

渇水リスクを考慮した島嶼河川における 自然再生優先度に関する研究

神谷 大介¹・赤松 良久²・辻本 真希³・乾 隆帝⁴・宮良 工⁵

¹ 正会員 琉球大学准教授 工学部環境建設工学科 (〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1)
E-mail: d-kamiya@tec.u-ryukyu.ac.jp

² 正会員 山口大学大学院准教授 理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)
E-mail: yakamats@yamaguchi-u.ac.jp

³ 正会員 NIPPO 東京東出張所 (〒134-0085 東京都江戸川区南葛西 3-24-9)
E-mail: tsujimoto_masaki@nippo-c.jp

⁴ 正会員 山口大学大学院特命助教 理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)
E-mail: r_inui@yamaguchi-u.ac.jp

⁵ 正会員 正会員 沖縄環境地域コンサルタント (〒901-2132 沖縄県浦添市伊祖 1-22-3)
E-mail: miyara@erc-oki.co.jp

本研究では水資源に乏しい亜熱帯島嶼地域における河川自然再生を対象とし、利水安定性を考慮した自然再生優先度の評価を行った。具体的には、沖縄島の河川を対象とし、リュウキュウアユの定着ポテンシャルという視点から自然再生の優先度が高い 8 河川を決定した。これらの河川は、河川横断構造物であるダムや取水堰が定着阻害要因と考えられるため、利水安定性という観点から堰撤去の可能性を検討した。これらの結果、観光客数が増加するというシナリオにおいても安定給水が可能であり、取水堰撤去が十分可能であることを示した。

Key Words: nature restoration, water shortage, sub-tropical island river,
Plecoglossus altivelis ryukyuensis

1. はじめに

高度経済成長期の開発行為において自然環境への配慮が不足していたことへの反省、国民ニーズの多様化、QOL (Quality of Life: 生活の質) やアメニティ重視等々の理由により、自然環境の再生や創生の取り組みが全国各地でなされてきている^{1,2)}。2003 年には自然再生推進法が施行された。この目的は、多様な主体が参加し、自然環境を保全・再生・創出・維持管理することにより、過去に損なわれた生態系およびその他の自然環境を取り戻すことである。この法に基づいた自然再生基本方針が同年に策定され、2014 年に 2 回目の改訂がなされた。この中の自然再生の方向性において、地域の社会経済活動との関係を十分に考慮すること、地域の自主性・主体性が尊重されるべきであること等が記されている³⁾。

本研究の対象地域である沖縄県においては、長期計画である沖縄 21 世紀ビジョンの中で、自然環境の保全・再生の必要性・重要性を示すとともに、自然環境再生型

公共事業の導入等について記している⁴⁾。また、このビジョンを推進するための基本計画において、基本施策の 1 つとして自然環境の保全・再生・適正利用が謳われている。さらに、沖縄県自然環境再生指針が作成され、自然再生事業を実施するための必要事項を取りまとめている⁵⁾。また、沖縄島の河川のシンボルでもあるアユの亜種リュウキュウアユが 1980 年代初頭にこの島から絶滅したことに對し、リュウキュウアユを蘇生させる会、やんばる河川海岸自然再生協議会、奥川自然再生協議会が発足する等、自然再生に対する社会的ニーズも高まってきた⁶⁾。つまり、社会的ニーズおよび行政目標として、河川自然再生の重要性は高まっていると言える。

一方、沖縄島は昔から水不足に悩まされてきた地域であり、1972 年の本土復帰以降も 326 日渇水という日本最長の給水制限を記録した。このため、ダム開発を行うとともに、小規模な河川からも取水を行ってきた^{7,8)}。1980 年代において、沖縄島の陸水域において 35 科 102 種の魚類が記録されており、その内一生を淡水で過ごす

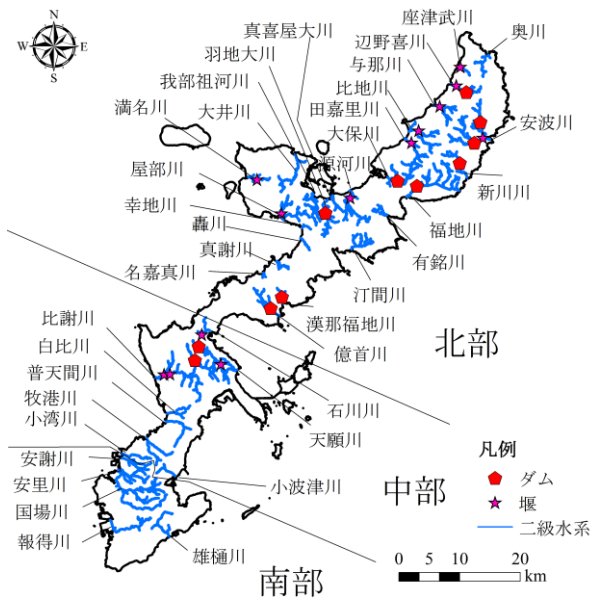


図-1 研究対象河川と取水施設

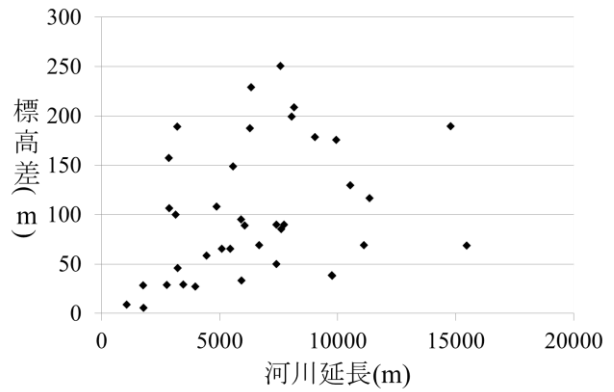


図-3 河川延長と標高差

表-1 取水二級河川の日平均取水量(2013年度)⁴⁾

取水河川名	日平均取水量 (千m ³)	取水河川名	日平均取水量 (千m ³)
比謝川	18.12	満名川	3.87
源河川	9.29	田嘉里川	3.26
川崎川	6.05	座津武川	2.81
比地川	5.67	西屋部川	1.75
辺野喜川	3.88	我部祖河川	0.00
与那川	3.87		

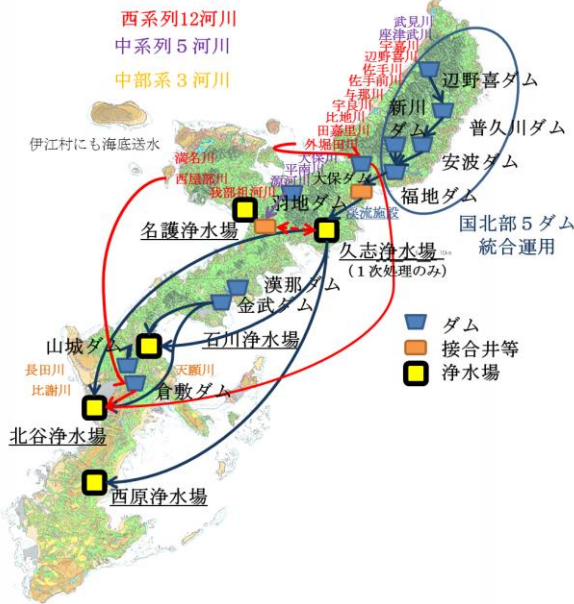


図-2 沖縄島の水供給の流れ

純淡水魚は 19 種のみであったことが記録されている⁹⁾。83 種は海と川を行き来して生活するが、これにほとんど配慮することなく、河口付近に取水施設が設置された。この結果、例えばリュウキュウアユにおいては、仔魚の流下を妨げていることが指摘されている¹⁰⁾。

このように、沖縄島のような島嶼地域においては特に、水資源と河川生態系のバランスが問題となる。また、河川管理者は財政的制約上、全ての河川において同時に自然再生事業を行うことは出来ず、どの河川から事業を実施すべきかを決定する必要がある。これらに対し、著者らはこれまで沖縄島を対象にして、渇水リスクの評価¹¹⁾、在来種の生息環境の好ましさをから見た自然再生優先度評

価¹²⁾、さらには住民参加の可能性からみた自然再生優先度評価¹³⁾を行ってきた。これまでは水資源と自然再生の問題を個別に取り扱ってきたが、本研究では両方を組み込んだ計画について論ずる。具体的には、沖縄島における河川自然再生のシンボルでもあるリュウキュウアユが生息できる河川の再生を目指し、その生息ポテンシャルという観点から自然再生事業の優先度を決定する。その上で、生息上の課題であり河川横断構造物である取水堰撤去の可能性について、利水安定性の観点から実行可能性を評価することを目的とする。

2. 対象地域河川の概要と再生目標の設定

(1) 対象地域河川の特徴と水資源

研究対象とする二級河川と取水施設を図-1 に、取水から浄水までの流れを図-2 示す。沖縄島は那覇市を中心として南部に人口および経済が集積しているが、水資源は北部に依存していることがわかる。この島の河川の特徴を表す1つの指標として、河川延長と標高差の関係を図-3 に示しておく。これより、河川延長が短く急勾配の河川が多いことがわかる。二級河川の内、取水堰がある河川の取水量を表-1 に示しておく。

次に、これまでに建設されたダムとその概要を表-2、年間降水量と給水制限の変遷を図-4、降水量と水資源開発およびダム利水容量の変遷を図-5 に示す。これらより、1972 年の本土復帰後は毎年のように給水制限を実

表-2 ダム建設と概要

ダム名称	水系名	供用開始年度	利水容量 (千 m ³)	ダム名称	水系名	供用開始年度	利水容量 (千 m ³)
金武ダム	億首川	1961	660	辺野喜ダム	辺野喜川	1988	1600
瑞慶山ダム	比謝川	1961	2350	福地ダム (再開発)	福地川	1991	44700
山城ダム	天願川	1967	1190	漢那ダム	漢那川	1993	6650
福地ダム	福地川	1967	39000	倉敷ダム (瑞慶山ダムを再開発)	比謝川	1996	5900
新川ダム	新川川	1977	600	羽地ダム	羽地大川	2005	15600
安波ダム	安波川	1978	12600	大保ダム	大保川	2011	17200
普久川ダム	安波川	1978	950	金武ダム(再開発)	億首川	2014	5360

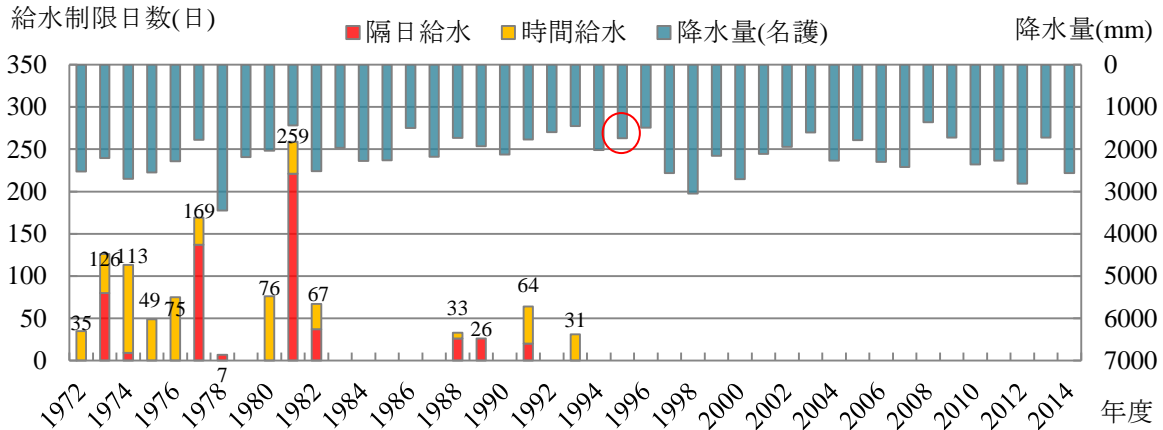


図-4 給水制限履歴と年間降水量

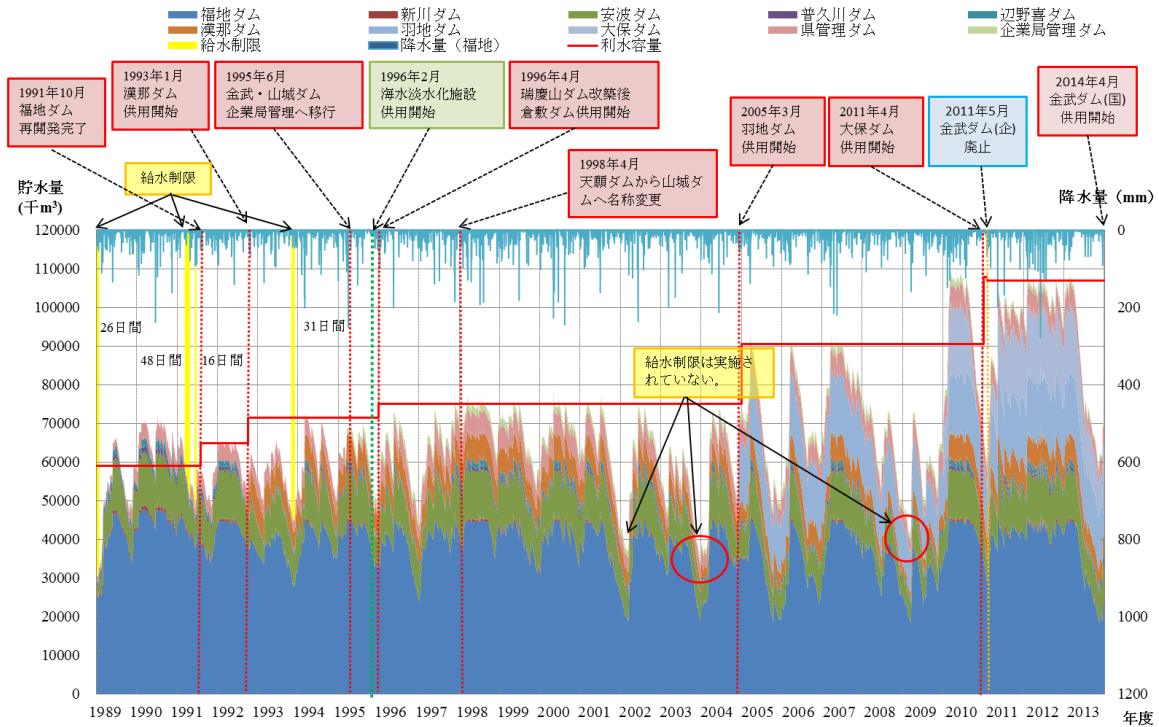


図-5 ダムの総利水容量と貯水量の変化

施してきたが、1994年の給水制限以降、安定給水がなされている。また、最後の給水制限以降も新規2ダム、再開発2ダムの建設が行われており、1997年には日最大給水量が4万 m³である海水淡水化施設が建設された。

しかしながら、2002年と2004年には貯水量低下により給水制限の実施が決定された。実施直前の降雨により給水制限は回避されたが、少雨の年には依然として給水制限の可能性があることも示された。しかし、表-2、図

-5 に示すように、現在は当時よりもダムの利水容量は増加している。

(2) 対象河川の魚類に与える河川横断構造物の影響

沖縄島の河川に生息する魚種の約 8 割は回遊性魚類である¹⁵⁾。回遊性魚類は、ごく一部の陸封可能な種を除き、生活史の一部で降下および遡上を経なければ、生活史を全う出来ず、再生産が不可能になる。従って、取水堰などの河川横断構造物は回遊性魚類の降下・遡上を妨げ、沖縄島の河川に生息する魚類の種多様性を著しく低下させている可能性が考えられる¹⁶⁾。

さらに、河川横断構造物は、外来種の定着の一助となっている可能性も高い。近年、沖縄島においては、多くの熱帯性・亜熱帯性の外来種が定着しており、それらの種の多くが止水域・緩流環境を主生息場とすることが知られている¹⁶⁾。本来、沖縄島の河川は図-3 に示すように小規模で急勾配であるため、止水域・緩流環境が形成されにくいと考えられる。しかし、取水堰などの横断構造物が止水域を形成することにより、外来種の定着を促している可能性が高い。外来種が在来種に与える影響は、具体的には、カダヤシによるメダカの分布水域の減少、オオクチバスによる在来種の食害¹⁹⁾、モザンビークテラピアによる雑食性・藻類専食の在来種との食物を巡る競争²⁰⁾などが指摘されている。

以上より、外来種の定着を防除し、沖縄島の河川に生息する魚類の種多様性を保全・再生するためには、河川横断構造物の撤去を検討する必要があると考えられる。

(3) 沖縄島における河川自然再生の考え方

沖縄島は 1972 年の本土復帰から数多くの社会資本整備がなされてきた。その結果、本土並みの生活水準が達成された一方、リュウキュウアユの絶滅等、自然環境を大きく改変してきた。これに対し、河川管理者・住民双方において自然再生の機運が高まってきている。

前節で示した通り、取水堰や落差工などの河川横断構造物が設置されたことにより、外来魚種が生息しやすい環境を造りだしてきたと考えられる⁹⁾。これに対し、著者らは水質・地形情報を基に河川を類型化し、在来魚種と外来魚種の生息情報との関係より、潜在的に在来魚種にとって好ましい河川を明らかにしている。図-6 に示すように、在来魚種の生息環境という観点から自然再生優先度が高い河川を明らかにしている¹²⁾。

一方、安定給水に関しては、最近 20 年では給水制限がなされていないが、貯水率が平年値を下回ると新聞等で報道されるなど、渇水に対する住民の不安感は小さくない。これらより、本研究における沖縄島の河川自然再生の目標を、外来魚種が少なく在来魚種が多い河川であり、リュウキュウアユが再生する河川とする。そして、

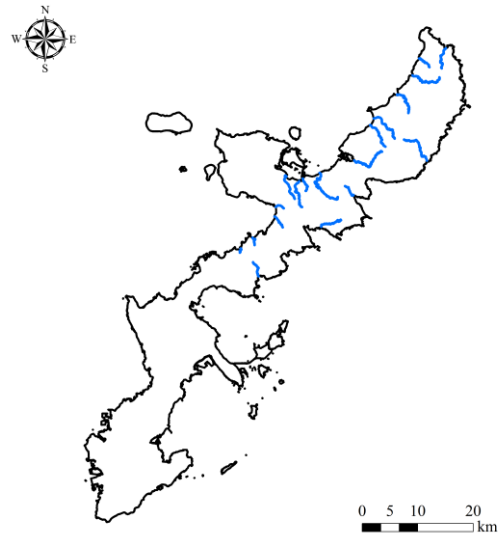


図-6 在来種にとって自然再生優先度が高い河川¹²⁾



図-7 リュウキュウアユが生息していた河川²⁴⁾

自然再生の優先度の高い河川とは、これらの可能性が高い河川とする。さらに、河川に取水堰がある場合においては、その撤去がもたらす利水安定性への影響が軽微であることを制約条件とする。なお、ダムの撤去は考慮しないこととする。

3. 河川自然再生優先度評価

(1) リュウキュウアユについて

リュウキュウアユは現在、奄美大島のみ自然分布するアユの亜種である。過去には沖縄島にも生息していたが、1978 年以降確認されていない²²⁾。現在、沖縄島には、奄美大島から運ばれてきたものが、ダム湖に陸封化

されている。沖縄島におけるリュウキュウアユ絶滅の原因については特定されていないが、河川改修やダム建設等による瀬淵構造の喪失^{21) 23)}、赤土流入による産卵場環境の悪化¹⁰⁾、堰による遡上障害^{15) 20)}などが指摘されている。

幸地²⁴⁾はリュウキュウアユが生息していた河川を整理しており、この結果を図-7 に示しておく。北部西海岸の河川に分布していたことがわかる。

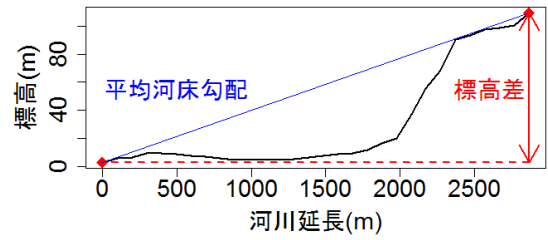


図-8 河川延長と標高差

(2) 分析対象河川と生息ポテンシャルに関する指標

リュウキュウアユは現在の二級河川だけでなく、普通河川にも生息していたことが確認されている。このため、ポテンシャル評価モデル作成には、沖縄島二級河川および、二級河川で最も短い 1072m 以上の普通河川も加えてモデル化する。

河川の環境を表す変数の内、経年変化が小さいと考えられる物理特性を取り上げ、リュウキュウアユの生息ポテンシャルの評価を試みる。具体的には、流域面積、河川延長、標高差、河川縦断形状、平均河床勾配、内湾度を取り上げることとする。以下に、各変数を用いた理由と意味について示す。

a) 流域面積・河川延長・標高差

リュウキュウアユの生息に関して、流量は重要な要因であると考えられるが、経年的な計測が殆ど行われていない。このため、代理指標として流域面積および河川延長を用いる。また、標高差とは図-8 に示すように河川最上流端と河口の標高差を意味し、国土基盤地図情報 10m メッシュデータより算出した。

b) 平均河床勾配・河川縦断形状

河川の縦断を表す指標として河床勾配がある。その代表的なものとして図-8 に示す平均河床勾配を指標の一つとして取り上げることとする。さらに、河床勾配の変化の状況を表す指標として、河川縦断形状を取り上げる²⁵⁾。これは経済学におけるジニ係数を援用し、式(1)によって得られる。なお、ここでは河川を河口から 100m 毎に区切って得られる標高を用いて算出した。

$$J = 2(0.5 - \sum_{i=1}^k ((y_{i-1} + y_i) \times (1 \div k) \div 2)) \quad (i=0,1,2,\dots,k) \quad (1)$$

J: 河川縦断形状

y_i: 地点 i の標高を最上流端の標高で除した値

k: 河川を 100m 毎に区切った時の数

この値を用いることにより、河川の急勾配区間がどこにあるかを表現することが出来る。図-9 に示すように、正の値の場合は平均河床勾配と比較して上流の勾配が大きいことを意味し、負の値の場合は下流の勾配が大きいことを意味する。

c) 内湾度

西田ら²⁶⁾は内湾が発達した河川でリュウキュウアユが

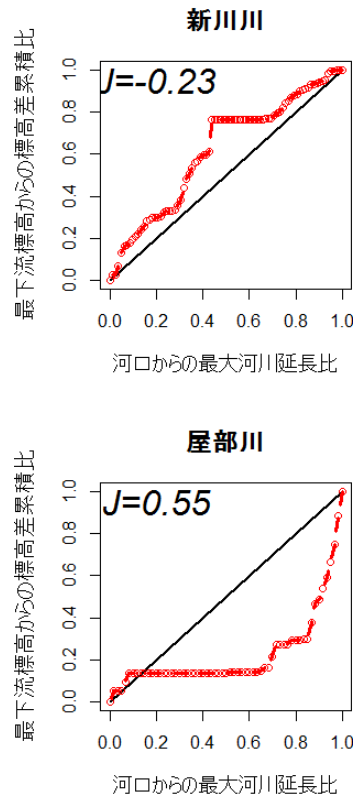


図-9 河川縦断形状

生息していたことを指摘している。リュウキュウアユの稚魚は河口付近の湾で過ごすため、この環境を表す指標でもある。河口付近の静穏性を表す指標として、Arakida による内湾度を用いることとする²⁶⁾。この指標は湾面積が大きいほど外洋からの波浪の影響が小さいことを意味している。ここでは既往研究で用いられた 5 つのスケール (100m, 300m, 500m, 1km, 3km) を設定して湾面積 (BO100, BO300, BO500, BO1000, BO3000) を算出する²⁶⁾。これらの結果を図-10 に示す。

(3) リュウキュウアユ生息の有無と指標の関係

前節で示した各指標と図-7 のリュウキュウアユ生息の有無の関係を表-3 に示す。これより、リュウキュウアユが生息していた河川は相対的に河川規模が大きく、1000m 以下の内湾度が大きいことが分かる。

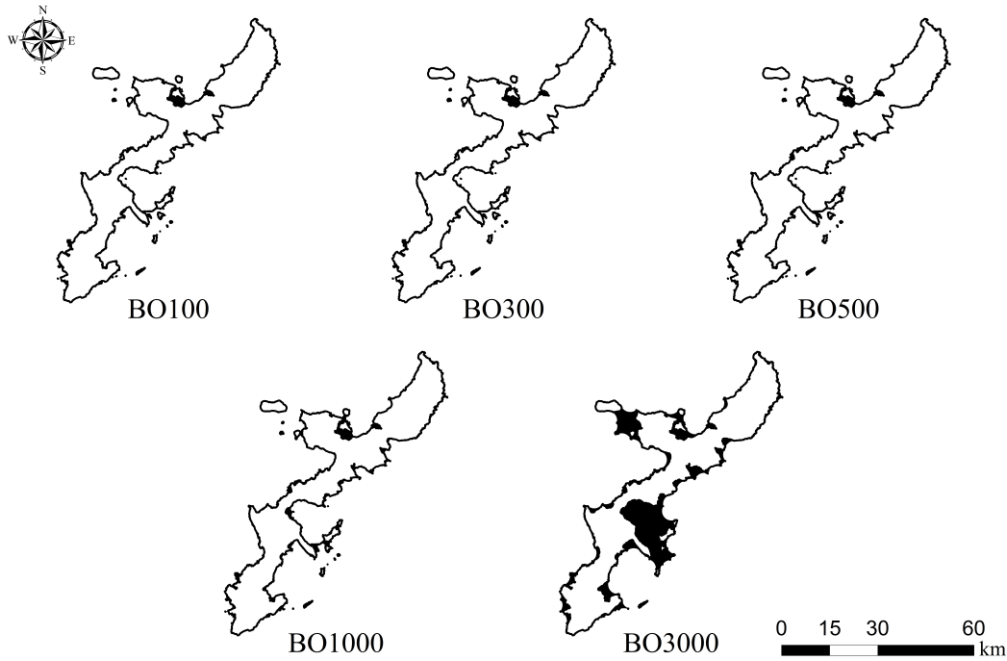


図-10 内湾度

表-3 生息有無別の各指標の平均値と標準偏差

	生息あり		生息なし	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
河川延長(m)	7,232	2169	3258	2,612
河川縦断形状	0.29	0.20	0.13	0.31
標高差(m)	157	62	73	54
平均河床勾配	0.023	0.010	0.029	0.027
流域面積(m ²)	14,655,803	7,625,653	5,536,772	7,910,321
BO100(m ²)	1,833,890	3,914,124	164,200	1,263,803
BO300(m ²)	2,073,087	4,270,102	226,255	1,392,790
BO500(m ²)	2,134,281	4,299,232	309,982	1,418,989
BO1000(m ²)	2,614,101	5,259,809	726,700	1,832,219
BO3000(m ²)	12,661,266	15,868,796	25,499,632	56,623,777

表-4 AICが小さいモデル

変数	AIC
河川延長・標高差・BO300	55.66
河川延長・標高差・BO500	55.71
河川延長・標高差・BO100	55.80
河川延長・河川縦断形状・標高差	56.41
河川延長・標高差・BO1000	56.64

表-5 ベストモデルの結果

指標	偏回帰係数	標準偏回帰係数
河川延長(km)	0.3301**	0.2922
標高差(m)	0.0205**	0.3844
BO300 (km ²)	0.2884*	0.1700
定数	-6.7674**	-

** : 99%有意, * : 95%有意

(4) リュウキュウアユの生息ポテンシャル

ここでは、リュウキュウアユの生息ポテンシャルについて、外的基準を生息の有無、説明変数を表-3 で示した指標とし、ロジスティック回帰分析により評価する。なお、変数選択は赤池情報基準（AIC : Akaike's Information Criterion）による総当たり法で行う。

この分析の結果、全ての説明変数の有意水準が95%以上であり、AIC の値が小さい変数の組み合わせの上位 5 つのモデルを表-4 に示す。そして、最も AIC が小さいモデルの結果を表-5 に示す。このモデルの判別中点は0.30であり、判別率的中率は95%である。各変数及びモデルとしても適合度の高いモデルを得ることが出来た。これより、河川延長が長く、標高差があり、内湾が発達した河口を持つ河川においてリュウキュウアユが生息しや

すいことがわかる。表-5 の結果より、対象河川のリュウキュウアユ生息ポテンシャルが評価できる。この結果を図-11 に示す。

(5) 自然再生優先度評価の結果とその考察

2.で述べたように、沖縄島における河川自然再生の目標は在来種の割合が多く、リュウキュウアユが生息しやすい河川である。これより、在来種にとって好ましい河川を示した図-6 およびリュウキュウアユ生息ポテンシャルを示した図-11 を組み合わせることにより、2つの観点から自然再生優先度が高い河川が示される。具体的には、在来種にとって望ましい河川、かつ、リュウキュウアユ生息ポテンシャルが判別中点以上の河川という条

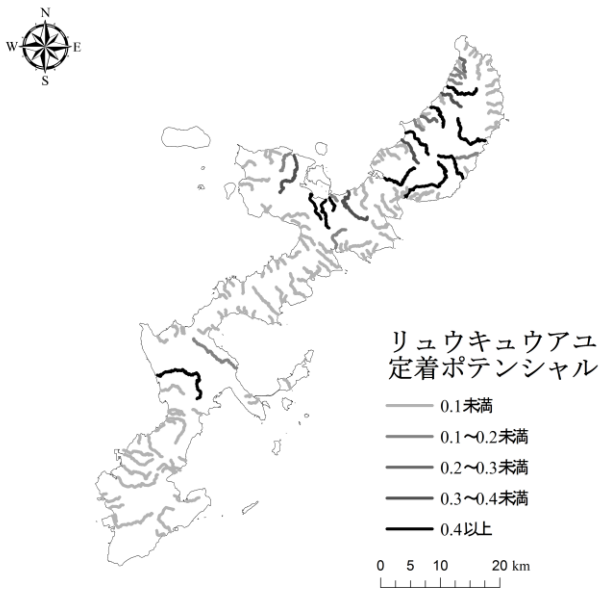


図-11 リュウキュウアユの生息ポテンシャル

表-6 自然再生優先度の高い河川と取水施設

河川名	ポテンシャル	取水施設の有無
比地川	0.702	取水堰
大保川	0.615	ダム
新川	0.552	ダム
与那川	0.515	取水堰
羽地大川	0.514	ダム
辺野喜川	0.499	ダム
源河川	0.345	取水堰
田嘉里川	0.300	取水堰



図-12 自然再生優先度が高い河川

表-7 観光客1人1泊あたりの水使用量原単位

宿泊施設規模	原単位(ℓ/人泊)
大規模；300人以上	744
中規模；100人以上300人未満	551
小規模；100人未満	253

件を満たす河川である。これら2つの条件を満たす河川を表-6および図-12に示す。

河川自然再生事業を検討する上で、河川横断構造物撤去の重要性を上述してきたが、ダム撤去については利水だけでなく、治水についても検討する必要がある。また、利水上も取水堰とは比較にならないほど大きな影響となる。このため、ここではまず取水堰のみが存在する、比地・与那・源河・田嘉里という取水4河川を対象にすることとする。

4. 利水安定性からみた取水堰撤去の可能性評価

(1) 可能性評価の考え方

図-5に示すように、2002年6月、2004年3月、2008年7月に過去の給水制限実施時よりも貯水量が低下した。ここではこの3期間および渇水基準年である1996年を対象として、取水を取りやめた場合の給水制限の可能性を検討する。

具体的には、分析対象期間において存在したダムについては、当時の流入量等のデータを用い、その後建設された羽地および大保の2ダムについては次式により流入量を算出した。

$$Q_e = Q_i \times A_e / A_i \quad (2)$$

Q_e は流入量推定値、 Q_i は最寄ダム*i*の実績流入量、 A_e は当該ダムの集水面積、 A_i は最寄ダム*i*の集水面積である。この推定式を用いて供用後の流入量と比較した結果、羽地ダムにおける推定値と実績値の相関係数は0.86、大保ダムにおけるそれは0.97である。また、分析開始時点の貯水量は当時のダム全体での貯水率を用いることとする。

取水量については2013年度の実績値を用いることとする。さらに、観光客が増加した場合のシナリオについても検討することとする。沖縄県の観光客数は2010年度には570万人であったが、2015年度には790万人を超え、順調に増加している。さらに、2020年度には那覇空港第二滑走路の供用が開始される予定であること、沖縄県では観光客数1千万人を政策目標としていることより、観光客数が1千万人になった場合の水需要についても考慮することとする。観光用水量の推定は神谷ら¹¹⁾による推定を用いることとし、観光客1人1泊あたりの水使用量を表-7に示す。

(2) 取水堰撤去の影響評価とその考察

ここでは前節で示した4期間を対象として、シナリオ1) 現状の取水および水需要の場合、シナリオ2) 取水を取りやめた場合、シナリオ3) 取水を取りやめ観光客1

千万人になった場合を想定し、4 期間 3 シナリオに関する分析を行う。なお、沖縄県企業局におけるこれまでの実績より、海水淡水化施設は施設維持のために毎日 5 千 m^3 /日の造水を行い、総貯水量が 5 千万 m^3 を下回ると 4 万 m^3 /日のフル稼働を行うものとする。また、33 千万 m^3 を下回ると給水制限を実施することとする。取水堰撤去の影響を把握するため、自然再生優先度が高い 4 河川の内、表-1 で示した取水量が最も多い源河川の取水を停止した場合での影響を評価することとする。

4 期間における 3 つのシナリオの結果を図-13～図-16 に示す。これより、源河川からの取水を取りやめ、かつ観光客が 1 千万人になったとしても、過去の降水特性においては給水制限は十分に回避できることがわかる。これは新規にダムが建設されたこと、金武ダムが再開発されたことによる利水容量増加による効果だと考えられる。他の 3 河川においても、源河川より取水量が少ないため、安定給水への影響はほとんどないといえる。

5. おわりに

本研究では沖縄島二級河川を対象として、自然再生優先度の考え方を示した。河川が本来有している姿として地形・地質情報を基に類型化し、沖縄島における河川の自然再生のシンボルでもあるリュウキュウアユに着目し、その定着ポテンシャルを地形情報を基に評価した。これらにより自然再生優先度が高い 8 河川を抽出することができた。この内、4 河川にはダム、他の 4 河川には取水堰が設置されている。河川横断構造物が在来魚種生息に負の影響を与えていること、ダムは治水等の利水以外の目的も有していることを考慮し、取水堰撤去を検討することが優先されると考えた。そこで、利水安定性の観点から取水堰撤去による影響評価を実施した。ここでは、観光客数増加シナリオも適用して実施した。この結果、現在のダムや海水淡水化施設による水資源開発の状況より、観光客数が政策目標値を達成したとしても、過去の少雨年の降雨では安定的に給水可能であることを示した。

本研究のアプローチは全国的に整備されたデータや現時点で取得できるデータを基に論理を組み立てており、特に過去のデータ蓄積が十分存在しない地方中小河川、渇水リスクが高い地域における河川において適用可能な枠組みを提示したと考えている。しかし、実際に自然再生を行うためには、取水堰を撤去した場合の生息場評価等、より詳細な分析・評価が必要であると考えられる。

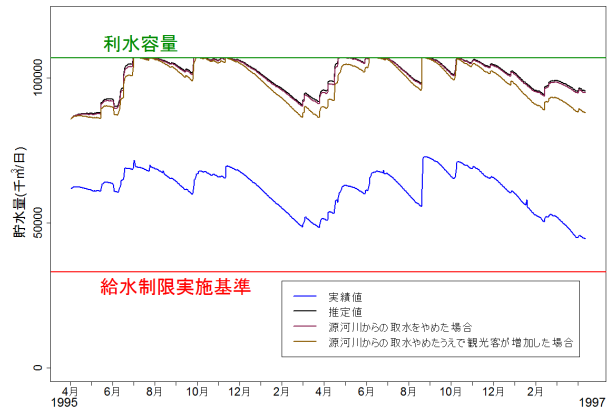


図-13 1996年の降水量を想定したダム貯水率

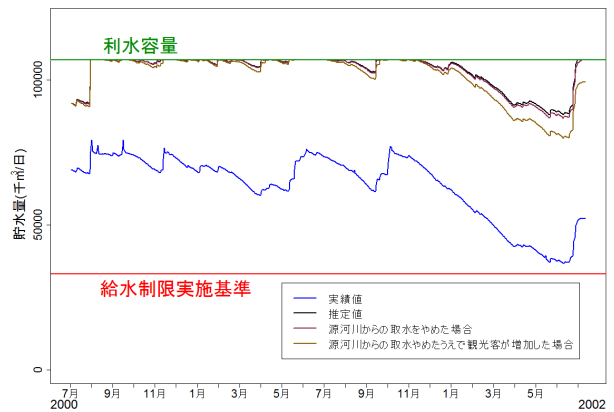


図-14 2002年の降水量を想定したダム貯水率

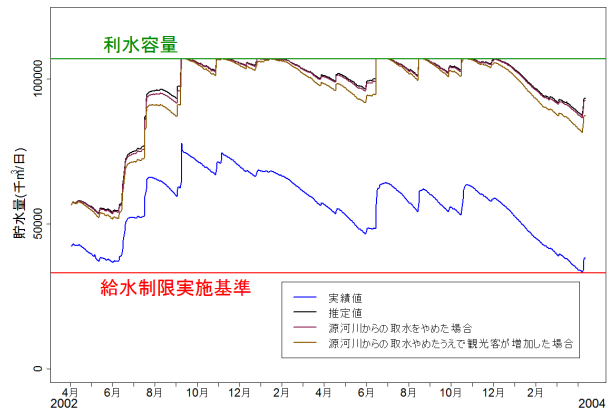


図-15 2004年の降水量を想定したダム貯水率

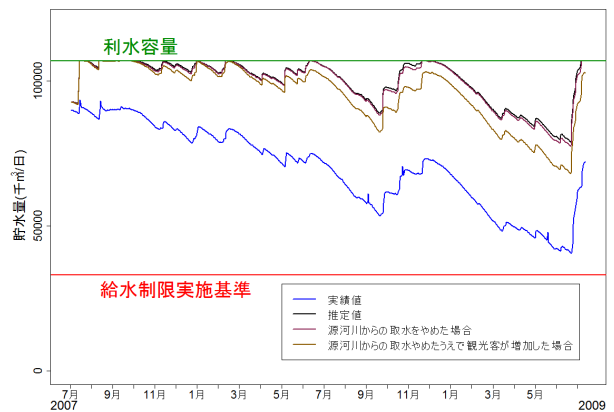


図-16 2008年の降水量を想定したダム貯水率

参考文献

- 1) 萩原清子編著：生活者からみた環境のマネジメント，昭和堂，2008.
- 2) 宮武晃司：川の自然再生に向けて-川本来の姿を甦らせる取り組み-，建設マネジメント技術，3月号，pp.4-10，2003.
- 3) 環境省：自然再生基本方針，2014.
- 4) 沖縄県：沖縄 21 世紀ビジョン～みんなで創る みんなの美ら島 未来の沖縄～，2010.
- 5) 沖縄県：沖縄県自然環境再生指針，2014.
- 6) 宮良工，神谷大介，赤松良久，乾隆帝，上鶴翔悟：地方中小河川における自然再生計画のための河川の分類と評価-沖縄島を対象として-，土木学会論文集 G(環境)，Vol.70，No.5，pp. I_285- I_292，2014.
- 7) 神谷大介：沖縄県における水需給の変化と渇水問題に関する研究，環境システム研究論文発表会講演集，Vol.32，pp.157-164，2005.
- 8) 沖縄県企業局：ガロンの時代から，1993.
- 9) 幸地良仁：沖縄島における陸水産移入動物の現状と問題点，南西諸島の野生生物に及ぼす移入動物の影響調査，南西諸島自然保護特別事業報告書，pp.55-98，1989.
- 10) 幸地良仁：沖縄島の河川環境の現状と問題点，沖縄生物学会誌，Vol.33，pp.69-77，1995.
- 11) 神谷大介，與那城学，赤松良久：気候変動を考慮した亜熱帯島嶼観光地域における渇水リスク評価，地球環境研究論文集，Vol.18，pp.89-96，2010.
- 12) 辻本真希，神谷大介，赤松良久，宮良工，乾隆帝：沖縄島二級河川の自然再生計画における目標設定のための河川類型化と課題に関する考察，土木学会論文集 G(環境)，Vol.71，No.5，pp. I_61- I_66，2015.
- 13) 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.
- 14) 沖縄県企業局：水量記録集，2015.
- 15) 西田睦，鹿谷法一，諸喜田茂充編著：琉球列島の陸水生物，東海大学出版会，pp.33-41，2003.
- 16) 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種の分布記録，保全生態学研究，Vol.16，pp.99-110.
- 17) 諸喜田茂充：沖縄島山原の陸水産大型動物相とその変動，沖縄生物学会誌 27，pp.3-13，1990.
- 18) 幸地良仁：とっておきの話沖縄の川魚，pp.46-47，沖縄出版，1991.
- 19) 石川哲郎，高田未来美，徳永圭史，立原一憲：沖縄島に導入された外来純淡水魚類の定着状況及び分布パターン，保全生態学研究 18:5-18(2013)
- 20) 国立環境研究所：侵入生物データベース，[https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/\(2017.2](https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/(2017.2) 参照).
- 21) 池原貞雄，諸喜田茂充編著：琉球の清流-リュウキュウアユが住める川を未来へ，沖縄出版，1994.
- 22) 沖縄県：レッドデータ沖縄 動物編，2012.
- 23) 西田睦，澤志泰正，西島信昇，東幹夫，藤本治彦：リュウキュウアユの分布と生息状況-1986 年の調査結果，日水誌，Vol.58，pp.199-206，1992.
- 24) 幸地良仁：沖縄島の河川魚類の現状，沖生教研究会誌，Vol.19，pp.10-30，1986.
- 25) Hazuki Arakida, Hiromune Mitsunashi, Mahito Kamada, Kazuo Koyama : Mapping the potential distribution of shorebirds in Japan : the importance of landscape-level coastal geomorphology, Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, Vol.2, Issue 6, pp.553-563, 2011.
- 26) 大槻順朗：冬期亜熱帯河口域の環境機能に着目したリュウキュウアユ保全に関する研究，九州大学学位論文，2010.