

コマイ卵および仔魚の正常発生過程

陳 二郎^{*1}, 吉田英雄², 桜井泰憲³

¹北海道伊達市旭町7-34

²元北海道立総合研究機構水産研究本部

³(一財) 函館国際水産・海洋都市推進機構函館頭足類科学研究所 (北海道大学名誉教授)

Normal embryonic-hatching process of saffron cod (*Eleginus gracilis*)

ARE-LANG CHEN^{*1}, HIDEO YOSHIDA² and YASUNORI SAKURAI³

¹ 7-34 Asahi-machi, Date, Hokkaido 052-0034,

² Formerly: Fisheries Department, Hokkaido Research Organization, Hamanaka-cho, Yoichi, Hokkaido 046-8555

³ Hakodate Cephalopod Research Center, Fisheries and Ocean Hakodate, 20-5, Benten-cho, Hakodate 040-0051, Japan
(Professor Emeritus, Hokkaido University)

Embryonic development and hatching process of saffron cod (*Eleginus gracilis*) were studied in their artificially fertilized eggs at water temperatures and salinity conditions. Eggs were incubated in plastic containers placed in water tanks with natural running water. Eggs failed to develop at temperature above 6°C and salinity below 8.2 in salinity. at all examined conditions. Deformed development and low hatching rate were observed at 4°C and 13~20 in salinity. These results indicate that the optimum temperature for normal embryonic development and hatching could be below 2°C with 20~25 in salinity. Embryonic development was divided into 7 stages from gastrula to 50% hatching at 2°C. At 2°C, hatched larvae's yolk was completely absorbed in two weeks. Most of the hatched larvae were normally developed and a few individuals opened their mouth just after hatching. It was confirmed that saffron cod had advanced morphogenesis at the time of hatching. Despite of normal development of eggs, their hatching rates were extremely low around 30% with gradually increasing water temperature. Natural water temperature and salinity levels in Lake Akkeshi during winter to spring period showed that environmental conditions were extremely stable until melting ice.

キーワード：塩分, コマイ, 水温, 発生段階, ふ化仔魚, ふ化率, 卵正常発生

これまでコマイ *Eleginus gracilis* については、その生殖周期などの解析の結果、沿岸域における産卵盛期は1月であり、主に氷下の浅海域や汽水湖内に来遊し、産卵期間は海域によって多少異なるものの2~3週間と短期間に集中して産卵すると推定されている(陳ら, 2005)。また、飼育下での雌は一回で全ての卵を産出することが確認されている(陳ら, 2008)。しかし、産出された卵の発生から仔稚魚期にかけての分布特性や生態に関しては、現在までのところ知見は極めて乏しい。例えば、卵発生について清水・三春(1943)が卵の発生適水温を飼育下で確認した以外は、発生の記載にとどまっている(山本・

濱島, 1947; Mukhacheva, 1957)。また、結氷下における産卵場でのふ化箱垂下試験(田中, 1928)の結果などから、ふ化は沿岸氷の融解時、あるいはその前後の時期に起こると推定されている。加えて、その仔魚は融氷後の4月下旬以降、沿岸から沖合にかけて出現することが報告されている(北海道区水産研究所, 1986)。しかし、結氷下の環境条件(水温, 塩分)に対して、本種の卵はいかなる適応性をもっているかは明確にされていない。

そこで、本研究では、コマイの卵と仔魚の発生過程をより明確にするため、コマイの産卵場として知られている厚岸湖をフィールドに選び、冬期(1月)から春期(4

月下旬)にかけて, 飼育下での卵発生の形態学的記載, 卵発生速度と水温の関係, および卵の生残と水温, 塩分との関係を調べるとともに, 産卵期後の厚岸湖の環境調査も行った。

試料および方法

親魚の採集と媒精 採卵用の親魚は, 1987年1月に厚岸湖内南東部の氷下待網から得た (Fig.1)。なお, 親魚の輸送方法は産卵実験 (陳ら, 2008) と同様とし, 厚岸湖において, 約30L容量の角型プラスチック製容器に1/3~1/2ほど現場海水を張り, 1箱あたり4~5尾を収容して酸素補給なしで, 飼育実験を行う北海道区水産研究所 (現, 国立研究開発法人水産研究・教育機構北海道区水産研究所) まで輸送した。

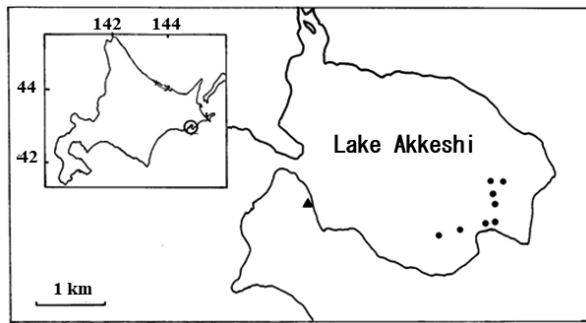


Fig.1 Map of study area showing sampling stations(circles). Triangle indicates the Akkeshi Fisheries Cooperative.

卵の媒精は, 同研究所において, 搬入した雌親魚から完熟卵を1L容量のプラスチック製ボールに必要量搾出し, 精液を少量振りかけて鳥羽で混合する乾導法により行った。これらの受精卵を, 前浜からポンプで揚水した水温0℃前後の濾過海水を満たしたアクリル製円筒10L容器に収容した。この際, 卵同士が粘着して卵塊にならないよう十分かき混ぜ, 数回の換水を繰り返して, 余分な精子や汚れを取り除いた。

卵発生とふ化仔魚の形態的特徴とステージング 卵径の計測は, 2個体の雌から搾出した未受精卵を海水で付活させて行った。卵の発生経過は, 水温変動に左右されるため, 水温調節可能でかつ最も低い2℃で受精卵を飼育し, ふ化までの観察を行った。発生卵の比重はあらかじめ調整したNaCl溶液に胚体形成以降の卵を浸漬させ, それを攪拌しながら徐々に蒸留水で薄め, 浮力0となった濃度の溶液を, 比重瓶に入れて測定した。

卵の生残と水温, 塩分との関係 飼育実験は, 北海道区水産研究所において1987年1月18日から4月24日まで行った。その実験条件の組合せをTable 1に示した。飼育容器は主に10L容量のアクリル製円筒型容器 (直径30cm, 高さ15cm) を用い, 予備として5Lの同型容器 (同24cm, 12cm) も用いた。初期発生卵に対する刺激をなるべく少なくするために, 容器の上を黒いビニールシートで覆い, 光を遮断した。水温測定は毎日行い, 塩分測定は7~10日間隔で行った。水温と塩分測定には水温・塩分同時測定器YSI-202型を用いた。

Table 1 Summary of egg survival experiment at various temperatures and salinities during egg development in 1987.

Exp. Section	The condition in water baths	Temperature mean(range) (°C)	Salinity	Number of rearing vessels and starting dates.
Relationship between temperature and survival. (In 200L containers)	No regulation (natural water flow)	0.2	32.0~35.0	Jan.24(A) (B)
		(-1.1~4.4)		Feb.1(A)
	Maintained by thermoregulator	0.7		Jan. 24(A) (B)
		(-0.8~4.4)		Feb.1(A) (B)
		2.0±0.2		Jan. 24(A) (B)
		4.0±0.2		Jan. 24(A) (B)
Relationship between salinity and survival (In 1000L container)	No regulation (natural water flow)	6.0±0.2	32.3~32.6 25.3~26.0 19.7~19.9 13.3~13.5 8.2	Jan. 18(A)
		8.0±0.2		Jan. 18(A)
		0.5 (-0.8~4.4)		Jan. 18(A)
				Jan. 18(A)
				Jan. 18(A)

A: 10L container B: 5L container

水温別の実験区の恒温槽は、次のように設定した。200L容量のプラスチック製水槽6基のうちの1基に、天然状態の水温を想定して、自然海水を常時流し続けた（0℃区）。自然海水温は厚岸湖内よりやや高めの一.1~0.0℃で推移し、4月からプラスに転じた。実験開始から終了までの平均水温は0.2℃であった。他の5基は閉鎖止水式とし、すべてに500Wヒーターとサーモスタットを配した。これらの恒温槽に受精卵を入れたアクリル容器を収容した。塩分は実験期間を通じて32~35に保った。卵を各容器に収容後、2~4時間かけて恒温槽を2, 4, 6および8℃の水温に調節した。

塩分別の実験区の恒温槽として、1,000L容量の角型FRP製水槽を1基用い、飼育水温を天然状態に近くするため自然海水を流入させた。そこへ、濾過海水を蒸留水で希釈して、25.3~26.0（80%海水）、19.7~19.9（60%海水）、13.3~13.5（40%海水）、および8.2（20%海水）の4段階と、無希釈の32.3~32.6（100%海水）の計5段階の塩分を設定した水温別実験と同様の容器を設置した（Table 1）。本実験に用いた卵の媒精は、あらかじめ各実験区の塩分に調節した水温0℃前後の濾過海水中で行った。

収容卵数は、各容器の底面に夜光性塗料で描いた1辺2.5cmの升目を利用して算出した。卵数は、10L容器で3,000~8,000個、5L容器で1,300~1,600個であった。定期的に各容器から100~200個の卵を採取し、発生途中における生残率、ふ化率、発生速度および発育段階と水温、塩分の関係を調べた。卵の観察において、卵が白濁するなど明らかに死亡と断定された以外に、発生が停止もしくは胚に奇形がみられたときにも、死亡とみなした。換

水は4℃以上の実験区では毎日、2℃区では3日おき、0℃区では1週間おきに行った。また、0℃区における各容器中の水温は、流水と容器の位置などの影響によりわずかに異なっていたため、卵の形態観察は平均水温の最も低い区を選んで行った。ふ化開始以降は卵の採取を止め、仔魚を毎日1回採取し、1日のふ化個体数、体長、奇形の有無等を調べた。

厚岸湖の環境調査 コマイ卵や仔魚の生育環境要因として、水温と塩分を調べた。調査時期と地点は、室内実験の合間を選んで（1~7日間隔）、また結氷が安定している2月から3月上旬には親魚採集時と同じ氷下待網漁場において、さらに天候悪化時や漁協の休日および漁終了後は厚岸漁業協同組合地先の岸壁において、水銀温度計とYSI-202型を用いて行った。測定水深は表面から0.3~0.5m程度とした。

結果

卵発生とふ化仔魚の形態的特徴 未受精卵は透明感のある淡黄色を呈し、形状はほぼ球形であった。2個体の雌から搾出した未受精卵の卵径は、それぞれ $1.01 \pm 0.03\text{mm}$ （平均±標準偏差 n=14）および $1.03 \pm 0.03\text{mm}$ （同 n=30）で、0.97~1.06mmの範囲であった。受精後、卵径は1.09~1.13mmに増大し、やや不透明な黄色を呈した。受精後の卵には若干の粘着性がみられた。受精後1時間で原形質はレンズ状となって囲卵腔に突出し、胚盤が形成された。Fig.2に卵の正常発生の特徴を、また以下に時間経過とふ化仔魚（時間、および日数）の形態を要約して示した。

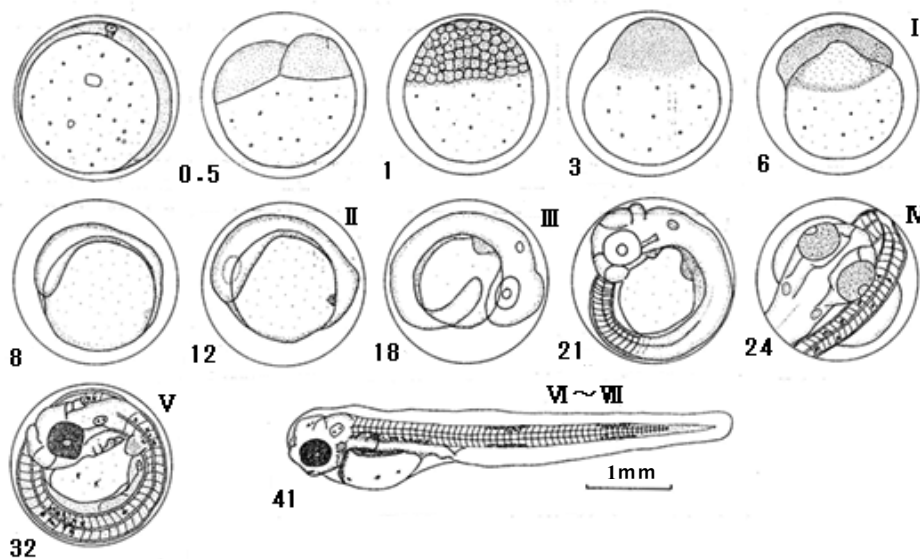


Fig.2 Embryonic developmental stages and hatched larvae at 2℃ . Roman and Greece numbers indicate days after fertilization and developmental stages.

- 11~12時間：2細胞期
 24時間：16細胞，一部は32細胞
 30時間：桑実胚期
 2日：胞胚期 陥入が始まる前までは極めて物理刺激に弱く，特にこの時期には検鏡中胚が壊れる現象がみられた。
 5日：初期囊胚期 胚盤は卵黄をキャップ状に覆うような形となり，陥入を開始する。
 6日：胚盤は卵黄の1/2を被覆する。
 7日：原口が閉鎖し，その痕跡が残る程度であり，神経溝が観察される。
 10日：胚体が卵黄上に膨出し，体節の分化が不明瞭ながら認められる。この頃から眼胞色素沈着が進むまでの間，卵膜は不透明な淡褐色となる。
 12日：眼胞原基の輪郭が認められ，クッパー氏胞の形成が始まる。胚は卵黄の約2/3周をおおう。
 14日：胚は卵黄を3/4周する。
 18日：胚は卵黄を0.8~1.0周する。レンズ，耳胞が明瞭となり，クッパー氏胞はすでに消失し，尾部が卵黄から離れている。体幹部に体節が20個程度数えられる。
 20日：胚は卵黄をほぼ1周し，尾部は卵黄からはなれてやや横を向く。心臓原基は頭部中央腹面の卵黄内に突出し，後頭部がやや盛り上がる。比重は1.088 (9.8℃)である。
 21日：胚は卵黄を1.1~1.2周し卵黄は透明化が進む。顕鏡下で温度が上がると胚がやや律動する。脳は分化が進んでいるが，色素の沈着はまだ認められない。
 24日：胚は卵黄を1.3~1.4周し，心臓は完全に卵黄内に突出し，2心室構造となり活発に鼓動している。色素胞は眼胞，および肝臓原基から後方の体側面に散在する。比重は1.071~1.079(11.5℃)である。
 28日：胚は卵黄を1.5周する。眼胞の色素は沈着が進んで濃褐色を呈し，肉眼でもはっきり認められる。頭部はよく発達し，頭高は卵径の35~40%に達する。比重は1.062~1.066 (11.5℃)である。
 31日：胚は卵黄を1.7~1.8周する。眼胞の色素はほぼ完全に沈着し，頭高は卵径の50%近くに達する。星状色素が体側面に点在するが，特に肝臓原基から尾柄に至るまでの2ヶ所に集中している。
 39日：顕鏡下で水温が上がると仔魚がふ化する。
 41日：ふ化が始まる。
 49日：50%がふ化する。

卵の発生速度と水温との関係 卵発生速度と水温の関係

を明らかにするため，前項の記載に基づいて，各水温条件下での卵発生過程を比較した。発育区分の基準としては，胚体の発達程度（卵黄を何周しているか）や色素の沈着状態を採用した（Fig. 2）。

I. 初期囊胚期

II. 胚は卵黄を2/3周し，眼胞原基，クッパー氏胞が認められる。

III. 胚は卵黄を1周する。

IV. 眼胞に色素が沈着を開始する。

V. 胚は卵黄を1.7~1.8周し，眼胞には色素が完全に沈着している。

VI. ふ化を開始する。

VII. 50%がふ化する。

ふ化時の様子と仔魚の形態的な特徴を以下に記載する。ふ化直前とみられる卵を顕鏡下におくと，水温が上がるため卵径はやや増大し，茶褐色の卵膜は透明化して，仔魚がふ出した。Table 2にふ化率が比較的高く，奇形が5%以下とみられた実験区における仔魚の体長を示した。ふ化直後の体長は実験条件によって異なるが，平均して5.39~5.82mmであった。正常ふ化した仔魚の形態をFig. 3Aに図示した。ふ化直後の仔魚の体型は尾部が腹側もしくは背側方向へ曲がり，楕円体の卵黄囊を持っていた。胸鰭はすでに形成され，膜鰭は前頭部から始まって，尾端をまわって腹側に連なり，卵黄後部に終っていた。肛門は卵黄囊のやや後方に開口していた。黒色素胞は眼に完全に沈着し，点状あるいは樹枝状の色素が卵黄囊，消化管に接した体側下縁に散在していた。また，尾部の2ヶ所の背腹側にやや密に分布し，色素叢を形成していた（Fig. 3A）。ふ化直後とみられる個体の口は，閉じているもの（Fig. 3 A-1），中にはすでに開口しているものも認められた（Fig. 3 A-2）。卵黄が完全に吸収される

Table 2 Body length(mm) of newly hatched saffron cod larvae at various incubated conditions

Incubation temp. °C and sal.	No. of larvae	Body length(mm)		
		mean	S.D.	range
0.2(-1.1~4.4) 31~33	33	5.51	0.09	5.30~5.65
0.7(-0.8~4.4) 31~33	43	5.65	0.20	5.22~6.04
	78	5.82	0.18	5.39~6.15
0.5(-0.8~3.8) 25.3~26.0	78	5.77	0.20	5.39~6.23
2.0±0.2(*) 31~33	59	5.39	0.13	5.07~5.78

(*): Maintained at 2℃ by thermostat.

までの期間は2℃で約2週間であった。

卵黄吸収が進んだ仔魚あるいは完全に吸収した仔魚の平均体長は5.94mm (range 5.68~6.21) で、尾部の2ヶ所の色素叢は発達し、腹面で色素胞が連続している個体も認められた。下顎は上顎よりも突出し、開閉運動がみられた。

卵の発生速度と水温との関係 7つの発生段階と、各飼育水温条件下 (0, 2, および4℃区) における受精後の所要日数とを対応させた結果をFig.4に示した。これより発生速度はこの水温範囲内においては高水温ほど速くなることが明らかとなった。なお、次節のFig.6に示すように、外部流水の水温下における実験条件区 (0℃区) では、50%ふ化に至るまでの期間の平均水温は0.2℃であった。

卵の生残と水温との関係 5段階の水温 (Table 1) における受精率は、97~100%でほぼ正常であった。このうち、6℃と8℃の実験区では、すべて16細胞期以降に割球の大きさが不規則になるなど卵割に異常がみられ、2~3日で全て死亡した。一方、受精後正常に卵割が進んだ卵がみられたのは、0℃, 2℃ および4℃の実験区であった。Fig.5に、これらの実験区における生残率の推移を示した。これらの実験区では、受精から桑実胚期にいたるまでに、全体の5~10%の受精卵が死亡した。このうち、0℃および2℃区では、胞胚期以後からふ化に至るまで死亡卵はほとんどみられず、生残率は90%を保っていた。また、0℃および2℃区におけるふ化仔魚はすべて形態的

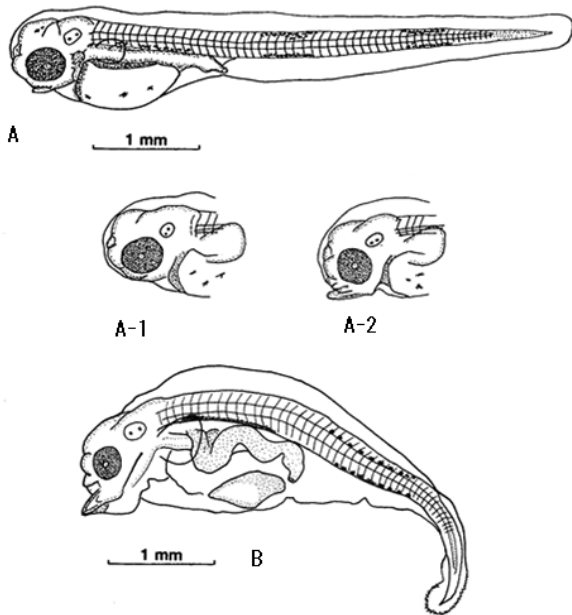


Fig.3 (A)Normally hatched larvae. (A-1) Larvae's with closed mouth. (A-2) Larvae with opened mouth. (B) Abnormally hatched larvae at 4℃.

に正常であったが、ふ化率は0℃区で25.5~35.1%, 2℃区で11.5~16.8%と比較的低かった。さらに0℃区におけるふ化開始は、流水水温の上昇期とほぼ一致していた (Fig.6)。

これに対して、4℃区では16細胞期まで上記2実験区と同様、正常に卵割していた。ただし、胞胚期の段階で割球の大きさが不規則な卵が出現し、生残率は陥入が始まった時点で40~50%に、発眼時では7~10%程度になり、残りは眼胞欠損、色素未沈着および頭部矮小などの奇形卵か死卵であった。このため、ふ化率も2.4~3.0%と極めて低く、かつふ化仔魚の中で形態的に正常なものは2%に満たなかった。なお、奇形仔魚には体幹や脊索の湾曲、膜鱗の摺曲、色素分布の異常などが多かった (Fig.3-B)。

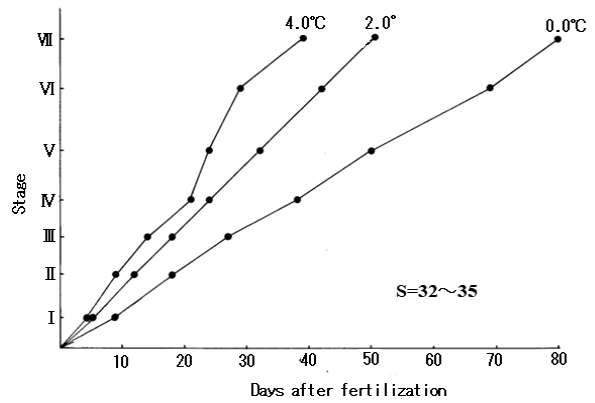


Fig.4 Relation between the embryonic developmental stages and the days after fertilization at different temperature conditions at 32~35 in salinity.

I : Gastrula, II : Appearance of optic vesicle, III : Embryo at the yolk circumference, IV : Appearance of pigments in eye, V : Head height as the radius of egg, VI : 1st hatching, VII : 50% hatching,

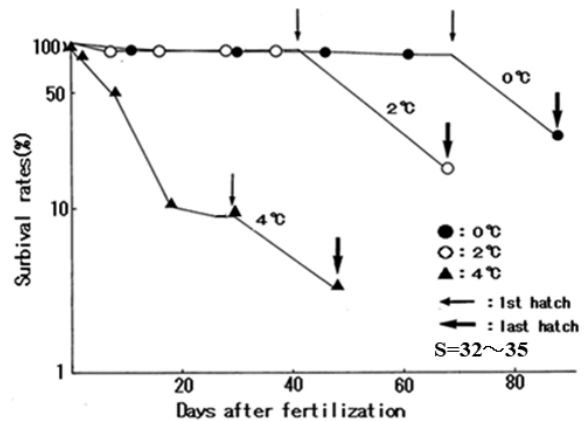


Fig.5 Relationship between egg survival rates and the days after fertilization at different water temperatures.

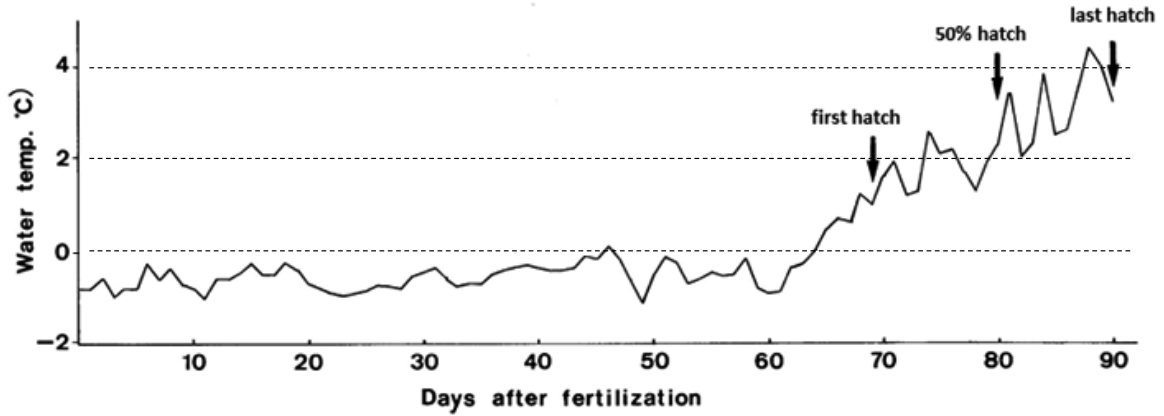


Fig. 6 Water temperature during experiment and hatching at non-regulated water flow.

卵の生残と塩分濃度との関係 水温条件をほぼ一定として、塩分濃度が卵の受精率と発生にどの様に影響するかを調べた (Table 1)。本実験での受精率は塩分32.6区で100%, 25.7区で99%, 19.8区で95%, 13.4区で91%, さらに8.2区では90%と20以下の低塩分ではやや低下する傾向がみられた。

これら5実験区のうち、もっとも塩分濃度の低い8.2区において、卵割までに全卵が死亡した以外は、すべての区でふ化まで達した。Fig. 7に塩分別の生残率の推移を示した。これらの4実験区では、水温の実験と同様、桑実胚期にいたるまでに全体の3~10%の初期死亡がみられた。このうち32.6, 25.7, および19.8区においては、その後ふ化に至るまで途中死亡卵がみられず、90%前後の生残率を保っていた。しかし、19.8区では前2区と比較して、胚体形成期において胚体や心臓の発達に遅れがみられた。

これに対して13.4区では、胚体形成の後期、すなわち

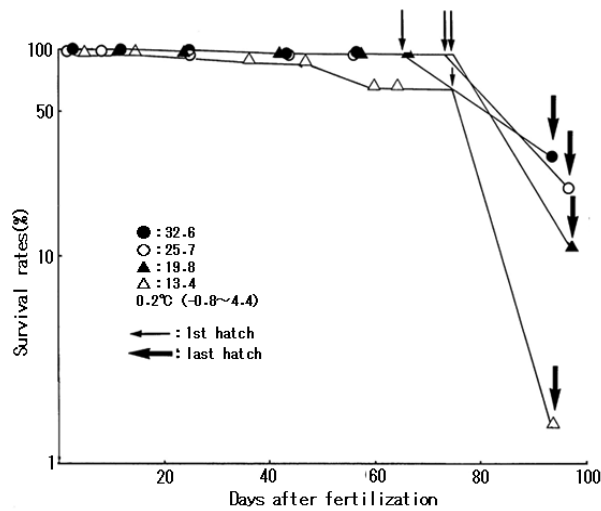


Fig. 7 Relationship between egg survival rates and the days after fertilization at different salinities.

眼胞に色素沈着が始まる頃から、死卵、あるいは頭部が矮小である、心臓が未鼓動、胚体の色素が未発達などの形態異常が多くみられた。また、ふ化開始期における生残率も約65%と、19.8以上の塩分の実験区に比べて低下した。

ふ化率は前項の実験同様、全体として低く、32.6区で29.5%, 25.7区で21.2%, 19.8区で10.9%および13.4区で9.5%と低塩分になるほど低下した。ふ化仔魚は塩分濃度19.8以上の実験区では形態的に正常であった。しかし、13.4区では大部分の仔魚に脊索が屈曲していたり、卵黄の形

Table 3 Water temperature and salinity in Lake Akkeshi during experiment in 1987

Period	Water Temp. °C	Salinity	Stations
Feb.~Arp.			
Feb. 2	-1.7	31.0	Hole in ice
Feb. 7	-1.7	27.2	Hole in ice
Feb. 10	-1.7	29.3	Hole in ice
Feb. 13	-1.8	31.5	Hole in ice
Feb. 20	missing	31.2	Hole in ice
Mar. 5	-1.7	30.4	Hole in ice
Mar. 5	-1.5	30.3	Ice free area
Mar. 8	-0.7	28.9	Ice free area *)
Mar. 15	0.1	31.9	Ice free area
Mar. 17	-0.4	27.7	Ice free area
Mar. 21	-0.1	26.1	Ice free area (**)
Mar. 24	0.2	14.6	Ice free area *)
Mar. 25	0.6	30.0	Ice free area
Mar. 26	1.6	23.4	Ice free area
Mar. 27	1.3	23.1	Ice free area
Apr. 2	0.4	28.1	Ice free area
Apr. 5	2.6	28.1	Ice free area
Apr. 6	3.0	27.0	Ice free area
Apr. 7	1.1	30.7	Ice free area
Apr. 9	2.5	29.5	Ice free area
Apr. 12	2.0	28.7	Ice free area
Apr. 14	1.1	30.7	Ice free area
Apr. 15	2.5	29.5	Ice free area
Apr. 17	2.0	28.7	Ice free area

*) Stormy weather

***) Heavy rain

が球形であったりするなどの奇形がみられ、形態的に正常なものはふ化仔魚のうちの1.5%にとどまった。

なお、前節も含めた全ての実験において、胚体期を通じて形態的に正常であったにもかかわらず、ふ化しなかった卵（水温別実験の0℃、2℃区、および塩分濃度別実験の32.6、25.7および19.8区）の大部分は、卵内で卵黄を吸収したまま死亡していた。

産卵場とその環境 実験期間中の厚岸湖における水温、塩分濃度の記録をTable 3に示した。漁期間中の3月上旬までの水温は、概ね-1.8~-1.7℃で安定していた。3月5日には結氷していない漁業協同組合地先で-1.5℃とやや高めであった。水温はマイナスからプラスに転じ、4月中旬には2~3℃まで上昇していた。

塩分は、結氷下では27~31と外海より低い値で推移し、融水が進むとさらに低下した。また外海が荒れたり、大雨が降ると低下変動する傾向がみられた。

考 察

本種の発生卵は、山本・濱島（1947）が記載しているように、囊胚形成の段階で胚環、胚循、さらに胚体の輪郭が不明瞭であることが、外観上の特徴の一つである。また、受精卵の比重は1.06~1.08で、これは海水よりも約1.05倍大きく、普通の海水中では速やかに沈降することが示唆される。

水温4℃、塩分20以上の実験区では、ふ化仔魚の体長は5.0~5.8mmで、眼胞に色素が完全に沈着し、胸鰭が発達して口や肛門が開くなど、体器官がかなり発達した状態でふ出することなどで共通していた。この結果は、一定水温にて卵の飼育を行った清水・三春（1943）の報告とほぼ一致している。しかし、過去に行われた山本・濱島（1947）、Mukhacheva（1957）の記載によるふ化時のコマイ仔魚は、本研究結果よりも形態的に未発達（孵化体長は2.5~3.8mm、口、肛門は開いていない）である。これらの記載は、いずれも水温調節のない実験条件のもとでなされており、その水温範囲からみて、ふ化時の水温は天然状態よりも、相当高くなってたと推測される。このように、高温のもとで胚期を過ぎた結果、卵は早期に未熟な状態でふ出したものと考えられる。したがって、むしろ天然かそれに近い本実験の条件下においては、正常なふ出がおこなわれたと結論できる。一方で、本実験において最もふ化率が高かった0℃区の水温は、0℃から3℃前後まで昇温するのに20日程度要し、水温変化による刺激が少ないと考えられた（Fig.6）にもかかわらず、ふ化率は25.5~35.1%と比較的低く、しかも卵内で卵黄を吸収したまま死亡するものが多かった。また、水温を

一定にした他の実験区では、卵のふ化率がさらに低く、正常発生していた卵がふ化できないような傾向がみられた。これらの結果から、水温上昇速度がふ化に何らかの影響を及ぼしている可能性がうかがわれる。

清水・三春（1943）は、桑実胚期の発生卵を用いて、1℃から20℃の様々な水温条件で卵を飼育したところ、4.6℃以上では奇形、死亡が急増することを報告している。本実験においても、受精からふ化までの過程における卵の生残率は、2℃以下の水温で高く、4℃では心臓の鼓動開始までに全体の90%が死亡するか奇形となり、6℃以上では受精後2日以内に全滅に至った。したがって、コマイ卵の全発生期間を通じた適水温は2℃以下であると結論され、極めて寒冷な海域での再生産に適応した特徴と見なすことができる。

一般に、卵割開始から原口閉鎖までの発生段階は、振動などの物理的衝撃や水温変化に対して弱いことが知られている（岩井・柏木，1989）。コマイの場合、受精直後から2~4時間にわたって加温を続け、その結果上記のように6℃以上で死亡し、4℃でも死亡率が高く、死卵の多くは陥入開始から心臓鼓動開始までの間に集中していた。これらのことは、卵の発生初期に高水温が強い影響を与えたことを示している。卵の正常発生と水温との関係は、他のタラ科魚類においても観察されているが、その適温範囲はそれぞれスケトウダラ：0~10℃（中谷・前田，1984）、マダラ：6~7℃（山本，1939）、Atlantic cod：2~10℃、haddock：4~10℃（Laurence and Rogers，1976）、Arctic cod：-1.0~3.0℃（Sakurai *et al.*，1998）などである。特に、卵割期のAtlantic codの卵は1.5℃以下では死亡しやすく（Thompson and Riley，1981）、マダラの卵は-0.5~1.5℃の飼育水温では、ふ化に至っていない（山本・西岡，1952）。また、中谷・前田（1984）は、卵割期において飼育水温を4℃から-1℃に下げたスケトウダラ卵のふ化率は、一定水温のものに比べて極めて低いことを報告している。このように、同じ亜寒帯性のタラ科魚類においては、コマイとは逆に発生初期において低水温に対して脆弱な傾向がみられる。これらの適温条件の違いから、コマイは繁殖習性を含めて他種と比べ、ホッキョクダラ（Sakurai *et al.*，1998）に近い極域魚類の特徴が強いことが示唆される。Fig.8において、2℃における本種の卵の発育段階について同水温におけるスケトウダラ（Hamai *et al.*，1971）のそれと比較した。同図から明らかのように、コマイのふ化日数は50日とスケトウダラの27日に比べてかなり長かった。しかも、心臓が鼓動を開始してからふ出に至るまでの期間が、全発育期のかなりの部分を占めていた。このことは、ふ化直後から遊泳活動、摂食活動が可能ないように、形態形成に胚発生期間

の多くが費やされていることも本種の特徴と考えられる。さらに, Chen and Mishima (1986) は, 飼育下における本種の標準代謝量を調べて, 低水温において他の温帯性魚類よりも酸素消費量が高いことを明らかにし, 生理学的にも極域に適応した魚種の特徴を備えていることを指摘している。

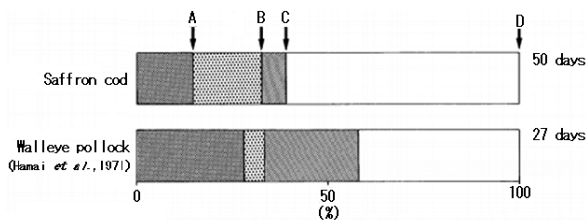


Fig. 8 Comparison of 50% hatching days of saffron cod and walleye pollock at 2 °C and ratios of number of days required to reach at each stages. A: Closure of blastopore, B: Formation of lens, C: Pulsation of heart, D: 50% hatch.

塩分濃度に関する実験での卵の受精率は, 塩分が25以上の場合はほぼ100%であったが, 20以下になると漸減した。一方, 50%ふ化日数は塩分濃度の低下と共にやや長くなったものの, せいぜい数日であり, 発生速度への影響は水温と異なり非常に小さいとみられた。卵の生残と塩分との関係において, ふ化まで達した5実験区のうち, 死卵や発生途中の奇形卵は, 最低塩分の8.2区のstage IV以降に集中して生じていた。また, 19.8区では死亡こそなかったが, 25.7および32.6区と比べて胚の発達程度が遅れていた。さらに, 最終的な卵の生残率も低塩分区ほど低下していた。これらのことから, コマイ卵が正常発生するためには, 前述した水温条件2°C以下において, 20~25以上の塩分が必要と判断された。

厚岸湖は面積32km²の比較的小さい湖で, 数本の“滯筋”以外は平均2mの浅い汽水湖である(濱原ら, 2002)。湖内の環境調査は, 水温と塩分変化の一端を調べただけではあるが, 3月からの水温上昇期には, 3月下旬の大雨で低塩分となるなど, 20~30で変動する傾向がみられた。また, 厚岸湖には別寒辺牛川という比較的大きな河川が流入している。融氷に加えて, こうした淡水による外部要因の変動もコマイ卵のふ化とその生残に影響を与えている可能性もある。今後, 産卵場とされる湖沼の環境をより詳細に調査し, また, 氷点下における実験条件を厳密に調整する必要がある。

謝 辞

本研究を実施するに当たり, 資料採集等にご協力いた

だいた北海道区水産研究所(現, 国立研究開発法人水産研究・教育機構北海道区水産研究所), 厚岸漁業協同組合の職員の方々, および英文校閲と貴重な助言をいただいたDharmamony Vijai博士に深く感謝の意を表す。

引用文献

- Chen AL, Mishima S. Oxygen consumption of saffron cod, *Eleginus gracilis* (Tilesius). *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 1986; 37(4): 303-308.
- 陳 二郎, 吉田英雄, 桜井泰憲. 北海道周辺海域におけるコマイの成熟, 生殖周期及び産卵期の特徴. 北水試研報 2005; 68: 45-64.
- 陳 二郎, 吉田英雄, 桜井泰憲. 水槽内で観察されたコマイの産卵行動. 北水試研報 2008; 73: 35-44.
- Hamai I, Kyushin K, Kinoshita T. Effect of temperature on the body form and mortality in the developmental and early larval stages of the Alaska pollack, *Theragra chalcogramma* (Pallas). *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 1971; 22: 11-29.
- 濱原和弘, 福山龍次, 斎藤 修, 藤田隆夫, 有末二郎. 環境基準未達成原因解明調査報告-厚岸湖-. 北海道環境科学センター所報 2002; 29: 67-72.
- 北海道区水産研究所. 北海道周辺海域に分布するスケトウダラ並びに底魚類の資源量調査報告. (昭和57,58年度) 1986; 276pp.
- 岩井寿夫, 柏木正章. 発生の孵化管理. 「水族繁殖学(隆島忠男, 羽生功編)」緑書房, 東京, 1989; 195-238.
- Laurence GC, Rogers CA. Effects of temperature and salinity on comparative embryo development and mortality of Atlantic cod, *Gadus morhua* L. and haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L. *J. du Conseil* 1976; 36: 220-228.
- Mukhacheva VA. Notes on the development of the Far eastern navaga. *Trudy inst. Okeanol.* 1957; 20: 356-370. (in Russian)
- 中谷敏邦, 前田辰昭. スケトウダラ卵の発生に対する水温の影響及びその浮上速度について. 日本水産学会誌 1984; 56: 937-942.
- Sakurai Y, Ishii, K, Nakatani T, Yamaguchi H, Anma G, Jin, M. Reproductive characteristics and effects of temperature and salinity on the development and survival of eggs and larvae of Arctic cod (*Boreogadus saida*). In: Ontani et al (eds). Oyashio region and Bering Sea ecosystems. *Mem.Fac.Fish.Hokkaido.Univ.* 1998; 44: 77-89.

清水二郎, 三春平蔵. 氷下魚の孵化温度. 北水試事業旬報 1943 ; 574 : 4.

田中林蔵. 根室に於けるコマイの養殖指導. 北水試事業旬報. 1928 ; 17 : 179-180.

Thompson BM, Riley JD. Egg and larval development studies in the North Sea cod (*Gadus morhua* L.) *Rapp. P-V. Reun. Const. int. Explor. Mer.* 1981 ; 178 : 553-559.

山本護太郎, 西岡丑三. マダラの発生並びに孵化幼生の飼育. 日水研創立3周年記念論文集 1952 ; 301-308.

山本喜一郎, 濱島清正. 日本産コマイ及びスケトウダラの卵及び仔魚の形態に就いて. 生物 1947 ; 2 : 172-177.

山本孝治. 朝鮮産タラ卵の発生に及ぼす水温の影響に就いて. 朝鮮総督府水産試験場業績 1939 ; 29-35.