

# 沖縄本島における河川自然再生に関する基礎的分析

辻本 真希<sup>1</sup>・神谷 大介<sup>2</sup>

<sup>1</sup>琉球大学大学院 理工学部 環境建設工学専攻 (〒903-0213 沖縄県西原町千原1)

<sup>2</sup>琉球大学助教 工学部環境建設工学科 (〒903-0213 沖縄県西原町千原1)

沖縄本島において河川改修を伴う自然再生事業は、河川・汽水域生態系の再生のために不可欠である。それを実施するには、河川を評価し優先順位を明らかにして計画を立案する必要がある。このため、沖縄本島全二級河川において水質調査を実施し、水質汚濁の指標としての DO, 濁度, T-N, T-P を測定した。この結果と既往の河川魚類調査、地域の河川環境保全・再生活動創始ポテンシャルの評価結果を用いて、自然再生計画ための河川の分類・評価を行った。それより、沖縄本島中南部地域において自然再生に関する優先順位が高くなっていることが明らかになった。

キーワード：自然再生計画、水質改善、優先順位、河川改修

## 1. はじめに

治水や利水のための河川改修により上流・下流ならびに河川・氾濫原生態系のつながりは断たれた。また流域における土地利用の変化に伴い水質は悪化した<sup>1)</sup>。このような環境変化に対応するために、1990年から自然型川づくり、2002年から河川における自然再生事業等が積極的に取り組まれている。

沖縄県には、住民が主体となって河川環境保全・再生活動を行っている団体が28ある<sup>2)</sup>。これらの団体の活動は、財政が逼迫した状況において、維持管理費用の軽減に資するという点で有効である<sup>3)</sup>。また沖縄県の長期目標である「沖縄21世紀ビジョン」の下で、失われた自然環境を取り戻すという目標を達成するために必要である。

長期計画としての“Vision”が掲げられ、自然再生事業という“Project”を実施するためには、“Vision”と“Project”的間をつなぐ基本計画“Master Plan”が必要となる<sup>4)</sup>。たくさんの自然再生事業に需要がある一方、資源は限られている。そこで、どの事業から取り組むのかを決定するための方法論が必要と

なる。

以上の認識の下、本研究では図-1に示す沖縄本島全二級河川を対象として、河川改修を伴う自然再生事業における優先度の決定方法について検討する。

## 2. 自然再生優先度について

### (1) 沖縄本島の河川の特徴と課題

自然再生事業の第一段階は、対象河川における問題の認識である<sup>5)</sup>。これは望ましい姿を抽出・設定し、現実と照らし合わせたときの違いを、顕在化した問題として認識することである。そこで沖縄本島の河川の特徴から現状の課題を示す。

沖縄本島は、中国大陆との間に出現した島尻海によって分離された琉球列島の中琉球に位置し、列島中最大の面積を持つ。元々1,500m級の山地であったが、地殻変動による隆起と沈降、ウルム氷期後の海面の上昇とともにその山頂付近が残ったものと考えられている<sup>6)</sup>。従って、溪流河川が直接海に注いでおり、可児の河川形態分類<sup>7)</sup>でいうBb-Bc型、Bc

型の河口デルタは存在しない。こうした状況下において治水を目的とした河道拡張、河川の直線化による流速上昇を防止するために多数の落差工を設置して緩勾配化を図ってきた。そのため平常時流速は低下し、河床の土砂堆積が進行したと考えられる。このことは、主に湖沼や流れの緩やかな場所で生息するような外来種の定着を助長している一因となっていると考えられる。また、河口閉塞、無水区間の発生・瀕切れ、河川横断構造物の設置等は、海と川を行き来して生活する両側回遊性種、降河回遊性種、及び海域・汽水域を主な生息場所とする淡水域まで生息範囲を広げる場合がある一部の周縁性種にとって遡上障害となっている<sup>8)9)</sup>。

南部地域の河川には、水質の環境基準 E 類型にあたるもののが存在している<sup>10)</sup>。また、沖縄の高汚濁河川では、生物に対して高濃度で毒性を示すアンモニウム態窒素なども高くなっている<sup>11)</sup>。そのため自然再生事業による河川構造改善の前に、汚水処理率の向上、畜舎廃水等による水質改善が必要と考えられる。

## (2) 河川の特徴・課題を踏まえた優先度の考え方

本研究では水質と河川構造に着目する。前者については、経年的に水質観測を行っている河川が少ないため、新たな調査を実施する。後者については、流域面積、河床勾配、河川構造物、魚類の生息状況を代理変数として河川構造の問題点を捕まえることとする。その上で、自然再生における住民参加の重要性を考慮し、住民主体の河川環境保全・再生活動について活動創始ポテンシャル評価を用いて、自然再生の優先度評価を行うこととする。具体的には以下のとおりである。

まず水質調査と河川構造物の調査を実施する。流域面積については、沖縄県河川課の「二級河川指定一覧表」のデータを使用する。河床勾配については DEM データから算出する。流域面積と河床勾配から各河川が本来はどのような環境をもっているのかを評価し、河川構造物が魚類種にどのような影響を与えているのかを評価する。その上で、松本ら<sup>12)</sup>に

よる地域活動創始ポテンシャルを用いて優先度を決定する。

## 3. 事業優先度の決定のための河川の分類化

### (1) 対象河川及び調査地点の概要

沖縄本島にある二級河川を対象として、水質調査、河川構造物調査を行なった。水質調査地点は、潮汐の影響が少なく、最大限の流域汚濁負荷がとらえられるよう河川淡水区間最下流を原則とした。なお、水系に本流と支流がある場合は、本流のみ水質調査を行なった。調査地点は全て GPS を用いて位地座標を記録した。調査地点を図-1 に示す。

### (2) 水質調査の概要と結果の考察

水質調査は、条件を統一するため出水の影響が無く、快晴が継続した平成 25 年 8 月 6 日～9 日の短期間に実施した。調査には現地観測機器（東亜ディーケー社製多項目水質計 WQC-24）を用い、DO（溶存酸素）、濁度を現地測定し、同一試料を用いて T-N（総窒素）、T-P（総リン）の室内分析を行った。

水質調査結果の内、濁度を図-2、T-N を図-3 に

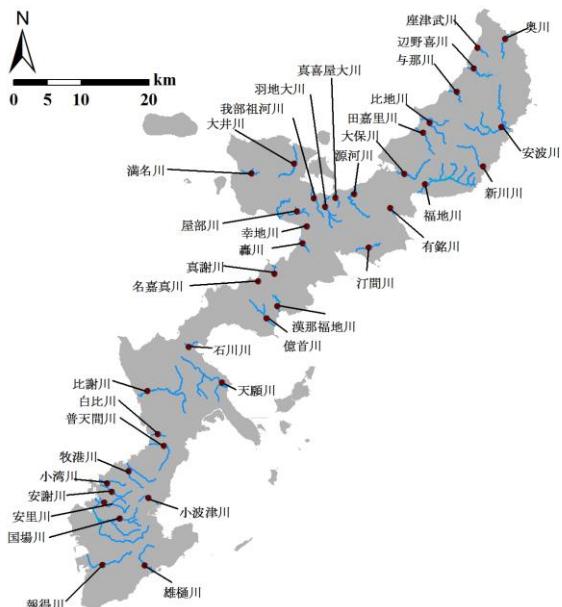


図-1 対象河川と調査地点

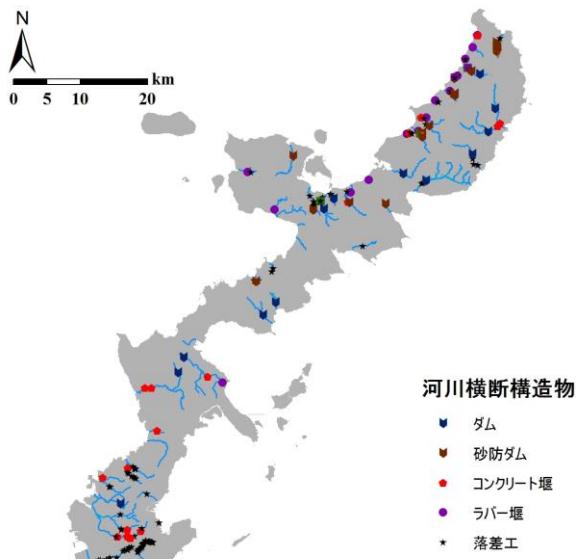
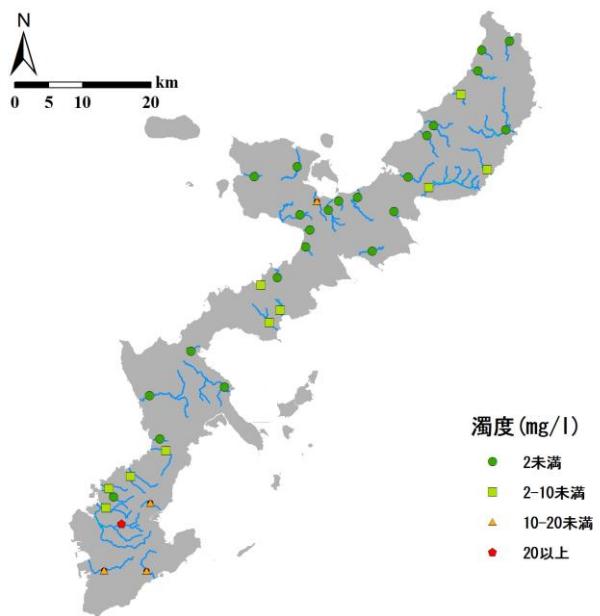


図-4 河川構造物

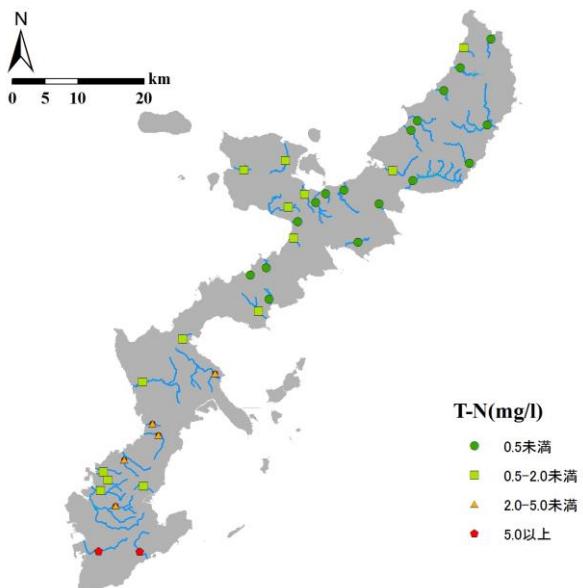


図-3 T-N

示す。濁度、T-N ともに北部から南下するほど高くなっている。人口および産業の集中している中南部地域の方が、水質が悪化していることを示している。

### (3) 河川構造物調査の概要

河川構造物調査は、平成 26 年 5 月 2 日～4 日の間に実施した。河川横断構造物は全て GPS を用いて位地座標を記録した。さらに既往の調査結果<sup>13)</sup>を加えて図-4 に示す。

### (4) 魚類調査の概要と結果の考察

嶋津<sup>14)</sup>の調査では、沖縄本島の全河川純淡水区間における魚類調査を行っており、外来種は 18 種、在来種は周縁魚類を含めて 28 種を確認したとしている。ただし、環境省 RL<sup>15)</sup>、沖縄県 RDB<sup>16)</sup>、水産庁 DB<sup>17)</sup>の掲載の絶滅危惧種 13 種の分布河川情報は伏せられている。調査によって確認された魚類を表-1 に示す。これらの出現魚種は、その生態情報から河川構造の課題性や健全性を検討可能なため、自然再生の必要性について優先性を求めるこに利用可能である。

このうち外来種 8 種は、池沼、湖沼、流れの緩い河川下流で生息する種である。また一部は、砂泥等に巣穴を作つて繁殖する<sup>18)19)</sup>。そのため河道拡幅や落差工設置によって緩勾配になったことが、平常時の流速低下をもたらし定着を助長する一因になっていると考えられる。

在来種 28 種は、海と川を行き来して生活する両側回遊性種・降河回遊性種、また、海域・汽水域で生息しながら淡水域に侵入する周縁性種からなる。従つて、これらの出現種数が多いほど、河口から純淡水区間の確認地点まで、河口閉塞、瀬切れ・無水区間などの遡上障害が少ないと考えられる。

表-1 島津<sup>14)</sup>によって確認された魚類

外来種	在来種			
カワスズメ属	イセゴイ	ナンヨウボウズハゼ属	ナガノゴリ	ユゴイ
セルフィンプレコ属	ヨシノボリ属	ボウズハゼ	ギンユゴイ	ハゼ科
ヒレナマズ属	オオクチユゴイ	ミナミハゼ属	クロダイ属	ミズン
コイ	ゴンズイ	ギンガメアジ属	ツムギハゼ	ボラ科
オオクチバス	オキナワフグ	タカサゴイシモチ属	カマス属	
ブルーギル	コトヒキ	ゴマフエダイ	テンジクダイ科	
インディアングラスフィッシュ	トビハゼ属	ヨウジウオ科	アイゴ属	
コウタイ	カワアナゴ属	クロホシマンジュウダイ	スズメダイ科	

### (5) クラスター分析による類型化

水質については、各河川の DO, 濁度, T-N, T-P を用いてクラスター分析を行い、魚類については外来種数および在来種数を用いて分析を行った。なお、類似度はユークリッド距離で定義し、ウォード法を用いた。水質のデンドログラムを図-5、魚類のデンドログラムを図-6に示す。また水質、魚類による河川のグループ分け結果を表-2に示す。

水質については、図-5より類似度の距離を考慮して2つに分類した。地理的特性より考察すると上のグループ（白比川-天願川）は、森林地帯を有する北部の河川を中心として、中部の河川が加わったものとなった。下のグループ（国場川-安里川）は、ダムがある北部の河川と人口密度が高い南部の河川で占められた。表-2に示すように、デンドログラムの上と下を比較すると、下の方が DO は低くなり、濁度、T-N, T-P は高くなった。このため下のグループは、河川改修を伴う自然再生を行うより、河川に流入する廃水等の水質改善が優先されると判断できる。

魚類については、図-6より類似度の距離を考慮して3つのグループに分けられる。各グループの特性を示す表-2において、上方で外来種数が多く、下の2つは在来種数が多くなっている。

### (6) 河川構造と魚類グループの関係

DEM データを用いて、河口から 100m ごとに標高を抽出し作成した河床勾配を図-7 に示す。

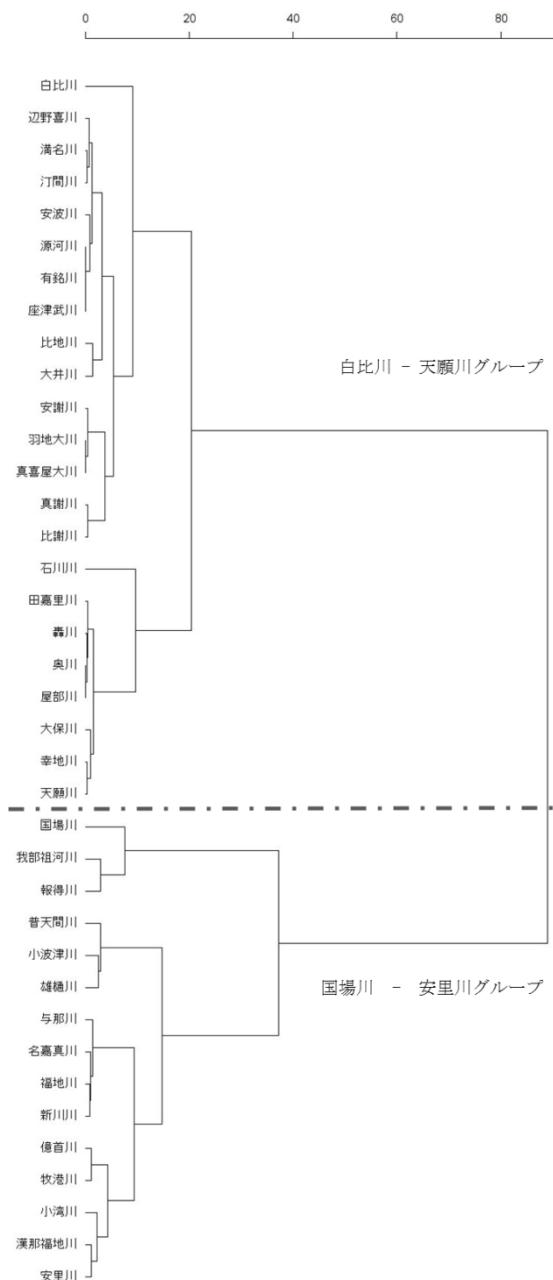


図-5 水質のデンドログラム

表-2 水質・魚類の各河川グループ

水質								魚類													
グループ	n	統計	DO	濁度	T-N	T-P	課題	グループ	n	統計	外来種数	在来種数	課題								
与那川 -比謝川	北	18	中央値	7.5	0.0	0.47	0.017	国場川 -小湾川	北	大井川 安波川 比地川 奥川 羽地大川 座津武川 有銘川 大保川 田嘉里川	我部祖河川 真謝川 轟川 幸地川 屋部川 眞喜屋大川 源河川 汀間川 満名川	4	中央値	5	4	多					
			範囲	0.0~13.6	0.0~1.7	0.03~3.57	0.002~0.564														
	中	4	石川川 比謝川	天願川 白比川				幸地川 -新川川	北	幸地川 大保川 轟川 有銘川 漢那福地川 座津武川 新川川	2	5.5	中								
	南	1	安謝川						南	石川川 白比川											
国場川 -牧港川	北	7	中央値	6.9	7.1	1.48	0.162	多	中	安謝川	1	範囲	0~3	2~8	少						
			範囲	0.6~8.5	3.4~20.2	0.19~12.87	0.003~1.492														
	中																				
	4	牧港川 小波津川	普天間川 小湾川				福地川 -屋部川	北	福地川 比地川 与那川 田嘉里川 奥川 汀間川 源河川 安波川	2	13	少									
	南	4	国場川 安里川	轟川					南	小波津川 辺野喜川 屋部川 満名川	範囲	2~5	11~16								

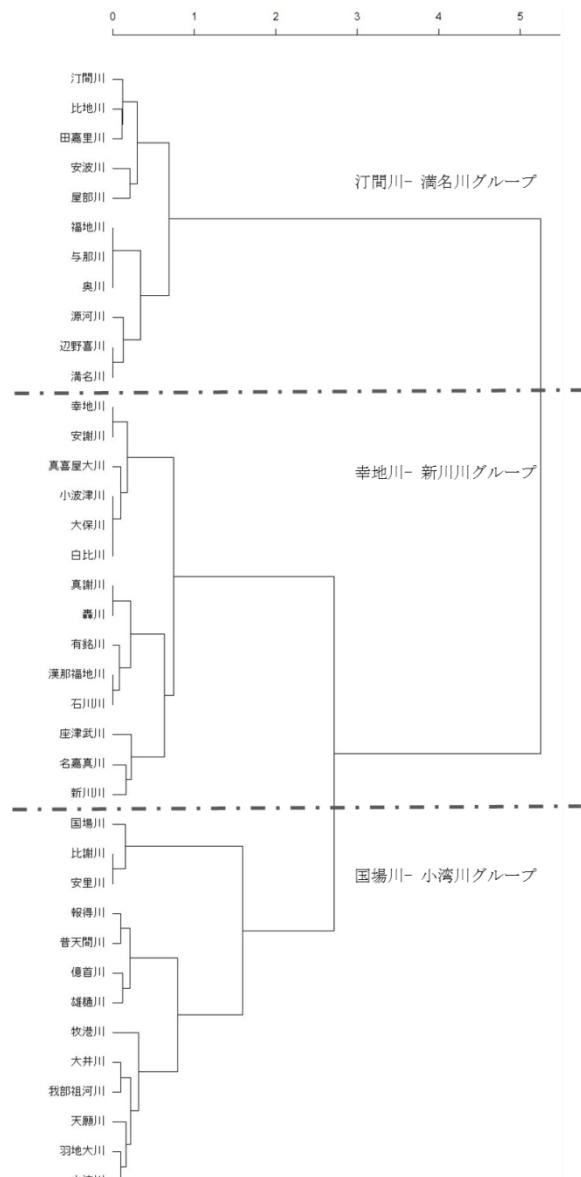


図-6 魚類のデンドログラム

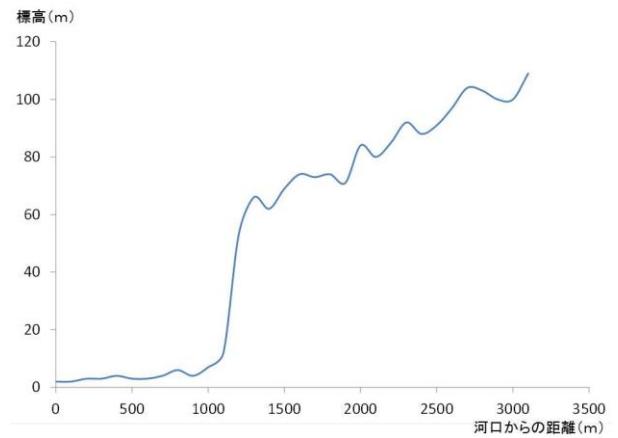


図-7 河床勾配

河床勾配については、「河口からの最大河床勾配」と「最大河床勾配」、2つの指標を使用した。前者については式(1), 後者については式(2)で求められる最大値である。

$$I = (h_i - h_0) / 100i \quad (\text{河口から : } i = 1, 2, \dots) \quad (1)$$

$$I = (h_i - h_{i-1}) / 100 \quad (\text{河口から : } i = 1, 2, \dots) \quad (2)$$

これらの指標と河川構造物、表-2 の魚類グループの関係を図-8, 図-9 に示す。どちらの図からも河床勾配が大きい河川では、在来種の多い傾向がみられた。しかしながら、河川構造物が多くなることにより、外来種が多い河川になっている。また河床勾配が小さい河川でも外来種が多い傾向がみられた。こ

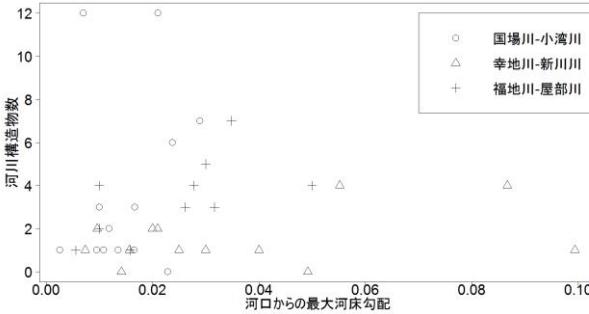


図-8 河口からの最大河床勾配と河川構造物数

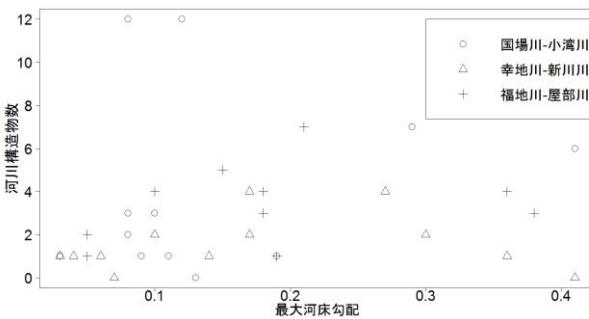


図-9 最大河床勾配と河川構造物数

のことから、河川構造物の設置によって緩勾配になったことが流速低下をもたらし外来種が定着しやすい環境を整えたと考えられる。

#### 4. 河川環境を表す指標からみる河川の特徴

表-3 の指標を用いて、外来種が多い河川と在来種が多い河川の要因を判断分析により明らかにする<sup>20)</sup>。これは各種データに基づき人や物を判別する手法であり、説明変数には間隔尺度、目的変数には分類尺度を用いる。本研究では線形判別関数と呼ばれる直線を用いて2群の判別を行う。

データが2つ ( $x_1, x_2$ ) である場合の線形判別関数は式(3)で表される。

$$Z = a_0 + \sum_{i=1}^2 a_i x_i \quad (3)$$

この式の  $Z$  は判別得点を表しており、この値によって特定の群に判別される。

本研究では、どのような環境で外来種数・在来種

数が多くなるのかを明らかにするために、河川全体で判別分析を行う。なお、外来種が多い河川は表-2 の国場川 - 小湾川グループ、在来種が多い河川は幸地川 - 新川川グループ、福地川 - 屋部川グループとする。指標選択はステップワイズ法で行い結果を表-4 に示す。表中の標準化係数は、判別に対する影響の大きさを表しており、この絶対値が大きいほど判別に与える影響は大きいといえる。

この分析結果より、「流域面積」、「濁度」、「TP」、「最大河床勾配までの距離」が大きく、「河口からの最大河床勾配」の小さい河川に外来種が定着しやすい傾向がみられた。与える影響が最も大きい指標が「濁度」であることから、水質改善の重要性が明らかになった。なお、分析結果から式(4)の線形判別関数が得られた。

$$Z = -2.64818 + 0.03317x_1 + 0.02293x_3 + 3.13888x_5 - 21.05361x_8 + 0.00022x_9 \quad (4)$$

表-3 河川環境を表す指標

$x_1$	流域面積
$x_2$	DO
$x_3$	TURB
$x_4$	TN
$x_5$	TP
$x_6$	河川構造物数
$x_7$	河口からの最大河床勾配までの距離
$x_8$	河口からの最大河床勾配
$x_9$	最大河床勾配までの距離
$x_{10}$	最大河床勾配

表-4 線形判別関数による分析結果

	判別係数( $a$ )	標準化係数
$x_1$	0.03317	0.59660
$x_3$	0.22932	0.84916
$x_5$	3.13888	0.49396
$x_8$	-21.05361	-0.53776
$x_9$	0.00022	0.74306

$$x^2 ; 49.78541$$

判別的中率；89.47368%

## 5. 地域の活動ポテンシャル

### (1) 活動ポテンシャル評価

地域住民が主体となった河川環境保全・再生活動について、水面が見えるか否か等の河川状態、土地利用や人口構成等の河川周辺社会環境、持ち家率やNPO等のソーシャル・キャピタル指標を用い、ロジットモデルによる分析を行っている。このモデルによって得られた活動創始ポテンシャルを表-5に示す<sup>12)</sup>。

### (2) 活動ポテンシャルを考慮した事業優先度

表-2及び表-5を用いて、河川改修を伴う自然再生の優先度が高い河川について図-10に示す。表-2より、水質に関する課題が相対的に少ないと考えられる上のグループを対象とし、また、河川構造に関する課題が多いと考えられる上の2つのグループの優先度が高い判断し、これらの共通集合を取り上げると、14河川が抽出できる。そして河川についての活動創始ポテンシャルを含めて示すと図-10に示すとおりとなる。

沖縄本島では、中南部を中心に都市化が進み、水質悪化と河川生態系から見た河川構造の悪化が同時に進んでいる。一方で、都市化による人口増加で活動創始ポテンシャルは高くなっている。そのため事業の優先度が北部地域と比べて中南部地域で高くなっている。これらの中南部地域の河川は、南部地域の河川よりは水質が良好であるものの、河川構造の改善と合わせて、水質改善の必要性は依然として高い。

## 6. 結論

沖縄本島における二級河川を対象に、クラスター分析を使った水質指標による河川分類、純淡水水域における出現魚類を指標とした河川分類を行った。そして河床勾配と河川構造物が魚類にどのような影響を与えていているのかを評価した。その上で、河川環境の指標で判別分析を行った。その結果、濁度が魚

表-5 河川環境を表す指標

河川名	P	河川名	P
石川川	0.943	普久川	0.581
牧港川	0.942	源河川	0.566
小湾川	0.909	天願川	0.551
奥川	0.909	比謝川	0.528
我部祖河川	0.909	大井川	0.490
普天間川	0.905	有銘川	0.467
報得川	0.886	福地川	0.448
与那川	0.849	安里川	0.416
小波津川	0.841	漢那福地川	0.345
億首川	0.829	新川川	0.331
屋部川	0.787	羽地大川	0.300
国場川	0.777	名嘉真川	0.262
安波川	0.757	大保川	0.161
雄樋川	0.728	辺野喜川	0.160
白比川	0.698	田嘉里川	0.113
満名川	0.691	汀間川	0.100
比地川	0.658	真謝川	0.088
安謝川	0.593	真喜屋大川	0.058
幸地川	0.589	轟川	0.035

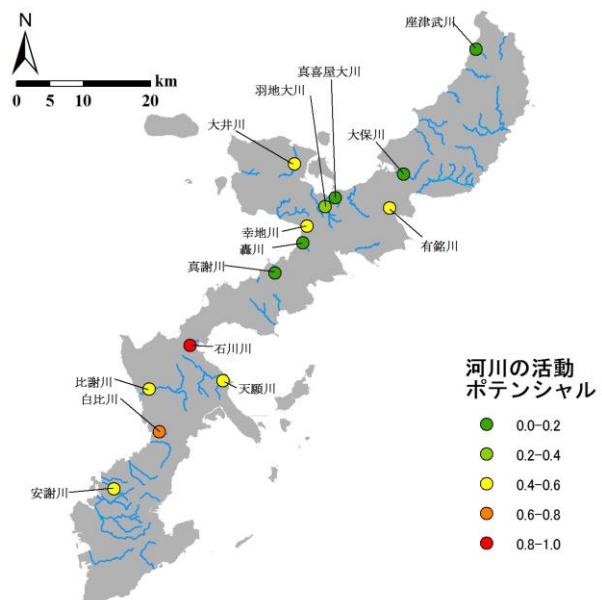


図-10 活動創始ポテンシャル

類に最も大きな影響を与えており、水質改善の重要性が示された。

また各種河川分類に河川環境保全・再生活動創始ポテンシャルを考慮し、沖縄本島の二級河川における自然再生の優先順位と位置づけた。その結果、水質は南部と比べると良好であるが、河川構造の課題が多いと考えられる中部地域の河川が優先順位の上位を占めた。

**謝辞**：本研究を進めるにあたり、山口大学大学院准教授 赤松良久先生、沖縄県環境科学センター 宮良工氏、日本工営 福島氏には、ご助言・ご協力を頂いた。ここに謹んで感謝の意を表し、厚く御礼を申し上げます。

1)川那部浩哉・水野信彦・監修・中村太士編：河川生態学，講談社，2010.

2)日本河川協会ホームページ：

<http://www.japanriver.or.jp/>

3)神谷大介・池田晴香・赤松良久：河川環境保全・再生活動活性化のための地域分析と可能性評価、土木学会論文集B1（水工学），

Vol.69,No.4,ppI\_1705-I\_1710,2013.

4)吉川和広：土木計画学 計画の手順と手法、森北出版，1975.

5)国土交通省河川環境課：自然再生事業 川本来の姿を蘇らせる川づくり，2005.

6)安間繁樹：琉球列島 生物にみる成立の謎、東海大学出版会，1992.

7)古川晴男編：日本生物史 昆虫 上，1944.

8)鳥居高志・塩根嗣理・加藤憲一・杉浦幸彦・黒川忠之・大野正博・大城朝一・新垣敏一：河口閉塞による感潮域魚類相への影響、応用生態工学，13(2), pp.123-129, 2011.

9)沖縄県河川課：奥川自然再生全体構想，2008

10)環境省水・大気環境局：平成23年度公共用水域水質測定結果，2012.

11)沖縄県衛生環境研究所：河川の水質と魚類の死亡事故、衛環研ニュース、第23号, pp.3, 2012

12)松本悠・神谷大介：ソーシャル・キャピタルを考慮した住民主体の河川環境保全再生活動に関する要因分析と可能性評価、環境システム研究論文集, Vol.38, pp.171-177, 2010.

13)環境調査技術研究所：平成16年度 沖縄本島北部地域河川再生調査検討業務 報告書

14)嶋津信彦：2010年夏沖縄島300水系における外来水生生物と在来魚の分布記録、保全生態学研究, Vol.16, pp.99-110, 2010.

15)環境省：レッドリスト（絶滅のおそれのある野生生物の種リスト），2007.

16)沖縄県：改訂版 レッドデータおきなわ-動物編-, 2012.

17)水産庁：日本の希少な野生水生生物に関するデータブック，1998.

18)瀬能宏：日本の外来種ガイド，2008.

19)川那辺浩哉・水野信彦・細谷和海編・監修：山渓カラーナンバー鑑 日本の淡水魚，2001.

20)奥野忠一・久米均・芳賀敏郎・吉澤正：多変量解析、日科技連出版社, pp.259-324, 1971.