

九環協における生物・自然環境分野の技術とその展望

環境部長 藤井 暁彦

要 旨

九環協における生物・自然環境分野の技術について、創生期・成長期から、その後の環境影響評価法をはじめとする法改正を背景とした発展を振り返ってみた。次いで、現有する技術として、リモートセンシングや精緻化する分析技術を紹介した。最後に、これまでの九環協における発展を振り返りつつ、今後の自然環境分野における技術動向と九環協の姿について、私見を述べさせていただいた。

1. はじめに

九環協における生物・自然分野の技術と言え、皆さんは何を思い浮かべるだろうか。

1995 年度に九環協へ就職した私は、はじめに「生物課」へ所属した。九環協の中での生物・自然分野の組織は統合・再編を繰り返し、現場部門の分割や、陸域・水域の区分などを経て、現在は環境部・自然環境課として一つの組織で生物・自然分野の事業を展開している。私自身は、生物課に所属後、コンサル部門への異動、陸域の課長を経て、現在は、環境部の代表として事業を進める責を負っている。

さて、最初の問いかけに話を戻すと、「生物の技術」と言えば、バイオテクノロジー技術を思われる方が多いかもしれない。コロナ禍では国民の多くが「PCR」という言葉を覚えたことだろうけれども、元々は遺伝子工学の専門用語である。私は、九環協にとっての生物の技術として、このような屋内・実験室の技術とともに、野外の生物調査の技術も重要だと考えている。それは、私たちの業務が、自然環境を切り出し、物語らぬ生物・自然の状態を伝えて、その保全策を提案するものであり、だからこそ野外・生の生物の状態を切り出してくる技術は、第一に確保すべき技術と信じているからである。

この技術レポートでは、これまでの九環協における生物・自然分野の技術の変遷を振り返った上で、現有する技術を紹介させていただき、今後の技術のあり方や展望を述べていきたい。

2. 社会の動きと九環協における生物・自然分野の技術の変遷

(1) 創生期・成長期の調査技術

九環協に生物部門が立ち上がるのは 1980 年代、協会の設立からおおよそ 10 年が経過した時である。当時の業務は、筑後大堰の環境調査、博多湾や北九州港、白島、上五島などのアセスメントであったと聞いている。時代は、環境アセスメントの法制化が審議され、1984 年にアセス実施が閣議決定される頃である。

1990 年代、平成になると、大型公共事業のアセスメント、モニタリングが生物調査として主力となる。諫早湾干拓事業や博多湾のアイランドシティ埋立事業に伴う調査である。



写真1「環境管理 10 周年記念号」に紹介されている生物調査(底生動物調査) ※本文中では「定まった調査方法がなく、手法を確立することが必要」との解説。

これら80年代、90年代の生物部門の創生期・成長期の技術は、第一に「何がいるか」の調査・分析技術が重要であったように思える。90年代に入って「レッドデータブック」等の希少種の保全を求める図書の発刊が続き、これらへの影響評価が求められるようになると、「発見されにくい希少種を見つけているのか」との、現場・野外での探索技術が重要視される時代であった。

(2) 法改正を背景とした調査技術の発展

1997年公布の環境影響評価法をはじめとして、河川法の1997年改正における河川環境の維持・保全、土地改良法の2001年改正における環境との調和への配慮など、1990年代後半から2000年代前半にかけて国土開発・インフラ整備に係る主要な法律で、相次いで環境保全がうたわれるようになる。このような法改正を背景に、生物・自然分野の調査では新たな視点が求められるようになった。

それは、「生態系の保全」、「多自然川づくり」、「生物に配慮した整備」といった、生物をシステムとして保全する、生物の生息を目的とした整備を行うという視点である。これまでの「正しく探す」から、生物と環境、生物同士の「関わりを解明する」ことへの調査目的の追加・転換である。加えて、「生物多様性」を保全することの重要性も指摘されるようになる。本誌『環境管理』の25周年記念号に「生物の多様性とは？」を小野勇一先生に寄稿いただいたとおりである。

生物をシステムとして理解するために、特定の種、例えば食物連鎖の上位や生態系の中心にいるような種、環境の指標性が高い種などを対象に、繁殖場、餌場、ねぐら、移動経路などの環境との関わり、環境の利用目的・選好条件を解明する調査技術が求められるようになった。個体識別、個体の位置情報の追跡、生物の行動と環境（地形や植生）との重ね合わせ、水生生物と環境条件（流れ、水質、底質）との関連を確かめる調査などである(図1)。このような生態系の調査では、これまでの「見つける・見極める」技術から、「生き様・生態を把握する」技術、知識・経験が必要とされる。

これら調査技術と並行して、生物・生態系を説明するための数値モデルも発展してくる。九環協が博多湾を

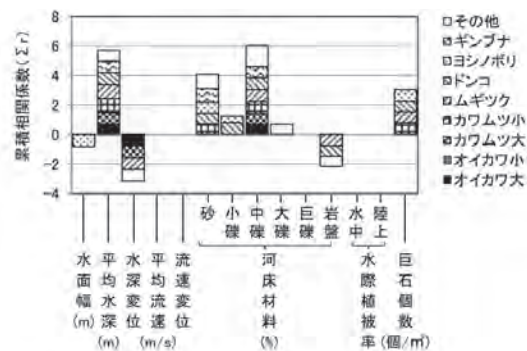


図1 魚類の平均個体数と物理環境の関係
※魚類と水深、河床材料等との相関関係の高さ

はじめとして、海域の事業アセスをしていたこともあって、流況・水質とプランクトン等の生物反応を組み合わせた生態系モデルを1990年代初期から自主開発しており、現在は、モデルも進化・発展し、海産生物の浮遊幼生の拡散・移動がシミュレーションできるようになっている。

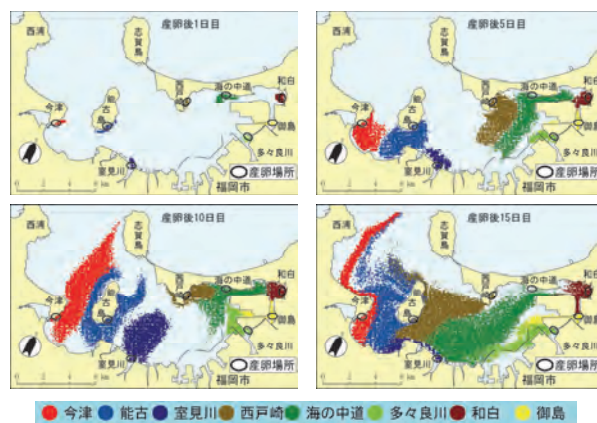


図2 アサリ浮遊幼生の拡散・移動の計算結果

(3) 屋内の分析技術

屋内・実験室での生物分析技術についての歴史を追ってみたい。創生期・成長期の時代は、生物の同定・種の判別が重要であった。九環協に入りたての私への第一ミッションは、貝やエビ・カニなど底生生物の分析(種の判別)ができるようになることであり、1年目の最初3カ月は、箱崎にあった九大図書館に通いながら、今は無き協会の旧棟(元・看護婦寮)の生物実験室で生物を解剖、同定する日々であったことを覚えている。

同じように、プランクトン・魚類など、採取した生物の同定ができるスタッフは、ほぼ私と同年代に集中する。

つまり、1990年代は、屋内の分析技術においても「何があるか」が重要視されていたということである。

現在でも、生物を分析・同定する技術は、基礎技術として重要である。「何がある」がわからないと、その先の生態系の把握、保全策の検討には進まない。現在の九環協では、世代を超えた技術継承が課題である。

加えて、1990年代から業界で発展してきたDNA分析技術を、九環協では2010年代に開発・取得してきたところである。最初のDNA分析技術の目的は、この個体が「何であるか」であった。体の一部からDNAを抽出・増幅し、遺伝子情報を解析して、目で見てもわからない種を判定するものである。そこから、野外の環境水(河川水、海水)にはDNAが存在し、その環境水中のDNAを増幅、遺伝子解析する技術が確立されるようになると、DNA分析技術で生物の分布の在・不在がわかるようになった。2016年に受注したオオサンショウウオの分布調査では、ある水系の10数カ所で採水したDNAデータから本種の主な生息域を判定したものである。このようなDNA技術は、「何がある」の応用として「どこにいる・どんな場所にいる」を判定する技術へと進化している。

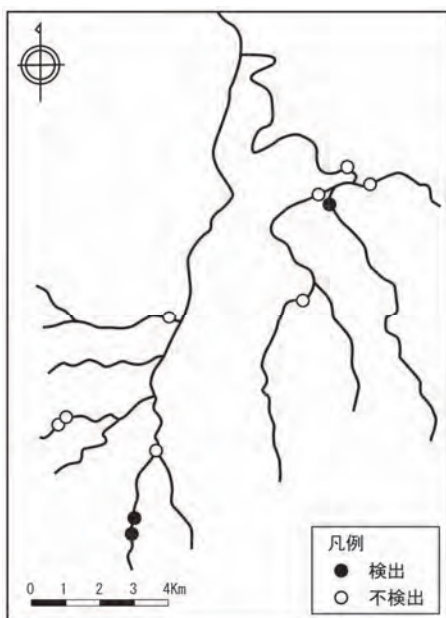


図3 水系におけるオオサンショウウオDNAの検出結果
※離れた2つの支川に生息域があると判断できる。

3. 現有する生物・自然環境分野の技術の紹介

3.1 リモートセンシング技術の活用

UAV(ドローン)による航空写真・画像を活用した調査・解析技術は、既に、航空測量や施設構造物の管理・点検の場面において汎用されている。また、UAVの高い操作性を活かし、多方向から撮影した画像を合成して構造物や町並みを3次元化する技術(3Dモデル)も広く普及している。

以前(環境管理46号)に報告した河川植生の3Dモデル化と生物生息環境の評価では、まず200×400mの範囲でUAVを使って166枚の航空写真を撮影し、それを合成することで図4(上)に示す河川植生の3Dモデルを得て、植生の影が水面に広がる範囲を定量的に推計した。図4(下)のとおり、日中の長い時間、日陰となっている範囲が求められる。その場の流況や河床の状態が、例えばアユ・ホタルなどの生息に好ましい場所と重なれば、樹林の間伐・枝払いなどにより日影範囲を狭くする保全策を計画できる。このように、航空測量の技術を生物生息環境の定量評価に応用し、保全策を定量的に計画することが可能となった。

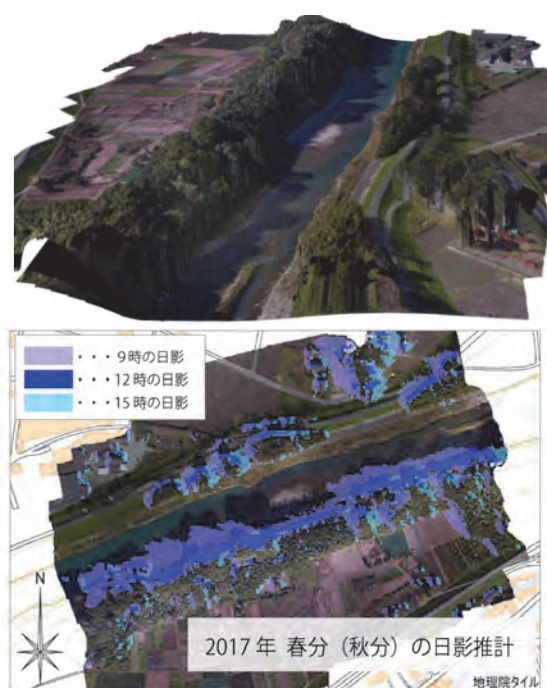


図4 航空写真を合成して作成した河川植生の3Dモデル(上)、3Dモデルに基づき推計した河川植生の日影の範囲(下) ※「環境管理46号」にて紹介

最近では、水中ドローンの活用も進めているところである。これまでは潜水士が撮影していた映像を陸上・船上から撮影できるようになったことで、調査が簡便になり、安全性も向上、低コスト化につながっている。



写真2 水中ドローンとその撮影画像

3.2 生物分析の精緻化

近年は、魚類の耳石分析の依頼が多くなっている。耳石とは、大きさ数 mm～数 cm の炭酸カルシウムの結晶で、毎日成長し1日1本の輪紋が形成される。これを読み取ることで、魚の日齢や年齢がわかる(写真3左)。

分析対象の魚類は、アユ、サクラマスなどの回遊魚、フナ・コイなどの淡水魚、スケトウダラ、タチウオ、ヒラメなどの海産魚の多岐に渡り、北海道から沖縄までの全国各地から依頼をいただいている。

分析にあたっては、稚仔魚の日齢、成魚の年齢だけでなく、耳石に含まれる微量元素の成分を調べることで回遊履歴を把握することも可能となっている。具体的には、耳石の内側から外側のCaとSrの含有比率を調べ、海水に近い比率となっている日輪までが海に生息していたと推定する方法である(写真3右)。

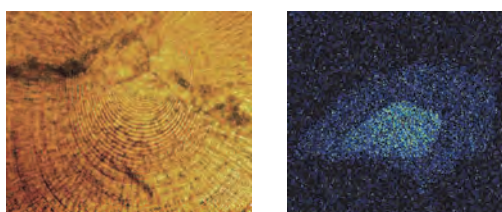


写真3 アユ耳石の日輪(左)、Ca/Sr マッピング(右)
※右図では、中央の濃い部分のSr比が高く、海に生息していたと推定できる。

プランクトン分析においても、各種の技法を用いた分析結果を提供しているところである。ダム湖等の水道の原水となる貯水池では、カビ臭物質を生成する藻類種の発生が問題となる。通常の方法は、異臭のする原水を顕微鏡で観察して、既知のカビ臭を生成する藻類種を同定する方法である。例えば、藍藻類の *Microcystis* 属、*Phormidium* 属などが有名である。しかし、これらの種類の中に、形態は酷似するが、カビ臭の生成・非生成の違いがある種類があることがわかった。そこで、DNA のメタバーコーディング法による網羅的な種類の分析、さらにはカビ臭生成種にターゲットを絞ったリアルタイム PCR 法による分析を実施し、採水後、できるだけ迅速に種の判定結果を提供している。

3.3 鳥獣管理のための調査・解析

野外の鳥獣を調査する技術は、直接法として、調査員が目撃する方法、センサーカメラによる自動撮影法などがあり、これまでにニホンザル、イノシシ、ニホンジカ、アライグマなどの調査を実施してきた。

かつての「何がいる」の時代には、発見・記録した出現種の一覧が成果物であった。今では、これら鳥獣が農作物や森林に被害を与え、駆除の対象となっている状況から、「どれだけいる」が重要な情報で、駆除事業の評価のための「個体群の動態・個体数の増減」も求められるようになった。

ニホンザルのように群れている鳥獣は、群れの個体を直接カウントすることもできる。しかし、多くの鳥獣は広域に分布し、移動するので、直接法では個体の総数はわからない。そこで、ニホンジカでは、糞の密度を調べ、そこにシカ本来の増加率や人為の駆除率などを加えたモデルで個体数を推定する方法が考案されており、我々も野外の情報と生態情報を組み合わせたモデル解析を行っているところである。

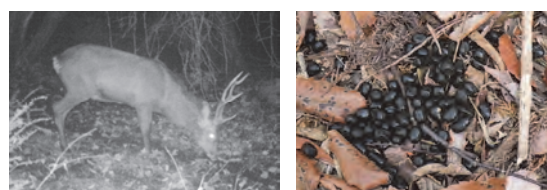


写真4 ニホンジカの写真(左)、同・糞塊(右)
※現在は、シカの糞塊が調査での重要な情報

4. 今後の技術動向と九環協の姿

創生期からの50年を振り返ると「正しく探す」ことから「関わりを解明する」ことへと調査目的が転換され、生物種を「見つける・見極める」ことから「生き様・生態を把握する」技術の必要性が高まっていると考えられた。現有技術のリモートセンシング、耳石、プランクトン分析、野外の鳥獣調査も、見つけること以上に、生態や生息条件、環境への影響を解明することを目的にしていると言える。

今後の技術動向として、「生き様・生態」の延長とすれば、Society 5.0が目指しているように、ビッグデータの活用・AIによる解析がより進むと予想される。地形・地質や植生等の地理情報の充実とともに、生物分布の情報が緻密になるほど、生物と環境との関係が明らかになっていくであろう。

調査技術の側面からみれば、リモートセンシングの技術は、車が自動運転になることと同様に、UAVも自動化され、より高度なセンサスができるようになるだろう。野外の鳥獣の分布は、人の目・人の足ではなく、ドローンの目が発見する日も近いかもしれない。

社会動向・社会ニーズからすれば、温暖化・脱炭素に関連した市場は、確実に成長していく。農林水産業、例えば、水産資源の将来予測、農林業被害を及ぼす鳥獣の動態などは、温暖化との関連で検討が進んでいる。間接的には、再生可能エネルギーへの転換、これに伴う地域環境の影響評価もこれからの重要な課題のひとつであり、九環協の「地域に根ざした総合コンサル」としての総合力が試されているように思える。

以上のような技術動向は、生物データの精緻化に向かうと予想される。その中で、九環協の基礎技術として、現場・生の生物の技術は、目的を見極めつつ、継承していきたいと考えている。デジタルな、生物の数値解析、モデル化が進むほど、その確からしさ、数値モデルの検証には、生の感覚が重要になると思っているからである。生物は決してリニアな反応をしない。したがって、モデル化にあたって、どの要素、どのような反応を重視するかは、モデルが高度になるほど、生の生物屋にしか言えないことがあると信じている。つまりは、これからの九

環協においても、これまで培ってきたように、現場の生物屋、分析技術者、生態モデルのエンジニアなど、多様な分野の技術者が課題解決に向かう姿勢が重要と考える。そして、九州における総合的な環境コンサルタントとして、社会が求める最適なサービスや技術、その組み合わせを提案することが、新たな社会貢献の起点になるものと信じる。

5. おわりに

結びにあたり、私の若い時期に、生物・自然分野の技術者として教えをいただいた2名の先生をご紹介して、この小論を終えたい。

お一人は、九州大学名誉教授・菊池泰二先生である。私が就職して底生生物の同定が未熟であった時に、様々なことを教えていただいた。特に、この種はこんなところにいる、かつては多数生息していたなど、詳しい生態情報や生物の変遷・歴史を教えていただいたことを思い出す。

もうお一人は、同じく九州大学名誉教授の小野勇一先生である。九環協の技術顧問あるいは伊良原ダムの委員会など公的な場での指導を通して、私をはじめ、九環協の自然分野を育てていただいた。先生のハビタット主義、すなわち種だけに注目して保全するのではなく、生息環境、生物種の関係性も含めて保全するとの自然環境の捉え方は、今でも私の共感するところである。

これからの九環協が次の50年、100年目に向けて発展していくにあたり、引き継ぐべき技術、そして発展・投資していく分野を見極めつつ、野外の、生の自然環境の本質を知るという姿を忘れずに、未来へとつないでいきたい。



「アオサの生える和白干潟」

私に生き物・自然とその保全を教えてくれるフィールド