

クルマエビ人工種苗の生理生態に関する研究

石 岡 宏 子

The Studies on Some Ecological and Physiological Characteristics of Artificial Seedlings of Prawn,

Penaeus jaonicus BATE

Hiroko ISHIOKA

In recent years, numerous technical improvements for prawn seedling production for marine farming become so successful, and juvenile prawn are being released in the coastal shallow waters to expect the increase of the fishery product.

Despite the long history of the prawn culture in Japan, little is known about the biology of the species, and there is few biological proof of the success of the releasing program. For the successful farming, fundamental biological characteristics of this prawn has to be revealed as the first step.

Materials used for the experiment were obtained from the propagation facilities. The seedlings were brought in the laboratory on truck, and were kept in a tank of 0.5 ton capacity with water circulating system, and then were moved in the concrete aquarium of running water. Then, some ecological and physiological experiments have been carried out on the different stages of the growth and the following results were obtained;

- (1) The relationships between the body length and the body weight of this species are shown in the following expression.

$$W = \frac{4.9604}{0.00496} L^{3.199} \quad W : \text{Body Weight (mg)} \quad (1)$$

L : Body Length (mm)

The condition factors were also estimated by the following formula; Body Weight (mg)/Body Length³ (mm) X 10³, and the condition factors estimated on the prawn were 5.8 at the size of 0.6-0.8cm in body length, 4.1 at 0.8-1.0cm, 8.6 at 1.0-1.2cm, 9.1 at 1.2-1.4cm and 9.1 at 1.4-1.6cm. These results show that the factors rise with the growth from the stage of 0.8cm to 1.0cm of body length.

- (2) The carbon and nitrogen contents in the prawn were measured with C. H. N. analyzer (YANAGIMOTO MT2 type C. H. N.-corder) and carbon-nitrogen ratios were estimated. They were 4.6 at the size of 0.6-0.8cm in body length, 4.3 at 0.8-1.0cm, 3.8 at 1.0-1.2cm and 3.9 at 1.2-1.4cm. The C-N ratio of the prawn is markedly decreased with the growth at the stage of about 1cm body length.

This result may suggest that the occupancy of the cuticle for the weight of the prawn is changed, and the difference of the ratio in each stage does not depend upon the negative physiological condition.

- (3) The experiments on the resistance of the juvenile to low chlorinity were carried out at a few growth stage and 24hr. TLM values were evaluated. They ranged from 1 ‰ to 2 ‰ in chlorinity and did not deviate from this range with growth. The 24hr. TLM value rised at higher temperature, and it is shown that

the weak resistance to low chlorinity should be brought to the prawn in high water temperature.

- (4) The experiments were performed about the high water temperature resistance. It was revealed that in the juveniles of 1.0cm body length, the 24hr. TLm values of several trials ranged from 38°C to 39°C. The values were in the broad range from 34°C to 39°C at the stage of 2.4cm body length. It is supposed that the resistance to high water temperature becomes weaker with the growth.

The TLm values estimated with the condition of rapid water temperature change was different from that with the gradual change in low temperature below 15°C. It may show that acclimation would be possible to expect the stronger resistance for low water temperature.

- (5) The burrowing behavior in the substrate on the prawn was appeared at about 0.8cm body length stage. And then, from this stage to 2.5-3.0cm body length stage, the nocturnal habit was gradually appeared.

This burrowing behavior and burrowing rate are affected by light, starvation, grain size distribution of the substrate and so on.

- (6) In the case of the feeding experiments with the brine shrimp adults as food, the relationships between the growth of the prawn and the food required were as follows;

$$Y = 0.82182X^{1.7469} \quad Y : \text{Food (mg) required for 1mm Body Length Growth (2)}$$

X : Body Length (mm)

As the prawn grew to 3cm body length, habit of periodical food intake was clearly appeared and the amount of food intake was in the decrease immediately after ecdysis.

- (7) The cannibalism may occur to the prawn when the variation of the physiological activity of shrimps is great. So, long period starvation and some unfavorable culture conditions such as the long exposure to high water temperature or low chlorinity may cause the cannibalism and high mortality on the prawn.

The results obtained in this research were discussed with other information on the behavior of this prawn and the development of the seedling follows three stages, namely, free swimming stage (~0.9cm), transitional stage (0.9~2.5-3.0 cm) and benthic stage (3.0~). The seedlings are equivalent actually to this transitional stage in the present technique. The larvae of benthic stage have almost same habits as the adults have, and typical characteristics such as nocturnal, burrowing into the sand, stronger resistance to water current and periodicity of food intake and so on, are appeared exactly. However, on the larvae of free swimming stage, their biological characteristics are much different in comparison with the adults, meaning also different from benthic stage. Therefore, on the transitional stage, their characteristics are quite complicated biologically and are unstable as the quality of seedling. Thus, the application of prawn seedling for releasing program of the farming should be done with careful consideration from the biological view points.

So, some acclimation and naturalization techniques are applied and the reformation of the farming grounds are in progress on research to realize more effective farming. These trials are quite suitable and helpful for the improvement of the technique the remarkable development could not be expected without the knowledge and the information of ecology and physiology on the species.

はじめに

ここ数年来、クルマエビの種苗生産技術は著しく進展し、多量の放流用種苗の供給が可能となった。一方で、栽培漁業という新しい生産形態が、漁業者、研究者の関心をひき、具体的な評価をしなければならない段階に入っており、クルマエビは、種苗供給の可能性、生産物の価格等の点から栽培漁業に適した水産生物であると考えられた。

この“種苗放流”→“自然界での成育”→“採捕”という栽培漁業の一連の過程の中で、生産効果の判定を行なわなければならないが、技術的には、生産過程における環境変化、生物自体の変化等を具体的に検討し、全体の生産性に大きな悪影響をおよぼす要因があれば、それを回避するか、あるいは、それを最少にする努力がなされなければならない。

ここでは、その第一段階として、放流種苗として供給される人工種苗について、生理生態学的諸実験を行ない、発育段階初期におけるクルマエビの生物学的特性を知ることによって種苗放流の在り方を推論しようとするものである。

材 料

実験に用いたクルマエビ *Penaeus japonicus* BATE 人工種苗は、昭和45年度は瀬戸内海栽培漁業協会玉野事業場、昭和46年度、玉野事業場、藤永クルマエビ研究所、昭和47年度は、山口県水産種苗センター、藤永クルマエビ研究所で生産されたものである。15°C前後に冷やした海水10ℓを入れたビニール袋に2,000~5,000尾の種苗を収容して、酸素を吹きこみ、水産研究所まで陸上輸送した。この時のクルマエビの発育段階はミンス期からいわゆるポストラバ初期である。輸送したクルマエビには、ブラインシュリンプ、チグリオパス、アサリ肉の細片等を与えて、ポストラバ初期までは止水飼育、以後は、止水、または流水でそれぞれ飼育した。それぞれの実験に際しては、発育に応じて適宜とりあげ供試した。

研究方法については、各項目ごとに詳述する。

I 体長、体重関係

【一】 研究方法と結果

種苗サイズの稚エビを扱う場合、一般には、体長で表示されている。これを重量として検討することが必要な場合も多い。ここでは体長と体重の関係が成長に伴ってどのように変化するかを知ることが目的とした。各体長時期のクルマエビを適宜とりあげ、体長は、額角基部から尾節先端までをディバイダーを用いて4.0mmまで測定し、体重については体表の水分を濾紙で軽くおさえて除いた個体を恒量にした秤量瓶に入れ、化学天秤で4.0mgの単位まで測定した。

両者の関係は下記の両対数直線回帰式によくあてはまる (Fig. 1)。

$$W = 4.0661 L^{3.199} \quad (r = 0.99624) \quad (1)$$

[W: 体重(mg), L: 体長(mm)]

体長と体重との関係をさらに細かく検討するために、肥満度 [体重(mg)/体長³(mm)×10³] を算出し、体長別に集計して Fig. 2 に示す。この資料によれば肥満度は、体長1.2cm前後までは成長に伴って増加するが、それ以後、4cm前後まではほぼ安定して9~10の値を示している。体長1cm前後までの変動係数が大きいのは、体長は比較的正確に測定できるのに対して体重は、水の附着による測定誤差が大であったためと考えられる。

飢餓によって肥満度にどの程度の変動が起るかを知るために、次のような実験を行なった。

各個体1尾ずつを内径1.1cm、長さ5cmの塩化ビニール製円筒の中に入れ、両端にモジ網をはり、水は流

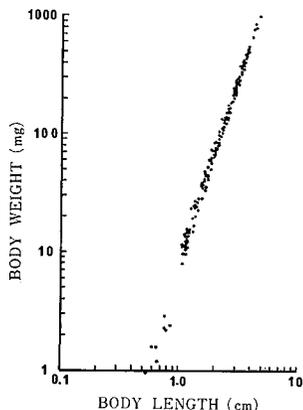


Fig. 1 The Relationship between Body Length and Body Weight on the Juvenile Stage of the Prawn

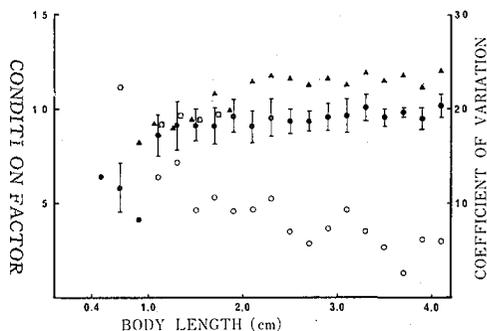


Fig. 2 Changes of Condition Factor and Coefficient of Variation with the Growth of Juvenile

- Condition Factor
- ▲ Condition Factor from Yamaguchi Pref.
- Condition Factor from Ishioka
- Coefficient of Variation

入するが、クルマエビは逃げられないようにして流水中で飢餓条件下に放置した。飼育水中には特に認められる飼料は含まれてはいなかった。

肥満度の測定は前記のとおりである。所定期間後に取り上げた試料は体長、体重を測定後直ちに凍結し、真空凍結乾燥器に入れ重量変化がなくなるまで乾燥し、乾重量を測定した後、試料を摩砕し、C.H.N.コーダー（柳本製MT 2型）により、C-N比の測定に供した。これらの結果を Table 1 に示す。

Table 1. Changes of Condition Factor, Water Content and C-N Ratio of the Juvenile during Starvation

Period		Start	2 Days after	5 Days after	Control
Date		Aug. 2nd	Aug. 4th	Aug. 7th	
Number of Shrimps		30	23	37	30
Condition Factor	m.v.	—	8.42	9.62	8.90
	s. d.	—	0.659	2.420	0.763
	c. v.	—	7.83	25.17	8.57
Water Content (%)	m.v.	78.66	79.75	82.34	78.77
	s. d.	3.37	1.52	1.46	1.68
	c. v.	4.28	1.90	1.77	2.13
C-N Ratio	m.v.	3.70	3.58	3.57	3.76
	s. d.	0.11	0.04	0.07	0.12
	c. v.	3.03	1.21	2.10	3.19

この飢餓実験結果から明らかなように、クルマエビでは体重の中で、水分が増加し他の物質の減少を、おぞなう傾向が認められるので、肥満度は栄養指標としては不適当なようである。体長1.5cmから2.0cmの範囲

で、肥満度の変動係数は10%以下が普通であるのに、この実験では飢餓開始後5日目で25%以上の値を示していた。

1-2 考察

Fig.2 中の肥満度に関する資料の中で▲印は、昭和43年度に行なわれた山口県水試の測定資料によって、体長別に肥満度を算出したものである。測定方法、精度等が異なるので厳密な比較は難しいが、肥満度は成長に伴って増加し、かつその変動係数は減少する傾向にあり、類似している。肥満度に変化が生ずるのは、体長0.9 cm前後で、後に述べるC-N比の変化する時期と一致している。肥満度に関しては、古く、山本¹⁾が、体長4 cm以上の個体について測定し、平均値としては、7前後の値を示している。今回測定した結果や、山口水試²⁾、石岡(清英)の結果³⁾等は、体長3 cm前後までの個体の測定結果で、9以上である。したがって肥満度に関しては、3 cm以上に成長した後でさらに変化があるかもしれないが体長の基準のとり方が異なる場合も想定され明らかではない。

II 炭素—窒素比

II-1 方法および結果

一般に生物の体成分組成を考えると、炭素は、炭水化物、脂肪に多く含まれ、窒素は、蛋白質、アミノ酸や、これらの誘導体の指標として考えることができる。

この炭素と窒素の比率を検討することによって、蓄積炭水化物、蓄積脂肪の変動を知ることができると考えた。

前述の飢餓実験の中で、肥満度算出のため重量測定した試料は直ちに C.H.N. 分析に供し、Table1 の結果を得ている。

一方で、飼育エビの中から成長の段階に応じてとりあげ、同様に C.H.N. 分析を行なった。供試試料は、微量天秤で2~5 mg を精密に測定し、柳本製 C.H.N. コーダー (MT 2 型) で測定した。

クルマエビには蓄積脂肪、炭水化物は少ないとされている。Table 1 に見られるように C-N 比は飢餓に伴って減少するが、この変化は極めて小さい。一方、正常個体の成長に伴うエビの C-N 比の変化は、体長約 1 cm まで著しく減少し、その後の減少は極めて少ない。(Fig. 3)。

II-2 考察

C.H.N. コーダーで、餌生物の C-N 比を測定した例は少ないが、brine shrimp の成長した個体の平均は4.45であり、上田⁴⁾が測定したノウブリウス期で、4.2であった。

この値はクルマエビの体長1 cm以下の時期の場合と類似している。共に浮游生活という生活様式も類似しており、興味深い。甲殻類の表皮にはクチクル層が分化し、無機物としては、炭酸カルシウム、有機物としては、Chitin 質が多い。共にその構成物中には、炭素成分を多量に含んでいる。Dall⁵⁾によれば、*M. mastersii* の場合、表皮は、無機物38.7%~51.7%、有機物61.3%~48.3%で無機物中の約20~30%が、CO₂成分、有機物中の33~34%がChitin 質であるという。クルマエビの場合、このような点についての分析例はないが、甲殻として、クチクル層が分化しているのは当然であろうし、成長に伴って一時期、C-N比が大きく変わる時期があるという結果を今回の実験で得た。すなわち、体長1 cm前後になってはじめて体実質の増加が安定し、底棲生活ができるような状態になるのであろう。

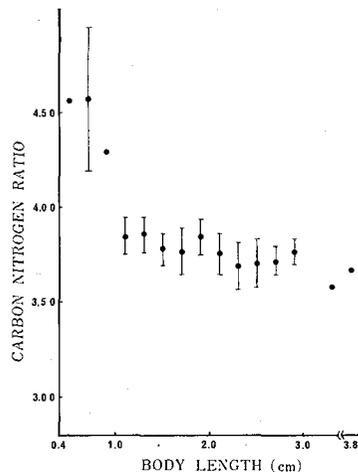


Fig. 3 Changes of C-N Ratio of Juvenile Prawn on the Different Growth Stages.

肥満度と対応した変化を示すのは、そのような理由によるのではないかと推測される。

Ⅲ 塩分耐性について

Ⅲ-1 方法と結果

一般にクルマエビ類は広塩分耐性生物であることが知られており、クルマエビが干潟に棲息しうる一つの条件となっている。事前に実施した予備的な実験から蒸溜水を用いて50%以上に稀釈した海水で、何らかの影響が予測されたので、大野瀬戸海域の汙過海水と蒸溜水を混合し、50%以上の稀釈海水を調製して実験を行なった。実験には、5ℓ、8ℓのガラス水槽を用い、3ℓの各種塩分の稀釈水を入れ、約12~18時間、水温が一定(22°C)になるように恒温室に放置した。実験は止水で行ない、クルマエビは大きさに応じて10~20尾を供試した。収容直後、1時間後、24時間後に、行動の異常、斃死の観察を行なった。実験に用いた飼育水の塩分は海水%で、0、5、10、15、20、30、40、50、の8区であった。各供試水のCl(%)は、クルマエビ収容直前に15ml採水し硝酸銀による常法により測定した。この実験は、平均体長1.1cm、1.7cm、2.5cmのクルマエビについてそれぞれ少なくとも2回以上行ない、また異なった温度条件での検討も試みた。

Table 2. 24hr. TLm Values for Low Chlorinity (%)

W.T.(°C)	B.L.(cm)	1.0-1.3	1.6-1.8	2.3-2.7	1.35-2.28	1.63-3.34	W.T.(°C)
	22.5-23.0		0.81-1.60	0.96	1.36	1.01 1.78	
		0.82-1.69	0-0.85	0.65-1.72		1.35 1.89	28.9-29.7

結果は Table 2 に示した。これから明らかなことは、“種苗サイズ”といわれているクルマエビでは、3cm前後まで塩分耐性は、非常に幅広く24時間 TLm の値は Chlorinity として1~2%の範囲に入り、成長に伴う変化は認められない。また、22°Cから30°Cの温度範囲であれば塩分耐性に大きな差はないが、傾向としては、温度が高くなるにしたがって、わずかに低下するようである。

クルマエビを、直接、蒸溜水中に入れると次のような経過が観察され、温度によって異なるが約1時間までへい死する。

- I 正常位で静止、游泳、匍匐等の行動
- II 正常位での匍匐速度が早くなり、異常游泳(垂直に水面につっこむような游泳)、横転するような運動等の行動が観察される。
- III 異常行動は観察されるが、間歇的になり、全体として動きがにぶくなる。
- IV 横転して稀に動く、游泳脚、鰓の動き心臓の鼓動は認められる。
- V 横転して動かず心臓、鰓の動きのみ認められる。尾柄部をピンセットでつかむと反応する。
- VI 横転して動かず、心拍のみ認められる。
- VII 心拍停止

塩分耐性実験開始にあたってクルマエビを各種塩分の飼育水に入れた場合、行動として変化が観察されるのは、20%海水以下、(2.5% Cl 以下)の場合で、上記の II に相当する行動が観察された。I から VII までの経過が完全に認められるのは、蒸溜水区のみであり、他の試験区では、24時間後に生残った個体では特に異常行動は認められない。

また、クルマエビを潜砂させておいてその飼育水を徐々に淡水化していった場合、その淡水化の程度に応じて全部がいつせいに反応するという傾向はあまり明らかでなく、淡水刺激に対して反応は極めてにぶいことがうかがえた。しかしこの点については、さらに精密な実験を必要とする。

Ⅲ-2 考 察

クルマエビ類は塩分耐性が大きいことはよく知られており、各種の実験結果がある。クルマエビに関して、石田⁶⁾は体長1cmから3.5cmの範囲で、高温域の場合(30°C以上)24時間 TLM 値は、4.18%以下であるとしており、山口県の実験例⁷⁾では、約22°Cで、4.1—5.6%または2.6—4.1%、 $26 \pm 0.5^\circ\text{C}$ で、3.5%、 $31 \pm 1.0^\circ\text{C}$ で2.4%となっている。藤永⁸⁾によると、8日間の TLM 値としてポストラーパーで、下限値は12.23—12.7%、上限値は、26.022—26.58%の間にあるとしている。体長の大きなクルマエビの場合、戸田⁹⁾は7.6—13.5cmのクルマエビで3.47%以下、吉田¹⁰⁾は、7.98cmのクルマエビで3.45—6.03%の間の値を得ている。これらの諸実験で求められた値と比べると、今回の実験結果は、22°Cから28.9°Cの範囲で、1—2%の値を示しており、耐性範囲としては、限界値に近いものと考えられる。実験結果の変異や、報告された諸実験の結果を総合して考えると、適温域で恒温を保って実験を行なった場合には、塩分耐性は高いようである。したがって、干潟のように温度変化の激しい棲息場所での限界は、実験値よりは高くなると想像される。

Penaeus aztecus や *Penaeus setiferus* に関して、Zoula P. Zein-Eldin^{11),12),13),14)}等は、塩分、温度、成長に関する詳細な実験を行なっているが、25°C恒温で Cl. 2.76%とか2.20%以下の24時間 TLM 値を得ている。さらに成長と塩分の関係については Malcolm C. Jhonson¹⁵⁾等による実験結果があり、成長が極端に低下しない限界はLD20(24h)の範囲よりも狭い範囲にあるようである。

さらに、D. V. Aldrich¹⁶⁾は、塩分とエビの行動の関係についての実験を行ない、高塩順化したものは、1.5時間後の反応で、高塩部に、低塩順化したエビは、低塩分域に分布するとしている。さらに低温の場合には、塩分嗜好範囲は高温の場合よりも高塩部にかたよるとしている。エビの行動と各種生態特性との関連は、今後さらに研究を重ねなければならない。

Ⅳ 温度耐性について

Ⅳ-1 方法と結果

クルマエビが干潟で棲息している場合には、干出時タイドプールの水温は約40°Cにも達することが知られており、クルマエビの温度耐性は非常に大きいものと予測される。しかし、温度耐性についての明確な資料は少ないので、この実験を行なった。

実験に先立って供試クルマエビを25°Cの恒温水槽で48時間飼育した。実験水槽としては30ℓパンライト水槽を用い、この中に投げ込みヒーターを入れ、エアレーションを行ないよく攪拌し、33°C、35°C、38°C、40°Cの温度設定を行なった。低温の場合には、恒温ボックス、冷蔵庫を、13°C、10°C、8°Cに設定し、その中に5ℓ～8ℓのガラス水槽を入れ、一晚放置後、水温を、13°C、10°C、8°Cとし止水で24時間の実験を行なった。実験開始直後、1時間後、24時間後に、斃死、異常行動を観察した。

結果を Table 3 に示す。実験設定区分を高温域で33°C、35°C、38°C、40°Cとしたが、耐性限界は38°Cから39°Cの極めて狭い範囲にあり、成長に伴って耐性限界の幅に差異が生ずるようである。

耐性限界が38°Cから39°Cの狭い範囲にあるために、24時間 TLM 値を求めることはできなかった。

Table 3. Range of 24hrTLM value for Temperature

B.L.(cm)	0.89—1.00	1.6—1.8	2.2—2.7
High Temp. °C	38—39	37—39	35—39
Low Temp. °C	12—13	11—13	11—15

クルマエビを高水温実験区 (38°C以上) に収容すると、エビ類特有の屈曲運動によって水槽外へ飛び出ようとする。そして1時間後のへい死率が高く、その後24時間を経てもへい死率にほとんど変化はない。一方、低温に対する反応も非常に敏感で、10°C以下では、実験水槽収容直後から仮死状態になり、横転して動かないものが多い。

また、30ℓパンライト水槽底に投げ込みヒーターを3本入れ、このヒーターの組み合わせによって単位時間当りの温度上昇率を変えることができるようにした水槽を作製し、エアレーションを行ない温度が均一に変化するようにした。水槽下より約3cmに穿孔塩化ビニール製プレートを置きさらにその上に砂の層を5cm程度敷き、クルマエビを潜砂させ、砂上に温度検出器を置き、温度変化を自記記録させた。この装置を用いて水温を徐々に38°Cまで上昇させる実験を行なった。

Table 4. The Effect of Temperature Rising Rate to Mortality of Juvenile Prawn

Number of Experiment	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Time for Temperature adjusting to 38°C (hrs.)	0						7	6.25	6.5	29.6	30.9
Temperature Difference (°C)	13						20.5	20.5	20.7	20.8	20.7
Rate for Temp. rising per Hour	—						2.93	3.28	3.18	0.7	0.67
Mortality after 1 hr. at 38°C (%)	28.57	0	10	30	20	10	0	20	10	20	33.3

Table 4 に示した結果から明らかなように収容後の斃死率には有意差は認められない。すなわち、38°Cを基準にした場合には温度変化の差はそれほど意味を持たない。40°Cになると、クルマエビは収容1時間後には赤く変色し斃死してしまうので、温度順化をしても、高温域では有効な範囲は、39°Cを中心とした極めて狭い間にしかないと考えられる。高温域では後に述べるが、38°C付近を中心とした友喰が認められるので、この点からみても、温度順化ということは、高温域の場合斃死率低下に大きな影響を与えることはないようである。

低温の場合には、十分な装置設定ができなかったので、下記の方法によって抵抗性の変化を観察した。

すなわち、25°Cで飼育したクルマエビを直接10°C以下の水温に収容すると、横転して動かなくなり仮死状態が続くが、順化するとかなり低温まで耐えられるようになる。25°Cで48時間飼育したものを13.3°Cで24時間飼育し、次に10.4°Cまで温度を下げて24時間後に生存しており、さらにそれを8.5°Cにまで下げて24時間後には全尾数生存していた。

この例から推定すると、クルマエビの低温耐性は温度の変化速度にかなり支配されるものと考えられる。

IV-2 考 察

クルマエビ類の温度耐性については、いくつかの研究があり、石田⁹⁾は平均体長、1.05cm, 1.38cm, 1.67cm, 3.51cmの各クルマエビグループについて、温度耐性実験を行ない、35°C以上45°Cの間に24時間 TLm 値があるとしている。さらに塩分との組合せ実験を行ない、Cl. 4.2%以下では、耐温性が低下するとしている。また、藤永は5.5時間の TLm 値として、いわゆるポストラーパーでは、低温域では、7.5°C、高温域の値は、39.3°Cとしている。この高温域の値は、今回の実験結果と類似している。Penaeus aztecus に関する J. B. Waxmann の実験結果によれば、体長0.7~0.9cmの個体で、24時間 TLm 値は、30.3°Cから32.9°Cで、順化温度が高い方が、やや高い24時間 TLm 値を示す。

順化時間については、0, 4, 8時間の3段階についての実験を行っており、低温域 (10°C, 15°C) の場

合には、24時間 TLm 値で順化時間の相違によって1.2~2.5°Cの値の差を生じているが、高温域(25°C, 30°C)の場合は、0.9°Cくらいの差であった。この低温の場合には順化方法が、24時間 TLm 値に大きく影響するという傾向は、クルマエビ実験の場合と類似している。順化によってクルマエビの低温耐性は強化しうるので天然の干潟における越冬と関連して、この特性は非常に重要な意味を持つであろう。

戸田⁹⁾の報告によると、体長10cm以上のクルマエビは、32°Cから33°Cで斃死するという。このことを今回の実験の結果と併せ考えると、体長3cm以上になると温度耐性は次第に低下する傾向にあるものとも考えられる。

クルマエビに関しては、飼育温度と成長に関する詳細な実験例はないが、種苗生産過程におけるクルマエビの成長、放流追跡調査によるクルマエビの成長等を見ると、季節により成長に著しい違いがみられ、温度との関連が大きいようである。Zoula P. Zein-Eldin¹¹⁾等は、*Penaeus aztecus* で温度と成長の関係について詳細な実験を行ない、飼育温度は高いほど成長は良いが、或る一定温度(25°C)を越えると、斃死率が高くなり、全体の成長量は、減少するとしている。クルマエビについても天然における干潟の条件では、高温が持続的に6時間以上続くことはないわけであるから、耐性温度限界以内の温度範囲にあれば、温度が高いほど良い成長が期待できよう。

V 潜砂習性について

V-1 方法と結果

クルマエビの成体は、日中は潜砂して過し夜間には出てきて摂餌、游泳行動を示す完全な夜行性である。しかし、ノウブリウス期、ゾエア期、ミス期には游泳生活をしており、いわゆるポストラーブ期になって底棲生活が始まると言われている。クルマエビの種苗は、いわゆるポストラーブ変体後のもので、この時期の潜砂習性について細かく観察した。

クルマエビの潜砂に関する日周期を観察するために、高さ15(cm)×3(cm)×20(cm)の薄型ガラス水槽に、粒径0.25mmから0.5mmの砂を2cm程度敷き、濾過海水で満し、エアレーションを行ないながらこの中に大小区別できる個体を2尾入れ、潜砂時間と出現時間を継続観察し、1時間当りの潜砂時間を潜砂頻度として計算した。夜間の観察は赤色光を可能な限り短時間点灯して行なった。また、潜砂率を検討するために約500mlの角型ガラス水槽に砂を2cm程度敷き、エアレーションを行ない、この中にエビの大きさに応じて5~10尾入れ、5分間おきに出現個体と潜砂個体を観察し出現率を計算した。水温は午後1時現在で23.0°Cから25°Cの範囲であった。餌料としては、チグリオパスを大量に与え、常時、餌が底面、壁面に附着している状態を保った。

成長に伴う潜砂率の変化を観察するために、エビを小型観察水槽(20×30×20(cm)、塩化ビニール製)に入れ、約24時間飢餓にしたものと、その間十分に餌を与えたものを、それぞれ(1区25尾から10尾)2区ずつ設けて、クルマエビの活動性が夜間に比べて低い午後1時半から2時半までの1時間、5分毎に、クルマエビの出現率を観察した。実験期間は、1970年8月10日から9月11日までの1ヶ月間、観察中、水温は27.0°Cから30.0°Cであった。しかし最終回の場合のみ水温20°Cから21°Cであった。

さらに、クルマエビの潜砂習性に影響を与える条件を検討するために、底質、光、餌等についての実験もあわせて行なった。

底質については、宮島沖で採集した砂泥を水道水でよく洗い乾燥させた後、これを2mm、1mm、0.5mm、0.25mm、0.149mm、0.053mmの篩を震盪機につけて1昼夜ほどふるいにかけて用いた。これら各区分の砂を内径17.5cmのシャーレに厚さ約3cmに敷いたもの、計6個を100ℓの角型水槽に無作為に並べ、餌料として、チグリオパスを大量に投与しながら、クルマエビを約90尾入れ一夜放置し、翌朝、潜砂しているものの個体を計数した。

光については暗室にガラスの観察水槽(30×16.5×24cm)を入れ、水温24°Cの止水でクルマエビを飼育

し、チグリオパスを大量に投与して観察した。照明には顕微鏡用の照明装置を用い、光の強さは距離を変えることによって加減した。水槽に入る光と水槽から出る光は、5号形東芝照度計によって照度を測定した。実験は2回行ない第1回は平均体長14.96mm (N=11) 第2回目は平均体長18.71mm (N=8) のクルマエビを用いた。

この実験を通じて観察されたクルマエビの生活周期について Fig.4, Fig.5に示す。Fig.4は、観察時間を1時間毎に区切り、その60分間の間に游泳匍匐している時間の割合を%で示したものである。Fig.5には、13時から日没までと、日没から23時までの2区分にわけ、それぞれの時間帯の中でエビが游泳匍匐している割合を百分率の分布範囲で示した。これは、昼夜の活動性の違いが成長に伴ってどのように変化するかを知るために行なった。

クルマエビの潜砂は歩脚を用いて砂をかきわけ、後部游泳脚をはげしく動かして砂を後方におしやり潜砂する。潜砂深度は砂面の直下であり、注意してみれば Respiratory siphon の先端をみることができ。Fig.4に明らかなように、日没を境にして急にエビの活動は活発と

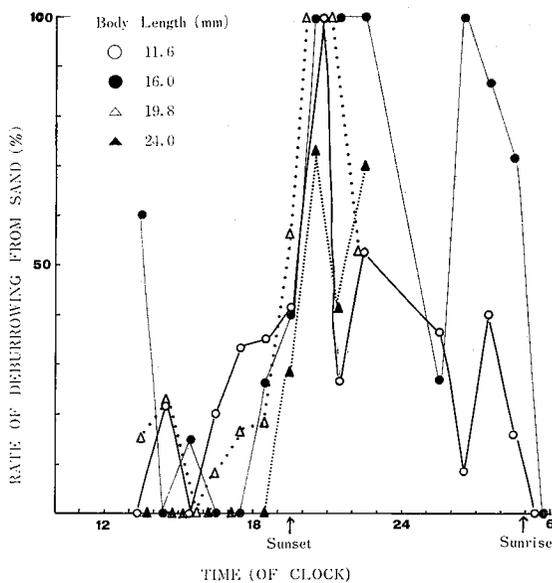


Fig. 4 Changes of Deburrowing Rate from the Bottom in Different Growth Stage

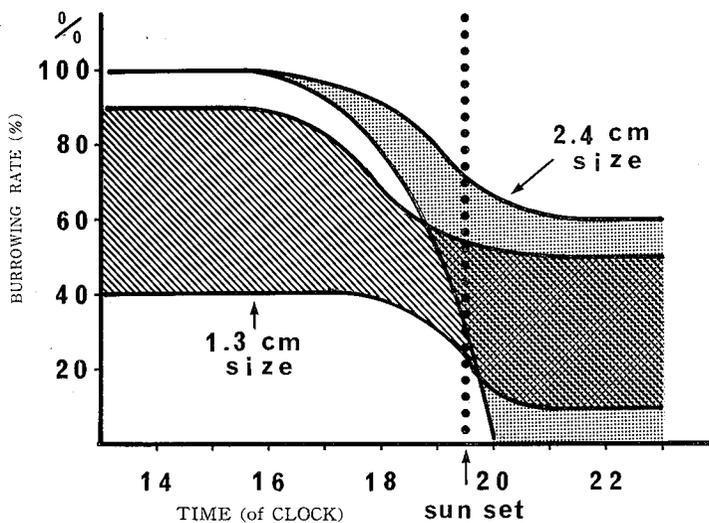


Fig. 5 Showing the Different Burrowing Rate by Different Size of prawn

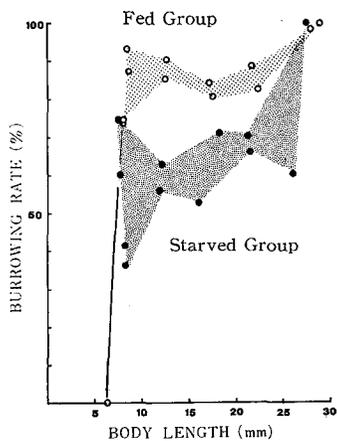


Fig. 6 Change of the Burrowing Rate in Different Growth

区では、やや游泳する個体が多くなるようである。

なり、游泳したり匍匐したりする割合が高くなる。しかし成長の初期には、日中でも潜砂しないものも多い。細かく観察すると砂から出現して匍匐、游泳する行動は索餌行動のようであり、この折に餌様物質（テグリオパス、硅藻のかたまり、気泡等）を与えると歩脚と顎脚を用いて把握、咀嚼の行動を示した。

クルマエビの潜砂習性がどの発育段階で定着するかについて、Fig.6 に示した。クルマエビは、体長6mm前後では壁面や底面に附着、あるいは定着し、砂がある場合には、潜砂行動のような動き、すなわち、歩脚や游泳脚で砂をける行動を示すものもあるが、完全に潜砂することは出来ない。体長8mmになると完全に潜砂が可能となり、この習性の獲得は急激である。

餌料を与えた場合と与えない場合を比較すると潜砂率は餌料を与えない場合の方が低い傾向がみられる。なお、この実験の場合、潜砂しない個体について、游泳する個体と、匍匐する個体に向け、それぞれの百分比を体長別にとってみた結果が、Table 5 である。全体的に游泳する個体数は匍匐する個体数に比べて少ないが、無投餌

Table 5. The Rate of Creeping and of Active Prawn Comparing between Fed and Starved Group

mean Body Length (cm)	Fed Group				Starved Group			
	Lot 1		Lot 2		Lot 3		Lot 4	
	Creeping	Swimming	Creeping	Swimming	Creeping	Swimming	Creeping	Swimming
0.63	29.4	70.6						
0.80	94.0	6.0	83.0	17.0	91.8	8.2	77.6	22.4
0.84	95.6	4.4	100.0	0	84.2	15.8	78.4	21.6
1.23	95.7	4.3	80.5	19.5	83.3	16.7	57.1	42.9
1.73	80.0	20.0	66.7	33.3	68.7	31.3	60.0	40.0
2.17	83.2	16.8	79.3	20.7	48.4	51.6	72.6	27.4
2.73	—	—	—	—	97.8	2.2	—	—

Fig.6 に見られるように飢餓は、潜砂率を低下させるが、この他に潜砂率に影響を与える要因の一つとして、底質がある。その結果を Fig.7 に示す。この実験は、2 回行ないその結果を 図中に併記した。体長範囲は、1.78—2.99cm の範囲、平均 2.2cm である。潜砂しない個体の割合が高いのは、実験方法によるのではないかと、すなわち、設置した砂の面積が少ないことによるのではないかと考えられる。0.5mm 径以下の砂には、よく潜砂できるが、これ以上になると、難かしい。この体長範囲では各粒度組成区分に潜砂するエビの間に体長組成の差は認められなかつた。この分布からみると、クルマエビはとくに適当な砂場を求めて選択潜砂するわけではなく、たまたま定着した場所が潜砂に適しておれば潜砂するようである。

光に対する反応結果を Fig.8 に示す。この図中の Intensity of Illumination (lux) は、光が水中に入る直前の光の強さを示している。クルマエビは急激な光照射に対しては、個体によって例外もあるが、一般的には游泳しているものは着地し、匍匐している個体は動きを停止し、底砂から出現中のものは直ちに潜砂

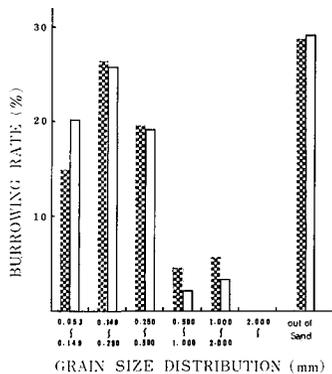


Fig.7 Effect of the Grain Size Distribution on the Burrowing Rate of the Shrimp.

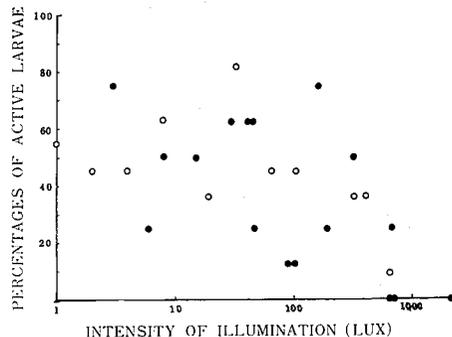


Fig. 8 Effect of Light Intensity on the Activity of the Larvae

の行動を示した。例外として、体を曲げて飛びはねる行動が稀に認められた。光の照射が一分間以上続くと潜砂、匍匐の行動が始まる。この実験は、潜砂率が高い時間である午後1時から開始しているが、暗室中では昼間でもクルマエビの出現率は極めて高い場合があり、同時に出現頻度の幅が極めて大きいのが特徴的であった。照度が500 lux以上になると、活発な行動を示す個体は減少する。

これらの実験を通じて潜砂行動を支配する要因はかなり複雑であると理解される。

V-2 考察

クルマエビ類の潜砂習性に関しては、昔から多くの観察、実験がある。クルマエビの潜砂習性の観察については、潜砂方法に関して鬼塚¹⁸⁾、江草¹⁹⁾らの観察が、昼間、夜間の潜砂習性の相違に関するものは、鬼塚¹⁸⁾、三浦、山口²⁰⁾、K O²¹⁾等の観察、実験があり、C. M. Fuss²²⁾ D. A. Hughes²³⁾は *Penaeus duorarum* について W. Dall²⁴⁾は *Metapenaeus mastersii* についてそれぞれ、日周期活動、潜砂行動についての記載をしている。しかし、これらの報告のほとんどは、すでに底棲生活に移行した時期の個体、グループに関するものであって、稚エビ期の問題について明確に記したものはない。さらに潜砂習性に影響を与える要因についても多くの研究が行なわれている。光に関しては、クルマエビについて三浦、山口²⁰⁾の夜間の光に対する反応の観察をしており、Fuss²⁵⁾は pink shrimp に関して天然エビの日周期性に与える光の影響は大きいとしている。また、底質に関しては、クルマエビについて石田⁶⁾は粒径0.5mm以下の所で、稚エビは潜砂しやすく、成長に伴なって粒径の大きい所でも、潜砂できるようになるとしている。C. M. Fuss²²⁾は pink shrimp に関して同じような結果を記載している。飢餓の影響に関しては、一般に言われているほど具体的な実験観察例がなく、Fuss²⁵⁾によると成体の pink shrimp では、72時間程度の飢餓は潜砂率には大きく影響していないとしており、今回のクルマエビの実験結果とは異なった報告となっている。

酸素分圧に関しては、江草²⁶⁾が、クルマエビで環境水中の酸素量が1.0ml/l以下に減少してくると、体を砂上表面に出しはじめ、0.5ml/lになると完全に出現してくるとしている。

温度との関係については、石田⁶⁾がクルマエビで38°C以上の水温になると底砂から出現しはじめ、斃死が多くなるとしており、Fuss は pink shrimp で33°C以上になると底砂から出現し、14°C~16°C以下になると潜砂してこなくなると記し、同じような結果を示している。

水圧変化に関しては、水田²⁷⁾が干出する場所でのクルマエビの移動は、水深20cm前後から始まり、水深低下と共に移動は大きくなり5cm以下になると顕著になるという。福原²⁸⁾はクルマエビで水深変化と底砂からの出現に関する実験を行ない、水深が0~2cmに減少すると、砂上に出現する個体が多くなるとしている。

今泉²⁹⁾は、潮の干満にともなう稚エビの行動を観察して、干満にしたがった、クルマエビの移動性や潜砂習性を認めている。

水流に対して、福原²⁸⁾はクルマエビで、流れが或る一定の範囲内では、流速が速いほど、潜砂速度が早くなることを認めている。この他にクルマエビについて石田⁶⁾は歩脚障害が潜砂に影響を与えるという報告をしている。

これら潜砂に関する諸研究を総合して考えると、いわゆる種苗サイズのクルマエビは、潜砂率、潜砂速度等は、恒常的なものではなく、環境条件、エビの状態等によって、大きく変るものようであるから放流の際には、この点を十分考慮に入れておく必要がある。

VI 摂餌習性について

VI-1 方法と結果

クルマエビの種苗生産過程において投餌量については、ある程度考慮されているが、これらは必ずしもクルマエビの摂餌量の検討結果にもとづいて行なわれていない。また、摂餌生態についても十分解ってはいない。クルマエビ個体の摂餌量や摂餌生態を知るために、20°C~23°Cの恒温室で各個体をそれぞれ1尾ずつを約1ℓの丸型ガラスバットの底に細砂(粒径0.5mm以下)を厚さ2cm程度に敷き、沪過海水を入れエアレーションを施した中に収容した。餌料としては成長したブラインシュリンプを与えた。これは、実験に際しては、ブラインシュリンプをサラン網でこし、計数不能な小さな個体が混入しないように注意しながら一定数を各水槽に入れ、24時間後に、残餌数を数え、その差から摂餌数を求めた。一方、餌料の一部を30個以上とって数え、沪紙で水分を除いた後、化学天秤で重量測定を行なった。この実験の場合には供試クルマエビは毎日、新しい個体を用いたが、別に1尾ずつを長期に飼育し、その場合の摂餌量変化をTable 6に示した。当然のことながら体長増加に伴って摂餌量も指数曲線的に増加する。しかし、前述した、体長、体重関係

Table 6. Daily Food Intake in the Juveniles of Different Growth Stages

Body Length (cm)	Number of Prawn	Food Intake * (mg/day)	S.D.	C.V.(%)
0.8	1	2.84		
1.0	8	5.87	2.60	44.30
1.2	25	11.92	13.83	116.05
1.4	11	27.08	13.88	51.26
1.6	10	32.80	10.35	31.56
1.8	22	38.06	22.29	58.57
2.0	17	62.63	29.62	47.29
2.2	27	75.86	36.83	48.56
2.4	18	63.49	26.68	42.02
2.6	8	76.22	53.89	70.70
2.8	6	114.11	30.07	26.35
3.0	7	106.64	20.07	18.82
3.2	2	121.43		

* Wet Weight of Adult Brine Shrimp

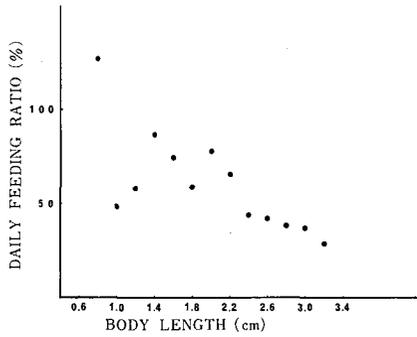


Fig. 9 Change of Daily Feeding Ratio in Different Growth Stages

式より求めた体重を基準として計算した日間摂餌率は、成長に伴ない急激に減少する。(Fig. 9)。

次に各個体の摂餌量変化についての実験結果を Table 7, ならびに Fig. 10 に示す。これらの結果から明らかなように、体長約 1.5cm までは、脱皮に伴ない摂餌量の周期的減少は顕著には認められないが、2.5cm 以上になると明らかに、脱皮時には摂餌量が著しく低下するという周期性が認められる。また、日間摂餌量の変動は非常に大きい。

なお、摂餌量と成長量の関係を、Table 8 に示す。実験開始時の体長を基準として 1mm 当りの成長に必要な摂餌量を計算し、この値が成長に伴ってどのように変わるかを示したものである。

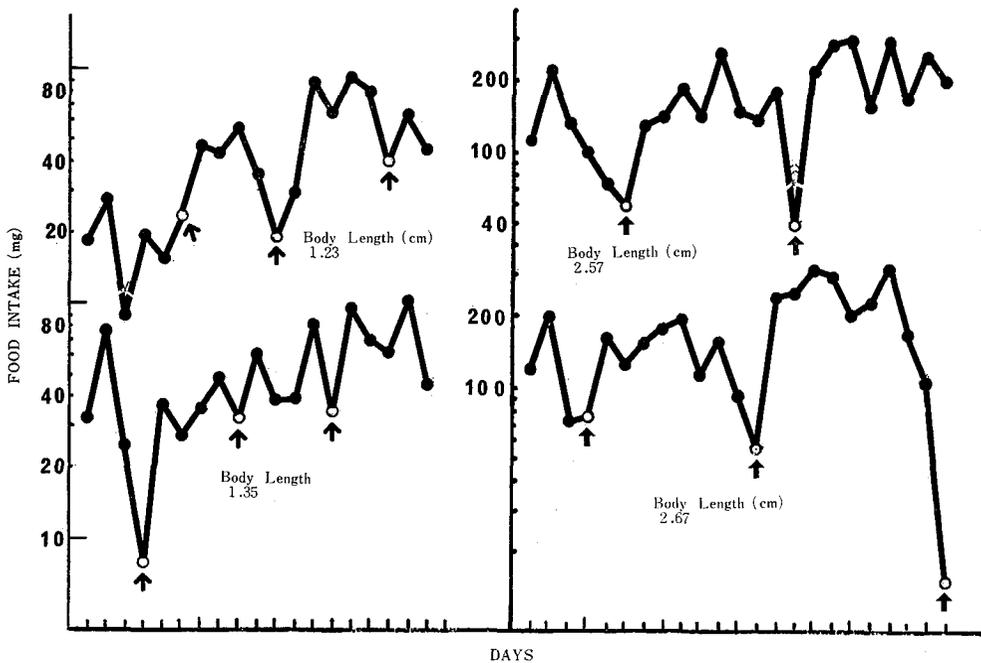


Fig. 10 Daily Changes of Food Intake

↑ : Ecdysis

Table 7. Daily Food Intake during the Period between Ecdyses

Prawn number	Body Length (cm) at Start and Final	Food Intake at Ecdysis (mg/day)	Food Intake between Ecdyses (mg/day)	Time between Ecdyses (days)	Prawn Number	Body Length (cm) at Start and Final	Food Intake at Ecdysis (mg/day)	Food Intake between Ecdyses (mg/day)	Time between Ecdyses (days)
1	1.48	27.5	70.2	5	11	3.57	99.2	228.1	10
	—	55.9	69.8	6		—	87.8		
	59.2	59.2				5.07			
2	1.23	23.8	45.4	5	12	3.25	14.0	254.2	12
	—	19.1	69.9	6		—	66.5		
	2.48	39.8				5.32			
3	1.35	8.3	36.9	5	13	2.88	40.5	160.9	12
	—	32.3	54.8	5		—	50.8		
	2.40	34.4				4.43			
4	1.10	15.3	33.2	4	14	2.95	100.4	165.4	9
	—	18.5	40.9	6		—	93.0		
	2.13	38.0				4.53	104.0		
5	1.32	34.0	35.3	4	15	2.57	59.7	162.2	9
	—	40.7	62.4	6		—	4.9		
	2.38	34.5				4.33			
6	1.22	13.8	30.6	5	16	2.67	75.0	145.0	9
	—	32.3	43.7	6		—	55.3		
	2.20	57.0				4.60	14.8		
7	1.40	5.5	31.4	5	17	2.80	60.3	117.3	14
	—	27.7	48.9	6		—	128.3		
	2.43	42.8				4.17			
8	1.30	16.5	19.5	5	18	2.88	56.5	190.5	9
	—	29.3	37.1	5		—	103.2		
	2.53	35.3	61.5	5		4.48			
9	1.23	16.5	18.1	4	19	2.53	69.0	157.7	9
	—	13.6	44.1	5		—	27.7		
	2.33	44.5	70.4	5		4.07			
10	1.23	5.5	21.8	5	20	3.08	43.8	182.6	10
	—	19.4	24.9	5		—	83.1		
	2.36	34.7	50.2	6		4.68			

Table 8. The Relationship between Food Intake and the Growth

Initial Body Length (cm)	Final Body Length (cm)	Growth (mm)	Total Food Intake (mg)	Number of Ecdyses	Food Required for Imm Growth (mg)
1.48	2.68	12.0	1088.2	3	90.7
1.23	2.48	12.5	796.2	3	63.7
1.35	2.40	10.5	940.9	3	89.6
1.10	2.13	10.3	605.9	3	58.8
1.32	2.38	10.6	816.9	3	77.1
1.22	2.20	9.8	702.9	3	71.7
1.40	2.43	10.3	727.5	3	70.6
1.30	2.53	12.3	749.0	4	60.9
1.23	2.33	11.0	850.9	4	77.4
1.23	2.36	11.3	573.1	4	50.7
2.13	2.43	3.0	403.4	2	134.5
2.19	2.45	2.6	403.4	2	155.1
1.94	2.08	1.4	366.7	2	261.9
2.15	2.37	2.2	381.4	1	173.4
2.13	2.28	1.5	359.4	1	239.6
2.05	2.22	1.7	337.4	1	198.5
2.01	2.36	3.5	403.4	1	115.3
2.06	2.37	3.1	337.4	1	108.8
3.57	5.07	15.0	6741.0	2	449.4
3.25	5.32	20.7	6043.4	3	292.0
2.88	4.43	15.5	4823.7	3	311.2
2.95	4.53	15.8	5834.1	3	369.2
2.57	4.33	17.6	4452.7	3	253.0
2.67	4.60	19.3	4675.8	4	242.3
2.80	4.17	13.7	3023.9	3	220.7
2.88	4.48	16.0	5098.5	3	318.7
2.53	4.07	15.4	4140.8	3	268.9
3.08	4.68	16.0	5028.0	3	314.3

これを両対数曲線にあてはめると、次式により表わされる。

$$Y = 0.82182X^{1.7469} \quad (r = 0.94898) \quad (2)$$

Y: 1 mmの成長に必要な摂餌量 mg/mm 基準摂餌量: ブラインシュリンプ成虫

X: 体長, mm,

これから明らかなように、餌料利用効率、成長に伴ない著しく減少する。とくに体長2 cm以上の個体になるとその傾向は大きくなる。

この理由の一つとして、検討の基準を体長にとったことがあげられる。しかし、既往の諸実験では、体長変化のみが示されている場合が多いので、あえて体長に対する摂餌量を用いて検討することとした。

VI-2 考 察

クルマエビの餌料実験は多いが、厳密に摂餌量と成長の関係を把握している例は少ない。また、供試餌料としてはアサリ、配合餌料がほとんどで、天然餌料によるものは少ない。ブラインシュリンプのノウブリウスはクルマエビのいわゆるポストラーク初期までの餌料としては、利用されているが、成長した個体を与え

ている例はない。この基準餌料が、クルマエビに適した餌料であるか否かは難かしく、まだ検討の余地はあるが、よく摂餌し、摂餌生態の観察には便利であった。

池末³⁰⁾は、天然でのクルマエビ類は脱皮後の軟甲個体では空胃の場合が多いとしている。2.5 cmから3 cm以後の体長個体では脱皮直後には摂餌量が極端に減少することは今回の実験でも認められた。

クルマエビの胃は組織学的には厚いクチクル層に被われ、複雑なクチクルの突起などが認められ、分泌組織は全く認められず、胃の周囲をとりまき支えている筋肉の動きによって餌料を押し砕く機能を有している。

種苗時期のクルマエビの胃は、成体とほぼ同じ形態、構造であることが確認された。脱皮の際には、胃の中のクチクル層も総て変り、新しい未だ十分には発達していない層が表面に形成されているだけであるとされている。成長に伴って餌料種類は、棲息場所の変化と共に、また、クルマエビの胃の機能増強に伴って稚エビの時期とは変ることが予想される。そのなかには、脱皮直後は、摂餌が困難となるような物も含まれているものと考えられる。安田^{31), 32)}は、瀬戸内海の蝦類の食性に関する研究の中で、クルマエビの天然における餌料種類や摂餌の季節変化を調査し、小型貝類、甲殻類、多毛類、デトリタス等が主要な餌料であると述べている。摂餌の季節における変化については、7月から8月下旬にかけて摂餌個体が多く採集され、底棲生物は周囲に存在するデトリタスを最も採りやすく、漁場の底質と関連が深い食性を示すと述べている。

クルマエビの稚エビの摂餌機構から考えて、大型の貝やポリキータ等をかみくだいて摂餌することは考え難く、安田が指摘しているようなデトリタスの摂取は、人工種苗についても考えられることであり、放流干潟の性格として考慮すべきであろう。

摂餌の周期性が明瞭になる時期と、夜行性が定着し少々の餌料不足では、昼間には底砂から出現して来なくなる時期とは、明確に区分することは難かしいが、ともに2.5 cmから3 cmの間にあるようである。

Ⅶ 共喰いについて

Ⅶ-1 方法および結果

クルマエビでは、飼育期間中、共喰いの現象がしばしば観察されるが、この現象が生ずる条件を知るために、この実験を行なった。

5 l~8 lのガラス水槽に汙過海水を入れ、エアレーションを行ない、各種サイズのクルマエビを収容し、24時間、飢餓状態に放置し、24時間後の生残率を求めた。この際とくに砂は敷かなかった。へい死エビで、喰われた形跡があるもの、および“不明エビ”を共喰いされたものとした。ただし、0.7 cm~0.8 cm体長のエビの場合は、観察が困難だったのでへい死率を示している。水温は午前9時現在で、20°Cから24°Cであった。

この他に、塩分耐性実験、温度耐性実験の際の共喰いについても同じように整理した。

これらの結果を Table 9 に示す。この表から明らかなことは、約1 cm前後の体長のクルマエビ (0.5 ton パンライト水槽飼育) の例を除いては、19例中1例以外は全く共喰いが認められなかった。0.5 ton タンクのクルマエビについていえば、第2回実験で斃死率が高いが、この実験直後からタンクで疾病によるクルマエビの大量斃死が起っている。したがって、第1回、第2回の実験に関しては、供試クルマエビが疾病にかかりはじめ、そのための斃死個体が多くなり、結果として、斃死率に影響しているものと思われる。これらの点を考慮に入れると、少々、体長変異が大きなクルマエビ群でも体長1 cmを越えると、正常な状態の場合24時間の飢餓程度では、共喰いは容易に起るものではないようである。なお、第4回の実験終了後、そのまま飢餓状態を続けた場合、72時間の生残率をみると、体長変異の大きい lot 1, lot 2, lot 3 において、それぞれ70%, 100%, 30%の共喰率が認められた。同一体長群の lot 4 では、共喰いは全く認められなかった。この間、多くの個体に脱皮が観察された。

Table 9. Showing the Rate of Cannibalism on Different Stages

Lot.	Mean Body Length (cm)				Note
	0.71	2.74	3.38	5.65	
	%	%	%	%	
1	0(20)	—	—	—	1st Exp. Date; Sept. 26th
2	10(20)	—	—	0(3)	
3	50(20)	—	0(3)	—	
4	10(20)	0(3)	—	—	
5	—	0(10)	—	—	
6	—	—	0(10)	—	
7	—	—	—	20(5)	
	0.76	2.98	4.42		
	—	0(5)	0(4)		2nd Exp. Date; Sept. 28th
2	—	—	0(5)		
3	—	0(10)	—		
4	75(20)	—	0(3)		
5	85(20)	0(3)	—		
6	95(20)	0(3)	—		
7	85(20)	—	—		
	1.07	2.47	3.75	5.17	
1	0(10)	—	—	0(3)	3rd Exp. Date; Oct. 2nd
2	0(10)	—	0(3)	—	
3	0(10)	0(3)	—	—	
4	0(10)	—	—	—	
	1.19	3.10	3.76	5.27	
1	0(10)	—	—	0(3)	4th Exp. Date; Oct. 6th
2	0(10)	—	0(3)	—	
3	0(10)	0(3)	—	—	
4	0(10)	—	—	—	

Numbers of the Prawn examined are show in Parenthsses

塩分耐性実験、温度耐性実験は、24時間の飢餓条件になっているので、この場合の共喰いに関する結果を整理したのが、Fig.11, Fig.12 である。

Fig.11 から明らかなように、塩分耐性実験の場合、lot 3 から lot 6 までの範囲で、不明個体、共喰個体が高くでている。

全部で11回実験を行なって、共喰いが観察された回数を%で示したのが、Fig 11 であり、塩分範囲で示せば、共喰いが観察されたのは、1.48%から5.24%の間となる。lot 2, (0.65~0.85%) 区は斃死エビは数多くあったにもかかわらず、共喰いは全く認められなかった。この区は、全体的にエビの活力が低下しているために、共喰いの余裕はなく、塩分範囲1.48%~5.24%では、クルマエビの塩分耐性能力は、かなり低下しているが、斃死には至らず、個体の活力の差が顕著に現われる条件なのであろうと考えられる、24時間

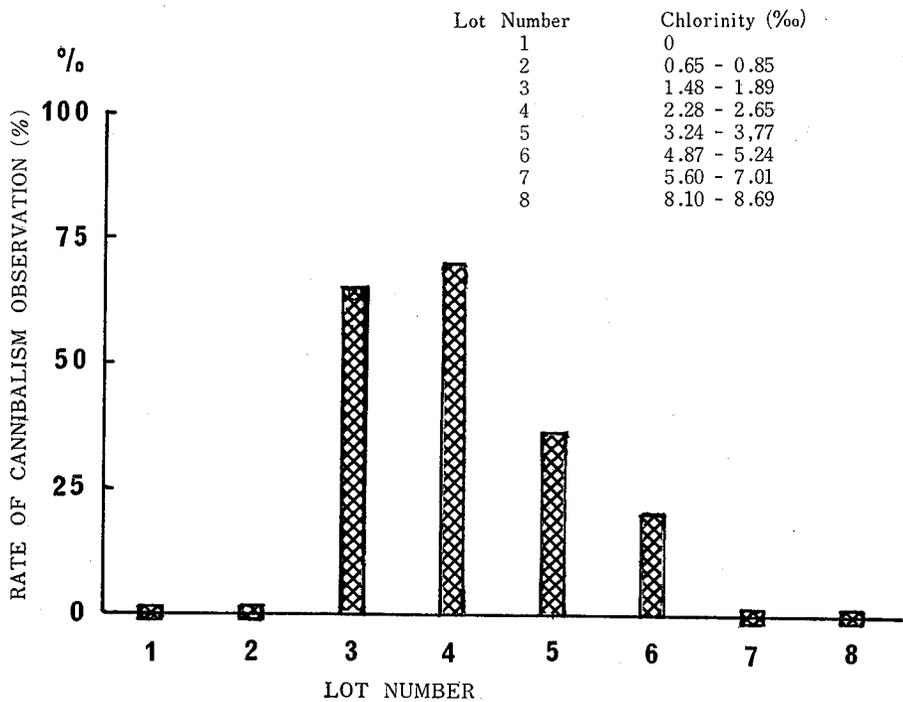


Fig. 11 Rate of Cannibalism Observation in Different Chlorinity Medium.

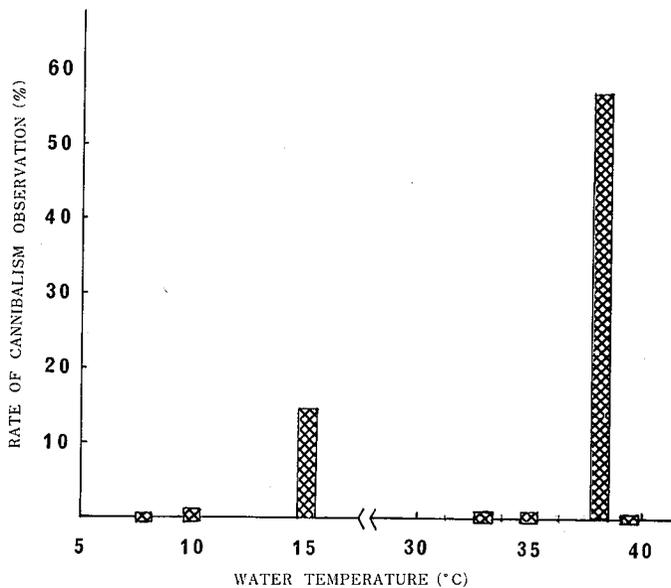


Fig. 12 Rate of Cannibalism Observation in Different Water Temperature

TLm 値は、この範囲の低い部分に相当する。

温度耐性実験結果からは、Fig.12 にみられるように、高温域では、38°C前後、低温域では15°Cに共喰観察率が高い。これらの値は、24時間 TLm 値に近い値である。

Ⅶ-2 考 察

上記の共喰いに関する実験結果を総合して考えると、共喰いという現象は、常に或る割合で起るものではなくて、エビの活力に極端な差が生ずるような条件に置かれた時に起るものらしい。

茂野³³⁾は、高密度に、P₂₀期のクルマエビを飼育した実験で、約30%から50%が共喰いで減耗すると記しているが、この例も、実験条件を考えると、高密度という悪条件の結果によるものであるという点で、基本的に今回の実験と共通点を持っているようである。

総 合 考 察

クルマエビを放流する際の技術的命題は、健全な種苗を、いかに歩留りのよい方法で放流するかということにつきる。言葉では簡単であるが、具体的に、健全な種苗、歩留りのよい方法という点によると、放流後の追跡調査の技術的精度などから考えて、十分には検討されなかった。しかし、クルマエビの種苗生産技術が進み、大量に生産されるようになったとはいえ、種苗供給には安定性を欠いているのが現状である。その理由の一つとして、種苗生産過程における疾病等が考えられるが、数的に不安定な状態で供給される種苗は質的には全く問題がなく、放流後の歩留りに影響しないとは断定できない。

このような諸問題を考えるために、クルマエビの持つ各種の特性に関して整理し、生活様式を具体的に考えてみて、それに基づいて、放流種苗の大きさ、放流数、放流場所、放流時期、放流方法について、具体的に検討しなければならぬ、これを考えるために、各種生理生態特性について、実験した結果、報告された結果を、Fig.13 にまとめて示した。

クルマエビに限らず、魚においても種仔期の生物の大きさは、体長で測定する方が、体重で測定するよりも精度高くかつ簡便に知ることができるので、体長を基準に実験したり、考察する場合が多い。実際放流の場合、体長だけはいずれの場合にも測定している。今までに放流された種苗の平均体長は、昭和45年度の栽培漁業実践漁場設備調査の概要³⁴⁾によると、0.9cmから1.7cmくらいまでの間にある。石網は昭和46年8月に同一タンク内で飼育中のクルマエビの成長に伴う体長の変動幅について測定したが、Fig.13 の体長組成の変動係数の実線部分は、これを記したものである。南西水研³⁵⁾、福岡豊前水試³⁶⁾、山口県内海水試³⁷⁾等の放流用種苗体長組成より変動係数を計算したのもも Fig.13 中に併記した。体長組成の変動幅は、0.9cm前後から大きくなっている。0.9cm以後の変動係数はとくに成長に伴って増大するのではなく、飼育条件などによって変動係数のばらつきが生ずるようである。

茂野³³⁾によれば、種苗生産水槽での飼育を終り、養成のため池に移放する際のクルマエビは、成長段階としては、P₁₇からP₂₀、平均体長は1.5cm以下、体重は20mg以下である。P₂₀を過ぎてなお飼育水槽中でこれを継続飼育すると飼育密度が次第に過密となり、成長が著しく低下するうえ飼育水槽の利用効率を低下させるので、P₂₀前後で移放することを提唱している。生残率でみると、卵から、ポストラバに変態までの減耗率はP₁の時を基点とした場合の50%以上に達する例も多い。P₁からP₃まではほとんど変わらない生残率をみると、それ以後の変動係数が大きくなってくる時期からのへい死が多いのではないかと想像される。これらは、浮游期での立体的なクルマエビ生産方式から、底着期での平面的な生産方式への転換が、P₂₀以前から行なわれていることを示唆する。

Fig.13 に示された肥満度、C-N比、潜砂習性、摂餌量変化等は、本実験より得られた結果をそのまま記したものであり、塩分耐性、温度耐性については、数回測定した24時間 TLm 値の分布範囲を記入した。

流れに対する抵抗性に関しては、1分間252cm及び408cmの速度の流水に対して流される個体の割合を成長に伴って観察した福原の実験結果²⁸⁾を示す。農業土木試験場³⁸⁾による体長0.9~1.5cmのクルマエビを用い

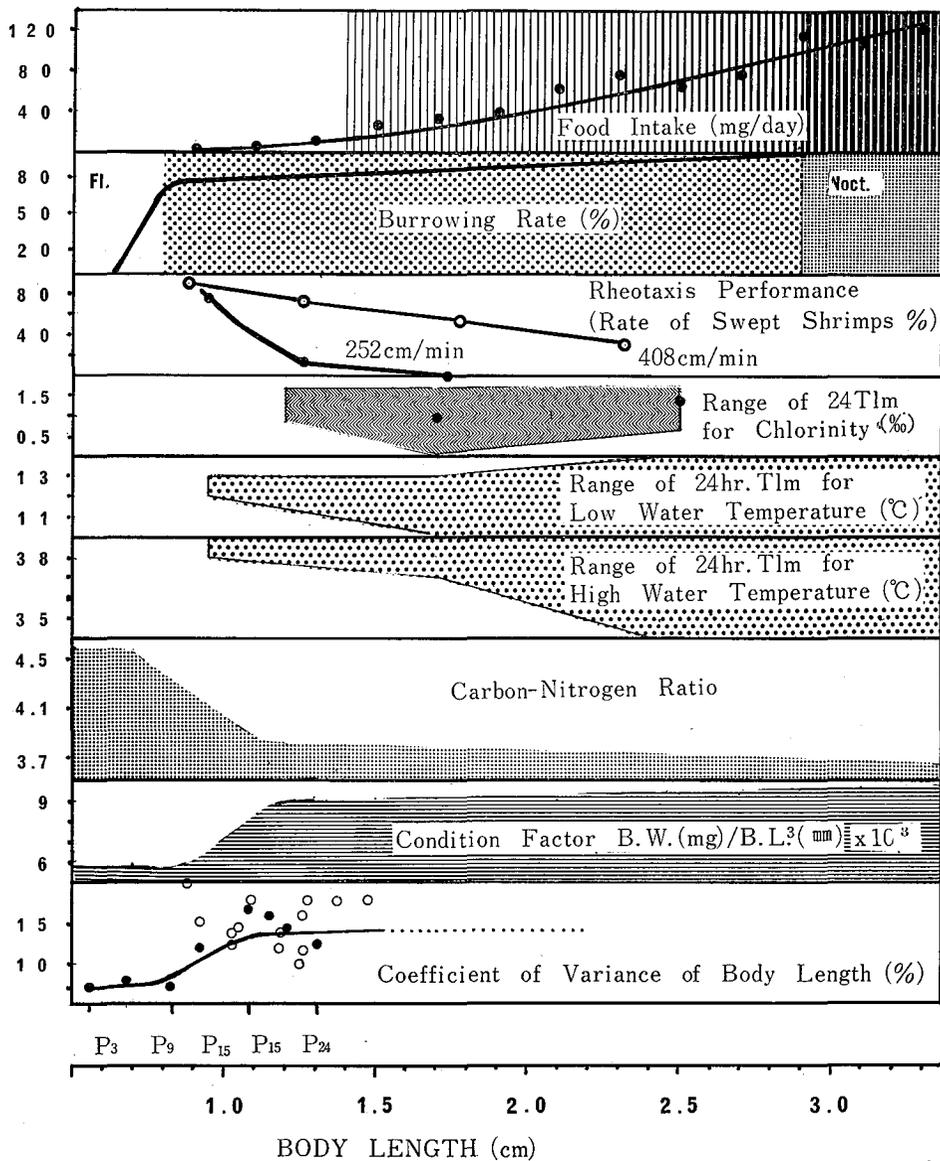


Fig. 13 Diagram on the Life of the Juvenile Prawn

た流れに対する抵抗性の実験例では、240~420cm/min で流される個体の割合が8%，480~780cm/min で40%，1320~1800cm/min で100%という値を示している。福原の行なった実験結果とは、かなり相違があるが、実験方法や、流速の測定方法クルマエビの状態等の相違があるために、このような差を生じたものであろう。さらに農士試の報告では、底に砂がある場合には、流されない個体の割合が大きく増加している。天然水域における海水流動は場所によって、時間によって大きく異なると思われるが、昭和46年度、西条干潟の沖合で行なわれた流速測定結果から判断すると、0~1200cm/min の間の変動が認められている。また、昭和47年度に行なわれた、大海湾における農士試の人工干潟調査³⁸⁾の結果では、最大潮流速度で720cm/

min であったという。

これらの結果をみると、クルマエビ種苗の游泳能力は、干潟での流速では支障なく棲息しうるが、沖合の潮流の速い所では、流されずに游泳により、広く拡散するということは考えられない。潜砂の観察実験結果、今泉²⁹⁾による移動の観察結果からも、種苗としての成育段階では、匍匐行動が多く観察され、游泳行動は余り繁くない。これらの点は、エビの流れに対する抵抗性の程度と考えあわせて、この時期のクルマエビが積極的に游泳し広く拡散するという生活形態をとっていないことを示している。

クルマエビの、流れに対する反応についての実験例は比較的少ない。C.M. Fuss²⁸⁾は *Penaeus duorarum* に関して1秒間に20cm以上の流速の流れに対しては、すう流性を認めている。D. A. Hughes³⁹⁾は、同じ種について、流れと塩分に関する実験を行ない稚エビはほとんど常にすう流性を有するが、低塩分水になるにつれて次第に反すう流性を示すようになることを認め、天然における pink shrimp の着生機構に関して示唆している。このような点に関しては、クルマエビについても今後、詳細な実験が必要となる。

これらクルマエビの各種生物学的特性を総括すると、急激に変化する特性、徐々に変化する性質があるので、体長を標準にして特性を区分することは難かしいが、しいて分ければ体長0.9cm頃までは、浮游期、0.9cmから3cmまでの間を移行期、3cm以後を安定した底棲生活期とすることができよう。この区分は、倉田⁴⁰⁾が形態と生殖器の発育から分類した発育段階と近似している。

ポストラバに変態して、潜砂習性がつきはじめ、完全に潜砂を行ない跡を残さず砂の中に潜るようになるのが、0.8cm前後、体長、体重関係の変化、C-N比変化は、この時期にだいたい適合しているようである。すなわち、0.8cmから1.2cmくらいの間は、形態的にも、体成分からみても、底棲生活のための変換が行なわれるのであろう。ついで、完全に底棲生活が定着してくるのが、2.5cm以上であろう。ここで特徴的な性質として、24時間程度の飢餓では、日中底砂からはい出してくることもなく、流れに対する抵抗性も強まり游泳力が高まり、温度耐性がやや弱くなる時期である。また、脱皮時には、ほとんど摂餌しないという、脱皮に伴う摂餌量変化の周期性が生ずる。脱皮はクルマエビの個体生理にとって大きな影響を持ちこのような場合に、長時間潜砂してられるということは、生き残りに非常な利点を示すものであろう。

このような特性を持つ浮游期から底棲期への移行期に放流種苗があることになる。前述したようなクルマエビの生活様式から考えると、放流種苗は、立体的な種苗生産形態から、平面的な生産形態に移る時期、また、餌料量を多く必要としはじめる前の時期にあり、このような段階の種苗でなければ大量に供給することは難かしいという生産側の条件があるのが現状である。

この移行期のクルマエビは、実験結果が示すように強い塩分耐性、温度耐性を持っており、低塩分、高温という条件の干潟や、河口のような場所での生活に耐える性質を有している。したがって、干潟、河口などが、クルマエビの生き残りに大きな影響を与えるような悪条件を備えているとは考え難い。

別途実施した飼育実験の結果⁴¹⁾も、極端な低塩分、軽度の飢餓、疲労等の一時的な悪条件の影響が、クルマエビの成長や生き残りを左右するものではないことを示唆し、むしろ、密度一餌料、食害等の生物環境が大きく影響しているようである。

この中で餌料はとくに重要であるので、今回の餌料実験の結果、前掲(2)式から、クルマエビの成長に必要な餌料量を試算すると、1cmのクルマエビを放流し4cmになるまでには1尾当り約8gの餌料を必要とすることになる。放流種苗数を200万尾とすると、放流される時期にもよるが、約16tonの餌料が1カ月から1カ月半の間に必要となる。体長4cm以上の成長を期待すればさらに多量の餌料が必要となる。昭和45年度から昭和47年度までに行なわれた西条、大海の干潟調査の結果^{42), 43), 44)}によると、深さ1cm、12.56ccの底泥の中に多い所で動物個体 293×10^2 個、珪藻数 936×10^3 個、有機炭素量で13.2mg/g、少ない所でそれぞれ 5×10^2 個、 10×10^3 個以下、1.2mg/g等の値が示されている。季節、場所によって異なるが、沖に出る方が、一般的に大きな値を示す傾向にあるという。この有機炭素の量を底泥比重を仮に1としてブラインシュリンプの成体に換算すると、西条干潟約2km²では多い所で264ton、少ない所で24tonとなる。この数値は、一見先に計算したクルマエビの餌料要求量をおぎなって余りあるようにみえるが、実際にはすべての有機炭

素がクルマエビの利用可能な餌料となっていないし、クルマエビの棲息の局在性、行動様式、潜砂習性、他の生物にこの有機炭素が利用される割合、実際に利用され得る形態のものの割合等を考えあわせると、体長4 cm程度までの餌条件は保証し得ても放流したクルマエビ全部が十分に成長し、漁獲にかかるまでの餌環境を保証しているという断定はできないようである。放流実験の結果^{35), 44), 45), 46)}をみると、生残が確認された放流群で、成長に伴う体長組成の変動の幅は、昭和47年度報告から概算すると、天然干潟の放流群で、平均体長3~4 cmで18%, 33%, 人工干潟群で18%, 15%等の値が示され、やや大きい傾向があるようである。別に飼育試験を行なった結果では、10~14%くらいまでの値を示していた。この放流群の体長組成の変動係数が大きめに表われるという事実が何を意味しているのか興味ある点であるが、摂餌が均一に行なわれていない事は原因の一つとして考えられよう。また、昭和47年度に行なわれた人工干潟の放流結果⁴⁶⁾は、クルマエビ密度と成長速度が密接な関係にあることを示唆しており、天然干潟における餌料の量と質については、今後さらに研究する必要があるようである。

移行期のクルマエビは、前にも述べたように、流れに対する抵抗性の程度や観察された行動の結果からあまり強い積極的な移動性を持ってはいないようである。したがって、物理的な散逸や食害などが行なわれないうと、放流種苗は放流された地点を中心とした比較的狭い範囲で高密度に生息することになる。今泉²⁹⁾が述べているような、潮の干満に応じたクルマエビの移動機構によって沖合に移動していくとしても、その他に、成長に伴って大量の餌料が必要となり潜砂習性が定着するにつれて摂餌時間が減少する個体は、有機物の多い沖合へ徐々に拡散していくということも考えられる。この移動、拡散の場合、餌料不足や、極端な無機環境の変化等はその移動、拡散の様式に影響を与え結果的に食害や友喰いを大きくすることも考えられる。

これらのことから、種苗放流の場所としては、食害から逃匿できる場所であると同時に移動、拡散が行なわれ易い所であることが望ましい。また、放流にあたっては、一度に多量に放流すればよいというようなことではなく、放流する場所の生態系を十分に調査した上で、餌料の問題、食害の問題等を考えあわせて、放流数、放流時期等を決めなければならないだろう。

以上、クルマエビ人工種苗の生活様式から考えた、放流上の問題点について考察した。今後はさらに、行動生態、成長と餌料の関係、天然におけるクルマエビの餌料調査、放流地点における餌料補給機構、食害機構等の諸問題について、詳細な研究を続ける必要があるだろう。

要 約

クルマエビの種苗生産技術は向上し、大量の放流用種苗が供給されるようになった。この放流されるクルマエビの生活様式を知り、その上で放流上の技術的問題を考察するために、各種の生理、生態実験を行ない次のような結果を得た。

- (1) クルマエビ種苗期の体長、体重関係は次式によって示される。

$$W = \frac{4.0001}{0.00496} L^{3.199} \quad (W: \text{体重mg} \quad L: \text{体長mm})$$

また、肥満度は、体長0.8 cmから1 cmの間に急激に増大する傾向が明らかとなった。

- (2) クルマエビ個体のC-N比をC.H.N.コーダーにより分析した結果、成長に伴ってC-N比は減少する傾向を示し、特に体長0.8 cmから1 cmの間の減少は著しい。このことは、この生物の持つ表皮とそれ以外の体実質の割合の変化を示すのではないかと推測される。
- (3) 塩分耐性については、その耐性が成長に伴ってどのように変るかを検討した。体長1 cmから3 cmの間では、ほとんど差はなく、24時間 TLm 値は Chlorinity 1~2%の範囲であった。高水温は塩分耐性に影響を与えるようである。
- (4) 温度耐性については、耐性限界は38°Cから39°Cの間の極限された範囲にあることが明らかとなった。ク

クルマエビの温度耐性は成長に伴って、低下する場合があった。

温度の変化速度は、高温での24時間 TLm 値にはあまり影響を与えないようであるが、低温域の24時間 TLm 値には大きく影響する。

- (5) クルマエビの潜砂習性は、体長0.8cm頃に出現し、夜行習性の出現時期と一致した、潜砂習性が確立するのは、体長2.5cm以後のようである。この1cmから3cmくらいまでの間での潜砂習性は、光、飢餓、底質粒度等によって影響をうけることが明らかとなった。
- (6) ブラインシュリンプ成体を基準餌料とした場合、成長量と摂餌量の関係は次式で示された。

$$Y = 0.82182X^{1.7469} \quad Y: \text{摂餌量mg/1mm成長} \quad X: \text{体長mm}$$

また、脱皮時に急激に摂餌量が減少するという摂餌習性は、体長1cm前後の頃は明らかでないが、体長2.5cmから3cmくらいの頃から明りょうに現われる。

- (7) クルマエビの共喰いは、正常な状態では、24時間程度の飢餓では起らないが、飢餓状態が長くつづき、しかも群の体長組成の変動が大きく、24時間 TLm 値に近い高温が続いた時、また、低塩分が続いた時のように、クルマエビ個体間の活力の差が大きい場合には、共喰いが行なわれることが明らかとなった。
- 以上の結果を総合し、クルマエビの发育段階を、いわゆるポストラバ変態直後から体長1cmまでを浮游期、これ以後2.5~3cmまでを移行期、移行期以後を、底棲生活期の三段階におけた。

放流用種苗として供給されるクルマエビは、この移行期のものがほとんどであるので、この時期のクルマエビの生活特性に応じた、種苗放流方法のあり方の必要性について論じた。

謝 辞

この研究は、別枠研究“浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究の一環として行なった。この研究を進める機会を与えられ討議、校正の労をとられた藤谷超博士に深謝の意を表する。また、倉田博士、阪口清次博士には、この論文をとりまとめるにあたり助言をいただき感謝いたします。

クルマエビ種苗を供給された瀬戸内海栽培漁業協会、玉野事業所、山口県種苗センター、藤永クルマエビ研究所の方々、また、貴重な資料を貸与された山口県内海水産試験場、檜山節久氏、南西海区水産研究所、石岡清英氏に感謝いたします。

文 献

- 1) 山本精二：養殖前後におけるクルマエビの体長と体重の関係、水産研究誌 33(5)・204—208 (1938)
- 2) 檜山節久他：クルマエビ稚仔の体長、体重測定結果 (未発表)
- 3) 石岡清英：クルマエビ種苗の体長、体重測定結果 (未発表)
- 4) 上田和夫：マダイ稚仔魚の餌料生物の分析結果 (未発表)
- 5) W. Dall : Studies on the Physiology of a Shrimp, *Metapenaeus* sp. III. Composition and Structure of the Integument, Aust. Mar. Freshw. Res. 16 13—23 (1965)
- 6) 石田雅俊：クルマエビの放流用種苗条件と種苗生産技術研究(2報)、福岡県豊別水産試験場研究業務報告 49—64 (1970)
- 7) 山口県水産試験場：クルマエビの低かん水に対する抵抗試験、昭和45年度瀬戸内海栽培漁業実践漁場設定調査報告書(1971)
- 8) Fudinaga Motosaku : Reproduction, Development and Rearing of *Penaeus japonicus* BATE Jap. Journ. Zool. 10 305—393 (1941)
- 9) 戸田有炳：車蝦の温度及び鹹度に対する抵抗、養殖会誌 6(12) 223—226 (1936)
- 10) 吉田裕：有明海のエビの生態、生活史に関する研究 (1960)

- 11) Zoula P. Zein-Eldin and G. W. Griffith : The Effect of Temperature upon the Growth of Laboratory-held Postlarval *Penaeus aztecus*, Biol. Bull. 131(1) 186—196 (1966)
- 12) Zoula P. Zein-Eldin and D. V. Aldrich : Growth and Survival of Postlarval *Penaeus aztecus* under Controlled Conditions of Temperature and Salinity, Biol. Bull. 129(1) 199—216 (1965)
- 13) Zoula P. Zein-Eldin : Effect of Salinity on Growth of Postlarval Penaeid Shrimp, Biol. Bull. 125(1) 188—196 (1963)
- 14) Zoula P. Zein-Eldin and George W. Griffith : An Appraisal of the Effects of Salinity and Temperature on Growth and Survival of Postlarval Penaeids, FAO Fish Rep. 3 (57) 1015—1026 (1969)
- 15) Malcolm C. Johnson and J. R. Fielding : Propagation of the White Shrimp, *Penaeus Setiferus* (LINN.), in captivity, Tulane Studies in Zoology 4 174—190 (1956)
- 16) David V. Aldrich : Shrimp Fishery Program, Contribution of Bureau of Commercial Fisheries Biological Laboratory (183) 60—67 (1964)
- 17) J. B. Waxmann : The Effect of Thermal Gradients on Survival of *Penaeus aztecus* Postlarva, The Graduate Faculties of Long Island University, 1—19 (1971)
- 18) 鬼塚正治 : 車海老の習性並に其蕃養法, 水産研究誌, 9(1) 509—519 (1914)
- 19) 江草周三, 山本正 : クルマエビの呼吸に関する研究—I 潜砂習性と水中酸素濃度, 日水誌 27(1) 22—26 (1961)
- 20) 三浦五郎, 山口正男 : 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 (1954)
- 21) Kwan So Ko, Makoto Suzuki, and Yasushi Kondo : An Elementary Study on Behavior of Common Shrimp to Moving Net, Bull. Jap Soc. Sci. Fish. 36(6) 556—562 (1970)
- 22) Charles M. Fuss : Observations on Burrowing of the Pink Shrimp, *Penaeus duorarum* BURKENROAD, Bull. Mar. Sci. Gulf & Carib. 14(1) 62—73 (1964)
- 23) D. A. Hughes : Factors Controlling Emergence of Pink Shrimp (*Penaeus duorarum*) from the Substrate, Biol. Bull. 134(1) 48—59 (1968)
- 24) W. Dall : Observations on the Biology of the Green Tail Prawn, *Metapenaeus marseus*, Aust. J. Mar. Freshw. Res. 9 111—134 (1958)
- 25) Charles M. Fuss and Larry H. Ogren : Factors Affecting Activity and Burrowing Habits of the Pink Shrimp, *Penaeus duorarum* BURKENROAD, Biol. Bull. 130(2) 170—191 (1966)
- 26) 江草周三 : クルマエビの呼吸に関する研究—II 酸素消費に関する予備実験, 日水誌 27(7) 650—659 (1961)
- 27) 水田洋之介 : 干出に伴うクルマエビの行動について, 昭和46年度 浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究, 第2回地域推進会議資料 (1972)
- 28) 福原修 : クルマエビの流れに対する抵抗性及び水深変化に対する行動について, (未発表)
- 29) 今泉圭之輔 : 潮の干満にともなうクルマエビ稚エビの行動に関する実験, 栽培漁業技術開発研究 1(2) 47—54 (1972)
- 30) 池未弥 : 有明海におけるエビ, アミ類の生活史, 生態に関する研究, 西海区水産研究所報告 80 1—124 (1963)
- 31) 安田治三郎, 鈴木正也, 篠岡久夫 : 瀬戸内海のエビ漁業の合理化に関する研究, 内海区水産研究所報告 1020—27 (1957)
- 32) 安田治三郎 : 瀬戸内海のエビ類の食性に関する研究, 市郷学園短期大学自然科学研究会会誌 2(1)31—40

(1967)

- 33) 茂野邦彦：クルマエビの養殖技術に関する諸問題，水産増養殖叢書 19 (1969)
- 34) 瀬戸内海漁業調整事務局，昭和45年度栽培漁業実践漁場設備調査の概要より (1970)
- 35) 倉田博，石岡清英，仁科重己，河野慈敬 放流種苗の減耗に関する研究：昭和46年度別枠研究成果：浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究 P. 16—25 (1972)
- 36) 平松達男，多胡信良，寺田和夫，福岡県豊前水産試験場研究業務報告，クルマエビ種苗放流事業における放流技術と増殖された資源の利用形態について (第1報) P 1—33 (1969)
- 37) 檜山節久，原建一：クルマエビ種苗放流追跡調査(2)，クルマエビ放流追跡調査報告書 (1968)
- 38) 農業土木試験場：浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究，昭和47年度別枠研究成果，中間報告 (1972)
- 39) D. A. Hughes: Responses to Salinity Change as a Tidal Transport Mechanism of Pink Shrimp, *Penaeus duorarum*, Biol. Bull. 136 43—53 (1969)
- 40) 倉田博：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，南西海区水産研究所研究報告 (5)33—75 (1972)
- 41) 阪口清次，石岡宏子，福原修：クルマエビ種苗飼育実験結果 (未発表)
- 42) 永田樹三他：漁場環境の解明に関する研究，浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究第1号 (1971)
- 43) 杉本仁彌他：漁場環境の解明に関する研究，浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究第2号 (1972)
- 44) 永田樹三他：漁場環境の解明に関する研究，浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究第2回推進会議資料 (1973)
- 45) 倉田博，仁科重己，石岡清英：放流種苗の域耗に関する研究，浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究，昭和45年度別枠研究成果 5—32 (1971)
- 46) 倉田博，仁科重己，石岡清英：放流種苗の減耗に関する研究，浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究第2回地域推進会議報告資料 (1973)