

8.1 物理環境等を指標とする河川環境評価技術に関する研究

研究予算：運営交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水環境研究グループ（河川生態）

研究担当者：萱場祐一、傳田正利、中西哲

【要旨】

平成 24 年度は、河川環境評価指標の抽出・評価軸の設定の内、特定区域の生物多様性を部分的に捉えるための代用指標種（surrogate）の概念整理を行った。代用指標種の選定には、タクサ間一致性が重要な概念であることを明らかにした。その後、貴重種（絶滅危惧種を含む）に関して代用指標種の選定を試行的に行った。その結果、セグメント 1 ではヤリタナゴ、セグメント 2-1 ではニッポンバラタナゴが代用指標種としての可能性が高いことを明らかにした。次に、国土交通省が所有する水情報国土データ、河川横断測量データ等を活用し生物調査・物理環境データベースを構築した。構築したデータベースのデータから、河川環境分析用のデータを推定する目的の一つとして、河川横断測量データを内挿計算し、河川地形を推定する手法を開発し、概ね良好な精度で再現可能であることを確認した。

キーワード：生物多様性、代用指標、タクサ間一致、ロジスティック回帰、内挿手法

1. はじめに

河川環境の保全、復元及び維持管理のためには、河川環境管理目標の設定が必要となる。そのためには、河川環境を数値で評価出来る技術が必要となる。すなわち、この評価技術を用いて河川環境の状態を正確に評価及び把握し、河川環境の劣化が生じている場合には、保全や復元に向け、劣化前の評価水準を一つの目安として、保全・復元事業を行う必要がある。河川における水質管理では、河川水質の現状を正確に反映する BOD 等の水質指標により管理基準の設定がなされ、適切な水質管理が行われている。

河川環境を構成する河川生態系の場合には、適切な指標がなく河川生態系の適切な維持管理は難しい。河川生態系を保全・復元する際に、河川生態系の生物多様性は重要なキーワードとなる。しかし、生物多様性は、概念的であると同時に、生物多様性自体を計測し指標化することは難しい。この難点を克服するためには、代用指標（Surrogate）の考え方が必要となる。本研究では、「代用指標」とは、「定量化が難しい生物多様性を特定の要件を満たす種の生息とそれらの種の生息空間の状態から評価する指標」と定義している。現在、概念的な整理を行っている段階ではあり、今後変わる可能性があるが、本定義は、既往研究で指摘される概念の共通事項を抽出していると考えられる。今後、全国の河川で生物多様性保全、維持管理を行う場合には、この代用指標の考え方は重要な概念になると考えられる。

この「代用指標」を用いて河川生態系を評価する

場合には、特定河川の特定種という限定された生物種ではなく、日本全国でも生息を確認出来るような生息範囲が広い生物種を代用指標に用いる必要がある。この目的を実現するためには、全国の河川を対象とした生物データと物理環境データが必要となる。この目的を実現するデータには、「河川水辺の国勢調査」が適していると考えられる。河川水辺の国勢調査では、全国の主要な河川を対象に哺乳類、魚類、植物等の主要な生物生息状況と物理環境が調査され、データの蓄積は約 15 年間に及ぶ。河川水辺の国勢調査のデータを活用することで、「代用指標」の選定をより一般化して行うことが可能と考えられる。

河川水辺の国勢調査は、代用指標の選定に有用なデータであることは変わらないが、物理環境データに、若干の問題点がある。この問題は、河川水辺の国勢調査のデータは、調査日の調査地点における流速、水深等の瞬時的な物理環境データがとられているに過ぎず、代用指標に選定される種の生息が、どのような物理環境条件により支えられているかを分析するには十分な精度を有していない問題点がある。この問題を補間する方法としては、河川の維持管理等で取得される体系的な物理環境データを活用し、河川水辺の国勢調査データとの親和性を高める必要がある。

このような背景から、平成 24 年度には、(1)生物多様性を指標化する代用指標種（surrogate）に関する既往研究のレビュー及びその概念整理、(2)貴重種（絶滅危惧種を含む）を対象とした代用指標種の試

行的選定、(3)代用指標種の生息環境条件を明らかにするため、国土交通省が所有する水情報国土データ、河川測量データ等を活用し生物調査・物理環境データベースの構築、(4)構築したデータベースのデータを用いて代用指標の詳細な生物生息条件を推定するため、河川横断測量データを用いて詳細な河川地形を推定する手法の開発を行った。次章以降において、(1)から(4)の概要を報告する。

2. 河川環境評価指標の抽出・評価軸の設定

2. 1 生物多様性評価を目的とした代用指標種に関する概念的整理

具体的な河川環境管理目標を設定するには、当該地域の生物多様性を示す尺度が必要になるが、生物多様性という概念は漠然としており、現実的に、定量化することが困難である（赤坂・森 2012）。Margules & Sarkar (2007) は、定量化できない生物多様性を、代用指標（surrogate）を用いて、状態を捉えることが可能であるとしている。代用指標には、野外において定量化・計測が可能である出現種数や生物量、環境指標種等の生物的特性と土壌タイプや流速、水深等の物理的特性が該当する。

これまで、海外では鳥類や植物等の出現種数を代用指標とした保全区域設定の検討が実施されているが（Garson et al. 2002；Sarkar et al. 2005）、いずれも空間スケールが大きいことから、構成が複雑な日本の河川で同様の手法を用いて生物多様性を表現することは困難である。また、対象区間に生息・生育するすべての種の分布をくまなく調査することは、労力・コスト面で非現実的であることを踏まえると、実際には、当該地域が有する環境条件に特徴的に生息・生育する環境指標種を抽出し、これらの種が必要とする環境条件のセットを代用指標に設定する方法が現実的であると考えられる。

本研究で抽出された指標種は、河川環境管理上の目標設定に使用されることから、環境指標種のうち、以下の①～④の条件を満たす必要がある。これらの条件を満たした種をここでは代用指標種とした。

- ①河川環境への依存度が高い：河川管理の指標であることから、河川環境への依存度が高い必要がある。
- ②人為的影響に対する応答が明確である：工事等の人為的インパクトに対して敏感である必要がある
- ③タクサ間一致性が高い：生物多様性を代用することから、他種群との関連性が高い必要がある
- ④生息適地の物理環境要因が明確である：当該種が必要とする環境条件を特定するためには、生態に

表-1 代表的な指標種

surrogate 対象	概要	①	②	③	④	備考
キーストーン種 keystone species	生態系に対して大きな影響を持ち、その影響が著しく大きい種			◎		・ ラッコ(ウニと海藻) ・ 役割を立証することが困難
アンブレラ種 umbrella species	生態系の上位に位置づけられている種		◎	○	◎	・ 肉食哺乳類(クマ等) ・ 猛禽類(オオタカ等)
絶滅危惧種 rare species	絶滅の危機に瀕している種	○	◎	○	◎	・ 環境省RL掲載種 ・ 河川内に依存する種も多い
象徴種 flagship species	人気があり、保護活動への関心を引き起こすシンボルとなる種				◎	・ コウホリ(兵庫県豊岡市) ・ ハクトウワシ(アフリカの森林保護)
系統的な違い	系統的に遠い種					・ ナメコジウオ
商業価値のある種	商業的価値(益菜、観光、ペット等)がある種				◎	・ サギソウ ・ メジロ
観察が容易な種	体サイズが大きく、データを得やすい種				○	・ 哺乳類 ・ 鳥類 ・ 蝶類
注目種 remarkable species	生態系と事業による生態系の変化を表現できるような種	○	○		○	・ トビケラ類(河川形態の多様性を指標) ・ 選定には十分な科学的検討が必要
焦点種 focal species	ハビタットへの依存度が高く、環境変化に対して敏感であり、ハビタットスケールが大きい種	◎	◎		◎	・ 小型サンショウウオ類 ・ 保全エリアが広い ・ タクサ間一致性の立証が困難

①河川環境への依存度が高い ②人為的影響に対する応答が明確 ③タクサ間一致性が高い ④生息適地の物理環境要因が明確

関する知見が豊富である必要がある

表-1 では、各指標種概念と上記の条件との対応関係を示している。このうち、絶滅危惧種が、河川環境に依存しない種が含まれるものの、他の指標種概念と比べて、生息場に対する依存性が高いことやレッドリスト等により生息環境に関する知見が整理されていることから、条件を最も満たしている。

以上を踏まえ、今年度は、絶滅危惧種に着目して、代用指標種の抽出方法の検討を実施した。

2. 2代用指標種の選定方法

2. 2. 1 検討対象河川の選定

代用指標種を選定するにあたっては、河川水辺の国勢調査における魚類の調査結果を用いることとした。対象河川は、地域特性を反映させるため、Watanabe(1998)が行った地域固有性最節約解析(PAE)による純淡水魚類相の階層構造に準じて全国河川を区分し、そのうち同一分類となった嘉瀬川水系、菊池川水系、球磨川水系、川内川水系、筑後川水系、白川水系、本明川水系、矢部川水系、緑川水系、六角川水系の10水系28河川とした。

2. 2. 2 代用指標種選定フロー及び考え方

代用指標種は、縦断的な流程分布の違いを考慮するため、セグメント毎に検討し、レッドリスト該当種から選定条件に合致する種を抽出した(図-1)。各選定条件の考え方は、以下のとおりである。

【選定条件】

- ①レッドリスト該当種の抽出
希少種は場に対する依存性が高いと考えられるため抽出する。
- ②回遊魚及び放流魚の除外
海域と河川を移動し、場への依存性が相対的に低いと考えられる回遊魚と、漁業活動等を目的に人為的に放流された魚種については除外する。
- ③セグメント別出現率が中程度の種を抽出

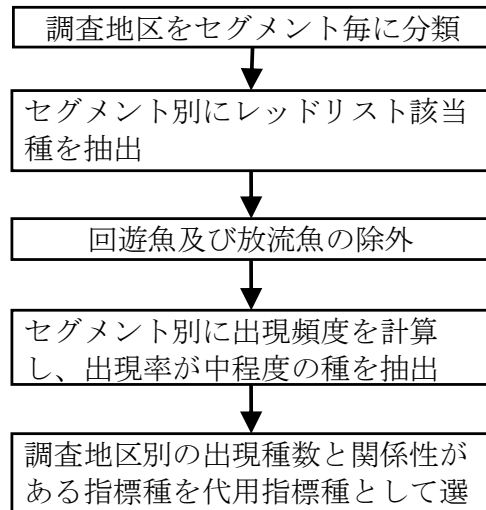


図-1 代表指標種の選定フロー

セグメント別出現率（出現地区数/全調査地区数）を表-2 のとおり分類し、出現率が中（40～70%）の種を選定する。

④出現種数と関係性がある指標種を選定

調査地区別の種数と関係性がある種、すなわち①～③の条件で絞り込まれた種のうち、その種が生息すると他の種の生息確率が高くなる種を代用指標種として選定する。

表-2 セグメント別出現率に対する考え方

別出現率	考え方
高 (70%以上)	その地理区分を代表する種であり、人為的改変の影響を受けにくいと考えられる（検討の対象外とする）。
中 (40～70%)	人為的改変の影響を受けていると考えられる。
低 (40%以下)	偶然出現したと考えられる種（検討の対象外とする）。

2. 2. 3 代用指標種の在・不在と種数との関係性

選定条件④に示す指標種と出現種数との関係性は、一般化線形モデル（GLM）によるロジスティック回帰分析により把握した。目的変数は、各調査地区における指標種の在・不在とし、各調査地区の出現種数を説明変数とした。目的変数の分布は2項分布に従うと仮定し、リンク関数はlogitを選択し、これらの解析は、R（ver.2.15.3）を用いて行った。解析結果から、有意（ $p<0.05$ ）な関係が得られた種を代用指標種として選定した。

2. 3 代用指標種の選定結果

2. 3. 1 セグメント別代用指標種の選定

選定条件①～③によって抽出された指標種16種を対象に一般化線形モデル（GLM）によるロジスティック回帰分析を実施した結果、セグメント1ではヤリタナゴ、セグメント2-1ではニッポンバラタナゴ他計6種、セグメント3ではムツゴロウが、種数に対して有意（ $p<0.05$ ）な影響を与えていた（表-3、図-2）。これらの結果は、同種が調査地区で確認された場合、未確認地区よりも有意に種数が増える傾向を示しており、魚類群集の生物多様性を代表する種として用いることができると考えられる。

2. 4 選定された代用指標種の生息条件

河川水辺の国勢調査データに格納されている物理環境の情報としては、河床勾配や河床形態（Aa, Bb, Bc）などがあるが、定量的に把握され、一般的に魚類の生息と関連性が強いとされる流速を用いて、代用指標種との生息条件を整理することを試みた。

代用指標種の生息が確認された調査地区と未確認の調査地区で、当該地区で計測された流速を比較したが、顕著な違いはみられなかった。この理由として、調査時期が春、夏、秋の3季の調査結果が混在していることや、調査地区によって調査回数が異なること等が考えられる。今後は、これらの誤差を排除し、代用指標種の生息条件を明らかにしていく必要がある。

表-3 一般化線形モデル（GLM）による結果

セグメント	指標種	項目	係数	標準誤差	有意水準※
セグメント1	ヤリタナゴ (n=8)	Intercept	-5.00828	1.78813	**
		種数	0.21732	0.08602	*
セグメント2-1	ヤマトシマドジョウ (n=34)	Intercept	-3.08745	1.31096	*
		種数	0.0998	0.04921	*
	カワヒガイ (n=34)	Intercept	-4.33293	1.58998	**
		種数	0.16192	0.06198	**
	ハス (n=34)	Intercept	-3.55104	1.40539	*
		種数	0.11178	0.05188	*
	アブラボテ (n=34)	Intercept	-3.08745	1.31096	*
		種数	0.0998	0.04921	*
セグメント2-2	カゼトゲタナゴ (n=34)	Intercept	-6.23669	2.12283	**
		種数	0.23854	0.08323	**
	ニッポンバラタナゴ (n=34)	Intercept	-5.90815	2.02345	**
		種数	0.22535	0.07928	**
	ヤリタナゴ (n=18)	Intercept	-2.08301	1.7695	.
		種数	0.08953	0.06633	.
	カワヒガイ (n=18)	Intercept	-5.62218	3.04172	.
		種数	0.16575	0.09934	.
セグメント3	ハス (n=18)	Intercept	-2.79947	1.88335	.
		種数	0.10731	0.06906	.
	トビハゼ (n=18)	Intercept	-4.67601	2.53659	.
		種数	0.14483	0.08554	.
	クルメサヨリ (n=21)	Intercept	-2.89249	1.73737	.
		種数	0.08079	0.05089	.
	ムツゴロウ (n=21)	Intercept	-4.23765	2.10277	*
		種数	0.12943	0.06308	*
セグメント3	ワラスボ (n=21)	Intercept	-3.44219	1.87211	.
		種数	0.09749	0.05476	.
	タビラクチ (n=21)	Intercept	-5.12006	2.44208	*
		種数	0.12322	0.0623	.
セグメント3	ハス (n=21)	Intercept	-1.08368	1.44859	.
		種数	0.01879	0.0429	.

※有意水準: . : $p<0.1$, * : $p<0.05$, ** : $p<0.01$

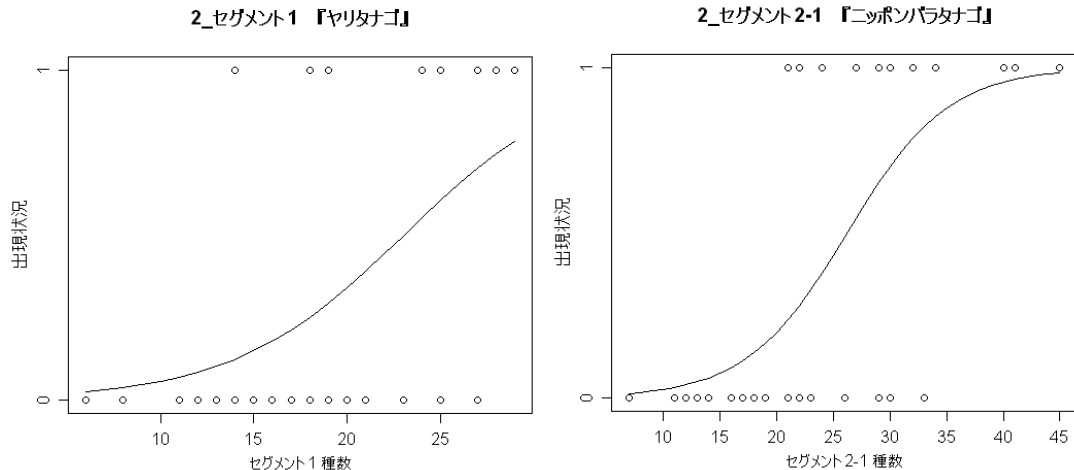


図-2 調査地区別の種数と代用指標種の在・不在の関係

3. 横断測量データを用いた河川空間情報の生成手法に関する検討

河川に生息する生物は、それぞれ種によって、また生息段階において瀬や淵といった河川微地形を利用し、生息している。これらの河川微地形の量と質を算出するには、通常水が流れている水域部を含めた詳細な河道地形を再現する必要がある。さらに河川微地形は、水深や流速といった水理量とも関連しているため、これらについても再現しなければならない。

河川域の詳細な地形を把握するため、近年レーザープロファイラ（以下、LP）による測量がなされている。LPは詳細かつ広域な面的標高データを取得することが可能である。しかし、データの取得からフィルタリングを経て、最終的な測量成果データとなるまでコストがかかること、測量時におけるスナップショットでしかなく、河道地形の変遷や、将来予測に利用するには、まだ超えるべきハードルは多い。

一方、河川における横断測量を国土交通省は過去から綿々と取得されてきた。現在は、少なくとも5年間隔で取得することとなっており、さらに洪水といった河道地形を変化させるイベントが発生した際に、取得することとなっている。そのため、過去の河道内微地形を再現することや、将来的な地形改変や地形変動に伴う生息場の推定に対しても、有用なデータであると考えられる。

横断測量データの問題点は空間解像度が河川の流程に対する横断方向と縦断方向で異なり、特に縦断方向では、河道地形を再現するには粗すぎることである。横断測量では地形の変化点を密に測量するが、縦断方向は200～500mの間隔で測量される。さらに河川の縦断方向は横断方向に比べて、変化に乏しい

ことが分かっている。そのため、河道地形の特性を加味した内挿方法の開発が、河川の微地形を再現するのに必要となるが、その手法は確立されていない。

本研究では、横断測量データを用いた河川微地形の再現手法を開発するため、現在提案されている各種内挿手法の比較を行った。

3. 1 使用したデータおよび内挿手法

使用した定期横断測量データは、信濃川水系千曲川の96.5Kから98.5Kまでの平成16年の定期横断測量結果である。これらの断面数は5断面で間隔は約500mである。検証用のLPデータは、平成17年取得された測量結果である。

内挿方法は、ArcGIS Spatial Analystの内挿ツールを利用することとした。内挿手法は、IDW、Natural Neighborhood、クリギング四種（Spherical、Gaussian、Linear drift、Quadratic drift）およびスプラインである。これらの内挿方法は、内挿を行う任意地点の近辺のデータから値を推定する。前述の通り、河川地形は横断方向の変化が大きく、縦断方向の変化は乏しい。そのため、通常の内挿方法をそのまま使用すると、横断上の測量ポイントに引っ張られるため再現性は低い結果となってしまう。この現象を回避するため、本研究では二段階の内挿を試みた（図-3）。まず縦断方向に河道地形を加味した粗い内挿を行う。次に粗い内挿結果を用いて、上記内挿ツールを行い、詳細な地形を再現した。粗い内挿はiRICの内挿ツールを用いて、おおよそ20m間隔の格子となるようにした。iRICの内挿方法は、滯筋を任意に設定することができ、この滯筋を中心軸とする一般座標系格子を作成することができる。また詳細データは10m間隔の格子を算出した。

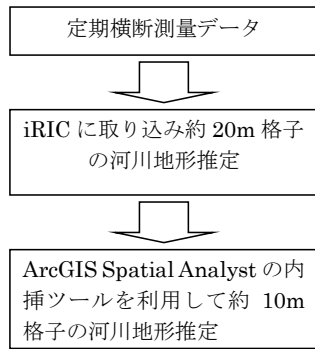


図-3 内挿手法のフロー

3. 2 横断測量データから推定される地形と LP データとの比較

各内挿手法による再現結果の地形と LP データによる地形を比較検討した結果、河床の凹凸の鮮明さに違いは見られたものの、各種法とも地形傾向は類似した再現結果となった。代表的な結果としてクリギング (Spherical) と検証用の LP データを図-4 に示す。図-4 は LP データとの比較により良好に再現されている。特に図丈夫河道の滞筋も再現されていることが分かる。これは、iRIC による第一段階の処理によって河道がスムーズに連続したものだと考えられる。

ただし、内挿結果と LP データには大きな差が生じている箇所が存在する事にも留意する必要がある。そこで、各内挿結果と LP データとの差分値を上流から累計した結果を図-5 に示す。

差分図より差が生じ易い箇所として河岸部と流路部、すなわち凹凸の端部で差が生じており、他の場

所では差が小さくなる結果が得られた。また、差分累計値を見ると、クリギングの Gaussian と Linear drift、そして Natural Neighborhood、IDW の順で差が大きくなっており、他 3 種は同程度となる事が確認できた。また最も良好な再現方法は、クリギングの Spherical を採用した結果であった。

以上より、河川横断測量結果から iRIC の内挿手法を第一段階で行い、その結果から詳細な内挿を行うことで、地形のおおよその形状の再現が可能であることが分かった。

4. おわりに

平成 24 年は、(1)生物多様性を指標化する代用指標種 (surrogate)に関する既往研究のレビュー及びその概念整理、(2)貴重種 (絶滅危惧種を含む) を対象とした代用指標種の試行的選定、(3)代用指標種の生息環境条件を明らかにするため、国土交通省が所有する水情報国土データ、河川測量データ等を活用し生物調査・物理環境データベースの構築、(4)構築したデータベースのデータを用いて代用指標の詳細な生物生息条件を推定するため、河川横断測量データを用いて詳細な河川地形を推定する手法の開発を行った。その結果、各事項に対して以下の結果を得た。

- (1)代用指標種概念が概ね整理された。
- (2)代用指標種としてセグメント 1 ではヤリタナゴ、セグメント 2-1 ではニッポンバラタナゴが代用指標種としての可能性が高いことを明らかにした。
- (3)国土交通省が所有する水情報国土データ、河川測量データ等を活用し生物調査・物理環境データベースを構築した。

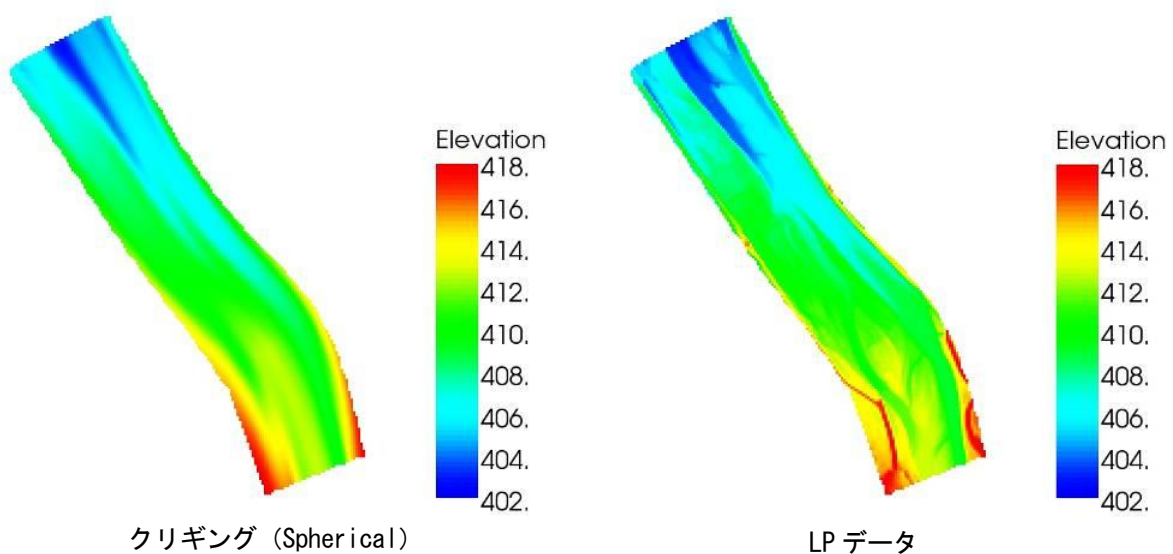


図-4 クリギング (Spherical) による内挿と LP データ

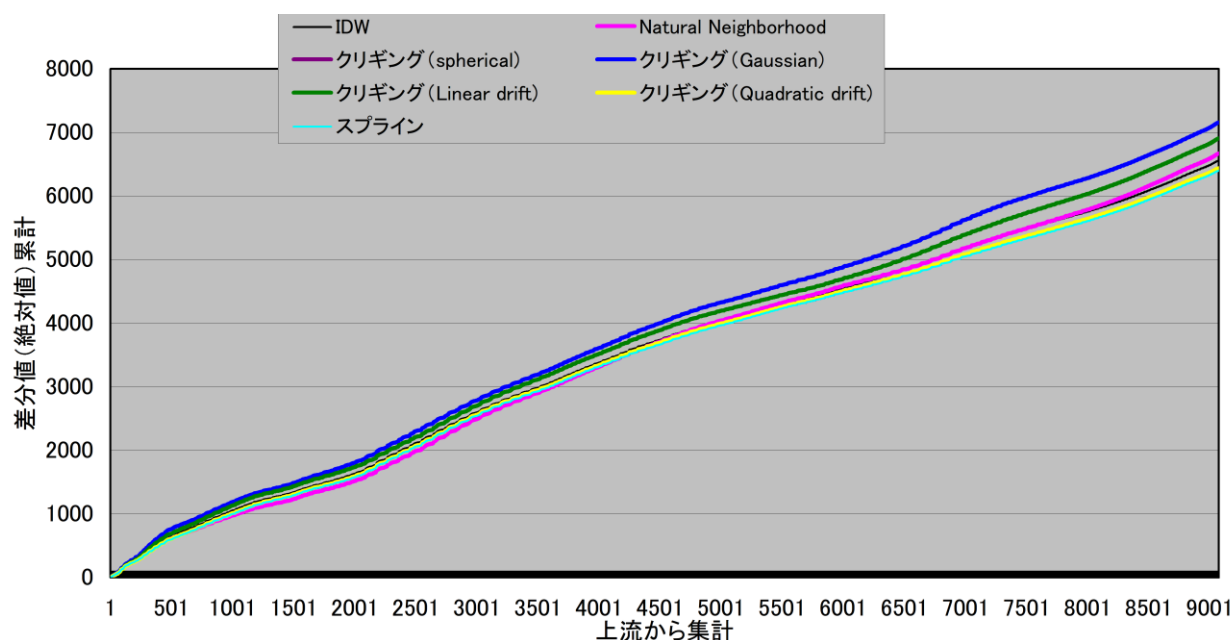


図-5 各内挿結果と LP データの差分値の累計比較

(4)構築したデータベースのデータから、河川環境分析用のデータを推定する目的の一つとして、河川横断測量データを内挿計算し、河川地形を推定する手法を開発し、概ね良好な精度で再現可能であることを確認した。

しかし、(2)～(4)に関しては、より一般的な代用指標の実現に向けて以下の課題がある。

(2)に関しては、平成 24 年度は魚類の貴重種を主な対象として評価した。しかし、魚類群集の多様性を代用指標で評価するためには、貴重種に着目した代用指標のみならず、普通種を対象とし代用指標の選定が必要になる。そのためには普通種も含めた解析を今後行う必要がある。また、河川生態系を構成する生物は、魚類のみならず植物、底生生物等の多岐に渡る。平成 25 年度以降は、魚類の貴重種から対象生物を拡大し、より多様な生態系の構成レベルから評価が可能な代用指標の選定を行う必要がある。

(3)～(4)に関しては、平成 24 年は、データベースの構築、特定河川の地形内挿による詳細な河川地形の復元の可能性を評価したに過ぎない。河川水辺の国勢調査の物理環境データの弱点を補正するには、詳細な河川地形の復元のみならず、河川流況、河川流況による生物への影響状況を推定出来る技術の開発が必要となる。そのために、水工学・河川工学を活用しながら河川空間データの再現・推定を行う必要がある。しかし、全国河川を対象として上述の解析を行うには多大な労力を必要とするため、効率的に多量の河川空間データを再現しうる解析ツールの

開発を行う必要がある。

参考文献

- 1) Garson, Aggarwal & Sarkar: Birds as surrogate for biodiversity: an analysis of a data set from southern Quebec, J. Bioscience, Vol.27, No.4 pp.347-360, 2002
- 2) Sarkar, Justus, Fuller, Kelley, Garson & Mayfield: Effectiveness of environmental surrogates for the selection of conservation area networks, Conservation Biology, Vol.19, No.3. pp.1-11, 2005
- 3) Margules & Sarkar: Systematic Conservation planning, Cambridge University Press, p270, 2007
- 4) 赤坂宗光, 森章: 自然保護区のマネジメントー設置の計画から管理のあり方まで, エコシステムマネジメント, 第 2 部, 第 3 章. pp.73-95, 共立出版, 2012
- 5) Katsutoshi Watanabe(1998) Parsimony analysis of the distribution pattern of Japanese primary freshwater fishes, and its application to the distribution of the bagrid catfishes. Ichthyol. Res., 45(3): pp259-270.

STUDY ON INTEGRATED INDICES AND METHODS FOR EVALUATING RIVER ENVIRONMENT WITH PHYSICAL CONDITIONS

Budget: Grants for operating expenses, General account

Research Period: FY2011-2015

Research Team: River Restoration team

Author: Yuichi Kayaba, Masatoshi Denda, Satoru Nakanishi

Abstract: We constructed the model to evaluate longitudinal distribution of Unionoid mussel, an indicator species of floodplain ecosystem, in a river system using altitude and gradient. We also examined the range in application of probability model to evaluate presence/absence of Unionoid mussel, formulated the method for detecting sites suitable for floodplain restoration using existing data sets, and confirmed the accuracy of the method. In addition, we examined the relationship between the cut-down height of floodplain and the sediment accumulation after the cut-down manipulation and thereby discussed the deterioration of mussel habitat restored by cut-down manipulation. Moreover, we compared the present and the past (Meiji era) states of floodplain water bodies in each of lowland segment and alluvial-fan segment.

Key words: biodiversity, surrogate, among-taxon congruence, logistic regression, interpolation method