

4 漁場環境試験

(1) 人工生態系機能高度化技術開発試験

人工干潟造成技術開発試験 人工藻場造成技術開発試験 造成基質開発試験

鈴木輝明・本田是人・家田喜一・青山裕晃

キーワード；干潟造成，藻場造成，アマモ，アサリ，付着生物

目的

大規模開発事業による漁場の喪失や漁場価値の低下に対し、本県海域全体の生産力を維持向上させるためには、富栄養化により悪化した環境を回復させることが必要である。本事業は栄養物質除去のため、高い水質浄化能力を持つ、人工干潟、人工藻場の造成技術を開発することを目的とする。

本年度はエコシステム実験棟に設置した平面水槽及び回流水槽を使用し、(1)地盤高の相違による底生生物群集構造の変化把握、(2)アマモの生育に関する光条件の把握、(3)流れに対する地盤の安定性とアサリ生育との関連、について実験を行った。

材料及び方法

(1) 地盤高の相違による底生生物群集の構造変化

干潟メソコズムに中央粒径 $\phi 0.19\text{mm}$ の砂を入れ、砂面を基本水準面 0cm 、 $+0.3\text{m}$ 、 $+0.6\text{m}$ の三段階に設定し、2001年5月9日から9月5日まで水産試験場地先150m沖合の取水口から取水した生海水を導入し実験を行った。潮汐は蒲郡予測潮位ファイル（海上保安庁水路部）を用いて実時間で再現した。流速は、満ち引きの最強流時に最大 25cm s^{-1} とし、潮止まり時（最満干潮時）には 0cm s^{-1} となるよう設定した。潮位が基本水準面 $+0.1\text{m}$ 以下になったときには風速 5m s^{-1} の風を吹かせ、泥温の異常上昇を防止した。底生生物は人為的な移植を行わず、導入海水による自然加入に任せた。メソコズムの天井はガラスで覆われており、自然光が入射するため、光量及び水温の制御は行わなかった。底質分析項目は有機態炭素、有機態窒素、クロロフィルa、フェオフィチンで、底生生物分析項目はバクテリア、メイオベントス、マクロベントスである。マクロベントスは食性別に分類し、窒素現存量に換算した。

(2) アマモの生育に関する光条件の把握

太陽の日出から日没に至る正弦曲線を描きながら変化する光環境を、人工的に再現出来る回流水槽を用いて生育実験を行なった。光条件は年間で最も光環境の悪化する時期を想定して、アマモが生育可能な下限の光環境を求めるためにアマモ幼体、成体について数段階設定した。

① アマモ幼体（実生株）生育実験及び光合成速度測定実験

アマモ幼体を三谷地先のアマモ場から採取後、回流水槽実験装置に10株程度ずつ、実験バット（約 $29\times 41\text{cm}$ 、深さ約 6.5cm ）に収容し、数段階の光環境のもとで約20日間育成管理し、幼体の歩留まり、生育状況（草丈、湿重量）の変化から幼体の生育に必要な光環境を検討した。

太陽南中時の光量子束密度及び日積算光量子束密度を以下の値となるように設定した。

A : $300\ \mu\text{E m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ （日積算 約 $5.5\ \text{E m}^{-2}\ \text{day}^{-1}$ ）

B : $200\ \mu\text{E m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ （" 約 $3.7\ \text{E m}^{-2}\ \text{day}^{-1}$ ）

C : $100\ \mu\text{E m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ （" 約 $1.8\ \text{E m}^{-2}\ \text{day}^{-1}$ ）

各光量子束密度の光環境下で生育中のアマモについて、実験終了時に光合成速度（単位時間当たり酸素発生量）をプロダクトメーターによって測定し、光合成-光曲線を描いた。この光合成速度の測定実験は三重大学生物生産学部前川教授の協力によって行われた。

測定試料は $100\sim 300\ \mu\text{E m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ の光環境下で生育した実生株を2株ずつ取り上げ（草丈 $8.8\text{cm}\sim 12.4\text{cm}$ ）、以下に示す各光量子束密度の光を照射して、酸素発生量をそれぞれ10分間測定し、得られた光合成速度から、光合成-光曲線を作成し、各生育条件下（光量子束密度 $0, 12.5, 25, 50, 100, 200, 400, 800\ \mu\text{E m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ ）による違いを把握した。

② アマモ成体(栄養株)生育実験及び光合成速度測定実験

アマモの成体(草丈75~105cm)を三谷地先の天然藻場から採取し、回流水槽実験装置に収容し、下記の光条件でアマモ栄養株3株について、光合成速度を測定した。

光量子束密度: 0, 50, 100, 200, 300($\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

(3) 流れに対する地盤の安定性とアサリ生育との関連

アサリは波浪により砂上に放出されることで活力を失い、衰弱・死に至ることが報告されている。従って造成場所の選定には、当該する場所の底質と波浪条件を考慮する必要がある。そこで、砂の浸食とアサリの死亡との関係を明らかにするための砂上放出実験と放出回数と衰弱との関係を明らかにするための放出回数実験を行った。

供試個体は常滑市小鈴谷地先で採集したアサリ(殻長24.1±2.2mm)とし、活力の高い夏季(7月)と活力が低下する冬季(1月)に実験を行った。

① 砂上放出実験

回流水槽に4種類の砂を入れた縦100cm×横30cm×深さ10cmの容器を設置し、そこにアサリ100個体を潜砂させ実験を開始した。実験時の水温は夏季が22~23℃であり、冬季が7~8℃であった。試験区は中央粒径が細かい順にA区(中央粒径0.17mm)、B区(中央粒径0.30mm)、C区(中央粒径0.65mm)、D区(中央粒径0.85mm)とした。流速は30, 40, 50, 60, 70, 80 cm s^{-1} の6段階としたが、粒径が細かいA区とB区では流速40 cm s^{-1} でわずかに浸食がみられたため、45 cm s^{-1} も加えた7段階とした。流れは一方向流とし、30分継続した。流速が1段階終了するごとに、流下方向に10cm間隔ごとの砂の浸食深とアサリの放出個体数を測定し、残ったアサリが全て潜砂したことを確認し、流速を上昇した。

② 放出回数実験

実験は砂上への放出回数と衰弱との関係を明らかにするために実施した。流水式の1.5t水槽の中で、30×40cmの砂を敷いたバットにアサリ30個体を潜砂させ、人為的に掘り出して砂の中から放出させた。放出回数は1日当たり0回, 1回, 3回, 5回, 7回の5ケースとした。実験中の水温は夏季が24~27℃, 冬季が6~7℃であった。実験は5日間継続し、放出後の潜砂や衰弱の状況を観測した。なお、実験終了後6日間は回復試験として通常の飼育を継続し、その後の状況を観察した。また、実験に供したアサリはグリコーゲン量と肥満度を測定した。

結果及び考察

(1) 地盤高の相違による底生生物群集構造の変化把握

図1に9月5日時点の各測定項目の結果を示す。有機態炭素・窒素は地盤高が最も高いDL+0.6mがやや高いが、それほど顕著な差は見られなかった。クロロフィルa、フェオフィチンはDL+0.3m, DL+0.6m, の順に高く、DL 0mが最も低かった。光合成色素は主として付着性藻類に由来していると推測されるが、地盤高の順にはなっていないことから、干出しないよりも干出する方がより現存量は増すが、干出時間が多すぎると現存量は減少するような傾向を示すことが示唆された。バクテリアも光合成色素と同様な傾向にあり、DL+0.3mが最も高く、それよりも地盤高が高くて、低くても現存量は低下する傾向にあった。メイオベントスはバクテリアや光合成色素量とは逆に地盤高の最も低いDL 0mで現存量が高く、他は殆ど同じ傾向にあった。このことはメイオベントスの付着藻類やバクテリアに対する摂食圧による可能性も考えられる。マクロベントスの内、優占したのは表層堆積物食者(SD)であり、地盤高の最も高いDL+0.6mで最も高く、DL+0.3m, DL 0mの順に少なくなった。主な種類はコケゴカイであった。ろ過食性者(SF)はDL+0.3mのみに出現した。腐食者(S)及び下層堆積物食者(SSD)の出現は少なく、最も地盤高の低いDL0mにのみ出現した。今回の結果だけからは地盤高の相違による底生生物群集の構造変化の特徴を整理することはできず、より長期の継続実験や、代表種の強制加入実験も必要となろう。干出時間の最も少ないDL 0mにろ過食性者や表層堆積物食者が少ないという結果は、現場観測とはやや異なっており、今後注視する必要がある。

(2) アマモの生育に関する光条件の把握

① アマモ幼体(実生株)

アマモの生育実験開始時から終了時の湿重量、草丈の変化、光合成速度をそれぞれ図2-(1)、2-(2)、2-(3)に示した。湿重量、草丈ともに100 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ では、開始時に比べ終了時には減少していた。200, 300 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ では湿重量、草丈ともに終了時には増加しているが300 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の方が増加量は多かった。光合成速度は100, 200, 300 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ともにほとんど差がなかった。したがって、100 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ では、草体を維持することは可能であるが、生長はみられない光環境であると判断される。そこで、実際に藻場造成を考慮した場合に、生長がみられない光環境下では藻場を維持することは不可能であろうと考えられる。したがって、本実験結果からいえることは最低200 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (日積算光量子約3.7 $\text{E m}^{-2} \text{day}^{-1}$)の光量子束密度が必要と考えられる。

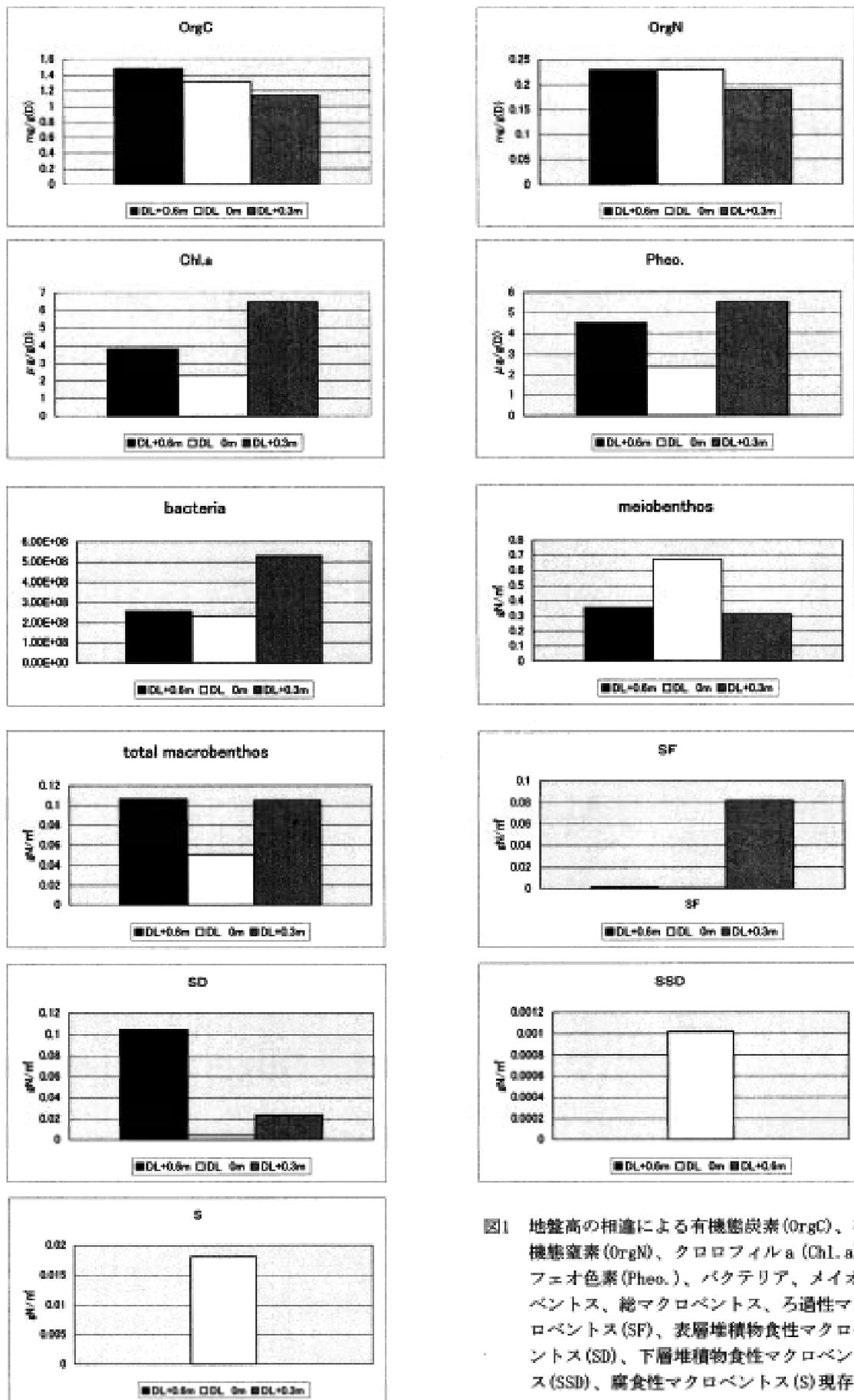


図1 地盤高の相違による有機態炭素 (OrgC)、有機態窒素 (OrgN)、クロロフィル a (Chl. a)、フェオ色素 (Pheo.)、バクテリア、メイオベントス、総マクロベントス、ろ過性マクロベントス (SF)、表層堆積物食性マクロベントス (SD)、下層堆積物食性マクロベントス (SSD)、腐食性マクロベントス (S) 現存量
 左 : DL+0.6m 中 : DL 0m 右 : DL+0.3m

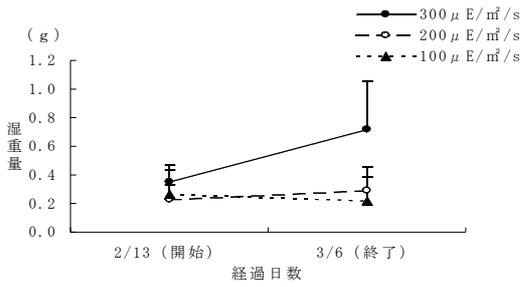


図2-(1) アマモ幼体の湿重量の変化

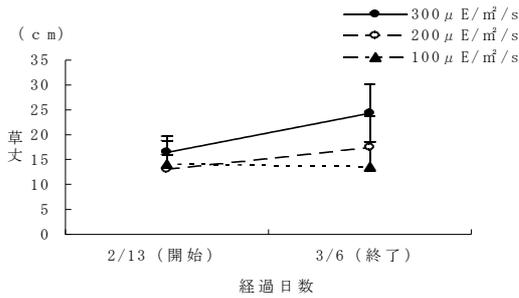


図2-(2) アマモ幼体の草丈の変化

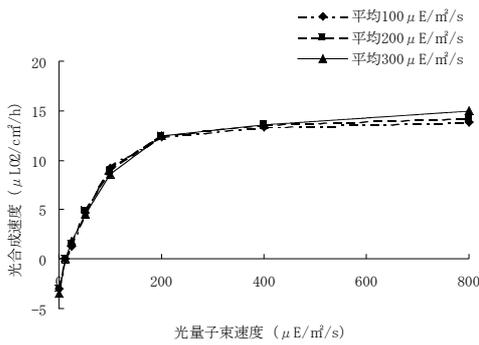


図2-(3) アマモ幼体(実生株)の光合成速度

② アマモ成体 (栄養株)

6月に天然の藻場から採取した栄養株について、酸素発生速度を求めた結果を図2-(4)に示した。これは3株について酸素発生速度を求めた結果を集計したものである。これによれば、200~300 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ でおおよそ飽和に達していることがうかがえる。しかし、この時期アマモ場は最大繁茂期を過ぎやや衰退の時期にさしかかっている。酸素発生速度と呼吸のバランスをみると、0 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ における呼吸量は300 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 時の酸素発生速度を越えている。つまり、夜間の呼吸量が昼間の酸素発生速度を越えていることを意味し、藻場が衰退の時期にさしかかっていることが実験結果から反映されている。

しかし、光条件は200~300 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ でおおよそ飽和に達しており、この程度の光量子束密度が(日積算光量子約3.7~ 5.5 $\text{E m}^{-2} \text{day}^{-1}$) あれば、光条件は必要量

を満足しているものと考えられる。本実験結果から、幼体では200 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、成体では200~300 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 必要と考えられる。そこで、アマモ場を造成する場合に、ピーク時に200~300 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (日積算光量子約3.7~ 5.5 $\text{E m}^{-2} \text{day}^{-1}$) の光量子束密度が確保される水深帯よりも浅い水深帯を選択する必要がある。

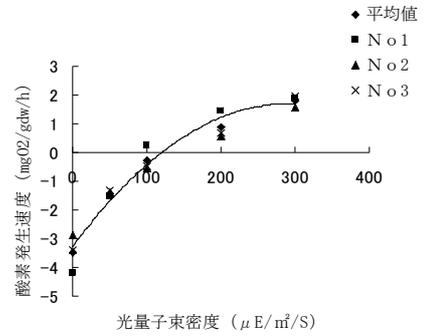


図2-(4) アマモ成体(栄養株)の光合成速度

しかし、これらの実験結果は、幼体(2月)と、成体(6月末)とで確認されたものであり、分枝期(10~1月)や、生長期(3~5月)でどのような光条件が必要かを確認する必要があるものと考えられる。特に、成体について今回の実験結果は、生活史の中でアマモ場が衰退傾向を示し始める時期のものであり、それを実験結果が反映していることがわかった。

今後は、生活史の中で分枝期や成長期にアマモが求める光環境を測定し、それが満足される水深帯を求める必要があると考えられる。

(3) 流れに対する地盤の安定性とアサリ生育との関連

① 砂上放出実験

実験で使用した4試験区の粒度組成を図3-(1)に示した。A区は0.25mm未満の細かな砂であり、B区では0.25mm以上の砂が中心であった。C区とD区では0.425mm以上の砂が中心であったが、D区では2.0mm以上の粗い砂も含まれていた。

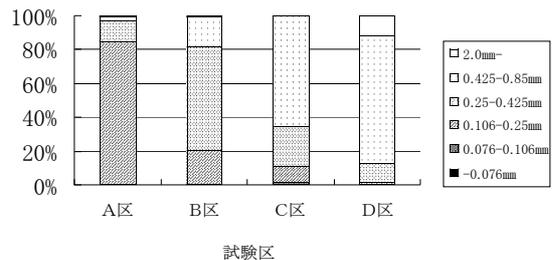


図3-(1) 各試験区の粒度組成

アサリの放出は、砂の浸食に対しアサリの潜砂速度が追従できない場合に砂中から放出される。各試験区におけるアサリ潜砂速度と砂の浸食速度を表1に示した。なお、潜砂速度はアサリが潜砂行動を開始した時間からアサリが砂に埋没するまでの時間とし、殻長をそれで除した値とした。また、最大浸食速度は砂上放出実験で得られた最大浸食深を流速持続時間で除して求めた。

潜砂速度は夏季が 0.96mm s^{-1} 、冬季が 0.015mm s^{-1} であり、夏季の潜砂速度が速かった。最大浸食速度は 0.019mm s^{-1} であり、潜砂速度と比べると、夏季は潜砂速度が上回っていたが、冬季は浸食速度が上回っていた。

各試験区をみると、夏季の潜砂速度はA区が 0.115mm s^{-1} で最も速く、B区が 0.066mm s^{-1} で最も遅かったが、各試験区とも潜砂速度が浸食速度を上回っていた。冬季はA区では潜砂速度が浸食速度を唯一上回っていたが、B区、C区、D区では浸食速度が上回っていた。

表1 各試験区におけるアサリ潜砂速度と砂の浸食速度

試験区	平均殻長 (mm)		肥満度※		潜砂時間 (s)		潜砂速度 (mm/s)		最大浸食速度 (mm/s)
	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	
A	25.3	26.3	17.3	11.6	220	1488	0.115	0.018	0.016
B	23.0	25.3	16.0	11.0	350	2271	0.066	0.011	0.022
C	24.9	26.9	15.0	10.4	223	1537	0.112	0.018	0.023
D	24.5	25.4	16.1	9.9	273	1796	0.090	0.014	0.016
平均	24.4	26.0	16.1	10.7	267	1773	0.096	0.015	0.019

供試個体数は各試験区10個体

$$\text{※ 肥満度} = \frac{\text{軟体部重量(g)}}{(\text{殻長mm} \times \text{殻高mm} \times \text{殻幅mm})} \times 100$$

表2に冬季における流速とアサリ放出の関係を示した。アサリの放出は、潜砂速度が浸食速度を上回っていたA区が4個体で最も少なく、B区とC区が9個体、D区が13個体であった。以上のように、砂の浸食に対するアサリの放出は、砂の浸食速度とアサリの潜砂速度が関係しており、粒径が最も小さいA区が砂からの放出確率が低いことが推測された。

表2 各試験区における流速とアサリ放出の関係

試験区	流速 (cm/s)								計
	30	40	45	50	60	70	80		
A	0	0	0	0	2	0	2	4	
B	0	0	0	0	0	6	3	9	
C	0	0	—	0	0	5	4	9	
D	0	0	—	0	0	9	4	13	

② 放出回数実験

非潜砂個体は、夏季では放出回数7回の試験区で回復試験時に1個体みられたのみであった。冬季は放出回数0回以外でみられ、放出回数が多いほど非潜砂個体は多

く、試験の経過と共に増加した。また、回復試験にはいり、非潜砂個体は一旦減少するが、その後は放出回数0回を含め、次第に増加した(図3-(2))。

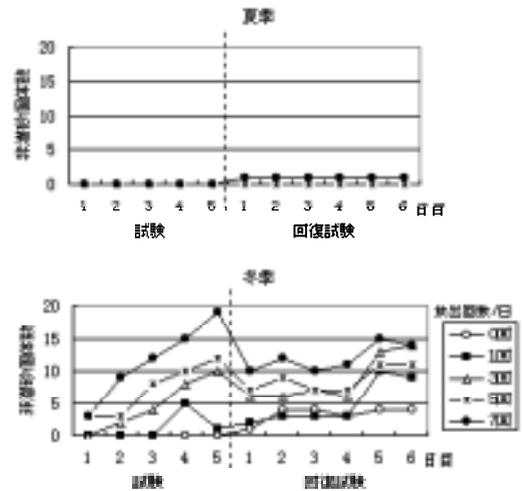


図3-(2) 各試験区における非潜砂個体の推移

以上のように、アサリは夏季には放出の影響をほとんど受けないが、冬季には放出回数が多くなるほど、非潜砂個体も増加した。

今回の結果から、アサリは、潜砂できない状況におかれるとストレスを受け、いずれは、衰弱・へい死すると思われ、冬季に砂上へ放出されたアサリは生産には結びつかない状況となっていると推察された。今回の実験では、放出回数実験の供試個体を個体識別して、潜砂個体と非潜砂個体のグリコーゲン量と肥満度を測定した。放出回数ごとの夏季と冬季のグリコーゲン量と肥満度の値を図3-(3)に示した。

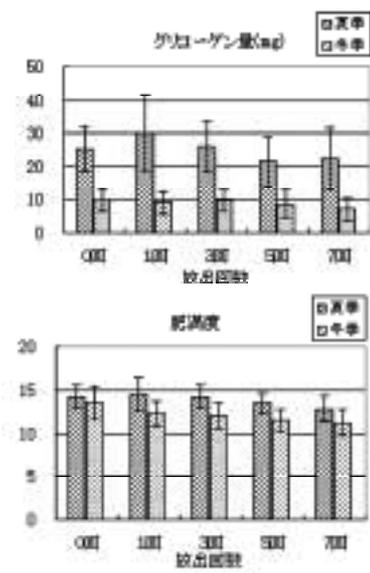


図3-(3) 放出回数ごとの夏季と冬季におけるグリコーゲン量と肥満度

グリコーゲン量、肥満度ともに夏季が冬季より高い傾向を示した。また、放出回数別にみても、グリコーゲン量、肥満度ともに放出回数が増えるほど減少する傾向がみられた。

次に、冬季の放出回数実験でみられた潜砂個体と非潜砂個体のグリコーゲン量と肥満度を図3-4に示した。

潜砂個体と非潜砂個体のグリコーゲン量と肥満度は、ともに非潜砂個体が低い値を示し、アサリは活力低下によって潜砂できない状況になっていたことが推察される。

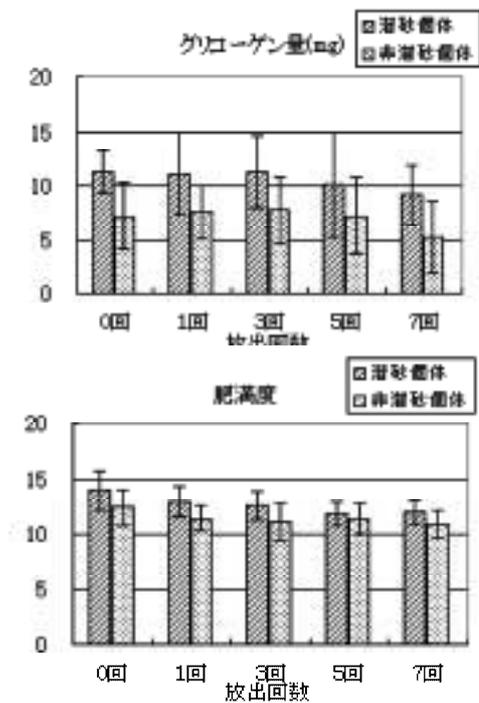


図3-4) 放出回数ごとの冬季の潜砂個体、非潜砂個体のグリコーゲン含量と肥満度