

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

STUDY ON CONTRIBUTING FACTORS IN VARIATION OF LITTLENECK-
CLAM BIOMASS AT ISE AREA IN ISE BAY

花町 優次¹・東 博紀²・樋渡 武彦³・水野 知巳⁴・村上 正吾⁵・木幡 邦男⁶
Yuji HANAMACHI, Hironori HIGASHI, Takehiko HIWATARI, Tomomi MIZUNO
Shogo MURAKAMI and Kunio KOHATA

¹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）
²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）
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）

Contributing factors in the variation in *Ruditapes philippinarum* (littleneck clam) biomass at Ise area in Ise bay, Japan was investigated using a growth and population dynamics model. We simulated the variation in *R. philippinarum* biomass during 1979~2005 paying particular attention to the variation in abundance of phytoplankton and activity of fisheries in this area. As the result, it is suggested that the decrease in catchment of *R. philippinarum* occurred in Ise area during 1985~1993 was partly attributed to the insufficiency of phytoplankton. The reason of successive decrease of the catchment from 1993, however, could not be revealed in this study, though the decrease in the recruitment of young bivalves can be proposed as one of the controlling factors.

Key Words : *Ruditapes philippinarum*, growth model, tidal flat, environmental restoration

1. はじめに

アサリの漁獲量は1980年代前半までは全国で年間十数万tあったが、近年は減少傾向にあり、現在では3~4万tにまで落ち込んでいる¹⁾。松川らは、全国的なアサリ漁獲量の減少要因として、生息場の減少、過剰な漁獲、貧酸素水塊の発生、捕食者や競合者の増加などの可能性について検討し、最も重要なのは過剰な漁獲であるとしている²⁾。しかし、各漁場におけるアサリの減少要因が同一であるとは限らないため、それぞれの漁場においてより詳細に減少要因を解明する必要がある。

三重県伊勢地区においても、最近20年間のアサリ漁獲量の減少が報告されている³⁾。伊勢地区におけるアサリの減少要因としては、やはり漁獲圧の増加があげられている³⁾。しかし同時に、伊勢湾では栄養塩やChl *a*の濃度の減少が観察されており、それらの濃度はアサリ漁獲量と相関があることが指摘されている³⁾。これは餌となる植物プランクトンの不足がアサリの減少要因の一つであ

る可能性を示唆しているが、その重要性についてはまだ明らかになっていない。

アサリ資源量の変動要因を推定する一手法として、アサリ個体成長・個体群動態モデルの利用が挙げられる。アサリの個体成長モデルとしてはSolidoro *et al.*⁴⁾が提案したものが知られている。これは、アサリの大きさごとに異なる最大成長速度と濾水量をそれぞれ計算し、捕食したエネルギー量が最大成長するために必要とするエネルギー量に満たない場合は成長が抑制される、前者が後者を上回る場合には飽食状態となり濾水量が低下する現象をうまく再現できるモデルである。小沼ら⁵⁾は東京湾の二枚貝にこのモデルを適用し、現場での有効性を確認するとともに、二枚貝の懸濁物除去量の推定に応用している。アサリの大きさ及び餌濃度によって濾水量を調整し、成長に必要な餌量を的確に算定するこのモデルは資源量予測への応用にも期待されるが、これまでにこのモデルをアサリ個体群の変動予測に利用した研究例は少ない^{6),7)}。

そこで本研究は、Solidoro *et al.*⁴⁾のモデルを用いたアサリ個体成長・個体群モデルを構築し、三重県伊勢地区に

おける過去約30年間のアサリ資源量の変動に適用し、漁獲量減少の要因を考究することを目的とした。

2. 研究方法

(1) モデルの構造

a) 個体群動態モデル

本研究ではアサリを殻長2mmから65mmまで1mm刻みで63階級に分け、単位面積当たりにおける各階級のアサリ個体数を成長速度と消滅数より算定する。個体群動態モデルには金綱ら⁸⁾を参考にして式(1)を用いた。

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial GN}{\partial W} = -MN + Rec \quad (1)$$

ここで、 N : 軟体部炭素重量別個体密度 (ind m^{-2}), t : 時間(day), G : 成長速度($\text{g-C day}^{-1} \text{ ind}^{-1}$), W : 軟体部炭素重量(g-C ind^{-1}), M : 消滅速度(day^{-1}), Rec : 外部からの加入量($\text{ind m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)である。各階級の個体は成長速度 $G(\text{g-C day}^{-1} \text{ ind}^{-1})$ に応じて階級間を移動する仕組みである。

W と殻長 $L(\text{mm})$ との関係は以下の式で表される。

$$WW = aL^3 \quad (2a)$$

$$DW = b * WW^p \quad (2b)$$

$$W = c * DW \quad (2c)$$

ここで、 WW : 殻付き湿重量 (g ind^{-1}), DW : 軟体部乾重量(g ind^{-1}), a, b, p, c : アサリの諸元に関する定数(それぞれ gWW mm^{-3} , gDW gWW^{-p} , 無次元, g-C gDW^{-1})である。

M は式(3)~(4)で表される。

$$M = Mor_{nat} \quad \text{殻長20mm未満} \quad (3a)$$

$$M = Mor_{nat} + Fis \quad \text{殻長20mm以上} \quad (3b)$$

$$Fis = Fisn \quad FisE \quad (4)$$

ここで、 Mor_{nat} : 自然死亡速度(day^{-1}), Fis : アサリに対する漁獲圧(day^{-1}), $Fisn$: 漁業経営体数, $FisE$: 1漁業経営体あたりの漁獲圧(day^{-1})である。

b) 個体成長モデル

個体の成長速度 G については式(5)を用いた。

$$G = Ass - Res \quad (5)$$

ここで、 Ass は同化量($\text{g-C day}^{-1} \text{ ind}^{-1}$), Res は異化量($\text{g-C day}^{-1} \text{ ind}^{-1}$)を表している。 Ass, Res についてはSolidoro *et al.*¹⁾を参考にし、式(6)~(7)を用いる。

$$Ass = W^{(1-1/3p)} G_{\max} f_{gT}(T) \min(1, \frac{F}{F^*}) \quad (6)$$

$$Res = W r_{\max} f_{rT}(T) \quad Res < Ass \quad (7a)$$

$$Res = Ass \quad Res \geq Ass \quad (7b)$$

ここで、 $G_{\max}$: 炭素重量の最大成長速度($\text{g-C}^{1/3p} \text{ day}^{-1}$), $r_{\max}$: 炭素重量の最大呼吸速度(day^{-1}), T : 温度($^{\circ}\text{C}$), $f_{gT}(T)$, $f_{rT}(T)$: それぞれ成長, 呼吸の温度依存項, $\min(1, F/F^*)$: 成長の餌濃度依存項, F : 餌濃度($\mu\text{g-C l}^{-1}$), F^* : 制限餌濃度($\text{C-}\mu\text{g l}^{-1}$)である。

F^* について、Solidoro *et al.*⁴⁾は式(8)を用いている。

$$F^* = \frac{W^{(1-1/3p)} G_{\max} f_{gT}(T) \varepsilon_T}{W^q V_f f_v(T) \varepsilon_F} \quad (8)$$

ここで、 V_f は最大濾水速度($\text{l (g-C}^q)^{-1} \text{ day}^{-1}$), $f_{gT}(T)$ は濾水速度の温度依存項, q は乾重-最大濾水速度換算係数, ε_T はアサリ軟体部の熱量(J g-C^{-1}), ε_F は餌の熱量(J g-C^{-1})である。 F^* の意味するところは、 F/F^* を以下のように表すと分かりやすい。

$$\frac{F}{F^*} = \frac{F W^q V_f f_v(T) \varepsilon_F}{W^{(1-1/3p)} G_{\max} f_{gT}(T) \varepsilon_T} \quad (9)$$

この式において、分母はすなわち「1日の成長に必要なエネルギー量」、分子は「濾過によって1日に摂食できる餌のエネルギー量」を示している。従って餌濃度 F が F^* を超過すると、 $\min(1, F/F^*)$ は1となり、アサリは餌による制限を受けない状態となる。一方、 F が F^* より小さい場合にはアサリは最大成長に必要なエネルギーが得られず、成長速度が減少することになる。

Solidoro *et al.*⁴⁾モデルでは濾水によって取り込まれた餌の一部は糞となって排出されることが考慮されていないため、本研究では式(9)の分子に同化効率 $AssE$ を乗じ、摂食・排糞を考慮した式(10)に改良した。

$$F^* = \frac{W^{(1-1/3p)} G_{\max} f_{gT}(T) \varepsilon_T}{W^q V_f f_v(T) AssE \varepsilon_F} \quad (10)$$

成長、呼吸及び濾過の温度依存項 $f_{gT}(T)$, $f_{rT}(T)$ 及び $f_{vT}(T)$ の計算は式(11)⁴⁾を使用した。

$$f_{jT}(T) = \left(\frac{T_{mj} - T}{T_{mj} - T_{oj}} \right)^{\beta_j * (T_{mj} - T_{oj})} e^{\beta_j * (T - T_{oj})} \quad (j=g, r, v) \quad (11)$$

(2) モデルパラメータ

本研究で用いたモデルパラメータの一覧を表-1に示す。

a) Mor_{nat} 及び $FisE$

Mor_{nat} は、伊勢地区勢田川河口の川口干潟におけるアサリの成長データの報告³⁾から求めた。この報告では、2003年6月から2005年9月にかけて、一つのコホートのアサリ個体群の成長を追跡している。図-1はそのコホートにおける平均殻長の増加と、個体密度の減少を示している。平均殻長が漁獲対象サイズ(20mm)になるまでの期間(2003年7月まで)では自然死亡だけが起これと考えられる。この期間の個体減少速度を求めると 0.0054 day^{-1} であり、 Mor_{nat} にはこの値を用いた。

平均殻長が漁獲対象サイズの20mmとなって以降の減少速度は20mm以下のものより大きく (0.0099 day^{-1}) , その差は漁獲によるものと考えられる。2004年の漁獲圧を図-1より求めたところ 0.0045 day^{-1} であった。2004年の $Fisn$ は293であり¹³⁾, $FisE$ は $0.0045/293=0.000015 \text{ day}^{-1}$ とした。

表-1 本研究で設定した成長モデルパラメーター一覧

モデル定数	説明	単位	出典
a	湿重-殻長換算係数	$0.00019 \text{ gWW mm}^{-3}$	未発表*
b	乾重-湿重換算係数	$0.0603 \text{ gDW gWW}^{-1}$	未発表*
p	乾重-湿重換算係数	無次元	未発表*
c	炭素重量-乾重換算係数	$0.436 \text{ g-C gDW}^{-1}$	9)
$G_{\max}$	炭素重量最大成長速度	$0.005775 \text{ g-C}^{1/3} \text{ day}^{-1}$	5)**
$r_{\max}$	炭素重量最大呼吸速度	0.00656 day^{-1}	5)**
q	濾水速度・炭素重量に関する係数	0.32 無次元	4)
ε_T	アサリのエネルギー量	$44036.7 \text{ J g-C}^{-1}$	4)
ε_F	餌のエネルギー熱量	84991 J g-C^{-1}	4)
T_{mG}	成長の最大温度	$32 \text{ }^{\circ}\text{C}$	4)
T_{oG}	成長の最適温度	$25 \text{ }^{\circ}\text{C}$	10)
β_G	成長の温度係数	$0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	4)
T_{mr}	呼吸の最大温度	$35 \text{ }^{\circ}\text{C}$	4)
T_{or}	呼吸の最適温度	$23.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$	11)
β_r	呼吸の温度係数	$0.17 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	4)
T_{mv}	濾過の最大温度	$32 \text{ }^{\circ}\text{C}$	4)
T_{ov}	濾水の最適水温	$28 \text{ }^{\circ}\text{C}$	12)
β_V	濾水の温度係数	$0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	4)
V_f	最大濾水速度	$36.0 \text{ l(g-C)}^{-1} \text{ day}^{-1}$	4)**
$AssE$	アサリの同化効率	0.5 無次元	9)
$Mor_{\max}$	自然死亡速度	0.0054 day^{-1}	本研究
$FisE$	漁業経営体1体あたりの漁獲量	$0.000015 \text{ day}^{-1}$	本研究

*東京湾での測定結果を使用 **出典の半値を使用

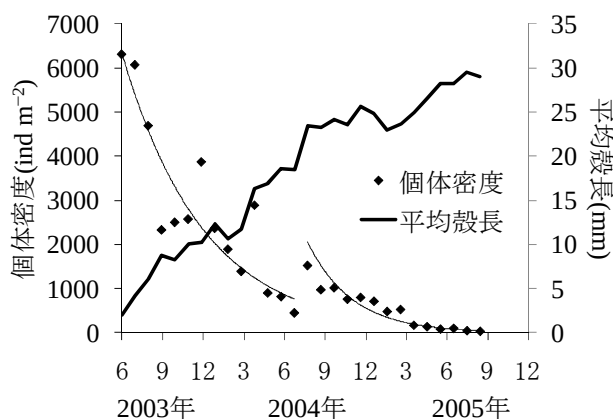
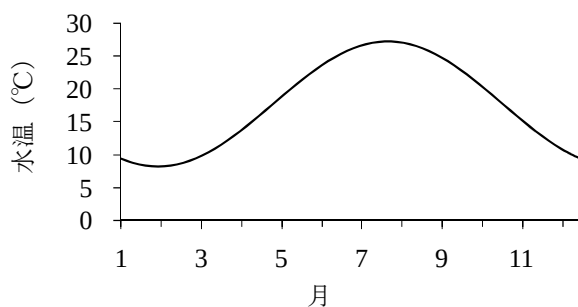
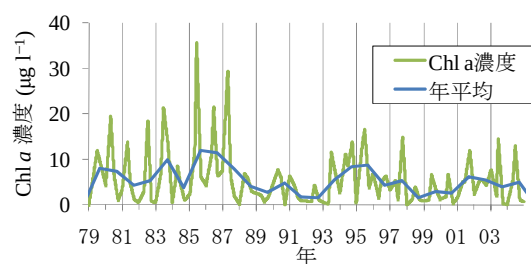
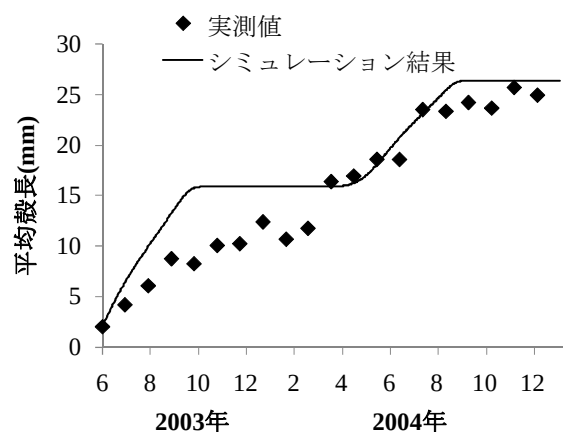
図-1 伊勢地区におけるアサリの成長と生存曲線³⁾

図-2 計算に用いた水温変動

図-3 Chl_{39} の変遷¹⁵⁾図-4 アサリの成長モデルと実測値³⁾と計算値の比較b) $G_{\max}$, $r_{\max}$ 及び V_f

$G_{\max}$ 及び $r_{\max}$ については小沼らの値⁵⁾, V_f については Solidoro *et al.*の値⁴⁾を用いた。ただし、これらの値はアサリが一日中水中で摂餌できるときの値である。今回は潮間帯に生息するアサリを対象とするため、1日あたりの冠水時間を12時間とし、残りの時間は摂餌・呼吸を行わないと仮定し、これらの値に0.5を乗じた値を用いた。

(3) 計算条件

本モデルでは表-1のモデルパラメータを用い、温度 T 、餌濃度 F 、漁業経営体数 $Fisn$ 、外部からの加入量 Rec の時系列データを与え、生息場の単位面積当たりのアサリ個体数及び漁獲量を算定する。なお、伊勢地区の漁獲量を求めるためにはアサリ生息地の面積が必要であるが、本研究では伊勢地区の干潟面積 312ha ¹⁴⁾を用いた。 T については、同じ伊勢湾の鈴鹿市で行われている毎日の観測³⁾を参考にし、図-2に示してある8月に年最高 27.4°C 、2月に年最低 8.3°C になる変動を毎年与えた。この期間、伊勢地区においては T 及び干潟面積はほとんど変動していないと考えられている³⁾¹⁴⁾。

F については、後述の $Chl\ a$ 濃度($\mu\text{g l}^{-1}$)に $C/Chl\ a$ 比の 55.3 ⁹⁾を乗じて求めた。 $Chl\ a$ 濃度については、環境省が行っている広域総合水質調査¹⁵⁾の伊勢湾St.39の表層観測値(以下、 Chl_{39} とする)を用いた(図-3)。測定日以外の Chl_{39} は、前後の測定日の値を用いて線形補間した。干潟の $Chl\ a$ 濃度は沖合に比べて小さくなると考えられるた

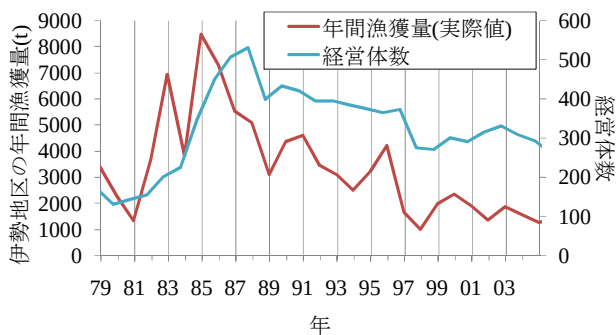


図-5 漁獲量と採貝経営体数の変遷¹³⁾

め、その減少率を考慮する必要がある。本研究では、小沼ら⁵⁾を参考に Chl_{39} に補正係数を乗じて得られる値を生息場の $Chl\ a$ 濃度(以下、 Chl)とした。2003年5月～2004年12月の Chl_{39} を用い、川口干潟におけるコホートのアサリの成長³⁾に合うように補正係数を求めたところ、 $Chl=0.25Chl_{39}$ であった(図-4)。

$Fisn$ については東海農政局三重農政事務所のデータ(図-5)¹³⁾を用いることができるが、 Rec については年・季節ごとの変動が大きく、不明な点が多い。そこで本研究では、まず次のCase 1・2の計算条件で1979年から2005年までの伊勢地区のアサリ資源量、漁獲量の変遷をシミュレートした。

Case 1：漁獲は行わない($Fisn$ は0)。

Case 2：漁獲を行わせる($Fisn$ は実際値)。

Case 1・2の Rec は、殻長2mmの階級にのみ新規加入があり、それより大型の個体の新規加入は考えないものとした。加入の頻度については、伊勢湾の志登茂川河口における研究¹⁶⁾から5月と11月に各1回起こるとした。図-1は同時期に新規加入した個体群の動態を示しているため、殻長2mmのときの個体密度($6307\ ind\ m^{-2}$)は、新規加入密度とみなすことができる。従ってこの値を Rec として用いた。Case 1のシミュレート結果より $Chl\ a$ 濃度の変化に伴うアサリ個体数の変動、Case 2の結果より $Chl\ a$ 濃度と漁業経営体数の変化に伴うアサリ個体数・漁獲量の変動を評価し、2つの結果の違いから、餌資源の変動と、漁獲圧の変動が現存量・漁獲量どの程度影響を与えるかを考察した。

後述するが、上記の Rec では実際の漁獲量の変遷をうまく再現することができなかった。そこで、次のCase 3のシミュレーションを行った。

Case 3：Case 2の計算で得られた漁獲量と実際の漁獲量の差から前年の新規加入量を推定し、 Rec とする。

Case 3で得られる結果より、過去の新規加入量変遷の可能性について考察した。

3. 結果と考察

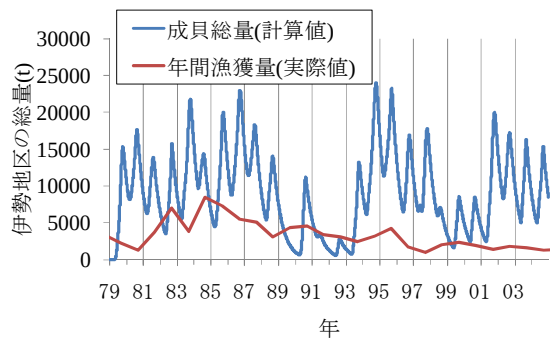


図-6 Case 1の計算結果

(1) Case 1：漁獲無し

Case 1の計算で得られた伊勢地区における成貝(殻長20mm以上)の総殻付湿重量の変動を図-6に示す。成貝現存量は1986年に最大値(約22000t)を示した。この年から現存量は次第に減少し、1992年に最低値(約700t)を示した。1985年から1987年にかけては、 Chl_{39} の年平均は8から $12\ \mu g\ l^{-1}$ であった(図-3)。それに対して1988年以降は夏季の Chl_{39} が低い年が続いたために年平均濃度も低く、1992年には年平均 Chl_{39} が $1.5\ \mu g\ l^{-1}$ にまで低下している。本研究で用いた成長モデルにおいては殻長が大きくなるにつれて餌不足の影響を受けやすくなる。 Chl_{39} が $1.5\ \mu g\ l^{-1}$ の場合 Chl は $0.375\ \mu g\ l^{-1}$ となり、その場合20℃では殻長3mm以上の個体において餌不足となり、成長が抑制される。この時期実際の漁獲量にも減少が見られ、1984～1987年には5000～8000tほどあった漁獲量が、1993年には2500tにまで減少している。このように漁獲がおこなわれていなくても現存量が減少するという計算結果が得られたことから、この時期の伊勢地区の漁獲量減少の原因が、餌不足によるアサリの成長速度の低下である可能性が高いことが明らかになった。さらに漁獲があった場合はどのような変動が見られるかを調べるためにCase 2の条件で計算を行なった。

(2) Case 2：漁獲有り

漁獲量減少の要因としては餌不足の他に漁獲圧の増加が考えられる。伊勢地区では1979年から1987年にかけて採貝を主とする漁業経営体数が131から530まで3倍以上に増加している(図-5)。現在の漁獲量は最盛期の8分の1ほどまで減少しているが、一方で経営体数は2分の1程度しか減少していない。漁獲努力量のデータがないため、正確な漁獲圧の計算をすることは困難であるが、1980年以前に比べれば漁獲圧が増大していると推察される。

Case 2ではCase 1では考慮されていなかった漁獲圧が考慮されているため、2つの結果の違いを比較することによって漁獲圧の影響を推定することができる。シミュレーションによって得られた成貝現存量、及び漁獲量の変化を図-7に示す。成貝総量が最高で20000～25000tを示したCase 1に比べ、Case 2の成貝現存量は最高でも

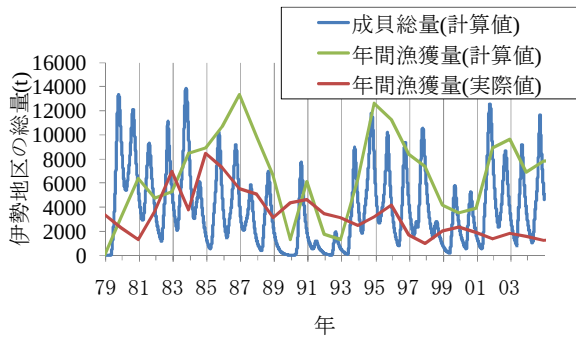


図-7 Case 2の計算結果

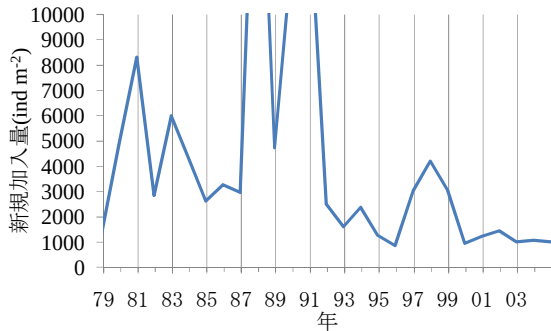


図-8 新規加入量の推定値

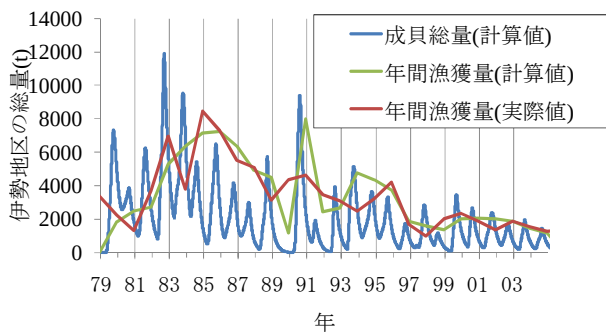


図-9 Case 3の計算結果

14000t程度と低い水準で推移した。また、単純に各年度の成員量が減少するだけでなく、成員量が増減するタイミングにも違いが見られた。例えばCase 1では1986年に約23000tの現存量極大値が見られ、このことはすなわち餌の量という点に限って見れば、この年は他の年よりもアサリにとって好適な環境だったことを示している。しかしCase 2では1986年の現存量は約9000tであり、より以前の1983年の方が現存量が大きかった。これは1986年の方が1983年よりも漁業経営体数が多く、漁獲量が多かったためであると考えられる。これらの結果から、漁業経営体数の増加が成員現存量に大きく影響し、本来はアサリにとって好適な餌環境であったとしても、漁獲によってその現存量が半分以下にまで減少することが示された。

しかし1987年以降、現存量の全体的な増減はCase 1とCase 2において同様の傾向を示した。すなわち、1992～1993までは減少するが、その後再び増加し、1980年代前

半の水準まで回復した。これは実際の漁獲量の変動とは異なる。

図-7にはシミュレーションで得られた年間漁獲量も示してある。これは各年の一日あたりの漁獲死亡量を年間積算した値である。この値の変動を見ても、やはり90年代における計算値は実際値よりも多く、2～5倍となった。これらのことから、93年以降の漁獲量の減少は、Chl *a* 濃度の減少と漁獲圧だけでは説明できないことが明らかとなった。

(3)Case 3: 加入量変動・漁獲有り

本モデルにおいて、アサリの現存量を変動させる要因としては餌の不足、漁獲圧のほかに新規加入量 Rec の変化がある。そこで、もし仮に加入量の変化が原因とした場合、その量がどのように変動したかを再現することを試みた。

ある年 y における加入量 Rec_y を式(12)で求めた。

$$Rec_y = 6307 * \frac{Cat_{real\ y+1}}{Cat_{Case2\ y+1}} \quad (12)$$

ここで、 $Cat_{real\ y+1}$: 年 $y+1$ における実際の漁獲量、 $Cat_{Case2\ y+1}$: Case 2の結果得られた年 $y+1$ の漁獲量である。その結果、加入量の変動は図-8のように計算され、1980年代前半に比べると、多少の増減はあるものの、現在まで減少傾向にあるという結果となった。推定された各年度の加入量を用いたシミュレーションの結果を図-9に示す。モデルで得られた漁獲量は、1985年頃には約7000tであったが、90年代後半には1000～2000t程度で推移している。この変動は実際の漁獲量と概ね一致した。

新規加入は、親貝の産卵→漁場への浮遊幼生の回帰→着底→加入という、非常に複雑で変動しやすい過程を経るため、その量を予測するのは困難である¹⁷⁾。従って図-8で推定した加入量の変動が妥当であるかどうかは不明である。しかし1988年頃から起こった餌不足による親貝量の減少が産卵量を減少させ、その影響が数年後まで続いているというシナリオは可能性の一つとして考えられる。また、伊勢地区の新規加入は、伊勢地区自体からと松坂地区から行われているという報告があり³⁾、従って松坂地区の親貝の量や産卵量が、伊勢地区のアサリの新規加入量を左右している可能性もある。

本研究で得られた新規加入量の妥当性を検証するには、より広範囲のアサリの個体群動態と、その個体群による産卵→幼生拡散→着底という過程を定量的にモデル化する研究が必要となる。

4. 結論と今後の課題

アサリ成長モデルを用いたシミュレーションの結果から明らかになったことをまとめると以下ようになる。

1989～1992年のChl *a*濃度では、例えば豊漁期と同量の新規加入量があったとしても、餌不足のためにアサリの成長が抑制され、そのことが漁獲量の減少につながったことが示唆された。それに対して、1993年以降のChl *a*濃度は、1985年頃に比べれば低い水準ではあるが、1989～1992年に比べれば高く、アサリの成長を抑制するほどではないことが示された。しかし実際には漁獲量は減少していることから、この期間には餌不足や漁獲圧の増大以外、例えば稚貝加入量の変化などのアサリ現存量の減少要因があると考えられた。ただし、本研究で用いたアサリの成長速度・死亡速度等のパラメータについては伊勢湾の現場において実測された例が非常に少なく、現状ではこれらの値を使わざるを得ない。従ってより正確なシミュレーションを行なうために、今後多くの現場観測を実施し、パラメータを改良していく必要があると考えられる。

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、(独)水産総合研究センター水産工学研究所の桑原 久実 博士並びに同センター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) 桑原久実: 4章 幼生加入過程: 底質の安定性からみた好適アサリ生息場環境, 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, 恒星社厚生閣社, pp. 61-70, 2009.
- 2) 松川康夫, 張成年, 片山知史, 神尾光一郎: 我が国のアサリ漁獲量激減の要因について, 日本水産学会誌, Vol.74, pp.137-143, 2008.
- 3) 水野知己, 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, 恒星社厚生閣社, pp. 9-25, 2009.
- 4) Solidoro, C., Pastres, R., Melaku Canu, D., Pellizzato, M. and Rossi, R.: Modelling the growth of *Tapes philippinarum* in Northern Adriatic lagoons, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol.199, pp.137-148, 2000.
- 5) 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, 海洋工学論文集, Vol.49, pp.1126-1130, 2002.
- 6) Pastres, R., Solidoro, C., Cossarini, G., Melaku Canu, D. and Dejak, C.: Managing the rearing of *Tapes philippinarum* in the lagoon of Venice: a decision support system, *Ecol. Model.*, 138, 231-245, 2001.
- 7) Solidoro C., Melaku Canu D., Rossi R.: Ecological and economic considerations on fishing and rearing of *Tapes philippinarum* in the lagoon of Venice, *Ecol. Model.* Vol.170, pp.303-318, 2003
- 8) 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, Vol. 50, pp. 1291-1295, 2003.
- 9) 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.
- 10) 磯野良介, 喜田 潤, 岸田智穂: アサリの成長と酸素消費量におよぼす高温の影響, 日本水産学会誌, Vol.64, pp.373-376, 1998.
- 11) 喜多村勇: アサリの鰓の纖毛運動と温度との関係, 日本水産学会誌, Vol.6, p.154, 1937.
- 12) 秋山章男: 底性動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産機能に関する研究, 昭和59年度研究成果報告書, 東海区水研・南海区水研, pp.99-104, 1985.
- 13) 東海農政局三重農政事務所: 平成18年 三重県漁業地区別統計表, 2006.
- 14) 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) 第1巻, 干潟, 1994.
- 15) 環境庁水質保全局, 環境省水・大気環境局水環境課閉鎖性海域対策室: 昭和54年度～平成17年度 広域総合水質調査データ集, 1979～2005.
- 16) Sekiguchi, H., M. Uchida and A. Sakai: Post-settlement processes determining the features of bivalve assemblages in tidal flats, *Benthos Res.*, Vol.49, pp.1-14, 1995.
- 17) 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, 恒星社厚生閣社, pp. 36-60, 2009.

(2009. 9. 30受付)