

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 25 日現在

機関番号：11301
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21580217
 研究課題名（和文） 濾過食二枚貝のホタテガイ・マガキによる付着珪藻の利用メカニズムの
 解明
 研究課題名（英文） The Study on uptake mechanisms of benthic diatoms by scallops and
 oysters , suspension feeder bivalves.
 研究代表者 伊藤 絹子
 （東北大学 大学院農学研究科 助教 ）
 研究者番号：90191931

研究成果の概要（和文）：付着珪藻は、濾過食者であるホタテガイもマガキの食物としてひじょうに重要な役割を担っていることがあらためて確認された。付着珪藻は多種多様な種が共存しており、サイズ組成も様々である。付着珪藻はホタテガイやマガキの殻表やカゴ等に増殖して、剥離したものや滑走運動によって殻表縁辺に移動したものが取り入れられる。付着珪藻が通年安定的に増殖できるのは、共存付着動物からの栄養塩類の供給システムが存在するためと予測され、養殖システムを支えているミクロな物質循環系の重要性を見出すことができた。

研究成果の概要（英文）：Our study indicated the importance of benthic diatoms as the most available food for scallops and oysters, suspension feeder bivalves. There are many kinds of species of benthic diatoms living on the shell surface, and they have wide variations in size. Benthic diatoms grown on the shell surface and the cages are taken by scallops and oysters with cilium movement. The stable growth for benthic diatoms may depend on the constant supply of nutrients by sessile animals on the cages and shell surface. We discovered the importance of micro-material circulation in the waters for the aquaculture systems of the bivalves.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| 2009 年度 | 1,800,000 | 540,000 | 2,340,000 |
| 2010 年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 2011 年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,600,000 | 1,080,000 | 4,680,000 |

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学一般

キーワード：付着珪藻、濾過食者、ホタテガイ、マガキ、物質循環、養殖システム

1. 研究開始当初の背景

水域の基礎生産力は植物プランクトンの

増殖力に基づき推定されるのが一般的であ

り、たとえば養殖二枚貝の環境収容力を見積もる場合には、この値をベースにしている。しかし、ホタテガイやマガキなどの食物として付着珪藻の果たす役割が無視できないことを見出し、研究をはじめた。一般的には付着珪藻は厄介な植物として考えられることが多いが、これらが生態系に果たしている役割は大きいことを科学的に提示することが求められていた。

2. 研究の目的

日本の養殖漁業において、重要な位置を占めているホタテガイやマガキなどの濾過食者にとって、付着珪藻も食物としての重要な役割を担っていることを実証することを第一の目的に、付着珪藻がどのようなメカニズムにより濾過食者に取り込まれるのかを明らかにすることを第二の目的とした。この目的を達成するために、次の作業仮説に基づき、研究計画をたてた。

仮説 1 貝の殻表の付着珪藻は垂下養殖二枚貝の食物供給源として重要な役割を担う

仮説 2 殻表に増殖する付着珪藻には剥離しやすい種類とそうでない種類が共存している

仮説 3 剥離珪藻は貝の触手の運動によりつくられる微小流により殻表面から取り込まれる

仮説 4 増殖・剥離のバランスにより、多様な種類が共存できるしくみがある

3. 研究の方法

仮説 1 貝の殻表の付着珪藻は垂下養殖二枚貝の食物供給源として重要な役割を担う

方法： ①垂下養殖二枚貝の食物供給を明らかにするための野外調査(2009年～2011年) 宮城県女川湾と青森県陸奥湾をフィールド

調査のベースとして研究を実施した。女川湾では定期的にホタテガイの採集を観察した。ホタテガイ殻表の付着珪藻の種類組成、分布量を分析、ホタテガイの胃内容物組成を検索した。また、同所の垂下マガキの胃内容物を検索した。

陸奥湾ではパールネット養殖ホタテガイについて同様の調査を実施した。加えて、陸奥湾では、パールネット内の水の特性をあきらかにするために、潜水によるパールネット内部の海水採集を試みた。

仮説 2 殻表に増殖する付着珪藻には剥離しやすい種類とそうでない種類が共存している

方法： ①屋外水槽を用いた飼育実験 (二枚貝による付着珪藻の取り込み過程の追跡)

微細藻類を除いた濾過海水だけをかけ流しにした水槽でホタテガイ・マガキを飼育して、殻表に存在している珪藻がとりこまれるかどうかを検証した。貝は採集後、24時間濾過海水に飼育して、消化管内容物を排出させた。次に24時間の馴致を行ってから、揺らすことにより、物理的な振動を与えて、剥離した珪藻が取りこまれるかどうかを検討した。揺らす頻度の高低により、物理的な振動の頻度と剥離してくる珪藻の種類や量が変化を見た。飼育実験は一回24時間行ない、計3回の再現実験をおこなった。

仮説 3 剥離珪藻は貝の触手の運動によりつくられる微小流により殻表面から取り込まれる

方法： ①ウラニン色素による取込み状況の解析

円形ガラス水槽においてホタテガイ、マガキ、ムラサキイガイ、フジツボについての行動観察をおこなった。それぞれを収容した水槽中に、ウラニン色素を流し、ホタテガイとマガキとムラサキイガイ、フジツボが、水流

により吸い込む速さを比較した。

仮説4 増殖・剥離のバランスにより、多様な種類が共存できるしくみがある

方法： ①採集したホタテガイとマガキの殻表面に増殖する付着珪藻の生活型の解析

付着珪藻は、運動型、付着型、直立型のよ
うに大きく分けると3タイプになるといわれ
ている。種類ごとの形態の特徴を整理する
ために、光学顕微鏡と電子顕微鏡を用いて観
察した。滑走運動の速度について測定した。

② 代表的な種類についての培養実験

フィールドで多く分布している種類につ
いて、単離培養して増殖のしかたや剥離のし
かたを観察した。

③ 付着動物の存在および植物プランク トン度と付着珪藻の取り込みの関 係の解析

実験は2011年10月と2011年11月の2回
行った。陸奥湾の養殖現場で採集した未成員
に窒素安定同位体で標識した培養植物プラ
ンクトン (*Skeletonema costatum*) を3時間
摂食させ、ホタテガイ胃内容物および体組織、
殻表とパールネット上の付着動物軟体部の
窒素安定同位体比を測定した。条件として実
験開始時の飼育水中植物プランクトン細胞
数密度を 10^4 cells / L とブルーム期に相当
する 10^6 cells / L の2段階に設定し、付着
生物の有無と組み合わせ計4つの実験区を
設けた。濾過海水の入った100 L水槽にそれ
ぞれ容れ、一晩馴致した。設定された細胞
数密度で標識SK培養液を添加し、3時間摂食
させた。3時間の実験終了後、ホタテガイ未
成員の重量、殻高、軟体部重量を測定し、安
定同位体比を分析した。

4. 研究成果

当初の仮説に対する研究結果を以下に記載
する。

仮説1 貝の殻表の付着珪藻は垂下養殖二

枚貝の食物供給源として重要な役割を担う

結果： 女川湾、陸奥湾ともにホタテガイの
食物供給における付着珪藻の果たす役割は
大きく、とくにパールネット養殖がメインの
陸奥湾ではひじょうに大きい。

女川湾のホタテガイの胃内容物に含まれる
微細藻類の組成は季節的な変化が認められ
たが、胃内容物はおもに浮遊珪藻と付着珪藻
であった。優占種は通年、付着珪藻の
Navicula 属、*Cocconeis* 属、
Coscinodiscus 属、*Nitzschia* 属、*Gyrosygma*
属、*Entomoneis* 属、*Ampora* 属であった。浮
遊珪藻の優占種は季節変化が著しく大きい
こと、群体性の種類が多いことが特徴的であ
った。主なものは渦鞭毛藻の *Prorocentrum* sp.
珪藻類の *Chaetoceros* 属、*Leptocylindrus* sp.
Skeletonema costatum、*Asterionella* 属であ
った。マガキの胃内容物もホタテガイと大き
な違いは見られなかった。女川湾において採
集した海水中(養殖ロープから50cmの距離)
には、付着珪藻の混在はほとんど認められず、
付着珪藻が剥離して水中に懸濁しているとい
う現象はみられなかった。

陸奥湾のホタテガイの胃内容物組成につ
いては、主に浮遊珪藻と付着珪藻と渦鞭毛藻か
らなり、特に付着珪藻の割合が大きく、通年
50%以上を占めていた。付着珪藻は優占種が
ほとんど変わらないが、浮遊珪藻は優占種の
季節変化が大きく、女川湾と同様であった。
ホタテガイ未成員でも、胃内容物組成の中心
は付着珪藻であった。また、パールネット内
の水は周辺の海水とは大きく異なり、多種多
様な付着珪藻が存在していた。付着珪藻をコ
ンスタントに常時取り込むことができる状
況が、パールネットという環境によりつくら
れていることが分かった。

海水中の植物プランクTONの細胞数密度は
女川湾と比較すると低いレベルで推移して

いた。

仮説 2 殻表に増殖する付着珪藻には剥離しやすい種類とそうでない種類が共存している

結果： 付着珪藻の種類は多様であり、サイズも様々であり、剥離しやすいものとそうでないものが共存していた。ホタテガイとマガキの殻表の微細藻類組成をみると、どちらも分布している。サイズ組成も大小さまざまあり、小さいサイズでは5 μm 、大きいサイズでは100 μm のものの共存が認められた。これらは季節を問わずいつも認められている。女川湾、陸奥湾ともに共通であった。この点が浮遊性の植物プランクトンとは大きく異なっている点である。剥離しやすい種類は、*Navicula* 属 *Nitzschia* 属 *Gyrosygma* 属、*Entomoneis* 属などで、運動性があるものであった。ホタテガイの胃内容物に多くみられるのはやはり、*Navicula* 属であった。ほかに *Nitzschia* 属、*Gyrosygma* 属、*Entomoneis* 属などであり、なかでも *Navicula* 属は6~8 $\mu\text{m}/\text{sec}$ の高い運動性を有していることが分かった。一方、*Cocconeis* 属は運動性がほとんどない密着性が強いものであるが、これらも胃内容物中には高い比率で存在する。*Lycomphora* 属は付着性が強い種類で、胃内容物には多くは出現しなかった。

仮説 3 剥離珪藻は貝自身の触手の運動によりつくられる微小流により殻表面から取り込まれる

結果： 付着珪藻が取り込まれるメカニズムを知るために、まず、剥離のしやすさに注目して、養殖施設に振動（揺動）を与えて、その影響を調べた結果、振動の有無にかかわらず、付着珪藻はコンスタントに取り込まれていることが分かった。つまり、懸濁状態でなくても取り込まれることを意味しており、滑走運動等で滑り込むように入り込む場合が

多い。また、通年ホタテガイの飼育試験を行い、観察を続けてきた結果、常時殻を少し開き、触手を動かしている様子がかがえた。食物である珪藻を与えた場合、その動きが変わらず、いつも一定量の摂取を行っている。次に、円形ガラス水槽においてホタテガイ、マガキ、ムラサキイガイ、フジツボについての行動観察をおこなった。ウラン色素を流し、ホタテガイとマガキとムラサキイガイ、フジツボが、水流により吸い込む速さを比較した。その結果、水流の動きを観察したが、ホタテガイの触手の運動とはあまり関係がなかった。種類による吸い込む速度が大きく異なり、これは外套腔内の繊毛運動の活性の強さによるものと考えられた。

仮説 4 増殖・剥離のバランスにより、多様な種類が共存できるしくみがある

結果：ホタテガイ・マガキの殻表、養殖ロープ、カゴには、いつも多種多様な付着珪藻の分布がみられた。植物プランクトンの場合には季節的に優占種が異なり、海水中の80%以上が1~2種類のプランクトンにより占められている。これに対して、付着珪藻は通年、多様性が高い。陸奥湾の調査で潜水士によるパールネット内の水が採集できたことは、本研究の大きな成果に結びついた。ホタテガイが生活しているごく近傍の環境の水、パールネット内の栄養塩濃度は周辺より高く、とくにアンモニウム塩が高く、ワレカラやヨコエビ類などの付着動物の排泄等による補給があると考えられた。少量であっても絶えず近傍に補給源があることが、付着珪藻が増殖できるメカニズムの一因になっていると予測された。空間利用のしかたが種ごとに異なり、平面的に増殖してゆくタイプと、立体的に増殖するタイプでは場所をめぐる競合はない。栄養塩類をめぐる競争はあると思われるが、共存する多くの付着動物の排泄により供給

されていると考えられた。

本研究を通して考えたことは、ホタテガイやマガキという水産重要種の生産力だけでなく、ほかの生物も含めた自然の生物生産力の大きさであり、多様性であり、変化に富んだプロセスであることの意味である。ホタテガイの殻表、わずか数センチメートルスケールの狭い空間のなかに、様々な生物が生きて、絶えず変化し、新たな構築をしている。これは物質とエネルギーのやりとりを介して、常に変化し、新たな構造が構築されていることを示している。したがって、生物と環境との関係は、各要素を抽出して個々の対応関係で理解できるものではなく、連続的な動的変化過程として捉えるべきものであろう。自然環境も生物も絶えず変化しながら、安定性あるいは恒常性を維持していると思われ、細胞レベルでの生命活動と生態系のしくみは、基本的に共通の法則性により解釈できるのかもしれない。生態系が生命活動のシステムであることを考えると、これは当然のことであろう。私たちに求められているのは、自然の中でおきている動的変化のプロセスを正確に読み取り、システム全体へとつなげることができるような自然認識、そのための手法、考え方を構築することではないだろうか。

5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計6件)

- ① 片山亜優, 伊藤絹子、宮城県名取川河口汽水域における震災前後のヤマトシジミの生息状況、月刊海洋 Vol. 44 「水圏の生産力解析—漁業による三陸の復興に向けて—」、印刷中、海洋出版(株)、2012、査読無
- ② 伊藤絹子、付着生物でつながる海洋の生物生産システム ～二枚貝の養殖漁場を例として～、Sessile Organisms, 27(2), 77-83, 2010, 査読有
- ③ 伊藤絹子・南卓志, さけ輸出促進のための品質評価システムの開発と放流技術の高度化, 新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業普及報告書, 独立行政法人水産総合研究センター編, 103-107, 128-141, 2010, 査読無
- ④ Takeshi Tomiyama, Nobuhiro Komizunai, Kinuko Ito and Michio Omori, Spatial variation in the abundance and condition of bivalve *Nuttallia olivacea* in relation to environmental factors and sublethal predation, Marine Ecology Progress series, 406, 185-196, 2009. 査読有
- ⑤ 伊藤絹子・佐々木浩一・南卓志, 河口汽水域生態系における底生微細藻の果たす役割, 沿岸海洋研究, 47, 51-60, 2009. 査読有
- ⑥ 伊藤絹子, 広瀬川および名取川における生物生産構造と環境との関係, 水圏生態研究会ニュースレター, 10, 30-37, 2009. 査読無

〔学会発表〕(計14件)

- ① 杉浦大介・猪股恭平・佐々木浩一・伊藤絹子, 仙台湾におけるアカガイ浮遊幼生および付着稚貝の分布パターン, 平成23年度日本水産学会秋季大会 2011年10月1日, 長崎大学
- ② 松本奈々子・佐々木浩一・伊藤絹子, 仙台湾における貧酸素水形成の特性, 平成23年度日本水産学会秋季大会, 平成2011年9月30日, 長崎大学
- ③ 片山亜優・伊藤絹子・佐々木浩一・片山知史 宮城県名取川における震災による攪乱後のヤマトシジミの生息状況, 平成23年度日本水産学会秋季大会 2011年10月1日, 長崎大学
- ④ 静一徳・伊藤絹子・佐々木浩一・片山

知史名取川における遡上アユの発育と食性移行の採集時期による違い，平成23年度日本水産学会秋季大会 2011年9月29日，長崎大学

- ⑤ 片山亜優・伊藤絹子・佐々木浩一・西川正純・南卓志，名取川におけるヤマトシジミの生産基盤としての食物供給，日本水産学会春季大会，東京海洋大学，2011年3月29日
- ⑥ 片山亜優・伊藤絹子・佐々木浩一・西川正純・南卓志，ヤマトシジミによる陸上植物由来デトリタスの摂取，日本水産学会秋季大会，京都大学，2010年9月27日
- ⑦ 片山亜優・伊藤絹子・佐々木浩一・南卓志・西川正純，宮城県名取川におけるヤマトシジミの生息環境の違いと食物供給について，日本水産学会春季大会，日本大学，2010年3月29日 日本大学（藤沢市）
- ⑧ 伊藤絹子・加藤雄太郎・長谷川英一・佐々木浩一・南卓志
海中飼育サケ稚魚の天然食物の摂取状況，平成22年度日本水産学会春季大会，2010年3月29日 日本大学（藤沢市）
- ⑨ 三田文哉・伊藤絹子・清水勇一・長谷川英一・南卓志
田老小本沿岸域の放流サケ稚魚の天然食物への馴化状況，平成22年度日本水産学会春季大会，2010年3月29日，日本大学（藤沢市）
- ⑩ 長澤俊樹・佐々木浩一・伊藤絹子・南卓志，ヘッドランド（人工岬）周辺における砂底域環境の物理化学的特性とそれが底生生物の分布パターンに与える影響について，平成21年度日本水産学会秋季大会，2010年9月27日，岩手県県民交流センター。

- ⑪ 佐藤翔太・伊藤絹子・吉田達・南卓志，女川湾における耳吊り養殖ホタテガイの垂下推進と食物環境の特性，平成21年度日本水産学会秋季大会，2009年10月1日，岩手県県民交流センター，盛岡市
- ⑫ 野尻正浩・清水勇一・伊藤絹子・南卓志，サケ稚魚放流技術の高度化に関する研究VI。シロサケ放流稚魚の汽水域における生態，平成21年度日本水産学会秋季大会，2009年10月1日，岩手県県民交流センター。
- ⑬ 伊藤絹子・長谷川英一・佐々木浩一・南卓志，サケ稚魚放流技術の高度化に関する研究VII。安定同位体比利用によるサケ稚魚の食性解析，平成21年度日本水産学会秋季大会，2009年9月27日，岩手県県民交流センター。
- ⑭ 庄子充広・伊藤絹子・南卓志，広瀬川中流域におけるアユ体サイズの変異と生活様式の違いについて，平成21年度日本水産学会秋季大会，2009年10月1日，岩手県県民交流センター。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 絹子 (ITO KINUKO)

東北大学 大学院農学研究科 助教

研究者番号：90911931