

資 料

沖縄県伊平屋島におけるシロギス養殖技術の現状と課題 (1)
～親魚養成と採卵～

牛島和彦¹・木口啓介¹・富田雄嗣¹・三吉浩美¹・我那覇文紀¹・倉橋彩子¹・太田健吾²・有瀧真人^{3,*}

Current status and challenges of Japanese whiting *Sillago japonica* aquaculture on Iheya Island, Okinawa (1): Advances in broodstock management and egg collection

Kazuhiko USHIJIMA¹・Keisuke KIGUCHI¹・Yuuzi TOMITA¹・Hiromi MIYOSHI¹・Fumiki GANAHA¹・
Ayako KURAHASHI¹・Kengo OHTA² and Masato ARITAKI^{3,*}

Abstract: We are currently implementing a pilot Japanese whiting *Sillago japonica* aquaculture initiative on Iheya Island, Okinawa. In this study, the onset and termination of the spawning season of the species in Okinawa were determined, followed by a comparative analysis of pertinent environmental parameters—namely water temperature and photoperiod—against corresponding data from its natural habitats, including the Seto Inland Sea. We also investigated the feasibility of inducing or inhibiting spawning through photoperiod manipulation. Mean water temperatures surrounding Iheya Island are approximately 5°C higher than those in the Seto Inland Sea and seldom drop below 20°C throughout the year. Conversely, no significant difference in photoperiod duration was found between the two regions. Spawning commenced approximately 70 days earlier on Iheya Island than in the Seto Inland Sea, although spawning season terminated at a similar temporal point in both areas. We successfully induced spawning outside of the natural spawning window by artificially extending the photoperiod, and suppressed reproductive activity during the spawning season by reducing light exposure. We identified a strong positive correlation between daily spawning activity and variations in water temperature. Rising temperatures consistently enhanced spawning frequency and egg production, whereas declining temperatures were associated with reduced reproductive performance.

Key words: Japanese whiting; Aquaculture; Broodstock management; Egg collection

近年、世界的な人口増加や気候変動等により生じる食糧確保不安定化のリスクは極めて深刻な社会の課題である。そのような状況の中、2022年には世界の養殖生産量が1億3090万tとなり、初めて捕獲漁業の生産

量を上回った (FAO 2024)。我が国においても養殖が占める割合は高く、94.4万tと漁業総生産量の24.1%にも及ぶ (水産庁 2024)。この傾向は今後も継続すると思われる、魚類養殖への依存度は極めて大きい。魚類養

2025年7月7日受付；2025年12月4日受理。

¹株式会社クラハシ (Kurahashi Co., Ltd., Fukuyama, Hiroshima, 721-0942, Japan)。

²福山大学生命工学部 (Faculty of Life Science and Biotechnology, Fukuyama University, Fukuyama, Hiroshima, 729-0292, Japan)。

³長崎大学海洋未来イノベーション機構 (Organization for Marine Science and Technology, Nagasaki University, Nagasaki, Nagasaki, 852-8521, Japan)。

*連絡先 (Corresponding author) : Tel, (+81) 95-801-1925; E-mail, aritaki@nagasaki-u.ac.jp (M. Aritaki)。

殖では天然の稚魚や若齢魚を種苗として使用する場合と、人工的にそれらを生産する方法がある。近年、天然資源の減少による種苗の量的な安定確保の面から、親魚養成、採卵、種苗生産、養殖の作業工程全体を人工環境下で完結させる「完全養殖」が試みられている（田中 2010, 升間 2015）。この過程は人工環境下で対象魚種の生活史を健康に完結させることでもある。また、その中で健全な親魚養成と良質な受精卵の確保は全工程のスタートであり、最も重要な項目である（虫明 2021）。

シロギス *Sillago japonica* 天然魚の成熟状況を組織学的に調査した結果、産卵期は瀬戸内海で 6～8 月（角田 1970）、千葉県館山湾で 6～10 月（Sulistiono et al. 1999）、三重県英虞湾で 6～9 月（近藤ら 2000）であることが明らかになっている。また、本種の産卵特性は光と水温が大きく影響する夏産卵型に分類されている（清水 2006）。一方、シロギスは人工環境下で飼育すると、水温 22℃ 以上となる 7 月～10 月初旬ではほぼ毎日産卵すること（Kumai and Nakamura 1978）や、産卵開始期は水温が 20℃ を超える条件が大きく影響していることが示唆された（Lee and Hirano 1985, 瀬戸熊ら 2014b）。さらに本種の産卵終了は、日長時間を調整した飼育実験で、明時間 12 時間を切ることが制限要因である可能性が導き出されている（瀬戸熊ら 2014b）。藤川ら（2018）は、福山大学内海生物資源研究所（内海研）の飼育施設を用いて年齢や来歴の異なるシロギスの自然水温、自然日長における産卵状況を観察した。その結果、産卵期は 5 月 23 日～10 月 10 日の 133 日間、産卵開始時と終了の水温及び日長は 18.4～22℃ と 23.0～26.2℃、14 時間 9 分～28 分と 11 時間 25～59 分であり、産卵終了は天然海域や他の人工環境下と同様の傾向であったが、開始時期は幾分早く、水温条件が低いことを報告している。

環境を調整して成熟、産卵をコントロールする知見・技術は多くの魚類で公表されている。マダイ *Pagrus major* では産卵期前の冬季に加温することで 20 日程度の産卵早期化を可能にした（福所ら 1986）。さらにブリ *Seriola quinqueradiata* では、短日化に加え、加温と長日化を連続して処置することで、通常期の 4 月よりも 2～4 ヶ月早期の採卵を安定的に実現している（Mushiake et al. 1998, 浜田・虫明 2006）。一方、初夏に卵を産むイシダイ *Oplegnathus fasciatus* やマハタ *Hyporthodus septemfasciatus* では短日化や低水温処理により産卵の抑制が可能となっている（神保ら 2002, 土橋ら 2007）。このように産卵期を把握した上で、産卵の開始や終了の環境条件が明らかになっている魚種では、採卵時期のコントロールが実証規模で行われている。シロギスにおいても平均水温 24.0（18.2～28.2）

℃、日長時間 14 時間に飼育環境を制御することで約 3 年 3 ヶ月（1173 日）の間、ほぼ毎日産卵することが確認されている（瀬戸熊ら 2014a）。

株式会社クラハシ（クラハシ）では、近年減少傾向にある水産物の安定確保と販売を目的に養殖業への事業展開を進めてきた。2018 年以降、福山大学と連携して生息地の本州よりも水温が高く高成長が見込める、沖縄県伊平屋島の養殖施設（伊平屋島）において、民間企業としては日本で初めてシロギスの完全養殖と量産化を実施し、効率的な養殖が可能な技術の開発を行っている（有瀧 2022）。この事業は、天麩羅や寿司ネタをはじめとした和食の食材として需要の高いシロギスを安定的に生産・出荷し、年間を通して市場のニーズに対応していくことを目指している。一方、先に示した親魚養成と良質卵の確保はシロギスにおいても大きな課題であるが、本来の生息地とは大きく異なる伊平屋島での至適環境条件等は全く未知である。近年、卵質やそれに関わる親魚の仕立ては、人工種苗に発生する形態異常の低減や初期の大量減耗を抑え、種苗生産や養殖の効率性に極めて大きく影響するという点からも注目されている（征矢野 2017）。これまでに海産魚類ではシマアジ *Pseudocaranx dentex*, マダラハタ *Epinephelus polyphemadion*, ブリ, カンパチ *S. dumerili*, ヒレナガカンパチ *S. rivoliana* など多くの魚種で養成した親魚からの採卵状況など基礎的な知見が把握され、人工的な環境条件を検討する大きな要素となっている（村井ら 1985, 多和田 1989, 虫明ら 1995, 川辺ら 1996, 1997）。我々は 1）シロギスの成熟・産卵の条件、特に水温および日長時間が本州と伊平屋島でどの点が異なるのか把握すること、2）周年出荷のための環境コントロールによる成熟・産卵制御手法の開発を目的に模索してきた。ここでは、過去に行った検討内容を報告するのに加え、今後の課題について紹介する。

材料および方法

1. 親魚

親魚養成、採卵に使用した親魚は、内海研で採卵、生産したシロギス稚魚 60 尾（平均値 ± 標準偏差：全長 52.8 ± 7.5 mm）を 2018 年 8 月に伊平屋島へ輸送したもので、その後継代して用いている。なお、2018 年に輸送した種苗は天然魚から 3 世代目（F3）である。2021, 2022, 2023, 2024 年度に用いた親魚はそれぞれ F4 の 1 歳魚（188 ± 29 mm）、F5 の 1 歳魚（162 ± 30 mm）、F6 の 0 歳魚（145 ± 42 mm）、F7 の 1 歳魚（151 ± 30 mm）、雌雄比は不明である。

2. 自然水温、日長飼育下における産卵開始と終了

伊平屋島における自然水温、日長飼育（自然環境）下での産卵状況は2021～2023年の3年間確認した。なお、産卵開始は2021年と2023年、終了は2022年と2023年に観察した。使用した親魚群は円形コンクリート水槽（φ8×1.5m：実水量40kL）で飼育した。飼育は半循環式で実施し、換水率は216%/日、濾過率は37.5%/時、水温は自然水温で管理した。餌料は市販の配合飼料（おとひめEP1～3、日清丸紅飼料）を飽食量与えた。産卵の有無は飼育水槽から市販の水道ホース（φ15mm）で連続採水し、その海水をゴース地製の採卵ネット（φ42×60cm）で受けて確認した。なお、産卵の終了は採卵ネットに卵がない状態が1週間継続した段階で判断した。毎朝8時に卵の有無を確認後、水温と日長時間を次の方法で記録した。前者は溶存酸素計（ID-160 T、飯島電子工業株式会社）を用い測定し、後者は緯度の近い名護市の日長時間をMAP LOGS（2025a）から抽出した。

また、本来の生息地の環境要因と比較するため2021～2023年の内海研の使用海水温と尾道市の日長時間（MAP LOGS 2025b）の数値を用いた。前者は水銀精密温度計（水銀精密温度計 1/2日盛、-20～50℃、300mm、三商社製）を使用して毎日10時を目安に測定した。

3. 日長コントロールによる産卵制御

周年の種苗生産、養殖魚の出荷を目的に、通常の産卵期以外の時期にも安定して卵を確保できるようにするため、水温や日長時間などの環境制御による成熟・産卵のコントロールを試みた。

1) 長日化による産卵誘発

長日化は非産卵期である2023年12月5日、沖縄県名護市の日長時間に準じて10時間30分（点灯7時00分、消灯17時30分）から開始し、3日ごとに点灯時間と消灯時間を交互に15分間ずつ長くして最終的に17時間（点灯3時45分、消灯20時45分）で管理した。試験は円形FRP2kL水槽（φ1.94×0.8m：実水量1.8kL、アース株式会社）を用いて行った。水槽上面には塩ビ管を用いて方形枠（2.0×2.0×2.2m）を設置し、農業用シート（菜園用黒マルチシート、日栄産業）を2重に張って遮光した。遮光枠の天井部分にLEDライト（LEDシーリングライト5灯式100V32W、MEIKEE社製）を1個設置し、タイマー（24時間タイマーWT-02N、カスタム社製）で点灯、消灯を行った。試験水槽の換水は432%/日を目安に行った。水温管理及び給餌は2. 自然環境における採卵と同様である。水槽には50尾を収容し、産卵の確認は飼育水の排水をゴース地製の採卵ネット（φ42×60cm）で受け行った。採卵ネット

は17時から翌朝8時の間に設置し、産卵の有無を確認した。卵が認められた場合は10Lバケツに卵を回収・攪拌後、2mlをサンプリングし、実体顕微鏡下で産卵数を計数した。得られたデータから、容量法で各産卵日の総産卵数を推定し、試験期間中の5日ごとの産卵と水温の状況並びに動向を以下の式より導き出し、検討した。

産卵状況指数： $\Sigma_{k=1}^5 (ak-a(k-1))$, a =産卵開始N日目の産卵数

水温動向指数： $\Sigma_{k=1}^5 (bk-b(k-1))$, b =産卵開始N日目の水温

2) 短日化による産卵抑制

短日化による環境操作は伊平屋島におけるシロギスの産卵期である2024年3月10日～5月9日の60日間実施した（短日化区）。試験は沖縄県名護市の日長時間に準じて11時間30分（点灯6時45分、消灯18時15分）から開始し、3日間ごとに15分の間隔で短日化処理を行い、最終的には9時間30分（点灯7時30分、消灯17時00分）で管理した。水槽には31尾を収容した。比較するため同期間で日長時間を17時間（点灯3時45分、消灯20時45分）に保った水槽を設けた（対照区）。水槽には38尾を収容した。飼育試験の方法並びに採卵・観察等は1) 長日化による産卵誘発に準じた。

4. 統計処理

産卵数と水温の関係を検討するため、産卵動向指数と水温状況指数の2要素の散布図を作成し、回帰直線式と決定係数を求めた。得られたデータはShapiro-Wilk検定を実施し正規性を把握した上で、回帰直線式の傾きの傾向の有無をt検定で確認した。

結 果

1. 自然水温、日長飼育下における産卵開始と終了

Fig. 1, 2とTable 1, 2に2021～2023年の伊平屋島（127.96905E, 27.03818N）及び内海研（133.17510E, 34.34913N）における平均水温及び、この2地点に経度、緯度が近似する名護市（127.97731620E, 26.5915465N）、尾道市（133.2048886E, 34.4088756N）の日長時間の概要を示す。なお、Fig. 1, 2の水温は3年間の平均値を、日長時間は毎月1日の3年間平均値を示している。伊平屋島での水温の最低値は19.6℃（1月25日）、最高値は30.2℃（8月29, 30日）、内海研ではそれぞれ10.6℃（2月22日）、29.6℃（8月29日）となった。伊平屋島では年間を通して20℃を下回することは1

月下旬のごく限られた期間のみで、水温の平均値 $\pm$ 標準偏差は $24.8 \pm 3.1^{\circ}\text{C}$ であった。一方、内海研では11月下旬～6月初旬の間は 20°C 以下になり、年間の平均値は $19.3 \pm 6.1^{\circ}\text{C}$ を示した。日長時間は、名護市、尾道市ともに12～1月にかけて最も短くなり、6～7月にピークを迎えた。名護市では最短時間が12月21～23日にあたり、3年間の平均時間は10時間28分16秒、最長は6月20～22日の平均13時間48分43秒であった。同様に尾道市は前者が12月21、22日で平均9時間51分14

秒、後者が6月21、22日で14時間27分34秒であった (Fig. 2A)。名護市と尾道市の日長時間の差は1～3月と10～12月は前者が、それ以外の6ヶ月間は後者で最大40分弱、それぞれ長くなった (Fig. 2B)。一方、日長時間が12時間を超えるのは、名護市が3月16日、尾道市が3月17日、同様に12時間を下回るのは9月28日と9月27日と、ほぼ同様であった。

伊平屋島における産卵の開始は2021年が3月7日、水温 21.2°C 、日長時間11時間46分54秒、2023年が3月

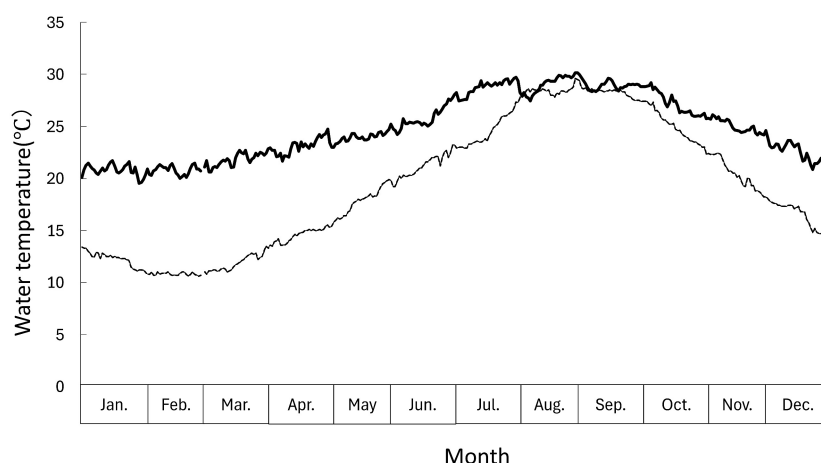


Fig. 1. Temporal variations in water temperature at Iheya*¹ and RIMBFU*².
 —: Iheya*¹ - - - : RIMBFU*²

*1: The aquaculture facility on Iheya Island, *2: The research Institute of Marine Bioresources at Fukuyama University

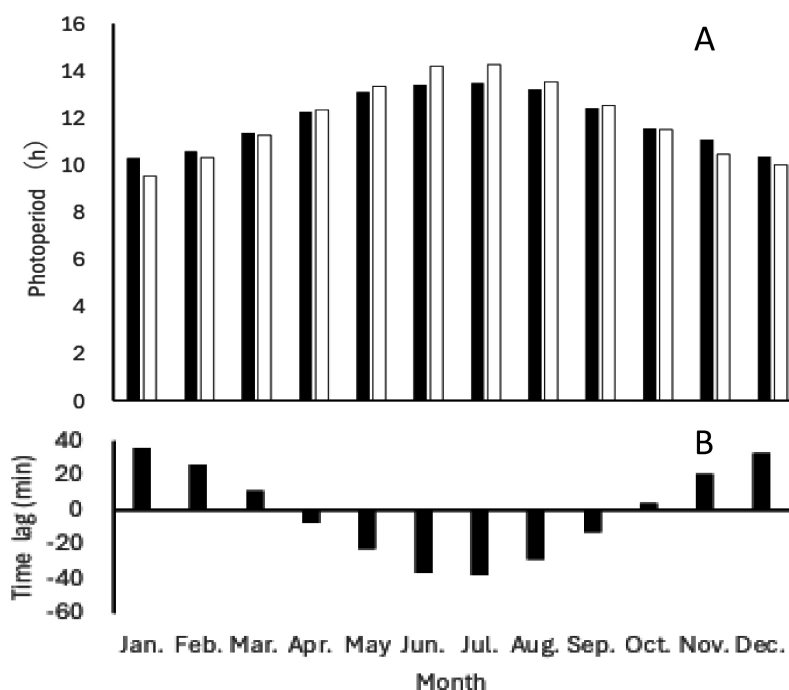


Fig. 2. Temporal fluctuations in photoperiod at Nago*¹ and Onomichi*².

A: Photoperiod observed at Nago*¹ (■) and Onomichi*² (□)

B: Time lags between Nago*¹ and Onomichi*² (photoperiod at Nago – Onomichi)

*1 127.97731620E, 26.5915465N, *2: 133.2048886E, 34.4088756N

14日, 20.2℃, 11時間57分10秒であった。また終了は, 2022年が10月3日, 28.7℃, 11時間51分40秒, 2023年が9月28日, 29.4℃, 11時間59分49秒となった (Table 3)。

2. 日長コントロールによる産卵制御

1) 長日化による産卵誘発

2023年12月5日に10時間30分であった日長時間は試験開始後の5日後 (12月9日) には11時間, 13日後 (12月17日) には12時間, 21日後 (12月25日) には13時間, 29日後 (2024年1月2日) には14時間, 37日後 (1月10日) には15時間, 45日後 (1月18日) には16時間, 53日後 (1月26日) には17時間となり, 試験終了までこの状態を継続した。水温は試験開始時に24℃前後であったものが, 乱高下しながら徐々に低下し, 試験終了時には約21℃となった (Fig. 3A)。産卵は試験開始後42日目 (1月15日, 水温: 23.3℃, 日長: 15時間30分) に初めて確認された。産卵数は500粒から徐々に増加し, 増減を繰り返しながら94日目 (3月7日, 水温: 22.3℃, 日長: 17時間00分) には最大27.4万粒となった (Fig.

3B)。期間中の産卵状況指数と水温動向指数の関係を Fig. 4に示す。両者は明らかに正の相関を示し ($y = 0.0037x - 0.1591$, $R^2 = 0.3528$, $P < 0.05$), 水温の低下で産卵数は減少, 上昇で増加の傾向が認められた。

2) 短日化による産卵抑制

短日化区, 対照区ともに設定した日長環境で予定通り管理した。両試験区の水温は試験開始時に21℃前後であったものが, 乱高下しながら徐々に上昇し, 試験終了時には約24~26℃となった (Fig. 5 A-1, B-1)。短日化区の平均水温 $\pm$ 標準偏差は23.2 $\pm$ 1.4℃, 対照区は23.4 $\pm$ 1.2℃であった。短日化区では試験開始後12日目 (3月22日, 水温: 21.6℃, 日長: 10時間30分) に初めて0.01万粒の卵を得た。その後37回の産卵を確認したが, 期間中の平均産卵数は0.78 $\pm$ 1.37万粒と少なかった (Fig. 5 A-2)。一方対照区は試験開始直後 (3月10日, 水温: 21.5℃, 日長: 17時間00分) から6.2万粒の産卵が確認され, 合計56回の産卵で, 期間中の平均産卵数は13.08 $\pm$ 10.34万粒となった (Fig. 5 B-2)。両試験区の産卵状況指数と水温動向指数の関係を Fig. 6に示す。短日化区では回帰直線式の傾きは正の値を示したが, 統計的に相関の傾向は確認できなかった ($y = 0.1252x - 0.2625$, $R^2 = 0.0819$, $P > 0.05$, Fig. 6A)。一方, 対照区は明らかに正の相関を示し ($y = 0.0609x + 0.0591$, $R^2 = 0.7479$, $P < 0.05$, Fig. 6B), 水温の低下で産卵数は減少, 上昇で増加した。

Table 1. Overview of water temperature

	Iheya* ¹	RIMBFU* ²
	(℃)	(℃)
Ave.* ³	24.8	19.3
SD* ⁴	3.1	6.1
Min.* ⁵	19.6	10.6
Max.* ⁶	30.2	29.6

*1: The aquaculture facility on Iheya Island, *2: The research Institute of Marine Bioresources at Fukuyama University, *3: Average, *4: Standard deviation, *5: Minimum, *6: Maximum

Table 2. Overview of photoperiod

Nago* ¹			Onomichi* ²		
	(hours: minutes: seconds)	Date		(hours: minutes: seconds)	Date
Min.* ³	10:28:16	Jun. 21-22		9:51:14	Jun. 21-22
Max.* ⁴	13:48:43	Dec. 21-23		14:27:34	Dec. 21-22
12h>* ⁵		Mar. 16			Mar. 17
12h<* ⁶		Sep. 28			Sep. 27

*1: Nago (127.97731620E, 26.5915465N), *2: Onomichi (133.2048886E, 34.4088756N), *3, 4: See Table1, *5: Less than 12 hours, *6: More than 12 hours, For the abbreviations of month names, see Fig. 1.

Table 3. Observations on the initiation and termination of spawning in *Sillago japonica*

Initiation of spawning				Termination of spawning		
	Date	WT.* ¹ (℃)	PP. (h: m: s) * ²	Date	WT.* ¹ (℃)	PP. (h: m: s) * ²
2021	Mar. 7	21.2	11:46:54	—	—	—
2022	—	—	—	Oct. 3	28.7	11:51:40
2023	Mar. 14	20.2	11:57:10	Sep. 28	29.4	11:59:49

*1: Water temperature, *2: Photoperiod (hours: minutes: seconds), For the abbreviations of month names, see Fig. 1.

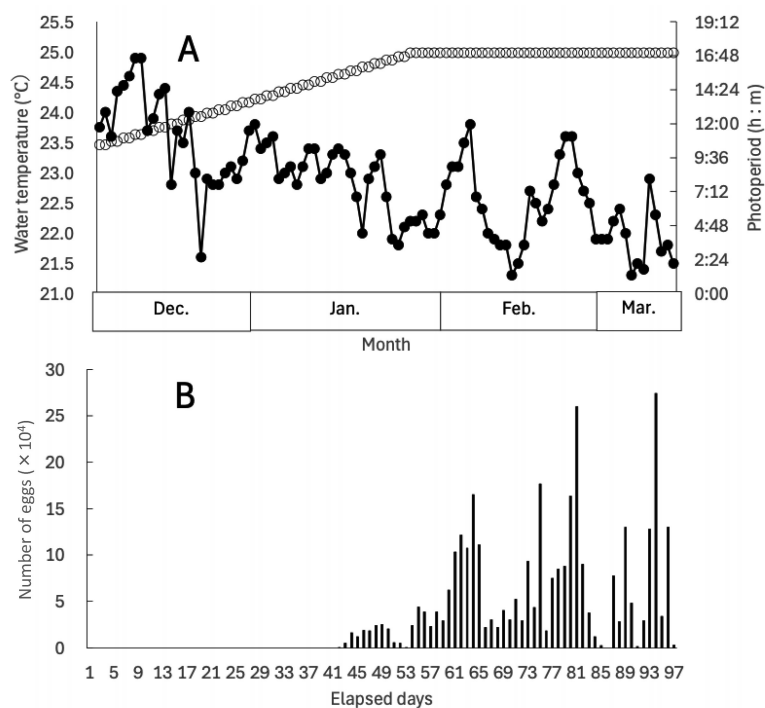


Fig. 3. Inhibition of spawning activity under long-day photoperiod conditions.
 A: Temporal profiles of photoperiod (○) and water temperature (●)
 B: Temporal variations in spawning frequency

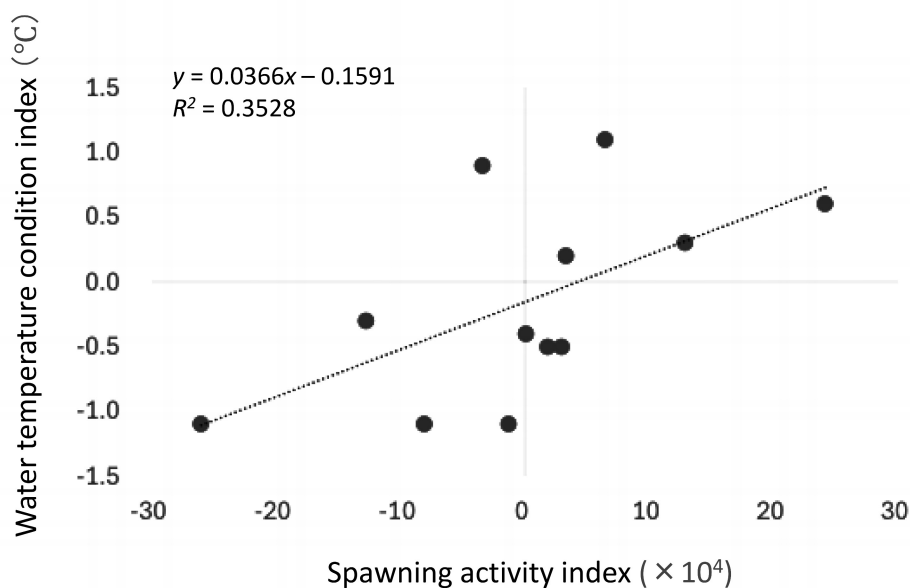


Fig. 4. Correlation between the spawning activity index and the water temperature condition index.

Spawning activity index: $\sum_{k=1}^5 (ak - a(k-1))$

a =Number of eggs spawned on the Nth day after spawning started

Water temperature condition index: $\sum_{k=1}^5 (bk - b(k-1))$

b =Water temperature on the Nth day after spawning started

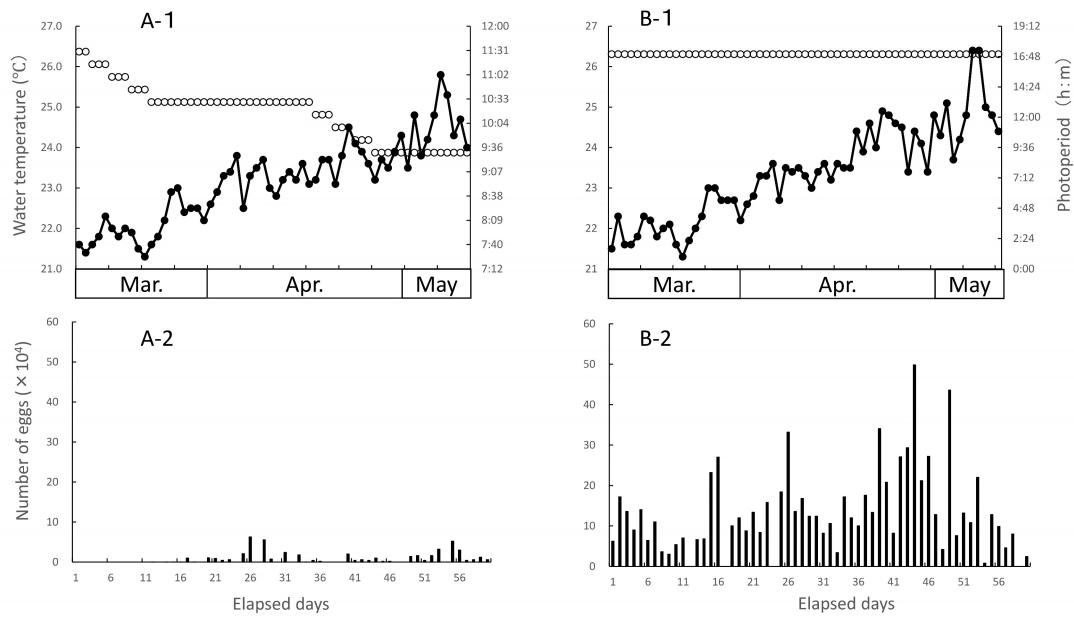


Fig. 5. Inhibition of spawning activity under short-day photoperiod treatment.
 A-1: Temporal trends in photoperiod (○) and water temperature (●) under short-day photoperiod conditions
 A-2: Temporal variations in spawning frequency
 B-1: Temporal trends in photoperiod (○) and water temperature (●) under long-day photoperiod conditions
 B-2: Temporal variations in spawning frequency

考 察

1. 伊平屋島におけるシロギスの産卵開始と終了

今回、本来シロギスが生息しないかもしくは極めて少ないと考えられる (McKay 1992), 沖縄県伊平屋島の環境で本種の産卵が、生息地である海域とどのように異なるのか観察した。伊平屋島と瀬戸内海に面する内海研 (広島県尾道市) との間では、最高水温は概ね 30℃ と大きな差異が認められなかったものの、年間の平均値は 5.5℃, 最低水温では 9.0℃ 前者で高かった。特に産卵開始の条件とされる水温 20℃ (Lee and Hirano 1985, 瀬戸熊ら 2014b) に注目すると、伊平屋島では下回ることにはほぼなかったが、内海研では 11 月下旬から 6 月初旬の概ね半年間この値に届かなかった。一方、伊平屋島および内海研に近似した経度、緯度の名護市及び尾道市の日長時間は、両地とも最長の夏至をピークに最短の冬至に向かって減少する傾向は同様で、かつ夏至及び冬至やシロギスの産卵終了条件である 12 時間以下に至るタイミングもほぼ一致した。以上のことから伊平屋島の水温は、本来の生息地である本州と異なり周年産卵する条件を保持している。しかし、産卵終了を誘引する日長時間は同様であることが明らかである。

伊平屋島で飼育したシロギスの産卵は、3 月 7 日、14 日と本州で推定された産卵期である 6 月 (角田

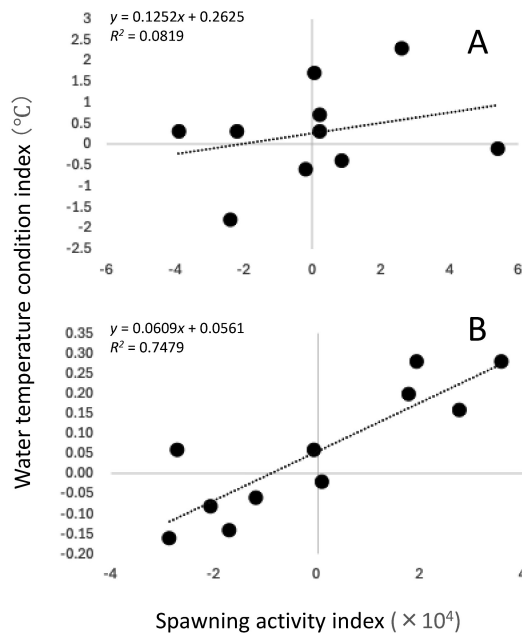


Fig. 6. Correlation between the spawning activity index and the water temperature condition index.

A: Short-day photoperiod treatment B: Long-day photoperiod treatment

*Refer to Figure 4 for definitions of the spawning activity index and the water temperature condition index.

1970, Sulistiono et al. 1999, 近藤ら 2000) よりも概ね 3 ヶ月ほど早く始まったものの、周年産卵することはなかった。また、産卵開始時の水温は 21.2、20.2℃と飼育環境下で導き出された既存の報告 (Kumai and Nakamura 1978, Lee and Hirano 1985, 瀬戸熊ら 2014b) と同様の結果となった。これまで夏産卵型 (清水 2006) である本種は水温 20℃以上の条件が産卵期の調整機能として働いているとされてきた (Lee and Hirano 1985, 瀬戸熊ら 2014b)。しかし、先に示したように 20℃を下回することはほぼない伊平屋島で 3 月に産卵が始まったことや内海研では 18℃台で始まっている (藤川ら 2018) ことから、開始の条件は絶対的な水温の値だけではないことが強く示唆される。清水 (2006) は硬骨魚類の産卵開始や終了の環境条件に関して水温のみならず日長が強く影響することをまとめている。その中で、短日化および長日化、すなわち日長時間の連続的な変化について論じている。今回、伊平屋島の日長時間は冬至の 10 時間 28 分から徐々に長くなり、産卵は 11 時間 46 分、11 時間 57 分と産卵抑止条件の 12 時間 (瀬戸熊ら 2014b) に近いタイミングで始まったことは興味深い。すなわち、今回伊平屋島で観察された産卵の開始は一定の水温条件ではなく、日長 12 時間に至る光環境に強く影響された可能性が極めて高い。一方、先に述べたように伊平屋島の産卵開始の日長条件 12 時間を 3 月 17 日に迎える内海研では、水温が 18℃を超える 5 月下旬まで産卵が始まらなかった (藤川ら 2018)。以上のことからシロギスの産卵は概ね日長時間 12 時間並びに水温 18℃を超える条件にならないと始まらないことが強く示唆された。

伊平屋島での産卵終了は 9 月 28 日および 10 月 3 日で先に記した本州の生息地とはほぼ同様であった。それぞれの水温は、29.4℃、28.7℃と今回確認した産卵条件の 18℃を大きく上回っていたが、日長時間は 11 時間 59 分、11 時間 51 分であり、終了条件である 12 時間 (瀬戸熊ら 2014a) より短くなった直後のタイミングで生じた。このことはシロギスの産卵終了が日長の短日化及び 12 時間以下で誘発されることを示している。今回の観察において、伊平屋島での本種の産卵は本来の生息地よりも早期に開始され、その期間は約 200 日と内海研の 5 月 23 日～10 月 10 日の 133 日間 (藤川ら 2018) より 70 日ほど長くなっていた。受精卵確保の期間が長くなるという点は、種苗生産や養殖の効率性を高める点でも有利であると考えられる。

2. 伊平屋島における日長時間の操作による産卵コントロール

人工環境下では産卵時期をコントロールすることで人工種苗を任意の時期に得ることができる。このこと

は生産期間の平準化をもたらし、養殖事業を運営する上で大きな利点となる。先に述べたように、伊平屋島では本州の生息地と比較して、より早期に卵を得ることは可能である。しかし、産卵の終了は短日化と 12 時間の日長に制限され得るため、10 月以降の採卵は困難な状況にある。今回我々は、産卵の終了した親魚を長日化環境で飼育することで周年卵を確保することを試みた。その結果、本来産卵しない 1 月から伊平屋島で産卵が始まる 3 月まで連続的に卵を得ることができた。しかし、得られた卵を実際に孵化・飼育して健全な種苗が安定的に生産できるか検証ができていない。今後この点を明らかにしていく必要がある。

3. 産卵数の増加、減少に関わる水温の影響

今回 3 つの試験区において産卵誘発と抑制への環境制御の影響を把握する目的で、毎日産卵数を確認した。その際、日々の産卵数の増減が比較的大きく、またそれらが水温の上昇、下降に反応していることが伺えた。そこで、水温と産卵数の 5 日ごとの増減傾向を水温動向指数並びに産卵状況指数として算出・検討した。その結果 3 試験区ともに水温と産卵数の関係を示す直線式の傾きは正の値を示し、シロギスの産卵数は水温の変化に影響される可能性が示唆された。中でも産卵を促進させ、活発に卵を産んでいる長日化条件の 2 試験区でその傾向が強く、抑制した短日化の試験区では弱かったため、産卵状況によって水温への反応が異なっていることが窺える。すなわち、産卵の盛期に産卵数は水温が上昇傾向にあることで増加し、下降すると抑制される。一方、この取り組みの中では日長時間の連続した増減と産卵状況との関係は検討できていない。将来的に産卵状況をコントロールする要素として、日長時間の操作は水温よりも費用もかからず、簡便に実施できる。連続的な日長の変化が本種の産卵にどのように影響するのかは、今後確認しておく必要があろう。

要 約

近年実証化が進んでいる沖縄伊平屋島でのシロギス養殖について、種苗生産に関わる産卵の開始や終了および水温や日長時間との関係について、本来の生息地である瀬戸内海等のデータと比較した。また、産卵に大きく影響する日長時間をコントロールすることで、産卵促進や抑制の可能性を検討した。これらの取り組みの結果、伊平屋島では瀬戸内海に比べ、平均水温は約 5℃高く、周年 20℃を下回することはほぼなかった。一方、日長時間は大きな差異は認められなかった。伊平屋島での産卵は 3 月から 10 月の約 200 日に渡り、本州の産卵期に比べ 70 日ほど早く始まるものの、終了時期

に差異はなかった。日長時間の長日化により非産卵期の産卵誘発を、短日化により産卵期の産卵抑制を確認できた。産卵が活発に行われている際には日々の産卵状況と水温の上昇、下降に強い相関が確認でき、連続した上昇は産卵数の増加を、下降は減少を誘導することを明らかにした。

謝 辞

この論文を取りまとめるにあたり、有益なご助言を賜った征矢野清長崎大学教授に心より御礼申し上げます。また、取り組みを全面的にサポートしていただいた天野文男株式会社クラハシ代表取締役社長に深く感謝の意を表する。

文 献

- 有瀧真人 (2022) 大学における養殖技術の開発と発信～シロギスをモデルにした取り組みについて～その3 実証化と今後の展望. アクアネット, **6**, 40-43.
- FAO (2024) The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue Transformation in action. FAO, Rome, p232.
- 藤川稔晃・末石芳幸・岩佐海斗・有瀧真人 (2018) テッポウギスの安定生産に向けての現状と課題～産卵状況～. 福山大学生命工学部年報, **16**, 33-44.
- 福所邦彦・藤村卓也・山本剛史 (1986) 加温循環式水槽によるマダイの親魚養成と早期採卵. 水産増殖, **34**, 69-75. [Fukusho, K., T. Fujimura and T. Yamamoto (1986) Broodstock and advanced spawning of the red seabream in an indoor tank with manipulation of water temperature. *Aquacult. Sci.*, **34**, 69-75 (in Japanese with English abstract).]
- 浜田和久・虫明敬一 (2006) 日長および水温条件の制御によるブリの12月 採卵. 日水誌, **72**, 186-192. [Hamada, K. and K. Mushiake (2006) Advanced spawning technique and its advantages in stock enhancement and aquaculture of the yellowtail *Seriola quinqueradiata*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **72**, 186-192 (in Japanese).]
- 神保忠雄・手塚信弘・小磯雅彦・鶴巻克己・升間主計 (2002) 水温と光周期調整によるインダいの産卵制御. 水産増殖, **50**, 189-196. [Jinbo, T., N. Tezuka, M. Koiso, K. Tsurumaki and S. Masuma (2002) Control of spawning in the Japanese parrotfish, *Oplegnathus fasciatus*, by manipulation of water temperature and photoperiod. *Aquacult. Sci.*, **50**, 189-196 (in Japanese with English abstract).]
- 角田俊平 (1970) 底流網によるキスの生態とその資源に関する研究. 広島大学水畜産学部紀要, **9**, 1-55. [Kakuda, S. (1970) Studies on the ecology and fishing stock of *Sillago sihama* (FORSKÅL) through the analysis of its bottom drift-net fishery. *J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ.*, **9**, 1-55 (in Japanese with English summary).]
- 川辺勝俊・加藤憲司・木村ジョンソン・岡村陽一・安藤和人・斉藤 実・吉田勝彦 (1996) 小笠原諸島父島におけるカンパチの親魚養成と採卵. 水産増殖, **44**, 151-157. [Kawabe, K., K. Kato, J. Kimura, Y. Okamura, K. Ando, M. Saito and K. Yoshida (1996) Rearing of broodstock fish and egg-taking from amberjack *Seriola dumerili* in Chichi-jima, Ogasawara Islands, Southern Japan. *Aquacult. Sci.*, **44**, 151-157 (in Japanese with English abstract).]
- 川辺勝俊・加藤憲司・木村ジョンソン・岡村陽一・竹之内卓夫・吉田勝彦 (1997) 小笠原諸島父島におけるヒレナガカンパチの親魚養成と採卵. 水産増殖, **45**, 201-206. [Kawabe, K., K. Kato, J. Kimura, Y. Okamura, T. Takenouchi and K. Yoshida (1997) Rearing of broodstock fish and egg-taking from the carangid fish *Seriola rivoliana* in Chichi-jima, Ogasawara Islands, Southern Japan. *Aquacult. Sci.*, **45**, 201-206 (in Japanese with English abstract).]
- 近藤茂則・松浦健一・宮澤功吉・吉岡 基・相木正章 (2000) 英虞湾産シロギスの生殖周期. 三重大生物資源紀要, **24**, 1-8. [Kondo, S., K. Matsuura, K. Miyazawa, M. Yoshioka and M. Kashiwagi (2000) Annual reproductive cycle of the Japanese whiting, *Sillago japonica*, in Ago Bay. *Bull. Fac. Bioreso. Mie. Univ.*, **24**, 1-8 (in Japanese with English abstract).]
- Kumai H. and M. Nakamura (1978) Spawning of the silver whiting *Sillago sihama* (FORSSKÅL) cultivated in the laboratory. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **44**, 1055.
- Lee, C.S. and R. Hirano, (1985) Effects of water temperature and photoperiod on the spawning cycle of the sand borer, *Sillago sihama*. *Prog. Fish-Cult.*, **47**, 225-230.
- MAP LOGS (2025a) 日本, 沖縄県の日の出日の入り時間. https://sunrise.maplogs.com/ja/nago_okinawa_prefecture_japan.377.html?year=2021#google_vignette, 2025年2月11日.
- MAP LOGS (2025b) 日本, 広島県尾道市日の出日の入り時間, https://sunrise.maplogs.com/ja/onomichi_hiroshima_prefecture_japan.65154.html, 2025年2月11日.
- 升間主計 (2015) 将来のクロマグロ養殖産業を支える完全養殖技術. 精密工学会誌, **81**, 828-831. [Masuma, S. (2015) Full-cycled technology maintaining bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, farming industry in future. *J. Japan Soc. Precis. Eng.*, **81**, 828-831 (in Japanese).]
- McKay, R. J. (1992) FAO species catalogue. Vol. 14. Sillaginid fishes of the world. (Family Sillaginidae). FAO, Rome. <https://www.fao.org/4/t0538e/t0538e00.htm>, accessed on 7 Feb. 2025.
- 村井 衛・青木雄二・西村和久・隆島史夫 (1985) 小笠原父島におけるシマアジの親魚養成と採卵. 水産増殖, **33**, 82-87.
- 虫明敬一 (2021) 親魚養成と良質卵の確保 総論. 栽培漁業の変遷と技術開発—その成果と展望 (有瀧真人・虫明敬一編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 13-24.
- 虫明 敬一・河野 一利・Wisuthi Verakunpiriya・渡邊 武・長谷川 泉 (1995) 市販ソフトドライベレットを給餌したブリの採卵結果. 日水誌, **61**, 540-546. [Mushiake, K., K.

- Kawano, W. Verakunpiriya, T. Watanabe and I. Hasegawa (1995) Egg collection from broodstocks of yellowtail fed commercial soft dry pellets. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **61**, 540-546 (in Japanese with English abstract).]
- Mushiake, K., K. Kawano, T. Kobayashi and T. Yamasaki (1998) Advanced spawning in yellow-tail, *Seriola quinqueradiata*, by manipulations of the photoperiod and water temperature. *Fish. Sci.* **64**, 727-731.
- 瀬戸熊卓見・吉野幸恵・土田修二・木下秀明 (2014a) 水温および日長制御によるシロギスの複数年にわたる周年産卵. 海生研研報, **19**, 67-72. [Setoguma T., S. Yoshino, S. Tsuchida and H. Kinoshita (2014a) Observation of year-round and multi-year spawning of Japanese whiting, *Sillago japonica*, under control of temperature and photoperiod. *Rep. Mar. Ecol. Res. Inst.*, **19**, 67-72 (in Japanese).]
- 瀬戸熊卓見・吉野幸恵・土田修二・木下秀明 (2014b) シロギスの産卵終了に及ぼす日長の影響. 海生研研報, **19**, 73-78. [Setoguma T., S. Yoshino, S. Tsuchida and H. Kinoshita (2014b) Effects of photoperiod on the end of the spawning season of Japanese whiting, *Sillago japonica*. *Rep. Mar. Ecol. Res. Inst.*, **19**, 73-78 (in Japanese).]
- 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冊, **4**, 1-12. [Shimizu, a. (2006) Environmental regulations of reproductive cycles in teleosts. *Bull. Fish. Res. Agen. Suppl.*, **4**, 1-12 (in Japanese).]
- 征矢野清 (2017) 形態異常を卵質という古くて新しい課題から考える. 魚の形は飼育環境で変わる－形態異常はなぜ起こるのか? (有瀧真人・田川正朋・征矢野 清編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 115-123. [Soyano, K. (2017) An important factor in understanding morphological abnormalities: egg quality. In “Morphological abnormality in teleosts-involvement of rearing environments in body coloration and skeletal development” (ed. by Aritaki, M., M. Tagawa and K. Soyano) , Kouseishya Kouseikaku, Tokyo, pp. 115-123 (in Japanese).]
- 水産庁 (2024) 令和 5 年度水産白書. 水産庁, 東京, pp. 83-123. [Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (2024) Annual report on the developments in Japan's fisheries in 2023. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Tokyo, pp. 83-123 (in Japanese).]
- Sulistiono, S. Watanabe and M. Yokota (1999) Reproduction of the Japanese whiting, *Sillago japonica*, in Tateyama Bay. *Aquacult. Sci.*, **47**, 209-214.
- 田中秀樹 (2010) 人工種苗生産が天然ウナギの絶滅を救う. 水産の21世紀－海から拓く食糧自給 (田中 克・川合真一郎・谷口順彦・坂田泰造・檜山爲次郎編), 京都大学出版会, 京都, pp. 116-127.
- 多和田真周 (1989) マダラハタ養成親魚の採卵. 水産増殖, **37**, 105-108. [Tawada, S. (1989) Spawning of brood stock of the grouper *Epinephelus microdon* (BLEEKER). *Aquacult. Sci.*, **37**, 105-108 (in Japanese).]
- 土橋靖史・高鳥暢子・栗山 功・羽生和宏・辻 将治・津本欣吾 (2007) 水温および日長調整によるマハタの9月 採卵. 水産増殖, **55**, 395-402. [Tsuchihashi, Y., Y. Takatori, I. Kuriyama, K. Hanyuu, M. Tsuji and K. Tsumo (2007) Induced spawning of cultured sevenband grouper, *Epinephelus septemfasciatus*, in September by manipulation of water temperature and photoeriod. *Aquacult. Sci.*, **55**, 395-402(in Japanese with English abstract).]