

さがわ指数(SGI)による流域の水生生物多様性の評価

森林総合研究所九州支所 東川 航

1. 生息場の多様性と生物多様性の関係

流域の中には、森林や草原、河川、湖沼といった多様な環境が存在する。生物にとっては、これらは異なる「生息場」である。いくつかの異なる生息場がバランスよく含まれる空間は、生息場の多様性が高いと評価できる。そうした空間では、各生息場に特有の生物が見られるだけでなく、異なる生息場の間を行き来する生物も生息・生育できるため、生物多様性は高くなると考えられる。逆に、一種類の生息場に占められた空間では、その生息場に適した生物だけしか生息・生育できないため、生物多様性が高くなることは期待しにくい。このように、ある規模の空間における「生息場の多様性」と「生物多様性」の間には正の関係が成り立つと予想され、この関係性は数多くの生態学的研究によって立証されてきた。

2. 水生生物での検証不足

「生息場の多様性」と「生物多様性」の関係を検証することは、環境情報から生物多様性を推定する上で重要である。広域で検証ができれば、流域の中で生物多様性の高い場所、低い場所の空間分布を予測的に把握することにもつながる。陸上生物については、そうした検証が数多くなされており、主に陸域の環境情報を用いて種々の生物多様性指標が開発されている。一方で、魚類のように水中で生活する水生生物については、特に広域での検証が十分になされていなかった。その理由の一つに、生息場の多様性を測るために必要な地理データの環境分類が、陸上では細かい（例えば植生分類は細かい）のに対し、水域では粗い（例えば河川と湖沼が区別されない）傾向にあったことが挙げられる。水生生物にとっての生息場の多様性を求めるには、少なくとも流水環境と止水環境はデータ上で分類されている必要がある。

3. 日本の水域地理データを活用する

日本の各地において、水生生物の生息場の多様性を求めるには、前提として国内で一貫した水環境の分類体系が必要である。例えば、水の流れの有無（流水環境または止水環境）、水深（湖または池）および人為的管理の強度（水田またはその他の湿地）等の条件により、それぞれの水環境が生息場として

きちんと区別される必要がある。また、地図上で生息場の多様性を数値として求めるための情報源として、各種の水環境を面（ポリゴン）や線（ライン）で正確に表現した地理データが必要である。幸いなことに、日本では各省庁によって国内のほぼ全ての水域をカバーする詳細な地理データが作成・公開されており¹⁾²⁾³⁾⁴⁾、水環境の分類も一貫している（表1）。これを用いれば、日本の各地で、水生生物の生息場の多様性を数値として一般的に表現することができる。

表1 日本の各省庁が公開する水域の地理データ

土地被覆タイプ	データ形式	引用文献
水田	ポリゴン(面)	1)
湿原	ポリゴン	2)
ため池	ポリゴン	3)
ため池・湖	ポリゴン	4)
河川	ポリゴン	3)
河川	ライン(線)	4)
農業用水路	ライン	3)

4. 水生生物の多様性を指標する「さがわ指数」(SGI)

表1の水域地理データを活用した最近の研究によって、水生生物の生息場の多様性を表現する「さがわ指数」(SGI)が設計された。広域での検証によって、この指数値が大きいほど水生生物（トンボ類および淡水魚類）の種類数が多くなるという正の関係性が確かめられた。このことから、さがわ指数は日本の水生生物多様性の指標として有用であろうと考えられ、国土全域にマッピングされた⁵⁾。以下には、流域環境の新たな評価ツールとして期待されるさがわ指数について概説するとともに、このツールがネイチャーポジティブを目指す日本の川づくりにおいてどのように有効となりうるかを考えたい。

5. 「さがわ指数」の計算

さがわ指数の計算を行う空間単位として、日本の3次メッシュにおける1km四方のグリッドセルが採用されている。この空間サイズは、多くの水生生物の移動分散スケールを内包できる大きさと考

えられている。一般的に、生息場の多様性はしばしば「多様度」と呼ばれる指標を用いて数値化され、これは空間内における生息場の種類数と存在量を考慮して求めることができる。さとがわ指数の計算では、先に紹介した水域地理データを用いて、生息場として5種類の水環境(河川/ため池/湖/水田/湿原)の存在条件が考慮されている。存在条件とは、具体的には「面積」と「形状」のことである。これら二条件は生息場の多様性を考える上で重要な要素と考えられ、面積が大きく複雑な形状で存在している水環境ほど、さとがわ指数の計算値に大きく貢献するようになっている。ただし、用水路や溪流といった小河川は、地理データにおいては面(ポリゴン)ではなく線(ライン)として表現されているため、これらについては面積の情報がなく、形状の情報として小河川密度(セル内における小河川ラインの総長)のみが考慮される。面積に関する多様度の計算では、一旦はセル内のすべての環境を考慮する必要があるため、水域以外の部分(すなわち陸域)の面積も計算に含まれる。しかし、陸域の面積は水生生物の多様性に正の影響を与えにくいと考えられるため、後述のようにその効果は計算の中で打ち消される。ただし、陸域の中でも都市域は水生生物の多様性に負の効果をもたらすことが知られていることから、計算の中では都市域の面積が負の要因として含まれている。

以上の計算条件により、さとがわ指数(SGI)の計算式は下記のように設計され、式は面積を考慮する項(青字部分)と形状を考慮する項(赤字部分)の2つの項のからなる。

$$SGI = \frac{1}{2} \left\{ \left(1 - \sum_{i=1}^5 P_i^2 \right) (1-T)(1-U) + \left(1 - \frac{1}{SI+Sd+1} \right) \right\}$$

P_i , 各環境の面積割合; T , 陸域の面積割合;
 U , 都市域の面積割合; SI , 水域の水際長(km);
 Sd , 小河川密度(km)

青字部分では、各環境の面積が考慮されている。その前半部(Σ を含む部分)では、セル内における環境*i*の面積割合 P_i (0~1)を2乗し、それらの和を1から引いている。この形はシンプソンの多様度と呼ばれ、考慮するすべての環境が面として均等かつ最大である場合に最大値1をとり、逆に1つの環境で全面が占められる場合は最小値0となる。計算に含まれた陸域の面積割合(T)の正の効果を打ち消すため、後に続く部分では(1- T)が乗じられている。また、都市域の面積割合(U)の負の効果を考

慮するため、(1- U)も追加的に乗じられている。次に赤字部分では、水域の形状の複雑さを表す水際長 SI (km)および用水路や溪流等の小河川密度 Sd (km)が考慮されている。 SI および Sd の値が大きいくほど、赤字部分は最大値1に近づくようになっている。青字部分、赤字部分ともに0から1の値をとり、これらの和に1/2が乗じられた式全体(さとがわ指数)の値も、0から1の値をとる。まとめれば、さとがわ指数は水環境の面的な多様度が高く、かつ水域の形状が複雑で、小河川密度が大きいくほど1に近づく。反対に、セル全面が陸域または1種類の水環境に占められ、かつ小河川が全く無い場合、最小値0となる(図1)。

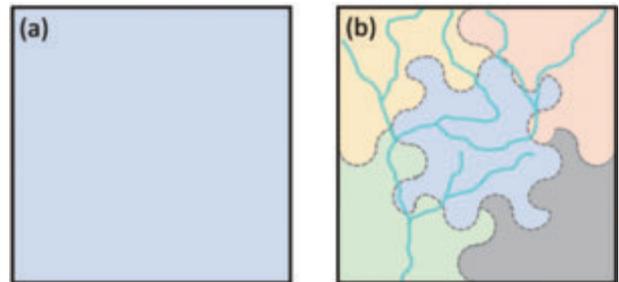


図1 さとがわ指数(SGI)が最小値0になる場合(a)と最大値1に近づく場合(b)のセル内の状況を表す概念図(Higashikawa et al. (2023)を一部改変)(解説)異なる色は異なる環境を表す。(a)では任意の環境でセル全面が占められており、小河川がない。(b)では複数の異なる水環境によってセルが占められ、それぞれの面積が等しく最大で、形状が複雑である。(b)の青線は小河川を示す。

6. 「さとがわ指数」による水生生物の多様性評価の試験

さとがわ指数は、最初に中部地方の濃尾平野およびその周辺地域について計算され、当該地域において水生生物の多様性評価の試験がなされている。対象生物として、水辺の昆虫であるトンボ類および淡水魚類が用いられている。トンボ類については、幼虫期を水中で、成虫期を陸上で生活する生物であり、水域と陸域の両方の生息場多様性に影響を受けると考えられる。そのため、トンボ類の多様性の検証にはさとがわ指数だけでなく、主に陸域の生息場多様性を指標する既存の「さとやま指数」⁶⁾も同時に考慮されている。検証の結果、トンボ類および淡水魚類の両方で、さとがわ指数の値が高い空間(セル)ほど生息種数が多いことが示された。さらに、トンボ類では陸域の生息場多様性を示すさとやま指数、淡水魚類では標高を考慮することで、より明確な関係性が得られている(図2)。この検証によ

り、さとがわ指数は水生生物の多様性を表現する指標となりうると述べられている。ただし、両生類や鳥類といった他の生物分類群の多様性に対しては、今後の検証が必要と考えられる。検証の際は、対象とする生物分類群の移動能力に合わせて、さとがわ指数の計算を行う空間単位の大きさを変更するなど工夫が必要であろう。例えば、移動能力の小さなカエル類などであれば500m四方、流域を超えて移動するような鳥類であれば50km四方などの空間単位を検討してみるとよいかもしれない⁷⁾。

7. 「さとがわ指数」の全国および地域別の特徴

先の検証により、さとがわ指数が流域の水生生物の多様性に関する基盤情報の一つとして有用である可能性が示された。そこで、さとがわ指数は全国

を対象に計算され、その結果が地図化されている(図3)。全国392,072セルにおける計算値は、最小で0、最大で0.818、平均で0.282となっている。全国的な傾向を見ると、やはり都市化が進んだ地域ではさとがわ指数の低い空間が集中的に分布している。こうした地域では、かつて存在した湿地やため池などの多くは埋め立てられ、蛇行した河川の直線化も進められたことで、水環境の減少や形状の単純化が著しい。一方、水田地帯を含む農村地域では、さとがわ指数の高い空間が比較的多く残っている。日本の水環境の中で総面積が最大である水田は、取水用のため池や小川といった異なる生息場を伴って存在することが多い。そのため、全体的に見れば水田はさとがわ指数を支える主要な水環境であると評価されている⁵⁾。

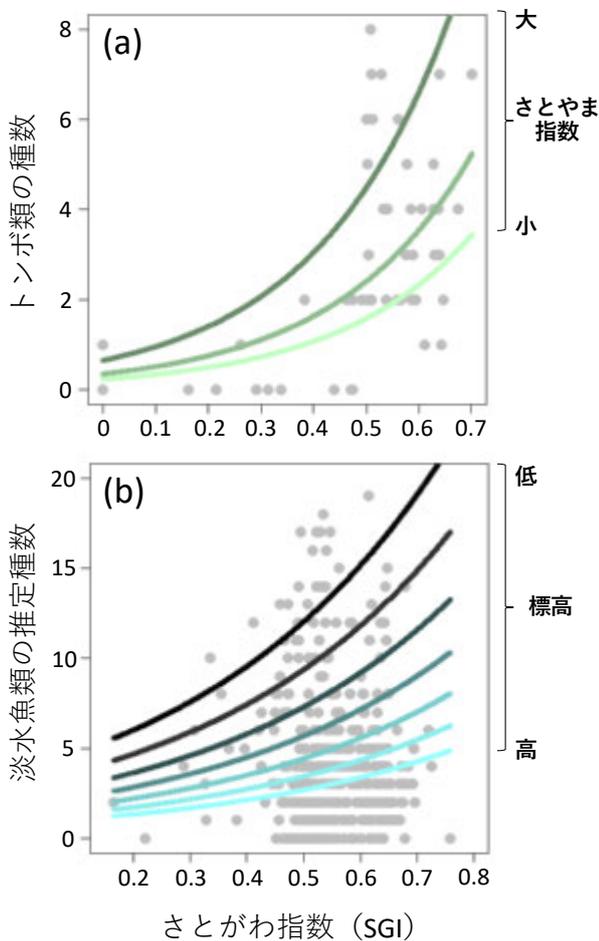


図2 さとがわ指数 (SGI) とトンボ類 (a) および魚類 (b) の種数との関係 (Higashikawa et al. (2023) を一部改変)
(解説) グレーの点は実際に得られた種数データを、各曲線は種数データをもとにした統計モデルによる推定を示す。トンボ類 (a) ではさとがわ指数が大きいほど、淡水魚類 (b) では標高が低いほどさとがわ指数による推定種数が多い。

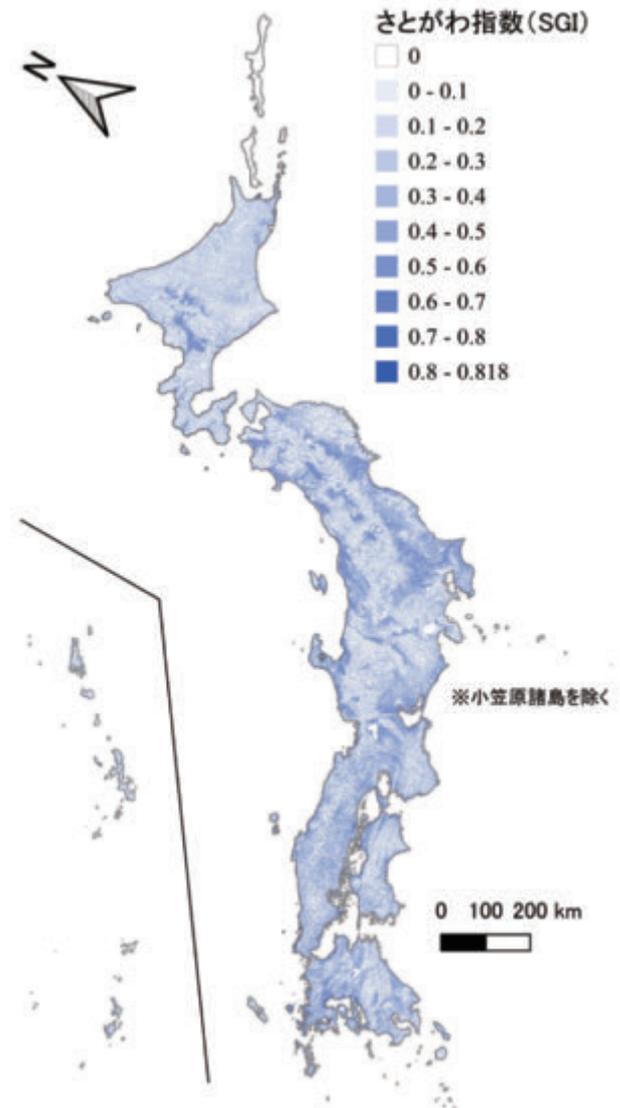


図3 日本全国のさとがわ指数 (SGI) (Higashikawa et al. (2023) を一部改変)

さとがわ指数の地域別の平均値ランキングは、高い順で関東 (0.340)、中国 (0.320)、近畿 (0.318)、東海 (0.304)、北陸・甲信越 (0.303)、東北 (0.300)、九州・沖縄 (0.284)、四国 (0.272)、北海道 (0.222) となっている。もちろん、平均値の大小が最も重要ということではなく、各地域ではさとがわ指数の高い場所、低い場所が局所的またはまばらに存在することや、陸域と水域の比率および都市域の面積なども考慮した上での総合的な評価が必要であろう。また、地形や水利用の地域性がさとがわ指数の平均値や空間分布を特徴づけていることも述べられており、例えば関東では水田、東海では河川、近畿ではため池が比較的多く (詳しくは Higashikawa et al. (2023) を参照されたい)、それぞれ地域を代表する水環境としてさとがわ指数を支えていることが示されている。なお、全国 392,072 セルのさとがわ指数の計算値は Higashikawa et al. (2023) の付表 3 (Supplementary data 3) で確認することができる。

8. 「さとがわ指数」活用の展望

先にも少し述べたが、近年では都市部を中心に全国で水環境が著しく減少・劣化し、水生生物の生息場多様性は各地で減少している。こうした中、最近では気候変動に伴う著しい洪水災害の頻発化を受けて、流域スケールでの治水と水環境の保全・再生を関連させて考えようという動きが見られるようになった⁸⁾⁹⁾。例えば、人口減少等に伴って増加する放棄水田の一部を湿地環境として保全し、生息場としての機能を維持しながら洪水の貯留空間としても利用する試みがなされている。また、治水を目的に整備される遊水地等においても、水生生物の生息場機能を持たせるための環境デザインの検討などがなされている。

こうした活発な取り組みによって、ある場所の水環境の空間条件を変化させた場合、水生生物の多様性はどのように変化するのか。環境変化のビフォーとアフターそれぞれについて、さとがわ指数を計算し値を比較すれば、その場所で起こり得る水生生物の多様性の変化を予測できる可能性がある。逆に、ある空間で水生生物の多様性を向上させるためには、「この場所にこの水環境をこのくらい創出すれば高い効果が得られる」といったことも、さとがわ指数を用いたシミュレーションによって評価できる可能性もある。さらに、水域の生息場に関連した自然共生サイトの効果的な設置や、河川を基軸とした生態系ネットワークの保全・再生のように、流域を対象とした生息場の環境デザインや空間配置等を考える際、各地域の環境を評価できるツールとし

てさとがわ指数が役立つ可能性がある。

今後ますます重要となる淡水生態系の適切な管理と防災・減災の両立を念頭に置いたネイチャーポジティブな川づくりにおいては、流域など広域を対象とした環境評価ツールの一つとして、水生生物の多様性を指標する「さとがわ指数」が全国で活用されることを期待したい。

引用文献

- 1) 農林水産省 (2020) 筆ポリゴンデータ. <https://www.maff.go.jp/j/tokei/porigon/hudeporidl.html>.
- 2) 環境省自然環境局生物多様性センター (1995) 湿地調査. <https://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-025.html?kind=swp>.
- 3) 国土交通省 (2012) 国土数値情報—主要水系調査. <https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/download.html>.
- 4) 国土交通省 (2014) 国土数値情報—国土 (水・土地). <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>.
- 5) Higashikawa W., Sueyoshi M., Mori T., Yonekura R., Nakamura K. (2023) The Satogawa Index: A landscape-based indicator for freshwater biodiversity in Japan. *Ecol. Indic.* 152: 110350.
- 6) Kadoya T. and Washitani I. (2011) The Satoyama Index: a biodiversity indicator for agricultural landscapes. *Agric. Ecosyst. Environ.* 140: 20–26.
- 7) 徳江義宏・大澤啓志・今村史子 (2011) 都市域のエコロジカルネットワーク計画における動物の移動分散の距離に関する考察. *日緑工誌* 37:203–206.
- 8) 中村太士 (2022) 流域治水と河川・氾濫原環境の保全. *RIVER FRONT* 94:2–5.
- 9) Nakamura F. (Ed.) (2022) Green infrastructure and climate change adaptation. Springer