

# 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 —水槽及び野外実験による検討—

川俣 茂 ((国研) 水産研究・教育機構 水産技術研究所)

棚田教生 (徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課)

鈴木健吾 ((国研) 水産研究・教育機構 水産技術研究所)

## 1. はじめに

大型海藻の藻場からウニが優占する磯焼け場への相変化 phase shift は、1970年代頃から世界中の多くの沿岸域でみられ、注目されてきたが、その現象の捉え方と対策は海外と国内では大きく異なっている。海外では、古くからウニの磯焼けの原因は、ウニの捕食者の乱獲であり、捕食者の減少⇒ウニの増加⇒海藻の減少という栄養カスケード仮説があった。その仮説は1970年代頃から設定されてきた全面禁漁区において捕食者の増加⇒ウニの減少⇒海藻の増加という多くの事実により検証され、今日では捕食者の重要性が広く認識され、全面禁漁区が有効な磯焼け対策として考えられている。これに対して、我が国ではウニが増加した原因は検討されることなく、専ら手作業によるウニ除去が対症療法的に行われている。捕食者は一般に、移動性が高く、局所的に増やすためには大規模な全面禁漁区が必要である。しかし我が国では、沿岸域が各地の漁協によって分割管理されているため、保護区はあっても小規模なものしかなく、捕食者—ウニ—海藻の栄養カスケード効果は期待し難い。そのような困難な状況下で川俣ら<sup>1,2)</sup>は、定着性のあるイセエビに着目し、イセエビの特に大型個体が強力なウニの捕食者になり得、投石礁などの好ましい隠れ場が存在すれば定住して、夜間周辺(少なくとも<60m)のウニを捕食し、隠れ場周辺にウニの低密度領域を形成し、その結果藻場が持続的に維持されることを、高知県の比較的小規模な(約0.3km<sup>2</sup>)イセエビ保護区で明らかにした。その成果は、藻場保全における捕食者の重要性を示した国内初の事例となり、「捕食者を利用した藻場回復の手引き」<sup>3)</sup>作成につながった。

しかしながら、本州中部以西では、ウニだけでなく、移動力の高いアイゴ、ブダイなどの魚類も海藻を食害する重要な植食動物になっており、その食害対策はウニ以上に難しいことから、捕食者によるトップダウン制御が期待される。植食魚の捕食者としては、これまでのところアイゴの潜在的捕食者としてアオリイカが

挙げられている<sup>4)</sup>が、保護対象にしやすい有力な捕食者は知られていない。そのような状況の中で、著者の一人川俣は偶然にもイセエビがアイゴ幼魚を捕食することを実験水槽で発見し、アイゴ、ブダイなどの植食魚は夜間、岩陰などで眠るために夜行性のイセエビに捕食されるという仮説に思い至った。当仮説よりイセエビによる捕食圧の高い保護区では「捕食魚は生息しないか、生息しても他所からきた大型個体で、そのサイズは保護区内のイセエビによる捕食限界サイズを超える」ことが予想される。本報では、イセエビによる植食魚の捕食を実験的に確認するための水槽実験と、上記予想を検証するため上記イセエビ保護区で実施したカジメ移植実験について報告する。

## 2. 実験方法

### 1) 水槽実験

水槽実験は、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課美波庁舎と水産技術研究所神栖庁舎(以下、徳島県美波庁舎と水技研神栖庁舎と記す)の2箇所で行った。

徳島県美波庁舎では、建材ブロック2個を設置し、ろ過海水を掛け流した500L角型水槽において2回の実験を行った。最初の実験では、頭胸甲長CL61–66mmのイセエビ4尾を実験水槽に収容、馴致しておき、全長TL213–245mmのアイゴ3尾を追加して、その後の経過を観察した。2回目の実験では地先で漁獲された最大級(CL114.7mm)のイセエビ1尾とTL256mmのアイゴ1尾を用いて同様の手順で観察を行った。

水技研神栖庁舎では、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餌料((株)キョーリン、アイドル)を与え、2022年2月4日まで飼育した個体(TL55–148mm)64尾と、2021年11月に高知県須崎市沿岸及び千葉県銚子市沿岸で漁獲されたオスのイセエビ(CL61–108mm)16尾を用いた。実験には図1に示す屋内コンクリート製角型平面

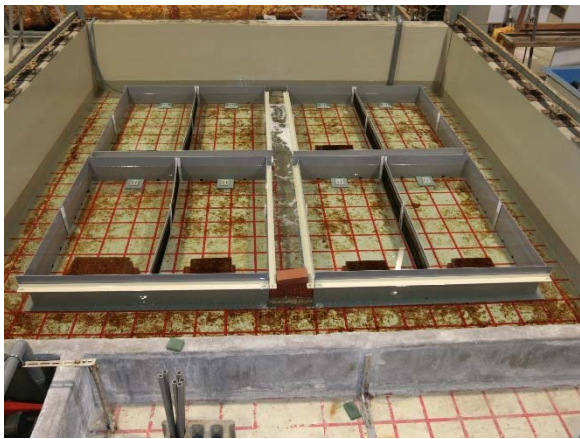


図1 平面水槽内に設置した8試験区

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、常時ヒーターにより 18°C 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。

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 (TL、体長 BL 及び体高 BH) 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。

## 2) カジメ移植実験

カジメ移植実験は、従来と同じ須崎市池ノ浦のイセエビ保護区とその周辺域で実施した。カジメは、同海域ではすでに全滅して 20 年以上が経過し、近隣久通



図2 撮影装置に取り付けられた移植カジメ

漁港では移植してもブダイ等の植食魚に被食されて生残できないことが知られている。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宇佐漁港沖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 (brinno 製, TLC200 Pro) 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 2)。これにより、カジメを食べにきた植食魚はネットに沿って泳ぐ場合が増え、TL を画像解析しやすくなる。画像解析では TL のより正確な推定値を得るため、①枠につけたマーカーの画像座標から物理座標(x-z 座標)を得るための座標変換式を定める、②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、③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、マーカーの 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、保護区内のイセエビの隠れ家となっている離れた投石礁 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



図3 イセエビに捕食されたアイゴ

約1ヶ月間、実施した。

### 3. 実験結果

#### 1) 水槽実験

徳島県美波庁舎の最初の実験では、アイゴの捕食は全く観察されなかったが、2回目の実験では4日目の夜に捕食されたアイゴが観察された(図3)。最初の実験では、夜間アイゴは水槽の底に静止していたが、イセエビはアイゴを捕らえようとしても逃げられるのが観察された。

水技研神栖庁舎の実験では、アイゴは被食されると、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週間でアイゴ64個体中11個体(17%)が捕食されたが、その捕食は1個体を除いて最初の1週間のみに起こった。観察されたイセエビによるアイ

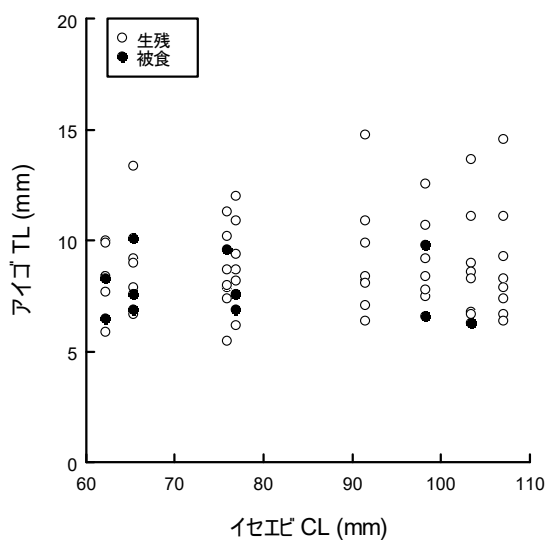


図4 イセエビに捕食または捕食されなかったアイゴのサイズ関係



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

ゴの捕食と非捕食のサイズ関係を図4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。

#### 2) カジメ移植実験

移植したカジメは、すべてブダイ1尾ないし2尾によって食べ尽くされた(図5、表1)。日中カジメを発見したブダイは、ほとんどの場合、翌日の朝から現れて摂食を再開し、夜間の隠れ家との間を行き来して、カジメを食べ尽くすまで摂食を繰り返した。保護区内の地点R5、R6、R7及びR8で観察されたブダイの大きさと出現日時より、保護区内に生息するブダイは2020年にTL40と46cmの2尾、2021年にTL38の1尾が加わった3尾しか生息していない可能性が示された。また、観測期間中、その他の藻食魚としてはアイゴ2尾とノトイヌズミ1尾がみられたが、カジメを摂食する様子はみられなかった。

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)

#### 4. 考察

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を確認した。アイゴは、日中でもしばしば試験区に設置したアイゴ用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した。このような行動は、ブダイ幼魚 (TL13–15 cm) でも観察されており、これら植食魚に共通する行動特性と考えられる。アイゴは幼魚であっても遊泳力は高く、覚醒状態であればその俊敏さからイセエビに捕捉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で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強く示唆する。

一般に捕食-被食関係にはサイズ依存性があり、イセエビ-ウニ間でも捕食者・被食者の体サイズ比に有意な関係があることが知られている<sup>2)</sup>。イセエビ (捕食者) とアイゴ (被食者) の体サイズ比を CL/TL で表すと、徳島県美波庁舎での実験結果より、捕食・被食は CL/TL が 0.31 以下では起こらず、少なくとも 0.45 以上が必要であると推察される。しかし、水技研神栖庁舎での実験では CL/TL はいずれも 4 以上もあり、体サイズが捕食・被食を制限する条件ではなかったと考えられるが、捕食個体は予想より少なかった。この原因としては、試験区内にアイゴ用の隠れ家を設置したために、アイゴが捕食を回避しやすくなった可能性が考えられる。実海域でアイゴが夜間どのような場で眠るのかについては、海草場の近くの海底に沈んだデトリタス (おそらく、海草の脱落葉など) の下に潜り込んで眠るというフィリピンでの観察例<sup>3)</sup>があるが、知見は少ない。今後、“寝所”の選択性やその形状が捕食に及ぼす影響などを明らかにする必要がある。

また、イセエビの小型個体が比較的多くのアイゴを捕食したことから、CL/TL が大きすぎて、すなわちアイゴが小さすぎてイセエビがアイゴを捕捉し難かった可能性も考えられた。しかし、それと同時にその反証としてアイゴの被食率がアイゴの小型個体でむしろ高いという傾向もみられ、判然とした結果は得られていない。さらにイセエビによるアイゴ捕食のほとんどが実験開始の第一週に限られたことは、アイゴの学習効果が影響した可能性を示唆する。以上の解明は、今後の課題として残された。

イセエビ保護区で実施したカジメ移植実験では、小型のアイゴやブダイはほとんどみられず、移植したカジメは、2 ないし 3 尾の非常に数の限られた大型ブダイの摂食により消失した。この結果は、想定した仮説「イセエビの保護区では、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。しかしながら、当保護区の近隣域でも同様にアイゴやブダイの小型個体は観察されず、捕食以外の要因の影響も否定できない。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<sup>5)</sup>。研究対象とした保護区には、沖防波堤や漁港があり、その周辺に静穏域があるが、波浪の強い外海域に面するため、アイゴやブダイの稚稚魚が強い波浪によって分布を制限されている可能性も考えられる。この点も含めて今後検討する必要がある。

最後に、研究を行ったイセエビ保護区では、カジメを食害する植食魚が非常に限られることが明らかとなったことから、それらを除去できれば、移植によりカジメ群落を比較的容易に回復できる可能性があることを付記する。

#### 謝辞

水産技術研究所神栖庁舎で行った捕食実験には、(公財) 海洋生物環境研究所より分譲されたアイゴを用いた。分譲には島 隆太、渡邊裕基氏にご協力頂いた。また移植実験に用いたカジメの採集には高知大学田中幸記氏にご協力頂いた。これらの方々には感謝申し上げます。本研究は JSPS 科研費 JP20K06196 の助成を受けたものである。

#### 参考文献

- 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. 日水誌, **82**, 306–314, 2016.
- 2) S. Kawamata, S. Taino: Trophic cascade in a marine protected area with artificial reefs: spiny lobster predation mitigates urchin barrens. *Ecol. Appl.*, **31**, e02364, 2021.
- 3) 水産庁: 捕食者を利用した藻場回復の手引き. 2021; [https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko\\_gyozyo/g\\_gideline/attach/pdf/index-47.pdf](https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_gideline/attach/pdf/index-47.pdf).
- 4) 島 隆夫: アオリイカによるアイゴ稚魚捕食. 海生研研報, **27**, 49–57, 2022.
- 5) D. Bellefleur: How to design a marine reserve for rabbitfish (*Siganus fuscescens*). Masters Dissertation: Dalhousie University.