



REPORT
OF
MARINE ECOLOGY RESEARCH INSTITUTE

海洋生物環境研究所研究報告

No. 88201

ハマグリの卵・幼生および稚貝の高温耐性

昭和63年3月

March, 1988

(

(

ハマグリの卵・幼生および稚貝の高温耐性

道津 光生・木下 秀明¹

Thermal Tolerance of Eggs, Larvae and Early Spats of the Venus Clam,
Meretrix lusoria(Röding) (Bivalvia, Veneridae)

Kousei Doutu and Hideaki Kinoshita¹

Doutu, K. and Kinoshita, H. (1988). Thermal tolerance of eggs, larvae and early spats of the venus clam, *Meretrix lusoria* (Röding) (Bivalvia, Veneridae).

Rep. Mar. Ecol. Res. Inst., No. 88201 : 1-23.

Abstract: The venus clam, *Meretrix lusoria* (Röding) is one of the most common bivalvia in Japan, but its abundance has decreased remarkably in recent years. Experiments were carried out to examine the thermal tolerance of eggs and larvae of the clam. Adult clams as spawners were collected on the coast of Bungo-Takada shi, Ohita Prefecture. Spawning was stimulated by drying up from the water, and by fluctuating water temperature. Larvae were fed *Pavlova lutheri*. Subsequent experiments were carried out in a seawater adjusted to salinity 27.20‰ ($\sigma_{15}=20$). Thermal exposure tests were made on five developmental stages; eight-cell eggs, umbo larvae, fullgrown larvae, 32-and 75-day old spats. The LT₅₀ value of eight-cell stage was 38.3°C for 7.5 minutes exposure, the values lowered according as the exposure time increases, and reached 33.6°C for 24 hours exposure. The LT₅₀ values of umbo-and fullgrown-stages for 7.5 minutes exposure were 44-45°C or over, and ranged 37.9-39.1°C for 24 hours exposure. Two value of 32- and 75-day old spats were 44.7-44.8°C and 40.6-41.4°C, correspondingly. Thus, it is recognized that the lethal temperatures in stages after the umbo-stage were higher by 4°C or over than those in the eight-cell stage.

Keywords: Clam, *Meretrix lusoria*, Eggs, Larvae, Spats, LT₅₀, Water temperature

道津光生・木下秀明 (1988). ハマグリの卵・幼生および稚貝の高温耐性. 海生研報告, No.88201 : 1-23.

要約: 沿岸域における重要水産資源の1つであるハマグリの卵・幼生の高温耐性を明らかにするため、大分県豊後高田市沿岸で採集された母貝に、干出法と温度刺激法を併用して産卵を誘発し、得られた幼生に餌料として *Pavlova lutheri* を与えて飼育した。試験海水は塩分濃度27.20‰ ($\sigma_{15}=20$) に調整したものを使いた。これらの卵・幼生を供試材料として、8細胞期卵、アンボ期幼生、フルグロン期幼生、稚貝I期(受精後32日、殻長約0.5mm)、稚貝II期(受精後75日、殻長約0.8mm)の5発育段階について、それぞれ高温接触試験を行った。8細胞期卵の50%致死温度は接触時間7.5分区で38.3°C、15分区で36.7°Cと、接触時間の延長に伴って低下し、24時間区では33.6°Cとなって、33.5°C付近に収束する傾向を示した。アンボ期・フルグロン期幼生の50%致死温度は接触時間7.5分区で44-45°C以上、24時間区では37.9-39.1°Cであった。稚貝I・II期の50%致死温度は7.5分区で44.7-44.8°C、24時間区で40.6-41.4°Cであった。アンボ期以降の各発育段階の50%致死温度は、8細胞期のそれよりも4°C以上高く、高温耐性がこれら両期の間に大きく変化することが認められた。

キーワード: ハマグリ、卵、幼生、稚貝、半数致死、水温

¹現在：財団法人海洋生物環境研究所実証試験場 (〒945-03 新潟県柏崎市荒浜4-7-17)

Present address: Demonstration Laboratory, Marine Ecology Research Institute
(4-7-17 Arahama, Kashiwazaki-shi, Niigata-Pref., 945-03, JAPAN)

目 次

I. まえがき	3	2. 発育に伴う高温耐性の変化.....	16
II. 供試材料	3	3. 発電所による昇温影響.....	17
III. 試験方法	7	1) 卵・浮遊幼生に対する発電 所内連行に伴う昇温影響.....	17
1. 試験装置	7	2) 着底稚貝に対する温排水の 昇温影響.....	17
2. 高温接触試験方法	7		
3. 生死等の判定方法	9		
IV. 結果.....	13	引用文献.....	18
V. 考察.....	14	付表.....	19
1. 既往知見との比較.....	14		

図 表 目 次

第1図 ハマグリ稚貝飼育用大型バット	4
第2図 ハマグリ幼生飼育期間中の水温变化	4
第3図 ハマグリの発生経過	6
第4図 ハマグリ浮遊幼生・稚貝の殻長変化	7
第5図 卵・稚仔温度反応試験装置	8
第6図 高温接触試験方法	9
第7図 接触試験における試験管内の水温変化の例.....	10
第8図 ハマグリ8細胞期卵に対する高温接触試験における接触温度と形態変化例.....	11
第9図 各発育段階における高温接触試験結果—接触温度・接触時間と正常生残率との関係.....	12
第10図 各発育段階における接触時間と50%致死温度との関係.....	13
第1表 飼育経過	5
第2表 高温接触試験開始時期	5
第3表 各発育段階における活性判定法.....	10
第4表 各発育段階における50%致死温度 (℃)	14
付表1 8細胞期卵に対する高温接触試験結果.....	19
付表2 アンボ期幼生に対する高温接触試験結果.....	20
付表3 フルグロン期幼生に対する高温接触試験結果.....	21
付表4 稚貝I (受精後32日目)に対する高温接触試験結果.....	22
付表5 稚貝II (受精後75日目)に対する高温接触試験結果.....	23

I. まえがき

ハマグリ *Meretrix lusoria*(Röding)は、わが国における代表的な有用二枚貝の1種であるが、内湾の河口に近い潮間帯砂泥底を主な生息場としているため、近年、これら臨海地帯における埋め立て等の進行に伴い、資源量の著しい衰退が伝えられている。筆者らは、ハマグリの卵期から着底初期の稚貝期に至る間の各発育段階毎に高温接触試験を実施し、この貝に及ぼす発電所取放水影響を考察する場合に必要な基礎的知見を得たので、ここに報告する。

報告に先立ち、母貝の入手や採卵・幼生飼育技術等について御協力、御指導をいただいた大分県浅海漁業試験場研究部（元）水産動物科長安東生雄氏（現在、大分県内水面漁業試験場増殖第一科主幹研究員）、及び同部（前）主任研究員上城義信氏（現在、大分県水産試験場資源科主幹研究員）、文献入手に御協力いただいた水産庁養殖研究所（前）繁殖生理部長相良順一郎博士（現在、財団法人海洋生物環境研究所嘱託）に対し、厚くお礼申し上げる。また研究の機会を与えて下さった当研究所の古川 厚（前）所長、本稿を御校閲いただいた深滝 弘所長に深謝の意を表する。

II. 供 試 材 料

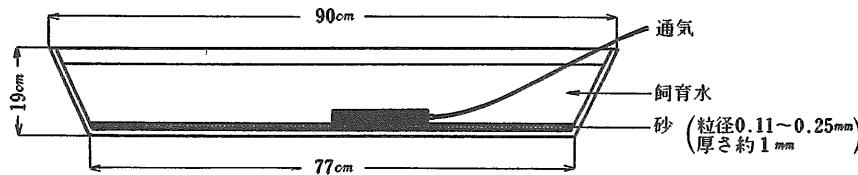
供試材料を得るために用いたハマグリの母貝は、大分県豊後高田市沿岸で採捕されたものである。1980年8月31日、アイスボックスを利用して、产地から当研究所（千葉県御宿町）まで運搬した。産卵誘発には上城（1980）の方法に準じて、干出と温度刺激を併用する方式を採用した。放卵、放精が行われたのちに母貝を取り除き、卵の沈降を待ってからサイフォンによる洗卵を数回実施した。

今回の試験では、当研究所の海水取水設備から得られた砂濾過海水を、 3μ カートリッジフィルターで再濾過し、これに充分に曝気することにより脱塩素処理を施した淡水を加えて、比重 (σ_{15}) がほぼ20（塩分で約27.20‰）になるように調整したものを飼育海水として用いた。

洗卵後、500 ℥容水槽内に、飼育海水 1 mL当たり数個体の密度となるように受精卵を収容し、緩やかな通気を行った。受精後約24時間経過して、D型幼生となって浮上してき

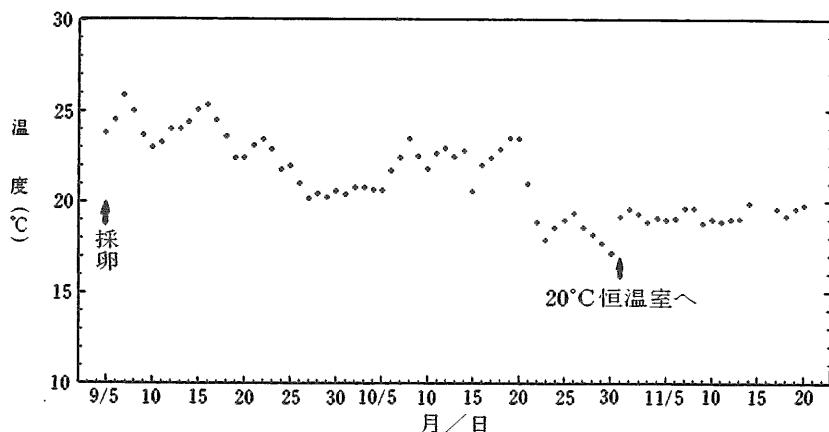
た時に、水槽底に沈降している未受精卵等をサイフォンで除去し、新しい飼育海水を補充した。この時期から、主としてF/2培養液（大森・池田、1976）で単種培養しておいた *Pavlova lutheri* (ハプト藻類の一種) を、飼育海水中に5,000~10,000細胞/mlの濃度になるように1日2回添加する方法で給餌を行った。

受精後12日経過し、幼生の着底が完了した時点で、プランクトンネット地 (NX 13) を用いて稚貝を集め、大型バット（第1図）内に約5万個体を移して飼育を継続した。飼育期間中は5日ごとに飼育海水を半量ずつ交換した。バット内から供試材料を集める際、稚貝と砂との分離が困難になることを避けるために、当初はバット底に砂を敷かずで飼育を行った。しかし、受精後35~40日経過した頃から、殻の表面に糞や纖毛虫等の付着が目立ちはじめたので、粒径0.11~0.25mmの砂を約1mmの厚さに敷いた。この時には稚貝の大きさも0.5mmを越えていたので、プランクトンネット地 (NGG 54) によって稚貝を砂から容易に分離して供試材料にすることができた。



第1図 ハマグリ稚貝飼育用大型バット

9月5日の採卵直後から10月下旬までの間、室温で供試材料の飼育を行っていたが、その後は水温の低下を避けるため20°Cの恒温室内に大型バットを移して飼育を続けた。飼育期間内の水温変化は第2図に示すとおりであった。



第2図 ハマグリ幼生飼育期間中の水温変化

第1表にはハマグリ幼生の飼育経過の概要を、第3図には各発育段階の写真を、第4図には飼育期間中の殻長の推移を、それぞれ示した。これらのうち、第2表に示したとおり、8細胞期卵、アンボ期幼生、フルグロン期幼生、受精後32日経過した平均殻長約0.5mmの稚貝（以下、稚貝Ⅰ期と略記）、受精後75日経過した平均殻長約0.8mmの稚貝（以下、稚貝Ⅱ期と略記）を、それぞれ高温接触試験の供試材料とした。

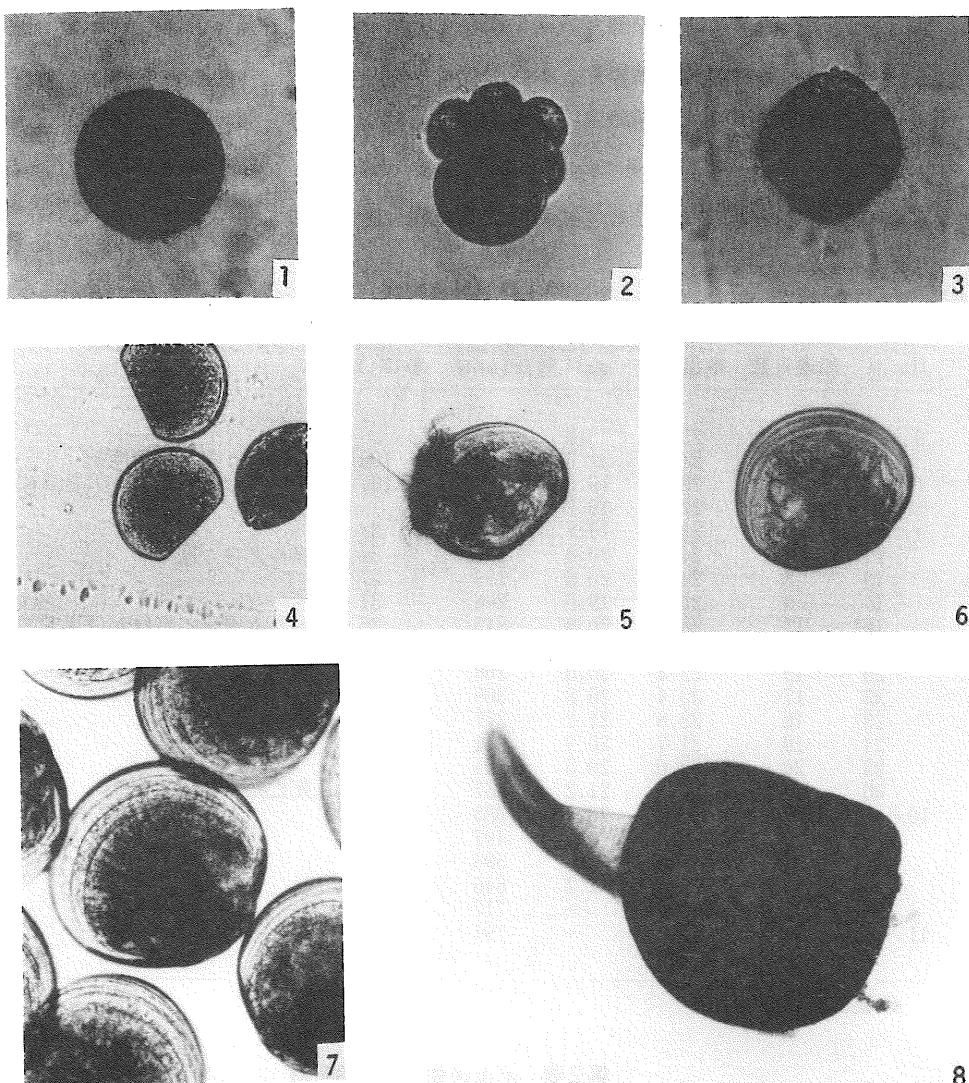
第1表 飼育経過

月／日	経過日数	水温(°C)	σ_{15}	殻長(μm)	歩留(%)	
9 / 5*	0	23.8	20.2	82	—	・採卵
6	1	24.6	21.0	120	100	・D型期となり摂餌開始
9	4	23.7	19.6	142	104	・アンボが円く肥厚、大きさに個体差が認められる
10*	5	23.0	19.7	164		
11	6	23.3	19.8	182	38	
12	7	24.0	20.0	190	54	・フルグロン期
13	8	24.0	20.6	199	27	
14	9	24.4	19.6	206	31	
16*	11	25.4	20.3	215	25	・ペラム退化、しばしば足で匍匐
19	14	22.4	20.6	246	30	
20	15	22.4	20.6	266		
22	17	23.4	20.8	309		
23	18	22.8	21.2	277		
24	19	21.7	20.9	311		
25	20	22.6	20.5	291		
30	25	20.6	21.2	367		・死亡殆ど認められず
10 / 1	26	20.4	20.1	385		
7*	32	22.5	19.5	497		
12	37	23.0	—	586		
14	39	19.9	22.1	646		
22	47	19.2	—	717		
11 / 19*	75	19.6	—	791	23	

* 高温接触試験実施

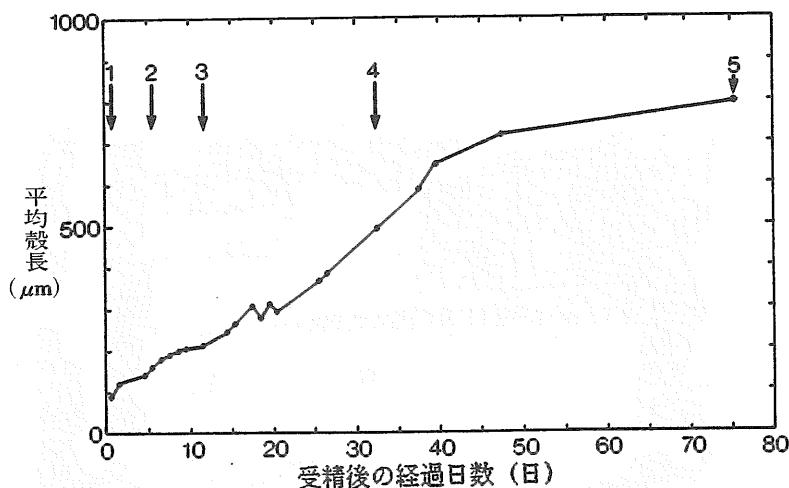
第2表 高温接触試験開始時期

発育段階	受精後経過時間	
	時間	日
8 細胞期	2	0
アンボ期	120	5
フルグロン期	268	11
稚貝Ⅰ期	768	32
稚貝Ⅱ期	1,800	75



第3図 ハマグリの発生経過

発育段階	受精後経過時間	殻長 (μ)
1. 放卵直後	0 時間	75~80
2. 8細胞期卵	2.5 時間	
3. トロコフォア期幼生	20 時間	
4. D型期幼生	27 時間	115~120
5. アンボ期幼生	4 日	145
6. アンボ期幼生	5 日	170
7. フルグロン期幼生	11 日	220
8. 着底稚貝	40 日	700



第4図 ハマグリ浮遊幼生、稚貝の殻長変化（数字は高温接觸試験実施時期）
1；8細胞期、2；アンボ期 3；フルグロン期 4；稚貝Ⅰ期（32日）、5；Ⅱ期（75日）

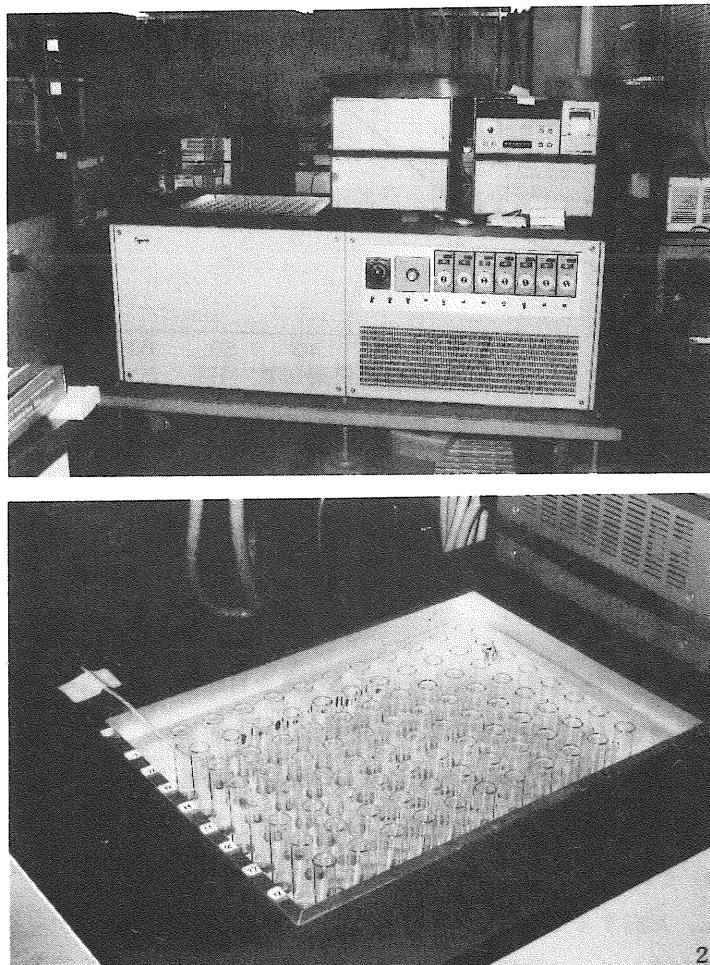
III. 試験方法

1. 試験装置

各発育段階ごとの高温耐性を明らかにすることを目的とした今回の試験には、卵稚仔温度反応試験装置（第5図；MER I-01；柏木ら, 1980）を用いた。この装置の温度設定方式は、Kellerら（1968）やHiduら（1974）が、植物プランクトンやカキ類幼生等に対する試験に採用したものと同様である。すなわち、88個（11×8）の試験管挿入孔（φ24mm）を設けたアルミニウム製ブロック（縦620mm、横430mm、厚さ102mm）の1辺側を加温し、対向する他の1辺側を冷却することによって生ずるアルミブロック自体の温度勾配を利用して、11段階の試験温度が得られるようにしたものである。また、試験管挿入孔の間には99個の白金抵抗測温体が埋め込まれており、測温値は、設定プログラムに従って一定の時間おきに小型多点温度記録装置に収録される。今回は、この装置を用いて最大10段階の接触温度と8段階の接触時間を組み合わせた試験区を設定して試験を行った。

2. 高温接觸試験方法

アルミブロック内に挿入された各試験管内の濾過海水は30mlとし、予め所定温度に到



第5図 卵・稚仔温度反応試験装置 (MERI-01)

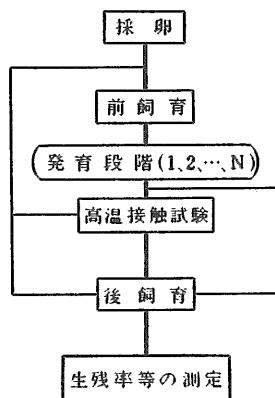
1. 正面, 2. 試験部

達させておいた試験管内へ、ピペットを用いて卵または幼生を静かに収容し、設定された各接触温度に所定の時間だけ接触させた。供試材料の収容密度は、Kennedyら (1974a) がハマグリと同じマルスダレガイ科に属する *Mercenaria mercenaria* のD型幼生について実施した高温接触試験中の溶存酸素量の測定結果* を参考にして、8細胞期の場合は6個体／ml以下、アンボ期以降の場合は3個体／ml以下とした。

接触温度の設定範囲は供試材料の発育段階によって多少相違させたが(付表)、全体としての範囲は約28~47°Cであった。接触後は試験管のまま25°Cに保った恒温水槽内に移した。また、25°Cの恒温水槽内にも飼育海水と供試材料の入った試験管を設置して同様の操作を行い、対照群とした(第6図)。第7図には高温接触前後の実際の水温変化例を示した。接触時間の設定範囲は、各発育段階とも7.5分から1,440分(24時間)としたが、接触時間の設定段階数は、8細胞期では8、アンボ期とフルグロン期では6、稚貝I期では5、稚貝II期では7とした。

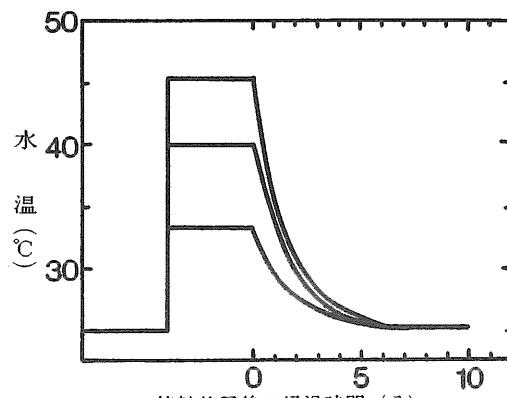
3. 生死等の判定方法

試験に用いた幼生の生死等の判定は、すべて高温接触を開始してから24~27時間経過後に行った。その理由は、8細胞期卵でも約24時間後にはD型幼生にまで発育が進み、生死判定や正常・奇形個体の識別が容易になること、一方、試験中は無給餌とするため長時間の飼育が不可能であること、などである。8細胞期卵で接触を開始したものについては、24~27時間経過時にホルマリン固定を行い、幼殻の形成状態により正常・奇形



第6図 高温接触試験方法

*接触温度範囲が18~43°Cで、接触時間6時間の場合、試験管内における幼生密度が8~12個体／mlという条件下で、溶存酸素量は殆ど飽和に近い状態を保ち、変化が認められていない。



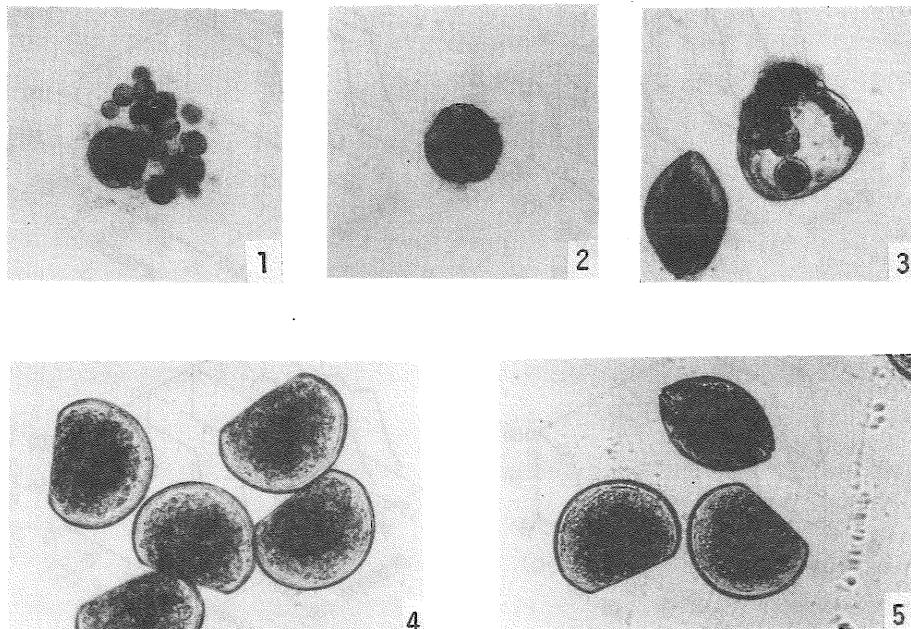
第7図 接触試験における試験管内の水温変化の例

個体別に計数した。アンボ期とフルグロン期に接触を開始したものについては、試験開始時から終了時までの間では、発生の進行による形態変化がほとんど無いことから、試験終了時に試験管の底に沈降している個体をピペットで取り出して、検鏡により生死判定を行い、遊泳個体については全て正常なものと見なしてホルマリン固定のち計数を行った。また、着底後の稚貝については、殻を開いたままのものを死亡個体、殻を閉じたままのものを異常個体、足を出して活発に動くものを正常個体とし、ホルマリン固定をせずに判定を行った(第3表)。第8図には8細胞期卵に対する高温接触試験における接触温度と形態の変化事例を示した。

なお、今回の試験では、奇形個体および異常個体とも、すべて死亡するものと考え、全供試個体数中に占める正常個体数の割合を<正常生残率>と定義し、これに基づいて50%致死温度を算出した。

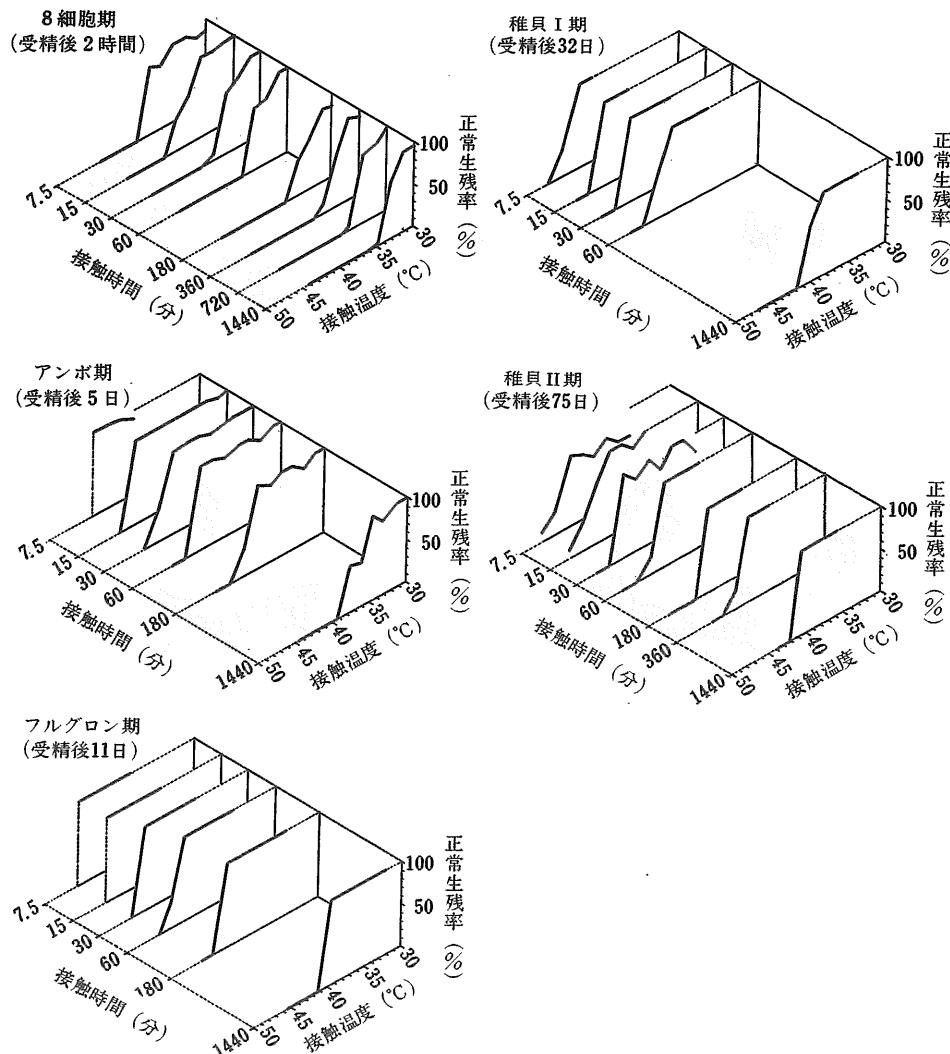
第3表 各発育段階における活性判定法

発育段階 試験開始時 → 生死判定時	正常な活動状態	生死等の判定
8 細胞期 → D型期	浮遊	ホルマリン固定後、幼殻の形成状態により正常、奇形個体別に計数
アンボ期 → アンボ期	浮遊	浮遊幼生 - ホルマリン固定後、正常個体として計数
フルグロン期 → フルグロン期	浮遊 → 着底	沈降幼生 - 試験終了時にホルマリン固定せず直ちに、生・死別に計数
稚貝期 → 稚貝期	着底	試験終了時に直ちに生死判定



第8図 ハマグリ8細胞期卵に対する高温接触試験における接触温度と形態変化例
(27.9~44.7°Cの11段階の温度に7.5分間の接触を行)
(い25°Cの水温にもどし27時間後にホルマリン固定)

1. 接触温度 42.7°C (組織崩壊)
2. " 39.2°C (幼殻をもたず)
3. " 39.2°C (D型幼生:異常)
4. " 37.7°C (D型幼生:外部形態の異常認められず)
5. " 27.9°C (")



第9図 各発育段階における高温接触試験結果 一接觸温度・接觸時間と正常生残率との関係

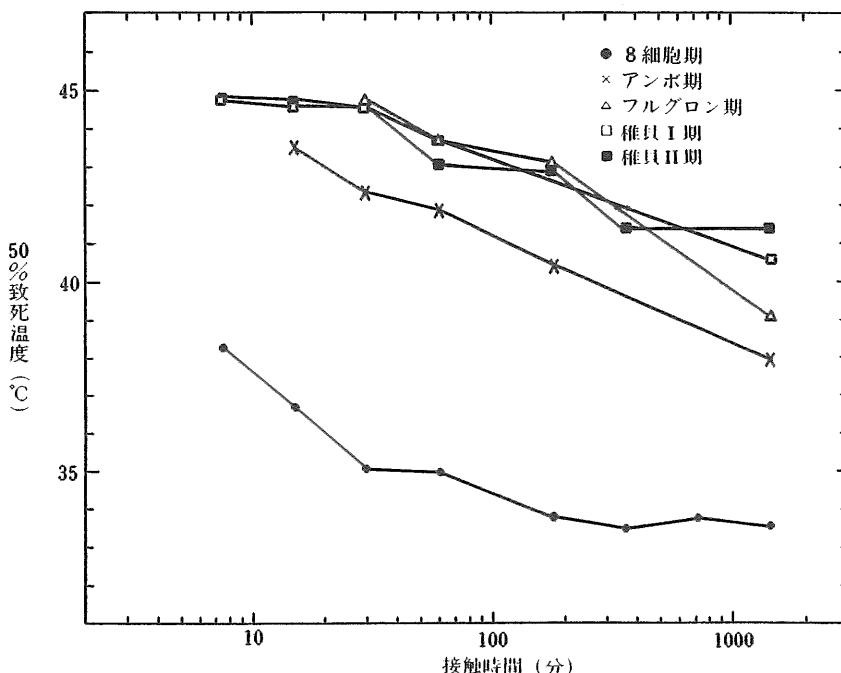
IV. 結 果

各発育段階に対する高温接触試験結果を付表1～5に示した。また、これらを要約して第9図に示した。なお、図中の破線で示した部分は設定した接触温度範囲外の部分であり、時間軸上の位置は、接触時間の対数によって配置したものである。

各発育段階の結果とも、接触温度の低い試験区や接触時間の短い試験区では正常生残率が高く、接触温度の高い試験区や接触時間の長い試験区では正常生残率が0あるいは非常に低い値を示している。また、接触温度が2～4°C高くなるという比較的狭い範囲内で、正常生残率が急速に低下することが明らかとなった。

なお、アンボ期で実施した試験の接触時間7.5分区の場合と、フルグロン期で実施した試験の接触時間7.5分区および15分区の場合には、設定した接触温度の上限(アンボ期で44.4°C、フルグロン期で45.7°C)でも正常生残率が高く、50%致死温度を直接把握することができなかった。従って致死温度は設定した接触温度の上限値よりも高いものと推定される。

第10図および第4表は、各発育段階における接触時間と50%致死温度(50%正常生残



第10図 各発育段階における接觸時間と50%致死温度との関係

第4表 各発育段階における50%致死温度 (°C)

発育段階	接触時間別50%致死温度 (°C)							飼育温度 (°C)			
	7.5分	15	30	60	180	360	720	1,440	接触前	接触後	対照群
8細胞期	38.3	36.7	35.1	35.0	33.8	33.5	33.8	33.6	23.8	25.5	25.5
アンボ期	>44.4	43.5	42.3	41.9	40.4	-	-	37.9	23.0	25.3	25.3
フルグロン期	>45.7	>45.6	44.7	43.7	43.1	-	-	39.1	25.4	25.6	25.6
稚貝I期	44.7	44.5	44.5	43.7	-	-	-	40.6	22.5	25.8	25.8
稚貝II期	44.8	44.7	44.5	43.1	42.9	41.4	-	41.4	19.6	25.1	25.1

温度)との関係を示したものである。8細胞期に実施した試験では50%致死温度が、接触時間7.5分区で38.3°C、15分区で36.7°C、24時間(1,440分)区で33.6°Cと、接触時間が長くなるほど低くなり、33°C付近に収束する傾向を示した。一方、アンボ期以降の各発育段階では50%致死温度が接触時間7.5分区で44.4~45.7°C以上、24時間(1,440分)区で37.9~41.4°Cを示した。これらの値を8細胞期のそれと比較すると、いずれも4~6°C高く、8細胞期からアンボ期に移行する間に高温耐性が大きく変化することが明らかにされた。一方、アンボ期から稚貝II期に至る間には高温耐性に顕著な変化はないが、アンボ期のそれがフルグロン期以降よりも低い傾向が認められた。

V. 考察

1. 既往知見との比較

ハマグリの発生初期における温度耐性に関する既往の報告は比較的少ない。

相良(1958)は、受精卵とD型幼生について温度段階別飼育試験を実施し、受精卵については、平均水温8.0~32.8°Cの間の11段階の温度条件下で飼育を行い、32.8°Cでは20時間で全ての供試個体が分解し、30.5°Cでは20時間後にD型幼生へ変態したが、70時間後には全て死亡したという結果に基づいて、受精卵の発生適温範囲は21~27°Cであると報告している。また、D型幼生については平均水温7.5~33.1°Cにわたる11段階の温度条件下で飼育を行ったところ、33.1°Cでは16時間後に僅かな個体の死亡が見られ、他の個体は活発に遊泳していたが、42時間後にはほぼ全滅したこと、30.7°Cでは42、66、91時間と時間の経過に伴って死亡個体が徐々に増加し、91時間後の生残率が10%に低下し

たこと等に基づいて、適温範囲は12~31°C、至適温度範囲は16~27°Cであろうとしている。

上城ら(1978)は、浮遊仔貝($120 \times 100\mu\text{m}$)の温度耐性を調べ、35~37°Cでは試験開始後2~3時間で、30~32°Cでは8時間でそれぞれ全滅するとしている。

一方、田中(1986)は、浮遊幼生が底生生活に移行する間の温度と成長との係わり合いを検討するために、温度別の長期飼育(16日、20日間の2回)試験を行い、試験期間中の成長の比較に基づいて、27~32.5°Cの最適範囲を含む23.0~34.5°Cが適温範囲であるとし、最高試験水温の36°C区においても浮遊幼生の変態、着底を確認している。

また沼口・田中(1987)は、受精後2.5か月の稚貝に対して10~37°Cの8段階の温度条件下で18日間の飼育を行い、37°C区で20個体中僅かに2個体が死亡したのみという結果を得ている。そして本種の初期稚貝が著しい高温耐性を示すことを指摘し、成長の比較に基づいてその適温範囲を22~34.5°C、最適温度範囲を27~34.5°Cとしている。

これらの報告の中で、卵期の高温耐性について述べたものは相良の報告のみであるが、これを今回筆者らが行った8細胞期卵についての試験結果と比較すると、相良が20時間経過時に全てが分解していたとした32.8°C区よりも高い接触温度である33.2°Cにおいても66.7%の正常生残個体が見られ、24時間50%致死温度は33.6°Cで、全個体が分解するという状態は36°C以上の温度区のみに限られており、相良の結果よりおよそ3°C程高い値となった。相良が卵割開始前の受精卵で試験を開始しているのに対し、筆者らは8細胞期に試験を開始しており、これらのステージは卵内発生の進行に伴い高温耐性が急激に変化してゆく時期に相当することから、こうした試験開始時期の違いも両者の高温耐性を相違させている原因の一つではないかと考えられる。

また、相良はD型幼生の適温範囲について、かなり低く見積もっているが、これは無給餌の長期飼育(7日)から得られた結果に、前述の卵発生試験における適温範囲の結果を加味して推定したものであり、相良自身もD型幼生の無給餌長期飼育の困難性を指摘している。

上城らの試験時の発育段階はD型期~アンボ期に相当すると思われるが、今回のアンボ期における50%致死温度は、接触時間180分(3時間)で40.4°Cとなっているのに対し、上城らの2~3時間目における100%致死温度は36°C(35~37°Cの中間をとった場合)であり、両者の間には4°C以上の差があることになる。また、上城らが示した、8時間経過時における100%致死温度31°Cは、今回の8細胞期卵の720分(12時間)区の50%致

死温度33.8°Cより低い結果となり、今回の筆者らの試験結果や田中、沼口・田中の結果との間には大きなへだたりが認められる。

田中の報告における発育段階は今回のフルグロン期、沼口・田中の報告における発育段階は稚貝II期にそれぞれ相当する。これらの報告は、幼生、稚貝に対する変態・着底や成長に対する温度の影響を評価することにより適温範囲を求めたもので、試験方法や接触時間等の相違はあるが、今回筆者らが得た結果と同様に、ハマグリの幼生～稚貝期の高温耐性が強いことを裏付けている。

2. 発育に伴う高温耐性の変化

二枚貝では、卵割期、トロコフォア期、D型期と発生が進むにつれて高温耐性が強くなることは、アメリカカガキ*Crassostrea virginica* (Hiduら, 1974), マルスダレガイ科の*Mercenaria mercenaria* (Kennedyら, 1974a), バカガイ科の*Mulinia lateralis* (Kennedyら, 1974b) 等で明らかにされている。

今回の試験によって、ハマグリについても少なくとも接触時間が24時間以内という条件下では、8細胞期とアンボ期以降から稚貝（約0.8mm）に至るまでの各発育段階との間には、高温耐性のうえで4～6°C以上の差があることが確認できた。筆者らが、伊勢湾産のハマグリ母貝から得た今回の報告とは別の供試材料を用いた試験では、D型期幼生についても高温接触試験を行っているが、その高温耐性は今回の試験のアンボ期にほぼ等しいという結果を得た。この伊勢湾産母貝から得た供試材料は幼殻の成長が鈍く、飼育期間中にフルグロン期で大量死亡を起こしたため、今回の報告には試験結果を採用しなかったが、少なくとも8細胞期やアンボ期における高温耐性は、今回の豊前海産母貝から得られた供試材料の場合とよく一致していた。したがって、ハマグリ幼生の高温耐性に顕著な変化の現れるのは、卵割期からD型幼生期の間であると考えられる。

8細胞期に対する試験の結果、接触時間の延長に伴い50%致死温度が33°C付近に収束する傾向がみられた。一方、アンボ期幼生以降の場合には、接触時間が24時間以内では、50%致死温度が一定の温度に収束する傾向を示さなかった。しかし、接触時間24時間区でも、50%致死温度は8細胞期の場合と比較して4°C以上高い値を示した。

今回の試験では温度以外の要因をできるだけ一定にするため、使用海水の比重 (σ_{15}) を約20に調整して用いたが、一般に塩分濃度の変化によっても致死温度が変化することはよく知られているので、ハマグリのように、干潟や河口域に生息する種については、

この点についてもさらに詳細に検討する必要があろう。

3. 発電所による昇温影響

最後に今回の試験によって得られた知見をもとに、ハマグリの卵・幼生に対する発電所による昇温影響について若干の考察を行った。ハマグリに及ぼす発電所の昇温影響については、卵・浮遊幼生に対する発電所冷却水路系内連行に伴う昇温影響と、着底期以降の稚貝に対する温排水の昇温影響に区分して考察することが適切である。

1) 卵・浮遊幼生に対する発電所内連行に伴う昇温影響

わが国の臨海発電所における冷却水の冷却水路系内通過所要時間は10~15分以内で、温排水は発電所前面海域に放出されると、周辺海水との希釈混合や大気中への放熱によって、急激に周辺海域との温度差を失って行く。ここでは今回の接触時間15分区の半数正常生残温度に基づいて考察を進めることとした。前述のとおり最も高温耐性が低かったのは8細胞期の卵で、15分接触区における50%致死温度は36.7°Cであった。一方、ハマグリの野外における自然産卵水温について述べた報告はほとんど皆無に近いのが現状のようである。相良(1958)は、受精卵の温度段階別の飼育試験を行い、D型幼生の生残率等を考慮して、その発生のための至適温度範囲を21~27°Cと報告しており、さらに、各県水産試験場等における種苗生産や、実験の際に得られた産卵水温データもほぼこの範囲に含まれていることから、自然条件下における産卵もこの水温範囲内で行われているものと考えられる。今回は考察にあたって、評価の基準になる環境水温を安全側に立てる、この適温最高値の27°Cとすると、接触時間15分区の50%致死温度との差は、8細胞期で9.7°C、アンボ期以降では16.5~18.6°C以上となる。一方、わが国で最近建設される大部分の臨海発電所における設計昇温幅(ΔT)は7°Cである。前述の基準温度との差と、この ΔT とを対比すると、致死温度が最も低い値を示した8細胞期においても約2.7°Cの余裕があるということになる。

2) 着底稚貝に対する温排水の昇温影響

発電所施設内に連行された卵・幼生が極めて短い時間に ΔT 7°Cという急激な昇温をうけるのに対し、温排水が海底に接する区域内に着底した稚貝は、穏やかな昇温に長期間にわたり曝されることになる。今回の着底稚貝に対する試験結果では、50%致死温度

は32日稚貝で40.6°C, 75日稚貝で41.4°Cという極めて高い値が得られており、高温耐性の強さがうかがわれた。沼口・田中(1987)はハマグリ初期稚貝を10~37°Cの8段階の水温条件下で18日間の飼育を行い、34°Cという極めて高い温度条件下で最も高い成長率(39.0%)を示したこと、また、最高温度の37°C区においても、死亡個体は20個体中3個体のみであったことを報告している。そして、ハマグリの種場造成手法の開発に際し、温度については特別に制約されることなく対応可能と結論づけている。これらの事実から発電所温排水による昇温がハマグリの着底稚貝に及ぼす影響についても問題はないと考えられる。

引 用 文 献

- Hidu, H., Roosenburg, W. H., Drobek, K. G., McErlean, A. J., and Mihursky, J. A. (1974). Thermal tolerance of oyster larvae, *Crassostrea virginica* Gmelin, as related to power plant operation. *Proc. Nat. Shellfisheries Assoc.*, (64): 102-110.
- 上城義信・幡手格一・安東生雄(1978)。ハマグリの人工採苗と稚貝の飼育、栽培技研, 7(1): 39-50。
上城義信(1980)。ハマグリの種苗生産研究。 *Ocean Age*, Jan.,: 65-70.
- 柏木正章・道津光生・深滝弘・吉川厚・千葉強平(1980)。水生生物の温度耐性—I. 卵・稚仔試験装置の試作。昭和55年度日本水産学会秋季大会講演要旨集: 104.
- Keller, E. C. Jr. and Nagle, C. S. Jr. (1968). The effects of saline-thermal-bacterial interactions on populations of primary producers. *Proc. Penn. Acad. Sci.*,: 97-106.
- Kennedy, V. S., Roosenburg, W. H., Castagna, M. and Mihursky, J. A. (1974a). *Mercenaria mercenaria* (Mollusca : Bivalvia) : Temperature-time relationships for survival of embryos and larvae. *Fish. Bull.*, 72(4): 1160-1166.
- Kennedy, V. S., Roosenburg, W. H., Zion, H. H. and Castagna, M. (1974b). Temperature-time relationships for survival of embryos and larvae of *Mulinia lateralis* (Mollusca : Bivalvia). *Mar. Biol.*, (24): 137-145.
- 沼口勝之・田中彌太郎(1987)。ハマグリ初期稚貝の成長におよぼす水温および塩分の影響。養殖研報, (11): 35-40.
- 大森信・池田勉(1976)。動物プランクトン生態研究法。共立出版。229pp.
- 相良順一郎(1958)。ハマグリの発生初期に於ける適温適比重について。東海水研報, (22): 27-32.
- 田中彌太郎(1986)。ハマグリ幼生の沈着におよぼす水温の影響。養殖研報, (9): 45-49.

付表-1 8細胞期卵に対する高温接触試験結果

	接触時間	接触温度 (°C)	28.3	29.8	31.3	32.8	34.5	36.2	37.7	39.2	40.9	42.7
7.5分	供試個体数		53	123	84	90	73	75	75	46	..	108
	生残率(%)		94.3	91.8	92.9	97.8	94.5	89.3	90.7	63.0	0.0	0.0
	正常生残率(%)		83.0	87.0	84.5	93.3	91.8	74.7	81.3	0.0	0.0	0.0
	遊泳状態		+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
15分	接触温度 (°C)		28.1	29.7	31.2	32.8	34.5	36.1	37.8	39.3	41.0	42.9
	供試個体数		98	29	88	44	45	50	28	..	..	60
	生残率(%)		100.0	100.0	100.0	100.0	97.8	92.0	50.0	0.0	0.0	0.0
	正常生残率(%)		100.0	100.0	98.9	95.5	95.6	58.0	35.7	0.0	0.0	0.0
30分	接触温度 (°C)		28.0	29.7	31.3	33.0	34.6	36.1	37.9	39.3	41.1	42.9
	供試個体数		56	126	113	115	120	29	..	..	..	108
	生残率(%)		98.2	100.0	100.0	93.9	88.3	13.9	0.0	0.0	0.0	0.0
	正常生残率(%)		94.6	100.0	100.0	82.6	71.7	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0
60分	遊泳状態		+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
	接触温度 (°C)		27.9	29.7	31.2	33.0	34.6	36.0	37.7	39.2	41.1	42.9
	供試個体数		54	141	69	91	173	40	..	..	..	42
	生残率(%)		100.0	99.3	100.0	91.2	87.6	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0
180分	正常生残率(%)		98.1	98.0	97.1	76.9	74.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	遊泳状態		+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
360分	接触温度 (°C)		28.1	29.7	31.2	33.0	34.6	36.2	37.7	39.4	41.1	43.0
	供試個体数		23	82	48	40	64	..	..	..	..	..
	生残率(%)		100.0	92.7	89.6	90.0	68.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	正常生残率(%)		95.7	84.1	87.5	60.0	39.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
720分	遊泳状態		+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
1,440分	接触温度 (°C)		28.5	30.1	31.5	33.2	34.8	36.1	37.7	39.3	41.1	42.6
	供試個体数		35	122	44	135	72	..	..	..	..	..
	生残率(%)		100.0	100.0	90.0	96.3	37.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	正常生残率(%)		100.0	97.5	86.4	80.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
对照群	遊泳状態		+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
0分	飼育温度 (°C)		25.5	25.5	25.5	25.5	25.5					
	供試個体数		135	151	134	106	58					
	生残率(%)		100.0	100.0	100.0	96.2	98.3					
	正常生残率(%)		94.8	99.3	97.0	94.3	93.1					
	遊泳状態		+	+	+	+	+	-	-	-	-	-

..ふ化せず、計数を略す

..小球に分裂し、個体として計数不能

(幼殻を形成したものを生残個体としてとりあつかった)

付表-2 アンボ期幼生に対する高温接触試験結果

7.5分	接触温度 (°C)		39.1	40.8	42.7	44.4
	供試個体数		20	32	18	33
	生残率 (%)		100.0	96.9	100.0	100.0
	正常生残率 (%)		90.0	96.9	100.0	100.0
15分	接触温度 (°C)	29.6 31.2 32.8 34.4 35.9 37.6 39.0 40.8 42.6 44.4				
	供試個体数	22 24 16 17 8 12 16 14 9 7				
	生残率 (%)	100.0 100.0 100.0 100.0 100.0 100.0 100.0 100.0 100.0 100.0				
	正常生残率 (%)	100.0 95.8 100.0 100.0 100.0 100.0 100.0 100.0 100.0 0.0				
30分	接触温度 (°C)	29.6 31.1 32.9 34.4 35.9 37.5 39.0 40.9 42.7 44.7				
	供試個体数	25 23 21 31 18 22 9 30 11 12				
	生残率 (%)	100.0 100.0 100.0 96.8 100.0 100.0 100.0 100.0 100.0 8.3				
	正常生残率 (%)	100.0 100.0 100.0 96.8 94.4 100.0 100.0 96.7 36.4 0.0				
60分	接触温度 (°C)	29.5 31.1 32.8 34.4 35.9 37.5 39.2 40.9 42.9 44.9				
	供試個体数	10 24 23 8 10 16 12 9 8 9				
	生残率 (%)	100.0 100.0 91.3 100.0 100.0 93.8 100.0 100.0 100.0 11.1				
	正常生残率 (%)	100.0 100.0 91.3 100.0 100.0 93.8 100.0 100.0 0.0 0.0				
180分	接触温度 (°C)	29.8 31.3 32.8 34.4 35.9 37.4 39.2 40.8 42.6 44.6				
	供試個体数	5 7 9 6 9 24 32 24 11 24				
	生残率 (%)	100.0 100.0 88.9 100.0 100.0 95.8 100.0 100.0 0.0 0.0				
	正常生残率 (%)	100.0 100.0 88.9 100.0 100.0 91.7 100.0 33.3 0.0 0.0				
1,440分	接触温度 (°C)	30.0 31.4 33.1 34.7 36.1 37.7 39.3 41.0 42.6 44.5				
	供試個体数	11 26 8 9 21 25 17 8 22 10				
	生残率 (%)	100.0 100.0 87.5 100.0 100.0 96.0 100.0 0.0 0.0 0.0				
	正常生残率 (%)	100.0 100.0 87.5 100.0 52.4 56.0 0.0 0.0 0.0 0.0				
0分	飼育温度 (°C)	25.3 25.3 25.3 25.3 25.3				
	供試個体数	49 16 21 7 12				
	生残率 (%)	93.9 100.0 95.2 85.7 100.0				
	正常生残率 (%)	93.9 93.8 95.2 85.7 100.0				

付表-3 フルグロン期幼生に対する高温接触試験結果

7.5分	接触温度 (°C)	33.6 14 100.0 100.0	40.0 13 100.0 100.0	41.2 27 100.0 100.0	42.6 17 100.0 100.0	44.3 13 100.0 100.0	45.7
	供試個体数						
	生残率 (%)						
	正常生残率 (%)						
15分	接触温度 (°C)	38.3 11 100.0 100.0	39.6 6 100.0 100.0	40.9 7 100.0 100.0	42.3 10 100.0 100.0	44.1 5 100.0 100.0	45.6 11 100.0 100.0
	供試個体数						
	生残率 (%)						
	正常生残率 (%)						
30分	接触温度 (°C)	37.1 8 100.0 100.0	38.3 13 100.0 100.0	39.8 9 100.0 100.0	41.0 12 100.0 100.0	42.5 12 100.0 100.0	44.0 8 100.0 100.0
	供試個体数						
	生残率 (%)						
	正常生残率 (%)						
60分	接触温度 (°C)	35.9 12 100.0 100.0	37.2 11 100.0 100.0	38.3 10 100.0 100.0	39.6 8 100.0 100.0	40.9 9 100.0 100.0	42.6 8 100.0 100.0
	供試個体数						
	生残率 (%)						
	正常生残率 (%)						
180分	接触温度 (°C)	34.5 15 100.0 100.0	35.9 22 100.0 100.0	37.2 12 100.0 100.0	38.4 4 100.0 100.0	39.7 3 100.0 100.0	41.1 10 100.0 100.0
	供試個体数						
	生残率 (%)						
	正常生残率 (%)						
1,440分	接触温度 (°C)	33.5 11 100.0 100.0	34.8 6 100.0 100.0	36.0 7 100.0 100.0	37.2 7 100.0 100.0	38.4 12 100.0 100.0	39.6 10 100.0 100.0
	供試個体数						
	生残率 (%)						
	正常生残率 (%)						
0分	飼育温度 (°C)	25.6 20 100.0 100.0	25.6 21 100.0 100.0	25.6 10 100.0 100.0	25.6 15 100.0 100.0		
	供試個体数						
	生残率 (%)						
	正常生残率 (%)						

付表-4 稚貝 I (受精後32日目) に対する高温接触試験結果

接觸時間 7.5分	接觸温度 (°C)					
	供試個体数	41.7	43.4	45.5	47.2	
	生残率 (%)	11	11	8	7	
	正常生残率 (%)	100.0	100.0	50.0	0.0	
15分	接觸温度 (°C)	40.4	41.9	43.7	45.5	47.2
	供試個体数	10	6	7	11	8
	生残率 (%)	100.0	100.0	100.0	63.6	0.0
	正常生残率 (%)	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0
30分	接觸温度 (°C)	38.5	40.2	41.8	43.7	45.5
	供試個体数	7	6	9	8	14
	生残率 (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0
	正常生残率 (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0
60分	接觸温度 (°C)	37.0	38.5	40.1	41.8	43.5
	供試個体数	3	9	7	8	9
	生残率 (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	正常生残率 (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	55.6
1,440分	接觸温度 (°C)	34.0	35.6	37.2	38.6	40.2
	供試個体数	10	5	9	9	3
	生残率 (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	正常生残率 (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	66.7
0分	飼育温度 (°C)	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8
	供試個体数	7	9	11	8	8
	生残率 (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	正常生残率 (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

付表-5 稚貝II（受精後75日目）に対する高温接触試験結果

接触時間	接触温度 (°C)								
		35.4	37.0	38.6	40.3	41.8	43.5	45.6	47.3
7.5分	供試個体数	9	9	10	12	17	6	7	9
	生残率(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	正常生残率(%)	66.7	66.7	80.0	66.7	76.5	83.3	28.6	11.1
	接触温度 (°C)	37.3	38.8	40.5	42.0	43.8	45.6	47.4	
15分	供試個体数	14	8	6	7	10	6	11	
	生残率(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	54.5
	正常生残率(%)	100.0	87.5	100.0	100.0	70.0	33.3	9.1	
	接触温度 (°C)	34.0	35.7	37.3	38.7	40.3	41.9	43.8	45.6
30分	供試個体数	9	3	2	8	8	7	12	11
	生残率(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	18.2
	正常生残率(%)	77.8	100.0	100.0	80.0	100.0	85.7	100.0	0.0
	接触温度 (°C)	35.6	37.2	38.8	40.3	42.0	43.7	45.7	47.7
60分	供試個体数	8	9	11	10	7	10	6	8
	生残率(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0
	正常生残率(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	20.0	0.0	0.0
	接触温度 (°C)	37.4	38.8	40.3	42.1	43.7	45.5	47.5	
180分	供試個体数	9	7	9	13	10	6	10	
	生残率(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	
	正常生残率(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	
	接触温度 (°C)	37.4	38.8	40.3	42.0	43.7	45.3		
360分	供試個体数	13	12	8	9	7	9		
	生残率(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0		
	正常生残率(%)	100.0	100.0	100.0	22.2	0.0	0.0		
	接触温度 (°C)	35.9	37.5	39.0	40.6	42.1	43.8		
1,440分	供試個体数	6	6	6	6	8	10		
	生残率(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0		
	正常生残率(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0		
	对照群	飼育温度 (°C)	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1		
0分	供試個体数	16	9	12	8	19			
	生残率(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0			
	正常生残率(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0			

