

オニオコゼ *Inimicus japonicus* の成長と成熟に関する研究

渡 邊 憲 一

2007

目 次

| | |
|------------------------------|----|
| 緒 言 | 4 |
| 第 I 章 新潟県沿岸海域における年齢と成長 | 9 |
| I -1. 材料および方法 | 9 |
| I -2. 結 果 | 10 |
| I -3. 考 察 | 20 |
| 第 II 章 新潟県沿岸海域における産卵および雌魚の成熟 | 24 |
| II -1. 産卵と卵質 | 24 |
| II -1-1. 材料および方法 | 24 |
| II -1-2. 結 果 | 27 |
| II -1-3. 考 察 | 32 |
| II -2. 卵母細胞の発達様式と生殖年周期 | 37 |
| II -2-1. 材料および方法 | 37 |
| II -2-2. 結 果 | 39 |
| II -2-3. 考 察 | 53 |
| 第 III 章 卵発生および孵化 | 57 |
| III -1. 卵発生と孵化に及ぼす水温の影響 | 57 |
| III -1-1. 材料および方法 | 57 |
| III -1-2. 結 果 | 59 |
| III -1-3. 考 察 | 66 |

| | |
|------------------------|-----|
| Ⅲ-2. 卵発生と孵化に及ぼす塩分の影響 | 70 |
| Ⅲ-2-1. 材料および方法 | 70 |
| Ⅲ-2-2. 結 果 | 71 |
| Ⅲ-2-3. 考 察 | 75 |
| 第Ⅳ章 仔稚魚の発育 | 78 |
| Ⅳ-1. 成長および発育に伴う外部形態の変化 | 78 |
| Ⅳ-1-1. 材料および方法 | 79 |
| Ⅳ-1-2. 結 果 | 82 |
| Ⅳ-1-3. 考 察 | 99 |
| Ⅳ-2. 発育に伴う消化器官の発達 | 105 |
| Ⅳ-2-1. 材料および方法 | 105 |
| Ⅳ-2-2. 結 果 | 105 |
| Ⅳ-2-3. 考 察 | 110 |
| Ⅳ-3. 発育に伴う塩分耐性の変化 | 112 |
| Ⅳ-3-1. 材料および方法 | 112 |
| Ⅳ-3-2. 結 果 | 112 |
| Ⅳ-3-3. 考 察 | 116 |
| 総合考察 | 118 |
| 要 約 | 124 |
| Summary | 129 |
| 謝 辞 | 136 |

緒 言

オニオコゼ科に属するオコゼ類はヒメオニオコゼ *Inimicus didactylus* (Pallas), オニオコゼ *Inimicus japonicus* (Cuvier), セトオニオコゼ *Inimicus joubini* (Chevey), ヒメオコゼ *Minous monodactylus* (Bloch et Schneider), ヤセオコゼ *Minous pusillus* Temminck et Schlegel, イトオコゼ *Minous quincarinatus* (Fowler), ダルマオコゼ *Erosa erosa* (Langsdorf) およびオニダルマオコゼ *Synanceia verrucosa* Bloch et Schneider の 8 種に分類される (中坊 1993)。鱗がなく, オニオコゼ, ダルマオコゼ, オニダルマオコゼなどでは背鰭棘条に猛毒があることで知られている (落合・田中 1986; 阿部 1987; 塩見・長島 2001)。このうちオニオコゼは南日本および南シナ海北部に広く分布する底棲魚で, 内湾から水深 200 m 以浅の砂泥底に生息している (中坊 1993)。新潟県では主として小型底引き網や刺し網で漁獲されており, 時期によって変動はあるものの市場価格で 1 kg あたり 1,500 円から 3,000 円で取引される高級魚である。そのため一般家庭で消費される機会は少ないが, 肉質が白身で美味であり, 料亭などで刺身, 汁物, 唐揚げ等の料理として珍重されてきた。江戸時代の庶民の食物について食べ方や効能などを解説した本朝食鑑 (人見 1897) にも皮を剥ぎ, 肉を煮て食べると記載されていることから, 古くから庶民の食卓に上がっていたことが窺える。しかし, 近年, 漁獲量は全国的に減少傾向にあることから種苗生産・放流による資源増大への取り組みに大きな期待が寄せられている。

オニオコゼは 1981 年に, 日本栽培漁業協会ですべて初めて栽培漁業の対象種として取り上げられ (日本栽培漁業協会 1982, 1983), これまで多くの試験研究機関で種苗生産技術の開発が進められてきた (森実ら 1983; 五利江 1994; 市川 1997; 睦谷 1997; 清川ら 2000)。特に, 沿岸漁業資源の増大と栽培漁業の地域定着化を目的に, 国庫補助事業として平成 5 年度から 9 年度まで

の5ヵ年計画で実施された地域特産種量産放流技術開発事業では、大阪府、愛媛県、島根県がオニオコゼを担当し種苗生産や放流技術の開発に取り組んでいる（大阪水試 1997; 愛媛水試 1997; 島根水試 1997）。

（社）全国豊かな海づくり推進協会が行った平成11年度および16年度栽培漁業種苗生産、入手・放流実績（全国）調査によると、主として大阪府、兵庫県、岡山県、広島県、鳥取県、山口県、愛媛県、長崎県など本州以西の1府15県で種苗生産や放流が行われており、平成16年度におけるオニオコゼの種苗生産総数は約111万尾で、放流数は約100万尾に達している。平成11年度の種苗生産総数は約41万尾であり、5年間で約3倍に増大した。代表的な栽培漁業対象種であるヒラメ *Paralichthys olivaceus* やマダイ *Pagrus major* の平成16年度種苗生産総数はそれぞれ3,600万および2,300万尾で、これらの魚種には到底及ばないが、オニオコゼの種苗生産量および放流尾数は近年、増大傾向にあり、今後、種苗生産技術が発展すれば生産量の一層の伸びが期待される（（社）全国豊かな海づくり推進協会 2001, 2006）。

現在のオニオコゼの種苗生産方法はヒラメやマダイと基本的に大きな相違はない。親魚には、餌として解凍アジ、イカナゴ、活エビを与えて養成した地先の天然魚を用いることが多い。採卵は産卵用水槽に雌雄を1:1の割合で収容して（10~15尾/t）自然産卵させ、ゴース布地製の採卵ネットを用いて集卵する。オニオコゼの卵は分離浮性卵であることから、採卵後、浮上卵と沈下卵に分離し浮上卵を種苗生産に供する。仔稚魚には餌としてシオミズツボウムシ、アルテミア孵化幼生、配合飼料を成長に合わせて順次与え、全長11から15mm前後まで成長した段階で、一定期間中間育成し放流している（大阪水試 1997; 愛媛水試 1997; 島根水試 1997）。

今後、種苗生産量を増大するためには、第一により多くの良質卵を得ることが必要である。しかし、生殖腺の発達については科学的な調査・報告事例が無く、成熟に関する知見が欠落した状態で親魚養成や採卵が実施されてい

る。親魚の養成技術を改良し良質卵を安定的に確保するためには、成熟や産卵に関する基礎的な知見を集積するとともに、各地先海域における生殖年周期を明らかにして産卵期や産卵盛期を把握しておくことが重要である。

また、仔稚魚の飼育では、開口や着底前後に大量死が発生する場合があります（愛媛水試 1997; 島根水試 1997）、卵質や高密度飼育によるストレス、餌料不足による栄養不良および疾病などが大量死の原因として考えられているが、原因についてはまだ明らかになっていない（愛媛水試 1997）。また、各地で生産された大部分の人工種苗は20～50 mm以上のサイズで放流されているが、海域によって放流後の定着状況や資源添加効果に差がみられることから放流サイズと放流場所の条件について詳しく検討する必要があるとされている（大阪水試 1997; 愛媛水試 1997）。これまで仔稚魚については、水深25から40mで数例の採集があるのみで（島根水試 1997）、変態直後の稚魚の採集例はないなど、天然の仔稚魚の生態に関する知見はきわめて乏しいのが現状であり、今後、仔魚の大量死を防止するとともに放流技術を確立するためには仔稚魚の発育や生態に関する知見の蓄積が必要である。

成魚についても大型魚になるほど耳石での年齢査定が難しく（清川ら 2000）、資源管理手法を検討するうえで大型魚の年齢査定法を確立し、年齢と成長に関する知見を得ることが重要である。

しかし、オニオコゼについては、親魚養成、仔稚魚飼育管理、中間育成、放流後の追跡調査など生産性の向上を目指した技術的な検討は多くみられるものの（川村ら 1990a; 八木 1996; 近藤・杉野 1998; 大阪水試 1997; 愛媛水試 1997; 島根水試 1997; 清川 2003）技術開発の基礎となる成長や成熟および卵の発生・孵化などに関する生物学的特性についての研究は必ずしも多くない。成長については、人工種苗の飼育（藤田・平野 1987; 濱田・恵崎 1987; 三木 1989; 三木 1990; 野村・波田 1993; 愛媛水試 1993; 上野 1993; 尾串 1994）や漁獲個体の群分離（板野・藤田 1985; 有山

1995), 耳石や後翼状骨による年齢査定(愛媛水試 1989,1990,1991)によりいくつかの知見が得られているが, 雌雄が混合している, 大型魚が含まれていない, あるいは年齢形質の有効性が十分に検討されていないなどの問題点がある。産卵および成熟については産卵行動(脇坂 1981)や飼育群の産卵量(長浜ら 1985; 伊勢田・古庄 1988)に関する報告はあるが, 個体の産卵量や産卵回数, 卵質および組織学的な手法を用いた生殖腺の成熟に関する報告はない。また, 卵発生の報告はあるが(藤田・中原 1955; Sha et al. 1981), 卵の孵化管理上, 最も重要と考えられる発生や孵化に及ぼす水温や塩分の影響に関する報告はない。仔稚魚については, 外部形態(藤田・中原 1955; 水戸 1966; Sha et al. 1981; 岩本 1983), 行動(長浜・丹下 1987), 相対成長(Sawada et al. 2001), 遊泳と摂餌に関連する形質の発達(河野・曾田 1998), 酸素消費量(平田ら 2001)や窒素排泄(Kikuchi et al. 1996)に関する報告はあるが, 外部形態の変化に基づいた発育ステージの分類やそれに伴う相対成長および内部形態の変化に関する検討は試みられていない。将来的に, 種苗の量産・放流技術を発展させ, 資源の増大を図るためには, 技術開発の基礎となる生物学的特性に関する知見をより多く集積することが重要であると考えられる。

以上の観点から, 本研究では, オニオコゼの生物学的特性に関する知見を集積することを第一に考えて, 新潟県沿岸海域で漁獲された天然魚および1999年に生産された親魚群を用いて成長や成熟に関する特性を明らかにするとともに, 同親魚群より自然産卵によって得られた受精卵を用いて発生・孵化に及ぼす水温と塩分の影響および仔稚魚の発育過程における形態変化や消化管の発達について明らかにした。

第I章では, 年齢形質として口蓋部を支持する骨要素の1つである後翼状骨を用いて292個体の年齢を査定し, これを基に von Bertalanffy の成長式を求めて, 新潟県沿岸海域に生息するオニオコゼの成長とその特性を明らかに

した。

第Ⅱ章では、養成親魚を用いて個体の産卵期間や産卵回数および卵質について検討するとともに、新潟県沿岸海域で漁獲された天然魚と養成魚の卵巣を用いて、卵巣の組織学的観察および GSI の年間推移から生殖年周期および卵母細胞の発達様式を明らかにした。

第Ⅲ章では、養成親魚の自然産卵によって得られた受精卵を用いて、発生速度と孵化におよぼす水温と塩分の影響を検討し、孵化に最適な水温および塩分を明らかにするとともに、それぞれの孵化限界域について検討した。

第Ⅳ章では、種苗生産した仔稚魚を用いて、仔稚魚の絶対成長と相対成長を明らかにし、成長に伴う外部形態の変化を調べて発育ステージの分類を試みるとともに、組織学的観察により消化器官の発達を調べた。

第 I 章 新潟県沿岸海域における年齢と成長

成長については、体長組成の時系列や年齢形質として耳石や後翼状骨を用いた年齢査定により年齢と成長の関係を検討した報告がある（板野・藤田 1985；愛媛水試 1989, 1990, 1991；有山 1995；清川ら 2000）。しかし、オニオコゼの大型魚の耳石には透明帯がほとんどみられないものもあることから、耳石による大型魚の年齢査定は非常に困難であるとされている（清川ら 2000）。一方、懸垂骨と総称される口蓋部を支持する骨要素である後翼状骨は耳石よりも大きく扁平で輪紋径を測定しやすいとされているが、輪紋の年齢形質としての有効性については、1月から8月までの縁辺成長比を検討した報告が1件あるのみで十分に検討されているとは言い難い（愛媛水試 1990）。今後、オニオコゼの資源増大を図るためには成長に関する特性を生息海域毎に明らかにして、資源の現状を把握し管理手法を確立する事が重要である。

そこで、本研究では、新潟県沿岸海域で漁獲されたオニオコゼの後翼状骨縁辺部における透明帯と不透明帯の出現割合を周年にわたって調査し、輪紋の年輪としての有効性を検討して雌雄別に年齢と成長を明らかにした。

I -1. 材料および方法

供試魚

1999年9月から2000年8月の期間に、新潟県糸魚川市大字能生にある上越漁業協同組合（旧県漁連市場および筒石漁業協同組合）から購入したオニオコゼ 292 個体を用いた（Table I -1）。これらは主として、新潟県上越沿岸海域において小型底引き網で漁獲されたものである（Fig. I -1）。ただし、2月については時化による不漁等のため標本を入手できなかった。得られた標本は

−20℃で凍結保存した後，解凍して全長 (mm)，体重 (g)を測定した。雌雄の判別は肉眼による生殖腺の外見観察によって行った。後翼状骨は頭部を煮沸した後，除肉して摘出し 70%エチルアルコールで保存した。

年齢査定および成長式

後翼状骨の輪紋の形成時期を明らかにするために，縁辺部の約半周 a-b-c (Fig. I -2) における透明帯および不透明帯の出現状況を双眼実体顕微鏡 (×20)を用いて調べ，それらの月別出現割合を求めた。年齢査定は，輪紋が不鮮明で読み取りが困難な個体を除く 221 個体 (標本魚の 75%) の右側の後翼状骨によって行ったが，摘出時に右側が欠損した場合には左側を用いた。扇状に形成された輪紋の読み取り位置は透明帯の外縁とし，後翼状骨の中心部 (F)から長径に沿って輪紋径 ($r_1, r_2 \dots, r_n$) と後翼状骨径 R を 0.01 mmまで測定した (Fig. I -2)。測定には万能投影機 (×10) を使用した。

後翼状骨径 R (mm)と全長 TL (mm)の測定値から関係式 $R = a + bTL$ を導き，各個体の後翼状骨径の期待値 R' を計算して，実測の後翼状骨径 R との比 R'/R を求めた。これを各輪紋径 r_n に乗じることにより輪紋径を標準化し，標準輪紋径について輪紋群 ($r_1, r_2 \dots, r_n$) 別にそれぞれの平均値を産出した。さらに，これらの平均輪紋径から輪紋形成時の計算全長を算出し，これをもとに MS-DOS 用 N88BASIC プログラム (石塚 1988) を用いて非線型最小二乗法による von Bertalanffy 成長式の当てはめを行った。

I -2. 結 果

輪紋形成の特徴および年齢の割り振り

後翼状骨縁辺部における透明帯および不透明帯の月別出現割合を調べた。透明帯は 9 月から出現割合が徐々に増加して，12 月には全個体が透明帯を

Table I -1. Sampling date of *Inimicus japonicus* examined

| Month | Number of fish examined | Range of total length (mm) |
|--------------|-------------------------|----------------------------|
| Sep. 1999 | 7 | 185–249 |
| Oct. | 23 | 158–287 |
| Nov. | 19 | 174–283 |
| Dec. | 2 | 197–208 |
| Jan. 2000 | 34 | 185–273 |
| Feb. | 0 | |
| Mar. | 25 | 160–273 |
| Apr. | 6 | 175–236 |
| May | 58 | 152–266 |
| Jun. | 37 | 166–270 |
| Jul. | 76 | 164–287 |
| Aug. | 5 | 202–234 |
| Total | 292 | |

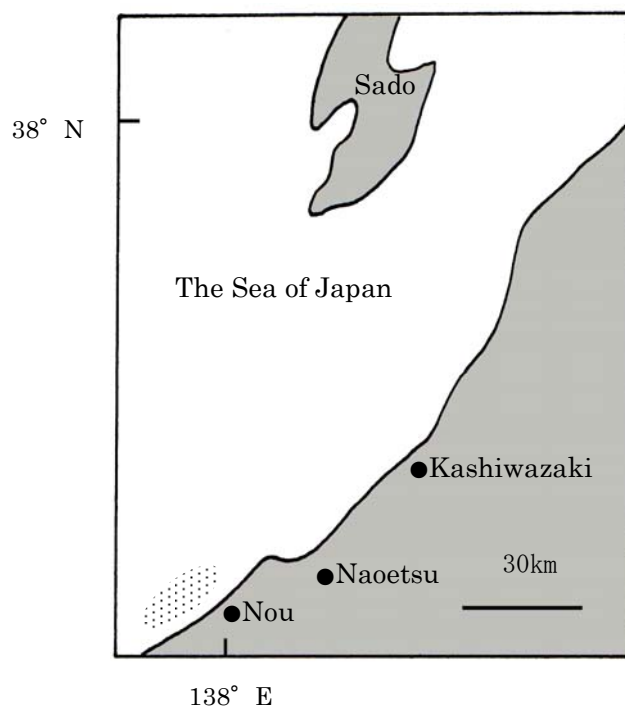


Fig. I -1. Fishing grounds of *Inimicus japonicus*.

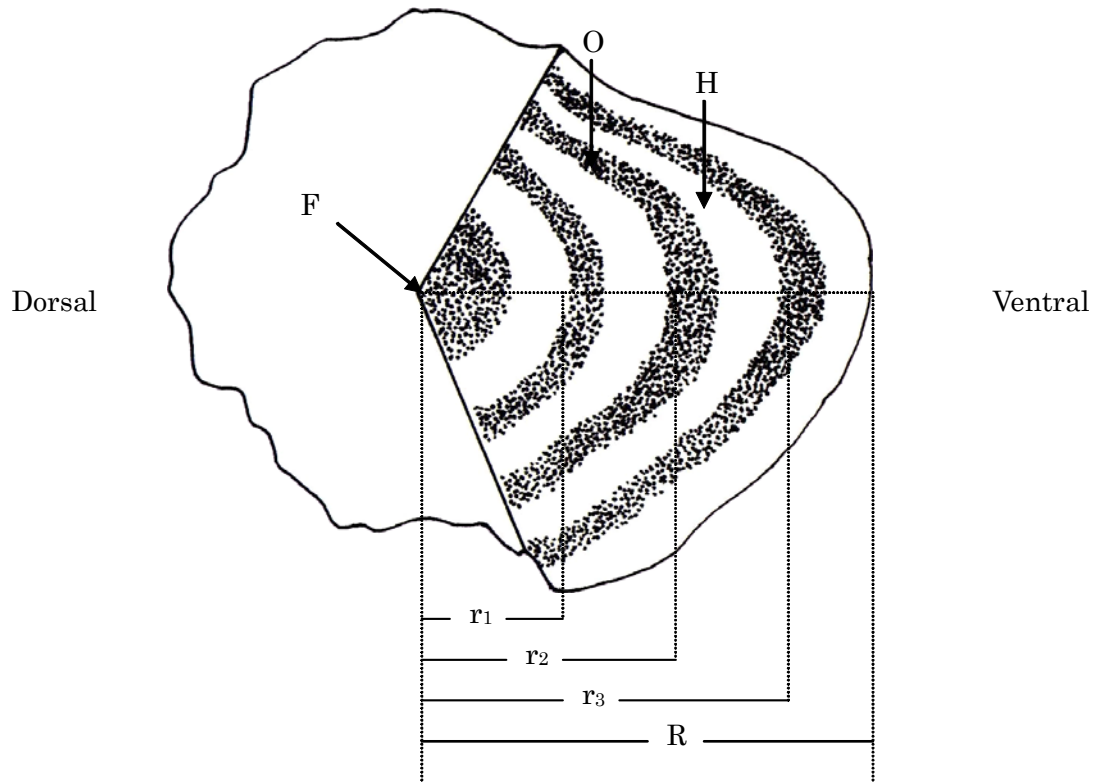


Fig. I -2. Graphical pattern of metapterygoid annulus and axis of measurement in *Inimicus japonicus*. F, focus; R, metapterygoid radius; H, hyaline zone; O, opaque zone; $r_1 - r_3$, annual ring radii.

有するようになった。その後、出現割合は減少していき、8月には透明帯が見られなくなった。不透明帯の出現割合は透明帯とは逆に、12月を中心とする冬季にもっとも低く、その後、徐々に増加して8月には全個体が不透明帯を有するようになった (Fig. I -3)。このことから透明帯は冬季を、不透明帯は夏季を中心にそれぞれ年1回形成される年輪であると推定された。年齢の割り振りは不透明帯が形成される夏季(8月)を基準とし満年齢で行った。また、第1輪の位置については、1歳魚の人工種苗の後翼状骨を用いて確認した。雄の輪紋は第12輪まで、雌の輪紋は第9輪まで測定することができた (Table I -2)。

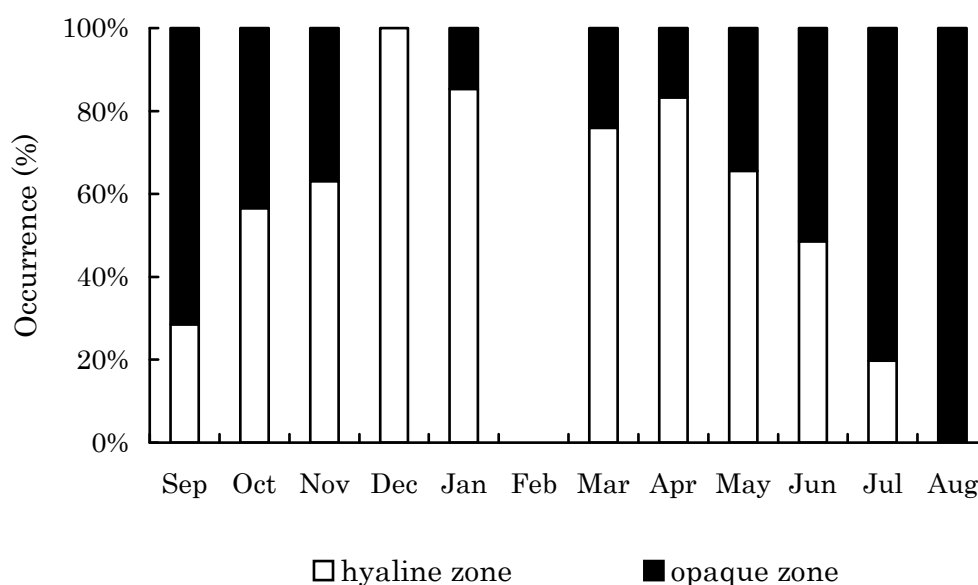


Fig. I -3. Seasonal changes in percentage occurrence of hyaline zone and opaque zone in *Inimicus japonicus*.

Table I -2. Calculated annulus radii (mm) and calculated total length (mm) in each age group of *Inimicus japonicus*

| Male | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Age | N ^{*1} | r1 | r2 | r3 | r4 | r5 | r6 | r7 | r8 | r9 | r10 | r11 | r12 |
| 2 | 2 | 3.48 | 6.02 | | | | | | | | | | |
| 3 | 6 | 2.87 | 4.86 | 6.39 | | | | | | | | | |
| 4 | 17 | 3.03 | 4.90 | 6.09 | 7.15 | | | | | | | | |
| 5 | 13 | 3.34 | 5.03 | 6.07 | 6.87 | 7.59 | | | | | | | |
| 6 | 27 | 3.40 | 5.03 | 5.92 | 6.62 | 7.31 | 7.92 | | | | | | |
| 7 | 32 | 3.38 | 5.30 | 6.19 | 6.96 | 7.52 | 8.05 | 8.55 | | | | | |
| 8 | 9 | 3.78 | 5.43 | 6.36 | 7.14 | 7.68 | 8.15 | 8.57 | 8.99 | | | | |
| 9 | 4 | 3.15 | 5.17 | 6.30 | 6.91 | 7.39 | 7.82 | 8.29 | 8.73 | 9.08 | | | |
| 12 | 1 | 2.40 | 5.85 | 6.71 | 7.22 | 7.61 | 7.93 | 8.41 | 8.90 | 9.28 | 9.61 | 10.02 | 10.52 |
| Mean ^{*2} | | 3.21 | 5.29 | 6.25 | 6.98 | 7.52 | 7.97 | 8.45 | 8.87 | 9.18 | 9.61 | 10.02 | 10.52 |
| CTL ^{*3} | | 87.4 | 142.0 | 167.2 | 186.3 | 200.3 | 212.3 | 224.8 | 235.8 | 243.8 | 255.0 | 265.9 | 279.0 |
| Female | | | | | | | | | | | | | |
| Age | N ^{*1} | r1 | r2 | r3 | r4 | r5 | r6 | r7 | r8 | r9 | | | |
| 2 | 8 | 4.01 | 6.32 | | | | | | | | | | |
| 3 | 13 | 3.13 | 5.73 | 7.46 | | | | | | | | | |
| 4 | 15 | 3.41 | 5.38 | 6.86 | 8.09 | | | | | | | | |
| 5 | 25 | 3.73 | 5.63 | 6.85 | 7.85 | 8.58 | | | | | | | |
| 6 | 33 | 4.12 | 5.72 | 7.04 | 8.02 | 8.82 | 9.47 | | | | | | |
| 7 | 8 | 3.92 | 5.96 | 7.30 | 8.10 | 8.66 | 9.29 | 9.73 | | | | | |
| 8 | 7 | 4.52 | 5.88 | 6.82 | 7.61 | 8.24 | 8.95 | 9.56 | 10.11 | | | | |
| 9 | 1 | 3.06 | 4.35 | 5.10 | 6.63 | 7.20 | 9.18 | 9.84 | 10.73 | 10.90 | | | |
| Mean ^{*2} | | 3.74 | 5.62 | 6.78 | 7.72 | 8.30 | 9.23 | 9.71 | 10.42 | 10.90 | | | |
| CTL ^{*3} | | 96.3 | 145.8 | 176.0 | 200.6 | 216.1 | 240.3 | 253.0 | 271.7 | 284.3 | | | |

*1 : Number of fish examined, *2 : Means of calculated annulus radii, *3 : Calculated total length.

成長様式

年齢と成長の関係を雌雄別に調べるため、雄 111 個体、雌 110 個体について後翼状骨径 R (mm) と全長 TL (mm) の計測値をプロットしたところ、両者の関係は回帰直線によって表された (Fig. I -4)。また、回帰式は(1)および(2)で示され、両者の間には高い相関関係が得られた。

$$\text{♂ } R = 0.0382TL - 0.1341 \quad (r^2 = 0.8386, n = 111, P < 0.01) \quad (1)$$

$$\text{♀ } R = 0.0381TL + 0.0709 \quad (r^2 = 0.8628, n = 110, P < 0.01) \quad (2)$$

(1), (2)式から各輪紋形成時の計算全長を算出し (Table I -2), 雌雄別に von Bertalanffy の成長式を求め年齢と全長の関係を表す成長曲線を得た((3), (4)式, Fig. I -5)。F - 検定法により残差平方和を比較した結果, 両曲線は有意水準 2.5%で有意であった ($F = 20.703, P < 0.025$)。

$$\text{♂ } Lt = 283.315 (1 - e^{-0.2406(t + 0.5104)}) \quad (3)$$

$$\text{♀ } Lt = 324.400 (1 - e^{-0.2094(t + 0.6058)}) \quad (4)$$

Lt : t 歳における全長 t : 年齢

また, 全長と体重の関係はべき乗式によって示され((5), (6)式, Fig. I -6), 相対成長係数は雄が 3.1073, 雌が 3.3408 であった。

$$\text{♂ } BW = 1.076 \times 10^{-5} TL^{3.1073} \quad (r^2 = 0.8904, n = 111, P < 0.01) \quad (5)$$

$$\text{♀ } BW = 3.347 \times 10^{-6} TL^{3.3408} \quad (r^2 = 0.9427, n = 110, P < 0.01) \quad (6)$$

全長と体重の関係を表す(5), (6)式の TL に von Bertalanffy の成長式の Lt を代入して (3), (4)式を体重に変換し, (7), (8)式を求めて年齢と体重の関係を表す成長曲線を得た (Fig. I -7)。F - 検定法により残差平方和を比較した結果, 両曲線は有意水準 2.5%で有意であった ($F = 20.967, P < 0.025$)。

$$\text{♂ } Wt = 448.5 (1 - e^{-0.2406(t + 0.5104)})^{3.1073} \quad (7)$$

$$\text{♀ } Wt = 819.7 (1 - e^{-0.2094(t + 0.6058)})^{3.3408} \quad (8)$$

Lt : t 歳における全長 t : 年齢

(3), (4), (7), (8)式より年齢に対する推定全長および推定体重を求めた(Table I -3)。その結果, 雌雄による成長差が認められ雌の全長が雄を上回った。3歳までは 10 mm 以下で差は比較的小さいが, 4歳で 13 mm, 5歳で 16 mm, 6歳で 19 mm, 7歳で 22 mm, 8歳で 24 mm, 9歳で 26 mm と高齢になるにしたがって大きくなった。また, 体重についても雌の体重が雄を上回り, 2歳までは 7 g 以下であるが, 3歳で 20 g, 4歳で 40 g, 5歳で 67 g, 6歳で 96 g, 7歳で 127 g, 8歳で 156 g, 9歳で 186 g と全長同様に高齢になるにしたがって体重差が大きくなった。

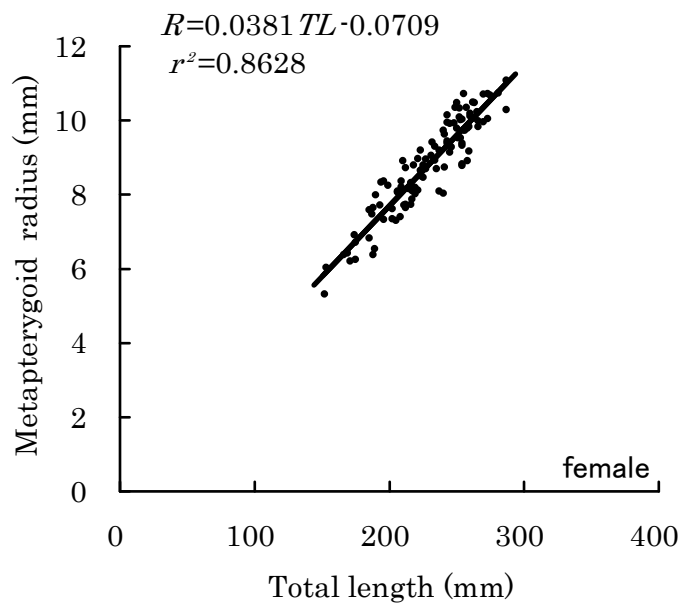
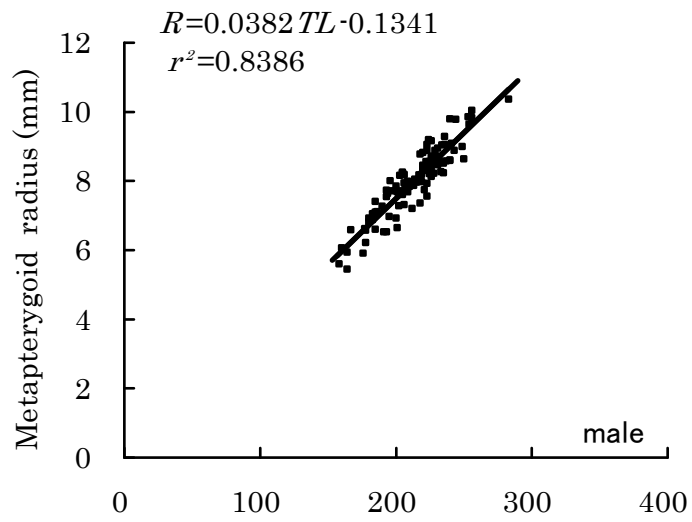


Fig. I -4. Relationship between total length and metapterygoid radius of *Inimicus japonicus*.

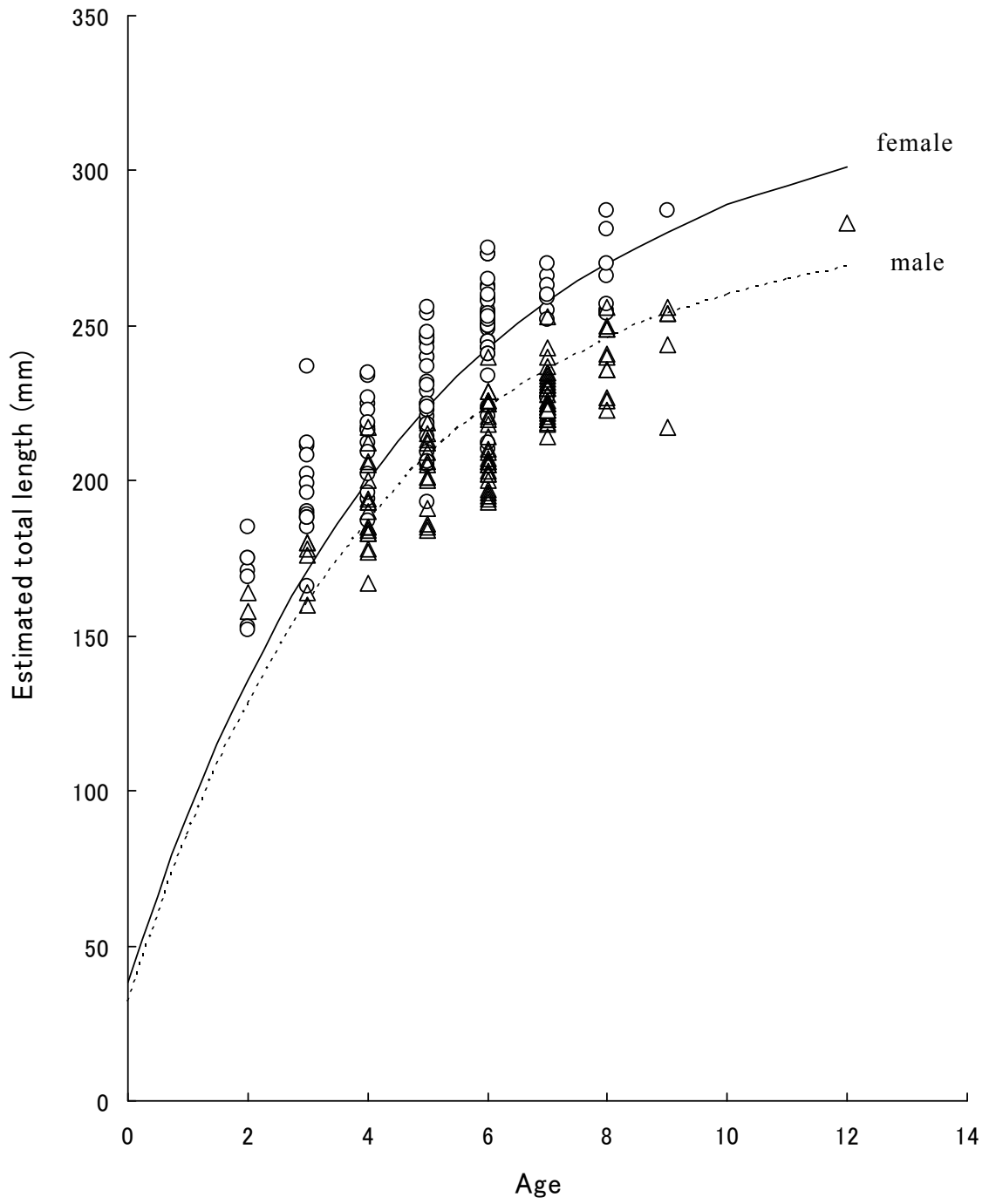


Fig. I -5. Estimated growth curves of *Inimicus japonicus* by von Bertalanffy growth formula. △: male, ○: female.

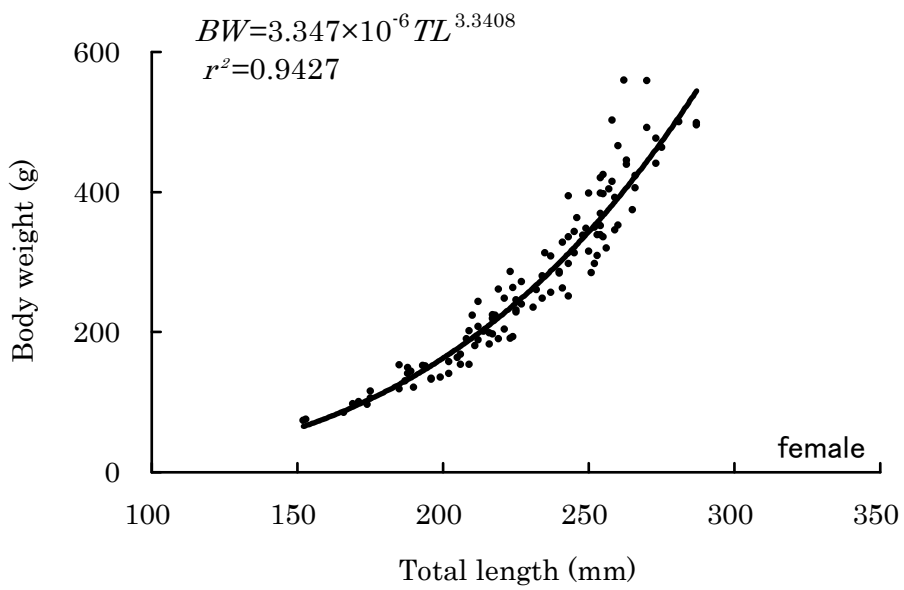
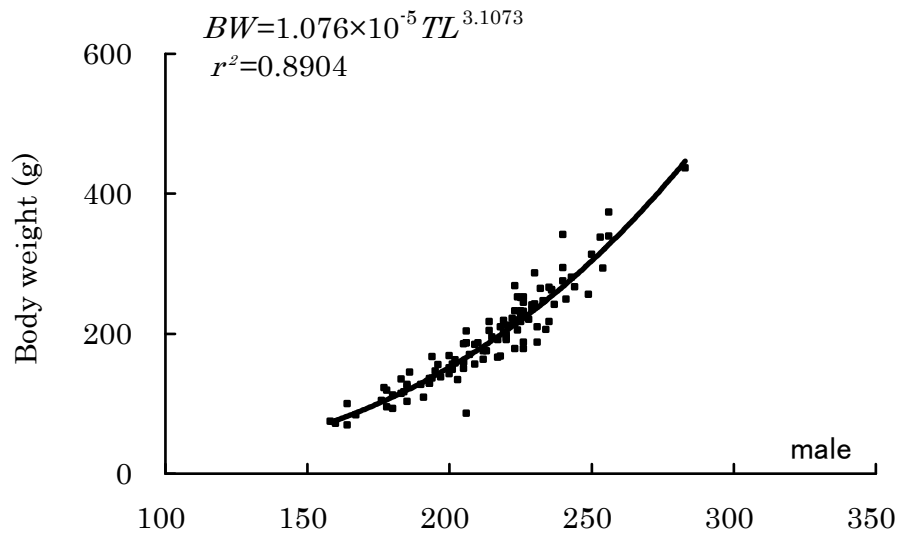


Fig. I -6. Relationship between total length and body weight of *Inimicus japonicus* in each sex.

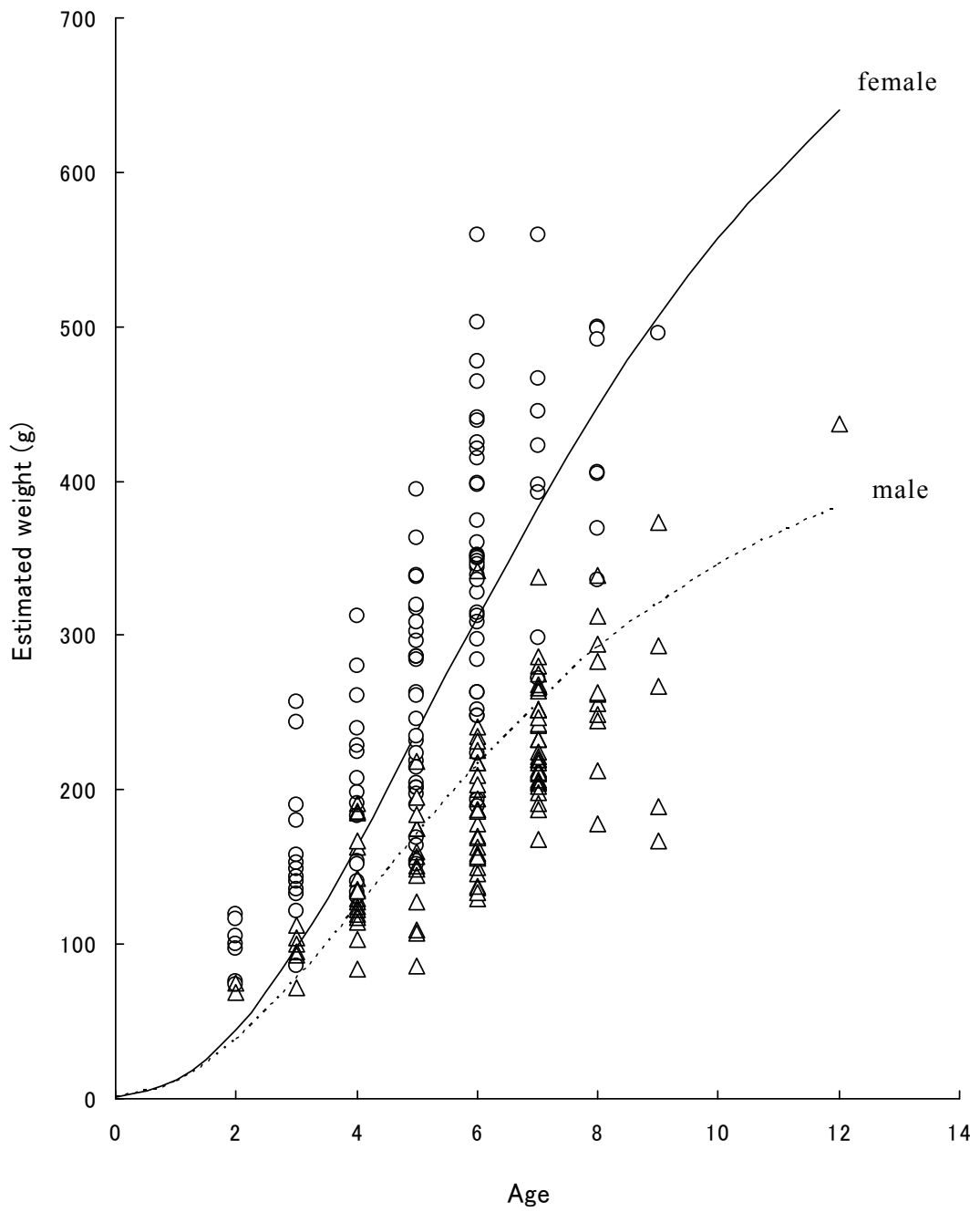


Fig. I -7. Estimated growth curves of *Inimicus japonicus* by von Bertalanffy growth formula. △: male, ○: female.

Table I - 3. Comparison between both sexes on age and growth of *Inimicus japonicus* from the coastal waters of Joetsu, Niigata Prefecture

| Age | Male | | Female | |
|-----|---------|--------|---------|--------|
| | TL (mm) | BW (g) | TL (mm) | BW (g) |
| 1 | 86 | 11 | 92 | 12 |
| 2 | 128 | 38 | 136 | 45 |
| 3 | 161 | 78 | 171 | 98 |
| 4 | 187 | 124 | 200 | 164 |
| 5 | 208 | 171 | 224 | 238 |
| 6 | 224 | 216 | 243 | 312 |
| 7 | 236 | 256 | 258 | 383 |
| 8 | 246 | 292 | 270 | 448 |
| 9 | 254 | 321 | 280 | 507 |
| 10 | 260 | 346 | | |
| 11 | 265 | 366 | | |
| 12 | 269 | 383 | | |

I -3. 考 察

魚類の年齢査定には、鱗や耳石、脊椎骨などの硬組織に形成される輪紋を利用する年齢形質法がある。オニオコゼは無鱗魚であり (阿部 1987), 年齢査定には耳石や後翼状骨が用いられる。しかし、これらを利用した年齢査定に関する報告は著しく少ない (清川ら 2000; 愛媛水試 1990)。後翼状骨は、一般に、懸垂骨と総称される口蓋部を支持する骨要素で、中心部 (不透明) には焦点が認められ、焦点を中心としてほぼ扇状に透明帯と不透明帯が交互に形成されている。本研究における後翼状骨縁辺部の観察から、透明帯は9月以降の冬季を中心に、不透明帯は夏季を中心にそれぞれ年1回形成される年輪であると推定されたことから、輪紋の年齢形質としての有効性が確

認された。しかし、愛媛県燧灘海域に生息するオニオコゼの後翼状骨の透明帯形成は5, 6月頃から始まるとされており(愛媛水試 1990), 新潟県沿岸海域よりも3ヶ月ほど早い。イシガレイ *Kareius bicoloratus* の耳石輪紋は北方海域ほど形成が遅くなることが知られているが(Uehara and Shimizu 1996; 正木ら 1986), このことは、オニオコゼの後翼状骨輪紋についても生息海域ごとに形成時期や周期についての検証が必要であることを示唆している。耳石の輪紋は、結晶学的には体成長の速い条件下では小型結晶が多数形成されて不透明となり、体成長の緩慢なときには結晶は大型となり輪紋は透明になるといわれている。イシガレイでは、体成長の速い夏季に不透明帯が、成長停滞期の冬季に透明帯が形成される(麦谷 1997)。新潟県沿岸海域に生息するオニオコゼの後翼状骨についても夏季に不透明帯が、冬季に透明帯が形成されることからイシガレイ同様に輪紋と体長の関係があることが推察され、今後、輪紋の形成時期と成長速度の関係についても検討する必要がある。硬組織にみられる透明帯や不透明帯は個体の生理状態の変化が有機基質へのカルシウムの沈着や結晶化に影響を及ぼすことによって形成されると推測されているが、その仕組みや両者の光学的相違についてはまだ明らかになっていない(麦谷 1997)。

耳石を利用したオニオコゼの年齢査定では、横断面法によって雌雄ともに7歳まで(清川ら 2000), 後翼状骨を用いた年齢査定では雄で7歳, 雌で8歳まで査定した報告がある(愛媛水試 1990)。後翼状骨の輪紋を利用した本研究では、雄では12歳, 雌では9歳まで年齢を査定することができた。オニオコゼの大型魚の耳石は輪紋の形が不安定なうえ、厚さも一定しておらず、透明帯がほとんどみられないものもあることから、耳石による大型魚の年齢査定は非常に難しいとされている(清川ら 2000)。耳石は炭酸カルシウムが非コラーゲン性の基質に沈着して形成されるが、大型魚になるにしたがい厚さを増すことが確認されており(Fujiwara and Hankin 1988; Beamish and

Chilton 1982), 大型魚の輪紋の読み取りを困難にしている一因と推測される。これに対し、後翼状骨は基質にリン酸カルシウムが沈着して形成される軟骨性硬骨で、形は扁平で薄く、耳石よりも大きいため輪紋径の測定も比較的容易である。したがって、耳石に白濁や厚みがあって、横断面法によっても大型魚の輪紋読み取りが困難なオニオコゼのような魚種については、耳石を用いるよりも後翼状骨を利用した年齢査定が有効であると考えられる。

年齢形質として後翼状骨を用いて von Bertalanffy の成長式を求め、各年齢における全長と体重を推定した結果、雌の方が雄よりも明らかに成長が良かった。耳石を利用して年齢査定し各年齢における平均全長を求めた島根県東部沿岸海域に生息するオニオコゼでは、3歳の雄では 183.4 mm、雌では 188.8 mm、5歳の雄では 224.4 mm、雌では 242.1 mm、7歳の雄では 247.8 mm、雌では 260.0 mm であった (清川ら 2000)。本研究と同様の方法で全長を推定した愛媛県燧灘海域に生息するオニオコゼでは、3歳の雄では 178 mm、雌では 191 mm、5歳の雄では 215 mm、雌では 240 mm、7歳の雄では 233 mm、雌では 268 mm であった (愛媛水試 1990)。一方、本研究における全長は3歳の雄では 161 mm、雌では 171 mm、5歳の雄では 208 mm、雌では 224 mm、7歳の雄では 236 mm、雌では 258 mm であった。年齢査定や全長の算出方法が異なるので、島根県東部沿岸海域の結果を本研究の結果と単純に比較することはできないが、愛媛県燧灘海域は新潟県沿岸海域より成長の良い傾向がうかがえた。日本のほぼ全域で天然魚の生活史に関する調査が行われているヒラメでは、雌の成長が雄を上回ることや生息する海域によって成長速度が異なり、北方水域に生息しているヒラメは成長速度が遅く寿命も長くなる傾向のあることが知られている (南 1997)。新潟県沿岸海域における全長の成長係数は雄が 0.2406、雌が 0.2094 であるのに対し、愛媛県燧灘海域における成長係数は雄が 0.3674、雌が 0.2879 で (愛媛水試 1990)、新潟県沿岸海域よりも高い値を示したことから、ヒラメと同様、北方域に生息するオニオコゼは南

方域よりも成長速度が遅いと考えられるが、それぞれの海域における成長速度の差が何に起因しているのかについては今後の検討課題である。また、雄で12歳、雌で9歳まで査定したが、雌雄の寿命についても今後の検討課題である。雌雄の成長を比較すると島根県、愛媛県の両海域においても雌の方が雄よりも成長が良く、この雌雄の成長差は3海域において認められることからオニオコゼの成長特性であると考えられる。

第Ⅱ章 新潟県沿岸海域における産卵および雌魚の成熟

栽培漁業対象種であるマダイとヒラメについては、個体レベルでの産卵追跡および組織学的調査から、典型的な多回産卵種であるとともに卵母細胞の発達様式は非同期発達型で生殖日周期をもち毎日産卵することが知られている（松浦ら 1988; 平野・山本 1992; 小林・足立 2002）。

オニオコゼは、複数雌を含む産卵親魚群の採卵結果や肉眼による卵巣の観察結果から、マダイやヒラメと同様に多回産卵種と考えられるが（長浜ら 1985）、個体レベルでの成熟、産卵特性は明らかにされていない。また、成熟に関する生殖腺の組織学的な調査報告はなく、卵母細胞の発達様式や生殖年周期については不明である。将来的に、種苗生産量の増大を図るためには、産卵や成熟に関する基礎的な知見を蓄積し、親魚養成技術を発達させてより多くの良質卵を得ることが肝要である。また、資源の適切な維持管理を行うためにも、各地先海域における生殖年周期を明らかにして産卵期や産卵盛期を把握しておくことが重要である。

Ⅱ-1. 産卵と卵質

個体レベルでの産卵特性と卵質を明らかにするために、人工生産魚の雌 1 尾と雄 3 尾を組み合わせて飼育し、雌 1 尾の産卵期間、産卵回数、産卵数、卵径、孵化率および孵化仔魚の無給餌生残指数について調査した。

Ⅱ-1-1. 材料および方法

供試魚

1998 年 4 月から 1999 年 3 月にかけて、新潟県糸魚川市大字能生にある上

越漁業協同組合（旧県漁連市場）に水揚げされた天然魚を養成し、1999年6月28日に、屋内に設置した水槽内で自然産卵させ種苗生産を行った。これらのうちから親魚候補として500尾を選別して養成した後、2002年に雌50尾、雄50尾を産卵用水槽（7t FRP製円型水槽）に収容して産卵親魚群とした。本研究には、これらの親魚群（4⁺歳）のなかから、2004年5月25日に雌1尾と雄3尾を抽出し、周囲を黒色寒冷紗で覆った1tパンライト水槽に収容して実験区とした。雌の全長は22.0 cm、体重は223.0 g、雄の全長は16.8~17.3 cm、体重は103.0~108.0 gであった。水槽は屋内に設置し、流水（濾過海水）とした。注水量は16回転/日で、日長は屋外と同じであった。通気はエアストーン（1箇所）を用いて緩やかに行った。底掃除は毎日行い、残餌等を除去した。餌料として、トラフグ・ヒラメ育成用配合飼料ホワイト8号（林兼産業株式会社）を1週間に3~4回の頻度で、1日1回午前中に飽食量を給餌した。水温は、毎日午後2時に水銀棒状温度計を用いて測定した。

産卵数と卵径

産出卵は排水口付近の集卵槽（70 l ポリエチレン製円型水槽）に設置したゴース布地製の採卵ネット（目合300 μ m、直径40 cm、深さ50 cm）を用いて採卵した。午後4時頃から追尾が観察され、午後8時頃までに産卵が行われることから、採卵ネットは毎日午後3時に設置した。前日の産出卵は翌日の午前8時に回収した。採集卵は直ちに1lのポリエチレン製容器に移し、30分放置した後、沈下卵と浮上卵に分離してそれぞれの湿重量(g)を測定した。産卵数はそれぞれの湿重量に1 gあたりの平均卵数を乗じて求めた。なお、平均卵数は産出卵1 g（湿重量）あたりの卵計数を10回行って平均値を求め算定した。浮上卵率は総採卵数に対する浮上卵数の比率によって求めた。また、採卵直後の浮上卵50個の卵径を万能精密投影機で10倍に拡大して0.01 mmまで測定した。

孵化率と奇形率

ろ過海水 1 l が入ったビーカーに 103～179 粒の浮上卵を収容し、実験水槽と同じ海水を用いたウォーターバス中に設置した。実験に供した卵の発生段階は産卵後約 10 時間を経過した囊胚初期であった。実験中は無通気とし、海水の交換は行わなかった。孵化が完了した時点で孵化仔魚と死卵を計数し、脊索屈曲や短体などの奇形孵化仔魚の出現率を調べた。孵化率と奇形率は次式に拠った。

$$\text{総孵化率 (\%)} = \{(\text{正常魚数} + \text{奇形魚数}) / (\text{正常魚数} + \text{奇形魚数} + \text{死卵数})\} \\ \times 100$$

$$\text{正常孵化率 (\%)} = \{(\text{正常魚数}) / (\text{正常魚数} + \text{奇形魚数} + \text{死卵数})\} \times 100$$

$$\text{奇形率 (\%)} = \{(\text{奇形魚数}) / (\text{正常魚数} + \text{奇形魚数})\} \times 100$$

無給餌生残指数

ろ過海水 1 l が入ったビーカーに 76～111 尾の孵化仔魚を収容し、実験水槽と同じ海水を用いたウォーターバス中に設置して、孵化仔魚が死滅するまで飼育した。死魚は毎日午前 9 時に計数し、ピペットで取り除いた。実験中は無給餌、無通気とし海水の交換は行わなかった。仔魚の活力を表す無給餌生残指数 (SAI) は次式に拠った (新聞・辻ヶ堂 1981)。

$$\text{SAI} = 1/N \sum_{i=1}^k (N - hi) \times i$$

N 収容時の仔魚数

hi i 日目の斃死魚の累積尾数

k 生残尾数が 0 となった日

群飼育した魚の産卵

屋内に設置した 7t FRP 製円型水槽で養成中の産卵親魚群 60 尾（雌 30 尾，雄 30 尾）について，産卵期間と産卵回数および産卵量を調査した。雌の全長は 20.8~22.6 cm，体重は 206.0~240.5 g，雄の全長は 16.5~18.2 cm，体重は 94.0~125.5 g で，年齢は 4⁺歳であった。日長は屋外と同じで，注水量は 16 回転/日とした。餌料および給餌は雌 1 尾の実験区と同様とした。

II -1-2. 結 果

産卵数

産卵期間中の水温は 19.3~28.9℃で，産卵開始の水温は 19.3℃であった (Fig. II -1-1-A)。雌 1 尾飼育実験区の産卵は 2004 年 6 月 8 日から 8 月 26 日までの 80 日間で合計 14 回確認された。6 月 8 日から 6 月 17 日までは 2 日の間隔で 4 回，2 週間後の 7 月 2 日から 8 月 2 日までは 3~6 日の間隔で 7 回，さらに 2 週間後の 8 月 15 日から 8 月 26 日までは 4~5 日の間隔で 3 回の産卵が断続的に行われた (Fig. II -1-1-B)。その後，9 月 25 日まで産卵は認められなかった。産卵頻度（産卵日数/産卵期間中の日数）は 17.5%であった。1 g あたりの平均卵数は約 760 粒であった。総産卵量は 277.68 g（約 21.1 万粒）で，浮上卵は 111.14 g（約 8.4 万粒），沈下卵は 166.54 g（約 12.6 万粒）であった。浮上卵率は 0~99.84%で，平均浮上卵率は 32.47%であった。1 日の最大産卵量は 48.57 g（約 3.6 万粒）で，産卵量は産卵期が進行するにしたがって減少した (Table II -1-1)。

群飼育した魚の産卵は 2004 年 6 月 12 日から 9 月 18 日までの 99 日間で合計 67 回確認された。そのうち 7 月 7 日から 7 月 17 日および 7 月 23 日から 8 月 2 日にかけては，1 週間以上にわたり毎日産卵が確認された (Fig. II -1-1-C)。総産卵量は 14,196 g（1,078 万粒）で，平均浮上卵率は 34.81%であった。9

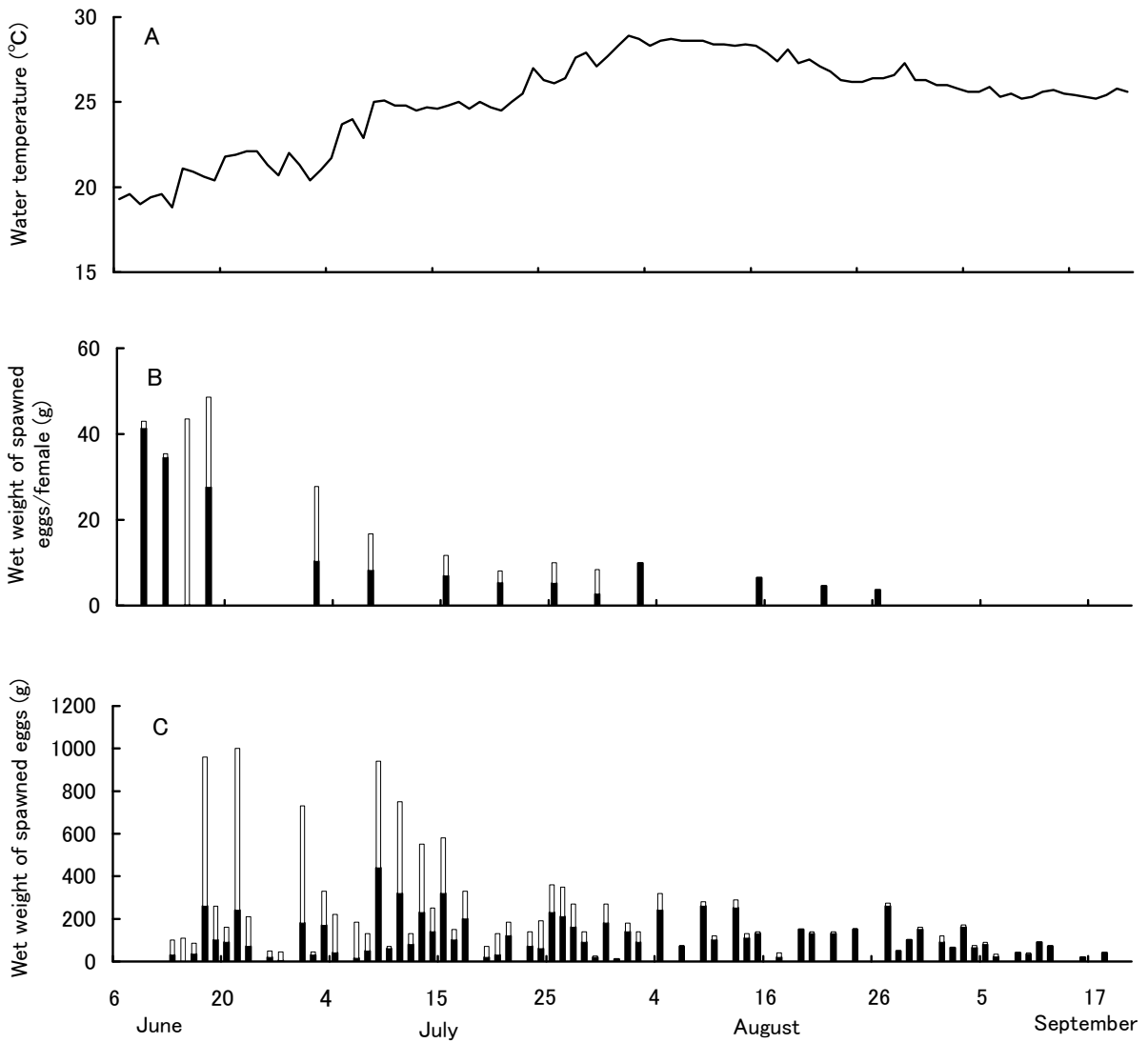


Fig. II -1-1. Changes in water temperature (A), wet weight of eggs spawned by single female (B) and wet weight of eggs spawned by a group of thirty females *Inimicus japonicus* (C) during experimental period.

□ : floated eggs, ■ : sunken eggs.

Table II-1-1. Spawning date, wet weight of eggs spawned, proportion of floated eggs and average diameter of eggs in single female *Inimicus japonicus*

| Spawning date | Wet weight of spawned eggs (g) | Wet weight of floated eggs (g) | Wet weight of sunken eggs (g) | Proportion of floated eggs (%) | Average diameter of eggs (mm) |
|---------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| June 8 | 43.00 | 1.69 | 41.31 | 3.93 | 1.32 |
| June 11 | 35.38 | 0.95 | 34.43 | 2.69 | 1.29 |
| June 14 | 43.50 | 43.43 | 0.07 | 99.84 | 1.32 |
| June 17 | 48.57 | 21.03 | 27.54 | 43.30 | 1.31 |
| July 2 | 27.77 | 17.44 | 10.33 | 62.80 | 1.30 |
| July 8 | 16.70 | 8.48 | 8.22 | 50.78 | 1.24 |
| July 15 | 11.72 | 4.81 | 6.91 | 41.04 | 1.22 |
| July 20 | 8.12 | 2.76 | 5.36 | 33.99 | 1.18 |
| July 25 | 9.99 | 4.78 | 5.21 | 47.85 | 1.16 |
| July 29 | 8.44 | 5.77 | 2.67 | 68.36 | 1.14 |
| August 2 | 9.87 | 0.00 | 9.87 | 0.00 | — |
| August 15 | 6.47 | 0.00 | 6.47 | 0.00 | — |
| August 21 | 4.53 | 0.00 | 4.53 | 0.00 | — |
| August 26 | 3.62 | 0.00 | 3.62 | 0.00 | — |
| Total | 277.68 | 111.14 | 166.54 | mean = 32.47 | — |

月 18 日以降 10 月 17 日まで産卵は認められなかった。

卵径と孵化率および無給餌生残指数 (SAI)

卵は分離浮性卵で球形であり、油球は無く、卵膜にも特殊な構造は見られない。雌 1 尾飼育実験区の平均卵径は 6 月 8 日の初回の産卵に最大値 1.32 mm, 7 月 29 日の第 10 回目の産卵で最小値 1.14 mm を示した (Table II -1-1, Fig. II -1- 2)。平均卵径と産卵当日の水温の関係は、次式のような回帰直線で表され、水温が上昇するに従って卵径が小さくなる傾向を示した (Fig. II -1- 3)。

$$Y = 1.7411 - 0.0213X \quad (r^2 = 0.912, P < 0.01)$$

Y : 平均卵径

X : 産卵日の水温

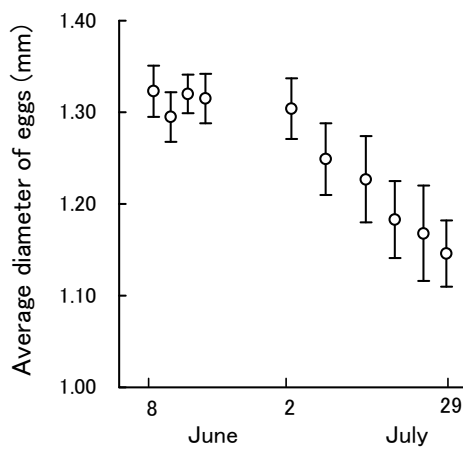


Fig. II -1-2. Changes in average diameter of eggs spawned by single female *Inimicus japonicus*. Vertical bars indicate standard deviation.

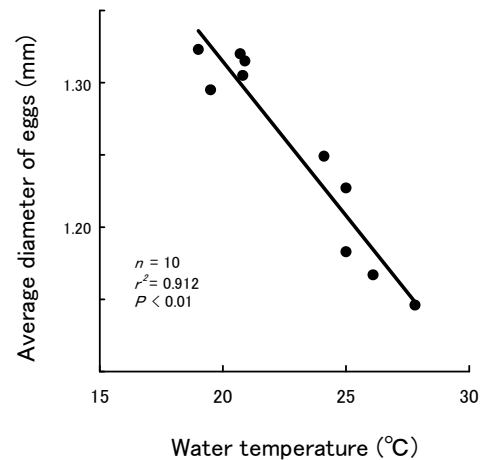


Fig. II -1-3. Relationship between water temperature and average diameter of eggs spawned by single female *Inimicus japonicus*.

産卵期間中の総孵化率は 28.47~97.11% (平均 75.84%) であった。正常孵化率は 6 月 8 日の初回の産卵で 22.91% と低い値を示したが、6 月 11, 14 日はそれぞれ 70.17%, 87.50%, 6 月 17 日, 7 月 2 日はそれぞれ 54.74%, 66.99%, 7 月 8 日から 7 月 29 日は 1.81~40.00% を示し、産卵期が進行するにしたがって正常孵化率が低くなる傾向が認められた。一方、奇形率は 9.90~97.22% (平均 46.40%) で、産卵期が進行するにしたがって高い値を示した (Table II -1-2)。SAI は 23.81~0.58 の範囲にあって、産卵期が進行するにしたがって低い値を示した (Table II -1-3)。

卵径と総孵化率との間には相関関係が認められなかったが、卵径と正常孵化率 ($r = 0.726$, $P < 0.05$), 卵径と SAI ($r = 0.741$, $P < 0.05$) との間には正の相関関係が認められた。浮上卵率と総孵化率, 浮上卵率と正常孵化率, 浮上卵率と SAI との間には相関関係は認められなかった (Fig. II -1-4)。

Table II-1-2. Percent total hatch, % normal hatch and % abnormal hatch of eggs spawned by single female *Inimicus japonicus*

| Spawning date | Temperature (°C) | Number of eggs used | Total hatching rate (%) | Normal hatching rate (%) | Abnormal hatching rate (%) |
|---------------|------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| June 8 | 19.0 | 144 | 28.47 | 22.91 | 19.51 |
| June 11 | 19.5 | 114 | 80.70 | 70.17 | 13.04 |
| June 14 | 20.7 | 104 | 97.11 | 87.50 | 9.90 |
| June 17 | 20.9 | 179 | 85.47 | 54.74 | 35.94 |
| July 2 | 20.8 | 103 | 91.26 | 66.99 | 26.59 |
| July 8 | 24.1 | 137 | 42.33 | 17.51 | 58.62 |
| July 15 | 25.0 | 135 | 85.18 | 40.00 | 53.04 |
| July 20 | 25.0 | 169 | 96.44 | 22.48 | 76.68 |
| July 25 | 26.1 | 158 | 86.07 | 22.78 | 73.52 |
| July 29 | 27.8 | 110 | 65.45 | 1.81 | 97.22 |

Total hatching rate(%)= (A+B) × 100/(A+B+C). Normal hatching rate(%)=(A) × 100/(A+B+C).

Abnormal hatching rate(%)=(B) × 100/(A+B). A: normal larvae, B: abnormal larvae, C: dead eggs.

Table II-1-3. SAI and survival rate in each day after hatching in single female *Inimicus japonicus*

| Spawning date | Number of larvae used | Survival rate in each date after hatching (%) | | | | | | | | | SAI |
|---------------|-----------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|-----|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| June 8 | 90 | 97.7 | 93.3 | 86.6 | 76.6 | 75.5 | 73.3 | 70.0 | 27.7 | 0.0 | 23.81 |
| June 11 | 86 | 97.6 | 93.0 | 91.8 | 89.5 | 87.2 | 84.8 | 15.1 | 0.0 | | 19.68 |
| June 14 | 98 | 98.9 | 95.9 | 88.7 | 85.7 | 85.7 | 25.5 | 0.0 | | | 14.81 |
| June 17 | 100 | 99.0 | 98.0 | 94.0 | 84.0 | 49.0 | 1.0 | 0.0 | | | 11.64 |
| July 2 | 76 | 88.1 | 52.6 | 50.0 | 50.0 | 38.1 | 0.0 | | | | 7.34 |
| July 8 | 102 | 29.4 | 5.8 | 5.8 | 0.0 | | | | | | 0.58 |
| July 15 | 90 | 28.8 | 10.0 | 4.4 | 1.1 | 0.0 | | | | | 0.66 |
| July 20 | 90 | 82.2 | 60.0 | 53.3 | 51.1 | 0.0 | | | | | 5.66 |
| July 25 | 111 | 21.6 | 16.2 | 10.8 | 0.0 | | | | | | 0.68 |

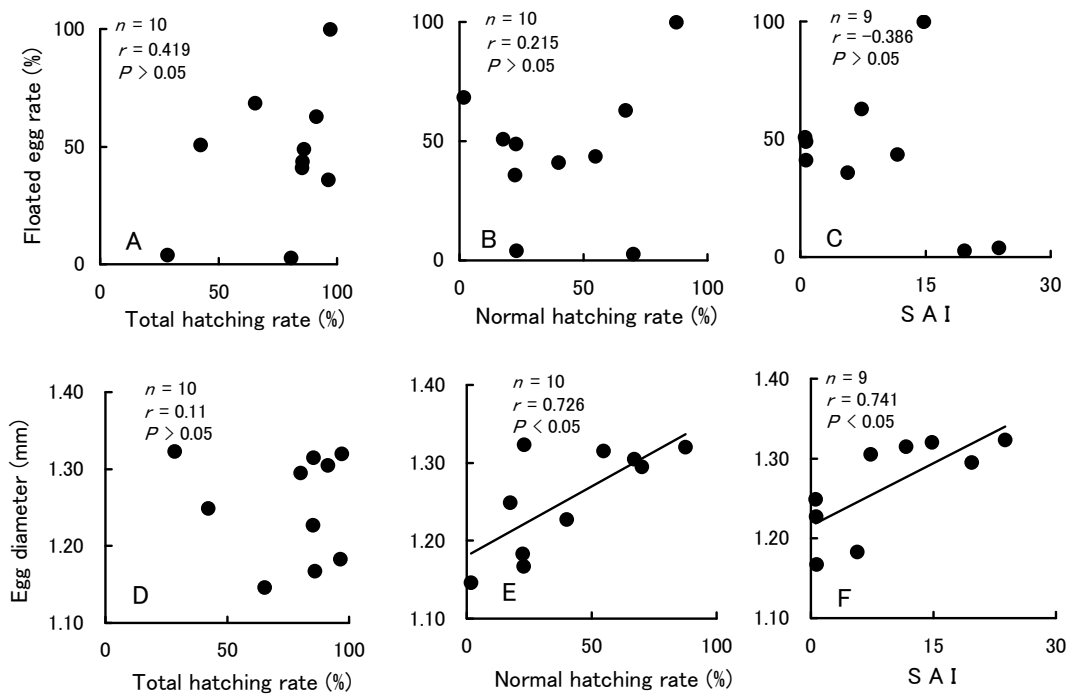


Fig. II -1-4. Relationships of total hatching rate (A), normal hatching rate (B), SAI (C) with floated egg rate, and relationships of total hatching rate (D), normal hatching rate (E), SAI (F) with average diameter of eggs spawned by single female *Inimicus japonicus*.

II -1-3. 考 察

雌 1 尾と雄 3 尾を組み合わせて飼育した結果、雌 1 尾の産卵期間、産卵回数、産卵数、卵径、孵化率および孵化仔魚の無給餌生残指数 (SAI) が明らかになった。以下、雌 1 尾の結果であることを前提に考察をすすめることとする。産卵期間は 6 月 8 日から 8 月 26 日までの 80 日間で、合計 14 回の産卵が確認された。このことは、オニオコゼが多回産卵魚であることを示唆していると考えられる。ヒラメでは、1 個体および複数雌による産卵群の産卵期間

が約3か月で、ほぼ一致することから、各個体が長期の産卵期をもつことが判明している（平野・山本 1992）。本研究では、雌1尾飼育実験区と産卵親魚群で性比が異なるなど、飼育条件が同一でないため両者を単純に比較できないが、産卵期間がそれぞれ80日間および99日間であったことから、オニオコゼについてもヒラメと同様に、各個体が長期の産卵期をもつと考えられる。

多回産卵魚であるマダイ（松浦ら 1988; Matsuyama et al. 1988）、ヒラメ（平野・山本 1992）、トビヌメリ *Repomucenus beniteguri*（Yong et al. 1991abc）等、一般に、産卵期が長い魚種では、産卵期間中の産卵頻度もマダイで68.0%（松浦ら 1988）、ヒラメで66~88%（平野・山本 1992）、トビヌメリで77.1%（Yong et al. 1991a）と高い。これに対し、オニオコゼにおける産卵期間はマダイなどと同様に約3ヶ月間と長期間にわたるものの、雌1尾の産卵頻度は17.5%で、これらの魚種よりもかなり低い値を示した。また、マダイ、ヒラメ、シロギス *Sillago japonica*、トビヌメリには、生殖日周期が存在し毎日産卵が認められる（小林・足立 2002）。特に、マダイでは24時間周期で繰り返される血中ステロイドホルモン量の変動が成熟、排卵の過程によく対応しており、産卵時間帯は夕方5時から7時であることが知られている（Matsuyama et al. 1988; Kagawa et al. 1991）。オニオコゼについては、午後4時頃から追尾が観察され、午後8時頃までに産卵が行われるとの報告があり（脇坂 1981; 長浜ら 1985; 伊勢田・古庄 1988）、本研究においても同様の現象が観察されたことから、産卵時間帯は毎日産卵するマダイなどと同じく日没前後と考えられる。しかし、産卵群としては毎日産卵がみられるものの、雌1尾としては断続的に行われており、マダイやヒラメとは異なる排卵・産卵のリズムを持つ可能性が考えられる。

産卵期間中の雌1尾あたりの総産卵数は21.1万粒（277.68 g）であった。これまでに報告されている1尾あたりの総産卵数は5~5.5万粒（天然魚、平

均全長 27 cm) (伊勢田・古庄 1988), 約 15 万粒 (天然魚, 平均全長 22.7 cm, 平均体重 266.2 g) (長浜ら 1985) から 32.3 万粒 (天然魚, 平均全長 27 cm, 平均体重 414 g) (板垣 1998) である。既報の総産卵数はいずれも複数雌による産卵群の平均値であり, 本研究の実験魚と親魚の由来も異なることから単純に比較できないが, 今回得られた総産卵数は既報値の範囲内にあって比較的良好的な値を示した。天然養成親魚の産出卵の卵径は 7 月上旬で 1.3~1.4 mm, 7 月下旬では 1.2 mm 前後で, 後期に産卵された卵は卵径が小さくなるとされている (川村ら 1990)。本研究においても, 産卵日毎の平均卵径は 1.14~1.32 mm で, 産卵時期が進み, 水温が上昇するのにもなって, 平均卵径が小さくなる傾向が認められた。このような傾向はマダイ (松浦ら 1988), ヒラメ (尾田ら 1988), キジハタ *Epinephelus akaara* (Fukuhara 1989) 等多くの飼育養成魚で知られている。このうち, マダイでは前日の水温と平均卵径の相関が高かったことから, 卵黄蓄積中の水温の関与が指摘されているが (松浦ら 1988), どのような仕組みで卵の大きさが決定されるのかは明らかでない。

良質卵とは「孵化率が高く, 孵化後の生残率も高い」卵とされている (清野 1974; 岩井・柏木 1989)。オニオコゼの産卵親魚群からの採卵では, 特に, 産卵初期に良質卵が得られたとの報告がある (伊勢田・古庄 1988)。本研究では雌 1 尾における全 14 回の産卵中, 初回の産出卵の正常孵化率は 22.91% と低い値を示したが, 第 2 回目の産出卵は 70.17%, 3 回目の産出卵は 87.50% と高い値を示し, その後, 産卵時期が進行するにつれて, 正常孵化率は低くなるとともに, 奇形魚の出現率が高くなる傾向が見られた。また, SAI は産卵時期の進行とともに低下した。このことから産出卵の卵質は産卵期前半に最も良いと考えられる。マダイでは低タンパク質やリン (P) 欠乏飼料が総産卵数や浮上卵率およびふ化率などの低下を招く (Watanabe et al. 1984a, 1984b) ことや, 飼料中に β -カロチンおよびカンタキサンチンを混合すると

浮上卵率が高まる (Watanabe et al. 1984c) など、産出卵の卵質は親魚のおかれた餌料条件によって変動することが多くの魚種で知られている (森本 1994)。オニオコゼの人工養成親魚についても、活エビ (サルエビ, アカエビ) を給餌した親魚と配合飼料を給餌した親魚では、活エビを給餌した親魚で浮上卵率が向上し、卵質改善効果が認められたとの報告がある (村上ら 2001)。本研究における産卵後期の卵質低下の原因については不明であるが、餌料として配合飼料を給餌していることから、今後、餌料条件が産卵後期の卵質にどのような影響を及ぼすかについて検討する余地がある。

良質卵の選別は種苗生産の成否にかかわる重要な問題であり、正確でより簡便な卵質の評価指標が求められている。卵質の評価指標には受精率、浮上卵率、発眼率、孵化率、正常孵化率、仔魚生残率、卵の大きさ、形態 (異常)、比重、色調、pH 等があるが (清野 1974; 岩井・柏木 1989)、本研究では、これらの評価指標のうち、卵径と浮上卵率の有効性を良質卵の定義に沿って検討した。卵径については、シロギスのように、総孵化率との間に相関関係は認められないが、正常孵化率との間には相関関係が認められる魚種 (Kashiwagi et al. 1987b) と、マダイのように、卵径と孵化率との間に相関関係が認められない魚種 (Watanabe et al. 1985; 松浦ら 1988) があり、卵径と卵質との関係はあまり明確でない (岩井・柏木 1989)。本研究においては、卵径と総孵化率との間に相関関係は認められなかったが、卵径と正常孵化率および卵径と SAI との間には、それぞれ比較的強い正の相関関係が認められた。このことから、オニオコゼについては、卵径が卵質の評価指標として有効であると考えられる。また、分離浮性卵を産出する有用海産魚類では、浮上卵率が評価指標として用いられているが (岩井・柏木 1989)、シロギス (升間・慶徳 1981; 近藤ら 2001) やイサキ *Parapristipoma trilineatum* (木村・有瀧 1985) では、浮上卵率と孵化率との間には相関関係が認められない。本研究においても、浮上卵率と総孵化率、正常孵化率、SAI との間に相関関

係が認められなかったことから、浮上卵率が有効な評価指標であるとはいえない。シロギス卵では、中立浮力塩分および浸透圧が正常孵化率との間に強い相関関係にあり、浸透圧が 480mOsm/kg を超えた卵は不良卵とみなすことができる。従って、これらを利用することによって浮上卵中に含まれる不良卵を選別することが可能であるとともに、有効な卵質評価の指標になると考えられている（近藤ら 2001）。オニオコゼについては、卵径が卵質の評価指標として有効であると考えられるが、今後、中立浮力塩分等を利用したより迅速で簡便な卵質評価法の検討が求められる。

II-2. 卵母細胞の発達様式と生殖年周期

オニオコゼでは、養成した天然魚を自然産卵させて得た受精卵を用いて種苗生産が行われているが、生殖腺の発達については調査・報告事例が無く、成熟に関する知見が欠落した状態で親魚養成や採卵が実施されている。今後、親魚の養成技術を改良し、良質卵を安定的に確保するためには成熟に関する基礎的な知見を集積することが肝要である。本研究では、新潟県沿岸海域で漁獲されたオニオコゼ雌を用いて、卵巢を組織学的に観察し、卵母細胞の発達様式および生殖年周期を明らかにするとともに、養成親魚の卵巢成熟の周年変化についても検討した。

II-2-1. 材料および方法

供試魚

供試魚として天然魚 175 個体と養成魚 59 個体を用いた (Table II-2-1)。天然魚は 2002 年 12 月から 2004 年 11 月の期間に、新潟県上越地方の沿岸海域で主として小型底引き網で漁獲され、新潟県糸魚川市にある上越漁業協同組合 (旧県漁連市場) に水揚げされたものである。2003 年 2 月, 3 月, 9 月, 12 月および 2004 年 1 月, 5 月は時化による不漁等のため標本を入手できなかった。各個体の年齢は年齢査定による雌の成長式 (第 I 章) と対応させて求めた。養成魚は 1999 年 6 月 28 日に、屋内に設置した水槽 (7t FRP 製円型水槽) 内で天然魚を自然産卵させ、種苗生産して養成した 3⁺~4⁺ 歳魚で、2003 年 6 月から 2004 年 5 月にかけて毎月 4~5 尾ずつ無作為に抽出した。飼育水槽 (15t FRP 製円型水槽・200 尾収容) は屋内の自然光の下で管理した。日長は屋外と同じであった。飼育水は流水 (濾過海水) とし、注水量は 15 回転/日とした。餌料としてトラフグ・ヒラメ用配合餌料 (林兼産業株式会社) を

1週間に3～4回の頻度で1日1回、午前中に飽食量を給餌した。飼育水槽の水温は毎日午後2時に水銀棒状温度計を用いて測定した。

これらの標本について、全長 (mm)、体重 (g)、生殖腺重量 (g) を測定し、生殖腺体指数 (GSI) を次式によって求めた。

$$\text{GSI} = \text{生殖腺重量} \times 100 / \text{体重}$$

卵母細胞の発達過程と卵巣の成熟度

卵母細胞の発達過程と卵巣の成熟段階を組織学的に調べるために、卵巣をブアン氏液で固定した後、通常のパラフィン法に従って7-8 μm の切片を作成し、マイヤーのヘマトキシリン-エオシン二重染色 (HE 染色) を施して光学顕微鏡で観察した。卵巣の部位による成熟度に差は認められなかった。試料の採取部位は卵巣の中央部付近とした。月毎に代表的な例1～2個体について卵母細胞の組成を調べるために、連続切片の1片を無作為に抽出し、発達段階に基づいて卵母細胞を計数した。また、卵母細胞の発達段階ごとに、核が明瞭に認められる20粒の卵母細胞の直径をマイクロメーターを用いて測定し、平均値と標準偏差を求めた。ただし、成熟期については最大卵径とみなされる卵母細胞を選んで測定した。卵巣の成熟度における天然魚および養成魚のGSIの平均値は同じ成熟度にある個体をまとめて群とし、それぞれ群別に求めた。また、成熟期 (卵巣の成熟度を参照のこと) の個体が出現する6月から8月のすべての個体について年齢毎に成熟度の出現割合を求めるとともに、年齢別にGSIの周年変化を求めて雌の成熟年齢を推定した。さらに、成熟期の個体が出現する6月から8月のすべての個体のうち第1次卵黄球期以上の卵母細胞をもつ個体を成熟個体として、生物学的最小形を推定した。

Table II-2-1. Sampling date, number of specimens, total length, gonadosomatic index (GSI) of the wild (upper) and reared (lower) female *Inimicus japonicus*

| Sampling date | Number of wild females | Age*1 | Total length (mm) | | | GSI*2 | | |
|---------------|------------------------|-------|-------------------|---------|---------|--------------|---------|---------|
| | | | Mean±SD | Minimum | Maximum | Mean±SD | Minimum | Maximum |
| December 2002 | 25 | 2~7 | 215.7 ± 3.0 | 165 | 268 | 0.85 ± 0.39 | 0.35 | 2.07 |
| January 2003 | 3 | 3~4 | 192.0 ± 2.2 | 175 | 217 | 0.67 ± 0.15 | 0.53 | 0.82 |
| April | 6 | 2~7 | 223.8 ± 3.7 | 165 | 260 | 1.61 ± 1.08 | 0.49 | 3.02 |
| May | 16 | 2~6 | 194.6 ± 3.2 | 140 | 245 | 0.99 ± 0.46 | 0.33 | 1.89 |
| June | 26 | 2~9 | 216.3 ± 2.7 | 165 | 256 | 2.92 ± 3.14 | 0.56 | 12.74 |
| July | 8 | 4~9< | 240.6 ± 3.1 | 215 | 312 | 10.18 ± 5.58 | 0.81 | 16.64 |
| August | 4 | 4~8 | 237.5 ± 2.9 | 205 | 275 | 2.02 ± 1.29 | 0.66 | 3.28 |
| October | 4 | 3~8 | 236.3 ± 4.2 | 175 | 270 | 0.91 ± 0.20 | 0.71 | 1.15 |
| November | 2 | 4~7 | 236.0 ± 4.1 | 207 | 265 | 1.11 ± 0.29 | 0.90 | 1.31 |
| February 2004 | 4 | 4~6 | 222.5 ± 2.1 | 200 | 250 | 1.00 ± 0.09 | 0.89 | 1.11 |
| March | 9 | 3~6 | 216.2 ± 1.8 | 188 | 246 | 0.92 ± 0.32 | 0.63 | 1.65 |
| April | 6 | 4~6 | 226.2 ± 1.6 | 206 | 244 | 1.64 ± 1.29 | 0.70 | 4.21 |
| June | 15 | 3~9 | 228.3 ± 3.2 | 175 | 260 | 5.24 ± 5.22 | 0.63 | 19.53 |
| July | 19 | 4~9< | 256.1 ± 3.1 | 210 | 325 | 8.31 ± 6.60 | 0.67 | 23.28 |
| August | 11 | 4~7 | 236.8 ± 1.5 | 220 | 265 | 2.51 ± 3.92 | 0.57 | 14.00 |
| September | 8 | 4~7 | 236.3 ± 1.6 | 210 | 265 | 0.81 ± 0.25 | 0.55 | 1.30 |
| October | 6 | 3~9< | 236.7 ± 4.3 | 180 | 295 | 0.89 ± 0.31 | 0.56 | 1.29 |
| November | 3 | 5~8 | 251.7 ± 1.6 | 240 | 270 | 0.92 ± 0.22 | 0.69 | 1.12 |

| Sampling date | Number of reared females | Age | Total length (mm) | | | GSI*2 | | |
|---------------|--------------------------|-----|-------------------|---------|---------|--------------|---------|---------|
| | | | Mean±SD | Minimum | Maximum | Mean±SD | Minimum | Maximum |
| June 2003 | 5 | 3 | 203.2 ± 0.6 | 198 | 213 | 16.20 ± 3.87 | 11.21 | 21.87 |
| July | 5 | 4 | 205.2 ± 0.9 | 190 | 213 | 23.11 ± 2.86 | 19.22 | 26.97 |
| August | 5 | 4 | 206.0 ± 0.8 | 195 | 215 | 8.70 ± 3.36 | 5.89 | 14.02 |
| September | 5 | 4 | 210.4 ± 1.3 | 195 | 230 | 4.03 ± 4.46 | 1.56 | 11.96 |
| October | 4 | 4 | 215.3 ± 1.0 | 205 | 228 | 1.65 ± 0.20 | 1.39 | 1.88 |
| November | 5 | 4 | 220.4 ± 0.9 | 208 | 233 | 3.57 ± 2.16 | 1.77 | 7.20 |
| December | 5 | 4 | 215.4 ± 0.7 | 206 | 223 | 2.22 ± 0.34 | 1.90 | 2.67 |
| January | 5 | 4 | 210.4 ± 0.9 | 203 | 221 | 3.17 ± 0.63 | 2.54 | 4.19 |
| February 2004 | 5 | 4 | 213.6 ± 0.4 | 208 | 218 | 2.60 ± 0.55 | 1.80 | 3.20 |
| March | 5 | 4 | 214.6 ± 0.6 | 208 | 222 | 3.25 ± 0.51 | 2.86 | 4.10 |
| April | 5 | 4 | 206.4 ± 0.7 | 200 | 217 | 4.43 ± 1.08 | 2.90 | 5.87 |
| May | 5 | 4 | 208.0 ± 0.6 | 200 | 215 | 8.40 ± 2.90 | 4.69 | 11.93 |

*1 Age was estimated from von Bertalanffy growth equations, $Lt=324.4(1-e^{-0.2094(t+0.6058)})$ (Chapter I-1).

*2 GSI=100 × GW (g)/BW (g).

II-2-2. 結果

飼育水および天然海域の水温

2002年12月から2004年11月の期間における飼育水の月平均水温と糸魚川市が属する新潟県南部海域の表層水温（新潟県水産海洋研究所2002,2003,2004）を示した（Fig. II-2-1）。飼育水の水温は2003年，2004年の8月に25.4および27.0℃と最も高く，2003年は2月に9.1℃，2004年は1月に9.0℃と最も低かった。天然水温は2003年，2004年の8月にそれぞれ24.8

および 27.3°C と最も高く、3 月に 9.87 および 9.86°C と最も低い値を示し、
 水温変化は飼育水とほぼ同様であった。

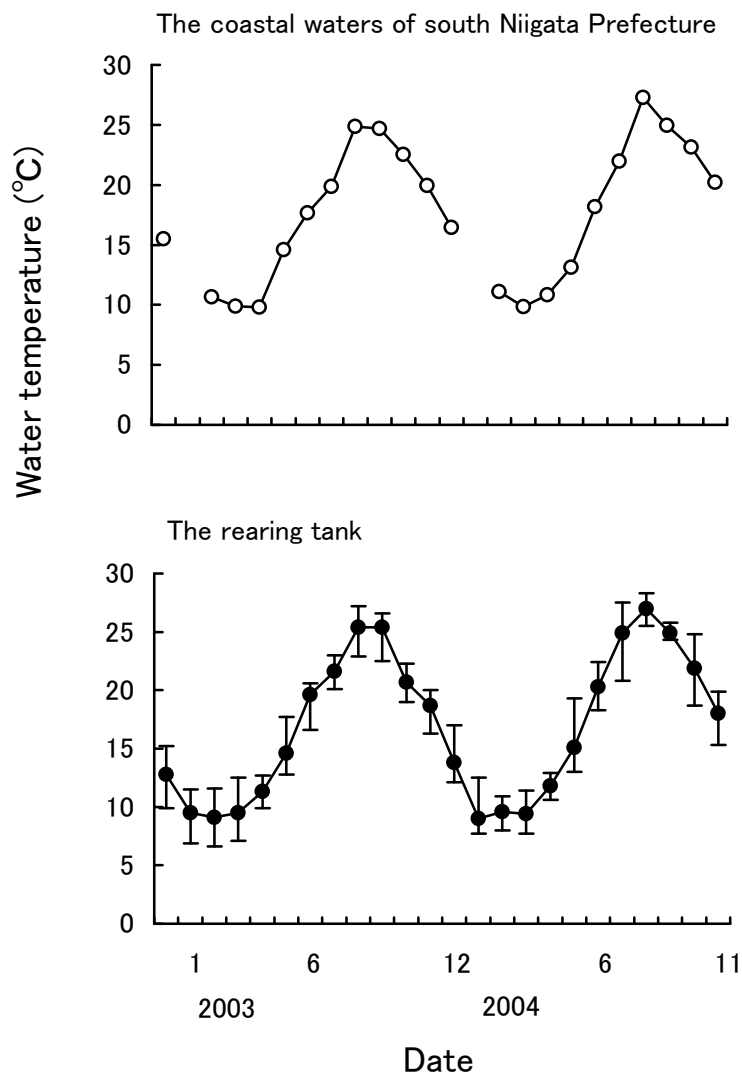


Fig. II -2-1. Monthly changes in the water temperature from December 2002 to November 2004. ○: The surface temperature, ●: The mean of water temperature. Vertical bars indicate the range.

卵母細胞の発達過程と卵巣の成熟度

卵母細胞の発達過程を周辺仁期，卵黄胞期，第1次卵黄球期，第2次卵黄球期，第3次卵黄球期，核移動期，最終成熟期，退行変性卵の8期に区分 (Fig. II-2-2) するとともに，最も発達した卵母細胞を基準として卵巣の成熟度を休止期，卵黄形成期，成熟期，退行期の4期 (Fig. II-2-3) に区分した。

卵母細胞の発達過程

1. 周辺仁期 (Peri-nucleolus stage, Fig. II-2-2-A) 核内には十数個の仁が核膜に接するように配列する。細胞質は HE 染色でヘマトキシリンに強く染色されるが，細胞質が発達するにしたがって好染性は薄れる。平均卵径は $88.1 \pm 13.3 \mu\text{m}$ (平均±標準偏差) である。
2. 卵黄胞期 (Yolk vesicle stage, Fig. II-2-2-B) 細胞質周辺に卵黄胞が出現するが，HE 染色では空胞状を示す。卵母細胞と濾胞細胞層の間に卵膜が認められる。卵径は $244.5 \pm 30.5 \mu\text{m}$ である。
3. 第1次卵黄球期 (Primary yolk globule stage, Fig. II-2-2-C) 細胞質外縁に HE 染色でエオシンに好染する卵黄球が出現する。油球は認められない。卵径は $297.0 \pm 30.6 \mu\text{m}$ である。
4. 第2次卵黄球期 (Secondary yolk globule stage, Fig. II-2-2-D) 細胞質外縁に出現したエオシンに好染する卵黄球は中心に向かってその大きさと数を増す。ヘマトキシリンに好染する細胞質は核の周辺にのみ観察される。卵径は $372.0 \pm 26.1 \mu\text{m}$ である。
5. 第3次卵黄球期 (Tertiary yolk globule stage, Fig. II-2-2-E) 卵母細胞の大部分はエオシンに好染する卵黄球で占められ，ヘマトキシリンに好染する細胞質はほとんど観察されない。卵径は $554.3 \pm 43.7 \mu\text{m}$ である。
6. 核移動期 (Migratory nucleus stage, Fig. II-2-2-F) 卵母細胞の卵黄蓄積が完了すると，核は半月形に近い形を示し，卵母細胞の中心から動物極側に

移動する。卵径は $629.3 \pm 33.9 \mu\text{m}$ である。

7. 最終成熟期 (Final maturation stage, Fig. II -2-2-G,H) 卵核胞崩壊に伴い, 卵黄球が融合し卵黄塊を形成する。卵径は $825.0 \pm 21.2 \mu\text{m}$ である。
8. 退行変性卵 (Atretic oocyte, Fig. II -2-2-I) 卵黄球の融解および卵膜の不明瞭化や寸断が認められる。

卵巢の成熟度

- I. 休止期 (Resting phase, Fig. II -2-3-A,B) 周辺仁期から卵黄胞期までの卵母細胞からなる。GSI の平均値は天然魚で 0.87, 養成魚で 2.77 である。
- II. 卵黄形成期 (Vitellogenic phase, Fig. II -2-3-C,D) 周辺仁期, 卵黄胞期および第 1 ~ 3 次卵黄球期の卵母細胞からなる。GSI の平均値は天然魚で 3.30, 養成魚で 6.68 である。
- III. 成熟期 (Maturation phase, Fig. II -2-3-E,F,G) 周辺仁期および第 1 ~ 3 次卵黄球期の卵母細胞と核移動期もしくは最終成熟期の卵母細胞からなる。排卵後濾胞が認められる個体もある。GSI の平均値は天然魚で 9.41, 養成魚で 15.91 である。
- IV. 退行期 (Atretic phase, Fig. II -2-3-H) 周辺仁期の卵母細胞が認められるとともに, 発達した卵母細胞の 50%以上が退行像を示す。GSI の平均値は天然魚で 1.43, 養成魚で 3.17 である。

卵母細胞の発達様式

卵母細胞の発達様式を調べるために, 卵母細胞の発達過程をもとに供試魚の卵母細胞組成を求めてその代表例を示した (Table II -2-2)。天然魚では, 周辺仁期の卵母細胞が占める割合は 6 月に 41.6%と最も低い値を示すもののほぼ周年にわたって比較的高い割合で認められた。2 月には卵黄胞期の卵母細胞を有する個体が出現した。4 月には卵黄胞期から卵黄球期へと移行する。

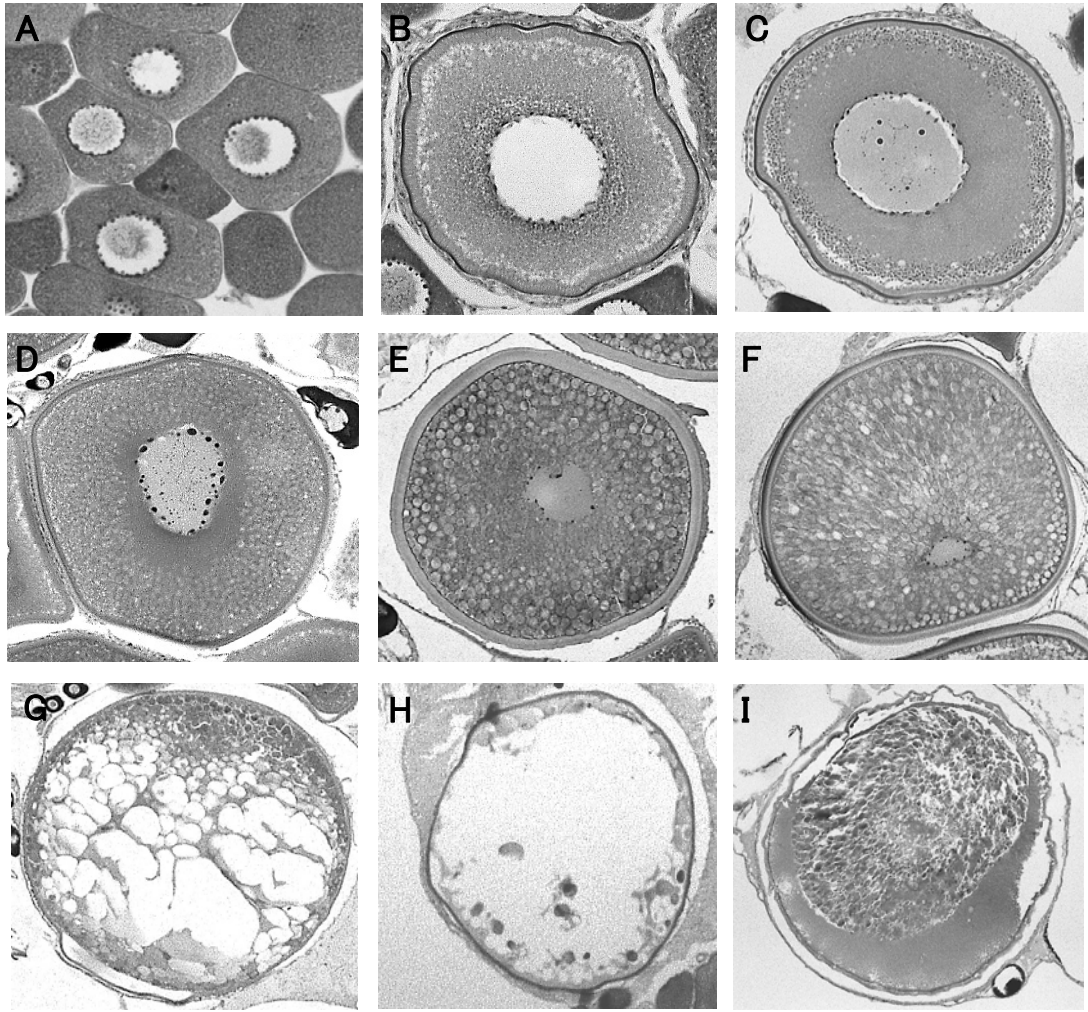


Fig. II -2-2. Photomicrographs of eight histological oocyte stages of *Inimicus japonicus*. A , Peri-nucleolus stage. $\times 400$; B, Yolk vesicle stage. $\times 200$; C, Primary yolk globule stage. $\times 200$; D, Secondary yolk globule stage. $\times 200$; E, Tertiary yolk globule stage. $\times 100$; F, Migratory nucleus stage. $\times 100$; G, H, Final maturation stage. $\times 100$; and I, Atretic oocyte. $\times 100$.

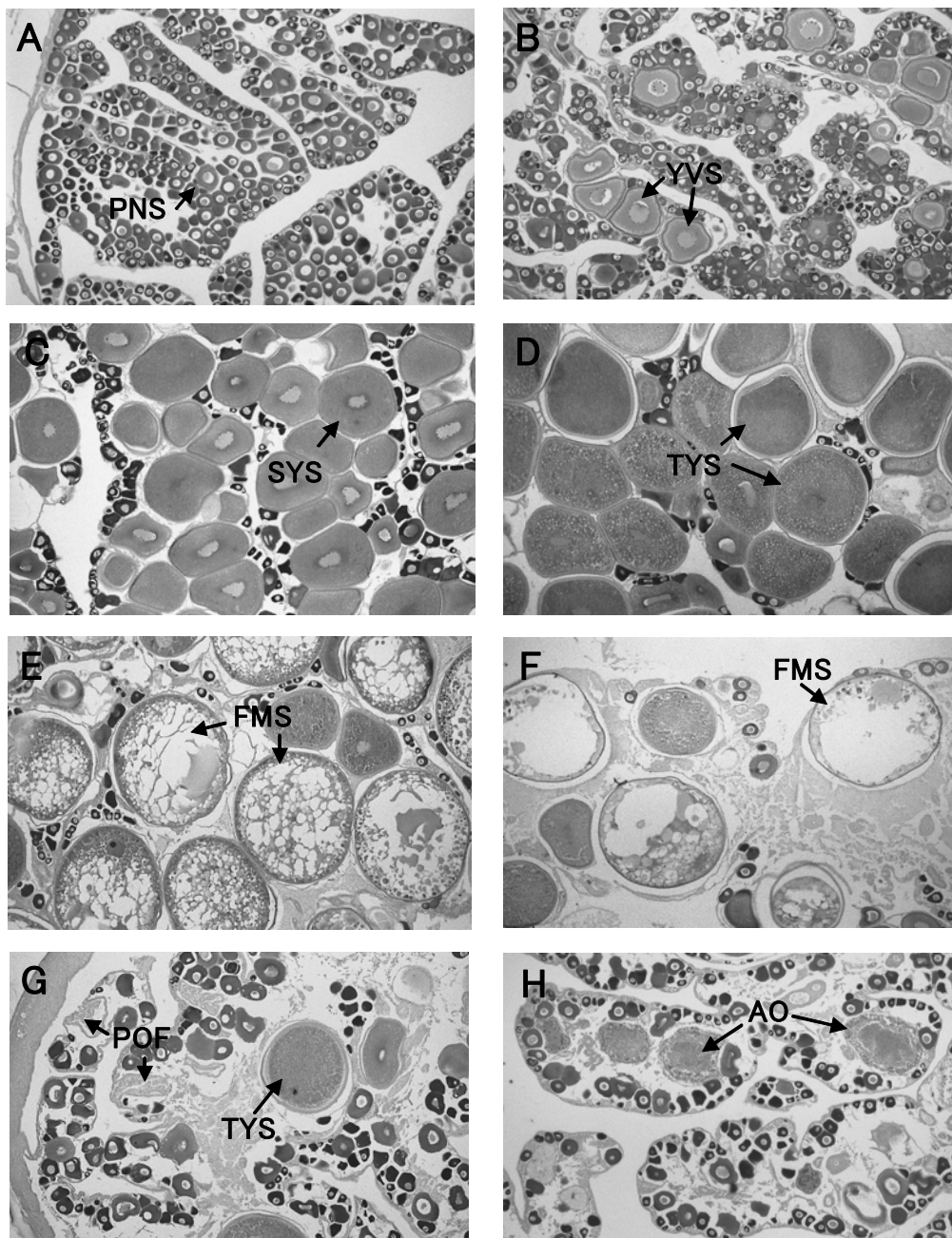


Fig. II -2-3. Photomicrographs of four ovarian maturity phases of *Inimicus japonicus* ($\times 40$). A and B, Resting phase ; C and D, Vitellogenic phase ; E, F and G, Maturation phase ; H, Atretic phase. Abbreviations: PNS, peri-nucleolus stage; YVS, yolk vesicle stage; SYS, secondary yolk globule stage; YYS, tertiary yolk globule stage; FMS, final maturation stage; POF, postovulatory follicle; AO, atretic oocyte.

Table II-2-2 . Summary of the stage composition in oocytes of the wild (upper) and reared (lower) female *Inimicus japonicus*

| Sampling date | TL (mm) of wild female examined | GSI | Maturity phase | Number of oocytes examined | Percentage of oocytes at each stage* (%) | | | | | | | | |
|------------------|---------------------------------|-------|----------------|----------------------------|--|------|-------|------|-----|------|----|----|---|
| | | | | | PN | YV | 1·2 Y | 3 Y | MN | FM | PF | AO | |
| 13 February 2004 | 250 | 0.98 | I | 143 | 95.1 | 4.9 | | | | | | | |
| 13 February | 225 | 1.00 | I | 126 | 94.4 | 5.6 | | | | | | | |
| 17 March | 246 | 1.64 | I | 156 | 78.8 | 21.2 | | | | | | | |
| 17 March | 188 | 0.69 | I | 140 | 91.4 | 8.6 | | | | | | | |
| 14 April | 207 | 0.69 | I | 164 | 88.4 | 11.6 | | | | | | | |
| 7 April | 235 | 4.20 | II | 152 | 65.8 | 2.0 | 3.3 | 28.9 | | | | | |
| 23 June | 275 | 6.66 | II | 133 | 50.4 | 3.0 | 10.5 | 36.1 | | | | | |
| 23 June | 215 | 19.53 | III | 226 | 41.6 | | 2.7 | 39.4 | 3.1 | 13.2 | | | |
| 8 July | 275 | 17.80 | III | 125 | 46.6 | | 2.3 | 43.5 | 3.0 | 4.6 | | | |
| 8 July | 275 | 23.27 | III | 121 | 65.2 | | 2.5 | 29.8 | 2.5 | | | + | |
| 28 July | 300 | 14.54 | III | 206 | 78.6 | | 4.9 | 16.0 | | 0.5 | | + | |
| 2 August | 235 | 13.90 | III | 268 | 83.2 | | 3.6 | 6.7 | | 6.7 | | + | + |
| 12 August | 245 | 1.08 | IV | 114 | 100.0 | | | | | | | | + |
| 13 September | 235 | 0.89 | I | 170 | 100.0 | | | | | | | | |
| 17 September | 230 | 1.29 | I | 185 | 100.0 | | | | | | | | |
| 19 October | 295 | 1.22 | I | 182 | 100.0 | | | | | | | | |
| 8 October | 260 | 0.55 | I | 203 | 100.0 | | | | | | | | |
| 10 November | 270 | 1.12 | I | 263 | 100.0 | | | | | | | | |
| 10 November | 245 | 0.95 | I | 257 | 100.0 | | | | | | | | |

| Sampling date | TL (mm) of reared female examined | GSI | Maturity phase | Number of oocytes examined | Percentage of oocytes at each stage* (%) | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------------|-------|----------------|----------------------------|--|-----|-------|------|-----|------|----|----|----|
| | | | | | PN | YV | 1·2 Y | 3 Y | MN | FM | PF | AO | |
| 16 June 2003 | 205 | 15.95 | III | 140 | 45.0 | | 29.0 | 52.1 | | | | | + |
| 14 July | 215 | 22.12 | III | 58 | 32.8 | | 1.7 | 46.6 | 1.7 | 17.2 | | + | + |
| 13 August | 215 | 9.93 | III | 162 | 77.8 | | 3.7 | 4.3 | 1.9 | 12.3 | | + | + |
| 18 September | 195 | 11.96 | IV | 101 | 100.0 | | | | | | | + | + |
| 14 October | 228 | 1.88 | I | 99 | 96.0 | 4.0 | | | | | | | |
| 12 November | 219 | 2.38 | II | 187 | 87.7 | 1.1 | 11.2 | | | | | | |
| 17 December | 217 | 2.46 | II | 201 | 85.1 | 0.5 | 4.0 | 10.4 | | | | | + |
| 19 January 2004 | 203 | 2.54 | IV | 104 | 100.0 | | | | | | | | ++ |
| 17 February | 218 | 1.81 | IV | 115 | 100.0 | | | | | | | | ++ |
| 15 March | 215 | 2.86 | IV | 138 | 100.0 | | | | | | | | ++ |
| 15 March | 218 | 4.10 | II | 127 | 62.2 | 3.9 | 29.9 | 3.9 | | | | | + |
| 15 April | 205 | 4.25 | II | 257 | 72.4 | 0.8 | 12.5 | 14.4 | | | | | + |
| 13 May | 205 | 11.93 | II | 149 | 63.8 | | 2.7 | 33.6 | | | | | |

* PN: peri-nucleolus stage, YV: yolk vesicle stage, 1·2Y: primary and secondary yolk globule stage, 3Y: tertiary yolk globule stage, MN: migratory nucleus stage, FM: final maturation stage, PF: postovulatory follicle, AO: atretic oocyte. +symbol represents the relative frequency of occurrence.

卵母細胞が認められるとともに、7月には第3次卵黄球期の卵母細胞の占める割合が高くなり43.5%と最高値を示した。6月から8月は周辺仁期、第1～3次卵黄球期の卵母細胞の他に最終成熟期の卵母細胞と排卵後濾胞が認められた。8月には退行卵が認められたが、9月以降、周辺仁期の卵母細胞が占める割合は100%を示した。

一方、養成魚では、天然魚と同様に周辺仁期の卵母細胞は6月と7月を除き、周年にわたって高い割合で認められた。6月から9月まで排卵後濾胞が

認められるとともに、7月と8月は周辺仁期、第1～3次卵黄球期の卵母細胞の他に最終成熟期へ移行した卵母細胞が認められた。しかし、天然魚では卵黄形成が4月から始まるのに対し、養成魚では3月と11月に卵黄形成が認められ、12月には第3次卵黄球期にまで発達した卵母細胞が観察された。ただし、第3次卵黄球期の卵母細胞が占める割合は6月が52.1%であるのに対し、12月は10.4%と低い値を示した。7月から9月および12月から4月の期間は退行卵が認められた。

雌の生殖年周期

卵巢の成熟度をもとに天然魚と養成魚の生殖年周期を調べた(Table II-2-3)。天然魚では4月から卵黄形成が始まり、2003年には33.3%、2004年には16.6%の個体が卵黄形成期(Ⅱ)を示した。6月から8月にかけては、2003年に11.5～87.5%、2004年に13.3～94.7%の個体が成熟期(Ⅲ)を示した。2003年および2004年ともに成熟期(Ⅲ)の個体の出現率は7月が87.5%、94.7%と最も高かった。8月にはいると2003年には25.0%、2004年には36.3%の個体が退行期(Ⅳ)を示したが、9月以降はすべての個体が休止期(Ⅰ)を示した。

養成魚では、2003年6月における成熟期(Ⅲ)の個体は20%であったが、7月および8月にはすべての個体が成熟期(Ⅲ)を示した。9月には80%の個体が退行期(Ⅳ)を示し、10月にはすべての個体が休止期(Ⅰ)を示した。11月から卵黄形成期(Ⅱ)の個体が60%出現したが、12月から翌年の3月にかけて40～100%の個体が退行期(Ⅳ)を示した。4月には100%の個体が卵黄形成期(Ⅱ)を示した。

Table II-2-3. Frequency occurrence each maturity phase in oocytes of the wild (upper) and reared (lower) female *Inimicus japonicus*

| Sampling date | Number of wild females examined | Maturity phase* (%) | | | |
|---------------|---------------------------------|---------------------|------|------|------|
| | | I | II | III | IV |
| December 2002 | 25 | 100.0 | | | |
| January 2003 | 3 | 100.0 | | | |
| April | 6 | 66.6 | 33.3 | | |
| May | 16 | 81.2 | 18.7 | | |
| June | 26 | 26.9 | 61.5 | 11.5 | |
| July | 8 | 12.5 | | 87.5 | |
| August | 4 | 25.0 | | 50.0 | 25.0 |
| October | 4 | 100.0 | | | |
| November | 2 | 100.0 | | | |
| February 2004 | 4 | 100.0 | | | |
| March | 9 | 100.0 | | | |
| April | 6 | 83.3 | 16.6 | | |
| June | 15 | 26.6 | 60.0 | 13.3 | |
| July | 19 | 5.3 | | 94.7 | |
| August | 11 | 45.4 | | 18.1 | 36.3 |
| September | 8 | 100.0 | | | |
| October | 6 | 100.0 | | | |
| November | 3 | 100.0 | | | |

| Sampling date | Number of reared females examined | Maturity phase* (%) | | | |
|---------------|-----------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|
| | | I | II | III | IV |
| June 2003 | 5 | | 80.0 | 20.0 | |
| July | 5 | | | 100.0 | |
| August | 5 | | | 100.0 | |
| September | 5 | 20.0 | | | 80.0 |
| October | 4 | 100.0 | | | |
| November | 5 | 40.0 | 60.0 | | |
| December | 5 | | 60.0 | | 40.0 |
| January 2004 | 5 | | 40.0 | | 60.0 |
| February | 5 | | 0.0 | | 100.0 |
| March | 5 | | 20.0 | | 80.0 |
| April | 5 | | 100.0 | | |
| May | 5 | | 100.0 | | |

* I : Resting phase, II : Vitellogenic phase, III: Maturation phase, IV: Atretic phase.

GSI の季節変化

天然魚では、5月まではすべての個体のGSIは5以下であるが、6月には10以上の個体が出現し、7月には20を超える個体が認められた。10以上の個体は8月まで認められたが、9月以降はすべての個体が5以下を示した。養成魚では、6月と7月に20以上を示す個体が認められ、9月まで10以上を示す個体が認められたが、その後、減少し5月には10以上を示す個体が出現した (Fig. II -2-4)。

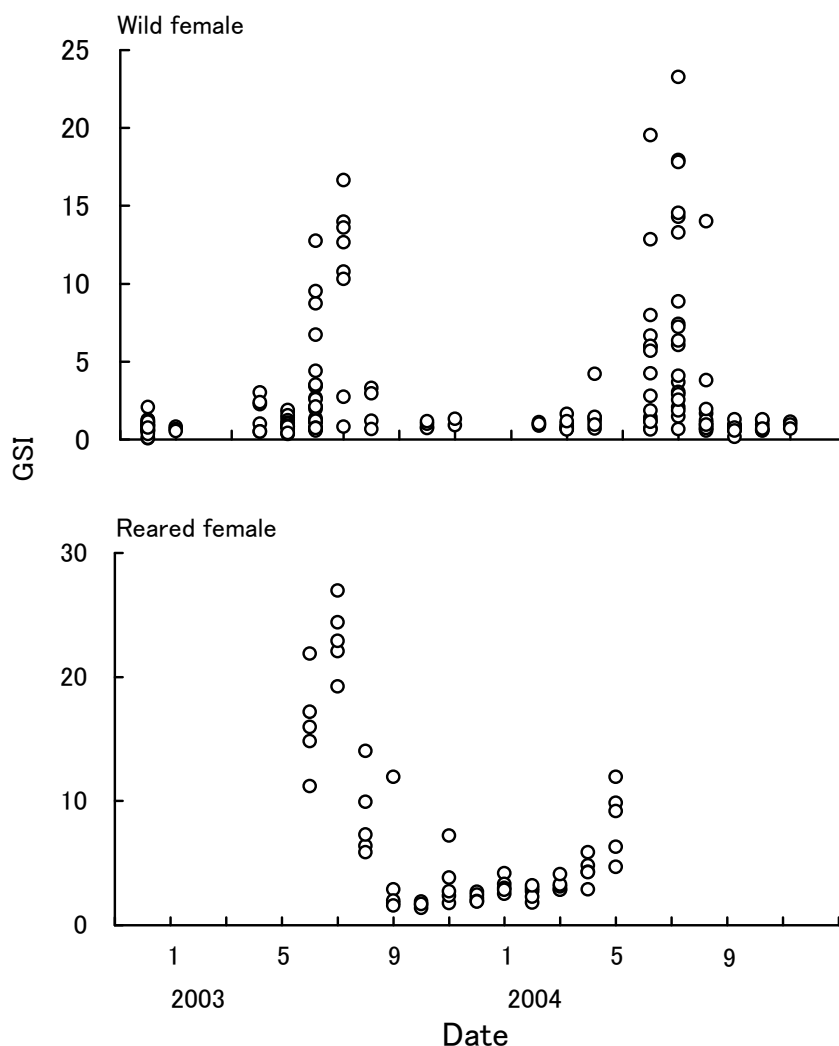


Fig. II -2-4. Monthly changes in the gonadosomatic index of the wild and reared female *Inimicus japonicus*.

天然魚の成熟年齢および生物学的最小形

天然魚における成熟年齢を調べるために年齢ごとに6月から8月における成熟度の出現割合 (Fig. II -2-5) と GSI の周年変化を求めた (Fig. II -2-6)。成熟度の出現割合は、2歳魚ではすべて休止期 (I) であったが、3歳魚は休止期 (I) が 67%、卵黄形成期 (II) が 33% を占め、3歳ではじめて卵黄形成が認められた。4歳以上ではそれぞれ休止期 (I)、卵黄形成期 (II)、成熟期 (III)、退行期 (IV) が認められた。年齢別の GSI の周年変化においても6月に、3歳魚ではじめて卵黄形成期に相当する 5.7 を示した。このことからオニオコゼの成熟年齢は3歳とみなされた。生物学的最小形を調べるために、成熟期 (III) の個体が出現する6月から8月のすべての供試魚について、全長別に第1次卵黄球期以上の卵母細胞をもつ個体の出現率 (Table II -2-4) を求めた。成熟個体ではじめて出現する全長階級は 190~199mm (127.0~163.0g) で、すべての個体で成熟が認められる全長階級は 260~269mm (331.5~398.5g) であった。本供試魚の生物学的最小形は全長 190mm (127.0g) にみられた。

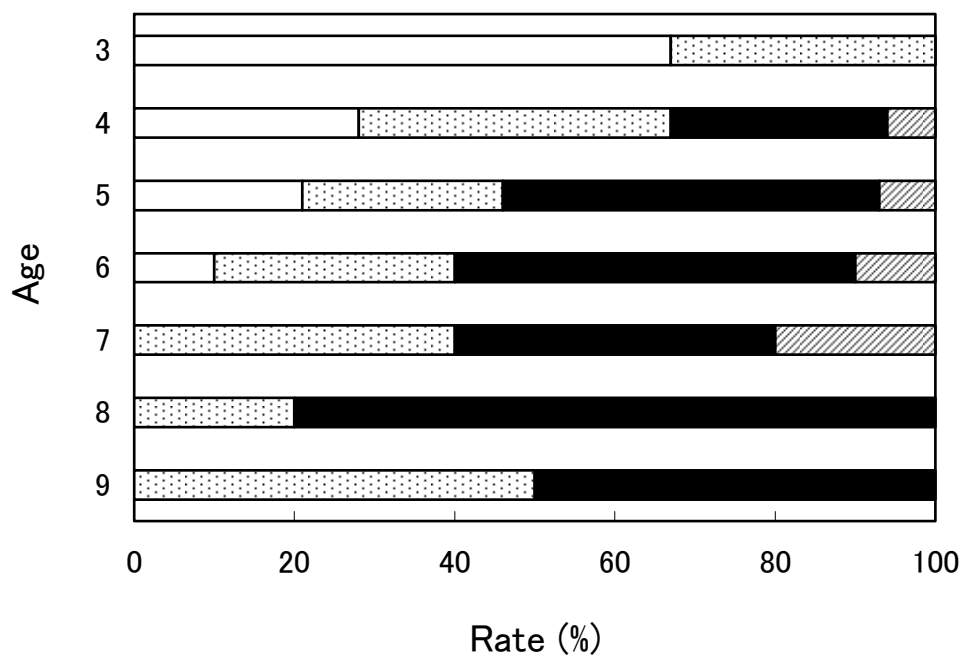


Fig. II -2-5. Rate (%) of maturity phase in each age of wild female *Inimicus japonicus*.

□: Resting phase, ▨: Vitellogenic phase, ■: Maturation phase, ▩: Atretic phase.

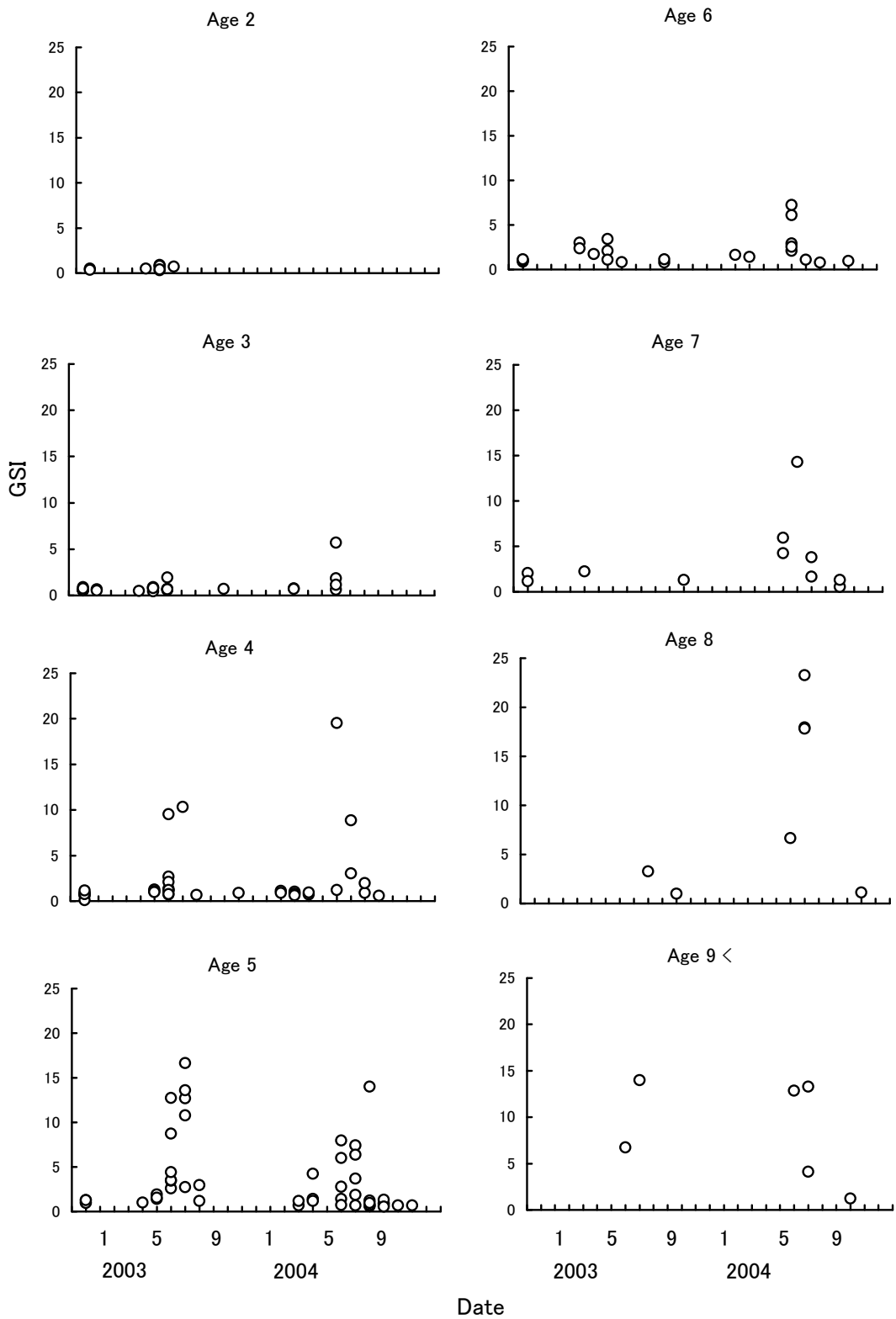


Fig. II -2-6. Annual changes in the gonadosomatic index of the wild female *Inimicus japonicus* in each age.

Table II-2-4. Percentage (%) of mature females in each total length class of the natural female *Inimicus japonicus* collected from June to August

| Total length (mm) | Number of mature females | Number of immature females | % of mature females |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------|
| 150-159 | | | |
| 160-169 | | 1 | 0 |
| 170-179 | | 2 | 0 |
| 180-189 | | 3 | 0 |
| 190-199 | 3 | 1 | 75 |
| 200-209 | 5 | 3 | 62 |
| 210-219 | 6 | 1 | 85 |
| 220-229 | 6 | 3 | 66 |
| 230-239 | 16 | 3 | 84 |
| 240-249 | 4 | 1 | 80 |
| 250-259 | 8 | 1 | 88 |
| 260-269 | 5 | | 100 |
| 270-279 | 5 | | 100 |
| 280-289 | 2 | | 100 |
| 290-299 | | | |
| 300-309 | 2 | | 100 |
| 310-319 | 1 | | 100 |
| 320-329 | 1 | | 100 |

II-2-3. 考 察

本研究により，オニオコゼ雌の卵母細胞の発達様式が初めて明らかとなった。卵母細胞の発達様式にはサケ属魚類のように一生に 1 回，排卵し死亡する同期発達型とマダイのように成熟期の卵巣内にすべての発達段階の卵母細胞が存在し，毎日排卵がみられる非同期発達型および成熟期の卵巣内に発達した卵母細胞群と未発達の卵母細胞群が認められる卵群同期発達型がある（高野 1996）。6 月から 8 月の成熟期におけるオニオコゼの卵巣内には，周辺仁期の未熟な卵母細胞群と発達した卵母細胞群が認められることから，オニオコゼの卵母細胞の発達様式は卵群同期発達型に属すると考えられる。また，雌 1 尾による産卵観察の結果から，オニオコゼは多回産卵魚であると考えられるが，成熟期の卵巣には第 1～3 次卵黄球期の発達した卵母細胞群と同時に最終成熟期の卵母細胞群が認められることから，成熟に近づいた卵群が複数回にわたって繰り返し排卵・産卵されていると考えられ，組織学的にも多回産卵魚であることが確認された。卵群同期発達型の魚種にはクロガレイ *Liopsetta obscura*（山本 1954）やニジマス *Oncorhynchus mykiss*（山本ら 1965），マダラ *Gadus macrocephalus*（Hattori et al. 1992）のように産卵期間中に 1 回の産卵がみられるものと，スケトウダラ *Theragra chalcogramma*（尹 1981），スジアイナメ *Hexagrammos octogrammus*（Munehara et al. 1987），サンマ *Cololabis saira*（巢山ら 1996），ミミズハゼ *Luciogobius guttatus*（北野ら 2003），アイナメ *Hexagrammos otakii*（関河ら 2003）のように複数回の産卵を行うものがある。産卵からみるとオニオコゼはスケトウダラ等と同様であった。

新潟県上越地方の沿岸海域に生息する天然魚においては，4 月に卵黄形成が始まり 6 月から 8 月の成熟期を経て翌年の 3 月まで休止期を示すことから，明らかな生殖年周期を持つことが判明した。さらに卵巣の組織観察および

GSIの周年変化より産卵期は6月から8月で産卵盛期は7月であると推察された。飼育結果から兵庫県明石地先水域では6月下旬から8月上旬（長浜ら1985）、愛媛県地先水域では7月から8月（森実ら1983）、熊本県地先水域では6月上旬から7月中旬（伊勢田・古庄1988）が産卵期であると推定されており、産卵期の海域による差はさほどでないと考えられる。また、本研究の結果から養成魚についても天然魚と同様に産卵期は6月から8月と考えられた。しかし、天然魚が8月に産卵を終了し、翌年3月までの休止期を経て4月から卵黄を形成するのに対し、養成魚では3月および産卵終了後の11月から卵黄を形成する個体が認められた。その後、1月から3月の低水温期に退行期を示して産卵に至る個体は観察されなかったが、明らかに天然魚とは異なる時期に卵黄形成が促進されることが初めて明らかとなった。魚類の性成熟を制御している生殖内分泌系は水温や日長などの外部環境要因によって調節されている（会田1996）。コイ科のキンギョ *Carassius auratus* では水温の周年変化が生殖年周期の成立に重要な役割を果たすとともに、日長の変化も二次的に影響を与えると推察されている（朝比奈1996）。また、アミメハギ *Rudarius ercodes* は成熟開始期に光周性があり、長日が促進的に作用する。このように生殖年周期は水温や日長などの環境要因により大きく影響されることがわかっている（古川1991）。卵黄が形成される3月から6月の飼育水の月平均水温は9.4~19.6℃、産卵盛期である7月は21.6℃、11月から12月は18.7~13.8℃で、11月から12月の平均水温は3月から6月の水温範囲内にあることから、卵黄形成に適した水温にまで低下することが卵黄形成を促す1つの要因になっていると推測される。しかし、天然水温がほぼ飼育水の水温と同様の推移を示すにもかかわらず、天然魚では11月に卵黄形成が認められないことから、水温低下だけで両者の相違を論ずることはできず、このことについては今後の検討課題である。また、各成熟度におけるGSIはいずれも天然魚よりも養成魚の方が高かったが、その原因について本研究で

は明らかにできなかった。今後、両者の抱卵数や卵径等について検討する必要があると考えられる。

トビヌメリは1年に2回、春期と秋期に産卵するが、平均水温が30℃(7～8月)になると生殖腺の退行が認められ、水温26～28℃に下がると産卵(秋期)を開始し、14℃以下(11月)になると生殖腺が退行する。このことから30℃の高水温が産卵停止に効くとともに、水温26～28℃が生殖腺成熟の上限で、14℃が下限とされている(Zhu et al. 1989)。また、シロギスでは5月中旬から10月上旬まで長期間にわたって産卵が続くが、7月から8月の夏期に短日にしても産卵が継続されることや、水温24～25℃で12月まで産卵した例があることから、成熟や産卵には日長よりも水温が大きく関わっていると考えられている(古川 1991)。オニオコゼの養成魚では水温の上昇や長日化が認められる3月から卵黄形成する個体が観察され、水温が20℃を超える6月に産卵が認められた。平均水温が25℃になる8月には退行卵が観察されるとともに、産卵が終了したことから、本種は25℃以上になるとトビヌメリと同様に産卵を停止すると考えられる。11月の秋期には卵黄形成期の個体が観察されたが、この時期の日長は短日にむかっていることから、オニオコゼについてもトビヌメリやシロギスと同様に日長よりも水温によって生殖周期が制御されている可能性が高い。

生殖年周期を示す魚種は水温や日長などの環境を調節することにより生殖を人為的に制御することが容易であり、マダイでは長日で水温を制御することができれば周年採卵が可能であるとされている(廣瀬 2002)。実際に、キンギョでは水温を調節することによって周年採卵が可能である(山本ら 1966)。また、ヒラメでは長日処理を行うことで産卵を2ヶ月以上早期化することができる(伊島ら 1986)。オニオコゼについても多回産卵魚で明らかな生殖年周期をもつとともに、養成魚では年2回、3月と11月に卵黄形成が開始されたことから、水温を調節することによって早期採卵等の産卵制御を行

うことが可能であると考えられる。

産卵期における年齢別の成熟度の出現割合，年齢別の GSI の周年変化および全長別の成熟個体の出現割合から，本供試魚における天然魚の生物学的最小形は全長 190 mm (127.0 g) にみられ 3 歳で成熟するとみなされた。3 歳では，第 3 次卵黄球期の卵母細胞からなる卵黄形成期の個体が認められたが，成熟期の個体は認められなかった。しかし，これらの個体は時間の経過とともに成熟期に移行すると考えられた。成熟期の個体が認められなかったのは，産卵期における 3 歳の供試魚が 9 個体と少なかったことによると推測される。また，3 歳以上であっても 2 歳魚より GSI の低い個体があり，GSI の低い個体は 2 歳以下であるとはいえなかった。著者の観察では，養成魚は 7 月を産卵の基準月とした場合，産まれてから 3 回目の産卵期に初めて産卵が確認されることから，養成魚も天然魚と同様に 3 歳で成熟すると推定される。マダイについては，0 歳魚の保護を目的に，瀬戸内海では瀬戸内海漁業取締規則（省令）によって体長 9 cm 以下の採捕を禁止している。また，山形県（6 cm）や大分県（9 cm）では，漁業調整規則によって漁獲体長を制限している（大野 2003）。本県ではオニオコゼの漁獲について体長制限を設けていないが，全長 190 mm で成魚になると推測されることから，資源管理上，全長 190 mm より小型の個体については漁獲全長制限等の設定が望まれる。

第Ⅲ章 卵発生および孵化

受精卵の適正な孵化管理は種苗生産を行う上で最も重要な生産管理事項のひとつである。卵発生と孵化に影響を与える様々な環境要因の中でも、水温や塩分は最も基本的かつ重要な要因であり、ヒラメをはじめとする多くの栽培漁業対象種で知見が蓄積されている（Kajiyama 1929a, 1929b; 安永 1988; 萱野・水戸 1993; Kashiwagi et al. 1984, 1986, 1987a）。しかし、オニオコゼについては産卵後期に産出された受精卵の孵化水温に関する報告があるのみで（川村ら 1990b）、水温や塩分が孵化率や卵発生速度に及ぼす影響に関する知見は見当たらない。今後、オニオコゼにおける種苗生産技術の開発・向上を図るうえで卵の適切な孵化管理法を確立するためには、卵発生や孵化に関する生物学的特性を明らかにすることが重要である。そこで本研究ではオニオコゼの卵発生や孵化に及ぼす水温および塩分の影響について検討した。

Ⅲ-1. 卵発生と孵化に及ぼす水温の影響

受精卵の発生および孵化適水温を明らかにする目的で、水温が卵発生速度、孵化所要時間、孵化率、奇形率に及ぼす影響について検討した。

Ⅲ-1-1. 材料および方法

供試卵

本研究には第Ⅱ章-1と同様の親魚から得た自然産出卵を用いた。雌の全長は19.5～23.3 cm、体重は162.0～284.0 g、雄の全長は16.0～19.5 cm、体重は105.0～158.5 gで、年齢は4+歳であった。養成期間中は、主として配合飼料を与えたが、産卵期の約1ヶ月前からホッコクアカエビを給餌した。

産卵時刻を明確にするため、雄が雌を盛んに追尾する行動が観察される 18 時から 10 分毎に産卵用水槽を点検し、排水口に設置した採卵ネット内に卵が流入した時点を産卵時刻とした。集卵後、直ちに浮上卵と沈下卵とに分離し、浮上卵を下述の実験に供した。実験期間中（2003 年 6 月 27 日～7 月 11 日）の総採卵数は 500,000 粒、浮上卵数は 256,000 粒、浮上卵率は 51.2% で、水温は 20.4～21.2℃、比重（ σ_{15} ）は 25.27～25.37 であった。海水比重は赤沼式比重計を用いて測定した。

卵の発生速度に及ぼす水温の影響

供試卵として 2003 年 6 月 27 日 20 時に産出された受精卵を用いた。産卵時の水温は 20.4℃、比重（ σ_{15} ）は 25.27 であった。ろ過海水（水温 20.4℃）1l が入った 4 個のビーカーに各々 300～400 粒の卵（受精直後）をピペットで収容し、水温 18、20、22、24℃ に設定した恒温水槽内でそれぞれ培養した。卵発生の観察は顕微鏡下で行い、桑実期、胞胚期、囊胚期、胚体出現、Kupffer 氏胞出現、心臓拍動、孵化開始の発生段階に達する所要時間を藤田らの報告（藤田・中原 1955）に従って、10 分～1 時間の間隔で経時的に調査した。各発生段階への到達時間は、任意に取り出した 10 粒の卵のうち、過半数がその発生段階に到達した時間とした。本実験および下述の実験は、いずれも無通気とし海水の交換は行わなかった。各恒温水槽の水温変動は $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 以内であった。

孵化所要時間に及ぼす水温の影響

供試卵として 2003 年 7 月 1 日 19 時 50 分に産出された受精卵を用いた。産卵時の水温は 20.4℃、比重（ σ_{15} ）は 25.27 であった。ろ過海水（水温 20.4℃）1l が入ったビーカーに 50 粒の卵（受精直後）を収容し、水温 18～30℃ まで 2℃ 毎に 7 段階に設定した恒温水槽内でそれぞれ培養した。培養水温区毎に、孵

化開始時間（孵化仔魚が確認された最も早い時間）と孵化完了時間（全ての卵が孵化した時間）を調査した。孵化開始までの所要時間と培養水温との関係について、ARRHENIUS および日暮・田内の式による恒数（ μ 、 α ）と VAN'T HOFF の Q10 値を求めた（山本 1943）。

孵化率に及ぼす水温の影響

供試卵として 2003 年 7 月 5 日 19 時 45 分と同年 7 月 11 日 20 時に産出された受精卵を用いて実験を 2 回行った。産卵時の水温は 21.0～21.2℃，比重（ σ_{15} ）は 25.32～25.37 であった。ろ過海水（水温 21.0℃）1l が入ったビーカーに 43～66 粒の卵を収容した。両実験に供した卵の発生段階は，産卵後約 10 時間を経過した囊胚初期であった。培養水温はいずれも 2℃毎に，1 回目が水温 12～28℃までの 9 温度区，2 回目が水温 24～32℃までの 5 温度区を設定した。培養水温区毎に，孵化が完了した時点で孵化仔魚と死卵を計数し，脊索屈曲や短体などの奇形孵化仔魚の出現率を調べた。孵化率と奇形率は次式に拠った。

$$\text{孵化率 (\%)} = (\text{全孵化仔魚数} / \text{総卵数}) \times 100$$

$$\text{正常孵化率 (\%)} = (\text{正常孵化仔魚数} / \text{総卵数}) \times 100$$

$$\text{奇形率 (\%)} = (\text{奇形仔魚数} / \text{全孵化仔魚数}) \times 100$$

III-1-2. 結 果

卵の発生速度に及ぼす水温の影響

水温 18～24℃における卵発生の観察では，胞胚期までの到達時間は 6 時間 10 分～7 時間でほとんど差が認められなかったが，囊胚期には高水温側の 24℃で 9 時間 8 分，低水温側の 18℃では 11 時間 27 分と約 2 時間の差が生じた。この傾向は発生段階の進行とともに拡大し，Kupffer 氏胞出現時には高水

Table III-1-1. The time lapsed from the spawning to each developmental stage under different incubation temperatures in *Inimicus japonicus* eggs

| Developmental stage | Time after spawning (h: min) | | | | Equation between time and incubation temperature $T=a+b\theta+c\theta^2+d\theta^3$ (T =Time: hr., θ =incubation temperature: °C) |
|---------------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|--|
| | 18°C | 20°C | 22°C | 24°C | |
| Morula stage | 4:20 | 4:05 | 3:30 | 3:14 | $T=-113.87+17.389\theta-0.8413\theta^2+0.0133\theta^3$ ($r^2 = 1.00$) |
| Blastula stage | 7:00 | 6:42 | 6:15 | 6:10 | $T=-81.2+13.27\theta-0.6563\theta^2+0.0106\theta^3$ ($r^2 = 1.00$) |
| Gastrula stage | 11:27 | 10:48 | 9:55 | 9:08 | $T=-51.25+9.5358\theta-0.4675\theta^2+0.0073\theta^3$ ($r^2 = 1.00$) |
| Appearance of embryonic shield | 23:18 | 19:10 | 15:07 | 13:13 | $T=-275.29+48.831\theta-2.5638\theta^2+0.0429\theta^3$ ($r^2 = 1.00$) |
| Appearance of Kupffer's vesicle | 27:40 | 23:15 | 17:31 | 15:56 | $T=141.18-9.4753\theta+0.1769\theta^2$ ($r^2= 0.98$) |
| Beginning of heart beat | 51:50 | 40:06 | 31:15 | 28:15 | $T=-203.05+54.457\theta-3.3525\theta^2+0.0619\theta^3$ ($r^2 = 1.00$) |
| First hatching | 62:40 | 51:20 | 38:14 | 37:20 | $T=425.15-31.833\theta+0.6519\theta^2$ ($r^2 = 0.97$) |

The relationship between the time and incubation temperature is indicated by the equation.

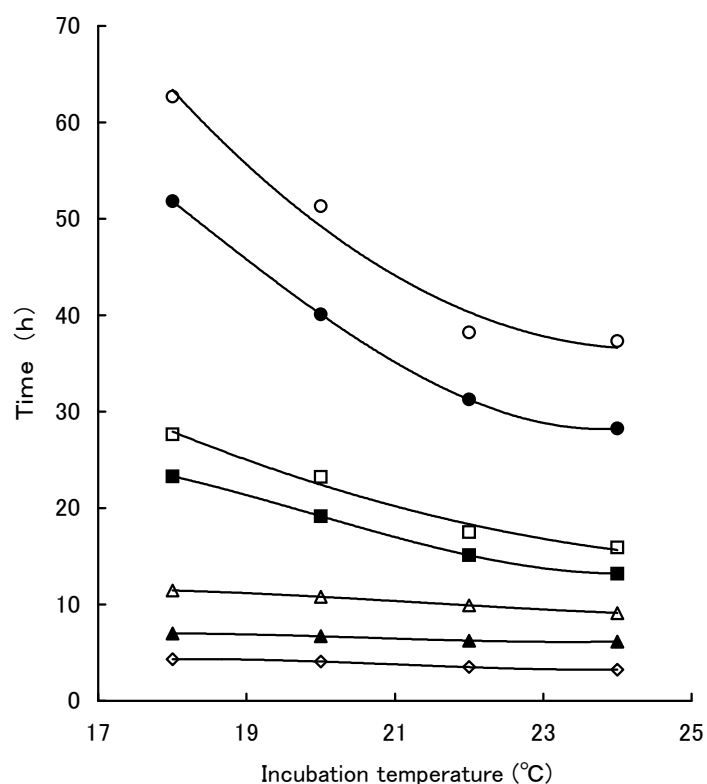


Fig. III-1-1. Relationship between incubation temperature and time for reaching each developmental stage in *Inimicus japonicus* eggs. \diamond : morula, \blacktriangle : blastula, \triangle : gastrula, \blacksquare : appearance of embryonic shield, \square : appearance of Kupffer's vesicle, \bullet : heart beat, \circ : hatch out.

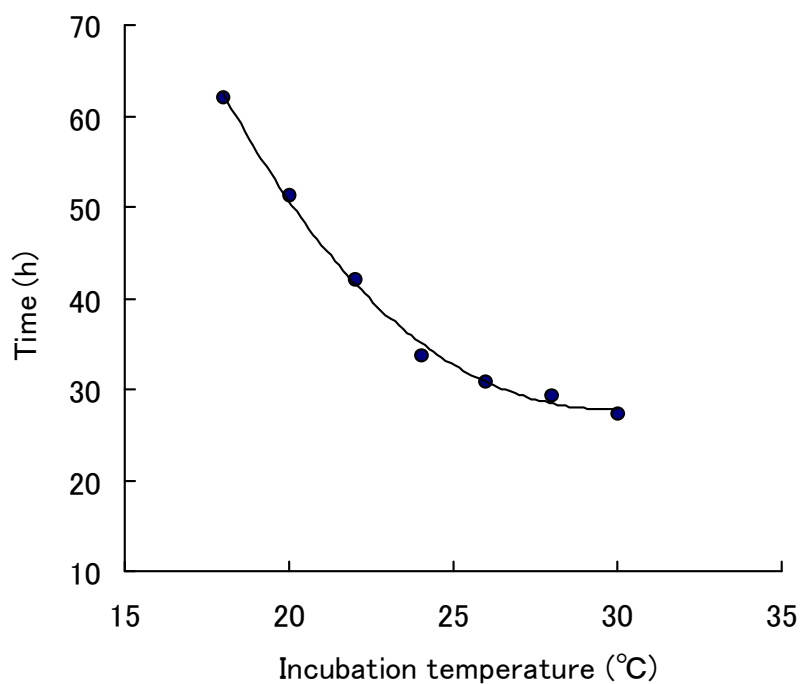


Fig. III -1-2. Time for hatching under different incubation temperatures in *Inimicus japonicus* eggs.

温側の 24°C で 15 時間 56 分，低水温側の 18°C では 27 時間 40 分，孵化開始時には高水温側の 24°C で 37 時間 20 分，低水温側の 18°C では 62 時間 40 分を要し，各発生段階への到達時間は水温が高くなるに従って短くなった (Table III -1-1, Fig. III -1-1)。

孵化所要時間に及ぼす水温の影響

培養水温 18~30°C の範囲では、すべての水温区において孵化が認められた。培養水温毎の孵化に要する時間は、水温 18°C が 62 時間 10 分，20°C が 51 時間 20 分，22°C が 42 時間 5 分，24°C が 33 時間 45 分，26°C が 30 時間 55 分，

28°Cが 29 時間 24 分，30°Cが 27 時間 21 分と培養水温が高くなるに従い短くなった(Fig.Ⅲ-1-2)。

培養水温と孵化開始までの所要時間の関係は，次式のような回帰曲線で表すことができた。

$$T = -0.0059 \theta^3 + 0.706 \theta^2 - 26.31 \theta + 341.97$$

$$(R^2 = 0.9964)$$

T : 孵化開始までの所要時間 (h) θ : 平均水温 (°C)

孵化開始までの所要時間の対数と培養水温との関係は 24°C付近で交差する 2本の直線で表された(Fig.Ⅲ-1-3)。水温 18~24°Cおよび水温 24~30°Cの温度範囲において，各々の回帰直線を最小自乗法により算出した結果，次式のよ

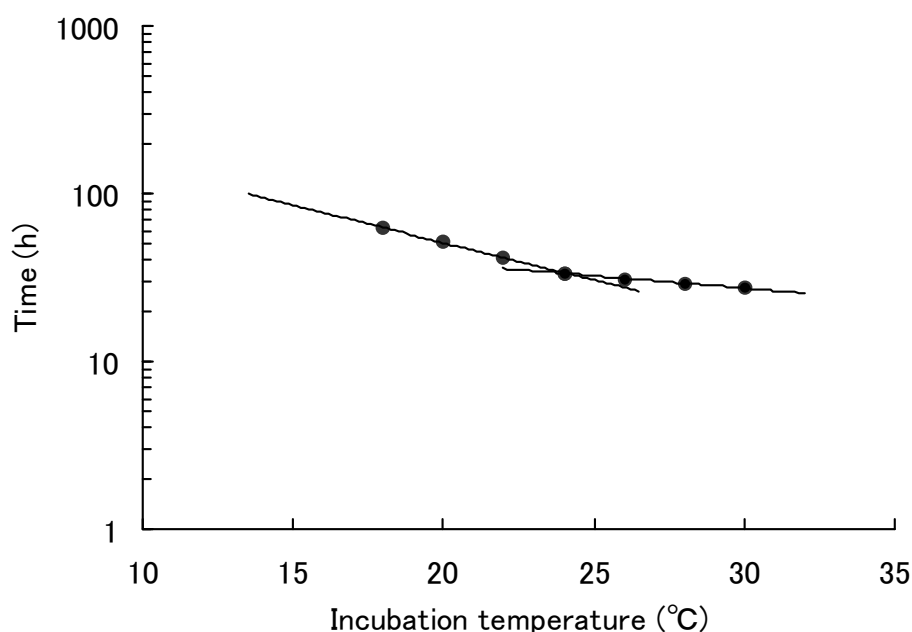


Fig.Ⅲ-1-3. Relationship between incubation temperature and time for hatching in *Inimicus japonicus* eggs.

Table III-1-2. The temperature characteristics (μ , α) and values of constants (Q10) for relationship between incubation temperature and time required from spawning to hatching in *Inumicus japonicus* eggs

| Incubation temperature (°C) | 18-24 | 24-30 | 18-30 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|
| μ | 17613 | 6313 | 12077 |
| α | 0.101 | 0.035 | 0.068 |
| Q10 | 1.842 | 1.234 | 2.274 |

μ : temperature characteristic of ARRHENIUS'S formula(山本 1943).

α : temperature characteristic of HIGURASHI and TAUCHI'S formula(山本 1943).

$$18\sim 24^{\circ}\text{C} \quad \log T=2.5902-0.0441 \theta \quad (R^2=0.9989, P<0.01)$$

$$24\sim 30^{\circ}\text{C} \quad \log T=1.8801-0.0148 \theta \quad (R^2=0.9897, P<0.01)$$

T : 孵化開始までの所要時間 (h) θ : 平均水温 (°C)

両直線は共分散分析により有意水準 1% で有意であった ($F=49.071, P<0.01$)。

孵化開始までの所要時間と培養水温との関係を、水温 18~24°C, 24~30°C および 18~30°C の温度範囲毎に温度恒数 μ , α および Q10 値 (山本 1943) により示した (Table III-1-2)。水温 18~24°C の範囲では $\mu=17,613$, $\alpha=0.101$, $Q10=1.842$ となり、水温 24~30°C の範囲の $\mu=6,313$, $\alpha=0.035$, $Q10=1.234$ に比べて、それぞれ 2.8 倍、3.3 倍、1.5 倍高い値を示したが、水温 18~30°C の温度範囲では、温度恒数 μ および α はそれぞれ 12,077 および 0.068, Q10 値は 2.274 であった。

孵化開始から完了までに要する時間は、培養水温 24°C が 3 時間 45 分と最も短く、これよりも低水温 (18~22°C, 6 時間 40 分~9 時間 30 分) および高水温側 (26~30°C, 6 時間 10 分~7 時間 45 分) では、長くなる傾向が認められた。孵化完了までの時間が最も長かったのは、18°C 培養の 9 時間 30 分であった (Fig. III-1-4)。

孵化率に及ぼす水温の影響

水温 12～32℃の培養において、孵化率は水温 12 および 14℃で 0%，16℃で 42.0%，18℃で 81.9%，20℃で 86.2%，22℃で 90.6%，24℃で 80.3～85.7%，26℃で 96.8～97.9%，28℃で 83.0～96.0%，30℃で 70.0%，32℃で 24.4%であり、孵化は水温 16℃以上で認められ、水温 14℃以下では全く孵化しなかった (Table III-1-3, Fig. III-1-5)。

正常孵化仔魚が得られた水温範囲は水温 16～28℃ (10.0～70.5%) であり、水温 30℃以上では孵化仔魚は全て奇形魚であった。最も正常孵化率が高かった培養水温は 26℃の 87.5%であった。一方、最も奇形率が低かったのは水温 24℃の 7.1%であった。50%以上の正常孵化率を示す培養水温の範囲は水温 18～28℃ (10℃) であり、水温と正常孵化率の関係は、水温 24℃付近を最大値とする曲線で表すことができた (Table III-1-3, Fig. III-1-6)。

Table III-1-3. Percent total hatch, % viable hatch and % anomalous hatch of *Inimicus japonicus* eggs

| Temperature (°C) | Number of eggs used | Total hatch (%) | Viable hatch (%) | Anomalous hatch (%) |
|------------------|---------------------|-----------------|------------------|---------------------|
| 12 | 54 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 14 | 50 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 16 | 50 | 42.0 | 10.0 | 76.1 |
| 18 | 61 | 81.9 | 57.3 | 30.0 |
| 20 | 51 | 86.2 | 72.5 | 17.0 |
| 22 | 43 | 90.6 | 74.4 | 17.9 |
| 24 | 66 | 80.3 | 71.2 | 11.3 |
| 24 *1 | 49 | 85.7 | 79.5 | 7.1 |
| 26 | 48 | 97.9 | 85.4 | 12.7 |
| 26 *1 | 64 | 96.8 | 87.5 | 9.6 |
| 28 | 53 | 83.0 | 49.0 | 40.9 |
| 28 *1 | 51 | 96.0 | 70.5 | 26.5 |
| 30 *1 | 50 | 70.0 | 0.0 | 100.0 |
| 32 *1 | 49 | 24.4 | 0.0 | 100.0 |

*1 Date at in 17, Jul. 2003.

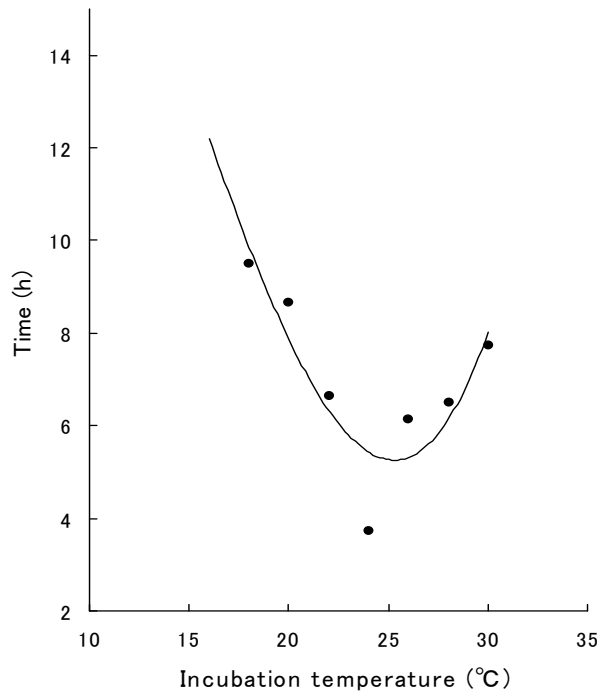


Fig. III-1-4. Relationship between incubation temperature and time required from the beginning to the end of hatching in *Inimicus japonicus* eggs.

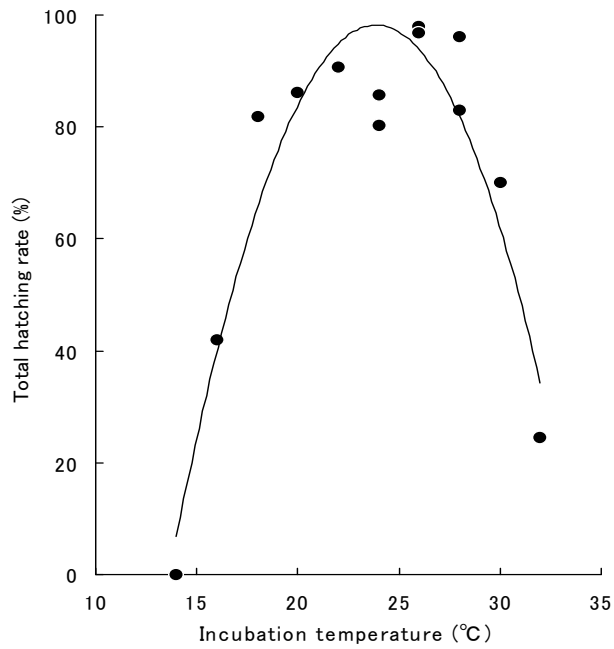


Fig. III-1-5. Relationship between incubation temperature and total hatching rate in *Inimicus japonicus* eggs.

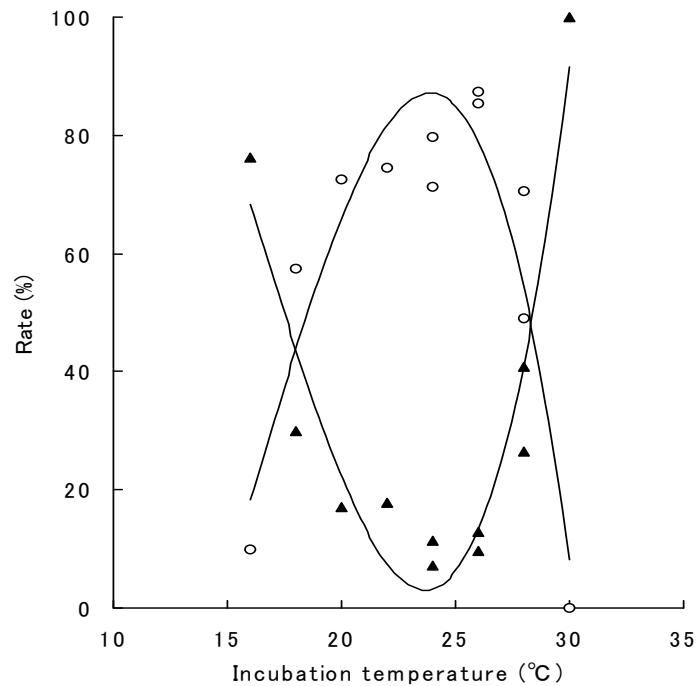


Fig. III-1-6. Relationship between incubation temperature and viable hatching rate (○), anomalous hatching rate (▲) in *Inimicus Japonicus* eggs.

III-1-3. 考 察

培養水温 18～24℃における桑実期，胞胚期，囊胚期，胚体出現期，Kupffer 氏胞の出現，心臓拍動，孵化開始に到達する時間は，水温が高くなるほど短くなるとともに，囊胚期以降では各発達段階に到達する時間の差は低水温側で増大した。同様の結果はヒラメ（安永 1988），シマアジ *Caranx delicatissimus*（川辺ら 1991），キジハタ *Epinephelus akaara*（萱野・尾田 1991），クロマグロ *Thunnus thynnus*（宮下ら 2000）およびスズキ *Lateolabrax japonicus*（牧野ら 2003）など多くの魚種で知られている。

培養水温と孵化開始までの所要時間との関係では，水温 24℃付近に変曲点

があり、この温度を超えても孵化までの到達時間は一定の比率で短縮されないことが示された。また、温度恒数 μ 、 α および Q_{10} 値は、水温 24°C 以下の低水温域が高水温域に比べて大きかったことから、水温 24°C がオニオコゼにおける卵発生の境界温度であると推察された。このことから、卵を水温 24°C 以下で培養した場合、卵発生速度は水温 24°C 以上の培養に比べて水温の影響を受けやすいと考えられる。境界温度の存在は、メダカ *Oryzias latipes* (山本 1943)、サバ *Scomber scombrus* (山本 1943)、ヒラメ (安永 1988)、キジハタ (萱野・尾田 1991)、クロマグロ (宮下ら 2000) およびスズキ (牧野ら 2003) 等で報告されている。一方、水温 18~30°C の範囲におけるオニオコゼの温度恒数 μ (12,077) および α (0.068) は、マダイ ($\mu=20,400$, $\alpha=0.115$, 12~20°C) (山本 1943) ヒラメ ($\mu=27,700$, 12~20°C) (安永 1988) およびスズキ ($\mu=24,200$, 10~20°C) (牧野ら 2003) に比べて小さく、ブダイ *Calotomus japonicus* ($\mu=12,400$, $\alpha=0.071$, 15.6~29.5°C) (山本 1943) およびキジハタ ($\mu=12,950$, $\alpha=0.073$, 20~28°C) (萱野・尾田 1991) とほぼ一致した。このことから、オニオコゼ卵の発生速度(18~30°C)は、ブダイおよびキジハタと同様、マダイ、ヒラメおよびスズキよりも水温の影響を受けにくいと考えられる。

本研究におけるオニオコゼの孵化可能な水温は 16~32°C であった。岩井・柏木が示す 12 種類の魚卵の孵化限界水温 (50% 正常孵化率となる水温範囲) と比較すると、オニオコゼの孵化限界水温 18~28°C (温度範囲 10°C) は、アユ *Plecoglossus altivelis* (9.9~27.9°C, 温度範囲 18.0°C) (岩井・柏木 1989) とムシガレイ属 *Eopsetta jordani* (5.8~8.0°C, 温度範囲 2.2°C) (岩井・柏木 1989) の中間を示した。これはヒラメ (11.2~20.6°C, 温度範囲 9.4°C) (安永 1988)、マアジ *Trachurus japonicus* (16~25°C, 温度範囲 9°C) (岩井・柏木 1989) およびクロマグロ (21.2~29.8°C, 温度範囲 8.6°C) (宮下ら 2000) とほぼ同じ値であった。

兵庫県明石地先水域におけるオニオコゼの産卵期間は、6月中旬（前期）から8月中旬（後期）で、8月以降の産出卵は浮上卵率および孵化率が低く、卵径も小さくなることが知られている（川村ら 1990b）。川村らは8月以降（後期）に産卵されたこれらの卵を用いて、孵化率および仔魚の奇形率に及ぼす培養水温との関係を調査した結果、培養水温を8月の自然水温 27.0～27.6℃から 23.0～25.0℃と下げることにより、産卵盛期の卵と同様の孵化率に改善できることを報告している（川村ら 1990b）。本研究でも同様に、水温 20～26℃の培養において正常孵化率および奇形率が最も良好であった。このことから、オニオコゼの孵化適水温は 20～26℃であると推察された。

分離浮性卵を産出する魚種における孵化適水温は、ヒラメ（安永 1988）およびスズキ（牧野ら 2003）が水温 15℃、マダイ（Kajiyama 1929a）が水温 17℃、シマアジ（川辺ら 1991）が水温 20～22℃、キジハタ（萱野・尾田 1991）およびクロマグロ（宮下ら 2000）が水温 25℃であり、オニオコゼの孵化適水温はシマアジ、キジハタおよびクロマグロに相似していた。また、境界温度（24℃付近）は、孵化適水温域にあった。このような現象はキジハタ（萱野・尾田 1991）およびクロマグロ（宮下ら 2000）においても認められている。

マダイ（Kajiyama 1929a；田中・石田 1977）、イサキ（木村・鈴木 1981；Kashiwagi et al. 1984）、ヒラメ（安永 1988）、シマアジ（川辺ら 1991）およびスズキ（牧野ら 2003）では、孵化適水温と産卵期の海域の水温が一致しており、このような両者の関係は海産分離浮性卵を産出する種に一般的にみられる現象と考えられている（山本 1943）。第Ⅱ章-2における卵巣の組織学的観察結果および生殖腺体指数の調査結果から、新潟県沿岸海域におけるオニオコゼの産卵期は6～8月で産卵盛期は7月であることが明らかになっている。この海域における2003年7月上旬から8月上旬の表層水温は、19.85～24.87℃と平年よりもやや低い状態となっているが（新潟県水産海洋研究所

2003), 孵化適水温(20~26℃)は産卵盛期の海域の水温とほぼ同様であった。

Ⅲ-2. 卵発生と孵化に及ぼす塩分の影響

受精卵の発生および孵化に及ぼす塩分の影響を検討し、孵化所要時間、孵化率、孵化に最適な塩分を明らかにした。

Ⅲ-2-1. 材料および方法

供試卵

親魚の飼育管理、採卵方法および産卵期における総採卵量、平均浮上卵率は第Ⅱ章と同様である。水温は、毎日午後 2 時に水銀棒状温度計を用いて測定した。また、海水比重は赤沼式比重計を用いて測定した。

供試卵として、2004 年 6 月 14 日 20 時と同年 6 月 20 日 19 時 50 分に産出された受精卵を用いた。平均卵径はそれぞれ 1.32 mm (標準偏差±0.02) と 1.31 mm (標準偏差±0.02) で、両日で差異は認められなかった。卵径は受精卵 50 個を無作為に抽出して、万能投影機 (×10) を用いて 0.01 mm まで測定した。産卵時の水温は、6 月 14 日が 20.7℃、6 月 20 日が 21.7℃で、比重 (σ_{15}) は 23.57 であった。

孵化最適塩分

2004 年 6 月 14 日 20 時と同年 6 月 20 日 19 時 50 分に産出された受精卵を用いて実験を 2 回行い、孵化開始時間 (孵化仔魚が確認された最も早い時間) を 30 分から数時間の間隔で経時的に調査するとともに、それぞれ孵化率、正常孵化率および奇形率を求めて平均値を算出した。産卵時刻は 18 時から 10 分毎に産卵用水槽を点検し、排水口に設置した採卵ネット内に卵が流入した時点とした。

両実験ともに培養水温は 7 段階 (15.0~35.0℃)、塩分は 8 段階 (0~64.3)

とし、これらを組み合わせて 56 の実験区を設定した。塩分を調整したろ過海水（水温 20.7 および 21.7℃）1l が入ったビーカーに 102～194 粒の卵（胞胚後期）を収容し、直ちに各々のビーカーを恒温水槽に移して培養を開始した。いずれも無通気とし、海水の交換は行わなかった。各恒温水槽の水温変動は ±0.1℃以内であった。塩分は飼育ろ過海水（塩分 32.4）を原海水とし、低塩分は蒸留水で希釈して、高塩分は加熱蒸発させて作成した。塩分はサリノメーター（COS CO., Ltd.製）を用いて測定した。ただし、150%と 200%海水の塩分はサリノメーターの測定範囲を超えるため計算値とした。

各々の水温・塩分区のビーカー毎に、孵化が完了した時点で孵化仔魚と死卵を計数し、次式によって孵化率、正常孵化率および奇形率を求めた。なお、脊索屈曲や短体などの変形した孵化仔魚を奇形魚として計数した。

$$\text{孵化率 (\%)} = (\text{全孵化仔魚数} / \text{総卵数}) \times 100$$

$$\text{正常孵化率 (\%)} = (\text{正常孵化仔魚数} / \text{総卵数}) \times 100$$

$$\text{奇形率 (\%)} = (\text{奇形仔魚数} / \text{全孵化仔魚数}) \times 100$$

III-2-2. 結 果

孵化最適塩分

水温および塩分別の孵化開始時間はいずれの塩分においても培養水温が高くなるに従って短くなり、水温 30.0℃の塩分 32.4 で 23.5 時間と最も短く、水温 15.0℃の塩分 32.4 で 93.0 時間と最も長かった。また、水温 20.0～30.0℃の範囲ではいずれの水温においても、孵化開始時間は塩分 32.4 で最も短く、これよりも塩分が低くあるいは高くなるに従って、孵化開始時間は長くなる傾向が認められ、水温 25.0℃では塩分 8.2 で 4 時間、水温 27.5℃では塩分 48.3 で 5 時間長かった（Table III-2-1）。

孵化は塩分 8.2～48.3 および水温 15.0～30.0℃の範囲で認められ、正常孵化は塩分 15.2～48.3 および水温 20.0～30.0℃の範囲で認められた。塩分 0 と 64.3 および水温 35.0℃では、すべての実験区で孵化が認められなかった。孵化が認められた水温のうち水温 30.0℃では、塩分 8.2～22.4 と 48.3 で、また、水温 15.0℃では、塩分 41.4 と 48.3 で孵化が認められなかった。また、水温 27.5℃では、塩分 8.2 で孵化が認められなかった。

50%以上の孵化率が得られた実験区は、水温 20.0～30.0℃の塩分 32.4 と 22.5 および水温 25.0℃の塩分 41.4 であった。50%以上の正常孵化率が得られた実験区は水温 20.0～25.0℃の塩分 32.4 と水温 22.5℃の塩分 41.4 で、孵化限界塩分域は水温 22.5℃で塩分 32.4～41.4 と最も広がった。

最も高い孵化率と正常孵化率が得られた実験区は、水温 25.0℃の塩分 32.4 で、それぞれ平均値で 91.5 と 81.5%を示し、奇形率も 11.0%と最も低い値であった (Table III-2-2, Fig. III-2-1, Fig. III-2-2)。

Table III-2-1. Time (hours) for first hatching under different temperature-salinity (8.2-48.3) combinations in *Inimicus japonicus* eggs

| Temperature(°C) | Salinity | | | | | |
|-----------------|----------|------|------|------|------|------|
| | 48.3 | 41.4 | 32.4 | 22.4 | 15.2 | 8.2 |
| 15.0 | * | * | 93.0 | 85.0 | * | 85.0 |
| 20.0 | 51.0 | 50.0 | 49.0 | 50.5 | 51.0 | 51.5 |
| 22.5 | 41.0 | 40.0 | 39.0 | 41.0 | 41.0 | 41.5 |
| 25.0 | 34.0 | 32.0 | 31.5 | 33.0 | 34.0 | 35.5 |
| 27.5 | 34.5 | 29.5 | 29.5 | 30.0 | 30.0 | * |
| 30.0 | * | 29.0 | 23.5 | * | * | * |

Data at June 14, 2004. * All eggs died before hatching.

Table III -2-2. Percentages of total hatch, normal hatch and abnormal hatch of eggs under 56 different temperature-salinity combinations in *Inimicus laponicus*

| T (°C) | Spawning date | Salinity (Sea Water ‰) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|---------------|------------------------|-----|------------|-----|------------|------|------------|-------|-----------|------|-----------|-------|----------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|
| | | 64.3 (200) | | 48.3 (150) | | 41.4 (125) | | 32.4 (100) | | 22.4 (75) | | 15.2 (50) | | 8.2 (25) | | 0 (0) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | N | TH | NH | AH | N | TH | NH | AH | N | TH | NH | AH | N | TH | NH | AH | N | TH | NH | AH | | | | | | | | | | | | |
| 150 | June 14, 2004 | 175 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 140 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 165 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 120 | 0.8 | 0.0 | 100.0 | 170 | 1.8 | 0.0 | 100.0 | 146 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 156 | 21.8 | 0.0 | 100.0 | 155 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | June 20, 2004 | 128 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 144 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 120 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 120 | 2.5 | 0.0 | 100.0 | 114 | 13.2 | 0.0 | 100.0 | 164 | 11.6 | 0.0 | 100.0 | 165 | 6.1 | 0.0 | 100.0 | 148 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Average | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 0.0 | 100.0 | | 7.5 | 0.0 | 100.0 | | 5.8 | 0.0 | 100.0 | | 14.0 | 0.0 | 100.0 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 200 | June 14, 2004 | 187 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 140 | 19.3 | 0.0 | 100.0 | 147 | 51.0 | 17.7 | 65.3 | 126 | 81.0 | 66.7 | 17.6 | 102 | 86.3 | 2.0 | 97.7 | 183 | 30.1 | 16.4 | 45.5 | 177 | 4.5 | 0.0 | 100.0 | 194 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | June 20, 2004 | 116 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 133 | 3.8 | 0.0 | 100.0 | 120 | 42.5 | 15.0 | 64.7 | 102 | 80.2 | 60.4 | 24.7 | 115 | 4.3 | 0.0 | 100.0 | 169 | 5.9 | 0.6 | 90.0 | 126 | 18.3 | 0.0 | 100.0 | 137 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Average | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 11.6 | 0.0 | 100.0 | | 46.8 | 16.4 | 65.0 | | 80.6 | 63.6 | 21.2 | | 45.3 | 1.0 | 98.9 | | 18.0 | 8.5 | 67.8 | | 11.4 | 0.0 | 100.0 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 22.5 | June 14, 2004 | 156 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 146 | 30.8 | 16.4 | 46.7 | 113 | 60.2 | 48.7 | 19.1 | 150 | 76.7 | 58.7 | 23.5 | 127 | 36.2 | 3.2 | 91.3 | 115 | 14.8 | 3.5 | 76.5 | 114 | 8.8 | 0.0 | 100.0 | 164 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | June 20, 2004 | 126 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 124 | 36.3 | 21.8 | 40.0 | 120 | 69.9 | 52.0 | 27.1 | 133 | 91.7 | 60.2 | 34.4 | 154 | 22.1 | 0.6 | 97.1 | 184 | 6.5 | 0.0 | 100.0 | 166 | 3.0 | 0.0 | 100.0 | 168 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Average | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 33.6 | 19.1 | 43.4 | | 65.1 | 50.4 | 23.1 | | 84.2 | 59.5 | 29.0 | | 29.2 | 1.9 | 94.2 | | 10.7 | 1.8 | 88.3 | | 5.9 | 0.0 | 100.0 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 25.0 | June 14, 2004 | 166 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 131 | 22.9 | 4.6 | 80.0 | 138 | 58.0 | 40.6 | 30.0 | 155 | 89.0 | 78.7 | 11.6 | 153 | 2.0 | 0.7 | 66.7 | 191 | 4.7 | 0.0 | 100.0 | 171 | 1.2 | 0.0 | 100.0 | 163 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | June 20, 2004 | 147 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 181 | 42.0 | 15.5 | 63.2 | 126 | 61.1 | 42.9 | 29.9 | 133 | 94.0 | 84.2 | 10.4 | 133 | 0.8 | 0.0 | 100.0 | 186 | 5.4 | 0.0 | 100.0 | 174 | 4.6 | 0.0 | 100.0 | 164 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Average | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 32.5 | 10.1 | 71.6 | | 59.6 | 41.8 | 30.0 | | 91.5 | 81.5 | 11.0 | | 1.4 | 0.4 | 83.4 | | 5.1 | 0.0 | 100.0 | | 2.9 | 0.0 | 100.0 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 27.5 | June 14, 2004 | 131 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 111 | 2.7 | 0.9 | 66.7 | 109 | 26.6 | 11.9 | 55.2 | 184 | 72.3 | 50.0 | 30.8 | 158 | 1.9 | 0.0 | 100.0 | 120 | 6.8 | 0.0 | 100.0 | 142 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 180 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | June 20, 2004 | 158 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 143 | 7.0 | 0.0 | 100.0 | 112 | 28.6 | 5.4 | 81.3 | 158 | 59.5 | 18.4 | 69.1 | 128 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 109 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 125 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 154 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Average | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.9 | 0.5 | 83.4 | | 27.6 | 8.7 | 68.3 | | 65.9 | 34.2 | 50.0 | | 1.0 | 0.0 | 100.0 | | 3.4 | 0.0 | 100.0 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 30.0 | June 14, 2004 | 162 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 154 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 105 | 5.7 | 0.0 | 100.0 | 174 | 55.2 | 4.6 | 91.7 | 142 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 132 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 171 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 181 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | June 20, 2004 | 184 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 153 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 132 | 4.5 | 0.0 | 100.0 | 184 | 51.6 | 3.3 | 93.7 | 129 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 167 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 153 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 150 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Average | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.1 | 0.0 | 100.0 | | 53.4 | 4.0 | 92.7 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 35.0 | June 14, 2004 | 186 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 137 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 150 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 164 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 162 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 152 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 152 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 139 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | June 20, 2004 | 143 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 146 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 122 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 137 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 129 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 180 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 152 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 161 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Average | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

T: temperature, N: number of eggs used, TH: % total hatch = $(A+B) \times 100 / (A+B+C)$, NH: % normal hatch = $(A) \times 100 / (A+B+C)$, AH: % abnormal hatch = $(B) \times 100 / (A+B)$. A: normal larvae, B: abnormal larvae, C: dead eggs. Salinity 64.3, 48.3, 41.4, 32.4, 22.4, 15.2, 8.2, 0.0: calculated value.

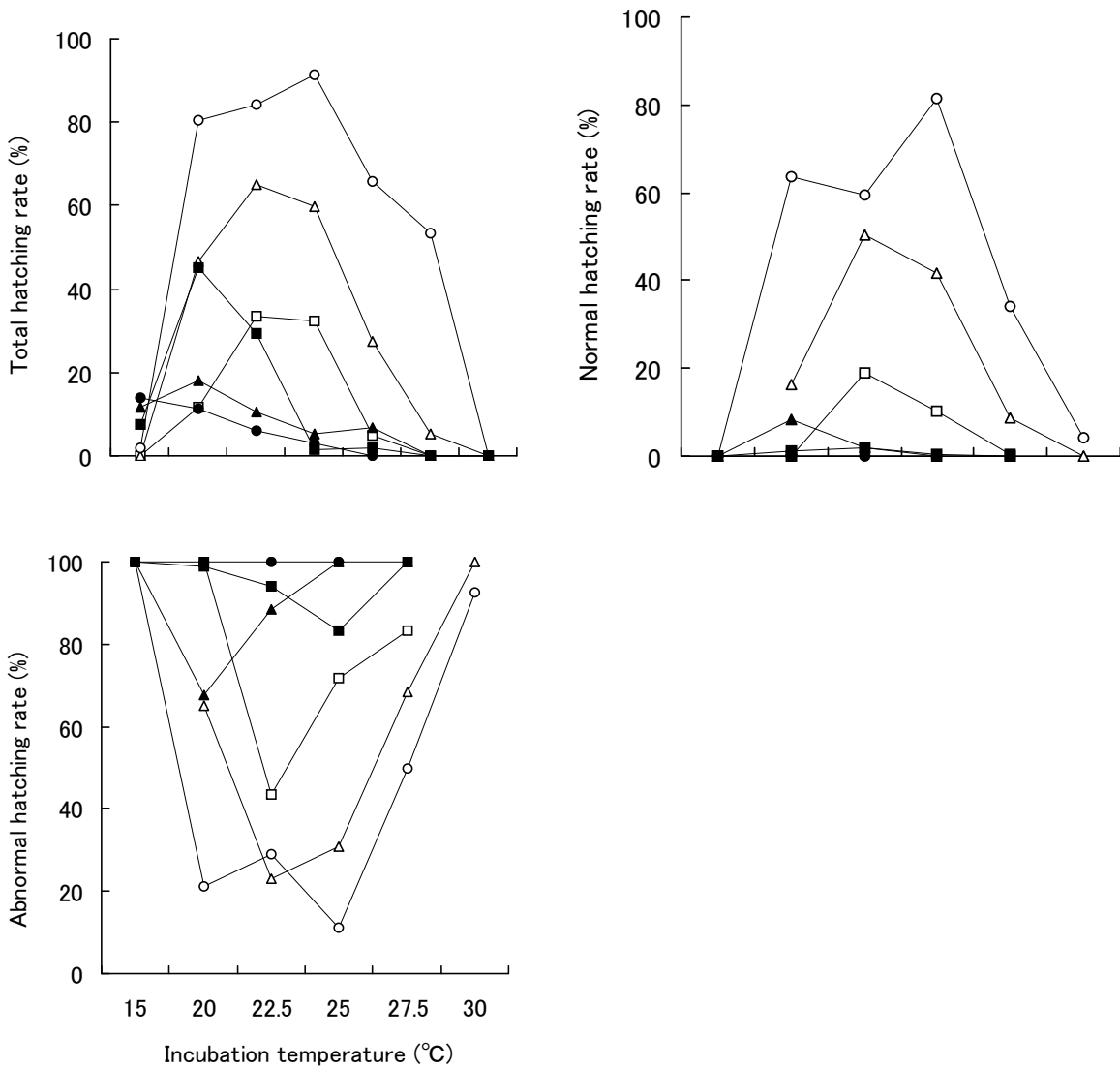


Fig. III-2-1. Relationship between incubation temperature and rates of total, normal and abnormal hatches under 8.2–48.3 salinity in *Inimicus japonicus* eggs. □: 48.3, △: 41.4, ○: 32.4, ■: 22.4, ▲: 15.2, ●: 8.2. Each point represents the mean value of two experiments.

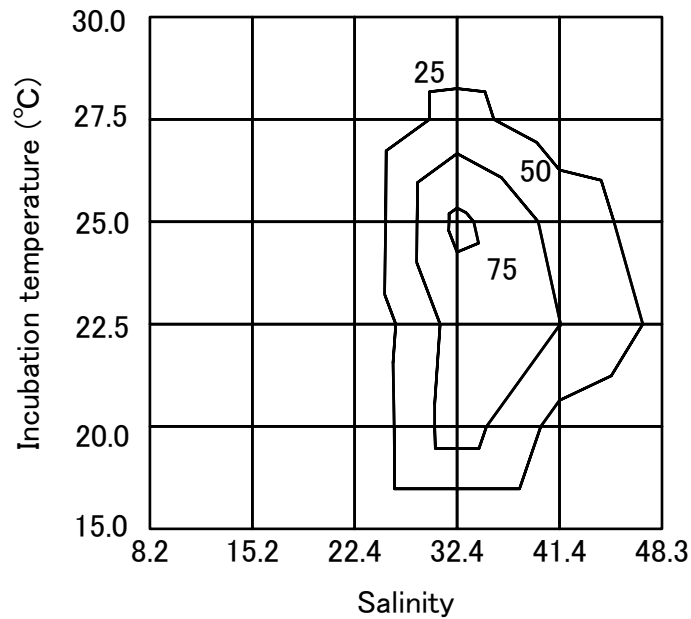


Fig. III-2-2. Effects of salinity-temperature combinations on the percentage of normal hatch in *Inimicus japonicus* eggs. Normal hatch are shown by 25, 50, and 75% isopleth lines obtained from the mean value of two experiments.

III-2-3. 考 察

孵化開始時間はいずれの塩分においても、培養水温が高くなるに従って短くなった。また、水温 20.0~30.0°C の範囲では、原海水（塩分 32.4）よりも塩分が低くあるいは高くなるに従って、孵化開始時間は長くなる傾向が認められたものの、同一水温区における孵化開始時間の差は水温 20.0°C の 2.5 時間から水温 30.0°C の 5.5 時間の範囲内にあり、水温と比較すると塩分が発生速度におよぼす影響は小さかった。なお、水温 15.0°C、塩分 15.2 の組み合わせ

せでは実験途中で卵がすべて死滅したが、その理由については不明である。低塩分が卵発生速度を抑制することは、シマアジ（村井ら 1992）、イサキ（Kashiwagi et al. 1984）、カレイ科の *Parophrys vetulus*（Alderdice and Forrester 1968）、タイセイヨウニシン *Clupea harengus*（Holliday and Blaxter 1960）で報告されているが、水温と比較すると塩分が発生速度におよぼす影響は小さいとされており（Blaxter 1969; Holliday 1969; Rosenthal and Alderdice 1976）、オニオコゼ卵についても同様の傾向が認められた。

一般に、海産魚の卵は、孵化可能な塩分範囲が広い。特に、高塩分側での限界が高く（岩井・柏木 1989）、ツノガレイ属の *Pleuronectes platessa*、タイセイヨウニシン、タラ目の *Gadus callarius* では塩分 60、カレイ目の *Pleuronectes flesus* では塩分 50 で正常に孵化したとの報告がある（Holliday 1969）。本研究では、塩分 8.2~48.3 の範囲で孵化が認められるとともに、水温 22.5~27.5°C の範囲では、塩分 48.3 で正常に孵化したことから、オニオコゼ卵についても孵化可能な塩分範囲が広いことや、高塩分側での限界が高いことが明らかになった。また、正常孵化率 50%以上を示す孵化限界塩分（岩井・柏木 1989）の範囲は塩分 32.4~41.4 であった。他の海産魚の孵化限界塩分は、ニシン *Clupea pallasii* で <5~41.9（Alderdice and Velsen 1971）、マアジで 14~40（落合 1984）、マダイで 11~>40（Apostolopoulos 1976）、マダラで <10~29（Alderdice and Forrester 1971a）、シマアジで 17.34~52.02（村井ら 1992）と報告されている。これらの魚種と比較すると、オニオコゼ卵の孵化限界塩分の範囲は比較的狭かった。通常、種苗生産の孵化過程で塩分が急変することは考えにくいだが、孵化限界塩分域は原海水（塩分 32.4）から高塩分側であることから、飼育水の塩分低下には十分な注意が必要であると考えられる。さらに、魚卵の浸透圧調節には卵黄囊上皮に分布する塩類細胞が大きな役割を果たしている（金子 2002）が、調節能力は原口閉鎖期（Alderdice 1988）および囊胚後期（牧野ら 2003）に発現すると考えられている。本研究では、

供試卵として胞胚後期の受精卵を使用した。正常な孵化が認められた塩分 15.2～48.3 では、卵内の浸透圧の恒常性が保たれたと推測されることから、浸透圧調節が機能化する時期についてさらに詳しく調査する必要がある。

一方、孵化率および正常孵化率が最も高かったのは水温 25.0℃と塩分 32.4 の組み合わせで、それぞれ平均値で 91.5%、81.5%を示し、奇形率も 11.0%と最も低かった。このことから、塩分 32.4 が孵化最適塩分であるとともに孵化に最適な水温と塩分の組み合わせは水温 25.0℃と塩分 32.4 であると考えられる。第Ⅲ章-1 で、オニオコゼの孵化最適水温が 20.0～26.0℃であることが明らかになったが、本研究における孵化最適水温もこの範囲内にあった。これまでに報告された他の海産魚の孵化最適塩分はマダラが 14.9 (Alderdice and Forrester 1971a)、ニシンが 17.0 (Alderdice and Velsen 1971)、カレイ科の *Parophrys vetulus* が 25.9 (Alderdice and Forrester 1968)、ムシガレイ属の *Eopsetta jordani* が 27.9 (Alderdice and Forrester 1971b)、マアジが 27～33 (落合 1984)、スズキが 33.8 (牧野ら 2003)、イサキが 34.2 (Kasiwagi et al. 1984)、マダイが 35 (Apostolopoulos 1976)、シマアジが 34.68～40.46 (村井ら 1992) であり、オニオコゼの孵化最適塩分はマアジ、スズキに近い値を示した。また、第Ⅲ章-1 において、孵化可能な水温は 16.0～32.0℃であることが明らかになったが、本研究においても、孵化可能な水温は 15.0℃～30.0℃でほぼ同じ値を示した。

第IV章 仔稚魚の発育

オニオコゼはヒラメなどの異体類と同様に、浮遊生活から底棲生活へと生活様式が大きく変化する魚種であるが、種苗生産時には開口および着底前後に大量死する場合がある。また、天然の浮遊期の仔魚の採集例はあるが、着底期の仔魚や変態直後の稚魚の採集例はなく（島根水試 1997）、仔稚魚の生態については不明であることから、未だ種苗の放流適地の条件が明確になっていない（愛媛水試 1997）。今後、種苗生産時の大量死問題を解決し、仔稚魚の生態を解明して安定した種苗生産と放流効果を得るためには、外部形態の変化に基づいた発育段階の基準や発育に伴う消化器官の発達など仔稚魚の発育にかかわる基礎的な知見を明らかにしておく必要がある。

IV-1. 成長および発育に伴う外部形態の変化

発育段階の設定については、河野ら（1998）が遊泳と摂餌に関連する形質の発達に基づいて4～5段階の区分を試みている。また、成長に伴う外部形態の変化については120時間までの形態変化（藤田ら 1955）および孵化仔魚と7.77 mmの個体の形態（水戸 1966）、孵化後22日までの形態変化（Sha et al. 1981）、孵化後60日までの形態変化（岩本 1983）について報告がある。しかし、Sha et al.（1981）および岩本（1983）による報告では仔魚や稚魚の外部形態の変化が孵化時間および日数の経過に伴い経時的に記述されているものの、形態変化の特徴に基づいた発育段階の設定は試みられていない。そこで、本研究ではオニオコゼの形態のなかで最も著しい変化を示す胸鰭の形態変化、特に胸鰭第11と12軟条は着底期間中に分離し、稚魚に移行した後は歩行器官としての役割を果たすことから、第12軟条の分離度に着目して発育段階の区分を試みた。併せて、成長や体各部の相対的な変化についても検討し、成

長に伴う仔稚魚の形態変化を明らかにした。

IV-1-1. 材料および方法

2005年7月9日に産出された受精卵を用いて種苗生産し、得られた仔魚を実験に供した。親魚の飼育管理および採卵方法は第II章-1と同様である。親魚の雌の平均全長は22.4 cm, 平均体重は230.0 g, 雄の平均全長は18.5 cm, 平均体重は150.8 gで、年齢は雌雄ともに6⁺歳であった。受精卵の卵径は1.31 mm±0.04 (平均±標準偏差)であった。卵径は受精卵50個を無作為に抽出して、万能投影機(×10)を用いて0.01 mmまで測定した。産卵時の水温は23.5°Cで、比重(σ₁₅)は23.57であった。

採卵した卵は沈下卵と浮上卵に分離した後、8万粒の浮上卵を、20個/lの割合で4t FRP製円型水槽に収容して孵化させた。餌料として、開口時から孵化後10日までは、飼育水1 mlあたり5~10個の割合でシオミズツボワムシを、孵化後6日から30日目までは、飼育水1 mlあたり2~3個の割合でアルテミア孵化幼生を、ふ化後12日目以降からは配合飼料(林兼産業株式会社 海産種苗用初期飼料)を、それぞれ1日あたり1~3回与えて飼育した。飼育水として紫外線照射濾過海水を用い、孵化直後から着底開始までの期間、ナンノクロロプシスを100万 cell/mlの密度で飼育水に添加した。換水率は0.5~8回転/日で、水槽上部より注水し、下部中央のストレーナーによって排水した。通気は水槽5箇所にエアーストンを設置して行った。飼育期間中の水温は23.7~28.9°Cで(Fig.IV-1-1), 比重(σ₁₅)は22.79~25.30であった。

孵化後8日までは毎日、10~30日までは隔日毎(但し、12日はサンプリングできず13日に行った)に、30日以降は37日と47日に40~60尾をサンプリングするとともに、水槽内の仔稚魚の行動を観察した。このうち20個体はフェノキシエタノールで麻酔した後、全長と体重および卵黄の長径を測定した。体

重は濾紙で水分を取り除き、20個体をまとめて計量し1個体あたりの平均値を求めた。残りの仔稚魚は5～10%の海水ホルマリンで固定し、外部形態の観察を行うとともに、369個体について発育ステージの観察および全長、体長、肛門全長、体高、頭長、頭高、頭幅、眼径、吻長、上顎長、下顎長、口幅、胸鰭長、背鰭長、背鰭基長、臀鰭長、臀鰭基長、腹鰭長、尾柄高、尾鰭長、尾鰭高（mm）の測定を行った。体各部の測定は沖山（1988）に従った。

また、着底した個体が観察された日から着底が完了するまでの期間、着底している個体20尾について、胸鰭第12軟条の先端から胸鰭基底までの長さ（A）と第12軟条の先端から第11と12軟条が分離した箇所までの長さ（B）を測定し（Fig.IV-1-2）、胸鰭第12軟条の第11軟条からの分離度を次式によって求めた。

$$\text{胸鰭第12軟条の分離度（\%）} = B \times 100 / A$$

全長、体各部位および胸鰭軟条の測定は万能投影機、デジタルノギスおよびマイクロメータを用いて0.01 mmまで、体重は上皿電子分析天秤を用いて0.01 mgまで測定した。外部形態のスケッチは描画装置付きの実態顕微鏡を用いて行った。

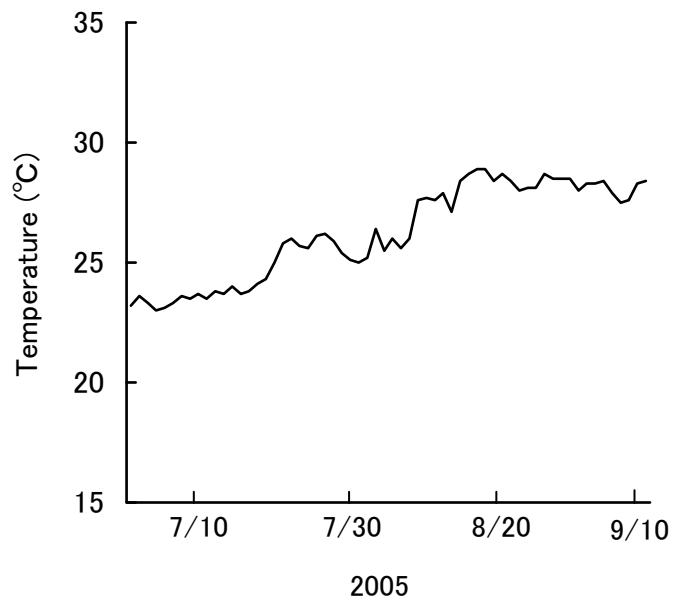


Fig. IV-1-1. Change of water temperature during the rearing period of *Inimicus japonicus* larvae and juveniles.

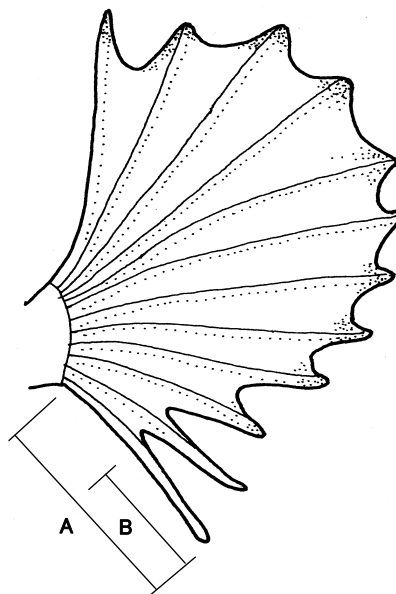


Fig. IV-1-2. Two measurement parts (A and B) of 12th lowest pectoral fin ray of *Inimicus japonicus*.

IV-1-2. 結 果

孵化後日数の経過に伴う絶対成長

孵化仔魚は孵化後 2 日でほぼ卵黄を吸収し、開口した。孵化後 3 日にはシオミズツボウムシの摂餌が認められた。孵化後 16 日には着底する仔魚が出現し、その後、孵化後日数の経過とともに着底する個体が増加した。着底箇所は主にストレーナーホースの真下あるいは水槽底中央部の排水口を塞ぐ直径 12 cm、高さ 10 cm のドーム型突起物の周辺で、集団を形成して密集するように着底しているのが観察された。孵化後 26~28 日には 80~90%が着底し、孵化後 30 日以降は浮遊している個体はほとんど認められず孵化後 37 日には着底が完了した。着底開始以降、体色は薄い黄褐色から濃い茶褐色へと変化した。

孵化後 0 日の平均全長は 3.08 ± 0.11 mm (平均±標準偏差)、平均体重は 0.61 mg であったが、孵化後 1 日には平均全長は 3.76 ± 0.16 mm、平均体重は 0.42 mg となり体重の減少が認められた。孵化後 2 日でほぼ卵黄を吸収し、開口した仔魚の平均全長は 4.20 ± 0.19 mm、平均体重は 0.54 mg であった。アルテミアを投餌した孵化後 6 日以降、成長速度が速くなり、10 日で平均全長は 5.81 ± 0.46 mm、平均体重は 1.96 mg を示した。着底する個体が観察された孵化後 16 日には平均全長は 8.29 ± 0.92 mm、平均体重は 5.12 mg に達した。孵化後 28 日には平均全長は 12.94 ± 1.97 mm、平均体重は 27.53 mg、孵化後 30 日には平均全長は 13.92 ± 2.08 mm、平均体重は 32.17 mg で、着底が完了した孵化後 37 日には平均全長が 15.13 ± 2.23 mm、平均体重は 48.71 mg であった (Fig.IV-1-3, Fig.IV-1-4)。また、卵黄の長径の対全長比は孵化後 0 日には 44.4%を占めるが、孵化後 1 日には 21.0%、孵化後 2 日には 11.1%まで減少し、孵化後 3 日には消失した。

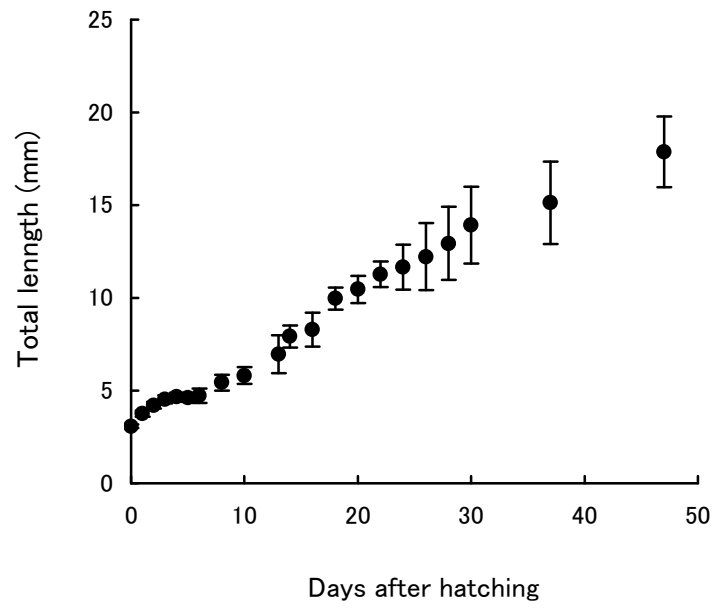


Fig. IV-1-3. Changes of total length in reared larvae and juveniles of *Inimicus japonicus*. Each value represents mean \pm SD.

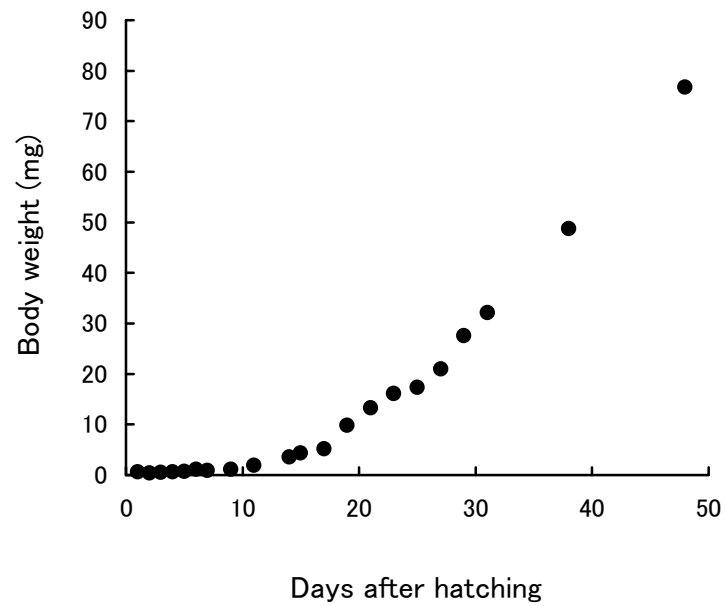


Fig. IV-1-4. Changes of body weight in reared larvae and juveniles of *Inimicus japonicus*.

着底期における胸鰭第 1 2 軟条の分離

孵化後 16 日には着底する個体が観察されたが、胸鰭第 12 軟条が分離した個体は認められなかった。孵化後 18 日には分離度が 0, 11~20, 21~30, 31~40%の個体がそれぞれ 25%ずつで、分離が認められた最小の体長は 7.08 mm であった。孵化後日数の経過にともない着底している個体の割合が増加した。また、鰭条の成長と相まって、分離度は増大傾向を示し、孵化後 20 日には分離度が 0 から 51~60%を示す様々な分離段階の個体が観察された。孵化後 22 日にはすべての個体が分離度 41~50%以上を示した。孵化後 24 日には分離度 61~70%の個体が占める割合は 52.6%で最も多かった。孵化後 26 日にはすべての個体が分離度 51~60%以上を示し、分離度 71~80%の個体は 55%を占めた。孵化後 28 日には大部分の個体が着底するとともに分離度 71~80%の個体が 90%を占めた。孵化後 30 日以降は浮遊している個体はほとんど認められずすべての個体が分離度 71~80%と 81~90%を示した (Fig.IV-1-5)。

成長に伴う仔稚魚の外部形態の変化

Kendall et al. (1983) の分類を基本に、胸鰭の形態的特徴や胸鰭第 12 軟条の分離度と着底との関係に基づいて、仔稚魚の発育をステージ A からステージ H までの 8 段階に分類した。各ステージの体長は固定後の値で、19~90 個体の平均値±標準偏差 (mm) で表した。

Stage A (Fig.IV-1-6-A)

ふ化直後から胸鰭に黒色斑紋が出現するまでの卵黄囊仔魚で、体長は 2.38±0.08 mm (平均±標準偏差)。孵化後 0 日。

卵黄は無色透明で楕円形であり、長径は全長の 44.4%を占める。体色は透明で、黒色素胞が脊索に沿って点在するほか、卵黄や頭部、胸鰭にもわずか

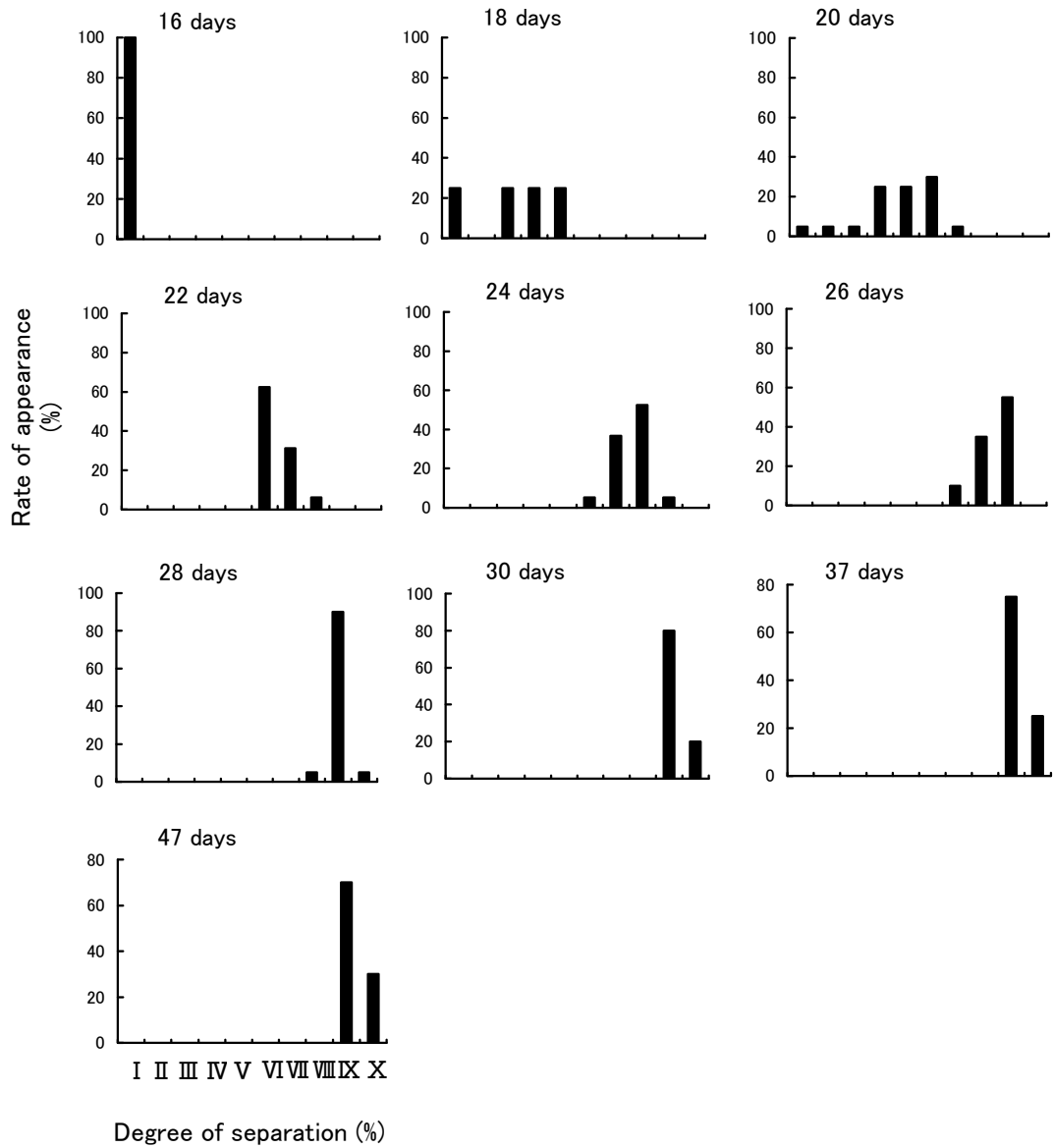


Fig. IV-1-5. The frequency distributions of separation degree (%) of 12th lowest pectoral fin ray of reared larvae and juveniles in *Inimicus japonicus*. I, 0%; II, 1~10%; III, 11~20%; IV, 21~30%; V, 31~40%; VI, 41~50%; VII, 51~60%; VIII, 61~70%; IX, 71~80%; X, 81~90%.

に見られる。黄色素胞は体全体、卵黄、胸鰭、仔魚膜にみられ樹枝状によく発達している。筋節数は $11+17\sim 18=28\sim 29$ で、口および肛門は開いていない。肛門は体のほぼ中央に位置する。胸鰭はすでに形成されており、半月形である (Fig.IV-1-7-A)。ふ化直後の仔魚は卵黄を上にして浮遊しており、ほとんど運動することはない。

Stage B (Fig.IV-1-6-B)

胸鰭に黒色斑紋が出現してから開口するまでの卵黄嚢仔魚で、体長は 3.14 ± 0.10 mm。孵化後 1 日。

卵黄の長径は全長の 21.0% を占める。体色は透明で、黒色素胞が卵黄、体側部に点在するほか、脊索に沿って 2 個の黒色斑紋がある。眼に黄色素胞の沈着がみられる。胸鰭は団扇状に拡大し、3 個の黒色斑紋がみられる (Fig. IV-1-7-B)。筋節数は 27 である。水平あるいは頭部をやや下げて浮遊している。運動性は乏しいが、ピペットなどを近づけるとすばやく逃避する。

Stage C (Fig.IV-1-6-C)

開口から尾鰭の原基が出現するまでの前上屈仔魚で、体長は 3.82 ± 0.30 mm。孵化後 2~10 日。

孵化後 2 日で開口し、卵黄の長径は全長の 11.1% を占める。肛門は体の中央より前方に位置する。体色は透明で、脊索 (12,21 筋節付近) に沿って黒色斑紋が 2~3 個ある。腹部に樹枝状の黒色素胞がみられる。胸鰭の黒色斑紋は 6 個に増え、鰭条の形成が始まるとともに縁辺部が凹凸状になる (Fig. IV-1-7-C)。孵化後 3 日には卵黄は吸収され、消失する。胸鰭を使って遊泳し、シオミズツボムシを活発に摂餌する。

Stage D (Fig.IV-1-6-D)

尾鰭の原基出現から脊索上屈開始までの前上屈仔魚で、体長は 4.58 ± 0.20 mm。孵化後 6～10 日。

尾鰭の原基が尾部腹面に出現するとともに腹鰭の原基が出現する。体色は透明である。腹部に樹枝状の黒色素胞がみられるが、黄色素胞はかなり消失している。胸鰭の黒色斑紋は 9 個に増えるとともに鰭条の先端の鰭膜に切れ込みが入り始める (Fig.IV-1-7-D)。アルテミア孵化幼生を摂餌する。

Stage E (Fig.IV-1-6-E)

脊索上屈開始から終了までの上屈仔魚で、体長は 5.48 ± 0.35 mm。孵化後 10～16 日。

脊索末端の上屈が開始する。体色は透明で頭部の後方と腹部および胸鰭の基部に樹枝状の黒色素胞がみられる。脊索に沿って 2 個の黒色斑紋がみられる。黄色素胞は胸鰭の縁辺と黒色斑紋の周辺にみられる。下尾軟骨と尾鰭鰭条が形成され始めるとともに背鰭および臀鰭の担鰭骨帯が出現する。胸鰭の黒色斑紋は 9 個で鰭条数は 12 となり完成する。胸鰭の鰭条先端の鰭膜の切れ込みが明瞭となる (Fig.IV-1-7-E)。眼の上に 1 個、眼の後方に 1 個、前鰓蓋骨の内縁に 2 個、外縁に 3 個の棘が認められる。配合飼料を摂餌するとともに、遊泳力が増し流れに抗して泳ぐ。

Stage F (Fig.IV-1-6-F)

脊索上屈の終了から胸鰭の鰭条先端の鰭膜が収縮して 12 軟条が分離するまでの後上屈仔魚で、体長は 6.84 ± 0.53 mm。孵化後 14～30 日。

体色は黄褐色を呈す。尾鰭および腹鰭の鰭条数がそれぞれ 16 および 6 に達し完成する。胸鰭の鰭条先端の鰭膜は伸長する (Fig.IV-1-7-F)。頭部の棘が発達するとともに、眼の上とろ頂部に 1 個、眼の後方に 2 個、前鰓蓋骨の内縁に 3 個、外縁に 4 個の棘が認められる。体長 6 mm 前後で着底する仔魚が

出現する。

Stage G (Fig.IV-1-6-G)

胸鰭の鰭条先端の鰭膜が収縮した，第 12 軟条の分離度が 70%以下の後上屈仔魚で，体長は 7.84 ± 0.53 mm。孵化後 18～30 日。

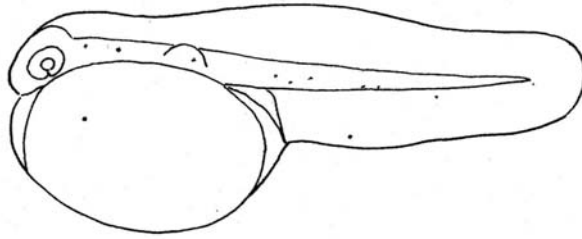
体色は薄い黄褐色から茶褐色を呈し，白色の斑紋が形成されて体表は斑模様を呈する。鼻孔の縊れが深くなり，側線が出現する。下顎の下側に 1 対の皮弁が出現する。ろ頂部に 3 個，眼の上に 1 個，眼の後方に 2 個，前鰓蓋骨の内縁と外縁に 4 個の棘が認められる。胸鰭の鰭条先端の鰭膜が収縮するとともに第 12 軟条の分離が始まる。分離度は 70%以下である。すべての鰭の鰭条数が定数に達する。胸鰭の黒色斑紋は顆粒状となり，裏側には橙色の円形斑紋が出現する。胸鰭の第 1 軟条が伸長して先端は丸い棒状になる (Fig. IV-1-7-G)。着底した状態で摂餌している様子が観察される。

Stage H (Fig.IV-1-6-H)

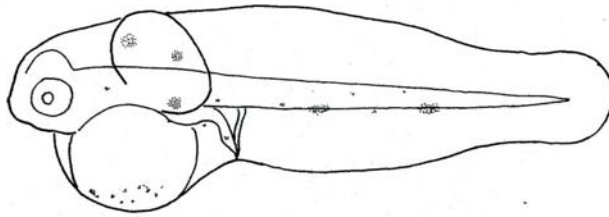
胸鰭第 11 と 12 軟条の間の分離度が 71%以上の稚魚で，測定に供した稚魚の体長は 11.92 ± 1.89 mm。孵化後 24 日～。

体色は黒っぽい褐色を呈する。背鰭の基底および側線に沿って皮弁様の小突起が出現する。胸鰭の第 1 軟条はさらに伸長するとともに，第 12 軟条の分離度が 71%以上となる。胸鰭の表面に小さな皮弁が認められるとともに，裏側の橙色の斑紋は色が濃くなり一層鮮やかさを増す (Fig.IV-1-7-H)。尾鰭にも橙色の円形斑紋が認められる。背鰭の棘に皮弁が出現し，棘の先端は針状になる。胸鰭第 11，12 軟条を使って水槽底を這うように移動する個体が観察される。

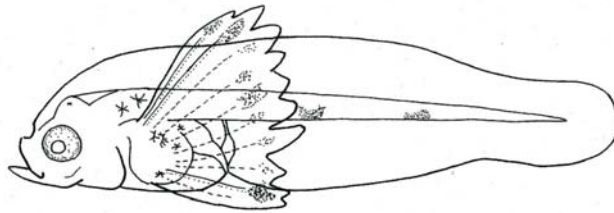
A



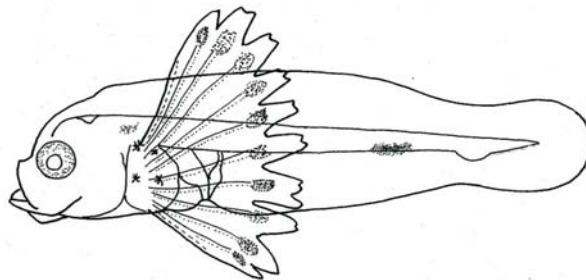
B



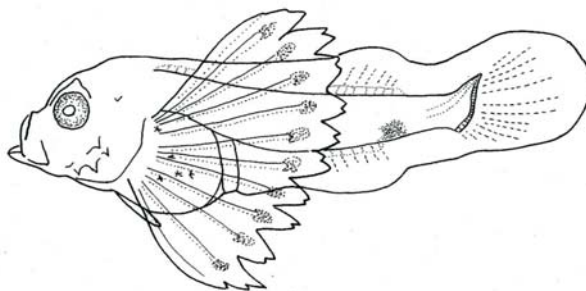
C



D



E



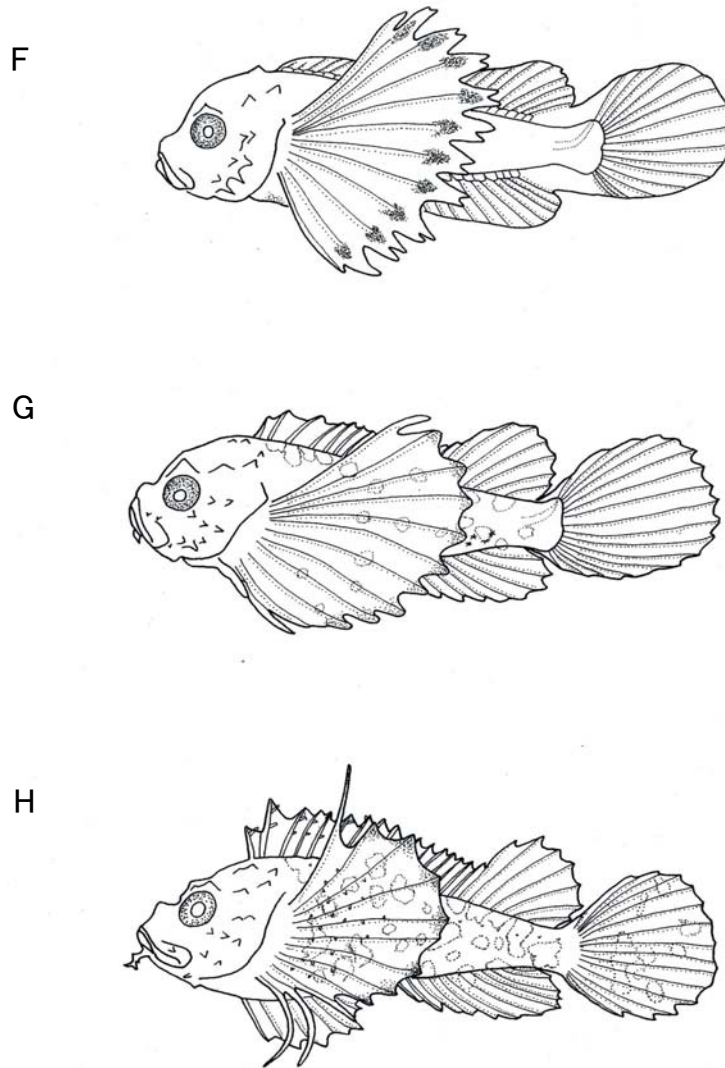


Fig.IV-1-6. Larva and juvenile stages of reared *Inimicus japonicus*. A) Stage A: newly-hatched larvae, 2.38 mm SL. B) Stage B: yolk-sac larvae, 1 day after hatching, 3.14 mm SL. C) Stage C: preflexion larvae, 3 days, 3.82 mm SL. D) Stage D: preflexion larvae, 8 days, 4.58 mm SL. E) Stage E: flexion larvae, 12 days, 5.48 mm SL. F) Stage F: postflexion larvae, 16 days, 6.48 mm SL. G) Stage G: postflexion larvae, early phase in separation of 12th lowest pectoral fin ray, 20 days, 7.48 mm SL. H) Stage H: juvenile, 30 days, 11.92 mm SL.

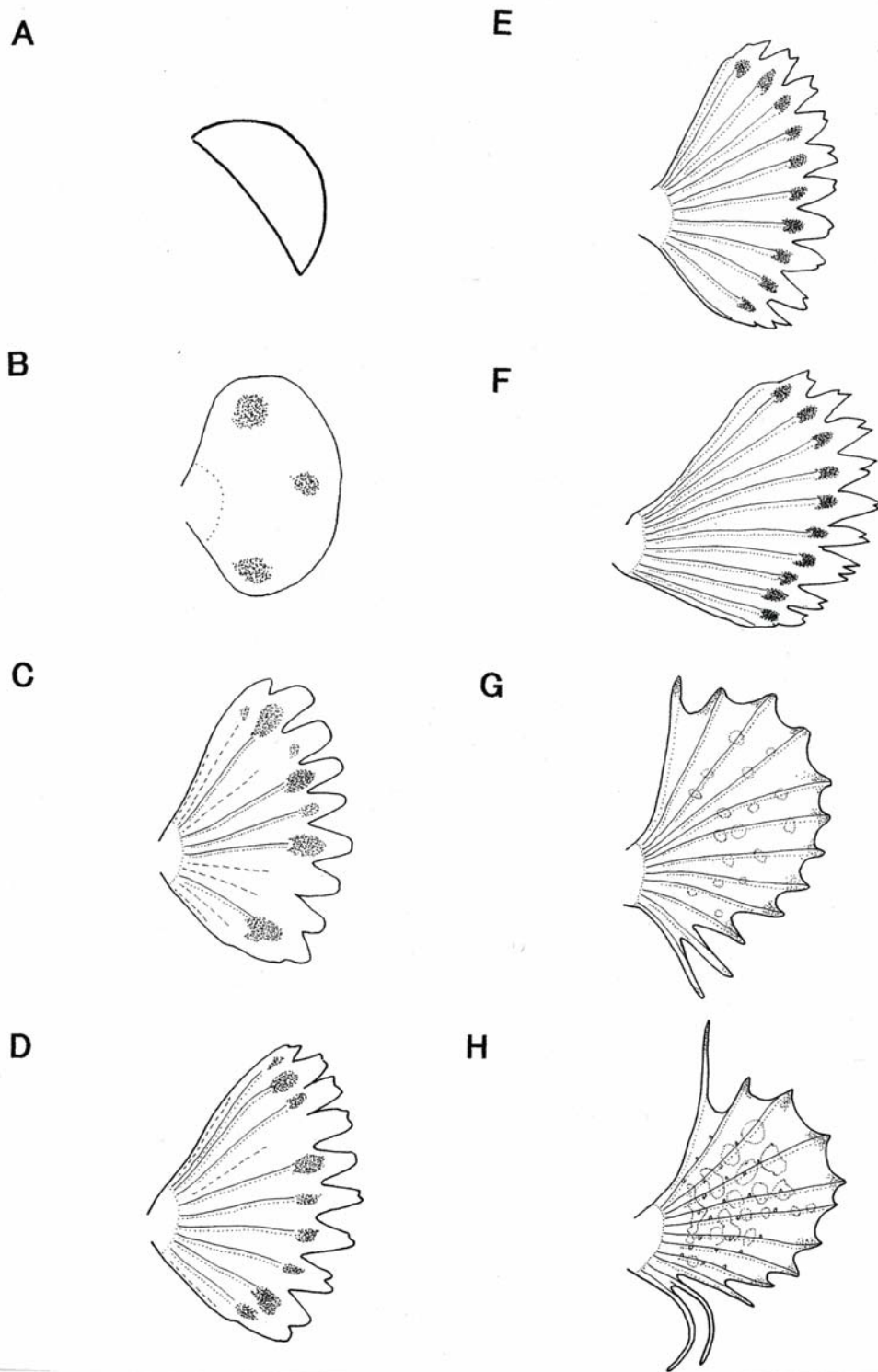


Fig.IV-1-7. Morphological changes of pectoral fin with reared larvae and juveniles of *Inimicus japonicus*. A) Stage A, 0.15 mm PFL. B) Stage B, 0.57 mm PFL. C) Stage C, 1.25 mm PFL. D) Stage D, 1.43 mm PFL. E) Stage E, 2.68 mm PFL. F) Stage F, 3.25 mm PFL. G) Stage G, 3.31 mm PFL. H) Stage H, 4.50 mm PFL.

相対成長

体長 16.45 mm までの体各部位を測定し、対体長比を求めた。測定部位は全長、体長、肛門前長、体高、頭長、頭高、頭幅、眼径、吻長、上顎長、下顎長、口幅、胸鰭長、背鰭長、背鰭基長、臀鰭長、臀鰭基長、腹鰭、尾柄高、尾鰭長、尾鰭高の 21 部位である (Fig.IV-1-8A,8B,8C)。

全 長 (Fig.IV-1-8A)

体長 6 mm と 10 mm 前後に成長屈折点が認められた。対体長比では 6 mm までは 120% 前後でほぼ一定の値を示したが、6~10 mm の間は 124~133% と増加を示し、10 mm 以降 135% 前後でほぼ一定となった。

肛門前長 (Fig.IV-1-8A)

体長 4 mm と 8 mm 前後に成長屈折点が認められた。対体長比では体長 4mm まで 52~37% と減少し、4~8 mm では 54% まで増加した。8 mm 以降 55% 前後とほぼ一定となった。

体 高 (Fig.IV-1-8A)

体長 5 mm と 8 mm 前後に成長屈折点が認められた。対体長比では 5 mm までは 50~26% と減少するが、5~8 mm の間は増加し 8.2 mm で 40% と最大値を示した。8 mm 以下では緩やかな減少を示した。

頭長と頭高および頭幅 (Fig.IV-1-8A)

いずれも体長 5 mm と 7 mm 前後に成長屈折点が認められ、この間、対体長比は 15~32% 前後で増加を示すが、8 mm 以降はほぼ一定か減少を示した。

眼 径 (Fig.IV-1-8A)

体長 3 mm と 8 mm 前後に成長屈折点が認められ、対体長比では 3 mm までは 10～6%と減少し、3～8 mm の間で 10%と増加したが、8 mm 以降は減少を示した。

吻 長 (Fig.IV-1-8A)

体長 6 mm と 8 mm 前後に成長屈折点が認められた。この間、対体長比では 6～9%とわずかに増加する。8 mm 以降、増減傾向はみられないもののばらつきが大きくなった。

上顎長 (Fig.IV-1-8B)

体長 6 mm と 8 mm 前後に成長屈折点が認められ、この間、対体長比は 9～13%と増加するが、8 mm 以降は 13%前後でほぼ一定となった。

下顎長 (Fig.IV-1-8B)

体長 6 mm と 8 mm 前後に成長屈折点が認められ、この間、対体長比は 9～12%で増加を示すが、8 mm 以降は 13%前後でほぼ一定となった。

口 幅 (Fig.IV-1-8B)

体長 3 mm と 5 mm および 8 mm 前後に成長屈折点が認められ、3～5 mm の対体長比は 4～14%、5～8 mm の対体長比は 14～17%で、3～5 mm にかけて対体長比は大きな増加を示した。8 mm 以後は 17%前後でほぼ一定となった。

胸鰭長 (Fig.IV-1-8B)

体長 3 mm と 7 mm 前後に成長屈折点が認められた。対体長比は 3 mm までは 3～7%を示したが、3 mm 以降 6.4 mm まで 15～60%と急速に増大した。6.4～7.8 mm の間で急速に 40%まで減少し、以降 34%前後まで緩やかな減少

を示した。

背鰭長 (Fig.IV-1-8B)

体長 5.5 mm と 7.5 mm 前後に成長屈折点が認められ, 対体長比では 5.5 mm まで 11~8%と減少し, 5.5~7.5 mm の間は 18%と増加したが, 7.5 mm 以降は減少を示した。

背鰭基長 (Fig.IV-1-8B)

体長 6 mm 前後に成長屈折点が認められ, 対体長比では 6 mm まで 49~55%と増加を示した後, ばらつきが大きくなるものの 68%前後でほぼ一定となった。

臀鰭長 (Fig.IV-1-8B)

背鰭長と同様に, 5.5 mm と 7.5 mm 前後に成長屈折点が認められ, 対体長比では 5.5 mm まで 8%と減少し, 5.5~7.5 mm の間は 15 %と増加したが, 7.5 mm 以降は減少を示した。

臀鰭基長 (Fig.IV-1-8B)

体長 7 mm 前後に成長屈折点が認められ, 対体長比では 7 mm まで 26 ~ 37 %と増加を示した後, ばらつきが大きくなるものの 35 %前後でほぼ一定となった。

腹鰭長 (Fig.IV-1-8C)

体長 7 mm 前後に成長屈折点が認められ, 対体長比では 7 mm まで 23%と増加を示した後, 27%前後でほぼ一定となった。

尾柄高 (Fig.IV-1-8C)

体長 5 mm と 7.5 mm 前後に成長屈折点が認められ、この間、対体長比では 5～10%と増加を示し、7.5 mm 以降は減少を示した。

尾鰭長 (Fig.IV-1-8C)

体長 7.5 mm 前後に成長屈折点が認められた。対体長比では 7.5 mm まで 13～34%と高い増加率を示した。7.5 mm 以降は 26%まで減少した。

尾鰭高 (Fig.IV-1-8C)

体長 5.5 mm と 7.5 mm 前後に成長屈折点が認められ、この間、対体長比では 22～31%と増加を示し、7.5 mm 以降減少を示した。

体各部の相対成長における成長屈折点は体長 5.5 mm と 7.5 mm 前後に集中して認められ、体長 5.5 mm はステージ E (脊索上屈開始から終了までの上屈仔魚) に、体長 7.5 mm はステージ G (胸鰭第 12 軟条の分離度が 70%以下の仔魚) の時期に相当した (Fig.IV-1-9)。

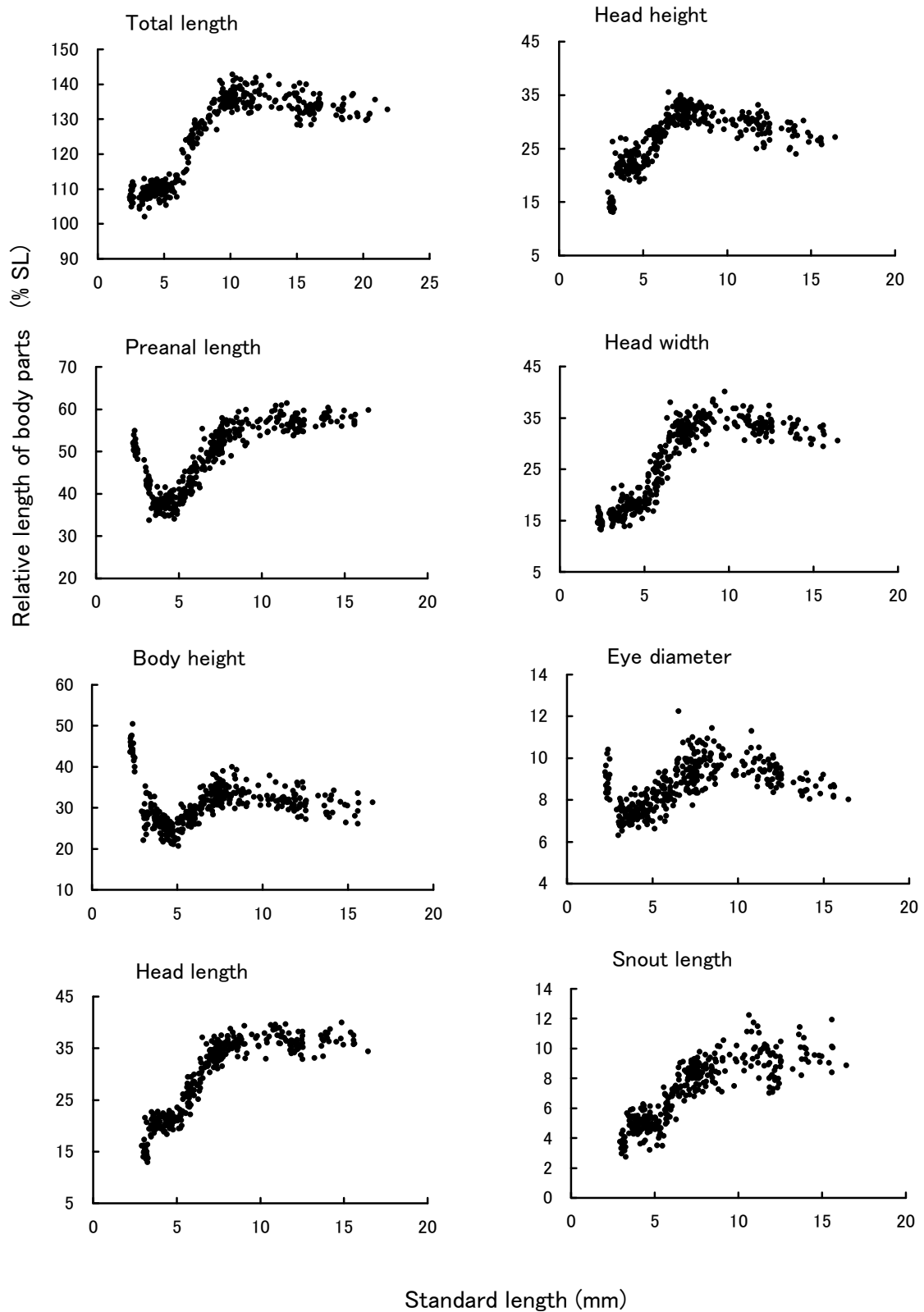


Fig. IV-1-8A. Relative growth of 8 body parts against the standard length of reared larvae and juveniles in *Inimicus japonicus*.

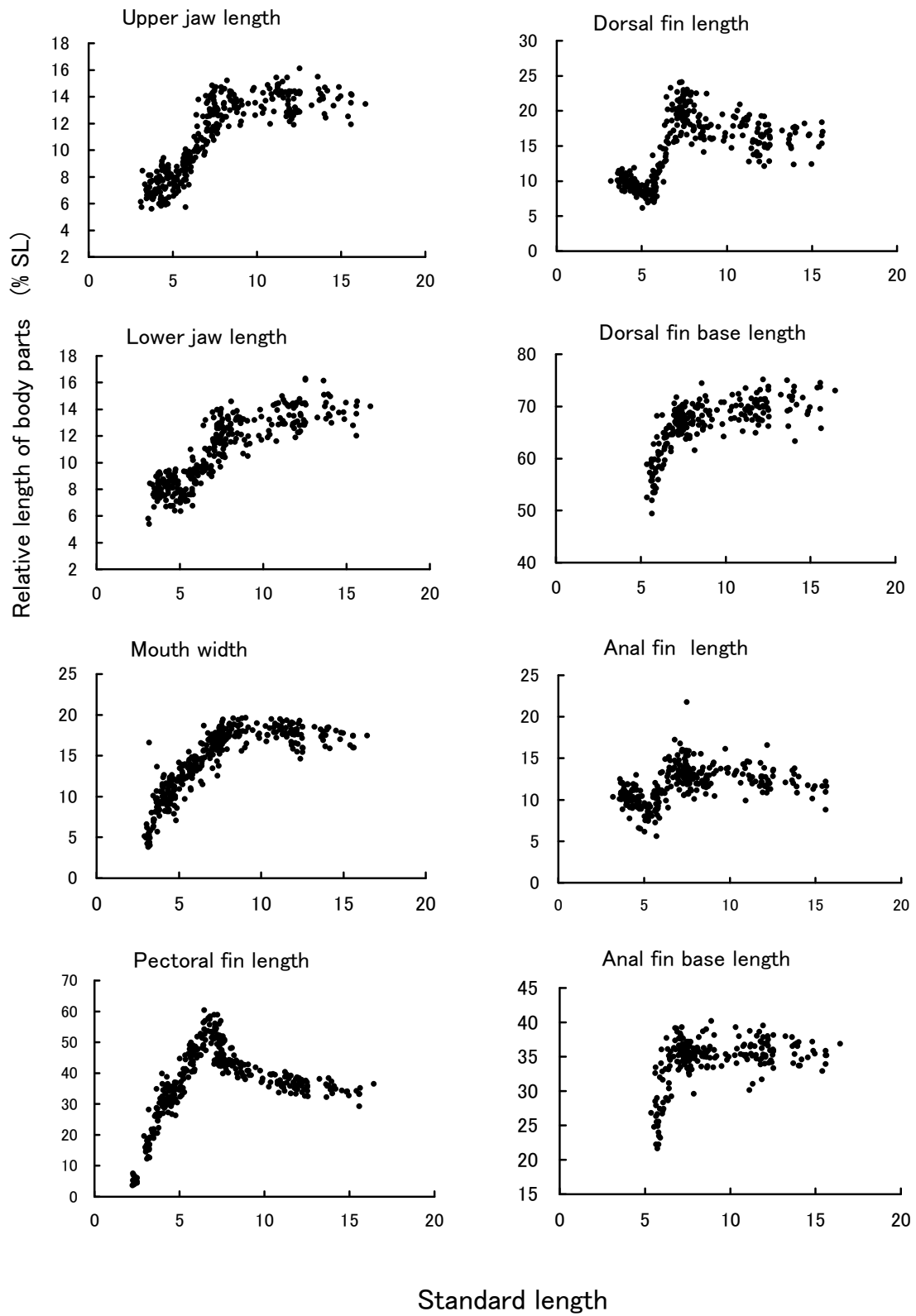


Fig. IV-1-8B. Relative growth of 8 body parts against the standard length of reared larvae and juveniles in *Inimicus japonicus*.

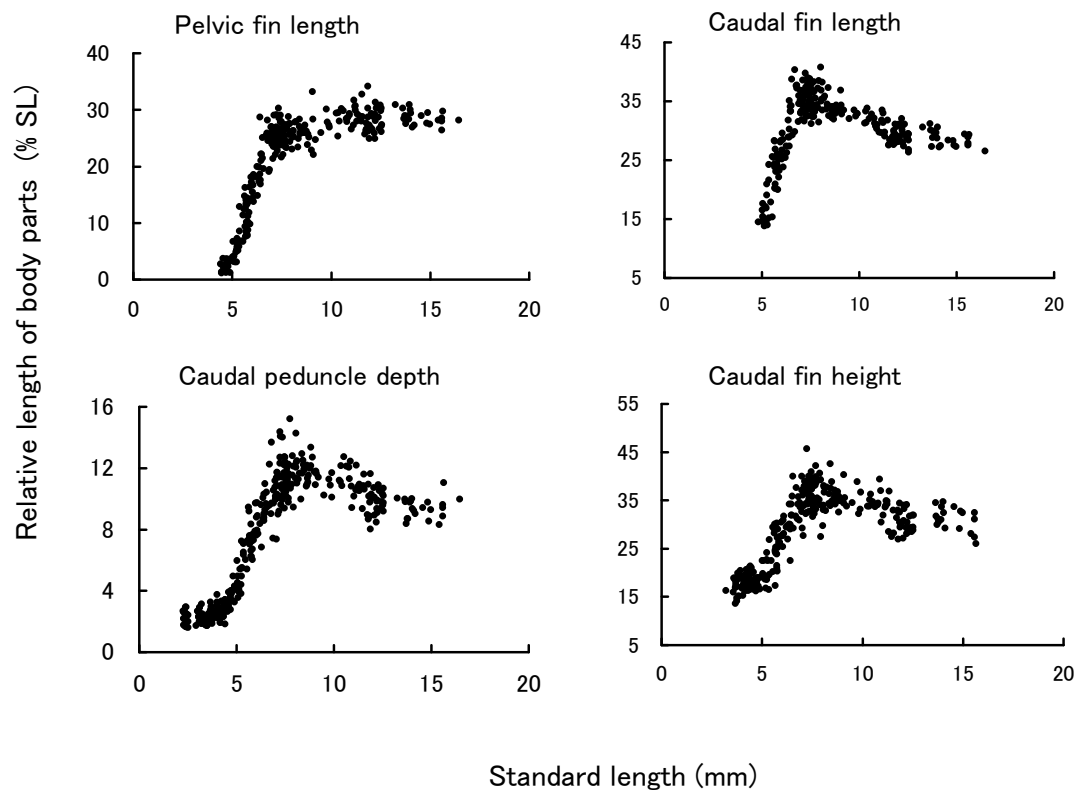


Fig. IV-1-8C. Relative growth of 4 body parts against the standard length of reared larvae and juveniles in *Inimicus japonicus*.

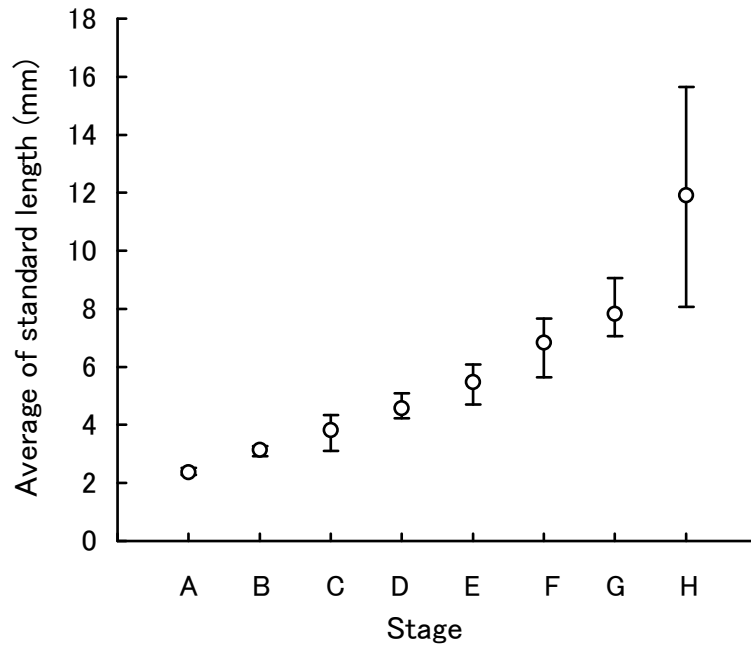


Fig. IV-1-9. Average of standard length at each developmental stage of reared larvae and juveniles in *Inimicus japonicus*. Opened circle represents the mean. Vertical bar represents the maximum and minimum value.

IV-1-3. 考 察

オニオコゼの仔稚魚の成長については飼育魚で数例の報告があるが、全長 10mm に達する孵化後所要日数（水温 21～29℃）はいずれも約 20 日前後とされている（岩本 1983；川村ら 1990a；Sawada et al. 2001）。本研究においても 20 日で全長 10.46 mm に達したことから、今回の飼育結果は水温 21～29℃ の飼育条件下における標準的な成長を示しているとみなされた。

また、岩本（1983）は孵化直後の仔魚の体重は 1.05 mg で、孵化後 24 時間で 0.66 mg、孵化後 48 時間で 0.48 mg となり孵化から開口までの体重減少が著しいことを報告している。Sawada et al.（2001）の報告では孵化直後の仔魚の平均体重は 0.53 mg で、孵化後 2 日に 0.36 mg に減少したとされている。本研究においても孵化後 0 日における平均体重は 0.61 mg であったが、孵化後 1 日で 0.42 mg に減少した。このような孵化直後から開口期にかけての体重減少はブリ *Seriola quinqueradiata* の仔魚においても認められる（李 1994）。オニオコゼの卵黄囊長径の対全長比は孵化直後には 44.6%と全長の約半分を占めるが、孵化後 1 日で急速に吸収され 21.1%に、孵化後 2 日で 11.1%まで縮小し、孵化後 3 日には吸収が完了することから、孵化直後から開口までの間に見られる体重減少は卵黄が急速に吸収されることによると考えられる。孵化直後の卵黄囊仔魚にはすでに半月形の胸鰭が存在するが、開口までの間に急成長するとともに 2~3 個の黒色斑紋が形成される。従って、卵黄エネルギーのかなりの部分は胸鰭の形成、すなわち浮遊生活に適応するために消費されると推測される。

仔稚魚の発育については、Kendall et al.（1983）の分類を基本に、胸鰭の形態的特徴や胸鰭第 12 軟条の分離度に基づいて、ステージ A からステージ H までの 8 段階に分類した。胸鰭が未発達な時期をステージ A、急成長して黒色斑紋が出現した時期をステージ B とした。その後、胸鰭の黒色斑紋は仔魚の成長とともに数を増しながら 9~10 個となるが、斑紋数には個体差があり特に発育ステージに対応しない。ステージ C~F までは胸鰭長は伸長するとともに円形だった外縁は凹凸状となり、ステージの進行とともに鰭条の先端の鰭膜が伸長してその凹凸は深くなる傾向を示す。ステージ D においては凸部の先端に切れ込みが入り始めステージの進行とともに深くなる。ステージ G に入ると、伸長した鰭条先端の鰭膜は細い糸状となって鰭条先端部まで収縮し、鰭条先端部に位置する黒色斑紋は顆粒状になるとともに、胸鰭第 11 と

12 軟条が分離し始める。このような鰭条先端部の鰭膜の収縮は体長 7 mm 前後に、胸鰭第 11 と 12 軟条の分離は体長 7.08 mm で観察されることから、収縮と分離はほぼ同時か連続的に起こると推察される。胸鰭第 12 軟条の分離状態についてその分離度を算出して検討したところ、第 12 軟条の分離度が 71% 以上になると着底が完了するとみなされた。カレイ科魚類の着底は変態と同時に進行し、おおむね眼が頭部縁辺に移動する時期におきる（南 2001）。オニオコゼの着底は胸鰭の鰭条先端の鰭膜の収縮および第 12 軟条の分離を伴って進行し、ほぼ収縮と分離が始まる時期におきると考えられる。従って、胸鰭の収縮と第 12 軟条の分離度 71% 以上を着底の開始から完了を表す形態的特徴としてとらえることができると考えられ、胸鰭の収縮と第 12 軟条の分離度 70% までの時期をステージ G すなわち着底期、分離度 71% 以上を成魚とほぼ同様の形態となった稚魚とみなしステージ H すなわち稚魚期として区分することができると考えられた。内田（1963）の説によると、魚類の変態はイワシ型、ウナギ型、サバ型、ヒラメ型と大きく 4 つのパターンに分類される。なかでもヒラメなどの異体類における眼の移動は魚類における典型的な変態の例としてよく知られている。その程度や速度は魚種によって異なるが、魚類には多少とも変態過程が存在すると考えられている。また、Balon 説によると、変態とは次の発育段階に向けて体の構造と機能を再構築することと考えられている（Balon・後藤 1989）。通常、胸鰭は浮力、遊泳およびブレーキの役割をもつが（谷口 1987）、水槽内の観察では、オニオコゼは底棲生活に移行すると、胸鰭第 11 と 12 軟条を斜め前方に向け、やや湾曲させて水槽底に接地して定位するとともに、これをゆっくりと前後させ餌を求めて水槽底を這うように移動することから、これらは体の支持および歩行器としての役割を持っていると推察される。即ち着底期間中に胸鰭の構造と機能を浮遊生活から底棲生活に適応するために変化させたと推察され、オニオコゼにおける変態を示す顕著な形態変化であると考えられる。胸鰭の鰭条の形成は孵

化後 2 日（ステージ C）に体長 3.46 mm で認められ、孵化後 10 日（ステージ E）に体長 4.70 mm で定数に達した。鰭の中では最も早く定数に達したことから浮遊期間中の遊泳については胸鰭が主要な働きをしていることが推察される。河野ら（1998）の報告では体長 3.68 mm で胸鰭の鰭条が出現し、体長 3.91 mm には定数に達するとされ、定数に達する時期は本研究の事例よりも早かった。

仔魚期の形態変化は体各部の比率の変化によって表されるとともに、成長の屈折点は仔稚魚の行動や生理的な変化に対応していることから（落合 1970; 隆島 1982; 塚本 1990）、これを明らかにすることによって仔稚魚の成長特性を知ることができる。孵化直後における肛門前長の対体長比は 52% 前後で肛門はほぼ中央付近にあるが、体長 4 mm 前後（ステージ C）で対体長比は 37% と減少し、肛門はより前方に位置する。その後、体長 8 mm 前後（ステージ G）で対体長比は 55% 前後まで増加し、肛門の位置も体の中央部付近まで移動する。このような肛門前長の変化は稚魚期（ステージ H）に向けて消化系器官が質的、量的に発達することを示していると考えられる。体高の対体長比は孵化直後に約 50% を示すが、体長 5 mm 前後（ステージ D）には 26% まで減少し、その後 30% 前後まで増加し、以後緩やかな減少を示すが、このことは体型が急速に細長くなることを示している。このような現象はイシダイ *Oplegnathus fasciatus*（福所 1979）やマダイ（北島 1978）でもみられる。

摂餌機能に関する上顎、下顎および口幅の成長屈折点は体長 6 mm（ステージ E）と 8 mm 前後（ステージ G）にみられたが、体長 6 mm 前後では配合飼料を積極的に摂餌する様子が観察される。眼は体長 3 mm と 8 mm 前後に成長屈折点が存在し、この間、対体長比は増大する。体長 3 mm 前後は開口期（ステージ C）に相当しシオミズツボムシを捕食するようになる。また、摂餌開始以降に頭部が発達することはイサキ（木村 1987）、アユ（隆島ら 1982）、

シマアジ（川辺 1992）で報告されている。オニオコゼでは、頭長、頭高および頭幅の成長屈折点は 3 mm（ステージ C）と 5 mm（ステージ E）および 7.5 mm 前後（ステージ G）にみられ、これらは顎や眼など捕食・摂餌にかかわる器官の成長屈折点にほぼ対応しており、対体長比はいずれも 32%まで増大した後、減少あるいは一定となる。ステージ C は開口期であることからオニオコゼにおいてもイサキ、アユ、シマアジと同様に摂餌開始以降、顎や眼の成長に対応して頭部が発達するといえる。

胸鰭長の対体長比は孵化直後から体長 7 mm 前後までの間に急速に増加するが、この間の増加率は体各部の中で最も大きく、このことが外観上、胸鰭の形態変化を際立たせている一つの要因となっている。その後、一旦急速に減少（ステージ G）するが、これは胸鰭の鰭条先端部の鰭膜が収縮することによるもので、前述のように、それまでの浮遊生活（ステージ A～F）から底棲生活（ステージ H 以降）に対応するために胸鰭の構造と機能を変化させると考えられる。背鰭長および臀鰭長は体長 5.5 mm 前後までは対体長比が減少した。これは仔魚膜が退化したことによるものでステージ E までに相当する。その後、体長 7.5 mm 前後まで対体長比は増大し、その後減少を示すが、これは体長 7.5 mm 前後で鰭条が定数に達したことによる（ステージ G）。尾柄高は体長 5 mm と 7.5 mm 前後に成長屈折点があり、この間、対体長比は増大することから 7.5 mm までに尾鰭の運動を支持する機能が整うとみられる（ステージ G）。これに対応して尾鰭長や尾鰭高も同様に 7.5 mm 前後に成長屈折点が見られるとともに鰭条が定数に達する（ステージ G）。以上の結果から、本種は体長 5.5 mm（ステージ E）で変態が開始し、体長 7.5 mm（ステージ G）で鰭条が定数に達した後、胸鰭分離度が 71%以上（ステージ H）となって変態が完了すると考えられる。

本研究で測定した 20 部位には成長屈折点が 1 点から数点認められ、いずれも体長 5.5 mm（ステージ E）と 7.5 mm 前後（ステージ G）に集中した。Sawada

et al. (2001) は、オニオコゼ仔稚魚の相対成長の屈折点を体長 5.5~6.1 mm および 8.1~8.2 mm に集中的に認めており、本研究においてもほぼ同様の結果が得られた。

体長 5.5 mm および 7.5 mm 前後は、体各部位における発達の変化が認められる体長であるとともに、7.5 mm 前後は浮遊生活から底棲生活へと生活様式が大きく変化する時期すなわち稚魚（ステージ H）への移行期に一致していた。また、体各部位の体長に対する優成長は 7.5 mm 前後で終了し、以降は劣成長あるいは等成長を示した。このことは、仔魚期（ステージ A~F）には体長に対する各部位の成長速度が速く、器官形成が盛んで形態的に大きな変化を示すが、稚魚期以降（ステージ H）はほぼ等成長となり形態的な変化は小さいことを示している。このことはイサキ（木村 1987）、アユ（隆島 1982）、シマアジ（川辺ら 1992）でも報告されている。さらに、成長屈折点の脊索末端部の上屈期（ステージ E）と着底期（ステージ G）における集中はオニオコゼと同様に浮遊生活から底棲生活へと生活様式が大きく変化するヒラメ（高橋 1985）、マコガレイ *Limanda yokohamae* (Fukuhara 1988)、イシガレイ（水田ら 1973）、メイタガレイ *Pleuronichthys cornutus*（北島ら 1988）、ホシガレイ *Verasper variegatus*（有瀧ら 2001）などの異体類と類似していた。

IV-2. 発育に伴う消化器官の発達

種苗生産における生産性を向上させるとともに健苗を育成するためには、仔稚魚の栄養要求や栄養状態を把握することが肝要である。しかし、このための基礎となる仔魚期の発育に伴う消化器官の発達過程に関する報告はみあたらない。そこで、本研究では孵化後 0 日から 28 日までの仔稚魚の消化器官の発達を発育段階と対応させて明らかにした。

IV-2-1. 材料および方法

親魚、採卵および仔魚の飼育については第IV章-1と同様である。仔魚の消化器官の発達を調べるために、孵化後 8 日までは毎日、10～28 日までは隔日毎（但し、12 日はサンプリングできず 13 日に行った）に 5～10 尾をサンプリングしブアン液で 24 時間固定した。その後、パラフィンで包埋し、通常の方法で 7 μ m の厚さの連続切片を作製し、マイヤーのヘマトキシリン-エオシン二重染色（HE 染色）を施して組織観察に供した。

IV-2-2. 結果

孵化後日数の経過にともなう消化器官の発達過程を発育段階と対応させて表した。

Stage A

（孵化後 6 時間 体長 2.30 mm）

卵黄が観察されるが、油球はない。腸管の開通が認められる。腸管の後方に接するように膀胱が認められる（Fig.IV-2-1-A）。

Stage B

(孵化後 1 日 体長 3.04 mm)

卵黄のうが観察される。肝臓および腸と直腸が認められる。咽頭部後方に腎臓が認められる (Fig.IV-2-1-B)。

Stage C

(孵化後 3 日 体長 3.89 mm)

腸管内に消化過程にあるワムシが観察されるとともに、腸管の回転が認められた (Fig.IV-2-1-C)。

Stage D

(孵化後 8 日 体長 4.39 mm)

食道に咽頭歯が認められた (Fig.IV-2-1-D)。

Stage E

(孵化後 10 日 体長 5.24 mm)

食道に粘液細胞が認められるとともに、胃に胃腺が分化し始めた (Fig. IV-2-1-E,F)。

(孵化後 13 日 体長 5.19 mm)

胃が幽門部より後方に伸張する。上顎には顎歯が分化する (Fig. IV-2-1-G,H)。

(孵化後 14 日 体長 5.66 mm)

腸上皮に杯状細胞が認められる (Fig.IV-2-1-I)。

Stage F

(孵化後 16 日 体長 6.01 mm)

胃と腸の境界付近に幽門垂が分化し始める (Fig.IV-2-1-J)。

Stage G

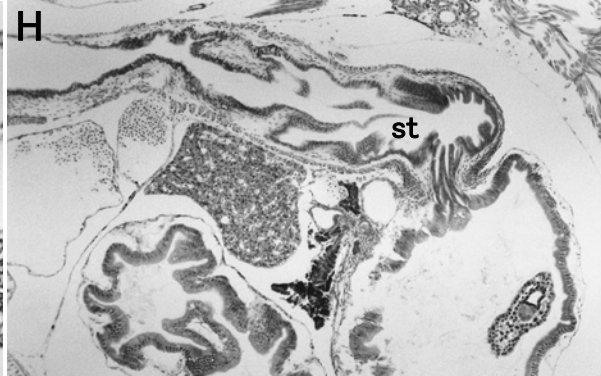
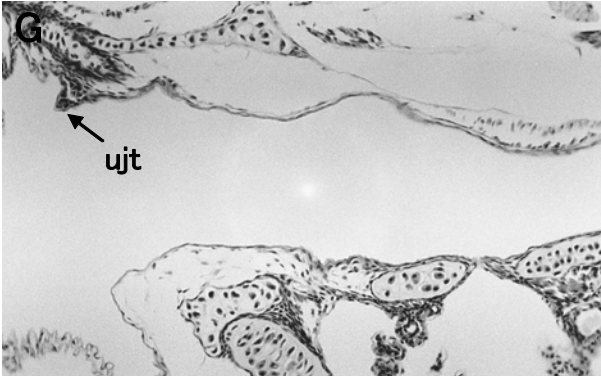
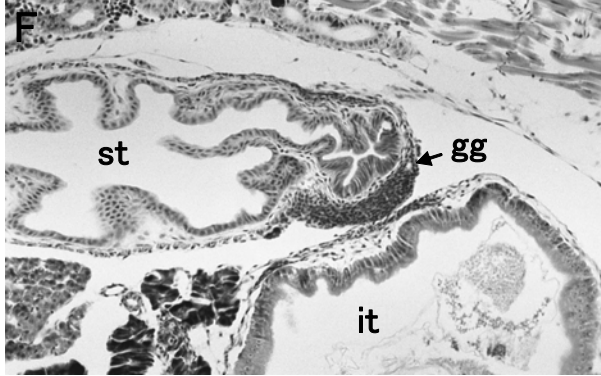
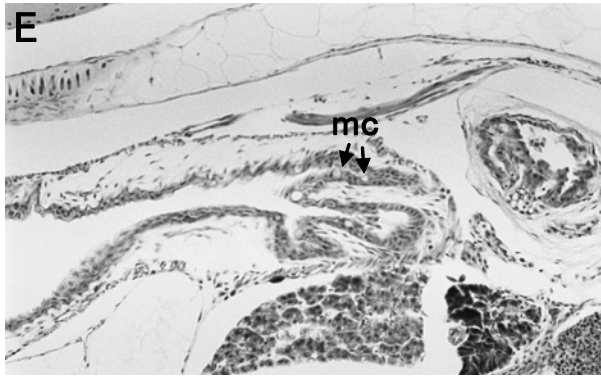
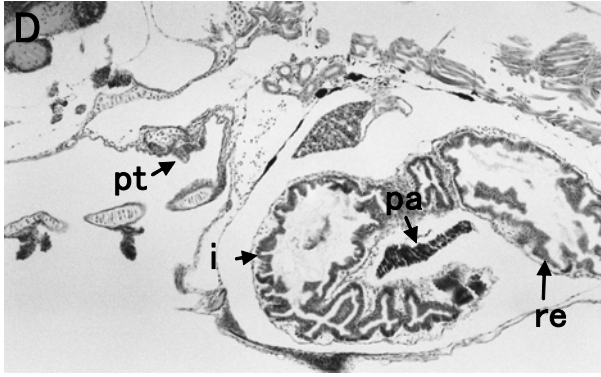
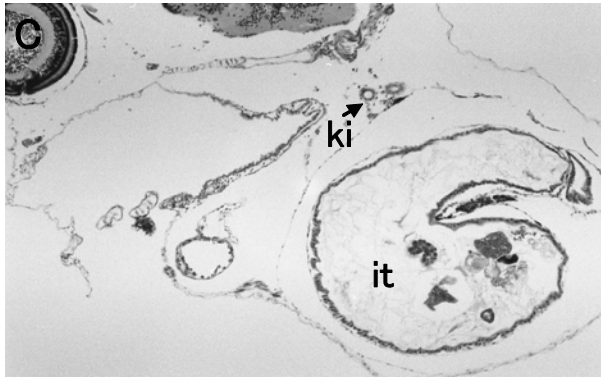
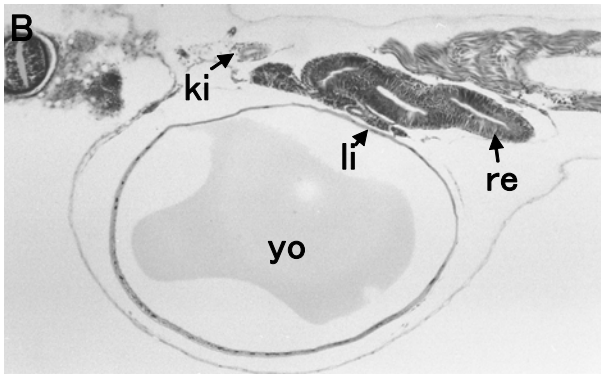
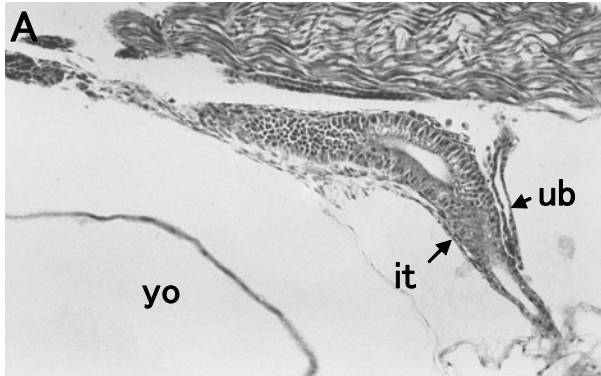
(孵化後 18 日 体長 7.2 mm)

胃腺は胃壁の全域に分布するとともに盲のうが拡大する (Fig.IV-2-1-K)。

Stage H

(孵化後 26 日 体長 9.05 mm)

消化器官の発達が一段と進む。解剖による観察では幽門垂の数が 4 本確認されるとともに腸の旋回が認められ形態的には成魚と同様の構造を示す (Fig. IV-2-1-L)。



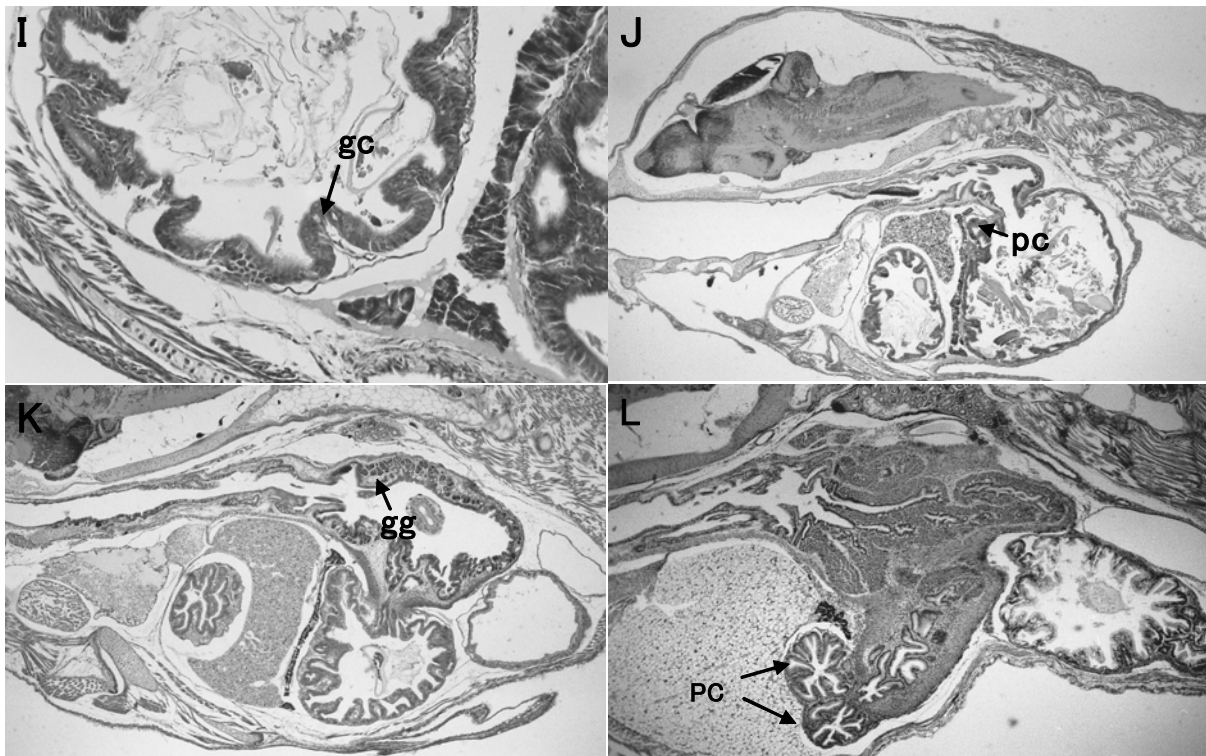


Fig.IV-2-1. Longitudinal sections of larvae in *Inimicus japonicus* aged 6 hours (A), 1 day (B), 3 days (C), 8 days (D), 10 days (E) and (F), 13 days (G) and (H), 14 days (I), 16 days (J), 18 days (K), 26 days (L) after hatching. yo, yolk sac; it, intestine; ub, urine bladder; pa, pancreas; li, liver; ki, kidney; re, rectum; pt, pharyngeal teeth; mc, mucous cells of esophagus; st, stomach; gg, gastric gland; ujt, upper jaw teeth; gc, goblet cells; pc, pyloric caeca.

IV-2-3. 考 察

一般的に、分離浮性卵から生まれる魚種では、孵化時には消化系器官は未分化であるが、仔魚後期にかけて分化が進み基本的な構造が確立される。後期には両顎歯、咽頭歯が分化し、稚魚への移行時期には胃腺の分化と機能化および幽門垂の分化によって、仔魚の消化系は成魚の段階に至るとされている（田中 1975）。

オニオコゼはヒラメ、マダイと同様に分離浮性卵を産出するが、本研究における消化系器官の組織学的観察によると、肝臓、腸などの消化系器官は卵黄囊仔魚期にあたるステージ A, B の期間に分化した。さらに、開口しシオミズツボワムシを摂餌するようになるステージ C には腸の回転が認められ、消化系器官の基本的な構造が確立した。また、脊索が上屈するステージ E には胃腺や顎歯の分化、胃盲嚢の伸張が認められた。ステージ F には幽門垂が分化するとともに、各鰭の鰭条が定数に達するステージ G にかけて、胃腺が数を増して胃の機能化が組織学的に確認されたことから、オニオコゼにおいても仔稚魚にみられる一般的な消化系器官の発達過程が認められた。相対成長における肛門前長の対体長比は孵化直後の 50%前後から開口期にあたるステージ C には 35%前後まで減少する。その後、ステージ G にかけて 55%前後まで増加するが、この時期は胃腺が分化し、胃が幽門部後方に伸張するとともに幽門垂が分化し仔魚から稚魚に向けて消化系器官が質量とともに発達する段階で、肛門前長の対体長比におけるこのような変化はステージ G にかけての消化器官の発達に対応している。

オニオコゼの胃腺は孵化後 10 日、ステージ E の脊索上屈開始から終了期に形成される。胃腺が形成される時期は魚種によって相違が認められ、マダイ、クロダイ *Acanthopagrus schlegeli*, カサゴ *Sebastiscus marmoratus*, アユでは仔魚後期の 2/3 の時期に（Tanaka 1973）、ブリ（榎田・落合 1973）、シロギス

(Oozeki et al. 1992) では仔魚後期の後半に、ヒラメなどの異体類では変態期に形成される (安永 1972; Boulhic and Gabaudan 1992; Senger et al. 1994)。これに対して、クロマグロでは脊索上屈中の孵化後 10 日に (Miyasita et al. 1998), サワラ *Scomberomorus niphonius* では摂餌開始後に胃腺が認められる (中村ら 1992)。オニオコゼにおける胃腺の分化はクロマグロと同様に、マダイ、ブリより早い時期に認められた。

また、浮遊生活が 30 日前後の沿岸性魚種においては、胃腺の分化から胃が機能化するまでと各鰭の鰭条の分化から定数化までが対応しており 30 日前後で経過するとされている (田中 1975)。本種の浮遊期間は 16~28 日前後であり、胃腺および鰭の分化はステージ D,E の孵化後 10 日前後、胃の機能化および鰭条の定数化はステージ G の孵化後 18 日前後で、いずれも 1 週間前後の日数を要するとともに、胃の機能化と鰭条の定数化がほぼ同時に進行した。

オニオコゼの種苗生産ではシオミズツボウムシ、アルテミア孵化幼生、配合飼料が成長に応じて給餌されているが、アルテミア孵化幼生については孵化後 6 日あるいは 10 日から、配合飼料については孵化後 10 日、15 日あるいは 25 日から給餌が開始されるなど (大阪水試 1997; 愛媛水試 1997; 島根水試 1997; 板垣 1999), 各餌の給餌開始時期は種苗生産を行っている事業所により異なる。胃腺が分化する前は、加熱によって変性した配合飼料の蛋白質は飲作用によって細胞内消化されないことが知られている (渡辺 1985)。従って、オニオコゼの場合、配合飼料を給餌する時期は、胃腺が分化する孵化後 10 日以降が適当と考えられるが、本研究の結果、胃腺が発達するのは孵化後 18 日であったことから、この頃、胃が機能化すると考えられ、配合飼料の給餌については孵化後 18 日前後から行うのが適切であると判断される。

IV-3. 発育に伴う塩分耐性の変化

仔稚魚の減耗に及ぼす水温や塩分などの環境要因の影響は種苗生産における生産性の向上や仔稚魚の生態を解明する上で欠かすことのできない基本的な知見であるが、これに関する報告は見当たらない。そこで、本研究では水温と塩分を組み合わせる実験区を設定し、孵化後 0 日～23 日までの仔稚魚の塩分耐性について検討した。

IV-3-1. 材料および方法

親魚養成と採卵および供試魚

本研究には、第 II 章-1 と同様の親魚から 2004 年 6 月 17 日に産出された受精卵を用い、種苗生産して得られた仔稚魚を実験に供した。親魚の飼育管理、採卵方法は第 II 章-1 と仔魚の飼育方法は第 IV 章-1 と同様である。

供試魚として、孵化後 0 日（ステージ A）および 8 日（ステージ D）、15 日（ステージ F）、23 日目（ステージ H）の仔稚魚を用いた。実験区の水温は 5 段階（15.0～35.0℃）、塩分は 8 段階（0～64.3）とし、これらを組み合わせる 40 の実験区を設定した。塩分を調整したろ過海水（水温 20.9～24.9℃）1 l が入ったビーカーに 20 尾を収容し、直ちに恒温水槽に移して、各々の塩分・水温区のビーカー毎に、24 時間以内の生残率を 3 時間、6 時間、24 時間毎に調べた。生死の判定は容器の底に横転して動かなくなった仔稚魚を検鏡し、心拍の有無を確認して行った（安永 1988）。いずれも無通気とし、海水の交換は行わなかった。各恒温水槽の水温変動は±0.1℃以内であった。塩分の調整は第 III 章-2 と同様である。

IV-3-2. 結果（Table IV-3-1, Fig.IV-3-1）

塩分 0 と 64.3 および水温 35.0°C では、いずれの実験区においても 3～24 時間以内に 100% が斃死した。

孵化後 0 日（ステージ A）の仔魚の全長は 2.90 ± 0.08 mm（平均±標準偏差）で、仔魚は横向きあるいは卵黄を上にして浮遊しており、遊泳力はほとんどないが、ときおり体全体を左右に振るわせて突進することがある。24 時間後の生残率が 80% 以上あった実験区は、水温 15.0°C の塩分 8.2～32.4、水温 20.0°C の塩分 8.2～41.4、水温 25.0°C の塩分 8.2～32.4 であった。水温 30.0°C における 24 時間後の生残率は、塩分 8.2～32.4 で 21.1～73.9% を示したが、塩分 41.4 と 48.3 では 100% が斃死した。塩分に対する耐性は低塩分側で強いが、水温 30.0°C の高温では弱まる傾向が認められた。

孵化後 8 日目（ステージ D）の仔魚の全長は 5.28 ± 0.26 mm で、胸鰭はよく発達し、面積が増大するとともに遊泳力が増し、アルテミア孵化幼生を捕食する。24 時間後の生残率が 80% 以上あった実験区は、水温 15.0°C の塩分 8.2～32.4、水温 20.0°C の塩分 8.2～41.4、水温 25.0°C の塩分 8.2～32.4、水温 30.0°C の塩分 8.2～32.4 で、塩分に対する耐性は低塩分側で強いとともに、水温 30.0°C においても低塩分での耐性が強くなった。

孵化後 15 日目（ステージ F）の仔魚の全長は 7.81 ± 0.49 mm で、水槽の中層や低層に群れを形成したり、水槽の壁面に対して定位したりする様子が観察された。着底する仔魚が出現する。24 時間後の生残率が 80% 以上あった実験区は、水温 15.0°C の塩分 8.2～41.4、水温 20.0°C の塩分 8.2～41.4、水温 25.0°C の塩分 8.2～41.4、水温 30.0°C の塩分 8.2～32.4 で、孵化後 8 日目と同様の傾向を示した。水温 15.0～25.0°C については、塩分 41.4 で 24 時間後の生残率が 86.4～100% を示し、高塩分での耐性が強まる傾向が認められた。

孵化後 23 日目（ステージ H）の稚魚の全長は 9.45 ± 0.50 mm で、体色は褐色になり底棲移行する個体が観察された。24 時間後の生残率が 80% 以上あった実験区は、水温 15.0°C の塩分 8.2～41.4、水温 20.0°C の塩分 8.2～41.4、水温

Table IV-3-1. Survival rate (%) of 0, 8, 15 and 23-day larvae and juvenile after 3, 6 and 24 hours under 40 different temperature-salinity combinations in *Inimicus japonicus*

| T (°C) | D | Salinity (Sea Water ‰) | | | | | | | | | | | | 0 (0) | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|------------------------|--------|--------|------------|--------|--------|------------|--------|--------|------------|--------|--------|---------|-----------|--------|---------|-----------|--------|---------|----------|--------|---------|-------|-------|-----|-----|-----|
| | | 64.3 (200) | | | 48.3 (150) | | | 41.4 (125) | | | 32.4 (100) | | | | 22.4 (75) | | | 15.2 (50) | | | 8.2 (25) | | | | | | | |
| | | Time | Time | Time | Time | Time | Time | Time | Time | Time | Time | Time | Time | | Time | Time | Time | Time | Time | Time | Time | Time | Time | Time | | | | |
| 3h (%) | 6h (%) | 24h (%) | 3h (%) | 6h (%) | 24h (%) | 3h (%) | 6h (%) | 24h (%) | 3h (%) | 6h (%) | 24h (%) | 3h (%) | 6h (%) | 24h (%) | 3h (%) | 6h (%) | 24h (%) | 3h (%) | 6h (%) | 24h (%) | 3h (%) | 6h (%) | 24h (%) | | | | | |
| 15.0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 90.5 | 90.5 | 33.3 | 100.0 | 100.0 | 71.4 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 91.3 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 65.2 | 0.0 | 0.0 | 87.5 | 83.3 | 12.5 | 96.8 | 96.8 | 90.3 | 100.0 | 97.1 | 91.2 | 100.0 | 100.0 | 92.9 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 15 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 75.0 | 54.2 | 8.3 | 100.0 | 100.0 | 90.5 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 23 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 86.4 | 72.7 | 9.1 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 20.0 | 0 | 14.3 | 14.3 | 0.0 | 95.5 | 95.5 | 77.3 | 100.0 | 100.0 | 94.7 | 100.0 | 100.0 | 92.0 | 100.0 | 100.0 | 96.4 | 100.0 | 100.0 | 95.5 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 64.0 | 48.0 | 24.0 | 100.0 | 100.0 | 92.6 | 100.0 | 100.0 | 93.5 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 96.3 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 15 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 77.3 | 68.2 | 27.3 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 23 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 86.4 | 86.4 | 45.5 | 100.0 | 95.5 | 95.5 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| 25.0 | 0 | 4.8 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 100.0 | 22.7 | 100.0 | 100.0 | 61.9 | 100.0 | 100.0 | 96.2 | 100.0 | 100.0 | 87.0 | 100.0 | 100.0 | 90.5 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 56.7 | 43.3 | 6.7 | 97.0 | 84.8 | 66.7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 96.7 | 100.0 | 100.0 | 90.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 97.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 15 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 77.3 | 54.5 | 31.8 | 95.5 | 90.9 | 86.4 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 23 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 95.5 | 72.7 | 54.5 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| 30.0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 96.7 | 33.3 | 0.0 | 100.0 | 86.4 | 0.0 | 100.0 | 100.0 | 54.5 | 100.0 | 94.4 | 61.1 | 100.0 | 95.7 | 73.9 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 21.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 45.8 | 4.2 | 0.0 | 89.7 | 86.2 | 31.0 | 100.0 | 100.0 | 96.6 | 100.0 | 100.0 | 93.3 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 86.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 15 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.4 | 0.0 | 0.0 | 82.6 | 60.9 | 43.5 | 100.0 | 95.2 | 95.2 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 96.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 23 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 95.2 | 95.2 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 95.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| 35.0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | 21.1 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 0.0 | 0.0 | 13.6 | 0.0 | 0.0 | 47.1 | 5.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.6 | 0.0 | 0.0 | 8.6 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 15 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 23 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 13.0 | 0.0 | 0.0 | 39.1 | 0.0 | 0.0 | 4.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |

T: temperature, D: days after hatch. Salinity 64.3, 48.3, calculated value.

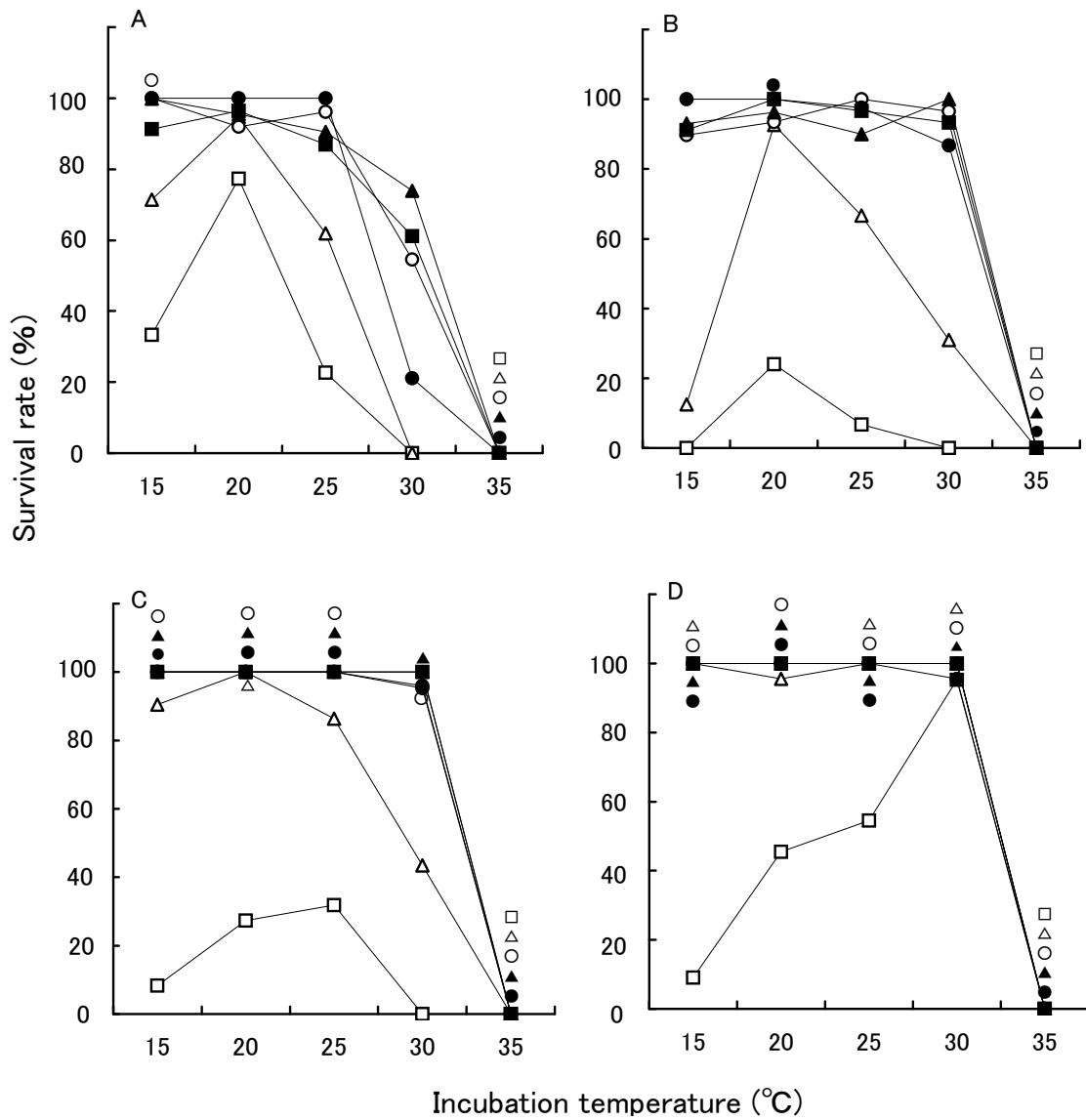


Fig.IV-3-1. Relationship between incubation temperature and 24-hour survival rate of larvae and juvenile in *Inimicus japonicus* reared under different salinity. A: 0-day larvae, B: 8-day larvae, C: 15- day larvae, D: 23-day juvenile. Salinity, □: 48.3, △: 41.4, ○: 32.4, ■: 22.4, ▲: 15.2, ●: 8.2.

25.0°Cの塩分 8.2~41.4, 水温 30.0°Cの塩分 8.2~48.3 であった。15 日以前の仔魚と比較すると高水温・高塩分側での耐性が強まった。

IV-3-3. 考 察

オニオコゼの仔稚魚は、塩分 8.2~48.3 の範囲内で 24 時間の生残が可能であり、生残率は高塩分側より低塩分側で高い値を示したことから、広塩性をもつとともに、低塩分への耐性が高いことが明らかになった。高い仔魚の低塩分耐性は、ヒラメの仔魚では低塩分海水中で体水分の恒常性を保つことからも確認されている(安永 1988)。また、水温 25.0°C以下の塩分 8.2~32.4 の範囲では、孵化直後(ステージ A)、孵化後 15 日の仔魚(ステージ F)および孵化後 23 日の稚魚(ステージ H)で塩分耐性に大きな差は認められなかったが、水温 30.0°Cでは、孵化直後の仔魚は高温の影響を受けて、孵化後 8 日以降の仔稚魚と比較すると塩分耐性が弱まった。この傾向は高塩分側で顕著であった。このことから、種苗生産を行う場合、孵化直後の仔魚については、水温 25.0°Cを超える高水温に対し注意が必要であると考えられる。仔稚魚が広範な塩分耐性をもつことは、タイセイヨウニシン(塩分 1.4~60)、ツノガレイ属の *Pleuronectes platessa* (塩分 5~65) (Holliday and Blaxter 1960)、ヒラメ(塩分 0.74~35) (安永 1988)、および高塩分側の調査は行われていないが、キジハタ(塩分 30~9) (萱野・水戸 1993)でも知られている。鰓が未発達で腎臓等の器官がまだ十分に機能していない仔魚では、体表や卵黄嚢上皮に分布する塩類細胞によってイオン調節が行われているが、水を能動的に輸送する仕組みについてはまだ不明な点も多く(金子 2002)、今後の検討課題である。

沿岸性魚類の多くは、仔魚から稚魚への移行期に浅海域へ来遊するとされている(田中 1997)。特に、初期生態の大部分が明らかになっているヒラメ

では、沖合から接岸移動によって沿岸域に到達した仔魚が、比較的塩分の低い海域に生育場を形成することが判明している（乃一 1997）。オニオコゼの仔魚もヒラメ仔魚と同様に広塩性をもつことから、塩分の低い浅海域でも生育が可能であると考えられる。仔魚は浮遊生活から底棲生活へ移行するとともに（脇坂 1981; 岩本 1983; 河野・曾田 1998; 板垣 1999）、全長 40 mm 以上で潜砂習性が備わることが知られているが（長浜・丹下 1987）、初期生態をはじめとしてオニオコゼの生活史については未だ不明な点が多い。今後、天然海域における仔稚魚の生態を解明して放流効果の増大に資する必要がある。

総合考察

新潟県沿岸海域に生息するオニオコゼは3歳で雌 171 mm(全長), 雄 161 mm, 5歳で雌 224 mm, 雄 208 mm, 7歳で雌 258 mm, 雄 236 mm, 9歳で雌 280 mm, 雄 254 mm に成長し, 明らかに雌のほうが雄より成長が良い。このような雌雄にみられる成長差は他の海域においても認められることから, オニオコゼの生物学的特性であると考えられる。新潟県沿岸海域における全長の成長係数は雄が 0.2406, 雌が 0.2094 であるのに対し, 愛媛県燧灘海域における成長係数は雄が 0.3674, 雌が 0.2879 で (愛媛水試 1990), 新潟県沿岸海域よりも高い値を示したことから, 北方域に生息するオニオコゼは南方域よりも成長速度が遅いと考えられるが, 成長速度の差が何に起因しているのかについては今後の検討課題である。

天然魚および養成魚の卵巣の組織観察および生殖腺体指数 (GSI) の周年変化から, 新潟県沿岸海域における産卵期は6月から8月で産卵盛期は7月であることが明らかになった。飼育結果から兵庫県明石地先水域では6月下旬から8月上旬 (長浜ら 1985), 愛媛県地先水域では7月から8月 (森実ら 1983), 熊本県地先水域では6月上旬から7月中旬 (伊勢田・古庄 1988) が産卵期であると推定されており, 産卵期の海域による差はさほどでないと考えられる。また, 天然魚, 養成魚ともに明らかな生殖年周期が認められたが, 天然魚では8月に産卵を終了し, 翌年3月までの休止期を経て, 4月から卵黄形成が始まるのに対し, 養成魚では3月と11月に卵黄形成が観察された。1月以降は水温が低下したため産卵は認められなかったが, 養成魚は明らかに天然魚とは異なる生殖周期を示した。卵黄が形成される3月から6月の飼育水の月平均水温は 9.4~19.6°C, 11月から12月は 18.7~13.8°C であり, 11月から12月の平均水温は3月から6月の水温範囲内にあることから, 卵黄形成に適した水温にまで低下することが卵黄形成を促す1つの要因になってい

ると推測される。また、この時期の日長が短日に向かっていることと考え合わせると、オニオコゼの生殖周期は水温によって制御されている可能性が高い。しかし、天然水温がほぼ飼育水の水温と同様の推移を示すにもかかわらず、天然魚では11月に卵黄形成が認められないことから、水温低下だけで両者の相違を論ずることはできず、この理由については今後の検討課題である。生殖年周期を示す魚種は水温や日長などの環境を調節することにより生殖を人為的に制御することが容易である。オニオコゼについても明らかな生殖年周期をもち、養成魚では年2回、3月と11月に卵黄形成が開始されたことから、水温を調節することによって周年採卵し、種苗生産量を増大することが可能であると考えられる。また、産卵期における全長別の成熟個体の出現割合、年齢別の成熟度の出現割合および年齢別のGSIの周年変化から、本供試魚における天然魚の生物学的最小形は全長190 mm (127.0 g) にみられ3歳で成熟するとみなされた。本県ではオニオコゼの漁獲物について体長制限を設けていないが、資源管理上、成魚になる全長190 mmより小型の個体については漁獲全長制限等の規制を設けることが望まれる。

卵母細胞の発達様式は、6月から8月の成熟期の卵巣内に周辺仁期の未熟な卵母細胞群と発達した卵母細胞群が認められることから卵群同期発達型（高野 1996）に属すると考えられる。卵群同期発達型の魚種にはクロガレイ（山本 1954）やニジマス（山本ら 1965）、マダラ（Hattori et al. 1992）のように産卵期間中に1回の産卵がみられるものと、スケトウダラ（尹 1981）、スジアイナメ（Munehara et al. 1987）、ミミズハゼ（北野ら 2003）、アイナメ（関河ら 2003）のように複数回の産卵を行うものがある。本研究では1尾の雌で計14回の産卵が断続的に観察されたことから、多回産卵魚であることが明らかになったが、成熟期の卵巣には第1～3次卵黄球期の発達した卵母細胞群と同時に最終成熟期の卵母細胞群が認められたことから、成熟に近づいた卵群が複数回にわたって繰り返し排卵・産卵されていると考え

られ、組織学的にも多回産卵魚であることが確認された。卵母細胞の発達様式は卵群補充と繁殖様式の相違から同期発達型、卵群同期発達型、非同期発達型の3タイプに分類されるが(高野 1996)、卵群同期発達型は一度に成熟して排卵するマダラ等のタイプと発達した卵母細胞群が最終成熟および排卵へと向かっていく過程に時間差があつて複数回にわたり排卵するオニオコゼ等のタイプとに分類される可能性がある。今後、このような最終成熟にみられる時間差がどのような内分泌調節の仕組みによって生ずるのかを明らかにする必要がある。

産卵期間中における1個体あたりの産卵量は277.68 g(21.1万粒)で、その卵質は正常孵化率や無給餌生残指数(SAI)の調査から、産卵期前半に最も良いと推察された。従つて、種苗生産に供する受精卵は産卵盛期の前半である7月上旬中に確保することが望ましいと考えられる。また、産卵期が進行し、水温上昇にともなつて平均卵径が小さくなる傾向が認められるとともに、卵径と正常孵化率および卵径と無給餌生残指数(SAI)の間には正の相関関係が認められたことから、卵径が卵質の評価指標として有効であると考えられた。また、シロギスでは良質卵の選別法として中性浮力塩分の利用が有効であるとされていることから(近藤ら 2001)、今後、オニオコゼについてもその有効性を検討する必要がある。

孵化に及ぼす水温の調査から、孵化に適する水温範囲は水温20~26°Cであると考えられた。培養水温と孵化開始までの所要時間との関係では、水温24°C付近に変曲点があり、この温度を超えても孵化までの到達時間は、一定の比率で短縮されないことが示された。また、温度恒数 μ 、 α 及びQ10値は、水温24°C以下の低水温域が高水温域に比べて大きかったことから、水温24°Cがオニオコゼにおける卵発生の境界温度であり、オニオコゼの卵を水温24°C以下で培養した場合、卵発生速度は水温24°C以上の培養に比べて水温の影響を受けやすいと考えられる。産卵盛期は7月であるが、この海域における2003

年 7 月上旬から 8 月上旬の表層水温は 19.85～24.87℃となっており（新潟県水産海洋研究所 2003）、オニオコゼにおける孵化適水温（20～26℃）は産卵盛期の海域の水温とほぼ一致していた。

また、孵化に及ぼす塩分の調査から、孵化開始時間はいずれの塩分においても、培養水温が高くなるに従って短くなるものの、水温と比較すると塩分が発生速度に及ぼす影響は小さいことが判明した。さらに、塩分 8.2～48.3 の範囲で孵化が認められるとともに、水温 22.5～27.5℃の範囲では、塩分 48.3 で正常に孵化したことから、孵化可能な塩分範囲が広いことや、高塩分側での限界が高いことが明らかになった。一方、孵化率および正常孵化率が最も高かったのは水温 25.0℃、塩分 32.4 の組み合わせで、それぞれ平均値で 91.5%、81.5%を示し、奇形率も 11.0%と最も低かった。このことから、塩分 32.4 が孵化最適塩分であるとともに、孵化に最適な水温と塩分の組み合わせは水温 25.0℃、塩分 32.4 であると考えられる。

仔稚魚の発育については Kendall et al. (1983) の分類を基本に、胸鰭の形態的特徴や胸鰭第 12 軟条の分離度に基づいて、ステージ A からステージ H までの 8 段階に分類した。本研究で測定した 20 部位には成長屈折点が 1 点から数点認められ、いずれも体長 5.5 mm（ステージ E）と 7.5 mm 前後（ステージ G）に集中した。脊索末端が上屈する体長 5.5 mm およびすべての鰭の鰭条が定数に達する 7.5 mm 前後は、体各部位における発達および行動の変化が認められる体長であるとともに、体長 7.5 mm 前後は浮遊生活から底棲生活へと生活様式が大きく変化する時期と一致していた。また、着底は胸鰭の鰭条先端の鰭膜の収縮および第 12 軟条の分離を伴って進行し、ほぼ収縮と分離が始まる時期におきると考えられる。胸鰭第 12 軟条の分離状態についてその分離度を算出して検討したところ、第 12 軟条の分離度が 71%以上になると着底が完了するとみなされた。従って、胸鰭の収縮と第 12 軟条の分離度 71%以上を着底の開始から完了を表す形態的特徴としてとらえることができると考

えられた。このことから、オニオコゼは体長 5.5 mm (ステージ E) 前後で変態が始まり、体長 7.5 mm (ステージ G) で鰭条が定数に達した後、胸鰭第 12 軟条の分離度が 71%以上 (ステージ H) となって変態が完了すると考えられる。

消化器官の組織学的観察によると、ステージ C までには肝臓、腸などの消化系器官の基本的な構造が確立した。また、脊索末端が上屈するステージ E には胃腺や顎歯の分化、胃盲嚢の伸張が認められ、ステージ F には幽門垂が分化するとともに、ステージ G にかけて胃腺が数を増して胃の機能化が組織学的に確認された。胃の機能化は浮遊生活から底棲生活への移行期、すなわち仔魚から稚魚への移行期に認められた。胃腺が分化する前は、加熱によって変性した配合飼料の蛋白質は飲作用によって細胞内消化されないことが知られていることから (渡辺 1985)、配合飼料の給餌については胃が機能化するステージ G の段階で行うのが適切であると判断された。オニオコゼの種苗生産ではシオミズツボウムシ、アルテミア孵化幼生、配合飼料が成長に応じて給餌されているが、各餌の給餌開始時期は種苗生産を行っている事業所により異なる。今後、発育段階に合わせた適正な給餌開始期を確立するとともに、仔魚の成長にともなう栄養要求や斃死時の栄養状態等についても検討する必要があると考えられる。

仔稚魚は、塩分 8.2~48.3 の範囲内で 24 時間の生残が可能であり、生残率は高塩分側より低塩分側で高い値を示したことから、広塩性をもつとともに、低塩分への耐性が高いことが明らかになった。水温 30.0℃では、孵化直後の仔魚は高温の影響を受けて、孵化後 8 日以降の仔稚魚と比較すると塩分耐性が弱まるとともに、この傾向は高塩分側で顕著であった。このことから、種苗生産を行う場合、孵化直後の仔魚については、水温 25.0℃を超える高水温に対し注意が必要であると考えられる。初期生態をはじめとして、オニオコゼの生活史については未だ不明な点が多いが、仔稚魚は広塩性をもつことか

ら、塩分の低い浅海域でも生育が可能であると考えられる。今後、天然海域における仔稚魚の生態を明らかにし、有効な放流技術の確立に資する必要がある。

種苗生産時にみられる大量死は開口時にあたるステージ C と着底前後にあたるステージ F,G に発生する。ステージ C はシオミズツボウムシの摂餌が始まり、内部栄養から外部栄養へと切り替わる時期である。また、ステージ F,G は浮遊生活から棲生生活へと生活様式が大きく変化する時期であるとともに体の構造や機能が仔魚から稚魚へと大きく転換する時期である。これらの時期にみられる大量死の原因として、疾病や飼育環境の悪化の他に、体の構造や機能の転換がうまくいかずに死亡する場合も考えられ、大量死が発生した場合は仔稚魚の生物学的特性に関する知見に基づいた個体レベルでの検証が必要であると考えられる。今後、本研究で得られた生物学的特性に関する基礎的知見を基に、種苗生産技術を発達させることが効率的で安全な種苗生産にとって不可欠であると考えられる。

要 約

オニオコゼ *Inimicus japonicus* (Cuvier)は南日本から南シナ海北部に広く分布する底棲魚で、内湾から水深 200 m 以浅の砂泥底に生息しており、新潟県では主として小型底引き網や刺し網で漁獲されている。沿岸漁業上重要な漁獲対象種のひとつであるが、近年、漁獲量は減少傾向にあり、種苗生産・放流による資源の増大が期待されている。しかし、栽培に関する情報と比較すると技術開発の基礎となる成長や成熟などに関する生物学的特性についての情報は極めて少なく、今後、栽培技術の向上を図るためには、その基礎となるオニオコゼの成長や成熟に関する知見をより多く蓄積することが肝要である。そこで、本研究では生物学的特性に関する基礎的な知見を得ることを目的に、成長、成熟、産卵、卵発生、孵化、仔稚魚の発育にともなう外部形態の変化や消化器官の発達、塩分耐性について検討した。

I 新潟県上越沿岸海域で漁獲された 292 個体の後翼状骨を材料とし、年齢と成長を調査した。後翼状骨の輪紋は年 1 回形成される年輪であることから、輪紋を用いて年齢査定し、各輪紋形成時における計算全長を算出した。後翼状骨径 (R) と全長 (TL) の関係は♂ $R = 0.0382TL - 0.1341$, ♀ $R = 0.0381TL + 0.0709$ で表され、これをもとに von Bertalanffy の成長式を雌雄別に求めたところ、♂ $L_t = 283.315(1 - e^{-0.2406(t + 0.5104)})$, ♀ $L_t = 324.400(1 - e^{-0.2094(t + 0.6058)})$ となり雌の方が雄よりも成長の良いことが明らかになった (L_t : 年齢における全長 (mm), t : 年齢)。

II 養成魚の雌における個体の産卵と産卵期の卵質ならびに天然魚と養成魚の生殖年周期および卵母細胞の発達様式について調査した。

1. 雌 1 尾と雄 3 尾を 3 月下旬から 9 月下旬まで、屋内に設置した水槽 (1t)

で飼育した。雌 1 尾の産卵は 6 月 8 日から 8 月 26 日まで、合計 14 回、断続的に観察された。総産卵量は 277.68 g (約 21.1 万粒) で、1 日当たりの最大産卵量は 48.57 g (約 3.6 万粒) であった。産出卵の平均卵径は 1.14~1.32 mm で、産卵期が進行するにしたがい小さくなる傾向が認められるとともに、平均卵径と水温との間には、強い負の相関関係が認められた ($r^2 = 0.912$, $P < 0.01$)。産卵期間中の総孵化率は 28.47~97.11% の範囲であった。正常孵化率は 1.81~87.50%、無給餌生残指数 (SAI) は 0.58~23.81 の範囲にあつて、ともに産卵期が進行するにしたがつて低くなる傾向を示した。反対に、奇形率は増加した。卵径と正常孵化率 ($r = 0.726$, $P < 0.05$) および卵径と SAI ($r = 0.741$, $P < 0.05$) との間には正の相関関係が認められたが、卵径と総孵化率との間には相関関係は認められなかった。これらの結果から本種は多回産卵魚で、産出卵の卵質は産卵期前半に最も良いと考えられた。

2. 新潟県上越地方の沿岸海域で 2002 年 12 月から 2004 年 11 月までの期間に漁獲されたオニオコゼの雌 175 個体と 2003 年 6 月から 2004 年 5 月まで自然条件の下、屋内水槽 (15t) で飼育された養成魚 59 個体について、卵巣の成熟過程を組織学的に調査した。産卵期間中、卵巣内には卵黄球期の卵母細胞、最終成熟期の卵母細胞および排卵後濾胞と同時に周辺仁期の未熟な卵母細胞が観察された。このことはオニオコゼが多回産卵魚であるとともに卵母細胞の発達様式が卵群同期発達型に属することを示唆している。成熟度および GSI の周年変化から天然魚、養成魚ともに産卵期は 6 月から 8 月で、産卵盛期は 7 月であると推察された。しかし、天然魚では 4 月から卵黄形成が始まるのに対し、養成魚では 3 月および 11 月から卵黄形成が認められ天然魚とは異なる生殖周期を示した。また、本研究における生物学的最小形は全長 190 mm (127.0 g) であり、満 3 歳で成熟すると推定された。

III 養成親魚の自然産卵によって得られた受精卵を用いて、卵発生と孵化に

及ぼす水温と塩分の影響について調査した。

1. 養成親魚の自然産出卵を用いて、卵の発生速度と孵化所要時間および孵化に及ぼす水温の影響を調べた。水温 18.0～24.0℃では、各発生段階への到達時間は培養水温が高いほど速かった。水温 18.0～30.0℃における孵化開始までの所要時間の対数と培養水温との関係では水温 24.0℃付近に変曲点をもつ 2 本の回帰直線で表された。水温 18.0～24.0℃の温度範囲における卵の発生速度の温度恒数 μ 、 α および Q_{10} の値は、水温 24.0～30.0℃の温度範囲と比べて大きかった。孵化は水温 16.0～32.0℃の範囲で認められた。水温 12.0～32.0℃の培養では、14.0℃以下では孵化しなかった。正常孵化は水温 16.0～28.0℃の範囲で認められた。水温 18.0～28.0℃の範囲では 50%以上が正常に孵化した。また、水温 20.0～26.0℃の範囲では 70%以上が正常に孵化した。正常孵化率と培養水温の関係は水温 24℃を頂点にもつ曲線で表され、奇形率の割合は水温 24℃で最も低かった。これらの結果から水温 24℃が卵発生の境界温度であるとともに孵化適水温は 20.0～26.0℃と推察された。

2. 孵化に及ぼす塩分の影響を明らかにするために養成親魚の自然産出卵を水温 (15.0～35.0℃) と塩分 (0～64.3) の 56通りの組み合わせで培養し、総孵化率、正常孵化率、奇形率について調査した。孵化は水温 15.0～28.0℃の塩分 8.2～48.3、正常孵化は塩分 15.2～48.3で認められた。水温 20.0～25.0℃の塩分 32.4と水温 22.5の塩分 41.4では 50%以上の正常孵化率を示した。孵化率および正常孵化率は水温 25.0℃と塩分 32.4の組み合わせで最も高く、それぞれ平均値で 91.5%、81.5%を示し、奇形率も 11.0%と最も低かったことから、オニオコゼの孵化最適塩分は水温 25.0℃における塩分 32.4と推察された。

IV 仔稚魚を飼育して、発育に伴う外部形態や消化器管の発達および塩分耐性について調査した。

1. 飼育水温 23.7～28.9℃の下で、孵化後 37 日には平均全長は 15.13 (±

2.23) mm, 平均体重は 48.71 mg に達した。Kendall et al. (1983) の分類を基本に, 胸鰭の形態変化に基づいて, 発育段階をステージ A~H までの 8 段階に区分した。このうち着底期 (ステージ G) はほぼ胸鰭の鰭条先端の鰭膜の収縮および第 12 軟条の分離が始まる時期に起き, 分離度が 71%以上となって完了した。また, 胸鰭第 11,12 軟条は水槽底での体の定位や歩行の機能を果たすことから, 着底期 (ステージ G) に浮遊生活から底棲生活に適応するために胸鰭の構造と機能を変化させたと考えられた。すべての鰭の鰭条数はステージ G (平均体長 7.84 ± 0.53 mm) で定数に達した。

2. 仔稚魚の体各部位 (20 部位) の対体長比を求めた。成長屈折点は体長 5.5 mm (ステージ E) と 7.5 mm (ステージ G) 前後に集中して認められた。ステージ G における成長屈折点は稚魚への移行および浮遊生活から底棲生活への移行に対応していた。体各部位の体長に対する優成長は 7.5 mm 前後で終了し, 以降は劣成長あるいは等成長を示した。このことは体各部位の体長に対する成長が稚魚期以降, ほぼ一定になることを示唆している。

3. 仔稚魚にみられる一般的な消化器官の発達過程が認められたが, 胃腺の分化は孵化後 10 日 (ステージ E) に認められ, マダイ, クロダイ, カサゴ, アユ, ブリ, シロギス, ヒラメよりも早く, クロマグロと同時期であった。また, 胃腺の数は孵化後 10 日以降, 徐々に増加した。胃腺の分布状況から胃の機能化は孵化後 18 日 (ステージ G) 前後とみなされた。幽門垂の分化は孵化後 16 日に認められた。胃腺および幽門垂の発達は稚魚への移行および浮遊生活から底棲生活への移行期に対応していた。孵化後 26 日 (ステージ H) には解剖によって幽門垂が 4 本確認されるとともに, 腸の旋回が認められ形態的に成魚と同様の構造を示した。

4. 水温 ($15.0 \sim 35.0^{\circ}\text{C}$) と塩分 ($0 \sim 64.3$) の 40通りの組み合わせで, 孵化後 0 日 (ステージ A), 8 日 (ステージ D), 15 日 (ステージ F), 23 日 (ステージ H) の仔稚魚の塩分耐性を調査した。孵化後 0 日 (ステージ A), 8 日 (

ステージD), 15日 (ステージF) , 23日 (ステージH) の仔稚魚は塩分8.2～48.3の範囲で24時間の生残が可能であり, 生残率は高塩分側よりも塩分8.2～32.4の低塩分側で高かった。水温30.0℃, 塩分8.2～48.3における24時間後の生残率は, 孵化後8日 (ステージD) ,15日 (ステージF) ,23日 (ステージH) の仔稚魚では86.7～100%であるのに対し, 孵化直後の仔魚 (ステージA) は高水温の影響を受けて0～73.9%と低い値を示した。このことから, 孵化直後の仔魚 (ステージA) については, 25.0℃以上の水温でダメージを受ける可能性がある と推察された。

Studies on Growth and Maturity of the Devil Stinger, *Inimicus japonicus*

Kenichi Watanabe

Summary

The devil stinger, *Inimicus japonicus* (Cuvier), is widespread throughout South China Sea region and the coastal water of South Japan, and inhabits sand and mud bottoms to a depth of 200 meters. It is taken commercially by small bottom trawls and trammel nets in Niigata Prefecture, and is one of the important species in the inshore fishery. In recent years, the fishing quantity is inclined to decrease, and therefore much is expected of the increase of natural resource about which mass seedling production and release bring.

However there is a little information with regard to its biological characteristics about growth and maturity, which are essential for the development of technology for the propagation, compared with its aquaculture. In future, it is necessary to accumulate the fundamental knowledge with regard to growth and maturity for the development of technologies of the aquaculture and sea farming of the devil stinger.

This study was made to find fundamental knowledge with regard to growth, sexual maturity of female, spawning, embryonic development, and development of external morphology and digestive organ, tolerance of salinity in larva and juvenile, which were indispensable for the propagation of the devil stinger.

I . The age and growth of the devil stinger, collected from the coastal waters of Joetsu City, Niigata Prefecture, were examined by way of the metapterygoid of 292 individuals. Observation of the outer margin of the metapterygoid showed that

hyaline and opaque zones composed the ring mark which was formed once a year. The relationship between the metapterygoid radius (R) and the total length (TL) of the fish was estimated by $\sigma^{\text{♂}} R = 0.0382TL - 0.1341$, $\text{♀} R = 0.0381TL + 0.0709$. The von Bertalanffy growth equations, estimated from metapterygoid ring radii, were as follows : $\sigma^{\text{♂}} Lt = 283.315(1 - e^{-0.2406(t + 0.5104)})$, $\text{♀} Lt = 324.400(1 - e^{-0.2094(t + 0.6058)})$, Lt : total length (mm) at age (t), t : age. It was remarkable that the growth of females was rather superior to that of males.

II . Spawning and egg quality of individually reared female, and annual reproduction cycle and the development form of oocytes in ovaries each of wild and reared female were investigated.

1. One female and three males were reared in an indoor tank (1 t) from late March to late September. Spawning was observed from June 8 to August 26, and the 14 times spawning occurred intermittingly. The total wet weight of eggs spawned from one female was 277.68 g (about 211,000 eggs) and the largest wet weight in one day was 48.57 g (about 36,000 eggs). The average diameter of eggs varied between 1.14 mm and 1.32 mm, decreased as spawning season passed, and a significant correlation was detected between the average diameter and the water temperature on the spawning day ($r^2 = 0.912$, $P < 0.01$). The total hatching rate varied between 28.47% and 97.11%. The normal hatching rate varied between 1.81% and 87.50%, and Survival activity index (SAI) varied between 0.58 and 23.81, both decreased as spawning season passed. On the contrary the abnormal hatching rate increased. Statistically significant correlations between egg diameter and normal hatching rate ($r = 0.726$, $P < 0.05$), and egg diameter and SAI ($r = 0.741$, $P < 0.05$) were observed, however no relation were observed between egg diameter and total hatching rate. These results indicate that the devil stinger used in this

study is a multiple spawner and eggs spawned at the beginning of the spawning season had high quality.

2. To examine the maturation process of female, histological investigations were performed on the ovaries of 175 individuals collected from the coastal water of Niigata Prefecture, from December 2002 to November 2004 and of 59 individuals reared in an indoor tank (15t) under natural conditions from June 2003 to May 2004. During the spawning season, oocytes at the yolk globule stage, oocyte at the final mature stage and postovulatory follicles were observed with immature oocytes at the peri-nucleolus stage in ovaries. This suggests that the devil stinger is a multiple spawner and that the development form of oocytes in ovary belongs to the “group-synchronous oocyte development” type.

Based on the seasonal changes of maturity and gonadosomatic index, the spawning period was considered to occur from June through August, peaking in July in both wild and reared females. In wild female, vitellogenic individuals were found in April, however in reared female they were found in March and November. This shows that the annual reproductive cycle of reared female is different from that of wild female. The minimum size for maturation of wild female used in this study was 190mm (127.0 g) in total length, and the maturation was estimated to occur at a 3- year-old wild female.

III. Egg development and hatching were investigated in relation to water temperature and salinity, using eggs which the reared female spawned naturally in the tank.

1. The effect of water temperature on time for reaching each developmental stage, time for hatching and hatching was examined. The time between each developmental stage decreased exponentially with the increasing of temperature in

the ranges of 18.0°C – 24.0°C. The relationship between hatching time and the incubation temperature was expressed by the two regression lines which intersected at 24.0°C in temperatures ranging from 18.0°C to 30.0°C. Values of temperature characteristics μ , α and Q10 in temperatures ranging from 18.0°C to 24.0°C were higher than those in temperatures ranging from 24.0°C to 30.0°C. The eggs hatched at temperatures ranging from 16.0°C to 32.0°C. No eggs hatched below 14.0°C in temperatures ranging from 12.0°C to 32.0°C. Normal hatching occurred at temperatures ranging from 16.0°C to 28.0°C. More than 50% of the total eggs hatched normally at temperatures ranging from 18.0°C to 28.0°C, and more than 70% of the total eggs hatched normally at temperatures ranging from 20.0°C to 26.0°C. The relationship between viable hatching rate and the incubation temperatures was expressed by the curve of which the maximum value was at 24.0°C. The rate of abnormal hatching was the lowest at 24.0°C. From the results, it was considered that 24.0°C would be a flexion point and the suitable water temperature for hatching would be temperatures ranging from 20.0°C to 26.0°C.

2. To examine the effect of salinity on hatching, fertilized eggs were incubated at 56 combinations of temperature (15.0 – 35.0°C) and salinity (0 – 64.3), then the percentages of total hatch, normal hatch, abnormal hatch were measured. Hatching was observed in the ranges of 15.0 – 30.0°C and 8.2 – 48.3 salinity. The rate of normal hatch was higher than 50% at 22.5°C, 41.4 salinity and also within the range of 20.0 – 25.0°C at 32.4 salinity. The maximum percentages of total and normal hatch were 91.5 and 81.5%, the minimum percentages of abnormal hatch was 11.0% and both occurred at 25.0°C, 32.4 salinity. From the results, it was considered that the optimum conditions for the hatching was a salinity of 32.4 at 25.0°C.

IV. Development of external morphology and digestive organ and tolerance of salinity were investigated in the reared larvae and juveniles.

1. The larvae grew to average total length of 15.13 (± 2.23) mm and average weight of 48.71mg on 37 days after hatching, when they changed completely from a pelagic to a benthic habitat, in the condition that the range of water temperature was from 23.7 to 28.9°C. Eight developmental stages (A-H) were recognized based on morphological characteristics of pectoral fin and the classification by Kendall et al. (1983). The depositing stage (Stage G) from a pelagic to benthic habitat began at the period when the contraction of fin membrane in pectoral fin tips and the separation between 11th and 12th pectoral fin ray occurred, and finished at the period when the degree of separation was more than 71%. The 11th and 12th pectoral fin ray were used for creeping and orientation on the tank bottom according to the habitat shift from a pelagic to a benthic, therefore it was considered that the structure and function of pectoral fin were adapted for a benthic habitat during the depositing stage (Stage G). The specimen with full complement of fin rays appeared at Stage G which the average of body length was 7.84 (± 0.53) mm.

2. The relative growth of larvae and juveniles was examined on 20 external characteristics against the standard length. Inflexion points in the relative growth of body parts were concentrated at about 5.5 mm (Stage E) and 7.5 mm (Stage G) in standard length. The inflexion points in Stage G were corresponded with the change from a pelagic to benthic habitat, and from larva to juvenile. Positive growth of body parts was recognized under 7.5 mm SL, isometric or negative growth was recognized at more than 7.5 mm SL. This indicates that the relative growth of body parts against the standard length is about at a fixed rate from juveniles.

3. Development of digestive organ was examined from larva to juvenile. The

general development of digestive organ of larva and juvenile was recognized in reared larva and juvenile. The differentiation of gastric gland was observed at 10 days after hatching (Stage E), earlier than that of Red sea bream, Black sea bream, Ayu, Japanese whiting, Marbled rockfish, Yellowtail, Plaice and similar to that of Pacific bluefin tuna. A number of gastric gland increased gradually since 10 days after hatching. It was considered from the distribution of gastric gland that the function of stomach developed remarkably at about 18 days after hatching. The pyloric caeca began to form at 16 days after hatching. The development of gastric gland and pyloric caeca were corresponded with the transition from a pelagic to benthic habitat, and from larva to juvenile. At 26 days after hatching (Stage H), the turning of intestine and four pyloric caeca were recognized by the dissection, and an internal morphology was similar to the adult.

4. To examine the effect of salinity on viabilities, larvae and juveniles were reared at 40 combinations of temperature (15.0–35.0°C) and salinity (0–64.3), then survival of the 0 (Stage A), 8 (Stage D), 15 (Stage F) and 23-day (Stage H) larvae and juveniles were measured. The 0 (Stage A), 8 (Stage D), 15 (Stage F) and 23-day (Stage H) larvae and juveniles were still active after 24 hours in the seawater ranging in salinity from 8.2–48.3. The survival rate of larvae and juveniles after 24 hours was higher in the diluted seawater (salinity 8.2–32.4) than in the concentrated seawater. The survival rate of just-hatched larvae (Stage A) after 24 hours within the range of 8.2–48.3 salinity at 30.0°C was between 0 and 73.9%, which was lower than that (86.7–100%) of the 8 (Stage D), 15 (Stage F) and 23-day (Stage H) larvae and juveniles. From these results, it was considered that for hatched larvae (Stage A), there is a high risk of a damage in water temperature more than 25°C.

謝 辞

本研究の機会を与えて下さるとともに、御指導、御鞭撻を賜った新潟県立海洋高等学校元学校長 小林昭三先生ならびに東京農業大学客員教授 竹内昌昭先生に心より感謝の意を表します。

本論文をまとめるにあたり御懇切なる御指導を賜るとともに御校閲の労をとって下さった宮崎大学農学部教授 香川浩彦先生に謹んで深謝申し上げます。宮崎大学農学部教授 三浦知之先生，岩槻幸雄先生，鹿児島大学水産学部教授 小山次朗先生，同学部助教授 大富潤先生には貴重な御助言と御指導を賜りました。ここに心より厚く御礼申し上げます。

また、年齢と成長については近畿大学農学部教授 熊井英水先生，細谷和海先生に，産卵および雌魚の成熟については元独立行政法人水産総合研究センター養殖研究所 奥澤公一先生に貴重な御助言と御指導を賜りました。心より厚く御礼申し上げます。

親魚や餌の確保に御協力をいただいた上越漁業協同組合の皆様に感謝します。さらに、本研究を進めるにあたり惜しみない御協力をいただいた本校職員 貝田雅志氏，白岩保直氏，伊藤東氏，元職員の深谷利香子氏に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 阿部宗明 (1987) 原色魚類大図鑑. 北隆館, 東京, pp. 397-398.
- 会田勝美 (1996) 成熟・産卵の内分泌支配. 水族繁殖学 (隆島史夫・羽生功編), 緑書房, 東京, pp. 65-102.
- Alderdice, D. F. and C. R. Forrester (1968) Some effects of salinity and temperature on early development and survival of the English sole (*Parophrys vetulus*), *J. Fish, Res. Bd. Can.*, 25, 495-521.
- Alderdice, D. F. and F. P. J. Velsen (1971) Some effects of salinity and temperature on early development of Pacific herring (*Clupea pallasii*), *J. Fish, Res. Bd. Can.*, 28, 1545-1562.
- Alderdice, D. F. and C. R. Forrester (1971a) Effects of salinity, temperature and dissolved oxygen on early development of the Pacific cod (*Gadus macrocephalus*), *J. Fish, Res. Bd. Can.*, 28, 883-902.
- Alderdice, D. F. and C. R. Forrester (1971b) Effects of salinity and temperature on embryonic development of the Petrale sole (*Eopsetta jordani*), *J. Fish, Res. Bd. Can.*, 28, 727-744.
- Alderdice, D. F. (1988) Osmotic and ionic regulation in teleost eggs and larvae. in "Fish Physiology" (ed. by W. S. Hoar and D. J. Randall), Vol.11, *Academic Press*, New York, pp.163-251.
- Apostolopoulos, J. S. (1976) Combined effect of temperature and salinity of the hatching rate, hatching time and total body length of the newly hatched larvae of the Japanese red sea bream *Pagrus major*. *La mer.*, 14, 23-30.
- 有瀧真人・太田健吾・堀田又治・田中克 (2001) ホシガレイ飼育仔魚の形態発育と成長. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 67(1), 58-66.
- 有山啓之 (1995) 大阪湾におけるオニオコゼの成長. 大阪水試研報, 9, 33-39.

- 朝比奈 潔 (1996) 生殖周期とその調節. 水族繁殖学 (隆島史夫・羽生功 編), 緑書房, 東京, pp. 103-131.
- Balon, E. K.・後藤 晃 (1989) 繁殖スタイルと初期個体発生 “魚類の繁殖行動, その様式と戦略をめぐって” (後藤 晃・前川光司 編), 東海大出版会, 東京, pp. 1-47.
- Beamish R.J. and DE Chilton (1982) Preliminary evaluation of a method to determine the age of sablefish (*anoplopoma fimbria*). *Can.J.Fish.Aquat.Sci.* 277-278.
- Blaxter, J. H. S. (1969) Development: Eggs and larvae. in “*Fish Physiology 3*” (ed. by W. S. Hoar and D. J. Randall), *Academic Press*, New York/London, pp. 178-252.
- Boulhic, M. and J. Gabaudan (1992) Histological study of the organogenesis of the digestive system and swim bladder of the Dover sole, *Solea solea* (Linnaeus 1758). *Aquaculture*, 102, 373-396.
- 愛媛県水産試験場 (1989) 昭和 63 年度地域特産種増殖技術開発事業魚類・甲殻類グループ総合報告書, pp. 24-28.
- 愛媛県水産試験場 (1990) 平成元年度地域特産種増殖技術開発事業魚類・甲殻類グループ総合報告書, pp. 28-34.
- 愛媛県水産試験場 (1991) 平成 2 年度地域特産種増殖技術開発事業魚類・甲殻類グループ総合報告書, pp. 33-36.
- 愛媛県水産試験場 (1993) 平成 4 年度地域特産種増殖技術開発事業魚類・甲殻類グループ総合報告書, p. 42.
- 愛媛県水産試験場 (1997) 平成 9 年度地域特産種量産放流技術開発事業 魚類・甲殻類グループ総合報告書, pp. 1-19.
- 福所邦彦 (1979) イシダイの種苗生産に関する基礎的研究. 長崎県水試論文集, 第6集.

- 藤田矢郎・中原官太郎（1955）オニオコゼの卵発生と仔魚前期．九大農学芸誌，15, 223-228.
- 藤田利明・平野正人（1987）オニオコゼ養殖用種苗生産試験－冬期加温飼育と配合飼料による飼育－．新潟県栽培漁業センター業務・研究報告書，10, 40-43.
- Fujiwara S. and DG. Hankin (1988) Aging discrepancy related to asymmetrical otolith growth for sablefish *Anoplopoma fimbria* in northern California. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 54: 27-31.
- Fukuhara, O. (1988) Morphological and functional development of larval and juvenile *Limanda yokohamae* (Pisces: Pleuronectidae) reared in the laboratory. *Marine Biology*, 99: 271-281.
- Fukuhara, O. (1989) A review of the culture of grouper in Japan. *Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab.*, 22, 47-57.
- 古川 清（1991）成熟・産卵リズム．海産魚の産卵・成熟リズム（廣瀬慶二編），恒星社厚生閣，東京，pp. 65-77.
- 五利江重昭（1994）兵庫県におけるオニオコゼの種苗生産．兵庫水試研報，31, 47-52.
- Granada, V., Y. Masuda and T. Matsuoka (2004) Annual reproductive cycle and spawning frequency of the female Yellowbelly threadfin bream *Nemipterus bathybius* in Kagoshima Bay, Southern Japan. *Suisanzoshoku*, 52, 329-340.
- 濱田豊市・恵崎 撰（1987）種苗生産技術に関する基礎研究－オニオコゼ・サザエ・アカナマコの種苗生産－．昭和 61 年度福岡県水産試験場試験研究成果報告書，pp. 1-2.
- Hattori , T., Y. Sakurai and K. Shimazaki (1992) Maturation and reproductive cycle of female Pacific cod in waters adjacent to the southern coast of Hokkaido, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 2245-2252.

- 平野ルミ・山本栄一（1992）個別飼育実験によるヒラメの産卵周期と産卵数の確認．鳥取水試報告，3, 18-28.
- 平田八郎・新納正也・石橋泰典・村田修・熊井英水（2001）オニオコゼ *Inimicus japonicus* の酸素消費量の日周変化．水産増殖，49, 469-474.
- 廣瀬慶二（2002）多回産卵という魚の繁殖戦略に学ぶ．さいばい，104, 27-33.
- 人見必大（1897）本朝食鑑．平凡社，東京，pp. 286-287.
- Holliday, F. G. T. and J. H. S. Blaxter (1960) The effects of salinity on the developing eggs and larvae of the herring. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 39, 591-603.
- Holliday, F. G. T. (1969) The effects of salinity on the eggs and larvae of teleosts. in “*Fish Physiology 1*” (ed. by W. S. Hoar and D. J. Randall), *Academic Press*, Mew York/London, pp. 293-311.
- 伊島時郎・阿部登志勝・平川諒三郎・鳥島嘉明（1986）長日処理によるヒラメの早期採卵．栽培技研，15, 57-62.
- 伊勢田弘志・古庄真喜（1988）オニオコゼの種苗生産に関する研究-1 親魚と採卵．熊本水試研報，5, 13-18.
- 石塚吉生（1988）非線型最小二乗法による von Bertalanffy 成長式の当てはめ．パソコンによる資源解析プログラム集（東海区水研数理統計部編）東海区水産研究所，東京，1-15.
- 板垣恵美子（1998）平成10年度日本栽培漁業協会事業年報．Pp. 220-222.
- 板垣恵美子（1999）オニオコゼ種苗の量産化への第一歩．さいばい，90, 31-35.
- 板野英彬・藤田利昭（1985）オニオコゼの増殖生態調査．新潟県栽培漁業センター業務・研究報告書，8, 27-31.
- 市川 衛（1997）オニオコゼの種苗生産開発．愛媛水試研報，6, 41-49.
- 岩井寿夫・柏木正章（1989）発生と孵化管理．水族繁殖学（隆島史夫・羽生功編），緑書房，東京，pp. 195-237.

- 岩本 浩 (1983) オニオコゼ仔稚魚の形態変化. 栽培技研, 12, 49-57.
- Kagawa, H., H. Tanaka, K. Okuzawa, M. Matsuyama and K. Hirose (1991) Diurnal changes in plasma 17α , 20β -dihydroxy-4-pregnen-3-one-levels during spawning season in the red sea bream, *Pagrus major*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 769.
- Kajiyama, E. (1929a) On the influence of temperature upon the development of eggs of *Pagrosomus major* (Temminck & Schlegel). *J. Imp. Fish. Inst.*, 24, 109-113.
- Kajiyama, E. (1929b) On the influence of specific gravity of sea water upon the development of eggs of *Pagrosomus major* (Temminck & Schlegel). *J. Imp. Fish. Inst.*, 24, 113-117.
- 金子豊二 (2002) 浸透圧調節・回遊. 魚類生理学の基礎 (会田勝美 編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 215-232.
- Kashiwagi, M., N. Yamada, Y. Okada, F. Nakamura, S. Kimura, and T. Iwai (1984) Some effects of temperature and salinity on developing eggs of the threeline grunt, *Parapristipoma trilineatum* (Pisces: Haemulidae). *Bull. Fac. Fish. Mie Univ.*, 11, 1-3.
- Kashiwagi, M., T. Iwai and H. Yamamoto (1986) Effects of temperature and salinity on eggs hatch of the ayu, *Plecoglossus altivelis*. *Bull. Fac. Fish. Mie Univ.*, 13, 17-24.
- Kashiwagi, M., T. Iwai and A. Saji (1987a) Effects of temperature and salinity on eggs hatch of the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Bull. Fac. Fish. Mie Univ.*, 14, 41-48.
- Kashiwagi, M., H. Sakaki, T. Takahashi and T. Iwai (1987b) A relationship between egg size and hatching rate in Japanese whiting *Sillago japonica*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53, 2105-2110.

- 川辺勝俊・村井衛・加藤憲司・隆島史夫（1991）シマアジ卵発生に及ぼす水温の影響．水産増殖，39, 211-216.
- 川辺勝俊・中野卓・村井衛・隆島史夫（1992）人工採苗シマアジ仔稚魚の相対成長．水産増殖，40, 253-259.
- 川村芳浩・永山博敏・末原裕幸（1990a）オニオコゼ仔魚の初期生物餌料であるシオミズツボムシの必要性の検討．兵庫水試研報，27, 27-31.
- 川村芳浩・永山博敏・小野山弘（1990b）オニオコゼの後期産卵された卵の孵化水温の検討．1990年度水産増殖地域研究集会講演要旨，p. 383.
- Kendall, A., E. Ahlstrom and H. Moser (1983) Early life history stages of fishes and their characters. American Society of Ichthyologists and Herpetologists, USA, Special Publ., 1, 11-22.
- 河野 博・曾田一志（1998）遊泳と摂餌に関連する形質の発達に基づいたオニオコゼ仔稚魚の発育段階．水産増殖，46, 333-342.
- 萱野泰久・尾田 正（1991）キジハタ卵の発生に及ぼす水温の影響について．水産増殖，39, 309-313.
- 萱野泰久・水戸 鼓（1993）キジハタの卵発生及びふ化仔魚の生残に及ぼす塩分の影響．栽培技研，22, 35-38.
- Kikuchi, K., T. Furuta, I. Sakaguchi and Y. Deguchi (1996) Nitrogenous excretion of 3 marine teleosts, red sea bream, puffer fish, and scorpaenid fish. *Suisanzoshoku*, 44, 471-477.
- 木村清志・鈴木清（1981）熊野灘におけるイサキの成熟と産卵．日水誌，47, 9-16.
- 木村清志・有瀧真人（1985）イサキの種苗生産と仔稚魚の形態形成に関する基礎的研究．三重大水産研報，12, 181-192.
- 木村清志（1987）イサキの資源生物学的研究．三重大学水産学部研究報告(14), 113-235.

- 北島 力 (1978) マダイの採卵と稚魚の量産に関する研究. 長崎県水試論文
集, 第5集.
- 北島 力・林田豪介・安達 進 (1988) メイタガレイ仔稚魚の飼育と形態の
変化. 魚類学雑誌, 35, 69-77.
- 北野 忠・畠山 類・秋山信彦・上野信平 (2003) 駿河湾北部でのミミズハ
ゼ雌の生殖年周期. 水産増殖, 51, 41-48.
- 清川智之・曾田一志・佐々木正 (2000) 島根県東部沿岸における放流オニオ
コゼ人工魚の再捕状況について. 栽培技研, 28, 17-23.
- 清川智之 (2003) オニオコゼ. 平成14年度資源増大技術開発事業報告書. 島
根県水産試験場, 1-11.
- 清野通康 (1974) 産出卵の卵質評価 海産魚. 魚類の成熟と産卵, 水産学シ
リーズ 6 (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 113-119.
- 小林牧人・足立伸治 (2002) 生殖. 魚類生理学の基礎 (会田勝美 編), 恒
星社厚生閣, 東京, pp. 155-184.
- 近藤正美・杉野博之 (1998) オニオコゼ仔魚期における適正餌料の再検討.
栽培技研, 27, 7-9.
- 近藤茂則・吉岡基・柏木正章 (2001) シロギス卵の卵質評価に関する研究.
日水誌, 67, 801-806.
- 牧野直・松丸豊・田中克 (2003) スズキ卵の発生に及ぼす水温と塩分の影響.
水産増殖, 51, 55-64.
- 正木康明, 伊藤弘, 東海 正, 山口義昭 (1986) 周防灘産イシガレイの年
齢と成長. 日水誌, 52, 435-445.
- 升間主計・慶徳尚壽 (1981) シロギスの種苗生産について. 栽培技研, 10,
121-126.
- 松浦修平・古市政幸・丸山克彦・松山倫也 (1988) マダイ1尾による毎日産卵
の確認とその卵質. 水産増殖, 36, 33-39.

- Matsuyama, M., S. Adachi, Y. Nagahama and S. Matsuura (1988) Diurnal rhythm of oocyte development and plasma steroid hormone levels in the female red bream, *Pagrus major*, during the spawning season. *Aquaculture*, 73, 357-372.
- 三木教立 (1989) オニオコゼ養殖に関する基礎的研究－I，配合飼料による長期飼育．日本海ブロック試験研究集録，15, 1-9.
- 三木教立 (1990) オニオコゼ養殖に関する基礎的研究－II，配合飼料による3歳魚の飼育．鳥取水試報告，32, 1-4.
- 南 卓志 (1997) 生活史特性．ヒラメの生物学と資源培養（南卓志，田中克編），恒星社厚生閣，東京，pp. 9-24.
- 南 卓志 (2001) カレイ科魚類の変態と着底．稚魚の自然史 千変万化の魚類学（千田哲資・南卓志・木下泉 編），北海道大学図書刊行会，札幌，pp. 67-81.
- 水戸 敏 (1966) 日本海洋プランクトン図鑑．蒼洋社，東京，7, 62－63.
- Miyasita, S., K. Kato, Y. Sawada, O. Murata, Y. Ishitani, K. Shimizu, S. Yamamoto and H. Kumai (1998) Development of digestive system and digestive enzyme activities of larval and juvenile Bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, Reared in the Laboratory. *Suisanzoshoku*, 46, 111-120.
- 宮下 盛・田中裕志・澤田好史・村田修・服部亘宏・滝井健二・向井良夫・熊井英水 (2000) クロマグロ卵の発生と孵化に及ぼす水温の影響．水産増殖，48, 199-207.
- 水田洋之介 (1973) 仔稚魚期におけるマコガレイとイシガレイの形態的相違．栽培技研，2, 33-38.
- 森実庸男・高崎紹典・酒井年治 (1983) オニオコゼ種苗生産．昭和56年度愛媛県水産試験場報告，146-149.
- 森本晴之 (1994) 卵質．魚類の初期減耗研究，水産学シリーズ98（田中克・渡邊良朗編），恒星社厚生閣，東京，pp. 83-96.

- 麦谷泰雄 (1997) 魚類年齢形質の形成と輪紋性状. 水産動物の成長解析 (赤嶺達郎, 麦谷泰雄編), 恒星社厚生閣, 東京, 9-16.
- Munehara, H., K. Shimazaki and S. Mishima (1987) The process of oogenesis in masked greenling, *Hexagrammos octogrammus*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **38**, 27-33.
- 村井 衛・川辺勝俊・隆島史夫 (1992) シマアジ卵の最適ふ化塩分および水温. 水産増殖, 40, 261-268.
- 村上倫也・馬久地隆幸・水主村敏治・川岡敦・左田小夜子・光安敏美 (2001) 地域特産魚種苗生産技術開発事業, 広島県水産試験場事業報告書, 21-23.
- 睦谷一馬 (1997) オニオコゼの種苗生産に関する研究. 栽培技研, 26, 1-7.
- 長浜達章・丹下勝義・生田和明・永山博敏 (1985) オニオコゼの種苗生産に関する研究-1 飼育水槽における産卵について. 兵庫水試研報, 23, 39-42
- 長浜達章・丹下勝義 (1987) 種苗生産したオニオコゼ稚魚の潜砂行動について. 兵庫水試研報, 25, 47-52.
- 中坊徹次 (1993) 日本産魚類検索 全種の同定 (中坊徹次 編), 東海大学出版会, 東京, pp. 519-520.
- 中村陽子・田中克・青海忠久 (1992) サワラの仔稚魚期における消化管の発達. 平成4年度日本水産学会春期大会講演要旨集, p. 201.
- 日本栽培漁業協会 (1982) 昭和56年度日本栽培漁業協会事業年報, 48-50, 167-169.
- 日本栽培漁業協会 (1983) 昭和57年度日本栽培漁業協会事業年報, 78, 265-266.
- 新潟県水産海洋研究所 (2002) 漁海況情報, 368号.
- 新潟県水産海洋研究所 (2003) 漁海況情報, 369~380号.
- 新潟県水産海洋研究所 (2004) 漁海況情報, 381~391号.
- 乃一哲久 (1997) 初期生態. ヒラメの生物学と資源培養 (南卓志・田中克 編

-), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 25-40.
- 野村 元・波田樹雄 (1993) 平成 3 年度特定海域養殖業推進調査. 平成 3 年度石川増試事報, 151-152.
- 尾田正・萱野泰久・村田守 (1988) ヒラメの産卵期間中における卵質について. 岡山水試報, 3, 33-40.
- 尾串好隆 (1994) オニオコゼの飼育試験. 山口外海栽培漁業センター報告, 16, 33-40.
- 沖山宗雄 (1998) 凡例 体各部の測定法. 日本産稚魚図鑑 (沖山宗雄 編), 東海大学出版会, 東京, pp.viii-xix.
- 大野 淳 (2003) 水産増殖技術論. 水産資源管理学 (北原 武 編著), 成山堂書店, 東京, pp. 91-103.
- 大阪府立水産試験場 (1997) 平成 9 年度地域特産種量産放流技術開発事業 魚類・甲殻類グループ総合報告書, pp. 1-39.
- Oozeki, Y., P. Hwang and R. Hirano (1992) Larval development of the Japanese whiting, *Sillago japonica*. *Japanese J. Ichthyol.*, 39 (1), 59-66.
- 落合 明 (1970) 成長. 魚類生理学 (川本信之 編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 216-244.
- 落合 明 (1984) 養殖マアジの種苗生産. 養殖, 21, pp. 100-104.
- 落合 明・田中 克 (1986) オニオコゼ. 新版魚類学 (下), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 1046-1049.
- 李 培翼 (1994) ブリ初期発育に関する形態学的・生化学的研究. 博士論文, 東京水産大学, 東京, 200 pp.
- Rosenthal, H. and D. F. Alderdice (1976) Sublethal effects of environmental stressors, natural and pollutional, on marine fish eggs and larvae. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 33, 2047-2065.
- Sawada, Y., S. Miyasita, N. Hattori, K. Nakamura, S. Oda, O. Murata and H. Kumai

- (2001) Relative growth of larval and juvenile stonefish *Inimicus japonicus* (Scorpaeniformes: Synanceiidae). *Suisanzoshoku*, 49, 167-174.
- 関河武史・高橋豊美・高津哲也・桜井泰憲 (2003) 北海道木古内湾におけるアイナメ *Hexagrammos otakii* 雌の成熟. 日水誌, 69, 380-386.
- Senger, H., V. Storch, M. Reinecke and W. Kloas (1994) The development of functional digestive and metabolic organs in turbot, *Scophthalmus maximus*. *Mar. Biol.*, 119, 471-486.
- Sha, X., H. Ruan and G. He (1981) The development of the egg and larval stage of the lumpfish, *Inimicus japonicus*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 12, 365-373.
- (社) 全国豊かな海づくり推進協会 (2001) 平成 11 年度 栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績 (全国), p. 8.
- (社) 全国豊かな海づくり推進協会 (2006) 平成 16 年度 栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績 (全国), p. 8.
- 島根県水産試験場 (1997) 平成 9 年度地域特産種量産放流技術開発事業 魚類・甲殻類グループ総合報告書, pp. 1-11.
- 新聞脩子・辻ヶ堂諦 (1981) カサゴ親魚の生化学的性状と仔魚の活力について. 養殖研報, 2, 11-20.
- 塩見一雄・長島裕二 (2001) 海洋動物の毒, 成山堂書店, 東京, pp. 53-60.
- 巢山 哲・桜井泰憲・島崎健二 (1996) 夏季の中部北太平洋におけるサンマの成熟と日齢. 日水誌, 62, 361-369.
- 高橋庸一 (1985) 人工飼育したヒラメ仔稚魚の成長に伴う形態と行動の変化. 水産増殖, 33, 43-52.
- 高野和則 (1996) 卵巣の構造と配偶子形成. 水族繁殖学 (隆島史夫・羽生功編), 緑書房, 東京, pp. 3-34.
- 隆島史夫 (1982) 繁殖の生理. 淡水養殖技術 (野村 稔 編), 恒星社厚生閣

- ，東京，pp.11-45.
- 隆島史夫・杉山千洋・鳥羽正美・石井重男（1982）人工採苗アユの相対成長．
水産増殖，30, 88-98.
- 田中邦三・石田修（1977）東京湾におけるマダイについて－Ⅱ．産卵期につ
いて．千葉水試研報，36, 33-36.
- Tanaka, M (1973) Studies on the structure and function of the digestive system of
teleost larvae. Ph. D. Thesis, Kyoto University, Kyoto. pp.1-82.
- 田中 克（1975）稚魚の消化系．稚魚の摂餌と発育（日本水産学会 編），恒
星社厚生閣，東京，pp.7-23.
- 田中 克（1997）変態の生態的意義．ヒラメの生物学と資源培養（南卓志・
田中克 編），恒星社厚生閣，東京，pp. 52-62.
- 谷口順彦（1987）鱭．魚類解剖学（落合 明 編），緑書房，東京，pp. 23-32.
- 塚本勝巳（1990）仔稚魚の成長．水族繁殖学（隆島史夫・羽生功 編），緑
書房，東京，pp. 239-289.
- Uehara, S. and M. Shimizu (1996) Age and growth of Stone flounder *Kareius*
bicoloratus in Tokyo Bay, Japan. *Fisheries Sci.*, 62, 897-901.
- 上野陽一郎（1993）オニオコゼの成長指数について．京都海洋センター研
報，16, 39-42.
- 榎田晋・落合明（1973）仔稚魚期におけるブリの消化管の構造と機能の発
達について．日水誌，39 (9), 923-930.
- 内田恵太郎（1963）魚類の変態．脊椎動物発生学（久米又三 編），培風
館，東京，pp. 115-122.
- 脇坂征一郎（1981）オニオコゼの産卵行動と卵発生．養殖，緑書房，東京，
18, pp. 74-76.
- Watanabe, T., T. Arakawa, C. Kitajima and S. Fujita (1984a) Effect of nutritional
quality of broodstock diets on reproduction of red sea bream. *Nippon Suisan*

Gakkaishi, 50, 495-501.

Watanabe, T., A. Itoh, C. Kitajima and S. Fujita (1984b) Effect of dietary protein levels on reproduction of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 50, 1015-1022.

Watanabe, T., A. Itoh, A. Murakami, Y. Tsukashima, C. Kitajima and S. Fujita (1984c) Effect of nutritional quality of diets given to broodstock on the verge of spawning on reproduction of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 50, 1023-1028.

Watanabe, T., H. Suzuki, S. Sato, T. Takeuchi, N. Yoshida, T. Kitada and Y. Tsukashima (1985) Improvement of red sea bream eggs by feeding broodstock on a diet containing cuttlefish meal or on raw krill shortly before spawning. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 51, 1511-1521.

渡辺良朗 (1985) 仔魚の消化吸收機構. 養魚飼料—基礎と応用 (米 康夫 編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 89-98.

八木秀志 (1996) オニオコゼ種苗生産時に共食いが発生する条件について. 栽培技研, 24, 121-122.

山本喜一郎 (1954) 海産魚類の成熟度に関する研究 II クロガレイの雌魚の成熟度について. 北水研報, 11, 68-77.

山本喜一郎・大田 勲・高野和則・石川徹二 (1965) ニジマス of 成熟に関する研究-I 1年魚の卵巣の発達について. 日水誌, 31, 123-132.

山本喜一郎・長浜嘉孝・山崎文雄 (1966) 金魚の周年採卵法について. 日水誌, 32, 977-983.

山本時男 (1943) 魚卵の発生速度と温度. 魚類の発生生理, 養賢堂, 東京, pp. 110-120.

安永義暢 (1972) ヒラメ稚仔消化器官の発達について. 東海水研報, 69, 75-89.

安永義暢 (1988) ヒラメ仔稚魚の生理生態に関する研究. 水工研報, 9, 9-17.

- Yong, Z., K. Furukawa, K. Aida and I. Hanyu (1991a) Daily spawning rhythm during spring and autumn spawning season in the tobinumeri-dragonet, *Repomucenus beniteguri*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 1865-1870.
- Yong, Z., K. Furukawa, K. Aida and I. Hanyu (1991b) Effects of water temperature and photoperiod on the initiation and termination of the autumn spawning season in the tobinumeri-dragonet, *Repomucenus beniteguri*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 1871-1876.
- Yong, Z., K. Furukawa and K. Aida (1991c) Effects of photoperiod on spawning rhythm in the tobinumeri-dragonet, *Repomucenus beniteguri*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 2033-2037.
- 尹 泰憲 (1981) 北海道噴火湾周辺海域におけるスケトウダラ雌魚の生殖周期. 北大水産彙報, 32, 22-38.
- Zhu, Y., K. Furukawa, K. Aida and I. Hanyu (1989) Annual reproductive rhythm of the Tobinumeri-Dragonet *Repromucenns beniteguri* (Callionymidae) in Lake Hamana. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55, 591-599.