



REPORT
OF
MARINE ECOLOGY RESEARCH INSTITUTE

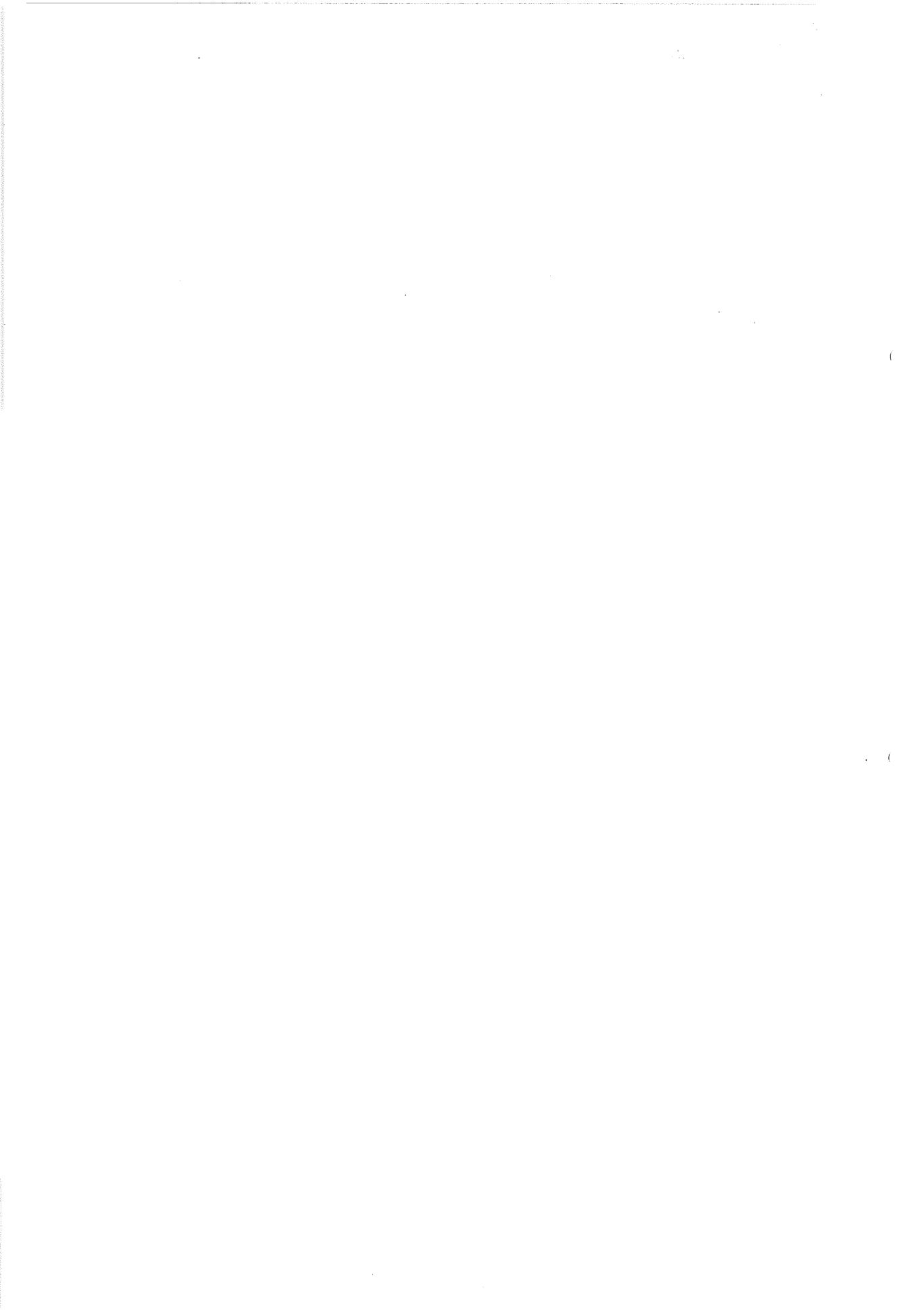
海洋生物環境研究所研究報告

No. 90201

クロアワビの卵および浮遊幼生の高温耐性

平成 2 年11月

November, 1990



クロアワビの卵および浮遊幼生の高温耐性

岡村 武志

Thermal Tolerance of Eggs and Larvae of the Abalone,
Nordotis discus discus (Reeve)

Takeshi Okamura

Okamura, T.(1990). Thermal tolerance of eggs and larvae of the abalone, *Nordotis discus discus* (Reeve).
Rep. Mar. Ecol. Res. Inst., No.90201 : 1-38.

Abstract : Thermal tolerance was examined of the abalone, *Nordotis discus discus* (Reeve), during its various developmental stages. Materials were obtained from two mother strains, one collected at Onjuku, Chiba Pref., and the other at Ago, Mie Pref. They were kept at 18°C before experiment and subjected to the conditions of exposure temperatures from 19 to 43°C and exposure times from 7.5 to 1,440 minutes(24 hours). Duplicate tests were performed for each strain.

LT_{50} values at four-cell stage for 7.5, 15 minutes and 24 hours exposure were respectively, 27.2-28.3, 25.7-25.9 and 23.8-24.5°C in the Chiba strain, and 25.4-27.3, 24.2-25.8 and 22.6-23.4°C in the Mie strain. The corresponding values at the fully developed veliger were 35.6-36.0, 33.9-35.8 and 29.5-30.8°C in the Chiba strain, and 35.8-36.6, 34.0-34.9 and 30.7-31.0°C in the Mie strain. Thus, it was noticed that LT_{50} values tended to decrease with increase of exposure time at the stages including gastrula, trochophore and early veliger. LT_{50} values throughout developmental stages showed no significant differences between the two strains. LT_{50} values increased with advancement of development, and those for long time (180 and 1,440 minutes) exposures reached the highest values at fully developed veliger. The values of the abalone *Nordotis discus discus* were lower than those of the bivalves, *Meretrix lusoria*, *Crassostrea gigas*, *Ruditapes philippinarum* and *Pinctada fucata martensii*, but comparable to those of another abalone, *Nordotis sieboldii*.

The thermal effects of cooling water intake and discharge by power plant on early development of *Nordotis discus discus* were evaluated in terms of LT_{50} values corrected with -2°C. Assuming that the ambient temperature is 20°C, and the temperature rise across condenser is 7°C, embryos or larvae except for four-cell eggs are estimated to suffer scarcely from sublethal or lethal effects.
Keywords : Abalone, *Nordotis discus discus*, Eggs, Larvae, Temperature, Tolerance, LT_{50} , Power plant, Cooling water, Thermal effluent, Thermal effects.

岡村武志 (1990). クロアワビの卵および浮遊幼生の高温耐性. 海生研報告, No.90201 : 1-38.

要約：クロアワビの初期発育段階における高温耐性を明らかにするために、千葉県産、三重県産の各母貝から得て18°Cで発生させた卵、浮遊幼生を供試材料として、それぞれに対して接触温度19~43°C、接触時間7.5分~24時間の高温接触試験を2回ずつ実施した。4細胞期卵の50%正常生残温度(LT_{50})の範囲は、母貝が千葉県産のものについては、接触時間7.5分区で27.2~28.3°C、15分区で25.7~25.9°C、24時間分区

で23.8~24.5°C, 三重県産のものについては、7.5分区で25.4~27.3°C, 15分区で24.2~25.8°C, 24時間区で22.6~23.4°Cであった。ペリジャー後期幼生のLT₅₀値の範囲は、千葉県産のものについては、7.5分区で35.6~36.0°C, 15分区で33.9~35.8°C, 24時間区で29.5~30.8°C, 三重県産のものについては、それに対応する値が35.8~36.6, 34.0~34.9, 30.7~31.0°Cであった。原腸胚、トロコフォア幼生、ペリジャー前期幼生の場合も含めて、いずれの発育段階ともLT₅₀値は接触時間のより長い試験区ほど低下した。各発育段階を通じてLT₅₀値を母貝産地間で比較した場合、両者の間に明確な差は認められなかつた。LT₅₀値は発育に伴って上昇し、180分、1,440分の比較的長時間接触に対する値はペリジャー後期幼生において最も高くなつた。クロアワビのLT₅₀値は今まで調べられたハマグリ、マガキ、アサリ、アコヤガイの二枚貝類よりも低く、同類同属のメカイアワビに近かつた。

LT₅₀値に-2°Cの補正值を適用した許容温度を基準としてクロアワビの初期発育段階に対する発電所取放水による昇温影響について評価した。環境水温を20°C、冷却水の昇温幅を7°Cと仮定した場合、受精後まもない4細胞期卵では昇温影響への留意が必要となる可能性があるが、原腸胚以降では生残等に悪影響を受ける可能性は低いものと考えられる。

キーワード：クロアワビ、卵、幼生、温度、耐性、LT₅₀、発電所、冷却水、温排水、昇温影響

目 次

I. まえがき	3	1. 千葉県産クロアワビ	7
II. 供試材料	4	2. 三重県産クロアワビ	8
III. 試験方法	5	V. 考察	10
1. 温度試験区の設定	5	1. クロアワビの高温耐性	10
2. 高温接触方法	6	2. 発電所取放水影響評価	14
3. 生死等の判定方法	6	引用文献	19
IV. 試験結果	7	付表	20

図 表 目 次

第1図 千葉県産クロアワビより得られた卵、浮遊幼生の接触時間と 50%正常生残温度との関係	8
第2図 三重県産クロアワビより得られた卵、浮遊幼生の接触時間と 50%正常生残温度との関係	9
第3図 千葉県産、三重県産クロアワビより得られた卵、浮遊幼生の 50%正常生残温度の比較	10
第4図 クロアワビ卵、浮遊幼生の発育に伴う50%正常生残温度の変化	11
第5図 クロアワビ、メカイアワビおよび二枚貝類4種の各発育段階における 50%正常生残温度の比較	13
第6図 クロアワビ、メカイアワビおよび二枚貝類4種の各発育段階における ΔT (50%正常生残温度-飼育水温)の比較	14
第7図 クロアワビの各発育段階における許容昇温幅と復水器通過時の 冷却水の昇温幅との比較	18
第1表 試験に用いたクロアワビの採卵経過	4
第2表 クロアワビ卵、浮遊幼生に対する高温接触試験条件	5
第3表 クロアワビの高温接触に伴う生死等の判定方法	6
第4表 正常生残率より推定したクロアワビ卵および浮遊幼生の上限温度	15
第5表 クロアワビ卵、浮遊幼生の各接触時間における許容温度(平均値±標準偏差)	16
第6表 クロアワビ卵、浮遊幼生の各接触時間における許容昇温幅(平均値±標準偏差)	17
付表1 千葉県産クロアワビより得られた4細胞期卵に対する高温接触試験結果(第1回試験)	20
付表2 千葉県産クロアワビより得られた原腸胚に対する高温接触試験結果(第1回試験)	21
付表3 千葉県産クロアワビより得られたトロコフォア幼生に対する高温接触試験結果 (第1回試験)	21

付表4 千葉県産クロアワビより得られたペリジャー前期幼生に対する高温接触試験結果 (第1回試験).....	22
付表5 千葉県産クロアワビより得られたペリジャー後期幼生に対する高温接触試験結果 (第1回試験).....	23
付表6 千葉県産クロアワビより得られた4細胞期卵に対する高温接触試験結果(第2回試験).....	24
付表7 千葉県産クロアワビより得られた原腸胚に対する高温接触試験結果(第2回試験).....	25
付表8 千葉県産クロアワビより得られたトロコフォア幼生に対する高温接触試験結果 (第2回試験).....	25
付表9 千葉県産クロアワビより得られたペリジャー前期幼生に対する高温接触試験結果 (第2回試験).....	26
付表10 千葉県産クロアワビより得られたペリジャー後期幼生に対する高温接触試験結果 (第2回試験).....	27
付表11 三重県産クロアワビより得られた4細胞期卵に対する高温接触試験結果(第1回試験).....	28
付表12 三重県産クロアワビより得られた原腸胚に対する高温接触試験結果(第1回試験).....	29
付表13 三重県産クロアワビより得られたトロコフォア幼生に対する高温接触試験結果 (第1回試験).....	30
付表14 三重県産クロアワビより得られたペリジャー前期幼生に対する高温接触試験結果 (第1回試験).....	31
付表15 三重県産クロアワビより得られたペリジャー後期幼生に対する高温接触試験結果 (第1回試験).....	32
付表16 三重県産クロアワビより得られた4細胞期卵に対する高温接触試験結果(第2回試験).....	33
付表17 三重県産クロアワビより得られた原腸胚に対する高温接触試験結果(第2回試験).....	34
付表18 三重県産クロアワビより得られたトロコフォア幼生に対する高温接触試験結果 (第2回試験).....	35
付表19 三重県産クロアワビより得られたペリジャー前期幼生に対する高温接触試験結果 (第2回試験).....	36
付表20 三重県産クロアワビより得られたペリジャー後期幼生に対する高温接触試験結果 (第2回試験).....	37
付表21 千葉県、三重県産クロアワビより得られた卵、浮遊幼生の50%正常生残温度.....	38

I. まえがき

クロアワビ*Nordotis discus discus* (Reeve) は、日本海側は奥尻以南、太平洋側は銚子以南から九州南部まで分布し、マダカアワビ*Nordotis gigantea* (Gmelin)、メカイアワビ*Nordotis sieboldii* (Reeve)、エゾアワビ*Nordotis discus hannai* (Ino) とともに、我が国における重要な磯根資源の一つとなっている。

クロアワビの水温に対する生理的反応に関しては、菊池・浮(1974)が積算温度と性成熟との関係について、金子ら(1976)と閔・菅野(1977)が他のアワビ属とともに、卵と幼生の発生に及ぼす水温の影響について調べている。また、井上ら(1986)は本種の幼貝(殻長約21~25mm)をエゾアワビおよびエゾアワビとの交雑種とともに高温条件下で飼育し、成長および生残を比較している。しかし、初期発育段階における高温耐性を接触時

間(Exposure time)との関連において詳細に検討した例は見当たらない。

当研究所では、貝類の初期発育段階における高温耐性を、これまでにハマグリ(木下・道津, 1981), メカイアワビ(道津・木下, 1985), マガキ(木下, 1985a), アサリ(木下, 1985b), アコヤガイ(岡村・中村, 1988)について詳細に調べてきたが、今回はクロアワビに対して試験を行い、高温耐性に関するいくつかの知見を得ることができたのでここに報告する。

報告に先立ち、本稿の御校閲を賜った東京大学名誉教授 羽生 功博士に深謝の意を表する。また、採卵用母貝の入手に際して多大の御協力をいただいた千葉県御宿町岩和田漁業協同組合参事 山田 熊氏、並びに、三重県南勢町種苗生産施設所長 川村龍彦氏に対し謝意を表する。さらに、採卵および供試材料の飼育等、試験の実施に御協力いただいた当研究所主任技術員 濱戸熊卓見、技術員 磯貝嘉孝の両氏および職員各位に厚くお礼を申し上げる。

II. 供試材料

試験に用いた卵、浮遊幼生の母貝は、クロアワビの主要産地である千葉県および三重県において入手した。

千葉県産母貝は1987年7月に御宿町前面海域で、三重県産母貝は1988年9月に阿児町前面海域でそれぞれ漁獲されたもので、入手後、試験実施時まで、自然水温の砂濾過海水流水条件下でカジメを与えながら予備飼育した。これらの母貝から、漁獲年の11月に紫外線照射海水を用いた産卵誘発によって各々2回の採卵を行った。

各産地母貝の採卵経過を第1表に示す。

第1表 試験に用いたクロアワビの採卵経過

試験実施 (採卵) 年月	試 験 産 地	採 卵 用 母 貝 入 手 年 月	採 卵 用 母 貝 殻長範囲(mm)	受精時水温 (℃)	4細胞期卵 正 常 発 生 率 (%)
1987年11月	第1回 千葉県	'87年7月	123~130	248~309	18.3
			120~141	194~372	18.2
1988年11月	第1回 三重県	'88年9月	103~123	156~242	20.4
			104~121	135~246	19.6

得られた卵群は、受精、洗卵の後、約18°Cの水温条件下で4細胞期卵、原腸胚、トロ

コフォア幼生、ベリジヤー前期幼生(幼殻形成期)、ベリジヤー後期幼生(匍匐期直前)の各発育段階まで飼育して高温接触試験に供した。

III. 試験方法

1. 温度試験区の設定

接触温度(Exposure temperature)等の試験条件を要約して第2表に示す。

第2表 クロアワビ卵、浮遊幼生に対する高温接触試験条件

母貝 産地	接触開始時 の発育段階	受精後経過 時間(時間)	接触温度範囲 ¹⁾ (°C)	接 触 時 間 (分)							
				0	7.5	15	30	60	180	360	720
〔第1回試験〕											
千葉	4細胞期卵	2	23.5~38.0	○	○	○	○	○	○	○	○
	原腸胚	7	23.2~37.0	○	○	○	—	—	—	—	—
	トロコフォア幼生	15	23.4~37.9	○	○	○	—	—	—	—	—
	ベリジヤー前期幼生	32	23.1~37.6	○	○	○	—	—	—	—	—
県	ベリジヤー後期幼生	120	22.8~37.9	○	○	○	○	○	○	○	○
	〔第2回試験〕										
	4細胞期卵	2	19.0~37.7	○	○	○	○	○	○	○	○
	原腸胚	8	18.9~37.4	○	○	○	—	—	—	—	—
三重	トロコフォア幼生	17	18.6~37.5	○	○	○	—	—	—	—	—
	ベリジヤー前期幼生	32	18.8~37.2	○	○	○	—	—	—	—	—
	ベリジヤー後期幼生	120	22.8~40.7	○	○	○	○	○	○	○	○
	〔第1回試験〕										
三重	4細胞期卵	2	19.4~38.7	○	○	○	○	○	○	○	○
	原腸胚	7	19.3~38.7	○	○	○	—	○	—	—	○
	トロコフォア幼生	15	19.3~38.7	○	○	○	—	—	○	—	○
	ベリジヤー前期幼生	32	19.3~38.6	○	○	○	—	—	○	—	○
県	ベリジヤー後期幼生	120	21.8~42.9	○	○	○	○	○	○	○	○
	〔第2回試験〕										
	4細胞期卵	2	19.3~38.7	○	○	○	○	○	○	○	○
	原腸胚	7	19.1~38.5	○	○	○	—	○	—	—	○
県	トロコフォア幼生	15	19.0~38.4	○	○	○	—	—	○	—	○
	ベリジヤー前期幼生	32	19.0~38.4	○	○	○	—	—	○	—	○
	ベリジヤー後期幼生	123	23.5~42.5	○	○	○	○	○	○	○	○

1) 各範囲を11段階に分けた。

—: 実施しなかった試験区を示す。

4細胞期卵とベリジヤー後期幼生の2発育段階については、接触温度11段階×接触時間8段階の88試験区を設定した。また、これまでのハマグリ(木下・道津, 1981)、マガキ(木下, 1985a)等の例から、これら両発育段階の高温耐性に比較的大きな差があることが予測されたので、その移行過程を検討するため、原腸胚、トロコフォア幼生、ベリジ

ヤー前期幼生の3発育段階について、接触温度11段階×接触時間2～4段階の22～44試験区を設定した。

各温度試験区の設定には、卵稚仔温度反応試験装置（柏木ら、1980）を用いた。この装置では、試験管挿入孔を碁盤割りに配置したアルミニウム製ブロックに温度勾配を形成し、ほぼ同一の温度試験区11段階を最高8組、合計88試験区を設定することができる。

2. 高温接触方法

濾過海水30mlを入れた試験管を試験装置のアルミニウムブロック内の各挿入孔へ入れ、試験管内の海水が所定の接触温度になるように調整した。次いで、各試験管内へ所定の発育段階に達した卵（約30～110個体）もしくは幼生（約20～80個体）をピペットを用いて移し入れ、高温接触を開始した。以後、所定の接触時間が経過するたびに、一連の接触温度の試験管11本を約18°Cの恒温水槽内へ移し、高温接触開始時から24時間経過するまで静置した後、供試個体の生死等の判定を行った。

なお、別に18°Cの恒温水槽内に設定した試験管内にも卵あるいは幼生を入れ、24時間静置して対照区とした。

3. 生死等の判定方法

供試個体の生死等の判定は、各発育段階の特性を考慮した上で行った。判定方法を要約して第3表に示す。

第3表 クロアワビの高温接触に伴う生死等の判定方法

接触開始時 発育段階	判定時の正常個体の 形態・行動特性	生死等の判定方法
4細胞期卵 原腸胚	幼殻形成、遊泳	幼殻の形成状態 →正常・異常生残、死亡
トロコフォア幼生	幼殻完成、遊泳	幼殻の完成状態 →正常・異常生残、死亡
ベリジヤー前期幼生	蓋の形成、遊泳	遊泳（浮遊）個体の形態 →正常・異常生残
ベリジヤー後期幼生	遊泳、匍匐	沈降個体の形態、遊泳・匍匐状態観察 →正常・異常生残、死亡

高温接触開始時期が4細胞期卵からトロコフォア幼生までのものに対する判定は、試

験管内の浮沈状態を目視観察したのち、全供試個体をホルマリン固定し、幼殻の形成状態に基づいて、正常生残、異常生残、死亡の各個体別に計数した。この際、小片に分離したり、殻を全く形成していない異常な個体については、ホルマリン固定前に活発な動きが認められても短時間内に死亡することが確実なので死亡個体とみなした。

また、高温接触開始時期がペリジャー幼生の前期や後期であったものは、試験管底に沈降した個体と遊泳個体とに区別し、遊泳個体についてはすべてを生残個体とみなし、ホルマリン固定後、正常、異常(奇形)個体別に計数した。また、沈降個体については直ちに検鏡して、動きが全く認められないものを死亡個体とし、動きの認められるものは生残個体として、さらにそれらを正常、異常(奇形、異常行動)別に区分して計数した。

以上の判定結果に基づいて、各試験区における正常生残率を算出し、あわせて設定接触時間毎に供試個体の半数が正常に生残する温度を求めて“50%正常生残温度”とした。さらに、この50%正常生残温度を基準として、母貝産地間や発育段階相互間等の高温耐性を比較検討した。

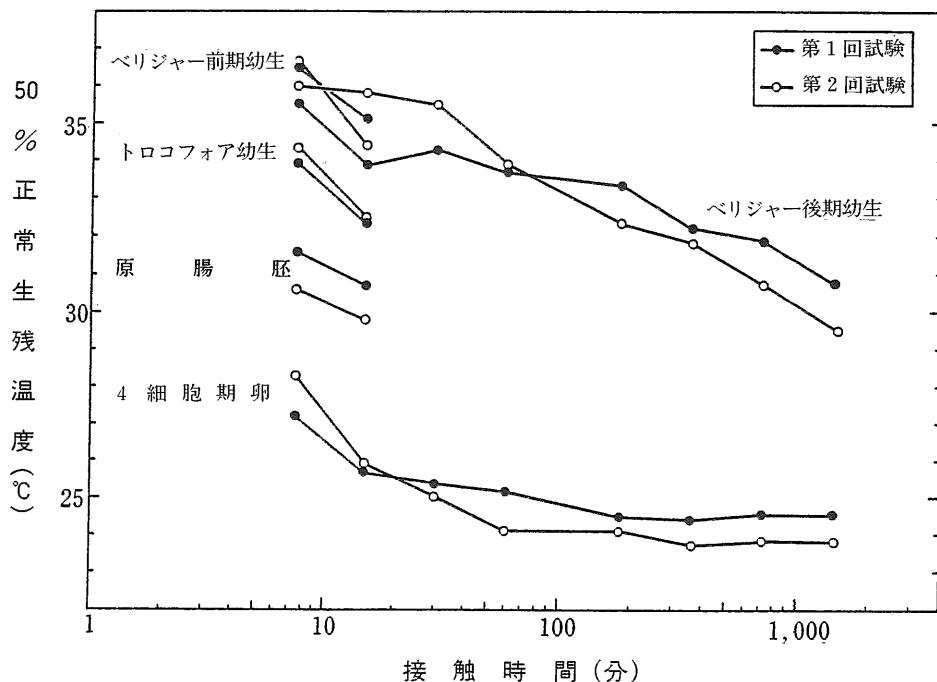
IV. 試験結果

各試験区において得られた結果を、千葉県産クロアワビについては付表1～10に、三重県産クロアワビについては付表11～20にそれぞれ示す。さらに、それらに基づいて求めた各母貝産地、各発育段階の各接触時間に対する50%正常生残温度を付表21に示す。

1. 千葉県産クロアワビ

各発育段階における接触時間と50%正常生残温度との関係を第1図に示す。

4細胞期卵の50%正常生残温度は、接触時間7.5分区で27.2～28.3°C、15分区で25.7～25.9°C、30分区で25.0～25.4°Cと接触時間が長くなるにつれて緩やかに低下し、1,440分区では23.8～24.5°Cとなった。また、接触時間60分前後から1,440分にかけて50%正常生残温度は殆ど変化しなかった。ペリジャー後期幼生の50%正常生残温度は、接触時間7.5分区で35.6～36.0°C、15分区で33.9～35.8°C、30分区で34.3～35.5°C、60分区で33.7～33.9°Cとなり、さらに1,440分区では29.5～30.8°Cとなり、接触時間が長くなるほど低下する傾向を示した。4細胞期卵とペリジャー後期幼生の50%正常生残温度を比較すると、全接触温度区を通じてペリジャー後期幼生の方が5.7～10.5°C高かった。



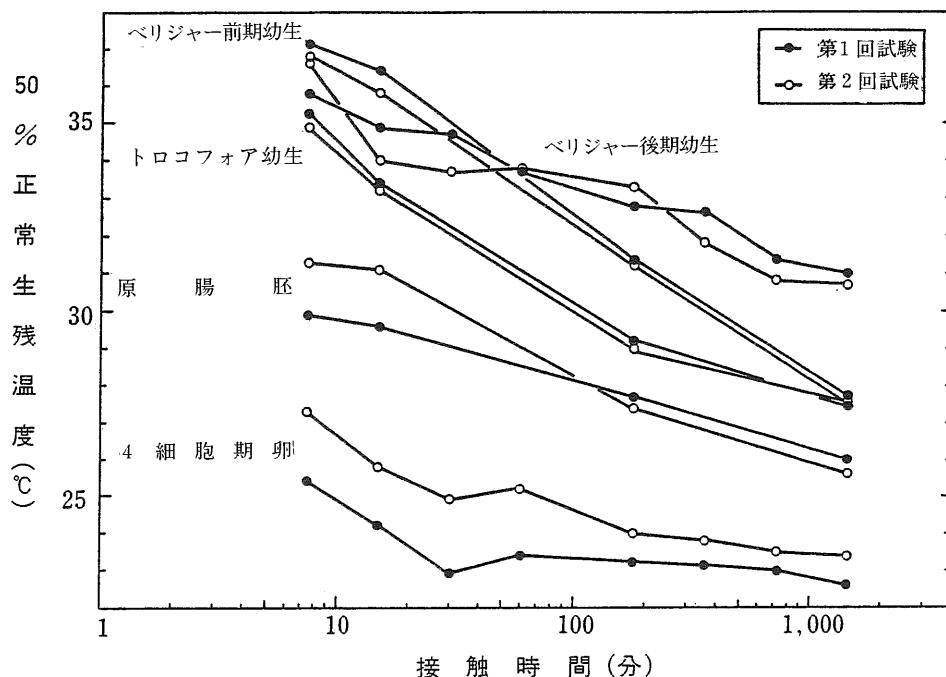
第1図 千葉県産クロアワビより得られた卵、浮遊幼生の接触時間と
50%正常生残温度との関係

4細胞期卵とペリジャー後期幼生との間の発育段階である原腸胚、トロコフォア幼生、ペリジャー前期幼生の各50%正常生残温度は、接触時間7.5分区ではそれぞれ、30.6~31.6°C、33.9~34.3°C、36.5~36.7°C、15分区ではそれぞれ、29.8~30.7°C、32.3~32.4°C、34.4~35.1°Cと、いずれも7.5分区よりも15分区で低い値を示すとともに、発育の進んだ段階ほど高い値を示した。

2. 三重県産クロアワビ

各発育段階における接触時間と50%正常生残温度との関係を第2図に示す。

4細胞期卵の50%正常生残温度は、第1回試験の方が第2回試験よりも低く、接触時間7.5分区で25.4~27.3°C、15分区で24.2~25.8°C、30分区で22.9~24.9°Cと接触時間が長くなるのに伴って低下し、1,440分区で22.6~23.4°Cであった。また、接触時間30分附近から1,440分にかけて、50%正常生残温度は一定の値に収束する傾向を示した。ペリジ



第2図 三重県産クロアワビより得られた卵、浮遊幼生の接触時間と
50%正常生残温度との関係

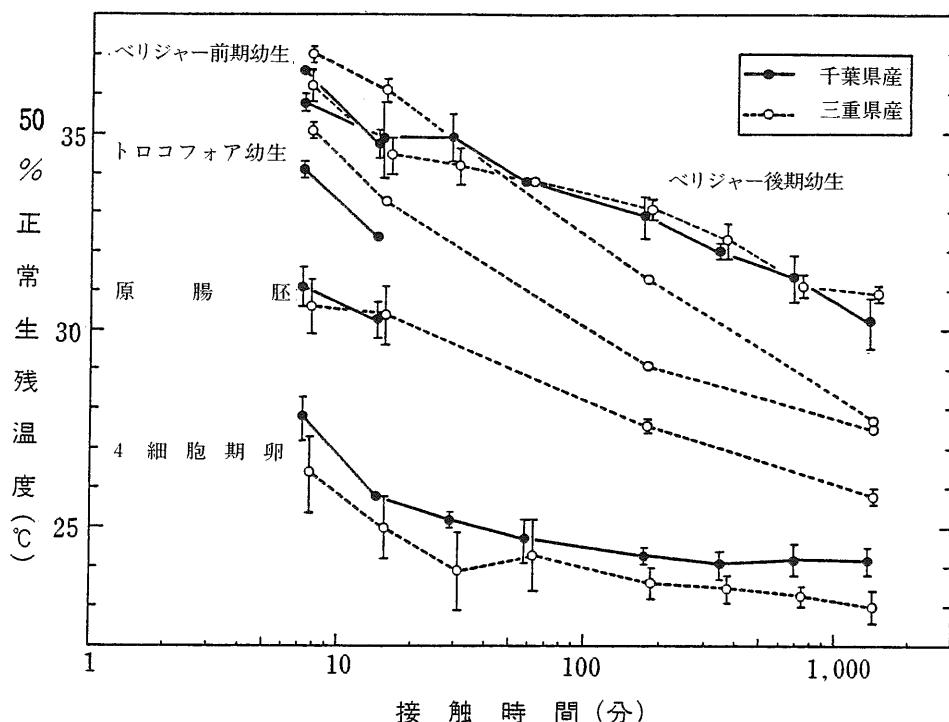
ヤー後期幼生の50%正常生残温度は、接触時間7.5分区で35.8~36.6°C、15分区で34.0~34.9°C、30分区で33.7~34.7°Cと次第に低下し、1,440分区では30.7~31.0°Cとなり、全体的に接触時間が長くなるほど低下した。さらに、4細胞期卵の50%正常生残温度と比較すると、ベリジャー後期幼生の方が全接触温度区を通じて高い値を示し、両者の差は7.3~11.8°Cであった。

原腸胚、トロコフォア幼生、ベリジャー前期幼生の各50%正常生残温度は、接触時間7.5分区ではそれぞれ、29.9~31.3°C、34.9~35.3°C、36.8~37.1°C、15分区では29.6~31.1°C、33.2~33.4°C、35.8~36.4°C、さらに、1,440分区ではそれぞれ、25.6~26.0°C、27.5°C、27.6~27.8°Cであった。いずれの場合も50%正常生残温度は接触時間が長いほど低く、より発育の進んだ段階ほど高かった。

V. 考 察

1. クロアワビの高温耐性

千葉県と三重県を母貝産地とするクロアワビ卵、浮遊幼生に対する各2回の試験より得られた50%正常生残温度の幅と平均値を第3図に示す。



第3図 千葉県産、三重県産クロアワビより得られた卵、浮遊幼生の50%正常生残温度の比較

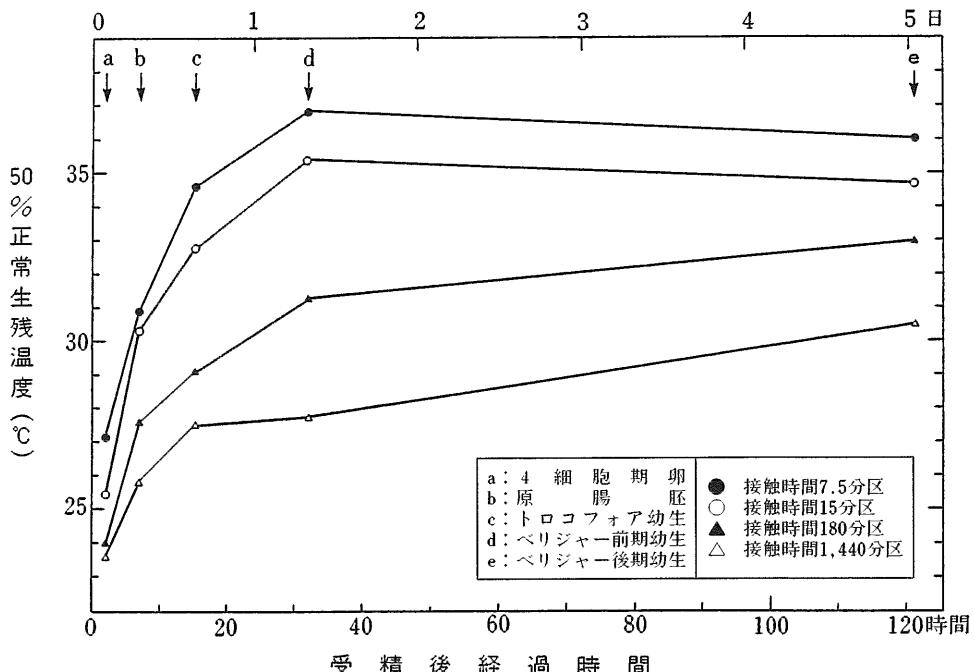
2回の試験による平均値(●, ○)と幅(縦線)で示す。

7.5分区から1,440分区までの8接触時間区を設定した4細胞期卵とベリジャー後期幼生の50%正常生残温度を母貝産地間で比較すると、ベリジャー後期幼生では両産地ともほぼ同一の値と経時変化を示し、高温耐性のうえではほとんど差が認められなかったが、4細胞期卵では平均値で0.4 ~ 1.4°Cの差を示し、いずれの接触時間区も千葉県の方が高かった。また、比較できる接触時間区が7.5分と15分の2区のみに限定されるが、原腸胚からベリジャー前期幼生までの各発育段階の50%正常生残温度は、原腸胚では両産地ともほぼ同程度の値を示したもの、トロコフォア幼生およびベリジャー前期幼生では平

均0.4~1.3°Cの差で三重県の方が高かった。

4細胞期卵が母貝の生理状態等の影響が及びやすい発育段階であること、トロコフォア幼生およびベリジャー前期幼生で比較した接触時間区が2つのみであったこと、および各発育段階を通じて両産地間で50%正常生残温度を比較した場合、それらの高低関係に一貫した規則性が認められなかつたことなどを考慮すれば、高温耐性に母貝産地間に差があるとは断定できないであろう。

前述のとおりクロアワビの高温耐性は発育段階の進行にともなって高くなることが明らかにされた。特に、受精直後の発育段階である4細胞期卵と、本試験で最も発育が進んだベリジャー後期幼生とでは明瞭な差が認められた。2母貝産地、計4回の接触試験によって得られた各接触時間区の50%正常生残温度の平均値を比較すると、その差は6.9~10.0°Cに達した。そこで、発育に伴う高温耐性の上昇過程を検討するために、中間の発育段階である原腸胚、トロコフォア幼生、ベリジャー前期幼生に対する高温接触試験結果も加えて、各発育段階における受精後経過時間と50%正常生残温度の関係を第4図に示す。



第4図 クロアワビ卵、浮遊幼生の発育に伴う50%正常生残温度の変化

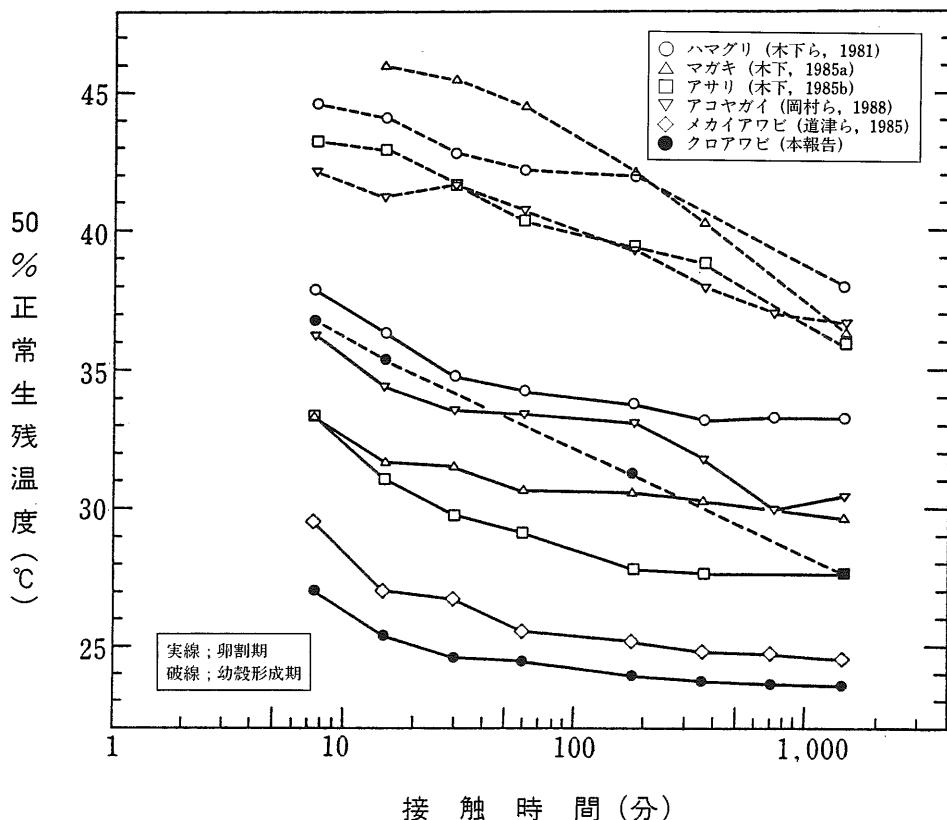
接触時間が7.5, 15分のような短時間の試験区では、クロアワビ卵および浮遊幼生の50%正常生残温度は、受精後30時間以内までの間に急速に上昇し、ベリジャー前期幼生において最も高くなつた。その後の受精後120時間までは、50%正常生残温度はごく僅かながら低下するものの、ほぼ同程度の値を示した。一方、接触時間が180, 1,440分と比較的長時間の50%正常生残温度は、受精後30時間以内の間に、程度は小さいものの、短時間接触の場合と同様に急速に上昇した。しかし、その後の受精後120時間までは、50%正常生残温度はなお緩やかに上昇し、ベリジャー後期幼生において最も高くなつた。従つて、本試験の対象発育段階では、長時間接触に対する高温耐性はベリジャー後期幼生において最も高いレベルに達するといえよう。

金子ら(1976)によれば、クロアワビ8細胞期卵の50%以上の個体が正常に孵化する上限水温は24.5°Cであり、これに対して、本試験では、4細胞期卵、24時間接触の50%正常生残温度の平均値が23.6°Cであった。本試験の方が試験開始発育段階が早く、接触時間が長かったことを考え合わせると、両者の結果はほぼ一致していると考えられる。

道津・木下(1985)によれば、メカイアワビではトロコフォア期卵の接触時間1時間以内における半数致死温度が2~4細胞期卵のそれよりも3~5°C高温であり、卵内発生の進行に伴つて高温耐性が高くなる点ではクロアワビの場合と共通している。

ハマグリ(木下・道津、1981)、マガキ(木下、1985a)、アサリ(木下、1985b)、アコヤガイ(岡村・中村、1988)などの二枚貝類とクロアワビの高温耐性を比較するために、それぞれ数回の試験によって得られた平均50%正常生残温度を第5図に示す。また、高温耐性を50%正常生残温度の絶対値としてではなく、50%正常生残温度と接触試験前の飼育水温との差温(ΔT)で表し、それらの値を第6図に示す。ただし両図では、4細胞期卵(クロアワビ)と8細胞期卵(二枚貝類)の卵割期、ベリジャー前期幼生(クロアワビ)とD型期幼生(二枚貝類)の幼殻形成期の値をそれぞれまとめて表した。また、メカイアワビ(木下・道津、1985)についても2~4細胞期卵の50%正常生残温度を卵割期に含めて比較した。

卵割期および幼殻形成期の両発育段階におけるクロアワビの50%正常生残温度は6種貝類中最低であったが、卵割期ではメカイアワビとの差が0.9~2.5°Cと最も近かつた。クロアワビと他の二枚貝との50%正常生残温度の差は、卵割期で3.9~10.9°C、幼殻形成期で5.4~10.8°Cであった。一方、高温耐性を ΔT で表すと、貝類間の差異は狭くなり、クロアワビの ΔT は、卵割期においてメカイアワビと、幼殻形成期においてアコヤガイ



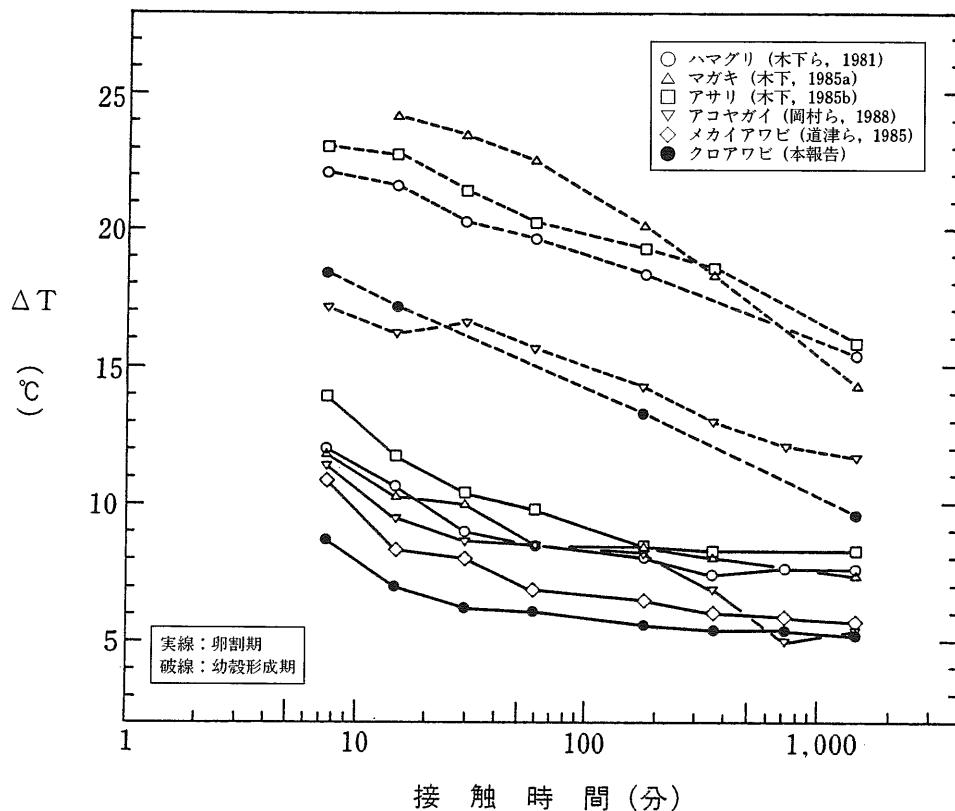
第5図 クロアワビ、メカイアワビおよび二枚貝類4種の各発育段階における
50%正常生残温度の比較

卵割期：4細胞期(クロ), 2~4細胞期(メカイ), 8細胞期(二枚貝類).
幼殻形成期：ベリジャー前期幼生(クロ), D型期幼生(二枚貝類).

とそれぞれ近い値を示した。しかしながら、卵割期の接触時間720~1,440分区と幼殻形成期の7.5~360分区を除き、クロアワビの ΔT が最も小さかった。

以上のように、クロアワビの初期発育段階における高温耐性は他の二枚貝類4種よりも低い傾向にあることが明らかにされ、同類同属のメカイアワビに類似する結果が得られた。

また、クロアワビと同様に先の二枚貝類4種でも発育に伴う50%正常生残温度の変化量が幼殻形成期の前後で顕著に異なるという結果が得られており、幼殻の形成が貝類の初期発育段階における高温耐性の変化過程に大きく関与しているものと示唆される。



第6図 クロアワビ、メカイアワビおよび二枚貝類4種の各発育段階における
 ΔT (50%正常正残温度—飼育水温)の比較

卵割期：4細胞期(クロ), 2~4細胞期(メカイ), 8細胞期(二枚貝類).
幼殻形成期：ベリジャー前期幼生(クロ), D型期幼生(二枚貝類).

2. 発電所取放水影響評価

本試験で得られた結果に基づいて、発電所の取放水による昇温がクロアワビの初期発育段階におよぼす影響について考察を行った。

まず、クロアワビに何ら影響を及ぼさないと考えられる上限温度を推定するため、各試験、各発育段階、各接触時間区ごとに接触温度区と対照区の間で、正常生残率の差の有無について χ^2 検定を行い、対照区と有意差の認められない接触温度区を求めた。それらのうちの最高温度区の温度を推定上限温度とした。

各試験では対照区を発育段階ごとに3～5区設けたが、それらの中で供試個体数が当該接触温度区に最も近い区を検定の対象区とした。また、対象区が複数ある場合には、全ての区と検定を行い、過半数を占める検定結果を採用した。検定結果の詳細を付表1～20の正常生残率の欄に、得られた上限温度を第4表に示す。

第4表 正常生残率より推定したクロアワビ卵および浮遊幼生の上限温度

〔発育段階〕 接觸時間 (分)	推 定 上 限 溫 度 (℃) ^{1, 2)}						平均50% 正 常 生 残 温 度(℃)	平均値 の差温 ³⁾ (℃)
	千葉1回	千葉2回	三重1回	三重2回	平均	標準偏差		
[4 級 胞 期 卵]								
7.5	26.6	24.7	23.4	25.0	24.9	1.14	27.1	2.2
15	25.1	24.8	19.6	23.1	23.2	2.19	25.4	2.2
30	23.5	23.0	19.4	23.2	22.3	1.67	24.6	2.3
60	23.5	23.0	19.5	23.1	22.3	1.61	24.5	2.2
180	23.7	21.1	21.5	21.4	21.9	1.04	24.0	2.1
360	23.7	21.1	19.9	21.6	21.6	1.37	23.8	2.2
720	24.0	22.9	22.0	21.8	22.7	0.87	23.7	1.0
1,440	<24.3	21.6	20.9	21.9	21.5	0.42	23.6	2.1
[原 腸 胚]								
7.5	30.1	28.2	28.8	28.9	29.0	0.69	30.9	1.9
15	30.0	28.0	28.8	26.9	28.4	1.13	30.3	1.9
180	—	—	26.9	24.9	25.9	1.00	27.6	1.7
1,440	—	—	25.1	22.9	24.0	1.10	25.8	1.8
[トロコフォア幼生]								
7.5	33.1	33.4	34.3	34.0	33.7	0.47	34.6	0.9
15	31.6	31.4	32.4	32.2	31.9	0.41	32.8	0.9
180	—	—	28.5	26.5	27.5	1.00	29.1	1.6
1,440	—	—	25.0	26.6	25.8	0.80	27.5	1.7
[ペリジヤー前期幼生]								
7.5	34.5	35.3	36.2	36.0	35.5	0.67	36.8	1.3
15	31.7	33.5	32.4	34.2	33.0	0.97	35.4	2.4
180	—	—	30.5	30.3	30.4	0.10	31.3	0.9
1,440	—	—	26.9	26.6	26.8	0.15	27.7	0.9
[ペリジヤー後期幼生]								
7.5	34.4	34.8	34.3	34.7	34.6	0.21	36.0	1.4
15	32.8	34.8	34.3	32.9	33.7	0.87	34.7	1.0
30	32.8	31.4	32.1	32.7	32.3	0.56	34.6	2.3
60	32.7	33.0	32.0	32.6	32.6	0.36	33.8	1.2
180	32.8	29.8	32.0	32.6	31.8	1.19	33.0	1.2
360	31.2	29.7	31.9	30.9	30.9	0.80	32.1	1.2
720	31.2	26.3	30.1	27.3	28.7	2.00	31.2	2.5
1,440	29.9	28.0	30.1	29.0	29.3	0.83	30.5	1.2

1) 正常生残率で対照区と有意差の認められない最高接触温度区の温度を上限温度として推定した。

2) 千葉1回、千葉2回はそれぞれ千葉県産第1回試験、第2回試験を、三重1回、2回はそれぞれ三重県産第1回試験、第2回試験を示す。

3) 平均50%正常生残温度－平均推定上限温度。

—: 実施しなかった試験区を示す。

連続する接触温度区間の温度差が各試験ごとに異なっており、推定上限温度の標準偏差は最大2.19℃であった。また、上限温度と50%正常生残温度の各平均値の差温は0.9～

2.5°C となり、それらの平均値は1.65°Cであった。

Schubel *et al.*(1978)は、発電所に連行された稚仔魚に影響を及ぼす温度を検討する際に、平衡喪失による捕食の危険性を考慮して、短期高温接触に対する50%致死温度に-2°Cの補正值を適用している。また、EPA(1986)が定めた温度に関する水質基準では、対象水域における重要生物種の50%致死温度に-2°Cの補正值を見込んだ値が基準のひとつとなっている。

本試験において求めた50%正常生残温度は卵、幼生の初期発育段階に対するものであり、厳密には稚仔魚等で求められた50%致死温度と異なる。しかし、上記の通り50%正常生残温度と推定上限温度との差温は平均1.65°Cとなり、Schubel *et al.*やEPAの補正值とほぼ共通することが分かった。そこで、ここでは50%正常生残温度に-2°Cの補正值を適用してクロアワビの初期発育段階の“許容温度”とする。

計4回の試験から得られた卵および浮遊幼生の各接触時間における50%正常生残温度から許容温度を求めて第5表に示す。また、付表21に示した高温接触前の飼育水温(約18°C)を基準水温として、これらの許容温度との差温(許容昇温幅)を求めて第6表に示す。

第5表 クロアワビ卵、浮遊幼生の各接触時間における許容温度¹⁾(平均値±標準偏差)

接觸開始時 の発育段階	接觸時間別許容温度 (°C)							
	7.5	15	30	60	180	360	720	1,440分
4 細胞期卵	25.1 ±1.05	23.4 ±0.70	22.6 ±0.97	22.5 ±0.77	22.0 ±0.47	21.8 ±0.46	21.7 ±0.58	21.6 ±0.69
原腸胚	28.9 ±0.66	28.3 ±0.62	—	—	25.6 ±0.15	—	—	23.8 ±0.20
トロコフォア幼生	32.6 ±0.54	30.8 ±0.48	—	—	27.1 ±0.10	—	—	25.5 ±0.00
ベリジャー前期幼生	34.8 ±0.22	33.4 ±0.75	—	—	29.3 ±0.05	—	—	25.7 ±0.10
ベリジャー後期幼生	34.0 ±0.37	32.7 ±0.77	32.6 ±0.65	31.8 ±0.08	31.0 ±0.44	30.1 ±0.37	29.2 ±0.49	28.5 ±0.59

1)50%正常生残温度-2°C。

—:実施しなかった試験区を示す。

発電所前面に浮遊していたクロアワビの卵や幼生は、冷却用海水とともに発電所施設内に連行される可能性があり、その場合、復水器通過に伴って急激に高温海水へ曝された後、昇温した冷却用海水とともに再び前面海域へ放出される。その後、幼生を含む冷

第6表 クロアワビ卵、浮遊幼生の各接触時間における許容昇温幅¹⁾(平均値±標準偏差)

接觸開始時 の発育段階	接觸時間別許容温度 (°C)							
	7.5	15	30	60	180	360	720	1,440分
4 細胞期卵	6.7 ±1.01	5.0 ±0.72	4.2 ±1.00	4.1 ±0.87	3.6 ±0.51	3.4 ±0.53	3.4 ±0.61	3.2 ±0.71
原 腸 胚	10.7 ±0.65	10.1 ±0.64	—	—	7.4 ±0.10	—	—	5.7 ±0.15
トロコフォア幼生	14.4 ±0.49	12.7 ±0.45	—	—	8.9 ±0.00	—	—	7.3 ±0.10
ペリジャー前期幼生	16.4 ±0.49	15.1 ±0.96	—	—	11.2 ±0.05	—	—	7.6 ±0.10
ペリジャー後期幼生	15.8 ±0.39	14.4 ±0.62	14.5 ±0.56	13.5 ±0.13	12.7 ±0.62	11.9 ±0.53	11.0 ±0.65	10.3 ±0.79

1)許容温度-飼育水温。

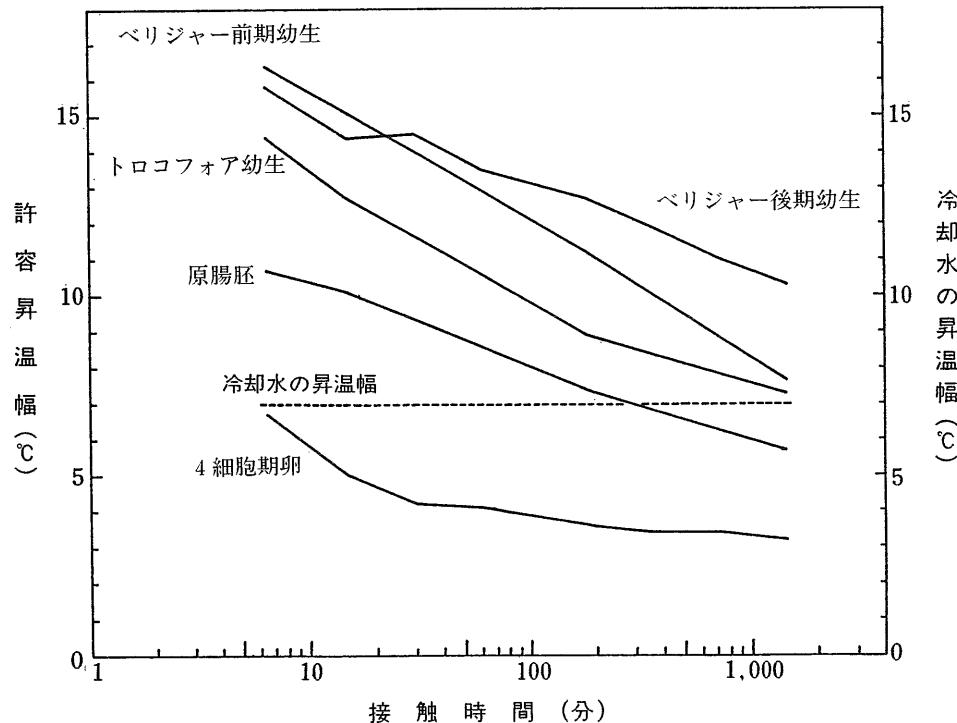
—: 実施しなかった試験区を示す。

却用海水は、周辺海水との混合希釈や大気中への放熱によって、次第に周辺海水との温度差を失っていく。この混合希釈の過程で、発電所を通過しなかった周辺海水中に浮遊しているクロアワビ幼生等も、周辺海水とともに温排水プルーム内へ連行され比較的緩慢な昇温に曝されることになる。

我が国の臨海発電所における冷却水の設計昇温幅は約7°Cであり、施設内通過所要時間は通常15分以内である。また、放水直後には7°Cの昇温幅を保持していた温排水が周辺海水とほぼ等しい水温になるまでに要する時間は、温排水の放出量、放出方式等によつて異なるが、稼動中の大規模発電所の前面海域で当研究所が実測した例では、通常数時間以内であった。

第7図にクロアワビの許容昇温幅(第6表)と冷却水の設計昇温幅(7°C)を示す。

許容昇温幅が設計昇温幅を上回る接觸時間は、原腸胚で約300分以内、トロコフォア幼生以降の各発育段階では少なくとも24時間以内であった。しかし、4胞期卵では最も短い7.5分接觸でも許容昇温幅は7°C以下であった。従つて、通常15分以内である復水器昇温影響に対して、4細胞期卵を除く原腸胚以降の各発育段階は充分な耐性を有している。また、これらの発育段階は7°Cの昇温に対して、最低でも300分間耐忍し得ることから、接觸直後より次第に低下する温排水拡散域内の昇温影響についても特に問題ないと考えられる。



第7図 クロアワビの各発育段階における許容昇温幅と復水器通過時の
冷却水の昇温幅との比較

一般的にクロアワビの産卵水温は20°C前後であり、基準水温を20°Cと仮定すると、クロアワビの許容昇温幅は第6表の値よりも約2°C小さくなり、第7図上では相対的に冷却水の昇温幅が2°C上方へ移動する。しかしながら、そのような場合でも、4細胞期卵を除く原腸胚以降の各発育段階は7°Cの昇温に対して数十分間以上耐忍し得る。

以上を総合して、環境水温を20°C、復水器通過に伴う冷却水の昇温幅を7°Cと仮定した場合のクロアワビの卵および浮遊幼生におよぼす昇温影響を考察すると、受精後まもない4細胞期卵については、昇温影響に対して留意が必要となる可能性があるが、原腸胚以降の各発育段階では、昇温が生残等に悪影響をおよぼす可能性は低いものとなろう。

引　用　文　献

- 道津光生・木下秀明(1985). メカイアワビの卵に及ぼす温度の影響. 海生研報告, No. 85201 : 1-16.
- EPA(Environmental Protection Agency)(1986). *Quality criteria for water*. Office of Water Regulations and Standards, Washington, D.C., 398pp. (PB Rep. PB 87-226759)
- 井上清和・鬼頭 釣・浮 永久・菊地省吾(1986). 高温条件下におけるエゾアワビ, クロアワビ, 交雑アワビの成長と生残. 西海区水研報, (63) : 73-78.
- 金子信一・大場俊男・佐藤秀一・遠山忠次(1976). アワビ属のふ化, 蒼鶴に及ぼす水温の影響について. 千葉水試研報, (35) : 65-77.
- 柏木正章・道津光生・深瀧 弘・古川 厚・千葉強平(1980). 水生生物の温度耐性—I. 卵・稚仔温度反応試験装置の製作. 昭和55年度日本水産学会秋季大会講演要旨集: 104.
- 菊地省吾・浮 永久(1974). アワビ属の採卵技術に関する研究. 第5報 *Haliotis discus Reeve*の性成熟と温度との関係. 東北区水研報, (34) : 77-85.
- 木下秀明・道津光生(1981). 水生生物の温度耐性—II. ハマグリの卵及び稚貝. 昭和56年度日本水産学会秋季大会講演要旨集: 130.
- 木下秀明(1985a). マガキの卵及び浮遊幼生の高温耐性. 海生研報告, No.85203 : 1-43.
- 木下秀明(1985b). アサリの卵・浮遊幼生・稚貝の高温耐性. 海生研報告, No.85204 : 1-38.
- 岡村武志・中村幸雄(1988). アコヤガイの卵・浮遊幼生・付着稚貝の高温耐性. 海生研報告, No.88203 : 1-32.
- Schubel, J.R., Coutant, C.C. and Woodhead, P.M.J.(1978). Thermal effects of entrainment, pp.19-93. In : Schubel, J.R. and Marcy, B.C., Jr.(eds.), Power plant entrainment; A biological assessment. Academic Press, New York.
- 関 哲夫・菅野 尚(1977). エゾアワビの初期発生と水温による発生速度の制御. 東北区水研報, (38) : 143-153.

付表1 千葉県産クロアワビより得られた4細胞期卵に対する高温接触試験結果（第1回試験）

接觸時間 区(分)	接觸温度区 No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	63	50	32							
	7.5	49	69	52	46	40	※	※	※	※	110 60
	15	35	75	35	※	※	※	※	46	63	45
	30	40	42	43	63	※	※	40	35	73	59
	60	120	27	40	38	※	※	※	87	126	54
	180	47	32	94	※	※	※	※	※	※	※
	360	51	47	※	※	※	※	58	97	55	64
	720	62	※	※	※	※	※	49	66	149	79
	1,440	20	※	※	※	※	※	※	※	27	47
接觸温度 (°C)	0	18.4	18.4	18.4							
	7.5	24.0	25.2	26.6	27.9	29.3	30.8	32.1	33.4	34.8	36.2 37.5
	15	23.7	25.1	26.5	27.8	29.2	30.7	32.1	33.4	34.9	36.3 37.7
	30	23.5	25.1	26.5	27.8	29.3	30.6	32.1	33.3	35.0	36.4 37.9
	60	23.5	25.1	26.5	28.0	29.4	30.6	31.9	33.2	34.9	36.4 38.0
	180	23.7	25.1	26.4	27.9	29.2	30.5	31.7	33.2	34.7	36.3 38.0
	360	23.7	25.1	26.4	27.7	29.2	30.4	31.6	33.2	34.5	36.1 37.8
	720	24.0	25.3	26.5	27.8	29.3	30.4	31.7	33.0	34.5	35.8 37.3
	1,440	24.3	25.3	26.6	27.8	29.2	30.4	32.6	33.5	34.4	36.6 37.5
生残率 (%)	0	100	100	100							
	7.5	100	100	100	0	12.5	※	※	※	0	0 0
	15	100	98.7	0	※	※	※	※	0	0	0
	30	100	97.6	0	0	※	※	0	0	0	0
	60	100	100	0	0	※	※	※	0	0	0
	180	100	100	0	※	※	※	※	※	※	※
	360	100	0	※	※	※	※	0	0	0	0
	720	100	※	※	※	※	※	0	0	0	0
	1,440	100	※	※	※	※	※	※	※	0	0
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	96.8	90.0	96.9							
	7.5	91.8	100	92.3 ^{ns}	0**	0	0	0	0	0	0 0
	15	97.1	89.3 ^{ns}	0**	0	0	0	0	0	0	0
	30	100 ^{ns}	69.0 [*]	0	0	※	※	0	0	0	0
	60	98.3 ^{ns}	5.6 ^{**}	0	0	0	0	0	0	0	0
	180	89.4 ^{ns}	8.7 ^{**}	0	0	0	0	0	0	0	0
	360	96.1 ^{ns}	0**	0	0	0	0	0	0	0	0
	720	91.9 ^{ns}	0**	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,440	60.0*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
遊泳状態 ²⁾	0	+	+	+							
	7.5	+	+	+	±	-	-	-	-	-	-
	15	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	30	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	+	±	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	+	±	-	-	-	-	-	-	-	-
	360	+	±	-	-	-	-	-	-	-	-
	720	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,440	±	-	-	-	-	-	-	-	-	-

※：計数、計算不能一原形質の分離等によって個体として計数できなかった。

1) 対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果(ns: p > 0.05, *: p < 0.05, **: p < 0.01で示した。

2) +: ほとんど全ての個体が浮遊、-: 全個体沈降、±: 両者混在。

付表2 千葉県産クロアワビより得られた原腸胚に対する高温接触試験結果（第1回試験）

接觸時間 区(分)	接触温度区 No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	33	37	38							
	7.5	33	58	38	66	51	49	62	53	40	60
	15	56	437	72	54	67	75	113	※	42	57
接觸温度 (°C)	0	18.5	18.5	18.5							
	7.5	23.5	24.7	26.1	27.4	28.7	30.1	31.5	32.8	34.2	35.4
	15	23.2	24.6	26.0	27.3	28.6	30.0	31.5	32.8	34.3	35.5
生残率 (%)	0	100	100	100							
	7.5	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0
	15	98.2	99.5	98.6	100	98.5	100	0	※	0	0
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	100	100	100							
	7.5	100	100	100	95.5	98.0	100 ^{ns}	53.2 ^{**}	0	0	0
	15	98.2	97.0	97.2	98.1	97.0	90.7 ^{ns}	0 ^{**}	0	0	0
遊泳状態 ²⁾	0	+	+	+							
	7.5	+	+	+	+	+	+	±	-	-	-
	15	+	+	+	+	+	±	-	-	-	-

※：計数、計算不能→原形質の分離等によって個体として計数できなかった。

1) 対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果をns: $p>0.05$, *: $p<0.05$, **: $p<0.01$ で示した。

2) +: ほとんど全ての個体が浮遊、-: 全個体沈降、±: 両者混在。

付表3 千葉県産クロアワビより得られたトロコフォア幼生に対する高温接触試験結果
(第1回試験)

接觸時間 区(分)	接触温度区 No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	62	113	92							
	7.5	74	57	38	68	52	61	71	81	※	※
	15	81	74	77	90	67	86	84	63	※	※
接觸温度 (°C)	0	18.3	18.3	18.3							
	7.5	23.4	24.9	26.2	27.6	29.0	30.2	31.7	33.1	34.8	36.2
	15	23.4	24.9	26.2	27.7	29.1	30.2	31.6	33.0	34.6	36.2
生残率 (%)	0	100	100	100							
	7.5	100	100	100	100	100	100	100	100	※	※
	15	100	100	100	100	100	100	100	0	※	※
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	100	100	97.8							
	7.5	100	96.5	97.4	98.5	100	98.4	100	95.1 ^{ns}	0 ^{**}	0
	15	100	100	100	100	100	97.7	96.4 ^{ns}	0 ^{**}	0	0
遊泳状態 ²⁾	0	+	+	+							
	7.5	+	+	+	+	+	+	+	+	±	-
	15	+	+	+	+	+	+	±	-	-	-

※：計数、計算不能→原形質の分離等によって個体として計数できなかった。

1) 対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果をns: $p>0.05$, *: $p<0.05$, **: $p<0.01$ で示した。

2) +: ほとんど全ての個体が浮遊、-: 全個体沈降、±: 両者混在。

付表4 千葉県産クロアワビより得られたベリジャー前期幼生に対する高温接触試験結果
(第1回試験)

接觸時間 区(分)	接触温度区 No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	46	65	38							
	7.5	74	112	92	27	57	51	36	58	63	62
	15	42	107	81	45	27	71	60	60	61	40
接觸温度 (°C)	0	18.4	18.4	18.4							
	7.5	23.4	24.7	25.9	27.3	28.8	30.4	31.7	33.1	34.5	36.0
	15	23.1	24.5	25.8	27.3	28.7	30.3	31.7	33.1	34.6	36.1
生残率 (%)	0	100	100	100							
	7.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
	15	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	100	100	100							
	7.5	100	98.2	94.6	88.9	94.7	92.2	88.9	93.1	96.8 ^{ns}	79.0 ^{**}
	15	95.2	93.5	96.3	84.4	96.3	94.4	96.7 ^{ns}	81.7 ^{**}	78.7	0

1)対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果をns:p>0.05, *:p<0.05, **:p<0.01で示した。

付表5 千葉県産クロアワビより得られたベリジャー後期幼生に対する高温接触試験結果
(第1回試験)

接觸時間 区(分)	接触温度区 No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	26	14	27							
	7.5	41	30	45	29	47	22	26	30	34	26
	15	45	46	32	29	43	47	39	27	36	26
	30	37	34	36	21	28	31	31	30	27	23
	60	46	44	38	39	30	21	49	33	35	34
	180	28	20	35	31	31	44	37	33	18	33
	360	60	28	19	33	36	16	35	22	29	51
	720	32	42	33	27	21	21	31	13	29	38
	1,440	34	28	35	19	49	28	34	33	31	39
接觸温度 (°C)	0	18.4	18.4	18.4							
	7.5	23.1	24.4	25.8	27.1	28.6	30.1	31.5	32.8	34.4	35.9
	15	22.9	24.2	25.7	27.0	28.5	30.0	31.5	32.8	34.4	36.0
	30	22.8	24.3	25.7	27.1	28.6	29.9	31.4	32.8	34.5	36.1
	60	22.8	24.4	25.7	27.3	28.7	29.9	31.3	32.7	34.5	36.1
	180	22.9	24.3	25.7	27.2	28.6	30.0	31.3	32.8	34.3	36.1
	360	23.0	24.4	25.8	27.1	28.6	29.8	31.2	32.8	34.2	35.8
	720	23.1	24.5	25.7	27.2	28.6	29.8	31.2	32.6	34.1	35.5
	1,440	23.5	24.5	25.8	27.2	28.6	29.9	31.3	32.6	34.0	35.4
生残率 (%)	0	96.2	100	96.3							
	7.5	100	100	100	100	100	95.5	100	100	100	97.1
	15	100	100	100	96.6	100	100	100	100	97.2	100
	30	97.3	91.2	100.0	95.2	92.9	100	100	100	100	65.2
	60	100	97.7	92.1	100	100	95.2	98.0	97.0	88.6	2.9
	180	100	100	100	96.8	100	97.7	100	100	0	0
	360	96.7	96.4	100	100	100	97.1	90.9	0	0	0
	720	93.7	97.6	97.0	96.3	100	95.2	96.8	46.2	0	0
	1,440	97.1	100	100	93.9	92.9	70.6	6.1	0	0	0
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	96.2	100	96.3							
	7.5	100	100	97.8	100	100	95.5	100	100	100 ^{ns}	38.5** 0
	15	100	97.8	100	96.6	95.3	100	100	92.6 ^{ns}	30.6** 34.6	0
	30	91.9	91.2	97.2	95.2	92.9	100	100	100 ^{ns}	44.4** 0	0
	60	100	97.7	92.1	100	100	95.2	93.9	90.9 ^{ns}	17.1** 0	0
	180	100	95.0	100	93.5	96.8	95.5	94.6	81.8 ^{ns}	0** 0	0
	360	96.7	96.4	100	97.0	100	93.7	91.4 ^{ns}	22.7** 0	0	0
	720	87.5	95.2	93.9	92.6	95.2	95.2	93.5 ^{ns}	0** 0	0	0
	1,440	91.7	96.4	100	100	87.8	78.6 ^{ns}	32.4** 0	0	0	0

1) 対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果をns: p>0.05, *: p<0.05, **: p<0.01で示した。

付表6 千葉県産クロアワビより得られた4細胞期卵に対する高温接触試験結果(第2回試験)

接觸時間 区(分)	接触温度区 No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	61	75	63							
	7.5	59	57	45	62	43	36	※	※	※	36
	15	52	59	69	58	37	34	※	※	54	56
	30	28	62	52	56	31	34	※	※	49	56
	60	60	52	63	55	※	※	※	33	63	41
	180	43	54	71	44	54	※	34	57	53	54
	360	63	65	60	43	※	※	60	55	59	55
	720	67	67	57	※	※	※	71	51	54	50
	1,440	67	53	63	※	※	※	※	※	※	35
接觸温度 (°C)	0	18.4	18.4	18.4							
	7.5	19.4	21.3	23.0	24.7	26.6	28.5	30.2	31.9	33.7	35.5
	15	19.2	21.1	22.9	24.8	26.6	28.4	30.2	31.9	33.7	35.6
	30	19.0	21.1	23.0	24.8	26.6	28.3	30.2	31.9	33.9	35.7
	60	19.1	21.1	23.0	24.9	26.7	28.3	30.0	31.7	33.8	35.7
	180	19.2	21.1	22.9	24.8	26.6	28.3	29.9	31.7	33.5	35.6
	360	19.3	21.1	22.8	24.6	26.4	28.0	29.7	31.6	33.2	35.2
	720	19.6	21.4	22.9	24.8	26.5	28.1	29.8	31.4	33.2	34.9
	1,440	20.3	21.6	23.2	24.9	26.7	28.3	29.9	31.5	33.2	34.7
生残率 (%)	0	100	100	98.4							
	7.5	100	100	100	100	100	0	※	※	※	0
	15	100	100	100	100	100	0	※	※	0	0
	30	100	100	100	91.1	0	0	※	※	0	0
	60	100	100	100	100	※	※	※	0	0	0
	180	100	100	100	100	0	※	0	0	0	0
	360	100	100	100	100	※	※	0	0	0	0
	720	100	100	98.2	※	※	※	0	0	0	0
	1,440	100	98.1	100	※	※	※	※	※	※	0
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	98.4	100	96.8							
	7.5	100	96.5	100	98.4 ^{ns}	74.4 ^{**}	47.2	0	0	0	0
	15	100	100	94.2	93.1 ^{ns}	21.6 ^{**}	0	0	0	0	0
	30	96.4	98.4	96.2 ^{ns}	57.1 ^{**}	0	0	0	0	0	0
	60	88.3	94.2	96.8 ^{ns}	18.2 ^{**}	0	0	0	0	0	0
	180	97.7	94.4 ^{ns}	91.5 [*]	25.0 ^{**}	0	0	0	0	0	0
	360	100	95.4 ^{ns}	86.7 [*]	11.6 ^{**}	0	0	0	0	0	0
	720	98.5	100	91.2 ^{ns}	0 ^{**}	0	0	0	0	0	0
	1,440	98.5	98.1 ^{ns}	79.4 ^{**}	0	0	0	0	0	0	0
遊泳状態 ²⁾	0	+	+	+							
	7.5	+	+	+	+	+	±	—	—	—	—
	15	+	+	+	+	±	—	—	—	—	—
	30	+	+	+	±	—	—	—	—	—	—
	60	+	+	+	±	—	—	—	—	—	—
	180	+	+	+	±	—	—	—	—	—	—
	360	+	+	±	—	—	—	—	—	—	—
	720	+	+	±	—	—	—	—	—	—	—
	1,440	+	±	—	—	—	—	—	—	—	—

※：計数、計算不能→原形質の分離等によって個体として計数できなかった。

1)対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果をns: p>0.05, *: p<0.05, **: p<0.01で示した。

2) +: ほとんど全ての個体が浮遊, -: 全個体沈降, ±: 両者混在。

付表7 千葉県産クロアワビより得られた原腸胚に対する高温接触試験結果（第2回試験）

接觸時間 区(分)	接觸溫度区 No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	41	42	37							
	7.5	17	32	51	36	55	37	31	54	34	※ 43
	15	37	39	28	34	35	36	28	40	※ 38	46
接觸溫度 (°C)	0	18.4	18.4	18.4							
	7.5	19.3	21.0	22.7	24.4	26.3	28.2	29.9	31.6	33.4	35.3 36.9
	15	18.9	20.9	22.6	24.5	26.3	28.0	29.9	31.6	33.6	35.5 37.4
生残率 (%)	0	100	100	100							
	7.5	100	100	100	100	100	100	100	0	0	※ 0 0
	15	100	100	100	100	100	100	100	0	※ 0	0 0
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	100	100	100							
	7.5	100	100	100	100	96.4	100 ^{ns}	83.9*	0**	0	0 0
	15	100	100	94.1	100	100 ^{ns}	46.4**	0	0	0	0 0
遊泳状態 ²⁾	0	+	+	+							
	7.5	+	+	+	+	+	+	+	±	—	—
	15	+	+	+	+	+	±	—	—	—	—

※：計数、計算不能→原形質の分離等によって個体として計数できなかった。

1)対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果をns: p>0.05, *: p<0.05, **: p<0.01で示した。

2)+：ほとんど全ての個体が浮遊、-：全個体沈降、±：両者混在。

付表8 千葉県産クロアワビより得られたトロコフォア幼生に対する高温接触試験結果
(第2回試験)

接觸時間 区(分)	接觸溫度区 No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	88	113	99							
	7.5	112	165	181	97	101	191	137	155	146	109
	15	98	126	91	117	74	103	98	108	77	※ ※
接觸溫度 (°C)	0	18.3	18.3	18.3							
	7.5	18.6	20.6	22.3	24.2	26.1	27.7	29.5	31.3	33.4	35.3 37.4
	15	18.6	20.6	22.4	24.3	26.1	27.7	29.5	31.4	33.4	35.4 37.5
生残率 (%)	0	100	100	100							
	7.5	100	100	100	100	100	100	100	100	99.3	0
	15	98.0	96.8	100	100	100	100	100	100	33.8	※ ※
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	96.6	97.3	94.9							
	7.5	98.2	97.6	100	97.9	100	100	100	98.7	96.6 ^{ns}	0** 0
	15	94.9	94.4	95.6	98.3	100	100	99.0	98.1 ^{ns}	0** 0	0 0
遊泳状態 ²⁾	0	+	+	+							
	7.5	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—
	15	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—

※：計数、計算不能→原形質の分離等によって個体として計数できなかった。

1)対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果をns: p>0.05, *: p<0.05, **: p<0.01で示した。

2)+：ほとんど全ての個体が浮遊、-：全個体沈降、±：両者混在。

付表9 千葉県産クロアワビより得られたベリジヤー前期幼生に対する高温接触試験結果
(第2回試験)

	接觸時間 区(分)	接觸溫度区No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	45	30	56								
	7.5	61	44	52	70	51	51	99	49	64	50	52
	15	38	71	38	36	76	55	39	44	81	51	61
接觸溫度 (°C)	0	18.5	18.5	18.5								
	7.5	19.1	20.9	22.6	24.3	26.3	28.1	29.8	31.6	33.4	35.3	36.9
	15	18.8	20.7	22.5	24.3	26.1	28.0	29.8	31.5	33.5	35.4	37.2
生残率 (%)	0	100	100	100								
	7.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98.4
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	88.9	83.3	82.1								
	7.5	86.9	93.2	90.4	95.7	92.2	98.0	92.9	98.0	96.9	88.0 ^{ns}	44.2 ^{**}
	15	86.8	94.4	92.1	93.3	94.2	89.1	89.7	77.3	90.1 ^{ns}	7.8	***0

1)対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果をns:p>0.05, *:p<0.05, **:p<0.01で示した。

付表10 千葉県産クロアワビより得られたベリジヤー後期幼生に対する高温接触試験結果
(第2回試験)

	接触時間 区(分)	接 触 溫 度 区 No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	50	44	44								
	7.5	41	35	39	39	28	21	43	38	41	59	54
	15	44	29	38	40	76	69	62	32	88	88	74
	30	27	61	27	26	29	30	22	39	93	34	44
	60	35	52	48	42	35	37	54	62	35	32	48
	180	43	59	35	42	24	26	26	29	28	19	27
	360	40	40	27	18	28	18	79	230	72	84	74
	720	54	32	27	20	41	73	28	80	58	46	41
	1,440	24	52	22	29	34	89	52	66	68	43	65
接觸温度 (°C)	0	18.3	18.3	18.3								
	7.5	23.2	24.9	26.4	28.0	29.8	31.5	33.2	34.8	36.6	38.4	39.9
	15	22.9	24.7	26.3	27.9	29.7	31.4	33.2	34.8	36.6	38.5	40.3
	30	22.8	24.7	26.4	28.1	29.8	31.4	33.2	34.8	36.7	38.6	40.4
	60	22.9	24.8	26.4	28.3	29.9	31.4	33.0	34.8	36.7	38.6	40.7
	180	23.0	24.8	26.4	28.2	29.8	31.4	32.9	34.7	36.4	38.5	40.6
	360	23.1	24.8	26.3	27.9	29.7	31.1	32.7	34.5	36.1	38.0	40.1
	720	23.4	24.5	26.3	28.0	29.6	31.0	32.6	34.3	36.0	37.6	39.5
	1,440	23.7	24.9	26.4	28.0	29.6	31.1	32.7	34.2	35.8	37.4	39.0
生残率 (%)	0	100	100	100								
	7.5	100	100	100	100	100	100	100	95.1	91.5	0	
	15	97.7	100	100	100	100	98.6	100	90.6	98.9	89.8	0
	30	96.3	98.4	100	84.6	96.6	96.7	100	100	40.9	0	0
	60	100	100	100	100	97.1	100	100	100	0	0	0
	180	100	96.6	100	100	100	100	0	0	0	0	
	360	100	100	100	100	96.4	94.4	100	0	0	0	
	720	100	96.9	100	90.0	100	91.8	7.1	0	0	0	
	1,440	100	100	100	96.6	100	52.8	1.9	0	0	0	
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	94.0	95.5	93.2								
	7.5	87.8	91.4	100	92.3	100	95.2	93.0	81.6 ^{ns}	31.7 ^{**}	0	0
	15	93.2	93.1	94.7	90.0	92.1	94.2	77.4	78.1 ^{ns}	27.3 ^{**}	0	0
	30	88.9	86.9	85.2	80.8	89.7	86.7 ^{ns}	72.7 [*]	76.9 [*]	0 ^{**}	0	0
	60	94.3	92.3	93.7	88.1	85.7	89.2	83.3 ^{ns}	16.1 ^{**}	0	0	0
	180	93.0	84.7	88.6	85.7	91.7 ^{ns}	69.2 ^{**}	38.5	0	0	0	
	360	92.5	95.0	100	83.3	92.9 ^{ns}	61.1 ^{**}	34.2	0	0	0	
	720	96.3	90.6	88.9 ^{ns}	70.0 [*]	73.2 [*]	42.5 ^{**}	0	0	0	0	
	1,440	100	90.4	81.8	82.8 ^{ns}	47.1 ^{**}	0	0	0	0	0	

1) 対照区(接触時間0分区)に対する検定結果をns : p>0.05, * : p<0.05, ** : p<0.01で示した。

付表11 三重県産クロアワビより得られた4細胞期卵に対する高温接触試験結果(第1回試験)

接觸時間 区(分)	接觸溫度区No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	113	53	85	54						
	7.5	65	102	45	22	24	35	48	27	55	142
	15	47	44	62	34	109	56	91	44	86	90
	30	115	108	119	63	40	112	81	64	78	80
	60	61	69	80	84	55	72	62	125	81	60
	180	66	74	102	117	※	※	※	89	29	92
	360	84	93	74	※	※	※	81	109	54	122
	720	122	111	72	※	※	※	106	170	82	40
	1,440	79	58	38	*	*	*	108	81	37	132
接觸溫度 (°C)	0	17.9	17.9	17.9	17.9						
	7.5	19.9	21.7	23.4	25.1	27.0	28.9	30.7	32.4	34.8	36.2
	15	19.6	21.6	23.3	25.1	27.0	28.9	30.7	32.5	34.4	36.4
	30	19.4	21.5	23.3	25.2	27.0	28.7	30.7	32.4	34.5	36.5
	60	19.5	21.5	23.3	25.3	27.0	28.7	30.5	32.3	34.5	36.5
	180	19.7	21.5	23.2	25.1	26.9	28.6	30.4	32.3	34.2	36.5
	360	19.9	21.7	23.4	25.1	27.0	28.6	30.3	32.3	34.1	36.1
	720	20.4	22.0	23.5	25.2	27.0	28.7	30.4	32.2	34.0	35.8
	1,440	20.9	22.1	23.7	25.3	27.1	28.7	30.4	32.0	33.9	35.6
生残率 (%)	0	99.1	100	98.8	100						
	7.5	96.9	100	100	52.4	37.5	0	0	0	0	0
	15	100	100	100	17.6	3.7	0	0	0	0	0
	30	99.1	99.1	38.7	15.9	0	0	0	0	0	0
	60	98.4	100	52.5	1.2	0	0	0	0	0	0
	180	100	100	50.0	0	※	※	※	0	0	0
	360	98.8	100	43.2	※	※	※	0	0	0	0
	720	100	100	27.8	※	※	※	0	0	0	0
	1,440	100	72.4	5.3	※	※	※	0	0	0	0
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	96.5	100	96.5	100						
	7.5	93.8	96.1	93.3 ^{ns}	52.4 ^{**}	37.5	0	0	0	0	0
	15	97.9 ^{ns}	88.6	79.0 ^{**}	17.6	1.8	0	0	0	0	0
	30	97.4 ^{ns}	88.9*	38.7 ^{**}	15.9	0	0	0	0	0	0
	60	98.4 ^{ns}	92.8*	52.5 ^{**}	1.2	0	0	0	0	0	0
	180	90.9	94.6 ^{ns}	50.0 ^{**}	0	0	0	0	0	0	0
	360	92.9 ^{ns}	88.2*	43.2 ^{**}	0	0	0	0	0	0	0
	720	94.3	91.0 ^{ns}	27.8 ^{**}	0	0	0	0	0	0	0
	1,440	100 ^{ns}	72.4 ^{**}	5.3	0	0	0	0	0	0	0
遊泳状態 ²⁾	0	+	+	+	+						
	7.5	+	+	+	±	±	—	—	—	—	—
	15	+	+	+	±	—	—	—	—	—	—
	30	+	+	±	—	—	—	—	—	—	—
	60	+	+	±	—	—	—	—	—	—	—
	180	+	+	±	—	—	—	—	—	—	—
	360	+	+	±	—	—	—	—	—	—	—
	720	+	±	±	—	—	—	—	—	—	—
	1,440	+	±	—	—	—	—	—	—	—	—

※：計数、計算不能→原形質の分離等によって個体として計数できなかった。

1) 対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果をns: p>0.05, *: p<0.05, **: p<0.01で示した。

2) +: ほとんど全ての個体が浮遊, -: 全個体沈降, ±: 両者混在。

付表12 三重県産クロアワビより得られた原腸胚に対する高温接触試験結果（第1回試験）

接觸時間 区(分)	接觸溫度区No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	42	35	55	43	36					
	7.5	54	36	42	33	58	47	49	37	※	39
	15	36	38	57	62	62	48	43	32	33	69
	180	49	57	64	49	48	68	※	49	67	96
	1,440	82	42	56	59	74	54	※	※	※	50
接觸溫度 (°C)	0	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9					
	7.5	19.8	21.6	23.3	25.0	26.9	28.8	30.6	32.3	34.2	36.2
	15	19.5	21.5	23.2	25.0	26.9	28.8	30.6	32.4	34.4	36.4
	180	19.3	21.4	23.2	25.0	26.9	28.6	30.6	32.3	34.5	36.5
	1,440	19.4	21.4	23.1	25.1	26.9	28.5	30.4	32.2	34.4	36.5
生残率 (%)	0	100	100	100	100	100					
	7.5	96.3	100	100	100	97.9	28.6	0	0	0	0
	15	100	100	100	100	97.9	0	0	0	0	0
	180	100	100	100	100	97.9	29.4	※	0	0	0
	1,440	100	100	100	98.3	4.1	0	0	0	0	0
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	97.6	88.6	92.7	97.7	94.4					
	7.5	88.9	91.7	97.6	90.9	98.3	85.1 ^{ns}	28.6 ^{**}	0	0	0
	15	100	89.5	91.2	93.5	91.9	87.5 ^{ns}	0 ^{**}	0	0	0
	180	89.8	93.0	92.2	89.8	91.7 ^{ns}	0 ^{**}	0	0	0	0
	1,440	93.9	92.9	100	91.5 ^{ns}	4.1 ^{**}					
遊泳状態 ²⁾	0	+	+	+	+	+					
	7.5	+	+	+	+	+	±	±	—	—	—
	15	+	+	+	+	+	±	—	—	—	—
	180	+	+	+	+	±	±	—	—	—	—
	1,440	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—

※：計数、計算不能→原形質の分離等によって個体として計数できなかった。

1) 対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果をns: p>0.05, *: p<0.05, **: p<0.01で示した。

2) +: ほとんど全ての個体が浮遊, -: 全個体沈降, ±: 両者混在。

付表13 三重県産クロアワビより得られたトロコフォア幼生に対する高温接触試験結果
(第1回試験)

	接觸時間 区(分)	接触温度区 No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	52	40	32	20	29						
	7.5	39	51	36	32	36	70	37	66	27	44	※
	15	37	19	21	32	18	37	31	35	19	※	※
	180	34	45	51	39	69	23	38	※	※	※	※
	1,440	43	107	46	72	63	62	※	※	※	※	※
接觸温度 (°C)	0	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9						
	7.5	19.8	21.6	23.3	24.9	26.9	28.8	30.6	32.3	34.3	36.2	38.2
	15	19.5	21.5	23.2	24.9	26.8	28.7	30.6	32.4	34.4	36.4	38.4
	180	19.3	21.3	23.1	24.9	26.8	28.5	30.5	32.2	34.4	36.5	38.6
	1,440	19.6	21.4	23.1	25.0	26.8	28.5	30.3	32.2	34.2	36.4	38.7
生残率 (%)	0	100	100	100	100	100						
	7.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0
	15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	※	0
	180	100	100	100	100	100	84.2	0	0	0	0	0
	1,440	100	100	100	100	100	82.3	0	0	0	0	0
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	100	100	100	100	100						
	7.5	100	98.0	100	93.7	100	100	100	100	100 ^{ns}	0**	0
	15	100	100	100	100	100	100	100	97.1 ^{ns}	0**	0	0
	180	100	100	100	100	100	78.3 ^{ns}	0**	0	0	0	0
	1,440	100	100	100	98.6 ^{ns}	82.5 ^{**}	0	0	0	0	0	0
遊泳状態 ²⁾	0	+	+	+	+	+						
	7.5	+	+	+	+	+	+	+	+	±	-	-
	15	+	+	+	+	+	+	+	±	-	-	-
	180	+	+	+	+	+	±	-	-	-	-	-
	1,440	+	+	+	±	±	-	-	-	-	-	-

※：計数、計算不能→原形質の分離等によって個体として計数できなかった。

1)対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果をns: p>0.05, *: p<0.05, **: p<0.01で示した。

2)+:ほとんど全ての個体が浮遊、-:全個体沈降、±:两者混在。

付表14 三重県産クロアワビより得られたベリジャー前期幼生に対する高温接触試験結果
(第1回試験)

接觸時間 区(分)	接触温度区 No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	26	36	59	40	37					
	7.5	45	36	67	75	109	108	72	86	62	59
	15	89	53	51	60	31	45	79	57	56	48
	180	41	25	44	27	69	71	61	37	47	55
	1,440	56	33	68	43	47	61	59	64	46	39
接觸温度 (°C)	0	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9					
	7.5	19.7	21.5	23.3	24.9	26.9	28.7	30.6	32.3	34.3	36.2
	15	19.4	21.4	23.2	24.9	26.8	28.7	30.6	32.4	34.4	36.4
	180	19.3	21.3	23.1	24.9	26.8	28.5	30.5	32.2	34.4	36.5
	1,440	19.8	21.6	23.2	25.0	26.9	28.5	30.2	32.3	34.0	36.1
生残率 (%)	0	100	100	100	100	100					
	7.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	70.0
	180	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0
	1,440	100	100	98.5	100	100	98.2	94.9	0	0	0
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	92.3	91.7	93.2	90.0	91.9					
	7.5	97.8	100	97.0	100	98.2	97.2	100	96.5	98.4	93.2 ^{ns} 1.6 ^{**}
	15	96.6	94.3	94.1	96.7	100	95.6	93.7	98.2 ^{ns} 80.4 [*]	50.0 ^{**}	0
	180	92.7	92.0	95.5	92.6	97.1	93.0	83.6 ^{ns} 16.2 ^{**}	0	0	0
	1,440	98.2	90.9	94.1	95.3	93.6 ^{ns} 16.4 ^{**}	3.4	0	0	0	0
遊泳状態 ²⁾	0	+	+	+	+	+					
	7.5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
	15	+	+	+	+	+	+	+	+	±	-
	180	+	+	+	+	+	+	±	-	-	-
	1,440	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-

1) 対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果をns: p>0.05, *: p<0.05, **: p<0.01で示した。

2) +: ほとんど全ての個体が浮遊, -: 全個体沈降, ±: 両者混在。

付表15 三重県産クロアワビより得られたベリジャー後期幼生に対する高温接触試験結果
(第1回試験)

供試個体数	接触時間 区(分)	接 触 溫 度 区 No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	41	20	32	78	48							
7.5	17	26	14	30	19	10	34	35	23	40	58	
15	28	19	10	101	69	81	27	65	21	37	27	
30	82	56	109	76	65	64	50	78	37	58	67	
60	33	87	46	64	114	68	43	77	47	69	65	
180	35	51	76	111	63	60	50	41	32	21	54	
360	73	45	50	59	42	53	41	54	46	50	61	
720	108	89	115	84	65	76	34	53	39	14	43	
1,440	171	88	84	58	55	43	49	35	51	70	33	
接 温 度 (°C)	0	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9						
7.5	22.4	24.4	26.3	28.2	30.3	32.3	34.3	36.2	38.3	40.4	42.4	
15	22.0	24.3	26.2	28.1	30.2	32.3	34.3	36.2	38.4	40.6	42.7	
30	21.8	24.1	26.1	28.2	30.2	32.1	34.2	36.1	38.4	40.6	42.8	
60	21.8	24.1	26.0	28.2	30.2	32.0	34.0	36.0	38.3	40.6	42.9	
180	22.0	24.0	26.0	28.1	30.1	32.0	33.9	36.0	38.1	40.4	42.8	
360	22.2	24.2	26.1	28.0	30.1	31.9	33.8	35.9	37.9	40.1	42.4	
720	22.6	24.4	26.2	28.0	30.1	31.9	33.8	35.7	37.8	39.7	41.9	
1,440	23.1	24.6	26.3	28.1	30.1	31.9	33.8	35.6	37.6	39.5	41.4	
生 残 率 (%)	0	95.1	95.0	93.7	93.6	93.7						
7.5	100	100	100	93.3	100	80.0	100	100	82.6	0	0	
15	100	94.7	100	97.0	98.6	97.5	100	26.2	0	0	0	
30	93.9	91.1	99.1	96.1	95.4	98.4	90.0	0	0	0	0	
60	93.9	87.4	89.1	95.3	98.2	98.5	95.3	0	0	0	0	
180	97.1	96.1	97.4	96.4	100	98.3	50.0	0	0	0	0	
360	97.3	88.9	100	39.8	97.6	92.5	2.4	1.9	2.2	2.0	6.6	
720	91.7	89.9	97.4	95.2	98.5	97.4	0	0	0	0	0	
1,440	92.4	96.6	84.5	91.4	100	0	0	0	0	0	0	
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	87.8	95.0	78.1	84.6	85.4						
7.5	82.4	88.5	100	86.7	94.7	70.0	79.4 ^{ns}	42.9 ^{**}	0	0	0	
15	89.3	84.2	80.0	88.1	92.8	90.1	74.1 ^{ns}	0 ^{**}	0	0	0	
30	86.6	78.6	90.8	88.2	86.2	95.3 ^{ns}	66.0 [*]	0 ^{**}	0	0	0	
60	90.9	72.4	71.7	85.9	87.7	91.2 ^{ns}	41.9 ^{**}	0	0	0	0	
180	91.4	78.4	82.9	94.6	93.7	83.3 ^{ns}	0 ^{**}	0	0	0	0	
360	87.7	86.7	92.0	81.4	85.7	83.0 ^{ns}	0 ^{**}	0	0	0	0	
720	80.6	86.5	89.6	90.5	89.2 ^{ns}	35.5 ^{**}	0	0	0	0	0	
1,440	82.5	83.0	76.2	74.1	98.2 ^{ns}	0 ^{**}	0	0	0	0	0	

1)対照区(接触時間 0 分区)に対する検定結果をns: P > 0.05, *: P < 0.05, **: P < 0.01で示した。

付表16 三重県産クロアワビより得られた4細胞期卵に対する高温接触試験結果(第2回試験)

接觸時間 区(分)	接觸溫度区 No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	99	96	55	135	111					
	7.5	95	61	106	62	65	92	68	101	※	129
	15	107	75	88	43	53	50	82	※	68	83
	30	128	46	35	49	57	48	55	※	42	41
	60	131	91	89	115	113	※	※	98	36	103
	180	81	76	60	66	99	※	81	118	87	109
	360	110	40	67	41	※	※	28	89	68	96
	720	47	133	77	45	※	※	114	49	59	58
	1,440	92	53	74	73	※	※	105	73	71	56
接觸溫度 (°C)	0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0					
	7.5	19.7	21.5	23.2	25.0	27.0	28.9	30.6	32.4	34.3	36.3
	15	19.4	21.4	23.1	25.0	26.9	28.9	30.7	32.5	34.5	36.5
	30	19.3	21.3	23.2	25.0	26.9	28.7	30.6	32.3	34.5	36.5
	60	19.3	21.3	23.1	25.1	26.9	28.5	30.4	32.3	34.4	36.4
	180	19.5	21.4	23.1	25.1	26.9	28.6	30.4	32.3	34.2	36.4
	360	19.8	21.6	23.3	25.1	27.0	28.6	30.4	32.3	34.1	36.1
	720	20.2	21.8	23.4	25.0	26.9	28.6	30.3	32.1	33.9	35.7
	1,440	20.6	21.9	23.5	25.1	26.9	28.5	30.2	31.8	33.7	35.4
生残率 (%)	0	100	100	100	100	100					
	7.5	97.9	100	99.1	98.4	100	13.0	0	0	※	0
	15	99.1	100	100	100	5.7	0	0	※	0	0
	30	99.2	100	100	100	0	0	0	※	0	0
	60	100	100	100	52.2	0	※	※	0	0	0
	180	100	100	100	10.6	0	※	0	0	0	0
	360	100	100	100	2.4	※	※	0	0	0	0
	720	100	100	51.9	0	※	※	0	0	0	0
	1,440	100	100	46.9	0	※	※	0	0	0	0
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	91.9	92.4	94.5	92.6	94.6					
	7.5	92.6	96.7	90.6	82.3 ^{ns}	56.9 ^{**}	13.0	0	0	0	0
	15	88.8	90.7	90.9 ^{ns}	79.1 [*]	5.7 ^{**}	0	0	0	0	0
	30	93.7	78.3	91.4 ^{ns}	46.9 ^{**}	0	0	0	0	0	0
	60	93.1	87.9	92.1 ^{ns}	52.2 ^{**}	0	0	0	0	0	0
	180	91.4	84.2 ^{ns}	80.0 [*]	10.6 ^{**}	0	0	0	0	0	0
	360	93.6	92.5 ^{ns}	67.2 ^{**}	2.4	0	0	0	0	0	0
	720	85.1	94.0 ^{ns}	51.9 ^{**}	0	0	0	0	0	0	0
	1,440	91.3	98.1 ^{ns}	46.9 ^{**}	0	0	0	0	0	0	0
遊泳状態 ²⁾	0	+	+	+	+	+					
	7.5	+	+	+	+	±	±	—	—	—	—
	15	+	+	+	±	—	—	—	—	—	—
	30	+	+	+	±	—	—	—	—	—	—
	60	+	+	+	±	—	—	—	—	—	—
	180	+	+	+	±	—	—	—	—	—	—
	360	+	+	±	—	—	—	—	—	—	—
	720	+	+	±	—	—	—	—	—	—	—
	1,440	+	±	—	—	—	—	—	—	—	—

※：計数、計算不能→原形質の分離等によって個体として計数できなかった。

1)対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果をns: P > 0.05, *: P < 0.05, **: P < 0.01で示した。

2) +: ほとんど全ての個体が浮遊、-: 全個体沈降、±: 両者混在。

付表17 三重県産クロアワビより得られた原腸胚に対する高温接触試験結果（第2回試験）

接觸時間 区(分)	接触温度区 No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	150	158	146	219	128					
	7.5	79	87	110	134	87	93	82	120	※	316 136
	15	172	85	108	149	136	179	113	43	227	102 102
	180	109	167	80	92	153	118	※	123	79	141 128
	1,440	132	113	108	78	68	121	※	※	107	164 118
接觸温度 (°C)	0	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9					
	7.5	19.7	21.5	23.3	25.0	27.0	28.9	30.6	32.3	34.2	36.2 38.0
	15	19.4	21.4	23.1	25.0	26.9	28.8	30.7	32.4	34.3	36.3 38.3
	180	19.1	21.2	23.0	24.9	26.7	28.5	30.4	32.2	34.3	36.3 38.4
	1,440	19.1	21.1	22.9	24.9	26.6	28.3	30.2	32.0	34.2	36.2 38.5
生残率 (%)	0	90.7	94.9	83.6	86.8	90.6					
	7.5	87.3	86.2	89.1	88.8	88.5	89.2	80.5	3.3	※	0 0
	15	86.0	85.9	80.6	87.2	85.3	83.2	65.5	0	0	0 0
	180	92.7	91.0	96.2	92.4	81.7	4.2	※	0	0	0 0
	1,440	96.2	89.4	95.4	80.8	2.9	0	0	0	0	0 0
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	90.7	94.9	83.6	86.8	90.6					
	7.5	87.3	86.2	89.1	88.8	88.5	89.2 ^{ns}	80.5*	3.3**	0	0 0
	15	86.0	85.9	80.6	87.2	85.3 ^{ns}	3.2**	65.5**	0	0	0 0
	180	92.7	91.0	96.2	92.4 ^{ns}	81.7*	4.2**	0	0	0	0 0
	1,440	96.2	89.4	95.4 ^{ns}	80.8*	2.9**	0	0	0	0	0 0
遊泳状態 ²⁾	0	+	+	+	+	+					
	7.5	+	+	+	+	+	+	+	±	—	— —
	15	+	+	+	+	+	+	±	—	—	— —
	180	+	+	+	+	+	±	—	—	—	— —
	1,440	+	+	±	±	—	—	—	—	—	— —

※：計数、計算不能→原形質の分離等によって個体として計数できなかった。

1)対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果をns: $P > 0.05$, *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$ で示した。2)+:ほとんど全ての個体が浮遊、-:全個体沈降、±:両者混在。

付表18 三重県産クロアワビより得られたトロコフォア幼生に対する高温接触試験結果
(第2回試験)

接触時間 区(分)	接 触 溫 度 区 No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	68	82	74	118	71					
	7.5	62	欠測	50	43	69	55	50	82	54	53
	15	40	48	54	50	67	65	64	60	49	※
	180	31	57	81	78	75	48	47	56	※	※
	1,440	46	181	89	67	125	132	※	※	※	※
接 触 溫 度 (°C)	0	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9					
	7.5	19.4	21.2	23.0	24.7	26.6	28.5	30.3	32.0	34.0	36.0
	15	19.1	21.1	22.9	24.7	26.6	28.5	30.4	32.2	34.2	36.2
	180	19.0	21.0	22.8	24.7	26.5	28.3	30.2	32.0	34.2	36.2
	1,440	19.3	21.1	22.9	24.8	26.6	28.3	30.1	32.0	34.0	36.2
生 残 率 (%)	0	100	100	100	100	100					
	7.5	100	欠測	100	100	100	100	100	100	0	0
	15	100	100	100	100	100	100	100	59.2	0	0
	180	100	100	100	100	97.9	68.1	0	0	0	0
	1,440	97.8	100	100	100	99.2	90.9	※	0	0	0
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	97.1	98.8	100	100	100					
	7.5	100	欠測	100	100	100	100	96.3	92.6 ^{ns}	0**	0
	15	100	100	100	100	100	98.4	96.7 ^{ns}	0**	0	0
	180	100	98.2	100	100	100 ^{ns}	79.2**	0	0	0	0
	1,440	97.8	100	100	100	98.4 ^{ns}	4.5**	0	0	0	0
遊 泳 状 態 ²⁾	0	+	+	+	+	+					
	7.5	+	+	+	+	+	+	±	±	—	—
	15	+	+	+	+	+	+	±	—	—	—
	180	+	+	+	+	+	±	—	—	—	—
	1,440	+	+	+	+	±	—	—	—	—	—

※：計数、計算不能→原形質の分離等によって個体として計数できなかった。

1)対照区(接触時間0分区)に対する検定結果をns: $P > 0.05$, *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$ で示した。

2) +: ほとんど全ての個体が浮遊、-: 全個体沈降、±: 両者混在。

付表19 三重県産クロアワビより得られたベリジャー前期幼生に対する高温接触試験結果
(第2回試験)

供試個体数	接触時間 区(分)	接 触 溫 度 区 No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	102	33	47	40	22							
7.5	44	70	62	33	195	139	33	60	46	18	7	
15	29	35	88	56	88	50	60	38	35	12	75	
180	41	58	41	20	26	62	46	25	92	31	41	
1,440	33	66	78	48	28	29	33	50	55	87	85	
接觸溫度 (°C)	0	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9						
7.5	19.5	21.2	23.0	24.7	26.6	28.6	30.4	32.1	34.0	36.0	38.0	
15	19.2	21.1	22.9	24.7	26.6	28.5	30.4	32.2	34.2	36.2	38.2	
180	19.0	21.0	22.9	24.7	26.6	28.3	30.3	32.1	34.2	36.2	38.4	
1,440	19.5	21.3	23.0	24.7	26.6	28.2	30.0	32.0	33.8	35.8	38.1	
生残率 (%)	0	100	100	100	100	100						
7.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
180	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	
1,440	100	100	100	100	100	81.8	94.0	0	0	0	0	
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	93.1	87.9	80.9	80.0	77.3						
7.5	95.5	82.9	61.3	69.7	86.3	71.8	78.8	71.7	78.3	83.3 ^{ns}	0**	
15	75.9	74.3	85.2	83.9	92.0	84.0	93.3	86.8	85.7 ^{ns}	41.7**	4.0	
180	90.2	84.5	75.6	85.0	92.3	90.3	97.8 ^{ns}	0**	0	0	0	
1,440	87.9	89.4	84.6	77.1	67.9 ^{ns}	37.9**	0	0	0	0	0	
遊泳状態 ²⁾	0	+	+	+	+	+						
7.5	+	+	+	+	+	+	+	±	±	—	—	
15	+	+	+	+	+	+	+	±	—	—	—	
180	+	+	+	+	+	±	—	—	—	—	—	
1,440	+	+	+	+	±	—	—	—	—	—	—	

1)対照区(接触時間0分区)に対する検定結果をns: $P > 0.05$, *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$ で示した。

2) +: ほとんど全ての個体が浮遊, -: 全個体沈降, ±: 両者混在。

付表20 三重県産クロアワビより得られたベリジャー後期幼生に対する高温接触試験結果
(第2回試験)

接觸時間 区(分)	接触温度区 No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
供試個体数	0	37	23	16	12	30					
	7.5	30	25	28	21	28	31	35	18	24	26
	15	29	21	33	127	36	35	23	24	16	17
	30	32	34	135	26	24	7	25	30	34	30
	60	32	40	30	25	142	17	33	24	21	25
	180	24	71	24	16	29	25	19	22	22	49
	360	29	35	27	43	31	30	31	37	33	25
	720	33	31	33	45	26	33	23	24	26	14
	1,440	22	30	18	16	24	85	23	28	43	20
接觸温度 (°C)	0	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9					
	7.5	24.0	25.7	27.5	29.2	31.1	33.0	34.7	36.4	38.3	40.2
	15	23.7	25.6	27.4	29.1	31.0	32.9	34.7	36.4	38.4	40.4
	30	23.5	25.5	27.4	29.2	31.0	32.7	34.6	36.3	38.4	40.4
	60	23.6	25.5	27.3	29.2	31.0	32.6	34.5	36.3	38.4	40.4
	180	23.7	25.5	27.2	29.1	30.9	32.6	34.3	36.2	38.1	40.2
	360	23.9	25.6	27.3	29.0	30.9	32.5	34.2	36.1	37.9	39.9
	720	24.2	25.8	27.3	29.0	30.8	32.5	34.1	35.9	37.7	39.5
	1,440	24.6	25.9	27.4	29.0	30.8	32.4	34.1	35.7	37.5	39.2
生残率 (%)	0	100	100	100	100	96.7					
	7.5	100	96.0	96.4	100	96.4	100	100	100	62.5	0
	15	100	100	100	100	100	100	100	31.2	0	0
	30	100	100	100	96.2	95.8	100	76.0	80.0	0	0
	60	100	95.0	100	96.0	95.2	100	97.0	0	0	0
	180	100	100	100	100	96.6	100	73.7	0	0	0
	360	93.1	97.1	96.3	95.3	96.8	83.3	0	0	0	0
	720	90.9	100	97.0	82.2	76.9	27.3	0	0	0	0
	1,440	95.5	86.7	77.8	81.2	87.5	0	0	0	0	0
正常生残率 ¹⁾ (%)	0	97.3	95.7	87.5	100	83.3					
	7.5	100	88.0	92.9	85.7	96.4	96.8	85.7 ^{ns}	55.6 ^{**}	0	0
	15	93.1	100	97.0	88.9	91.7	91.4 ^{ns}	21.7 ^{**}	16.7	0	0
	30	100	100	100	96.2	91.7	71.4 ^{ns}	32.0 ^{**}	0	0	0
	60	93.7	87.5	96.7	92.0	85.7	100 ^{ns}	18.9 ^{**}	0	0	0
	180	95.8	82.4	91.7	87.5	82.8	84.0 ^{ns}	0 ^{**}	0	0	0
	360	86.2	91.4	96.3	95.3	90.3 ^{ns}	16.7 ^{**}	0	0	0	0
	720	87.9	96.8	97.0 ^{ns}	77.8*	50.0 ^{**}	0	0	0	0	0
	1,440	90.9	80.0	61.1	81.2 ^{ns}	45.8 ^{**}	0	0	0	0	0

1) 対照区(接觸時間0分区)に対する検定結果をns: P > 0.05, *: P < 0.05, **: P < 0.01で示した。

付表21 千葉県、三重県産クロアワビより得られた卵、浮遊幼生の50%正常生残温度

母貝 産地	接触開始時 の発育段階	接触時間別50%正常生残温度(℃)								接触前の 飼育水温 (℃)
		7.5	15	30	60	180	360	720	1,440分	
〔第1回試験〕										
千 葉	4細胞期卵	27.2	25.7	25.4	25.2	24.5	24.4	24.6	24.5	18.3
	原腸胚	31.6	30.7	—	—	—	—	—	—	18.3
	トロコフォア幼生	33.9	32.3	—	—	—	—	—	—	18.1
	ベリジヤー前期幼生	36.5	35.1	—	—	—	—	—	—	18.8
千 葉	ベリジヤー後期幼生	35.6	33.9	34.3	33.7	33.4	32.2	31.9	30.8	18.1
〔第2回試験〕										
県	4細胞期卵	28.3	25.9	25.0	24.1	24.1	23.7	23.8	23.8	18.6
	原腸胚	30.6	29.8	—	—	—	—	—	—	18.2
	トロコフォア幼生	34.3	32.4	—	—	—	—	—	—	18.2
	ベリジヤー前期幼生	36.7	34.4	—	—	—	—	—	—	18.4
県	ベリジヤー後期幼生	36.0	35.8	35.5	33.9	32.3	31.8	30.7	29.5	18.6
〔第1回試験〕										
三 重	4細胞期卵	25.4	24.2	22.9	23.4	23.2	23.1	23.0	22.6	18.4
	原腸胚	29.9	29.6	—	—	27.7	—	—	26.0	18.2
	トロコフォア幼生	35.3	33.4	—	—	29.2	—	—	27.5	18.3
	ベリジヤー前期幼生	37.1	36.4	—	—	31.3	—	—	27.8	18.1
三 重	ベリジヤー後期幼生	35.8	34.9	34.7	33.7	32.8	32.7	31.4	31.0	18.1
〔第2回試験〕										
県	4細胞期卵	27.3	25.8	24.9	25.2	24.0	23.8	23.5	23.4	18.2
	原腸胚	31.3	31.1	—	—	27.4	—	—	25.6	18.1
	トロコフォア幼生	34.9	33.2	—	—	29.0	—	—	27.5	18.1
	ベリジヤー前期幼生	36.8	35.8	—	—	31.2	—	—	27.6	18.1
県	ベリジヤー後期幼生	36.6	34.0	33.7	33.8	33.3	31.8	30.8	30.7	18.2

—：実施しなかった試験区を示す。