

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02250

研究課題名（和文）河川汽水域の環境構造とその支配要因に着目した潜在自然河相の解明

研究課題名（英文）Elucidation of potential natural habitat structures of river estuaries based on the relationship between geomorphologies and controlling factors

研究代表者

巖島 怜（Itsukushima, Rei）

東京工業大学・環境・社会理工学院・助教

研究者番号：30737656

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、河川汽水域の生息場構造と複数のスケールの環境要因との関係を解明し、環境再生の際に目標となる潜在自然河相を明らかにすることを目的に実施した。東日本に位置する93河川の河川汽水域の生息場構造の分類の結果、砂漕や平瀬が卓越する太平洋側の河川、日本海側に位置する礫漕および早瀬が卓越する河川、砂漕およびとろが卓越する河川の3群に分類された。決定木解析の結果、流域およびセグメントスケールの要因が分類に影響を及ぼす要因であることが明らかとなった。また、礫漕はダム集水域の割合が小さい河川で多くみられる傾向にあり、ダムによる礫の供給量の変化が河川汽水域の環境構造に影響を及ぼしている可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果に基づき、「環境構造が多様な保全すべき汽水域」や「環境再生の目標となる環境構造」を設定することができる。また、人為改変と環境構造の関係を明らかにすることで、汽水域の再生を行う際に「どの人為影響を改善すべきか」が明瞭となり、再生に向けた実効性の高いシナリオを策定できる。更に、継続して人為影響を受ける汽水域の環境構造改変を予測することが可能となるなど、河川汽水域の再生、保全に大きく貢献する。また、研究対象とする中小河川は、立地条件が多様であるのに対し、河道特性を整理した事例が少なく、研究成果は河川管理の基礎的情報として活用可能である。

研究成果の概要（英文）：This study was conducted to elucidate the relationship between river estuarine habitat structure and environmental factors at multiple scales, and to identify potential natural geomorphology that can be goal of environmental restoration. The classification of river estuarine habitat structure of 93 rivers located in eastern Japan resulted in three groups: rivers on the Pacific Ocean side dominated by sand bed and run, rivers on the Sea of Japan side dominated by gravel bed and rapid, and rivers dominated by sand bed and glide. Decision tree analysis revealed that watershed and segmental scale factors were influential factors in the classification. Gravel bed tended to be more prevalent in rivers with smaller dam catchments, suggesting that changes in the supply of gravel due to dams may affect the environmental structure of river estuaries.

研究分野：河川工学

キーワード：河川汽水域 生息場構造 河川地形 環境要因 人為的インパクト 環境再生

1. 研究開始当初の背景

河川汽水域は陸水と海水の影響を受け、更に、上流域の人為的改変による影響を集積するため、複雑な環境となっている。河川汽水域の自然再生のためには、大規模なインパクトが無かった状態の環境構造（潜在自然河相；辻本 1998）を明らかにする必要がある。これまで、生物相を用いて河川汽水域の環境目標を設定した事例はみられるが（例えば、Borja et al. 2008）、環境構造を対象に環境評価や再生目標を示した事例は国内では無い。河川汽水域の自然修復、環境保全のためには、対象とする河川における潜在的なハビタットを予測することが重要である。そのためには、河道特性とその内的構造に関する関係の把握が必要となる。国内外では、大河川の中流域を中心に、河川の形態や構造から河道の特徴を分類した研究が多く行われている。蛇行形態により河川を分類した Melton (1936) の研究や、河道の平面形状（蛇行、anabranching、網状）の程度で河道を分類した Leopold and Wolman (1957) および Schumm (1985) の研究が挙げられる。また、国内では、蛇行形状と砂州形態及びプール（淵）の関係を整理した研究（木下 1961；深見 1978）、平均年最大流量時の川幅水深比と砂州形態に関する研究（山本 1989）、河床勾配と島・分岐水路の発生条件を調べた事例（山本 2010）がある。

しかし、河川汽水域では、河道特性を規定する要因が河川だけではなく、波浪、潮汐の影響を考慮する必要があり、現象が複雑であることから、河道特性と生じるハビタットの関係について体系的に整理された事例はみられない。河川汽水域の保全や修復のためには、環境構造を規定する多様な空間スケールの自然要因や人為改変の影響を明らかにし、リファレンスとなる潜在的な環境構造を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究の主要な目的は以下の通りである。

- (1) 中小河川の汽水域の環境構造を広域的に調査し、環境構造の形成に寄与する自然要因を、複数スケール（大規模及び中規模）を対象に明らかにする。
- (2) 河川汽水域の環境構造と関係の強い自然要因を用いて河川汽水域を類型化し、人為改変によってどのように環境構造が劣化するかを解明する。

3. 研究の方法

3. 1. 現地観測

東日本に位置する 93 の河川汽水域（図-1）を対象に、UAV による地形測量、生息場の構造的特徴の計測、河床材料の粒度分布の測定を行った。地形測量のための空撮には、リアルタイムキネマティック-グローバルナビゲーションサテライトシステム (RTK-GNSS) が搭載された小型 UAV (Phantom 4 RTK, DJI 社) を用いた。撮影した画像を SfM 解析（解析には Pix4D を使用）することで、オルソモザイク画像と DSM を取得した。また、生息場の構造的特徴の把握に際し、対象河川の汽水域にみられる水域の生息場を、早瀬、平瀬、とろ、淵および淀みの 5 種に目視によって大別し、生息場毎に 3 測線×5 点の合計 15 点で、流速 (VR-401 KENEK 社)、水深および河床材料を計測した。また、陸域の生息場は、現地採取した河床材料の粒度分布から、中央粒径が $63 \mu\text{m}$ 以上 2mm 以下の場を砂渦、 2mm 以上を礫渦と判別した。また、植生が繁茂した陸域の生息場を植生域とした。本調査では、中央粒径が $63 \mu\text{m}$ 未満の陸域の生息場は確認されなかった。水域、陸域ともに、生息場の面積を取得したオルソモザイク画像から計測した。

3. 2. 統計解析

河川汽水域の生息場構造に影響を及ぼす環境要因に関する指標の算出を行った。河川汽水域の生息場構造は、海域の影響を強く受けるため、波浪による影響を示す指標として、①開放度、②吹送距離、潮汐の影響を示す指標として③潮位差を算出した。また、河川のエネルギーを示す指標として④Stream Power を算出した。次に、地形要因を示す指標として、⑤流域の平均標高、⑥流域平均起伏比、⑦流域平均傾斜を算出した。人為的影響に関する指標として、⑧都市率、⑨農地率、⑩森林率、⑪人口密度、⑫流域に占めるダム集水域の割合、⑬ダムを除く横断工作物（砂防堰堤、取水堰）の密度を整理した。また、河道特性として、河川汽水域における⑭河床勾配、⑮川幅水深比、⑯蛇行度を算出した。これらの環境要因間の一部には強い相関関係 ($|r| > 0.7$) が確認されたため、①開放度、⑤流域の平均標高、⑧都市率および⑩森林率を除外して統計解析を実施した。

対象とした河川汽水域の生息場構造に影響を及ぼす要因を解明するため、種々の統計解析を行った。まず、生息場構造の類似度から対象地点を分類するため、各河川汽水域の水域および陸域の生息場構造、河道面積に占める水面面積の割合を対象とした、非階層的クラスタリング (k-mean 法) を行った。クラスタの最適分割数は、NbClust Package (Charrad et al., 2014) を利用し決定した。次に、生息場構造の分類に影響を及ぼす環境要因を解明するため、生息場構造による分類結果を目的変数、環境要因を説明変数とした決定木分析を行った。解析結果の説明基準としてジニ係数を採用し、交差確認法: Cross-validation (De' ath and Fabricius, 2000)

を用いて最適な分岐数を算出した。次に、生息場構造と環境要因の関係を調べるため 93 河川の生息場構造を目的変数、環境要因を説明変数とする正準対応分析 (Canonical Correspondence Analysis: CCA) を行った。さらに、Monte Carlo permutation test によって CCA 軸に有意な効果 ($p < 0.05$) を持つ環境要因を選択した。また、群間の生息場構造および環境要因の多重比較を行った。Bartlett 検定により等分散である物理要因については、一元配置分散分析を行い、有意差が認められた場合、Tukey の HSD による事後比較を行った。不等分散である場合は、Kruskal-Wallis 検定を行い、有意差が認められた場合、Steel-Dwass 検定を行った。最後に、生息場構造を目的変数、環境要因を説明変数とした GLM (一般化線形モデル) を実施し、生息場構造の出現に影響を及ぼす環境要因を特定した。

上記の統計解析には R (Ver. 4.3.0) を用いた。

4. 研究成果

対象とした 93 の河川汽水域の生息場構造の分類を目的とした階層的クラスタリングの結果、シルエット法による最適分割数は 3 と推定された。群 A および B は東日本に広域的に分するのに対し、群 C は伊豆半島、房総半島および茨城・福島県の沿岸の太平洋側に位置していた (図-1、2)。各群の生息場構造の多重比較を行った結果、礫淵、砂淵、早瀬、平瀬およびとろの 5 種の生息構造で群間に有意な差が確認された (図-3(a)-(e))。群 A は砂淵および平瀬が卓越する環境、群 B は礫淵および早瀬が卓越する環境、群 C は砂淵、トロが卓越する環境である。

生息場構造の分類結果を目的変数、環境要因を説明変数とした決定木分析の結果、最適分岐数は 4、全体の誤分類率は 40.9%であった (図-4)。分岐 1 で平均傾斜角が 14.98° 未満の場合群 C と予測された。平均傾斜角が 14.98° 以上で、河川汽水域の河床勾配が 0.01874 より大きい場合は群 B と予測された。一方で、群 A はいずれの分岐先にも含まれており、本決定木での予測精度は低い結果となった。また、決定木解析の分岐で使用された環境要因の多重比較を行った結果、⑦流域平均傾斜および⑭河川汽水域の河床勾配は、群 B が他の群と比較して高く、群 C が最も低かった (図-5(a)、(b))。一方、⑪人口密度は、群 B および C 間に有意な差がみられた (図-5(c))。

Monte Carlo Permutation test の結果、生息場構造に影響を及ぼす環境要因として、②吹送距離、③潮位差、⑥流域平均起伏比、⑦流域平均傾斜、⑫流域に占めるダム集水域の割合、⑭河川汽水域の河床勾配が選定された ($p < 0.05$)。生息場構造を目的変数、環境要因を説明変数とした、正準相関分析の結果、礫淵や早瀬は⑥流域平均起伏比、⑦流域平均傾斜および⑭河床勾配が大きく、③潮位や⑫流域に占めるダム集水域の割合が小さい領域に配置され、砂淵は②吹送距離が大きく、⑥流域平均起伏比、⑦流域平均傾斜および⑭河床勾配が小さい領域に配置された。また、淀みは②吹送距離が大きい距離に配置された (図-6)。

生息場構造による河川汽水域の分類の結果、砂淵や平瀬が卓越する房総半島および茨城・福島県の沿岸の太平洋側の河川 (群 A)、日本海側に位置する河川のうち、礫淵および早瀬が卓越する河川 (群 B)、砂淵、トロが卓越する河川 (群 C) に分類された。また、決定木解析の結果、流域の平均傾斜や河床勾配が生息場構造による分類に影響を及ぼす要因であり、多くの河川で地形的要因によって、生息場構造が決定していることが明らかとなった。また、正準相関分析の結果では、人為的影響として、⑫流域に占めるダム集水域の割合が生息場構造に影響を及ぼす要因として選択され、礫淵はダム集水域の割合が小さい河川で多くみられる傾向にあり、ダムによる礫の供給量の変化が河川汽水域の環境構造に影響を及ぼしている可能性が示唆された。また、②吹送距離が大きい河川では、淀みが発達する傾向が確認された。淀みがみられる河川では、高い波浪のエネルギーによって砂州が形成しやすく、その背後に止水域が発達するためと考えられる。

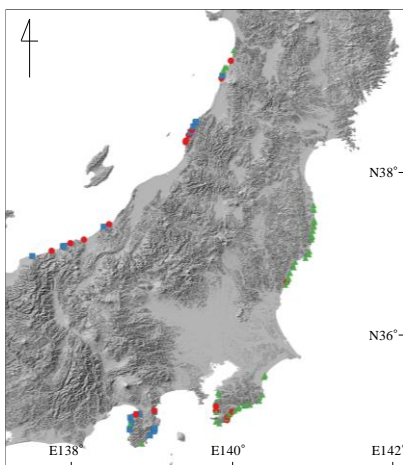


図-1 対象地点位置図

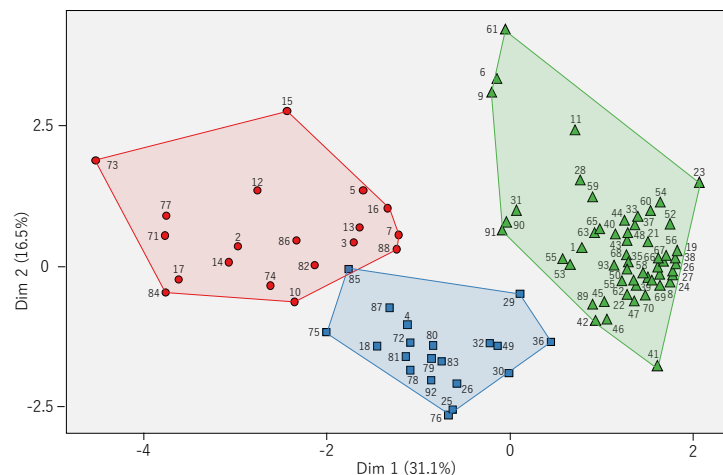


図-2 クラスタ分析による生息場構造の類型化

図-3 各群の生息場構造の Boxplot

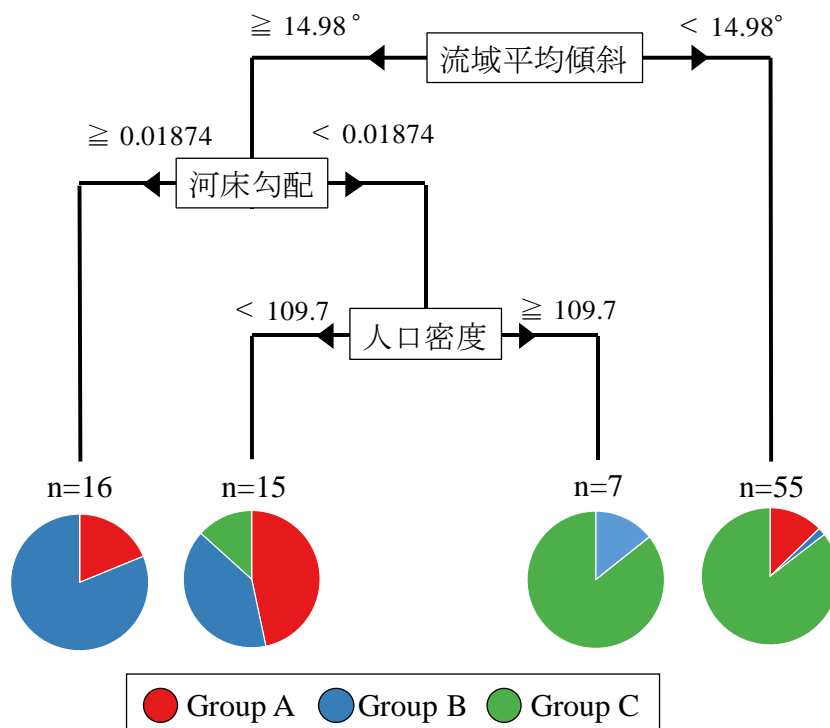
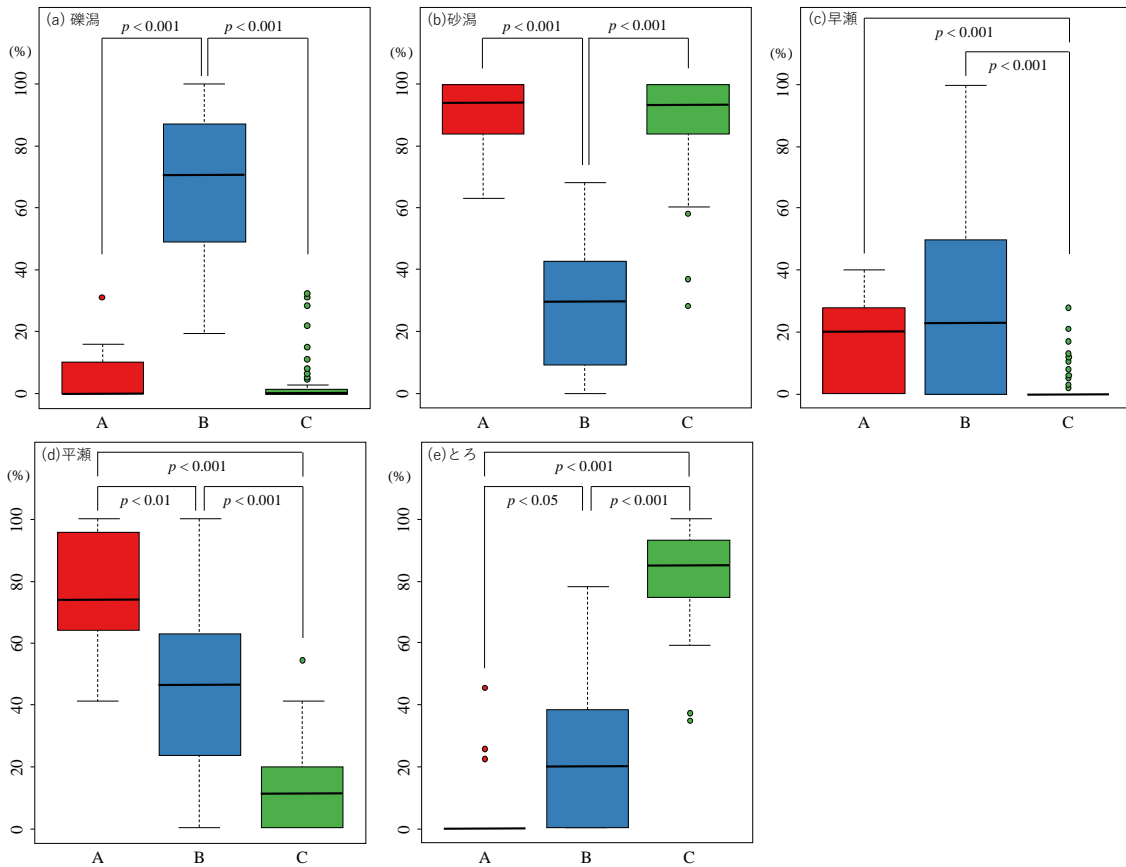


図-4 生息場構造の分類結果を目的変数、環境要因を説明変数とした決定木分析結果

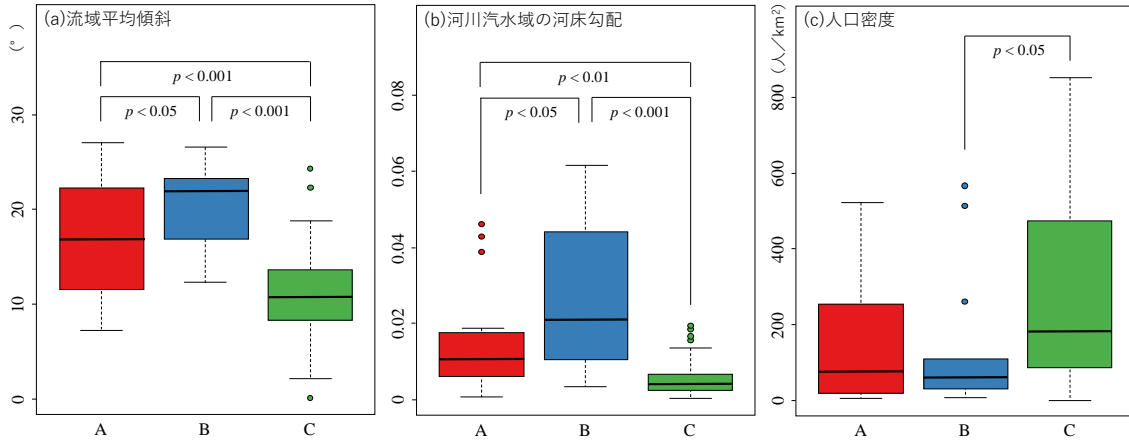


図-5 決定木分析の分岐として選定された環境要因の多重比較のBoxplot

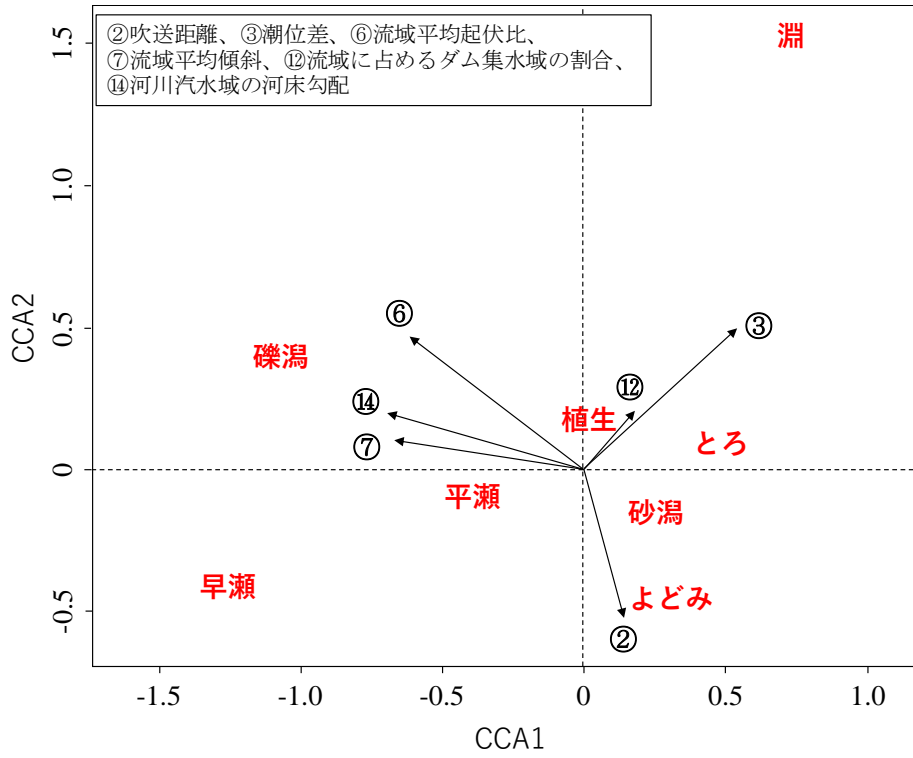


図-6 生息場構造と環境要因の正準相関分析の結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Itsukushima Rei	4. 巻 23
2. 論文標題 Characteristics of streambed morphology at reach and unit scales in a sandstone-dominated headstream area of the Kanto Range	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Limnology	6. 最初と最後の頁 309 ~ 325
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10201-021-00690-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Itsukushima Rei	4. 巻 208
2. 論文標題 Structural characteristics of pools in headstream areas	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 CATENA	6. 最初と最後の頁 105760 ~ 105760
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.catena.2021.105760	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Itsukushima Rei, Kano Yuichi	4. 巻 9
2. 論文標題 Database of summer fish fauna sampled in river estuaries in the southern part of the Boso Peninsula, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biodiversity Data Journal	6. 最初と最後の頁 e67168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3897/BDJ.9.e67168	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Itsukushima Rei	4. 巻 204
2. 論文標題 Influence of stream channel characteristics on bed morphology and step-pool structure in a rhyolitic headstream watershed	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CATENA	6. 最初と最後の頁 105427 ~ 105427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.catena.2021.105427	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Itsukushima Rei	4. 巻 13
2. 論文標題 Characteristics and Controlling Factors of the Drought Runoff Coefficient	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 1259 ~ 1259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w13091259	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Itsukushima Rei, Ohtsuki Kazuaki	4. 巻 80
2. 論文標題 A century of stream burial due to urbanization in the Tokyo Metropolitan Area	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12665-021-09524-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Itsukushima Rei	4. 巻 87
2. 論文標題 Relationship between watershed scale macroinvertebrate community and environmental factors in the Japanese archipelago	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Limnologica	6. 最初と最後の頁 125844 ~ 125844
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.limno.2020.125844	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Itsukushima Rei, Maruoka Keisuke	4. 巻 10
2. 論文標題 Database of fish fauna in a highly urbanised river (Tsurumi River Basin, Kanagawa, Japan)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biodiversity Data Journal	6. 最初と最後の頁 e83527
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3897/BDJ.10.e83527	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Itsukushima Rei	4. 巻 208
2. 論文標題 Structural characteristics of pools in headstream areas	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 CATENA	6. 最初と最後の頁 105760 ~ 105760
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.catena.2021.105760	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Itsukushima Rei, Kano Yuichi	4. 巻 45
2. 論文標題 Effects of Ocean Currents and Watershed Factors on the Fish Fauna of River Estuaries of a Peninsular Bordering Biogeographic Zone	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Estuaries and Coasts	6. 最初と最後の頁 2283 ~ 2290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12237-022-01097-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Itsukushima Rei	4. 巻 In press
2. 論文標題 Historical development and the present status of Japanese dams	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 River Research and Applications	6. 最初と最後の頁 In press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 巖島 怜
2. 発表標題 水工学的視点からみた河川汽水域の環境構造と生物相
3. 学会等名 応用生態工学会若手のつどい勉強会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------