

コウライアカシタビラメの増殖技術に関する研究*

草 加 耕 司

Studies on Stock Enhancement Technology of the Three-lined Tonguefish *Cynoglossus abbreviatus*

Koji KUSAKA

SUMMARY

The three-lined tonguefish, *Cynoglossus abbreviatus* is a large tonguefish in the family Cynoglossidae (superfamily Soleoidea), distributed throughout shallow muddy and sandy coastal waters surrounding Japan (from Honshu to Kyushu) and the Korean peninsula, and from the Yellow Sea to the South China Sea. Although the three-lined tonguefish is commercially important for small trawl net and gillnet fisheries, catch quantity has declined gradually over the past several decades as a result of over-fishing and environmental factors in the Seto Inland Sea. Therefore, this study aimed to develop stock enhancement technology for this species, specifically broodstock management, juvenile production and releases. These technologies were investigated by observing spawning as well as rearing of larvae and juveniles in tanks. In addition, eggs, larvae and 0-year-old fish were studied to understand the early life ecology of *C. abbreviatus* in the central Seto Inland Sea.

Chapter I . Spawning and hatching Spawning rhythm, number of eggs spawned, and spawning time were examined in wild caught *C. abbreviatus*. Four females (total length : 312-355mm) were reared separately with three males in each tank under natural temperature. The start of spawning and the spawning period differed between individuals. One female spawned 14-22 times during a single spawning season. During the spawning period, which began in late April and ended in early June, all females continued to spawn with frequencies of 44-81% across all days. The total number of eggs spawned during the entire spawning season and the maximum number of eggs spawned in 1 day were 334,000-521,000 and 45,000-53,000, respectively. These results indicate that the three-lined tonguefish is a multiple spawner. Mean egg diameter was 0.96-1.10mm, and egg diameter decreased as the spawning season progressed. A significant correlation was detected between mean egg diameter and water temperature on the day of spawning. Moreover, spawning time in *C. abbreviatus* maintained in tanks was estimated to occur between 14 : 00 and 0 : 00.

To obtain quality eggs for seed production, we reared *C. abbreviatus* caught in the Seto Inland Sea in land-based tanks. I then investigated and compared the number of eggs spawned and the egg quality of these two brood fish groups. Brood fish started spawning in late April, when the water temperature was about 13°C, and spawned almost every day until early June, when the water temperature reached about 19°C. The total number of eggs spawned by one female fish in the short-term-bred and longterm-bred groups was 194,000 and 537,000, respectively ; these numbers were less than the batch fecundity of a wild fish. The floating egg ratio, egg diameter, and survival activity index of larval fish, all of which are indices of egg quality, declined as the spawning season passed and were negatively correlated with water

* 福山大学審査学位論文 2017年3月 (投稿規定に沿って一部修正した)

temperature. Although quality eggs were able to be collected from wild fish immediately after they were caught, quality eggs should be able to be collected more stably and more systematically from brood fish group reared for more than 1 year.

The effect of water temperature on the time taken to reach each embryonic developmental stage and on hatching rates were studied in *C. abbreviatus*. Eggs hatched at temperatures ranging from 13 to 24°C. The time between each developmental stage of eggs decreased exponentially with increasing temperature. The time taken from spawning to first hatching decreased from 102 hours at 13°C, to 30 hours and 30 minutes at 24°C. An intersection between regression lines was observed at approximately 20°C, when the logarithm of time taken from spawning to hatching was plotted against water temperature. More than 50% of all eggs hatched normally at temperatures ranging from 13 to 20°C and eggs incubated at temperatures ranging from 13 to 24°C produced normal hatched larvae. The relationship between normal hatching rate and water temperature was expressed by a curve, with a maximum value of 15–17°C. I conclude that 15–17°C is the optimum water temperature for embryonic development and hatching of *C. abbreviatus*. This coincides with the water temperature observed during the peak natural spawning season in Okayama Prefecture, Japan, for this species.

Chapter II. Growth, development and survival of larvae and juveniles To elucidate the optimal temperature for rearing larval *C. abbreviatus*, I examined the effects of water temperature on the growth, survival and morphological abnormalities of larvae. Larval fish were reared in seawater held at temperatures of 14°C, 17°C or 20°C, or in seawater at a natural temperature (ranging from 16 to 24°C over the course of the experiment), until the completion of metamorphosis. Survival and growth (total length) of larvae increased with rising water temperature. There were no significant differences between growth rates and survival in larvae reared at the natural water temperature and at 17°C. Survival rates were poor at 14°C. Morphological abnormalities, including an abnormal eye position and differences in body coloration were observed in fish reared at all temperatures. The percentage of fish that developed normally was highest at 17°C, and the occurrence of morphological abnormalities was highest at natural temperatures and at 20°C. These results suggest that the optimal temperature for rearing larval *C. abbreviatus* is 17 to 20°C.

To determine the optimum rearing conditions for early stage larvae of *C. abbreviatus*, I investigated the feeding, growth and survival of larvae reared under multiple conditions : in 200 L or 500 L tanks, under different photoperiods (12L : 12D, 24L : 0 D) and in water with different prey densities (5, 10, 20, 30 rotifers/mL) until 16 days after hatching. Photoperiod and rotifer density affected larval feeding, larval survival was the highest in fish experiencing the 24L : 0 D photoperiod and survival and growth were the best in fish provided with 20 or 30 rotifers/mL.

Measurements and observations of juvenile hatchery-reared *C. abbreviatus* were performed to examine morphological abnormalities, focusing on five asymmetric characters : eye position, body coloration, presence of a nasal tube, presence of dentition, and premaxillary length. Hatchery-reared juveniles were classified into a normal type similar to wild fish, an ambicolored type (with eyes on both sides of the body), and an intermediate type showing characteristics between the other two types. The ambicolored and intermediate types are considered metamorphosis-related malformations of flatfishes. Pseudoalbinism and reversal, which are commonly observed in hatchery-reared flatfishes, were not found in this study. The most significant result of the present study on hatchery-reared three-lined tonguefish is that the eye position and body coloration of the intermediate-type individuals were between the normal and ambicolored types. Eye migration and body coloration on the blind side of the intermediate type did not synchronize.

Chapter III. Mass seed production A 45-day mass production experiment of juvenile *C. abbreviatus* was conducted in a large culture tank (40kL). A total of 77,000 juveniles with a mean total length of 22.8mm were produced. The survival rate was low at around 10%, with a large number of fish being found dead on the water surface at growth stage D (larval stage) and at the bottom of the tank at growth stages E to H. However, it was shown that the fish could be raised by the same methods used for other saltwater fish species using, for example, a feeding regime primarily consisting of rotifers and Artemia larvae, indicating that mass production would be possible.

Chapter IV. Early life ecology in Seto Inland Sea The *in situ* distributions of eggs and larvae were investigated to elucidate the early life history of *C. abbreviatus*. Monthly oblique and horizontal tows were taken in Bisan Strait and Harima-nada (central Seto Inland Sea) from May 2010 to March 2016 using conical larva nets. The eggs occurred throughout the survey area from April to June, indicating that the spawning season was from April to June. Based upon the temperatures at which eggs were observed, I concluded that *C. abbreviatus* spawn at 12-20°C in these waters. Moreover, these results mirrored those seen for spawning in tanks. The density of eggs was high around central Bisan Strait and tended to be lower near Harima-nada and Hiuchi-nada, which was the same as the distribution of adult fish. Larvae mainly occurred offshore in May and June, and did not appear in either river-mouth or coastal waters during this time.

To determine the optimal location and fish size for releases, the burying ability of hatchery-reared *C. abbreviatus* was studied using sand of various grain sizes. Sand obtained from the sea bed was categorized into three grain-sizes : < 0.5mm, 0.5-1.0mm and 1.0-2.0mm. The area buried by the fish was visually measured. Juveniles from all four size groups (mean total lengths : 30, 40, 50 and 55mm.) were able to bury themselves in sand consisting of grains smaller than 0.5mm in diameter. However, only the 50 and 55mm size fish were able to bury themselves in sand with grain diameters larger than 1.0mm. Thus, burying ability increased with size. These results indicate that released fish need to be larger than 50mm to increase the effectiveness of releases in *C. abbreviatus*.

To understand the early life ecology of three tonguefish species (*Cynoglossus joyneri*, *C. abbreviatus* and *C. robustus*), I examined the fishes caught by small trawl nets in the coastal waters of Ushimado from May 2008 to February 2011. The month and minimum total length (TL) at recruitment were August and 62.9mm for *C. abbreviatus*, September and 56.7mm for *C. joyneri* and September and 41.6mm for *C. robustus*. Following recruitment, all three of the fish species are distributed on the fishing ground. The December mean TL of *C. joyneri*, *C. abbreviatus* and *C. robustus* were 98.2mm ($n = 6$), 151.8mm ($n = 26$) and 157.6mm ($n = 5$), respectively.

These research results clarified the physiological and ecological characteristics of spawning, larval growth and development, thereby contributing to the improvement of juvenile production in *C. abbreviatus*. Future issues and potential directions of technological developments for mass seed production are discussed. Additionally, I use this knowledge to present the early life history of *C. abbreviatus* in the central Seto Inland Sea.

目 次

緒 言	26
第1章 産卵とふ化	
第1節 雌1尾の産卵間隔, 産卵時刻, 産卵量	27
第2節 親魚群の産卵と卵質	32
第3節 卵発生, ふ化, 開口と水温との関係	37
第2章 仔稚魚の成長, 発育, 生残	
第1節 仔稚魚の成長, 発育, 生残と水温との関係	41
第2節 仔魚の成長, 生残と日長, 餌料密度との関係	45
第3節 人工種苗の形態異常	
第1項 天然魚の左右不相称性	48
第2項 人工種苗の形態異常の特徴	50
第3章 種苗量産	55
第4章 瀬戸内海中央部における初期生態	
第1節 卵・仔魚の分布	59
第2節 稚魚の潜砂能力	62
第3節 0歳魚の漁獲加入	64
総合考察	67
要 約	71
謝 辞	72
文 献	73

緒 言

ウシノシタ類は、カレイ目 Pleuronectiformes (異体類 Heterosomata) のササウシノシタ科 Soleidae とウシノシタ科 Cynoglossidae に属する魚類の総称である¹⁾。日本近海に分布するササウシノシタ科魚類は11属19種類が知られているが、小型種のみのため一般には食用とされていない。一方、ウシノシタ科魚類は4属20種類が知られ²⁾、そのうち国内では資源量が多く、全長25cm以上に大型化するクロウシノシタ *Paraplagusia japonica*、アカシタビラメ *Cynoglossus joyneri*、デンベエシタビラメ *Cynoglossus lighti*、コウライアカシタビラメ *Cynoglossus abbreviatus*、イヌノシタ *Cynoglossus robustus* の5種が北海道南部以南の各地において漁業対象とされている。

コウライアカシタビラメは朝鮮半島南部および西部沿岸、渤海、黄海、東シナ海、南シナ海に至る中国大陸沿岸に広く分布し³⁾、日本周辺では駿河湾、瀬戸内海、土佐湾、有明海とその隣接海域の砂泥域に分布するウシノシタ科の魚類である⁴⁾。本種は雌が全長40cm以上に成長する大型のシタビラメで、小型の甲殻類や多毛類を主餌料としている^{4,5)}。瀬戸内海中央部ではアカシタビラメ、イヌノシタとともに小型機船底びき網や刺網漁業の重要な対象種である。本種は特に備讃瀬戸に多く分布し、3種のうち最も大型化することから高値で取引され、岡山県および香川県下の大衆魚として親しまれてきた。しかし、近年の環境変化⁶⁾や未成魚に対する過剰な漁獲圧による成長乱獲⁷⁾等の要因で、漁獲量は減少傾向にある⁸⁾。このため、従来からの休漁や網目拡大といった漁獲圧低減等による資源管理に加え^{9,10)}、将来的には種苗放流による資源水準の維持も検討されている。

ウシノシタ類の増殖研究は、同じ異体類で優れた業績が多いヒラメ *Paralichthys olivaceus* やカレイ科魚類 Pleuronectidae とは対照的に、僅かで生物学的知見はそれほど多くない¹¹⁾。種苗生産に関しては、これまでクロウシノシタ^{12,13)}、イヌノシタ¹⁴⁾で若干の試みはあるが、受精卵の確保や初期減耗が難題で、成果はあがっていない。一方、コウライアカシタビラメについては藤田ら¹⁵⁾の報告に基づき、1990年代に有明海^{16,17)}および瀬戸内海^{18,19)}各県において技術開発が試みられた経緯がある。これらによると、本種は漁獲によるストレスに比較的強い

養成天然魚の自然産卵による採卵が可能で、低率ではあるが稚魚の飼育実績が示され、量産化には至っていないものの、ウシノシタ類のなかでは種苗生産技術の進んだ魚種であるといえる。量産化への課題としては効率的な良質卵の大量確保、初期減耗軽減のための仔稚魚の飼育条件の検討、および種苗に発現する形態異常の軽減等があげられるが、これらに関する基礎研究はウシノシタ類ではほとんど行われていない。

一方、瀬戸内海中央部における漁獲加入後のコウライアカシタビラメの生態については、成長⁷⁾、成熟・産卵^{20,21)}、食性⁵⁾等が概ね明らかにされている。初期生態に関しては、有明海における仔稚魚の分布調査²²⁻²⁴⁾はあるものの、なお不明な点が多い。

そこで本研究では、コウライアカシタビラメを対象とした種苗生産および放流による積極的な増殖技術の確立を目的として、飼育環境下における本種の産卵生態、仔稚魚の生理・生態的特性等の基礎知見を得るとともに、種苗生産過程で生じる形態異常の実態解明に取り組んだ。第1章では水槽内における親魚の産卵量や卵質傾向、および産出卵の発生やふ化と水温との関係を明らかにした。第2章では仔稚魚の成長、発育、生残と飼育環境との関係を明らかにした。また、コウライアカシタビラメの左右不相称形質に着目して形態異常の特徴を整理し、ヒラメやカレイ科魚類での対策事例を参考に、これらの軽減に向けた取り組みを考察した。第3章では第1、2章の知見に基づいた量産試験を実施した。第4章では瀬戸内海中央部における魚卵・仔魚の分布や0歳魚の漁獲加入状況および人工種苗の潜砂能力の把握により、資源の維持や増殖を図る上で重要な海域での初期生態の一端を明らかにした。総合考察では、第1～3章での結果を踏まえ、種苗量産と放流事業化への課題について他のウシノシタ類にまで言及しながら整理した。さらに、他海域におけるウシノシタ類の生態的な既往知見と第4章での知見に基づき、第1～3章で明らかになった飼育環境下での生理・生態的な特性を合わせ、瀬戸内海中央部における本種の初期生態を推察した。

本研究の成果は単にコウライアカシタビラメだけでなく、他のウシノシタ類にも応用可能と考えられ、ウシノシタ類の増殖技術の構築に寄与することが期待される。

第1章 産卵とふ化

有用海産魚類の安定した種苗生産を行うには、まず親魚を健全に養成して計画的に良質卵を大量確保する採卵技術や、受精卵から効率的に健全な仔魚を得る卵管理技術の開発が必要である。そのための基本情報となる対象種の成熟、産卵、ふ化等、生物学的特性に関する知見の集積は、海域における再生産機構や資源管理を研究する上でも不可欠であり、水産資源学および水産増殖学においても重要な課題である。

本章では、飼育環境下でのコウライアカシタビラメの産卵、卵発生、ふ化および開口と水温を主とした環境条件との関係を調査し、産卵からふ化までの生理・生態的特性を明らかにすることを目的とした。

第1節 雌1尾の産卵間隔、産卵時刻、産卵量

効率的かつ計画的な採卵のため、さらには資源管理上の基本情報としても重要な雌1尾の産卵期間中の産卵頻度、総産卵数などの知見は、有用海産魚ではマダイ *Pagrus major*²⁵⁾、ヒラメ²⁶⁾、オニオコゼ *Inimicus japonicus*²⁷⁾ 等で把握されているものの、ウシノシタ類では見当たらない。

本節では、水槽で個別飼育したコウライアカシタビラメ天然魚の産卵間隔、産卵数、産卵時刻等について調査し、本種の産卵特性および産卵生態を明らかにした。

材料と方法

供試魚と試験区 2015年3月に瀬戸内市牛窓町漁協の小型機船底びき網で漁獲され、約1か月間屋内水槽で養成したコウライアカシタビラメ天然魚を試験に用いた。雌の全長は255～355mm、体重は99～292g、雄の全長は218～298mm、体重は47～125gであった。試験区は、雌

1尾の産卵状況を調査する個別産卵4区(A～D)、および対照区として複数雌による群産卵1区(E)の計5区を設定した(Table 1-1)。'15年4月9日に、個別産卵区は角型FRP水槽(1.8×1.8×0.45m、実容量1.5kL)4槽に雌1尾と雄3尾ずつ、群産卵区は角型FRP水槽(3.5×2.5×0.7m、6kL)に雌30尾と雄20尾を収容した。

産卵水槽は、側面からの自然光が入る屋内水槽で、底面に数cmの海砂を敷き詰め、自然水温で1日当たり飼育水量の15倍のろ過海水を注水した。餌料として、活きたアオゴカイ *Perinereis aibuhitensis* をほぼ毎日、飽食量給餌した。

採卵と産卵数、卵径の計測 産卵期間中、水槽の排水口からオーバーフローした表層水を受ける採卵ネット(ゴース地、個別産卵区:30×20×25cm、群産卵区:φ60×60cm)を15時に設置し、翌日9時に流出した卵を回収した。採集した卵は、5Lのビーカー内で約5分間静置後、沈下卵のみサイフォンで吸い取って浮上卵と分離し、それぞれの湿重量を計量した。採卵総重量に対する浮上卵重量の比率を浮上卵率とした。その後、浮上卵については海水とともに2Lビーカーへ収容して攪拌し、そのうち5mL中の卵数を計測して容量法により全浮上卵数を求め、上記の浮上卵重量の比率から総採卵数を換算した。その際、浮上卵と沈下卵の比重は同一と仮定した。また、採卵直後の浮上卵50粒について、万能投影機で20倍に拡大し、デジタルノギスで卵径を測定した。

産卵時刻の推定 5月中旬から6月上旬の期間に計6回、12時から翌日12時まで、原則として2時間毎に卵を回収して卵数を計数し、産卵時刻を推定した。そのうち、5月21日の受精卵については、採卵後直ちに17℃と20℃のインキュベータに収容して、卵の発生速度を実体顕微鏡下で観察した。22時以降の採卵を欠測した場合は、翌朝8時採卵時の発生ステージを観察し、発生速度の観察

Table 1-1 Body sizes of *C. abbreviatus* used for captive spawning

Spawning group	Tank (m)	Number of fish (F : M) ^{*1}	Total length (mm)		Body weight (g)	
			Female	Male	Female	Male
A	1.8×1.8×0.45	4(1 : 3)	355	256 ± 2 ^{*2}	292	93 ± 12
B	〃	〃	312	257 ± 16	232	94 ± 24
C	〃	〃	352	252 ± 8	248	77 ± 11
D	〃	〃	353	267 ± 22	267	95 ± 21
E	3.5×2.5×0.7	50(30 : 20)	301 ± 22	234 ± 11	175 ± 42	67 ± 9

^{*1} F : female, M : male.

^{*2} Mean ± standard deviation.

結果に基づいて産卵時刻を推定した。

統計処理 産卵水温と浮上卵率, 卵径の関係は, Pearson の積率相関係数を用いて有意性を検定した。

結 果

産卵状況 産卵水温と試験区別産卵数の推移を Fig. 1-1 に, 産卵結果を Table 1-2 に示した。個別産卵では, A 区と B, C, D 区で産卵状況が異なった。A 区の産卵期間は 4 月 24 日～5 月 20 日の 27 日間, 産卵水温は 13.7～17.4℃で, 3.7℃の水温幅があった。この間の産卵日数は 22 日と後期を除いてほぼ毎日産卵し, 期間中の産卵頻度(産卵日数/産卵期間の日数×100, %)は 81%と高かった。産卵数は産卵開始から 6 日目に最大となり, その後徐々に減少した。1 日当たりの最大産卵数は 53 千粒, 総産卵数は 521 千粒であった。

これに対し, B, C, D 区の産卵期間は 5 月上旬から 6 月上旬の 29～34 日間, 産卵水温は 16～19℃台, 3.1～3.7℃の水温幅で順次に産卵した。この間の産卵日数は 14～18 日, 産卵頻度は 44～58%で, 産卵が数日継続することにはあったが, 断続的であった。産卵数は, B, C 区では産卵前期に増加して中期以降, 徐々に減少する傾向にあったが, D 区では全期を通して概ね一定であった。1 日当たりの最大産卵数は 3 区とも 45 千粒/日で, 総産卵数も 338～347 千粒とはほぼ同数であった。

A 区と B, C, D 区を比較すると, A 区は他区よりも 10 日前後早く産卵を開始して早期に終了し, 産卵水温も 2.5℃前後低かった。両者には産卵頻度で 30% 前後, 総産卵数で約 200 千粒の差があったが, 産卵期間の長さ, 産卵開始と終了水温の幅は同様であった。

一方, 群産卵 E 区の産卵期間は, 4 月 21 日～6 月 10 日の 51 日間, 水温は 13.1～19.8℃で, 6.7℃の水温幅があった。この間の産卵日数は 45 日とほぼ毎日産卵し, 期間中

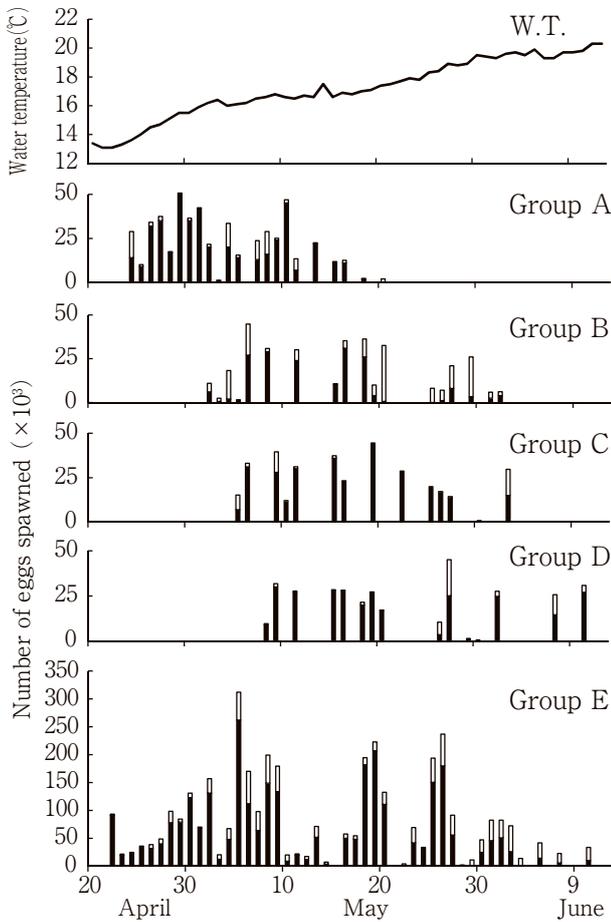


Fig. 1-1 Daily changes in water temperature(W.T.) and the number of eggs spawned by each group(groups A-E) during the experimental period. ■:floating eggs, □:sunken eggs. See Table 1-1 for groups A-E.

Table 1-2 Spawning period, spawning rate, number of eggs spawned, and rate of floating eggs in each group

Group	Spawning				Number of eggs spawned (×10 ³)			Rate of floating ^{*3} (%)
	Period	Days	Rate ^{*1} (%)	Temperature (°C)	Total	Total per 1 g body weight ^{*2}	Floating	
A	Apr.24 - May.20	22	81	13.7 - 17.4	521	1.78	441	84.7
B	May. 2 - Jun. 1	18	58	16.1 - 19.2	338	1.46	181	53.4
C	May. 5 - Jun. 2	14	48	16.1 - 19.5	347	1.40	305	87.9
D	May. 8 - Jun.10	15	44	16.6 - 19.9	334	1.25	282	84.5
Mean(range)	(Apr.24 - Jun.10)	17	58	(13.7 - 19.9)	385	1.47	302	77.6
E	Apr.21 - Jun.10	45	88	13.1 - 19.8	3,698	0.70	2,843	76.9

^{*1} Spawning rate = (spawning days) ÷ (days of spawning period) × 100.

^{*2} Total per 1 g body weight = (total eggs) ÷ (female body weight).

^{*3} Rate of floating = (floating eggs) ÷ (total eggs) × 100.

See Table 1-1 for groups A-E.

の産卵頻度は88%と高かった。産卵数は、4月末以降水温が15℃台となってから増加して盛期を形成し、数回の増減を繰り返しながら徐々に減少した。一日当たりの最大産卵数は312千粒/日、総産卵数は3,698千粒であった。E区の産卵期間、盛期、水温、頻度等の状況は、個別産卵A~D区を統合した結果と概ね一致した。

期間中の雌の体重1g当たりの産卵数は、A~D区が1.25~1.78千粒/g、E区が0.70千粒/gであった。

浮上卵率と卵径の変化 期間を通した浮上卵率は、個別産卵ではB区で53.4%と低めで、他は84.5~87.9%と高かった。群産卵のE区は76.9%と、個別産卵4区の平均値と同等であった (Table 1-2)。試験区別の浮上卵率と卵径の推移を Fig. 1-2, 1-3 に示した。個別産卵のA~D区の浮上卵率は0~100%の範囲で推移し、それぞれの区の産卵開始や中期に突然50%以下の低率を示すなど日変動が激しく、一定の傾向はみだし難かった。ただし、各区における数回の産卵数増減のなかで、増加の初期や産卵後期に低率となる現象が確認された (Fig. 1-1)。一方、群産卵のE区では、産卵前期に80%以上の頻度が高く、中期から後期にかけて低下する傾向にあった。平均卵径は個別産卵区では0.96~1.10mmで、C区を除いてはそれぞれの区の産卵日数の経過に伴い小さくなる傾向がみられた。またE区の卵径は0.99~

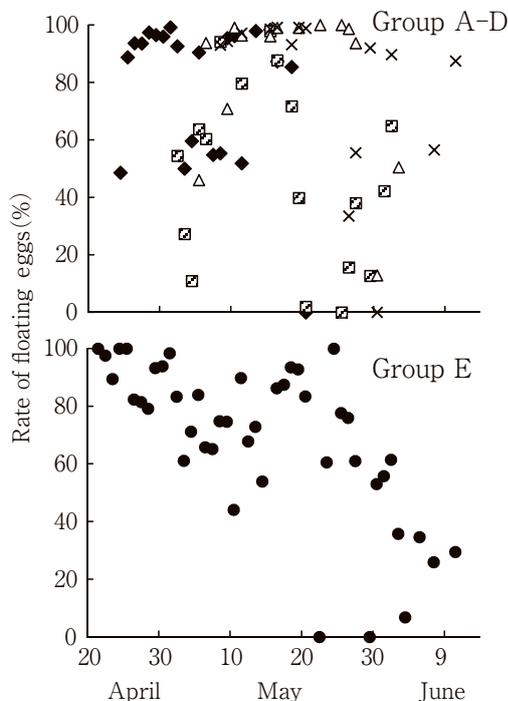


Fig. 1-2 Daily changes in the rate of floating eggs spawned by each group during the experimental period. Group A:◆, B:◻, C:△, D:×, E:●. See Table 1-1 for groups A-E.

1.08mmで、概ね経過日数とともに小さくなる傾向にあった。

産卵水温と浮上卵率、卵径の関係を Fig. 1-4, 1-5 に示した。産卵水温と浮上卵率にはD区 ($r = -0.571$) とE区 ($r = -0.693$) で負の相関関係がみられ、水温の上昇に伴い浮上卵率は低下したが、個別産卵のA, B, C区では関係がみられなかった。産卵水温と卵径には、

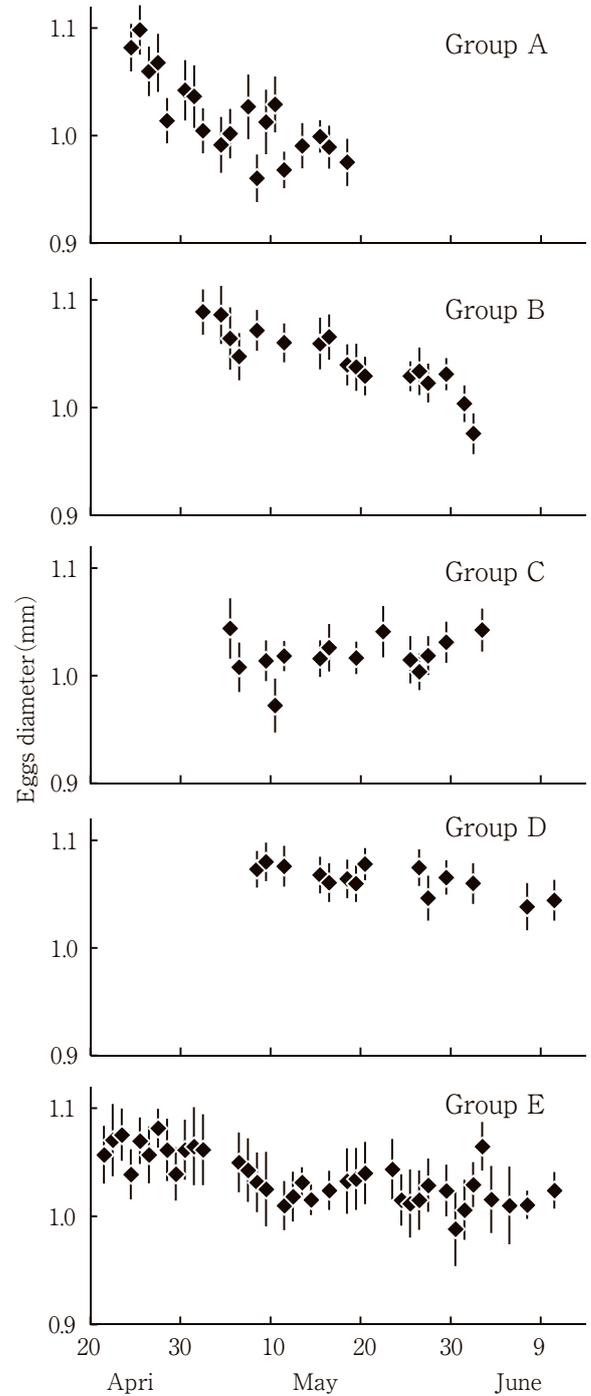


Fig. 1-3 Daily changes in the mean diameter of eggs spawned by each group during the experimental period (◆). Vertical bars indicate standard deviations. See Table 1-1 for groups A-E.

C区を除くA ($r = -0.859$), B ($r = -0.882$), D ($r = -0.720$), E区 ($r = -0.718$) で負の相関関係がみられ,

Table 1-3 Embryonic development of *C. abbreviatus* (at 17°C and 20°C)

Time after egg collection (h)	Developmental stages of embryo	
	Temp. 17°C	20°C
0	1 cell (17.7°C)*	
0.5	2 cells	2 cells
1	4 cells	4 cells
2	8 cells	16cells
3	16-32cells	32cells
3.5	32cells	Morula
4	Morula	Morula
4.5	Morula	Blastula
5	Blastula	Blastula
13	Blastula	Early gastrula

* Temperature at the time of egg collection.

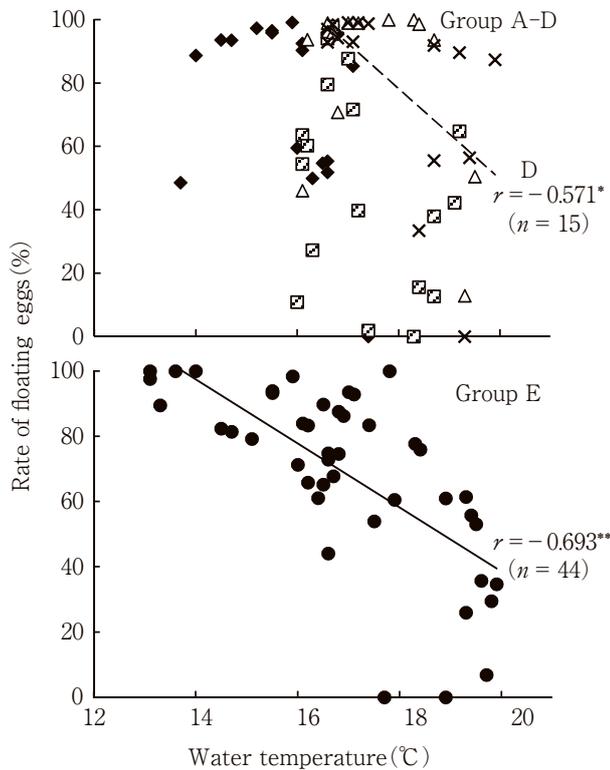


Fig. 1-4 Relationship between water temperature and rate of floating eggs spawned by each group during the experimental period. Group A: ◆, B: ◻, C: △, D: ×, E: ●. Solid and broken lines indicate regression lines. r : Pearson product-moment correlation coefficient, *: ($p < 0.05$), **: ($p < 0.01$). See Table 1-1 for groups A-E.

水温の上昇に伴い、卵径は小型化した。これら水温と卵径の直線回帰式の傾きは、A, B, D区がそれぞれ-0.0320, -0.0228, -0.0081で、E区の-0.0080より小さく、水温の上昇による卵径の小型化は、個別産卵区が群産卵区よりも急激であった。

産卵時刻の推定 卵の発生速度の観察結果を Table 1-3 に示した。卵発生は、17°Cと20°Cの水温条件で受精後1時間以内に2~4細胞、2時間で8~16細胞、3時間で16~32細胞、4時間で桑実胚期、13時間で胞胚から囊胚期へと進行した。

産卵時刻の推定結果を Table 1-4 に示した。期間中の日の出、日没時刻は概ね5時と19時、水温は16.6~19.7°Cであった。受精卵は16時から翌日8時に採卵され、その後14時まで採卵されることはなかった。時刻別の総採卵数は、20時の40.3%、18時の18.1%、22時の9.4%の順に多く、これらで7割を占めた。日中の産卵は、5月14日の14~16時の一例のみ(6%)であった。一方、翌日8時の採卵数は21.5%で、発生ステージは胞胚後期から囊胚

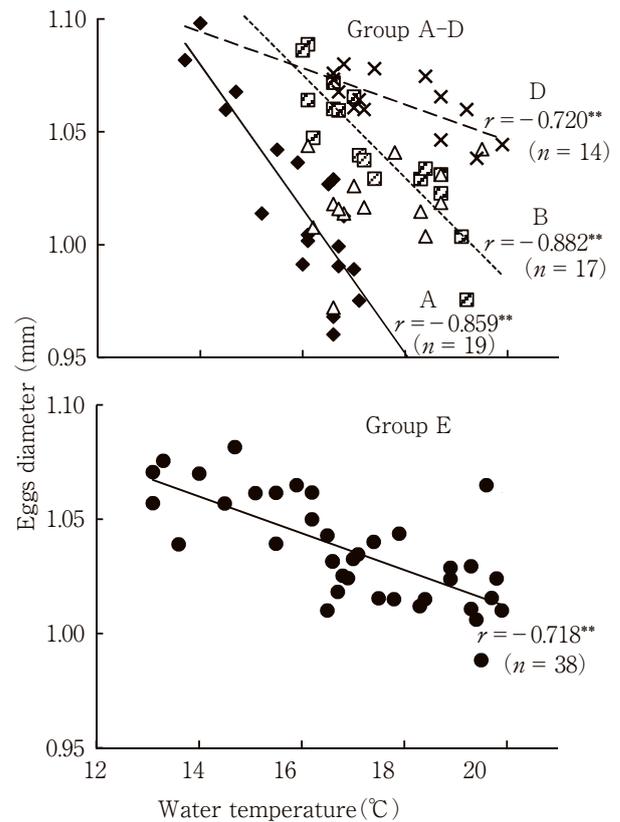


Fig. 1-5 Relationship between water temperature and mean diameter of eggs spawned by each group during the experimental period. Group A: ◆, B: ◻, C: △, D: ×, E: ●. Solid, dotted, and broken lines indicate regression lines. r : Pearson product-moment correlation coefficient, **: ($p < 0.01$). See Table 1-1 for groups A-E.

前期であったことから、これらはすべて0時前後もしくはそれ以前の産卵と推定された。

考 察

漁獲後約1か月のコウライアカシタビラメ天然魚の雌1尾と雄3尾を水槽内に収容して自然産卵させた結果、4例すべてで産卵期間中に14~22回の産卵が確認され、本種が多回産卵魚であることが明らかになった(Fig. 1-1, Table 1-2)。多回産卵魚のうち、マダイ、ヒラメ、トビヌメリ *Repomucenus beniteguri* はほぼ毎日産卵することが個別産卵試験で確認されており、その産卵頻度はそれぞれ68.0%²⁵⁾、66~88%²⁶⁾、77.1%²⁸⁾と高かった。一方、オニオコゼは3~6日間隔の断続的な産卵を行い、産卵頻度は17.5%と低く²⁷⁾、さらにクロマグロ *Thunnus orientalis* では産卵期間を通して産卵が継続する個体や数回のみ産卵する個体など、産卵期間、産卵頻度に個体

差があることがミトコンドリア DNA 解析から推定されている²⁹⁾。本研究において、A 区の雌1尾は盛期にほぼ毎日産卵したものの、B, C, D 区の3尾は断続的な産卵を繰り返すなど個体差があり、産卵頻度は44~81%と多様で、産卵間隔に一定の傾向はみられなかった(Fig. 1-1, Table 1-2)。栗田³⁰⁾は、魚の繁殖特性値の変動を規定する主要な環境要因は餌料と水温であり、摂餌量や栄養状態が産卵量や産卵間隔に影響すると述べている。今回、産卵間隔が一定でなかった要因として、供試魚が試験の約1か月前まではさまざまな海域の環境下で成熟した雄雌であり、加えて漁獲のストレス等からの馴致が十分でなかった可能性も考えられる。本研究では成熟や排卵リズムについて調査していないが、今回の結果から本種は、環境条件次第で盛期には毎日産卵する能力を有す魚種であることが確認された。

本種を含む春産卵型の魚類の成熟と産卵は温度に依存

Table 1-4 Number of eggs spawned at the time of collection in each group from May. 14 to Jun. 3

Date	Spawning group	Temperature (°C)	Number of eggs spawned at the time of collection ($\times 10^3$)								
			14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	0:00	-8:00	10:00	12:00
May. 14 -15	A	16.6-17.4	0	0	26.5	1.9	0	0	0	0	0
	B	〃	0	35.4	2.0	0	0	0	0	0	0
	C	〃	0	0	0	10.8	0	0	0	0	0
	D	〃	0	0	0	8.6	3.3	0	0	0	0
May. 19 -20	A	17.3-17.5	0	0	14.2	3.0	0	0	0	0	0
	C	〃	0	0	16.4	16.2	0	0	0	0	0
	D	〃	0	0	0	2.0	0	0	0	0	0
	E	17.2-17.6	0	0	0	39.0	45.0	27.0	21.9(Blastula)* ¹	0	0
May. 21 -22	B	17.7-17.8	0	0	28.5	0.2	0	0	0	0	0
May. 24 -25	B	18.0-18.2	0	0	0	20.0	-	- ^{*2}	0	0	0
	C	〃	0	0	8.1	0	-	-	0	0	0
	E	17.9-18.1	0	0	5.0	114.0	-	-	75.0 (Blastula)	0	0
May. 29 -30	A	19.0-19.6	0	0	0.7	0	0	-	0	0	0
	B	〃	0	0	0	0.9	0	-	0	0	0
	E	19.1-19.6	0	0	5.0	15.4	5.4	-	21.4 (Blastula)	0	0
Jun. 2 -3	E	19.6-19.7	0	0	0	4.5	1.3	-	8.1(Early gastrula)	0	0
Total eggs ($\times 10^3$)			0	35.4	106.4	236.4	55.0	27.0	126.4	0	0
Proportion (%)			0	6.0	18.1	40.3	9.4	4.6	21.5	0	0

*¹ Developmental stages of embryo at the time of egg collection.

*² Not done.

See Table 1-1 for groups A-E.

し、春先の水温上昇によって成熟が急速に進んで産卵に至り、夏までに上方臨界水温を超えて生殖巣が退行し、産卵を終了する^{31,32)}。雌30尾による複数群での産卵は、13℃台で始まり20℃を越えると終了し、産卵水温の幅は約7℃であった。一方、個別産卵では13℃台で産卵を開始したA区では17℃台で終了し、後発のB, C, D区では16℃から開始し20℃までに終了するなど産卵水温にずれが認められたが、水温幅は3.1~3.7℃と群産卵の1/2程度で一定していた。産卵水温と密接な関係がある産卵期間についても同様で、個別産卵4区の産卵期間の日数は群産卵区の2/3以下と短く、個体間のばらつきによって群産卵区で示された産卵期間内に分散していた(Fig.1-1, Table 1-2)。これらのことから、本種の集団としての産卵期や産卵水温は、個体毎の産卵特性の相違によって形成されていると考えられ、各個体が一様に長期の産卵期を有するとした人工ヒラメ²⁶⁾とは異なった。

今回の個別産卵4区における雌1尾の産卵数は、1日当たり最大53千粒、期間中の総産卵数は334~521(平均385)千粒であった(Table 1-2)。期間中の総産卵数は、同じカレイ目魚類で個別産卵試験が実施されているヒラメの8,180~11,579千粒²⁶⁾、マガレイ *Pleuronectes herzensteini* の2,175~4,064千粒³³⁾、マツカワ *Verasper moseri* の927~1,352千粒³⁴⁾より極めて少なかったが、これには魚体サイズと馴致期間が影響していると考えられる。第1章2節では、漁獲後の飼育期間が1か月と1年以上の複数天然魚2群の産卵状況を比較したところ、1年以上の長期養成群が魚体重量当たりの産卵数で2.4倍優れていた。また、瀬戸内海中央部におけるコウライアカシタビラメの孕卵数と全長の関係は、直線回帰式で表され、孕卵数は全長の増加とともに増加することが示されている²¹⁾。これらに今回の平均全長343mmでの産卵結果を当てはめると、450mmまで雌を長期養成することで、総産卵数2,100千粒が見込まれ、他のカレイ目魚類と同等に卵数が高まる可能性がある。

卵質の評価指標には受精率、浮上卵率、発眼率、ふ化率、仔魚生残率、卵の大きさ等があり、一般にこれらの数値が高い卵が良質卵とされ、ふ化後の仔魚の活力が高く、生残率も高い³⁵⁾。第1章2節では、複数天然魚2群の浮上卵率、卵径、仔魚の無給餌生残指数(SAI)が産卵時期の経過とともに低下し、水温と負の相関があることを明らかにした。今回は浮上卵率と卵径を調査した結果、群産卵区においては両項目とも産卵時期が進むにつれて低下および小型化する傾向があり、水温と強い負の相関が認められた。しかし、個別産卵4区の浮上卵率は

日変動が大きく、一定の傾向はみられず、水温との負の相関もD区で認められたのみであった。一方、卵径は産卵時期の経過とともに小型化し、A, B, Dの3区で水温と負の相関が認められ、その傾向は群産卵区よりも強かった(Fig.1-2~5)。これらのことから、群産卵における浮上卵率は、日々のばらつき等により個々では一定の傾向を発現しにくい複数尾の卵が平均化されて期間中の低下傾向を示し、一方、卵径は個々では急激に小型化する卵が平均化されることで緩やかな傾向が形成されていること等、個体追跡によって得られる卵質傾向と集団で発現する傾向は異なることが分かった。複数雌の産卵試験で明らかにされている卵質は、個体レベルの傾向を反映していない可能性が示唆された。

マダイ、ヒラメ、クロマグロなど分離浮性卵を産出する多くの海産魚は、夕方から前夜半に産卵することが知られており、これらは暗期における卵の産出および分散により、昼間に摂餌を行う捕食者からの被食防衛策と考えられている³⁶⁾。本種の産卵時刻も日没前後の16時から22時の頻度が高く、その後0時頃までには産卵を終えて、日中の産卵は希であることが分かった(Table 1-4)。

第2節 親魚群の産卵と卵質

通常、種苗生産用の採卵では、複数雌と雄を同一水槽に収容し、群飼育による自然産卵で受精卵を得る。陸上水槽における本種の群産卵による産卵と卵質については、有明海産親魚での報告¹⁷⁾があるものの、漁獲された天然魚から推定される産卵期、孕卵数、および卵径は有明海産³⁷⁾と瀬戸内海産^{20,21)}で異なるため、養成親魚でも両者で差異の生じることが予想される。また、種苗生産に天然の親魚を用いる魚種では、購入後、継続的に養成しながら、複数年にわたり採卵に供す魚種がほとんどであるが、本種を長期間飼育した場合の卵質への影響については明らかではない。

そこで本節では、養成期間の異なる2群の瀬戸内海産のコウライアカシタビラメを用いて、飼育環境下での産卵期間、産卵数、浮上卵率、卵径、ふ化率、仔魚の無給餌生残指数(Survival Activity Index: SAI)³⁸⁾等を調査し、産卵数および卵質の推移を把握するとともに、親魚養成期間の影響を検討した。

材料と方法

親魚養成と採卵 瀬戸内市牛窓町漁協の小型機船底びき網で、2010年11月~11年4月に漁獲された天然魚を12~17か月間飼育した親魚26尾(長期養成群)、および12

年3月に漁獲され約1か月間飼育した親魚70尾（短期養成群）の2親魚群を用いた（Table 1-5）。養成には屋内のFRP水槽（3.5×2.5×0.9m，実容量4kL）を用い、産卵条件および採卵方法等は、前節に準じた。餌料として、産卵期には活きたアオゴカイ、それ以外の時期には冷凍オキアミ *Euphausia* sp. をほぼ毎日、飽食量給餌した。

卵径、ふ化率調査および無給餌飼育試験 採卵直後の浮上卵50粒について、万能投影機で20倍に拡大し、デジタルノギスで卵径を計測した。同時に100～120粒を1Lのろ過海水が入ったポリ瓶に収容し、15℃に設定したインキュベータ内に静置してふ化させた。ふ化率は収容卵数に対する全ふ化仔魚数の比率から算出した。産卵期間中2、3日おきに、各親魚群からふ化率調査時のふ化仔魚のうち外観上異常のみられないものをガラスピペットで50～100尾採取し、1Lのろ過海水が入ったポリ瓶に収容し、15℃で無給餌飼育した。飼育期間中、毎日正午に死魚をピペットで取り上げ計数し、次式によりSAIを求めた。

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

N：試験開始時のふ化仔魚数

h_i ： i 日目の累積へい死尾数

k ：生残尾数が0となるまでの日数

統計処理 2親魚群の浮上卵率、卵径、ふ化率およびSAIの比較には、Wilcoxonの符号順位和検定を用い、産卵水温や卵質評価項目間の関係は、Spearmanの順位相関係数を用いて有意性を検定した。

結 果

産卵状況 産卵水温と親魚群別産卵数の推移をFig. 1-6に、採卵結果をTable 1-6に示した。産卵は長期養成群で4月21日、短期養成群で4月23日からと前者が数日早く、50千粒以上のまとまった産卵も1週間早く確認された。両群とも産卵開始の水温は13℃台、4月末以降水温が15℃台から産卵数が急増し、5月20日前後の16℃台まで盛期を形成した。また、短期養成群が6月12日、長期養成群が6月9日の19℃台まではほぼ毎日産卵し

Table 1-5 Number and body sizes of *C. abbreviatus* used for captive spawning

		Brood fish groups	
		Short-term-bred	Long-term-bred
Bred period (month)		1	12-17
Number of fish (female : male)		70 (35 : 35)	26 (11 : 15)
Total length (mm)	female	284 ± 22* ¹	307 ± 23
	male	238 ± 20	256 ± 28
Body weight (g)	female	175 ± 63	204 ± 34
	male	70 ± 29	103 ± 51

*¹ Mean ± standard deviation.

Table 1-6 Spawning period, temperature, number of eggs spawned, and rate of floating eggs in two brood fish groups

Spawning	Brood fish groups	
	Short-term-bred	Long-term-bred
Period	Apr. 23-Jun. 12	Apr. 21-Jun. 9
Days	47	50
Temperature(°C)	13.6-19.8	13.2-19.4
Number of total eggs (×10 ³)	6,881	5,843
Number of floating eggs(×10 ³)	6,130	5,320
Rate of floating eggs(%)	89.1	91.0
Number of floating eggs per one female(×10 ³)	175	484
Number of floating eggs per 1 g female body weight	1,000	2,370

た。試験期間中、産卵数は50~350千粒であったが、産卵盛期を過ぎるまでその増減は両群とも水温の動向に同調した。すなわち水温が低下または停滞すると卵数が減少し、上昇すると増加する傾向がみられた。試験期間中の産卵回数および総産卵数は、短期養成群がそれぞれ47回および6,880千粒であったのに対し、長期養成群ではそれぞれ50回および5,840千粒であった。また、浮上卵数および浮上卵率は、短期養成群ではそれぞれ6,130千粒および89.1%であったのに対し、長期養成群ではそれぞれ5,320千粒および91.0%であった。一方、雌の収容尾数および

平均体重はそれぞれ35尾および175gと11尾および204gであったので、雌1尾当たりの浮上卵数は175千粒と484千粒（総産卵数：194千粒と537千粒）で後者が2.8倍多く、雌魚体重当たりの浮上卵数は1.0千粒/gと2.4千粒/gで後者が2.4倍多かった。

卵質評価 親魚群別産出卵の浮上卵率、卵径、およびふ化率の推移をFig.1-7に、仔魚のSAIの推移をFig.1-8に示した。浮上卵率は短期養成群が54.1~100%（平均86.9%）、長期養成群が67.9~100%（平均90.0%）で推移した。いずれも産卵盛期までは80~100%で一定していたが、5月20日以降徐々に低下し、短期養成群では

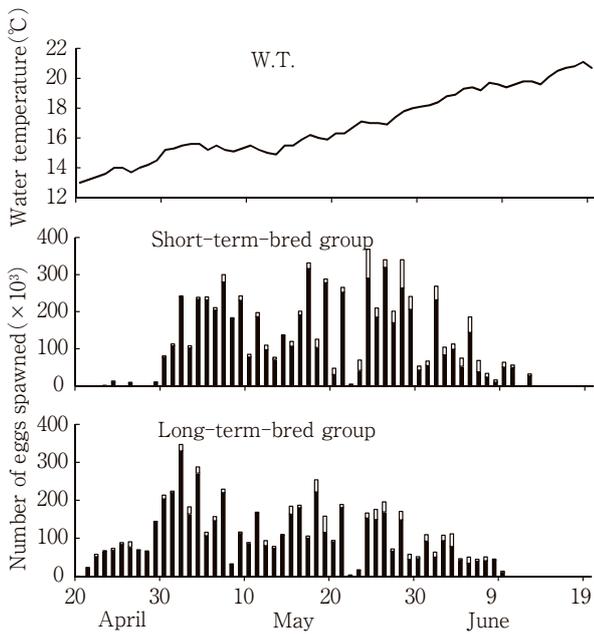


Fig. 1-6 Daily changes in water temperature (W.T.) and the number of eggs spawned by two groups during the experimental period. ■:floating eggs, □:sunken eggs. See Table 1-5 for groups.

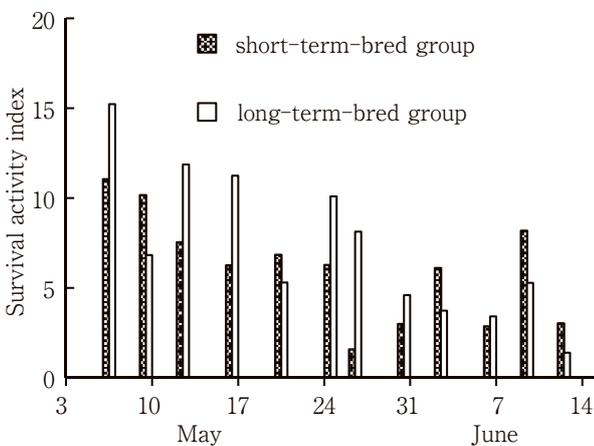


Fig. 1-8 Changes in survival activity index of larvae by two groups during the experimental period. See Table 1-5 for groups.

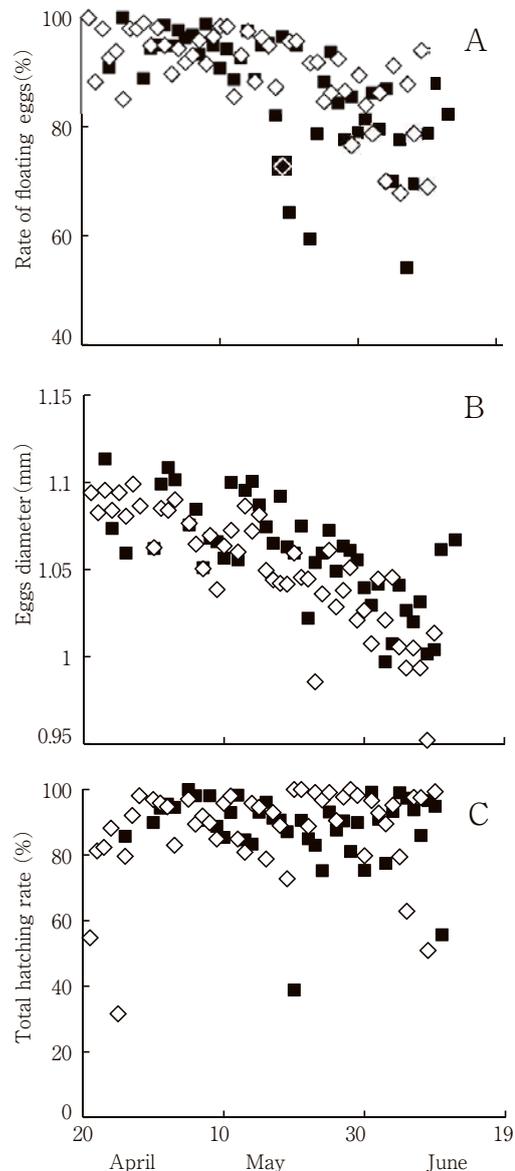


Fig. 1-7 Daily changes in the rate of floating eggs (A), mean diameter of eggs (B) and total hatching rate (C) spawned by two groups during the experimental period. ■:short-term-bred group, □:longterm-bred group. See Table 1-5 for groups.

60% 前後に低下することもあった。短期養成群の浮上卵率は変動が大きく、特に産卵期後半にその傾向が強くなった。平均卵径は短期養成群が1.00~1.11mm (平均1.06mm)、長期養成群が0.95~1.10mm (平均1.05mm)で推移し、いずれも徐々に小型化した。浮上卵率と同様に、短期養成群は日較差が大きい傾向にあった。ふ化率は短期養成群が31.9~100% (平均87.1%)、長期養成群が31.6~100% (平均88.0%) の範囲で、産卵初期と終期に60%以下に低下することがあった。それ以外はいずれも70%以上で安定し、経過日数に伴う低下はみられなかった。SAIは短期養成群が1.6~11.0 (平均6.1)、長期養成群が

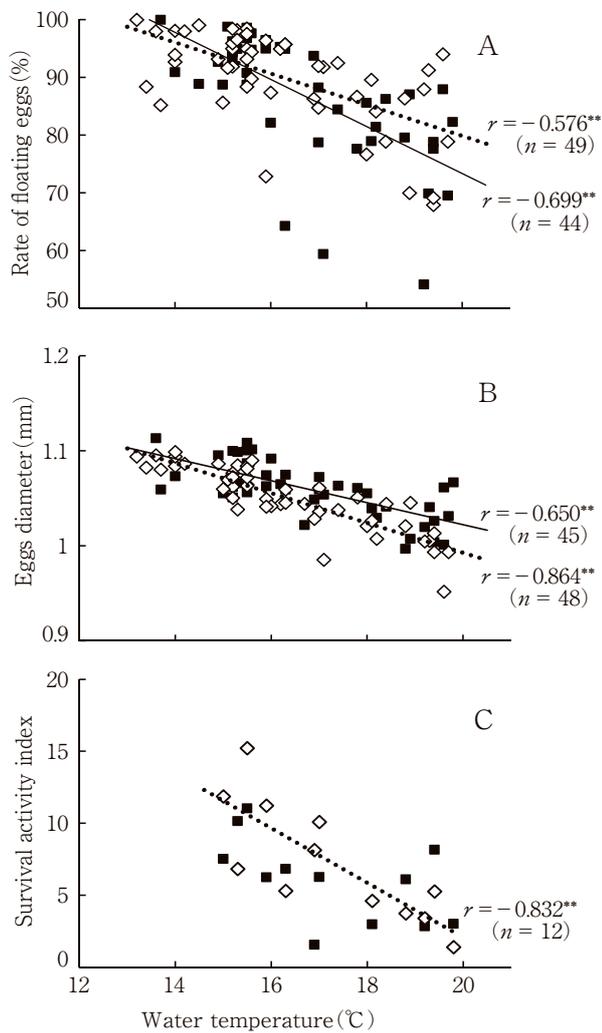


Fig. 1-9 Relationship between (A) water temperature and rate of floating eggs and (B) temperature and mean diameter of eggs and (C) temperature and survival activity index of larvae during the experimental period. ■: short-term-bred group, ◇: long-term-bred group. Solid and broken lines indicate regression lines. r : Spearman's rank correlation coefficient, *: ($p < 0.05$), **: ($p < 0.01$).

1.4~15.2 (平均7.3) の範囲で推移し、両群とも経過日数とともに低下傾向を示したが、長期養成群で顕著であった。また、産卵前期から中期は長期養成群の方が高く、後期は短期養成群が高かった。

上記のうち卵径は短期養成群が有意に大きかったが ($p < 0.01$), その他の項目には親魚群間に有意差はみられなかった。

卵質評価項目間の関係 産卵水温と浮上卵率、卵径、SAI の関係を Fig. 1-9 に示した。短期養成群、長期養成群とも産卵水温と浮上卵率 ($r = -0.699, -0.576$), 卵径 ($r = -0.650, -0.864$) には負の相関関係がみられ、水温の上昇に伴い浮上卵率は降下、卵径は小型化した。一方、SAI は長期養成群でのみ強い負の相関関係がみられた ($r = -0.832$)。卵径と SAI, 浮上卵率の関係を Fig. 1-10 に示した。卵径と SAI には長期養成群のみで強い正の相関関係がみられ ($r = 0.855$), 卵径の大型化に伴い SAI は上昇した。その他、両群で卵径と浮上卵率に正の相関関係があり ($r = 0.651, 0.531$), 卵径が大きいほど浮上卵率が高かった。

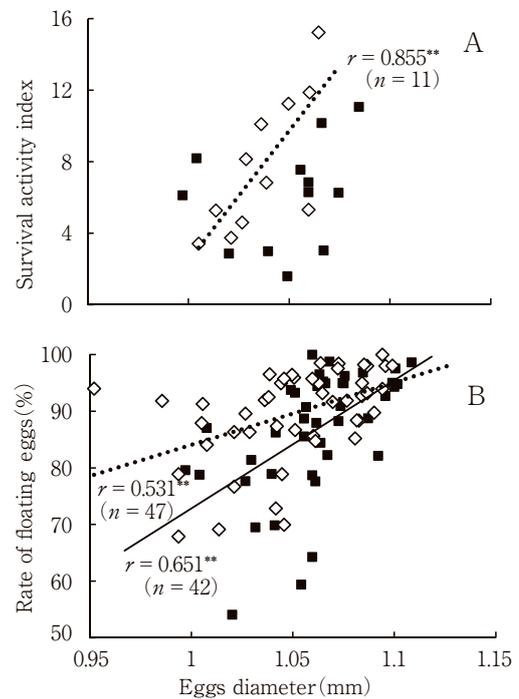


Fig. 1-10 Relationship between (A) mean diameter of eggs and survival activity index and (B) diameter of eggs and rate of floating eggs spawned by two groups during the experimental period. ■: short-term-bred groups, ◇: long-term-bred groups. Solid and broken lines indicate regression lines. r : Spearman's rank correlation coefficient, *: ($p < 0.05$), **: ($p < 0.01$).

考 察

養成期間の異なる瀬戸内海産コウライアカシタピラメ 2 親魚群を飼育し、自然産卵で大量の受精卵を得た。親魚は飼育水温が13℃以上になると産卵を開始し、水温15～19℃の間はほぼ毎日産卵したものの、19℃を超えると終了した。また、期間中の日産卵数は、水温の低下または停滞で減少したのに対し、上昇で増加した(Fig. 1-6)。これらのことから、本種の産卵周期は水温が大きな影響を与えていることが強く示された。春から夏に産卵する魚では春季における水温上昇だけが成熟開始に必要で、光周期は決定的な役割を持たないことが多い³⁹⁾とされる。本種もマダイ⁴⁰⁾やヒラメ⁴¹⁾等と同様に、水温管理による産卵誘発および制御の可能性が示唆された。

盛期の産卵数は1日当たり50～350千粒であり、数十尾の雌で種苗生産に十分な卵数を確保できた(Fig. 1-6)。また、雌1尾当たりの総浮上卵数は、長期養成群が短期養成群の2.8倍と多かったが(Table 1-6)、これは魚体のサイズが大きく影響している。瀬戸内海中央部におけるコウライアカシタピラメの孕卵数と全長の関係は、直線回帰式で表され、孕卵数は全長の増加とともに増加することが示されている²¹⁾。この関係式に本研究の2親魚群の平均全長をあてはめると、孕卵数は約310千粒と610千粒となり、今回得られた1尾当たりの総産卵数(短期養成群：194千粒、長期養成群：537千粒)は両養成群とも及ばない。特に短期養成群でその傾向が強く、養成期間の長短が影響している可能性が示された。

日本近海で本種を対象とした漁業が行われているのは有明海と瀬戸内海であるが、両海域の個体群はそれぞれ隔絶された地域個体群と考えられ⁴⁾、地域的な差の存在が指摘されている。そこで、有明海産の採卵に関する福澄ら¹⁷⁾の報告とサイズの近い本研究の短期養成群を比較検討した。用いた親魚群の雌雄比、雌の尾数および平均体重はほぼ同条件であったが、総産卵数は有明海産が3,221千粒に対し瀬戸内海産は6,880千粒、浮上卵率およびふ化率は前者がそれぞれ83.2%、72.9%に対し、後者が89.1、86.9%と、産卵数、卵質を示す項目は概ね本研究の産卵結果が優れた(Table 1-6)。両海域における天然魚の生殖腺指数^{37,20)}には差がみられないことや、有明海産では産卵期間中の産卵回数が少なかったことから、漁獲後の馴致など飼育状態に起因する可能性も考えられる。卵径は有明海産が1.10～1.23mmに対し瀬戸内海産は1.00～1.11mmと約10%小さく、卵径およびふ化仔魚の大きさは有明海産と地理的な差があるとした既往知見^{17,18)}

と一致した。一方、産卵水温は13.5～19℃前後とほぼ同様であった。

一般に良質卵とは、ふ化後の生残が良好な仔魚をふ出する卵であり⁴²⁾、「ふ化率やふ化後の生残率が高い卵」と理解されている。卵質の評価指標には受精率、浮上卵率、発眼率、ふ化率、仔魚生残率、卵の大きさ、形態、比重、色調、pHがある³⁵⁾。これらのうち、本研究では浮上卵率、ふ化率、卵径、SAIを測定し、卵質の推移および各項目と産卵水温間の関係を検討した。その結果、ふ化率以外は産卵期が進むにつれて低下する傾向があるとともに(Fig. 1-7, 1-8)、両群の浮上卵率、卵径および長期養成群のSAIと産卵水温との間に負の相関関係が認められた(Fig. 1-9)。このことは、水温の上昇や産卵回数の増加など産卵期の進行に伴い卵質が低下することを示しており、シマアジ *Pseudocaranx dentex*⁴³⁾、ブリ *Seriola quinqueradiata*⁴⁴⁾、オニオコゼ²⁷⁾等、他の海産魚類での報告と一致した。

その他の関係では浮上卵率と卵径、さらに長期養成群については卵径とSAI間で強い正の相関関係が認められた(Fig. 1-10)。SAIは無給餌飼育において生残の良いものが高いため、仔魚の活力を表わす指標として上述の3魚種やキジハタ *Epinepheus akaara*⁴⁵⁾等で有効性が確認されている。ただし、判定にはふ化後1週間以上を要するため、種苗生産用卵の事前の評価指標にはなり得ない。そこでSAIとの相関が高く、産卵直後に簡便かつ正確に測定できる代替指標が魚種に応じて検討されてきた。本種においては、卵径が良質卵評価の有効な指標となり得ることが示唆されたため、産卵前期から中期、水温15～16℃の間に卵径の大きい受精卵を選択すれば、種苗生産初期の生残向上に繋がるものと考えられた。

親魚の養成期間の違いについて、漁獲後1年以上経過した長期養成魚と漁獲直後の短期養成魚の卵質比較では、有意差はないものの長期養成群が浮上卵率、ふ化率、SAIでやや上回った(Fig. 1-7, 1-8)。一方、短期養成群の浮上卵率や卵径などの卵質評価項目は不安定で大きく変動する傾向があり、長期養成群でみられた産卵水温とSAI、卵径とSAIの相関関係も明らかでなかった(Fig. 1-9, 1-10)。酒井ら⁴⁶⁾はマダイでは浮上卵率等に親魚個体間で著しく大きな差異が存在するとし、森田⁴⁷⁾は卵サイズの変異は母親体内よりも母親間の変異の方が大きいとしている。今回の短期養成群が、個々に水温や餌料環境の異なる海域において成熟期を過ごしたことによる個体間差が起因したばらつきなのかもしれない(第1章1節)。一方、魚体重当たりの産卵数についても長期

養成群が2.4倍多かった (Table 1-6)。この要因として、漁獲のストレスにより、短期養成群のすべてが成熟・産卵に関与できるほど、水槽環境に馴化していなかったことがあげられる。これらのことから、漁獲直後の天然魚からでも良質卵は確保できるが、養成期間が長い親魚の方がより安定かつ計画的に採卵できると考えられた。

第3節 卵発生、ふ化、開口と水温との関係

卵発生あるいはふ化仔魚の生理・生態特性の把握は、効率的な卵管理のため、さらには産卵場からの卵やふ化仔魚の拡散、輸送による減耗や移送距離を検討する基本情報となるなど、増殖技術開発を進める上で重要である。しかし、ウシノシタ類では、コウライアカシタビラメにおける卵発生とふ化仔魚の形態⁴⁸⁾以外、ほとんど明らかにされていない。

本節では、本種の卵発生、ふ化および開口に及ぼす水温の影響について調査し、卵発生速度、ふ化までの所要時間、ふ化率、奇形率、開口までの所要時間等の生理的特性を明らかにした。

材料と方法

供試卵 親魚には、2015年3月に瀬戸内市牛窓町漁協の小型機船底びき網で漁獲され、約1か月間屋内水槽で養成飼育したコウライアカシタビラメ天然魚を用いた。親魚は雌30尾と雄20尾の計50尾で、雌の全長は255～333mm、体重は99～252g、雄の全長は218～253mm、体重は47～81gであった。親魚の養成方法は第1章1節に従い、50尾の親魚を同一水槽に群飼育して自然産卵させた。産卵確認後直ちに、親魚水槽からオーバーフローした海水を受ける採卵ネットに溜まった卵をプラスチックビーカーで海水とともに収集した。

卵発生調査 15年5月21日18:00、および24日18:00に採集した浮上卵を用いて2回の実験を行った。受精率はそれぞれ100%、97.7%であった。採卵後直ちに約200粒の供試卵を1Lのポリ瓶へ収容し、1回目は6、10、13、15、17、20、24、28℃の8段階、2回目には13、15、17、20、22、24℃の6段階に設定したインキュベータ内へ各水温区につき、それぞれ4個ずつポリ瓶を設置した。卵収容時の水温は18.0℃で、1回目が各水温区とも概ね120分、2回目は90分以内に設定水温へ達した。実験終了までの各区の水温変動は0.5℃以内であった。収容からふ化完了までの間、30分から2時間ごとに特定のポリ瓶2個から交互に卵を採取し、実体顕微鏡下で卵発生を観察した。各発生段階までの到達時間は、任意に取りだした

5～10粒の卵のうち、過半数がそのステージへ達した時間とした。各発生段階は、藤田・田北⁴⁸⁾、碓井⁴⁹⁾に従って定義した。実験および観察には砂ろ過海水を用い、海水の交換やポリ瓶内での通気を行わなかった。産卵時の水温および塩分は、1回目がそれぞれ17.7℃と30.8、2回目が18.0℃と30.9であった。

ふ化率の測定 上記の卵発生観察に用いなかった各水温区2個のポリ瓶について、ふ化完了後にそれぞれのふ化仔魚と死卵を計数した。ふ化率は次式により求め、2個のポリ瓶の平均値を各水温区の結果として表した。

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

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

仔魚の開口観察 2回目のふ化実験の17℃区で得られた正常ふ化仔魚約100尾を1Lポリ瓶に再収容して13、15、17、20、24℃の5段階に設定したインキュベータ内へ設置し、開口までの所要時間を調査した。ふ化から開口まで約24時間ごとに仔魚10尾の全長を測定するとともに、開口を下顎の可動開始と定義して過半数が開口した時間を観察した。

結果

卵発生に及ぼす水温の影響 今回実験した水温区のうち6、10、28℃において、卵は桑実胚期に発生を停止した。水温13～24℃における桑実胚期への到達時間は、3時間30分～5時間50分で2時間以上の差が生じた。各水温間の差は発生の進行とともに拡大し、Kupffer's 胞出現期には19時間30分～51時間と32時間30分の差になるなど、各発生段階への到達時間は水温の上昇とともに、指数関数的に短くなる傾向を示した (Table 1-7, Fig. 1-11)。

受精からふ化開始までの所要時間は、13℃が102時間、15℃が81時間、17℃が59時間、20℃が42時間、22℃が34時間30分、24℃が30時間30分と水温が高くなるに従って短くなった (Table 1-7, Fig. 1-11)。これら水温 (θ , °C) とふ化開始までの所要時間 (T , h) との関係は、次式の回帰曲線で表せた。

$$T = 389.2 - 32.059 \theta + 0.8366 \theta^2 - 0.0051 \theta^3 (R^2 = 0.998)$$

また、水温とふ化開始までの所要時間の対数値との関係は、20℃付近で変曲点が認められ、13～20℃および20～24℃の温度範囲において次式の2本の回帰直線で表せた (Fig. 1-12)。

$$13 \sim 20^\circ\text{C} : \log T = 2.788 - 0.0595 \theta (R^2 = 0.992)$$

$$20 \sim 24^\circ\text{C} : \log T = 2.313 - 0.0347 \theta (R^2 = 0.983)$$

13～20℃、20～24℃および13～24℃の範囲での温度恒数と Van't Hoff の Q_{10} 値 ($Q_{10} = \exp(10\alpha)$), α : 温度恒

Table 1-7 Time taken to reach each developmental stage at different temperatures, and equations describing the relationship between time and incubation temperature in *C. abbreviatus* eggs

Development stage	Time after spawning (h:min)						Equation describing the relationship between time and incubation temperature $T = a + b\theta + c\theta^2 + d\theta^3$ (T = Time:hr; θ = incubation temperature:°C)
	13°C	15°C	17°C	20°C	22°C	24°C	
Morula stage	5:50	5:00	4:30	4:00	3:45	3:30	$T = 20.99 - 2.1173\theta + 0.0908\theta^2 - 0.0014\theta^3 (R^2 = 0.999)$
Blastula stage	14:10	9:00	5:50	5:00	4:50	4:30	$T = 157.2 - 21.226\theta + 0.9853\theta^2 - 0.0153\theta^3 (R^2 = 0.995)$
Gastrula stage	25:30	19:45	16:10	14:00	13:15	12:30	$T = 169.5 - 21.04\theta + 0.9579\theta^2 - 0.0147\theta^3 (R^2 = 1.000)$
Appearance of embryonic shield	46:00	36:00	27:20	20:15	19:00	17:00	$T = 227.6 - 23.478\theta + 0.8742\theta^2 - 0.0109\theta^3 (R^2 = 0.998)$
Appearance of Kupffer's vesicle	51:00	38:30	30:00	22:30	21:50	19:30	$T = 313.2 - 36.35\theta + 1.5295\theta^2 - 0.0218\theta^3 (R^2 = 0.999)$
Beginning of heart beat	90:30	68:30	48:45	36:30	31:00	27:30	$T = 542.1 - 60.988\theta + 2.4639\theta^2 - 0.034\theta^3 (R^2 = 0.998)$
First hatching	102:00	81:00	59:00	42:00	34:30	30:30	$T = 389.2 - 32.059\theta + 0.8366\theta^2 - 0.0051\theta^3 (R^2 = 0.998)$

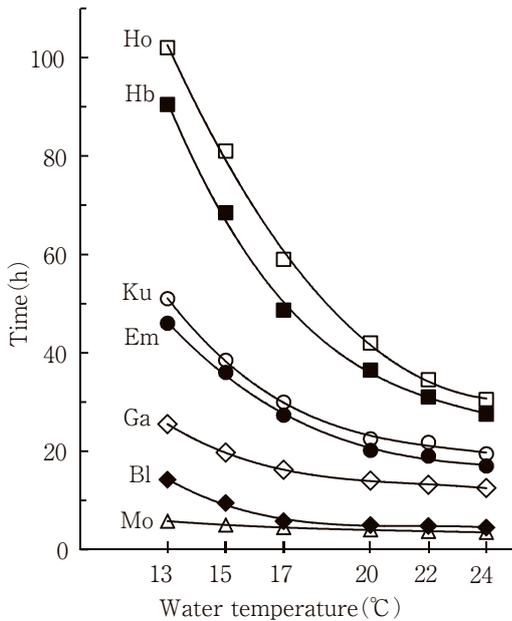


Fig. 1-11 Relationship between water temperature and time to reach each developmental stage in *C. abbreviatus* eggs. Mo: morula stage; Bl: blastula; Ga: gastrula; Em: appearance of embryonic shield; Ku: appearance of Kupffer's vesicle; Hb: heart beat; Ho: hatch out.

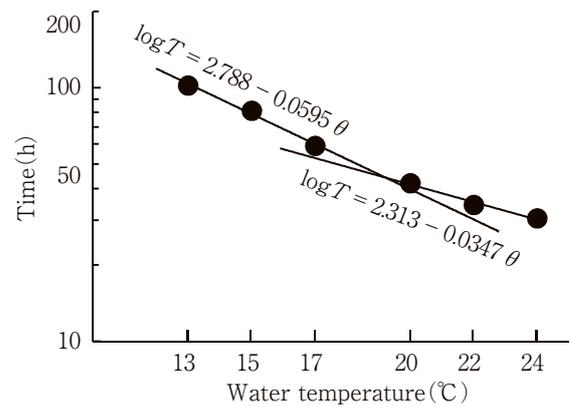


Fig. 1-12 Relationship between water temperature and time taken from spawning to hatching. Regression lines are shown. T : time (h); θ : temperature (°C).

数)⁵⁰⁾を Table 1-8 に示した。温度恒数は Arrhenius の式)の μ と、日暮・田内の式⁵⁰⁾の α で示した。13~20°C の範囲では $\mu = 21,266$, $\alpha = 0.129$, $Q_{10} = 3.63$ となり、20~24°C の範囲の $\mu = 13,935$, $\alpha = 0.080$, $Q_{10} = 2.23$ に比べて、いずれも 1.6 倍前後高い値を示した。13~24°C の範囲では、 $\mu = 18,664$, $\alpha = 0.113$, $Q_{10} = 3.10$ であった。

ふ化開始から完了までに要する時間は、20と22°Cが3

Table 1-8 Temperature characteristics (μ , α) and Q_{10} constant values for the relationship between water temperature and time taken from spawning to hatching *C. abbreviatus* eggs

Temperature (°C)	13-20	20-24	13-24
μ	21,266	13,935	18,664
α	0.129	0.080	0.113
Q_{10}	3.63	2.23	3.10

μ : temperature characteristic of Arrhenius's formula (Yamamoto 1943).

α : temperature characteristic of Higurashi and Tauchi's formula (Yamamoto 1943).

$Q_{10} = \exp(10\alpha)$ (Yamamoto 1943).

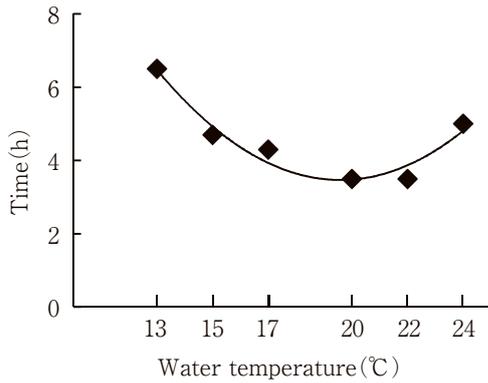


Fig. 1-13 Relationship between water temperature and time taken from the beginning to the end of hatching in *C. abbreviatus* eggs.

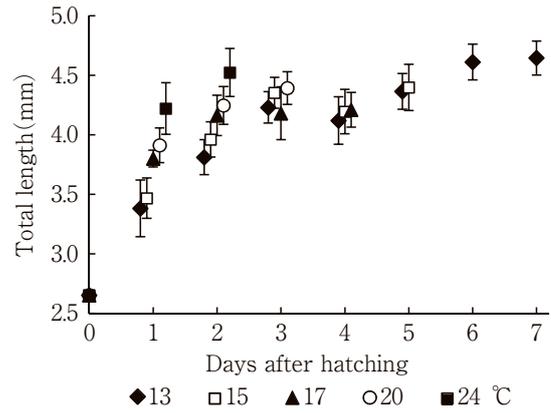


Fig. 1-15 Growth (mean total length) of new newly hatched larvae cultivated in different water temperatures until mouth opening. Error bars are standard deviations.

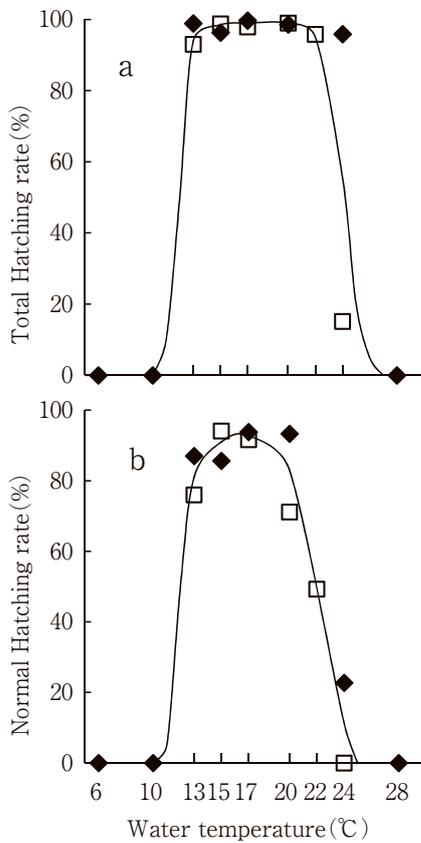


Fig. 1-14 Relationship between water temperature and (a) total hatching rate and (b) normal hatching rate *C. abbreviatus* eggs. ◆:spawned on July 21st, □:spawned on July 24th.

時間30分と短く、これよりも低温および高温側では、長くなる傾向が認められた。ふ化開始から完了までの時間が最も長かったのは、13℃の6時間30分であった (Fig. 1-13)。

ふ化率に及ぼす水温の影響 1回目のふ化率は、水温6、10および28℃で0%、13~24℃ではいずれも95%以

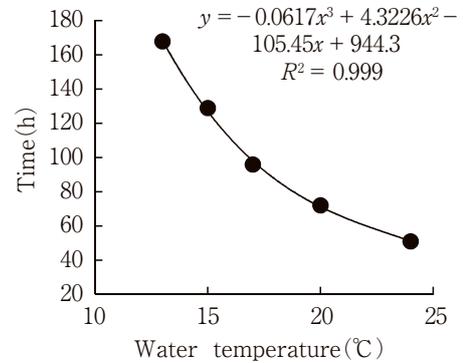


Fig. 1-16 Relationship between water temperature and time taken from hatching to mouth opening in *C. abbreviatus* larvae.

上であった。2回目のふ化率は13~22℃では90%以上であったが、24℃では15.2%と低かった (Fig. 1-14a)。

正常ふ化仔魚は、ふ化が認められた13~24℃の全てで得られた。正常ふ化率は、17℃の92.7% (2回の平均値) を最高に15℃の89.9%と続き、低温および高温側で低下傾向が認められ、特に20℃以上では水温の上昇に伴って急激に低下した。各水温の1回目と2回目の正常ふ化率を比較すると、15℃を除いては2回目やや低かった。ふ化限界レベルとされる50%以上の正常ふ化率³⁵⁾を示す水温の範囲は低温側が13℃、高温側が22℃であった (Fig. 1-14b)。

開口に及ぼす水温の影響 ふ化直後の仔魚の成長は、水温が高いほど早い傾向がみられ、ふ化直後の2.65mmから開口時には4.21~4.65mmに成長した (Fig. 1-15)。ふ化から開口まで所要時間は、13℃が168時間、15℃が129時間、17℃が96時間、20℃が72時間、24℃が51時間と水温が高くなるに従って短くなった (Fig. 1-16)。これら水温 (θ , °C) とふ化から開口までの所要時間 (T ,

h) との関係は、次式の回帰曲線で表せた。

$$T = 944.3 - 105.45\theta + 4.3226\theta^2 - 0.0617\theta^3 (R^2 = 0.999)$$

考 察

水温 6～28℃のうち、13～24℃の範囲でコウライアカシタビラメ受精卵の発生は進行し、ふ化に至った (Fig. 1-14a)。しかし、6, 10, 28℃では桑実胚期に発生を停止した。岩井・柏木³⁵⁾はシロギス *Sillago japonica* 卵の水温実験を例に、受精卵から胞胚期までは水温変化に弱い高感受性期にあたと述べており、本種でも低温および高い温側の実験区において、発生初期の生理機構に不調を生じた結果と考えられる。発生停止の原因については、今回、卵収容時の18℃から各設定水温まで短時間で変化したことへの馴化の限界、あるいは温度の高低自体が耐忍領域を超えたためと考えられるが、詳細は明らかでなかった。各発生段階への到達時間は、水温が高くなるほど短くなる傾向を示し、その時間差は発生の進行とともに増大した (Table 1-7, Fig. 1-11)。これらの傾向は、ヒラメ⁵¹⁾、キジハタ⁵²⁾、クロマグロ⁵³⁾、スズキ *Lateolabrax japonicus*⁵⁴⁾ およびオニオコゼ⁵⁵⁾ など多くの魚種で知られている現象であり、本種でも同様な結果となった。また、水温と発生速度との関係は、20℃付近を変曲点として変化率が異なり (Fig. 1-12)、この温度を超えるとふ化を含む各発生段階までの到達時間は一定の比率で短縮されないことが分かった。このような境界温度の存在は他魚種でも報告されており、変曲点の前後で卵内の酵素あるいは触媒反応系に質的な変化が生じるためと考えられている⁵¹⁾。境界温度を境に、温度恒数 μ および α や Q_{10} 値は高温側より低温側で高く、低温側の方が温度の影響を大きく受けることが知られている⁵⁴⁻⁵⁶⁾、コウライアカシタビラメでも同様であった。

13～24℃の範囲における本種の温度恒数 μ と α および Q_{10} 値はそれぞれ18,664, 0.113, 3.10であり (Table 1-8)、これよりやや高水温で行ったキジハタ ($\mu = 12,950$, $\alpha = 0.073$, $Q_{10} = 2.08$, 20～28℃)⁵²⁾、オニオコゼ ($\mu = 12,077$, $\alpha = 0.068$, $Q_{10} = 2.27$, 18～30℃)⁵⁵⁾、アカハタ *Epinephelus fasciatus* ($\mu = 14,977$, $\alpha = 0.087$, $Q_{10} = 2.32$, 18～32℃)⁵⁶⁾ より高いが、本種とほぼ同水温のマダイ ($\mu = 20,400$, $\alpha = 0.115$, 12～20℃)⁵⁰⁾、ヒラメ ($\mu = 27,700$, 12～20℃)⁵¹⁾ およびスズキ ($\mu = 24,200$, $Q_{10} = 4.3$, 10～20℃)⁵⁴⁾ に比べて低く、コウライアカシタビラメ卵の発生速度はマダ

イ、ヒラメ、スズキよりも水温の影響を受けにくいと考えられた。

魚卵のふ化と水温の関係には、低温側と高温側に限界水温が存在する³⁵⁾。本研究でコウライアカシタビラメのふ化限界水温は、50%の正常ふ化率を基準とすると、低温側が12～13℃、高温側が22℃付近で、その範囲は約10℃であることが判明した。これらはヒラメの限界水温11.2～20.6℃、温度範囲9.4℃とほぼ同値であった。水温と正常ふ化率との関係は17℃または15℃を最大値として低温側と高温側で低下傾向が認められたことから (Fig. 1-14b)、ふ化最適水温は15～17℃付近にあるものと考えられた。今回、15℃および17℃で得られた85%以上の正常ふ化率は、ヒラメの77.9%⁵⁷⁾、オニオコゼの88.6%⁵⁸⁾等、量産事業化されている海産魚と同程度で、健全な仔魚を効率的に得ることを目的とした種苗生産のふ化管理として十分な結果であった。本種の最適水温は同じ春産卵のマダイの17℃⁵⁰⁾、ヒラメ⁵¹⁾と秋産卵のスズキ⁵⁴⁾の15℃など同水温帯で分離浮性卵を産出する魚種とほぼ一致した。

一方、今回24℃では1回目のふ化率が95%以上であったものの、2回目は15.2%と低く、大差が生じた (Fig. 1-14a)。浮上卵率、卵径、ふ化率等を指標とする卵質は採卵日によって異なり (第1章2節)、正常ふ化率における両回の差からも2回目の卵質がやや劣っていた可能性が考えられる。このことから、ふ化限界レベル付近の条件下では、卵質や卵の取り扱い等の僅かな違いが、ふ化率に大きな影響を及ぼす可能性が示唆された。

岩井・柏木³⁵⁾は、ふ化最適水温が概ね産卵水温と一致するとし、スズキ⁵⁴⁾、アカハタ⁵⁶⁾、オニオコゼ⁵⁵⁾などでも同様の結果が報告されている。岡山県におけるコウライアカシタビラメ養成親魚の自然産卵は、4月下旬から6月上旬 (13.7～19.9℃) に認められ、盛期の水温は15～17℃であり (第1章2節)、本種においてもふ化最適水温は産卵盛期の水温と一致した。

魚類の卵質の評価指標のうち、本種において有効な浮上卵率、卵径およびSAIは、産卵開始からの経過日数や産卵水温との間に負の相関関係が認められる (第1章1, 2節)。これら卵質傾向に今回の結果を合わせると、良質な仔魚を効率的に得るには、産卵前期から中期まで、水温14～17℃における産出卵を発生的好適条件である15～17℃で卵管理してふ化させることが重要であるといえる。

第2章 仔稚魚の成長、発育、生残

魚類の仔稚魚飼育において、健全な種苗を高生残で育成することは最も重要な課題である。仔魚期は内部栄養から外部栄養へのエネルギー転換、変態による形態構造の変化、遊泳生活から底生生活への移行など様々な生理・生態的变化が生じるため、特に減耗や発育異常を生じやすい。そのため各魚種の特性に応じた仔魚環境の調整が飼育の成否を決定するといわれ、効率的かつ安定した種苗生産を行うためには、仔稚魚の飼育環境に関する知見の収集が不可欠である。一方、コウライアカシタビラムの仔稚魚飼育においては、初期の大量減耗や形態異常が課題としてあげられているため^{15,17)}、これらの原因究明と対策の検討が必要である。

本章では、本種仔稚魚の成長、発育、生残、形態異常と環境要因との関係を飼育試験により調査し、仔稚魚期の生理・生態特性を明らかにすることを目的とした。

第1節 仔稚魚の成長、発育、生残と水温との関係

仔稚魚の成長、発育および変態は水温と密接に関連していることが、ヒラメやカレイ科魚類で明らかにされているが⁵⁹⁻⁶¹⁾、ウシノシタ類の報告は見当たらない。そこで本節では、コウライアカシタビラムの成長、生残、変態および形態異常の発現と水温との関係を明らかにすることで飼育適水温について検討した。

材料と方法

供試卵と試験区の設定 供試したコウライアカシタビラム卵は、瀬戸内市牛窓町地先で漁獲された天然親魚を養成して得られた自然産出卵である(第1章2節)。試験は2012年5月6日(試験1)と5月18日(試験2)に得られた受精卵を用いて2回実施した。ふ化予定日の前日までの過海水の流水水槽内のふ化ネット(ゴース地、φ60×60cm)で受精卵を管理した後、200L円形ポリカーボネート水槽に3,000粒ずつ収容した。同時に供試卵100粒をろ過海水とともに1Lのポリ瓶2個へ収容後、卵管理水温と同温度のインキュベータ内に設置し、翌日にふ化仔魚と死卵を計数して飼育試験区のふ化率として用いた。

飼育環境下での本種の産卵水温が14~20℃であることを考慮して(第1章2節)、ふ化後、14、17、20℃および自然水温とする4試験区を設けた(Table 2-1)。ふ化から仔魚が開口するふ化後4日目(以後、仔魚のふ化後*n*日目を日齢*n*とする)までの間に、飼育水槽を収容したウォーターバスをヒーター(チタン投込みヒーター1

kW、日東機材)とチラー(エネエース、山一製作所)により0.5~1.0℃/日ずつ加温または冷却して各水温に設定した。なお、産卵水温は試験1が15.2℃、試験2が16.2℃であった。

飼育方法 卵の収容から各水槽内の全ての稚魚が着底するまでを試験期間とした。紫外線殺菌海水を飼育水として使用し、卵の収容時から日齢9まで1回転/日、日齢10から19までは1.5回転/日、日齢20以降は2回転/日の換水率とした。水槽中央に1個のエアストーン(KA-20R、19×19×150mm、三井研鑽砥石)を配置して通気した。

飼育水には日齢4から高度不飽和脂肪酸が強化された淡水産濃縮クロレラ(スーパー生クロレラV12、クロレラ工業)2mLを海水で約10倍に希釈して1日2回添加した。水槽上部に設置した水銀灯(マルチハロゲン灯L、パナソニック)と蛍光灯(蛍光白色ランプ、NEC)により飼育水面直上で600~2,000luxとなるよう調光した。照明は、開口直後の日齢4から10までの間は24時間、日齢11から15までは20時間(8時から4時まで)、日齢16以降は18時間(8時から2時まで)点灯した。

シオミズツボワムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex S型(携卵個体サイズで170~230μm、以下、ワムシとする)を初期餌料とし、日齢4以降に飼育水中の密度が15個体/mLとなるよう1日1回給餌した。変態期の仔魚が出現する日齢18以降には、アルテミア *Artemia* sp. 幼生(米国ユタ州ソルトレイク産)を0.1~0.5個体/mLになるよう1日2回給餌した。なお、ワムシはスーパー生クロレラV12で給餌前に2時間栄養強化した。午前中に給餌するアルテミアはDHA藻類(ハイパーグリーン、日清マリンテック)で、午後には給餌するアルテミアはすじこ油(すじこ乳化油、日清マリンテック)でそれぞれ2時間栄養強化した。底掃除を行わず、開口から取上げまで沈降性貝化石(フィッシュグリーン、グリーンカルチャー)3gを200mLの海水に溶き、1日2回添加した。

仔稚魚の成長、生残および形態異常の調査 日齢20まで5日毎に直径40mmの塩化ビニール製パイプを用いて水槽内4定点より柱状サンプリングを行い、容積法により浮遊期の生残尾数を推定した。同時に仔魚20~30尾をm-アミノ安息香酸エチルメタンホネートで麻酔後に万能投影機で20倍に拡大し、全長をデジタルノギスで測定した。

各水槽底面への着底初認日齢から全ての浮遊魚が着底を完了するまでの期間、2日毎に着底した稚魚をサイフォンで吸い出して取上げた。回収した稚魚を2日間の着底魚として計数し、仔魚と同様の方法で原則として各回

収日につき20尾の全長を測定した。試験期間中の着底稚魚数を総計して各水槽の取上げ尾数とし、生残率（着底稚魚数/ふ化仔魚数×100, %）を算出した。

形態異常の調査方法は第2章3節に従い、全長測定した稚魚を5%ホルマリンに浸漬後、75%エタノールで置換・保存し、実体顕微鏡下で外観に異常を呈す個体と正常個体に分別して、正常個体率（正常個体/観察数×100, %）を算出した。

統計処理 仔稚魚の全長の比較には、一元配置の分散分析を用いて有意差を検定し、有意差が認められた場合には Scheffe の方法を用いて多重比較を行った。稚魚の生残率と正常個体率の比較には Bonferroni の方法で χ^2 検定、着底日齢の比較には Mann-Whitney の U 検定によりそれぞれ多重比較した。稚魚の全長については、取り上げ時の回収漏れにより大型化した着底魚を除くため、Smirnov-Grubbs 検定により外れ値を除外した。各検定とも有意水準を5%とした。

結 果

水温経過 ふ化時の水温は、試験1が16.5℃、試験2が17.3℃であった。各試験区の実測水温（平均値±標準偏差）は、14℃区が試験1、2それぞれ14.2±0.3℃と14.4±0.2℃、17℃区が17.0±0.2℃と17.2±0.2℃、20℃区が19.7±0.3℃と20.0±0.2℃、自然水温区が19.6±2.0℃と20.7±1.6℃であった。昇温期の試験であったため、自然水温区は試験1でふ化から日齢40まで0.13℃/日、試験2では日齢30まで0.15℃/日のペースで21.8℃まで上昇し、それぞれ日齢27と16には20℃を越えた。両試験区とも試験終了前の日齢50前後までには23℃台に達することもあった。自然水温区では、日齢30日までの試験1と2の同日齢で水温の差が1～2℃生じた（Fig. 2-1）。

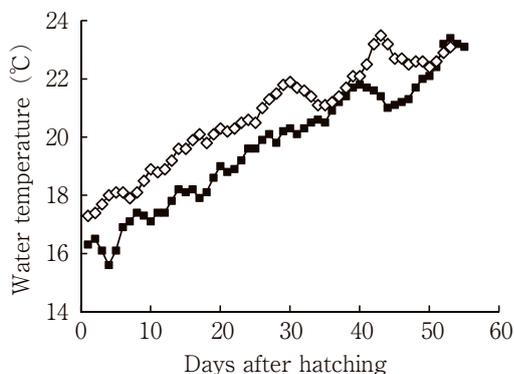


Fig. 2-1 Changes in natural water temperature during the experimental period. ■: experiment 1, ◇: experiment 2.

仔魚の成長、生残 各試験区における仔魚の全長推移を Fig. 2-2 に示した。平均全長は、試験1の日齢10には14℃区が他区より有意に小さく ($p < 0.05$)、他3区はほぼ同様の値で日齢15まで推移したが、日齢20には20℃区が8.4mmに成長し、7mm台の他区と有意差が生じた ($p < 0.05$)。試験2では日齢10から15までは14℃ < 自然水温 = 17℃ < 20℃区の順で推移し、特に14℃区は日齢20でも6.0mmと成長が停滞し、8mmを越えた他区より有意に小さく ($p < 0.05$)、成長差が広がった。全般に水温が高いほど成長が速かった。

各試験区における仔魚の生残率の推移を Fig. 2-3 に示した。試験1では日齢10の生残率は全ての区で80%以上と高かったが、その後日齢15にかけて低下した。特に20℃区が低めで推移して、日齢20には20%以下となった。試験2では当初から生残率が徐々に低下し、14℃区以外は日齢20で20%前後となった。14℃区では設定水温への冷却期間である日齢5までに35.5%に低下し、日齢20には0.3%となったため、試験を中止した。

稚魚の着底状況 着底を開始した日齢、および開始から完了までに要した日数は、試験1、2の平均で20℃区が日齢22と23日、自然水温区が日齢29と24日、17℃区が日齢33と31日、14℃区が日齢59と28日の順で、水温が低

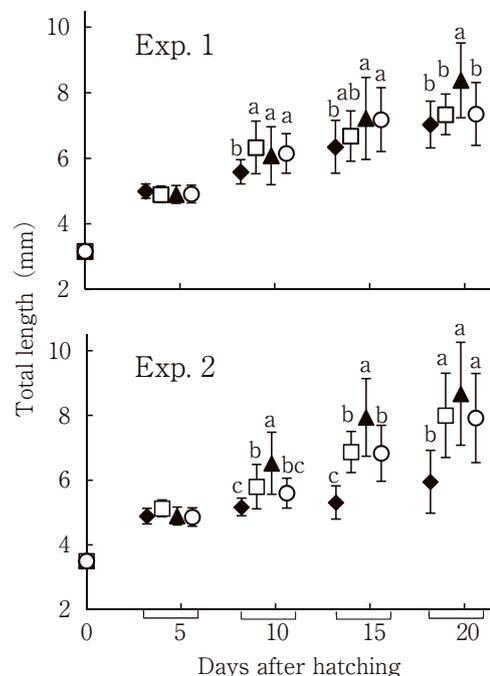


Fig. 2-2 The mean total length of *C. abbreviatus* larvae cultivated in different water temperatures. ◆:14℃, □:17℃, ▲:20℃, ○:natural temperature. Error bars are standard deviations. Different letters show significant differences among fish cultivated at different temperatures ($p < 0.05$).

いほど着底を開始した日齢は遅く、かつ着底を完了するまでの期間が長い傾向があった (Table 2-1)。

着底日齢の中央値の平均は、20℃区が27.5、自然水温区が37.5、17℃区が40.5、14℃区が69の順で、低い水温区

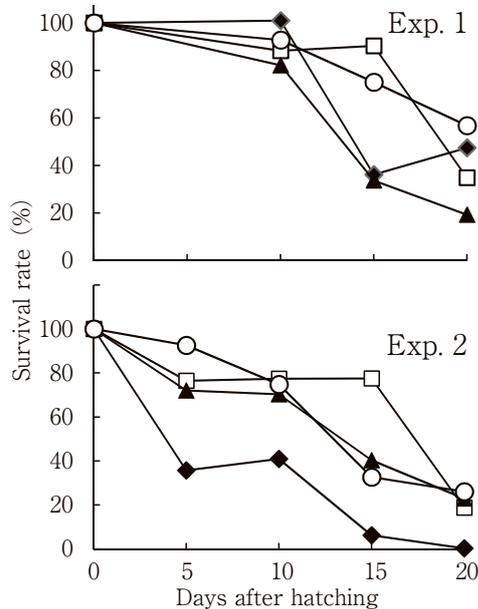


Fig. 2-3 The survival rate of *C. abbreviatus* larvae cultivated at different water temperatures. ◆: 14°C, □: 17°C, ▲: 20°C, ○: natural temperature.

ほど有意に大きかった ($p < 0.05$)。最短の20℃区の着底日齢中央値と比較すると17℃区は約1.5倍、14℃区は2.5倍を要した。着底日齢の中央値は、全区で開始から1/5～2/5の期間内に存在し、着底数は期間の前半に集中していた (Fig. 2-4 A)。

試験1の生残率は14℃区が0.3%と他区より有意に低かったものの ($p < 0.05$)、他3区は13.0～15.0%でほぼ同じ値であった。試験2では14℃区が0、自然水温区が8.5%、17℃区が16.7%、20℃区が25.5%で、水温が高いほど生残率は有意に高かった ($p < 0.05$)。試験1の17と20℃区間で統計的な有意差はなかったものの、自然水温区を除けば、全般に水温が高いほど生残率が高い傾向が認められた (Fig. 2-4 B, Table 2-1)。

取上げ時の平均全長は、試験1では自然水温区が12.6mm、20℃区が12.7mm、14℃区が13.0mm、17℃区が13.7mmの順で、17℃区は自然水温区と20℃区より有意に大きかった ($p < 0.05$)。試験2の平均全長は、13.0～13.3mmの範囲で、試験区間の有意差はみられなかった。試験1、2ともに、水温と着底全長には一定の傾向が認められなかった (Table 2-1)。

稚魚の正常個体率 形態異常は全試験区で眼位など頭部周辺と体色にみられた (Fig. 2-5)。試験1と2を比較すると、正常個体率はそれぞれ13.8～59.9%、50.0～

Table 2-1 Results of the rearing experiments for *C. abbreviatus* larvae, indicating settlement age, total length, survival rate, and rate of normal development at different temperatures

Expt.	Target temperature (°C)	Initial		Final			
		Number of eggs/tank	Hatching rate (%)	Settlement age* ¹ (range, days)	Total length* ² (mm)	Survival rate* ³ (%)	Rate of normal development* ⁴ (%)
1	14	3,000	100	59-87	13.0 ± 0.9 ^{ab} (10) ^{*5}	0.3	30.0 (10) ^{*5}
	17	〃	〃	33-63	13.7 ± 1.0 ^a (194)	13.4	59.9 (211)
	20	〃	〃	22-47	12.7 ± 0.5 ^b (227)	15.0	25.5 (237)
	Natural temp. (15.6-23.4)	〃	〃	31-55	12.6 ± 0.7 ^b (207)	13.0	13.8 (222)
2	14	3,000	99.6	-	-	0	-
	17	〃	〃	32-64	13.3 ± 0.9 (233)	16.7	77.4 (271)
	20	〃	〃	22-42	13.3 ± 0.4 (201)	25.5	68.0 (238)
	Natural temp. (17.3-23.5)	〃	〃	26-50	13.0 ± 0.9 (182)	8.6	50.0 (197)

*¹ Day from hatching to settlement.

*² Total length of fish at settlement (Mean ± standard deviation).

Different letters show significant differences among groups each experiment ($p < 0.05$).

*³ Survival rate = (number of harvested juveniles at settlement age) ÷ (initial number of larvae) × 100.

*⁴ Rate of normal development = (number of fish that developed normally) ÷ (number of sampled juveniles) × 100.

*⁵ Number of sampled juveniles.

77.4%と試験1でより多くの形態異常魚が出現した。試験区間の比較では、試験1でデータ不足の14℃区を除き、自然水温 < 20℃ < 17℃区の順で正常個体率に有意差が確認された ($p < 0.05$)。試験2でも自然水温 < 20℃ ≒ 17℃区の順で試験1とほぼ同傾向となり、17℃と20℃区の正常個体率は自然水温区よりも有意に高かった ($p < 0.05$, Fig. 2-6, Table 2-1)。

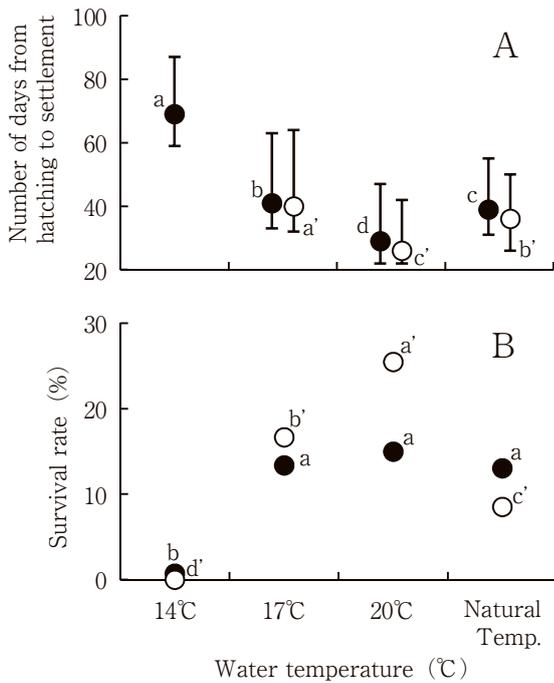


Fig. 2-4 Relationship between (A) rearing temperature and the number of days (expressed as the median) from hatching to settlement and (B) temperature and survival rate of *C. abbreviatus* juveniles. ●: experiment 1, ○: experiment 2. Survival rate was calculated as the (number of harvested juveniles/initial number of larvae) × 100. Vertical bars indicate the range. Different letters indicate significant differences among groups ($p < 0.05$).

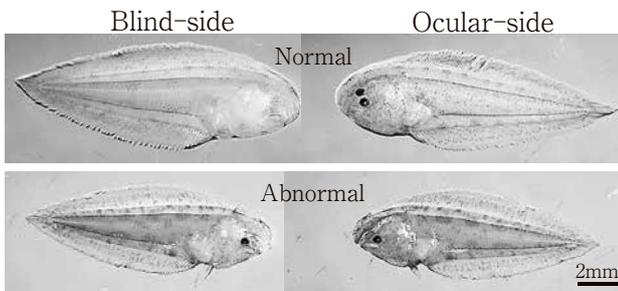


Fig. 2-5 Photographs showing normal and abnormal hatchery-reared, *C. abbreviatus* juveniles. The abnormal individual shown has an abnormal eye position and differences in body coloration.

考 察

水温と成長, 生残および変態との関係 仔稚魚の成長, 発育は, 水温に強く影響を受けることが知られている。多くの魚種では高水温下で摂餌活性が高まることでタンパク質合成が進み, 成長や発育の進行が速まることが明らかにされ⁶²⁻⁶⁴⁾, カレイ目魚類でもヒラメ⁵⁹⁾やマコガレイ *Pleuronectes yokohamae*⁶⁰⁾, マガレイ⁶⁵⁾等のカレイ科魚類と同様の報告がなされている。今回, コウライアカシタヒラメ仔魚について, 産卵水温の14~20℃の範囲で水温別の飼育試験を行った結果, 本種においても20℃で成長が促進, 14℃で遅滞することが確認された(Fig. 2-2)。

稚魚までの生残率も高水温ほど高く, 20℃で最高の20%前後であったのに対し, 14℃では試験2で中止を余儀なくされるなど低水温下で飼育が困難であった(Fig. 2-4 B)。ただし, 徐々に昇温した自然水温区では着底日齢は17℃区よりも早かったものの, 平均生残率は17℃区よりも約5ポイント低く, 日齢16で20℃を越えた試験2でこの傾向が顕著であったことから, 変態を開始する日齢20から着底までの飼育後期における20℃以上の水温は, 仔稚魚の生残に負の影響を与える可能性がある。これらのことから, 産卵水温の上限の水温帯は仔魚の成長とそれに続く稚魚への変態と着底を促すが, それ以上は生残率を下げることが示唆され, 本種仔稚魚の成長, 生残に適した飼育水温は, 20℃付近と考えられた。

水温の違いによる仔魚の成長と発育速度の差は稚魚へ

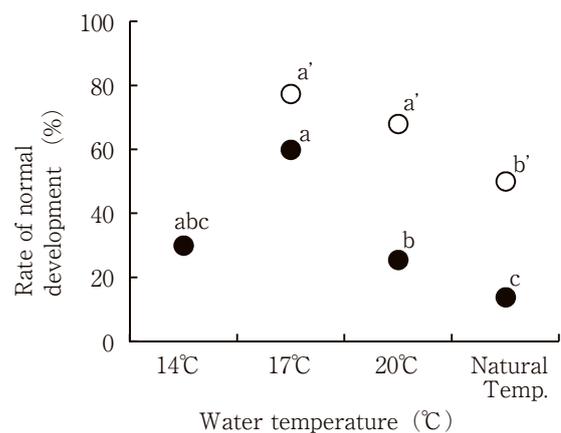


Fig. 2-6 Relationship between rearing temperature and the percentage of *C. abbreviatus* that developed normally. ●: experiment 1, ○: experiment 2. The percentage of fish that developed normally was calculated as (number of fish that developed normally/total number of fish) × 100. Different letters indicate significant differences among groups ($p < 0.05$).

の変態にも影響し、水温が高いほど浮遊期間は短縮されることがヒラメ⁵⁹⁾、マコガレイ⁶⁰⁾、ホシガレイ⁶⁶⁾、マツカワ⁶³⁾等の飼育実験で明らかにされている。さらに、ヒラメ^{59,67)}、マコガレイ⁶⁰⁾、ホシガレイ⁶⁶⁾の着底サイズは、高水温ほど小型化しており、このような現象は、高水温下で成長より発育にエネルギーが優先して振り分けられる結果ではないかと推察されている⁶⁸⁾。

本種においても着底日齢の中央値は、低い水温区ほど有意に大きく、14℃区で69であったのに対し、20℃区では27.5と1/2以下に短縮されるなど、水温が高いほど稚魚への変態は速かった (Fig. 2-4 A)。サイズの変異については、一定の傾向が認められなかったものの、試験1では17℃区の着底全長が自然水温や20℃区より有意に大きく、高水温ほど小型化する現象が一部みられたことから (Table 2-1)、今後本種における水温と発育の関係を明らかにしたい。

水温と正常個体率との関係 形態異常に及ぼす飼育条件については、水温による強い影響が多くのカレイ科魚類で明らかにされている⁶¹⁾。これらによると、ほとんどの異体類で天然魚に近い成長や発育速度に近似する水温下で正常個体率が高まり、適水温から離れた極限水温ほど異常個体率が高まるとともに、その高低により変態後の形態が異なり、魚種特有のパターンが存在するという。ウシノシタ科でも、天然仔稚魚の成育水温が18~25℃と推察されるイヌノシタを27~29℃で飼育した結果、全個体が両面有色魚となり、この要因として高水温の影響が指摘されている¹⁴⁾。本種の水温別の正常個体率は、17℃を最高に低温および高温側で低い傾向が確認され (Fig. 2-6)、先に述べた他の異体類の知見とも概ね一致することから、17℃での飼育により形態異常の発現は軽減できる可能性が示唆された。

今回の飼育結果から、コウライアカシタピラメ仔魚の成長や変態を速め、稚魚の生残率と正常個体率を高める適水温は、17~20℃と推察された。ただし、冬から春の低水温期に産卵する複数種のカレイ科魚類⁶⁹⁾が、仔稚魚の成育海域より10℃前後高い飼育試験区において形態異常を軽減できた事例もあることから^{66,70)}、本種においても産卵水温より著しく高い水温で正常個体率が高まる可能性は否定できない。今後、25℃以上の高水温帯での試験を追加して、春から夏産卵のウシノシタ科魚類における水温と形態異常の関係を整理すべきであろう。

第2節 仔魚の成長、生残と日長、餌料密度との関係

本研究の予備試験では、小型水槽を用いた5回次の飼

育を実施し、コウライアカシタピラメ仔稚魚の特性に応じた飼育方法の検討と課題を整理した⁷¹⁾。その結果、初期の低生残の要因として、本種仔魚の遊泳が緩慢であることによる摂餌成功率の低さに起因する摂餌不良があげられた。

本節では、ハタ類⁷²⁻⁷⁴⁾やカワハギ *Stephanolepis cirrifer*⁷⁵⁾等で初期摂餌の促進効果が明らかにされている開口から一定期間の恒明と、ワムシの高密度給餌に関する飼育試験を行い、本種仔魚の成長、生残と日長およびワムシ密度との関係を検討した。

材料と方法

供試卵 2010年10月~12年3月に瀬戸内市牛窓町漁協の小型機船底びき網で漁獲されたコウライアカシタピラメ天然魚を数か月から1.5年間養成し、自然産卵によって得た卵を供試した。

日長試験 '11年5月に得られた受精卵を、ふ化予定日の前日までろ過海水の流水水槽で管理した後、200L円形ポリカーボネート水槽に1.4万粒/kLの密度で収容し、仔魚のふ化後16日目 (以下、仔魚のふ化後n日目を日齢nとする) まで飼育した。

試験区は、仔魚が開口して摂餌を開始する日齢5~16の間に日長を12時間とする区 (以下、12時間明期区とする) と、日齢5~10の間に恒明とし、その後12時間明期に戻す区 (以下、24時間明期区とする) の2区を設定した。試験区はそれぞれ2水槽を用いた。

ワムシ密度試験 '12年5月に得られた受精卵を用い、初期餌料とするワムシの飼育水中における密度を5, 10, 20, 30個体/mLとする4試験区を設定した。試験区には500L水槽をそれぞれ1水槽用い、前述の24時間明期区と同様の日長条件で日齢16まで仔魚を飼育した。

その他の飼育方法 飼育水は自然水温の紫外線殺菌海水を使用し、卵収容時から換水率1回転/日の流水とし、日齢10から1.5回転/日とした。通気は、水槽中央に1個のエアストーン (20×20×150mm) を配置して行った。飼育水には日齢4から淡水産濃縮クロレラ (スーパー生クロレラ V12, クロレラ工業) 2~5 mLを海水で約10倍に希釈して1日2回、水面から添加した。照度は水槽上部に設置した水銀灯と蛍光灯により飼育水面直上で600~2,000luxとなるよう調光した。

餌料はワムシのみとし、日齢5以降に1日1回給餌した。毎日10時頃、水槽内のワムシ密度を調べ、日長試験では飼育水中の密度が15個体/mLとなるよう、またワムシ密度試験では各区の設定条件に対する不足分を追加し

た。なお、ワムシは高度不飽和脂肪酸が強化された淡水産濃縮クロレラで栄養強化した。水槽内の底掃除は行わず、開口から取上げまで沈降性貝化石（フィッシュグリーン、グリーンカルチャー）3～5gを200mLの海水に溶いたあと1日2回添加した。

仔魚の成長、生残、摂餌調査 試験終了時に全数を取上げて計数し、生残率（取上げ尾数/ふ化仔魚数×100, %）を算出した。同時に各水槽につき60尾をm-アミノ安息香酸エチルメタンホネートで麻酔後に万能投影機で10倍に拡大し、全長をデジタルノギスで測定した。初期の摂餌状況を調査するため、日長試験は日齢5～10、ワムシ密度試験は日齢5～9において給餌から4時間後に各水槽より30尾の仔魚を採取し、顕微鏡下で消化管内のワムシ咀嚼器を計数して、摂餌個体率（ワムシを摂餌した仔魚数/観察尾数×100, %）を算出した。さらに仔魚30尾の消化管内ワムシ数を総計して、仔魚1尾当たりの平均ワムシ摂餌数（ワムシ数の総計/観察尾数, 個/尾）を求めた。

統計処理 日長試験における仔魚の全長と生残率の比較にはStudentのt検定を用いて有意差を検定した。ワムシ密度試験における仔魚の全長の比較には、一元配置の分散分析を用いて有意差を検定し、有意差が認められた場合にはTukeyの方法を用いて多重比較をした。また、生残率の比較にはBonferroniの方法でFisherの直接確率検定により多重比較をした。各検定とも有意水準を5%とした。

結 果

日長試験 期間中の水温は17.0～18.8℃、平均値は17.8℃で水槽間の差はほとんどなかった。

日齢4に過半数の仔魚が開口、日齢5には下顎が発達して可動する機能的開口を確認した。日長時間別のワムシ摂餌状況の推移をFig.2-7に示した。両試験区とも給餌初日の日齢5には摂餌個体率30%であったが、日齢6には12, 24時間明期区でそれぞれ57%と83%、日齢8には73%と97%に高まり、以後は両区とも80%を越え、ほぼ同率となった。日齢6～8における24時間明期区の摂餌個体率は、12時間区よりも有意に高かった($p < 0.05$)。仔魚1尾当たりの平均ワムシ摂餌数は、日齢5の1個/尾未満から成長とともに増加し、腸管の捻転がみられ始めた日齢8には両区とも10個/尾を超えた。摂餌調査期間中は、24時間明期区の摂餌数が12時間区より常に多かった。

試験終了時の全長と生残率をTable 2-2に示した。12

時間と24時間明期区で比較すると、全長はそれぞれ6.92±0.88mm（平均値±標準偏差）と7.15±0.86mmで統計的な有意差はみられないものの、後者の方がやや大きかった。生残率は20.5%, 43.1%と後者が前者の約2倍で有意に高かった($p < 0.05$)。

ワムシ密度試験 期間中の水温範囲は15.7～18.9℃、平均値は17.4℃で水槽間の差はほとんどなかった。

ワムシ密度別の摂餌状況の推移をFig.2-8に示した。日齢5の摂餌個体率は、ワムシ密度5個体/mL(7%)<10個体(17%)<30個体(43%)≒20個体区(47%)の順となり、30個体と20個体は5個体/mL区よりも有意に高かった($p < 0.05$)。日齢6では各区63～70%とほぼ同率とな

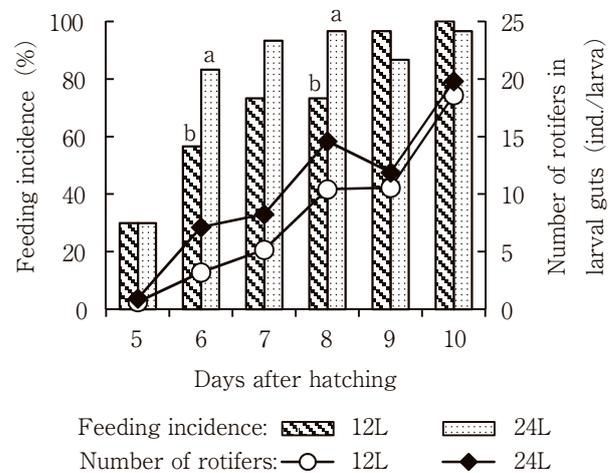


Fig. 2-7 Feeding incidence and the number of rotifers in the guts of *C. abbreviatus* larvae reared in 200 L tank under different photoperiods. Feeding incidence = number of larvae with rotifers in gut/total larvae × 100(%). Different letters indicate significant differences between two photoperiod groups ($p < 0.05$).

Table 2-2 Total length and survival rate for *C. abbreviatus* larvae under different photoperiods.

Photoperiod	Tank no.	Total length (Mean ± SD, mm)	Survival rate (%)
12L:12D	1	6.87 ± 0.80 ($n = 60$)	17.6
	2	6.96 ± 0.97 ($n = 60$)	23.4
	Mean	6.92 ± 0.88 ^a	20.5 ^b
24L:0D	1	7.05 ± 0.76 ($n = 60$)	38.8
	2	7.25 ± 0.94 ($n = 60$)	47.5
	Mean	7.15 ± 0.86 ^a	43.1 ^a

Different letters indicate significant differences between two photoperiods groups ($p < 0.05$).

り、日齢7以降は全区80%以上で安定して差はみられなかった。ワムシ摂餌数は、日齢5の0.3~1個/尾から徐々に増加して、日齢9に全区で15個体/尾以上となったが、この間、試験区間に一定の傾向はみられなかった。

ワムシ密度試験終了時の全長と生残率を Fig. 2-9 に示した。平均全長は、5個体/mL(6.25mm) < 10個体(6.87mm) < 30個体(7.61mm) ≒ 20個体区(7.83mm)の順で有意差がみられた ($p < 0.05$)。生残率は41~61%の範囲で、10個体/mL(41%)、5個体(45%)、20個体(58%)、30個体区(61%)の順で、統計的な有意差はみられなかったものの、高密度区で高い傾向があった。

考 察

多くの魚類仔稚魚は視覚による摂餌を行うため^{76,77)},

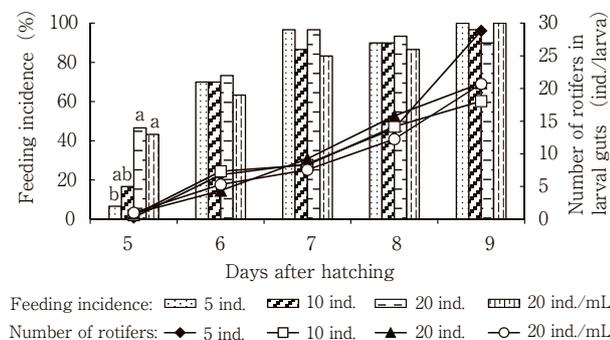


Fig. 2-8 Feeding incidence and the number of rotifers in the guts of *C. abbreviatus* larvae reared in each 500 L tank in different rotifer density conditions. Feeding incidence = number of larvae with rotifers in gut/total larvae $\times 100$ (%). Different letters indicate significant differences among groups ($p < 0.05$).

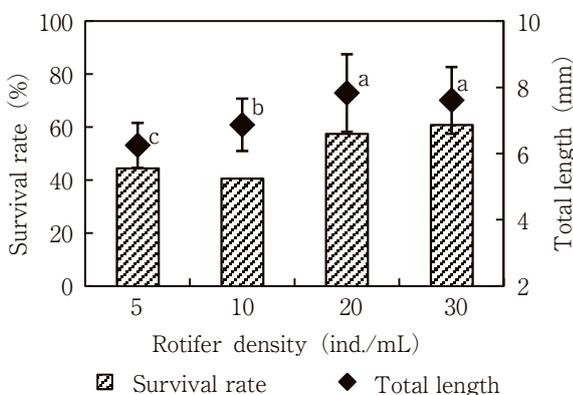


Fig. 2-9 Survival rate and mean total length of *C. abbreviatus* larvae reared in different rotifer densities. Error bars are standard deviations. Different letters show significant differences among groups ($p < 0.05$).

長日条件下では摂食時間が延長されて摂餌機会が増加し、成長や生残が改善されることが期待される⁷⁸⁾。キジハタ⁷²⁾、スジアラ *Plectropomus leopardus*⁷³⁾、マハタ *Epinephelus septemfasciatus*⁷⁴⁾等、初期摂餌の失敗による減耗が著しいハタ類の種苗生産では、給餌開始から一定期間の恒明で成果を上げている。今回、摂餌行動が緩慢な本種でも同様の効果を期待して開口から5日間の24時間照明を行ったところ、12時間明期区よりも成長、生残、摂餌に優れ、初期飼育の改善効果が認められた (Table 2-2)。一方、スジアラ⁷³⁾、マハタ⁷⁴⁾では、恒明の有効性を認めた上で、この継続が仔魚本来の朝夕2回の摂餌リズムを乱し、摂餌生態に変調を来すことが指摘され、それぞれ初期減耗が安定する日齢5と日齢8前後には終了すべきとしている。日長試験での日齢6~8の摂餌個体率は24時間明期区が高かったが、それ以降は明瞭な差が認められなかったため (Fig. 2-7)、本種における恒明条件の設定期間は日齢10前後までで十分と考えられた。その後、日齢10~16には12時間明期区と比較しても仔魚の不調や著しい減耗等は観察されなかったため、恒明による負の影響もなかったと判断した。日長条件について平田ら⁶⁴⁾は、カンパチ *Seriola dumerili* 仔魚では18時間明期の生残率が12時間や24時間明期区より高く、恒明でない長日のほうが適していると報告し、初期飼育に適した光周期が魚種により異なるのは明期における仔魚の活動(代謝)と摂餌によるエネルギー収支が異なるためと述べている。本種も長日が適している可能性もあり、今後は長日時間や期間設定に関する詳細な試験を行い、最適な長日条件を明らかにする必要がある。

生物餌料の密度は、多くの海産仔魚が5~10個体/mLのワムシ密度で種苗生産されている⁷⁹⁾。福澄ら¹⁷⁾は本種の初期飼育において、50個体/mLの高密度で摂餌個体率やワムシ摂餌数が高まったとし、クエ *Epinephelus bruneus*⁸⁰⁾では20~30個体/mL、遊泳力の乏しいアカハタ⁸¹⁾仔魚では30個体/mLの維持が初期減耗に有効とされていることから、今回は異なる餌料密度の飼育試験で特に高密度の効果を検討した。その結果、20、30個体/mLのワムシ密度区の生残率が5、10個体/mL区よりも高く、全長もワムシ密度が高い試験区ほど大きくなる傾向を示した (Fig. 2-9)。ワムシ密度試験における摂餌個体率は、給餌開始日の日齢5ではワムシ20、30個体/mL区が5、10個体/mL区より高かった (Fig. 2-8)。これは高密度の餌料が遊泳力の備わっていない前期仔魚にワムシとの遭遇頻度を高め、摂餌機会を増やした結果と考えられた。しかし、日齢6以降は摂餌個体率に明瞭な差

は認められなくなったことから、発育に伴い摂餌に関与する諸器官が発達し、低密度下においても積極的な摂餌行動が可能となるためと考えられる。これらのことから、高密度給餌の期間は摂餌個体率が80%を超えて安定する日齢7までで十分と考えられた。

第3節 人工種苗の形態異常

第1項 天然魚の左右不相称性

異体類にみられる左右不相称性は、脊椎動物における普遍的な内臓の左右不相称性に加えて、眼と色素細胞の配置に不相称性がみられるなど、動物界でもっとも顕著なものである⁸²⁾。異体類の人工種苗における異常性を判定するには、まず前段階として天然魚の左右性を正確に把握した上で、比較検討することが不可欠である。これまでヒラメ、カレイ科魚類の左右不相称性に関する調査例はあるが、ウシノシタ類の知見は乏しく、本種についての報告はない。本節では漁獲された標本の8形質に着目し、コウライアカシタピラメの左右不相称性を明らかにした。

材料と方法

観察に用いたコウライアカシタピラメは、2013年12月に岡山県牛窓海域で小型機船底びき網により漁獲された10尾と、'14年4月に広島県因島周辺海域で刺網により漁獲された14尾の合計24尾である。漁獲後、前者は -20°C の冷凍庫で保管し、後者は10%のホルマリンで固定した後、75%エタノールで保存した。検体は、全長、体長、頭長をデジタルノギスで測定した後、左右性の確認のため、眼位、体色、側線、鼻管、前上顎骨、歯骨、歯および鱗の8形質について、以下のとおり観察と測定を行った。

眼位は、垂直に固定した魚体を吻端方向からデジタルカメラで撮影し、左右軸をY軸として仔魚期の変態に伴う移動のない左体側眼球の頂点が基準となるようX軸を合わせて、原点と右体側眼球を通る直線とX軸がつくる角度を分度器で測定した (Fig. 2-10)。

体色は、両体側において本種特有の斑紋や色素が被覆している有色部分を体軸と平行に測定し、体長との相対比 (体色長比 = 有色部分長 / 体長 $\times 100$, %) を求めた。

側線は、両体側での有無と本数を確認するとともに体軸と平行に眼上側線とそれに続く中央側線長を測定し、体長との相対比 (側線長比 = 側線長 / 体長 $\times 100$, %) を求めた。

鼻管は、ウシノシタ類の両体側に2対存在する鼻孔¹¹⁾

について、ピンセットの先を使って管状の突起の有無を確認した。

前上顎骨、歯骨および歯は、頭部から摘出した前上顎骨と歯骨を2% KOHのアリザリンS溶液で染色して歯の有無を観察するとともに、前上顎骨長と歯骨長を測定し、頭長との相対比 (前上顎骨長比 = 前上顎骨長 / 頭長 $\times 100$, 歯骨長比 = 歯骨長 / 頭長 $\times 100$, %) を求めた。前上顎骨長比、歯骨長比における両体側間の比較には、ウェルチのt検定を用いて統計検定を行った。

鱗は両体側について、側線中央部、頭部および尾部の背鱗と臀鱗付近の5部位から数枚ずつ採取し、実体顕微鏡下で表面の棘の有無を観察し、円鱗若しくは楕鱗の判別を行った。

結 果

供試魚の全長は、牛窓産が $223.6 \pm 7.4\text{mm}$ (平均値 \pm 標準偏差)、因島産が $216.8 \pm 11.9\text{mm}$ であった。

眼 位 すべての個体で右体側の眼が左体側に移動し、同体側に2つの眼が存在した。移動した右体側眼球と左体側眼球との角度は $40\sim 57^{\circ}$ で、平均角度は $51.7 \pm 3.8^{\circ}$ であった (Table 2-3)。

体 色 左体側には全面に暗褐色の複雑なまだら状斑紋がみられた。右体側はどの個体も概ね体色が発現せず白色であったが、複数の個体で左体側とは異なる黒斑が主として尾部付近に散在した。これは異体類の無眼側に発現する二次黒化 (着色型)^{83,84)}と判断し、体色比測定の対象とはしなかった。

体色比は、すべての個体で左体側が100%、右体側は0であった (Table 2-3)。

側 線 側線は右体側には存在せず、左体側にのみ3

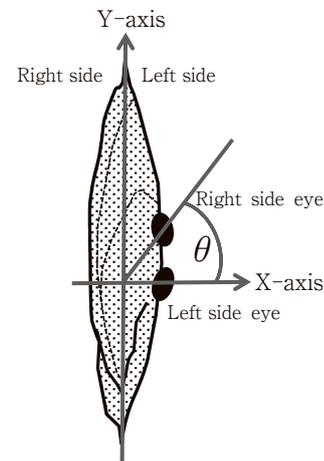


Fig. 2-10 Measurement of the angle of eye position (θ)

Table 2-3 Comparison of asymmetrical characters between both sides in wild *C. abbreviatus*

Characters	Method	Wild fish ($n = 24$)		Usefulness for left-right asymmetrical characters* ¹
		Left side	Right side	
Eye position	Angle of eye position (°)		$51.7 \pm 3.8^{*2}$	○
Body-coloration	Relative length of pigmented area (% body length)	100	0	○
Lateral line	Relative length of central lateral line (% body length)	99.2 ± 0.4	0	○
Nostril	Presence of nasal tube	Presence	Absence	○
Dentition	Presence of dentition	Absence	Presence	○
Premaxillary	Relative length of premaxillary length (% head length)	11.4 ± 0.6^b	16.8 ± 0.9^a	○
Dentary	Relative length of dentary (% head length)	16.5 ± 0.7^a	15.7 ± 0.8^b	×
Scale	Cycloid or ctenoid scales	Intermingle	Intermingle	×

*¹○:useful, ×:non useful.

*²Mean \pm standard deviation.

Different letters indicate significant differences between each side ($p < 0.01$).

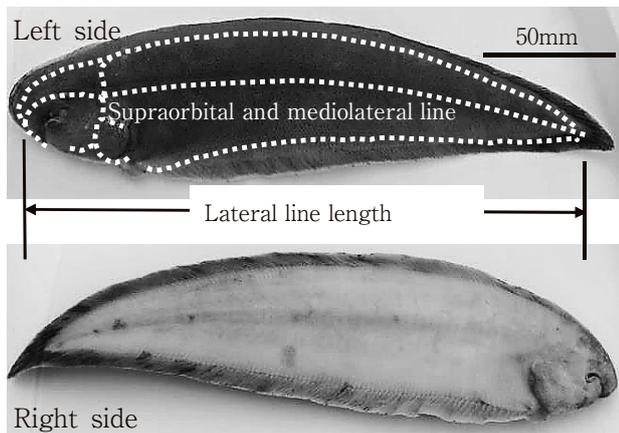


Fig. 2-11 Morphology of lateral lines on both sides of wild *C. abbreviatus*. White dotted lines indicate lateral lines.

本確認できた。その内、眼上側線は吻端やや後方から発し、引続いて中央側線が尾部末端まで達した (Fig. 2-11)。側線長比の平均値は左体側で $99.2 \pm 0.4\%$ 、右体側では0であった (Table 2-3)。

鼻管 すべての個体で左体側頭部の口唇上部に前鼻孔があって管状の鼻管を形成し、眼間に管のない後鼻孔を確認した。一方、右体側では口唇付近に鼻孔のみが縦方向に2か所並列し、鼻管は認められなかった (Fig. 2-12, Table 2-3)。

前上顎骨、歯骨および歯 左体側の前上顎骨および歯骨には歯が存在しなかったが、右体側には両顎に櫛状の歯が多数確認された。また、前上顎骨と歯骨の形状は両体側で明らかに異なっていた (Fig. 2-13)。前上顎骨長比の平均値は左体側 $11.4 \pm 0.6\%$ 、右体側は $16.8 \pm 0.9\%$ で、

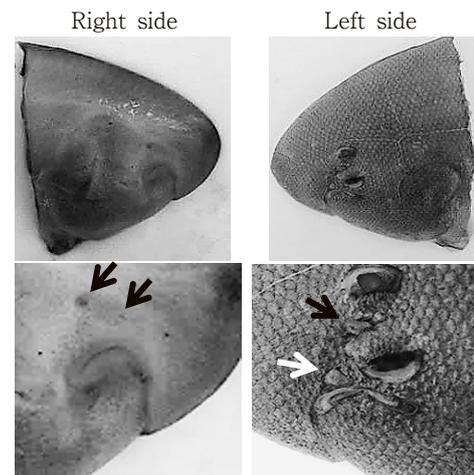


Fig. 2-12 Morphology of two nostrils on both sides of wild *C. abbreviatus*. White arrow indicate tubular nostril (with nasal tube), black arrows indicate simple nostril.

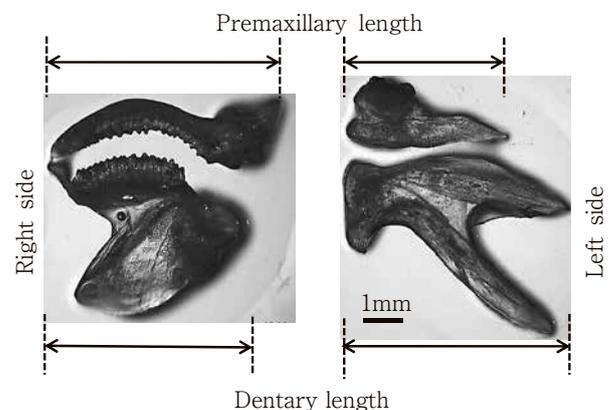


Fig. 2-13 Morphology of premaxillary (upper) and dentary (lower) on both sides of wild *C. abbreviatus*.

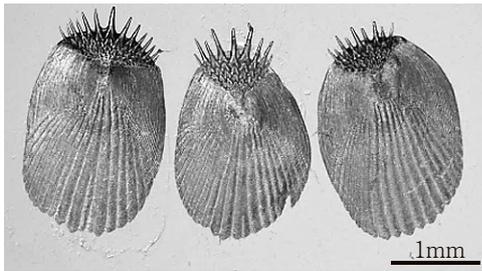


Fig. 2-14 Morphology of ctenoid scales of wild *C. abbreviatus*.

右体側が左体側の約1.5倍と明らかに大きく、有意差がみられた (Table 2-3, $p < 0.01$)。一方、歯骨長比は左体側が $16.5 \pm 0.7\%$ で右体側は $15.7 \pm 0.8\%$ となり、左体側が右体側より有意に大きかったが (Table 2-3, $p < 0.01$)、その差は僅かであった。

鱗 両体側ともに概ね小判形の櫛鱗で覆われていたが、一部で円鱗が存在していた。一方、鱗径、形、櫛鱗の棘の長さや本数、再生鱗の出現頻度等は左右の体側や部位により異なっていることを確認した (Fig. 2-14)。

考 察

異体類の眼は、両眼が左体側にある個体と右体側にある個体がほぼ同頻度で出現するボウズガレイ *Psettodes erumei* を除き、体の正中線を越えてどちらかの体側へ完全に移動する⁸³⁾。今回、コウライアカシタビラメの眼位を観察した結果、すべての個体が右体側の眼が左体側へ移動した左右不相称で、両眼のなす角度は 52° 前後となることが分かった。

眼位同様、体色の不相称性は異体類の大きな特徴であるが、本種の体色の不相称性も明瞭で、左体側にのみ色素が発現した。側線は体色の発現した左体側だけで確認でき、眼上側線と中央側線は吻端付近から尾部末端まで達していた。落合¹¹⁾はウシノシタ亜科の側線について、原則として左体側で発達し、右体側では認められないが、特定の種や個体変異により例外的な事例があることを報告しており、他のウシノシタ科魚類の不相称性については、今後検討の必要がある。

ウシノシタ類では他の硬骨魚類同様、両体側に2個ずつの鼻孔があるが、有眼側の前鼻孔は必ず鼻管状に先端を開く。また、鼻管は種によりその形状が多様で、ササウシノシタ *Heteromycteris japonica* では無眼側で肉質の花冠が発達するなど、不相称性が確認されている¹¹⁾。今回の観察において、本種は左体側の口唇上部の前鼻孔のみ鼻管が認められ、左右不相称であった。

異体類の左右不相称形質として両顎の形態や歯の有無

があげられているが⁸³⁾、本種に関する知見はこれまで報告されていない。前上顎骨と歯骨を両体側で比較したところ、前上顎骨は明らかに右体側が左体側より大きかった。一方、歯骨は形状に差異が認められるものの、その長さはほぼ同様であった。また両顎とも左体側に歯は無いが、右体側には存在した。カレイ科魚類の不相称形質として両顎骨や両顎歯が用いられているが⁶¹⁾、本研究の観察結果から、ウシノシタ類についても顎骨周辺の部位が有効な形質になる可能性が示唆された。

今回、コウライアカシタビラメでは、両体側の円鱗、櫛鱗に絶対的な分布差はなく、左右どちらからも両鱗が採取された。このことから、本種の左右不相称形質として鱗を使用することは困難と判断した。

本研究ではコウライアカシタビラメの左右性を確認する目的で、8形質の観察、測定を行った。その結果をTable 2-3に取りまとめた。これまで述べてきたように、眼位、体色、側線、両顎歯、前上顎骨、鼻管の6形質で左右不相称性が確認できた。一方、鱗では観察した部位において円鱗と櫛鱗の分布に左右性は認められなかったが、大きさや形、棘の発達程度等が両体側で異なっていた。ウシノシタ類では、種ごとに鱗の形態やその左右性に特徴のあることが報告されているが¹¹⁾、詳細な検討は行われていない。今後は知見が見当たらない本種の鱗について明らかにするとともに、イヌノシタやアカシタビラメ等、近縁種との比較も興味深い。また、歯骨は両体側の歯骨長差が僅かなため、相対比では左右不相称形質としての有効性が認められなかったが、その形状は左体側では細長く突起状なのに対して、右体側では丸く扇状と大きく異なっていた。異体類では、他にも頭部骨格や肩帯を始めとした骨格系、内臓、側線神経系、総排泄孔等で不相称性があり⁸³⁾、これらの部位に関する検討が今後の課題である。

第2項 人工種苗の形態異常の特徴

予備試験⁷¹⁾や第2章1節で行った飼育試験において、他の異体類と同様に頭部周辺や体色等の外部形態に異常を呈す種苗が散見され、コウライアカシタビラメ飼育の新たな課題となっている。

ヒラメ⁸⁵⁾や複数種のカレイ科魚類⁶¹⁾の形態異常については詳細が観察され、変態期に異体類が獲得する左右不相称の異常であることが示されている。しかし、ウシノシタ類ではこのような視点で検討されていないため、前節ではコウライアカシタビラメ天然魚における左右性を検討し、眼位をはじめとした6形質で不相称性を確認した。

本節では本種の形態異常について、人工種苗の左右不相称形質の観察により、その現象や発現部位を明らかにするとともに、ヒラメやカレイ科魚類の異常と比較することでウシノシタ類に発現する形態異常の特徴を検討した。

材料と方法

供試魚 供試魚は、2012年に岡山県農林水産総合センター水産研究所で受精卵から変態完了まで飼育したコウライアカシタピラメ人工種苗96尾を用いた。人工種苗は、自然水温のろ過海水を流水にした500L水槽内で、栄養強化したワムシ、アルテミア幼生を与えて、ふ化後25～50日間飼育した。飼育の詳細は第2章1、2節のとおりである。標本は10%ホルマリンに浸漬後、75%エタノールで置換・保存した。

測定と観察 人工種苗の測定と観察は、天然魚で左右不相称性が確認された形質のうち、変態後の稚魚期に形態が完成する眼位、体色の被覆状況、鼻管および顎歯の有無、前上顎骨長の5形質について、前述の天然魚と同様に行った(第2章3節1項)。ただし、顎歯および前上顎骨は、河村・細海⁸⁶⁾に従って検体をトリプシンで透明化した後、2% KOHのアリザリンS溶液で染色して歯の有無を観察するとともに、前上顎骨長を測定し左右の比(前上顎骨長左右比=右体側前上顎骨長/左体側前上顎骨長)を求める等、人工種苗用に改変を加えた。前上顎骨長左右比は、ウエルチのt検定を用いて眼位との関係に基づいた2グループ間の差異について統計検定を行った。また、右体側における体色の被覆状況、鼻管、顎歯の有無、前上顎骨長については、眼位との関連性を検討した。

なお、第2章3節1項で示した天然魚の測定データを比較対照群として用いた。

結 果

観察に供した人工種苗の全長は、 $20.6 \pm 8.0\text{mm}$ (平均値 \pm 標準偏差)であった。左右不相称形質の観察結果をTable 2-4に示した。

眼 位 観察した個体において、左体側眼球が右体側方向へ移動しているものは、確認されなかった。人工種苗の眼位角度は $107.4 \pm 49.9^\circ$ 、 $40 \sim 180^\circ$ (最小値 \sim 最大値)と天然魚($51.7 \pm 3.8^\circ$ 、 $40 \sim 57^\circ$)に比べて大きく、ばらつきが大きかった(Table 2-4)。また、人工種苗の眼位は、 $70 \sim 115^\circ$ を除く $40 \sim 180^\circ$ の範囲で連続的にみられ(Fig. 2-15a)、天然魚と同様の眼位を持つ個体($40 \sim 57^\circ$, Fig. 2-16d)、ほぼ両側の眼が動いていない個体($140 \sim 180^\circ$, Fig. 2-16a)並びにその中間に位置する個体($58 \sim 144^\circ$, Fig. 2-16b,c)が存在した。

体 色 人工種苗の左体側体色長比は天然魚と同様に100%であり、体色の欠損した個体は全く認められなかった。一方、右体側の体色長比は $53.5 \pm 41.6\%$ 、 $0 \sim 100\%$ と大きくばらついた(Table 2-4)。また、人工種苗の右体側の着色は、 $0 \sim 100\%$ の範囲で連続的にみられ(Fig. 2-15b)、天然魚と同様に全く色素が分布していない個体(Fig. 2-17a)、全て着色している個体(Fig. 2-17e)、並びに尾部から頭部に向かって徐々に体色の被覆部分が拡大している個体(Fig. 2-17b~d)の3タイプが確認できた。眼位と右体側における体色長比の関係をFig. 2-18aに示した。眼位 140° 以上の個体の体色長比は全て100%、 60° 以下の個体では天然魚と同様に0の個体が多かった。しかし、眼位 $60 \sim 140^\circ$ の個体では右体側の体色長比が $0 \sim 100\%$ の間でばらつきが大きく、この範囲において眼位と右体側体色長比の間には、一定の傾向は認められなかった。

鼻 管 人工種苗の鼻管は、左体側では全ての個体で

Table 2-4 Comparison of asymmetrical characters in wild and hatchery-reared *C. abbreviatus*

Characters	Method	Wild fish ($n = 24$)		Hatchery-reared fish ($n = 96$)	
		Left side	Right side	Left side	Right side
Eye position	Angle of eye position ($^\circ$)	$51.7 \pm 3.8(40-57)^{*1}$		$107.4 \pm 49.9(40-180)$	
Body coloration	Relative length of pigmented area (%BL)	100	0	100	$53.5 \pm 41.6 (0-100)$
Nostril	Presence of nasal tube	Presence	Absence	Presence	Intermingle (38.5) ^{*2}
Dentition	Presence of dentition	Absence	Presence	Absence	Intermingle (62.5)
Premaxillary	Right to left ratio of pramaxilla length	$1.48 \pm 0.07(1.35-1.58)$		$1.46 \pm 0.27(0.98-1.98)$	

*¹ Mean \pm standard deviation (range).

*² Incidence = number of presented individuals/total number of individuals $\times 100(\%)$.

天然魚と同様に存在したが、右体側でも38.5%の個体で鼻管が認められた (Fig. 2-19, Table 2-4)。このように人工種苗の右体側には鼻管の有る個体と無い個体が混在しており、概ね眼位145°以上の個体に鼻管が存在した (Fig. 2-18b)。

顎 歯 人工種苗の左体側には天然魚と同様に顎歯が存在しなかったものの、右体側には62.5%の個体に顎歯が確認された (Fig. 2-20, Table 2-4)。人工種苗の右体側には、顎歯の有る個体と無い個体が混在したが、眼

位145°以上の個体ではすべて顎歯が存在しなかった (Fig. 2-18c)。

前上顎骨長 人工種苗の前上顎骨長左右比は 1.46 ± 0.27 (0.98~1.96) と平均値は天然魚とほぼ同値であったが、ばらつきが大きかった (Table 2-4)。人工種苗の眼位と前上顎骨長左右比との関係を見ると、眼位145°を境に2つのグループに大別された (Fig. 2-18d)。眼位145°より大きいグループの前上顎骨長左右比は 1.15 ± 0.12 、小さいグループは 1.63 ± 0.14 となり、前者は後者に比べて有意に低く ($p < 0.01$)、左右差が小さかった。

考 察

コウライアカシタビラメ人工種苗の形態異常 ヒラメをはじめとした異体類の人工種苗では、体色が両側とも白くなる白化や、逆に黒くなる両面有色が高い頻度で出現し、大きな問題となってきた。そのため実態の把握について力が注がれ、特にカレイ科魚類では、マツカワ、ホシガレイ *V. variegatus*, ババガレイ *Microstomus achne*,

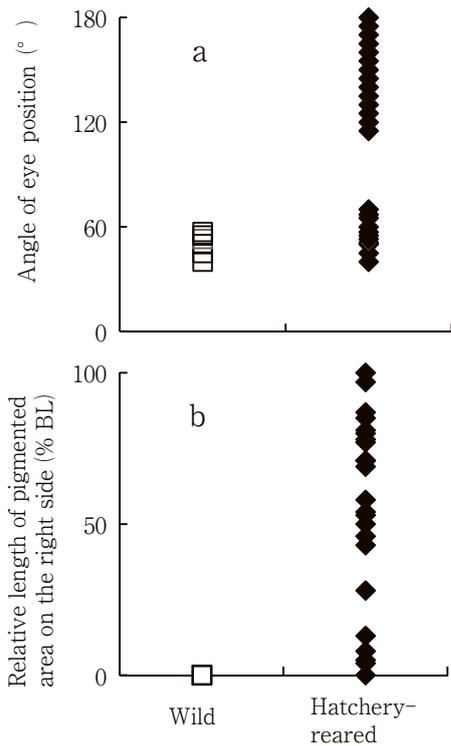


Fig. 2-15 Comparison of eye position (a) and body-coloration on the right side (b) in wild and hatchery-reared *C. abbreviatus*. □: wild fish ($n = 24$), ◆: hatchery-reared fish ($n = 96$). Relative length of pigmented area = length of pigmented area/body length $\times 100$ (%).

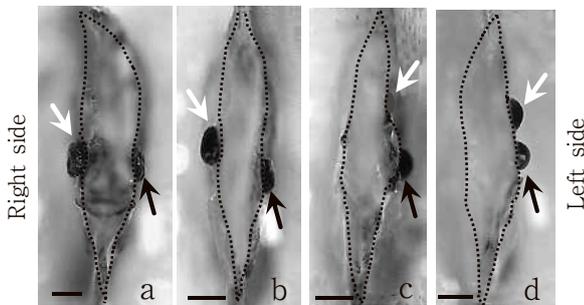


Fig. 2-16 Hatchery-reared *C. abbreviatus* with various eye positions. Angle of eye position (°): a: 160, b: 130, c: 67, and d: 45. White arrows indicate right side eye sphere, black arrows indicate left side eye sphere. Bars = 0.5mm.

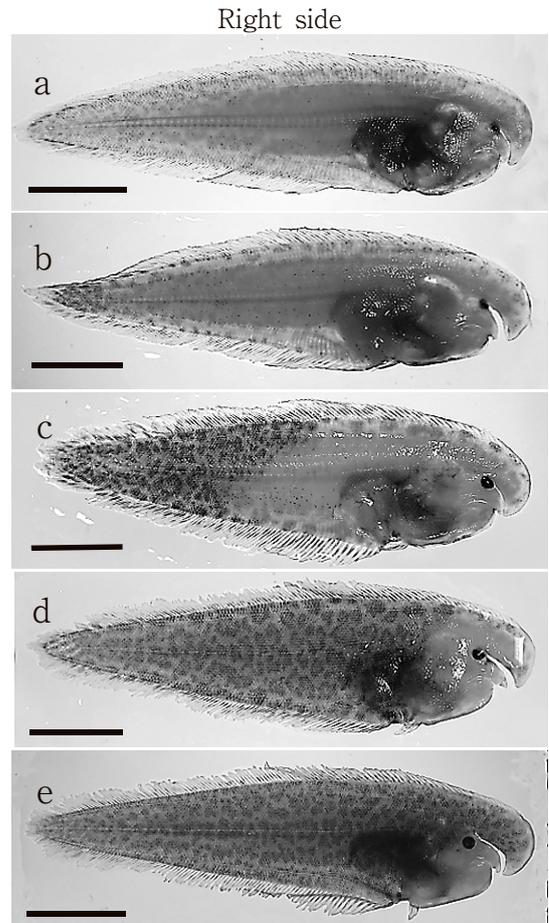


Fig. 2-17 Hatchery-reared *C. abbreviatus* various types of body coloration on the right side. Relative length of pigmented area (% BL); a: 0, b: 13, c: 53, d: 87, and e: 100. Bars = 5 mm.

イシガレイ *Platichthys bicoloratus*, ヌマガレイ *Pl. stellatus*, マガレイ, クロガシラガレイ *Ps. schrenki*, マコガレイの8種類について左右不相称との関係が検討された⁶¹⁾。

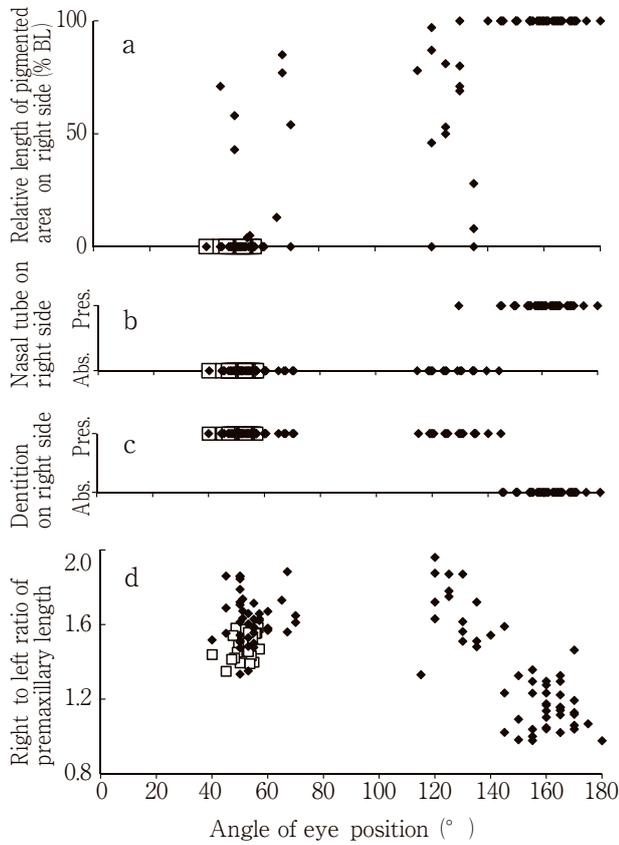


Fig. 2-18 Relationships between eye position and body coloration on the right side (a), nasal tube on the right side (b), dentition on the right side (c), and premaxillary length (d). □: wild fish, ◆: hatchery-reared fish.

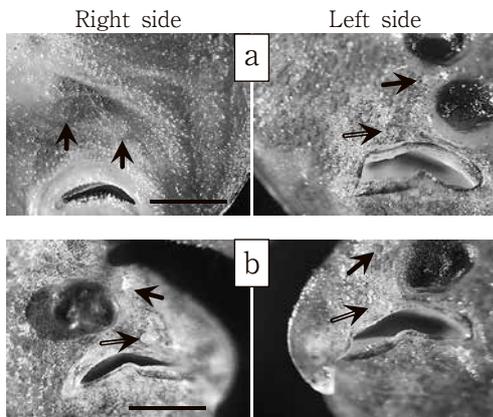


Fig. 2-19 Morphology of two nostrils on both sides of hatchery-reared *C. abbreviatus*. a: Normal fish with a nasal tube only on the left side, similar to wild fish, b: ambicolored fish with two nasal tubes on both sides. Bars = 1 mm. ←: tubular nostril (with nasal tube), ←: simple nostril.

その結果, 眼位や体色, 鱗, 歯などの左右不相称な形質が白化個体では両側ともに左体側, 両面有色個体では両側とも右体側へ変態している変態の異常であることが明らかとなった⁶¹⁾。これらの現象は, ヒラメやその他のカレイ科魚類でも確認され, 変態異常は異体類全般に発現する異常であると推察されている^{61, 87)}。

今回コウライアカシタビラメの人工種苗を用い, 天然魚で左右不相称の確認された5形質について観察, 測定した。これらの供試魚を両体側の黒色素と眼位に着目して区分すると, 天然魚と全く同様の個体 (正常個体), 両体側とも天然魚の左体側と同様の個体 (両面有色個体), およびそれらの中間的な個体 (中間個体) の3タイプに分類された (Fig. 2-21, Table 2-5)。正常個体で

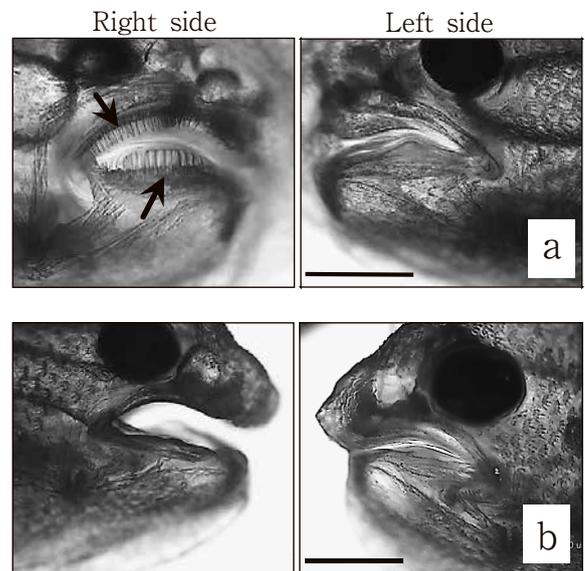


Fig. 2-20 Dentition of hatchery-reared *C. abbreviatus*. a: Intermediate type fish similar to wild fish, b: ambicolored fish. Arrow shows teeth. Bars = 1 mm.

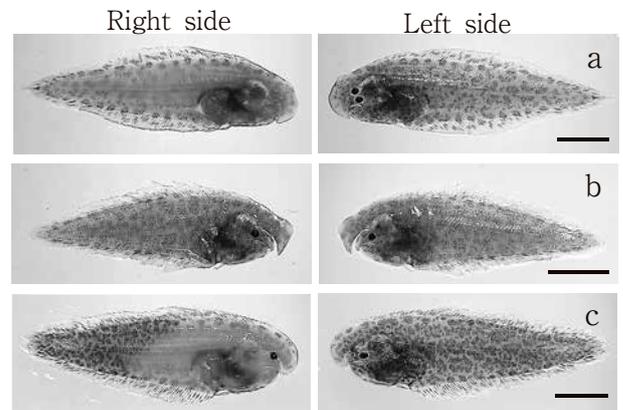


Fig. 2-21 Three morphological types of hatchery-reared *C. abbreviatus*. a: Normal, b: ambicolored, and c: intermediate. Bars = 5 mm.

Table 2-5 Asymmetric characters in the three morphological hatchery-reared *C. abbreviatus* types

Character	Normal type		Ambicolorate type		Intermediate type	
	Left side	Right side	Left side	Right side	Left side	Right side
Eye position	●	○	●	●	●	▲
Body coloration	●	○	●	●	●	▲
Nostrils	●	○	●	●	●	○
Dentition	●	○	●	●	●	○
Pramaxillary	●	○	●	●	●	○

●: Similar to left side of wild fish.

○: Similar to right side of wild fish.

▲: Intermediate between left and right side of wild fish.

は、両体側の5形質全てが天然魚と同様であった。しかし、両面有色個体では左右両体側とも天然魚の左体側と同様の形質を有し左右相称となっていた。さらに、これら両面有色化（右体側の左体側化）は概ね眼位145°以上で発現した（Fig. 2-18）。一方、中間個体では、眼位と体色の値は連続的で正常個体と両面有色個体の中間的な形態を示したものの、他の3形質、両顎歯と右体側鼻管並びに前上顎骨は左右不相称性であり、正常個体と同様の傾向が確認できた。

以上のことから、コウライアカシタビラメの人工種苗において、正常個体は天然魚と同様の変態を完了しているが、両面有色個体は両側とも天然魚の左体側へ変態していると考えられる。一方、中間個体は右体側の眼位と体色で右体側と左体側の中間的な形質が発現しており、正常な変態が完了していなかった。すなわち、本種の人工種苗に発現する形態異常は、変態異常であり、ウシノシタ類においても他の異体類同様の現象が生じていると考えられる。

コウライアカシタビラメ人工種苗に発現する変態異常の特徴 異体類の変態異常には左体側に体色が発現しない白化、眼が不動で右体側に体色が発現する両面有色、左右が逆になる逆位があり、ヒラメ⁸⁸⁾ではこのことが確認されてきた。しかし、今回の観察でコウライアカシタビラメの人工種苗には白化や逆位は1個体も認められず、これらが極めて発現しにくい可能性が示唆された。マガレイやホシガレイでは白化や両面有色の発現には魚種ごとの出現特性があり、それはそれぞれの初期発育の発達スピードと大きく関係することが示唆されている⁶¹⁾。また、人工種苗の逆位については、カレイ科魚類では多くの種で10~20%出現するのにヒラメではほとんどみられないなど、魚種によってその多寡に差がある

（有瀧 未発表データ）。コウライアカシタビラメの人工種苗に白化個体や逆位が認められなかったことに関しては、初期の発育スピードをコントロールし、どのような変態異常が発現するのか否かを含め、飼育例を重ね飼育条件下における本種の変態の健全性について検討する必要がある。

今回得られたサンプルを精査した結果、コウライアカシタビラメでは、天然魚の左右不相称が確認された5形質のうち、眼位と体色で正常個体と両面有色個体の中間的な値や状態が存在した。Norman⁸³⁾は異体類の形態異常を白化、両面有色、逆位の3タイプに分類し、詳細な検討を行っており、前2者については部分的発現や程度の差異を指摘している。得られたコウライアカシタビラメの異常2タイプは無眼側の有眼側化すなわち、Norman⁸³⁾の両面有色に区分され、中間型は両面有色が部分的に発現したととらえることができる。一方、上記8種類のカレイ科魚類の異常については、両側が左体側に変態する白化個体で、眼位の大きく異なる2つのタイプが示されている⁶¹⁾。このうちの一つは両側の左体側化がより進んだ眼位を、もう一方は、正常魚に近い眼位を有しており、後者は白化個体における中間的な形質と考えることもできる。これらのように、一部の變態異常では正常魚と両面有色および白化の中間的な形質が発現することが示唆されるものの、その詳細は明らかにされていない。今後、異体類の変態異常に関してさらに詳細な観察を行い、どのような魚種で中間個体が出現するのか、さらには中間的な形質の発現する部位の特性等を明らかにしていきたい。

眼と体色の左右性 先に述べたように、コウライアカシタビラメの人工種苗では、眼位と右体側の体色で正常個体と両面有色個体の中間形が存在する。一方、これら

中間個体においては、眼の移動と右体側の体色被覆が同期していない現象が確認できた (Fig. 2-18)。Tagawa and Aritaki⁸⁹⁾は、異体類の左右性は眼位と体色を同軸で動くものと仮定し、変態関連ホルモンの分泌とそれを受け取る受容体発現のタイミングにより、変態の正常性(変

態異常の発現)がコントロールされるという仮説を提示した。今回の結果から眼の移動と体色の被覆という2つの変態は別々に進行している可能性も考えられ、極めて興味深い。

第3章 種苗量産

安定した種苗生産を行うため、これまでコウライアカシタビラメの産卵生態や仔稚魚の生理・生態的な特性を明らかにした。第1章では良質卵の確保や健全なふ化仔魚を効率的に得るための親魚および卵管理条件、第2章では小型水槽による飼育試験により仔稚魚の飼育条件を検討してきた。その結果、養成した天然魚の自然産卵により、量産に十分な受精卵を得ることが可能となり、続く適正な水温調整をはじめとした卵管理や仔稚魚飼育により、健全な種苗を効率的に生産できることが分かった。しかしながら、数十万尾規模の量産事業化に当たっては、大型水槽を用いる必要があり、安定した生残率を得るための技術開発に加え、大量の卵や仔稚魚および飼育資材を扱うための効率性が求められるなど、新たな現象や課題が生じることが予想される。

本章では、前章までの知見に基づいた適正条件により40kL大型水槽を用いた種苗量産を試み、種苗生産技術の問題点を整理するとともに、今後の方向性について検討することを目的とした。

材料と方法

親魚養成と採卵 供試したコウライアカシタビラメ卵は、第1章2節に示した瀬戸内市牛窓町漁協の小型機船底びき網で漁獲された天然魚を養成した2親魚群からの自然産出卵を用いた。産出された卵は親魚水槽からオーバーフローした表層水とともに夕刻に設置したゴースネットで受け、翌日9~10時に浮上卵のみを回収した。種苗生産には2012年5月24~26日に得られた1,265千粒(24日:443千粒, 25日:334千粒, 26日:488千粒)を併せて用いた。すなわち3日間の浮上卵を採卵日ごと別々に1kL円形FRP水槽内でろ過海水を流水にしてふ化予定日の前日まで発生観察や死卵の除去等の管理を行った後、40kL長八角形コンクリート水槽(底面積48m², Fig. 3-1)へ順次に收容した。

仔魚期の飼育 飼育水は自然水温の紫外線殺菌海水を

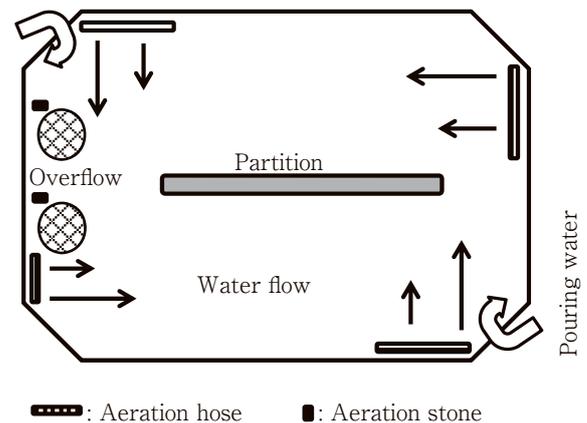


Fig. 3-1 Arrangement of the rearing materials in a large culture tank (40kL).

使用し、卵收容時から換水率1回転/日の流水とし、ふ化後10日目(ふ化日の異なる3仔魚群について日齢を統一することとし、以後、5月24日採卵の仔魚を基準にふ化後n日目を日齢nとする)から1.5回転/日、それ以降最大3.5回転/日まで徐々に高めた。通気はエア分散ホース(φ25mm×1m, ユニホース, ユニホース株式会社)を用いて水槽底の縁辺4か所から行い、通気によって発生する上昇流で飼育水を一定方向に回転させた。さらに排水口付近のよどみを解消するため2個のエアストーン(20×20×150mm)を配置した。卵收容から開口までの通気量は、受精卵やふ化仔魚が沈下しないようエア分散ホース1本当たり1.2~1.5L/分で、表面流速5~8cm/秒とやや強めにした。また、開口する日齢4~10には仔魚が定位して摂餌できるよう0.5~0.7L/分で流速3~5cm/秒に弱めた。日齢10以降は仔魚の遊泳能力に応じて極度のパッチを形成しないよう流速5~10cm/秒に強めた。

飼育水には給餌した生物餌料の飢餓を防止するため、日齢4~39に淡水産濃縮クロレラ(スーパー生クロレラV12, クロレラ工業)300mLを海水で約10倍に希釈して1日2回、水面から添加した。また、ふ化直後の仔魚が表層に蟄集して死亡する浮上死を防止するため、フィードオイル(理研ビタミン)3~5mLを1日1回、8時

に表層から滴下した。照度は水槽上部に設置した水銀灯と蛍光灯により飼育水面直上で600~2,000luxとなるよう調光した。日長時間は、開口直後の日齢4~10までの間は24時間連続照明として仔魚の初期摂餌を促進し、日齢11からは20時間、日齢16からは18時間、日齢30からは16時間、日齢38に14時間まで短縮した。

仔魚の口径から摂餌可能サイズを推定した尾田・水戸¹⁸⁾の報告に従い、初期餌料はS型ワムシとし、次にアルテミア幼生を給餌した。ワムシは日齢4~39に飼育水中の密度が15個体/mLとなるよう1日1回、給餌した。アルテミアは日齢21から日齢45まで、0.1~4個体/mLになるよう1日2回、給餌した。なお、ワムシは高密度連続培養装置(ワムシわくわく、クロレラ工業)で増殖させ、高度不飽和脂肪酸が強化された淡水産濃縮クロレラ(スーパー生クロレラV12、クロレラ工業)で2時間栄養強化した。午前給餌するアルテミアはふ化後18時間から市販の高度不飽和脂肪酸強化剤(ハイパーグリーン、日清マリンテック)で、午後給餌するアルテミアはふ化

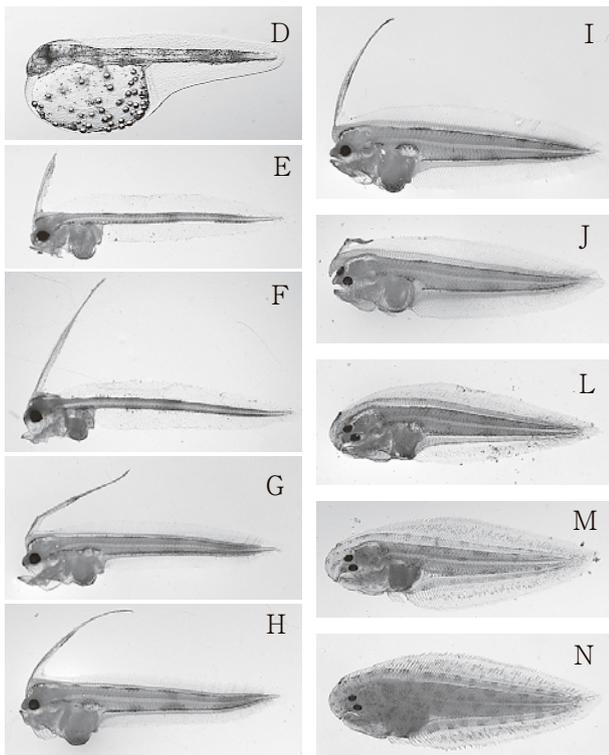


Fig. 3-2 Morphological development of hatchery-reared *C. abbreviatus* larvae and juveniles. Developmental stages were divided, following Fujita et al. 1986. D: newly hatched larva, 2.7mm TL; E: postlarva, 5.8mm TL; F: postlarva, 6.7mm TL; G: postlarva, 6.7mm TL; H: postlarva, 7.6mm TL; I: postlarva, 9.7mm TL; J: postlarva, 9.8mm TL; K: postlarva, 10.2mm TL; L: juvenile, 12.4mm TL; M: juvenile, 12.4mm TL; N: juvenile, 15.0mm TL.

直後から高度不飽和脂肪酸強化剤(すじこ乳化油、日清マリンテック)でそれぞれ2時間栄養強化した。

底掃除は行わず、飼育水や底質の改善を目的に開口から取上げまで、沈降性貝化石600gを4Lの海水に溶いて1日2回添加した。

生残尾数は、日齢20まで5日おきに直径50mmの塩化ビニール製パイプを用いて暗期に水槽内10定点より柱状サンプリングを行い、これらを併せて飼育水約25L中の仔魚を計数して容積法により推定した。同時に仔魚30尾をm-アミノ安息香酸エチルメタンスルホネートで麻酔後に万能投影機で20倍に拡大し、デジタルノギスで全長を計測した。これらの仔魚を5%ホルマリン溶液中に保存し、藤田・田北⁴⁸⁾に従って外部形態的特徴から發育段階を卵黄のう仔魚(ステージD)から稚魚(ステージM)までの10段階に区分した(Fig. 3-2)。飼育魚の全てがステージMに達した日齢45で取上げ、重量法により生残尾数を算出するとともに、稚魚60尾の全長を測定した。

稚魚期の飼育 種苗生産した稚魚の一部350尾を自然光の屋内1kL円形FRP水槽(実容量500L)に収容し、日齢135まで飼育して着底以降の成長と生残を調べた。飼育水は自然水温のろ過海水を用い、換水率10回/日の流水とした。一定方向の緩やかな水流となるよう、塩化ビニール製パイプの下部にエアストーンを取り付けたエアリフトを水槽壁面1か所に配置した。

餌料は、日齢45~60では10時と16時にアルテミアを、日齢61~105では8~14時に2時間間隔で配合飼料(おとひめヒラメC2、日清丸紅飼料)を、16時にアルテミアをそれぞれ与えた。日齢106~115はゼンマイ式自動給餌機(クロックワーク・フィーダー、フィリップ)で日中、配合飼料のみを連続給餌した。なお、午前給餌するアルテミアはふ化後12時間から高度不飽和脂肪酸強化剤(スーパーカプセルA-1パウダー、クロレラ工業)で8時間、午後給餌するアルテミアはふ化後24時間から高度不飽和脂肪酸強化剤(ハイパーグリーン、日清マリンテック)で2時間栄養強化した。配合飼料の給餌期間には、毎日16時前後にサイフォンにより底掃除を行い、残餌や糞を排出した。

生残尾数の計数は試験終了時まで15日おきに全数を取上げて行い、同時に30尾について、m-アミノ安息香酸エチルメタンスルホネートで麻酔後にデジタルノギスで全長を、電子天秤で体重を計測した。

結 果

種苗生産結果 種苗生産結果の概要をTable 3-1に

Table 3-1 Results of mass production experiment of *C. abbreviatus* in a large culture tank (40kL), indicating number of fish, total length, survival rate and rate of normal development at 45 days after hatching

Initial				Final			
Number of larvae (ind.)	Total length* ¹ (mm)	Rearing period (days)	Water temperature* ² (°C)	Number of juveniles (ind.)	Total length* ¹ (mm)	Survival rate (%)	Rate of normal development (%)
785,000	3.57 ± 0.14 (90)	45	20.7 (17.6-23.1)	77,480	22.8 ± 3.1 (60)	9.9	70.1

*¹ Total length : mean ± standard deviation (*n*).

*² Water temperature : mean (range).

示した。種苗生産期間中の飼育水温は平均値が20.7°C, 17.6~23.1°Cの範囲であった。

取上げは底面に堆積した貝化石へ潜砂した種苗をサイフォンで概ね吸い取った後、水位を下げて残りを掬い取る手順で、稚魚を傷めることなく回収できた。種苗の平均全長(平均値±標準偏差)は22.8±3.1mm, 全長範囲は16.1~28.9mmで2倍近い成長差が生じた。生残尾数は77,480尾で、ふ化仔魚からの生残率は9.9%であった。

成長、発育 餌料系列と飼育水温、仔稚魚の全長および生残率の推移を Fig. 3-3 に、発育ステージ組成の推移を Fig. 3-4 に示した。平均全長3.57±0.14mmで発育ステージDのふ化仔魚は、日齢4で開口後、ワムシを摂餌し始めた。日齢5に4.77±0.30mm, 日齢10には6.43±0.64mmに成長したが、この間の発育はステージEのままであった。日齢15には7.52±1.22mmになり、発育ステージはEが6%, Fが63%, Gが14%, Hが17%とFが過半数を占めた。日齢20には9.74±0.99mmで、Fが10%, Gが25%, Hが33%, Iが25%, Jが3%, Lが5%と様々なステージが混在し、変態完了直前の仔魚も認められた。水槽内の観察では、日齢19に全長10.5~11.0mmのステージL, Mの仔稚魚で着底を初認、日齢22以降に着底魚が急増した。着底してステージM, Nに移行した稚魚の多くは水槽底に数cm堆積した貝化石の中に体の一部を潜砂させた。日齢36には概ね稚魚に変態し、日齢40以降は成長の遅れた変態直後の個体のみが浮遊する状態が続いたため、日齢45で種苗生産を終了した。

日齢45~135の稚魚期の飼育水温は、21.3°Cから28.3°Cの範囲であったが、日齢49~127は25°C以上の高水温で推移した(Fig. 3-3)。日齢45以降の平均全長は日齢60で33.7±5.3mm, 日齢105で47.8±9.8mm, 日齢135で74.4±16.2mmに達した。日間成長量は、アルテミアのみを給餌した日齢45~60の間が0.73mm/日, アルテミアと配合飼料を併用した日齢60~105の間が0.31mm/日, 配合飼料を単独給餌した日齢105~135の間が0.89mm/日であっ

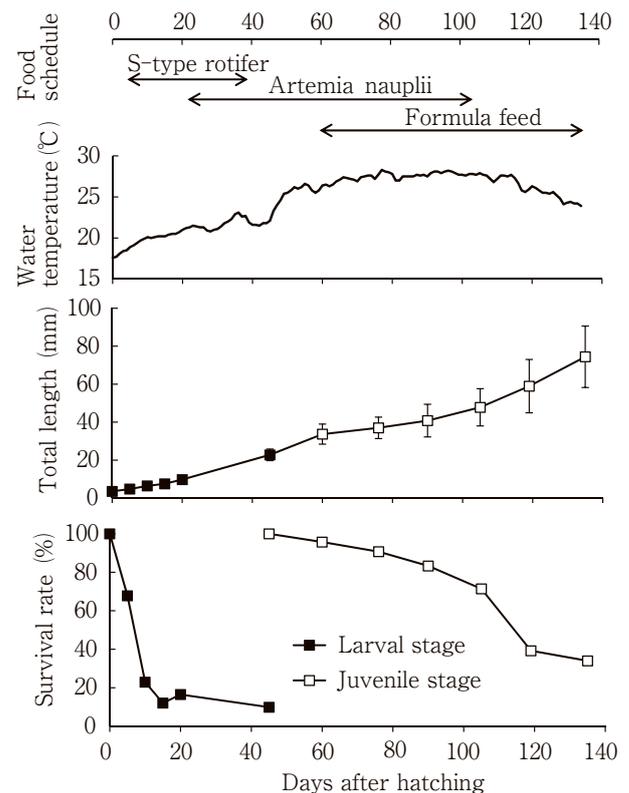


Fig. 3-3 Survival rate, mean total length, water temperature and food schedule during the mass seed production of *C. abbreviatus*. Error bars are standard deviations.

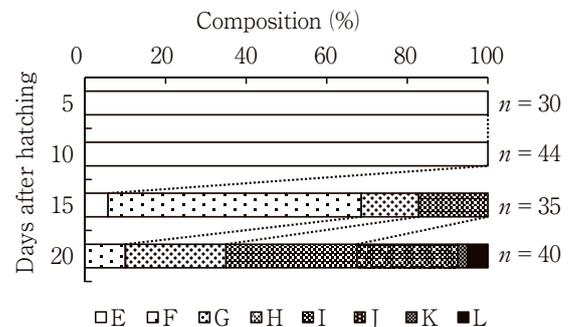


Fig. 3-4 Developmental stage (E-L) composition at 5-days intervals in larvae and juveniles of *C. abbreviatus* until 20 days after hatching in a large culture tank.

た。生物餌料から配合飼料への切り替え時期にあたる日齢60～105の間に成長が停滞した (Fig. 3-3)。日齢45から135までの通算日間成長量は0.57mm/日で、全長 (TL, mm) と体重 (BW, g) の間に $BW = 4.435 TL^{3.051} \times 10^{-6}$ ($r^2 = 0.991$, $n = 240$) の関係式を得た (Fig. 3-5)。

目視行動観察と生残率 日齢3～7に仔魚が水槽表面で稠密なパッチを形成したあと浮上死し、日齢8～12には表層付近を定位できずふらついたあと沈降する状況も観察された。これらの影響で、生残率は開口後の日齢5に67.8%となり、後期仔魚期に移行した日齢10には22.9%にまで低下するなど、日齢10までの減耗が特に激しかった。日齢10～20には暗期と点灯後の数時間の間、仔魚が底面に蟄集する行動が頻繁にみられ、そのまま浮上できずにへい死するなど、生残率は16.5%に低下した。全期間を通じて共食いは全く観察されず、変態後の大きな減耗はなかった。しかし、日齢28以降における着底魚の急増と成長に伴う水槽底面および側面の高密度化により、小型魚が大型魚に突かれる状況が観察され、鰭の損傷やびらんが散見された。この頃から水槽壁の水面上に干上がって死亡する「這い上がり死」が発生し始めた (Fig. 3-6)。これらによる若干の減耗もあり、種苗生産終了の日齢45には生残率9.9%となった。

日齢45以降へい死はわずかで、稚魚期の飼育水槽へ収容してから日齢60までの生残率は95.7%であったが、アルテミアと配合飼料の併用給餌とした日齢60からへい死魚が徐々に増加し、日齢105で71.4%に減少した。配合飼料単独給餌とした日齢105からは、さらにへい死が顕著となり、日齢120には39.2%とこの期間に半減した。日齢45～135の間、稚魚期飼育の開始から終了までの生残率は

34.0%であった。

これら成長過程において外部形態に異常を呈す種苗が顕著になってきた。形態異常は頭部周辺と体色にみられ、右眼が無眼側に残存するものや頭部の吻端に亀裂が生じる症状、無眼側の有色化等が混在した。種苗生産終了時、日齢45の正常個体率は70.1%であった。

考 察

コウライアカシタビラメの自然産出卵を用い40kLの大型水槽による種苗生産を実施したところ、全長22.8mmの稚魚7.7万尾の生産に成功した。ワムシとアルテミア主体の餌料系列など他の海産魚類と同様の方法で飼育できることが分かり、量産の見通しを得た。岡山県では平成12～17年の第4次栽培漁業基本計画において、マコガレイの種苗放流に取り組み、資源にインパクトを与える放流事業の観点からその生産目標を20mm、20万尾とした経緯があり、今回のコウライアカシタビラメについても、これに準じた規模を目標に技術開発を進めてきた。岡山県農林水産総合センター水産研究所は同型の40kL水槽を4基配備していることから、これらの施設を用いた20万尾規模の生産に対する技術的な目標は達成されたことになる。

しかしながら、その生残率は浮上死や沈降死など飼育初期の減耗の影響で約10%と、ヒラメの平均生残率50.3%⁵⁷⁾、オニオコゼの28.8%⁹⁰⁾等、事業化されている着底性の海産魚と比較すると低いものであり、量産試験によって種苗生産技術の新たな課題が抽出された。これらの課題については、親魚養成や卵管理技術も含め、総合考察で論じることとする。

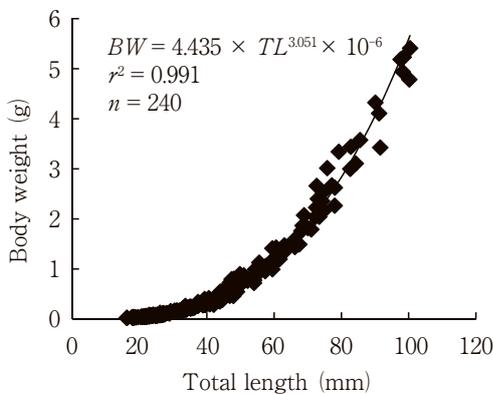


Fig. 3-5 Relationship between total length and body weight of *C. abbreviatus* juveniles. Solid lines indicate regression curve. BW: body weight, TL: total length, r^2 : coefficient of determination.

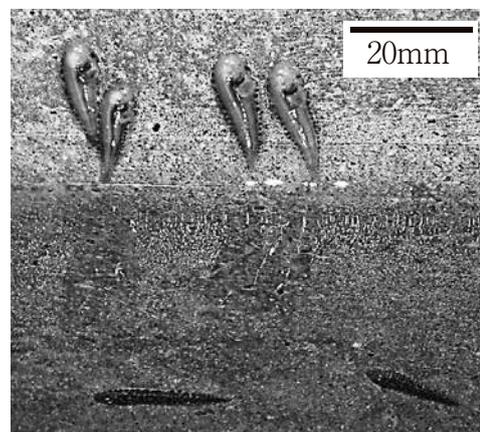


Fig. 3-6 *C. abbreviatus* juveniles committed suicide on the wall in a large tank.

第4章 瀬戸内海中央部における初期生態

有用海産魚類の資源の維持や増殖を図る上で、海域での発育段階別の生態を把握することは重要な課題である。また、天然における増殖対象種の初期生活史に関する知見は、適正な飼育や放流条件の設定など種苗生産および放流技術開発には不可欠であり、自然界での現象から栽培漁業に関する技術上の諸問題を見直す機会にもなり得る。海域と飼育における研究成果は、お互いに補完しあう関係にあり、両者は関連させながら進められるべきといわれている⁹¹⁾。

このような観点から本章では、瀬戸内海中央部における魚卵・仔魚の分布や0歳魚の漁獲加入状況および人工種苗の潜砂能力の把握により、コウライアカシタビラメの海域での初期生態を明らかにすることを目的とした。

第1節 卵・仔魚の分布

世界的にみても高い生産性で知られる瀬戸内海⁹²⁾の中央に位置する備讃瀬戸と播磨灘北西部は、広大な藻場・干潟を有し、三大河川から多量に栄養塩が流入するため、重要な水産生物の魚卵・仔稚魚が特に多い⁹³⁾。魚卵・仔稚魚の出現に関する研究は、魚類の初期生活史や資源供給機構を解明するうえで重要な基礎知見となるため、1960年代から当海域における包括的な研究が行われてきた⁹⁴⁻⁹⁶⁾。しかし、これらの報告には、ウシノシタ亜目またはウシノシタ科等の記載は断片的で、単一種に絞った検討はなされていない。

そこで本節では、瀬戸内海中央部においてプランクトンネットと稚魚ネットで採集された魚卵・仔稚魚群を精査し、当海域におけるコウライアカシタビラメ卵・仔魚の出現時期や分布状況を明らかにした。

材料と方法

2011年4月から'16年3月の間に毎月上旬に1回、瀬戸内海中央部の21定点（備讃瀬戸および播磨灘北西部、Fig. 4-1）において、丸特B型プランクトンネット（口径45cm、側長90cm、網地 NGG54、目合334 μ m）を用い、昼間に海底上1mから表層まで約1m/sec.の速度で垂直曳きを行った。調査定点の水深は8~35mの範囲で、そのうち岡山県沿岸域は概ね10~15mの泥または砂泥底、備讃瀬戸中央部など沖合域は20~30mの砂または砂礫底である。

'10年5月から'11年4月の間に毎月中、下旬に1回、播磨灘北西部の13定点（Fig. 4-2）において、稚魚ネット

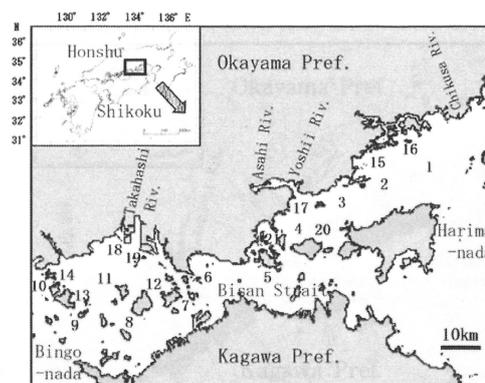


Fig. 4-1 Map showing sampling stations (1-21) in Bisan Strait and Harima-nada (central Seto Inland Sea) where monthly collections of fish eggs and larvae occurred by oblique tow with a conical larva-net from April 2011 to March 2016.

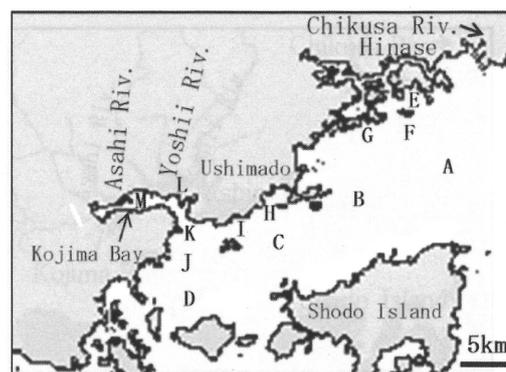


Fig. 4-2 Map showing sampling stations (A-M) in the northwestern part of Harima-nada (central Seto Inland Sea) where monthly collections of fish eggs and larvae occurred by horizontal tow with a conical larva-net from May 2010 to April 2011.

ト（口径71.5cm、側長2,070cm、網地38GG、目合500 μ m）を用い、昼間に2~3ノットの速度で5分間、表層を水平曳きした。St. A~Dは小豆島北部に位置する水深16~28mの沖合域、St. E~Iは島しょ部および沿岸の水深3~9mのガラモ *Sargassum* spp. やアマモ *Zostera marina* の藻場内もしくはその外縁周辺である。St. J~Mは児島湾口から旭川河口までの水深3~8mの内湾で、旭川および吉井川の一級河川から流入する淡水の影響を強く受け、低塩分化する河口域である。これらは沖合、沿岸および河口の三つの海域に大別される。

採集した標本は船上で5%ホルマリン液により固定して持ち帰り、魚卵、仔稚魚の選別と種の査定を行った。魚卵については、多脂球形卵のうち卵径、油球径および油球数⁴⁸⁾（第2章1, 2節）により、また仔魚については、形態的な特徴¹⁵⁾（第3章）からコウライアカシタビラメを判別、計数した。

ネットにはろ水計（離合社）を取り付け、各曳網時のろ水量の実測値に基づいて1,000m³あたりの採集個体数に換算した。また、曳網時にはCTD（アレック電子）により水温と塩分を測定した。

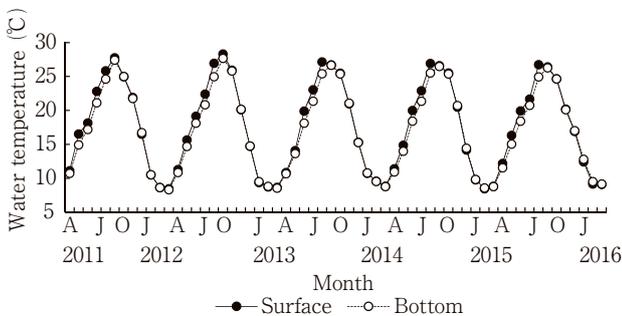


Fig. 4-3 Monthly changes in surface (solid circle) and bottom (open circle) mean water temperature at sampling stations in Bisan Strait and Harima-nada (Fig. 4-1) from April 2011 to March 2016.

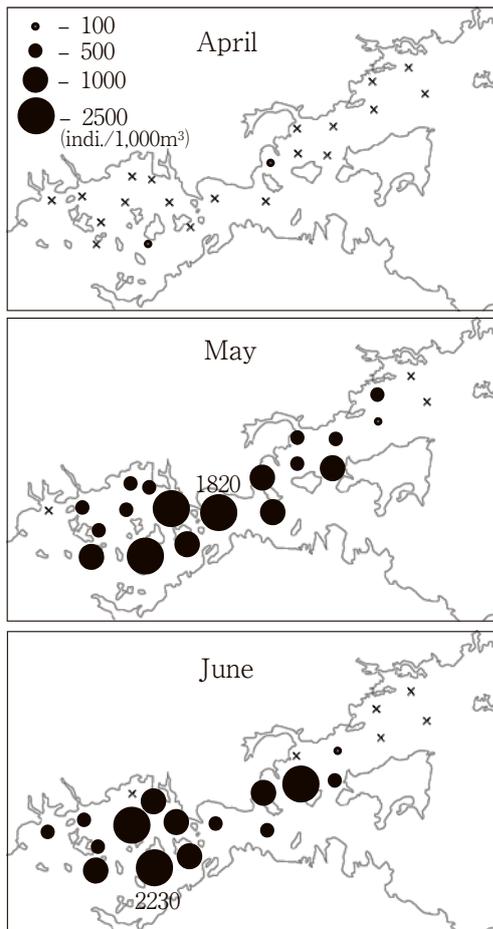


Fig. 4-4 Monthly distributions of *C. abbreviatus* egg densities, as collected by oblique tows with a conical larva-net from April 2011 to March 2016. Each circle indicates the mean density of eggs (ind./1,000m³). Crosses represent stations with no eggs collected.

結 果

瀬戸内海中央部（全域） 調査期間中の全定点における表層水温は、最高が9月の $27.2 \pm 0.9^\circ\text{C}$ （平均値 \pm 標準偏差）、最低が3月の $8.8 \pm 0.4^\circ\text{C}$ であった。底層水温も、最高が9月の $26.9 \pm 0.7^\circ\text{C}$ 、最低が3月の $8.7 \pm 0.4^\circ\text{C}$ となり、昇温期の5～8月には表層との間に $1.0\sim 1.6^\circ\text{C}$ の較差があった。コウライアカシタビラメの産卵および浮遊期に当たる月の表層水温は、4月が $11.3 \pm 0.6^\circ\text{C}$ 、5月が $15.5 \pm 1.2^\circ\text{C}$ 、6月が $19.4 \pm 1.0^\circ\text{C}$ であった（Fig. 4-3）。

コウライアカシタビラメの卵は4～6月に採集された。4月には備讃瀬戸の2定点のみであったが、5月には調査海域の両端を除く19定点とほぼ全域、6月には東部と沿岸を除く15定点で卵が確認された。卵密度は、4月には100粒/1,000m³以下と低かったが、5月、6月には備讃瀬戸中央部でそれぞれ最高1,820、2,230粒/1,000m³と高まった。分布密度は概ね備讃瀬戸中央部が高く、沿岸域ではやや低く、播磨灘北西部では0の定点があるなど低い傾向がみられた。5月と6月の全定点での平均密度は、それぞれ540、520粒/1,000m³とほぼ同値であった（Fig. 4-4）。

仔魚は5、6月に採集された。5月には備讃瀬戸中央部と播磨灘北西部の8定点、6月も同海域西部寄りの4定点のみで確認された。全期間、全定点での仔魚密度は50～200尾/1,000m³で、備讃瀬戸西部と沿岸域で0の定点が多かった他、分布傾向は不明瞭であった（Fig. 4-5）。

播磨灘北西部 表層水温は全定点で5月から3～4°C/月のペースで上昇して8月に最高値となり、その後1月まで3～4°C/月で降下して最低値となった。その後、4月まで徐々に上昇した。区域別にみると、沖合（St. A～D）では8～29°C台、沿岸でも6～29°C台の幅広い推移であったが、河口（St. J～M）では4～31°C台と水温格差が大きかった。コウライアカシタビラメの産卵および浮遊期に当たる月の平均水温は、4月が $14.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 、5月が $17.5 \pm 1.3^\circ\text{C}$ 、6月が $20.8 \pm 1.1^\circ\text{C}$ であった。塩分は、沖合と沿岸では梅雨期や秋雨期を除き年間を通じて低塩分となる頻度は低く、概ね5月の30前後から4月の32台まで徐々に上昇し、年平均値は31.3であった。一方、河口では4から32の間で激しく変動し、年平均値は児島湾内のSt. K、L、Mではそれぞれ21.4、19.5、17.7と周年低塩分化した（Fig. 4-6）。

コウライアカシタビラメの卵は、日生地先のSt. Eと児島湾内のSt. K～Mを除く9定点で4～6月に採集された。4月には9定点で確認されたが、5月は7定点、

6月は5定点と分布範囲が狭まり，次第に牛窓地先や児島湾沖が主体となった。4～6月の卵密度の最高値は，

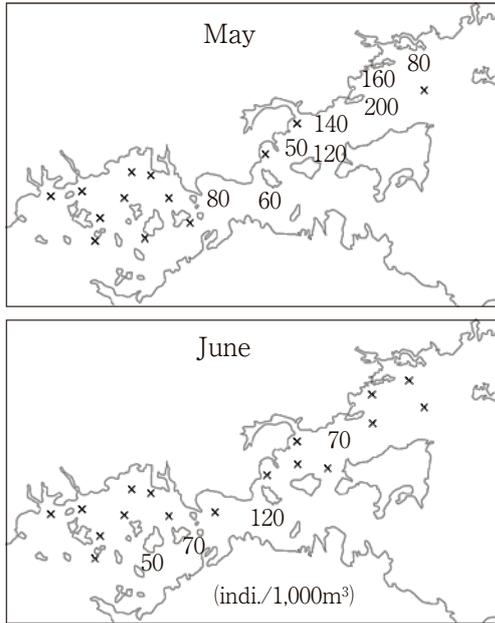


Fig. 4-5 Monthly distributions of *C. abbreviatus* larvae densities, as collected by oblique tows with a conical larva-net from April 2011 to March 2016. The numbers indicate mean density of larvae (ind./1,000m³). Crosses represent stations with no larvae collected.

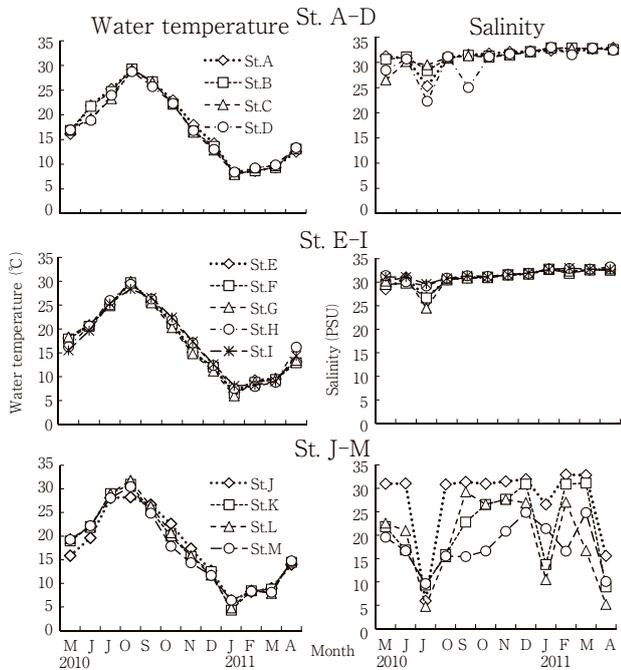


Fig. 4-6 Monthly measurements of surface water temperature and salinity at sampling stations in the northwestern part of Harima-nada (Fig. 4-2) from May 2010 to April 2011.

牛窓地先と児島湾沖の St. J, D, H の 590, 730, 680 粒 /1,000m³で，各月に大差はみられなかった (Fig. 4-7)。一方，仔魚は調査期間中，全定点で1尾も採集されなかった。

考 察

瀬戸内海中央部におけるコウライアカシタビラメ卵・仔魚の出現状況を把握するため，全域での垂直曳きと播磨灘北西部での水平曳きネット採集を行った。卵は全域調査では4月には僅かであったが，5，6月に同程度で

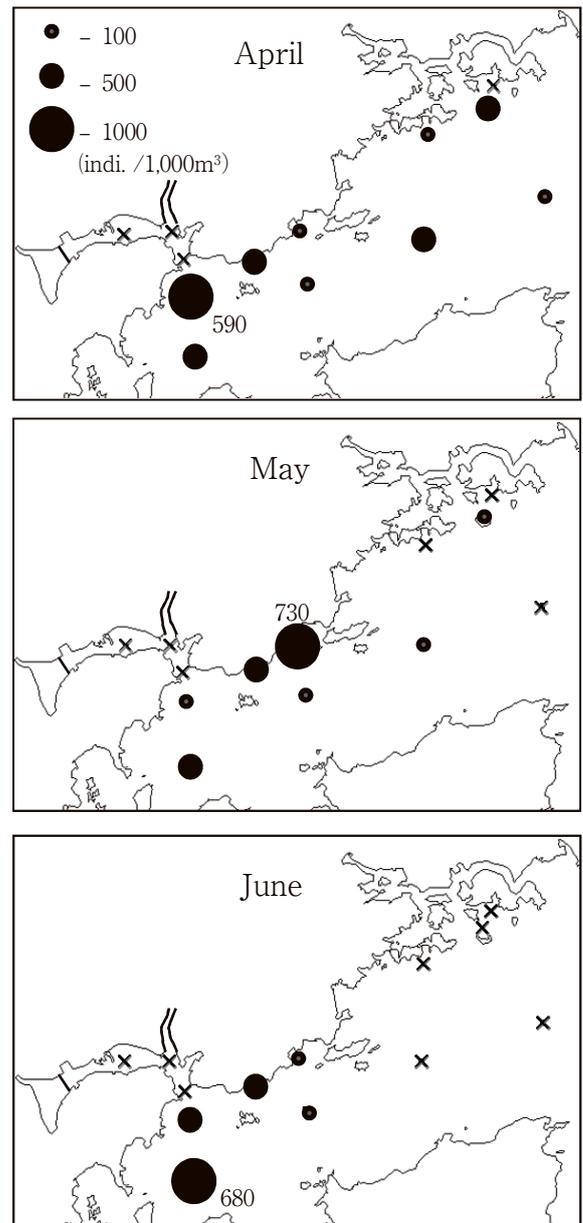


Fig. 4-7 Monthly distributions of *C. abbreviatus* egg densities, as collected by horizontal tows with a conical larva-net from May 2010 to April 2011. Each circle indicates the density of eggs (ind./1,000m³). Crosses represent stations with no eggs collected.

多数の出現がみられた。一方、播磨灘では4、5月が多く、6月には減少した。産卵からふ化までの所要期間が4日以内と短いことや（第1章3節）、全域調査が上旬、播磨灘が中・下旬と調査日程の違い等も考慮すると、当海域における産卵期は4月上旬から6月下旬と考えられた。また4～6月の海水温は、全域調査時が11.3～19.4℃、播磨灘調査時が14.0～20.8℃であったことから、産卵水温は12～20℃と考えられ、海域での産卵特性は水槽での状況（第1章1節）とほぼ一致した。漁獲物の生殖腺指数の経月変化から当海域における産卵期を推察した既報では、4月前後²⁰⁾あるいは2～5月⁹⁷⁾とされているが、これらよりも遅いことが再確認された。

卵の分布は、ほぼ調査全域で確認されたものの、最高密度を示した備讃瀬戸中央部で多く、沿岸域や播磨灘で少ない傾向にあった。ウシノシタ科3種の漁獲割合は、備讃瀬戸でコウライアカシタビラメが高く、播磨灘西部や燧灘東部ではアカシタビラメやイヌノシタの割合が高まることから^{7,98)}、卵の分布は成魚の分布傾向と一致していた。播磨灘北西部でも同様に備讃瀬戸から東へ向かうに従い分布密度が低下した他、低塩分化した児島湾内の河口域3定点で全く出現しないことが特徴的であった。

仔魚の分布傾向は、今回の調査では明らかでなかったが、卵密度が高かった備讃瀬戸中央部や播磨灘北西部の沖合定点に出現し、備讃瀬戸西部や沿岸域ではみられなかった。同様に燧灘においても、水深20m前後の定点での傾斜ネット曳きにより仔魚が採集されている⁹⁹⁾。餌料となる橈脚類のノープリウスの出現量は、明らかに沿岸域に多く、沖合域へ向かうに従って低密度化するが¹⁰⁰⁾、瀬戸内海中央部においては、水深数十m以上の沖合でも仔魚が成育できる餌料環境および物理環境が整っていることが示唆された。一方、Yagi et al.²⁴⁾は、有明海の六角川河川内および河口域に本種の稚魚が着底するため、変態期の仔魚も河口付近の主に底層で多数採集されたと報告しているが、当海域では高梁川や児島湾周辺では全く採集されなかった。前述のように卵も河口域で採集されなかったことから、当海域では本種の卵・仔稚魚が河口域に集積する生活史ではないのかもしれない。今回行った播磨灘北西部における表層の水平ネット曳きでは、中底層の仔魚が採集できなかった可能性もあることから、今後、高梁川や児島湾の中底層曳きも含めた調査を実施して明らかにする必要がある。

第2節 稚魚の潜砂能力

種苗の放流効果を高めるためには、最適な放流サイズ、

場所および時期等を検討し、海域での初期減耗を軽減することが重要である。潜砂行動は、餌生物に対する攻撃手段として、また害敵生物からの逃避手段として生態的意義を持ち、底質と関わりが大きい異体類における放流サイズの決定には、潜砂能力が判断基準として用いられる^{101,102)}。

一方、本種稚魚の分布域の底質は、成長とともに泥底から砂泥または砂底へと変化することが、有明海における調査^{22,103)}から明らかにされており、サイズ別の底質粒径への適応性を把握することが重要となる。本節では、適正な放流サイズや場所の検討を目的として、全長の異なる稚魚の潜砂能力を明らかにした。

材料と方法

供試魚 供試したコウライアカシタビラメは、2012年5～7月に岡山県農林水産総合センター水産研究所において採卵し、ふ化後、高度不飽和脂肪酸を強化したS型ワムシとアルテミア幼生（米国ユタ州ソルトレイク産）を給餌して種苗生産した稚魚である。潜砂実験には、全長 29.8 ± 1.8 mm（平均値 \pm 標準偏差）（以下、30mmサイズとする）、 40.1 ± 1.7 mm（40mmサイズ）、 50.6 ± 2.8 mm（50mmサイズ）、 56.4 ± 3.8 mm（55mmサイズ）の4段階の大きさをを用いた。

試験区の設定 海砂をJIS規格のふるいにより0.5mm以下（中砂）、0.5～1.0mm（粗砂）、1.0～2.0mm（極粗砂）の3つの粒径に区分した。試験に用いた水槽は、30Lポリプロピレン製黒色円形水槽（直径36cm、高さ32cm）で、底に厚さ約2cmの砂を敷いた。注水はろ過海水を20回転/日とし、飼育水がゆっくり回転するよう表層から注水した。実験時の水槽表面の照度は500～1,000lux、水温は27.2～28.2℃で、給餌や通気は行わなかった。

実験結果の評価 全長別の潜砂試験では、粒径の異なる各水槽に、供試魚各10尾を収容し、収容後5、10、20、30、45、60、120分経過ごとに潜砂状況を目視により判定した。個体ごとに体表面積に占める潜砂面積の割合を求め、その平均値を各試験区の潜砂率（潜砂率 = 潜砂面積 / 全体表面積 \times 100, %）とした。

結 果

稚魚のサイズ別、砂の粒径別の潜砂率の推移をFig.4-8に示した。潜砂率は、いずれのサイズ区でも試験開始から概ね30～60分後には最高値に達し、それ以降は一定となった。

潜砂状況を全長別にみると30mmサイズは、粒径

0.5mm 以下において30分後には潜砂率が80%を超えた。粒径0.5~1.0mm では、時間の経過とともに潜砂率は上昇したが、120分後でも55%に留まり、十分な潜砂はできなかった。また、粒径1.0~2.0mm では潜砂が不可能であった。

40mm サイズでは、粒径0.5mm 以下において20分後に、粒径0.5~1.0mm でも45分後には潜砂率が80%以上と十分な潜砂が認められた。粒径1.0~2.0mm では、120分後でも潜砂率30%と低く、潜砂が困難であった。

50mm サイズでは、粒径0.5mm 以下で10分後、粒径0.5~1.0mm においても60分後には潜砂率が80%以上となった。さらに粒径1.0~2.0mm でも、30分までに65%に達した。

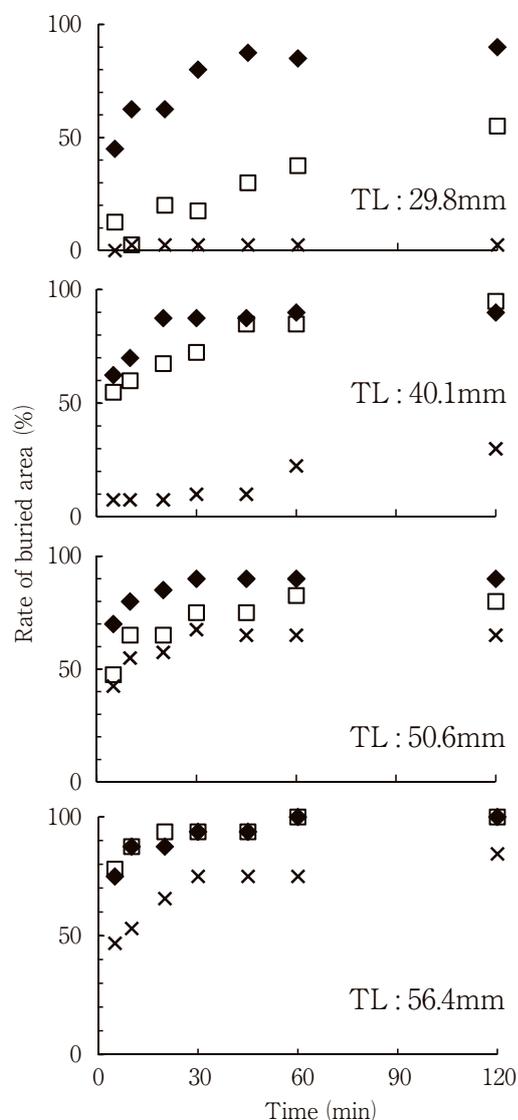


Fig. 4-8 Rate of buried area in each size-group (mean total lengths (TLs): 29.8mm, 40.1mm, 50.6mm and 56.4mm) of *C. abbreviatus* juveniles, based on sand grain size (◆: <math>< 0.5\text{mm}</math>, □: 0.5-1.0mm, ×: 1.0-2.0mm). Rate of buried area = buried area/total body area $\times 100$ (%).

55mm サイズでは、粒径0.5mm 以下と0.5~1.0mm で、10分後には潜砂率80%以上となり、粒径1.0~2.0mm においても120分後には80%を超えた。

全長サイズ間の潜砂状況を120分後の潜砂率で比較すると、30mm サイズでは80%以上の潜砂率は粒径0.5mm 以下のみであったが、40mm サイズでは0.5~1.0mm でも80%を超え、潜砂可能と判断された。さらに、50mm サイズになると粒径1.0~2.0mm も潜砂率65%に上昇し、すべての底質にある程度適応した。55mm サイズでは全ての粒径で80%以上となるなど、全長サイズの上昇に伴い潜砂可能な粒径も上昇し、潜砂能力の向上が認められた。

考 察

天然における仔稚魚の減耗要因としては、飢餓と被食があげられるが、飢餓は摂餌開始時の仔魚期に限られ、稚魚期以降、特に種苗放流においては被食が主要な減耗要因と考えられている。ヒラメ稚魚について安永・興石¹⁰⁴⁾は、クロダイの捕食実験における水槽底への敷砂が被食を軽減したと報告し、山下ら¹⁰⁵⁾は放流後に潜砂しない個体が多いと被食率が高まると推察しており、潜砂が害敵生物からの逃避手段として有効であることが示されている。

種苗生産技術が確立した魚種では、引き続き放流技術開発が行われ、放流サイズ、場所および時期等、放流後の生残を高める条件が検討されてきた。本種においても、放流後の速やかな潜砂が初期減耗の軽減に繋がると考え、種苗の大きさ(30~55mm)と底質の粒径との関係を検討した。その結果、30mm サイズの稚魚でも粒径0.5mm 以下の中砂であれば潜砂可能であることや、40mm サイズで0.5~1.0mm の粗砂、50mm サイズになると1.0~2.0mm の極粗砂まで対応できることを確認した。このことから、潜砂能力は成長に伴って向上し、全長50mm で幅広い底質への潜砂が可能となり、放流効果を高められると考えられた。

一方、有明海における本種0歳魚の分布調査²²⁾によると、着底直後は極細粒砂(0.063~0.125mm)以下の泥底に生息し、砂泥底や砂底へ分布域を拡大するのは40mm 以降と報告されており、このフィールドでの知見は今回の人工種苗での結果と一致した。さらに、30mm サイズの小型種苗でも、0.5mm の中砂以下の泥または砂泥域を選択することにより一定の放流効果が発現されると推察された。

藤本ら¹⁰⁶⁾は、浅海の囲い網内での馴致により潜砂や捕食能力を高めたヒラメ種苗を放流することで、放流後の

回収率が高まったと報告している。今後は、海域に類似した潜砂基質のある環境での育成など、健苗性を高めるための馴致放流の有効性も検討する必要がある。

第3節 0歳魚の漁獲加入

日本沿岸域に生息するウシノシタ科魚類20種²⁾のうち、瀬戸内海中央部で漁獲されるのは、アカシタピラメ、コウライアカシタピラメおよびイヌノシタの3種である。ウシノシタ科3種の幼稚魚期の生態については、有明海におけるコウライアカシタピラメとアカシタピラメのシノニムとされるデンベエアカシタピラメの分布と成長^{22,107)}、大阪湾におけるアカシタピラメとイヌノシタの着底場所¹⁰⁸⁾に関する研究等があるが、知見は極めて限られており、瀬戸内海中央部での生態は不明のままである。

そこで本節では、播磨灘北西部における小型底びき網漁獲物の周年調査により、ウシノシタ科3種の0歳魚の漁獲加入時期やサイズ、成長など初期生態の一端を把握した。

材料と方法

2008年5月から'11年2月にかけて、岡山県東部に位置する牛窓町漁協所属の小型機船底びき網漁船が漁獲したウシノシタ科3種（アカシタピラメ、コウライアカシタピラメおよびイヌノシタ）を試料に用いた。漁具は、5～10月には袋網部の目合が14節のえびこぎ網（内径：23mm、手繰第2種漁業）、11～3月には8節のえび桁網（43mm、手繰第3種漁業）であった。作業時間はすべて昼間で、漁獲場所は播磨灘北西部瀬戸内市牛窓町沖から岡山市宝伝沖の水深10～30mの砂泥質の海域であった（Fig. 4-9）。魚体は生鮮状態もしくは一旦冷凍して解凍後のもので、全長を0.1mm単位で測定した。次に検体が

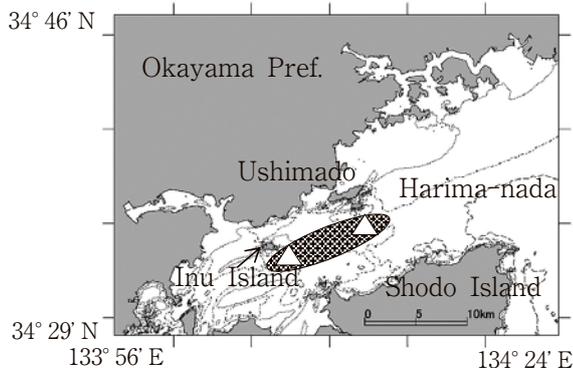


Fig. 4-9 Map showing the fishing grounds of tonguefishes (solid area) in the coastal waters of Ushimado, Seto Inland Sea. Open triangles (\triangle) indicate sampling areas of bottom sediment.

ら耳石（扁平石）を摘出後、厚さ300 μ mの横断切片を作製し（耳石薄片法）、光学顕微鏡下で不透帯輪紋数の計数により年齢査定を行った。

底質環境を把握するため、'10年9月3日に代表的な漁場である犬島南と小豆島北部の2定点において（Fig. 4-9）、エクマンバージ型採泥器を用いて採泥し、強熱減量（%）、COD（mg/g）および粒度組成（%）を分析した。

結 果

漁場の底質 犬島南は水深10～15mの起伏が多い漁場で、小豆島北部は水深20mの平坦な漁場であった。2定点の底質はそれぞれ、CODが8.1と8.6mg/g、硫化物量が0と0.1mg/gと違いは認められなかったが、強熱減量では2.9と4.6%と小豆島北部が約1.5倍高かった。中央粒径は犬島南が0.29mmで砂（中粒砂）、小豆島北部が0.08mmで砂泥（極細粒砂）に区分された。

ウシノシタ科3種の全長 アカシタピラメの検体数は1,285尾、全長範囲は56.7～277.4mmであった。0歳魚は、9月に全長56.7～90.5mm（平均：70.8mm, $n=12$ ）から漁獲され始め、12月には69.1～123.3mm（98.2mm, $n=6$ ）、5月には83.1～121.0mm（100.7mm, $n=6$ ）となった（Fig. 4-10, 13）。

コウライアカシタピラメの検体数は1,096尾、全長範囲は62.9～397.0mmであった。0歳魚は、8月に全長62.9～136.0mm（平均91.1mm, $n=40$ ）から漁獲され始め、12月には79.5～193.2mm（151.8mm, $n=26$ ）、3月には157.9～200.1mm（180.2mm, $n=12$ ）となった（Fig. 4-11, 13）。

イヌノシタの検体数は449尾、全長範囲は41.6～414.0mmであった。0歳魚は、9月に全長41.6～127.1mm（83.2mm, $n=64$ ）から漁獲され始め、12月には122.5～193.8mm（157.6mm, $n=5$ ）、3月には101.0～212.0mm（174.5mm, $n=6$ ）となった（Fig. 4-12, 13）。

考 察

播磨灘北西部の砂または砂泥底のウシノシタ漁場において底びき網の漁獲物を周年調査した結果、コウライアカシタピラメは8月から最小全長62.9mm、アカシタピラメとイヌノシタは9月からそれぞれ56.7mm、41.6mmの0歳魚が漁獲され始めた。元谷⁹⁷⁾は、同海域における年齢と成長解析の際、コウライアカシタピラメの起算日を5月1日、アカシタピラメおよびイヌノシタを7月1日としている。これに準ずると、コウライアカシタピラメは90日齢、アカシタピラメおよびイヌノシタは60日齢以降に漁獲加入すると考えられた。それ以降は成魚と同様

の海域に生息し、12月にはアカシタビラメが平均全長100mm、コウライアカシタビラメおよびイヌノシタが150mm前後にまで達することが分かった。ただし、今回の検体は8節または14節目合いの底びき網漁獲物であるため、150mm未滿は網目を通過して0歳魚の全てが採集されてはならず¹⁰⁹⁾、平均全長については過大となっている可能性が高い。今後は、幼稚魚採集用の漁具による周

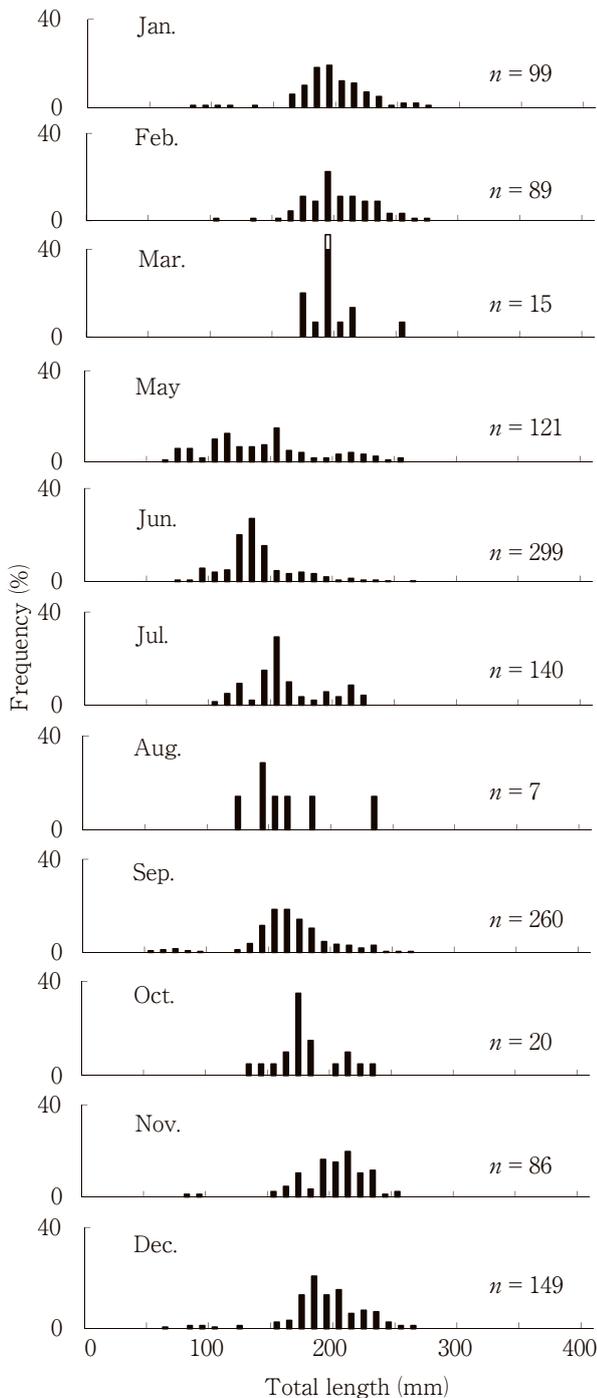


Fig. 4-10 Monthly size distributions of *C. joyneri* ($n = 1,285$) caught by small trawl nets in the coastal waters of Ushimado from May 2008 to February 2011. n denotes sample size.

年調査を行い、0歳魚の分布や成長について明らかにする必要がある。

今回は目合いの大きい漁具であったため、成魚の漁場において10~40mmの稚魚は採集されず、着底稚魚の生態を明らかにできなかった。異体類の増殖を図る上で最も重要な稚魚の着底場所や成育場に関する情報を得ることが、今後の課題として残された。

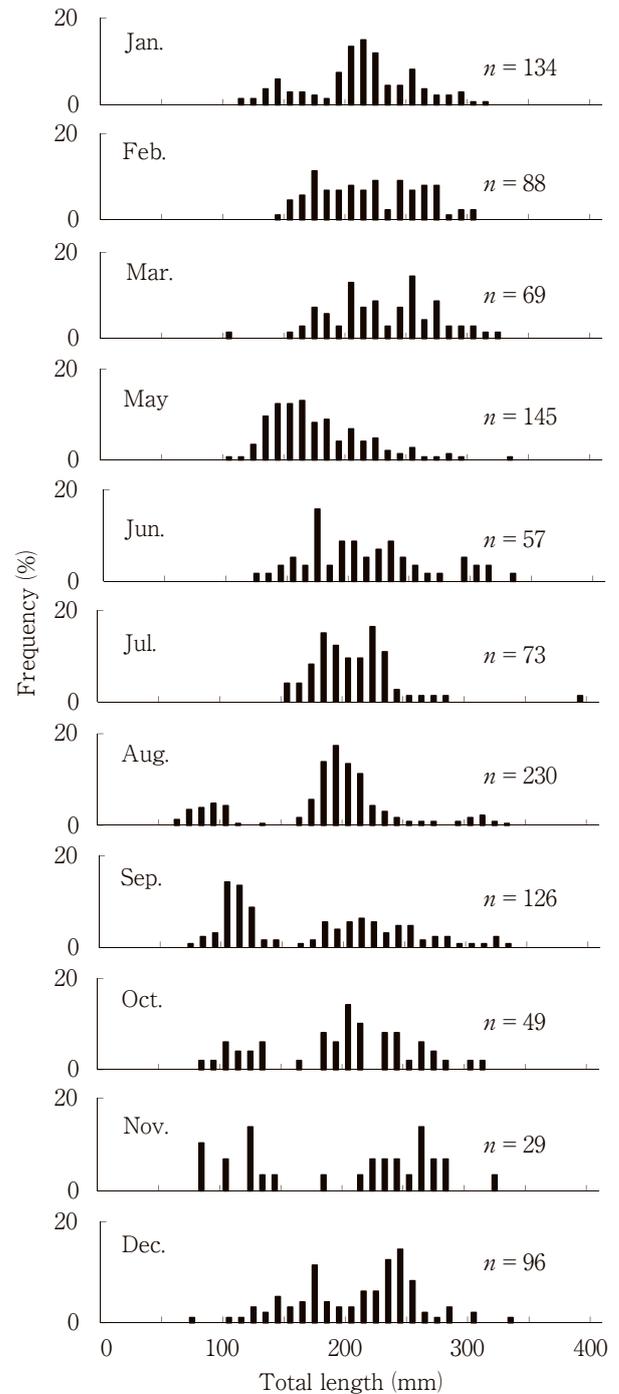


Fig. 4-11 Monthly size distributions of *C. abbreviatus* ($n = 1,096$) caught by small trawl nets in the coastal waters of Ushimado from May 2008 to February 2011. n denotes sample size.

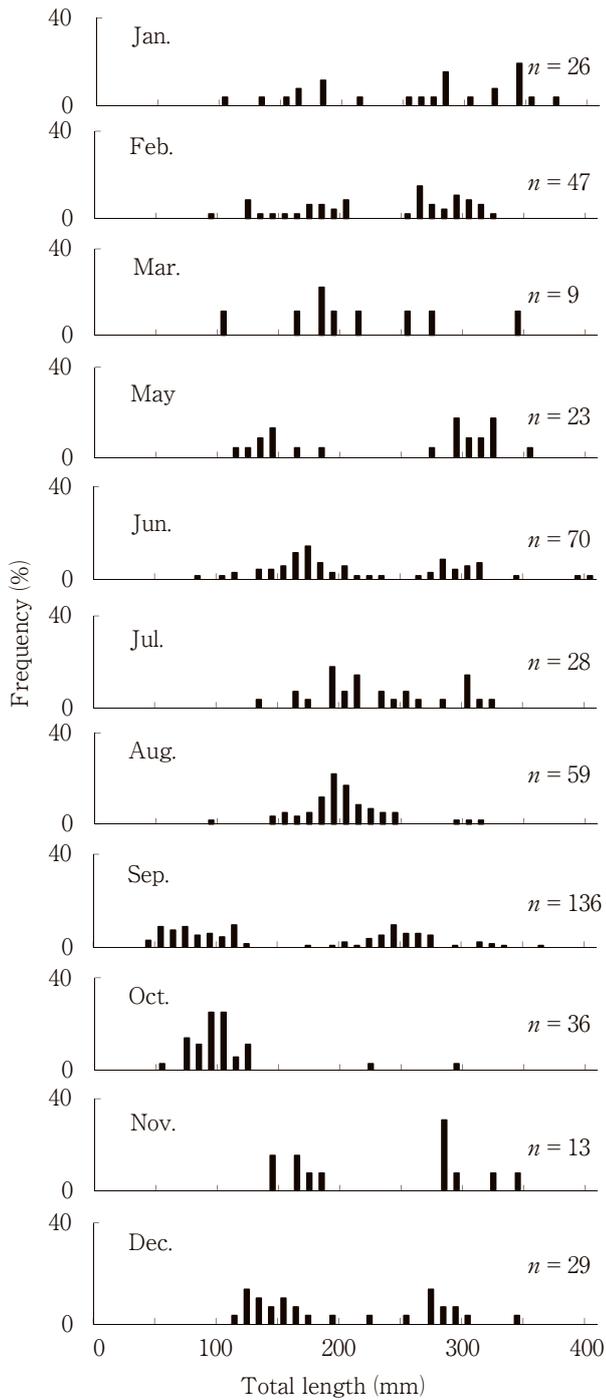


Fig. 4-12 Monthly size distributions of *C. robustus* ($n = 449$) caught by small trawl nets in the coastal waters of Ushimado from May 2008 to February 2011. n denotes sample size.

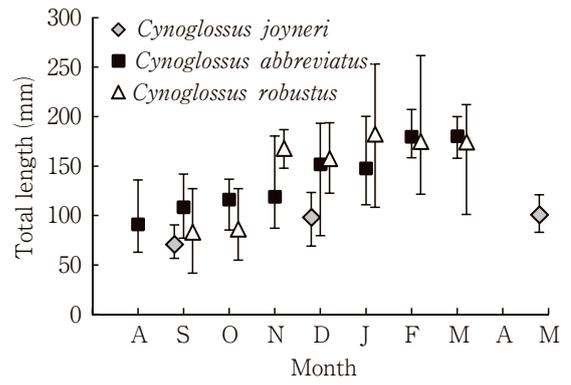


Fig. 4-13 Total lengths by month of capture for 0-years-old tonguefishes caught by small trawl nets in the coastal waters of Ushimado from May 2008 to February 2011. Points indicate the means and vertical bars indicate the ranges.

総合考察

これまで本研究では、水槽においてコウライアカシタピラメ親魚が13~20℃の水温帯で多回産卵し、1日当たり受精卵約5万粒/尾を産卵するなど産卵生態の一端を明らかにした。続いて15~17℃での卵管理により活力の高いふ化仔魚が効率的に得られ、17~20℃での恒明や高密度給餌等の仔魚飼育により、健全な稚魚が量産できることを実証した。さらに、瀬戸内海中央部においてほぼ全域にコウライアカシタピラメ卵が分布していることや、人工種苗の潜砂能力が全長50mmで高まること、ウシノシタ科3種の幼魚が50mm前後から成魚の分布域に漁獲加入している実態を明らかにした。本章ではこれまでに飼育環境下で得られたコウライアカシタピラメ卵・仔稚魚の生理・生態的な知見や海域調査の結果に基づき、ウシノシタ類の種苗生産技術開発と今後の課題について言及するとともに、瀬戸内海中央部における初期生態について考察した。

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。第1章では、まず養成した親魚の産卵、卵質およびふ化について検討した。

魚類の採卵方法には、自然採卵とホルモン注射や環境条件制御を施す誘発採卵がある。これらによる産卵が困難な魚種については人工授精による採卵も多用されているが、受精率は不安定で親魚に与えるダメージが大きいことが欠点としてあげられる¹¹⁰⁾。コウライアカシタピラメでは、雌へのホルモン注射後の人工授精による採卵と飼育が先行事例として報告されている^{15,111)}。しかし今回、本種は産卵期前に漁獲した天然魚でも、約10日間の1/2希釈海水中の養生¹¹²⁾のあと数週間以内に餌付けされて、自然産卵により量産に十分な良質卵の確保が可能であった(第1章2節)。クロウシノシタは、福島県において21℃以上¹¹³⁾、新潟県では25~26℃台¹³⁾で自然産卵し、概ね80%以上の高い浮上卵率での多回産卵が観察されている。本種も含めたウシノシタ類は、擦れ等によるストレスに弱く、漁獲した天然活魚の確保と活け込みがイヌノシタ¹⁴⁾では特に難題であるが、餌付けは多毛類、その後オキアミ等での飼育が容易であることがクロウシノシタでも確認されている^{13,113)}。これらのことからウシノシタ類には、養成親魚から複数年にわたり採卵が可能な自然採卵が(第1章2節)適しているといえる。

一般的に生物は成熟年齢に達すると、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³¹⁾。

これら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の基礎情報としても重要であることから、今後は飼育環境下における生殖年周期を明らかにする必要がある。一方、マダイ⁴⁰⁾やヒラメ⁴¹⁾では、日長や水温管理により成熟をコントロールし、周年にわたる採卵が可能となっている。本種でも水温管理による産卵誘発および制御の可能性が示唆されたことから(第1章2節)、成熟・産卵に及ぼす光周期や水温の影響を精査することで計画的な産卵について検討を始め、将来的な完全養殖への応用も含めた採卵技術の高度化を進める必要があろう。

第2章では種苗生産技術の改善に向けた仔稚魚の飼育諸条件を検討し、その結果を踏まえた量産試験における課題を第3章で整理した。

魚類の種苗生産における初期減耗には卵質、ふ化仔魚の活力、餌料、光、水質、飼育水の流動など様々な要因が影響を及ぼすものと考えられているが、現象的には浮上死と沈降死に大別される¹¹⁴⁾。今回の量産試験では浮遊期の日齢3~7、日齢8~12、日齢10~20にそれぞれ異なる要因と考えられる減耗が観察された(第3章)。浮上死とは、仔魚が通気のための気泡によって水面に運ばれ、あるいは照度の上昇にともなって表層に移動し、粘液の分泌と表面張力によって水面に張り付いて死亡する現象であり、ハタ類等の種苗生産では飼育水ヘフィードオイルを添加して水面に油膜を形成することでこれを抑止している^{64,115,116)}。ふ化直後のステージDで水槽の表層に仔魚が著しく蟬集し起こる浮上死については、その兆候がみられた日齢3~7にフィードオイルで表面を皮膜したところ、水面に張り付く現象は抑止され、浮上死の防止に一定の効果が認められた。しかし、この時期の表層への極度の蟬集は、初期摂餌や健全な成長に悪影響を及ぼし、その後の生残率を下げる要因となったと考えられる。フィードオイル以外の対策としてクロマグロ¹¹⁴⁾やマハタ¹¹⁷⁾で有効とされる通気の改善やアカアマダイ *Branchiostegus japonicus*¹¹⁸⁾で報告されている照度の調整等により仔魚を分散させる飼育方法を検討する必要がある。

次に日齢8~12、ステージEにおける減耗については、これまでの筆者ら⁷¹⁾の飼育実験でも報告している。福澄ら¹⁷⁾においても日齢10~15に大幅な減耗がみられ、この時期が無給餌条件下で飼育した場合の全滅期と一致するため、摂餌不良による減耗と推察している。卵黄を吸収した時点の仔魚は、眼や口が機能し始めた直後であり、筋肉組織の発達も十分でないため、たとえ餌生物に遭遇しても摂餌に成功する率はかなり低く、仔魚が視界に餌

生物をとらえて摂餌姿勢に入っても全てが捕食行動につながるとはかぎらない⁷⁹⁾。特に本種は遊泳行動がやや緩慢なため、狙ったワムシに対する積極的な捕食行動ができていない、あるいは摂餌成功率が低いことが推測される。そこで、初期の摂餌促進に効果が認められた開口から日齢10までの恒明条件を採用し、さらにワムシの密度を他魚種の生産で一般的な5~10個体/mLより多い15個体/mLに高めた(第2章2節)が、ステージEに起こるへい死は改善できなかった。ワムシの給餌密度について、福澄ら¹⁷⁾は50個体/mL以上で群摂餌率や平均摂餌数が高まったとし、クエ⁸⁰⁾では20~30個体/mL、遊泳力の乏しいアカハタ⁸¹⁾仔魚では30個体/mLの維持が初期減耗には有効とされていることから、より高密度の給餌が適している可能性もある。一方、本種仔魚期のワムシ株について宮木¹¹⁾は、28~30℃で増殖するS型ではなく、より低水温の20~25℃で活性の高いL型を採用して遜色のない飼育結果を報告している。L型ワムシは、本種仔魚期の適水温により近いが、大型であることから、前期仔魚の口径との適合性も考慮しながら慎重に採用を検討すべきと考える。また、ワムシの単独給餌期間が日齢4~20と長期に及ぶことから、ヒラメ仔魚の成長や発育促進への有効作用が確認されているタウリン強化ワムシの給餌¹¹⁹⁾が効果的かもしれない。クロウシノシタ¹²⁾やイヌノシタ¹⁴⁾については、S型ワムシの給餌で概ね良好な群摂餌率は得られてはいるものの、いずれも初期減耗が激しく飼育が不安定である。両種仔魚の開口時の全長はそれぞれ3.4mm¹²⁾、3.6mm¹²⁰⁾と本種の4.4mm(第1章3節)と比較して小さいことから、小型のタイ産ワムシ *Brachionus rotundiformis* の給餌も検討されるべきであろう。

一方、沈降死とは、主に夜間に仔魚が水槽底に沈降して死亡する現象であり¹¹⁴⁾、水槽底への沈降による仔魚の死亡原因は必ずしも明らかでないものの、水槽底との接触で生じる外傷や病原菌の侵入¹¹⁴⁾あるいは水槽底の水の動きが弱い環境で仔魚のガス交換の効率が著しく劣る¹²¹⁾ ことなどが原因として考えられている。日齢10~20、F~Hステージにおける沈降死については、日長時間を恒明から18~20時間とした期間の暗期に主に発生した。仔魚の沈降は、発育に伴う体密度の増大に起因し、日中には遊泳している仔魚が静止する夜間に起こることがクロマグロ^{122,123)}やカンパチ¹²⁴⁾で報告されている。特に発育過程を通して鰾が形成されないマツカワ¹²¹⁾では、変態直前のステージにおける体高の増加に伴う筋肉や骨組織の形成が体密度の急増に繋がり、特異的な一斉沈降から大量死に至ると推察されている。クロウシノシタ¹²⁵⁾や

アカシタピラメ¹²⁶⁾は、浮遊期には鰾を形成するが変態期に縮小し、着底時には退化消失することが確認されている。本種でも変態前ステージでの体高の増加や鰾の縮小等が相まって、マツカワと同様の要因で沈降しやすい状態となったと推察される。これら浮上死や沈降死など大型水槽内で起こる現象は、今後ウシノシタ類仔魚に共通する課題となり得る。仔魚の発育に伴う体構造や体密度が遊泳行動に及ぼす影響を明らかにするとともに、夜間の強通気¹¹⁷⁾や水中ポンプによる飼育水の循環¹²⁷⁾等による沈降防除策も検討する必要がある。

今回行ったすべての飼育回次において、外部形態に異常を呈す種苗が確認された。しかし、水温別飼育試験の結果(第2章1節)に基づいた量産試験では、17~20℃の適水温付近での仔魚飼育によって、生産終了時の正常個体率は70.1%と、水温管理による形態異常の軽減効果を実証された(第3章)。水温管理による発育、変態速度の調整は、量産施設にも即応できる実用的な対策であることから、今後とも形態異常に及ぼす水温の影響を詳細に検討する必要がある。一方、形態異常発現に影響する要因は、水温をはじめとする飼育環境のほか栄養(餌料)や遺伝的な要因(親魚)が推察され、様々な防除対策が検討されてきた^{63,128)}。水温別飼育試験1と2は同一の環境と餌料で飼育したにもかかわらず、正常個体率に大差が生じた(第2章1節)。友田¹²⁹⁾は、初期餌料となるワムシ栄養価の僅差がヒラメの形態異常に影響を及ぼすとし、佐藤・竹内³³⁾はマガレイの飼育で産卵ロットによる影響を指摘している。試験1と2の発現差は、今回の設定で統一または制御しきれなかったこれらの要因が作用したものと推察し、本種においても今後検討すべき課題と考える。

他のウシノシタ類については、クロウシノシタで眼位や体色異常(無眼側体色異常率:100%,有眼側:42.9%)が発現し¹³⁰⁾、イヌノシタでは27~29℃での飼育条件下で全個体が両面有色魚となるなど¹⁴⁾、本種と同症状で高い形態異常率が報告されている。夏季に産卵する両種の場合、25℃以上での飼育となるために変態完了日齢が15~20日と早く、飼育条件によっては諸器官で急速に進む変態機序に誤りが生じやすいと考えられる。両種の異常についても、他の異体類^{61,87)}と同様にアルテミアの給餌時期¹³⁰⁾や水温¹⁴⁾の影響等が指摘されていることから、飼育技術が確立された本種をモデルに実験を重ね、ウシノシタ類における形態異常の機序を整理した上で、対策に取り組むべきであろう。同時に本種の形態異常が他のウシノシタ類にも共通した特徴であるかを確認することが、

今後の課題としてあげられる。また、今回の観察では、白化や逆位個体は出現しなかったが、これが本種の特徴であるか、または飼育条件の影響によるものかを確認する必要がある。本種で特徴的であった中間形や確認されていない白化、逆位（第2章3節）の発現を検討することで、異体類の形態異常や変態機序の解明に繋がる可能性がある。

変態後の稚魚期はヒラメ¹³¹⁾やオニオコゼ¹³²⁾等で多発する共食いがないため減耗は軽微であったが、量産試験ではふ化日の異なる3仔魚群を併せて飼育した影響もあり、成長差は著しく大きかった。加えて、着底魚の増加と成長に伴う水槽底面および側面の高密度化により、小型魚が大型魚に突かれる状況や若干の這い上がり死もみられた。這い上がり死は、夜間に有眼側で水槽壁面の水面上に這い上がり、自力で戻れなくなる死亡例で、全長18~40mmで頻発する⁷¹⁾。ただし、40kL水槽での這い上がり死は、コンクリート壁面に凹凸が多いことで体側が壁面に接着し難いためか、ポリエチレンやFRPなど表面が滑らかな水槽よりも軽微で、壁面上部からのシャワーや水面の曝気等の防除対策^{71,133)}を要する程の減耗ではなかった。これら高密度化に伴う弊害に対しては、他の異体類同様、適切な時期にサイフォンを用いた早期着底魚の移槽等による密度調整が重要と考えられた。

稚魚期の餌料については、アルテミアのみで育成可能であることがすでに明らかであったため^{15,71)}、将来的な事業化を目指す観点から、生物餌料よりも給餌作業が簡素で低コスト、栄養価が高い配合飼料の使用を試みた。しかし、配合飼料への餌付きが悪く、結果、アルテミアを単独給餌した飼育事例の87.5%⁷¹⁾を大きく下回る34.0%の低い生残率となった。全般的に配合飼料への反応は鈍く、摂餌できないまま衰弱死する稚魚が多かったが、積極的に摂餌する個体も見られた。コウライアカシタビラメ0歳魚の食性について大坂ら¹⁰³⁾は、主な餌料は成長によって変化し、全長70mm以下ではカイアシ類、クマ類、ヨコエビ類であるとしている。また、クロウシノシタの種苗生産においても、同様に着底後の稚魚は配合飼料への反応が鈍く、摂餌は不活発であったことから^{13,130)}、ウシノシタ類の稚魚において生物餌料から配合飼料へ切り替えるには技術的な検討が必要であると考えられる。一方、宮木・中田¹³³⁾は稚魚を巡流水槽に収容して、全長30mmまでの間に配合飼料に餌付けたことを報告しており、水槽底に沈下した配合飼料を動きのある状態とすることで改善できる可能性もある。

適正な放流サイズや場所の検討を目的とした幼稚魚の

潜砂試験結果から、全長50mm以上で放流すれば幅広い粒径の底質に潜砂でき、放流効果を高められると考えられた（第4章2節）。放流初期の生残は、潜砂等による害敵からの逃避に加え摂餌能力の向上によって高まる。今後、潜砂、遊泳に関連する鱗形成や各鰭の発達過程に着目した稚魚から幼魚期の外部形態の変化を観察し、これらも判断材料としながら放流適正サイズを再検討する必要があるだろう。

コウライアカシタビラメの放流については、有明海の島原地先において、全長150mm、1,000尾の人工種苗にスパゲティおよびダートタグを装着した標識放流が行われた事例があるが、再捕報告は得られなかったという¹³⁴⁾。ホシガレイの放流について和田・清水¹³⁵⁾は、天然稚魚の情報が得られない宮古湾における放流適地を検討するに当たり、複数の候補地での小型ゲージに収容した種苗の成長や摂餌状況等の情報から放流条件を推定する実験生態学的手法により成果をあげ、天然魚の生態的知見の集積や地域特性に基づいた放流技術開発の重要性を述べている。本種においても放流事業化に当たってはまず、人工種苗をフィールドでの実験魚として対象海域での摂餌生態、好適環境等の知見を集積し、天然稚魚の調査も併行するなど成育場の条件を整理した上で、次のステップである標識放流試験を行い回収率評価から効果を高めるなど、段階的な放流技術開発を進めるべきと考えられた。

第4章では資源の維持や増殖を図る上で重要な天然での初期生態について、その一端を把握した。これら断片的な情報に第1~3章の研究により明らかになった飼育環境下での生理・生態的な特性を補足し、瀬戸内海中央部（備讃瀬戸と播磨灘北西部）における初期生態の推察を試みたい。

瀬戸内海中央部では春季に沿岸から数百mの水深10~20m、岩礁からほど近い砂礫底で産卵のために接岸したコウライアカシタビラメ親魚を対象とした底刺網漁業が行われていることから、産卵場は成魚の分布域とは異なる極沿岸域に形成されると考えられる。飼育環境下の個別産卵試験（第1章1節）では、供試した全ての雌が多回産卵し、産卵開始および終了水温に約3℃の個体差があったものの、その継続期間はいずれも30日前後であった。このことから、海域においても成熟の進んだ雌個体から順次に産卵場へ向かい、その付近で約1か月間産卵を続けた後、本来の生息海域に戻ることが推察された。期間中の総産卵数については、飼育親魚の産卵数が、天然雌個体の全長との関係式²¹⁾により算出される産卵数よりも短期養成群で37%、長期養成群で14%少なかったこ

とから(第1章2節),天然資源からの産卵数の推定の際には下方修正が必要かもしれない。卵径については,他の海産魚と同様に産卵期が進むにつれて小型化する傾向があるとともに,従来報告されていた有明海産の卵径より1割程度小さいことを確認した(第1章2節)。すなわち体積では瀬戸内海産が2割小さいこととなり,産卵盛期の生殖線指数(GI)の平均値は瀬戸内海産²⁰⁾と有明海産³⁷⁾でいずれも8前後と差がないことなどを考え合わせると,瀬戸内海産親魚の産卵数は同サイズの有明海産より2割程度多いと推察された。

コウライアカシタビラメの産卵水温は13~20℃であり,13~24℃の範囲で卵発生が進み,仔魚の開口まで至った。ただし,高水温期に産卵する他のウシノシタ科魚類とは異なり,本種の産卵が昇温期にあたるため,限界水温付近での産卵から開口までに要す時間は3~11日と大差が生じた(第1章3節)。本種を含めたウシノシタ類は分離浮性卵を産むので,卵期と仔魚期は浮遊生活期となる。卵やふ化直後の仔魚では遊泳力が乏しく,ほとんどの動きは潮汐流や吹送流による受動的な輸送で,卵期と仔魚が開口する前期仔魚までの減耗要因として重要であると思われるのは,不適な環境への逸散によって起こる死亡と被食である¹³⁶⁾。瀬戸内海中央部における分布調査では,卵はほぼ全域に拡散していたことから(第4章1節),逸散による減耗は少なくないと思われた。産卵初期の低水温期では産卵から遊泳力を獲得する後期仔魚までに長時間を要し,逸散や被食等による減耗が激しいことが予想される。17℃付近での正常ふ化率が高いこと,卵の発生水温と時間の関係には20℃付近に変曲点が認められたことから(第1章3節),海域においては産卵前期よりも盛期から後期,17~20℃での産卵およびふ化率が,浮遊期の短縮化により数多く生残している可能性が推察された。

開口後の後期仔魚の飼育では,摂餌不良と考えられる初期減耗が顕著であったため,その対策として20個体/mL以上の高密度のワムシ給餌を試みたところ,それらが軽減され,高密度の餌料環境により摂餌機会が増した効果と考えられた(第2章2節)。浮遊期の仔魚の餌料生物については,多くの海産仔魚は環境中に最も普通に出現する適当なサイズの餌生物を摂餌し,餌生物のサイズに対する選択性のほかに種類に対する選択性が認められる場合も多い⁹¹⁾。若狭湾^{125,126)}および仙台湾¹³⁷⁾のクロウシノシタとアカシタビラメ仔魚については,消化管内容物調査から,他の海産魚類でも普遍的にみられる橈脚類ノープリウスの他,環境水中には少ない *Microsetella norvegica*

の強い餌料選択性が言及されている。さらに若狭湾のササウシノシタ^{138,139)}や North Sea の *Buglossideum luteum*¹⁴⁰⁾なども *M. norvegica* を摂食していたことから,佐藤¹³⁷⁾は, *M. norvegica* の選択的摂食はササウシノシタ科も含めたウシノシタ類共通の特徴とし,その要因として視覚捕食者であると推測されるウシノシタ類仔魚と *M. norvegica* の行動や生活様式など生態の合致を推察している。一方, Yagi et al.²⁴⁾は有明海において同様に,デンベエシタビラメとコウライアカシタビラメ仔稚魚での *Pseudobradia* sp. の選択的な摂食を報告している。これらのことから,今回,コウライアカシタビラメ飼育仔魚に観察された緩慢な遊泳行動に起因する摂餌特性等のため,ウシノシタ類仔魚が捕食できる餌料生物は共通する生態によって限定されており,その種類は海域によって異なることが推察された。今後,瀬戸内海においてウシノシタ類仔魚の主食となっている餌料生物の調査とそれらの生態解明が望まれる。また,こうした知見の集積により,初期飼育の改善が図れる可能性もある。

仔魚の生き残りには餌生物の発生期との一致が重要であり,橈脚類のノープリウスの出現量は,一般的には春季から夏季にかけて多く,夏季以降は減少する季節変化が認められる¹⁰⁰⁾。今回の水温別飼育試験では14~20℃の範囲ではより高い水温区で仔魚の成長が速く,着底までの浮遊期間も短縮され,かつ生残率も高かった(第2章1節)。また,飼育初期には日長時間の延長による摂餌促進効果が認められている(第2章2節)。これらのことから4~6月に発生するコウライアカシタビラメ仔魚期の海域環境を検討すると,長日となって水温が上昇する後期の発生が有利であり,前述の卵期も含め,後期発生群の生残がより高く,資源添加への寄与は大きいことが推察された。

瀬戸内海中央部における幼稚魚の動向を把握する目的で行った底びき網の漁獲物調査では,ウシノシタ科3種はともに,全長50mm前後の幼魚期から成魚の分布域で漁獲加入していることを確認した。しかし,今回は目合いが大きい漁具であったため,成魚の漁場において着底直後の稚魚は採集されず,着底場所と成育場について明らかにできなかった(第4章3節)。有明海の幼稚魚期の生態について輿石ら²²⁾および Yagi et al.²⁴⁾は,デンベエシタビラメとコウライアカシタビラメの15mm以下の稚魚が河口で,さらに40mmまでの幼魚が河口域の水深5m以浅で採集されることから,河口域がウシノシタ科の着底および成育場として機能しているとし,その重要性を述べている。一方,大阪湾においては10~20mmの

着底稚魚が、アカシタビラメでは成魚の分布域よりやや浅い水深10~20m、イヌノシタでは成魚と同じ20~30mの泥底または砂泥底で採集されるとし¹⁰⁸⁾、両海域間で全く異なる見解が示されている。瀬戸内海中央部については、燧灘東部における5m以浅での底生魚類調査¹⁴¹⁾によってウシノシタ科の幼稚魚が採集されなかったこと、仔魚の分布調査でも河口域や沿岸にはみられないこと(第4章1節)、および牛窓海域における過去の底びき網調査¹⁴²⁾では30mmのアカシタビラメの採集例があることなどから、大阪湾と同様に稚魚は河口域や5m以浅を成育場とせず、10m以深の成魚の漁場付近に着底している可能性も考えられる。当海域においても児島湾周辺など河口域や漁場周辺での稚魚採集用の漁具を用いた詳細な調査を行い、異体類の増殖を図る上で最も重要な着底場所や成育場について解明する必要がある。

要 約

コウライアカシタビラメはウシノシタ科に属す大型のシタビラメで、日本周辺では本州から九州沿岸の砂泥底に生息している。瀬戸内海中央部ではアカシタビラメ、イヌノシタとともに小型底びき網や刺網漁業の主要対象種であるが、近年、過剰な漁獲圧や環境変化等により漁獲量が減少傾向にある。本研究では、コウライアカシタビラメを対象とした種苗生産および放流による増殖技術の確立を目的として、飼育環境下における本種の産卵生態、仔稚魚の生理・生態的特性を調査した。さらに、海域での卵・仔稚魚調査と飼育での知見から、瀬戸内海中央部における初期生態の推察を試みた。

第1章 個別飼育したコウライアカシタビラメ天然魚の産卵間隔、産卵数、産卵時刻等について調査した。4月下旬から6月上旬に4例すべてで14~22回の産卵が確認され、本種が多回産卵魚であることが明らかになった。産卵水温(13.7~19.9℃)や産卵頻度(44~81%)には個体差があり、産卵間隔に一定の傾向はみられなかったが、盛期には毎日産卵することが確認された。雌1尾あたりの産卵数は最大45~53千粒/日、期間中の総産卵数は334~521千粒であった。対照とした複数雌の群産卵区では、浮上卵率(0~100%)と卵径(0.96~1.10mm)は産卵期の進行とともに低下し、水温と負の相関が認められたが、個別産卵区では浮上卵率において相関が認められず、個体と集団の示す卵質傾向は異なることが示唆された。産卵時刻は14~0時と推定され、16~22時の産卵数が全体の7割を占めた。

種苗生産用の良質卵を得る目的で、養成期間の異なる

瀬戸内海産コウライアカシタビラメ親魚群(短期養成群:約1か月,長期養成群:12~17か月)を陸上水槽で養成し、自然産卵させ産卵数および卵質を調査、比較した。産卵は4月下旬、13℃台から始まり、6月上旬、概ね19℃で終了し、この間ほぼ毎日産卵がみられた。雌1尾当たりの総産卵数は短期養成群、長期養成群でそれぞれ194千粒と537千粒/尾で、天然魚の産卵数よりも少なかった。卵質を示す浮上卵率、卵径、仔魚の無給餌生残指数は産卵期が進むにつれて低下し、水温と負の相関関係が認められた。漁獲直後の天然魚でも良質卵は確保できたが、養成期間が1年以上の親魚群の方がより安定かつ計画的に採卵できると考えられた。

コウライアカシタビラメの自然産出卵を用いて、各発生段階までの到達時間、ふ化までの所要時間およびふ化率に及ぼす水温の影響を調べた。13~24℃の範囲で発生が進行し、ふ化仔魚が得られた。各発生段階への到達時間は、水温の上昇とともに指数関数的に減少し、ふ化開始までの所要時間は30時間30分~102時間であった。水温とふ化所要時間の対数との関係は、20℃付近に変曲点が認められ、変化率が異なった。正常ふ化仔魚が得られた水温範囲は13~24℃、そのうち50%以上の正常ふ化率を示した範囲は13~20℃であった。最も正常ふ化率が高かった水温は15℃および17℃であった。これらの結果から、コウライアカシタビラメの卵発生とふ化に最適な水温は15~17℃付近と考えられ、岡山県における本種の自然産卵盛期の水温と一致した。

第2章 コウライアカシタビラメ仔稚魚期の適正水温を明らかにするため、14、17、20℃および自然水温(16~24℃)でふ化仔魚から着底稚魚まで飼育し、成長、生残、変態、形態異常に及ぼす影響を検討した。仔稚魚の成長は $14^{\circ}\text{C} < 17^{\circ}\text{C} \approx \text{自然水温} < 20^{\circ}\text{C}$ で、水温が高い順に速かった。生残率も $14^{\circ}\text{C} < \text{自然水温} \approx 17^{\circ}\text{C} < 20^{\circ}\text{C}$ と、水温が高いほど高い傾向があり、14℃区では飼育が困難であった。全ての水温区で眼位など頭部周辺と体色に形態異常がみられた。正常個体率は17℃を最高に低温および高温側で低い傾向が確認され、自然水温で最低、次に20℃区で低かったことから、20℃以上では形態異常の出現率が高まる可能性が示唆された。本種仔魚の成長や変態を速め、稚魚の生残率と正常個体率を高める飼育適水温は17~20℃と推察された。

コウライアカシタビラメ仔魚の摂餌促進による初期減耗の軽減を目的とし、異なる日長条件(12, 24時間明期)とワムシ密度(5, 10, 20, 30個体/mL)による飼育試験を実施した。飼育にはそれぞれ200Lと500L水槽を用

い、初期の摂餌状況と16日齢までの成長、生残を比較した。日長試験では、開口から5日間の24時間明期が12時間明期よりも仔魚の摂餌、成長、生残に優れた。ワムシ密度試験では20, 30個体/mLの高密度区の成長、生残率が5, 10個体/mL区より高かった。24時間明期と高密度給餌は、本種仔魚の摂餌を促進し、初期減耗を軽減する効果が認められた。

コウライアカシタピラメ人工種苗に発現する形態異常の特徴を検討するため、眼位、体色等の左右不相称性5形質に着目して、96尾の稚魚を観察した。人工種苗は正常個体、両面有色個体、両者の中間的な形態を示す中間個体の3タイプに分けられた。これらの現象は、異体類全般に発現する変態異常と考えられたが、白化や逆位は出現しなかった。眼位と体色において、正常個体と両面有色個体の中間形が出現しやすいことが、本種の特徴である可能性が示唆された。これら中間個体においては、眼の移動と体色被覆が同期していない現象が確認できた。

第3章 40kL大型水槽を用いたコウライアカシタピラメ人工種苗の量産試験を実施し、45日間の飼育で平均全長22.8mmの稚魚7.7万尾を得た。仔魚期の発育ステージDにおける浮上死やEおよびF～Hでの沈降死による減耗が顕著で生残率は約10%と低かったが、ワムシとアルテミア幼生主体の餌料系列など他の海産魚類と同様の方法で飼育可能と分かり、量産の見通しを得た。稚魚期の飼育では、生物餌料から配合飼料への切り替えが容易ではないこと、さらに他の異体類と同様に頭部周辺や体色等に形態異常を発現する可能性があることなど、今後の課題と技術開発の方向性を確認した。

第4章 瀬戸内海中央部において、垂直および水平ネット曳きによりコウライアカシタピラメ卵・仔魚の出現時期や分布状況を調査した。卵は4～6月にはほぼ全域で出現したことから、産卵期は4月上旬から6月下旬、産卵水温は12～20℃と考えられ、飼育水槽での状況と一致した。卵の分布密度は備讃瀬戸中央部で高く、播磨灘や燧灘へ向かうに従い低下する傾向があり、成魚の分布傾向と一致した。仔魚は5, 6月に主に沖合で採集され、河口域や沿岸ではみられなかった。仔魚の採集数および定点が僅かであったため、分布傾向は明らかでなかった。

適正な放流サイズや場所の検討を目的として、人工種苗の潜砂能力を調査した。平均全長30, 40, 50, 55mmの4段階の稚魚を用い、粒径が0.5mm未満, 0.5～1.0mm, 1.0～2.0mmの3段階の砂底を敷いた水槽に収容して、目視により潜砂能力を評価した。全長30mmの稚魚でも粒径0.5mm以下の中砂であれば潜砂可能であることや、

40mmで0.5～1.0mmの粗砂, 50mmになると1.0～2.0mmの極粗砂まで潜砂できることを確認した。潜砂能力は成長に伴い向上し、全長50mmで幅広い底質への潜砂が可能となり、放流効果を高められると考えられた。

播磨灘北西部における小型機船底びき網漁獲物の周年調査により、ウシノシタ科3種の0歳魚の漁獲加入時期やサイズ、成長など初期生態を把握した。コウライアカシタピラメは推定90日齢以降の8月から最小全長62.9mm, アカシタピラメとイヌノシタは60日齢以降の9月からそれぞれ56.7mm, 41.6mmで漁獲加入した。それ以降は成魚と同様の海域に分布し、12月にはアカシタピラメが平均全長100mm, コウライアカシタピラメおよびイヌノシタが150mm前後にまで達することが分かった。

以上の研究結果から、コウライアカシタピラメの産卵生態、仔稚魚の生理・生態的特性を明らかにしたことで、採卵、卵管理および仔稚魚飼育技術が改善され、稚魚の量産が可能となった。また、種苗量産と放流事業化への課題を整理し、今後の種苗生産技術開発の方向性を論じた。さらに、海域での卵から幼魚までの若干の調査に飼育環境下での生理生態的な知見を補足して、瀬戸内海中央部における本種の初期生態を推察した。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、終始懇切なるご指導とご校閲を賜った福山大学生命工学部海洋生物科学科教授 南 卓志博士に深甚なる感謝の意を表す。また、本論文のご校閲をいただき、貴重なご意見を賜った同大学生命工学部海洋生物科学科教授 有瀧真人博士に厚くお礼申し上げます。

共同研究では、当時の福山大学生命工学部海洋生物科学科4年生の小倉佳奈、那須隆文、藤田亮太諸氏に様々なご協力をいただいた。また、コウライアカシタピラメ仔稚魚の飼育技術全般にわたりご教授いただいた長崎県総合水産試験場 宮木廉夫博士、瀬戸内海のウシノシタ類の生活史について貴重なご意見をいただいた香川県水産試験場 山本昌幸博士、愛媛県水産研究センター 渡邊昭生氏、大阪府環境農林水産総合研究所水産技術センター 大美博昭氏、供試魚の入手に当たっては牛窓町漁業協同組合 豊田嘉多一氏、因島漁業協同組合 立花 勇氏に大変お世話になった。ここに感謝の意を記す。

元岡山県水産試験場 福田富男博士には当初より暖かい激励と有益なご助言をいただいた。謹んで感謝の意を表す。

本研究の遂行やとりまとめに種々のご配慮やご指導を

いただいた岡山県農林水産総合センター水産研究所 前所長の山野井英夫博士、萱野泰久所長、藤井義弘副所長、近藤正美室長、佐藤二郎室長に厚くお礼申し上げます。また、飼育実験や調査の実行には、高木秀蔵博士、杉野博之、小橋啓介、林 浩志、小見山秀樹、元谷 剛、岩本俊樹、中力健二、弘奥正憲、後藤真樹、竹本浩之、吉田創平、多田幸四郎諸氏、および他職員各位に絶大なる協力をいただいた。心よりお礼申し上げます。

文 献

- 1) 松原喜代松, 1971: カレイ目, 魚類の形態と検索Ⅱ 第2版, 石崎書店, 東京, 1217-1291.
- 2) 中坊徹次, 2013: 日本産魚類検索: 全種の同定 第三版, 東海大学出版会, 秦野, 2428.
- 3) AGK. Menon, 1977: A systematic monograph of the tongue soles of genus *Cynoglossus* Hamilton-Buchanan (Pisces: Cynoglossidae), *Smithsonian Inst Press*, 238, 129.
- 4) 大坂幸男・興石裕一, 1997: コウライアカシタビラメ, 日本の稀少な野生水生生物に関する基礎資料 (IV), 日本水産資源保護協会, 東京, 190-195.
- 5) 元谷 剛・清水泰子・片山亜優・片山知史, 2014: 岡山県東部海域におけるウシノシタ科魚類の炭素・窒素安定同位体比, 水産増殖, **62**, 123-128.
- 6) 反田 實・赤繁 悟・有山啓之・山野井英夫・木村 博・團昭紀・坂本 久・佐伯康明・石田祐幸・壽 久文・山田卓郎, 2014: 瀬戸内海の栄養塩環境と漁業, 水産技術, **7**, 37-46.
- 7) 山本昌幸・片山知史・牧野弘靖・竹森弘征, 2008: 瀬戸内海中央部におけるコウライアカシタビラメの年齢, 成長および漁獲年齢組成, 水産海洋研究, **72**, 174-181.
- 8) 岡山県農林統計協会, 2008: 漁業生産, 平成18~19年岡山県農林水産統計年報, 31.
- 9) 元谷 剛, 2010: 岡山県海域で操業する小型底びき網により漁獲されるウシノシタ類の全長と体高に基づく網目選択の推定効果, 岡山水研報告, **25**, 1-5.
- 10) 元谷 剛, 2010: 岡山県海域で操業する小型底びき網漁業の漁獲物組成 (平成21年), 岡山水研報告, **25**, 24-29.
- 11) 落合 明, 1966: 日本産シタビラメ魚類の形態並びに生態に関する研究, 京都大学みさき臨海研究所 特別報告書, **3**, 97pp.
- 12) 石井孝幸・長田 明・鈴木章一, 1982: クロウシノシタの種苗生産研究, 昭和56年度福島水試事報, 141-144.
- 13) 土屋笙子・細谷久信・渡辺 昭・佐藤義昭, 1993: ウシノシタ種苗生産技術開発試験, 新潟裁セ業務研報, **16**, 73-82.
- 14) 弘奥正憲・杉野博之・草加耕司, 2013: イヌシタの人工授精と仔稚魚の飼育, 岡山水研報, **28**, 39-46.
- 15) 藤田矢郎・北島 力・林田豪介, 1986: コウライアカシタビラメの成熟促進, 卵発生と飼育による仔稚魚の形態, 魚類学雑誌, **33**, 304-315.
- 16) 深浦雄一・倉田清典, 1999: 種苗生産試験Ⅲ (コウライアカシタビラメ), 平成10年度熊本水研事報, 179-181.
- 17) 福澄賢二・太刀山透・深川敦平, 2001: コウライアカシタビラメの採卵と仔稚魚の飼育, 福岡水海技セ研報, **11**, 21-27.
- 18) 尾田 正・水戸 鼓, 1994: コウライアカシタビラメ仔魚の相対成長, 摂餌可能サイズと適正塩分, 岡山水試報, **9**, 85-88.
- 19) 原田和弘・水田 章・杉野雅彦, 1994: コウライアカシタビラメの種苗生産試験, 平成5年度兵庫水試事報, 137-138.
- 20) 鎌木昭久, 1992: コウライアカシタビラメの年齢と産卵時期, 岡山水試報, **6**, 61-68.
- 21) 鎌木昭久, 1992: コウライアカシタビラメの産卵に関する年齢と孕卵数, 岡山水試報, **7**, 24-28.
- 22) 興石裕一, 大坂幸男, 首藤宏幸, 池本麗子, 1994: 若齢期底魚類による海中構築物周辺海域の利用, 平成4年度沿岸漁場整備開発事業に関する水産庁研究所研究報告書, 水産庁振興部開発課, 64-75.
- 23) Y. Ohsaka and Y. Koshiishi, 1997: Effects of covering a tidal flat with sand for stock enhancement of tonguefish: A feasibility study at Ariake Sound in Kyusyu, Japan, *UJNR Technical Report*, **26**, 105-114
- 24) Y. Yagi, I. Kinoshita, S. Fujita, H. Ueda and D. Aoyoma, 2009: Comparison of early life history of two *Cynoglossus* species in the inner estuary of Ariake Bay, Japan, *Ichthyological Research*, **56**, 363-371.
- 25) 松浦修平・古市政幸・丸山克彦・松山倫也, 1988: マダイ1尾による毎日産卵の確認とその卵質, 水産増殖, **36**, 33-39.
- 26) 平野ルミ・山本栄一, 1992: 個別飼育実験によるヒラメの産卵周期と産卵数の確認, 鳥取水試報告, **33**, 18-28.
- 27) 渡辺憲一, 2005: オニオコゼ *Inimicus japonicus* 雌1尾の産卵と卵質, 水産増殖, **53**, 107-114.
- 28) Z. Yong, K. Furukawa, K. Aida and I. Hanyu, 1991: Daily spawning rhythm during spring and autumn spawning season in the tobinumeri-dragonet *Repomucenus beniteguri*, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **5**, 1865-1870.
- 29) 升間主計・手塚信弘・尾花博幸・鈴木伸明・野原健司・張成年, 2003: ミトコンドリアDNA分析から推定した養成クロマグロの産卵生態, 水研センター研報, **6**, 9-14.
- 30) 栗田 豊, 2006: 野外調査と飼育実験を併用した魚類の繁殖特性研究, 水研センター研報別刷, **4**, 87-99.
- 31) 古川 清, 1991: 成熟・産卵リズム シロギス等, 海産魚の魚類の産卵・成熟リズム, 水産学シリーズ85, 恒星社厚生閣, 東

- 京, 65-76.
- 32) 清水昭男, 2006: 魚類の生殖周期と水温等環境条件との関係, 水研センター研報別刷, **4**, 1-12.
- 33) 佐藤敦一・竹内俊郎, 2009: マガレイの産卵間隔, 総産卵量, 産卵時刻, 排卵周期, 水産増殖, **57**, 411-416.
- 34) 渡辺研一・鈴木重則・錦 昭夫・南 卓志, 2008: 水槽で飼育したマツカワ天然魚の産卵間隔と産卵数, 水産技術, **1**, 55-59.
- 35) 岩井寿夫・柏木正章, 1989: 発生の孵化管理, 水族繁殖学, 緑書房, 東京, 195-237.
- 36) 田中 克・田川正朋・中山耕至, 2009: 初期減耗とライフサイクル, 稚魚 生残と変態の整理生態学, 京都大学出版会, 京都, 3-42.
- 37) 林 宗徳・石田祐幸・上田 拓, 2000: 有明海におけるコウライアカシタビラメの産卵期, 福岡水海技セ研報, **10**, 19-22.
- 38) 新聞脩子・辻ヶ堂 諒, 1981: カサゴ親魚の生化学的性状と仔魚の活力について, 養殖研報, **2**, 11-20.
- 39) 会田勝美, 1982: 水産動物の成熟・産卵に関する内分泌機構環境—視床下部—脳下垂体, 魚介類の成熟・産卵の制御, 水産学シリーズ41, 恒星社厚生閣, 東京, 9-19.
- 40) 宮下 盛・瀬岡 学, 2005: マダイ・チダイ, 水産養殖システム1海水魚, 恒星社厚生閣, 東京, 45-81.
- 41) 村田 修, 2005: ヒラメ, 水産養殖システム1海水魚, 恒星社厚生閣, 東京, 83-109.
- 42) 清野通康, 1974: 産出卵の卵質評価 海産魚, 魚類の成熟と産卵, 水産学シリーズ6, 恒星社厚生閣, 東京, 113-119.
- 43) 虫明敬一・関谷幸生, 1993: シマアジふ化仔魚の活力判定の試み, 水産増殖, **41**, 155-160.
- 44) 虫明敬一・藤本 宏・新聞脩子, 1993: プリふ化仔魚の活力判定の試み, 水産増殖, **41**, 339-344.
- 45) 萱野泰久・何 玉環・原 隆・福永丈人, 1998: 年齢組成の異なるキジハタ親魚群の自然産出卵の卵質, 水産増殖, **46**, 213-218.
- 46) 酒井 清・野村 稔・井上正昭・城条義興・武富正和, 1985: マダイ自然産出卵の卵質, 水産増殖, **33**, 7-11.
- 47) 森田健太郎, 2003: 配偶子の多様性 卵サイズの多様性, 水産動物の性と行動生態, 水産学シリーズ136, 恒星社厚生閣, 東京, 48-65.
- 48) 藤田矢郎・田北 徹, 1965: ムラサキアカシタビラメの卵発生と仔魚前期, 日水誌, **31**, 488-492.
- 49) 碓井益男, 1984: 動物の発生, 地球社, 東京, 126-145.
- 50) 山本時男, 1943: 魚卵の発生速度と温度, 魚類の発生生理, 養賢堂, 東京, 110-120.
- 51) 安永義暢, 1975: ヒラメ卵仔稚魚の発生・生残に及ぼす水温塩分の影響について, 東海水研報, **81**, 151-169.
- 52) 萱野泰久・尾田 正, 1991: キジハタ卵の発生に及ぼす水温の影響について, 水産増殖, **39**, 309-313.
- 53) 宮下 盛・田中裕志・澤田好史・村田 修・服部亘宏・滝井健二・向井良夫・熊井英水, 2000: クロマグロ卵の発生と孵化に及ぼす水温の影響, 水産増殖, **48**, 199-207.
- 54) 牧野 直・松丸 豊・田中 克, 2003: スズキ卵の発生に及ぼす水温と塩分の影響, 水産増殖, **51**, 55-64.
- 55) 渡辺憲一・貝田雅志・深谷利香子・伊藤 東, 2004: オニオコゼ卵の発生に及ぼす水温の影響, 水産増殖, **52**, 23-28.
- 56) 川辺勝俊, 2005: アカハタ卵の発生過程とふ化におよぼす水温の影響, 水産増殖, **53**, 333-342.
- 57) 草加耕司・榎東祐子・池田博明・弘奥正憲・池田善平, 2007: ヒラメの種苗生産, 岡山水研報告, **22**, 190-195.
- 58) 小橋啓介・後藤真樹・亀井良則, 2011: オニオコゼの種苗生産, 岡山水研報告, **25**, 93-95.
- 59) T. Seikai, J. B. Tanangonan and M. Tanaka, 1986: Temperature influence on larval growth and metamorphosis of the Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in the laboratory, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **52**, 977-982.
- 60) 睦谷一馬, 1988: 人工飼育におけるマコガレイ仔稚魚の成長と変態について, 水産増殖, **36**, 27-32.
- 61) 有瀧真人, 2013: 飼育したカレイ科魚類の変態期に発現する形態異常とその防除に関する研究, 水研セ研報, **37**, 147-197.
- 62) 小牧博信, 1996: マダイ仔稚魚の成長・発育に及ぼす水温の影響について, 水産増殖, **44**, 99-104.
- 63) 萱場隆昭, 2005: マツカワの種苗生産技術に関する研究, 北水研報, **69**, 1-116.
- 64) 平田善郎・浜崎活幸・今井彰彦・照屋和久・岩崎隆志・浜田和久・虫明敬一, 2009: カンパチ仔魚の生残, 成長, 摂餌および鰾の開腔に及ぼす光周期と水温の影響, 日水誌, **75**, 995-1003.
- 65) M. Aritaki and T. Seikai, 2004: Temperature effects on early development and occurrence of metamorphosis-related morphological abnormalities in hatchery-reared brown sole *Pseudopleuronectes herzensteini*, *Aquaculture*, **240**, 517-530.
- 66) 有瀧真人・太田健吾・堀田又治・田川正朋・田中 克, 2004: 異なる飼育水温がホシガレイ仔魚の発育と変態に関連した形態異常の出現に及ぼす影響, 日水誌, **70**, 8-15.
- 67) T. Minami and M. Tanaka, 1992: Life history cycles in flatfish from the northwestern Pacific, with particular reference to their early life histories, *Neth. J. Sea Re.*, **29**, 35-48.
- 68) 田中 克, 1995: 変態期過程の種内変異と生態的意義, カレイ目魚類の変態, 月刊海洋, **12**, 745-752.
- 69) 南 卓志, 1983b: 異体類の初期生活史II 産卵期の特徴, 海洋と生物, **29**, 450-453.

- 70) 有瀧真人・青海忠久・小林真人, 1996: マガレイ仔魚の高水温飼育とアルテミア幼生早期給餌による形態異常の出現防除, 日水誌, **62**, 857-864.
- 71) 草加耕司・後藤真樹・小見山秀樹・弘奥正憲, 2012: コウライアカシタビラメの仔稚魚の飼育方法の検討, 岡山水研報告, **27**, 37-43.
- 72) 濱本俊策・栩野元秀・横川浩治, 1986: キジハタふ化仔魚飼育時における小型飼料の有効性と明期効果, 香川水試報, **2**, 1-11.
- 73) 與世田兼三・團重樹・藤井あや・黒川優子・川合真一郎, 2003: 異なった日周条件がスジアラ仔魚の初期摂餌, 初期生残および消化酵素に及ぼす影響, 水産増殖, **51**, 179-188.
- 74) 照屋和久・與世田兼三・岡雅一・西岡豊弘・中野昌次・森広一郎・菅谷琢磨・浜崎活幸, 2008: 光周期がマハタ仔魚の生残, 成長および摂餌に及ぼす影響, 日水誌, **74**, 645-652.
- 75) 成田篤史・柏倉真・齋藤寛・岡田喜裕・秋山信彦, 2011: 飼育環境の違いがカワハギ仔魚の摂餌活動, 摂餌量, 生残および成長に与える影響, 水産増殖, **59**, 551-561.
- 76) H.S. Blaxter, 1986: Development of sense organs and behaviour of teleost larvae with special reference to feeding and predator avoidanc, *Trans. Am. Fish. Soc.*, **115**, 98-114.
- 77) G. Boeuf and P.Y. Le Bail, 1999: Does light have an influence on fish growth?, *Aquaculture*, **177**, 129-152.
- 78) A.J. Trotter, S.C. Battaglene and P.M. Psnkhurst, 2003: Effects of photoperiod and light intensity on initial swim bladder inflation, growth and post-inflation viability in cultured striped trumpeter (*Latris lineate*) larvae, *Aquaculture*, **224**, 141-158.
- 79) 田中 克, 1981a: 海産仔魚の摂餌と生残-III, 生残に必要な限界餌料密度の推定(2), 海洋と生物, **13**, 140-146.
- 80) 照屋和久・與世田兼三, 2006: クエ仔魚の成長と生残に適した初期飼育条件と大量種苗量産試験, 水産増殖, **54**, 187-194.
- 81) 川辺勝俊・木村ジョンソン, 2007: 選別した小型S型ワムシを用いたアカハタの種苗生産, 栽培技研, **35**, 11-21.
- 82) 鈴木 徹, 2005: 内臓の左右軸形成と変態期の眼の移動との関わり, 日水誌, **71**, 1002-1003.
- 83) J.R. Norman, 1934: Albinism, ambicoloration and reversal. *A systematic monograph of the flatfishes (HETEROSOMATA)*, Trustees of the British Museum, London, 22-29.
- 84) 青海忠久, 1991: ヒラメ幼魚の無眼側の着色に及ぼす光照射, 有眼側の体色および供試魚の由来の影響, 水産増殖, **39**, 173-180.
- 85) T. Seikai, 1992: Process of pigmentcell differentiation in skin on the left and right sides of the Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*, during metamorphosis, *Japanese Journal of Ichthyology*, **39**, 85-92.
- 86) 河村功一・細谷和海, 1991: 改良二重染色方による魚類透明骨格標本の作成, 養殖研報, **20**, 11-18.
- 87) 青海忠久, 2003: 異体類体色異常出現の防除に関する研究, 日水誌, **69**, 697-700.
- 88) 青海忠久, 1979: 人工採苗ヒラメの飼育条件と体色異常個体の出現頻度, 長崎水研報, **5**, 9-17.
- 89) M. Tagawa and M. Aritaki, 2005: Production of symmetrical flatfish by controlling the timing of thyroid hormone treatment, *General and Comparative Endocrinology*, **141**, 184-189.
- 90) 草加耕司・弘奥正憲・藤井義弘, 2006: オニオコゼの種苗生産, 岡山水研報, **21**, 99-103.
- 91) 田中 克, 1980: 海産仔魚の摂餌と生残-I 天然海域における食性, 海洋と生物, **11**, 440-447.
- 92) 小坂淳夫, 1985: 瀬戸内海的环境, 恒星社厚生閣, 東京, 333pp.
- 93) 千田哲資, 1964: 西日本海域における魚卵・稚魚の分布研究, 岡山水試昭和39年度臨時報告, 80pp.
- 94) 岡山県水産試験場, 1964b: 瀬戸内海中央部における魚卵・稚魚の出現とその生態, 幼稚魚生態調査報告書, 1-85.
- 95) 唐川純一, 2001: 備讃瀬戸及び播磨灘北西部に出現する魚卵・仔稚魚, 岡山水試報, **16**, 10-23.
- 96) 小見山英樹・草加耕司・亀井良則, 2015: 備讃瀬戸北西部における魚卵・仔稚魚の出現状況, 岡山水研報告, **30**, 1-12.
- 97) 元谷 剛, 2011: 岡山県東部海域におけるウシノシタ科魚類3種の資源特性, 岡山水研報告, **26**, 6-13.
- 98) 松村眞作・唐川純一, 1994: 小型底曳網標本船による1993年の漁獲状況について, 岡山水試報, **9**, 128-135.
- 99) 小路 淳・前原 務・武智昭彦・谷川貴之・村田 憲之・田中 克, 2002: 瀬戸内海中央部の燧灘において採集された仔稚魚, 日水誌, **68**, 835-842.
- 100) 田中 克, 1981b: 海産仔魚の摂餌と生残-IV 天然海域における餌生物の密度, 海洋と生物, **15**, 293-299.
- 101) 反田 實, 1988: 人工生産ヒラメの潜砂能力, 水産増殖, **36**, 21-25.
- 102) M. Tanda, 1990: Studies on burying ability in sand and selection to the grain size for hatchery-reared marbled sole and Japanese flounder, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **56**, 1543-1548.
- 103) 大坂幸男・興石裕一・佐野元彦, 1997: 底質改善によるウシノシタ類増殖場造成に関する研究, 平成7年度沿岸漁場整備開発事業に関する水産庁研究所研究報告書, 水産庁振興部開発課, 66-73.
- 104) 安永義暢・興石裕一, 1980: ヒラメ増殖上の諸問題に関する基礎研究 I. 低塩分馴化, 摂餌および蛸集性について, 日水研報, **31**, 17-31.
- 105) 山下 洋・山本和稔・長洞幸夫・五十嵐和昭・石井 豊・佐

- 久間 修・山田秀秋・中本宣典, 1993: 岩手県沿岸における放流ヒラメ種苗の被食, 水産増殖, **41**, 497-505.
- 106) 藤本 宏・山田達哉・山本岳男, 2011: ヒラメは囲い網で馴致すると種苗性が向上する!, 日本海リサーチ&トピックス, **9**, 9-11.
- 107) 輿石裕一・大坂幸男・林 宗徳・佐野元彦・村井武四, 2001: 有明海湾奥東部海域におけるデンベエシタピラメ0歳魚の分布と成長, 水研センター研報, **1**, 23-34.
- 108) 大美博昭, 2015: 大阪湾で8~10月に出現したウシノシタ科稚魚の着底場所, 第37回稚魚研究会講演要旨集.
- 109) 元谷 剛, 2008: 小型底びき網(手操第3種えび桁及び戦車こぎ)の目合別漁獲, 岡山水試報, **24**, 15-22.
- 110) 虫明敬一・本藤 靖・崎山一孝・浜田和久・堀田卓朗・吉田一範, 2003: 日本栽培漁業協会における親魚養成技術開発の現状と今後の課題, 栽培技研, **30**, 79-100.
- 111) 宮木廉夫, 2010: コウライアカシタピラメの種苗生産について, 豊かな海づくり水産開発ながさき, **106**, 1-4.
- 112) 御堂岡あにせ・川口 修・工藤孝也・飯田悦左・長尾則男・松本拓也, 2017: 低塩分飼育が外傷性のある海産魚の生残に与える影響について, 日水誌, **83**, 77-79.
- 113) 石井孝幸, 1984: クロウシノシタの陸上水槽における産卵, 福島種苗研報, **1**, 19-29.
- 114) 宮下 盛, 2006: 種苗生産における浮上および沈降死, 日水誌, **72**, 947-948.
- 115) K. Yamaoka, T. Nanbu, M. Miyagawa, T. Isshiki and A. Kusaka, 2000: Water surface tension-related deaths in prelarval red-spotted grouper. *Aquaculture*, **189**, 165-176.
- 116) 土橋靖史・栗山 功・黒宮香美・柏木正章・吉岡 基, 2003: マハタの種苗生産過程における仔魚の活力とその生残に及ぼす水温, 照明およびフィードオイルの影響, **51**, 49-54.
- 117) Y. Sakakura, S. Shiotani, H. Chuda and A. Hagiwara, 2006: Improvement of the survival in the seven-band grouper *Epinephelus septemfasciatus* larvae by optimizing aeration and water inlet in the mass-scale rearing tanks, *Fish. Sci.*, **72**, 939-947.
- 118) 清川智之・堀 玲子・佐藤利夫, 2014: 小型水槽を使用したアカアマダイの種苗生産, 水産技術, **6**, 147-159.
- 119) 陳 昭能・竹内俊郎・高橋隆行・友田 努・小磯雅彦・桑田博, 2005: ヒラメ仔魚の成長に及ぼすタウリン強化ワムシの効果, 日水誌, **71**, 342-347.
- 120) 藤田矢郎・内田恵太郎, 1957: イヌノシタの卵発生と仔魚前期, 九州大学農学部学芸雑誌, **16**, 319-322.
- 121) 萱場隆昭・杉本 卓・松田泰平, 2003: マツカワの種苗生産における仔魚の大量沈下減耗, 水産増殖, **51**, 443-450.
- 122) 坂本 亘・岡本杏子・上土行起典・家戸敬太郎・村田 修, 2005: クロマガロ仔魚の成長に伴う比重変化, 日水誌, **71**, 80-82.
- 123) T. Takashi, H. Kohno, W. Sakamoto, S. Miyashita, O. Murata and Y. Sawada, 2006: Diel and ontogenetic body density change in Pacific Bluefin tuna *Thunnus orientalis* (Temminck and Schlegel), larvae, *Aquacult. Res.*, **37**, 1172-1179.
- 124) 照屋和久・浜崎活幸・橋本 博・片山俊之・平田義郎・鶴岡廣哉・林 知宏・虫明敬一, 2009: カンパチ仔魚の成長にともなう体密度と水槽内鉛直分布の変化, 日水誌, **75**, 54-63.
- 125) 南 卓志, 1982: クロウシノシタの初期生活史, 日水誌, **48**, 1041-1046.
- 126) 南 卓志, 1983: アカシタピラメの初期生活史, 日水誌, **49**, 719-724.
- 127) Y. Kato, T. Takebe, S. Masuma, T. Kitagawa and S. Kimura, 2008: Turbulence effect on survival and feeding of Pacific Bluefin tuna *Thunnus orientalis* larvae, on the basis of a rearing experiments, *Fish. Sci.*, **74**, 48-53.
- 128) 竹内俊郎, 1999: ヒラメ体色異常のメカニズムと防除法, アクアネット, **2**, 48-52.
- 129) 友田 努・小磯雅彦・陳 昭能・竹内俊郎, 2006: 増殖ステージ異なるワムシを摂餌したヒラメ仔魚の発育と形態異常の出現, 日水誌, **72**, 725-733.
- 130) 重田利昭・細谷久信, 1995: ウシノシタ種苗生産試験, 新潟栽セ業務研報, **18**, 67-69.
- 131) 翠川忠康, 1974: ヒラメの種苗生産について, 栽培技研, **3**, 15-21.
- 132) 八木秀志, 1996: オニオコゼ種苗生産時に共食いが発生する条件について, 栽培技研, **24**, 121-122.
- 133) 宮木廉夫・中田 久, 2012: コウライアカシタピラメ種苗生産, 平成23年度長崎水試事報.
- 134) 長崎県総合水産試験場, 2012: シタピラメ, 平成23年度有明海漁業振興技術開発事業資料.
- 135) 和田敏裕・清水大輔, 2010: ホシガレイ: 天然稚魚の生態を応用した放流技術と効果, 日水誌, **76**, 258-259.
- 136) 南 卓志, 1986: 異体類の初期生活史-IX 被食(1), 海洋と生物, **43**, 130-133.
- 137) 佐藤絵美, 2009: 仙台湾におけるウシノシタ科2種アカシタピラメとクロウシノシタの初期生活史に関する研究, 東北大学修士論文.
- 138) 南 卓志, 1981: ササウシノシタの初期生活史, 日水誌, **47**, 857-862.
- 139) 桑原昭彦・鈴木重喜, 1983: ササウシノシタ仔魚の分布と食性, 日水誌, **49**, 1499-1506.

- 140) J. M Last, 1980 : The food of twenty species of fish larvae in the west-central North Sea, *Fish. Res. Tech. Rep.*, **60**, 44pp.
- 141) 山本昌幸・小路 淳, 2013 : 瀬戸内海燧灘東部の砂浜浅海域における底生魚類相の季節変化, *水産増殖*, **64**, 53-61.
- 142) 岡山県水産試験場, 1964 : 沿岸水族幼稚魚採捕状況調査報告書 昭和36~38年度, 93pp.

