

海産外来種を取り巻く複雑な種間関係を紐解く

頼末武史（兵庫県立大学 自然・環境科学研究所 准教授）

海の外来種問題

2020年に世界各地の29名もの研究者から構成される国際研究グループが発表した論文によると、1965年以降に海などの水圏生態系では8.4日に1種類のペースで外来種が発見されています（Bailey et al., 2020）。このような水圏の外来種の大部分はタンカーなどの大型船舶に付着して移動したり、小さなプランクトン幼生がバラスト水という船舶の重しとして使われている海水に混入することで本来の分布域外の地域に侵入し、定着しています。国際貿易のための大型船舶の航行量は2050年までに大きく増加すると予測されており、外来種の侵入リスクも大きくなっていく可能性があります（Sardain et al., 2019）。外来種は移入先で在来種と空間や餌資源をめぐる競争など、様々な関わり合いをしています。外来種の生態系への影響を明らかにするには、このような生物間の関わり合いを解明していく必要があります。ここでは私が行った捕食者巻貝が在来種と外来種のフジツボ同士の関係に与える影響を調べた研究の内容（Yorisue et al., 2019）とその研究の経緯や今後の展望についてご紹介します。

海産外来種の研究材料としてのフジツボ

フジツボは岩盤などに固着して生活をしている沿岸域を代表する海洋生物です。フジツボは外来種として分布を拡げている種も多く、日本では8種類の外来フジツボが確認されています。これらの外来フジツボが在来種を圧倒している海岸も多くあります。そのため、外来フジツボに関する研究は沿岸生態系への影響を調べる上で欠かせません。加えて多くの外来フジツボは潮間帯と呼ばれる、潮が引いた時に陸地となる場所に生息しています。フジツボは動かない上に潮間帯は潮が引けば歩いて調査ができるため、モニタリングなどの調査や野外での実験がしやすいと言う研究上のメリットもあります。

研究の経緯

共同研究者のJulius Ellrichさんは大西洋でフジツボの捕食者である肉食性巻貝の存在がフジツボの新規加入（ここではフジツボの幼生が岩盤などに固着してある程度成長すること）に与える影響を野外実験で調べていました（例えばEllrich et al., 2015）。彼の研究では捕食者巻貝もフジツボも大西洋に元々生息している在来種を対象としていましたが、在来種の捕食者の存在が外来種のフジツボや同じ環境にいる複数種のフジツボ同士の関わり合いにどのような影響を与えているのかはよくわかっていない状況でした。

2000年に東北～北海道南部の太平洋岸で、北米太平洋岸を原産とするキタアメリカフジツボと言う外来種が発見されました（Kado, 2003）。この時点ですでに在来種を圧倒している海岸も少なくありませんでした。その後本種は北海道東部まで分布を拡大させています（Alam et al., 2014）。私は2013年～2018年まで北海道東部の厚岸町にある北海道大学・厚岸臨海実験所に所属していました。厚岸の潮間帯ではこのキタアメリカフジツボと在来種のキタイワフジツボが混在していて、餌や空間などの資源をめぐる競争関係にあります（図1）。2015年に私が参加した国際学会でJulius Ellrichさんが、捕食者が近くにいるとフジツボの幼生が（おそらく）その匂いなどを忌避して加入量が減少するという実験結果に関して研究発表を行っていました。彼の研究に興味を持ち、発表後に話しかけたところすぐに意気投合し、彼の実験手法を使って厚岸をフィールドにした共同研究を始めることになりました。具体的には厚岸の代表的な捕食者巻貝（エゾチヂミボラ）がキタアメリカ

フジツボとキタイワフジツボの競争関係に対してどのような影響を与えているのかを調べることにしました。

捕食者を介した在来フジツボと外来フジツボの関係

2016年5月～9月にかけて、当時所属していた北海道大学・厚岸臨海実験所にある栈橋のコンクリート壁で実験ケージを使った野外実験を行いました(図2)。ケージは塩ビパイプとプラスチックネット製で、中央部に板(加入板)を取り付けており、一定期間経過すると加入板にフジツボの幼生が加入してきます(図2)。ケージの縁辺部にはエゾチヂミボラを入れたものと入れていないものを用意し、加入板がある中央部と縁辺部はネットで仕切ることによってエゾチヂミボラがいても加入板に接触してフジツボが捕食されないような構造になっています(図2)。実験後の加入板上のキタアメリカフジツボとキタイワフジツボの数を解析することで、エゾチヂミボラの存在によってフジツボの加入量がどのような影響を受けているのかを調べました。実はこの実験、2015年に始めたのですが、その年は私にとって初めて野外実験をした年で、完全に失敗に終わってしまいました。実験ケージが波にさらわれてしまったのです。それでも方法を改善して翌年に再チャレンジしたところ、なんとかデータを得ることができました。

データを解析すると、キタイワフジツボの加入量はエゾチヂミボラの存在によって減少していましたが、キタアメリカフジツボの加入量は変化していませんでした。なぜ同じフジツボなのに異なる結果になるのか、様々な可能性を考えました。もしかしたら外来種のフジツボは移入先で遭遇する新しい捕食者のことを認識できていないのかもしれませんが。しかし今回実験に使ったエゾチヂミボラの分布域は広く、キタアメリカフジツボの原産地にも分布していることからその可能性は低いと考えられます。別の理由を考えていたところ、車の運転中にふとキタイワフジツボとキタアメリカフジツボの加入時期のズレが重要なのではないかと思いつきました。キタアメリカフジツボの加入はキタイワフジツボよりも遅れて始まることが示唆されていて、その場合、後から加入してくるキタアメリカフジツボが利用できる空間が既にキタイワフジツボに占領されて制限られてしまうこととなります。さらに少し複雑ですが、この時エゾチヂミボラがいるとキタイワフジツボの加入量が減るため、後から加入するキタアメリカフジツボが利用できる空きの空間が比較的大き

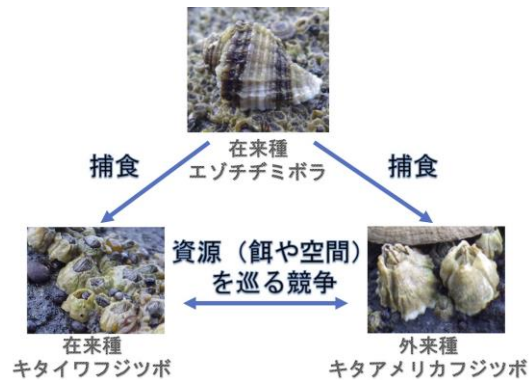


図1 外来種のキタアメリカフジツボと在来種の種間関係

キタアメリカフジツボとキタイワフジツボは餌や空間の資源を巡る競争関係にある。肉食性巻貝であるエゾチヂミボラはフジツボ類の主要な捕食者である。

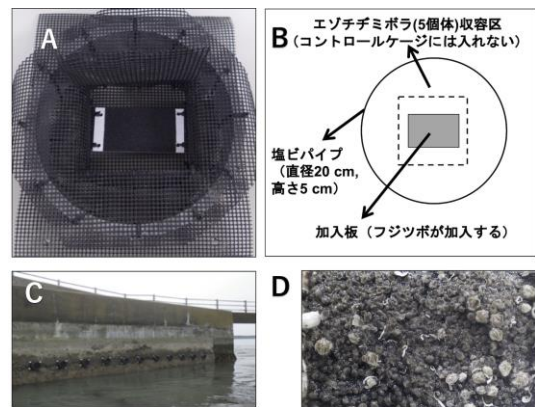


図2 実験に使用したケージの構造と野外実験の様子

(A) 実験ケージの写真。中央部は見やすくするために開けている。(B) 実験ケージの模式図。(C) 北海道大学・厚岸臨海実験所での野外実験の様子。(D) 実験後の加入板の写真。白く大きいフジツボがキタアメリカフジツボで、その他の空間はほとんどキタイワフジツボが占めている。フジツボに覆われていない空き空間も少し見える。

くなることとなります。この可能性を考慮してデータを再解析したところ、エゾチヂミボラの存在によってキタアメリカフジツボの利用可能面積に対する加入量が減少していることを見出しました。つまり、キタアメリカフジツボの立場から見ると、エゾチヂミボラは加入量を減少させられる厄介な存在である一方で、競争関係にある在来種の加入量を減少させて利用できる空き空間を増加させてくれるありがたい存在でもあることがわかってきました（図3）。

今後の展開

今回の実験では、近くに捕食者がいるだけで実際に捕食者に食べられているわけではないのに新規に加入するフジツボの数が減少しました。フジツボの幼生が捕食者の分泌物に由来する化学物質を避けていると考えられています。このように海洋生態系では生物の分泌物を介して生物同士の複雑な関わり合いが形成され、外来種の侵入や定着にも大きな影響を及ぼしていると考えられます。今回は捕食者の分泌物にまつわる研究でしたが、実際には様々な生物が分泌物を出しています。例えばフジツボ自身もフェロモンを分泌して同種の幼生を誘引していることが知られています。しかし在来フジツボのフェロモンが外来フジツボの幼生を誘引してしまうのか？外来フジツボのフェロモンは別の外来フジツボの幼生を誘引するのか？など、分泌物を介した生物間の関係性はわかっていないことだらけです。私は海洋生物の分泌物が複雑な生物同士のつながりにどのような影響を与えているのか、またそれが外来種の侵入・定着にどのような影響を与えているのか、ということを解明するために地道に研究を進めていきたいと考えています。

いうまでもなく海産外来種問題への対策は地球規模の国際的な課題です。基礎研究分野においても国際的なネットワークが重要で、冒頭にご紹介した論文（Bailey et al., 2020）はそういった国際共同研究による代表的な成果です。しかし残念ながらこの論文の著者に日本人はいません。この論文を読んで以来、世界の国際的な海産外来種研究から日本が取り残されてしまうのではないかと、大きな危機感を感じていました。そんな折、海産外来種に関する国際学術会議の運営メンバーへの就任依頼を受け、2020年から引き受けることになりました。基礎研究分野の研究者として、国際学術誌への研究論文掲載や国際学術会議での運営、また研究発表を通して日本のプレゼンスを示していきたいと考えています。

引用文献

- Alam, A. K. M. R., Hagino, T., Fukaya, K., Okuda, T., Nakaoka, M., & Noda, T. (2014) Early phase of the invasion of *Balanus glandula* along the coast of Eastern Hokkaido: changes in abundance, distribution, and recruitment. *Biological Invasions*, **16**, 1699-1708.
- Bailey, S. A., Brown, L., Campbell, M. L., Canning - Clode, J., Carlton, J. T., Castro, N., et al. (2020) Trends in the detection of aquatic non - indigenous species across global marine, estuarine and freshwater ecosystems: A 50 - year perspective. *Diversity and Distributions*, **26**, 1780-1797.

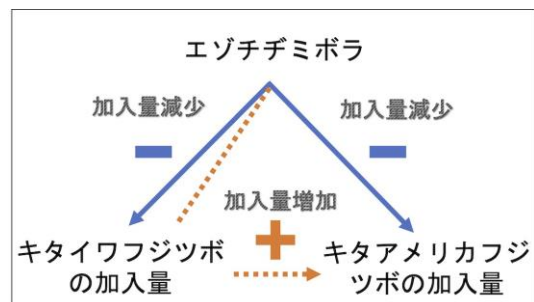


図 3. 実験の結果から明らかになったエゾチヂミボラがフジツボの加入に与える影響

キタイワフジツボもキタアメリカフジツボもエゾチヂミボラを忌避して加入量が減少する（青の矢印）。しかしエゾチヂミボラは先に加入するキタイワフジツボの加入を減少させることによって、後から加入するキタアメリカフジツボが利用できる空き空間を増加させ、キタアメリカフジツボの加入量を増加させる効果ももたらす（オレンジの矢印）。

- Ellrich, J. A., Scrosati, R. A., & Molis, M. (2015) Predator nonconsumptive effects on prey recruitment weaken with recruit density. *Ecology*, **96**, 611-616.
- Kado, R. (2003) Invasion of Japanese shores by the NE Pacific barnacle *Balanus glandula* and its ecological and biogeographical impact. *Marine Ecology Progress Series*, **249**, 199-206.
- Sardain, A., Sardain, E., & Leung, B. (2019) Global forecasts of shipping traffic and biological invasions to 2050. *Nature Sustainability*, **2**, 274-282.
- Yorisue, T., Ellrich, J. A., & Momota, K. (2019) Mechanisms underlying predator-driven biotic resistance against introduced barnacles on the Pacific coast of Hokkaido, Japan. *Biological Invasions*, **21**, 2345-2356.