

干潟生物の環境浄化能力の評価

養殖研究所 杜多 哲・阿保勝之
平成6～8年度

緒言

本研究では沿整事業で干潟を造成する場合の環境浄化能力の評価法を求めることを目的とした。まず干潟における水質変動の特性を明らかにし浄化量のオーダーを知るために、三重県五ヶ所湾内の干潟において調査を行った。一方生物の側から環境浄化能力を推定するために沿整事業の対象種であるアサリを取り上げ、環境浄化能力の見積方法を示した。また他の生物についても簡易的に浄化能力を見積る方法を述べた。

1. 五ヶ所湾内の干潟における水質変動

1. 調査方法

調査は三重県五ヶ所湾内に流れ込む五ヶ所川の河口部に広がる干潟で行った(図1)。図中の点線部は潮干帯を示す。潮干帯の外縁部にあたるStn. A (図1, 底深2.4m) に鶴見精機製流向流速計(MTCM-6)を設置して水温・塩分(底上2.1m)と流向・流速(底上1.1m)を10分間隔で測定した。また同地点に現場硝酸塩分析装置(NAS-MK2, 日油技研工業)を設置して底上1.6mの位置での硝酸塩類を1時間30分間隔で測定した。この分析装置は亜硝酸塩($\text{NO}_2\text{-N}$)と硝酸塩($\text{NO}_3\text{-N}$)を合計した値が得られる。本報告では両者を合計した値を硝酸塩類(Nitrate)とよぶ。測定は1994年8月19日から9月8日まで行った。なお全期間を通じて高温・少雨の気象条件が続き、8月20日24mm, 22日2mm, 25日20mmおよび9月8日に6mmの降雨がみられたのみであった。

また1994年9月6日の干潮時(11時2分～13時15分)および満潮時(16時30分～18時38分)に図1に示す定点で水温・塩分の調査を行った。測定は海表面下0.5m, 1mおよびそれ以深は1m間隔で底上0.5mまで行った。このとき、Stn. Aで表層(海表面下0.5m), 底層(底上0.5m)およびその中間層から採水を行い、Whatman GF/C濾過後Strickland and Parsonsに従って $\text{NO}_3\text{-N}$ および $\text{NO}_2\text{-N}$ を測定し、現場硝酸塩分析装置による測定値と比較した。潮位は五ヶ所湾の調和常数を用いて推算した。

さらに1994年10月25日には11時および15時に図1の定点で9月6日と同様の調査を行った。このときは採水したサンプルからTotal-NをT-Nコーダーによって測定し、湾内の窒素収支の検討を行った。

2. 結果と考察

(1). 1994年9月6日～7日

図2に1994年9月6日から7日にかけての測定結果を示す。水温は5～6時にかけて最低値を、また16時頃に最高値を示す日周変動をしており、日射の影響が大きかったことがわかる。塩分は9月6日の5時から15時にかけてと9月7日の5時以降に若干低い値を示した。硝酸塩類濃度は9月6日の10時に $1.1\mu\text{M}/1$ の高い値を示し、徐々に減少した。採水試料(表, 中, 底層)の分析によって得られた硝酸塩類濃度から線形補間によって現場硝酸塩分析装置の測定水深(底上1.6m)の値を求め図2中に丸印で示した。9月6日の11時02分と9月7日の6時08分に採水した試料の硝酸塩類濃度は現場硝酸塩分析装置による値とよく一致していたが9月6日の16時30分の採水試料では $2.5\mu\text{M}/1$ 程度の違いがみられた。今後、現場硝酸塩分析装置の使用にあたっては、比較のための採水方法を検討する必要がある。

9月6日の10時(干潮時)には硝酸塩類の濃度は高い値を示し、低塩分(33.5psu)であったが、19時頃(満潮時)には硝酸塩類濃度は減少し、高塩分(34.1psu)となっていた。このことは硝酸塩類濃度が潮位に対

応した低塩分水の広がりに関係していることを推察させる。対応する干潮時および満潮時の測定結果から海表面下0.5mでの塩分の平面分布を図3に示す。この期間の前には降雨がなかったため塩分差はわずかではあるが、干潮時には岸沿いに低塩分水が広がった分布を示しているのに対して、満潮時には低塩分水が湾の北東部に押しやられ、河口部では高塩分の水塊がみられている。

(2). 1994年8月24日～28日

前節の結果では干潮時に低塩分水が測定点に到達することが、硝酸塩分析装置で高い値が得られる原因の1つであることが示唆されたが、図2で9月7日の干潮時には必ずしも低塩分、高硝酸塩類濃度とはなっていない。そこで干潮時に低塩分水がみられ、それにともなって硝酸塩類濃度が高くなることがどれくらいの頻度で生ずるかを調べた。例として8月24日から28日の5日間の水質変動を図4に示した。この期間内では25日の2時から3時にかけて20mmの降雨があった。水温は図2と同じく朝方に最低水温を示し、16時頃に最高温度を示す日周変動をしていた。

8月25日1時頃と28日の15時頃の干潮を除いて、干潮時には塩分の低下がみられる。期間中の9回の干潮のうち6回で塩分低下と硝酸塩類濃度の増大が対応して生じていることがわかる。硝酸塩類と塩分の測定値が得られている全期間(8月20日～9月8日)で同様な検討を行ったところ、38回の干潮のうち17回で塩分低下と硝酸塩類濃度の増大が対応していた。

干潟の流速についてStn. Aにおける測定流速の湾軸方向成分を、風の湾軸方向成分と対応させて示す。図より両者は良く対応しており、干潟域の流れが主として風によって決まっていることを示している。

(3). 1994年10月25日

全窒素(T-N)の測定結果から佐々木¹⁾, Matsukawa and Sasaki²⁾ に従って収支を求めた一例を図5に示す。このとき拡散係数は $K=0.012L^{4/3}$ を用いた。干潟における生物作用によるDTNの取り込みのオーダーは $27\text{mgN}/\text{m}^2/\text{hour}$ ($237\text{g}/\text{m}^2/\text{year}$)であった。

3. まとめ

現場型硝酸塩分析装置の使用により、従来は困難であった硝酸塩類濃度の長期連続測定を行うことができた。この測定結果および水温、塩分の測定結果から干潟の水質変動がかなり大きいことがわかった。塩分と硝酸塩類濃度の変動は対応することが多く、干潮時に河川水が広がりそれに伴って硝酸塩類濃度が増大する場合が多いことが明らかとなった。また干潟の流れは風と良く対応した。干潟における生物作用によるDTNの取り込みは $27\text{mgN}/\text{m}^2/\text{hour}$ ($237\text{g}/\text{m}^2/\text{year}$)のオーダーであった。

II. アサリによる環境浄化能力

1. 方法

沿整事業の対象種であるアサリを取り上げ、まず浄化量を定義する。ついで既往の文献から環境浄化に関わる諸データを整理する。沿整事業を想定してアサリ増殖場造成による環境浄化能力の評価手法を提案する。最後にいくつかの事例について具体的に浄化量を推定する。

2. 結果

(1)アサリによる環境浄化能力

アサリを対象として環境浄化能力とは何かを生産量と対比させながら考えてみる。

生産量とはある期間($t_1 \sim t_2$)内に生物体として作り出された有機物量として定義される。生産に関与する諸量の関係を図6に示す³⁾。個体レベルでは、もし一定の期間($t_1 \sim t_2$)生きていれば、生産量は $t_1 \sim$

t_2 間の成長量つまり体重の増加量である。他の生物に食べられたり、漁獲されたり、病気や飢えによって途中で死んだ場合には生産量は t_1 時から死ぬまでの間の体重の増加量である。個体群レベルでも同様に考えることができある期間内 ($t_1 \sim t_2$) の生産量は次式のように表される。

生産量 = 生き残り個体の重量増加 + 途中死亡個体の t_1 から死亡時(t_0)までの重量増加

それでは環境浄化量はどう評価されるだろうか。そのためには対象とする場を設定する必要がある。図7は干潟域での物質移行過程を概念的に示したものである⁴⁾。この図をもとにアサリに関連して干潟より取り除かれる有機物量をアサリによる浄化量と定義すると次式が得られる。

アサリによる浄化量 = 生き残り個体の重量増加 + 漁獲 (自然死亡) 個体の重量増加
+ 期間内に活動エネルギーとして消費された有機物重量

自然死亡を場の浄化量に含めることができるかは問題があるが、死亡したアサリは速やかに他の生物によって食われ、場の生態系の中を循環しつつ、最終的には系外へ出ていくと考えれば、自然死亡の全てを浄化量と考えることができる。

以上のことからアサリによる浄化量は以下のように表すことができる。なお浄化量は窒素 (炭素) で表した。

$$\begin{aligned} \text{アサリによる浄化量} &= \text{生産量} \\ &+ \text{期間内に活動エネルギーとして消費された有機物重量} \\ &= \alpha \left[\int N(t) \cdot (dW/dt) dt \right] + \beta \left[\int N(t) \cdot W(t) \cdot R(t) dt \right] \end{aligned} \quad (1)$$

ここに α は重量から窒素 (炭素) 量への換算係数であり、 β は呼吸量からの換算係数である。アサリの個体数 $N(t)$ と重量 $W(t)$ に関するデータから生産量を推定することができる。一方浄化量を推定するためには、アサリの単位重量あたり活動エネルギーとして消費された有機物重量 $R(t)$ を求める必要がある。以下ではこれらについて述べる。

(2). アサリの環境浄化能力推定のための既存データの整理

a. アサリの体成分の諸関係

坂本⁵⁾によるまとめを中心に伊藤・水本⁶⁾および日本水産資源保護協会⁷⁾より、アサリの殻付湿重量を1000mgとした時のその構成をまとめ表1に示す。以下ではアサリの重量として乾重を用いた。

b. 殻長と重量

アサリの殻長しか分からず、それを重量に換算する必要のあることも多い。伊藤・水本⁶⁾は殻長 L と全重 W_A の関係を次式で与えている。

$$W_A = 8.995 \times 10^{-6} L^{3.24} \quad (2)$$

これを殻長(L , mm)と乾重量(W_D , g)の関係に書き直すと

$$W_D = 4.499 \times 10^{-6} L^{3.24}$$

この式は殻長の3.24乗となっているが、3乗の方が扱いが簡単になる。そこで近似式として

$$W_D = 1.01 \times 10^{-6} L^3 \quad (3)$$

を以下では用いる。両式を比較して図8に示す。

c. アサリの酸素消費量

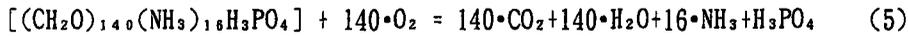
アサリの酸素消費量はアサリの大きさ（重量）、環境条件（水温、塩分、酸素濃度、流速など）によって異なる。これらは実内実験によって求められているが、多くの場合、重量と水温の関数として求められている。

伊藤・水本²⁾より、酸素呼吸量（R）の単位をmgO₂/(g·dry wt)/hrに統一して示すと

$$R = 0.00590T^{1.48}W_D^{-0.301} \quad (4)$$

d. 酸素消費量と無機化される炭素、窒素との関係

坂本³⁾はアサリの呼吸・代謝モデルを示す示性式として次の式を得ている。



この式から酸素消費量を測定すれば利用された炭素、窒素、磷の量を推定できる。

(3). 沿整事業におけるアサリによる環境浄化機能の見積

沿整事業に当たっては事前調査をもとに対象種の生産量を見積ることとなっているが、アサリを対象とした干潟造成では大きく分けて次の3つの方法で見積が行われている。

- ① 漁場造成により浮遊幼生の沈着量を増大させる。
- ② 稚貝を放流し一定期間の後漁獲する。

この2つの場合には生き残り率や漁獲率、成長などは事前調査結果から求める。

③ 造成漁場が従来の漁場と同じ様な状態になると考え、事前調査で得られた単位面積当りの生産量に造成漁場面積をかける。

以下では①および②を念頭におき浄化量の算定を行った。

(前提条件)

- ① $t = t_r$ でアサリ稚貝が N_r 個着生（放流）する。
- ② $t = t_c$ までは漁獲を行わず自然死亡のみとする。自然死亡係数 M は一定とする。
- ③ $t = t_c$ より漁獲を開始する。漁獲係数 F は一定とする。

これらの前提よりアサリ個体数 N は次式で表される。

$$N = N_r \cdot e^{-M(t-t_r)} \quad (t_r > t > t_c) \quad (6)$$

$$N = N_r \cdot e^{-M(t_c-t_r)} \cdot e^{-(M+F)(t-t_c)} \quad (t > t_c) \quad (7)$$

④ また成長（重量）は次式で表されるものと仮定する。

$$w_t = w_u (1 - e^{-K(t-t_0)})^3 \quad (8)$$

w_t は乾重(g)

これらの前提のもとで浄化量を求めると以下のようなになる。

a. $t_r > t > t_c$ の時

浄化量(炭素量または窒素量)は

$$\alpha N_r \left[e^{-M(t-t_r)} w_t - w_r + M \int_{t_r}^t e^{-M(t-t_r)} w_t dt \right] + \beta N_r \int_{t_r}^t e^{-M(t-t_r)} a T^{1.48} w_t^{0.699} dt \quad (9)$$

この第1項は生物生産、第2項は代謝による有機物消費である($a=0.00590$)。Tは水温(°C)、 α は乾重から炭素(窒素)量への換算係数(0.387)、 β は呼吸量からの換算係数(0.0012)である。

b. $t = t_c$ より $t = t$ までの期間については

$$\begin{aligned} \text{浄化量} = & \alpha N_r e^{-M(t_c - t_r)} [e^{-(M+F)(t-t_c)} w_t - w_c + (M+F) \int e^{-(M+F)(t-t_c)} w_t dt] \\ & + \beta N_r e^{-M(t_c - t_r)} \int e^{-(M+F)(t-t_c)} a T^{1.48} w_t^{0.899} dt \end{aligned} \quad (10)$$

と表わすことができる。

(4). アサリ自然個体群への適用例

Ohba⁹⁾ は備讃瀬戸の本島においてアサリの年級別個体群と成長に関し、詳細な調査を行っている。図9は成長にバータランフィの式をあてはめたものである。図10は年級別個体数密度であり図中の点線は死亡率一定として個体数密度を近似したものである。これらを用いて現存量 ($N(t) \cdot W(t)$)、生産量、浄化量を計算して図11に示す。同図には各年毎の平均現存量、年間生産量、年間浄化量も示した。

(5). 増殖場造成事業の見積り

調査報告書より、浮遊幼生の沈着をはかった例のうち、計算に必要な値が得られていたものを選んで、表2に示した。これらから3年間の現存量、生産量、浄化量を計算して、同表に示した。なお成長は平均的な成長式に固定した。現存量にはかなりのばらつきがみられるが、生産量と現存量の比 (P/WN) は1.2~1.9、浄化量と現存量の比 ($(P+R)/WN$) は1.9~3.1と比較的狭い範囲におさまっている。

3. アサリ増殖場造成による環境浄化能力の見積りのまとめ

これまで述べてきた結果からアサリ増殖場造成に際して浄化能力を次のようにして見積ることができる。まず優占種となるアサリに関しては十分な事前調査から、個体数変動や成長を求め、本報告で述べた方法によって浄化量を見積る。

個体数変動と成長が求められない場合や、その他の生物に関しては、現状ではきわめて大ざっぱな見積しかできない。よく行われているのが年に数回、ベントス調査を行い、年間の平均現存量を求め、これに係数をかけて、生産量や浄化量を求めるという方法である。表1からアサリについてはこれらの値をおおよそ知ることができる。その他のベントスの平均現存量と生産量の比 (P/BW) に関しては堀越・菊池⁹⁾ や玉井³⁾ によって従来調べられた種の一覧表が作成されている。

従来生産量が研究されていない種に関しては、近縁の種の P/BW を用いたり、仮定の値を用いることも行われている。図12は木村ら¹⁰⁾ が行った生産量と浄化量の推定方法である。おおまかな見積り方法としてはこういった手法も意味がある。

いずれにしてもアサリ増殖場ではアサリによる浄化がかなりの大きさを占めると考えられるから、アサリについては確度の高い見積りを行い、その他の生物に関してはある程度おおまかな見積りを行って、両者の違いをはっきり認識した上で、浄化量を求める必要がある。

参考文献

- 1) 佐々木克之(1989):干潟域の物質循環, 沿岸海洋研究ノート, 26-2, p172-190
- 2) Matsukawa, Y. and S. Sasaki(1986): Budget of nitrogen, phosphorus and suspended solid in an intertidal flat. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 52, 1791-1797
- 3) 玉井恭一(1989): ベントスの生産量とその推定法 - ④野外調査に基づく種個体群の生産量推定, 海洋と生物, 61, p. 134
- 4) 宗宮 功編(1990): 自然の浄化機構, 技報堂出版, p. 3

- 5)坂本市太郎(1986):過剰NPの生物学的除去と資源生物化-河口域の環境レベルに対する高密度アサリ群集の呼吸代謝応答と仔貝生残, 文部省環境科学特別研究報告書B281-R12-1, 河口・沿岸域・水田生態系における環境機能の評価と制御に関する研究
- 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, 底生二枚貝類の呼吸量, 体重並びに水温との関係, 内湾底泥をめぐる物質収支の動態解明に関する研究, 昭和53年度研究成績報告書, 東海区水産研究所, 南西海区水産研究所, 真珠研究所, 水産大学校
- 7)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-第I期取りまとめ-, p1-2 45
- 8)Ohba, S. (1959):Ecological studies in the natural population of a clam, *Tapes japonica*, with special reference to seasonal variations in the size and structure of the population and to individual growth, *Biological jour., Okayama Univ.*, 13-42, 5(1/2)
- 9)堀越増興・菊池泰二(1970):ベントス, 「海藻・ベントス」, 東海大学出版会, p. 252-253
- 10)木村賢史・三好康彦・島津暉之・赤沢 豊(1991):人工海浜の浄化能力について (2)-葛西人工海浜及びその地先における底生動物の現況とその浄化能力の検討, 東京都環境科学研究所年報, p. 141-150

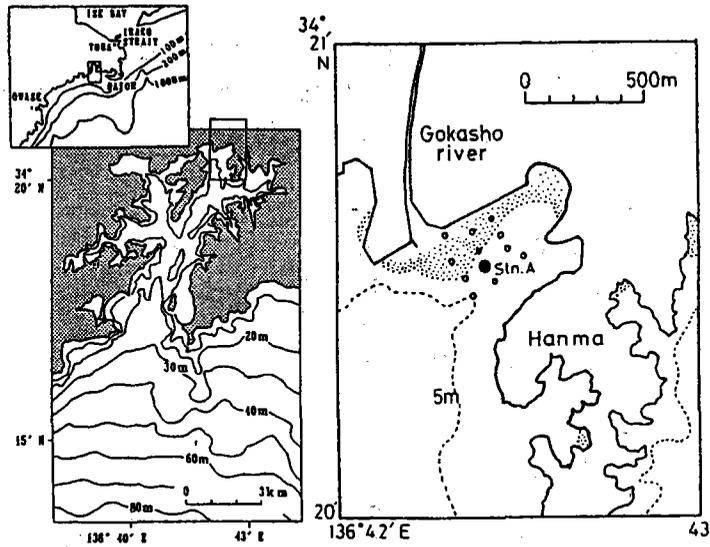


図1 五ヶ所湾（左図）および干潟（右図）。Sta. Aで水質の長期連続観測を行った。白丸は水深・塩分の分布調査点を示す。

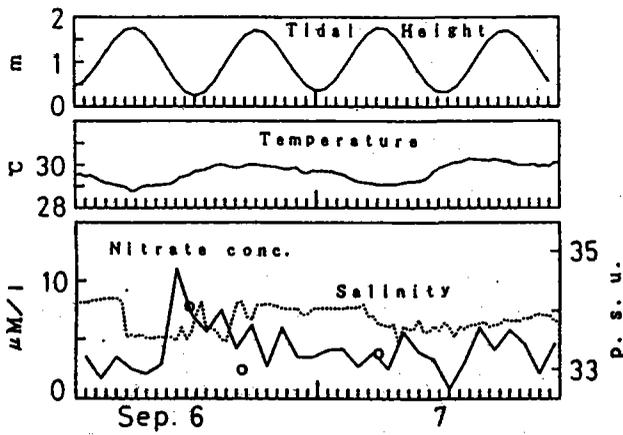


図2 観測点 (Sta. A) における予報潮位（上部）、水温（中部）、塩分（下部・点線）と硝酸塩濃度（下部・実線）。1994年8月6日～7日。下部の丸印は海水・分析して得られた硝酸塩濃度を示す。

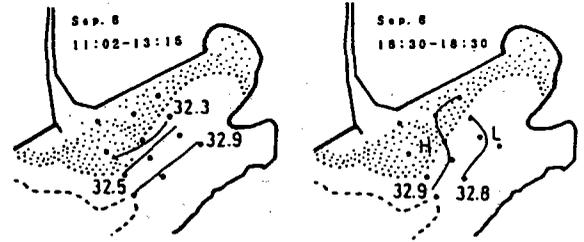
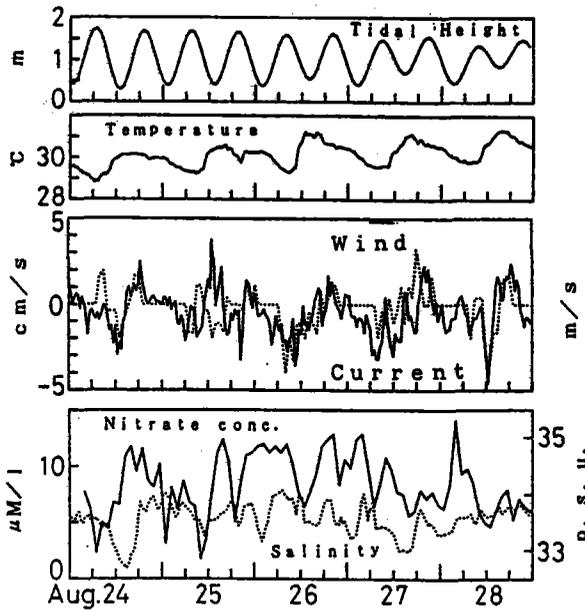


図3 干潟時（左図）および満潮時（右図）における潮位下0.5mの塩分分布 1994年9月6日（大潮時）。

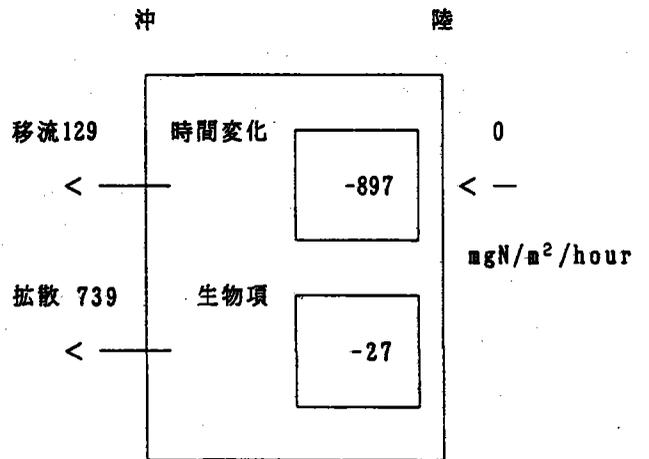


図5 DTN収支の一例(1994年10月25日11～15時)

図4 予報潮位、水温、流速および風速（湾軸方向）と塩分、硝酸塩濃度。1994年8月24日～28日。

表1. アサリの体成分の構成。アサリの全重を1000mgとしたときの値で示す。坂本(1986)を中心とし、伊藤・水本(1979, (2)と示す)、日本水産資源保護協会(1992, (3)と示す)の文献を参考とした。

全重 1000 (mg)	肉重	乾肉	有機物	タンパク質
	219.3	52.3	46.64	32.38
	250.0 (2)	48.8 (2)		
	殻内海水	水分	灰分	炭水化物
	307.2	167	5.66	11.6
	貝殻			脂質
	473.5			2.21
		乾肉	炭素量	
		52.3	乾肉 × 0.42904 (3)	
		48.8 (2)	21.5	
		32.1 (3)		
		水分	窒素量	
		167	乾肉 × 0.42904 / 3.62 (3)	
			5.9	

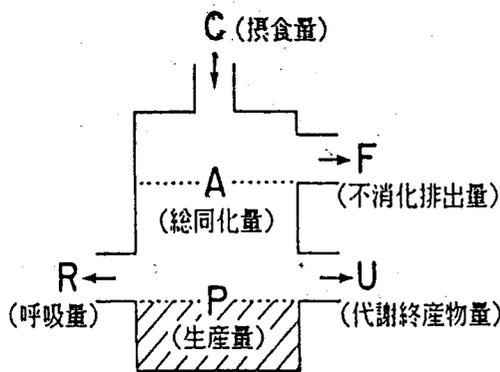


図6 生産に関する諸量間の関係 (Macfadyen, 1964; 川那部, 1969a; 小野, 1972を一部改変)

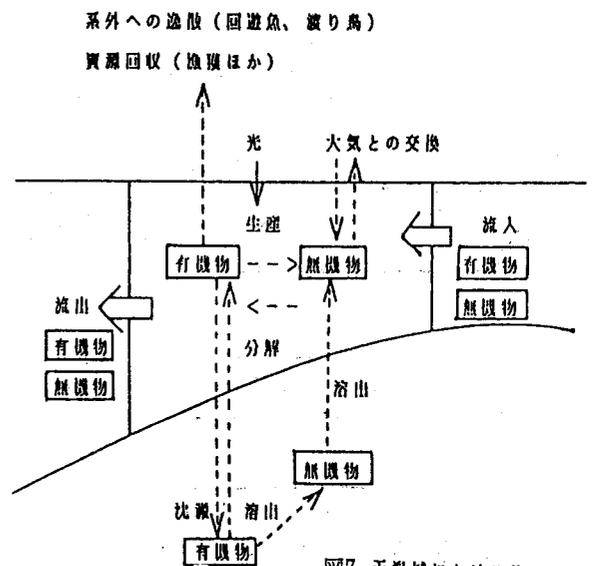


図7 干潟域における物質循環

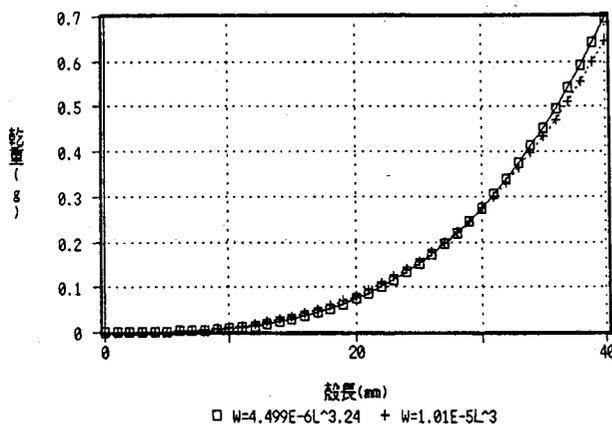


図8. 殻長と乾重の関係

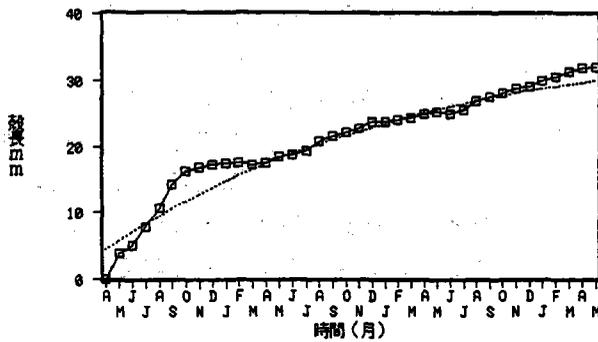


図9.アサリの成長 (Ohba, 1959)

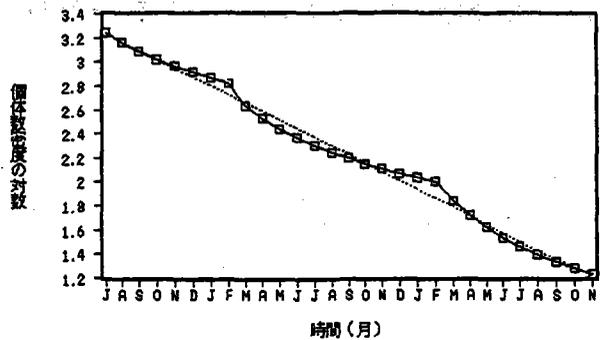
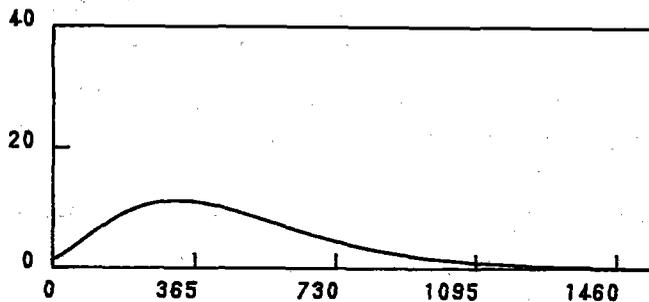


図10.アサリの個体数変動 (Ohba, 1959)



Y	WN	P	P+R
1	7.995	25.704	39.166
2	7.886	9.247	15.748
3	2.917	1.451	3.193

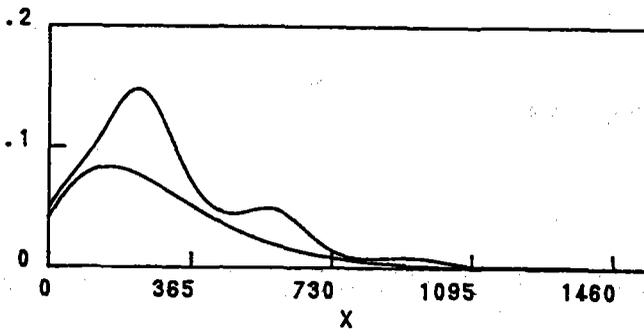


図11.アサリの現存量 (上図, gN/m²)

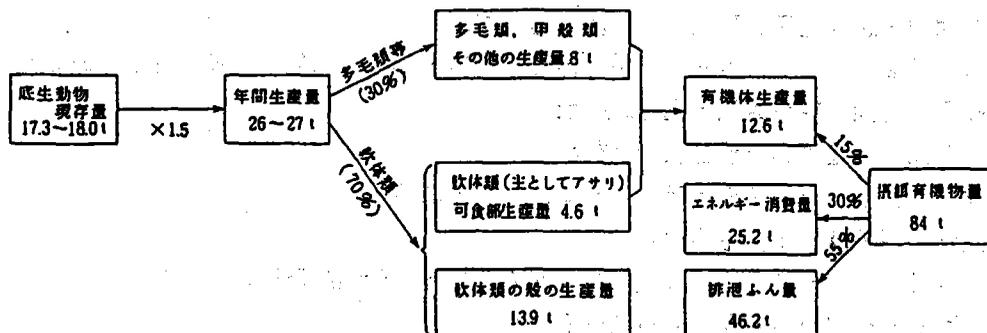
総浄化量および生産量 (下図, gN/m²/day)

表は1年間の平均現存量(WN, gN/m²),

総生産量(P), 総浄化量(P+R, gN/m²/year)

表2 浮遊幼生の着生増加をはかった沿整計画例に関する計算結果

	Nr 個 / 平方 m	生残率 l / 年	漁獲率 l / 年	水温 ℃	WN mgN/m ²	P/WN	(P+R)/WN
Ohba	3779	0.134	0.0	8~26	18.8	1.9	3.1
Y県	6550	0.141	0.7	8~28	58.2	1.3	1.9
F県	7200	0.191	0.9	8~28	148.7	1.2	1.8
S県	22500	0.060	0.9	8~28	143.3	1.7	2.4



(注) : 量は、いずれも湿重量である。

図12 葛西人工海浜の底生動物の現存量、年間生産量、摂餌有機物量の関係