

ホタテガイ附着稚貝の食物摂取について

武田 哲

東北大学理学部附属臨海実験所

陸奥湾産ホタテガイ *Patinopecten yessoensis* (JAY) は春期における海水温の急激な上昇により産卵が誘起され (Yamamoto:1953)、産卵された卵は海水中で受精・発生を行ない、孵化後浮遊幼生期を経て稚貝となる。稚貝はマメタワラ *Sargassum piluliferum* C. Agardh・ケウルシグサ *Desmarestia viridis* (Müller) Lamouroux 等の海藻類やハイドロゾアあるいは採苗器などに足糸を出して附着生活をし、その垂直分布は水深数メートルから数十メートルにも及ぶ。陸奥湾では7月下旬から8月下旬になると、稚貝は殻長1 cm程度に成長していて、附着足糸は退化し、生活型もそれまでの附着生活から底生生活へと移行する。

したがって、稚貝は通常夏期の高い水温条件下で成長を行なうことになり、附着場所あるいは附着深度によってはおよそ10℃から30℃までの広範囲の水温に曝されることが予想される (Tamura *et al.* 1984)。一般にホタテガイの成育適温範囲は5℃から23℃の間とされ、水温が23℃を超えると成育には適さないと考えられている (山本:1956)。それゆえ、附着期の稚貝の中には成育適温範囲を超えた高水温に曝されるものもあるはずであり、高水温が附着期稚貝にどのような影響を及ぼすかを知ることが、ホタテガイの成長を解析する上でも極めて重要であろう。

ところで、ホタテガイは懸濁物食者であり、プランクトンや懸濁物質などの食物を鰓と唇弁の繊毛によって海水中から濾別し、消化管に運搬し消化・吸収する。山本 (1956) は水温の変化量と鰓繊毛運動との関係について研究を行ない、稚貝 (殻長10~13mm) は成貝 (110~140mm) に比べ、水温変化に対して狭い適応能しか有しておらず、15℃の水温変化量においては鰓繊毛運動は停止すると報告している。ホタテガイを含む二枚貝類の鰓繊毛運動は呼吸および摂食活動に直接関与するものである。また摂食活動は個体の成長ひいては生命の維持とも密接に関わっており、温度と稚貝の食物摂取量との関係を知ることは重要であると思われる。

本研究は、附着生活期のホタテガイ稚貝の食物摂取機能に及ぼす高水温の影響を明らかにすることを目的とするもので、このためまず稚貝の食物摂取量と濾水量の測定方法を検討し、次いで高水温条件下における生残率と食物摂取量および呼吸量との関係を比較検討した。

本論に先立ち、材料の提供をして頂いた青森県水産増殖センターならびに有益な御助言を承った青森県水産増殖センターホタテガイ部の職員の方々、および東北大学理学部附属臨海実験所長内健治教授はじめ職員の方々に深く感謝申し上げる。また、研究費の一部は青森県よりの受託研究費を使用した。

材 料 と 方 法

材 料

実験に用いたホタテガイ稚貝は、青森県水産増殖センターより提供された1984年および1985年産の個体である。稚貝は水深2～3mの海中に釣り下げた採苗器より随時採集し、1日1回の海水交換を行ないながら室内(15℃～20℃)にて飼育し、実験に用いた。

生 残 率

稚貝の生残率の測定には、殻高がほぼ等しい大きさ(約7mm)の稚貝20個体と自然海水500mlを入れた1ℓの腰高シャーレを用いた。このシャーレを、それぞれ20・25・27℃および30℃の温度に設定した恒温器内に收容し、1日1回の海水交換を行なうとともに生残個体数を計数した。また、死亡個体は随時シャーレより除去した。

呼 吸 量

稚貝の呼吸量と温度との関係を知るために、15・20・25℃および27℃の水温条件下で稚貝の呼吸量を測定した。まず、グラスフィルター(ワットマン社製・タイプGF-C)で濾過した海水をそれぞれの実験温度に設定し、曝気を行ないながら酸素瓶に分注した。この際、稚貝(殻高約12.5mm)1個体を含む実験瓶と稚貝を含まない対照瓶とを設け、各々の設定温度・暗条件下で6時間静置した後、酸素瓶海水中の溶存酸素量をウィンクラー法により測定し、対照瓶海水中の溶存酸素量と実験瓶海水のそれとの差をもって稚貝の呼吸量とした。

飼料の大きさと食物捕捉量および濾水量

一般に、懸濁物を餌とする二枚貝類の食物捕捉量(糞ならびに擬糞を含む)と濾水量は飼料の大きさにより著しく変動することが知られている(Foster-Smith:1975, Mohlenberg & Riisgard:1978, Palmer & Williams:1980 など)。そこで、大きさの異なる3種類の飼料を用い、飼料の大きさとホタテガイ稚貝の食物捕捉量および濾水量との関係について検討した。

実験に用いた飼料は、墨粒子と緑藻の1種 *Chlorella* sp. および黄色鞭毛藻類の1種 *Pavlova lutheri* の3種類であり、その粒径分布は図1に示すとおりである。また、予め3種類の飼料濃度(乾燥重量 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$)と吸光度(日立、ダブルビーム分光光度計200-20型により測定)との関係式を求め、以下吸光度を測定することにより各々の乾燥重量を算出した。上記の3種類の飼料をプラスチ

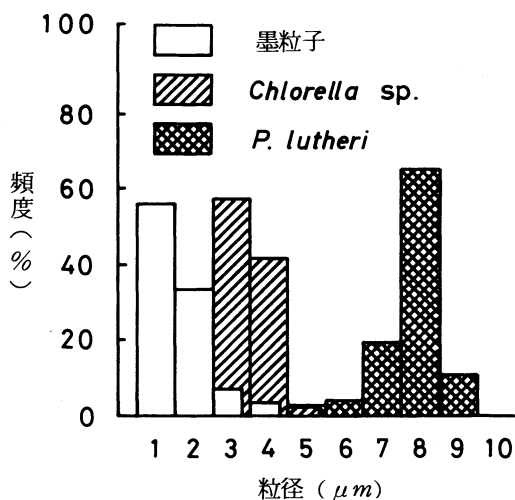


図1 3種類の飼料の粒径ごと頻度分布。
各々の平均粒径は次の通りである。

墨粒子	$1.15 \pm 0.14 \mu\text{m}$, n=114
<i>Chlorella</i> sp.	$3.15 \pm 0.07 \mu\text{m}$, n=114
<i>P. lutheri</i>	$7.41 \pm 0.14 \mu\text{m}$, n=106

ックセル (10mm×10mm×45mm) に 4 ml ずつ入れ、稚貝を 1 個体ずつ投入した実験セルと稚貝を含まない対照セルとを作製し、分光光度計中で吸光度を 20 分間測定した。実験終了後、対照セルと実験セルの吸光度の差をもって稚貝の食物捕捉量 (乾燥重量に換算) とした。また、濾水量は Coughlan (1969) の式に従い算出した。

$$F = \frac{V}{t} (\ln C_{\text{cont.}} - \ln C_{\text{exp.}})$$

F : 単位時間・1 個体当りの濾水量

V : 実験に用いた溶液の体積

t : 実験時間

C_{cont.} : 対照セル中の飼料濃度

C_{exp.} : 実験セル中の飼料濃度

さらに、黄色鞭毛藻類 *P. lutheri* を飼料として用い、上記の方法に従い飼料濃度と稚貝 (平均殻高 6.30±0.03mm) の食物捕捉量および濾水量との関係についても検討を加えた。

温度と食物捕捉量および濾水量

温度が稚貝の食物捕捉量および濾水量にどのような影響を及ぼすかを明らかにするために、墨粒子を飼料として以下の実験を行なった。この場合、*Chlorella* sp. や *P. lutheri* などの藻類は飼料として適さないと考えられる。すなわち、これらの藻類は長時間の実験時間内に分裂し、粒径分布ならびに濃度を大きく変化させることが予想されるからである。一方、墨粒子では上記のような現象は生じないと考えられる。まず、グラスフィルターで濾過した海水に墨粒子を懸濁させ、この懸濁液を内径 13mm・高さ 60mm のガラス管瓶に 5 ml ずつ入れ、稚貝を 1 個体含む実験瓶と稚貝を含まない対照瓶とを作製し、恒温・暗条件下に 6 時間放置した後、上述の方法に従い稚貝の食物捕捉量と濾水量とを求めた。

また、同様の方法で稚貝の個体密度と食物捕捉量との関係についても検討した。

結 果

生 残 率

温度とホタテガイ稚貝の生残率との関係を知るために、20°・25°・27℃および30℃の恒温条件下において稚貝の生残率の経日変化を調べた。その結果を図 2 に示す。20℃恒温条件では、実験開始後 10 日間は全ての稚貝が生存していたが、その後徐々に死亡・減少し、20 日後には半数が、28 日後には全ての個体が死亡した。一方、25℃恒温条件下における稚貝の死亡は実験開始後 2 日目よりはじまり、10 日後には全個体が死亡した。また、27℃では 5 日後に、30℃では 1 日後に全ての個体が死亡した。

以上のように、稚貝の生残率は温度環境により変化し、20°・25°・27°・30℃と温度が上昇するにつれて生残率の急激な減少が認められた。

呼 吸 量

二枚貝類における鰓の主要機能としては、食物捕捉および呼吸の 2 つがあげられる。ここでは

まず呼吸に着目し、温度条件により稚貝の呼吸量がどのように変化するかを調べた。その結果を図3に示す。

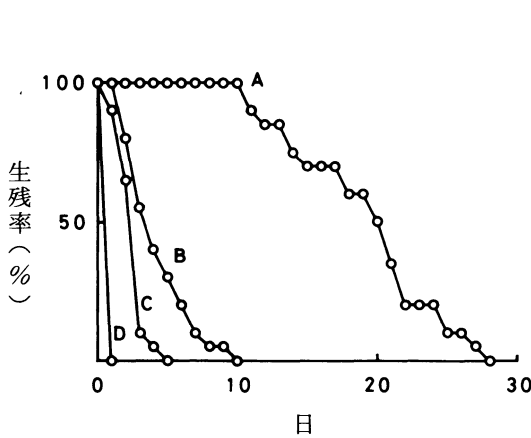


図2 稚貝の生存率の経日変化。稚貝の大きさ(殻高)は次の通りである。

A : 20°C $7.13 \pm 0.16 \text{ mm}$, $n=20$
 B : 25°C $6.93 \pm 0.17 \text{ mm}$, $n=20$
 C : 27°C $6.95 \pm 0.25 \text{ mm}$, $n=20$
 D : 30°C $6.81 \pm 0.11 \text{ mm}$, $n=20$

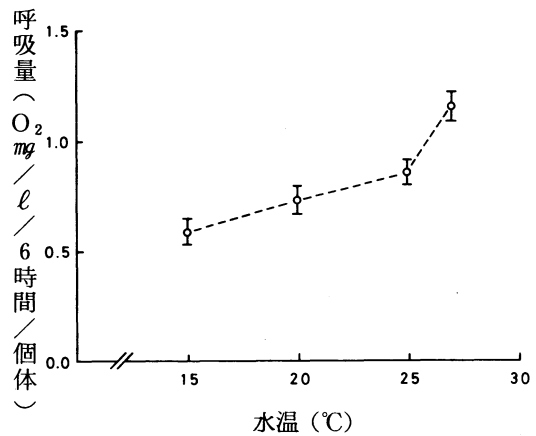


図3 呼吸量と水温との関係。稚貝の大きさ(殻高)は次の通りである。

15°C : $12.5 \pm 0.16 \text{ mm}$, $n=12$
 20°C : $12.5 \pm 0.17 \text{ mm}$, $n=12$
 25°C : $12.6 \pm 0.19 \text{ mm}$, $n=12$
 27°C : $12.7 \pm 0.09 \text{ mm}$, $n=12$

15°C・20°C・25°C・27°Cと水温が上昇するにつれて、稚貝の呼吸量も増大した。いま、水温上昇に伴う稚貝の呼吸量の増加率を比較すると、15°Cから20°Cの間では $0.248 \text{ O}_2 \text{ mg} \cdot \ell^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 6 \text{ 時間}^{-1} \cdot \text{個体}^{-1}$ 、20°Cから25°Cの間で $0.235 \text{ O}_2 \text{ mg} \cdot \ell^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 6 \text{ 時間}^{-1} \cdot \text{個体}^{-1}$ 、25°Cから27°Cの間で $0.672 \text{ O}_2 \text{ mg} \cdot \ell^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 6 \text{ 時間}^{-1} \cdot \text{個体}^{-1}$ となる。すなわち、15°Cから25°Cの温度範囲内における呼吸量の増加率はほぼ一定であった。一方、25°Cから27°Cに温度を上昇させた場合、稚貝の呼吸量の増加率はそれまでの約3倍の値となり、極めて高い増加を示すことが判明した。

飼料の大きさと食物捕捉量および濾水量

飼料の大きさと稚貝の食物捕捉量および濾水量との関係を表1に示す。表1と図1とを見てわかるとおり、平均粒径が $1.1 \mu\text{m}$ の墨粒子と $3.1 \mu\text{m}$ の *Chlorella* sp. とを飼料として用いた場合に得られた稚貝の食物捕捉量ならびに濾水量の値はほぼ等しかった。一方、平均粒径が $7.4 \mu\text{m}$ の *P. lut heri* を用いた場合の捕捉量および濾水量は、前両者のほぼ10倍に達した。すなわち、ホタテガイ稚貝においては粒径 $3 \mu\text{m}$ 以下の大きさの飼料は粒径 $7 \mu\text{m}$ 以上の飼料と比べ、捕捉される割合が極めて低下することが明らかになった。

飼料濃度と食物捕捉量および濾水量

次に、墨粒子や *Chlorella* sp. に比べ稚貝による捕捉量の大きい *P. lutheri* を飼料として、飼料濃度と稚貝の食物捕捉量ならびに濾水量との関係を調べた（図4）。図4より、稚貝の食物捕捉量は飼料濃度に依存して増加することが明らかとなった。この場合、飼料濃度が高くなるにつれて、殻の外に排出される擬糞の量も増大することが観察された。以上の事実は、稚貝によって捕捉された *P. lutheri* のすべてが食物として利用されているのではないことを示すものである。

表1 3種類の飼料と食物捕捉量および濾水量との関係

飼料	墨粒子	<i>Chlorella</i> sp.	<i>P. lutheri</i>
実験例数	11	12	12
殻高 (mm)	6.33 ± 0.10	6.28 ± 0.10	6.35 ± 0.10
水温 (°C)	20.14 ± 0.10	20.61 ± 0.12	20.20 ± 0.07
照度 (Lux)	102.3 ± 4.4	227.9 ± 33.6	125.5 ± 33.3
飼料濃度 ($\text{mg} \cdot \ell^{-1}$)	13.63 ± 0.21	14.24 ± 0.25	13.59 ± 0.76
食物捕捉量 ($\text{mg} \cdot 20\text{分}^{-1} \cdot \text{個体}^{-1}$)	$2.51 \times 10^{-3} \pm 5.78 \times 10^{-4}$	$1.41 \times 10^{-3} \pm 5.69 \times 10^{-4}$	$1.87 \times 10^{-2} \pm 2.50 \times 10^{-3}$
濾水量 ($\text{ml} \cdot 20\text{分}^{-1} \cdot \text{個体}^{-1}$)	0.19 ± 0.04	0.10 ± 0.04	1.72 ± 0.31

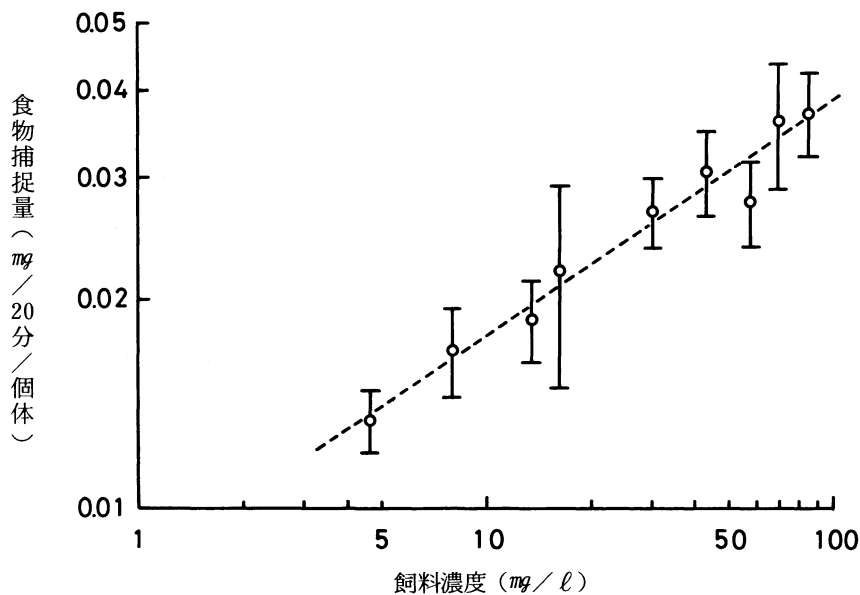


図4 食物捕捉量 (Y) と飼料濃度 (X) との関係。

関係式は次の通りである。

$$Y = 8.177 \times 10^{-3} \cdot X^{0.337}, n = 9, r = 0.982$$

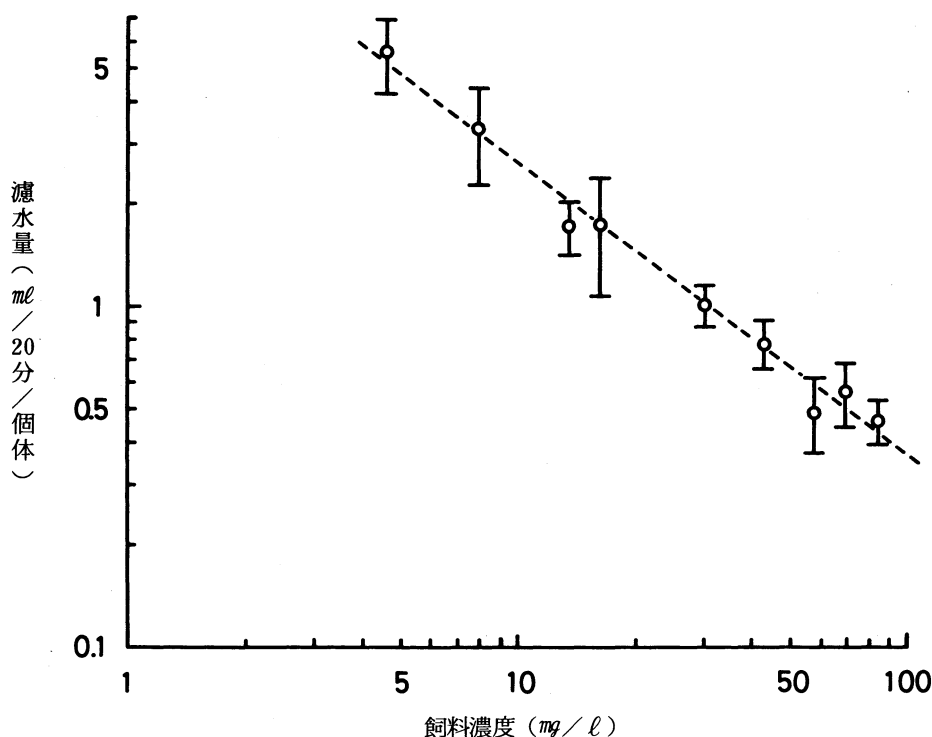


図5 濾水量 (Y) と飼料濃度 (X) との関係。

関係式は次の通りである。

$$Y = 19.282 \cdot X^{-0.861}, n = 9, r = 0.992$$

一方、*P. lutheri* の濃度が $4.7 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ から $84.9 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ と高くなるにつれて、稚貝の濾水量は $5.6 \text{ ml} \cdot 20 \text{ 分}^{-1} \cdot \text{個体}^{-1}$ から $0.5 \text{ ml} \cdot 20 \text{ 分}^{-1} \cdot \text{個体}^{-1}$ と急激に減少し (図5)、稚貝の濾水量は飼料濃度により規定されていることがわかった。以上の結果より、この実験で用いた *P. lutheri* の最低の濃度よりも低い濃度条件下で濾水量を測定した場合には、この実験で得られた最大の濾水量よりも高い値の濾水量が得られることが期待され、稚貝の濾水能力はこの実験で得られた最大の値よりもさらに高いものと思われた。

温度と食物捕捉量

墨粒子を飼料として用い、温度と稚貝の食物捕捉量との関係を調べた。本実験に先立ち、墨粒子の濃度を $15.7 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ 、 $30.5 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ および $54.8 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ に調整し、 20°C ・暗条件下において墨粒子の濃度と稚貝の食物捕捉量および濾水量を測定した (図6と図7)。これら3段階の濃度の懸濁液中では、稚貝による擬糞の形成は認められなかった。したがって、対照管中の墨粒子量から実験管中の墨粒子量を差し引いた量と等しい量の墨粒子が稚貝の消化管内に取り込まれたものと考えられ、この場合には食物摂取量と見なすことができる。

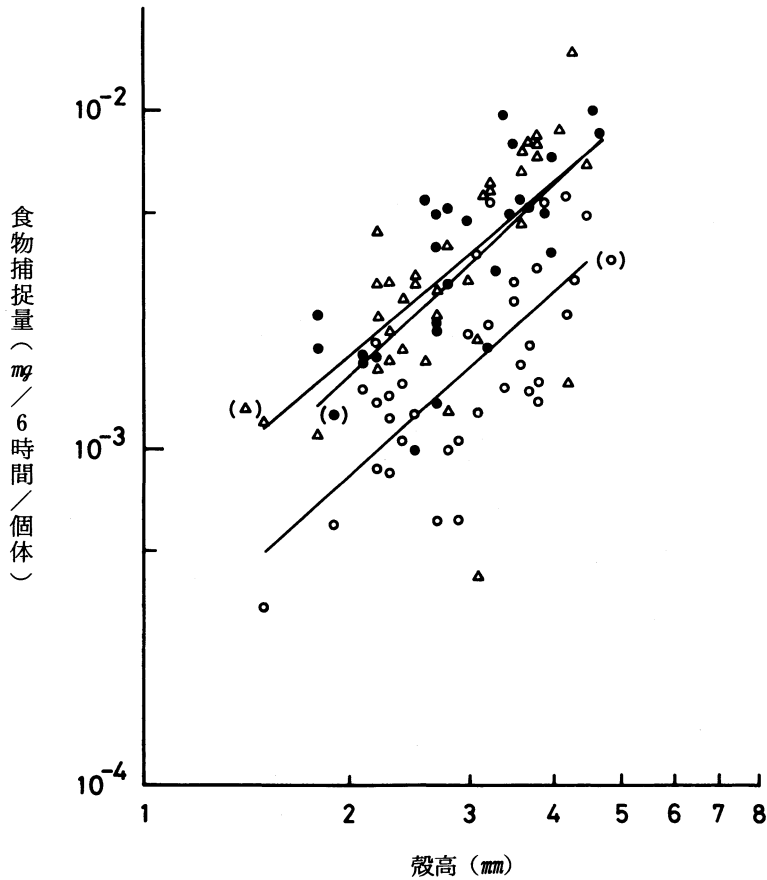


図6 殻高の大きさ(X)と墨粒子摂取量(Y)との関係。3段階

の墨粒子懸濁濃度下における各関係式は次の通りである。

- : $15.7 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ $Y = 2.307 \times 10^{-4} \cdot X^{1.827}$, $n=35$, $r=0.718$, $P<0.01$
 △ : $30.5 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ $Y = 4.376 \times 10^{-4} \cdot X^{1.895}$, $n=36$, $r=0.642$, $P<0.01$
 ● : $54.8 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ $Y = 5.627 \times 10^{-4} \cdot X^{1.729}$, $n=27$, $r=0.714$, $P<0.01$

図6に、3段階の飼料濃度下における稚貝の殻高の大きさと墨粒子摂取量との関係を示す。3段階のいずれの濃度条件下でも、殻高が増すにつれて稚貝の墨粒子摂取量は増大した。そこで、稚貝の墨粒子摂取量(Y)を殻高(X)で回帰すると、3段階いずれの濃度においても両者の間には統計学的に有意な相関関係(危険率 $P<0.01$)が認められた。したがって、これらの回帰直線はそれぞれの濃度条件下における稚貝の殻高の大きさと墨粒子摂取量との一般的な関係を表すものと考えられる。墨粒子の濃度が $30.5 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ および $54.8 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ の場合、等しい殻高を持つ稚貝の墨粒子摂取量はほぼ等しく、 $15.7 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ の濃度では前両者のほぼ半分であった。

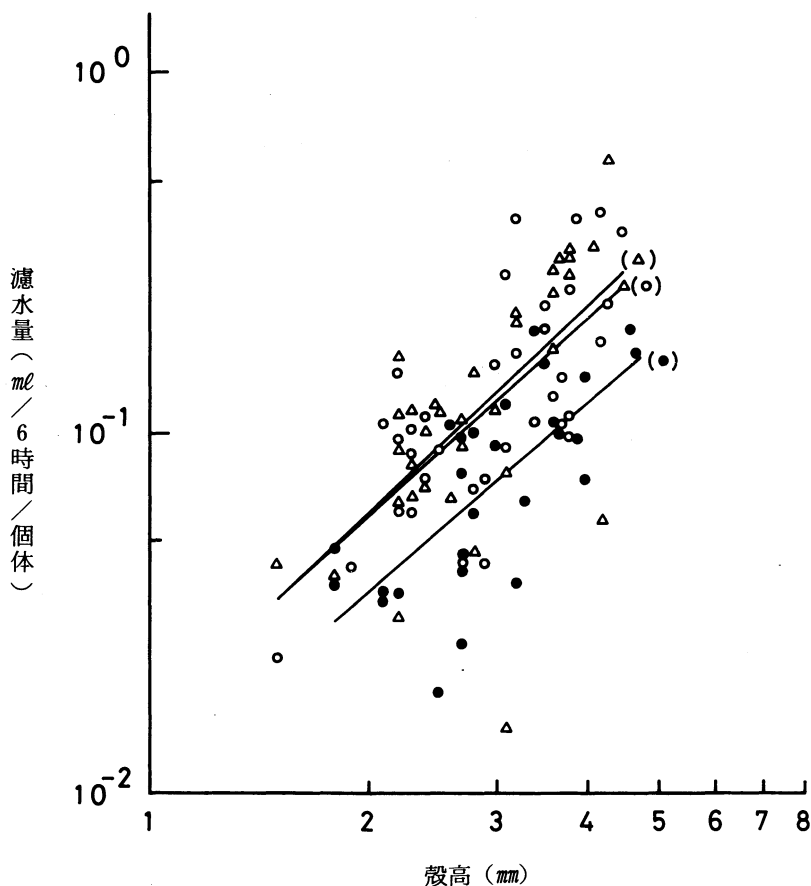


図7 殻高の大きさ(X)と濾水量(Y)との関係。3段階の

墨粒子懸濁濃度下における各関係式は次の通りである。

$$\begin{aligned} \bigcirc : 15.7 \text{ mg} \cdot \ell^{-1} \quad Y &= 0.01605 \cdot X^{1.852}, n=35, r=0.718, P<0.01 \\ \triangle : 30.5 \text{ mg} \cdot \ell^{-1} \quad Y &= 0.01559 \cdot X^{1.927}, n=36, r=0.644, P<0.01 \\ \bullet : 54.8 \text{ mg} \cdot \ell^{-1} \quad Y &= 0.01072 \cdot X^{1.744}, n=27, r=0.714, P<0.01 \end{aligned}$$

図7に、20℃・暗条件下における稚貝の殻高の大きさと濾水量との関係を示すが、殻高が増すにつれて濾水量も増大した。また、墨粒子濃度と濾水量との関係を見ると、15.7mg・ℓ⁻¹と30.5mg・ℓ⁻¹の濃度条件下における稚貝の濾水量はほぼ等しく、54.8mg・ℓ⁻¹では前両者のおよそ半分であった。以上の結果は、*P. lutheri*を飼料として用いた場合に得られた結果(図4と図5)とは符合しない。

次に、15°・20°・25℃および27℃の恒温条件下で2日間飼育し、それぞれの温度に順応させた稚貝を用い、各々の温度条件下で墨粒子の摂取量を測定した(図8)。いずれの場合にも、殻高の大きさと摂取量との間には有意な正の相関関係(危険率P<0.01)が認められた。したがって、この結果を用いて温度と稚貝の墨粒子摂取量との関係を論ずることは妥当であると考えられる。

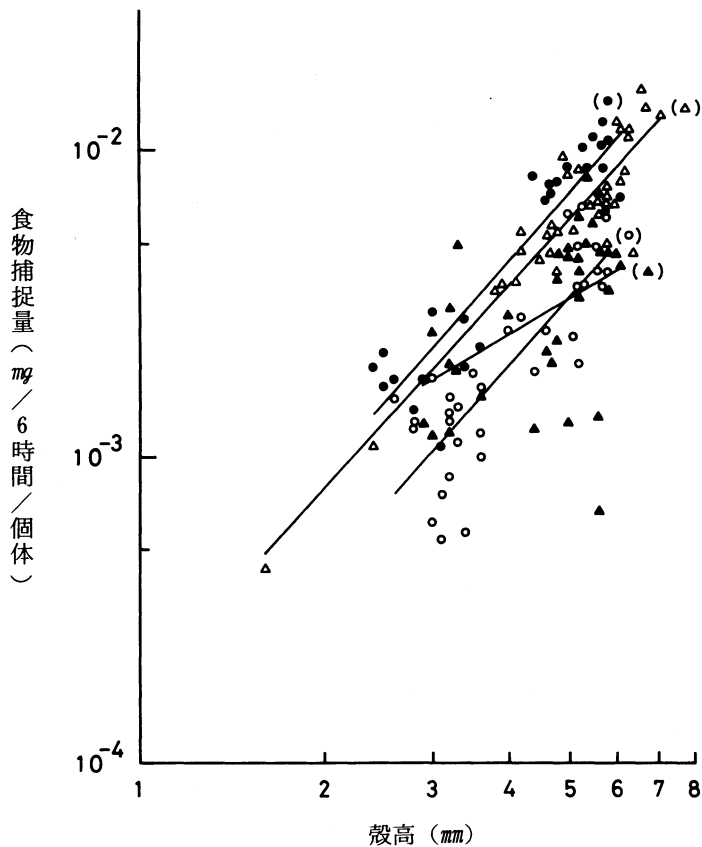


図8 殻高の大きさ(X)と墨粒子摂取量(Y)との関係。

各実験温度条件下における各関係式は次の通りである。

- : 15°C $Y = 8.804 \times 10^{-5} \cdot X^{2.250}$, $n = 34$, $r = 0.831$, $P < 0.01$
 △ : 20°C $Y = 1.742 \times 10^{-4} \cdot X^{2.187}$, $n = 35$, $r = 0.925$, $P < 0.01$
 ● : 25°C $Y = 1.869 \times 10^{-4} \cdot X^{2.277}$, $n = 26$, $r = 0.919$, $P < 0.01$
 ▲ : 27°C $Y = 4.817 \times 10^{-4} \cdot X^{1.189}$, $n = 35$, $r = 0.458$, $P < 0.01$

特に15°・20°・25°Cにおける回帰直線の傾きはほぼ等しいので、稚貝の殻高の大きさごとに摂取量を比較せずに、これらの回帰直線を直接比較することによって、温度と摂取量の一般的な関係を検討することができる。図8を見てわかるように、15°Cから25°Cの温度範囲内では温度の上昇にともない稚貝の墨粒子摂取量も増大することが明らかとなった。

一方、27°C恒温条件下における稚貝の殻高の大きさと墨粒子摂取量との間の相関係数 r の値、ならびに回帰直線の傾きの値は、他の温度条件下で得られた値よりかなり小さい。特に、殻高が4 mm以上の個体においては、20°Cおよび25°Cの温度条件と比べ摂取量の著しく低下した個体が多数認められた。これらの個体が相関係数 r の値ならびに回帰直線の傾きの値を低下させ、さらに全体としての摂取量の減少を引き起こしていると考えられる。

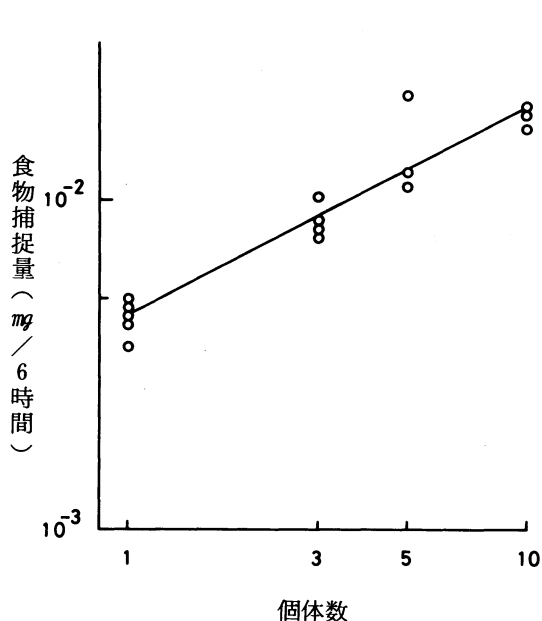


図9 個体数(X)と墨粒子摂取量(Y)との関係。関係式は次の通りである。

$$Y = 4.463 \times 10^{-3} \cdot X^{0.6322}$$

$n=15, r=0.957, P<0.01$

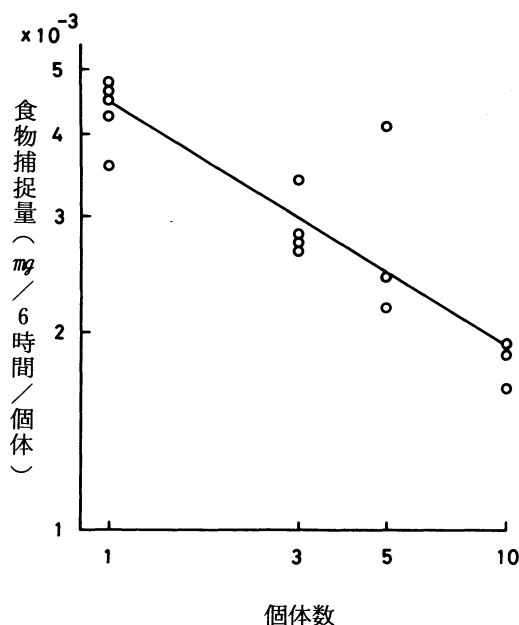


図10 個体数(X)と1個体当りの墨粒子摂取量(Y)との関係。関係式は次の通りである。

$$Y = 4.463 \times 10^{-3} \cdot X^{-0.3678}$$

$n=15, r=0.886, P<0.01$

個体密度と食物捕捉量

また、稚貝の個体密度と食物捕捉量との関係を知るために、 $30.4 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ の濃度に調整した墨粒子懸濁液 5 ml に稚貝(殻高 $2.94 \pm 0.07 \text{ mm}$)を1・3・5・10個体ずつ投入し、 20°C 暗条件下において墨粒子摂取量を測定した。

図9には個体数と摂取量との関係が、また図10には個体数と1個体当りの摂取量との関係が示されている。稚貝の個体数の増加にともない墨粒子摂取量も増大したが(図9)、1個体当りの墨粒子摂取量は密度が増大するにつれて減少するという結果が得られた(図10)。

考 察

飼料の大きさと食物捕捉量および濾水量

ホタテガイが属する擬弁鰓類は、食物である懸濁物を含む海水を鰓域に流し込み、鰓繊毛の間隙を通過せずに繊毛上に残った粒子を繊毛運動により口器へ運搬し、消化管内に取り込む(Owen & McCrae: 1976)。さらに、Owen & McCrae (1976)は擬弁鰓類に属する *Chlamys varia* (イタヤガイ科の1種)の鰓繊毛を観察し、その間隙はおよそ $6 \sim 7 \mu\text{m}$ であると報告している。

ところで、擬弁鰓類においては、飼料の大きさと食物捕捉量との関係について多くの研究がなされており、粒径が $6 \sim 7 \mu m$ 以下の飼料を用いた場合の捕捉率は、粒径が $6 \sim 7 \mu m$ 以上の飼料を用いた場合に比べ著しく低下するので、 $6 \sim 7 \mu m$ 以下の飼料は鰓繊維毛で捕捉されずに、繊維毛間隙を通過すると考えられている (Mohlenberg & Riisgard : 1978, Palmer & Williams : 1980 など)。しかしながら、これらの研究に用いられた個体は比較的大きく、幼稚貝時における食物の捕捉機構あるいは鰓繊維毛の配列間隔に関する研究はない。

ここでは、粒径が異なる 3 種類の飼料を用い、ホタテガイ附着稚貝における飼料の大きさに起因する食物捕捉機構について検討を加えた。墨粒子および *Chlorella* sp. を飼料として用いた場合、稚貝の食物捕捉量は等しく、*P. lutheri* を用いた場合には前両者のほぼ 10 倍であった (表 1)。これら飼料の粒径分布を見ると (図 1)、墨粒子では $2 \mu m$ 以下のものが全体の 90% を占め、*Chlorella* sp. では $3 \sim 4 \mu m$ のものが約 60%、 $4 \sim 5 \mu m$ のものが 40% であった。以上の結果を包括して考えると、大きさ $5 \mu m$ 以下の粒子は大きさに関わらずほとんど捕捉されていないことがわかる。仮に、ホタテガイにおける食物捕捉が主に鰓繊維毛によって行なわれるとするならば、上記の結果は稚貝時における鰓繊維毛の間隙は少なくとも $5 \mu m$ 以上であることを示している。

また、 $7 \mu m$ よりも大きい粒径をもつ粒子が全体の 90% 以上を占める *P. lutheri* (図 1) を用いた場合に得られた捕捉量は、墨粒子や *Chlorella* sp. を用いた場合に比べ極めて高かった (表 1)。特に、 $4.7 mg \cdot \ell^{-1}$ という低濃度条件下で稚貝の捕捉量を測定した場合、その捕捉効率は最高で 94% にも達し (図 4)、ほとんど全ての *P. lutheri* が捕捉されることがわかった。以上の結果は、粒径が $7 \mu m$ よりも大きい粒子のほとんど全てが稚貝の鰓繊維毛で濾別されていることを示すものであり、稚貝の鰓繊維毛間隙は $7 \mu m$ 以下であることを示唆するものである。

以上のように、ホタテガイの附着稚貝時における鰓繊維毛間隙は $5 \mu m$ から $7 \mu m$ の間にあると推定され、この値は Palmer & Williams (1980) などの結論とも符合するものである。

次に飼料の大きさと稚貝の濾水量との関係を調べた (表 1)。墨粒子および *Chlorella* sp. を飼料として用いた場合に算出された濾水量の値は、*P. lutheri* を用いた場合の約 10% になった。これら 3 種類の飼料のうち墨粒子と *Chlorella* sp. の大きさは、鰓繊維毛間隙よりも小さいと考えられ、多量の粒子が鰓繊維毛により捕捉されずに鰓域を通過していると推考される。すなわち、鰓繊維毛により捕捉される墨粒子と *Chlorella* sp. は *P. lutheri* に比べ著しく少なく、そのため算出された濾水量も激減したと考えられる。したがって、*P. lutheri* を飼料として用いた場合に得られた濾水量の値がより実際の値に近いと思われる。

飼料濃度と食物捕捉量

粒径の異なる墨粒子と *P. lutheri* を用い、飼料濃度と稚貝の食物捕捉量との関係を調べた (図 4 と図 6)。墨粒子を用いた場合、濃度が $30 mg \cdot \ell^{-1}$ 以上になっても捕捉量は一定の値を示し、飽和状態を呈した。一方、*P. lutheri* においては稚貝の捕捉量は濃度依存的に増大した。もし、ホタテガイが飼料である懸濁物を含む海水を鰓域に送り込み、鰓繊維毛上に残った粒子のみを捕捉しているのならば、飼料として墨粒子を用いた場合にも、濃度に依存して捕捉量は増大しなければならない。しかしながら、 $30 mg \cdot \ell^{-1}$ 以上の墨粒子の濃度においては、稚貝の捕捉量は

飽和状態に達している、上述の仮定とは適合しない。すなわち、墨粒子を飼料として用いた場合には、鰓纖毛上に機会的に残った粒子のみが捕捉されていると考えることは難しい。

また、Foster - Smith (1975) と Williams *et al.* (1984) は懸濁物の濃度と二枚貝の捕捉量との関係を調べ、懸濁物の濃度を高くした場合、二枚貝は懸濁物を粘液で附着させ擬糞として排出すると報告している。本報告においても *P. lutheri* の濃度が $30 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ 以上になった場合、多量の擬糞が観察され、上述の結果と一致した。しかし、墨粒子の場合には、 $30 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ 以上の濃度になっても擬糞の形成は認められなかった。以上のように、飼料濃度と捕捉量および擬糞形成に関しては、墨粒子と *P. lutheri* を用いた場合には対照的な結果が得られた。

上記の結果は、粒径の大きさと捕捉量との関係とも合わせて考えると、極めて興味深い現象であり、二枚貝類の食物捕捉機構および擬糞形成機構のより詳細な検討が望まれる。

温度と食物捕捉量

二枚貝の鰓における主要機能は、呼吸と食物摂取の2つである。 $15^{\circ} \cdot 20^{\circ} \cdot 25^{\circ} \cdot 27^{\circ}\text{C}$ 恒温条件下におけるホタテガイ稚貝の呼吸量と食物摂取量との関係を見ると (図3と図8)、 15°C から 25°C の温度範囲内では温度上昇にともない両者とも増大した。 15°C から 25°C の温度範囲内における呼吸量の増加は、稚貝の消費エネルギー量が増大していることを示すものであり、また食物摂取量の増加は摂取エネルギー量を増加させていることを示すものである。すなわち、呼吸量の増大に伴う消費エネルギー量の増加分を食物摂取量を増大させることによって補充していると考えることができる。もしそのように考えるのならば、生育適温範囲を超す 25°C の温度条件下においても、鰓の機能には異常が生じていないと推考される。

さらに、温度条件を 25°C から 27°C に上昇させると、呼吸量はそれまでの約3倍の増加率を示し、食物摂取量は反対に減少した。この傾向は殻高 4 mm 以上の稚貝で顕著に認められた。以上の結果は、 27°C 恒温条件下においては、呼吸量と食物摂取量との間の均衡が崩れたことを示すものであり、稚貝の鰓機能に恒常性の失調が生じたものと考えられる。

また、図2において、生育適温範囲内である 20°C の恒温条件下でも、飼育28日目には全ての稚貝が死亡した。これは、飼育に供した自然海水中に含まれる飼料が不足しており、そのために稚貝は栄養失調をきたし、餓死したものと思われる。いま、稚貝の死亡が体内のエネルギー源の消費・欠乏により誘発されたものと仮定すると、生残率は単位時間内における消費エネルギー量、すなわち呼吸量により規定されと考えられる。 $20^{\circ} \cdot 25^{\circ} \cdot 27^{\circ}\text{C}$ における稚貝の呼吸量は、それぞれ $0.729 \text{ O}_2 \text{ mg} \cdot \ell^{-1} \cdot 6 \text{ 時間}^{-1} \cdot \text{個体}^{-1}$, $0.856 \text{ O}_2 \text{ mg} \cdot \ell^{-1} \cdot 6 \text{ 時間}^{-1} \cdot \text{個体}^{-1}$, $1.151 \text{ O}_2 \text{ mg} \cdot \ell^{-1} \cdot 6 \text{ 時間}^{-1} \cdot \text{個体}^{-1}$ であり、温度上昇に伴い増加した。しかしながら、 25°C および 27°C 恒温条件下における稚貝の生残率の急激な低下は、上述の呼吸量の緩やかな増加率からは説明できず、他の原因を考えなければならないであろう。

個体密度と食物摂取量

一般に、採苗器に附着するホタテガイの稚貝はおびただしい数にのぼるので、個体密度と食物摂取量との関係を知ることは重要であると思われる。図9には、稚貝の個体密度と墨粒子摂取量との関係が示してあるが、個体密度が高くなるにつれて稚貝に摂取される墨粒子量も増加することがわかった。したがって、この実験で用いた $30.4 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ の濃度の墨粒子懸濁液 5 ml は、10個

体の稚貝が6時間で摂取する量に対し、充分量の墨粒子を含んでいると考えられた。

一方、図10には1個体当りの墨粒子摂取量と個体密度との関係が示されているが、5 mlの懸濁液に3個体以上の稚貝を投入した場合、1個体当りの摂取量は個体密度が増加するにつれて減少した。

以上の結果は、3個体・5 ml⁻¹以上の個体密度においては、摂食に関する密度効果が存在することを示唆するものである。このような密度効果を誘発する要因としては、大別して1) 稚貝より排泄される代謝産物等の化学的要因、2) 稚貝の呼吸あるいは食物摂取行動に附随して生じる水の乱流等の物理的要因、の2つが考えられる。

さらに、密度効果によって引き起こされる1個体当りの食物摂取量の減少は、稚貝の生存および成長とも密接に関わり、ひいてはホタテガイの養殖事業にも大きな影響を及ぼすものと思われる。それゆえ、密度効果の機構ならびに個体密度と個体成長との関係を解明することは、今後の大きな課題となろう。

要 約

1. 附着期のホタテガイ稚貝に墨粒子・*Chlorella* sp.・*P. lutheri* の3種類の飼料を与え、飼料の大きさと稚貝の食物捕捉量および濾水量との関係を調べた。平均粒径1.15 μmの墨粒子と3.15 μmの*Chlorella* sp.を用いた場合に得られた捕捉量の値は、*P. lutheri* (平均粒径7.41 μm)を用いた場合の約1/10になった。
2. 次に、墨粒子と*P. lutheri*を用い、飼料濃度と稚貝の捕捉量および濾水量との関係を調べた。*P. lutheri*を用いた場合、捕捉量は濃度に依存して増大したが、濾水量は反対に減少した。
また墨粒子を用いた場合、濃度が30 mg・ℓ⁻¹に達するまでは稚貝の摂取量は増大したが、それ以上の濃度では飽和状態を呈し一定であった。以上のように、飼料の大きさによりホタテガイ稚貝の食物捕捉の挙動は異なった。
3. さらに、附着期のホタテガイ稚貝に及ぼす高水温の影響を明らかにするために、いくつかの温度条件下において、稚貝の生残率と呼吸量および食物捕捉量を測定し、考察を加えた。
4. 20°・25°・27℃および30℃の恒温条件下で稚貝の生残率を経日的に観察した。その結果、温度の上昇にともない稚貝の生残率は急激に低下することがわかった。
5. また、15°・20°・25℃および27℃の温度条件下における稚貝の呼吸量は、温度の上昇にともない増大した。特に、25℃から27℃に温度を上がった場合、その増加率は著しく高くなった。
6. 15°・20°・25℃および27℃の恒温条件下で2日間飼育し順応させた稚貝を用い、各々の温度条件下で食物摂取量を測定した。15℃・20℃・25℃と温度が上昇するにつれ稚貝の食物摂取量も増大したが、27℃では減少した。
7. また、稚貝の個体密度を変え、1個体当りの食物摂取量を測定した。密度が3個体・5 ml⁻¹よりも高くなるにつれ、1個体当りの食物摂取量は減少し、密度効果が生じることが示唆された。

引用文献

- Coughlan, J., 1969. The estimation of filtration rate from the clearance of suspensions. *Mar. Biol.*, 2 : 356-358.
- Foste-Smith, R. L., 1975. The effect of concentration of suspension on the filtration rates and pseudofaecal production for *Mytilus edulis* L., *Cerastoderma edule* (L.) and *Venerupis pullastra* (Montagu). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 17 : 1-22.
- Mohlenberg, F. & H. U. Riisgard, 1978. Efficiency of particle retention in 13 species of suspension feeding bivalves. *Ophelia*, 17 : 239-246.
- Owen, G. & J. M. McCrae, 1976. Further studies on latero-frontal tracts of bivalves. *Proc. R. Soc. Ser. B*, 194 : 527-544.
- Palmer, R. E., & L. G. Williams, 1980. Effect of particle concentration on filtration efficiency of the bay scallop *Argopecten irradians* and the oyster *Crassostrea virginica*. *Ophelia*, 19 : 163-174.
- Tamura, S., M. Washio, K. Kyozuka, M. Tsuchiya & S. Hirai, 1984. Oceanographical conditions observed at definite station off Asamushi during January, 1983-April, 1984. *Bull. Mar. Biol. stn. Asamushi, Tohoku Univ.*, 17 : 227.
- William, E. R., E. W. William & M. P. Morse, 1984. The effect of suspended clay on feeding and digestive efficiency of the surf clam, *Spisula solidissima* (Dillwyu). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 74 : 1-12.
- Yamamoto, G., 1953. Ecology of the scallop, *Pecten yessonsis* JAY. *Sci. Rep. Tohoku Univ. (Biol.)*, 20 : 11-32.
- 山本護太郎, 1956. 種々の成長段階の帆立貝の環境に対する抵抗性について. 特に鰓纖毛運動に対する懸濁浮泥、酸素欠乏などの影響. 日生態会誌, 5 : 172-175.