

天然資源に依存しない持続的な養殖生産技術の開発（プロジェクト研究成果シリーズ569）

ブリ類人工稚魚の低コスト・早期供給技術の開発

誌名	天然資源に依存しない持続的な養殖生産技術の開発： ブリ類人工稚魚の低コスト・早期供給技術の開発 = Development of sustainable aquaculture technology independent of wild fishery resources : Development of technology for early juvenile production at low cost in the yellowtail, <i>Seriola</i> <i>quinqueradiata</i>
ISSN	
著者名	
発行元	農林水産省農林水産技術会議事務局
巻/号	569号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-40
発行年月	2017年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



天然資源に依存しない持続的な 養殖生産技術の開発 —ブリ類人工稚魚の低コスト・ 早期供給技術の開発—

Development of sustainable aquaculture technology
independent of wild fishery resources
— Development of technology for early juvenile production at low cost
in the yellowtail, *Seriola quinqueradiata* —

農林水産技術会議事務局

天然資源に依存しない持続的な
養殖生産技術の開発
—ブリ類人工稚魚の低コスト・
早期供給技術の開発—

Development of sustainable aquaculture technology
independent of wild fishery resources
— Development of technology for early juvenile production at low cost
in the yellowtail, *Seriola quinqueradiata* —

2017年3月

序 文

研究成果シリーズは、農林水産省農林水産技術会議事務局が研究機関に委託して推進した研究の成果を、総合的かつ体系的にとりまとめ、研究機関及び行政機関等に報告することにより、今後の研究及び行政の効率的な推進に資することを目的として刊行するものである。

この第 569 集「天然資源に依存しない持続的な養殖生産技術の開発－ブリ類人工稚魚の低コスト・早期供給技術の開発－」は、農林水産省農林水産技術会議事務局の委託プロジェクト研究として、2012 年度から 2015 年度までの 4 年間にわたり、国立研究開発法人水産総合研究センターを中心に実施した研究成果をとりとまとめたものである。

ブリの養殖用種苗において、現在、そのほぼ全てを天然資源に依存していることから、天然稚魚の豊凶が養殖魚の安定的生産を妨げる主要因として問題になっている。ブリ養殖の安定化を図るには、通常の産卵期よりも数ヶ月早い時期に採卵し、よりコストを抑えた上で早期に健全で付加価値のある高品質かつ大型の養殖用人工種苗を生産する技術の開発が強く求められている。

本研究で、ブリの早期採卵に関する高度化技術、早期種苗を安定的に供給する技術及び早期種苗を用いた効率的養殖技術の開発により、赤潮被害軽減が期待できる 5 月中旬までに、天然魚より著しく大きい 15 ～ 20 cm の人工種苗を効率的に安定して生産可能な技術を確立した。

この研究の成果は、今後の農林水産関係の研究開発及び行政を推進する上で有益な知見を与えるものと考え、関係機関に供する次第である。

最後に、本研究を担当し、推進された方々の労に対し、深く感謝の意を表する。

2017 年 3 月

農林水産省農林水産技術会議事務局長

西郷 正道

目 次

研究の要約.....	1
第1編 ブリの早期採卵に関する高度化技術の開発.....	8
第1章 効率的な成熟・産卵誘導技術と安定的な早期採卵技術の開発.....	8
第2編 ブリ早期種苗を安定的に供給する技術の開発.....	24
第1章 早期種苗の健全生産に向けた飼育技術の開発.....	24
第3編 ブリ早期種苗を用いた効率的養殖技術の開発.....	35
第1章 早期種苗の沖出し後の生残率向上を目指した効率的養殖技術の開発.....	35

研究の要約

I 研究年次・予算区分

研究年次：2012年度～2015年度

予算区分：農林水産省農林水産技術会議事務局
天然資源に依存しない持続的な養殖生産技術の開発

首藤 宏幸（2012年度）

資源生産部

魚介類生産グループ長

島 康洋（2013～2014年度）

藤浪 祐一郎（2015年度）

チームリーダー(3 ブリ早期種苗を用いた効率的養殖技術の開発)：

(国研) 水産総合研究センター

西海区水産研究所

有明海・八代海漁場環境研究センター
長

有瀧 真人（2012年度）

資源生産部長

有瀧 真人（2013年度）

青野 英明（2014～2015年度）

II 主任研究者

主 査：国立研究開発法人（以下「国研」）水産
総合研究センター

理事長

松里 壽彦（2012～2013年度）

宮原 正典（2014～2015年度）

推進リーダー：(国研) 水産総合研究センター

西海区水産研究所

まぐろ増養殖研究センター長

虫明 敬一（2012～2014年度）

資源生産部長

青野 英明（2015年度）

魚種別リーダー（ブリ類人工稚魚の低コスト・早期供給技術の開発)：

(国研) 水産総合研究センター

西海区水産研究所

有明海・八代海漁場環境研究センター
長

有瀧 真人（2012年度）

資源生産部長

有瀧 真人（2013年度）

青野 英明（2014～2015年度）

チームリーダー(1 ブリの早期採卵に関する高度化技術の開発)：

国立大学法人長崎大学大学院

水産・環境科学総合研究科附属環東シ
ナ海環境資源研究センター

教授

征矢野 清（2012～2015年度）

チームリーダー(2 ブリ早期種苗を安定的に供給する技術の開発)：

(国研) 水産総合研究センター

西海区水産研究所

資源生産部長

III 研究担当機関

(国研) 水産総合研究センター西海区水産研究所・
増養殖研究所・中央水産研究所

国立大学法人長崎大学

東町漁業協同組合

IV 研究目的

1 ブリの早期採卵に関する高度化技術の開発

ブリは天然環境下で飼育すると、春（4月）には十分に発達した生殖腺を有する雌雄親魚を得ることができ、これを用いて種苗生産を行っている。この天然環境下で起きる生殖腺の発達は、日長及び水温の変動により誘導されると考えられている。実際、春に産卵した親魚を夏場（8月）短日条件で飼育した後、長日処理し成熟に適している温度で管理することにより、冬（11～12月）に再度産卵可能で、これが「環境操作による早期採卵技術」と呼ばれている。しかし、この早期採卵技術では、成熟誘導が不十分、成熟に達する個体の割合が低いなどの問題が指摘されており、安定的人工種苗の確保に向けた早期採卵技術の更なる高度化が望まれている。そこで、日長処理の時期や期間中の飼育水温を詳細に検討し、環境操作による早期成熟誘導並びに採卵技術の最適化を図る。また、これらにより引き起こされ

る生殖腺の発達過程を観察し、天然環境下でのものと比較する。加えて、哺乳類細胞を用いたブリのリコンビナント GTH の生産技術を確立するとともに、その有効性を生体外実験系による性ホルモン産生誘導試験により検証する。最終的には、生産した GTH をブリ親魚に注射し、その生殖腺発達や成熟関連因子に及ぼす影響を詳細に検討する。

2 ブリ早期種苗を安定的に供給する技術の開発

養殖ブリの出荷時期を赤潮が発生する前に早め、赤潮によるブリへの死被害を軽減するには、天然種苗の採捕が始まる 4 月の時点で、その最大群である 10 cm よりもサイズとして 1 ヶ月以上先行する 15 ～ 20 cm の種苗が必要である。先行研究では、ブリ親魚の成熟制御により天然海域よりも 2 ～ 4 ヶ月早い 12 月に採卵し、種苗を生産する技術が開発されており、いわゆる「早期人工種苗」の生産が可能となっている。そこで、本研究では先行研究よりも更に早い 11 月に採卵し、中間育成開始時の 3 月初旬に 10 cm サイズの早期種苗を安価かつ安定的に生産する技術の開発を目的とした。

早期人工種苗を供給するためには低水温期に種苗生産を行う必要があり、加温経費が生産経費を大きく押し上げることが懸念される。そこで、収容密度、分槽、選別のタイミング、換水率、給餌等を見直し、これら飼育要素の改善により、飼育コストの削減と生残率、成長の向上を目的とする。

3 ブリ早期種苗を用いた効率的養殖技術の開発

中課題 2 で開発した技術により、ブリ天然種苗（モジャコ）が採集されない 3 月初旬に 10 cm サイズの種苗を提供することが可能となる。しかし、この時期に養殖試験を実施する海域（鹿児島県長島町）では水温が約 14℃ と低く、18℃ 以上を適水温とするブリの飼育には不適である。一方で、陸上水槽において 18℃ 以上に加温して種苗を養成するには莫大な費用がかかり、現実的ではない。3 月上旬に全長 10 cm サイズに育った人工種苗を低コストで養殖の池入れサイズ（150 ～ 200 mm）まで育てるには、海水温が 18℃ を下回らない海域に輸送し、中間育成を行うことが有効であると考えられる。そこで本課題では、10 cm サイズの種苗を温暖かつ魚病等のリスクが低い鹿児島県種子島海域で中間育成

を行い、種苗輸送時の適正密度を検討する。また、実際に種子島海域で中間育成を行った際の育成水温と成長の関係を調べるとともに、中間育成を行った人工種苗の養殖適正評価を行う。

V 研究方法

1 ブリの早期採卵に関する高度化技術の開発

天然環境下で飼育したブリを用いて、生殖腺の発達とそれに関わる生殖関連因子の周年変動を日長・水温変動を関連付けて解析する。日長及び水温を人為的に操作してブリを飼育することにより、生殖腺発達に及ぼすこれらの影響を調べ、早期採卵技術の高度化に向けた科学的基盤を整備する。現状の早期採卵（11 ～ 12 月）より更に採卵時期を早期化させることを目指し（10 月採卵）、日長・水温操作による新たな成熟誘導技術の開発を行う。

リコンビナント GTH の産生技術を開発するとともに産生系の効率化による大量生産を試みる。生体外実験系を用いて、リコンビナント GTH が配偶子形成に不可欠な各種ステロイドホルモン産生や卵母細胞の最終成熟に及ぼす影響を解析する。リコンビナント GTH を生体に投与し、その成熟促進効果を調べる。

2 ブリ早期種苗を安定的に供給する技術の開発

中課題 1 で開発された技術を用いて採卵を実施し、中課題 3 に供する人工種苗を生産（目標生残率 20%）するとともに、用いた卵の質の評価を行う。全長 3 cm サイズでの取り上げ、海面での中間育成開始サイズである全長 10 cm までの飼育におけるコストの削減と生残率、成長の向上を目的に、収容密度、分槽、選別のタイミング、換水率、飼育水温、給餌等を見直し、これら飼育要素の改善により、低コストで安定的な早期種苗供給を目的とした至適手法を把握する。

3 ブリ早期種苗を用いた効率的養殖技術の開発

中課題 2 において生産された人工種苗を用い、育成場として種子島海域を選定し、鹿児島県熊毛郡南種子町島間港内に設置した海面小割生簀にて 1 月下旬から 5 月下旬までの実証規模（数万尾単位）の育成試験を実施し、水温と成長の関係を明らかにするとともに、当該海域の早期ブリ人工種苗の中間育成

海域としての適正を評価する。また、4月に採捕される天然種苗最大群（通称：トビ）と早期人工種苗のサイズ及び成長を比較することにより、早期人工種苗の養殖用種苗としての適正を評価する。

また、種苗輸送時の溶存酸素量や収容重量が生残に及ぼす影響を把握するとともに、育成試験に供する種苗輸送時の環境モニタリング及び生残状況を調査する。

研究計画表（研究室別年次計画）

研究課題	研究年度				担当研究機関・研究室	
	12	13	14	15	機関	研究室
1 ブリの早期採卵に関する高度化技術の開発 (1) 効率的な成熟・産卵誘導技術と安定的な早期採卵技術の開発					長崎大学大学院 (国研) 水産総合研究センター	水産・環境科学総合研究科附属環東シナ海環境資源研究センター 西海区水産研究所、増養殖研究所、中央水産研究所
2 ブリ早期種苗を安定的に供給する技術の開発 (1) 早期種苗の健全生産に向けた飼育技術の開発					(国研) 水産総合研究センター	西海区水産研究所
3 ブリ早期種苗を用いた効率的養殖技術の開発 (1) 早期種苗の沖出し後の生残率向上を目指した効率的養殖技術の開発					(国研) 水産総合研究センター 東町漁業協同組合	西海区水産研究所

注) 文中の図、表に付した番号は、上記研究課題番号とその中の一連番号を組合せて表示してある。(例：1-(1)-1)-①の課題の1番目の図の場合は、図1111-1と表示)

VI 研究結果

1 ブリの早期採卵に関する高度化技術の開発

天然環境下で飼育したブリ雌を用いて、周年にわたり生殖腺発達と成熟関連ホルモンの測定を行った結果、本種の生殖腺発達開始の引き金は冬至以降の日長の長日化であること、卵黄蓄積の進行には水温が強く影響することが分かった。ブリ雌の生殖腺発達に及ぼす日長と水温の影響を調べたところ、18℃が天然における卵黄蓄積の進行速度に近いこと、24℃が卵黄蓄積を可能とする閾値であること、26℃

は完全に卵黄形成を阻害することが分かった。卵母細胞における卵黄蓄積は、短日条件に比べ長日条件で早く進行することから、日長の長日は卵黄形成の開始・進行に関わる重要な因子であることが分かった。また、短日化处理により、成熟を制御することができた。適切な時期に短日化处理を開始した場合、水温の影響を受けることがなく、成熟抑制が可能である。この方法によって、これまでよりも早い10月に成熟を誘導することができた。

チャイニーズハムスター卵巢細胞を用いたブリ

のリコンビナント GTH (rFSH 及び rLH) の作製に成功した。作製した rFSH 及び rLH は何れもホルモンとしての生理活性を有していた。更に、rLH は雌親魚へ投与することにより、排卵を誘導できることが分かった。

2 ブリ早期種苗を安定的に供給する技術の開発

10 月下旬から 12 月上旬に得られた受精卵を用い、60 kL の大型コンクリート水槽で 11 回の種苗生産試験を実施した結果、30 mm サイズでの平均生残率は 20.7 (5.5 ~ 41.0) %、1 回次当たりの生産尾数は 30 mm サイズで 12.0 (3.2 ~ 25.7) 万尾であった。初期 (10 日齢まで) の飼育結果と取り上げ時の生残率に正の相関が認められた。また、生残率と開鰓率、目視選別による正常魚の割合においても正の相関が認められ、ブリの種苗生産の結果は、10 日齢初期の飼育が左右していることが明らかとなった。また、仔魚の初期生残は卵質に左右されている可能性が示唆された。

30 mm 以降の飼育では、単位収容重量が 5 kg/kL を超えると、酸素通気を行っていても給餌後の急激な溶存酸素量低下に伴う酸欠死亡のリスクが高まることが明らかとなった。また、飼育水中の非解離アンモニア濃度が 0.05 mg/L 以上になると、摂餌不良が起こることが明らかとなった。

種苗生産経費のうち、加温経費は 30 mm までの飼育では約 30 %、30 mm 以降では約 60 % を占めており、低コストでの種苗を生産するには加温費の削減が鍵になることが明らかとなった。

3 ブリ早期種苗を用いた効率的養殖技術の開発

10 月から 12 月に採卵、生産された人工種苗を用い、種子島海域で数万尾単位の実証規模で育成試験を実施した結果、4 月の段階で 15 cm から 20 cm に成長し、天然種苗の最大群よりも 1 ヶ月以上サイズの先行していることが明らかとなった。人工種苗の成長は天然種苗と変わらないことが明らかとなり、海面の育成開始から約 1 年 3 ヶ月後には出荷サイズ可能となり、養殖用種苗としての適性は十分であると判断した。

VII 今後の課題

新たな技術開発に向けて、日長と水温の変動に

よって惹き起こされる視床下部～脳下垂体～生殖腺系を中心とした生理機構をより詳細に解明する必要がある。親魚養成における適切な水温管理に向け、生殖現象に及ぼすより詳細な水温影響を調べる必要がある。日長と水温がどのようなクロストークによって成熟を統御しているかについての生理学的研究が必要である。短日化による成熟抑制技術をより確実なものとするために、環境要因と内因性成熟開始因子との関係を生理学的に解明する必要がある。リコンビナント GTH の大量生産を可能とするために、有用養殖対象種を多く含むスズキ目魚類の GTH を効率的に発現する哺乳類細胞を明らかにするとともに、新たなリコンビナントタンパク質の作製技術の開発が必要である。

本研究において、卵及び孵化仔魚の質がブリ種苗生産の成績を大きく左右する可能性があることが示唆された。仔魚の質の評価は、飼育によって判定しており、労力と時間を要する。そこで飼育開始前の孵化若しくは卵の段階で、良質なものを選び出す技術が開発されれば、効率的 (高い生残率) かつ健全 (少ない形態異常) な種苗の生産が可能になると考えられる。この技術は親魚養成手法を評価することにもつながるものであり、ブリ種苗生産技術全体のレベルアップに寄与するものと考えられる。

早期人工種苗を低コストで生産するには加温費の削減が鍵になる。そのためには、より小さいサイズで海面にて育成を開始する (中課題 3 において検討)、海水温が高い地域での種苗生産 (例: 奄美や沖縄)、閉鎖循環飼育等を検討していく必要があると考えられる。

早期人工種苗の輸送試験及び育成試験を数万尾単位の実証規模で実施し、養殖種苗としての適性があることを明らかにした。早期人工種苗の生産は低水温期に実施しており、種苗生産経費に占める加温経費が非常に大きいこと、ブリ種苗が成長するには水温 18℃ 以上が必要となるため、地先海面沖での育成はできないことから、種子島海域において育成試験を実施した結果、順調に成長し、4 月の段階で天然種苗を大きく上回る 15 ~ 20 cm の種苗を生産できることが分かった。また、海面での育成開始サイズを全長 10 cm から 5 cm に下げることにより、生産コストが下げられることが明らかとなった。ブリ早期人工種苗の需要が高まるのに対し、早期ブリ種

苗が生産できる機関は限られており、供給体制は整っていない。今後は産業化のために県及び民間企業などへの技術の移転、育成尾数の増加に対応するための中間育成場の整備が必要になってくる。

VIII 研究発表

- 1) 青野英明・堀田卓朗・島康洋 (2015) ブリ養殖の現状と人工種苗研究の現状. 養殖ビジネス, 2015年3月号: 3-5.
- 2) 有瀧真人 (2013) 養殖ブリ人工種苗生産に成功～ブリ養殖の赤潮被害軽減に活路!～. ジャパン・インターナショナルシーフードショー (東京ビックサイト). 2013年8月22日.
- 3) 有瀧真人 (2013) 新しいブリの養殖技術. 水産総合研究センター第11回成果発表会 (東京). 2013年12月20日.
- 4) 有瀧真人 (2014) 種苗生産 新たなブリ養殖の方向性: 赤潮被害軽減から高付加価値種苗へ. アクアネット 17(4): 40-44.
- 5) Gen K., Izumida D., Higuchi K., Kazeto Y., Hotta T., Nakagawa M., Yoshida K., Tsuzaki T., Aritaki M. and Soyano K. (2014) Expression profiles of follicle-stimulating hormone and luteinizing hormone gene during oocyte development in cultivated yellowtail. The 10th International Symposium on Reproductive Physiology of Fish, 2014, Portugal.
- 6) Higuchi K., Gen K., Izumida D., Kazeto Y., Hotta T., Takashi T., Aono H. and Soyano K. (2016) Changes in gene expression and cellular localization of insulin-like growth factors 1 and 2 in the ovaries during ovary development of the yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. Gen. Comp. Endocrinol. 232: 86-95.
- 7) 堀田卓朗 (2014) ブリの早期人工種苗開発 赤潮回避と養殖期間短縮に利点. 養殖ビジネス 51(4): 57-59.
- 8) 堀田卓朗・島康洋・有瀧真人 (2014) 赤潮を回避するための早期ブリの生産技術. ジャパン・インターナショナルシーフードショー (東京ビックサイト). 2014年8月20～22日.
- 9) 堀田卓朗・吉田一範・中川雅弘・野田勉・水落裕貴・藤浪祐一郎・津崎龍雄・島康洋・有瀧真人・松尾斉・青野英明 (2015) 種子島海域における早期ブリ人工種苗の中間育成と天然種苗との比較. 平成27年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, p.31.
- 10) 泉田大介・堀田卓朗・吉田一範・中川雅弘・樋口健太郎・玄浩一郎・津崎龍雄・征矢野清 (2013) 持続的養殖プロ研ブリ-1: ブリ雌の生殖年周期の生殖生理学的検討. 平成25年度日本水産学会秋季大会, 平成25年9月, 三重大学, 三重.
- 11) 泉田大介・堀田卓朗・吉田一範・野田勉・水落裕貴・中条太郎・島康洋・征矢野清 (2015) 環境制御によるブリ10月採卵の試み. 平成27年度日本水産学会秋季大会. 平成27年9月, 東北大学, 仙台.
- 12) 泉田大介・堀田卓朗・吉田一範・野田勉・水落裕貴・中条太郎・島康洋・征矢野清 (2015) ブリの生殖腺発達に及ぼす水温の影響. 平成27年度日本水産増殖学会大会. 平成27年11月, 東京海洋大学, 館山.
- 13) Izumida D., Soyano K., Hotta T., Nakagawa M., Yoshida K., Tsuzaki T., Higuchi K. and Gen K. (2014) Effect of temperature on oocyte development in the cultured yellowtail *Seriola quinqueradiata*. World Aquaculture 2014, Adelaide, Australia.
- 14) 島康洋・堀田卓朗・吉田一範・青野英明・泉田大介・征矢野清・松尾斉 (2015) 赤潮被害軽減を目的としたブリの人工種苗生産技術の開発. 海洋と生物 37(2): 126-130.
- 15) Soyano K., Izumida D., Hotta T., Nakagawa M., Yoshida K., Tsuzaki T., Higuchi K. and Gen K. (2014) Physiological and endocrinological changes associated with gonadal development in the cultured yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. World Aquaculture 2014, Adelaide, Australia.
- 16) 征矢野清・泉田大介・堀田卓朗・中川雅弘・吉田一範・玄浩一郎・樋口健太郎・島康洋・青野英明 (2015) ブリの生殖腺発達および産卵における水温と日長の役割. 第40回日本比較内分泌学会・日本比較生理生化学会第37回大会合同学会シンポジウム, 平成27年12月, アステールプラザ, 広島.
- 17) Higuchi K., Gen K., Izumida D., Kazeto Y.,

Hotta T., Takashi T., Aono H., Soyano K. (2017) Changes in plasma steroid levels and gene expression of pituitary gonadotropins, testicular steroidogenesis-related proteins and insulin-like growth factors during spermatogenesis of the yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. Fish. Sci. 83: 35-46.

IX 特許取得・申請

なし

X 研究担当者

1 ブリの早期採卵に関する高度化技術の開発

長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科附属環東
シナ海環境資源研究センター

征矢野 清*、泉田大介

(国研) 水産総合研究センター西海区水産研究所

堀田卓朗、須藤宏幸、有瀧真人、青野英明、
島 康洋、藤浪祐一郎、津崎龍雄、中川雅弘、
吉田一範、野田 勉、水落裕貴、中条太郎、
玄 浩一郎、高志利宣、樋口健太郎

(国研) 水産総合研究センター増養殖研究所

風藤行紀*、奥澤公一、山口寿哉

(国研) 水産総合研究センター中央水産研究所

入路光雄

2 ブリ早期種苗を安定的に供給する技術の開発

(国研) 水産総合研究センター西海区水産研究所

堀田卓朗*、須藤宏幸、有瀧真人、青野英明、
島 康洋、藤浪祐一郎*、津崎龍雄、中川雅弘、
吉田一範、野田 勉、水落裕貴、中条太郎

3 ブリ早期種苗を用いた効率的養殖技術の開発

(国研) 水産総合研究センター西海区水産研究所

堀田卓朗*、須藤宏幸、有瀧真人、青野英明、
島 康洋、藤浪祐一郎*、津崎龍雄、
中川雅弘、吉田一範、野田 勉、水落裕貴、
中条太郎

東町漁業協同組合

松尾 斉

(*執筆者)

XI 取りまとめ責任者あとがき

近年、水産有用生物の種苗生産技術の発達に伴い、2009年度には養殖用種苗の生産として47種の魚介類種苗が人工的に生産されている。しかし、天然種苗と比較すると、親魚からの採卵不調、不安定な仔稚魚の初期生残あるいは形態異常の発現などの技術面、配合飼料原材料の高騰にも起因する人工種苗の生産単価などのコスト面で、まだ多くの問題点が残されている。その一方で、乱獲等による天然資源の急激な減少を招いている種も少なくはない。ブリ類、ウナギあるいはクロマグロの養殖においても、養殖用稚魚（原魚）のほぼ100%を天然資源に依存しているのが実情である。天然資源には豊凶があることと天然資源そのものの維持・保全の観点から、養殖用原魚を人工種苗で賄い、かつ安定的に確保できる技術の開発が強く求められている。

ブリは、我が国の養殖業の中でも年間約10万トンを生揚げする最も生産量が多い魚種である。本種の養殖用種苗は、2,000万尾程度を必要とするが、現在、そのほぼ全てを天然資源に依存していることから、天然稚魚（モジャコ）の豊凶が養殖魚の安定的生産を妨げる主要因となっている。そこで、人工管理下で本種の養殖用稚魚（人工種苗）を生産し、安定かつ大量に供給するための技術開発が試みられてきた。このことにより、大量生産に使用可能な人工採卵技術は、一定水準において確立されているものの、天然海域における産卵期と同時期に飼育した人工種苗はサイズが小さい、価格が高い、形態異常が多発するなどのデメリットが多面的に存在するため、モジャコの代替にはなっていない。これらの問題を解決しブリ養殖の安定化を図るには、通常の産卵期よりも数ヶ月早い時期に採卵（早期採卵）し、よりコストを抑えた上で早期に健全で付加価値のある高品質かつ大型の養殖用人工種苗を生産することが望ましい。

この人工種苗は、モジャコの代替として養殖生産の安定化に直結するのに加え、近年、ブリ養殖に甚大な被害を及ぼしている有害赤潮の被害を回避するための救世主としての期待が大きい。即ち、早期に供給された大型人工種苗を用いて養殖した個体を赤潮発生時期の前に出荷することによって、赤潮による被害を軽減することができるとともに、収益性を

大きく向上させることが可能である。

これらの背景を踏まえ、本プロジェクト研究では、まず従来の環境操作による成熟誘導の最適化を図ることにより、効率的に安定した早期採卵を可能とする技術の開発を行い、10月の採卵にも成功した。また、遺伝子工学的手法を用いてブリ自身の成熟誘導ホルモンの大量産生を試み、採卵技術の高度化も実施した。得られた卵を用い、共食い等の減耗を低減させた低コストで健全な種苗を実証規模で効率的に生産することができ、そこからモジャコの最大サイズを大きく超えた種苗を供給する技術を開発し、赤潮被害軽減対策として使用可能なものである

ことを示した。

早期種苗を養殖した成魚は「新星鰯王」として夏季に出荷され、市場でも好評を得るとともに、“夏ブリ”として報道各社にも取り上げられた。このように本研究は当初の計画より早く大きな成果を上げたことから1年前倒しで終了とし、2016年度から新たな体制で、輸出をターゲットとしたプロジェクト研究として開始する予定である。この新規研究課題においても、本課題で得られた実績を基礎として多くの成果を上げ、養殖ブリが我が国の水産物輸出産業を支える品目となることを期待する。

(推進リーダー：青野 英明)

第1編 ブリの早期採卵に関する高度化技術の開発

第1章 効率的な成熟・産卵誘導技術と安定的な早期採卵技術の開発

1 環境操作による採卵技術の開発

(1) 天然環境下で飼育したブリ雌の生殖周期の解明と成熟に及ぼす水温と日長影響

ア 研究目的

ブリは九州を中心とする西日本において天然環境下で飼育すると、春（4月）には十分に発達した生殖腺を有する雌雄親魚を得ることができることから、これを用いた種苗生産が行われている。天然環境下におけるブリの生殖腺の発達は、日長及び水温の変動により誘導されると考えられている。そこで、春に産卵した親魚を夏場（8月）に自然日長から短日条件へ移行して飼育した後、長日処理し成熟に適した水温で管理することにより、冬（11～12月）に再度受精卵を得ることができる¹⁾。これは「環境操作による早期採卵技術」と呼ばれ、実用化されつつある。しかし、成熟の進行に個体差が生じる、成熟に達する個体の割合が低いなどの問題が指摘されており、安定的人工種苗の確保に向けた早期採卵技術の更なる高度化が望まれている。そこで、一年を通して天然環境下で飼育したブリの成熟過程を日長及び水温の挙動と関連付けて詳細に明らかにするとともに、人為的成熟制御における日長処理の方法・時期や水温の影響を検討し、環境操作による早期成熟誘導並びに採卵技術の最適化を目指した。

イ 研究方法

(ア) 天然環境下におけるブリ雌の生殖腺の発達過程の解明

a 天然環境下におけるブリの成熟過程を明らかにするため、産卵直後の2012年7月より2013年5月にかけて、(国研)水産総合研究センター西海区水産研究所五島庁舎の海面生簀において飼育されていたブリ雌から生殖腺・脳下垂体・血液を定期的にサンプリングした。また、体長・体重の測定を行うとともに、生殖腺体指数[GSI=(生殖腺重量/体重)×100]を算出した。本研究では、上記期間に12回(2012年7月20日、9月21日、11月8日、

12月14日、2013年1月10日、1月24日、2月19日、3月6日、3月27日、4月9日、4月25日、5月30日)のサンプリングを実施した。なお、本研究では、雄の生殖腺発達については調査しなかった。

b 卵巣の発達を明らかにするため、組織学的観察を行った。これまでの報告をもとに、卵母細胞の発達段階を周辺仁期(Pn)、卵黄胞期(Yv)、第1次卵黄球期(Py)、第2次卵黄球期(Sy)、第3次卵黄球期(Ty)に分けた(図1111-1)。また、最も発達した卵母細胞のステージを、その個体の卵巣発達段階として表した。

c 生殖腺の発達に伴う血中性ステロイド濃度[雌性ホルモン、エストラジオール17β(E₂)と雄性ホルモン、テストステロン(T)]を酵素免疫測定(EIA)法(EIAキット、Cayman)により、脳下垂体における生殖腺刺激ホルモン(GTH)[(黄体形成ホルモン(LH)と濾胞刺激ホルモン(FSH)]の遺伝子発現を定量PCR法により測定した。

(イ) 生殖腺発達に及ぼす水温と日長の影響

a 生殖腺発達を開始する前の2012年12月に、自然日長、自然水温で飼育していた個体を、明期14時間、暗期10時間(14L:10D)の長日条件へ移行し、異なる水温(18、22、26℃)のもとで2ヶ月の飼育を行った。2013年1月23日と2月20日に供試魚を取り上げ、生殖腺体指数GSIと生殖腺発達の組織学的変化を調べた。また、脳下垂体におけるFSHβ及びLHβ遺伝子発現を調べるとともに、血中性ステロイドのうちTとE₂の濃度を測定した。測定方法は(ア)と同様である。

b より高水温の影響を調べるため、上記実験と同様に自然日長、自然水温で飼育していた個体を、2014年12月の冬至より、14L:10Dの長日条件へ移行し、22℃、24℃及び26℃で飼育を行った。2015年1月14日及び1月28日に試験魚を取り上げ、生殖腺体指数GSIと生殖腺発達の組織学的変化を調べた。また、脳下垂体におけるFSHβ及びLHβ遺伝子発現を調べるとともに、血中性ステロ

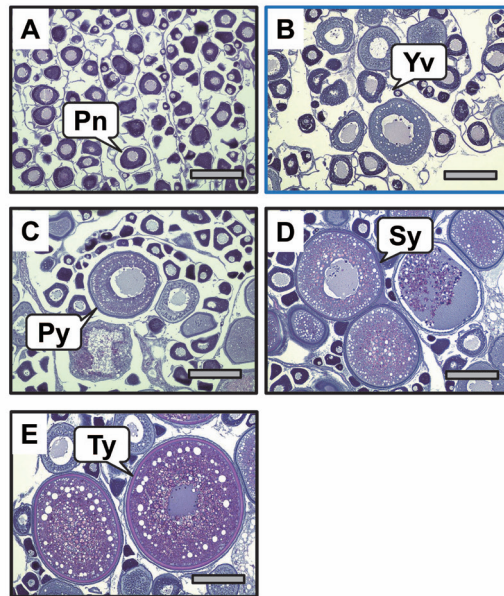


図 1111-1 ブリにおける卵母細胞の発達ステージ

A：周辺仁期 (Pn)、B：卵黄胞期 (Yv)、C：第1次卵黄球期 (Pn)、D：第2次卵黄球期 (Sy)、E：第3次卵黄球期 (Ty)、スケールバー：200 μ m

イドのうち T と E_2 の濃度を測定した。

c 日長と水温の複合影響を明らかにするため、2013 年の冬至より日長を 14L：10D の長日若しくは明期 10 時間、暗期 14 時間 (10L：14D) の短日とし、水温を 14℃ 及び 18℃ として卵黄形成及び成熟に及ぼす環境要因の影響を調べた。飼育期間を 75 日間とし、2014 年 12 月 25 日より環境操作実験を開始した。実験開始から 30 日目、60 日目、実験終了時に生殖腺を摘出し組織学的観察を行うとともに、GSI を算出した。

ウ 研究結果

(ア) 天然環境下におけるブリ雌の生殖腺の発達過程の解明

2012 年 7 月から 2013 年 1 月 10 日までに採集した個体の生殖腺は全て Pn の未熟な卵母細胞で占められており、成熟の開始は確認されなかった (図 1111-2)。その後、1 月 24 日に採集した個体において Yv の卵母細胞をもつ個体が観察され、2 月 19 日には、約 90% の個体が Yv の卵母細胞を有していた。この時期に生殖腺体指数 GSI が増加を開始した。3 月に入ると卵母細胞への卵黄蓄積が開始され、3 月下旬には Ty の卵母細胞が出現した。

生殖腺発達に伴う血中性ステロイド濃度の変化を図 1111-3 に示した。T は Yv の卵母細胞が出現

した 1 月 24 日より増加の傾向を示し、 E_2 は Yv の卵母細胞をもつ個体が多数を占めた 2 月 19 日より増加の傾向を示した。その後両ホルモンともに有意に増加し、T は 3 月下旬から 4 月下旬にかけて、 E_2 は 4 月下旬にピークを示した。一方、これらの性ステロイドの産生を支配する 2 種類の GTH (LH と FSH) β サブユニットの mRNA 発現量は、何れも 1 月 10 日に増加を始め、その後 3 月下旬まで増加した (図 1111-4)。また、産卵が終了し Yv の卵母細胞のみを有する 5 月下旬個体では、これらの発現は急減した。両 GTH mRNA 発現のパターンには差が認められなかった。

(イ) 生殖腺発達に及ぼす水温と日長の影響

日長を明期 14 時間、暗期 10 時間 (14L：10D) の長日条件として、異なる水温 (18、22、26℃) のもとで 2 ヶ月の飼育をしたところ、18℃ 及び 22℃ で飼育した個体において、生殖腺の発達が確認された (図 1111-5)。18℃ 区では 1 ヶ月後には全ての個体が Yv の卵母細胞を有しており、2 ヶ月後には Sy 及び Ty の卵母細胞を有する個体が約 90% を占めた。22℃ 区では飼育から 1 ヶ月後に全ての個体が卵黄蓄積を開始しており、そのうち約 70% の個体で成熟直前の Ty の卵母細胞が確認された。しかし、2 ヶ月後には全ての個体の卵巣は Pn の卵母細胞のみで占められていた。一方、26℃ 区では、1 ヶ月後

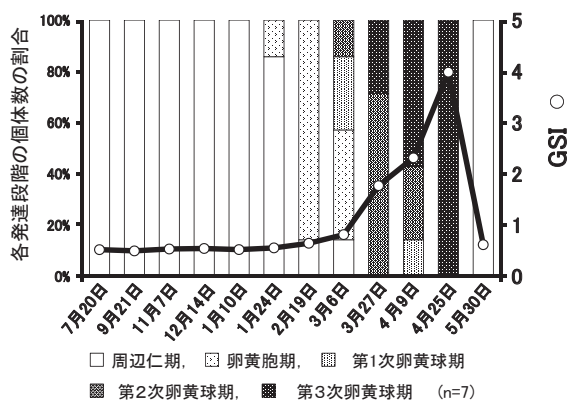


図 1111-2 ブリの卵巢発達と生殖腺体指数 (GSI) の周年変化

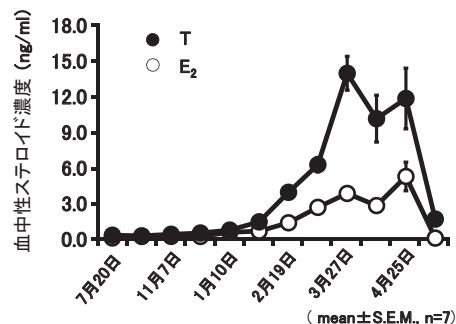


図 1111-3 ブリ雌の血中性ステロイド濃度の周年変化

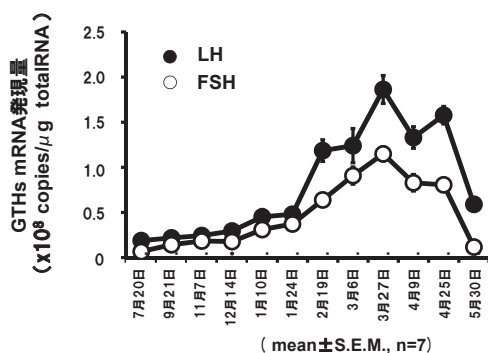


図 1111-4 ブリ雌の生殖腺刺激ホルモン遺伝子発現量の周年変化

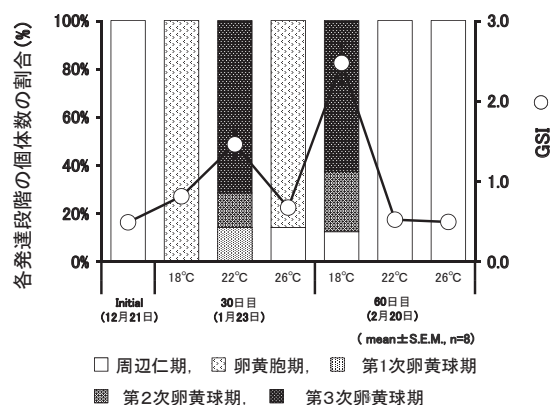


図 1111-5 ブリの成熟に及ぼす飼育水温 (18℃、22℃及び26℃) の影響

に Yv の個体は出現するものの、その後の発達は認められず、2 ヶ月後は全ての個体が Pn の卵母細胞のみを有していた。

E₂ 及び T の血中濃度の変化は、何れも 18℃ 区及び 22℃ 区において 1 ヶ月後に高い値を示した (図 1111-6)。しかし、2 ヶ月後には 18℃ 区では何れも高値を維持したが、22℃ 区のそれらは急減した。一方、26℃ 区では、両ホルモンに有意な増加は認められなかった。LH 及び FSH の mRNA 発現量は、性ステロイドの挙動と類似した。何れも 18℃ 区及び 22℃ 区において 1 ヶ月後に高い値を示した。しかし、2 ヶ月後には 18℃ 区では両遺伝子とも高値を維持したが、22℃ 区のそれらは実験開始時の発現量と同等にまで減少した。一方、26℃ 区では、両遺伝子発現に有意な増加は認められなかった。

日長を 14L : 10D の長日条件とし、より高水温の影響を調べるため 22℃、24℃ 及び 26℃ で飼育を行った。その結果、卵黄形成の開始が最も早かった

のは 24℃ であり、続いて 22℃ であった (図 1111-7)。何れも試験開始から約 1 ヶ月後には Sy あるいは Ty の卵母細胞が出現した。しかし、FSHβ 及び LHβ 遺伝子の発現並びに血中性ステロイド濃度は、何れも 22℃ 区が最も高い値を示した (図 1111-8)。一方 26℃ 区では、生殖腺の発達は認められず、またホルモンの発現にも有意な上昇は認められなかった。

日長と水温の複合影響を調べるため、冬至より日長を 14L : 10D の長日若しくは 10L : 14D の短日とし、水温を 14℃ 及び 18℃ として卵黄形成及び成熟に及ぼす環境要因の影響を調べたところ、何れの試験区においても卵黄蓄積した卵母細胞を有する個体の出現が認められた (図 1111-9、10)。4 試験区のうち最も卵母細胞の発達が進行したのは 18℃ 長日区であり、実験開始後 30 日目に卵黄蓄積を開始した Py を有する個体が認められ、60 ~ 75 日目に卵黄蓄積が完了した Ty の卵母細胞を有する個体が出

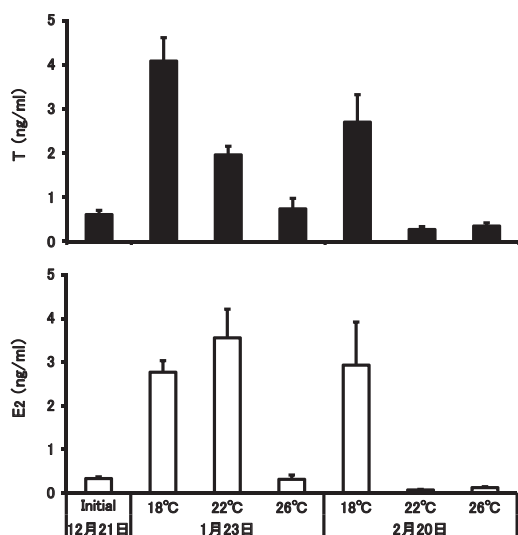


図 1111-6 性ステロイドの産生に及ぼす飼育水温（18℃、22℃及び26℃）の影響

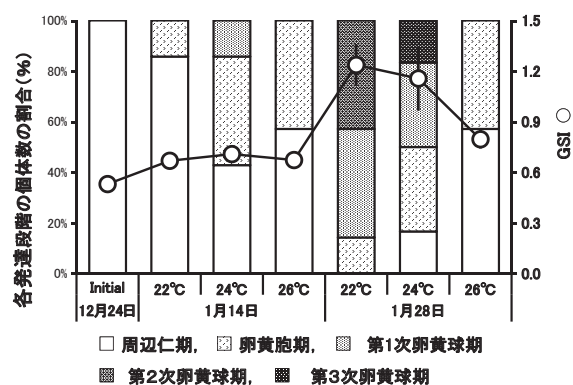


図 1111-7 ブリの成熟に及ぼす飼育水温（22℃、24℃及び26℃）の影響

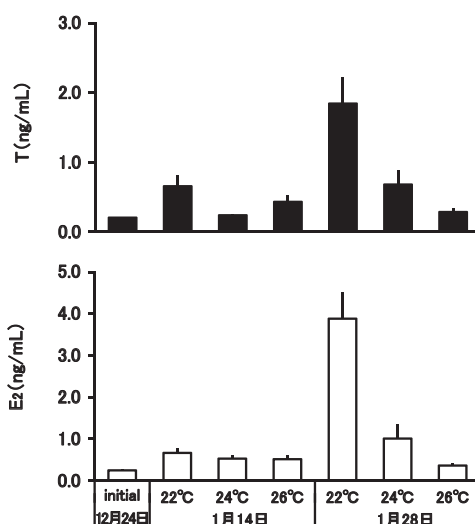


図 1111-8 性ステロイドの産生に及ぼす飼育水温（22℃、24℃及び26℃）の影響

現した。75日目には卵黄形成期の個体が減少したことから、成熟が完了したと推定した。また14℃長日区においても60～75日目に卵黄蓄積の進行した卵母細胞を有する個体が多く出現したが、その進行は18℃区より遅く、実験期間内に観察された卵母細胞のステージはSyまでであった。一方で14℃及び18℃の短日区においては長日区ほどの卵黄蓄積の進行は認められなかったものの、60-75日目にPyやSyの卵母細胞を有する個体の出現が少数ながら認められた。

エ 考 察

(ア) ブリ雌の生殖周期を、環境要因（水温と日

長）と関連づけて明らかにするため、西海区水産研究所五島庁舎において、自然日長、自然水温で飼育されていた個体の生殖腺発達を周年にわたり調べたところ、2013年1月下旬よりYvの卵母細胞をもつ個体出現し、これに伴ってGSIが増加する傾向を示した。Py及びSyの個体は水温が顕著な上昇を始める3月に出現し、その後水温上昇とともに卵母細胞は急速に発達することが確認された。このような卵巣の形態的変化は、肝臓において卵黄タンパク質前駆物質（ビテロジェニン：VTFG）を誘導する E_2 ²⁾とその前駆物質であるTの挙動と類似していた。本実験により確認された生殖腺発達と性ステロイドの挙動は、同属のカンパチのそれとも類

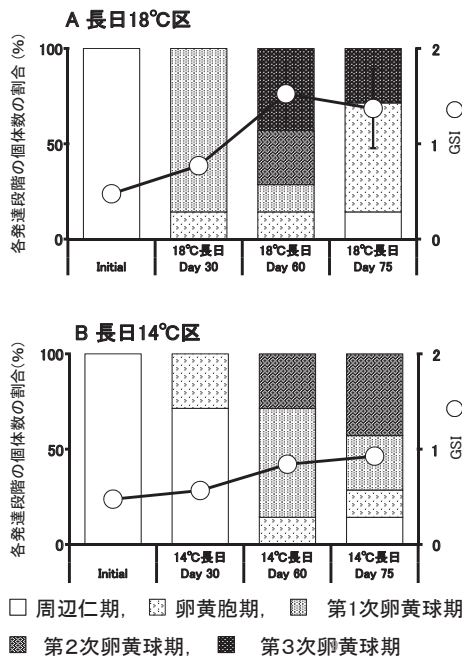


図 1111-9 プリの成熟に及ぼす飼育水温（14℃及び26℃）と長日の複合影響

A：長日 18℃区、B：長日 14℃区

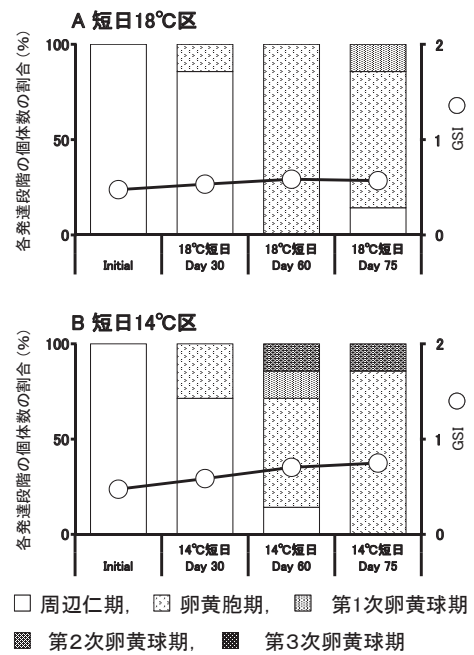


図 1111-10 プリの成熟に及ぼす飼育水温（14℃及び26℃）と短日の複合影響

A：短日 18℃区、B：短日 14℃区

似した³⁾。この結果より水温は、 E_2 の産生を高め、VTGの誘導を促すことにより、卵母細胞の発達を促進する因子である考えられる。しかし、興味深いことに、成熟開始のシグナルであり、 E_2 を始めとする性ステロイドの産生やステロイド代謝酵素及びステロイド受容体の発現を制御するGTHs⁴⁾の遺伝子発現は、12月から1月にかけて増加した。また、Yvの卵母細胞が出現する1月から2月にはLH、FSHともに急増した。ブリのGTHs遺伝子発現はこれまでも調べられているが⁵⁾、生殖腺の発達ステージとの関係を示すに留まっており、日長や水温変動と関連したGTH遺伝子発現の季節性に関する報告はない。本研究の結果から、GTH遺伝子発現と日長・水温の変化との間には深い関連性があることが分かった。両ホルモン遺伝子発現の増加は、水温が上昇を開始する前に起こっていることから、GTHsの誘導因子は水温ではない。GTHsの遺伝子発現は冬至後に増加することから、成熟に向けての最初の環境要因は日長の変化、つまり短日化から長日化への切り替えであろうと考えられる。これまで魚類の成熟開始は水温と日長によって制御されていることが報告されている⁶⁾。しかし、成熟を制御する環境要因は魚種によって異なることから、その何れが成熟開始の主要因子であるのか、また、両因子

の生殖内分泌機構における役割は明らかにされていない。本研究では、日長が成熟開始因子として、水温がその後の成熟促進因子として働くことが示唆された。両因子はGTHの分泌を制御するが、残念ながらLHとFSHの機能的差異については、本研究において明確にすることはできなかった。

本研究により、本種の成熟開始の外部シグナルは日長の長日化であり、その後の水温上昇が、性ステロイドの合成を加速させ、卵黄形成を促進させることが分かった。また、本種の成熟開始から産卵までは約5ヶ月であり、その内卵黄形成期は3～4月にかけての1.5ヶ月から2ヶ月、産卵期は4月～5月の1ヶ月から1.5ヶ月であることが分かった。本種の生殖周期及びホルモン発現挙動は同属のカンパチとはほぼ同じであることから³⁾、ブリ属の生殖現象は同様の環境制御を受けていると考えられる。

(イ) ブリ雌の卵黄蓄積から最終成熟にかけての一連の生理変化には、水温が重要な因子として働いていることから、本種の成熟適水温及び成熟可能水温を明らかにするため、14-26℃の範囲で生殖腺発達に及ぼす水温影響を調べた。これまでに行われているブリの人工種苗生産において18℃を成熟産卵時の適水温として親魚管理を行っている¹⁾。しかし、ブリは広域回遊をする魚種であり、成熟開始後の水

温は一定ではないと考えられる。養殖施設等において自然日長・水温で飼育すると、天然環境において回遊する個体が経験する水温とは異なるものの、春の産卵期に向け徐々に上昇する水温の影響を受け生殖腺を発達させる（図 1111-2～4）。この場合、生殖腺は約 2 ヶ月かけて卵黄蓄積を行い成熟に達する。本研究において長日条件下で異なる水温を用いて飼育したブリの生殖腺発達のうち、自然水温で飼育した個体とはほぼ同様の発達期間（最終成熟直前までの期間）を示した水温は 18℃であった。14℃一定での飼育では、卵黄形成は行わないものの、60 日目で Py、75 日目で Sy と、その速度は極めて遅いことが分かった。一方、22℃では卵黄蓄積及び成熟のスピードは自然水温及び 18℃飼育のブリより早く、約 1 ヶ月で完了することが分かった。成熟を制御する各ホルモンの発現・分泌も生殖腺発達と同期していることから、水温は成熟関連ホルモンの分泌促進を介して成熟を促進する因子として機能している。しかし、24℃は 22℃よりもより早い卵黄蓄積と成熟を見せるものの、約半数の個体は成熟しない。さらに 26℃では成熟の進行が認められない。以上の結果から 24-26℃の間に、成熟を抑制する水温（高温抑制）の閾値が存在し、おそらく 24℃は本種の成熟を可能とする限界水温であろうと考えられる。

以上の結果より、長日条件下において一定の水温条件で飼育する場合、最適な温度条件は 18℃であり、天然とほぼ同様に 2 ヶ月かけて卵黄蓄積が完了することが改めて分かった。また、14℃では卵黄蓄積は進行するものの、その完了には時間を要することが示された。しかし、自然環境下におけるブリの卵黄形成期の水温は 14-16℃であることから、親魚養成の現場においても 14℃から徐々に水温を上昇させることが理想的な管理方法であろうと考えられる。

飼育水温 14℃と 18℃において 14L：10D の長日条件及び 10L：14D の短日条件で飼育を行い、水温と日長の複合影響を調べたところ、長日条件において 14℃区では 60 日後に、18℃区では 30 日後に卵黄形成が確認された。しかし、短日条件では、卵黄形成を開始する個体は少なく、14℃区では 60 日以降 25% の個体で卵黄蓄積が確認されたが、18℃区では 75 日後に 10% 未満の個体で卵黄蓄積が確認されたに過ぎなかった。また、両区とも GSI は長日

条件で飼育した個体よりも低かった。このことより、正常なブリの卵黄形成～成熟には長日条件が必要であり、短日は卵黄形成の抑制要因となることが分かった。しかし、本研究により一定日長による短日処理では卵黄蓄積の開始を完全には抑制できないことも分かった。これまでブリの早期採卵において、短日と長日の組み合わせによって成熟を誘導している¹⁾が、これは長日が成熟の開始要因であることを利用した成熟誘導法である。この場合、短日処理は長日処理を実施するために必要な過程として導入されている。しかし、短日処理には成熟の抑制効果があることから、長日による成熟開始を同調させるためにも有効であると考えられる。多くの魚種で日長と水温の複合作用によって成熟が制御されていることは知られている⁶⁾が、ブリにおいてそれを示したのは本研究が最初である。

オ 今後の課題

(ア) ブリの生殖周期は日長と水温に強く依存しているが、両者の役割は異なる。本研究により、成熟産卵に向けた最初の引き金は、日長の長日化であるが、これによって惹き起こされる視床下部～脳下垂体～生殖腺系における生理的・内分泌学的メカニズムは、十分に明らかにされていない。新たな技術開発に向けて、日長の水温の変動によって惹き起こされる生理機構をより詳細に解明する必要がある。

(イ) 卵黄形成を可能とする水温について成果が得られたが、人工環境下で良質の卵を得るためには、成熟の進行に伴い水温を変動させるなどの操作が必要である。おそらく成熟過程ごとに適水温が存在すると考えられることから、今後水温の適切な管理に向けたより詳細な水温の生理影響を調べる必要がある。また、日長の短日化は成熟抑制因子として、長日化は促進因子としての役割を担っているが、一旦内因性の成熟機構が動き出してしまうと、成熟の進行は水温に強く依存する。日長と水温がどのようなクロストークによって成熟を統御しているかについて、生理学的研究が必要である。

力 要 約

(ア) 天然環境下で飼育したブリ雌を用いて、周年にわたり生殖腺発達と成熟関連ホルモンの測定を行った。冬至以降に生殖腺発達を制御する 2 つ

のGTH (FSH と LH) の遺伝子発現量が増加すること、また、その後水温の上昇に伴って、性ステロイドの血中量が増加し、卵黄蓄積が急速に進行することが分かった。以上の結果より、本種の生殖腺発達開始の引き金は冬至以降の日長の長日化であること、また、卵黄蓄積の進行には水温が強く影響することが分かった。

(イ) ブリ雌の生殖腺発達に及ぼす日長と水温の影響を調べたところ、生殖腺発達を誘導する内因性の引き金が引かれた個体では、14～24℃の範囲で卵黄形成が進行した。しかし、18℃が天然における卵黄蓄積の進行速度に近いこと、24℃が卵黄蓄積を可能とする閾値であること、26℃は完全に卵黄形成を阻害することが分かった。卵母細胞における卵黄蓄積は、短日条件に比べ長日条件で早く進行することから、日長の長日は卵黄形成の進行に関わる重要な因子であることが分かった。

キ 引用文献

- 1) 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.
- 2) Hara A. (2016) Vitellogenesis and choriogenesis in fish. Fish. Sci. 82: 187-202.
- 3) Nyuji M., Kazeto Y., Izumida D., Tani K., Suzuki H., Hamada K., Mekuchi M., Gen K., Soyano K. and Okuzawa K. (2016) Greater amberjack Fsh, Lh, and their receptors: Plasma and mRNA profiles during ovarian development. Gen. Comp. Endocrinol. 225: 224-234.
- 4) 小林牧人・足立伸次 (2002) 生殖. 会田勝美編, 魚類生理学の基礎. 恒星社厚生閣. 155-184.
- 5) Rahman M.A., Ohta K., Yamaguchi A., Chuda H., Hirai T. and Matsuyama M. (2003) Gonadotropins, gonadotropin receptors and their expressions during sexual maturation in yellowtail, a carangid fish. Fish Physiol. Biochem. 28: 81-83.
- 6) 清水昭男 (2010) 環境条件による魚類生殖周期の制御機構. 水産海洋研究. 74: 58-65.

研究担当者 (征矢野 清*, 泉田大介, 首藤宏幸, 有瀧真人, 青野英明, 津崎龍雄, 島 康洋,

藤浪祐一郎, 中川雅弘, 堀田卓朗, 吉田一範, 野田 勉, 水落裕貴, 中条太郎, 玄 浩一郎, 高志利宣, 樋口健太郎, 風藤行紀*, 奥澤公一, 入路光雄, 山口寿哉)

(2) 10月採卵に向けた短日化による成熟抑制技術の開発

ア 研究目的

現在実施されている11～12月採卵よりも更に早く受精卵を確保することを目的として、10月採卵を試みた。ただし、10月採卵の場合、11～12月採卵で採用されている8月からの環境操作 (日長の短日処理10～30日とその後の長日処理、水温18℃維持) をより早く開始しなければならない。しかし、天然条件下 (通常) における産卵時期 (4～5月) から環境操作開始までの期間が短いことから、親魚への負荷を軽減し良質の受精卵を得るためには、これまでの環境操作方法によって10月に採卵することは難しい。そこで、通常の産卵期における成熟を制御し、産卵を回避させた後、環境を操作することによって10月産卵を可能とする方法を検討した。この方法を用いて実施した10月採卵の結果は第2編に記載する。

イ 研究方法

(ア) 短日化及び高水温維持による成熟抑制効果と10月成熟の誘導

a 本実験では2013年11月早期採卵に用いた親魚を引き続き親魚として使用した。11月採卵以降16L:8Dの長日条件下で飼育されていた親魚に対して2014年1月7日より連続的に短日化し、その後9月1日に再び14L:10Dの長日条件に切り替え飼育を行った (図1112-1)。また、2012年に実施した水温影響試験において、高水温 (26℃) が生殖腺発達を抑制することが分かったことから、試験開始時から自然水温で飼育する自然水温区に加えて、26℃とする高水温区を設定した。自然水温区では7月15日まで自然水温で、また高水温区では7月4日まで26℃で飼育した後、9月1日にかけて成熟に最適な水温である18℃まで徐々に水温を下降させた。その後、産卵に至るまで18℃を維持した。この間、3、5、7、9及び10月にカニキュレーション若

しくは解剖調査によって成熟度調査を行い、生殖腺発達の状況を組織学的観察によって調べた。

b 2014年の12月採卵に使用した個体を用い、採卵直後の1月より短日化処理を施した後、9月から長日条件に移行させることによって10月における成熟誘導の再現を試みた(図1112-2)。この実験では、自然水温で飼育を行った。

c カンパチを用いた短日処理による成熟制御試験の結果から、産卵直後の個体に短日処理を施すと成熟抑制効果が認められるものの、産卵後ある程度の期間を経過した個体では、日長処理の影響を受けなくなることが分かっている。そこで、通常産卵期である5月に産卵した親魚で、短日化処理開始直前の12月に早期産卵を経験していない個体を用い

て、1月より短日化試験を行った。この試験に使用した個体は天然条件で飼育していたことから、短日化するためには12月の冬至後に一旦長日とする必要がある。そこで冬至後に16L:8Dの長日条件で約1ヶ月半飼育し、そこから8月下旬まで短日化処理を施した(図1112-3)。本実験に用いた個体は、成熟終了から一定の時間が経過しており、成熟開始に関わる生理機構がすでに起動していると予想される。そこで、日長の長日処理期間に併せて水温を上昇させることによって、すでに起動しているこの機構を強制的に促進させ、成熟を誘導・完了させることにより、成熟のスイッチをリセットさせる必要があると考えた。そのため、本実験では、長日処理期間中、自然水温にて飼育する群(自然水温区)に加

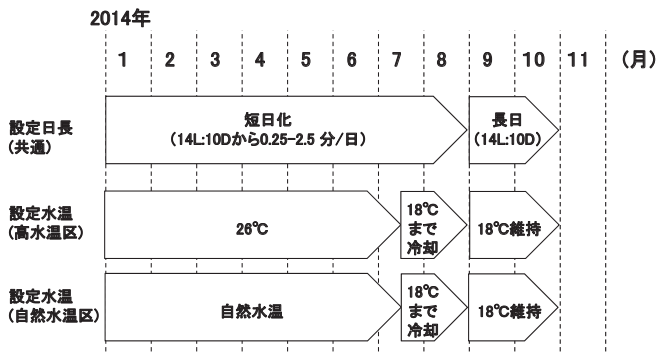


図 1112-1 短日化と高水温飼育による成熟制御試験スケジュール

産卵後約1ヶ月の個体を用いて、短日化と高水温(26℃)による成熟制御、及び短日化のみ(自然水温)による成熟制御を実施。9月より成熟誘導のため長日処理を開始するとともに水温を18℃で維持。

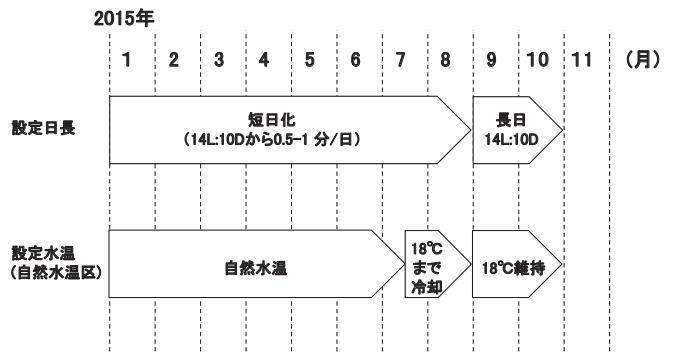


図 1112-2 短日化による成熟制御試験スケジュール(再現試験)

産卵後約1ヶ月の個体を用いて、短日化のみ(自然水温)による成熟制御を実施。9月より成熟誘導のため長日処理を開始するとともに水温を18℃で維持。

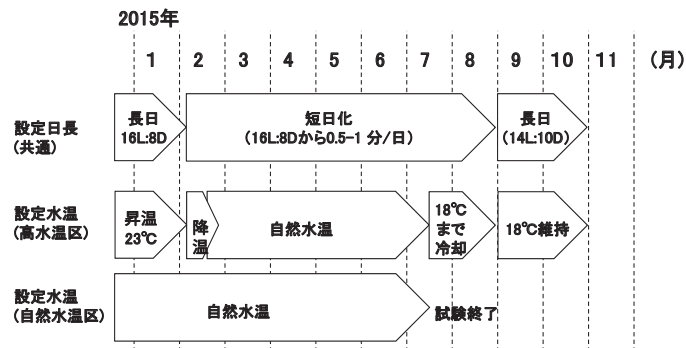


図 1112-3 短日化による成熟制御効果確認試験スケジュール

自然水温・自然日長で飼育していた産卵から半年を経過した個体を用いて、短日化による成熟制御を実施。短日化を実施するため、12月下旬より2月上旬まで16L:8Dの長日処理を行った後、短日化開始。

自然水温区: 長日処理期間中、自然水温で飼育した区

高水温区: 長日処理期間中、22-23℃で飼育した区

高水温区は、9月より成熟誘導のため長日処理を開始するとともに水温を18℃で維持。

え、22-23℃の高水温にて飼育する群（高水温区）を設けた。

ウ 研究結果

（ア）短日化及び高水温維持による成熟抑制効果と10月成熟の誘導

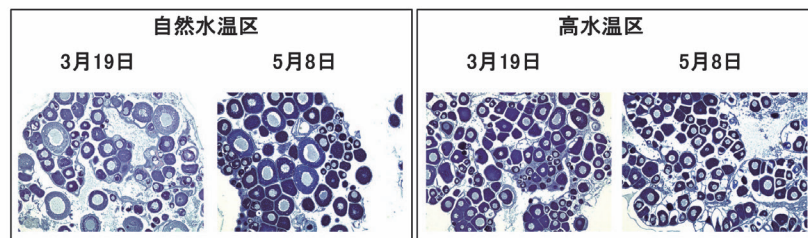
2013年11月早期採卵に使用した親魚を用いた短日化及び高水温維持試験における成熟度調査では、自然水温区及び高水温区の何れにおいても通常産卵期である2014年5月の卵母細胞の発達段階はPnであった（図1112-4、表1112-1）。その後短日処理

が終了した9月1日まで卵母細胞の発達は認められず、全ての個体でPnの卵母細胞のみが観察された。短日化した個体を長日条件に移し18℃で管理したところ、10月下旬に雌ではTyの卵母細胞を、雄では排精期の精巣を持つ個体が認められた。

2014-2015年にかけて実施した短日化試験により、短日化による成熟抑制と、その後の長日処理により成熟誘導が可能であることが改めて分かった（図1112-5）。

産卵から自然条件で半年飼育し、短日化処理直前に成熟を経験していない個体を用いて、短日化処理

・通常産卵期(4-5月)



・長日処理後(10月24日)

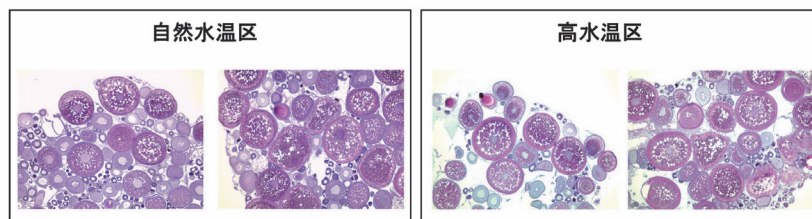


図 1112-4 生殖腺発達制御における短日化と高水温の効果

上段は短日化の期間を自然水温及び高水温（26℃）で飼育した個体の通常産卵期（4～5月）の生殖腺の状態。下段は短日化の期間を自然水温及び高水温（26℃）で飼育した後、9月より14L：10Dの長日条件・水温18℃で飼育した個体の10月24日の生殖腺の状態。

表 1112-1 短日化と高水温維持による生殖腺発達制御

試験区	サンプリング日	卵母細胞の発達段階（個体数）				平均卵母細胞卵径 （μm）	備考
		周辺仁期	卵黄胞期	卵黄球期以降	退行		
自然水温区	2014. 3. 19	3	2	—	—	151. 5	
	2014. 5. 8	7	—	—	—	139. 2	
	2014. 7. 3	8	—	—	—	—	
	2014. 9. 1	6	—	—	—	157. 6	
	2014. 10. 24	—	—	2	—	711	雄は排精期
	2014. 10. 29	—	—	3	—	740. 1	雄は排精期
高水温（26℃）区	2014. 3. 19	6	—	—	—	134. 4	
	2014. 5. 8	3	—	—	—	127. 4	
	2014. 7. 3	8	—	—	—	—	
	2014. 9. 1	6	—	—	—	148. 7	
	2014. 10. 24	—	—	2	—	626	雄は排精期
	2014. 10. 29	—	—	2	2	552. 4	退行有、雄は排精期

編み掛け：9月より長日処理及び水温18℃維持を実施

の効果を調べた。その結果、短日化に先立って実施した長日処理の期間を自然水温で飼育した個体（自然水温区）は、1～2月にかけて成熟することはなかったが、その後水温の上昇に伴い成熟を開始し、4月には卵黄形成期の卵母細胞を有するに至った（図 1112-6）。一方、長日処理に併せて高温飼育を行った高水温区では、2月に卵黄形成期の卵母細胞が出現し、長日と高水温により成熟が誘導されたことが分かった。これらの個体では、その後の短日化によって成熟は抑制され、通常の産卵期に成熟する

個体は出現しなかった。成熟は再び長日処理を開始した9月まで抑制された。この群を9月より長日飼育に切り替えたところ、10月に完熟卵を得ることに成功した。

工 考 察

（ア） 魚類の成熟の開始進行が日長によって制御されていることはよく知られている¹⁾。マハタ・クエ・ブリ類などでは日長を長日にするることによって、人為的に成熟を促進し、早期採卵することがで

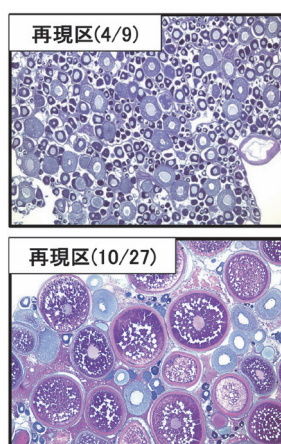


図 1112-5 生殖腺発達制御における短日化の効果

再現区（4月9日）：産卵後約1ヶ月の個体を1月より短日化させ、自然水温で飼育した個体の通常産卵期直前（4月9日）の生殖腺、再現区（10月27日）：9月より長日処理を施すとともに18℃で飼育した短日処理個体の生殖腺。

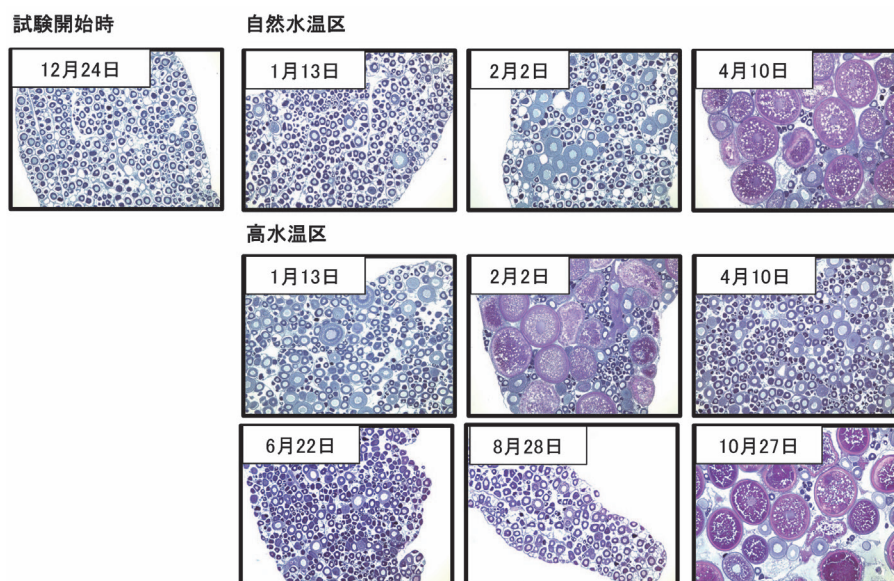


図 1112-6 生殖腺発達制御における短日化の効果

試験開始時：自然水温・自然日長で飼育していた産卵から半年を経過した個体の生殖腺。

自然水温区：12月下旬より長日処理し、自然水温で飼育した個体の生殖腺発達変化。

高水温区：12月下旬より長日処理するとともに、22～23℃の比較的高い水温で飼育した個体の生殖腺発達変化。10月27日の組織写真は、9月より長日処理を施すとともに18℃で飼育した個体のもの。

きる^{2,3)}。しかし、日長は、成熟の開始を制御する要因として重要であるが、その後の生殖腺発達を完全に抑制する要因ではない。カンパチの早期採卵研究においては、短日処理によって成熟の開始を遅延させることに成功したが、水温上昇とともに短日条件下でも成熟が開始している。これは、日長が成熟の開始を制御する要因として作用するものの、成熟の進行を完全に制御する要因とはなり得ないことを示している。これらの研究から、日長の「変化」が魚類の生理現象に重要な影響を与えているのではないかと推察した。そこで生殖腺発達を抑制するためには、日長を連続的に短日（短日化）にすることが必要であろうと考えた。本研究においてこの検証を行ったところ、日長の短日化によって成熟は抑制された。日長を一定にした短日処理では、処理直後は日長の変化を経験するものの、その後日長は変動しないことから、その効果はやがて消失する。つまり、ブリにとって絶対的な短日日長が有効なのではなく、日々連続して短日化することが刺激として重要であると考えられる。

成熟は高水温によっても抑制できる。これは高温抑制と呼ばれるもので、適水温を超えると成熟が進行しない。本研究でも26℃の飼育によって成熟の抑制に成功している。しかし、高水温処理を行わなくとも、日長の短日化のみで成熟を抑制できることが分かった。早期採卵を含む養殖・種苗生産において、経費のかさむ水温操作は極力避けたいが、日長の操作のみによって成熟をコントロールできるのであれば、コストの軽減の面からも有効な手段となり得る。

しかし、短日化処理は有効な場合とそうでない場合がある。成熟産卵から間もない個体を短日化すると成熟抑制効果は得られるものの、産卵からある程度の時間が経過した場合、その効果は得られない。本研究では産卵から約1ヶ月の個体と半年を経過した個体を用いて短日化を行ったところ、前者はその効果が得られたものの、後者は処理の影響を全く受けず、水温の上昇に伴って成熟を開始した。マミチヨグなどでは産卵直後に不応期があることが知られている^{4,5)}。それは、成熟の開始や進行に好適な環境であってもそれに全く応答せず、完全に生殖生理反応を停止する時期とされている。ブリにも不応期に相当する時期があると考えられる。不応期を過

ぎると、内因性のシグナルにより成熟開始の引き金が引かれる可能性が高いことから、不応期に短日化処理を行えば、成熟抑制効果が得られるのではないだろうか、不応期を過ぎた個体では、次の成熟に向けて内因性のシグナルが起動し、どのような成熟制御操作をしても、反応しないのではないかと考えられる。本研究では、不応期と関連した生理メカニズムに関する知見を得るには至らなかったものの、成熟を制御する環境要因の機能発現には内因性の成熟因子の活性化が関係していることを示唆する情報が得られたことは意義深い。

オ 今後の課題

短日化処理により、成熟を抑制できることが分かった。これによって、短日化処理後に長日処理と適水温処理を併用することによって、いつでも必要とする時期に採卵できる。しかし、成熟産卵直後の個体に短日化処理を行うとその後の成熟は抑制できるものの、産卵から半年を経過した個体では、この処理の効果は得られない。これには、内因性の成熟開始因子が活動を開始する時期と関係があると考えられる。このような内因性の成熟開始因子が起動しない時期（不応期）に短日化を開始することが必要ではないかと推測される。そこで、短日化技術をより確実なものとするために、不応期の期間とその生理機構、また、内因性成熟開始因子の解明とその活性化時期等について生理学的研究が必要である。

カ 要 約

短日化処理により、成熟を制御することができた。ただし、短日化を開始する時期が重要であり、成熟産卵が終了した後、速やかに短日化を開始する必要がある。また、適切な時期に短日化処理を開始した場合は、水温の影響を受けることがなく、短日化のみによって成熟抑制が可能である。この方法によって、これまでよりも早い10月にも成熟を誘導できることが分かった。

キ 引用文献

- 1) 清水昭男 (2010) 環境条件による魚類生殖周期の制御機構. 水産海洋研究, 74: 58-65.
- 2) 辻将治・宮本敦史・羽生和弘・土橋靖史 (2010) 高級魚クエの水温および日長調節による成熟コン

トロール技術の開発. 三重水研事報. 116.

- 3) 土橋靖史・栗山功・羽生和弘・辻将治・津本欣吾・高島暢子 (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.
- 4) Shimizu A. (2003) Effect of photoperiod and temperature on gonadal activity and plasma steroid levels in a reared strain of the mummichog (*Fundulus heteroclitus*) during different phases of its annual reproductive cycle. Gen. Comp. Endocrinol. 131: 310-324.
- 5) Shimizu A. (2014) Reproductive physiology of the mummichog *Fundulus heteroclitus* – an excellent experimental fish. Aqua-BioScience Monographs. 7: 79-116.

研究担当者 (征矢野 清*, 泉田大介, 首藤宏幸, 有瀧真人, 青野英明, 津崎龍雄, 島 康洋, 藤浪祐一郎, 中川雅弘, 堀田卓朗, 吉田一範, 野田 勉, 水落裕貴, 中条太郎, 玄 浩一郎, 高志利宣, 樋口健太郎, 風藤行紀, 奥澤公一, 入路光雄, 山口寿哉)

2 成熟・産卵誘導のためのリコンビナント GTH の開発

(1) ブリリコンビナント GTH の作製と有効性の検討

ア 研究目的

ブリにおいてホルモン投与による人為催熟を行う際には、ヒト絨毛性生殖腺刺激ホルモン (hCG) あるいは黄体形成ホルモン放出ホルモンアナログ (LHRHa) が用いられている。しかし、異なる生物種のホルモンを反復投与することによる親魚へのストレスや、卵質への影響を考えると、種苗生産対象種の GTH を投与するのが望ましい。残念ながら、ブリの精製 GTH はないことから、遺伝子工学的技術によりブリのリコンビナント GTH の作製を試みた。本研究では哺乳類細胞を用いたブリのリコンビナント GTH の生産技術を確立するとともに、その生理活性を生体外実験系による性ホルモン産生誘導試験により検証した。また、生産した GTH をブリ親魚に注射し、成熟誘導における有効性を検討した。

イ 研究方法

(ア) リコンビナント GTH の作製

ブリのリコンビナント GTH を作製するため、まずブリ GTH β (FSH β あるいは LH β) 鎖、ヒト絨毛性性腺刺激ホルモン (hCG) の C-末端配列 (hCTP)、strep-tag、ブリ糖タンパク質ホルモン α 鎖を連結した一本鎖 GTH (FSH-hCTP あるいは LH-hCTP) をコードする発現ベクターを構築し、チャイニーズハムスター卵巣細胞 (CHO) に導入した。遺伝子導入した CHO から FSH-hCTP あるいは LH-hCTP を恒常的に発現する細胞のみを選抜し、恒常発現株を樹立した。次に、樹立した恒常発現株を培養する際の細胞密度、培養液、培養液に添加するサプリメントを最適化した後、大量培養した。得られた培養液を濃縮した後、strep-tactin affinity chromatography により GTH-hCTP を精製した。得られた GTH-hCTP は、SDS-PAGE により精製の確認を行った。

(イ) リコンビナント GTH の有効検討

a 作製したブリのリコンビナント FSH (rFSH) 及び LH (rLH) の生理活性を検討するために、ブリより摘出した卵巣を生体外で培養し、これに rFSH 及び rLH を添加し、ステロイド産生に及ぼす効果を調べた。培養液には L-15 培養液を用い、発達段階の異なる卵母細胞を含む卵巣片を rFSH 及び rLH (最終濃度 30、100 及び 300 ng/mL) とともに、20℃で 48 時間培養した。培養後、培養液を回収し、T 及び E₂ を酵素免疫測定法 (EIA キット、Cayman) により測定した。

b 作製した rLH の最終成熟及び排卵誘導における有効性を検討するために、産卵親魚に rLH を 4 mg/kg BW となるように背部筋肉内に投与し、成熟産卵誘導の有無を検討した。また、比較のために hCG を 600 IU/kg BW 及び LHRHa を 600 μ g/kg BW となるように投与し、排卵誘導した。投与に先立ち、カニューラにより卵母細胞径を確認し、その径が 500 μ m 以上の個体を実験に供した。ホルモン投与から 48 時間後に排卵卵を搾出し人工授精により受精卵を得た。その後 20℃で受精卵の管理を行い、常法に従い受精率・孵化率等の算出を行った。

ウ 研究結果

(ア) リコンビナント GTH の作製

上記の方法に沿って得られた GTH-hCTP は、SDS-PAGE により高度に精製されていることが確認された。本研究によって得られたブリ GTH の産生量は FSH 及び LH でそれぞれ 50-100 μg 及び 1-2 mg/L 培養液であった。

(イ) リコンビナント GTH の有効検討

a 産生された GTH の生物活性を調べるため、精製した GTH を生体外に取り出したブリの卵巢組織とともに培養し、性ステロイド産生の誘導の有無を調べた。その結果、rFSH 添加によって、Yv/Py の卵母細胞をもつ 16 個体中 3 個体の卵巢片において、また Sy をもつ 8 個体中 3 個体の卵巢片において、 E_2 産生量の増加が認められた。しかし、rFSH 添加による T の上昇は、Pn、Py、Sy の卵母細胞をもつそれぞれ 1 個体の卵巢片において増加が認められたに過ぎなかった。一方、rLH 添加においては Yv/Py の卵母細胞をもつ 16 個体中 3 個体の卵巢片において、また Sy の卵母細胞をもつ 8 個体中 5 個体の卵巢片において E_2 産生量の増加が認められるとともに、T においても Yv/Py の卵母細胞をもつ 10 個体中 4 個体の卵巢片において、また Sy の卵母細胞をもつ 8 個体中 5 個体の卵巢片において増加が認められた。性ステロイド産生誘導効果が最も顕著に認められたのは Sy の卵母細胞をもつ卵巢片であ

り、rFSH 及び rLH によるステロイド産生誘導効果は濃度依存に増加する傾向を示した (図 1121-1、1121-2)。

b 比較的大量に生産することができた rLH を雌親魚に投与して排卵誘導の試験を行い、得られた排卵卵を用いて人工授精を行った。その結果、総卵数 29.0 万粒、浮上卵数 25.3 万粒が得られた。また、受精率は 64.5% であった (表 1121-1)。rLH の受精率を、同時に行った hCG 投与と LHRHa 投与のそれらと比較すると、LHRHa 投与の平均受精率 (73.1%) よりは劣るものの、hCG 投与のそれ (51.0%) より高い値を示した。各ホルモン投与により得られた排卵卵の形態写真を図 1121-3 に示す。rLH を投与した個体から得られた卵には、HCG 投与個体から得られた卵同様に、油球を複数もつものが確認された。しかし、LHRHa 投与個体から得られたその油球は一つであり、良好な形態を示した。

工 考 察

(ア) CHO や HK293 等の哺乳類細胞発現系でのリコンビナント GTH の産生はウナギ¹⁾、マダイ²⁾、カンパチ等で報告されている。ウナギでは 10 ~ 20 mg/L 培養液と比較的に高い産生量が報告されているが、今回のブリも含めたスズキ目魚類では概

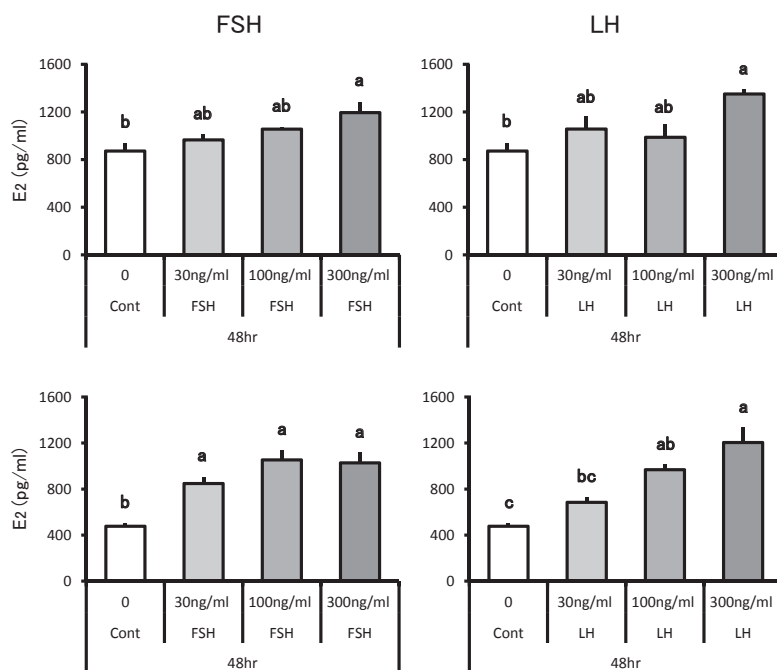


図 1121-1 rFSH 及び rLH の E_2 産生能

rFSH 及び rLH を 30、100 及び 300 ng/mL 添加し、産生された E_2 濃度

ねその 10 分の 1 以下となっており、進化的に進んだ魚種のリコンビナント GTH の大量生産は哺乳類細胞では困難であることを示唆している。種苗生産への利用には大量に生産できる発現系が必要であることから、今後発現系の検討も含めた技術開発が必要である。

(イ) 今回作製されたブリリコンビナント GTH は生物活性を有しており、rFSH は E₂ 産生を、rLH は T 及び E₂ 産生の両方を促進することが示唆された。しかしながら、その効果は培養に用いた個体により変動することから、評価方法の検討も含め、更なる評価試験の実施が必要であると考えられる。また、rLH を卵黄蓄積が完了した最終成熟直前の卵母細胞をもつ親魚に投与したところ、最終成熟及び

排卵が誘導された。したがって rLH は十分な生理活性を持つことが分かった。しかし、rLH を投与した個体から得られた卵には複数個の油球が存在した。一般にブリの排卵された卵における油球は 1 つである。LHRHa 投与では、油球が 1 つの形態的に正常な卵が得られている。hCG 投与では排卵が誘導されるものの油球が複数存在する排卵卵が出現する。rLH により得られた卵は HCG とよく似た形態を示した。この原因を明らかにするに至っていないが、rLH の質及び投与量等の検討が必要であろう。

オ 今後の課題

(ア) リコンビナントタンパク質の発現量は、目的タンパク質と発現に用いる細胞に大きく依存する

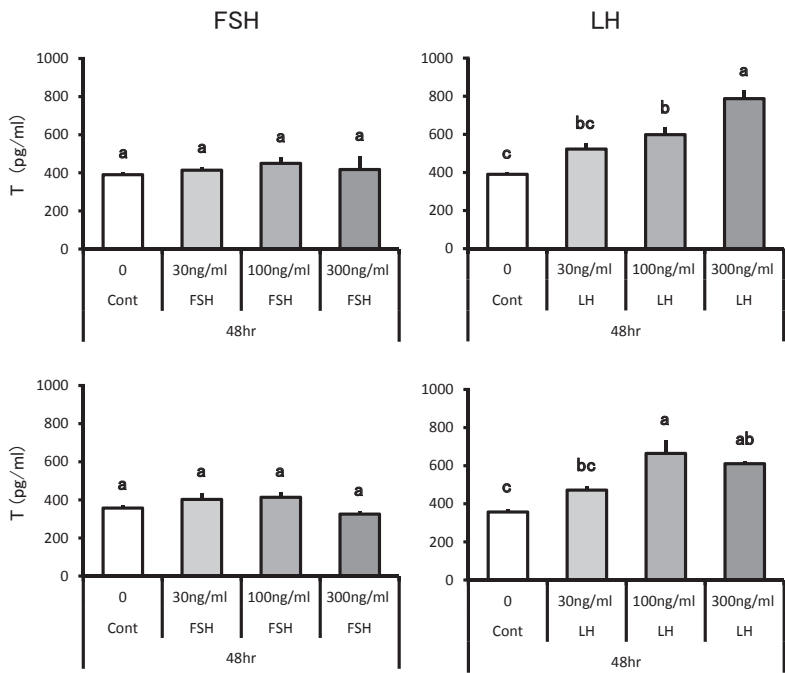


図 1121-2 rFSH 及び rLH の T 産生能

rFSH 及び rLH を 30、100 及び 300 ng/mL 添加し、産生された T 濃度

表 1121-1 hCG、LHRHa 及び rLH 投与により得られた卵を用いた人工授精成績

試験区	卵母細胞径 (μm)	ホルモン投与後 の卵径	受精率 (%)	採卵および仔魚数 (万)			
				総卵数	浮上卵数	受精卵数	ふ化仔魚
HCG	777	1255.7	50.5	18.6	16.2	8.2	8.0
	734	1204.7	56.7	25.5	17.6	10.0	3.2
	757		76.2	29.9	27.4	20.9	12.7
LHRH	759	1205.5	73.4	24.1	22.9	16.8	13.2
	742	1201.1	87.1	20.9	19.7	17.1	8.0
	798	1233	69.8	20.3	19.7	13.8	8.7
rLH	771	1216	73.7	29.0	25.3	18.7	4.9
	737	738.1					
Cont	767	748.9					
	771	756.9					

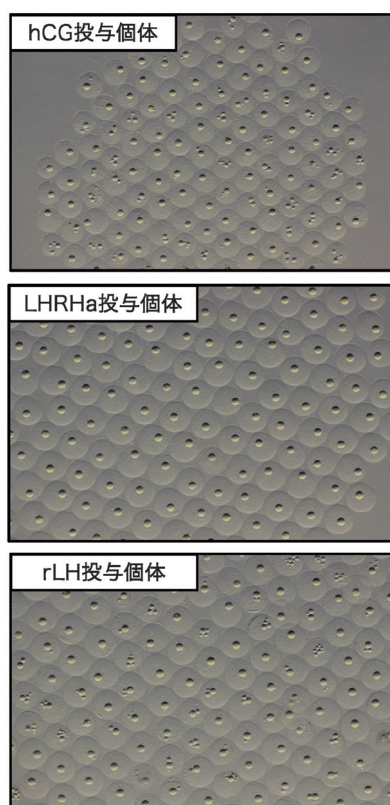


図 1121-3 hCG、LHRHa 及び rLH 投与により得られた卵（排卵卵）の形態

ことが知られているため、有用養殖対象種を多く含むスズキ目魚類の GTH を効率的に発現する哺乳類細胞を明らかにすることが、これら GTH の大量生産に向けた大きな課題である。また近年、化学的にタンパク質や糖鎖を合成する手法の開発が進んでいることから、これらの新技術を導入し、化学合成した魚類の GTH に糖鎖を人工的に付与し、生物活性を有する人工 GTH の作製も理論上は可能である。今後は、これらの方法も視野に入れた新規のタンパク質作製技術の開発が必要と考えられる。

（イ） リコンビナント GTHs は生理活性を持ち、最終成熟及び排卵を誘導できることが分かった。しかし、これを種苗生産の現場で使用するには、大量に生産できる技術が必要である。また、ブリ自身の GTH と同様の力価と作用を持つ GTH を産生しなければならない。これらの課題を克服するには、新たなリコンビナントタンパク質の作製技術の開発が必要である。

カ 要 約

（ア） チャイニーズハムスター卵巢細胞を用いたブリのリコンビナント GTH（rFSH 及び rLH）の

作製に成功した。しかし、大量生産には至らなかった。

（イ） 作製した rFSH 及び rLH は何れもステロイド産生能を持つことから、ホルモンとしての生理活性を有していた。また、rLH は雌親魚へ投与することにより、排卵を誘導できることが分かった。しかし、排卵卵の油球の形態は良好とは言えないことから、今後ホルモンとしての力価と質の検討が必要である。

キ 引用文献

- 1) Kazeto Y., Ito R., Ozaki Y., Suzuki H., Tanaka T., Imaizumi H. and Gen K. (2014) Mass production of Japanese eel recombinant follicle-stimulating hormone and luteinizing hormone by a stable expression system: They fully induced ovarian development at a different mode. Abstract of 10th International Symposium on Reproductive Physiology of Fish, pp67.
- 2) Okuzawa K., Kazeto Y., Uji S., Yamaguchi T., Tanaka H., Nyuji M. and Gen K. Development of a homologous radioimmunoassay for red seabream

follicle stimulating hormone and regulation of gonadotropins by GnRH in red seabream, *Pagrus major*. Gen Comp Endocrinol. (In press)

研究担当者（征矢野 清*、風藤行紀*、

奥澤公一、入路光雄、山口寿哉、泉田大介、
首藤宏幸、有瀧真人、青野英明、津崎龍雄、
島 康洋、藤浪祐一郎、中川雅弘、堀田卓朗、
吉田一範、野田 勉、水落裕貴、中条太郎、
玄 浩一郎、高志利宣、樋口健太郎）

第2編 ブリ早期種苗を安定的に供給する技術の開発

第1章 早期種苗の健全生産に向けた飼育技術の開発

1 早期種苗の健全生産に向けた飼育技術の開発

(1) 早期種苗の健全生産に向けた飼育技術の開発

ア 研究目的

養殖ブリの出荷時期を赤潮が発生する前に早め、赤潮によるブリへの死被害を軽減するには、天然種苗の採捕が始まる4月の時点で、その最大群である10 cmよりもサイズとして1ヶ月以上先行する15～20 cmの種苗が必要である。先行研究では、ブリ親魚の成熟制御により天然海域よりも2～4ヶ月早い12月に採卵し、種苗を生産する技術が開発されており、いわゆる「早期人工種苗」の生産が可能となっていた。そこで、本研究では先行研究よりも更に早い11月に採卵し、中間育成開始時の3月初旬に10 cmサイズの早期種苗を安価かつ安定的に生産する技術の開発を目的とした。

早期人工種苗を供給するためには低水温期に種苗生産を行う必要があり、加温経費が生産経費を大きく押し上げることが懸念される。そこで、収容密度、分槽、選別のタイミング、換水率、給餌等を見直し、これら飼育要素の改善により、飼育コストの削減と生残率、成長の向上を目的とした。

イ 研究方法

(ア) 種苗生産

10月から12月の採卵によって得られた受精卵を用い、中課題3に供するために大型水槽（実水量55 kL）を用いて種苗生産をした。

11月から12月の採卵は3若しくは4歳の親魚を用い、養成は表2111-1に示した方法で行った。10月の採卵は4若しくは5歳の親魚を用い、養成は中課題1で新たに開発された方法にて行った。親魚にはHCG（あすかアニマルヘルス株式会社；動物用ゴナトロピン10000）を体重1 kg当たり600 IU投与し、投与から約45～51時間後にかけて排卵が確認された個体から順次腹部を圧搾して採卵を行い、予め採取しておいた精子を用いて人工受精を

行った。得られた受精卵は500 Lアルテミア孵化槽に50万粒以下/槽の密度で収容し、流水にて管理を行った。水温は10月に得られた卵は20℃～22℃（冷却設備がないため自然水温）、11月から12月に得られた卵は20℃（加温）とした。

全長30 mmサイズまでは、藤本ら¹⁾を参考に、図2111-1に示したスケジュールを基本として飼育を行った。飼育には角形コンクリート水槽（実水量55 kL）を用い、1日齢の仔魚を1万尾/kLを基準として収容した。飼育開始時の水温は孵化仔魚管理水槽と同じとし、収容後は22℃に到達するまで1日に約1℃のペースで上昇させた。餌料にはシオミズツボワムシ（主にL型を使用、以下ワムシ。仔魚の開口直後より使用）、アルテミア（北米産。平均全長7 mmより使用）、配合飼料（日清丸紅飼料株式会社；おとひめ。平均全長15 mmより使用）を用いた。ワムシは高度不飽和脂肪酸（プラスアクアラン；株式会社科学飼料研究所、ハイパーグロス；マリンテック株式会社）及びタウリン（アクアプラス ET；日清丸紅飼料株式会社）を、アルテミアは高度不飽和脂肪酸（同上）を強化したものを与えた。飼育水は25日齢までは砂濾過後、紫外線殺菌装置（フナテック株式会社；LPT-100）により殺菌したものを、25日齢以降は砂濾過海水を用いた。ワムシ給餌期間中は飼育水中に残ったワムシの飢餓防止を目的に生産回次1、2及び4では冷蔵濃縮淡水クロレラ（クロレラ工業株式会社；スーパーV12）、生産回次3、6～11では市販の冷蔵濃縮ナンノクロロプシス（クロレラ工業；ヤンマリンK1、マリンテック株式会社；マリーナフレッシュ）を50万セル/mLとなるよう添加した。

30 mmサイズでの取り上げ以降は中課題3に供するまでの間、陸上水槽にて飼育を行った。飼育水温は20～22℃とした。飼育途中で比重法²⁾により未開鰾魚を除去するとともに、適宜分槽を行った。また、取り上げた種苗の一部を100 mmサイズまで飼育した後、目視観察により正常魚と形態異常魚に

月	時期	環境制御条件		備考
		水温	日長	
6月		自然水温	↓	海面から陸上水槽へ収容
7月		25℃以下維持	↓	
8月	上旬	25℃以下維持	↓	短日処理※ ¹
	中旬	18℃へ降下開始		
	下旬	18℃へ降下		
9月	上旬	↓	↓	長日処理※ ²
	中旬	18℃		
	下旬	↓	↓	
10月	上旬	↓	↓	
	中旬	↓	↓	
	下旬	↓	↓	
11月	上旬	↓	↓	
	中旬	↓	↓	
	下旬	↓	↓	
12月	上旬	↓	↓	採卵
	中旬	↓	↓	採卵

※ 2 長日処理：2012 年及び 2013 年は 16L8D、2014 年及び 2015 年は 14L10D

図 2111-1 ブリ種苗生産における全長の目安、餌料系列、作業内容

— 25 —

(エ) 配合飼料の給餌方法

30 mm サイズ以降の飼育における1日の給餌回数と成長の関係を明らかにすることを目的に試験を実施した。500 Lの円形黒色ポリエチレン水槽（実水量400 L、各条件2水槽）に平均全長47 mm、平均体重1.1 gの人工種苗を250尾収容し、平均水温22.4（19.2℃～23.8）℃で26日間の飼育を行った。餌料には市販配合飼料（日清丸紅飼料株式会社、おとひめC1及びC2）を用いた。給餌量は山崎⁴⁾及び「(ウ) 収容密度の検討」時の摂餌量を参考に、日間給餌率を試験開始から5日目までを体重の10%、6日目から12日目までを7%、それ以降を5%とし、1日当たりの給餌量を2、4、6回に分けて与えた。給餌時刻は、2回給餌区が8時30分と16時、4回給餌が8時30分、11時、13時30分及び16時、6回給餌区が8時30分、10時、11時30分、13時、14時30分及び16時とした。試験期間中は5～7日おきに飼育水槽から50尾を無作為に抽出し、全長と体重を測定するとともに、分散分析により試験区間の値を比較した。

(オ) 換水率の検討

30 mm 以降の飼育における換水率と成長、生残の関係を明らかにすることを目的に試験した。試験には500 Lの円形黒色ポリエチレン水槽（実水量300 L）を用い、1日当たりの換水率を300、600、900、1200、1500%に設定した。平均全長44 mm（試験①）と平均全長59 mm（試験②）のブリ稚魚を供試魚とし、収容尾数と飼育期間は前者が300尾で10日間、後者は100尾で18日間とした。飼育水温は22℃を維持し、体重の5～10%の市販配合飼料（日清丸紅飼料株式会社、おとひめC1及びC2）を1日2回に分けて給餌した。飼育環境の指標として水温、DO、pH、アンモニア態窒素の測定を1日1回実施した。各試験終了時に全長及び体重を測定し、分散分析により試験区間の値を比較した。また、各平均全長より1日あたりの成長量は等分と仮定して各日の全長を算出し、「 $\text{体重 (g)} = 0.000007 \times \text{全長 (mm)}^{3.0967}$ 」の式⁴⁾により推定体重及び推定収容重量を求めた。

(カ) 比重法による開鰓・未開鰓の選別サイズの

検討

形態異常魚等の、養殖に使用できない種苗はできるだけ早い時期に選別し除去することにより生産コストが削減できる。そこで脊椎骨上湾症の原因となる未開鰓魚を除去するための比重選別法^{2,3)}が可能となる時期について検討した。現在の種苗生産では平均全長40 mm以降に本選別をしている。そこで試験には種苗生産で取り上げサイズである全長30 mm台と全長40 mm台の人工種苗を用い、比重法による選別を行った後に、切断法³⁾により開鰓の有無を判定し、「正答率＝比重法による開鰓魚数÷切断法による開鰓魚数」を求め、サイズ間で比較した。

(キ) 至適な飼育手法の提言

早期人工種苗の生産コストを計算するとともに、上記の(ウ)から(カ)までの結果を踏まえて、陸上水槽における至適な飼育手法について検討を行った。

ウ 研究結果

(ア) 種苗生産

11月から12月の採卵で得られた受精卵数と孵化仔魚数は、それぞれ2012年度が681万粒と548万尾（雌親魚数36尾、採卵回数3回）、2013年度は532万粒と329万尾（雌親魚28尾、採卵回数3回）、2014年度は565万粒と467万尾（雌親魚28尾、採卵回数2回）、2015年度は107万粒と89万尾（雌親魚18尾、採卵回数2回）であった（表2111-2）。10月採卵で得られた受精卵数と孵化仔魚数は、2014年度が152万粒と115万尾（雌親魚5尾、採卵回数1回）、2015年度は341万粒と290万尾（雌親魚13尾、採卵回数1回）であった（表2111-3）。孵化仔魚の一部を使用して合計11回の種苗生産を実施した結果、30 mmサイズでの生残率は5.5～41.0%であった。取り上げ尾数は2012年度が23.8万尾、2013年度が60.7万尾、2014年度が17.6万尾、2015年度が29.7万尾であった（表2111-4）。

30 mmサイズでの取り上げ以降は、中課題3（輸送及び育成試験）に必要な種苗を確保するために一部の個体の継続飼育を行った。継続飼育終了時の平均全長と尾数は、それぞれ2012年度が75～111 mmを10.4万尾、2013年度は53～92 mmを13.4万尾、2014年度は73～114 mmを11.5万尾、

表 2111-2 各年度の 11 月から 12 月の採卵結果

年度	HCG 投与日	採卵日	雌親魚数		採卵成績(万)			平均値(%)		種苗生産 回次※
			供試	採卵	総採卵数 (範囲)	受精卵数 (範囲)	ふ化仔魚 数(範囲)	受精率 (範囲)	ふ化率 (範囲)	
2012	11.27	11.29	13	12	340 (8-64)	299 (8-54)	229 (6-36)	89 (75-97)	71 (55-85)	1, 2
	12.04	12.06	11	8	273 (6-65)	210 (4-63)	173 (3-43)	71 (48-99)	62 (41-87)	-
	12.1	12.12	12	10	293 (2-68)	172 (1-56)	146 (1-46)	54 (26-95)	40 (10-77)	-
2013	11.26	11.28	6	3	71 (3-48)	37 (2-40)	13 (1-8)	49 (46-52)	30 (8-42)	3, 4
	12.3	12.5	11	8	275 (3-70)	218 (1-66)	104 (1-56)	67 (21-95)	28 (2-80)	5, 6
	12.1	12.12	11	7	416 (26-108)	277 (5-88)	212 (5-88)	61 (25-93)	45 (15-82)	-
2014	12.2	12.4	14	13	383 (7-65)	313 (5-55)	265 (4-39)	78 (57-99)	68 (38-92)	-
	12.1	12.12	14	11	306 (2-101)	252 (2-85)	202 (1-85)	76 (56-94)	52 (20-84)	8, 9
2015	11.24	11.26	7	4	64 (7-25)	41 (2-18)	34 (1-16)	56 (17-83)	47 (14-71)	-
	12.1	12.3	11	9	106 (1-24)	66 (1-14)	55 (1-13)	59 (35-84)	52 (25-74)	11
			110	85	2527	1885	1433			

※ 数字は種苗生産回次に対応、「-」は未使用

表 2111-3 各年度の 10 月の採卵結果

年度	HCG 投与日	採卵日	雌親魚数		採卵成績(万)			平均値(%)		種苗生産 回次
			供試	採卵	総採卵数 (範囲)	受精卵数 (範囲)	ふ化仔魚 数(範囲)	受精率 (範囲)	ふ化率 (範囲)	
2014	10.29	10.31	5	4	173 (1-96)	152 (1-91)	115 (1-75)	60 (57-95)	65 (27-78)	7
2015	10.27	10.29	13	9	456 (26-80)	341 (16-63)	290 (14-54)	72 (47-85)	61 (32-81)	11
合計			18	13	629	493	405			

表 2111-4 早期ブリ人工種苗生産における 30 mm サイズまでの飼育概要

年	生産 回次	ふ化仔魚収容		10日令 飼育状況		30mmサイズ 取り上げ結果	
		月.日	尾数 (万)	尾数 (万)	生残率 (%)	尾数 (万)	生残率 (%)
2012	1	12.3	69.5	33.9	49.0	11.8	17.0
	2	12.3	61.9	36.4	59.0	12.0	19.4
2013	3	12.9	41.1	22.1	53.8	12.9	31.3
	4	12.9	43.3	18.7	43.2	4.9	11.3
	5	12.16	65.6	35.9	54.7	17.2	26.2
	6	12.16	62.6	35.7	57.0	25.7	41.0
2014	7	11.4	61.2	14.0	22.9	7.8	12.7
	8	12.8	57.5	24.0	41.7	3.2	5.5
	9	12.8	61.8	9.6	15.5	6.6	10.7
2015	10	11.2	72.4	33.7	46.5	14.3	19.8
	11	1.12	46.4	26.4	56.8	15.4	33.3
合計			643.3			131.7	20.7

2015 年度は 60 ～ 65 mm を 12.0 万尾であり、飼育期間の生残率は 98.3 ～ 99.9% であった。

30 mm 取り上げ時の生残率と開鰓率及び目視選別における正常魚率には正の相関 ($R^2 = 0.5683$) が

認められた (図 2111-2)。

(イ) 用いた卵の質の評価

1 尾当たりのワムシの摂餌数は日齢とともに増加し、8 日齢には概ね 50 個前後/尾に達した (図

2111-3)。平均全長は収容翌日の2日齢で4.4 (4.4～4.5) mm、10日齢には5.7 (4.9～5.9) であった (図2111-4)。生残率は開口、摂餌開始の翌日の4日齢の時点で34～82%、10日齢で16～60%であった (図2111-5)。また、10日齢の生残率と30 mmサイズでの生残率に正の相関が認められた (図2111-6)。

(ウ) 30 mm サイズ以降の飼育における収容密度の検討

試験途中の平均全長、試験終了時の平均全長及び平均体重に有意差は認められなかった (表2111-5)。飼育期間中のpHの平均値は250尾区が8.2、500尾区が8.1、1000尾区が8.0、2000尾区が7.9であった。アンモニア態窒素はそれぞれ

0.06 mg/L、0.06 mg/L、0.10 mg/L、0.16 mg/Lであり、収容尾数が多いほど高い傾向を示した。生残率は250尾区及び500尾区は99.0%ないしは100%であった。1000尾区は99.8%と73.0%、2000尾区は66.3%と98.8%であり、共に1水槽において試験途中に酸欠による大量死亡があった (図2111-7)。収容密度が最も高い2000尾区の推定収容重量は20 kg/kLを超えた (図2111-8)。

(エ) 30 mm サイズ以降の飼育における配合飼料の給餌方法

試験期間中の生残率は99.6～100.0%であった。全ての試験区で残餌はなく、予定した量の配合飼料を完食した。平均全長及び平均体重 (表2111-6) に試験区間で差はなかった。

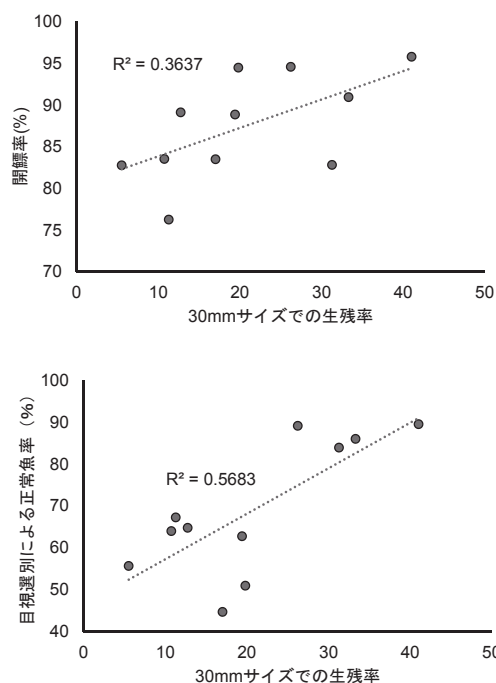


図2111-2 取り上げ時 (30 mm サイズ) の生残率と開鰓率及び目視による正常魚率

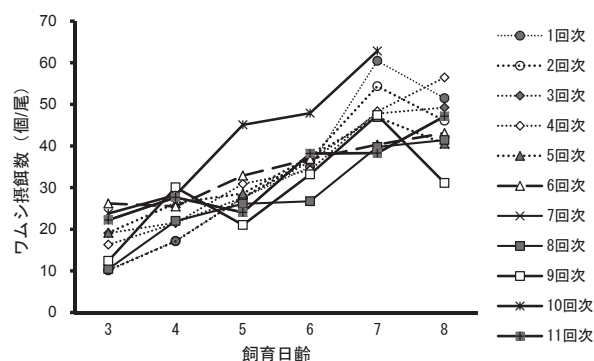


図2111-3 1尾あたりのワムシの摂餌数の推移

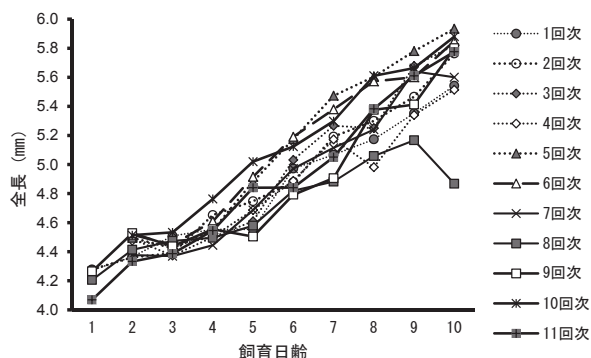


図2111-4 10日齢までの平均全長の推移

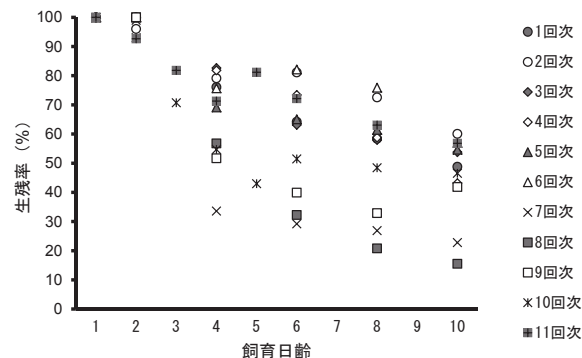


図2111-5 10日齢までの生残率の推移

(オ) 30 mm サイズ以降の飼育における換水率の検討

試験①の各区の生残率は99.3～100%であった。試験終了時の平均全長及び平均体重は300%区が有意 ($p<0.01$) に小さかった (図 2111-9)。飼育水中のアンモニア態窒素は、300%区が2.2 mg/L、600%区が1.5 mg/L、900%区が1.1 mg/L、1200%区が0.9 mg/L、1500%区が0.8 mg/L まで上昇した (図

2111-10)。試験②の生残率は96.0%から99.0%であった。試験終了時の平均全長及び平均体重は試験区間に差はなかった (図 2111-9)。飼育水中のアンモニア態窒素は300%区が2.1 mg/L、600%区が1.3 mg/L、900%区が1.1 mg/L、1200%区が0.8 mg/L、1500%区が0.6 mg/L まで上昇した (図 2111-10)。

(カ) 比重法による開鰓・未開鰓の選別サイズの検討

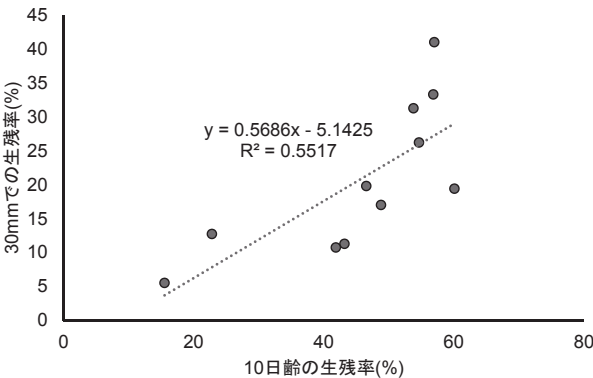


図 2111-6 10 日齢と取り上げ時 (30 mm サイズ) の生残率の関係

表 2111-5 収容密度の検討における試験終了時の平均全長と平均体重

試験区 (尾/kL)	平均全長 (cm)	平均体重 (g)
250尾区	10.2±2.1	10.5±0.8
500尾区	10.0±2.9	10.2±1.3
1000尾区	10.0±2.1	10.8±0.7
2000尾区	10.1±2.6	10.6±1.4

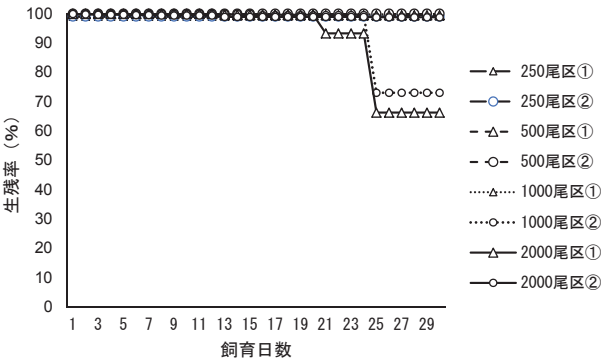


図 2111-7 収容密度の検討における生残率、推定飼育密度の推移

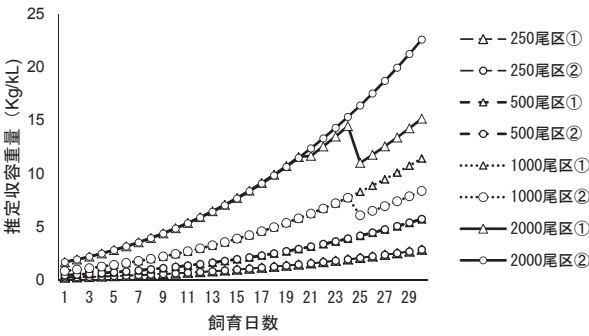


図 2111-8 収容密度の検討における推定収容重量の推移

表 2111-6 配合飼料の給餌回数の検討における平均全長、平均体重の測定結果

	1日の 給餌回数	水槽 番号	試験開始	5日後	12日後	19日後	26日後
平均 全長 (mm)	2	①	47.3 ± 2.8	59.5 ± 3.8	77.2 ± 3.7	92.9 ± 4.0	109.2 ± 5.9
		②		59.4 ± 3.3	76.6 ± 4.2	90.9 ± 4.9	108.8 ± 6.8
	4	①		59.9 ± 3.6	77.7 ± 4.3	91.4 ± 4.7	108.0 ± 5.4
		②		58.9 ± 4.8	76.5 ± 4.1	90.9 ± 4.6	107.1 ± 5.0
平均 体重 (g)	2	①	1.1 ± 0.2	2.2 ± 0.4	4.6 ± 0.7	7.9 ± 1.1	13.4 ± 2.3
		②		2.3 ± 0.5	4.8 ± 0.8	7.5 ± 1.2	12.9 ± 2.1
	4	①		2.4 ± 0.6	4.6 ± 0.8	7.8 ± 1.1	13.1 ± 1.6
		②		2.2 ± 0.4	4.6 ± 0.8	7.6 ± 1.3	13.1 ± 2.6
	6	①		2.4 ± 0.5	4.6 ± 0.7	7.6 ± 1.2	12.2 ± 1.7

※各給餌回数条件で2水槽設定したが、6回給餌を1水槽に関しては収容尾数を間違いがあったためデータから除外

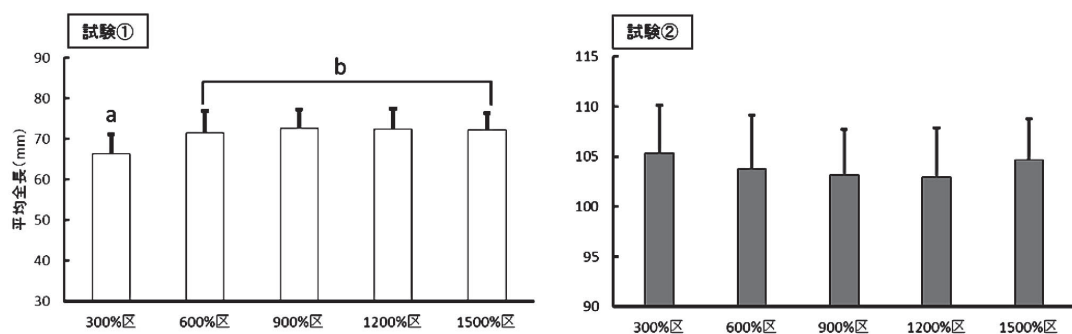


図 2111-9 換水率の検討における試験終了時の平均全長

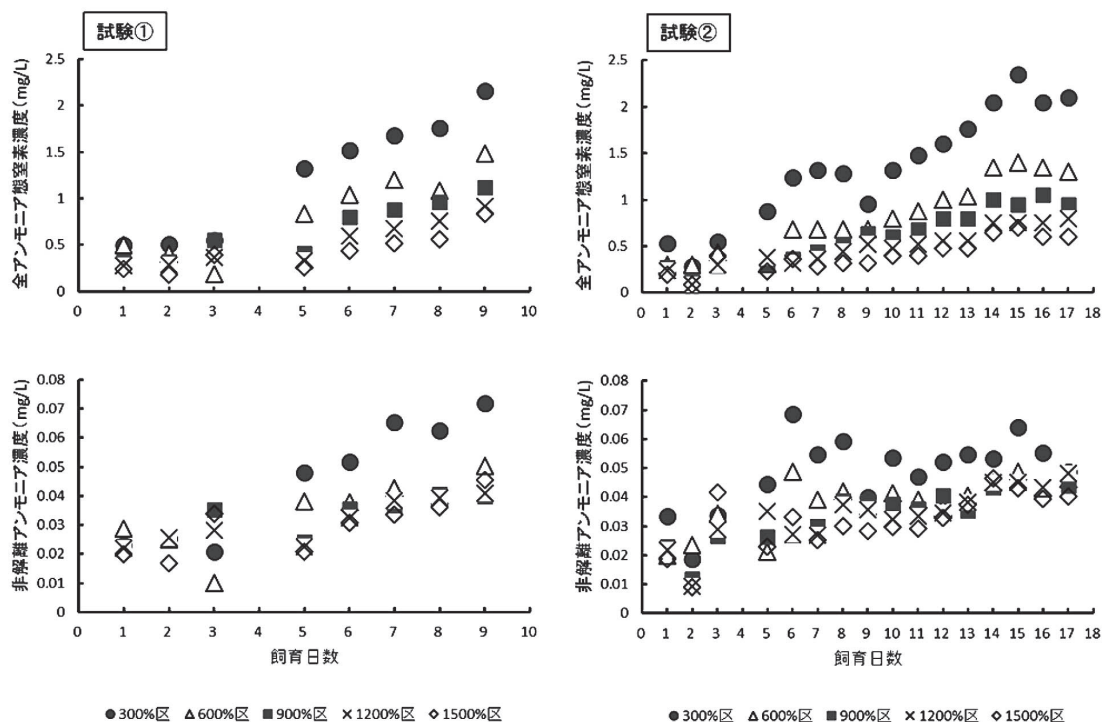


図 2111-10 換水率の検討における飼育水中のアンモニア態窒素及び非解離アンモニア態窒素濃度の推移

平均全長 34 mm 群の平均正答率 97% に対し、同 42 mm 群は 96% であった (表 2111-7)。

(キ) 至適な飼育手法の提言

種苗生産における生産コストを試算した。30 mm 取り上げ時の生残率が 20% と仮定すると、親魚養成から取り上げまでの 1 尾当たりの生産コストは約 40 円 (施設の原価償却を含まず) であり、加温費が全体の 29.6% (約 12 円) を占めた。30 mm の取り上げ以降、50 ~ 100 mm までの 1 尾当たりの生産コストを試算した結果、50 mm で 23 円、100 mm で 115 円であった。経費に占める加温費の割合は前者が 58%、後者が 67% であり、成長に従い上昇する傾向が見られた (図 2111-11)。

工 考 察

(ア) 種苗生産

プロジェクト研究期間を通じた 30 mm サイズでの平均生残率は 20.7% であり、目標値である 20% を超えることに成功した。しかし、生残率は 5.5 ~ 41.0% と生産回次によって大きくばらついた (表 2111-4)。ふ化直後の減耗が激しい飼育事例ほど最終的な生残率が低い傾向が見られたことから、10 日齢の生残率と取り上げ時の生残率を比較した結果、両者には明確な正の相関関係が見られた (図 2111-6)。30 mm 時点の生残率が 20% を上回るには、10 日齢時点の生残率が 50% 以上であることが一つの目安となると考えられる。また、30 mm での生残率と開鰓率及び目視選別による正常率との間に正

表 2111-7 比重法による開鰓・未開鰓魚の選別サイズの検討結果

サイズ区分	平均全長 (mm)	回数	処理尾数 (尾)	正答率※ (%)
小	34 (32~37)	3	180 (160~192)	96 (94~100)
大	42 (40~51)	3	127 (78~169)	97 (96~98)

※正答率=比重法による開鰓魚数/切断法による開鰓魚数

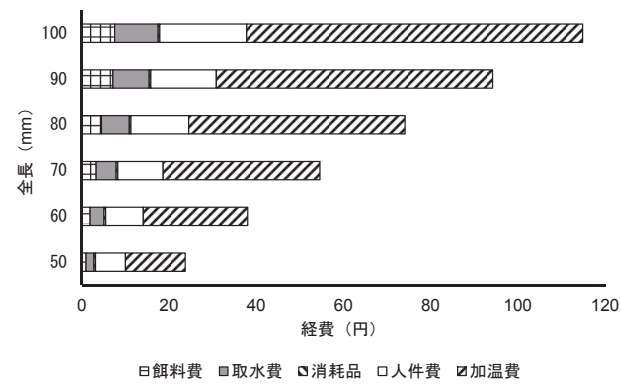


図 2111-11 早期人工種苗の 30 mm から各サイズまでに要する 1 尾あたりの生産経費

の相関が認められていることから（図 2111-2）、健全なブリ人工種苗を効率的に生産するためには、初期の飼育が重要であると考えられる。

（イ）用いた卵の質の評価

取り上げ時の生残率が 10% 前後であった生産回次 4、7、8、9 のうち、生産回次 4 では 11～13 日齢にかけて給餌したワムシが翌朝にはほとんど無くなる現象が確認され、同時に成長停滞や急激な減耗が確認された。同じ由来の仔魚及びワムシを使用していた生産回次 3 では、そのような現象が確認されていないことから、ワムシや仔魚の生残に影響を及ぼす飼育環境の急変があったと推察される。生産回次 3 と 4 の大きな違いは、飼育水に添加する藻類に前者はナンノクロロプシス、後者は淡水クロレラを使用した点である。淡水クロレラは海水中では短時間で死滅し、水質悪化を引き起こす可能性があることから、14 日齢より添加を中止し、換水率を増加させた結果、飼育水中のワムシは残存するようになり、仔魚の減耗も終息した。以降の生産回次でナンノクロロプシスを使用した結果、このような現象は確認されなかった。

一方、生産回次 7、8、9 は、4 日齢の生残率が 34%、57%、52%、10 日齢の生残率が 23%、42%、16% と低く、初期の飼育成績が最終的な生残率に影響を及ぼしたと考えられる。この 3 事例は、3 日齢の夜から 5 日齢にかけて通常の飼育においては確認できない死亡仔魚が、飼育水中に容易に確認できた点が特徴的であった。水温、pH、溶存酸素量に関しては他と変わらなかった。また、飼育水中のワムシ密度も維持されており、生産回次 4 のような水質の急変もなかったと考えられる。李⁵⁾はブリでは

全長 4～5.5 mm はエネルギー蓄積量が少ないにも関わらず、索餌するための十分な運動能力を有していないため、最も不安定な時期であると指摘している。減耗が見られた事例の 3 日齢における 1 尾当たりのワムシ摂餌数は 22 個、10 個、12 個に対し、減耗が見られなかった事例の摂餌数は 10～24 個と変わらないことから、何れの飼育事例も摂餌可能な物理環境（水流等）にあったと考えられる。減耗はブリ仔魚が完全に外部栄養に切り替わるとされる全長 5 mm⁶⁾ よりも前に発生したこと、減耗発生時には油球が残存していたことなどから、初期減耗が発生した事例は主に卵質に問題があったと推察した。

（ウ）30 mm サイズ以降の飼育における収容密度の検討

生残率の低かった 2 つの水槽において、1000 尾区は 25 日目、2000 尾区は 21 日及び 25 日に大量死亡が起きた。何れも給餌後に死亡し、外観症状等から酸素欠乏と考えられた。給餌前の溶存酸素量は 9.3 mg/L、12.2 mg/kL、13.6 mg/kL と十分量あったが、死亡確認時は 4.0 mg/L 以下に低下していた。対策として注水量及び通気量を増加させた結果、溶存酸素量は回復し、死亡は急速に収まった。本試験は通常よりも高い換水率に加えて、通気は空気だけでなく酸素の供給を併用し、高い溶存酸素量を維持していたにも関わらず、このような酸素欠乏による死亡が発生したことから、収容密度が高すぎたと考えられる。死亡発生時の単位収容重量は 8.6 kg/kL、12.5 kg/kL、15.5 kg/kL であり、上限値は 5kg/ kL 程度と推察した。なお、この時期のブリの成長は非常に早く、試験を行った水温 22℃ では 1 週間で体重は約 2 倍になることから、計画的に分槽を行う必

要がある。

(エ) 配合飼料の給餌方法

飽食給餌で給餌回数が多いほど早く成長するが、総給餌量が増えて餌料転換効率が悪くなることが、種苗生産及び養殖現場では一般に知られている。しかし、本課題は陸上水槽での低コスト、効率的な飼育を視野に入れたものであり、給餌量には上限がある。そこで1日当たりの給餌量を固定し、給餌回数のみを変えたが、試験区間で差は認められなかった。吉田ら⁷⁾は全長100 mm前後のブリ人工種苗における1日あたりの成長量は20℃で1.8 mm、24℃で2.2 mmと報告している。本試験の平均水温は22.4℃、1日当たりの成長量は2.4 mmであり、良好な成長であったと考えられる。また、1日2回給餌区の1回の給餌量(摂餌量)は、ほぼ飽食に近かった。これらの結果から、30 mmサイズでの取り上げ以降は、1日2回の飽食量給餌で、良好な成長を引き出せる可能性があると考えられる。

(オ) 30 mm サイズ以降の飼育における換水率の検討

試験①において、換水率300%区では5日目、600%区では6日目より摂餌不良に陥った。900%区から1500%区の摂餌量を100とすると、300%区は73、600%区は85であり、このことが成長差の原因になったと考えられる。摂餌停滞は飼育水中のアンモニア態窒素の濃度が1.0 mg/Lを超えてから始まり、この時の非解離アンモニア濃度は300%区が0.05～0.07 mg/L、600%区が0.04～0.05 mg/Lであった(図2111-10)。

一方、試験②の300%区では、試験①で摂餌停滞が起きたアンモニア濃度1.0 mg/L、非解離アンモニア濃度0.05 mg/Lを超えても摂餌停滞は生じなかった。

試験①と②におけるアンモニア態窒素、非解離アンモニアの濃度に大きな差はないが試験①では低換水率の試験区において摂餌不良に陥り、成長差が生じた。アンモニア、特に非解離アンモニアは魚毒性が高く、その耐性は発育段階や魚種によって異なることが知られている⁸⁾。両試験ではサイズが異なることから、ブリにおいてもサイズによって耐性が異なる可能性が考えられる。ヒラメ稚魚では非解離アンモニアは0.072 mg/L以下では成長に差がないこと⁹⁾、閉鎖循環飼育においては0.05 mg/L以下を維

持することが目標とされており⁸⁾、これらの目安は試験①において摂餌停滞した濃度と近い。ブリ種苗の飼育においても、他の海産魚類同様、アンモニア、特に非解離アンモニアの濃度に十分注意し、必要に応じて換水率増加やアンモニアを除去する対策を講じる必要がある。

(カ) 比重法による未開鰓魚の選別時期についての検討

現在の五島庁舎でのブリ種苗生産において、比重法で未開鰓魚を取除く選別は全長40 mm以上で行われている。本研究によって、全長40～51 mmでは正答率97%に対し、32～37 mmでは96%であり、30 mmサイズでも比重選別法が適用可能であることが分かった。選別時期を前倒しすることにより、これまで30 mmから40 mmにかけて未開鰓魚に対して使用していた海水の使用量を抑えることによる加温費の削減ができると考えられる。

選別はストレスが伴うため活力の高い状態でなければならず、そのためには配合飼料に餌付いていることが必須条件となる。現在の種苗生産スケジュール(図2111-1)では消化吸収の観点から全長15 mm(25日齢)前後から配合飼料への餌付けを開始し、全長20 mm(30日齢)頃に移槽及び大小選別¹⁰⁾、全長30 mm(大群で37日齢)に取り上げを行うなど、数日刻みで各種作業が行われる。魚が小さいうちはハンドリングに弱いこと、頻繁なハンドリングは疾病を誘発する可能性があることから、未開鰓魚除去の選別が実際に行えるのは取り上げ時以降、平均30 mmであると考えられる。

(キ) 至適な飼育手法の提言

ブリ早期人工種苗の生産は低水温期(地先の自然水温が15～18℃)で飼育を行うため、生産経費の多くを加温費が占める。今回の試算では、特に30 mm以降の飼育において60%前後を占める(図2111-10)ことが分かった。低コストで種苗を生産するには加温費の削減が鍵となる。そのためには、未開鰓魚などの不必要な魚はできるだけ早い時期に除去しつつ、集約的に飼育をする必要がある。しかし、過度な高密度飼育は水質悪化などによる摂餌停滞、成長不良、ひいては生残率の低下のリスクが高まる。

今回、飼育に関する各種要素について検討した結果、①酸素通気をして単位収容重量が5 kg/kL

をを超えると給餌後の急激な溶存酸素量低下による酸欠死亡のリスクが高まること、②換水率が低く、飼育水中のアンモニア態窒素が1 mg/L、非解離アンモニアが0.05 mg/L を超えると摂餌不良による成長が停滞すること等の陸上水槽で飼育する際のポイントが明らかになった。また、1日当たりの給餌量が同じであれば、2から6回の給餌回数の範囲であれば成長差が生じないため、給餌に伴う人的コストを削減できる可能性がある。比重法による未開鰾魚を取除く選別は30 mm サイズでも可能であり、不必要な魚をできるだけ早い段階で処分することにより、餌料費のみならず、飼育水槽数の削減即ち加温費を削減できる可能性がある。

各機関によって水槽数、加温能力、酸素発生装置や閉鎖循環水槽の有無など施設条件は様々であり、得られた知見をもとにそれぞれの実情に合わせて最適な飼育条件を検討していく必要がある。

オ 今後の課題

(ア) 本研究において、卵及び孵化仔魚の質がブリ種苗生産の成績を大きく左右する可能性があることが示唆された。仔魚の質の評価は、飼育によって判定しており、労力と時間を要する。そこで飼育開始前の孵化若しくは卵の段階で、良質なものを選び出す技術が開発されれば、効率的（高い生残率）かつ健全（少ない形態異常）な種苗を生産が可能になると考えられる。この技術は親魚養成手法を評価することにもつながるものであり、ブリ種苗生産技術全体のレベルアップに寄与するものと考えられる。

(イ) 早期人工種苗を低コストで生産するには加温費の削減が鍵になる。そのためには、①より小さいサイズで海面で育成を開始する（中課題3において検討）、②海水温が高い地域での種苗生産（例：奄美や沖縄）、③閉鎖循環飼育等を検討していく必要があると考えられる。

カ 要約

(ア) 10月下旬から12月上旬に得られた受精卵を用い、60 kLの大型コンクリート水槽で11回の種苗生産試験を実施した結果、30 mm サイズでの平均生残率は20.7 (5.5～41.0) %、1回次当たりの生産尾数は30 mm サイズで12.0 (3.2～25.7) 万尾であった。初期（10日齢まで）の飼育結果と

取り上げ時の生残率に正の相関が認められた。また、生残率と開鰾率、目視選別による正常魚の割合においても正の相関が認められ、ブリの種苗生産の結果は初期の飼育が左右していることが明らかとなった。

(イ) 仔魚の初期の生残は卵質に左右されている可能性が示唆された。

(ウ) 30 mm 以降の飼育では、単位収容重量が5 kg/kL を超えると、酸素通気を行っていても給餌後の急激な溶存酸素量低下に伴う酸欠死亡のリスクが高まることが明らかとなった。また、飼育水中の非解離アンモニア濃度が0.05 mg/L 以上になると、摂餌不良が起こることが明らかとなった。

(エ) 種苗生産経費のうち、加温経費は30 mm までの飼育では約30%、30 mm 以降では約60%を占めており、低コストでの種苗を生産するには加温費の削減が鍵になることが明らかとなった。

キ 引用文献

- 1) 藤本宏・山崎英樹・塩澤聡・崎山一孝・高橋誠・山本義久（2006）Ⅱ種苗生産．ブリの種苗生産技術開発．水産総合研究センター．横浜．5-52.
- 2) 塩澤聡（2006）Ⅱ-1-(5) 選別．ブリの種苗生産技術開発．水産総合研究センター．横浜．58-59.
- 3) 高橋誠（2006）Ⅲ-4-(4) 種苗の健全性．ブリの種苗生産技術開発．水産総合研究センター．横浜．58-59.
- 4) 山崎英樹（2006）給餌方法と給餌量．ブリの種苗生産技術開発．水産総合研究センター．横浜．59-60.
- 5) 李培翼（1994）ブリ初期発育に関する形態学的・生化学的研究．博士論文，東京水産大学，東京，2000.
- 6) 勝山明（1990）アジ科魚類2種の仔稚魚期の摂餌，遊泳器官の発達と種苗生産上の問題点Ⅰブリ．栽培漁業技術開発研究．18(2)：65-82.
- 7) 吉田一範・本藤靖・中川雅弘・堀田卓朗・服部圭太（2010）ブリ当歳魚の成長に及ぼす飼育水温の影響．栽培漁業センター技報．12：7-14.
- 8) 森田哲男（2015）閉鎖循環で注意すべきアンモニアの毒性と各種ろ剤の硝化効果．アクアネット7月号．35-40.
- 9) 古田岳志（2008）本邦海産魚類を対照とした毒

性試験法の開発に関する研究. 鹿児島大学学位論文, 1-140.

- 10) 塩澤聡 (2006) II-2-(8) 分槽及び選別. ブリの種苗生産技術開発. 水産総合研究センター. 横浜. 41-42.

研究担当者 (堀田卓朗^{*}、須藤宏幸、有瀧真人、青野英明、島 康洋、藤浪祐一郎^{*}、津崎龍雄、中川雅弘、吉田一範、野田 勉、水落裕貴、中条太郎)

第3編 ブリ早期種苗を用いた効率的養殖技術の開発

第1章 早期種苗の沖出し後の生残率向上を目指した効率的養殖技術の開発

1 早期種苗の沖出し後の生残率向上を目指した効率的養殖技術の開発

(1) 早期種苗の沖出し後の生残率向上を目指した効率的養殖技術の開発

ア 研究目的

中課題2で開発した技術により、モジャコが採集されない3月初旬に10 cmサイズの種苗を提供することが可能となる。しかし、この時期に養殖試験を実施する海域（鹿児島県長島町）では水温が約14℃と低く、18℃以上を適水温とするブリの飼育には不適である。一方で、陸上水槽において18℃以上に加温して種苗を養成するには莫大な費用がかかり、現実的ではない。3月上旬に全長10 cmサイズに育った人工種苗を低コストで養殖の池入れサイズ（150～200 mm）まで育てるには、海水温が18℃を下回らない海域に輸送し、中間育成を行うことが有効であると考えられる。そこで、本課題では、10 cmサイズの種苗を温暖かつ魚病等のリスクが低い鹿児島県種子島海域で中間育成を行い、種苗輸送時の適正密度を検討した。また、実際に種子島海域で中間育成を行った際の育成水温と成長の関係を調べるとともに、中間育成を行った人工種苗の養殖適正評価を行った。

イ 研究方法

(ア) 育成水温と成長の関係

早期人工種苗の育成場として種子島海域を選定し、鹿児島県熊毛郡南種子町島間港内に設置した海面小割生簀にて1月下旬から5月下旬までの育成試験を実施した。試験では水温の計測、人工種苗の全長及び体重の測定結果から、水温と成長の関係を明らかにするとともに当該海域の早期ブリ人工種苗の中間育成海域としての適正を評価した。

育成試験には2012年度から2015年度に生産した平均全長5.3 cmから11.4 cmの人工種苗を用いた。種苗は活魚船若しくは活魚トラックにより、長崎県

五島市の西海区水産研究所五島庁舎から上述の育成場まで輸送した。育成試験は、最も早いもので12月24日、遅いもので2月23日より開始し、5月末に終了した(表3111-1)。育成管理は天然種苗(モジャコ)の育成実績のある民間業者が実施した。給餌方法、選別、分養方法は天然種苗の方法に準じた。

(イ) 天然種苗との比較及び養殖種苗としての適正評価

4月に採捕される天然種苗最大群(通称:トビ)と早期人工種苗のサイズの比較を行った。また、育成場から養殖場へ移動後も定期的に測定を行い、成長及びサイズを天然種苗と比較することにより、早期人工種苗の養殖用種苗としての適正を評価した。

(ウ) 種苗輸送時の輸送時の収容密度、溶存酸素量の影響調査

a 溶存酸素量の検討

収容密度と溶存酸素量の変化及び種苗の行動を把握することを目的に試験を行った。試験は6 g、10 g、20 gの人工種苗を20 kg/kL、40 kg/kL、80 kg/kLとなるよう200 L円形黒色ポリエチレン水槽に収容し、注水及びエアレーション停止後の溶存酸素量と人工種苗の行動を調べた。

b 収容重量に関する検討

輸送時の収容重量が種苗の生残に及ぼす影響について検討した。試験には500 Lの円形黒色ポリエチレン水槽を用いた。収容重量を10 kg/kL、50 kg/kL、100 kg/kL、200 kg/kLに設定し、活魚船での輸送を想定した24時間の模擬輸送を行った後、収容重量を1 kg/kLに調整した状態で3日間の経過観察を行った。試験は低水温期を想定した試験①、高水温期を想定した試験②を行った。それぞれの供試魚の体重と水温は試験①が平均体重17(11～25) g、平均水温14.5(14.2～15.3)℃、試験②が平均体重55(25～90) g、平均水温24.6(23.7～25.3)℃であった。なお模擬輸送中は酸素通気を行い、溶存酸素濃度7～10 mg/Lを維持し、換水率

表 3111-1 育成試験の結果の概要

年度	呼称	採卵日 (月・日)	育成試験開始		育成試験終了			
			年・月・日	平均全長 (cm)	年・月・日	日数	平均全長 (cm)	生残率 (%)
2012	2012-①	11.29	2013.2.1	7.5	2013.5.25	105	25	97
	2012-②		2013.2.17	11.0	2013.5.29	102	30	99
2013	2013-①	12.5	2014.1.27	5.3	2014.5.31	125	23※	97
	2013-②	12.5, 12.12	2014.2.2	5.8	2014.5.31	119	23※	98
	2013-③	12.12	2014.2.22	9.2	2014.5.31	99	23※	99
2014	2014-①	10.31	2015.1.14	9.9	2015.5.31	138	27	94
	2014-②	12.4	2015.2.1	7.3	2015.5.31	111	26	98
	2014-③		2015.2.23	11.4	2015.5.31	98	27	94
2015	2015-①	10.29	2015.12.24	7.5	※2	※2	※2	※2
	2015-②	12.3	2016.1.28	11.0	※2	※2	※2	※2

※ 1 5月14日の測定結果

※ 2 途中で試験終了

10% / 時の条件で行った。

c 種苗輸送試験

育成試験に供する種苗を西海区水産研究所五島庁舎から育成場まで活魚船及び活魚トラックにて輸送した。輸送中は何れもエアレーションを行い、前者は換水を常時行った。輸送中は水温、溶存酸素量、種苗の状況、輸送時及び輸送翌日までの生残状況を調査した。

ウ 研究結果

(ア) 育成水温と成長の関係

2013年度から2015年度に生産された人工種苗を用い、採卵時期並びに中間育成開始のサイズと時期が異なる10群について育成試験を行った。何れの群も成長の停滞は確認されなかった(図3111-1)。2012年度産の人工種苗は2013年4月18日に19.7 cmと21.6 cm、2013年度産種苗は2014年4月16日に17.4 cm、17.5 cm及び17.4 cm、2014年度産種苗は2015年4月30日に22.7 cm、20.6 cm及び23.2 cm、2015年度産種苗は2016年3月21日(プロジェクト研究最終年度の終了のため3月末で終了)に18.4 cmと13.4 cmまで成長した。育成試験終了時の生残率は94～99%であった(表3111-1)。

2012年、2013年、2014年、2015年の平均水温は2月で17.8℃、3月で19.0℃、4月で20.2℃、5月で22.1℃であった。最低水温は15.4℃、最高水温は24.2℃であった。2013年と2015年は適水温である18℃を下回る日が多かったが、それ以外は概ね適水温を維持した(図3111-2)。

(イ) 天然種苗との比較及び養殖種苗としての適正評価

2014年、2015年、2016年4月の種子島海域において採捕された天然種苗の最大群(通称:トビ)の平均全長はそれぞれ13.4 cm、12.0 cm、12.8 cmであった。一方、早期人工種苗は同時期に前述のとおり17.4 cmから23.2 cmに到達していた(図3111-1、3)。日間成長を考慮すると、早期人工種苗はトビと比較しても日数にして1ヶ月以上のアドバンテージがあることが分かった。

各試験年とも5月末で種子島における育成試験は終了したが、その後は鹿児島県出水郡長島町の養殖場に種苗を輸送し、育成を継続した。移動後も人工種苗は順調に成長を続け、天然種苗とのサイズ差は維持し続けた(図3111-4)。

(ウ) 種苗輸送時の溶存酸素量、収容重量の影響調査

a 溶存酸素量の検討

水温18℃において、収容重量20～80 kg/kLにおける溶存酸素量の推移と種苗の行動等を観察した結果、エアレーション停止後、溶存酸素量が急激に低下すること(図3111-5)、3 mg/Lを下回ると種苗の動きが早くなり、2 mg/Lを下回ると酸欠により死亡する個体が出始めることが分かった。死亡までに要した時間は収容密度80 kg/kLでは5分、40 kg/kLでは10分、20 kg/kLでは20分であり、収容重量の高い区では極めて短時間で死亡が起こることが分かった。

b 収容重量の検討

試験①では模擬輸送中及びその後の3日間ともに、何れの収容密度とも死亡はなかった。一方、試験②では200 kg/kL区で模擬輸送中に平均生残率が88%(80、96%)に低下し、3日後の平均生残率

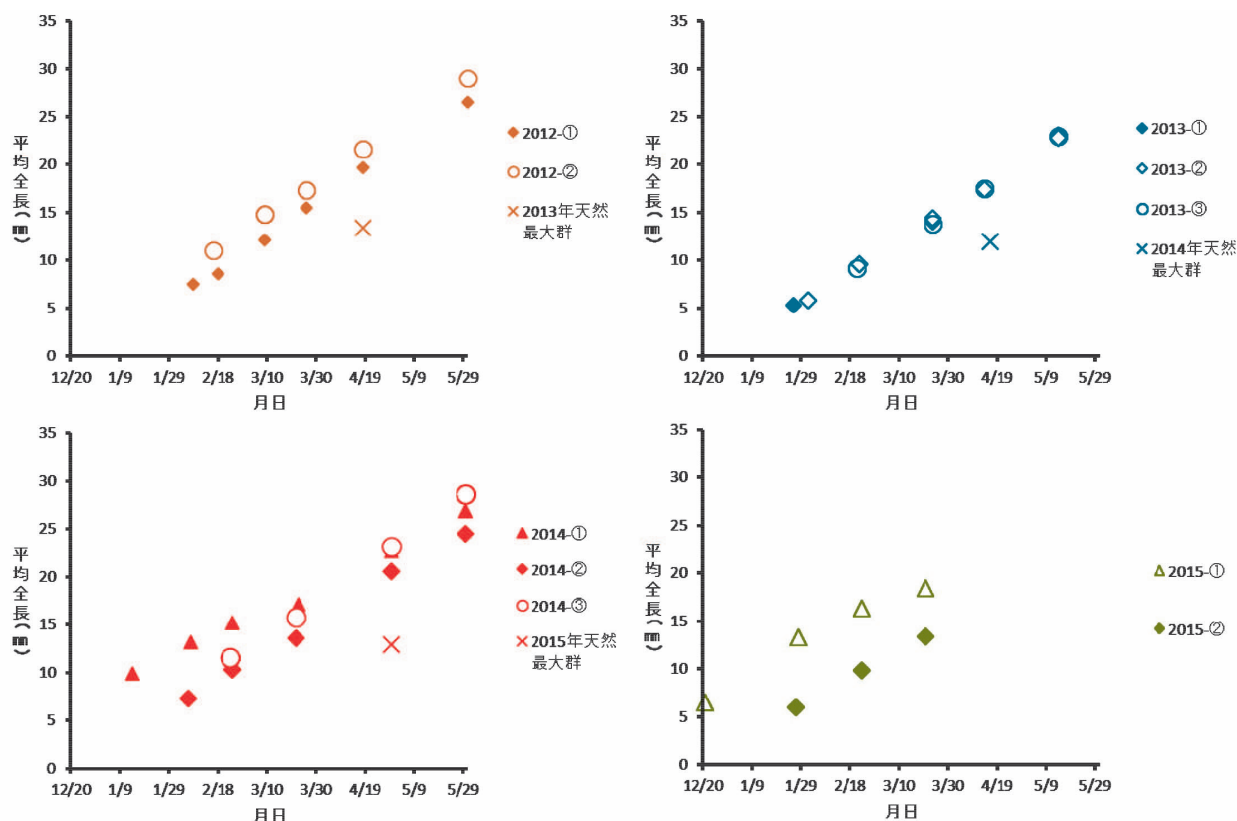


図 3111-1 育成場における早期人工種苗成長

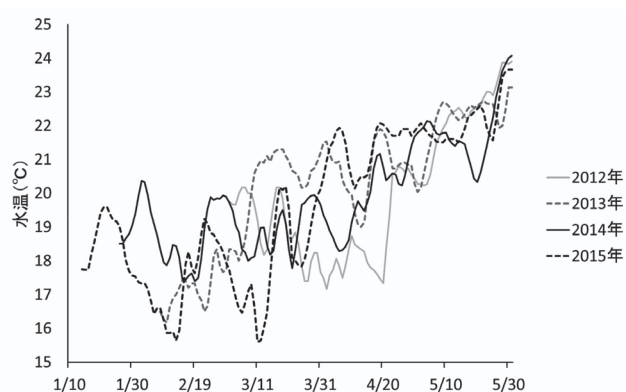


図 3111-2 育成場における水温



図 3111-3 2013 年産早期人工種苗（上段）と 2014 天然種苗最大群（下段）

は 64% (54、73%) であった (表 3111-2、図 3111-6)。死亡魚はスレを呈していた。

c 種苗輸送試験

2012 年度及び 2013 年度の種苗輸送時の溶存酸素量をモニタリングした結果、収容密度は最大 29.0 kg/kL であったが、輸送時間は最も長いもので 28 時間 (表 3111-3)、溶存酸素量の最も低い値は 4.8 mg/L であった (図 3111-7)。何れも死亡はなく安全に輸送することに成功した。これらの結果を参

考に 2014 年度に 3 回、2015 年度に 2 回の輸送を行ったが、何れも輸送中の死亡は確認されなかった。

工 考 察

(ア) 育成試験の結果と養殖用種苗としての適正評価

開始サイズ、開始時期、採卵時期等が異なる 10 群を用いて、4 ヶ年にわたり種子島において育成試験を実施した結果、「4 月に 15 ～ 20 cm サイズのブ

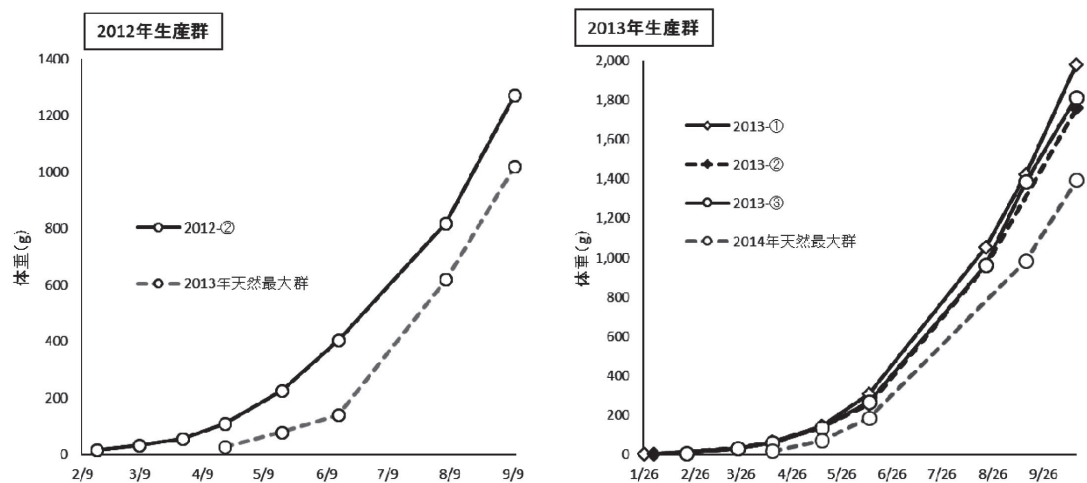


図 3111-4 早期人工種苗と天然種苗最大群の成長

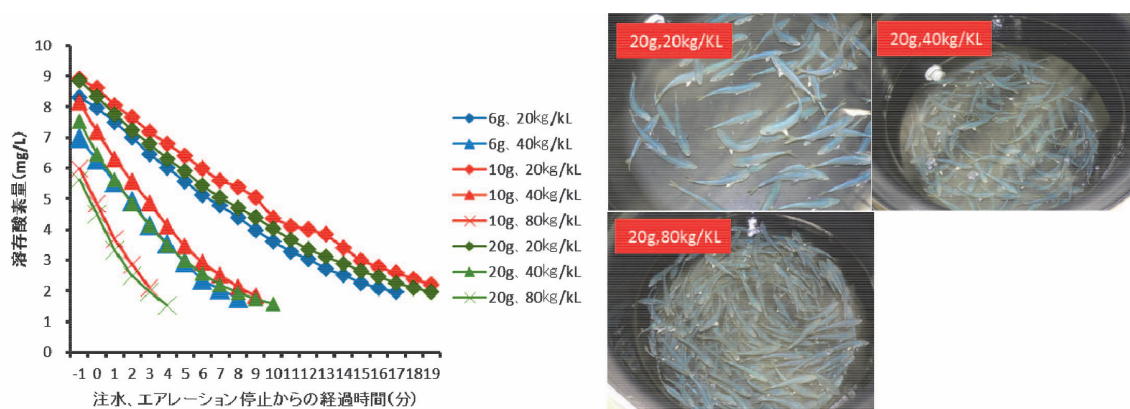


図 3111-5 エアレーション停止後の溶存酸素量の推移と試験中の写真

表 3111-2 模擬輸送試験の結果

		収容重量(kg/kL)				体重(g)	水温(℃)
		10	50	100	200		
試験①	試験回数	6	4	6	2	17	14.5
	平均生残率	100	100	100	100		
	模擬輸送中	100	100	100	100		
	3日後	100	100	100	100		
試験②	試験回数	4	2	2	2	55	24.6
	平均生残率	100	100	100	88		
	模擬輸送中	100	100	100	88		
	3日後	100	100	100	64		

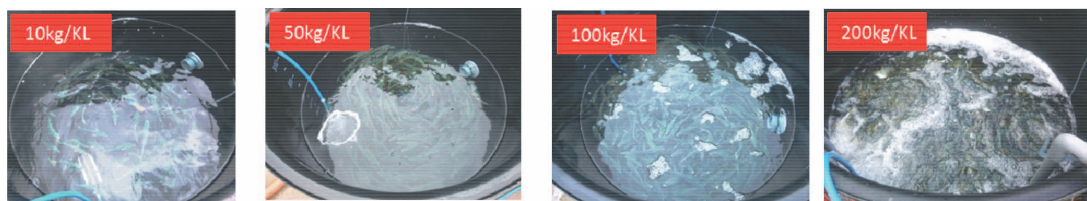


図 3111-6 模擬輸送試験中の写真

り種苗を作る」という本プロジェクト研究の目標は達成された。また、本プロジェクト研究では海面での育成開始サイズを 10 cm としたが、中課題 2 の

報告にもあるように、早期人工種苗の生産は低水温期（地先の自然水温が 15 ～ 18℃）に水温 20 ～ 22℃で行うため、生産経費の多くを加温費が占め、

表 3111-3 2012 年度及び 2013 年度の種苗輸送の結果

呼称	輸送方法	輸送時間 (時間)	平均全長 (mm)	平均体重 (g)	尾数 (万)	収容密度 (kg/kL)	生残率 (%)
2012-①	船	16	75	4.5	7.7	11.3	100
2012-②	船	16	110	15.0	2.7	29.0	100
2013-①	トラック	28	53	1.6	3.3	8.8	100
2013-②	船	18	58	2.0	6.7	9.7	100
2013-③	船	16	92	7.5	3.4	18.5	100

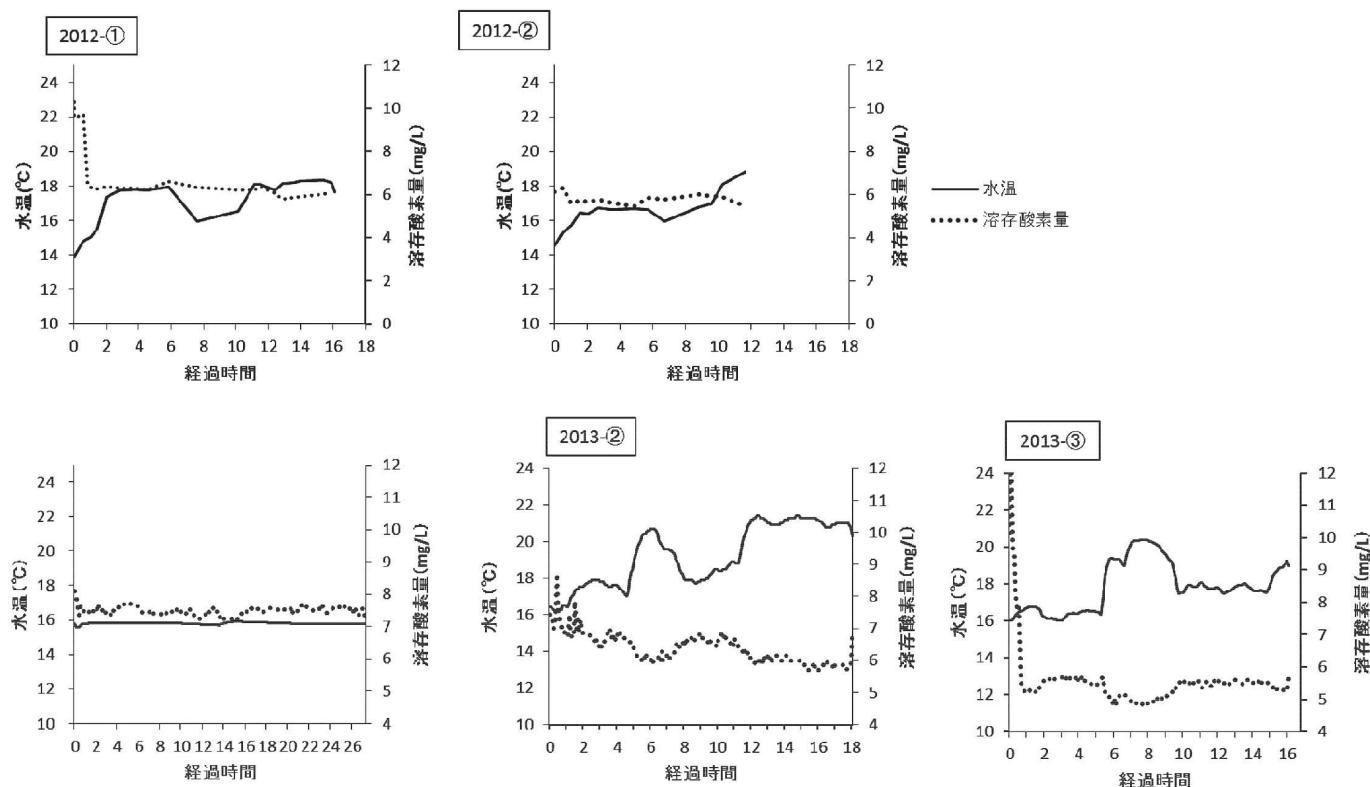


図 3111-7 2012 年度、2013 年の種苗輸送時の水温と溶存酸素量の変化
(2012-②は計測機器故障のため途中までのデータ)

特に 30 mm 以降の飼育では加温費は 60% と非常に高く、低コスト化のために加温費の削減が鍵となっている。そこで 2012 年度生産種苗では平均全長 7.5 cm の 2012-①と同 11.0 cm の 2012-②、2013 年度生産種苗は同 5.3 cm の 2013-①、同 5.8 cm の 2013-②と同 9.2 cm の 2013-③、2015 年生産種苗では同 7.3 cm の 2014-②と同 11.4 cm の 2014-③と比較した結果、何れも成長は変わらないと判断され (図 3111-1)、育成開始サイズの小型化により低コストでの生産が可能となることが分かった。

陸上水槽における単位水量当たりの飼育重量の上限を中課題 2 で明らかとなった 5 kg/kL とすると、最大収容密度は 10 cm では 460 尾 /kL に対し、5 cm では 3900 尾 /kL となり、育成開始サイズの小型化により、生産尾数を増やすことが期待でき

る。また、種苗輸送に関しては、単位水量当たりの輸送数が増えることから、1 尾当たりの輸送経費の削減が期待でき、海面での育成開始サイズの小型化は様々なメリットがあることが明らかとなった。

また、当初は 11 月から 12 月にかけて採卵した受精卵由来の種苗を用いて育成試験を予定していたが、中課題 1 の成果として 10 月に採卵することが可能となった。そこで、10 月に採卵した受精卵由来の種苗を用いて、育成試験を実施した結果、10 月採卵由来の 2014-①は日間成長量が小さく、5 月に取り上げた時点の平均全長は採卵時期が 34 日遅い 2014-③よりも小さかった。ブリ当歳魚の成長に適した水温は 18 から 29℃¹⁾ であり、育成試験を実施した 2015 年 1 月から 3 月にかけての水温は 18℃ を大きく下回る上に変動も大きかった (図 3111-2)。

このことが2014-①の成長が他区よりも劣った原因であると推察した。なお、2015年度産の2015-①及び2015-②は育成試験が途中で終了となったが、3月下旬時点での平均全長は18.4 cmと13.4 cmと前年よりもサイズ差は維持されており、採卵のより早期化により、より大型種苗の生産の可能性があると考えられる。

種子島における育成試験の生残率は94～99%と非常に高く、給餌、分養などの基本的な育成管理の手法は天然種苗と同じで良いと判断した。疾病に関しては、天然種苗にみられるビブリオ病、滑走細菌症、ウイルス性腹水症、ペコ病が早期人工種苗においても僅かではあるが確認された。本プロジェクト研究期間中に大量死亡は発生しなかったものの、疾病対策は天然種苗と同様に十分行う必要があると考えられる。

早期人工種苗は天然種苗の最大群よりも日数にして1ヶ月以上成長が先行しており、育成場である種子島から養殖場である鹿児島県長島町へ移動後も、成長差は維持し続けており（図3111-7）、養殖用種苗として適正があると判断した。人工種苗はその後養殖が続けられ、海面での育成を開始から約1年3ヶ月を経過した6月には出荷サイズの4 kgに到達し、「赤潮発生時期よりも前に出荷サイズに到達する」という本プロジェクト研究の当初目標の一つが達成された。人工種苗は実際に出荷され、市場関係者の評判は良好であった。以上の結果から、早期人工種苗の需要は今後さらに高まると考えられる。

（イ） 輸送について

輸送時の溶存酸素量は3.0 mg/Lを下回らないよう換水及び通気を行う必要があると考えられる。また、無換水、無通気状態になると収容重量20 kg/kLでも急速に溶存酸素量が低下し、約20分で酸欠死に至ることから、輸送中は機械類のトラブルには十分注意する必要があると考えられる。

輸送時の単位当たりの収容重量に関する検討では、魚体重55g、水温24℃台、収容重量200kg/kLの条件でスレによる死亡が認められた。一方、収容重量100 kg/kLまでは死亡が認められなかったことから、この程度の密度までは安全に輸送が可能と考えられる。藤本の式²⁾によれば10 g、40 g、60 gの種苗をトラック輸送する場合の適正収容重量は10 kg/kL、20 kg/kL、25 kg/kLである。今回の模

擬輸送試験は活魚船を想定して換水を行ったことが、その差になったと考えられる。

オ 今後の課題

早期人工種苗の輸送試験及び育成試験を数万尾単位の実証規模で実施し、養殖種苗としての適正があることを明らかにした。早期人工種苗の生産は低水温期に実施しており、種苗生産経費に占める加温経費が非常に大きいこと、ブリ種苗が成長するには水温18℃以上が必要となるため、地先海面沖での育成はできないことから、種子島海域において育成試験を実施した結果、順調に成長し、4月の段階で天然種苗を大きく上回る15～20 cmの種苗を生産できることが分かった。また、海面での育成開始サイズを全長10 cmから5 cmに下げることにより、生産コストが下げられることが明らかとなった。ブリ早期人工種苗の需要が高まるのに対し、早期ブリ種苗が生産できる機関は限られており、供給体制は整っていない。今後は産業化のために県及び民間企業などへの技術の移転、育成尾数の増加に対応するための中間育成場の整備が必要になってくる。

カ 要 約

10月から12月に採卵、生産された人工種苗を用い、種子島海域で数万尾単位の実証規模で育成試験を実施した結果、4月の段階で15 cmから20 cmに成長し、天然種苗の最大群よりも1ヶ月以上サイズの成長に先行していることが明らかとなった。人工種苗の成長は天然種苗と変わらないことが明らかとなり、海面の育成開始から約1年3ヶ月後には出荷可能となり、養殖用種苗としての適性は十分あると判断した。

キ 引用文献

- 1) 村田修（2005）ブリ・ブリヒラ. 水産増養殖システム海水魚. 熊井英水編. 恒星社厚生閣. 1-29.
- 2) 藤本宏（2006）Ⅲ -2 輸送. ブリの種苗生産技術開発. 水産総合研究センター. 横浜. 62-69.

研究担当者（堀田卓朗*、須藤宏幸、有瀧真人、青野英明、島 康洋、藤浪祐一郎*、津崎龍雄、中川雅弘、吉田一範、野田 勉、水落裕貴、中条太郎、松尾 齊）