

# 地先型増養殖場造成地における 水質浄化機能の定量化に関する研究

水産総合研究センター養殖研究所  
阿保勝之・坂見知子・伊藤文成  
調査実施年度：平成12～14年度

## 緒言

近年、天然干潟が有する水質浄化能力が明らかとなり、その定量化が行われつつある。人工干潟や増養殖場造成地などにおいても水質浄化機能の定量化の必要性が高まっている。三重県外城田川の河口域に位置する東豊浜地区地先型増養殖場造成地は、アサリを対象とした地先型養殖場であり、放流資源の保護育成による生産拡大を目的として平成5年に造成された(図1)。造成地は約300m×600mの周囲に潜堤が構築され内部に砂が導入されている(平均水深約5m)。この造成地に関しては、アサリ漁場としての機能評価に関する研究<sup>1)</sup>は実施されてきたが、干潟域で実施されてきたような生物的水質浄化に関する研究<sup>2), 3)</sup>は行われていない。本研究では、地先型増養殖場における水質浄化機能を定量化するための調査手法を確立するとともに、当該造成地の水質浄化機能の定量化を行う。これにより、造成地の事業効果をアサリ増産だけでなく水質浄化の面からも総合して評価することができる。

## 方法

### 1. 現地調査

東豊浜地区地先型増養殖場造成地周辺の9測点(図2)において、CTD調査を行い水温、塩分、クロロフィルa量を測定した(アレック電子製クロロテック ACL1150-DKを使用)。さらに、水質分析のために各測点の上層(水面下0.5m)、中層、下層(海底上1m)において採水を行い、溶存態無機窒素(DIN)、溶存態有機窒素(DON)、懸濁態有機窒素(PON)、溶存態リン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)、溶存態有機リン(DOP)、懸濁態リン(PP)を分析した。調査は、日潮不等の少ない大潮期を選び、2000年6月2日に潮時に合わせて早朝(満潮時)、昼間(干潮時)、夕刻(満潮時)の3回行った(図3)。また、造成地内の測点A(平均水深5m)の海底上2mに流速計を設置し5分毎に流向・流速を測定した(ユニオンエンジニアリング社製流速計PU1を使用)。

### 2. 収支計算

造成地における物質収支をボックスモデル解析により計算した。図4のように造成地を一つのボックスと考え、次式により収支計算を行った。

$$\begin{aligned} \Delta(V \cdot C_v) = & Q_0 \cdot C_0 + Q_{A1} \cdot C_{A1} - Q_A \cdot C_{A2} \\ & + A_0 \cdot K \cdot \Delta t \cdot \Delta C_0 / \Delta L + A_{A1} \cdot K \cdot \Delta t \cdot \Delta C_{A1} / \Delta L \\ & + A_{A2} \cdot K \cdot \Delta t \cdot \Delta C_{A2} / \Delta L + P \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

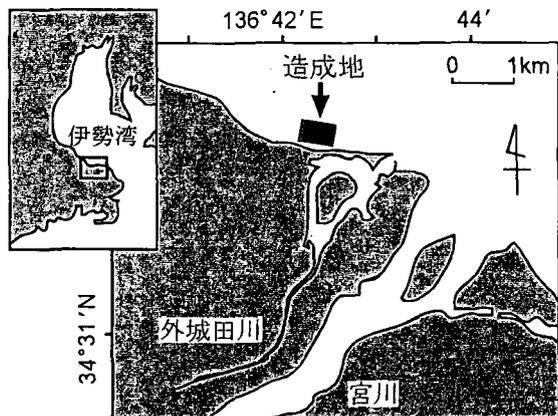


図1 造成地の位置

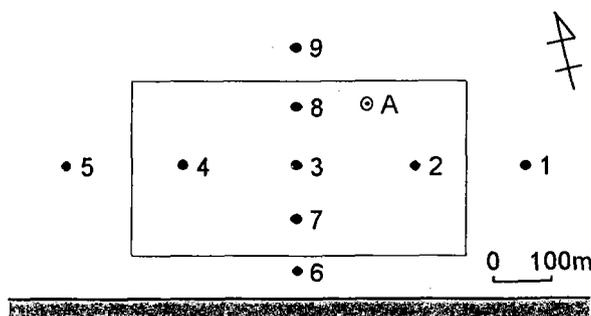


図2 調査測点図

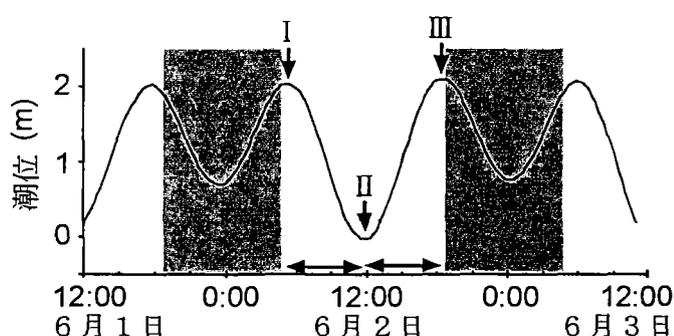


図3 調査時間と潮位の関係

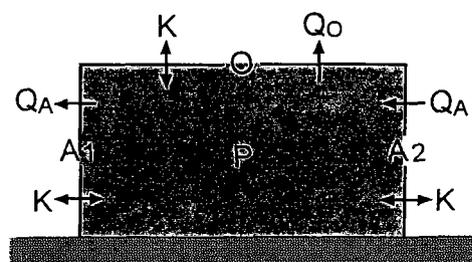


図4 ボックスモデル解析の模式図

ここで、左辺は時間変化項、右辺第1項から第3項は移流項、第4項から第6項は拡散項、第6項は生成消失項を表しており、 $V$  はボックス（造成地）の体積、 $A_0$  は造成地と沖合域の境界断面  $O$  の面積、 $A_{A1}$ 、 $A_{A2}$  はそれぞれ造成地と隣接域の境界断面  $A_1$ 、 $A_2$  の面積、 $C_v$  は造成地内の平均濃度、 $C_0$ 、 $C_{A1}$ 、 $C_{A2}$  はそれぞれ境界面  $O$ 、 $A_1$ 、 $A_2$  での平均濃度、 $Q_0$  は境界面  $O$  を通じての海水流量、 $Q_A$  は境界面  $A_1$  または  $A_2$  を通じての海水流量、 $K$  は広義の水平拡散係数、 $\Delta C_0/\Delta L$ 、 $\Delta C_{A1}/\Delta L$ 、 $\Delta C_{A2}/\Delta L$  はそれぞれ境界面  $O$ 、 $A_1$ 、 $A_2$  での濃度変化率、 $P$  は生成消失項である。

計算に際して、境界面を通じての海水流量  $Q_0$ 、 $Q_{A1}$ 、 $Q_{A2}$  については流速計のデータを利用して次のように決定した。流速の岸沖方向成分（60度）が境界面  $O$  の法線方向の流れを表し、岸沿い方向成分（-30度）が境界面  $A_1$ 、 $A_2$  の法線方向の流れを表すものとした。また、境界面  $O$  を通じての海水流量はタイダル・プリズム（上げ潮または下げ潮期間中の海水流入量）に等しいと考え、岸沖方向の流量がタイダル・プリズムに一致するように流速値を補正した。また、広義の水平拡散係数  $K$  については、保存物質である塩分の収支において生成消失項が最小となるように水平拡散係数を決定した。

### 3. アサリ代謝モデル

アサリの代謝過程を数式化することにより理論上の窒素吸収量を計算し、アサリが有する水質浄化機能を評価する。アサリは海水中の懸濁態有機物をろ過して取り込み（捕捉）、偽糞として排泄した残りを体内に取り込む（摂食）。摂取した有機物は一部が糞として排

出され、残りが同化される。このうち呼吸に使われた残りが純生産となり成長に使われる(図5)。アサリの同化量(A)は純生産(NP)と呼吸量(R)の和として表される。

$$A = NP + R \quad \dots\dots\dots (2)$$

純生産(成長量)は殻長成長から類推することが出来る。アサリの湿肉重量  $W_w$  (g) は殻長  $L$  (mm) の関数として表される<sup>4)</sup>。

$$W_w = 2.306 \times 10^{-5} L^{3.24} \quad \dots\dots\dots (3)$$

湿肉重量から窒素量への換算は次式を用いた<sup>5)</sup>。ただし、 $W_n$  は窒素量で表したアサリの肉重量(gN)、 $W_d$  は乾肉重量(g)。

$$W_n = W_d \times 0.42904 / 3.62, \quad W_d = W_w \times 0.195 \quad \dots\dots\dots (4)$$

アサリの呼吸量  $R$  (mgO<sub>2</sub>/h) は水温  $T$  (°C) と貝の湿肉重量  $W_w$  (g) の関数として次のように表される<sup>6)</sup>。

$$R = 0.00188 T^{1.480} \cdot W^{0.699} \quad \dots\dots\dots (5)$$

また、酸素当量で表された呼吸量 1 mgO<sub>2</sub> は、0.375mgC、0.050mgN、0.00692mgP にそれぞれ換算できる<sup>7)</sup>。これらの式を用いることにより、アサリの貝殻成長量から、成長量、呼吸量、同化量をそれぞれ窒素単位で求めることが出来る。また秋山<sup>8)</sup>は、同化量と糞・偽糞、捕捉量の割合をそれぞれ1.304、2.304としており、糞・偽糞と捕捉量も窒素単位で求めることが出来る。

つぎに、アサリのろ水量について述べる。ろ水量は、水温と大きさ(湿肉重量)の関数として表される。

$$F = f_T \cdot f_w \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 $f_T$  は水温の影響を表す最大値1の無次元の関数であり、 $f_w$  は最適な水温のもとでアサリの大きさ(湿肉重量)で決まるろ水量である。秋山<sup>8)</sup>は、アサリのろ水量を水温の関数として表している。これを最大値で割って無次元化して  $f_T$  を求めると、

$$f_T = -0.000237 T^3 + 0.0133 T^2 - 0.188 T + 1.012 \quad \dots\dots\dots (7)$$

さらに、ろ水量  $f_w$  (l/h) と湿肉重量  $W_w$  (g) との関係は次式で表される<sup>8)</sup>。

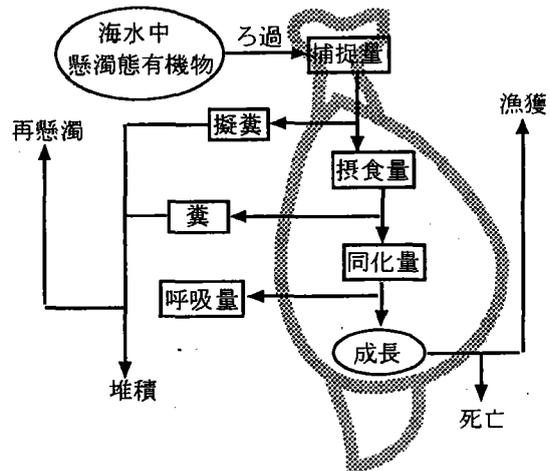


図5 アサリ代謝モデルの模式図

$$f_w = 10^{(-1.40 \log W_w - 0.193)} \cdot W_w$$

(8)

## 結果

### 1. 水質調査

早朝 (I : 満潮時)、昼間 (II : 干潮時)、夕刻 (III : 満潮時) の調査結果を元にして、岸沖方向の測線 (St.6, 7, 3, 8, 9) における水温、塩分、クロロフィル a 量、溶存無機態窒素 (DIN)、溶存有機態窒素 (DON)、懸濁態有機窒素 (PON)、懸濁態リン (PP) の鉛直断面分布を作成した (図6)。当日は大潮期にあたり、日潮不等が少なく満潮時と干潮時の潮位差は約 2 m であった。水温は早朝には均一であったが、日射の影響で昼間、夕

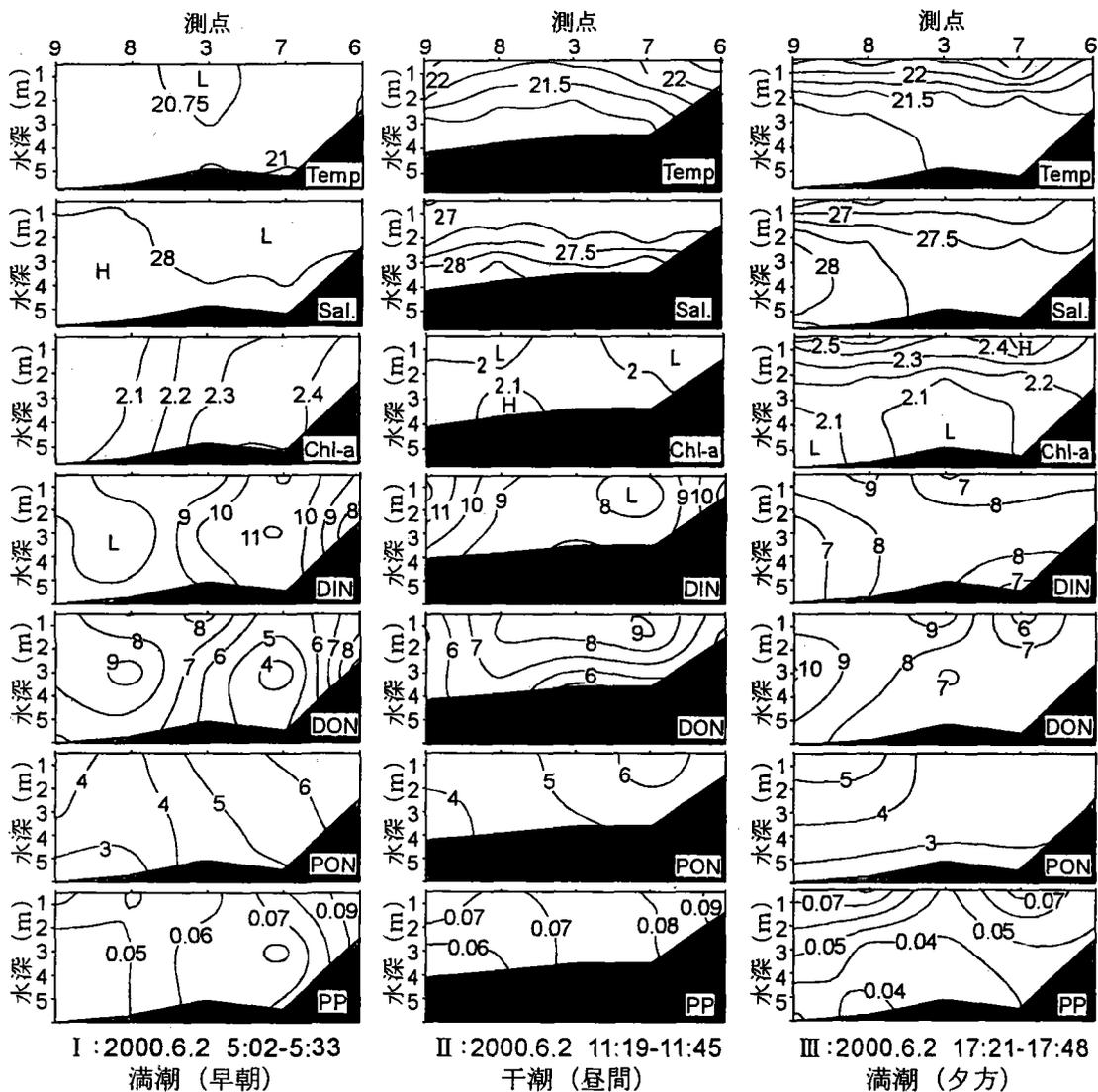


図6 水温 (°C)、塩分 (psu)、クロロフィル a ( $\mu\text{g/l}$ )、溶存態無機窒素 (DIN,  $\mu\text{M}$ )、溶存態有機窒素 (DON,  $\mu\text{M}$ )、懸濁態有機窒素 (PON,  $\mu\text{M}$ )、懸濁態リン (PP,  $\mu\text{M}$ ) の鉛直断面分布。I : 満潮時 (早朝)、II : 干潮時 (昼)、III : 満潮時 (夕方)。

刻には表層での高温化が見られた。塩分は昼間と夕刻に少し低塩分化しており、低灌な水塊の影響が見られた。クロロフィル a 濃度は、早朝には岸側で高く沖側で低い傾向が見られたが、干潮時には全体として低くなり、夕刻の満潮時には表層で高くなった。DIN 濃度は、早朝には中央部で高く岸側と沖側で低い傾向が見られたが、昼間の干潮時には逆に中央部で低く岸側と沖側で高くなった。さらに、夕刻の満潮時には全体的に低濃度となった。DON 濃度は DIN と逆の分布傾向であった。PON 濃度は、早朝と昼間には岸側で高く沖側で低い傾向にあり、夕刻の満潮時には沖側表層で高く岸側および下層で低い傾向となった。PP 濃度は、早朝と昼間は岸側で高く沖側で低かったが、夕刻の満潮時には下層で低くなった。

## 2. 流動調査

造成地内の測点 A における流向・流速の連続測定結果を図 7 に示した。流れは半日周期で変動しており潮汐流が卓越していることが分かる。流跡図 (図 8) を見ると、流れは西北西-東南東方向の流れが卓越している。この方向は観測点付近の等深線方向 (-30 度) にほぼ一致しており、流れが地形に補足されていることが分かる。そこで、流れの岸沿い方向成分 (-30 度) と岸沖方向成分 (60 度) を図 9 に潮位と共に示した。流れは岸沿方向が卓越している。満潮時前後に伊勢湾の湾奥から湾口へ向かう流れとなり最大流速 12cm/s、干潮時前後には湾奥へ向かう流れとなっており、最大流速は約 8 cm/s であった。一方、岸沖方向の流れは、下げ潮時に冲向きの流れ、上げ潮時に岸向きの流れとなっており、水位変動と良く対応している。

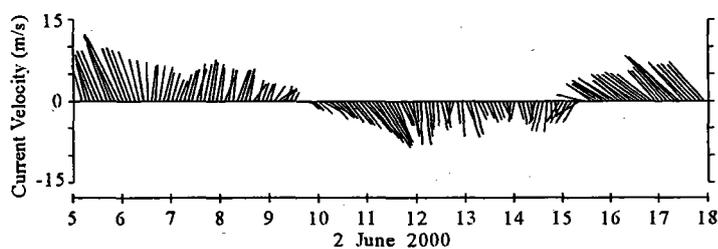


図 7 流れのベクトル図

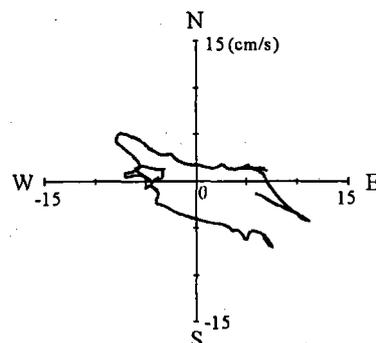


図 8 流跡図

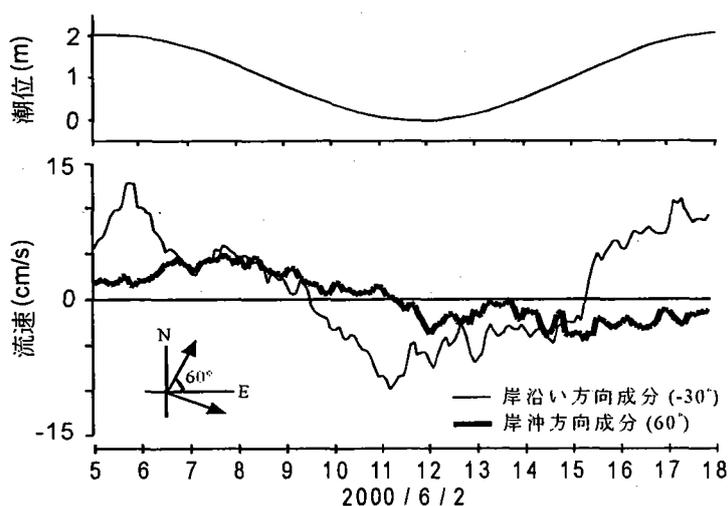


図 9 流れの岸沖方向成分 (太線) と岸沿方向成分 (細線)。上段は潮位変動。

表1 各水質要素の収支計算結果

	時間変化	移流	拡散	生成消失
Heat (cal)	$5.9 \times 10^{11}$	$- 5.2 \times 10^{11}$	$7.7 \times 10^{11}$	$3.3 \times 10^{11}$
Chl.a (kg)	0.01	- 0.04	- 0.58	0.63
DIN (kg)	- 19.68	- 4.17	69.29	- 84.80
DON (kg)	12.75	- 2.24	- 84.98	99.97
PON (kg)	- 11.23	0.39	- 37.55	25.92
PO <sub>4</sub> -P (kg)	- 1.14	- 0.39	2.98	- 3.74
DOP (kg)	- 1.10	- 0.71	0.80	- 1.18
PP (kg)	- 0.27	- 0.05	- 0.86	0.64

### 3. 収支計算

#### 3-1. ボックスモデル解析

熱収支およびクロロフィル a、各態窒素、リンの収支計算の結果を表1に示した。各調査項目における収支計算は午前（期間Ⅰ～Ⅱ）および午後（期間Ⅱ～Ⅲ）について行い、表1にはそれらの両期間の合計を示してある。熱収支は  $3.3 \times 10^{11}$  cal の生成となった。これは  $1.9 \times 10^6$  cal/m<sup>2</sup> に相当し、造成地内の水温が 0.45℃ 上昇する熱量に相当する。日射等により海面を通じての熱供給があったことを示している。クロロフィル a 収支は 0.63kg の生成となった。これは、3.5mgChl.a/m<sup>2</sup> に相当する。また、クロロフィルの生成量は、移流・拡散による流出量とほぼ等しい。

窒素収支は、DIN が約 85kg の消失、DON と PON がそれぞれ約 100kg、26kg の生成となっている。これは、それぞれ約 470mgN/m<sup>2</sup> の消失、560 mgN/m<sup>2</sup> の生成、140 mgN/m<sup>2</sup> の生成に相当する。移流・拡散による流入量の約 1.3 倍量の DIN が消失し、1.2 倍量の DON と 0.7 倍量の PON が生成している。リン収支は、PO<sub>4</sub>-P、DOP がそれぞれ 3.7kg、1.2kg の消失、PP が 0.6kg の生成となっている。これは、それぞれ約 21 mgP/m<sup>2</sup> の消失、7 mgP/m<sup>2</sup> の消失、4 mgP/m<sup>2</sup> の生成に相当する。

造成地においては DIN、PO<sub>4</sub>-P が消失し、クロロフィル a が生成されていた。これは、植物プランクトンによる DIN、PO<sub>4</sub>-P の吸収および一次生産が盛んに行われていることを表している。また、PON と PP の収支はいずれも生成となっていた。現状では、造成地におけるアサリの生息密度は非常に少なく<sup>1)</sup>、アサリによる懸濁物の取り込みよりも一次生産による懸濁物の生成の方が大きいため、造成地は懸濁態窒素、懸濁態リンの供給源となっている。

#### 3-2. 解析方法の妥当性

塩分収支、熱収支およびクロロフィル a 収支の結果を検討し、ボックスモデルによる解析方法の妥当性を検証する。塩分収支の生成消失項を最小にするように海域の拡散係数を見積り  $3 \times 10^4$  (cm<sup>2</sup>/s) を得た。拡散係数は空間スケールに依存することが知られており、今回得た拡散係数の大きさは数 km の空間スケールに相当する。造成地の大きさ (300 × 600) から考えて、今回得られた拡散係数の値は妥当な範囲にあると考えられる。

つぎに、熱収支結果の妥当性を検討する。熱収支は  $1.9 \times 10^6$  cal/m<sup>2</sup> の生成であった。海底面がほぼ断熱であることを考えれば、この熱量は海面を通じて熱の出入り（海面熱収支）で説明できることになる。海面熱収支 Q は、日射量、気温、蒸気圧、風速などの気象データと海水温等から次式により求めることが出来る。

$$Q = Q_s + Q_a - (Q_{br} - Q_e - Q_c) \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 $Q_s$ は日射による短波放射量、 $Q_a$ は長波放射量、 $Q_{br}$ は長波逆放射量、 $Q_e$ は蒸発に伴う潜熱量、 $Q_c$ は熱伝導に伴う顕熱量である。なお、気温、風速についてはAMeDAS鳥羽、日射量、蒸気圧については地上気象データ（潮岬）の観測値を用いた。調査日における海面熱収支の結果は、ボックスモデル解析により求めた熱収支結果と比較して約30%高く計算された。しかし、海面熱収支計算に用いた気象データは鳥羽と潮岬の観測値であって造成地周辺の気象とは異なることを考えれば、両者の計算値は非常に良く一致していると考えられる。

つぎに、クロロフィルa収支の結果を検討する。調査期間中のクロロフィルa現存量は $9 \mu\text{g}/\text{m}^2$ であったので、 $2 \text{mgC}/\text{mgChl.a}/\text{hour}$ を用いると、光合成活性は $220\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ と見積もられる。クロロフィル収支は光合成量や摂餌圧等を総合した結果であり、また現場の光合成量が光や栄養塩により制限されることを考えると、今回得られた収支計算結果( $104\text{mg C}/\text{m}^2$ )は妥当な値であると考えられる。

以上のことから、今回用いた解析方法が造成地の物質収支計算に有効であることが示された。

#### 4. アサリによる水質浄化

造成地では、現在アサリ稚貝の放流は行われておらず、アサリの生息密度も非常に少ない。したがって、アサリによる懸濁物の取り込みは少なく、造成地は懸濁態窒素、リンの供給源となっている。しかし、造成地の造成事業計画によれば、アサリ稚貝を $200\text{g}/\text{m}^2$  ( $300 \sim 400$  個体/ $\text{m}^2$ ) 放流する計画になっている。そこで、計画通り稚貝放流を行った場合、アサリが海水中の懸濁態有機窒素をどのくらい除去するのかを定量的に評価する。

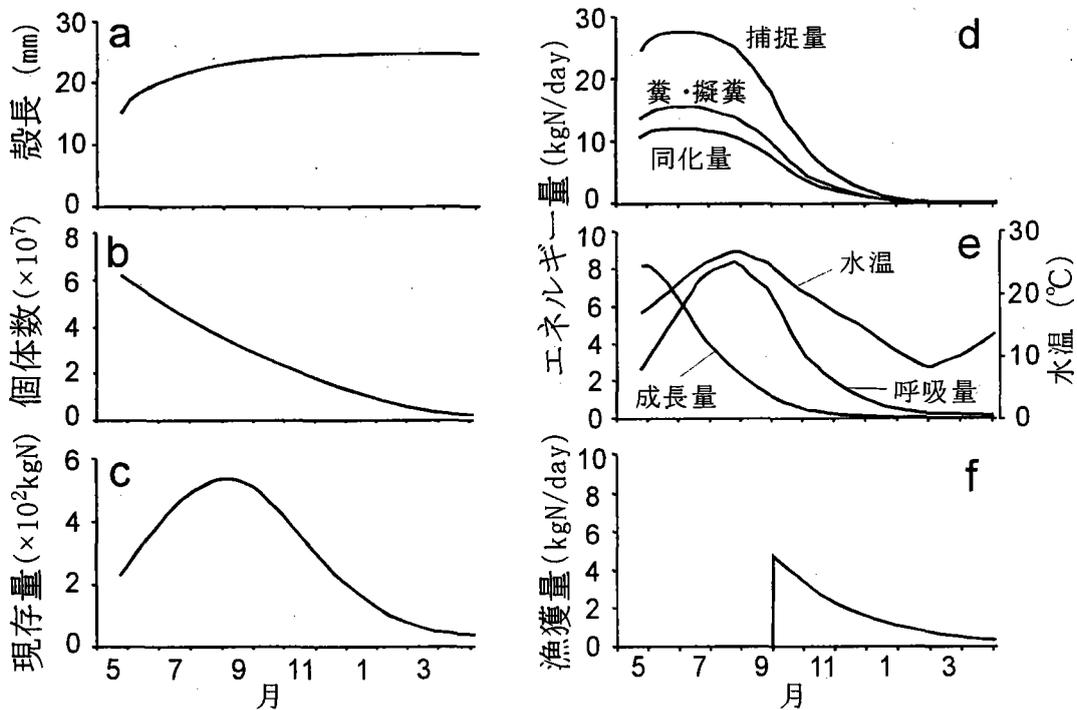


図 10 アサリ代謝モデルによる各窒素量の計算結果

造成地における放流調査<sup>1)</sup>によれば、殻長 15 mmで放流したアサリ稚貝は一年間で約 24 mmまで成長する(図10a)。放流アサリの現存個体数は、へい死および漁獲により減少する(図10b)。ただし、1年後の生残率を 20%とし、殻長 20mm以上となる 10月以降に漁獲を行い、漁獲率を 80%と仮定した。アサリの現存量(窒素量)は夏までは増加するが、秋以降には減少する(図10c)。有機物の捕捉量、糞・擬糞の量および同化量は、6月から7月に最も大きく秋以降は急激に減少する(図10d)。成長量は5月に最も大きく11月以降はほとんど成長しない。また、呼吸量(無機化量)は、水温の高い8~9月に大きく、水温低下と個体数の減少により秋以降は小さくなる(図10e)。漁獲量は漁獲開始時に最も大きく、その後現存量の低下に伴って減少する。

6月初旬においては、アサリによる窒素捕捉量は  $147\text{mgN}/\text{m}^3/\text{day}$ 、そのうち排泄量は  $83\text{mgN}/\text{m}^3/\text{day}$ 、呼吸量は  $18\text{mgN}/\text{m}^3/\text{day}$ であった。糞・擬糞のうち約 40%が堆積し、残り 60%が再懸濁する<sup>5)</sup>とすれば、海水中からの窒素除去量は  $102\text{mgN}/\text{m}^3/\text{day}$ となる。この捕捉量は、収支計算による6月2日(早朝から夕方)のPON生成量( $140\text{mgN}/\text{m}^2$ )と良く一致している。つまり、アサリによる窒素の捕捉量はPON生成量とバランスが取れることになる。また、窒素除去量は、造成地におけるPONの約 14%に相当する。

1年間を平均すると、アサリによる窒素の捕捉量は  $63\text{mgN}/\text{m}^3/\text{day}$ 、排泄量は  $36\text{mgN}/\text{m}^3/\text{day}$ 、呼吸量は  $18\text{mgN}/\text{m}^3/\text{day}$ 、漁獲量は  $6\text{mgN}/\text{m}^3/\text{day}$ であり、海水中からの除去量は  $41\text{mgN}/\text{m}^3/\text{day}$ となる。

## 考察

本研究では、ボックスモデル解析およびアサリ代謝モデルを用いて、東豊浜地区のアサリ増殖場造成地が持つ水質浄化機能(アサリによる海水中の窒素除去機能)を明らかにした。これらの方法を用いれば、アサリ増殖場造成地だけではなく、天然のアサリ漁場や干潟においても、海域が有する水質浄化機能(海水中の窒素・リン除去機能)やアサリによる懸濁態有機物の除去機能を定量的に評価することができる。また、水産基盤整備事業によるアサリ増殖場の造成については、水質浄化機能の促進という新たな観点からの事業効果評価を事業計画の段階で行うことができる。ここでは、東豊浜地区地先型増殖場造成地について、水質浄化機能の促進という観点から事業効果を評価する。

当該造成地の事業計画によれば、事業費は5億4千万円、事業による期待効果はアサリの生産量増加約140トン、生産額増加約5千万円となっている。期待効果の算定根拠は、稚貝放流密度 $0.2\text{kg}/\text{m}^2$ (放流量36トン)、増重倍率15(放流時 $0.6\text{g}$ (殻長15mm)、漁獲時 $9\text{g}$ (殻長35mm))、生残率0.2、漁獲率0.8としており、放流稚貝による増産量を約86トンと見積もっている。さらに、天然稚貝による増産量 $0.3\text{kg}/\text{m}^2$ (計54トン)を見込んでいる。しかし、実際には、造成地はアサリ増殖に適した環境ではなく、期待されるほどの成長は見込めないことが既に明らかとなっている。造成地における放流調査<sup>1)</sup>によれば、殻長 15 mmで放流したアサリ稚貝は一年間で約 24 mmまでしか成長しない。また、天然稚貝の造成地への定着も確認されていない。

ここでは、(a) 造成事業計画に基づいた場合(放流稚貝と天然稚貝を考慮)、(b) 造成事業計画に基づく放流稚貝のみを考慮した場合、(c) 稚貝放流試験の結果に基づいた場合、の3つの例についてアサリによる海水中の窒素除去機能をアサリ代謝モデルにより

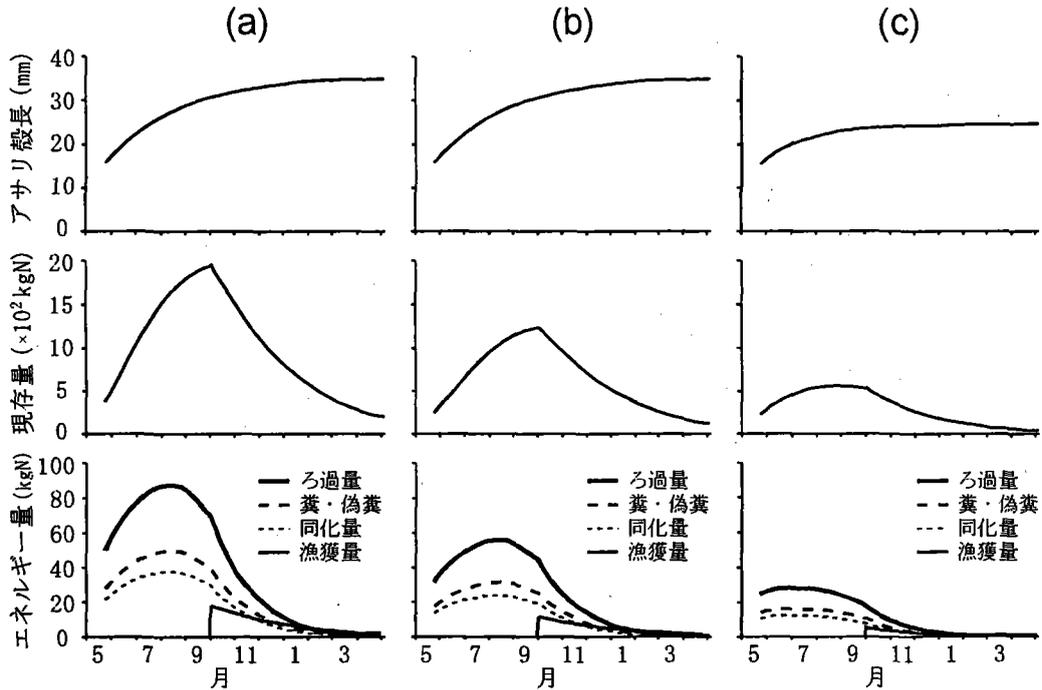


図 11 アサリ代謝モデルによる各窒素量の計算結果. (a)事業計画に基づく計算結果 (放流貝と天然貝を考慮). (b)事業計画に基づく計算結果 (放流貝のみ考慮). (c)稚貝放流試験の結果に基づく計算結果.

表 2 アサリによる海水中の窒素除去量 (mgN/m<sup>2</sup>/day)

	ろ過量	糞・偽糞	再懸濁	除去量
事業計画ベース (放流+天然貝)	204	115	69	135
事業計画ベース (放流貝のみ)	130	73	44	86
放流試験ベース	63	36	22	41

定量化した。図 11 は、それぞれの場合におけるアサリの成長量 (殻長変化) およびアサリの現存量、ろ過量、糞・偽糞量、同化量、漁獲量 (いずれも窒素量換算) の計算結果である。これらの計算結果からアサリによる海水中の窒素除去量 (年間平均) を求めた (表 3)。ただし、糞・偽糞のうち 60% が再懸濁により海水中へ戻る<sup>3)</sup> と仮定した。事業計画どおりに放流稚貝と天然稚貝による増産が見込まれた場合には、海水中の窒素除去量は 135mgN/m<sup>2</sup>/day と見積もられ、造成地全体では 24.3kgN/day (8,870 kgN/year) となる。事業計画に基づく放流稚貝のみを考慮した場合には、海水中の窒素除去量は 86mgN/m<sup>2</sup>/day、造成地全体で 15.5kgN/day (5,650 kgN/year) と見積もられる。稚貝の放流試験結果に基づいて計算した場合には、海水中の窒素除去量は 41mgN/m<sup>2</sup>/day、造成地全体では 7.4kgN/day (2,690kgN/year) と見積もられる (表 3)。

事業計画どおりに放流稚貝と天然貝の増産が見込まれた場合には、造成地が有する海水中の窒素除去能力は干潟域の浄化能力 (例えば三河湾の干潟では約 100 mgN/m<sup>2</sup>/day) に匹敵する窒素除去能力が期待できる。ただし、当該造成地での稚貝放流試験に基づいた場合には、事業計画に基づいた場合の 3 分の 1 以下の窒素除去能力しか持たないことになる。

造成地が水質浄化機能を十分に発揮するためには、造成地におけるアサリ増殖の成功が大前提であり、そのための調査・研究が今後必要不可欠である。

### 摘要

1. アサリ増殖場造成地において現地調査に基づく窒素・リンの収支計算を行い、アサリによる造成地の水質浄化機能（懸濁態N・P除去量）を明らかにした。
2. アサリ生息数の少ない現状では、アサリによる懸濁物除去よりも一次生産の方が大きく、造成地は懸濁態窒素、リンの供給源となっていた。
3. アサリの摂餌、代謝、排泄を数値モデル化することにより、アサリの稚貝放流、増殖、漁獲に伴う懸濁態窒素の除去量を定量的に評価した。
4. 造成事業計画どおりに放流稚貝と天然稚貝による増産が見込まれる場合には、アサリによる海水中からの窒素除去量は年平均で  $135\text{mgN}/\text{m}^2/\text{day}$  と見積もられた。ただし、稚貝放流試験の結果を考慮した場合、窒素除去量は年平均で  $41\text{mgN}/\text{m}^2/\text{day}$  と少ない。

### 引用文献

- 1) 三重県（1999）：平成10年度増殖場造成事業調査委託事業報告書、pp.174-182.
- 2) 佐々木克之（1989）：干潟域の物質循環、沿岸海洋研究、26巻、pp.172-190.
- 3) 青山裕晃・鈴木輝明（1997）：干潟上のマクロベントス群集による有機懸濁物除去速度の現場測定、水産海洋研究、61巻、pp.265-274.
- 4) 伊藤克彦・水本三朗（1981）：現場海域における堆積有機泥の堆積速度Ⅱ、内湾底泥を巡る物質収支の動態解明に関する研究、東海区水研、pp.32-44.
- 5) 日本水産資源保護協会（1992）：漁場保全機能定量化事業報告書、245p.
- 6) 伊藤克彦・水本三朗（1979）：現場海域における堆積有機泥の堆積速度Ⅲ、内湾底泥を巡る物質収支の動態解明に関する研究、東海区水研、pp.34-40.
- 7) 坂本市太郎・平井幸則（1984）：河口域の環境レベルに対するアサリの呼吸代謝応答と仔貝生残、三重大学環境科学研究紀要、9号、pp.77-90.
- 8) 秋山章男（1988）：底生生物の挙動と食物連鎖、潮間帯周辺海域における浄化機能と生物生産に関する研究、農林水産技術会議、pp.82-102.