

河川を基軸とした生態系ネットワーク形成の推進に関する 調査研究

Research on Promotion of River-based Ecosystem Network Formation

自然環境グループ 研究員 阿部 格
自然環境グループ 研究員 内藤 太輔
自然環境グループ グループ長 坂之井和之

本稿は、河川を基軸とした生態系ネットワーク形成の取組みを推進するため、大型水鳥類以外の指標種となりうる種を対象に（本稿ではサケ、ギンズナ、イタセンパラを対象とした）、ポテンシャルマップの作成を通じて、潜在的な生息可能性を把握するとともに、ポテンシャルの高い箇所同士のネットワーク化や、ポテンシャルが低い箇所の改善等を通じて効果的・効率的に生態系ネットワークを形成するための考え方を提案するものである。

サケについては、石狩川や利根川、十勝川といった大河川のほか、急勾配で流域面積あたりの早瀬面積や砂州面積が多い手取川や姫川といった比較的小規模な水系においても産卵適地ポテンシャルが高いことが推察された。

ギンズナについては、流域内の水田面積が多い利根川や石狩川、水系内の土地利用で水田が高い割合を占める小矢部川や六角川等において生息適地ポテンシャルが高くなることが推察された。このような水系において、サケやギンズナは生態系ネットワーク形成にあたっての指標種となりうる適正があることが示唆された。また、ギンズナについては小流域を対象に、河川～堤内の横断方向の生態系ネットワークについて、本川環境・流域環境及びこれらをつなぐ連結性（障害度）をモデル化し定量的に評価する手法を検討し、効果的・効率的にネットワークを形成するための手法を提案した。

イタセンパラについては、生息適地ポテンシャルマップの評価要素の分析により、改善が必要と考えられる箇所の特定や改善のための手法について例示した。

キーワード：生態系ネットワーク、生態系モデル、生態系評価、生物多様性、河川環境

In this article, we will understand the potentiality for inhabitation of the species (excluding large aquatic birds) that can become indicators (*Oncorhynchus keta*, *Carassius sp.*, and *Acheilognathus longipinnis* in this article) through the creation of potential maps of them to promote efforts for river-based ecosystem network formation. We will also propose a way of thinking to effectively and efficiently form an ecosystem network through the networking of high-potential locations and the improvement of low-potential locations.

For *Oncorhynchus keta*, in addition to large rivers such as the Ishikari River, Tone River, and Tokachi River, it was inferred that even the relatively smaller water systems such as Tedoru River and Hime River, which are steeply sloping and have larger rapid and sandbank areas per river basin, have high potential as areas appropriate for egg production.

For *Carassius sp.*, Tone River and Ishikari River, which have larger paddy areas in the river basins, and Oyabe River and Rokkaku River, where paddy fields account for a large percentage of the land usage in the water systems, have higher potential as areas appropriate for egg production. In such water systems, it was suggested that *Oncorhynchus keta* and *Carassius sp.* are qualified to become indicators for formation of an ecosystem network. In addition, for *Carassius sp.*, targeting small river basins, we considered about the method to simulate and quantitatively evaluate the main river environment, basin environment, and connectivity for connecting those (obstruction degree) in a transverse direction ecosystem network from a river to the inside of a levee, and proposed a method to form the network effectively and efficiently.

For *Acheilognathus longipinnis*, through an analysis on the evaluation elements for a potential map of areas appropriate for inhabitation, we showed methods to identify and improve the items that we consider to require improvement as examples.

Keywords: ecosystem networks, ecosystem models, ecosystem evaluation, biodiversity, river environments

1. はじめに

川は森林・農地・市街地等を連続した空間として結びつける、生態系ネットワークの重要な基軸であり、流域の中にまとまった自然環境を保持している貴重な空間である。近年はこのような川の特性を活かし、従来の川の中を主とした「多自然川づくり」から、流域の「河川を基軸とした生態系ネットワークの形成」へと視点を拡大し、流域の農地や緑地などにおける施策と連携しながら魅力的で活力のある地域づくりが行われている。

生態系ネットワークの形成に向けて様々な主体との連携を進める上では、取組みの道筋や目指すべきゴールが関係者間で共有しやすくなることから、地域の生態系の状況を表す特徴的な生き物を「指標種」として選定することが効果的とされている¹⁾。

現在、生態系ネットワークの取組みが行われている流域においては、コウノトリといった大型水鳥類を指標種として設定している事例が多い(表-1)。

表-1 生態系ネットワーク形成の取組みを行っている流域における指標種 (H30.1時点)

水系	指標種
石狩川流域	タンチョウ
北上川・岩木川・成瀬川流域	大型水鳥
荒川流域・利根川流域	コウノトリ、トキ
阿賀野川流域・信濃川流域	大型水鳥等
木曾川流域	イタセンパラ等
九頭竜川流域	コウノトリ等
円山川流域	コウノトリ
斐伊川流域	大型水鳥
吉野川流域	ツル、コウノトリ等
四万十川流域	ツル
遠賀川流域	ツル、コウノトリ、アユ、オイカワ、ナマス*

今後、この取組みを全国展開するにあたっては、大型水鳥類以外を指標種とした取組みも考えられる。

指標種の設定にあたっては、以下の観点を含むことが重要と考えられる。

- A) 地域の生態系の特徴を指標し、かつ、地域イメージの向上や産業振興に寄与できるなど流域住民に受け入れられやすい種
- B) 現在当該地域に生息している種もしくは過去に当該地域に生息していた記録があり、今後再定着が期待される種

A)については、環境影響評価で用いられる上位性、典型性、特殊性や移動性の視点、保全生態学で用いられる生態的指標種、キーストーン種、アンブレラ種、象徴種、危急種等のほか、地域の歴史・文化の観点等を考慮して設定する。

B)については、河川水辺の国勢調査や地域で実施される各種生物調査による生息状況、聞き取りや文献等

による過去の生息状況を考慮して設定する。

本報告では、河川を基軸とした生態系ネットワーク形成及びその活動の全国展開の観点から、以下の2点について報告を行う。

- ①大型水鳥類以外において指標種となりうる生物種(以下「潜在的な指標種」という)について、全国の直轄河川109水系を対象に生息適地ポテンシャルマップの作成を通じて潜在的に生息する可能性のある地域・箇所を選定結果。
- ②作成したポテンシャルマップを活用して、効果的・効率的に生態系ネットワークを形成するための手法の提案。

2. 検討対象とした潜在的な指標種

生態系ネットワークは、基本的にはコアエリア、バッファゾーン、コリドーと呼ばれる3つの要素で構成される。生態系ネットワーク形成にあたっては、これらの要素同士が縦断方向、横断方向、垂直方向、広域的につながりを持つことが重要である。

本報告では、このネットワーク構造に着目し、利用するネットワークが比較的明瞭であり、分析に資する知見が比較的揃っていると考えられる以下3種を、潜在的な指標種とした場合の生息適地ポテンシャルマップの分析からその活用法について例示した。

- ・サケ(縦断方向のネットワーク)
- ・ギンブナ(横断方向<河川~堤内>のネットワーク)
- ・イタセンパラ(横断方向<河川~氾濫原>のネットワーク)

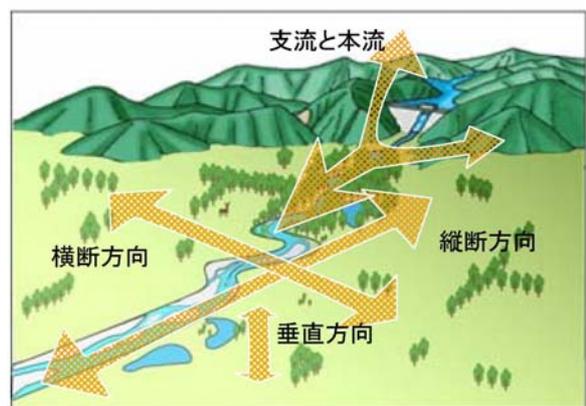


図-1 生態系ネットワークの概念図²⁾

3. サケの産卵適地分析

3-1 評価に用いた資料

生息適地ポテンシャルマップの作成にあたっては、「社整審データ」を用いた。これは、社会資本重点計画のための物理環境調査(全国109水系の直轄管理河

川を対象) で得られたデータで、1960年～2005年までを5期に分割し、空中写真や「河川環境基図作成業務」の結果から、キロポストごとの瀬淵の面積、サブ水域(ワンド・たまり)の面積、ヨシ原の面積、自然水際率等を整理したものである³⁾。

3-2 評価の方法

サケは産卵のために河川の縦断方向のネットワークを利用し、河川を遡上するという生活史を踏まえ、産卵適地に着目して評価を行う。

サケの産卵適地の環境特性を既存文献から整理し、以下の物理データを変数に設定し産卵適地ポテンシャルを評価した。

表-2 サケの産卵適地評価に用いた変数

変数	選定理由
セグメント	サケ産卵床はセグメント1に多いとされる ⁴⁻⁶⁾ 。産卵床形成範囲等に関する指標として採用する。
早瀬の面積	瀬-淵構造に関する指標として採用する ⁷⁾ 。
砂州・砂礫堆_裸地面積	サケ産卵床は礫質で伏流水のある環境に多いとされる ^{5, 6, 8)} 。河床材料、伏流水に関する指標として採用する。

3-3 産卵適地ポテンシャルの定義

(1) モデル式の設定

サケの産卵適地のポテンシャルを試行的に以下の通り定義した。

$$P = \text{【セグメント】} \times \{ \text{【早瀬面積】} + \text{【砂州・砂礫堆_裸地面積】} \}$$

- ・【早瀬面積】や【砂州・砂礫堆_裸地面積】が多ければサケの産卵適地は多くなると推察される。それぞれの変数が互いに独立し好適要素となることが想定されるため、加算することとした。
 - ・【セグメント】は河床勾配、河床材料、扇状地や湧水といった地形等の「河道の特性」を指標すると考えられるため、係数として扱う。
- (2) 配点の設定
- ・【早瀬面積】、【砂州・砂礫堆_裸地面積】: これらの面積が多いほどサケの産卵場に適しているとの仮定を踏まえ、それぞれの変数について度数が等しくなるよう11段階に区分し、各区分について<1.0、1.1…～2.0>点の範囲で設定した。
 - ・【セグメント】: セグメント1の得点が高くなるよう、以下の通り設定した。セグメント1: 2点、セグメント2-1: 1点、その他セグメント: 0点。

- ・サケの遡上が一般に確認されない都道府県⁹⁾については評価対象外とした。また、河床勾配が1/170より急勾配では産卵床が少ない⁴⁾との知見からそのような箇所は評価対象外とした。なお、横断工作物による遡上阻害や、資源増殖のための人工的な採捕等により現実的に遡上が困難である箇所についても、産卵場としてのポテンシャルを評価する観点から評価は行っている。

(3) 産卵適地ポテンシャルの妥当性確認

作成した産卵適地ポテンシャルマップと実際に産卵床が確認された地点の比較検証を行い、ポテンシャルマップの妥当性を確認した。産卵床が確認されている地点⁴⁾はポテンシャルも高い値と評価されており、産卵適地の概ねの傾向は表現できていると考えられる。図-2に示した北海道の河川のほか、本州の子吉川や鬼怒川においても現地調査結果との比較から同様の傾向を確認している。

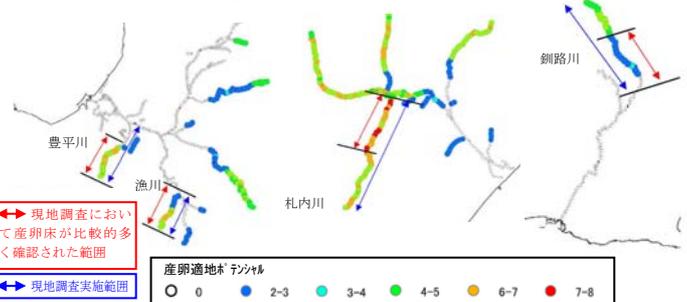


図-2 サケの産卵適地ポテンシャルの妥当性確認例

3-4 サケ産卵適地ポテンシャル評価結果の活用方法

(1) 指標種設定の妥当性確認

図-3から、石狩川や利根川、十勝川水系といった大河川において、産卵適地ポテンシャルの流域内合計値が大きく出る傾向となるが、手取川や姫川といった比較的小規模な水系においても流域内平均値(合計値÷データ個数)が大きく算出された。これらのような産卵適地ポテンシャルが高い水系においてサケを潜在的な指標種とすることは妥当と考えられた。

(2) 生態系ネットワーク改善箇所の特定

堰や頭首工等のサケの遡上阻害要因となっている地点を産卵適地ポテンシャルマップに重ねて表示することで、優先的に生態系ネットワークを改善すべき箇所の特定が可能になると考えられる。横断工作物等によりサケの遡上が阻害されている地点よりも上流側においても産卵適地ポテンシャルが高い箇所が見られる場合は、優先的に縦断方向の生態系ネットワーク改善を検討する必要があると考えられる。



図-3 サケの産卵適地ポテンシャル流域集計値

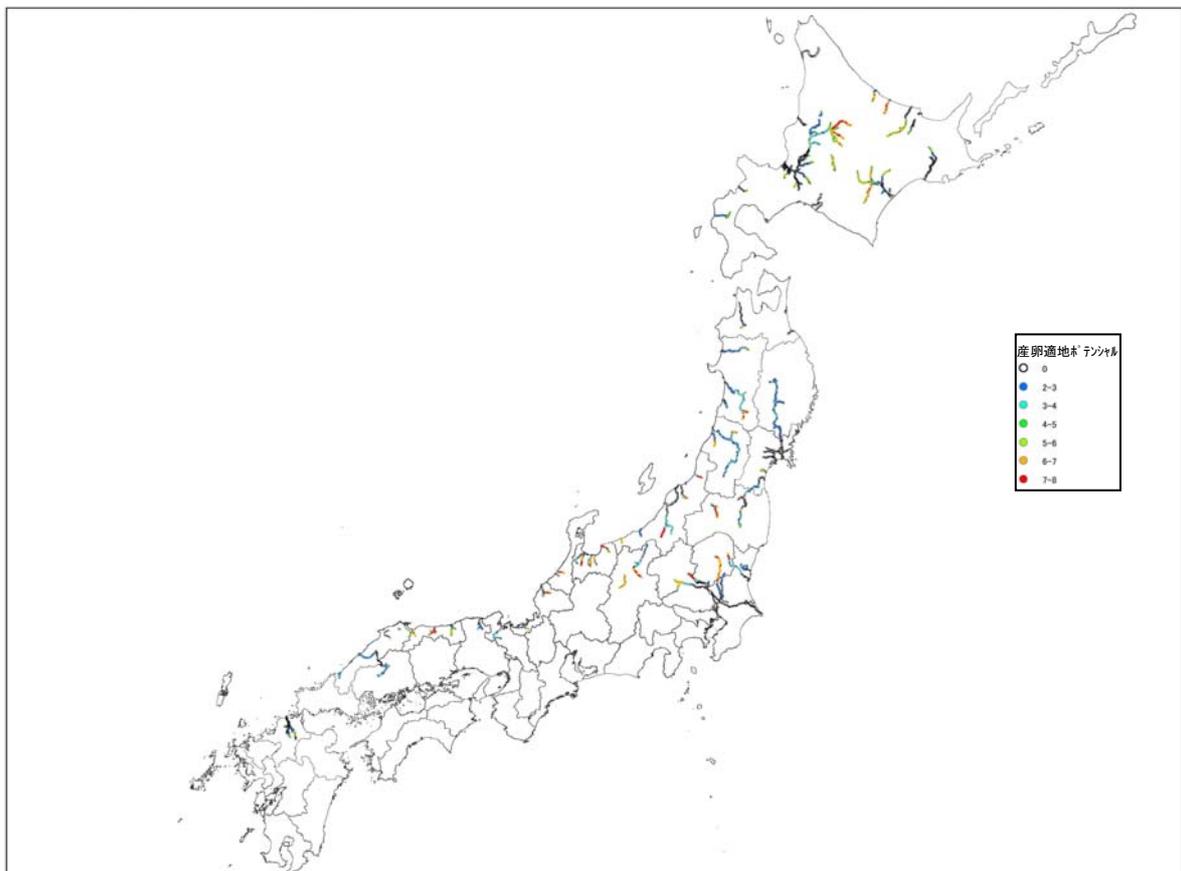


図-4 サケの産卵適地ポテンシャルマップ

4. ギンブナの生息適地分析

4-1 評価に用いた資料

ギンブナの生息適地分析にあたっては、サケの産卵適地評価と同様「社整審データ」を利用した。また、流域の水田面積集計にあたっては、国土数値情報：土地利用細分メッシュ（H26年度）を用いた。なお、ギンブナの生態情報を収集するにあたり、「フナ」や「フナ類」と種が特定できないものが多かったが本報告ではギンブナとして扱うこととした。

4-2 評価の方法

ギンブナの生息適地の環境特性を既存文献から整理し、河川の評価と流域の評価から生息適地ポテンシャルを評価した。

表-3 ギンブナの生息適地評価に用いた変数

変数	選定理由	
河川 の 評 価	セグメント	山間の溪流および高山帯の湖沼を除くほとんど全淡水域に生息するとされる ^{9~11)} 。フナ類の生息範囲に関する指標として採用する。→セグメントMは評価対象外
	瀬淵傾度 (淵の面積)	平常時や越冬時に淵を利用するとされる ¹²⁾ 。生息環境に関する指標として採用する
	サブ水域・ 湛水域面積	増水時の避難に利用するとされる。生息環境に関する指標として採用する ^{13~16)} 。
	水際の自然 率	産卵時や避難時に水際植生を利用するとされる ^{13~16)} 。生息・産卵環境に関する指標として採用する。
流 域 の 評 価	ヨシ原の面 積	産卵時や避難時にヨシ原を利用するとされる。生息・産卵環境に関する指標として採用する ^{17, 18)} 。
	水田面積	産卵時に水田を利用するとされる ^{19, 20)} 。生息・産卵環境に関する指標として採用する。なお、用水路、細流、溝に関するデータは入手できなかったが、これらは水田面積に比例して延長が長くなることが想定される。

4-3 生息適地ポテンシャルの定義

(1) モデル式の設定

ギンブナの生活史から、生息適地は本川環境、流域環境、これらを接続する連結性（障害度）により評価できると考えられる（図-5）。連結性については生息適地に関し負の要素となることから、生息適地のポテンシャル評価にあたっては、モデル式に考慮しないこととした。

各変数を用いて、ギンブナの生息適地のポテンシャルを試行的に以下の通り定義した。

$$P = \{ \text{【淵面積】} + \text{【自然水際率】} + \text{【サブ水域面積】} + \text{【ヨシ面積】} \} \times \text{【水田面積】}$$

…本川環境 …流域環境

の生息適地は多くなると推察される。「本川環境」の評価はそれぞれの変数が互いに独立し好適要素となることが想定されるため、加算することとした。

- ・「本川環境」のポテンシャル評価と「流域環境」（【水田面積】）のポテンシャル評価の統合：「本川環境」の評価と「流域環境」の評価は互いに異質な特性値と考えられるため、掛け算で評価した。

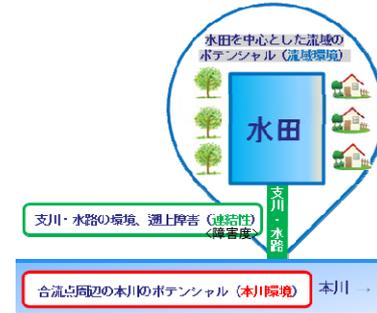


図-5 ギンブナ生息適地評価モデルの基本構造

(2) 配点の設定

- ・本川環境：【淵面積】、【自然水際率】、【サブ水域面積】、【ヨシ面積】：これらの面積が多いほどギンブナに適しているとの仮定を踏まえ、それぞれの変数について、度数が等しくなるよう11段階に区分し、各区分について<1.0、1.1…~2.0>点の範囲で設定した。なお、水系ごとに集計する場合（図-6）は、集計値が最大となる水系の得点を1点とし、その他の水系は最大値との比率を得点とした。
- ・流域環境：【水田面積】：水系ごとに水田面積を集計し、集計値が最大となる水系の配点を1点とし、その他の水系は最大値との比率を得点とした（図-6）。

4-4 ギンブナ生息適地ポテンシャル評価結果の活用方法

図-6から、流域内合計値で評価した場合、流域面積が大きく、流域内に水田が多い利根川や石狩川でポテンシャルが高くなっている。また、流域内平均値（本川環境：合計値÷データ個数、流域環境：合計値÷流域面積）で評価した場合は小矢部川や六角川等のポテンシャルが高く評価された。これらの河川においては、本川と流域の連結性（障害度）を改善した場合、良好な生態系を形成できるポテンシャルがあると考えることができ、ギンブナを横断方向の生態系ネットワーク形成の指標種とすることは妥当と考えられた。一方、流域内にほとんど水田が存在しない釧路川、鶴見川、多摩川等においてはポテンシャルが低く評価された。これらの水系においては、横断方向の生態系ネットワーク形成時の効果は限定的になることが推察された。

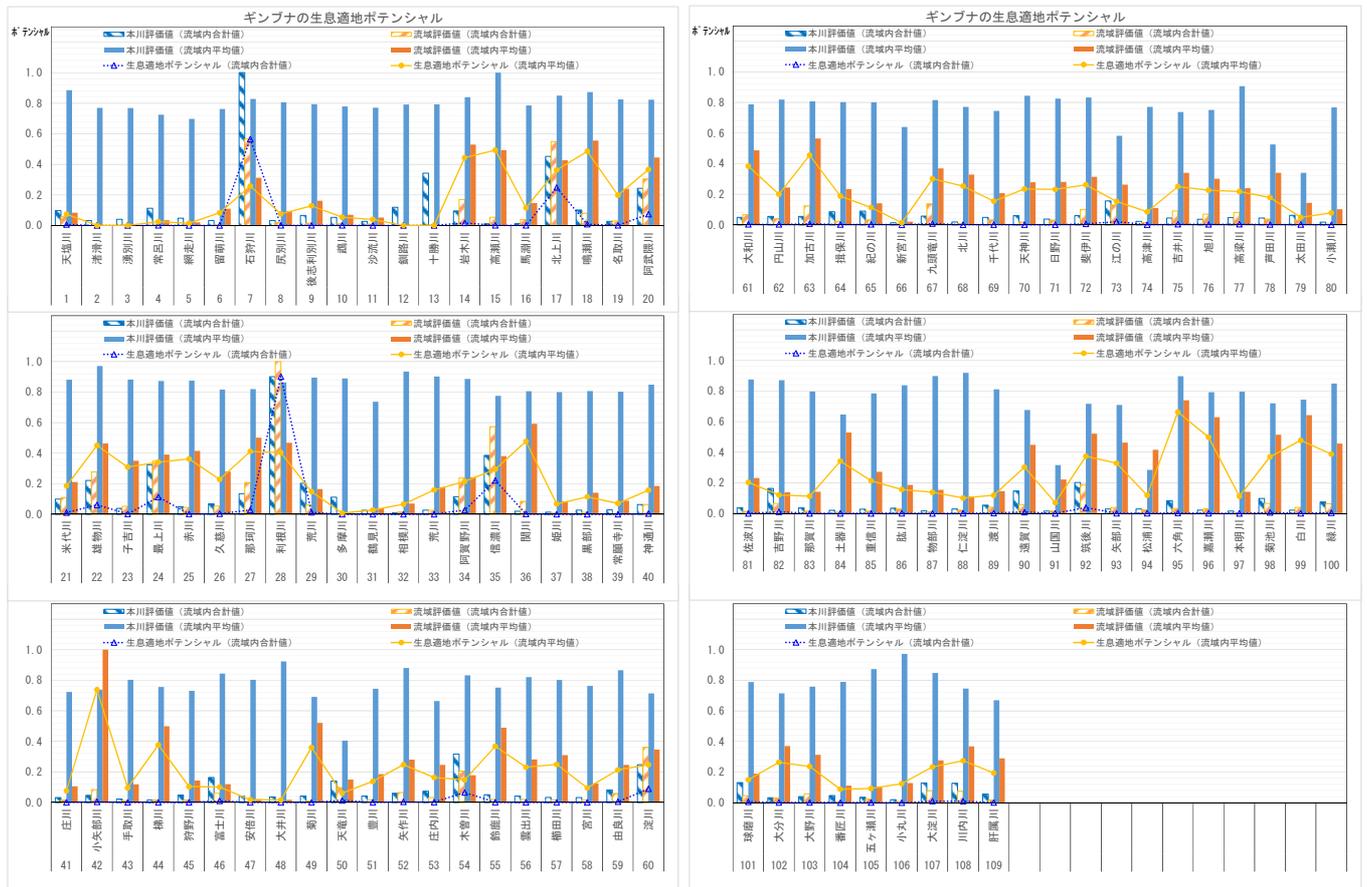


図-6 ギンナの生息適地ポテンシャル流域集計値

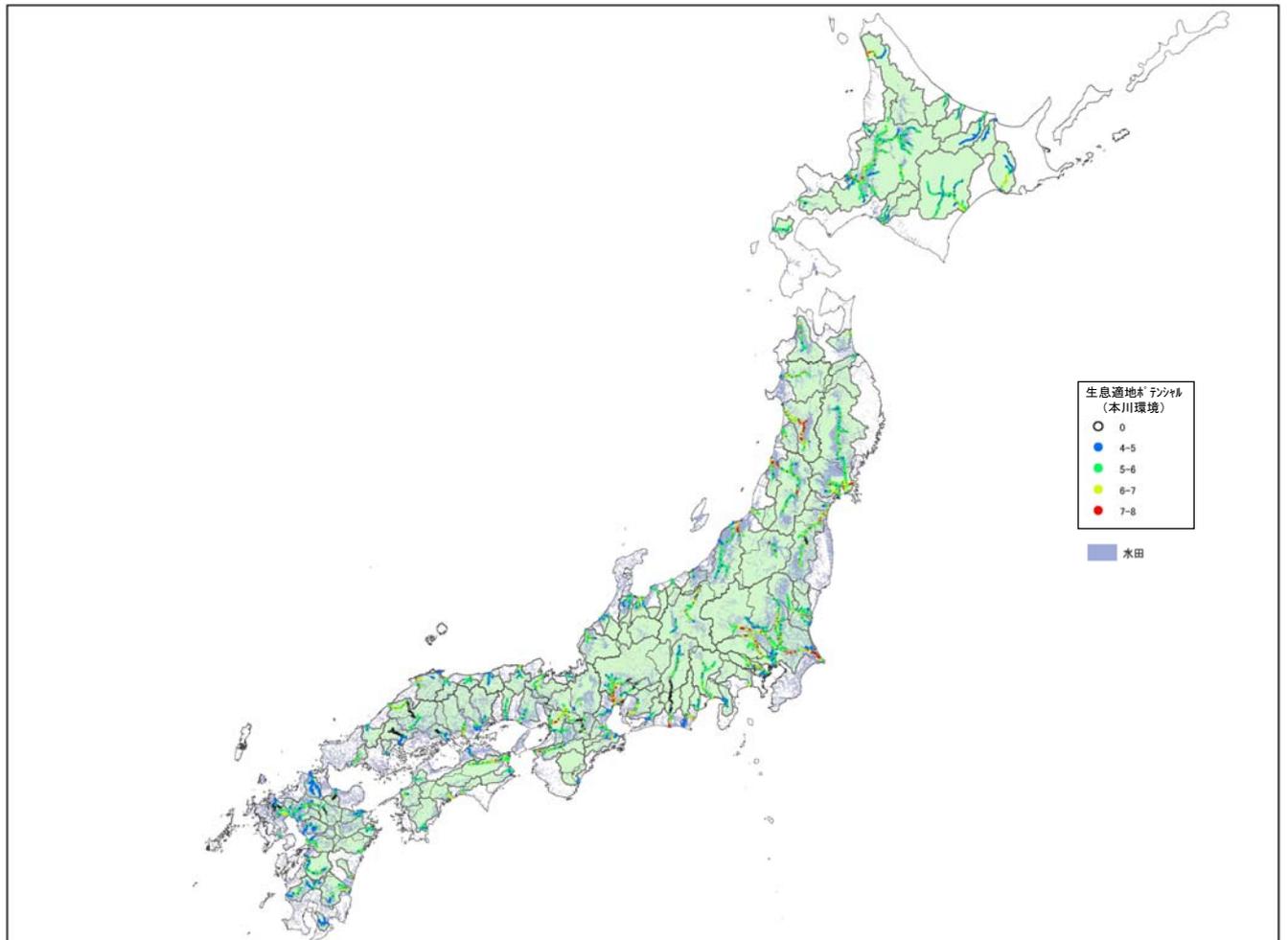


図-7 ギンナの生息適地ポテンシャルマップ

4-5 ギンブナを対象とした生態系ネットワークの定量的な評価例

(1) 検討対象箇所 の 状況

4-4では本川環境と流域環境からギンブナの「生息適地ポテンシャル」を評価した。ここではある水系における7つの樋管流域を対象として、本川環境と流域環境の連結性も含めた「生態系ネットワーク」の現状評価を行った。検討対象7流域はいずれも本川と堤内の水路の接続部に魚類の遡上阻害となる落差があり、横断方向の生態系ネットワーク改善が計画されている。検討対象7流域の諸元を下表に示す。

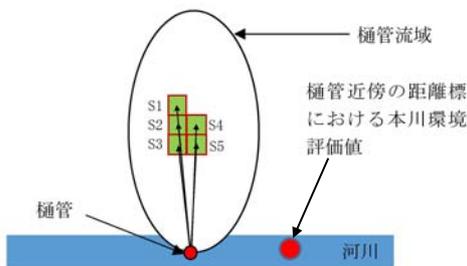
表-4 検討対象樋管流域の諸元

No.	流域面積 (m ²)	流域内水田面積 (m ²)	本川・堤内水路合流部落差 (m)
1	91,420	32,125	0.83
2	621,420	74,989	2.95
3	491,455	96,516	0.63
4	576,007	331,767	1.66
5	681,461	353,302	4.92
6	755,020	192,714	0.5m以上
7	133,141	107,175	1.60

(2) ギンブナを対象とした生態系ネットワークの定量評価モデル式

本川～水田間の標高差が大きく、延長が長いほど、ギンブナの移動に障害がある可能性が高くなるものと考えられる。ここでは図-8の通り、本川～水田間の標高差・延長が長いほど障害度が大きくなるという想定のもと以下の通りギンブナを対象とした生態系ネットワーク評価値の算定式を定義した。

ギンブナを対象とした生態系ネットワーク評価値
 = 【本川環境】 × { 【流域環境】 ÷ 【障害度】 }



$$\text{移動障害を考慮した水田の評価} = \sum \frac{a}{HL} = \frac{a}{HL} + \frac{a}{HL} + \frac{a}{HL} + \dots$$

↑ a: 水田面積
 ↑ H: 樋管～水田の比高
 ↑ L: 樋管～水田までの距離

水田メッシュ S1 の評価
 水田メッシュ S2 の評価
 水田メッシュ S3 の評価

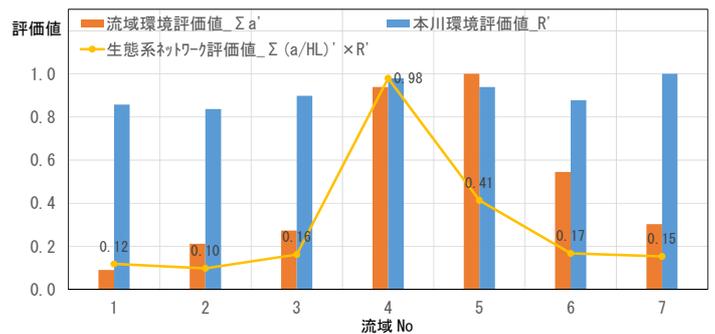
図-8 障害度を考慮した評価モデル

なお、【本川環境】の評価値は4-4の評価結果を用いた。

(3) 生態系ネットワークの定量評価に基づく効果的な対策の提案

生態系ネットワーク定量評価モデル式を前述の7流域に適用した結果を図-9に示す。この結果から、以下のことが言える。

- ・ 生息適地ポテンシャル (流域評価値 $\Sigma a'$ × 本川評価値 R') は流域 No. 4 と No. 5 が同程度で、高い値となっている。河川～水路～水田の連続性が確保されていればギンブナの良い生息環境が形成されるものと推察される。
- ・ 一方、生態系ネットワーク評価値は流域 No. 4 が No. 5 より高い値となっている。
- ・ No. 4 流域は No. 5 流域と比較すると、水田面積あたりの障害度 $\Sigma LH/\Sigma a$ が小さい。障害度の大きさが改善時の事業費に比例すると考えると、No. 4 流域は連続性を改善する場合の水田あたりの事業費は小さく、投資効果が大きいと考えられる。
- ・ 水田面積あたりの障害度 $\Sigma LH/\Sigma a$ は No. 6 が最大であり、連続性を改善する場合の事業費は多くなることが想定される。改善後の効果も No. 4、5 流域よりも小さいことが想定される。
- ・ 以上を踏まえると、本川と堤内水路の接続部に落差がある対象7流域のなかでは、流域 No. 4 の整備優先度が高いと考えられる。



No.	流域評価値 (流域内水田面積) Σa	水田面積あたりの障害度 $\Sigma LH/\Sigma a$	流域・障害度評価値 $\Sigma (a/HL)$	本川評価値 R ※4-4のポテンシャルマップより	流域評価値 $\Sigma a'$ ※最大1で指数化	流域・障害度評価値 $\Sigma (a/HL)$ ※最大1で指数化	本川評価値 R' ※最大1で指数化	生息適地ポテンシャル $\Sigma a' \times R'$	生態系ネットワーク評価値 $\Sigma (a/HL) \times R'$
1	32,125	0.03	121	4.2	0.09	0.14	0.86	0.08	0.12
2	74,989	0.13	103	4.1	0.21	0.12	0.84	0.18	0.10
3	96,516	0.13	158	4.4	0.27	0.18	0.90	0.25	0.16
4	331,767	0.06	872	4.8	0.94	1.00	0.98	0.92	0.98
5	353,302	0.12	384	4.6	1.00	0.44	0.94	0.94	0.41
6	192,714	0.28	167	4.3	0.55	0.19	0.88	0.48	0.17
7	107,175	0.18	134	4.9	0.30	0.15	1.00	0.30	0.15

図-9 ギンブナを対象とした生態系ネットワーク評価結果

5. イタセンパラの生息適地ポテンシャルマップの活用

横断方向の生態系ネットワーク（河川～氾濫原）形成に向け、イタセンパラを例に生息適地ポテンシャルマップの活用方法について提案する。ここではポテンシャルマップの活用方法の例示のみを行う。

イタセンパラの生息適地ポテンシャルを試行的に次式で表現した場合のポテンシャルマップ、及びその評価要素の分布状況を図-11に示す。

$$P^* = \left[\text{イシガイ科の分布} \right] \times \left\{ \left[\text{サブ水域面積} \right] + \left[\text{自然水際率} \right] \right\}$$

※イタセンパラは水位変化の影響を受けやすい浅いワンドを好むとされ、他のタナゴ類と同様二枚貝に産卵する²¹⁾。また、水際植物の繁茂は二枚貝の生存・成長に良好な結果を与えるとされる²²⁾。

生息適地ポテンシャルマップ（図-11左端図）の地点A、B（赤丸箇所）に着目すると、Bと比較してAのポテンシャルが低くなっている。ポテンシャルの評価要素を確認すると、イシガイの分布はAB両地点において確認されているものの、サブ水域面積（ワンド、たまりの面積）はA地点でB地点より小さくなっている。そのため、図-10に示すようなサブ水域面積を増加させる対策を行うことで、イタセンパラの生息適

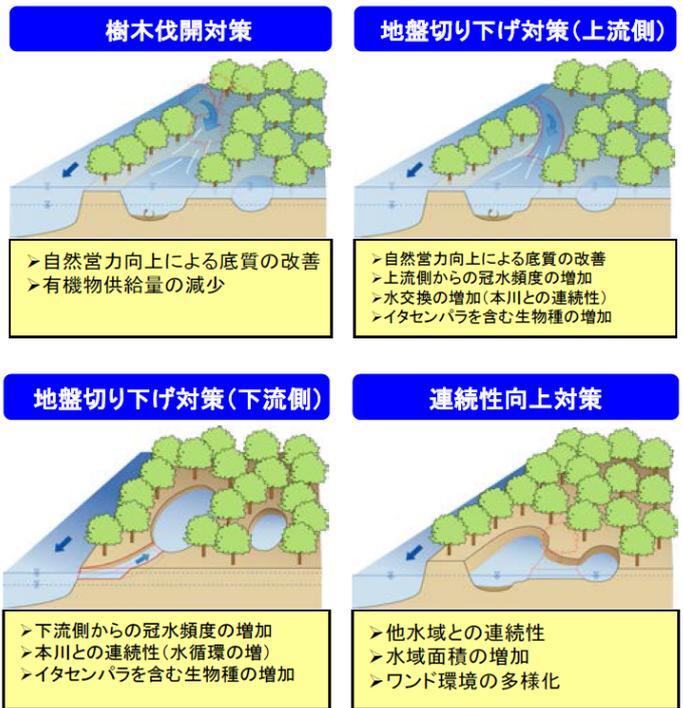
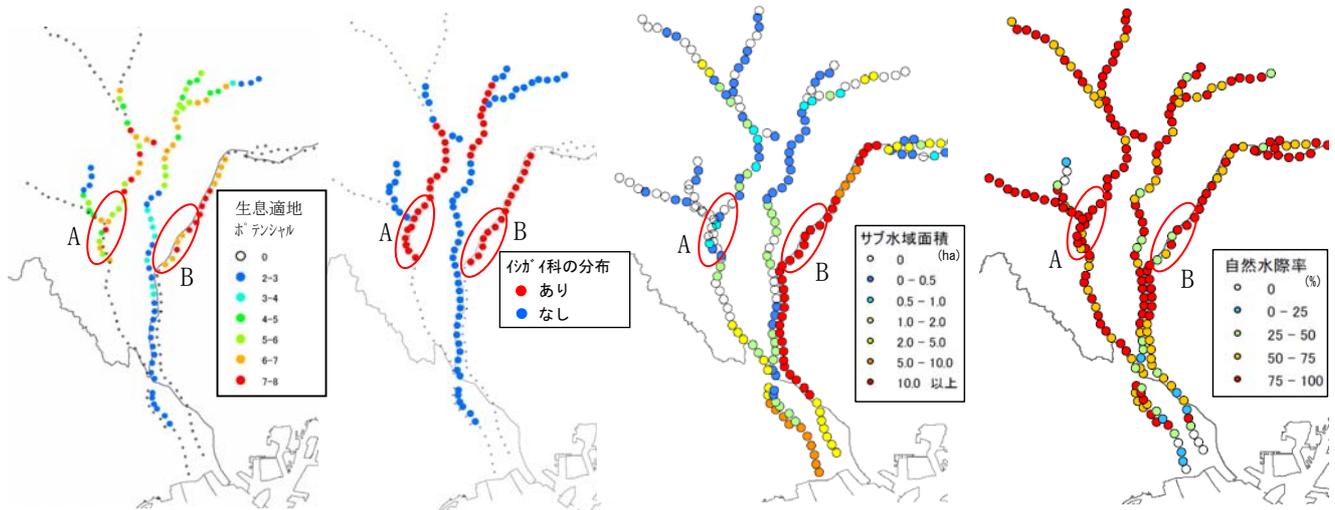


図-10 イタセンパラの生息環境改善に必要な整備の一例²³⁾

地ポテンシャルの向上を図ることができると考えられる。



イタセンパラ生息への影響が大きいイシガイ科の分布が確認されている区間のうち、Bと比較してAの生息適地ポテンシャルはやや低くなっている。

Aにおける生息適地ポテンシャルをより向上させるためには、自然水際を保全しつつ、サブ水域面積を増加（本川～氾濫原のネットワークの向上）させることが重要と考えられる。

図-11 イタセンパラの生息適地ポテンシャルマップとその評価要素

6. おわりに

本報告では、河川を基軸とした生態系ネットワーク形成の取組みを推進するための指標種の潜在的な生息可能性やポテンシャルマップを用いた効果的・効率的な生態系ネットワーク形成の考え方を示した。生態系ネットワーク形成の取組みの推進にあたっては、ポテンシャルマップの作成は必須ではないものの、優先的に事業や活動を進める地域の選定や、地域住民に自然環境の特徴を説明するツールとしては有効と考えられる。

一方、今回報告したポテンシャルマップについては、試行的に作成したもので、活用方法の例示を主眼としたものであり、信頼度・精度の面で課題が残る。以下に課題の具体例を示す。

- ・各生息適地ポテンシャル分析結果については、実際の生物調査結果との比較による検証が十分でないことから、今後、各種生物調査結果などと比較することで精度を高める必要がある。
- ・生物調査結果については、汎用性の観点からは河川水辺の国勢調査結果が活用できることが好ましいが、対象とする箇所は河川内のみとなっている。今後、横断方向（河川～堤内）の生態系ネットワークの定量的な評価を進めていく上では、活用できる水田、水路網の生物情報を充実させる必要がある。
- ・今回用いた社整審データは2005年当時のものであり、瀬淵の状況や自然水際の状況等については現在の状況と異なる場合がある。最新のデータをもとに生息環境の定量評価を行う必要がある。
- ・広域的なポテンシャル評価にあたっては、今回用いた社整審データは極めて有効と考えられる。一方、4-5で示した生態系ネットワークの定量評価等、より小さいスケールの評価については、現地調査等により、水路の位置や水路の状態（河岸のカバー有無、水の有無、3面張りかなど）、落差の状況（水路接続部、田面と排水路など）を確認することにより信頼度を向上させる必要がある。

<参考文献>

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：川からはじまる川から広がる魅力ある地域づくり 河川を基軸とした生態系ネットワークの形成，2017
- 2) 中村太士：河川生態系ネットワーク，RIVERFRONT VOL.83，2016
- 3) 中村圭吾，服部 敦，福濱方哉，萱場祐一：河川の環境管理を推進するための課題と方向性，河川技術論文集，第21巻，2015年6月
- 4) 矢野雅昭，矢部浩規，佐藤好茂：複数河川でのセグメントスケールからみたシロザケの産卵環境の特徴，国土交通省北海道開発局第56回（平成24年度）北海道開発技術研究発表会
- 5) 高橋剛一郎，藤田幸雄，吾田幸俊，奥川博也，美馬純一，久保田憲昭：庄川における湧水環境の意義と河川環境の保全について，土木学会論文集 G 65(2)，2009
- 6) 真山紘：北の魚たちにとって住みやすい環境，土木学会 水工学委員会・海岸工学委員会，水工学シリーズ 04-A-6，2004
- 7) 鈴木俊哉：遊楽部川におけるサケの自然産卵環境調査，さけ・ます資源管理センターニュース No.4，1999
- 8) 矢野雅昭，矢部浩規，林田寿文：砂州地形とシロサケの産卵環境について，寒地土木研究所月報 No.710，2012
- 9) 細谷和海：山溪ハンディ図鑑 15，日本の淡水魚，2015
- 10) 佐合純造，永井明博：全国河川の魚類相と河川特性の関係，土木学会論文集 No.748，2003
- 11) 巖島怜，島谷幸宏，河口洋一：魚類相の縦断方向変化とセグメント区分に関する研究，水工学論文集 52.，2008
- 12) 佐々木丞，関根雅彦，後藤益滋，浮田正夫，今井 剛：多自然川づくりに資するための魚の行動圏調査，環境工学研究論文集 38，2001
- 13) 片野修，黒川マリア，北野聡，東城幸治：小河川におけるワンド・タマリの魚類群衆，陸水学雑誌 72，2011
- 14) 武内啓明，山野ひとみ，細谷和海，久保喜計：近畿大学農学部所蔵標本からみた1970年代初頭の淀川赤川ワンド群の淡水魚類相，近畿大学農学部紀要 44，2011
- 15) 高橋一孝，加地弘一：山中湖平野ワンドにおける魚類調査-II，山梨県水産技術センター事業報告書 37，2010
- 16) 島谷幸宏，小栗幸雄，萱場祐一：中小河川改修前後の生物生息空間と魚類相の変化，水工学論文集 38，1994
- 17) 樋口文夫，福嶋悟，犬飼まり子，阿久津卓，森田純子，渾川直子：梅田川の改修後における魚類の再生と生活場選択に関する研究，横浜市環境科学研究所報 34，2010
- 18) 平井賢一：びわ湖内湾の水生植物帯における仔稚魚の生態，金沢大学教育学部紀要 19，1970
- 19) 皆川明子，高木強治，後藤眞宏，樽屋啓之：早場

米生産水田における魚類の移入と移出について,
農業農村工学会論文集 No. 261, 2009

- 20) 舟尾俊範：ナマズを中心とした水田利用魚類の繁殖生態および保全に関する研究, 滋賀県立大学大学院博士論文, 2015
- 21) 小川力也, 長田芳和, 紀平肇：淀川におけるイタセンパラの生息環境（総説）, 大阪教育大学紀要第Ⅲ部門第49巻第1号, 2000
- 22) 財団法人リバーフロント整備センター編：川の生物図典, 1996
- 23) 佐川志郎, 萱場祐一, 久米学, 森誠一：イタセンパラを育む木曾川氾濫原生態系の理解と再生への取り組み, 土木技術資料 53-11, 2011