

生物多様性保全・再生に関する研究

石川可奈子・酒井陽一郎・法理樹里¹⁾・東 善広・井上栄壮・永田貴丸・向井 徹²⁾

要約

生物多様性と生態系サービスの利用を次世代に継承するためには、生物多様性の主流化とともに保全活動の継続性を高める戦略展開が必要である。現在の生物多様性保全活動は、その効果を科学的に評価できていないため、継続的な活動の担保が難しい状態にある。そこで、本研究では、滋賀県の生物多様性低下にかかわる喫緊の課題に取り組み、長期的な展望で保全活動の科学的な評価手法と順応的に取り組みを推進する方策について検討した。

まず、侵略的外来植物の制御に関する研究では、外来のウスゲオオバナミズキンバイ（以下オオバナミズキンバイ）群落内の水生生物群集を調査したところ、在来のヨシ群落と比較して、在来水生生物の種数が減少していることが明らかになった。さらに、オオバナミズキンバイの駆除後のモニタリングでは、機械駆除だけでは再繁茂が見られたのに対し、人力駆除と巡回監視を併用した地点では再繁茂が抑制されていた。この結果からオオバナミズキンバイ再繁茂を抑制し、琵琶湖岸の生物多様性を維持するためには、機械駆除と人力駆除を併用した丁寧な駆除と、巡回・監視で低密度の状態を維持することが不可欠であることがわかった。

気候変動に伴う貧酸素が琵琶湖深湖底の希少野生生物への影響を把握する研究では、ROV（有索式水中ロボット）を使用して10年間にわたり底生生物をモニタリングした。2018年度、2019年度に2年連続して全層循環が見られなかったことから、2020年には無酸素水塊が第一湖盆に、貧酸素水塊が第二湖盆にまで拡大し、固有種のアナンデルヨコエビとビワオオウズムシの個体群密度が激減したことが明らかになった。2022年度末時点でこれらの2種の個体群密度は少ない状態が続いており、酸素が回復して2年を経過しても例年値にまで戻っていないことがわかった。近年の貧酸素水塊形成頻度の増加から、次に深刻な貧酸素になると、絶滅になりかねない危機的状況であると推察され、引き続き変動を注視する必要があると考えられた。

一方で、滋賀県内の生物多様性情報が分散している状況に対処すべく「滋賀県生きものデータバンク」の運用を開始した。専門家の高齢化、データ整理の手間、データ収集アプリの利便性の不足、生物データを報告する意識の低さ等が課題として浮かび上がった。データが集まりにくいことについて、専門家や行政のデータは組織での対応が必要で、県民調査は、デジタル技術の活用で、生物種の同定支援や分布情報の登録システムの利便性を向上させるべきと考えられた。

最後に、生物多様性の主流化に向けて、企業・事業体の貢献が期待されている。滋賀の生物多様性CSR活動（企業の社会的責任）は大企業に比べて中小企業への浸透が進んでいない実態があり、聞き取り調査、アンケート調査から、取り組み方法がわからないことや、インセンティブがわからないことが、原因であるとわかってきた。企業にとっての生物多様性保全の重要性の認識を高め、CSR活動の意義や実例を企業内外・企業間で広く普及・共有することが重要で、地域に根ざした企業特性を活かしながら地域全体で広報や啓発を進める必要があると考えられた。

1. はじめに

滋賀県では、生物多様性低下とその危機に対し、生物多様性地域戦略「生物多様性しが戦略」を策定（H27.3）し、「いのちの守り」という考え方を県民と共有することで、生物多様性の保全・再生に向けた取り組みを進めてきた。今後、生物多様性とその恵みである生態系サービスの利用を次世代に継承するためには、生物多様性の主流化とともに活動の継続性を高める戦略の展開が課題となる。しかし、現在、生物多様性保全活動の成果を科学的に評価できて

いないため、活動成果は見えにくく継続的な活動を担保しにくい状況である。当センターにおける生物多様性研究プロジェクトでは、第五期中期計画において、生物多様性保全・再生をめざした取り組みを広める方策検討や生態的知見を集積する技術開発を進めてきた。その中で、活動主体となるステークホルダーの実感が、次の活動に好循環をもたらすことがわかってきた。すなわち、活動の実感を得るための科学的な評価手法の検討と科学的知見を評価に組

1) 現・農林水産政策研究所 2) 北海道大学大学院水産科学研究院

み込む仕組みの構築が必要である。

また、滋賀の生物多様性を脅かす喫緊の課題（侵略的外来生物の拡大、気候変動による深湖底の貧酸素化にともなう底生生物への影響等）は、深刻さを増しており、いかに対応すべきか生態的知見の応用が求められている。

そこで、本研究では、喫緊の課題に対応するとともに、これまでの保全活動の実効性・継続性を高めるために重要となる科学的評価と順応的管理の導入に向けた方策について研究を行い、評価から改善へと繋げていくことを目指した。

2. サブテーマ 1 侵略的外来生物が生物多様性に与える影響

2.1. 背景と目的

ウスゲオオバナミズキンバイ (*Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala*: 以下オオバナミズキンバイ、図 2-1) は、中南米原産の沈水・抽水植物で、旺盛な栄養繁殖を行い、水上と水中に厚くマット状に繁茂する。このため、他の植物の生育を阻害する、水の流れを阻害し水中の溶存酸素を減少させる、船の航行の阻害になるなど、様々な生態的・社会的影響が懸念されている (EPP0 2011)。このため、オオバナミズキンバイは 2014 年 6 月に、「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律（外来生物法）」の定める「特定外来生物」に指定されており、現在は、その栽培・保管・運搬といった取り扱いが規制され、防除を行うこととされている（環境省 2023）。



図 2-1 石組み護岸に繁茂するオオバナミズキンバイとその花

滋賀県では、南湖東岸の赤野井湾において、2009 年に初めてオオバナミズキンバイが確認された。その後僅か数年で南湖湖岸を中心とした琵琶湖集水域の多くの地点に分布を広げており（上河原 2016, Hieda et al. 2020, 酒井 2020）、特定外来生物の指定に先駆けて、2013 年よ

り駆除が開始されている。現在では外来水生植物対策協議会を中心に、滋賀県、環境省、漁協や地域のボランティアなど、多くの人達が継続的に続けてきた駆除の努力により、「管理可能な状態」＝「年度当初から大規模な機械駆除を行う必要がある地点が無い状態」を維持している（滋賀県 2017）。

上記のように、オオバナミズキンバイは特定外来生物に指定されているものの、水域の環境や生態系に与える影響については、定量的な評価が少ない。いくつか存在する研究についても、その多くが夏期でも気温が 30℃に達しない、比較的涼しい侵入地域での研究であるため、元々の生育地である中南米や滋賀県とは大きく異なる環境である。このため、琵琶湖において効率的な駆除を展開し、琵琶湖集水域の生物多様性を保全する上では、滋賀県におけるオオバナミズキンバイの生態特性やその繁茂が環境や在来種に与える影響を明らかにし、それらに対応した駆除を行う必要がある。

そこで本研究では、オオバナミズキンバイの繁茂が琵琶湖水系の在来種やその生育環境に与える影響を評価するため、発達したオオバナミズキンバイ群落内と在来植生であるヨシ群落において、水生生物群集の比較を行った。また、季節別の生育状況と効果的な駆除手法の評価のため、異なる駆除条件下でのオオバナミズキンバイの繁茂状況をモニタリングし、駆除方法の評価と効率的な駆除手法の検討を行った。

2.2. 方法

2.2.1. オオバナ群落とヨシ群落における生物群集の比較



図 2-2 調査地：オオバナミズキンバイ群落とヨシ群落の位置図

オオバナミズキンバイ群落とヨシ群落における水生生物の採集は、琵琶湖南湖西岸に位置する山ノ下湾で行った（図 2-2）。滋賀県では琵琶湖外来水生植物対策協議会が中心となってオオバナミズキンバイの駆除を進めている

が、山ノ下湾では駆除が困難であるため、オオバナミズキンバイの繁茂拡大や流出を防止するフェンスが設置されている地点が存在する(図2-2)。このため、フェンスの内部はほぼ全面にわたってオオバナミズキンバイの群落は維持されている。本研究では、フェンスの内側をオオバナミズキンバイ群落、隣接したヨシの生育地をヨシ群落とし、それぞれの群落での生物相の比較を行った。

調査は2020年10月～2022年7月の隔月で、合計10回行った。魚類や底生動物などの水生生物の採集は、たも網(IS28F-1W-40:前幅28cm、網の深さ40cm、網目1mm、HOGA製)、刺し網(sn-27:1.5m×20m、0.4号9mm、三谷釣具製)、三枚網(sn-47:5節(2号36mm)1.5×21m、外網8号12cm、三谷釣具製)、もんどり(fn-23:全長45cm、高さ25cm、幅25cm、4mm目、三谷釣具製)を用いて行った。それぞれの採集時間は概ね30分実施した。一部の大型魚類は採集することができなかったが、目視にて確実に同定できた種については出現生物種とした。採取できた生物はポリ袋に入れて実験室に持ち帰り、同定・計数を行った。

水生生物の採取と同時に、水生生物の生息環境を明らかにするため、オオバナミズキンバイの繁茂状況と水温・溶存酸素濃度・濁度・電気伝導度などの水質データについて、多項目水質計(U52, HORIBA製)を用いて測定した。環境要因の測定は、それぞれの処理区内の定点3地点にて行い、測定水深は湖底直上(概ね10cm程度)とした。

2.2.2. 異なる駆除手法によるオオバナミズキンバイの再生と駆除効果の検証

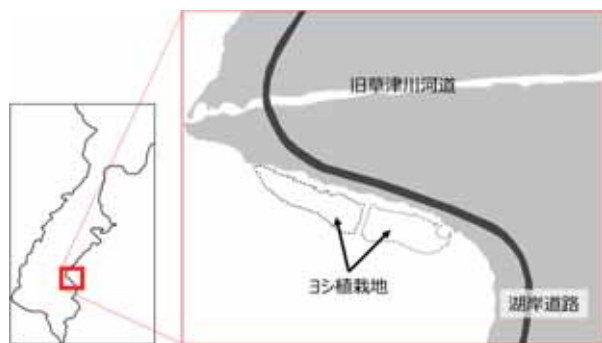


図2-3 北山田における調査地

オオバナミズキンバイの駆除手法の評価は、南湖東岸に位置する北山田地先で行った(図2-3)。調査地である北山田地先は、滋賀県水産課によりコイ科魚類の産卵環境の復元を目的としたヨシ植栽地が造成されており、オオバナミズキンバイは造成されたヨシ帯と湖岸の間の水域に侵入・繁茂している。本研究では、この水域で行われた機械駆除と人力駆除、および、駆除後の巡回監視による駆除の効果を検証した。

調査は2020年9、10、12月、2021年1、4、6、8、9、11月、2022年1、4、6月の合計12回行った。この期間において、調査地の西半分の水域では、2020年10月2日から3日、および、2021年11月に、水陸両用の水草刈取り船(図2-4)を使った機械駆除が行われた。また、調査地の東半分の水域では、2021年1月に外来水生植物対策協議会による対策業務でオオバナミズキンバイの人力駆除が行われ、駆除後の2021年4月以降は、1月もしくは2週間に1度(季節・年度により異なる)の巡回・監視が行われた。また、調査地の中央付近においては、再生したオオバナミズキンバイが拡散しないよう、流出を防ぐネットが設置され、調査地の西と東の水域は物理的に仕切られていた(図2-3)。このため、本研究においては調査地の西半分を機械駆除のみ区、調査地の東半分を人力駆除・巡回監視区とし、本調査の1回目である2020年9月を駆除前、人力駆除が完了し、オオバナミズキンバイが増殖を始める前の2021年4月を駆除後とし、その後のオオバナミズキンバイの再生・繁茂状況を評価した。



図2-4 機械駆除に用いられた水陸両用の水草刈取り船と駆除の様子

オオバナミズキンバイの繁茂状況は、ドローン(Phantom4Pro, DJI社製)を用いて空撮により行った。撮影を行った高度は、地上高50mおよび100m、飛行速度は4m/S、シャッター頻度は2秒間隔である。各調査での撮影では、地上の不動点が画像に収まるように行った。撮影した写真データは、MetaShape1.3(Agisoft社製)を用いて合成・オルソ補正を行い、1枚のオルソ画像を作成した。作成した各オルソ画像については、QGIS3.28.2(QGIS.org 2020)を用いて地上の不動点を基準に重ね合わせ、画像間の位置と歪みの補正を行った。各画像で認められたオオバナミズキンバイ群落について、QGISでポリゴンを作成し、その面積を算出した。

2.3. 結果と考察

2.3.1. オオバナミズキンバイ群落とヨシ群落で出現した生物の違い

発達したオオバナミズキンバイ群落とヨシ群落における生物分類群（便宜的に生物種とする）の出現リストを表2-1に示した。オオバナミズキンバイ群落では、ヨシ群落と比較して、特に甲殻類や貝類の出現種数が少なくなっており、固有種であるナリタヨコエビは2年間の調査を通じてヨシ群落でしか出現しなかった。また、在来種の種多様性はヨシ群落で高く、オオバナミズキンバイ群落の方が低かった。

表 2-1 オオバナミズキンバイ群落およびヨシ群落における生物種の出現状況。緑塗は固有種を赤字は外来種を示す。網掛けは各植生群落で全く出現しなかった種を示す。調査は2020年10月～2022年7月の隔月、合計10回行った。

| | 分類群名 | オオバナミズキンバイ群落での出現回数 | ヨシ群落での出現回数 |
|---------|-------------|--------------------|------------|
| 魚類 | コイ | 3 | 3 |
| | ギンブナ | 1 | 0 |
| | ニゴロブナ | 2 | 0 |
| | コイ科仔稚魚 | 1 | 0 |
| | カネヒラ | 1 | 1 |
| | オイカフ | 0 | 1 |
| | モツゴ | 0 | 1 |
| | ホンモロコ | 1 | 1 |
| | ゼゼラ | 0 | 1 |
| | ブルーギル | 2 | 5 |
| | オオクチバス | 6 | 1 |
| | ヌマチチブ | 0 | 4 |
| カムルチー | 1 | 0 | |
| 貝類 | カワニナ科の一種 | 0 | 5 |
| | ヒメタニシ | 8 | 7 |
| | スクミリンゴガイ | 0 | 4 |
| | モノアラガイ | 2 | 2 |
| | ヒラマキガイ科の一種 | 2 | 1 |
| | サカマキガイ | 9 | 10 |
| シジミの一種 | 0 | 3 | |
| 甲殻類 | アメリカザリガニ | 0 | 5 |
| | スジエビ | 1 | 4 |
| | テナガエビ | 1 | 6 |
| | ヌマエビ科の一種 | 1 | 8 |
| | ナリタヨコエビ | 0 | 5 |
| | フロリダマミズヨコエビ | 7 | 10 |
| | ミズムシ | 0 | 6 |
| エビノコバン | 0 | 1 | |
| その他底生動物 | イトトンボ科ヤゴ | 4 | 5 |
| | ユスリカ科 | 5 | 5 |
| | ヒルの仲間 | 2 | 2 |
| | ウズムシの仲間 | 3 | 1 |

オオバナミズキンバイ群落では、気温の上昇と共に溶存酸素濃度が低下し、7月から10月の夏～秋期においては極端な低溶存酸素濃度だった。一方、ヨシ群落では夏～秋期の極端な貧酸素環境は認められなかった（図2-5）。



図 2-5 オオバナミズキンバイ群落およびヨシ群落の湖底直上における溶存酸素濃度の季節変化

オオバナミズキンバイが在来生物群集に与える影響については、植物の種多様性が減少することや、出現ベントス個体数が減少する傾向があることが知られている (Stiers et al. 2011)。本研究においては、オオバナミズキンバイの繁茂は、底生動物、なかでも貝類と甲殻類の出現種数が低下することが示された (表2-1)。また、オオバナミズキンバイ群落では、琵琶湖固有種であるナリタヨコエビが出現せず、オオバナミズキンバイの繁茂は琵琶湖の底生動物群集への影響が大きいと考えられた。底生動物の種数が減少したメカニズムは不明だが、オオバナミズキンバイの繁茂による環境影響については、湖水の移動の減少、物質循環の変化などが指摘されている (Eppo 2011)。本調査においても、オオバナミズキンバイ群落の湖底直上では3か月以上の無酸素状態が観測されていることから、水中の低酸素がその一因であることは間違いないだろう。

一方、オオバナミズキンバイ群落のみで出現した固有種としてニゴロブナが存在する。ニゴロブナの産卵期は4月～7月で、湖岸の浅瀬で水草などに産卵することが知られている (中村 1969)。本調査では、少数の大型個体が3月の調査でのみ確認されていること、3月および5月の調査においてコイフナ類の産卵行動を目撃していること、調査地を含めた複数地点のオオバナミズキンバイ群落においてコイ科魚類の産着卵を確認していることから、採集されたコイやフナ類は産卵のために接岸し、オオバナミズキンバイを産卵基質として利用していたと考えられる。この時期のオオバナミズキンバイ群落内はまだ溶存酸素濃度が高く (図2-5)、魚類が生息できる環境と考えられた。しかし、その後の調査ではコイフナ類の稚魚はほとんど採集されておらず、生育場としての利用や再生産の寄与については不明である。むしろ、5月の調査ではオオクチバスの、7月の調査ではカムルチーの稚魚の群れを複数確認しており、貧酸素になる夏までの間はこれらの肉食性外来魚の生育場になっている可能性が考えられた。これらの在来・

外来魚種が、産卵・生育の場所として、オオバナミズキンバイ群落をどのように利用しているかについては、さらなる調査が必要である。

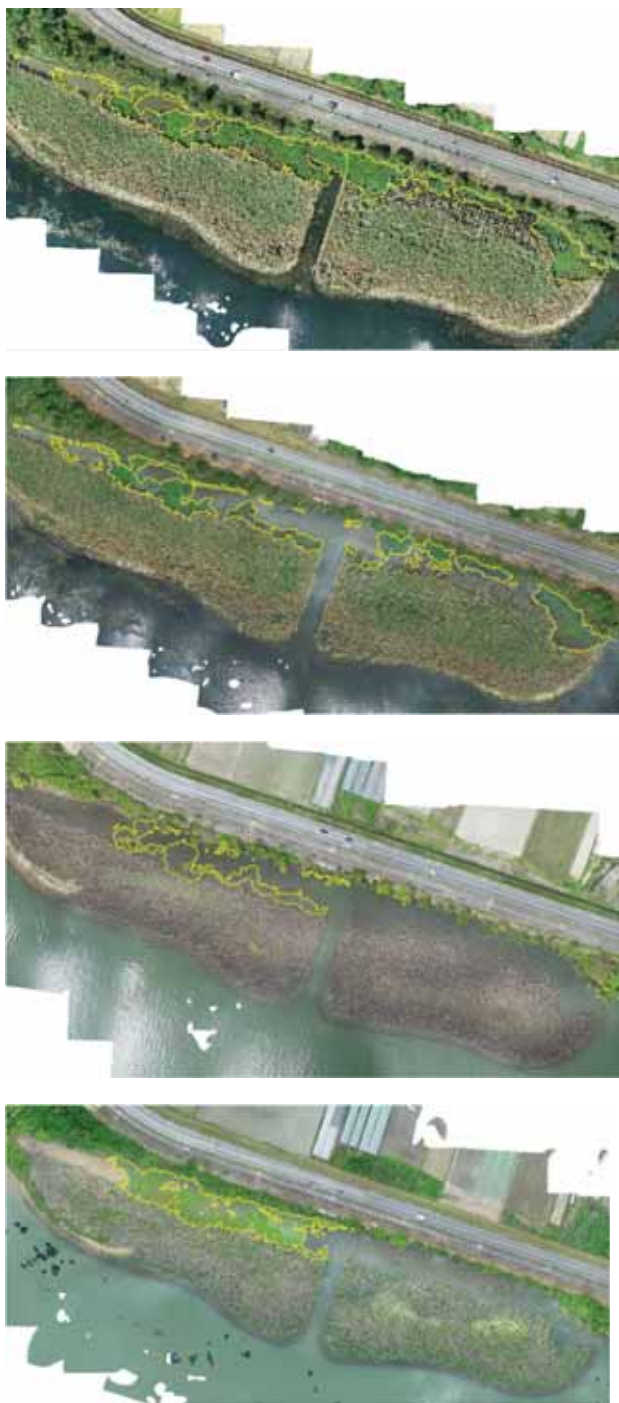


図 2-6 ドローンにより撮影したオオバナミズキンバイの駆除と再繁茂の時系列変化。黄色の線で囲った部分が、オオバナミズキンバイの繁茂している地点。画像中央部分より左側が機械駆除のみ区、中央より右側が機械駆除+人力駆除+巡回監視区。A：機械駆除前（2020年9月）、B：機械駆除後（2020年10月）、C：人力駆除後（2021年3月）、D：調査終了時（2022年6月）

2.3.2. 異なる駆除手法によるオオバナミズキンバイの再生と駆除効果の検証

機械駆除区では、水陸両用の水草刈取り船による機械駆除により、1,000m²以上のオオバナミズキンバイが除去された（図 2-6、2-7）。しかし、ヨシ帯の中や石組み護岸の隙間にオオバナミズキンバイの刈り残しが残存し、翌春の4月以降に急激に増加した。4月以降のわずか2か月で駆除前を上回る2,500m²以上まで回復した。このようなオオバナミズキンバイ群落の回復は、2年目の除去後にも同様に見られた。一方、機械駆除に加え、人力駆除および巡回監視を行ったエリアでは、刈り残しからの小規模な再生はみられたものの、2年経過した2022年7月においてもその群落面積はほぼ0m²を維持した。



図 2-7 北山田湖岸における機械駆除のみ区および機械駆除に加え人力駆除および巡回監視を行った区のオオバナミズキンバイ面積

滋賀県におけるオオバナミズキンバイの機械駆除は、スイングヤードと呼ばれる建設機械やハーベスタと呼ばれる水草刈取り船などの複数の機器を用いて行われてきた。建設機械は陸上からの、一方、水草刈取り船は水深の深い湖上からの刈取りに適しており、群落の規模や水深、湖岸地形などに応じてこれらの機械を使い分けることで、300m²/日以上での駆除が可能になるとされる（嶺田ら 2020）。ところが、本調査地のように、水深が浅く、深い泥地で、湖岸側が石組み護岸やヨシ原になっているなど、建設機械や水草刈取り船が近づきづらい地点においては、どちらの手法でも効率的な駆除は難しい。水陸両用の水草刈取り船を用いた大規模群落の駆除は本件が初の試みであったが、他の機械駆除と同様かそれ以上の効率でオオバナミズキンバイの駆除を行うことができたと考えられる。琵琶湖には、本調査地と同様に、建設機械や作業船での機械駆除が難しい地点が多く存在する。これらの地点で機械駆除を行う際には、水陸両用船は有効な手段の一つとなるだろう。一方、機械駆除のみを行った地点では、刈り残しからオ

オバナミズキンバイの群落が急速に回復した。嶺田ら(2020)は、侵略的水草への各種の対策手法について整理し、大規模群落の駆除には機械を用いた駆除が効果的だが、取り残した部分や改修しきれなかった断片の対処に留意すべきと指摘しており、水陸両用船を用いた機械駆除においても同様であったと考えられる。これまで外来水生植物対策協議会が行ってきたように、機械駆除、人力駆除、巡回監視など様々な手法を効率的に組み合わせ、駆除の努力を継続していくことで、「管理可能な状態」の維持が期待できる。

侵入した外来生物の対策で最も有効なのは、早期発見・早期の駆除であることは、様々な指摘から間違いない。しかしながら、既に定着・蔓延してしまった外来生物の駆除は非常に困難で、長期間にわたる対策が必要となる。琵琶湖では、多くの人々による長年の努力によって、「管理可能な状態」を維持できるようになった。今後は、従来の湖岸環境を復元していくため、外来生物が侵入しない工夫や侵入しても早期発見できる情報ネットワークの構築、さらに、外来種が定着しづらい湖岸環境を整えていく手法なども検討・実施していくことが必要となってくるだろう。

3. サブテーマ 2 気候変動による深湖底希少野生生物の危機に関する研究

3.1. 背景と目的

琵琶湖北湖深湖底は季節的な水温変化も小さく比較的安定した環境であるため、古代湖である琵琶湖のいくつかの固有種が生息場として利用している。しかし、最近の気候変動と温暖化の影響により、湖底の水温が上昇するだけでなく(速水ほか 1997)、富栄養化が抑制されるようにな

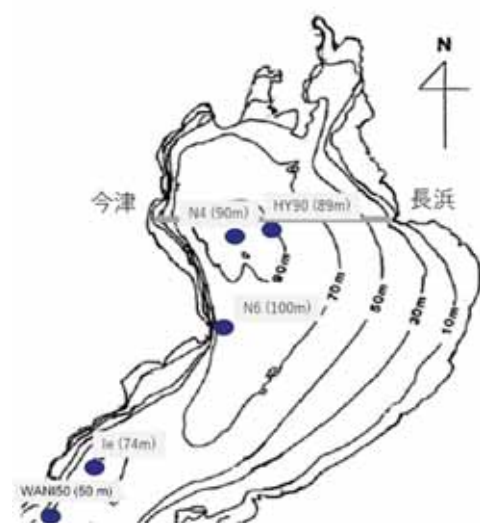


図 3-1 ROVによる底生生物調査地点
N4, HY90, N6, Ie, WANI50

ってからも低酸素化が進行し、2007年頃から酸素不足によるエビや魚の死亡が確認され、底生生物の生息環境の悪化が問題となっている(熊谷 2008, 西野 2010)。

そこで、2012年から、有索式水中ロボット (ROV: Remotely Operated Vehicle) を使用して深湖底に生息する貴重な野生生物のモニタリングを定量的に行ってきた(石川ほか 2021)。また、第五期中期計画(2017~2019年度)では、モニタリングの精度を向上するため、計量魚群探知機を用いて固有種であるアナンデールヨコエビの現存量を広域的に推定する手法を開発した(橋本 2018)。2010年代に入ると、深湖底の貧酸素水塊は、数年に1回の頻度で発生するようになったため、本研究(第六期中期計画)においてもROVと計量魚探を使用した固有種を中心とした底生生物のモニタリングを継続した。そして、これまでのモニタリングデータ、環境要因との関係を解析し、個体群変動の要因について検討を行った。この研究を通じて、現在進行中の深湖底生態系の変化やその脆弱性に関する理解を深め、滋賀の生物多様性を脅かす喫緊の課題対応に向けた情報提供を目指した。

3.2. 方法

3.2.1. ROVによる底生生物の定期モニタリング



図 3-2 有索式水中ロボット (ROV)

水中有索式ロボット (ROV: キューアイ社製 DELTA-150 図 3-2) による底生生物の現存量モニタリングは、2012年4月から琵琶湖北湖3地点(N4 水深90m, HY90 水深89m, Ie 水深73m)において月1回の頻度行い、2014年4月からはN6(水深100m), WANI50(水深50m)を追加し、5地点において2か月に1回の頻度で行っている(図 3-1)。ただし、深湖底において生物への影響が生じるとされる貧酸素水塊 ($DO < 2\text{mg L}^{-1}$) が発生する時期は月1回の頻度で調査を行う。湖底直上から30cmの高度において、映像を約15~30分録画し、湖底を上から観察できるように設置した下向きカメラ(HDR-CX180 SONY)の映像から底生生物を目視で同定計数し、アナンデールヨコエビ

(*Jesogammarus annandalei*; 準絶滅危惧 NT)、ピワオオウズムシ(*Bdellocephala annandalei*; 絶滅危惧 I 類 CR+CN)、スジエビ(*Palaemon paucidens*)、イサザ(*Gymnogobius isaza*; 絶滅危惧 IA 類 CR)の4種について計数し、単位面積当たりに換算した(焦ほか 2015)。また、各調査地点において湖底上 1m の水温(WT)と溶存酸素(DO)濃度を多項目水質計(AAQ-JFE アドバンテック製)を用いて測定した。

3.2.2. 計量魚群探知機によるアナンデルヨコエビのモニタリング



図 3-3 計量魚群探知機による東西観測ライン LINE1, 3, 5, 7, 9, 11

2020年6月24日～25日、2021年6月23日～24日、2022年6月27日～28日、広域的モニタリングを行うため、調査船びわかぜに搭載した2周波計量魚群探知機 KFC-6000 (Sonics 社製) 38 kHz・120kHz を用いて、琵琶湖を

東西に横切る6ライン(Line1, 3, 5, 7, 9, 11)上で昼と夜間それぞれ1回ずつ走行しながら音響データを収集した(図3-3)。そして、2020年6月26日～27日、2022年6月30日～7月1日に図3-1のN4にて停泊し昼夜観測を行い、音響データを収集した。また、底生生物のアナンデルヨコエビ、底生魚のイサザは、昼間は湖底付近に生息しているが、夜間は水深20-30m付近まで上昇することが分かっているため(Ishikawa and Urabe 2005, Takahashi 1981)、日没から日の出までの夜間に深水層で取得した音響データから Echoview ver.10 を用いてこれらの生物の動態解析を行った。

アナンデルヨコエビの個体群密度の推定は、橋本(2018)にもとづき、魚探から得られるそれぞれの周波数のSV値(体積後方散乱強度)を用いて、2周波差分法により、 ΔSV_{120-38} から、他生物との識別と定量を行った(図3-4)。魚探に検出される魚影の種を確認するために、ORI ネット(離合社製 網は角形幼生網 滋賀水産試験場 2020)で魚影水深に合わせた中層曳きを5分程度行って生物群集を捕獲し、 ΔSV_{120-38} が+15～+20の層にアナンデルヨコエビが分布していることを確認した。

3.2.3. 個体群変動の要因解析

多項目水質計のデータと ROV で観測および計数された4種の底生生物のデータは欠損値に中間値を補間し、月ごとの3～5地点平均値の時系列データセットとし、環境パラメータにはN4で取得した湖底-1mの水温(WT)と溶存酸素濃度(DO)を設定し、統計解析ソフト SPSS v29 による相関解析およびエキスパート・モデラーを用いて、Box et al. (1976)のARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average)ならびに指数平滑化(Exponential Smoothing; Gardner 1985)モデルの中から最も適合する

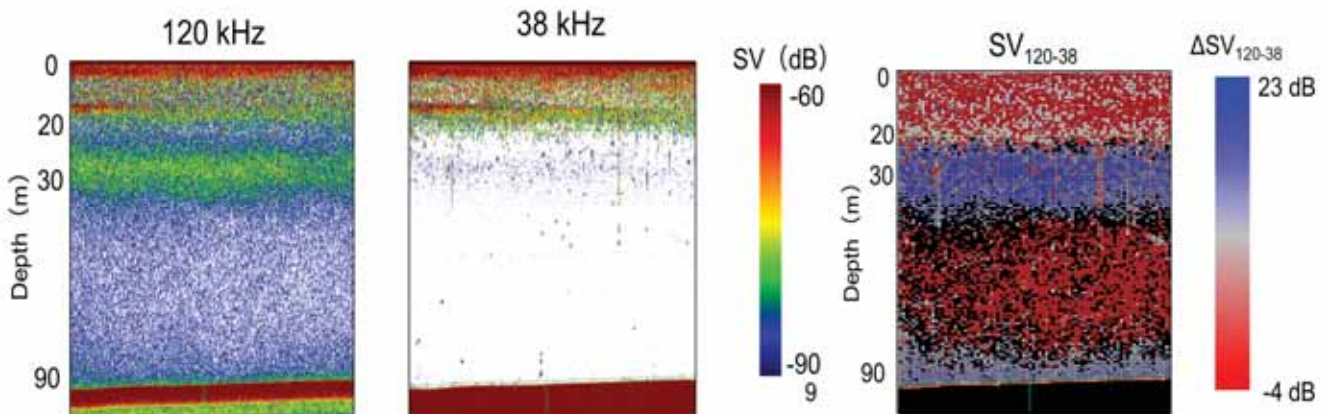


図 3-4 2周波差分法によるアナンデルヨコエビの検出方法

左図 120kHz の SV、中央 38kHz の SV、右図は 120 kHz と 38kHz の差分 ΔSV_{120-38}

右の差分図において +15～+20db にあたる青色部分にアナンデルヨコエビが分布していることがわかる。

モデルを構築し、各密度の個体群密度の変動要因を検討した。

3.3. 結果と考察

3.3.1. 湖底直上 1m の水温・溶存酸素濃度の10年間の変化と底生生物の死亡

琵琶湖の湖心付近、水深 90m地点 (N4) における10年間の湖底直上1m水温 (WT) と溶存酸素濃度 (DO) を、図3-5と図3-6の箱ひげ図(最大・最小・四分位範囲および平均値 x) に示した。

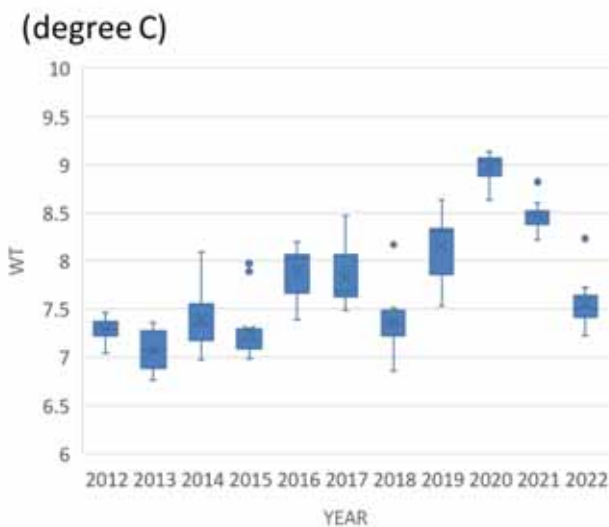


図3-5 N4における湖底直上1mの水温変化

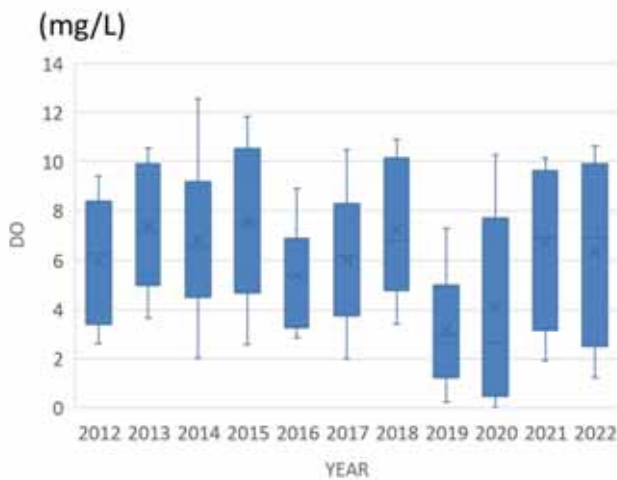


図3-6 N4における湖底直上1mの溶存酸素濃度変化



図3-7
2020年9月17日
HY90 (水深 89m
第一湖盆) アナン
デールヨコエビ (死)



図3-8
2020年12月3日
Ie(水深 73m 第二
湖盆) イサザ
(死)



図3-9
2020年12月3日
N4 (水深 90m 第一
湖盆) バクテリア
に覆われた湖底と
ビワオオウズムシ
(死)

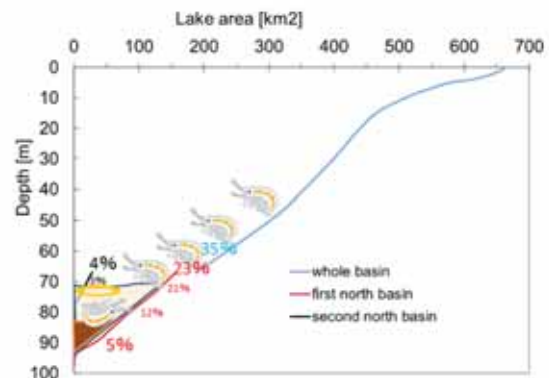


図3-10 琵琶湖の各水深面積とヨコエビ生息域の関係

これらの図から、2013年は10年間の観測期間において水温が最も低くなった年で2020年は最も高くなった年であったこと、2019年、2020年は溶存酸素が極めて低くなった年であったとわかる。特に、2020年は9月頃から調査地点 N4, HY90 の第一湖盆で貧酸素水塊が形成され、11月下旬~12月になると貧酸素水塊は、第一湖盆だけでなく、調査地点 Ie の第二湖盆の水深 70m付近まで広がった(滋賀県 2020)。それは、琵琶湖を鉛直的にみると、水深

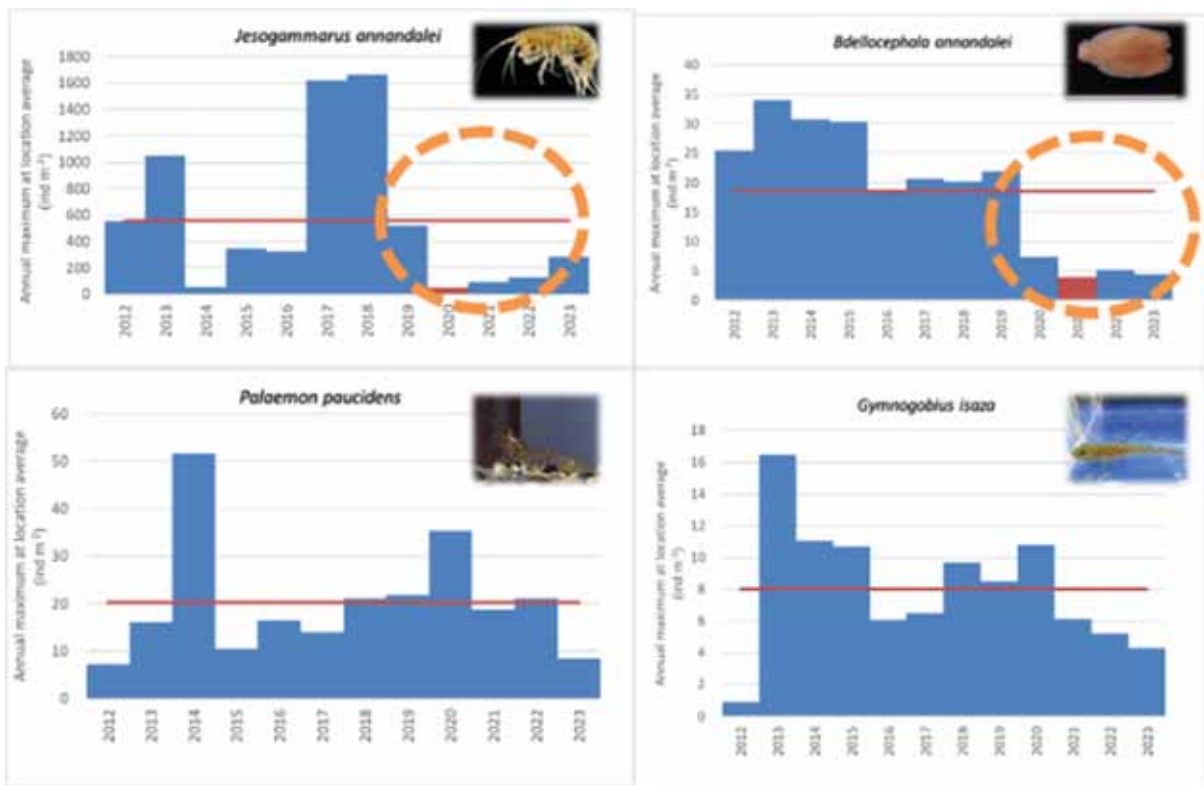


図 3-11 ROV による底生生物の個体群密度変化

左上 アナンデルヨコエビ、右上 ビワオオウズムシ、左下 スジエビ、右下 イサザ
赤線は 10 年間の平均をとり、例年値とした。

50m以深にしか生息しない生物にとっては、半分の生息面積域が失われたことを意味する(図 3-10)。そして、D0 が 2mg L^{-1} を下回るころから、アナンデルヨコエビやイサザ等の底生動物の死骸が ROV で数多く観察された(図 3-7, 3-8)。さらに、酸素が低下し無酸素状態になると、死亡個体の数はむしろ少なくなり、湖底は細菌のようなものに覆われ、これまで低酸素耐性が強いと言われてき

たビワオオウズムシの死骸も見られるようになった(図 3-9)。そしてこれらの底生生物の死亡は、酸素の低下状況に従って見られたことや、これまでの貧酸素耐性実験と矛盾しない結果であったため、概ね貧酸素が原因と考えられた。

一方、水温による影響は、アナンデルヨコエビやイサザは鉛直日周運動により水温躍層付近まで昼夜移動する

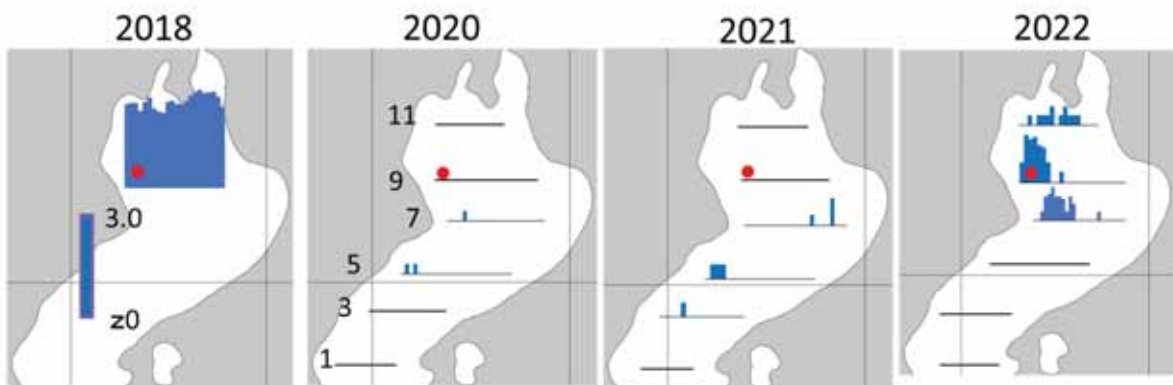


図 3-12 計量魚探を用いた東西ラインにおけるアナンデルヨコエビのモニタリング結果
柱の高さは、 0.3m ごとの個体群密度 (ind m^{-2}) の対数を示す。●は N4 地点

ことや、神戸・伴(2007)による飼育実験で水温を8℃から15℃に上げて死亡しないことが分かっているため、水温上昇による死亡ではないと考えられた。また、スジエビは沿岸域にも生息するため、生息可能な温度範囲は広いと思われるが、ビワオオウズムシについては、深湖底から移動しないため、今後、温度耐性についての飼育実験が必要と考えられた。

3.3.2. 深湖底底生生物個体群密度の10年間の変化

ROVと底曳き網による捕獲調査で、深湖底には魚類を含む17分類群の生物が生息していることが、我々の調査で分かっているが、ROVを用いて観察できた生物種数は、比較的遊泳/移動速度が遅い14種であった。また、定量的にROVでモニタリングできた底生生物は、その中でも個体数の多いアナンデルヨコエビ、ビワオオウズムシ、スジエビ、イサザの4種であった。それぞれの3~5地点の平均値の年最大値をその年の代表値として、10年間の変動を図3-11に示した。

2018年度、2019年度に全層循環が未完了であったため、翌年2020年の貧酸素が拡大、長期化したことで、底生生物の大量死亡がみられた。そして、アナンデルヨコエビ、ビワオオウズムシの個体群密度は激減し、2020年に過去9年間で最少となった。一方、スジエビとイサザについては、例年並みであった。顕著な減少の有無の違いは、今のところ

スジエビ、イサザは分布域が比較的浅いところにまで広がっていることが関係していると考えられている。そして、2022年度までの継続調査において、アナンデルヨコエビ、ビワオオウズムシともに少ないままであるが、ようやくアナンデルヨコエビは、わずかだが2021年、2022年と回復の兆しを感じられた(図3-11)。

3.3.3. 計量魚群探知機によるアナンデルヨコエビの年変化

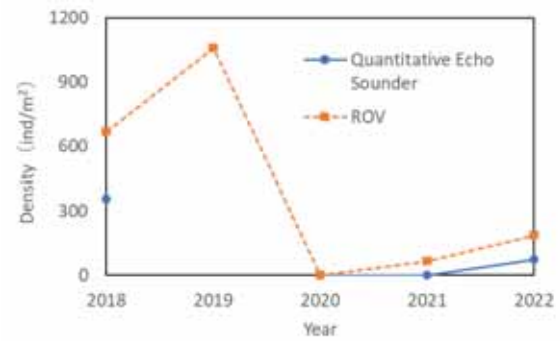


図3-13 ROVで計数したアナンデルヨコエビの個体群密度と、計量魚探を用いた個体群密度の変動比較(比較地点は図3-11のN4の地点付近)

ROVによる定点調査よりも広域的に判断できるように本研究で開発してきた計量魚探を用いた東西ラインにおけるアナンデルヨコエビのモニタリング結果を図3-12



図3-14 底生生物と水温および溶存酸素濃度の時系列変化(2012年4月~2022年12月) 矢印は、無酸素になった時期を指す。

表 3-1 底生生物と水温 (WT)、溶存酸素濃度 (DO) との相関係数

| | | <i>J.annandalei</i> | <i>B.annandalei</i> | <i>P.paucidens</i> | <i>G.isaza</i> | WT | DO |
|---------------------|---------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------|---------|---------|
| <i>J.annandalei</i> | Pearson の相関係数 | 1 | .230* | -.334** | -0.067 | -.253** | -0.067 |
| | 有意確率 (両側) | | 0.011 | <.001 | 0.468 | 0.005 | 0.464 |
| | 度数 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| <i>B.annandalei</i> | Pearson の相関係数 | .230* | 1 | -0.038 | 0.169 | -.341** | -.212* |
| | 有意確率 (両側) | 0.011 | | 0.682 | 0.065 | <.001 | 0.02 |
| | 度数 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| <i>P.paucidens</i> | Pearson の相関係数 | -.334** | -0.038 | 1 | .260** | .239** | -0.059 |
| | 有意確率 (両側) | <.001 | 0.682 | | 0.004 | 0.008 | 0.52 |
| | 度数 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| <i>G.isaza</i> | Pearson の相関係数 | -0.067 | 0.169 | .260** | 1 | 0.116 | -0.105 |
| | 有意確率 (両側) | 0.468 | 0.065 | 0.004 | | 0.207 | 0.253 |
| | 度数 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| WT | Pearson の相関係数 | -.253** | -.341** | .239** | 0.116 | 1 | -.380** |
| | 有意確率 (両側) | 0.005 | <.001 | 0.008 | 0.207 | | <.001 |
| | 度数 | 120 | 120 | 120 | 120 | 132 | 120 |
| DO | Pearson の相関係数 | -0.067 | -.212* | -0.059 | -0.105 | -.380** | 1 |
| | 有意確率 (両側) | 0.464 | 0.02 | 0.52 | 0.253 | <.001 | |
| | 度数 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |

* 相関係数は 5% 水準で有意 (両側) です。

** 相関係数は 1% 水準で有意 (両側) です。

に示した。アナンデールヨコエビの個体群密度は、図 3-3 に示した LINE9 において 2018 年 274.34 個体 m⁻²であったが、2020 年 25.30 個体 m⁻²、2021 年 2.9 個体 m⁻²と少なくなり、2022 年になると第一湖盆の西岸あたりに回復の兆しを感じられた (図 3-12)。この結果は、ROV での観測結果を支持しているようで、今後、アナンデールヨコエビの回復が期待される。

アナンデールヨコエビの個体群密度は、ROV を用いて計数した場合と、計量魚探で算出した場合を比較すると、図 3-13 のようになり、数値は ROV の方が高くなる傾向があるが、年変動は類似の動きを示し、計量魚探を用いたモニタリングで広域的に分布と資源量を把握できることが示唆された。

3.3.4. 時系列解析による底生生物個体群変動特性の検討

ROV による 4 種の底生生物と多項目水質計による N4 地点の湖底直上 1m の水温および溶存酸素濃度の観測結果は観測欠損値を補い、月ごとのデータセットにして図 3-14 に時系列変化を示した。10 年間で水温は上昇傾向を示したが、それ以外の項目は変動に季節性があるため複雑で、特性をこのグラフから読み取ることは難しかった。

底生生物と N4 における湖底上 1m の水温 (WT) ならびに溶存酸素濃度 (DO) の相関係数を、表 3-1 に示した。WT と DO には負の相関が見られた。アナンデールヨコエビは WT

と負の相関、ビワオオウズムシは WT、DO と負の相関、スジエビは WT と正の相関が見られ、イサザはどちらも相関がなかった。底生生物同士の間では、アナンデールヨコエビとビワオオウズムシは正の相関、アナンデールヨコエビとスジエビは負の相関があり、スジエビとイサザは正の相関があった。

この結果から、水温の上昇や湖底の溶存酸素が低下すると、アナンデールヨコエビとビワオオウズムシが個体群を減少しやすいことが推察された。そして、図 3-10 で示した ROV で実施した観測データでも、水温が高く、溶存酸素が減少した 2020 年にアナンデールヨコエビとビワオオウズムシは最小値を示していたため、我々の理解と矛盾はなかった。

さらに、生物の個体数は、基本的に環境の変化から遅れて反応を示すことや、季節的な変動を示すため、底生生物の個体群密度の時系列変化を WT、DO とともに、SPSS のエキスパート・モデラーを用いて、適合モデルを作成したところ、アナンデールヨコエビは単純季節指数平滑化モデルが最も適合し、ビワオオウズムシは水温をパラメータにとる ARIMA (1, 0, 0) (1, 0, 0) モデル、スジエビは水温をパラメータにとる ARIMA (0, 0, 2) (0, 1, 1) モデル、イサザは溶存酸素濃度をパラメータにとる ARIMA (1, 0, 0) (0, 0, 0) モデルが適合モデルとして作成されたが、モデルの適合度については定常 R² 乗値がそれぞれ 0.567, 0.670, 0.284, 0.326 であった。ちなみに Liung-Box 検定値で有意確率

0.05未満は、アナンデルヨコエビのモデルでありよくない。しかしながら、アナンデルヨコエビ、ピワオオウズムシともに2019年、2020年の水温上昇を伴う貧酸素化により個体群密度が激減したが、その後の回復期で、例年の状況であれば、ゆっくりと個体数も増えるはずと考えられる。一方、スジエビとイサザについては、このROVのモニタリングデータからは挙動が明瞭でなく、貧酸素の影響についても未だ不明瞭である。そうではあるが、温暖化は進行しており、2020年のような環境が頻繁になると、突如生態的に大きな変化が生じる可能性も否定できないため、今後もデータを更新し、変動を注視していく必要があるだろう。

今後、未知の状況に備えて酸素のみ、水温のみ、或いは、両方を管理した環境下で深湖底の底生生物の個体群がどのように反応するのか、室内実験等で生態を把握することが対策方針を検討するために必要であるが、生態がよく知られていない野生生物の飼育は極めて困難であるため、生態解明のための野外観察について広域的に精度を上げる努力も引き続き必要と考えている。

4. サブテーマ3 県内における生物多様性の把握と科学的評価手法の検討

4.1. 県内の生物多様性情報把握（滋賀県生きものデータバンク）における課題

4.1.1. 背景と目的

県内の生物分布データが一元的に管理されていないため、生物多様性保全の評価が不十分で、次の活動の指針が立

てにくい状況になっている。この問題に対処するため、第五期中期計画では「滋賀県生きものデータバンク」という仕組みを立ち上げ、第六期中期計画（本研究）では運用を開始した（石川ほか 2021）。実際のデータバンクを運用しながら、現状分析・課題を整理する。そして、データバンクに収集された情報を地理情報システム（GIS）で可視化し、過去のデータとの比較、GIS解析プログラムを使用して、より効率的な多様性保全施策を実施することを目指した。

4.1.2. 現状分析と課題抽出の方法

生物の分析データは精度と性質が様々であることから、我々は、専門家、行政機関、そして一般県民（個人・団体）の3つのカテゴリーに分けて、生物分布情報と調査データを収集した。

専門家からの情報は、当センターのウェブサイトで公開されている「琵琶湖生物多様性画像データベース」（<https://www.lberi.jp/read/creat>）の原稿執筆を通して収集し、生物図鑑として種ごとに公開した。このプロセスにおいて、生物種の学名、分類、分布情報、生態特性、文献を整理し、琵琶湖と集水域でこれまでに報告された生物のリストを画像とともに最新の情報に更新した。

行政データは、行政機関が収集および保管している調査報告書等を対象にPDFやcsv形式等でデジタル保存し、紛失を防ぎつつ、保全事業を実施する際に、簡単にアクセスできるような体制と規則を整備した。

一般県民のデータは、「みんなの調査」という名前で、

表4-1 滋賀県生きものデータバンク運用による生物多様性把握に向けた現状把握と課題抽出

| 目指すべき姿（理想） | 現状（第6期終了時） | 課題（ギャップ） |
|--|---|--|
| <p>専門家情報 （琵琶湖生物多様性画像データベース）</p> <p>①滋賀県に生息するすべての生物の種名・生息地の基礎情報・学術的知見が提供されている。</p> <p>行政等データ</p> <p>②滋賀県内の生物調査報告書の分布データがGISおよびデジタル形式で格納され、行政担当者が事業を進める上で必要時に利用できる。</p> <p>県民等データ （みんなの調査・環境省いきものログ）</p> <p>③県民がスマホで生物写真を投稿し、外来生物をはじめとする生物分布情報が収集され、保全施策に利用される。</p> <p>④生物保全活動および調査団体の代表者が観察会で得られたデータをまとめていきものログに提供し、活動の更なる推進に役立っている。</p> | <p>①琵琶湖と周辺水域に生息する生物の種名・生息地の基本情報の476種（約3割）がホームページ上で提供され、閲覧数が増えている。</p> <p>②自然環境保全課に保管された「いきもの総合調査」等の報告書のPDFが格納されている。</p> <p>③底生動物、植生等の一部のみデータがGISで整理され、生物多様性保全施策の担当者が閲覧できる状態である。</p> <p>④収集されたデータが36件/年あった。報告数が少なすぎて、正確に解析できないため、保全施策への活用が限定された状態である。調査者が報告するという認識がない。</p> <p>⑤入力に手間がかかるわりに、活動メンバー内でも活用しにくくインセンティブを感じられない。</p> | <p>①陸上を含めた滋賀県に生息する生物に精通した各専門家と連携し、情報提供できる種数を増やす必要があるが、専門家の数が少ない、多忙、高齢化で、執筆・掲載作業が少しずつしか進められない。</p> <p>②GIS化（緯度・経度・種名・数への変換）に手間がかかるが、作業にかかる費用/人材が足りない。</p> <p>③他部局での生物調査データは生物多様性保全を目的に収集していない場合も多いため、データバンクへデータを格納するには、ルールづくりが必要である。</p> <p>④意義や必要性が知られていないため、広報との連携が必要である。</p> <p>⑤アプリの使い勝手に問題があり、環境省のアプリケーションシステムの大幅改善、或いは、ユーザビリティの高いAI自動判定等が付属したシステムの導入が必要である。</p> |

広くデータを収集し共有を可能にするため、環境省の生物分布情報収集アプリ「いきものログ」を活用し、データの収集と収集したデータの国内外での共有促進を試みた(図4-1)。

最後に、フレームワークを利用して、現状分析および課題抽出を実施した。

4.1.3. 結果と考察

フレームワークを利用して抽出した、滋賀県生きものデータバンク運用による生物多様性把握に向けた現状と課題を表4-1にまとめた。

専門家情報の提供(表4-1)において、琵琶湖に生息する生物の専門家の調査結果や知見を集めた「琵琶湖生物多様性画像データベース」の拡充を推進し、2023年3月時点で476種の生物の特徴、生息場・環境、参考文献等を紹介できた。「琵琶湖生物多様性画像データベース」ホームページへのページ別アクセス解析の結果から、「外来種」「古代湖」「固有種」「ビワコオオナマズ」「貝類」「チスイビル」「ミミズ」「アカムシユスリカ」ページへのアクセス数が多かった。このことから、一般的に「やっかいな生物」と「大切にすべき生物」と考えられてきた生物種への注目度が高いことが示唆された。今後、生物多様性保全活動が継続されるためには、これらの注目されやすい種だけでなく、観察会や普段の生活の中で出会う機会の多い身近な生き物「普通種」について、網羅的に興味を引き出し、専門的な情報が容易に得られるしくみが必要であるため、引き続き琵琶湖博物館や滋賀県内、さらに将来的には陸上の生物の専門家とのネットワークを強化しつつ更なる掲載種の拡充を進める必要がある。

また、行政等データの保管(表4-1)では、県のレッドデータ等の検討根拠となる重要な生物調査データの紛失を防ぐため、いきもの総合調査等の行政が保管している重要な報告書を精査し、29件の報告書を滋賀県生きものデータバンクへデジタルファイルの形式で格納した。GISで見える化する作業の滞りが課題であることと、広く全庁における生物多様性に関する調査結果を取り込んでいくための仕組みづくりが課題となっている。

4.2. 「みんなの調査」推進のための試行研究

4.2.1. 背景と目的

生物多様性を評価し、保全施策を策定する上で、生物分布情報の収集・整備はもっとも重要な基礎情報である。しかし、専門家である職業研究者や行政が取得するデータは、空間的、時間的、分類群的に制限されていることが多く、生物多様性を評価し保全施策を検討する上で不十分であることが多い。このような状況の中、研究者や行政以外の

県民(一般市民)が参加する生物調査が注目されている。このような調査はシチズンサイエンス(市民科学)と呼ばれ、広域での継続的な生物情報を収集すると共に、科学や環境などへのよりよい理解や環境教育にも繋がることが期待されている(Dickinson and Bonney 2012)。本章では、県民が持つ生物多様性データ(県民データ)の収集について、スマートフォンとそれに付属するデジタルカメラを用いた方法を試行したので、その内容を報告する。

4.2.2. 方法

県民データの収集方法は「いきものログ」を用いた。いきものログは、生物多様性情報を効率的に収集、閲覧、提供する機能を持つウェブシステムで、環境省自然環境局生物多様性センターが企画・運営を行っている(<https://ikilog.biodic.go.jp/>、2023年10月13日確認)。

いきものログには、ユーザー登録を行ってアカウントを作成した人が誰でも生物分布情報を投稿できる“個別調査”と、ユーザーがいきものログ内に作成した団体に参加することで投稿できるようになる“団体調査”の二種が存在する。それぞれの特徴は以下の通り(表4-2)であるが、参加人数や投稿できる種など、県民データを収集する上で利点・欠点となりうるポイントが存在する。

表4-2 いきものログにおける個別調査と団体調査の違い(本報告に関係する箇所を抜粋)

| | 個別調査 | 団体調査 |
|----------|--------|------|
| 団体への参加登録 | 不要 | 必須 |
| 登録人数の上限 | なし(不要) | 100名 |
| 投稿できる生物種 | 上限30種 | 全ての種 |

本試行では、それぞれの調査の利点を活かし、異なる目的を持つ2つの調査を立ち上げた。一つ目の「みんなの外来生物調査」は、より多くの人達から多くの情報を得ることを目的とし、いきものログユーザーなら誰でも投稿できる個別調査を用いて行った。みんなの外来生物調査については、情報の正確性と施策への反映を担保するため、同定しやすい種のうち、滋賀県が駆除などの対策を行っている種や、近年分布拡大をしている、もしくは分布拡大が見込まれる外来種6種を選定して実施した(図4-1)。二つ目の「みんなの調査」は、より多くの生物種について情報を蓄積することを目的とし、本プロジェクトが作成した団体「滋賀県生きものデータバンク」に登録しないと投稿できない、団体調査を用いておこなった(図4-2)。各調査の実施期間は、みんなの外来生物調査は2022年7月～2023年

5月の10か月間、みんなの調査については、2020年～2023年の3年間である。

生物情報募集の収集告知については、チラシ、ポスター、琵琶湖環境科学研究センターのウェブサイトにて行った。みんなの外来生物調査は、上記に加え、滋賀県自然環境保全課が事務局となっている外来水生植物対策協議会にて、チラシの配布を行うと共に、データ投稿の協力呼びかけを行った。みんなの調査は、チラシを県政e新聞で公開すると共に、県内の各図書館、公立高校、環境学習施設、環境保全を目的とするNPO、各市町の担当課などに配布した。また、地域のいきもの観察会などに参加してチラシを配布すると共に、興味を持ってくれた方には詳細な説明を行った。

調査にて収集する情報は、生物を撮影した写真、撮影日時、撮影場所、生物種名、個体数カウントもしくは出現ステータス(あり or なし)とした。なお、写真データにexif情報が記録されていた場合は、撮影日時と撮影場所の情報はいきものログへの投稿時に自動入力される。上記のように設定した収集する情報は、いきものログで情報を投稿する際の最低限必要な入力項目と同じであった。



図 4-1 いきものデータバンク みんなの外来生物調査のチラシ



図 4-2 いきものデータバンク みんなの調査のチラシ

4.2.3. 結果と考察

みんなの外来生物調査では 36 件の報告があり、報告地点および内訳は図 4-3 で示したとおりであった。いきものログのデータは、データの利用規約に従って GIS 形式のファイルで利用できる。このため、いきものログのシステムを利用することで、外来生物の出現有無だけでなく、どのエリアでの調査データが不足しているかが、見える化できるため、外来生物の今後の対策や監視場所の検討、情報の共有に役立つと考えられた。

団体登録を行ったユーザーが投稿できる「みんなの調査」では、3年間の調査を総計して、7名の方から 57件、52種のデータが投稿された。また、これらの投稿とは別に、いきものデータバンクのホームページを見て写真を提供したいという申し出が 1件あり、ウェブを介した投稿は難しいという相談だったため、メールにて直接写真データの提供を受け、データバンクに格納した。投稿されたデータのほとんどは普通種であったが、滋賀県レッドデータブック 2020（滋賀県 2021）で絶滅危機増大種とされているホトケドジョウなども含まれており、普通種の分布把握だけでなく、希少種の分布についても情報が得られる可能性が示された。

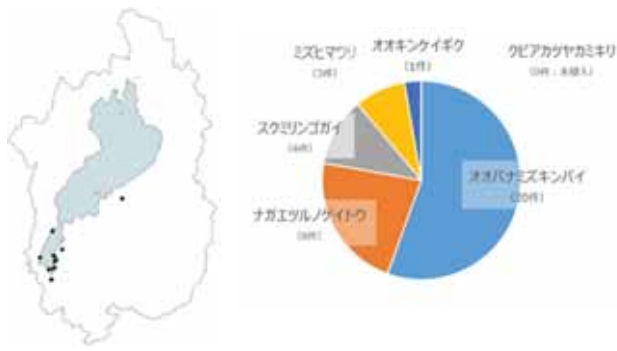


図 4-3 「みんなの外来生物調査」に報告された地点と、生物種の内訳

このように、いきものログを使った両調査によって滋賀県内の生物分布情報の収集や情報の共有に役立つ結果が得られた一方、多くの課題が存在した(表 4-1)。特に、投稿者から得られた「ユーザー登録や入力が面倒である」「(入力が必須である)種同定が難しく、データをアップロードするのに躊躇する」という感想からわかるように、データ投稿前および投稿時でのつまずきが、投稿者や投稿数を低調に推移させた原因の1つと考えられる。みんなの調査で使用している「いきものログ」にデータを投稿する上での現時点での(2023年3月)仕様が、入力手順が複雑な上に、生物分類が自ら可能なレベルのユーザー向けである。このため、一般の人が使いこなすことは難しいと考えられる。現在のいきものデータバンクにおける県民調査では、データを紛失しないための受け皿としての役割は果たせるが、幅広い分類群のデータを、数多くの県民から大量に集めることは期待しづらいと思われた。今後、県民調査を継続する上では、投稿者のコストや手間を最小化するような工夫、例えば、いきものログでは実装されている地点や日時情報の自動入力を行えるような投稿手順の説明や、AIを用いた種判別技術の導入・普及などが必要になるだろう。

Resnik et al. (2015) は市民科学プロジェクトを行う上での考慮すべき課題として、データの質、データ共有、利益相反、搾取が大きな注意事項であると指摘した。いきものデータバンクの県民調査は、“生物多様性データを紛失しない形で保存し、今後の生物多様性施策に活かす”という目的の下、それに賛同した県民に対して生物画像とその位置情報の共有をお願いする形で実施した。投稿されたデータは、生物多様性画像データベース(前述した専門家データ)の内容に反映したり、外来生物の駆除に情報を共有したりといった活用があったものの、データ提供をした県民から見ると、その貢献に対する見返りは見えづらいものになっており、やりがいや貢献の搾取と捉えられかねない

い形であったと推察される。このような調査形態では、爆発的な投稿数の増加や継続的なデータ収集などは難しいと考えられる。今後、みんなの調査・みんなの外来生物調査を続けていく上では、これまで述べたような投稿者の手間や能力に依存することは極力避ける方法を検討するのと並行して、データの投稿に対する成果を見える化していくことが重要となってくるだろう。

5. サブテーマ 4 社会経済活動における生物多様性保全の順応的な取り組み推進方策の検討

5.1. 背景と目的

生物多様性を維持し守るためには、行政だけではなく企業の役割も大きい。企業活動は、その資源(材料や物資など)を生物多様性に依存しており生物多様性へ直接的・間接的に影響を与えているため、生物多様性における企業の社会的責任(CSR: Corporation Social Responsibility)が求められている。

CSRは、私的組織である企業が、その企業が関与する範囲の社会や環境問題について、事業活動と関連させて、自主的に対処する責任であるとされる(國部, 2017)。しかし、CSRは法律ではないため、実施・実践にあたっては企業に任されているところが大きい。近年では企業が行う生物多様性保全や環境保全活動が持続的となるように経営活動の一環に、その活動を取り入れようとする動きが進められている(宮崎・榎井, 2010, 池田, 2014)。しかしながら、環境省が2019年度に全国の企業へ実施した「環境にやさしい企業行動調査」(有効回答数 1,215)(引用)によると、環境ビジネス(環境保全に資する技術、製品、サービス等を提供するビジネス)を行っている企業は回答企業全体の34.1%にとどまっていることが示されている。

そのような中で、近年、県内において生物多様性CSR活動に取り組む企業が増えつつあるが、十分に拡大したとは言えず、多くの課題を抱えていると考えられる。そこで、生物多様性CSRの取り組みを実質的・持続的な生物多様性保全・再生へつなげるため、県内外の企業および地域住民を対象にしたヒアリング調査を実施し生物多様性CSRのあり方を考察した。

5.2. 方法

2020年度は、企業が生物多様性CSRを実践するにあたって、現状でどのような点に課題があるのか把握することを目的に、県内外の企業を対象に生物多様性CSRについて聞き取り調査(ヒアリング)を実施した(のべ27名への聞き取り)。

表 5-1 生物多様性 CSR に関する聞き取り調査により得られた意見の抜粋（2020 年にしが生物多様性取組認証制度に参加していない企業・団体等への聞き取り調査結果）

- 環境へ配慮したいし、すべきだとも思うが正直どうしたらいいかまだわからぬ
- 「生物多様性」という用語が難しい。社内でのコンセンサスがうまく取れていない現状がある。
- 社内で「生物多様性に関するCSR」を普及させるためには、行政から「生物多様性の保全はいまや企業の義務」などとトップダウンの（規制とまではいかないが）発信がないと厳しい
- 生物多様性CSRの生態系への効果とは何かまだよくわからない
- 消費者（生活者）の生物多様性への認知や、企業としての取組にどの程度の理解があり需要があるのか調査・公表してほしい
- 他社のCSRレポートは自社と違うので見比べが難しいことがある

2021 年度は、昨年度の企業に対する聞き取り調査で得られた意見を参考に「消費者（生活者）」が、生物多様性保全の取り組みについてどのような意識をもっているのか Web アンケート調査を行った。

さらに 2022 年度は、滋賀県における生物多様性 CSR 活動の課題と解決策の洗い出しのため、企業の外側から生物多様性 CSR 活動を支援する立場であるコンサルティング企業への聞き取り調査も実施した。

5.3 結果と考察

県内外の企業担当者 27 名に対する聞き取り調査より得られた意見の抜粋は表 5-1 の通りである。生物多様性 CSR に取り組めていない企業・団体等からは、「自社で何をし

たらよいかよくわからない」、「消費者（生活者）が企業の取組にどの程度の理解があり需要があるのか知りたい」、「行政からの積極的な情報発信がないと社内で推進していくのは厳しい」などの意見があげられた。そのため、まずは、企業にとっての生物多様性保全の重要性およびその CSR 活動の意義や実例を企業内で広く普及することが重要である。また、生物多様性保全活動に取り組めていない企業を動かすには、消費者からの認知と行政からの支援、つまり、ボトムアップとトップダウンの両面から促進を図ることが重要だと考えられた。

このことから、トップダウンによる促進策のみならず消費者（生活者）からの生物多様性 CSR 活動に関する認知も重要だと考えられるため、アンケート調査から消費者（生活者）が生物多様性保全の取り組みについてどのような意識をもっているのかを考察した。

まず、「生物多様性」に関する認知度について、滋賀県内では「生物多様性の内容または言葉を知っている」という回答率は 84.4%であったのに対し、全国では 9.6%であったことから、滋賀県内の「生物多様性」の言葉の認知度は全国レベルよりも高いことがわかる（図 5-1）。

また、琵琶湖・淀川流域住民に対して、再度「生物多様性」に関する認知度と CSR という言葉について、Web アンケートを行ったところ、「生物多様性という言葉を知ることがある」は、先ほどの県民アンケートに比べるとやや低い 60.7%であったが、認知度はやはり高いと言える。しかしながら、「CSR」については、言葉を知ることがない流域住民が 58.7%にも達し、CSR という言葉の認知度は低くなっていた（図 5-2）。このことから、企業の取り組みについての行政による情報発信が重要であるとともに、企業側からの情報発信や地域住民への認知を図ることも重要だと考えられた。

表 5-2 環境配慮行動の動機

琵琶湖・淀川流域住民への Web アンケート調査
(2021 年度、N=300)

| | |
|------------------------|-------|
| 活動することで得られる「成果の実感」 | 24.7% |
| 活動することで得られる「満足感」 | 19.0% |
| 活動することで得られる経済的な「お得感」 | 19.0% |
| 活動している人や考えとの「共感」 | 21.7% |
| 自然環境破壊が進むことへの「不安感」 | 31.0% |
| いままで活動をしてこなかったことへの「後悔」 | 8.0% |
| 活動を行うことへの「納得感」 | 25.0% |
| 活動を行っている人や団体への「信頼感」 | 14.0% |
| 自分のまわりの人が実践しているから | 7.0% |
| どれもあてはまらない | 28.3% |

各設問に「あてはまる」と回答した人数を%で表示

消費者（生活者）が生物多様性保全活動などの環境配慮行動を続けようまたは続けたいという意識がどこから生じるのか探るため、琵琶湖・淀川流域住民に対して環境配慮行動の動機についての Web アンケートも行った（表 5-2）。結果は特定の設問項目に強く偏っていないことから、環境配慮行動の動機は人それぞれであると言える。強いて言えば、「不安感」は 31%とやや高いことから、このことが活動のきっかけと継続につながりやすいかもしれないが、様々な考え方の人々が広く浅く参加しやすい取り組みも重要だと言える。

最後に、これまでの結果および生物多様性コンサルティング企業への聞き取り調査（2023 年度）から、県内企業による生物多様性 CSR 活動の課題を整理し、解題の解決策を検討する。日本では全企業数に対する中小企業の割合が高く、全国平均で 99.7%であるが、滋賀県はそれよりやや高い 99.8%（中小企業庁編、2022）であることから、地域の生物多様性保全の推進には、中小企業者による取り組み拡大が一層重要である。

中小企業には、「大企業に比べると生物多様性 CSR 活動に対し、人、時間などの経営資源を投入しづらい」、「CSR 活動を取り入れた環境経営は、大企業にとってはブランドイメージにつながり、本業につながりやすいが、中小企業では、環境経営と本業がつながりにくい」などの CSR 活動

に取り組むづらい特徴がある。仮に CSR 活動に取り組もうとしたとき、人、時間の経営資源に余裕がないため、担当者・部署の負担は大きく、まして生物多様性 CSR は、企業の「生産」という目的のなかで「守る」という異質の取り組みが必要となり、さらに専門性も必要となる。担当者・部署は相談者もおらず企業内でも孤立しがちになる。中小企業者による生物多様性 CSR 活動の促進にはこのような大きな障壁がある。

こういった課題の解決には、中小企業がもつ弱点を踏まえた取り組みが重要だと考えられる。人、時間の経営資源が乏しい中小企業では、一企業ではできないことを成し遂げるために企業間ネットワークを構築し、互いに学び合い、連携することが重要である。地域密着型の業務を行う中小企業は、地域住民と連携した生物多様性保全活動を行えば、企業に対する地域住民の認知度を高め、本業にもよい影響を与える可能性がある。また、生物多様性保全を極端に難しく捉えずに、できることから始めればよいので、専門家と連携した取り組みが重要である。CSR 活動の目標設定から専門家と連携し、結果を節目ごとに検証して達成状況を確認すれば、無理なく順応的に活動を進めることができるだろう。さらに、最初に述べたように、中小企業による生物多様性 CSR 活動を外側からトップダウンで支える仕組みも重要であり、行政による認証制度等の仕組みも重要で

「生物多様性の言葉の認知度アンケート」

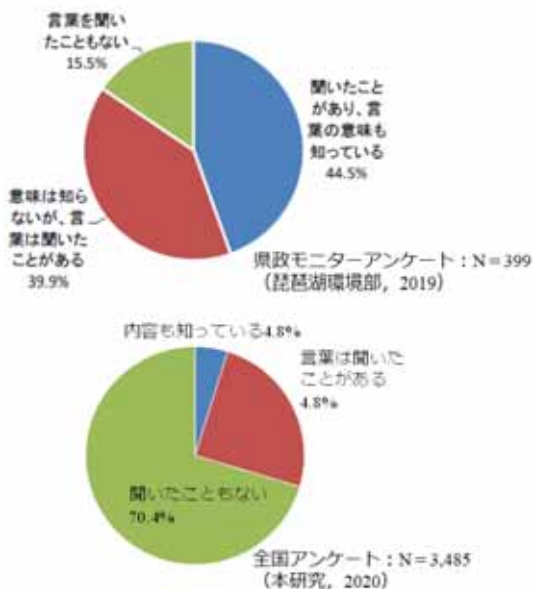
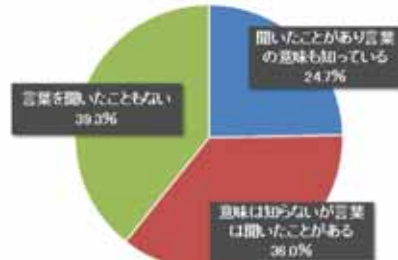


図 5-1 滋賀県内および全国調査における生物多様性の認知度についての比較

「生物多様性」



「CSR」

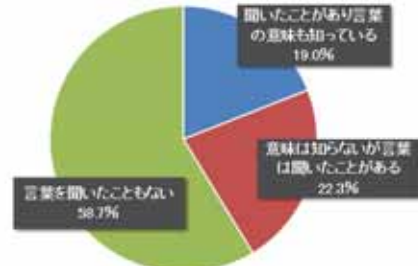


図 5-2 「生物多様性」および「CSR」の言葉の認知度
琵琶湖・淀川流域住民への Web アンケート調査（2021 年度、N=300）

ある。滋賀県では、「しが生物多様性取組認証制度」をすでに導入しており、他県でも導入事例が増えつつある。

近年、企業の社会的責任（CSR）として、生物多様性保全に取り組む企業が増えてきているが、十分に拡大したとは言えず、多くの課題を抱えている。そこで、生物多様性 CSR の取り組みを実質的・持続的な生物多様性保全・再生へつなげるため、県内外の企業を対象にしたヒアリング調査と、消費者（生活者）に対する Web アンケート、生物多様性コンサルティング企業へのヒアリング調査を実施し、生物多様性 CSR のあり方を考察した。

人的資源が大企業に比べて少ない中小企業においては、とりわけ生物多様性 CSR 活動の浸透が進んでいない点が課題である。その理由としては、「生物多様性という概念が難しい」、「何をどうしたらよいかわからない」、「企業が生物多様性 CSR を取り組むことの意義やメリットがわからない」などがあり、取り組みの最初の一步が踏み出せない状況にあることがわかった。その課題解決は、まずは企業にとっての生物多様性保全の重要性およびその CSR 活動の意義や実例を企業内・企業間で広く普及・共有することが重要である。

特に県内の中小企業者による生物多様性 CSR の取り組みにおいては、以下のようなことが重要である。

- ・他社の取り組みに目を向けた企業間ネットワークの構築（学び合い・連携）が重要。
- ・できることから始める。ただし、目標設定は必要。目標設定と結果検証において専門家との連携が重要。
- ・取り組みの節目で達成状況の確認が必要。専門家による検証のほか、トップダウンによる生物多様性 CSR 活動を支える仕組み（行政による認証制度等）も重要。
- ・地域密着の事業者は、地域住民と連携した取り組みが実践しやすいだけでなく、企業に対する地域住民の認知度を高め、本業にもよい影響を与える可能性がある。

6. まとめ

- ・**オオバナミズキンバイの生態系への影響**：オオバナミズキンバイ群落内ではヨシ群落と比較して在来生物種数、特に甲殻類と貝類の種数が減少することが明らかとなった。
- ・**オオバナミズキンバイの駆除効果**：オオバナミズキンバイの駆除は、機械駆除のみでは刈り残しからの再繁茂が見られたが、人力駆除と巡回監視を併用した地点では大規模な再生は認められなかった。
- ・**深湖底貧酸素水塊の底生生物への影響**：気候変動（温暖化）に伴う北湖の貧酸素水塊の拡大は、アナンドールヨコエビとピワオオウズムシの数が急激に減少し、2年が経過しても通常の数値に回復していないことが明らかになった。

・**滋賀県生きものデータバンクの利用**：生物多様性情報の保管場としての滋賀県生きものデータバンクは、専門家による生物の基本情報（476種）をウェブ上で公開できたが、滋賀県に生息する普通種を含めた生物種を網羅するには、専門家が高齢化して将来的に対応しづらくなることが想定されるため、若手専門家の育成が重要とわかった。

・生物多様性を見える化するための情報収集および共有ツール「滋賀県生きものデータバンク」への報告数が少ないため、デジタル化の導入や、全庁的な取り組みを進める必要がある。

・**生物多様性 CSR への周辺住民の理解不足**：「生物多様性 CSR」に対する周辺住民（消費者）の認知度は低いことがアンケートによりわかった。

・**中小企業への生物多様性 CSR 浸透の課題**：大企業に比べてとりわけ中小企業への浸透が進んでおらず、聞き取り調査によると、何をしたいのか、意義やメリットがわからず、取り組みの一步が踏み出せないことがわかった。

7. おわりに

本研究では、生物多様性の主流化とともに保全活動の継続性を高めるための科学的評価と仕組みの構築に向けて、サブテーマ 1、2 で定量的な評価の具体的導入による新たな知見を得られた。生物多様性保全の現場においては、侵略的外来植物の管理や気候変動の影響といった喫緊の課題対応が求められる場面も多いが、保全・再生活動は順応的かつ持続的に行われるべきであり、社会活動の中でそれが当たり前になる必要がある。サブテーマ 3、4 では、まだ活動の重要性が十分に認知・浸透していないといった課題が浮き彫りになった。侵略的外来植物対策、保全活動の継続性の担保、滋賀県生きものデータバンクに関連する課題は、第七期調査解析 1 琵琶湖沿岸の自然再生と生態系の現状評価にて、また、深湖底の希少野生底生生物の生態把握については、第七期政策課題 1 気候変動が琵琶湖の水質・生態系にもたらす影響と適応策に関する研究等にて、調査研究を実施し、生物多様性主流化に向けて生態系の順応的管理における知見の提供と仕組みづくりについて検討を継続する予定である。

8. 謝辞

本研究の外来植物の調査を実施するにあたり、滋賀県琵琶湖環境部自然環境保全課、外来水生植物対策協議会の構成員の皆様にご協力いただきました。

ROV による底生生物モニタリングや調査船びわかぜによる野外調査において、琵琶湖環境科学研究センター職員・琵琶湖保全再生課・環境政策課および琵琶湖汽船の乗組員の皆様の協力を得ました。

また、計量魚群探知機による底生生物の個体群密度推定に関する研究は、北海道大学との共同研究であり、夜間観測およびデータ解析では閻乃箏助教の協力、藤田航生氏の卒業研究の一部として共同で実施いたしました。

滋賀県生きものデータバンク「琵琶湖生物多様性画像データベース」の更新には、琵琶湖の生物専門家のご厚意で原稿執筆、写真提供、分布生態情報を提供いただきました。

県民調査を進めるにあたり、滋賀県民の方々や団体から生息情報や写真を提供していただいた。さらに、滋賀県自然環境保全課の中井克樹氏、川口健一氏から有益なコメントをいただいた。ご協力いただいた皆様に厚く感謝いたします。

9. 引用文献

(サブテーマ1)

EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization) (2011) *Ludwigia grandiflora* and *L. peploides* Onagraceae -Water primroses. EPPO Data sheets on invasive alien plants, Fiches informatives sur les plantes exotiques envahissantes.

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2338.2011.02511.x/pdf>

上河原 献二. (2016). 侵略的外来種管理における早期対応論と政策過程. In 環境情報科学論文集 Vol. 30 (第30回環境情報科学学術研究論文発表会) (pp. 133-138). 一般社団法人 環境情報科学センター.

環境省 (2023)、外来生物法、

<https://www.env.go.jp/nature/intro/llaw/index.html>、2023年10月確認

Hieda, S., Kaneko, Y., Nakagawa, M., & Noma, N. (2020). *Ludwigia grandiflora* (Michx.) Greuter & Burdet subsp. *hexapetala* (Hook. & Arn.) GL Nesom & Kartesz, an Invasive Aquatic Plant in Lake Biwa, the Largest Lake in Japan. *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica*, 71(1), 65-71.

嶺田拓也, 中井克樹, 林紀男, & 丸井英幹. (2020). 農業被害をもたらす侵略的外来水草の対策と課題. *農業農村工学会誌*, 88(11), 887-891.

中村守純 (1969) 日本のコイ科魚類. 資源科学研究所, 東京, 455 pp.

酒井陽一郎 (2020) 琵琶湖岸に繁茂する黄色い悪魔 in 琵琶湖の科学、みずのこと・いきものこと、pp:100-105, 琵琶湖環境科学研究センターブックレット編集委員会、サンライズ出版

滋賀県 (2017)、滋賀県や琵琶湖外来水生植物対策協議会

などによる取り組み、

<https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/52786.pdf>、2023年10月確認

Stiers, I., Crohain, N., Josens, G., & Triest, L. (2011). Impact of three aquatic invasive species on native plants and macroinvertebrates in temperate ponds. *Biological Invasions*, 13, 2715-2726.

QGIS org (2020) <https://qgis.org/ja/site/>

(サブテーマ2)

Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons.

Dickinson JL and Bonney R. (2012) *Citizen science: public collaboration in environmental research*. Ithaca, NY: Cornell University Press.

George E.P.Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C.Reinsel, "Time Series Analysis Forecasting and Control", Prentice-Hall International, Inc, Third Edition.

Gardner, E. S. 1985. Exponential smoothing: The state of the art. *Journal of Forecasting*, 4, 1-28.

神戸道典, & 伴修平. (2007). 琵琶湖固有種アナンデールヨコエビ (*Jesogammarus annandalei*) の代謝および水平分布に与える水温の影響. *陸水学雑誌*, 68(3), 375-389.

橋本康平 (2018) 計量魚群探知機を用いた琵琶湖におけるアナンデールヨコエビ *Jesogammarus annandalei* の音響探知に関する研究 北海道大学大学院水産科学院修士論文

速水祐一・藤原 建紀・坂本 亘 (1997) 琵琶湖北湖における水温鉛直分布の長期連続観測 *陸水学雑誌* 58:305-316.

石川可奈子・酒井陽一郎・浅野悟史・井上栄壮・永田貴丸・東 善広 (2021) 生物多様性保全・再生の戦略的推進に向けた研究 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書 16:80-100.

Ishikawa, T, J. Urabe (2005) Ontogenetic changes in vertical distribution of an endemic amphipod *Jesogammarus annandalei*, in Lake Biwa, Japan Arch. Hydrobiol 164:465-478.

焦春萌・早川和秀・石川可奈子・古田世子・桐山徳也・奥居紳也・井上栄壮・永田貴丸・廣瀬佳則・七里将一・岡本高弘・田中稔・山本春樹 (2015) 北湖深水層と湖底環境の総合評価 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書 13 : 94-121.

- 熊谷道夫 (2008) 地球温暖化が琵琶湖に与える影響 環境技術 37:407-413.
- 西野麻知子 (2010) 地球温暖化による琵琶湖の環境変化と生態系への影響 資源環境対策 46:50-57.
- 滋賀県 (2020) 琵琶湖北湖の底層溶存酸素等の現状について (続報)
<https://www.pref.shiga.lg.jp/kensei/koho/e-shinbun/oshirase/315896.html>
- 滋賀水産試験場 (2020) 資料コアユ資源予測調査データ (平成 28 年度)56 : 129-143.
- Takahashi, S. (1981) Vertical migration of *Isaza Chaenogobius isaza*, pisces in Lake Biwa Zool. Mag. 90:265-270.

(サブテーマ 3)

- Dickinson, J. L., & Bonney, R. (Eds.). (2012). Citizen science: Public participation in environmental research. Cornell University Press.
- 石川可奈子・酒井陽一郎・浅野悟史・井上栄壮・永田貴丸・東善広 (2021) 生物多様性保全・再生の戦略的推進に向けた研究 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書 16:80-100.
- 滋賀県 (2021) 滋賀県で大切にすべき野生生物 滋賀県レッドデータブック 2020 年版. 滋賀県自然環境保全課, 大津.
- Resnik, D. B., Elliott, K. C., & Miller, A. K. (2015). A framework for addressing ethical issues in citizen science. Environmental Science & Policy, 54, 475-481.

(サブテーマ 4)

- 池田幸代 (2014) 企業による環境 CSR の方向性-植樹活動を行う企業の事例から. 東京情報大学研究論集, 17(2), 21-40.
- 國部克彦 (2017) CSR の基礎-企業と社会の新しいあり方. 中央経済社.
- 宮崎・靱井 (2010) 生物多様性と CSR-企業・市民・政府の協働を考える-. 信山社
- 中小企業庁編 (2022) 中小企業白書小規模企業白書 (2022 年版) . 日経印刷.