付着生物群集でつながる海洋の生物生産システム ～二枚貝養殖漁場を例として～

伊藤絹子

東北大学 大学院農学研究科

Biological production system linking with sessile organisms' community in the ocean - A case study on fisheries ground of bivalve -

Kinuko Ito

Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University, 1-1, Tsutsumidori, Amamiyamachi, Aobaku, Sendai

(Accepted July 21, 2010)

はじめに

私たちは自然の中の生物の営みについて、どれだけ理解できているのだろうか。数年前に陸奥湾で採集、送られてきたホタテガイサンプルの胃内容物を観察したとき、予想とは著しく異なる微細藻（付着珪藻）の存在に、「ホタテガイの食物はプランクトン」これは真実だろうか、何か大切なことを見落としているのではないかという不安がよぎった。さらに、養殖現場で引き揚げたホタテガイに付着している多様な生物群集の動きに、身近な食料生物の生態についての理解不足に愕然とした。このとき生物が自然のなかでどのように生きているのか？という生態学研究の原点に戻り、問い直したいと考えた。

さて、底生珪藻（付着珪藻）が二枚貝の重要な食物であることは、干潟の二枚貝の餌料環境に関する研究（伊藤ほか, 2005）や、Sasaki *et al.* (2004) が浅海域のホッキガイの食物供給機構として報告している。最近では、浅海域生態系における底生微細藻類の果たす役割が大きいことが一般にも広く知られるようになってきている（伊藤ほか, 2001, 2009）。一方、水中に垂下されているホタテガイは海水中の植物プランクトンやデトリタスを摂取して、成長するという常識は、海洋生物学のなかでも疑われることはなかった。そのため、適正収容量については、植物プランクトンの現存量や生産力を基礎に算定している。しかし、再考の必要性がでてきた。

ここでは、漁業の現場、ホタテガイ養殖業をとおして明らかになってきたことを紹介することにより、自然水域での生物生産構造、私たちの食料である資源生物の生産が、どのようなしくみにより支えられているのかという理解を、考えるための素材を提供したいと思う。

二枚貝の垂下養殖システム ～鉛直方向への生産拡大～

海に囲まれた日本は古くから海の恵みを上手に利用してきた。海面養殖生産量の約1/3は二枚貝であり、平成16年度の水産統計によれば、ホタテガイはカキとほぼ同じ22万トンの生産量をあげている重要な資源である（図1）。ホタテガイやマガキなどの垂下養殖システムは海洋の基礎生産力を活用して、非常に高い生産が維持されている。本来、ホタテガイ (*Patinopecten yessoensis*) は砂礫質の海底で生活する表在性生物であるが、鉛直方向に生産の場を拡大したことにより、生産量を著しく高めることができるようになった。このように、ホタテガイやマガキの垂下養殖は、自然のシステムを人間が活用し、その自然生産力を引き出し、食料生産を高めている事例といえる。

図1 海面養殖業生産量（平成16年 農林水産省漁業養殖業生産統計年報より作図）

注：ホタテガイは養殖のみ、海面漁業による生産は約27万トンあり

研究方法の概要

二枚貝の垂下養殖システムを支えているしくみを理解するために、まず、食物との関係を明らかにすることからはじめることにした。ここでは2005年から2009年までの期間、実施された研究結果をもとにその概要を紹介する。研究フィールドは宮城県女川湾と青森県陸奥湾の2か所である。

女川湾では、ホタテガイ耳吊り養殖施設内域と施設外域に定点を設けた。水深約20mである。ホタテガイは水深4mから12mの層に、約17cm間隔で養殖ロープにテグスを用いて結び付けられている。養殖ロープ1本に結び付けられているホタテガイはおよそ50段100枚で、隣接するロープの間隔は約1mである。また2007年から2009年には、養殖法による違いを検討するため、耳吊りとカゴ養殖を同時に行い比較した。養殖場の物理環境として、水温、塩分、光量子束密度を海表面から海底まで水深1m毎に測定した。また、飼育実験により、ホタテガイや付着生物の生態についての観察を行った(図2)。

青森県陸奥湾では、ホタテガイは水深15m以深に、約30cm間隔で連結されたカゴの中に收容した。ひとつのカゴに收容されるホタテガイは6枚である。養殖カゴは30cm間隔で鉛直方向に10個連結されている。隣接する連の間隔は約1mである。水温、塩分は、定点付近に設置されている海況自動観測ブイロボット“青森ブイ”の観測データを利用した。

採集したホタテガイの胃内容物、ホタテガイ殻表の付着微細藻、ロープやカゴの付着微細藻、海水中の微細藻、付着生物の観察を行った。

食物をめぐる関係の解析のために、ホタテガイと一緒に採集された生物について、炭素窒素安定同位体比について分析を行なった。

図2 垂下養殖ホタテガイと付着している生物

ホタテガイの食物供給における二大経路 ～植物プランクトンと付着珪藻の関係～

女川湾の結果(古川, 2006)の概要を紹介する。

[ホタテガイの胃内容物組成]

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。ここでは浮遊珪藻と渦鞭毛藻

を含めて植物プランクトンとして扱う。調査期間を通して見ると、胃内容物中の微細藻類は、おもに浮遊珪藻と付着珪藻であった。その割合は、7月の場合には付着性珪藻が95%をしめ、8月以降は浮遊珪藻が80%前後を占めた。また、付着珪藻は優占群(属レベル)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かった。月別に見ると、7月は付着性珪藻が95%、渦鞭毛藻が5%であった。優占種は付着珪藻の *Cocconeis* spp.、*Coscinodiscus* spp.、*Fragilaria* spp. であった。8月は浮遊珪藻が約75%、付着珪藻が約25%であった。優占種は浮遊珪藻の *Chaetoceros* sp.、*Nitzschia* spp.、*Leptocylindrus* sp. であった。9月は、浮遊珪藻が約75%、付着性珪藻が約15%であった。優占種は浮遊珪藻の *Thalassiosira* spp.、*Nitzschia* spp.、*Rhizosolenia* spp.、*Skeletonema costatum* であった。10月は、浮遊珪藻が約75%、付着珪藻が約25%であった。優占種は *Chaetoceros* sp. であった。11月は、浮遊性珪藻が約75%、付着性珪藻が約25%であった。優占種は *S. costatum*、*Asterionella japonica* であった。12月は、浮遊珪藻が約85%、付着珪藻が約15%であった。優占種は *A. japonica* であった。

[海水中の微細藻類の組成]

海水中の微細藻類の組成を月別にみてゆくと、7月はSt. 1の全層で主に *Prorocentrum* sp. からなる渦鞭毛藻が最も優占した。8月は、St. 1では渦鞭毛藻類が表層でやや多く、*Chaetoceros* spp.、*Nitzschia* sp. が全層で優占した。9月は、両定点の全層で *Thalassiosira* sp. *Chaetoceros* sp.、*S. costatum* が優占した。10月と11月は、両定点の全層で *Chaetoceros* spp.、*Nitzschia* sp.、*S. costatum* が優占した。12月は、両定点の全層で *Chaetoceros* sp.、*A. japonica* が優占した。細胞数密度は7月から8月は 10^4 cells/l レベルで、表層がやや高く、底層で低かった。9月では 10^5 cells/l、10月は秋季ブルームで、 10^6 cells/l に増加した。11月、12月は 10^5 cells/l へと減少した。また、水深による組成の変化は小さかった。

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なかった。つまり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。

[ホタテガイの殻表面の微細藻類組成]

ホタテガイの殻表面の微細藻類組成についてみると、7月は付着性珪藻がほぼ100%で、優占種は *Coscinodiscus* spp.、*Cocconeis* spp.、*Fragilaria* spp. であった。8月は、優占種は *Navicula* spp.、*Cocconeis* spp. であった。9月、10月、11月、12月は優占種が、*Navicula* spp.、*Cocconeis* spp.、*Fragilaria* spp. で大きな変化はみられなかった。調査期間を通してみると、胃内容物に見られる付着性珪藻は、貝殻付着物中に多く見られた。

〔微細藻類のサイズ組成〕

つぎに微細藻類のサイズ（長径）組成について検討してみた。群体を形成している場合には、チェーンの長さで示した。胃内容物中の微細藻類は、5～100 μm に分布しており、モードは約40 μm であった。一方、海水中の微細藻類は、5～200 μm に分布しており、群体を形成しているものが多く、モードは約100 μm であった。貝の殻表付着物の微細藻類は、5～100 μm の範囲にあり、モードは約40 μm であった。胃内容物と貝の殻表付着物中の微細藻類は大きさの分布範囲が重なるが、海水中の微細藻類は、大きい範囲にシフトしており、ホタテガイは100 μm 以上のものは摂取しにくいことが示唆された。微細藻のサイズは重要な要素であるといえる。

次に 陸奥湾のカゴ養殖ホタテガイの場合について示す。

〔ホタテガイ 胃内容物の微細藻類組成〕

調査期間を通して見ると、胃内容物中の微細藻類は、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かった。また、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かった。

月別に見ると、7月は付着珪藻が約60%、浮遊珪藻が約40%であった。優占種は、付着珪藻の*Fragilaria* spp.、*Cocconeis* spp.、*Navicula* spp.であった。8月は付着珪藻が約60%、浮遊珪藻が約25%、渦鞭毛藻が15%であった。優占種は、*Fragilaria* spp.、*Cocconeis* spp.、*Navicula* spp.であった。9月は、付着珪藻が約70%、浮遊珪藻が約15%、渦鞭毛藻が約10%であった。優占種は、*Fragilaria* spp.、*Cocconeis* spp.、*Navicula* spp.であった。10月、11月もほぼ同様の傾向であった。

〔海水中の微細藻類の組成〕

水深5mの海水中の微細藻類組成について、調査期間を通して見ると、浮遊珪藻と渦鞭毛藻の割合が大きかった。月別に見ると、7月は渦鞭毛藻が約40%で、浮遊性珪藻が5%、付着珪藻が35%であった。優占種は渦鞭毛藻の*Prorocentrum* sp.であった。8月は浮遊性珪藻が約85%で、優占種は*Chaetoceros* sp.、*Nitzschia* spp.であった。9月は浮遊珪藻がほぼ100%で、優占種は*Chaetoceros* sp.であった。10月は、渦鞭毛藻が45%、浮遊珪藻が35%で、優占種は*Prorocentrum* sp.、*Chaetoceros* sp.、*Thalassiosira* sp.であった。11月は、浮遊珪藻が45%、付着珪藻が40%で、優占種は*Chaetoceros* sp.、付着珪藻の*Fragilaria* spp.、*Cocconeis* spp.であった。

細胞数を月別に見ると、7月と8月は、おおそ 10^4 cells/ ℓ のレベル、9月は 10^5 cells/ ℓ でピークとなり、10月は 10^3 cells/ ℓ へと減少し、11月は 10^4 cells/ ℓ のレベルであった。このように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。

〔ホタテガイの殻表付着物の微細藻類組成〕

つぎに、ホタテガイの殻表付着物の微細藻類組成についてみてゆく。調査期間を通して主に付着性珪藻で構成されており、その変化は小さかった。組成を月別に見ると、優占種は*Navicula* spp.、*Cocconeis* spp.、*Fragilaria* spp.であった。8月は付着珪藻が95%で、優占種は*Navicula* spp.、*Cocconeis* spp.、*Fragilaria* spp.であった。9月～11月についても同様であった。調査期間を通してみると、ホタテガイ胃内容物に多くみられる付着珪藻は貝殻表の付着物中のものと類似していた。

以上のことから、ホタテガイの食物としては、植物プランクトンのなかの浮遊珪藻と貝の表面の付着珪藻との両者が重要であることが示された。つまり、食物は二つの供給経路を介してホタテガイの外套腔内に取り込まれると考えられ、ひとつは海水の流動により運ばれてくるもの（おもに植物プランクトン）であり、もうひとつは貝殻表面を伝ってくるもの（付着珪藻）である。

また、それぞれ割合は海水中の植物プランクトンの細胞数密度の高低とリンクしていることが分かってきた。海水中に植物プランクトンが、大増殖期に相当する細胞数密度の 10^6 cells/ ℓ で存在する場合には、植物プランクトンの割合が高くなるが、それより低い場合、 10^5 cells/ ℓ レベルでは、おおそ1:1となり、 10^4 cells/ ℓ 以下のレベルになると、付着珪藻が70%以上を占めるようになることが示唆された。年間通してみるならば、付着珪藻のほうは、コンスタントに供給されている食物と考えられる。

もうひとつ重要な点はサイズの問題であり、ホタテガイの場合には、100 μm 以下が有効な食物サイズと考えられ、植物プランクトンの中には利用しにくい種類があることも考慮されるべきであろう。

ホタテガイと同じような濾過食者であるマガキの場合についても、浮遊微細藻と貝殻付着物中の付着珪藻の両方が炭素源として重要であるという報告がある。三島・星加（2004）は、広島湾における養殖マガキを対象とした窒素・炭素安定同位体比分析から、カキ腸管内容物の有機物は、懸濁態有機物：カキ殻付着有機物＝3：7と報告している。また、実際にカキ腸管内容物の約60%を*Navicula* 属などの付着珪藻が占めていることを確認している。

また、Pellizzari *et al.*（2005）は海底に生活しているホタテガイの食物に注目、その多くが底生微細藻であることを指摘している。本研究では、垂下養殖ホタテガイに注目して研究を進めてきたが、陸奥湾で地まき養殖ホタテガイを入手して、胃内容物を検索したところ*Navicula* 属など底生珪藻がほとんどであった。

このようにみえてくると、植物プランクトンの現存量や基礎生産力は指標にはなるものの、これだけでは不十分であり、植物プランクトンのサイズ組成、付着珪藻の運動性の有無などの生態、その現存量や生産力に関する知見を整理して、有効食物密度を算出し、そこから適正収

容量を見積もれるように組み上げてゆくことが望ましいと考える。

水域の環境の違いと生物生産構造 ～女川湾と陸奥湾～

つぎに、ここで紹介した水域の特徴を記述しておく。青森県陸奥湾は津軽暖流の、宮城県女川湾は親潮の影響を受けることがある内湾水である。水深15m～20mでの水温や塩分の季節的な推移をみると、陸奥湾では5～22℃、塩分は33～34psu、女川湾では6～22℃、32～34psuの範囲であり、水温、塩分については著しい差異はないと思われる（表1）。一方、栄養塩類の量は女川湾のほうが高く、平成18年のDINでみると、0.1～2.2μM（陸奥湾環境調査情報、2007）、女川湾では0.07～12.79μMであった（足立、2010）。また、基礎生産量では、陸奥湾では、0.03～10.26mg C/m³・day（吉田ほか、2004）、女川湾では22.7～585.1mg C/m³・day（足立、2010）と、女川湾のほうが10倍以上高いことが分かる。これが植物プランクトン細胞数密度にも反映しているものと予測され、大まかにみて、1桁の違いがみられた。これらの事象からも、陸奥湾のホタテガイの胃内容物に占める付着珪藻の割合が相対的に高いことの理由を矛盾なく解釈することができる。

付着珪藻の基礎生産力については、女川湾のホタテガイの殻表の付着珪藻を集めて、¹³C法により試みた結果、約70mg C/m³・day（伊藤、未発表）となり、これは宮城県名取川河口での実験値（伊藤、2002）に近い。また、培養条件の光強度（光量子束密度）の高低との相関が低いことが分かってきたが、これらの点については、現在も研究を進めているところである。

生物生産の新たな場の形成 ～場の分化と連関～

さて、これまでの女川湾での研究結果では、付着珪藻は海水懸濁物にはほとんど出現していない。養殖施設から離れた場所で採集した海水の場合についても、全く同じ傾向があり、付着珪藻類が剥離して、水中に懸濁することがほとんどないことを示している。これは、付着珪藻の生産場所および生活域は、ごく限られた空間である

ということ、浮遊性微細藻類の生活の中心域とは分離していることを裏付けている。つまり、付着珪藻と植物プランクトンの分布中心域の分化が認められ、この分化がホタテガイの食物供給における二大経路の骨組みをつくっていると考えられる。さらには、それぞれをエネルギーの起点とする生物群が生活を始めるようになり、物質とエネルギーの新たな流れへと連関している。同じような事象が河口域生態系においても認められ、魚類への物質とエネルギーの流れの起点として、植物プランクトンと底生珪藻の二つが示唆されている（伊藤・掛川、2008）。

さて、これまで付着珪藻は水産物に対して害をもたらすというイメージが強い。たしかに害藻とよばれる種類もあり（小林・田中、2006）、ノリやテングサなど水産物に被害をもたらす種類もある。しかし、本研究で明らかになってきた事実は、付着珪藻が食物源として、重要な役割を担っていることである。

一般に付着珪藻は底生珪藻とほぼ同義に使われることが多く、この両者を厳密に区別してはいない。付着珪藻の生活様式は大きく3つのタイプに分けられる。*Navicula*属に多くみられる滑走運動を有する滑走型、*Cocconeis*属によくみられる密着型、*Cymbella*属に多くみられる直立型である。底生珪藻は多様な種が混在した密集状態で生育している場合や、立体的な構造が構築されていることがある（河村、1995）。すなわち、生活様式・増殖形態（空間の利用のしかた）のバリエーションが大きいことが付着珪藻の生態的特性であるといえよう。

一方の植物プランクトンは、立体的に複雑な構造が形成されることは少なく、海水の流動に伴う移動性が大きい。伊藤・大方（1998）は名取川河口域と隣接する海岸域底層水中の植物プランクトン組成の連続調査を行い、潮汐による水の流動とともにその種類組成、分布量が大きく変動していると報告している。

ここで、珪藻の生態について若干の補足説明をしておく。水圏における珪藻の占める割合は非常に大きく、地球上のあらゆる場所に分布が見られるといっても過言ではない。10万種以上の種類が存在すると考えられている。珪藻の外殻には胞紋（微細な孔）が規則正しく、無数に

表1. 宮城県女川湾と青森県陸奥湾の環境の概要と基礎生産力

	女川湾		陸奥湾	
水温（℃）	6 - 22	*1	5 - 22	*4
塩分（PSU）	32 - 34	*1	33 - 34	*4
DIN（溶存無機態窒素）（μM）	0.07 - 12.79	*2	0.1 - 2.2	*4
基礎生産力（mg C/m ³ ・day）	22.7 - 585.1	*2	0.03 - 10.26	*5
植物プランクトンの細胞数密度（cells/ℓ）	10 ⁴ - 10 ⁶	*3	10 ³ - 10 ⁵	*3

*1: 佐藤, 2010

*2: 足立, 2010

*3: 古川, 2006

*4: 陸奥湾環境調査情報, 2007

*5: 吉田ほか, 2004

図3 ホタテガイ殻表上の付着珪藻（左）と *Cocconeis* sp. の胞紋（右）

存在している。ここから、消化液が侵入しやすく、また、簡単に二つに分かれるので、消化されやすいといわれている（図3）。アサリやシジミ、ホッキガイなど二枚貝の飼育実験では珪藻類がもっとも成長がよいことが実証されている（伊藤ほか，2005）。

付着生物のつながり～物質とエネルギーの新たな流れ～

ホタテガイ養殖場における生物群集の結び付きを探索するための手掛かりとして、安定同位体比に注目してみる。地球上の元素には中性子数だけが異なる原子が存在する。たとえば ^{13}C 、 ^{15}N 、 ^{18}O 、 ^{34}S などであり、これらは一定の比率で存在している。また、化学過程、生物過程においては規則的に変化することが知られており、これを同位体分別という。自然界にごく僅かに存在する安定同位体が、規則的に変化する。特に炭素と窒素の安定同位体比（それぞれ $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ と表現）は、大気、海洋、地殻などのシステム間あるいはシステム内部での物質の挙動を地球化学的に解析するためだけでなく、生物の捕食-被食関係を介しての経験則を用いて、食物網内の物質輸送を解析するための指標として広く活用されている（Michener *et al.*, 1994, 南川, 1997, 和田, 1986）。

その経験則とは、「 $\delta^{15}\text{N}$ は栄養段階が1上がると約3.4‰上昇する。 $\delta^{13}\text{C}$ については1‰以下でほとんど上昇しないことが知られている（Deniro *et al.*, 1978, 1981）。したがって $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ上に食物網の構造を描くことができる」。食性の研究において、胃内容物が瞬間の食物を表すのに対して、安定同位体比はある程度の時間の積算値として表現されるメリットがある。植物の $\delta^{13}\text{C}$ については、陸上植物（-27‰）、微細藻類（-20‰）、藻場の植物（-10‰）の値が知られており（和田, 1986）、食物連鎖の起点を判別するのに好都合である。ただし微細藻類には浮遊性のものと底生のものとでは異なり、底生微細藻類は浮遊性よりも $\delta^{13}\text{C}$ が数‰高いことが知られているので、この点を考慮しなければならない（France, 1995a, b）。

まず、ホタテガイ漁場における生物群集の安定同位体比について図4に示した。ホタテガイの養殖施設には多くの付着動物が密集している。体重が約200gのホタテガイ1個体に付着して生物の湿重量は平均約200gに達することもあった。

ムラサキガイ、アカザガイ、マガキ、ユウレイボ

図4 2008年10月に女川湾のホタテガイ養殖場で採集された生物の炭素・窒素安定同位体比（伊藤未発表）
（POM：水中懸濁物，MPB：底生微細藻（付着微細藻））

ヤ、マボヤ、カイメン、フジツボ、ワレカラ、ヨコエビ、ヒラムシ、ユムシ、多毛類など様々な動物群の生活がみられた。これらの動物の多くは一次消費者であり、植物プランクトン、付着珪藻、デトリタスを食物源としている。これは10月に採集した生物群についての結果である。ムラサキガイとユウレイボヤは植物プランクトンを起点とする食物連鎖の系列のほうに偏っている。フジツボ類は、それより栄養段階が上位にあることが分かる。一方、ホタテガイ、小型甲殻類のヨコエビやワレカラ類は、付着珪藻を起点とする食物連鎖の系列のほうにやや偏っている。多毛類の値が低く、貝殻上に堆積した泥の中の有機物を摂食している可能性が高いが、まだ詳しいことは分からない。対称的にユムシ、ヒラムシが高い要因については、大型海藻類や海草類を食物源としている可能性が考えられた。海草のアモモは $\delta^{13}\text{C}$ が-10‰程度とひじょうに高いことが、三陸沿岸の場合にも知られているので、これらの起点は海草類がメインになっている可能性がある。フジツボのように強固な固着生活をする生物群が食物連鎖の起点は、むしろ浮遊系に位置していることは、興味深い。それぞれの生物の「生活のしかた」と密接に関わっていること、食物生物との接点がどのように形成されているのかという視点が重要であることを示している。

さて、ホタテガイの殻表上に多くの生物の生活がみられることは、そこに生物生産の場が形成されていることを示している。女川湾ではワレカラやヨコエビが、メバルやアイナメの稚魚などの重要な食物となっていることを考えると、ホタテガイ養殖システムが、海域の生物生産の基盤の一部を担っているともいえよう。また、ワレカラやヨコエビの消化管内容物には付着珪藻が認められることから、付着珪藻は、この海域の高次生産者のエネルギーの起点としての役割も担っていることになり、生産システムは連関していると理解できる。この付着珪藻に必要な栄養塩の供給源は、流れにより運ばれてくる海水だけだろうか。ホタテガイの殻上のワレカラやヨコエビなど小型甲殻類が排出したアンモニアなどが、栄養塩として供給されている可能性はないだろうか。殻表上に

おけるミクロスケールでの物質の移動、循環、相互関係があるのではないかと考え、この点についても研究を進めているところである。

ところで、付着生物は漁業にとっても厄介な場合が多いのは事実である。付着物は除去しても数日でまた付着がはじまる。ホタテガイの養殖現場では、年に1回は、付着物の除去作業を実施している。

この付着生物のホタテガイへの影響を調べた研究がある。中尾(2005)の噴火湾での研究によれば、付着物の除去の有無とホタテガイの成長との関係を追跡した結果、付着物の存在量とホタテガイ成長の大小との関係はほとんどなく、垂下水深による違いが大きいことが報告されている。

一方、女川湾で行われてきた結果では、垂下水深によるホタテガイ成長の違いはほとんど認められず、良好な成長がみられ、1年間で殻高での平均伸長は、約5cmであった(佐藤, 2010)。一般的な漁業の現場での印象は、水深が浅いほうが成長がよいということであるので、この違いが何を意味しているのかは、興味深い問題である。この水域のホタテガイ有効食物量には、水深による差がないということなのか、あるいはそのほかの要因があるのか、さらに検討してゆきたいと考えている。

おわりに

ホタテガイの生産現場から学んだことは、わたしたちは水産的に有用な生物だけに注目してしまいがちであるが、全体の結び付きのなかで理解することの重要性である。そして、自然には人間にとって、都合のよい面と悪い面の両面性があること。ホタテガイの養殖システムは、人間がうまくサポートすることにより、自然の生産力を引きだしている。このような自然水域の生物生産は、生物同士のつながり、物質とエネルギーの流れとして捉ええることができ、さらに、それを支えている環境との関係としても捉えることができよう。

本研究を通して考えたことは、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。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご助言とご指導を下さいました東北大学大学院農学研究科教授の南卓志博士、准教授佐々木浩一博士に深く御礼申し上げます。本研究の試料の採集にご協力いただいた青森県水産総合研究センター増養殖研究所の吉田達氏はじめ職員の皆様に深く感謝申し上げます。また、東北大学附属生態フィールド教育研究センターの阿部勝夫技官、平塚豊一技官、センターの教職員の皆さまに感謝申し上げます。珪藻の電子顕微鏡による撮影では、東北大学農学部伊東久美子技官のお世話になりました。厚く御礼申し上げます。本研究の多くは、東北大学農学部水圏資源生態学研究室に所属の学部学生、大学院生と教職員とが一緒に進めてきたものです。ご協力下さいました研究室の皆様は心より感謝申し上げます。なお、ここで紹介した研究の一部は、科学研究費 基盤研究(C) 研究代表者: 伊藤絹子、研究分担者: 佐々木浩一(東北大学)・吉田達(青森県水産総合研究センター), 課題番号18580173(2006-2008年)の助成を受けて行なわれたものです。

さいごに本講演の機会を与えてくださいました日本付着生物学会の皆様は心より感謝申し上げます。

参考文献

- 足立克久(2010). 希釈法を用いた女川湾における一次生産量の測定とその季節変動. 東北大学修士論文, pp. 65.
- Deniro, M. J. and S. Epstein (1978). Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42, 495-506.
- Deniro, M. J. and S. Epstein (1981). Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, 341-351.
- France, R. L. (1995a). Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: foodweb implications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 124: 307-312.
- France, R. L. (1995b). Differentiation between littoral and pelagic food web in lakes using stable carbon isotopes. *Limnol. Oceanogr.*, 40, 1310-1313.
- 古川大祐(2006). 垂下式養殖ホタテガイの食物供給機構. 東北大学卒業論文, pp. 42.
- 伊藤絹子・佐々木浩一・南 卓志(2009). 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(1), 51-60.
- 伊藤絹子(2002). 浮遊性および底生性珪藻類の炭素窒素安定同位体比について. 日本陸水学会誌, 63, 166-168.
- 伊藤絹子・加賀敏樹・佐々木浩一・大森迪夫(2005). 干潟二枚貝の生産過程と餌料環境. 水研センター研報, 別冊3, 1-15.
- 伊藤絹子・佐々木浩一・大森迪夫・大方昭弘(2001). 現場実験法によるイソジミ *Nuttallia olivacea* の成長速度. 日本ベントス学会誌, 56, 9-17.
- 伊藤絹子・掛川 武(2008). 河口汽水域を利用する魚類の食物源. 「安定同位体スコープで覗く海洋生物の生態」(富永修・高井則之編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 70-84.
- 伊藤絹子・大方昭弘(1998). 砂浜浅海域生産系と河口域生産系の相互連関. 「水産学シリーズ116, 砂浜海岸における仔稚魚の生物学」(千田哲資・木下 泉編), 星社厚生閣, 東

- 京, pp. 52-64.
- 河村知彦 (1995). 付着珪藻群落の変動機構. 月刊海洋, 27(10), 591-596.
- 小林 敦・田中次郎 (2006). 日本産付着珪藻クモノスケイソウの形態と生態. 海洋と生物, 28(5), 484-488.
- Michener, R. M. and D. M. Shell (1994). Stable isotope ratios as tracers in marine aquatic food webs. *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science* (ed. By K.Lajtha and R. L. Michener), Blackwell Scientific publications, 138-186.
- 南川雅男 (1997). 安定同位体による海洋食物網研究. 月刊海洋, 29, 391-398.
- 三島康史・星加 章 (2004). 炭素窒素安定同位体からみた底生・着生生態系の重要性. 水産海洋研究, 68, 176-179.
- 陸奥湾環境調査情報 (2007). <http://www.net.pref.aomori.jp/zoshoku/meis/kankyo/>
- 中尾 繁 (2005). 付着生物が垂下養殖ホタテガイの成長に及ぼす影響. 「水産学シリーズ144、ベントスと漁業」(林 勇夫・中尾 繁編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 87-100
- Pellizzari, F. C., A. Borzone, P. R. Pezzuto and L. Z. Alvez (2005). The contribution of microphytobenthos for scallop *Euvola ziczac* (Bivalvia: Pectinidae) feeding in shallow area of the south-eastern Brazilian continental shelf. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 85, 961-967.
- Sasaki, K., A. Sanematsu, Y. Kato and K. Ito (2004). Dependence of the surf clam *Psuedocardium sachlinense* (Bivalve: Mactridae) on the near bottom layer for food supply. *J. Mollusc. Stud.*, 70, 207-212.
- 佐藤翔太 (2010). ホタテガイ垂下式養殖の生産基盤としての食物供給機構の解明. 東北大学修士論文, pp. 84.
- 和田英太郎 (1986). 生物関連分野における同位体効果—生物界における安定同位体分布の変動—. *Radioisotopes*, 35, 136-146.
- 吉田 達・吉田雅範・小坂善信・佐々木克之 (2004). 陸奥湾におけるホタテガイ適正収容量. 青森県水産総合研究センター研究報告, 別冊, 4, 1-30.