

日本海沿岸におけるクルマエビ種苗放流 技術開発のための基礎的研究

安 永 義 暢¹⁾

Basic Studies on Predation and Consumption of Prawn Seedlings (*Penaeus japonicus*) after being seeded into the Sea

YOSHINOBU YASUNAGA

Abstract

The fundamental character of predation of prawn seedlings was investigated by using eight kinds of fish in tanks. The weight of seedlings eaten by the fish was about 150 grams per fish kilogram per day on average. However, the burrowing behaviour of the seedlings into the sand had a decreasing effect of about 30% on average, and 50% at maximum the predation by the fish.

The fish ate about 85% of the day's predation amount of prawn seedlings in the first 12 hours and the remaining 15% in the next 12 hours after feeding began.

Secondly, the amount prawn seedlings' food requirements after being seeded into the sea was investigated. The food consumption of seedlings (B. L 15-60 mm) increased with water temperature and decreased with growth on the whole. The maximum amount of food consumption per seedlings weight gram per day was 1.02 grams (B. L 15-20 mm) and the minimum value was 0.422 grams (B. L 50-60 mm) at 26°C.

The O₂ consumption in seedlings' size group and the total amount of food necessary for growth from B. L 15 mm to B. L 60 mm were also studied in addition to the above mentioned problems.

本州日本海沿岸におけるクルマエビの種苗生産および放流事業は年々規模が拡大し、53年度において生産量 5,067万尾、放流量 6,246万尾に達している。海岸線の長さの問題はあるがこの量は日本海ブロックでのクルマエビ種苗生産、放流事業が先進ブロックの水準に近づきつつあることを示している。また、事業施設の増加に伴い、今後とも拡大傾向の続くことが予想される。

こうした種苗生産、放流両面での発展に平行して関連技術領域の問題、具体的には中間育成技術、効果判定方法の確立などが求められるものと考えられる。本研究はこうした観点に立ち、日本海ブロックにおけるクルマエビ放流事業をより効果的にするために重要な技術要因で

¹⁾ 〒951 新潟市水道町1丁目5939-22 日本海区水産研究所
(Japan Sea Regional Fisheries Research Laboratory, Suido-cho 1 chome, Niigata 951, Japan)

ある放流初期の生残率の向上，改善に資することを目的として行なわれた。

課題はクルマエビ種苗の潜砂および摂餌生態，食害魚による捕食生態，餌料要求量の3点をとりあげ，過去の知見を基礎にしつつ，室内実験によつて検討を加えた。

材料および方法

新潟市地先産の親エビより常法によつて生産した体長10～60mmのクルマエビ種苗（以降単に種苗と略す）を材料として下記の各種実験を実施した。

1. 種苗の潜砂および摂餌生態について

小型アクリル水槽を用い，種苗の潜砂習性を砂を入れた水槽での飼育経歴の有無，成長サイズでの変化，照度，餌料の有無，経日変化，摂餌周期，等との関連で調べた。

2. 食害魚の種苗捕食生態について

種苗放流モデル水域周辺で採集された飼育下で種苗捕食が確認された8種の魚類を用い，水槽実験によつて各魚種の種苗捕食の特徴，共通の傾向，等について調べた。

3. 種苗の餌料要求について

種苗各サイズの標準代謝量および摂餌量を測定し，さらにその結果を基礎として放流以後の蛋白必要量の試算を各種モデルケースを設定して行つた。

実験経過および結果

1. 種苗の潜砂および摂餌生態について

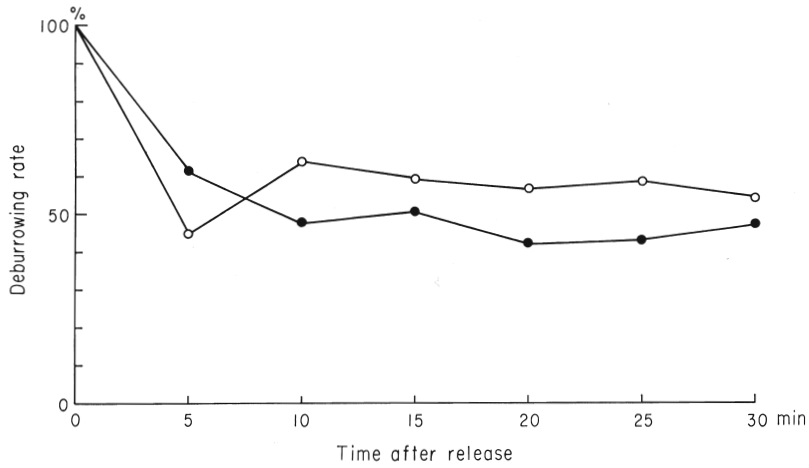
標準放流サイズである体長10～15mmの種苗の潜砂生態を下記の点に関して調査した。

(1) 潜砂率，非潜砂率の経時変化について。

60ℓのアクリル水槽の底に3～5cmの厚さに砂（粒径0.5mm未満）をしいて種苗を投入，経時的に潜砂率を測定した。材料の種苗は着底後5～10日間砂をしいた水槽で飼育した群と砂をしかない水槽で飼育した群の2群を用意して比較した。潜砂率（%）は（投入尾数－非潜砂尾数）/投入尾数，で表示，同様に非潜砂率（%）は非潜砂尾数/投入尾数，で表示した。非潜砂尾数は肉眼的に種苗の体の一部か全部が砂中または砂上に認められる個体数をさす。また，投入尾数は測定の難度の点から1回当たり50尾を限度とした。水槽は1時間当たり60ℓ程度の流水としたが，30分から1時間程度の予備実験ではこの流水量での水槽と止水での水槽との間に潜砂率の有意差は認められなかつた。

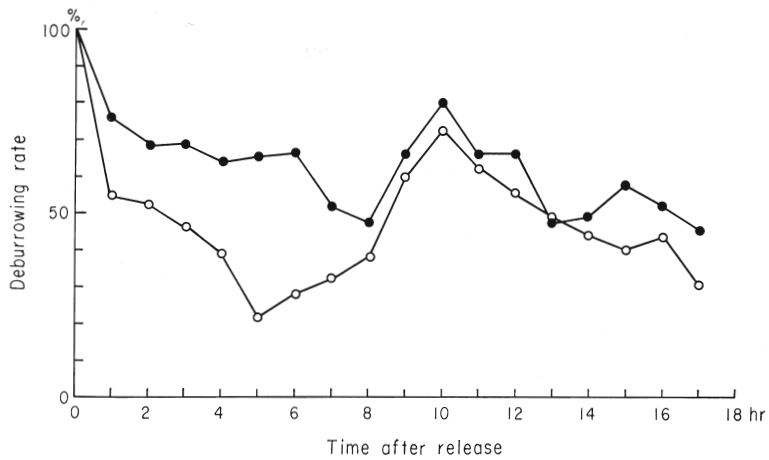
まず，種苗を投入した後30分間の非潜砂率の変化を5分ごとに測定した（第1図）。有砂飼育群，無砂飼育群ともに5分後には50%前後に低下，以降多少の増減はあるがほぼこれに近い値が続いた。検定は行っていないが多少有砂飼育群の値が低い程度で両群間に大差は認められない。測定回数を1時間に3～4回として平均値を経時的にプロットし，さらに長時間にわたつて非潜砂率を追うと20～80%の幅で変化が認められた。変化の幅は無砂飼育群の方がやや大きく20～80%，有砂飼育群では50～80%であつた（第2図）。

以上は無投餌状態での測定であつたが，投餌した場合の投餌後の非潜砂率変化を測定してみた。種苗は投餌前日に水槽に投入，餌料は配合飼料を使用した。投餌直前の非潜砂率は無砂飼育群，有砂飼育群とも約44%であつた。投餌5分後には前者で58%，後方で68%と14～24%上昇するが10分後には前者で42%，後方で55%と一時減少する。20分後には両群とも再上昇するが，上昇の幅は有砂飼育群が72%，無砂飼育群が46%と前者の方が大きい。以後両群とも投餌



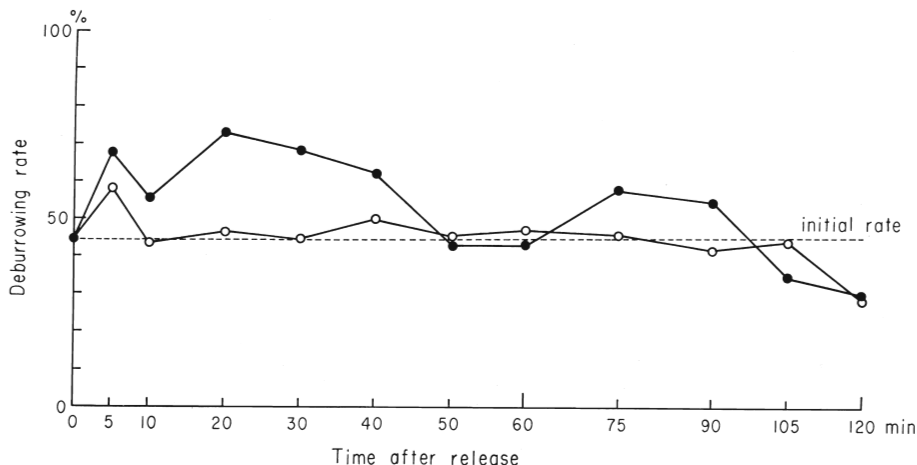
第1図 クルマエビ種苗 (B.L 10~15mm) の水槽投入後30分間の非潜砂率変化 (無投餌状態). 黒丸, 白丸の説明は第2図に同じ. 水温 24~26°C.

Fig. 1 Changes in deburrowing rate of prawn seedling (B.L 10-15 mm) in the first 30 minutes after release into the tank (unfed condition). Water temp. 24-26°C. Other explanation same as in Fig. 2.



第2図 クルマエビ種苗 (B.L 10~15mm) の水槽投入後の非潜砂率経時的変化 (無投餌状態). 黒丸は着底後砂を入れた水槽で飼育された群, 白丸は砂を入れない水槽で飼育された群を意味する. 水温 24~26°C.

Fig. 2. Changes in deburrowing rate of prawn seedlings (B.L 10-15mm) after release into watertank (unfed condition). The line with black circles indicates a school bred where sand was put in after the seedlings had settled on the tank bottom. The line with white circles indicates a school bred in a tank without sand in. Water temp. 24-26°C.



第3図 クルマエビ種苗 (B.L 10~15mm) の餌料投入後の非潜砂率経時変化. 黒丸, 白丸の説明は第1図に同じ. 水温 24~26℃.

Fig. 3. Changes in deburrowing rate of prawn seedlings (B.L 10-15mm) after feeding. Water temp. 24-26°C. Other explanations same as in Fig. 1.

直前の非潜砂率程度の水準を保つが有砂飼育群の方が変化の幅は大きい. そして, 105分後には有砂飼育群, 120分後には無砂飼育群が投餌前の非潜砂率より10~20%ほど低下した(第3図).

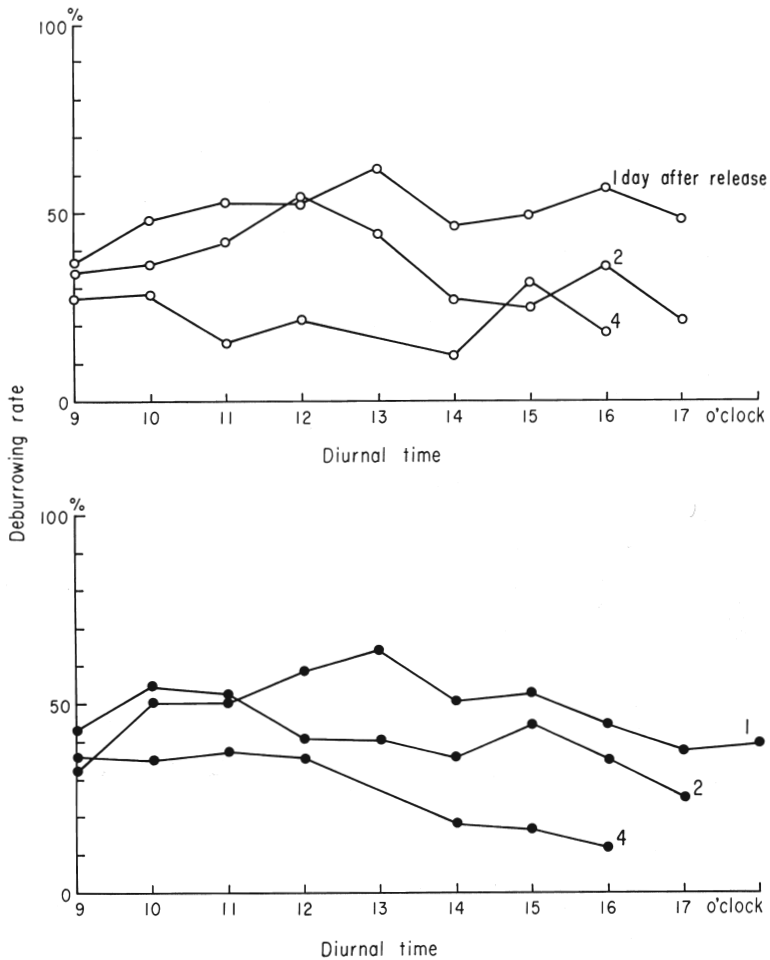
両群の投餌状態における非潜砂率の日内および日間変化を水槽投入後1~4日間について調べた(第4図). それによると両群ともに日が経つにつれ非潜砂率の低下していくのが認められ, かつ, 非潜砂率の日内の値については両群の間に大差はなかつた. ちなみに, 無砂飼育群と有砂飼育群の水槽投入後の日数に伴なう非潜砂率日内変化はそれぞれ1日後が37~62%, 32~64%, 2日後が22~54%, 25~54%, 4日後が14~31%, 12~36%であつた.

以上は体長10~15mmサイズでの非潜砂率変化についてであつたがさらに15mm以上60mmサイズでの変化を調べてみた. まず, 水槽投入後1時間内の非潜砂率の経時変化であるが, 平均体長20mm以下の群と25.9mm以上の群とで明らかに傾向が異つている(第5図, 第1表). 20mmおよび14.6mmの群は終始45%以上であつたが, 25.9mm, 35.6mm, 48.4mmの群では終始15%以下であつた.

さらに, 無投餌状態での非潜砂率日内変化を調べたが, これにおいてもほぼ同様20mm以下の群は25.9mm以上の群とくらべ終始大きい値を示した. ただし, その間の差は10~15%程度と水槽投入後1時間での変化とくらべ小さい. これは水槽投入後1晩経過していたためによると思われる(第6図).

同様の測定を投餌状態において行つて比較した. この場合も全般に20mm以下の群は25.9mm以上の群に比べ大きい値を示した. ただし, 水槽投入後1晩経過しているため投餌直前の非潜砂率は20mm以下の群も30%と小さい値を示している. 投餌後の変化をみるといずれのサイズの群でも2分から5分後にかけて上昇し, 5~10分後にいつたん下降, 10~30分後にふたたび上昇する. 以降はサイズによつて変化の様式は異なるが5~9時間にわたつて投餌直前の値よりも小さい値を保つた(第7図).

これらサイズ別にみた非潜砂率の経時変化を無投餌状態と投餌状態とで比較してみると変化

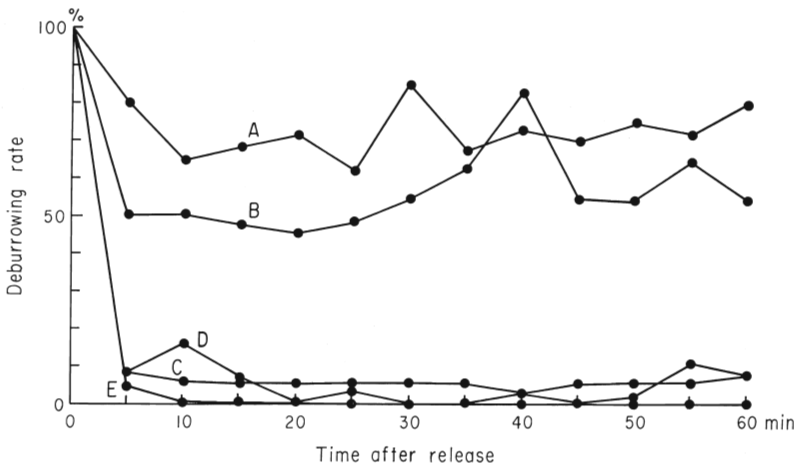


第4図 経日的にみたクルマエビ種苗 (B.L 10~15mm) の非潜砂率日内変化 (投餌状態). 黒丸, 白丸の説明は第1図に同じ. 水温 24~26°C.

Fig. 4. Diurnal changes in deburrowing rate of prawn seedlings (B. L 10-15 mm) (Fed condition). Water temp. 24-26°C. Other explanations same as in Fig. 1.

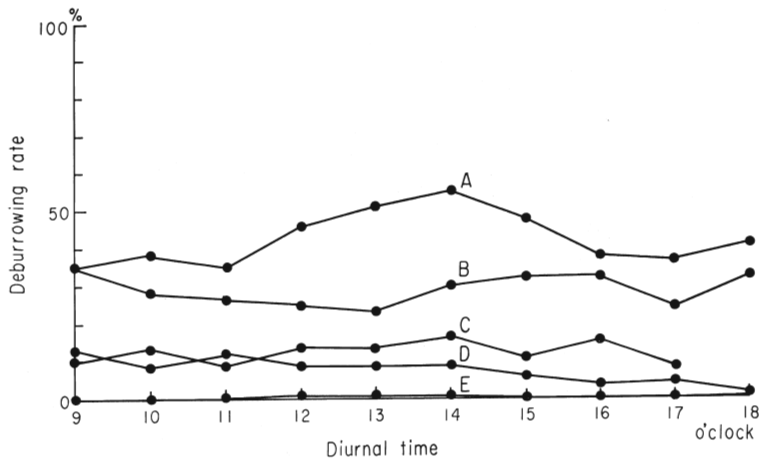
の幅でははつきりしないものの、1時間ごとの非潜砂率の平均値ではいずれのサイズの群でも投餌状態の方が大きくなっている。また、無投餌状態と投餌状態の平均値の比率は前者を1とした場合、14mmサイズでの1.33から48.4mmサイズの11.57とサイズに順じて大きくなっている(第1表)。

さらにサイズ間の非潜砂率の相違を光(照度)との関係で調べてみると20mm以下の群と25.9mm以上の群との差が一層明確に認められる(第8図)。すなわち、前者は消灯時(0~1lx)と点灯時(120~130lx)との間に非潜砂率の変化の上で多少の差がある程度であるのに対し、後者では消灯時は点灯時に比べ30~90%ほど大きい値を示した。なお、消灯時は10~20lxの明るさの懐中電灯で種苗の潜砂行動に与える影響を努めて避けながら30~40秒以内に素早く計数するようにした。投入種苗尾数は1水槽あたり30~50尾までとした。



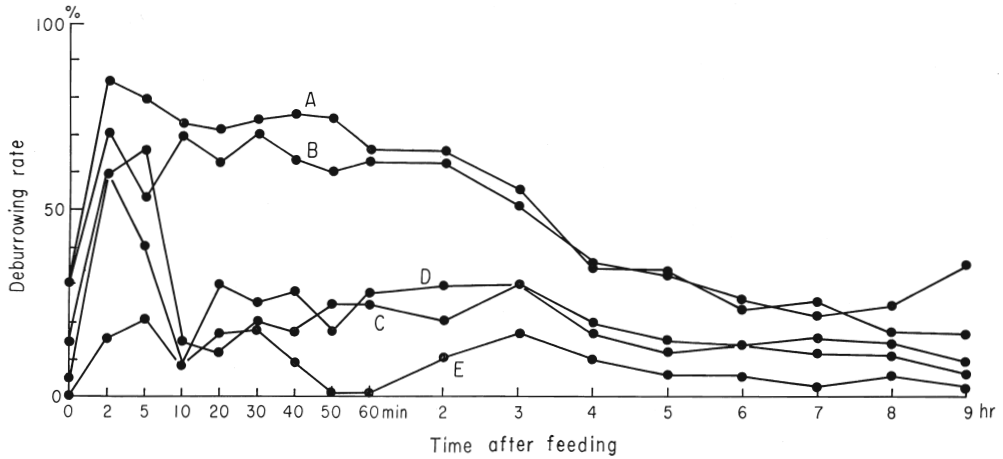
第5図 サイズ別にみたクルマエビ種苗 (B.L 10~65mm) の水槽投入後1時間内の非潜砂率変化(無投餌状態). 水温 23~26°C. サイズA~Eは第1表に示される.

Fig. 5. Changes in deburrowing rate in the first hour after release of prawn seedlings (B.L 10-60 mm) into the tank (unfed condition) Sizes A-E shown in Table 1. Water temp. 23-26°C.



第6図 サイズ別にみたクルマエビ種苗 (B.L 10~65mm) の非潜砂率日内変化(無投餌状態). 水温 23~26°C. サイズA~Eは第1表に示される.

Fig. 6. Diurnal changes in deburrowing rate of prawn seedlings (B.L 10-60 mm) (unfed condition). Sizes A-E shown in Table 1. Water temp. 23-26°C.



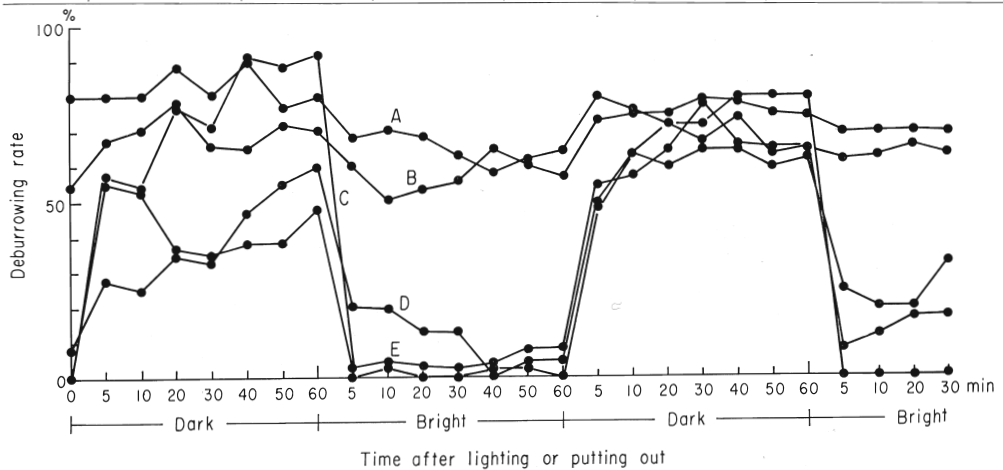
第7図 サイズ別にみたクルマエビ種苗 (B. L 10~65mm) の餌料投入後の非潜砂率経時的变化. 水温 23~26°C. サイズA~Eは第1表に示される.

Fig. 7. Changes in deburrowing rate of prawn seedlings (B. L 10-60 mm) after feeding. Sizes A-E shown in Table 1. Water temp. 23-26°C.

第1表 潜砂率測定実験に用いたクルマエビ種苗各サイズの体長, およびサイズ別にみた日内潜砂率変化の範囲と平均値.

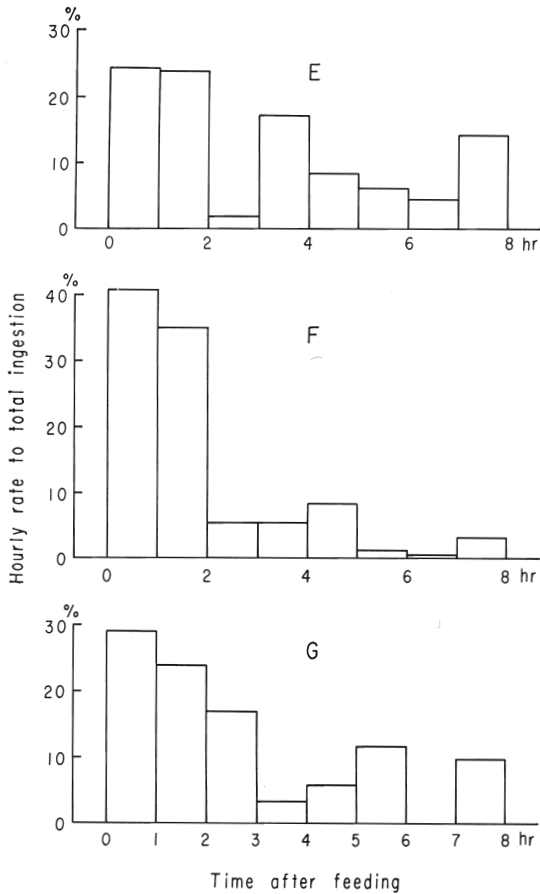
Table 1. Body length of each size class of prawn seedlings used in the deburrowing rate experiment and deburrowing rate change range and average within 24 hours for each size class.

Size	Range of body length (mm)	Average of body length (mm)	Deburrowing rate in no feeding		Deburrowing rate in feeding		(b)/(a)
			Range (%)	Average (a)	Range (%)	Average (b)	
A	10.3~21.6	14.6	35~55	42.2	24~78	56.1	1.33
B	15.5~24.1	20.0	24~35	28.8	16~63	38.5	1.34
C	25.0~30.1	25.6	6~24	12.4	20~27	23.2	1.87
D	28.4~42.2	35.6	3~13	7.1	6~29	18.4	2.59
E	43.1~64.7	48.4	0~1	0.7	3~13	8.1	11.57



第8図 サイズ別にみたクルマエビ種苗 (B. L 10~65mm) の消灯後, 点灯後の潜砂率変化. 水温23~26°C. サイズA~Eは第1表に示される.

Fig. 8. Changes in deburrowing rate of prawn seedlings (B. L 10-60mm) according to brightness. Sizes A-E shown in Table 1. Water temp. 23-26°C.



第9図 サイズ別(E~G)にみたクルマエビ種苗(B.L 10~25mm)の摂餌量の経時変化。総摂餌量に対する比率(%)で示してある。水温20℃。E~Gの説明は第10図に同じ。餌は冷凍チグリオパス。

Fig. 9. Changes in hourly rate to total feeding amount of prawn seedlings (B.L 10-25mm). Size E-G shown in Fig. 10. Water temperature is 22°C. Food is *Tigriopus japonicus*.

測定は水温別に2~3回行つてその平均値を求めた。

それによると、小型の個体の方がやや変動の大きい点はあるものの、水温の上昇に伴つて消化時間は減少していく傾向がいずれのサイズにもかなり明確に認められた。ちなみに、20℃では30~35分であつたが30℃では15~20分となつた(第10図)。

2. 食害魚による種苗捕食について

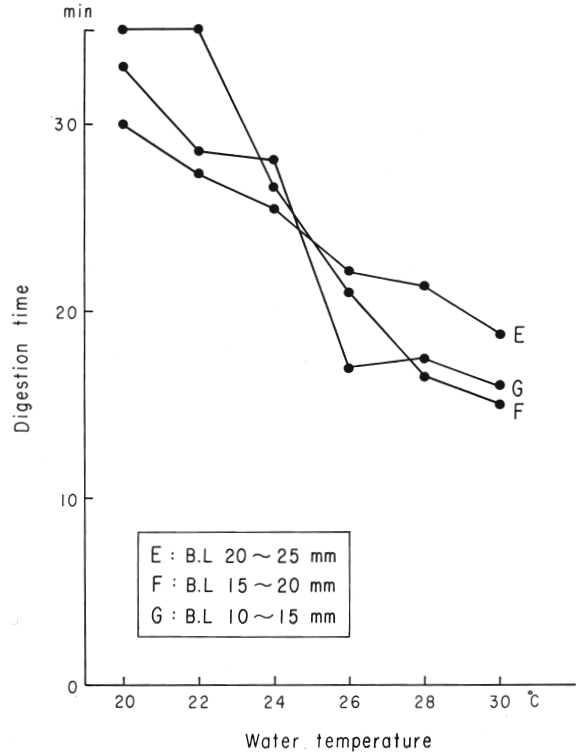
例年種苗放流を実施している新潟市五十嵐浜地先をモデル水域とし、放流域をベースにそれより2km沖合、深さ10mまでに分布する砂浜性の魚類を主に採集し、種苗捕食の実験に用いた。採集は小型桁網と一部(キス、クロダイ)つりによつたが採集尾数および種類の多いのは距岸0.5~1km、深さ5m前後までで、それより沖合では尾数、種類とも減少した。魚類の分布

(2) 摂餌生態について

体長25mm以下の種苗での潜砂行動の不安定さを摂餌生態との関係で検討するため種苗の摂餌量経時変化と餌料消化時間を調べた。まず、摂餌量変化についてであるが、体長10~15mm, 15~20mm, 20~25mmの3種類のサイズの種苗を1~2尾1lのビーカー中に收容し、餌として冷凍チグリオパスを解冻して与えた。摂餌量は、投入個数-残存個数、で求め、1時間ごとに計数した。ビーカー内には計数がしやすいよう砂をしいていない。水温は22~23℃に保ち、測定時間は8時間とした。

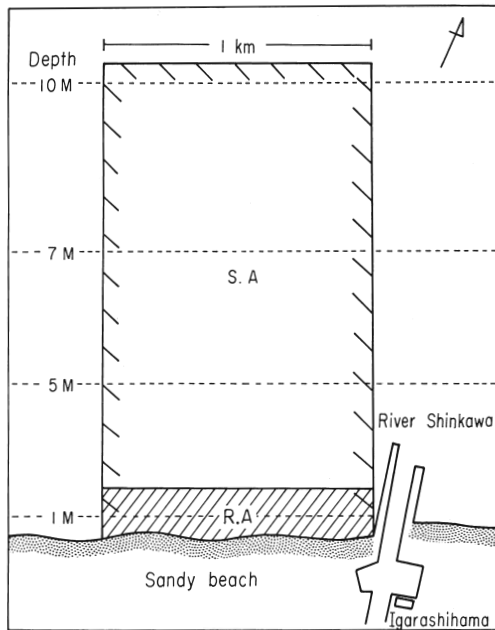
摂餌開始から1時間ごとの摂餌量の変化を総摂餌量に対する比率で見ると、サイズで多少の相違はあるが、摂餌後1~2時間が大きい。また、以後もある程度の量の摂餌が続く、測定時間内においては10~15mmサイズの6~7時間を除いて量の多少はあるが常時摂餌していた(第9図)。

一方、消化時間も摂餌量測定と同様の3種類のサイズの種苗を各1尾あて1lビーカー中に收容、半日~1日放置して消化管内が肉眼的に完全に空の状態になるのを待たせた。空になつた時点で投餌し、摂餌を開始してから脱糞するまでの時間を分単位で計測し、一応消化時間とした。



第10図 サイズ別 (E~G) にみたクルマエビ種苗 (B.L. 10~25mm) の消化時間 (摂餌開始~脱糞開始) と水温の関係. 餌はチグリオバス.

Fig. 10. Relation between digestion time of prawn seedlings (B.L. 10-26 mm) and water temperature. Food is *Tigriopus japonicus*.



第11図 クルマエビ放流モデル水域 (R. A) と食害実験魚の採集水域 (S. A).

Fig. 11. Model area for release of prawn seedlings (R. A) and collecting area of predator fishes (S. A).

量その他については現在調査中であるが、採集された種類は13種であつた。全長5 cm未満の小型個体を除いて1魚種につき5～10尾を実験水槽に投入、1～2日水槽に慣らし、絶食状態にした。そのあと種苗を投入し、捕食するか否かを調べた(第11図)。

その結果、13種の内8種類に捕食が認められたのでその8種類を実験材料とすることにした(第2表)。

第2表 食害モデル実験に用いた魚の種類とその全長、体重、および実験様式(A～C)別にみた日間クルマエビ種苗捕食重量。A～Cは第12図に示される。

Table 2. Fish species and its total length and body weight used in the model predation experiment and also diurnal amount of predated prawn seedlings in each tank pattern. Tank patterns are shown in Fig. 12.

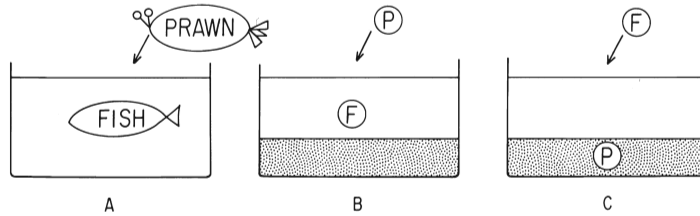
Fish as predators in each tank	Total length (cm)		Body weight (g)		Diurnal predation (mg/g·day)		
	Range	Av.	Range	Av.	A	B	C
Megochi <i>Inegocia meerdervoorti</i>	6.3～12.5	7.9	1.2～8.5	2.8	196.7	198.7	187.5
Hirame <i>Paralichthys olivaceus</i>	7.0～10.4	9.0	2.6～9.2	6.1	196.0	169.5	148.8
Mahaze <i>Acanthogobius flavimanus</i>	8.5～10.9	9.7	3.2～9.8	7.3	168.1	150.0	113.9
Mafugu <i>Fugu niphobles</i>	9.1～12.9	11.1	12.1～31.9	22.1	160.0	67.1	64.8
Kurodai <i>Mylio macrocephalus</i>	10.6～10.7	10.6	17.6～21.5	19.8	142.2	98.1	61.5
Kuroushinoshita <i>Rhinoplagusia japonica</i>	10.4～14.0	11.9	11.4～12.3	12.1	89.9	81.0	73.4
Magarei <i>Limanda herzensteini</i>	5.0～7.8	5.2	4.9～7.8	2.6	129.6	71.3	69.5
Kisu <i>Sillago japonica</i>	14.8～15.3	15.1	21.0～28.4	24.7	112.6	-	109.8
Average	-	-	-	-	154.64	119.39	102.82
Ratio	-	-	-	-	100.0	77.2	66.6

(1) 種苗捕食量について

各実験対象魚種の単位時間、単位体重当りの種苗捕食量を求めるとともに、実験に際しては下記の3つの水槽設定様式を考え、種苗の潜砂行動の持つ意義を調べた(第12図)。

- A. 砂を入れていない水槽に実験前日魚を収容、慣らした後種苗を投入する。
- B. 砂を入れた水槽に実験前日魚を投入、慣らした後種苗を投入する。
- C. 砂を入れた水槽に実験前日種苗を収容、潜砂状態にしておく。魚も前日水槽内に設置した籠に収容し、実験開始時ショックを与えないよう注意しながら籠のふたをあけて魚を放す。

なお、捕食尾数は、投入種苗尾数－残存尾数、でもつて求めたが、投入尾数は予備実験によつて見当をつけ、所定時間後種苗が残るように投入した。また、砂は種苗とともに魚自体も完全に体を隠せる厚さ、約5 cmにした。水槽内は1時間1.5回転程度の弱流水とした。水温のコントロールは特にしていないが、実験開始から終了までの水温変化は23～26℃と小幅であつた。水槽はたて・よこ1 m、深さ0.5 mの塩ビ製を用い、実験魚は各種ともサイズに応じて1～5尾を投じた。一方、砂を入れない水槽に種苗を投入するに当つては種苗自体の共食いによ



第12図 水槽 (1×1×0.5 m) を用いたクルマエビ種苗 (B. L 8~13mm) 食害モデル実験の模式図 A の水槽底には砂をしいてないが, B, C の水槽底には砂をしいてある.

Fig. 12. Model experiment pattern for prawn seedling (B. L 8-13mm) predation. Tank A without sand on bottom, tanks B and C with sand on bottom.

る減少の問題を予測しておく必要があるが、魚を投入してある場合には警戒行動、逃避行動を余儀なくされるためか、予備実験では共食い行為は稀にしか観察されなかつたので特に対照は設定しなかつた。

以上の方法にもとづいて日間捕食重量を求めた。この場合、実験実施時期の日の出から日の入りまでの平均13時間を日内摂餌時間とし、投餌開始から13時間内の捕食量を求めた(第2表)。これによると、メゴチのA, Bを除いて概括的には $A > B > C$ となつており、全魚種での平均値の比はAを100として $A : B : C = 100 : 77.2 : 66.6$ となつた。また、Aだけでみた場合、多いのはメゴチ、ヒラメ等の $196 \text{ mg/g} \cdot \text{day}$ 強、少いのがクロウシノシタの $89.9 \text{ mg/g} \cdot \text{day}$ 、クロダイの $142.2 \text{ mg/g} \cdot \text{day}$ が中間的な値となつた。

各魚種におけるA~Cの間の比較の点ではAでの値を100として考えると、B, Cの比率はメゴチがもつとも変化が小さく、 $A : B : C = 100 : 101.0 : 95.3$ 、クサフグが逆にもつとも大きく $A : B : C = 100 : 41.9 : 40.5$ であつた。

一方、同様な検討を捕食尾数で行つた。ただし、尾数の場合、同一魚種内のA~Cについては同一サイズ(同一成長日数)の種苗を使つているが、魚種間では異なるサイズの種苗を使つている。したがつて魚種間の比較はできないので尾数単位を用いずAでの捕食尾数を100とした比率で表示してある(第3表)。これによるとA~C間の比較の点では重量でみた場合と同傾向を示し、ヒラメ、クロダイでのB, C間を除けば $A > B > C$ となつている。また、全魚種の平均値でも $A : B : C = 100 : 70.6 : 70.2$ で $B \approx C$ となつている。重量の場合とくらべBがやや大きく、Cがやや小さく出ているが、これは投入した種苗のサイズの相違に起因していると思われる。

他方、各魚種におけるA-C間の比率ではクサフグ、クロダイ、マガレイ等でB, Cの

第3表 Aでの1日当りクルマエビ種苗捕食尾数を100とした場合のB, Cでの捕食尾数の比率を魚種別に示す。A~Cは第12図に示される。

Table 3. Predation rate for each fish species, when number of predated prawn seedlings in pattern A is fixed at 100. Patterns A-C are shown in Fig. 12.

Fish	A	B	C
Megochi		86.3	83.2
Hirame		83.0	88.4
Mahaze		94.2	74.5
Kusafugu	100	42.6	40.9
Kurodai		43.2	68.9
Kuroushinoshita		90.2	82.1
Magarei		54.9	53.6
Kisu		-	97.5
Average	100	70.6	70.2

値がAの半分前後と小さくなっている。なお、捕食重量は、捕食尾数×投入種苗1尾当り平均重量、で算出した。

日内の捕食尾数に対し、実験開始後1時間内の短期間捕食尾数を A=100 とした比率でみたところ概括的にはやはり各魚種とも A>B>C となつているが日内捕食尾数での場合にくらべ

第4表 Aでのクルマエビ投入後1時間内の捕食尾数を100とした場合のB、Cでの捕食尾数の比率を魚種別に示す。A~Cは第12図に示される。

Table 4. Predation rate in the first hour after release of prawn seedlings into the tanks, when the number of predated prawn seedlings in pattern A is fixed at 100. Patterns A-C are shown in Fig. 12.

Fish	A	B	C
Megochi	100	89.1	75.0
Hirame		61.2	50.9
Mahaze		77.3	57.0
Magarei		94.5	60.0
Kusafugu		62.3	52.5
Average	100	76.88	59.08

ややCの値が小さくなっている。ちなみに同魚種での平均値を日内捕食尾数と1時間内捕食尾数で比較すると、それぞれBについては72.2および76.9、Cについては68.1および59.1であつた(第4表)。

次いで、マハゼ、メゴチ、クサフグの3魚種を用い、種苗投入後30分内の捕食尾数のうちの当初非潜個体の被食尾数を調べた。方法はCの様式に順じて行方が当初非潜砂個体数を計数しやすいように60 lのアクリル水槽を用いた。実験魚は水槽当り1~3尾を使用、種苗投入数は砂を入れない同水槽で予備的に30分当りの各実験魚の捕食尾数を求めておき、捕食尾数よりやや多めの尾数とした。実験は各魚種とも2~3回実施、種苗のサイズ、水温等は前実験とほぼ同様にした。

投入尾数を100とすると魚を投入する直前での非潜砂率は各魚種とも50%前後であつたが30分後の被食尾数はマハゼで63.7、メゴチで60.0、クサフグで26.0と魚種によつて差が生じた(第5表)。30分後の非潜砂状態の残存種苗はマハゼでは0、メゴチでは2.0、クサフグで24.0であつたので、みかけ上の非潜砂個体の被食数はマハゼでは $49.8 - 0 = 49.8$ 、同様にメゴチでは $52.0 - 2.0 = 50.0$ 、クサフグでは $50.0 - 24.0 = 26.0$ となる。したがつて非潜砂個体のうちのみかけ上の被食率はマハゼでは $\frac{49.8}{49.8} \times 100$ (%) = 100%、同様にメゴチでは96.2%、クサフグでは52.0%となる。

第5表 Cにおいて各魚種を投入後30分間に捕食されるクルマエビ種苗尾数(e)とその中の当初非潜砂個体(b)のみかけ上の被食尾数(g)とその比率(g/b)、および当初潜砂個体(c)のみかけ上の被食尾数(h)とその比率(h/c)。Cは第12図に示される。投入尾数を100とした比率で示す。

Table 5. Number of predated seedlings in pattern C in the first 30 minutes after the fish is released into the tank. Pattern C is shown in Fig. 12.

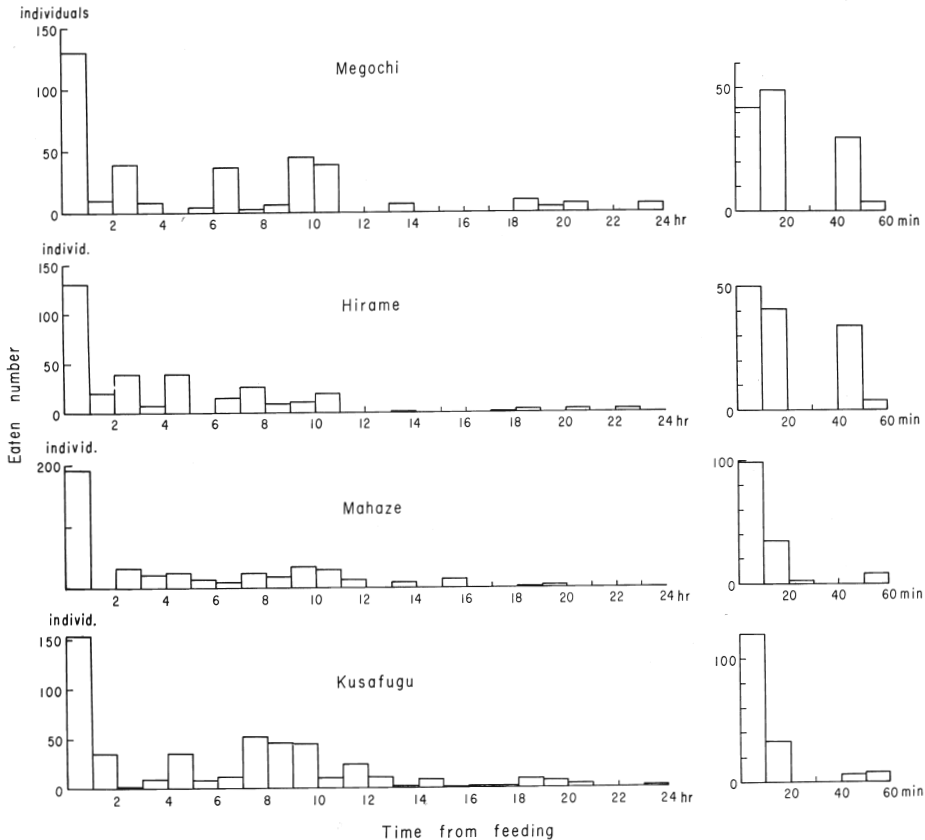
Fish as predators in each tank	a. Number of released seedlings (As rate)	b. Average number of deburrowing seedlings before release of fish in each tank	c. Number of burrowing seedlings (a-b)	d. Number of survivals after 30 minutes after release of fish	e. Number of eaten seedlings (a-d)	f. Number of deburrowing survivals in "d".	g. Apparent number of eaten deburrowing seedlings (b-f)	g/b (%)	h. Apparent number of eaten burrowing seedlings (e-g)	h/c (%)
Mahaze	100	49.8	50.2	36.3	63.7	0	49.8	100	13.9	27.7
Megochi		52.0	48.0	40.0	60.0	2.0	50.0	96.2	10.0	20.8
Kusafugu		50.0	50.0	74.0	26.0	24.0	26.0	52.0	0	0

次にみかけ上の潜砂状態の種苗の被食尾数は、総被食尾数—みかけ上の非潜砂個体の被食数、で求められ、マハゼでは13.9、メゴチでは10.0、クサフグでは0となる。したがってみかけ上の潜砂個体のうちのみかけ上の被食率はマハゼでは $\frac{13.9}{63.7} \times 100(\%) = 27.7\%$ 、同様に計算してメゴチでは20.8%、クサフグでは0%となる。

(2) 捕食尾数の経時変化

メゴチ、ヒラメ、マハゼ、クサフグの4種の魚を用い、種苗を投入した後の捕食尾数の経時変化を調べた。捕食尾数は、投入尾数—残存尾数、でもつて求めたが、種苗の投入は残存尾数が計数しやすいように少尾数で断続的に行うようにした。また、水槽は60 lの亚克力製を使用、弱流水とした。水温はコントロールしていないが24~26℃であつた。計数は種苗投入後1時間内は10分間隔で、以降24時間後までを1時間間隔で行つた。照度は昼間時は外光まかせ、夕刻~夜間時も常時計数できるように照明により130 lx程度を保つた。また、魚は水槽に収容後1晩放置し、翌朝9時から種苗投入を開始した。

以上の方法によつて捕食尾数を求めたところ、4魚種に共通した2点が明らかとなつた。一つには各魚種とも種苗投入後1時間内の捕食量が最大であつたこと、いま一つは前半の12時間の捕食量が全捕食量の70%以上を占めたことである。投入後1時間内を10分間隔で細かくみる



第13図 魚種別にみたクルマエビ種苗 (B. L 12~15mm) 投入後24時間内の捕食尾数の変化。各魚種右側の小グラフは種苗投入後1時間内を表わす。

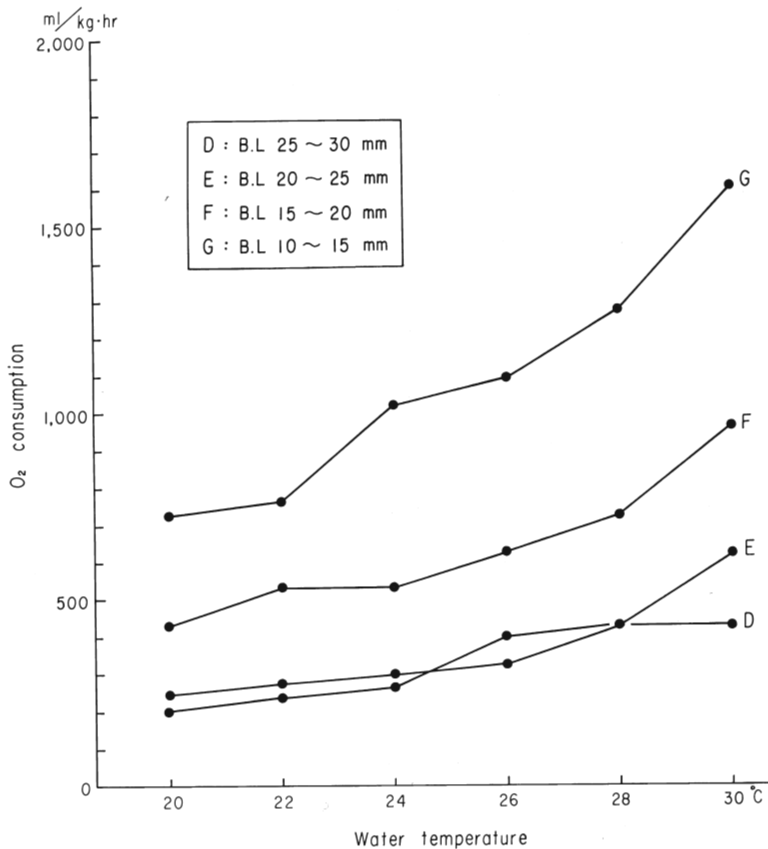
Fig. 13. Changes in predation of prawn seedlings (B. L 12-15mm) in the 24 first hours after release of seedlings into the tank, using various fish species. The small graph on the right shows predation in the first hour. Water temp. 23-26°C.

と開始後10～20分内が最大値を示している。また、そのあと20分間は捕食0となつている。24時間内での捕食量変化のパターンははつきりとは出てこなかつたが摂餌開始後7～10時間後あたりに増加する傾向が認められる。なお、夜間時も若干の捕食が見られた（第13図、第6表）。

第6表 クルマエビ種苗投入後24時間内の捕食尾数を100とした場合の12時間ごとの捕食尾数の比率を魚種別に示す。

Table 6. Predation rate by each fish species in the first 24 hours, when number of released prawn seedlings is fixed at 100.

Fish	The first 12 hours	The next 12 hours
Mahaze	83.4%	16.6%
Megochi	82.7	17.3
Hirame	85.1	14.9
Kusafugu	74.0	26.0
Average	81.3	18.7



第14図 サイズ別 (D～G) にみたクルマエビ種苗 (B.L. 10～30mm) の水温と潜砂状態での酸素消費量の関係。

Fig. 14. Relation between O₂ consumption and water temperature for prawn seedlings (B.L. 10-30mm) in burrowed condition.

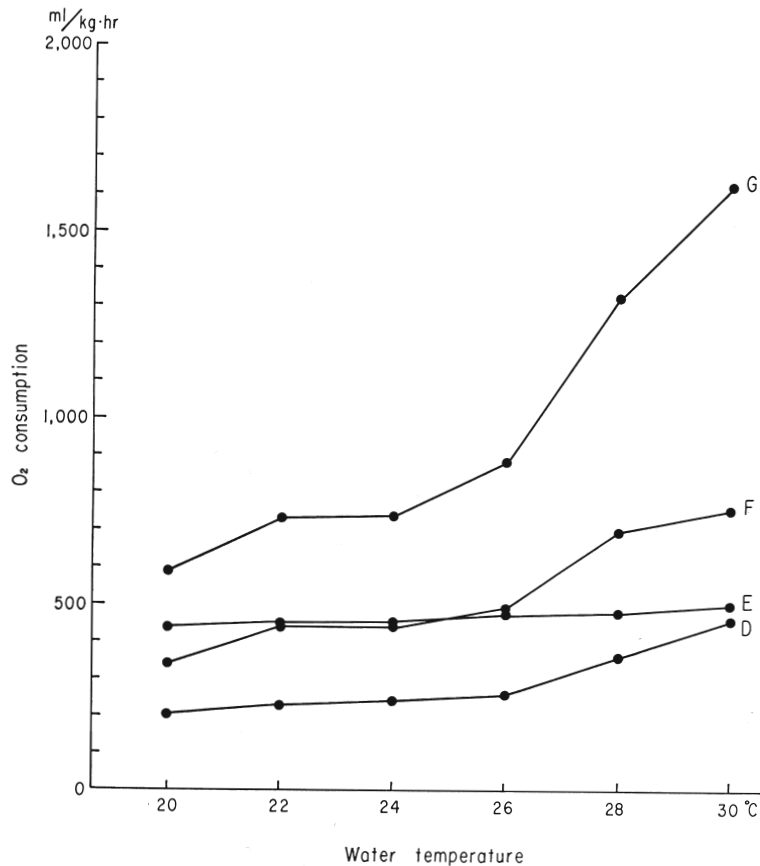
3. 種苗の餌料要求

(1) 酸素消費量の測定

測定時の容器のサイズと種苗の体長の関係から測定方法を2つに分け、体長10~30mm未満をプロダクトメーターにより、体長30~60mmを流水式測定装置によって水温と単位体重、単位時間当りの酸素消費量との関係を求めた。種苗を収容する容器内に砂を入れて潜砂状態にした場合と、砂を入れない場合の2つの測定方式をとつたがいずれの場合も容器に収容後30~60分間放置し、種苗がほぼ静止状態になつてから測定を始めるようにした。なお、収容尾数は1~3尾で砂は種苗が十分に体を隠せる量を入れ、同量の砂を入れた容器を対照とした。

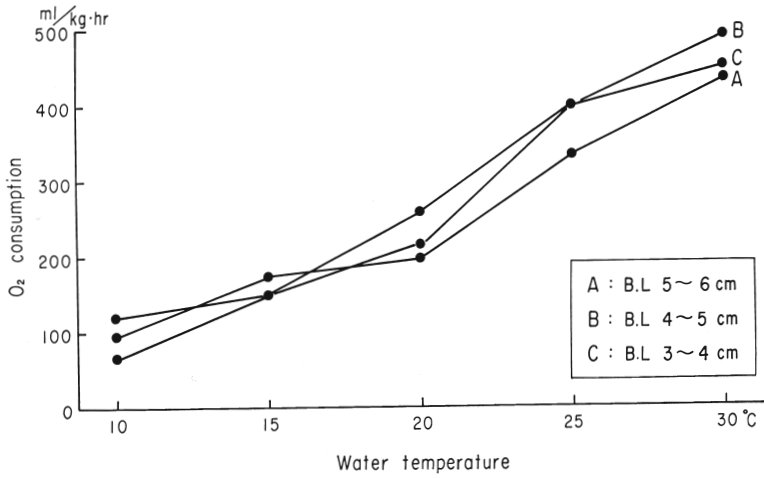
まず、プロダクトメーターで測定した体長10~30mm未満はサイズを10~15mm未満、15~20mm未満、20~25mm未満、25~30mm未満の4段階に分けて測定した。概括的には潜砂状態、非潜砂状態のいずれの場合でもサイズの小さい方が消費量が大きいう傾向を示した(第14図、第15図)。また、潜砂状態、非潜砂状態を比較した場合、両者間に際立つた傾向の相違は見られなかつた。

一方、流水式測定法による体長30~60mmはサイズを30~40mm未満、40~50mm未満、50~60mm



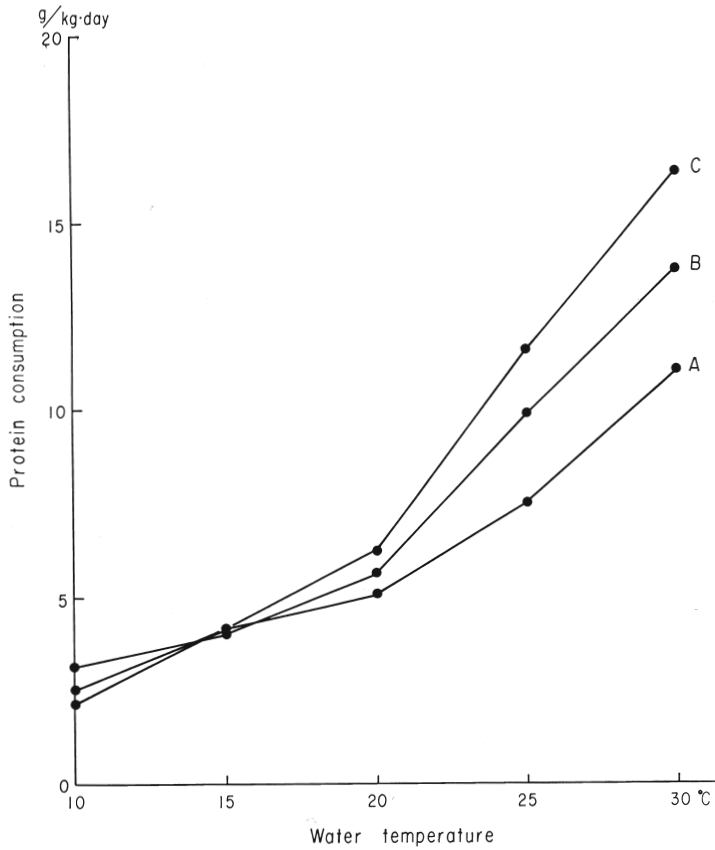
第15図 サイズ別(D~G)にみたクルマエビ種苗(B.L 10~30mm)の水温と非潜砂状態での酸素消費量の関係。D~Gの説明は第14図に同じ。

Fig. 15. Relation between O_2 consumption and water temperature for prawn seedlings (B. L 10-30 mm) in debarrowed condition. Sizes D-G same as in Fig. 14.



第16図 サイズ別 (A~C) にみたクルマエビ種苗 (B.L. 30~60mm) の水温と潜砂状態での酸素消費量の関係。

Fig. 16. Relation between O₂ consumption and water temperature for prawn seedlings (B. L 30-60 mm) in burrowed condition.



第17図 サイズ別 (A~C) にみたクルマエビ種苗 (B.L. 30~60mm) の水温と非潜砂状態での酸素消費量の関係。A~Cの説明は第16図に同じ。

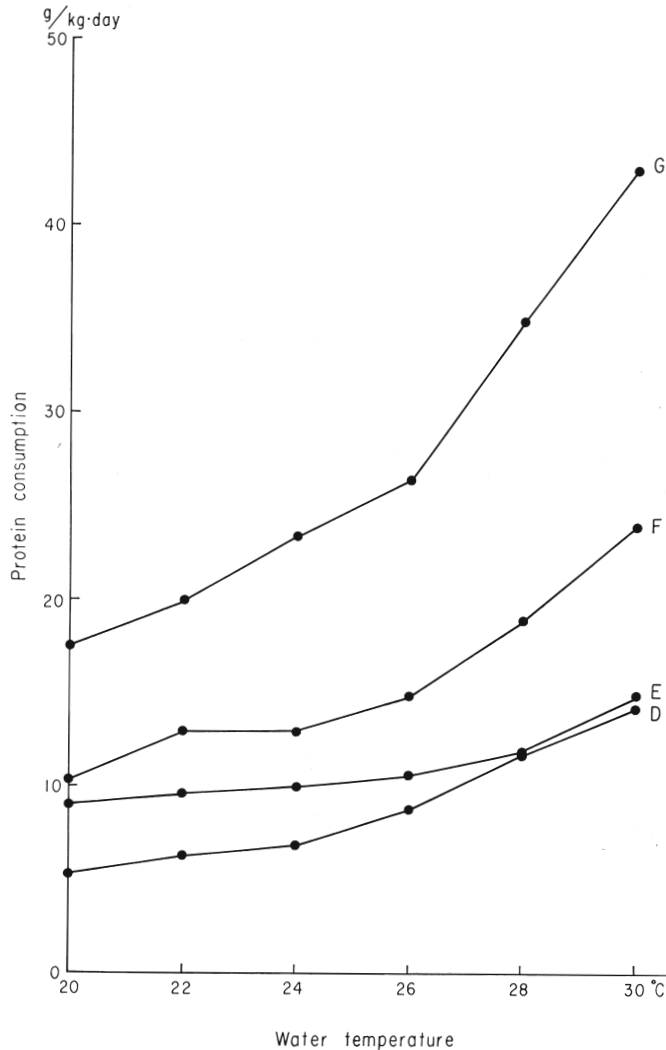
Fig. 17. Relation between O₂ consumption and water temperature for prawn seedlings (B. L 30-60 mm) in deburrowed condition. Sizes A-C same as in Fig. 16.

の3段階に分けて測定した。やはり30mm未満の場合と同様サイズが小さいほど消費量が大きくなる傾向が見られたが潜砂状態で測定した場合はあまり明瞭ではない。また、水温上昇に伴う酸素消費量の増加傾向も非潜砂状態で測定した場合の方が明瞭であつた(第16図, 第17図)。

なお、プロダクトメーターで測定した値と流水式装置で測定した値の比較に関し、非潜砂状態で測定した25~30℃での値がサイズが大きいにもかかわらず後者の方が大きくなっている。これは25~30℃になると砂がない場合種苗が遊泳する現象が見られ、サイズに比して後者の方が自由に遊泳できる容積が前者の約50~60倍あることに起因しているものと思われる。

(2) 標準代謝量と蛋白消費量

標準代謝量を求めるに当つてクルマエビ種苗の日内行動が潜砂状態と非潜砂状態がほぼ半々



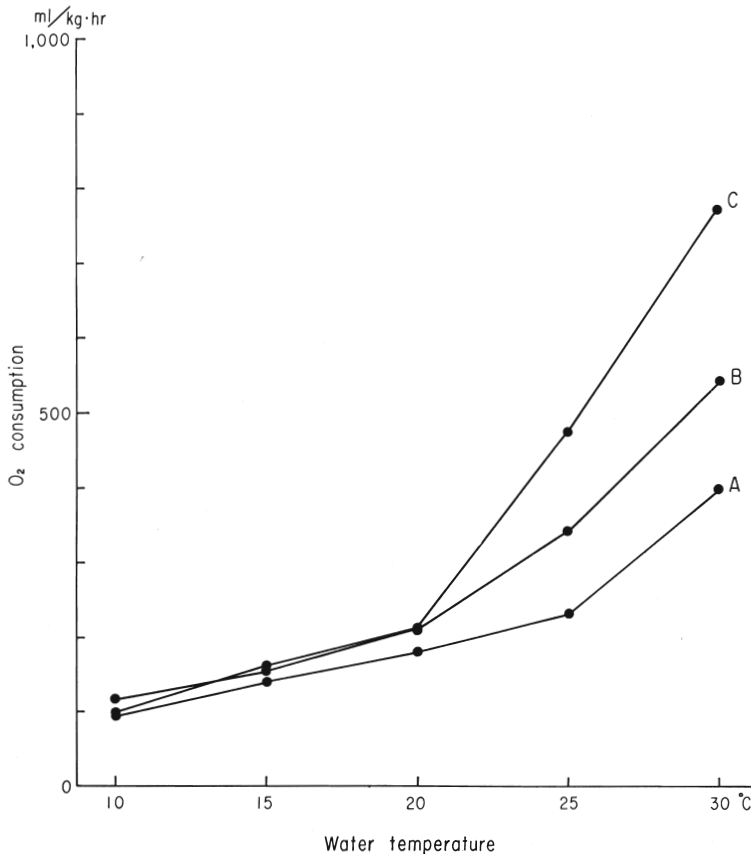
第18図 サイズ別(D~G)にみたクルマエビ種苗(B.L 10~30mm)の水温と酸素消費量を基礎とした蛋白消費量の関係。D~Gの説明は第14図に同じ。

Fig. 18. Relation between protein demand and water temperature based on O₂ consumption for prawn seedlings (B.L 10-30 mm). Sizes D-G same as in Fig. 14.

という仮定に立ち、(1)で得た潜砂状態での測定値と非潜砂状態での測定値の平均値をもつて各サイズの標準酸素消費量とした。この値をもとに代謝量を熱量に換算したが、換算に際しては酸素消費 1 l を 5 cal のエネルギー消費とする見解 (右田・他, 1937) を援用した。

さらに熱量換算した代謝量を蛋白消費量に換算したが、換算に際しては魚類での蛋白消費効率の測定標準値 1 g 当り 4.5 cal (橋本, 1973) を援用することとした。

以上の方法により得られたクルマエビ種苗の 1 日体重当り蛋白消費量は当然水温が上昇するにつれ増加し、概括的にはサイズが小さいほど大きい値となる。なお、酸素消費量測定時 25~30℃では遊泳する個体があつたのでこの水温に関しては静止状態を基本とする標準代謝量よりは多少大きめに出ていると思われる。サイズ別にみると、20℃の 10~15mm 未満では 17.8 g, 50~60mm では 4.8 g, また、30℃の 10~15mm 未満では 43.0 g, 50~60mm では 12.5 g となつた。したがつて測定水温下で最大となる 30℃下での標準代謝時蛋白消費は 10~15mm 未満で体重の 4.3%, 50~60mm で 1.3% 程度ということになつた (第 18 図, 第 19 図)



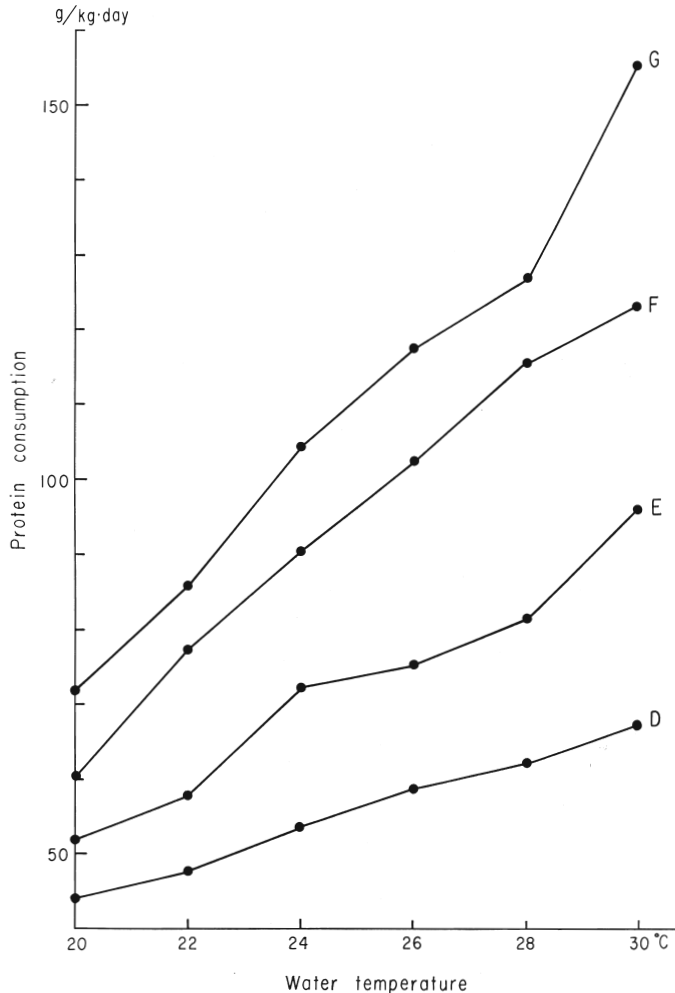
第 19 図 サイズ別 (A~C) にみたクルマエビ種苗 (B. L 30~60mm) の水温と酸素消費量を基礎とした蛋白消費量の関係. A~C の説明は第 16 図に同じ.

Fig. 19. Relation between protein consumption and water temperature based on O₂ consumption for prawn seedlings (B. L 30-60 mm). Size A-C same as in Fig. 14.

(3) 摂餌量と蛋白消費量

体長30mm未満までは恒温槽中の1lビーカーに酸素消費量測定時のサイズ分けに準じて各1尾あて収容，1晩放置後翌朝投餌を開始，24時間内の摂餌量を求めた。餌はチグリオパスを用い，常時器底に付着しているように計数しながら投入した。摂餌量は，(投入総数-24時間後の残数)×餌料1個当り平均重量，で求めた。容器には糞掃除，残餌量の計数をしやすくするため砂は入れなかつた。また，恒温槽は室内窓ぎわに置き光を自然光にまかせ，種苗を入れないう容器を対照とした。

他方，体長30mm以上の個体も酸素消費量測定時と同様にサイズ分けし，恒温槽中の約10lの飼育容器に各2～5尾を収容，1晩放置した。容器中には完全に潜砂できるだけの量の砂を入れた。予備試験によると昼間時はほとんど摂餌しなかつたので夕刻時投餌，翌日摂餌量を測定した。餌は冷凍アカヒゲを解凍して使用，摂餌量は，投入重量-残重量/餌料減少率，で求め



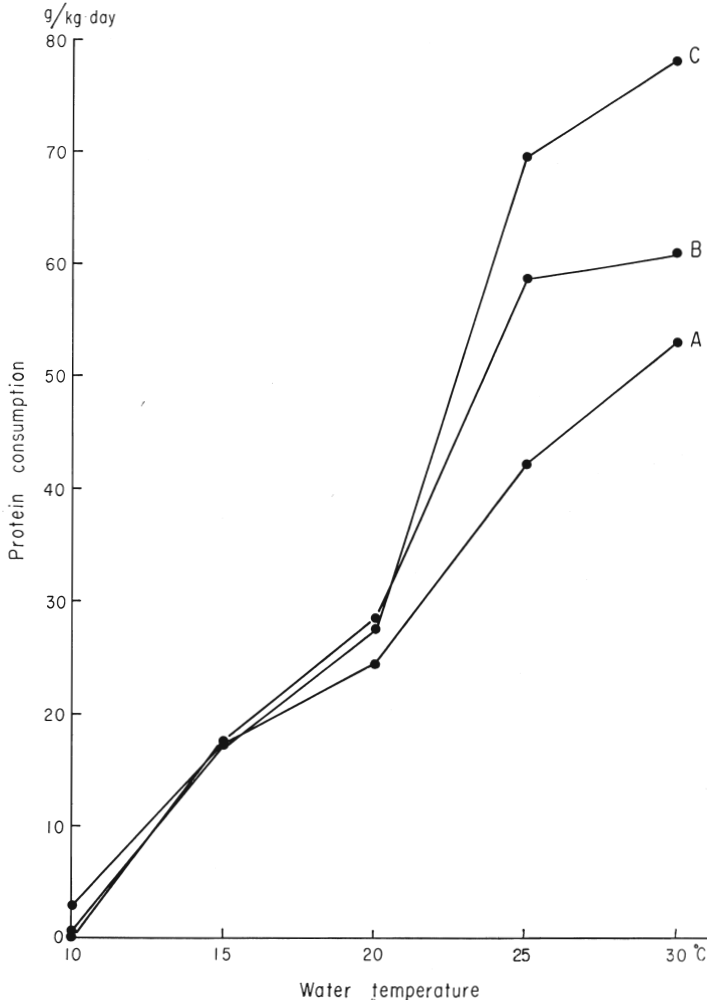
第20図 サイズ別 (D~G) にみたクルマエビ種苗 (B. L 10~30mm) の水温と摂餌量を基礎とした蛋白消費量の関係。D~Gの説明は第14図に同じ。

Fig. 20. Relation between protein consumption and water temperature based on feed consumption for prawn seedlings (B. L 10-30mm). Sizes D-G same as in Fig. 14.

たが、餌料減少率は種苗を入れない対照水槽での投入重量／実験終了時の餌重量，で求めた。なお、水槽は循環流水とし、照明により昼間時は2,000 lx，夕刻～夜間時は1～5 lx程度の照度を保った。

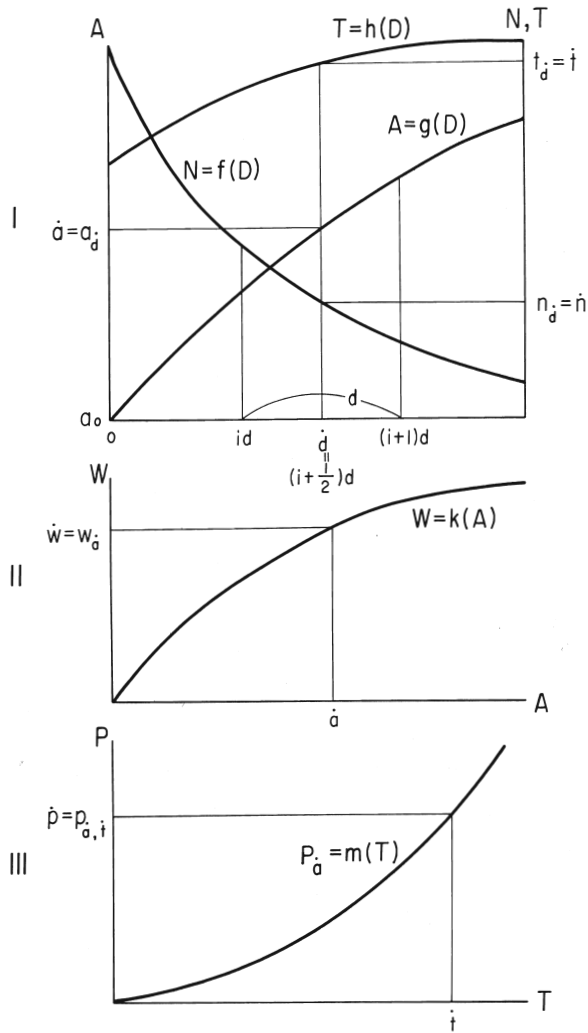
以上の方法によつて摂餌量と水温の関係を求め、さらに別途測定した各餌料の蛋白含有量(チグリオバス 10.0%，アカヒゲ 15.0%)を基礎に蛋白消費量を求めた。これによると標準代謝時の蛋白消費量の場合と同様、各サイズとも水温の上昇とともに1日体重当りの消費量は増加し、また、概括的にはサイズの小さいほど消費量は大きくなる傾向がみられた。

ちなみに、20℃では10～15mm未満が72g、50～60mmが23gほど、30℃では10～15mm未満が158g、50～60mmが52g/kg・dayほどであつた。したがつて測定サイズ、水温下では10～15mm未満の30℃が最大で1日当たり体重の15.8%の蛋白消費となる(第20図、第21図)。



第21図 サイズ別(A～C)にみたクルマエビ種苗(B.L 30～60mm)の水温と摂餌量を基礎とした蛋白消費量の関係。A～Cの説明は第16図に同じ。

Fig. 21. Relation between protein consumption and water temperature based on feed consumption for prawn seedlings (B. L 30-60 mm). Sizes A-C same as in Fig. 16.



第22図 クルマエビ種苗の放流から一定サイズまでの生残，成長に必要とする総蛋白量の計算方法例．A：体長，W：体重，N：放流後生残尾数，D：放流後経過日数，T：放流水域の水溫， P_a ：体長 \dot{a} における1日体重当り蛋白必要量．放流後一定日数内の総蛋白必要量 G は $G \doteq \sum_{i=0}^n \dot{n} \cdot \dot{w} \cdot P_a$ で表わされる．

Fig. 22. A calculation example of a prawn seedlings protein needs to survive and grow from release to a fixed size. A: body length, W: body weight, N: number of survived prawn seedlings, D: days elapsed from release day, T: water temp., P_a : protein amount needed for body length \dot{a} per body weight a day. G: protein amount needed within a fixed number of days after release.

$$G \doteq \sum_{i=0}^n \dot{n} \cdot \dot{w} \cdot P_a$$

なお、20~30℃での測定結果に関して30mm以上のサイズの値が30mm未満のサイズの値より大きくなるケースが出ているが、これはサイズに比して活動できる容積が前者の方が後者の8~12倍ほどであった点に主に起因していると思われる。

(3) 放流後の種苗の餌量必要量の試算

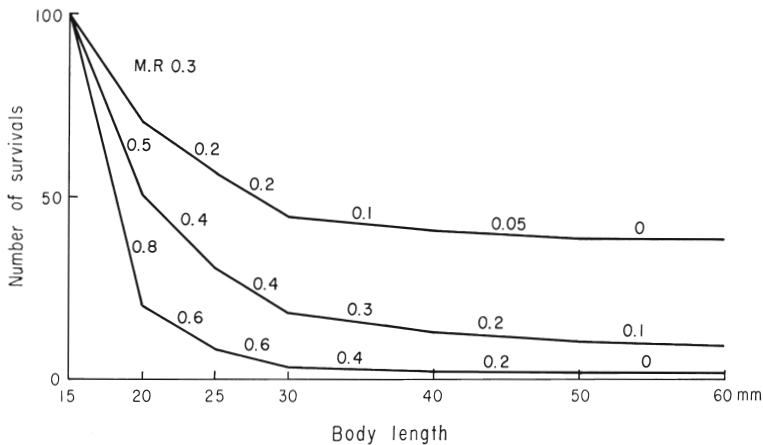
放流された種苗が一定サイズまでに生残し、成長するまでに必要とする蛋白量を以下の方法に基づいて試算した(第22図)。

- I). 放流後の日数(D)と体長(A)との関係 $A = g(D)$ 、および日数と生残尾数(N)との関係 $N = f(D)$ を想定、一定の日数間隔(d)を定めて、 $id \sim (i+1)d$ 、($i = 0 \sim n$)、における標準体長 $\dot{a} = a_a$ と標準生残尾数 $\dot{n} = n_a$ を求める。また、日数と水温(T)の関係 $T = h(D)$ から標準水温 $\dot{t} = t_a$ を求める。ただし、 \dot{d} は $id \sim (i+1)d$ の中間点 $(i + \frac{1}{2})d$ 。
- II). 体長と体重(W)の関係 $W = K(A)$ から標準体長 \dot{a} の体重 $\dot{W} = \dot{W}_a$ を求める。さらに(I)での \dot{n} を乗じて $id \sim (i+1)d$ における現存量 $\dot{n} \cdot \dot{w}$ を求める。
- III). サイズ別に求めた水温と1日体重当り蛋白消費量(P)の関係 $P = m(T)$ から体長 \dot{a} 、水温 \dot{t} における蛋白消費量 $\dot{P} = P_a$ 、 \dot{i} を求める。さらに(II)での現存量 $\dot{n} \cdot \dot{W}$ を乗じて $id \sim (i+1)d$ における蛋白消費量 $\dot{n} \cdot \dot{W} \cdot \dot{P}$ を求める。
- IV). I)~III)に基づき放流後(n+1)d後までの総蛋白消費量(G)を下式により求める。

$$G = \sum_{i=0}^n \dot{n} \cdot \dot{w} \cdot \dot{p}$$

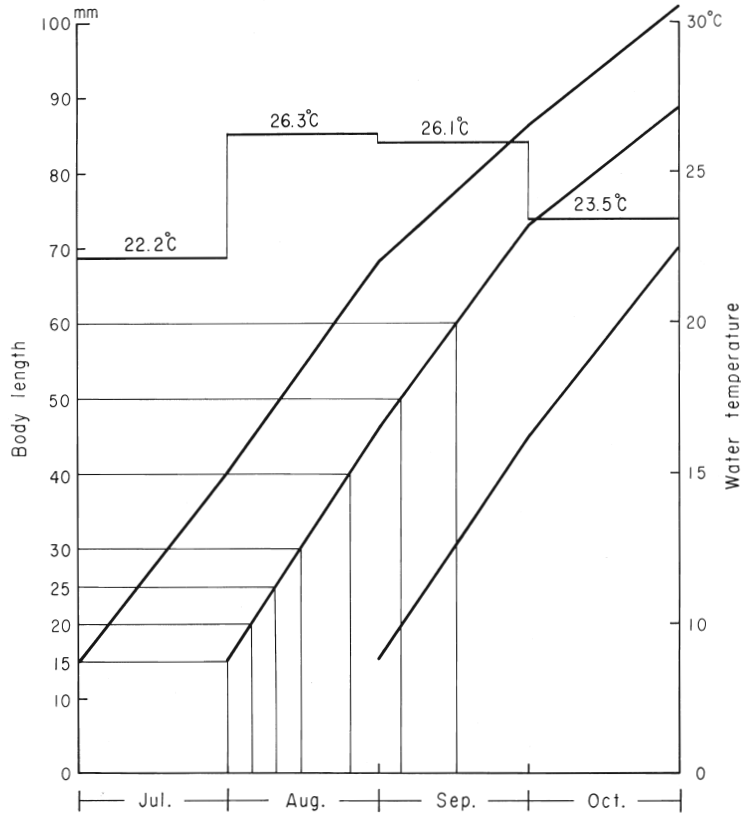
試算に当たつてまず放流後の生残曲線を以降の計算がしやすいよう体長と生残尾数の関係に変え、かつ、放流初期の減耗率を0.3~0.8までとして50mm以上になるとほぼ0となるという仮定のもとに3本の生残モデル曲線を想定した(第23図)。

成長曲線および水温曲線は日本海中部域における生態調査の報告書(野村, 1978)に基づいて7月1日, 8月1日, 9月1日に放流された3本のモデル曲線と各月の平均水温を想定した



第23図 放流後のクルマエビの体長と生残尾数の関係を示すモデル曲線。
M.R: 各体長間の死亡率。

Fig. 23. Model curves showing the relationship between number of survivors and body length after releasing of prawn seedlings. M.R: Mortality rate for each body length step.



第24図 放流後のクルマエビの日数と体長、日数と水温の関係を示すモデル。

Fig. 24. A model showing the relation between body length and days elapsed from release and the relation between days elapsed and water temperature.

第7表 放流体長15mm、尾数100万尾とした場合のクルマエビ種苗成長サイズ別の生残尾数(\dot{n})と生残重量($\dot{n} \times \dot{w}$)の計算例(Case 1~3)。Case 1~3は第24図に示される。

Table 7. A calculated example of number of survivals (\dot{n}) and weight of survivals ($\dot{n} \times \dot{w}$), for each size class 1 million of prawn seedlings (B. L 15 mm) is released. Case 1-3 shown in Fig. 24.

Range of body length	Medium of Range (mm)	Weight of medium (mg)	Case 1		Case 2		Case 3	
			Number of Survivals ($\times 1,000$)	Weight of Survivals (kg)	Number of Survivals ($\times 1,000$)	Weight of Survivals (kg)	Number of Survivals ($\times 1,000$)	Weight of Survivals (kg)
			\dot{n}	$\dot{n} \times \dot{w}$	\dot{n}	$\dot{n} \times \dot{w}$	\dot{n}	$\dot{n} \times \dot{w}$
15~20	17.5	47.0	700.0	32.9	750	32.25	600	28.20
20~25	22.5	105.0	560.0	58.8	400	42.0	140	14.70
25~30	27.5	199.5	448.0	89.38	240	47.88	56	11.17
30~40	35.0	431.5	403.2	173.98	153	66.02	26	11.22
40~50	45.0	964.1	383.0	369.25	114	109.91	17	16.39
50~60	55.0	1832.0	383.0	701.66	96	175.87	15	27.49

第8表 放流体長15mmとした場合のクルマエビ種苗成長サイズ間の日算例 (Jul. 1~Sep. 1). p^{O_2} : 酸素消費量にもとづく値, p^f :

Table 8. A calculated example of days each growth step takes (\bar{d}), (P^{O_2} , P^f) when prawn seedlings (B. L 15 mm) are released. P^f : value based on feed amount. July-Sept. is

Range of body length (mm)	Release on July 1st					Release	
	Duration of range (days)	W. T. in duration ($^{\circ}C$)	Protein consumption in W. T. (\dot{t}) (g/ky day)			Duration of range (days)	W. T. in duration ($^{\circ}C$)
			$\frac{O_2}{Pa, t}$	$\frac{f}{Pa, t}$	P^f/P^{O_2}		
\bar{d}	\dot{d}				\dot{d}	\dot{t}	
15~20	6	22.2	12.9	83.3	6.46	5	26.3
20~25	6	22.2	9.6	64.4	6.71	5	26.3
25~30	6	22.2	6.3	50.4	8.00	5	26.3
30~40	12	22.2	8.5	45.5	5.35	10	26.3
40~50	11	26.3	10.8	59.1	5.47	11	26.3 } 26.1
50~60	11	26.3	8.4	45.7	5.44	12	26.1
Total of average	T. 52				A. 6.24	T. 48	

(第24図)。なお、各曲線想定に当つては放流サイズを体長15mm、放流尾数を100万尾とした。また、体長(A)と体重(W)の関係を $\log W = 3.199 \log A - 2.3045$ とし、1日体重当り蛋白消費量と水温の関係は第18図~第21図によつた。

以上の方法に従つて体長15~60mmを6つのサイズに分け、生残モデル曲線 Case 1~3に基づいてサイズごとの現存量 $\dot{n} \cdot \dot{w}$ を求めた(第7表)。次に成長モデル曲線 Release on July 1st

第9表 放流体長15mm、放流尾数100万とした場合の成長サイズ60mmまでに必要とする蛋白総量Gの計算例。Case 1~3は第23図に、Jul. 1~Sep. 1は第24図に示される。 G_{O_2} : 酸素消費量をもとにした値, G_f : 摂餌量をもとにした値。 S_{60} : 体長60mmでの生残重量。

Table 9. A calculated of protein amount needed (G) for 1 million of prawn seedlings with body length of 15 mm at release to grow to body length of 60 mm. G_{O_2} : value based on O_2 consumption. G_f : value based on feed consumption. S_{60} : weight of survivals when body length has reached 60 mm. Cases 1-3 are shown in Fig. 23. July-Sept. are shown in Fig. 24.

Case	1						2						3					
	Jul. 1		Aug. 1		Sep. 1		Jul. 1		Aug. 1		Sep. 1		Jul. 1		Aug. 1		Sep. 1	
A or B	G_A	G_B	G_A	G_B	G_A	G_B	G_A	G_B	G_A	G_B	G_A	G_B	G_A	G_B	G_A	G_B	G_A	G_B
G (kg)	35.77	753.95	143.72	802.7	134.52	766.02	43.00	244.24	45.97	260.23	43.10	251.24	9.08	53.76	9.56	56.66	9.06	55.46
G_B/G_A	5.55		5.58		5.69		5.68		5.66		5.83		5.92		5.93		6.12	
Average	G_A		138.03				44.02				9.23							
	G_B		774.23				251.90				55.29							
	G_B/G_A		5.61				5.72				5.99							
G_B/S_{60}	1.10				2.05				2.82									

数 (\bar{d}), 代表水温 (\dot{t}) および 1 日当り蛋白消費量 (p^{O_2} , p^f) の換
 摂餌量にもとづく値. Jul.~Sep. は第24図に示される.

representative water temperature (\dot{t}), and diurnal protein consumption
 (July 1st, August 1st and Sept. 1st). P^{O_2} : value based on O_2 consump-
 shown in Fig. 24.

on August 1st			Release on September 1st				
Protein consumption in W. T. (\dot{t}) (g/kg day)			Duration of range (days)	W. T. in duration (°C)	Protein consumption in W. T. (\dot{t}) (g/kg day)		
$\frac{O_2}{Pa, t}$	$\frac{f}{Pa, t}$	P^f/P^{O_2}	\bar{d}	\bar{d}	$\frac{O_2}{Pa, t}$	$\frac{f}{Pa, t}$	P^f/P^{O_2}
15.4	103.2	6.70	5	26.1	15.0	105.0	7.00
10.7	75.6	7.07	5	26.1	10.6	75.5	7.12
9.1	58.8	6.46	5	26.1	8.9	58.6	6.58
12.7	71.5	5.63	10	26.1	12.5	71.2	5.70
10.8	59.1	5.47	12	26.1	10.6	59.0	5.57
10.6	59.0	5.57		23.5	8.4	49.7	5.92
8.3	44.3	5.34	13	23.5	6.7	36.8	5.49
		A. 6.24	T. 50				A. 6.20

~September 1st (第24図) と 1 日体重当り蛋白消費量曲線 (第18図~第21図) および水温変
 化曲線 (第24図) 等に基づいて各サイズの日数, そのサイズでの水温 \dot{t} における標準代謝時の
 蛋白消費量 $\frac{O_2}{Pa, t}$ と摂餌量より換算した蛋白消費量 $\frac{f}{Pa, t}$ を求める (第 8 表). これによると各
 サイズでの p^f と p^{O_2} の間には全サイズを通じ $p^f/p^{O_2} \approx 5.4 \sim 8.0$ (平均 6.2) の関係がみられた.

次いで第 7 表, 第 8 表に基づき Case 1 ~ 3 での Release Jul. 1st~Sep. 1st について総蛋白
 消費量 G_A , G_B を求めた. ただし, G_A は p^{O_2} による計算値, G_B は p^f による計算値. これに
 よると Case 1 で G_A は平均 138.03kg, G_B は平均 774.23kg と求められた. また, G_B と 60mm
 での生残総重量 S_{60} との比 G_B/S_{60} は 1.10 となつた. 同様に Case 2, Case 3 について G_A , G_B ,
 G_B/S_{60} を求めたところ Case 2 での各値の平均値は順に 44.02, 251.90, 2.05, また, Case 3
 では 9.23, 55.29, 2.82 となつた (第 9 表).

考 察

1. クルマエビ種苗の潜砂および摂餌について

クルマエビ種苗の潜砂生態については食害生物からの逃避行動としての観点から重視され、
 過去いくつかの報告 (倉田, 1972; 石岡, 1972; 三浦・他, 1954; 野上・他, 1971) が出され
 ている. 今回も同様な観点から再検討を加えた訳であるが, まず標準的な放流サイズである 10
 ~15mm での経時潜砂率の変化グラフから, このサイズでの潜砂率 (昼間時) は平均して 50% 前
 後で, かつ, 測定まで砂をしいた水槽で飼育された経歴 (着底後 5 ~ 7 日間) の有無にはほと
 んど関係のない点が明らかにされた.

また, 摂餌後の非潜砂率の変化グラフから摂餌チャンス 1 回当りの摂餌に要する時間は群と
 して見た場合摂餌前の非潜砂率にもどるのに要する時間をもとにして最大 90~100 分程度と考

えられる。しかし、摂餌に費やす時間は餌料の種類、空腹度、害敵の有無等で当然変るであろうし、群としての扱いと個体での扱いとでは後者の方が小さく出ると思われるので、今回の測定値 90~100 分は最大摂餌必要時間に準ずるものとして考えるのが妥当であろう。また、非潜砂率が経日的に減少することから 10~15mm といつた小型サイズでも放流後数日で新しい環境に順応していくことが推察される。

次にサイズ別にみた潜砂率の変化から 20~25mm 未満と 25~30mm 未満のサイズとの間に明らかに潜砂行動上の分岐点が認められた。その間の差は日を経るにつれ小さくなるが、点灯時、消灯時の非潜砂率の変化のパターンから見ても 25~30mm のあたりに昼間時は潜砂し、夜間時浮上し歩ふくする性質、すなわち夜行性が備わることとは明らかで、これは過去の知見(石岡, 1972)と一致している。ただし、昼間時でも摂餌した場合、特に絶食後は非潜砂率がいずれのサイズでも上昇する事実からして、昼間時に常時砂中に潜伏している訳ではなく、自然条件下でも餌料条件によつては浮上、摂餌する可能性をうかがわせた。なお、生産終了時の種苗の脚部、肢部の損傷状態と潜砂能力に関係があるとの報告(野村, 1979)があるが、今回その点に関し検討を加えていないので別途調査を試みたい。

次に種苗の摂餌量変化をみると 25mm 未満のサイズの種苗は摂餌後 1~2 時間内が大きい値を示すものの、その後も継続的にかなりの量の摂餌の続くことが認められる。換言すればそれだけかなり連続的に餌をとる必要があるということで、この点は餌料消化時間(一応摂餌開始から脱糞開始までに要する時間と解釈)が 20℃でも 30~35 分程度と短時間であつたことからもうかがえる。

このように、体長 10~25mm の種苗にとつては体重に比して大きな栄養要求量を満たすための餌料確保が不可欠であり、そのための頻繁な索餌行動、摂餌行動が非潜砂率の高さの一原因となつていると思われる。ただし、25mm 以上になると体重当り摂餌量が急速に減少するというのではなかつたので摂餌量の大きさそのものだけではなく、餌料の食い溜めや消化吸収上の機構、あるいは害敵を察知する感覚機構が 25mm 以下の種苗では未分化である点が非潜砂率の高くなることを手伝つていると考えられよう。

2. 食害魚の捕食について

種苗放流時は当然食害による減耗を予測せねばならないが、日本海沿岸における放流時、放流以後の食害の実態を調査した報告例は少なく、今後一層のデータ蓄積が必要であろう。したがつて食害については推論の域を出ないものの、一歩でもこの問題の解決に近づくための手法として食害魚になり得る魚種を放流域で調査し、その捕食量を求めておくことはそれなりの意義はあろうし、食害魚の分布量が調べられれば理論的には食害量を推定し得る。

その手始めとしての今回の 8 種の魚類を用いた捕食実験から以下の点が論議できよう。まず、クルマエビ種苗を捕食する魚種の中でも魚種によつて捕食量は異なることで、実験に用いた魚のサイズが全長 5~15cm とやや幅のある点での問題があるにしても最大の捕食量を示したメゴチと最小のクロウシノシタでは約 2 倍のひらきがあつた。本来クロウシノシタは多毛類が主餌料とされている点からみて当然の結果ではあるが、この捕食量の相違はある程度クルマエビ種苗への嗜好性、捕食能力等を反映しているともうけとれる。ちなみに、砂を入れない水槽での捕食量(≒最大捕食量)を 15mm 種苗(体重 28.7mg)に換算すると放流モデル域に多かつた 3♀程度のメゴチで 1 日 1 尾当り 20.6 尾、同様 5♀程度のヒラメ稚魚で 34.2 尾ほどとなる。しかし、この値は絶食時の魚に m^2 当り 200~300 尾という通常の放流では考えられない密度で投入した場合の値であつて、当然自然条件下での同魚種への単純な適用のできないことは言うまでも

ない。ただし、逆に自然条件下では多毛類が主餌料とされているクロウソノシタやキスでも種苗捕食が少いながら認められたことは砂浜性海岸における同魚種の分布量の多さからみて、かつしてその食害は無視し得ないとも考えられる。

次に砂のあるなしによる捕食量の相違について、換言すれば種苗にとつての潜砂行動の避敵効果について考えてみる。この点については短期的問題と長期的問題の2つに分けて論じる必要がある。短期的な問題とは例えば第12図のBにモデル化してあるように食害魚の存在が予想されているが直接的に種苗を海中に放流するような場合である。水底あるいは水中で待ちうける食害魚からのがれるべく当然種苗は潜砂するであろう。その効果は第3表に示されたように砂のない水槽AにくらべBの捕食量が1時間内で30%ほど少ない点からも確かに認められる。しかし、水槽実験ではあるものの、逆にAの場合の70%強がBでも捕食されるという点から体長10~15mm程度の種苗での潜砂による避敵効果はさほど大きい期待はもてないということも言えよう。水槽投入後の種苗の潜砂率が当初50%前後であつた点からも体長10~15mmサイズの種苗は未だ安定した潜砂習性を獲得しておらず、それが被食の主因となるであろうことは十分予測される。

一方、長期的問題としては第12図のCにモデル化されているように放流当初の食害魚からの攻撃は逃がれ、一応着底し潜砂状態を確保した以後の場合についてである。潜砂態勢が整い、一定時間が経過して環境に慣れれば不要な歩ふく、遊泳行動もなくなつて被食量は急速に減るのであるという予測にも関わらず、短時間実験(第4表)、長時間実験(第3表)ともCはBと大差ない結果となつている。ただし、短時間実験のCは長時間実験にくらべれば小さい値を示しているので多少の避敵効果が備わつたことは認められよう。

このように長期的問題についても体長10~15mmの種苗での潜砂習性の不安定さが被食の主因としてあげられる。ただし、非潜砂率の経日変化(第4図)からみて不安定さの程度は放流直後のものがそのまま継続されていくわけではなく日数とともにそのサイズにおける安定域に収れんし、それに伴つて生残率も高まつてくるものと思われる。

以上の論議は捕食数の平均値をもとにしたものであるが、魚種別にみると魚種間で捕食能力に相違のある点が認められる。第3表、第4表に示されたようにクサフグ、クロダイ、マガレイ等ではAに比してB、Cの値が半分程度になつている。他方、メゴチ、ヒラメ、キスではA~C間に大きい差はない。このように実験的には種苗の潜砂による避敵効果は対象魚種によつて異なる。その理由が何であるかは明らかでないが、A~C間で差の大きいのは遊泳性の強い種類、差の小さいのは底生性の強い種類という一応の区分けはできそうである。ただし、底生性と思われるマガレイ幼魚でもA~C間に差のあつた点に問題は残る。

こうした魚種間での捕食能力の相違を第5表に示された30分間の捕食率(g/b および h/c)で検討してみる。この実験は第12図Cに順じた方法をとつているので砂上を歩ふくしている状態の種苗は魚を投入すれば当然潜砂して捕食から逃がれるであろうとの予測のもとに設定され、その逃避率を求めようとしたものである。この結果からみるとマハゼ、メゴチでは魚投入前の非潜砂個体の96~100%がみかけ上捕食されているのに対し、クサフグでは52%ほどであつた。特に、マハゼ、メゴチでは潜砂状態の個体の10~14%ほどが捕食されていることから、これらの魚種では非潜砂状態の種苗にとどまらず潜砂状態の種苗も捕食できるということになる。クサフグでは潜砂個体は捕食されていない。

とはいえ、これらの数値はあくまで“みかけ”であり、実際は実験時間内での種苗の砂への出入があろうから、当初の非潜砂個体が必ず捕食される訳ではない。また、60lという小さい水槽内での実験であるから自然条件下よりは魚の行動が種苗に大きい影響を与え、砂中より

跳ね出たところを捕食されたという可能性も否定できない。ただし、いずれにせよ魚種によって種苗捕食能力に差があることも確かと思われるのでこの点、今後とも対象魚種をひろげて調査をつづける必要があろう。

次に、各魚種の種苗捕食量の日内変化についてであるが、実験に用いた魚種についてはすべて投餌初期に最大量を捕食している。実験での捕食パターンを自然条件下に演繹するには種々問題があるにしても一定の仮説設定に援用することは無意味ではなからう。この観点から実験結果を種苗放流時の捕食生態になぞらえて検討してみると、この初期の大量捕食は空腹状態の食害魚が存在する水域に種苗放流する場合には当然予測されよう。逆に、この初期の大量捕食期を過ぎ、食害魚が飽食状態になれば急速に捕食量は小さくなるであろう。また、実験魚について見ると、十分捕食可能な照度が確保されていても夜間時の捕食量は昼間時にくらべはるかに少ない。

自然条件下で同様な捕食パターンが存在するかは今後の生態調査を待つほかないが、種苗放流に際しては食害魚の分布、量、嗜好性ととも食害魚の日内摂餌パターンも検討対象にする必要があろう。同時に、放流域における餌料生物の豊度についても調査し、食害魚の餌料充足度をある程度判定する必要もあると思われる。

3. クルマエビ種苗の餌料要求

クルマエビ種苗に限らず生物一般に成長初期の方が基礎代謝量が高く、また、成長に要する体重あたり食物量は多い。今回は統計上の検討は行っていないが種苗各サイズ間でほぼこの原則が成り立っている。潜砂行動の項でも触れたように、小型サイズの種苗ほど頻りに摂餌をしなければならず、それだけ砂上に出る時間は長くなる。したがって潜砂習性と餌料要求の間には小型サイズほど関連性が強く放流サイズについては当然両面からの検討が要求されよう。

なお、基礎代謝時の蛋白消費量換算に当つては蛋白消費効率その他で魚類でのデータを援用した点で問題は残される。この点クルマエビ種苗自体の代謝生理、栄養生理の面での知見収集によつて修正をはかりたい。

次に放流後の種苗の餌料必要量の試算であるが、試算に当つての資料は大部分仮定的なものであり、全体としてシミュレーション的手法となつている。方法的には種々検討の余地があるにしても今後放流尾数が増大するにつれこの問題は論議の必要性が高まると考えられる。

仮に餌料条件が満たされていない水域に大量放流を試みても種苗はただちに栄養不足から活動力が鈍りそれだけ食害の危険は増すであろう。また、以降の成長も期待できないし、成長がおそいということはやはり減耗の危険に結びつきやすくなるであろう。いずれにせよ、餌料条件が不満足であることは減耗を加速し、放流の所期の目的を果たせないことにつながる。

実際問題として餌料条件がどの程度かを判定することは放流域の生産力の測定と本質的に同じ非常に困難な作業である。しかし、放流対象域のマイクロベントス、あるいは有機物質の現存量の把握によつて放流当初の危険率の高い時期の餌料条件が満たされているか否かの検討を行い、放流対象域としての適性、あるいは放流可能尾数の算定等についてぐらひは一定の理論的背景を持つよう努力すべきであろう。

総 合 考 察

以上今回得た実験結果について検討を加えたが、最後に日本海における放流技術開発との関連について若干触れておきたい。

クルマエビ放流事業は主に瀬戸内海，九州地区を先発地域，中心地域として進められてきた経緯から技術開発あるいは関連研究にしても大部分干潟での放流を前提として進められてきている(倉田・他，1971；倉田・他，1972)。それに対し，日本海沿岸での放流は地形的条件，潮汐条件，気象条件のいずれの面からも制約を受け，前述の先発地域の放流技術の単純な適用ができずに今日に至っているのが実情であろう。

例えば中間育成の是非についても未だ一定の見解を打ち出すに至っていない。この点について一定の問題の整理をまず試みる必要がある。まず，中間育成をせずに直接放流するのであれば当然一定量の初期の食害は覚悟しなければならない。この場合，放流種苗が体長25mm以下であるなら潜砂行動そのものに大差はないと考えられるので小さいサイズで数を多くする方が生残率としては高くなる。ただし，放流に際して直後の食害からの防止手段を物理的に講じるか，食害魚の摂餌サイクルを考慮して放流することによつてある程度減耗を押えられる可能性がある。

一方，中間育成後放流するに当つて種苗に潜砂能力を完全に備えさせてから放流するというのであれば体長25～30mmまでの飼育管理が必要となる。当然このためには耐波性を備えた海中施設か，または陸上の飼育施設を確保する必要がある。15mmサイズで始めるとすれば10～20日を要しよう。

直接放流と中間育成後放流する2つの方式の中間形態として短期間ではあるが放流域に順致させてから放流する方式も考えられる。方法の上では海中施設を用いた中間育成の形式をとるが直接放流した場合の種苗の遊泳，歩ふくといつた初期の行動の不安定さによる減耗は防がれるであろう。短期間であれば施設の面では簡便で済むであろうし，管理の手間も少なくて済む。

これらの3つの方式のいずれかが合理的であるかは種々考慮の必要があろうが，究極的にはコストの問題であり，それもおそらく放流の経済的効果をも包含した形で検討される必要があると考えられる。結論的には技術の展開，改善を進めるに際しては個別の問題論議だけでは片づかない場合が多いことを認識する必要がある。今後の日本海沿岸でのクルマエビ種苗放流技術の開発に当つても種々の生物学的知見，工学的知見，経済的知見，その他関連する多くの要因の中から重要なものを選びだし，各論—総合論議—各論，の反復の中で進めていつて，早期解決に努めることが重要であろう。

本論文を終えるに当り，作成上種々の御助言を頂いた浅海開発部第3研究室小金沢室長，実験遂行上種々の御助力を頂いた同室興石技官，長沼典子氏に深謝致します。

文 献

- 橋本芳郎 (1973). 養魚飼料学：12～69.
 石岡宏子 (1972). クルマエビ人工種苗の生理生態について. 南西水研報告 (6)：59～84.
 倉田 博 (1972). クルマエビ栽培における種苗とその播殖に関する諸原理について. 南西水研報告 (5)：33～75.
 倉田 博・仁科重己・石岡清英 (1971). 浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究：5～32.
 倉田 博・石岡清英・仁科重己・河野慈敬 (1972). 浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究：16～25.
 三浦五郎・山口正男 (1954). クルマエビ *Penaeus japonicus* BATE の砂中潜入行動その他についての2, 3の観察. 水産増殖 2(2, 3)：20～26.

- 野上和彦・石岡宏子・福原 修 (1971). 浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究：85～90.
- 野村 元 (1978). 昭和52年度放流技術開発事業報告書, 日本海中部海域・くるまえび班.
- 野村 元 (1979). 昭和53年度放流技術開発事業報告書, 日本海中部海域・くるまえび班.
- 右田正男・花岡 資・都築 清 (1937). 植物性養魚人工餌料試験第一報, 二三糖質の養鯉人工餌料としての栄養価値, 水試報告 (8) : 99～177.