数値シミュレーションを用いた伊勢湾における アサリの餌料不足に関する一考察

鶴島 大樹1・永尾 謙太郎2・中田 喜三郎3

 ¹いであ株式会社 国土環境研究所 水環境解析部 (〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早渕2-2-2) E-mail:trs21419@ideacon.co.jp
²正会員 いであ株式会社 国土環境研究所 水環境解析部 (〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早渕2-2-2) ³名城大学大学院総合学術研究科 (〒468-0073 愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501)

伊勢湾では2010年以降アサリ漁獲量の急激な減少が確認されており、その要因の一つに餌料不足の可能 性が議論されている.本研究では、伊勢湾のアサリが餌料不足に陥っているか否かを検証するため、アサ リの栄養状態の指標である肥満度を予測できる数値モデルを構築した.さらに、構築したモデルを知多半 島沿いのアサリ漁場である小鈴谷に適用し、1990年代後半から2010年代にかけての長期的な予測計算を実 施した結果、2010年ごろを境にアサリの肥満度が低迷し、産卵数が減少する傾向が予測された.即ち、 2010年以降は餌料不足によるアサリ成貝の疲弊や斃死のリスクが増大し、かつ再生産を通じた資源量の維 持が困難となりつつあると考えられ、これらの傾向は近年の漁獲量の急激な減少傾向に符合していた.

Key Words : Ise Bay, Ruditapes philippinarum, oligotrophication, numerical model

1. はじめに

伊勢湾のアサリ漁場では、2010年以降漁獲量の急激な 減少が確認されている.この要因として水質総量規制等 によりアサリの成長・生残に必要な餌料が不足している 可能性が議論されているが¹⁾、アサリの餌料不足に関す る研究事例は少なく、アサリ資源の減耗と餌料不足との 関連性は明らかになっていない.

そこで本研究は、伊勢湾のアサリが近年餌料不足に陥 っているかどうかを検証するためのツールとして、アサ リの栄養状態の指標である肥満度を予測できる数値モデ ルを構築した.このモデルはホンビノス貝を対象に Hofmannらが考案したモデル³を基本とし、これを伊勢湾 におけるアサリの生活史に合わせて改変したものである. 本研究では、構築した数値モデルを用いて餌料不足によ るアサリ資源の減耗が懸念されている小鈴谷を対象とし た予測計算を実施することにより、伊勢湾におけるアサ リ資源が餌料不足による減耗の影響を受けているか否か の検証を行うことを目的とした.

2. 研究方法

(1) 研究対象海域

本研究では、図-1に示す知多半島沿いの小鈴谷を対象 とした予測計算を実施した.小鈴谷では図-1に示すよう に2010年以降アサリ漁獲量の急激な減少が確認され、過 去の調査では餌料不足による減耗の可能性が示唆されて いる³.また、当該海域では貧酸素水塊の湧昇や高(低) 水温によるアサリの大量斃死等の報告もなく、他海域に 比ベアサリ資源の減耗要因が限られているものと推察さ れる.また、本研究では構築した数値モデルの検証のた め、アサリ肥満度の複数年にわたる調査結果が公表され ている東幡豆⁴を対象とした再現計算も別途実施した.

(2) アサリの成長モデルの構築

本研究ではHofmannら²およびSolidoroら⁵等を参考に、 現地観測で得られた水温とアサリの餌濃度を入力値とし て、アサリー個体あたりの軟体部重量や殻長、肥満度 (*CI*: Condition Index)等の推移を予測できる数値モデル



図-1 調査対象海域、本研究で使用した観測データの地点および小鈴谷におけるアサリ漁獲量の経年変化.

を構築した.二枚貝類の肥満度には様々な定義があるが、 本研究ではHofmannら²に倣い下式を使用した.

$$CI = \frac{W(t) - W_{std}(L)}{W_{max}(L) - W_{std}(L)}$$
(1)

*W(t)*はモデルで予測されるある時刻*t*の軟体部炭素重 量(gC), *W_{std}(L)*, *W_{max}(L)*はそれぞれアサリの殻長*L*(mm) に応じて決まる標準重量(gC)および最大重量(gC)であり, 次式により算定される[®].

$$W_{std} = a^p b c L^{3p} \tag{2}$$

$$W_{max} = a_{max}{}^p bc L^{3p} \tag{3}$$

ここで, *a*, *a*_{max}, *b*, *p*, *d*tアサリの諸元に関する定数(それぞれ, gWW/mm³, gWW/mm³, gDW/gWW^p, 無次元, gC/gDW)である.即ち,(1)式で定義された*CI*はアサリの標準重量からのずれを表す数値であり, *CI* <0の場合にアサリは標準よりも身入りが悪い状態にあると判断できる.なお,長谷川ら⁷が提示した伊勢湾におけるアサリの殻長・重量の換算式を用いると,実海域での*CI*は概ね-0.75~0.75の範囲にあり,このことから*CI*=-0.75がアサリの生存限界値と推察できる.

a) 軟体部重量の成長式

アサリの軟体部重量の推移を表す式は, Solidoroら[®]を 参考に以下のとおりとした.

$$\frac{dW(t)}{dt} = A - R - G \tag{4}$$

A, R, Gはそれぞれアサリの摂餌による同化量 (gC/day),呼吸による異化量(gC/day)および放精・産卵 による減耗量(gC/day)を示しており,このうちA, Rは次 式により与えられる(Gについては後述する).

$$A = V_f f_{\nu T}(T) W(t)^q \frac{\varepsilon_F}{\varepsilon_T} AssE \cdot \min(F^*, F) \quad (5)$$

$$R = R_{max} f_{rT}(T) W(t) \tag{6}$$

ここで、 V_r :最大濾水速度(L/gC'/day), ε_r :餌のエ ネルギー熱量(J/gC), ε_r :アサリのエネルギー熱量 (J/gC), AssE:同化効率(無次元), R_{nax} :最大呼吸 速度(/day)である. F, F*は、アサリの餌濃度(gC/m^3) および制限餌濃度(gC/m^3)であり、F*はアサリが最大成 長をするために必要な餌濃度の閾値である.即ち、F \geq F* の場合にはアサリは飽食状態となり餌による制限を受け なくなる⁹. F*は、花町ら%に倣い以下のとおりとした.

$$F^* = \frac{A_{max} f_{gT}(T) W(t)^{1-1/3p} \varepsilon_T}{V_f f_{\nu T}(T) W(t)^q \varepsilon_F AssE}$$
(7)

ここで、 A_{max} :軟体部重量の最大成長速度 (gC^{1/3}%day) である.また、 $f_{gt}(T)$, $f_{rt}(T)$, $f_{rt}(T)$ はそれぞれ成長速度、 濾水速度、呼吸速度の水温T (°C) への依存項を示して おり、次式により算定した.なお、j=g, v, rである.

$$f_{jT}(T) = \left(\frac{T_{mj} - T}{T_{mj} - T_{oj}}\right)^{\beta_j(T_{mj} - T_{oj})} e^{\beta_j(T - T_{oj})}$$
(8)

b) 殻の成長式

アサリの殻長はHofmannら²を参考に、水温および*CI*に 依存して変化するものとした.

$$\frac{dL}{dt} = L_{max} f_{gT}(T) \left(\frac{L_{inf} - L}{L_{inf}}\right) \left(\frac{1}{1 + e^{-rL(CI - 0.5)}}\right) \quad (9)$$

ここで、*L*_{max}: 殻長の最大成長速度(mm/day), *L*_{inf}: アサリの最大殻長(mm), *rL*:シグモイド関数のゲイ ン(無次元)である.(9)式より, 殻長の成長は肥満度 が高いほど加速されるようになっている.またアサリの 成長を扱った既往の数値モデルでは,多くの場合アサリ の重量と殻長を従属変数として計算している⁵⁰⁶⁹.この ため,既往のモデルでは(1)式の肥満度*CI*は常に一定値と なるが,本モデルは殻長と重量を*CI*を介して独立に計算 するため,従来のモデルと異なり*CI*の時間変化を計算で きる点が特徴である.

c) 生殖腺の発達と再生産過程

本モデルでは、アサリは殻長10mm以上で生殖腺の発達および放精・産卵が可能と仮定した.生殖腺の発達は生殖腺重量 $W_{g}(t)$ の時間発展を別途計算するものとし、Hofmannら²に倣ってアサリが摂餌によって獲得する正味の同化量((4)式の*A-R*)に定数 R_{eff} (無次元)を乗じ生殖腺重量に割り当てた.また、生殖腺の発達は、1~11月の水温4.5℃以上の条件下で起こるものとし⁹、12月は一定の割合 R_{eff} (day)で体細胞に戻すようにした(退行).以上を考慮した生殖腺重量の時間発展を示す式は、以下のとおりである.

$$\frac{dW_g(t)}{dt} = R_{eff}(A - R) - R_{reg}W_g(t)$$
(10)

放精, 産卵は, (10)式で計算された生殖腺重量の軟体
部重量に占める割合(GSI: GonadSomatic Index) がある
閾値*SR*(無次元)を超過した場合に起こるものとした.
ここで,本研究では*SR*を殻長の関数として与え,下式
のように殻長が大きいほど*SR*が低下するようにした.

SR = 0.25 - 0.005(L(t) - 10.0)(11)

これは、殻長の大きいアサリほど重量が大きいため GSIの増加速度が鈍り、*SR*を小さめに設定しないと放 精・産卵時期が殻長の小さな個体に比べ大幅に遅延する ためである.なお、同様の定式化はHofmannら²でも実施 されている.

放精・産卵に伴う軟体部の減耗量*G*は下式により算定 するものとし、 殻長の成長式と同様に水温および*G*に依 存するものとした.

$$G = S_{max} f_{sT}(T) \left(\frac{1}{1 + e^{-rL(CI - 0.5)}} \right) W_g(t)$$
(12)

ここで、 S_{max} は放精・産卵に伴う最大減耗速度 (gC/day)、 $f_{sf}(T)$ は放精・産卵の温度依存関数である. なお、アサリの放精・産卵は温度刺激により誘発される ことから、本研究では放精・産卵過程が水温に依存する

表-1 本研究で用いたモデルパラメータの一覧

パラメータ	説明	値	単位	出典
а	湿重-殼長換算係数(標準)	0.00022	gWW/mm ³	7)
Amax	湿重-殼長換算係数(最大)	0.00030	gWW/mm ³	7)
b	乾重-湿重換算係数	0.0603	gDW/gWW ^p	6)
р	乾重-湿重換算係数	0.9368	無次元	6)
С	炭素重量-乾重換算係数	0.436	gC/gDW	6)
Amax	軟体部の最大成長速度	0.00995	gC ^{1/3p} /day	本研究
Rmax	最大呼吸速度	0.00940	/day	本研究
q	濾水速度・炭素重量に関する係数	0.32	無次元	5)
ET	アサリのエネルギー熱量	83712.0	J/gC	5)
EF	餌のエネルギー熱量	47697.6	J/gC	11)
Tng	成長の最大温度	32	°C	6), 12)
Tag	成長の最適温度	25	°C	6), 12)
β_{g}	成長の温度係数	0.17	/°C	本研究*
Tmr	呼吸の最大温度	36	°C	本研究*
Tar	呼吸の最適温度	23.4	°C	6)
βr	呼吸の温度係数	0.28	/°C	本研究*
Tmv	濾水の最大温度	32	°C	6)
T_{av}	濾水の最適温度	25	°C	12)
β_v	濾水の温度係数	0.17	/°C	本研究*
Vŕ	最大濾水速度	0.0423	m³/gC%day	8)
AssE	同化効率	0.5	無次元	6)
Lmax	殻の最大成長速度	0.28	mm/day	本研究
Linf	最大殼長	50	mm	13)
Reff	生殖腺への配分率	0.65(1-11月)	無次元	本研究**
		0(12月)		
Rieg	生殖腺の退行速度	0(1-11月)	/day	2)
		0.145(12月)		
Smax	放精・産卵に伴う最大減耗速度	0.45	/day	本研究
rL.	シグモイド関数のゲイン	1	無次元	本研究

 * :成長・濾水・呼吸の温度依存に関するパラメータは主に既往研究で得られた値を 使用しているが、冬季から春季にかけての肥満度の増加を再現するため一部変更した。
** :生殖腺への配分率は、アサリの放精・産卵の開始時期が4~5月になるように調整 した。

ものと仮定した.温度依存関数は楠田ら¹⁰を参考とし, 次式に示すように水温20℃を中心としたガウス関数型と した.

$$f_{sT}(T) = \exp\left(-\frac{(T-20.0)^2}{2*3.0^2}\right)$$
(13)

d) 計算パラメータの一覧

(2)~(12)式で使用した計算パラメータの一覧を表-1に 示す.

e) モデルへの入力データ

モデルへの入力データは、公共用水域で計測された水 質データを基に作成した.水温は、公共用水域における 月ごとのデータを線形補間し、日データとして入力した. 餌濃度は、月ごとのクロロフィルa濃度を線形補間して 日データに変換し、それに定数(C-Chl比)を乗じて炭 素濃度に換算したものを使用した.C-Chl比については、 伊勢、三河湾内の広域総合水質調査データからクロロフ ィルaと懸濁態有機炭素(POC)濃度の比率を求め、こ



れをC-Chl比とみなした.ここで,伊勢,三河湾におけ るクロロフィルaとPOCの比率は図-2に示すように季節 や年によって異なり,特に1月における比率は経年的に 減少する傾向がみられた.

これを踏まえ、本研究では年4回(1月,5月,7月,10 月)の広域総合水質調査結果のうち、1月のC-Chl比には 経年的な減少トレンドを与え、他の月のC-Chl比は年に よらず一定値とした(図-3).1月のC-Chl比が経年的に 減少する要因は、デトリタスの減少や植物プランクトン の種組成の変化等が考えられるが、詳細は不明であり今 後検証が必要と考えている.なお本研究では種間での餌 の競合は無いものとし(アサリが対象海域での優占種と みなし)、上記手法で推定された餌濃度がそのままアサ リの餌料として利用されるものと仮定した.

(3) アサリの成長モデルの再現状況

構築した数値モデルの再現性を確認するため,宮脇ら ⁴に記載されている東幡豆でのアサリ肥満度の経年的な 調査結果を用いて再現計算を実施した.モデルへの入力 データは,東幡豆近傍の公共用水域調査地点であるA9 (図-1)の表層の水温および餌濃度を用いた.また,初



期条件は春季加入個体、秋季加入個体を想定し、2009年 の6月1日と10月1日にそれぞれ殻長5mmの稚貝を加入さ せ、その後の成長をモデルにより予測した.

東幡豆における再現結果を図-4および表-2に示す.なお図-4の肥満度の観測値は、軟体部湿重量(g)/(殻長(mm)×殻高(mm)×殻幅(mm))×100 により算定され、本モデルで計算される*CI*((1)式)とは定義が異なる点に留意されたい.また、産卵数については(12)式で計算される減耗量*G*をアサリの卵1個当たりの炭素重量(9.6ngC)¹⁴で除すことにより算定した.

図-4より,計算値は肥満度の季節変化の特徴を概ね再 現しているが,秋季産卵直前の肥満度のピークについて は観測値に比べ計算値が過大となっており,夏~秋にか けての成長・成熟の再現性にはやや課題が残っている. しかし,餌料不足の評価に重要となる秋季~冬季にかけ ての肥満度の低下状況はよく再現されていた.また,表 -2は計算で得られた殻長の成長速度(mm/day),年最大 GSI(無次元)および2009~2012年各年で合計した年間 産卵数(Egg/yr)を文献値と比較したものであるが,い

表-2 殻長の成長速度,年最大GSI,年間産卵数の再現結果

項目	単位	計算値	文献値	出典
殻長成長速度	mm/day	0.14(殻長5-16mm)	0.11(殻長5-16mm)	15)
		0.04(殻長16-26mm)	0.03(殻長16-26mm)	6)
年最大GSI	無次元	0.16~0.42	0.20~0.30	14)
年間産卵数	$ imes 10^6$ Egg/yr	0.36~15.2	0.94~11	14)

衣う 小野台にわける丁側計昇采件の燃

予測条件	内容
入力データ	公共用水域水質調査地点N12表層の水温・クロロフィルa のデータを使用
計算期間	1997~2016年
初期条件	毎年6月1日および10月1日に殻長5mmの稚貝を加入させ, その後の成長を予測
計算ケース	Case0:実測の水温と餌濃度を入力 Case1:水温のみを実測値で与え、餌濃度は式ので計算さ れる制限餌濃度を入力

ずれの項目についても計算値と文献値は概ね整合してお り、本モデルはアサリの一般的な成長、栄養状態や再生 産過程の特徴を再現できることが窺えた.

(4) 小鈴谷における予測計算方法

小鈴谷における予測計算を行ううえでの計算条件を表 -3に示す.予測計算は、東幡豆における再現計算と同様 に、春季加入、秋季加入個体を想定して毎年6月1日と10 月1日に殻長5mmの稚貝を加入させ、その後の成長をモ デルで予測する方式とした.

計算結果の評価にあたっては、アサリー個体あたりの 栄養状態や資源量の多寡に関係する項目として、CIおよ び年間産卵数の2000年以降の経年変化を整理した.また、 餌料不足によるCI、産卵数への影響を定量的に把握する ため、Case0:実測の水温と餌濃度を入力したケース、 Case1:水温のみを実測値で与え、餌濃度は式で計算さ れる制限餌濃度を入力したケース(アサリが常に飽食状 態にあると仮定したケース)の2ケースを実施し、Case1 とCase0の差をとることにより、餌料不足によるCIや産 卵数への影響度合いを推定した.

3. 小鈴谷における予測計算結果

小鈴谷における予測結果を図-5および図-6に示す.こ れらは、各年の計算結果より加入1年後~3年後の個体の *CI*および年間産卵数をそれぞれ抽出し、その経年変化を示したものである.

図-5より,各年級のCIは2010年ごろを境に低下し,その後は低い水準のまま低迷していた。特に2年級~3年級については、2010年以降にCIが生存限界値である-0.75付近まで低下する頻度が高くなる傾向であった。これは、 図-3に示したように2010年以降は餌濃度が低い状態が続



き、軟体部の成長に必要なエネルギーを確保できなくな ったことで、アサリ成貝の疲弊、斃死のリスクが増大し ていることを示唆している.実際にCase0とCase1の差値 をみると、2010年ごろを境に差値が増加し、かつその差 は複数年にわたり減少することなくほぼ横ばいとなって いることから、近年は餌料不足によるCIの低下が顕在化, 長期化していることが窺える.また、同様の特徴は年間 産卵数の推移(図-6)でもみられ、2010年以降は産卵数 が低下する傾向であった.この低下傾向は2010年から 2014年まで継続し、2015年は再び増加に転じたものの、 2010年以前の水準までは回復しない.即ち2010年以降再 生産を通じたアサリ資源量の維持が従前よりも困難にな りつつあり、これは図-1に示した2010年以降のアサリ漁 獲量の急激な減少傾向と符合している. 加えて, 産卵数 の低下は浮遊幼生の供給ネットワークを介し、小鈴谷以 外でのアサリ資源量の動態にも影響する可能性がある.

なお紙面の都合上割愛するが、本予測計算をアサリの 成長・成熟に関連するパラメータ(*Amax*, *Rmax*, *Lmax*, *Reff Smax*)を現実的な範囲で変更し複数パターン実施し た結果、ほぼ同様の変化傾向が予測された.これより、 モデルパラメータの設定誤差がある程度含まれていても、 本予測結果は同様に再現されるものと考えられる.

4. 他海域における餌料不足の可能性について

モデルの予測結果より、小鈴谷では2010年以降餌料不 足による*CIや*産卵数の低下が生じている可能性が示唆さ





図-7 伊勢,三河湾における制限餌濃度の超過頻度(%)

れたが、餌料不足のアサリへの影響は伊勢、三河湾内の 他の海域でも同様に生じている可能性がある.

これを確認するため、伊勢、三河湾の広域総合水質調 査データを用いて、各地点の実測の餌濃度が殻長25mm (漁獲サイズ)のアサリの制限餌濃度((7)式)を超過 する頻度を算定し、平面図を作成した(図-7).図-7よ り、小鈴谷を含む知多半島沿いの超過頻度は2001~2010 年は50%台であったが、2010年以降は40%未満となり、 2010年を境にアサリが飽食状態となる頻度が20%近く低 下していた.一方,三重県沿岸部では2001~2010年の時 点ですでに超過頻度が40%未満と低い状態にあり、三重 県側は愛知県側の海域よりも早期に餌料不足に陥った可 能性がある.三河湾では伊勢湾ほどの超過頻度の低下は みられないものの、湾口から湾の中央部にかけて約10% 低下していた. なお, 2011年以降に超過頻度が60%以上 となる海域は伊勢湾湾奥・三河湾湾奥部や衣浦港周辺に 限定されており、近年はアサリの餌料が湾奥部の栄養負 荷源近傍に遍在する傾向となっていた.

5. 結論

本研究ではアサリの肥満度を予測可能な数値モデルを 構築し、小鈴谷を例に餌料不足によるアサリへの影響を 検証した. モデルによる予測結果では、小鈴谷で2010年 以降に肥満度が低迷し、アサリ成貝の疲弊や斃死のリス クが増大する可能性が示唆された.加えて、産卵数も 2010年以降に低下する傾向であり、近年は再生産を通じ た資源量の維持が困難になりつつあると推察された. こ の結果は小鈴谷における2010年以降のアサリ漁獲量の急 激な減少傾向と整合的であり、小鈴谷では餌料不足がア サリの減耗要因として重要である可能性が高い.また, このような餌料不足の影響は小鈴谷だけでなく、三重県 側をはじめ伊勢、三河湾内の諸海域に及んでいる可能性 が窺えた.しかし、鳥羽ら1%によると伊勢、三河湾にお けるアサリの減耗要因は、出水による稚貝流失や貧酸素 などの様々な可能性が提示されており、これら既出の減 耗要因と餌料不足との関連性については今後も議論が必 要である.また、本研究で構築した数値モデルの定式化 や入力条件にはいくつかの仮定が含まれており(アサリ の成熟過程に関する定式化や餌濃度の設定方法等)、こ れらの妥当性を検証するには未だ実測データが不足して いる. このため、本研究での予測結果については今後も 更なる追試が必要と考えている.

謝辞:本稿をまとめるにあたり,名城大学大学院総合学 術研究科の鈴木輝明特任教授,ならびに株式会社シャト ー海洋調査の芝修一氏に,数々の有益なご助言を賜りま した.心より御礼申し上げます.

参考文献

- 蒲原聡,芝修一,市川哲也,鈴木輝明:伊勢・三河湾 のアサリ増殖環境,月刊海洋, Vol.50, No.9, pp.406-414, 2018.
- E. E. Hofmann, J. M. Klinck, J. N. Kraeuter and E. N. Powell : Population Dynamics Model of the Hard Clam, *Mercenaria Mercenaria*: Development of the Age- and Length-

Frequency Structure of the Population, J. Shellfish Res., Vol.25, No.2, 417-444, 2006.

- 国土交通省 中部地方整備局:第5回伊勢湾漁業影響 調査委員会(資料2),2015.
- 4) 宮脇大,村内嘉樹,山本直生,平井玲,川村耕平: 三河湾の前浜干潟におけるアサリの成長と成熟,愛 知水試研報,19 pp.16-18,2014.
- C. Solidoro, R. Pastres, D. M. Canu, M.Pellizzato and R. Rossi : Medelling the growth of *Tapes philippinarum* in Northern Adriatic lagoons, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol.199, pp.137-148, 2000.
- 6) 花町優次,東博紀,樋渡武彦,水野知巳,村上正吾, 木幡邦男:成長モデルを用いた伊勢湾地区における アサリ資源量の変動要因の推定,水工学論文集, Vol.54, pp.1603-1608, 2010.
- 長谷川夏樹,日向野純也:伊勢湾におけるアサリの 殻長-重量換算式,水産増殖, Vol.58(1), pp.155-158, 2010.
- 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,Vol.49,pp.1126-1130,2002.
- 9) M. Toba and Y. Miyama: Influence of Temperature on the Sexual Maturation in Manila Clam, *Ruditapes philippinarum*, 水産増殖, 43 巻 3 号, pp.305-314, 1995.
- 10) 楠田哲也:蘇る有明海-再生への道程,恒星社厚生 閣,2012.
- T. Platt and B. Irwin : Calorific content of phytoplankton. Limnol Oceanogr., 18, pp.306-309, 1973.
- (磯野良介,喜田潤,岸田智穂:アサリの成長と酸素 消費におよぼす高温の影響,日本水産学会誌,64巻3 号,pp.373-376,1998.
- 13) P.Melia`, G. A. De Leo and M Gatto : Density and temperature-dependence of vital rates in the Manila clam *Tapes philippinarum*: a stochastic demographic model, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 272, pp.153-164, 2004.
- 14) K-II Park and K-S Choi : Application of enzyme-linked immunosorbent assay for studying of reproduction in the Manila clam *Ruditapes philippinarum* (Mollusca: Bivalvia) I. Quantifying eggs, Aquaculture, 241, pp.667-687, 2004.
- 15) 岡本俊治,日比野学,荒川純平・黒田伸郎:矢作川 河口におけるアサリ稚貝源の動向,愛知水試研報, 16, pp.1-8, 2011.
- 16) 鳥羽光晴:アサリ資源の減少に関する議論への再訪, 日本水産学会誌,83巻6号,pp.914-941,2017.
 (2019.3.13受付)

A NUMERICAL INVESTIGATION OF INSUFFICIENT FOOD AVAILABILITY FOR RUDITAPES PHILIPPINARUM IN ISE BAY

Daiki TSURUSHIMA, Kentaro NAGAO and Kisaburo NAKATA

This study verifies the influence of recent decline in food concentration on *R. philippinarum* in Ise bay based on a newly developed growth model of bivarve. Simulation results indicate that condition index and annual egg production per individual clam decrease after 2010 due to the insufficient food availability. This implies that recent decline in food concentration may cause exhaustion, mortality and weakning of reproductive activity of *R. philippinarum*. Moreover, the simulated decline of condition index and egg production after 2010 corresponds well with the decline in annual catch of *R. philippinarum* along Chita Peninsula.