

流域を見える化する生息ポテンシャルマップの活用事例とその課題

Examples of Habitat Potential Map Utilization to Visualize Watersheds and Related Tasks

自然環境グループ 研究員 内藤 太輔
 主席研究員 中村 圭吾

1. はじめに

「河川を基軸とした生態系ネットワーク」形成の取組みが広がり¹⁾、流域治水の推進とともに流域での生態系ネットワーク形成への貢献が国会付帯決議（第204回国会閣法第18号、令和3年5月10日）で求められるなど、近年、河川・流域での生態系ネットワーク形成の重要性に対する認識が広がり、その取組みを加速する必要性が高まっている。

これに対して、生態系ネットワークの評価手法が、「河川事業における生態系保全に関する評価の手引き（実務者向け）（案）～生態系ネットワーク形成に向けて～」(令和3年6月国土交通省水管理・国土保全局河川環境課)²⁾でまとめられるなど、必要な技術や情報の整理も進められている。一方、近年ではOECM（自然共生サイト）の導入が検討されていることなどを背景に、評価の活用にあたり、生態系ネットワークを含め生物多様性の評価を可視化して共有するマップ作成の動きが進んでいる^{3), 4), 5)}。

本検討では、生物の生息適地や生物多様性などを可視化する生息ポテンシャルマップに着目して活用事例を収集し、その種類や課題を整理した。本稿ではその概要を報告する。

2. 生息ポテンシャルマップとは

生物の生息適地を表現した地図を本稿では生息ポテンシャルマップと呼ぶ。生息環境としての適性（ポテンシャル）は、基本的に生物分布と環境要因との関係を解析し、環境要因を説明変数として、指標種の生息確率や生物の多様性など定量的に評価された数値で示される。

2-1 メリットと留意点

生物調査の結果の多くが点情報であるのに対して、GIS データなど面的に整備された環境要因の情報を基に作成される生息ポテンシャルマップは、面的な評価結果を表現できること、さらに環境要因が予測可能な場合には将来や過去の状況についても予測・推定評価ができる点で優れている。

一方で、推定評価を基にしているため不確実性を伴い、実際の生物の生息を保証するものではないことには留意が必要である。また、本研究でも確認されたように、すでに多くの種類の生息ポテンシャルマップが作成されているが、社会実装を促進するためには体系的な整理や手引き、事例集等の整備が必要である。

2-2 広域を対象とした事前評価の重要性

近年の河川・流域での生態系ネットワーク形成の取組みが進む中で、中村⁶⁾は、「生態系ネットワークを保全・再生するためには、ネットワークを適切に評価し、効率的に保全・再生を図る必要がある。」と指摘している。スケールや質の異なる多様な生態系ネットワークが存在する中で、その形成にあたっては、河川整備計画や事業計画の段階で広域を俯瞰できる事前評価を行い、戦略や計画性を持つことが重要である。

対象とする生物の生息適地を可視化する生息ポテンシャルマップは、環境の現状把握、目標設定、優先保全・対策箇所の選定、多様な主体との合意形成などに活用されており、生態系ネットワーク形成を効果的・効率的に進めるための有効なツールとなっている^{2), 7)}。

3. 生息ポテンシャルマップの活用事例

本研究では、文献やweb検索を基本として河川や流域を対象とした生息ポテンシャルマップの活用事例を収集整理した。ここでは、その中からいくつかの観点で具体事例を取り上げ、特徴や活用のポイントを解説する。

3-1 生物分布と環境要因の関係を解析する二つのアプローチ

生息ポテンシャルマップの作成で必要となる生物分布と環境要因との関係の解析方法には、大きく統計モデルを使うものとそうでないものがある²⁾。

いずれの方法も生息環境の適性を定量的に評価するものだが、生息適地モデルと呼ばれる統計モデルを使った方法では、生物の分布情報と環境要因を統計的に解析し、評価値は生息確率や生物の多様度（種数や多様度指数）で表現される。一方、統計モデルを使わな

い方法では、環境要因を一定のルールで点数化することなどで定量評価する。

前者の生息適地モデルには、複数のモデルが開発されているが、魚類や鳥類を対象に河川や流域を評価した事例では、一般化線形モデル (GLM)、MaxEnt などが良く使われている。後者の事例では、全国に先駆けて自然再生計画の対象箇所選定で採用した円山川の事例⁸⁾がある他、近年直轄河川を対象に整備が進められている河川環境管理シートの評価手法⁹⁾もこれに該当するだろう。

ここでは、優先保全・対策箇所を選定あるいは明示した2つの事例を紹介する。河川や流域全体で生息適地の分布を可視化し、優先対策・保全箇所を選定することは、生息ポテンシャルマップの代表的な活用方法である。

(1) 豊岡自然再生アクションプラン (豊岡市)¹⁰⁾

豊岡市では、生息適地モデルの一つ一般化線形混合モデル (GLMM) を使ってコウノトリの営巣環境のポテンシャルマップを作成し、それを基にした「豊岡自然再生アクションプラン」を策定している。

技術的な特徴は目的変数としてコウノトリの繁殖成功率を採用し、人工巣塔を設置するにあたっての繁殖環境としてのポテンシャルを評価したことである。この評価を可能にした背景には、既存の人工巣塔に対する繁殖状況のモニタリングによって、解析につながるデータ整備ができていたことがある。この生息ポテンシャルマップを活用することによって、新たな人工巣塔を設置する際には、科学的な合理性を基に繁殖効率の高いエリアを選択し、より効果の高い事業展開が期待できる。

繁殖と関係性があると予想した環境条件	繁殖に良い影響を与えていることが分かった環境条件
土地の利用形態	土地の利用形態 (巣塔からの距離)
1 水田面積	1 水田面積 (300m以内)
2 湿地・ビオトープ面積	2 湿地・ビオトープ面積 (300m以内)
3 水路長	
4 道路(幅員5.5m以上)	3 道路(幅員5.5m以上) (500m以内)
5 コウノトリ育む農法田	4 コウノトリ育む農法田 (500m以内)
6 水田魚道	
7 竹林面積	
地形	地形
8 河川の長さ	
9 山際の長さ	5 山際の長さ (500m以内)
10 山際部の面積	
11 地形の開空度指標 ^{*1}	6 地形の開空度指標 (500m以内)

*1 その場所の地形がどの程度起伏に富んでいるかを定量的に表す指標

図-1 コウノトリの巣塔周辺の環境条件の解析

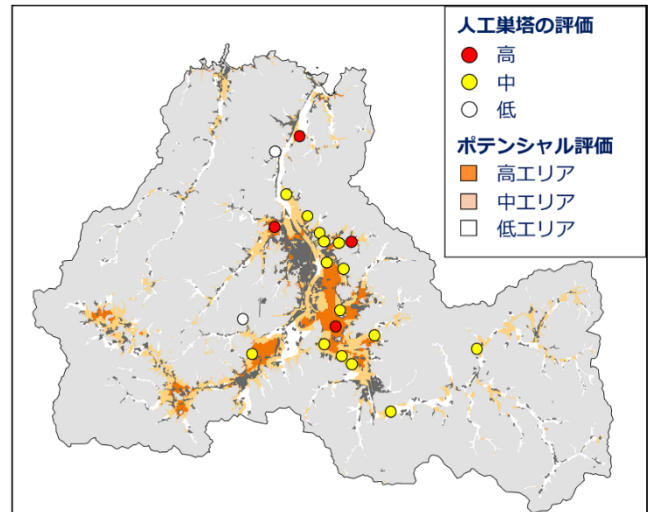


図-2 繁殖成功率を指標とした人工巣塔とポテンシャルの評価

出典: 図-1、2とも「豊岡自然再生アクションプラン」

(2) 自然再生計画対象箇所の選定 (円山川)⁸⁾

円山川の自然再生計画では、生物の生息・生育環境の多様性が高い個所を抽出し、その結果をもとに自然再生の対象地域を設定している。生物の生息・生育環境の多様性の評価には、6種類の環境要因を設定したうえ項目ごとに閾値を設け、閾値以上のみを評価(加点)する手法を用いた。結果的に0~6の点数が与えられ、環境を定量的に評価できる。評価結果を基に生息ポテンシャルマップを作成し、円山川流域の中で生物の生息・生育環境の多様性が高い地域を抽出したうえで、選定箇所での具体的な課題・目標設定、環境改善策を検討している。

統計モデルを使わない評価手法の代表的な実用事例であり、原理的に理解しやすく環境要因や閾値の設定などに調整を加えやすい点から、汎用性が高い。また統計モデルを使わない評価手法では、既往の知見を利用する場合には、生物調査を行わなくても評価、地図化が可能である。一方で、環境要因と実際の生物の分布状況との関係性については、統計モデルを使った手法と比較して合理性や説明力は高くない。この点から実用にあたり、採用する環境要因の選定には専門家のアドバイスを受け、実際の生物分布との比較検証を行うことが必要になる。

3-2 予測評価を用いた効果的な事業戦略

生息ポテンシャルマップ活用のメリットの一つは、説明変数となる環境要因の変化が予測可能な場合に、ポテンシャルの将来変化も予測可能なことである。将来予測ができることにより効果的な事業シナリオの選択が可能になる。

ここでは、農業用水路の落差改善効果を予測した岐阜県の事例¹¹⁾と、河道改修に伴うアユの産卵場面積を予測した雲出川の事例¹²⁾を紹介する。

(1) 予測評価に基づく効果的な農業用水路の落差解 (岐阜県)¹¹⁾

岐阜県では、農業用水路の河川との合流部での落差の有無、受益面積（河川という流域に相当）の大きさと魚類の種数との関係を解析し、種数面積モデルを構築した。このモデルにより、受益面積が大きい農業用水路ほど落差の改善効果が高いことが示されたことから、実現性も踏まえて対策箇所を選定し、いくつかの地区で実際に落差を解消した。その結果、事後検証においても予測結果と同程度の効果が得られることが確認されている。

予測評価に基づく生息ポテンシャルマップを活用した好事例といえるだろう。一方で、種数面積モデルの構築のために膨大な魚類調査が実施されており、調査段階を含めてそのままの方法を展開することはハードルが高い。また、学術的には現状で作成したモデルを将来予測に活用してよいかといった議論があることにも留意が必要である。

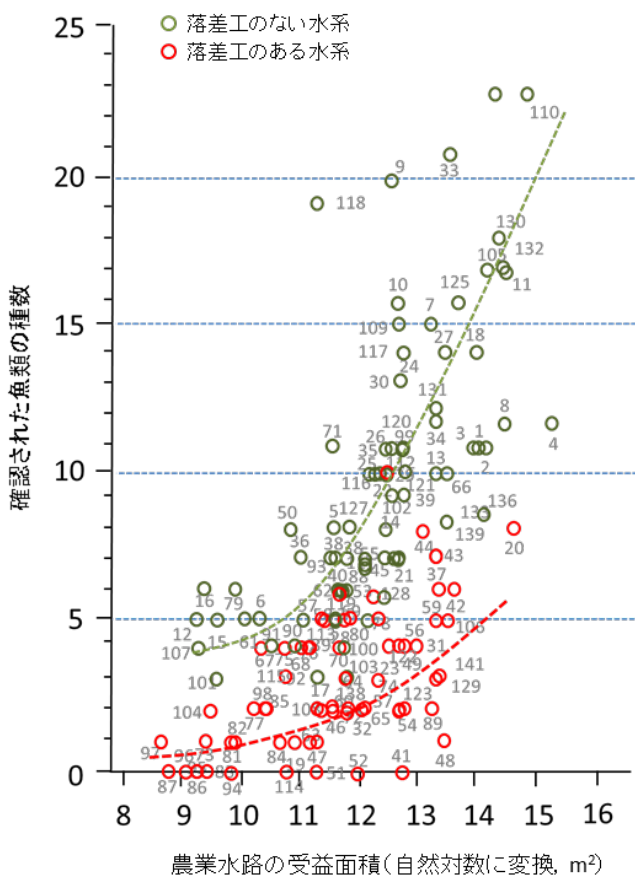


図-3 魚種数と農業用水路の受益面積との関係

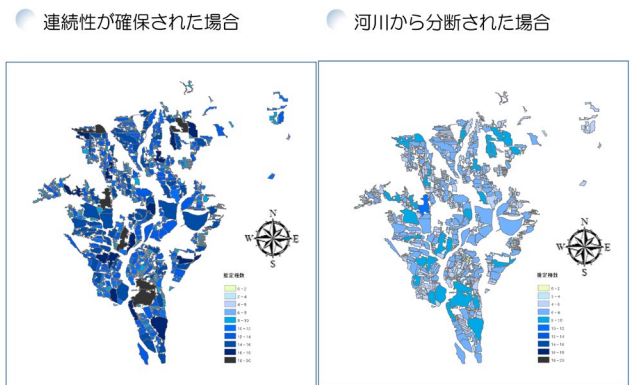


図-4 落差工の改善効果の予測
出典：図-3、4とも岐阜県水産研究所 (2018)

(2) アユの産卵場面積を指標とした設計河道の比較評価 (雲出川)¹²⁾

雲出川では、アユの産卵場面積を指標に現況河道および複数の設計河道の比較評価を行った。技術的な特徴は、iRIC-Nays2DHを用いた平面2次元河床変動解析を行い、その解析結果の水深・流速等のデータを河川環境評価モデルEvaTRiP(Pro)¹³⁾に入力し環境評価を行う3次元河道設計ツールを活用した解析である。

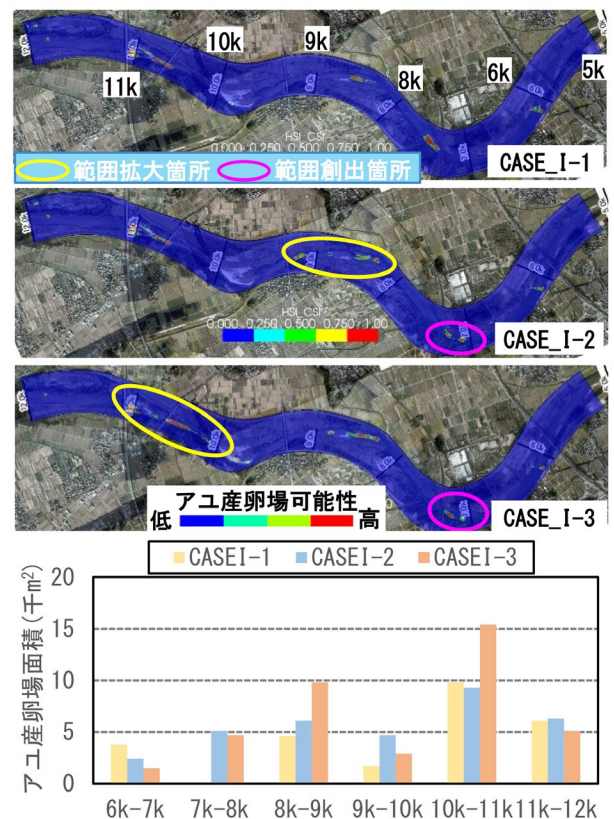


図-5 平均年最大流量ケースのアユ産卵場分布の評価結果 (上：平面図、下：面積変化)
出典：周 (2022)

アユ産卵場分布については、生息場物理環境評価法(PHABSIM)を採用しており、その結果が生息ポテンシャルマップで可視化されている。

今後、同様に3次元河道設計ツールを活用した検討事例が増えていけば、治水と環境の一体的な川づくりの推進につながる事が期待される。

3-3 生物多様性を指標する景観要素の多様性指数の開発

景観要素の不均一性が高ければ生物の多様性も高くなるという仮定のもと、生物の多様性の代替として景観要素の不均一性を指数化している事例がある。

「さとやま指数」は、「少なくとも一部に農地を含む単位空間内の土地利用多様度と非農業的土地利用の割合を反映させた指数であり、土地利用の不均一性が高いほど、また農地の占有率が低いほど高い値をとる指数」である^{14) 15)}。

「日本全国さとやま指数メッシュデータ」の2次・3次メッシュデータが整備、公開されており、同データは国立環境研究所への申請で取得可能である。農地を中心とした景観において地域の生物多様性を概観するのに活用できる。

近年、淡水景観の不均一性に基づいた「さとがわ指数」も開発された¹⁶⁾。淡水の土地被覆の多様性と形状の複雑さが考慮されており、トンボ類および淡水魚の多様性とよく相関することが報告されている。

「さとやま指数」、「さとがわ指数」は、景観要素の多様度を基にした指数で、全国地図が作成されていることから、それぞれが農業景観、淡水景観を対象としたことに留意する必要があるが、そのままの形で生物多様性をある程度概観できる。

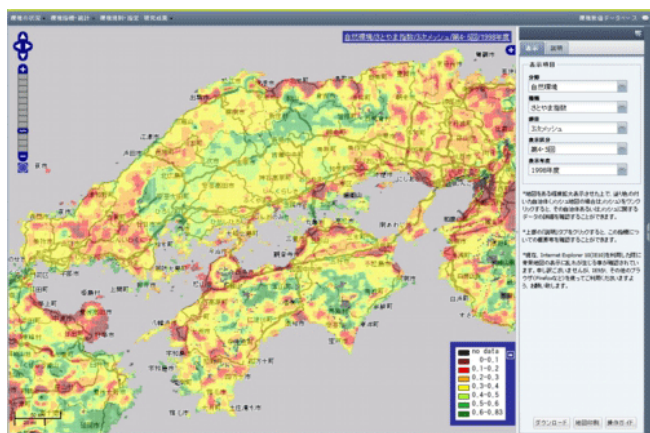


図-6 公開されている「さとやま指数」

出典：国立研究開発法人国立環境研究所 Web サイト
(<https://www.nies.go.jp/biology/data/si.html>)

3-4 複合的なテーマへの活用

環境省では、「自然生態系を基盤とする防災減災推進」の一環として令和2年度より生態系機能ポテンシャルマップの作成方法の高度化検討を進めており、令和4年度には、Eco-DRRポテンシャルマップの作成・活用方法を提示した「持続可能な地域づくりのための生態系を活用した防災・減災(Eco-DRR)の手引き」(2023/03/31)を公開した¹⁷⁾。

同手引きの中では、「地域に応じた指標の選択を行い、目的に応じて評価結果の重ね合わせを行うことでEco-DRRの効果や意義が大きいと見込まれる場所を評価します。」として、複数の項目の組合せでEco-DRRポテンシャルを評価することを提案している。

評価の指標として、①湿地環境のポテンシャルがある場所、②生物多様性保全を図る上で重要な場所、③生態系の保全・再生に取組みやすい場所を示している。

位置情報を持つ指標の重ね合わせはGISで処理できる地図との相性がよく、生息ポテンシャルマップの強みと考えられる。防災・減災のほか、観光資源などと組み合わせ地域振興やWell-beingのポテンシャルを表現することなども考えられる。

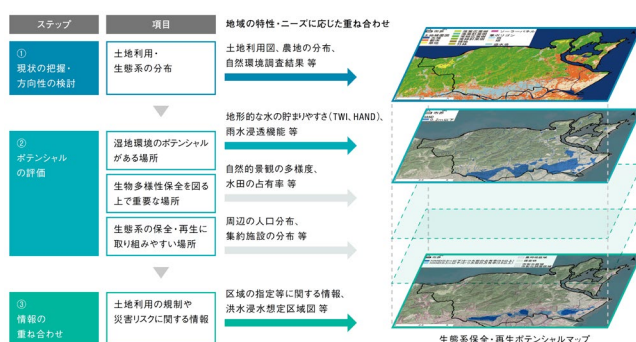


図-7 Eco-DRRポテンシャルマップ作成のイメージ
出典：環境省(2023)

(https://www.env.go.jp/press/press_01389.html)

3-5 WebGISの活用による閲覧、検索性の向上

遠賀川、筑後川流域を対象として、生息適地モデル(ロジスティック回帰分析)を用いて流域に生息する全淡水魚種を対象に生息ポテンシャルマップを作成したうえで、河川工事に際して生息環境を保全・創出するための配慮メニューを魚種ごとに簡易に閲覧できるWebGISシステムが開発された¹⁸⁾。このシステムにより、既存の魚類調査情報がない場所でも、潜在的に生息の可能性のある魚類が把握可能となった。河川環境情報図の補完・補強ツールとしての活用が期待される。

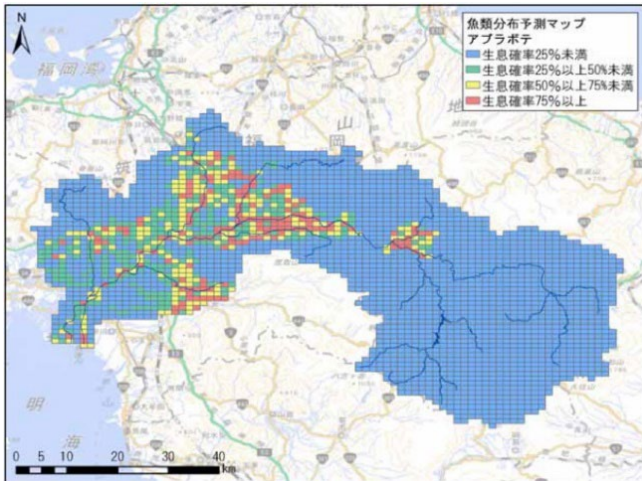


図-8 Eco-DRR ポテンシャルマップ作成のイメージ
出典：遠山（2019）

WebGIS は、先述の「さとやま指数」でも構築、公開されており、地図の拡大縮小、移動ができ、だれでも閲覧が容易にできる。WebGIS を活用することで生息ポテンシャルマップを多くの人と共有でき、合意形成や情報発信ツールとしての機能を大幅に強化できる。

3-6 生息ポテンシャルマップをきっかけとした取組みの広がり

「九州北西部のクリーク網 生物多様性優先保全地域地図」¹⁹⁾は、佐賀県、福岡県、熊本県にまたがる広範囲を対象に、一帯に広がる水田の水路網(クリーク網)を利用する魚類の生息調査とその解析結果を基に、優先的に保全・再生すべき地域を示した地図である。

この地図が一つのきっかけとなり、最優先に保全されるべき地域に含まれている大木町では、水路網をテーマに「石丸山公園」をまるごと野外の環境を活かした水族館にする取組みを立案し、既存の資料館で淡水魚の展示を拡充するなどの取組みを進めている。さらに農業用排水路の改修計画の実施にあたっては事業主体の福岡県と検討を重ね、詳細な生物調査を実施して保全箇所を設定、改修にあたっては自然を残す工法を選定するなど、具体的な取組みと連携に結び付いている²⁰⁾。

この事例における一連の取組みには、九州大学の鬼倉徳雄教授ら専門家と連携した WWF ジャパンのプロジェクトが大きな役割を果たした。企画段階から関係機関と丁寧なコミュニケーションをとることで、九州北西部が世界的に見ても希少な淡水魚の生息域であることを示し、生物多様性の保全・再生という目的を共有した。そのうえでそれぞれの強みを生かし、生物調査とその解析、地図作成、農業と生物多様性の両立を図る上での配慮事項などをまとめた「水田・水路でつな

ぐ生物多様性ポイントブック」の作成¹⁹⁾、関係機関とのネットワークの構築、広報・普及啓発による活動の推進、資金調達といった一つ一つのステップをクリアしている。

この地図は、優先保全・再生地域を示している点などで一般のポテンシャルマップより優れており、広域で多様な主体が連携するための羅針盤として機能しており、自治体の参画、多様な主体との合意形成に一役買っている。

3-7 生息ポテンシャルマップの分類整理

事例収集を通して整理した、生息ポテンシャルマップの分類を表-1に示す。対象範囲は、河道改修範囲から河川、流域、全国まで幅広く対応している。目的変数は、指標種の生息確率、生物多様性(種数・多様度指数)など生物を指標するものと、「さとやま指数」など景観の多様性、湿地環境のポテンシャルを示す指数など環境要因を指標するものとの大きく二つに分類できた。説明変数となる環境要因は、物理環境(流速、水深など)、地形・土地利用(瀬・淵、周辺の水田面積や流路延長など)のほか、横断工作物の落差など障害要因も含まれる。評価手法は、統計モデルを用いるものとそうでないもの大きく二つに分類できた。目的は、生物多様性保全の観点からは、生態系ネットワークの構築のほか、OECM への活用を想定している事例⁵⁾もあった。また、環境省の Eco-DRR ポテンシャルマップな

表-1 生息ポテンシャルマップの分類

分類	項目
対象範囲	<ul style="list-style-type: none"> ・河川・農業用排水路 ・行政区域 ・流域や、流域よりも大きい広域 ・全国
目的変数	<ul style="list-style-type: none"> ・指標種の生息環境としての適性(生息確率、繁殖成功率など) ・生物多様性(種数・多様度指数など) ・景観の多様性(さとやま指数、さがわ指数など) <p style="text-align: right;">など</p>
説明変数	<ul style="list-style-type: none"> ・環境要因(物理環境、地形、土地利用、障害要因など)
評価手法	<ul style="list-style-type: none"> ・統計モデルを用いた手法(GLM、MaxEnt など) ・統計モデルを用いない手法
用途・目的	<ul style="list-style-type: none"> ・生態系ネットワーク形成(生物多様性や生態系サービスの向上) ・Eco-DRR、グリーンインフラ整備 ・地域活性化/Well-being ・OECM ・企業活動(付加価値の向上) <p style="text-align: right;">など</p>

ど、生物多様性保全だけでなく防災・減災など複数のテーマへの対応を目的とするマップの作成事例も見られた。観光資源の情報との組み合わせで、地域振興などへ活用することも考えられ、GISの特徴を生かし、今後目的に応じた様々な重ね合わせのマップの作成が期待される。

4. 課題と今後の展望

4-1 ポテンシャルマップ作成の課題と展望

生息ポテンシャルマップの作成・活用にあたっての課題を検討整理した。

(1) ポテンシャルマップ作成の課題

最初に、対象とする地域の特性や事業の目的に応じて、何を指標とするのが大きな課題となる。生態系ネットワーク形成の目的に、生物多様性の保全だけでなく地域振興も含まれることが広く示されていることから、指標についてもこの二つの観点で検討する必要がある。今回収集整理した事例では、大きく指標種を設定するものと、生物多様性そのものを指標とするものがあつた。

前者は、例えば上位性、希少性、典型性といった生態的な指標性のほか、地域活動につながる象徴性や地域とつながるストーリー性についても求められるようになっている。

後者は、種数や多様度指数といった指数によって定量的に扱うことが容易になっている一方で、生物多様性と地域との結びつきを具体的に示していくことが課題となっている。

説明変数となる環境要因の設定については、少なくとも生態学、GIS、統計に関する知識が必要で専門性を要する。

例えば指標種を設定する場合には、指標種の生活史や生息環境についての嗜好性を把握したうえで、公開データ等使用できるGIS情報を踏まえたうえで、表現方法を検討する必要がある。また、生物と物理環境との関係性の解析では、説明変数間で相関の高い項目を複数選択しないことなど統計的に留意する必要がある。

(2) 周辺技術の進歩

環境要因として活用できる公開GISデータの充実、環境DNAやドローンなど多地点、広域での生物モニタリング技術の進歩など、データ取得に関するインフラ、技術が充実してきたこと、GIS解析、統計解析ができるフリーソフトが普及したことは、生息ポテンシャルマップの作成・活用を強く後押ししていると考えられ、実際の事例でも導入が進んでいる。

特に統計モデルを使った評価手法では、有効なモデルの構築に一定数の生物情報を必要とするため、現地での負荷が少ない環境DNAの活用が注目されており、いくつかの研究事例が報告されている²¹⁾。

4-2 ポテンシャルマップ活用の課題と展望

本稿では、生息ポテンシャルマップの活用事例の収集整理からその有効性を示すとともに、生息ポテンシャルマップには、対象範囲のスケール、目的変数、説明変数、用途・目的などが異なる様々な種類があることを紹介してきた。

今後、生息ポテンシャルマップの活用を進めていくためには、取り組みごとに目的にかなった適切な生息ポテンシャルマップを選択することや汎用性の高い生息ポテンシャルマップの開発をすることが必要となる。

前者に対しては体系的な整理をしたうえで、活用事例集、活用のための手引きの作成、解説ウェビナーの開催や動画配信などにより広く情報共有をすすめることが有効と考える。

導入にあたっては、科学的な合理性とともに、導入のしやすさも重要な判断材料となる。科学的な合理性の高い統計モデルを使った手法には、高い専門性と一定数の生物情報が必要になる。導入のしやすさという点では、統計モデルを使わない手法や今回紹介した「さとやま指数」、「さとがわ指数」といった既存の指数の活用も参考になるだろう。

後者に対しては、直轄河川では河川整備計画の作成にあたり、すでに統一的な評価手法として河川環境管理シートの導入が進められていることから、流域を対象とした生息ポテンシャルマップを開発することが考えられる。環境省が設置する「OECMの設定・管理に関する検討会」においても課題の一つに「生物多様性見える化」を挙げ、「可視化・地図化機能を具備したシステムの開発」を対応方針(案)として検討しており⁴⁾、OECM導入の観点でも生息ポテンシャルマップの開発が進むだろう。

生息ポテンシャルマップは、様々な目的・用途に対応できるがゆえに、特に全国展開するマップについては、今後位置づけを明確にし、すみわけや連携を図ることが重要になる。

5. おわりに

生息ポテンシャルマップは、基盤となるGISデータの充実、GISや統計解析のフリーソフトの普及、環境DNAなど生物モニタリング技術の進歩といった技術的な背景、および流域治水の推進に伴う生態系ネットワーク形成、グリーンインフラ、Eco-DRR、OECMなど社会

的なニーズの高まりなどを受けて、様々な種類のものが作成、導入されている。今後はこれらの事例を体系的に整理し社会実装を進めるために、生息ポテンシャルマップの適切な選択のための観点や活用の留意点をまとめた手引き等の作成、汎用性のある統一的な生息ポテンシャルマップの開発を行う必要がある。

当研究所では、関連する手引きの作成²⁾やウェビナーを通じた情報発信⁷⁾に携わっており、今後も最新の知見やノウハウを継続して発信していく。関心のある多くの皆さんにご活用いただきたい。

本稿の作成にあたり、国土交通省水管理・国土保全局河川環境課の皆様には貴重なご指導・ご助言をいただいた。ここに改めて深く感謝を申し上げます。

<参考文献>

- 1) 岩井聖：河川を基軸とした生態系ネットワークの形成に向けた取組，河川 74(12)，2018
- 2) 国土交通省：河川事業における生態系保全に関する評価の手引き（実務者向け）（案）～生態系ネットワーク形成に向けて～，2021，https://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/kankyo/gaiyou/panf/seitaikai_network_hyoka.pdf
- 3) 株式会社シンク・ネイチャー：日本の生物多様性地図化プロジェクト(J-BMP)，<https://biodiversity-map.thinknature-japan.com/index.html>
- 4) 環境省：令和5年度第1回「OECMの設定・管理の推進に関する検討会」・第1回「30by30に係る経済的インセンティブ等検討会」，2023，https://www.env.go.jp/page_00831.html
- 5) 東京都：エコロジカル・ネットワークマップ，2022，https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/nature/green/green_biodiv/ecological_network_map.html
- 6) 中村圭吾：河川における生態系ネットワーク保全・再生のための環境の捉え方とその技術的現状，河川 74(12)，2018
- 7) 内藤太輔：Q7-2 河川事業における生態系ネットワーク構築の評価の考え方について教えて下さい，大河川における多自然川づくり WEBセミナー第10回，2023，https://www.rfc.or.jp/ivent2023_daikasen10.html
- 8) 国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所：円山川自然再生計画，2005，https://www.kkr.mlit.go.jp/toyooka/saisei/index_ikenkekka5.htm
- 9) 国土交通省：河川環境管理シートを用いた環境評価の手引き～河川環境の定量評価と改善に向けて～，2023，https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kankyo/hyoukatebiki/index.html
- 10) 豊岡市：豊岡自然再生アクションプラン，https://www.city.toyooka.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/005/123/siryoul.pdf
- 11) 岐阜県水産研究所：河川・農業水路・水田における生態系ネットワークの現状と再生，2018
- 12) 周月霞他：3次元河道設計ツールを用いた治水・環境の一体的検討の試行～雲出川直轄区間を例として～，河川技術論文集，第28巻，2022
- 13) 林田寿文：3次元の多自然川づくり支援ツール(iRIC-EvaTRiP&RiTER)，2020
- 14) 国立研究開発法人国立環境研究所：日本全国さとやま指数メッシュデータの公開について，<https://www.nies.go.jp/biology/data/si.html>
- 15) 吉岡明良他：生物多様性評価に向けた土地利用類型と「さとやま指数」でみた日本の国土，保全生態学研究 18，2013
- 16) Wataru Higashikawa et al: The Satogawa Index: A landscape-based indicator for freshwater biodiversity in Japan, Ecological Indicators, vol.152, 2023
- 17) 環境省：持続可能な地域づくりのための生態系を活用した防災・減災(Eco-DRR)の手引き，2023，https://www.env.go.jp/press/press_01389.html
- 18) 遠山貴之他：一級水系流域における魚類分布予測モデルの構築と多自然川づくり支援システムの開発，河川技術論文集，第25巻，2019
- 19) WWF ジャパン：水田・水路でつなぐ生物多様性ポイントブック，2020，<https://www.wwf.or.jp/activities/lib/4285.html>
- 20) WWF ジャパン：福岡県・大木町が取り組む淡水魚保全と農業の両立，2022，<https://www.wwf.or.jp/activities/activity/5074.html>
- 21) 赤松良久他：環境 DNA を用いた山口県内 2 級河川におけるヌートリアの侵入状況と生息適地の把握，応用生態工学，21 巻 1 号，2018

