

数値シミュレーションによる伊勢湾の アサリ資源量の減少傾向に関する考察

A NUMERICAL STUDY ON DECREASING TREND
IN SHORT-NECKED CLAM HARVEST IN ISE BAY

東 博紀¹・花町 優次²・樋渡 武彦³・水野 知巳⁴・
村上 正吾⁵・木幡 邦男⁶・越川 海⁷・水落 元之³

Hironori HIGASHI, Yuji HANAMACHI, Takehiko HIWATARI, Tomomi MIZUNO,
Shogo MURAKAMI, Kunio KOHATA, Hiroshi KOSHIKAWA and Motoyuki MIZUOCHI

- | | |
|-------------|--|
| 1正会員 博 (工) | 独立行政法人国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2) |
| 2非会員 博 (理) | 独立行政法人国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2) |
| 3非会員 博 (農) | 独立行政法人国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2) |
| 4非会員 博 (学術) | 三重県水産研究所 (〒510-0243 三重県鈴鹿市白子1-6277-4) |
| 5正会員 工博 | 独立行政法人国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2) |
| 6非会員 理博 | 独立行政法人国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2) |
| 7非会員 博 (工) | 独立行政法人国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2) |

We investigated the important causes of the decreasing trend in short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*) harvest in Ise Bay based on numerical simulations using a hydrodynamic and ecosystem model coupled with a population dynamic model of short-necked clam. In the clam model, the life cycle of the short-necked clam was divided into the pelagic larval and the adult calm stages. The pelagic-larvae distribution in the bay was evaluated by means of the quasi-3D transport analysis. The adult clam model considers the effects of the temperature and the water quality on the clam growth. A numerical simulation was carried out to investigate the impacts of changes in wind pattern and in the benthic habitat on the clam populations. The simulated results indicated that the dominant factor in the decreasing clam biomass was shortage in food matter in the water above the habitat caused by the wind pattern changes.

Key Words : Short-necked clam, wind pattern change, food shortage, numerical simulation, Ise Bay

1. 研究目的

干潟・浅海域に生息するアサリは有用な水産資源として、また海水中の懸濁物質を除去する水質浄化の重要な担い手として知られている。伊勢・三河湾は我が国のアサリの主要産地であり、1980～1990年代半ばにかけて漁獲量は年間2～4万トンで安定的に推移していた¹⁾。しかし、1990年代後半以降は急激に減少し、現在では最盛期の半分にも満たない年間1万3千トンになっている。とくに伊勢・松阪地区では最盛期の20%まで漁獲量が落ち込んでおり、生態系サービスの劣化が懸念されている。

アサリ漁獲量の減少は、伊勢湾のみならず、全国各地で問題となっている²⁾。その主な原因には臨海部開発による生息場の干潟消失が挙げられている。事実、東京湾ではアサリ漁獲量の減少と臨海部の埋立て面積の増大に明確な対応関係が認められている³⁾。しかし、伊勢湾に

おいては、湾奥の臨海部および中部新国際空港で大規模な干拓・埋立て事業が行われたものの、伊勢・松阪地区周辺ではほとんど行われていない¹⁾。アサリ漁獲量の減少は干潟消失以外、すなわち各漁場における水温・水質(塩分、餌濃度、溶存酸素など)の経年変化、競合種の異常増殖、捕食者の増加、過剰な漁獲などが原因として疑われている¹⁾²⁾が、いまだ特定はされていない。

アサリ資源量の変動要因を解明するためには、その変動が生活史のどの過程で決定されているかを知る必要がある。アサリの生活史は成員の産卵・放精に始まり、受精卵から孵化した幼生が2～3週間程度水中を浮遊し、好適な底質・基盤に着底する。着底した幼生は着底稚貝に変態して底生生活に入り、底層直上水の懸濁態有機物を濾過・摂食して1年半～2年で成貝に至る²⁾。伊勢湾では幼生期、とくに秋～冬に浮遊幼生が着底し、翌年春に稚貝になる秋季着底群がアサリ資源量を左右することが既往の観測研究¹⁾²⁾で指摘されている。

浮遊幼生は、湾内の流動によって輸送されるため必ずしも発生した場に着底するとは限らず、他の干潟にも来遊・着底する。伊勢・三河湾の浮遊幼生の回遊については水野・丸山¹⁾や鈴木ら⁴⁾が数値シミュレーションにて検討しており、気象や河川の出水によって浮遊幼生の到達先・範囲が大きく異なることが指摘されている。これらは、一つの干潟の消失が他の漁場のアサリ資源量を左右すること、湾内の流動場が浮遊幼生の着底量に影響を及ぼすことを示唆している。ゆえに、伊勢・松阪地区の資源量を検討する際においても湾全体の干潟変遷や流動の変化を考慮した長期的な解析が必要であるが、著者らが知る限りそのような検討は行われていない。

東ら⁵⁾は近年伊勢湾およびその周辺地域で冬～春にかけての北西風が弱まっている傾向を指摘し、それが原因で湾内流動が変化し、伊勢湾西側の有機物濃度が減少していることを数値シミュレーションで明らかにしている。この結果は「流動の変化によって伊勢・松阪地区の浮遊幼生の来遊量が減少する」「餌である有機物の減少がアサリの成長不良を引き起こす」可能性を示唆している。後者については花町ら⁷⁾が底生期のアサリの個体成長・個体群動態モデルを用いて検討しており、過去30年間の伊勢地区では餌不足が漁獲量減少を引き起こした年もあったが、それだけで長期的な漁獲量減少傾向を説明はできないと結論付けている。しかし、用いた手法には、餌濃度がモデルの入力条件であるため摂餌による餌濃度の低下が考慮できないなどの問題が残されている。本研究では、アサリ漁獲量減少の原因究明に向けた一研究として、湾内の3次元流動・水質・一次生産と同時に解析する、浮遊幼生の回遊とアサリ個体成長・個体群動態を組み合わせたアサリ生活史モデルを構築する。それを用いて数値シミュレーションを行い、湾奥の干潟消失および風向・風速の変化が伊勢・松阪地区のアサリ資源量に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 数値解析手法

(1) 湾内流動・水質・一次生産モデル

本研究で用いる湾内流動・水質・一次生産モデルの基礎式は東ら⁶⁾と同じである。ただし、従来モデルでは水・熱・塩分・各種物質の移流方程式の解法にCIP-FEMを用いていたが、保存性が完全ではなかったため、FDMの保存保証型のセミラグランジュ解法RCIP-CSL2⁸⁾を導入した。また、鉛直方向の格子分割に σ 座標系を用いていたが、浅海域で格子間隔が非常に小さくなると計算が不安定になるので、デカルト座標系(z 座標系)に改良し、自由水面の算定にはVOF法⁹⁾を用いた。

(2) アサリ生活史モデル

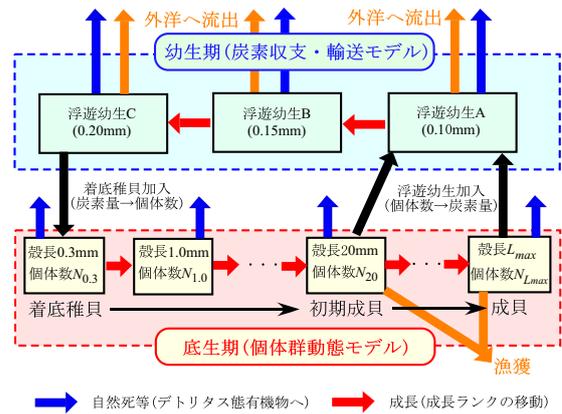


図-1 アサリ生活史モデルの構造

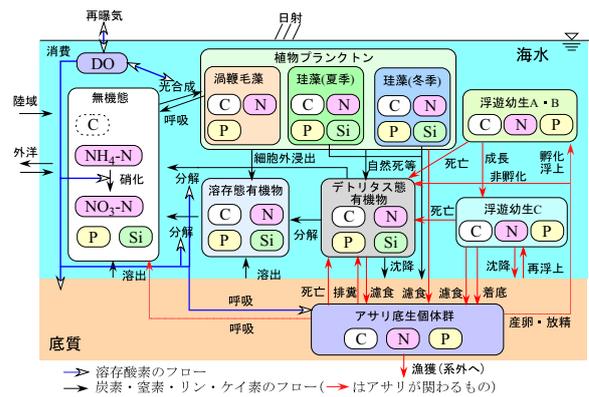


図-2 水質・一次生産モデルとアサリ生活史モデルの関係

アサリ生活史モデルの構造を図-1に、水質・一次生産モデルとの物質収支の関係を図-2に示す。アサリ生活史モデルは底生期と幼生期の2つのサブモデルで構成され、前者は個々の生息場のメッシュごとに、後者は流動モデルとともに3次元空間で計算される構造である。

a) 底生期

アサリを含め二枚貝の個体成長・個体群動態モデルは多数提案されている^{10),11),12)}。本モデルは花町ら⁷⁾のモデルを基本とし、それに産卵・放精を組み込んで改良した。個体群動態については式(1)を用いた^{7),11)}。

$$\frac{\partial N_s}{\partial t} + \frac{\partial G_s N_s}{\partial W_c} = -(M_n + M_f + M_{DO}) N_s \quad (1)$$

ここに、 N_s : 軟体部炭素重量別個体数密度 (ind m^{-2}), t : 時間(s), M_n , M_f , M_{DO} : それぞれ自然死, 漁獲, 貧酸素による消滅速度(s^{-1})である。 W_c は軟体部炭素重量 (g-C ind^{-1})であり、本研究では着底稚貝から成貝までを軟体部炭素重量別に18ランクに分割した。 G_s は成長速度 ($\text{g-C ind}^{-1} \text{s}^{-1}$)であり、式(2)を用いて算定した。

$$G_s = A - R - E \quad (2)$$

ここに、 A : 同化量 (=濾食量-排糞量, $\text{g-C ind}^{-1} \text{s}^{-1}$), R : 呼吸量 ($\text{g-C ind}^{-1} \text{s}^{-1}$), E : 放卵・放精量 ($\text{g-C ind}^{-1} \text{s}^{-1}$)である。同化量 A および呼吸量 R についてはSolidoro *et al.*¹³⁾を参考にし、それぞれ式(3), (4)を用いた。なお、成長量 G_s は、実際には負値になることもあるが、負の成長をし

ない殻長などとの整合性を考慮するとモデルが煩雑になるので、ここでは単純化して G_s が負になるときは G_s が0になるように呼吸量 R を調整した。

$$A = A_{c\max} f_{AT} W_c^{1-1/3p} f_F f_{DO} \quad (3)$$

$$R = \min(A - E, R_{c\max} f_{RT} W_c f_{DO}) \quad (4)$$

ここに、 $A_{c\max}$: 最大同化速度 ($\text{g-C}^{1/3p} \text{ ind}^{-1/3p} \text{ s}^{-1}$), $R_{c\max}$: 最大呼吸速度 (s^{-1}), f_{AT} , f_{RT} : それぞれ同化, 呼吸の温度関数 (無次元, 表-1参照), p : アサリの形状に関する係数 (無次元)である。 f_{DO} は溶存酸素 $DO(\text{g-O}_2 \text{ m}^{-3})$ に依存する0~1の無次元関数であり、 $DO \leq 1.0 \text{g-O}_2 \text{ m}^{-3}$ の貧酸素になると全ての生物活動が低下し、 $DO \leq 0.5 \text{g-O}_2 \text{ m}^{-3}$ で完全停止するようにした¹⁴⁾。 f_{Fl} は式(5)で表される摂餌制限関数 (無次元)である。

$$f_F = \min(1, F / F^*) \quad (5)$$

F^* は式(6)で表される上限餌濃度(g-C m^{-3})であり、餌濃度 F (g-C m^{-3})が F^* を上回れば飽食, 下回れば餌不足になる。

$$F^* = \frac{A_{c\max} f_{AT} W_c^{1-1/3p} \varepsilon_T}{a_A V_f f_{VT} W_c^q \varepsilon_F} \quad (6)$$

ここに、 a_A : 同化効率(0~1の無次元値), V_f : 最大濾水量 ($\text{m}^3 \text{ g-C}^{-q} \text{ ind}^{q-1} \text{ s}^{-1}$), ε_T , ε_F : それぞれアサリ軟体部の成長に要する熱量(J g-C^{-1}), 餌の熱量(J g-C^{-1}), q : 濾水量に関する係数(無次元), f_{VT} : 濾水の温度関数 (無次元, 表-1参照)である。なお本研究では、炭素のみでなく窒素, リンの摂餌も考慮するため、 F は式(7)で算定した。

$$F = \min(POC, R_{CN} PON, R_{CP} POP) \quad (7)$$

ここに、 POC , PON , POP : それぞれ懸濁有機態 (プランクトン態, デトリタス態, 浮遊幼生)の炭素, 窒素, リン濃度 (g-C m^{-3} , g-N m^{-3} , g-P m^{-3}), R_{CN} , R_{CP} : それぞれアサリの CN , CP 比(g-N g-C^{-1} , g-P g-C^{-1})である。

式(2)中の産卵・放精量 E については次のように設定した。伊勢湾におけるアサリの産卵盛期は春と秋の年2回であり、浮遊幼生は5, 10月前後に多く見られることが知られている¹⁾。本モデルでは産卵期を5月と10月に設定し、産卵・放精を行うものは殻長20mm以上の成貝と仮定し、金網ら¹¹⁾のモデルを単純化した(8)式で E を求めた。

$$E = \min(a_E A_{c\max} f_{DO}, A) \quad (8)$$

ここに、 a_E : 同化に対する産卵・放精への分配率(無次元)で、鳥羽ら¹⁵⁾の殻長別産卵量の実測値を参考にして成長ランクごとに設定した。浮遊幼生の加入量は E に受精・孵化率 a_G (0~1の無次元値)を乗じた値とした。

b) 浮遊期

アサリの浮遊幼生は走光性を持たないが、成長段階によって異なる鉛直移動特性を有していることが知られている¹⁶⁾。ゆえに浮遊期についても底生期と同様の個体群動態モデル式(9)を適用した。

$$\frac{\partial C_l}{\partial t} + \frac{\partial G_l C_l}{\partial L_l} = -M_l C_l \quad (9)$$

ここに、 L_l : 浮遊幼生の大きさ(mm), M_l : 浮遊幼生の消滅率(s^{-1})である。 C_l は成長別浮遊幼生濃度の炭素濃度(g-C m^{-3})であり、湾内の輸送については熱・塩分・各種物質と同様に移流拡散方程式で算定した。 G_l は浮遊幼生の大きさの成長速度 (mm s^{-1})であり、実際には浮遊幼生は水中のプランクトンを捕食して成長するが、炭素同化量は微量で、湾内水質への影響は無視できるほどであったため、鳥羽¹⁷⁾の水温と日間成長速度の関係式(10)を用いた。

$$G_l = 10^{-3} (0.377T - 2.96) / 86400 \quad (10)$$

石田ら¹⁶⁾は室内実験にて受精後2日のトロコフォア期の浮遊幼生は低塩分層(18~24)に浮上し、D型初期になると高塩分層に一旦沈降する期間が数日程度あるが、それ以降は着底前のペデイベリジャー幼生に至るまで再び低塩分層(21~23)に浮上する特性を明らかにし、浮遊幼生の鉛直移動速度の式(11)を導いている。

$$w_l = \beta w_{\max} \tanh \{k_l (s - s_{opt} - \gamma)\} \quad (11)$$

ここに、 w_l : 浮上を正とした鉛直移動速度(m s^{-1}), w_{\max} : 最大鉛直移動速度(m s^{-1}), k_l : 応答特性係数(無次元), s : 塩分(無次元), s_{opt} : 最適塩分(無次元)である。本モデルでは、D型初期の数日間の沈降を無視して浮遊幼生の成長ランクを $L_l = 0.10, 0.15, 0.20$ の3段階とした。 $L_l = 0.10$ と 0.15mm は低塩分層($s_{opt} = 22$)に浮上する浮遊幼生とし、式(11)より w_l を算定した。 $L_l = 0.20 \text{mm}$ は着底する浮遊幼生とし、 $w_l = -w_{\max}$ とした。なお、式(11)中の β と γ は個体差を表す係数(ともに無次元)であり、石田ら¹⁶⁾は乱数を与えているが、ここでは解の一意性を重視してそれぞれ0.5, 0.0で一定とした。

浮遊幼生は着底と再浮上を繰り返し、好適な底質を探索して着底することが知られており²⁾、底質によって着底量が異なることが室内実験でも明らかにされている¹⁸⁾。ここでは、底質直上水より沈降する $L_l = 0.20 \text{mm}$ の浮遊幼生を着底可能なものとし、その $100a_B\%$ が着底して底生個体群に加入、残りの $100(1-a_B)\%$ は着底せずに浮遊するものとした。 a_B は着底効率(無次元)である。

(3) 解析条件

流動・水質・一次生産モデルのモデル定数, 気象・河川・外洋等の境界条件の与え方については前報⁶⁾と同じであるので省略する。空間解像度は、水平方向は1分×1分、鉛直方向は12層の可変格子(層厚2~10m)である。

アサリ生活史モデルではあらかじめアサリの生息場を設定する必要がある。アサリは干潟およびその周辺の潮下帯が主な生息場であるが、水深が2m以上の潮下帯ではヒトデやカニ, ツメタガイなどの捕食者が多く存在するため、自然由来の減耗率はかなり高い¹⁹⁾。ここでは、潮下帯の生息場は無視し、図-3に示す主な漁場干潟をア

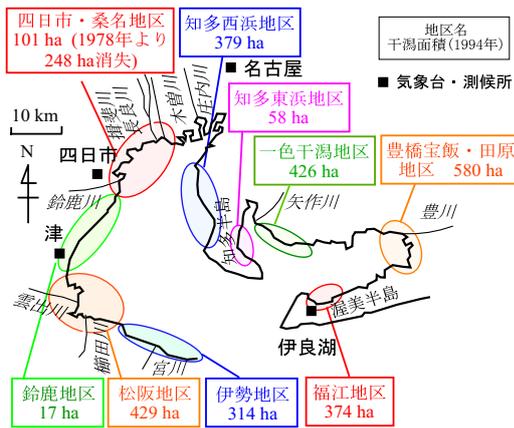


図-3 伊勢・三河湾の主な漁場干潟の分布とその面積²⁰⁾

サリの生息場とした。干潟の分布・面積は環境庁自然保護局の調査報告書²⁰⁾に記載されているものを使用した。

流動モデルで時々刻々と変化する水際線を追跡し、干潟における干満を再現するためには、干潟スケールに即した細かいグリッド分割が必要である。しかし、それに伴って計算量が著しく増大するため長期間の解析が困難になる。ここでは、干潟は流動解析の対象外とするが、海水との物質収支については干潟とそれに接する底層メッシュとの間で行うことで考慮した。干満によるアサリの成長・摂餌(濾水)・呼吸への影響はパラメータ化して考慮した。具体的には小沼ら¹²⁾を参考にし、干潟の冠水と干出時間が同じであると仮定して A_{cmax} 、 V_f および R_{cmax} を冠水下の実測で得られたものの半分を与えた。本研究で用いたアサリ生活史モデルのモデル定数の一覧を表-1に示す。なお、貧酸素による個体の消滅速度 M_{D0} は日向野・品川の無酸素曝露実験の結果¹⁴⁾に基づいて与えたが、計算では無酸素状態に長時間曝されることはなかったので記述を省略する。

本研究では干潟の消失と風向・風速の変化に着目し、これらと伊勢・松阪地区における漁獲量減少の関連性を明らかにするため、次のcase 0~3の解析条件を設定した。1994年の干潟分布(図-3)のもとで2000~2004年の気象、河川(流量、水温、水質)、外洋(潮位、水温、塩分、水質)条件を与えて行う計算をcase 0とする。Case 0の解析条件のうち風向・風速のみを1988~1992年のデータに置き換えたもの、干潟分布のみを1978年の状態に置き換えたものをそれぞれcase 2, 3とし、両方換えたものをcase 1とした。なお、1978年と1994年の干潟条件の違いはこの間に消失している四日市・桑名地区の干潟248ha(図-3)の有無のみとし、三河湾における干潟の変化は対象外とした。また、1988~1992年と2000~2004年の風速条件の主な違いは、図-4に例示してあるように、前者の1~5月の北西風が後者のものより強いことである。初期値は次のように設定した。まず、流動・水質・一次生産モデルのみで1999年1~10月の気象・河川・外洋条件を与えて計算を行った。次に、水野・丸山¹⁾の川口干潟のコホート調査結果より概算した底生期の成長ランク別個体数密

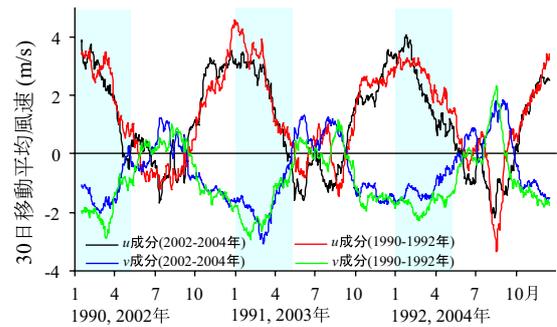


図-4 津の風速 (u, v それぞれ西, 南風が正, 気象庁提供)

度を全干潟に与え、先に得られた流動・水質場と併せて初期値とし、1999年11~12月の2ヶ月間の計算を行った。この計算で得られた結果を各caseの初期値とした。

3. 結果と考察

計算開始2年間は、初期値が同じであるため、各caseの底生期のアサリの成長・個体数の計算結果にはあまり大きな差が見られなかった。図-5に計算開始後3年目以降(2002~2004年)における伊勢・松阪地区のアサリ生息場直上水の月平均水温(T)・濾水の温度関数(f_{IT})、餌濃度(F)、生息場における底生期の総個体数密度、殻長25mm以上の成員の個体数密度(以降、成員個体数密度)、殻長25mm成員の摂餌制限関数(f_F)の変動を示す。なお、 T と f_{IT} はcase間の差がわずかであったためcase 0のみを、 f_F はcase間の差が分かるようにcase 1~3の f_F をcase 0の f_F に対する比率で記してある。

底生期の総個体数密度を見ると、毎年春と秋の年2回の産卵期に $1m^2$ 当たり数万~十数万個体の新規加入が生じ、著しく総個体数密度が増加していることが分かる。同日時の観測値が入手できなかったため詳細な検討はできないが、加入期の総個体数密度のオーダーは志登茂川(伊勢湾西岸)河口干潟の観測結果²⁾等と概ね一致した。着底量の季節性を見ると、伊勢地区ではあまり大きな差が見られなかったが、松阪地区では台風が相次いで接近・上陸した2004年を除いて春よりも秋に着底量が多い傾向にあった。事実、伊勢湾西側では春よりも秋に浮遊幼生が高密度で観測されており²⁾、本モデルはその傾向をうまく再現したといえる。図-6に2003年5月と10月の浮遊幼生密度の湾内分布の一例を示す。なお、浮遊幼生密度は浮遊幼生の炭素濃度を殻長0.3mmの着底稚貝1個体当たりの軟体部炭素重量で除して算定した。5月の結果を見ると、5月20日には伊勢地区において高密度の浮遊幼生が現れているが、31日の伊勢・松阪地区に浮遊幼生がほとんど残っていない。5月は北西風から南東風にシフトする時期であり(図-4)、南東風が卓越することによって、また2003年は宮川・櫛田川・雲出川の出水とも重なって、表層の浮遊幼生が北方に流されたと考えられる。一方、北西風が卓越する10月は、湾奥からの表層

表-1 解析に用いたモデル定数

定数	説明	値	単位	出典
P	形状係数	0.937	無次元	7)
A_{cmax}	最大同化速度	0.00578	(g-C ind ⁻¹) ^{1/3p} d ⁻¹	12)*
R_{cmax}	最大呼吸速度	0.00656	d ⁻¹	12)*
a_a	同化効率	0.5	無次元	7)
e_T	成長に要する熱量	44.0	kJ g-C ⁻¹	13)
e_F	餌の熱量	85.0	kJ g-C ⁻¹	13)
V_f	最大濾水量	0.036	m ³ g-C ^{-q} ind ^{q-1} d ⁻¹	12)*
q	濾水係数	0.32	無次元	13)
R_{CN}	アサリのC/N比	4.38	g-C g-N ⁻¹	21)
R_{CP}	アサリのC/P比	31.5	g-C g-P ⁻¹	21)
M_n	自然死速度(底生)	0.0067	d ⁻¹	1)
M_f	漁獲圧(殻長≥20mm)	0.005(4-9月) 0.001(他月)	d ⁻¹	1)
M_l	自然死速度(幼生)	0.024	d ⁻¹	16)
w_{max}	最大鉛直移動速度	0.019L _F -0.00084	m s ⁻¹	16)
a_G	受精・孵化率	0.5	無次元	(調整値)
a_B	着底効率	0.6R _A	無次元	(調整値)**
T_{Am}	同化の最大温度	32.0	degree C	13)***
T_{Ao}	同化の最適温度	25.0	degree C	12)***
β_A	同化の温度係数	0.20	無次元	13)***
T_{Rm}	呼吸の最大温度	35.0	degree C	13)***
T_{Ro}	呼吸の最適温度	23.4	degree C	12)***
β_R	呼吸の温度係数	0.17	無次元	13)***
T_{Vm}	濾水の最大温度	32.0	degree C	13)***
T_{Vb}	濾水の最適温度	28.0	degree C	12)***
β_V	濾水の温度係数	0.20	無次元	13)***

* 文献記載の半値を使用。V_fはさらに同化効率を考慮した値。
 ** R_Aはグリッド格子面積に対する干潟面積の割合。
 *** 温度関数 $f_{jT} = \{(T_{jm}-T)/(T_{jm}-T_{jo})\}^{\beta} \exp\{\beta(T-T_{jo})\}$ (j=A, R, V)

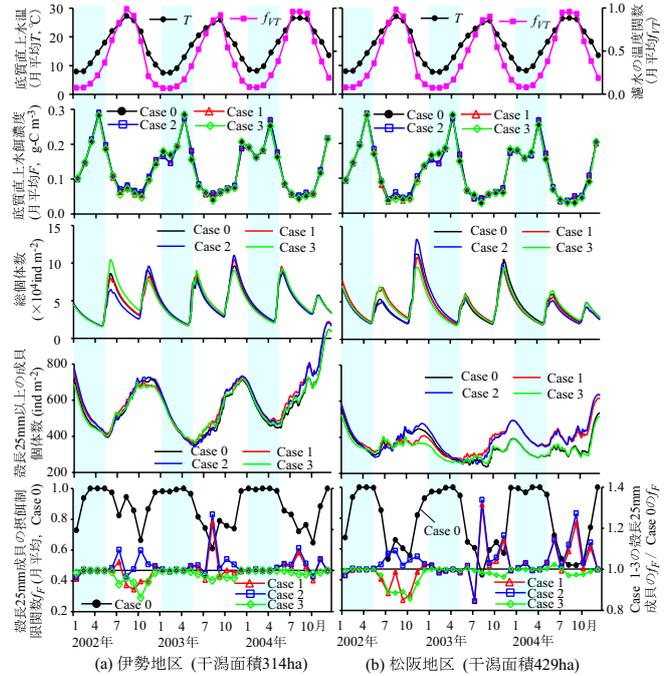


図-5 伊勢・松阪地区の計算結果

南下流によって沿岸に浮遊幼生が寄せられ、加えて伊勢湾西岸で発生した浮遊幼生が岸に沿う南下流によって連続的に来遊し、伊勢・松阪地区では長期間高密度の状態を維持している。春と秋の着底量の差は流動の季節性によるものと考えられるが、図-6の5月および図-5の台風相次いで襲来した2004年秋に着底量が少なかった結果が示唆するように、宮川・櫛田川・雲出川からの出水が伊勢・松阪地区の着底量を大きく左右するといえる。

図-5の各caseにおける総個体数密度の変動を比較すると、着底量の違いによってピーク時にcase間の差が見られるが、その差は時間の経過とともに小さくなり、次の加入が生じる頃にはほぼなくなっている。一方、図-5の殻長25mm以上の成員個体数密度を見ると、伊勢地区では顕著ではないが、松阪地区ではcase間に明瞭な差が現れている。Case間の成員個体数密度の差は主に夏季に生じており、総個体数密度のときは異なっても一度生じた差はすぐには小さくならず、長期間にわたって計算結果に影響している。総個体数密度と成員個体数密度の変動に明確な対応関係が見出せないことを踏まえると、松阪地区の成員個体数密度のcase間の差は着底量の違いに依存するものではないと考えられる。

図-5のFを見ると、冬季に高濃度、夏季に低濃度になる変動を示している。これは、2001~2007年の伊勢湾全域の底層クロロフィルa観測値¹⁾と同じ傾向である。松阪地区のcase 0のf_fを見ると、餌濃度が低い夏季にはf_fが0.4~0.6まで低下し、餌不足になっている。Fのcase間の差はわずかであるが、それより算定されるf_fはcase間に顕著な差が現れている。Case間の成員個体数密度の増加速度に差が生じる時期はf_fの差が大きいときと一致しており、松阪地区における成員個体数密度のcase間の差は餌

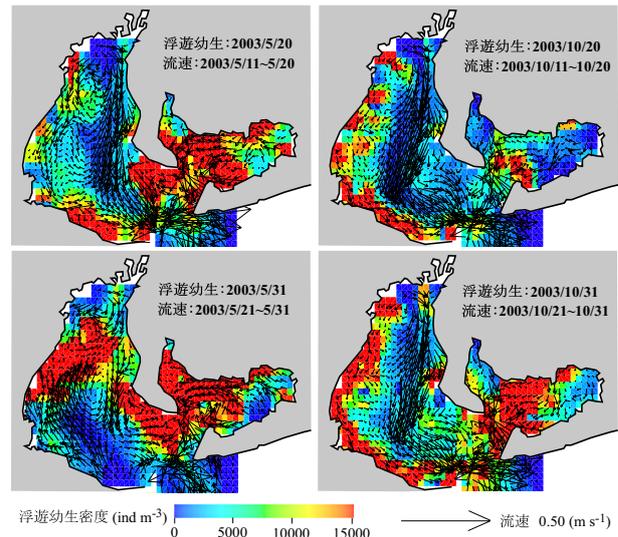


図-6 5・10月表層の浮遊幼生密度・平均流速(case 0)

濃度の違いが主な原因であると考えられる。

松阪地区における2002年夏季はcase 0とcase 2, case 1とcase 3が、2003年夏季以降はcase 0とcase 3, case 1とcase 2がほぼ同じ成員個体数密度の変動になっている。干潟面積と風向・風速以外の解析条件は同じであるため、2002年夏季のcase 0・case 2とcase 1・case 3の成員個体数密度の差は干潟面積の違いによって、2003年夏季以降のcase 0・case 3とcase 1・case 2の差は風向・風速条件の違いによって生じる餌不足が原因であるといえる。後者については東ら⁹⁾が指摘しているように、湾奥部に流入した高濃度の負荷物質が風向・風速の変化によって湾西側に流出しにくくなり、松阪地区の餌濃度が減少したと考えられる。一方、前者は湾奥部の生息場の増加によってそこでの摂餌量が増えたため、松阪地区への餌物質輸送

量が減少したと考えられる。Case 0とcase 3の結果を比較すれば明らかであるが、湾奥部の干潟回復による伊勢・松阪地区の成貝個体数増加への効果は5年間ではほとんどないことが分かる。

本計算では、松阪地区のアサリ資源量の減少は風向・風速の経年変化が原因であることを示唆する結果が得られたが、伊勢地区における成貝個体数密度は減少傾向を示していない。伊勢地区は松阪地区よりも比較的夏季の f_r が高く、case間の f_r の差も小さいため、伊勢地区におけるアサリ資源量の減少の主要因は湾奥部の干潟消失や風向・風速の変化による餌不足が原因ではないと考えられる。しかし、計算最後の年に成貝個体数密度のcase間の差が出始めており、その原因は前年秋の着底量の差ではないかと考えられる。伊勢地区の加入は松阪地区からの浮遊幼生来遊量に左右される¹⁾ため、より長期間の計算を実施すれば松阪地区の親貝の減少が伊勢地区の着底量に影響し、資源量が減少するものと推察される。

4. 結論と今後の課題

本研究では伊勢湾の伊勢・松阪地区におけるアサリ漁獲量減少の原因を解明することを目的として、アサリ生活史モデルを構築し、それを流動・水質・一次生産モデルに組み込んだ数値シミュレーションを行った。計算結果は、松阪地区のアサリ資源量の減少は風向・風速の経年変化が原因である可能性が高いこと、湾奥部の干潟回復は伊勢・松阪地区のアサリ資源量の増加に短期間では効果が現れないことを示した。これらは流動・水質・一次生産モデルとアサリ生活史モデルを結合したシミュレーションによって新たに得られた知見ではあるが、アサリ生活史モデルの検証が特定干潟の観測値とオーダー比較を行った程度であるため、十分に信頼できるとは言えない。浮遊幼生の着底、生息場の配置、底質移動による減耗、硫化水素による死滅など本モデルには再検討を要する点がまだ残されており、今後の課題である。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、文部科学省科学技術振興調整費「伊勢湾流域圏の自然共生型環境管理技術開発」(研究代表者: 辻本 哲郎)の補助を受けた。また、水産工学研究所の桑原 久実 博士並びに養殖研究所の日向野 純也 博士にはアサリ生活史モデルに関して貴重な御意見を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 水野知巳, 丸山拓也: 1章 伊勢湾のアサリと漁場環境, アサリと流域圏環境 — 伊勢湾・三河湾での事例を中心として, 生田和正, 日向野純也, 桑原久実, 辻本哲郎編, 恒星社厚生閣, pp. 9-25, 2009.
- 2) 関口秀夫: 3章 幼生加入過程: アサリ資源研究の新しい視点, アサリと流域圏環境 — 伊勢湾・三河湾での事例を中心と

して, 生田和正, 日向野純也, 桑原久実, 辻本哲郎編, 恒星社厚生閣, pp. 36-60, 2009.

- 3) 佐々木克之: アサリの水質浄化の役割, 水環境学会誌, 第24巻, pp. 13-16, 2001.
- 4) 鈴木輝明, 市川哲也, 桃井幹夫: リセプターモードモデルを利用した干潟域に加入する二枚貝浮遊幼生の供給源予測に関する試み — 三河湾における事例研究 —, 水産海洋研究, 第66巻2号, pp. 88-101, 2002.
- 5) 東博紀, 越川海, 木幡邦男, 村上正吾, 水落元之: 伊勢湾における気温・風速の長期変動傾向とそれに伴う流動・水質の変化, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 1041-1045, 2008.
- 6) 東博紀, 越川海, 木幡邦男, 村上正吾, 水落元之: 伊勢湾における水質の長期変動傾向と風向・風速の経年変化の関係に関する数値解析, 水工学論文集, 第53巻, pp. 1483-1488, 2009.
- 7) 花町優次, 樋渡武彦, 東博紀, 水野知巳, 村上正吾, 木幡邦男: 成長モデルを用いた伊勢湾伊勢地区におけるアサリ資源量の変動要因の推定, 水工学論文集, 第54巻(印刷中).
- 8) 矢部孝, 内海隆行, 尾形陽一: CIP法, 森北出版株式会社, pp.1-222, 2003.
- 9) Hirt, C.W., Nichols, B.D.: Volume of fluid method for the dynamics of free boundaries. *J. Comp. Phys.*, vol. 39, pp. 201-225, 1981.
- 10) 中村義治, 寺澤知彦, 中村幹雄, 三村信男: 宍道湖ヤマトシジミ個体群の水質浄化機能の評価解析, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 1236-1240, 2001.
- 11) 金網紀久恵, 中村義治, 上月康則, 村上仁士, 柴田輝和: 炭素収支による東京湾アサリ個体群の生物機能評価, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 1291-1295, 2003.
- 12) 小沼晋, 五島勇樹, 中村由行: 成長モデルを用いた東京湾盤洲干潟での二枚貝による懸濁物除去量の推定, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1129-1130, 2002.
- 13) Solidoro, C., Pastres, R., Melaku Canu, D., Pellizzato, M., and Rossi, R.: Modeling the growth of *Tapes philippinarum* in Northern Adriatic lagoons, *Marine Ecology Progress Series*, vol. 199, pp. 137-148, 2000.
- 14) 日向野純也, 品川明: 6章 アサリの代謝生理からみた貧酸素の影響とその対策, アサリと流域圏環境 — 伊勢湾・三河湾での事例を中心として, 生田和正, 日向野純也, 桑原久実, 辻本哲郎編, 恒星社厚生閣, pp. 87-100, 2009.
- 15) 鳥羽光晴, 夏目洋, 山川紘: 東京湾アサリの成熟と産卵に関する二,三の知見, 水産工学, 第29巻1号, pp. 47-53, 1992.
- 16) 石田基雄, 小笠原桃子, 村上知里, 桃井幹夫, 市川哲也, 鈴木輝明: アサリ浮遊幼生の成長に伴う塩分選択行動特性の変化と鉛直移動様式再現モデル, 水産海洋研究, 第69巻2号, pp. 73-82, 2005.
- 17) 鳥羽光晴: アサリ幼生の成長速度と水温の関係, 千葉水試研報, 第50巻, pp. 17-20, 1992.
- 18) 瀬戸雅文, 吉田勇人, 荒川久幸, 小林豊: 浸透流によるアサリ浮遊幼生の着底促進効果に関する基礎研究, 海洋開発論文集, 第21巻, pp. 253-257, 2005.
- 19) 京都府立海洋センター: アサリの資源管理 —アサリの生活と資源の変化—, 季報, 第56号, <http://www.pref.kyoto.jp/kaiyo2/56-asari-menu.html>, 参照2009-09-30.
- 20) 環境庁自然保護局: 第4回自然環境保全基礎調査 海域生物環境調査報告書(干潟, 藻場, サンゴ礁調査), 1994.
- 21) 環境庁水質保全局: 平成11年度 藻場・干潟等の環境保全機能定量評価基礎調査報告書, 2000.

(2009.9.30受付)