短 報

外来魚の影響を加味した希少魚保全のための
重要地選定法：菊池川周辺流域のタナゴ類

鬼倉徳雄,^{1*} 川本朋慶,¹ 澤 海人,¹
北川裕一,¹ 小山彰彦,¹ 大坪寛征,²
林 博徳,² 皆川朋子,³ 島谷幸宏²

(2016年6月2日受付, 2016年8月18日受理,
2016年10月25日J-STAGE 早期公開)

¹九州大学大学院農学研究院, ²九州大学大学院工学
研究院, ³熊本大学大学院自然科学研究科

Prioritization procedure for protecting native bitterling
species with consideration for invasions by several alien
species: A case study around the Kikuchi river basin,
Kyushu Island, Japan

NORIO ONIKURA,^{1*} TOMONORI KAWAMOTO,¹
KAITO SAWA,¹ YUICHI KITAGAWA,¹
AKIHIKO KOYAMA,¹ HIROYUKI OTSUBO,²
HIRONORI HAYASHI,² TOMOKO MINAGAWA³
AND YUKIHIRO SHIMATANI²

¹Fishery Research Laboratory, Faculty of Agriculture, Kyushu
University, Fukuoka 811-3304, ²Faculty of En-
gineering, Kyushu University, Motooka, Fukuoka 819-0395,
³Graduate School of Science and Technology, Kumamoto
University, Kurokami, Kumamoto 860-8555, Japan

キーワード：Marxan, 侵略的外来魚, 絶滅危惧種, 相
補性解析

絶滅の危機に瀕する多くの淡水魚類は、外来魚類の影響を少なからず受けている。¹⁾ その希少種が限られた生息地にしか残されていない場合、生息地の保全は極めて重要で、そこに外来魚がいる場合はその駆除と希少種保全とを並行して行う必要がある。^{2,3)} しかしながら、その生息地が広域に残される場合、複数の生息地から外来魚の影響が小さい場所を選び、その保全を実施できるだろう。その場合、外来魚の影響を加味した保全候補地の選定が必要となる。近年、生物多様性の保全候補地の選定手法として、効率的に優先順位付けを行う相補性解析が使われ始めた。^{4,5)} 最大の特徴は、他の地域で保全されていない種の生息地を優先的に候補地に選定するといった相補性に基づき、全体のコストを抑える点である。⁶⁾ それに加えて、解析対象の各ユニットに、保全に費やす費用や努力などのコストを事前に付加することもできる。⁴⁾ 日本の淡水魚では、都市域での保全の難しさを加味しながら絶滅危惧種の分布の相補性解析を行った事例

がある。⁷⁾ 本研究では、数種の外来魚が侵入している菊池川流域周辺を事例に、その侵入状況を加味した在来タナゴ類の保全候補地の相補的選択を試みた。

菊池川とその近隣水系の河川と農業用水路 373 地点で、2013–2015 年に投網とたも網による魚類採集を、1 地点につき春季と秋季の 2 回行った。また、河川中流域では補足的にシュノーケリングを用いた目視観察を行った。本解析では、そこから在来タナゴ類の出現した 189 地点について、タナゴ類と外来魚類の在/不在データを抽出した。相補性解析に必要なタナゴ類の保全目標数は各種の出現割合に応じて設定し、その割合が 189 地点中の 2 割に満たないセボシタビラ *Acheilognathus tabira nakamurae* は全 12 地点を、2 割を超えたヤリタナゴ *Tanakia lanceolata* (出現数 63)、アブラボテ *Tanakia limbata* (同 74)、カネヒラ *Acheilognathus rhombeus* (同 55)、カゼトゲタナゴ *Rhodeus smithii atremius* (同 74) はその半数を、5 割を超えたニッポンバラタナゴ *Rhodeus ocellatus kurumeus* (同 114) はその 1/4 を目標数とした。なお、対象地域のタナゴ類の分布の重複は少なく、6 種すべてが出現した地点はなく、3–5 種の地点が約 33%、2 種以下が約 67% であった。外来魚の影響の数値化は、各種の侵入の有無とその侵略リスクに基づいた。九州の外来魚の侵略性を評価した研究では、そのリスクを概ね 2 区分しており (高リスクとそれ以外)、⁸⁾ 今回はその中で高リスクと評価された魚種に 2 点、それ以外に 1 点を与え (Table 1)、種数とリスクに応じて数値が上がり、かつ、外来魚が未侵入な地点は 1 となるように、以下の式を使って数値化し、その値を解析時の外来魚コストとした。

$$\text{外来魚コスト} = 1 + (\text{高リスクの外来魚種数} \times 2) \\ + (\text{その他の外来魚種数} \times 1)$$

本研究では、外来魚コストを加味しないケースと、外来魚コストをその影響の仮想値として与えるケースを解析した。最初のケースでは全地点のコストを 1 とするため、単純にタナゴ類の分布に基づいて相補的選択が行われ、後者では各地点に外来魚コストを与えるため、小さいコストの中から相補的選択が行われる。両ケースとも 100 回解析し、何回候補地として選択されたかを保全の優先度とした。⁷⁾ 本解析にはフリーソフト Marxan ver. 1.8 (Marxan User Manual: http://marxan.net/downloads/documents/Manual_espanol.pdf, The University of Queensland, 2016 年 8 月 15 日) を使用し、各解析での最適近似を求めるためのシミュレーティッド・アニーリング法での反復回数と温度の設定を⁵⁾ 10000 に

Table 1 Summary of alien fish species in each risk level (RL), with reference to Onikura *et al.* (2011)⁸⁾

Species (Number present in the survey area)	
High RL (Cost score = 2)	Low or no RL (Cost score = 1)
<i>Gambusia affinis</i> (36), <i>Lepomis macrochirus</i> (10), <i>Micropterus salmoides</i> (11), <i>Channa argus</i> (19), <i>Carassius cuvieri</i> (66), <i>Acheilognathus cyanostigma</i> (1), <i>Ischikauia steenackeri</i> (4), <i>Opsariichthys uncirostris uncirostris</i> (18), <i>Gnathopogon elongatus elongatus</i> (1)	<i>Oreochromis niloticus</i> (5), <i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> (49)

した。次に、両ケースの優先度を使って、ユークリッド距離に基づくワード法によるクラスター分析を行い、対象地点を数タイプに整理した。その後、保全優先度、外来魚コスト、タナゴ類の出現種数について、Kruskal-Wallis 検定と Steel-Dwass 法による多重比較を行い、その結果から各タイプの特徴を整理した。これらの解析にはエクセル統計 2015 (SSRI, 東京) を使用した。

解析対象地点はクラスター分析で概ね 4 区分できた (Fig. 1a)。外来魚コストを与えない場合の優先度 (Fig. 1b)、外来魚コストを付加した場合の優先度 (Fig. 1c)、外来魚コストの大きさ (Fig. 1d) およびタナゴ類の出現種数 (Fig. 1e) のいずれも、タイプ間で有意な差が認められた。これらの結果から、タイプ 1 はタナゴの種数が少なく、保全優先度は低い (外来魚コストは高い)、タイプ 2 は本来の優先度は高いが、外来魚コストが大きいため、保全優先度が低下する、タイプ 3 はタナゴの種数が多く、外来魚コストも低いため、両解析とも優先度が高い、タイプ 4 はタナゴの種数がやや少ないため本来の優先度は低い、外来魚コストが小さいためそれを加味すると優先度が上がるとまとめられた。つまり、最初の解析で優先度が高いと判断されたタイプ 2 と 3 の組み合わせがタナゴ類の分布のみを考慮した優先保全地、外来魚コストを加味した場合に選ばれたタイプ 3 と 4 の組み合わせが外来魚の影響を加味したタナゴ類の優先保全地となった。

保全目標数に対する出現割合、すなわち、目標の達成率を魚種ごとに計算すると、最初の解析での優先的保全地では (タイプ 2 と 3 の合計)、全魚種でその目標を達成したが (Table 2, 100–116%), 外来魚を加味した解析では (タイプ 3 と 4 の合計)、セボシタビラでその達成率が大幅に低下した。本種の出現地点はタイプ 2 と 3 だけであり、タイプ 2 の外来魚コストが高いこと (Fig. 1d)、またタイプ 4 に生息地がなかったことが、達成率の大幅な低下の理由と考えられた。なお、他のタナゴ類の場合、外来魚コストの小さいタイプ 4 に生息地があり、そこから代替候補地が選択されたことで、達成率 80% 以上を維持していた (Table 2)。

各タイプを実際の地図上に描くと (Fig. 2)、タイプ 2 は広域に分布したのに対し、タイプ 4 は極めて狭いエリアに集中しており、タイプ 3 と組み合わせるとき、外来魚の影響を加味したタナゴ類の優先保全地は、比較的まとまったエリアに存在することを理解できた。そして、こ

Fig. 1 Similarity of priority level (a) by cluster analysis, and the number of selections by Marxan analyses without (b) and with (c) invasive cost of alien fishes and its cost size (d) and number of native bitterling species (e) in each type.**Table 2** Actual presence of each priority type and coverage of two combinations with high priority for numerical targets in each bitterling species

Species name (Number of numerical targets)	Actual presence (n) in each type				Coverage (%) for numerical targets	
	T1	T2	T3	T4	T2+T3	T3+T4
<i>Tanakia lanceolata</i> (32)	23	10	26	4	113	94
<i>T. limbata</i> (27)	32	12	30	0	114	81
<i>Acheilognathus rhombeus</i> (28)	18	11	20	6	111	93
<i>A. tabira nakamurae</i> (12)	0	4	8	0	100	67
<i>Rhodeus ocellatus kurumeus</i> (29)	73	16	20	5	124	86
<i>R. smithii atremius</i> (37)	23	16	27	8	116	95

れらの候補地を結ぶ河川および水路網がこの地域での優先的保全エリアであると判断できた。ただし、目標達成率が低く、元々出現地点数の少ないセボシタビラについては、個別にタイプ 2 を含む保全の検討が必要だろう。

Fig. 2 Priority maps for habitat conservation of 6 native bitterling species in the Kikuka Basin (a) and Tamana Plain (b). Type 1: Low priorities constantly; Type 2: Change from high to low priorities by adding invasive cost of alien fishes; Type 3: High priorities constantly; Type 4: Change from low to high priority by adding the cost.

外来魚対策には多大な労力、時間とコストがかかる。⁹⁾ 希少魚類の生息地が広域に残される場合、今回のような手法を使うことで、複数の生息地から外来魚の影響の小さい場所を選び、その保全を実施できるだろう。少なくとも、今回の事例研究ではセボシタビラを除いた在来5種のタナゴ類でその可能性を明示できた。また、仮に、今回の解析地域で、今後積極的な外来魚駆除が講じられるのであれば、我々は単に外来魚の多い場所ではなく、外来魚コストが大きいため外された本来のタナゴ類の優先保全地であるタイプ2で行うことを提案できる。相補性解析の大きな利点は科学的根拠と空間明示で、⁵⁾ 本結果は外来魚の影響を受けにくいタナゴの保全候補地を示すと同時に、タナゴの保全に寄与する外来魚駆除候補地も地図化している。

海外では、漁業への影響を抑えた海洋保護区の設定のために相補性解析が使われた事例もあり、¹⁰⁾ 今後、この解析手法は水産分野への応用も期待できる。残された課題は、保全目標数やコストの数値化であろう。解析で扱う値の多くは分析者が適宜判断して与えるため、科学的

知見やデータを集積していても、少なからず恣意的部分が残される。⁴⁾ 今回の解析では、外来魚の影響の数値化などがそれに当たるだろう。また、博多湾流入河川の魚類を対象とした相補性解析では、流域の都市化をコストとして取り扱っており、⁷⁾ 対象魚種の危機要因だけでなく、流域の特性や社会的情勢、保全に関わるコミュニティの存在など、コストとして加味できる要因はたくさん存在しており、目的に応じたコストの選定など、適切に行う必要があるだろう。

謝 辞

本研究を行うにあたり、菊池川漁協と国交省菊池川河川事務所の皆様にご支援いただくとともに、九州大学アグフィールド科学研究室に所属した学生諸君に調査補助をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。本研究は、国交省河川砂防技術研究開発・地域課題分野（河川生態）の助成（河川生態学術研究会菊池川研究グループ）によって行われた。

文 献

- 1) 環境省. 「レッドデータブック 2014—日本の絶滅のおそれのある野生生物—4 汽水・淡水魚類」株式会社ぎょうせい, 東京. 2014.
- 2) 小西 蘭. シナイモツゴ: 希少になった雑魚をまもる. 魚類学雑誌 2010; **57**: 80–83.
- 3) 藤岡康弘. 琵琶湖固有(亜)種ホンモロコおよびニゴロブナ・ゲンゴロウブナ激減の現状と回復への課題. 魚類学雑誌 2013; **60**: 57–63.
- 4) 角谷 拓, 赤坂宗光, 竹中明夫. 相補性解析による効率的な保全に寄与する地域の地図化. 景観生態学 2014; **19**: 111–119.
- 5) Ball IR, Possingham HP, Watts ME. Chapter 14. Marxan and relatives: software for spatial conservation prioritization. In: Moilanen A, Wilson KA, Possingham KA (eds). *Spatial conservation prioritization: quantitative methods and computational tools*. Oxford University Press, Oxford, 2009; 185–196.
- 6) 松葉史紗子, 赤坂宗光, 宮下 直. Marxan による効率的な保全計画: その原理と適応事例. 保全生態学研究 2015; **20**: 35–47.
- 7) Onikura N, Nakajima J, Inui R, Kaneto J. Priority map for protecting the habitats of threatened freshwater fishes in urban areas: a case study of five rivers in the Fukuoka Plain, northern Kyushu Island, Japan. *Ichthyol. Res.* 2016; DOI: 10.1007/s10228-015-0504-5.
- 8) Onikura N, Nakajima J, Inui R, Mizutani HG, Kobayakawa M, Fukuda S, Mukai T. Evaluating the potential for invasion by alien freshwater fishes in northern Kyushu Island, Japan, using the Fish Invasiveness Scoring Kid. *Ichthyol. Res.* 2011; **58**: 382–387.
- 9) 米倉竜次. 外来魚ブルーギルの捕食量抑制に与える人工音響の効果. 岐阜県河川環境研究所研究報告 2010; **55**: 17–22.
- 10) Klein CJ, Steinback C, Scholz AJ, Possingham HP. Effectiveness of marine reserve networks in representing biodiversity and minimizing impact to fishermen: A comparison of two approaches used in California. *Conserv. Lett.* 2008; **1**: 44–51.