

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：32607

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05791

研究課題名(和文) 固着性動物群集が沿岸生態系の生物多様性形成および餌料環境にもたらす影響の解明

研究課題名(英文) Understanding the effects of sessile animal communities on biodiversity formation and feeding habitat in coastal ecosystems

研究代表者

広瀬 雅人(Hirose, Masato)

北里大学・海洋生命科学部・講師

研究者番号：10809114

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：岩手県大槌湾，越喜来湾，および宮城県松島湾において，試験板を用いた調査，およびROVによる海底の生物群集の観察を行い，付着生物の種組成や季節消長と生息環境，そこに棲み込む小型底生生物の種組成との関係を明らかにした．また，環境水に含まれる環境DNAを用いて，試験板による調査結果を検証した．加えて，固着性動物群集を利用する小型甲殻類の種組成と個体数，摂餌行動についても調査・観察し，それらの生活史の概要と沿岸生態系における重要性を示した．さらに，試験板上で優占するフサコケムシを対象に，異なる水温，流速，餌濃度環境下での摂餌生態を観察し，各種環境と摂餌量との関係を明らかとした．

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は，三陸沿岸域の養殖施設等にみられる固着性動物について，細かな環境の違いでその種組成や生物量が大きく異なることを明らかとした．この結果は当該海域における固着性動物の出現動態の把握や今後の予測を行う上で重要な知見になると期待される．また本研究は，固着性動物群集に棲み込む小型底生生物の具体的な種組成や生物量のほか，異なる環境下でのフサコケムシの摂餌量も初めて明らかにした．これらの結果はいずれの動物も沿岸域の餌料環境や生物量に少なからず影響を及ぼすことを示しており，ここで得られた具体的なデータは，今後の沿岸生態系モデルの構築や環境収容力推定において有用な情報を提供すると期待される．

研究成果の概要(英文)：The relationships between the species composition and seasonality of sessile organisms, and their habitat environments, and small benthic organisms inhabiting these sessile organisms were clarified by survey using settlement panels and observation of bottom communities by ROV in Otsuchi Bay, Okirai Bay, and Matsushima Bay. The environmental DNA in the seawater was also used to verify the results of the survey using settlement panels. Furthermore, the species composition, abundance, and feeding behavior of small crustaceans that using sessile organism assemblage were also investigated to provide an overview of their life history and their importance in coastal ecosystems. In addition, the feeding ecology of tufted bryozoan *Bugula neritina*, which is the dominant species on the settlement plates, was observed under different water temperatures, currents, and food concentrations, to clarify the relationship between the environmental factors and food intake.

研究分野：動物学，系統分類学，形態学，生態学

キーワード：固着性動物 種組成 出現動態 小型甲殻類 コケムシ 摂餌生態 多様性 環境収容力

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

海洋沿岸域において固着性の動物が作り出す群集は、他の生物に棲息場や餌料を提供することで、海洋生物の多様性形成・再生産において重要な役割を担っている。これら固着性動物群集の分布の決定要因、およびそれらが他の生物とどのような関係にあるかを調べることで、日本の沿岸域における生物多様性形成過程の一端を明らかとすることが可能である。

沿岸域においては、造礁性イシサンゴ群集(サンゴ礁)や海藻海草群集(藻場)に代表される生物群集が、魚類や底生生物に餌料や生育場を提供している。一方、実際の海底にはこの他にも多数の固着性動物が小さな群集を形成しており、それらは底生生物の分布や生活史と密接に関係していると考えられるが、このような群集の生態学的知見は乏しい。また、沿岸域では海藻類や貝類などの養殖が盛んに行われており、これら養殖施設や養殖生物も天然の固着性動物の付着基質となる。そのため、ときに海面の大部分を覆う養殖施設は、沿岸生態系の物質循環を考える上で無視できない存在である(図1)。しかし、これらの垂下物上の固着性動物群集、さらにその群集を利用する生物の生態についてはほとんど調査されてこなかった。

また、これら固着性動物群集は、水中のプランクトンを餌とする貝類養殖の規模や生産性を考える上でも無視できない。固着性動物の多くは懸濁物食者であるため、養殖水産物との餌量を巡る競合が、養殖生産の効率に影響を及ぼすと考えられる。その解決には、固着性動物の分布や種組成の動態、さらに摂餌生態を明らかにすることが必要不可欠である。

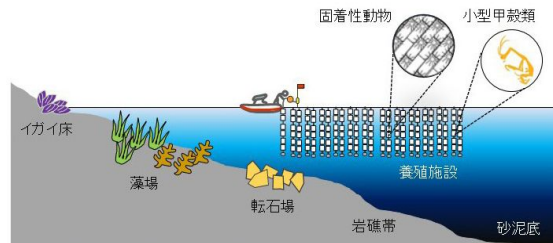


図1. 沿岸生態系と養殖施設との関係

そこで本研究では、1) 沿岸域において固着性動物が創り出す群集の生態学的な役割は？、2) 固着性動物群集が沿岸域の餌料環境に与える影響は？ の2つの問いを主軸とした。

2. 研究の目的

本研究は、沿岸域において固着性動物が作り出す群集の分布と種組成、そこに生息する底生生物の種組成と個体群動態、さらに固着性動物が沿岸域の餌料環境にもたらす影響について、野外調査と飼育実験から明らかとすることで、固着性動物が沿岸生態系において果たす役割を明らかとすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では上記の目的に従い、養殖漁業が盛んな三陸沿岸域をフィールドとして、(1) 固着性動物の分布および生活史と海洋環境との関係、(2) 固着性動物群集を利用する底生生物の生活史、(3) 固着性動物の摂餌量が餌量環境に与える影響、の3点について野外調査および飼育実験を行った。

(1) 固着性動物の分布および生活史と海洋環境との関係

岩手県大槌湾、越喜来湾、および宮城県松島湾において、環境が大きく異なる地点および水深帯に塩化ビニル製の試験板を複数枚垂下した。これを約2.5ヶ月おきに交換することで、試験板上にみられる固着性動物の付着量と種組成の動態を調査した。また、試験板交換時にメモリー式水質測定装置を用いて調査地点の水温、塩分、クロロフィルa 蛍光、濁度、溶存酸素を測定したほか、試験板と併せて水温・導電率・流向流速を測定するロガーを設置し、群集の遷移過程を継続的な環境データと併せて追跡した。さらに、試験板上で確認されたコケムシ類3種を対象に種特異的プライマーとプローブを作製し、各調査地点で採水した環境水中に含まれるDNA配列から対象種の検出方法の有効性の検証も行った。

(2) 固着性動物群集を利用する底生生物の生活史

養殖環境：垂下物上の群集については、回収した試験板を真水で洗い、表在性の生物を採集した。これらを観察・分類して種組成や現存量を定量的に明らかにするとともに、無作為抽出した個体の体サイズ分布と成熟メスの割合から、これらの生活史についても推定した。また、ワレカラ類については、水中ポンプと流量計に接続したパイプ内でワレカラ類数種を異なる基質に付着させ、異なる水流環境下における付着力の観察を行った。また、真球状ポリマー粒子を懸濁させた水中におけるワレカラ類の摂餌行動をレーザー光照射下でハイスピードマイクロスコープを用いて撮影し、PIV 解析ソフトウェアを用いて摂餌行動時のワレカラ類周囲の水流の動きを可視化した。

海底岩礁帯：岩手県大槌湾の水深約 70 m の岩場に存在する固着性動物群集について、水中遠隔操作無人探査機 (ROV) のハイビジョンカメラを用いて実際の生息環境を観察した後、スラップガンを用いて固着生物ごと棲み込む底生生物を採集した。得られた映像と標本の観察結果から種同定を行った。また、ROV 調査と併せて同海域においてドレッジにより底生生物を採集し、群集上にみられた底生生物の周辺環境における分布状況についても調査した。

(3) 固着性動物の摂餌量が餌量環境に与える影響

宮城県松島湾のカキ養殖施設においてフサコケムシの生体を採集し、水温・流速・餌量を変えた実験区画に入れ、単離培養した渦鞭毛藻を餌量として与え、一定時間ごとに摂餌行動 (触手冠数) および摂餌量 (偽糞数) の観察と計数を行った。この結果に基づき、群体 1 cm あたりの摂餌量を算出し、環境間で比較した。また、排泄物である偽糞中の消化細胞数の割合を観察し、各実験区における消化率 (偽糞内の消化細胞数 / 全細胞数) も算出した。

4. 研究成果

(1) 固着性動物の分布および生活史と海洋環境との関係

岩手県大槌湾および越喜来湾では、調査期間全体で約 30 種の固着性の動物が得られた。いずれの調査地点においても、冬季 (1~4 月回収板) では海藻類が多くみられ、夏から秋 (8 月~11 月回収板) で動物が多い傾向がみられた。付着生物の付着量は、総じて浅い水深帯において特に多い傾向がみられたが、その分布水深帯は種によって異なった。また、特に種数が多かったコケムシ類に着目すると、その種組成は年によっても大きく異なった。

4 月および 7 月の回収板においては、*Obelia* 属のヒドロ虫が優占した。また、2 月~3 月に親潮の接岸による急激な水温低下 (約 2°C) と導電率の低下が観測された 2019 年においてヒドロ虫の付着時期が遅れたことから、親潮に起因する低水温によってヒドロ虫類の成長が抑制される可能性が明らかとなった。7 月~9 月には、ヨコエビ類の棲管が優占した。7 月には水深 5 m など浅い水深帯で特に多かったのに対して、8 月以降では水深 10 m などやや深い水深帯においても優占する傾向がみられた。これら両時期の環境を比較すると、8 月以降では水深 10 m においても水温が 20°C に達することから、本種の出現動態や深度分布には 20 前後の高水温が関係していると考えられる。10 月~11 月に設置した試験板では、コブコケムシが優占した。本種の付着が多くなる時期は、水温が低下する時期と一致した。2018 年は群体数が少ない傾向がみられたが、これは秋の水温が高かったためコブコケムシの新規加入が少なかったこと、およびヨコエビ類が優

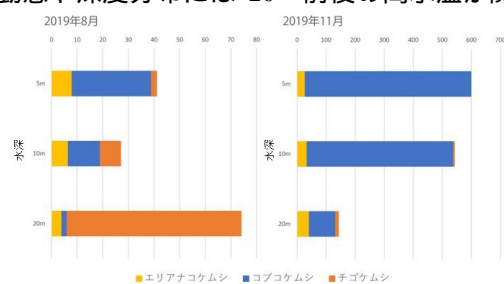


図2. 大槌湾湾奥において優占したコケムシ種の群体数と深度分布

占していたためと考えられる。また、コケムシ類の付着が特に多くみられた水深帯では、他の水深帯に比べてクロロフィル蛍光の値が高い傾向がみられた。このことから、コケムシ類の幼生の着底は水温だけでなく、餌となる植物プランクトンの量にも影響を受けている可能性が明らかとなった。コケムシ類については種によって進度分布が異なり、コブコケムシが浅い水深帯に多くみられたのに対して、チゴケムシは比較的深い水深帯に多い傾向がみられた（図2）。この結果から、光条件や水温、餌料環境の他にも着底の深度分布を決定づける要因があることが明らかとなった。

一方、宮城県松島湾においては、調査期間全体で約20種の固着性の動物が得られ、中でもフサコケムシとツブナリコケムシ、*Obelia* 属のヒドロ虫が優占した。コケムシ2種においては、フサコケムシの群体は夏から秋にかけて優占し、ツブナリコケムシの群体は初夏に多くみられた（図3）。これらの優占種にみられる季節性の違いは、試験板の浸漬期間中の水温が両種の繁殖温度と関係しているためと考えられる。本研究の結果により、松島湾のフサコケムシは水温20°C以上で活発に繁殖することが初めて明らかとなった。

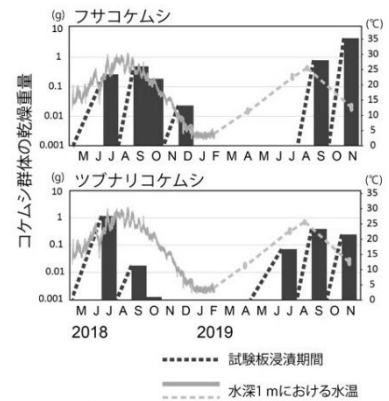


図3. 松島湾で得られたコケムシ2種の付着量

一方、これらの分布については、コケムシ類は湾奥の地点で特に多い傾向がみられ、導電率やクロロフィル蛍光の値から、河川水と餌料環境による影響が示唆された。また、フサコケムシの付着量は浸漬期間中の降水量と相関関係があることも本研究により初めて明らかとなった。

試験板設置地点の環境水に含まれる環境DNAにもとづきコケムシ3種の検出の有無を検証した結果、調査時に付着がほとんど確認されなかったチゴケムシとエリアナコケムシについても、rtPCR装置を用いた解析により検出できる可能性が示唆された。試験板を用いた調査では、板上の固着性動物の付着量から固着性動物の加入・現存量をおおまかに把握することが可能であるが、異なる付着基質上や自然環境中に生息する正確な種の現存量を推定することは困難である。本研究の結果から、環境DNAを対象とした調査において、わずかな付着量であっても環境中に生息する付着生物が検出される可能性が示されたことから、今後はこの手法を試験板調査の結果と併せて評価することで、より正確な評価が可能になると期待される。

(2) 固着性動物群集を利用する底生生物の生活史

養殖環境：越喜来湾と大槌湾では年間を通してフトヒゲカマキリヨコエビが優占し、特に夏に小型甲殻類の個体数が多くなる傾向が明らかとなった（図4）。一方、湾間で結果を比較すると、その種組成や動態は湾によって大きく異なり、特に松島湾では季節により優占する種が大きく変化し、棲み込みを行う小型甲殻類の種の多様性が岩手県の2湾に比べて高いことが明らかとなった。

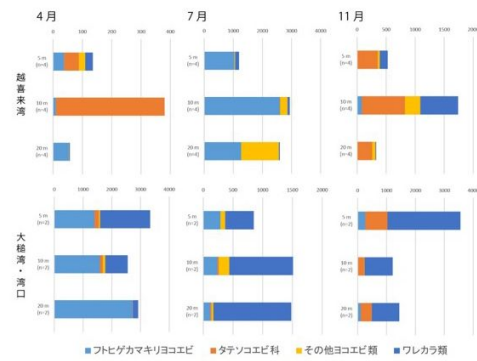


図4. 2019年越喜来湾および大槌湾で得られた試験板上の固着性動物群集に棲み込む小型甲殻類の種組成

また、越喜来湾で得られたワレカラ類の体サイズおよび成熟メスの割合を確認したところ、7月を除くすべての時期で体サイズの幅と成熟メスの割合に季節間で有意な差はみられなかった。この結果から、頻繁な加入による世代重複が生じていることが明らかとなった。

越喜来湾においては、最も優占したフトヒゲカマキリヨコエビを対象として2018年の9～11月の調査結果に基づき湾内の養殖施設に棲み込む小型甲殻類の総量を推定したところ、そ

の湿重量は数百から数千トンと試算された。これらの小型甲殻類は魚類の餌料にもなっていることが知られており、養殖施設上の固着性動物群集に棲み込む小型甲殻類が三陸沿岸域の水産資源の生産に寄与している可能性が初めて示唆された。

本研究ではこのほかに、ワレカラ類 4 種を対象とした付着力の実験から、実験に用いたすべての種が基質の種類に関わらず約 2 m/s の流速下においても基質に付着する力をもつことが初めてあきらかとなった。また、ワレカラ類が摂餌の際に行う体を折り曲げる行動の観察結果から、ワレカラの行動により周囲の粒子が効率よく口器周辺に集められる渦が発生していることが初めて明らかとなった(図 5)。

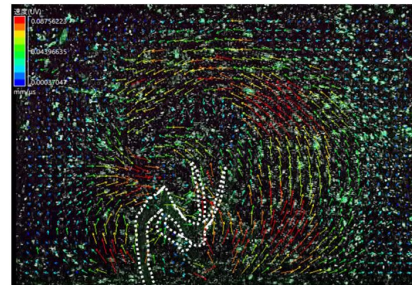


図5. ワレカラ(白破線)が体を前方に屈曲させた際に生じた周囲の流れ

海底岩礁体：大槌湾湾口部の海底岩礁域においては、コブコケムシ科の一種 2 群体およびキノエダカイメン 1 個体から、合わせて 8 動物門 42 種の無脊椎動物が得られた。この結果から、これらの固着性動物が多様な底生生物に生息場として利用されていることが明らかとなった(図 6)。また、これらの群集間では共通種も多い一方で、種数には大きな違いもみられ、基質となる生物種により群集構造も変化することが明らかとなった。今後は異なる季節にも調査することで、群集を利用する動物相の年変動についても明らかにすることができると期待される。



図6. ROVで撮影した大槌湾湾口部の海底に生息するコブコケムシ科の一種

(3) 固着性動物の摂餌量が餌量環境に与える影響

実験の結果から、フサコケムシは水温 10°C 以上であれば同等に摂餌行動を行い、流速が穏やかで餌濃度が一定以上の値であれば摂餌量も最大に近くなることが明らかとなった(図 7)。一方で、偽糞内の消化率はそれらの環境の違いによらず一定であることが初めて明らかとなった。このことは、摂餌行動

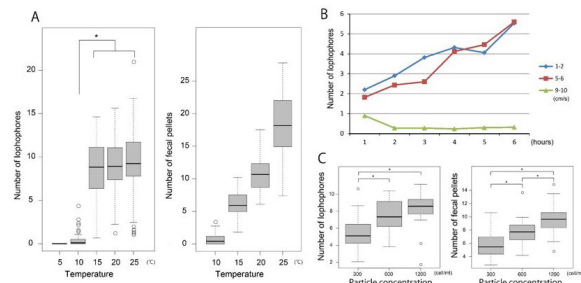


図7. 異なる水温下におけるフサコケムシの触手冠数と偽糞数(A)、異なる流速環境における触手冠数(B)、異なる餌料濃度環境における触手冠数と偽糞数(C)。

において伸展させる触手冠の数と単位時間あたりの摂餌量が、本種の最終的な同化効率に深く関係している可能性を示している。また、偽糞内には一定の割合で未消化の餌料細胞が含まれていることから、コケムシの偽糞は他の底生生物にとって安定して供給される餌料であると考えられる。本研究でフサコケムシ 1 群体の 24 時間あたりの推定摂餌細胞数から濾水量を推定したところ 71L であり、これは稚貝分散した後のホタテ 0 歳の濾水量の約 1.75 倍、付着性汚損生物であるシロボヤ 1 個体の約 3.5 倍、ムラサキガイ 1 個体と同程度の濾水量を持つと推定された。このことから、養殖施設に多く付着するフサコケムシ群体は沿岸域の餌料環境に少なからず影響を及ぼしていることが想定され、環境収容力を推定する上でも無視できない存在であると考えられる。今後、実際にこれらフサコケムシやその他のコケムシの摂餌量をモデルに反映していくためには、対象とする各海域において優占する群体を採集して同様の実験を行い、対象海域の群体において同様の傾向がみられるのかを検証することが必要であると考えられる。

ここまで述べた本研究の成果は今後、原著論文として公表していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 広瀬雅人, 大橋孝輔, 田口銀嗣, 大木雄介
2. 発表標題 異なる水温・流速・餌濃度環境下におけるフサコケムシの摂餌量
3. 学会等名 2020年度日本付着生物学会研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 広瀬雅人
2. 発表標題 養殖漁業に関わる付着生物の生態
3. 学会等名 大船渡市漁業就業者確保育成協議会主催 漁業に関する勉強会「漁場環境について考える」（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 広瀬雅人
2. 発表標題 三陸沿岸の水中垂下物上の固着性動物群集をとりまく海洋生物学
3. 学会等名 2019年度日本付着生物学会シンポジウム「三陸における付着生物研究」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirose M., Ohashi K. and Taguchi G.
2. 発表標題 Experimental study on the effect of temperature, flow velocity, and particle concentration on feeding and digestion in Bugula neritina
3. 学会等名 18th International Bryozoology Association Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 広瀬雅人, 古谷恵亮, 小林勇太, 難波信由
2. 発表標題 岩手県越喜来湾の人工構造物上にみられる付着生物群集を利用する表在性動物の種組成と生活史
3. 学会等名 2019年度日本付着生物学会研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 広瀬雅人
2. 発表標題 大槌湾・越喜来湾の付着生物群集と底生無脊椎動物の多様性
3. 学会等名 いわて海洋コンソーシアム研究者交流会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔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