瀬戸内海周防灘におけるキシエビの分布と成長

今 林 博 道

広島大学生物生産学部

Distribution and Growth of a Penaeid Shrimp *Metapenaeopsis dalei* in Suo-Nada, the Seto Inland Sea

HIROMICHI IMABAYASHI

Abstract

IMABAYASHI, HIROMICHI (Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University). 1993. Distribution and Growth of a Penaeid Shrimp *Metapenaeopsis dalei* in Suo-Nada, the Seto Inland Sea. Benthos Research, 44 : 19-28.

Population of a penaeid shrimp *Metapenaeopsis dalei* in Suo-Nada, the Seto Inland Sea, was composed of the early and late cohorts. The carapace length of juveniles immediately after settlement exhibited a mode of 1.7 mm, with a 95 % confidence interval of 1.57 to 1.73 mm. The late cohort settling in October was usually collected in shallower waters than the early cohort settling in September. The early cohort was suggested to migrate offshore with a decrease in temperature. In June, however, two cohorts seemed to spawn at the same area of 25 m in depth. The highest value of growth rate was estimated at approximately 1.5 mm/month from April to June, while no growth was observed below 13°C. The extremely low temperature also is considered to cause a large mortality to the late cohort.

はじめに

キシエビ *Metapenaeopsis dalei* はクルマエビ科に属する小型エビ類で、亜熱帯から温帯の内湾や浅海域に広く生息しているが、その分布の中心は日本近海にある (HOLTHUIS, 1980 ; 林, 1982)。瀬戸内海では、同属のアカエビ、トラエビなどとともに、年間約2万トン漁獲され、小型底曳網の重要な対象種となっている。キシエビの生態については、成体期・未成体期を中心

に進められている (八柳・前川, 1957 ; 池末, 1963 ; 小坂, 1977)。産卵期についてはほぼ一致し、北方ではやや早いものの7～8月である。分布・移動については、水深10～50mの砂泥質底に幅広く分布するとされているが (阪本・林, 1977 ; 小嶋・花淵, 1981 ; 通山・林, 1982)、キシエビの捕食種の胃内容物調査から示唆された季節的浅深移動の実態については不明な点が多い。成長にいたっては、着底間もない稚エビ期や冬季の低水温期での成長過程については明らかでない。また、水域によって同時出生群の数が1～2個と一定していないこと (八柳・前川, 1957 ; 池末, 1963) や、再生産に関与しない同時出生群の存在も報告されてい

1992年2月17日受付：1992年11月27日受理

る(小坂, 1977)。

本研究では、瀬戸内海の周防灘において、着底直後の稚エビ期から成体期までを対象として、キシエビの生活環全般にわたりその分布と成長を、同時出生群ごとに着底後の生息量と体長組成の変化から明らかにした。特に、発育・成長に伴う浅深移動のパターンおよび低温期における成長速度を検討することにした。そのため、調査域の定点は水深別(5~30 m)に広くわたるように設定し、また周年の定期サンプリングを中心に数多くの標本を採集することにした。

材料と方法

調査水域に選定した瀬戸内海周防灘の山口県光市沖は、水深5 mから10 mにかけて海底の傾斜が急激で砂泥質に覆われている(Fig. 1)。しかし、10 m以深では海底の形状は平坦で、また泥分率(80~95%)や強熱減量(8~10%)は沖合域と島陰のStn. 7で幾分高いものの、ほぼ均一な泥質底が広がっている(遠藤, 1988)。流入河川として島田川があり、その平常時の流量は4.0トン/秒である。

水深5~30 mの砂泥質から泥質底までの21定点において、1986年~1988年の3年間にわたり、21回、小

型底曳網(網口幅3 m, 袋網目合2~8 mm)とソリネット(網口幅1.45 m, 袋網目合0.3 mm)を用いて、稚エビ期から成体期までのキシエビを採集した(Table 1)。曳網速度と時間は、前者で2ノット・15分間(曳網面積1,390 m²)、後者では1ノット・5分間(曳網面積230 m²)とし、各定点で等深線に沿って1回の曳網を、昼間に実施した。採集した標本は直ちに10%ホルマリン溶液で固定した後、種の同定や、個体数・頭胸甲長・体重の測定を行った。

キシエビとは同属で外型が類似した瀬戸内海では混在して生息する場合が多いアカエビやトラエビとは、体表面に剛毛が多いが斑点がないこと、尾節の可動棘の間隔が長いこと、発音器が頭胸甲に存在しないことなどの点で判別可能である。採取直後であれば、第6腹節の腹部側の斑紋の型をみると、本種の判別は容易である(今林, 未発表)。頭胸甲長は眼窩後縁から頭胸甲部の背面後縁までの長さとした。また、雌雄の判別は、頭胸甲長2 mm以上の個体について交接器と第2腹肢内肢の形態に基づいて行った。

キシエビの分布と成長過程は、1986年1~7月および1988年11月にも調査したが、1986年12月から1987年11月までの1年間(計12回)、17定点(Stns. 1~4, 7, 9~17, 19~21)において、同一目合の袋網(8 mm)を装

Fig. 1 Sampling stations (solid circle) in Suo-Nada, the Seto Inland Sea. Trawl net and sledge net were towed at a ground speed of 2 knots for 15 min. and 1 knot for 5 min., respectively.

Table 1 Sampling records of *M. dalei* in Suo-Nada, the Seto Inland Sea

Date	No. of stations	Nets		Shrimps		
		Type	Mesh size (mm)	Catch number	Catchable number*	Range of carapace length (mm)
Jan. 19, 1986	3	Trawl net	4	24	26	4.7~ 7.6
Feb. 13	16	Trawl net	8	135	156	4.2~ 9.3
Mar. 14	12	Trawl net	8	44	50	4.1~ 8.1
Apr. 11	14	Trawl net	8	43	50	4.5~ 8.5
May 12	15	Trawl net	8	46	49	4.9~ 8.0
Jun. 13	14	Trawl net	8	12	12	5.7~ 9.4
Jul. 11	15	Trawl net	8	7	7	8.1~15.0
Dec. 17	17	Trawl net	8	400	478	3.8~10.8
Jan. 31, 1987	17	Trawl net	8	406	425	4.0~10.7
Feb. 21	17	Trawl net	8	790	808	4.7~10.5
Mar. 14	17	Trawl net	8	799	831	4.0~ 9.5
Apr. 15	17	Trawl net	8	404	456	4.5~10.5
May 23	17	Trawl net	8	228	228	5.5~13.2
Jun. 20	16	Trawl net	8	978	978	8.0~16.2
Jul. 18	17	Trawl net	8	42	42	5.5~15.1
Aug. 22	16	Trawl net	8	35	35	3.8~18.4
Sep. 19	17	Trawl net	8	83	275	2.5~ 8.0
Oct. 31	17	Trawl net	8	145	278	2.6~ 7.2
Nov. 28	17	Trawl net	8	567	895	2.8~ 9.6
Sep. 12, 1988	4	Sledge net	0.3	57	57	1.1~ 9.2
Nov. 22	5	Trawl net	2	264	264	3.5~10.0

* Based on the mesh selectivity curve of the shrimp (TOKAI *et al.*, 1990)

着した小型底曳網によって採集された標本を中心に進めた。着底サイズや着底場所を明らかにするため、稚エビの出現時期と考えられる1988年9月に、水深10~25 mの定点(Stns. 7, 10, 12, 13)で小さな目合の袋網(0.3 mm)を装着したソリネットを用いた。

底層の水温、塩分および溶存酸素量は、1986年と1987年に本調査域で観測された浅海定線調査データ(吉岡ら, 1986, 1988, 1990)を引用した。これによると、水温は冬季に低く、夏季に高い(8.2~23.4℃)のに対し、塩分と溶存酸素量は逆の季節変化を示した(32.08~33.79‰, 3.36~7.80 ml/l)。

結果と考察

採集量とサイズ キシエビは総計で5,509個体採集され、またそのサイズは頭胸甲長1.1~18.4 mmであった。11.5 mm以上が成熟サイズ(前川・八柳, 1957; 小

坂, 1977)なので、後述するような着底直後の稚エビ期から成体期までの広範囲にわたっている(Table 1)。性比は周年雄に偏り、産卵直前の6月のキシエビについて計算すると、55.0%を示した。

採集量の季節変化をみるため、1986年12月から1987年11月までの1年間、ほぼ全定点で採集された標本を対象に検討した。夏季の8月に全域で35個体しか採集されないが、その後漸次増大し、11月には567個体に達した。冬季には幾分増加するが、産卵期直前の6月には978個体と最大になった。ところが、この間に採集された個体サイズの変化から、底曳網の袋網目合から脱落した小型個体が調査日によって多数含まれていたことが推察される。TOKAI *et al.* (1990) が求めた網目選択率によって採集量を補正すると、7、8月の最低から漸次増大し、11月にはその脱落率37%から推定すると、895個体に達した。この値は、脱落率が0~4%の2、3、6月とほぼ同一の水準を示していた(Table

1).

このような採集量の大幅な変化は年度間でもみられた。1987年の採集量は1986年よりも著しく多く、1～7月の1曳網当たりの採集量で約10倍であった。

成長過程 沖合方向に水深5m間隔で配置している Stns. 6～11 (5～30 m 深) で採集されたキシエビについて、雌雄別に体長組成の周年変化を求めた (Figs. 2, 3)。雌雄ともほぼ同じような体長組成の推移がみられ、9月には着底に由来する小型群が1個出現し、10月には新たに小型群が加入して2個の体長群が混在していた。このように、キシエビは2回にわたり調査海域に着底・加入し、またそれぞれの体長群に相当するモードは11月まで漸次増大し、成長していた様子が窺える。ところが、12月には1個のモードしか観察されず、その体長からして9月の着底群に結びつくキシエビの存在がみられなかった。それ以降7月まで、体長組成のモードは増加傾向を示すが、この間の雄は2月から3月にかけてモードが低下し、また雌では3月と6月に2個のモードが認められた。そのため、体長組成そのまのモードの推移だけでは、成長過程を明らか

にすることは困難である。また12月以降、採集量が大きく増減していたことから、2つの着底群は離合集散していた可能性がある。

そこで、CASSIE (1954) の方法にしたがって、体長組成を正規分布に分離することにした。その結果、9, 12, 1, 4, 5, 7月の体長組成は1個の体長群だけから構成されていたが、10, 11, 2, 3, 6月には2個の体長群が分離された。この場合、次の2項目を体長群分離の根拠として留意した。1) 体長組成の型だけで体長群を2つに分離するのに困難であった2, 3月の標本については、後述するようにキシエビが集中分布した沖合域の定点間で有意な差がt検定によって認められている。すなわち、2月では Stn. 13 と Stn. 14 の間 ($p < 0.01$)、3月では Stn. 12 と Stns. 13, 14 の間 ($p < 0.05$) である。また、2) 着底期の9, 10月の標本については、網目選択性によって着底間もない小型個体が多く脱落しているの、体長群の実際の平均値は小さい方へずれるはずである。

このようにして求めた体長群の平均値の推移から2つの着底群の成長過程を推定すると、Fig. 4 のようになる。10月に出現した晩期出生群(雌雄の平均値: 3.7

Fig. 2 Change in the size compositions of the male of *Metapenaeopsis dalei* collected at Stns. 9-14 from December, 1986 to November, 1987. Broken lines indicate the normal distribution curves with a mean (circle and triangle).

Fig. 3 Change in the size compositions of the female of *Metapenaeopsis dalei* collected at Stns. 9-14 from December, 1986 to November, 1987. Broken lines indicate the normal distribution curves with a mean (circle and triangle).

Fig. 4 Change in the mean (circle and triangle) of the early and late cohorts of *Metapenaeopsis dalei* collected at Stns. 9-14 from December, 1986 to November, 1987. Means of each cohort are estimated from the normal distribution curves applied in Figs. 2 and 3. Similarly the shrimps (star) collected at Stns. 1-21 from January to July 1986 are analyzed.

mm) については、12月の体長群の平均値にむすびつき、その後も対応した体長群が本調査域で毎月みられた。低水温の冬季には成長はほとんどみられないが、水温の上昇に伴って4月から再び成長し始め、6月には成熟サイズの11.5 mm (前川・八柳, 1957; 小坂, 1977) に達すると、雌雄間で成長差があらわれた (平均値: 雄10.5 mm, 雌12.2 mm)。また、この間の成長速度は急激で、平均で約1.5 mm/月を示した。7月には激減し、8月には晩期出生群は消失していた。これは、生存個体のサイズが各地で報告された最大値に近いこと (八柳・前川, 1957; 小坂, 1977; 池末, 1963) から、産卵後の死亡によるものと考えられる。

9月に出現した早期出生群 (雌雄の平均値: 3.7 mm) は、11月末には7.7 mmに達した後、12, 1, 4, 5月の一時的消失と2, 3月の出現が繰り返された。成熟サイズに達する6月には本調査域に再来し、その平均値 (雄11.8 mm, 雌13.8 mm) は晩期出生群と比べて大きく (t検定, $p < 0.01$)、体重にして雄で1.4倍、雌で1.5倍の較差があった。7月にはすでに死滅あるいは逸散していた。なお、2, 3, 6月には全採集量が增大しており (Table 1)、早期発生群の来遊時期がその採集量にも反映されていたことが分かる。

以上のように、早期出生群は晩期出生群と比べて、着底時期、成熟到達期および消失時期のいずれについても1カ月程早い点を除くと、2つの同時出生群の成長過程は類似していたと推察される。

着底のサイズと時期 稚エビの頭胸甲長 (2~3 mm) と加入状況 (Figs. 2, 3) からすると、キシエビの着底時期は9~10月の秋季と推定され、キシエビの産卵期である7~8月 (八柳・前川, 1957) から約2カ月後にあたる。前述したように、体長組成を正規分布に分離すると、9月は1個の群だけから構成されているが、10月は2個の群が分離されることから、着底・加入群は2個存在することになる。そこで、成長過程から外挿して第1回目の着底・加入時期と推定される9月中旬に、10~25 m域で採集された稚エビを対象にしてその着底サイズと着底水深を明らかにすることにした。

採集された稚エビの中で、1.1~3.0 mmの小型個体の体長組成は山型を示していた (Fig. 5)。その平均値 (1.6~1.8 mm) に相当する個体の形態をみると、第6腹節の腹部に対する比が著しく長く、また全ての腹肢には可動で短い剛毛が生じていた (Fig. 6)。それらは、いずれもクルマエビ科の十脚類幼生のポストラーバI期の特徴 (WILLIAMSON, 1969; 倉田, 1973; 大

石, 1988) と一致していたので、この小型群は着底直後のものと推定される。また、着底後の稚エビは、成長・發育に伴って第6腹節は相対的に急激に短くなり、腹部の剛毛は長くかつ濃密になるが、斑紋の型や有無はほぼ成体期と類似していた。

Fig. 5の小型群を着底直後のものとして体長組成を正規分布に分離すると、着底時の頭胸甲長は 1.65 ± 0.25 mm (平均値±標準偏差)、その95%信頼区間は1.57~1.73 mmを示した。

着底水深については、着底群の大部分がStn. 13に集中していたことや、その後の稚エビの分布から、沖合の25~30 m付近が主要な着底場所であると考えられる。なお、岸寄りのStn. 7でも着底直後の個体が幾分採取されているが、そのサイズはStn. 13と比べて大きかったこと (t検定, $p < 0.05$) から、幾分遅れて

Fig. 5 Size composition of juvenile *Meta-penaeopsis dalei* collected at Stns. 7, 10, 12 and 13. Broken line indicates a normal distribution curve.

Fig. 6 Lateral view of newly settled *Meta-penaeopsis dalei* of 1.8 mm in carapace length.

着底する個体が存在したことが示唆される。

水平分布と浅深移動 キシエビの季節的浅深移動の様子を同時出生群別に検討することにした。そのため、前述のように定点別の体長組成を CASSIE (1954) の方法に従って正規分布に分離し、その平均値の有意差検定(t 検定, 5%有意水準)から、早期・晩期出生群の区別を行った。その際、10個体以上出現した定点を対象にした。

Fig. 7 をみると、早期出生群だけが占有する 9 月の平均頭胸甲長には、定点間に有意な差はなかったが(F

検定, $p > 0.05$), 晩期出生群が加入する 10 月には定点間で有意な差が生じ(F 検定, $p < 0.01$), 小型の晩期出生群は 15m 以浅の岸寄りに偏在していたことが窺われる。両出生群が出揃った 11 月の分布様式も引き続き同様で、泥質底縁辺の 10 m 深は晩期出生群が、20 m 以深は大型の早期出生群が占め、それらの中間の 15 m 深の Stn. 7 では両者は混在していた (Fig. 8)。晩期出生群は 10 m 深でも特定の定点 (Stn. 19) に集中していた。全採集量が幾分減少した 12 月には (Table 1), 早期出生群は沖合へ逸散し、それに伴って晩期出生群は本調査域を占有するようになり、その分布の中心は水

Fig. 7 Change in the distributions of the early and late cohorts of *Metapenaeopsis dalei* from December, 1986 to November, 1987. The two cohorts are divided by the normal probability paper from the size composition at each station recording more than 10 individuals.

深10 mから30 mへ大きく移動していた。沖合に逸散していた早期出生群の一部は、2月に30 m深まで、3月には25 m深まで岸寄りに来遊し、それに伴って全採

Fig. 8 Size compositions of *Metapenaeopsis dalei* collected at depths of 10 m (Stn. 19), 15 m (Stn. 7) and 20-30 m (Stns. 12-14).

集量が一時的に増大するようなことはあったが、12~5月の低水温期はほぼ30 mの等深線を境に2つの出生群はすみわけていたものと言える。

1986年1~5月の低水温期において採集数が少なく (Table 1) また1つの群しか認められなかった (Fig. 4)のは、早期出生群が本調査域内に来遊しなかったためと推察される。

産卵前の6月には、それまでみられた定点間での平均頭胸甲長に有意な差が消失して、両出生群は特に25~30 m付近 (Stns. 13, 14)に集中・混在するようになり、全採集量が最大となってあらわれた。7, 8月は激減したが、残存個体が停滞域である島陰の Stn. 7で少数採集された。

以上のことから、産卵期以外には早期出生群は沖合に、晚期出生群は岸寄りにすみわけているが、近接した定点間で採集量が季節的に大きく変動していたことから、各同時出生群は幾つかの小群を形成してすみ場所内を移動するものと考えられる。

低水温が成長と生残に及ぼす影響 熱帯起源のクルマエビ科に属するキシエビは、低温に対しては本来的に弱いと考えられる。特に、30 m以浅で全生活環を過ごす晚期出生群の生き残りにとって冬季に経験する水温低下は厳しいことは、前述したような成長の停止からも窺える。

Fig. 9 Monthly change in the temperature of bottom water in the sampling waters in 1986 (broken line) and 1987 (solid line). The data are based on YOSHIOKA *et al.* (1987, 1988, 1990).

低水温がその成長速度に及ぼす影響については、1986年と1987年の晩期出生群を対象として検討することにした。本調査域の水温として山口内海水試が浅海定線調査をしている4定点の底層水温の推移をみると(Fig. 9), 1986年には冬季の水温低下が著しく、1~4月の平均水温は1987年の場合と比べて、2.2°C低かった(t検定, $p < 0.01$)。一方、成長過程をみると(Fig. 4), 平均頭胸甲長の有意差検定(t検定, 1%有意水準)から成長が停止している期間を推定すると、1986年では1~5月と長かったのに対して、1987年では1~3月であった。なお、体長組成の平均値からみると、晩期出生群は1986年で幾分小型化していたが、両年間で有意な差がみられなかった(t検定, $p > 0.01$)。このように、水温低下が著しい年では成長の停止期間が長いことが分かる。

HARTNOLL (1982) によると、大部分の甲殻類の成長は水温と負の相関を示し、特に水温がある値を切るとほとんど脱皮しないとされている。このように成長が停止する水温の閾値はクルマエビ科のサルエビについてもみられ、12~22°Cの間では半数の個体が一定期間内に脱皮しているが、12°Cよりわずかに2°C低くなると脱皮が全く観察されていない(今林・山田, 1991)。このような観点から、キシエビの成長が停止する水温の閾値を推定すると、13°Cとなる。

次に、低水温がキシエビの生残に及ぼす影響を検討するために、最低水温期の2~4月について両年の採集量を比較した。その結果、同一定点(Stns. 9, 10, 11)における1986年の1曳網あたりの採集量は著しく少なく、1987年の1/20であった。また、1986年には2月から3月にかけて約1/3に減少していた。このような低温による野外での採集量の減少は、この体長群に相当する晩期出生群が浅部域を主要な育成場としていることや、沖合域においても同様に水温が低下していることから(吉岡ら, 1987, 1988, 1990)、一時的な逸散によって生じたとは考え難く、低温による死亡あるいは泥中での潜伏深度の増大による採集効率の低下が、採集量の減少を招いたものと考えられる。前者については、サルエビは大型個体より小型個体で低温の影響を受けて死亡しやすいことが、飼育実験(今林・山田, 1991)によって明らかにされている。このようなことからすると、キシエビの低温化によって受ける死亡の程度は、早期出生群に比べて小さなサイズの晩期出生群において顕著であったものと考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、貴重な標本と助言を頂いた南西海区水産研究所内海底魚資源研究室の皆様ならびに高橋正雄教授に感謝いたします。また、光漁業協同組合、山口県内海水産試験場、広島大学生物生産学部練習船“豊潮丸”には標本採集にご協力して頂き、ここに深謝いたします。

文 献

- CASSIE, R. M., 1954. Some uses of probability paper in the analysis of size frequency distribution. *Australian J. Marine Freshwater Res.*, 5: 513-522.
- 遠藤拓郎, 1988. 魚介類の生息場における底質の化学的指標の究明. モニタリング手法の確立に関する調査研究, 昭和61年度, 101-111.
- HARTNOLL, R. G., 1982. Growth. In, *The Biology of Crustacea; embryology, morphology, and genetics*, ed. by L. G. ABLE, Academic Press, New York, pp. 111-196.
- 林 健一, 1982. 日本産エビ類の分類と生態(6)ークルマエビ科アカエビ属②. 海洋と生物, 4: 292-295.
- HOLTHUIS, L. B., 1980. FAO species catalogue. Vol. 1. Shrimps and prawn of the world. An annotated catalogue of species of interest to fisheries. *FAO Fish. Synop.*, 125: 1-271.
- 池末 弥, 1963. 有明海におけるエビ・アミ類の生活史, 生態に関する研究. 西水研研報, 30: 1-124.
- 今林博道・山田 寛, 1991. サルエビの脱皮に及ぼす水温の影響. ベントス研会誌, 41: 47-53.
- 小嶋喜久雄・花淵靖子, 1981. 油谷湾におけるエビ・カニ類の生態学的研究-I, 出現種および種組成の季節的变化. 西水研研報, 56: 39-54.
- 小坂昌也, 1977. 仙台湾産キシエビ *Metapenaeopsis dalei* (RATHBUN) の生態. 東海大学紀要海洋学部, 10: 129-136.
- 倉田 博, 1973. 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. 南西水研研報, 5: 33-79.
- 大石茂子, 1988. 甲殻類. 団 勝磨ら編, 無脊椎動物の発生⑦. 培風館, 東京, pp. 51-130.
- 阪本俊雄・林 健一, 1977. 紀伊水道における小型底曳網漁業のエビ類. 日水誌, 43: 1259-1268.

- 通山正弘・林 健一, 1982. 土佐湾の砂泥性, 浮遊性
エビ類とその分布. 南西水研研報, 14: 83-102.
- TOKAI, T., H. ITO, Y. MASAKI and T. KITAHARA,
1990. Mesh selectivity curves of a shrimp beam
trawl for southern rough shrimp *Trachypenaeus*
curvirostris and mantis shrimp *Oratosquilla*
oratoria. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56: 1231-
1237.
- WILLIAMSON, D. I., 1969. Names of larvae in the
Decapoda and Euphausiacea. *Crustaceana*, 16:
210-213.
- 八柳健郎・前川兼佑, 1957. 山口県瀬戸内海重要生物
の生態学的研究—第15報. キシエビ *Metapenaeop-*
sis dalei (RATHBUN) の生態. 山口県内海水試調
査研究業績, 9: 13-20.
- 吉岡貞範・高山繁昭・岩本哲二, 1987. 浅海定線調査,
山口県内海水試報, 15: 77-102.
- 吉岡貞範・高山繁昭・岩本哲二, 1988. 浅海定線調査,
前掲誌, 16: 76-101.
- 吉岡貞範・高山繁昭・岩本哲二, 1990. 浅海定線調査,
前掲誌, 17: 57-83.
- 〒724 東広島市鏡山1-4-4
広島大学生物生産学部
今林博道