

カタクチイワシ仔魚の無給餌での成長と 限界給餌に対する海水温の影響

今井 千文*¹・田中 昌一*²

Effects of sea water temperature on growth under unfed conditions
and marginal feeding conditions for first feeding in Japanese
anchovy *Engraulis japonicus* larvae

Chifumi Imai*¹ and Syoiti Tanaka*²

The effect of sea water temperature on growth and feeding of early larvae of the Japanese anchovy *Engraulis japonicus* was examined by rearing experiments. Eggs spawned and fertilized by captive anchovy in June through August of 1980 and 1982 to 1984 were incubated under different sea water temperature conditions. Incubation time was exponentially decreased with temperature. The standard length (SL) of unfed larvae reached the maximum at one (25°C) to four (16°C) days after hatching depending on the temperature, and then decreased. The maximum SL decreased with temperature. It was estimated that the yolk sac was completely absorbed at 1.9 (25°C), 2.2 (22°C), 2.7 (20°C), and 4.3 (16°C) days after hatching. The latest point at which some larvae are able to feed decreased with temperature as 1.9, 1.9 (20°C), 2.1, 1.1 (22°C), and 1.3, 0.3 (25°C) days after complete yolk absorption in two respective experiments in 1982 and 1983. It was suggested that the duration of possible feeding slightly decreases with the temperature. For the first feeding larvae, higher food density was required at a higher temperature.

1 緒 言

小卵を多産する海産硬骨魚類では、孵化した仔魚は卵黄吸収後早い時期に十分な量と質の餌を獲得できなければ大量死亡、いわゆる初期減耗が起こる。摂餌開始期の餌生物量の変動が加入量変動の主要因であるとする Hjort の

critical period hypothesis¹⁾ が提案されて以来、初期摂餌を成功させるのに必要な餌密度、^{2,3)} 回復不能飢餓までの時間、^{4,5)} 餌生物の分布様態⁶⁾ など様々な角度から初期減耗と餌環境の関係が解析されてきた。

初期減耗は水温をはじめとする無機的な海洋環境の影響によっても変化すると考えられるが、⁷⁾ 両者の関係は明確に

水産大学校研究業績 第1548号、1996年6月20日受付

Contribution from National Fisheries University No. 1548, Received Jun. 20, 1996

昭和59年度日本水産学会秋季大会(1983年10月、仙台)にて発表

*1 水産大学校漁業学科漁場学講座 (Laboratory of Fisheries and Oceanography, Department of Fishery Science and Technology, National Fisheries University)

*2 日本鯨類研究所 (The Institute of Cetacean Research)

はなっていない。水温は水産生物の生態と深い関係にある代表的な無機的環境要因である。^{8,9)} これに加えて、カタクチイワシ *Engraulis japonicus* では水温が卵巣の発達過程に作用して、卵サイズ¹⁰⁾ および産卵数¹¹⁾ を変化させることが判明している。水温変動は様々な形でカタクチイワシの再生産戦略に影響をおよぼしていると考えられる。本研究ではカタクチイワシの初期減耗に影響すると考えられる飢餓条件での成長、給餌開始時期の遅れおよび給餌密度の摂餌状態に対する影響を水温段階別に比較実験した。

本研究の飼育実験は東京大学理学部付属三崎臨海実験所において実施した。施設、機器の使用を許諾された当時の木下清一郎所長はじめスタッフの皆様へ深く感謝いたします。また、カタクチイワシの親魚を入手するに当たり、神奈川県水産試験場（現神奈川県水産総合研究所）の三谷勇博士、小網代漁業協同組合および金田漁業協同組合の皆様へ協力をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

2 材料と方法

飼育実験は1980年から1984年にかけての6～8月に実施した。使用したカタクチイワシ卵は水槽飼育した親魚が自然産卵、受精したものである。¹⁰⁾ 親魚は相模湾または東京湾の小型定置網の漁獲物をカツオ一本釣りの活餌用に海上生け簀において蓄養しているものを用いた。輸送には0.5トン容積の円筒形水槽を用い、酸素通気をしながら陸上輸送した。この方法で1回に最大2,000～3,000尾の親魚を搬送し、所要時間が1時間程度であれば目立った減耗は起こらなかった。

親魚飼育は神奈川県三浦半島の東京大学三崎臨海実験所の屋外飼育水槽（石製、半月形、直径4.6m、水深約70cm）を用い、流水で行った。換水量は屋内水槽の使用状況により変動するが、平均的には約50ℓ/分である。直射日光を避けるため、水槽表面積の約8割を青色ビニールシートで覆った。餌料はマス稚魚用ペレットを用い、1日数回に分けて飽食するまで与えた。産卵は実験期間中はほぼ毎日、夜間に観察された。集卵はオーバーフロウ排水口に設置した水槽と排水用ネットにより行い、排水による擾乱で卵が死亡することを防止した。

仔魚の飼育実験は1ℓのガラスピーカーを用い、収容卵数は原則として100卵とした。飼育海水は実験所周辺の相模湾沿岸域において表層採水したものをワットマンガラスフィルターGF/Fにより濾過し、紫外線滅菌したのち曝気して使用した。餌生物は海産緑藻類により培養したシオミズツ

ボワムシ *Blachionus plicatilis*（以下ワムシと略称する）を用いた。

飼育水温は原則として16, 20, 22, 25℃の4段階の水温区を設定し、光条件は明期14時間、暗期10時間とした。産卵は主として水温22℃以上の高温期に行われたため、設定飼育水温との差は6℃以上となる場合がある。卵を採卵時と同水温の飼育ピーカーに収容し、これを水温の近い水浴槽を経由しながら順次設定温度の水浴槽に移すことにより、水温の急激な変化によるショックを軽減した。したがって、各実験における積算温度は厳密には設定温度の積算値とはわずかに異なる。夜間に受精した卵が孵化する日は設定した水温により異なり、産卵日の翌日（25℃）から3日後（16℃）にわたる。便宜的に産卵日の2日後を孵化日（0日）として日数を示すこととした。したがって、16℃水温区では0日にはまだ孵化しておらず、25℃水温区では孵化後2日目となっている。

仔魚の標準体長（SL：吻端から脊索後端までの水平距離）、卵黄長（YL）および卵黄高（YH）は実体顕微鏡の接眼マイクロメーターを用いて1/40mm単位まで測定した。仔魚は水中では頭部を下向きに浮遊するため、MS-222により麻酔してスライドグラス上に滴下し、仔魚が水平になるまで慎重に水分を吸い取ってから測定した。誤って仔魚に触れると仔魚はすぐに収縮して測定不能になる。卵黄保持量は（YV）は卵黄を回転円筒とみなして、 $YV = \pi/6 \times YL \times YH^2$ により求めた。

3 結果

3.1 無給餌状態での成長に対する海水温の影響

Fig. 1に1980年および1984年の7月に実施した水温と平均孵化時間の関係の実験例を示す。孵化時間は飼育海水温の上昇に対して指数関数的に減少した。同様の実験を他に3回実施した結果は1980年7月の結果と同様であった。1984年の実験例では産卵水槽から所定水温に達するまでの時間を極力短くしたため、低温条件で特に孵化時間が長い傾向が認められる。産卵が所定の水温で行われる場合には孵化時間はさらに長くなると考えられる。各水温区の孵化時の体長には有意差は認められず（ $P > 0.05$ ）、孵化時の体長には水温の影響は認められなかった。

Fig. 2に無給餌で飼育した場合の体長の変化過程の1例を示す。25℃では1日目に体長は最大になり後に縮小して、5日目には死亡個体が多くなり測定不能になった。22℃で

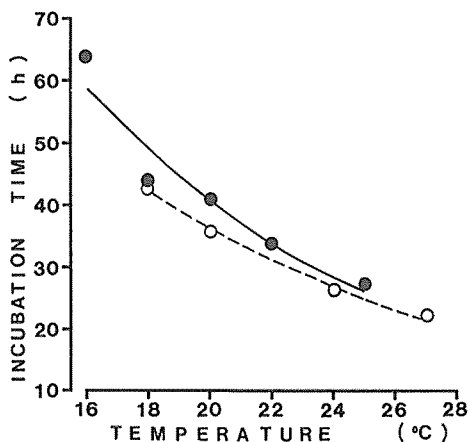


Fig. 1. Relationship between temperature and incubation time of anchovy eggs. Fertilized eggs were collected on Jul. 16, 1980 (○) and Jul. 11, 1984 (●).

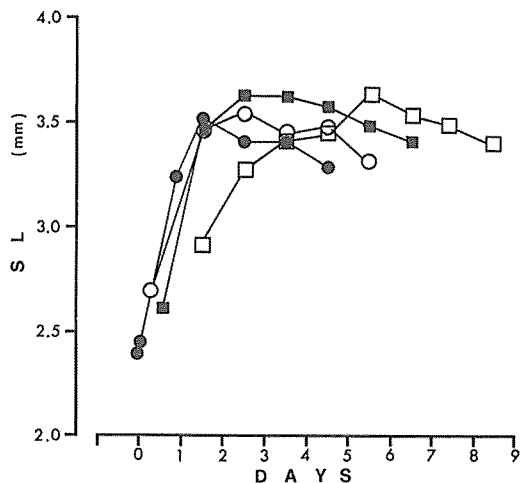


Fig. 2. Growth of unfed anchovy larvae at temperature of 16°C (□), 20°C (■), 22°C (○), and 25°C (●). Each symbol shows the mean standard length (SL) of 12-15 individuals. Fertilized eggs were collected on Aug. 7, 1983.

は2日目最大で後に減少する。20°C水温区では2, 3日目の値がほぼ等しく最大である。16°C水温区では5日目最大となり、9日目まで生残した。飢餓条件における体長

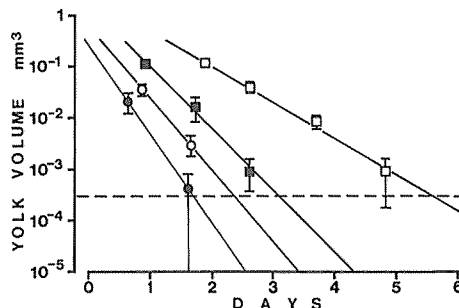


Fig. 3. Logarithmic change in yolk sac volume of anchovy larvae at temperatures of 16°C (□), 20°C (■), 22°C (○), and 25°C (●). Broken line indicates the assumed level of yolk sac volume at complete yolk sac absorption ($3 \times 10^{-4} \text{mm}^3$). Fertilized eggs were collected on Aug. 7, 1983.

の最大値は16, 20°C区で大きく、水温が高い実験区において減少する傾向にあった。

Fig. 3はFig. 2と同じ実験において卵黄長、卵黄高を測定して求めた卵黄体積の対数の時間変化を示したものである。25°C水温区の1日目の測定値の平均は $3.8 \times 10^{-4} \text{mm}^3$ であったが、卵黄吸収が完了した個体が含まれ、卵黄吸収完了直前と考えられる。各水温区最後の測定の翌日の測定ではすべて卵黄が吸収されていた。卵黄吸収が完了した測定時刻の卵黄体積を直線を外挿して求めると、16°C水温区の5日目の測定時刻、17時30分の $2.4 \times 10^{-4} \text{mm}^3$ が最大値であった。卵黄吸収完了は卵黄体積が $3.8 \sim 2.4 \times 10^{-4} \text{mm}^3$ になる間に起こったと考えられる。ここでは、 $3.0 \times 10^{-4} \text{mm}^3$ になった時点(図中破線)を卵黄吸収完了時間とする。こうして求めた卵黄吸収完了日数は16°C, 20°C, 22°C, 25°Cでそれぞれ5.7日, 3.3日, 2.5日, 1.8日であった。これを孵化後の日数に換算すると、16°C, 20°C, 22°C, 25°Cの各水温区で4.3日, 2.7日, 2.2日, 1.9日間になる。Fig. 2, 3と同様の実験を他に3回実施したが、所定水温に達するまでの時間により若干影響されるものの、ほとんど同様の結果であった。

3.2 摂餌可能な限界給餌開始時期に対する海水温の影響

給餌実験では設定水温は飼育設備の関係から16°Cを除いた20, 22, 25°Cの3段階とした。実験中に1回だけワムシ5000個体/ℓを給餌することとし、給餌開始時期を半日づつずらした。最初の実験(1982年7月)では孵化後3日目午前前から5日目午前の5段階の給餌時期を設定した。結果の

生残曲線をFig. 4に示す。3日目午前給餌区では7日目以後も各水温区で生残個体が認められる。生残個体数は25℃水温区で最も少なく、22℃水温区が多かった。3日目午後以後に給餌した場合、25℃水温区では生残個体が認められなかった。4日目午後給餌した場合には22℃水温区、5日目午前給餌ではすべての水温区で全個体が8日目までに死亡した。

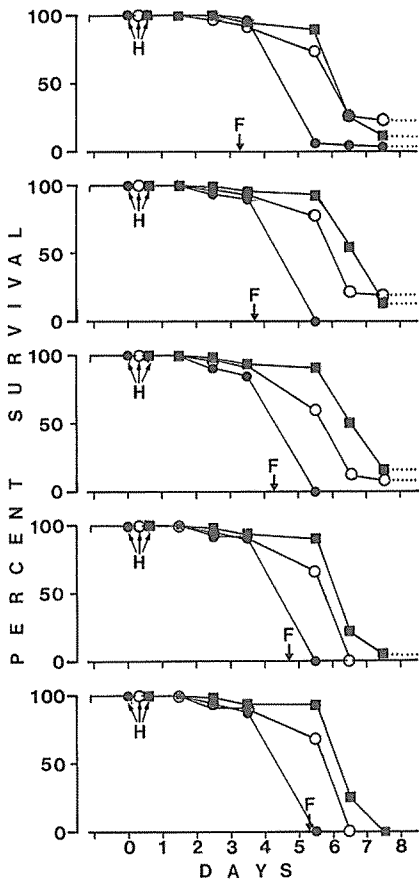


Fig. 4. Survival of anchovy larvae with time of first feeding at temperatures of 20°C (■), 22°C (○), and 25°C (●). Several individuals, of which percentage is indicated by dotted line, were still feeding at termination of the experiment. H and F indicate times of hatching and first feeding (500 rotifers/ℓ), respectively. Fertilized eggs were collected on Jul. 16, 1982

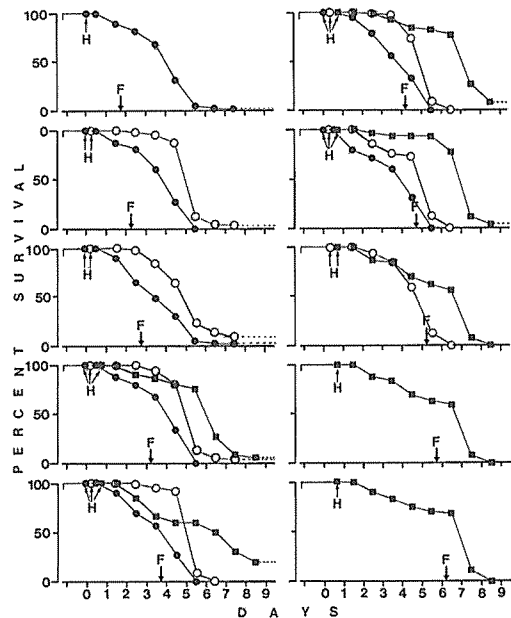


Fig. 5. Survival of anchovy larvae on different daily ration of rotifers from 100 to 500 individuals/ℓ at temperatures of 20°C (■), 22°C (○), and 25°C (●). Several individuals, of which percentage is indicated by dotted line, were still feeding at termination of the experiment. H and F indicate times of hatching and first feeding, respectively. Fertilized eggs were collected on Jul. 16, 1982

2回目の実験では水温およびワムシの給餌密度は1回目の実験と同一とし、給餌開始時期を1日目午前から6日目午前までの広い範囲に設定した。結果の生残曲線をFig. 5に示す。25℃水温区では2日目午後、22℃水温区では3日目午後、20℃水温区では5日目午前以後の給餌では摂餌、生残個体は認められなかった。摂餌個体が認められる限界の給餌開始時期は2回の実験において、20℃水温区では5.0日、5.0日で一致したが、22℃では4.5日と3.5日、25℃では3.0日と2.0日以後の実験で約1日短い結果となった。孵化後日数で表すと、20℃では4.4日と4.4日、22℃で4.1日と3.1日、25℃で3.1日と2.1日間になる。卵黄吸収完了からの時間は20℃において1.9日と1.9日、22℃で2.1日と1.1日、25℃では1.3日と0.3日間であり、高水温の実験区で短い傾向が認められた。

3.3 摂餌可能な最少給餌密度に対する海水温の影響

餌密度に関する実験ではできる限り天然海域に近い餌密

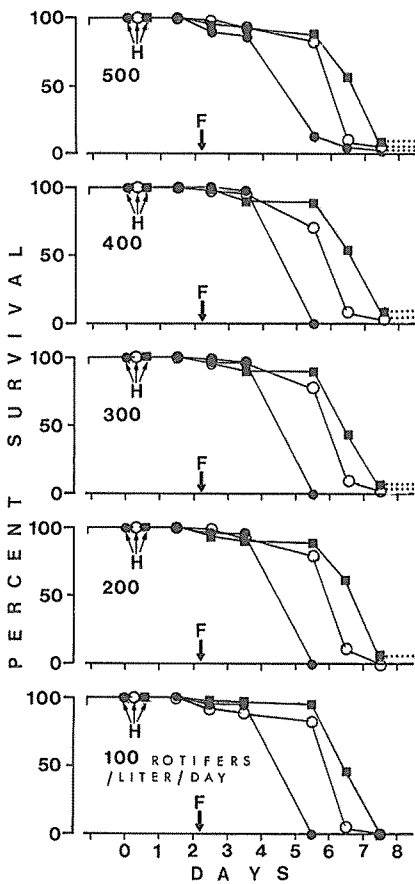


Fig. 6. Survival of anchovy larvae on different daily ration of rotifers from 100 to 500 individuals/l at temperatures of 20°C (■), 22°C (○), and 25°C (●). Several individuals, of which percentage is indicated by dotted line, were still feeding at termination of the experiment. H and F indicate times of hatching and first feeding, respectively. Fertilized eggs were collected on Jul. 16, 1982.

度を再現するため、餌密度を低い値に設定した。したがって、飼育ビーカー内の餌密度を採水により測定することが困難と考え、日々の給餌スケジュールを設定して実施した。この実験においても設定水温区は20, 22, 25°Cの3段階とした。1回目の実験(1982年7月)ではワムシを2日目以後毎日100~500個体/ℓ給餌した。結果の生残曲線をFig. 6に示す。給餌量を天然海域に近い低い値に設定しているため、生残個体数は全体的に低い。25°C水温区では500個体/ℓ給餌区でのみ摂餌、生残個体が認められる。22°C水温

区で300, 20°C水温区では200個体/ℓ/日以上給餌量で7日目以降も摂餌して生残する個体が認められた。2回目の実験(1983年7月)は水温20, 25°Cで給餌開始日とそれ以後の給餌密度を6段階に設定して実施した。(Fig. 7)。実験区AからFへ順に餌密度が低くなり、Gは無給餌の対照区である。20°CではD, 25°CではE区で初めて生残個体が認められた。前回実験で生残個体が観察された300個体/ℓ/日のC実験区では20°Cでも摂餌生残個体は見られなかった。

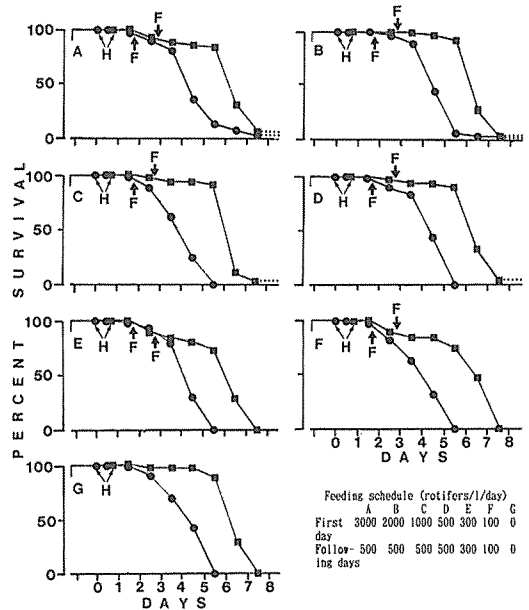


Fig. 7. Survival of anchovy larvae under different feeding regemes at temperatures of 20°C (■) and 25°C (●). Several individuals, of which percentage is indicated by dotted line, were still feeding at termination of the experiment. H and F indicate time of hatching and first feeding, respectively. Fertilized eggs were collected on Jul. 25, 1983.

4 考 察

本実験では陸上飼育水槽で飼育したカタクチイワシ親魚が自然産卵した受精卵を使用した。産卵は5月から10月にかけて観察されたが、活発になるのは高水温の6~8月であり、実験はこの時期に集中しがちである。産卵、受精時の水温は22°C~28°Cの範囲であり、飼育の行われた16, 20°Cの水温区においては2~12°Cと大幅に水温を低下させたことになる。水温の効果を正確に知るためには迅速な水温設定が必要であるが、水温を急変させると卵、仔魚の発生に

障害が生じる。障害が出ない範囲で水温の設定時間を調整した。それぞれの実験結果の変動要因として親魚飼育水槽の水温および水温緩衝時間の長短の影響があげられる。

本研究の給餌実験では過去の実験結果^{2, 5, 7, 12, 13)} に比べて生残率が低かった。餌密度に関する実験ではできる限り天然海域の条件に近づけるため、給餌量を低い水準に設定したことが大きな原因となっている。しかし、給餌密度が高い給餌開始時期の実験でも生残率がそれほど高くない原因として、餌生物の問題が上げられる。用いた餌料のシオミズツボワムシはカタクチイワシの初期餌料としては大型であり、摂餌成功率が低いことが1つの大きな原因と考えられる。より小型で海域における主要な餌生物であるカイアシ類ノブプリウス幼生を用いれば結果は改善されと考えられる。しかし、培養は難しく、天然採集物に頼らざるを得ない現在では均質な餌料の確保および有害生物の混入の問題が残る。

Laskerら⁵⁾はカリフォルニア産カタクチイワシ(northern anchovy *Engraulis mordax*)の初期餌料に無殻渦鞭毛藻の *Gymnodinium splendens* を用いている。著者らも予備実験としてこの餌生物を使用した。摂餌するものの成長が認められなかった。後に山下¹⁴⁾は *Gymnodinium* 単独では餌料効果は小さいが、ワムシとともに与えるとわずかに生残率が改善されることを報告している。生残率を高める有効な手段として複数餌料生物の混合給餌を考慮すべきであろう。

Blaxter and Hempel⁹⁾は大西洋ニシン *Clupea harengus* の系群間で比較飼育実験を行い、生残が可能で最も遅い給餌開始時間に対して、Point of No Return (PNR) の概念を提唱した。大西洋ニシンの実験では水温が低い場合に卵黄吸収からPNRまでの時間は長くなった。しかし、低水温の実験は大型卵の春産卵群で行われ、高水温では小型卵の夏秋産卵群が用いられている。仔魚の保持エネルギーが異なるため、同列に比較することはできない。後にLaskerら⁵⁾はカリフォルニア産カタクチイワシについて同様の実験を実施し、PNRと同様の回復不能飢餓 irreversible starvation までの時間は孵化後からの日数により計測すると、水温の上昇とともに短くなる。しかし、摂餌が開始される卵黄吸収完了からの時間では1.5日で一定であるとしている。

日本産カタクチイワシについては畔田⁷⁾(水温20, 9~24, 4°C)と山下¹²⁾(21~23°C)が同様の実験を実施した例がある。PNRは前者で孵化後5日目、後者では4日目であったが、水温による比較は実施していない。今回の実験は実施方法が異なるため、前出のPNRの推定結果とは直接の比較は

できないが、22°Cの結果は山下のデータに近い。また、顕著ではないものの、Laskerら⁵⁾の結果と異なり、卵黄吸収完了から摂餌可能給餌開始時間は水温上昇とともに減少する傾向が認められた。水温が上昇すると飢餓状態での到達最大体長が減少し(Fig. 2)、摂餌能力が低下すると考えられる。高水温環境では摂餌開始期の摂餌可能時間が短縮することが示唆されたが、さらにデータを蓄積することにより検証を継続する必要がある。

カタクチイワシ類の摂餌開始期に必要な最低の餌密度についてはエネルギー収支から間接的に求める方法^{3, 7)}および餌密度別の飼育実験により直接に求める方法^{2, 7, 12)}の2面からの推定されてきた。日本産カタクチイワシについては畔田⁷⁾が前者の方法により求めたかいあし類幼生371個体/ℓという結果がある。飼育実験により餌密度と生残の関係を検討した山下¹²⁾は8日齢までは50個体/ℓの餌密度でも10%以上が生残するが、12日齢まででは500個体/ℓが必要であるという結果を得ている。今回の実験は方法が異なるので直接に比較はできない。しかし、20°Cでは200個体/ℓ/日で摂餌生残個体が観察され、水温が高い実験区でより高い餌密度が必要であった。

カタクチイワシの卵サイズは水温が成熟過程に作用して変動し、春の低水温期には大きく、水温の上昇とともに小型化する。^{10, 11)}水温の卵サイズへの影響は低水温域で顕著であり、高水温では不明瞭である。¹⁰⁾したがって、今回の実験で用いた卵は相対的に小型の卵であり、これを各水温に移して実験に用いた。産卵時の水温が20°C以下であれば、卵は本実験で用いたものよりも有意に大きいことが予想され、¹⁰⁾大型卵より孵化した仔魚は小型の仔魚よりも摂餌開始期の体長が大きく、飢餓耐性および摂餌能力も高いことがわかっている。¹⁵⁾卵サイズの影響を考慮すれば卵黄吸収後の摂餌可能な時間、必要餌密度ともに水温の影響はより顕著であると考えられる。今後は卵サイズと水温の相互関係を考慮した実験を計画すべきである。

文 献

- 1) J. Hjort: *Rapp. P.-v. Reun. Cons. Perm. int. Explor. Mer.*, **20**, 1-228 (1914).
- 2) C. P. O'Connell and L. P. Raymond: *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **5**, 187-197 (1970).
- 3) J. R. Hunter: *Fish. Bull.*, **70**, 821-838 (1972).
- 4) J. H. S. Blaxter and G. Hempel: *J. Cons.*, **28**, 211-240 (1963).

- 5) R. Lasker, H. M. Feder, G. H. Theilacker, and R. C. May : *Mar. Biol.* 5, 345-353 (1970).
- 6) R. Lasker : *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 45, 8-16 (1981).
- 7) 畔田正格 : *漁業資源研究会議報*, 22, 7-28 (1981).
- 8) F. E. J. Fry : *Fish Physiol.*, 6, 1-98, (1971).
- 9) P. Pepin : *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48, 503-518 (1991).
- 10) C. Imai and S. Tanaka : *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53, 2169-2178 (1987).
- 11) C. Imai and S. Tanaka : *Fisheries Sci.*, 62, 印刷中.
- 12) 山下 洋 : カタクチイワシ仔魚の生残に必要な限界餌料密度, "シラス漁場形成機構の生態学的研究" (川口弘一編, 昭和62年度文部省科学研究費補助金 (一般研究B) 研究成果報告書), 東京大学海洋研究所, 東京, 1988, pp.9-11.
- 13) 山下 洋 : カタクチイワシ仔魚のポイントオブノーリーターンと飢餓による行動の変化, "シラス漁場形成機構の生態学的研究" (川口弘一編, 昭和62年度文部省科学研究費補助金 (一般研究B) 研究成果報告書), 東京大学海洋研究所, 東京, 1988, pp12-16.
- 14) 山下 洋・石丸 隆・川口弘一 : *H水誌*, 55, 1029-1034 (1989).
- 15) 今井千文 : 水産海洋研究会報, 51, 55-58 (1987).