

クロソイの栽培漁業技術開発に関する研究^{*1}

中川 雅弘^{*2}

Studies on the Stock Enhancement Technology of the Black Rockfish *Sebastes schlegeli*

Masahiro NAKAGAWA

Abstract: Many species in *Sebastes* genus are important as a commercial and recreational fisheries resource. Juvenile of six rockfish species (*Sebastes schlegeli*, *S. inermis*, *S. vulpes*, *S. pachycephalus*, *S. oblongus* and *S. thompsoni*) are currently produced for stocking in Japan. Growth of black rockfish, *Sebastes schlegeli*, is more rapid than that of other rockfish species; also, their range of movement is limited. For these reasons, black rockfish is considered to be a promising target fish species for stock enhancement. Stock enhancement is a management tool that might augment depleted wild populations of marine living resources by supplementing or restocking the stocks. This study aimed to develop systematic technology for the stock enhancement of this species which includes broodstock management, juvenile production, nursery growout, marking method and release strategy.

Effects of rearing temperature on growth and maturation of black rockfish were examined in captivity. Rockfish were reared at three different temperature conditions, natural temperature (control group), natural temperature + 12°C in winter-spring (12°C group) and natural temperature + 15°C in winter-spring (15°C group), during the period from 7 months after birth (MAB) in December 1997 to 48 MAB in May 2001 (4 years old). The lowest natural water temperature ranged from 4 to 6°C in February. Rockfish reared at higher temperature in winter-spring showed significantly larger total length (TL) as 15°C group > 12°C group > control group up to 15 MAB. However, significant difference in TL between treatments was not found after 16 MAB. This was caused by higher growth rate of control group > 12°C group > 15°C group during the following warm period of 13 (July 1998) to 18 MAB (December 1998). This phenomenon is thought to be compensatory growth of fish whose growth was limited due to low temperature in winter-spring season. Female fish grew faster at higher temperature treatment up to 2.5 years old, but there was no difference in growth rate between treatments for male. A slightly higher maturation rate was found at higher temperature treatment in male and no temperature effect on maturation in female fish. Four-year-old female at natural temperature and 12°C treatments bore healthy larvae. However, those at 15°C treatment had abnormal parturition. Within the present experimental conditions, the artificial increase of winter-spring temperature from natural one to 12°C or 15°C is concluded to be of no use in order to enhance growth and maturation of black rockfish broodstock.

The gonadal development in rearing black rockfish were monitored for one full year. Female fish began vitelogenesis from November and completed it in March. Gestation occurred

2008年8月27日受理 (Received on August 27, 2008)

^{*1} 京都大学審査学位論文 (掲載に際し投稿規定に沿って一部修正した)

^{*2} 五島栽培漁業センター 〒853-0508 長崎県五島市玉之浦町布浦122-7 (Goto Station, National Center for Stock Enhancement, Fisheries Research Agency, 122-7, Tamanoura, Goto, Nagasaki 853-0508, Japan)

from April, and parturition occurred in June. The reproductive cycle of female fish was divided into the following five periods. Vitellogenesis onset period: November-December, Vitellogenic period: January-March, Gestation period: April-May, Parturition period: June, Resting period: June-October.

Male fish began spermatogenesis from June, and matured in November and December. The reproductive cycle of male fish was divided into the following five periods. Spermatogonial proliferation period: March-May, Early spermatogenic period: June-July, Late spermatogenic period: August-October, Functional maturation period: November-December, Recovery period: January-February.

Five hatchery-reared female black rockfish (7 years-old) were separated from male fish and reared in an experimental tank before the mating season in order to prevent copulation. Egg diameter was observed weekly using a cannulation method. Egg diameter increased from the start of the measurements and then decreased 2-3 weeks after ovulation. Subsequently, all individuals released unfertilized eggs. The prevention of copulation was thought to be a cause of abnormal spawning of eggs during the birth season.

Developmental stages of intra-ovarian embryos in individual female black rockfish reared in an indoor tank were examined using a cannulation method on almost the same day (April 24 or 25) for three successive years. The estimated delivery occurred near the predicted date regardless of the year. This indicates that black rockfish have individually specific annual cycle of fertilization and embryonic development. Understanding individual cycle of parturition is useful for efficient broodstock management and juvenile production in aquaculture.

Because size difference in black rockfish larvae induces increased cannibalism, preparation of a sufficient number of larvae with the same or similar daily age is necessary for efficient aquaculture. We developed a method to concentrate the parturition period of female broodstock by examining the developmental stage of embryos using cannulation and selecting females, which are predicted to have similar parturition dates. We set up two groups examined over a 3-year period: one for selected broodstock by observation of embryos and the other as unselected control groups. The parturition period of selected group was significantly shorter than that of the control group and greater numbers of larvae with the same parturition date were obtained in the selected group over the 3 years of experiments. The differences between the predicted dates and the actual dates of parturition were 1-3 days for the day parturition began and 0-2 days for the day parturition ceased. These results indicate that selecting broodstock female on the basis of the inspection of the embryonic developmental stage using cannulation will enable us to obtain sufficient number of newly released larvae for systematic and efficient aquaculture.

Effects of feeding schedule without rotifer on growth and survival of black rockfish larvae were examined in captivity. Newly born larvae of black rockfish were reared under two feeding schedule, rotifer-*Artemia* (control group) and *Artemia* group from onset of feeding to 0 day after birth. There were no differences in feeding rate, growth rate, and survival rate between treatments. Feeding schedule rotifer without providing was proved to be feasible in rearing black rockfish juveniles in a hatchery.

Results of mass production of the black rockfish conducted from 1982 to 2004 were reviewed. Growth, development and mortality rate of black rockfish larvae and juvenile were examined. High mortality rates were observed from 3-7 days after birth (DAB), 18-25 DAB and 35-40 DAB. During the period from 3 to 7 DAB larvae died due to starvation caused by

deformity in mouth and vertebrae. Larvae from 18 to 25 DAB were thought to die of gas-balance disorder. Mortality of larvae from 35 to 40 DAB occurred because of cannibalism. The highest mortality of larvae was found from 3 to 7 DAB indicating that prevention of deformity is essential to develop an efficient aquaculture system of juvenile fish.

The effects of rearing density and feeding frequency to hatchery costs were studied in order to reduce costs during the intermediate culture of black rockfish in which fish are reared from 40 to 100 mm in TL. Juveniles were reared at 200, 400, and 800 individuals per kL, and fed formula feed once or twice per day. The experiment lasted for 42 days and no significant differences were observed in survival rates (99.9-100 %) and daily growth rates (3.3-3.5 %). Feed efficiencies, recorded as food intake per individual, in the once-per-day feeding groups were significantly higher than those in the twice-per-day feeding groups. Based on these results, once-per-day feeding and rearing under the highest density (800 ind./kL) were determined to be the most effective methods for economic rearing.

Juvenile black rockfish were marked by fin removal method in four size classes (40, 60, 80, 100 mmTL). The survival rate and duration of the mark were investigated over two years. The survival rates 2 years after marking was 95 % for 40 mm and 80 mm fish and 97 % for 60 and 100 mm fish. The mark retention rates 2 years after marking was 97 % for 40 mm fish and 100 % for 60, 80 and 100 mm fish. There was no difference in survival rate, mark retention rate and growth rate between treatments.

Effective conditions for alizarin complexone (ALC) staining of otoliths were examined in black rockfish to establish the optimum ALC marking methods. Juvenile black rockfish (45 mmTL) were immersed in three immersion concentrations (15, 30 and 50 mg/L) of ALC for three treatment durations (6, 12, 24h). The survival rate, ALC mark visibility and duration of the mark were investigated over two years. The survival rates 10 days after ALC immersion for 15 mg/L treatment were 99.9 % in two water tanks, showing significantly higher values than the 52.4 % and 81.7 % for 30 mg/L, and 13.7 % and 3.9 % for 50 mg/L. In addition, the 15 mg/L treatment showed the highest value in visibility of ALC marks on otoliths. The ALC marks were visible for over two years without polishing the otolith. Costs of ALC marking per fish under the conditions of 15, 30 and 50 mg/L were 1.50 yen, 4.47 yen and 57.0 yen, respectively. Among the concentrations used in this experiment, 15 mg/L was concluded to be the optimum concentration of ALC for otolith marking of black rockfish.

This study evaluated the stocking effectiveness of black rockfish released in Yamada Bay, off the northeastern Pacific coast of Japan, using three indices estimated from survey data collected on all business days at the Yamada Fish Market over a period of 11 years. Eight annual cohorts of hatchery-raised, marked juveniles were released into the bay from 1989-1991 and 1993-1997. During the market census, all landed black rockfish were investigated for TL and presence or absence of marks. The census indicated that 51,512 fish out of 447,400 hatchery-released juveniles were landed commercially and recorded at the market. Of the returned fish, 1-year-old fish accounted for 61.2 %, 2-year-old fish for 30.3 %, and ≥ 3 year-old fish for 8.6 %. Return rates of each year class ranged from 9.3 % to 15.4 % showing stable and rather high values. However, the economic return rate (landed sales values/hatchery costs) ranged between 0.68 and 1.25; 5 of the 8 year classes showed rates of less than 1, where hatchery costs exceeded their associated benefit. To make stocking of black rockfish feasible, raising the market price of this species through fishery management, decreasing hatchery production costs, and developing effective release strategies such as optimum release size are needed.

Effects of size at release on return rate and economic return rate at fish market of black rockfish were examined. Black rockfish were released at four different sizes at release into Miyako Bay: 100 mmTL (control groups), 80 mmTL group, 60 mmTL group, 50 mmTL group, from 1999 to 2001, respectively.

Return rate of control groups ranged between 13.8 % and 22.9 % (average 19.0 %) showing stable and rather high values. Of the experimental groups, the return rate was 9.5 % for 8 cmTL group, 9.6 % for 60 mmTL group and 3.4 % for 50 mmTL group. A positive correlation ($r^2 = 0.76$) was observed between size at release and return rate. Economic return rate of control groups ranged between 0.93 and 1.18 (average 1.03) showing stable and rather high values. Of the experimental groups, it was 0.78 for 80 mmTL group, 0.58 for 60 mmTL group and 0.29 for 50 mmTL group. A positive correlation ($r^2 = 0.93$) was observed between size at release and economic return rate. Return rate and economic return rate increased with size at release. Released (range 70-202 mmTL, N = 211) and wild juveniles (range 47-198 mmTL, N = 522) were collected using cage setnet in the most inner area of Miyako Bay. This indicates that juveniles used shallow vegetated habitats with seaweed and eelgrass in the most inner area of the bay as nursery grounds.

Increase of catch of black rockfish was recognized by release of hatchery-raised juveniles into Yamada Bay. However, compared with red sea bream and Japanese flounder, economic effectiveness is not sufficiently high enough to support the program financially. One important reason for the low economic effectiveness is low commercial value of black rockfish, because small 1-year-old fish accounted for the majority of landed fish. Although market landings of black rockfish increased due to stocking of hatchery fish, it quickly decreased after stop of stocking.

This suggests that stocking did not contribute to construct spawning stock population on Yamada Bay because of over fishing of young fish.

We can conclude that appropriate management of recruited population and conservation of nursery grounds are crucial for successful stock enhancement program.

Key words: *Sebastes schlegeli*, stock enhancement, broodstock management, juvenile production, stocking effectiveness

目 次	第 5 章 放流効果調査技術の開発
第 1 章 緒 言	第 1 節 岩手県山田湾に放流したクロソイの放流効果
第 2 章 親魚養成技術の開発	第 2 節 放流サイズが回収率に与える影響
第 1 節 成長と成熟	第 6 章 クロソイの栽培漁業の展望
第 2 節 生殖年周期	謝 辞
第 3 節 交尾、胚発生および出産	文 献
第 3 章 種苗生産技術の開発	第 1 章 緒 言
第 1 節 ワムシを省いた餌料系列が仔魚の成長と生残に与える影響	種苗放流による直接的な漁業資源の増大および安定を目的とした栽培漁業の取り組みは、1963年から社団法人瀬戸内海栽培漁業協会を中心に開始された (Imamura, 1999)。以降、種苗生産技術の発展に伴って様々な魚種の生産・放流が可能となり、2004年には
第 2 節 仔稚魚の成長、発育および日間死亡率	
第 4 章 中間育成と標識技術の開発	
第 1 節 飼育密度と給餌回数	
第 2 節 外部標識 (腹鰭抜去標識)	
第 3 節 内部標識 (ALC 標識)	

魚類36種、甲殻類14種、貝類21種、その他（棘皮類など）8種の計79種が全国で生産・放流された（水産庁・水産総合研究センター，2006）。

これまでの栽培漁業の技術開発では、良質な卵を安定的に得るための親魚養成技術、得られた仔魚を安定的に生産する種苗生産技術が主に実施されてきた。栽培漁業は本来、漁業資源の増大や安定化を図ることを目的としているため、種苗放流の効果調査を加えた総合的な研究が必要である。しかし、親魚養成から放流効果調査までの全過程をとりまとめた研究論文は見あたらない。そこで、本論文では、北海道および東北海域の多くの種苗生産機関で放流され、重要な栽培漁業対象種であるフサカサゴ科メバル属のクロソイ *Sebastes schlegeli* を研究対象として、総合的な栽培漁業の技術開発について記述した。

メバル属魚類は、北アメリカ西岸および日本周辺海域の北太平洋を中心に分布し（Boehlert and Yamada, 1991）、これらの魚類は漁業および遊漁の対象となり、経済的な側面からも重要な魚類である（Kusakari, 1991；Boehlert and Yamada, 1991；永沢, 2001）。日本におけるメバル属魚類の栽培漁業は、クロソイ、メバル *S. inermis*、キツネメバル *S. vulpes*、ムラソイ *S. pachycephalus*、タケノコメバル *S. oblongus* およびウスメバル *S. thompsoni* の計6種で実施されている（水産庁・水産総合研究センター，2006）。クロソイの成長は、メバル属魚類の中では最も速く（永沢, 2001）、放流後の移動範囲も比較的狭い（Nakagawa *et al.*, 2004）。また、本種の漁獲量は多くはないものの、各地域における定着魚類として重要視されている（佐々木, 1989）。このように、クロソイは我が国のメバル属魚類では最も重要な栽培漁業対象種として、日本各地の沿岸で放流されてきた（Kusakari, 1991）。さらに、メバル属魚類の種苗放流および養殖は、米国および韓国においても積極的に実施されつつある（草刈, 1995；Lim *et al.*, 2004）。

クロソイは胎生魚であるため、交尾、体内受精を経て仔魚で出産されるため、卵生魚にはみられない特有な繁殖生態を有している。このため、親魚に関する多くの研究は成熟した個体が対象となり、未成魚からの成長や成熟過程などの報告は見られない。また、本種の個体ごとの出産は、年1回で（草刈, 1995）、個体のお産は親魚群の中では同調せず、親魚1尾あたりの仔魚数は10～35万尾程度である（清水・八幡, 1991）。このため、事業規模で種苗生産を実施するためには、一度に大量のふ化仔魚を得ることが必要であり、出産の同調化に関する技術開発が種苗生産機関の重要課題となっている。また、健苗の育成やコスト

の低減など、効率的な種苗生産技術の開発が強く求められている。種苗放流を事業として成立させるためには、経済的な効果の検討が必要とされるが（岩本ら, 1998）、本種の放流効果調査については、宮城県志津川湾で魚市場における回収率が推定されているにすぎない（小野寺ら, 2001）。

本論文は、クロソイの栽培漁業技術を確立するために、社団法人日本栽培漁業協会宮古事業場（現：独立行政法人水産総合研究センター宮古栽培漁業センター、以下宮古センター）で実施した一連の研究結果を取り纏めたものである。第2章では成長および成熟、生殖年周期、交尾、胚の発生段階を基に出産の同調化の検討などの親魚養成に関する技術開発、第3章では、餌料系列、成長、発育、日間死亡率を調べ、安定的および経済的な種苗生産に関する技術開発、第4章では中間育成および標識装着に関する技術開発、第5章では放流後の移動、魚市場での回収率および経済回収率などの放流効果調査、第6章ではクロソイの栽培漁業の展望について述べる。

現在、我が国の沿岸で取り組まれている栽培漁業対象種の中には、マダイやヒラメのように親魚養成から放流効果推定までの技術がほぼ確立し、事業化に進んだ魚種もある。しかし、一方では多くの魚種で親魚養成技術や種苗生産技術がいまだに不安定であり、放流効果評価調査が実施された魚種も限られている。本研究の成果は単にクロソイだけでなく、他のメバル属魚類や定着性魚類についても応用可能と考えられ、栽培漁業技術の構築に寄与することが期待される。

第2章 親魚養成技術の開発

第1節 成長と成熟

クロソイはメバル属に分類される胎生魚であるため、卵生魚とは異なった繁殖生態を有し、交尾、体内授精を経て仔魚で出産する。このため、本種の親魚養成に関する研究は、主に成熟した個体が対象となってきた（Boehlert *et al.*, 1986；Yamada and Kusakari, 1994；Nagahama *et al.*, 1991；草刈, 1995；吉田ら, 2001；Mori *et al.*, 2003；Koya *et al.*, 2004；Yoshida *et al.*, 2005）。一方、本種の初回成熟の年齢は雄では2歳、雌では3歳（佐々木, 1979）とされているが、年齢に伴う雌雄ごとの成長や成熟過程を稚魚期から連続的に調べた報告は認められない。これらを明らかにすることは、生物学的知見に基づいた本種の効率的な親魚養成技術を確立するために重要である。

魚類の成長速度と成熟は、水温（鈴木・山口, 1977；Newell and Branch, 1980；Jobling, 1983；

Carmona-Osalde *et al.*, 2004), 光周期 (Thrush *et al.*, 1994; Duncan *et al.*, 1999; Bromage *et al.*, 2001), 給餌量 (Thorpe *et al.*, 1990), 飼育密度 (McClain, 1995; Jarboe and Romaine, 1995), 遺伝 (Glebe and Saunders, 1986; Ritter *et al.*, 1986) などの影響を受ける。中でも水温がこれらに与える影響は大きく、多くの魚種で研究されてきた (鈴木・山口, 1977; Newell and Branch, 1980; Jobling, 1983; Carmona-Osalde *et al.*, 2004) が、クロソイではそれらの知見は乏しい。

そこで本研究では、クロソイの成長および成熟に与える水温の影響を明らかにすることを目的に、0歳から成熟する4歳まで3つの異なる水温条件の下で本種を飼育し、年齢および雌雄ごとの成長特性や成熟状況を調べた。

試料と方法

供試魚と試験区の設定 供試魚には、宮古センターで種苗生産されたクロソイ稚魚 (平均全長9.7 cm) を用いた。試験は生後7カ月目 (0歳) の1997年12月から、後述するようにすべての個体が成熟した48カ月 (4歳) の2001年5月まで実施した。試験区として、水温を調整しない区 (対照区)、冬季の最低水温をそれぞれ12°C (12°C区) および15°C (15°C区) に維持する区の3区を設定した。自然水温下で飼育したクロソイは概ね秋に15°Cで交尾し (日本栽培漁業協会, 2000)、春に12°Cで出産する (清水・八幡, 1991) ことから、本種ではこれらの水温帯が生物学的に重要な鍵となっている。飼育水槽には、加温が可能な10kL水槽 (RC製) をそれぞれの試験区について1槽ずつ用いた。各水槽には200尾の供試魚を収容した。餌には市販の配合飼料 (ハマチソフトドライ, 坂本飼料製) を用いて、1週間に3回飽食するまで給餌した。

宮古センターにおけるクロソイの出産は、概ね5~6月に観察される (日本栽培漁業協会, 2003a) ため、年齢を加える起算月は5月とした。

成熟率および GSI 本種の生殖腺体指数 (GSI) は、雌では出産期の5月、雄では交尾期の11月にそれぞれ最大値を示す (第2章第2節)。このため、毎年5月および11月には、雌雄合わせて30尾の供試魚を各水槽から取り揚げ、体重、生殖腺重量を測定し、併せて生殖腺から成熟状態を観察した。雌雄は、摘出した生殖腺を肉眼で観察して判別した。また、卵巣卵が明瞭に確認できる雌、および精液を放出した雄を、それぞれ成熟個体と判断した。成熟個体数が調査個体数に占める割合 (%) をここでは成熟率と定義した。GSI は以下の式を用いて算出した。

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

全長の測定 全長は成熟率および GSI を観察した5月および11月には30尾を、それ以外の月には50尾について無作為に測定した。この50尾については測定後に飼育水槽に戻して飼育を継続した。

成長率 ある月の平均全長を1カ月前の平均全長で除した値を月間成長率と称し、以下の式により算出した。

$$\text{月間成長率 (\%)} = ((\text{全長の平均値} / \text{前月の全長の平均値}) - 1) \times 100$$

交尾と出産の確認 交尾の前兆は、毎年11月中旬に水温約15°Cで雄が雌を追尾することで把握できる (日本栽培漁業協会, 2000)。従って、交尾が終了する12月に5尾ずつの雌を取り揚げ、カニキュレーションにより得られた卵巣腔液を光学顕微鏡下 (Nikon 製, Lobophot-2: 400倍) で観察し、精子の有無から交尾を確認した。出産は、飼育水槽から排出される海水を200L ポリエチレン水槽内に設置した網 (40目: オープニング526 μm, 30×30×60 cm) に受けて、仔魚の出現状況から確認した。

統計処理 試験区間の全長、GSI 等の平均値の差を Kruskal-Wallis test を用いて検定した。差が認められた場合には Scheffe の *F*-test を用いて多重比較を行った ($P < 0.05$)。同一試験区内の雌雄間の平均値の差は、Mann-Whitney の *U*-test を用いて検定した。検定における有意差の基準を $P < 0.05$ とした。

結 果

水温 各試験区の最低水温は、対照区では毎年2月に4~6°C、12°C区では毎年12月から翌年の4月の間に12°C、15°C区では毎年11月から翌年の5月の間に15°Cを示した。最高水温はすべての試験区で毎年9月に22~24°Cを示した (Fig. 1)。試験開始から終了までの各試験区の水温の平均値 (± SD) は、対照区では12.3 (5.0) °C、12°Cでは14.3 (3.3) °C、15°C区では16.2 (2.2) °Cとなり、対照区に比べて12°C区は約2°C、15°C区は約4°C高い値を示した。

成長 試験開始直後の生後7~9カ月では、試験区間の全長に有意差は認められなかった。しかし、10~15カ月ではすべての試験区間の全長に有意差が認められ、15°C区が最も大きく、12°C区、対照区の順であった (Fig. 2)。16~26カ月では対照区と15°C区の全長に有意差が認められ、若干の月で対照区と12°C区、12°C区と15°C区の間にも有意差が認められた。27~33カ月では、すべての試験区間に有意差が認められなくなった。それ以降は対照区と12°C区、12°C区と15°C区の間にも有意差が認められなかった。

意差が認められる月もあったが、この間の対照区と15℃区の間には有意差がまったく認められなかった。

成長率 成長率を6カ月ごとに集計した値を試験区ごとに示した (Fig. 3)。生後7～12カ月までは有意差が認められなかったものの、15℃区、12℃区、対照区の順で高い成長率が示された。しかし、生後13～18カ月では、成長率は対照区、12℃区、15℃区の順で高く、生後7～12カ月とは異なった結果となった。19カ月以降では、すべての試験区でほぼ同じ成長率であり、顕著な差は認められなかった。

雌雄別の成長 雌雄の全長の推移を Fig. 4に示した。雄では、3.5歳の対照区と15℃区、12℃区と15℃区の間には有意差が認められた。これに対し、雌では1.5歳から2.5歳までの対照区と15℃区、3.5歳の対照区と12℃区、12℃区と15℃区、4歳時の12℃区15℃区の間で有意差が認められた。一方、同一水温下では、対照区で2.5歳、12℃区で2歳、15℃区で1.5歳から雌が有意に大きく、水温の高い区ほど早い年齢から雌雄間の差が明瞭になった。

GSI 値 雄の GSI 値は、1.5歳の12℃区および15℃区で0.03～0.08と僅かに増加したが、対照区では変化は認められなかった (Fig. 5)。2.5歳ではすべての試験区で0.5～0.7、さらに3.5歳では0.8～1.0となり、大幅な増加が認められた。しかし、試験区間の GSI 値

には有意差は認められなかった。

雌の GSI 値は、2歳まで変化が認められなかったが、3歳では0.3～0.5、4歳では0.9～1.6となり、すべての試験区で加齢に伴い増加した。試験区間の GSI 値は3.0歳まで有意差が認められなかったが、4歳では15℃区が対照区および12℃区に比べて有意に高い値を示した。

成熟率 雄の成熟では GSI 値と同様の傾向を示し、1.5歳の12℃区と15℃区で成熟率が6.3～8.7%と僅かに上昇傾向であったが、対照区では0%であった (Fig. 5)。2.5歳および3.5歳では、すべての試験区で成熟個体が認められ、成熟率は2.5歳では77.8～100%、3.5歳ではすべての試験区で100%であった。

雌の成熟についても GSI 値と同様の傾向を示し、各年齢の成熟率は2歳では0%であった。しかし、3歳ではすべての試験区に成熟個体が認められ、成熟率は50～70%、4歳ではすべての試験区で100%となった。

交尾と出産 すべての雌が成熟した4歳時に卵巣内の精子の有無を調べた結果、対照区および15℃区ではすべての個体に、12℃区では5尾中4尾の個体にそれぞれ精子が観察された。出産は3歳および4歳の5月に対照区および12℃区で認められたが、15℃区では未受精卵のみが放出され、仔魚は認められなかった。

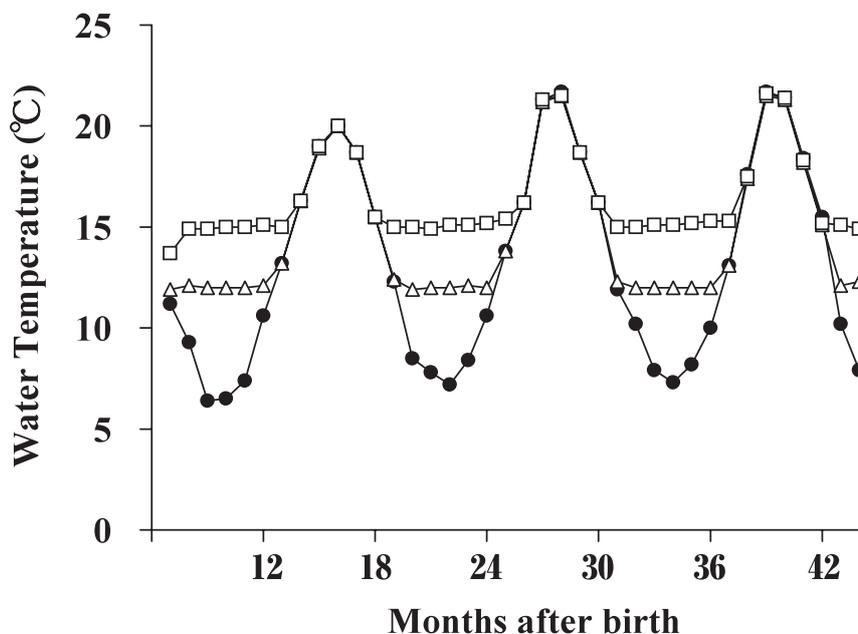


Fig. 1 Monthly changes of the rearing water temperature. Closed circles indicate control, open triangles 12℃ and open squares 15℃ during winter.

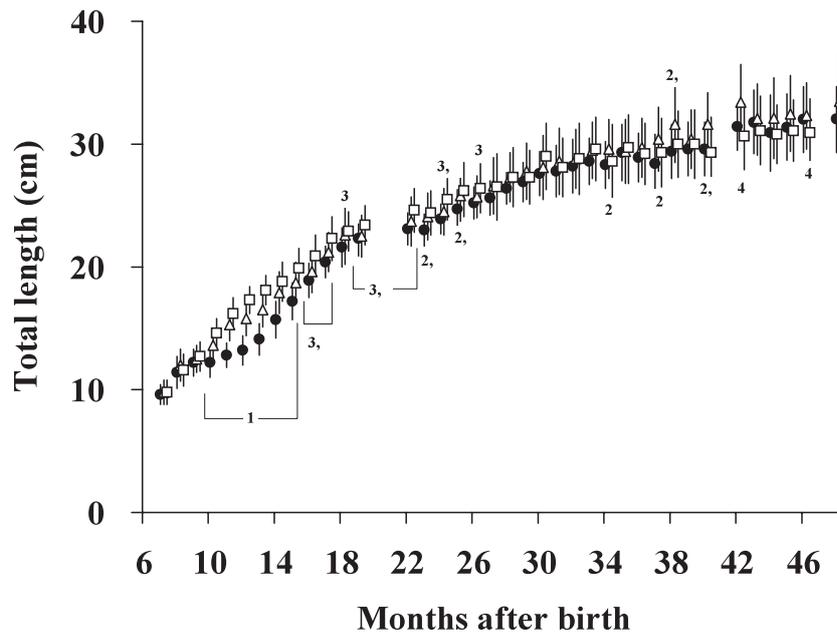


Fig. 2 Growth in total length of black rockfish. Closed circles indicate control, open triangles 12°C and open squares 15°C rearing groups. Vertical bars indicate S. D. of the mean. 1; Total lengths were significantly different ($P < 0.05$) among 3 experimental groups during the shown period. 2; Significant differences ($P < 0.05$) were observed between control and 12°C. 3; Significant differences ($P < 0.05$) were observed between control and 15°C. 4; Significant differences ($P < 0.05$) were observed between 12°C and 15°C.

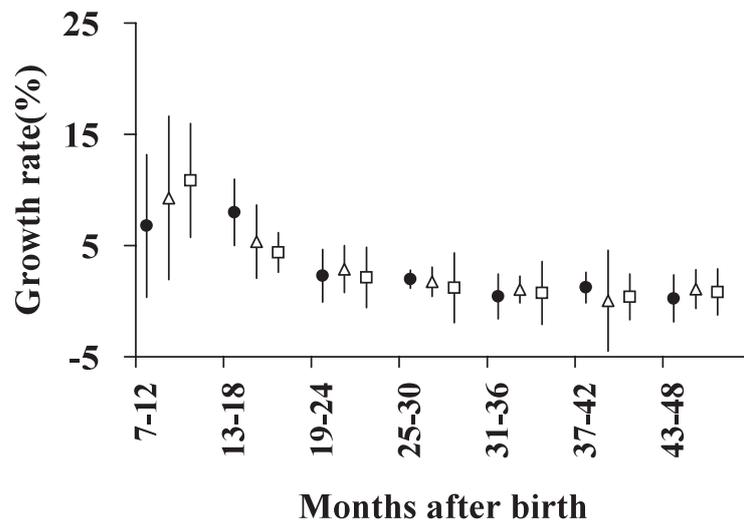


Fig. 3 Monthly changes of the growth rate in black rockfish. Closed circles indicate control, open triangles 12 °C and the open squares 15°C rearing groups. Vertical bars indicate S. D.

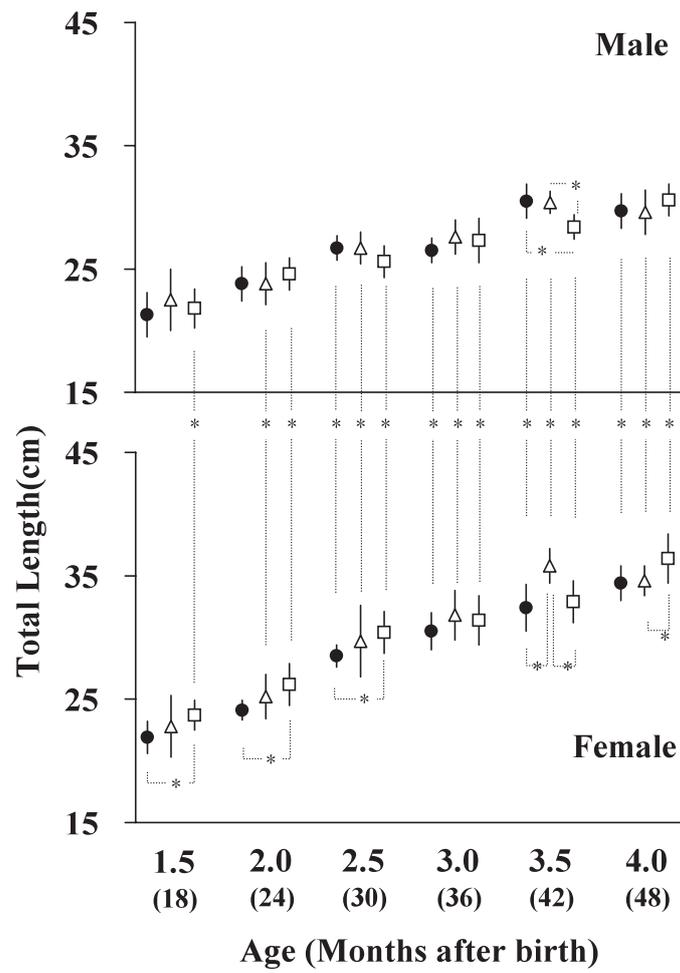


Fig. 4 Relationship between age and total length of female and male in the black rockfish. Closed circles indicate control, open triangles 12°C and open squares 15°C rearing groups. Vertical bars indicate S. D. Asterisks indicate significant difference between each experimental group.

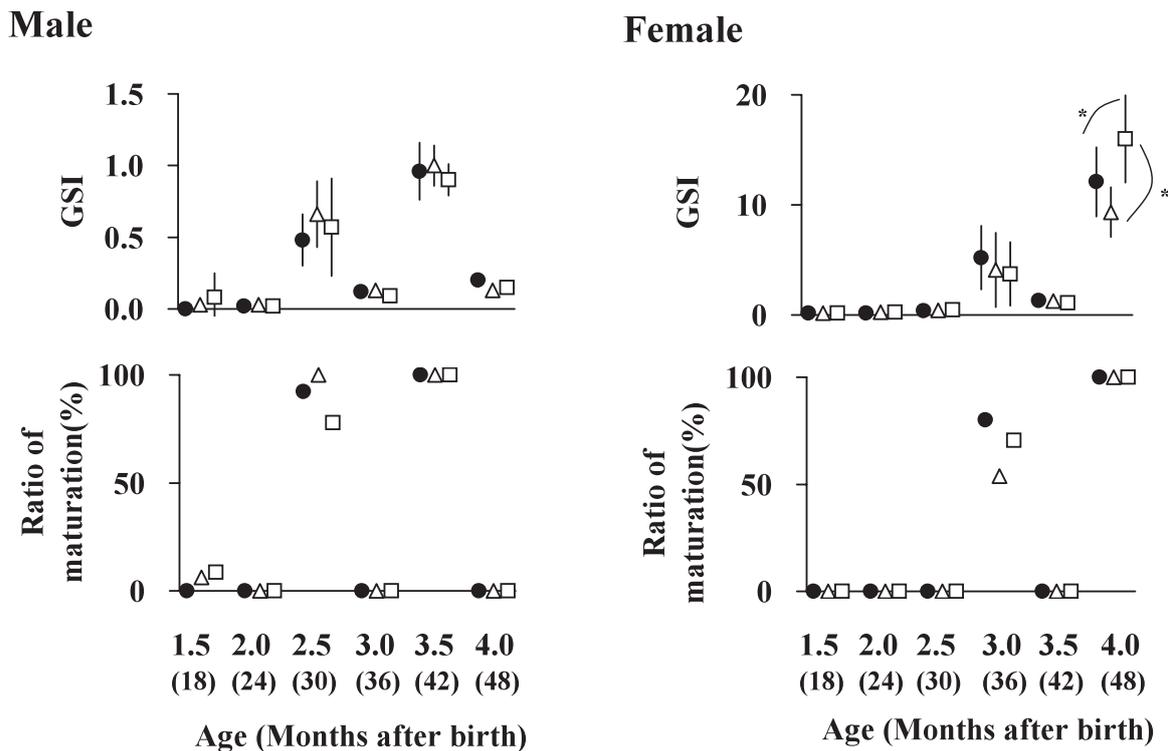


Fig. 5 Relationship between age, gonad somatic index (GSI) and ratio of maturation in female and male black rockfish. Closed circles indicate control, open triangles 12°C and open squares 15°C rearing groups. Vertical bars indicate S. D. Asterisks indicate significant difference between each experimental group.

考 察

水温がクロソイの成長に与える影響 生後10~15カ月までの全長には、すべての試験区間に有意差が認められ (Fig. 2), クロソイでは飼育水温が成長に影響を与えることが明らかになった。しかし、生後16カ月以降では次第に各試験区の差が小さくなる傾向が観察され、2歳を過ぎると明瞭な全長差は認められなくなった。これは1歳前半の成長速度がそれ以前とは逆に低水温区ほど高く、さらに1歳後半以降は水温間に成長速度の差が認められなくなったからである (Fig. 3)。魚類の成長速度は、水温のほかに光周期 (Thrush *et al.*, 1994; Duncan *et al.*, 1999; Bromage *et al.*, 2001), 飼育密度 (McClain, 1995; Jarboe and Romaine, 1995), 遺伝 (Glebe and Saunders, 1986; Ritter *et al.*, 1986) の影響を受けることが知られている。しかし、本研究では同じ親魚群から得られた稚魚を用い、光周期や飼育密度は同一条件下で実施されており、これらの要因の影響はほとんど考えられない。魚類では、給餌を制限した後に再び餌を与えると

通常より著しく高い成長を示す、いわゆる補償成長が報告されている (Miglavys and Jobling, 1989; Jobling *et al.*, 1994)。本研究では、すべての試験区で飽食量を与えられていることから、直接的な給餌制限を行ったわけではない。ニジマス *Salmo gairneri* では、低い水温を経験した後に、水温の上昇とともに補償成長を示すことが報告されている (Dobson and Holmes, 1984)。これは低水温によって間接的な給餌制限を受けた後、水温の上昇とともに摂餌が活発になり、低水温を経験しなかった個体よりも高い成長を示した例である。クロソイにおいても低水温を経験した区ほど高水温期 (13~18カ月) に高い成長を示したのは、本種についてもニジマスと同様の補償成長のメカニズムが働いた可能性を示唆している。

今回の試験では、雄の成長と水温との間に一定の傾向は見られず、3.5歳を除いて各試験水温区間の全長に有意差は認められなかった。一方、雌では2.5歳までは全長において対照区<12°C区<15°C区の傾向が認められた (Fig. 4)。3歳以降、この傾向が明瞭でなくなった理由として、成熟の影響が考えられるが、具体

的な機構は不明である。また、雄の成長速度は水温に対応しなかったのに対して、雌では高水温ほど高成長であったことから、高水温区ほど早い年齢から雌雄間の全長差が明瞭になったと考えられる。

佐々木ら (2004) は、北海道海域で漁獲されたクロソイについて、雌雄間の成長差を報告しているが、宮城県海域では雌雄間の全長の差は認められていない (酒井ら, 1990)。天然魚における雌雄の成長差については、海域ごとの環境特性を含め、さらに詳細に調べる必要がある。

以上述べてきたように、クロソイの親魚養成において最低水温を12℃あるいは15℃に維持しても、成長の促進効果は概ね2歳までであることから、加温飼育の効果は低いと判断された。

水温がクロソイの成熟に与える影響 成熟年齢を決定するメカニズムは、生物学的要因および環境条件によって影響を受けることが知られている (Glebe and Saunders, 1986; Ritter *et al.*, 1986; Chadwick *et al.*, 1986; Duncan *et al.*, 2002)。アマゴ *Oncorhynchus masou* では、冬季の水温を高めることで、初回成熟の年齢が早期化することが報告されている (新聞・北村, 1987)。天然海域におけるクロソイの初回成熟は、雄では2歳、雌では3歳とされている (佐々木, 1979)。今回加温した12℃および15℃区では、1.5歳の雄に僅かな成熟個体が出現したが (Fig. 5)、雌の成熟はすべての試験区で3歳からであった (Fig. 5)。従って、本研究で設定した水温の範囲内では、冬季の加温に成熟を促進する効果はほとんどないと判断された。

15℃区では交尾が確認されたにもかかわらず、出産期に未受精卵のみが放出され、出産は認められなかった。クロソイにおける未受精卵の放出は、これまで未交尾に起因すると推察されてきた (第2章第3節)。一方、Mori *et al.* (2003) は、宮古センターにおけるクロソイ雄の生殖年周期の観察結果から、8月から10月に精細胞および精子が増加することを報告した。本研究における8月から10月の期間は、すべての試験区で同じ水温で推移しているのに加えて、交尾期 (11月) の水温は約15℃であった (日本栽培漁業協会, 2000)。このことから、最低水温を15℃に設定したことで、雄の成熟に支障を与えたとは考えにくい。従って、今回観察された未受精卵の放出の要因としては、雄の成熟状態の影響より、交尾後に雌体内の精子や卵の成熟、授精および出産に水温が影響したことが考えられる。すなわち、健全な仔魚を得るためには、冬季にある程度の低水温を経験する必要があることが明らかになった。

このように水温は、クロソイの成熟だけでなく、

それに至るまでの成長など多面的に影響を及ぼしている。今後水温管理については、効率的な親魚養成技術の確立だけでなく、養殖等への応用も含めた技術の高度化を進める必要がある。

第2節 生殖年周期

前節ではクロソイの成長と成熟に関して述べたが、成熟年齢に達すると、一般的に生物は毎年種ごとに決まった時期に繁殖期を迎え、周期的な繰り返しを行う。この情報を得ることはただ単に生物学的知見にとどまらず、親魚養成技術を確立するためには最も重要であり、これを基に親魚管理をする必要があると考える。しかし、クロソイではこれらの知見は乏しい。

そこで本研究では、飼育下におけるクロソイ雌雄の生殖年周期を明らかにすることを目的とした。

試料と方法

供試魚 本試験に用いたクロソイは、宮古センターで種苗生産され、120kL水槽で飼育された7~9歳の雌雄 (雌の全長31.8~40.6 cm, 体重0.63~2.83 kg, 雄の全長27.1~36.0 cm, 体重0.58~1.27 kg) を、1997年12月から1998年11月までの間ほぼ月に1回、雌雄ともに5尾ずつ採集した。採集後には全長および体重を測定した。次いで生殖腺を摘出し、重量を測定して生殖腺体指数 ($GSI = \text{生殖腺重量} / \text{体重} \times 100$) を求めた。また雌については肝臓重量を測定し、肝臓指数 ($HSI = \text{肝臓重量} / \text{体重} \times 100$) を求めた。なお、11月から3月までは、雌魚を解剖する前に卵巣腔液を生殖口からカニューレーションにより採取して、光学顕微鏡により精子の有無を調べた。

組織学的観察 生殖腺の一部を Bouin 氏液で固定し、パラフィン法により組織標本を作成した。これに Delafield のヘマキシリン-エオシンの2重染色を施し、光学顕微鏡観察に供した。残りの卵巣の一部はホルマリンで固定した後、発達中と思われる大型の卵母細胞について直径を測定した。

統計処理 2群間の平均値の差の場合には、Mann-Whitney の *U*-test を用いて検定した。3群以上の場合には Kruskal-Wallis test を用いて検定した。差が認められた場合には Scheffe の *F*-test を用いて多重比較を行った。検定における有意差の基準を $P < 0.05$ とした。

結 果

雌の生殖周期

生殖腺体指数および肝量指数 雌の GSI (Fig. 6) は採集を開始した12月 ($3.6 \pm 0.3\%$) から増加し始め、妊娠が確認された4月 ($31.3 \pm 3.5\%$) 以降も増加し、出産前の5月に最高値 ($42.5 \pm 4.1\%$) を示した。その後、出産に伴い6月には急激に減少し ($1.8 \pm 0.1\%$)、7月から12月にかけては $1.1 \sim 1.8\%$ と低い値で推移した。雌の HSI (Fig. 6) は12月から3月までは $2.2 \sim 2.4\%$ と高い値で推移し、妊娠中に有意に減少して、出産前の5月には最低値 ($1.2 \pm 0.1\%$) を示した。その後、6月には再び有意な増加を示し、7月から10月までは $1.3 \sim 1.8\%$ で推移し、11月にはさらに増加した ($1.9 \pm 0.1\%$)。

卵母細胞の形態的特徴 本研究ではクロソイ卵母細胞の発達段階をエゾメバルの卵母細胞の分類 (Takemura *et al.*, 1987) に準じて8段階に分類した。各発達段階の特徴を以下に示した。なお、卵母細胞の直径は組織切片で測定した値である。

染色仁期: 直径約 $13 \mu\text{m}$ 。細胞質は極めて少なく、細胞の大部分を占める核内には大型の仁が1個存在する。

周辺仁前期: 直径 $30 \sim 60 \mu\text{m}$ 。細胞質は薄く、ヘマ

トキシリンに好染する。核内には核膜に沿って数個の仁が不規則に分布する。

周辺仁後期: 直径 $50 \sim 130 \mu\text{m}$ 。細胞質のヘマトキシリンに対する染色性が前期に比べて低下する。核と細胞質は共に前期より増大し、ヘマトキシリンに一樣に染まるようになる。仁は前期より目立たなくなる。

油球期: 直径 $110 \sim 270 \mu\text{m}$ 。細胞質のヘマトキシリンに対する染色性は、周辺仁期と比べ著しく低下する。核と卵母細胞周縁部の中間付近の細胞質中には、パラフィン切片では空胞状を呈し、オスミウム酸固定したエポキシ切片では褐色に薄染される油球が多数見られる。

第一次卵黄球期: 直径 $260 \sim 450 \mu\text{m}$ 。細胞質の周縁部にエオシン陽性の卵黄球が出現するが、まだ細胞質全体を満たしていない。核を取り巻く細胞質の外側には様々な大きさの油球が見られる。この時期の細胞質中には卵黄胞 (表層胞) とみなされる PAS 陽性の顆粒 (直径 $3 \sim 5 \mu\text{m}$) が散在する。卵膜は PAS 陽性を示し、厚さ約 $1 \mu\text{m}$ である。

第二次卵黄球期: 直径 $420 \sim 610 \mu\text{m}$ 。卵黄球は細胞質全体を満たし、その後も蓄積を続ける。油球も細胞質全体に分布するようになる。PAS 陽性の顆粒はこの時期にも認められる。卵膜の厚さは $2 \mu\text{m}$ となる。

第3次卵黄球期: 直径 $590 \sim 950 \mu\text{m}$ 。卵黄球の蓄積

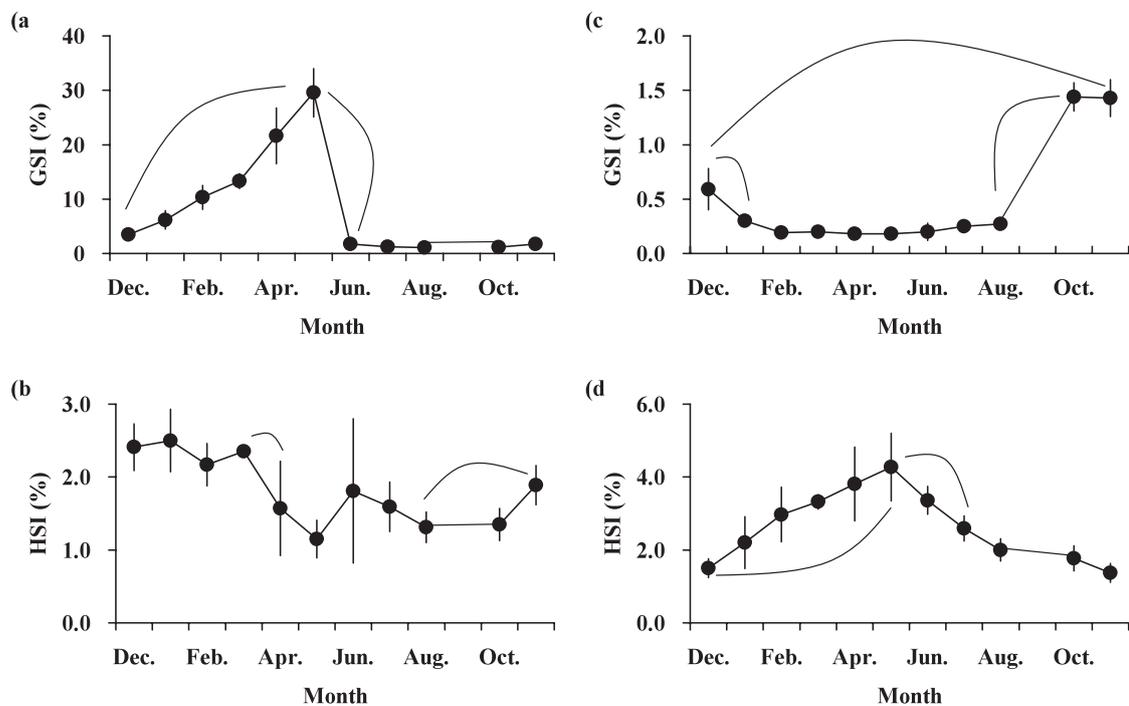


Fig. 6 Annual changes in gonadosomatic index (GSI) and hepatosomatic index (HSI) of female and male black rockfish. (a) female GSI; (b) female HSI; (c) male GSI; (d) male HSI. *Significantly different from each other. $n=5$ in each sampling.

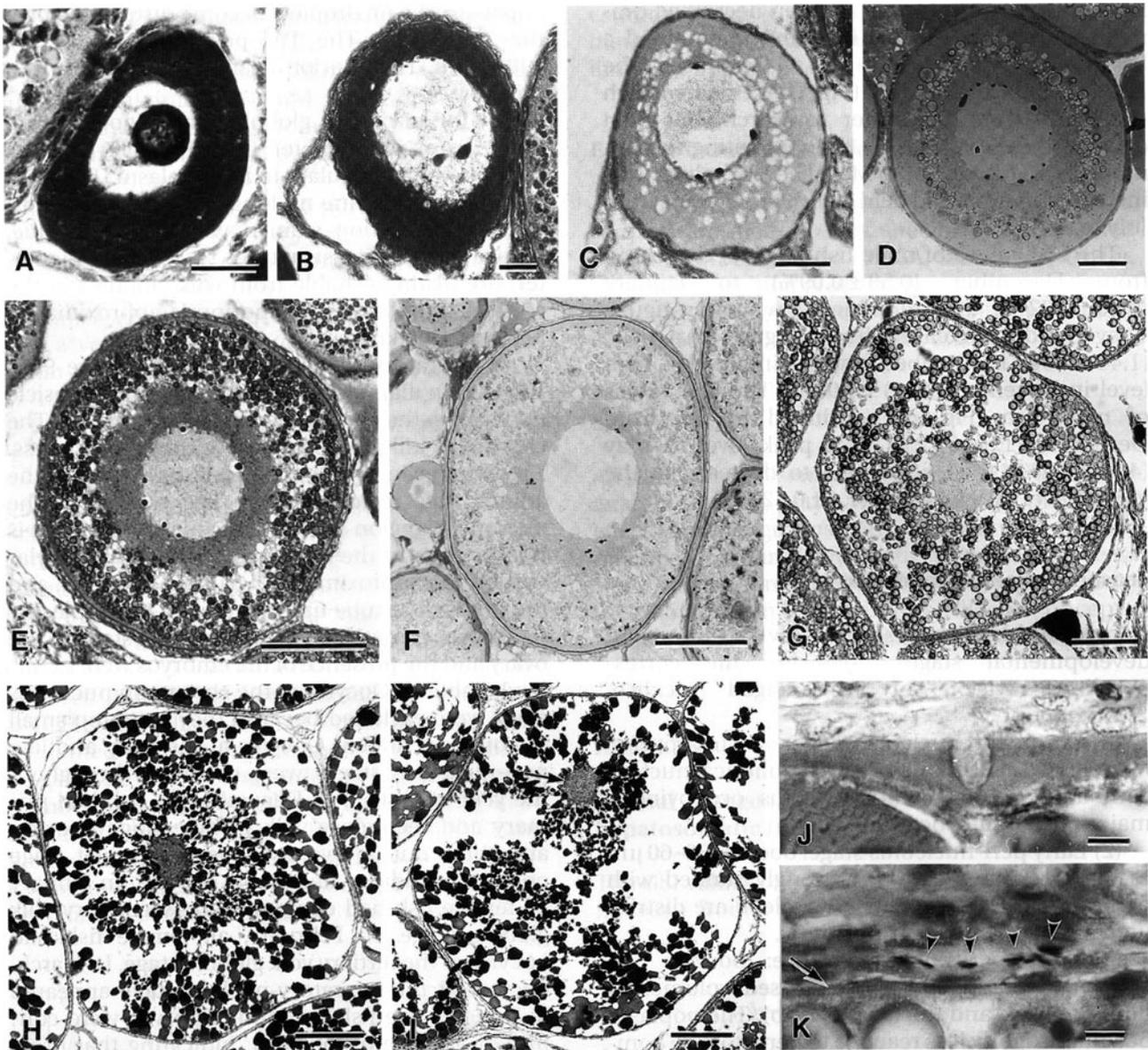


Fig. 7 Histological observations of oocytes in black rockfish. (a) early peri-nucleolus stage (bar= $10\ \mu\text{m}$); (b) late peri-nucleolus stage (bar= $20\ \mu\text{m}$); (c) oil droplet stage (bar= $50\ \mu\text{m}$); (d) oil droplet stage (bar= $50\ \mu\text{m}$). Epoxy section with toluidine blue staining; (e) primary yolk globule stage (bar= $50\ \mu\text{m}$); (f) primary yolk globule stage (bar= $50\ \mu\text{m}$). Periodic acid-Schiff (PAS) staining; (g) secondary yolk globule stage (bar= $100\ \mu\text{m}$); (h) tertiary yolk globule stage (bar= $200\ \mu\text{m}$); (i) migratory nucleus stage (bar= $200\ \mu\text{m}$). Arrow indicates nucleus; (j) micropyle apparatus in migratory nucleus oocyte (bar= $5\ \mu\text{m}$); (k) sperm (arrowheads) in the ovary in February. A long arrow indicates chorine (bar= $5\ \mu\text{m}$).

Table 1. Monthly changes of each stage of oocytes and embryos in black rockfish

Month	Stage							
	EPN	LPN	OD	PYG	SYG	TYG	MN	EMB
Dec.	+	+	+	+	+			
	+	+	+	+	+			
	+	+	+	+	+			
	+	+		+	+			
Jan.	+	+		+	+			
	+	+		+	+			
	+	+			+			
	+	+			+			
Feb.	+	+			+	+		
	+	+			+	+		
	+	+				+		
	+	+				+		
Mar.	+	+				+		
	+	+				+	+	
	+	+				+	+	
	+	+				+	+	
Apr.	+	+				+	+	
	+	+						+
	+	+						+
	+	+						+
May	+	+						+
	+	+						+
	+	+						+
	+	+						+
Jun.	+	+	+					
	+	+	+					
	+	+	+					
	+	+	+					
Aug.	+	+	+					
	+	+	+					
	+	+	+					
	+	+	+					
Oct.	+	+	+					
	+	+	+					
	+	+	+					
	+	+	+					
Nov.	+	+	+	+				
	+	+	+	+				
	+	+	+	+				
	+	+	+	+				

Existence in each ovary indicated by mark +. EPN, early peri-nucleolus stage; LPN, late peri-nucleolus stage; OD, oil droplet stage; PYG, primary yolk globule stage; SYG, second-ary yolk globule stage; TYG, tertiary yolk globule stage; MN, migratory nucleus stage; EMB, developing embryos.

により細胞は著しく大型化する。個々の卵黄球は前の時期より大型化し、均質な構造をとるようになる。PAS陽性の顆粒は識別できなくなる。卵膜の厚さは $3.5\mu\text{m}$ となる。

核移動期：直径 $920\sim 1040\mu\text{m}$ 。中心に位置していた核が動物極に移動する。卵黄球は植物極側から融合し始め、やがてエオシンに好染する1つの卵黄塊となる。卵膜の厚さは変わらず約 $3.5\mu\text{m}$ である。動物極側の卵膜には卵門が観察される。卵門部の卵膜は厚さが $7.4\mu\text{m}$ と他に比べて厚く、卵門の開口部の直径は約 $4.5\mu\text{m}$ で、卵原形質に近づくと急激に狭くなる。

卵巣内の精子の貯留形態 飼育水槽内で追尾行動が見られた11月および12月には、卵巣腔液中に精子が遊泳しているのが観察されたが、12月の切片組織からは精子は確認できなかった。一方、1月から3月にかけては採集時に卵巣腔液を採取しても、その中に精子を確認することはできなかった。しかし、この時期の組織切片を観察したところ、精子が濾胞を形成する顆粒膜細胞と莖膜細胞との間に侵入しているような像が頻繁に見られた (Fig. 7)。

卵巣組織の周年変化 各月に採集した5個体について、卵巣内での各発達段階の卵母細胞および胚の有無を調べた (Table 1)。ただし染色仁期の卵母細胞は小さく、数を正確に把握することが困難であったため、対象からは除外した。

周辺仁前期および周辺仁後期の卵母細胞は、1年を通じてすべての個体の卵巣内で確認された。各月における発達中の卵母細胞について見ると、12月には、油

球期の卵母細胞が5個体中2個体で見られ、第1次および第2次卵黄球期の卵母細胞が全個体で観察された。1月になると、油球期および第1次卵黄球期の卵母細胞は見られなくなり、ほとんどが第2次卵黄球期となった。2月になると第2次卵黄球期の卵母細胞もわずか2個体でのみ観察されるだけとなり、代わって第3次卵黄球期の卵母細胞が全個体で確認された。3月には、第3次卵黄球期の卵母細胞が全個体で確認され、さらに核移動期の卵母細胞が5個体中3個体で見られた。

4月には、5個体中3個体で胚が確認され、妊娠の開始が示された。1個体では排卵されていない第3次卵黄球期および核移動期の卵母細胞が確認され、残りの1個体は排卵異常 (一部の卵のみが排卵され発生) であった。5月には卵黄球期の卵母細胞は観察されず、4月に引き続いて発生中の胚が見られた。6月になると胚は見られなくなり、代わって油球期の卵母細胞が5個体中4個体で確認された。8月および10月には油球期の卵母細胞が全個体で確認された。11月になると油球期の卵母細胞に加え、第1次卵黄球期の卵母細胞が全個体で確認された。

卵胞径の周年変化 個体ごとの発達中の卵胞の直径の平均を調べ、それを基に各月の平均を求めた (Fig. 8)。卵胞の直径は12月には $0.52\pm 0.03\text{mm}$ であったものが、3月 ($1.25\pm 0.03\text{mm}$) まで直線的に増加した。その後、妊娠中の4月 ($1.36\pm 0.02\text{mm}$) にも有意に増加した。6月から9月までは、卵胞が小さすぎたために正確な卵径を測定することができなかった。10月には $0.26\pm 0.01\text{mm}$ の卵胞が識別されるよう

Table 2. Monthly changes in frequency (%) of each stage of germ cells in the testis and appearance of sperm in the duct in male black rockfish

Month	n	Stage				Sperm in sperm duct
		SG	SC	ST	SZ	
Dec.	5	-	9.8 ± 1.78	11.2 ± 2.13	79.0 ± 3.30	5
Jan.	5	0.4 ± 0.26	17.6 ± 3.68	32.9 ± 12.34	49.1 ± 14.75	5
Feb.	5	15.3 ± 15.3	51.3 ± 13.41	22.6 ± 6.55	10.8 ± 6.06	5
Mar.	5	57.8 ± 1.48	42.2 ± 1.48	-	-	5
Apr.	5	71.7 ± 7.09	28.3 ± 7.08	-	-	2
May	5	59.2 ± 11.57	40.8 ± 11.57	-	-	0
Jun.	5	0.5 ± 0.33	77.9 ± 9.62	16.6 ± 6.77	5.0 ± 4.16	0
Jul.	5		66.6 ± 5.92	16.1 ± 4.27	17.3 ± 2.70	3
Aug.	5		35.7 ± 3.47	18.5 ± 3.94	45.8 ± 5.74	4
Oct.	5		30.1 ± 30.16	13.8 ± 4.49	56.1 ± 2.57	5
Nov.	5		7.7 ± 1.18	6.6 ± 1.17	85.7 ± 2.07	5

SG, spermatogonia; SC, spermatocytes; ST, spermatids; SZ, spermatozoa. Mean \pm SD.

*Numerals indicate the number of fish with spermatozoa in the sperm duct.

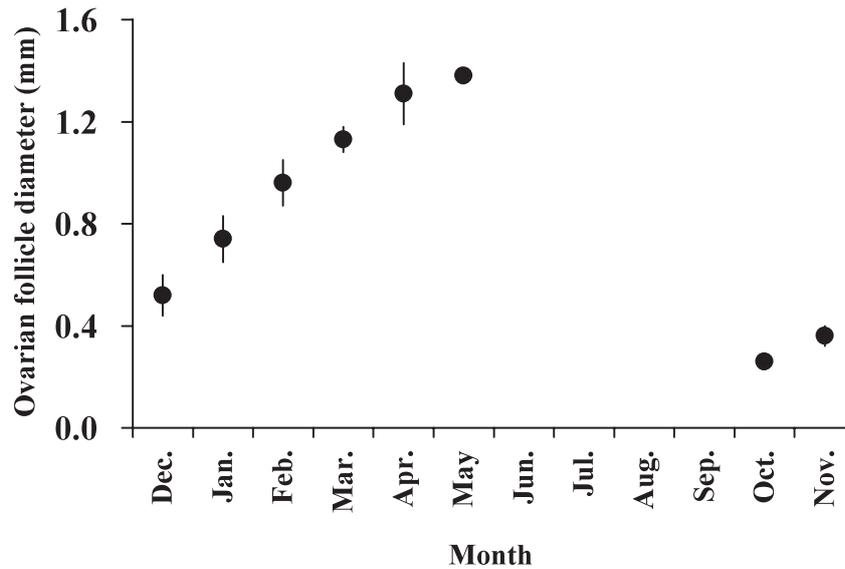


Fig. 8 Annual changes in oocyte follicle diameters in black rockfish. Each value is significantly different from those of adjoining months. $n=5$ in each sampling.

になり、卵黄形成が始まる11月には 0.37 ± 0.02 mmと増大した。

雄の生殖年周期

生殖腺体指数 雄のGSIの変化をFig. 6に示した。GSIは12月 (0.59 ± 0.09 %) から1月 (0.30 ± 0.02 %) にかけて有意に減少し、7月 (0.25 ± 0.02 %) まで低い値で推移した。8月 (0.27 ± 0.02 %) 以降急激に増加し、10月には最高値 (1.44 ± 0.06 %) をとり、11月まで高い値 (1.43 ± 0.08 %) で推移した。

精巣組織の周年変化 クロソイの精子形成過程における雄性生殖細胞の発達過程を精原細胞、精母細胞、精細胞、および精子の4段階に分け、各生殖細胞が精巣内で占める割合、および輸精管内の精子の有無を調べた (Table 2)。12月には精子が高い割合 (71.7~88.9 %) で存在したほか、精母細胞および精細胞の包囊も見られた。輸精管には精子が充満していた。1月は12月に比べ大きな変化は見られなかった。2月になると精子の割合が低下し (0~27.1 %), 精原細胞の包囊が著しく多い個体が出現した。3月には精細胞および精子は全く見られなくなり、全個体で精原細胞および精母細胞だけが見られた。輸精管には残留精子が見られた。4月および5月には3月と同様に精原細胞および精母細胞のみが見られた。しかし、輸精管に精子が見られない個体が現れ、5月には全個体で輸精管に精子が見られなくなった。6月には精原細胞の包囊の割合が急激に減少し、代わって精母細胞が高い割合 (49.3~100 %) で見られるようになり、3個

体では精細胞および精子も見られた。7月から8月にかけては精母細胞の割合が減少し、すべての個体で精細胞および精子が見られた。また、輸精管に精子が見られる個体が出現した。10月には精子の割合が増加し (46.7~61.8 %), すべての個体で輸精管に精子が見られた。11月には精子の割合が急激に増加し (65.8~88.1 %), 輸精管の精子による拡大が見られた。

考 察

雌の生殖周期 クロソイの雌の生殖腺体指数 (GSI) は、12月から5月にかけて有意に増加した (Fig. 6)。この時期には活発な卵黄蓄積を行っていることが組織学的観察から確認され、卵径も直線的に増大していた (Fig. 7)。また、妊娠中の4月から5月にかけてもGSIは増加し、6月には出産により急激に減少した。その後、10月までは低い値で推移し、卵黄形成が開始する11月には再び増加傾向を示した。このように、本種の雌のGSI値の変化は卵巣の成熟度をよく反映しているといえる。

雌の肝量指数 (HSI) は、活発な卵黄蓄積を行っている12月から3月までは比較的高い値で推移したが、妊娠中の3月から5月にかけてHSIは有意に減少した (Fig. 6)。一般に胎生魚では妊娠中に母体の肝臓重量が減少し、これは母体から胎仔への栄養供給によると考えられている (Korsgaard and Petersen, 1979; Takahashi *et al.*, 1991; Koya *et al.*, 2000)。クロソイ

の属するメバル属は、原始的な卵黄栄養依存型の胎生様式をとると考えられてきたが (Wourms, 1981)、最近の研究では今まで考えられてきた以上に栄養的に母体へ依存している可能性が示されている (Boehlert and Yoklavich, 1984; Boehlert *et al.*, 1986; 竹村, 1989)。従って、本研究で妊娠中にクロソイの HSI が減少したのも、肝臓に蓄えた栄養分を胚への栄養供給のために消費したことに由来する可能性が考えられる。

今回の研究では、油球期の卵母細胞は 6 月に見られ始め、8 月にはすべての個体で観察されるようになった (Table 1)。11 月には卵黄球期の卵母細胞が見られ始め、卵黄形成の進行と共に油球期が見られる個体数は減少し、1 月には全く見られなくなった。その後、卵黄球期の卵母細胞は一群となって成長し、核移動期へ至った。また発達中の卵胞の直径を調べた結果、各月の卵径は比較的均一であり、卵黄蓄積とともに直線的に増大した。従って、本種は発達中の卵群が一群となって卵黄蓄積を行い、排卵される、卵群同期発達型の様式 (高野, 1987) をとるといえる。また、胚発生が個体ごとに同期的に起きたことから、本種では妊娠と出産が 1 年に 1 回起きるといえる。以上のような卵発達および出産様式はメバル属に共通した特徴である。

本研究では、1 月から 3 月の組織切片で、精子が濾胞を形成する顆粒膜細胞と莢膜細胞との間に侵入しているような像が見られた。エゾメバル *Sebastes taczanowskii* では、卵巣内に送り込まれた精子は卵母細胞間の卵巣腔液が存在すると思われる部位に散在し、卵巣内に特定の精子貯留部位は確認されていない (Takemura *et al.*, 1987)。一方、この種の卵巣内精子を電顕観察したところ、卵巣腔内に遊離した状態で存在するものも見られたが、多くは卵巣薄板上皮に接するか、この細胞の表面に伸びる微絨毛で補足された状態で貯留されているのが確認されている (林, 1990)。フサカサゴ科ユメカサゴ属の *Helicolenus dactylopterus dactylopterus* では、卵巣薄板基部の結合組織の隙間に精子を貯留するためのポケット状の組織が存在するという (Muñoz *et al.*, 1999)。このように同じフサカサゴ科胎生魚でも精子の貯留形態は種によって異なるようである。

クロソイでは、追尾行動が見られた 11 月および 12 月には、卵巣腔液中に精子が遊泳しているのが確認されたが、この時期の組織切片からは精子は確認できなかった。これは組織標本作成の過程で、卵巣腔に浮遊状態で存在していた精子が流出したためと思われる。従って、クロソイでは卵巣内に侵入した精子は、初期に

は隙間の広い卵巣腔に分布し、その後濾胞層内に侵入して貯留されることが示唆された。このように、精子貯留部位が時期とともに移り変わることはメバル属では初めての観察例である。

本研究により、クロソイ雌の生殖周期は以下の 5 期に分けられた。

卵黄形成開始・交尾期 (11~12 月): 油球期の卵母細胞は卵黄蓄積を開始する。この時期に交尾が行われ、卵巣に送り込まれた精子は卵巣腔へと侵入していく。

卵黄形成盛期 (1~3 月): 卵母細胞は徐々に卵黄を蓄積し、これに伴い卵径は直線的な増大を示す。精子は卵巣腔から濾胞層内へと侵入して行く。

妊娠期 (4~5 月): 成熟し排卵された卵は、卵巣内に貯留された精子によって受精し、卵巣腔内で胚発生が進行する。この期間にも卵巣重量は増大し続ける。

出産期 (6 月): 卵巣内で発達した胚はやがて孵化して出産される。

回復期 (7~10 月): 周辺仁期から油球期への移行が見られる。卵黄蓄積はまだ起きていない。

Takahashi *et al.* (1991) は、メバル属胎生魚の卵黄形成期の長さが種ごとに著しく異なっていることを指摘している。暖海性のカサゴでは卵黄形成が約 1 カ月で終了し、交尾から受精までの期間が短い (水江, 1959) のに対して、寒海性のエゾメバルでは、卵黄蓄積の開始から最終成熟まで約 6 カ月にもおよぶ (Takemura *et al.*, 1987)。エゾメバルより北方に生息する *Sebastes marinus* では卵黄形成期が 7~9 カ月とさらに長くなる (Sorokin, 1961)。本研究の結果、クロソイでは卵黄蓄積の開始から最終成熟まで約 5 カ月を要し、同緯度に生息するエゾメバルと類似した生殖周期を持っていた。

雄の生殖周期 クロソイ雄の GSI は 12 月から 1 月まで有意に減少した (Fig. 6)。この時期は組織学的観察から機能的な成熟期の終了期にあたり、精子を排出したために GSI が減少したと考えられた。その後 GSI は低い値で推移し、8 月から 10 月にかけて有意な増加を見せた。この時期は活発な精子形成が行われている時期であり、GSI の増加は減数分裂によると考えられた。その後、GSI は 11 月まで高い値で推移した。雌の卵巣内には、この時期から精子が見られるようになったことから、この時期に交尾が行われると考えられた。このように本種雄の GSI の変化は、精巣の成熟度をよく反映しているといえる。

本研究によりクロソイ雄の生殖周期は以下の 5 期に分けられた。

精原細胞増殖期 (3~5 月): 分裂増殖した精原細胞が 50 % 以上を占める。

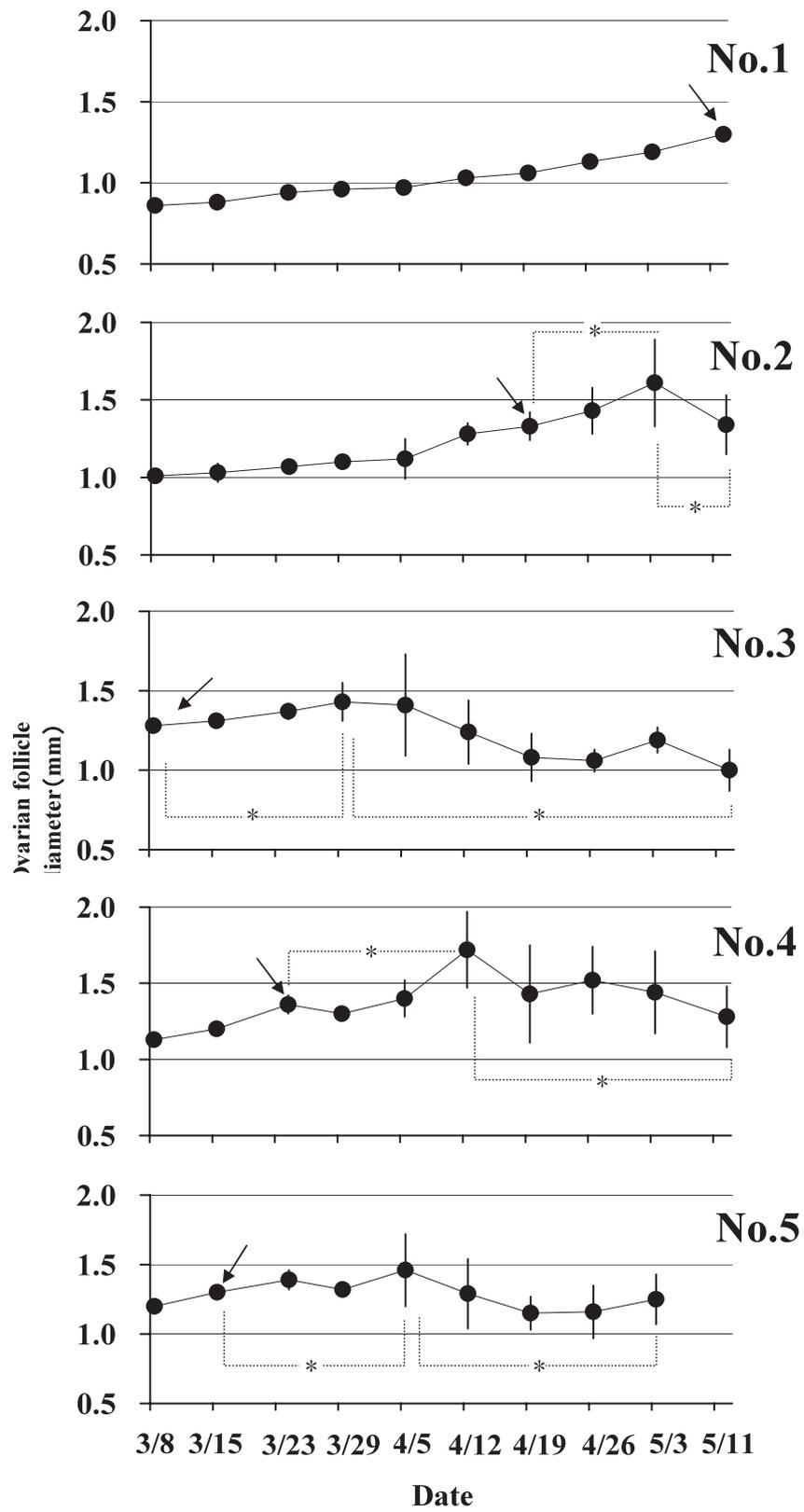


Fig. 9 Changes in oocyte follicle diameters in black rockfish. Vertical bars indicate S. D. of the mean. Asterisks indicate significant difference between each other. Arrows indicate observed date of ovulation.

精子形成前期（6～7月）：精原細胞の包囊が占める割合は急激に減少し、精母細胞が50%以上を占める。精細胞および精子も見られるようになる。

精子形成後期（8～10月）：精母細胞の占める割合は減少し、精細胞および精子の占める割合が増加する。この時期にGSIは急増する。

機能的繁殖期（11～12月）：精子の占める割合が70%を超える。輸精管内には精子が充満する。

回復期（1～2月）：精細胞および精子の包囊の占める割合が減少し、精原細胞が見られるものも出現する。輸精管には残留精子が多数存在する。

本種と同じフサカサゴ科に属するメバルおよびカサゴには精原細胞の増殖を起こさない休止期が繁殖終了後およそ7カ月にわたって存在し、精子形成は4～5カ月の短期間で行われる（水江, 1958）。一方、エゾメバル、キチジ *Sebastolobus macrochir*, および *Helicolenus dactylopterus* では精子形成休止期間はなく、周年を通じて各ステージの生殖細胞が観察される（五十嵐, 1968; 古屋ら, 1994; Muñoz *et al.*, 1999）。今回の研究結果から、クロソイの精巣成熟過程はエゾメバルなどと類似しており、精子形成休止期を持たず、精子形成期がかなり長期におよぶことが明らかとなった。これはエゾメバルやクロソイなど冷水域に棲息する魚種の特徴である可能性が考えられる。

第3節 交尾, 胚発生および出産

1. 交尾をしていない雌親魚の出産

第2節では雌雄の生殖年周期について述べてきた。しかし、本種の繁殖を成功させるためには、卵生魚には見られない胎生魚に特有な交尾というイベントがある。この交尾が成功しないと雌体内における卵はどのようなようになるのだろうか。

一方、本種の親魚養成技術の問題点の1つとして、親魚が出産期に未受精卵を放出する、いわゆる異常出産が報告され（秋田県, 1977）、宮古センターにおいても出産期の5～6月に毎年数例が確認されている（日本栽培漁業協会, 1984）。同様の現象は他種のメバルについても報告されている（相田ら, 1999）。親魚が出産期に卵で放出する要因としては、正常な交尾ができなかったことが推測されることから、この現象を実験的に検証する目的で、交尾期の前から雄親魚を除いて雌親魚だけで単独に飼育し、交尾ができない条件を設定した。また、カニューレションを用いて、各供試魚の卵巣卵径の変化を追跡するとともに、出産期に未受精の卵が放出されるか否かを調べた。

試料と方法

試験には、出産経験を有し背部筋肉中にピットタグ（AVID: Power Tracker II）を挿入して個体識別した養成7歳の雌親魚5尾（平均全長±標準偏差は48.9±2.1 cm, 平均体重±標準偏差は2.6±0.3 kg）を用いた。飼育試験は、1998年の交尾期前の7月から1999年の出産期の6月まで1 kL 円型ポリエチレン（黒色）水槽1面に収容して行った。試験期間中は自然水温条件下（6～24℃）で飼育し、冷凍アジを1週間に3回適宜給餌した。卵巣卵の観察と卵巣卵径の測定のため、カニューレションを用いて、1999年3月8日から5月11日まで約1週間間隔で個体ごとに卵巣卵の一部を採取した。カニューレションには、シリンジ（容量10 mL）に先端を鋭角に切断した約10 cmのシリコンチューブ（外径5 mm, 内径3 mm）を装着したものをを用いた。得られた卵巣卵は、濾過海水を入れたシャーレに移し、30粒の卵径を万能投影機（Nikon, V12）により測定して平均値（以下、平均卵径）を求めた。平均卵径の差をTukey-Kramer testにより検定した（ $P<0.05$ ）。

結 果

卵径の測定を開始した1999年3月8日には、既に親魚1尾（No.3）が透明化した未受精成熟卵（草刈, 1995）を有し、平均卵径は1.28 mmであった。他の4尾はすべて未成熟卵を有し、平均卵径は0.86～1.20 mmであった。その後、それぞれの親魚で排卵が確認され、排卵日と平均卵径はNo.1では5月11日に1.30 mm, No.2では4月12日に1.28 mm, No.4では3月23日に1.36 mm, No.5では3月15日に1.30 mmであった（Fig. 9）。これは草刈（1995）が報告している排卵時の卵径（1.20～1.30 mm）とほぼ同じ結果であった。卵径は排卵後にも有意に増大し、試験期間中の各親魚における最大卵径は、No.1では5月11日に1.30 mm, No.2では5月3日に1.61 mm, No.3では3月29日に1.43 mm, No.4では4月12日に1.72 mm, No.5では4月5日に1.46 mmに達した（Fig. 9）。しかし、その後No.1を除いて減少傾向に転じた（Fig. 9）。5月11日から6月5日の間にすべての親魚が卵で放出し、その平均卵径は1.31（1.11～1.55）mmで排卵時の卵径に近い値まで減少していた。なお、同じ日に複数の親魚が卵を放出したため、個体ごとの卵径は測定できなかった。

考 察

本試験の結果から、卵を放出する異常出産は、交尾ができないことが1つの要因であることが強く示唆された。本種の出産は年に1回なので、交尾をしていない親魚が多数存在すると、出産期には仔魚を得ることが困難になることが予想される。このため、交尾期の親魚管理には十分な給餌、水槽底面の汚れおよび交尾直前の移槽等のストレスを与えないような配慮が必要と考えられる。宮古センターにおける親魚は、周年、雌雄を同一水槽に収容して養成しているため、交尾の阻害要因としては外的要因によるストレス、雄親魚の機能低下あるいは過密飼育等の影響が考えられ、今後これらの要因についての検討が必要であろう。また、天然雌親魚を使って種苗生産を行う場合には、親魚の採集時期が交尾期より早いと、交尾をしていない可能性がある。このことから、天然親魚を利用する場合には、雄親魚と混養させるか、あるいはカニュレーションにより卵巣腔液を採取して、交尾が確認できた雌親魚のみを使う必要がある。

宮古センターで飼育しているクロソイ親魚は、11月に交尾し、4月に体内受精を経て5～6月に出産するという生殖年周期が明らかになった(第2章第2節)。これに合わせて、宮古センターでは交尾期を含む7月から2月には、雌雄を混合して大型水槽(RC100 kL)で飼育し、出産期を中心とした3～6月には、出産された仔魚を効率よく回収するため、雌のみを小型水槽

(FRP10 kL)で飼育している。

小型水槽に収容する雌親魚は、腹部の張り具合等の目視観察によって選別しているが、受精時期以降であればカニュレーションを用いることで卵発生が進行していない親魚をあらかじめ選別することができ、正常な出産(仔魚での出産)が可能な親魚の占める割合を高めることも可能と考えられる。

一方、人工的な飼育下ではニシン *Clupea palasii* (尾花ら, 1997), あるいはブリ *Seriola quinqueradiata* (榎田ら, 1981) の親魚では産卵が正常に行われないと、退行卵として卵巣内に残留し、次回の産卵に支障を来すことが知られている。しかし、クロソイでは退行卵になって、そのまま卵巣内に貯留することは観察されず、体内で受精が行われないと体外に卵のまま放出することが明らかになった。

2. 個体に固有な胚発生リズム

草刈(1995)はクロソイ胚の発生段階を詳しく研究し、水温条件が同じであれば、時間的に高い正確さを持って胚発生が進行することを報告した。すなわち、胚発生の初期に発生段階を調査すれば、出産日を予測できる可能性が示唆された。さらに、胚発生に個体ごとの固有なリズムが存在すれば、詳細な出産管理が可能になる。そこで、宮古センターで飼育しているクロソイ親魚を用いて、卵巣内の発生段階を同一個体について複数年にわたって調べ、個体ごとの胚発生リズムとその年周期性を検討した。

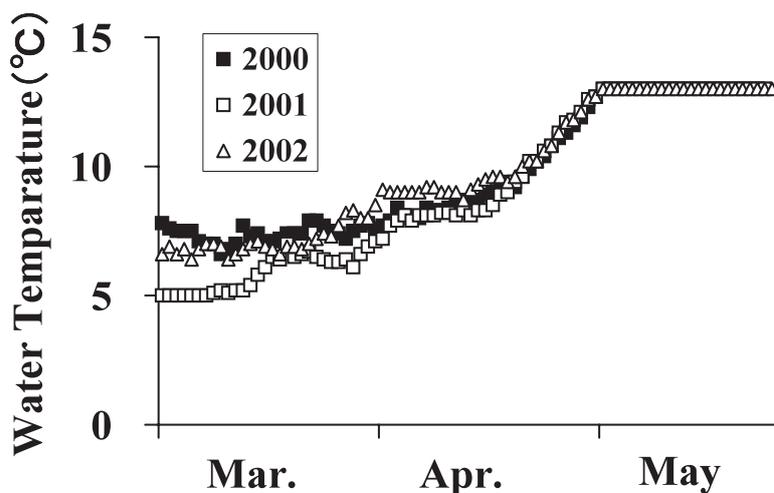


Fig. 10 Water temperature used for rearing of black rockfish broodstock in captivity.

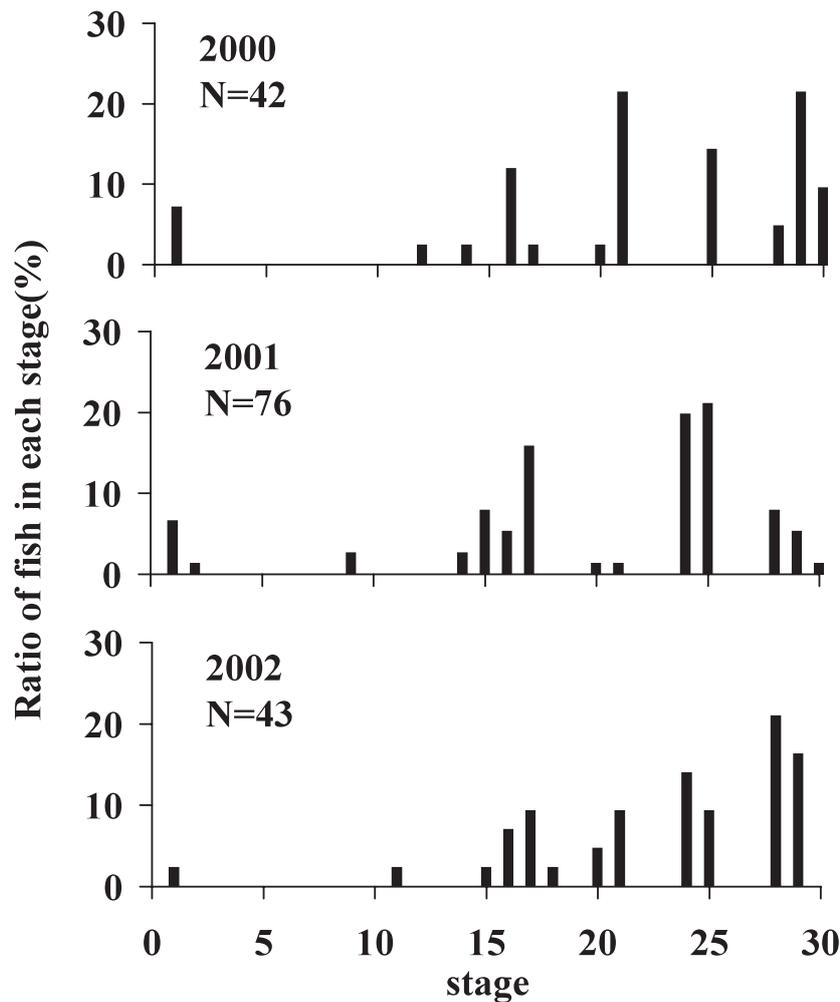


Fig. 11 Ratio of fish according to developmental stage in each investigation year.

試料と方法

宮古センターでは、自然水温下で周年飼育している屋内のコンクリート製100 kL水槽（以下、親魚水槽）から、出産の約2カ月前の3月上旬に雌親魚のみをFRP製10 kL水槽（以下、出産水槽）に移して出産させている。出産水槽におけるクロソイの出産に至るまでの水温条件は、4月までは自然水温、それ以降毎日0.3℃ずつ上昇させ5月上旬に13℃に達した後はそれを維持した（Fig. 10）。餌として冷凍マアジおよびカタチイワシを、1週間に3回残餌が少し出る程度給餌した。本研究では、宮古センターで飼育している1989年および1991年生まれの養成親魚を用いて2000年から2002年のほぼ同じ日に、個体ごとの胚の発生段階を調べた。宮古センターで飼育している雌親魚は4月上旬から中旬に受精することから（日本栽培漁業協

会、2000）、各年ともに受精後と考えられる4月下旬に卵巣内から胚を採取した。胚の採取日と調べた親魚の数は、2000年4月25日に42尾、2001年4月24日に76尾、2002年4月25日に43尾であった。2001年の76尾には2000年の42尾と2002年の43尾が含まれ、2000年から2002年に3年連続して調べた個体は9尾であった。

試験魚には背部筋肉中にピットタグ（AVID: Power Tracker）を挿入して個体識別を行い、生殖口からのカニューレーションによって個体ごとに一部の胚を採取した。得られた胚はろ過海水を入れたシャーレに移し、1個体につき30個の胚について、実体顕微鏡下で発生段階を観察した。なお、本種は卵群同期発達型の卵巣をもち（第2章第2節）、年1回出産することから（草刈、1995）、カニューレーションで得られた同一個体の胚は同一の発生段階にあった。クロソイの卵巣内における胚の発生は、草刈（1995）に従ってステージ（以

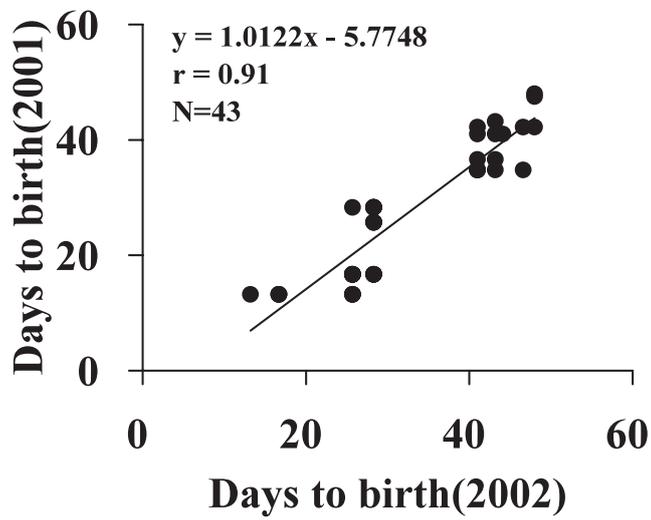
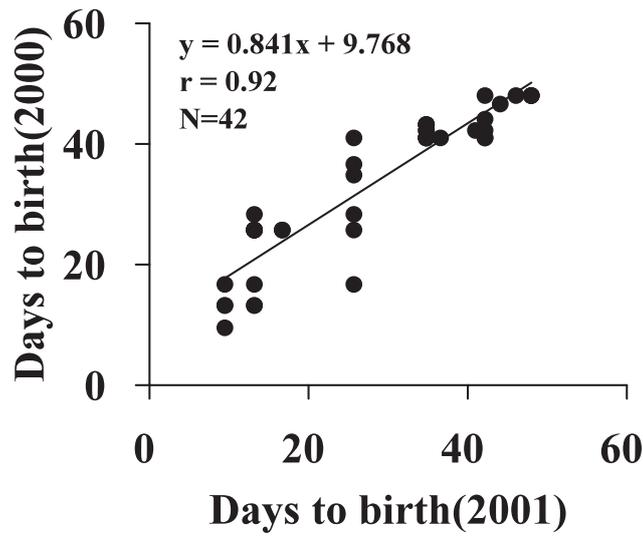


Fig. 12 Relationship between the required days to birth of individual embryo and examination year in black rockfish.

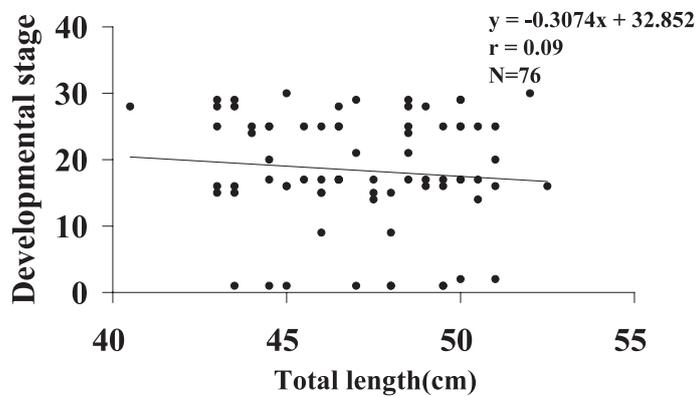


Fig. 13 Relationship between developmental stage and total length in black rockfish examined on April 24 or 25 in each year.

下, st.) 1~32に分類した。それによると, 未受精成熟卵 (st.1) から初期胞胚期 (st.10) まで発生するのに1.4日, 後期胞胚期 (st.11) から眼胚出現期 (st.20) までは11.4日, 耳胞原基出現期 (st.21) から卵黄囊減少期 (st.30) までは25.3日を要する。このように, 胚の発生が10段階進むのに要する日数はステージにより大きく異なる。そこで本研究では各個体において胚の発生段階を出産までの所要日数に変換して検討した。妊娠期間中の平均水温9.8℃では, 出産までの所要日数 (Y) と胚の発生段階 (X) の間には下記の関係式が得られていることから (草刈, 1995),

$$Y = -0.00142X^3 + 48.0028$$

各胚の発生段階を上記にあてはめて出産までの日数を求めた。宮古センターにおける2000年の妊娠期間中の平均水温は9.4℃, 2001年では9.1℃, 2002年では9.8℃であり, 草刈 (1995) の水温条件の9.8℃とほぼ同じであった。また, この式から得られた出産予定日と実際に産した日はほぼ一致した。

同一個体の胚発生について, 年による違いを検討するために, 2年間連続して調査した親魚については両年の出産までの日数の相関係数を求めた。なお, 3年間で連続して調べた9尾については2年間 (2000年と2001年, 2001年と2002年, 2000年と2002年) の相関を求め, 仮説検定を行った。帰無仮説 $\rho = 0$ とし, これを有意水準0.01で検定した。検定統計量は $t = \sqrt{N-2} / \sqrt{1-r^2}$ であり ($N =$ 自由度, $r =$ 相関係数), $\rho = 0$ の下で t が自由度 $N-2$ の t 分布に従うことを利用した。

結 果

各調査年の胚採取日における胚の発生段階の範囲は, 2000年には未受精成熟卵期 (st.1) から卵黄囊減少期 (st.30) であり, 発生初期 (st.1~14) の胚を有する親魚は5尾で全体に占める割合は11.9%, 発生中期 (st.15~25) は22尾で同52.4%, 発生後期 (st.26以降) は15尾で同35.7%であった。2001年には未受精成熟卵期 (st.1) から卵黄囊減少期 (st.30) の範囲にあり, 発生初期の胚を有する親魚は10尾で (13.2%), 発生中期は55尾 (72.4%), 発生後期は11尾 (14.5%) であった。2002年には未受精成熟卵期 (st.1) から体色素沈着期 (st.29) の範囲にあり, 発生初期の胚を有する親魚は2尾 (4.7%), 発生中期は25尾 (58.1%), 発生後期は16尾 (37.2%) であった。発生中期の胚を有する親魚の占める割合は, すべての調査年において50%を超えた (Fig. 11)。調査した3年間とも胚の発生段階の個体間の違いは大きく, 草刈 (1995) の結

果とほぼ同じであった。一方, 個体ごとの観察により, 同一個体の調査日から出産までの日数を連続する2年間で比較すると, 2000年と2001年では相関係数が0.92 ($t=14.8$), 2001年と2002年では0.91 ($t=14.1$) となり, 各年の間に有意な ($P<0.01$) 相関が認められた (Fig. 12)。さらに, 3年間連続して調べた9個体については, 2000年と2001年の間の相関係数は0.93 ($t=6.6$), 2001年と2002年の間には0.96 ($t=9.0$), 2000年と2002年の間は0.94 ($t=7.3$) であり, すべて有意な ($P<0.01$) 相関が認められた。

なお, 雌親魚の全長と調査日の胚の発生段階の間には (Fig. 13) 有意な関係は認められなかった ($r=0.09$, $P>0.05$)。

考 察

宮古センターで飼育しているクロソイの同一個体では, 4月下旬における胚の発生段階に関して年の差はほとんどなく, 調査した3年間では毎年同じ時期に, ほぼ同じ発生段階に達していた。ニシン (児玉, 1988) やマダイ (山口, 1978) では, 若齢魚に比べて高齢魚において産卵盛期が早いことが知られ, 年齢によって産卵盛期が異なることが知られている。

一方, 本種の胚発生には調べた範囲では親魚の全長および年齢の影響は認められず (Fig. 13), 親魚は個体ごとに固有の胚発生リズムを有しており, 毎年同じ時期に出産することが示唆された。

同一水温下では, クロソイ親魚の受精から出産までの胚の発生速度に個体差はほとんどないことが報告されている (草刈, 1995)。このことから, 親魚の個体ごとに有する胚発生のリズムは受精時期の違いによると考えられる。宮古センターでは11月に交尾が確認され, 精子は冬の間雌の卵巣内で不活休眠状態となり, 春に卵の成熟とともに再活性化され, 受精に至ることが推定されたが (第2章第2節), そのメカニズムは不明である。宮古センターにおけるクロソイの交尾期間は約1カ月, 産卵期間もほぼ同じ1カ月であることから (日本栽培漁業協会, 1992; 1993; 1994a; 1995; 1996; 1997; 1998; 1999; 2000), 卵巣卵の受精時期は交尾と関係している可能性が考えられる。しかし, 本種の雌親魚を交尾期の前から雌のみで飼育して, 人為的に交尾ができない条件を設定したところ, 交尾をしなくても卵成熟に至ることが明らかになった (第2章第3節-1)。これらのことから, 本種の交尾期は受精時期に直接関係していないことが推察された。一般的に魚類の成熟は, 外部環境要因である水温 (鈴木・山口, 1977; Newell and Branch, 1980;

Jobling, 1983; Carmona-Osalde *et al.*, 2004), 光周期 (Thrush *et al.*, 1994; Duncan *et al.*, 1999; Bromage *et al.*, 2001) などの影響を受ける。本試験に用いた親魚は水温、光周期および餌料などにおいて、同一条件で飼育されていることから、個体ごとに固有の胚発生リズムを形成する要因として遺伝的な影響が考えられる。それを明らかにするためには、次世代の子を親魚まで育成し、親から子への胚発生リズムの遺伝の有無を調べることが必要となる。ただし、水温により卵発生の速度が変化することがクロソイでも確かめられており(中川, 未発表), 親魚が経験した水温の年較差は、個体の胚発生段階に見られた若干の年較差の要因となった可能性は否定できない。

クロソイで見られた個体に固有な胚発生年周リズムは、他の魚種ではまったく報告されていない。他種におけるこのような胚発生リズムの存在や繁殖戦略上の意義は今後の重要な研究課題である。

本研究により、飼育しているすべての親魚について胚の発生段階を1回調べることで、個体ごとの胚発生の年周期性を把握できる可能性が示された。宮古センターでは親魚の飼育水温を自然水温より高くすることで、親魚群全体の出産期を早めることはできるものの、複数の親魚の出産を同調させることは難しい。宮古センターにおいて、1990~2000年に種苗生産用水槽(50 kL)に収容する50万尾のクロソイ仔魚を集めるのに必要な平均日数(範囲)は1.8(1~5)日であった。一方、ヒラメでは1.1日、マダイでは1.0日であり(日本栽培漁業協会, 1992; 1993; 1994a; 1995; 1996; 1997; 1998; 1998; 2000), 両種はほぼ1日の産卵で必要数の仔魚を収容した。これは、ヒラメおよびマダイでは親魚1尾あたりの産卵数が多く、しかも多数の親魚を用いていること、および両種が数日間隔で多回産卵(不完全同期発達型)するため可能となった。数日間にわたって出産されたクロソイ仔魚を同一の大型水槽に収容すると、体長差が大きいことから、強度の共食いが発生する。ゆえに、クロソイの効率的な種苗生産のためには、出産日を同調させて、できるだけ短い期間に必要な仔魚を得るための技術開発が求められる。

3. 胚の発生段階に基づく親魚選別による出産の同調化

前述のとおり、効率的な種苗生産を行うには良質なふ化仔魚を集中的、かつ大量に確保する技術が必要である。ヒラメなどの多回産卵魚では、親魚養成技術の進歩により1日あたり100万尾以上のふ化仔魚を安定して得ることが可能となっている(日本栽培漁業協

会, 1994)。しかし、胎生魚であるクロソイは、出産が年1回であり(草刈, 1995), 1尾あたりの産仔数も20万尾前後(清水・八幡, 1991)と少なく、群としての同調性がないため、集中的に大量の仔魚を得るのが難しい。さらに、仔魚を大量に得るために親魚の飼育密度を高めると死産が増加し(日本栽培漁業協会, 1992), 大型水槽を用いて親魚数を増やすと、遊泳力のある仔魚を回収できないという問題が生じる。このことから、クロソイの種苗生産機関では、大量のふ化仔魚の安定確保が大きな課題となっている。

本研究では、クロソイ親魚群の出産の同調性を高めるために、カニュレーションによりクロソイ親魚から胚を採取し、発生段階を調べて出産日が互いに近いと判断された個体を選別した。選別親魚群と非選別親魚群の出産日を比較し、出産の同調性に対する選別の効果を検証した。あわせて、胚の発生段階に基づいた親魚の出産日の予測精度を検証した。

試料と方法

親魚の飼育条件と試験区の設定 試験は2001~2003年の3年間に各1回ずつ、計3回実施した。供試魚には、1989~1991年に宮古センターで種苗生産されたクロソイを10~12歳まで養成した雌成魚を用いた。宮古センターで飼育するクロソイ親魚は11月に交尾し、4月の体内授精を経て5~6月に出産するという生殖周期を持つ(第2章第2節)。これに合わせて、宮古センターでは交尾期を含む7月~2月には、雌雄を混合して大型水槽(RC100 kL)で飼育し、出産期を中心とした3~6月には、出産された仔魚を効率よく回収するため、雌のみを加温可能な小型水槽(FRP10 kL, 以下、出産水槽)で飼育している。本試験でも同様のスケジュールで、3月上旬に供試魚を出産水槽2面に収容した。

本試験では、胚の発生段階に基づいて親魚を選別する「選別区」と、選別しない「対照区」の2区を設定した。出産水槽への収容尾数は、当初、選別区では34~40尾、対照区では16~20尾とし、選別後は両区の尾数をほぼ同数に揃えた。前述したように親魚の受精時期は4月上旬であるため、すべての供試魚で受精が完了すると考えられる4月下旬(2001年4月24日, 2002年4月25日および2003年4月24日)にカニュレーションによる胚の採取と観察を実施した。胚の観察方法は前項に準じた。胚の発生段階は、草刈(1995)に従いステージ(以下, st.) 1からst.32に分類した。なお、本種の胚は卵巣内では均一に発生するため(第2章第2節), 得られた胚は卵巣全体の発生状況を代表して

Table 3. Developmental stage and the expected date of birth from the inspection of embryos black rockfish from 2001 to 2003

Year	selected				control		
	Develop- mental stage	No. of fish	Expected * ¹ date of birth	selection	Develop- mental stage	No. of fish	Expected * ¹ date of birth
2001	28	5	10 May	using for experiment	25	3	16 May
	25	6	16 May		24	6	18 May
	24	10	18 May		21	1	23 May
	21	1	22 May		17	3	28 May
	17	3	26 May	15	3	30 May	
	15	2	28 May	10	3	1 Jun.	
	14	2	28 May	eliminated	UE* ²	1	
	5	1	30 May				
	2	1	31 May				
	UE* ²	9					
Total	40				20		
2002	29	9	6 May	using for experiment	28	3	9 May
	28	8	9 May		25	3	16 May
	25	4	16 May		24	3	18 May
	24	5	18 May		21	3	23 May
	21	2	23 May	17	1	27 May	
	20	2	24 May	16	2	28 May	
	17	2	27 May	eliminated	UE* ²	1	
	16	1	27 May		NT* ³	3	
	15	3	29 May				
UE* ²	2						
Total	38				19		
2003	29	1	6 May	using for experiment	29	1	6 May
	28	9	9 May		28	1	9 May
	25	6	16 May		25	3	16 May
	24	4	18 May		24	1	18 May
	21	3	23 May		21	2	23 May
	20	1	24 May	20	1	24 May	
	16	1	28 May	16	3	28 May	
	15	2	27 May	eliminated	2	1	31 May
	14	1	30 May		NT* ³	3	
	11	2	31 May				
UE* ²	3						
NT* ³	1						
Total	34				16		

*¹The expected date of birth from the inspection of embryos by a cannulation.

*²UE: unfertilized egg.

*³NT: Embryos were not collected by a cannulation.

Table 4. Total length, body weight, number of collected larvae, and period and interval of birth (T) of black rockfish broodstock females from 2001 to 2003

Year	groups	Number of fish examined	Total length	Body weight	Number of collected larvae	Number of larvae per broodstock	Period of birth	Number of birth day	T * ²
			(cm) (Mean \pm S.D.)	(kg) (Mean \pm S.D.)	($\times 10^4$)	($\times 10^4$)	(day)	(day)	
2001	selected	21* ¹	49.2 \pm 1.9	2.3 \pm 0.2	573.7	27.3	11	9	0.52
	control	20	48.5 \pm 1.6	2.1 \pm 0.2	465.1	23.3	20	12	1.00
2002	selected	21* ¹	49.7 \pm 1.6	2.1 \pm 0.2	486.4	23.2	15	10	0.71
	control	19	49.1 \pm 1.7	2.0 \pm 0.2	402.8	21.2	23	15	1.21
2003	selected	20* ¹	50.5 \pm 1.5	2.3 \pm 0.2	437.4	21.9	15	10	0.75
	control	16	49.7 \pm 1.7	2.2 \pm 0.2	353.7	22.1	23	12	1.44

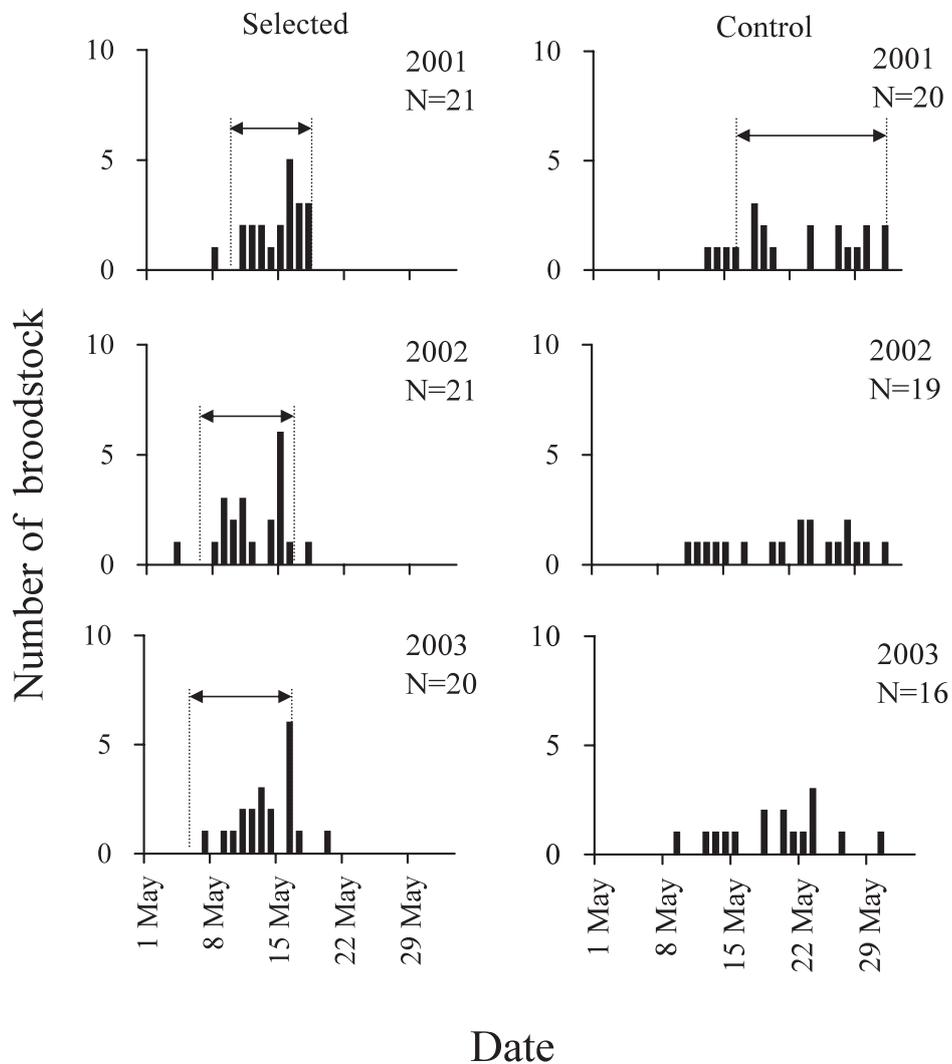
*¹ Selected fish by the inspection of embryos using cannulation.*² Period of birth / Number of broodstock females.**Fig. 14** Daily changes of the number of parturition in black rockfish females from 2001 to 2003. Arrows indicate the expected parturition period. Selected broodstock females by the observation of embryonic developmental stage were used for intensive parturition.

Table 5. Expected and actual dates, and conformity ratio of birth in black rockfish broodstock females from 2001 to 2003

Year	groups	Date of birth				Conformity ratio of birth* ² (%)
		Expected* ¹		Actual		
		start	finish	start	finish	
2001	selected	10 May	18 May	8 May	18 May	76.2
	control	16 May	1 Jun.	13 May	1 Jun.	85.0
2002	selected	6 May	16 May	4 May	18 May	90.5
	control	—	—	—	—	—
2003	selected	6 May	18 May	7 May	20 May	95.0
	control	—	—	—	—	—

*¹ Expected date of birth from the inspection of embryos by cannulation.

*² Conformity ratio of birth(%): The ratio of the broodstock females which gave birth within the predicted birth period.

いる。

出産水槽は、4月中旬まで自然水温（5.4～8.0℃）とし、選別を終えた4月下旬以降に昇温（0.3℃/日）を開始して13℃まで加温した。この水温管理は、宮古センターのクロソイ種苗生産試験で、5月上旬に仔魚を得るために毎年行っている方法であり、本試験でもこの昇温スケジュールに従った。出産水槽へ収容する3月上旬からすべての親魚の出産が終了する5月下旬までの飼育水温の範囲（平均）は、2001年が5.4～13.0（9.6）℃、2002年が6.4～13.0（9.7）℃、2003年が6.5～13.0（9.4）℃であり、年度間で顕著な差はなかった。

出産されたふ化仔魚は、水面付近を遊泳するため、出産水槽壁面の排水口から排出された海水とともに500 L水槽に集めて回収した。回収したふ化仔魚数は、出産日および水槽ごとに容積法で計数した。

出産の同調性の評価 出産の同調性は、各親魚群が出産の開始から終了までに要した日数 D を、収容した親魚数（選別区では選別後の尾数） N で除して得られる平均出産間隔 $T (= D/N)$ により評価した。

得られた T の3年間の平均値の差を、Mann-Whitney の U -test を用いて検定した。

出産期間の推定および的中率 草刈（1995）は、水温9.8℃における本種の胚の発生段階 X ($X = 1, 2, 3 \dots 32$) と出産までの所要日数 Y との関係は、

$Y = -0.00142X^3 + 48.0028$ で表されることを報告した。一方、本種の出産時期は水温によって変化する

（清水・八幡，1991）ため、本研究では9.8℃の水温一定の条件下で推定された草刈（1995）の式を、積算水温の条件下の推定式に読み替え、変動する水温下での出産日の推定を試みた。即ち、その時点の胚の発生段階 X から出産までの所要日数 Y に9.8℃を乗じた水温 PD ℃ ($= 9.8Y$ ℃) を、出産までに要する積算水温と仮定し、出産水槽の水温制御スケジュールに従った積算水温が PD ℃に達する日を出産日とした。なお、親魚を水槽から取り揚げて出産個体を確認する方法は、その後の出産に支障をきたすと予想される。そこで、出産日の個別確認を行わず、各群で最も早い個体と遅い個体の出産予定日を出産期間とし、この期間中に出産した親魚の割合（以下、的中率）から予測結果を評価した。なお、毎日の出産親魚数は、その日に得られた仔魚の数を、各群における1尾あたりの平均出産数（試験終了時に確定）で除して推定した。

結 果

胚の発生段階と選別結果 2001年の試験では、選別区の候補魚40尾のうち31尾に胚発生が認められ、それらの発生段階は胚盤形成期 (st. 2) から開口期 (st. 28) であった (Table 3)。残りの9尾は未受精卵を有していた。このうち st. 24～28の21尾を選別区の供試魚とし、残りは水槽から除去した。対照区では20尾のうち19尾で胚発生が認められ、それらの発生段階は初期胚期 (st. 10) から網膜色素沈着期 (st. 25) であっ

た。1尾は未受精卵を有していたが、すべての個体を対照区の供試魚とした。2002年は、選別区の38尾のうち36尾で胚発生が認められ、それらの発生段階は胚胎出現期 (st. 15) から体表色素沈着期 (st. 29) であった (Table 3)。2尾は未受精卵を有していた。このうち st.25~29の21尾を選別区の供試魚とした。対照区では19尾のうち15尾で胚発生が認められ、それらの発生段階は頭側皺襞期 (st. 16) から開口期 (st. 28) であった。1尾は未受精卵を有し、残りの3尾はカニューレションで胚を採取することができなかったが、すべての個体を対照区の供試魚とした。

2003年は、選別区の34尾のうち30尾で胚発生が認められ、それらの発生段階は後期胞胚期 (st. 11) から体表色素沈着期 (st. 29) であった (Table 3)。3尾は未受精卵を有し、1尾はカニューレションで胚を採取できなかった。このうち st. 24~29の20尾を選別区の供試魚とした。対照区では16尾のうち13尾で胚発生が認められ、それらの発生段階は胚盤形成期 (st. 2) から体表色素沈着期 (st. 29) であった。3尾はカニューレションで胚を採取することができなかったが、すべての個体を対照区の供試魚とした。

なお、すべての年度で、両試験区の供試魚の平均全長に有意差は認められなかった (Mann-Whitney の U -test, $P>0.05$; Table 4)。

出産および同調性 出産結果の概要を Fig. 14に示した。各年の試験で得られた総ふ化仔魚数は、選別区では437.4~573.7万尾、対照区では353.7~465.1万尾であった。親魚1尾あたりの平均ふ化仔魚数は、選別区では21.9~27.3万尾、対照区では21.2~23.3万尾であった。出産の開始から終了までに要した日数は、選別区では11~15日間、対照区では20~23日間であった。そのうち出産が確認されたのは、選別区では9~10日間、対照区では12~15日間であった。選別区は対照区に比べて出産期間が短縮され、かつ1日あたりに出産した親魚数も増加した (Fig. 14)。

なお、未受精卵の放出は、2001年および2002年の対照区で各1例ずつ観察され、胚の発生段階調査で未受精卵を持っていた親魚数と一致した。選別区では、未受精卵を持つ親魚をあらかじめ除去できたため、卵の放出はまったく認められなかった。

各年の平均出産間隔 (T) は、選別区ではそれぞれ 0.52, 0.71, 0.75 (平均0.66)、対照区ではそれぞれ1.00, 1.21, 1.44 (平均1.22) となった。選別区の T は対照区に比べて有意に低く ($P<0.05$)、およそ1/2に短縮された (Table 4)。

出産期間的中率 すべての供試魚から胚発生がみられた卵巣卵を採取できた2001~2003年の選別区、

および2001年の対照区について出産期間を推定した。2002年および2003年の対照区では、胚発生がみられた卵巣卵が採取できない個体が3尾ずつ含まれるため、出産期間は推定できなかった。各年、各群の出産期間的中率は76.2~95.0%と非常に高く、推定日と実際の出産日との差は出産開始日および終了日では、それぞれ1~3日、0~2日であり (Table 5; Fig. 14)、推定された出産期間は実際の期間とよく一致した。

各年、各群の出産期間的中率は76.2~95.0%と非常に高く、推定日と実際の出産日との差は出産開始日および終了日では、それぞれ1~3日、0~2日であり (Table 5; Fig. 14)、推定された出産期間は実際の期間とよく一致した。

考 察

選別の効果 現在行われている50kL以上の大型水槽を用いたクロソイの種苗生産では、ふ化仔魚が集中的に得られないことに起因して、出産日の異なる仔魚をまとめて同一水槽に収容するのが一般的である。このような状況で種苗生産を行うと、飼育魚の大小差が拡大して共食いが増加するために、生残率の低下や疾病の発生が問題となっている (清水・八幡, 1991)。本試験で開発した親魚選別法により効率的にふ化仔魚が得られれば、飼育規模が大きくても短時間で仔魚を収容することが可能になる。宮古センターのクロソイ種苗生産試験では、毎年40~50尾の親魚を用いて、1水槽あたり50万尾の仔魚の収容を目標とするが、1990~2000年に実施した延べ33回の飼育事例では収容に平均1.8日、最大5日 (日本栽培漁業協会, 1992; 1993; 1994a; 1995; 1996; 1997; 1998; 1998; 2000) を要した。しかし、本方法で親魚を選別した2001~2003年の8例では最大でも2日 (平均1.1日) に短縮された (日本栽培漁業協会, 2003a; 2003b; 2003c)。さらに、胚の状態を観察することで、未受精卵を持つ親魚をあらかじめ除去できるため、飼育水槽への死卵の混入による水質悪化が防止できる利点も認められた。

本試験の選別区では、選別時の胚発生は、2001年が st.24~28、2002年が st.25~29、2003年が st.24~29と5~6ステージの幅が生じた (Table 3)。従って、より多くの親魚を選別して胚発生段階をより厳密に揃えると、群としての同調性はさらに高まり、効率よくふ化仔魚が得られると考えられる。

予測精度の向上と異なる胚を持つ親魚の出産の同調 水温一定の条件下で求められた草刈 (1995) の推定式を、積算水温下での推定式に読み替え、5~13°C

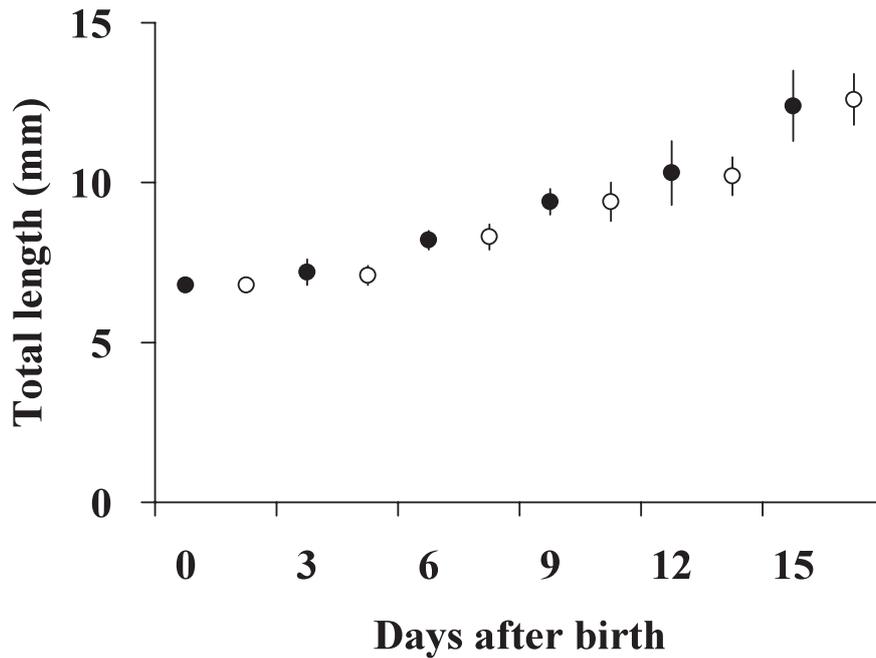


Fig. 15 Growth of black rockfish *Sebastes schlegeli* reared in the different feeding regime. Closed circles indicate control (rotifer-*Artemia* feeding group) where fish were fed with rotifer from 0-10 days after birth, then fed with *Artemia* from 3-15 days after birth, and open circles indicate *Artemia* single feeding group. Vertical bars indicate S. D. of the mean.

Table 6. changes in feeding incidence of larval black rockfish

Lot number	Feeding incidence* (%)		
	after 3 hour	after 6 hour	after 24 hour
Control 1	23.3	60.0	100
Control 2	26.7	56.7	100
<i>Artemia</i> 1	16.7	53.3	96.7
<i>Artemia</i> 2	26.7	56.7	96.7

*Feeding incidence was observed for 30 larvae in each tanks.
Number of larvae with food in gut / total larvae × 100.

Table 7. Results of the 15 days feeding trial of black rockfish

Lot number	Initial			Final			
	No. of fish (ind.)	No. of fish (ind. / kl)	Total length (mean ± SD mm)	No. of fish (ind.)	No. of fish (ind. / kl)	Total length (mean ± SD mm)	Survival Rate (%)
Control 1	5,000	10,000	6.8 ± 0.2	2,674	5,348	13.1 ± 0.5	53.5
Control 2	5,000	10,000	6.8 ± 0.2	3,837	7,674	11.6 ± 0.9	76.7
<i>Artemia</i> 1	5,000	10,000	6.8 ± 0.2	3,822	7,644	12.2 ± 0.9	76.4
<i>Artemia</i> 2	5,000	10,000	6.8 ± 0.2	2,669	5,338	13.0 ± 0.5	53.4

Total length was measured for 30 juveniles in each tanks.

の範囲で出産期間を予測した。その結果、予測期間と実測期間がほぼ一致し (Table 5), この推定式が変動する水温下でも有効であることを確認した。ただし、この一致は、試験期間中の平均水温(2001年では9.6°C, 2002年では9.7°C, 2003年では9.4°C) が、草刈の条件水温の9.8°Cに近かったためと考えられる。今後は様々な水温帯で推定式の有効性を検証し、出産日予測の精度を高める必要がある。

本研究では、出産日が互いに近い個体を選別して出産の同調化を図った。次の段階では、水温制御により異なる胚を持つ個体の出産日を同調させる技術が必要と考えられる。ニシンでは、水温制御により異なる採卵日に得られた卵のふ化日を同調させている(大河内, 未発表)。また、ガザミ *Portunus trituberculatus* でも、異なる胚発生段階を持つ親ガニの飼育水温を個別に制御することで、ふ化を同調させることができる(浜崎ら, 1992)。クロソイにおいても、正常な出産が見込める水温帯や水温勾配を明らかにし、前述した出産予測の精度向上を図ることで、成熟段階の違う多くの親魚の出産を同調させることができるかもしれない。なお、クロソイの胚発生は個体ごとにリズムがあり、発生が早い個体は毎年早く、遅い個体は毎年遅い傾向が認められている(第2章第3節-2)。従って、この傾向を把握して親魚をグループ化し、異なる水温下で管理することで成熟段階が違う親魚の出産を同調できる可能性も考えられる。

遺伝的多様性への配慮 放流を前提とした栽培漁業では、放流種苗の遺伝的多様性への配慮が必要である(北田, 2000)。本種の種苗生産では、宮古センターのような50 kL水槽を用いた規模でも1水槽の種苗生産に使用する雌親魚は2~3尾、小規模な生産では1尾程度と非常に少なく、生産種苗の遺伝的組成が偏る危険がある。これらは胎生魚の栽培漁業に共通する問題と考えられる。クロソイを含む胎生魚の出産の同調技術は、仔魚の大量確保だけにとどまらず、多くの雌雄由来の仔魚を一度に確保し、放流種苗の遺伝的多様性を向上させるうえでも有効と考えられる。

第3章 種苗生産技術の開発

第1節 ワムシを省いた餌料系列が仔魚の成長と生残に与える影響

宮古センターでは1980年からクロソイの種苗生産が実施されてきた(岩本・芦立, 1982)。現在では、本種の種苗生産技術はほぼ確立され、年間約50万尾の種苗が生産されている。次の段階として、種苗生産の効率化の検討を行う必要がある。

クロソイを含む魚類等の種苗生産工程では、飼育初期の餌料にシオミズツボムシ *Brachionus plicatilis* (以下、ワムシ)、アルテミア *Artemia* ノープリウス (以下、アルテミア) などの生物餌料が用いられている。飼育初期に与える餌料の大きさは、成長や生残率に影響することから、例えばキジハタ *Epinephelus akaara* ではS型ワムシタイ産株から始まり、成長に伴ってS型ワムシ、L型ワムシの順に使用するなど、対象種の体サイズを考慮した餌料系列が検討されてきた(福永ら, 1990)。

ヒラメやマダイの開口時の全長は、それぞれ2.9~3.6 mm, 3.3 mmである(熊井, 2000)。これらの種苗生産工程では、飼育初期にワムシが給餌されている。ヒラメの種苗生産工程では、全長7 mmに達した段階でワムシに加えてアルテミアの給餌が開始される(日本栽培漁業協会, 1994b)。クロソイの仔魚は、開口した状態で出産され(草刈, 1995)、その全長は概ね7 mmである(日本栽培漁業協会, 2000)。本種の仔魚は、既にヒラメの種苗生産工程のアルテミアを給餌する全長に達している。このことから、クロソイの種苗生産工程では、ワムシを省きアルテミアから給餌を開始することが可能であると考えられた。

そこで本試験では、従来のワムシ-アルテミアの順で給餌する区、ワムシを省きアルテミアから給餌する区を設定した。試験区ごとの成長および生残率をそれぞれ比較して、ワムシの給餌を省いたクロソイの種苗生産工程の可能性を検討した。

試料と方法

供試魚と試験区の設定 供試魚には宮古センターで出産されたクロソイ仔魚(平均全長6.8 mm)を用いた。試験は1997年5月14日から5月29日の15日間実施した。試験にはワムシ-アルテミアの順で給餌する区(以下、対照区)、アルテミアのみを給餌する区(以下、アルテミア区)をそれぞれ2面ずつ設定した。

飼育条件 円型500 Lポリカーボネイト水槽にふ化仔魚5,000尾(10,000尾/kL)を収容して飼育した。ワムシは対照区のみ給餌し、試験直後から10日齢まで3~5個体/mLを維持する量を朝夕与えた。給餌するワムシはアクアラン(100 g/kL, BASF ジャパン(株))を用いて、20°Cで16~24時間の栄養強化を実施した。アルテミアは対照区では3日齢から、アルテミア区では0日齢からそれぞれ試験終了時まで25~250万個を1日2回給餌した。アルテミア耐久卵(ミヤコ化学、ふ化率95%以上)は水温22°Cでふ化管理を行い、42時間後にアルテミアを分離した。給餌するアル

テミアは、アクアラン (50 g/kL, BASF ジャパン(株)) を用いて、20℃で16~24時間の栄養強化を実施した。なお、ふ化仔魚を収容した直後に、それぞれの餌料を給餌した。

飼育水には砂ろ過海水を用い、淡水クロレラ濃縮液 5~10 mL (*Chlorella* sp., フレッシュグリーン, 日清サイエンス(株)) を1日2回添加した。飼育水温は飼育開始時の13℃から1℃/日の速度で18℃まで升温し、以降それを維持した。飼育水の換水は0日齢から行った。1日あたりの換水率は5日齢までは50%, 6~10日齢までは100%, それ以降では150%に設定した。通気量は微量とし、仔稚魚の成長とともに順次増加した。

全長の測定 全長については、試験開始0日齢から試験終了の15日齢まで3日ごとに各水槽から30尾ずつの供試魚を無作為に抽出して、麻酔を施した後に測定した。

摂餌率 摂餌については、試験開始の3, 6, 24時間後に、各水槽から無作為に30尾の仔魚を採取して観察した。調査個体数に対する餌料を摂餌した個体数の割合を摂餌率とした。

生残率の推定 各試験区の生残率は、試験終了後に重量法を用いて生残尾数を算出し、その値を収容尾数で除して推定した。

ふ化仔魚の口径と餌料の測定 摂餌する餌料は仔魚の口径により規定される。そこで、クロソイの仔魚30尾の上顎長を測定し、口径= $\sqrt{2}$ 上顎長(代田, 1970)の関係を用いて本種のふ化仔魚の口径を推定した。また、アルテミアの全長およびワムシの背甲長については、給餌直前の30個体をそれぞれ測定し、仔魚の口径に対する割合を示した。

統計処理 各試験区の全長の平均値の差を、Mann-Whitney の *U*-test を用いて検定した ($P < 0.05$)。

対照区とアルテミア区の生残率を比較するため、カ

イ二乗法により有意差を検定した。

結 果

全長の推移 各試験区の全長の推移を Fig. 15 に示した。日齢0 から15まで各試験区の間には有意差は認められなかった。

摂餌率 試験開始の3, 6, 24時間後の摂餌率を Table 6 に示した。対照区における3時間後の摂餌率は23.3%, 26.7%, 6時間後では60.0%, 56.7%, 24時間後では2水槽ともに100%に達した。アルテミア区における3時間後の摂餌率は16.7%, 26.7%, 6時間後では53.3%, 56.7%, 24時間後では2水槽ともに96.7%に達した。残った3.3%の個体は、ふ化していないアルテミア卵のみを摂餌していた。

生残率 対照区1, 対照区2, アルテミア区1, アルテミア区2の生残尾数は、それぞれ2,674尾, 3,837尾, 3,822尾, 2,669尾となり、生残率は53.5%, 76.7%, 76.4%, 53.4%であった。対照区とアルテミア区間の生残率には、有意差は認められなかった (Table 7)。

仔魚の口径と餌料の大きさ クロソイ仔魚の口径は、代田 (1970) の方法に従って推定した結果、 0.94 ± 0.05 mm であった。アルテミアの全長は 0.76 ± 0.02 mm であり、仔魚の口径に対して80.9%であった。ワムシの背甲長は 0.17 ± 0.02 mm であり、仔魚の口径に対して18.1%であった。

考 察

ワムシ給餌を省いた種苗生産工程の検討 本試験で用いたアルテミアの全長は、クロソイ仔魚の口径に対して80.9%であった。仔魚の口径は摂餌する餌料の上限と考えられるため(代田, 1970), 本試験で

Table 8. Changes in feed composition on mass production of black rockfish, *Sebastes schlegeli*

Feed/Year	1982	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04
Rotifer	→																						
Artemia nauplii	→																						
Cultured Artemia nauplii	→																						
Egg of Pollock	→																						
Frozen of black rockfish larvae	→																						
Egg of Japanese flownder							→																
Frozen opposum shrimp	→																						
Frozen of water flea									→														
Formula feed												→											

Table 9. Enrichment method of live food in juvenile production of black rockfish

Year	Rotifer						Artemia					
	First enrichment			Second enrichment			First enrichment			Second enrichment		
	Enrichment treatment	Concentration (g / kl)	time (h)	Enrichment treatment	Concentration (g / kl)	time (h)	Enrichment treatment	Concentration (g / kl)	time (h)	Enrichment treatment	Concentration (g / kl)	time (h)
1982 - 1987	<i>Namochloropsis</i> sp.	2,500*	6-16				<i>Namochloropsis</i> sp.	2,500*	6-16			
1988 - 1991	<i>Namochloropsis</i> sp.	2,500*	6	<i>Namochloropsis</i> sp.	2,500*	1-2	<i>Phaeodactylum</i> sp.	50*	7	<i>Phaeodactylum</i> sp.	50*	20-28
1992	<i>Namochloropsis</i> sp.	2,000*	6	<i>Namochloropsis</i> sp.	2,000*	1-3	<i>Phaeodactylum</i> sp.	100*	20-28			
1993	<i>Namochloropsis</i> sp.	2,000*	6	Aquaran	200	16-24	<i>Phaeodactylum</i> sp.	100*				
							Emulsification oil	50	16-24			
							Vitamin AD ₃ E	20				
1994	<i>Namochloropsis</i> sp.	2,000*	6	Aquaran	400	16-24	<i>Phaeodactylum</i> sp.	100*				
							Emulsification oil	50	16-24			
							Vitamin AD ₃ E	20				
1995	<i>Namochloropsis</i> sp.	2,000*	6	Aquaran	500	16-24	<i>Phaeodactylum</i> sp.	100*				
							Emulsification oil	50	16-24			
							Vitamin AD ₃ E	20				
1996 - 1998	Aquaran	250	17-25				<i>Phaeodactylum</i> sp.	100*	17-25			
1999							Aquaran	250				
							Aquaran	150	17-25			
2000 - 2004							Aquaran	50	17-25			

* : Unit are 10,000cells per ml.

用いたアルテミアは、本種仔魚の摂餌に影響を与えない大きさであると考えられる。また、アルテミア区では試験開始の24時間後には摂餌率が96.7%に達した (Table 6)。さらに、対照区とアルテミア区的全長には、15日齢まで有意差が認められなかった (Fig. 15)。生残率についても、試験区間に有意差は認められなかった (Table 7)。これらのことから、ワムシの給餌を省いてアルテミアを飼育初期から給餌しても、本種仔魚の飼育は十分に可能であることが示された。実際に宮古センターでは、ワムシを省いた餌料系列を用いて、1999~2004年の間に本種の種苗量産 (50 kL 水槽) が15例実施された。この餌料系列による取り揚げ時 (全長約30 mm) の生残率の平均 (範囲) は、50.6% (30.2~80.1%) を示した。一方、1994~1998年の間に、ワムシを用いた餌料系列による種苗量産は14例実施された。その生残率の平均 (範囲) は60.5% (24.6~85.9%) を示したが、2つの餌料系列の間の生残率には、有意差は認められなかった。宮古センターの種苗量産では、実際には10日齢から配合飼料を使用している。従って、本種の種苗生産工程の餌料系列は、従来のワムシ-アルテミア-配合飼料の方法に加えて、アルテミア-配合飼料の方法が成立することがわかった。

ワムシを省いた餌料系列では、ワムシの培養および給餌過程を省くことになり、クロソイの種苗生産工程の効率化を図ることができた。

残された課題 本試験で用いたアルテミアは、ふ化率95%以上を示す高品質の耐久卵であった。しかし、アルテミア区では、ふ化後の卵とアルテミアを分離したものの、僅かに残った卵を摂餌した仔魚が観察された。全長7.5 mm以下の仔魚がアルテミア卵を摂餌すると、消化管内で卵が詰まり衰弱する個体が観察されている (中川, 未発表)。従って、ふ化率の低いアルテミア卵を本種の種苗生産に用いた場合には、アルテミア卵を摂餌する仔魚の増加が推測され、種苗生産に障害を与えることも考えられる。ワムシを用いないでアルテミアから給餌する餌料系列の場合には、高品質のアルテミア卵を使用し、ふ化率をさらに高める対策を講じる必要がある。

本試験によって、ワムシを省いた餌料系列を用いても、本種仔魚の飼育が可能なが示された。しかし、多くの種苗生産機関では、クロソイの種苗生産が他種の種苗生産と並行して実施されることが多く、ワムシは常に培養されているのが現状である。従って、今後は本種の種苗生産工程における餌料系列の開発として、アルテミアを給餌しないワムシ-配合飼料の餌料系列についても検討を加える必要がある。

本試験に用いたクロソイ仔魚の平均全長は6.8 mmであったが、本種仔魚の全長は、親魚の出産のタイミングによっても変動する (第2章第2節)。全長6.8 mmに達しない仔魚の口径やアルテミアの摂餌率を調べることは今後の課題である。

第2節 仔稚魚の成長、発育および日間死亡率

クロソイの種苗生産の研究は、1970年代に青森県で開始された。その後、北海道、秋田県、宮城県、山形県、福島県、新潟県、広島県、愛媛県が、本種の種苗生産に取り組んだ（草刈，1995）。宮古センターでは1980年から本種の種苗生産試験を開始し、1982年以降、50 kL 水槽を用いた大量生産に着手した。

宮古センターにおける本種の種苗生産については、断片的に報告されているが、長年にわたって実施されてきたこれまでの一連の結果をとりまとめた報告はされていない。また、種苗生産における仔稚魚の成長、発育段階および日間死亡率を定期的に調べて、仔稚魚の死亡要因を各年度で比較したことはない。

そこで、本章では1982～2004年の23年間に宮古センターで実施されてきたクロソイの種苗生産の結果を整理するとともに、本種仔稚魚の成長、発育段階および日間死亡率を調べて、種苗生産工程における仔稚魚の死亡要因を推定した。

試料と方法

供試魚と飼育水槽 種苗生産には、宮古センターで飼育されている親魚から出産された仔魚を用いた。飼育には形態異常および不安定に遊泳する個体が少ないロットの仔魚を用いることが望ましく、これらは経験的に知られている。出産された仔魚の状態が種苗生産に使えると判断された場合には、容量法によって仔魚を計数した後、50 mm のサイホンホースを用いてこれらを飼育水槽に収容した。飼育水槽には50 kL 容量の角型コンクリート水槽（8.0×4.8×1.6 m）を2～4基用いた。これらの水槽は、ボイラー熱を利用した加温、ブローヤによる通気、および自動底掃除機の使用が可能な構造となっている。なお、1994年以降には微粒子（粒径400 μm）の配合飼料を用いるための自動給餌機が各水槽に設置された。

餌料系列 クロソイ仔稚魚に与えた餌料の種類（以下、餌料系列）を年ごとに示した（Table 8）。

第Ⅰ期（1982～1993年）：この期間は、シオミズツボワムシ *Brachionus plicatilis*（以下、ワムシ）、アルテミア *Artemia* ノープリウス（以下、アルテミア）、アルテミアを約1.2 mm まで飼育したアルテミア、スケソウダラ *Theragra chalcogramma* およびヒラメの卵、冷凍したクロソイ仔魚、ミジンコおよびアミなどの生物餌料を使用した。

第Ⅱ期（1994～1998年）：微粒子の配合飼料を与えることが可能な自動給餌機が導入され、飼育初期から配合飼料の給餌が可能となった。ワムシ、アルテミア

および配合飼料の3つの餌料構成となり、生物餌料を主とした餌料系列から配合飼料を主とした方式に移行した。

第Ⅲ期（1999～2004年）：ワムシの給餌を省き、アルテミアから給餌する餌料系列を使用しても、クロソイ仔魚の飼育は可能であると示唆された（第3章第1節）。ワムシ、アルテミアおよび配合飼料の3つの餌料を用いた餌料系列からアルテミアおよび配合飼料の2つの餌料を用いた餌料系列へ移行した。

生物餌料の栄養強化 ワムシおよびアルテミアの栄養強化方法を Table 9 に示した。1982～1992年までは、これらの栄養強化には、ナンノクロロプシス *Nannochloropsis* sp. およびフェオダクチラム *Phaeodactylum* sp. が用いられた。特に、1988～1991年のワムシおよびアルテミアの栄養強化は、種苗へ給餌するまでそれぞれ2回ずつ施された。1996～1998年には、フェオダクチラムと市販の栄養強化剤の2種類を同時に使用したが、1999年以降では市販の栄養強化剤のみとなり、作業面についても、省力化が進められた。

生残率と単位生産尾数 生残率は重量法を用いて算出した取り揚げ尾数（以下、生産尾数）を収容尾数で除して推定した。大型水槽を用いた種苗量産では、生残率のほかに効率的な種苗生産の観点から、基準となる生産尾数を示す必要がある。そこで、本章では生産尾数を飼育水槽の容量で除して、1 kL あたりの生産尾数（以下、単位生産尾数）を年ごとに示した。なお、前述した餌料系列によって区分したⅠ期（1982～1993年）、Ⅱ期（1994～1998年）、Ⅲ期（1999～2004年）の生残率および単位生産尾数について、Kruskal-Wallis test を用いて餌料系列間で有意差検定した。差が認められた場合には Scheffe の *F*-test を用いて多重比較を行った（ $P < 0.05$ ）。各年の飼育期間が異なるため、生残率を直接比較することはできない。そのため、収容尾数 N_0 、取り揚げ尾数 N_t 、飼育期間 t の値を下記の式にあてはめて、瞬間死亡率 r から日間死亡率 d を推定し、日間生残率 s を導き比較した。

$$r = (\ln N_0 - \ln N_t) / t$$

$$d = 1 - \exp(-r)$$

$$s = 1 - d$$

全長測定および発育段階の観察 クロソイ仔稚魚の全長測定データおよび発育段階の観察については、これらすべての標本が得られている1998～2003年のデータを用いた。全長については、飼育水槽から無作為に30尾の仔稚魚を採集して、飼育開始から5日間隔で測定した。発育段階については、5%ホルマリンで固定した標本を、永沢（2001）に従って5段階に分類し5日

間隔の推移を示した。すなわち、脊索後端が上屈していない前屈曲期仔魚をステージ A、脊索後端が上屈中の屈曲期仔魚をステージ B、脊索後端の上屈が完了してから、背鰭および臀鰭の最後部棘条が軟条の状態から棘化を開始し、色素胞パターンも稚魚期のものに変化を開始するまでの後屈曲期仔魚をステージ C、背鰭と臀鰭の最後部棘条が棘へと変化を開始してから完全に棘となるまでの変態期仔魚をステージ D、すべての軟条が成魚の定数に達し、稚魚としての色素胞パターンが完成した稚魚をステージ E とした。なお、毎年 2～4 基の飼育水槽を用いてクロソイ種苗が生産さ

れているが、各年における飼育成績は水槽間でほぼ同じ傾向を示したことから、全長の測定データおよび発育段階の観察結果は、各年の代表例として 1 群のデータを示した。

仔稚魚の死亡状況 仔稚魚の死亡状況を調べるために、飼育期間における死亡数の日変化および死亡個体の発育段階を調べた。死亡数については、1998～2003 年の種苗生産における毎日の底掃除で得られた死亡個体を容量法により計数した。その値を前日の生残数で除した値を、日間死亡率とした。死亡個体の発育段階の観察については、2000～2003 年に実施し 5 日間隔で

Table 10. Results of mass production breeding experiments in the black rockfish, *Sebastes schlegeli*

Year	Period	Number of tanks (50kl)	Initial		Final		Survival Rate (%)	Total length (mm)	Average rearing period (days)
			No. of fish (ind.)	No. of fish (ind. / kl)	No. of fish (ind.)	No. of fish (ind. / kl)			
1982		3	498,000	3,320	306,000	2,040	61.4	20.3	32.7
1983		3	543,000	3,620	294,000	1,960	54.1	N.D.	N.D.
1984		4	782,000	3,910	383,000	1,915	49.0	28.2	38.0
1985		3	1,054,000	7,027	453,000	3,020	43.0	28.4	42.0
1986		4	1,424,000	7,120	633,000	3,165	44.5	30.2	42.8
1987	I	3	1,165,000	7,767	499,000	3,327	42.8	32.1	44.3
1988		2	1,346,000	13,460	652,000	6,520	48.4	30.6	38.0
1989		4	2,631,000	13,155	774,000	3,870	29.4	25.3	33.5
1990		3	1,870,000	12,467	1,207,000	8,047	64.5	24.5	37.3
1991		3	1,659,000	11,060	667,000	4,447	40.2	26.6	39.0
1992		3	1,348,000	8,987	967,000	6,447	71.7	25.1	40.0
1993		3	3,642,000	24,280	1,305,000	8,700	35.8	24.3	41.0
	Ave. ¹			9,681		4,455	48.8	26.9	39.0
1994		3	1,569,000	10,460	899,000	5,993	57.3	26.2	39.0
1995		3	651,000	4,340	559,000	3,727	85.9	30.8	37.3
1996	II	3	1,680,000	11,200	1,257,000	8,380	74.8	28.4	40.7
1997		2	890,000	8,900	219,000	2,190	24.6	31.2	44.0
1998		3	1,302,000	8,680	777,000	5,180	59.7	29.4	43.7
	Ave. ¹			8,716		5,094	60.5	29.2	40.9
1999		2	1,080,000	10,800	444,000	4,440	41.1	31.8	46.5
2000		3	1,718,000	11,453	518,000	3,453	30.2	31.0	49.0
2001	III	3	1,500,000	10,000	749,000	4,993	49.9	33.8	43.3
2002		3	1,550,000	10,333	766,000	5,107	49.4	35.8	46.7
2003		2	1,034,000	10,340	828,000	8,280	80.1	28.8	40.5
2004		2	1,193,000	11,930	631,000	6,310	52.9	34.0	43.0
	Ave. ¹			10,809		5,431	50.6	32.5	44.8
	Ave. ²			9,766		4,848	51.8	28.9	41.0

N.D.: Not data

Ave.¹: Average of all data

Ave.²: Average of all data from 1982 to 2004

Table 11. Developmental-stage composition (%) in larval and early juvenile *Sebastes schlegeli*

Year	Stage	DAB ^{*1}								
		0	5	10	15	20	25	30	35	40
1998	A	100.0	3.3							
	B		96.7	100.0						
	C				13.3	3.3				
	D				86.7	96.7	100.0	10.0		
	E							90.0	100.0	100.0
1999	A	100.0								
	B		100.0	100.0	16.7					
	C				83.3	30.0				
	D					70.0	70.0	66.7	10.0	6.7
	E						30.0	33.3	90.0	93.3
2000	A	100.0								
	B		100.0	63.3						
	C			36.7	13.3					
	D				86.7	100.0	26.7			
	E						73.3	100.0	100.0	100.0
2001	A	6.7								
	B	93.3	100.0	93.3						
	C			6.7	40.0	6.7				
	D				60.0	93.3	30.0	6.7		
	E						70.0	93.3	100.0	100.0
2002	A	100.0								
	B		100.0	13.3						
	C			86.7						
	D				100.0	100.0	73.3	10.0	3.3	
	E						26.7	90.0	96.7	100.0
2003	A	60.0								
	B	40.0	100.0	40.0						
	C			60.0	3.3					
	D				96.7	100.0	80.0	10.0		
	E						20.0	90.0	100.0	100.0

*1 DAB: days after birth

Table 12. Developmental-stage composition (%) in died larval and early juvenile *Sebastes schlegeli*

Year	Stage	DAB ^{*1}								
		0	5	10	15	20	25	30	35	40
2000	A		90.0	83.3						
	B		10.0	16.7	93.3					
	C	N.D.			6.7	66.7				
	D					33.3	16.7	20.0	6.7	
	E						83.3	80.0	93.3	100.0
2001	A		93.3	86.7						
	B		6.7	13.3	90.0					
	C	N.D.			10.0	83.3				
	D					16.7	13.3	10.0	3.3	
	E						86.7	90.0	96.7	100.0
2002	A		90.0	93.3						
	B		10.0	6.7	83.3					
	C	N.D.			16.7	90.0				
	D					10.0	83.3	66.7	13.3	6.7
	E						16.7	33.3	86.7	93.3

*1 DAB: days after birth

N.D.: Not data

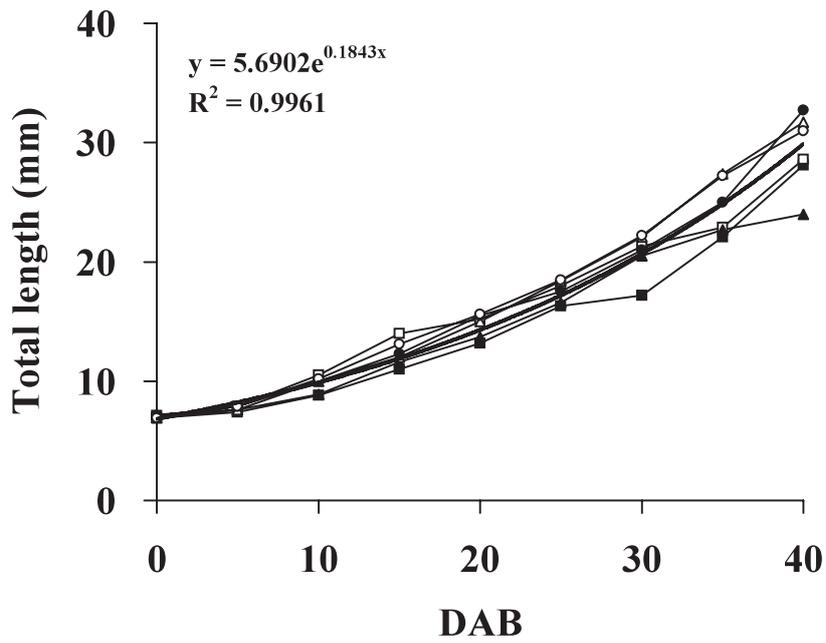


Fig. 16 Growth in total length of black rockfish. Closed squares indicate that 1998, open squares 1999, closed triangles 2000, open triangles 2001, closed circles 2002 and open circles 2003, respectively. Thick curve line shows the average of these years.

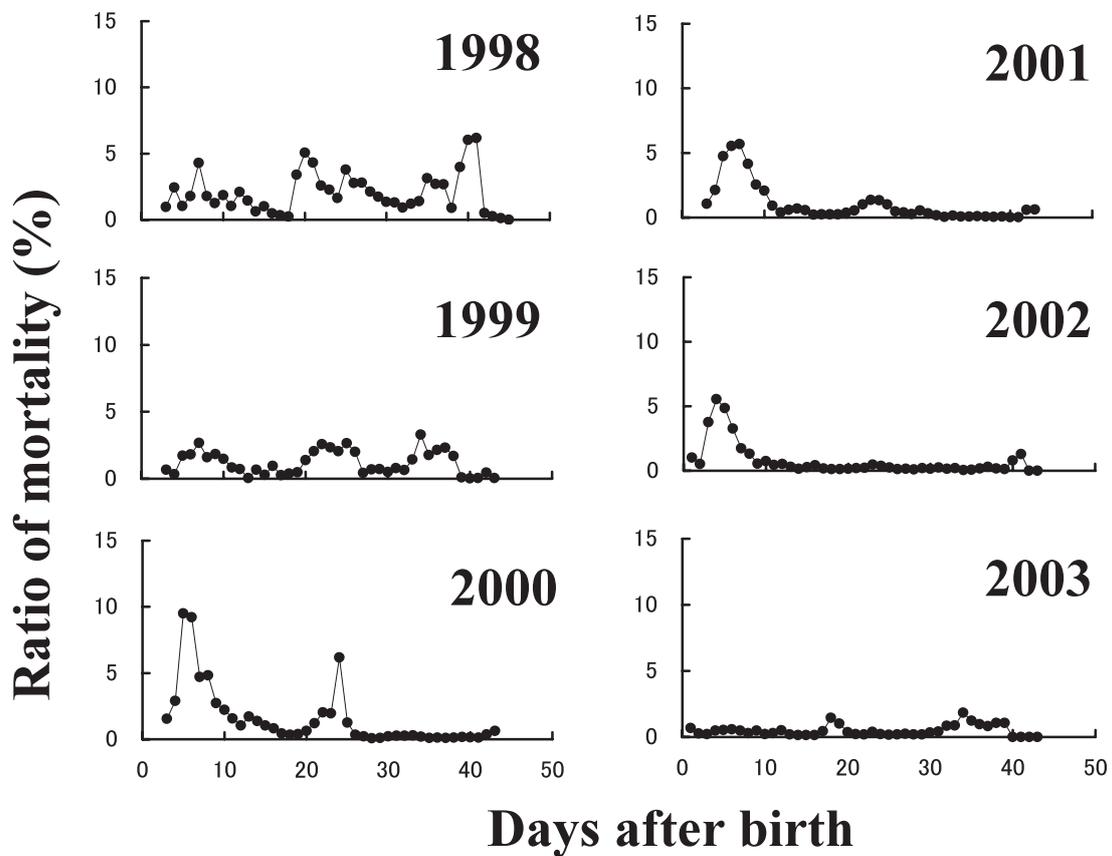


Fig. 17 Changes in the mortality rate per day of black rockfish larvae and juvenile from 1998 to 2003, respectively.

調べた。

結 果

生残率と単位生産尾数 生残率の平均（範囲）については、第Ⅰ期では48.8（29.4～71.7%）、第Ⅱ期では60.5（24.6～74.8%）、第Ⅲ期では50.6%（30.2～80.1%）となり、餌料系列と生残率の間に有意差は認められなかった（ $P>0.05$, Table 10）。すべての期間の生残率の平均は51.8%であった。

単位生産尾数の平均（範囲）は、第Ⅰ期では4,455尾（1,915～8,047尾）、第Ⅱ期では5,094尾（2,190～8,380尾）、第Ⅲ期では5,431尾（3,453～8,280尾）となり、餌料系列と単位生産尾数の間に有意差は認められなかった（ $P>0.05$, Table 10）。すべての期間の単位生産尾数の平均は4,848尾であった。

全長の推移 クロソイ仔稚魚の全長の推移をFig. 16に示した。各日齢の全長の平均（± S.D.）は、0日齢では7.0（0.2）mm、10日齢では9.7（0.7）mm、20日齢では14.4（1.3）mm、30日齢では20.6（1.9）mm、40日齢では29.3（3.7）mmとなり、全長（ Y ）と日齢（ X ）の間には $Y=5.6902e^{0.1843X}$ （ $R^2=0.9967$ ）の関係式が得られた。これらの値が宮古センターにおける本種の平均的な成長であることが明らかになった。

発育ステージの推移 1998～2003年における仔稚魚の発育段階の推移を飼育例ごとに示した（Table 11）。0日齢の発育段階は1998～2000年および2002年ではすべての個体がAステージであった。しかし、2001年および2003年では、Bステージに達した段階で出産された仔魚が認められた。5日齢では1998年を除くとすべてBステージであり、10日齢ではB～Cステージ、15日齢ではB～Dステージ、20日齢ではC～Dステージ、25日齢ではD～Eステージに達した。90%以上の個体がステージEに達するのは概ね30日齢であった。また、各ステージの期間はAステージは5日、BおよびCステージは10日、DおよびEステージは15～20日であった。

仔稚魚の死亡状況 1998～2003年における死亡率の推移を飼育例ごとに示した（Fig. 17）。年によって若干のずれは観察されたが、概ね3～7日齢（以下、前期）、18～25日齢（以下、中期）、35～40日齢（以下、後期）に死亡率の増加が認められた。1998～2002年における時期ごとの死亡率の最大値の平均（範囲）は、前期では5.4%（2.3～9.5%）、中期では3.1%（0.2～6.2%）、後期では2.2%（0.1～6.2%）であり、前期の死亡率が毎年高い傾向を示した。2003年には飼育期間

中に高い死亡率は認められず、その最大値は1.8%であった。

2000～2002年における死亡個体の発育段階の推移をTable 12に示した。0日齢には底掃除を実施しなかったため、死亡個体の標本を得ることができなかった。5日齢および10日齢の死亡個体はA～Bステージであり、生残している個体のB～Cステージに比べると明らかに発育が遅れていた。これらの死亡個体は、口および脊椎骨に形態異常が認められ、すべての個体の消化管には餌料が認められない空胃状態を示した。15日齢以降の死亡個体は、生残している個体とほぼ同じ発育段階であり、消化管内には餌料が多量に認められ、5日齢および10日齢の死亡個体とは明らかに状況が異なっていた。また、2000年および2001年の25日齢には、生残している個体に比べて鰾が著しく膨満している個体が観察された。この死亡が認められる直前には、飼育水の表面に腹部を上にして不安定に遊泳する個体が観察された。30日齢以降では、共食いが観察された。

考 察

仔稚魚の死亡要因 1998～2003年における死亡率の推移を調べた結果、年によってずれはあるが、概ね3～7日齢（前期）、18～25日齢（中期）、35～40日齢（後期）の3つの時期に死亡率の増加が認められた（Fig. 17）。

前期の死亡個体には、口や脊椎骨の形態異常が認められた。また、この時期に生残している個体の発育段階は、1998年を除くとすべてBステージに達していた。しかし、死亡個体の83.3～93.3%はAステージであり、空胃状態で発育の遅れが認められた（Table 11, 12）。このことから、これらの仔魚は形態異常に伴う摂餌不良により死亡したと考えられる。2003年には、ほぼ同じ飼育方法にもかかわらず、前期の死亡率が極めて低かった（Table 12）。種苗生産に用いる仔魚には、毎年不安定に遊泳する個体が若干見られるが、2003年にはそれらがまったく観察されず、その後の死亡率についても極めて低かった。これらのことから、前期の死亡については、出産された仔魚の質に起因することが強く示唆され、親魚養成における餌料や飼育密度等の改善を図り、良質な仔魚を得るための技術開発を行う必要がある。

中期の死亡個体については、生残している個体の発育段階とほぼ同じDステージの変態期仔魚であった。消化管内には十分な餌料が観察され、前期とは異なる要因で死亡していると考えられる。これらの死亡個体は、鰾が著しく膨満し、飼育水の表面に腹部を上にし

て不安定に遊泳する個体が観察されている。この現象は他機関の本種の種苗生産においても報告されている(草刈, 1995)。宮古センターでは、ニシンの種苗生産でガス病の発生が認められた(日本栽培漁業協会, 2000)。2001年以降には、曝気した海水を飼育水に用いている。その結果、本種についても鰓の膨満する個体が減少したことから(Fig. 17)、ガス病の可能性が強く示唆された。

後期の死亡個体については、共食いが観察されたことから、餌料不足が原因と考えられた。このように、本種の種苗生産工程では3つの死亡パターンが認められ、前期の死亡については仔魚の質、中期および後期については飼育方法に由来する要因が推察された。

クロソイの種苗量産の推移 大型水槽を用いた種苗生産の場合には、安定した生残率を得るための技術開発に加えて、効率的に生産することが求められる。宮古センターにおけるクロソイの種苗生産工程では、生物餌料のみを与えていたⅠ期、ワムシ、アルテミアおよび配合飼料を与えたⅡ期、アルテミアと配合飼料のみを用いたⅢ期に分類することができる。Ⅰ期には生物餌料の培養およびその確保に多大な労力を要していた。餌料系列と生残率、単位生産尾数の間には、有意差が認められなかった。このことから、宮古センターにおけるクロソイの種苗生産については、高い生残率を維持しつつ、より効率的な種苗生産方法に移行してきたことがわかる。一方、親魚養成、種苗生産および中間育成の各工程を経費の割合から見ると、それぞれ33.4%、43.6%、16.8%となり(中川ら, 2006)、種苗生産工程に占める割合が高い。また、種苗の単価を低減させるためには、生残率の向上が重要な検討項目の1つと考えられるが、本種の生残率は29.4~85.9%の範囲で変動した(Table 10)。前期の死亡は年により変動が大きく、種苗生産期間の中でもその影響は大きいことから、この時期の死亡を抑制することが、本種の種苗生産の安定化および低コスト化を図る上で重要である。

第4章 中間育成と標識技術の開発

第1節 中間育成における飼育密度と給餌回数の検討

栽培漁業を成立させるためには、経済効果を含めた放流の効果を推定することが必要であり(岩本ら, 1998)、放流魚の水揚げ金額、いわゆる回収金額がその指標の1つと考えられている(北田, 2001)。ヒラメでは経済回収率(回収金額/放流経費)を増加させるためには、放流までに掛かる経費の低減と放流魚の回収率の向上が重要とされ(岩本ら, 1998)、クロソ

イでも同様の検討が必要である。

現在までに行われた本種の中間育成試験の多くは、生残率の向上を目的として実施されており(岩手県, 1989; 山田町, 1994; 福島県, 1984; 宮城県, 1984)、経費の低減化の方法を検討した事例は認められない。

本研究は、放流までに掛かる経費の低減を目的として、中間育成時における収容密度と給餌回数をそれぞれ組み合わせ、生残率、成長率、飼料効率および経費を試算して効率的な中間育成方法を検討した。

試料と方法

供試魚および試験設定 試験に用いたクロソイ種苗は、1998年に宮古センターで生産された65日齢の同一群で、全長(平均値±標準偏差、以下同様)は 46.6 ± 5.9 mm、体重は 1.7 ± 0.7 gであった。

飼育試験は100 kLRC水槽を2面用い、1水槽あたり $3.0 \times 3.3 \times 1.5$ m(実水量10 kL)の小割網を3面設置し、計6面で行った。クロソイの収容密度は、従来宮古センターが基準としている中間育成密度200尾/kLを対照区とし、その2倍の400尾/kL区、4倍の800尾/kL区の3つの試験区を設定した。

1小割網あたりの収容尾数は、200尾/kL区が2,000尾、400尾/kL区が4,000尾、800尾/kL区が8,000尾である。なお、1996~2000年の間に宮古センターがクロソイ種苗を配付した青森県、岩手県、宮城県の漁協等の延べ75機関における小割網を用いた中間育成時の平均収容密度は661尾/kLであり、本試験の設定範囲内となっている。

飼育密度別の3試験区に対して毎日午前9時に給餌する区(1回給餌区)と午前9時および午後3時の2回給餌する区(2回給餌区)の2つの試験区を設定し、合計6試験区とした。収容密度が200尾/kLで1日1回給餌した区を1-200区、同密度で2回給餌した区を2-200区、以下同様に1-400区、2-400区、1-800区、2-800区とした。なお、種苗を配付した機関の約80%では、1日2回以上の給餌を行っている。

試験開始時の計数は重量法で行い、終了時の生残尾数は収容尾数から試験期間中の総死亡数を差し引いた値を用いた。

試験の開始は1998年7月22日であり、終了はいずれかの試験区でクロソイ種苗の平均全長が約80 mmに到達した日としたところ、9月2日となった(42日間)。試験期間中は1日約2回転の換水率を維持し自然水温下で飼育した。この間の平均水温とその範囲は、18.4(15.7~20.4)℃であった。各小割網にはエアースト

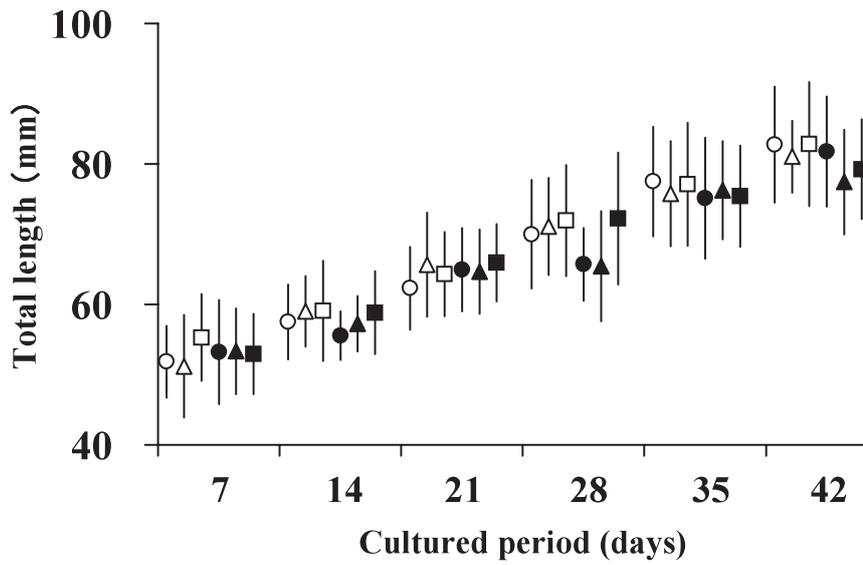


Fig. 18 Growth in total length of black rockfish. Open circles indicate 2-800 treatment, closed circles 1-800 treatment, open triangles 2-400 treatment, closed triangles 1-400 treatment, open squares 2-200 treatment, closed squares 1-200 treatment. Vertical bars indicate S. D. of the mean.

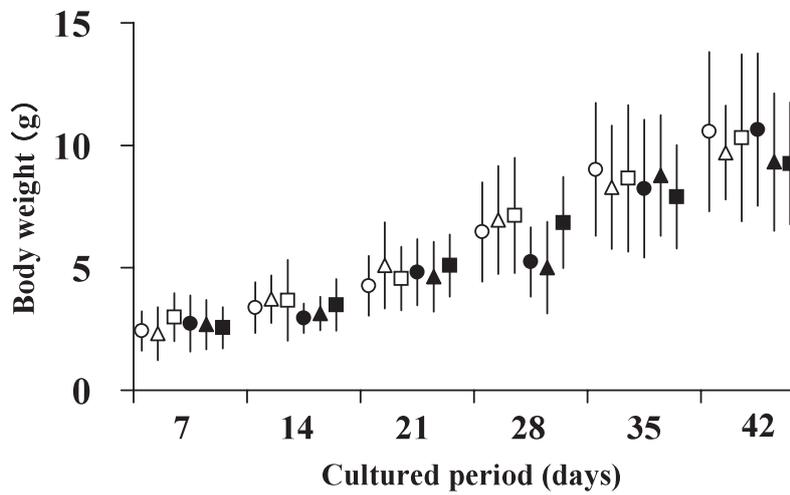


Fig. 19 Growth in body weight of black rockfish. Open circles indicate 2-800 treatment, closed circles 1-800 treatment, open triangles 2-400 treatment, closed triangles 1-400 treatment, open squares 2-200 treatment, closed squares 1-200 treatment. Vertical bars indicate S. D. of the mean.

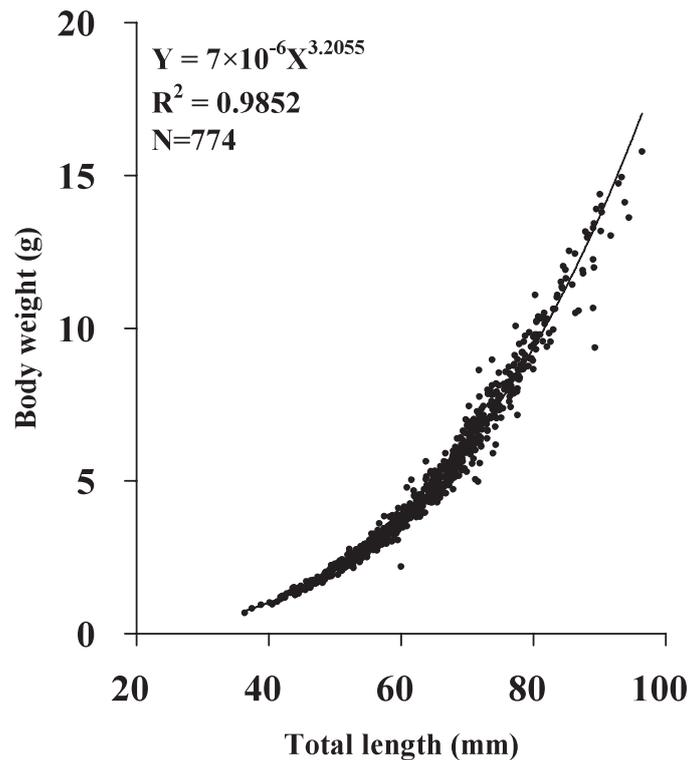


Fig. 20 Relationship between total length and body weight.

ンを1個ずつ投入して若干量の通気を行った。

餌は市販の配合飼料（ハマチ用クランブル：粗蛋白49%；坂本飼料製）を用い，毎回飽食するまで給餌した。本試験における飽食とは，クロソイ種苗が給餌した配合飼料に摂餌反応を示さなくなった状態とした。給餌量はあらかじめ計量してある配合飼料の重量から給餌の終了時の重量を差し引いて算出した。給餌している間は，水槽内の通気を止めて配合飼料が小割網から流出しないよう留意した。

日間成長率および飼料効率 試験開始から1週間ごとに各試験区の種苗を25尾ずつ無作為に抽出し，全長と体重を測定し，一元配置分散分析により試験区間の差の有無を検定した ($P < 0.05$)。

試験開始時と終了時の体重から，日間成長率（式1）と飼育期間中の体重増加量に対する給餌量の割合である飼料効率（式2）を求めた。

$$\text{日間成長率} = (W_2 - W_1) / (D \cdot ((W_1 + W_2) / 2)) \cdot 100 \quad (1)$$

W_1 ：開始時体重 (g)

W_2 ：終了時体重 (g)

D：飼育日数

$$\text{飼料効率} = ((W_2 - W_1) \cdot N_2) / Wf \quad (2)$$

N_2 ：取り揚げ尾数

Wf：総給餌量 (g)

中間育成経費の試算 本試験で得られた成長，生残率および給餌量の値から中間育成経費を試算した。試算にあたっては中間育成の条件ごとに施設費や人件費が異なるため，試験区ごとにクロソイ1尾あたりの中間育成に掛かる経費を計算した。陸上水槽で中間育成する場合には，水槽の形状，揚水および通気設備等が各機関で異なり，施設費の試算が困難である。そのため，ここでの中間育成の経費は，一般的な海上筏と小割網を用いた場合を想定し試算した。また，中間育成の規模は10万尾の放流用種苗を生産することを想定した。

育成施設費 本研究で想定した育成施設は海上筏1基あたり1,322,565円（筏1基：6 × 6 m；1,135,690円，小割網1張：6 × 6 × 5 m；100,000円，礎4基：76,000円，ロープ類；10,875円）である。一般的に減価償却費は下記の式(3)であり，本報告では残存価格は0に設定した。

$$\text{減価償却費} = (\text{取得原価} - \text{残存価格}) / \text{耐用年数} \quad (3)$$

育成施設1基あたりの減価償却費は，筏および礎の耐用年数を10年，その他を5年として計算すると143,344円となる。育成施設費は，減価償却費にクロソイ10万尾の中間育成に必要な筏の数を乗じて式(4)に

Table 13. Results of intermediate culture breeding experiments in the black rockfish

No.	Feeding frequency	Density (ind. / kl)	Total length (mm)		Body weight (g)		Total weight gain (g)* ¹	Total feeding (g) (g / ind.)	Dairy growth rate (%) ^{*2}	Feed conversion rate(%) ^{*3}	Survival rate (%)
			Initial	Final	Initial	Final					
1 - 200	1	200		79.2 ± 7.1		9.3 ± 2.5	15,200	9,241 (4.62)	3.3	1.6	100.0
1 - 400	1	400		77.4 ± 7.5		9.3 ± 2.8	30,400	20,083 (5.02)	3.3	1.5	100.0
1 - 800	1	800	46.6 ± 5.9	81.8 ± 7.8	1.7 ± 0.7	10.6 ± 3.1	71,200	41,477 (5.18)	3.5	1.7	100.0
2 - 200	2	200		82.8 ± 8.8		10.3 ± 3.4	17,200	12,326 (6.16)	3.4	1.4	100.0
2 - 400	2	400		81.0 ± 5.1		9.7 ± 1.9	32,000	25,379 (6.34)	3.3	1.3	99.9
2 - 800	2	800		82.8 ± 8.2		10.6 ± 3.3	71,200	47,436 (5.93)	3.4	1.5	100.0

*¹: Total weight gain = $(w_2 - w_1) \times N$, w_1 : initial weight, w_2 : final weight, N : number of fish

*²: Dairy growth rate = $((w_2 - w_1) / d \times (w_1 + w_2)) \times 100$, w_1 : initial weight, w_2 : final weight, d : breeding day

*³: Feed conversion rate = (initial total weight - final total weight) / total amount of feed

Table 14. Estimate of expenses in intermediate culture of black rockfish juvenile

No.	Initial number of juvenile (ind.)	Number of raft	Required time for feeding operation (h)	Personnel expenses per day (yen)	Total personnel expenses (yen)* ¹	Total feed cost (yen)* ²	Total facility cost (yen)* ³	Total cost (yen)* ⁴	Unit cost per ind. (yen)* ⁵	Unit cost per size (mm, yen)* ⁶
1-200	25,000	4	4	2,400	100,800	231,000	573,376	905,176	9.1	0.28
1-400	50,000	2	2	1,200	50,400	251,000	286,688	588,088	5.9	0.19
1-800	100,000	1	1	600	25,200	259,000	143,344	427,544	4.3	0.12
2-200	25,000	4	8	4,800	201,600	308,000	573,376	1,082,976	10.8	0.30
2-400	50,000	2	4	2,400	100,800	317,000	286,688	704,488	7.0	0.20
2-800	100,000	1	2	1,200	50,400	296,500	143,344	490,244	4.9	0.14

*¹ $C_t \cdot N_r \cdot F_f \cdot D$, C_t : Personnel expenses per time, N_r : Number of raft, F_f : Frequency of feeding per day, D : Culturing period (42days)

*² $W_f \cdot C_f$, W_f : Total feeding (Table13), C_f : Unit cost of food

*³ $((C_{ra} + C_a) / 10) + ((C_n + C_{ro}) / 5) \cdot N_r$, C_{ra} : Cost of raft, C_a : Cost of anchor, C_n : Cost of cage, C_{ro} : cost of rope, N_r : Number of raft

*⁴ $*1 + *2 + *3$

*⁵ $*4 / N_1$, N_1 : Initial number of juvenile

*⁶ $*5 / (L_2 - L_1)$, L_1 : Total length of start (Table13), L_2 : Total length of finish (Table13)

Table 15. Estimate of expenses per juvenile from 40 mm TL to each size

No.	50mm	60mm	70mm	80mm	90mm	100mm
1-200	2.8	5.6	8.3	11.1	13.9	16.7
1-400	1.9	3.8	5.7	7.6	9.5	11.5
1-800	1.2	2.4	3.6	4.9	6.1	7.3
2-200	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	17.9
2-400	2.0	4.1	6.1	8.2	10.2	12.3
2-800	1.4	2.7	4.1	5.4	6.8	8.1

Unit: yen

より算出した。

$$C_1 = ((Cra + Ca) / 10) + (Cn + Cro) / 5 \cdot Nra \quad (4)$$

C_1 : 育成施設費

Cra : 筏の購入費用

Ca : 碇の購入費用

Cn : 小割網の購入費用

Cro : ロープ類の購入費用

Nra : 筏の台数

人件費 育成施設 1 基あたりの 1 回の給餌時間を 1 時間と想定し、時間あたりの賃金は 2001 年の岩手県の雇用最低賃金 (600 円 / 時間) とした。人件費は前述した賃金に筏台数、給餌回数および飼育日数を乗じて式(5)により算出した。

$$C_2 = Ct \cdot Nr \cdot Nf \cdot D \quad (5)$$

C_2 : 人件費 (円)

Ct : 時間賃金 (円)

Nr : 筏の台数

Nf : 1 日の給餌回数

D : 飼育日数

飼料費 各試験区の総給餌量を配合飼料の単価 (0.5 円 / g) を乗じて式(6)により飼料費を算出した。

$$C_3 = Wf \cdot Cf \quad (6)$$

C_3 : 飼料費 (円)

Wf : 総給餌量 (g)

Cf : 配合飼料の単価 (円 / g)

各サイズに達するまでの中間育成経費の試算 一般に種苗の放流サイズが大きいほど放流後の生残率の向上が見込まれる一方で、中間育成経費の増加に伴う経済回収率の低下が懸念される。経済回収率を推定するうえでも、放流サイズごとの中間育成経費を知ることが重要である。このため、前述した試験区ごとの中間育成経費を各試験区の成長量 (mm) で除し、全長 1 mm あたりの成長に要した経費を式 (7) により算出した。平均全長 40 mm として、全長 1 mm あたり

の成長に要した経費をそれぞれの全長と開始時の全長の差に乗じて式(8)により各サイズに達するまでの中間育成経費を試算した。

$$C_4 = ((C_1 + C_2 + C_3) / (L_2 - L_1)) \quad (7)$$

C_4 : 1 mm あたりの成長に要した経費 (円)

L_1 : 収容時の全長 (mm)

L_2 : 終了時の全長 (mm)

$$C_5 = C_4 \cdot (L - 40) \quad (8)$$

C_5 : 各サイズに達するまでの経費 (円)

L : 全長 (mm)

結 果

成長および生残率 各試験区の生残率は 2-400 区が 99.9、それ以外の区が 100 % となり差はなかった (Table 13)。各試験区における全長および体重については、試験終了時に有意な差は認められなかった ($P < 0.05$, Fig. 18, 19)。全長 (TL , mm) と体重 (BW , g) の間には $BW = 7 \times 10^{-6} \times TL^{3.2055}$ の関係式を得た (Fig. 20)。各試験区の日間成長率は、3.3~3.5 % となり差はほとんど認められなかった (Table 13)。

給餌量と飼料効率 各試験区における 1 尾あたりの給餌量は 1 日 1 回給餌区では 4.62~5.18 g、1 日 2 回給餌区では 5.93~6.34 g であり、1 回給餌区が 2 回給餌区に比べて 1 尾あたりの給餌量が少ない傾向がみられた (Table 13)。一方、飼料効率は全体で 1.3~1.7 の範囲内にあり、同じ給餌回数の試験区間では収容密度による差はみられなかった。しかし、同じ収容密度で給餌回数の異なる試験区を比較すると、1 日 2 回給餌区が 1 回給餌区に比べて飼料効率が高い傾向を示した (Table 13)。

1 日 2 回給餌区の 3 試験区では、1 日の総給餌量に対する午前の給餌量の割合が約 70 (68.9~72.2) % であり、2 回目の摂餌量は 1 回目と比べると明瞭に少な

Table 16. Changes in survival and mark retention rate in black rockfish using fin removal making method

Date	Marking		1 month		3 months		6 months		12 months		24 months		Total length (mm)
	Total length	Number	Survival rate	Mark retention rate									
	(mm)		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
22 Jul. 1998	41	100	98	100	98	100	98	99	95	97	95	97	261
18 Aug. 1998	58	100	100	100	100	100	100	100	97	100	97	100	258
7 Sep. 1998	82	100	100	100	100	100	100	100	96	100	95	100	262
13 Oct. 1998	98	100	100	100	100	100	100	100	99	100	97	100	268

かった。

中間育成経費およびサイズ別の種苗単価の試算

10万尾生産における各試験区1尾あたりの中間育成経費は、1-800区<2-800区<1-400区<2-400区<1-200区<2-200区の順となり、飼育密度が高く給餌回数が少ないほど、1尾あたりの経費は低くなった (Table 14)。

それぞれの育成条件下で、全長40 mm から100 mm まで10万尾を中間育成した場合の1尾あたりの中間育成経費を10 mm ごとに Table 15に示した。平均全長100 mm まで育成した場合の経費を例にすると、1-800区が最も低い7.3円となり、2-200区が最も高い16.7円であり、その間には2.3倍の差が認められた (Table 15)。

考 察

効率的な中間育成方法 本試験の結果から飽食量を給餌すると、給餌回数を1日2回から1回に減らしても、生残率および成長率に差は認められず、経費についても安くなることが示唆された。また、1日に1回給餌する区は2回給餌する区に比べて飼料効率が高く、前者は単位給餌量あたりの成長率が高いことが示唆された。本試験において1日2回 (午前9時と午後3時) 給餌した場合、午前の給餌量は1日の総給餌量の約70%であったのに対し、午後は約30%と低くなった。池原・永原 (1980) は本種の排泄率 (全排泄に対する一定時間ごとの排泄の割合) を測定した。それによると水温18~20℃では摂餌から6時間後の排泄率は約10%、24時間後では50%である。これは摂餌した配合飼料の半分が24時間後も消化管内に残存していることを示しており、1日2回の給餌では午前に摂餌した飼料が十分に消化される前に、午後の餌を摂餌することとなる。

ニジマス *Oncorhynchus mykiss* では、1日6~7回の多回給餌を行うと2回の給餌に比べて増重が減少し、餌料効率も低く、時間、労力および飼料の浪費であることが指摘された (Robust, 1934)。また、ペヘレイ *Odontesthes buariensis* でも、1日の給餌回数を1~5回の5段階に設定したところ、給餌回数が多いとニジマスと同様に飼料効率が低下した。しかし、無胃魚であるペヘレイでは、給餌回数が1日1回では摂餌量が不足することも指摘されている (戸田・関口, 1991)。これらのことから、効率的な成長に必要な給餌回数は魚種によっても異なるが、クロソイにおいては1日1回給餌が適正であると考えられた。

本試験の結果、全長45 mm のクロソイ種苗を

80 mm まで中間育成する場合、小割網への収容密度は200~800尾 /kL で成長および生残率に差がないことが示された。今後は収容密度を可能な限り高めることによって、水槽や小割網を最大限に有効利用し、さらなる低コスト化を図る必要がある。

泉川・植木 (1995) は、本種を陸上水槽内で100~500尾 /kL の密度で飼育したところ、生残率は100%で本試験と同様の結果を示した。しかし、日間成長率は1.13~1.17%、飼料効率は0.95~1.01となり、両項目ともに本試験の結果を下回った。泉川・植木 (1995) の試験期間中の水温は12.2~18.2℃であり、本試験の15.7~20.4℃と比較すると低かった。クロソイの飼育では、日間摂餌率は25℃、日間成長率は22℃、飼料効率は20℃で最高値を示すことが報告されている (土田・瀬戸熊, 1997)。このことから、泉川・植木 (1995) の結果と本試験の結果の差の原因として、水温の影響が考えられる。本種の中間育成では、水温によって飼料効率、日間成長率が変化することを考慮する必要がある。また、陸上水槽で中間育成を実施する場合には、設備の能力により換水率が制約されることから、水質の悪化および疾病の防除対策を考慮して収容密度を決定する必要がある。

第2節 外部標識 (腹鰭抜去標識)

種苗放流の効果を定量的に調査するためには、放流魚の識別が不可欠であり、魚市場に水揚げされた放流魚を外見から識別でき、脱落のない標識が求められる。宮古センターではこのような条件を満たすと期待される標識として腹鰭抜去法を用い、1989年以降は同法による標識放流と市場調査を組み合わせることでクロソイの放流効果を推定してきた。腹鰭抜去法とは、左右いずれかの腹鰭をラジオペンチ等の器具を用いて鰭基部から引き抜いて標識とするもので、これまでにマダイ (北川ら, 1983; 高場, 1986) やクロソイ (宮城県, 1984) の放流試験において有効性が確認されている。一方、腹鰭の抜去作業は魚体に与える影響が大きいため、ハンドリングに弱い小型種苗にはほとんど適用されていない。宮古センターにおいても、クロソイ種苗への腹鰭抜去標識は全長90 mm 以上で実施されてきた。しかし、今後のクロソイ放流技術開発においては、放流経費の低減を図るため、放流サイズをできるだけ小さくすることが望ましい。

そこで、本研究ではサイズの異なる本種種苗に腹鰭抜去標識を施し、魚体への影響と持続性の両面から標識としての有効性を水槽内での飼育試験により検討した。

試料と方法

腹鰭抜去方法 試験には、1998年に宮古センターで生産されたクロソイ当歳魚を用いた。同一生産群の種苗500尾を平均全長30 mm (50日齢) で500 Lポリエチレン水槽に収容して飼育し、平均全長40 mm (60日齢), 60 mm (90日齢), 80 mm (120日齢), および100 mm (150日齢) に達した段階で、それぞれ100尾を無作為に抽出した。腹鰭抜去作業にはステンレス製の毛抜き (長さ12 cm, 挟部の幅1.5 cm) を用いて、宮古センター職員2名で50尾ずつ計100尾を処理し、作業の所要時間を測定した。

標識の残存状況の観察 標識としての持続性を確認するため、平均全長40 mmで腹鰭抜去した群 (以下, 40 mm区), 60 mmで腹鰭抜去した群 (以下, 60 mm区), 80 mmで腹鰭抜去した群 (以下, 80 mm区), 100 mmで腹鰭抜去した群 (以下, 100 mm区) をそれぞれ異なる500 Lポリエチレン水槽に収容して、腹鰭抜去後2年間の継続飼育を行った。腹鰭抜去から1, 3, 6カ月後, 12カ月後および終了時に生残していたすべての個体について抜去した鰭の再生状況を観察した。それぞれの観察時に抜去した腹鰭が完全に再生した個体数を調べ、標識残存率 ((観察個体数 - 腹鰭が完全再生した個体数) / 観察個体数)

を算出した。なお、標識残存の判断基準については、1: 抜去した鰭がまったく再生していない, 2: 抜去した鰭が再生しているが識別は容易, 3: 抜去した鰭が90%以上再生し識別困難, 4: 抜去した鰭が完全に再生し識別不可能の4段階に分類し、1および2は標識の残存個体, 3および4は標識の消失個体とした。試験終了時には各試験区間の成長差を一元配置分散分析により検定した ($P < 0.01$)。

結果

標識の残存率 各試験区の腹鰭抜去時の平均全長は、40 mm区が41 mm, 60 mm区が58 mm, 80 mm区が82 mm, 100 mm区が98 mmであり、多少のずれは認められたものの、ほぼ試験設定のサイズと一致した。標識残存率は試験開始後3カ月まで、すべての試験区で100%であったが、40 mm区では6カ月後に99%, 1年後には97%に低下した。60 mm区, 80 mm区, および100 mm区では、試験終了時についても標識残存率は100%であった (Table 16)。

生残率および成長 40 mm区では、腹鰭抜去を施した翌日に2尾の死亡が認められたが、それ以外の試験区では抜去の影響と考えられる死亡は発生しなかった。各試験区の試験終了時の生残率は40 mm区が

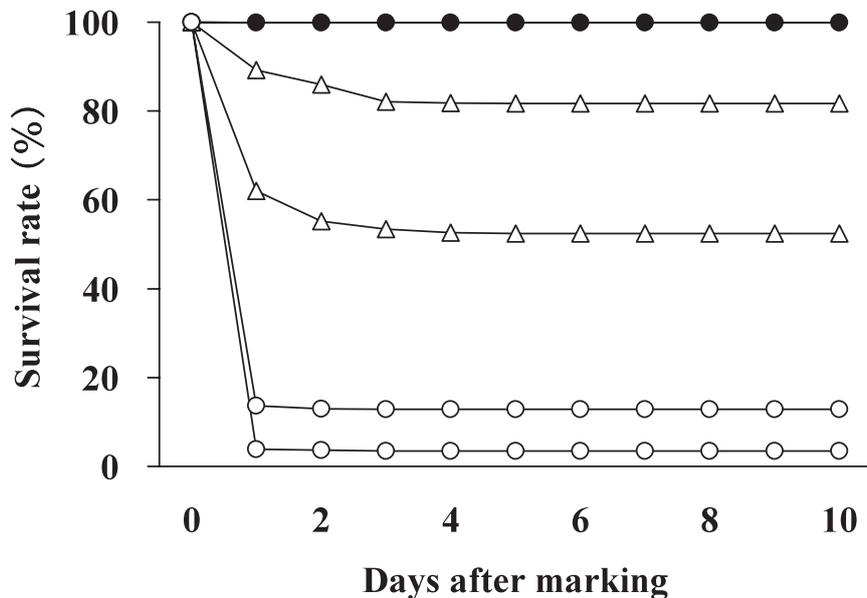


Fig. 21 Changes in survival rate of black rockfish at different concentration of alizarin complexone (ALC). Closed circles indicate 15 mg/L, open triangles indicate 30 mg/L, open circles 50 mg/L.

Table 17. Visibility of the mark pattern in juvenile black rockfish after otoliths immersion in alizarin complexone (ALC). Maximum duration of marking was 24 hours.

ALC Concentration (mg / l)	6 h	6 h	24 h	1 month	6 months	12 months	24 months
15	0	25	100	100	100	100	100
30	25	50	50	50	50	50	50
50	50	50	50	50	50	50	50

ALC mark visibility on otolith was evaluated as follows; 100: very good, 50: good, 25: faint, 0: absent.

95 %, 60 mm 区が97 %, 80 mm 区が95 %, 100 mm 区が97 % となりいずれの区も高く、試験区間の差は認められなかった。

各試験区の試験終了時の平均全長は、40 mm 区で261 mm, 60 mm 区で258 mm, 80 mm 区で262 mm, 100 mm 区で268 mm となり、試験区間に有意な差は認められなかった。

腹鰭抜去標識の装着所要時間 各試験区の抜去作業に要した延べ時間は、4 mm 区が30分, 60 mm 区が19分, 80 mm 区が16分, 100 mm 区が14分であった。100 mm 区の所要時間を基準とした場合、80 mm 区で1.14倍, 60 mm 区で1.36倍, 40 mm 区で2.14倍の時間を要し、サイズが小型になるほど作業効率は低下した。腹鰭抜去に要した時間を基に、作業員20人でクロソイ1万尾に装着する所要時間を試算した結果、クロソイの平均全長が100 mm の場合には70分, 80 mm では80分, 60 mm では95分, 40 mm では150分となった。

考 察

今回の試験により、クロソイ種苗では平均全長40 mm の小型種苗に腹鰭抜去標識を装着しても、標識残存率、成長および生残の面から問題ないことが明らかになった。腹鰭抜去標識の小型種苗への適用が可能になると、放流までの育成期間は、100 mm で標識して放流する場合に比べて、80 mm ではおよそ1カ月, 60 mm では2カ月, 40 mm では3カ月の短縮が期待できる (Table 16)。飼育期間の短縮による経費や労力の節減効果は非常に大きいと考えられた。

今回の試験において、40 mm 区にのみ腹鰭抜去の影響と思われる死亡が認められたことから、小型サイズでは、魚体への負荷を軽減するよう注意を要する必要がある。また、サイズが小型になるほど作業時間を要したため、使用する毛抜きの大きさを魚体に合わせて

小型化する等の工夫により、ある程度の作業時間の短縮は可能と考えられる。

宮古センターが岩手県山田湾で実施したクロソイ種苗放流試験では、放流魚の一部を1年間飼育して腹鰭抜去標識の残存率を推定した。その結果、1995年放流群 (標識装着尾数は1.9万尾, 装着時の平均全長は102 mm) の残存率は76.0 %, 1996年放流群 (同2万尾, 102 mm) では83.9 %, 1997年放流群 (同2.9万尾, 87 mm) では90.0 % であり、本試験結果より低い標識残存率であった。これはアルバイトを含む大勢の人員で大量の種苗に腹鰭抜去を行ったことで、不完全な抜去が生じやすくなったためと考えられる。年により残存率が変動したのは、抜去作業の精度が異なったためと考えられる。腹鰭抜去標識を実際の放流試験に適用する場合には、抜去作業の精度が低下しないように、作業者を訓練する必要があるが、大量処理を行う際の標識残存率のある程度の低下はやむを得ないであろう。従って、腹鰭抜去標識を用いて放流効果を推定する場合には、放流魚の一部を継続飼育して標識残存率により補正する必要がある。なお、本試験の40 mm 区で認められた標識残存率の低下は、腹鰭抜去後1年以内に発生し、同様の結果は宮城県 (1988) でも認められている。このことから、腹鰭の再生の多くは抜去後1年以内におこることが示唆され、標識残存率の推定のための継続飼育は1年間が適当と考えられた。

また、正確な放流尾数を把握するためには、標識付け作業による死亡数を確認することが重要であり、標識付け直後の放流は避けることが望ましい。

今後は、小型種苗への腹鰭抜去標識を実際の放流試験に適用し、放流後の成長や魚市場での回収、継続飼育による標識残存率の推定を通して、本試験結果を検証する必要がある。

第3節 内部標識 (ALC 標識)

前節で述べた腹鰭抜去標識は、基本的に左右2カ所

しか利用できないため、同一年度で放流至適条件（場所、時期、サイズ）等の検討を行うには、放流群を識別する新たな標識の装着が必要となる。

大河内（2006）は、放流効果の調査では、目的に適合した標識を用いることを提言し、それらの事例を紹介した。また、その中で外部標識と内部標識を組み合わせることで、それぞれの短所を補い、効率的な調査をすることが可能であることを示している。

内部標識の1つである Alizarin Complexone (ALC) 標識は、アユ *Plecoglossus altivelis* で検討が開始され（Tsukamoto, 1988）、これまでにマダイやニシンなどの多くの魚類で耳石標識としての効果が認められている（栗田・塚本, 1987; 岡本ら, 1993; Yamashita *et al.*, 1994; 大河内・千村, 2001; 松村, 2005; 友田・栗田, 2006）。しかし、ALC 標識には、標識装着時における大量死亡の危険性（友田, 2003）や高コスト（Blom *et al.*, 1994; 栗田・塚本, 1989）などの問題が指摘されている。

本試験では、クロソイの腹鰭抜去標識に組み合わせる内部標識として、多くの魚種で実績のある ALC 標識を用いて試験した。今回は、ALC 標識を本種種苗へ安全に、かつ経済的に装着する技術を開発することを目的とし、3段階（15, 30, 50 mg/L）の浸漬濃度を設定して、試験区ごとの生残率や標識としての視認性および持続性を調べた。

試料と方法

試験区の設定および飼育条件 ALC を用いた耳石の標識方法には、給餌による経口投与（経口投与方法）と溶液中に浸す（浸漬法）2通りの方法がある。経口投与方法は、ALC を含んだ配合飼料を種苗へ給餌するため、ハンドリングによる影響は極めて少ない（高橋, 1994）が、長期間 ALC を含んだ餌を与えなければならぬというのに、摂餌状態によっては ALC の取り込みの違いが生じる可能性がある。このため、本試験では短期間で確実に ALC 標識が装着可能と考えられる浸漬法を採用した。

試験には2002年に宮古センターで生産された平均全長（±SD）45.2（0.8）mm のクロソイ種苗5,400尾を用いた。和光純薬工業製の ALC を用い、浸漬濃度を15, 30, 50 mg/L の3段階に設定した。試験区としてそれぞれ2水槽（100 L ポリカーボネイト水槽）を設定し、1水槽あたり900尾（10,000尾/kL）の種苗を収容した。なお、試験は気温の影響を小さくするためウォータバス内で実施し、水温を15.3~15.5°C で管理した。

供試魚の浸漬時間は24時間とした。排泄物等による飼育水の汚れを防ぐために、浸漬2日前から供試魚への給餌を中止した。なお、浸漬中の通気はブローアのみで実施し、酸素は使用しなかった。浸漬終了後の飼育には砂ろ過海水を使用し、1水槽あたり3回転/日の割合で注水した。配合飼料（坂本飼料、海産ソフト餌付用C）を換水開始後から毎日給餌した。浸漬開始から10日間100 L 水槽で飼育して生残率を確認した後、各試験区から30尾の供試魚を無作為に抽出して、500 L ポリエチレン水槽で2年間飼育した。500 L 水槽の飼育条件は100 L 水槽に準じた。なお、岩手県山田湾に本種種苗を放流すると、回収された放流魚の82.1~93.9% が2歳までに魚市場へ水揚げされたことから（第5章第1節）、標識の持続性を確認する期間は2年間で十分と考えられた。

標識の評価 ALC の標識としての評価は、生残率、持続性、視認性および種苗1尾あたりの標識単価の4項目から判断した。生残率は毎日の死亡個体を数え、最終的には試験開始後10日目にすべての供試魚を取り揚げて試験区ごとに示した。

標識の持続性は、浸漬開始から6時間、12時間、1カ月、6カ月、12カ月および24カ月後に各試験区から無作為に5個体を採集し、解剖によって得られた耳石（扁平石）を、落射型蛍光顕微鏡（Nikon ECLIPSE E400, G 励起フィルター BM520）下の観察から評価した。

標識の視認性は、標識の蛍光発色の度合いを「非常に明瞭で確認しやすい」、「確認できる」、「不明瞭で確認しにくい」、「確認できない」の4段階とし、それぞれに100, 50, 25, 0の評価点を与える藤原（1999）の方法に従い、5個体の平均値を示した。

種苗1尾あたりの標識単価は、各試験区で使用した ALC の費用（1,000円/g）を生残尾数の平均値で除して算出した。

結 果

生残率 試験区ごとの生残率の推移を Fig. 21 に示した。15 mg/L では、2水槽ともに浸漬を開始してから24時間後までの死亡は1尾であった。

30 mg/L では、浸漬を開始してから24時間後までの死亡数が342尾および97尾、生残率はそれぞれ62.0%, 89.2% であった。死亡個体は5日後まで認められ、10日後の生残率はそれぞれ52.4%, 81.7% であった。

50 mg/L では、さらに死亡数が多くなり、浸漬を開始してから24時間後までの死亡数が777尾および865

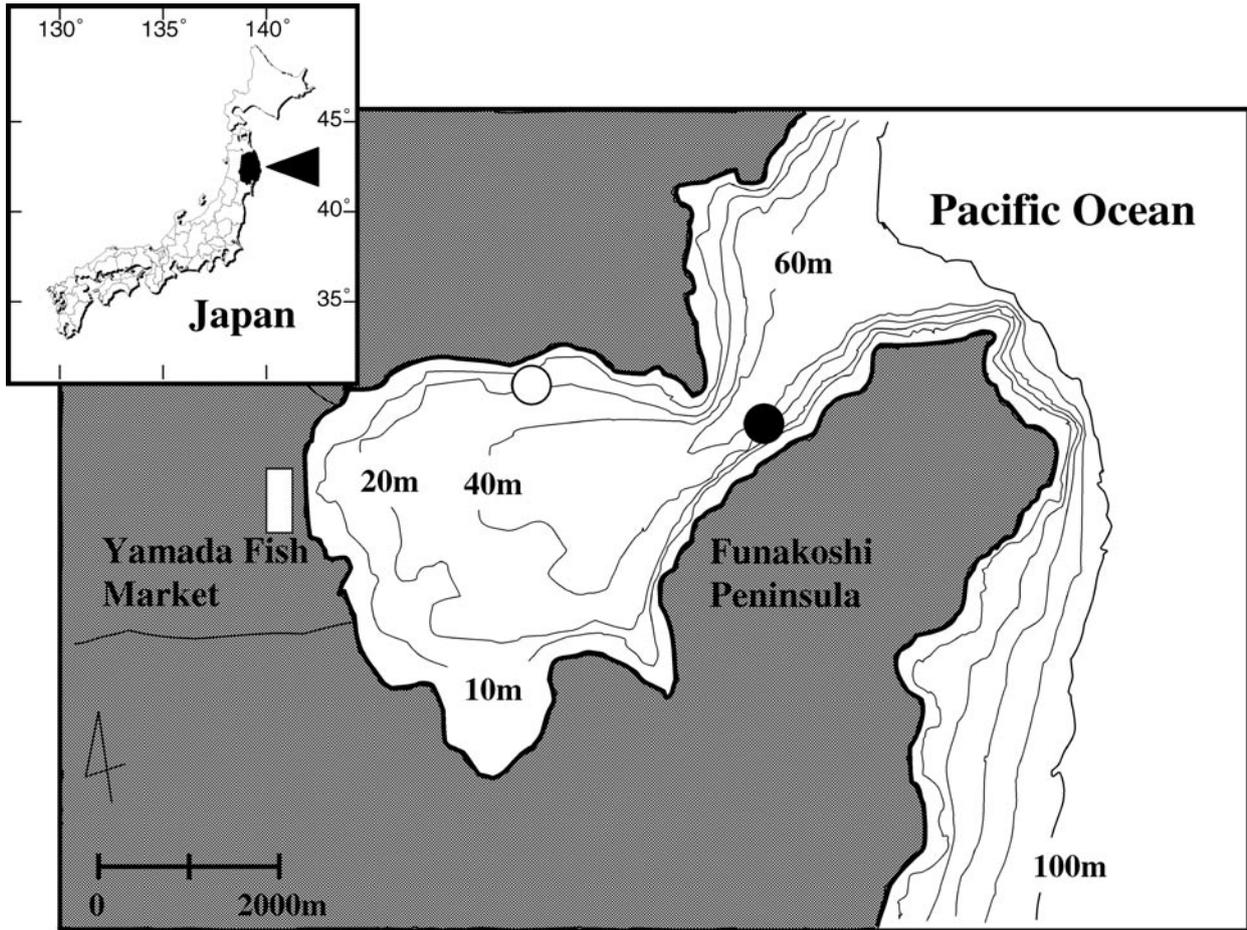


Fig. 22 Geographic features of Yamada Bay and the black rockfish release sites. The open circles indicate release sites used during 1989–1993; closed circles are those of 1994–1997.

Table 18. Release statistics of black rockfish in Yamada Bay

Year of release	Number released	Mean TL (mm)	Release site	Date of release	Marking method*1	Mark rate (%)	Fin regeneration rate (%)
1989	62,600	89	inside of bay	Oct.26	fin removal (L)	48.3	16.7*2
1990	180,200	81	inside of bay	Aug.31, Sep.18	fin removal (L)	50.4	16.7*2
1991	27,700	105	inside of bay	Oct.16	fin removal (L)	100.0	16.7*2
1992	0	-		-	-	-	
1993	59,000	98	inside of bay	Oct.7	fin removal (L)	100.0	16.7*2
1994	50,000	129	mouth of bay	Oct.27	fin removal (L)	100.0	16.7*2
1995	19,000	102	mouth of bay	Aug.31	fin removal (R)	100.0	24.0
1996	20,000	102	mouth of bay	Sep.7	fin removal (L)	100.0	16.1
1997	28,900	87	mouth of bay	Sep.4	fin removal (R)	100.0	10.0
Total(Average)	447,400	(99)				(87.3)	

*1(L): Left ventral fin, (R): Right ventral fin

*2 The average of mark regeneration rate from 1995 to 1997 was used.

Table 19. Changes in the mean total length and SD (in parentheses) of released black rockfish from 1995 to 1997 year classes at the Yamada Fish Market.

Age	Month	N	Total length(cm)
1	June	0	
	July	4	22.5 (1.9)
	August	14	22.4 (1.7)
	September	74	21.7 (1.2)
	October	536	22.1 (1.0)
	November	435	23.8 (1.4)
	December	455	24.4 (1.9)
	January	208	26.2 (2.2)
	February	14	26.9 (2.1)
	March	6	30.0 (3.2)
	April	11	30.0 (2.6)
	May	10	27.4 (3.1)
	2	June	70
July		32	27.7 (1.5)
August		50	27.3 (2.5)
September		29	27.0 (3.6)
October		99	27.8 (3.5)
November		177	30.3 (3.1)
December		261	29.6 (2.8)
January		111	31.5 (2.8)
February		0	
March		3	30.7 (1.2)
April		9	35.8 (2.7)
May		49	36.0 (3.2)

尾、生残率はそれぞれ12.9%, 3.4%であった。死亡個体は2日後まで認められ、10日後の生残率は12.9%および3.4%であった。生残率はALC浸漬濃度の上昇にともなって低下した。

標識の視認性および持続性 耳石標識の装着状態をTable 17に示した。試験開始以降、6時間、12時間、24時間後の視認性の評価値は、150 mg/Lが、0、25、100、30 mg/L区が25、50、50、50 mg/L区が、50、50、50となり、浸漬濃度が高いほど、短時間で耳石への標識装着の効果が認められた。しかし、「非常に明瞭で確認しやすい」を示す評価値100は、ALC濃度が最も低い15 mg/L区でのみ確認された。一方、各試験区における個体ごとの評価値にはバラツキが認められなかった。また、標識の持続性を確認するために実施した、1、6、12および24カ月後の観察では、すべての試験区について耳石の切断および研磨処理を施さなくても、ALC標識を蛍光顕微鏡下で容易に確認することが可能であった。また、24カ月後までの視

認性は15 mg/L区において最も高かった。

種苗1尾あたりの標識単価 各試験の1水槽あたりに要したALCの費用は、15 mg/Lでは1,350円、30 mg/Lでは2,700円、50 mg/Lでは4,500円であった。これらの値をそれぞれの生残尾数の平均値で除した標識単価は、1.50円、4.47円、57.0円となり、15 mg/L区は30 mg/L区の1/3、50 mg/L区の1/38の値を示した。

考 察

クロソイ種苗に適したALC浸漬濃度 全長45 mmのクロソイ種苗に、15、30、50 mg/Lの濃度ALC標識を装着した結果、耳石の研磨処理等を施さなくても、2年後まですべての区でALC標識を確認することが可能であった(Table 17)。生残率、視認性および標識単価から評価すると、本試験の設定の範囲内では、ALC濃度として15 mg/Lが適していると判

断された。他魚種における ALC 浸漬濃度は、マダイでは80~160 mg/L (栗田・塚本, 1989), ニゴロブナ *Carassius auratus grandoculis* では16~32 mg/L (藤原, 1999) ヒラメ *Paralichthys olivaceus* では80 mg/L (Yamashita *et al.*, 1994), マダラ *Gadus macrocephalus* では100 mg/L (門間・草刈, 2001), スケトウダラ *Theragra chalcogramma* では25 mg/L (片倉ら, 2003), ハタハタ *Arctoscopus japonicus* では40 mg/L (友田・栗田, 2006) であり、クロソイに比べると高い値で設定されている。また、体長19 mm のマダイ種苗では50 mg/L から200 mg/L へ ALC の浸漬濃度を高めることにより、視認性が高まること示されている (栗田・塚本, 1987)。クロソイにおいて30 mg/L および50 mg/L の ALC 濃度では、24 時間後の死亡数の増加が認められたことから、本種の ALC の適正濃度は他魚種より低く、その範囲は狭いと考えられる。一方、宮古センターでは2001年に50 mg/L, 6 時間の浸漬条件で ALC 標識を装着したが、浸漬後の死亡個体はまったく認められなかった (日本栽培漁業協会, 2001)。本試験においても、浸漬開始から6 時間および12 時間後に供試魚をタモ網で採集して様子を調べたところ、すべての試験区で死亡個体は認められなかった。すなわち、30 mg/L および50 mg/L の ALC 濃度は、12 時間以内の浸漬条件では生残率に影響を与えないと考えられ、浸漬濃度と浸漬時間の条件の組み合わせにより、生残率が著しく変化することが示唆された。

これらのことから、標識としての視認性および持続性に影響が認められない範囲で、ALC の浸漬濃度を下げることは、クロソイ種苗へ安全な標識の装着と放流種苗の単価の低減に大きく貢献すると考えられた。

今後の課題 マダイやトラフグなどでは ALC 標識を装着する体サイズによって、ALC の適正濃度が変化することが明らかにされている (栗田・塚本, 1987; 藤原, 1999; 松村, 2005)。また、ハタハタでは ALC 供試液の pH を調整することで、耳石標識の視認性が高まること示唆された (友田・栗田, 2006)。さらに、マダイやカサゴなどでは耳石のほかに、鱗や背鰭棘についても ALC の標識効果が認められている (土地・今井, 1993; 中村・栗田, 1994; 岡本ら, 1993)。本試験では全長45 mm のクロソイ種苗を用いて試験したが、体サイズごとの適正な ALC 濃度の把握、ALC 供試液の pH 調整の導入、15 mg/L 以下の ALC 濃度での有効性を本種についても調べることが、さらに効率的な ALC 標識の装着を実現するために必要である。また、本種についても耳石以外の鱗などで標識効果が確認されれば、ALC 標識を確認するため

に漁獲物を購入する必要もなく、大幅な経費の削減が見込めることとなる。

これまでの宮古センターにおけるクロソイの放流試験では、回収率や経済回収率を推定するために、腹鰭抜去標識を用いて、毎年1 群を放流してきた (第4 章第1 節)。本試験によってクロソイ種苗における ALC 標識の有効性が確認されたため、本標識を腹鰭抜去標識と組み合わせて、放流サイズ、場所および時期といった条件設定を変えた複数放流群による比較放流試験の実施が可能となった。これらの放流手法の要素解明試験から得られる結果を基に、放流技術をさらに高めていくことが重要である。

第5 章 放流効果調査技術の開発

第1 節 岩手県山田湾に放流したクロソイの放流効果

宮古センターでは、1989~1997 年まで岩手県山田湾を放流海域としてクロソイ種苗を放流した。放流効果を定量的に把握するには、魚市場に水揚げされた放流魚を調べる必要がある (岩本ら, 1998)。そこで、魚市場に調査員を配置し、水揚げされたすべてのクロソイについて調べた。本章では1990~2000 年の魚市場の調査結果から、クロソイの漁獲量、放流魚の移動、貢献率、回収率および経済回収率を推定してクロソイの放流効果を評価した。

試料と方法

種苗放流と標識装着 宮古センターで種苗生産されたクロソイ稚魚447,400 尾を1989~1997 年に岩手県山田湾へ放流した (Table 18)。なお、1992 年には、種苗生産の不調により本種種苗が放流されなかった。放流した種苗の平均全長は、99 mm (81~129 mm) であった。標識には第4 章第2 節で述べた腹鰭抜去標識を用いた。1989~1994 年および1996 年放流群には左腹鰭抜去標識を、1995 年および1997 年放流群には右腹鰭抜去標識を装着した。1989 年および1990 年の2 つの放流群にはついては、それぞれ放流した種苗の48.3 %, 50.4 % に標識を装着した。それ以外の放流群にはすべての種苗に標識を施した。腹鰭抜去標識は、抜去が不完全であると鰭が完全に再生し、天然魚と識別できなくなる。そこで、1995~1997 年放流群については、標識を装着した放流直前の種苗から無作為に100 尾を抽出して、1 年間陸上水槽で飼育して標識の残存率を調べた。なお、1989~1994 年放流群については、1995~1997 年放流群の標識の残存率の平均値を用いて回収尾数を補正した。

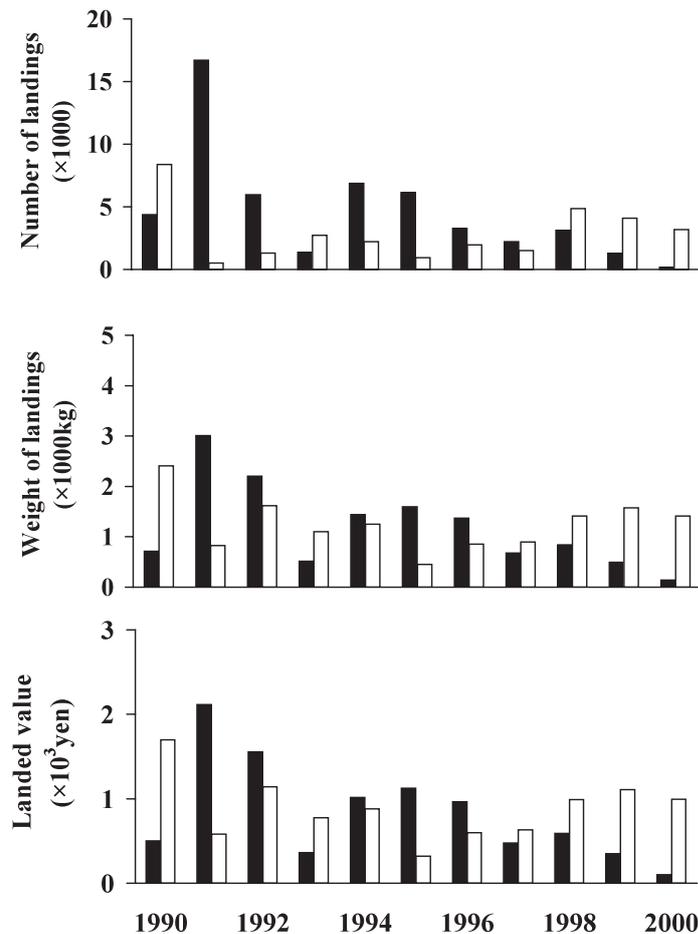


Fig. 23 Annual changes in the estimated catch in number, weight, and landed value of hatchery-reared and wild black rockfish landed at the Yamada Fish Market. Closed bars indicate released fish, open bars wild fish.

放流海域 放流した海域の山田湾は、岩手県の海岸線の中央に位置する円形の湾である。湾の直径が約4 km、湾口部の幅が1 kmと狭いため閉鎖的な形を呈している (Fig. 22)。湾の中央部から西側の沿岸部は砂浜域であるが、湾内の東側と湾口部および湾外はすべて岩礁域である。水深は湾の中央部で約40 m、湾口部で約60 mである。湾内の水温は、年間6～20℃の範囲で変動し、最低水温は2～3月に、最高水温は9月に観測される。1989～1993年の放流群は、山田湾内に放流された。しかし、これらの群では、放流直後から岸壁で多くの遊漁者による釣獲が確認されたため、1994～1997年放流群は、釣獲の影響がないと考えられた湾口部に放流した。放流場所と後述する回収率の関係を統計的に確認するため、得られた値は山田・北田 (1997) に従い、逆正弦変換し、ANOVAを用

いて2群間の差を検定した ($P < 0.05$)。

市場調査 1990～2000年の11年間に山田魚市場で得られた水揚のデータを用いた。本研究では放流魚の移動についても調べるため、放流海域である山田湾周辺で漁獲されたクロソイが水揚げされる山田魚市場に加えて、山田湾の北側に隣接する宮古魚市場および山田湾の南側に隣接する船越魚市場の3カ所で同時に調査した。

これらの3つの魚市場に水揚げされるクロソイの漁獲範囲は、山田湾の北方50 kmから南方20 kmの連続した70 kmの沿岸域である。なお、宮古魚市場および船越魚市場については、1990～1994年の5年間のデータを用いた。各魚市場には、1名ずつの調査員を配置し、各魚市場のすべての開設日 (年間約280日) に調査を実施した。調査項目は以下の3項目である。

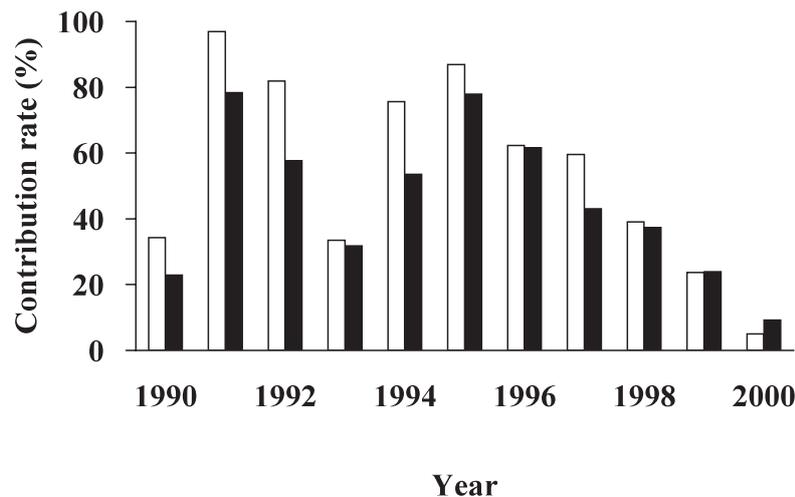


Fig. 24 Contribution rates of released black rockfish to total landings by number and weight. Closed bars indicate weight of released fish, open bars number of released fish.

- 1) クロソイはソイ・メバル類として他のメバル属魚類と混合して水揚げされるため、クロソイの形態的な特徴（涙骨の棘の数）を目安に分類した。
- 2) 腹鰭抜去標識の有無と鰭抜した鰭の位置を確認した。
- 3) 全長を測定した。

1989～1991年に山田魚市場に水揚げされたクロソイの測定データを用いて、 TL (cm) と BW (g) の関係式 $BW = 0.0113 \times TL^{3.0965}$ ($N=4,586$, $R^2=0.98$, $7 \leq TL \leq 44$ cm) を得た。漁獲重量は、この式を用いて推定された体重の積算値によって算出した。

1995～1997年放流群では、標識の位置と全長から年齢を特定することが可能である。しかし、毎年同じ位置に標識した1989～1994年放流群では、標識から年齢を特定できないため、以下の方法で年齢を推定した。

1995～1997年放流群の平均全長とその標準偏差を年齢別および月別に整理した (Table 19)。その値を大河内ら (1998) に従い、年齢別に分解した。本海域の漁獲の中心は1～2歳であるため、月別の平均全長とその標準偏差が得られる1歳および2歳魚をはじめに年齢分解し、残りを一括して3歳以上として分類した。平均全長と標準偏差が得られなかった月は、その前の月のデータを用いた。岩手県海域のクロソイの出産は、5～6月であるため (第2章第1節)、本章のクロソイの年齢の加算日を6月1日とした。

貢献率、回収率および経済回収率の推定 貢献率を水揚げされたすべてのクロソイに対する放流魚の割合と定義し、水揚げ尾数および水揚げ重量ごとに示した。

回収率は放流群ごとに回収された尾数を放流尾数で除した値であり、放流効果の直接的な評価の基準の1つである (岩本ら, 1998)。経済回収率は、放流群ごとの水揚げ金額を放流経費で除した値であり、その値が1の場合には損益は等しくなる (北田, 2001)。水揚げ金額の推定には、クロソイの単価が必要であるが、山田魚市場ではクロソイ単価の記載がないため、ここでは1990～2000年のソイ類の平均単価 (704円/kg) を使用し、各放流群の回収重量に乗じた。一方、放流種苗の全長 (X , mm) と種苗単価 (Y , 円) の間には、 $Y=0.1267X+4.5351$ の関係式が得られている (中川ら, 2006)。各放流群の放流尾数に種苗単価を乗じた値を放流経費とした。

結 果

放流魚の移動 1990～1994年の5年間の山田魚市場、宮古魚市場および船越魚市場に水揚げされた標識魚は、それぞれ18,740尾、1,782尾、4尾の合計20,526尾であった。このうち、漁獲の位置が明らかな定置網 (42カ統) による水揚げ尾数は16,908尾であり、その99.3%にあたる16,787尾が山田湾の湾口周辺で漁獲された。これらの標識魚の全長範囲は13～50 cm で平均全長は24 cm であった。

水揚げ尾数、水揚げ重量および水揚げ金額の年変動 1990～2000年の間に山田魚市場へ83,207尾のクロソイが水揚げされ、全体の61.9%を占める51,512尾が放流魚であった。天然および放流魚の水揚げ尾数および水揚げ重量の年変動を Fig. 23に示した。放流魚

Table 20. Estimated number of returns and return rates of black rockfish released in Yamada Bay from 1989 to 1997.

Year of release	Number released	Number of returns (%) [*]			Total returns	Return rate (%)
		1+	2+	≥3+		
1989	62,600	4,372 (69.4)	1,802 (28.6)	124 (2.0)	6,298	10.1
1990	180,200	14,915 (75.0)	4,873 (24.5)	98 (0.5)	19,886	11.0
1991	27,700	983 (36.6)	1,271 (47.4)	429 (16.0)	2,683	9.7
1992	0					
1993	59,000	6,455 (71.2)	2,138 (23.6)	469 (5.2)	9,062	15.4
1994	50,000	4,012 (63.0)	1,844 (29.0)	508 (8.0)	6,364	12.7
1995	19,000	946 (53.8)	467 (26.6)	345 (19.6)	1,758	9.3
1996	20,000	1,249 (56.6)	694 (31.6)	263 (11.9)	2,206	11.0
1997	28,900	2,078 (63.8)	1,008 (31.0)	169 (5.2)	3,255	11.3
Total (Average)	447,400	35,010 (61.2)	14,097 (30.3)	2,405 (8.6)	51,512	(11.5)

^{*}The percentage in number of returns by year class.

Table 21. Hatchery costs, landed value and economic return rates of released black rockfish in Yamada Bay.

Year of release	Release cost ^{*1,2}	Landed value of released fish ^{*1} (%) ^{*3}			Total landed	Economic return rate
		1+	2+	≥3+		
1989	1,360	503 (54.0)	349 (37.4)	79 (8.5)	932	0.68
1990	3,654	1,767 (56.5)	1,329 (42.5)	32 (1.0)	3,129	0.86
1991	681	145 (23.7)	329 (53.8)	137 (22.4)	611	0.90
1992	0					
1993	1,378	877 (50.8)	573 (33.2)	279 (16.1)	1,728	1.25
1994	1,446	552 (44.6)	540 (43.7)	145 (11.7)	1,237	0.86
1995	457	144 (29.3)	151 (30.8)	196 (39.9)	491	1.08
1996	481	181 (34.7)	190 (36.4)	151 (28.9)	522	1.08
1997	617	205 (40.8)	198 (39.4)	101 (20.1)	503	0.82
Total (Average)	10,074	4,375 (41.8)	3,659 (39.7)	1,119 (18.6)	9,153	0.91

^{*1}1000 yen.

^{*2}Nakagawa et al., 2006

^{*3}The percentage in landed value by year class.

の水揚げ尾数は、1991年には16,717尾に達し顕著に増加が認められたが、1993年には1,369尾となり減少した。さらに、2000年には、調査期間中の中で最低値の169尾であった。一方、天然魚の水揚げ尾数は、1990年に8,372尾であったが、それ以降1997年まで524～2,717尾の範囲内で増減を繰り返した。1998年には一時的に増加したが、それ以降再び減少傾向に転じた。調査年ごとの放流魚と天然魚の水揚げ尾数の間には、特定の関係は認められなかった (N=11, $r^2=0.46$, $P>0.05$)。

放流魚の貢献率、回収率および経済回収率 水揚げ尾数の貢献率の平均値 (範囲) は54.4% (5.0～97.0%)、水揚げ重量では45.2% (9.2～78.4%) であった (Fig. 24)。放流尾数と放流した翌年の貢献

率の間には、有意な正の関係が認められた (N=11, $R^2=0.86$, $P<0.01$)。

湾内に放流した群の回収率の平均 (範囲) は、11.6% (9.7～15.4%)、湾口部に放流された群の回収率の平均 (範囲) は11.1% (9.3～12.7%) であり、両者の回収率の間に有意差は認められなかった ($P>0.05$, Table 20)。各放流群のすべての回収尾数に占める1歳魚の平均の割合 (範囲) は61.2% (36.6～75.0%)、2歳では30.3% (23.6～47.4%)、3歳では8.6% (0.5～19.6%) となり、1歳魚の回収が最も高い割合を示した。

各放流群の経済回収率の平均 (範囲) は0.91 (0.68～1.25) であった (Table 21)。8放流群のうち3放流群 (1993年, 1995年, 1996年) は1を超えたが、そ

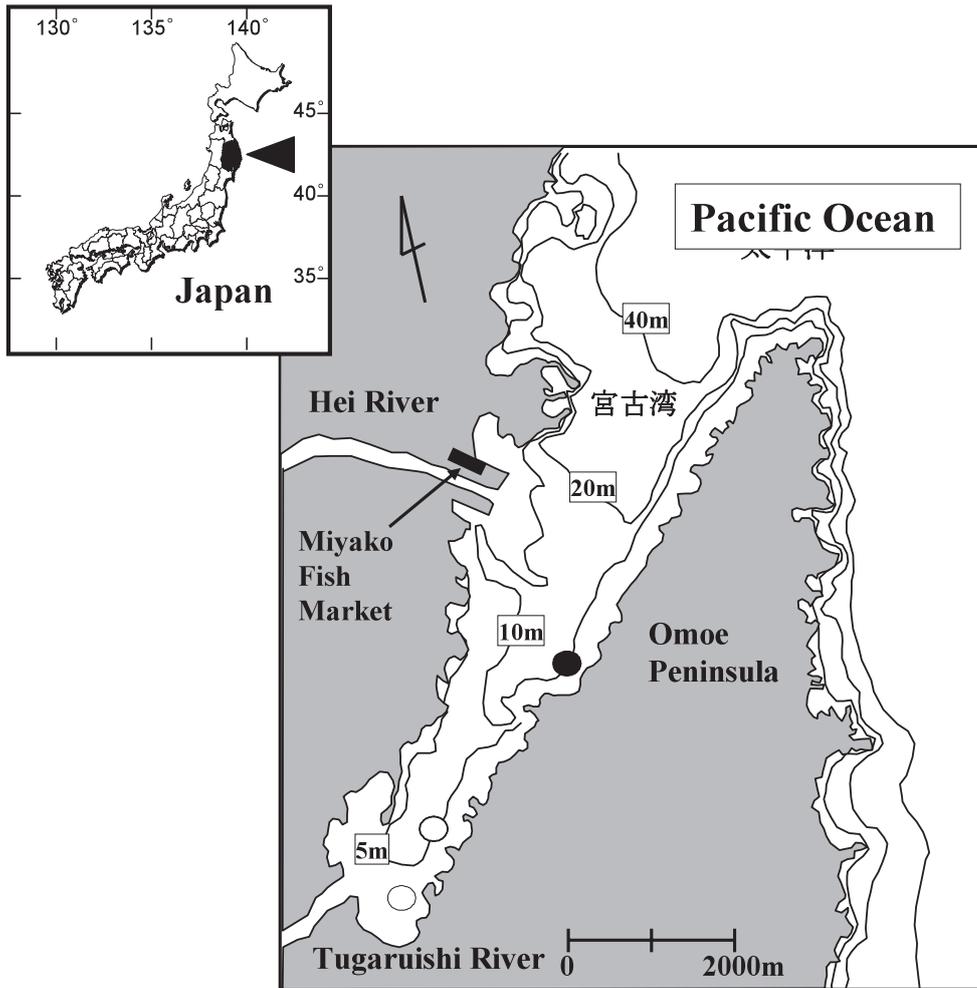


Fig. 25 Geographic features of Miyako Bay and the black rockfish release site and sampling area. The closed circle indicates release site, open circle sampling area.

の他の放流群では1未満であった。各放流群の総回収金額に占める1歳魚の割合の平均(範囲)は41.8%(23.7~56.5%), 2歳では39.7%(30.8~53.8%), 3歳では18.6(1.0~39.9%)となり、1歳と2歳の回収金額はほぼ同じ値を示した。

考 察

山田湾に放流された8つの放流群の回収率は、9.3~15.4%の範囲と推定され、ほぼ安定した回収率が得られた。他の海域における本種の回収率は、福井県では0~0.3%, 青森県では0.2~6.5%, 新潟県では0.1~2.3%, 北海道の寿都湾では2.7~13.4%, 宮城県志津川湾では1.3~15.1%である(北海道・青森県・宮城県・新潟県・福井県, 2000)。山田湾と寿都湾および志津川湾に放流したクロソイの回収率は比較

的高い値を示した。この3つの海域は、湾内に放流され、青森県、新潟県および福井県では、外洋に近い環境下で放流されている。本種の成魚は、概ね水深10~100mの外洋に面した岩礁域に生息している。しかし、出産期になると雌親魚のみが湾内の浅瀬に移動して出産する(中川, 未発表)。また、放流魚のほとんどが山田湾の湾口周辺の放流海域近くで漁獲された。さらに、本種稚魚は、湾内の浅瀬の藻場を利用していることが報告されている(佐々木ら, 2002; 第5章第2節)ことから、本種は湾とその周辺域を単位として生活史が完結している可能性が考えられる。従って、本種の栽培漁業において高い回収率を得るためには、山田湾、寿都湾、志津川湾のような湾を利用した種苗放流の有効性が示唆された。

一方、他種における回収率は、ヒラメでは0~32%(Ishino, 1999; Okouchi *et al.*, 1999; Yamashita

and Yamada, 1999), マダイでは8~12% (今井, 1996) である。高い放流効果を得るためには、放流する最適なサイズ, 場所, 時期をそれぞれについて調べる事が重要である (Yamashita and Yamada, 1999)。湾内と湾口部の2カ所にそれぞれ放流した群の回収率には有意差は認められなかった ($P>0.05$)。しかし、湾内に放流した群では、放流直後から遊漁者による釣獲が認められ、放流場所を湾口部に移した経緯がある。小野寺ら (2001) は、志津川湾では魚市場へ水揚げされた数の2.7倍のクロソイが遊漁者などによって魚市場を通さず漁獲されたことを報告した。この海域では1991年をピークにクロソイの水揚げ量が急減したが、この原因が環境収容力等を通した生態学的な機構にあるのではなく、市場外流通の急増であることを明らかにした。本研究では、湾内放流の有効性が示唆されたが、天然魚を含む稚魚や若齢魚の保護・管理が求められる。

栽培漁業を経済的に成立させるためには、経済回収率を調べる必要がある (岩本ら, 1998; Okouchi *et al.*, 1999; 2004)。他種における経済回収率の平均 (範囲) は、ホタテガイでは27.9 (0.5~310.2), シロサケでは9.8 (7.0~11.8), マダイでは5.1 (3.3~8.2), ヒラメでは2.1 (0.5~3.6) である (北田, 2001)。本種の経済回収率は0.68~1.25となり、8つの放流群のうち5つの放流群で1以下を示し、栽培漁業として経済的に自立できる効果は得られなかった。これは、本種の水揚げ単価が704円/kg であり、ヒラメの2,235円/kg (岩本ら, 1998), マダイの4,380円/kg (今井, 1997) に比べて安価なことが主因である。本種の水揚げ金額を増加させるためには、魚価の低い1歳魚を保護し、2歳魚以降で漁獲するなどの漁獲管理の導入も、今後検討しなければならない。

山田湾に放流したクロソイでは、ほぼ安定した高い回収率が期待できるが、事業として成立する経済回収率は得られなかった。しかし、志津川湾に放流したクロソイでは、栽培漁業の成功により資源が増加したため、本種が漁業だけでなく市場を通さずに流通する活魚や主要な遊漁の対象種となった (小野寺ら, 2001)。日本では栽培漁業に対して遊漁などの経済効果が評価されていないため (山下, 1999), 今後これらを含む栽培漁業の評価が必要になるであろう。

第2節 放流サイズが回収率に与える影響

放流効果の指標の1つである回収率を高めるためには、最適な放流サイズ, 放流場所および放流時期などを調べる事が重要である (Yamashita and Yamada, 1999)。しかし、本種の放流は概ね10 cm で実施され (第5章第1節), 放流サイズや放流時期を変えて、魚市場における回収率を比較した研究は認められない。

そこで、本章では放流サイズに着目し、これまで実施されてきた10 cm を対照群として、全長8, 6, 5 cm 群をそれぞれ放流し、放流サイズが魚市場の回収率に与える影響を調べた。さらに、漁獲加入する以前の0歳魚の放流魚の情報を得るために、カゴ網調査を併せて実施した。カゴ網で採集された放流魚と魚市場に水揚げされた放流群ごとの割合を比較し、放流魚の減耗時期を推定した。

試料と方法

放流種苗と標識 宮古センターで生産されたクロソイ稚魚93,500尾を1999~2001年の間に岩手県宮古湾へ放流した。毎年全長10 cm の放流群を対照として、

Table 22. Release statistics of black rockfish in Miyako Bay

Year of release	Number released	Total length (cm)	Date of release	Marking method		Mark rate (%)	Fin regeneration rate (%)
				External ^{*1}	Internal ^{*2}		
1999	12,400	9.3 ± 0.8	31 Aug.	fin removal (L)		100.0	12.1
1999	11,800	8.0 ± 0.9	20 Aug.	fin removal (L)	ALC	100.0	14.9
2000	14,800	9.5 ± 1.2	8 Sep.	fin removal (R)		100.0	20.7
2000	15,000	6.2 ± 0.5	4 Aug.	fin removal (R)	ALC	100.0	12.1
2001	21,000	9.5 ± 0.9	7 Sep.	fin removal (L)		100.0	24.7
2001	18,500	4.8 ± 0.3	16 Jul.	fin removal (L)	ALC	100.0	19.1
Total	93,500						

^{*1}(L): Left ventral fin, (R): Right ventral fin

^{*2} ALC (Alizarin Complexone, Concentration 15mg/l)

1999年には8 cm, 2000年には6 cm, 2001年には5 cmをそれぞれ試験群として設定した。腹鰭抜去とALC標識を用いてそれぞれの群を識別した (Table 22)。1999年および2001年の放流群は左腹鰭抜去, 2000年は右腹鰭抜去によりすべての放流魚に標識を施し, 腹鰭の抜去部位と全長から放流年を特定できるようにした。なお, 腹鰭の再生率の調査を第5章第1節に従って調べた。同一年に放流されたサイズの異なる2放流群を識別するため, 試験群には腹鰭抜去標識に加えて, 第4章第3節の方法に従ってALC標識を装着した。

放流海域 放流した海域の宮古湾は, 岩手県のほぼ中央に位置し, 湾口部の幅が5 km, 奥行き10 kmの奥深い内湾である (Fig. 25)。湾の北側は漁港整備による人工構造物が多いが, 湾の南側および湾の奥部には藻場と干潟が広がっている。湾口部から湾外はすべて岩礁域であり, 水深は湾中央部で約10 m, 湾口部で40 mである。湾内の水温は, 年間6~22℃の範囲で変動し, 最低水温は2~3月に, 最高水温は8~9月に観測される (日本栽培漁業協会, 1999b)。クロソイ種苗は, すべて宮古湾内の中央部の水深約8 mの場所に放流した (Fig. 25)。

市場調査 2000~2004年の5年間に宮古魚市場で得られた水揚げのデータを用いた。魚市場には1名の調査員を配置し, 魚市場のすべての開設日 (年間約280日) に調査を実施した。調査項目および漁獲重量の推定方法は, 第5章第1節と同様である。

カゴ網調査 漁獲加入する以前の0歳魚の放流魚の

情報を得るために, カゴ網 (直径80 cmの円錐形) を用いた採集調査を2000年1月~2002年3月まで, 1~2回/月の頻度で実施した。カゴ網の設置場所は, 宮古湾奥部の藻場が繁茂する水深2~5 mの地点である (Fig. 25)。採集された放流魚については, 耳石 (扁平石) を取り出し, 耳石の年輪によって年齢を査定した。0歳魚と判断された放流魚についてはALC標識を確認し, 採集されたすべての放流魚に占めるALC標識魚の割合を調べた。また, 放流魚と天然魚の全長を比較した。

魚市場における標本の購入調査 同一年内に放流された2つの群の回収率を比較するためには, 魚市場に水揚げされたそれぞれの放流群の回収尾数を推定しなければならない。そこで, 2000年9月から2003年の3月まで, 1~2週間ごとに宮古魚市場に水揚げされた放流魚20~30尾を購入した。放流魚についてはALC標識を確認し, すべての放流魚に占めるALC標識魚の割合を調べた。また, 放流魚と天然魚の全長を比較した。

放流群ごとの回収尾数の推定 腹鰭抜去標識の位置と全長から放流年を特定し, 放流年ごとの回収尾数を算出した。購入調査で得られたALC標識魚の割合から, 同一年内に放流された2つの群の回収尾数を推定し, それぞれの群の標識再生率を用いて回収尾数を補正した。クロソイの年齢の加算月は, 第5章第1節と同様に6月1日とした。カゴ網で採集された個体は0歳魚を, 市場購入個体は1歳魚を分析の対象とした。

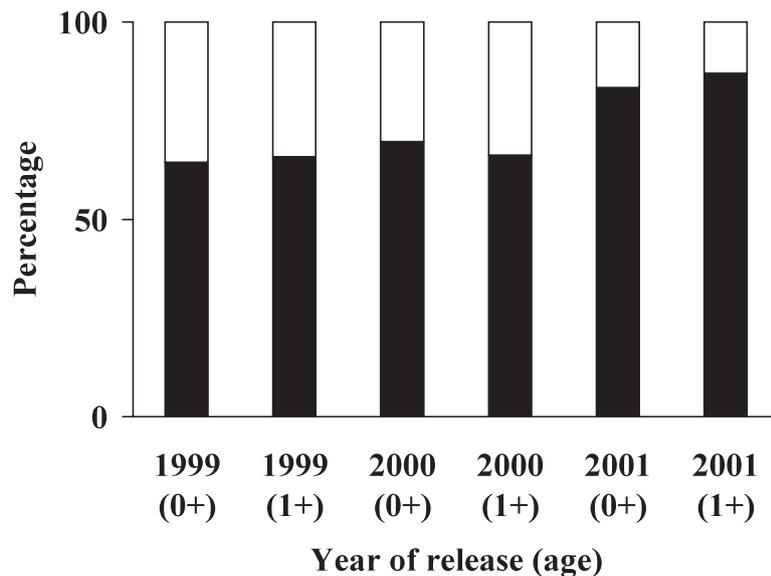


Fig. 26 Percentage composition of recaptured two groups with different size at release.

回収率および経済回収率の推定 第5章第1節と同様の方法で推定した。

統計処理 カゴ網および魚市場で購入した放流魚と天然魚の全長の平均値の差は、Kruskal-Wallis test を用いて検定した。差が認められた場合には、Scheffe の *F* test を用いて多重比較を行った ($P < 0.05$)。

結 果

カゴ網および魚市場における標本調査 カゴ網調査および魚市場の購入調査で得られた結果を Fig. 26と Table 23に示した。0歳（カゴ網）および1歳（魚市場）における放流サイズの異なる2つの放流群の割合は、ほぼ一致した。また、0歳および1歳時の全長についても、2つの放流群の間に有意差は認められな

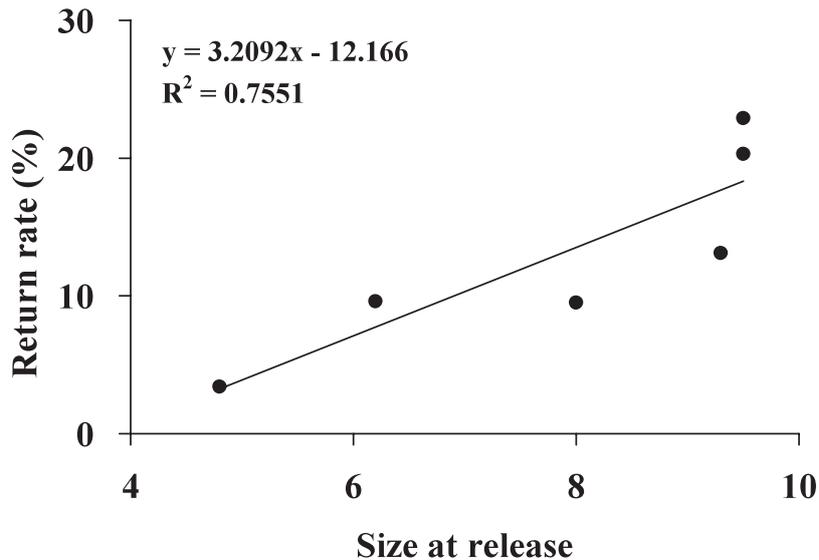


Fig. 27 Relationships between size at release and return rate of black rockfish at Miyako Fish Market.

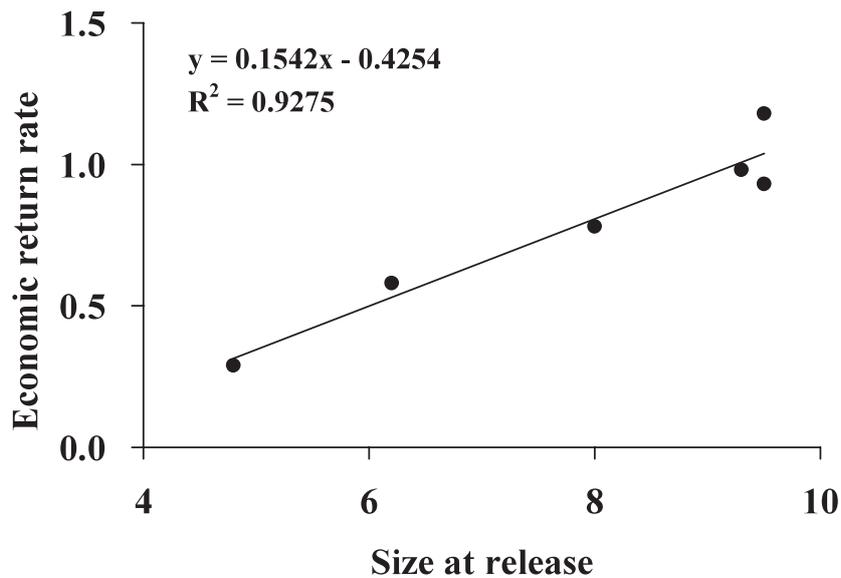


Fig. 28 Relationships between size at release and economic return rate of black rockfish at Miyako Fish Market.

Table 23. Number and total length of released and wild black rockfish caught by cage-net sampling and from fishmarket sampling

Year of release	Release		Recapture			
	Number	Total length (cm)	Cage net sampling (0 year old)		Fish Market (1 year old)	
			Number	Total length (cm)	Number	Total length (cm)
1999	12,400	9.3 ± 0.8	56	16.3 ± 1.3	194	22.1 ± 3.4
1999	11,800	8.0 ± 0.9	31	15.8 ± 1.4	125	21.2 ± 3.4
1999-wild fish			101	15.7 ± 2.0	257	20.1 ± 4.0*
2000	14,800	9.5 ± 1.2	78	11.4 ± 1.8	203	20.1 ± 3.4
2000	15,000	6.2 ± 0.5	34	10.8 ± 2.4	102	19.8 ± 2.5
2000-wild fish			352	11.3 ± 3.2	489	19.8 ± 3.4
2001	21,000	9.5 ± 0.9	10	11.6 ± 1.9	273	21.2 ± 2.4
2001	18,500	4.8 ± 0.3	2	9.0 ± 1.7	41	20.2 ± 1.9
2001-wild fish			69	10.6 ± 2.3	346	22.1 ± 2.7*

Asterisks indicate significant difference between the other groups in the same year class.

Table 24. Estimated number of returns and return rates of black rockfish released in Miyako Bay from 1999 to 2001

Year of release	Number released	Total length at release (mm)	Number of returns (%) ^a			Total returns	Return rate (%)
			1+	2+	≥3+		
1999	12,400	9.3 ± 0.8	1,445 (84.5)	206 (12.0)	59 (3.5)	1,710	13.8
1999	11,800	8.0 ± 0.9	923 (82.5)	168 (15.0)	28 (2.5)	1,119	9.5
2000	14,800	9.5 ± 1.2	2,736 (91.2)	209 (7.0)	55 (1.8)	3,000	20.3
2000	15,000	6.2 ± 0.5	1,327 (91.9)	93 (6.4)	24 (1.7)	1,444	9.6
2001	21,000	9.5 ± 0.9	4,211 (87.7)	510 (10.6)	81 (1.7)	4,802	22.9
2001	18,500	4.8 ± 0.3	579 (91.3)	44 (6.9)	11 (1.7)	634	3.4
Total (Average)	93,500		11,221 (88.3)	1,230 (9.7)	258 (2.0)	12,709	

^aThe percentage in number of returns by year class.

Table 25. Hatchery costs, landed values and economic return rates of released black rockfish in Miyako Bay

Year of release	Release cost ^{a,b}	Landed value of released fish ^a (%) ^c			Total landed value ^a	Economic return rate
		1+	2+	≥3+		
1999	278	192 (70.3)	68 (24.9)	13 (4.8)	273	0.98
1999	237	123 (66.8)	53 (28.9)	8 (4.3)	184	0.78
2000	337	235 (75.3)	53 (17.0)	24 (7.7)	312	0.93
2000	253	114 (77.0)	24 (16.2)	10 (6.8)	148	0.58
2001	479	436 (76.9)	97 (17.1)	34 (6.0)	567	1.18
2001	265	60 (76.9)	13 (16.7)	5 (6.4)	78	0.29
Total (Average)	1,849	1,160 (74.3)	308 (19.7)	94 (6.0)	1,562	

^a1000 yen.

^bNakagawa et al., 2006

^cThe percentage in landed value by year class.

った。一方、放流魚と天然魚については、0歳時には有意差は認められなかったが、1999年および2001年の1歳では有意差が認められた。

放流サイズごとの回収率および経済回収率 各放流群の回収率を Table 24 に示した。宮古湾に放流した10 cm 群の回収率の平均(範囲)は19.0% (13.8~22.9%) であった。試験群の回収率は、8 cm 群では9.5%、6 cm 群では9.6%、5 cm 群では3.4% であった。放流全長(X)と回収率(Y)の間には、 $Y=3.2092X-12.166$ ($r^2=0.7551$, $P<0.05$) の関係が得られた (Fig. 27)。

各放流群の経済回収率を Table 25 に示した。10 cm 放流群の経済回収率の平均(範囲)は、1.03 (0.93~1.18) となり1を超えた。試験群の経済回収率は、8 cm 群では0.78、6 cm 群では0.58、5 cm 群では0.29 であった。放流全長(X)と経済回収率(Y)の間には、 $Y=0.1542X-0.4254$ ($R^2=0.9275$, $P<0.05$) の関係が得られた (Fig. 28)。

本試験の放流サイズの範囲内では放流サイズを大型化することにより、回収率および経済回収率は増加することが明らかになった。

考 察

放流サイズが回収率に与える影響 全長10 cm 群を対照区として、8 cm、6 cm、5 cm の各放流群における回収率および経済回収率を推定した。放流サイズと回収率および経済回収率の間には、正の一次回帰関係が得られ (Fig. 27, 28)、本試験の設定の範囲内では、大型サイズほど放流効果が高いことが明らかになった。

カゴ網調査で得られた0歳時の放流群の割合と魚市場に水揚げされた1歳魚の割合が放流群ごとにほぼ一致した (Fig. 26)。これは、0歳から1歳の間には、放流サイズに関係する大きな減耗は起きていないことを意味すると考えられる。放流サイズの小型化により回収率が低下した要因として、移動による逸散と放流直後の食害による減耗が考えられる。しかし、本試験における10 cm 放流群については、平均19% の高い回収率が得られているため、試験群 (5 cm、6 cm、8 cm) が逸散して、10 cm 群のみが逸散しなかったとは考えにくい。このことから、小型放流群ほど回収率が低下した原因としては、放流直後の食害による減耗の可能性が高いと考えられる。宮古湾におけるクロソイの食害魚については調べていないため論じることができないが、今回放流した場所が小型の種苗に適していないことは明らかである。

一方、宮古湾に放流したヒラメでは、全長2.5~11 cm の範囲で放流すると、経済回収率は全長9 cm で最大値を示した(日本栽培漁業協会, 1999b)。これは、放流全長が10 cm を超えると放流経費が増加し回収率が低下したためである。しかし、本研究におけるクロソイの全長の範囲内では、放流サイズの大型化により回収率の低下は認められなかった。今後、10 cm 以上の放流サイズについて経済回収率との関係を調べる必要がある。

山田湾海域との比較 山田湾に放流した平均全長10 cm のクロソイの回収率の平均(範囲)は11.5% (9.3~15.4%)、経済回収率の平均(範囲)は0.91 (0.68~1.25) であった (第5章第1節)。一方、宮古湾に放流した全長10 cm 群の回収率の平均(範囲)は19.0% (13.8~22.9%)、経済回収率の平均(範囲)は1.03 (0.93~1.18) となった (Table 24, 25)。宮古湾放流群では、すべての回収尾数に対する1歳魚の尾数の割合は88.3% であり (Table 24)、山田湾放流群の61.2% (第5章第1節) に比べて高い。すなわち、宮古湾では山田湾以上に1歳魚の水揚げが多いことから、適正な漁獲管理を行うことにより経済回収率を増加させる余地も大きいと考えられた。

小型サイズでの放流の可能性 本研究では、宮古湾中央部の水深8 m の地点にクロソイ種苗を放流した。しかし、湾奥部の水深2~5 m の藻場に設置したカゴ網により多数の放流魚が再捕されたことから、湾中央部に放流された種苗の一部が湾奥部へ移動することが明らかになった。この場所では、放流魚とほぼ同サイズの天然稚魚522尾が再捕された (Table 23)。さらに、出産直前の天然の雌成魚が湾奥部で漁獲され (中川, 未発表)、出産直後と考えられる全長7 mm の仔魚が採集されている (日本栽培漁業協会, 2003b)。放流場所よりも水深の深い湾口部における天然および放流幼稚魚の採集を実施していないため明言はできないが、宮古湾周辺に生息するクロソイは、出産場所の1つとして湾奥部を利用し、稚魚は周辺の藻場を成育場として利用していることが推測できる。北海道寿都湾では、全長29.8~92.9 mm の本種の天然稚魚が水深1.5~5 m で採集された (佐々木ら, 2002)。志津川湾においても、成魚の出産と仔魚の生息場所は湾内であることが推測されている (高橋ら, 1994)。従って、宮古湾についても湾奥部の藻場は、クロソイの出産、成育場について重要な役割を果たしていることが示唆された。今後、水深の浅い湾奥部の藻場に種苗を放流し、小型種苗の放流適地について検証することが重要である。

第6章 クロソイの栽培漁業の展望

栽培漁業は、減少した天然資源の増強や回復を目的とする管理手法の1つである (Munro and Bell, 1997; Willis *et al.*, 1995; Blaxter, 2000)。一方、親資源を積極的に保護して再生産力を増強する資源管理型漁業がある。近年、包括的な資源管理手法としてこれら天然資源の管理と栽培資源の培養を両輪として利用する資源計画が提案されている (北田, 1999)。天然資源については、環境変動に対応して初期の生残率が変動し、加入量の不確実性が問題となる。一方、栽培漁業には、種苗生産施設や運営費に莫大な税金が投入されることから、事業として経済的側面からの評価が必要である (岩本ら, 1998)。従って、栽培漁業では回収率および経済回収率を推定することが不可欠となる。

山田湾および宮古湾に全長10 cmのクロソイ種苗を放流すると、回収率の平均はそれぞれ11.5%および19.0%、経済回収率の平均は0.91および1.03となった (第5章第1節, 第2節)。10%以上の高い回収率が得られたにもかかわらず、経済回収率が低かったのは、クロソイの市場単価 (魚価) の低さに原因があった。本種の魚価はマダイの1/6、ヒラメの1/3であり、経済回収率はマダイの1/5、ヒラメの1/2となった (第5章第1節)。このため、経済回収率を高めるためには、漁獲全長を制限しクロソイの市場単価を上げることが、最も重要な課題である。

山田湾では、クロソイ種苗の放流により、漁獲量の増加が認められたが、放流停止後、漁獲量は減少傾向に転じた (第5章第1節)。これは、放流が漁獲量の増加には貢献したものの、再生産につながる漁業資源の構築には至らなかったことを示している。おそらく、漁獲率が高すぎたことがこの原因であり、前述の漁獲サイズと魚価の問題も含め、栽培漁業においても、放流後の資源管理の重要性が明確に示されている。

また、クロソイを含むほぼすべての栽培漁業対象種において経済回収率については、魚市場における水揚げ金額のみにより推定されている (北田・藤島, 1997; 岩本ら, 1998; Okouchi *et al.*, 1999)。しかし実際には、漁業者が直接仲買人や民宿等へ出荷したり、遊漁による釣獲など市場を通さない流通も多く (小野寺ら, 2001)、経済効果が過小評価されることも多いと考えられる。神奈川県では遊漁による漁獲がマダイ漁獲量の76%を占めることが報告されている (今井, 1994)。クロソイについても遊漁による釣獲が多いことから、これらを含めた受益者の裾野を広げた経済評価を行う必要性が提案されており (山下, 1999)、裁

培漁業における新たな経済評価方法の構築と実施が求められる。

クロソイ成魚は水深30~100 mの湾口部からその沖合に生息し、出産期に妊娠した雌成魚が湾奥部の浅海域に移動して出産することが示唆された (第5章第2節)。このような生態は、断片的ではあるが宮城県志津川湾や北海道寿都湾においても報告されている (高橋ら, 1994; 佐々木ら, 2002)。宮古湾、志津川湾、寿都湾では湾奥の藻場周辺で仔稚魚が採集されており、このような環境がクロソイ幼期の成育場となっていることが強く示唆された。しかし、本研究では、湾奥部での放流試験は行っておらず、クロソイの最適な放流手法の開発において、残された重要課題である。沿岸魚類では、成育面積が資源の水準を決める主要な要因の1つと考えられており (山下, 2005)、成育場となる湾奥藻場域の環境保全と放流種苗による余剰生産力の有効利用は、クロソイの資源培養を検討するうえで不可欠の要素となる。対象種の生態特性に基づいて、種苗放流を資源管理および成育場環境の保護と密接に連携させて推進することが、これからの沿岸資源において極めて重要である。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、終始懇切なるご指導とご校閲を賜った京都大学フィールド科学教育研究センター教授の山下 洋博士に深甚なる感謝の意を表す。また、本論文のご校閲を頂き、貴重なご意見を賜った同大学フィールド科学教育研究センター教授の田中 克博士、同助教授の益田玲爾博士に厚くお礼を申し上げる。

クロソイの共同研究では、独立行政法人中央水産研究所資源評価部首席研究員の和田史郎博士、同生理特性研究室主任研究官の吉田勝俊氏、岐阜大学教育学部助教授の古屋康則博士、当時の大学院生の森 久就氏、京都大学の大学院生の陳 炳善氏、北里大学水産学部助教授の朝日田卓博士、当時の大学院生の笹本和茂氏、上智大学生命科学研究所助教授の安増茂樹博士には様々なご協力を賜った。重ねて厚くお礼を申し上げます。

独立行政法人水産総合研究センター宮古栽培漁業センターにおいて多忙な中で常にご協力いただき、かつ励ましを頂いた場長の有瀧真人博士、大河内裕之主任技術開発員 (現、業務企画部研究開発コーディネーター)、故前川秀男技術開発員、熊谷厚志主任技術開発員、太田健吾技術開発員 (現、瀬戸内海区水産研究所栽培資源部栽培技術研究室)、山田徹生技術開発員 (現、

瀬戸内海水産研究所栽培資源部栽培技術研究室), 藤浪祐一郎技術開発員, 清水大輔技術開発員, 野田 勉技術開発員に厚くお礼申し上げる。さらに, 飼育およびサンプル処理業務にご協力頂いた宮古栽培漁業センター非常勤職員の坂井厚子氏, 久保居英子氏, 前川節子氏, 田代ふくみ氏, 沼崎正明氏, 菊池哲子氏, 前川裕也氏に深く感謝を申し上げる。

独立行政法人水産総合研究センター元理事の古澤徹氏(現, 社団法人全国豊かな海づくり推進協会), 元理事の今村茂生氏, 前業務推進部次長福永辰廣氏(現, 社団法人全国豊かな海づくり推進協会), 宮古栽培漁業センター元場長の服部圭太氏(現, 五島栽培漁業センター場長), 元場長の丸山敬悟氏(現, 業務推進部次長), 元場長の大槻観三博士, 業務企画部研究開発コーディネーターの栗田 博氏(現, 日本海区水産研究所海区水産部研究部長), 屋島栽培漁業センター場長の岩本明雄氏(現, 瀬戸内区海水産研究所栽培資源部長), 養殖研究所栽培技術開発センター長の虫明敬一博士, 西海区水産研究所石垣支所長の與世田兼三博士, 養殖研究所病害防除部の渡辺研一博士(現, 養殖研究所業務推進課長), 五島栽培漁業センター職員の本藤 靖主任技術開発員, 長倉義智主任技術開発員(現, 宮古栽培漁業センター), 浜田和久技術開発員(現, 養殖研究所栽培技術開発センター), 吉田一範技術開発員, 非常勤職員の永尾美代氏をはじめとする役職員の方々には本研究のとりまとめにあたりご配慮いただいた。ここに謹んで深謝の意を表す。

常に暖かい激励と有益なご意見を頂いた東京海洋大学教授の北田修一博士, 同助教の浜崎活幸博士に感謝を申し上げます。

文献の収集にご協力頂いた中央水産研究所業務推進部図書資料館の皆様には感謝を申し上げます。

最後に, 山田および宮古魚市場において周年にわたってクロソイの全数調査をして頂いた専属調査員の阿部登氏, 佐々木昭一氏, 山田実氏, 山下力夫氏, クロソイの稚仔魚の採集に全面的なご協力を頂いた宮古漁業協同組合壮青年部部長の山根幸伸指導漁業士に心からお礼を申し上げます。

文 献

- 秋田県, 1977: 種苗生産, クロソイ. 昭和52年度指定調査研究総合助成事業報告書, pp1-15.
- 相田 聡, 佐田小夜子, 水主村敏治, 1999: メバルの採仔の基礎的知見について. 栽培技研, 27, 43-46.
- Blaxter, J. H. S., 2000: The enhancement of marine fish stocks. *Adv. Mar. Biol.*, 38, 1-54.
- Blom, G., Nordeide, J. T., Svåasand, T., and Borge, A., 1994: Application of two fluorescent chemicals, alizarin complexone and alizarin red S, to mark otoliths of Atlantic cod, *Gadus morhua* L. *Aquacult. Fish. Manage.*, 25, 229-243.
- Boehlert, G. K., and Yoklavich, M. M., 1984: Reproduction, embryonic energetics, and the maternal-fetal relationship in the viviparous genus *Sebastes* (Pieces: Scorpaenidae). *Biol. Bull.*, 167, 345-370.
- Boehlert, G. K., Kusakari, M., Shimizu, M., and Yamada, J., 1986: Energetics during embryonic development in kurosoi, *Sebastes schlegeli* Hilgendorf. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, 101, 239-256.
- Boehert, G. W., and Yamada, J., 1991: Introduction to the symposium on rockfishes. *Env. Bio. Fish.*, 30, 9-13.
- Bromage, N., Porter, M., and Randall, C., 2001: The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special reference to the role of photoperiod and melatonin. *Aquaculture*, 197, 63-98.
- Chadwick, E. M. P., Randall, R. G., and Leger, C., 1986: Ovarian development of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts and age at first maturity. In: Meerburg, D. J. (E. D.), salmonid age at maturity. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 89, 15-23.
- Carmona-Osalde, C., Rodriguez-Serna, M., Olvera-Novoa, M. A., and Gutierrez-Yurrita, P. J., 2004: Gonadal development, growth and survival of the crayfish *Procambarus llamasii* at three different water temperature. *Aquaculture*, 232, 305-316.
- Dobson, S. H., and Holmes, R. M., 1984: Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairneri* Richardson. *J. Fish Biol.*, 25, 649-656.
- 土地敬洋, 今井利為, 1993: マダイ稚魚の組織と鱗へのアリザリン・コンプレクソンによる染色. 水産増殖, 41, 379-385.
- Duncan, N. J., Mitchell, D., and Bromage, N. B., 1999: Post-smolt growth and maturation of out-of-season 0+ Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared under different photoperiods.

- Aquaculture*, **177**, 61-71.
- Duncan, N. J., Thrush, M. A., Elliott, J. A. K., and Bromage, N. R., 2002 : Seawater growth and maturation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) transferred to sea at different times during the year. *Aquaculture*, **213**, 293-309.
- 藤原公一, 1999 : アリザリン・コンプレクソンを用いたニゴロブナ, *Carassius auratus grandoculis* の耳石への標識装着条件. 水産増殖, **47**, 221-228.
- 福永恭平, 野上欣也, 吉田儀弘, 浜崎活幸, 丸山敬悟, 1990 : 日本栽培漁業協会・玉野事業場における最近のキジハタ種苗生産量の増大と問題点について. 栽培技研, **19**, 33-40.
- 福島県, 1984 : 昭和58年度放流技術開発事業実績報告書, クロソイ・イシガレイ. 87pp.
- Glebe, B. D., and Saunders, R. L., 1986 : Genetic factors in sexual maturity of cultured Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr and adults reared in sea cages. In: Meerburg, D. J. (E. D.), Salmonid Age at Maturity. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, **89**, 24-29.
- 浜崎活幸, 福永恭平, 丸山敬悟, 1992 : ガザミのふ化までの所要日数と飼育水温の関係およびふ化日の同調化について. 栽培技研, **20**, 73-85.
- 林 咲, 1990 : エゾメバル *Sebastes taczanowskii* の卵成熟および妊娠に伴う卵巣組織の微細構造的変化. 修士論文, 北海道大学, 39pp.
- 北海道, 青森県, 宮城県, 新潟県, 福井県, 2000 : 平成7~11年度放流技術開発事業総括報告書, 底棲種グループ, クロソイ.
- 五十嵐孝夫, 1968 : 海産胎生魚エゾメバル *Sebastes taczanowskii* の卵成熟および妊娠に伴う卵巣組織の微細構造的変化. 修士論文, 北海道大学, 39pp.
- 池原宏二, 永原正信, 1980 : メバル類養殖の基礎研究, Y. クロソイの餌料蛋白消化率と蛋白質最適含量. 日水研報, **31**, 65-72.
- 今井利為, 1994 : プレジャーボートによるマダイ遊漁の実態. 栽培技研, **23**, 85-93.
- 今井利為, 1996 : 神奈川県におけるマダイ種苗放流効果の推定. 栽培技研, **25**, 59-74.
- 今井利為, 1997 : 神奈川県におけるマダイ種苗放流の経済的評価について. 栽培技研, **26**, 29-42.
- Imamura, K., 1999 : The organization and development of sea farming in Japan. In Stock enhancement and sea ranching (eds. by Howell, B. R., Moksness, E., and Svåasand, T.), Blackwell, Oxford, pp. 91-102.
- Ishino, K., 1999 : Stoking effectiveness of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*, fingerlings released on the south-western coast of Hokkaido prefecture, Japan. In Stock enhancement and sea ranching (eds. by Howell, B. R., Moksness, E., and Svåasand, T.), Blackwell, Oxford, pp. 557-571.
- 岩手県, 1989 : 昭和63年度クロソイ中間育成報告書, 25pp.
- 岩本明雄, 芦立昌一, 1982 : クロソイの種苗生産. 栽培技研, **11**, 35-44.
- 岩本明雄, 大河内裕之, 津崎龍雄, 福永辰広, 北田修一, 1998 : 魚市場の全数調査に基づく宮古湾のヒラメ種苗放流効果の推定. 日水誌, **64**, 830-840.
- 泉川晃一, 植木範行, 1995 : 陸上水槽におけるクロソイ幼魚の高密度飼育の試み. 岡山水試研報, **10**, 176-178.
- Jarboe, H. H., and Romaine, R. P., 1995 : Effects of density production and supplemental feeding on stunted crayfish *Procambarus clarkia* populations in earthen ponds. *J. World Aquaculture Soc.*, **26**, 29-37.
- Jobling, M., 1983 : Influence of body weight and temperature on growth rates of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.). *J. Fish. Biol.*, **22**, 471-475.
- Jobling, M., Meloer, O. H., Santo, J. D., and Christiasen, B., 1994 : The compensatory growth responses of the Atlantic cod: effects of nutritional history. *Aquac. Int.*, **2**, 75-90.
- 片倉靖次, 太田守信, 神 正人, 桜井泰憲, 2003 : Oxytetracycline, Alizarin Complexone および Alizarin Red S を用いたスケトウダラ幼魚の耳石染色実験. 水産増殖, **51**, 327-335.
- 北田修一, 藤島浩晃, 1997 : 北海道におけるホタテガイの種苗放流効果の検討. 日水誌, **63**, 686-693.
- 北田修一, 1999 : 栽培漁業と資源管理. アクアネット, **2**, 湊文社, 東京, 48-51.
- 北田修一, 2000 : 栽培漁業研究の重要問題. 日水誌, **66**, 150-151.
- 北田修一, 2001 : 栽培漁業と統計モデル分析. 共立出版, 東京, 334pp.
- 北川 衛, 山口光明, 萩野節雄, 1983 : マダイの腹鰭抜去による標識法について. 栽培技研, **12**,

- 5-9.
- 児玉純一, 1988 : 万石浦ニシンの生活史と資源変動 - II 生殖と食性. 栽培技研, **17**, 49-58.
- Korsgaard, B., and Petersen, I. 1979 : Vitellogenin, lipid and carbohydrate metabolism during vitellogenesis and pregnancy, and after hormonal induction in the blenny *Zoarces viviparus* (L.). *Comp. Biochem. Physiol.*, **63**, 245-251.
- 古屋康則, 濱津友紀, 松原孝博, 1994 : 道東太平洋海域におけるキチジ *Sebastes macrochir* 雄の精巣発達過程. 北水研研報, **58**, 1-8.
- Koya, Y., Matsubara, T., Ikeuchi, T., Adachi, S., and Sawaguchi, S., 2000 : Dynamics of oocyte and embryonic development during ovarian cycle of the viviparous mosquitofish *Gambusia affinis*. *Fish. Sci.*, **66**, 63-70.
- Koya, Y., Mori, H., and Nakagawa, M., 2004 : Serum 17, 20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one levels in pregnant and non-pregnant female rockfish, *Sebastes schlegeli*, viviparous teleost, and its production by post-ovulatory follicles. *Zoo. Sci.*, **21**, 565-573.
- 熊井英水, 2000 : 海産魚の養殖. 湊書房, 東京, pp. 237.
- Kusakari, M., 1991 : Mariculture of kurosoi, *Sebastes schlegeli*. *Env. Bio. Fish.*, **30**, 245-251.
- 草刈宗晴, 1995 : クロソイの種苗生産に関する生殖生物学的研究. 北水試研報, **47**, 41-124.
- 栗田 博, 塚本勝巳, 1987 : アリザリン・コンプレクソンによるマダイ稚仔魚の耳石標識 - I. 栽培技研, **16**, 93-104.
- 栗田 博, 塚本勝巳, 1989 : アリザリン・コンプレクソンによるマダイ稚仔魚の耳石標識 - II. 栽培技研, **17**, 115-128.
- Lim, S. R., Choi, S., Wang, X. J., Kim, K. W., Shin, I. S., Min, T. S., and Bai, S. C., 2004 : Effects of dehulled soybean meal as a fish replacer in diets for fingerling and growing Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *Aquaculture*, **231**, 457-468.
- 松村靖治, 2005 : アリザリンコンプレクソンならびにテトラサイクリンによるトラフグ *Takifugu rubripes* 卵および仔稚魚の耳石標識. 日水誌, **71**, 307-317.
- McClain, W. R., 1995 : Growth of crayfish *Procambarus clarkia* as a function of density and food resources. *J. World Aquaculture Soc.*, **26**, 24-28.
- Miglav, I., and M. Jobling, 1989 : Effects of feeding regime on food consumption, growth rates and tissue nucleic acids in juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, with particular reference to compensatory growth. *J. Fish Biol.*, **34**, 947-957.
- 宮城県, 1984 : 昭和58年度放流技術開発事業実績報告書, クロソイ. 44pp.
- 宮城県, 1988 : 昭和63年度放流技術開発事業実績報告書, クロソイ. 61pp.
- 水江一弘, 1958 : カサゴ精巣の季節的循環と精子形成について. 長大水研報, **6**, 27-38.
- 水江一弘, 1959 : カサゴの研究 - V 海産卵胎生硬骨魚類の卵巣の成熟およびその季節的循環に関する研究. 長大水研報, **8**, 84-110.
- 門間晴博, 草刈宗晴, 2001 : マダラ放流技術開発, 平成11年度北海道立函館水産試験場事業報告, 北海道立函館水産試験場, 147-151.
- Mori, H., Nakagawa, M., Soyano, K., and Koya, Y., 2003 : Annual reproductive cycle of black rockfish *Sebastes schlegeli*, in captivity. *Fish Sci.*, **69**, 908-921.
- Muñoz, M., Casadevall, M., and Bonet, S. 1999 : Annual reproductive cycle of *Helicolenus dactylopterus dactylopterus* (Teleostei: Scorpaeniformes) with special reference to the ovaries sperm storage. *Biol. Ass. U. K.*, **79**, 521-529.
- Munro, J. L., and Bell, J. D., 1997 : Enhancement of marine fisheries resources. *Rev. Fish. Sci.*, **5**, 185-222.
- 永沢 亨, 2001 : 日本海におけるメバル属魚類の初期生活史. 日水研研報, **51**, 1-132.
- Nagahama, Y., Takemura, A., Adachi, S., and Kusakari, M., 1991 : Serum steroid hormone levels in relation to the reproductive cycle of *Sebastes taczanowskii* and *S. schlegeli*. *Env. Biol. Fish.*, **30**, 31-38.
- Nakagawa, M., Okouchi, H., and Adachi, J., 2004 : Stocking effectiveness of black rockfish *Sebastes schlegeli* released in Yamada Bay evaluated by a fish market census. In Stock enhancement and sea ranching (ed. by Leber, K. M., Kitada, S., Blankenship, H. L., and Svåasand, T.), Blackwell, Oxford, pp501-511.
- 中川雅弘, 大河内裕之, 有瀧真人, 2006 : クロソイ

- の種苗単価の試算. 栽培漁業センター技報, **5**, 28-33.
- 中村良成, 栗田 博, 1994: アリザリンコンプレクソンによる稚魚への大量標識法における鱗からの標識検出法の検討. 栽培技研, **23**, 53-60.
- Newell, R. C., and Branch, G. M., 1980: The influence of temperature on the maintenance of metabolic energy balance in marine invertebrates. *In*: Blaxter, J. H. S., Ruussell, F. S., Yonge, M. (Eds.), *Advance in Marine Biology*. Academic Press, London, 329-396.
- 日本栽培漁業協会, 1984: 昭和58年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.296.
- 日本栽培漁業協会, 1992: 平成2年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.470.
- 日本栽培漁業協会, 1993: 平成3年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.422.
- 日本栽培漁業協会, 1994a: 平成4年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.365.
- 日本栽培漁業協会, 1994b: 太平洋北区におけるヒラメ種苗生産技術集. 栽培漁業シリーズ, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.87.
- 日本栽培漁業協会, 1995: 平成5年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.392.
- 日本栽培漁業協会, 1996: 平成6年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.355.
- 日本栽培漁業協会, 1997: 平成7年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.365.
- 日本栽培漁業協会, 1998: 平成8年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.355.
- 日本栽培漁業協会, 1999a: 平成9年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.395.
- 日本栽培漁業協会, 1999b: 宮古湾におけるヒラメ種苗放流効果調査(1988~1996年). 栽培資源調査検討資料, **14**, pp.40.
- 日本栽培漁業協会, 2000: 平成10年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.420.
- 日本栽培漁業協会, 2001: 平成11年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.391.
- 日本栽培漁業協会, 2003a: 平成13年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.420.
- 日本栽培漁業協会, 2003b: 平成14年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.420.
- 日本栽培漁業協会, 2003c: 平成15年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.420.
- 尾花博幸, 山本和久, 松原孝博, 1997: 人工産卵基質によるニシンの産卵誘発. 栽培技研, **25**, 75-80.
- 岡本 昭, 安元 進, 蛭子亮制, 森川 晃, 1993: カサゴ稚魚に対するアリザリンコンプレクソンによる標識の有効性. 長崎水試研報, **20**, 25-29.
- 大河内裕之, 北田修一, 岩本明雄, 1998: 標識再捕の年齢情報を用いた放流魚の体長組成の年齢分解法. 日水誌, **64**, 462-468.
- Okouchi, H., Kitada, S., Tsuzaki, T., Fukunaga, T., and Iwamoto, A., 1999: Economic return rate from hatchery released flounder *Paralichthys olivaceus* in Miyako Bay evaluated by a fish market census. *In* Stock enhancement and sea ranching (eds. by Howell, B. R., Moksness, E., and Svåasand, T.), Blackwell, Oxford, pp.573-582.
- 大河内裕之, 千村昌之, 2001: 宮古湾に放流した人工生産ニシンの生態と産卵回帰. 月刊海洋, **33**, 252-258.
- Okouchi, H., Kitada, S., Iwamoto, A., and Fukunaga, T., 2004: Flounder stock enhancement in Miyako Bay, Japan. Marine ranching. *FAO Fisheries Technical Paper*, Food and Agriculture Organization, United Nations, Rome., **429**, 171-202.
- 大河内裕之, 2006: 栽培漁業技術開発の最前線 - II 放流効果の調査手法と標識技術. 日水誌, **72**, 450-453.
- 小野寺毅, 菊池喜彦, 水間敏朗, 佐藤金三, 藤田則孝, 2001: 志津川湾における魚市場出荷外利用を含めたクロソイの年間採捕数の推定. 東北水研研報, **64**, 53-60.
- Ritter, J. A., Farmer, G. J., Misra, R. K., Goff, T. R., Bailey, J. K., and Baum, E. T. 1986: Parental influences and smolt size and sex ratio effects on sea age at first maturity of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *In*: Meerburg, D. J. (E. D.), Salmonid Age at Maturity. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, **89**, 30-38.
- Robust, E. P., 1934: *Fish. Zeit*, **42**, 304-305.
- 酒井敬一, 川村 亨, 熊野芳明, 1990: 南三陸周辺水域におけるクロソイの年齢と成長. 宮城水試研報, **13**, 10-20.

- 佐々木 功, 1979: 生殖機構の解明. 昭和53年度指定研究総合助成事業報告書, クロソイ種苗生産, 1-8.
- 佐々木 功, 1989: 日本海におけるクロソイの増養殖. 日水研, 日本海ブロック試験研究集録, **15**, 85-90.
- 佐々木正義, 西内修一, 塩川文康, 2002: 北海道西岸中央域におけるクロソイ稚魚の生息域と胃内容物に関する予報. 栽培技研, **30**, 27-30.
- 佐々木正義, 蜜谷法行, 西内修一, 塩川文康, 高橋豊美, 2004: 北海道後志沿岸におけるクロソイの年齢と成長. 水産海洋研究, **68**, 232-238.
- 清水 健, 八幡康一, 1991: 栽培漁業と新養成技術 クロソイの種苗生産. 水産の研究, **10**, 101-107.
- 代田昭彦, 1970: 魚類仔稚魚の口径に対する研究. 日水誌, **36**, 353-368.
- 新聞脩子, 北村弘子, 1987: アマゴ当歳魚の成熟と産卵. 養殖研研報, **12**, 93-96.
- Sorokin, V. P., 1961: The red fish: gametogenesis and migration of the *Sebastes marinus* (L.) and *Sebastes mentella* Travin. *Tapp. Cons. Explor. Mer.*, **150**, 245-250.
- 鈴木 亮, 山口元吉, 1977: ドジョウの成熟におよぼす水温の影響ならびに周年採卵. 日水誌, **43**, 367-373.
- 水産庁, 水産総合研究センター, 2006: 平成16年度栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績(全国)資料編, pp. 412.
- 高場 稔, 1986: マダイの種苗放流・追跡-V 腹鰭抜去標識放流魚の腹鰭再生について. 栽培技研, **15**, 177-186.
- Takahashi, H., Takano, K., and Takemura, A., 1991: Reproductive cycles of *Sebastes taczanowskii*, compared with those of rockfishes of the genus *Sebastes*. *Env. Biol. Fish.*, **30**, 23-29.
- 高橋清孝, 富川なす美, 熊谷 明, 1994: 志津川湾におけるクロソイの種苗放流-V. 成熟と産仔. 宮気水試研報, **9**, 28-32.
- 高橋清孝, 熊谷明, 富川なす美, 佐藤孝三, 1994: 志津川湾におけるクロソイの種苗放流-IV 沖合い漁場における大型魚の生態. 宮城気仙沼研報, **9**, 22-27.
- 高橋庸一, 1994: アリザリン・コンプレクソンの経口投与によるヒラメ稚魚の耳石染色. 日水誌, **60**, 611-615.
- 高野和則, 1987: 卵巣の構造と配偶子形成. 魚類繁殖学(隆島忠夫・羽生 功編著), 緑書房, 東京, pp.3-34.
- Takemura, A., Takano K., and Takahashi, H., 1987: Reproductive cycle of viviparous fish, the white-edged rockfish, *Sebastes taczanowskii*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **38**, 111-125.
- 竹村明洋, 1989: フサカサゴ科胎生魚の雌の生殖に関する研究. 博士論文, 北海道大学, 160pp.
- Thorpe, J. E., Talbot, C., Miles, M. S., and Keay, D. S., 1990: Control of maturation in cultured Atlantic salmon, *Salmo salar*, in pumped seawater tanks, by restricting food intake. *Aquaculture*, **86**, 315-326.
- Thrush, M. A., Duncan, N. J., and Bromage, N. R., 1994: The use of photoperiod in the production of out-of-season Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Aquaculture*, **121**, 29-44.
- 戸田久仁雄, 関口研司, 1991: ペヘレイの水田利用養殖技術開発試験-II 給餌回数と成長の関係. 神奈川淡水試報, **27**, 48-51.
- 友田 努, 2003: 海上筏における ALC 標識装着試験. 平成14年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, 119-120.
- 友田 努, 栗田 博, 2006: pH調整したアリザリン・コンプレクソン溶液の希釈によるハタハタ稚魚の耳石標識. 日水誌, **72**, 76-78.
- 土田修二, 瀬戸熊卓見, 1997: クロソイ幼魚の温度反応. 日水誌, **63**, 317-325.
- Tsukamoto, K., 1988: Otolith tagging of Ayu embryo with fluorescent substances. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **54**, 1289-1295.
- 楳田 晋, 水内俊郎, 落合 明, 長谷川 泉, 1981: 催熟したブリ親魚の水槽内産卵について. 栽培技研, **10**, 127-131.
- Willis, S. A., Falls, W. W., Dennis, C. W., Roberts, D. E., and Whitchurch, P. G., 1995: Assessment of season of release and size at release on recapture rates of hatchery-reared red drum. *American Fisheries Society Symposium*, **5**, 354-365.
- Wourms, J. P., 1981: Viviparity: the maternal-fetal relationship in fishes. *Am. Zool.*, **21**, 473-515.
- Yamada, J., Kusakari, M., 1994: Staging and the time course of embryonic development in kurosoi, *Sebastes schlegeli*. *Env. Bio. Fish.*, **30**, 103-110.
- 山田作太郎, 北田修一, 1997: 生物資源統計学. 成山堂, 東京, pp.263.
- 山田町, 1994: 平成4・5年度山田町水産種苗センタ

- ー業務報告書. pp. 97.
- 山口正男, 1978 : タイ養殖の基礎と実際. 恒星社厚生閣, 東京, pp.22.
- Yamashita, Y., Nagahora, S., Yamada H., and Kitagawa, D., 1994 : Effects of release size on survival and growth of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in coastal water off Iwate prefecture, northeastern Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **105**, 269-276.
- Yamashita, Y., and Yamada, H. 1999 : Release strategy for Japanese flounder fry in stock enhancement programmes. *In* Stock enhancement and sea ranching (eds. by Howell, B. R., Moksness, E., and Svåasand, T.), Blackwell, Oxford pp.191-204.
- 山下 洋, 1999 : アメリカにおける栽培漁業と地域振興. *水産増殖*, **47**, 612-613.
- 山下 洋, 2005 : 異体類の加入量変動. *海の生物資源* (渡邊芳朗編), 東海大出版, 東京, 272-285.
- 吉田勝俊, 中川雅弘, 和田志郎, 2001 : DNA マーカーを用いた人工種苗の親子鑑定. *水産育種*, **30**, 27-35.
- Yoshida, K., Nakagawa, M., and Wada, S., 2005 : Multiplex PCR system applied for analyzing microsatellite loci of Schlegeli's black rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Mol. Ecol.*, **5**, 416-418.