

河川生態系保全のための淡水魚類の 分布予測の試み

鬼倉 徳雄* 乾 隆帝**

1 はじめに

近年、地理情報システム（GIS）技術やリモートセンシング技術が急激に発達し、数値地図や衛星画像から様々な情報が抽出できるようになってきた。それに伴い、いわゆる景観生態学的な技術が発達し、多様な分野へ応用され始め、水域生態学分野でも積極的に活用されるようになってきた¹⁾。そして、日本国内の淡水魚類にも幾つかの活用事例が見受けられる。例えば、Kano et al.²⁾では、新潟県佐渡島内のドジョウの分布情報について GIS 技術を用いて整理し、現状の分布ポテンシャルマップを示すとともに、ドジョウの分布拡大に有効な水田魚道を整備した場合とドジョウの分布に負の影響を与える用水路のコンクリート護岸化が進んだ場合のシナリオを図示している。これにより、島内のドジョウの生息地保全と再生・管理に有効な情報を容易に抽出することが可能となった。また、Sato et al.³⁾では、佐賀県嘉瀬川流域での国内外来魚ハスの分布情報を集積し、外来魚の分布ポテンシャルを把握するとともに、隣水系の筑後川流域でのハスの分布予測を試みている。外来魚類の分布拡散に対する監視技術として大いに期待される。

こういった技術を駆使した生物分布予測の最大の利点は「可視化」にある。上記のドジョウの事例で言えば、「コンクリート化するとドジョウが棲めなくなります」よりは「コンクリート化するとドジョウの生息域がこれほど狭まります」といったように、その狭小化の程度を可視化して示すことが可能とな

る。学術的な理論は、統計的処理で得られた説明変数の種類や構築されたモデルの当てはまり度などによって決まるが、住民を交えた合意形成の場では学術的理論を数値で見せても説得力は小さいことだろう。恐らく、今後、生態系の保全・再生・管理の場において、学術的レベルでも一般レベルでも情報を「可視化」できるこの手の技術は広く利用されることになるだろう。我々もこういった可能性を視野に入れ、魚類の分布予測に関する研究に取り組み始めており、その課題や適用の可能性について議論したい。

2 目的とスケール

生物分布予測の研究成果はときどき誤解を招くことがある。先日、ある講演会で、淡水魚類の分布予測に関する事例を紹介したが、その後の質疑の中で学識者でさえ混乱する可能性があることを知らされた。それは、構築されたモデルに使われる説明変数のスケールの問題である。景観生態学分野では、詳細スケールの情報から構築されたモデルを広域スケールに当てはめる、あるいはその逆には大きな問題があると指摘されている¹⁾。例えば、ある河川のミクロハビタットスケールの情報で構築されたモデルを他の河川に当てはめたとき、その生息ポテンシャルが極めて高いと予測されても、実際には生息の可能性がほとんどないケースがある。純淡水魚類の分布が水系スケールに大きく左右されることは九州北部においても確認されており⁴⁾、例えミクロハビタットスケールの生息条件を満たしても、小河川には大

* 九州大学大学院農学研究院・助教 ** 同・学術特定研究者（現：徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部・日本学術振興会特別研究員 PD）

河川に依存する魚はそもそも分布しない。面積一種数曲線⁵⁾は生態学に精通した人であれば周知の事実であるが、学識者であっても専門分野が違えば「面積一種数曲線」の概念は存在しない。すなわち、この手の仕事にはモデル構築の目的、その目的を達成するためのスケールが存在し、それを十分に理解した上で初めて精度が高いモデルが構築され、生物分布予測を現場に活用できるのである。

この目的とスケールについて、もう少し理解しやすいように具体例を示してみよう。五ヶ瀬川水系北川の特定のエリアで構築されたボウズハゼの生息ポテンシャル曲線を図1に示す⁶⁾。およそ500mの範囲に設置された約50地点の情報に基づいた解析結果から、この魚は概ね流速と河床材料にその生息が左右され、流速が早いほど、そして河床材料が大きいほど、その生息ポテンシャルが高くなることが示されている。その的中率は80%を超えており、その精度はかなり高いことが分かる。精度が高いモデルであるが、このモデルを他の河川に当てはめることができるだろうか？答えはノーである。極めて強い吸着力を持つボウズハゼの場合、外部形態的には流水環境への適応性は極めて優れるだろう。また、餌生

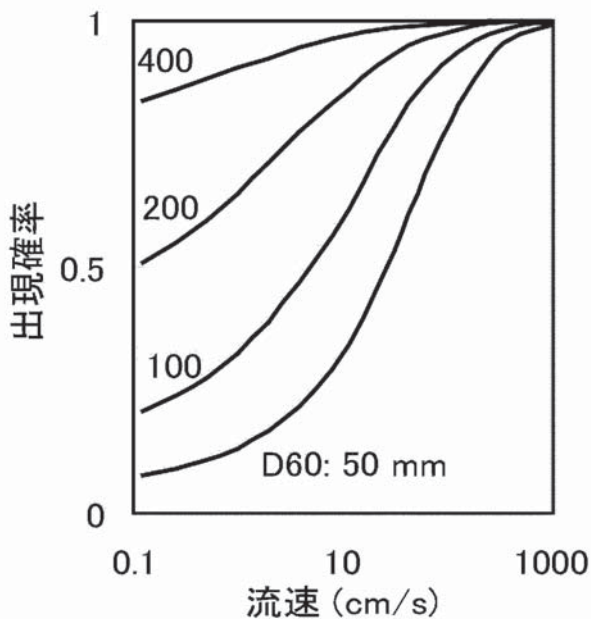


図1 五ヶ瀬川水系北川・小川合流点付近における代表粒径 (D60)、流速とボウズハゼの出現確率

物の密度にその生息ポテンシャルの大きさが左右されるだろう。流水環境下でかつ砂よりも礫、礫よりも岩の方が餌資源である藻類量も大きいだろう。こういった形態学的・生態学的特性から考えれば、選択された説明変数に対し、生態学者は十分に納得できる結果と言える。そして、近隣の他の河川でも、類似した環境構造を持つ川であれば、恐らく、ボウズハゼは類似した傾向を見せるだろう。しかしながら、モデルを構築した河川とそのモデルを当てはめる河川間で、非生物的環境特性が大幅に異なる場合、その環境選択は大幅に変わる可能性がある。そもそも、生物種には環境適応の幅がある。非生物的環境が少々適していなくても、その幅によってある程度、生息することができる魚種も多いと考える。餌資源が少ない川であれば、ボウズハゼは成長速度を低下させながらその適応範囲を広げるかもしれない。河川の非生物的環境特性として流速が全体的に遅く、河床材料が均質的な河川に、もしボウズハゼが生息していたなら、その環境選択が北川で構築したモデルどおりになる保証は全くないのである。

実は、モデルを構築した北川内でも類似した問題が生じる可能性がある。モデル構築のエリアがボウズハゼの流程分布の上流側であれば下流側での当てはめの際、そしてその逆においても上記で述べたような問題が存在するかもしれない。このボウズハゼの研究を始めるにあたって、我々はその主要な生息範囲内でのモデルの当てはめに限った条件設定を当初から想定した。なぜなら、現在、五ヶ瀬川水系では複数の研究者が共同して河川生態系変動予測モデルの構築を目指しており、その中で出水によって河道の形状や河床材料の分布が変化した場合、ボウズハゼの分布パターンがどう変化するかを予測するためにモデル構築を目指しているからである。すなわち、最初から他の河川への当てはめ、あるいは同水系内のボウズハゼ流程分布の上限、下限への当てはめを想定していない。マイクロハビタットスケールでの情報に基づいて主要生息域内での現状のモデルを構築し、その場所で将来起こりうる幾つかのシナリオにそのモデルを活用することを目的としている。

大切なのは、モデル構築に当たり何を目的とするか、そしてその目的を達成するために必要なスケールの情報を収集することである。生物分布予測に関する様々なモデルが今後、多くの研究成果として世に出てくると考えるが、書き手が想定した研究の目的とスケールを、読み手が読み誤らないように注意しなければならない。

さて、先に紹介した佐渡島のドジョウの場合²⁾も類似したケースといえる。ベストモデル中の説明変数5つのうちの3つが現地実測されたデータ(詳細スケール)を含み、GISソフト等で抽出可能な変数(広域スケール)は2つである。仮に他の地域でドジョウの分布予測を行う場合、これら5つの変数に関する情報を集積する必要があるが、現地実測が必要な3要因の情報を収集するにはかなりの労力を必要とするだろう。例えば、この研究で得られたモデルを九州に当てはめる場合、少なくとも3変数の現地実測が必要なのである。この佐渡島の事例は、もともと、島内のドジョウの保全を目的としたものであり、他の地域に当てはめることを目的としていない。島内のドジョウの生息適地を探すこと、あるいは島内のドジョウの生息適地を再生することにモデルを応用するなどの、「佐渡島のドジョウの保全と再生」を目的としての技術である。例えば、佐渡島内のある農業用水路で、「この用水路を土堤に戻した場合、ドジョウは戻ってくるのか否か」を推測するためのものである。目的に応じたスケールの環境情報が存在することを念頭に置く必要がある。

3 河川生態系における空間スケールの概念

目的に応じたスケールの設定のためには、河川生態系における空間スケールの階層構造についての概念を理解しておく必要がある。Allan and Castilloがその概念をとりまとめており、水系、セグメント、リーチ、瀬淵、マイクロハビタットといった大から小への階層構造として説明される⁵⁾。これは概ね日本国内の河川にも当てはまると考えられるが、それらを取りまとめた事例はない。また、日本のように地史的な要因でその生物地理が複雑化している場合、河川

生態系の保全と管理の場では、さらにもうひとつ上位の階層として生物地理を加えるべきである。つまり、日本国内の河川性生物の分布は「生物地理→水系→セグメント→リーチ→瀬淵→マイクロハビタット」という大から小への階層構造によってある程度整理できると考えるべきである(図2)。そして、この階層構造についてアジアモンスーン地域においては、その幾つかの種類が氾濫原性魚類とされており⁷⁾、階層構造のいずれかの場所に農地を含めた氾濫原といった要素を加えるべきであろう。

この階層構造のうち、最上位の階層である生物地理^{4,8)}や次の大きな構造である水系⁴⁾については幾つかの報告があり、参考文献をぜひ読んでいただきたい。それらには、九州の淡水魚類の生物地理や水系スケールに左右される淡水魚類の存在が詳細に示されている。そして、次のセグメントに関しては、現在、我々が九州内について整理している最中にあるが、河川生物に精通し、野外調査を実践されている方であれば、概ね、想像可能な概念であろう。例えば、九州に生息するダニオ垂科魚類⁹⁾の中で比較的大型種であるヌマムツ、オイカワ、カワムツについてその出現パターンを河床勾配で整理した場合、

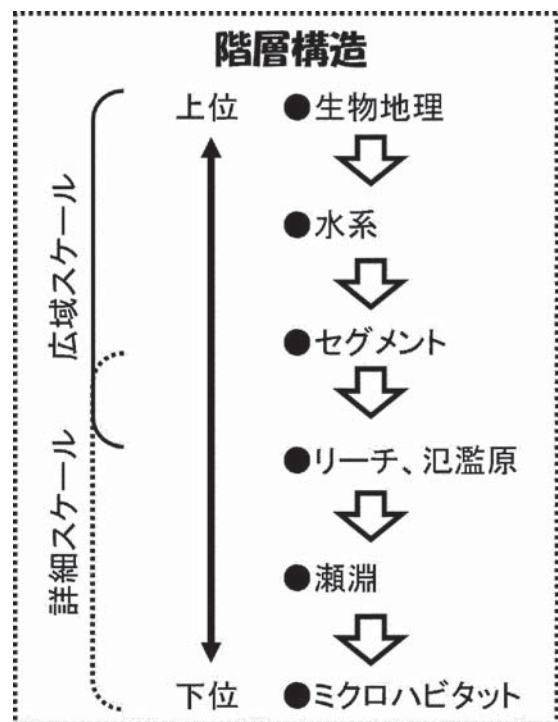


図2 河川生態系の階層構造

図3のようになる¹⁰⁾。最下流部に出現するヌマムツ、広域分布だがその中心は中下流にあるオイカワ、そして、広域的で中上流に分布の中心があるカワムツといったように、セグメントスケールである程度、その分布の特性を整理できる。

この階層的に整理できる各種要因はある程度関係性がある。例えば、魚類の生息環境として重要視される止水的なワンドを、河床勾配が急な場所で見えるケースは稀であろう。そういった意味である魚種の分布を考えたとき、生物地理、水系規模、セグメントといった上位の階層がその魚種の分布条件に当てはまり、かつ、その条件の中に下位の階層（リーチ、瀬淵、マイクロハビタット）の生息条件が存在したとき、それぞれの分布が成立するのである。ただし、淡水魚類の場合、極めて狭いエリアでマイクロハビタットに依存するような種から、河川内を広域的に利用する種までであるため、下位の階層構造は必ずしも階層どおりに整理できない面がある。魚種ごとに生活史特性を考慮した整理が必要なのかもしれない。

このような階層構造を理解した上で生物分布予測

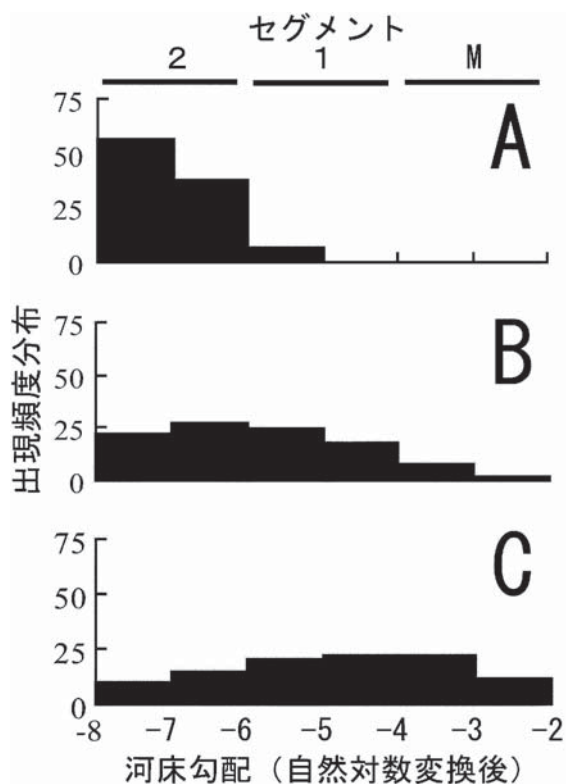


図3 九州北西部におけるヌマムツ (A), オイカワ (B), カワムツ (C) の流程分布

を行う立場に立ったとき、広域スケールでその予測をする場合は上記の階層構造のうち上位の階層の情報に、詳細スケールで生物分布を予測する場合は上記の階層の中の下位の階層の情報に基づいてモデルを構築する必要があることはご理解いただけるだろう (図2)。そして、先に述べたボウズハゼ⁶⁾ やドジョウ²⁾ の事例は、ある特定のエリアでその生物分布を予測することを目的とした研究であり、下位の階層の情報に基づいて詳細スケールを解明した事例である。詳細スケールでの保全と管理を目的としたものと言える。

序章で紹介した国内外来魚ハスの事例は³⁾、ある意味中間的なスケールの分布予測に近い。嘉瀬川流域の低平地で構築されたハスの出現予測モデルの場合、説明変数は2つであり、いずれも数値地図情報 (どちらかと言えば上位の階層) である。そして、その情報を筑後川流域に当てはめてハスの出現予測を実践している。外来魚類の分布拡散に対する監視技術としてはその潜在的な分布の可能性を予測することが極めて重要であり、例えば、アユ放流に付随して分布を拡散しやすい本種の場合、定着しやすいエリアでのアユ放流の抑制などを提言可能となる。しかしながら、実は、この研究を行うに当たり、元々解析前に収集した情報は水深などの現地実測した下位の階層の情報を含んでいた。たまたま一般化線形モデル (GLM) を構築した際、赤池情報量基準 (AIC) に基づいて選ばれたベストモデルが数値地図情報のみだったため、容易に他の地域での予測を行うことができたのである。もし、仮に説明変数に水深を選択していたら、筑後川水系に当てはめる際、筑後川水系での水深の現地実測が必要となっただろう。構築されたモデルを他の地域に当てはめることを目的とする場合、数値地図や衛星写真で容易に抽出できる上位階層の情報に基づいた方が、利便性が高いと言えよう。

ただし、他地域での予測が行え、広域利用が可能な分布予測の場合、特に注意する問題がある。それは、上位の階層の情報に基づいて構築したモデルでは、100%的中する出現予測は存在しないことである。

それは、これらのモデルには下位の階層の情報がほとんど反映されていないからである。例えば、下流に分布しかつ流水を好む魚種に対して、生物地理、河川長、河床勾配の情報でその潜在的な分布の可能性を予測した場合、その生息適地と判断されたエリア内の流速分布は多様であろう。上位の階層での生息適地の中に、流速条件が適した場所と適していない場所が混在するはずである。上位の階層情報に基づくモデルから算出された生息適地の中で、下位の階層条件が当てはまったとき、初めて出現場所が的中する。逆に、河川性生物の分布と先の階層構造の概念から考えたとき、非出現場所はかなりの高確率で的中するはずである。生物地理、河川長、河床勾配といった上位の階層の情報がその対象とした生物の生息に不適であれば、その3つの情報に基づいて構築されたモデルであれば、非出現場所はある程度予測できるのは当然のことといえる。

それでは、先に述べた詳細スケールの場合、高確率で的中するのだろうか？実は、詳細スケールの場合、生物地理、河川長、河床勾配といった上位の階層の環境条件を満たしたエリアで最初から調査が行われているのが通例である。先のボウズハゼであれば、ボウズハゼが最初から生息する場所で調査が実施されている。ボウズハゼが生息する生物地理、河川長、河床勾配内で調査し、モデルを構築しているのである。少なくとも、広域スケールの場合に比べれば、出現・非出現とも高い確率でその分布が予測できるのは当然のことである。

4 広域的な予測モデルの応用の可能性

それでは、出現場所的中率が低い広域スケールでの生物分布予測はどういった場面で活用できるのだろうか？当研究室では過去10年間に集積した淡水魚類相のデータと調査地点の景観スケールでの情報整理を行っており、現在、約1200地点分の情報を保有している。その目的は、任意の地点における淡水魚類の潜在的な分布予測をするためのシステム構築である。例えば、牛津川のある場所で、そこに生息する可能性がある魚種の全リストとその出現確率

を得るといったシステムである(図4)。あくまで、汎用性を高めるため、地図情報から得られる環境情報を説明変数とし、各魚種の分布ポテンシャル予測を試みている。先に述べた階層構造のうち上位の階層の情報に基づくため、少なくとも非出現的中率は高く、出現的中率は低いモデルとなるだろう。そのようなモデルが実際にどのように役立つのだろうか？

上記のデータで構築したモデルにおけるニッポンバラタナゴの事例¹¹⁾を図5に示す。その予測された出現エリアは実際の分布エリアを含んでおり、概ね生息エリアの潜在的な範囲は予測できていると考えられる。その一方、的中、非的中の詳細を見ていくと、出現地点は43%的中率、非出現地点は96%の的中率であり、その精度は先に述べたとおりとなり、広域スケールのモデルの場合出現地点的中率が低

九州淡水魚分布予測システム

Step 1: 以下の情報を入力ください

| | |
|-----------------------------|------------|
| ●水系の基礎情報 | 入力! |
| ・水系の生物地理 (北西部 or 北東部 or 南部) | →() |
| ・水系の幹線流路延長(km) | →() |
| ●地点の基礎情報 | |
| ・前後1km区間の河床勾配 | →() |
| ・平水時の流路幅(m) | →() |
| ●周囲(半径1km内)の環境情報 | |
| ・水田面積(km ²) | →() |
| ・都市用地面積(km ²) | →() |
| ・水路の接続数(本) | →() |

Step 2: 入力後「計算」をクリックください
注)流路幅、水田・都市用地面積、水路の接続数は未入力でも計算できますが、その場合、平均的な値で結果が算出されます。

「計算」

計算結果

| | | |
|---------|------|--|
| ●魚種 | ●可能性 | 生息の可能性がある魚種のうち、その魚種が実際の調査で採集されなかった場合、その魚に配慮した工夫を選択すると、より効果的な自然再生事業となるでしょう。 詳しくは、「こちら」 |
| カワムツ | >99% | |
| タカハヤ | >99% | |
| ドンコ | >88% | |
| ヤマメ | >50% | |
| カワヨシノボリ | >45% | |
| カジカ | >40% | |
| アカザ | >25% | |
| ギンブナ | >10% | |
| オイカワ | > 8% | |
| ムギツク | > 7% | |
| ・ | ・ | |
| ・ | ・ | |

図4 淡水魚類分布予測システムのイメージ図

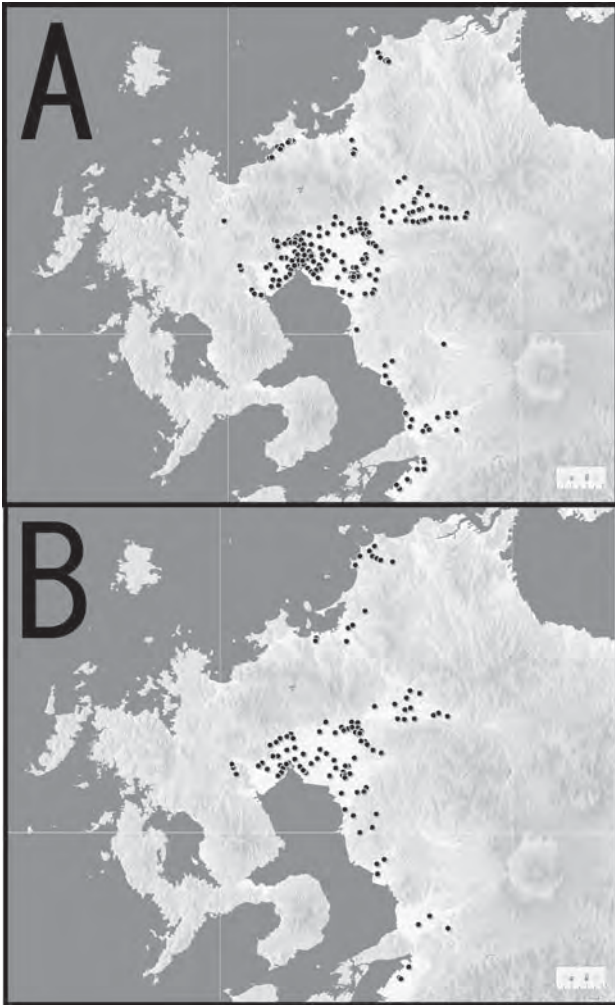


図5 九州北西部におけるニッポンバラタナゴの出現予測 (A) と実際の分布 (B)

くなることを証明した形となった。しかしながら、ここでもう一度、階層構造の概念を考えるべきである。少なくとも、生物地理、水系、セグメント等の上位の階層で構築されたモデルであるため、出現が予測された場所についてそれらの条件は満たしているはずである。にもかかわらず、実際に出現しないのであれば、解析に用いなかった下位の階層の環境構造が欠落すると考えるのが妥当である。予測値と実測値の差から、欠落する下位の階層の環境構造の情報を予測できる可能性が高いのである。

河川法が改正され、多自然川づくり技術が広まり、全国各地で自然再生的な環境統合型手法による河川管理が行われつつある¹²⁾。しかしながら、そういったものに直接あるいは間接的に触れる中で、常に感じる疑問がある。それは、自然再生の位置づけである。何らかの河川事業において事前調査で生物調査が行

われ、絶滅危惧種が採集されたとき、その種に配慮した事業が実施されることが自然再生なのか？それは単なる現状維持である。失われた生物にまで配慮して初めて自然再生と言えるのではないか？その失われた生物は、過去の生物調査データが存在しない限り、我々は得ることができない。そういった場面で、上記の広域スケールの予測モデルは重要な役割を果たすだろう。幸いなことに、先の階層構造のうち、我々人間が比較的容易に操作できるものはいずれも下位の階層の環境構造であり、直線化された区間に蛇行を戻す、瀬淵を創造する、ワンドを掘るといった技術は、いずれもその操作である。上位の階層の環境構造に基づいた予測モデルを用いて、その場所の最大の生物ポテンシャルを算出し、それを目標値として様々な自然再生技術を駆使して下位の階層の環境構造を多様化し、その目標に近づける努力をすることが、本来あるべき自然再生だと考えている。

5 絶滅危惧種の分布予測

広域スケール、詳細スケールに限らず、絶滅危惧種の分布ポテンシャルを予測するのは、生物多様性保全あるいは各々の生物種の保全に重要な役割を果たすだろう。危機的な魚種の生息適地を予測できればその保全的導入のための適地選定に、また複数種の生息適地の重複を予測できれば生物多様性ホットスポットとしての保護区選定に役に立つだろう。また、新たな取り組みとして、絶滅危惧種の分布予測モデルを用いて、それらの種の過去の分布ポテンシャルを明らかにし、現在と比較する研究を我々は進行させようとしている。それは、多くの種において過去の分布情報があまりに少なく断片的であるため、各種の減少率が正確に把握できないからである。各種の分布域が過去と比べてどれほど減少したかを推定できれば、各種の減少率や絶滅リスクがより正確に把握できるようになり、「真の絶滅危惧種」が分かるようになるだろう。

また、過去だけでなく現在の分布情報さえも欠落している絶滅危惧種が多いのも問題である。その中で特に顕著なのが河口域に生息するハゼ科魚類であ

る。ハゼ科魚類の中で環境省のレッドリスト 2007 年版¹³⁾に掲載されているような種は、各種のマイクロハビタットが特殊かつ狭小である場合が多く、通常の魚類相調査では採集されにくい。実際、絶滅危惧Ⅱ類 (VU) に指定されるエドハゼ¹⁴⁾ やチクゼンハゼ¹⁴⁾、準絶滅危惧 (NT) のヒモハゼ¹⁵⁾ の分布を詳細に調べた結果、分布が確認できた水系の数が 3 種ともに従来の記録を大幅に上回った。この 3 種以外の分布情報も現在整理している最中だが、ほとんどの種において従来の記録を大幅に上回っている。つまり、これらの結果は、河口域のハゼ科魚類の分布状況は明らかな情報不足で、現在の分布情報さえも欠落していることを意味している。

こういった情報の欠落は、本議論のテーマである「河川生態系保全のための魚類の分布予測」研究の足かせとなっている。目的変数であるハゼ科魚類の分布情報の精度が向上しない限り、その予測は不可能である。問題は目的変数だけではない。説明変数となる環境要因について、河川の純淡水域のような階層構造が十分に精査されていない。また、河口地形

は河口上流の河道特性だけでなく、波や潮汐といった海域からの影響を受けるため¹⁶⁾、先の生物地理、水系といった上位の階層の要因の間に位置するものとして、河川が流入する海域や、その海域内での河口の立地条件を考慮する必要も出てくるだろう。

我々は、上記のようなハゼ科魚類の分布情報の欠落を防ぐための新たなアプローチとして、ある一定地域での詳細な分布情報を基に分布予測モデルを構築し、未調査地域での各種の分布を推定・検証することで、分布情報の欠落を補う試みを進めている。ここでは、絶滅危惧ⅠA類 (CR) のキセルハゼを例に紹介する。本種は、従来は全国で十数例ほどしか発見されておらず¹⁷⁾、九州でも数例しか記録が無かった^{17,18)}。しかしながら、これまでの我々の調査により、九州・山口で 30 水系以上に分布していることが明らかとなった¹⁹⁾。このうち 9 水系は 1998 年度から 2006 年度までに実施された河川水辺の国勢調査において、その生息が確認されていない。つまり、本種は他の河口域に生息するハゼ科魚類同様、通常の魚類相調査では採集されにくい種であると言える。

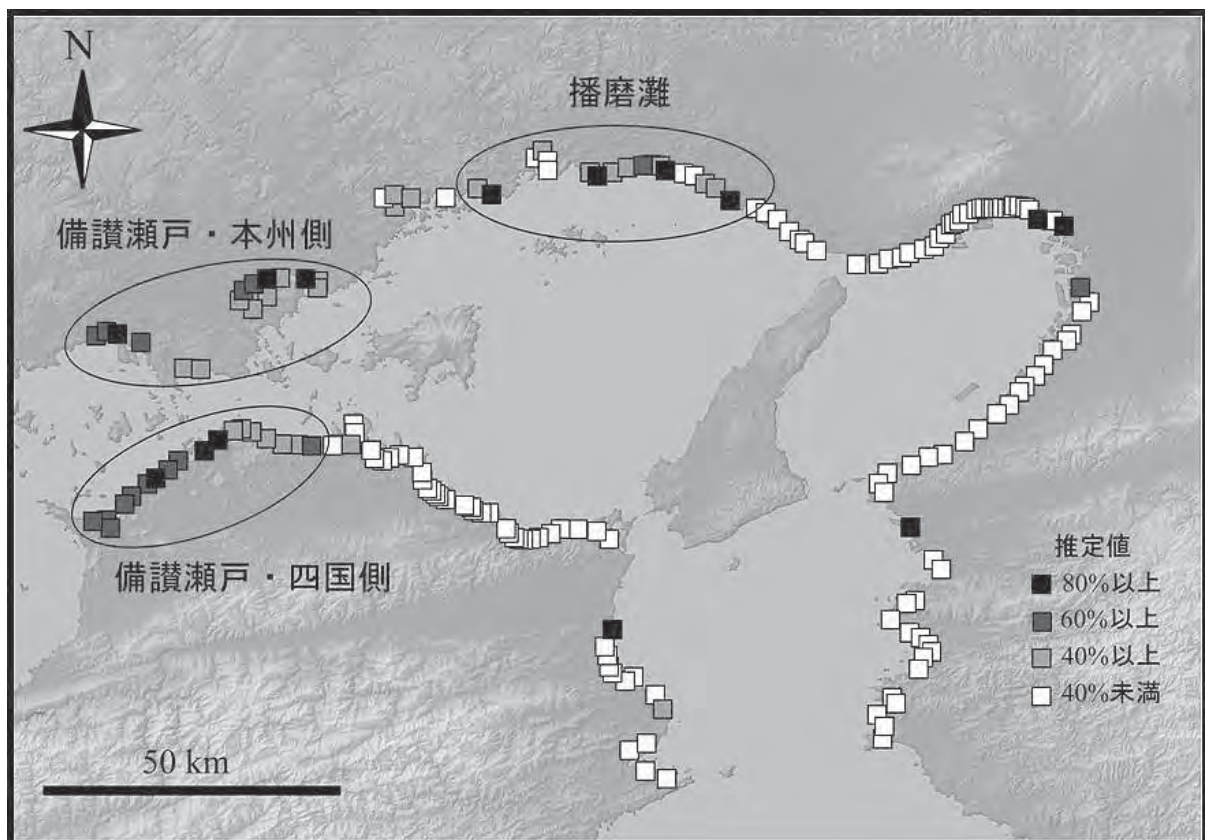


図 6 瀬戸内海東部におけるキセルハゼの分布予測

そこで、我々の調査結果から瀬戸内海西部（福岡県、大分県、山口県）に流入する河川の詳細な分布情報を抜き出し、それらの河川の環境情報を数値地図から抽出して、水系スケールでの分布モデルを構築し、そのモデルに基づいて瀬戸内海東部の未調査エリア（岡山県、兵庫県、大阪府、和歌山県、香川県、徳島県）での本種の分布を予測した（図6）²⁰⁾。この図からは、備讃瀬戸の本州側（岡山県）と四国側（香川県）、播磨灘（兵庫県）の3エリアに本種の生息確率が高い水系が密集していることが分かる。実際、備讃瀬戸の本州側と播磨灘では1水系以上の記録があることから¹⁷⁾、このモデルに基づく未調査エリアでの分布予測はある程度できていると言えるだろう。そして、未調査エリアの中で生息確率が高く算出された場所では、詳細な調査を行うことで、新たな産地を発見できる可能性がある。推定値が高い水系が多いにもかかわらず、これまで採集記録がなかった備讃瀬戸の四国側において我々が実際に調査を行ったところ、予想通り本種の分布を確認することができたこと²⁰⁾はその最たる例だろう。

これはあくまで1種の事例であるが、一般的な魚類相調査では採集されにくいなどの何らかの理由によって、現在の分布情報が欠落する魚種については、ある特定の地域での詳細調査とそれに基づくモデル構築、そして、他地域での推定と実際の調査による検証といったプロセスを経ることで、分布情報を蓄積していくことができるだろう。潜在的な分布の可能性の有無を知ること、野外調査の精度向上や効率化につながる可能性があるかと我々は考えている。そして、先の本来あるべき自然再生の見地に立ったとき、ある絶滅危惧種の分布の可能性が高いエリアでは、仮に生物調査でその種の生息が確認できなかったとしても、その種が生息している可能性も十分考慮して、河川管理を行う必要がある。

6 最後に

以上、述べてきたように、生物分布の予測技術はスケールの問題を正しく理解して活用すれば、河川生態系の保全と管理の様々な場に応用可能な技術で

ある。ただし、現状はモデルを構築する上での目的変数となるべき生物分布情報が不足している。それは、上述したハゼ科魚類に限ったことではない。淡水魚類で言えば、国内最大データベースは水辺の国勢調査であり、中小河川や氾濫原のデータが少ないのが実情である。

水辺の国勢調査に限らず、様々な事業において生物調査が行われているはずであり、データベース化されず、眠ってしまっている情報が恐らくたくさんあるだろう。それらがデータベース化されていない点を極めて残念に考える。そういった生物データの集積、管理、運用が、我々研究者のみでは解決できない、生物分布予測技術の精度向上と現場への応用における解決すべき課題であると考えます。

謝辞

ここで紹介した淡水魚類分布情報データベースは、環境省地球環境研究総合推進費革新型（RF-075, RF-0910）の中で構築された。また、紹介した研究の一部は、河川生態学術研究会五ヶ瀬川研究グループの一員として行われた。

参考文献

- 1) M. G. Turner, R. H. Gardner, R. V. O' Neill (中越信和, 原慶太郎訳), 「景観生態学」(文一総合出版)
- 2) Y. Kano, Y. Kawaguchi, T. Yamashita, Y. Shimatani 「Distribution of the oriental weatherloach, *Misgurnus anguillicaudatus*, in paddy fields and its implications for conservation in Sado Island, Japan」, *Ichthyological Research*, 57, 180-188 (2010)
- 3) M. Sato, Y. Kawaguchi, H. Yamanaka, T. Okumura, J. Nakajima, Y. Mitani, Y. Shimatani, T. Mukai, N. Onikura 「Predicting the spatial distribution of the invasive piscivorous chub (*Opsariichthys uncirostris uncirostris*) in the irrigation ditches of Kyushu, Japan: a tool for the risk management of

- biological invasions], *Biological Invasions*, 12, 3677-3686 (2010)
- 4) 中島 淳, 鬼倉徳雄, 松井誠一, 及川 信, 「福岡県における純淡水魚類の地理的分布パターン」, *魚類学雑誌*, 53, 117-131 (2006)
- 5) J. D. Allan, M. M. Castillo 「Stream Ecology」 (Springer)
- 6) 鬼倉徳雄ほか (未発表)
- 7) 中島 淳, 島谷幸宏, 巖島 怜, 鬼倉徳雄, 「魚類の生物学的指数を用いた河川環境の健全度評価法」, *河川技術論文集*, 16, 449-454 (2010)
- 8) K. Watanabe, 「Parsimony analysis of the distribution pattern of Japanese primary freshwater fishes, and its application to the distribution of the bagrid catfishes」, *Ichthyological Research*, 45, 259-270 (1998)
- 9) 川那部浩哉, 水野信彦, 細谷和海, 「改訂版 日本の淡水魚」 (山と溪谷社)
- 10) 鬼倉徳雄ほか (未発表)
- 11) N. Onikura et al. (unpublished)
- 12) 島谷幸宏, 「多自然川づくりの制度と技術の確立に向けて」, *水環境学会誌*, 31, 338-340 (2008)
- 13) 環境省, 「生物多様性情報システム」, [http:// www.biodic.go.jp/rdb/rdb_f.html](http://www.biodic.go.jp/rdb/rdb_f.html)
- 14) K. Eguchi, R. Inui, J. Nakajima, T. Nishida, N. Onikura, 「Geographical Distribution of Two Endangered Goby Species, *Gymnogobius uchidai* and *G. macrognathos* (Perciformes, Gobiidae), in the Kyushu Islands, Japan」, *Biogeography*, 9, 41-47 (2007)
- 15) 江口勝久, 乾 隆帝, 中島 淳, 鬼倉徳雄, 及川信, 「九州におけるヒモハゼの分布の現状」, *九大農学芸誌*, 63, 27-33 (2008)
- 16) 山本晃一, 「河川汽水域の地形変動とその変動要因」, *河川汽水域* (河川環境管理財団編), 61-102 (技報堂出版)
- 17) 鈴木寿之, 吉郷英範, 野元彰人, 淀 真理, 中島 淳, 松井誠一, 「絶滅危惧種キセルハゼの形態, 生息状況および分布」, *日本生物地理学会報*, 61, 125-134 (2006)
- 18) 福岡県立北九州高校魚部, 川原二郎編, 「北九州の干潟 BOOK」 (株式会社マツモト)
- 19) Inui et al. (unpublished)
- 20) Inui et al. (unpublished)