

令和元年6月3日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02456

研究課題名(和文) 干潟生態系のかく乱と生物遷移：干潟の物理場・生物の時空間シミュレーション解析

研究課題名(英文) Study on the relationships between natural disturbance and ecological succession on tidal flat

研究代表者

鬼倉 徳雄 (Onikura, Norio)

九州大学・農学研究院・准教授

研究者番号：50403936

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,000,000円

研究成果の概要(和文)：球磨川河口域、耳川河口域、津屋崎干潟で、ハゼ類、カニ類、二枚貝類、巻貝類を対象に調査を行った。3地域の生物群集は明確に異なっており、また、群集構造の季節的変化も確認できた。球磨川で行った長期の調査からは、干潟生態系はかく乱に応じて生物遷移を見せることを突き止めた。具体的には、ベントス類の大半は底質への選好性を示し、その変化に応じて群集が変化すること、調査期間中に2回の大きなかく乱があったこと、そして、かく乱発生直後に分布を広げるパイオニア種が存在することが明らかとなった。耳川では、数種のベントス類の生息適地モデルを構築し、仮想出水に対しての生息適地のシミュレーション解析を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で解明された土砂供給による干潟生態系のかく乱と生物遷移は、干潟の生物多様性保全や漁業資源管理に必要な不可欠となる新しい知見を提示している。また、流域の総合土砂管理の必要性、特に、流域で発生した土砂を河口域に到達させる必要性を明示する成果でもある。また、仮想の出水に対する河床変動計算結果を生物分布モデルに当てはめ、生息適地をシミュレートした今回の手法は、今後の河口域における河川管理や生態系・漁場管理に応用可能な技術である。

研究成果の概要(英文)：The field surveys on macro-benthos such as gobies, crabs, bivalves and univalve shells were conducted at tidal flats around estuaries of the Kuma and Mimi rivers and the Tsuyazaki Bay. The community structure in the three areas were distinctly different, and seasonal changes were also confirmed. The long-term surveys conducted in the Kuma River indicated that ecosystems on tidal flat have ecological succession starting from disturbances. In particular, most of benthic species have suitable size for sediment, resulting that the change of sediment condition affects community structure of macro-benthos. We confirmed that two major disturbances occurred in the estuary of the Kuma River during our survey period, and the disturbances helped to expand the distribution of two pioneer species such as the jackknife clam. In the Mimi River, we constructed a habitat model of several benthic species and carried out simulation analysis of the suitable habitat for virtual flood.

研究分野：水産学

キーワード：干潟 かく乱 生物遷移 パイオニア種

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 日本の干潟生態系は今後健全に保全できるのか？そのために必要な知見とは何か？今日までに国内の約40%の干潟が干拓等により失われ、その影響で内湾・干潟を主たる生息場とする多くの生物が絶滅の危機に瀕している。そして、河口干潟の水産有用資源であるアサリやハマグリ等の資源量も激減している。残された干潟を確実に保全し、失われた干潟を再生することが、日本の生物多様性保全上、また、水産資源保全上、極めて重要である。近年、干潟の重要性が認識され、幾つかの場所で干潟造成事業・漁場造成事業等が実施され始めた。しかし、アサリ、ハマグリ等の漁場造成事業を例にとれば、造成土砂が流出するなどの課題が見え始め、漁獲量・生物多様性向上に十分に寄与できていないケースも認められる。これらは、ある特定の場所に、ある特定の生物種に適した物理場を強制的に整備しても、十分な改善は望めないことを示す事例といえる。申請者は約10年間、九州の幾つかの河川河口域で調査を行っている。それらの結果・経験に基づいて干潟の絶滅危惧種の出現パターンから類推したとき、現在実施されている再生・造成事業では干潟の生物多様性・生態系保全は難しく、土砂を河口域に流すこと、すなわち、河川の流砂系の改善が必須であると確信している。それを提示するためにも河川から干潟への土砂供給と生物との関連性を早急に解明する必要がある。

(2) 申請者らは、「干潟の物理場の維持メカニズム」、「物理場と生物分布の関係」について、熊本県球磨川の荒瀬ダム撤去に伴う流砂系の変化に着目して、ダム撤去前からの4年間、同河川の河口域の干潟で調査を実施してきた。その調査を通して、干潟の物理場の維持機構には河川域からの供給土砂が大きく寄与すること、ダム撤去後の干潟の底質の変化に伴ってハマグリ稚貝の生息域が大幅に拡大したことを突き止めた。また、干潟内の細部の変化に注目したとき、出水直後に粗い砂が干潟上を覆い、その後の時間経過に伴って泥分が混合されること、そして、その底質変化の過程で生物相が変化・安定することが明らかとなりつつある。これらを総合した時、河口干潟の生物相、生物群集は出水で河川から供給される土砂の覆砂によるかく乱を受け、その後の物理場の時空間的变化に伴って遷移するといった仮説を設定できる。

(3) 今後、明確にすべき課題は、干潟生物の「遷移段階の整理・一般化」である。遷移の初期段階から極相に至るまでの生物相、生物群集遷移のプロセスを明確にし、それを整理・一般化する必要がある。2つ目の課題は、各生物の遷移段階と物理場との関連性の解明である。場の管理を想定したとき、生物遷移の各段階における物理場を数値化しておく必要がある。そして、これらを統合することで、河口干潟における水産有用資源を含む代表的な生物が、どのような生物遷移段階と物理条件下に広域分布するか、とまり、干潟生態系の維持・再生のために最も適切な条件を提示可能となるだろう。そして、生物の空間分布モデルを構築し、幾つかの出水パターンで物理場の時空間的变化をシミュレーションすることで、最も適切な土砂管理手法を提示することが可能となるだろう。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、干潟の生物相、生物群集の遷移と出水時の土砂供給に伴うかく乱との関連性を解明することにある。ダム撤去、排砂事業で土砂供給量が確実に上昇し、大きなかく乱を見込める熊本県球磨川で、「物理場」と「生物分布」の「時空間的变化」を追跡する。そして、両者の関連性を解析する。また、小規模流入河川しかないため、かく乱が皆無に近く、遷移の極相に近い津屋崎干潟を対象に、干潟の真の極相時に見られる生物相を明らかにする。そして、将来的なダム通砂実施に向けて、現在ダム改良工事が行われている耳川の河口域において、モデルケースとして、かく乱のシミュレーション解析を実施する。これらを統合し、健全な干潟生態系の維持・再生のための土砂管理の在り方を提言する。

### 3. 研究の方法

(1) 多くの河川にはダム等の横断構造物が設置されており、土砂供給が制限されている。そこで、本研究ではダム撤去・ダム通砂事業が進行中で、将来、出水時の土砂供給が大幅に増加する球磨川河口域を調査地とした。球磨川水系は、河口から30kmの範囲内に2基の発電ダムを持っていて、そのうち下流側の荒瀬ダムは平成29年度にダム堤体撤去が完了した。また、上流側の瀬戸石ダムでは、出水時のゲート調整で摩擦速度を上昇させてダムに堆積した土砂を下流に排砂する事業が、試験的に実施されている。研究期間中に干潟への土砂流出という大きなかく乱が見込まれたため、2010年以降、干潟のマクロベントス類をターゲットに長期モニタリング(約150地点)を実施してきた。本河川では、干潟の生物遷移を解明するために、「物理場のかく乱の質・頻度」や「生物分布」を長期的に追跡した。

(2) 自然かく乱、ダムに関連した人為的かく乱の発生が想定される球磨川での調査において、最も想定される懸念材料は、研究期間中に申請者らが想定する生物遷移の極相状態に達しない可能性であった。それ故に、遷移の真の極相を把握するために、極めて小規模な河川しか流入しておらず、出水による土砂供給がほとんどない、安定的な津屋崎干潟も調査対象とし、安定的な干潟における生物相の把握を試みた。

(3) 耳川水系は数基の発電ダムを持つが、河口から約 50km 範囲内の全 4 基のダムに対して年 1 回確率規模の出水での通砂を実施することが決まっている。そして、そのためのダム堤体等の改良事業が実施中である。つまり、この河川では、数年後にダムに蓄えられた土砂が河口域に達することが想定された。そのため、かく乱のシミュレーション解析のモデルケースとして、生物分布モデルの構築と仮想出水時の物理場の計算値に基づいたシミュレーション解析を実施した。

#### 4. 研究成果

(1) 対象河川の生物相 球磨川河口域で行った 2013 年からの 11 回、津屋崎干潟で行った 1 回、耳川河口域で行った 3 回の調査結果の生物相データ（定住性の高いマクロベントス類として、ハゼ類、カニ類、巻貝類、二枚貝類に限定）を使ってクラスター分析を行ったところ（図 1）耳川河口域は他の 2 地域に比べて明確に生物相が異なった。耳川河口域は河床材料が粗く、砂泥の堆積域が少ないため、干潟に棲穴を掘るような生活形態をとるベントス類が少ないことに起因すると考えられる。また、津屋崎干潟と球磨川河口域もやや異なっていた。これは、研究当初の想定どおりで、安定的な極相状態を維持する干潟とダム撤去・通砂に起因する人為的かく乱および自然かく乱を受ける干潟の相違と考えられる。そして、球磨川河口域では、概ね春季と秋季で生物群集構造が異なった。この結果は、干潟の生物群集に季節的な動態があることを示している。

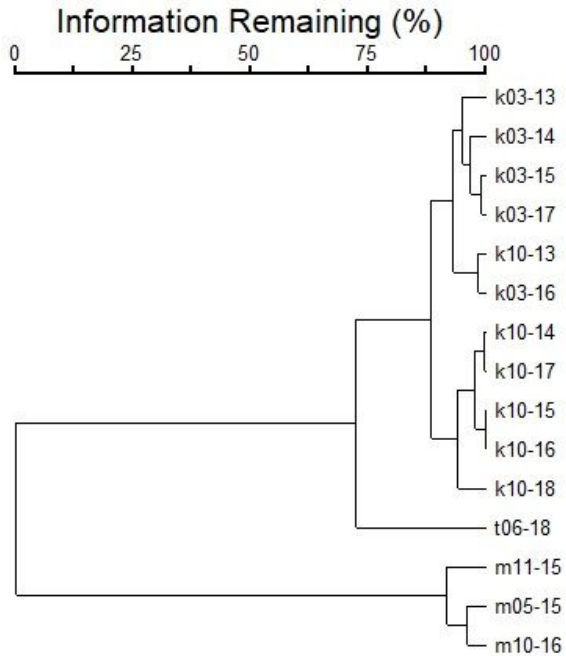


図 1 球磨川(k)、耳川(m)河口域および津屋崎干潟(t)におけるマクロベントス類の群集構造の類似性。略号は、場所月・年。

(2) 球磨川河口域における人為的自然的かく乱と生物遷移 球磨川河口域における研究期間中の大きなかく乱は（図 2）荒瀬ダム堤体に設置された排砂ゲートの運用開始であり、その後の最初の調査時（2013 年 10 月）には干潟に細かい砂が到達していた。その後、大きな出水もなく、河川からの土砂供給が少なかったため、干潟の底質は徐々に泥質化した。2016 年 7 月にやや大きい出水があったものの、干潟に達した土砂はさほど多くなかった。その後も泥質化が進んだが、2018 年にここ数年間での最大出水が発生すると同時に、瀬戸石ダムの排砂試験も実施されたため、砂分が干潟に到達した。このことから、球磨川河口域において底質に大きな変化を与えたかく乱は、2013 年 6 月および 2018 年 7 月の 2 回と判断された。

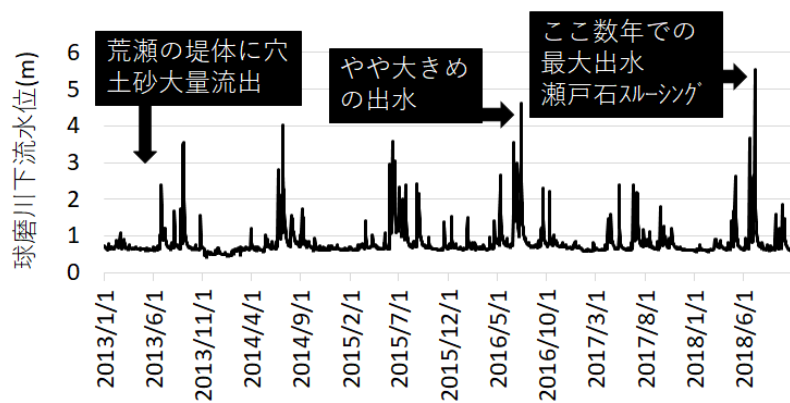


図 2 球磨川河口域における人為的自然的かく乱

球磨川河口域のマクロベントス類は、干潟の底質にその分布を左右された。代表的な例として、泥質を好む種、砂質を好む種、砂分と泥分の適度な混合比を好む種の応答曲線を図 3 に示した。2012 年から 2015 年までのデータで砂分含有率を説明変数、各種の在・不在を目的変数として二項ロジスティック分析を行ったところ、37 種で精度の高いモデルが構築され、そのうち 35 種は底質に選好性があることが確認できた。かく乱による土砂供給は干潟の底質を変化させるため、マクロベントス類の群集構造に影響する可能性が高いと判断できる。

二枚貝類に着目し、出現年度が少なかった数種を除いてクラスター分析を行ったところ、概ね 3 タイプに区分された。その後、季節性と先に述べた 2 つのかく乱からの時間経過を説明軸として DCA を行ったところ、選択された軸はかく乱からの時間経過のみであった。興味深いのは、クラスター分析におけるタイプ C がそのかく乱の軸と方向から離れた位置に配置された点であり、タイプ C に区分されたマテガイを含む 2 種は干潟の生物遷移におけるパイオニア種に当たると判断された。

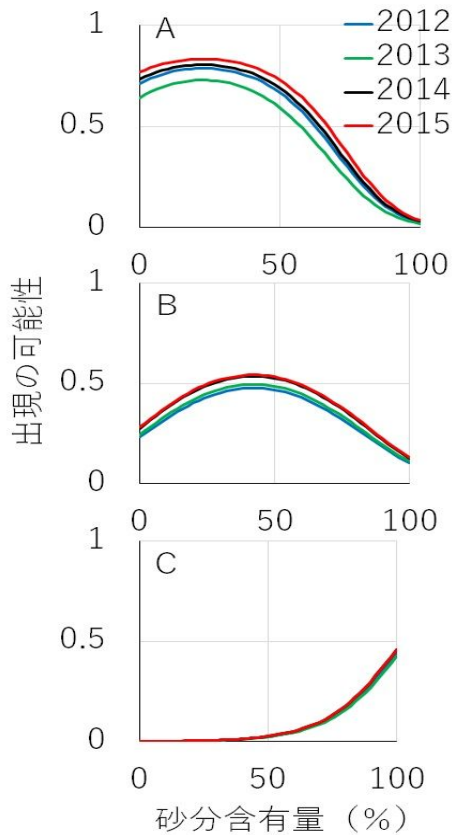


図3 タビラクチ(A)、ヒメアシハラガニ(B)、ソトオリガイ(C)の砂分に対する応答曲線

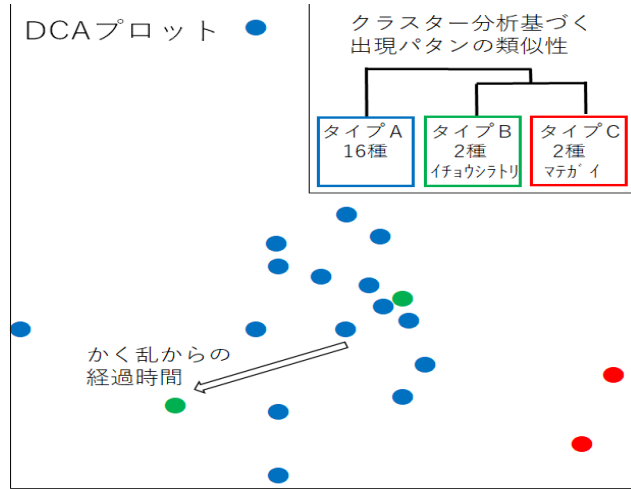


図4 二枚貝類のデータを使った類似性解析とDCAプロット

### (3) 耳川河口域における指標生物の生息域シミュレーション解析

本河川では、2015年11月、2016年5月と10月の計3回、河口域の寄り州と中州で、生物調査を行うとともに、河床材料調査と塩分計測を行い、また、別途、ドローン空撮結果と深浅測量結果を3D処理して作成したDEMデータを含めて、各種の生息適地モデルを構築した。その結果、14種でモデルが構築され、クボハゼ、ケフサイソガニ、クロベンケイガニの3種を泥分変動に対する評価種、トゲアシヒライソガニモドキ、ヒナハゼ、ヒメヒライソガニの3種を砂分変動に対する評価種とした。各種の生息適地モデルは、以下のような数式で示された。

$$\text{クボハゼ} : p = 1 / \{1 + \text{EXP}[-(-11.3 + 46.8M + 8.08H - 1.66H^2)]\}$$

$$\text{ケフサイソガニ} : p = 1 / \{1 + \text{EXP}[-(-1.32 + 0.585S - 0.0296S^2 - 1.57G - 23.8M + 2.24 H - 0.434 H^2)]\}$$

$$\text{クロベンケイガニ} : p = 1 / \{1 + \text{EXP}[-(-17.8 - 0.399S + 80.8M - 457M^2 + 3.93 H)]\}$$

$$\text{トゲアシヒライソガニモドキ} : p = 1 / \{1 + \text{EXP}[-(-4.15 - 0.273S + 4.36G + 35.9M - 0.482 H)]\}$$

$$\text{ヒナハゼ} : p = 1 / \{1 + \text{EXP}[-(-87.1 + 0.342S - 4.03G + 52.6 H - 7.98 H^2)]\}$$

$$\text{ヒメヒライソガニ} : p = 1 / \{1 + \text{EXP}[-(-4.28 + 0.708S - 0.0433S^2 + 8.30G - 6.65G^2 + 26.3M + 3.25 H - 0.850 H^2)]\}$$

P: 出現の可能性、S: 塩分(psu)、M: 泥分含有率(0~1)、G: 礫分含有率(0~1)、H: モデル構築用として補正された地盤高(実際の地盤高+4)

最後に、平成26年の台風8号出水での大内原ダムへの流入量に基づいた仮想の出水をベースとして、フリーの河川シミュレーションソフト(iRIC)を使って流動変動計算を行い、限界代表粒径値と地盤高を面的に予測し、そのデータを説明変数としてトゲアシヒライソガニモドキの生息ポテンシャルを地図化した(図5)。ただし、塩分については調査地点の平均値、泥分含有量はゼロとして計算した。本種は礫分含有率に対し、正に応答するため、寄り洲の外側(水際)、流心付近での出現確率が高くなる傾向

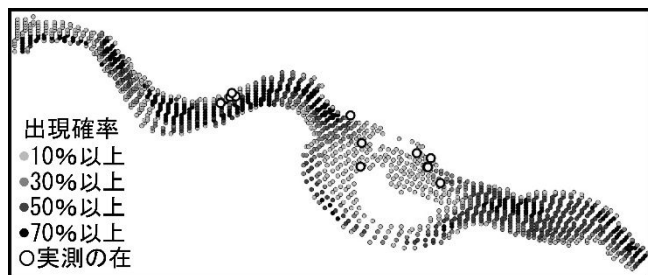


図5 耳川河口域における生物適地のシミュレーション結果、トゲアシヒライソガニモドキの事例

を示した。特に、上流側の砂州については、生息ポテンシャルの高い場所に実際の在データが分布した。下流側の中州の左岸側については低いポテンシャルのエリアに実測の在データが分布し、予測と異なる結果を示した。この理由として、ひとつは中州の上流側のコンクリート構造物が、河床変動計算上、十分に反映できなかったこと、もう一つは平成 26 年の仮想出水が中州の左岸側の現況の礫床を動かすほど、大きな出水ではなかったことが考えられる。今回は、ひとつの出水パターンで 1 種にのみ実装してみたが、今後、様々な出水規模と土砂供給ケースで、各種のモデルを実装・シミュレーションすることで、河口域での健全な生態系管理のための評価を実施することが可能であると判断できる。最後に、今回の研究で、干潟には土砂供給から始まる生物遷移があることが明確となった。総合土砂管理等を検討する上で、河口への土砂供給の仕組みづくり等も検討項目に含めていただければ幸いである。

## 5. 主な発表論文等

### [雑誌論文](計 7 件)

鬼倉徳雄、伊豫岡宏樹、小山彰彦、乾隆帝、柏井条介、耳川河口域における汽水性生物の生息適地モデル、ダム技術、査読あり、376、2018、5-10

井原高志、川上馨詞、坂田賢亮、鬼倉徳雄、耳川水系ダム通砂実施計画の策定に向けたダム通砂による魚類への影響予測、河川技術論文集、査読あり、23、2017、663-668

Akihiko Koyama, Ryutei Inui, Keitaro Umemura, Mizuki Wakabayashi, Kazuki Kanno, Norio Onikura, The first record of the spawning nest of *Gymnogobius cylindricus* and *Gymnogobius macrognathos*. Ichthyological Research, 査読あり、64、2017、261-263、DOI 10.1007/s10228-016-0548-1

Akihiko Koyama, Ryutei Inui, Kaito Sawa, Norio Onikura, Symbiotic partner specificity and dependency of two gobies (*Apocryptodon punctatus* and *Acentrogobius* sp. A) and four alpheid shrimps inhabiting the temperate estuary of southern Japan. Ichthyological Research, 査読あり、64、2017、131-138、DOI 10.1007/s10228-016-0535-6

大槻順朗、伊豫岡宏樹、二瓶泰雄、吉森佑介、中村俊介、鬼倉徳雄、荒瀬ダム撤去後の堆積土砂の流出・堆積状況、土木学会論文集 B1 (水工学)、査読あり、72、2016、I853-858

Akihiko Koyama, Ryutei Inui, Hiroki Iyooka, Yoshihisa Akamatsu, Norio Onikura, 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, 査読あり、63、2016、307-314、DOI 10.1007/s10228-015-0490-7

川崎貴志、大槻順朗、二瓶泰雄、広瀬雄太郎、吉森佑介、鼻崎拓郎、伊豫岡宏樹、鬼倉徳雄、荒瀬ダム撤去評価に向けたダム湛水域、下流河川、干潟の土砂動態の調査と解析、土木学会論文集 B1 (水工学)、71、2015、I979-984

### [学会発表](計 14 件)

平田大雅、小山彰彦、伊豫岡宏樹、久保園遥、鬼倉徳雄、皆川朋子、津屋崎干潟におけるカプトガニ幼体の生息適地の推定、応用生態工学福岡、2018 年 12 月

井原高志、川上馨詞、坂田賢亮、鬼倉徳雄、耳川水系ダム通砂実施計画の策定に向けたダム通砂による魚類への影響予測、応用生態工学福岡、2018 年 12 月

大須賀麻希、坂本健太郎、若林瑞希、鬼倉徳雄、球磨川下流の汽水域における希少魚介類の生息場特性、応用生態工学会年会、2018 年 9 月

小山彰彦、乾隆帝、鬼倉徳雄、皆川朋子、カニ類・ハゼ類を指標とした河川汽水域の保全上重要な流域の環境特性の把握、応用生態工学会年会、2018 年 9 月

小山彰彦、乾隆帝、鬼倉徳雄、荒瀬ダム撤去期間における球磨川河口干潟の生物相の変遷、日本水産学会、2018 年 3 月

鬼倉徳雄、汽水域での自然再生：九州における事例、応用生態工学会年会、2017 年 9 月

小山彰彦、乾隆帝、鬼倉徳雄、河口干潟の生物相の変遷 - 球磨川河口域における 5 年間のモニタリングを例として -、応用生態工学会年会、2017 年 9 月

小山彰彦、乾隆帝、鬼倉徳雄、河川汽水域に生息するハゼ類・カニ類にとって保全上重要な水系は異なるのか？日本ベントス学会・プランクトン学会合同大会、2016 年 9 月

小山彰彦、乾隆帝、鬼倉徳雄、汽水域に生息するカニ類の種多様性は河川の流域特性に左右されるのか？日本生態学会、2016 年 3 月

大槻順朗、伊豫岡宏樹、二瓶泰雄、吉森佑介、中村俊介、鬼倉徳雄、荒瀬ダム撤去後の堆積土砂の流出・堆積状況、水工学講演会、2016 年 3 月

松永誠弥、小山彰彦、鬼倉徳雄、伊豫岡宏樹、河口干潟の間隙水塩分・水温の安定化と生物多様性、水環境学会九州支部発表会、2016 年 2 月

鬼倉徳雄、小山彰彦、乾隆帝、伊豫岡宏樹、大槻順朗、皆川朋子、ダム撤去で干潟はどう変わるのか？日本魚類学会、2015 年 9 月

小山彰彦、乾隆帝、鬼倉徳雄、河川流域の環境特性でカニ類の分布は説明できるのか？—九州の河川汽水域のカニ類 DB を使った SDM—、日本ベントス学会・日本プランクトン学会・合同大会、2015 年 9 月



鬼倉徳雄、小山彰彦、乾隆帝、八代干潟の地盤高・底質変化および生物の応答、応用生態工学会フィールドシンポジウム、2015年6月

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)  
該当なし

取得状況(計0件)  
該当なし

〔その他〕

ホームページ等  
該当なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：皆川 朋子

ローマ字氏名：(NINAGAWA, tomoko)

所属研究機関名：熊本大学

部局名：自然科学研究科

職名：准教授

研究者番号(8桁)：10355828

研究分担者氏名：大槻 順朗

ローマ字氏名：(OOTSUKI, kazuaki)

所属研究機関名：東京理科大学

部局名：理工学部

職名：助教

研究者番号(8桁)：10618507

研究分担者氏名：伊豫岡 宏樹

ローマ字氏名：(IYOOKA, hiroki)

所属研究機関名：福岡大学

部局名：工学部

職名：助教

研究者番号(8桁)：40432869

### (2) 研究協力者

該当なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。