

海生研リーフレットNo.5

アオリイカの卵の高温耐性



平成3年3月

理研 海洋生物環境研究所

アオリイカの卵の高温耐性

目 次

はじめに.....	2
試験材料.....	3
試験方法.....	7
試験結果.....	10
考 察.....	15
おわりに.....	17
参考文献.....	18

は じ め に

海生研では、温排水が魚介類に及ぼす影響について様々な観点から調査研究を行なっている。この研究は、海水温の上昇が海生生物に及ぼす影響を検討するためには必要な基礎的な知見を得る一環として、実施されたものである。

アオリイカは北海道南部以南の各地に分布し、地方によってはモイカ、バショウイカ、クツイカ、シロイカ、ミズイカ、イズイカ等とも呼ばれている。大きいものは外套(胴)長で30数cm、体重で2kg近くにも達し、漁業対象として重要なイカ類の一種となっている。アオリイカは外套膜側縁全長にわたる橢円形の鰭を持ち、外形はコウイカ類によく似ているが、外套背側に石灰質の貝殻がないこと、キチン質の軟甲を持っていることなどから、ヤリイカ類（ジンドウイカ科）に分類されている。アオリ（泥障）、バショウ（芭蕉）等の呼び名は鰭の形に由来するといわれている。

アオリイカの産卵期は本州中部では5～6月、沖縄では4～11月とされ、南方ほど長い傾向がある。産卵時には海岸に近づき、海藻類、海底に沈んでいる流木の小枝、定置網等に、通常数個づつの卵をつつむ“さやえんどう”状の卵嚢を数十から数百、房状に束ねて産みつけるという習性をもっている。この産卵習性を利用して、葉が密集している木の枝を束ねて海中に沈めて簡単な産卵場を造り、集まってくるアオリイカを捕獲することも行われている。

このように、ごく沿岸の浅海域に産卵するアオリイカの卵の高温耐性について検討した結果を紹介する。

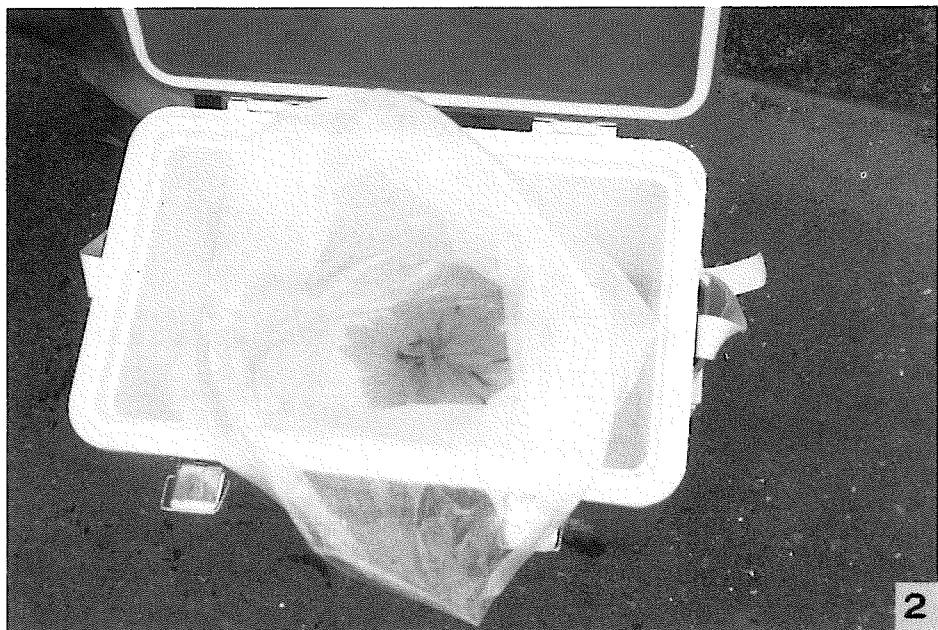
試験材料

この実験に用いたアオリイカ卵は、三重県浜島町地先の英虞湾沿岸と千葉県鋸南町保田地先の2カ所から入手した(第1表)。英虞湾では、水深1.5~3mの砂泥底に生育するアマモに産みつけられていた卵を昭和57年6月30日と7月20日の2回採集した(第1図-1)。東京湾側に位置する保田では、定置網に入った親イカを海上網活簀内に収容し、その中へ産卵床として予め入れておいたホンダワラ等の海藻に産卵させ、種苗を生産する試みが行われている。その卵の一部を同年7月3日と7月21日の2回譲り受けた。いずれも、できるだけ産卵後間もないものを、卵嚢の外観から選別して採集した。採集した卵は、現地で海水と酸素を封入したビニール袋内に入れ、それぞれの産地から当所(千葉県御宿町)まで保温箱を利用して輸送した(第1図-2)。卵採集時の現地表層水温は、英虞湾で23.2~24.4°C、保田で21.8~22.2°Cであった。当所においては、25°Cに設定した流水式の水槽へ収容してこれを対照群とともに、各試験に対する材料供給源とした。

第1表 各試験に用いた試験材料

卵の 採集地	採集 月 日	採集地 水温	供試		発生 段階	孵化適温試験		短期高温 接触試験
			卵塊数	卵嚢数		直接移行*	段階的移行*	
英虞湾	6月30日	23.2°C	3	300	初期卵	○	—	—
					後期卵	○	—	○
東京湾	7月20日	24.4°C	1	162	初期卵	—	○	—
	7月3日	21.8°C	1	244	初期卵	○	—	—
					後期卵	○	○	—
	7月21日	22.2°C	1	205	初期卵	○	○	—
					後期卵	—	—	○

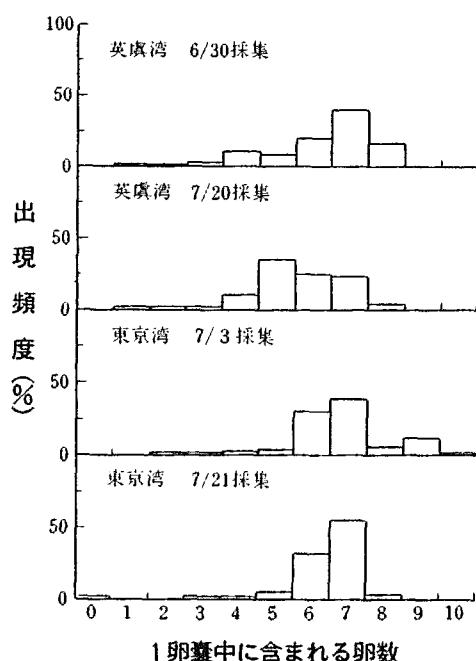
* : 直接移行は瞬時に試験温度まで昇温、段階的移行は12時間もしくは24時間おきに2°C昇温



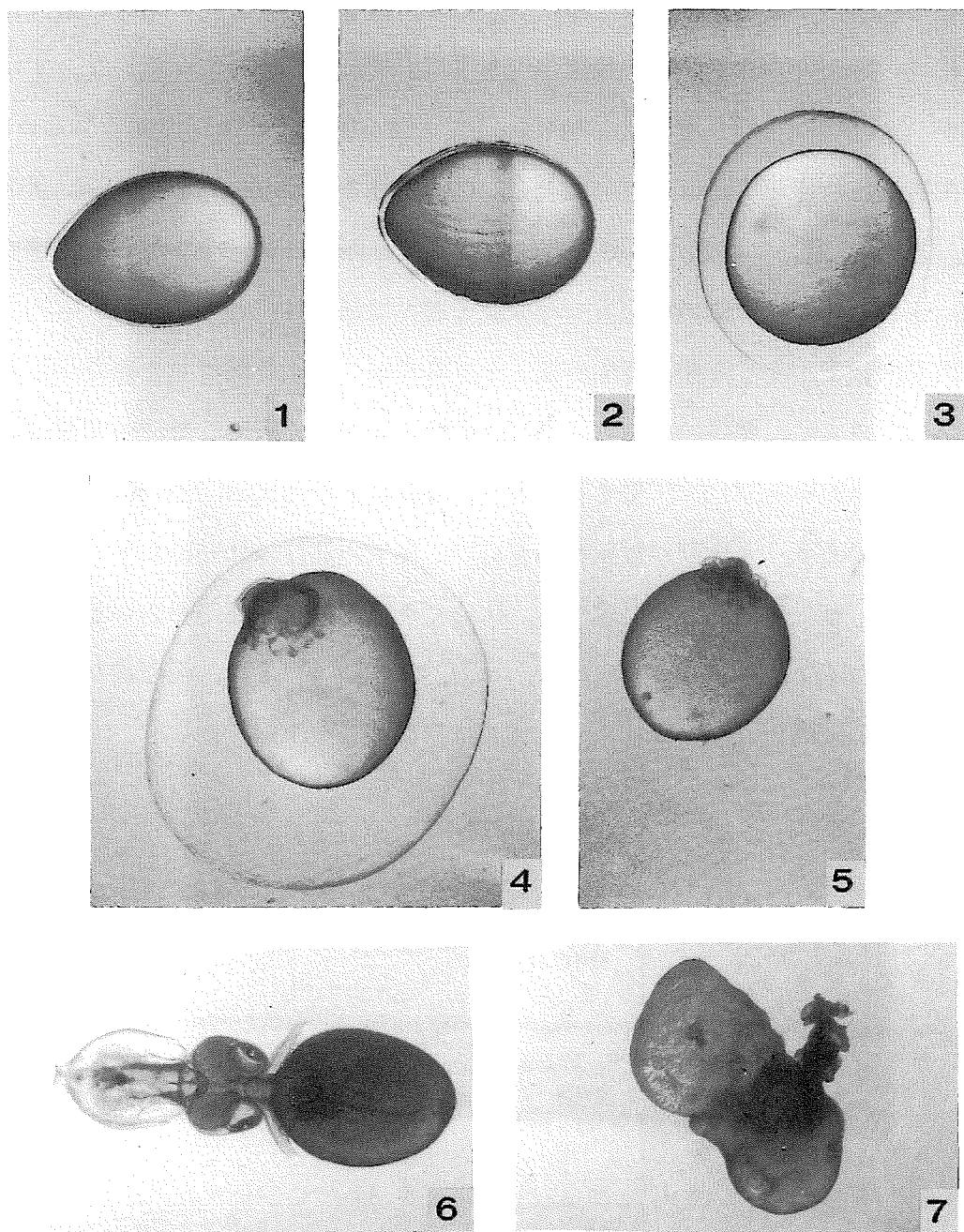
第1図 アオリイカ卵の採集
1. アマモに産みつけられた卵嚢
2. 輸送用の保温箱に収容した卵嚢

卵は乳白色半透明な寒天質の指状型の卵嚢に包まれ、ひとつの卵嚢に最大10個程度の卵が含まれていた。卵嚢の大きさは含まれる卵数によって異なっていたが、産卵後間もない卵嚢では幅10mm、長さ60~80mm、重さ5g程度であった。発生の進行に伴って卵黄腔が拡大し、孵化直前には幅15mm、長さ100mm、重さ10~15gに達した。卵嚢中の卵数にはバラツキがあった(第2図)ため、試験では、主として5~7個の卵をもった卵嚢を選んで試験材料とした。

第3図にアオリイカ卵の発生の様子を写真で示した。各図は卵を卵嚢から取り出し、さらに、発生の後期のものは、卵膜も除去して撮影した。産卵後間もない卵はいわゆる“たまご”型をしており、長径は5.5~6.0mm、短径は3.7~4.4mmくらいである。非全割の盤状卵割を行い、発生の進行に伴い胚が卵黄から突出し、眼、鰓、外套、腕が発達する。次いで色素胞や墨汁嚢が明らかとなる。孵化が近づくと次第に卵黄を吸収し、水温23.5~24.0°Cでは、産卵後26日程度で孵化する。孵化直後の稚仔の外套背長はおよそ5~7mmである。



第2図 卵嚢中に含まれていた卵数の頻度分布



第3図 アオリイカ卵の発生

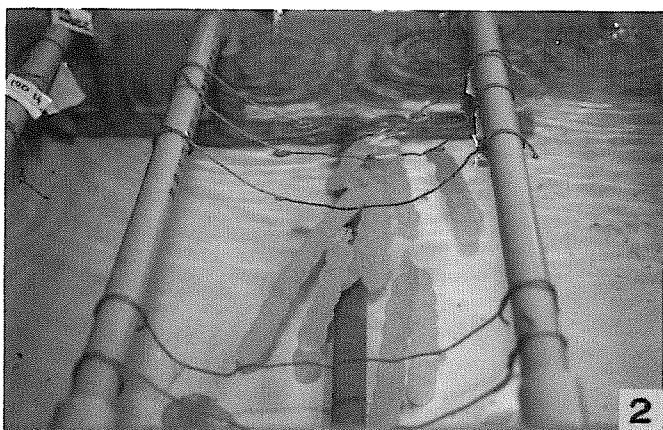
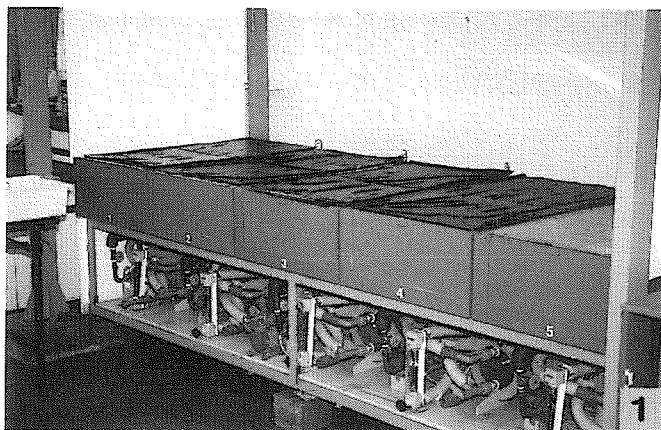
- 1. 8～16細胞期
- 2. 50%以上被覆
- 3. 囲卵黄腔が顕著
- 4. 胚が卵黄から突出
- 5. 第1～4脚が発達*
- 6. 墨汁囊が明瞭*
- 7. 異常発生卵 (33°Cに接触10日目)
〔* 卵膜を除いて撮影〕

一般に、高温耐性は発生段階により異なることが知られている。そこで、後述する孵化適温試験では試験温度に卵を移す発生段階を、発生初期と発生後期の2発生段階とした。前者は卵割期から団卵黃腔が顯著になる発生段階(第3図-3)で、25°Cの場合、孵化までおよそ20日を要するものであった。後者は胚体の形態が孵化稚仔のそれに近づき、すでに眼球の色素や墨汁囊も明瞭に認められる発生段階(第3図-6)で、孵化まで10日程度を要するものであった。短期高温接触試験では発生後期卵のみを対象とした。

試験方法

卵の高温耐性を求めるため2つの試験を実施した。ひとつは、孵化まで一定温度を維持して孵化可能な上限温度を求める孵化適温試験で、他のひとつは、卵発生中に比較的短時間高温に接触した場合にそれが孵化に及ぼす影響を接触温度と接触時間との関連で明らかにする短期高温接触試験である。

試験装置として、試験部の用水量がそれぞれ約140ℓの5連式の恒温水槽を用いた(第4図-1)。この装置は各槽ごとに、海水の濾過循環と温度調節とが可能である。選別した卵嚢を1個ずつ糸で結び、所定の温度に調温した各試験槽内へ垂下した(第4図-2)。試験期間中は、飼育用水に通気を行い、3~4日ごとに各槽の用水の一部(30~60ℓ)を交換し、さらに3週間で全用水の交換を行った。また、珪藻類の繁茂を抑制するため、遮光用シートで各槽を覆った。試験期間中の塩分は33~35%の範囲であった。



第4図 試験に使用した装置と試験方法

1. 温度反応試験装置
2. 高温接触中のアオリイカの卵囊
3. 孵化個体計数用容器

孵化適温試験

発生初期卵および発生後期卵の2発生段階を試験対象とした。25°Cでストックしていた卵を、27°Cから35°Cの間に4～5段階設定した試験温度に移し、全供試卵が孵化するか、あるいは死亡して白濁するまで保持し、試験を開始したときの発生段階別に各試験温度区ごとの孵化率等を求めた。

一般に生物は、急激な温度変化を受けた場合と、ゆるやかな温度変化を受けた場合とでは反応が異なると考えられる。この試験では、供試卵を高温に移す際に、25°Cから各試験温度へ直接移す方法（以下、この方法を「直接移行法」と呼ぶ）と、12時間もしくは24時間おきに2°Cずつ段階的に昇温させていく方法（以下、「段階的移行法」と呼ぶ）の2方式で試験を行い、瞬時に昇温した場合と比較的ゆるやかに昇温した場合とで、孵化可能な上限温度が相違するか否かについても検討した。

短期高温接触試験

設定した接触温度は29～39°Cの間の6段階、接触時間は15～1,440分(24時間)の間の6段階とした。この両者を組み合わせた各試験区に、25°Cでストックしていた発生後期卵をそれぞれ所定時間高温に接触させたのち、再び25°Cに戻して孵化まで保持し、孵化率等を求めた。

生死等の判定

卵が孵化するか、あるいは白濁して死亡するまで、卵嚢内の様子を毎日観察し、その生死を判定した。また、孵化個体については、孵化時点において卵黄の吸収がほぼ終了し、活発な遊泳力を持つ個体を“正常孵化個体”，大きな卵黄をもったまま卵嚢から飛び出し、そのまま容器の底に沈降してしまう個体や形態的に異常の認められるものを“異常孵化個体”とした。ちなみに崔・大島(1961)

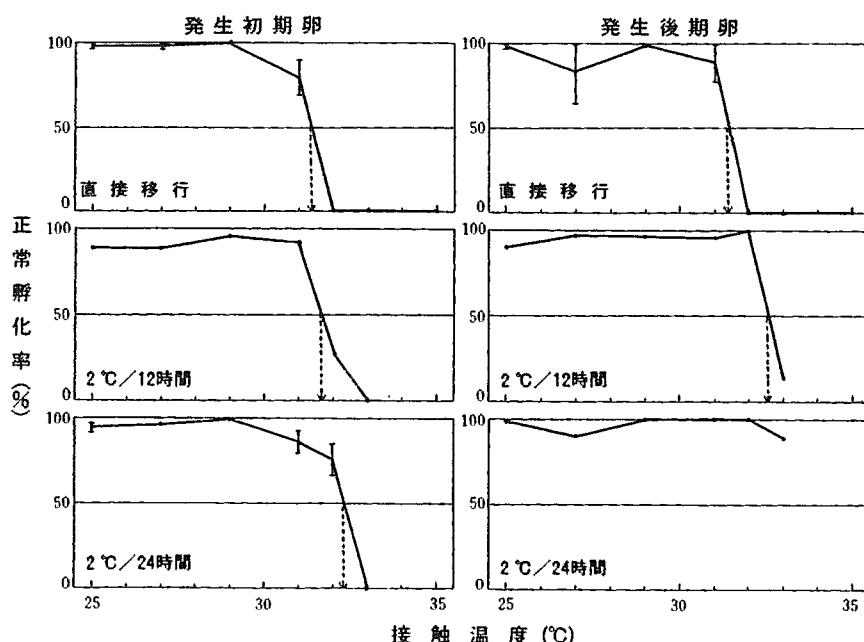
によれば、アオリイカ稚仔の発育が正常に行われるためには、孵化時において卵黄の吸収が75%以上進んでいることが必要であるとされている。

試験結果

孵化適温試験

試験結果をまとめて第5図に示した。

発生初期および後期卵のいずれも31°C以下の各試験区で高い正常孵化率を示した。移行方法別にみると、発生初期卵の場合、直接移行法では32°C以上の試験区で正常孵化個体は全く認められなかつたが、12時間おきに2°Cずつ上昇させた場合では32°Cで正常孵化率が約30%，24時間おきに2°Cずつ上昇させた場合では約75%が正常に孵化し、32°Cにおける正常孵化率は直接移行法に比べて高い値を示した。しかし、33°Cではいずれの昇温方式でも正常孵化個体は全く



第5図 接触温度と正常孵化率との関係
(接触開始発生段階別、移行方法別)

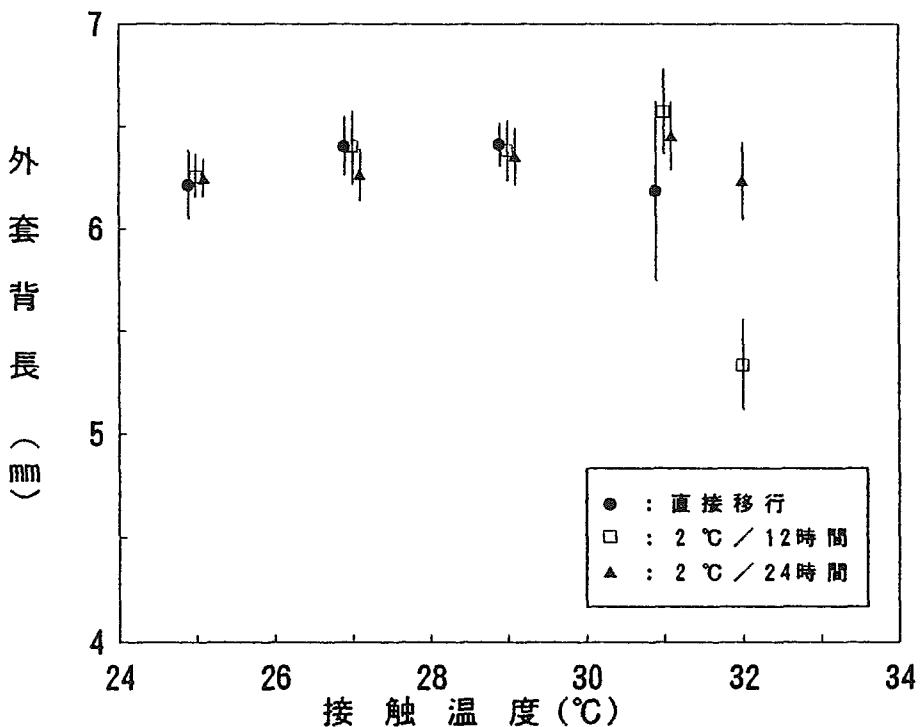
第2表 50%正常孵化率が得られる上限温度

移行方法	接触開始時の発生段階	
	発生初期	発生後期
直接移行	31.3°C	31.4°C
2°C/12時間	31.7	32.6
2°C/24時間	32.3	>33.0

認められなかった。一方、発生後期卵の場合、直接移行法では発生初期卵の場合と同様に32°C以上の試験区で正常孵化個体は認められなかつたが、12時間おきに2°C上昇させた場合では正常孵化率が32°Cで約100%, 24時間おきに2°C上昇させた場合では正常孵化率が33°Cでも約90%を示した。

第5図から移行方法別に正常孵化率が50%を示す温度を読み取り第2表に示した。直接移行の場合には、発生初期卵と発生後期卵の差はほとんど認められなかつた。しかし、移行方法によって正常孵化可能な上限温度は発生初期卵および発生後期卵ともに変化し、正常孵化率が50%を示す温度でみると、発生初期卵の場合には1°C、発生後期卵の場合には1.6°C以上上昇し、その変化の程度は発生後期卵の方が大きかつた。

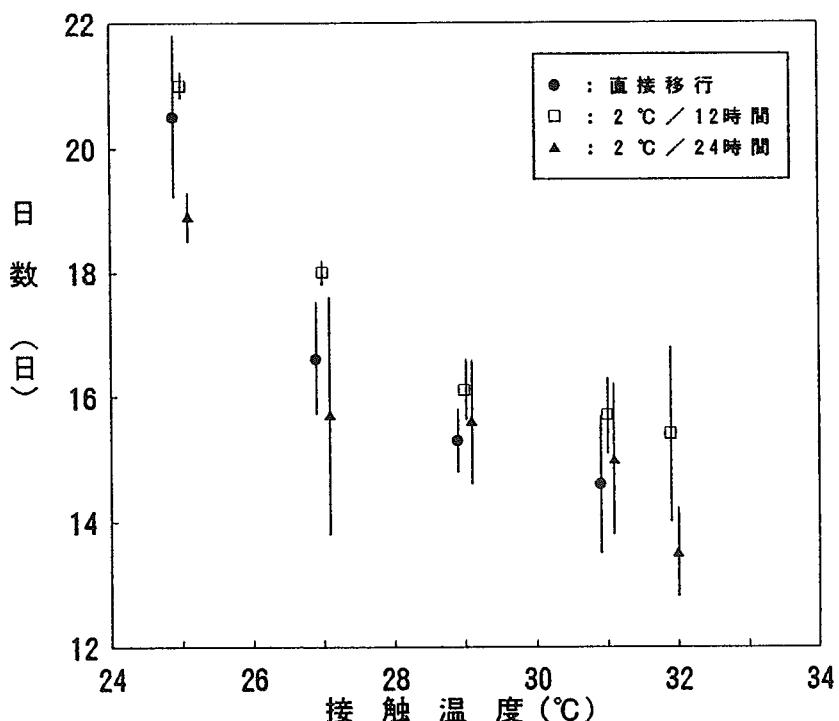
発生初期卵に対する試験では、孵化直後の個体の外套背長を測定し比較した。アオリイカ卵の孵化は日中は殆どみられないことから、翌朝、確認された個体を孵化直後とみなし、直ちに外套背長を測定した。第6図に、東京湾産7月21日採集卵の結果を示した。外套背長の平均は5.3~6.6mmの範囲にあり、30°C以下の各試験区間においては差は認められなかつた。31°C以上の各試験区では、直接移行法の場合に正常孵化個体が認められた最高温度の31°C区で各個体の外套背長にバラツキが大きく、また、12時間おきに2°Cずつ上昇した場合では、



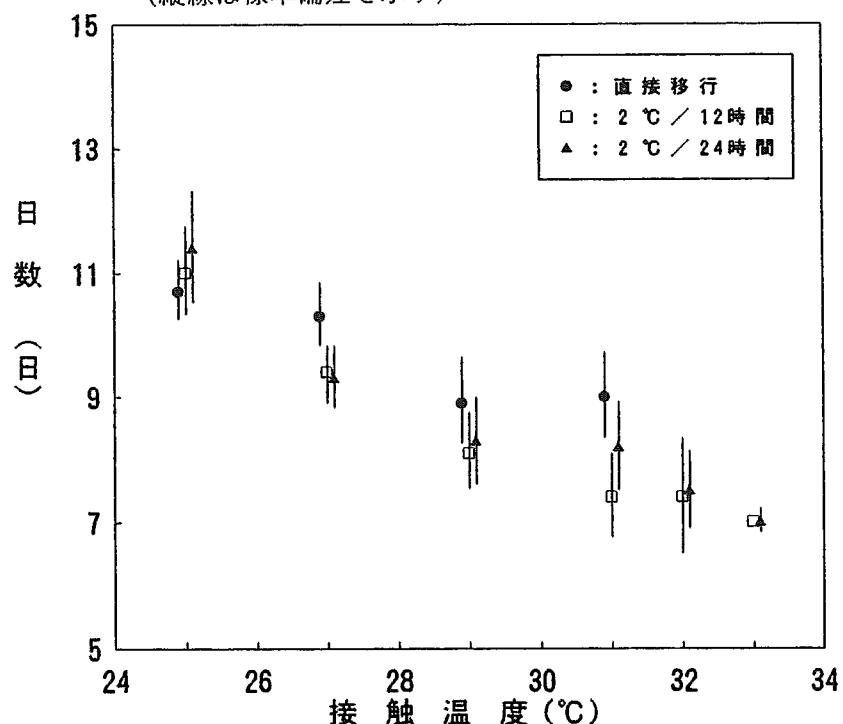
第6図 孵化直後のアオリイカの接触温度別外套背長
(縦線は標準偏差を示す)

正常孵化率が約30%と低い値を示した32°C区で小型化が顕著であった。一方、24時間おきに2°Cずつ上昇させた場合には32°C区でも31°C以下の試験区との差は認められなかった。

試験開始から孵化までに要した日数を第7図、第8図に示した。第7図は東京湾産7月21日採集卵の発生初期卵について、第8図は東京湾産7月3日採集卵の発生後期卵についての結果である。いずれの温度区においても、孵化開始から終了までには数日間を要し、長い場合には1週間以上にもわたった。孵化に要する日数は、接触温度が上昇するほど短くなる傾向を示し、移行方法によるとみられる傾向的な差異は認められなかった。発生初期卵では、25°Cの対照区でおよそ20日、29°Cで16日、32°Cで14日前後、発生後期卵では、25°Cの対照区でおよそ11日、29°Cで8~9日、32°Cで7~8日前後であった。



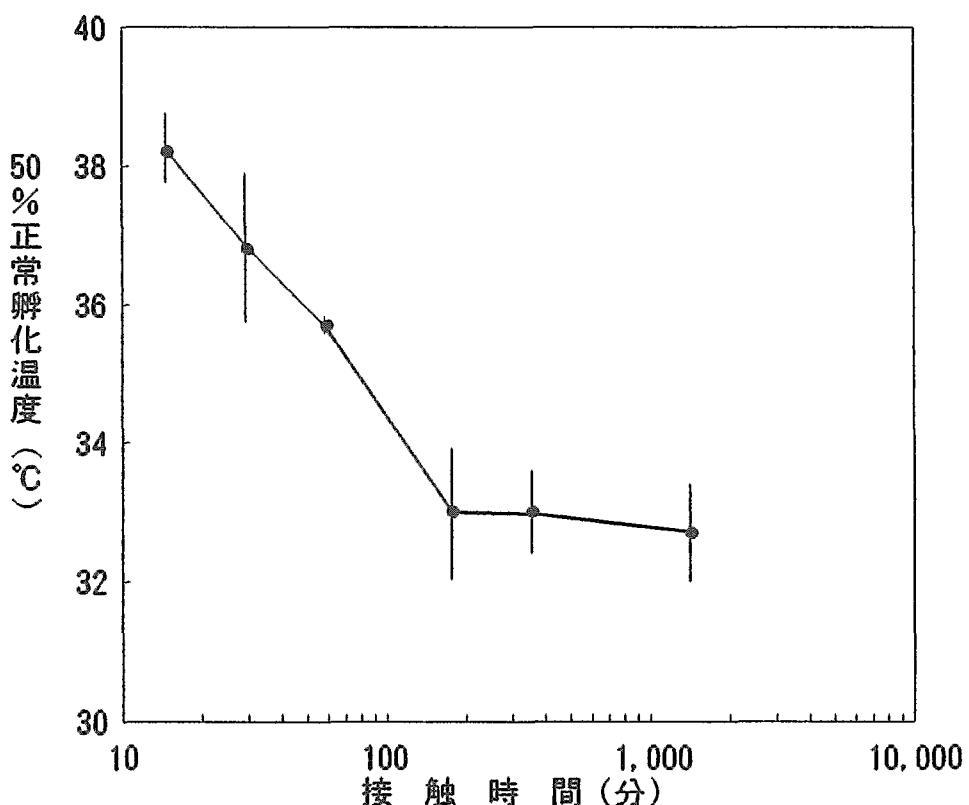
第7図 発生初期卵における試験開始から孵化までの所要日数
(縦線は標準偏差を示す)



第8図 発生後期卵における試験開始から孵化までの所要日数
(縦線は標準偏差を示す)

高温接触試験

この試験では、急激な温度変化を与えたため、異常孵化個体が多数認められた。すなわち、卵内で発生が進行した個体が、温度変化を受けた直後に突進行動を示し、そのまま卵膜を破り、卵嚢の外に飛び出してしまう現象が認められた。これらの個体は水槽の底に沈降し、遊泳力もほとんど認められなかったことからすべて異常個体とした。接触時間別に得られた正常孵化率から供試個体の50%が正常に孵化する温度を求め、第9図に示した。50%正常孵化温度は接触時間が15分の場合には38.2°C、180分では33.0°Cと高温接触時間が長くなるのに伴い急速に低下した。しかし、接触時間が180分から1,440分の間では32.7~33.0°Cでほぼ一定の値を示した。



第9図 発生後期卵における高温接触時間と供試個体の50%が正常孵化する温度との関係（縦線は範囲を示す）

考　　察

アオリイカは、沿岸性イカ類の中でも高価美味な種として古くから漁民や消費者に親しまれてきた。しかし、生物学的な知見は少ない。このイカは、産卵のために沿岸に非常に接近するが、強内湾的環境で産卵することないとされている。崔・大島(1961)によると、塩素量13.1%以下では健全な稚仔を得ることは困難で、卵・稚仔は低塩分に対して抵抗性が弱いと考えられているが、温度耐性に関する報告はみあたらない。

一般に、海生生物の温度耐性はその生物の発育に伴って変化することが知られている。ここでは、産卵後間もないと考えられる卵割期から団卵黄腔が顕著になる発生段階を発生初期卵、発生が進行して胚体の形態が孵化稚仔のそれに近づき、墨汁囊も明瞭になる発生段階を発生後期卵として、これら2発生段階を対象として試験を行った。また、温度が瞬時に上昇する場合と比較的ゆっくり上昇する場合とを比較するため、試験温度までの上昇速度の違いについても検討した。

25°Cで発生中のアオリイカ卵を、発生初期において高水温に直接入れた場合、正常に発生を続けて孵化し得る上限温度は31と32°Cの間にあり、50%正常孵化温度は31.3°Cであった。また、試験温度まで24時間おきに2°Cづつ上昇させた場合には、50%正常孵化温度は32.3°Cとなり、高水温に直接入れた場合よりも1°C高い値を示した。また、発生後期においては、高水温に直接入れた場合の50%正常孵化温度は31.4°Cで、発生初期卵について得られた温度とほぼ一致した。24時間おきに2°C上昇させた場合を比較すると、発生初期卵の場合は33°C区で正常孵化が皆無であったのに対し、発生後期卵では33°Cにおいても正常孵化率が約90%を示し、段階的移行による高温耐性の増大傾向がより顕著に認められた。すなわち、このイカの卵では、瞬時に昇温した場合には、これらの2

発生段階間の温度耐性に差は認められないと判断されるが、温度の上昇速度が変わると、発生段階によって温度耐性が違ってくることを示すものといえよう。

発生初期卵を対象として行った孵化適温試験では、孵化個体の大きさを測定した。その結果、高温側で正常孵化率が低下した試験温度区では、外見上異常の認められない個体であっても大きさにバラツキがあり、小型個体が多数出現する傾向を示した。すなわち、瞬時に水温が上昇した場合の31°C区、12時間おきに2°Cづつ上昇させた場合の32°C区など、孵化可能上限温度付近で孵化した個体は、死亡に至らないまでもなんらかのダメージを受けていた可能性があると推察される。

比較的短時間の高温接触が発生後期卵の孵化に及ぼす影響について検討した結果では、50%の個体が正常に孵化する温度は、接触時間が15分で38°C、接触時間が180分で33°Cと、接触時間が15~180分の間では接触時間が短いほど高温となる結果を示したが、接触時間が3~24時間と比較的長い場合には、32~33°C程度でほぼ一定した値を示した。さらに、接触時間が長い場合には、孵化適温試験における直接移行法の結果から、高温接触を開始してから孵化までの期間、すなわち試験温度が31~32°Cの場合の約9日間を接触時間とみなすと、50%正常孵化温度は31.3°Cとなる。

一般に海生生物の温度耐性は、生息水温すなわち馴致水温によって異なることが知られている。また、卵発生過程においては、発生段階のわずかな違いで高温耐性が異なることも知られている。従って、高温接触前の基準温度を25°C以外とした場合や、ここで取り扱った発生段階以外のものの高温耐性等についても、今後検討を加える必要があろう。

おわりに

この報告は、温排水による昇温が、海生生物に及ぼす影響を検討するために必要な基礎的な知見を得ることを目的として、実施されたものである。

すでに述べたように、25°Cを産卵水温とした場合のアオリイカの卵に及ぼす高温の影響をまとめると、瞬時に水温が上昇した場合の50%正常孵化温度が最も低く、一定温度で孵化まで維持すると、発生初期卵・後期卵ともに、50%正常孵化温度は31.3~31.4°Cを示した。温度の上昇速度が24時間おきに2°Cと比較的ゆっくりとしている場合には、50%正常孵化温度は瞬時に上昇した場合より1°C程度高くなった。さらに、高温接触時間が短い場合には接触時間の長短によって50%正常孵化温度は異なり、接触時間が15分程度では50%正常孵化温度は38°C、接触時間が60分では35°Cと接触時間が長くなるとともに低下したが、接触時間が3~24時間の場合には約32~33°Cでほぼ一定の値を示した。

ここで述べた50%正常孵化温度は供試個体の半数が正常孵化する温度をグラフ上から推定したものである。孵化適温試験の結果などからみると、正常孵化率が対照区とほぼ等しい値を示す温度は、50%正常孵化温度からおよそ2°C減じた値である。上記のそれぞれの値から2°Cを減じた温度を整理すると以下のようになる。瞬時に温度が上昇した場合、孵化温度の上限は発生初期卵、発生後期卵のいずれの場合も29°C程度、基準水温とした25°Cからの上昇幅を ΔT であらわすと $\Delta T = 4^{\circ}\text{C}$ 程度となる。高温接触時間が短いと想定される場合には、高温に接触する時間に応じて、接触時間が15分の場合約36°C ($\Delta T = 11^{\circ}\text{C}$)、接触時間が60分の場合約33°C ($\Delta T = 8^{\circ}\text{C}$)、接触時間が3~24時間の場合に約30~31°C ($\Delta T = 5 \sim 6^{\circ}\text{C}$)が上限の温度となろう。

アオリイカは、産卵時に海岸に近づき、海藻類、海底に沈んでいる流木の小枝、定置網等に卵嚢を数十から数百、房状に束ねて産みつけるという習性をも

っている。温排水の放水域内にこのイカの産卵場が想定される場合には、前記の50%正常孵化温度から2°C程度減じた温度が、アオリイカ卵への影響検討の目安となろう。

参考文献

- 崔 相・大島泰雄(1961). アオリイカの発生と稚仔の成長について. 貝類学雑誌, 21(4) : 462-476.
- 木下秀明(1982). アオリイカの卵及び孵化幼生の高温耐性. 海生研報告, No.82201. 30pp.
- 奥谷喬司(1984). アオリイカの生活史. 栽培技研, 13(1) : 69-75.



事務局 〒101 東京都千代田区内神田1-18-12 北原ビル ☎(03)3233-4173
中央研究所 〒299-51 千葉県夷隅郡御宿町岩和田300番地 ☎(0470)68-5111
実証試験場 〒945-03 新潟県柏崎市荒浜4-7-17 ☎(0257)24-8300