

多自然川づくり支援ツール及びAIを活用した 河川の環境変化予測 について

平田 元気¹・藤村 善安²

¹大戸川ダム工事事務所 調査設計課 (〒520-2144滋賀県大津市大萱一丁目19番32号)

²日本工営株式会社 中央研究所 先端研究センター (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304番地)

大戸川ダムは、法令等に基づく環境影響評価の対象事業ではないものの、事業実施による環境への影響について自主的な検討を行っている。これまで、ダム建設による下流河川への影響については、河床や水質及び冠水頻度の変化などについて横断面毎に検討を行い、主に経験則を基に評価が行われてきたが、より定量的かつ効率的な検討となるよう、「多自然川づくり支援ツール」及びAIを用いてダム下流河川における環境変化予測を試行した事例を報告する。

キーワード 環境変化予測, 多自然川づくり支援ツール, AI, 効率化

1. 大戸川ダム建設事業の概要

大戸川ダムは、淀川水系淀川、宇治川及び大戸川に対する洪水被害の軽減を目的とし、淀川水系瀬田川の支川大戸川（滋賀県大津市上田上桐生町及び牧町地先）に建設する、堤高67.5m、堤頂長200.0m、洪水調節容量21,900千 m^3 の重力式コンクリートダムである（図-1、図-2）。

ダム地点の基本高水流量1,350 m^3/s に対し、280 m^3/s 一定量放流により、1,070 m^3/s の洪水調節を行う（図-3）。

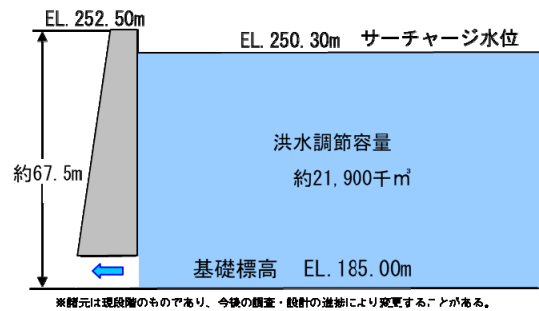


図-2 大戸川ダム貯水池容量配分図



図-1 大戸川ダム位置図

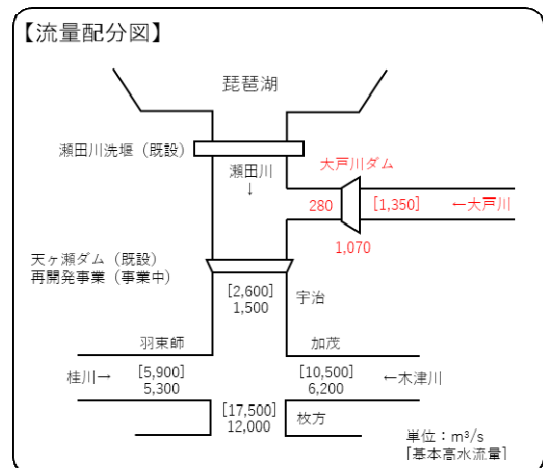


図-3 大戸川ダム流量配分図

当初は、多目的の貯留型ダムとして計画されたが、水需要など社会情勢の変化により、現在は洪水調節専用の流水型ダムとして事業を実施している。

2009(H21)年3月に策定された淀川水系河川整備計画で

は、「ダム本体工事については、中・上流部の河川改修の進捗状況とその影響を検証しながら実施時期を検討する」とされていたが、2021(R3)年8月の整備計画変更により、「環境影響をできる限り回避・低減するための環境調査を含め、必要な調査等を行ったうえで本体工事を実施する」とされたことを受け、2022 (R4) 年度より、ダム本体工事の実施に向けた調査設計を開始した。

現在はダムサイトの地質調査やダム本体設計、付替道路の調査設計、ダム事業の実施による環境への影響検討、ダム周辺整備や地域振興についての検討などを並行して実施しており、早期のダム本体工事着手と、2033 (R15) 年度の事業完了を目指している。

2. ダム本体工事の実施に向けた環境影響の検討

大戸川ダムは、法令等に基づく環境影響評価（法アセス）の対象事業ではないものの、過去から事業実施による環境への影響について自主的な検討（自主アセス）を行っており、1992 (H4) 年に「大戸川ダム建設事業の環境への影響について」を、2005 (H17) 年に「大戸川ダムにおける環境調査結果」を公表しているが、ダム本体工事の実施に向け、周辺環境の経年変化や貯留型ダムから流水型ダムへの計画変更を踏まえた環境への影響について再確認することとした。

今回の自主アセスでは、ダム事業で一般的に行われている項目及び手法により環境への影響について検討を行うが、ダム下流河川における魚類と植生を対象に、多自然川づくり支援ツール及びAIを活用した評価を別途試行した。

(1) 多自然川づくり支援ツールを用いた魚類への影響検討（魚類生息場評価）の試行

ダム下流河川の環境については、ダム建設による水質や流況、河床の変化による影響について予測が行われることが一般的であるが、これまでは河川の横断面毎に予測結果に対する評価が行われており、河川を平面的に捉えた評価が行われていないことが課題であった。

大戸川ダムでは多自然川づくり支援ツールのうち、iRICソフトウェアとEvaTRiPを活用することで、魚類生息場としての良好度の変化から魚類に対する影響を平面的に評価することを試みた。

a) 多自然川づくり支援ツールの概要

多自然川づくり支援ツールは、水工学に係る数値シミュレーションのプラットフォームとして開発された無料で高性能な2次元水理・河床変動計算ソフトウェアであるiRICソフトウェアが河道計画や河道設計にも役立つよう、国立研究開発法人土木研究所自然共生研究センターが開発・公開しているツール群であり、その機能は大きく分けて① RiTER(River Terrain Editor)、② iRIC(International

River Interface Cooperative)ソフトウェア、③ EvaTRiP (Evaluation Tools for River environmental Planning) の3つで構成されている(図-4)。このうち、iRICソフトウェアは水理・河床変動計算や、その結果を直感的でわかりやすいグラフやアニメーションとして生成することができる。また、EvaTRiPはiRICソフトウェアによる計算結果から護岸要否の評価、移動限界粒径の評価、陸生植物生育可否の評価、魚類生息場の評価を行うことができる。



出展：国立研究開発法人土木研究所自然共生研究センターwebサイト

図-4 多自然川づくり支援ツールの全体像

b) 魚類生息場評価

魚類生息場評価は、初期地形及びiRICソフトウェアを用いた二次元河床変動計算後の地形を余条件とし、EvaTRiPを用いて平水流量を与えた流況計算結果(図-5)と、流況計算結果に対して瀬淵分布の可視化を行い(図-6)、そこに対象となる魚種の生息場好適度(SI: Suitability)を定義する選好度曲線(SI曲線)を与えることで評価を行った。

以下、本報告ではスナヤツメを対象として評価を行った結果を事例として紹介する。

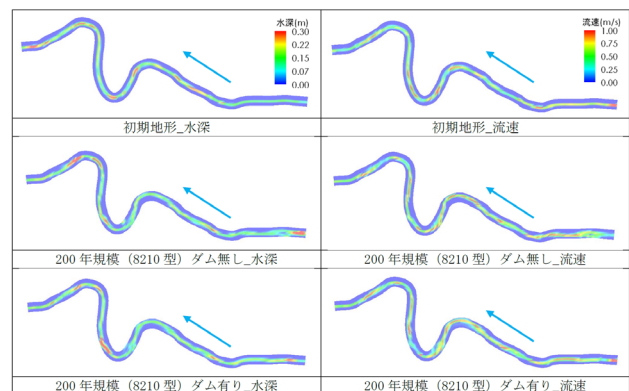


図-5 EvaTRiPを用いた流況計算結果イメージ

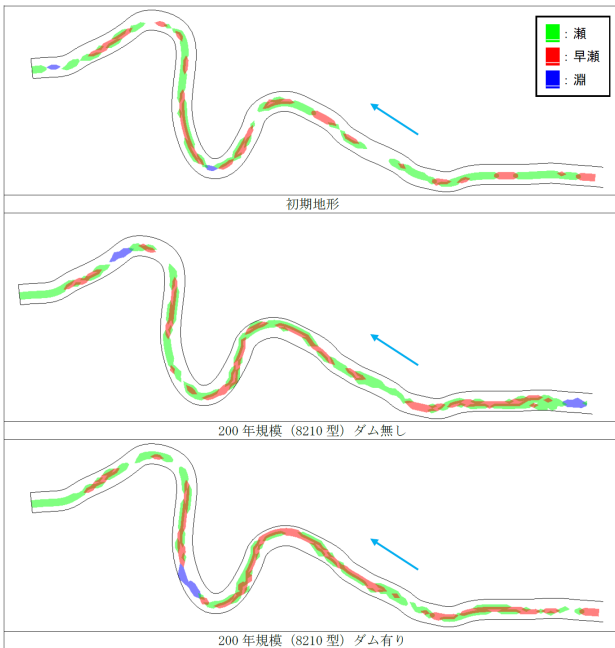


図-6 瀬淵分布の可視化イメージ

スナヤツメはヤツメウナギ目ヤツメウナギ科の底生魚で、主に湧水や伏流水の存在する河川や水路に生息し、砂礫底に産卵する。卵から孵化した幼生は緩やかな流れの泥底で生育する。滋賀県では、絶滅危機増大種として選定されている。

スナヤツメの生息場評価を行うにあたり、文献²⁾や現地調査で確認された地点の環境などを参考に流速と水深、河床材料についてSI曲線を設定し、評価を行うこととした(図-5)。SIが1に近いほど、その種にとって好適な環境であることを示している。

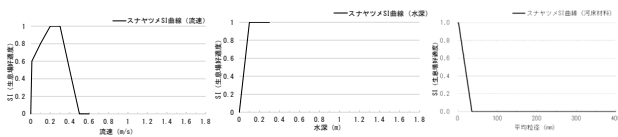


図-5 スナヤツメのSI曲線

EvaTRiPを用いた流況計算結果にSI曲線を与えた計算結果を以下に示す(図-6)。

魚類生息場の評価は、iRICソフトウェアとEvaTRiPを用いた洪水の確率規模別及びダムの有無別の流速・水深・河床材料の平均粒径についての計算結果をもとに、各項目の相乗平均(CSI)によって各計算メッシュ毎のSI値を算出し、洪水の前後やダムの有無で生息適地がどう変化するかという観点で行った。CSIの評価式は下記のとおりである。

$$CSI = \sqrt[3]{(SI_h \times SI_v \times SI_m)}$$

ここで
 SI_h : 水深適正度
 SI_v : 流速適正度
 SI_m : 河床材料適正度

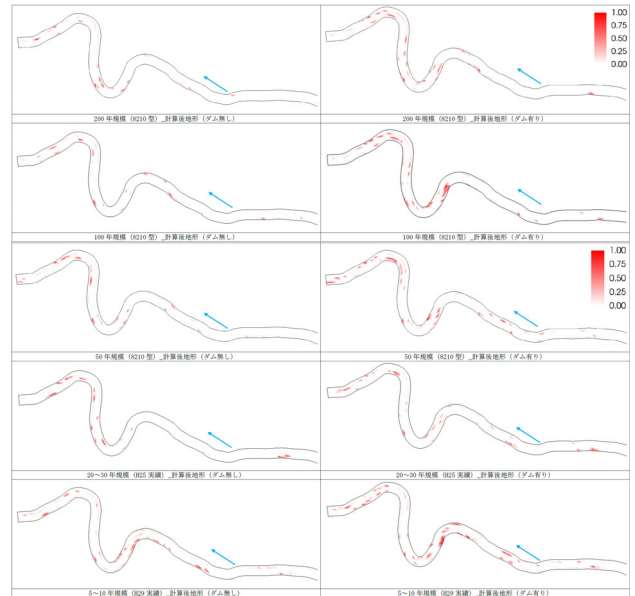


図-6 魚類生息場評価結果

魚類生息場評価結果からは、スナヤツメが好む流速(0~0.4m/s程度)・水深(0.1~0.3m程度)・河床材料(2mm以下)となる環境は左右岸沿いに分布していることが分かる。

洪水の確率規模別に見ると、確率規模が小さいほど生息適地が多い状況が確認された。これは、確率規模が小さいほど洪水後の河床材料の平均粒径が小さくなるためであると考えられる。一方、ダムの有無別に見ると、明確な違いは確認されなかったことから、スナヤツメに対しては大戸川ダム建設による影響は小さいと考えられる。

(2) AIを用いた植生変化予測の試行

通常、ダム下流の植生に対する予測は、ダム下流河川における冠水頻度の変化を踏まえ、特定横断面での植生横断面図上の水位変化を確認して予測を行ってきた。そのため、面的な変化を予測しがたく、樹林化等の大きな植生変化がどこで生じるか等、環境影響の全体像の把握は困難であった。

大戸川ダムでは三次元データ(ALB測量結果や、それを用いた流況解析結果)とAI(深層学習)を組み合わせることで、植生の変化の全体像を予測することを試みた。

a) AIによる植生変化予測の概要

従来の植生予測モデルは、流速や水深といった少ない変数を用いて予測を試みるものや、多くの変数を用いた場合にも変数同士の相互作用を取り込めず、実際の植生分布の再現性に課題があった。

AIを用いた植生変化予測は、AIの一分野である深層学習(ディープラーニング)を用いたもので、説明変数と目的変数の間に中間層を設けることで、植生を決定づける複雑な関係も取り込めるようにしている(図-7)。

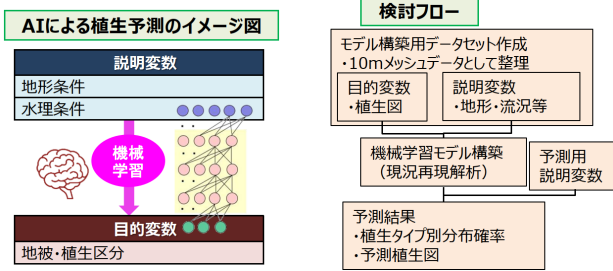


図-7 AIによる植生予測のイメージと検討フロー

b) 説明変数および目的変数

大戸川ダムでは、AI植生変化予測モデルの構築にあたり、目的変数として、現況の植生図の群落区分を大括りにした、8つの植生区分を設定した(表-1及び図-8)。

また、説明変数は植生に影響を及ぼすと考えられる項目を設定した(表-2)。

表-1 目的変数

No	予測モデル用植生区分	R5 大戸川植生図の群落区分
0	予測対象外	果樹園、残存・植栽樹林地、市街地、水田雑草群落、造成地、畑雑草群落
1	開放水面	開放水域
2	水辺植生	オオイヌタデ-オオクサキ群集、ツルヨシ群集、ヨシクラス
3	低木・乾性草本	オギ群集、カナムグラ群落、クス群落、スキキ群団(VII)、セイトカアワダチソウ群落、ネザサ群落、路傍・空地雑草群落
4	タケ類	竹林
5	ヤナギ林	アカメヤナギ群集、タチヤナギ群集
6	その他樹林	アカメガシワ-カラスザンショウ群落、アベマキ-コナラ群集、シイ・カン二次林、スギ・ヒノキ・サワラ樹林、ヒメコマツ-アカマツ群落、ムクノキ-エノキ群集
7	自然裸地	自然裸地

※以降に示す図にはR5大戸川植生図、現況再現結果、予測結果には、No.0 予測対象外を図示しない。

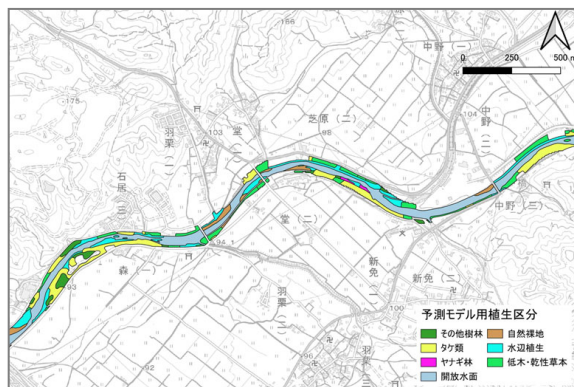
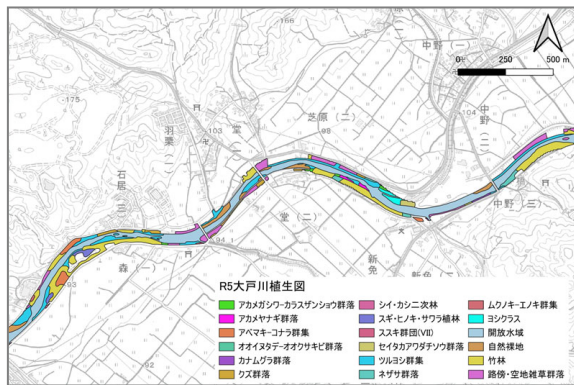


図-8 目的変数の設定(萱尾川合流点付近)

表-2 説明変数(現況再現時)

項目	No	説明変数	備考
現況再現	1	地盤高	LP 測量結果より作成 瀬田川合流点より 8k 付近より 下流側 R2 年度測量結果 上流側 R4 年度測量結果を使用。
	2	傾斜	地盤高データより算出
	3	平水流量時の水際からの距離(m)	水際からの距離は、最寄りの水面との距離を指す。 水面からの比高は、最寄りの水面の水位と各メッシュの地盤高の差を指す。
	4	平水流量時の水面からの比高(m)	平水流量時の水面は、平水流量(3m ³ /s)時の平面二次元流況計算結果から求めた。
	5	平均年最大流量時流速	平均年最大流量(280 m ³ /s)時の流速および水深を平面二次元流況計算により求めた。
	6	平均年最大流量時水深	280 m ³ /s 時に水没しない場所については流速・水深ともゼロとした。
	7	出水時の流速 -平均年最大流量時の流速	出水時の流速・水深は稀すぎない出水として最近10年間で3番目に大きい出水であった445 m ³ /s 時の流速・水深を用いた。
	8	出水時の水深 -平均年最大流量時の水深	その出水時と平均年最大流量(280 m ³ /s)時の差をとった値。

c) モデル構築(現況再現解析)結果

モデル構築(現況再現解析)結果の例を図-9に示す。本モデルは、各植生タイプが分布する確率をメッシュごとに算出している。図-9に示した水辺植生やタケ類の例をみると、現状でそれぞれの植生が分布しているエリアは濃色(高確率)で、分布していないエリアはグレー(低確率)で、まばらに分布しているエリアは中間的な確率となっており、現状をよく再現していた。なお、現状で水辺植生が成立していない場所についても、高い分布確率を示す場所があるが、これは説明変数とした地形や流況が水辺植生成立個所と似ているためである。したがって保全措置が求められる場合には、高い効果が期待できる場所と解釈できる。

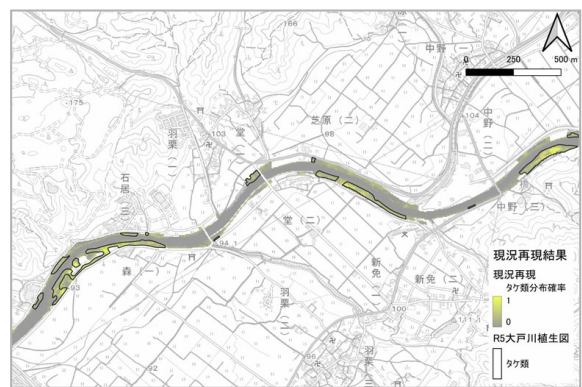
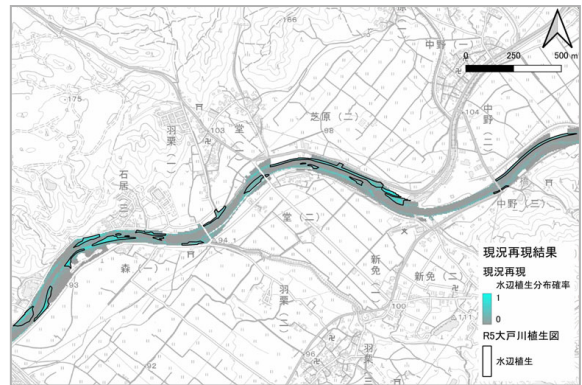


図-9 現況再現結果例(上:水辺植生,下:タケ類)

また、各メッシュで最も分布確率が高い植生タイプになると判別した場合の現況植生（目的変数）との対比を見ると、植生タイプごとの再現率・適合率（図-10）にモデルの特性が表れている（表-3）。例えばタケ類について、再現率に対して適合率が高いことは、取りこぼしよりもハズレ（誤検知）が低いこと、つまり実際にはタケ類であるのにタケと判別しなかった場所はあるものの、モデルがタケと判別した場合は実際にタケである確率が高いことを意味している。様々な要因が複雑に関与する植生分布を完全に予測することは困難であっても、モデルの特性を捉えることで、適切な利用が可能となると考えられる。

表-3 現況再現計算結果

再現実算結果	開放水面	水辺植生	低木・乾性草本	タケ類	ヤナギ林	その他樹林	自然裸地	計	再現率
R5 植生図									
開放水面	36.69%	0.88%	0.43%	0.03%	0.01%	1.27%	0.72%	40.03%	91.7
水辺植生	2.52%	3.29%	1.45%	0.13%	0.01%	0.32%	0.39%	8.09%	40.6
低木・乾性草本	1.01%	0.82%	7.90%	0.48%	0.01%	2.35%	0.06%	12.64%	62.6
タケ類	0.79%	0.55%	3.24%	2.68%	0.00%	2.32%	0.04%	9.61%	27.9
ヤナギ林	0.17%	0.18%	0.14%	0.01%	0.05%	0.00%	0.01%	0.55%	8.9
その他樹林	1.66%	0.15%	1.23%	0.27%	0.01%	20.94%	0.01%	24.27%	86.3
自然裸地	1.85%	0.20%	0.24%	0.03%	0.00%	0.18%	2.30%	4.80%	47.8
計	44.70%	6.06%	14.62%	3.63%	0.08%	27.39%	3.52%	100.00%	
適合率	82.1	54.3	54.1	73.9	58.6	76.5	65.3		

※1. 表中の数字は、解析メッシュ数（34,245）に対する割合で合計100%となる。そのうち黄色セルの合計がモデル全体の正解率73.9%である。
 ※2. 再現率は植生図である区分となっているメッシュのうち再現計算もその区分と判別された割合（%）、適合率は再現計算である区分とされたメッシュのうち植生図でもその区分であった割合（%）。

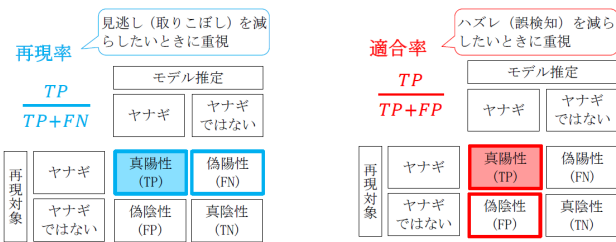


図-10 再現率及び適合率の考え方

構築したモデルによる予測は、予測条件としてダム完成後は地形が変わらず流況のみ変化する条件を与えることとし、説明変数を再設定した。具体的には、説明変数（予測時）の項目は現況再現計算時と同じであるが、NO.7とNO.8については変数を変更した（表-3）。

現況の植生図と植生予測結果（分布確率）を比較すると、予測結果の全体的な傾向として、現在ある植生区分が成立している場所の予測結果は分布確率が高くなっていくことから、大戸川ダム建設後も植生に大きな変化は起きない可能性が高いと考えられる（図-11）。

3. まとめ

試行の結果から、河川環境に対する影響の予測や評価はより検討のレベルが進化し、平面的な予測も実務レベ

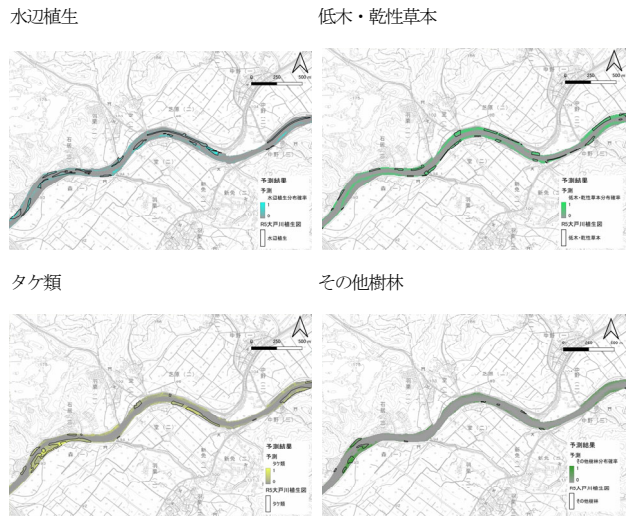


図-11 現況の植生図とダム完成後の植生予測分布確率の比較

ルで十分可能であることが確認された。

今回用いた予測手法では、ダム事業による環境への影響を予測・評価する際に用いられてきた従来のスポット的な手法とは異なり、対象とするエリアについて予測結果を平面的にわかりやすく表現することができた。また、同一のツールを用いて平面二次元河床変動計算と生物生息場の評価を行うことで効率的な評価が可能となることに加え、充実した可視化ツールにより説得力のある結果を提示することが可能となる。AIによる植生変化予測についても従来の横断面毎の評価とは異なり、下流河川全体での面的な将来予測が可能であることから、環境への影響予測・評価だけでなく、河道内樹木の繁茂予測など河川の維持管理においても活用できると考える。

なお、多自然川づくり支援ツール及びAIによる植生変化予測ともに、入力条件として対象範囲の面的な地形及び植生データ等が必要となる。現時点ではこれらのデータ取得には相応のコストを要するため、広域への適用にあたっては効率的なデータ取得が課題となる。

また、EvaTRiPを用いた魚類生息場評価にあたっては、対象種のSI曲線を文献等を基に利用者が個々に設定する必要があり、対象種が同じであっても利用者によってSI曲線が異なる可能性がある。このため、環境への影響を予測・評価する際に対象とされる主な重要種及び注視される水産有用種については、SI曲線があらかじめEvaTRiP内に組み込まれていることが望ましい。

AIによる植生予測については、統計的なモデルであるため、少数派の植生（本検討の場合ではヤナギ林）については正解率が低くなる。本検討で示したようなモデルの特性を把握したうえでの解釈・利用が重要となる。

参考文献

- 1) 滋賀県で大切にすべき野生生物
- 2) 水田開発におけるタモロコとスナヤツメのHISモデルの開発