

(67) 有明海におけるカキ養殖再興による 環境改善の可能性

小川 裕樹^{1*}・伊豫岡 宏樹²・鮎本 健治³・楠田 哲也²

¹九州大学工学府都市環境システム工学専攻 (〒819-0395福岡市西区元岡744)

²九州大学工学研究院環境都市部門 (〒819-0395福岡市西区元岡744)

³日本ミクニヤ株式会社九州支店 (〒812-0015福岡市博多区山王2-9-3)

* E-mail: urbenv10@civil.kyushu-u.ac.jp

かつて有明海で多く行われていたカキ養殖を利用した環境改善の可能性について議論した。室内実験により、有明海産カキの性質を明らかにすることでカキの成長を精度よくモデル化し、有明海ボックスモデルと組み合わせることで、カキによるプランクトンの削減効果と栄養塩系外取り出し効果を算定した。その結果、過去と同程度の養殖量で80%近いプランクトンの削減と、収穫による窒素約360t、リン約20tの系外取り出し効果が見込め、カキ養殖の再興は、現在の有明海に対して十分な環境改善効果があることが確認できた。

Key Words : Ariake bay, Oyster, modeling, Plankton, Rehabilitation

1. はじめに

日本の干潟の40%を占め、多様な生物資源の宝庫であるとされてきた有明海は、近年、ノリ養殖の増加や大規模な赤潮の発生など1次生産が非常に増加し、また、漁獲量の激減に代表されるように、高次消費者が減少している状況にあり、生態系のバランスがくずれ、さまざまな環境問題を引き起こしている。これらの環境問題はさらに他の環境問題を誘発し、複雑に絡み合うことで負のスパイラルを形成し、有明海の改善をより困難なものとしている。近年、諫早干拓の問題を筆頭に有明海への関心が深まり、様々な研究機関等によって有明海研究は飛躍的に進歩を遂げ、急速にデータが蓄積されつつある。このような中で有明海研究の次なるステップとして、具体的な再生案を提示することが求められているといえる。再生についての当面の目標として、松田は「二枚貝とノリの高い生産性が持続する状態の有明海の実現」¹⁾をあげている。つまり、比較的好調なノリの生産を維持しつつ、近年減少の一途をたどっているタイラギ、アサリ、アゲマキ等の漁獲を増大させることが求められている。ノリは、有明海が国内生産の約4割を占め、有明海的全漁業生産額の8割以上をしめている。一方、二枚貝

は自身の持つ懸濁物質ろ過能力によって、海水をろ過し環境改善し、また漁獲することによって栄養塩の系外取り出し効果も期待できる。

そこで本研究では二枚貝の中でもろ過水量が大きく、比較的悪条件下でも成育可能で、過去有明海においても水産対象種として養殖が行われていたカキに着目し、カキ養殖の再興による有明海環境の改善の可能性について考察した。

2. 有明海におけるカキの特性把握とモデル化

カキの生理的な特性は、過去多くの研究者によって調査され、様々な式、およびパラメータ値が提案されている。しかし、カキの生育や生理的特性は環境による地域差が大きいたことが知られており²⁾、そのため、有明海におけるカキ生理モデルの作成には有明海産カキの生理特性の把握が不可欠である。そこで、これらの式、およびパラメーターを決定するため、佐賀県鹿島市浜川河口において採取したカキを用いて、ろ水量、排泄量、基礎代謝量を求める実験を行い、その結果を用いて、シミュレーションに用いるカキモデルの基礎式を求めた。

(1) カキモデルの概要

カキを中心とした炭素循環に着目し、カキの重量、呼吸量、摂餌量、排泄物量を炭素ベースで表現することで、餌密度、および水温、塩分等の環境条件から成長量を推定する成長モデルを作成した。

カキが取り込んだ餌料は一部が擬糞、糞として排出され、残りが同化される。このうち呼吸によって消費された分を除いたものが、純生産となり、成長と再生産に使われる。カキの純生産速度 NP は同化速度 A と呼吸速度 R の差として表せる。純生産は体組織 SG と再生産組織 GM の増加および産卵・放精による消費速度 E に $(1-r)$: r の割合で分配されると仮定すると、(1)式が得られる。

$$A - R = NP = (1-r)NP + rNP \\ = dSG/dt + dGM/dt + E = dW_c/dt + E \quad (1)$$

この式で、同化速度 A 、呼吸速度 R 、再生産への分配率 r 、および産卵条件を与えることで、カキの成長量 W_c を求めることができる。

(2) 同化

カキが餌を摂取する量はろ水速度 F と餌密度 C によって決まる。さらに同化効率を e とすると同化速度 A はこれらの積によって(2)式のように与えられる。

$$A = e \cdot F \cdot C = e \cdot F(w) \cdot f(T) \cdot f(s) \cdot C \quad (2)$$

ここで、 $F(w)$ は水温 25°C 、塩分 25 のもとでカキの質量によって決まるろ水速度である。 $f(T)$ 、 $f(s)$ はそれぞれ水温と塩分の影響を表す無次元量で、それぞれ水温 25°C 、塩分 25 のとき値が 1 となる関数である。

それぞれの関数を佐賀県鹿島市浜川河口で採取したカキを用いて実験を行い、その結果より決定した。なお、ろ水速度の推定には実験水槽中の懸濁物質の減少量から推定する間接法⁹⁾を用いた。まず、カキの質量とろ水速度の関係については図1のような結果が得られた。実験には全質量 $12.9\text{g} \sim 51.3\text{g}$ (軟体部乾燥質量 $0.7\text{g} \sim 2.77\text{g}$) のカキ 75 個体を用いて行った。その結果よりサイズが大きくなるに伴ってろ水速度も大きくなるという傾向が見て取れるものの、実験値は大きくばらついており、個体による差が大きいものと考えられる。実験より得られた値をアロメトリー式に当てはめ、(3a)式を得た。

$$F(w) = 1.917 \cdot W_c^{0.851} \quad (3a)$$

水温の影響については、塩分を 25 の一定に保ち、水温を 10°C 、 15°C 、 20°C 、 25°C 、 30°C と段階的に変化させ、それぞれろ水速度を測定した。得られた実験結果より、各水温条件における平均ろ水速度を求め、さらに平均ろ水速度の最大値が 1 となるように各水温における平均ろ水速度を最大値で除し、相対ろ水速度を求めた。カキのろ水速度が測定範囲内では指数関数的に増加すると仮定し、(3b)式に示すの回帰式を得た。

$$f(T) = 0.344 \cdot \exp(0.0429 \cdot T) \quad (3b)$$

塩分の影響についても同様に、水温を一定 (25°C) に保ち、塩分を 15 、 20 、 25 、 30 、 33 と変化させて、それぞれろ水速度を測定した。得られた実験結果より、各塩分条件における平均ろ水速度を求め、さらに 25°C のときの平均ろ水速度が 1 となるように各塩分における平均ろ水速度を 25°C の値で除し、相対ろ水速度を求めた。塩分とろ水速度の関係がシグモイド曲線に従うと仮定し、(3c)式の回帰曲線を得た。

$$f(s) = 0.64 + 0.68 / (1 + \exp(24.7 - s) / 1.73) \quad (3c)$$

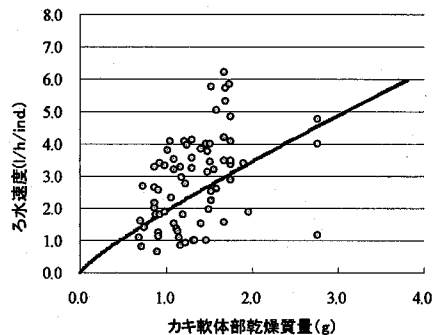


図1 カキ質量—ろ水速度の関係

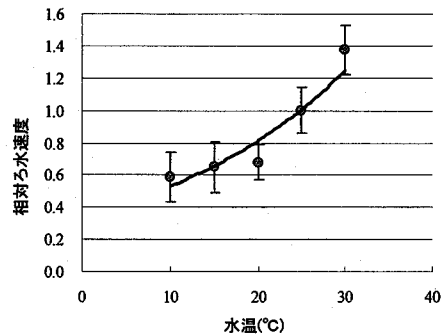


図2 水温—相対ろ水速度の関係

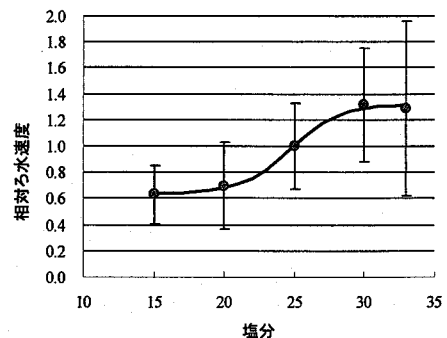


図3 塩分—相対ろ水速度の関係

最後に同化効率について考える。塩分25の一定条件のもと水温－排泄速度に関する実験を実施した結果、炭素量換算の同化率は、28.0～89.3%であり、実験水温との間に顕著な傾向は見られなかった。また、餌密度との関連は与えた餌料をカキがすべて摂取してしまったため今回実施した実験からは判断できなかった。二枚貝の同化効率は種によって大きく異なり、さらに同種であっても餌粒子の質によって異なるといわれている⁴⁾。また、ろ過食者である二枚貝は餌密度が高いと同化効率が低くなる傾向⁵⁾が報告されていることから、阿保ら⁷⁾がアコヤガイのモデル化に利用した、餌密度 C によって同化効率が低下するとした(4)式を用いた。

$$e = \alpha / (\alpha + C / C_0) \quad (4)$$

ただし、 α は無次元のパラメータでカキ生理モデルの計算の際に値を調節し、最もよく成長を再現する値を与えた。

(3) 呼吸

基礎代謝についても同様に実験を行い、呼吸速度（呼吸による炭素消費速度）を表す式を求めた。実験は、カキの質量別、および水温別に行い、その結果より酸素消費速度-乾燥質量、酸素消費速度-水温についてそれぞれ(5a)式、(5b)式が得られた。

$$R(w) = 58.59W_c^{0.724} \quad (5a)$$

$$r(T) = 0.0633 \cdot \exp(0.0933 \cdot T) \quad (5b)$$

ここで、 $R(w)$ はカキの質量によって決まる酸素消費速度である。 $r(T)$ は水温の影響を表す無次元関数であり、25℃で値が1となる関数である。

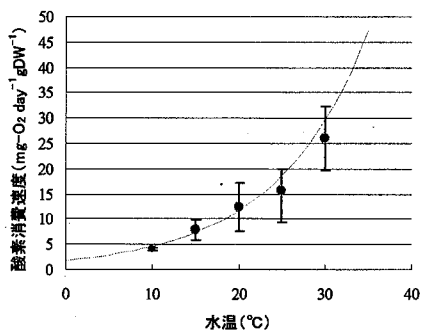


図4 水温－酸素消費速度の関係

表1 生殖巣への分配割合

水温T	10月～2月	3月～9月
10℃以下	$r=0$	$r=0$
10～20℃	$r=0.05(t-10)/10$	$r=0.95(t-10)/10$
20℃以上	$r=0.05$	$r=0.95$

(4) 再生産

今回のカキの基礎データを求める実験において、再生産に関する実験も行ったが、今回モデルに組み込むには十分な知見を得ることができなかった。そこで、Powell *et al.*⁶⁾を参考に広島水試で行われた実験結果⁶⁾を踏まえて表1のように設定した。産卵についても、Powell *et al.*と広島水試の報告をもとに、産卵期は20℃以上の時期であり積算水温が600℃・dayに達した時点と以後生殖巣重量が全体重の20%を超え、積算水温が300℃・day以上経過するたびに、産卵および放精がおこるとした。

(5) 基礎式の設定と成長量試験との整合性

以上でカキのモデル化に必要な式が出揃ったことになる。まず、生理モデル作成時に設定した同化率に関するパラメータ α を決定するために、2006年度に有明海鹿島市沖で実施した成長量試験の結果を用いてカキの成長の再現計算を行った。実験を開始した8月の乾燥重量の測定値を初期値として、その後の環境条件の測定値を与え、 α を変化させながらカキの成長量を計算し、実験結果をよく再現する値として、 $\alpha=1.1$ を得た。(図5) 次に、求めた α の値を用いて同時期に有明海天草沖において行った成長量試験の結果の再現を行った。(図6) その結果、モデル計算値は鹿島の場合と同様によく一致し、モデルの有効性が示された。

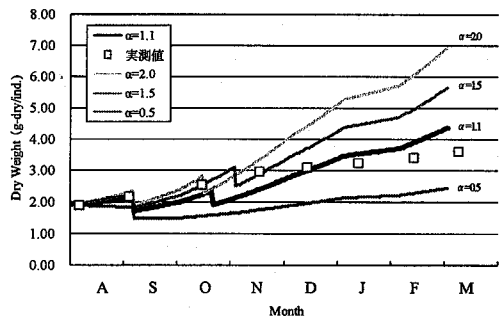


図5 鹿島における成長量の実測値と各 α における成長曲線

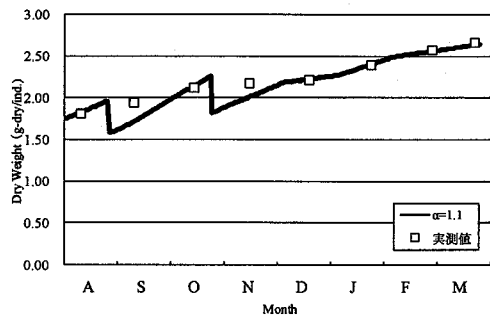


図6 天草における成長量の実測値と計算結果の比較

3. 有明海環境のモデル化

有明海におけるカキ養殖の効果を推定するために有明海の生態系モデルを作成し、それにカキの生理モデルを組み合わせ、カキ養殖量の変化に対するカキの成長量、およびプランクトン量の変動を計算した。

(1) 海水交換量の推定

海水交換を推定する方法として、ボックスモデル解析⁹⁾¹⁰⁾を用いる。図7のように有明海を3つのボックスに分け、ボックス内の流量収支、および塩分収支によって海水交換係数を求める。流量収支と物質濃度収支よりボックスモデルの基礎式は、

$$A_i \frac{d\eta_i}{dt} = -\sum Q_{ij} + R_i \quad (6)$$

$$V_i \frac{dC_{k,i}}{dt} = -\sum Q_{ij} C_{k,i} + \sum Q_{ji} C_{k,j} + S_{k,i} \quad (7)$$

ここで、 A_i : ボックス*i*の面積 (m^2)、 $d\eta_i$: 海水面の変位 (m)、 dt : 計算時間 (s)、 Q_{ij} : i から j への移動水量 (m^3)、 R_i : ボックス*i*の面積 (m^2)、 V_i : ボックス*i*の容積 (m^3)、 $C_{k,i}$: 項目*k*のボックス*i*における濃度 ($g \cdot m^{-3}$)、 $S_{k,i}$: 項目*k*のボックス*i*における生産項 (g)である。これらの式より、各ボックスにおける河川流入量と、塩分濃度の実測値を用いて、各ボックス間の海水交換量を求める。

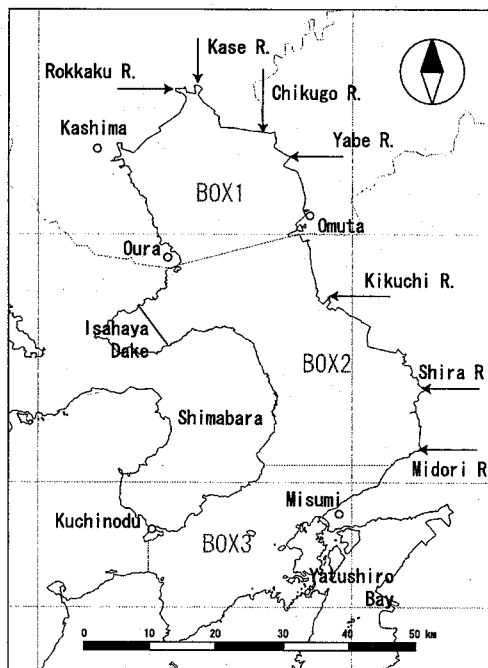


図7 ボックス分割

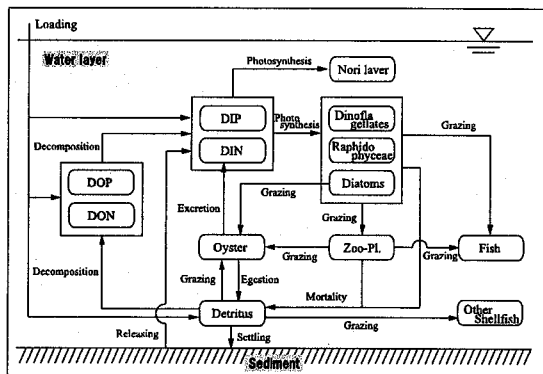


図8 生態系モデル概要

(2) 生態系モデルの構成

生態系モデルを構成する各要素の濃度 (単位体積あたりの現存量) を C とするとその時間変化は(1)で求めた海水交換によっておこる交換とボックス内での生産とで物質保存が成り立つ。これを式で表すと、

$$V_i \frac{dC_{k,i}}{dt} = -Q_{ij} C_{k,i} + Q_{ji} C_{k,j} + S_{k,i} \quad (8)$$

ただし、ノリは移流拡散を起こさないで、

$$V_i \frac{dC_{k,i}}{dt} = S_{k,i} - M_i \quad (9)$$

なお、生産項 $S_{k,i}$ はそれぞれ

① DIN

$$S_{DIN,i} = V_i K_N C_{DON,i} - \sum_{k=1}^3 f_{pN,k} V_i G_{k,i} C_{k,i} - f_{nN} V_i G_{N,i} C_{Nori,i} + E_{OYS} OYS_i + A_i R_N + L_{DIN,i} \quad (10)$$

② DIP

$$S_{DIP,i} = V_i K_P C_{DOP,i} - \sum_{k=1}^3 f_{pP,k} V_i G_{k,i} C_{k,i} - f_{nP} V_i G_{N,i} C_{Nori,i} + A_i R_P + L_{DIP,i} \quad (11)$$

③ DON

$$S_{DON,i} = -V_i K_N C_{DON,i} + \sum_{k=1}^3 f_{pN,k} V_i E_k C_{k,i} + V_i K_D Det_N C_{Det} + L_{DON,i} \quad (12)$$

④ DOP

$$S_{DOP,i} = -V_i K_P C_{DOP,i} + \sum_{k=1}^3 f_{pP,k} V_i E_k C_{k,i} + V_i K_D Det_P C_{Det} + L_{DOP,i} \quad (13)$$

⑤ デトリタス

$$S_{Det,i} = -V_i K_D C_{Det} + \sum_{k=1}^3 V_i E_k C_{k,i} - F_i C_{Det} OYS_i + (1 - e_i) F_i OYS_i (C_{Det,i} + C_{PL,i}) + A_i W_D C_{Det} + L_{DOP,i} \quad (14)$$

⑥ 植物プランクトン (珪藻・渦鞭毛藻・ラフィド藻)

$$S_{PL,i} = V_i G_{k,i} C_{k,i} - V_i E_k G_{k,i} C_{k,i} - A_i W_{PL,k} C_{k,i} - F_i Gr_k C_{k,i} OYS_i \quad (15)$$

⑦ ノリ

$$S_{Nori,i} = V_i G_{N,i} C_{Nori,i} \quad (16)$$

ここで、 C_{ki} : ボックス i における各構成項目 k の濃度 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)、 C_{PLki} : ボックス i における各プランクトン k の濃度 ($\text{cell} \cdot \text{m}^{-3}$)、 OYS_i : ボックス i におけるカキの個体数、 V_i : ボックス i の有光層容積 (m^3)、 L_{ki} : ボックス i への各構成項目 k の流入負荷量 ($\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$)、 K_N : DON分解速度 (s^{-1})、 K_P : DOP分解速度 (s^{-1})、 K_D : デトリタス分解速度 (s^{-1})、 E_{OYS} : カキの $\text{NH}_4\text{-N}$ 排出速度 ($\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$)、 E_k : 細胞外分泌 (s^{-1})、 W_D : デトリタス沈降速度 (s^{-1})、 $W_{PL,k}$: 植物プランクトン k の沈降速度 (s^{-1})、 R_N : DIN溶出速度 ($\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^2$)、 R_P : DIP分解速度 ($\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^2$)、 Det_N : デトリタス中のN比、 Det_P : デトリタス中のP比、 $G_{k,i}$: 植物プランクトン k の成長速度 (s^{-1})、 G_{Ni} : ノリの成長速度 (s^{-1})、 Gr_k : カキの植物プランクトン k の捕食率、 M_i : ノリ水揚げ量 ($\text{g} \cdot \text{Dry} \cdot \text{day}^{-1}$) である。また、植物プランクトンおよびノリの成長速度は次の式で表した。

$$G_{k,i} = G_{\max,k} f(T) f(I) f(N,P) \quad (17)$$

$$G_{N,i} = G_{N\max} f(T) f(I) f(N,P) \quad (18)$$

$$f(T) = \left\{ \frac{T}{T_{opt}} \exp \left(1 - \frac{T}{T_{opt}} \right) \right\}^m \quad (19)$$

$$f(I) = \frac{I}{I_{opt}} \exp \left(1 - \frac{I}{I_{opt}} \right) \quad (20)$$

$$f(N,P) = \min \left(\frac{C_{DIN,i}}{K_{mN} + C_{DIN,i}}, \frac{C_{DIP,i}}{K_{mP} + C_{DIP,i}} \right) \quad (21)$$

ここで、 $G_{\max,k}$: 植物プランクトン k の最大成長速度 (s^{-1})、 $G_{N\max}$: ノリの最大成長速度 (s^{-1})、 $f(T)$: 温度依存項、 $f(I)$: 日射依存項、 $f(N,P)$: 栄養塩依存項、 T : 水温 ($^{\circ}\text{C}$)、 T_{opt} : 最適水温 ($^{\circ}\text{C}$)、 I : 日射量 (lx)、 I_{opt} : 最適日射量 (lx)、 K_{mN} : 窒素の半飽和定数 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)、 K_{mP} : リンの半飽和定数 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)、 m : 係数である。

4. プランクトン量変動シミュレーション (計算結果の一例: 2003年の場合)

これまで作成したカキの生理モデルを有明海ボックスモデルに組み込むことによって水温、塩分、海水交換量等の環境条件から、植物プランクトンの変動とカキの成

表2 ボックスモデルに利用した各パラメータ値¹⁰⁾²⁾

parameter		symbol	unit	value	parameter		symbol	unit	value
Growth rate	Dinoflagellate	$G_{\max}$	day^{-1}	0.26	Decomposition rate	DON	K_N	day^{-1}	0.05
		K_{mN}	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	0.042		DOP	K_P	day^{-1}	0.05
		K_{mP}	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	0.0031		Detritas	K_D	day^{-1}	$0.03\text{exp}(0.0693T)$
		I_{opt}	lx	30000	Settling rate	Dinoflagellate	$W_{PL,1}$	day^{-1}	0.03
		T_{opt}	$^{\circ}\text{C}$	24		Diatom	$W_{PL,2}$	day^{-1}	0.05
		m	-	14		Raphidophyceae	$W_{PL,3}$	day^{-1}	0.03
	Diatom	$G_{\max}$	day^{-1}	0.63	Detritas	W_D	day^{-1}	0.3	
		K_{mN}	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	0.049	Releasing rate	DIN	R_N	day^{-1}	0.3Det_N
		K_{mP}	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	0.0310		DIP	R_P	day^{-1}	0.3Det_P
		I_{opt}	lx	20000	Grazing rate	Dinoflagellate	Gr_1	-	0
		T_{opt}	$^{\circ}\text{C}$	17		Diatom	Gr_2	-	1
		m	-	3		Raphidophyceae	Gr_3	-	0
	Raphidophyceae	$G_{\max}$	day^{-1}	0.60	Coefficient equivalent	Dinoflagellate	$f_{PC,1}$	$\text{pg} \cdot \text{cell}^{-1}$	342.7
		K_{mN}	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	0.014			$f_{PN,1}$	$\text{pg} \cdot \text{cell}^{-1}$	40.9
		K_{mP}	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	0.0031			$f_{PP,1}$	$\text{pg} \cdot \text{cell}^{-1}$	5.53
		I_{opt}	lx	20000		Diatom	$f_{PC,2}$	$\text{pg} \cdot \text{cell}^{-1}$	140.7
		T_{opt}	$^{\circ}\text{C}$	23			$f_{PN,2}$	$\text{pg} \cdot \text{cell}^{-1}$	16.8
		m	-	17			$f_{PP,2}$	$\text{pg} \cdot \text{cell}^{-1}$	2.27
Nori laver	$G_{\max}$	day^{-1}	0.30	Raphidophyceae		$f_{PC,3}$	$\text{pg} \cdot \text{cell}^{-1}$	314.2	
	K_{mN}	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	0.05			$f_{PN,3}$	$\text{pg} \cdot \text{cell}^{-1}$	37.5	
	K_{mP}	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	0.005			$f_{PP,3}$	$\text{pg} \cdot \text{cell}^{-1}$	5.07	
	I_{opt}	lx	25000	Nori laver		f_{NC}	$\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	0.1323	
	T_{opt}	$^{\circ}\text{C}$	14			f_{NN}	$\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	0.0682	
	m	-	3			f_{NP}	$\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	0.0068	
extracellular release	Dinoflagellate	E_1	-	0.135	Detritas	Det_C	$\text{g} \cdot \text{g} \cdot \text{Dry}^{-1}$	0.45948	
	Diatom	E_2	-	0.135		Det_N	$\text{g} \cdot \text{g} \cdot \text{Dry}^{-1}$	0.0547	
	Raphidophyceae	E_3	-	0.135		Det_P	$\text{g} \cdot \text{g} \cdot \text{Dry}^{-1}$	0.00757	

長量を初期値から順次計算していくことができる。これにより、カキの養殖量を変化させた場合の植物プランクトンの変化量と、カキの収穫による窒素、リンの系外取出し量を試算することが可能となる。

(1) 植物プランクトン量の変動

本研究では、近年でもっとも平均的であったと考えた2003年の環境データを用いて、有明海的环境を表現し、カキの成長量とプランクトン量の変動を逐次計算した。プランクトン量は $10^6 \sim 10^7 \text{ cell/m}^3$ 程度で変動し、湾奥ほど多い。また、春から夏にかけて増加する傾向がみられた。観測データが少なく再現性の確認は難しいが、BOX間の差異や季節的な変化傾向は概ね表現できた。カキの初期値としては採苗試験の結果より7月以降、15~2.0gの稚ガキが多く採取できたことから、7月初日において1.5gとし、1年半後の12月に収穫されるものとした。養殖対象地域として湾奥部 (BOX1) にカキの存在量 (養殖量) を追加し、その増加個体数は①増加なし (現存量)、②1,000,000個体、③10,000,000個体、④100,000,000個体、⑤200,000,000個体を増加させる5つのパターンについて計算を行った。なお、増加個体分をすべて収穫すると、

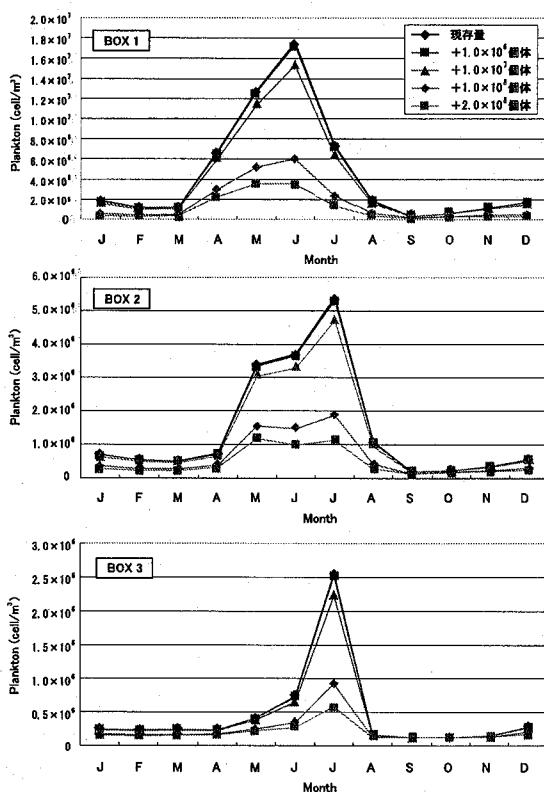


図9 BOX1のカキ養殖量の増加に対する各BOXのプランクトン細胞数の月変化

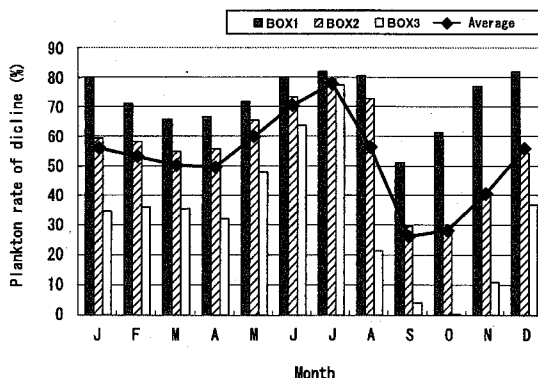


図10 パターン⑤における植物プランクトン減少率の月変化

②では水揚げ量が現在の水揚げ量のほぼ2倍、⑤では有明海における過去最大の養殖量である18,000t近くの水揚げ量となるように増加個体数を選択してある。その結果を図9に示す。特に夏季においてプランクトン量の著しい減少が見られ、夏季に頻発する赤潮の抑制に効果があるものと推測できる。

(2) 収穫による栄養塩の系外取り出し効果

⑤の条件で養殖を行った場合、カキは2年目の冬には商品として十分出荷が可能と考えられる85g (殻付質量) まで成長した。そして、養殖されたカキをすべて収穫するとそれによって窒素が約360t、リンが約20t、系外へ取り出されるという結果が得られた。

(3) 植物プランクトン減少率の月変動

計算結果より、プランクトンの減少率は一定ではなく、月によってある程度の変化があることがわかる。そこで、季節による削減効果の違いを見るため、⑤における減少率の月変動を図10にまとめた。

プランクトン減少率は夏季と冬季にかけて高く、秋には低い値を示す。これは夏季は水温が高いため水速度が大きく、餌の量も豊富なため、カキの摂餌が盛んに行なわれるため減少率が大きくなり、冬季はカキが大きく成長し、一個体当たりの摂餌量が増加するため、減少率が上昇するものと考えられる。

5. 結論および考察

本研究ではカキ養殖の再興によって有明海的环境改善が可能かどうかを議論するため、有明海におけるカキの生理的な特性の把握を行い、有明海産カキの成長を精度よくモデル化し、そのカキモデルを用いて、実際にどの程度の環境改善効果があるのかを推定をした。

実験によって求めた有明海産カキの生理パラメータは実際に行った成長量試験の結果をよく再現でき、精度のよい有明海産カキモデルを作成することができた。しかし、今回の実験ではカキの再生産に関して、モデルに組み込むことのできる知見を得ることができなかったため、今後より正確に再生産を再現できる式を得ることができるよう実験手法を考案する必要があると思われる。

得られたカキ生理モデルを用いた数値計算では、カキ養殖が実際に有明海のプランクトン量削減に一定の効果があることが確認できた。また、特定の海域（湾奥部）のみにおける養殖でも他の海域に少なからず影響を与えることが示され、その効果は広域にわたって影響を及ぼすことが確認でき、さらに、その削減率は夏季と冬季にかけて高いことがわかった。特に夏季に削減効果が高いことは近年増加傾向にある赤潮の発生抑制効果が期待でき、有明海環境の改善に効果的な働きをすると考えられる。また、カキは摂取した窒素の一部を無機化し、アンモニア態の窒素として排出している。このことは、ノリ養殖によって発生する冬季の窒素不足¹⁰⁾を改善し、ノリの色落ちの防止や品質向上を促す可能性も考えられる。これについては今後さらにモデルを充実させることで考察できるようにしていく必要がある。

これらのことからカキ養殖の再生は「二枚貝とノリの高い生産性が持続する状態の有明海の実現」、有明海の環境改善の足がかりとなるの可能性を秘めているといえる。

謝辞：本研究は、科学技術振興調整費「有明海生物生態環境の俯瞰的再生と実証試験」（代表：楠田哲也）によるものである。また、研究を進めるにあたって、貴重な観測データや情報を提供していただいた九州環境管理協会の中嶋雅孝氏、実験施設等を利用させていただいた佐賀県有明水産振興センター、松島観光開発公社の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 松田治：有明海問題の所在とその歴史的経緯，沿岸海洋研究，Vol. 42, pp. 5-10, 2004.
- 2) 今井丈夫：浅海完全養殖，恒星社，pp. 81-185, 1971.
- 3) 楠木豊：マガキのろ過水量の測定法について，Bulletin of the Japan Society of Scientific Fisheries, Vol. 43(12), pp. 1069-1076, 1977.
- 4) 山室真澄：懸濁物食性二枚貝と植物プランクトンを通じた窒素循環に関する従来の研究の問題点，日本ベントス学会誌，Vol. 42, pp. 29-38, 1992.
- 5) 伊藤克彦：英虞湾真珠漁場におけるアコヤガイの栄養環境について，国立真珠研報，Vol. 22, pp. 2363-2381, 1978.
- 6) 赤繁悟，高山啓介：広島かき生産改善技術開発事業(2)室内成育実験，広島水産試験場事業報告，Vol. 2003, pp. 32-34, 2004.
- 7) 阿保勝之：アコヤガイの生理と餌料環境に基づく養殖密度評価モデル，水産海洋研究，Vol. 65(4), pp. 135-144, 2001.
- 8) Powell E.N., E.E. Hoffman, J.M. Klink and S.M. Ray：Modeling oyster populations I. A commentary on filtration rate. Is faster always better?, J. Shellfish Res., Vol. 11, pp. 387-398, 1992.
- 9) 木村晴保，宗景志浩，渡辺久芳：【講座】ボックスモデル，水産土木，Vol. 22(1), pp. 91-95, 1985.
- 10) 木村晴保，宗景志浩，渡辺久芳：【講座】ボックスモデル [2] 一高知県古満日湾への適応例一，水産土木，Vol. 22(2), pp. 63-72, 1985.
- 11) 中嶋雅孝，横山佳裕，内田唯史，中野拓治，山田耕二，中西弘：ボックスモデルによる有明海の窒素収支の構造解析，水環境学会誌，Vol. 29(10), pp. 605-612, 2006.
- 12) 李寅鐵，星加章：広島湾におけるカキ養殖と水質環境変動予測—水・底質生態系モデルの開発—，中国工業技術研究所報告，Vol. 54, pp. 33-41, 2000.

(2007. 5. 25 受付)

Possibility of environmental improvement by revival of oyster farming in Ariake Bay

Hiroki OGAWA¹, Hiroki IYOOKA², Kenji SUSHIMOTO³ and Tetsuya KUSUDA²

¹Department of Civil Engineering, Kyushu University

²Department of Civil Engineering, Kyushu University

³Mikuniya Corporation

Possibility of the environmental improvement using oyster farming in Ariake Bay was examined. Analysis using a BOX model considering physiology of oyster that inhabits Ariake Bay was carried out. Physiologic characteristics of the oyster were observed through experiments using oysters collected in Ariake Bay. The equations of filtration, assimilation and respiration were established with good precision. The model calculated the quantities of phytoplankton that was decreased by filtering and of nutrients (nitrogen and phosphorus) removed by catching of oyster. That is to say, oyster farming in Ariake Bay

shows enough environmental improvement effects. Oyster catch of 18,000ton (the highest oyster catch at Ariake Bay in the past) was removes 360t of nitorogen and 20t of phosphorus and make about 80 percent reduction in phytoplankton in August. The effect on pytoplankton decrease is well in summer, the season of red tides and in winter, the season of Nori laver farming. As the result, the oyster farming is effective for the prevention of red tide in summer and enriches the nutrient environment for Nori laver in winter.