

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：15201

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K15896

研究課題名(和文) 多様な底生動物を支える塩性湿地の機能の解明：野外実験的アプローチ

研究課題名(英文) Functions of salt marshes maintaining diverse microbenthic invertebrates: an field experimental approach

研究代表者

川井田 俊 (Kawaida, Shun)

島根大学・学術研究院環境システム科学系・助教

研究者番号：60743581

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、耐塩性の抽水植物が生育する塩性湿地が底生動物(以下、ベントス)の生息場としてどのように機能しているかを多角的な野外実験により評価することを目的としている。研究の結果、塩性湿地には絶滅危惧種を含めた多様なベントスが生息していることがわかった。さらに、塩性湿地は巻貝類の好適な餌場として機能しているとともに、立体構造物の存在が表在性ベントスの隠れ家となることで、ベントスの高い種数や個体数が維持されていることが実証された。以上のことから、塩性湿地の隠れ家・餌場としての複合的な機能が沿岸域のベントスの多様性を維持するうえで重要であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

耐塩性の抽水植物が生育する塩性湿地は、絶滅危惧種を含む多様なベントスの重要な生息場となっている。しかし、塩性湿地ではこのような重要性に関する定量的な知見は極めて限られており、世界的に破壊が進む塩性湿地の保全活動を推進するうえで大きな障壁となっている。このような状況に対し、本研究はベントスの隠れ家・餌場としての塩性湿地の機能を多角的な野外実験により数値的に明らかにしたものであり、塩性湿地を対象とした保護区の設定や開発案件における保全上の配慮を促すための定量的なエビデンスとなることが期待される。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to assess the function of estuarine salt marshes as a habitat of macrobenthic invertebrates using multiple field experiments. The results showed that diverse macrobenthic invertebrates including some endangered species inhabit salt marshes. The field experiments indicated that the physical structure of salt marsh vegetation would facilitate high species diversity and densities of intertidal epifaunal populations as providing excellent shelter from predators. Furthermore, salt marshes could be a general feeding ground for some gastropods. These findings suggested that the multiple function of salt marshes as a shelter and/or feeding ground play an important role in maintaining the diversity of coastal macrobenthic invertebrates.

研究分野：海洋生態学

キーワード：塩性湿地 底生動物 群集構造 餌環境 立体構造 成長率 安定同位体比 セルロース分解酵素

## 1. 研究開始当初の背景

塩性湿地とは耐塩性のある抽水植物が生育する湿地のことで、主に温帯河口域の潮間帯に形成される。一般的に、塩性湿地は多くのベントスの生息場となることで、高い生物生産性や水産資源の供給、水質浄化など多くの生態系機能を発揮する重要な場所であると考えられている。しかし近年、港湾整備や土地開発、さらには沿岸域の富栄養化などによって、塩性湿地の生態系は世界的に大きな打撃を受けている。日本もまたその例外ではなく、塩性湿地の多くが高度経済成長期の干拓によって失われてしまったと言われている。このため、国内では塩性湿地にどのようなベントスがどのくらいの個体数密度で出現するのかといった知見すらほとんどない。ただし、定性的なベントス相の情報などをつなぎ合わせると、国内の塩性湿地にも多くのベントスが生息している可能性は高い。しかし、塩性湿地がベントスの重要な生息場であるという認識とは裏腹に、その根拠となる定量データや生息場としての機能を直接的に検証した例はほとんど存在しないのが現状である。

申請者はこれまで、干潟や塩性湿地、マングローブ林の代表的なベントスであるカニ類に着目し、その群集構造や食性を明らかにしてきた。その結果、構造物のある塩性湿地やマングローブ林内といった植生域のほうが構造物のない干潟よりもカニ類の種数や個体数が多いことがわかった。さらに、植生域に生息するカニ類がベントスの一般的な餌である底生微細藻類だけでなく、そこに豊富に存在する難分解性の植物性有機物も餌としていることを明らかにした。これらの結果は、植生域がベントスにとって好適な生息場（たとえば餌場、捕食者からの隠れ家、厳しい物理環境からの避難場）となっていることを示唆している。こうした背景から申請者は、「塩性湿地がベントスの餌場や隠れ家、避難場として機能することで、多くのベントスが生息できるのではないか」と考えた。

## 2. 研究の目的

本研究では以下の調査・野外実験により、塩性湿地がベントスの餌場や隠れ家、避難場としてどのように機能しているのかを明らかにすることを目的とした。

1. 国内の塩性湿地に実際に多様なベントスが生息するのかどうかを定量的に評価する（ベントス群集構造の調査）。
2. 塩性湿地の餌場としての機能を評価するため、2つの生息場所（塩性湿地と隣接する干潟）の餌資源量とそこに棲むベントスの食性を調査・比較する。さらに、両生息場所に設置した野外ケージ内に入れたベントスの成長率を場所間で比較する（摂餌実験）。
3. 塩性湿地の隠れ家・避難場としての機能を評価するため、抽水植物のヨシに似せた構造物を干潟に設置し、様々な実験区におけるベントスの種数や個体数などを長期的にモニタリングする（構造物実験）。

## 3. 研究の方法

### (1) ベントス群集構造

本研究では人為的影響が少なく、環境省の重要湿地500にも選定されている伊勢湾西岸のヨシを中心とする塩性湿地と干潟（以下、塩性湿地帯）を調査地とした。まず、砂干潟・泥干潟に比べて塩性湿地に多様なベントスが実際に生息するのかどうかを明らかにするために、両生息場所間でベントスの群集構造を比較した。伊勢湾西岸において保存状態が良い3か所の塩性湿地帯（三重県田中川、雲出川、榑田川の河口：図1）で、コドラート法とふるい分け法を用いて深さ20cmまでのベントスを定量採集した。採集したベントスの種組成や各種の個体数密度を精査することで、塩性湿地帯のベントス群集構造を把握した。さらに、物理環境（塩分、水温、地盤高、底土の有機物含有量）の測定も行った。調査は2019年5月と9月に行った。

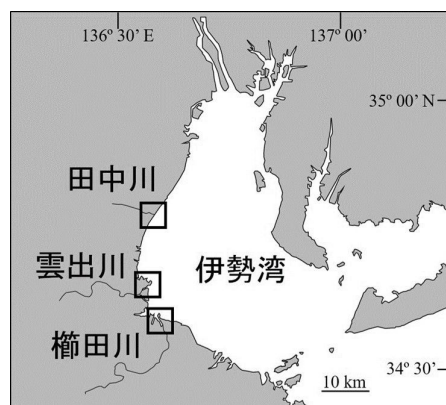


図1. 伊勢湾における3つの調査対象域。

### (2) ベントスの食性と摂餌実験

本調査は、三重県津市の田中川河口域の干潟（以下、田中川干潟）で行った。まず、調査地において個体数が多く、塩性湿地と泥干潟の両生息場所に棲むチゴガニとフトヘナタリを2020年10月に採集し、炭素・窒素安定同位体比分析による食性解析を行った。さらに、2020年7月～9月に塩性湿地と泥干潟に野外ケージ（0.25 m<sup>2</sup>）を設置し、あらかじめサイズを測定したチゴガ

二 5 個体, フトヘナタリ約 20 個体を加え, それぞれ 1 ヶ月後と 2 ヶ月後にケージ内に残った個体を回収し, 再びサイズを測定した (図 2)。これらの分析・実験により, 塩性湿地と干潟間で植物性有機物に対する両種の餌利用度・成長率が異なるかどうかを検証した。また, 堆積物中の有機物量を強熱減量法により調べることで, 両生息場所間における植物性有機物量を比較した。



図 2. 野外摂餌実験のデザイン。

### (3) 構造物実験

三重県松阪市の櫛田川河口域の松名瀬干潟を調査地とし, ヨシが提供する立体空間や影を模した人工構造物を干潟に設置する野外実験を行い, ベントスなどのような応答を示すのかを経時的にモニタリングすることで, 塩性湿地の隠れ家や避難場としての機能を評価した。野外実験では, 1) 構造物を設置しない裸地区, 2) ヨシの茎を模した園芸パイプを設置した構造物区, 3) ヨシによって形成される影をポリエチレン製の布で再現した影区, 4) 構造物と影を複合した構造物+影区, 5) 構造物を設置しない自然ヨシ区, の 5 種類の実験区 (0.25 m<sup>2</sup>, n=4) を設定した (図 3)。パイプの太さや密度, 影の照度は自然ヨシ区のそれと同等に設定した。各実験区内における表在性ベントスの種数・個体数および物理環境 (底土の表面温度) を 2022 年 4 月から 1 年間定期的 (実験開始前と 1・4・6・12 ヶ月後) に記録・測定した。

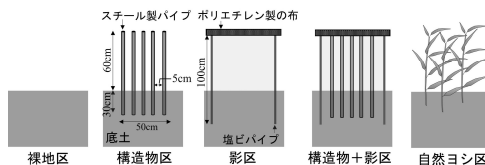


図 3. 野外構造物実験のデザイン。

## 4. 研究成果

### (1) ベントス群集構造

ベントス群集構造について, 3 か所の塩性湿地帯の中でも特に種多様性が高かった田中川干潟の 2019 年 5 月の結果をみると, 砂干潟と泥干潟に比べて塩性湿地でベントスの種数が多いことがわかった (図 4A)。塩性湿地では絶滅危惧種のクシテガニやクリイロコミミガイ, ワカウラツボが採集された。また, 個体数は砂干潟よりも塩性湿地と泥干潟で多かった (図 4B)。塩分や水温は干潟と塩性湿地間で明瞭な違いはみられなかったものの, 地盤高と底土の有機物含有量は干潟に比べて塩性湿地で高い傾向があることがわかった (図 4C, D)。これらのことから, 干潟とは異なる環境をもつ塩性湿地が, 多くのベントスの生息場として重要であることが示唆された。

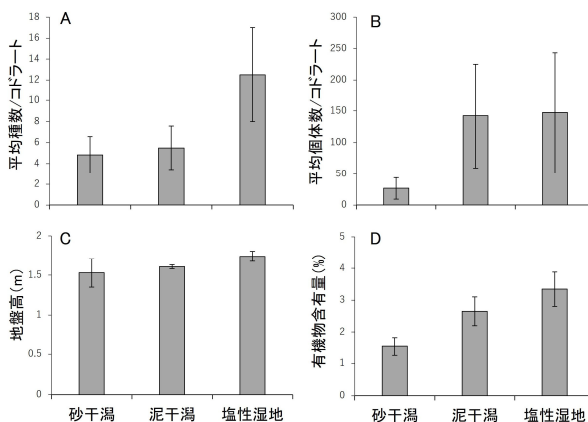


図 4. 三重県田中川干潟におけるベントスの平均種数 (A) および平均個体数 (B), 地盤高 (C), 有機物含有量 (D)。エラーバーは標準偏差を示す。

### (2) ベントスの食性と摂餌実験

炭素・窒素安定同位体比の結果, 干潟と塩性湿地の両生息場所において, チゴガニ (平均値で示すと  $^{13}\text{C}$ :  $-17.5 \sim -16.8\text{‰}$ ,  $^{15}\text{N}$ :  $10.9 \sim 12.5\text{‰}$ ) とフトヘナタリ ( $^{13}\text{C}$ :  $-19.3 \sim -13.8\text{‰}$ ,  $^{15}\text{N}$ :  $12.0 \sim 12.1\text{‰}$ ) は底生微細藻類 ( $^{13}\text{C}$ :  $-19.2\text{‰}$ ,  $^{15}\text{N}$ :  $5.7\text{‰}$ ) を主な餌としている可能性が示されたが, フトヘナタリでは干潟よりも塩性湿地の個体で植物性有機物 (ヨシ枯葉,  $^{13}\text{C}$ :  $-26.8\text{‰}$ ,  $^{15}\text{N}$ :  $8.3\text{‰}$ ) の寄与が大きいことがわかった (図 5)。野外摂餌実験の結果, チゴガニの成長率は干潟と塩性湿地でそれぞれ 19% と 18% で, 両生息場所間でほとんど違いはみられなかった一方, フトヘナタリの成長率は干潟 (21%) よりも塩性湿地 (35%) で高かった (図 6)。また, 研究 (1) において, 干潟に比べて塩性湿地は植物性有機物が多い環境であることが示唆された (図 4D)。これらのことから, 植物性有機物が豊富に存在する塩性湿地は, 少なくとも一部のベントスの成

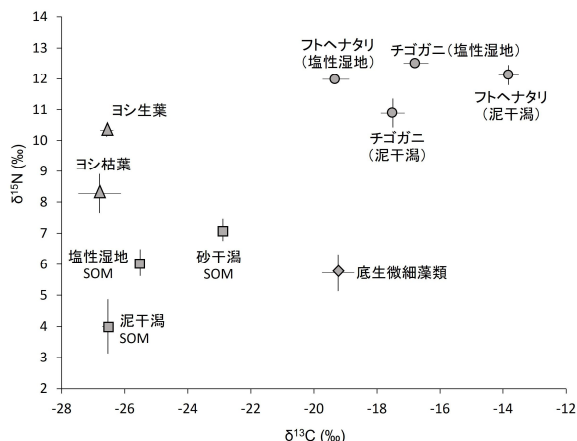


図 5. 田中川干潟におけるチゴガニ・フトヘナタリと餌となり得る有機物の炭素・窒素安定同位体比 (それぞれ  $\delta^{13}\text{C}$  と  $\delta^{15}\text{N}$ )。SOM, 堆積有機物。エラーバーは標準偏差を示す。

長にとって好適であり、重要な餌場となっている可能性が示された。

### (3) 構造物実験

各実験区内の底土の表面温度は影のある実験区で低下したが、自然ヨシ区では影のある実験区よりも高かった(図7)。これは、自然ヨシ区ではヨシの葉が生い茂ることで風通しが遮られ底土表面の放熱が妨げられるためであると考えられた。そのため、塩性湿地は高温ストレスといった厳しい物理環境からの避難場としてはあまり機能していない可能性が示された。モニタリングの結果、調査期間を通して、種数・個体数ともに自然ヨシ区でもっとも多く、自然ヨシ区以外の実験区では実験4ヶ月後を除き、構造物のない区(裸地区と影区)よりも構造物のある区で種数が増える傾向があった(図8)。また、個体数は構造物のない区よりも構造物のある区で多いことがわかった(図9)。これらのことから、構造物の隠れ家としての効果が種数や個体数に正の影響を及ぼしていることが示唆された。

塩性湿地に多く生息するフトヘナタリについては、構造物のある区に誘因される傾向はほとんどなかった。その一方で、カワザンショウ類(カワザンショウガイやヒラドカワザンショウ)は1ヶ月後から継続的に構造物のある区で生息が確認され、構造物のない区ではほとんど確認されなかった。フトヘナタリは殻長が最大で約30mmになるのに対し、カワザンショウ類は最大で約5mmと小型であることから、被食リスクは後者で高いと考えられる。また、これらの巻貝類は塩性湿地に豊富に存在する植物性有機物の主成分であるセルロースの分解酵素の活性が高く、それらを餌として同化していることが示唆されている。以上のことから、塩性湿地はフトヘナタリにとっては主に餌場として機能しているのに対し、カワザンショウ類にとっては餌場の他に捕食者からの隠れ家としても機能している可能性が示された。

### (4) 結論

以上のことから、塩性湿地の隠れ家・餌場としての複合的な機能が沿岸域のベントスの多様性を維持するうえで重要であることが野外実験により初めて定量的に示された。今後は、複数の異なる塩性湿地において同様の野外実験を行うことにより、ベントスの生息場としての塩性湿地の機能の普遍性を検討する必要があると考えられる。

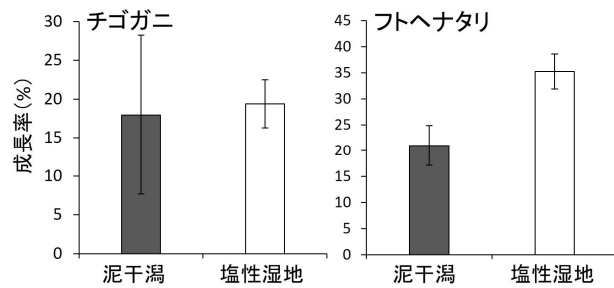


図6. 泥干潟と塩性湿地間におけるチゴガニとフトヘナタリの成長率。エラーバーは標準偏差を示す。

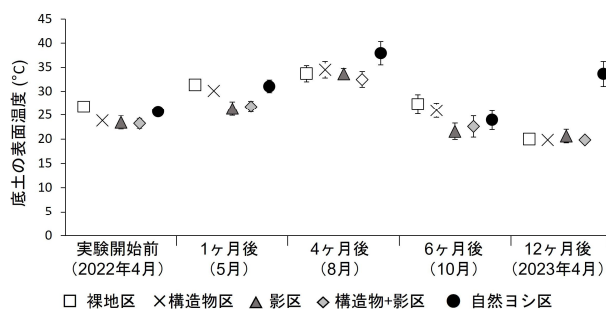


図7. 各実験期における底土の表面温度。エラーバーは標準偏差を示す。

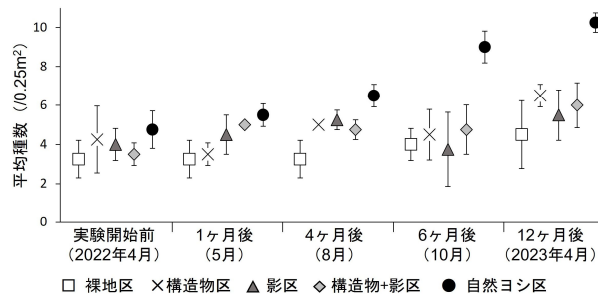


図8. 各実験期におけるベントスの平均種数。エラーバーは標準偏差を示す。

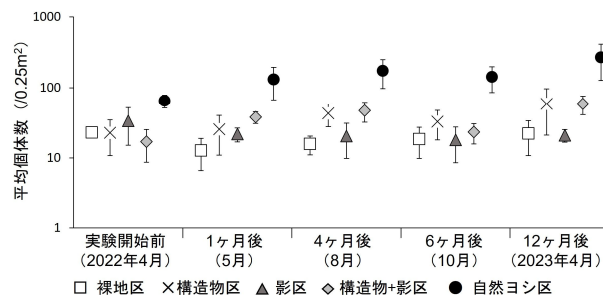


図9. 各実験期におけるベントスの平均個体数。エラーバーは標準偏差を示す。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Abe Hirokazu, Hoshino Osamu, Yamada Kazuyuki, Ogino Tetsuya, Kawaida Shun, Sato-Okoshi Waka	4. 巻 5159
2. 論文標題 A novel symbiotic relationship between ascidians and a new tunic-boring polychaete (Annelida: Spionidae: Polydora)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Zootaxa	6. 最初と最後の頁 1~22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11646/ZOOTAXA.5159.1.1	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 川井田俊・木村妙子	4. 巻 29
2. 論文標題 三重県田中川干潟における絶滅危惧種トビハゼおよびキセルハゼの採集記録	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Laguna	6. 最初と最後の頁 1-7
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kawaida Shun, Nanjo Kusuto, Ohtsuchi Naoya, Kohno Hiroyoshi, Sano Mitsuhiro	4. 巻 26
2. 論文標題 Crabs assimilating cellulose materials drive the detritus food chain in a mangrove estuary	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Food Webs	6. 最初と最後の頁 e00180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fooweb.2020.e00180	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 Kawaida Shun, Nanjo Kusuto, Ohtsuchi Naoya, Kohno Hiroyoshi, Sano Mitsuhiro	4. 巻 222
2. 論文標題 Cellulose digestion abilities determine the food utilization of mangrove estuarine crabs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Estuarine, Coastal and Shelf Science	6. 最初と最後の頁 43~52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecss.2019.04.004	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17件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 安藤 卓人, 瀬戸 浩二, 香月 興太, 仲村 康秀, 金 相曄, 川井田 俊, 齋藤 文紀
2. 発表標題 宍道湖・中海周辺河川懸濁粒子のバリノファシス・バリノモルフ組成と運搬作用の関係性
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川菜緒・木村昭一・川井田俊・増淵隆仁・金谷弦・木村妙子
2. 発表標題 三重県田中川干潟における腹足類5種の成長および個体数の推定
3. 学会等名 日本ベントス・プランクトン合同大会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川井田俊・木村妙子・伊藤龍之介
2. 発表標題 多様な底生動物を支える塩性湿地の機能の解明
3. 学会等名 島根大学 研究・学術情報機構 エスチュアリー研究センター 第30回汽水域研究発表会 汽水域研究会第11回例会 汽水域合同研究発表会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安藤 卓人・瀬戸 浩二・仲村 康秀・香月 興太・金 相曄・川井田 俊・齋藤 文紀
2. 発表標題 宍道湖・中海流入河川中の懸濁粒子のバリノファシス・バリノモルフ分析
3. 学会等名 島根大学 研究・学術情報機構 エスチュアリー研究センター 第30回汽水域研究発表会 汽水域研究会第11回例会 汽水域合同研究発表会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川井田俊・木村妙子・岩田容子
2. 発表標題 塩性湿地はベントスの餌場として機能しているか？
3. 学会等名 日本ベントス・プランクトン合同大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 倉田健悟・川井田俊・山口啓子・辻井要介・須川友希・間柄紘和・船橋空知
2. 発表標題 穴道湖の水草の生理生態と繁茂抑制に関する研究
3. 学会等名 島根大学 研究・学術情報機構 エスチュアリー研究センター 第30回汽水域研究発表会 汽水域研究会第11回例会 汽水域合同研究発表会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 梶原楓・南條楠土・川井田俊・山守巧・和田太一・須田有輔
2. 発表標題 大分県中津干潟の塩性湿地におけるマクロベントス群集の構造
3. 学会等名 日本ベントス・プランクトン合同大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川井田俊・木村妙子・岩田容子
2. 発表標題 ベントスの餌場としての塩性湿地の機能
3. 学会等名 島根大学 研究・学術情報機構 エスチュアリー研究センター 第29回汽水域研究発表会 汽水域研究会第10回例会 汽水域合同研究発表会 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福山真菜・仲村康秀・川井田俊・山口啓子
2. 発表標題 穴道湖・中海におけるイサザアミ属2種（アミ目アミ科）の分布と繁殖戦略
3. 学会等名 島根大学 研究・学術情報機構 エスチュアリー研究センター 第29回汽水域研究発表会 汽水域研究会第10回例会 汽水域合同研究発表会 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川井田俊, 南條楠土, 大土直哉, 河野裕美, 佐野光彦
2. 発表標題 マングローブ域におけるカニ類の生息場所利用とセルロース分解能との関係
3. 学会等名 島根大学 研究・学術情報機構 エスチュアリー研究センター 第28回汽水域研究発表会 汽水域研究会第9回例会 汽水域合同研究発表会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川井田俊
2. 発表標題 マングローブ域におけるカニ類の棲み分けとセルロース分解能との関係
3. 学会等名 第68回日本生態学会大会シンポジウム「海洋ベントス生態学のフロンティアー底質に着目してー」（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Abe H., Yamada K., Hoshino O., Ogino T., Kawaida S., Sato-Okoshi W.
2. 発表標題 A novel symbiotic relationship between ascidians and an undescribed tunic-boring polychaete (Annelida: Spionidae: Polydora)
3. 学会等名 13th International Polychaete Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Kawane M., Dantsuji Y., Kawaida S., Sekino M, Yusa Y.
2. 発表標題 Reproductive success of dwarf males and hermaphrodites in <i>Octolasmis unguisiformis</i>
3. 学会等名 Open International Symposium: Reproductive Biology of Barnacles (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kawaida S., Nanjo K., Ohtsuchi N., Kohno H., Sano M
2. 発表標題 The role of crabs having cellulose digestion ability in mangrove organic carbon processing
3. 学会等名 The Fourth Asian Marine Biology Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川井田俊, 倉田健悟, 山口啓子, 岩田容子
2. 発表標題 宍道湖に繁茂する糸状緑藻のシオグサ類が底生生物の餌資源利用に及ぼす影響
3. 学会等名 2019年日本プランクトン学会・ベントス学会合同大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川井田俊
2. 発表標題 セルロース分解能をもつカニ類が駆動するマングローブ域の食物連鎖
3. 学会等名 第5回沿岸生態系の評価・予測に関するワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川井田俊, 倉田健悟, 山口啓子, 岩田容子
2. 発表標題 宍道湖に繁茂する糸状緑藻のシオグサ類がヤマトシジミの餌利用に及ぼす影響
3. 学会等名 島根大学 研究・学術情報機構 エスチュアリー研究センター 第27回汽水域研究発表会 汽水域研究会第8回例会 汽水域合同研究発表会 2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Kon, K., Yamashiro, H., Horinouchi, M., Kawaida, S.	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 367
3. 書名 Experimental design in marine ecology. In: Inaba, K., Hall-Spencer, J.M., eds., Japanese Marine Life - A Practical Training Guide in Marine Biology	

〔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
---------	---------