの要因が変化したのかを把握しながら、具体的な保全・再生手法と実現可能性を検討する必要がある。



図(1)-1 スクリーニングの考え方

2. 研究開発目的

本研究は、水田周辺で生育する湿地性植物の保全・再生に向けたスクリーニングのあり方を検討し、提案するものである。生物の分布を規定する要因は、対象とする空間スケールによって影響度が異なる。国土全域を対象とするような広域で見ると場合には気候や地形などが最も影響力の大きい要因として抽出され、一方、個々の水田や畦単位で見ると場合には、微小な地形の違いやそれによる水分条件や競争種との競合を通じた光環境など、いわゆる微小環境が最も影響力の大き

い環境要因として取り出される。この考え方、すなわち、「空間階層的概念」に沿って、日本全国を対象とするスケール（数百～数十km）、1級河川規模の流域スケール（数十～数km）、同じ水系・集落程度の地域スケール（数百～数十m）の3つのスケールについて、水田周辺で生育する湿地性植物の分布決定要因を抽出する。そして、抽出された環境要因を変容させ、植物の生育リスクを高める駆動要因について検討する。

3. 研究開発方法

（1）対象種と解析対象領域の選定

1) 対象種

解析対象種は環境省レッドデータブック（以下、「環境省RDB」という）に掲載されている維管束植物から選定した。

表(1)-1 解析対象種一覧

種名	生育環境	メッシュ数	種名	生育環境	メッシュ数
アカウキクサ	水田、池	66	トキホコリ	低地の湿ったところ	23
アサザ	池、沼	65	トリゲモ	水草	51
アゼオトギリ	湿地	62	ヌカボタデ	水湿地	62
イトクズモ	淡水or汽水	20	ヌマゼリ	湿地	33
イトトリゲモ	池や水田	52	ノダイオウ	原野の湿地	64
イトモ	池や流水中	121	ハナノキ	山間の湿地	27
オオアカウキクサ	水田や湖沼	118	ハナムグラ	川岸の湿った草地	20
オオアブノメ	湿地	50	ヒメコウホネ	浅い池や沼	61
オオクグ	汽水域、河口	29	ヒメシロアサザ	湿地	35
オオニガナ	山中の湿地	118	ヒメタヌキモ	浅い池	85
オグルコウホネ	浅い池や沼	32	ヒメナエ	低湿地	26
オニバス	池や沼	87	ヒメハッカ	湿地	33
カガシラ	湿地	20	ヒメビシ	池	71
ガガブタ	池や沼	90	ヒメミクリ	浅い水中	104
カワツルモ	汽水域	42	ヒメズニラ	池沼	23
カンエンガヤツリ	湿地	30	ホソバイヌタデ	水辺	41
クロホシクサ	湿地	35	ホソバオグルマ	湿地	58
コツブヌマハリイ	沼、湿地	21	ホソバニガナ	湿地	24
コバノヒルムシロ	沈水中	30	ホソバノシバナ	高地の湿原	23
ゴマクサ	湿地	54	マルバオモダカ	水中	56
サイコクヌカボ	ため池などの沈水	22	マルバノサワトウガラシ	湿地	46
サガミトリゲモ	湖沼	32	マルミスブタ	水田	26
サンショウモ	水田や池沼	163	ミカワシンジュガヤ	湿地	21
シナミズニラ	沼や川	34	ミカワタヌキモ	水面すれすれの泥地	24
シバナ	河口や塩湿地	68	ミズアオイ	沼や水田	85
ジョウロウスゲ	水湿地	22	ミズキカシグサ	水田や湿地	35
シラタマホシクサ	湿地	28	ミズタカモジ	水田跡	32
スジヌマハリイ	砂がちの湿地	22	ミズトラノオ	低湿地	32
スズメハコベ	水湿地	36	ミズニラ	沼、池、川の底	182
スブタ	水田	83	ミズネコノオ	水田、低湿地	62
タコノアシ	泥湿地	226	ミズマツバ	水田や湿地	148
タヌキモ	古い池	256	ミヤコミズ	山地の湿った所	24
タマミクリ	浅い水底	31	ムラサキミミカキグサ	湿地の泥地	210
チョウジソウ	川岸	43	ヤチコタヌキモ	浅い池	20
チョウセンスイラン	高層湿地	28	ヤナギヌカボ	水湿地	54
ツクシクロイヌノヒゲ	ため池の近く	33	ヤマトミクリ	浅い水中	98
デンジソウ	水田や池沼	102	リュウノヒゲモ	淡水または汽水域	37

環境省RDBに掲載されている維管束植物は1887種あり、このうち408種の分布情報が環境省生物多様性センターから2次メッシュ（約10×10 km）単位で公開されている。このうち、環境省RDBや文献資料から、主な生息地が水辺、湿地、水中等、いわゆる水辺環境で生育すると判断できたもの、および解析精度を担保するために全国20メッシュ以上から分布情報が得られている種を対象種として絞り込んだ。その結果、最終的に74種が選定された（表(1)-1）。なお、在データの掲載年は1970年代からあり、現在では絶滅した可能性がある地点も含まれるが、潜在的な分布範囲を考える上では問題ないと考え、本研究では在データとして扱った。本研究で採用する解析対象地域は日本全国をカバーする5897メッシュのうち、何らかの植物の在データが存在し、さらに物理環境要因が算出できた4494メッシュ（76.2%）を選定した。

2) 種のグループ分け

解析領域メッシュ数4494に対しての解析対象種の出現メッシュの少なさを補完し（表(1)-1）、また、水辺の生育地機能の概略を把握するため、クラスター分析によりグループ分けを行い、分布パターンの類似する種群を抽出した上で解析に供した。すなわち、対象種74種の2次メッシュ内の在・不在についてSorensenの類似度指数を求め、郡平均法を用いてクラスター化し22の種群を得た。なお、一連のクラスター分析にはPRIMER v6 を用いて解析を行った。

3) 環境要因

解析に用いる環境要因は解析単位内の、①標高、②傾斜角度、③地質面積率（新地質区分[8区分]それぞれの面積率）、④河口からの距離（Flow length）、⑤窪地面積率、⑥SPI（Stream Power Index）、⑦TWI（Topographical Wetness Index）、⑧暖かさの指数であるWI（Warm Index）、⑨寒さの指数であるCI（Cold Index）、⑩年間総降水量、⑪最深積雪量の11種類、18つの要因を選択した。そして、これらの値の2次メッシュ平均値を求め、後述するモデルの説明変数として用いた。ここで、①～⑤は対象地域の地形的特性を表現する要因であり、⑥～⑦は、水辺の植物にとって特に重要である水理的環境を表現するために用いた。⑧～⑪は植物の生育に関連する気候の要因である。

4) 生育適地推定モデル

本研究ではMaxentを用いて種群の分布推定モデルを構築した。Maxentの特徴は不在データが必要なく、在データのみで予測が行える点にある。また、サンプル数が少なくても比較的高精度な予測ができることが知られている¹⁾。

モデルの予測精度の判定は、ROC（Receiver Operating Characteristic）分析を行い、AUC（Area Under the Curve）によって判定した。AUCは0.5以上1以下の値をとり、1に近いほどモデルの当てはまりが良いことを示す²⁾。MaxentモデルについてはAUCが0.75以上ならば推定に役立つといわれている（Elith 2002）。

Maxentによって推定された各種群の潜在的生育地のうち、閾値以上の分布確率を持つ地域を分布有りとし、その地域を抽出した（以下、「T-Area」とする）。なお、閾値は感度と特異度との合計が最大となるルール（Maximum test sensitivity plus specificity threshold logistic）を使用した。さらに、分布確率が60%以上である地域を抽出し、地図化した（以下、「60-Area」とする）。

22種群の60-Areaを地図化したところ、互いに重なりあって分布する種群があった。そのため、22種群の60-Area間で重なりあっている面積（セル数）を集計し、重複面積割合を用いてクラスター分析を行った。その重なり具合は、それら種群のニッチ重複度を表していると考えられ、類似する潜在的生育地を持つ種群間では、似た環境要因に依存していると考えられる。

(2) 流域スケールの解析

1) 調査地および解析対象種および解析領域

空間解像度をあげることで、ニッチ重複度の大きいこれら種群の分布を決定づける環境要因が分離可能であるかどうかを検討するため、潜在的生育適地の重複度が最も高かった2つの種群(種群1; オオアブノメ、ミズタカモジ、サンショウモ等、種群2; ミズアオイ、オニバス、ガガブタ、アサザ等)を対象に、下位空間としての流域スケールでの解析に供した。

解析対象領域は滋賀県、京都府、大阪府の淀川流域、および徳島県の吉野川流域とした。

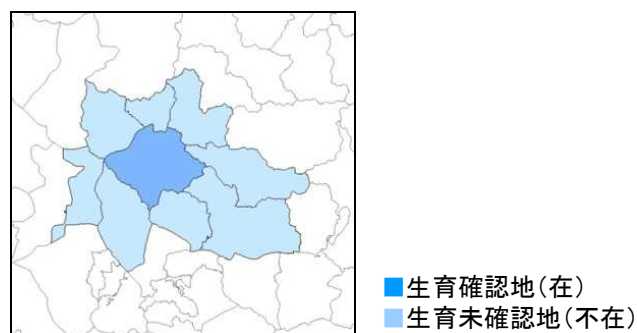
2) 対象種の分布情報の収集

対象地域の中心が淀川流域であったため大阪市立自然史博物館に収蔵されている標本資料から採集地点情報を得た。すなわち、標本ラベルで少なくとも字名まで採集地が記載されているものを対象とし、248件の分布情報が得られた。得られた分布情報は、独立行政法人統計センターが提供している“字”を空間単位として集計した。

3) 環境要因

湿生植物の分布決定にかかわる環境要因として、広域スケールで抽出された環境要因から、次のような手続きを経て、解析に供する環境要因を絞り込んだ。

まず、標本資料から対象種の分布が確認された字を「在」、その字に隣接し、かつ分布情報が得られなかった字を「不在」とした(図(1)-2)。その上で、広域スケールで抽出された環境要因の平均値あるいは面積割合を字単位で集計した。次に、それら環境要因に対する対象植物種の選好度(Jacobs 1974)を求めた。選好度(D)は $-1 \leq D \leq 1$ の値をとり、 $D > 0$ ならばその環境資源を選択的に利用していることを示し、 $D < 0$ ならばその環境資源を選択的に利用していないことを示す。そして、分布に影響を及ぼすと思われる環境要因を抽出し、モデル構築の際の説明変数として用いた。



図(1)-2 字を空間単位とした対象種の在、不在データの生成

4) 生育適地推定モデルの構築

分布確認された字を「在」、確認されなかった字を「不在」として、一般化線形モデル(GLM)を用いて、生育確率を求めた。ここで、本研究で用いた在データは、不在データに対して非常に少ないため、不在データの中から在データと同じ数だけ無作為に抽出し、AIC(Akaike's Information Criterion)を基準としてステップワイズ法によりモデル構築を行い、もっともAICが低かったモデルをベストモデルとした。この作業を1000回繰り返し、もっとも頻度が高かったベストモデル

の変数の組み合わせのモデルを抽出し、また、それぞれの変数の係数の合計をモデル数で割って平均化した。

モデルの評価には感度と特異度を用い、感度と特異度の合計が最大となる生育確率をカットオフポイントとした。モデルの適合度の確認には AUC (Area Under Curve) によって判断した。

得られたモデル式を用いて 4 つの府県の字ごとの生育確率を算出した。なお、ランダムサンプリング、一般化線形モデルの計算には R × 64 2.11.1 を用いた。

(3) 地域スケールの解析

1) 調査地および対象種の分布調査

流域スケールでの解析対象としてきた 2 種群の分布決定要因を空間解像度をあげることでさらに分離することができるかどうかを検討するため、これら種群の生育が確認されている徳島県鳴門市大津町の段関、大代、大幸の 3 つの地域を調査対象地とし、2010 年 7～9 月に地域内を踏査した。そして、対象種が発見された地点を GPS で記録することで分布データを得た。

本地域は、吉野川下流域に位置し、窪地地形となっていることから洪水氾濫が頻発してきた地域である。土地利用形態は、排水不良のため、主にハス田となっている。

2) 浸水図の作成

詳細な測量によって現地の詳細地形図を得た。そして、2004 年 10 月 20 日から同 21 日にかけて通過した台風 23 号による降水パターンをもとに数値シミュレーションを行い、内水氾濫を再現した。そして、各時間の浸水深図を作成した。

3) 浸水状況に対する選好性

現地調査によって得られた絶滅危惧植物の分布データと、数値シミュレーションによって得られた最深水深図から、水深階級値別の選好度を求めた。

4. 結果及び考察

(1) 国土スケール

解析対象種 73 種に対し、クラスター分析を行った結果、22 の種群に分類できた (表(1)-2)。これら種群に対して行った Maxent 解析により、潜在的生育地の推定をするにあたり、信頼性の高いモデルを得ることができた (全ての種群に対して、AUC > 0.75)。

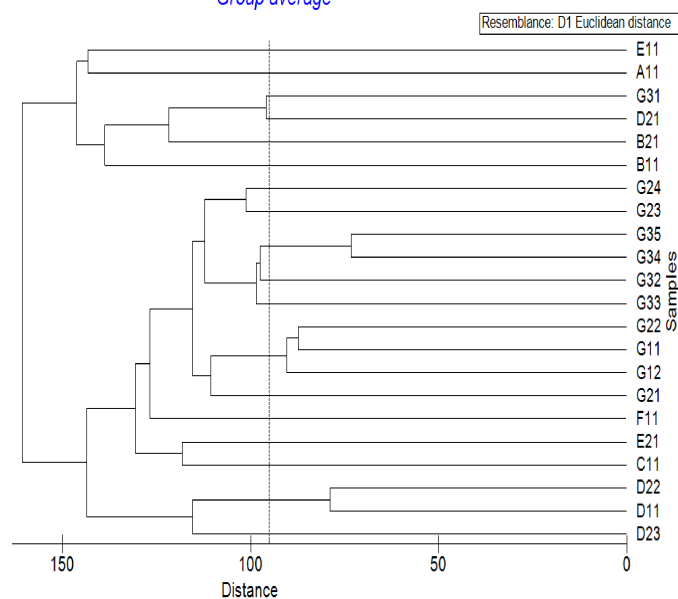
これら種群の 60-Area について重複度を求め、クラスター分析を行った結果、18 種群に再類型された (図(1)-3)。以降、特に重複度の大きい種群である G34 (以降、「種群 1」と称する) と G35 (以降、「種群 2」と称する) に着目して解析を進めることとする。

種群 1、2 の潜在的生育地を図(1)-4、5 に示す。両種群とも、CI (寒さの指数) および WI (暖かさの指数) の気候的要因、第四紀堆積岩類面積率、窪地面積率などの地質・地形的要因が両種群に共通する制限要因として抽出された。寄与率は低いものの、それらに加えて種群 1 では河口からの距離が、種群 2 では中生代堆積岩類面積率が選択された。

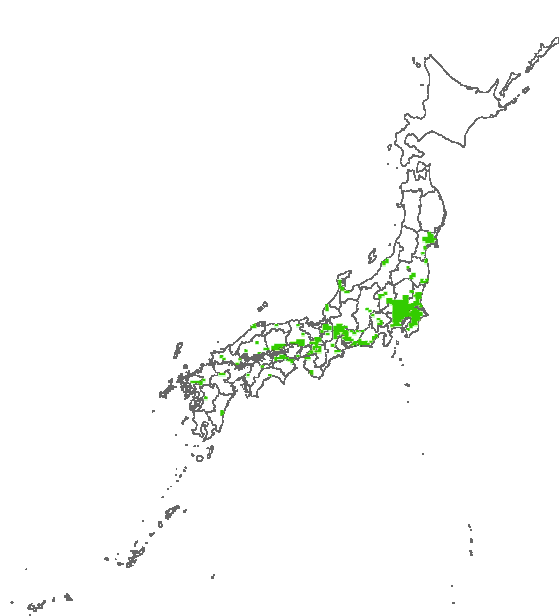
表(1)-2. 解析対象種73種のクラスター分析による類型化

種群名	種数	メッシュ数	種名
A11	1	24	ミヤコミズ
B11	1	22	ホソバノシバナ
B21	2	48	ヒメミズニラ タマミクリ
C11	1	23	トキホコリ
D11	2	45	スジヌマハリイ オオクグ
D21	2	100	チョウジソウ ノダイオウ
D22	2	50	ジョウロウスゲ ヒメハッカ
D23	3	54	コツブヌマハリイ ハナムグラ カンエンガヤツリ
E11	1	26	ハナノキ
E21	1	35	ミズキカシグサ
F11	4	133	イトクズモ リュウノヒゲモ カワツルモ シバナ
G11	10	242	ヒメナエ ゴマクサ スズメハコベ クロホシクサ マルバノサワトウガラシ サイコクヌカボ チョウセンスイラン ツクシクロイヌノヒゲ シナミズニラ ミズネコノオ
G12	8	163	オグラコウホネ ヒメコウホネ ミズトラノオ ミカワシンジュガヤ シラタマホシクサ ミカワタヌキモ カガシラ ホソバニガナ
G21	1	26	マルミスブタ
G22	3	213	スブタ アカウキクサ デンジソウ
G23	1	33	ヌマゼリ
G24	3	147	ホソバオグルマ ヤナギヌカボ ヌカボタデ
G31	1	118	オオニガナ
G32	8	707	ヤマトミクリ イトモ ミズニラ ヒメタヌキモ ムラサキミミカキグサ タヌキモ マルバオモダカ ヒメミクリ
G33	3	92	サガミトリゲモ イトトリゲモ コバノヒルムシロ
G34	7	501	ミズマツバ オオアカウキクサ サンショウモ タコノアシ ミズタカモジ ホソバイヌタデ オオアブノメ
G35	8	348	アゼオトギリ ヒメビシ アサザ オニバス ガガブタ トリゲモ ヒメシロアサザ ミズアオイ

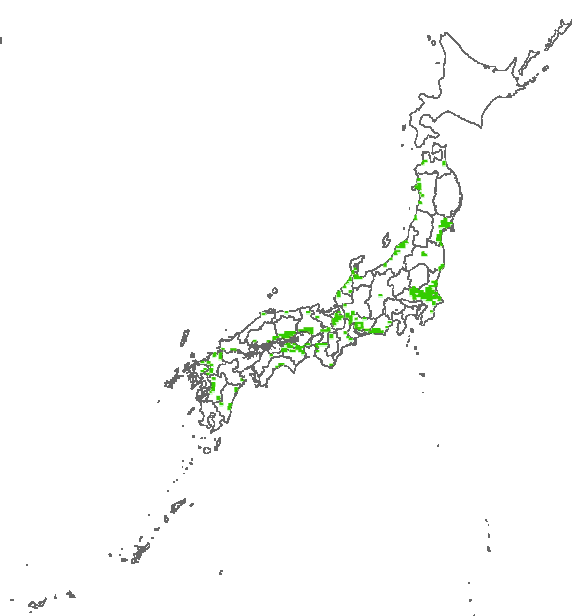
Group average



図(1)-3 潜在生育地（60-Area）の重複度に基づく種群の再類型



図(1)-4 種群1の生息確率60%以上の地域



図(1)-5 種群2の生息確率60%以上の地域

(2) 流域スケール

博物館の標本から種群1は53字、種群2は66字で分布が確認された。図(1)-6に、字を空間単位として選好度分析を行った結果、選好性が認められた環境要因と選好度曲線を示す。

種群1と種群2を比較すると、以下のような傾向が認められた。TWIについては、種群1は8以上の値を持つ字で、種群2はTWIが7以上の値を持つ字に選好性を示した。SPIについては、種群1も種群2も、3以下である字に選好性を示した。窪地面積率については、種群1は40%以上を窪地が占める字で、種群2は40%～80%を窪地が占める字で選好性を示した。

窪地、TWI、SPIを用いたGLM解析により、生育適地モデルの構築を行った結果、以下の回帰式を得た。なお、SPI3は、解析対象とした字の中でSPIの値が3以上4未満である領域の面積割合を示す。TWIについても同様である。

$$\text{種群1} = \text{窪地面積率} - \text{窪地面積率}^2$$

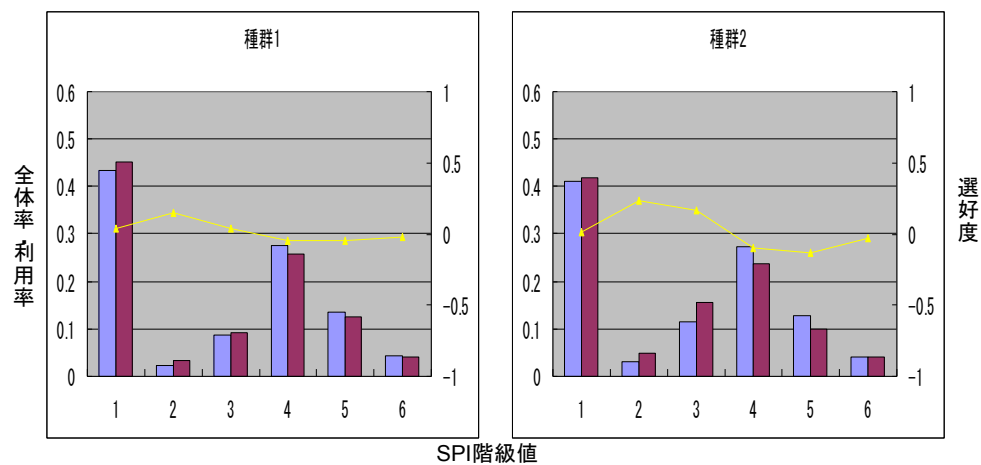
$$\text{種群2} = \text{窪地面積率} - \text{窪地面積率}^2 + \text{SPI3}^2 - \text{TWI9}^2 + \text{TWI10} - \text{TWI10}^2$$

種群1では、窪地面積率が正の要因として、窪地面積率の2乗項が負の要因として選ばれたモデルがもっとも頻度が高かった。カットオフポイントは0.625で、このとき感度が52.4%、特異度が79.6%となった。AUCは0.6123であった。

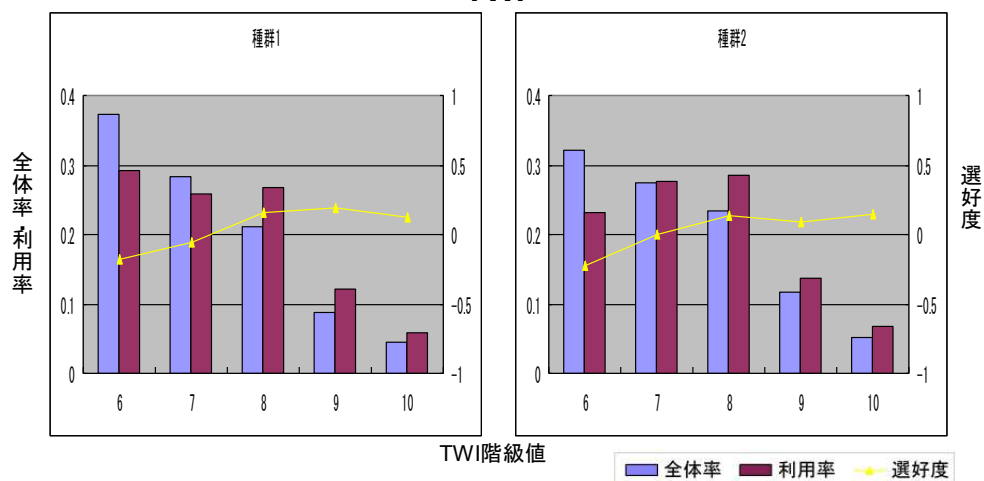
種群2では、窪地、TWI9の面積率の2乗項、TWI10の面積率、SPI3面積率の2乗項が正の要因として、窪地の2乗項、TWI9の面積率、TWI10の面積率の2乗項が負の要因として選ばれたモデルが最も頻度が高かった。カットオフポイントは0.485で、このとき感度が72.4%、特異度が63.9%となった。AUCは0.7572であった。

選ばれたモデル式から4つの府県における生育確率を推定し、字ごとの生育確率を求めた。そして、生育確率がカットオフポイントより高い値を持つ字を生育地として図化した(図(1)-7)。

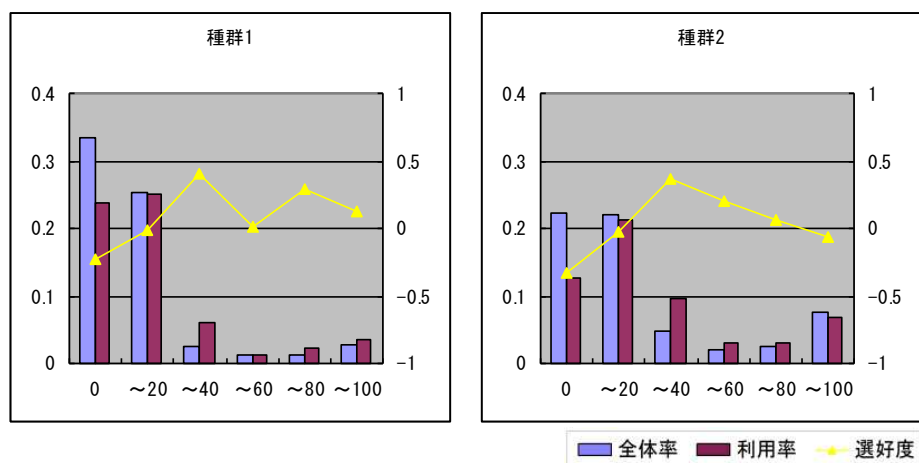
SPI



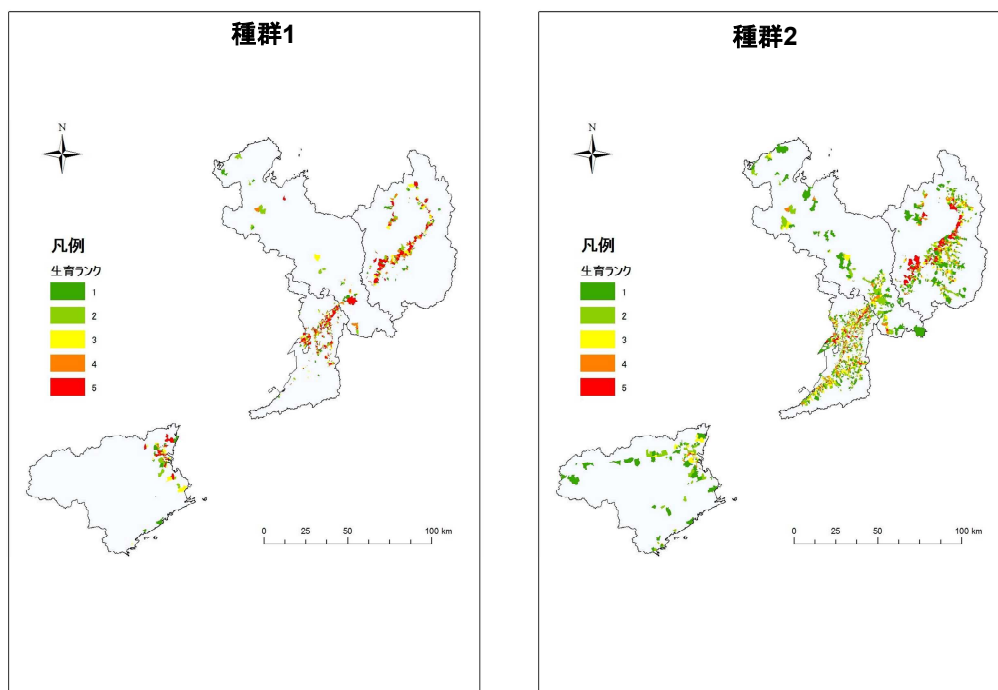
TWI



窪地面積率



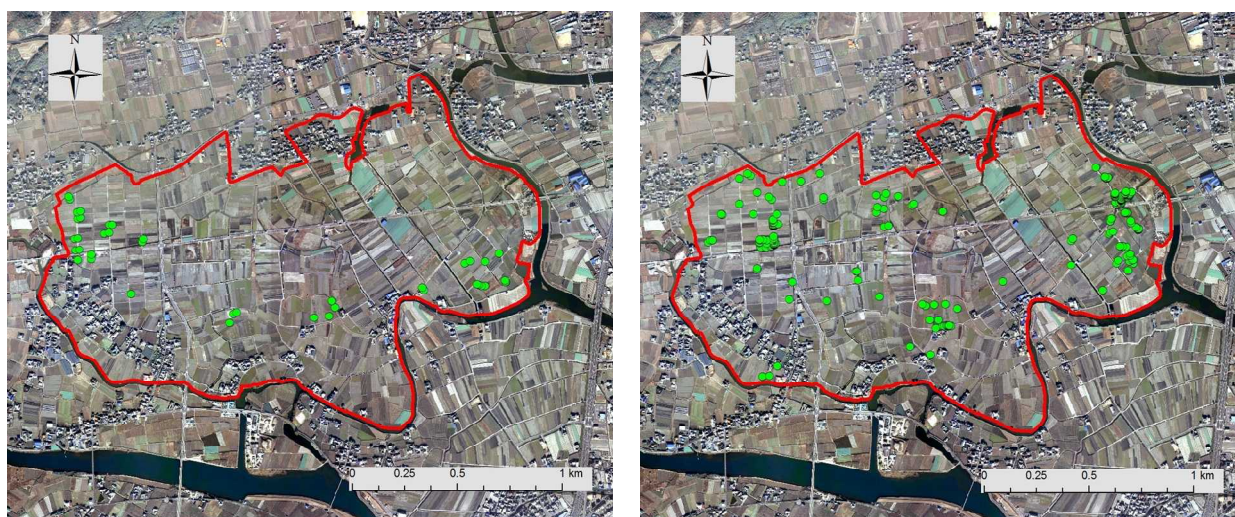
図(1)-6 流域スケールで選好性が認められた環境要因と選好度曲線



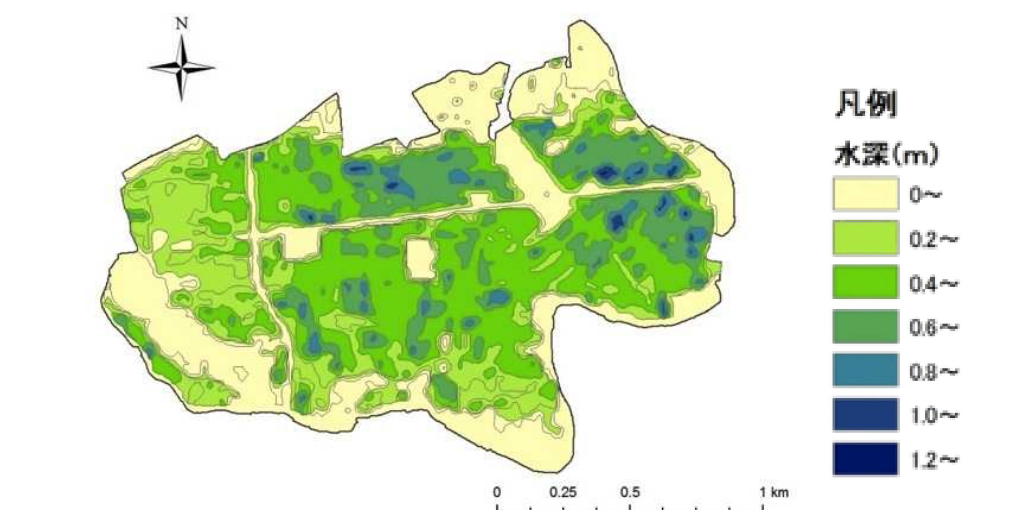
図(1)-7 種群 1 と集群 2 の潜在的生育地

(3) 地域スケール

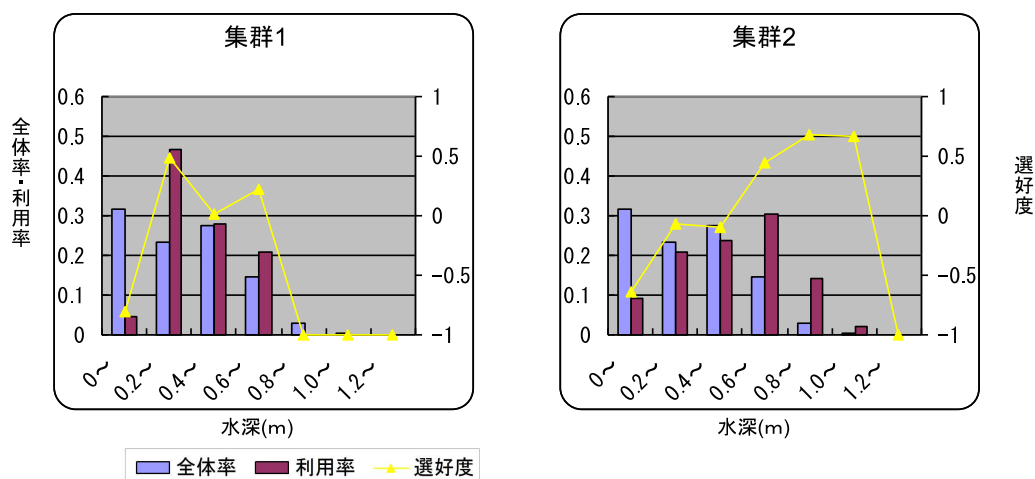
踏査によって確認された種群1、種群2の分布を図(1)-8に、台風23号の降雨（200mm）による氾濫時の最大浸水図を図(1)-9に示す。また、種群1および集群2の最大水深に対する選好度曲線を図(1)-10に示す。



図(1)-8 種群1（左図）、種群2（右図）の実分布調査結果



図(1)-9 台風23号の降雨（200mm）による氾濫時の最大浸水図



図(1)-10 種群1および集団2の最大水深に対する選好度曲線

対象地は、窪地地形となっているが、種群1は20～40cmの水深を持つ場所に最も高い選好性を示したのに対し、種群2は80～120cmの水深を持つ場所に最も高い選好性を示した。すなわち、両種群は、洪水時の浸水深の違いでニッチが分割されていることが示唆された。

（４）考察

1) 空間的階層概念に基づく種の分布域スクリーニング手法の有効性

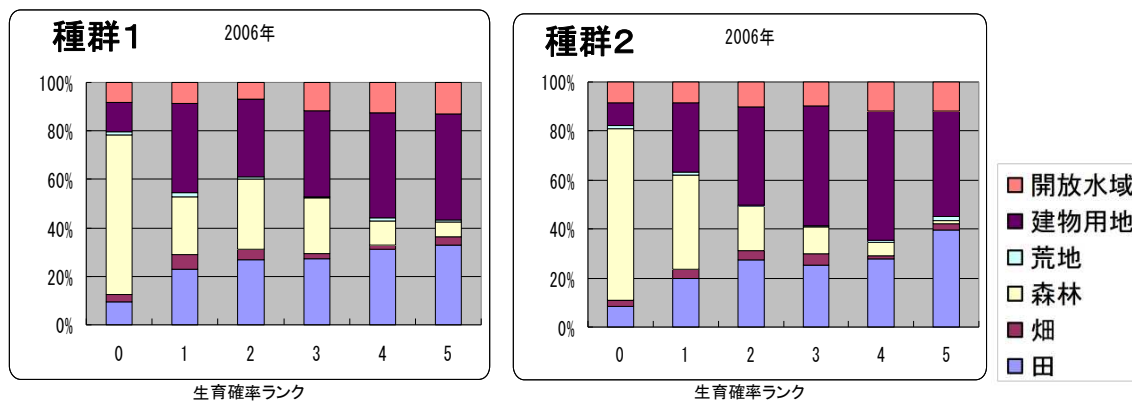
広域スケールでは、環境省によって公開されている水辺RDB植物の2次メッシュ分布情報を用いた。これは誰もが無料で利用可能なものである。環境要因として用いたデータも同様に、国土数値情報として提供されているデータであり、DEMは10mメッシュで提供されているものの、気候値については1kmメッシュの空間解像度である。そのような粗いデータでも、日本全域という広範囲のスケールを対象とする場合には、その分布を決定づけている環境要因を見出し、潜在的生育地を抽出することは可能である。ただし、この空間解像度では分離できない環境要因があること

は認識しておく必要がある。

本研究では、ニッチ重複度が大きいと思われる2種群を用いて、空間解像度を高めることでそれら種の生育地を区分する環境要因の抽出に努めた。その結果、より細かな水文学的な因子によって、ニッチ分割されている様子を把握することができた。対象種の潜在的生育地を求め、生態学的な特性に基づき水辺域を類型化する上で、こうした空間階層概念に基づくマルチスケールな手法を用いることは非常に効率的であると思われる。

2) 保全・再生方針の検討への適用

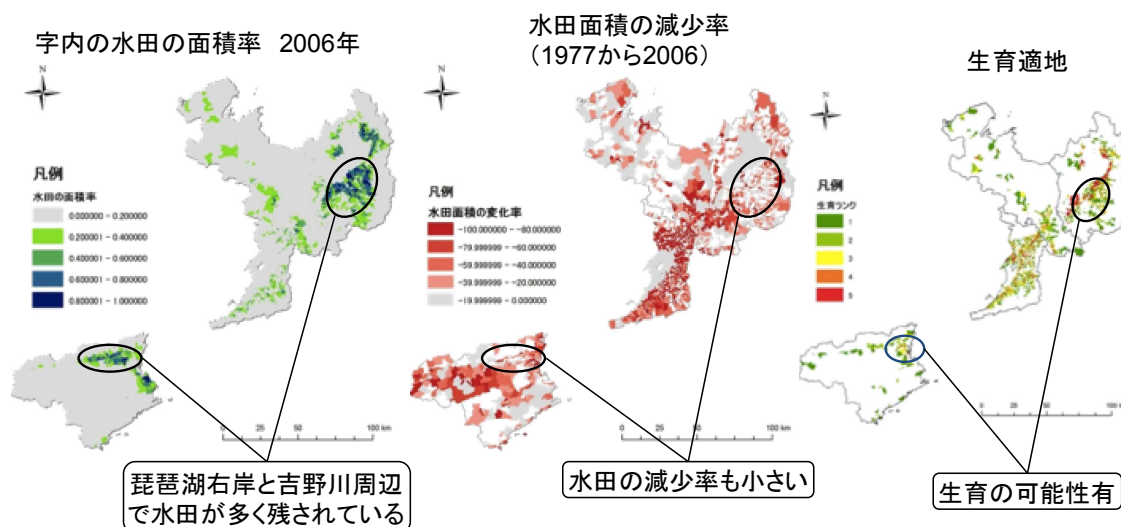
流域スケール、字単位で算出されたそれぞれの種群の生育確率を0～5の6段階に分け、それぞれの生育確率段階に属する字内の土地利用面積割合を集計した結果を、図(1)-11に示す。



図(1)-11 生育確率段階と土地利用割合

種群1も種群2も、生育確率段階が高いところほど、水田面積割合と建物用地面積割合が高くなる傾向が認められた。これは、これら種群にとって、水田やその周辺水路等の水辺が重要な生育地であることを示唆すると同時に、宅地開発による消失リスクが高いことを示している。

図(1)-12に、流域スケールでの解析対象範囲における字内の水田面積率、1977年から2006年の間の水田面積の減少率、種群1の生育確率を示す。



図(1)-12 水田の分布状況と集群1の生育確率

琵琶湖右岸と吉野川下流周辺で水田面積率が高く、水田の減少率も低い。また、それら地域は、集群1の生育確率も高い。土地利用面からは、環境省RDB種が豊富に生育し、保全に適した場所であると思われる。実際、地域スケールで扱った範囲（鳴門市）は、それら植物のホットスポットとなっていた。当地でも土地改良事業が行われ、用水のパイプライン化等が進められている。しかしながら、排水性の改善は進んでおらず、そのことが多様な環境省RDB植物の生育を可能にしているようだ。

一方、琵琶湖右岸での現地踏査では、それら種群の生育を確認することは困難であった。これは、琵琶湖総合開発による巨大資本を投じた強制排水・灌漑により、水文的な環境が大きく改変されていることによっていると思われる。滋賀県では、ゆりかご水田として魚道の設置などを通して生物多様性への配慮が行われつつあるが、広範囲で水文的環境が改変されている以上、それは抜本的な再生手法とはなり得ないであろう。これらのことから、保全・再生適地を抽出するためには、面的な開発の状態に加え、大規模排水施策の有無等を加味して探索しなければならない。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

生物多様性の保全を考えた場合、トップダウン的なアプローチとして単一の種の優先的に保全すべき地域を選定する手法が考案されているが、種群を用いたものはほとんどない。本研究で得られた種群の生育地適地推定手法は科学的な意義がある。今後、東日本大震災の影響から国土計画の見直し、再編が進むことが予想され、種群の生育地適地推定手法は、地形的な水理条件から人間が居住するにはリスクとコストが見積もられる地域の抽出に対して示唆を与えるものとなり、科学的・社会的意義は大きい。

（2）環境政策への貢献

昨年度、我が国で開催されたCOP10において、陸域の17%、海域の10%の地域で生物多様性を保全することを愛知目標として締結した。今後、生態学的かつ社会的に合意・許容しうる地域を選定していく場合、本研究から得られた水田地帯の類型化地図、窪地地図はまさに戦略的な地図となるであろう。また、具体的な保全・再生技術の現場適応が試みられるようになり、「農業農村整備事業における生態系配慮の技術指針」の改訂が進められ、田代は水田魚道ワークショップ委員として「水田魚道に取り組むための手引き（農林水産省中国四国農政局土地改良技術事務所、2011年3月）」の作成に本成果を提供した。さらに、農林水産省「環境配慮施設の効果的な配置手法検討委員会」（H22～H26）においても、適地選定の考え方を提示している。

6. 国際共同研究等の状況

8th International Symposium on Ecohydraulics (Seoul, Korea, 12-16 Sept 2010)で、“Evaluation and restoration of network system of rivers, channels and floodplain in monsoon Asia”を開催し、カウンターパート：Prof Chul Kim、Honam Universityと日韓の水系ネットワーク再生のあり方を議論し、モンスーンアジアの水田生態系修復の方針が確認された。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Y. TASHIRO, M. MAKADA and Y. SATO : 8th International Symposium on Ecohydraulics 2010, CD-R(SS8E-3),1843-1850(2010)
“Conservation Plan of Irrigation Canal Network for a Small Endangered Fish, Hemigrammocypris rasborella, –A case in Tokushima Prefecture, Shikoku Island, Japan”
- 2) 田代優秋、中川頌将、鎌田磨人：環境システム研究論文集Vol. 38, 63-71（2010）
「氾濫原の農業水路における伝統的な半水没水田“縁田”とその変遷」
- 3) 田代優秋：農業農村工学会論文集271, 41-42（2011）
「泥上げによる水路底泥のAVS低減効果とその提示方法」
- 4) 田代優秋、鎌田磨人：土木学会論文集B3（海洋開発）67(2), I_802- I_807（2011）
「地域環境課題の解決を目指した専門家-地域住民との協働継続要因：人的ネットワーク構造に着目して」
- 5) 田代優秋、上月康則、東知里：農業農村工学会誌80(1), 15-18（2012）
「地域環境課題の解決に寄与するアウトリーチ活動の可能性」
- 6) 田代優秋、犬伏敏真、藤森元浩、河野正弘、鎌田磨人：農業農村工学会誌80(3), 15-18（2012）
「維持管理意欲を向上する“工夫の余地”という水路設計思想」

<査読付論文に準ずる成果発表>（「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。）
特に記載すべき事項はない

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 田代優秋：応用生態工学会第13回埼玉大会（2009）
「農家と研究者による希少種保全のプロセス分析」
- 2) 田代優秋、佐藤陽一：第64回農業農村工学会中国四国支部講演会（2009）
「農業水路のネットワーク分析によるカワバタモロコの保全のためのゾーニング」
- 3) 田代優秋：第37回四国魚類研究会（2010）
「農産物の環境ブランド化で無名な希少種が守れるのか？カワバタモロコを例に」
- 4) 鎌田磨人、熱田尚子、田代優秋：日本生態学会第57回全国大会企画集会（2010）
「水生・湿生RDB植物を指標にした日本の水辺類型」
- 5) 田代優秋：日本生態学会第57回全国大会企画集会（2010）
「GISを用いた水田域魚類の現実的な“保全工学”：絶滅危惧種カワバタモロコを例として」
- 6) 中川頌将、田代優秋、鎌田磨人：平成22年度土木学会四国支部技術研究発表会（2010）
「地域環境の保全に寄与する伝統的な農業水路管理とその変遷」

- 7) 田代優秋：平成22年度農業農村工学会大会講演会（2010）
「泥上げによる農業水路の物理環境改善効果とその実感方法」
- 8) 田代優秋、鎌田磨人：第14回応用生態工学会研究発表会（2010）
「農産物の環境ブランド化による無名な希少種の保全の試行～持続的な維持管理は可能か？～」
- 9) 田代優秋：第四回四国GISシンポジウム（2011）
「日本全国の凹地マップ-潜在的な内水氾濫危険箇所の抽出-」
- 10) 田代優秋、鎌田磨人：日本景観生態学会第21回千葉大会（2011）
「日本全国凹地マップと津波浸水被害一国土形成計画への展開の可能性一」
- 11) 大橋 順、高橋信樹、田代優秋、鎌田磨人：日本景観生態学会第21回千葉大会（2011）
「空間的階層概念に基づく湿生RDB植物の分布決定要因の抽出」
- 12) 田代優秋、鎌田磨人：第36回海洋開発シンポジウム（2011）
「地域環境課題の解決を目指した専門家-地域住民との協働継続要因：人的ネットワーク構造に着目して」
- 13) 田代優秋：応用生態工学会第15回金沢大会（2011）
「農業水路における新たな地域資源管理形態の試み～保全から利用の場～」
- 14) 田代優秋：滋賀大学環境総合研究センター第8回年次シンポジウム「水田の生態系との社会とのつながりを考える」
「20年後の農業水路は誰が守っているのか？」
- 15) 田代優秋：第54回魚類自然史研究会（2012）
「徳島県におけるカワバタモロコの保全研究史：2011年までを振り返って」

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない

（４）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) 「関わり」からみる保全生態学（企画者：金尾滋史・田代優秋・富田涼都）（2010年3月18日、日本生態学会第57回全国大会企画集会、参加者約80名）

（５）マスコミ等への公表・報道等

- 1) 朝日新聞（2009年4月27日、地方版、地元農家との協働した取り組みが紹介された）
- 2) 徳島新聞（2009年5月25日、地方版、地元農家との協働した取り組みが紹介された）
- 3) 朝日新聞（2009年6月22日、地方版、地元農家との協働した取り組みが紹介された）
- 4) 宮崎日日新聞（2009年7月5日、地方版、地元農家との協働した取り組みが紹介された）
- 5) 高知新聞（2009年7月7日、地方版、地元農家との協働した取り組みが紹介された）
- 6) 中国新聞（2009年7月7日、地方版、地元農家との協働した取り組みが紹介された）
- 7) 神戸新聞（2009年7月28日、地方版、地元農家との協働した取り組みが紹介された）
- 8) 徳島新聞（2009年10月11日、地方版、地元農家との協働した取り組みが紹介された）
- 9) 朝日新聞（2009年11月18日、地方版、地元農家との協働した取り組みが紹介された）

10) 朝日新聞（2010年6月25日、地方版、地元小学校と連携した用水路で淡水魚生息調査が紹介された）

（6）その他

- 1) 景観生態学会第21回千葉大会、ポスター賞、2011年6月25日
- 2) 第38回環境システム研究論文発表会、優秀発表賞、2011年10月13日

8. 引用文献

- 1) P. A. HERNANDEZ, C. H. GRAHAM, L. L. MASTER, D. L. ALBERT: 2006.
“The effect of sample size and species characteristic on performance of different species distribution modeling methods.”
- 2) M.H. ZWEIG, G. CAMPBELL: 1993. Clinical Chemistry 39, 561-577
“Receiver-operating characteristic (ROC) plots : A fundamental evaluation tool in clinical medicine.”

(2) 小型生物を重視した水田における種多様性の再検討

滋賀県立琵琶湖博物館

研究部 博物館学研究領域

大塚 泰介

研究部 生態系研究領域

Mark J. Grygier

<研究協力者>

韓国・National Institute of Biological Resources

Tomislav Karanovic

New Zealand・The University of Auckland

Robert J. Blakemore

弘前大学 教育学部

大高明史

大阪大学 理学研究科

鈴木隆仁

京都大学 理学研究科

中野隆文

滋賀県立琵琶湖博物館 研究部

Robin J. Smith・楠岡泰・中井克樹・金尾滋史

滋賀県立琵琶湖博物館 はしかけ

前田雅子・大川聡

平成21～23年度累計予算額：15,950千円

(うち、平成23年度予算額：4,839千円)

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】 滋賀県の水田に生息する概ね1mm以下の小型生物の分類学的検討を行うとともに、一部の分類群について分布と環境条件との対応関係、生物間相互作用などを調べた。珪藻は250種以上が見出された。除草剤使用の有無が珪藻の種組成に大きな影響を与えることが示唆された。また、不耕起水田では大型の珪藻が出現することが多かった。イタチムシ目は、これまで日本から報告された総種数32種よりも多い43種（未同定種を含む）が見出された。このうち5種について新種記載論文を準備中である。イトミミズ科は少なくとも15種が生息することが明らかになった。この中にはイトミミズ属 *Tubifex* の種は含まれなかった。陸生ミミズ類は14種が同定された。うち3種は新種で、2種は滋賀県をタイプ産地として新種記載された。ヒル類は11種が同定され、水田ではセスジビル *Whitmania edentula* が優占することが明らかになった。微小甲殻類は50種以上が見出された。大型甲殻類のカイエビ *Caenestheriella gifuensis* は、冬期晴天時の表層土壌の水分含量が低いほど出現確率が高くなり、水分含量が21%程度で最も個体数が多くなった。カイエビが多雪地帯で少なかったのに対して、イチョウウキゴケ *Ricciocarpus natans* は逆に多くなる傾向が認められた。水田を区画してニゴロブナの仔魚放流区と対照区に分け、微小生物群集の動態を比較したところ、トップダウン栄養カスケード効果が認められた。すなわちニゴロブナがミジンコ目を選択的に捕食してほぼ全滅させると、ミジンコ目の餌サイズに対応する小型繊毛虫、微細藻類、細菌、従属栄養性ナノ鞭毛虫などの数が増加した。

【キーワード】 水田、珪藻、甲殻類、環形動物、トップダウン栄養カスケード

1. はじめに

水田に生息する生物分類群の多くは、概ね 1 mm 以下の小型生物である。しかし、その種多様性はほとんど明らかになっていない。「田んぼの生きもの全種リスト（改訂版）」には、これまでに日本の水田とその周辺から報告された5,668種(群)の生物が示されている¹⁾。ここでは甲殻類、ワムシなど317種、線虫・ミミズなど91種、原生生物・ラン藻類597種が、それぞれ報告されている。しかしこの種数は明らかに過小評価である。例えば珪藻については、リストに記載されているのが45種なのに対して、1筆の水田のみの精査で92分類群を見出した報告がある²⁾。また、黄緑藻綱はフシナシミドロ *Vaucheria* などが水田で普通に観察されるが、リストには上がっていない。さらに、腹毛動物門（イタチムシ）も水田でしばしば見られるが、リストには門レベルで全く記載されていない。

水田の小型生物の分布に及ぼす環境条件の影響についても、ほとんど知られていない。たとえば珪藻は、環境条件によって種組成が変わるため、河川や湖沼では有機汚濁やpHなどの指標として用いられている³⁾。しかし、水田での環境指標性に関する研究は、塩分指標性^{4,5)}、および河川と同様の方法による有機汚濁の評価^{6,7)}しか見当たらない。珪藻はイネ科植物と同様に珪酸を利用するだけでなく、イネと同様に有機窒素を利用できる種があることが知られている⁸⁾。従って珪藻は、水田における栄養塩動態に影響を及ぼしているのみならず、イネにとっての水田の栄養状態の指標となる可能性もある。また実験室および河川・湖沼では、珪藻群集の種組成が除草剤の使用によって変化することが知られている⁹⁾。除草剤の珪藻への影響を水田内で調べた研究例は見当たらないものの、水田の珪藻群集は除草剤使用の指標として有効であることが期待される。

水田の小型生物には、栄養段階では生産者から高次消費者までが含まれている。ウズムシがカの若齢幼虫を捕食するなど、有害生物の発生を抑えている事例¹⁰⁾もいくつか知られている。しかし水田では、こうした小型生物をめぐる食物網についての知見は驚くほど少ない¹¹⁾。さらに水田の小型生物群集を規定する捕食圧以外の要因については、ほとんど知られていない。

2. 研究開発目的

- (1) 滋賀県の水田における小型生物の種多様性を、可能な限り明らかにする。
- (2) 水田の小型生物の分布と、営農の内容や地理的条件などに規定される水田の環境要因との関係をモデル化する。特に珪藻について、水田環境の指標生物としての価値を探る。
- (3) 野外操作実験により、水田における微小生物の生物間相互作用を明らかにする。

3. 研究開発方法

2009年5月26日から6月12日までの期間に、滋賀県内の水田を回ってプランクトンと微小ベントスを調査した。調査対象地域は、大津田上（この地域のみ琵琶湖集水域でない）、草津北部、中主～近江八幡北西部、蒲生～竜王、彦根愛西、多賀、米原～長浜湖岸、新旭針江、高島畑、朽木針畑、大津仰木の11地域で、それぞれ4～7筆、計63筆の水田で調査を行った。各筆の水田について、耕作者から農事に関する詳細な情報を得るとともに、現地調査で水質を測定し、また様々な分類群の生物を定量的に採集した。この定量調査では、主として微小甲殻類と珪藻類に関するデータを得た。

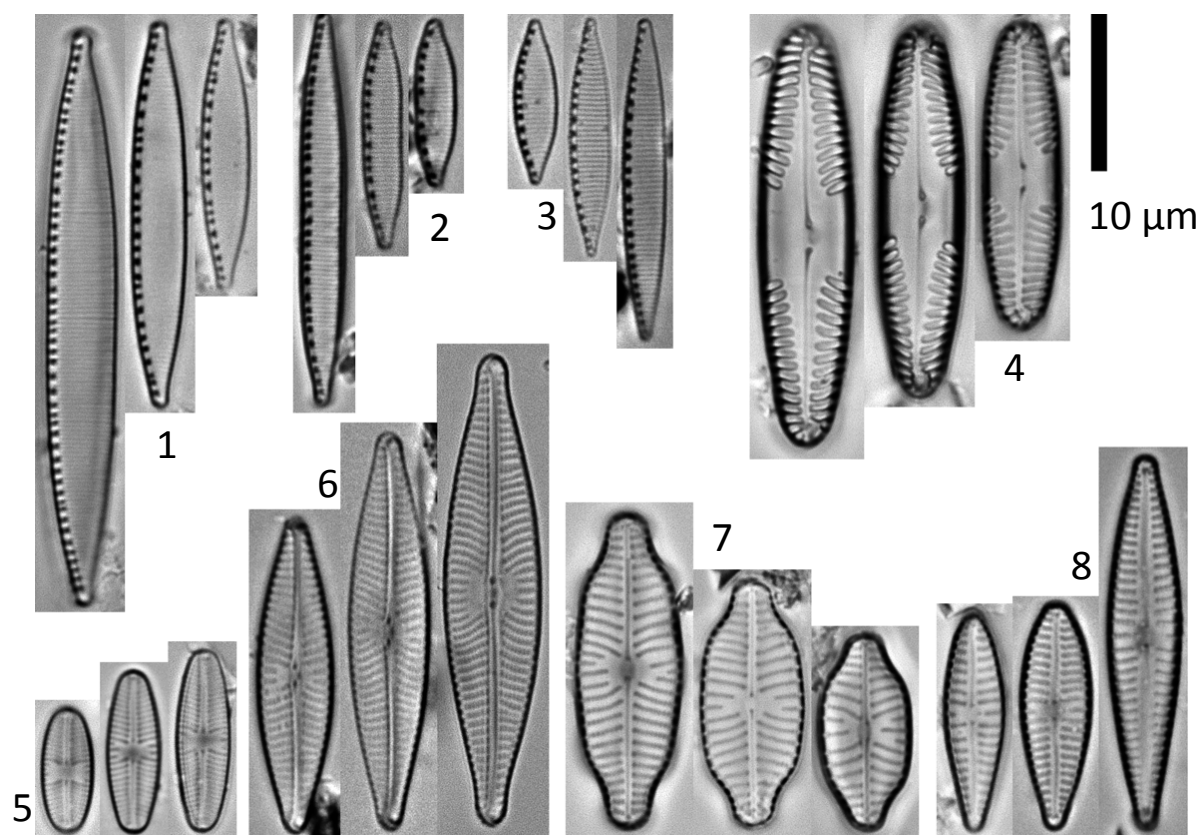
他の生物の調査方法については、「4. 結果および考察」の各項で簡易に示す。

4. 結果及び考察

(1) 珪藻

これまでに31筆の水田から得られた珪藻の洗浄被殻を、各筆200殻ずつ同定計数した。光学顕微鏡観察による区別が難しいものを種群としてまとめて計数したところ、各筆の水田では、未同定種も含め29～51種の珪藻が計数された。全体では 257種が計数された。

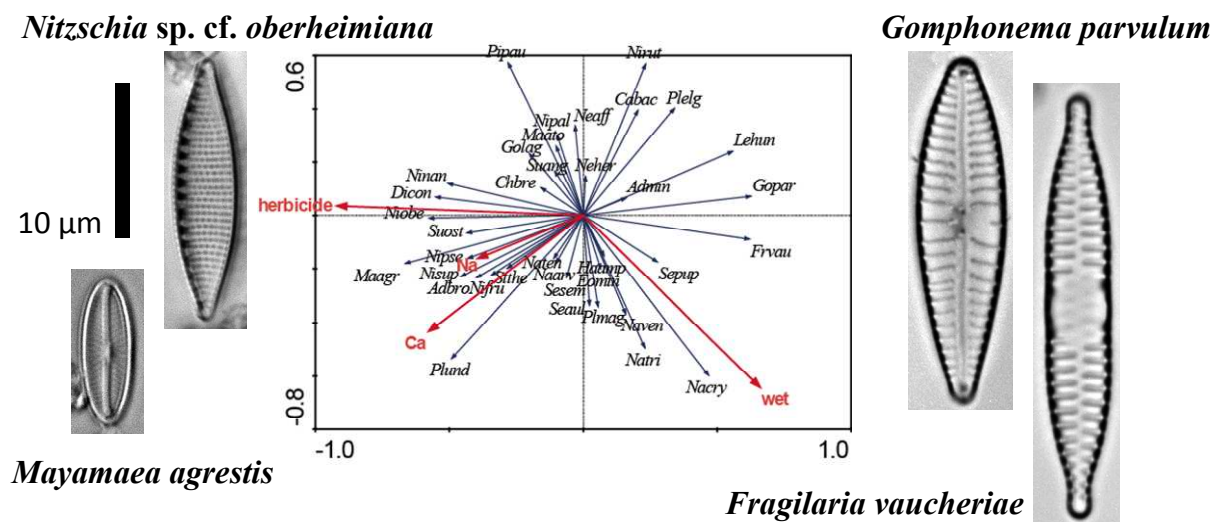
相対頻度の平均値で見た場合の優占種は *Nitzschia palea* 種群 (18.6%) で、第2優占種の *Eolimna minima* 種群 (7.1%) とともに全ての水田に出現した。以下、*Pinnularia subcapitata* var. *paucistriata* (5.5%)、*Nitzschia ruttneri* (5.5%)、*Navicula cryptocephala* (4.9%)、*Nitzschia supralitorea* (3.8%)、*Placoneis undulata* (3.7%)、*Gomphonema parvulum* 種群 (2.2%) の順で多く見られた。以上の上位8種は、いずれも運動性をもつ種であった (図(2)-1)。



図(2)-1 滋賀県の水田で多く出現した珪藻 1. *Nitzschia palea* (種群). 2. *N. ruttneri*. 3. *N. supralitorea*. 4. *Pinnularia subcapitata* var. *paucistriata*. 5. *Eolimna minima* (種群). 6. *Navicula cryptocephala*. 7. *Placoneis undulata*. 8. *Gomphonema parvulum* (種群).

各地域から農法などがなるべく異なるように2筆の水田を選び、主要カチオン・アニオンおよび各種栄養塩の濃度、湛水後の日数、冬期の土壤水分状態（乾田、半湿田、湿田、冬期湛水田）、除草剤散布の有無を説明変数の候補、上記の珪藻被殻の同定計数結果のうち、平均0.5%以上出現した種の相対頻度を目的変数として、冗長性分析（Redundancy Analysis）を行った。危険率10%を基準として変数選択を行ったところ、除草剤使用の有無、冬期の土壤水分状態、 Ca^{2+} 濃度、 Na^{+} 濃

度の4つの説明変数が選択された（図(2)-2）。このうち除草剤使用の有無は変数増加法で最初を選択され（ $P = 0.0003$ ）、第1軸との単相関係数が最も大きかった（ $r = -0.878$ ）ことから、上記の説明変数候補の中で珪藻の種組成に及ぼす影響が最も大きかったと考えられる。*G. parvulum*、*Fragilaria vaucheriae*、*Lemnicola hungarica*などは、除草剤を使用しない水田で相対頻度がより高くなる傾向があり、一方で*Diademsis contenta*、*Mayamaea agrestis*、*Nitzschia nana*、*Nitzschia oberheimiana*などは、逆に除草剤を使用した水田で相対頻度が高くなる傾向があることが示唆された。こうした珪藻の種は、水田における除草剤使用の指標生物になる可能性がある。ただし、除草剤を使用しない水田に共通な他の営農上の特徴が珪藻群集に影響を及ぼしている可能性があるため、今後、より多くのデータに基づいた分析による確認が必要である。



図(2)-2 冗長性分析の結果。第1軸に対する負荷が大きかった種をグラフの両側に示した。

珪藻の平均的なサイズには、水田によって明らかな違いが見られた。大型で殻が厚い種は、棚田・谷津田で多く出現したのに対して、琵琶湖逆水を水源とする低平地の水田では概して少なかった。琵琶湖逆水の溶存反応性珪酸は河川水に比べて一般に乏しい。したがってこの傾向は、灌漑水からの珪酸供給が多い水田ほど、大型で殻が厚い珪藻が生育しやすいためと説明できる。

しかし例外的に不耕起水田では、琵琶湖逆水が水源でも大型の珪藻が多かった。不耕起栽培の効用として語られる、葉や根が硬く丈夫になる、根の張りが良くなる、秋まさりの成長をする、あまり肥料をやらなくても一定の収穫が得られる¹²⁾、などは、珪酸施肥の効用としても知られているので、不耕起水田では土壌中の珪酸が供給されやすい状態になっていると考えられる。

珪酸の十分な供給は米のタンパク質含量を低下させ、食味向上にも寄与するので、大型珪藻は美味しい米がとれる水田環境の指標になる可能性がある。ただしこの仮説を検証するための十分なデータがまだ得られていないので、今後の検討課題としたい。

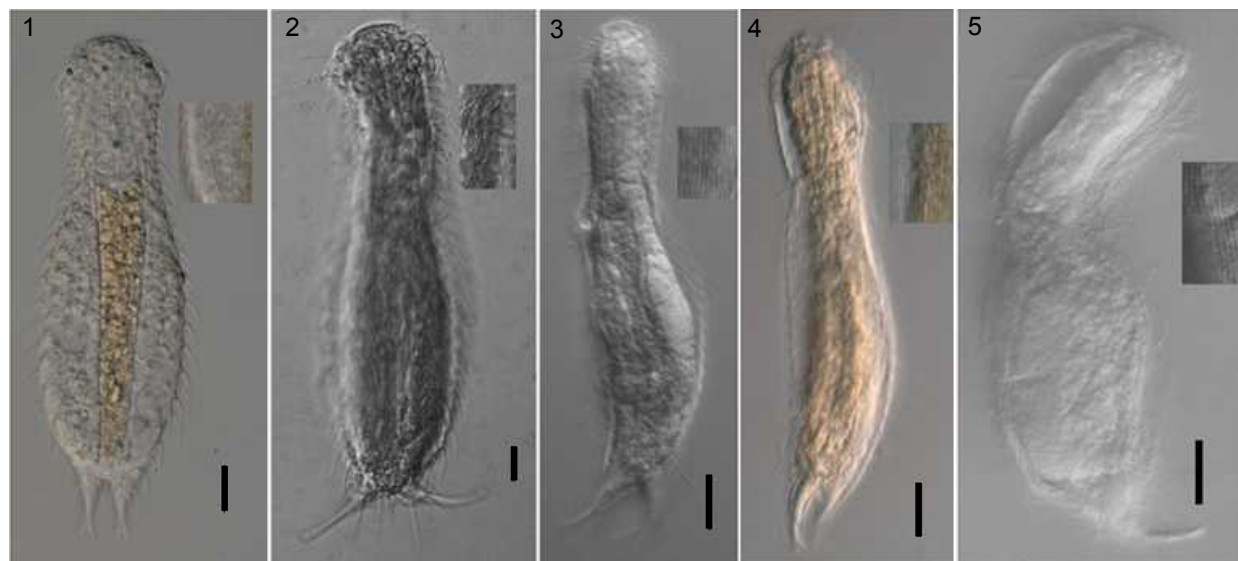
(2) イタチムシ

現在までに日本では2科7属30種の淡水産イタチムシが確認されており、水田からも中干し後の稲株付近にて採取されることが報告されている^{13,14)}。

今回、中干し以前におけるイタチムシの存在を確認するために、琵琶湖湖西の大津市真野町付

近の3地点12枚の水田から主に入水直後から中干し前までの期間で畦付近の水に落ち込んだ植物の葉と水田底泥のサンプルを採集し、得られたイタチムシの同定を試みた。

多くのイタチムシが採集され、中干し以前の水田にも多くのイタチムシが生息していることが確認された。体表面に存在する鱗の形、体長などに基づき *Chaetonotus*、*Polymerurus*、*Lepidodermella*、*Heterolepidoderma*、*Aspidiophorus*、*Ichthydium* の6属43種（未同定種を含む）が分類された。日本初記録種として、*C. oculifer*、*C. brevisetosus*、*H. kossinense*、*H. obesum*、*H. macrops* の5種が見つかった（図(2)-3）。また、新種と思われるものが、*Chaetonotus* に2種、*Polymerurus*、*Lepidodermella*、*Heterolepidoderma* に各1種、計5種出現したので、現在それぞれ新種記載論文を準備中である。



図(2)-3 水田から発見された日本新産種のイタチムシ。1. *Chaetonotus oculifer*. 2. *C. brevisetosus*. 3. *Heterolepidoderma kossinense*. 4. *H. obesum*. 5. *H. macrops*.

43種という数字は、日本でこれまでに報告された34種を大きく超える数である。水田という人工的な環境下においてこれだけのイタチムシが発見されたことは、今後のイタチムシの記載において、湖沼に加え水田の調査が重要になることを示している。

なぜこれほど水田に豊富に生息するイタチムシが、これまでほとんど見過ごされてきたのであろうか？私たちは、水田における従来の微小生物のサンプリング方法に原因があったと考えている。イタチムシは微小ベントスであり、プランクトンとして田面水中から見出されることはまれである。一方、水田におけるベントス採集では篩（ふるい）を用いるため、イタチムシの大きさだとその目合いを抜けてしまうのである。今回は、植物や堆積物からの洗い出しをしたり、植物や堆積物のごく近傍の水を採取したりしたことで、多くのイタチムシを採集することができた。

なお、同じ用水路から給水を受けている水田間でも、得られたイタチムシに違いが見られた。これが水田ごとの環境の差によるものか、水田の土に休眠しているイタチムシの種類の差によるものなのか、今後検証していきたい。

(3) 貧毛類

滋賀県内の水田で2009年に採集した計33筆の試料を精査し、14種のイトミミズ科を同定した（あ

と1種は未同定)。 *Aulodrilus limnobius* が最も多く見られ、ユリミミズ *Limnodrilus hoffmeisteri*、フクロイトミミズ *Bothrioneurum vej dovskyanum* などよく出現した。また、滋賀県レッドデータブックで希少種とされているビワヨゴレイトミミズ *Embolocephalus yamaguchii* も出現した。一方、狭義のイトミミズである *Tubifex* 属の種は全く見いだされなかった。

2010年まで、滋賀県内の水田とその周辺における陸生ミミズ類の調査を行った。これまでに14種を同定している。このうち外来種 *Eukerria saltensis* は、滋賀県からの初報告となる。

Helodrilus hachiojii Blakemore は東京都八王子市をタイプ産地として2007年に記載されているが、原記載論文で滋賀県長浜市西浅井町大浦、大津市の田上地方にも産することが示されている¹⁵⁾。さらに本研究における調査で、本種は滋賀県の広い範囲の水田など湿った土壤中に広く生息することが明らかになった(論文3)。

大津市田上枝の水田から、新種の *Drawida eda* Blakemore を報告した¹⁶⁾。本種は近隣の大津市稲津からも見出された。これまで *D. barwelli* や *D. japonica* と誤同定されてきた可能性が高い。

大津市田上黒津の水田から、新種 *Metaphile tanbode* Blakemore を新種記載した。本種はいまのところ、タイプ産地からしか見出されていない。この分類群は移動力が高いため、これまで報告されてこなかった理由は不明であるが、*M. hilgendorfi* などと誤同定されてきた可能性がある(論文1)。

湖から離れた甲賀市水口町松尾の水田から、日本最長のミミズであるハッタミミズ *Drawida hattamimizu* を採集し、琵琶湖博物館に収蔵した。本種はタイプ産地の石川県金沢市の河北潟周辺、滋賀県の琵琶湖周辺、そして最近になって報告された福井県三方五湖周辺からしか知られておらず、琵琶湖周辺が最大の産地である。今回、琵琶湖から約 25 km 離れた甲賀市水口町松尾で発見されたことにより、実際の分布域はさらに広い可能性が出てきた。

(4) ヒル類

琵琶湖博物館の収蔵標本を中心として、琵琶湖周辺の水田地帯に生息するヒル類の分類学的検討を行った。その結果、これまでに4科11種のヒル類が生息していることが判明した。出現したヒル類は以下のとおりである。

ヒル亜綱 Subclass Hirudinida

吻蛭目 Order Rhynchobdellida

ヒラタビル科 Family Glossiphoniidae

ハバヒロビル *Alboglossiphonia lata* (Oka, 1910)

ミドリビル *Batrachobdella smaragdina* (Oka, 1910)

ヌマビル *Helobdella stagnalis* (Linnaeus, 1758)

アタマビル *Hemiclepsis marginata* (O. F. Müller, 1774)

イボビル *Hemiclepsis japonica* (Oka, 1932)

吻無蛭目 Order Arhynchobdellida

チスイビル形亜目 Suborder Hirudiniiformes

チスイビル科 Family Hirudinidae

チスイビル *Hirudo nipponia* Whitman, 1886

セスジビル *Whitmania edentula* (Whitman, 1886)

ウマビル *Whitmania pigra* (Whitman, 1884)

イシビル形亜目 Suborder Erpobdelliformes

イシビル科 Family Erpobdellidae

シマイシビル *Erpobdella japonica* Pawłowski, 1962

ナガレビル科 Family Salifidae

タコウビル *Barbronia weberi* (Blanchard, 1897)

キバビル *Odontobdella blanchardi* (Oka, 1910)

このうちで数が多かったのはセスジビル、タコウビル、キバビルの3種であった。特に、チスイビル科の3種以外は、これまで水田の主要なヒル類として認識されておらず¹⁾、系統的にも多様なヒルが水田に生息していることが本研究で明らかになったと言える。

なお、向井康夫らが測定した窒素安定同位体比の未発表データによれば、ヒル類の多くは水田の高次捕食者である。今後はヒル類の水田生物群集の中での働きも重要な研究課題となろう。

(5) 微小甲殻類

これまでに、水田とその周辺の水路、ため池から、ミジンコ目15種、カイミジンコ目13種、ケンミジンコ目16種、ヒゲナガケンミジンコ目2種、ソコミジンコ目4種、計50種を見出した（未同定種を含む）。このうちソコミジンコ目については、「田んぼの生きもの全種リスト」¹⁾では未同定種1種が上がっているのみであり、「日本淡水動物プランクトン検索図説」¹⁷⁾でも水田に分布することが明記されているのは *Elaphoidella grandidieri* のみなので、以下の3種は日本の水田からの新報告である可能性が高い。

ナミミズベソコミジンコの一種 *Nitocra pietschmanni* (Chappuis, 1934)

カントカンブツスの一種 *Canthocamptus japonicus* Brehm, 1927

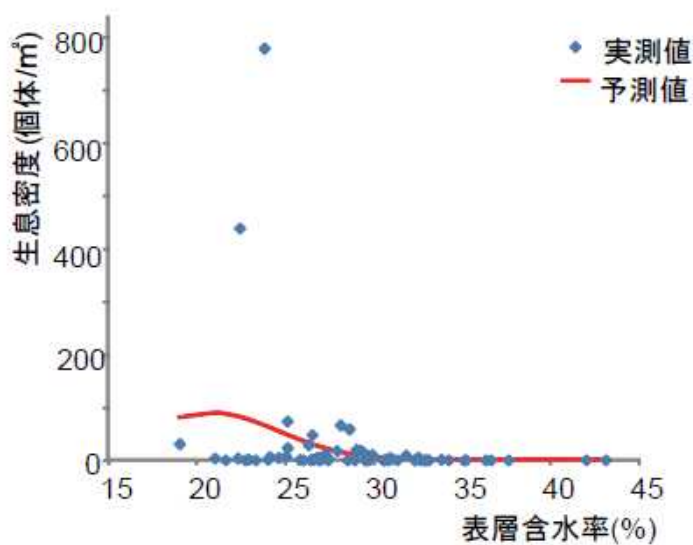
エラホイデラの一種 *Elaphoidella bidens* (Schmeil, 1894)

水田における微小甲殻類の動態に関する調査結果は(10)で述べる。

(6) 大型鰓脚類

水田の大型鰓脚類の分布は滋賀県の南部に多く、冬期に雪が多い北部では種、地域ともに限られる¹⁸⁾。県の南部と北部で大きく異なる自然環境要因として冬の降水量が挙げられる。北部では冬期のほとんどの期間、田面が雪で覆われるため、土壌の乾燥が起こりにくい。このことが大型鰓脚類の越冬を妨げている可能性がある。そこで、土壌の乾燥が大型鰓脚類の分布に及ぼす影響に重点を置いて分布調査を行った。

分布の境界付近である近江八幡・野洲地域において、水田土壌乾湿とエビ類分布を調べた。2008年、2009年に12地点71筆で調査を行なった。冬の土壌調査は検土杖で地面下30cmのコアサンプルを採り、各筆の表層(5-10cm)と作土下層(15-20cm)の含水率を測定した。夏の分布調査はそれらの水田で4月～7月に週1回、1筆につき16コドラート(30×40cm)を調べて、種ごとに計数した。カイエビは調査筆の61%にあたる43筆に分布した。両年の積算データを用いて、カイエビの出現の有無に対してロジスティック回帰分析を行った。降雨5、6日後の調査である2008年2月8日、2009年1月29日の土壌含水率を説明変数に用いて分析したところ、0～5cm層の含水率が少ないほど出現確率が大きくなる傾向が認められ、含水率31%で出現確率が50%になった。湛水第6週(一般に生息数



図(2)-4 カイエビの生息密度と、冬期の表層土壌含水率との関係。負の二項回帰により正規分布近似

が最も多くなる)の生息密度について、冬の土壌含水率の最適点を負の二項回帰分析により推定した。カイエビの生息密度は表層土壌含水率によってよく説明され、含水率の最適点は $20.8 \pm 3.9\%$ (推定値+標準誤差)と推定された。この結果から、冬の土壌水分はカイエビの生息を強く制限していると考えられる。一般には冬に土壌が乾燥しやすい水田に多くみられるものの、透水性過多による湛水時の田面露出が観察されており、これが低含水率筆で生息を減らす原因になっていると推察された。

滋賀県北部のうち、長浜市には局地的に大型鰓脚類が分布する場所がある。この地域での大型鰓脚類の分布と土壌水分との対応を探るため、2009～2011年に長浜市の36地点70筆において、近江八幡調査とほぼ同様の方法で調査を行った。大型鰓脚類は21筆で確認された。生息地点は姉川・草野川の扇状地に多く、低地での確認は1地点のみで、分布域は限定的だった。2011年に積雪下の土壌水分を調査したところ、地表の湿りは乾田と湿田とで差があり、湿田では雪の下に水溜りが見られた。乾田では積雪下でも土壌含水率が低い傾向が認められた。

近江八幡・野洲ではカイエビの分布が冬の土壌水分とよく対応していたが、長浜では生息と土壌水分の対応が不明瞭だった。これは県北部の冬の降水が多いために、水分測定条件(降水2～3日以降)が整わないことが一因と考えられ、今後の検討課題である。

(7) 二枚貝

滋賀県内各地の水田で動物群集の調査を行った際に、多くの水田でドブシジミ類、マメシジミ類を確認することができたので、その出現傾向や生息環境の特徴について検討した。

調査は滋賀県内9地域26筆の水田で2010年に実施した。それぞれの水田では40×100 cmの範囲を、目合い1mmのネットで泥ごとすくい、その中から、ドブシジミ類、マメシジミ類を採集した。この作業を水田1枚につき10回行なった。

ドブシジミ類は8地域15箇所から確認された。これらはすべてドブシジミ *Sphaerium (Musculium) japonicum* と同定された(愛媛大学・家山博史氏同定)。本種の在不在に対する農法や水田の水分条件の影響は認められなかった。一方、出現個体数に対してポアソン誤差を仮定した一般化線形モデルを適用した結果、湿田や有機農法水田で個体数がより多くなる傾向が認められた。

マメシジミ類は3地域3水田のみで確認された。採集された個体はすべて殻長が1 mm程度であり、ウエジマメシジミ *Pisidium (Odhneripisidium) uejii* と同定された(愛媛大学・家山博史氏同定)。本調査では本種は山間部の湿田および半湿田でのみ確認されたが、県内ではこの他に湿地、湿原などでも確認されている。

（８）巻貝

今世紀初頭まで、外来種スクミリンゴガイ *Pomacea canaliculata* は滋賀県では野洲市の限られた地域の水田地帯でしか発見されていなかった。しかし現在では、彦根市の一部の水田地帯（河川・内湖）のみならず、琵琶湖南湖の沿岸にも進出していることが明らかになった。

草津市の琵琶湖に近い複数の水田から、ヒメマルマメタニシ *Gabbia kiusiuensis* を採集し、琵琶湖博物館に収蔵する準備を進めている。これが滋賀県における初記録となる。

（９）イチョウウキゴケ

環境省レッドリストの準絶滅危惧種であるイチョウウキゴケ *Ricciocarpos natans* の水田での分布状況を調べるとともに、生育環境の調査・解析を行なった。

調査は2010年5月29日から7月7日までの湛水期間、滋賀県内の12地域、61筆の水田で実施した。分布調査は畔から1-2列目の稲株の間に、20cm×30cmの区画をランダムに10区画設定し、浮葉植物各種の被度を調べた。また、生息数が少なく、被度が算出できない水田では畦沿いでのルートセンサスを行ない、イチョウウキゴケの有無を調べた。さらに、水質測定、耕作者へのアンケート調査を実施し、水質や農事暦、農薬使用の有無、転作の履歴などそれぞれの水田における詳細な情報を得た。上記の調査によって得られた水中の栄養塩濃度や冬季の土壌水分状態、水源、使用農薬の有無と種類、地理情報を説明変数、イチョウウキゴケの出現の有無を目的変数として、ロジスティック回帰分析を行なった。

11地域、36筆でイチョウウキゴケの生息が確認された。ロジスティック回帰分析による変数選択の結果、調査日、緯度、 Na^+ 濃度、 F^- 濃度の4つの説明変数が選択された。緯度と F^- 濃度は正の偏回帰係数を、調査日と Na^+ 濃度とは負の偏回帰係数を示した。すなわち、①調査時期が早い、②緯度が高い、③田面水中の Na^+ 濃度が低い、④同様に F^- 濃度が高いほど本種の出現確率が高い傾向が認められた。全ての農薬成分について、有意な負の影響は認められなかった。

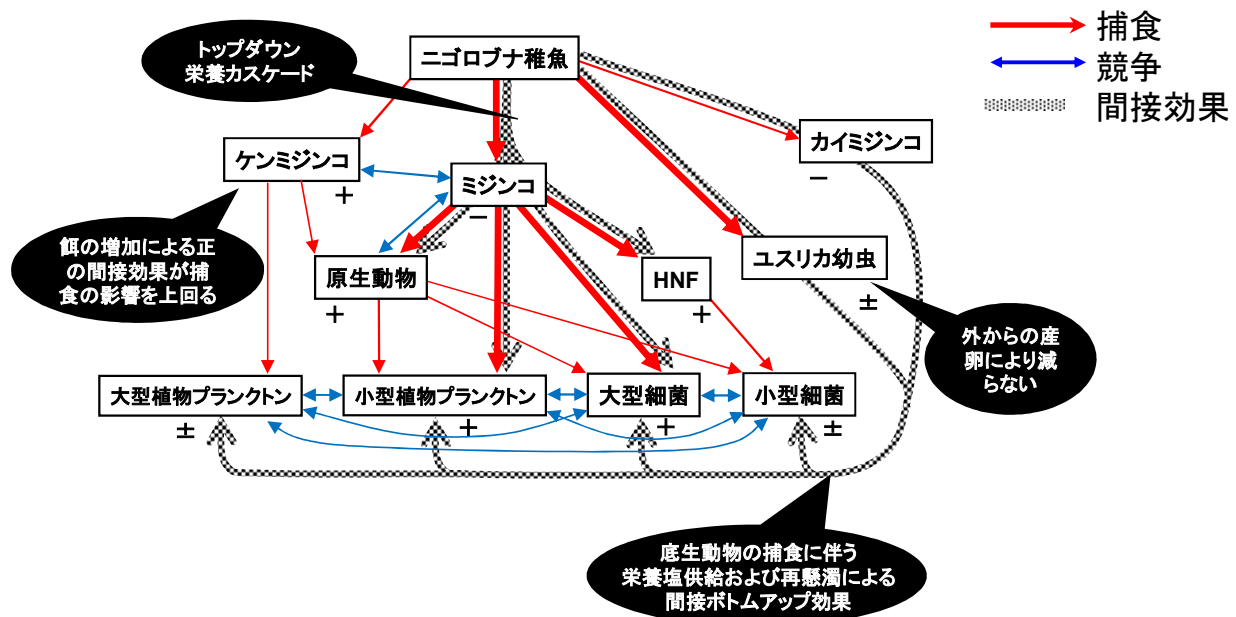
一方、地理的な分布をみると、県北部や湖西山間部など、雪の多い地域に多く分布する傾向が認められた。イチョウウキゴケは水がない状態でも陸上体として越冬できるものの、著しい乾燥には弱いと、冬期に水田が冠雪することで乾燥から守られる地域により分布しやすい可能性がある。

（10）野外操作実験による水田微小生物群集の分析

滋賀県農業技術振興センター（近江八幡市安土町大中）の実験水田で野外操作実験を行った。水田内の側に6つのエンクロージャーを設置し、それぞれ2区画ずつを稲藁春施用、秋施用、施用なしとした。湛水の13日後、田植えの1週間後に、それぞれの一方にニゴロブナ *Carassius auratus grandoculis* の孵化後3日の仔魚を20個体 m^{-2} になるように放流し、もう一方には放流せず対照区として実験を行った。

実験結果のうち、ニゴロブナ仔稚魚が田面水中の生物に及ぼした直接・間接の影響をまとめると図(2)-5 のようになる。以下でその内容を検討する。

ニゴロブナ仔稚魚は甲殻類をよく食べていた。稚魚の消化管内からは底生ワムシの *Lecane* やミカヅキモ *Closterium* なども数多く見出されたが、量的には甲殻類に比べてはるかに少なかった。10日齢の後期仔魚の消化管は、主にミジンコ目に占められていた。16日齢からはケンミジンコ目、



図(2)-5 ニゴロブナ稚魚が水田生物群集に及ぼすインパクトと、そのことで浮き彫りになる微生物間の相互作用。

カイミジンコ目、ユスリカ科幼虫を多く食うようになり、31日齢になるとユスリカ科幼虫が主な餌となった。

ニゴロブナ仔魚放流の13日後（16日齢）から、水中あるいは土壌表面の甲殻類が放流区と対照区で大きく異なってきた。対照区・放流区ともに、ミジンコ目のうちゾウミジンコ *Bosmina* およびタマミジンコ *Moina* は先駆種として出現し、実験の後半には減少した。しかし放流区では、両属とも対照区よりも先に減少し、ニゴロブナが16日齢の時点でほぼ全滅した。また、この頃から対照区ではミジンコ *Daphnia*、ケブカミジンコ科、ネコゼミジンコ *Ceriodaphnia* などが増えてきたが、放流区ではほぼ完全に発生が抑えられた。これに対して、水面付近で生活するアオムキミジンコ *Scapholeberis* およびカイミジンコ目は、やはり減少したものの全滅には至らなかった。さらにケンミジンコ目では、対照区では実験後半にやや減少したのに対して、放流区では逆にやや増加した。こうした変化は、ミジンコ目＞カイミジンコ目＞ケンミジンコ目の順に選択性が高い、ニゴロブナ稚魚の餌選択性とほぼ対応したものである（ただし後期仔魚はケンミジンコ目のノープリウス幼生をやや多く捕食し、カイミジンコ目を全く捕食できないため、餌選択性がミジンコ目＞ケンミジンコ目＞カイミジンコ目の順になる）。一方、ユスリカ科幼虫の数は、放流区でも最後まで減少することがなかった。その理由として、ユスリカは主に実験水田の外からやってきて産卵するために捕食の影響が一代限りだったこと、そして主として底泥中に生息するユスリカ科幼虫はミジンコ目ほど効率的に捕食されなかったことが考えられる。

一方、原生動物には放流区でより多くなるものがあった。シオカメウズムシ目（主に *Coleps*）は、放流区でのみ大きく増加した。また、ミドリムシ目（主に *Euglena* と *Tracheromonas*）、ハルテリア目（主に *Halteria*）は、放流区で対照区よりも有意に多くなった。以上の種は比較的小型で、この水田で多く発生したタイリクミジンコ *Daphnia similis* やタマミジンコ *Moina*

macrocopa などが捕食できるサイズなので、ミジンコによる捕食圧の減少が増加の一因となったと考えられる。なお *Halteria* は、捕食者から「跳躍」して逃げることができるため、他の繊毛虫よりもミジンコの捕食を免れやすいことが知られている。しかしミジンコには *Halteria* を十分に捕食できるものがある。また *Halteria* がろ過捕食する餌サイズ ($0.5\sim 5\ \mu\text{m}$) は多くのミジンコの餌サイズの範疇にあるために、餌をめぐる競争があったと考えられる。すなわち、ミジンコの *Halteria* に対するギルド内捕食の結果として、このような明瞭な影響が表れたものと思われる。

出現した動物プランクトン（原生動物を含む）の分類群数を概ね目レベルで見ると、対照区では湛水後20日目あたりから徐々に分類群数が減る傾向が見られた。一方、放流区では逆に、分類群数がやや増える傾向が見られた。すなわち、フナを放流した水田の方が動物群集の多様性がより大きくなる傾向が見られた。これは小型の分類群に対するミジンコの捕食圧が低下しただけでなく、競争力が強いミジンコの減少によって競争排除が起こりにくくなったためと考えられる。

湖沼では動物プランクトン食魚類が大型のミジンコを捕食して減少させると、大型のミジンコによる餌の独占が起こらなくなるため、搾取型競争には弱い魚には捕食されにくい小型の動物プランクトンが増加することが多い。一方でケンミジンコ目などのカイアシ類は魚による捕食の影響を比較的受けにくいいため、餌となる小型の動物プランクトンの増加が有利に働いてむしろ増加することがある。ニゴロブナ仔稚魚が水田の動物プランクトン群集に及ぼした影響も、こうした湖沼における観察結果と概ね一致している。

水中のクロロフィルa量（植物プランクトン量の指標）は、実験後半になると放流区でやや多くなった。この傾向を顕著なものにしたのは $15\ \mu\text{m}$ 以下の小さな分画の植物プランクトンで、大型のものはあまりはっきりとした違いを示さなかった。

属レベルでの組成で見た場合、放流区では実験の後半に *Scenedesmus* (単細胞型)、*Kirchneriella*、*Merismopedia*、*Nostoc*、*Monoraphidium*、*Tracheromonas*、緑藻の遊走子などが多くなった。以上のうち *Nostoc* 以外はいずれも小型で、ミジンコの濾過捕食を受けやすいと考えられる。これに対して *Nostoc* は本来、底泥上で生育しているので、稚魚の採食活動によって水中に巻き上げられたと考えられる。すなわち、ニゴロブナ→ミジンコ→小型藻類というトップダウン栄養カスケードとともに、捕食活動による底生藻類の水中への懸濁も、クロロフィルaの増加に寄与したと考えられる。さらに全リン濃度も、放流区で対照区よりも高くなる傾向があった。全リンの挙動がクロロフィルa量の挙動とよく似ていたこと、溶存反応性リンの濃度には顕著な違いが見られなかった（大林博幸ら 未発表）ことから、稚魚の摂食活動で水中に汲み上げられたリンは、速やかに植物プランクトンなどに利用されたと考えられる。

水中に浮遊している糸状細菌も放流区でより多くなる傾向が見られた。また、湛水初期に多く見られた従属栄養性ナノ鞭毛虫 (HNF) は、対照区では時間とともにほぼ一方的に減っていったのに対して、放流区では実験後半にやや回復した。こうした藻類以外の微小生物に対しても、ミジンコを介したトップダウン栄養カスケードが働いていたことが示唆される。一方で、ミジンコのろ過サイズの範疇にある $0.8\sim 3\ \mu\text{m}$ の分画にあるバクテリアに対する量的な影響は小さかった。これはミジンコが減った際に、このサイズの餌を効率的に捕食する *Halteria* などの繊毛虫が増加して、ミジンコによる捕食圧の減少を補償したためかもしれない（論文2, 4）。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究の一連の成果は、水田生物群集の種多様性の高さを改めて強調するものになった。これまで水田から種レベルでの報告がなかったイタチムシ類が43種も見出され、「田んぼの生きもの全種リスト」¹⁾には45種しか掲載されていない珪藻類が250種以上も見出されたことで、水田における微小生物の種多様性の解明が甚だ立ち遅れていることが改めて浮き彫りになった。

また、水田生物の種多様性の全貌を明らかにするために、今後必要となる調査の方向性が示された。水田およびその周辺での生息が初めて確認された生物は、上記イタチムシ類、珪藻類の他にも、ソコミジンコ類、陸生ミミズ類など、底生あるいは地中性のものが多い。こうした生物はいずれも、通常の水田生物の調査方法では採集されにくく、そのために水田生物群集の一員であることが見逃されてきたものと思われる。最近、ウズムシ類についても水田に生息することが初めて明らかになった種があることから¹⁹⁾、底生あるいは付着性の小型生物、および地中性の生物に焦点を合わせた調査方法を確立すべきことが明らかである。

珪藻群集は、除草剤使用の指標のみならず、水田の珪酸栄養状態の指標にもなる可能性が示された。灌漑水とともに水田に入る珪藻の殻は、イネにとって重要な珪酸の供給源であることも知られている²⁰⁾。田面水中の可給態珪酸濃度が給水口付近より排水口付近で低くなる（大塚ら 未発表データ）ことから、水田土壌表面で増殖する珪藻が、水中の可給態珪酸を水田土壌へ取り込む働きをしていることも示唆される。従って今後は、水田の珪藻群集を珪酸動態との関連で研究し、その働きと指標性を解明していく必要がある。

カイエビとイチョウウキゴケの対照的な分布パターンは、冬期の積雪が水田の生物の分布に大きな影響を与えることを示している。これまで水田生物群集と冬季の積雪の関係についてはあまり検討されてこなかったが、今後は重要な検討課題となろう。

水田の生物間相互作用は錯綜しており、一般にたいへん見えにくい。しかし本研究では、キーストーン種となるフナの子稚魚を用いた野外操作実験により、生物間相互作用の諸相を明らかにすることができた。今後は安定同位体比の利用との組み合わせによって、生物間相互作用をさらに詳細に解明することに努めていきたい。

(2) 環境政策への貢献

本研究における調査を契機として、水田の微小生物の観察会を3年間で十数回行い(協力を含む)、多くの人たちに水田の微小生物をみてもらう機会を得た。このことにより、水田の生物多様性に関する参加者の見方が大きく変化したと期待される。また、私たちが行った観察会を契機として、滋賀県内の土地改良区や NPO などが顕微鏡観察像をスライド映写する装置を購入するなどして、独自に水田の微小生物の日常的な観察、および一般向け観察会を行うようになってきた。

滋賀県内の水田生物に関する研究成果を広く発信するために開催した「琵琶湖地域の水田生物研究会」は、第1回、第2回ともに、参加者100名を超える盛況であった。同様の研究会はすぐに東北地方にも飛び火し、2011年2月には「東北田んぼ生きもの研究会」が宮城県大崎市で開催された。こうした研究会の開催を通して、水田環境の保全にかかわる県外の NPO や研究者との交流も進み、日常的な情報交換が行われるようになった。

本研究の成果に基づいて、「水田における生物多様性向上の優良事例収集業務報告書」を分担執筆した。この報告書は2012年6月までに英文に翻訳され、ルーマニアで2012年7月に開催される Ramsar COP11 で討議資料として用いられる。

琵琶湖博物館企画展示「ニゴローの大冒険～フナから見た田んぼの生き物のにぎわい～」(2012年7月14日～11月25日)で、本研究の成果を紹介する。4万人程度の来場者を見込んでいる。また、企画展示の内容を要約した図録も出版する。

6. 国際共同研究等の状況

- 1) Dr. Tomislav Karanovic, National Institute of Biological Resources、大韓民国、滋賀県の水田に出現するケンミジンコ類（特に底生種）の同定を進めている。
- 2) 朱偉、河海大学、中華人民共和国、中華人民共和国の一大水田地帯であった太湖周辺の水田の調査を2010年より進めている。
- 3) Dr. Robert J. Blakemore, The University of Auckland, New Zealand、滋賀県の水田地帯に出現する陸生ミミズ類の同定を進めている。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) R. J. BLAKEMORE (2010) Opusc. Zool. Budapest 41: 191-206 (2010)
“Unravelling some Kinki earthworms (Annelida: Oligochaeta: Megadrili: Megascolecidae) - Part II.”
- 2) Y. NISHIMURA., T. OHTSUKA, K. YOSHIYAMA, D. NAKAI, F. SHIBAHARA and M. AEHATA:
Ecol. Res. 26: 615-626 (2011)
“Cascading effects of larval Crucian carp introduction on phytoplankton and microbial communities in a paddy field: top-down and bottom-up controls.”
- 3) R.J. BLAKEMORE and M.J. GRYGIER: Soil Organisms 83: 265-278 (2011)
“Unraveling some Kinki worms (Annelida, Oligochaeta, Megadrili, Lumbricidae) – Part III.”
- 4) 大塚泰介・山崎真嗣・西村洋子：日本生態学会誌(2012).
「水田に魚を放すと、生物間の関係が見えてくる - 多面的機能を解き明かすための基礎として - 」 (印刷中)

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 平成23年度 水田における生物多様性向上の優良事例収集業務報告書（印刷中）
「概論；田んぼの生物多様性を保全するとりくみ～琵琶湖（ラムサール湿地）の集水域における事例～（大塚泰介）」

- 2) 平成23年度 水田における生物多様性向上の優良事例収集業務報告書（印刷中）
「丘陵地水田での冬期湛水は絶滅が危惧される両棲類・魚類に生息場所を与える（小野了代・大塚泰介）」
- 3) 平成23年度 水田における生物多様性向上の優良事例収集業務報告書（印刷中）
「フナを通して水田の生物どうしの関係を見る（大塚泰介・金尾滋史）」
- 4) 平成23年度 水田における生物多様性向上の優良事例収集業務報告書（印刷中）
「田んぼの生物多様性の知られざる側面～微小生物に関するいくつかの先駆的研究～（大塚泰介・鈴木隆仁）」
- 5) 平成23年度 水田における生物多様性向上の優良事例収集業務報告書（印刷中）
「滋賀県の田んぼのエビ類（大型鰓脚類）の分布は冬期の土壌含水率に規定される（前田雅子・楠岡 泰・Mark J. Grygier・大塚泰介・田んぼの生きもの調査グループ）」

（２）口頭発表（学会等）

- 1) 大塚泰介・山崎真嗣・西村洋子：琵琶湖博物館研究セミナー（2009）
「水田に魚を放すと、生物どうしの関係が見えてくる」
- 2) 鈴木隆仁：琵琶湖博物館研究セミナー（2009）
「琵琶湖周辺の水田で得られた腹毛動物」
- 3) 大塚泰介：公開シンポジウム 地域が担う水田の生物多様性（2009）
「誰も知らなかった(?)水田の藻類・プランクトン」
- 4) 大塚泰介・中村優介・打越崇子：日本珪藻学会第30回研究集会（2010）
「滋賀県の水田の珪藻植生と、その環境指標性」
- 5) 山田奈都美・大塚泰介：第1回琵琶湖地域の水田生物研究会（2010）
「イチョウウキゴケの分布に影響を及ぼす諸要因の検討」
- 6) 大塚泰介・中村優介：第1回琵琶湖地域の水田生物研究会（2010）
「水田の珪藻の多様性」
- 7) 鈴木隆仁：第1回琵琶湖地域の水田生物研究会（2010）
「日本の淡水イタチムシ相」
- 8) M. J. GRYGIER, T. KARANOVIC, R.J. BLAKEMORE: 第1回琵琶湖地域の水田生物研究会(2010)
「滋賀県の水田のミミズ類とカイアシ類」
- 9) 前田雅子・楠岡 泰・大塚泰介：第1回琵琶湖地域の水田生物研究会（2010）
「滋賀県の“田んぼのエビ類(大型鰓脚類)”の分布と影響を及ぼす環境要因」
- 10) 西村洋子・吉山浩平・大塚泰介：第1回琵琶湖地域の水田生物研究会（2010）
「水田における栄養カスケード効果- ニゴロブナ稚魚からバクテリアまで」
- 11) M. J. GRYGIER: 東北田んぼ生きもの研究会（2011）
「東北の水田のカイエビ類」
- 12) 大塚泰介：琵琶湖博物館研究セミナー（2011）
「水田珪藻研究の過去・現在・未来」
- 13) 鈴木隆仁・常木和日子・古屋秀隆：第47回日本動物分類学会沖縄大会（2011）
「琵琶湖周辺の水田で採取された多様なイタチムシ」

- 14) M. MAEDA, Y. KUSUOKA, M.J. GRYGIER & Lake Biwa Museum Hashikake Rice Field Organisms Survey Group: The 7th International Large Branchiopods Symposium, 2011
“Evaluation of the effect of winter soil moisture on the distribution of large branchiopods in Shiga Prefecture, Japan”
- 15) M. J. GRYGIER: The 7th International Large Branchiopods Symposium, 2011
“Large-scale changes in large branchiopod species distributions in Japan in recent decades”
- 16) 西村洋子・大塚泰介・吉山浩平・中井大介・柴原藤善・前畑政善：第27回日本微生物生態学会大会（2011）
「水田におけるニゴロブナ稚魚放流による微生物群集への栄養カスケード効果」
- 17) 鈴木隆仁：第2回琵琶湖地域の水田生物研究会（2011）
「田んぼから見つかったイタチムシの新種」
- 18) 前田雅子・楠岡泰・M. J. GRYGIER・大塚泰介・田んぼの生き物調査グループ：第2回琵琶湖地域の水田生物研究会（2011）
「田んぼのエビ類（大型鰓脚類）が分布する条件とは？」
- 19) M. J. GRYGIER：第2回琵琶湖地域の水田生物研究会（2011）
「草津市片岡町における田んぼのエビ類（大型鰓脚類）の長期モニタリング」
- 20) 大塚泰介・中村優介・打越崇子：第2回琵琶湖地域の水田生物研究会（2011）
「珪藻は安全でおいしいお米ができる水田環境を指標するか？」
- 22) 金尾滋史：第2回琵琶湖地域の水田生物研究会（2011）
「ご当地田んぼの生きもの図鑑製作のねらいとその効果」
- 23) 中野隆文：第2回琵琶湖地域の水田生物研究会（2011）
「水田に生息するヒル類」
- 25) 大塚泰介：滋賀大学環境総合研究センター第8回年次シンポジウム「水田の生態系と社会とのつながりを考える」（2012）
「たんぼの中をのぞいて見れば」
- 27) 金尾滋史：日本生態学会第59回大会シンポジウム「湖国における「田んぼ研究」の現在・過去・未来」（2012）
「湖国の水田地帯における生物多様性研究の現在・過去・未来」
- 29) M. J. GRYGIER: The 5th EAFES International Congress Symposium “Hot spots in agriculture ecosystems: multi-scale heterogeneity and species interaction”, 2012
“Preliminary observations on diversity and habitat preference of microcrustaceans in ricefields of Shiga Prefecture, Japan”
- 30) M J. GRYGIER：琵琶湖博物館研究セミナー（2012）
「草津市の水田におけるエビ（大型鰓脚類）の長期モニタリングとタマカイエビの「鰓脚」の形態」
- 31) 大塚泰介・中村優介・岩渕成紀・向井康夫：日本珪藻学会第33回大会（2012）
「東日本大震災の津波と地盤沈下で海水化した水田に出現した珪藻」

（3）出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) 日本生態学会第57回大会企画集会「普通種がいなくなるときー水田地帯の生物多様性」.
(2010年3月18日、東京大学教養学部、観客約100名)
- 2) 第1回 琵琶湖地域の水田生物研究会 (2010年12月19日、琵琶湖博物館、参加者133名)
- 3) 第2回 琵琶湖地域の水田生物研究会 (2011年12月18日、琵琶湖博物館、参加者139名)
- 4) 日本生態学会第59回大会シンポジウム「湖国における「田んぼ研究」の現在・過去・未来」.
(2012年3月18日、龍谷大学、観客約150名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) サイエンスチャンネル、赤ちゃんがいっぱい (18) 行け！悠久の湖へ ニゴロブナの巻 (2009年11月27日、番組の中で水田の微小生物および本サブテーマの構想を紹介)
- 2) 朝日新聞 (2010年12月18日、滋賀版、第1回 琵琶湖地域の水田生物研究会の案内)
- 3) 京都新聞 (2010年12月20日、滋賀版、第1回 琵琶湖地域の水田生物研究会の内容が紹介された)
- 4) 京都新聞 (2011年3月8日、全国版、新種と思われるイタチムシ4種の水田からの発見が紹介された)
- 5) 読売新聞 (2011年5月14日、滋賀版、新種と思われるイタチムシ4種の水田からの発見が紹介された)
- 6) 毎日新聞 (2011年5月20日、滋賀版、琵琶湖博物館のイチョウウキゴケ参加型調査の結果が紹介された)
- 7) 京都新聞 (2011年12月7日、滋賀版、第2回 琵琶湖地域の水田生物研究会の案内)

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 桐谷圭治 (編) (2010) 田んぼの生きもの全種リスト (改訂版). 農と自然の研究所
- 2) OHTSUKA T, FUJITA Y (2001) Diatom flora and its seasonal changes in a paddy field in Central Japan. *Nova Hedwigia* 73: 97-128, 74: 545-546 (errata).
- 3) BLAUSTEIN L (1990) Evidence for predatory flatworms as organizers of zooplankton and mosquito community structure in rice fields. *Hydrobiologia* 199:179-191
- 10) KIMURA M (2005) Populations, community composition and biomass of aquatic organisms in the floodwater of rice fields and effects of field management. *Soil Sci Plant Nutr* 51:159-181
- 11) 渡辺仁治 (編) (2005) 淡水珪藻生態図鑑. 内田老鶴圃
- 4) 金網善恭 (1960) 豊橋市の海岸干拓田におけるツヅミモとケイソウについて. *陸水学雑誌* 21:73-86

- 5) 金網善恭 (1961) 豊橋市西方部にある二小島 (大津島と大崎島) の水田産ケイソウとツヅミモ藻類 9:1-8
- 6) 伊藤良永 (2007) 水田の形態別 (乾田、半湿田) 違いに基づく珪藻植生の基礎的研究. 徳永重元博士献呈論集, pp 299-319. パリノサーヴェイ株式会社出版刊行会
- 7) SHIMASAKI Y, HUY TQ, NGUYEN DT, HUYEN DTH, Ha NTT, YUKIHIRA M, FUKUDA S, MORI Y, ARAKI T, MATSUMOTO M, KANG IJ, MOROISHI J, HONJO T, KAWAGUCHI S, OSHIMA Y (2008) Effects of rice cultivation on water quality and diatom species composition in a paddy field at Hanoi University of Agriculture. Proceedings of the JSPS International Seminar 2008, pp 234-239
- 8) HELLEBUST JA, LEWIN J. 1977. Heterotrophic nutrition. In: Werner D (ed) The Biology of Diatoms, pp 169-197. Blackwell
- 9) DEBENEST T, SILVESTRE J, COSTE M, PINELLI E (2010) Effects of pesticides on freshwater diatoms. Rev Environ Contam Toxicol 203:87-103
- 12) 高橋英一 (2007) 作物にとってケイ酸とは何かー環境適応力を高める. 農文協
- 13) YAMAZAKI M, HAMADA Y, KAMIMOTO N, MOMII T, KIMURA M (2004a) Habitats of aquatic organisms in a paddy field during flooding period. Edaphologia 74: 1-10
- 14) YAMAZAKI M, HAMADA Y, KAMIMOTO N, MOMII T, KIMURA M (2004b) Composition and structure of aquatic organism communities in various water conditions of a paddy field. Ecol Res 19: 645-654
- 15) BLAKEMORE RJ (2007) *Helodrilus hachiojii* sp. nov. (Oligochaeta: Lumbricidae) from Japan. Edaphologia 82:17-23
- 16) BLAKEMORE RJ, KUPRIYANOVA EK (2010) Unraveling some Kinki worms (Annelida: Oligochaeta: Megadrili: Moniligastridae) - Part I. Opusc Zool Budapest 41: 3-18
- 17) 水野寿彦・高橋永治 (編) (2000) 日本淡水動物プランクトン検索図説. 東海大学出版会
- 18) GRYGIER M., KUSUOKA Y, Ida M, Lake Biwa Museum Field Reporters (2002) Distributional survey of large branchiopods of rice paddies in Shiga Prefecture, Japan; a Lake Biwa Museum project based on lay amateur participation. Hydrobiologia 486: 133-146.
- 19) YAMAZAKI M, ASAKAWA S, MURASE J, KIMURA M (2012) Phylogenetic diversity of microturbellarians in Japanese rice paddy fields, with special attention to the genus *Stenostomum*. Soil Sci Plant Nutr 58:11-23
- 20) DESPLANQUES V, CARY L, MOURET JC, TROLARD F, BOURRIÉ G, GRAUBY O, MEUNIER JD (2006) Silicon transfers in a rice field in Camargue (France). J Geochem Explor 88:190-193

(3) 水田生物群集のギルド構造に関する研究

愛媛大学 農学部

日鷹一雅

<研究協力者>

京都大学地球学堂

向井康夫

東京農工大学農学部

本林 隆

独立行政法人農村工学研究所

嶺田拓也

滋賀県立琵琶湖博物館

中井克樹

多賀町立博物館

金尾滋史

滋賀県立大学 環境科学研究科

中西康介

愛媛大学 農学研究科

野村進也

平成21～23年度累計予算額：9,254千円

(うち、平成23年度予算：2,600千円)

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕琵琶湖集水域・内陸部の水田地帯では、生物多様性に配慮した様々な農法が行われ、水田魚道によるミチゲーションなどが行われている。しかし、琵琶湖集水域・内陸部の水田地帯に生息する水生動物の多様性に関する網羅的なデータは十分でない。本研究では、琵琶湖集水域・内陸部の水田地帯において、肉眼で確認可能なサイズの水生動物の多様性の現状を把握することを目的として、2009年から2010年にのべ48筆の水田で調査を行った。また、得られた結果や農薬などのリスク評価実験から、水生動物群集組成と農法や水田の環境との関係を明らかにすることを試みた。加えて、上記調査中に確認された大型水生動物の捕食事例に基づき、水田の大型水生動物の食―被食の関係を推定し、CN安定同位体比の測定により検証を行うことを試みた。得られた結果は以下である。

(1)滋賀県全域においては、タガメのような水生昆虫のRDB種は近年確認されておらず、本調査初年度でも生息は確認できなかったが、最近各地で激減している水田水生昆虫の普通種が農法に関わらず広く分布していた。

(2)水生昆虫は主として食べられる餌資源を柔軟に利用しており、頻繁にギルド内捕食が肉食者の共食いとともに行われている可能性が示唆された。このことは種間関係で種構成が大きく変容しないことを示唆している。

(3)広く西日本水田で普及してきたフィプロニルの水生甲虫2種に対する薬剤感受性は種間で大きな差が認められ、使う苗箱施用殺虫剤によって群集構造が大きく変容する可能性が示唆された。一方、侵入生物であるスクミリンゴガイが湖東地域を中心に分布拡大中であることを明らかにした。

〔キーワード〕 農生物多様性、水田生態系、群集解析、ギルド、環境影響評価

1. はじめに

水田の生物多様性の実体を生物群集の構造と機能の視点から明らかにし、生物多様性を活かし持続的な農村生態系の環境システムの構築の一助と為すことは重要である。とくに環境農業政策先進県の滋賀県は、さまざまな環境保全型農業や環境配慮技術が実施されてきており、このような先進地において高度な現場型研究を進めることは、わが国のみならず、水田農業起源地に近いアジア諸国にも応用可能な自然資本（生物多様性）と社会資本（農村・農業システム）との間を結ぶ生物多様性のあり方を探る上で意義がある。このサブテーマでは、多様な地域、多様な集落、多様な水田において、まずどのような生物多様性が水田生態系に形成され、どのような成り立ちなのかについて水生生物群集を対象にして研究を進めた。

2. 研究開発目的

生物群集は構造的に大変複雑であり、その明快な解明は難しいとされているが、栄養段階とギルド構造の解析は比較的定量化が可能で説明がつく結果を示しやすいと考えられる。ここでは実際の食物網を解き明かす、様々な手法を駆使しながらも、水田における生物多様性のあるべき構造の解明の一助となる生態系情報について、在地の水田に関わる様々な環境要因との関連性も踏まえた研究の推進を目的とした。研究の第一段階は、体系的な報告例の乏しい滋賀県全域水田における水生動物群集の現況調査からまず着手した。次の段階では、主要な水田生物種群の生息分布状況を明らかにし、異なる集落、異なる栽培環境下にある多様な環境系の水田の生物多様性の一断面について比較調査することによって、在地の群集構造がどのようにして成り立っているのかについて、近年水生昆虫に大きなインパクトを与えている環境要因の動向やその影響評価も合わせて同時に研究作業を進行させた。最終的には、このサブテーマの遂行によって、水田生物多様性の実体を群集の構造の点から明らかにし、全体のテーマである生物多様性を活かし持続的な農村生態系の再生への一助と為すことを目的とした。

3. 研究開発方法

本プロジェクトの主フィールドである滋賀県の水田地域において、生物多様性と農業生態系を結ぶ農生物多様性（agrobiodiversity）の実態を解明する野外調査研究を他のサブテーマグループとの連携も含め研究を進めた。本サブテーマは、大まかに三つの方法論の研究調査や実験から構成されている。一つ目は滋賀県の水田生物多様性について水生動物の生息分布調査を進めることによって、その特性を明らかにすることである。二つ目には、ある環境下の水田で見られた群集について、水田生物多様性の再生に結びつくギルド構造を見出すために、食物網や食物連鎖の栄養段階を解析することである。最後の三番目には、生物多様性の再生上、ある有益な群集構造が見出された場合に、その攪乱要因になるような因子を現場の地域固有の水田環境から見出して、群集への影響評価を進め、より具体的な水田生物多様性再生シナリオの構想に一助になる知見を集積することである。以下が構成する三つの方法についてである。

（1）水田地域における大型水生動物群集と栽培・立地環境要因との関係解析

ギルド構造解析の基礎資料となる水生動物群集の構造を水田環境要因との関連性において明らかにするために、滋賀県琵琶湖周辺で中干しから落水までの期間に高島市マキノ町、大津市仰木、田上、多賀町、彦根市の5地域23筆の水田で、入水から中干しまでの期間に高島市畑、針江、マキ

ノ町、大津市仰木、田上、草津市、東近江市、彦根市、多賀町の9地域26筆の水田で野外調査を行った。2010年の調査は各地域に異なる農法を取る水田が含まれるよう調査区を設定した。調査には目合い1mm、幅20cmの網を用い、畦際から0.4m²の掬い取りを、中干し後の調査では各水田で原則として20回、中干し前の調査では10回繰り返す方法で行った。この掬い取りで採集された体長1mm以上の大型水生動物を可能な限り同定し、計数した。また、水田の局所および周辺環境が水生動物に与える影響を明らかにするために、調査水田で行われていた農法（慣行、減農薬、有機）、冬季の水条件（乾田、半湿田、湿田）、と水生動物の分類群数、個体数との関係を解析した。また、調査水田から半径2kmの範囲の土地被覆の割合と群集構造との関係を明らかにするために、水生昆虫の定量データより算出した距離行列と土地被覆データを用いて主成分分析により得られた行列を用いてMantel検定を行った

以上、この種の定量調査および解析には、サンプリング作業および同定作業に大変な労力がかかるため、広域な分布調査法としては適切でない。そこで、滋賀県内を広域にスナップショット的な採集調査や関係者からのヒアリング、文献調査を行い、調査で得た結果を補完するため、水生動物の分類群ごとの分布データの整備を進め、近年滋賀県において姿を消したと言われているRDB種のタガメやスクミリンゴガイといった水田外来種についてなども分布情報を収集した。

（２）ギルド構造を含む食物網・食物連鎖解析

群集のギルド解析には、種の餌資源を明らかにする必要がある。捕食現場のセンサーカメラあるいは目視などによる直接記録法、安定同位体分析を用いた間接的手法などを明らかにするための直接観察など、様々な手法を調査対象種群に応じて進めた。とくに安定同位体を用いた間接的手法にはプランクトンなどの微小生物も含まれるため、サブテーマ（２）との連携の上、同一水田で調査、試料サンプリングを行った。しかしながら、このような化学分析手法を用いたギルド構造の間接的解明手法では見えないため、直接観察法、モニタリングカメラを用いた新しい手法など直接的な手法も併せて、水田の動物群集のギルド構造解析を進めた。

大型水生動物の多様性調査の際に捕食が確認された分類群を中心に、滋賀県犬上郡多賀町の慣行田と冬季湛水田および田上の減農薬水田において、安定同位体比測定用のサンプリングを、前述の調査と同様の方法で行った（表(3)-2参照）。サンプルは処理まで冷凍保存し、48時間60℃で乾熱乾燥した後粉碎した。なお、乾重量の小さい分類群については、複数個体を統合し、分析を行った。分析結果と野外で見られた捕食―被食の関係を比較し、食物網構造を推測した。まず同位体分析に先立ち、多様性調査の際に得られた容器内の観察記録（生理的には食する可能性を示すと考えられる）および群集組成と食性より、トンボ目幼虫、コオイムシ、ゲンゴロウ科幼虫および成虫、ガムシ科幼虫が同じギルドに入ること、コオイムシが発育の段階に沿って共食いにより栄養段階が上昇することを推測し、栄養段階を組み入れた潜在可能な食物網図を作成した。

（３）地域的な環境影響評価

地域的に特有な群集構造の成因を明らかにするために、県の水田の研究者、環境農業政策を構想、立案した関係者などから情報収集を行ない、今後の滋賀県の水田生物多様性を左右しかねない特有の栽培環境事情として農薬の使用制限と近年琵琶湖水域の水田地帯に侵入したスクミリンゴガイに今回は着目した。水田の水生動物への影響が大きいとまず考えられる殺虫剤について、

使用実態について調査を進め、水生昆虫を使った薬剤評価実験システムを神宮寺ら¹⁾を参考に構築する予備実験を進めた。また水田植物群集に大きなインパクトを有するスクミリンゴガイ²⁾について、侵入初期の滋賀県下における分布調査を進めた。

とくに滋賀県は農業環境行政に関し、県独自で環境支払い政策を推進してきた先進県である。今回初年度の研究では、全国的な水田普通種の激減状況が指摘され始めているのに対し、本県では水田水生昆虫の普通種が残ってきたという情報が得られたので、要因特定化の必要性が出てきた。栽培面積サイズでスケール効果の大きい慣行栽培・減農薬栽培における農薬防除体系と水生昆虫種の関係性を解析するために、水田で生活・繁殖する種への影響が大きいとされる苗箱殺虫剤¹⁾を選び、水田に生息する種を対象に、影響評価システムの組み立て実験を行った。ヒメゲンゴロウ、ヒメガムシを供飼し、殺虫成分としては各地に普及しているが滋賀県では普及しなかったフィプロニルを対象にLC50を算出して、影響評価システムの妥当性を検討しつつ、感受性データの収集結果と（１）の分布調査との関係性について検討を行った。

４．結果及び考察

（１）水田地域における大型水生動物群集と栽培・立地環境要因との関係解析

同定の精度に差はあるものの、2010年度は中干し後には23筆の水田で合計5門、9綱、117分類群、26544個体の大型水生動物が確認された（表(3)-1）。この結果から、5地域23水田で脊椎動物、無脊椎動物を含め、合計9綱、120分類群、26,544個体の水生動物が確認された。そのうち水生昆虫は8目88分類群16,566個体であった。調査地全体での水生昆虫の優占5分類群はユスリカ科、フタバカゲロウ属、コミズムシ属、チビゲンゴロウ、シオカラトンボであった。各地域での確認種数は高島市マキノ町で76分類群と最も多く、大津市田上74、大津市仰木64、多賀町59、彦根市42分類群であった。一方、確認個体数は多賀町で11,907個体と最も多く、彦根で1,784個体と最も少なかった。2011年度は、中干し前の調査では、26筆の水田で6門、11綱、125分類群47,739個体の大型水生動物が確認され、2010年を上回る分類群が採集できた。このうち水生昆虫は8目81分類群14,719個体と前年度の88分類群をやや下回った。2011年度の81分類群のうち少なくとも71分類群で幼虫が確認され、2010年度とは調査した水田群集のフェノロジーの差異が生じていた可能性が考えられた。

以上のデータを用いて、異なる農法を取る水田の間での水生動物の分類群数、密度、多様度について統計的な検定を行ったが有意差は見られなかったが、水生動物の分類群数は乾田より半湿田・湿田で有意に多かった。特に分類群数の多かった水生昆虫を対象として、一般化線形モデルによる解析を行った結果、水田の落水期の水条件が水生昆虫の分類群数、個体数に影響していることが示された。群集組成のパターンを調べるために、分類群数の多かった水生昆虫の群集組成についてTWINSpanを用いた解析を行った結果、2009年、2010年のデータとも湖西地域、湖東地域の水田が異なるグループに分かれる傾向を示した（図(3)-1、図(3)-2）。しかしながら、2009年と2010年の解析結果により示された指標種は一貫しなかった。水生昆虫の定量データに基づき比計量多次元尺度構成法により調査水田の序列化を行ったところ、TWINSpanの結果と同様、湖西地域、湖東地域の水田が異なるグループに分かれる傾向を示した（図(3)-3）。これらの群集構造のパターンを生み出す要因を明らかにするために、調査水田が1農法、2冬季の水条件、3配置（東西）でグループ化されていると仮定してPermutation testを行ったところ、水田の配置のみ有意であった。

(MRPP, $p < 0.01$)。滋賀県は湖西が急峻、湖東には平野部が広がっているため、調査を行った水田周辺の土地被覆が異なっている（図(3)-4）。

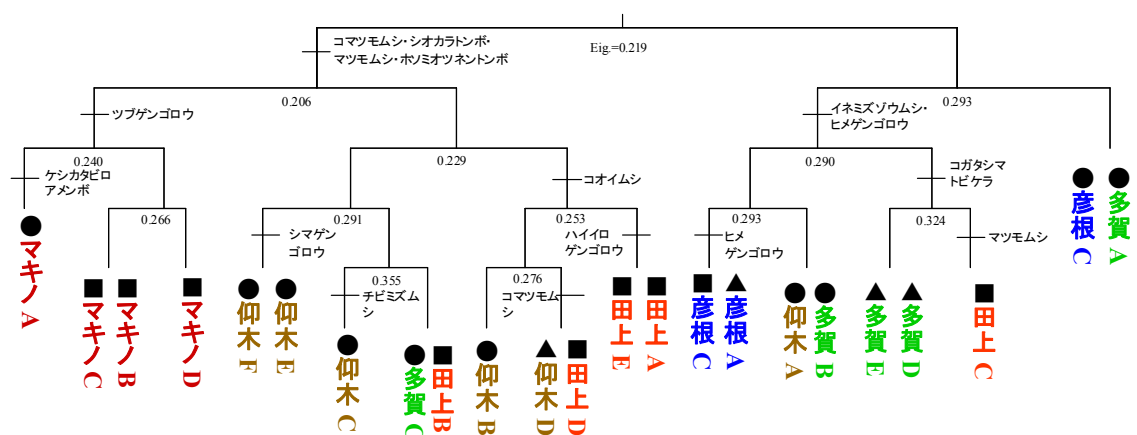
表(3)-1 2009年および2010年の水田調査で確認された大型水生動物.

門	綱	目	科	属	種	
線形動物門	(綱不明)	(目不明)	(科不明)	(属不明)	線形動物門sp.	Nematoda sp.
扁形動物門	ウズムシ綱	ウズムシ目	(科不明)	(属不明)	ウズムシ目sp.	Platyhelminthes sp.
環形動物門	ヒル綱	ウオビル目 ノドビル目 顎蛭目	グロシフォニ科 インビル科 ヒルド科	(属不明) (属不明) Hirudo属 Whitmania属	グロシフォニ科sp. インビル垂目sp. テスビビル セスジビル ヒル綱sp. 貧毛綱sp.	Glossiphoniidae sp. Erpobdelliformes sp. Hirudo nipponia Whitmania edentula Hirudinae sp. Oligochaeta sp.
軟体動物門	貧毛綱	(目不明)	(科不明)	(属不明)	貧毛綱sp.	Semislucospira sp.
	腹足綱	吸腔目 原始紐舌目	カワニナ科 タニシ科	カワニナ属 タニシ属	カワニナ科sp. ヒメタニシ マルタニシ タニシ科sp. ヒメマルマメタニシ カワコザラガイ サカマキガイ ヒラマキガイ モノアラガイ	Sinotaia quadrata histrica Cipangopaludina chinensis Viviparidae sp. Gabbia kiusiuenis Laevapex nipponica Physa acuta Gyraulus chinensis Polypylis hemisphaerula Fossaria ollula Radix auricularia japonica Sphaeridae sp. Pisidiidae sp.
		有肺目	エゾマメタニシ科 コワコザラガイ科 サカマキガイ科 ヒラマキガイ科 モノアラガイ科	Gabbia属 Laevapex属 Physa属 Gyraulus属 Polypylis属 Austropeplea属	タニシ科sp. ヒメマルマメタニシ カワコザラガイ サカマキガイ ヒラマキミズマイマイ ヒラマキガイモドキ ヒメモノアラガイ モノアラガイ	
	二枚貝綱	マルスダレガイ目	ドブシジミ科 マメシジミ科	(属不明) (属不明)	ドブシジミ科sp. マメシジミ科sp.	
節足動物門	甲殻綱	ケンミジンコ目 ミジンコ目 節柄目 ホウネンエビ目 背甲目 カイエビ目	(科不明) (科不明) (科不明) ホウネンエビ科 カブトエビ科 カイエビ科 トゲカイエビ科 ヒメカイエビ科 タマカイエビ科 アメリカザリガニ科 テナガエビ科 ヨコエビ科 ミズムシ科	(科不明) (科不明) (科不明) ホウネンエビ属 カブトエビ属 カイエビ属 トゲカイエビ属 ヒメカイエビ属 タマカイエビ属 アメリカザリガニ属 スジエビ属 Gammarus属 ミズムシ属	ケンミジンコ ミジンコ カイミジンコ類sp. ホウネンエビ カブトエビ属sp. カイエビ トゲカイエビ ヒメカイエビ属sp. タマカイエビ アメリカザリガニ スジエビ ニッポンヨコエビ ミズムシ	Cyclopidae sp. Cladocera sp. Ostracoda sp. Branchinella kugenumaensis Triops sp. Caenestheriella gifuensis Leptestheria kawachiensis Eulimnadia sp. Lynceus biformis Procambarus clarkii Palaemon paucidens Gammarus nipponensis Hesperocorixa distantis
	クモ綱	ダニ目	ヨロイミズダニ科 (科不明)	ヨロイミズダニ属 (属不明)	ヨロイミズダニ属sp. ミズダニ類sp.	Asellus hilgendorfi Arrenurus sp.
昆虫綱	カゲロウ目	コカゲロウ科	コカゲロウ科	コカゲロウ属 フタバカゲロウ属 (属不明) (属不明)	コカゲロウ属sp. フタバカゲロウ属sp. コカゲロウ科sp. ヒラタカゲロウ科sp. クロマダラカゲロウ	Acanthodes sp. Baetis sp. Cloeon sp. Baetidae sp. Heptageniidae sp.
		トンボ目	ホソミオツネントンボ属 アオモンイトトンボ属 イトトンボ科 (属不明) オニヤンマ科 ヤンマ科 (属不明) エソトンボ科 トンボ科	ホソミオツネントンボ属 アオモンイトトンボ属 イトトンボ属 (属不明) オニヤンマ属 ギンヤンマ属 (属不明) カトリヤンマ属 コヤマトンボ属 アカネ属 (属不明) ウスバキトンボ属 シオカラトンボ属 (属不明) ショウジョウトンボ属 ハラビロトンボ属	ホソミオツネントンボ アオモンイトトンボ属sp. イトトンボ属sp. イトトンボ科sp. オニヤンマ ギンヤンマ クロスジギンヤンマ カトリヤンマ コヤマトンボ アカネ マユタテアカネ ノシメトンボ ナツアカネ アカネ属sp. ウスバキトンボ シオカラトンボ オオシオカラトンボ ショウジョウトンボ ハラビロトンボ	Indolestes peregrinus Ischnura sp. Paracercion sp. Paracercion sieboldii Coenagrionidae sp. Anotogaster sieboldii Anax parthenope julius Anax nigrofasciatus nigrofasciatus Gynacantha japonica Macromia amphigena amphigena Sympetrum frequens Sympetrum eroticum eroticum Sympetrum infuscatum Sympetrum darwinianum Sympetrum sp. Pantala flavescens Orthetrum albistylum speciosum Orthetrum melania Crocothemis servilia mariannae Lyriothemis pachygastra
	カワゲラ目	オナシカワゲラ科	オナシカワゲラ科	オナシカワゲラ属 (属不明)	オナシカワゲラ属sp. オナシカワゲラ科sp.	Nemoura sp. Nemouridae sp.
	カメムシ目	タイコウチ科 ミズカマキリ科 コオイムシ科 マツモムシ科 マルミズムシ科 ミズムシ科	タイコウチ属 ミズカマキリ属 コオイムシ属 Anisops属 マツモムシ属 マルミズムシ属 ミズムシ科	タイコウチ属 ミズカマキリ属 コオイムシ属 Anisops属 マツモムシ属 マルミズムシ属 ミズムシ属 チビミズムシ属 ミズムシ属 (属不明) ミズカメムシ属 Microvelia属 (属不明) アメンボ属 ヒメアメンボ属	タイコウチ ミズカマキリ コオイムシ マツモムシ マツモムシ マツモムシ ミズカメムシ ミズカメムシ属sp. ミズカメムシ属sp. ミズカメムシ科sp. ミズカメムシ属sp. ケンカメムシ科sp. ケンカメムシ科sp. アメンボ ヒメアメンボ	Appasus japonicus Laccotrephes japonensis Microvelinae sp. Ranatra chinensis Anisops ogasawarensis Notonecta triguttata Parapleia japonica Sigara substriata Sigara septemlineata Sigara nigroventralis Sigara sp. Micronecta sp. Hesperocorixa sp. Corixidae sp. Parapleia indistincta Gerris latidominis Microvelia sp. Cinctocostella nigra Aquarius paludum

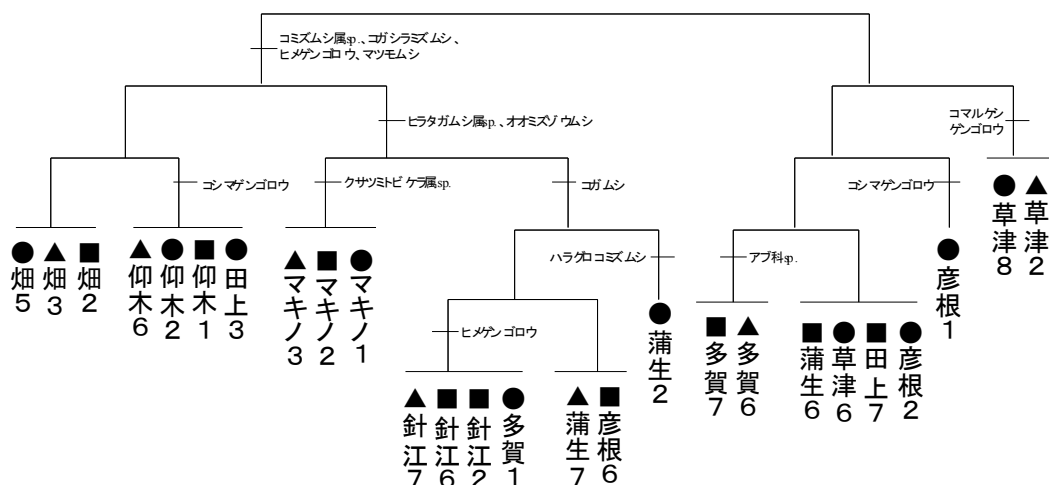
門	綱	目	科	属	種		
節足動物門	昆虫綱	コウチュウ目	コガシラミズムシ科	コガシラミズムシ属	コガシラミズムシ	Peltodytes intermedius	
				ヒメコガシラミズムシ属	マダラコガシラミズムシ	Haliplus sharpi	
			コツブゲンゴロウ科	コツブゲンゴロウ属	ヒメコガシラミズムシ	ヒメコガシラミズムシ属sp.	Haliplus ovalis
					ヒメコガシラミズムシ属sp.	コツブゲンゴロウ	Noterus japonicus
			ゲンゴロウ科	チビゲンゴロウ属	コツブゲンゴロウ	コツブゲンゴロウ属sp.	Noterus sp.
					チビゲンゴロウ	チビゲンゴロウ	Hydroglyphus japonicus
			ゲンゴロウ科	ツブゲンゴロウ属	ツブゲンゴロウ	ツブゲンゴロウ	Hydrovatus acuminatus
					セスジゲンゴロウ属	ツブゲンゴロウ	Laccophilus difficilis
			ゲンゴロウ科	ヒメゲンゴロウ属	ヒメゲンゴロウ	ヒメゲンゴロウ	Copelatus weymarni
					ハイイロゲンゴロウ属	ハイイロゲンゴロウ	Laccophilus kobensis
			ゲンゴロウ科	シマゲンゴロウ属	シマゲンゴロウ	シマゲンゴロウ	Laccophilus sp.
					シマゲンゴロウ属sp.	シマゲンゴロウ	Rhantus suturalis
			ゲンゴロウ科	ゲンゴロウ属	ゲンゴロウ	ゲンゴロウ科sp.	Eretes sticticus
					(属不明)	ゲンゴロウ科sp.	Hydaticus grammicus
			ガムシ科	セマルガムシ属	セマルガムシ	セマルガムシ属sp.	Hydaticus bowringii
					セマルガムシ	セマルガムシ	Hydaticus sp.
			ガムシ科	シジミガムシ属	シジミガムシ	シジミガムシ属sp.	Cybister brevis
					シジミガムシ	シジミガムシ	Dytiscidae sp.
			ガムシ科	スジヒラタガムシ属	スジヒラタガムシ	スジヒラタガムシ	Coelostoma stultum
					スジヒラタガムシ	スジヒラタガムシ	Coelostoma sp.
			ガムシ科	ヒラタガムシ属	ヒラタガムシ	ヒラタガムシ	Laccobius sp.
					ヒラタガムシ	ヒラタガムシ	Laccobius oscillans
			ガムシ科	ヒメガムシ属	ヒメガムシ	ヒメガムシ	Helochaeres striatus
					ガムシ	ガムシ	Helochaeres pallens
			ガムシ科	コガムシ属	コガムシ	コガムシ	Helochaeres sp.
					マメガムシ	マメガムシ	Enochrus simulans
			ガムシ科	ゴマフガムシ属	ゴマフガムシ	ゴマフガムシ	Enochrus japonicus
					ゴマフガムシ	ゴマフガムシ	Enochrus esuriens
			ガムシ科	ヤマトゴマフガムシ	ヤマトゴマフガムシ	ヤマトゴマフガムシ	Enochrus sp.
					ヤマトゴマフガムシ	ヤマトゴマフガムシ	Sternolophus rufipes
			ガムシ科	トゲバゴマフガムシ	トゲバゴマフガムシ	トゲバゴマフガムシ	Hydrophilus acuminatus
					トゲバゴマフガムシ	トゲバゴマフガムシ	Hydrochara affinis
			ガムシ科	マルガムシ亜科sp.	マルガムシ	マルガムシ	Regimbartia attenuata
					マルガムシ	マルガムシ	Berosus punctipennis
			ゾウムシ科	(属不明)	(属不明)	(属不明)	Berosus japonicus
					(属不明)	(属不明)	Berosus lewisius
			ゾウムシ科	Echinocnemus属	Echinocnemus	Echinocnemus	Berosus sp.
					Tanyssphyrus属	Tanyssphyrus	Hydrobiinae sp.
			ゾウムシ科	イネミズゾウムシ属	イネミズゾウムシ	イネミズゾウムシ	Hydrophilidae sp.
					イネミズゾウムシ	イネミズゾウムシ	Echinocnemus squameus
			ゾウムシ科	ムシクサコバンゾウムシ	ムシクサコバンゾウムシ	ムシクサコバンゾウムシ	Tanyssphyrus major
					ムシクサコバンゾウムシ	ムシクサコバンゾウムシ	Tanyssphyrus brevipennis
			ゾウムシ科	Bagous属	Bagous	Bagous	Lissorhoptrus oryzophilus
					Bagous	Bagous	Gymnaetron miyoshii
			ゾウムシ科	Rhinoconomimus属	Rhinoconomimus	Rhinoconomimus	Bagous alismatis
					Rhinoconomimus	Rhinoconomimus	Rhinoconomimus niger
			ゾウムシ科	コバンゾウムシ属	コバンゾウムシ	コバンゾウムシ	Miarus sp.
					コバンゾウムシ	コバンゾウムシ	Luciola lateralis
			ゾウムシ科	ゲンジボタル属	ゲンジボタル	ゲンジボタル	Scirtes sp.
					ゲンジボタル	ゲンジボタル	Scirtes sp.
			ゾウムシ科	トビイロマルハナノミ属	トビイロマルハナノミ	トビイロマルハナノミ	Elophila fengwhanalis
					トビイロマルハナノミ	トビイロマルハナノミ	Acentropinae sp.
			チョウ目	ミズメイガ科	Elophila属	ネジロミズメイガ	Elophila fengwhanalis
					ミズメイガ亜科	ミズメイガ亜科	Acentropinae sp.
			トビケラ目	カクツツトビケラ科	カクツツトビケラ	カクツツトビケラ	Lepidostoma sp.
					カクツツトビケラ	カクツツトビケラ	Lepidostomatidae sp.
			トビケラ目	(属不明)	(属不明)	(属不明)	Cheumatopsyche sp.
					(属不明)	(属不明)	Oecetes sp.
			トビケラ目	シマトビケラ科	シマトビケラ	シマトビケラ	Molanna sp.
					シマトビケラ	シマトビケラ	Trichoptera sp.
			トビケラ目	ヒゲナガトビケラ科	ヒゲナガトビケラ	ヒゲナガトビケラ	Trichoptera sp.
					ヒゲナガトビケラ	ヒゲナガトビケラ	Trichoptera sp.
			トビケラ目	ホソバトビケラ科	ホソバトビケラ	ホソバトビケラ	Trichoptera sp.
					ホソバトビケラ	ホソバトビケラ	Trichoptera sp.
			トビケラ目	(科不明)	(科不明)	(科不明)	Trichoptera sp.
					(科不明)	(科不明)	Trichoptera sp.
			ハエ目	アブ科	アブ	アブ	Tabanidae sp.
					アブ	アブ	Syrphidae sp.
			ハエ目	ハナアブ科	ハナアブ	ハナアブ	Sciomyzidae sp.
					ハナアブ	ハナアブ	Ephydriidae sp.
			ハエ目	ヤチハエ科	ヤチハエ	ヤチハエ	Tipulinae sp.
					ヤチハエ	ヤチハエ	Limoniinae sp.
			ハエ目	ミギワハエ科	ミギワハエ	ミギワハエ	Tipulinae sp.
					ミギワハエ	ミギワハエ	Tipulinae sp.
			ハエ目	ガガンボ科	ガガンボ	ガガンボ	Culex sp.
					ガガンボ	ガガンボ	Anopheles sp.
			ハエ目	ガガンボ科	ガガンボ	ガガンボ	Culex sp.
					ガガンボ	ガガンボ	Culex sp.
			ハエ目	カ科	カ	カ	Culex sp.
					カ	カ	Culex sp.
			ハエ目	ハマダラカ属	ハマダラカ	ハマダラカ	Culex sp.
					ハマダラカ	ハマダラカ	Culex sp.
			ハエ目	(属不明)	(属不明)	(属不明)	Culex sp.
					(属不明)	(属不明)	Culex sp.
			ハエ目	スカカ科	スカカ	スカカ	Culex sp.
					スカカ	スカカ	Culex sp.
			ハエ目	フサカ科	フサカ	フサカ	Culex sp.
					フサカ	フサカ	Culex sp.
			ハエ目	ホソカ科	ホソカ	ホソカ	Culex sp.
					ホソカ	ホソカ	Culex sp.
			ハエ目	ミズアブ科	ミズアブ	ミズアブ	Culex sp.
					ミズアブ	ミズアブ	Culex sp.
			ハエ目	Odontomyia属	Odontomyia	Odontomyia	Culex sp.
					Odontomyia	Odontomyia	Culex sp.
			ハエ目	Stratiomys属	Stratiomys	Stratiomys	Culex sp.
					Stratiomys	Stratiomys	Culex sp.
			ハエ目	ユスリカ亜科	ユスリカ	ユスリカ	Culex sp.
					ユスリカ	ユスリカ	Culex sp.
			ハエ目	(属不明)	(属不明)	(属不明)	Culex sp.
					(属不明)	(属不明)	Culex sp.
ハエ目	(科不明)	(科不明)	(科不明)	Culex sp.			
		(科不明)	(科不明)	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ	ハエ	Culex sp.			
		ハエ	ハエ	Culex sp.			
ハエ目	ハエ目	ハエ</					

しかし、調査水田の周辺の土地被覆割合と水生昆虫群集構造には有意な相関は認められなかった (Mantel test, $p > 0.05$)。以上の結果より、水田は多くの水生昆虫の繁殖場所として利用されており、琵琶湖集水域という限られた範囲の中でも水生昆虫の群集組成に地域性があることが示唆

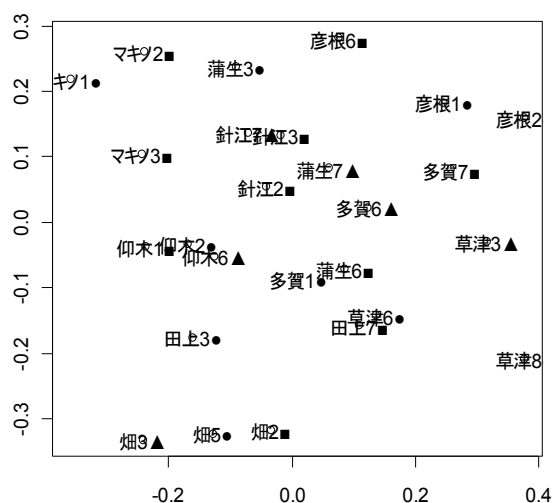
された。一方、水田で行われている農法と水生動物との関係については検出できなかった。このことより、異なる農法が水生動物群集へ与える影響を明らかにするためには、今後、集落のようなより狭い範囲にある農法の異なる水田で、同様の研究を行うことが必要であると考えられるのが一つである。他方、今回滋賀県全域をできるだけくまなく網羅的に広範囲に調査した限りにおいては、多様な水田（たとえば乾湿の程度や農法と言った栽培環境）が混在しているため、種類相に広域地域での差異はやや認められるものの、表(3)-1で示した多くの水田普通種³⁾が広く分布している傾向が示されたとも考えられる。以上から、滋賀県内の水田には、タガメや*Cybister*属のような環境省RDB種の生息は確認できていないが、普通種の水田水生昆虫群集は相対的に温存されていることがわかった。この点については今後調査地点を増やして地域一般性を検証する必要がある。



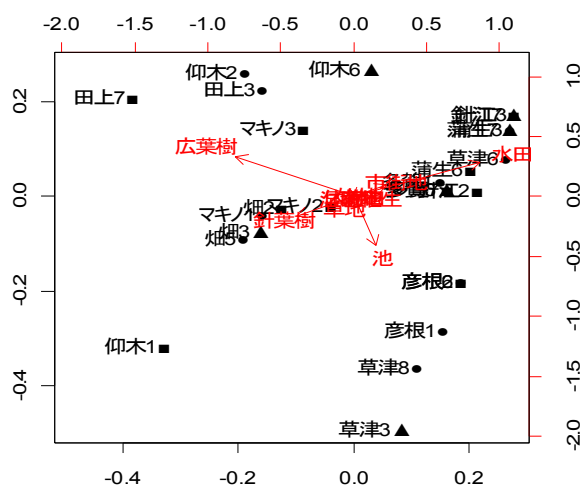
図(3)-1 2009年の水田中干し後に確認された水生昆虫の定性データに基づき、TWINSPLANを用いて作成した樹形図。



図(3)-2 2010年の水田中干し前に確認された水生昆虫の定性データに基づき、TWINSPLANを用いて作成した樹形図。



図(3)-3 水生昆虫の個体数より算出した距離行列に基づく調査地点の多次元尺度構成法による序列化。距離尺度にはcanberra距離、距離行列の算出および序列化には統計ソフトRとパッケージveganを用いた。



図(3)-4 調査地点から2km以内の土地被覆割合に基づく調査地点の主成分分析による序列化。序列化および寄与率の算出には統計ソフトRを用いた。

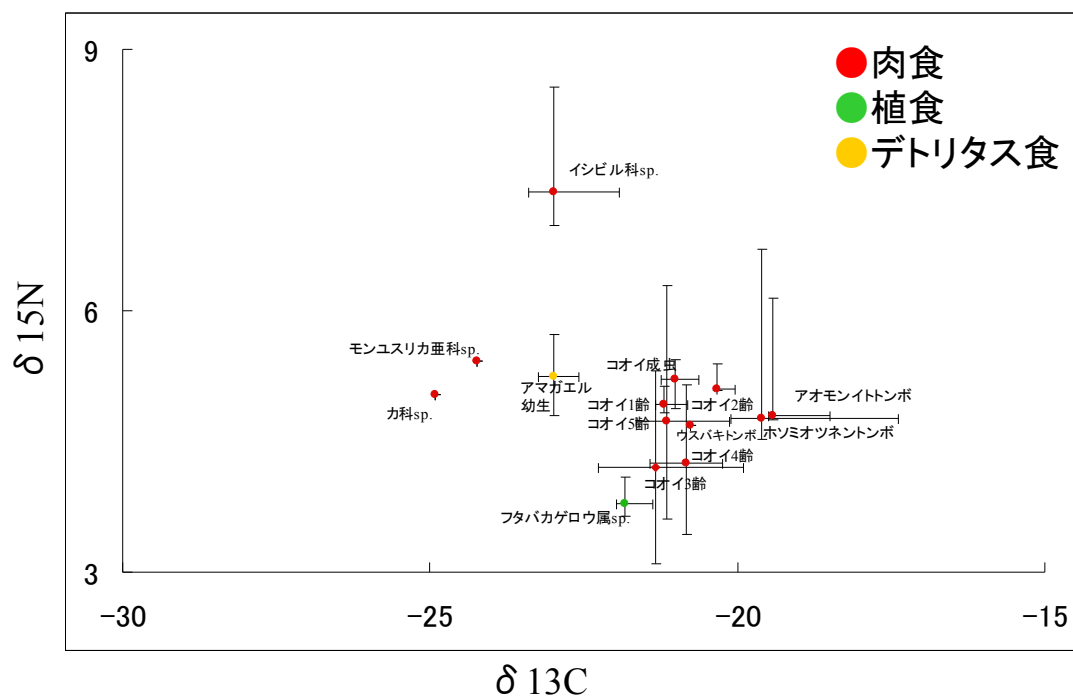
(2) ギルド構造を含む食物網・食物連鎖解析

3筆の水田で計17分類群1,294個体の大型水生動物を採集した。このうち体サイズの小さいものの統合して、223サンプルを分析に用いた。

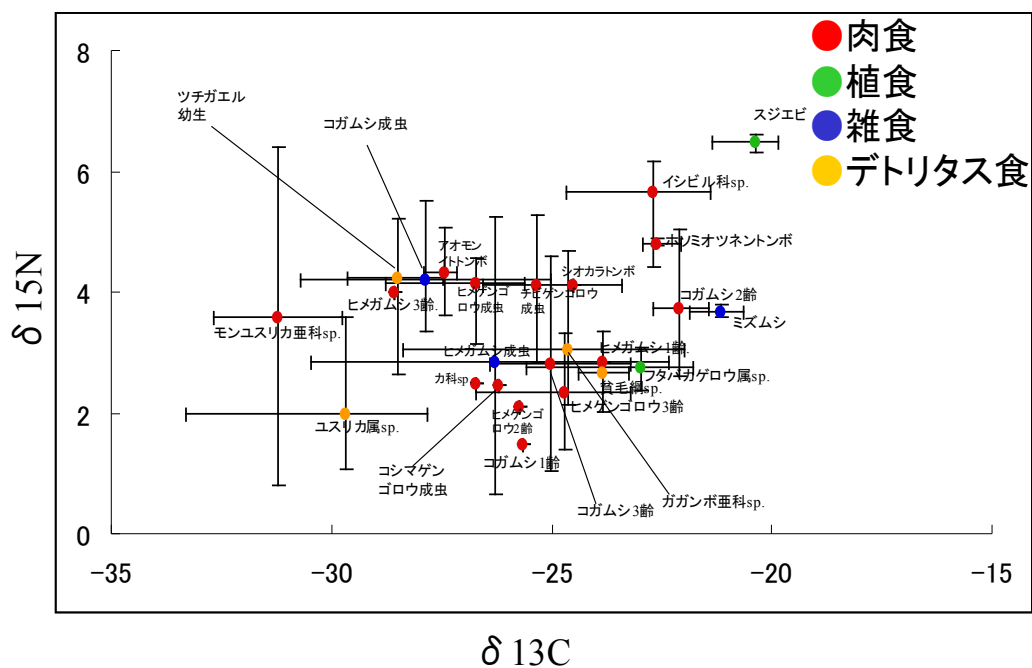
安定同位体比測定用のサンプルは滋賀県大津市田上と多賀の2地域それぞれ1筆（こだわり農法）、2筆（冬季湛水、慣行農法）の水田で採集した。大津市田上のこだわり農法の水田では植食者（フタバカゲロウ属sp.）、デトリタス食者（アマガエル幼生）、肉食者（アオイトトンボ科、イトトンボ科、トンボ科幼虫、コオイムシ幼虫および成虫、カ科sp.、モンユスリカ亜科sp.、イシビル科sp.）などが採集され、コオイムシおよびトンボ目幼虫はフタバカゲロウ属sp.と同系列の食物連鎖上に乗ることが推察された。一方、カ科sp.、モンユスリカ亜科sp.、イシビル科sp.は $\delta^{13}\text{C}$ の値が低く、前述の昆虫類と異なる起源の餌資源を利用していることが推察された。

$\delta^{15}\text{N}$ の値は想定した栄養段階に沿って段階的に上がるのではなく、種もしくはステージにより連続的な値を取った。また、アマガエル幼生の $\delta^{15}\text{N}$ の値は肉食者と同等であり、動物死体由来の餌を摂取していることが示唆された。しかしながら、より種構成の複雑だった多賀町の慣行農法の水田では、フタバカゲロウ属sp.トンボ目幼虫は異なる系列に入っており、植食と考えられるガムシ類成虫がフタバカゲロウ属sp.と異なる餌資源を利用していることが示唆された。他の肉食およびデトリタス食の種については $\delta^{13}\text{C}$ のばらつきが大きく、餌起源を推定することは出来なかった。 $\delta^{15}\text{N}$ はトンボ目幼虫およびゲンゴロウ科成虫で高い値を取った。また、この水田でもツチガエル幼生が高い $\delta^{15}\text{N}$ の値を示しており、栄養段階の高い動物死体を摂食していることが示唆された。多賀町の冬季湛水田では最も群集構造が単純であり、フタバカゲロウ属sp.が最も低い $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ の値を取った。植食性と考えられるガムシ科成虫の $\delta^{15}\text{N}$ はフタバカゲロウ属sp.と同等であった。その一方で、文献情報から植食性が示唆されているコツブゲンゴロウの $\delta^{15}\text{N}$ は高く、肉

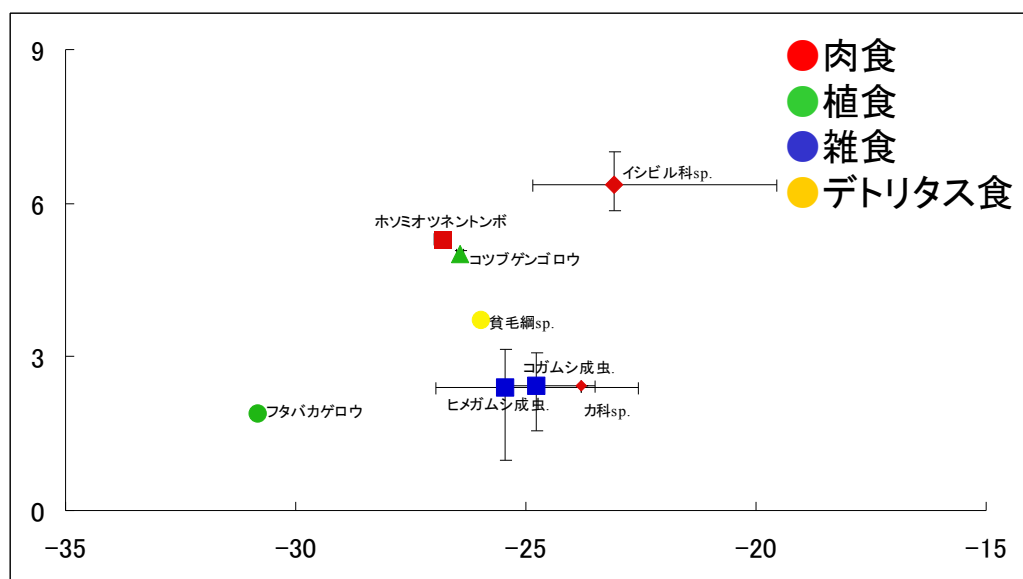
食のホソミオツネトンボと同等であった。これら3つの水田では、フタバカゲロウ属sp.とイシビル科sp.が共通して出現していた。フタバカゲロウ属sp.の $\delta^{15}\text{N}$ は3水田で概ね同等の値を取ったが、 $\delta^{13}\text{C}$ は水田間で大きく異なった。このことより、植食のギルドに含まれるフタバカゲロウ属sp.でも水田により利用する餌資源が異なることが示唆された。それに対し、イシビル科sp.はどの水田でも同等の安定同位体比を取り、 $\delta^{15}\text{N}$ も高かった。本種は底生の小動物や動物の死体を摂食する。このことにより、本種の栄養段階が見かけ上高くなったと考えられる。水田における上位の捕食者に位置することが推定された。また、仮説で肉食のギルドに分類されていたトンボ目幼虫やゲンゴロウ類幼虫および成虫、ガムシ類幼虫については、個体間での $\delta^{13}\text{C}$ のばらつきが大きく、特定の餌資源でなく利用可能な様々な餌資源を利用していることが推測された。また、 $\delta^{15}\text{N}$ の値は複数の肉食種で類似した値を示し、サイズクラスや发育段階で段階的な値を取らないことから、水田の水生動物群集では利用可能な餌を利用し、ギルド内捕食が頻繁に起こっていることが推測された。



図(3)-5 滋賀県大津市田上の減農薬水田の中干し後に採集された大型水生動物のCN安定同位対比.エラーバーは最大最小を表す.



図(3)-6 滋賀県犬上郡多賀町の慣行田の中干し後に採集された大型水生動物のCN安定同位対比.エラーバーは最大最小を表す.

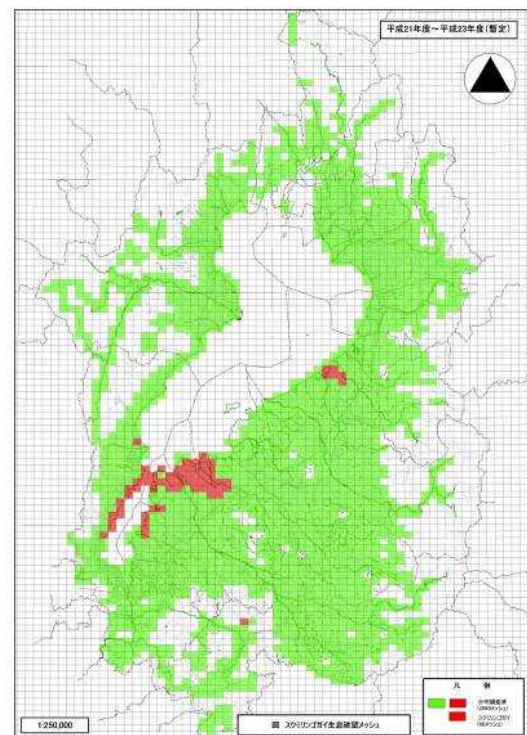


図(3)-7 滋賀県犬上郡多賀町の冬季湛水田の中干し後に採集された大型水生動物のCN安定同位対比.エラーバーは最大最小を表す.

（３）滋賀県に特有な地域的水田環境の影響評価

表(3)-1 で示したように、今回の滋賀県全域における水生動物の広域分布調査から、タガメ、ゲンゴロウのような水生昆虫のRDB種は近年確認されておらず、本調査2年目の調査でも生息は確認できなかった。本事業の初年度に、最近各地で激減しているアキアカネ¹⁾のような水田水生昆虫の普通種が広く分布していることは表(3)-1からも伺えるが、滋賀県には多様な普通種が生息している。そこでアキアカネの激減の主因と考えられているフィプロニルに対する他の水生昆虫普通種への影響を感受性検定実験において初めて推定したところ、大変興味ある結果を得ることができた。ヒメゲンゴロウ（96hrLC50）＝3.803μg/l に対し、ヒメガムシ（96hrLC50）＝591.82μg/l と、著しく大きな感受性の差異が認められた。すなわち、ヒメゲンゴロウとヒメガムシのLC50の値には、約100倍の差異が認められ、同じ水田で繁殖する鞘翅目昆虫種でも長期残効型のフィプロニル施用下では生存はできないと予想された。1成分の殺虫剤成分が種によって感受性が大きく異なることは初めて明らかにされたが、少なくともフィプロニルはアキアカネに続いてヒメゲンゴロウに対して特異的に効き、水田群集構造を大きく変える可能性があることが示唆された。なお、滋賀県ではフィプロニルは推奨されてこなかった情報もヒアリング調査から得られている。これまでの滋賀県独自のわが国における先進的な農業環境支払い政策に関わる結果として、特定農薬の使用を推奨しなかったことと、ヒメゲンゴロウなどの水田普通種を滋賀県内に広く温存できたこと（表(3)-1）との関連性についての一つの示唆が得られたものである。なお今回影響評価実験に供試したフィプロニルは、微量で長期にわたり殺虫効果が高く、水田系外へ流失しにくい残留特性が高い農薬であり、環境にやさしい農薬の一つとして広く水稻作の苗箱処理薬剤として普及した。国の進めるエコファーマー認証制度においても、農薬使用分量半減の規定に見合う薬剤として、広く普及した経緯があるが、ヒアリングにより滋賀県はこれをあまり推奨しなかったと言う。水生昆虫は滋賀県の水田における生物多様性の一要素である。しかしながら、この種群を対象に生物多様性の成因を多様な手法から明らかにしていくことは、地域的な生物多様性再生シナリオを描く上で、重層的な要因解析を通したシステムティックな再生アプローチにつながるかもしれない。

一方、侵入生物で水田において繁殖、越冬するスクミリングガイが湖東地域を中心に分布拡大していることが今回の調査で明らかにされた（図(3)-8）。2010年から2011年に本種の卵塊の分布が拡大し、琵琶湖南部はほぼ定着している。南彦根の侵入個体群の分布拡大は循環水路の通水を止め駆除を実施した効果なのか分布拡大は認められなかった。水田生態系のみならず琵琶湖水系への本種の生物多様性へのリクスは今後モニタリングしていく必要があるが、広域に分布してい



図(3)-8 スクミリングガイの分布現況 (2011)

る松山市の事例では、ギルド構造の基盤となる水草群落への食害作用は大きい²⁾と考えられる。除草剤を用いない有機農業生産者でも、スクミリンゴガイ分布地域と非分布地域では水田雑草相に大きな差異が認められ、激減した水田雑草種のギルド群集への影響が懸念されたからである。今後の課題として、水生昆虫の滋賀県内の詳細な分布情報を集約的に整理し、(1)の結果と照合する作業を進めること、湖東中心に分布を広げつつあるスクミリンゴガイによる水辺群集かく乱の影響評価を行う必要がある。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

滋賀県を事例に、これまで未知であつた広範な水生動物の分布調査と解析を進めた結果、水田生物多様性の再生を進める上でいくつかの新しい発見が見出された。まず第一に、大型の水生動物群集の構造は、農法という栽培環境の操作よりも地理的な要因で規定されていることが明らかになった。また二番目に群集構造を食物網あるいは栄養段階で解析してみると、水生昆虫を主とした多くの動物種は摂食可能な餌資源を柔軟に食べており、ギルド内捕食は共食いも含め頻繁に生じていることが示された。このことは、種間の食う食われる者の関係を介して種組成のような群集の構造は大きくは変容しえないことを示唆している。三つ目として群集を取り巻く環境の中で一部のフィプロニルのような農薬成分は水田群集の中の特定種を著しく除去することによって、群集構造を大きく変え生物多様性の喪失を引き起こす可能性が予想された。さらに、このような非防除標的種に多大な影響を及ぼしかねない非選択性農薬と同様に、琵琶湖に侵入定着しつつあるスクミリンゴガイ分布拡大が認められた。本外来種は水草を食害し、水田や他の水辺のRDB雑草や植物上のギルド群集に今後影響を与える可能性も無視はできないと予想された。

(2) 環境政策への貢献

わが国の水田における生物多様性再生施策の現行のトレンドは、水田の農法に関わる生物多様性を再生する技術を対象に直接支払いを行うものである。今回、地域間の分布の違いの検討を行った結果、必ずしも有機農法などの環境保全型農法の水田で水生動物の生物多様性が高いとは限らないことが示されたことは、この現行の農業環境支払い政策に更なる修正への一考を促すものであろう。他方で、滋賀県各地では、他の西日本の地域で激減している普通種の分布が広範囲に維持されていたが、このことから、滋賀県独自の環境支払い制度で使用農薬の制限を勧めたことが豊かな水田水生動物群集を成り立たせていることが示唆され、生物多様性を向上させる支払制度のあり方を示すことができた。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

1) 河瀬直幹・中西康介・向井康夫：陸水生物学報26,21-46 (2011)

「滋賀県の水生甲虫相I. (コガシラミズムシ科・コツブゲンゴロウ科・ゲンゴロウ科・ミズス

マシ科・ツブミズムシ科・ホソガムシ科ダルマガムシ科・ガムシ科)」

- 2) 日鷹一雅：農生態学からみた農山漁村の生物多様性の評価と管理．（日本農学会編）シリーズ 21世紀の農学,養賢堂, 東京 17-40(2011)
「農林水産業を支える生物多様性の評価と課題」
- 3) 日鷹一雅：日本生態学会誌62(2) (2012)
「水田における群集構造の潜在食物網と実際食物網：天敵類のギルド内捕食をめぐって」（掲載決定）

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 日鷹一雅：農村計画学会誌 29(2),126-131(2010)
「農生態学からみた農山漁村の生物多様性の評価．」
- 2) 日鷹一雅：地球環境事典 弘文堂 222-223 (2010)
「生きもののブランド農産物」
- 3) 日鷹一雅：昆虫と自然、45(11),28-33(2010)
「水田における昆虫の生物多様性の成り立ちと恵み：保全と利活用の狭間で」

（２）口頭発表（学会等）

- 1) 日鷹一雅：日本農村計画学会シンポジウム(2010)
「農村を測る－生態系に焦点をあてて」「農生態学からみた農山漁村の生物多様性の評価」
- 2) 日鷹一雅：第26回農業・農村工学会講演会 (2010)
「農村生態系における順応的管理～多様性の不確定性の畏に陥らない事業リスク管理へ～」
- 3) 日鷹一雅・西田貴明：第57回日本生態学会大会 (2010)
「科学的リテラシーと暮らし感覚を兼備した集落生物多様性評価の共通基盤に向けて」
- 4) 日鷹一雅，第57回日本生態学会大会 (2010)
「AGROECOLOGYから「農山漁村の生態学」へ：在地に潜む技能を研究し持続的暮らしに活かす」
- 5) 日鷹一雅・向井康夫・中西康介・本林隆・横山大輔：第57回日本生態学会大会(2010)
「滋賀県における水生昆虫普通種の分布状況とその成因」
- 6) 日鷹一雅・本林隆・五箇公一：第54回日本応用動物昆虫学会大会(2010)
「水田生物多様性に対する苗箱処理剤の影響評価の総合的考察」
- 7) 日鷹一雅・本林隆・井上雄樹，第54回日本応用動物昆虫学会大会(2010)
「薬剤感受性の種多様性の視点から一数種の箱処理剤に対する水生鞘翅目昆虫の感受性について」
- 8) 向井康夫・野村進也・日鷹一雅・石井 実：応用動物昆虫学会第54回大会 小集会（2010）「水田生物多様性に対する苗箱処理剤の影響評価の総合的考察－水生昆虫の水田利用様式の視点から－」
- 9) 向井康夫：日本環境動物昆虫学会第22回大会（2010）「市民公開セミナー：琵琶湖を取り巻く人の暮らしと生物多様性－田んぼの水生昆虫の多様性－」
- 10) 向井康夫・大塚泰介・森本幸裕：日本環境動物昆虫学会第22回大会（2010）「滋賀県の水田

における大型水生動物相と環境要因との関係」

- 11) 向井康夫・秋山吉寛・夏原由博：日本環境動物昆虫学会第22回大会（2010）「滋賀県の水田における稲刈り前後の水生生物相の変化」
- 12) 向井康夫：日本生態学会第57回大会（2010）「異なる農法の水田における中干し後の水生動物群集」
- 13) 向井康夫：琵琶湖博物館 第1回水田生物研究会（2010）「滋賀県の水田における大型水生動物相と環境要因との関係」
- 14) 向井康夫：琵琶湖博物館 第2回水田生物研究会（2011）「ヒルは夜に飛ぶか？」
- 15) 日鷹一雅・本林 隆 第58回日本生態学会大会・企画集会(2011)「水田に依存した水生昆虫普通種の激減の主因一苗箱施用殺虫剤の影響評価」
- 16) 嶺田拓也・東 淳樹・日鷹一雅 第58回日本生態学会大会・企画集会(2011)「有機水稻作農法イノベーションの里地の生物多様性に対する影響評価」
- 17) 日鷹一雅 第58回日本生態学会大会・シンポジウム(2011)「地方分権・自立自耕時代における農山漁村の地域戦略ー農山漁村地域の事例を中心にー」
- 18) 嶺田拓也・日鷹一雅 第58回日本生態学会大会・自由集会(2011)
「山里海のコモンズ再生に向けての生物分類スキルのあり方とは？ー在地・在野のパラタクソノミスト大集合ー」
- 19) 向井康夫・大塚泰介・森本幸裕・日鷹一雅：日本生態学会第58回大会（2011）
「滋賀県の水田における大型水生動物群集と環境要因との関係」
- 20) 日鷹一雅：日本生態学会国際合同大会(2012)
「序：なぜ今、里山の在来知？暮らしの中に潜む内なる生物多様性」
- 21) 嶺田拓也・金尾滋史・中井克樹・松田征也・高倉猛・林和典・日鷹一雅：日本生態学会国際合同大会（2012）
「スクミリンゴガイの琵琶湖およびその集水域における侵入・定着」
- 22) 日鷹一雅・本林 隆：日本応用動物昆虫学会（2012）
「総合的農薬影響評価マネジメントに向けて」
- 23) 向井康夫：日本生態学会国際合同大会ESJ59/EAFES5（2012）
「琵琶湖集水域・内陸部の水田地域における水生動物の多様性の現状」

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない

（４）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) 第57回日本生態学会大会シンポジウム「農村における生物多様性モニタリング」(2010)
(平成22年3月19日、東京大学駒場キャンパス、参加者107名)
- 2) 第54回日本応用動物昆虫学会大会小集会「水田生物多様性に対する苗箱処理剤の影響評価の総合的考察」(2010)（平成22年3月28日、千葉大学爾西千葉キャンパス、参加者64名）
- 3) 第58回日本生態学会札幌大会 自由集会 W4 山里海のコモンズ再生に向けての生物分類スキルのあり方とは？(2011)（平成23年3月8日、札幌コンベンションセンター、観客55名）
- 4) 第58回日本生態学会札幌大会 企画集会 T23 里地における水田普通種減少の実態と謎解き

(2011) (平成23年3月11日、札幌コンベンションセンター、観客71名)

- 5) 第58回日本生態学会札幌大会企画式シンポジウム S16 COP10後に生物多様性地域戦略に込められた期待と課題 ―地域の保全活動において必要な生態学と政策のつながり― (2011) (平成23年3月12日、札幌コンベンションセンター、観客96名)
- 6) 第59回日本生態学会国際合同大会ESJ59/EAFES5・企画集会 里山の在来知を科学する―暮らしの中に潜む「内なる生物多様性」― (2012) (平成24年3月20日、龍谷大学大津キャンパス、観客156名)
- 7) 第59回日本生態学会国際合同大会ESJ59/EAFES5・自由集会 Biodiversity in ours ―外からの生物多様性と内なる生物多様性― (2012) (平成24年3月17日、龍谷大学大津キャンパス、観客62名)
- 8) 第55回日本応用動物昆虫学会大会小集会 農薬の生態リスク評価の将来 (2012) (平成24年3月29日、近畿大学奈良キャンパス、参加者32名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

(6) その他

特に記載すべき事項はない

8. 引用文献

- 1) 神宮寺寛・上田哲行・五箇公一・日鷹一雅・松良俊明：農業農村工学会論文集 259, 35-41(2009)
「フィプロニルとイミダクロプリドを成分とする育苗箱施用殺虫剤がアキアカネの幼虫と羽化に及ぼす影響」
- 2) 日鷹一雅・嶺田拓也・徳岡美樹：農村計画学会誌26(1), 347-352. (2007)
「スクミリンゴガイ *Pomacea canaliculata* (LAMARCK) の侵入が水田植物相に与える影響評価」.
- 3) 日鷹一雅編：社団法人農村環境整備センター・社団法人農山漁村文化協会, 63p (2009)
「田んぼの生き物図鑑 水生昆虫編 □コウチュウ目・カメムシ目」
- 4) 日鷹一雅・嶺田拓也・榎本敬：保全生態学研究 11(1), 24-132. (2006)
「湿性植物RDB掲載種の水田農業依存性評価」
- 5) MURAMOTO J, HIDAKA K and MINETA T: RC PRESS, NY, 273-302 (2009)
“Japan: Finding opportunities in the Current Crisis, In: The conversion to sustainable agriculture: Principles, Processes and Practices, SR Gliessman & JH Rosemeyer eds”

(4) 水田地帯の生物多様性を回復するための生態系ネットワーク形成と自然再生実証実験

1) 水田地帯の生物多様性を回復するための生態系ネットワーク形成

名古屋大学環境学研究科

夏原由博

2) 水田地帯の生物多様性を回復するための自然再生実証実験

京都大学 地球環境学堂

森本幸裕

今西亜友美

<研究協力者>

名古屋大学環境学研究科

秋山吉寛（平成22・23年度）

京都大学 地球環境学堂

今西純一・松本仁・内藤梨沙・李美花

天野一葉・田口勇輝（平成21年度のみ）

京都大学大学院 農学研究科

藤馬 裕一

甲賀市立水口こどもの森自然館

河瀬直幹

チャンパサック大学

Sikhamtath Mitaray（平成21・22年度）

平成21～23年度累計予算額：26,446千円

（うち、平成23年度予算額：8,160千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 地域の生態系の特色を明らかにし、ネットワークを形成すべき範囲を明らかにするために、水田生態系と関係が深い鳥類、両生類、魚類、二枚貝について滋賀県内で分布調査を行った。得られた分布を地理情報と重ね合わせ、一般化線形モデルによって生息適地を推定し、重要なネットワークの形成範囲を明らかにした。その上で、丘陵地ネットワークの指標としてのカスミサンショウウオについて、個体群存続可能性分析によって、生息場所分断のホットスポットを明らかにした。また、氾濫原の指標として絶滅が危惧されるイシガイ類と、その宿主である魚類の分布に及ぼす影響を調べ、圃場整備による環境変化や水管理が、貝と宿主の分布に影響を及ぼすことを明らかにした。また、一部で貝と宿主が異なる環境に分布する傾向が見られ、多様な水辺環境の連続性の確保が、貝と宿主の共生関係を維持する上で重要と考えられた。

農業と在来動植物の共存を図る手法をモニタリングと野外実験によって開発することを目的とし、以下の知見を得た。ハルリンドウの個体数と相対光量子量との間に正の関係がみられ、草刈りによって明るい環境を保つことが必要であった。バイカモにとって粘土の多い環境は不適であり、水草刈りによって植物遺体や粘土の堆積を防ぐ必要がある。ナゴヤダルマガエルは移動時にコンクリート製側溝から脱出できず、脱出を助ける装置の必要性が示唆された。チュウサギは、水田を利用する傾向が強く、ゲンゴロウやガムシを餌とするのを初めて確認した。休耕田の湛水実験では、絶滅危惧種が発芽した一方で、外来種や耕地雑草が繁茂した。これらの種を抑制するには、発芽が可能な8月頃までは湛水状態を維持する必要があることを示し、常時湛水の池は大型水生動物の落水期の生息場所となる可能性が示された。

【キーワード】生態系ネットワーク、種間相互作用、個体群存続可能性分析、埋土種子、休耕田

1. はじめに

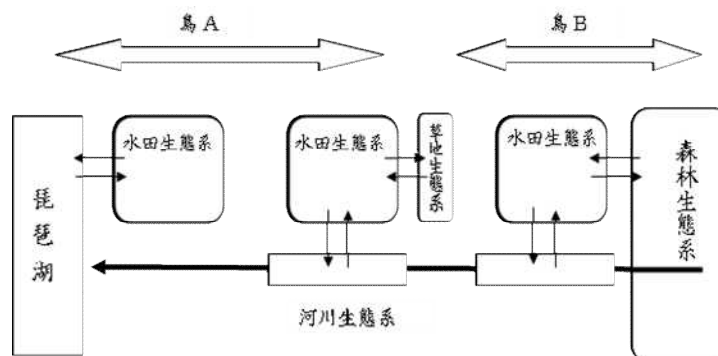
本サブテーマでは、水田地帯の生物多様性を脅かす原因の一つとして、生息・生育場所の劣化に注目する。様々な水田の中でも低地の水田は、人為によって拡大された水陸移行帯＝氾濫原と見なすことができ、丘陵地には、入りくんだ谷につくられた水田が、もう一つの水陸移行帯に特有の生態系を維持してきた。しかし近年になって河川改修や圃場整備、干拓によって水陸のつながりは断ち切れ、そこに生息する多くの生物が絶滅の危機に瀕している。水田地帯の生物多様性を保全・再生するためには、両棲類のように水中と陸上といった複数の生息場所を必要とする種、タナゴ類－イシガイ類－ヨシノボリ類といった生物間相互作用によって成り立っている種などを指標とした生態系ネットワークの再生に関する研究が重要である。

生息・生育場所の劣化には、生息・生育場所の縮小・分断と基盤の人工化や化学物質、植生遷移などによる生息・生育場所としては適さなくなることが考えられる。

前者はさらに、1タイプの生態系が分断縮小させられる場合と、タイプの異なる生態系間のつながりが絶たれる場合がある。例えば、水田では、用排水路がコンクリート化されることによって、ダルマガエルが這い出せなくなることや、水田を産卵場所として利用していた魚が、遡上できなくなる問題がよく知られている。それぞれの水田を利用する種はどこでも同じでなく、周囲のランドスケープの影響を強く受けている。したがって、水田地帯の生物多様性の再生のためには、地域のランドスケープと生息する種の特徴を精査し、その場の生態系にとって必要なネットワークのあり方を評価する必要がある（図(4)-1）。

一方、干拓や乾田化、あるいは放棄によって失われた湿地・水田の植物を再生するために、再耕起や埋土種子の利用が提案されている。しかし、どの水田の土壌でも同じように希少種が再生できるのでなく、適地を絞る必要がある。また、再生を望む種だけでなく、外来種など望まない種も同時に発芽するため、できるだけ望ましい種だけを再生する管理方法が求められる。氾濫原の代替地としての水田およびその周辺環境は、人為的に管理された湿地の生物の生息・生育地である。しかし、日本においては、1960年代以降の圃場整備や用排水路の分離、農薬の使用等によって、多くの水田の生物が絶滅の危機に瀕している。近年、水田の生物に対する関心が高まり、生物に配慮した水田管理の取組みが始められており、それらの効果をモニタリングや実験によって正しく評価する必要がある。また、水田地帯において生物多様性を維持してきたメカニズムを明らかにし、保全・再生手法を開発する必要がある。

なお、本サブテーマは、平成22年度と23年度は(1) 水田地帯の生物多様性を回復するための生態系ネットワーク形成と(2) 水田地帯の生物多様性を回復するための自然再生実証実験に分け、京都大学地球環境学堂と名古屋大学環境学研究科でそれぞれ実施した。



図(4)-1 水田地帯の生態系ネットワーク模式図

2. 研究開発目的

本サブテーマでは、水田地帯の生物多様性を回復するための生態系ネットワークの形成手法の開発を目的とする。そのため、水田生態系を支える重要種に注目しながら、保護区の設置場所や減少した生物種の再生活動の効果がより期待できる場所の選定を行なう際の、有効な保全再生重点地域の明示方法を開発する。さらに、保全再生重点地域内の局所空間スケールで分布する重要種の分布制限要因について、水田地帯に特徴的な水管理の季節的变化に注目しながらその影響を明らかにすると共に、分布制限を解消もしくは緩和する手法の提案を行なう。

本サブテーマでは、農業と在来動植物の共存を図る手法をモニタリングと野外実験によって開発することを目的とする。そのために、サブサブテーマ（1）では、（i）生態系ネットワーク類型化、（ii）生物多様性を回復するための生態系ネットワークの指標を明らかにする。また、サブサブテーマ（2）では、（i）水田地帯を代表する在来動植物の生息・生育に影響を及ぼす要因を明らかにし、（ii）水田地帯の生物多様性を回復するための自然再生実証実験を行い、その効果を検証する。（iii）アジア地域における水田の生物多様性の保全に向けて、農業の近代化が水田の生物に及ぼす影響を明らかにすることである。

これらの研究成果をまとめ、広域での保全再生重点地域の選定から再生デザインと施工管理までのプロセスを整理することを目的とした。

3. 研究開発方法

（1）水田地帯の生物多様性を回復するための生態系ネットワーク形成

1）生態系ネットワーク類型化のための地理情報の解析

鳥類は、2009年5月から8月までの繁殖期に、滋賀県内の異なる地形から任意に選んだ28の3次メッシュ（約1km²）のそれぞれで、4地点でポイントセンサスを実施した。得られた分布データから、調査地ごとの鳥の種組成パターンを分類するとともに、種組成や代表種の分布を説明する環境要因を推定した。両生類は、54メッシュで目視と鳴き声による調査を行い、メッシュ単位で整理した。得られた分布を地理情報と重ね合わせ、一般化線形モデルによって生息適地を推定した。魚類は、平成21年10月から11月までに、滋賀県高島市の農業排水路27地点でたも網による捕獲調査を行った。また、中島ら（2001）の報告による滋賀県南部の魚類分布とあわせて、分布の類型化と生息適地モデルを作成した。地理情報として、環境省自然環境保全基礎調査第3回から第5回調査の植生図GIS、国土数値情報土地利用細密メッシュ、50mデジタル標高データ、滋賀県、高島市水田・水路の連続性調査図を用いた。

2）生物多様性を回復するための生態系ネットワークに関する研究

a) 個体群存続可能性分析によるネットワーク評価

圃場整備や耕作放棄、都市化などによるカスミサンショウウオ個体群への影響を明らかにし、保護手法の有効性を検討するために、個体群存続可能性分析PVAを行った。

本種の甲賀市における分布は、研究協力者の河瀬直幹および新保建志（甲南中学校教諭）らによって明らかにされており、追加調査によって、卵のう数を記録した。また、空中写真と現地調査によって水田タイプを用排水未分離で土水路のタイプ、圃場整備され用排水が分離されているが水田の一部に土水路が残るタイプ、圃場整備がなされ土水路がないタイプに分類し、それらに

加えて耕作放棄田を区別して地図化した。

個体群存続可能性分析は個体群行列ベースとした。そのために、発育段階別の生存率と産卵数の平均値と分散、生息のための環境条件などについて情報を収集した（表(4)-1）。カスミサキショウオの産卵数は、野外で発見した卵のうあたり卵数から求めた。卵および幼生期の生存率は、本研究以前に筆者によって得られている調査データを用いた¹⁾。

表(4)-1 個体群存続可能性分析で用いたパラメータ

		平均値	標準偏差
1歳到達仔数/雌/年 ^a	3歳	0.878	1.757
	4歳以上	1.255	2.510
変態後生存率/年	2-8歳	0.7	0.07
	9歳	0	-

a) 産卵数35（3歳）または50（4歳以上）、生存率0.03として計算

生息地については実際に生息が確認された場所だけでなく潜在的な生息適地を推定した。現地調査の結果、卵のうはすべて森林から10m以内の水辺で見つかっている。そこで、10m以内で森林と接する放棄水田の水路や湿地を潜在産卵場所とし、車線のある舗装道路や住宅地などによって分断されていない範囲を局所生息地とした。そして、局所生息地内の潜在産卵場所、水田タイプ、パッチ間距離を加えて地理情報システム（GIS）データとした。

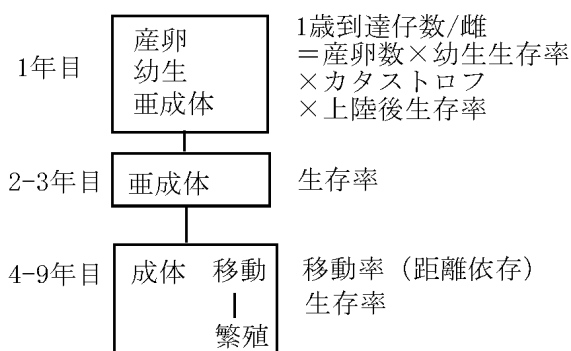
個体群動態モデルを図(4)-2に示した。各局所生息地において、個体は与えられた平均値と標準偏差の対数正規分布にしたがう生存率で生き残った個体に変態するが、ある確率で生じるカタストロフによって全滅する場合もある。上陸後も対数正規分布にしたがう生存率で年齢がすすみ、3歳に達すると産卵を開始する。産卵前にはある確率で他のパッチに移動する。なお、年齢構造のある個体群モデルに用いるレスリーマトリックスは繁殖直前調査の生存率としたため、第1行は各年齢群が産む平均産卵数に0歳の生存率をかけた値となる。人工池における高密度生息事例に基づき、各潜在産卵場所における上陸時幼生の密度に上限を設け（18個体/m²）、それ未満では生存率は密度に関わらず一定であるが、上限を超えて増加しないものとした。本分析において、局所個体群の絶滅は、出生率と死亡率の平均値からの確率論的ゆらぎによって生じる。

パッチ間移動率のデータはないが、成体は繁殖期以外の時期に産卵場所から200 m以内の森林内で観察されており、最大移動距離はその2倍よりやや大きめの500 mとし、パッチ間距離 $D < 500$ mでは移動率 M は距離とともに減衰するものとした。

$M = 0.5 \exp(-D/100)$ の式で求め、 $D \Rightarrow 500$ mのとき $M = 0$ とした。この場合、100 m、200 mの移動率はそれぞれ、0.18、0.067である。また、移動による死亡率の変化はないものとした。

なお、成体の生存率は個体群間で同一とした。また、性比は1:1で、性比の偏りによる繁殖率の低下は起こらないものとした。また、個体数の減少による遺伝的劣化も考慮していない。

分析には個体群存続可能性分析ソフトRAMAS



図(4)-2 個体群モデルの模式図

GIS 3.0 (Applied Biomathematics社 1998) を用い、各条件で、50年間の経過を500回反復させて絶滅リスクを推定した。

b) 農業用水路におけるイシガイ類及びその宿主の空間分布と季節的な水管理との関連性の解明

琵琶湖周辺を流れる農業用水路100箇所(50 m区間/箇所)でイシガイ類の分布を調査した。各区間で人為改変された8種の環境因子[水源の種類、水路の使用目的、水路規模、護岸タイプ、底質、泥上げの有無、農閑期の水の有無、農閑期の流水環境]を調べ、貝を定量採集した(約1.3m²/区間)。調査項目のうち、先に挙げた6環境因子と貝類の調査は2010年6～9月までの間に行ない、農閑期の水路における水の有無と流水環境の調査は、2010年11月から2月まで行なった。

生物多様性を豊かにする機能を有するイシガイ類によって形成される生態系ネットワークの維持・確保は、生物多様性を豊かにするために必要である。イシガイ類幼生は宿主として機能する魚類へ寄生することが生存上必須である。イシガイ類幼生-宿主関係の成立のためには、両者が同所的に分布する必要がある。このネットワークと営農活動に伴う水管理の季節的な変化との関連性を明らかにすることを目的として、以下の調査を行なった。

多種のイシガイ類が宿主として利用するトウヨシノボリと貝類の分布調査は、農閑期に該当する2010年11月から12月と、農繁期に該当する2011年5月から6月にかけて、彦根市内を流れる網目状に広がった一連の水路網内で実施した。調査点はこの水路網内21箇所に設置し、各箇所に20 m区間の調査範囲を設けた。調査範囲の上流端と下流端をブロックネットで仕切り、電気ショッカーを用いて1箇所あたり20分間魚類の定量採集を行なった。また、この範囲内に38 cm四方のコドラートをランダムに9箇所設置し、採集されたイシガイ類の種類を記録した。調査の際、降雨による顕著な増水の起きた場合は調査を実施しなかった。各地点から魚類を採集した後、5項目の環境因子(水深、流速、水路幅、標高、水路の規模(小水路or幹線水路))を測定・記録した。調査区間の中心にあたる流心部において、水深は1回測定し、流速は4回測定し、この値を平均して各地点の代表値とした。水路の規模は水路網全体の位置関係を現地踏査と地図から判断し、記録した。採集されたトウヨシノボリの採集地点の水深及び流速の値の両側95%が含まれる範囲を計算して求めた。イシガイ類の宿主であるトウヨシノボリと水管理との関連性を明らかにするため、一般化線形混合モデル(GLMM)を用いた。トウヨシノボリの生息密度を従属変数、水深と流速を独立変数とした。これらの従属変数と独立変数との関係が非線形である可能性を考慮し、独立変数には水深と流速をそれぞれ2乗した変数も加えた。従属変数の分布はポアソン分布を仮定し、logリンクを用いた。季節的には変化しないが魚類の分布に影響を及ぼす水路の規模をランダム要因としてモデル式の切片へ導入した。独立変数のすべての組み合わせについてモデルを作成し、AICを基準とするモデル選択を行った。 $\Delta AIC < 2$ の範囲に該当するモデルは、トウヨシノボリの密度を説明するために適したモデルとみなした。適したモデルに環境因子が含まれる頻度に基づき、各環境因子を評価した。

(2) 水田地帯の生物多様性を回復するための自然再生実証実験

1) 水田地帯を代表する在来動植物の生息・生育に影響を及ぼす要因

水田地帯を代表する在来動植物として、植物では水田畦畔に生育するハルリンドウと水路に生育するバイカモ、動物では環境省のレッドリストで絶滅危惧 II 類に指定されているナゴヤダルマガエルと水田生態系の高次消費者であるサギ類、特に準絶滅危惧種であるチュウサギを取り上げ、

それぞれの生育・生息に影響を及ぼす環境要因を明らかにするため、現地調査を行った。

a) ハルリンドウ

滋賀県甲賀市および蒲生郡に広がる丘陵地の谷部を中心に踏査し、ハルリンドウの生育が確認された水田畦畔 24 地点と農業用ため池の堤 2 地点の合計 26 地点を調査地点とした。2010 年 4 月下旬から 5 月中旬にかけて、各調査地点においてハルリンドウの生育個体数および生育地面積を計測、記録した。同時に、各調査地点の斜面方位角と斜度、ハルリンドウ個体周辺の地表面における相対光量子量、土壌の体積含水率、他種の草丈を計測、記録した。相対光量子量（LI-190SA、LI-192SA、LI-COR 社）、土壌の体積含水率（HydroSense、Campbell Scientific 社）、他種の草丈については、調査地点ごとにランダムに 5 ヶ所の計測ポイントを設定して測定した。

ハルリンドウの生育環境について植物図鑑にはやや湿った場所を好むと記載され、自然草地における先行研究²⁾でも土壌が比較的多湿であることが生育の必須条件であると推測されている。農業にともなって維持されている半自然草地においても、土壌水分が重要であることを検討するため、土壌の体積含水率を連続的に測定した。2010年5月8日から2011年6月26日まで、ハルリンドウが生育する水田の畦畔草地1地点、ため池の堤1地点において、土壌水分センサー（EC-5、Decagon Devices 社）を用いて、深さ約10 cm地点の土壌の体積含水率を1時間おきに測定、記録した。また、比較対象として甲賀市内のハルリンドウが自生する湧水湿地1地点を選定し、湿地内のハルリンドウ生育地点2箇所において、2010年4月18日から2011年6月28日まで土壌水分センサー（CS616、Campbell Scientific社）を用いて、土壌の体積含水率を1時間おきに測定、記録した。

調査地点の環境条件間の相関をPearsonの積率相関係数により分析した。また、調査地点におけるハルリンドウの個体数（対数変換）と個体密度（個体/m²）を算出し、それぞれについて、各環境条件との偏相関係数を求めた。偏相関分析の制御変数は、コサイン変換後の斜面方位角、斜度、平均相対光量子量、平均体積含水率、平均草丈のうち4変数とした。

b) バイカモ

滋賀県高島市の湧水が流入している河川及び水路のうち、先行研究^{5,6)}で明らかにされているバイカモの生育地と、地元住民への聞き取りによってバイカモの生育が過去に確認できたとされた地域を調査地域とした。各調査地域で河川・水路を踏査し、水生植物の生育が連続して確認された地点を調査地点として選定した。調査地点の数は、162箇所である。

2010年12月に、各調査地点において、4 m²の方形枠を設定し、方形枠内で確認された水生植物の種類とその被度（%）を記録した。また、生育環境条件として、pH（twinpH B-212、HORIBA）、電気伝導度（EC）（TwinCond B-173、HORIBA）、水温、溶存酸素量（DO）（DO-24P、DKK・TOA）、流速（CR-11、コスモ理研）、河川・水路の水深、調査時に水が流れていた部分の流路幅、河川・水路の底質を調査した。河川・水路の底質については、礫（米粒大以上）、砂（米粒大～肉眼で粒子が認められる）、粘土（粘土質であり、肉眼で粒子が認められない）に区分し、各底質の占有率を記録した。以下、それぞれ、礫率、砂率、粘土率とする。また、各調査地域において、地元住民に水草刈り等の管理の実施状況について聞き取り調査を行った。

バイカモの生育の有無と生育環境条件の関係について、目的変数をバイカモの有無、説明変数をpH、EC、水温、溶存酸素飽和度、流速、水深、流路幅、礫率、砂率、粘土率として、分類樹モデルを作成した。

c) ナゴヤダルマガエル

水田地帯において、畦畔はカエルの採餌場や隠れ場として重要な役割を果たしている。畦畔の植生及び水田内環境がナゴヤダルマガエルの畦畔の利用に及ぼす影響を明らかにするため、畦畔においてナゴヤダルマガエルを捕獲し、種、頭胴長、性別を記録した。また、畦畔にコドラートを立てて裸地、0～15 cm、15～30 cm、30 cm以上の高さの植生が占める割合を記録し、水田内の水温、水深、イネの高さを計測、記録した。捕獲したナゴヤダルマガエルを頭胴長30 mm以下、31～40 mm、41～50 mm、51 mm以上に区分し、一般化加法混合モデルを用いてそれぞれの個体数と畦畔の植生や水田内環境との関係を分析した。

水田地帯における生息地の分断がナゴヤダルマガエルの移動・分散に与える影響を明らかにするため、畦畔に並行する道路脇側溝においてナゴヤダルマガエルを捕獲して、種、頭胴長、性別を記録し、側溝に落下した個体数の季節変化や個体サイズとの関係を分析した。

水田地帯に創出された湿地環境（ビオトープ）がナゴヤダルマガエルの行動に与える影響を明らかにするため、ビオトープと周辺の水田においてナゴヤダルマガエルを捕獲し、それぞれに生息する個体のサイズ、性比を比較した。また、ビオトープにおける行動パターンの解明のため、ビオトープと周辺水田において標識再捕獲法による調査を行った。

d) サギ類

2010年5月から10月に、滋賀県高島市安曇川町のサギ類集団営巣地を中心とした水田地域8ヵ所と高島市内の3河川で26回調査を行った。サギ類が最も活発に行動する午前11時から午後6時の間に、ラインセンサス調査によりサギの種類と個体数、利用場所、環境特性について記録した。また、農業従事者へのアンケートにより水田管理に関する詳細な情報を得た。

準絶滅危惧種であるチュウサギの食性を明らかにするため、滋賀県高島市の安曇川コロニーで餌内容物の調査を行った。2011年7月にコロニー内の営巣木の下にプラスチックシート（180 cm×180 cm）を広げて、吐き戻しをすべて回収した。この際、チュウサギの営巣木であることを確認し、その下で吐き戻しを採集し、ほかのサギ類との混同が起きないように注意した。採集物はイソプロピルアルコールを入れたチューブに保存し、可能な限り詳しく同定した。また、餌動物の同定と餌の搬入量を推定するため、営巣木の横にセンサーカメラを設置して撮影し、映像を再生して餌内容の推定を行い、コロニーの下で採集した吐き戻し内容と照らし合わせた。

2) 生物多様性を回復するための自然再生実証実験

干拓地内の休耕地と丘陵地の水田において、生物多様性を回復するための自然再生実証実験を行い、干拓地では植物、丘陵地では大型水生動物についてモニタリングし、その効果を検討した。

a) 巨椋池地域における湿地植物再生実験

京都府南部の桂川、宇治川、木津川の三川合流地帯には、かつて、巨椋池と呼ばれる広大な沼沢地と氾濫原が広がっていた。特に植物の多様性は特筆すべきものがあり、日本産の水生植物の約8割の属が生育し⁷⁾、食虫植物ムジナモの生育地として天然記念物に指定されるなど、豊かな水生植物群落が存在した。しかし、約150 haあった巨椋池は1941年までに干拓され、巨椋池地域内で2番目に大きい湿地（70 ha）であった横大路沼は1954年に干拓された。なお、建設用地や畑地を除いては、基本的に客土は行われていない。現在では、巨椋池干拓地は主に水田、横大路沼干拓地は主に工業用地として利用されている。

i) 干拓地の土壌の撒きだし実験

湿地植物の再生可能性を検討するため、横大路沼干拓地に2つの調査地点（YDL1、YDL2）を設定した。航空写真より、YDL1は、1932年は湿地、1946年は水田、1987年は放棄水田、1999年には建設廃棄物の処分地であったことが分かった。2005年11月から2006年4月にかけて建設廃棄物を取り除かれ、埋め立てられる前の土壌が露出した。YDL2は、1932年は湿地、1946年は水田、1999年には放棄水田となり、現在はヨシおよびオギが優占している。

これらの2地点において、それぞれ8箇所の採取地点を設定し、表層土壌を取り除いた後、深さ20 cmまでの土壌を採取した。採取した土壌は、撒きだし実験開始まで京都大学北白川試験地の日陰で保管した。試験地内のビニールハウスにて、31.0 cm × 20.5 cm の大きさのプラスチック容器に、厚さ2 cmで高熱処理済みの砂を敷き、その上に採取した土壌または堆積物を厚さ3 cmで撒きだした。地表面まで湛水、5 cmの湛水、15 cmの湛水の3通りの水位条件とし、各水位条件に対し16個の容器を準備して実験を行った。発芽した個体をナンバリングし、種子散布前に同定し、抜き取った。実験は3月から10月まで行った。

ii) 休耕田における湛水実験

巨椋池干拓地内の休耕田1枚（面積：約1,400 m²）を調査対象地とした。本調査地は、干拓前の巨椋池の水域周辺部であり、2001年までは水田、2002年から2007年までは畑地、2008年は水田であった。実験は、2009年4月から10月に実施した。対象地は、長方形で基準点から北西方向にX軸（27 m）、南西方向にY軸（52 m）、高さ方向にZ軸を設定した。対象地内に、以下の2種類のコードラートを設置した。微小な比高が湿地植物の発芽や生育に与える影響を明らかにするために、0.25 m²コードラート（0.5 m × 0.5 m）を設置した。対象地内に、X軸に平行した長さ25 mラインを14本引き、ライン上に隣接する50プロット、合計700プロットを設置した。また、水位変動下における湿地植物の発芽や生育の経時的な変化を調べるため、1 m²コードラートを設置した。対象地内に、1 m × 1 m（1 m²）のコードラートが3つ隣接した1 m × 3 mの調査区を10箇所設置した。隣接した3つのコードラートは、1つは掘込みを行わず、他の2つは沈水性等の種の発芽・生育を促進するため、10 cmあるいは20 cmの掘込みを行い、これらをランダムに割りつけた。掘込んだコードラートの周囲に高さ40 cmのプラスチック板を掘込みのない地表面の高さまで挿入したが、早期の段階で約10 cmの厚さの土壌が流入し、地表面との比高の差は小さくなった。調査対象地への水供給は、灌漑用水路を用いて行い、可能な限り湛水状態を維持するようにした。水位計（減水位計RR-200型、（株）池田計器製作所）により水位を継続的に記録した。

0.25 m²コードラートにおいて、植物の成長がほぼ完了した9月下旬に1回、生育する植物の種名を記録し、種毎の被度（%）を目視により求めた。1 m²コードラートにおいては、経時的な変化を見るために7月から9月にかけて月1回生育する植物の種名を記録した。なお、除草は行わず、植生調査時にはコードラート内に立ち入らないようにした。調査対象地の水を抜き、10月にトータルステーション（SOKKIA SET 310 Series Total Stations）によりすべてのコードラートの中央部の地面の座標（基準点からの相対座標）を、1 mmの精度で測定した。

比高は、0.25 m²コードラートの測定値の最小値を0 cmと定義した。100個以上の0.25 m²コードラートで記録された種を選定し、分布に影響する要因を明らかにするために、各コードラートにおける生育の有無を目的変数とし、各コードラートの比高（cm）と当該種以外の種の被度（%）を0から1に変換した値を説明変数として、目的変数は二項分布に従うと仮定し、一般化加法モデル（GAM）で解析した。比高は、薄板スプライン曲線を用いて非線形な関係をモデル化し、95 %信頼区間を

求めて信頼区間に0を含まない場合に比高の影響が有意と判断した。当該種以外の種の被度（％）は、出現頻度の高かった5種は種毎に、それ以外の種は被度（％）を合計して解析に用いた。

b) 埋土種子による遺伝的多様性の再生可能性

埋土種子による水生植物の再生が、種の再生のみならず、遺伝的多様性をも再生可能であるかを検討するため、横大路沼干拓地にて埋土種子より発芽したオニバスを対象とし、遺伝解析を行った。横大路沼の埋土種子由来の個体と、日本各地のオニバス個体群から葉のサンプルを採取し、新たに開発したマイクロサテライトマーカー8座を用いて解析した。

c) 造成したビオトープの大型水生動物に対する効果の検証

丘陵地の未整備圃場を対象として大型水生動物の生息場所再生を試みた。滋賀県甲賀市で放棄水田を借り上げ、一部に1辺1m、2m、3m、4m、7m、かつ水深約20cmの常時湛水の池を1つずつ造成した。池の脇に幅約20cmの溝を掘り、各池と水路、水田を接続した。水田、池、それらを連結する水路で水生動物のモニタリングを行った。水田10点、池1つにつき3点（計15点）、水路5点の合計30点で掬い取りを行い、概ね体長1mm以上の大型水生動物を同定・計数した。

（3）アジア地域における水田の生物多様性の保全

ラオス南部チャンパサック県内で、水田内に残された樹木の利用方法については3つの村でヒアリングし、水田内の草本については2つの村を調査対象地とした。これらの村では灌漑施設が整備されており、村内に天水田（雨季のみ作付け）と二期作田（雨季、乾季ともに作付け）が存在する。各村において、天水田約10筆と二期作田約10筆を選定し、それぞれに1m²のコドラートを設置して、コドラート内の植物の種名と各種の被度（％）を記録した。また、各村において、灌漑開始前後のコメの収量の変化、食用としている雑草についてヒアリング調査を行った。調査は2010年9月（雨季）と、2011年3月（乾季）に行った。

各コドラートで記録された種数と各種の被度（％）を用いて、各村の雨季の天水田および灌漑田についてShannonの多様度指数を算出した。二期作が植物の種多様性に与える影響を明らかにするため、Mann-WhitneyのU検定を用いて、各村の雨季における天水田と二期作田の種数とShannonの多様度指数を比較した。また、二期作が植物の種組成に与える影響を明らかにするため、各コドラートで記録された種数と各種の被度（％）を用いて、TWINSpanによりコドラートと出現種を分類した。さらに、TWINSpanによって分類された群落タイプを特徴付ける種群を明らかにするため、INSPANを実行し、群落タイプとの結びつきの強さを示すIndicator Valueを算出した。

4. 結果及び考察

（1）水田地帯の生物多様性を回復するための生態系ネットワーク形成

1) 生態系ネットワーク類型化のための地理情報の解析

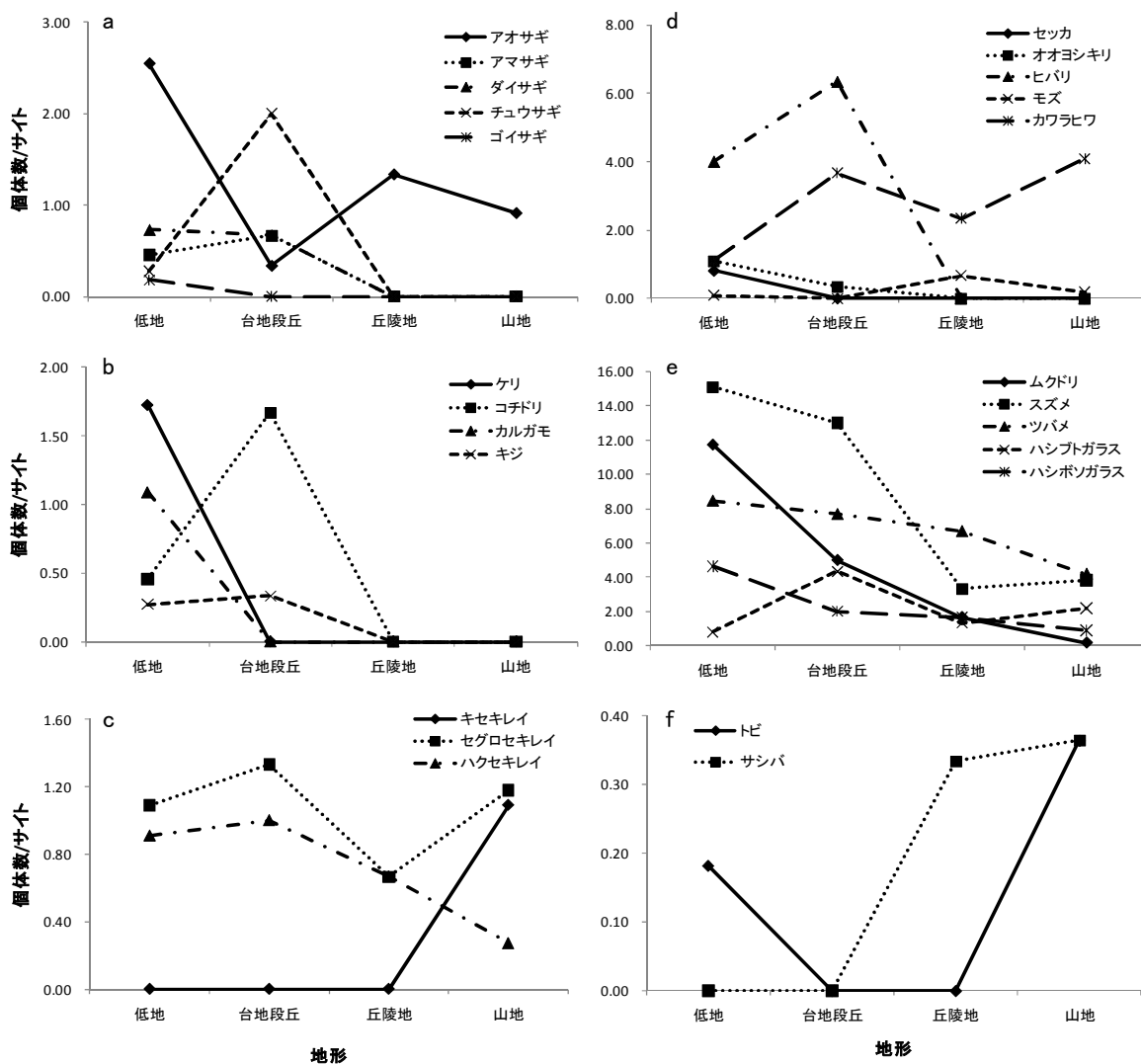
鳥についてTWINSpan 分析により出現種と調査地のグループ分けを行うと、種は6グループ、調査地は4グループに分けられた。鳥類種は第Ⅰ段階で、主に低地及び台地段丘に分布するグループ(I-III)と、主に丘陵地及び山地に分布するグループ(IV-VI)に大きく分かれた。各鳥グループには、低地及び台地段丘の水鳥 (I)、低地中心の鳥(II)、低地から山地の鳥 (III)、山地中心の陸鳥(IV)、主に山地の陸鳥(V)、丘陵地や山地の一部の陸鳥 (VI)という特徴があった。

この鳥類グループの出現個体数及び多様度に関係する環境要因について変数選択を行うと、低

地を中心としたグループI-IIIでは水田、河川・湖沼の各面積率、土地利用多様度と正の相関があり、畑や山地、森林とは負の相関がみられた。山地を中心としたグループIV-VIでは、水田や河川・湖沼、住宅地などと負の相関があった。IVでは林縁数と正の相関、VとVIは負の相関があることから、VとVIはより森林性が強いグループであることがわかる。種多様度は、土地利用多様度との相関があり、種多様度は台地段丘や低地で高い傾向がみられた。

絶滅危惧II類(VU)のサシバと準絶滅危惧(NT)のチュウサギは水田を含む環境に生息することが知られているが、サシバは丘陵地や山地の森林の谷間に水田が入り込んでいるような場所で、チュウサギはサシバより森林が少なく水田が広がる台地段丘で主に記録された(図(4)-3)。

水田水路を利用する両生類のうち、アマガエルは広い範囲に分布していたが、他種は分布が限られていた。モリアオガエルは、山地から丘陵地にかけて分布し、ダルマガエルは主に低地に分布が限られていた。中間に、他種が分布した。絶滅危惧種であるダルマガエルは、傾斜(-)と都市的土地利用面積率(-)によって説明できた。すなわち、ダルマガエルは県内に広く分布するも



図(4)-3 鳥類の記録個体数及び種数(平均±SD)と地形の関係

の、都市周辺などで、生息地が分断されつつあることが読み取れた(図(4)-4)。カスミサンシ



図(4)-4 ダルマガエルの生息適地



図(4)-5 ナマズの生息適地

ヨウウオの分布は、傾斜（2次関数）、水田森林接線長（+）によって説明できた。カスミサンショウウオの生息適地は、偏在しており、小面積で孤立した生息適地には、実際には分布していない場合が多かった。両生類では、生息地の分断が局所個体群やメタ個体群の絶滅に重要な影響を及ぼすと考えられている。

魚類も、丘陵地から低地まで地形によって種組成が異なっていた。丘陵地を中心に、ホトケドジョウ、シマドジョウ、カワムツなどの分布が見られた。扇状地から低地には、ヤリタナゴやタモロコなどが属するグループ、それよりやや低地にドジョウ、ナマズ、フナ類などが広く分布し、さらに河口から下流にアユ、ウキゴリなどが分布していた。各グループの構成種について、地形・土地被覆情報によって、生息適地を推定することができた。また、底質や水田と水路の連結性が、種組成に影響していた。図(4)-5には、事例としてナマズの生息適地を示した。

2) 生物多様性を回復するための生態系ネットワークに関する研究

a) 個体群存続可能性分析によるネットワーク評価

地形や土地利用情報によって、3次メッシュ単位で推定したカスミサンショウウオの生息適地は、甲賀市から日野市にかけての滋賀県南部に集中していた（図(4)-6）。そこで、甲賀市を対象にして、カスミサンショウウオにとっての生態系ネットワークの問題点を明らかにし、保全のための方策を検討した。

水田のタイプ別分布は地域ごとの偏りがあるものの、図(4)-7に示すように、幅の広い谷では圃場整備がすすみ、支谷では未整備水田が残り、支谷上部で耕作放棄地が目立った。カスミサンショウウオの卵のうは、110地点で発見された。水田の状態によって発見頻度が異なり、未整備水田では、調査した2152筆中69筆(3.21%)で発見でき、耕作放棄田では、3534筆中15筆(0.42%)、圃場整備水田では4724筆中19筆(0.40%)であった。

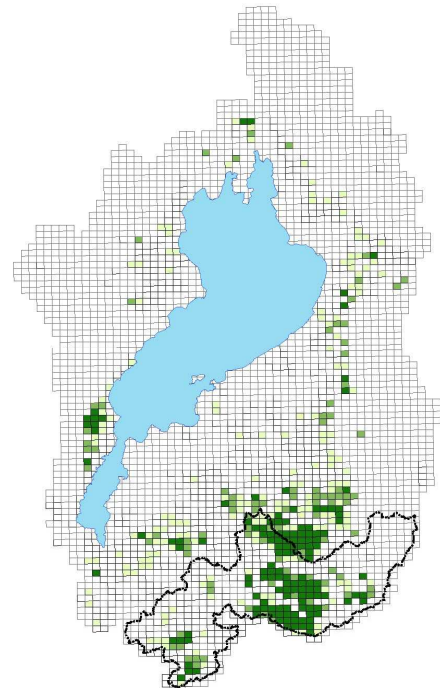
市街地や2車線以上の幅の道路によって分断されていない森林と水田の範囲をカスミサンショウウオの個体群の単位とみなすと、30の個体群に分割できた（図(4)-8）。それぞれの生息場所の面積は13haから3621haまでで、卵のう密度は0.761対/haから15.4対/haと推定された。

各個体群の50年間の絶滅リスクは、未整備水田面積が大きいほど低下した(図(4)-8)。しかし、圃場整備済み水田面積とは相関は見られなかった。圃場整備に伴って、用水路と排水路が分離された上、コンクリートの深い排水路になると本種の産卵は不可能である。圃場整備がすすむことは、本種の絶滅確率に大きな影響は及ぼす。しかし、圃場整備済み水田であっても水田内に素堀の溝(承水路)が掘られていることによって、産卵場所として利用されていた場合もあった。したがって、そのような緩和策がなされることや、放棄水田をビオトープとして産卵場所を維持することで、圃場整備率が上がった場合も本種の生息が確保できるものと考えられる。

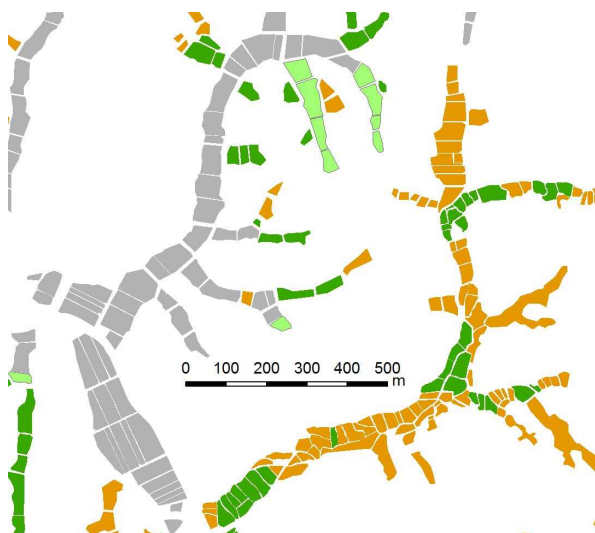
1歳到達仔数、成体期生存率、移動率に関して感度分析を行ったところ、成体期生存率の変化にともなう絶滅確率の変化が大きく、0.6475から0.7175までの変化によって絶滅確率は50倍程度変化した。1歳到達仔数は1.3805から0.8785までの変化によって絶滅確率は35倍程度変化した。

これらと比べて、移動率の変化による絶滅確率の変化は小さく、移動率0とした場合もわずかに増加するにとどまった。これらの条件を変えても局所個体群間の優劣はほとんど変化しなかったが、成体の生存率が0.6475と低い場合にはどの局所個体群でも絶滅確率が高く、差がほとんど消失した。

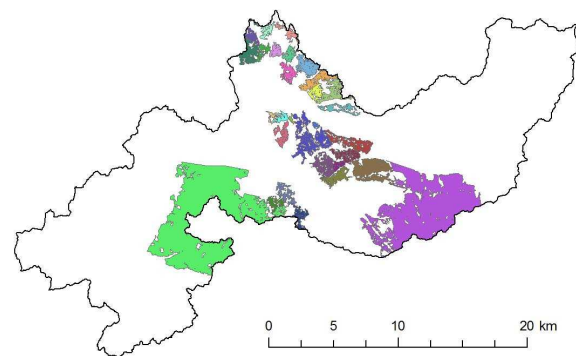
産卵場所の孤立化が個体群の絶滅確率を高める結果はヨーロッパにおける両生類のメタ個体群の研究において報告されており³⁾、池に産卵するカエルでは、池間の距離が近い地域では、



図(4)-6 カスミサンショウウオの生息適地(緑色)。下部の黒線で囲った部分は甲賀市



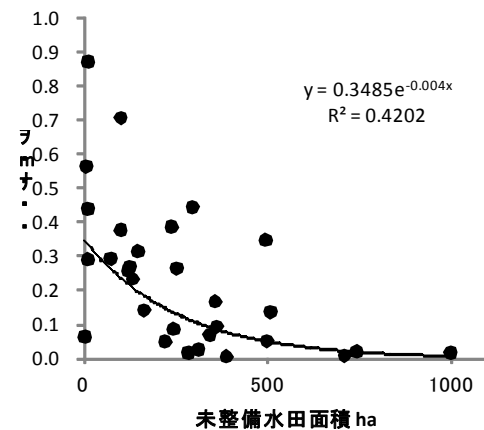
図(4)-7 水田の分布図例。■: 未整備または、土水路の水田、■: 圃場整備水田、■: 放棄水田



図(4)-8 カスミサンショウウオ局所生息地の分布(色分けで示した)

局所絶滅後の回復率が高く、池間の距離が遠い地域では、回復率が低いという⁴⁾。残された生息場所の間に安定した産卵場所を確保すれば、孤立が解消され、全体の絶滅確率も低下するものと考えられる。

シミュレーションによって、絶滅リスクに大きな影響をおよぼす変数を評価できた。これによって、調査が必要な項目と、環境管理のプライオリティが明らかになった。例えば、感度分析において、変態後の生存率の変化が絶滅確率に与える影響が大きい結果が得られたことは、これまでは湿地の保護だけが注目されがちであったが、本種の保護のためには、周囲の森林が良好な状態で保たれなければならないことを示唆する。



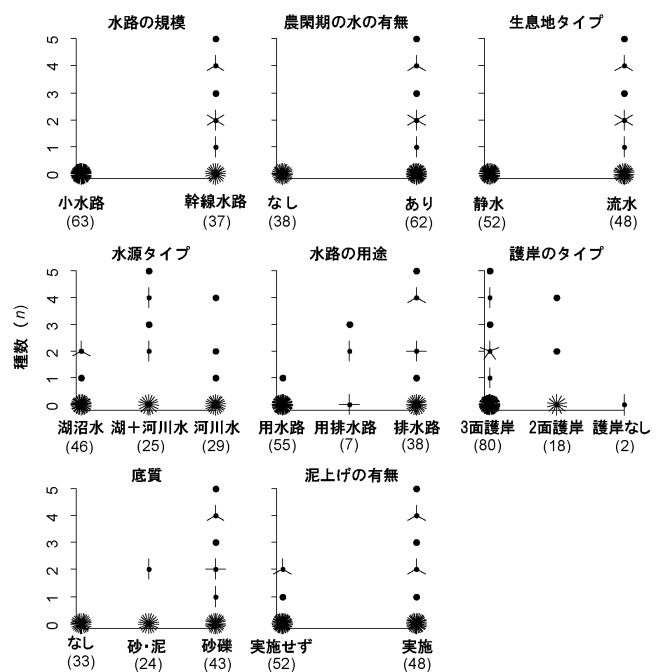
図(4)-9 カスミサンショウウオ局所個体群の絶滅確率と未整備水田面積の関係

b) 農業用水路におけるイシガイ類及びその宿主の空間分布と季節的な水管理との関連性の解明

6種類のイシガイ類（うち4種は希少種）が100箇所中13箇所で採集され、全種で成貝と未成熟貝を確認した。未成熟貝は複数種の貝が同所的に分布した場所でのみ見つかった。貝の密度と種数の間には正の相関関係があった。これらの結果は、稚貝が定着・生育できる場所は、多種の貝が繁殖することを示唆する。イシガイ類は小水路、堆積物無し、農閑期に水無し、農閑期に止水となる水路には全く分布しなかった。これらの因子は貝の定着の可否を左右する影響力の強い環境因子と考えられた。

イシガイ類の種数と密度を説明する最適なモデルには泥上げと水路の規模が含まれた。排水路の機能を有し、泥上げした水路ほど種数と密度は増加した（図(4)-10）。流れの下流側にある排水路に貝は集積しやすく、泥上げは貝の定着に必要な土砂の堆積を示す。以上の結果は、環境の人為改変がイシガイ類の分布に影響することを示し、イシガイ類に配慮した対策（幹線水路の延長、農閑期の通水確保、用排兼用水路の復活、水路が詰まらない程度の砂礫の維持）を取ることによって、イシガイ類を含む生物多様性の回復が期待できる。

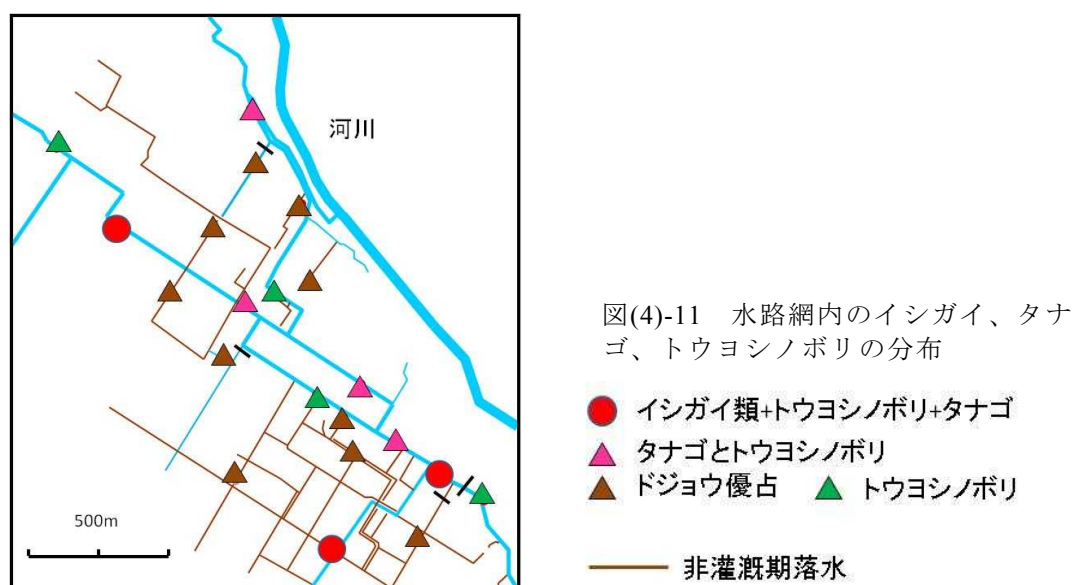
彦根市の水路での調査の結果、農閑期15種1657個体の魚類が採集された。内訳はオイカワ13尾、ヌマムツ（カワムツを含む可



図(4)-10 イシガイ類の種数と環境因子の関係

能性あり) 64尾、タモロコ305尾、ムギツク4尾、フナ類12尾、ヤリタナゴ49尾、アブラボテ67尾、タイリクバラタナゴ21尾、ドジョウ213尾、ナマズ2尾、メダカ99尾、ドンコ22尾、トウヨシノボリ784尾、ウキゴリ2尾だった。一方、農繁期には15種684個体の魚類が採集された。内訳は、オイカワ6尾、ヌマムツ（カワムツを含む可能性あり）50尾、タモロコ16尾、ムギツク6尾、カワヒガイ3尾、フナ類3尾、ヤリタナゴ2尾、アブラボテ28尾、タイリクバラタナゴ16尾、ドジョウ78尾、ナマズ1尾、メダカ78尾、ドンコ6尾、トウヨシノボリ391尾だった。魚種を農閑期と農繁期で比較すると、種数は同じであるものの、農閑期には確認されなかったカワヒガイが農繁期に採集され、代わりに農閑期に確認されていたウキゴリは農繁期に採集されなかった。採集個体総数を単位底面積あたりの密度に換算すると、農繁期では農閑期の約41%まで低下した。魚種別の構成比率を農繁期と農閑期で比較すると、最も顕著な変化の見られた魚種はタモロコである。農閑期では全採集魚個体数の約24%を占めたが、農繁期では約3%まで低下した。トウヨシノボリは農閑期の62%から65%まで微増したものの、密度は約50%減少していた。このことから、トウヨシノボリを宿主として利用する多くのイシガイ類のうち、農閑期が繁殖時期である種類では、幼生の寄生成功率が高く、生存上有利であると推測される。

トウヨシノボリの生息密度と水管理（水深、流速）の関係を調べた結果、水深と流速は両方ともトウヨシノボリの密度と関連性のあることが分かった。農閑期におけるイシガイ類とトウヨシノボリが同所的に分布していた水深および流速の範囲は、12-27cmおよび3.3-6.9cm/secだった。一方、農繁期では13-27cm及び18.8-33.1cm/secだった。水深は農繁期と農閑期でほぼ一緒だったものの、流速は農閑期と比べて、農繁期で非常に速かった。そのため、イシガイ類とトウヨシノボリの同所的に分布する水域の流速は、3.3-33.1cm/sec程度に幅の広い流水環境下で形成されたと考えられた。トウヨシノボリは農閑期と農繁期の別に関わらず、幹線水路に分布が集中しており、小水路ではほとんど採集されなかった（図(4)-11）。この分布の偏りの原因は、流水環境以外の因子（例えば幹線水路との間の段差）であり、その因子に従って宿主だけではなく、イシガイ類の分布も制限されていると考えられた。



(2) 水田地帯の生物多様性を回復するための自然再生実証実験

1) 水田地帯を代表する在来動植物の生息・生育に影響を及ぼす要因

a) ハルリンドウ

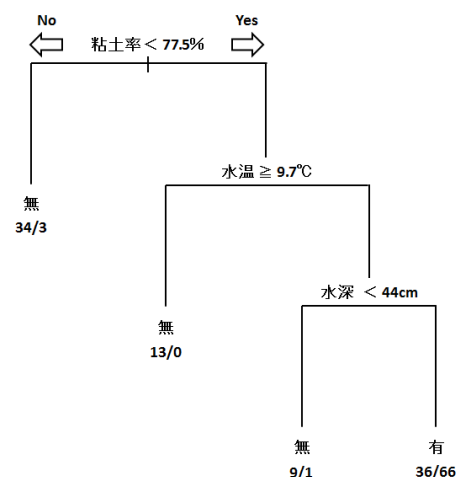
調査地点の土壌の体積含水率の平均値は、50.4 %と高い値を示した。これは、湧水が出ている調査地点が多かったためと考えられる。また、畦畔草地1地点とため池の堤1地点における土壌の体積含水率の連続的測定の結果、ハルリンドウの生育期間である秋頃から翌年5月までは、どちらの地点でも、植物が土壌水を容易に利用できるpF 3.0以下の湿潤状態を保っていた。これらのことから、先行研究²⁾と同様に、ハルリンドウの生育には適度に湿った環境が必要であると考えられた。一方で、個体密度と平均体積含水率との間には、有意な中程度の負の偏相関がみられ、その他の環境条件に対しては、有意な偏相関はみられなかった。本調査地点の体積含水率の最大値は70.4 %であり、ハルリンドウは多湿条件下でも生育は可能であるが、最適な生育環境ではないことが推察された。

対数変換したハルリンドウの個体数と平均相対光量子量との間に有意な中程度の正の偏相関がみられ、その他の環境条件に対しては、有意な偏相関はみられなかった。ハルリンドウの花のサイズと、成熟種子数との間には有意な正の相関があり、花冠の直径が大きい個体から採取した種子のほうが発芽能力は高い傾向があったことが報告されている⁸⁾。相対光量子量が大きくなると、光合成による同化産物の量が増加することにより、花のサイズが大きくなり、成熟種子数が増え、個体数が増加すると考えられた。

平均相対光量子量と平均草丈との間に有意なやや強い負の相関がみられ、その他の環境条件間については、有意な相関はみられなかった。本研究で対象とした水田畦畔やため池の堤では、上空が開放されているため、周囲の草丈が相対光量子量に直接的に影響を及ぼすと考えられる。本調査地点では、畦畔草地は主に7～8月と2～3月の少なくとも2回、ため池の堤は7～8月の少なくとも1回は草刈りが行われている。しかし、水田が放棄されると草刈りが行われなくなり、ササが侵入、繁茂することが多い。一方、湧水湿地では、草刈りは行われていないが、平均草丈は3.9 cmと調査地点の平均値に近い値であった。湧水湿地では、降雨後24時間排水した時の水分保持量である、pF 1.8以下の湿潤状態がほぼ1年中保たれていることにより、高茎草本や木本の侵入が抑えられていると考えられる。本調査地点のような水田畦畔やため池の堤におけるハルリンドウ個体群の存続には、農業にともなう草刈りという人為的な管理により、明るい環境が保たれることが必要であると推察された。

b) バイカモ

調査地点162箇所のうち、70箇所でバイカモの生育が確認された。分類樹モデルを作成した結果、粘土率、水温、水深の3つの環境条件が説明変数として用いられ、4個の



図(4)-12 分類樹モデル

樹の頂点からスタートし、各ノード（節）で示される条件を満たせば右に、満たさなければ左に進み、最終的にターミナルノード（分類樹の末端）に到達する。各ターミナルノードの文字が有ならばバイカモが生育すると予測され、無ならば生育しないと予測された事を示す。その下に表示されている数字については、左側は実際にバイカモが生育していなかった地点数、右側は実際にバイカモが生育していた地点数を示す。

ターミナルノードに分離された（図(4)-12）。バイカモの生育環境として選択された条件は、粘土率<77.5%かつ水温 $\geq 9.7^{\circ}\text{C}$ かつ水深<44 cmであった。

粘土率<77.5%という条件は、底質に占める粘土の割合が多すぎるとバイカモは生育できないことを示している。粘土率<77.5%という条件を満たさないにもかかわらず、バイカモが生育していたのは3箇所のみであり（図(4)-12）、粘土率はバイカモの生育の有無に極めて強い影響を与えていると考えられる。バイカモの生育が確認できた地域では、少なくとも年1回は水草刈りが行われていた。水草刈りにより、河川・水路に水草が繁茂し粘土が堆積することを防止できている可能性がある。そのため、バイカモの生育環境を今後も維持していくためには、継続的な河川・水路の管理が有用であると考えられる。

湧水は年間を通して水温差が小さく、本研究で調査を行った冬には、湧水の方が、湧水でない水と比べて水温が高くなることから、水温 $\geq 9.7^{\circ}\text{C}$ という条件は湧水の量が多い地点にバイカモが生育していることを示している。粘土率<77.5%の地点で水温 $\geq 9.7^{\circ}\text{C}$ の条件を満たさない場合に、バイカモが生育していた地点は0箇所であり（図(4)-12）、湧水の存在や量もバイカモの生育の有無に影響を及ぼす重要な要因であることが分かる。

水深<44cmという条件は、バイカモは生育に多くの光を必要とすることから、水深が大きいと光が十分に届かず、バイカモが生育できないことを示していると考えられた。

c) ナゴヤダルマガエル

水田畦畔において、ナゴヤダルマガエルが880匹捕獲された。一般化加法混合モデルによる分析の結果、30 mm以下のナゴヤダルマガエルの個体数は、草丈30 cm以上の植生の占める割合と負の関係があり、31~40 mmの個体数は、草丈0~15 cmおよび草丈30 cm以上の植生の占める割合と正の関係があった。サイズによって個体数に影響を及ぼす植生高が異なるため、ナゴヤダルマガエルが畦畔を利用しやすくするためには、様々な高さの畦畔植生を創出することが必要であると考えられた。また、31~40 mm、41~50 mmのナゴヤダルマガエルの畦畔における個体数は、隣接した水田に水が張られていると減少することがわかった。大型の個体は畦畔よりも水田内にとどまる傾向にあるのかもしれない。

道路脇側溝において、ナゴヤダルマガエルを220匹捕獲した。特に6月、7月に側溝に落下する個体が多かった。この時期は、当年生の個体が上陸する時期であり、中干しのため水田から水が無くなる時期にあたる。また、落下個体は特に小型の個体が多く、側溝による分断化は特に、運動能力の低い小型のカエルの移動・分散に影響を及ぼすことが明らかとなった。

ビオトープと周辺の水田で捕獲したメスのナゴヤダルマガエルの頭胴長を比較した結果、周辺の水田よりもビオトープ内の方が有意に大きかった。ビオトープは産卵場所として機能している可能性がある。

d) サギ類

調査対象水田においてチュウサギ、アマサギ、コサギ、ダイサギ、アオサギの5種が確認された。川と水田間で、各種サギの生息地利用の違いが見られ、ダイサギとアオサギは川を、それ以外では水田を利用する傾向が強かった。各種サギの個体数に有意な正の影響を与えた環境要因は、チュウサギでは冬期湛水、コサギでは田植え時期の遅れと中干し開始から水入れまでの時期、ダイサギでは田植え時期の遅れ、アオサギでは田植え時期の遅れであった。また、アマサギではコロニーから離れるほど、また河岸林が多いほど、個体数が少なかった。これらの結果から、水田や

川や河岸林を含む景観構造と、水田管理、特に田植え時期と冬期の水管理がサギ類の生息地利用に影響を与えていることが示唆された。

チュウサギの食性調査の結果、魚類（ドジョウ、シマドジョウ）、カエル類、バッタ類、ゲンゴロウ類（準絶滅危惧種ゲンゴロウなど）、ガムシ類など合計34種が確認された。各分類群の個体数の割合は、1つ目の営巣木では、魚類46%、カエル類26%、ゲンゴロウ・ガムシ類15%、バッタ類5%であり、2つ目の営巣木では、カエル類28%、バッタ類18%、魚類およびトンボ類がともに11%、ゲンゴロウ・ガムシ類10%であった。このことから、チュウサギは魚類、カエル類、バッタ類、ゲンゴロウ・ガムシ類を主な食餌物としており、営巣木による違いはないことが分かった。チュウサギは水田や畦畔に生息する動物を主な食餌物としており、チュウサギの保全には、まずは水田に生息する水生動物の保全、再生する必要があると考えられた。

2) 生物多様性を回復するための自然再生実証実験

a) 巨椋池地域における湿地植物再生実験

i) 干拓地の土壌の撒きだし実験

撒きだし実験の結果、YDL1の土壌からは42種2,935個体/m²が発芽し、YDL2の土壌からは42種938個体/m²が発芽した。発芽した水生植物の種数と個体数は、YDL1では19種539個体/m²、YDL2では7種47個体/m²であり、湿生植物の種数と個体数は、YDL1では15種2,372個体/m²、YDL2では15種785個体/m²であった。Wienhold and van der Valk (1989)⁹⁾ は、干拓後40年と70年が経過し、干拓後一度も冠水したことがない干拓地の土壌3Lから、それぞれ3.2種300個体/m²と2.1種160個体/m²の湿地植物が発芽したことを報告している。今回は干拓されて少なくとも60年が経過した干拓地の土壌3.8Lから、17.4種413個体/m²の湿地植物の発芽を確認した。地下水の水位や地形、耕作方法など散布体バンクの形成や寿命に関係する他の要因についても検討する必要があるが、巨椋池地域では干拓後に水田として利用され定期的に湛水されていたため、干拓後一度も冠水したことがない干拓地に比べて、干拓後もより多くの湿地植物が発芽、繁殖できたと考えられた。

撒きだし実験で発芽した個体のうち、1年草はYDL1では32種2,791個体/m²、YDL2では31種927個体/m²が確認された。一方で、多年草はYDL1では4種12個体/m²、YDL2では7種8個体/m²であり、干拓地の土壌から発芽した湿地植物の大部分が1年草であった。発芽した多年草が少なかった理由の一つとして、多年草は1年草に比べて種子の寿命が短いことが挙げられる。さらに、定期的な耕起が行われたり、除草剤が使用されたりする耕地では、多年草よりも1年草が優占することが報告されている¹⁰⁾。ミズワラビやミズマツバなど、水田耕作サイクルに適合した1年草は干拓後も発芽、繁殖が可能であった一方で、多年草は発芽または繁殖ができなかったと考えられた。

環境省、近畿、京都府のレッドデータブックに記載されている種がYDL1では10種、YDL2では4種記録された。このうち、キヌイトフラスコモ、ジュズフラスコモ、ミズオオバコ、トリゲモ、ミズアオイの5種は現在の巨椋池地域ではほとんど見られない。水田では、1年の半分以上が湛水された状態にあるものの、定期的な耕起や除草剤の適用、中干しなどの農業活動によって湿地の植物の発芽、成長が妨げられる。巨椋池地域には現在約30筆の休耕田または放棄水田が存在する。これらの休耕田や放棄水田で湛水状態を保つことで湿地の植物が再生する可能性が示唆された。

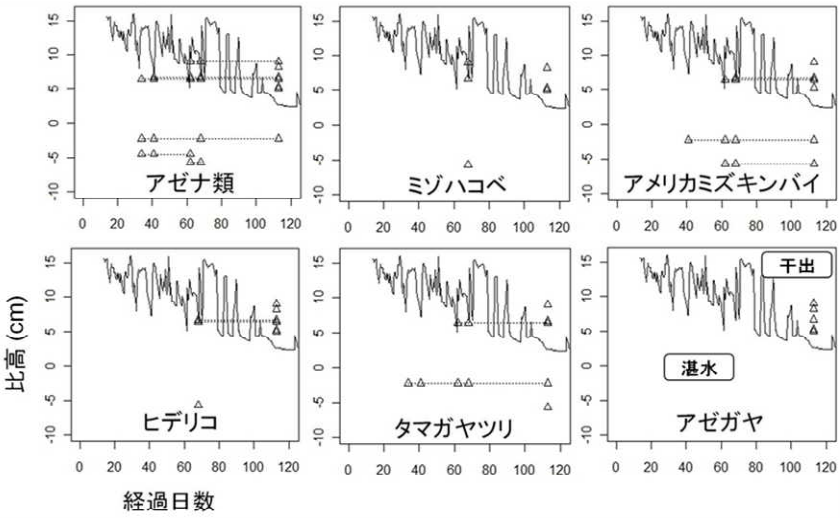
ii) 休耕田における湛水実験

0.25 m²コドラートにおいて、22種の維管束植物が記録され、1 m²コドラートにおいては、14種

の維管束植物と1種の車軸藻植物が記録された。0.25 m²コドラートでは、環境省のレッドリストで絶滅危惧II類に指定されているミズマツバが、1 m²コドラートでは絶滅危惧II類のシャジクモが記録された。巨椋池地域の土壌を一定の水位条件下での撒きだした実験では、11種の絶滅危惧種の発芽が確認されている。種数は少ないものの、水位変動がある現地においても絶滅危惧種を含んだ湿地植物の再生の可能性が示された。

0.25 m²コドラートで記録された22種のうち、100個以上のコドラートで生育が確認された6種を出現頻度の高い種として解析の対象とした。図(4)-13に、1 m²コドラートにおける、6種の生育状態と調査対象地の水位の変化を示し、6種に対するGAM解析結果を、表(4)-2と図(4)-14に示す。比高は、アゼナ類、アメリカミズキンバイ、タマガヤツリ、アゼガヤの4種について有意に影響を与えていた（表(4)-2）。

アゼナ類は、1.5 cm以下で有意に出現の確率が低いことが確認された（図(4)-14）。1 m²コドラートでは、比高が0 cm以下の湛水条件下においても生育が確認されたが、比高-5 cm付近のコドラートでは短期間で枯死していた（図(4)-13）。アゼナ類は湛水条件下においても発芽、生育は可能であるが、水位が高くなると生育が抑制されると考えられた。アメリカミズキンバイは、7月上旬から干出する時期のあった比高7.0 cm以上で有意に出現の確率が高く、少なくとも8月中旬までは湛水状態が保たれていた比高5.5 cm以下で有意に出現の確率が低かった（図(4)-14）。湛水条件下での



図(4)-13 1 m²コドラートにて出現頻度の高かった6種の結果
横軸は6月1日からの経過日数、縦軸は比高を示す。折れ線は、0.25 m²コドラートの最低地点（比高0 cm）における水位を示し、この折れ線より下は湛水、上は干出を示す。生育を確認した場合は、△印をプロットした

表(4)-2 出現頻度の高い6種の在不在に及ぼす比高と他種の被度の影響(6種のそれぞれの種の生育の有無を目的変数とし、比高(cm)と当該種以外の被度(%)を0から1に変換した値を説明変数としてGAMにより解析した)

和名	比高 (注1)	説明変数の係数 (注2)								説明された逸脱度の割合(%)
		切片	アゼナ類	ミゾハコベ	アメリカミズキンバイ	ヒデリコ	タマガヤツリ	アゼガヤ	その他の種の合計	
アゼナ類	**	-		373.05	-0.80	4.31	-	-	-	21.0
ミゾハコベ	-	-1.53	4.55		-5.23	-	-9.60	3.16	-9.27	36.6
アメリカミズキンバイ	***	-0.53	-	51.20		-	1.20	-	-	12.6
ヒデリコ	-	-0.77	2.08	30.72	-0.93		1.63	2.85	-	11.8
タマガヤツリ	***	-1.10	-	-116.75	-	5.68		-	3.39	35.8
アゼガヤ	***	-1.05	2.23	44.86	-2.29	-	-		-3.91	22.2

(注1) 有意水準 ***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

(注2) 説明変数の係数は、有意水準 $p < 0.05$ の場合に、数値を記入した

発芽、生育も可能であるが（図(4)-13）、比高がより高い地点で被度が高かったことから、干出した湿潤条件において発芽、生育が促進されると考えられた。タマガヤツリは、7月上旬から干出する時期のあった比高7.0 cm以上で有意に出現の確率が高く、少なくとも8月中旬までは湛水状態が保たれていた比高5.5 cm以下で有意に出現の確率が低かった（図(4)-14）。一方、1 m²コドラートでは湛水条件下での発芽・生育も確認された（図(4)-13）。先行研究¹¹⁾では、湛水0 cmでの発芽率が最大となり湛水条件下でも発芽すると報告されている。湛水条件下でも発芽、生育が可能であるが、出現の確率は低いと考えられた。アゼガヤは、8月以降に干出する期間が増加した比高3.0～6.0 cmで有意に出現の確率が高く（図(4)-14）、1 m²コドラートでは湛水条件下での生育は認められなかった（図(4)-13）。先行研究では、湛水で発芽が大きく抑制され、夏雑草のうちで発生期の最も遅いことが報告されている。比高3.0～6.0 cmは8月以降に干出することが増えた地点であり、アゼガヤの出現に好適であったと考えられた。

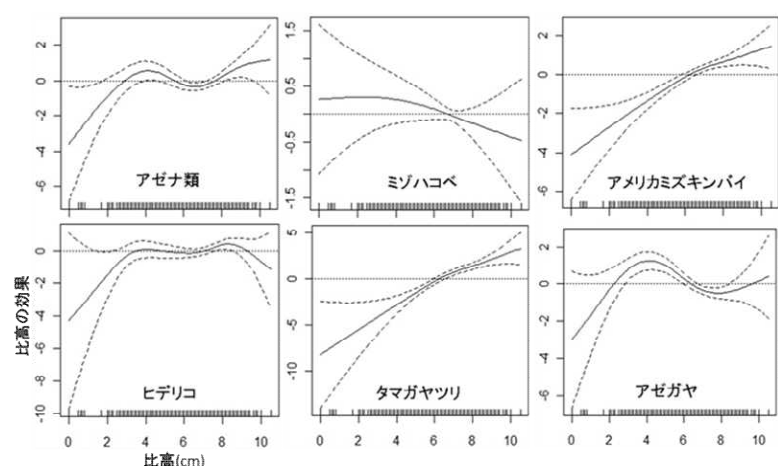
以上のように、微小な比高の差が干出の時期に違いを生み、出現の確率に影響を与えることが明らかとなった。

表(4)-2に示したように他種の被度の影響がみられた。特にアメリカミズキンバイは、アゼナ類、ミゾハコベ、ヒデリコ、アゼガヤの出現に対し、いずれも有意な負の影響を与えていた。アメリカミズキンバイは1 m²コドラートでは7月以降に発芽が確認されたが（図(4)-13）、生育が早く、植物体は大きくなる。特に比高の高い地点では被度が高くなる傾向がみられ、土壌面の照度低下により、発芽、生育を抑制したと推定された。また、アメリカミズキンバイがアレロパシー作用を持つとの報告があり、その抑制効果も影響している可能性がある。本研究では出現地点数が少ないため解析できなかったが、希少種の出現も抑制すると考えられる。そのため、湛水状態を安定的に保つことができない場合でも、アメリカミズキンバイの出現の確率が有意に低かった比高5.5 cm以下の状態、すなわち8月中旬まで湛水された状態を維持することが重要と考えられる。

b) 埋土種子による遺伝的多様性の再生可能性

オニバスの遺伝解析の結果、日本各地の58個体群中に20の遺伝子型が存在することが明らかとなった。横大路沼干拓地の埋土種子由来の個体の遺伝子型は、愛知県から広島県まで分布している遺伝子型と同一であった。

50個体群において個体群内のサンプル採取個体がすべて同一の遺伝子型を示し、2つ以上の遺伝子型を含む個体群は8個体群のみであった。新潟県の個体群は、一度絶滅し、10数年後に埋土種子から再生したとされるが、1個体群中に6つの遺伝子型が存在し、そのうちの5つは他の個体群では見られない独自の遺伝子型であることが明らかとなった。



図(4)-14 出現頻度の高い6種に対する比高の影響。横軸は比高、縦軸は目的変数で、生育有りを1、生育無しを0とした時の比高の効果を示す。実線は比高の効果の推定曲線、点線ではさまれた範囲は推定曲線の95%信頼区間を表す

新潟県の事例にみられるように、オニバスのように長期休眠が可能な種では、埋土種子によって遺伝的多様性が再生する可能性があることが示された。

甲賀市におけるビオトープ造成実験の結果、少なくとも5門10綱56分類群に属する大型水生動物が確認され、単位面積あたりの密度は水田で最も高かった。水田と池の群集組成は有意に異なっており、水田から池へ移動し、定着できる種は限られると考えられた。一方、水路と比べて水田の群集組成は多様だが、水田と水路の群集組成の間に有意差は見られなかった。水田と池、水田と水路、水田・池・水路の共通種はそれぞれ20種、12種、9種であった。これらの水生動物の一部は、8月に水田で確認された後、水田からは見つからなくなったが、9月以降に水路や池で確認された。そのため、これらの生物は水田の落水時期に飛翔や遊泳など方法は明確でないものの、恒常的な水域である水路や池へ移動している可能性があった。

（３）アジア地域における水田の生物多様性の保全

ラオスのチャンパサックでは、水田内に残された樹木として、71種を記録した。そのうち、60種が用材や食料、燃料などに用いられていた。灌漑水田では、化学肥料が必要だが、天水田では、化学肥料を投入しないこともすべての聞き取りで共通していた。放牧水牛の糞が、肥料として重要であるらしかった。灌漑施設の導入にともなって、二期作が開始されると、樹木密度が減少する傾向が認められた。

草本を調査した2つの村におけるヒアリング調査の結果、どちらの村でも雨季と乾季を合わせた全体のコメの収量は増加していた。各村の雨季における天水田と二期作田の種数と多様度指数を比較した結果、どちらの村においても有意な差はなかった。TWINSPANによる分類の結果、雨季における天水田と二期作田の植物群落は異なるグループに分類された。このことから、天水田地域における灌漑施設の導入は、植物の種数ではなく、種組成に影響を及ぼすことが示唆された。また、INSPANの結果、食用としている雑草3種（デンジソウ属sp.、カオリシソクサ、ミズアオイ）は雨季の天水田を特徴づける種群として抽出されたことから、二期作田の拡大に伴い人々の植物の利用にも影響が現れる可能性があることが示唆された。日本では、灌漑排水整備や化学肥料、農薬などの近代技術により、コメの生産性は増大したが、水田はコメ生産に特化し、生物多様性は犠牲となった。ラオスでは灌漑施設の導入など農業の近代化が進みつつあるものの、食用とする植物を水田から採取するなど、まだ水田の生物多様性を活用する生活を維持している。今回の結果からは、ラオスにおいても今後、水田の植物利用に影響が現れる可能性が示されたが、生物の利用による生物多様性の保全とコメ生産の両立というラオスに残る知恵は日本の水田の生物多様性の保全に対して重要な考え方を提供しうると考えられる。

（４）広域での保全再生重点地域の選定から再生デザインと施工管理までのプロセスの整理

広域での保全再生重点地域の選定には、ターゲットとする生物の分布情報と、地形や土地被覆情報などの地理情報を重ね合わせて生息適地を推定する。ターゲットとする生物は、所属する生態系を代表する種、生態学的エンジニアのようなキーストーン種、特別な種間関係の上に成立している種が候補であるが、サブテーマ6で示すような、地域文化に根差した種である場合もある。生息適地の中から、個体群の縮小が進行している場所などの保全すべき地域や、過去に分布していた場所などの再生可能性が高い地域を選定し、具体的な再生デザインを立案する。

本研究では、アンブレラ種としてのチュウサギ、里山と水田の両方を必要とするカスミサンショウウオ、特殊な種間関係を必要とするイシガイ類、丘陵湿地水の指標としてのハルリンドウ、特殊な湧水系の指標としてのバイカモ、そして低地氾濫原の指標としてのオニバスや1年生水田雑草を取り上げた。

水田生態系の高次消費者であるチュウサギなど鳥類は、広域的な土地利用評価にとって重要である。チュウサギの生息地利用調査の結果、川よりも水田を利用する傾向が強いことが示され、本種にとっての水田の重要性が明らかになった。

両生類では、生息地の分断が局所個体群やメタ個体群の絶滅に重要な影響を及ぼすと考えられている。道路脇側溝やコンクリート排水路による水田間の分断が、カスミサンショウウオやナゴヤダルマガエルの繁殖や移動に与える影響が大きいことが確認された。移動を考慮した個体群存続可能性分析や生息適地推定手法を活かして土地利用が計画されるべきである。

タナゴ類、イシガイ類、トウヨシノボリといった、生物間相互作用によって成り立っている種のつながりを維持するには、これらが、一時的にせよ同所的に分布することが重要であるため、イシガイ類の定着可能な環境とともに、魚の移動に配慮した水路計画が必要である。

施工管理段階では、両生類にとって、側溝による分断は、運動能力の低い小型の個体に特に影響を及ぼすため、スロープなど側溝からの移動を助ける装置の設置が必要である。また、魚類やイシガイ類には、定着できる底質環境を確保するとともに、年間を通じた水位管理が必要である。チュウサギの食性調査から、魚類やカエル類、水生昆虫など水田に生息する動物を主な食餌物としていることが分かった。本種の保全には、まずは水田に生息する水生動物の保全、再生する必要があることが示された。

水田に生息する水生の動物は、中干しや落水によって一時的に生息地が縮小、消失する。水田に隣接して常時湛水のビオトープを造成した実験では、ナゴヤダルマガエルの幼生の中干し後の生存率を高める効果があることや、水生動物の落水期の生息場所となっている可能性が示された。これらのことから、水田地帯における水生動物の保全・再生には、水田に隣接する常時湛水の池の造成が有効であると考えられる。一方で、ナゴヤダルマガエルは一辺2 m以上の池で成体が確認されたが、産卵されたのは7 mの池のみであり、産卵には一定以上のサイズの池が必要である可能性がある。

植物の場合は、埋土種子を利用することによって、地上植生で絶滅した種を含む、多くの種を再生できる可能性がある。また、埋土種子の利用は、遺伝的多様性の回復にもつながる場合がある。水田内では、水位や湛水時期などが管理上重要である。

実際に水田で植物再生のための環境整備を行う場合、耕作田はイネの生育のため除草が頻繁に行われるので、放棄水田や休耕田が候補として挙げられる。巨椋池干拓地で行った休耕田の湛水実験では、シャジクモやミズマツバといった絶滅危惧種などが発芽した一方で、アメリカミズキンバイといった外来種やタマガヤツリなどの耕地雑草が発芽し、繁茂した。これらの繁茂が望ましくない種は、休耕田内の8月中旬頃まで湛水状態にあった地点では出現の確率が有意に低く、7月上旬から干出する時期があった地点では出現の確率が有意に高かった。これらの種の繁茂を抑制するには、発芽が可能な8月頃までは湛水状態を維持することが必要である。

一方で、埋土種子で再生可能な種に限られる場合もある。自然再生実験を行った巨椋池干拓地では、発芽した種の多くは、種子寿命が長い種が多い1年草で、多年草はほとんど発芽しなかった。

埋土種子で再生できない種を把握し、その中でも再生が望まれる種については、遺伝子攪乱も考慮しつつ、近隣の生育地から移植するなどの再生案を考えていく必要がある。

水田地帯における植物の重要な生育地として、水田のほかに畦畔が挙げられる。水田畦畔のなかでも、隣接する水田や通路または山林につながる畦の傾斜面である畦畔草地は、キキョウやハルリンドウなど草原性の希少種の重要な生育地となっている。小型の草原性植物であるハルリンドウの個体数は、相対光量子量と正の関係があり、相対光量子量と草丈との間には負の関係があった。このことから、畦畔草地におけるハルリンドウの生育には、草丈を低く保ち、明るい環境を維持することが必要であることが示された。草原性植物の個体群が衰退した畦畔草地では、草刈りを行い明るい環境を回復することが植物の再生につながると考えられる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

水田地帯における鳥類・両生類・魚類を全体として取り上げた研究はない。これら全体の多様性に関与する要因を土地利用や地形の点から明らかにした。生態学的ネットワークを生息場所の物理的・視覚的つながりとしてだけでなく、個体群の存続や生物間相互作用の維持といった生態学的な視点からとらえ直した。そのことにより、生態学的ネットワークの状態を評価する指標を明確にできた。すなわち、生息地間の移動を組み込むことによって、個体群存続可能性分析を、生態系ネットワークの評価のために応用する手法を開発した。また、イシガイ類を例として、生物間相互作用に着目した生態系ネットワーク形成の指標化と、保全のための水管理手法を提案できるようになった。

湧水性の湿地に生育する植物であるハルリンドウおよびバイカモについて、湧水の存在以外に生育に影響する環境条件を示した研究はこれまでも行われてきている。しかし、今回の研究では、これまで着目されてこなかった草刈り等の人為的な管理がそれらの生育に影響する可能性を示した。水田畦畔および水路においても、里山と同様に、希少種の保全には人為的な管理が必要であることを示した結果であり、近年、生態学において注目されている二次的自然の生物多様性の維持機構の解明に貢献する成果である。また、干拓後50年以上が経過した湿地における埋土種子相を調べた研究は世界でもほとんどなく、水田耕作されることにより湿地性の1年草が干拓後も長期にわたって維持されることを示した貴重な事例である。

さらに、東南アジアの天水田地域において、灌漑施設の導入が水田の植物の種組成およびその利用にまで影響を及ぼす可能性を示した。これは、天水田に生育する生物が、伝統的な水田耕作サイクルに適応して進化してきたことを示唆するものであり、今後、東南アジア地域の水田の生物の生活史を解明する上で、重要な結果であると考えられる。

(2) 環境政策への貢献

環境省の全国里地里山保全活用行動計画（仮称）の策定の議論に一貫して参画し、水田の生物多様性の保全再生の観点からの環境スチュワードシップの検討の必要性や、各地域における典型的な里地里山の選定にあたっては本推進費研究対象地の情報を提供するなどの貢献を行なった。また、「生物多様性保全活動推進法」の基本的事項の検討委員会、農林水産省の「生物多様性活

用促進事業」検討委員会、国土交通省国土計画局のエコロジカルネットワーク研究会にも役立てた。国連大学高等研究所主催のミレニアム生態系評価の西日本クラスターの執筆者として、本研究の成果を利用した。また、OECDシンポジウムに招待され、水田の多面的機能について情報提供した。

6. 国際共同研究等の状況

国際協同研究計画名：Landscape, biodiversity and ecosystem service of paddy field in Champasak district, Lao PDR.

カウンターパート氏名：Rector and Dr. Sikhamtath Mitaray, チャンパサック大学, ラオス

2010年6月、9月、2011年3月にチャンパサック大学の教員と共同して水田の植生および生物資源利用に関する調査を実施した。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) A. IMANISHI, S. KANEKO, Y. ISAGI, J. IMANISHI, Y. NATUHARA and Y. MORIMOTO:
American Journal of Botany, 98, e233-e235 (2011)
“Development of microsatellite markers for *Euryale ferox* (Nymphaeaceae), an endangered aquatic plant species in Japan”
- 2) 松本仁、今西亜友美、今西純一、須崎純一、森本幸裕、夏原由博：環境情報科学論文集, 25, 227-232 (2011)
「巨椋池干拓地の休耕田内の比高が湿地植物の分布におよぼす影響」
- 3) Y. NATUHARA, A. IMANISHI, M. KANZAKI, S. SOUTHAVONG, I. DUANGVONGSA: Landscape and Ecological Engineering 8, 115-122 (2011)
“Uses of trees in paddy fields in Champasak Province, Southern Lao PDR”
- 4) Y. B. AKIYAMA: Venus, 69, 206-209 (2011)
“Host fish species for the glochidia of *Anodonta japonica* inhabiting drainage ditches for rice cultivation in Hikone City”
- 5) 秋山吉寛、西田翔太郎、夏原由博：ちりぼたん, 41, 3-4, 127-128 (2011)
「三重県の農業用ため池でみつかったマツカサガイの殻」
- 6) 河瀬直幹・中西康介・向井康夫：陸水生物学報26,21-46 (2011)
「滋賀県の水生甲虫相 I. (コガシラミズムシ科・コツブゲンゴロウ科・ゲンゴロウ科・ミズスマシ科・ツブミズムシ科・ホソガムシ科ダルマガムシ科・ガムシ科)」
- 7) A. IMANISHI, J. IMANISHI, H. MATSUMOTO, Y. MORIMOTO and Y. NATUHARA: Journal of Environmental Information Science, 40, 5, 119-128 (2012)
“The Propagule Banks of the Drained Sites and Remnant Wetlands in the Ogura-ike Area of Kyoto, Japan: Implications for Restoration”
- 8) Y. NATUHARA, Y. AKIYAMA: Journal of Environmental Information Science 40 (5), 159-166 (2012)

“Comparison of fish assemblages in drainage ditches of rice fields in lake Biwa basin, Japan”

- 9) 今西亜友美、今西純一、河瀬直幹、夏原由博：ランドスケープ研究, 75, 5, 419-422 (2012)

「滋賀県南東部の水田地帯におけるハルリンドウ生育地の環境条件」

- 10) Y. NATUHARA: Ecological Engineering. DOI.10.1016/j.ecoleng.2012.04.026 (2012)

“Ecosystem services by paddy fields as substitutes of natural wetlands in Japan”(in press)

- 11) R. NAITO, M. YAMASAKI, A. IMANISHI, Y. NATUHARA and Y. MORIMOTO: Zoological Science (2012)

“Effects of management and surrounding land use on habitat selection by frogs in rice paddies in Japan.” (in press)

<査読付論文に準ずる成果発表> (「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。)
特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) Y. MORIMOTO: Landscape and Ecological Engineering, 7, 2, 163-171 (2011)

“What is Satoyama? Points for discussion on its future direction”

- 2) 森本幸裕：環境技術, 40, 8, 456-462 (2011)

「里山の概念と意義」

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 夏原由博、大塚泰介：日本生態学会第57回大会 (2010)

企画集会「普通種がいなくなるときー水田地帯の生物多様性」

- 2) 天野一葉、夏原由博：日本生態学会第57回大会 (2010)

「琵琶湖周辺のランドスケープの違いによる鳥・両生類の特徴」

- 3) 今西亜友美、兼子伸吾、今西純一、井鷲裕司、夏原由博、森本幸裕：日本景観生態学会第19回新潟大会 (2009)

「絶滅危惧植物オニバスの日本における遺伝的変異とその地理的分布」

- 4) H. MATSUMOTO, A. IMANISHI, J. IMANISHI, J. SUSAKI, Y. Morimoto, Y. Natuhara: URBIO 2010 International Conference, Nagoya, (2010)

“The factors affecting plant distribution in a fallow paddy field under consideration of nature restoration in Oguraike drained land”

- 5) Y. NATUHARA : URBIO 2010 International Conference, Nagoya (2010)

“Landscape design for wildlife: use and abuse”

- 6) 内藤梨沙、夏原由博、森本幸裕：琵琶湖地域の水田生物研究会 (2010)

「湖西地域(高島市)の水田地帯におけるナゴヤダルマガエルの生活史について」

- 7) 李美花：琵琶湖地域の水田生物研究会 (2010)

「サギの分布と環境要因との関係」

- 8) 秋山吉寛：2010年度日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会 (2010)

「農業用水路の指標種であるイシガイ類の種多様性と関連する非生物的環境因子」

- 9) 秋山吉寛：第16回淡水貝類研究会 (2010)
「各種イシガイ類の分布に影響を及ぼす農業用水路の人工的に改変された環境因子」
- 10) 秋山吉寛、西田翔太郎、夏原由博：第20回ため池の自然研究会研究発表会 (2010)
「三重県の農業用のため池でみつかったマツカサガイの殻」
- 11) 秋山吉寛：琵琶湖地域の水田生物研究会 (2010)
「農閑期を含む農業用水路の環境が二枚貝の分布に及ぼす影響」
- 12) 秋山吉寛：日本生態学会第58回全国大会 (2011)
「農業用水路に生息するイシガイ類群集の分布制限要因」
- 13) 秋山吉寛：日本生態学会第58回全国大会(2011)
「淡水二枚貝に関わる保全生態学的研究の最前線」
- 14) 今西亜友美、今西純一、河瀬直幹、夏原由博：第58回日本生態学会 (2011)
「滋賀県南東部の水田地帯におけるハルリンドウの分布と生育地の環境条件」
- 15) 今西亜友美、鷺谷寧子、夏原由博、Duangvongsa, I., Southavong, S., Chalernesouk, V. : 日本景観生態学会第21回千葉大会 (2011)
「ラオス南部における灌漑施設の導入が水田の植物相に与える影響」
- 16) 李美花：第2回琵琶湖地域の水田生物研究会 (2011)
「水田地帯におけるサギ類の保全生態学的研究」
- 17) A. IMANISHI, Y. WASHITANI, Y. NATUHARA, I. DUANGVONGSA, S. SOUTHAVONG, V. Chalernesouk : Joint Meeting of The 59th Annual Meeting of ESJ and The 5th EAFES International Congress, Otsu, (2012)
“Differences in weed vegetation between rain-fed and irrigated paddies in Champasak Province, Lao PDR”
- 18) 秋山吉寛：淡水貝類研究会第17回研究集会 (2011)
「イシガイ科貝類幼生の形態比較と多様な寄生戦略の推測」
- 19) 秋山吉寛：第59回日本生態学会企画集会T02 (2012)
「水路・河川のネットワークと生物間相互作用」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) 水田の文化と多様性 (2010年1月11日、京都大学時計台国際交流ホール、観客140名)
- 2) 地域が担う水田の生物多様性 (2010年9月19日、名古屋大学豊田講堂シンポジオン会議室、観客100名)
- 3) 持続可能な社会づくりに向けた生態系ネットワークの再生を目指す (2012年3月18日、龍谷大学瀬田キャンパス8号館、観客83名)
- 4) Hot spots in agriculture ecosystems: multi-scale heterogeneity and species interaction. (2012年3月21日、龍谷大学瀬田キャンパス8号館、観客50名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 夏原由博、三好文、森本幸裕：ランドスケープ研究, 65, 523-526. (2002)
「メタ個体群存続可能性分析を用いたカスミサンショウウオの保護シナリオ。」
- 2) 味岡ゆい、沼田早都希、斉藤裕子、南基泰：ARENA2009, 7, 383-38 (2009)
「同じであって、同じでないものーハルリンドウの遺伝的多様性ー」
- 3) P. SJÖGREN: Biological Journal of the Linnean Society 42, 135-147 (1991)
“Extinction and isolation gradients in metapopulations: the case of the pool frog (*Rana lessonae*)”
- 4) C. C. VOS: Ph.D. thesis Wageningen University, Wageningen (1999)
“A frog’s-eye view of the landscape. Quantifying connectivity for fragmented amphibian populations.”
- 5) 古賀啓一、角野康郎、瀬戸口浩彰：Bunrui, 6, 2, 121-130 (2006)
「近畿地方におけるバイカモの分布と生育状況」
- 6) 藤井伸二、梅原徹、古賀啓一、角野康郎、瀬戸口浩彰：Bunrui, 8, 1, 69-72 (2008)
「近畿地方におけるバイカモの分布に関する追記ー滋賀県の移入産地と新産地ほかー」
- 7) 三木茂：京都府史跡名勝地調査会報告, 8, 81-145 (1927) 「巨椋池の植物生態」
- 8) 増田理子、高井美紀、野口智未：(2011)：第58回日本生態学会大会講演要旨
<http://www.esj.ne.jp/meeting/abst/58/P2-092.html>、2011.1.11更新、2011.9.19参照
「ハルリンドウの花サイズと結実率の関係」
- 9) E.C., WIENHOLD and G.A., Van Der VALK: Canadian Journal of Botany, 67, 1878-1884 (1989) “The impact of duration of drainage on the seed banks of northern prairie wetlands”
- 10) R.G., WILSON, D.E., KERR and A.K., NELSON: Weed Science, 33, 171-175 (1985)
“Potential for using weed seed content in the soil to predict future weed problems”
- 11) Ismail, B., Mansor, N. and Hahman, M. (2007) Factors affecting germination and emergence of *Cyperus difformis* L. seeds. Malaysian Applied Biology, 36(1), 41-45

(5) 水田地帯の生物多様性保全を効果的に進めるための経済的条件に関する研究

滋賀大学

環境総合研究センター	藤栄 剛
環境総合研究センター	田中勝也
経済学部	中野 桂

<研究協力者>

農林水産省農林水産政策研究所	川崎賢太郎
滋賀大学環境総合研究センター	西村武司
滋賀大学経済学部	松下京平

平成21～23年度累計予算額：15,718千円

(うち、平成23年度予算額：4,650千円)

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕 生態系の崩壊と生物多様性の喪失が指摘されるなか、将来世代に至る生態系サービスを確保し、水田地帯における生物多様性の再生・保全を図るためには、生物多様性保全に配慮した持続可能な農業の展開が不可欠である。そこで本研究では、水田地帯における生物多様性保全に配慮した農業の展開に必要とされる経済的条件について、特に、社会関係資本の概念に着目しつつ、検討した。具体的には、水田地帯における生物多様性保全に配慮した取組として、滋賀県で展開されつつある魚のゆりかご水田を主な対象とし、生物多様性保全に配慮した農業の普及・展開条件とそれによって生産された農産物の需要条件を検討した。

検討の結果、第一に、生物多様性保全に配慮した農業の展開には、集落における社会関係資本の醸成、生物多様性に配慮して生産された農産物の高付加価値化やブランド形成による価格プレミアムの確保が、水田地帯における生物多様性の再生・保全の取組に重要な役割を果たすことを明らかにした。

第二に、消費者・農家間ネットワークの形成をはじめとする社会関係資本の醸成が、生物多様性に配慮した農業によって生産される農産物の需要拡大に寄与することを明らかにした。また、生物多様性に配慮した農業の取組内容の周知やそうした農業が有する生物多様性保全機能に対する肯定的評価を獲得するための情報周知が、当該農産物の需要拡大への寄与を通じて、当該農業への支持に結びつきうることも明らかにした。

〔キーワード〕 生物多様性に配慮した農業、社会関係資本、魚のゆりかご水田、消費者行動

1. はじめに

生態系の崩壊と生物多様性の喪失による生態系サービスの低下が指摘されて久しい。2008年開催の生物多様性条約第9回締約国会議（COP9）において発表されたレポート「生態系と生物多様性の経済学」によれば、2050年までに地域によっては生物多様性の約20%の喪失が指摘されてい

る（TEEB¹⁾）。2010年の生物多様性条約第10回締約国会議（COP10）では、生物多様性の状況改善に向けた計画・目標の設定や「農業の生物多様性に関する決定」が行われ、生物多様性保全に果たす水田の役割の重要性が指摘された。将来世代に至る生態系サービスを確保し、水田地帯における生物多様性の再生・保全を図るためには、生物多様性保全に配慮した持続可能な農業の展開が不可欠である。また、わが国の水田地帯は土地・水利用において、共同体をベースとした農業が展開されてきた（たとえば、永田²⁾）。このため、生物多様性保全に配慮した農業の展開においては、集落内の農家間の結びつきをはじめとする社会資本が重要な役割を果たすと考えられる。

他方、COP9で発表されたSATOYAMAイニシアティブの効果的な実施手段として、OECD³⁾は農業従事者に対する生物多様性保全へのインセンティブの付与や、消費者意識の向上による生物多様性保全に配慮して生産された農産物に対する需要の創出を、生物多様性保全における同イニシアティブの効果的な実施手段としてあげている。こうしたことから、生物多様性保全に配慮した農業を展開するためには、農家サイドのみならず、そうした農業によって生産された農産物に対する消費者の需要行動を検討し、農産物の需要拡大に向けた条件をあわせて検討することが必要とされよう。

2. 研究開発目的

そこで本研究では、琵琶湖湖辺域の水田地帯で展開されつつある、魚のゆりかご水田の取組を主な対象とし、社会関係資本が果たす役割に着目しつつ、①水田地帯における生物多様性保全に配慮した農業（以下、保全型農業）の普及・展開条件の検討や慣行農業と保全型農業の経済的成立条件の比較、②保全型農業によって生産された農産物の需要条件の検討を行う。そして、それらのとりまとめを通じて、保全型農業を展開するための経済的条件や政策的含意を導出する。

3. 研究開発方法

まず、①について、魚のゆりかご水田（以下、ゆりかご水田）に取り組む農業集落における聞き取り調査ならびに琵琶湖湖畔域のゆりかご水田取組集落 6 集落を対象とした質問紙調査等を実施し、回収した調査票を用いて、計量経済分析を行った。

他方、②について、魚のゆりかご水田で生産された米（以下、ゆりかご米）について、消費者への質問紙調査を行い、ゆりかご米に対する消費者意識やゆりかご水田に対する認知とゆりかご米の購買意志との関係などを計量経済分析によって検討した。

さらに、上記の消費者調査ならびに農家調査の分析に加え、農業集落における補足調査、ゆりかご水田以外の取組に関する分析や経済実験による補足的な分析等を行い、それら研究のとりまとめを通じて、水田地帯における保全型農業を展開するための経済的条件や政策的含意を検討した。

4. 結果及び考察

（1）水田地帯における生物多様性保全の取組の概要：滋賀県における魚のゆりかご水田

まず、本研究の主たる対象である、ゆりかご水田の概要を簡潔に述べる。

かつて琵琶湖湖辺域の水田は、コイやフナの方好の繁殖場所であった。しかし、琵琶湖からの

浸水防止および生産性向上を目的とした圃場整備に伴い、水田への魚の遡上は困難となり、繁殖場所としての水田機能はほぼ喪失した。この状況を憂慮した滋賀県は2001年度より、排水路への魚道設置、中干し延期、稚魚の流下促進など生物多様性・生態系保全に配慮した農業の普及に着手した。この取組は、魚のゆりかご水田プロジェクトと呼ばれ、ゆりかご水田において生産された米のうち、滋賀県が定める基準を満たした米は、魚のゆりかご水田米と呼ばれるブランド名で販売されている。ゆりかご米の具体的な名称使用基準は、（1）魚毒性の最も低い除草剤の使用、（2）魚の生息環境に影響を与えない肥培管理の実施、（3）落水時の稚魚の流下促進、（4）魚道を利用して遡上した在来魚の繁殖、の4つからなる（滋賀県⁴⁾）。以上の4つの基準を満たすための労力に加え、ゆりかご米の生産には、魚道に対する初期投資、魚道設置、排水路補修のための共同作業への出役やそのための農家間調整を要するなど、慣行農業に比べ追加的な負担が生じる。なお、滋賀県の試算によれば、ゆりかご水田の取組に要する追加的時間は126.4分/10aである。そこで、2006年度には対象農地（約40ha）に対して環境直接支払の形で、県から取組農家に助成金が支払われ、2007年度より当該措置は「世代をつなぐ農村まると保全向上対策」（以下、向上対策）として実施されている。また、ゆりかご水田の取組集落数は2006年の12集落から、2011年には32集落へと増加傾向にある。

保全型農業の実施に伴う追加的費用を負担する農家が、当該農業に取り組む誘因として、主に次の2つを挙げることができる。1つ目は、例えば、向上対策といった、保全型農業への取組に対する、行政からの助成措置である。2つ目は、生物多様性保全に配慮した農産物（以下、保全型農産物）に付与される価格プレミアムの存在や農産物の需要拡大の余地である。上述の通り、ゆりかご米の生産には追加的な費用を要するため、その持続的な取組には追加的費用を補償可能な農産物の価格プレミアムの確保を要する。ここで、行政からの助成措置継続の不確実性を考慮に入れると、保全型農業の持続的な展開の成否は、保全型農産物に対する消費者の評価や購買意志、さらには保全型農産物の需要拡大の余地に大きく依存するものと考えられる。この点は、複数の取組集落での聞き取り調査からも裏付けられた。しかし、ゆりかご米の流通量は相対的に少なく、県内の一部のスーパーマーケットや取組集落近くの農産物直売所などでの販売にとどまっている。

（2）生物多様性に配慮した農産物に対する消費者の評価・購買行動

1）データ

本研究では、琵琶湖湖畔域に展開するゆりかご水田を対象として、ゆりかご米に対する消費者の評価、意識や購買行動の解明を目的とした質問紙調査を行った。調査対象は、ゆりかご米の主な購買先である大津市ならびに京都市在住の消費者とした。配布部数は6,000部、回収票数は1,189部、回収率は19.8%であった（表(5)-1）。

表(5)-1 質問紙調査の配布・回収状況

配布地域	配布部数	回収部数	回収率
大津市	4,710	986	20.9%
京都市	1,290	177	13.7%
不 明	—	26	—
合 計	6,000	1,189	19.8%

注：居住地に関する設問に無回答のサンプルの配布

地域は、「不明」に分類した。

2) 生物多様性保全に配慮した農産物に対する消費者の評価

まず、1) の収集データを用いて、①消費者がゆりかご米に見出す付加価値、つまり価格プレミアムおよび②価格プレミアムの決定要因を検討した。①については、保全型農業に要する追加的費用とあわせて考えることで、こうした保全の取組の継続的な実施可能性を検討する上で有益な情報が得られる。また、②については、保全型農産物の販路拡大を図る上で重要な手がかりとなり得る。

①については、対象としたゆりかご水田は琵琶湖の固有種に配慮した取組であると同時に、農薬・化学肥料を慣行の半減にする取組であるため、消費者はいずれの取組を評価して価格プレミアムを表明しているのか不明である。このため、本研究では、生態系のみを配慮したゆりかご米（米A）に対する回答者の支払意思額(WTP)から基準となる価格（2,000円/5kg）を減じることで、ゆりかご米の生態系配慮に消費者が見出す価格プレミアム（以下、生態系プレミアム）を算出した。さらに、生態系・環境のいずれにも配慮したゆりかご米（米B）に対するWTPから米Aに対するWTPを減じることで、ゆりかご米の環境配慮に消費者が見出す価格プレミアム（以下、環境プレミアム）を算出した。

表(5)-2 魚のゆりかご水田米の価格プレミアム

	基準	比較対象	
	慣行米	米A	米B
生態系への配慮	×	○	○
環境への配慮	×	×	○
平均WTP－基準価格	0円	318円	507円

資料：西村他⁵⁾をもとに、執筆者作成。

注：基準価格は滋賀県産コシヒカリ（2,000円/5kg）である。

ゆりかご米の生態系・環境プレミアムを整理したのが表(5)-2である。表より、消費者はゆりかご米の生態系プレミアムとして318円/5kgを、環境プレミアムとして189円/5kgを追加的に支払ってもよいと考えていることがわかった。消費者は取組の性質上、ゆりかご米に対して、環境保全よりも生態系保全により大きな価値を見出している可能性がある。

次に、②について、生態系プレミアムと環境プレミアムの決定要因をSeemingly Unrelated Regressionによって検討した。推定結果を表(5)-3に示す。推定結果から得られた主な知見は、次のとおりである。

第一に、生態系プレミアムについては、知識（名前＋内容）と知識（名前）はいずれも正で統計的に有意である。このことから、理解の深さではなく、少なくともゆりかご米の存在を認識することが、生態系保全に資する取組を支援する動機として重要であると考えられる。ゆりかご米に関する情報提供に要する費用を考慮に入れると、取組内容に関する詳細な説明は省略し、取組の存在自体を消費者に周知することを重視した政策に一定の意義がある。

第二に、消費者のリスク選好や時間選好が環境プレミアムに影響を及ぼす。このことは、将来を重視する傾向にある消費者ほど、ゆりかご米に対して高く支払って良いと考えていることを

表(5)-3 生態系・環境プレミアムの決定要因 (SUR推定)

	生態系プレミアム		環境プレミアム	
	係 数	標準誤差	係 数	標準誤差
性 別	-56.53	41.18	-76.13	39.52 *
年齢40	-48.10	69.72	-85.12	66.92
年齢50	-94.08	70.32	-151.67	67.49 **
年齢60	42.73	69.11	-142.83	66.33 **
年齢70	-31.72	79.01	-263.50	75.83 ***
世帯年収	16.74	14.76	-6.47	14.16
世帯人数	-34.41	18.64 *	-3.05	17.89
子供数 (小学生以下)	42.61	39.78	-10.75	38.18
居住地	-2.98	55.58	0.06	53.34
知識 (名前+内容)	103.89	61.60 *	19.60	59.12
知識 (名前)	157.99	54.07 ***	-18.18	51.90
通常購入米価格	73.64	9.95 ***	49.09	9.55 ***
農家友人数	-21.78	15.56	21.33	14.94
市民・社会活動	31.98	43.55	29.64	41.80
時間選好	-1.48	10.65	-16.87	10.22 *
リスク回避度	-9.31	7.47	12.13	7.17 *
定数項	324.50	85.87 ***	221.86	82.42 ***
サンプル数	616		616	
R ²	0.1295		0.0815	

資料：西村他⁵⁾注：*、**、***はそれぞれ10%、5%、1%水準で統計的に有意であることを示す。変数の詳細な定義については、西村他⁶⁾ 参照。

意味し、将来の環境質の低下を危惧する消費者は、農薬・化学肥料の使用量削減を肯定的に評価していることがわかる。さらに、農薬・化学肥料の使用によって生じうる健康・環境面でのリスクを回避する傾向にある消費者ほど、環境プレミアムを高く評価する傾向にあることもわかった。

3) 生物多様性保全に配慮した農産物に対する消費者の購買行動

次に、保全型農産物の需要拡大に向けた方策を検討するために、1) の収集データを用いて、ゆりかご米に対する消費者の購買意志の規定要因を検討した。検討に際して、消費者意識・行動を複数の消費者特性として把握し、消費者特性と購買意志との関係を検討するとともに、ゆりかご米に対する認知の影響もあわせて検討した。ただし、消費者の環境・生態系に関する意識・行動は、その含意が幅広く、少数の質問項目から把握することは困難である。そこで本研究では、1) のデータにおける環境・生態系に関する多数の質問項目を利用して、それら質問への回答パターンに基づき消費者を複数の特徴的なセグメンテーションに集約することで、複数の消費者特性として把握した。

セグメンテーションの結果を表(5)-4に示す。「農業・農村・農産物に対する意識・関心」、「食へのこだわりと農産物直売所の利用」、「魚のゆりかご水田米の機能に対する評価」に関する3つの設問群について、それぞれ5, 3, 3の消費者セグメンテーションに分類された。

表(5)-4 消費者の意識・関心・行動に関するセグメンテーション

	AGR				
	1	2	3	4	5
設問群(i) 農業・農村・農産物に対する意識・関心					
子供は勉強や習い事に便利な都市部よりも、農山漁村の自然の中で育った方がよい	0	+	-	-	0
棚田や里山といった風景を残すために、農村以外の人も何かしなければならない	0	+	0	0	0
自分が農業をやるとしたら、自然農法をやりたい	0	+	-	0	0
自然農法と聞くと、うさんくさく感じる	0	-	+	0	0
食事にはできるだけ時間をかけたくない	0	-	+	0	0
できることなら、無農薬・無化学肥料で育てられた食べ物だけを食いたい	0	+	-	0	0
中国産の食品は買わないようにしている	+	+	-	+	+
近くでとれた野菜は安心なので、なるべく地元産の野菜を買うようにしている	0	+	-	+	-
近くでとれた野菜は環境にいいので、なるべく地元産の野菜を買うようにしている	0	+	-	+	-
農産物を買うときに、それが環境に配慮して生産されたものかどうか知りたい	0	+	-	0	0
環境に配慮している農家を支えるためだと思って、多少高くても環境に配慮した農産物を買うことがある	0	+	-	0	-
サンプル数	258	96	145	126	111
構成比(%)	35	13	20	17	15
購買意志(平均値)	2.62	3.05	1.81	2.67	2.32
	FOOD				
	1	2	3		
設問群(ii) 食へのこだわりと農産物直売所の利用					
牛乳パックや発泡スチロールのトレイはリサイクルしている†	-	-	-		
「この季節にはこの野菜」というように、毎年楽しみにしている特定の産地や生産者の野菜や果物がある	-	+	+		
安くて新鮮な野菜が手に入るから、農産物直売所を利用する	-	+	+		
スーパーなどでは手に入らない良い品や珍しい品を探して、農産物直売所を利用する	-	+	0		
サンプル数	361	240	135		
構成比(%)	49	33	18		
購買意志(平均値)	2.22	2.83	2.83		
	FUNC				
	1	2	3		
設問群(iii) 魚のゆりかご水田米の機能に対する評価					
魚のゆりかご水田米は他の米より安全で安心できる	0	+	-		
魚のゆりかご水田米の取組は、琵琶湖の魚をはじめとする生態系を守るために役立つ	0	+	-		
魚のゆりかご水田米の取組は、琵琶湖の環境保全に役立つ	0	+	-		
魚のゆりかご水田米を購入することで、消費者は琵琶湖の生態系または環境の保全に貢献できる	0	+	-		
魚のゆりかご水田米の取組にかかる費用は、お米の値段に上乗せするよりも、税金等を使って補助すべき	0	+	-		
サンプル数	357	307	72		
構成比(%)	49	42	10		
購買意志(平均値)	2.32	2.80	1.93		

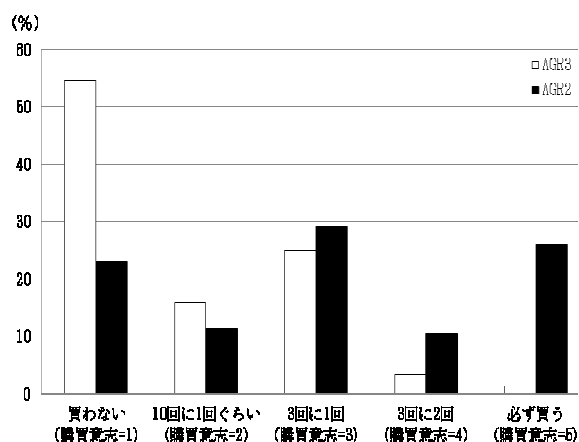
資料：西村他⁶⁾

注：表中の+、0、-は、各セグメントの中で当該設問に対する最も多い回答を示しており、それぞれ「そう思う（あてはまる）」、「どちらでもない」、「そう思わない（あてはまらない）」に対応する。なお、[†]は「はい」、「いいえ」の二択に対する回答であり、-の記号は各セグメントの中で「いいえ」という回答が多いことを示している。

次に、上記の消費者セグメンテーションに基づく消費者特性とゆりかご米の購買意志との関係を検討した。まず、農業・農村・農産物に関する消費者の意識・関心を表すAGRをみると、特徴的な点として、AGR2とAGR3の購買意志（平均値）が3.05、1.81と異なる。そこで、AGR2とAGR3の消費者層について、ゆりかご米に対する購買意志の分布を図(5)-1に示す。

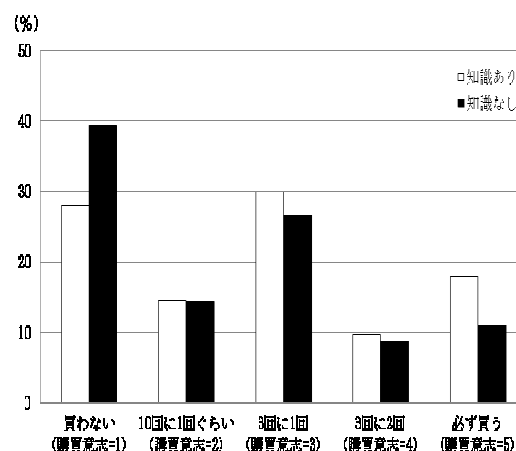
図より、農業・農村・農産物に対して否定的な意識を有する消費者層(AGR3)は、ゆりかご米に対する購買意志が弱い傾向にあるとともに、消費者セグメンテーションによって把握された消費者特性が購買意志の違いを一定程度説明可能であることがわかった。なお、図示は省略するが、

AGRで得られたのと類似の関係が、FOODやFUNCについても得られた。さらに、認知の役割を検討するために、ゆりかご米に関する知識の有無と購買意志との関係を図(5)-2に示す。



図(5)-1 消費者セグメントと購買意志

資料：表(5)-4に同じ。



図(5)-2 知識の有無と購買意志

資料：表(5)-4に同じ。

図より、調査票におけるゆりかご米の提示価格に対して、「買わない（購買意志＝1）」と回答した者の割合について、ゆりかご米に関する知識を有する者は約28％であるのに対して、知識を有さない者は約39％である。一方、「必ず買う（購買意志＝5）」などの選択肢については、知識を有する者の割合がそうでない者の割合を上回ることから、知識の獲得がゆりかご米の購買意志の向上に寄与している可能性が示唆される。

そこで次に、計量分析によって様々な属性をコントロールした上で、ゆりかご米に対する消費者の購買意志の規定要因を検討する。分析では、知識の獲得と購買意志の決定の同時性を考慮に入れるため、bivariate ordered probitモデルによる推定を行った。ゆりかご米の購買意志に関する推定結果を表(5)-5に示す。推定結果から得られた主な知見は、次のとおりである。

一つ目として、消費者セグメンテーションについて、農業・農村・農産物に全般的に高い関心を示す消費者(AGR2)は、ゆりかご米の購買意志が強い一方、AGR2と対照的に関心の低いAGR3に属する消費者は、ゆりかご米の購買に消極的であることがわかる。ただし、地元産農産物の支持のみを表すAGR4およびAGR5は統計的に非有意である。すなわち、農業・農村・農産物に対する関心の高さがゆりかご米の購買意志を強める一方、地元産農産物に対してのみ関心を示す消費者層の購買意志は他の消費者層ほど、強くないことがわかった。このことは、ゆりかご米を地産地消などの取組と関連づけた地元産農産物として購買促進を行うよりもむしろ、農業や農産物を広くアピールする場での消費者への紹介や、地元こだわらず、他地域における農業や農産物に対する関心の高い消費者が集まる場での当該農産物の広範な周知・販売が、需要の拡大につながることを示唆している。

二つ目として、ゆりかご水田の果たす生態系・環境保全機能を高く評価する消費者層において、購買意志が強い。このことは、ゆりかご米の取組が発揮する生態系・環境保全の機能に関する正確な情報提供と機能に対する肯定的な評価の獲得が、魚のゆりかご水田米の需要拡大につながることを示唆している。保全型農産物の需要拡大には、保全型農業の取組内容とそれが発揮する機能に対する消費者の理解促進と肯定的な評価を得るための周知方法のあり方を検討する必要がある。

る。

三つ目として、ゆりかご米の知識を有する消費者ほど、購買意志が強いことがわかった。この結果は、新潟県佐渡市や兵庫県豊岡市において展開されている保全型農産物に関する先行研究の結果（たとえば、堅田・田中⁷⁾、矢部・林⁸⁾）とも一致しており、保全型農産物に関する消費者への周知が、その需要拡大に結びつけるための方策となり得ることを示している。本研究の調査結果では、72%の消費者はゆりかご水田の存在や取組を知らないとの結果が得られている。こうしたことから、保全型農産物については、とくに取組初期において、消費者への周知が需要拡大の有効な手段のひとつになり得ると考えられる。

表(5)-5 魚のゆりかご水田米の購買意志に関する推定結果

	知 識		購買意志	
	係 数	標準誤差	係 数	標準誤差
性 別	-0.284	0.132**	0.393	0.105***
年 齢	0.189	0.043***	0.007	0.043
主 婦	-0.080	0.144	0.005	0.111
子 供	-0.032	0.181	-0.011	0.138
居住地	-0.300	0.186	0.303	0.126**
世帯員数	0.006	0.049	-0.126	0.040***
世帯年収	-0.011	0.039	0.115	0.030***
市民・社会活動	0.270	0.122**	0.140	0.101
評 価	—		0.240	0.073***
価 格（対数）	—		-3.117	0.327***
知 識	—		0.870	0.486*
AGR2	0.193	0.166	0.332	0.145**
AGR3	-0.232	0.155	-0.443	0.132***
AGR4	0.162	0.148	0.004	0.126
AGR5	-0.162	0.164	0.026	0.133
FOOD2	0.343	0.123***	0.117	0.112
FOOD3	0.422	0.141***	0.031	0.132
ρ	-0.358	0.286		
サンプル数	736			
対数尤度	-1343.844			

資料：表(5)-4に同じ。

注：不均一分散に対して頑健な標準誤差を用い、*、**、***はそれぞれ10%、5%、1%水準で統計的に有意であることを示す。また、 ρ は知識と購買意志に関する推定結果の誤差項間の相関を表す。変数の詳細な定義については、西村他⁶⁾ 参照。

（３）水田地帯における生物多様性保全に配慮した農業の展開条件

１）生物多様性保全に配慮した農業の採択主体としての農業集落と農家

先行研究においても指摘されているように（たとえば、養父⁹⁾）、保全型農業には個々の農家レベルの取組と地域全体としての取組の２種類がある。本研究の主な対象であるゆりかご水田については、地域全体としての取組として、たとえば、ニゴロブナなどの固有種が水田に遡上可能となるよう、排水路堰上式水田魚道を設ける作業などがあげられる。また、水田魚道は排水路の水

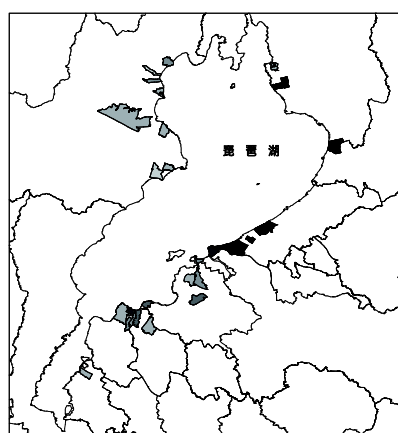
位を高く保つ必要があることから、魚道設置や水位調整に関する合意を排水路の利用者から得ることが必要とされる。ゆえに、ゆりかご水田の取組には、排水路を共有する同一農区の水田耕作者の合意ないしは、そうした農区の利用をめぐる集落内での合意を要することが多い。こうしたことから、本研究では、集落レベルと農家レベルそれぞれのゆりかご水田の取組の展開条件を検討した。

2) 集落レベルでの生物多様性保全に配慮した農業の展開条件

集落レベルでの保全型農業の展開条件について、まず、ゆりかご水田取組集落の地理的分布を図(5)-3に示す。これをみると、ある年に取組を開始した集落の周辺に位置する集落が、翌年以降に取組を開始している傾向をおおよそ読み取れる。つまり、ゆりかご水田の取組には近隣の先行の取組集落が影響を及ぼしている可能性が示唆される。さらに、上記のとおり、ゆりかご水田の取組には排水路や水田の利用調整を要するため、集落の人的ネットワークが強靱であることをはじめ、社会関係資本が蓄積された集落ほど、調整のための共同行動を行いやすく、ゆりかご水田の取組が容易となることが考えられる。

そこで、ゆりかご水田取組集落と滋賀県の全農業集落の寄合回数を比較したのが、図(5)-4である。ここでは、集落の社会関係資本の蓄積量を表す代理指標として、寄合回数を用いる。図より、ゆりかご水田取組集落の寄合回数（14.7回）は、滋賀県の全農業集落の寄合回数（11.5回）よりも多く、集落の社会関係資本の蓄積とゆりかご水田の取組との関係が示唆される。そこで次に、集落の様々な属性をコントロールしつつ、集落におけるゆりかご水田面積率の決定要因を検討した。推定結果を表(5)-6に示す。推定結果から得られた主な知見は、次のとおりである。

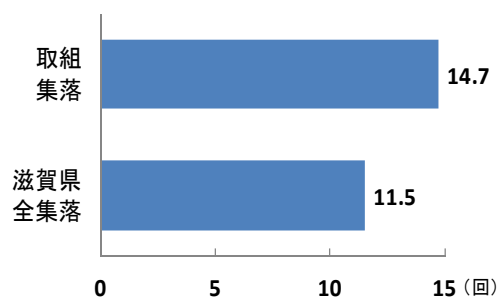
寄合開催により社会関係資本が従来から蓄積されており、ゆりかご米としてブランド化を図り出荷を行う集落において、ゆりかご水田面積率が高い。また、近隣の取組集落の多寡は、ゆりかご水田の取組水準と有意に関係する。このことは、ゆりかご水田の展開に向けた方策として、核となりうる取組集落の育成と当該集落を拠点とした普及や集落で一体となったブランド化の推進に向けた環境整備が有効となりうることを示唆している。



図(5)-3 魚のゆりかご水田取組集落の地理的分布

資料：西村¹⁰⁾

注：着色された地域は取組集落を表す。濃淡は取組年を表し、濃色の地域ほど取組開始年が早いことを表す。



図(5)-4 魚のゆりかご水田取組集落と滋賀県全集落の寄合回数

3) 農家レベルでの生物多様性保全に配慮した農業の展開条件

1) で述べたとおり、保全型農業には、個々の農家レベルの取組と地域全体としての取組の2種類がある。そこで次に、農家レベルでの保全型農業の展開条件を検討した。

農家レベルで保全型農業が展開する条件として、先行研究では農産物の価格プレミアムの存在が指摘されている（たとえば、大沼・山本¹¹⁾）。価格プレミアムについては（2）・2) でも検討したように、農産物に対する消費者の評価が反映されることから、保全型農業の展開には農家の取組のみならず、保全型農産物に対する消費者の購買行動も関与する。本研究が主な対象とするゆりかご水田では、取組集落において生き物観察会のイベント等が開催され、生物多様性の回復だけでなく、人々のつながりの再生を通じた社会関係資本の蓄積も意図されている。こうした社会関係資本の蓄積が、ゆりかご水田の展開やゆりかご米の購買に及ぼす影響を検討するためには、集落内の農家だけでなく、生き物観察会などに参加する集落内非農家についてもあわせて検討する必要がある。

そこで本研究では、農家レベルでの保全型農業の展開条件を検討するために、ゆりかご水田取組集落の農家と非農家を対象とした質問紙調査を行った。調査は、2010年にゆりかご水田に取り組んだ27集落のうち、調査に協力可能な6集落について、営農組合、自治会等の協力を得て、2010年10月から2011年2月にかけて実施した。調査票の配布・回収部数は、農家については166部、153部（回収率92.2%）、非農家については393部、269部（回収率68.4%）であった。なお、本研究では集落内の非農家をゆりかご米の消費者とみなし、取組集落の社会関係資本が消費者の購買意志に及ぼす影響を検討した。ただし、分析対象を特定の消費者に限定していることから、消費者全体の購買意志を代表していない可能性がある点に留意が必要である。

主な分析結果は次のとおりである。まず、ゆりかご水田に対する農家の取組意志の規定要因に関する推定結果を示した表(5)-7をみると、提示米価と自給農家に関する変数のみ統計的に有意であった。提示米価が高まるほど農家の取組意志は強まる一方、販売以外の目的で米を生産する農家は、ゆりかご米の取組意志が弱い。こうした結果は、合鴨稲作農家の農法採択速度について検討した藤栄他¹²⁾の結果とも一致している。ただし、自治会行事参加頻度や年齢などは、取組意志に影響を及ぼしていない。

次に、ゆりかご米に対する購買意志の規定要因に関する推定結果を示した表(5)-8をみると、提示米価が高くなる

表(5)-6 集落における魚のゆりかご水田面積率の決定要因

	係 数	標準誤差
非農家率	-10.06	18.60
壮年農家人口比率	93.28	49.58 *
高齢農家人口比率	46.47	48.52
大規模農家率	0.10	0.25
入作割合	1.65	1.58
寄合回数	0.44	0.16 ***
ブロックローテーション	-2.53	4.33
同一市町村内取組集落数	0.98	0.57 *
ブランド米販売	10.96	2.95 ***
定数項	-50.69	25.16 **
サンプル数	130	
対数尤度	-357.15	
Wald chi2	76.85	
Prob > chi2	0.00	

資料：西村¹⁰⁾をもとに、執筆著作作成。

注：表(5)-3に同じ。変数の詳細な定義については、西村⁴⁾ 参照。

表(5)-7 農家の取組意志の規定要因

	係 数	標準誤差
定数項	-86.569	15.145 ***
提示米価（対数）	9.117	1.601 ***
自給農家	-1.737	0.776 **
年 齢	-0.026	0.282
2世代以上世帯	0.224	0.538
自治会行事参加頻度	0.269	0.550
集落ダミー	Yes	
平均WTA	13,205.50	
サンプル数	74	
対数尤度	-84.950	

資料：西村他¹³⁾をもとに執筆著作作成。

注：表(5)-3に同じ。

ほど、消費者の購買意志は弱くなるとともに、先行研究と同様、女性や世帯年収の高い消費者ほど、購買意志が強いことがわかる。また、自治会行事参加頻度の高い者は、自治会行事への参加を通じて、集落内で多様な人間関係を築いているという意味で、内部結束型の社会関係資本を蓄積している者とみなせる。そして、自治会行事への参加を通じて、内部結束型の社会関係資本を蓄積している者ほど、ゆりかご米の購買意志が強い。これは、消費者が集落内での多様な人間関係を形成することによって、ゆりかご水田に関する単なる認知だけでなく、ゆりかご水田取組農家の姿勢やゆりかご水田の社会的背景等に関する情報にふれる機会の増加を通じて、ゆりかご米の購入といった形で、ゆりかご水田の支援を行うためと推察される。他方、生き物観察会への参加は必ずしもゆりかご米の購買意志の喚起に結びついていない。また、(2)・(3)の結果と同様に、ゆりかご水田を認知している消費者はそうでない消費者と比べて、ゆりかご米の購買意志が強い。こうしたことから、消費者へのゆりかご水田の取り組みに関する情報提供を通じた、当該米の需要拡大の可能性が示唆された。さらに、表(5)-7、表(5)-8の結果をもとに、農家の取組確率と消費者の購買確率の関係を示したのが、図(5)-5である。

図から、分析に用いたサンプルのゆりかご水田取組農家率56%を実現するために生産者が受け取る米価（以下、生産者米価）は、13,583円/60kgであり、このとき消費者が支払う米価（以下、消費者米価）は2,264円/5kgで、21.7%の消費者がゆりかご米を購入することを示している。

ゆりかご水田のさらなる展開に向けて、対象地域において、仮に、ゆりかご水田の取組農家率を80.0%に高めようとする、生産者米価は15,374円/60kgに高まる必要がある。調査時の対象地域における慣行米の生産者米価が12,000円/60kgであることを考慮すると、約28.1%の価格プレミアムを実現する必要がある。ただし、このとき、消費者米価は2,562円/5kgに上昇し、消費者の購買確率は9.8%に低下する。

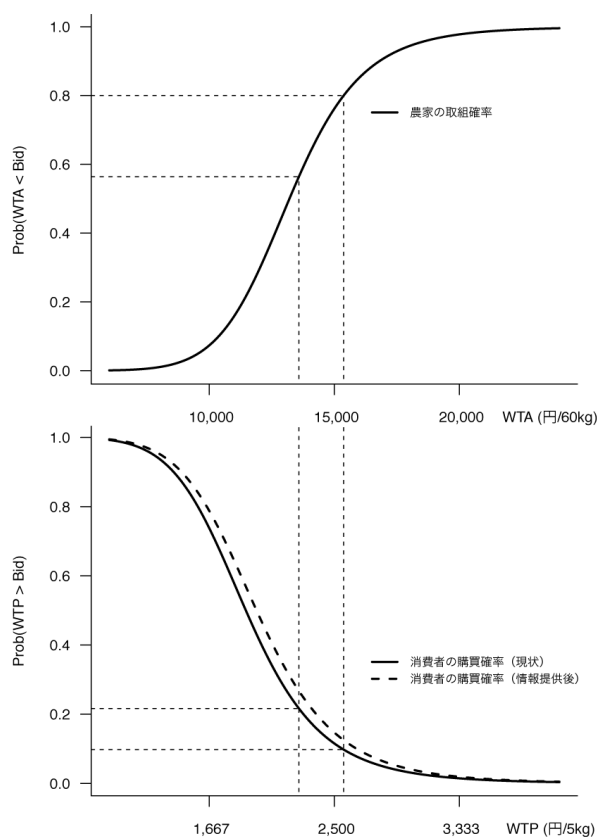
さらに、ゆりかご水田の取組内容の消費者への周知が、ゆりかご米の購買確率に及ぼす影響を検討する。全ての消費者にゆりかご水田の取

表(5)-8 消費者の購買意志の規定要因

	係 数	標準誤差
定数項	53.430	7.350 ***
提示米価（対数）	-7.571	0.974 ***
性 別	0.898	0.481 *
年 齢	-0.170	0.181
世帯年収	0.634	0.260 **
自治会行事参加頻度	0.608	0.301 **
生き物観察会	0.434	0.463
知識（名前）	2.558	1.231 **
知識（名前＋内容）	2.878	1.258 **
集落ダミー	Yes	
平均WTP	1,910.35	
サンプル数	136	
対数尤度	-152.295	

資料：表(5)-7に同じ。

注：表(5)-3に同じ。



図(5)-5 農家の取組確率と消費者の購買確率

資料：西村他¹³⁾

注：上段・下段の横軸は、それぞれ農家の受取意志額（WTA）と消費者の支払意志額（WTP）を表す。また、生産者・消費者間の価格差には、農協経由による米販売に要するマージンが考慮に入れられている。

組内容を周知した場合の購買確率を図下段の破線として示す。たとえば、消費者米価が2,264円/5kgのとき、情報提供によって購買確率は21.7%から26.7%に高まり、消費者米価が2,562円/5kgの場合には、購買確率は9.8%から12.5%に高まることがわかった。これより、消費者への取組内容の周知による需要拡大は、価格プレミアムの確保とあわせて、保全型農業の展開を図るための条件の一つとしてあげることができる。

(4) まとめ

本研究では、琵琶湖湖辺域の水田地帯に展開されている、魚のゆりかご水田を主な対象とし、社会関係資本が果たす役割に着目しつつ、水田地帯における生物多様性保全に配慮した農業（以下、保全型農業）の展開に要する経済的条件を検討した。具体的には、①保全型農業の普及・展開条件の検討や慣行農業と保全型農業の経済的成立条件の比較、②保全型農業によって生産された農産物（以下、保全型農産物）の需要条件の検討を行った。本研究によって得られた結果を概括すると、以下のとおりとなる。

第一に、集落における社会関係資本の醸成や保全型農産物の高付加価値化やブランド形成による価格プレミアムの確保が、水田地帯における保全型農業の展開に重要な役割を果たすことを明らかにした。

第二に、消費者・農家間のネットワークの形成をはじめとする社会関係資本の醸成が、保全型農産物の需要拡大に寄与することを明らかにした。また、保全型農業の取組内容の周知やそうした農業が有する生物多様性保全機能に対する肯定的評価を獲得するための情報周知が、保全型農産物の需要拡大に寄与することも明らかにした。

最後に、本研究で得られた政策的含意は次のとおりである。一つ目として、構成員が多様化する傾向にある農業集落において、社会関係資本の醸成に寄与する施策の実施、たとえば、寄合や共同行動を促進する制度の設計が、保全型農業の展開にも寄与すると考えられる。二つ目として、保全型農業が展開し、生態系サービスによる便益の向上を図るためには、保全型農産物の高付加価値化や需要の拡大を実現するために、消費者への情報の周知や消費者と生産者間のネットワークの形成を促すための施策の実施もあわせて必要とされよう。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究では、農家調査、消費者への質問紙調査ならびに経済実験を通じて、生物多様性保全に配慮した農業の普及、生物多様性保全に配慮して生産された農産物の消費行動に社会関係資本が果たす役割を検討した。そして、当該農業の普及促進には、生産者間の情報交流促進等を通じた社会関係資本の蓄積や当該農産物の高付加価値化が必要とされるといった、環境政策の展開に資する政策的含意を得た。以上のように、本研究では、生物多様性保全に配慮した農業の持続的な展開に向けた社会関係資本の果たしうる役割の評価を行い、政策的含意を得ることで、一定の科学的成果を得た。

(2) 環境政策への貢献

本研究の研究成果の一部は、滋賀県豊かな生きものを育む水田づくり専門委員会、滋賀県魚のゆりかご水田推進協議会、近江八幡市環境審議会、近江八幡市環境基本計画評価委員会や環境基本計画策定委員会などにおいて、滋賀県や市町における政策立案の基礎資料として関係職員に提供された。また、シンポジウム「農業環境政策と農村のサステナビリティ」（2010年3月6日開催）や「水田の生態系と社会とのつながり」（2012年3月3日開催）において、本研究の研究成果の一部を紹介し、滋賀県における環境政策立案の基礎資料として滋賀県庁に提供された。

6. 国際共同研究等の状況

農業環境政策に関する研究情報提供ならびに研究協力、JunJie Wu・オレゴン州立大学・アメリカ経済実験の設計に関する研究情報提供、Uwe Latacz-Lohmann・ケンブリッジ大学・イギリス欧州における生物多様性保全農法の普及に関する情報提供、佐々木宏樹・OECD・フランス

7. 研究成果の発表状況

（１）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 藤栄剛、井上憲一、岸田芳朗：地域学研究, 40(2), 397-412 (2010)
「農法普及における近隣外部性の役割－合鴨稲作を事例として－」
- 2) 西村武司、吉野章：2010年度日本農業経済学会論文集, 236-243 (2010)
「生物多様性保全農産物に関する消費者の意識と行動に基づく消費者セグメンテーション」
- 3) 藤栄剛、松下京平：環境情報科学論文集, 24, 119-124 (2010)
「経済実験によるソーシャル・キャピタルの定量化－表明選好データとの比較」
- 4) 松下京平、藤栄剛：環境情報科学論文集, 24, 267-272 (2010)
「農業生産性の向上か生態環境の保全か－消費者のリスク選好と時間選好に着目して」
- 5) 西村武司：農林業問題研究, 47(1), 78-83 (2011)
「生物多様性に配慮した農業の普及過程と各集落の取り組み水準」
- 6) 西村武司、松下京平、藤栄剛：フードシステム研究, 18(4), 403-414 (2012)
「生物多様性保全型農産物に対する消費者の購買意志－消費者特性の把握と知識の役割－」
- 7) 西村武司、松下京平、藤栄剛：環境科学会誌, 25(3) (2012)
「生態系・環境保全型農産物の価格プレミアムの決定要因：滋賀県における魚のゆりかご水田米を事例として」（掲載予定）
- 8) K. KAWASAKI, T. FUJIE, K. KOITO, N. INOUE and H. SASAKI: Environmental and Resource Economics, (2012)
“Conservation Auctions and Compliance: Theory and Evidence from Laboratory Experiments” (in press)

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 西村武司：滋賀大学環境総合研究センター研究年報、7(1), 29-37 (2010)

「農業における外来種問題－施設栽培におけるマルハナバチの利用」

- 2) 西村武司：滋賀大学環境総合研究センター研究年報、8(1), 103-111 (2011)

「滋賀県の魚のゆりかご水田米に対する消費者の認知度」

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 藤栄剛、井上憲一、佐々木宏樹、川崎賢太郎、小糸健太郎：環境経済・政策学会2009年大会 (2009)
「環境保全型農業の採択と危険回避度・時間割引率」
- 2) 川崎賢太郎、藤栄剛、小糸健太郎、井上憲一、佐々木宏樹：環境経済・政策学会2009年大会 (2009)
「オークション型環境支払とコンプライアンス行動：理論分析と経済実験」
- 3) 西村武司、吉野章、藤栄剛：2010年度日本農業経済学会大会 (2010)
「生物多様性農産物に対する消費者意識と購買行動－滋賀県の魚のゆりかご水田米を事例として－」
- 4) K.KAWASAKI, T.FUJIE, K.KOITO, N.Inoue and H.Sasaki : Agricultural and Applied Economics Association Annual Meeting, Denver, USA, 2010
“Conservation Auctions and Compliance: Theory and Evidence from Laboratory Experiments.”
- 5) K.TANAKA. and J.WU : Agricultural and Applied Economics Association Annual Meeting, Denver, USA, 2010
“A Spatial Analysis of Land Use Change and Water Quality in Lake Biwa, Japan.”
- 6) K.TANAKA, J.WU. and K.KURIYAMA: Western Economic Association International 85th Annual Conference, Portland, USA, 2010
“Managing Urban Runoff and Lake Water Quality Through Land Use Regulations.”
- 7) H.SASAKI, T.FUJIE, K.KOITO, N.INOUE. and K.KAWASAKI: 120th European Association of Agricultural Economists Seminar, Crete, Greece, 2010
“Auctioning Conservation Contracts and Evaluating the Risk Attitudes of Farmers: Economic Experiments in Japan.”
- 8) 藤栄剛、松下京平：環境情報科学センター第24回環境研究発表会 (2010)
「経済実験によるソーシャル・キャピタルの定量化－表明選好データとの比較」
- 9) 松下京平、藤栄剛：環境情報科学センター第24回環境研究発表会 (2010)
「農業生産性の向上か生息環境の保全か－消費者のリスク選好と時間選好に着目して」
- 10) 西村武司：第60回地域農林経済学会大会 (2010)
「生物多様性に配慮した農業の普及過程と集落間格差」
- 11) 西村武司、松下京平、藤栄剛：2011年度農村計画学会春期大会学術研究発表会 (2011)
「生態系および環境に配慮して生産された米の価格プレミアム－滋賀県における魚のゆりかご水田米を事例として－」
- 12) 西村武司、松下京平、藤栄剛：2011年度日本農業経済学会大会 (2011)
「生物多様性に配慮した農業の展開条件－滋賀県における魚のゆりかご水田を事例として－」
- 13) 西村武司、松下京平、藤栄剛：2011年度日本フードシステム学会大会 (2011)
「生物多様性保全型農産物に対する消費者の購買意志－消費者特性の把握と知識の役割－」

- 14) 西村武司：第61回地域農林経済学会大会（2011）
「施設栽培トマトの花粉媒介昆虫としての在来種マルハナバチ採用の要因分析」
- 15) 藤栄剛：滋賀県魚のゆりかご水田大交流会（2011）
「魚のゆりかご水田をとりまく消費者と生産者の視点」
- 16) 藤栄剛：滋賀大学環境総合研究センター第8回年次シンポジウム（2012）
「生態系に配慮した農業の展開条件」
- 17) 藤栄剛：日本生態学会第59回全国大会（2012）
「生態系ネットワーク保全のための社会経済条件」

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない

（４）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) 島根大学生物資源科学部地域開発科学科農林・資源経済学講座セミナー（2010年2月18日、島根大学生物資源科学部地域開発科学科、参加者約20名）
- 2) 農業環境政策と農村のサステナビリティ（2010年3月6日、草津市立市民交流プラザ大会議室、観客約60名）
- 3) 島根大学生物資源科学部地域開発科学科農林・資源経済学講座セミナー（2011年2月15日、島根大学生物資源科学部地域開発科学科、参加者約15名）
- 4) 島根大学生物資源科学部地域開発科学科農林・資源経済学講座セミナー（2012年2月14日、島根大学生物資源科学部地域開発科学科、参加者約15名）
- 5) 水田の生態系と社会とのつながりを考える（2012年3月3日、コラボしが21、観客約50名）

（５）マスコミ等への公表・報道等

- 1) 京都新聞（2012年3月4日、全国版、2012年3月3日開催のシンポジウム「水田の生態系と社会とのつながりを考える」の概要が紹介された。）

（６）その他

特に記載すべき事項はない

8. 引用文献

- 1) TEEB：The Economics of Ecosystems and Biodiversity: An Interim Report (2008)
- 2) 永田恵十郎：地域資源の国民的利用、農山漁村文化協会、(1988)
- 3) OECD：OECD Environmental Performance Reviews: Japan 2010. OECD Publishing (2010)
- 4) 滋賀県：魚のゆりかご水田米の名称使用に関する要綱、(2007)
- 5) 西村武司、松下京平、藤栄剛：環境科学会誌, 25(3) (2012)
「生態系・環境保全型農産物の価格プレミアムの決定要因：滋賀県における魚のゆりかご水田米を事例として」（掲載予定）

- 6) 西村武司、松下京平、藤栄剛：フードシステム研究, 18(4), 403-414 (2012)
「生物多様性保全型農産物に対する消費者の購買意志－消費者特性の把握と知識の役割－」
- 7) 堅田恵、田中裕人：農業情報研究, 17(1), 6-12 (2008)
「トキの野生復帰を目的とした減農薬・減化学肥料栽培米の評価に関する研究」
- 8) 矢部光保、林岳：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌, 66(2), 21-32 (2011)
「生きものブランド米における生物多様性の価値形成」
- 9) 養父志乃夫：田んぼビオトープ入門－豊かな生きものがつくる快適農村環境－、農山漁村文化協会、(2005)
- 10) 西村武司：農林業問題研究, 47(1), 78-83 (2011)
「生物多様性に配慮した農業の普及過程と各集落の取り組み水準」
- 11) 大沼あゆみ、山本雅資：三田学会雑誌, 102(2), 191-211 (2009)
「兵庫県豊岡市におけるコウノトリ野生復帰をめぐる経済分析－コウノトリ育む農法の経済的背景とコウノトリ野生復帰がもたらす地域経済への効果－」
- 12) 藤栄剛、井上憲一、岸田芳朗：地域学研究, 40(2), 397-412 (2010)
「農法普及における近隣外部性の役割－合鴨稲作を事例として－」
- 13) 西村武司、松下京平、藤栄剛：農村計画学会誌
「生物多様性に配慮した水田農業の展開条件－農家と消費者の意志に着目した滋賀県の事例分析－」（投稿中）

(6) 水田地帯の生物多様性保全を効果的に進めるための社会的条件に関する研究

滋賀県立琵琶湖博物館

楊平（平成23年度 サブテーマ代表者）

熊本大学文学部

牧野厚史（平成21－22年度 サブテーマ代表者）

<研究協力者>

滋賀県立琵琶湖博物館

柏尾珠紀

大阪産業大学人間環境学部

川田美紀

早稲田大学人間総合研究センター

平井勇介

早稲田大学大学院人間科学研究科

金子祥之

平成21～23年度累計予算額：15,463千円

（うち、平成23年度予算額：4,518千円）

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】 現代日本の生物多様性保全にとって農村の水田地帯は野生生物回復の重要な場所だが、水田地帯を維持してきた農家の多くは農業の近代化によって、自らの生活から生物を遠ざけてきたという経緯がある。にもかかわらず、ある程度のまとまった数の農家が野生生物の回復に自発的に参加しているとすれば、そこに生物多様性保全に農家が無理なく参加することができる社会的な仕組みが見いだせるはずである。本研究班では、その事例として滋賀県の琵琶湖湖岸域地区で展開されている「魚のゆりかご水田プロジェクト」に注目し、政策に参加する農家の生活構造（農家自身の視野からみた社会関係や物財の組み立て方）や文化的なバックグラウンドをも加味した地域調査を実施した。その結果、この政策がある程度の定着をみた要因として、①集落という農村の既存の組織を実行単位としたことが、集落における農家の社会参加要件に変化をもたらし、農家の参加意欲を活性化させたこと、②ニゴロブナという住民生活にとってなじみ深い生物が環境アイコンとしての機能を果たしたことが集落の合意形成を促進する機能をはたしたことが明らかになってきた。ただ、ケーススタディ的研究は、ともすれば地域研究に終始しがちである。そこで、本班では、モノグラフ研究から抽出された農家の参加要件の特定に努めると共に、同じように集落単位での稲作農業が行われている中国太湖地域との比較を試みた。その結果、中国においても水田地帯は急速に変貌を遂げているが、他面、人々の生活は水辺の生物利用と密接にかかわっており、環境アイコンという発想は日本以外の水田地帯にも応用可能である、という見通しを得た。

【キーワード】 環境アイコン、琵琶湖、ニゴロブナ、集落、「魚のゆりかご水田プロジェクト」

1. はじめに

アジア・モンスーン域の水田地帯は、稲作以外にも様々な生物資源の利用がみられた地帯である。なかでも湖沼に隣接する低湿な水田地帯は、生物資源利用の濃厚な場所だったし、そのような利用の仕方は結果として生物多様性の維持につながった可能性が高い。しかし、現代ではそのような利用の仕方は、アジアの各地域でも急激に変化しつつある。

一方、高度成長期以降、生物資源の利用が著しく減少した現代の日本では、資源の回復とは全く異なる生物多様性再生が各地の水田地帯で進められるようになっている。それらの特色が強くあらわれているのは、たとえば豊岡でいえばコウノトリ、佐渡でいえばトキなどの地域の生態系を代表する特徴的な生物の存在である。また、滋賀県琵琶湖の隣接水田で実行されている琵琶湖魚類の遡上と産卵を促進する「魚のゆりかご水田プロジェクト」では、琵琶湖固有種のニゴロブナがそれに該当する。

ただ、それらの生物種は、いったん農村の生活から離れてしまった対象である。したがって、生物種の側の一方的な保全事業では、地元農村の人々に様々な矛盾をもたらすことも予想される。だが、実際には生物の保全の現場では、詳細にみれば様々な考え方の違いはあるせよ、農家を含めた多数の人々が参加しているという事実がある。このような事実は、農家が無理なく参加できる生物多様性再生という本研究の主旨にとって重要である。

なぜそれらの生物が、農家を含めた人々を動かす力を持つのか。この点に関連して、生態学研究者の佐藤哲は「環境アイコン」という興味ぶかい概念を提起している¹⁾。佐藤によれば、環境アイコンとは「特定の自然環境を象徴する野生生物や生態系で、その保全ないし再生に多様なステークホルダーが強い関心を示し、環境アイコンを中心として自然環境に関する多様な活動が起こる可能性のあるもの」と定義している。

この佐藤の定義は、生物が人間たちを動かすという保全の現場のリアリティを踏まえている点で有用である。ただ、環境アイコンを用いて、水田地帯の担い手である農家が何を実現しようとしているのかについては、今後の課題として残されている。

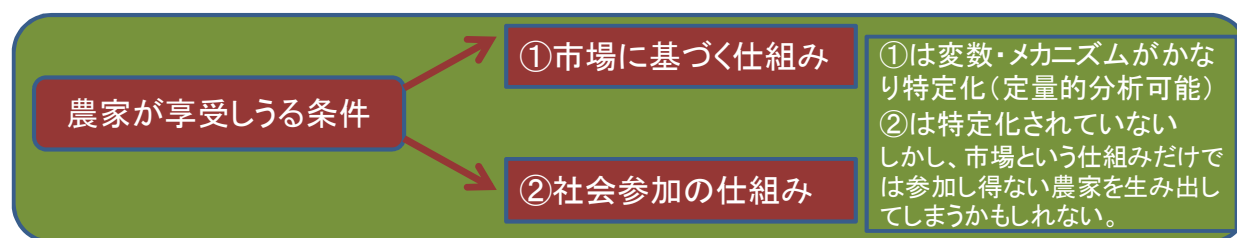
本最終報告では、佐藤の「環境アイコン」という発想に示唆を得て、滋賀県が琵琶湖に隣接する水田地帯において2005年より本格的に始めた「魚のゆりかご水田プロジェクト」を対象として行ってきた研究成果から、i) 水田地帯での生物多様性保全における地域特性把握の重要性、ii) 農家にとっての集落という社会参加の仕組みの重要性、iii) 環境アイコンという発想の海外での応用可能性という3点について提起する。

2. 研究開発目的

本研究の最終的な目的は、水田地帯の生物多様性保全を効果的に進めるための条件を明らかにすることである。その場合の条件は、本研究の枠組みでは、経済的な条件と社会的な条件に大別できる。経済的な条件とは、高付加価値米の生産・流通など、個々の農家が市場に参加してサービスを享受できる仕組みである。この仕組みは、変数やメカニズムがある程度特定できており、定量的研究がしやすいというメリットがある。

しかし、水管理など共同作業の比重が大きい稲作農業では、個々の農家の享受条件の強化のみに特化した場合、経済的メリットを十分享受しえない多数の中小規模農家等の参加を妨げ、多様性保全の実効性をそこなう恐れがある。そこで、経済的なメリットがそれほど大きくない中小規模

農家もサービスの享受者として無理なく参加しうる社会参加の仕組みも併せて強化発展させる必要がある。



図(6)-1 サブテーマ6の研究開発目的

その際、本研究が主眼を置いたのは集落という参加の単位である。集落が農家による生産と生活の保全にとって重要な意味を持つということは日本の農村社会学ではいわば常識的な指摘だが、農家が集落の少数派となっている現代農村で、どこまで水田地帯の保全にとって有効な役割を集落が果たせるかは論争的な課題となっている。

そのため、本研究では、琵琶湖湖岸域の水田地帯で集落を単位として行われている生物多様性再生（「魚のゆりかごプロジェクト」）を事例とし、集落ごとのケーススタディを積み重ねてきた。それらの研究から得た知見としては、琵琶湖湖岸域の場合には、現代の集落は生物多様性保全という新しい活動の場合においても農家の基本的な参加の仕組みとなっていること。さらに、平井は、集落が強く水田に介入することによって、個々の農家の所有地である水田がコモンズとして性質を持つ場合があるという事実とその論理を明らかにした²⁾。また、楊平による中国太湖湖岸域農村のフィールドワークでは、やはり集落が農村における農民の生産と生活の保全にとって重要な組織であることが示されている。

ここでの目的は、それらの研究成果を踏まえて、農家の視野からみた場合の集落という参加の仕組みを、農家の活動への参加要件として抽出することである。さらに、i 水田地帯での生物多様性保全における地域特性把握の重要性、ii 農家にとっての集落という社会参加の仕組みの重要性、iii 環境アイコンという発想の海外での応用可能性という3点について提起する。

3. 研究開発方法

（1）方法の概要：琵琶湖地域というフィールドへの集中と海外調査

本研究では、現代琵琶湖に面した水田地帯に絞って、そこで展開されている生物多様性保全の活動を分析対象とすることにした。

2005年から琵琶湖の湖岸域の水田では「魚のゆりかご水田プロジェクト」という名称で農家による水田での生物多様性再生が本格的に始まっている。滋賀県によって開始されたこのプロジェクトは、合理化された現代の水田や水路が、産卵のために湖から定期的に湖岸域の水田に遡上するニゴロブナ、マナマズなどの魚類の行動を妨げることに注目し、湖と水田を接続する水路の形状の小規模な変更や様々な農法上の改善によって魚類の侵入を容易にする施策である。政策は特定種の保全ではなく水田の生態系回復に焦点を置いているが、一般の人には琵琶湖の固有種ニゴロブナ再生というイメージが強い。このプロジェクトは集落を単位として進められており、平成

22年度には湖岸域27の集落、約100haの水田で実施されるまでになった。

この施策は、次の3点の特徴を有している。

- 1) 政策の実施規模や活動の持続性をみても琵琶湖の湖岸域における生物多様性再生活動としての一定の広がりや定着がみられること。
- 2) この施策には、農家の参加にとって、豊岡のコウノトリ、佐渡のトキと同等の機能が想定されるニゴロブナという琵琶湖の固有種が重要な役割を果たしていること。
- 3) 小規模農家を含む多様な農家が集落という単位で多様性保全の活動に参加しており、日本と同じように集落という単位がみられる地域にもある程度適用可能なデータの収集が可能であること。

本サブテーマでは、この活動を事例として集中的な研究調査を実施し、国内外の事例と比較することにより社会的参加の仕組みを明らかにする方法をとった。

(2) 集落が内包している参加要件の分析

この「魚のゆりかご水田プロジェクト」想定地域とされている、現在の湖岸域から1km以内でB.S.L.1.2m以内という条件の水田を抱える集落は93集落であり、約2/3の集落は実施していない。また、実施していてもやめる集落もある。このように、やめる集落はもちろん実施するかしないかは集落の判断にまかされており、活動実施には集落農家の意向や集落ごとの参加要件の状況が反映されていると考えられる。

そこで、「魚のゆりかご水田」実施集落についてのフォーカス・グループインタビューや、すでにあげたケーススタディをもとに、農家が無理なく生物多様性保全に参加できることを目標として、農家の視野からみた参加要件の抽出を行った。抽出されたのは、以下の10要件である。この10要件をもとに、参加集落のなかから3集落を選んで、農家に調査票を用いた面接調査を行った。

(個人・世帯レベル)

- i) 生息環境としての水田の可能性→魚類等の生物生息環境となる可能性はあるか？
- ii) 生物への関心をもつ個人（農民）の存在
→個人として水田地帯の生物に関心を持つ農民がいるか？
- iii) 集落内高齢者の資源利用の体験と記憶
→生物資源を利用していた高齢者の体験や記憶を生かせるか？
- iv) 多世代同居・世帯規模大な農家存在
→追加的に水田に労働投下できる余力ある農家はあるか？

(集落レベル)

- v) 高付加価値米流通による農家経済的利益→個々の農家が利益を享受できる可能性はあるか？
- vi) 環境直接支払い等の政策的経済利益→政策の利益を享受できる機会は全ての農家にあるか？
- vii) 意見を共有する有志集団の存在→個人としての農民の関心を話し合える仲間はいるか？
- viii) 排水路等を管理する組織としての集落機能
→集落内少数派となった農家集団は集落の決定に対し発言力を有しているか？
- ix) 農地は集落の土地であり集落の者が耕作すべき（総有規範）
→農家集団の合意によって集落の水田環境を制御できるか？

(集落～地域)

- x) 環境アイコン生物の存在
→集落のかなりの構成員が関心を共有できる生物がいるか？

（３）中国太湖付近の低湿地水田地帯調査

また、本プロジェクトでは、琵琶湖岸域の水田の保全と利用についての知見を国際的に活かす可能性を探るために、中国太湖付近の低湿地水田の利用について調査を実施した。

４．結果及び考察

（１）琵琶湖湖岸域の集落と水田地帯

「魚のゆりかご水田プロジェクト」を実施している集落は、琵琶湖湖岸域に立地している。そこで琵琶湖湖岸域の集落の水田について、集落カードを用いてその特徴をつかむことにした。1970年と2000年の二時点間の経営耕地面積計増減率、経営耕地田面積計増減率、借入耕地面積計増減率、借入耕地田面積計増減率で有意な差を確認した（いずれもノンパラメトリック検定、 $p < 0.05$ ）。それらの結果から、i 滋賀県下の農業集落では湖岸域集落の水田面積の減少率は小さく、水田という環境を維持する農家の能力は相対的に高いと想定されること、ii 農家の水田維持能力は水田の借用を可能にする農家の社会関係に依存している可能性が高いという仮説を出した。

ところが、「魚のゆりかご水田プロジェクト」実施集落でのヒアリングでは、意外にも、地元農家は農業上の「担い手不足」を問題視していることがわかった。「担い手不足」は、通常、中山間地の耕作放棄地にみられるような土地に対しての担い手の不足を意味する。

たしかに、現代日本の農業で焦点化しているのは農業就業者の減少と高齢化である。全国的に見ても1960年には1500万人近くいた全国の農業就業者は2005年には350万人を割り込み、農業就業者に60歳以上の高齢者の占める割合は、2005年で約6割となった。滋賀県の農業就業者も全国的な動向とほぼ同じように減少し、2005年の農業就業者は約4万4千人、1960年のほぼ5分の1となった。また、全国と同じように就業者の高齢化も進んでいる。

このような農業就業者の減少に高齢化による営農規模の縮小が加わり、中山間地を中心に担い手のいない、いわゆる耕作放棄地が増加している。一方、滋賀県では耕作が放棄された農地はた

いへん少ない。農地のほとんどが水田であり、しかも平野部農村の多い滋賀県では、農地の規模拡大が容易であり、また拡大を望む農家がまとまった数でいるからだといわれている。ところが、「魚のゆりかごプロジェクト」に参加している集落で行った聞き取りでは、水田の担い手不足を集落の課題としてあげる農家が多かったのである。

そこで、「魚のゆりかご水田プロジェクト」実施集落（平成22年度27集落）について、湖岸集落の中での特徴の把握をセンサスデータ（『世界農林業センサス』の農業集落カード）を用いて営農上の条件の違いについての分析を試みた。湖岸域集落については、歴史的な条件を加味して、集落を加え実施集落を含む220集落を湖岸域集落とした。それらの集落について、農業集落データベースの項目（1970年と2000年の集計時に共通したデータ）を独立変数の候補（総農家、総戸数、非農家数、経営耕地面積計、経営耕地田のある農家数、借入耕地農家数、借入耕地面積、借入耕地田農家数、借入耕地田面積の9変数）とし、実施集落とそうではない集落について判別分析をおこなった（多重共線性に考慮して独立変数を選定）。その結果、「借入耕地田面積が大きい」ことが実施集落の特徴であることがわかった（図(6)-2）。

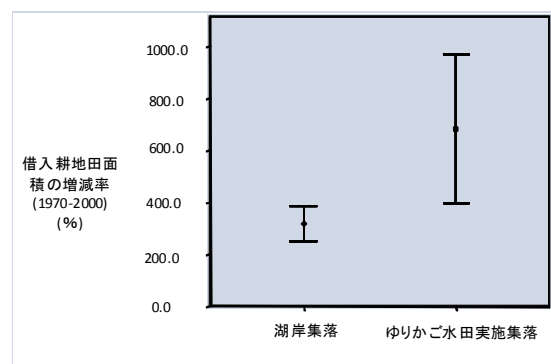
このように実施集落では、実施していない集落よりもむしろ水田の借り入れが活発である。つまり水田の担い手が不足しているわけではなさそうである。

つづいて、借入耕地面積の増減率がこの30年でどのように変化したのかについても、グループ間比較による分析を試みた。実施集落とそれ以外の湖岸農業集落のグループの借入耕地田面積の増加率平均をとり、比較をしたものが下のグラフである。ちなみに、1970年から2000年までの増減率は、1970年時点を100%として、2000年時点のパーセンテージを算出した。

この結果は、実施集落では実施していない集落よりも1970年から2000年までの実施集落での借入耕地田面積の増加が際だって大きかったことを示している。まとめると、実施集落では、1970年から2000年、つまり「魚のゆりかごプロジェクト」がはじまる直前までの時期、借入というかたちでの担い手はむしろ増加する傾向すらあったことがわかる。

にもかかわらず、地元農家が担い手不足を口にするのは、中山間地農村における農家の減少による担い手不足とは異なるタイプの担い手の不足が実感されているからだと考えられる。つまり、地元農家が語る「担い手不足」とは、農村社会学の研究史で言えば「総有」ともよばれる土地規範の下で出てくる、自分たちの集落における農家の不足という意味での担い手不足である。この「総有」という発想は、実際の現場では、集落の農地はその集落の者で利用するという考え方となるが、その本質は集落という社会関係の強力さにある。そのため、個々人の土地（所有地）という考え方よりも、集落の土地という考え方が表にでてきてしまうのである。実際「集落の農地は集落で守る」と語る農家は、実施集落では少なくなかった。

水田地帯における生物多様性再生は、一面において水田地帯という土地の新しい利用方法の考案である。したがって、「魚のゆりかご水田プロジェクト」が集落を単位としたことは、自然なことであった。そこで、大変強力な組織体である集落は、生物多様性再生への農家の参加にとってどのような役割を持っているの



図(6)-2 借入耕地田面積増減率における、湖岸集落とゆりかご水田実施集落のグループ間比較分析

だろうか。

（２）面接調査のデータからみた農家の参加要件

「魚のゆりかご水田プロジェクト」に参加した、あるいは参加していた集落から三つの集落を選び、調査票をもちいた面接式の半構造化調査を対象として行った。対象は地区農家で、野洲市のA集落、B集落、彦根市のC集落である。なお、この回収率は、A集落では全農家の85%、B集落では42%、C集落では74%（組合内）である。調査は2012年1月から2月にかけて実施した。以下では、その結果をもとに農家の参加要件についてみていきたい。

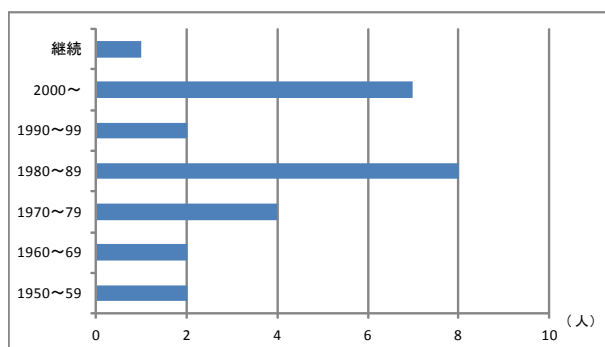
i) 「生息環境としての水田の可能性→魚類等の生物生息環境となる可能性はあるか？」

i)については「魚のゆりかごプロジェクト」を実施している集落では問題はないはずである。ただ、人間の側の都合からいえば、少しばかり悩ましい問題もある。魚類が水田に遡上してくるといっても、全ての水田に遡上するわけではないし、地形的に無理な場合もある。したがって、耕作している水田の場所によっては、遡上ということにこだわる限り参加できない農家がでてくることになる。

ii) 「生物への関心をもつ個人（農民）の存在→個人として水田地帯の生物に関心を持つ農民がいるか？」

生物多様性再生への参加は、生物に関心がなくてもできるし、そのような農家も少なくはない。しかし、関心ある人が全くいないということだと様々な困難が予想される。もっとも、経験的にいえばそのようなことはありえない。ii)についてもほぼ満たしていた。今でも投網を使って魚とりをしている、あるいは最近まで魚とりをしていたという農家もいた。さらに、自分の耕作する田のカブトエビの出方によって除草剤をまかないという農家や、除草剤ばかりだと根の張りが悪くなるのであえて草刈り機で草刈りをするという農家もあった。それらのことを考慮すると、iiの生物については、ある程度の関心をもつ農家がいることになる。

iii) 「集落内高齢者の資源利用の体験と記憶→生物資源を利用していた高齢者の体験や記憶を生かせるか？」



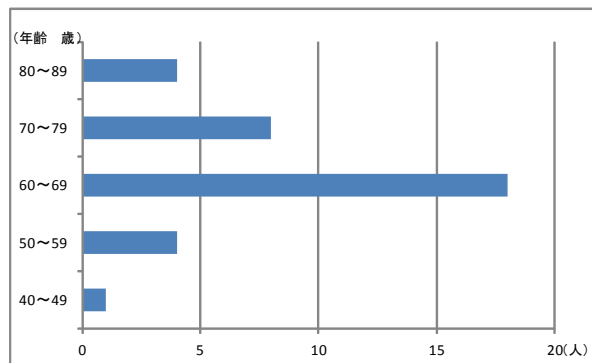
図(6)-3 フナズシ漬け込みをやめた時期（A集落）

※（不明）の二人を除く。

直接尋ねることはあまり意味がないので、高齢者の体験や記憶を重視し、フナズシのつけ込みについて尋ねることにした。湖岸域の集落では、自分でフナをとってきてスシを漬けこむことが多かった。フナズシの場合、漬けるのは男性である。フナズシの漬け込みは廃れていく傾向にはある。しかし、漁撈等の魚類と係わってきた体験や記憶をもつ人はまだ多い。

iv)「多世代同居・世帯規模大な農家存在→追加的に水田に労働投下できる余力ある農家はあるか？」

生物多様性の促進への参加には、多少なりとも労力が必要である。「魚のゆりかご水田」にはそれほどの負担はないと語る農家も多いが「手間がかかる」という農家もいる。そこで、この要件をいれた。ただ対象集落はプロジェクトの実施集落なので、ここではより広く農地を担う余裕



図(6)-4 年齢階層別農業従事者 (A集落)

※ (回答者のみ) 農林業センサスの定義ではない。

があるかどうかを尋ねた。地域の営農状況によって事情に違いがあるが、ここではA集落の農家の例で説明しよう。ちなみに面接した地区農家の約61%の方は多世代同居世帯で、平均世帯員数も4.7人と多い。図は、地区農家(回答者)の年齢構成である。このなかでは、60未満の方はほぼ会社勤め等で余力がないという回答であった。これに対して、60代前半の農家のなかには「農地を増やしたい」、あるいは地区の人に頼まれたら「引き受ける」と答えた方が5人いた。

このように要件iii)もほぼ満たしているといえる。

v)「高付加価値米流通による経済的利益→個々の農家が利益を享受できる可能性はあるか？」

要件ivでは、生物多様性再生に参加する大規模農家がしばしば行っている高付加価値米生産が可能かどうかをあげた。この要件については、満たす農家もいたが、農家によっては課題も抱えることになる。というのも高付加価値米を自分で本格的に販売するとすれば「粃すり機」、「乾燥機」、さらに倉庫が必要となる。その結果、それらの設備を持たない農家は、機械を所有している農家(多くは大農家)に借りることになる。しかし、収穫の時期が重なるので、借りることもなかなか容易ではないという説明だった。また「生産は共同できるが流通面の共同は無理」という意見もあった。さらに高付加価値米の直接流通には、在庫の管理、販路の開拓なども必要で、このような事情を考えると、設備に乏しい中規模農家が高付加価値米の生産販売に乗り出すにはかなり高いハードルがあることがわかる。

vi)「環境直接支払い等の政策的経済利益→政策の利益を享受できる機会は全ての農家にあるか？」

滋賀県は低農薬、低化学肥料による環境保全型農業のひとつである「環境こだわり農業」を推進している。一定の基準をみたし、農産物としての認証を受けると面積あたりで補助金が出る仕組みである。「魚のゆりかご水田プロジェクト」は、集落によっては実質的にこの環境保全型農業と連動していることも少なくない。このように、政策を組み直していく集落機能も生物多様性再生への農家の参加要件を左右する。

vii)「意見を共有する有志集団の存在→個人としての農民の関心を話し合える仲間はいるか？」

この点は「農業のことで質問できる方がいるか」という尋ね方をした。その結果、集落内部の有志集団の存在が確認できた。「魚のゆりかごプロジェクト」のような新たな事業が入ってくる

場合、通常はこのような有志集団での相談から始まる。したがって、このようなグループの存在も農家の参加要件としては重要である。

viii)「排水路等を管理する組織としての集落機能→集落内少数派となった農家集団は集落の決定に対し発言力を有しているか？」

ix)「農地は集落の土地であり集落の者が耕作すべき（総有規範）→農家集団の合意によって集落の水田環境を制御できるか？」

この二つの要件には密接に関連がある。耕作者で行う排水路等の管理は、同じ集落の農家で行う方が便利だからである。この点は、ここに取り上げた三つの集落のみではなく、「魚のゆりかご水田プロジェクト」を実施している集落の多くで課題として語られていた。

x)「環境アイコン生物の存在→集落のかなりの構成員が関心を共有できる生物がいるか？」

「魚のゆりかご水田プロジェクト」は、豊岡におけるコウノトリや佐渡におけるトキの復帰とは異なる点がある。それは、政策の上では特定種を強調していないことである。すなわち、あくまでも目標は、「魚類の繁殖の場」としての水田の生態系の再生である。この点がトキやコウノトリの野生復帰とは違っている点である。

これに対して、すでにフナズシのところで記したように、フナの仲間、ことにニゴロブナは、湖岸域の農村の人々が古くから好んで食用にしてきた魚類である。また、産卵のために水田に遡上してくる行動生態を熟知している生物でもある。それは、すでに多くの研究が指摘しているように、琵琶湖岸の農村がエリ漁をみてもわかるように、一方でかなりの規模での漁撈を行う農村であったことと関係している。このように、ニゴロブナは、集落の構成員がほぼ全員知っている魚類であり、しかも関心を共有できる魚でもあった。

他方、この「魚のゆりかご水田プロジェクト」についての実証実験では、水田に投入する魚類としてニゴロブナが使われたし、この時期からニゴロブナについての生態学的研究も急速に進んだ。また、プロジェクトが本格的にはじまった2005年には、『滋賀県で大切にすべき生き物』（滋賀県レッドデータブック）に希少種として掲載され、2007年8月には環境省レッドリストに絶滅危惧種IB類として記載された。

それらの条件を考えると、ニゴロブナは、佐藤の指摘する環境アイコン生物としての特徴を備えるにいたったといえる。ただ、このニゴロブナという魚類の環境アイコン化は、環境アイコン化についての住民（農家）の参画という側面を教えるものである。

そこで、シナリオ提起という本研究の意図を踏まえ、次のように環境アイコン生物を定義することにしたい。環境アイコン生物とは、キーストーン種に加えて、住民、専門家集団、行政の相互作用の中で選択され、保全の多様な価値についてゆるやかに合意された、社会的に意味をもつ生物種と暫定的に定義できる。その成立要件は以下の3点である。

i) コミュニティにおけるかなり多数の住民が体験的にその生物の行動生態を知っており、その保全に関心を持った場合、住民たちが自らの課題解決と結びつけながら環境改善に着手することが可能なこと。

ii) 当該地域における生態系のキーストーン種となりうるものが生態学的に見てある程度の確度で実証されているか科学的に推論可能なこと。

iii) その生物の生息・生育環境の改善活動に地方自治体、政府の政策的バックアップが見込めること。

現在、環境アイコン生物成立についてのこの三つの要件を備えることができるのは、水田地帯を抱える国としては日本が最有力である。しかし、他のアジア諸国においてもニゴロブナと類似した生物は存在する。

（３）中国太湖周辺水田地帯調査

中国太湖（江蘇省、浙江省）は滋賀県琵琶湖の約3倍の面積をもつ湖で、周辺は水田地帯となっている。この湖は、漁撈はもちろん、大都市である無錫の水源などにも利用されている。ただし、平均水深は約2mと浅く、その貯水量は琵琶湖より少ない。そのため、周辺の水利用からの影響を受けやすい湖でもある。

その影響の一つに水質汚染がある。2007年5月に太湖では藻類（アオコ）が大発生し、無錫市では水道水を湖から取水できなくなったことはよく知られている。湖に流入する工業廃水や家庭排水（生活排水）、さらには養魚場からの排水が原因とされ、最近では農地に由来する農業排水も原因の一つに挙げられている。そのため、湖に隣接する地帯での稲作農業や内水面漁業への規制などが進行している。

このように水問題という観点から日本で紹介されがちな太湖であるが、湖周辺の自然資源利用は定量的には示せないものの、琵琶湖周辺よりも盛んであるという印象をもった。そこで、古典的な資源利用がみられる水郷集落に主な関心をおき、水田とその周囲で展開されている生業（養魚等）との関連、さらに、そこに関与してくる漁民との相互作用もまじえて、地域環境の維持システムに関する研究をまとめた。限られたデータからではあるが、琵琶湖地域および他地域の低湿水田利用との共通性もみられることが把握された。他方、その担い手の構造については、漁民と農民との社会的分業によって成立している中国江南湖沼の水田を含む水辺利用と、農民と漁民とが歴史的には分離されず一緒に集落を形成してきた琵琶湖等の日本湖沼の水田を含む水辺利用との差異を指摘した。

また、それらの調査を通して、複数の農村において、住民の記憶にある生物についての聞き取り調査を行った。太湖周辺の農村では、カニ、タウナギ、タニシ、ドジョウ、カエルなど、様々な生物をとって食用にしていたが、そのなかでも多くの村人が語っていたのが、夜家族で行くタウナギ漁であった。ただ、いずれの生物も今では減少しており、特に90年代に入ってからは何もないという状況になった地域もある。住民たちは、それらの生物の減少を農薬のためではないかと考えている。

それらの事実からコミュニティにおけるかなり多数の住民が体験的にその生物の行動生態を知っているという意味での環境アイコンの要件を、部分的にみたす可能性のある生物は太湖周辺にも存在していることがわかった。それらの事実および検討内容は、前節での環境アイコンの定義にもいかされている。

5. 本研究により得られた成果

（１）科学的意義

本研究の意義は、琵琶湖地域における事例調査で得たデータと照合しながら、集落という単位に備わっている農家の参加要件という形で生物多様性を促進する社会的条件を抽出できたことにある。カテゴリカルデータという形での参加要件の抽出は量的研究と質的研究との統合にとって不可欠なステップであり、今後、様々な応用が可能である。ことに、農家の参加要件としての環境アイコン生物の機能がある程度明らかにしえたことは、今後のソフトな環境政策を考える上でも重要な成果であると判断する。

また、本報告の一部は、西日本社会学会(2012年5月)、ならびに、IRSA(International Rural Sociology Association 13th World Congress of Rural Sociology, July29－August4 University Lisbon,2012)において、発表する予定である。

(2) 環境政策への貢献

高島市教育委員会が「高島市針江・霜降の水辺景観」保存活用事業のために組織した「高島市新旭地域のヨシ群落および針江大川流域の文化的景観保存活用委員会」に委員として本班のメンバーである牧野が参加した。その際、本研究の成果の一部を用いて水田を含む水辺景観についての集落住民へのワークショップ、ヒアリング調査、アンケート調査の設計・分析を行い、高島市による報告書『『高島市針江・霜降の水辺景観』保存活用事業報告書』(発行高島市 分担執筆6章-1,7章、附録を担当)の作成を通して同市の実施する文化的景観保存活用事業に貢献した。なお、「高島市針江・霜降の水辺景観」は、集落・河川・水田・ヨシ帯等が一体的な水環境をなす景観として2010年8月に文化庁により重要文化的景観として選定された。

滋賀県が提唱して開催した「世界の湖沼環境の保全に関する国際会議」以来、世界各地で2年ごとに実施されている世界湖沼会議(第13回世界湖沼会議「湖沼生態系の保全：世界の挑戦と中国の取組」および、第14回世界湖沼会議「湖沼、河川、地下水、海岸域の『つながり』を考える」に参加し報告を行なった(研究成果の公表6,7,9)。そのなかで、本研究の成果を軸とした水田の生物多様性回復活動を紹介するとともに、我が国の生物多様性回復における水田の位置づけについても世界に向けた情報発信を行った。

本班のメンバーである楊平と牧野厚史は滋賀県立琵琶湖博物館の学芸員であり(牧野は平成22年度まで)、滋賀県が行う環境政策に従事する立場にあった。その立場から、本研究を通して得た滋賀県における水田の生物多様性と人間との関係性に関する情報発信を通して政策に貢献した。主なものとしては、2010年に愛知県で開催された生物多様性条約第10回締約国会議(COP10)に関連する事業等である。そのなかでは公開シンポジウム「地域が担う水田地帯の生物多様性再生」(主催、環境省地球環境総合推進費D-906・名古屋大学大学院環境学研究科 2010年9月19日名古屋大学)のパネルディスカッション、さらに、日本環境動物昆虫学会市民公開セミナー(主催、日本環境動物昆虫学会 2010年11月23日滋賀県立大学)における講演などを通じて、本班の研究成果を社会に広く発信することにつとめた。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべきことはない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) P. YANG: East Asian Sociology of the 21st Century, Japan-China Sociological Society, No3. 194-202. (2010)
“Regional maintenance infrastructure of "waterside-Preservation of living environment by boat dwellers and farmers of Jiang Nan riverside district in China”
- 2) 楊平・用田政晴：生活文化史，第58号，3-12（2010）
「名水百選認定と農村水環境の歴史的保全。」
- 3) A. MAKINO and P. YANG: Asian Rural Sociology IV, Vol.2.284-289 (2011)
Analysis of the Social Conditions Conducive to Sustainable Organic Rice Farming Around Lake Biwa in Japan,
- 4) 楊平：日中社会学研究（2012）
「環境資源としての水を生かした村の実践—琵琶湖からみた太湖との比較研究の試み—」（印刷中）

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) P. YAN, Z. WEI, T. XIAO: IEEE PRESS 2011 International 2) Symposium on Water Resource and Environmental Protection ISWREP, Vol.04:2597-2600. (2011)
“Comparative environmental analyses of paddy fields in two lake catchment areas: Lake TaiHu China and Lake Biwa Japan”
- 2) P. YANG, Z. WEI, T. YUASA: 14th World Lake Conference @Austin, U.S. (2011)
“Maintenance and management of paddy fields for the conservation of the waterside ecotone.”
- 3) Y. HIRAI, A. MAKINO: 14th World Lake Conference @Austin, U.S (2011)
“An analysis of contribution factors for environmental protection policies to become established in the waterfront rice paddies of Lake Biwa in Japan”
- 4) 牧野厚史：環境昆虫 22, 201-205 (2011)
「琵琶湖岸の暮らしと生物多様性」

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 牧野厚史・楊平：第13回世界湖沼会議，（中国・武漢市、2009年11月4日）
“Is Large-scale Organic Rice farming around Lake Biwa Sustainable?”
- 2) A. MAKINO, P. YANG: アジア農村社会学会（フィリピン・ビコール大学、2010年9月8日）
“Analysis of the Social Conditions Conducive to Sustainable Organic Rice Farming Around Lake Biwa in Japan”
- 3) 牧野厚史：西日本社会学会第69回大会（島根大学、2011年5月21日）
「生活環境としての水田-日本琵琶湖と中国湖沼と関連づけながら」
- 4) 平井勇介：環境社会学会第44回大会（関西学院大学、2011年12月11日）
「自然環境保全とゴミ処理場の誘致—持続可能な地域計画の検討のために—」

- 5) 牧野厚史：環境動物昆虫学会特別講演会（滋賀県立大学、2010年11月22日）
「琵琶湖岸の暮らしと生物多様性」.

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（４）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

８．引用文献

- 1) 佐藤哲：環境社会学研究, 70－85,(2008)
「環境アイコンとしての野生生物と地域社会－アイコン化のプロセスと生態系サービスに関する科学の役割－」
- 2) 平井勇介：早稲田大学大学院人間科学研究科博士論文（2011）
「村落コミュニティの共存性と自然環境保全」

Assessment and Reinforcement of Natural and Social Capital for Biodiversity Restoration in Rice Paddy Ecosystems

Principal Investigator: Yoshihiro NATUHARA

Institution: Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-City, Aichi 464-8601, JAPAN

Tel: +81-52-789-4887 / Fax: +81-52-789-4887

E-mail: natu@info.human.nagoya-u.ac.jp

Cooperated by: Tokushima University, Ehime University, Shiga University, Lake Biwa Museum

[Abstract]

Key Words: Biodiversity, Paddy field, Natural capital, Social capital

Paddy fields are important for biodiversity, but the ecological mechanisms vary in different locations. We analyzed biological and social data to clarify such local characteristics. Using these findings, we developed methods to enhance the biodiversity of rice paddies. Simultaneously, we conducted rural surveys to clarify the conditions that allow biodiversity-conscious agriculture, and offered efficient assistance for local actions.

To develop methods for setting restoration goal with respect to spatially hierarchical structure, potential habitats of endangered hydrophytes were estimated in the national scale; setting 10 km mesh data of plants and environmental parameters within the mesh. Potential habitat maps were obtained for three groups of hydrophytes, and they clearly show the differences of habitats.

Taxonomy and ecology of “cryptic” paddy field organisms were investigated. More than 250 species of diatoms, 43 of gastrotriches, 40 of annelids, and 50 of small crustaceans were observed and some of them were new species. Diatom species composition was correlated with herbicide use. A top-down trophic cascade was observed in paddy fields into which larval fish (*Carassius*) were introduced.

Based on the distribution data of birds, amphibians, and freshwater fishes, habitat models were built to identify ecological networks. Population Viability Analysis was used to evaluate the effect of fragmentation and habitat deterioration. The environmental factors that affect populations of *Gentiana thunbergii*, *Ranunculus nipponicus* var. *submersus*, *Rana porosa* and *Ardea intermedia* were revealed by field surveys. Experiments for restoration of biodiversity in paddy area were conducted by monitoring aquatic species.

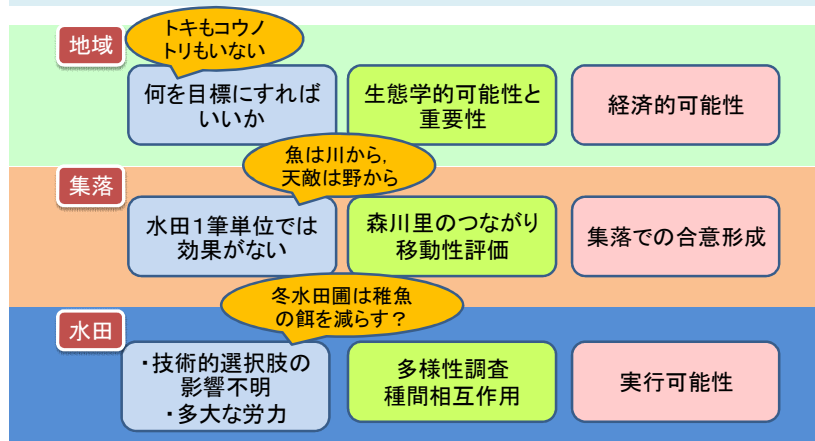
Using farm-household level data from rural communities near Lake Biwa and survey

data on consumers, we investigate the economic conditions for diffusing biodiversity-friendly farming in paddy fields, especially focusing on social capital. Our empirical findings suggest that the accumulation of social capital through the formation of close networks among producers and consumers, and adding high-value of biodiversity-friendly farming products contribute to diffuse such farming.

Social conditions for promoting biodiversity in paddy fields were examined. Several community surveys indicated that keystone species as environmental icons played an important role for farmers' participation in promoting biodiversity around Lake Biwa. This environmental icon approach may also be applied in the paddy fields around Taihu Lake in China.

These findings are important in (1) local biodiversity can be mapped simultaneously with the social conditions, (2) biodiversity in the paddy field is understood in the interspecific interaction level, (3) the direction of biodiversity-conservation policy was suggested from the economic and sociological analyses.

背景と目的: 生産の場での自然保護—環境アイコンの活用



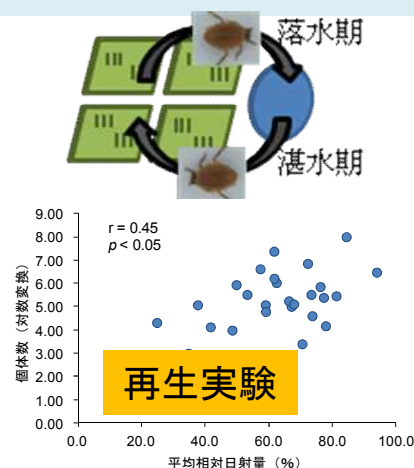
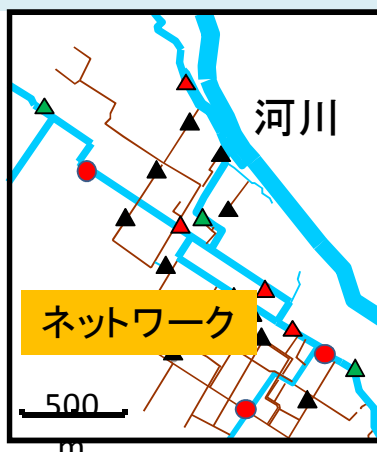
環境アイコン

人々がその保護に関心を示し、生態系全体の保全に関わる種や景観。地域での環境アイコンの発見を助け、生態系保全の技術と評価方法を提供する。

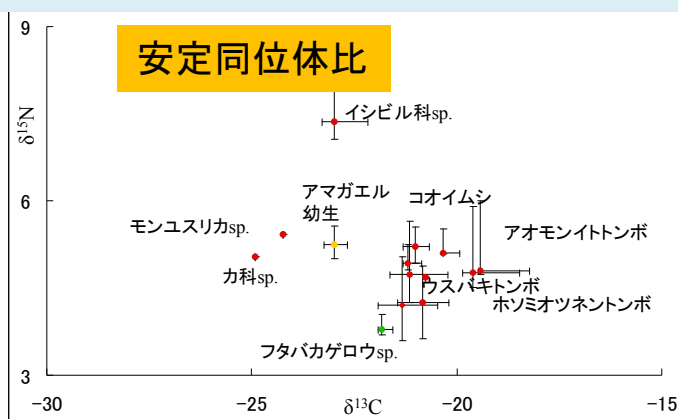
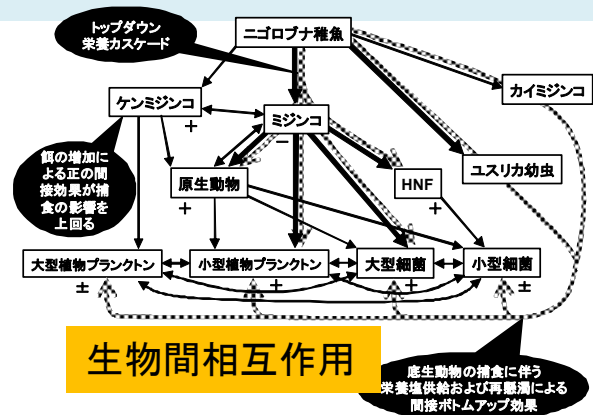
地域にふさわしい生物多様性をどう再生するか

全国スケールで生物多様性の再生のシナリオを考える場合、水田地域を類型化した地図が必要

- ☑環境省RL水生・湿性植物73種対象
 - ☑分布パターンに基づき、12種群にクラスタリング(生態学的類似性)
 - ☑Maxentによる9つの景観要因から潜在的生息域マップの作成
- 例) 強湿田～湿田地域←人工改変圧(宅地・道路建設)が高くリスクが高い



生態系へのインパクトは



成果の活用

田んぼの生きもの研究会の発足によるボトムアップ、自治体との協働による普及活動
 アジア諸国で環境配慮農業の実施のために必要な、目標設定、保全手法開発、合意形成までのプロセス手法の提供
 査読論文32報、国際誌での特集による情報発信
 里地里山保全・活用検討会議、ラムサール条約COP11への情報提供