

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06196

研究課題名(和文)イセエビは植食魚の分布を制限する捕食者になり得るか

研究課題名(英文) Can spiny lobsters be predators controlling the distribution of herbivorous fishes?

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・水産技術研究所(神栖)・研究員

研究者番号：50372066

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：イセエビがウニだけでなく、アイゴ、ブダイ等の植食魚も捕食し得るという新しい仮説を検証するため、水槽での捕食実験を行うとともに、ウニの優占する磯焼け域においてイセエビがウニを捕食し、藻場を維持しているイセエビ保護区において、絶滅して久しい大型褐藻カジメの移植実験を行った。その結果、夜行性のイセエビは夜間岩陰等で眠るアイゴを捕食できることを確認するとともに、イセエビ保護区では移植カジメを食害するのは2,3尾の超大型ブダイに限られることを明らかにし、植食魚は存在してもイセエビが捕食できない、他所から移動してきた大型個体に限られるという仮説を支持する結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

捕食者の乱獲が植食動物であるウニの大量発生を招き、藻場の消失(磯焼け)を引き起こすという栄養カスケード仮説が、海外では多くの全面禁漁区における、捕食者の増加 ウニの減少 藻場の回復という事実により検証されているが、ウニ以外の植食動物についてはほとんど知られていない。小規模な海洋保護区しかない我が国では、ウニの磯焼けに対して有効な保護区はイセエビの保護区以外には見出されていない。また、ウニに加えてアイゴ、ブダイ等の植食魚による海藻食害も問題となっているが、その有効な対策がないことから、イセエビがウニだけでなく、植食魚の捕食者にもなり得るといふ発見はイセエビの保護区の推進に寄与する。

研究成果の概要(英文)：To test a hypothesis that spiny lobsters can prey not only on sea urchins but also on herbivorous fish such as rabbitfish and parrotfish, we conducted tank feeding experiments and transplantation experiments of kelp *Ecklonia cava*, which have become extinct for more than 20 years, in a marine protected area (MPA) where lobsters prey on sea urchins and maintain macroalgal beds, while urchin-dominated barrens were common outside of the MPA. The results confirmed that nocturnal lobsters can prey on sleeping rabbitfish in shelters at night, and that in the protected area, only a few very large parrotfish were found to eat the transplanted kelp, supporting the hypothesis that herbivorous fishes, if they exist, are limited to large individuals that have migrated from elsewhere and cannot be preyed upon by lobsters.

研究分野：水産工学

キーワード：海洋保護区 磯焼け 藻場

1. 研究開始当初の背景

世界各地で藻場が減少し、磯焼け場へと置き換わりつつある。その原因として、ウニの捕食者を乱獲したことによりウニが大量発生し、海藻を過剰摂食していることが挙げられている。このように捕食の影響が栄養段階を次々に伝わる現象は栄養カスケードと呼ばれている。大規模な全面禁漁区が存在する海外では、禁漁区が大規模野外操作実験の実験区となって栄養カスケード仮説が検証されてきた。これに対し本邦では、ウニの大量発生の原因は未検討のまま藻場回復のためのウニ除去が試みられてきたが、本州中部以西ではウニに加えて植食魚による植食も加わり、磯焼け対策は一層困難化している。このような状況下で Kawamata et al.(2019)は、温暖化とウニの磯焼け状態が進んだ高知県沿岸で、特異的に大規模な藻場が維持されている小湾(約 0.3km²)を発見し、研究の結果、同湾では、湾全体が保護区(以下、「試験保護区」という)に設定され、イセエビ漁の年1回への制限と、大規模(1.4ha)な投石礁の整備により、大型のイセエビが多数生息するようになり、その結果、イセエビの高い捕食圧が広範囲にウニ密度を低下させ、海藻が生育しやすい条件を維持していることを明らかにした。

しかし、ウニと共に藻場衰退の大きな要因となっている植食魚については、海外でも研究はほとんど行われておらず、捕食者の存在や植食魚への影響に関する知見はほとんどない。このような中で、著者は偶然の発見をきっかけに、アイゴ、ブダイ等の植食魚の多くは夜間岩の間などで眠るが、イセエビは夜行性で、眠っている植食魚を容易に捕食できること、試験保護区では植食魚の“寝所”になり得る場合はイセエビの隠れ場になっていることから、試験保護区では植食魚はほとんど生息できないか、できても他所から移動してきた、イセエビに捕食されない大型魚しかいないと予想するに至った。

2. 研究の目的

本研究では、大型のイセエビが高密度で生息する試験保護区において、植食魚もイセエビの捕食を受け、これにより藻場が維持されるという仮説を検証する。この検証のため、試験保護区内でのイセエビの体サイズ組成を調べるとともに、試験保護区に大型褐藻カジメを移植し、食害する植食魚が存在しないか、存在してもイセエビが捕食できない、他所から移動してきた大型個体であるという仮説を検証する。カジメは、同海域ではすでに全滅して20年以上が経過し、近隣漁港では移植してもブダイ等の食害によりすぐに消失することが知られていることから、もし移植カジメが生残できれば仮説を支持する証拠となり得る。また、本研究ではイセエビが植食魚を捕食する条件を水槽実験により検討する。

3. 研究の方法

1) 保護区でのイセエビ調査

試験保護区内でのイセエビの主要な隠れ家となっている投石礁において、岩に隠れた状態のイセエビについて頭胸甲長 CL の推定を行った。この調査では、5×5m のロープ枠を投石礁上に6 枠張り、SCUBA 潜水により目視観察されたイセエビの個体数を計測するとともに、ステレオカメラで撮影し、Kawamata and Taino (2018) の方法(Fisheries Research 201:56-67)により画像解析によって3次元計測された複数の参照長さから CL を推定した。

2) カジメ移植実験

カジメ移植実験は、試験保護区とその周辺域で実施した。本実験では河川等の影響によりカジメ群落が局所的に残っている近隣漁港堤防より採取した茎長約 20 cm ほどのカジメ成体を移植に用いた。採取したカジメは、12×12×1 cm の塩ビ板に立ち上がるようにエポキシ樹脂系接着剤により仮根で接着し、撮影装置とともに空中重量 23 kg の鉄板(30×30×3.2 cm)により海底に設置できるようにした。撮影装置は防水ケースに収納したタイムラプスカメラを、ステンレス等辺山形鋼を介して幅 60×高さ 40×奥行 40 cm の塩ビ枠に 74 cm 離れた位置に取り付けたもので、塩ビ枠には 10 cm 置きに蛍光目印をつけるとともに奥側側面にネットを張りつけ、塩ビ枠内中央にカジメを設置した(図 1)。カジメを採食するため、ネットに沿って遊泳してくる植食魚の画像から全長 TL を画像解析した。画像解析では TL のより正確な推定値を得るため、枠につけたマーカーの画像座標から物理座標(x-



図 1 撮影装置に取り付けられた移植カジメ

z 座標)を得るための座標変換式を定める、座標変換式により塩ビ枠奥側ネットに平行に写っている植食魚の TL の一次推定値を得る、その魚体の奥行方向距離(y 座標)を推定し、その y 座標より TL の一次推定値を補正して、マーカ-の y 座標位置での TL の補正推定値を得た。

実験は、2020 年の秋と 2021 年の秋の 2 回行った。2020 年の実験では、試験保護区内のイセエビの隠れ家となっている、互いに離れた投石礁 2 地点(R5, R6)と、保護区東隣の小湾及びその更に東の小湾内の 2 地点(F4, F5)の計 4 地点(水深 5-6 m)に、また 2021 年の実験では R5 と R6 に、互いに離れた投石礁 2 地点(R7, R8; 水深 7-8 m)を加えた合計 4 地点において、撮影装置に取り付けたカジメ 1 本を設置し、20 s 間隔のタイムラプス撮影を約 1 ヶ月間、実施した。

3) 水槽実験

2021 年 9-11 月、千葉県勝浦市沿岸及び茨城県波崎漁港で網または釣りで採捕されたアイゴ幼魚を、オキアミ及び浮上性小粒径配合飼料を与え、2022 年 2 月 4 日まで飼育した個体(TL55-148 mm) 64 尾と、2021 年 11 月に試験保護区周辺及び千葉県銚子市の沿岸で漁獲されたオスのイセエビ(CL61-108 mm) 16 尾を用いた。実験には図 2 に示す屋内コンクリート製角型平面水槽(4.4×4.2×深さ 0.4 m; 水深 0.3 m)を用いた。当水槽内には 160×160×高さ 40 cm の塩ビ製枠 4 枠を設置し、各枠内を目合 4×4 mm のポリエチレン製ネットで 2 分割して設けた 160×80 cm の小区画 8 区を試験区とした。各試験区の長辺両端付近には、イセエビ用としてレンガとコンクリートブロックから成る隠れ家を、またアイゴ用として平板の下面に高さ 22×幅 150×奥行 60 mm の隙間 2 箇所を有する塩ビ製隠れ家を、1 個ずつ設置した。水槽内の約 5.6 トンのろ過海水は、常時 18℃ 一定に加温し、循環ろ過するとともに、時々水量の 1/3 ほどを新鮮な海水と入れ替えて水質を維持した。

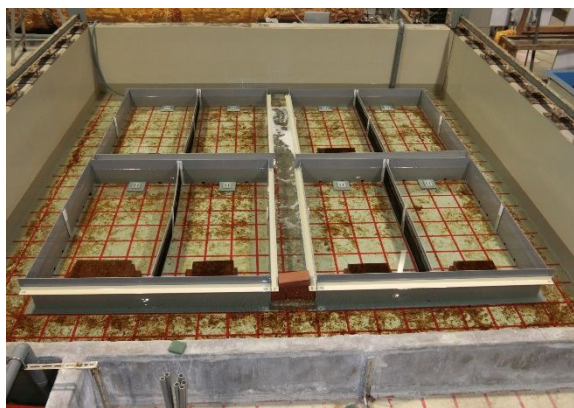


図 2 平面水槽内に設置した 8 試験区

イセエビは同程度の大きさの個体 2 尾を 1 組として各試験区に收容し、生きたイガイ類などを時々与えて、共食いが起こらない状態を維持した。2022 年 2 月 4 日、各試験区を、仕切り網によりイセエビとアイゴ用隠れ家を分離した 2 つの領域に分けておき、なるべく大きさの異なるアイゴ 8 尾が各試験区に均等に配置されるよう、体サイズ計測のための写真撮影と体重計測を行った後、各試験区のアイゴ用隠れ家側に收容した。実験棟内は、夜間、暗黒にするため、窓を黒色プラスチック段ボールで覆い、タイマー制御可能な高天井照明により周期 13h:11h の明暗を与えた。実験は、2022 年 2 月 7 日の日中に、各試験区の仕切り網を取り払って開始し、3 月 7 日までの 4 週間にわたり、7 日毎に各試験区のアイゴの生残個体数を調べ、個体数が減っていれば、写真撮影により調べた生残個体の体サイズから被食個体を推定した。

水槽実験は、2022 年にもアクリル水槽で継続して飼育したアイゴ(TL 155-244 mm)と新たに入手できたブダイ幼魚(TL 122-164mm) 8 尾を用いて実施した。この実験では、隠れ家に隠れた供試魚がイセエビに捕食され易くなるよう、隠れ家の形状を検討して、奥行は浅いが、供試魚ができるだけ横に倒れた姿勢で隠れ家に潜入する形状を検討し、高さ 30mm×奥行 55 または 75mm×幅 200mm の庇状の隠れ家を製作し、試験した。試験は、上記と同じ 8 試験区の各々にイセエビ CL66.5~107.7mm を 1 尾ずつ無作為に割り当て、隠れ家に隠れるようにした供試魚 1 尾ずつを追加した。2022 年 10 月 30 日にアイゴを、2022 年 11 月 6 日にブダイを対象にして 4 日間の実験を行った。

4. 研究成果

1) 保護区でのイセエビ

試験保護区内の投石礁でのイセエビの個体密度と CL 組成分布を、2019 年以前の値と比較してそれぞれ図 3 と図 4 に示す。投石礁でのイセエビ密度は、年 1 回実施されるイセエビ漁で、半以下に減少するが、その後、周辺漁場での漁獲イセエビのうちの小型個体の再放流等により回復する(Kawamata and Taino 2021)。しかし、2020 年以降、イセエビの CL>90mm の大型個体が消失していることが示唆され、当保護区でもイセエビが小型化し、捕食者として重要な大型個体の減少が懸念された。

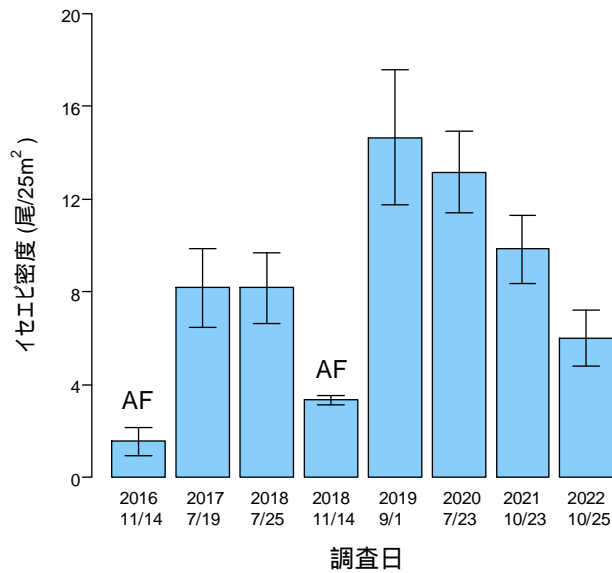


図3 投石礁でのイセエビ密度の経年変化.

AF: 年 1 回実施されるイセエビ漁の直後の調査結果

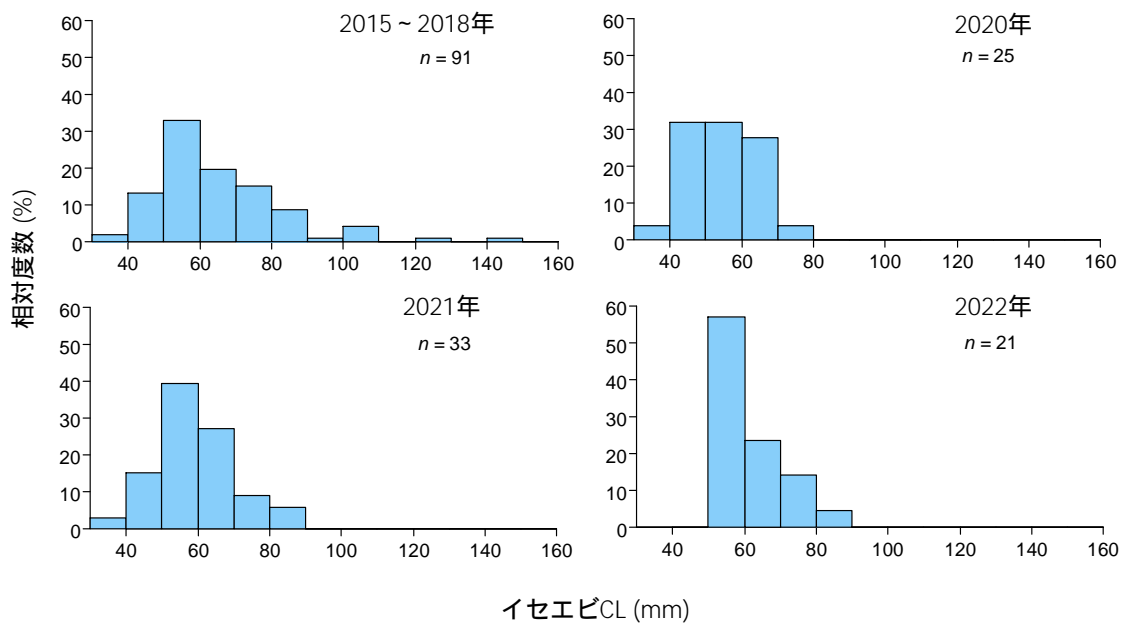


図4 投石礁でのイセエビの頭胸甲長 CL 分布の経年変化

2) カジメ移植実験

試験保護区で実施したカジメ移植実験では、アイゴの小型個体が数尾みられたのみで、移植したカジメは、2 ないし 3 尾の数の限られた大型ブダイの食害により消失した(図5、表1)。この結果は、想定した仮説「試験保護区では、植食魚はイセエビが捕食可能な小型個体は生息できず、生息しても他所から移動してきた大型個体に限られる」に合致したが、試験保護区の周辺域(F4及びF5)でも小型植食魚は観察されなかったことから捕食以外の要因による影響も排除できなかった。アイゴ、ブダイの加入場については、情報は少ないが、アイゴの産卵場として静穏域の海草場が挙げられている。周辺海域は波浪の強い外海域に



図5 塩ビ枠内に設置したカジメを摂食するブダイの映像例

位置し、静穏域がほとんどないが、試験保護区のみで静穏な漁港区域があるため、必ずしもアイゴが環境的に加入できないともいえない。以上の説明は今後の課題として残された。

3) 水槽実験

アイゴ幼魚を用いた最初の実験では、アイゴは捕食されると何も残らないため、生残が確認できなかった個体を被食個体とした。4週間で64尾中11尾(11%)のアイゴが捕食されたが、

その捕食は1尾を除いて最初の1週間のみでみられた。イセエビによるアイゴの捕食と非捕食のサイズ関係を図6に示す。実験条件の範囲では、捕食・被食関係に明瞭なサイズ関係はみられなかったが、捕食の約50%がイセエビの小型個体にみられたことが特徴として挙げられる。

より大型のアイゴとブダイ幼魚を用いた捕食実験では、捕食は全く観察されなかった。ただし、徳島県で実施した捕食実験ではCL115mmの超大型イセエビがTL256mmの大型アイゴを捕食することが確認されており(川俣ら 2022)、イセエビが大型アイゴを捕食できないということではない。本実験で捕食がみられなかった原因については、自動フラッシュによる昼夜連続インターバル撮影を行ったところ、実験に用いたアイゴは、隠れ家に横倒しに潜入しても警戒を解かずに(図7)、イセエビが近寄ると、逃避することが推察された。

以上の水槽実験によりイセエビが遊泳力のあるアイゴを捕食できることが確認できたが、捕食件数が少なく、捕食可能な条件を明らかにすることはできなかった。アイゴは日中でもしばしば試験区に設置した隠れ家に潜り込んだり、試験区側面近くの水底に横臥したりすることが観察された。このような行動は、ブダイ幼魚でも観察され、これらの植食魚に共通する行動特性と考えられた。しかし、アイゴは幼魚であっても遊泳力が高く、覚醒状態であればその俊敏さからイセエビに捕食されることは考え難い。にもかかわらず、アイゴがイセエビに捕食されたという事実は、アイゴが夜間水底近くに眠るために夜行性であるイセエビに捕食されやすくなることを示唆する。しかし、本研究では当初想定していたような頻度で捕食を再現できなかった。その原因については、実験に用いたアイゴがしばしば人の少しの動作にも敏感に反応したことから、実験に用いたアイゴが常に警戒状態にあったため、眠ることができなかったことが可能性として考えられた。

表1 カジメ移植実験の結果

地点	実験開始日	被食開始～葉状部消失までの日数	食害魚(推定 TL, cm)
R5	2020/9/10	12～18日	ブダイ 1尾(40)
R6	2020/10/15	3～5日	ブダイ 2尾(45-46, 36-37)
F4	2020/9/10	4～7日	ブダイ 2尾(42-43, 38)
F5	2020/10/15	4～5日	ブダイ 2尾(40-42, 36-38)
R5	2021/10/5	5～6日	ブダイ 2尾(46,38)
R6	2021/10/5	0～4日	ブダイ 1尾(42)
R7	2021/10/5	4～10日	ブダイ 2尾(39, 46)
R8	2021/10/5	1～5日	ブダイ 1尾(46)

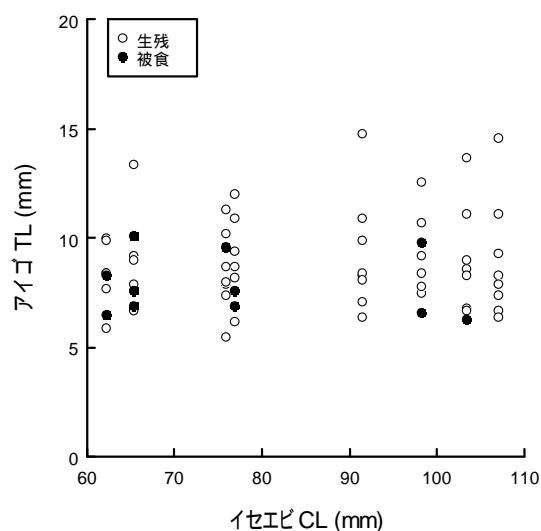


図6 イセエビに捕食または捕食されなかったアイゴのサイズ関係

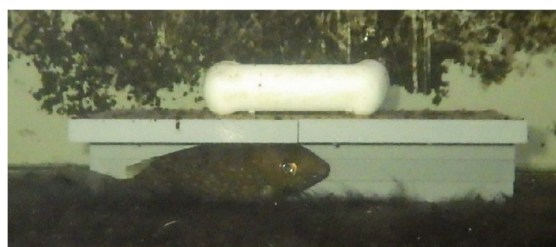


図7 底状の隠れ家(高さ30mm×幅200mm)に潜入したアイゴの夜間フラッシュ撮影画像

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1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 Kawamata Shigeru, Taino Seiya	4. 巻 31
2. 論文標題 Trophic cascade in a marine protected area with artificial reefs: spiny lobster predation mitigates urchin barrens	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ecological Applications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/eap.2364	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 川俣茂・棚田教生・鈴木健吾	4. 巻 2022
2. 論文標題 イセエビは植食魚の分布を制限する捕食者になり得るかー水槽及び野外実験による検討ー	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本水産工学会学術講演会論文集	6. 最初と最後の頁 103-106
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 無
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 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 川俣茂・棚田教生・鈴木健吾
2. 発表標題 イセエビは植食魚の分布を制限する捕食者になり得るかー水槽及び野外実験による検討ー
3. 学会等名 2022年度日本水産工学会学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

イセエビは植食魚の捕食者になり得るか
<http://nrife.fra.affrc.go.jp/seika/R3/21-14.pdf>

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
研究 分担者	益田 玲爾 (Masuda Reiji) (60324662)	京都大学・フィールド科学教育研究センター・教授 (14301)	

	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
研究 協力者	鈴木 健吾 (Suzuki Kengo)		

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
---------	---------