

アオギス *Sillago parvisquamis* の初期発育段階における高温耐性

吉川貴志^{*1§}・喜田 潤^{*1,a}・木下秀明^{*1}・瀬戸熊卓見^{*1}
伊元九弥^{*2,b}・松井誠一^{*2,c}

Thermal tolerance of small-scale sillago (*Sillago parvisquamis*) during the early developmental stages

Takashi Kikkawa^{*1§}, Jun Kita^{*1,a}, Hideaki Kinoshita^{*1}, Takumi Setoguma^{*1},
Hisaya Imoto^{*2,b} and Seiichi Matsui^{*2,c}

要約: 発電所の冷却水取放水に伴う生物影響を調査する一環として、アオギスの初期発育段階における高温耐性について実験的に検討した。胚期では32細胞期, 初期のう胚期, 胚体出現期およびふ化直前期を対象とし, 仔稚魚期はふ化後1, 4, 6, 8, 9, 12, 22, 31および43日目の個体について高温暴露試験を実施した。最高温度41°Cまでの10段階の高温に暴露し, 暴露時間は胚期では7.5分間~12時間, 仔稚魚期では15分間~24時間とした。暴露後は速やかに飼育水温である26°Cに戻して死亡率を求めた。15分間の高温暴露に対する半数致死温度は, 発育段階により異なるが胚期では33.6~37.5°C, 仔稚魚期では29.7~38.8°Cとなり, 32細胞期胚およびふ化後4~9日目の仔魚において高い感受性を示した。15分間高温暴露による致死影響が対照区と有意差を生じない最高温度(無影響温度)は, 胚期では32.1~36.5°Cであり, 仔稚魚期では29.0~38.1°Cであった。無影響温度の飼育水温からの昇温幅は胚期が6.2~10.4°C, 仔稚魚期では3.8~12.1°Cであり, 発電所の復水器通過による昇温を7°C, 15分間と仮定すると, 高温感受性の高い発育段階においては一部の個体は致死影響を受ける可能性が示唆された。

キーワード: アオギス・高温耐性・胚・仔魚・稚魚・海産魚・初期発育段階・半数致死温度

Abstract: Thermal tolerance of the early developmental stages of small-scale sillago (*Sillago parvisquamis*) was investigated to study the biological impacts of power plant thermal effluents. Eggs of 32-celled ovum, early gastrula, appearance of embryo and ready for hatching stages, and larvae or juveniles of 1, 4, 6, 8, 9, 12, 22, 31 and 43 days after hatching were exposed to ten test temperatures up to 41°C for 7.5 min to 24 h, and returned immediately to the initial incubation temperature of 26°C. 50% lethal temperatures for the 15-min exposure ranged 33.6–37.5°C for the eggs and 29.7–38.8°C for the larvae and juveniles. The more susceptible stages were the 32-celled ovum and the 4-9 days old larvae. Additionally, the maximum temperatures, at which no significant difference in mortality from the control group for the 15-min exposure were observed, ranged 32.1–36.5°C for the eggs and 29.0–38.1°C for the larvae and juveniles. Furthermore, the increments showing no significant difference from the control, i.e. the rearing temperature before the exposure, ranged 6.2–10.4°C for the eggs and 3.8–12.1°C for the larvae and juveniles. These results suggested that the thermal increase ($\Delta T=7^\circ\text{C}$) by the power plant thermal effluents would have a lethal effect on the more susceptible stages of small-scaled sillago eggs and larvae.

Keywords: *Sillago parvisquamis*, thermal tolerance, embryo, larva, juvenile, marine fish, early developmental stage, 50% lethal temperature

(2006年6月15日受付, 2006年7月26日受理)

*1 財団法人 海洋生物環境研究所 中央研究所 (〒299-5105 千葉県夷隅郡御宿町岩和田300)

§ E-mail: kikkawa@kaiseiken.or.jp

*2 九州大学大学院生物資源環境科学府附属水産実験所 (〒811-3304 福岡県宗像郡津屋崎町2506)

*a 現所属: 財団法人 海洋生物環境研究所 実証試験場 (〒945-0017 新潟県柏崎市荒浜4-7-17)

*b 現所属: 沖縄尚学高等学校附属中学校 (〒902-0075 沖縄県那覇市国場747)

*c 現住所: 〒813-0014 福岡県福岡市東区香椎台2-16-4

まえがき

アオギス *Sillago parvisquamis* はキス科 Sillaginidae に属する海産魚類である。我が国では古くから釣りの対象魚としても親しまれてきたが、東京湾、伊勢湾など多くの生息地で絶滅した可能性が高いとされ、現在は九州の一部にわずかに残るだけで、種の絶滅が危惧されている（望月ら、1998）。本種は初夏に河口の水の澄んだ干潟に出現し、梅雨頃に産卵を行い、若魚は河川にも出現する（望月、1997）。水温の低下に伴い沖合に向かって移動するが、冬季も水深約15m以浅の沿岸域で過ごすとなっている（伊元ら、1999；伊元、2000）。本種の環境要因に対する反応は胚期や仔稚魚期の塩分耐性および成魚の温度選好について報告されているのみで、極めて知見が少ない（伊元、2000；土田、2002）。財団法人海洋生物環境研究所ではアオギスの飼育および繁殖技術を確認し、1995年以降継代飼育を実施している（瀬戸熊・喜田、1997）。ここでは、沿岸に立地する発電所の取放水が生物に及ぼす影響を調査する一環としてアオギスの初期発育段階における高温耐性を実験的に検討するとともに、本種の生物学的知見の蓄積に資することを目的とした。

方法

供試材料 財団法人海洋生物環境研究所中央研究所で飼育しているアオギスの成熟個体（2歳魚）を日長15L：9D、水温26℃下で自然産卵させ、得られた受精卵を供試した。採卵は1998年3月20日および26日の2回実施し、それぞれ実験に供した（以下、3月20日採卵をA卵、26日採卵をB卵とする）。採卵時の水温はA卵・B卵ともに26.1℃であった。受精卵は100Lパンライト水槽に收容して水温を26±0.2℃（範囲）に設定して飼育した。塩分は34.1～34.5であった。72細胞期における正常発生率はA卵・B卵ともに100%（A卵： $n=104$ 、B卵： $n=150$ ）であり、卵径はA卵が0.70±0.01mm、B卵が0.69±0.01mm（それぞれ平均値±SD、 $n=20$ ）であった。A卵は32細胞期（受精後0.5時間）および初期のう胚期（受精後5.5時間）の2発生段階について、B卵は32細胞期、初期のう胚期、胚体出現期（受精後8時間）およびふ化直前期（受精後17時間）の合計4発生段階について、それぞれ高温暴露試験に供した。なお、胚期

の発生段階はOozeki and Hirano（1985）のシロギス *S. japonica* 胚発生の記載に準拠して定義し、ここではふ化までを胚期とした。

また受精卵の一部は500Lパンライト水槽を用いた仔稚魚の養成に供した。A卵およびB卵から正常にふ化した仔魚（以下、A群、B群とする）に加え、1998年4月6日、4月29日および7月28日に自然産卵により得られた受精卵からふ化した仔魚（それぞれC群、D群、E群とする）も高温暴露試験に供した。なおE群のみ福岡県産天然魚を親魚として採卵した。採卵時の水温はC群が26.1℃、D群が26.3℃、E群が21.7℃であった。

養成時の餌料として、SおよびL型ワムシ *Brachionus* sp.、アルテミア *Artemia* sp. ノープリウス幼生、魚卵および配合飼料を仔稚魚の成長に合わせて使用した（Fig. 1）。仔稚魚の発育段階はImoto and Matsui（2000）のアオギス仔稚魚発育記載に従って定義した（Fig. 1）。餌料系列のうち、ふ化後11日目まではテトラセルミス *Tetraselmis tetrathele* をワムシとともに用いた。テトラセルミスは飼育水中のワムシ餌料としてのほか、水質を安定させることおよび水中照度を低く

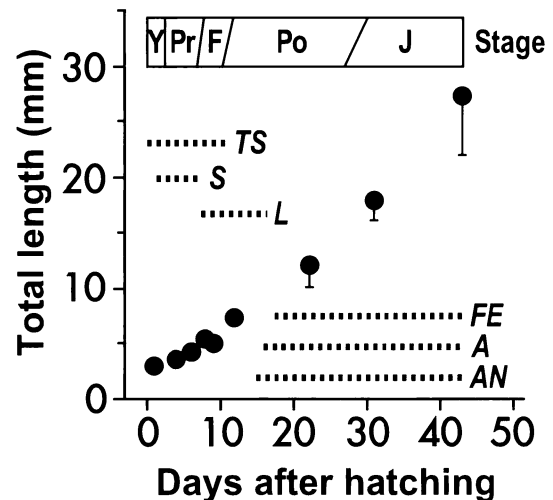


Fig. 1 Total length, food schedule and developmental stages of *Sillago parvisquamis* larvae and juveniles used for this study. Circles show the mean total length of 20 individuals and error bars show SD. The developmental stages are shown in the upper box. Y: yolk-sac larvae, Pr: preflexion larvae, F: flexion larvae, Po: postflexion larvae, J: juveniles. Dotted lines show the durations of feedings as follows, TS: *Tetraselmis tetrathele*, S: S-type rotifers, L: L-type rotifers, FE: fish eggs, A: artificial diet, AN: *Artemia* sp. nauplii. *T. tetrathele* was introduced in order to feed the rotifers, maintain the water quality and calm the larvae.

Table 1 50% lethal temperature (T_{L50}) of *Sillago parvisquamis* embryos

Developmental stage	Clutch	Rearing temperature before the exposure	Exposure duration						
			7.5 min	15 min	30 min	1 h	3 h	6 h	12 h
32-celled ovum	A	25.9	33.8 (7.9)	33.9 (8.0)	33.7 (7.8)	32.2 (6.3)	30.0 (4.1)	–	29.0 (3.1)
32-celled ovum	B	25.9	34.3 (8.4)	33.6 (7.7)	32.3 (6.4)	30.7 (4.8)	29.3 (3.4)	–	29.5 (3.6)
Early gastrula	A	26.0	37.1 (11.1)	35.6 (9.6)	35.7 (9.7)	35.5 (9.5)	32.7 (6.7)	30.6 (4.6)	–
Early gastrula	B	26.0	36.6 (10.6)	35.7 (9.7)	35.4 (9.4)	34.1 (8.1)	33.0 (7.0)	30.6 (4.6)	29.0 (3.0)
Appearance of embryo	B	26.0	35.6 (9.6)	36.5 (10.5)	35.8 (9.8)	34.9 (8.9)	32.1 (6.1)	29.8 (3.8)	–
Ready for hatching	B	26.1	38.6 (12.0)	37.5 (11.4)	35.9 (9.8)	34.5 (8.4)	–	–	–

Temperature unit is °C. Values in parentheses mean ΔT from rearing temperatures before the exposure.

保つことで仔魚を安静にする目的で導入した。養成中の飼育水温は26°Cに設定し、A群はふ化後43日目まで、B群はふ化後22日目まで、C群はふ化後9日目まで、D群はふ化後31日目まで、E群はふ化後8日目まで飼育した。高温暴露にはふ化後1日目 (D群)、4日目 (E群)、6日目 (D群)、8日目 (E群)、9日目 (C群)、12日目 (D群)、22日目 (B群)、31日目 (D群) および43日目 (A群) の個体を用いた。

胚の高温暴露 暴露水温は27.5°Cから1.5°C間隔で41.0°Cまで10段階とし、対照区水温は26.0±0.2°C (範囲) とした。暴露時間はA卵の32細胞期では7.5分間、15分間、30分間、1時間、3時間および12時間とし、A卵の初期のう胚期では7.5分間、15分間、30分間、1時間、3時間および6時間とした。B卵の暴露時間は、32細胞期が7.5分間、15分間、30分間、1時間、3時間および12時間、初期のう胚期が7.5分間、15分間、30分間、1時間、3時間、6時間および12時間、胚体出現期が7.5分間、15分間、30分間、1時間、3時間および6時間、ふ化直前期が7.5分間、15分間、30分間および1時間とした (Table 1)。高温暴露には50mLガラス試験管を用いた。試験管には0.45 μ mろ過装置 (Advantec Toyo社, TOCEL: TCG-045SIFN) でろ過した自然海水を30mL満たし、試験開始2時間以上前に各暴露水温に設定した恒温槽内に設置した。試験管にはプラスチック製の蓋をした。1 暴露水温 1 暴露時間区につき2本の試験管を使用し、1本の試験管に10個前後の卵を収容した。水温を26°Cに設定し温度変動を伴わない区を対照区とし、各発生段階につき4または5本の試験管を使用した。試験直前に棒状水銀水温計を用い、試験管内の水温が設定水温に達していることを確認した。飼育水槽内に浮上している受精卵を50mLビーカーに飼育水ごとすくい取り、パストゥールピペットを用いて各暴露水温に設定した恒温槽内に設置した試験管に卵を収容し、高温暴露を開始

した。所定期間の暴露が終了したのち、水温を26°Cに設定してある恒温水槽に供試卵を試験管ごと速やかに移し、ふ化するまで静置した。ふ化開始から4時間経過したのち、正常ふ化仔魚数を計数した。ここでは外見的に異常の見られないふ化個体を正常ふ化仔魚とし、Kingsford *et al.* (1996) が報告している脊索の異常が認められる個体や、横臥している個体は正常ふ化仔魚には含めなかった。計数結果は2本の試験管で得られた値を合わせて1試料として解析した。対照区も同様に使用した試験管すべての計数値を合わせて1試料として結果を解析した。正常ふ化以外はすべて死亡と定義し、供試胚数と正常ふ化仔魚数の差を供試胚数で除した値を死亡率として算出した。

仔稚魚の高温暴露 暴露水温は胚の実験と同様に設定した。暴露時間は15分間、1.5時間および24時間とした。暴露容器は原則として300mLガラスビーカーを使用し、ふ化後43日目の試験では500mLガラスビーカーを用いた。胚の試験と同様にろ過した自然海水をビーカー容量に合わせて300mLあるいは500mL満たし、試験開始2時間以上前に各暴露水温に設定した恒温槽内に設置した。ビーカーにはプラスチック製の蓋をし、ふ化後43日目の試験ではパストゥールピペットを用いてビーカーに通気した。飼育水槽から正常に遊泳している仔稚魚を5L計量カップまたはタモ網を用いて取り上げ、1Lあるいは2Lガラスビーカーに収容し、操作のストレスを減じるため約1時間、26°Cに設定した恒温水槽内に静置した。このとき、ふ化後43日目の個体には通気を行った。試験直前に棒状水銀水温計を用い、ビーカー内の水温が設定水温に達していることを確認した。その後約10個体をあらかじめ所定の水温に設定しておいたビーカー内の海水に移し、高温暴露を開始した。暴露開始のための個体の移動は、ふ化後1～12日目にはピペットを用いて行い、ふ化後22および31日目では50mLビーカーに供試魚をすくい取り、海水を可能な限り減じた上で

ビーカに移し、ふ化後43日目は小型ネットを用いて供試魚をビーカに移した。各温度区の暴露にはビーカ1個を用いた。また予備試験の結果、ふ化後4日目には高温暴露による狂奔等で仔魚の膜鰭が空中露出することにより水面で死亡する例が多かったため、90mLスクリー管を用いて暴露を行った。スクリー管を用いた暴露では、スクリー管に各水温に設定したろ過海水を満たし、供試魚を収容したのち空気が入らないように付属の蓋を用いて密封し、暴露を開始した。なお暴露期間中は無給餌とした。所定期間の暴露が終了したのち、ビーカまたはスクリー管を26°Cの恒温水槽に移し一昼夜静置したのち、正常生残個体数を計数した。ここでは胚の実験と同様の基準で異常の見られない生残個体を正常生残個体とした。26°Cに設定し温度変動を伴わない対照区ではビーカまたはスクリー管を3つ用いて暴露区と同様の操作を施し、それらの合計値を用いて結果を解析した。正常生残個体以外はすべて死亡と定義し、供試個体数と正常生残個体数の差を供試個体数で除した値を死亡率として算出した。

高温耐性の評価 暴露試験結果から半数致死温度

(T_{L50}) を算出した。 T_{L50} はJIS工場排水試験方法(日本規格協会, 1998)の「魚類による急性毒性試験」に準拠し以下の方法で算出した。暴露温度および死亡率をそれぞれ方眼紙の普通目盛りにとって、観察された死亡率が0.5より上のものと下のものとの最も0.5に近いものを記入し、この両点を直線で結び、死亡率0.5の線と交わる点に相当する温度を T_{L50} とした。なお、 T_{L50} が2点以上算出できる場合は、最も高水温となる T_{L50} を採用した。また供試個体数に対する死亡個体出現数が対照区と有意差を生じない最高暴露水温区をFisher's exact test ($\alpha=0.1$)によって求め、これを無影響温度とした。

結 果

胚の高温耐性 対照区の死亡率は0.22~0.29であった。高温暴露区の死亡率は暴露時間の延長および温度の増加に伴って上昇する傾向にあった (Fig. 2)。死亡率から算出した T_{L50} をTable 1に示した。32細胞期の T_{L50} は7.5分間の暴露では33.8°C (A卵)あるいは34.3°C (B卵)であり、暴露時間が1~

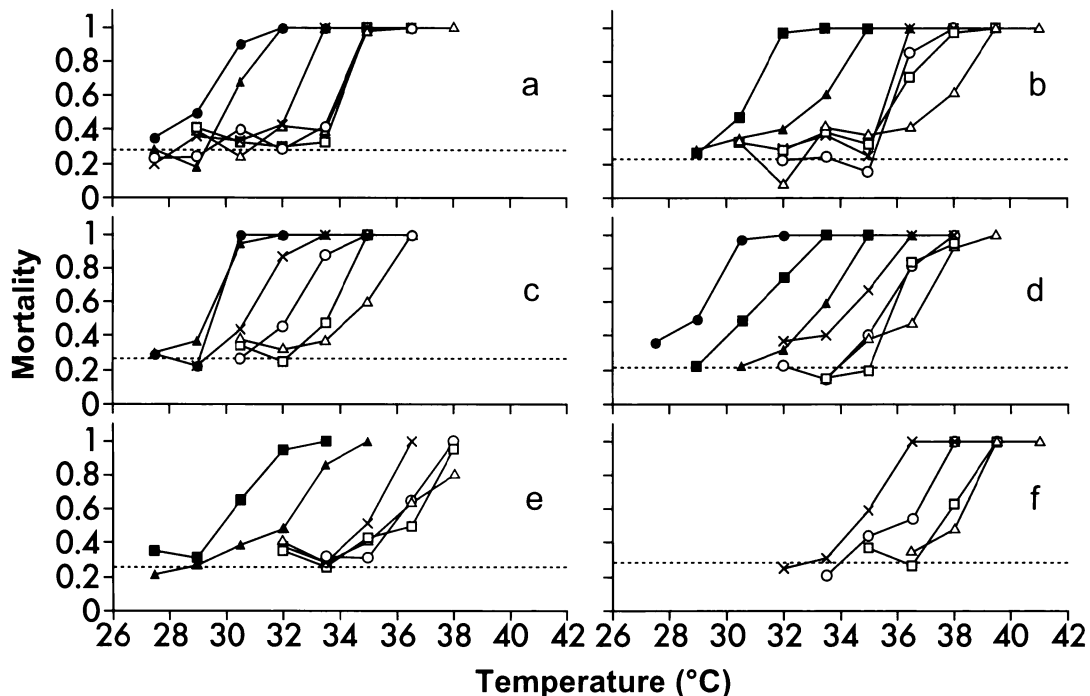


Fig. 2 Thermal tolerance of *Sillago parvisquamis* embryos. Dead and abnormally hatched individuals were defined as 'dead'. Mortalities of clutch A or B are shown at different developmental stages. a: '32-celled ovum' stage (clutch A), b: 'early gastrula' stage (clutch A), c: '32-celled ovum' stage (clutch B), d: 'early gastrula' stage (clutch B), e: 'appearance of embryo' stage (clutch B) and f: 'ready for hatching' stage (clutch B). Symbols show different exposure durations as follows, open triangles: 7.5 min, open squares: 15 min, open circles: 30 min, crosses: 1 h, solid triangles: 3 h, solid squares: 6 h and solid circles: 12 h. Dotted line shows mortality of the control (26°C) in each test.

Table 2 Maximum temperature that shows no significant effect on development and hatching of *Sillago parvisquamis* embryos

Developmental stage	Clutch	Exposure duration						
		7.5 min	15 min	30 min	1 h	3 h	6 h	12 h
32-celled ovum	A	33.5 (7.6)	33.5 (7.6)	33.5 (7.6)	32.0 (6.1)	29.0 (3.1)	–	27.5 (1.6)
32-celled ovum	B	33.5 (7.6)	32.1 (6.2)	30.5 (4.6)	30.5 (4.6)	29.0 (3.1)	–	29.0 (3.1)
Early gastrula	A	35.0 (9.0)	35.0 (9.0)	35.0 (9.0)	35.0 (9.0)	30.5 (4.5)	29.0 (3.0)	–
Early gastrula	B	35.0 (9.0)	35.0 (9.0)	35.0 (9.0)	33.5 (7.5)	32.0 (6.0)	29.0 (3.0)	27.5 (1.5)
Appearance of embryo	B	35.0 (9.0)	35.0 (9.0)	35.0 (9.0)	33.5 (7.5)	30.5 (4.5)	29.0 (3.0)	–
Ready for hatching	B	36.5 (10.4)	36.5 (10.4)	35.0 (8.9)	33.5 (7.4)	–	–	–

Temperature unit is °C. Values in parentheses mean ΔT from rearing temperatures before the exposure.

Table 3 50% lethal temperature (T_{L50}) of *Sillago parvisquamis* larvae and juveniles

Days after hatching	Clutch	Rearing temperature before the exposure	Exposure duration		
			15 min	1.5 h	24 h
1	D	26.1	37.1 (11.0)	36.1 (10.0)	33.8 (7.7)
4	E	25.2	29.7 (4.5)	28.4 (3.2)	*
6	D	26.0	38.4 (12.4)	35.6 (9.6)	30.0 (4.0)
8	E	25.8	34.1 (8.3)	33.1 (7.3)	28.9 (3.1)
9	C	26.0	35.9 (9.9)	35.3 (9.3)	27.9 (1.9)
12	D	25.8	36.8 (11.0)	36.0 (10.2)	33.5 (7.7)
22	B	26.0	38.4 (12.4)	37.1 (11.1)	33.7 (7.7)
31	D	26.0	38.8 (12.8)	36.5 (10.5)	*
43	A	26.1	38.4 (12.3)	37.2 (11.1)	35.5 (9.4)

Temperature unit is °C. Values in parentheses mean ΔT from rearing temperatures before the exposure. Asterisks show T_{L50} was not calculated because fish mortalities were above 0.5 in all tested temperatures.

12時間の範囲では32.2°Cから29.0°C (A卵) と暴露時間の延長に伴い低下し、29°C付近に漸近する傾向を示した。B卵も同様の傾向を示した。32細胞期の T_{L50} は産卵群間で0.3~1.5°Cの差異があったが、卵群による値の高低は暴露時間によって異なり、卵群による傾向の違いは見られなかった。初期のう胚期の T_{L50} は7.5分間から3時間暴露では両卵群ともに32.7~37.1°Cであり32細胞期の場合よりも2~3°C高い値を示したが、B卵の12時間暴露では32細胞期の場合とほぼ同等の値となった。初期のう胚期の T_{L50} における卵群間の差は0~1.4°Cであった。胚体出現期の T_{L50} は7.5分間暴露で35.6°C、15分間暴露では36.5°Cと暴露時間の延長によって上昇する逆転が見られたが、6時間暴露までの傾向を見ると初期のう胚期の T_{L50} とほぼ同等の範囲で推移した。ふ化直前期の T_{L50} は7.5分間暴露で38.6°C、15分間暴露で37.5°Cと、試験した他の発生段階よりも高い値を示したが、30分間および1時間暴露では35.9°Cおよび34.5°Cと、初期のう胚期および胚体出現期と同水準となった。以上のように試験した4発生段階のうち32細胞期では高温に対する感受性が最も高く、次いで初期のう胚期、胚体出現期、ふ化直前期の順で感受性は低くなった。暴露時間 (x) と T_{L50} (y) の関係は32細胞期が $y = -2.77 \log(x) + 36.7$ ($r^2 = 0.887$)、初期の

う胚期では $y = -3.70 \log(x) + 40.5$ ($r^2 = 0.921$)、胚体出現期では $y = -3.71 \log(x) + 40.4$ ($r^2 = 0.828$)、ふ化直前期では $y = -4.62 \log(x) + 42.8$ ($r^2 = 0.995$) として示された (Fig. 3)。無影響温度と対応する T_{L50} との差分は0.2~2.5°C、平均1.0°Cであり、無影響温度は T_{L50} 同様に暴露時間の延長に伴い低下する傾向にあった (Table 2)。

仔稚魚の高温耐性 対照区の死亡率はふ化後6日目および9日目はそれぞれ0.32と比較的高かったが、その他の試験実施日では0~0.16であった。胚と同様、高温暴露区の死亡率は暴露時間の延長および温度の増加に伴い上昇する傾向にあった (Fig. 4)。ふ化後4日目および31日目の24時間暴露では設定したすべての暴露温度区で死亡率が0.5を上回った。死亡率から算出した仔稚魚の T_{L50} をTable 3に示した。胚と同様に T_{L50} は暴露時間の延長に伴い低下した。15分間暴露について見ると、 T_{L50} はふ化後1日目には37.1°Cであったが、ふ化後4日目には最低値である29.7°Cとなり、ふ化後6日目では38.4°Cに上昇し、ふ化後8日目には34.1°Cへ再び低下した。ふ化後8日目以降の T_{L50} は成長とともに38°C台へ上昇した。無影響温度と対応する T_{L50} の差は0.3~3.3°C、平均1.3°Cであり、無影響温度は暴露時間の延長に伴い低下する傾向にあった (Table 4)。

Table 4 Maximum temperature that shows no significant effect on survival of *Sillago parvisquamis* larvae and juveniles

Days after hatching	Clutch	Exposure duration		
		15 min	1.5 h	24 h
1	D	36.6 (10.5)	35.1 (9.0)	30.5 (4.4)
4	E	29.0 (3.8)	27.5 (2.3)	*
6	D	38.1 (12.1)	35.1 (9.1)	29.2 (3.2)
8	E	33.5 (7.7)	32.0 (6.2)	27.5 (1.7)
9	C	35.0 (9.0)	35.0 (9.0)	30.5 (4.5)
12	D	33.5 (7.7)	35.1 (9.3)	32.1 (6.3)
22	B	36.5 (10.5)	36.5 (10.5)	30.5 (4.5)
31	D	38.0 (12.0)	35.0 (9.0)	*
43	A	36.3 (10.2)	36.3 (10.2)	34.9 (8.8)

Temperature unit is °C. Values in parentheses show ΔT from rearing temperatures before the exposure. Asterisks show the value was not calculated because lethal effect was significantly higher than the control in all tested temperatures.

考 察

柏木ら（1992）は9魚種の胚期における高温耐性の変化を5つの型に類型しており、これらに共通して卵割期と原口閉鎖期付近で高温に対する感受性が高くなる現象が見られている。アオギスではこれらの知見と同様に T_{L50} は卵割期で最低値を示した。タラ科魚の*Enchelyopus cimbrius*, シロギス, マダイ*Pagrus major*, スズキ*Lateolabrax japonicus*, キュウセン*Halichoeres poecilopterus* およびヒラメ*Paralichthys olivaceus*等, 多くの海産魚において胚体出現期から原口閉鎖の間は, 卵割

期とともに高温に対する感受性の高い発生段階とされている（Battle, 1929；Oozeki and Hirano, 1985；木下・道津, 1989a, 1989b；柏木ら, 1991, 1992）。一方, アオギス胚の15分間高温暴露においては胚体出現期の T_{L50} の低下は見られず, 初期のう胚期とほぼ同等であったが, 7.5分間, 3時間および6時間の高温暴露では, 胚体出現期における耐性の低下が見られている。シロギスでは胚体出現期付近で T_{L50} が低下する期間は, ごく短時間（約3時間, Oozeki and Hirano, 1985）であり, イシガレイ*Kareius bicoloratus*では胚体出現期とは異なる発生段階でも高温耐性の低下が見られる等の知見がある（Kiyono and Shinshima, 1983）。このため本試験の15分間暴露では胚体出現期付近における高温耐性の一時的な低下を検出できなかった可能性がある。

アオギス仔稚魚の15分間暴露に対する T_{L50} は, ふ化後4日目に急激な低下が認められた。ふ化後4日目にビーカを用いて行った予備試験では, 高温暴露区および対照区においてすべての個体が異常生残あるいは死亡した。さらに死亡個体のほとんどが, 膜鰭の空気接触によって個体が水面に浮いて死亡したことから, 使用容器を90mLスクリー管にし, なるべく空気が入らないように海水で管内を満たし高温暴露試験を行った。ふ化後4日目の実験にはE群仔魚を用いており, 群間による感受性の差が考えられたが, D群の同日齢仔魚を用いた予備実験からも, E群同様に高い感受性を示す結果を得ている（未発表）。このことから, この発育段階の個体は温度刺激に敏感であると考えられる。またふ化後6日目および9日目では対照区の死亡率が0.32であり他の日齢に比べて高かった。ふ化後4～9日目に相当する前脊索屈曲期および脊索屈曲期は, 卵黄の吸収が終了したのち従

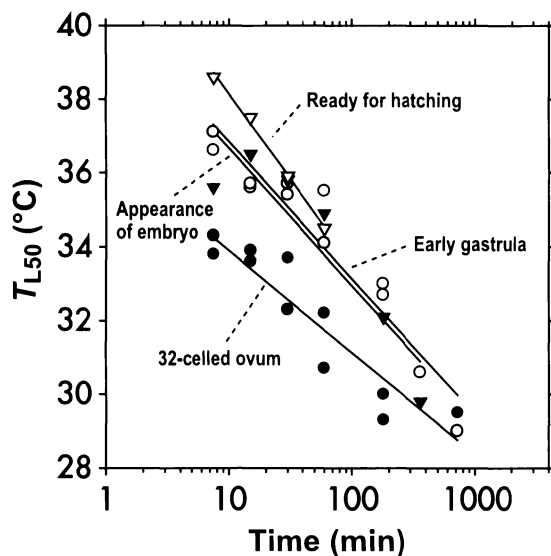


Fig. 3 The effect of exposure time on temperature tolerance of *Sillago parvisquamis* embryos. T_{L50} means the temperature that is lethal to 50% of a group of organisms. Symbols show different developmental stages as follows, solid circles: 32-celled ovum, open circles: early gastrula, solid inverted triangles: appearance of embryo, and open inverted triangles: ready for hatching. Rearing temperature was 26°C.

属栄養による生活となり、骨格、鰓、鰭など、体制の分化が著しい発育段階にある。このためこれらの発育段階でも温度刺激を含めた物理的刺激に敏感である可能性が高い。他の海産魚においても類似の報告があり、Yin and Blaxter (1987) はニシン科の *Clupea harengus*、タラ科の *Gadus morhua* およびカレイ科の *Platichthys flesus* においてふ化から卵黄仔魚期の終わりにかけて高温に対する感受性が増大することを示している。また石橋ら (2003) はマダイでも同様に前脊索屈曲期から脊索屈曲期にかけて高温耐性の低下することを報告している。

ふ化後31日目の24時間暴露については供試個体が全て死亡した。この原因は不明であるが、稚魚期において高温感受性が大きく変化することは考えにくく、通気しながら試験を行ったふ化後43日目稚魚はこのような現象が起こらなかったため、酸素欠乏等の問題が関係していると思われる。

本報告では本種の生物学的知見として無影響温度の算定を試みた。この値は短時間の昇温に対する致死影響の発現しない温度を表している。この無影響温度を高感度に検出するためには対照区の死亡率が低いことが望まれる。しかしながら本報告の対照区死亡率は胚期および仔稚魚期いずれにおいても高い場合が多かった。このことが無影響温度と T_{L50} が漸近している結果を生ずる原因となったと考えられる。海産魚類の胚期や仔稚魚期は一

般に初期減耗率が高く、ハンドリングの影響を受けやすいと考えられる。初期発育段階に限らず精度の良い試験データを得るためには、試験操作による人為的刺激を最小限に抑える試みが必要である。本試験において得られた無影響温度は、胚期の15分間暴露の場合32.1~36.5°Cであり、飼育水温からの昇温幅は6.2~10.4°Cであった。また仔稚魚期の15分間暴露における無影響温度は29.0~38.1°Cであり、飼育水温からの昇温幅は3.8~12.1°Cであった。昇温幅が最低値であったのは胚期では32細胞期、仔稚魚期ではふ化後4日目であり、発電所の復水器通過による昇温を7°C、15分間と仮定した場合、これらの高温感受性の高い発育段階における一部の個体では復水器通過による昇温に伴う致死影響を受ける可能性があると思われる。

Oozeki and Hirano (1985) はアオギスと同属のシロギスにおいて発生に伴う高温耐性の変化を詳細に調査している。シロギスの胚期における T_{L50} を15分間暴露の値でアオギスと比較した場合、卵割期、初期のう胚期およびふ化直前期ではシロギスの方がアオギスの値よりも高い。高温暴露前の飼育水温はアオギスが26°Cであるのに対しシロギスは24°Cである。魚類の高温耐性は暴露前の馴致水温に大きく依存し (Fry, 1971)、シロギス胚においても27°C飼育群から産出された胚の方が24°C飼育群の胚よりも高い高温耐性を有する (Oozeki and Hirano, 1985)。両種の飼育水温差で

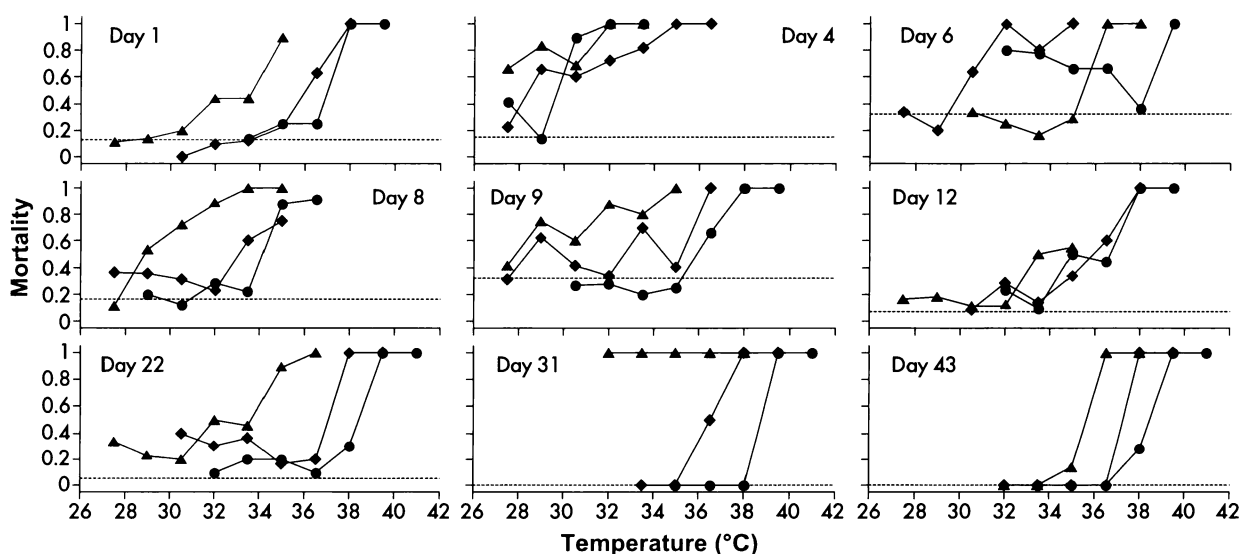


Fig. 4 Thermal tolerance of *Sillago parvisquamis* larvae and juveniles. Fish showing any abnormalities were included as 'dead'. Day numbers show the days after hatching. Developmental stages were represented in Fig. 1. Symbols show different exposure durations as follows, circles: 15 min, diamonds: 1.5 h and triangles: 24 h. Dotted line shows the mortality of the control (26°C) in each test.

ある2℃を考慮して、飼育水温がより低いシロギスの方が高い T_{L50} 値を示す傾向にあることから、胚期においてはシロギスよりもアオギスの方が高温影響を受けやすい可能性がある。

謝 辞

本稿の校閲を賜った東京大学名誉教授、平野禮次郎博士および沖山宗雄博士、(財)海洋生物環境研究所理事、城戸勝利博士に深謝する。また本稿をまとめるに当たり貴重なご助言をいただいた同研究所中央研究所、清野通康博士、土田修二博士および片山洋一前所長に御礼申し上げる。本研究に用いたアオギス親魚の入手には、たちばな釣具店、(故)立花一人、妙子ご夫妻、やお善釣具店、小倉敏司氏に絶大なるご尽力を賜った。記して心より深く御礼申し上げる。なお、本研究は通商産業省資源エネルギー庁(当時)の委託業務「温排水生物影響調査」の一環として行われたことを関係各位に感謝する。

文 献

- Battle, H. I. (1929). Effects of extreme temperatures and salinities on the development of *Enchelyopus cimbrius* (L.). *Contribs. Canadian Biol. Fish.*, **5**, 109–192.
- Fry, F. E. J. (1971). The effect of environmental factors on the physiology of fish. In "Fish Physiology" (eds. Hoar, W. S. and Randall, D. J.), Vol. VI, Academic Press, New York, pp. 1–98.
- 伊元九弥 (2000). 日本産キス科魚類アオギスとシロギスの生活史に関する研究. 学位論文, 九州大学, 福岡, 199pp.
- 伊元九弥・松井誠一・鬼倉徳雄・荒木恵利加 (1999). 九州北東部の今川・長峽川河口域におけるアオギス仔稚魚の出現. *日水誌*, **65**, 753–754.
- Imoto, H. and Matsui, S. (2000). Development of eggs, larvae and juveniles of laboratory-reared blue whiting, *Sillago parvisquamis* (Percoidei: Sillaginidae). *Ichthyol. Res.*, **47**, 59–67.
- 石橋泰典・小澤 勝・平田八郎・熊井英水 (2003). マダイ *Pagrus major* 仔稚魚の発育に伴う各種環境ストレス耐性の変化. *日水誌*, **69**, 36–43.
- 柏木正章・鄧 亜光・岩井寿夫 (1991). キュウセン *Halichoeres poecilopterus* 卵の発生に伴う高温耐性の変化. *三重大生物資源紀要*, **5**, 91–95.
- 柏木正章・鄧 亜光・岩井寿夫 (1992). ヒラメ, *Paralichthys olivaceus* 卵の発生に伴う高温耐性の変化. *水産増殖*, **40**, 1–5.
- Kingsford, M. J., Suthers, I. M. and Gray, C. A. (1996). Exposure to sewage plumes and the incidence of deformities in larval fishes. *Mar. Pollut. Bull.*, **33**, 201–212.
- 木下秀明・道津光生 (1989a). マダイ卵の高温耐性. *水産増殖*, **37**, 15–20.
- 木下秀明・道津光生 (1989b). スズキ卵の高温耐性. *水産増殖*, **37**, 21–26.
- Kiyono, M. and Shinshima, K. (1983). Thermal tolerance of stone flounder eggs. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **49**, 701–704.
- 望月賢二 (1997). キス科. 「山溪カラー名鑑 日本の海水魚」(岡村 収・尼岡邦夫編), 山と溪谷社, 東京, p. 307.
- 望月賢二・松井誠一・喜田 潤 (1998). アオギス. 「日本の希少な野生水生生物に関するデータブック」(水産庁編), 日本水産資源保護協会, 東京, pp. 86–87.
- 日本規格協会 (1998). 魚類による急性毒性試験. JIS K 0102工場排水試験方法, 日本規格協会, 東京, pp. 297–300.
- Oozeki, Y. and Hirano, R. (1985). Effects of temperature changes on the development of eggs of the Japanese whiting *Sillago japonica* Temminck et Schlegel. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **51**, 557–572.
- 瀬戸熊卓見・喜田 潤 (1997). 絶滅危惧種アオギスの飼育・繁殖. 1997年度日本魚類学会年会講演要旨. 33.
- 土田修二 (2002). 沿岸性魚類の温度選好に関する実験的研究. *海生研研報*, **4**, 11–16.
- Yin, M. C. and Blaxter, J. H. S. (1987). Temperature, salinity tolerance, and buoyancy during early development and starvation of Clyde and North Sea herring, cod, and flounder larvae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **107**, 279–290.