

平成29年7月九州北部豪雨被災地域の潜在的な淡水魚類相の推定

鬼倉, 徳雄
九州大学附属水産実験所

中島, 淳
福岡県保健環境研究所

<https://hdl.handle.net/2324/4776823>

出版情報 : Ecology and Civil Engineering. 23 (1), pp.171-183, 2020-09-28. Ecology and Civil Engineering Society

バージョン :

権利関係 : (c) 2020 応用生態工学会

特集 1 平成 29 年 7 月九州北部豪雨災害調査団報告

事例研究 CASE STUDY

平成 29 年 7 月九州北部豪雨被災地域の潜在的な淡水魚類相の推定

鬼倉 徳雄^{1)*}・中島 淳²⁾

1) 九州大学水産実験所 〒811-3304 福岡県福津市津屋崎 4-46-24

2) 福岡県保健環境研究所 〒818-0135 福岡県太宰府市大字向佐野 39

Norio ONIKURA^{1)*}, Jun NAKAJIMA²⁾: Predicting potential freshwater fish fauna around afflicted area by heavy rain disaster in the Chikugo river system on July, 2017. *Ecol. Civil Eng.* 23(1), 171-183, 2020

1) Fishery Research Laboratory, Kyushu University, 4-46-24 Tsuyazaki, Fukuoka, Fukuoka 811-3304, Japan

2) Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences, 39 Mukouzano, Dazaifu, Fukuoka 818-0135, Japan



はじめに

平成 29 年 7 月 5 日から 6 日にかけて、対馬海峡付近に停滞した梅雨前線に向かって、暖かく非常に湿った空気が流れ込んだ影響等で、線状降水帯が形成・維持され、同じ場所に猛烈な雨を継続して降らせたことで、九州北部地方で記録的な大雨となった（気象庁 2017a）。福岡県朝倉市・東峰村および大分県日田市にかけては、大雨が短時間に集中的に降り、山地・丘陵地での斜面崩壊、谷沿いでの土石流および河川氾濫が生じた（伊永・宮野 2017；三田村・梅田 2017）。この大雨は「平成 29 年 7 月九州北部豪雨」と呼ばれている（気象庁 2017b）。この災害を受け、応用生態工学会では調査団を結成し、現地調査を実施するとともに、緊急提言（平成 29 年 7 月九州北部豪雨調査団 2017）および調査団報告書（応用生態工学会 2018）を取りまとめた。

著者は、淡水魚類の専門家として調査団に加わったが、朝倉市内を流れる筑後川水系の幾つかの河川（赤谷川、乙石川、白木谷川など）は土砂で埋まっていた。地震による斜面崩壊後、豪雨が発生して土砂が川を埋めつくし、魚類を含む水生生物がほとんど姿を消した台湾の事例（Fang et al. 2002）などもあり、単純に比較はできないものの、当地でも同様に魚類の大半は姿を消したと思わ

れた。

河川の災害復旧と今後の整備計画を検討するにあたり、河川生態系の目標種の設定が必要だが、その参考となる既知の魚類相データはほとんどない状況だった。そこで、本研究では、筑後川流域内の淡水魚類相データおよび地理情報システム（GIS）データを使って、同流域内での各種の分布モデルを構築し、被災地周辺の GIS データをモデルに外挿することで、対象河川の潜在的な魚類相を推定した。

方法

魚類相データ

九州大学水産実験所で 1993 年以降に集積中の九州淡水魚類相データベース（非公開；九州大学水産実験所、<http://www.agr.kyushu-u.ac.jp/lab/jikkensho/access.html>、2017 年 9 月 7 日閲覧）から、筑後川水系内の河川と農業用水路で行われた調査に基づく魚類相データを抽出した。地点数は延べ 361 で、2000 年以降に調査されたものが大半を占めた。投網などの採捕調査、シュノーケリングによる目視調査など、その方法は異なるものの、いずれも各地点に生息する魚類相（各種の在・不在）が記録されたものである。加えて、本データベースでは情報が少ない大分県内について、郷土日田の自然調査会の調査報告からデータを補充した（ひたインターネット協議

2019 年 8 月 27 日受付、2019 年 11 月 16 日受理

*e-mail: onikura@agr.kyushu-u.ac.jp

会, <http://www.hita.ne.jp/~city/sizenok/ftka/kall.htm>, <http://www.hita.ne.jp/~city/sizenok/ftnan/nan9.htm>, 2017年11月8日閲覧). これらのデータは, 後述するGISデータとの統合を容易にするため, 3次メッシュスケールに再整理された. 合計で284メッシュとなり, 筑後川流域の3次メッシュ数(2767)の1割を超えた (Fig. 1a).

対象魚種は, 筑後川水系に生息する在来純淡水魚に水産有用種であるアユとニホンウナギを加えた34種類で (Table 1), 学名・標準和名は中坊 (2013) に従った.

出現メッシュ数が少なかったヒナモロコ *Aphyocypris chinensis* (1メッシュ), カワバタモロコ *Hemigrammocyparis rasborella* (6), ニゴイ *Hemibarbus barbus* (4), さらには一部のデータがヨシノボリ類として取りまとめられているカワヨシノボリ *Rhinogobius flumineus* については解析しなかった. 各魚種の生息場特性と選択された説明変数との関連性を理解しやすくするため, 対象魚種について中島ほか (2010) を参考に河川を主たる生息場とする魚種 (以下, 河川性魚種) と氾濫原水域を利用する

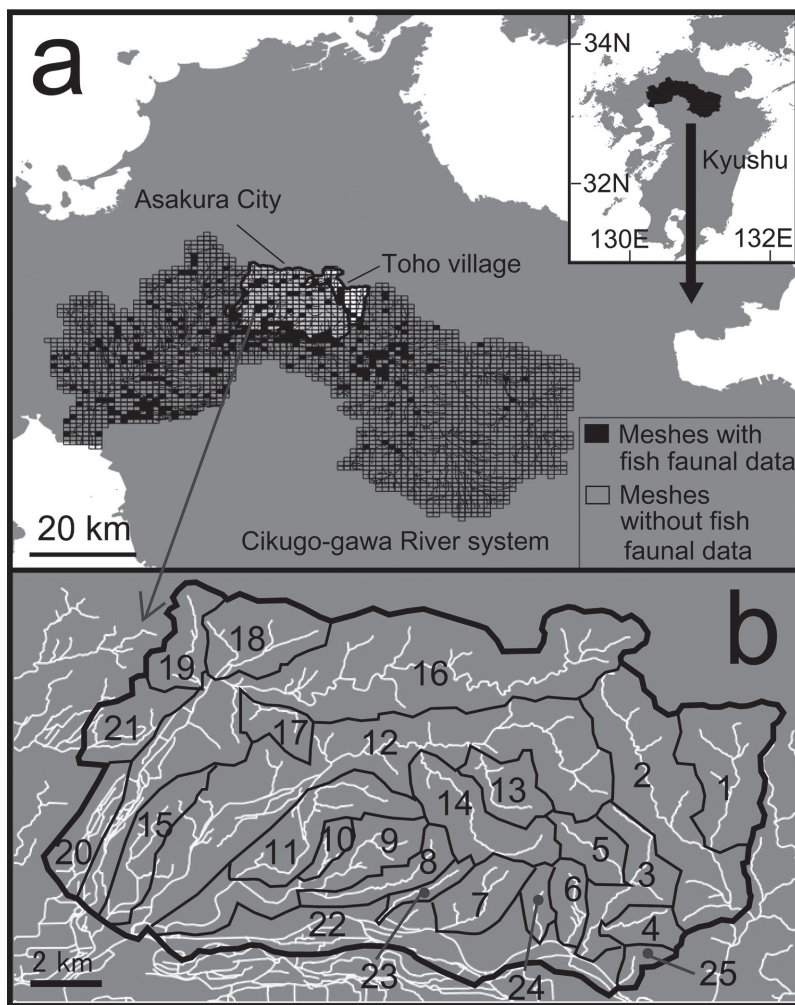


Fig. 1. The third meshes used for freshwater fish species distribution model development (a) and rivers with prediction of potential fish fauna in the Chikugo-gawa river system (b). (1. Houshuyama River, 2. Oohi R., 3. Akatani R., 4. Ooyama R., 5. Otoishi R., 6. Shiragitani R., 7. Kita R., 8. Myouken R., 9. Katsura R., 10. Shintate R., 11. Ninaibaru R., 12. Sada R., 13. Ibome R., 14. Kuro R., 15. Hutamata R., 16. Koishiwara R., 17. Yamami R., 18. Notori R., 19. Amouzu R., 20. Jinya R., 21. Kusaba R., 22. Chikugo R., 23. Syouzu R., 24. Naragadani R., 25. Sakaitani R.)

筑後川水系内においてモデル構築に使用した3次メッシュ (a) および潜在的魚類相を推定した河川 (b). 1. 宝珠山川, 2. 大肥川, 3. 赤谷川, 4. 大山川, 5. 乙石川, 6. 白木谷川, 7. 北川, 8. 妙見川, 9. 桂川, 10. 新立川, 11. 荷原川, 12. 佐田川, 13. 疋目川, 14. 黒川, 15. 二又川, 16. 小石原川, 17. 山見川, 18. 野鳥川, 19. 甘水川, 20. 陣屋川, 21. 草場川, 22. 筑後川, 23. 寒水川, 24. 奈良ヶ谷川, 25. 堺谷川

魚種（以下、氾濫原性魚種）に区分した（Table 1）.

GIS データ

淡水魚類の分布は、GIS から得られる環境情報に基づいて、ある程度、予測可能である（鬼倉・乾 2011）. 九州の淡水魚類については、GIS ホームページ、国土数値情報ダウンロードサービス（国土交通省、<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>、2017年9月30日閲覧）から得られた地形情報を使い、希少淡水魚類の潜在的な分布を予測した

事例が知られている（Onikura 2015；鬼倉 2015）. 本研究でも、同サービスから入手した3次メッシュ（約1 km×1 km）のデータを使用した. 標高・傾斜度3次メッシュデータ（平成23年度）からは、魚類の縦断分布を左右する可能性を視野に入れ、河川の勾配や水温に影響する可能性が高い平均標高（ELE）と平均地形傾斜度（SLO）を抽出した. 土地利用3次メッシュ（平成26年度）からは、河川あるいは氾濫原水域での魚類の

Table 1. List of freshwater fish species analyzed in this study.
解析対象とした淡水魚類リスト.

Species No.	Scientific name	Japanese name & number of meshes with presence	Category of RDB (MOE 2015)
1. River			
1-1	<i>Lethenteron</i> sp. N.	スナヤツメ南方種, 15	VU
1-2	<i>Anguilla japonica</i>	ニホンウナギ, 17	EN
1-3	<i>Opsariichthys platypus</i>	オイカワ, 182	
1-4	<i>Candidia temminckii</i>	カワムツ, 177	
1-5	<i>Phoxinus oxycephalus jouyi</i>	タカハヤ, 77	
1-6	<i>Tribolodon hakonensis</i>	ウグイ, 45	
1-7	<i>Sarcocheilichthys variegatus variegatus</i>	カワヒガイ, 24	NT
1-8	<i>Pungtungia herzi</i>	ムギツク, 106	
1-9	<i>Pseudogobio esocinus esocinus</i>	カマツカ, 139	
1-10	<i>Squalidus gracilis gracilis</i>	イトモロコ, 93	
1-11	<i>Cobitis matsubarae</i>	ヤマトシマドジョウ, 47	VU
1-12	<i>Tachysurus aurantiacus</i>	アリアケギバチ, 42	VU
1-13	<i>Liobagrus reinii</i>	アカザ, 13	VU
1-14	<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	アユ, 19	
1-15	<i>Oncorhynchus masou masou</i>	サクラマス（ヤマメ）, 8	
1-16	<i>Cottus pollux</i>	カジカ, 11	NT
1-17	<i>Coreoperca kawamebari</i>	オヤニラミ, 56	EN
2. Floodplain			
2-1	<i>Cyprinus carpio</i>	コイ, 57	
2-2	<i>Carassius</i> sp.	ギンブナ, 147	
2-3	<i>Tanakia limbata</i>	アブラボテ, 55	NT
2-4	<i>Tanakia lanceolata</i>	ヤリタナゴ, 38	NT
2-5	<i>Acheilognathus tabira nakamurae</i>	セボシタビラ, 11	CR
2-6	<i>Rhodeus ocellatus kurumeus</i>	ニッポンバラタナゴ, 82	CR
2-7	<i>Rhodeus smithii smithii</i>	カゼトゲタナゴ, 41	EN
2-8	<i>Acheilognathus rhombeus</i>	カネヒラ, 25	
2-9	<i>Candidia sieboldii</i>	ヌママツ, 31	
2-10	<i>Pseudorasbora parva</i>	モツゴ, 68	
2-11	<i>Biwia zezera</i>	ゼゼラ, 25	VU
2-12	<i>Abbottina rivularis</i>	ツチフキ, 51	EN
2-13	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	ドジョウ, 20	
2-14	<i>Cobitis kaibarai</i>	アリアケスジシマドジョウ, 32	EN
2-15	<i>Silurus asotus</i>	ナマズ, 50	
2-16	<i>Odontobutis obscura</i>	ドンコ, 156	
2-17	<i>Oryzias latipes</i>	ミナミメダカ, 65	VU

生息場に直接あるいは間接的に影響することを想定し、土地利用（水田面積 RICE; 森林面積 FOR; 都市用地 URB）と、淡水域の規模を表す水面面積（AREA）を抽出した。また、河川（平成 19 年度）からは、水域の長さや複雑さの指標となりえる 3 次メッシュ内の河川の総延長（LINE）を抽出した。また、AREA を LINE で除すことで、3 次メッシュ内の河川の平均的な幅をイメージした変数（WID）を合成した。GIS データ処理には、Quantum GIS 2.18.11 (<https://www.qgis.org/ja/site/forusers/download.html>) を使用した。

解析

各種の在・不在（1・0）を独立変数、GIS データを説明変数として、変数増減法に基づく二項ロジスティック回帰分析を行った。投入、除去の基準 P 値を 0.200 とし、線形結合している変数は自動的に排除して分析するようにプログラムを設定した。また、応答曲線が凸状を描く可能性を考慮し（たとえば、鬼倉ほか 2013; Onikura 2015; Koyama et al. 2016）、土地利用を除く 5 変数（ELE, SLO, AREA, LINE, WID）については、二乗項も加えて解析した。凸状の応答曲線は、一乗項が正かつ二乗項が負の場合に描くことができる。そのため、最初に、二乗項を含む全変数を含めた変数選択を行い、選択された変数の符号を確認し、上記のケースに当たらない場合は二乗項を除外して、変数選択を繰り返した。

構築されたモデルについて、観測値と予測値の関係性を調べるため、Receiver Operating Characteristic (ROC) 曲線を描き、Area under the curve (AUC) を算出した。AUC は二項分布型のモデルの精度検証に利用でき（たとえば、Sato et al. 2010; Koyama et al. 2016）、その値が 0.7 を超えると適正な精度、0.9 を超えると高い精度と判断される（Akobeng 2007）、本研究ではその値が 0.7 を基準として、適正なモデルが構築された種のみ、被災地周辺での分布の可能性を推定した。また、ROC 分析では、独立変数のカットオフ値（COV）も算出できる。その一般的な手法は 2 つあり、最適の判別を意味する $AUC=1.0$ （ROC 曲線の左上隅）に最も近い点か、あるいは判別できていないことを意味する $AUC=0.5$ の線から最も遠い点（Younden index）が使用される（Akobeng 2007）。本研究では、モデルが構築された各魚種の潜在的な分布の可能性（0～1 を変動する連続変数）に対する在・不在間の閾値の決定にも、ROC 曲線を使用し、最適の判別を意味する $AUC=1.0$ に最も近い点を COV とした。なお、これらの解析には、EXCEL 統計 2015（SSRI, 東京）を使用した。

潜在的淡水魚類相の推定

対象は、平成 29 年 7 月九州北部豪雨での被害が大きかった朝倉市と東峰村内とした（Fig. 1a）。先の GIS ホームページから平成 29 年 1 月 1 日時点の行政区域を入手し、対象地域と重なり合う 3 次メッシュの ELE, SLO, RICE, FOR, URB, AREA, LINE, WID を抽出して、構築されたモデルに外挿し、メッシュごとの各種の分布の可能性を計算した。その後、以下の条件で、出現の可能性を 3 ランクに整理した（以下、出現ポテンシャルと称す）。

出現ポテンシャルが高い種（High）：COV 以上

ポテンシャルが中度の種（Medium）： $1/2 \times COV \sim COV$

ポテンシャルが低い種（Low）： $1/2 \times COV$ 未満

続いて、平成 21 年 3 月 27 日時点の流域メッシュデータを GIS ホームページより入手し、対象地域と重なり合う流域データを抽出し、各単位流域に整理した（計 25 河川, Fig. 1b）。ただし、筑後川と直接合流する河川のうち、幾つかの小河川はメッシュデータ内では筑後川として扱われていたため、奈良ヶ谷川や寒水川については、別途、地図上で流域界をなぞり、単位流域を作成した。そして、各流域と 50% 以上重なり合う 3 次メッシュを選択し、それらのメッシュの潜在的魚類相を使って、河川ごとに各種の出現ポテンシャルを整理した。

結果

分布モデルと説明変数

各種のモデルの相関係数と有意性、誤判別率および ROC 分析結果を Table 2 に示す。全種でモデルの有意性が確認され、そのうち 32 種で AUC 値が 0.7 を超えた。タカハヤ（1-5）とモツゴ、ゼゼラ、ツチフキ（2-10～2-12）については AUC 値が 0.9 を超えており、コイ（2-1）とナマズ（2-15）のみ 0.7 を下回った。誤判別率は、オイカワ（1-3）、カワムツ（1-4）、ギンブナ（2-2）、ドンコ（2-16）のような在データ数が 100 を超える種で高かった（Table 2）。

各種のモデルに選択された説明変数について、まず、高さや傾斜に関連する ELE と SLO は（Table 3）、それぞれ 23 種と 13 種に選択され、いずれも選択しなかったのはスナヤツメ（1-1）、アユ（1-14）とドンコ（2-16）の 3 種だった。氾濫原性魚種は全てのケースで ELE と SLO を負の変数として選択した一方、河川性魚種は正、負、凸型と種ごとに様々だった。土地利用などの面積データである RICE, FOR, URB および AREA は 8～12

Table 2. Statistical summary on model accuracy of each species by binomial logistic regression analysis and receiver operating characteristic curve analysis.

二項ロジスティック回帰分析およびROC分析によるモデル精度に関する統計値の要約（種名は表1の番号を参照）。

Species No.	<i>r</i> (Misclassification, %)	AUC (Cut off point)	Species No.	<i>r</i> (Misclassification, %)	AUC (Cut off point)
1-1	0.239** (5.28)	0.796** (0.085)	2-1	0.204** (20.07)	0.679** (0.260)
1-2	0.290** (5.99)	0.810** (0.067)	2-2	0.569** (23.24)	0.823** (0.536)
1-3	0.513** (23.94)	0.794** (0.634)	2-3	0.462** (17.96)	0.821** (0.186)
1-4	0.561** (23.24)	0.817** (0.536)	2-4	0.469** (13.38)	0.867** (0.188)
1-5	0.678** (15.14)	0.907** (0.248)	2-5	0.228** (3.87)	0.779** (0.046)
1-6	0.417** (15.14)	0.787** (0.158)	2-6	0.614** (17.61)	0.882** (0.420)
1-7	0.394** (8.45)	0.846** (0.078)	2-7	0.536** (13.03)	0.889** (0.165)
1-8	0.411** (32.75)	0.739** (0.404)	2-8	0.425** (8.80)	0.866** (0.129)
1-9	0.457** (31.69)	0.761** (0.473)	2-9	0.359** (10.92)	0.822** (0.181)
1-10	0.431** (28.87)	0.763** (0.346)	2-10	0.783** (7.04)	0.945** (0.366)
1-11	0.338** (15.85)	0.762** (0.150)	2-11	0.517** (8.80)	0.920** (0.170)
1-12	0.424** (11.97)	0.769** (0.186)	2-12	0.739** (8.80)	0.945** (0.366)
1-13	0.343** (4.23)	0.842** (0.041)	2-13	0.252** (7.04)	0.772** (0.080)
1-14	0.262** (6.34)	0.746** (0.076)	2-14	0.445** (9.15)	0.858** (0.155)
1-15	0.367** (2.82)	0.894** (0.040)	2-15	0.281** (17.25)	0.692** (0.212)
1-16	0.318** (3.87)	0.888** (0.061)	2-16	0.409** (30.99)	0.735** (0.549)
1-17	0.294** (20.42)	0.708** (0.222)	2-17	0.580** (19.72)	0.876** (0.302)

Species names are indicated in "Species No." of Table 1. Significant level ($p < 0.01^{**}$)

種に選択され、これらの中では比較的多くの種に選択されたRICEは、氾濫原性では正に、河川性では負に選択した魚種が多かった (Table 4)。メッシュ内の総河川長であるLINEは24種にWIDは5種に選択された (Table 5)。多くの種に選択されたLINEでは、氾濫原性では負の選択と凸型の選択もあったものの、全体的に正の変数として選択する魚種が多かった。

各種の出現ポテンシャルと推定される出現河川数

朝倉市、東峰村における河川性および氾濫原性魚種の出現ポテンシャルをTable 6と7にまとめた。河川性魚種については (Table 6)、カワムツ (1-4) が全河川で高いポテンシャルを示し、タカハヤ (1-5) とムギツク (1-8) がそれに続いた。逆に、低いポテンシャルの河川数が多かったのは、カワヒガイ (1-7) であった。絶滅危惧種では、スナヤツメ (1-1)、ニホンウナギ (1-2)、ヤマトシマドジョウ (1-11)、アカザ (1-13)、オヤニラミ (1-17) で高いポテンシャルの河川数が15を超え、アリアケギバチ (1-12) ではその数が11であった。

氾濫原性魚種については (Table 7)、ドジョウ (2-13)、ドンコ (2-16) を除いた全てで、高いポテンシャルの河川数が半数を下回り、半数以上の種で低いポテンシャルの河川数が15以上であった。絶滅危惧種では、タナゴ

類3種 (2-5~2-7) とアリアケスジシマドジョウ (2-14)、ミナミメダカ (2-17) で10前後の河川が高いポテンシャルであった一方、ゼゼラ (2-11) とツチフキ (2-12) ではその数は5を下回った。

各河川の推定出現種数

高い出現ポテンシャルを伴う魚種は各河川に生息すると仮定して、各河川の推定出現魚種数を見たとき、河川性魚種では (Table 6)、全17種が妙見川 (River No. 8)、荷原川 (11)、佐田川 (12)、小石原川 (16) に出現し、白木谷川 (6)、桂川 (9)、赤谷川 (3) がそれに続いた。河川性魚種数が少なかったのは、乙石川 (5)、新立川 (10)、二又川 (15)、陣屋川 (20) と堺谷川 (25) でその数は10種を下回った。

氾濫原性魚種については (Table 7)、全15種の出現が推定されたのは筑後川 (22) のみで、佐田川 (12)、二又川 (15) で14種、桂川 (9) で13種となった。また、推定出現種数が少ない河川が多く、宝珠山川 (1)、乙石川 (5) には氾濫原性魚種は1種も出現しない可能性が示された。

河川性、氾濫原性を合わせた全魚種では (Fig. 2a)、佐田川 (12) で推定31種、桂川 (9)、小石原川 (16)、筑後川 (22) で29種、妙見川 (8) と荷原川 (11) で

Table 3. Coefficient of explanatory variable selected by binominal logistic regression model (ELE & SLO).
 選択された説明変数（標高と傾斜度）の係数（種名は表1の番号を参照）.

Species No.	Coefficient of each explanatory variable				
	Intercept	ELE	ELE ²	SLO	SLO ²
1-1	-8.672				
1-2	-5.707			1.007**	-0.0813**
1-3	0.321	-0.00621**			
1-4	-1.281	0.0348**	-0.0000528**		
1-5	0.131	0.00457*			
1-6	-5.040	0.0218**	-0.0000292**		
1-7	-2.737			-1.326*	
1-8	-2.428	0.0218**	-0.0000381**		
1-9	-0.821	0.0296**	-0.0000476**		
1-10	-1.211	-0.00673*		0.404*	-0.0465*
1-11	-2.916	0.0322**	-0.0000524**	-0.285**	
1-12	-2.623	-0.00530**			
1-13	-9.000			1.148**	-0.0485*
1-14	-4.663				
1-15	-6.138	0.00545		0.172	
1-16	-8.400			1.483**	-0.0934**
1-17	-2.450	-0.00799**			
2-1	-0.946	-0.00491**			
2-2	0.036	-0.00628*		-0.237*	
2-3	-2.345	-0.0114**			
2-4	-1.075			-2.726**	
2-5	-2.800			-1.788	
2-6	-2.545	-0.0157*			
2-7	-3.100	-0.0422*		-0.9355*	
2-8	-3.633	-0.0430**			
2-9	-0.478	-0.0521**			
2-10	-2.570	-0.0781**			
2-11	-1.654			-6.883*	
2-12	-0.063	-0.1589**			
2-13	-4.543			-0.151	
2-14	-2.760	-0.0258**			
2-15	-2.082	-0.00413*			
2-16	3.843				
2-17	-0.102	-0.0653**			

Species names are indicated in "Species No." of Table 1. Significant level ($p < 0.05^*$, $p < 0.01^{**}$)

Table 4. Coefficient of explanatory variable selected by binominal logistic regression model (RICE, FOR, URB & AREA).
 選択された説明変数（土地利用等）の係数（種名は表1の番号を参照）

Species No.	Coefficient of each explanatory variable				
	RICE	FOR	URB	AREA	AREA ²
1-1		0.0107			
1-2				0.0380	
1-3	-0.0103				
1-4	-0.0127*	-0.0354			
1-5	-0.0256**		-0.0274*	-0.120**	
1-6			0.0249*	0.198**	-0.00320**
1-7					
1-8	-0.00945	-0.0281*			
1-9	-0.00913	-0.0537**			
1-10					
1-11				0.0259	
1-12			-0.0182		
1-13	0.0586**				
1-14		0.0224**		0.218**	-0.00366*
1-15					
1-16					
1-17		0.0251**			
2-1					
2-2	0.0218**	0.0230			
2-3					
2-4			-0.0146		
2-5					
2-6	0.0292**		0.0251*		
2-7		0.1152**		-0.0305	
2-8				-0.0436	
2-9					
2-10	0.0520**	0.0943*	0.0314		
2-11	0.0219			0.0726**	
2-12	0.0232*	0.1589**		0.0360*	
2-13			-0.0379*		
2-14					
2-15					
2-16	-0.0487**	-0.0452**	-0.0363*	-0.0611**	
2-17				-0.0509**	

Species names are indicated in "Species No." of Table 1. Significant level ($p < 0.05^*$, $p < 0.01^{**}$)

Table 5. Coefficient of explanatory variable selected by binominal logistic regression model (LINE & WID).

選択された説明変数（河川情報等）の係数（種名は表1の番号を参照）.

Species No.	Coefficient of each explanatory variable			
	LINE	LINE ²	WID	WID ²
1-1	4.203*	-0.372		
1-2	0.535*			
1-3	0.725**		0.0136*	-0.0000433*
1-4	0.768**			
1-5				
1-6				
1-7	0.637**			
1-8	1.469**	-0.196*		
1-9	0.543**			
1-10	0.476**			
1-11				
1-12	0.840**			
1-13				
1-14				
1-15				
1-16	0.560			
1-17	0.595**			
2-1				
2-2				
2-3	0.817**			
2-4	0.549**			
2-5	0.334			
2-6			0.00592*	
2-7	2.072**	-0.202		
2-8	2.314**	-0.316*		
2-9			-0.00297	
2-10	-0.515*		0.00641	
2-11	-0.358		-0.00500	
2-12	-0.363			
2-13	2.358*	-0.3372		
2-14	0.820**			
2-15	0.465**			
2-16	1.068**	-0.109		
2-17	0.686**			

Species names are indicated in "Species No." of Table 1. Significant level ($p < 0.05$, $p < 0.01$)

Table 6. Potential distribution (H: high probability, M: medium probability, L: low probability) of each river fish species in each river flowing into the Asakura City and Toho Village.
 朝倉市、東峰村を流れる河川ごとの河川性各魚種の出現ポテンシャル（種名は表1の番号、河川名は図1の番号を参照）。

Species No.	River No.																									N. of rivers		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	H	M	L
1-1	H	H	H	M	L	H	L	H	H	M	H	H	M	M	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L	L	16	4	5
1-2	H	H	H	H	M	H	H	H	H	H	H	H	M	H	L	H	H	H	H	M	H	H	H	H	H	21	3	1
1-3	M	H	H	M	M	H	H	H	H	H	H	H	M	M	H	H	H	H	H	H	H	H	H	M	M	18	7	0
1-4	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	25	0	0
1-5	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	M	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	23	1	1	
1-6	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	L	H	M	H	H	L	M	M	M	H	M	17	5	3	
1-7	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	L	L	H	H	L	L	L	H	H	H	L	L	L	10	0	15	
1-8	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	M	M	23	2	0
1-9	H	H	H	M	M	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	M	M	H	H	H	H	M	21	4	0	
1-10	L	M	H	L	L	H	H	H	H	H	L	M	H	H	H	M	M	H	H	M	H	H	M	M	15	6	4	
1-11	H	H	H	H	H	H	H	H	M	H	H	H	M	H	H	H	H	M	M	H	M	H	H	H	21	4	0	
1-12	L	M	M	L	L	H	M	H	H	M	H	L	L	H	H	M	M	H	H	M	H	H	M	L	L	11	7	7
1-13	H	H	H	H	H	H	H	H	M	H	H	H	M	H	H	H	H	L	H	H	H	H	M	21	3	1		
1-14	H	H	H	H	H	M	H	H	L	H	H	H	L	H	M	H	H	M	H	H	M	H	H	19	4	2		
1-15	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	L	H	L	H	H	L	M	M	M	H	L	17	3	5		
1-16	H	H	H	H	M	H	H	M	L	H	H	H	L	H	H	H	H	L	H	M	H	H	M	18	4	3		
1-17	M	H	H	H	M	H	M	H	H	M	H	H	M	H	H	H	H	H	H	H	H	H	M	H	19	6	0	
N. of species																												
H	12	14	15	11	8	16	12	17	16	8	17	17	10	12	9	17	13	14	13	9	14	14	11	10	6			
M	2	2	1	3	5	0	3	0	1	5	0	0	4	3	3	0	2	2	3	3	3	3	4	4	7			
L	3	1	1	3	4	1	2	0	0	4	0	0	3	2	5	0	2	1	1	5	0	0	2	3	4			

Species and river names are indicated in “Species No.” of Table 1 and “River No.” of Figure 1, respectively.

28種となり、種数の多い河川は標高30m未満のエリアを持つことで共通した (Fig. 2b)。また、標高30m未満を持つにもかかわらず、推定種数がやや少ない新立川 (10)、二又川 (15)、陣屋川 (20) については (Fig. 2a)、標高の高いエリアを伴わない河川である点で共通した (Fig. 2b)。推定出現種数と標高の関係性を解析したところ、氾濫原性魚種数と標高の最小値に有意な負の相関 (Spearman's $r = -0.899, p < 0.01$) が認められた一方、河川性魚種数と標高差 (最大値 - 最小値) の間に有意な正の相関 (Spearman's $r = 0.620, p < 0.01$) が認められた。

標高を説明変数として選択した魚種について、ほかの変数を各種の実測の在データの中央値とし、標高のみを変化させて応答曲線を描いたところ (Fig. 3)、氾濫原性の多くの魚種は右下がりの線を描いたのに対し、河川性の魚種では2種が右上がり、5種が凸型、4種が右下がりの線を描いた。

考 察

近年、GISの発達で、数値地図や衛星画像から様々な環境情報が抽出・整理できるようになり、それらを説明変数、生物分布情報を応答変数としてモデルを構築し、希少魚種の保全 (たとえば、Kano et al. 2010; Onikura et al. 2012; Onikura 2015) や、外来魚種の監視 (たとえば、Sato et al. 2010; 鬼倉ほか 2013; Onikura et al. 2013) などへの応用を試みる研究が報告されている。そして、今回、魚類相の情報が乏しい河川、かつ災害復旧等で早急に情報が必要な河川で、GISを使った潜在的な魚類相の推定を試み、その推定結果は応用生態工学会からの緊急提言 (平成29年7月九州北部豪雨調査団 2017) および調査報告 (鬼倉 2018a) に生かされた。今回の研究成果は、大災害が発生した後の河川整備に潜在的魚類相の活用を試みた点で、先駆的かつ応用的である。国土交通省九州地方整備局では、筑後川水系と遠賀川水系に類似した淡水魚ポテンシャルマップの活用を試みており (遠山ほか 2019)、今後、学術レベルから応用レベ

Table 7. Potential distribution (H: high probability, M: medium probability, L: low probability) of each floodplain fish species in each river flowing into the Asakura City and Toho Village.

朝倉市、東峰村を流れる河川ごとの氾濫原性各魚種の出現ポテンシャル（種名は表1の番号、河川名は図1の番号を参照）。

Species No.	River No.																									N. of rivers		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	H	M	L
2-2	M	M	M	M	L	M	L	H	H	H	H	L	M	H	H	H	M	M	H	H	H	L	L	M	11	9	5	
2-3	L	L	L	L	L	H	M	H	H	H	H	L	L	H	H	H	M	L	H	H	H	M	L	L	12	3	10	
2-4	L	L	L	L	L	L	L	H	H	M	M	H	L	L	H	H	L	L	L	H	M	H	L	L	7	3	15	
2-5	L	L	L	L	L	L	L	H	H	M	H	H	L	L	H	H	L	L	L	H	H	H	L	L	9	1	15	
2-6	L	L	L	L	L	L	L	H	H	M	H	H	L	L	H	H	L	L	L	H	H	H	L	L	9	1	15	
2-7	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	L	L	H	H	L	L	L	H	H	H	L	L	10	0	15	
2-8	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	L	L	H	H	L	L	L	H	H	H	L	L	10	0	15	
2-9	L	L	L	L	L	L	L	M	H	M	M	H	L	L	H	H	L	L	L	H	L	H	L	L	6	3	16	
2-10	L	L	L	L	L	L	L	M	H	L	H	H	L	L	H	M	L	L	L	M	L	H	L	L	5	3	17	
2-11	L	L	L	L	L	L	L	M	H	L	L	H	L	L	H	M	L	L	L	M	L	H	L	L	4	3	18	
2-12	L	L	L	L	L	L	L	M	L	L	M	L	L	M	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	1	3	21	
2-13	M	H	H	M	L	H	M	H	H	M	H	H	M	M	H	H	H	L	M	H	H	H	M	L	13	8	4	
2-14	L	L	L	L	L	L	L	H	M	M	H	H	L	L	H	H	L	L	L	H	H	H	L	L	8	2	15	
2-16	M	H	H	H	M	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	23	2	0	
2-17	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	L	L	H	H	L	L	L	H	H	H	L	L	10	0	15	
N. of species																												
High	0	2	2	1	0	3	1	11	13	6	11	14	1	1	14	12	4	1	1	12	10	15	1	1	1			
Medium	3	1	1	2	1	1	2	3	2	6	2	1	1	2	1	2	0	2	2	2	1	0	2	0	1			
Low	12	12	12	12	14	11	12	1	0	3	2	0	13	12	0	1	11	12	12	1	4	0	12	14	13			

Species and river names are indicated in "Species No." of Table 1 and "River No." of Figure 1, respectively.

ルへの更なる発展を期待できる。

ただし、より様々な場面でこのような潜在分布モデルを活用していくためには、解決すべき課題もある。ひとつは、応答変数として利用できる生物分布データの少なさである。通常、水辺の国勢調査などでの生物調査地点は、同一水系内では限られている。筑後川水系には、著者らがかつて多くの魚類相調査を行った実績があったために、モデルが構築できた。鬼倉・乾 (2011) は、水辺の国勢調査だけでなく、行政がモニタリングやアセスメント時に行う調査データなど、眠ってしまっている情報のデータベース化を提言している。

鬼倉・乾 (2011) は、Allan & Castillo (2007) の河川生態系の階層構造を引用しながら、GIS 情報に基づいた生物分布モデルの果たす役割について詳しく解説している。生物地理、水系、セグメントスケール等の階層構造の上位の条件に基づいたモデルには、下層の階層構造（リーチやハビタットなど）が予測に含まれていない。そのため、予測は在であっても、実際には不在というケースが多く見られる。しかしながら、その予測で在、実測で不在のケースは、下位の階層構造がその種に適した

条件を満たしていないことを意味しているため、その不足する条件の再生・創造が河川整備等の目標になるという考え方である。実際に、Onikura (2015) は、その考え方に基づいて、希少種の生息地を保全（予測、実測ともに在）するのか、再生（予測は在、実測は不在）するのかを選別する試みを行っている。

しかしながら、今回の筑後川水系の場合は、大規模災害後の目標設定である。災害前に魚類相調査が行われていない河川、土砂の流入で無生物状態に近い打撃を受けた河川などがあり、多くの場合、予測と実測の相違に基づく目標設定を行うことができない。だからこそ、今回の潜在的魚類相（予測で在となった全魚種）を、各河川で行われる復旧、改修工事に当たっての目標とし、予測された種の好適な生息場（瀬淵や水際植生、河床材料などの下層の階層構造）を可能な限り創造、再生しておくことが大切である。特に潜在的に分布する可能性が高い絶滅危惧種については、それらが将来定着するかもしれないことを前提として、河川整備を行っていただきたい。

今回の研究で、淡水魚類の潜在的な種数が多い河川（佐田川、桂川、小石原川、筑後川、妙見川、荷原川な

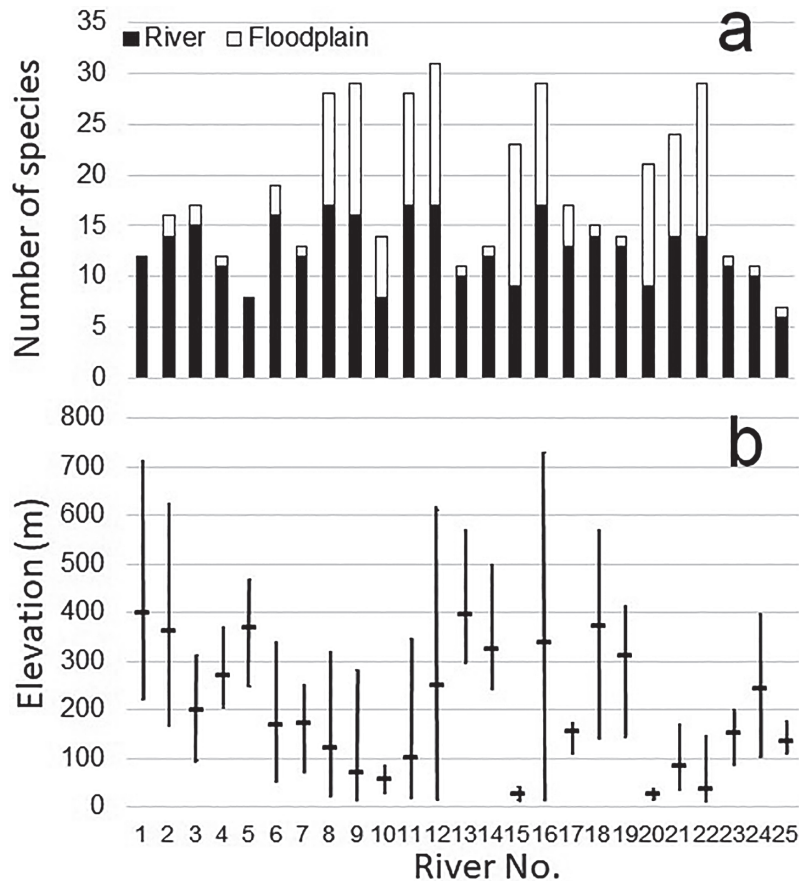


Fig. 2. Number of potential fish species estimated by species distribution models in each river (River names are shown in “River No.” of Figure 1) and elevation data (average and range) of the third meshes (approximately 1 km×1 km) in catchment area of each river. 構築されたモデルで推定された各河川の潜在的な魚種数 (■河川性, □氾濫原性) および各河川の流域メッシュ (約 1 km×1 km) の標高範囲とその平均値.

ど)は、標高 30 m 未満の区間を持っていた (Fig. 2b). また、氾濫原性の魚種数と標高に負の相関関係が認められたこと、各種の標高に対する応答曲線を描いたとき、氾濫原性の数種が低標高で高い出現ポテンシャルを示すこと (Fig. 3) が明示された。これらの結果は、低標高区間 (本研究では、30 m 未満) を持つ河川では、下流の改修において氾濫原性魚類に特に配慮を要することを意味している。災害発生後、朝倉市内の小河川を実際に調査したところ、モデルの推定結果どおり、タナゴ類をはじめとする多くの絶滅危惧種の生息が確認できた (鬼倉 2018b)。土砂災害などの直接的な被害を受けた地域は高標高である場合が多いが、上流で被災した河川のうちの幾つかは、その改修計画は下流にも及んでいる。筑後川水系の中流域に注ぐ中小河川は、希少淡水魚類、特に氾濫原性の絶滅危惧種の宝庫であることを認識しながら、それらの生息場に十分に配慮し、河川環境だけでな

く、周辺の氾濫原水域も考慮した整備を行わなければならない。

河川性魚類については、種数と標高差が正の相関関係を示し、標高に対する応答曲線が右下がり、凸型、右上がりと同様であった (Fig. 3)。このことは、上流から下流まで、様々な種が生息し、流程に応じて河川性の魚類相が変化することを示している。このような生物相の変化は、河川生態学的には一般的なことであるが (Allan & Castillo 2007)、被災河川の復旧と整備において、特に、河川性魚種数が多いと見積もられた河川 (妙見川、荷原川、佐田川、小石原川、白木谷川、桂川、赤谷川など) については、流程に応じて保全・再生対象となる生物が変わることを考慮して行っていただきたい。

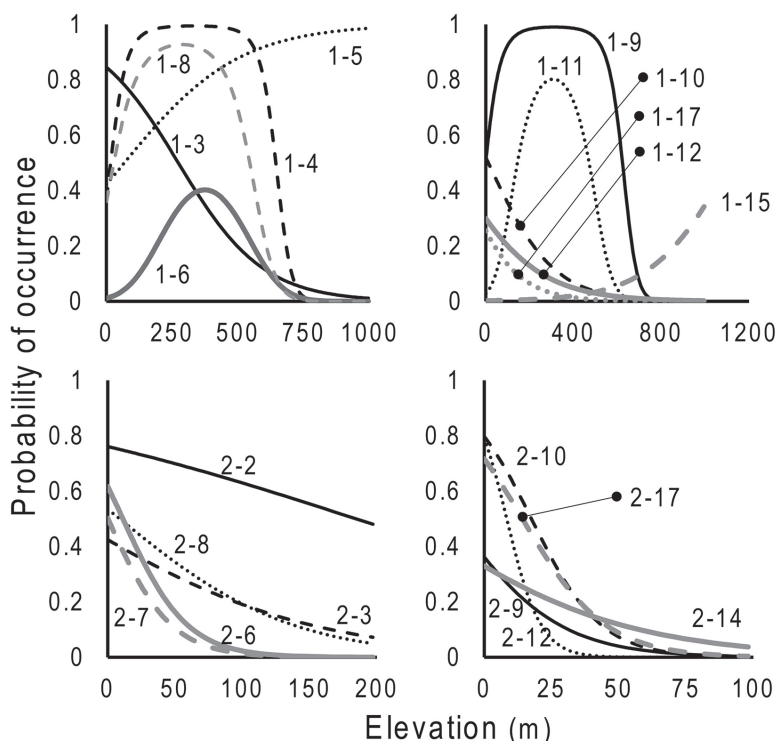


Fig. 3. Response curves of several fish species (Species names are shown in "Species No." of Table 1) on potential distribution models for elevation. 標高に対する各種の応答曲線 (種名は表1の番号を参照).

謝 辞

本研究に使用した九州淡水魚類相データベースは、2005年以降に九州大学アクアフィールド科学研究室に在籍した学生の野外調査記録を集積・整理したものである。その基礎となるデータ収集に関わった全ての学生に感謝の意を表したい。

摘 要

災害発生時、被災河川の復旧や整備を検討するためには、河川生態系の目標設定が必要である。平成29年九州北部豪雨被災河川の目標設定のための参考資料を提示することを目的として、筑後川流域内の淡水魚類相データおよび3次メッシュスケールでのGISデータを使って、同流域内での各種の分布モデルを構築し、被災地周辺のGISデータをモデルに外挿することで、対象河川の潜在的な魚類相を推定した。

34種を対象にモデルを構築したところ、コイとナマズを除く32種で高い精度を伴うモデルが構築できた。23種は標高を、13種は地形の傾斜度を説明変数として

選択した。また、3次メッシュ内の水田面積や総河川長なども説明変数として多くの種が選択した。

構築したモデルを使って、被災地である朝倉市、東峰村を流れる河川について、各種の出現の可能性を見積もったところ、河川性魚類ではカワムツ、タカハヤ、ムギツクの、氾濫原性ではドンコの潜在的生息河川数が多かった。絶滅危惧種では、河川性のスナヤツメ、ニホンウナギ、ヤマトシマドジョウ、アカザ、オヤニラミが15河川以上で、氾濫原性では数種のタナゴ類、アリアケスジシマドジョウ、ミナミメダカが10河川前後で、高い生息の可能性を示した。

生息の可能性が高いと推定された種を各河川の潜在的魚類相構成種と仮定したとき、5河川程度は河川性、氾濫原性を問わず、大半の魚種が生息可能な河川であると推定された。種数の多さは、標高30m未満の区間を持ち、希少タナゴ類を含めた氾濫原性魚種が生息可能な河川であることに起因している。このような河川では直接被災した上流部だけでなく、下流部、そして、周囲の氾濫原水域にも配慮した整備が必要であると言える。

河川性魚類に着目した場合、標高に対する応答曲線が右下がり、凸型、右上がりとならぶと魚種ごとに様々であった。

このことは、上流から下流まで、様々な種が生息し、流程に応じて魚類相が変化することを示している。それゆえ、河川性魚種の潜在的な種数が多い河川では、流程に応じて保全・再生対象となる魚種が変わることを考慮して、その復旧と整備を行う必要があると言える。

引用文献

- Akobeng A.K. (2007) Understanding diagnostic tests 3: Receiver operating characteristic curves. *Acta Paediatrica* **96**: 644-647.
- Allan J.D. & Castillo M.M. (2007) *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. Second Edition. Springer.
- Fang L., Chen I., Tew K., Han C., Lee T. & Chen I. (2002) Impact of the 1999 earthquake on mountain stream fishes in Taiwan. *Fisheries Science* **68**: 446-454.
- 平成 29 年 7 月九州北部豪雨調査団 (2017) 平成 29 年 7 月九州北部豪雨調査団緊急提言 (https://www.ecesj.com/contents/guidance/report/2019_kyusyu_Disaster_FirstReport.pdf, 平成 28 年 10 月 25 日閲覧).
- 伊永 勉・宮野道雄 (2017) 平成 29 年 (2017 年) 7 月九州北部豪雨災害と対策の現状. *都市防災研究論文集* **4**: 33-39.
- 環境省 (2015) 日本の絶滅の恐れのある野生生物. 4 汽水・淡水魚類. ぎょうせい, 東京.
- Kano Y., Kawaguchi Y., Yamashita T. & Shimatani Y. (2010) Distribution of the oriental weatherloach, *Misgurnus anguillicaudatus*, in paddy fields and its implications for conservation in Sado Island, Japan. *Ichthyological Research* **57**(1): 180-188.
- 気象庁 (2017a) 平成 29 年 7 月九州北部豪雨について (http://www.jma.go.jp/jma/press/1707/19a/20170719_sankou.pdf, 平成 29 年 3 月 9 日閲覧).
- 気象庁 (2017b) 平成 29 年 7 月 5 日から 6 日に九州北部地方で発生した豪雨の命名について (http://www.jma.go.jp/jma/press/1707/19a/20170719_goumeimei.pdf, 平成 29 年 3 月 9 日閲覧).
- Koyama A., Inui R., Iyooka H., Akamatsu Y. & Onikura N. (2016) Habitat suitability of eight threatened gobies inhabiting tidal flats in temperate estuaries: model development in the estuary of the Kuma River in Kyushu Island, Japan. *Ichthyological Research* **63**(2): 307-314.
- 三田村宗樹・梅田隆之介 (2017) 平成 29 年 7 月九州北部豪雨の土砂災害調査報告. *都市防災研究論文集* **4**: 25-32.
- 中坊徹次 (2013) 日本産魚類検索 全種の同定. 第三版. 東海大学出版会.
- 中島 淳・島谷幸宏・巖島 怜・鬼倉徳雄 (2010) 魚類の生物学的指数を用いた河川環境の健全度評価法. *河川技術論文集* **16**: 449-454.
- 鬼倉徳雄 (2015) 有明海北部沿岸域のクリーク網：希少な淡水魚類が多く残される理由. *低平地研究* **24**: 15-18.
- Onikura N. (2015) Site selection for habitat conservation /restoration of threatened freshwater fishes in artificial channels of northern Kyushu Island, Japan. *Ichthyological Research* **62**(2): 197-206.
- 鬼倉徳雄 (2018a) 筑後川水系内の淡水魚類の潜在分布モデルの構築と災害地域内の魚類相の推定. 「平成 29 年 7 月九州北部豪雨調査団報告書」(応用生態工学会編), pp. 91-95.
- 鬼倉徳雄 (2018b) 多自然川づくりとモニタリングについて. 「平成 29 年 7 月九州北部豪雨調査団報告書」(応用生態工学会編), pp. 96-99.
- 鬼倉徳雄・井原高志・乾 隆帝 (2013) ダム湖における淡水魚類の分布予測：嘉瀬川ダムの外来魚定着・在来魚絶滅リスク評価. *生物地理学会会報* **68**: 11-21.
- 鬼倉徳雄・乾 隆帝 (2011) 河川生態系保全のための淡水魚類の分布予測の試み. *環境管理* **40**: 20-28.
- Onikura N., Miyake T., Nakajima J., Fukuda S., Kawamoto T. & Kawamura K. (2013) Predicting potential hybridization between native and non-native *Rhodeus ocellatus* subspecies: The implications for conservation of a pure native population in northern Kyushu, Japan. *Aquatic Invasions* **8**(2): 219-229.
- Onikura N., Nakajima J., Miyake T., Kawamura K. & Fukuda S. (2012) Predicting the distribution of seven bitterling species inhabiting northern Kyushu Island, Japan. *Ichthyological Research* **59**(2): 124-133.
- Sato S., Kawaguchi Y., Yamanaka H., Okumura T., Nakajima J., Mitani Y., Shimatani Y., Mukai T. & Onikura N. (2010) Predicting the spatial distribution of the invasive piscivorous chub (*Opsariichthys uncirostris uncirostris*) in the irrigation ditches of Kyushu, Japan: a tool for the risk management of biological invasions. *Biological Invasions* **12**(11): 3677-3686.
- 遠山貴之・鬼倉徳雄・光益慎也・齋藤康宏 (2019) 一級水系流域における魚類分布予測モデルの構築と多自然川づくり支援システムの開発. *河川技術論文集* **25**: 印刷中.