

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450251

研究課題名(和文) 栄養カスケードと温暖化に抵抗力をもつ藻場の形成に関する研究

研究課題名(英文) Study on trophic cascade and establishment of macroalgal beds resilient to ocean warming

研究代表者

川俣 茂 (Kawmata, Shigeru)

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産工学研究所・グループ長

研究者番号：50372066

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：ウニが優占し、その過剰摂食により海藻が生育できない磯焼け場が国内外に拡大しているが、その主因として海外で指摘されているウニの捕食者の乱獲であることを、温暖化が進み、ウニの磯焼け場が蔓延化した高知県沿岸で国内初の事例として示した。対象海域は、古くから禁漁区に設定されている小湾とその隣接漁業区の小湾で、禁漁区には大型のイセエビが多く生息し、その捕食によりウニの密度が特にイセエビの隠れ場の近くで低く、大型海藻が繁茂することを明らかにした。またイセエビがウニを捕食する際の種とサイズの影響を実験的に解明し、その選択的捕食が現場でのウニのサイズと種組成に影響していることを示唆した。

研究成果の概要(英文)：Macroalgal beds have been shifted to sea urchin-dominated barrens around the world. Numerous overseas studies have described that such phase shifts are primarily attributed to overfishing sea-urchin predators. We presented the first case study in Japan, demonstrating the importance of predator-sea urchin-macroalgae trophic cascade in maintaining macroalgal beds on Kochi coast in which marked ocean warming has occurred. Field studies in a fisheries protected area (FPA) and its adjacent control fishing area (FA) showed that, the Japanese spiny lobster was abundant and sea urchin density was reduced by its predation especially near its shelters in the FPA, while sea urchins were highly abundant due to lower predation pressure in the FA. Laboratory studies showed that predation by lobsters on sea urchins differed with size of sea urchins relative to lobsters and with urchin species. Findings of the selective predation agreed with species and size compositions of sea urchins in the field.

研究分野：岩礁生態

キーワード：栄養カスケード 藻場 磯焼け 禁漁区 海洋保護区 捕食 イセエビ ウニ

1. 研究開始当初の背景

陸地が緑で覆われているのは、捕食者が草食動物の過剰摂食を防いでいるためであるとする「緑の世界」仮説(Hairston et al. 1960)は、今日、食物連鎖を通じて捕食の影響が栄養段階を次々に伝わる様子から栄養カスケード trophic cascade 仮説と呼ばれている。この仮説は発表当初は多くの反対にあったが、現在、陸域では広く受け入れられ、捕食者を利用した生態系管理に応用されている。海中の藻場についても、栄養カスケード仮説は「ラッコの乱獲⇒ウニの増加⇒藻場の消失」で比較的早く認められたが、他の捕食者では明確な根拠が得られず、長らく論争されてきた(Miller 1985)。しかし近年、海洋保護区での研究が進んだ海外では、ロブスターや大型捕食魚などの増加により豊かな藻場生態系が維持されることが多くの保護区で検証されつつある。また近年、温暖化により藻場の衰退とウニの優占する磯焼け場の拡大が地球規模で進行しているが、保護区内での捕食者の保全が温暖化に対して抵抗力のある藻場の維持に寄与することも示唆され(Ling et al. 2009)、その重要性の認識が益々高まっている。

これに対して、我が国では、ウニの捕食者の減少が海藻を消失させた例はないとされ(三本菅 1994)、磯焼けは主に、温暖化などの海洋環境の変化やそれに伴うウニやアイゴなどの藻食動物の摂食量の増加によると考えられてきた。また、ほぼすべての沿岸に共同漁業権が設定されている我が国では、禁漁区が設定されても、一般には規模や対象種が限定的で、栄養カスケードの効果を実証し難い状況にある。

このような中で、申請者らは、温暖化の影響が顕在化し、ウニが優占する典型的な磯焼け海域となっている高知県沿岸(平岡ら 2005)で、古くから禁漁区に設定され、ホンダワラ類が特異的に繁茂した小湾(約0.3km²)を発見した(図2)。この小湾の周辺には地形的に類似した湾があるが、いずれもウニの優占する磯焼け場になっている。予備的な実験と調査により、禁漁区では「禁漁⇒イセエビの密度増加と大型化⇒ウニの減少⇒藻場の維持」の「藻場における栄養カスケード仮説」を支持するいくつかの証拠(①禁漁区ではウニが少なく、出現しても捕食され難い大型個体が多いこと、②イセエビがウニを活発に捕食すること、③イセエビが潜む造礁サンゴの近傍にウニを繫留すると6日以内にすべて捕食されたこと)もつかんだ。こうした背景の下、上述の「藻場における栄養カスケード仮説」の検証は、漁場保全上、喫緊の課題であるといえる。

2. 研究の目的

禁漁区において、捕食(捕食者としてイセエビを想定)によりウニの個体数が制限され、ガラモ場が維持されていることを明らかにする。このため、以下の課題に取り組む。

- ①イセエビによるウニの捕食がウニの種類(ナガウニ類、ムラサキウニ)や体サイズによってどのように変わるか。
- ②禁漁区におけるウニの生残率が近隣の漁業区(対照区)に比べてどの程度低いか。
- ③禁漁区と対照区でウニの密度にどの程度の差があるか。またウニのサイズ分布に捕食の影響を示唆する変化はみられるか。
- ④禁漁区と対照区でイセエビの生息密度とサイズがどの程度異なるか。
- ⑤禁漁区と対照区でイセエビとウニの捕食魚はどの程度生息しているか。

ウニの捕食については、サイズ依存性があることが他のイセエビ類で知られている(例えば Ling et al. 2009)。そこで、①の実験によりサイズ選択的捕食を定量的に把握すると共に、③では現地でのウニのサイズ分布からその影響を検討する。イセエビの隠れ場は、禁漁区と対照区では発達した造礁サンゴ等の限られた領域しか見当たらないため、③では隠れ場からの距離の影響を考慮した調査を行い、また④でのイセエビ密度の比較はサンゴ域の周辺で行う。⑤で、両調査区でイセエビとウニの捕食魚が少ないことを明らかにすることで、①～④の結果に捕食魚が大きな影響を及ぼしていないことを示す。

3. 研究の方法

(1)イセエビによるウニの選択的捕食の解明
イセエビによるウニの捕食におけるサイズ及び種の影響を明らかにするため、対象海域での優占種ツマジロナガウニとムラサキウニを対象に、陸上水槽で2種類の捕食実験を行った。最初の実験ではツマジロナガウニ(殻径10~49mm)とイセエビ(頭胸甲長CL=53-93mm)を用い、捕食可能な上限サイズを調べるとともに、捕食成功率(捕食個体数と捕食試行回数との比)をインターバル・フラッシュ撮影により調べた。もう一つの実験では、16試験区にサイズの異なるイセエビ(CL=50~77mm)を、ツマジロナガウニ(殻径24.5~55.9mm)とムラサキウニ(殻径24.4~67.2mm)、ともに収容して捕食可能な上限サイズを調べた。

(2)禁漁区と対照区でのウニの生残率
禁漁区内のイセエビの隠れ場となっているサンゴ域P1とその縁辺部から3mほど離れた大礫場P1S、およびイセエビの隠れ場から85mほど離れた岩礁P3の3箇所と、対照区でP1と同じように発達したサンゴ域F1の1箇所の計4箇所において、殻に突き通した釣り糸で重りに係留したツマジロナガウニ(殻径30~40mm)を1地区当たり30個配置した係留実験を行い、その後の生残状況を調べた。

(3)禁漁区と対照区でのウニの量とサイズ
禁漁区と対照区でウニの生息密度を、隠れ場の影響を考慮して枠調査した。またウニの

殻径組成を調べて捕食実験結果から予想される捕食の可能性を検討した。

(4) イセエビのサイズ推定法の確立と密度及びサイズ調査

イセエビのサイズは一般に頭胸甲長 (Carapace Length, CL) で表されるが、巣穴に隠れた状態では CL は測定できない。そこで捕獲によらず、現場で撮影したステレオ画像からイセエビの CL を推定する方法を確立し、禁漁区と対照区のサンゴ域でのイセエビの生息密度と体サイズ組成を調べた。

(5) ウニの捕食者調査

イセエビ以外のウニを捕食する可能性のある魚類について、調査地点 F1、P1 及び P3 を潜水目視によるベルトトランセクト (20m × 1m 幅、各地点 4 本) 調査を行った。また自動フラッシュ機能により夜間も撮影可能なインターバルカメラを用いて、係留ウニの捕食者の特定を行った。

4. 研究成果

(1) イセエビによるウニの選択的捕食

水槽実験により捕食可能なツマジロナガウニの上限サイズは CL の増加に伴い有意に増加し、平均的に最大級 (殻径 45mm) のツマジロナガウニを捕食するためには CL > 90mm が必要であることが示唆された。ツマジロナガウニに対する捕食成功率 (捕食個体数と捕食試行数との比) はウニサイズの増加に伴い減少し、殻径 > 40mm では CL > 90mm の大型サイズのイセエビでも捕食し難くなることが示唆された (図 1)。

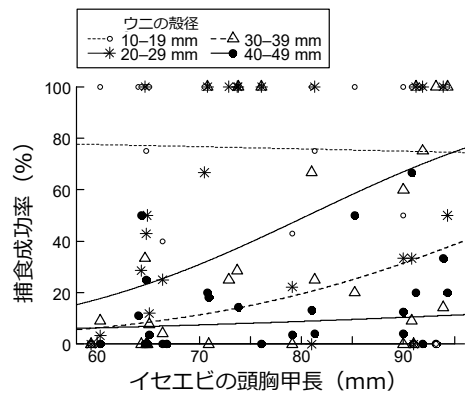


図 1 イセエビによるツマジロナガウニの捕食：ウニサイズ群別のイセエビサイズと捕食成功率との関係。曲線はロジスティック回帰曲線を表す。

イセエビは、ツマジロナガウニの最大級の個体 (殻径 43mm) でも CL > 52mm になると、捕食できたが、ムラサキウニでは殻径 > 43mm になると、CL > 70mm の大型のイセエビでなければ捕食できなくなることが示唆された (図 2)。ムラサキウニの方が捕食されにくい原

因としては、ムラサキウニの付着力がツマジロナガウニよりも大きいことと、囀口膜がツマジロナガウニよりも小さく、捕食されにくいことが考えられた。

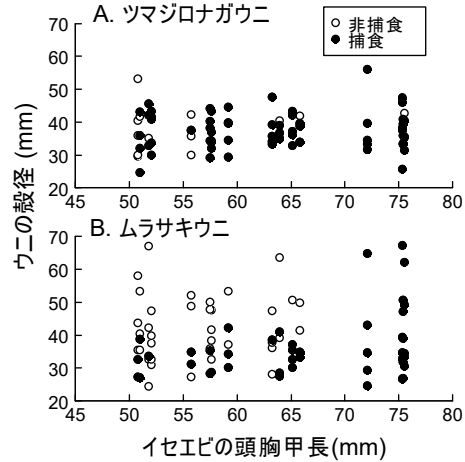


図 2 イセエビによるウニ捕食状況 (2 週間後)

(2) 禁漁区と対照区でのウニの生残率

イセエビの隠れ場となっている禁漁区のサンゴ域 P1 では、係留ウニの生残率は、周辺にイセエビが生息していない禁漁区内の P3 と対照区の F1 に比べて顕著に低く、係留 18 日後にほとんどゼロ (0.03) となった (図 3)。また P1 サンゴ域の縁辺から 3m ほど離れた P1S でも係留ウニの生残率は P1 と同程度に急速に低下し、イセエビが夜間サンゴ域内だけでなく、その周辺域にも活発に索餌活動をしてウニを捕食していることが示唆された。

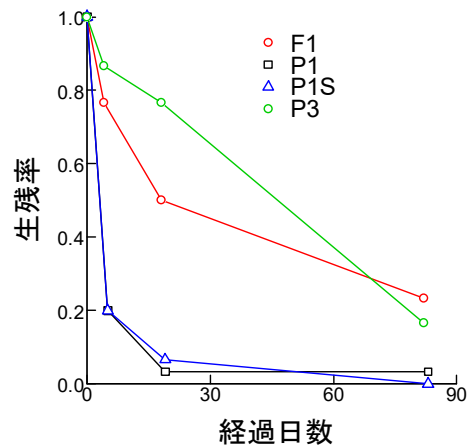


図 3 係留ウニの生残率

係留ウニの死亡率は F1 と P3 でも予想外に高かった (図 3)。しかし、この原因は陸上水槽で同時に調べた係留ウニ 10 個が実験期間にわたりすべて生残していたことから、係留に起因する障害によるものではない。また、イセエビ特有の捕食痕 (口側の中央に穴が空いただけで殻はほとんどそのまま) の死殻は F1 と P3 でのみ発見され、P1 と P1S ではウニ

はすべて殻ごとなくなっていた。前述の水槽実験により、イセエビ大型個体は、ツマジロナガウニを殻ごと捕食して何も残らないが、小型個体はウニの口部を食い破り、内部の組織をきれいに摂食して殻を残すという傾向が見出された。これらの事実から、P1とP1Sでの係留ウニはすべてイセエビ大型個体により捕食されたのに対して、P3とF1で長距離移動してきて係留ウニを捕食したイセエビの中に小型個体が含まれていたことが推察された。

(3) 禁漁区と対照区でのウニの量とサイズ

禁漁区と対照区でのウニの密度を図4に示す。対照区におけるナガウニ類とムラサキウニの出現割合は場所によって大きく異なり、前者はサンゴ域に後者は巨礫場に多く出現したが、合計の密度はいずれの場所でも20個/m²を超え、ウニが優占する実態を示した。これに対して、禁漁区でのウニ密度は全体的に低く、特にイセエビの隠れ場となっているサンゴ域 P1 では非常に低かった。この減少傾向は、周辺にイセエビの隠れ場のない場所 (P2 より P3) ほど薄れた。

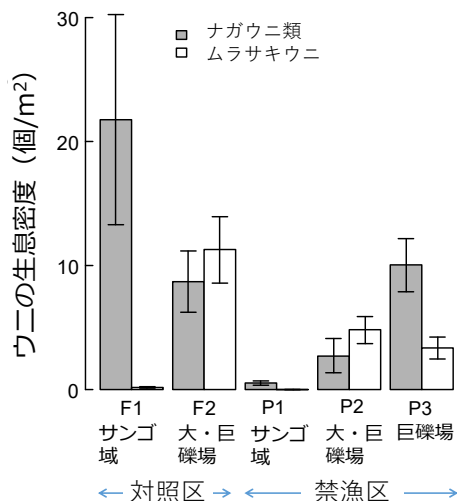


図4 対照区と禁漁区のウニ密度

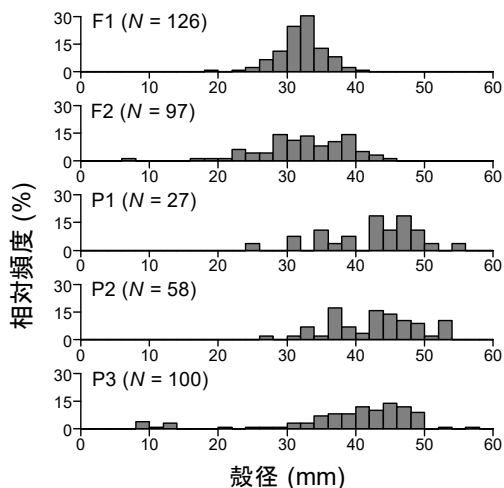


図5 ナガウニ類の殻径組成

サイズ組成については、ナガウニ類 (図5) は、禁漁区 (P1、P2、P3) の方が対照区 (F1、F2) に比べて大型化する傾向が示された。この大型化の傾向は、イセエビの隠れ場から離れた場所 P3 では弱くなり、小型個体も出現した。ムラサキウニの場合は、ナガウニ類と同様に禁漁区内で大型個体が多くなる傾向がみられたが、小型個体も特に P3 で多くかった。この原因として、ムラサキウニはイセエビによる捕食を受けにくいことと移動性が高いことが考えられた。

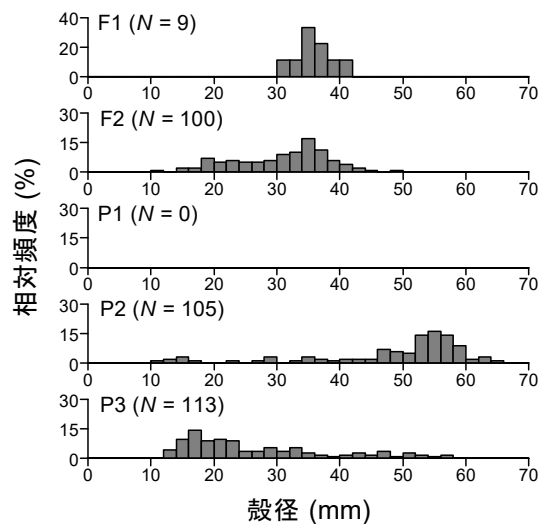


図6 ムラサキウニの殻径組成

(4) イセエビのサイズ推定法の確立と密度及びサイズ調査

イセエビの特徴的な部位 (「参照部位」という；頭胸甲3部位、触角3部位、第1~4歩脚8部位、合計14部位) の長さを、ステレオカメラを用いた写真測量により測定し、性 (雌雄) 差を考慮した各参照部位長と CL とのアロメトリー式 (推定式) を構築した。また、巣穴に隠れているイセエビのステレオ写真から CL を推定する手法として、①3次元計測した各部位長から推定式を用いて CL を推定する (ここで、雌雄で異なる推定式がある場合は、性別の CL を推定する)、②各 CL 推定値の差のみから判断して性を推定する、③その性に基づき各部位長からの CL 推定値を再計算し、その重み平均を最終推定値とする、を構築した。この方法を、実験水槽に製作した模擬巣穴に潜り込ませたイセエビ (49~76 mm CL、N=39) に適用した結果、形態的性差が顕著になる CL>70mm では性をすべて正しく推定でき、10%以内の精度で CL を推定できた (図7)。また、CL 推定値は実験水槽での試験個体の95%で取得でき、現地のサンゴ域に適用した場合でも、肉眼認識できたイセエビ個体の約90%で CL 推定値を取得できた。

2014年9月15日に禁漁区内のサンゴ域 P1 と大礫・巨礫場 P3 及び対照区のサンゴ域 F1 で面積 25m² (N=5) にわたり実施した目視調査では、イセエビは P1 のみで観察され、その密度の平均±標準誤差は 1.40±0.98 個

体/25m²であった。また、2015年8月と11月に禁漁区内のイセエビの隠れ場であるサンゴ域 CR と投石礁 AR で実施した調査 (図8) では、3~5 個体/25m²ほどのイセエビが観察されたが、投石礁 P4 での密度は、11月の調査日が禁漁区内で1年に1度実施されるイセエビ漁の直後だったため、8月に比べて約1/5に低下し、禁漁区内でもイセエビ密度が漁獲により大きく低下することを示唆した。

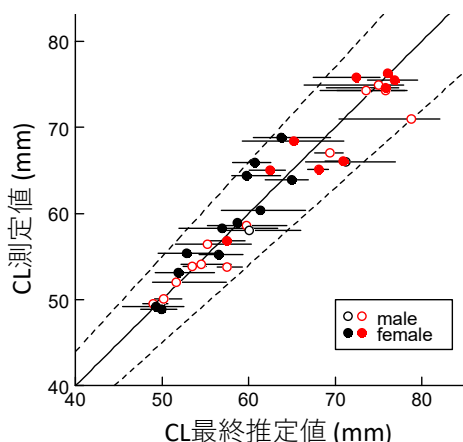


図7 CL 推定法の試験結果. 赤色と黒色の記号は性の推定が正しかった場合と間違っていた場合を表す. 実線と破線はそれぞれ $y = x$ と $y = (1 \pm 0.1)x$ を表す. 記号に付いている横棒は各部位長からの CL 推定値の範囲を表す。

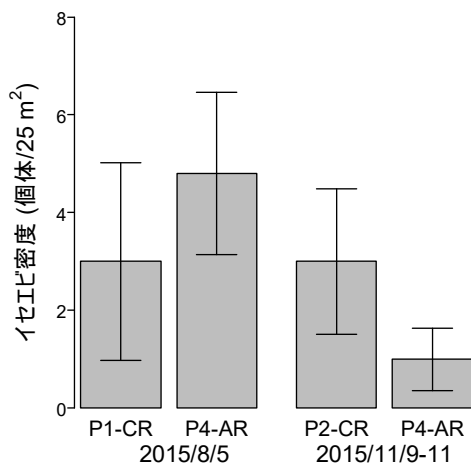


図8 禁漁区内の隠れ場 (CR:サンゴ域、AR:投石礁) でのイセエビ密度

禁漁区のイセエビの隠れ場でステレオ撮影により推定されたイセエビの頭胸甲長の分布を図9に示す。禁漁区内では $CL > 70\text{mm}$ の大型のイセエビが多く生息することが示された。この結果は、先に述べた係留実験からの推察に一致した。

(5) ウニの捕食者調査

海藻繁茂期 (2015年6月5日) に F1、P1 及び P3 において実施した潜水目視による魚類のトランセクト調査では、全長 22~23cm

の雑食性魚類ブダイ1個体を除いて、全長く20cmの小型の魚類が多く、ウニを捕食する魚類は観察されなかった。

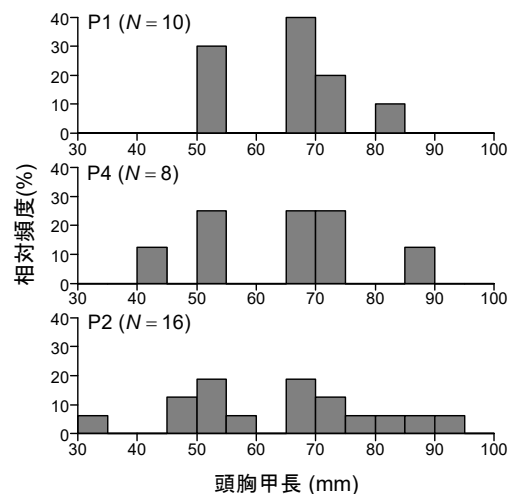


図9 禁漁区内の隠れ場におけるイセエビの頭胸甲長の分布

表1 魚類のトランセクト調査結果: 平均密度 (個体/20m²)

魚種	F1	P1	P3
アカササノハベラ	0.75	0.75	0.50
ホシササノハベラ	0.25	0.00	0.00
ホンベラ	0.50	0.00	0.00
カサゴ	0.25	0.00	0.25
タカノハダイ	0.50	0.25	0.25
ニシキベラ	0.00	0.00	0.25
ブダイ	0.00	1.00	0.00

また、係留ウニの捕食者の特定のため、自動フラッシュ機能により昼夜連続で約 1m×70cm の領域をインターバル撮影可能な装置を開発した。その装置を用いて 2016年7月19~21日、F1とP1のサンゴ域から10mほど離れた海底において、1カ所にツマジロナガウニ (殻径 22~38mm) 4個体とムラサキウニ (殻径 23~40mm) 4個体を係留し、5分間隔での撮影を行った。その結果、F1近傍ではすべてのウニが生残したのに対して、P1近傍ではすべてのウニがイセエビによって捕食される様子が観察された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2件)

①川俣 茂・田井野清也・宮地麻央・中村洋平, イセエビによるツマジロナガウニのサイズ選択的捕食. 日本水産学会誌, 査読有り,

82, 2016, 306-314

②川俣 茂・田井野清也, 3D デジタルカメラを用いたイセエビの頭胸甲長の推定法の実験的検討. 平成 27 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, 査読無し, 2015, 73-74 [学会発表] (計 7 件)

①川俣 茂・田井野清也, 藻場形成における栄養カスケードの重要性: 我が国初の事例研究. 日本藻類学会, 2016. 3. 22, 九州大学

②川俣 茂・田井野清也・宮地麻央・中村洋平, イセエビによるツマジロナガウニの捕食に関する水槽実験, 日本水産学会春季大会, 2016. 3. 30, 東京海洋大学品川キャンパス

③川俣 茂・田井野清也, 3D デジタルカメラを用いたイセエビの頭胸甲長の推定法の実験的検討. 日本水産工学会学術講演会, 2015. 5. 29, 長崎大学

④川俣 茂・田井野清也, 禁漁区とその周辺でのイセエビ・ウニ・海藻の栄養カスケードに関する事例研究. 日本水産学会春季大会, 講演要旨集, 2016. 3. 29, 東京海洋大学品川キャンパス

⑤川俣 茂・田井野清也, ステレオカメラを用いたイセエビの頭胸甲長の予測手法. 日本水産学会春季大会, 2016. 3. 29, 東京海洋大学品川キャンパス

⑥川俣 茂・田中幸記, 藻場に関する栄養カスケード効果の事例研究: ウニの捕食者の特定とウニ 2 種の被食の比較. 日本水産学会春季大会, 2017. 3. 27, 東京海洋大学品川キャンパス

⑦川俣 茂・田中幸記・中村洋平, 藻場に関する栄養カスケード効果の事例研究: 保護区と周辺漁業区の生物相. 日本水産学会春季大会, 2017. 3. 27, 東京海洋大学品川キャンパス

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川俣 茂 (KAWAMATA SHIGERU)

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産工学研究所・グループ長

研究者番号: 50372066

(2) 研究分担者

中村洋平 (NAKAMURA YOHEI)

高知大学・黒潮圏科学部門・准教授

研究者番号: 60530483

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

田井野清也 (TAINO SEIYA)

高知県水産試験場・主任研究員

田中幸記 (TANKA KOUKI)

高知大学・技術職員