

研究分野	6 豊かな漁場環境の維持・保全のための技術開発	部名	漁場保全部
研究課題名	(1) 漁家所得の向上と経営安定を目指した養殖漁場の環境収容力に関する研究		
予算区分	国庫補助 (漁場生産力向上対策事業)		
試験研究実施年度・研究期間	平成 25～27 年度		
担当	(主) 加賀 克昌 (副) 加賀 新之助、内記 公明		
協力・分担機関	(国研) 水産総合研究センター東北区水産研究所、大船渡市漁業協同組合、宮城県水産技術総合センター		

### <目的>

東日本大震災によって壊滅的な被害を受けた二枚貝養殖の適切な復興を進めるため、良質の二枚貝を持続的に生産できる漁場利用の在り方を提示する。

### <試験研究方法>

平成 25 年 2 月から平成 28 年 2 月まで大船渡湾を対象として、主に当所がマガキ (以下、「カキ」) 養殖場の環境や餌料プランクトンの生産力、カキの成長状況等を把握するための現地調査を担当し、水産総合研究センター東北区水産研究所 (以下、「東北水研」) が海水流動の把握と当所の現地調査結果を解析し評価することにより、対象海域において持続的かつ適正な二枚貝養殖のための最大養殖量 (以下「環境収容力」) を明らかにする。

#### 1 環境条件の把握と餌料生産量の推定 (当所、東北水研)

大船渡湾定点 (St. 2、図 1) で月 1 回の水質調査 (水温、塩分、クロロフィル *a*、懸濁態有機炭素量 (POC) の 4 項目、0、5、10、20m の 4 層) 及び動物プランクトン量並びに  $^{13}\text{C}$  法の現場垂下実験による基礎生産速度の測定を実施した。

同時期に湾内外 7 定点 (St. 1～7、図 1) において多項目水質計により水温、塩分、クロロフィル蛍光強度等の鉛直分布を把握した。

#### 2 カキの成長試験 (当所)

大船渡湾定点 (St. 2) でカキを 2 層 (2、10m) に垂下し、月 1 回、その一部を採取し、殻長、殻高、殻幅、総重量、軟体部乾重量を測定した。また、グリコーゲン量の分析を外部機関に委託した。

#### 3 二枚貝餌料供給量推定のための大船渡湾海水流動の把握 (東北水研)

大船渡湾湾口近く (St. 6 近傍) に流向流速計 (ADCP) を設置し、流況の鉛直的な分布状況を連続的に測定した。また、表層付近の水温、塩分を観測するとともに、気象データ等から算定される河川流量と観測データを解析し、塩分収支のボックスモデル (海域を適切な区画に分割し、塩分の経時変化と輸送量から海水の滞留時間を推算する方法) から湾内外の海水交換量を推定した。



図 1 調査定点

※背景図には国土地理院の基盤地図情報を使用

#### 4 貝類養殖量及び懸濁物捕食生物 (付着生物) の現存量並びに餌料消費量の推定 (当所、東北水研)

対象海域の関係漁協等への聞き取りにより、年、貝種毎の養殖生産量を把握し、各月の養殖量と餌料消費量を推定した。また、St. 2 に試験的な付着基質を垂下し、毎月及び半年毎の付着物量の実測を行い、養殖貝類と懸濁物食競合種の現存量と餌料要求量を推定した。

5 貝類等の濾水量測定試験と餌料消費量の精度向上 (当所、東北水研)

水温、カキの重量と濾水速度の関係式については、赤繁ら (2005 日水誌 71:762-767) の報告例を、カキの濾水量推定のベースとした。しかし、冬季の水温が東北地方よりも高い地域での実験例であるため、東北地方の条件に合わせた検証が必要である。

そこで、本推定式の精度向上のため、宮城県水産技術総合センター (以下「宮城水技」) の協力を得ながら、季節変動する水温条件に応じたカキの濾水量測定試験を実施した。

基本的な実験設定は赤繁らの方法に従い、平成 26 年 2 月～平成 28 年 2 月まで原則として月 1 回、自然水温の条件のもとで濾水速度試験を実施した。大きさの異なるカキ 15 個体を個別の 30L 水槽に収容し、珪藻 (*Chaetoceros calcitrans*) を添加した後、一定時間ごとにチューブで静かに採水し、餌料に由来するクロロフィル蛍光強度の変化を把握することにより、珪藻密度の減少量から捕食速度を求めた。各試験期間中のカキの捕食による餌料の減少を追跡し、各温度条件でカキの濾水速度を測定した。平成 26 年 6 月からは、大きさの異なるホタテガイ、ホヤ、ムラサキイガイを各 1 個体入れた条件を 4～5 セット設置し、同様に濾水速度と捕食速度を測定した。

6 二枚貝養殖場の管理手法開発に向けた漁場利用率の評価 (東北水研)

図 2 のフローを想定して、大船渡湾における餌料供給量 (海水交換による餌料の移流 A、基礎生産量 B、微小動物プランクトン生産量 C、その他懸濁物生産量 D) と餌料消費量 (中大型動物プランクトンによる消費量 E、養殖によるカキ、ホタテガイの現状での消費量 F、G、ホヤや付着物等の餌料競合生物の消費量 H、カキ等消費者からの総排泄物量 I、推定沈降水量 J) を推定し、現状での両者の比較から餌料利用強度を月別に検討した。

A [海水交換による餌料の移流]

湾内と湾外との海水交換量から移流によるクロロフィル a 値の変動成分を推定した。平成 25 (2013) ～27 (2015) 年の 3 年間に大船渡湾で測定された季節別の炭素：クロロフィル a 比をもとに湾内の移流による懸濁態炭素の出入りを推定した。

B [基礎生産量]

St. 2 で実施した基礎生産速度の結果からクロロフィル a 当たりの炭素生産速度を求め、それを各月の湾内 6 点のクロロフィル蛍光値から推定したクロロフィル a 濃度に乗ずることにより湾全域の基礎生産による炭素生産量を推定した。

C [微小動物プランクトン生産量]

定点での水温、各生物群の体サイズ、現存量から推定される代謝活性を基に炭素換算値を算出した。

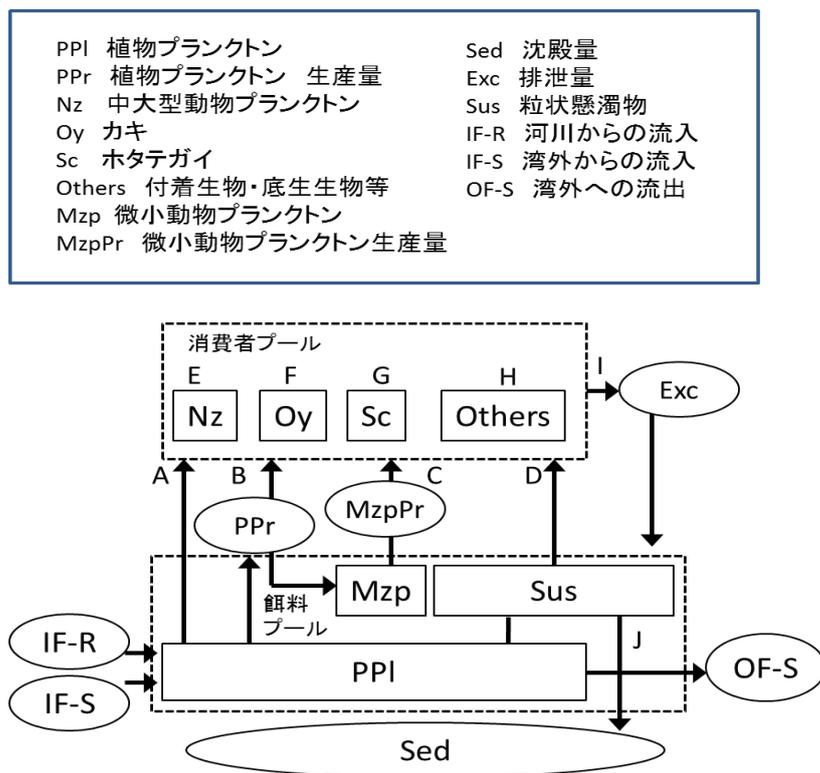


図 2 カキ環境収容力推定のための餌料炭素エネルギーフロー (A～D; 餌料供給、E～J; 餌料消費) の想定図

D [懸濁物生産量]

二枚貝の捕食量と吸収効率から排泄される炭素量を推定し、餌料供給源と見なした。

E [中大型動物プランクトンの消費量]

定点での水温、各生物群の体サイズ、現存量から推定される代謝活性を基に炭素換算値を算出した。

F, G [養殖によるカキ、ホタテガイの現状での消費量]

2の成長試験で得られるカキの個体当たりの湿重量、乾重量の変化やホタテガイ既往の知見（濾水量、捕食量、餌料吸収効率、呼吸速度等）によるパラメーターから、月ごとに個体当たりの餌料消費量を推定した。また、平成 25 (2013) ~27 (2015) 年の3年間の大船渡湾でのカキ、ホタテガイの養殖生産および保有推定量をもとに、月ごとに養殖量の変化を推測し、それぞれ湾全体の餌料要求量を推定した。

H [付着物等の餌料競合生物の消費量]

ホヤについて、FやGと同様の手法で湾全体の餌料要求量を推定するとともに、5の試験結果と付着生物に関する既往の知見（濾水量等）から、養殖されているカキとホタテガイ以外の餌料消費量を推定した。

I [消費者からの総排泄物量]

E, F, G, Hにより排泄される懸濁物量については、貝類等の排泄物量に関する知見から推定した。

J [推定沈降量]

餌料プールから海底への沈降堆積量については、対象海域における過去の調査結果をもとに大船渡湾全体で月ごとに算出した。

< 3年間の結果の概要・要約 >

1 環境条件の把握と餌料生産量の推定 (図2のA, B)

大船渡湾定点 St. 2 の水温、塩分はそれぞれ、3.5~24.2°C、4.7~33.9 の範囲、栄養塩濃度 DIN、PO<sub>4</sub>-P、SiO<sub>2</sub>-Si はそれぞれ ND~54.7 μM、ND~1.17 μM、ND~159 μM の範囲で推移した。全体として夏季に表層で枯渇し、特に PO<sub>4</sub>-P の減少が顕著であった。クロロフィル a 濃度は 0.2~21.2 μg/L で推移し、各年 4 月の中底層に明確なピークが認められた (図3)。

一方、基礎生産速度は 0~285 μgC/L/d の範囲で推移し、基本的に夏季の表層で高くなる傾向が明確であった。微小動物プランクトンと中・大型動物プランクトンの水柱平均現存量は、それぞれ 0.2~51.7 mg/m<sup>3</sup> と 0.0~86.2 mg/m<sup>3</sup> となり、全般的には微小動物プランクトンが卓越する場合が多かった (図4)。

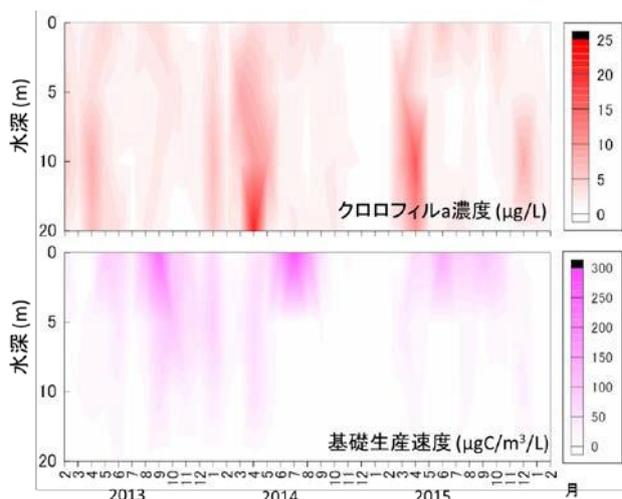


図3 クロロフィル a 濃度と基礎生産速度の季節変化

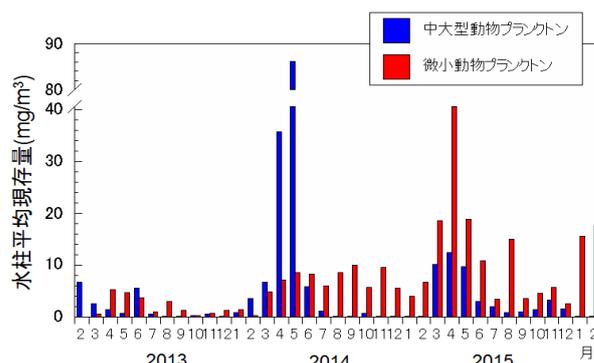


図4 動物プランクトン現存量の季節変化

2 カキの成長試験 (図2のF)

カキは水温の上昇とともに成長したが、8~11月に乾重量が大きく減少する傾向が認められ、産卵による身入りの減少が考えられた。2m層と10m層の身入り低下のタイミングのずれは、水深による水温の違いが原因と考えられ、産卵後のグリコーゲン含有量の回復は2m層より10m層で遅くなった (図5)。

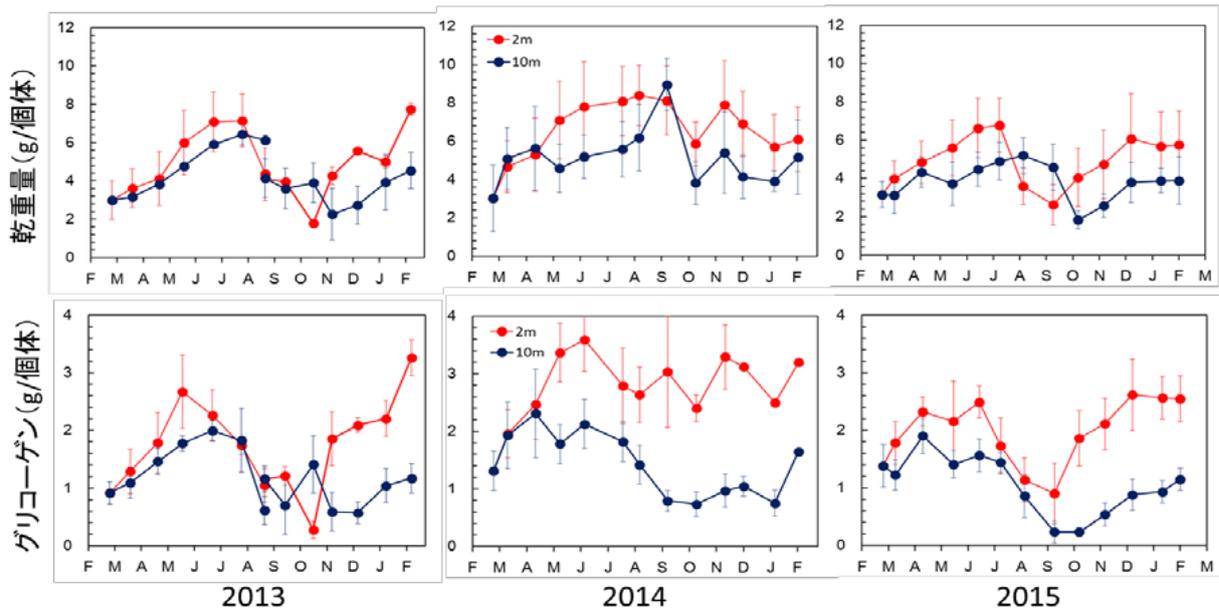


図5 大船渡湾 St. 2 に垂下したカキの個体乾重量とグリコーゲン量の季節変化

3 二枚貝餌料供給量推定のための大船渡湾海水流動の把握 (図2のIF-R、IF-S、OF-S)

各月の塩分収支に基づくボックスモデルから、塩分躍層(4m層)を境界として大船渡湾を上下2層のブロックに分割し、塩分の拡散や移流から月毎の海水交換量を推定した結果、3年間の海水交換量は32~369 m<sup>3</sup>/s (平均136m<sup>3</sup>/s)、湾内滞留時間は6~74日 (平均24日) となり、海水交換は冬季に高くなる傾向が認められた(図6)。

また、推定された海水交換量は、実測した湾外から湾内への海水流入量と高い相関(図7 : r=0.72、p<0.01) を持っていた。以上の結果から、ボックスモデル解析によって湾内の海水交換を把握できると考えられた。

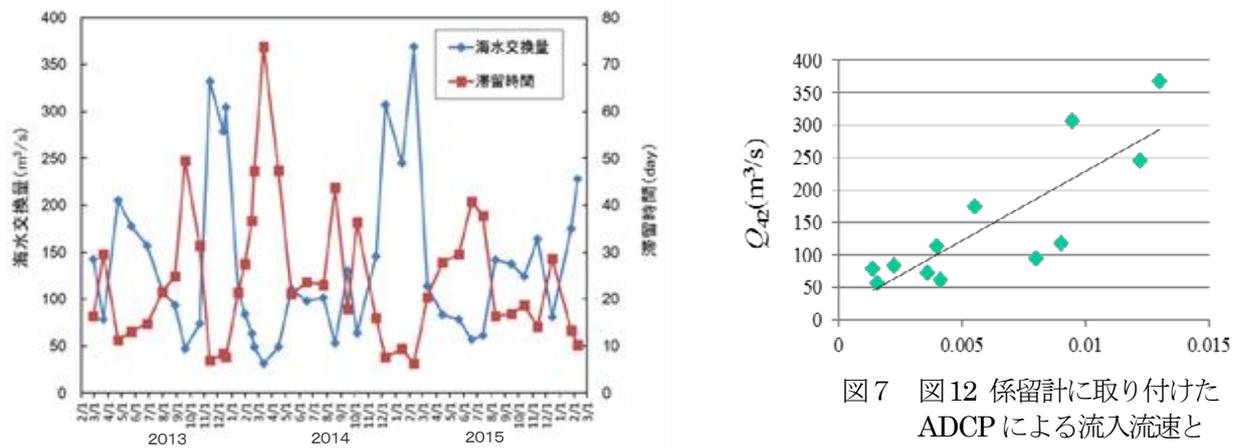


図6 ボックスモデルによる大船渡湾の海水交換量と湾内海水の滞留時間

図7 図12 係留計に取り付けた ADCP による流入流速とボックスモデルの湾内流入成分の関係

4 貝類養殖量及び懸濁物捕食生物(付着生物)の現存量並びに餌料消費量の推定(図2のH)

本年度の大船渡湾内のカキ、ホタテガイ、ホヤの出荷量について関係漁業協同組合から情報収集し、湾内で実施している各養殖量の推定を行った。カキとホヤは10月から翌年3月まで、ホタテガイは一定の割合で周年出荷すると仮定した。ホヤの出荷期間は通常とは異なるが、貝毒発生期を避けて出荷している現状を反映した。

5 貝類等の濾水量測定試験と餌料消費量の精度向上 (図2のF)

カキの濾水速度 (CR: L/個体/h) は、乾燥重量 (W:g) と  $CR=a*W^b$  の関係で表される。宮城水技の協力を得て実施した試験を含めて計 23 回の試験を実施した。各試験で得られたカキの捕食による餌料の減少速度から濾水速度 CR を求め、温度を変数とする回帰式でパラメーター a を近似させた結果、 $a=0.77*T-0.2$  となった。

この式からカキが濾水を始める温度は約 0℃となり、北方海域での現状に適合した結果となったが、b はバラつきが大きく、一定の値に近似できなかった。この結果をもとに温度から推定される a と各月の b から、個体の重量別の濾水速度を推定した。ホタテガイ、ホヤ、ムラサキガイの濾水速度についても計 9 回の試験を行い、それぞれ 1 時間 1g 乾重量あたりの濾水量は 2.0~8.2 L、3.5~21.6 L、3.7~18.5 L (平均、4.9 L、9.8 L、10.5 L) となった。同じ時期のカキの濾水量は 3.1~11.9 L (平均 7.3 L) であった (図 8)。これらの濾水速度データを湾内全体の貝類等による餌料消費量の算出に用いた。

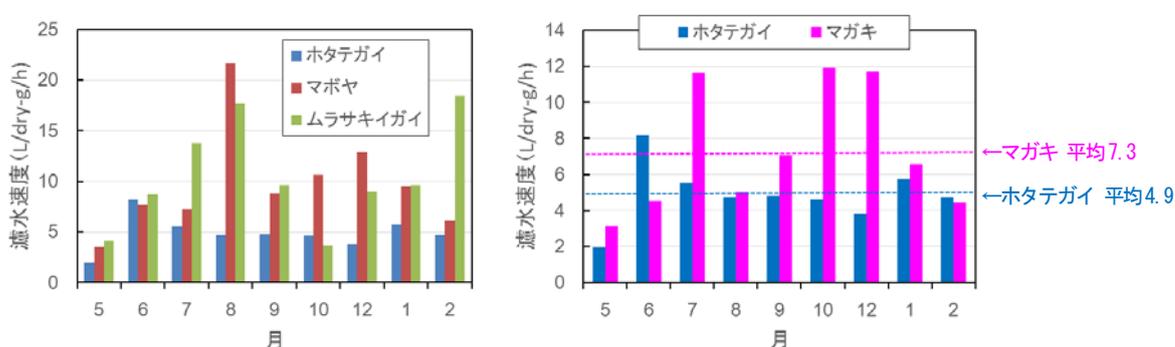


図 8 ホタテガイ、ホヤ、ムラサキガイの濾水速度の季節変化とホタテガイとマガキの比較

6 二枚貝養殖場の管理手法開発に向けた漁場利用率の評価

平成 25 年 3 月から 28 年 2 月までの調査結果および既往の知見から、大船渡湾の二枚貝養殖のための餌料 (懸濁態有機炭素: POC) 供給量と各種養殖種や動物プランクトンによる消費と湾外との粒子の出入りを算出した。

POC 供給量については、全体で 11~574 トン/月で推移し、その中で基礎生産量が多くのもので卓越し、35%以上を占めた。一方、餌料消費量については動物プランクトンによるものが夏季を中心に増加し、カキによる消費も夏季から秋季に変動の主要因になることがあった (図 9)。

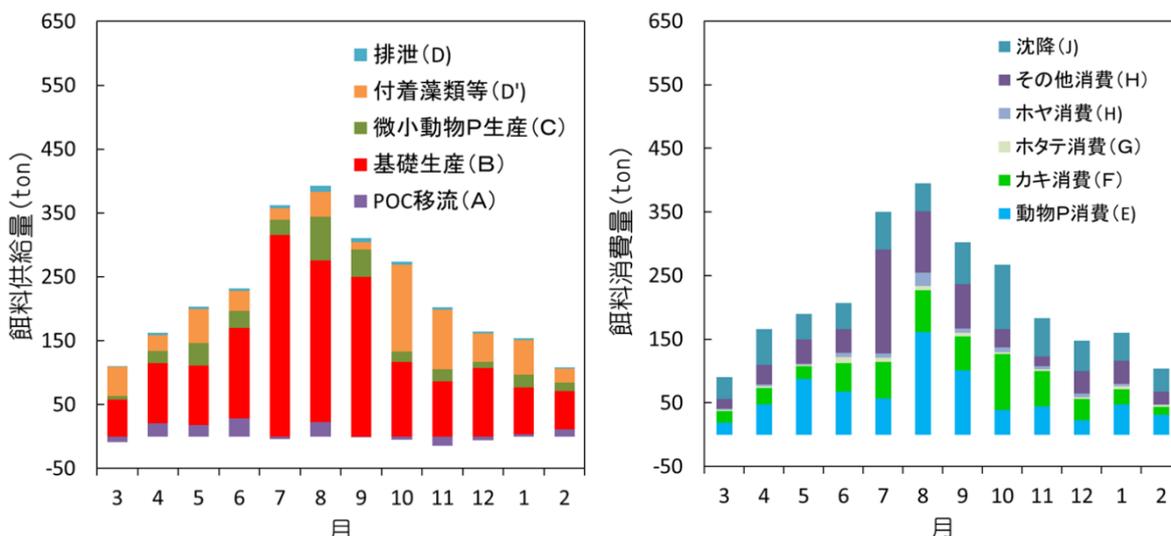


図 9 平成 25 年 3 月~28 年 2 月のデータから推定した炭素ベースの餌料供給量と餌料消費量の季節変化

これらの推定では、湾内での餌料粒子の沈降除去、付着藻類や大型藻類由来の懸濁物粒子の供給、ムラサキイガイやホヤ類以外の付着生物や海底の懸濁物食生物による消費が算定できていないため、単純な生産量と消費量の差し引きだけでは、湾内の養殖漁場としての環境収容力を評価するために問題が生じる。

そのため、沈降粒子については既往の知見 (Hayakawa et al 2001) をもとに推定した。次に、湾内の餌料生産量と消費量の収支の余剰分あるいは不足分が、当該月の現存量に付加あるいは現存量から差し引かれることによって翌月の現存量をもたらすと仮定し、推定される翌日の現存量の推定値が±20%精度で翌月の現存量の実測値に一致するように、上記の不明な餌料供給と消費量を調整した。以上の調整を3年間の毎月の結果で実施し、各月の餌料供給と消費に関するパラメーターの平均値を算出した。この結果が湾内の餌料供給と消費のバランスを表すと考え、カキ養殖量を現状の 1.1~1.4 倍まで変化したときの湾内の餌料現存量の変化に及ぼす影響を評価した (図 10)。

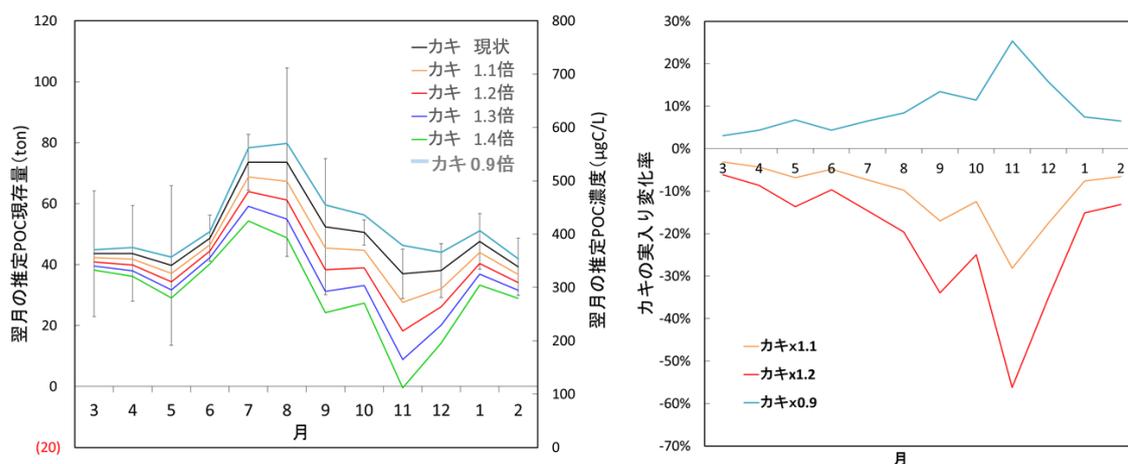


図 10 カキ養殖量の増減による湾内餌料現存量・想定されるカキの身入りへの影響 (縦線はSD, n=3)

カキ養殖量の変化が湾内の餌料現存量の変化に及ぼす影響が最も強い時期は夏季から秋季で、特に餌料現存量が減少する 11 月の影響が大きく、1.4 倍になると湾内の餌料現存量が枯渇した。餌料現存量の減少はカキの身入りに影響すると考えられ、カキ現存量が 1.1 倍になるとカキの身入りが 11 月には 28%減少する試算となった。一方、冬季から春季は養殖量の増加が現存量に及ぼす影響は少ないと考えられる。

養殖量を現状の 90%に減少した場合、逆に身入りが最大で 25%増加、10~12 月に限定すれば平均 17%増加する試算となった。

## 7 まとめ

- ・大船渡湾における水質環境、クロロフィル a 濃度、基礎生産速度、懸濁態有機炭素量、動物プランクトン現存量及び海水交換量等のデータを蓄積し、3年間の状況を取りまとめた。
- ・カキの濾水量測定試験を多様な温度条件のもとで周年実施し、北方域に適したカキの濾水速度測定のためのパラメーターを明らかにした。また、大船渡湾で実施されている他の養殖種 (ホタテガイ、ホヤ) 等の濾水速度測定を周年実施し、これら養殖種の餌料消費量を推定した。
- ・主に当所が現地調査、東北水研が解析・評価を担当し、3年間の蓄積データから湾内の餌料現存量の収支をもとに、現状での大船渡湾における餌料炭素粒子の供給と消費の状況を取りまとめた。カキの養殖量を適宜変化させることによって、湾内の餌料炭素現存量の変化をシミュレーションし、カキの身入りの増減を推定することが可能となった。

## <今後の問題点>

解析結果を漁業の現場へ普及することが必要である。また、大船渡港湾口防波堤が平成 29 (2017) 年 3 月に完工予定であり、静穏化の進行に伴う貧酸素水塊の発生が懸念される一方で、新工法である湾口底部の導水管に

よる海水交換の促進効果が不明であり、震災前と完工前後のデータの比較や経年変化の把握に向け、環境調査のみ県単独事業で継続して実施予定である。

#### <次年度の具体的計画>

##### 1 調査結果の解析・評価・公表

大船渡湾内の漁業実態を踏まえて調査研究結果を整理するとともに、より分かり易くまとめて、成果の普及・啓発を図る。

##### 2 漁場環境調査、結果の広報

清水漁場の他、大船渡湾の6点で水温等の鉛直観測を継続して湾全体の環境変化を把握するとともに、調査結果を広報する。

#### <結果の発表・活用状況等>

- ・岩手県大船渡湾における漁場環境とマガキの成長（平成 26 年日本水産学会東北支部大会）
- ・大船渡湾における環境収容力調査について（平成 26 年気仙地区貝類養殖技術検討会）
- ・大船渡湾の重点監視水域調査結果（関係漁協での説明会、水技ホームページ（延べ 12 回））
- ・得られた成果を対象海域における持続的な漁場利用のための基礎資料として活用