

ガザミのふ化までの所要日数と飼育水温の関係およびふ化日の同調化について

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 日本栽培漁業協会 公開日: 2025-04-24 キーワード: 作成者: 浜崎, 活幸, 福永, 恭平, 丸山, 敬悟 メールアドレス: 所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2014382

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



ガザミのふ化までの所要日数と飼育水温の関係および ふ化日の同調化について

浜崎 活幸*・福永 恭平*・丸山 敬悟*

(1991年3月23日受理)

種苗生産を計画的に行う上で、飼育に用いる幼生のふ化日を予測することは極めて重要である。種々の環境要因が卵の発育に要する期間に影響を与えると考えられるが、多くの十脚甲殻類(例えば、WEAR¹⁾, HEASMAN and FIELDER²⁾, 野中³⁾, 井上⁴⁾など)で報告されているように、そのうち水温の影響が特に重要であると考えられる。これまでの研究では、ふ化までの所要日数と飼育水温の関係式を定めているが、予測誤差については検討されていない。種苗生産において予定した数のふ化ゾエアを得るためには、予測誤差の推定が不可欠である。これによって、種苗生産開始予定日にふ化する確率を考慮して、必要な親の数を知ることができる。本研究では、この観点からガザミ *Portunus trituberculatus* についてふ化日の同調化方法を提唱する。

ガザミは、栽培漁業対象種として古くから種苗生産が行われているが⁵⁾、ふ化までの所要日数と飼育水温の関係については、腹肢付着卵に眼点が出現してからふ化するまでの期間について単に散布図で示されているに過ぎない⁶⁾。ふ化までの所要日数と水温の関係を定式化できれば、ふ化日の予測を簡便に行えると考えられる。さらに、水温をコントロールすることによってふ化日のコントロールが可能となる。

ガザミの種苗生産において、飼育水槽が大型の場合には、複数の親ガニからふ化した幼生が1度に水槽へ収容される。また、親ガニ1尾からの幼生で十分な収容数が得られる場合でも、必ずしも健全な幼生がふ化するとは限らないため、種苗生産開始日に複数の親ガニからふ化した幼生を準備することが望まれる。水槽内で産卵させた親ガニからふ化幼生を得る場合には、同じ日に産卵した複数の親ガニを同一の水槽で飼育することによって同日に十分なふ化幼生を得ることが可能である。しかし、本種の成熟・産卵のコントロールについての知見はほとんどなく、現段階では、成熟・産卵をコントロールし、同日に複数の親ガニを産卵させる技術はない。従って、種苗生産開始日に複数の親ガニからふ化幼生を得るためには、産卵日の異なる親ガニの飼育水温を個々にコントロールしてふ化日をコントロールし、ふ化日を同調させる必要がある。また、天然の抱卵個体を搬入して利用する場合には、必ずしも同じ発育段階の卵を持った親ガニが得られるとは限らないことから、その場合にもふ化日の同調が必要となる。

そこで、本研究では、ガザミの腹肢付着卵(以下、卵と記す)の発育過程を観察し、産卵日からふ化日まで、あるいは発育した卵に明瞭な外部形態の変化が出現した日からふ化日までの所要日数と飼育水温の関係式を定式化し、卵に眼点が出現(以下、発眼と記す)した以降には、眼点のサイズと飼育水温とふ化までの所要日数の関係式を求めた。また、予測誤差についても検討し、ふ化予定日すなわち種苗生産開始予定日にふ化する確率を求めた。そして、実際に求めた関係式を用いてふ化日のコントロールを行うとともに、産卵日の異なるあるいは卵発生段階の異なる抱卵親ガニのふ化日の同調化を試みた。

また、後述のように本報告のふ化日の同調化方法は、卵の発育期間中に飼育水温の変化を伴うものである。従って、水温変化に弱い卵の発育段階や卵発生に影響を与えない水温格差を明らかにする必要がある。そこで、本研究では、水温変化に弱い卵発生段階を明らかにするための簡単な実験も併せて行った。

材料および方法

ふ化までの所要日数と飼育水温の関係 調査は1987年および1989年に行い、それぞれ27尾、および154尾の親ガニを用いた。親ガニは、浜崎ら⁷⁾と同様の方法で搬入し、個体標識⁸⁾を施して飼育した。飼育には、二重底構造⁹⁾で底に砂(平均粒径1mm)を約10cmの厚さに敷いた4m³FRP水槽、あるいは7m³コンクリート水槽を用

* 日本栽培漁業協会玉野事業場(〒706 岡山県玉野市築港5-21-1)

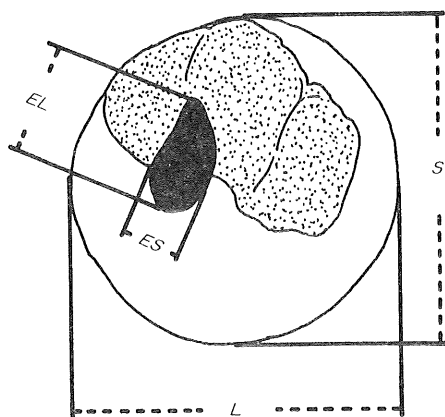


図1 Eye Pigmented Index (EPI) を求めるためのガザミの卵の測定部位

EL: 眼点の長径, ES: 眼点の短径, L: 卵の長径, S: 卵の短径.

$$EPI = (EL \times ES) / (L \times S) \times 10^3.$$

温した。調査期間中には、1日に水温を2~4回測定し、その平均を毎日の水槽水温とした。なお、本報告で用いる抱卵期間中の“飼育水温”は、ふ化日前日までの水槽水温の平均値である。

1987年の調査では、抱卵期間中に親ガニの卵を毎日午前9時~10時の間にピンセットで採取し、その外部形態を検鏡した。1989年には、1987年の予備的観察から、卵に明瞭な外部形態の変化すなわち胚体の出現、発眼、紫色色素の出現（各形態については後述する）が起こると考えられる日の前後に卵を採取し、外部形態を検鏡した。そして、産卵日からあるいはそれらの外部形態の変化が起こった日からふ化日までの所要日数（以下、各ステージからの所要日数と記す）と飼育水温の関係について検討した。

1987年には、発眼日が不明の場合でもふ化日の予測を可能にするため、発眼卵の眼点が徐々に大きくなることを利用して、眼点のサイズと飼育水温とふ化日までの所要日数の関係について検討した。そのため、23尾の抱卵個体について接眼マイクロメーターを使用して、それぞれの個体について発眼からふ化前日まで毎日、眼点の長径(EL)、短径(SL)および卵の長径(L)、短径(S)を測定した(図1)。なお、測定は10個の卵について行った。眼点のサイズを示す指標として、眼点および卵の形を楕円に近似し、卵の断面積に対する眼点の面積比 $((EL \times ES) / (L \times S) \times 10^3)$ を求めた。以下、その値を Eye Pigmented Index (EPI) と呼ぶこととする。

ふ化日の同調化 産卵日あるいは卵の発育段階の異なる複数の親ガニがあった場合、各親ガニごとに水温をコントロールした別々の水槽で飼育し、ふ化日をコントロールすれば、各親ガニのふ化日の同調が可能となる。しかし、個体数が多くなった場合には、水槽数が増え、管理が煩雑になるため実用的ではない。本報告では、できるだけ少ない水槽を用いて、産卵日あるいは卵の発育段階が異なる複数の親ガニのふ化日をコントロールし、同調させる方法について考えた。

卵発生に及ぼす急激な水温変化の影響 20℃を基本水温として、卵を32℃(+12℃)および8℃(-12℃)の海水に24時間接触させた後、20℃の海水へ戻し、その48時間後に卵の生残率(発生の進行した卵の割合)を調べた。そして、当初から20℃の海水中で温度変化を与えないで発生させた対照区と比較することによって、水温変化に弱い、すなわち水温変化により死亡率が高まる発生段階を明らかにした。実験は、20例行い、19~21℃で飼育した親ガニからの17段階の発生卵を使用した。

実際の実験は、以下の手順で行った。まず、親ガニの腹肢からピンセットを用いて取り外したおよそ50~100個の卵を約20℃に調節した10mlの滅菌海水の入った滅菌容器(組織培養プレート6ウエル、各ウエルの大きさは直径35mm、高さ14mm)に収容した。そして、直ちに容器を32±1℃および8±1℃に調節した恒温器に入れ、振盪器*を用いて振盪(110回/分)して発生させた。24時間後にそれぞれの容器を20±1℃の恒温器に移して振

いた。水槽の底面の端、約1/4には砂を敷かず、餌場とした。餌料として、約1週間で消費される量の活きたアサリを餌場に置いた。産卵の有無の確認は、毎日午前9時~10時に行った。産卵が確認された場合には、その日を確認した親ガニの産卵日とした。産卵個体は、上述の水槽で、あるいは0.5m³黒色ポリエチレン水槽や2m³FRP水槽でふ化前日まで飼育した。0.5m³および2m³水槽には砂を敷かず、餌料を置かなかった。ふ化前日と思われる個体は、16時~18時の間に0.7m³FRP水槽に個別に収容し、止水で飼育した。そして、翌朝6時~7時に観察してふ化が起っていた場合には、その日をふ化日とした。なお、今回の調査では、日中にふ化が起こることはなかった。また、ふ化が2日にわたって起こることはなかった。

親ガニの飼育には、砂ろ過海水を用い、3~10回転/日の流水飼育とした。7m³水槽では、自然水温で飼育を行ったが、それ以外の水槽では、蒸気ボイラーあるいはチタンヒーターを用いて17~28℃の範囲で加

* RECIPRO SHAKER NR-1, 大洋科学工業社製

盪を続け、移送後 48 時間目に顕微鏡を用いて卵の生残率を調べた。水温変化を与えない対照区も同様に振盪して卵を発生させた。なお、ふ化間近い卵を用いた実験における卵の生残数には、ふ化した幼生の数も加えた。また、ふ化間近い卵を用いた実験のうち、2 例では、ふ化率およびふ化幼生のうち正常な形態をした幼生の割合も求めた。各実験例とも 3 ロット行い、結果はその平均で示した。

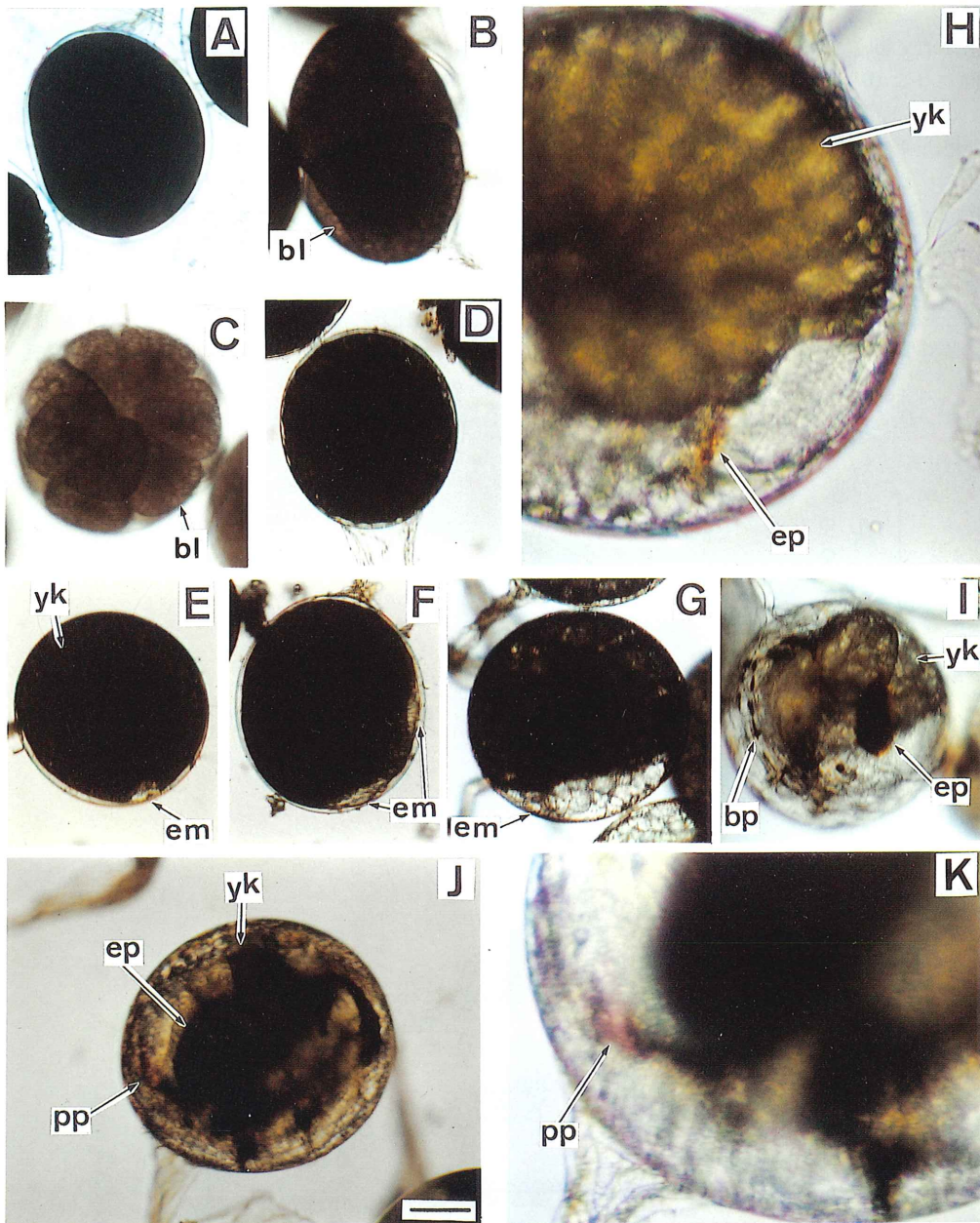


図 2 ガザミの卵の発育過程における外観の変化

A: 産出されて腹肢内肢剛毛へ付着して間もない卵, B: 割球が見え始めた卵, C: 割球が明確になった卵, D: 卵割が進行し個々の割球が区別できない卵, E: 胚体が出現した卵, F, G: 胚体が成長した卵, H: 発眼した卵, I: 眼点が成長した卵, J: パープルポイントが出現した卵, K: パープルポイントの拡大部。スケールは 100 μ m (A~G, I, J), 250 μ m (H, K)。bl: 割球, bp: 黒色色素, em: 胚体, ep: 眼点, pp: パープルポイント, yk: 卵黄。

結果および考察

卵の発育過程 ガザミの卵の発育過程については、産出された卵の腹肢内肢剛毛への付着過程についての記載⁷⁾、および卵に眼点が出現してからふ化するまでの外観の変化の記載があるが¹⁰⁾、全抱卵期間を通して卵の外部形態の変化を記載した例は見あたらない。ここでは、産出卵が内肢剛毛へ付着して以降の卵の外部形態の変化について記載する。

産出されて腹肢に付着して間もない卵は、楕円形である(図2A)。まず、卵割が起こり(図2B)、割球は16細胞で明確になる(図2C)。卵割が進行するにともない割球は次第に小さくなり、個々の割球が区別できなくなる(図2D)。次に、顕微鏡下で透明に見える胚体が出現する(図2E)。胚体は、次第に成長し(図2F,G)、褐色の糸状の眼点が出現する(発眼)(図2H)。眼点は、次第に大きくなり、胚体に黒色素が発達する(図2I)。ふ化が近づくと、卵内ゾエアの眼点の前方域に紫色色素(以下、パープルポイントと記す)が出現する(図2J,K)。卵塊は、発育初期にはオレンジ色であり、発眼以降は、胚体に黒色素が発達することにより次第に灰黒色になる。なお、発眼以降の外部形態の変化は、大島¹⁰⁾の記載と同様であった。

ふ化までの所要日数と飼育水温の関係 181尾の抱卵個体について求めた各ステージからの所要日数と飼育水温の関係を図3に示した。飼育水温が高いほど各ステージからの所要日数は短くなっていった。ふ化までの所要日数と飼育水温の関係を定式化するにあたり、ここでは、以下に示したべき乗式を自然対数に変換したモデルを用いた。

$$\ln D_1 = \ln a_1 + b_1 \ln T_1 \quad (1)$$

ここで、 D_1 : 各ステージからふ化までの所要日数、 T_1 : 飼育水温、 a_1 、 b_1 : パラメータである。

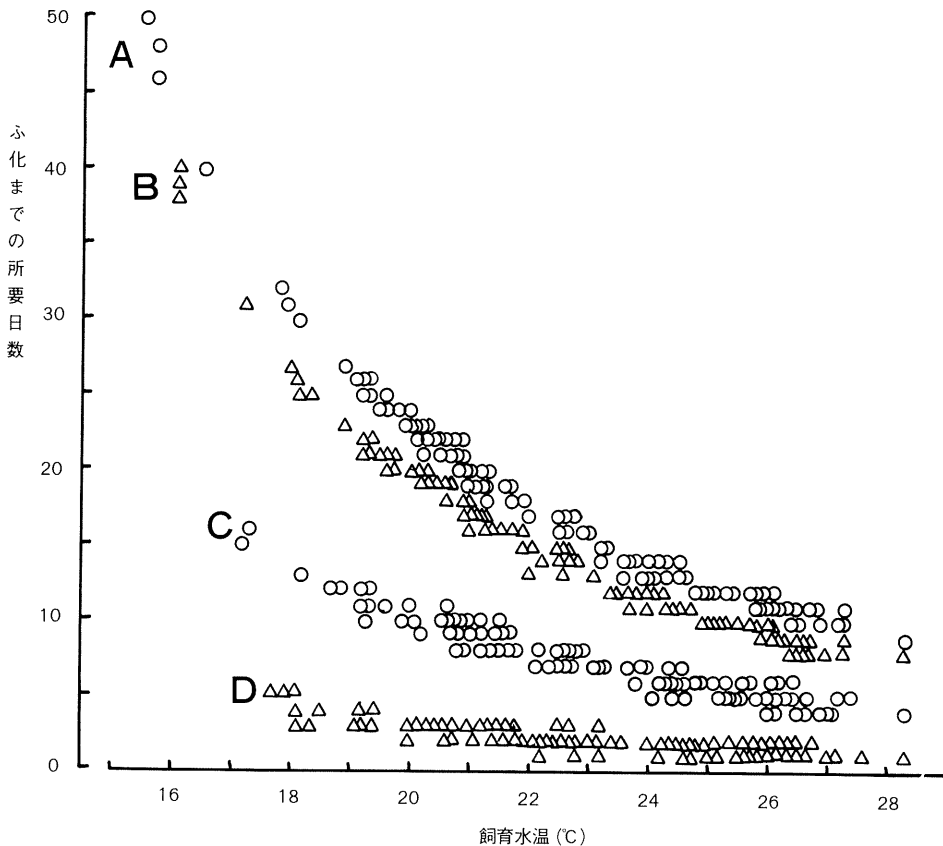


図3 ガザミのふ化までの所要日数と飼育水温の関係

A (○): 産卵からふ化まで, B (△): 胚体出現からふ化まで, C (○): 発眼からふ化まで, D (△): パープルポイント出現からふ化まで.

最小2乗法によって推定したパラメータを表1に示した。各式とも相関係数は高く、統計的に有意であった ($p < 0.001$)。

ふ化までの所要日数を予測するにあたって、表1に示した関係式による点推定だけでなく、区間推定を行うことは有益である。ここでは、所与の説明変数(飼育水温の自然対数値, x_0)に対する予測値(ふ化までの所要日数の自然対数値, y_0)の信頼係数 $1-\alpha$ の信頼限界 ($100(1-\alpha)\%$ 信頼限界)を考える。信頼限界は、以下に示した式(2)によって求めた(CAMPBELL¹¹⁾)。但し、式(1)のパラメータを推定するために用いた飼育水温の自然対数値を x 、所要日数の自然対数値を y と置く。

$$y_0 \pm St \{1 + 1/n + (x_0 - \bar{x})^2 / Sxx\}^{1/2} \quad (2)$$

$$\text{但し、 } S = \{(Syy - Sxy^2 / Sxx) / (n - 2)\}^{1/2}$$

ここで、 t : 自由度 $n-2$ 、有意水準 α での t -分布の値、ここでは、 $n=181$ であるので t -値は $n=\infty$ として CAMPBELL¹¹⁾ の統計表より求めた、 n : 標本数、 \bar{x} : $\sum x_i / n$ 、 \bar{y} : $\sum y_i / n$ 、 Sxx : $\sum (x_i - \bar{x})^2$ 、 Syy : $\sum (y_i - \bar{y})^2$ 、 Sxy : $\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ である。

表1 ガザミのふ化までの所要日数 (D_1) と飼育水温 (T_1) の関係式 ($\ln D_1 = \ln a_1 + b_1 \ln T_1$) のパラメータの推定値

	n^{*1}	$\ln \hat{a}_1$	\hat{b}_1	r^{*2}
産卵からふ化	181	11.4546	-2.7766	-0.9937
胚体出現からふ化	181	11.5928	-2.8717	-0.9919
発眼からふ化	181	10.6109	-2.7605	-0.9650
パープルポイント出現からふ化	181	10.4559	-3.1245	-0.8023

*1 標本数

*2 相関係数

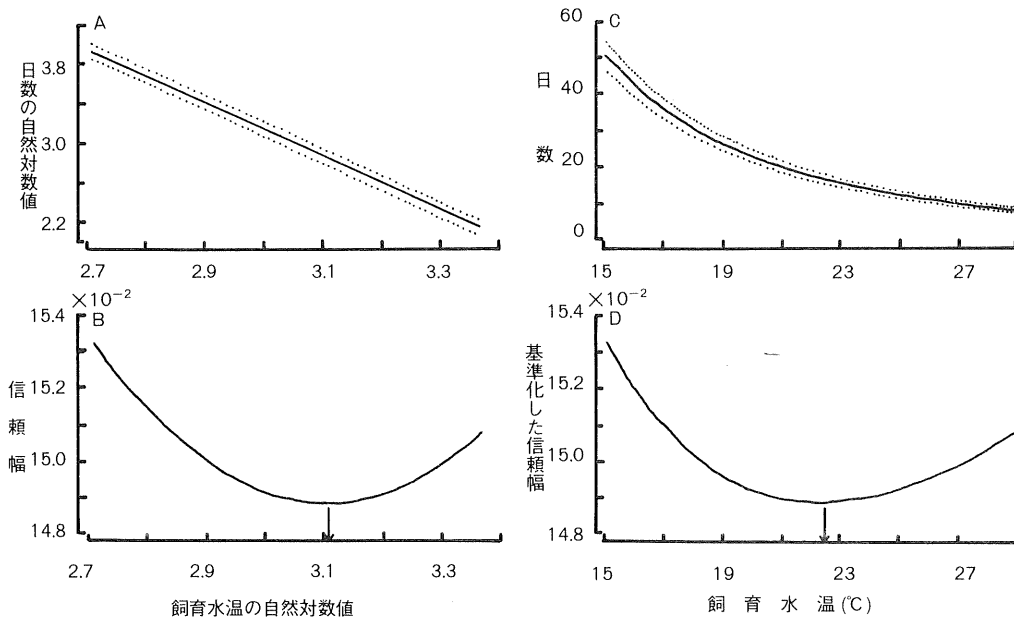


図4 ガザミの産卵からふ化までの所要日数と飼育水温の関係式から求めた予測値とその95%信頼限界および飼育水温と信頼区間の大きさ(信頼幅)の関係

A: 表1の関係式から求めた予測値および本文中の式(2)から計算した95%信頼限界、B: Aにおける信頼幅と飼育水温の自然対数値との関係、C: Aの予測値と信頼限界を真数にもどして示した、D: Cにおける信頼幅を予測値で除して基準化した値(基準化した信頼幅)と飼育水温との関係、A, Cの実線は予測値を、点線は95%信頼限界を示す。B, Dの矢印は、飼育水温の自然対数値の平均値あるいは飼育水温の平均値を示す。

ここでは、まず、式 (2) において、水温 15~29℃ の範囲で 0.1℃ 間隔ごとに、 $\alpha=0.05$ とおいて 95% 信頼限界を求めた。産卵からふ化までについて求めた 95% 信頼限界を代表として、予測値 (y_0) とともに図 4A に示した。また、図 4B には、図 4A の信頼区間の大きさ (以下、信頼幅と記す) と飼育水温の自然対数値の関係を示した。図 4B をみると、信頼幅は飼育水温の自然対数値の平均値に対して最小の値を示す、すなわち平均値付近で精度が高いことが判る。次に、図 4C には、図 4A に示した信頼限界を真数にもどして示した。図 4C をみると、飼育水温が低いほど信頼幅は広くなり、推定精度が悪くなっているようにみえる。しかし、図 4C に示した各水温における信頼幅を予測値で除して基準化した値と飼育水温の関係をみると、図 4B と同様の関係が認められる (図 4D)。なお、図 4C において、どの水温でも信頼幅の上側が下側より若干大きかったが、これを対数変換した図 4A では上側と下側の大きさは一致している。このことは、もとのモデルが、

$$D_1 = a_1 T_1^{b_1} \varepsilon \quad (1)$$

すなわち、誤差 ε が対数正規分布するモデルであることを示している。対数正規分布は、右に裾を引いた分布であり、予測値が上側にバラツキやすいと言うモデルである。後述のふ化日のコントロールおよび同調化の実例 (表 3~5) では、予測日の 1 日前にふ化した例が 17.5%、予測日にふ化した例が 57.5%、予測日の 1 日後にふ化した例が 25% であり、実際の適用例でもこのことは支持される。

このように、所要日数の推定精度を一律に評価するためには、信頼幅の基準化が必要であるが、実際には日単位で扱う方が便利である。実用的には、予測日数 ± 1 日あるいは予測日数そのものになる信頼係数、すなわち予測日数 ± 1 日以内あるいは予測日数そのものにふ化する確率 (信頼係数 $\times 100$) が判れば有効である。

そこで、ここでは、水温 15~29℃ の範囲で 0.1℃ 間隔ごとに、信頼係数を 0.1~0.9 の範囲で 0.1 間隔で変化させて、それぞれの信頼係数における図 4C と同様の信頼限界を求めた。そして、予測値と信頼限界の差の小数点第一位を四捨五入することとして、それらの値が ± 1.5 日未満あるいは ± 0.5 日未満になる確率 (信頼係数 $\times 100$) を求めることとした。

求めた結果を表 2 に示した。ここで、例えば産卵からふ化までの期間の飼育水温の項をみると、15.0~15.8℃ では、信頼限界と予測値の差が ± 1.5 日未満になる確率は 50% となる。すなわち、産卵した個体を水温 15.0~15.8℃ の間で飼育した場合、ふ化までの所要日数は、表 1 に示した関係式から求めた予測日数の ± 1.5 日未満の間に 50% の確率で含まれることになる。胚体出現、発眼およびパープルポイントの出現からふ化までについても同様に考えることができる。

以上に述べたように、今回推定したふ化までの所要日数と飼育水温の関係式 (表 1) を用いることで、ある水温で抱卵親ガニを飼育した場合の産卵からふ化までの所要日数の推定、すなわちふ化日の予測が可能である。天然で漁獲された抱卵親ガニを利用するなど産卵日が不明の場合には、卵の胚体出現、発眼およびパープルポイントの出現という外部形態の変化を観察することによって、それらの形態変化の起こった日からふ化までの所要日数の推定、すなわちふ化日の予測が可能である。また、逆にある抱卵個体のふ化予定日までの所要日数を表 1 に示した関係式に代入して飼育すべき水温を決定し (巻末の付表 1 に各ステージからふ化までの所要日数と水温 (15~29℃ の範

表 2 水温別 (15~29℃) のガザミのふ化までの所要日数の予測値とその信頼係数 $1-\alpha$ での信頼限界との差が ± 1.5 日未満 (A) および ± 0.5 日未満 (B) になる確率 (信頼係数 $\times 100$)

産卵からふ化までの飼育水温		胚体出現からふ化までの飼育水温		発眼からふ化までの飼育水温		パープルポイント出現からふ化までの飼育水温		確率 %
A	B	A	B	A	B	A	B	
—	15.0 \leq	—	15.0 \leq	—	15.0 \leq	—	15.0 \leq	10
—	15.7 \leq	—	15.8 \leq	—	15.7 \leq	—	15.7 \leq	20
—	18.2 \leq	—	18.2 \leq	—	18.2 \leq	—	17.9 \leq	30
—	20.3 \leq	—	20.2 \leq	—	20.3 \leq	15.0 \leq	19.9 \leq	40
15.0 \leq *	22.2 \leq	15.0 \leq	22.1 \leq	15.0 \leq	22.2 \leq	15.1 \leq	21.6 \leq	50
15.9 \leq *	24.1 \leq	16.0 \leq	23.9 \leq	16.0 \leq	24.2 \leq	16.2 \leq	23.4 \leq	60
17.1 \leq *	26.0 \leq	17.2 \leq	25.7 \leq	17.2 \leq	26.2 \leq	17.4 \leq	25.2 \leq	70
18.5 \leq *	28.2 \leq	18.9 \leq	27.8 \leq	18.6 \leq	28.5 \leq	18.8 \leq	27.3 \leq	80
20.2 \leq *	—	20.2 \leq	—	20.5 \leq	—	20.6 \leq	—	90

* それぞれ 15.0~15.8℃, 15.9~17.0℃, 17.1~18.4℃, 18.5~20.1℃, 20.2~29.0℃ を表す, 他も同様。

困で 0.1°C 間隔) を示した), その水温で飼育することによってふ化予定日に一定の精度でふ化させることが可能である。すなわちふ化日をコントロールすることが可能であると考えられる。その場合, ±1.5 日または±0.5 日の幅をもたせたふ化予定日にふ化する確率は, 表 2 から知ることができる。

次に, 発眼日が不明の場合でもふ化日の予測を可能にするため, 発眼卵の眼点のサイズと飼育水温とふ化までの所要日数の関係式を求めた。そのため, まず, 眼点のサイズを指標とした EPI (図 1) とふ化までの所要日数の関係を発眼からふ化までの飼育水温が 18.2, 20.8 および 26.3°C の例を代表として図 5 に示した。それをみると, EPI が大きくなるほどふ化までの所要日数は直線的に減少していた。また, 水温が高いほど直線の傾きは大きかった。そこで, EPI を求めた各個体について EPI とふ化までの所要日数の関係を以下に示した直線式で表すこととする。

$$D_2 = a_2 - b_2 \text{EPI} \quad (3)$$

ここで, D_2 : ふ化までの所要日数, EPI: Eye Pigmented Index, a_2, b_2 : パラメータである。 a_2, b_2 は, 最小 2 乗法によって推定した。求めた各式の相関係数は $-0.9868 \sim -0.9987$ であり, 統計的に有意であった ($p < 0.001$)。

次に, 各個体について推定した a_2, b_2 と発眼からふ化までの期間の飼育水温の関係を図 6 に示した。各個体の a_2, b_2 は, 水温が高いほど小さくなっていった。そこで, 図 6 に示したパラメータと飼育水温の関係を α, β をパラメータとする以下のべき乗式で表すこととする。

$$\begin{aligned} \hat{a}_2 &= \alpha_a T_2^{\beta a} \\ \hat{b}_2 &= \alpha_b T_2^{\beta b} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで, T_2 : 発眼からふ化までの飼育水温である。 α, β を推定するにあたり, 式 (4) を自然対数に変換した式に最小 2 乗法を適用した。求めた式の相関係数は, それぞれ -0.9700 および -0.9760 であり, 統計的に有意であった ($p < 0.001$)。

式 (3), 式 (4) から EPI および飼育水温とふ化までの所要日数の関係は,

$$D_2 = \alpha_a T_2^{\beta a} - \alpha_b T_2^{\beta b} \text{EPI} \quad (5)$$

で表される。したがって, 発眼以降のふ化までの所要日数は, 推定されたパラメータを用いて

$$D_2 = 10927.4 T_2^{-2.3219} - 237.9 T_2^{-2.6345} \text{EPI} \quad (6)$$

で予測できる。

式 (6) により, 卵の発眼以降は EPI を求めることによってある水温で飼育を予定した抱卵親ガニのふ化までの所要日数の予測, すなわちふ化日の予測が可能である。また, ある抱卵親ガニのふ化予定日までの所要日数を決めて式 (6) から飼育すべき水温を決定し, その水温で飼育することによってふ化予定日に一定の精度でふ化させることが可能である。すなわち, 飼育水温をコントロールすることでふ化日のコントロールも可能であると考えられる。但し, この場合, 式 (6) に EPI とふ化予定日までの所要日数 D_2 を代入しても, 飼育水温 T_2 を直接計算することはできないので, 以下のような操作を行って T_2 を求める。まず, 求める EPI を式 (6) に代入し, 次に, T_2 を順次変化させて繰り返しふ化までの所要日数 D_2' を求め, $D_2 = D_2'$ となったところで計算を終了する。ここでは, 収束条件を $|D_2 - D_2'| < 0.01$ とした。参考までに巻末の付表 2 に飼育水温を求める BASIC プログラムを添付した。な

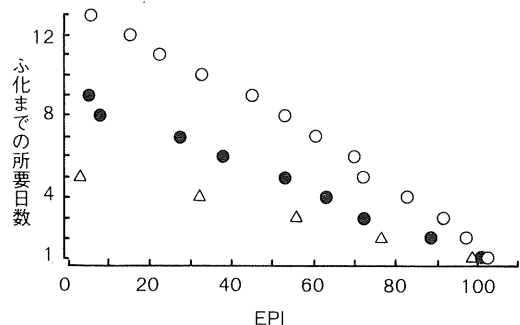


図 5 ガザミの EPI とふ化までの所要日数の関係
代表的な 3 例を示した。各例の発眼からふ化までの飼育水温はそれぞれ 18.2°C (○), 20.8°C (●), 26.3°C (△)。EPI については図 1 を参照。

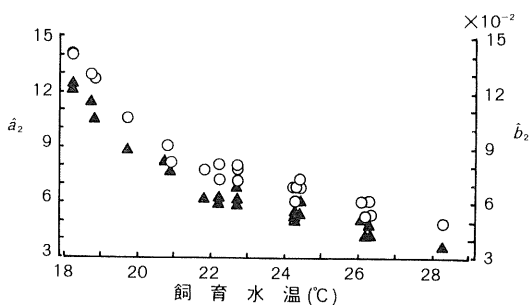


図 6 23 個体のガザミについて求めた EPI とふ化までの所要日数 (D_2) の関係式 ($D_2 = a_2 - b_2 \text{EPI}$, 図 5 参照) における推定された \hat{a}_2, \hat{b}_2 と各個体の発眼からふ化までの飼育水温の関係
○: \hat{a}_2 , ▲: \hat{b}_2 .

お、式(6)は、2段階のパラメータ推定を行っているため、区間推定については検討しなかった。

ふ化日の同調化の方法 推定した各ステージからふ化までの所要日数と飼育水温の関係式あるいはEPIと飼育水温とふ化までの所要日数の関係式を用いて、1990年にふ化日のコントロールを行うとともに、産卵日の異なるあるいは卵発生段階の異なる抱卵親ガニのふ化日の同調化を試みた。

まず、今日産卵した親ガニ No. 1 を D_3 日後にふ化させて種苗生産を開始する計画を立て、翌日以降に産卵した親ガニも親ガニ No. 1 と同日にふ化させたいとする。親ガニ No. 1 を飼育すべき水温は、付表1から求めることができ、ここでは X_1 °C とする。親ガニ No. 1 の産卵日から1~3日後に産卵する親ガニ No. 2~4 の種苗生産開始日までの所要日数は $(D_3-1) \sim (D_3-3)$ 日間であり、設定すべき飼育水温を同様に $X_2 \sim X_4$ °C とおく。なお、各水温には、 $X_1 < X_2 < X_3 < X_4$ の関係がある。親ガニ No. 1~4 を別々に設定すべき水温で飼育すれば、各親ガニのふ化日の同調化が可能である。しかし、個体数が多くなった場合には、水槽数が増えて管理が煩雑になる。そこで、ここでは2水槽を用いて親ガニ No. 1~4 のふ化日を同調させる方法について考える。ここで、水温 X_1 °C (最低水温) および X_4 °C (最高水温) に設定した二つの水槽を準備すると、親ガニ No. 1 と No. 4 は、それぞれ X_1 °C、 X_4 °C の水槽で飼育することによってふ化日の同調が可能である。親ガニ No. 2 と No. 3 については、まず、産卵後 X_1 °C に設定した水槽で飼育する。そして、抱卵期間の途中で X_4 °C の水槽へ移槽し、ふ化日まで飼育することによって飼育すべき水温である X_2 、 X_3 °C の設定が可能である。その場合、移槽日を Y 日後とすると、次式が成り立つ。

$$T_3 D_4 = X_1 Y + X_4 (D_4 - Y) \quad (7)$$

これより

$$Y = D_4 (T_3 - X_4) / (X_1 - X_4) \quad (8)$$

ここで、 D_4 : 親ガニのふ化予定日までの所要日数、 T_3 : 飼育すべき水温 (この例では X_2 、 X_3 °C)、 Y : 移槽日、 X_1 、 X_4 : 水槽水温である。なお、ここでは低い水温に設定した水槽からより高い水温に設定した水槽へ移槽することを考えたが、逆に高い水温から低い水温への移槽も可能である。

ここで具体例について示す。 D_3 日 = 22 日とすると、 $(D_3-1) \sim (D_3-3)$ 日 = 21~19 日である。水温 $X_1 \sim X_4$ を付表1から求めると、それぞれ 20.3、20.7、21.0 および 21.4°C である。水槽水温として 20.3°C (X_1) と 21.4°C (X_4) を選び、それぞれの値を式(8)に代入すると、親ガニ No. 2 は 13.4 日後に、親ガニ No. 3 は 7.3 日後に 20.3°C の水槽から 21.4°C の水槽へ移槽することによって、それぞれの飼育すべき水温である 20.7°C および 21.0°C を設定することができる。なお、今回は午前9時~10時を起点にふ化までの所要日数を求めているため、移槽日の小数点以下は午前9時~10時を起点として考えた。

ここで、表2に示した産卵からふ化までの期間の飼育水温の項をみると、20.3~21.4°C で飼育した場合のふ化までの所要日数が予測日数±0.5日未満の間に含まれる確率は40%である。従って、種苗生産開始予定日に必要なふ化親ガニ数を Z とすると、その種苗生産のために準備すべき産卵直後の抱卵親ガニ数 Q は、 $Q = Z/0.4$ として求めることができる。以上のように異なる産卵日の親ガニのふ化日の同調化が可能と考えられ、ふ化の確率を考えることで必要な抱卵親ガニ数の目安も得ることができる。

ここに示した方法を用いれば、ガザミの抱卵個体が出現するおよその水温範囲の最低水温 15°C と最高水温 29°C を水槽の設定水温とした場合、二つの水槽間の移槽により、その間のすべての飼育水温の設定が可能である。しかし、本方法では、水槽間の移槽による急激な水温変化が卵に悪影響を与えることも考えられる。卵への影響を考慮して、水槽間の移槽による水温変化を小さくするためには、設定する水温の範囲を狭くする必要がある。さらに、卵へ与える水温変化を小さくしながら、設定したい水温範囲を広げたい場合には、用いる水槽数を増す必要が生じる。

以上には産卵からふ化までの期間について例示したが、産卵日が不明の場合でも、卵の胚体の出現、発眼、パープルポイントの出現状況等を手がかりとして、これらの各ステージからふ化までの各所要日数と飼育水温の関係式 (あるいは付表1) を利用することで同様に飼育水温の調整を行うことができる。また、発眼以降は、EPIと飼育水温とふ化までの所要日数の関係式(6)を利用し、ふ化予定日までの設定すべき飼育水温を求める (付表2のBASICプログラム) ことで上述の方法と同様に飼育水温の調整を行うことが可能である。

ふ化日のコントロールおよび同調化の実例 ここでは、著者らが1990年に行ったふ化日のコントロールおよび同調化の実例を示す。なお、ふ化1日前に抱卵親ガニに物理的ショックや水温ショックを与えるとふ化に異常が認められることが経験上知られているため、今回はふ化間近いパープルポイントの出現からふ化までについては試みなかった。今回は、水槽の水温として、17.8、19.1、20.3、20.7、21.9 および 22.8°C を設定した。水温は、蒸気ボイラー

表3 ガザミのふ化日のコントロールおよび同調化の実例（産卵からふ化まで）

例	産卵 月日	ふ化 予定 月日	ふ化まで の日数	設定 水温*1 ℃	飼育水槽*2 水温℃		水槽間の 移槽日*3 (日後)	飼育 水温*4 ℃	ふ化 日	ふ化個体の割合%	
					1	2				予定日	予定日±1日
1	4. 5	4.27	22	20.3	20.3	—	—	20.2	4.27	43	100
	4. 6	4.27	21	20.7	20.7	—	—	20.7	4.26		
	4. 6	4.27	21	20.7	20.7	—	—	20.7	4.26		
	4. 6	4.27	21	20.7	20.7	—	—	20.7	4.27		
	4. 6	4.27	21	20.7	20.7	—	—	20.7	4.27		
	4. 6	4.27	21	20.7	20.7	—	—	20.7	4.28		
2	4. 7	5. 4	27	18.9	17.8	19.1	4.2	18.9	5. 4	67	100
	4. 8	5. 4	26	19.1	19.1	—	—	19.1	5. 5		
	4. 9	5. 4	25	19.4	19.1	20.3	18.8	19.4	5. 4		
	4. 9	5. 4	25	19.4	19.1	20.3	18.8	19.4	5. 4		
	4.14	5. 4	20	21.0	20.7	21.9	15.0	20.9	5. 4		
	4.16	5. 4	18	21.9	21.9	—	—	21.8	5. 5		
3	4.23	5.25	32	17.8	17.8	—	—	17.8	5.26	50	100
	4.25	5.25	30	18.2	17.8	19.1	20.8	18.2	5.26		
	4.26	5.25	29	18.4	17.8	19.1	15.6	18.4	5.25		
	4.27	5.25	28	18.6	17.8	19.1	10.8	18.6	5.25		
	4.27	5.25	28	18.6	17.8	19.1	10.8	18.6	5.25		
	4.29	5.25	26	19.1	19.1	—	—	19.2	5.26		
	4.29	5.25	26	19.1	19.1	—	—	19.1	5.25		
4	4.30	6. 1	32	17.8	17.8	—	—	17.9	5.31	67	100
	5. 1	6. 1	31	18.0	17.8	19.1	26.2	18.1	6. 1		
	5. 1	6. 1	31	18.0	17.8	19.1	26.2	18.1	6. 1		
	5.11	6. 1	21	20.7	20.7	—	—	20.8	6. 2		
	5.11	6. 1	21	20.7	20.7	—	—	20.7	6. 1		
	5.14	6. 1	18	21.9	21.9	—	—	21.9	6. 1		

*1 付表1から求めた設定すべき飼育水温。

*2 産卵後まず水槽1で飼育し、移槽日に水槽2に移してふ化まで飼育することによって設定すべき飼育水温を調整した。

*3 小数点以下は、午前9時～10時を起点に考えた。

*4 実際に飼育した場合のふ化までの平均飼育水温。

で加温することによって調整し、上に例示した方法に従ってふ化日のコントロールを行い、産卵日の異なるあるいは卵発生段階の異なる抱卵親ガニのふ化日の同調化を試みた。なお、抱卵期間の途中により高い水温の水槽へ移槽する必要がある場合、移槽による水温格差はおおよそ1℃になるように設定した。

まず、表3に示した産卵からふ化までの期間をコントロールした結果および同調化を試みた結果についてみると、水槽水温を常に一定に保つことはできなかったため、設定すべき飼育水温と実際の飼育水温との間に差がみられる例もあるが、ふ化予定日に43～67%の個体が、予定日±1日に100%の個体がふ化した。そして、産卵日が2～14日間ずれた親ガニのふ化日をほぼ同調させることができた。

次に、表4に示した胚体出現からふ化まで、発眼からふ化までを調整した結果をみると、上述の産卵からふ化までとはほぼ同様の結果であり、それぞれふ化予定日に50～60%の個体が、予定日±1日に100%の個体がふ化した。

今回設定した飼育水温（17.8～22.6℃）で産卵、胚体出現あるいは発眼からふ化まで抱卵親ガニを飼育した場合のふ化までの所要日数が予定日±0.5日未満に含まれる確率は、表2から20～50%、同様に予定日±1.5日未満に含まれる確率は70～90%であった。上に示した実例の予定日あるいは予定日±1日にふ化した個体の割合は、それぞれ43～67%、100%であり、想定した確率と同等かそれ以上であった。以上のことから、ここに示したふ化日のコントロールおよび同調化の方法は、十分に利用可能であると考えられた。

次に、表5に示した発眼以降からふ化までについて調整した結果をみると、予定日に75%の個体が、予定日±1

表 4 ガザミのふ化日のコントロールおよび同調化の実例 (例 1: 胚体出現からふ化まで, 例 2: 発眼からふ化まで)

例	胚体出現 発眼 月日	ふ化 予定 月日	ふ化まで の日数	設定 水温* ¹ ℃	飼育水槽* ² 水温 ℃		水槽間の 移槽日* ³ (日後)	飼育 水温* ⁴ ℃	ふ化 日	ふ化個体の割合 %	
					1	2				予定日	予定日±1日
1	6. 8	6.25	17	21.1	20.7	21.9	11.3	21.2	6.25	50	100
	6.10	6.25	15	22.1	21.9	22.8	11.7	22.1	6.24		
	6.10	6.25	15	22.1	21.9	22.8	11.7	22.1	6.25		
	6.12	6.26	14	22.6	21.9	22.8	3.1	22.6	6.25		
2	5.20	6. 1	12	19.0	17.8	19.1	0.9	18.9	6. 2	60	100
	5.20	6. 1	12	19.0	17.8	19.1	0.9	18.9	6. 1		
	5.23	6. 1	9	21.1	20.7	21.9	6.0	21.2	5.31		
	5.24	6. 1	8	22.0	21.9	22.8	7.1	21.9	6. 1		
	6.16	6.25	9	21.1	20.7	21.9	6.0	21.1	6.25		

*¹ 付表 1 から求めた設定すべき飼育水温。

*² 胚体出現あるいは発眼後まず水槽 1 で飼育し、移槽日に水槽 2 に移してふ化まで飼育することによって設定すべき飼育水温を調整した。

*³ 小数点以下は、午前 9 時～10 時を起点に考えた。

*⁴ 実際に飼育した場合のふ化までの平均飼育水温。

表 5 ガザミのふ化日のコントロールおよび同調化の実例 (発眼以後からふ化まで)

EPI* ¹	ふ化 予定 月日	ふ化まで の日数	設定 水温* ² ℃	飼育水槽* ³ 水温 ℃		水槽間の 移槽日* ⁴ (日後)	飼育 水温* ⁵ ℃	ふ化 日	ふ化個体の割合 %	
				1	2				予定日	予定日±1日
44.2	6.12	5	22.6	21.9	22.8	1.1	22.5	6.12	75	100
46.3	6.12	5	22.3	21.9	22.8	2.8	22.3	6.12		
47.8	6.12	5	22.1	21.9	22.8	3.9	21.9	6.11		
52.2	6.12	5	21.4	20.7	21.9	2.1	21.5	6.12		

*¹ Eye Pigmented Index (図 1)。

*² 付表 2 の BASIC プログラムを用いて求めた設定すべき飼育水温。

*³ まず水槽 1 で飼育し、移槽日に水槽 2 に移してふ化まで飼育することによって設定すべき飼育水温を調整した。

*⁴ 小数点以下は、午前 9 時～10 時を起点に考えた。

*⁵ 実際に飼育した場合のふ化までの平均飼育水温。

日に 100% の個体がふ化しており、EPI と飼育水温とふ化までの所要日数の関係式 (6) を用いた調整も十分に実用的であると考えられた。

この方式で用いた飼育水温は、ふ化までの水槽水温の平均値である。よって、飼育に用いる水槽の水温を一定にコントロールすることができれば、ここで述べた方法は、実際の飼育現場で極めて実用的である。そして、本方法によって種苗生産を計画的に行うことができ、さらに、親ガニの有効利用が可能になろう。

ガザミに正常なふ化が起こるのは、産卵からふ化までの所要日数が 16～21 日の範囲であり、この範囲から外れた場合は、胚発生やふ化に異常がみられる例が多くなることが報告されている⁶⁾。本報告で扱った産卵からふ化までの所要日数は 18～32 日であったが、特に胚発生やふ化に異常はみられなかった。

今回の試験では、産卵日が最高 14 日間もずれた親ガニのふ化日を同調させることができた。しかし、ふ化までの所要日数の長短、すなわち卵発生期間中の飼育水温の高低によって、ふ化幼生の質が異なる可能性もある。今後は、ふ化幼生の質的な要素について検討し、抱卵親ガニの適正な飼育水温について明らかにする必要がある。但し、抱卵期間中の水温が高いほど病原性の強い真菌類の卵への感染率が高くなり、特に水温が 24℃ 以上で顕著であることが知られている*。従って、抱卵親ガニの飼育水温はできるだけ 24℃ 以下にすることが望まれる。

* 浜崎ら、未発表

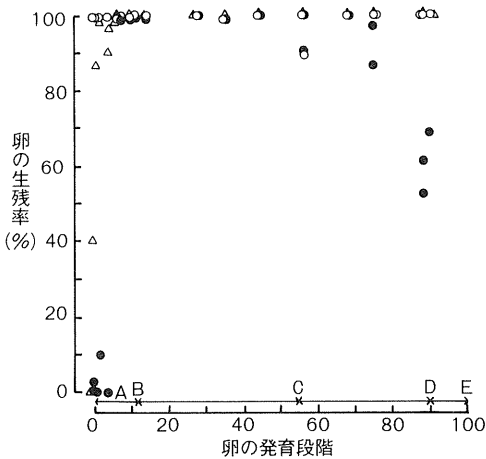


図7 ガザミの卵の発生に及ぼす急激な水温変化の影響

(卵の発育段階) = (ある水温で発生していた卵の産卵からの経過日数) / (同水温での産卵からふ化までの日数) × 100 とした。

○: 対照区, ●: 32°C 区, △: 8°C 区. A: 卵割期, B: 胚体出現, C: 発眼, D: パープルポイント出現, E: ふ化.

まで水温変化を与えない対照区とほとんど差はみられなかった。次に、ふ化間近い卵に温度差を与えた場合におけるふ化率と正常な形態をした幼生の割合を表6に示した。それをみると、水温を32°Cへ上昇させた区ではふ化率および正常な幼生の割合とも低い値であり、対照区と水温を8°Cへ低下させた区ではほとんど差はみられなかった。

以上の実験結果から、ガザミの卵は、卵割期には、水温上昇および低下の変化に、発眼以降には上昇の変化に弱いと考えられ、特に生残率の低かった卵割期が、水温変化に弱い発生段階であると考えられた。

本報告で述べたガザミのふ化日のコントロール方法およびふ化日の同調方法は、抱卵期間中に飼育水温の変化を伴うものであった。従って、卵割期あるいは発眼以降に抱卵親ガニを異なる水温に設定した水槽へ移槽する場合、水温変化に注意すべきであると考えられる。今回は、その水温変化をおよそ1°Cとしたが、特に問題はなかった。今後は、卵発生に悪影響を与えない水温変化の程度について明らかにする必要がある。

謝 辞

本研究をとりまとめるに際し、多くの貴重な助言と校閲を賜った日本栽培漁業協会常務理事須田 明博士ならびに調査課長北田修一博士に深謝する。本研究を進めるにあたり、種々の有益な助言を頂いた同協会の古澤 徹第一技術部長ならびに石橋矩久前玉野事業場場長（現八重山事業場場長）に心よりお礼申し上げる。親ガニの飼育に際し、御協力頂いた玉野事業場の職員各位に厚くお礼申し上げる。本報告の統計計算の一部は、水産大学の濱野龍夫博士作成の BASIC プログラムを使用して行った。ここに記して感謝の意を表する。

文 献

- WEAR, R. G. (1974) Incubation in British decapoda crustacea, and the effects of temperature on the rate and success of embryonic development. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, 54: 745-762.
- HEASMAN, M. P. and D. R. FIELDER (1983) Laboratory spawning and mass rearing of the mangrove crab, *Scylla serrata* (Forsk.) from first zoea to first crab stage. *Aquaculture*, 34: 303-316.
- 野中 忠 (1988) エビ・カニ類の種苗生産 (平野礼次郎編), I. 生態・成熟, 2. イセエビ. 恒星社厚生閣, 東京: 28-38 pp.
- 井上正昭 (1988) エビ・カニ類の種苗生産 (平野礼次郎編), III. 幼生飼育, 8. イセエビ. 恒星社厚生閣, 東京: 119-133 pp.
- 尾田 正 (1983) ガザミ種苗の量産技術. 水産増養殖叢書, 32, 日本水産資源保護協会: 39-41 pp.
- 岩本哲二 (1983) ガザミ種苗の量産技術. 水産増養殖叢書, 32, 日本水産資源保護協会: 17-19 pp.

表6 ガザミのふ化間近い卵に急激な水温変化を与えた場合のふ化率と正常なふ化ゾエアの割合

実験区*1	実験例	ふ化率 %	正常なゾエアの割合 %
対照区	1	86.2	97.6
	2	75.8	100
8°C 区	1	93.2	99.6
	2	83.3	95.6
32°C 区	1	45.6	55.3
	2	60.0	46.6

*1 図7を参照.

卵発生に及ぼす急激な水温変化の影響 実験終了時の卵の生残率を図7に示した。水温変化を与えていない対照区（基本水温20°C）では、生残率はほぼ100%であった。水温を32°Cへ上昇させた区では、卵割期には卵の生残はほとんどみられなかった。胚体が出現した以降には、卵の生残率はほぼ100%であったが、発眼以降にはその生残率は低下する傾向がみられた。水温を8°Cへ低下させた区では、卵割が進行するに伴い卵の生残率は上昇し、胚体が出現する前からふ化前

- 7) 浜崎活幸・福永恭平・野上欣也・丸山敬悟（1991） ガザミの産卵行動および産出卵の腹肢への付着過程. 栽培技研, 19(2): 85-92.
- 8) 岩本哲二（1983） ガザミ種苗の量産技術. 水産増養殖叢書, 32, 日本水産資源保護協会: 41-55 pp.
- 9) 福永恭平・太巻幸一（1982） ノコギリガザミの種苗生産. 栽培技研, 11(1): 45-53.
- 10) 大島信夫（1938） 瀬戸内海ガザミ調査. 水産試験場報告, 9: 141-212.
- 11) CAMPBELL, R. C. (1976) 生物系のための統計学入門（第2版）. 石居 進訳, 培風館, 東京: 239-260 pp.

付表 1 ガザミのふ化予定日までの所要日数を表 1 の関係式に代入して求めた水温（15～29℃ の範囲で 0.1℃ 間隔）

ふ化予定日 までの日数	飼育水温 °C		ふ化予定日 までの日数	飼育水温 °C			
	産卵から ふ化	胚体出現 からふ化		産卵から ふ化	胚体出現 からふ化	発眼から ふ化	パープルポイント 出現からふ化
51	15.0		25	19.4	18.5		
50	15.1		24	19.7	18.7		
49	15.2		23	20.0	19.0	15.0	
48	15.4		22	20.3	19.3	15.2	
47	15.5		21	20.7	19.6	15.5	
46	15.6		20	21.0	20.0	15.8	
45	15.7	15.0	19	21.4	20.3	16.1	
44	15.8	15.2	18	21.9	20.7	16.4	
43	16.0	15.3	17	22.3	21.1	16.7	
42	16.1	15.4	16	22.8	21.6	17.1	
41	16.2	15.5	15	23.3	22.1	17.5	
40	16.4	15.7	14	23.9	22.6	18.0	
39	16.5	15.8	13	24.6	23.2	18.4	
38	16.7	16.0	12	25.3	23.8	19.0	
37	16.9	16.1	11	26.1	24.6	19.6	
36	17.0	16.3	10	27.0	25.4	20.3	
35	17.2	16.4	9	28.1	26.4	21.1	
34	17.4	16.6	8		27.5	22.0	
33	17.6	16.8	7		28.8	23.1	15.2
32	17.8	16.9	6			24.4	16.0
31	18.0	17.1	5			26.1	17.0
30	18.2	17.3	4			28.3	18.2
29	18.4	17.5	3				20.0
28	18.6	17.8	2				22.8
27	18.9	18.0	1				28.4
26	19.1	18.2					

付表 2 EPI および飼育水温とふ化までの所要日数の関係式（6）に新たな抱卵個体について求めた EPI とふ化予定日までの所要日数を代入して飼育水温を求める BASIC プログラム（N₈₈-日本語 BASIC(86)）

使用するに当たっての留意点として、行番号 30-80 で 15℃ と 29℃ におけるふ化までの所要日数を計算して表示しており、その日数の範囲内でふ化予定日までの日数を入力しないと正しい答えを与えない。水温範囲を広げたい場合には、行番号 40 と 110 にある 15 と 29 を適当な水温に変更する必要がある。また、行番号 150 で表示される設定すべき飼育水温は、小数点第 2 位を四捨五入して用いることが望まれる。

```

10 INPUT "EPI="; EPI
20 PRINT
30 FOR I=1 TO 2
40 IF I=1 THEN T=15 ELSE T=29
50 D1=10927.4 * T ^ -2.3219 - 237.9 * T ^ -2.6345 * EPI
60 PRINT; T; "°C でのふ化までの日数="; D1
70 PRINT
80 NEXT I
90 INPUT "ふ化予定日までの日数="; D2
100 PRINT
110 FOR T=15 TO 29 STEP .01
120 D3=D2-(10927.4 * T ^ -2.3219 - 237.9 * T ^ -2.6345 * EPI)
130 IF -.01 < D3 AND D3 < .01 THEN GOTO 150
140 NEXT T
150 PRINT "設定すべき飼育水温="; T
160 PRINT
170 END

```