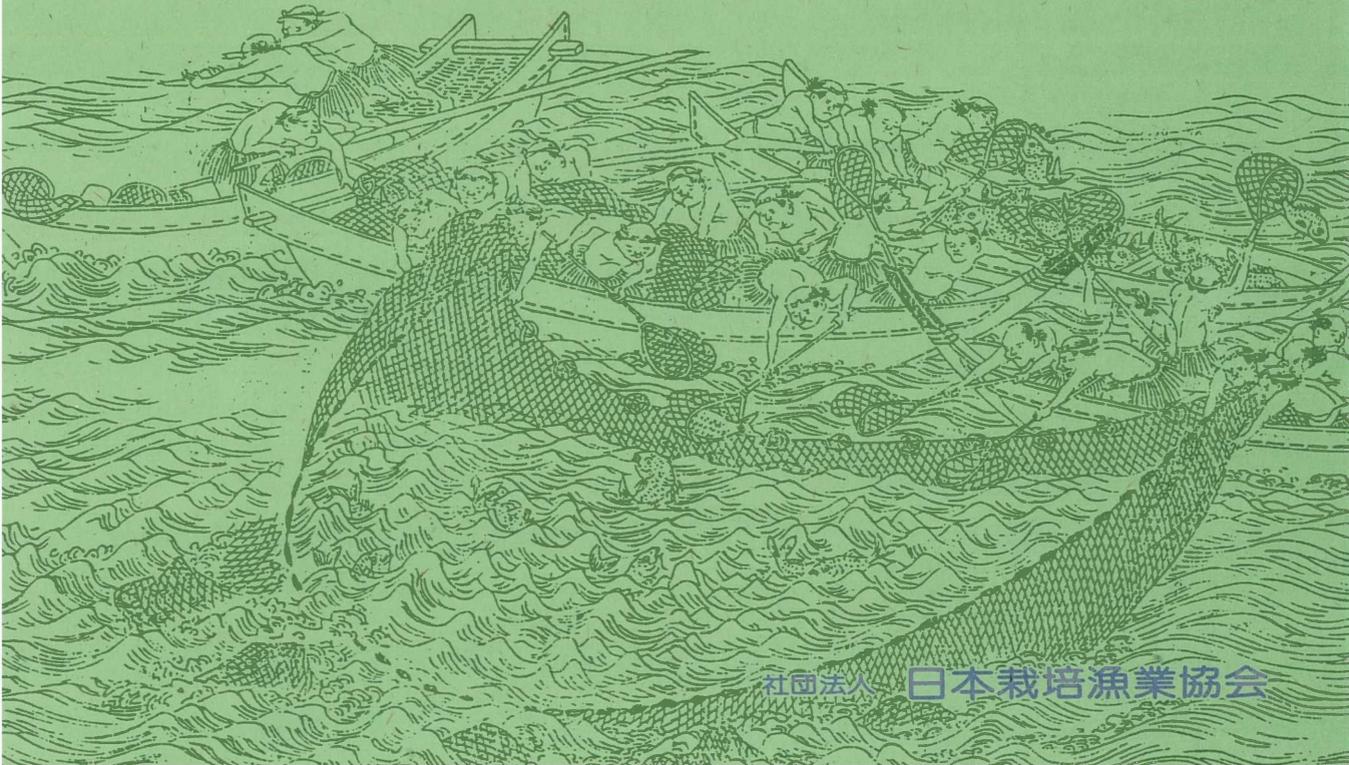


栽培漁業技術シリーズ

ブリの親魚養成技術開発



まえがき

ブリは日本列島近海を南北に移動する大型回遊魚で、漁業・養殖業生産統計年報によると平成9年には漁業で約5万トン漁獲され、養殖で約14万トン生産されており、わが国の水産業の中でも最も重要な沿岸資源の一つである。本種の主な産卵海域は九州南西海域と推定されており、幼稚魚（天然モジャコ）は流れ藻について北上し、養殖用種苗として漁獲されている。しかし、この天然モジャコも乱獲等による資源量の減少が懸念され、漁獲尾数には厳しい規制が加えられている。現在、ブリの漁獲量は徐々に増加傾向を示してはいるものの、天然種苗の資源量には豊凶があることから、ブリの増養殖を進展させるには天然種苗だけに依存できない状態になりつつあると言えよう。

本種の種苗生産を目的とした研究は、これまで多くの研究者によって試みられてはいるが、技術的にはまだ不安定な要素もあり、親魚養成や種苗生産技術が開発されたとは言い難い面もある。ブリでは養殖親魚からの採卵も可能であるが、天然親魚からの採卵成績と比較すると、採卵数が少なく受精後のふ化状況等の結果はかなり劣ることもあることが指摘されてきた。一方、近年天然ブリ親魚の漁獲量の減少の他、天然魚の産卵期間が極めて限られ、かつ、産卵期の親魚を漁獲する定置網の操業成績に左右されるため、安定した天然親魚の確保は困難な状況になってきている。したがって、養成した親魚からの大量の良質卵の確保に基づく人工種苗の安定した生産技術の確立が、ブリの増養殖の発展にとっても重要な課題となっている。

日本栽培漁業協会（当時 瀬戸内海栽培漁業協会）では、栽培漁業の促進のため昭和52年度に水産庁の委託を受けて本種の種苗生産技術開発に着手し、まず、古満目事業場（当時 古満目親魚養成前進基地）において、天然親魚の養成と採卵に関する技術開発が開始された。翌昭和53年には初めて同事業場で人工授精により受精卵が得られて以来、屋島および上浦事業場において、得られたふ化仔魚を用いた種苗生産試験が開始された。また、昭和56年度に開所した五島事業場においても、親魚養成並びに種苗生産技術開発に着手し今日に至っている。その間には、水産庁養殖研究所、高知大学、三重大学および東京水産大学等との共同研究により数多くの成果が得られ、学術論文として公表されてきた。

現在、本種の親魚養成技術開発に着手して以来約20年の歳月が経過している。今後、栽培漁業においては、従来よりも早い時期での早期種苗放流による新たな放流効果の把握、さらに、養殖業をも視野に入れたブリの増養殖をさらに発展させるためには、これまでの20年間の技術開発において得られた技術や知見を整理し、それらを再検討するとともに問題点を明らかにする必要があることが常々指摘されてきた。そのような状況の中、日本栽培漁業協会の古満目、五島および屋島の各事業場で本種の親魚養成並びに種苗生産技術開発に携わった関係者を執筆・編集委員に選出し、編集方針や内容に関する討論を重ねた結果、日本栽培漁業協会で行ってきた親魚養成技術を「ブリの親魚養成技術開発」として取りまとめることになった。

本書を作成する上では、論文や年報として公表された成果はもとより、公表されていない試験結果や知見についても可能な限り収集したつもりである。そのため、重複する内容については、一部を割愛せざるを得なかったことをご承知いただきたい。また、本稿で使用した用語に関しては、基本的には日本栽培漁業協会の事業年報に準じた。加えて、現場で技術開発に従事してきた担当者の意図するところは、できるだけ意を汲んで判りやすい表現にしたつもりである。そのために、必ずしも学術的表現や解析結果になっていない箇所も多々あることをご了解いただきたい。

本書が、今後、ブリを始めとした大型回遊魚種の親魚養成技術開発の参考になれば幸いである。

平成11年3月

社団法人 日本栽培漁業協会
理事長 今村 弘二

「ブリの親魚養成技術開発」執筆者一覧

I 親魚養成

| | |
|------|-----------------|
| 中野昌次 | 五島事業場 |
| 今泉均 | 古満目事業場 |
| 虫明敬一 | 上浦事業場（前 古満目事業場） |
| 有元操 | 上浦事業場（前 五島事業場） |

II 採卵

| | |
|------|----|
| 有元操 | 前出 |
| 虫明敬一 | 前出 |
| 中野昌次 | 前出 |

III 卵管理とふ化

| | |
|------|-------|
| 中野昌次 | 前出 |
| 虫明敬一 | 前出 |
| 崎山一孝 | 五島事業場 |
| 藤本宏 | 屋島事業場 |

IV 残された課題

| | |
|------|----------------|
| 虫明敬一 | 前出 |
| 丸山敬悟 | 五島事業場（現 玉野事業場） |

ブリの親魚養成技術開発

目次

| | | | |
|-----------------------------------|----|-------------------------|----|
| I. 親魚養成 | 1 | ③ ハクレン脳下垂体 | 25 |
| 1. 採卵用親魚 | 1 | 3) ホルモンの投与時期 | 26 |
| (1) 天然親魚 | 1 | ① HCG | 26 |
| (2) 人工生産魚 | 4 | ② GnRH | 26 |
| 2. 養成手法 | 5 | (2) 人工授精による採卵 | 26 |
| (1) 養成施設 | 5 | 1) 採卵時期 | 26 |
| 1) 海上小割 | 5 | 2) 採精と採卵 | 27 |
| 2) 陸上水槽 | 8 | 3) 媒精 | 28 |
| (2) 飼育密度 | 8 | 4) 問題点 | 28 |
| (3) 養成飼餌料 | 9 | (3) 自然産卵 | 29 |
| 1) モイストペレットの給餌 | 10 | 1) 水温 | 29 |
| 2) ソフトドライペレットの給餌 | 12 | 2) 照度 | 30 |
| 3) アスタキサンチンを添加した ソフトドライペレットの給餌 | 14 | 3) 成熟と産卵 | 30 |
| (4) 疾病対策 | 15 | (4) 誘発産卵 | 32 |
| 1) ウイルス性疾病 | 15 | 1) 産卵期と産卵数 | 32 |
| 2) 細菌性疾病 | 16 | 2) 雌親魚1尾当りの産卵数と 多回産卵 | 33 |
| 3) 寄生虫性疾病 | 17 | (5) 早期採卵 | 33 |
| II. 採卵 | 19 | 1) 環境要因の制御による成熟促進 | 33 |
| 1. 成熟度調査 | 19 | ① 長日処理 | 33 |
| (1) 生殖腺指数と卵巣卵径 | 19 | ② 光および水温条件の制御 | 35 |
| 1) 成熟に伴う生殖腺指数と卵巣卵径 | 19 | 2) ホルモン処理による成熟促進 | 36 |
| 2) 退行変性卵 | 20 | ① 親魚の水槽収容と水温変化 | 37 |
| (2) 血液性状 | 21 | ② GnRHの投与方法 | 37 |
| 1) 血液検査項目 | 21 | ③ 平均卵巣卵径の変化 | 37 |
| 2) 採卵結果との関連 | 22 | ④ GnRH投与による成熟促進 試験例 | 37 |
| 3) 成熟との関連 | 22 | ⑤ 問題点と課題 | 40 |
| 4) トリグリセライド (TG) の 時期的変動 | 23 | III. 卵管理とふ化 | 41 |
| 2. 採卵手法 | 23 | 1. 卵の回収 | 41 |
| (1) ホルモン処理 | 23 | 2. 卵管理 | 43 |
| 1) 卵巣卵径 | 23 | (1) ふ化容器と収容密度 | 44 |
| 2) ホルモンの種類と量 | 24 | 1) ふ化容器 | 44 |
| ① ヒト胎盤性生殖腺刺激 ホルモン (HCG) | 24 | 2) 卵の収容密度 | 45 |
| ② 生殖腺刺激ホルモン放出 ホルモン (GnRH) | 25 | (2) 通気量と注水量 | 45 |
| | | 1) 通気量 | 45 |
| | | 2) 注水量 | 46 |

| | |
|--------------------|----|
| 3) 卵比重の変動 | 46 |
| (3) 水温とふ化時間 | 47 |
| 3. 卵およびふ化仔魚の評価 | 48 |
| (1) 生物学的評価 | 48 |
| 1) 受精卵 | 48 |
| ① 一般的性状 | 48 |
| ② 生物学的性状と初期生残 | 48 |
| ③ 受精卵の個体差 | 49 |
| 2) ふ化仔魚 | 49 |
| ① 形態異常個体の出現状況と初期生残 | 49 |
| (2) 無給餌生残指数 (SAI) | 49 |
| 1) 飢餓耐性試験の方法 | 49 |
| 2) 無給餌生残指数の算出 | 50 |
| 3) SAIと初期生残率 | 50 |
| 4) 親魚の由来と年齢 | 50 |
| 5) 試験条件の検討 | 51 |
| ① 水温 | 51 |
| ② 収容密度 | 51 |
| 6) 卵質とSAI | 52 |
| (3) 生化学的評価 | 52 |
| 1) SAIと中性脂質の関係 | 53 |
| 2) 飼育初期の生残率と酵素活性 | 54 |
| 4. 卵および仔魚の輸送 | 54 |
| (1) ふ化仔魚輸送 | 55 |
| 1) 輸送容器 | 55 |
| 2) 輸送水槽へのふ化仔魚の収容 | 55 |
| 3) 輸送水温 | 55 |
| 4) 到着後のふ化仔魚の収容 | 56 |
| 5) 輸送密度と到着時の生残率 | 56 |
| (2) 受精卵輸送 | 56 |
| 1) 輸送適期と輸送容器 | 56 |
| 2) 輸送水温 | 58 |
| 3) 卵のふ化方法 | 58 |
| 4) 輸送密度とふ化率および生残率 | 58 |

| | |
|-------------------------|----|
| IV. 残された課題 | 61 |
| 1. 早期採卵技術の確立 | 61 |
| 2. 親魚の評価手法の確立 | 61 |
| 3. 卵および仔魚の評価手法の確立 | 62 |
| 4. 疾病対策 | 62 |
| 5. 遺伝子の多様性を考慮した採卵用親魚の確保 | 62 |
| 6. 種苗生産コストの低減 | 63 |
| 7. その他 | 63 |
| V. 謝辞 | 65 |
| VI. 引用文献 | 67 |

I. 親魚養成

1. 採卵用親魚

栽培漁業における親魚の養成は、養殖業における成魚の飼育とは大きく観点が異なる。すなわち、養殖業では魚体重の増重を最も重要視し、生殖腺発達等の繁殖生理学的な面は考慮されていない。また、経済性の面からも必要コストの低減を図るため高密度飼育による集約的で、いわゆる“太らせる”飼育技術の確立が要求される。一方、栽培漁業における親魚養成は、対象種が生物学的最小形に達した以降は繁殖生理学的な面を重要視し、むしろ魚体重の増重等の成長に関する議論はさほどなされないことから、いわゆる“熟させる”飼育技術の確立が必要である。なお、いずれの場合においても疾病等による養成期間中の減耗は大きな損失に直結するので、仔稚魚の種苗生産過程あるいは親魚の養成過程における歩留まりの向上は

共通した重要な課題である。

現在、ブリの種苗生産を行うために必要な受精卵あるいはふ化仔魚を確保するための採卵は、天然魚あるいは人工生産魚のいずれからでも可能となっている。天然魚では、産卵期に漁獲された成熟親魚から直接採卵する方法、成熟年齢に達した漁獲魚を1年～数年間養成して採卵する方法、および幼魚（モジャコ）から親魚まで養成して採卵する方法が知られている。一方、人工生産魚の場合には、種苗生産した稚魚を採卵用親魚に仕立てて採卵している。

ここでは、天然魚と人工生産魚に分けて、採卵用親魚としての利用状況について述べる。なお、本稿における親魚群の呼称については、便宜上表I-1に示したように記すこととする。

表I-1 ブリ親魚の呼称について

| 呼称 | 由来 | 歴 |
|-----|------|--------------------------|
| 天然 | 天然 | 定置網で漁獲された直後の親魚 |
| 天1 | 天然 | 漁獲された天然親魚を海上小割で1年間養成した親魚 |
| 天2 | 天然 | 漁獲された天然親魚を海上小割で2年間養成した親魚 |
| 天3 | 天然 | 漁獲された天然親魚を海上小割で3年間養成した親魚 |
| 天4 | 天然 | 漁獲された天然親魚を海上小割で4年間養成した親魚 |
| 天5 | 天然 | 漁獲された天然親魚を海上小割で5年間養成した親魚 |
| 人工2 | 種苗生産 | 人工的に種苗生産された種苗を2年間養成した親魚 |
| 人工3 | 種苗生産 | 人工的に種苗生産された種苗を3年間養成した親魚 |
| 人工4 | 種苗生産 | 人工的に種苗生産された種苗を4年間養成した親魚 |
| 人工5 | 種苗生産 | 人工的に種苗生産された種苗を5年間養成した親魚 |
| 人工6 | 種苗生産 | 人工的に種苗生産された種苗を6年間養成した親魚 |
| 人工7 | 種苗生産 | 人工的に種苗生産された種苗を7年間養成した親魚 |
| 養2 | 天然 | 天然モジャコを養殖業者が2年間飼育した成魚 |
| 養3 | 天然 | 養2を海上小割で1年間養成した親魚 |
| 養4 | 天然 | 養2を海上小割で2年間養成した親魚 |

(1) 天然親魚

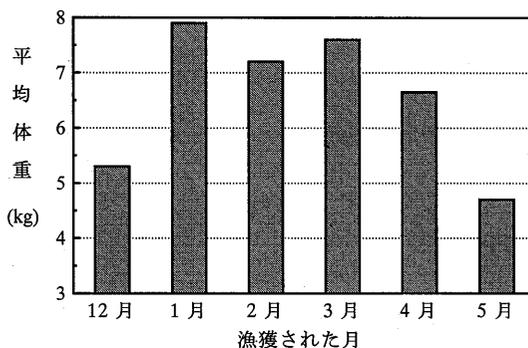
ブリの産卵場は日本海側では能登半島以西、太平洋側では房総、伊豆七島以西、東シナ海南部海域とされているが、日本近海のブリ資源を維持している根幹的な産卵場は、東シナ海の大陸棚縁辺と奄美、沖縄、先島諸島に囲まれた帯状の海域で、大陸沿岸水域と黒潮との混合域の内側と推定され

ている。ただし、産卵場への回遊には、太平洋系統群、日本海系統群および朝鮮東岸系統群があり、この他にも日本南部海域にはかなりの量の瀬付き群があると考えられる（藤田，1969）。そのため、場所によって来遊時期や年級、あるいは成熟状態が異なり、採卵用親魚を得るための入手方法や採卵に使用するまでの養成方法も異なる。長崎県の

男女群島や五島列島南端の玉之浦海域では天然親魚の産卵が確認されており、また、四国の愛媛県御荘湾海域では養殖ブリの海上小割での産卵が認められている（楳田，1991）。したがって、これらの近隣海域に位置する日本栽培漁業協会（以下日栽協）の五島事業場や古満目事業場では、天然の成熟親魚の入手並びに産卵に有利な立地条件を有していると言える。以下に、この2事業場で行われてきた天然親魚の搬入および産卵親魚への養成方法について述べる。

天然魚の接岸時期と搬入 五島列島福江島の三井楽の大型定置網で漁獲される天然ブリの平均魚体重の月別測定結果を図I-1に示した。ここでは、12月下旬から1月に「寒ブリ」と呼ばれる10kg以上の大型ブリも入網する。天然成熟親魚の五島海域への来遊は、3月下旬から出現し4月中旬から下旬に集中して来遊する7kg程度の「彼岸ブリ」（推定年齢4～5歳）と、4月下旬より出現し5月中旬から下旬に集中する「ダゴブリ」（推定年齢2～3歳）に分けられる。また、5月中旬以降にこれらの群の産卵が終了したと思われる「ヤセブリ」が入網する。このうち成熟したブリは、「彼岸ブリ」と「ダゴブリ」であり、漁獲量も多く、五島事業場ではこれらを採卵用親魚候補群として搬入し養成を行ってきた。

一方、古満目事業場がある高知県古満目地先の大型定置網におけるブリの入網は11月から6月の期間で、12月から2月には7kg以上の大型群が多く、4月以降は5kg前後を主体とする小型群（4～7kg）が主流を占める。古満目事業場では、昭和58年頃までは4月下旬から5月中旬に漁獲さ



図I-1 五島列島福江島三井楽定置で漁獲された天然ブリの月別平均魚体重（昭和45年～56年の平均値）

れる天然親魚を購入して採卵を行っていた。しかし、近年ではブリの定置網における漁獲量の減少に伴い、5月以降の産卵が終了したと思われる、いわゆる「ヤセブリ」を購入して最低1年間以上の養成を行った後に採卵用親魚として使用している。一方では、養殖業者が天然モジャコを飼育した、いわゆる「養殖ブリ」（2歳魚）を購入して4～5カ月間事業場で養成した後に、3歳魚になった時点で親魚として使用している。

天然魚の搬入と成熟 五島事業場で昭和57年から61年までに搬入した親魚を表I-2に示した。昭和57年～58年はいわゆる「彼岸ブリ」を搬入したが、昭和59年～61年には「ダゴブリ」と「ヤセブリ」を搬入した。また、昭和62年に事業場に近い長崎県福江島の三井楽漁協の定置網で漁獲されたブリの成熟状況の調査結果を表I-3に示した。昭和62年4月16日に漁獲されたブリ（平均体重8.8kg）では、生殖腺指数（生殖腺体重比；

表I-2 昭和57年から61年の5年間における天然ブリの搬入状況（五島事業場）

| 年 月 | 漁獲場所 | 漁法 | 搬入尾数 | 尾叉長 (cm) | 体重 (kg) | 肥満度 |
|----------|---------|-----|------|------------------|----------------|------|
| 昭和57年 3月 | 対馬下島巖原町 | 定置網 | 200 | 81.4 (76.4～93.0) | 9.4 (7.6～12.9) | 17.4 |
| 4月 | 福江島三井楽町 | 定置網 | 300 | 74.4 (65.0～81.1) | 7.0 (4.4～8.7) | 16.8 |
| 昭和58年 4月 | 福江島玉之浦町 | 定置網 | 230 | 75.2 (66.0～82.0) | 7.6 (5.0～9.6) | 17.9 |
| 5月 | 福江島玉之浦町 | 定置網 | 140 | 88.1 (83.0～98.4) | 7.8 (6.6～10.2) | 11.3 |
| 昭和59年 5月 | 福江島玉之浦町 | 定置網 | 144 | 63.3 (61.0～65.0) | 3.8 (3.6～4.1) | 14.9 |
| 昭和60年 4月 | 福江島玉之浦町 | 定置網 | 132 | 72.4 (65.0～78.0) | 5.6 (3.2～6.3) | 13.1 |
| 5月 | 福江島玉之浦町 | 定置網 | 137 | 72.0 (66.0～82.0) | 5.1 (3.8～7.8) | 13.3 |
| 昭和61年 5月 | 福江島玉之浦町 | 定置網 | 103 | 68.2 (62.0～72.0) | 5.2 (4.3～6.5) | 16.3 |

表 I-3 昭和62年に搬入した天然魚の成熟調査結果（五島事業場）

| 入手月日 | 調査月日 | 調査尾数 | 尾叉長 (cm) | 体重 (kg) | 肥満度 | 生殖腺重量 (g) | 生殖腺指数 | 平均卵巢卵径 (μm) |
|------|-------|------|------------------|----------------|------|---------------|---------------|--------------------------|
| 3. 9 | 3. 9 | 6 | 78.8 (76.0~80.0) | 8.7 (6.9~10.3) | 17.8 | — | — | 672 (548~744) |
| 4.14 | 4.14 | 11 | 80.0 (79.0~81.0) | 9.2 (8.7~10.2) | 17.9 | — | — | 727 (700~765) |
| 4.16 | 4.16 | 3 | 79.7 (78.0~81.0) | 8.8 (8.3~ 9.0) | 17.3 | 445 (353~556) | 5.1 (3.9~6.2) | 749 (740~761) |
| | 4.17* | 4 | 78.5 (76.0~81.5) | 8.2 (7.9~ 8.6) | 17.0 | 329 (226~432) | 4.0 (2.9~5.0) | 680 (659~697) |
| 4.29 | 4.29 | 4 | 67.0 (65.0~69.0) | 5.8 (5.3~ 6.5) | 19.2 | — | — | 658 (547~712) |

* 4月16日に搬入した親魚群を海上小割に收容し、翌日調査した。

gonado-somatic index, GSI) の平均値は5.1 (3.9~6.2)、卵巢中の最大卵径群の平均値 (以下 平均卵巢卵径と記す) は749 μm (740~761) と最終成熟直前まで成熟が進んでおり、ホルモン処理により採卵が可能と思われた。しかし、その群を海上小割に收容して翌日に調査した結果、平均卵巢卵径は680 μm (659~697) と小さくなるとともに、多くの退化卵が出現した。また、4月29日に漁獲された親魚群 (平均体重5.8kg) では平均卵巢卵径が658 μm (647~712) と、4月16日のロットより平均卵巢卵径は小さかった。

このように、定置網で漁獲された天然の成熟親魚からの採卵は、親魚の成熟のタイミングと採卵を計画しているタイミングとが合致すれば可能である。しかし、毎年、同様に成熟したブリが漁獲されるとは限らず、また、成熟状態は漁獲時期やその後の飼育環境の変化等によっても影響を受けやすい。そのため、漁獲直後の天然魚をそのまま採卵に使用するよりも、むしろそれらを人為的飼育環境下で1年間以上養成したロットを採卵に使用するのが良いと考えられる。

養成 上述したような理由から、定置網で漁獲された天然魚を搬入し海上小割で養成して次の年の産卵期から採卵用親魚として使用した場合の事例について述べる。その際、親魚の成熟は養成施設 (海上小割; 後述) の環境条件、特に水温と光条件に左右されやすい。五島および古満目両事業場における平成4~9年度の5カ年間の月別平均水温を図 I-2 に示したが、過去においてもその水温変動はほぼ同じであった。

五島事業場で昭和57年に漁獲されたブリ (平均尾叉長74.4cm, 推定年齢3~4歳) を昭和62年までの5年間養成し、毎年4月下旬から5月上旬にかけて人工授精による採卵試験を行った結果、

天1 (表 I-1) から天3 (表 I-1) で雌1尾当たり40万粒前後の受精卵が得られたが、それ以降は養成年数の増加に伴い減少した (図 I-3)。また、それらの受精卵から得られたふ化仔魚を無給餌で飼育した場合、天3以降の親魚から得られたふ化

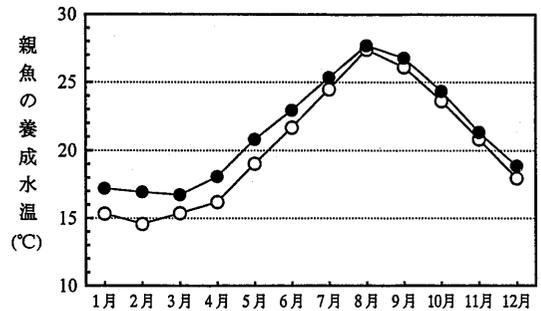


図 I-2 過去5年間 (平成4~9年度) における五島および古満目事業場の海面小割でのブリ親魚の養成水温の月別変動 (平成4~9年度日裁協年報)

○: 五島事業場の月別平均値,
●: 古満目事業場の月別平均値

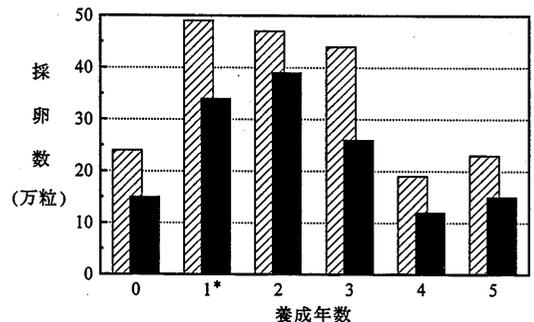


図 I-3 天然養成魚の養成年数別の雌1尾当たり採卵数 (五島事業場)

▨: 採卵数, ■: 受精卵数

*表 I-1 の天1に相当する

仔魚は早く死亡する傾向が見られた。これらは、最初に搬入する天然魚の大きさや年齢によって異なると思われるが、五島事業場ではこれ以後、漁獲後1年あるいは2年間養成した親魚を採卵用親魚として使用することにした。

平成元年と平成8年に行った成熟度調査の結果では、高齢魚あるいは大型魚ほど早く成熟する傾向があり、天1では、排卵直前の成熟状態に達するのが5月中旬であるが、天2および天3では4月下旬から5月上旬であった。ただし、人工的にふ化させた仔魚から養成した親魚の場合には、天然魚に比べると事業場の海上小割周辺の自然環境条件（水温や照度）に影響を受けやすいことも考えられる。

天然幼魚からの養成魚 天然モジャコから採卵用親魚を養成することの利点としては、年齢が明らかであること、天然親魚と比較しても魚体のばらつきや成熟段階のばらつきもさほど大きくないこと、およびハンドリングに慣れて人為的なストレス負荷などの影響を受けにくいことなどが考えられる。近年行っている本種の早期採卵技術開発においては、成熟促進のために長期間の陸上飼育を必要とし、また、できるだけ成熟状態がそろった親魚群が望ましいため、モジャコから養成した親魚を採卵に使用するのが良いと考えられる。

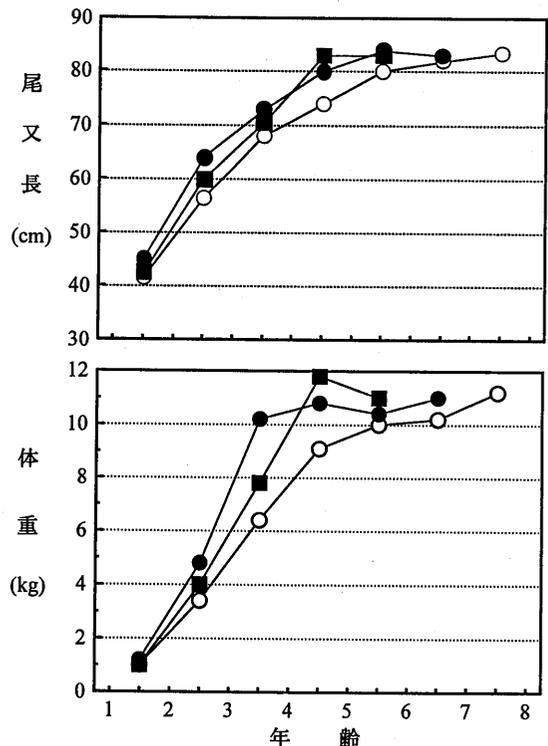
古満目事業場では、天然魚の漁獲が少なくなってきたことから、昭和60年より天然魚の確保以外にも養殖業者によって天然モジャコから約2年間養殖されたブリ成魚（体重5～6kg、養2；表I-1）を購入し、事業場で5カ月および1年半養成（それぞれ養3および養4；表I-1）して産卵試験に使用している。五島事業場でも平成6年より、早期採卵試験用親魚としてモジャコからの養成を行っている。

(2) 人工生産魚

ブリの天然親魚の漁獲量には年変動があるため、安定して採卵用親魚を確保するためには天然モジャコや種苗生産された人工種苗を親魚に養成する技術開発が求められていた。五島事業場では、昭和57年から平成元年までの間、毎年事業場で生産された種苗を飼育して採卵用親魚の養成を行い、成長、成熟あるいは採卵時期などの検討を行った。

養成と成熟調査 昭和57年から昭和59年の間に五島事業場で生産し養成した人工種苗の成長を図I-4に示した。それらの平均尾又長は、満1歳で約40cm、満2歳で50～60cm、満3歳で60～70cmとなり、満4歳では70～80cmまで成長する。体重は満1歳で1kg前後となり、満4歳では9kg前後に達し、その後、成長は鈍るが、満7歳では12kg以上になる個体もある。ただし、ここに示した成長は採卵用親魚としての養成を目的としたものであり、天然魚あるいは養殖魚の成長とは差があると考えられる（鉄，1967）。昭和59年に人工2の親魚（表I-1）より人工授精で初めて採卵に成功し、その時の供試魚の最小個体の尾又長および体重はそれぞれ55cm および3.2kgであった。これは、三谷（1960）の報告した本種の生物学的最小形（尾又長60cm、体重約3kg）の値に近い。

平成元年に五島事業場で行った人工生産魚の養



図I-4 ブリ人工生産魚の成長（五島事業場）

- ：昭和57年度種苗生産魚、
- ：昭和58年度種苗生産魚、
- ：昭和59年度種苗生産魚

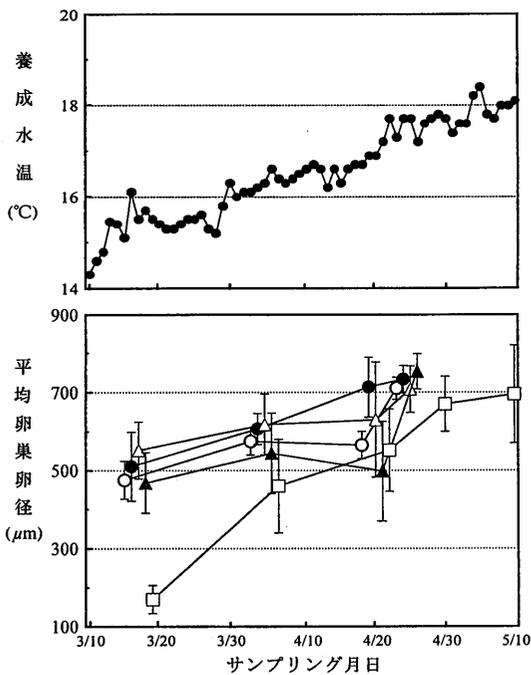


図 I-5 養成年数の異なる人工生産親魚群の平均卵巣卵径の経時的变化 (五島事業場)

縦棒は標準偏差を示す (以下の図も同じ)

○: 人工 7, ●: 人工 6, △: 人工 5,
▲: 人工 3, □: 人工 2

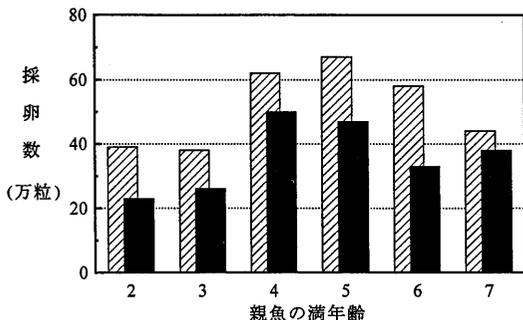


図 I-6 人工生産魚の年齢別の雌 1 尾当り採卵数 (五島事業場)

▨: 採卵数, ■: 受精卵数

成年数別の平均卵巣卵径の調査結果を図 I-5 に示した。人工 2 では、3 月中旬には平均卵巣卵径が 200 μm 以下であったが、4 月上旬には 500 μm に達し、5 月上旬には 700 μm 前後となった。一方、人工 5 ~ 7 では、3 月中旬の平均卵巣卵径がすでに 500 μm 前後となっており、4 月中旬には 700 μm

m に達した。これらの結果から、天然と同様に高齢の個体ほど、あるいは大型の個体ほど早く成熟する傾向がみられた。

また、平成元年に行った人工生産魚からの人工授精による採卵 (後述: II-2) 結果を図 I-6 に示した。親魚の年齢別では、満 4 ~ 5 歳の時が最も多くの受精卵が得られ、これは、前述した定置網で漁獲される天然親魚を約 2 年間事業場で養成した親魚群 (天 2) とほぼ同じ年齢と考えられ、この年齢に達したブリを親魚として使用するのが採卵を行う上では最も効率が良いと考えられた。

人工生産魚からの親魚養成は、天然モジャコからの場合と同様に、同じ年齢群を同一環境で飼育できることから、成熟段階のばらつきが比較的少なく効率的な採卵結果に結び付くと考えられる。しかし、その反面、長期間の飼育が必要になるために養成に関わるコストが増大することや病原微生物に感染する確率が高くなること、また、限られた親魚群から得られた受精卵を用いて種苗生産を行うことから、近年議論の対象になっている放流種苗の遺伝子の多様性 (谷口・木島, 1985; 谷口, 1994; 谷口・青木, 1994) に関わる問題もある。したがって、日裁協では現在、放流用種苗の生産にはすべて天然魚、もしくは天然魚を養成した親魚から得られた受精卵を使用しており、人工生産魚を養成した親魚からの受精卵は使用していない。

2. 養成手法

(1) 養成施設

現在、親魚養成を行う場合の施設には大きく分けて、海上の小割に小割網を設置して親魚を養成する海上小割方式と、陸上の水槽で親魚養成を行う陸上水槽方式の 2 つの方式が用いられている。

1) 海上小割

ブリは日本列島を南北に縦断する大型回遊魚であるため、本来であれば網生簀のような小規模の空間に閉じ込めること自体に無理があり、天然海域とは異なる産卵生態を示す可能性もある。しかし、養成施設の規模は、人間の飼育管理の容易さや物理的強度等の関係から、むやみに大きな空間を設定することは不可能であり、そこには自然と人間にとって管理し易い大きさが求められる。日裁協では昭和 52 年に本種の親魚養成技術開発に着

表 I-4 ブリの親魚養成施設の長所と短所

| 名 称 | 形 状 | 長 所 | 短 所 |
|------|-------|---|--|
| 海上小割 | 円 形 | <ul style="list-style-type: none"> 親魚の遊泳に適した形状 死角がでにくい 波浪に強い | <ul style="list-style-type: none"> 小割網の交換に労力を要す 卵の回収が困難である |
| | 正六角形 | <ul style="list-style-type: none"> 親魚の遊泳に適した形状 波浪に比較的強い | <ul style="list-style-type: none"> 死角がでやすい 小割網の交換に労力を要す 卵の回収が困難である |
| | 長 方 形 | <ul style="list-style-type: none"> 親魚の取り揚げが比較的容易 | <ul style="list-style-type: none"> 死角ができる 小割網の交換に労力を要す 波浪等による被害を受けやすい 卵の回収が困難である |
| | 正 方 形 | <ul style="list-style-type: none"> 親魚の取り揚げが比較的容易 収容尾数が多い | <ul style="list-style-type: none"> 死角ができる 小割網の交換に労力を要す 波浪等による被害を受けやすい 卵の回収が困難である |
| 陸上水槽 | 四 角 形 | <ul style="list-style-type: none"> 有効容積が大きい | <ul style="list-style-type: none"> 親魚の遊泳に適さない 死角ができる |
| | 八 角 形 | <ul style="list-style-type: none"> 水流が作りやすい 卵の回収効率が低い | |
| | ドーナツ型 | <ul style="list-style-type: none"> 親魚の遊泳に適した形状 水流が作りやすい | <ul style="list-style-type: none"> 親魚の運動量が多い 卵の回収効率が比較的低い |

手して以来、比較的大型の海上小割を使用してきた。ここでは、それらの形状や大きさについて経験的に得られた知見や事例を中心に述べる。なお、後述する陸上水槽とともにそれぞれの養成施設に関する長所と短所を表 I-4 に示した。

形 状 ブリは遊泳力が強いことから、小割網内で比較的遊泳しやすいようにこれまで円形（写真 I-1）あるいは正六角形（写真 I-2）の海上小

割が多用されてきた。これらの形状は養殖業者の間でも汎用されている。その理由は、これらの小割網で囲まれた空間がブリの遊泳に比較的死角となる部分が少なく、空間を有効に利用できる点にメリットがあるためと考えられる。また、近年では長方形（写真 I-3）あるいは正方形（写真 I-4）の海上小割を用いた飼育事例もある。これらの海上小割はブリ以外の魚種の飼育にも使用される

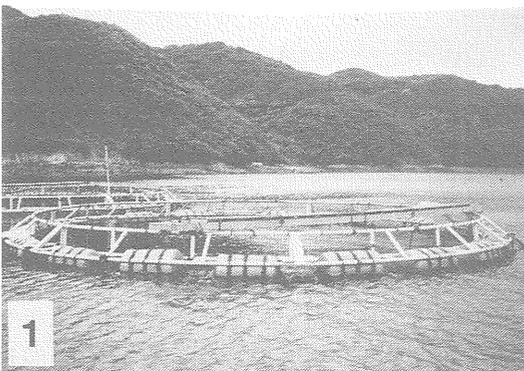


写真 I-1 ブリの親魚養成に使用されている海上小割（円形小割、φ10m、五島事業場）

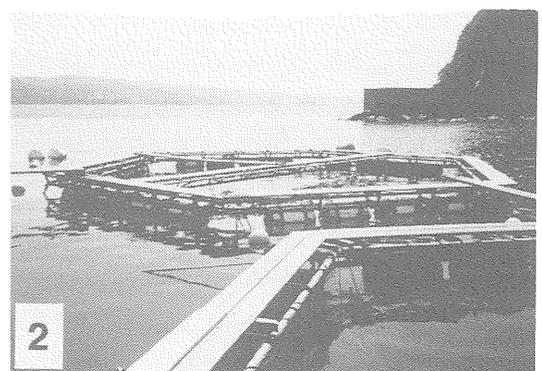


写真 I-2 ブリの親魚養成に使用されている海上小割（六角形小割、一辺 5m、古満目事業場）

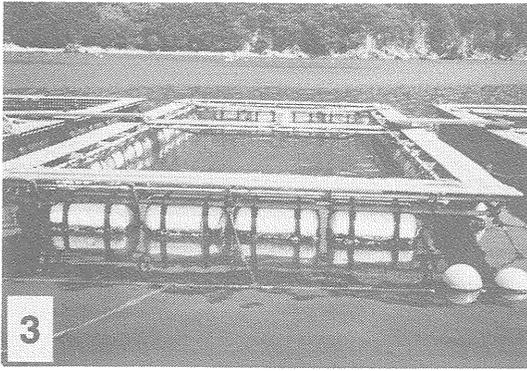


写真 I-3 ブリの親魚養成に使用されている海上小割
(長方形小割, 5m×10m, 古満目事業場)

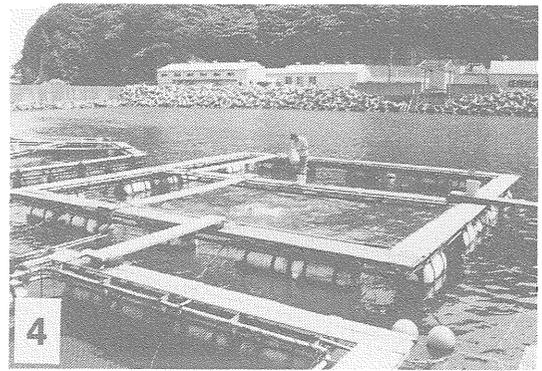


写真 I-4 ブリの親魚養成に使用されている海上小割
(正方形小割, 10m×10m, 古満目事業場)

が、四隅に死角ができるなどの理由で親魚養成には必ずしも有効であるとは言い難い。

大きさ 海上小割生簀の大きさは、親魚に負荷されるストレスや病原体との接触の可能性から、大きいに越したことはない。しかし、人の管理の容易さや海上小割自体の強度や経済的な理由からも、設置規模も自ずと規制されてしまう。実際に使用されている海上小割の大きさは表 I-5 に示すような大きさである。

材質 海上小割に使用する材質は、一部で繊維強化プラスチック (FRP) を使用した事例もあるが、そのほとんどは亜鉛溶融メッキした鋼管製である。鋼管製海上小割は比較的さまざまな形状に細工が行いやすく、廃棄処分の時には専門の業者に依頼可能であることが使用上のメリットの

一つであろう。一方、FRP 製は塩害・腐食等による老朽化が少ないが、波浪等の影響を受けやすく海上小割上での作業に支障を来す場合があることが経験的に知られている。

小割網 これまで日裁協における海上小割でのブリの親魚養成においては、表 I-5 に示すように比較的大型のポリエチレン製の小割網を使用してきた。小割網を用いた親魚養成では後述するように寄生虫 (主として *Benedenia seriolae*) の感染が著しく、定期的な網替え並びに淡水浴等による駆虫対策が必要になる。近年、養殖業者ではこの網替えの労力を省くため、また、波浪や潮流による小割網の吹き寄せを防ぐため金網生簀を導入しているところも多い。金網生簀の利点としては、金網の電食作用による寄生虫の卵 (数 mm に達

表 I-5 ブリの親魚養成で使用されている海上小割および陸上水槽

| 名称 | 形状 | 大きさ | 材質 | 備考 |
|------|-------|--|------------------------|--------|
| 海上小割 | 円形 | φ10 m ^{*1} | 鋼管 ^{*2} | 写真 I-1 |
| | 正六角形 | 一辺 5 m ^{*1} | 鋼管 ^{*2} | 写真 I-2 |
| | 長方形 | 5 m×10 m ^{*1} (日の字型) | 鋼管 ^{*2} | 写真 I-3 |
| | 正方形 | 10 m×10 m ^{*1} (日の字型または田の字型) | 鋼管 ^{*2} , FRP | 写真 I-4 |
| 小割網 | 円柱 | φ10 m×深さ 6 m (実容積 430 m ³) | ポリエチレン | |
| | 正六角柱 | 一辺 5 m×深さ 6 m (350 m ³) | ポリエチレン | |
| | 直方体 | 5 m×10 m×深さ 6 m (275 m ³) | ポリエチレン | |
| | 直方体 | 10 m×10 m×深さ 6 m (550 m ³) | ポリエチレン | |
| 陸上水槽 | 四角形 | 8 m×8 m×深さ 2.5 m (実容量 130 m ³) | コンクリート | 写真 I-5 |
| | 八角形 | 6 m×6 m×深さ 2.0 m (65 m ³) | コンクリート | 写真 I-6 |
| | ドーナツ型 | 22 m×20 m×深さ 2.0 m (400 m ³) | コンクリート | 写真 I-7 |

*1 小割網の設置に有効な大きさを示し、作業スペース等を含まない。

*2 亜鉛溶融メッキ製。

するフィラメントにより小割網に絡まる)や環境生物の付着を軽減させることが挙げられる。その反面、金網生簀自体が高価であること、年に1回は付着生物の除去を行う必要があること、生簀の交換には大型の動力船を必要とすることなどが欠点として挙げられる。しかし、日裁協ではブリの親魚養成に金網生簀を導入した事例はない。それは、ポリエチレン製の小割網と比較して採卵用親魚の年間数回にわたる取り揚げ等に困難が伴うためである。

2) 陸上水槽

規模 陸上水槽は海上小割で成熟させた親魚を用いた産卵試験や、近年では早期採卵を目的に未成熟の親魚を収容して環境コントロールを行いながら、比較的長期間の飼育を行う試験に使用されている(後述)。現在古満目および五島の両事業場で使用されている陸上水槽の規模としては、

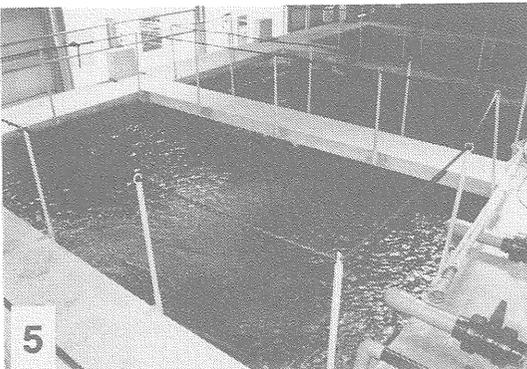


写真 I-5 ブリの採卵試験に使用されている陸上水槽
(四角形水槽, $8\text{m} \times 8\text{m} \times 2.5\text{m}$, 実容量
 130m^3 , 古満目事業場)

$65 \sim 400\text{m}^3$ 容量のコンクリート製水槽である(表 I-5)。なお、水槽の水深は $2.0 \sim 2.5\text{m}$ であり、この水深であればブリ親魚群の摂餌行動および産卵行動等に悪影響がないことはこれまで経験的に知られている。

形状 陸上水槽の一般的な形状としては、四角形(写真 I-5)、八角形(写真 I-6)および円形である。加えて、本種が遊泳力が強い魚種であることを考慮し設計されたのがドーナツ型水槽(写真 I-7)である。四角形、八角形および円形の陸上水槽の長所と短所は表 I-4 に示した通りであるが、ドーナツ型水槽には予想できなかった問題点が浮上した。それは、ブリが常に遊泳を続け遊泳速度が速くなりすぎたことから、卵黄形成等に必要な脂質を蓄積する成熟期に遊泳行動のエネルギー源として脂質が消費され、その時期に上昇すべき肥満度が逆に低下したことである。そのため

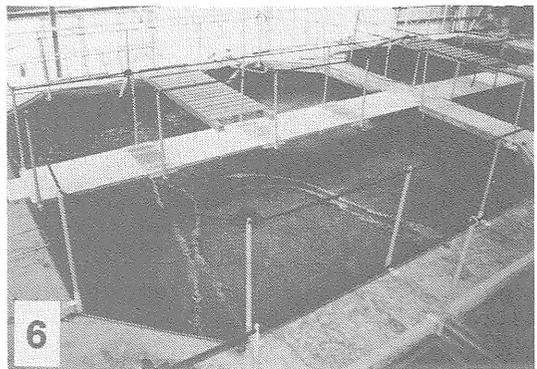


写真 I-6 ブリの採卵試験に使用されている陸上水槽
(八角形水槽, $6\text{m} \times 6\text{m} \times 2.0\text{m}$, 65m^3 ,
古満目事業場)

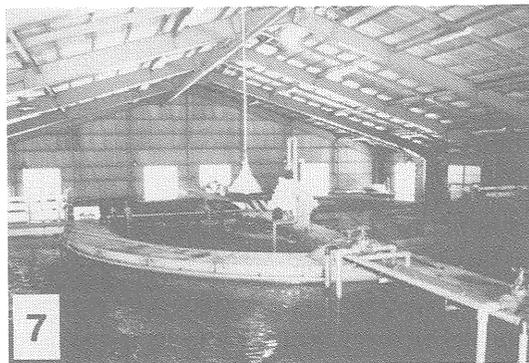


写真 I-7 ブリの採卵試験に使用されている陸上水槽
(ドーナツ型水槽, $22\text{m} \times 20\text{m} \times 2.0\text{m}$,
 400m^3 , 五島事業場)

に、本来はスムーズな遊泳が期待できるドーナツ型水槽に障害物を設け遊泳を阻止するようにした(有元ら, 1987)。

(2) 飼育密度

海上小割あるいは陸上水槽におけるブリの親魚養成の適正飼育密度に関する詳細な実験データは今のところない。そのため、ここでは古満目および五島の両事業場で経験的に得られた知見について述べる。

平成4年度から8年度の両事業場の海上小割および陸上水槽におけるブリ親魚の飼育密度を表 I

表 I-6 日裁協におけるブリ親魚の飼育密度 (kg/m³)
(平成4年度～8年度日裁協年報より算出)

| 平成 年度 | 古満目事業場 | | 五島事業場 | |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 海上小割 | 陸上水槽 | 海上小割 | 陸上水槽 |
| 4 | 1.96～2.36 | 1.75～2.63 | 1.06～1.86 | 0.70～2.22 |
| 5 | 1.84～2.28 | 0.98～1.29 | 1.04～1.79 | 0.56～1.21 |
| 6 | 1.79～2.17 | 0.85～1.56 | 1.12～1.91 | 0.97～1.12 |
| 7 | 1.42～1.98 | 0.83～2.58 | 1.42～2.24 | 1.52～2.18 |
| 8 | 1.09～1.16 | 1.67～2.34 | 1.39～2.16 | 1.97～3.82 |

-6に示した。両事業場とも海上小割での飼育密度の方が陸上水槽よりも高い結果となっている。すなわち、海上小割では1 m³当り魚体重1.5～2kg前後で親魚養成が行われていたのに対して、産卵試験等を行う陸上水槽では若干低下させて1 kg/m³前後の飼育密度となっている。これは、海上小割での養成に比べて陸上水槽では海水交換率が極めて低く、水槽底部に蓄積される残餌や排泄物による飼育環境水の汚濁や酸素欠乏の防止および陸上水槽での疾病発生の予防を考慮した結果と考えられる。これらの親魚の飼育密度と産卵数との関係については、厳密な実験は行われていないが、このような密度条件で養成および産卵試験を行った場合でも、その後の産卵等には特に問題はないことが経験的に知られている。

高密度飼育によるストレスが疾病の引き金ともなり得る可能性に関しては、主にサケ科魚類で社会的相互関係 (social interaction) による social stress あるいは crowding stress として多くの研究がなされている (Barton *et al.*, 1980; Pickering *et al.*, 1982; Pickering and Pottinger, 1987; Laidley and Leatherland, 1988; Mazur and Iwama, 1993)。海産魚でもシマアジでは水槽への収容密度を通常の3倍 (1.78kg/m³) に高めて収容することにより、対照区 (0.59kg/m³) と比較してストレスの指標である血液中の cortisol 濃度の有意な上昇が見られることから、高密度飼育がストレスとなり得ることが明らかにされている (虫明, 未発表)。したがって、ブリの場合にもその可能性は十分に考えられる。

(3) 養成飼餌料

従来海産魚類の親魚養成用の餌料には主に生餌 (Raw fish: RF) が用いられてきた。ブリの親

魚養成もその例外ではなく、マイワシ、カタクチイワシおよびマサバなどの RF 中心の給餌が行われてきた。これらの RF をブリに長期間単独投与することは、ビタミン B₁₂ 欠乏症を引き起こし、時には大量死を招くことが報告されている (石原ら, 1974a, 1974b)。また、ビタミン C 欠乏により高い死亡率を示すことや酸化油を餌料に添加して与えることによる背こけ病の発生も報告されている (坂口ら, 1969; 坂口・浜口, 1969)。RF 給餌による親魚養成には、近年の資源量の変動に伴い RF 餌料そのものが漁獲量に左右されやすいこと、品質の安定した餌の入手が困難なこと、残餌による漁場環境汚染の可能性が高いこと、添加物質等が餌から溶出しやすく魚体内への取り込み効率が悪いこと、および餌由来の病原微生物の侵入が懸念されることなど多くの問題点を含んでいる (表 I-7)。そのため、能勢 (1980) は、RF 給餌による飼育からモイストペレット (Moist pellet: MP) 給餌による飼育への移行の必要性を次のように述べている: 「冷凍魚をそのまま給餌した場合には餌中のタンパク含有率が著しく高くなり、摂取タンパク質の大部分はエネルギー源として消費されてしまうために、著しいタンパク質の浪費が行われている。配合飼料化あるいは MP 化によって飼料中のタンパク質・カロリー比を適切に維持することにより、約30～40%のタンパク質を節約できる可能性がある。現在、約100万トンを超える生魚が餌として使用されていることを考えると、配合飼料化あるいは MP 化の効用は大きいと考えられる」。このような理由から、後述するような比較的品質が安定し各種栄養物質を容易に添加しやすい MP あるいはソフトドライペレット (Soft dry pellet: SDP) によるブリ親魚の養成技術の開発が強く望まれている。

表 I-7 親魚養成における各種飼餌料の長所と短所

| 種 類 | 長 所 | 短 所 |
|---------------------------------|---|--|
| 生 餌 (RF) | <ul style="list-style-type: none"> 嗜好性が高い 餌付きが良い | <ul style="list-style-type: none"> 入手量が漁獲量に左右される 漁獲時期により餌の品質が不安定 変質しやすい 餌料のロスが多い 残餌による漁場環境汚染 添加物質が溶出しやすい 病原微生物侵入の懸念 |
| モ イ ス ト ペ レ ッ ト (MP) | <ul style="list-style-type: none"> 組成の改変が自由 各種栄養物質の添加が容易 各種薬剤の添加が容易 | <ul style="list-style-type: none"> 餌の品質がやや不安定 調餌作業が煩雑 |
| ソ フ ト ド ラ イ ペ レ ッ ト (SDP) | <ul style="list-style-type: none"> 長期間品質が安定 環境汚染の可能性が低い 調餌作業に労力を要しない 病原微生物侵入の可能性が低い | <ul style="list-style-type: none"> 餌付きが悪い 各種薬剤等の添加が比較的困難 |

一方、日裁協では、昭和52年からブリの親魚養成技術開発に着手し、昭和53年に古満目事業場でマサバを給餌した養成親魚を用いてホルモン注射による誘発産卵〔後述Ⅱ-2-(4), p.19脚注〕に成功した(古満目親魚養成前進基地, 1978)。しかし、RF給餌による親魚養成には、前述したように様々な問題点がある。このような理由から、近年他魚種でも親魚育成用配合飼料の開発が急速に進められ、すでにマダイでは卵質向上等に有効な親魚飼料が開発されている(Watanabe *et al.*, 1984a, 1984b, 1984c; 渡邊, 1985)。ここでは、古満目事業場において行ったMPおよびSDPを用いたブリ親魚養成について述べる。

1) モイストペレットの給餌

古満目事業場ではブリ親魚の成熟および産卵に有効なMPを開発することを目的に昭和56年から水産庁養殖研究所との共同研究を開始し、昭和60年にはかなり良い成績が上げられるようになった(新井ら, 1986; 新井, 1990)。先ず、従来行ってきたRFを用いたブリの親魚養成に比べ、多くの利点を有するMPがブリの親魚養成および採卵に有効か否かを人工授精による採卵で比較検討した。次いで、MPにビタミンEとn3系高度不飽和脂肪酸を強化した場合の成熟促進効果について検討した。

供試魚は毎年11月頃養殖業者から成魚(養2)を購入し、日裁協古満目事業場の海上小割(10×

10m)に収容して飼育した。養殖場で飼育されていた時の餌料のほとんどがマイワシであった。昭和60年から平成元年の間に行った養殖ブリの養成試験の給餌内容を表I-8に示した。対照区としたRF給餌区においては、昭和62年以外の年は12月末までマサバとマアジを等量給餌し、1月からはこれらの他にスルメイカを加えて給餌した(マサバ:マアジ:スルメイカ=2:2:1)(以下RF-1)。昭和62年の場合はマイワシのみを与えて親魚養成を行った(以下RF-2)。一方、試験区には、水産庁養殖研究所で処方した配合飼料(以下養殖研配合と略記;表I-9)と魚介肉ミンチ(マサバ:マアジ:エビ(種不明)=2:1:1)を等量混合して円柱状に造粒したMP(長さ7cm×直径3cm)を給餌した。なお、各年とも採卵の15日前からはイカ肝油(理研ビタミン)6%のうち3%を、アスタキサンチンを含むオキアミ抽出油(日本水産)に置換して添加した(以下MP-1)。また、昭和63年以降は、1月から養殖研配合にさらにビタミンE(αトコフェロール:外割2%)とイカ肝油(外割6%)を追加してこれらの強化を図った(以下MP-2)。平成元年には市販のハマチ用配合飼料(丸紅飼料)を用いて、MP-2と同じ割合でビタミンE、イカ肝油およびオキアミ抽出油を添加したMP(以下MP-3)を作製して給餌し、MP-2を給餌した親魚と同様の採卵成績が期待できるかどうかを比較検討した。

表 I-8 昭和60年度～平成元年度におけるブリ親魚の餌料比較試験設定区

(虫明ら, 1993a)

| 年 度 | 対照区の餌料 | 試験区の餌料 |
|-------|----------------------------------|--|
| 昭和 60 | 混合生餌 (RF-1) (マサバ, マアジ, スルメイカ) | モイストベレット (MP-1) (養殖研処方配合飼料+生餌, 採卵15日前より イカ肝油の半分をオキアミ抽出油に置換) |
| 昭和 61 | 混合生餌 (RF-1) | モイストベレット (MP-1) |
| 昭和 62 | 生 餌 (RF-2) (マイワシ) | モイストベレット (MP-1) |
| 昭和 63 | 混合生餌 (RF-1) | モイストベレット (MP-2) (MP-1 にビタミンEとイカ肝油を追加して強化) |
| 平成 元 | 混合生餌 (RF-1) | モイストベレット (MP-2) モイストベレット (MP-3) (市販の配合飼料にビタミンE, イカ肝油および オキアミ抽出油を添加) |

表 I-9 水産庁養殖研究所以処方のブリ親魚用配合飼料の組成

(虫明ら, 1993a)

| 成 分 | 組成 (%) |
|-------------|--------|
| 北 洋 魚 粉 | 65.0 |
| イ カ ミ ー ル | 10.0 |
| ビ ー ル 酵 母 | 5.0 |
| グルテンミール | 1.0 |
| アルファスターチ | 1.8 |
| ビタミン混合物*1 | 2.0 |
| ミネラル混合物 | 1.0 |
| 微 量 金 属*2 | 0.2 |
| フィードオイル | 6.0 |
| イ カ 肝 油*3 | 6.0 |
| アミノ酸混合物*4 | 1.0 |
| バ イ ン ダ ー | 1.0 |
| 粗タンパク (乾物中) | 55% |

*1 ビタミン混合物の組成 (%) :

ビタミン B₁ 15.5, ビタミン B₂ 6.2, ビタミン B₆ 0.8,
ビタミン C 62.0, ビタミン E 15.5.

*2 微量金属の組成 (%) :

AlCl₃ 0.3, KI 0.3, CuCl 0.2, MnSO₄-H₂O 1.6, CoCl 2.0,
ZnSO₄ 6.0, クエン酸 59.5 およびセルロース粉末 30.1.

*3 人工授精を行う15日前からイカ肝油の半分をオキアミ抽出油に置換した.

*4 アミノ酸混合物の組成 (%) :

L-ヒスチジン 20.0, L-イソロイシン 10.0, L-シスチン 10.0,
L-トリプトファン 10.0 および L-デキストリン 50.0.

各餌料で飼育した雌親魚の卵巣卵が第三次卵黄球期 (卵径700~720 μm) に達した段階で背部筋

肉内にヒト胎盤性生殖腺刺激ホルモン (HCG : 後述) を注射し, 雌雄別に各小割 (5×5 m) に

收容した。注射48時間後に親魚を取り上げ精液および卵を搾出した。なお、各年とも人工授精による採卵およびその後の卵管理は、後述(Ⅱ-2およびⅢ-2)する方法で行った。

昭和60年から平成元年の間に行った餌料種類のブリの人工採卵結果を図Ⅰ-7に示した。昭和60年および昭和61年にはMP-1投与により、混合生餌のRF-1で養成した親魚の採卵成績と比較しても遜色のない採卵結果が得られた。また、昭和63年および平成元年の試験ではビタミンEとイカ肝油を補足強化したMP-2の使用により、MP-2区の雌親魚1尾当たりの採卵数とふ化仔魚数は著しく増加した。これらの成績は、過去に得られた天然親魚からの成績(雌1尾当りの採卵数およびふ化仔魚数が1986年にはそれぞれ275千粒および189千尾、1988年では196千粒および68千尾)(河野, 1988, 1990)と比較しても著しく高い値となっている。しかし、市販の配合飼料にMP-2と同様の栄養強化を図ったMP-3で養成した親魚では、MP-2区ほどの採卵成績は得られなかった。MP-2で飼育された親魚の成熟に効果を示した成分は不明であるが、採卵成績においてMP-2との間に差が認められ、市販の配合飼料を栄養強化したMP-3が必ずしも採卵用のブリ親魚養成に適していないことが明らかにされた。いずれにしても、ビタミンEとイカ肝油を添加したMP-2を給餌して養2(表Ⅰ-1参照)親魚を約5か月間飼育することで、採卵用親魚(養3)として養成し得ることが明らかとなった(虫明ら, 1993a)。

なお、昭和62年にはMP-1区よりもRF-2区の方が良い成績を示したが、これは養殖業者からの試験魚の入手が遅れたため馴致に時間がかかり、MP-1に十分馴致できなかったことが原因と考えられる。

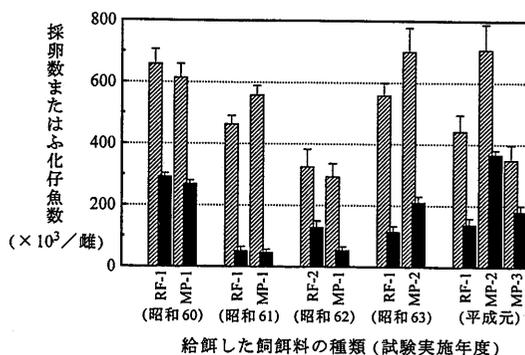
マダイでは、産卵前あるいは産卵期間中に冷凍オキアミを親魚に給餌することにより、採卵成績並びに卵質が向上することが報告されている(Watanabe *et al.*, 1984d, 1985a, 1985b, 1991a, 1991b)。今回の養殖ブリを用いた試験においても、RF-1とMP-1を給餌した親魚からの卵の平均油球数(正常な卵の油球数は1個)に有意な差が認められ、採卵前のイカ肝油からオキアミ抽出油への置換(MP-1)によって卵質の向上が見られた。

今回の試験において、各試験餌料で飼育したブリ親魚の排卵を促すためにHCG注射を行い、そのホルモン注射量は600IU/kg・BWを基準注射量とした。これは後述(Ⅱ-2)するように卵巢の成熟段階が第3次卵黄球期に達したブリを用いてHCG注射量別に人工授精による採卵を行った結果、600IU/kg・BW注射区で最も採卵数が多く、しかも浮上卵率が高い結果が得られたためである。

2) ソフトドライペレットの給餌

前項において、ブリ親魚の成熟および産卵に対するMPの有効性を確認した。また、近年ブリにおいて育成用配合飼料として開発されたSDPを給餌することにより成長への有効性も確認されている(Watanabe *et al.*, 1991c; Viyakarn *et al.*, 1992)。SDPの利点は、表Ⅰ-7に示したようにMPと同様に餌料組成を自由に改変でき、その品質がRFよりは比較的安定していることが挙げられる。また、将来的にブリ親魚の養成餌料の完全配合化を目指すことは、RF給餌による漁場環境の汚染(窒素やリンの餌からの溶出および魚からの排泄)を軽減するためにも重要な要素を含んでいる。そこで、その手始めとして、まず市販されているSDPを給餌したブリ親魚からの採卵が可能であるかどうかについて検討した。

試験は、混合したRF、MPおよび市販SDPをそれぞれ給餌した親魚群(天1)を用いてHCG注射による誘発産卵および人工授精により、その効果を把握することを試みた。



図Ⅰ-7 異なる飼餌料を給餌したブリ親魚群からの人工授精による採卵結果 (虫明ら, 1993a)
 ▨ : 採卵数, ■ : ふ化仔魚数
 RF-1, RF-2, MP-1, MP-2およびMP-3については表Ⅰ-8を参照。

RF, MP および SDP で養成したブリ親魚の誘発産卵試験では、雌親魚 1 尾当りの採卵数およびふ化仔魚数で比較すると、[SDP 区] > [MP 区] > [RF 区] の順に良好な採卵成績を示した (図 I-8 A)。その産卵状況を図 I-9 に示したが、いずれの試験区においてもこれまで同様に、産卵数は産卵初日に最も多く次第に減少する傾向を示した。一方、人工授精による採卵試験では [SDP 区] ≒ [MP 区] > [RF 区] となった (図 I-8 B)。これらの試験結果から SDP 給餌によるブリ親魚養成の可能性が示唆され、今後さらに SDP の利点を生かして、組成の改善によるブリの産卵数の増加あるいは卵質の向上の可能性を検討する必要がある (虫明ら, 1995)。

RF, MP および SDP で養成した親魚から得られたすべてのふ化仔魚について飢餓耐性試験を行い、その結果を元に無給餌生残指数 (Survival activity index : SAI) (新聞・辻ヶ堂, 1981) (III-3 で詳述) を算出した。その結果、いずれの試験区の親魚から得られた仔魚の SAI も、産卵初期の仔魚で高く次第に低下する傾向が認められた (図 I-10)。各飼餌料を給餌した親魚群から得られた仔魚の SAI 値の間には有意な差は認められなかった。得られた仔魚の SAI 値から判断しても、ブリ親魚養成における SDP 給餌の産卵への有効性が示唆された (虫明ら, 1995)。なお、産卵初期に高い SAI 値を有する仔魚が得られるの

は、これまで行ってきたブリの HCG 注射による誘発産卵試験結果と同じであり、産卵初期の仔魚を種苗生産に供することによって比較的高い初期生残率が得られるものと考えられた。

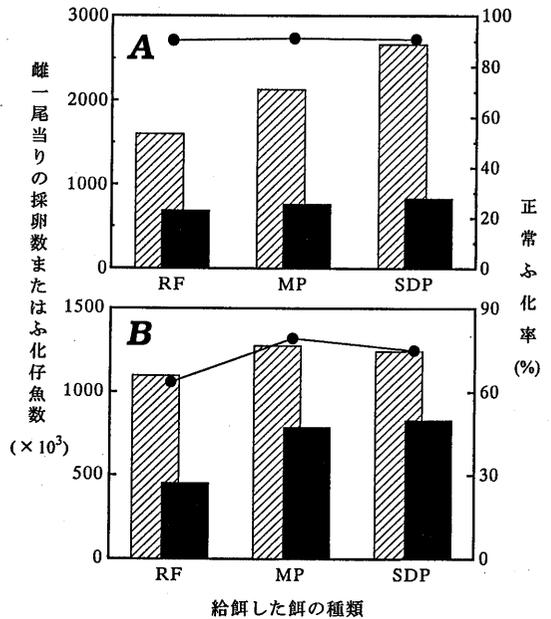


図 I-8 異なる飼餌料を給餌したブリ親魚群の誘発産卵試験 (A) および人工授精試験 (B) の結果 (虫明ら, 1995)

▨ : 採卵数, ■ : ふ化仔魚数,
● : 正常ふ化率

RF : 混合生餌, MP : モイストペレット,
SDP : ソフトドライペレット

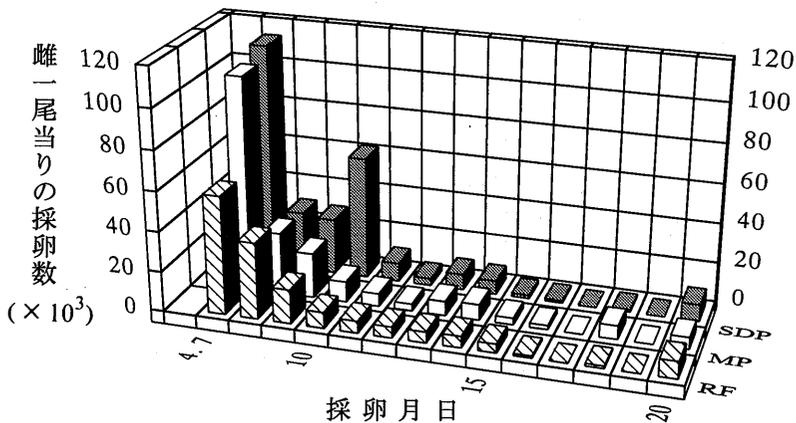


図 I-9 異なる飼餌料を給餌したブリ親魚群の誘発産卵結果 (虫明ら, 1995)

RF : 混合生餌, MP : モイストペレット, SDP : ソフトドライペレット

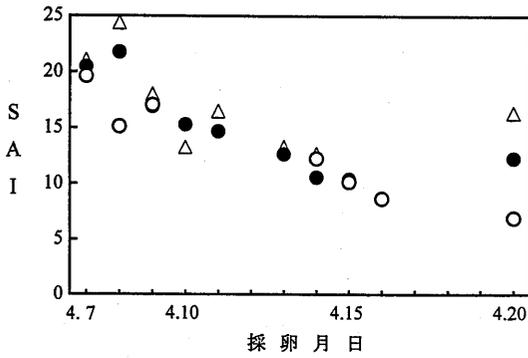


図 I-10 異なる飼餌料を給餌したブリ親魚群から得られたふ化仔魚の SAI の経時的変動 (虫明ら, 1995)

○：混合生餌，●：モイストペレット，△：ソフトドライペレット

3) アスタキサンチンを添加したソフトドライペレットの給餌

前述したように MP にアスタキサンチンを添加することにより、ブリの卵質向上の可能性が示唆されたため (虫明ら, 1993a), SDP についても同様にアスタキサンチンの添加効果の有無について検討した。まず、SDP へのアスタキサンチン添加の有効性を把握するために、10%のオキアミミールを添加した SDP を給餌した。有効性の評価は、各試験飼餌料 (RF, MP および SDP) を給餌した親魚群 (養4) を用いて HCG 注射による産卵誘発試験の採卵成績を比較することによ

り行った。

その結果、雌親魚 1 尾当りの採卵数では MP 給餌区で最も高い値を示したが、ふ化仔魚数では SDP 給餌区が最も高かった (図 I-11, Watanabe *et al.*, 1996)。得られた卵の卵質を浮上卵率、受精率およびふ化率で評価すると、[SDP 区] > [MP 区] > [RF 区] の順に良好な結果を示した (図 I-12, Watanabe *et al.*, 1996)。これらの結果は、SDP へのアスタキサンチン添加により卵質が向上されることを示している。

次いで、SDP へのアスタキサンチンの適正添

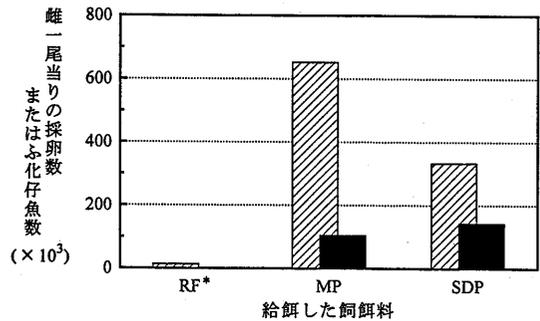


図 I-11 ソフトドライペレットのアスタキサンチン添加の有効性に関する誘発産卵試験の結果 (Watanabe *et al.*, 1996より作成)

▨：採卵数，■：ふ化仔魚数
RF：混合生餌，MP：モイストペレット，SDP：ソフトドライペレット

*RF 区はふ化せず

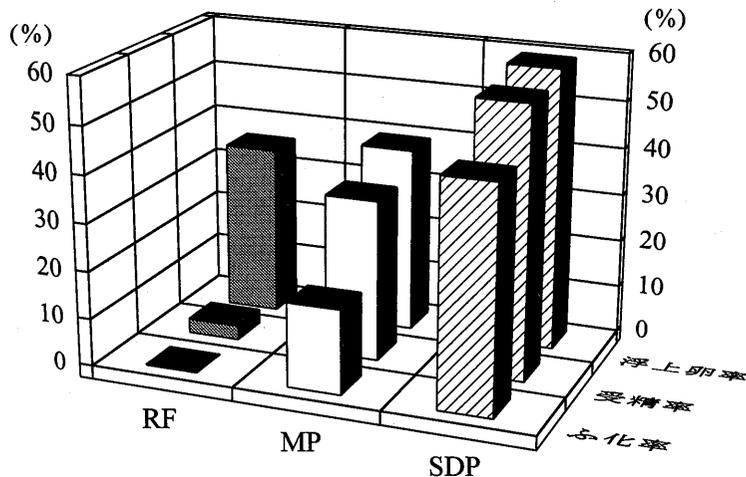


図 I-12 ソフトドライペレットのアスタキサンチン添加の有効性に関する試験における卵質の評価結果 (Watanabe *et al.*, 1996より引用)

RF：混合生餌，MP：モイストペレット，SDP：ソフトドライペレット

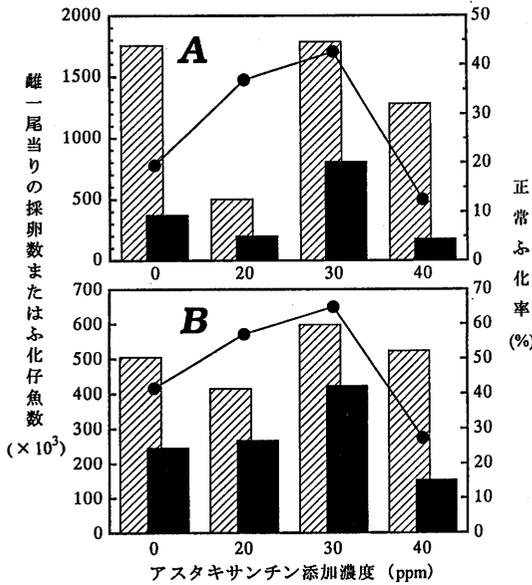


図 I-13 アスタキサンチン添加濃度の異なる配合飼料 (SDP) を給餌したブリ親魚群の誘発産卵試験 (A) および人工授精試験 (B) 結果 (Verakunpiriya *et al.*, 1997より作成)
 ▨: 採卵数, ■: ふ化仔魚数, ●: 正常ふ化率

加濃度について検討した。試験はアスタキサンチンを含まない SDP (0 ppm; 対照区), アスタキサンチンを 20, 30 および 40ppm 添加した SDP を

それぞれブリ親魚群に給餌して飼育を行い, HCG 注射による誘発産卵並びに人工授精による採卵成績で評価した。その結果, 誘発産卵および人工授精ともアスタキサンチン 30ppm 添加区で最も良い採卵成績が得られた (図 I-13, Verakunpiriya *et al.*, 1997)。なお, 40ppm 添加区ではアスタキサンチンの過剰投与が原因と考えられる成熟阻害により採卵成績は良くなかった。

これまで述べた結果を要約して表 I-10 に示した。先に述べたようにブリの親魚養成, 特に採卵成績の面で従来の RF 給餌と比較しても遜色のない MP が開発され, また, ビタミン E, n3-HUFA あるいはイカ肝油などを添加することにより RF 給餌よりも優れた採卵成績を示すことがわかった。しかし, 市販されている配合飼料を用いて同様に栄養強化しても期待されたような結果は得られなかった。さらに, SDP 給餌においてもその有効性が確認され, 特に, 雌 1 尾当りのふ化仔魚数の増加にみられるように卵質の向上にはアスタキサンチン (30ppm) の添加が有効であることが示された。ただし, アスタキサンチンに限らず, 特定の物質を過剰に添加することは逆効果をもたらすことから, 適正添加量を検討する必要がある。

表 I-10 ブリの親魚養成用飼餌料に関する試験結果 (要約)

| 飼餌料の種類*1 | 給餌期間 | 給餌メニュー | 添加物質*2 | 成熟および産卵への効果*3 | 参考文献 |
|----------|-----------|----------|----------------------|---------------|------------------------------------|
| RF | 周年 | サバ, アジ | 総合ビタミン | △ | 古満目親魚養成前進基地 (1978) 虫明ら (1993) |
| | 産卵前 3 カ月間 | 上記+イカ | 上記+V-E | ○ | |
| MP | 産卵前 5 カ月間 | 養殖研配合+生餌 | V-E, n3-HUFA, イカ肝油*4 | ○ |] 虫明ら (1993) |
| | 産卵前 5 カ月間 | 市販配合+生餌 | V-E, n3-HUFA, イカ肝油*4 | △ | |
| SDP | 産卵前 5 カ月間 | 市販 SDP | なし | ◎ | 虫明ら (1995) |
| | 産卵前 5 カ月間 | 特製 SDP | オキアミミール10% | ◎ | Watanabe <i>et al.</i> (1996) |
| | 産卵前 5 カ月間 | 特製 SDP | アスタキサンチン30ppm | ◎ | Verakunpiriya <i>et al.</i> (1997) |

*1 RF: 混合生餌, MP: モイストペレット, SDP: ソフトドライペレット。

*2 添加物質 V-E: ビタミン E, n3-HUFA: n3系高度不飽和脂肪酸。

*3 効果判定 ◎: 採卵数およびふ化仔魚数とも良好, ○: 採卵数は良好であるが, 仔魚数およびその活力に問題がある, △: 採卵数およびふ化仔魚数とも問題がある。

*4 採卵の15日前からはイカ肝油 6%のうち 3%をオキアミ抽出油に置換して添加した。

(4) 疾病対策

ブリ親魚の順調な成熟を促進するために, 親魚

養成過程における各種疾病に対する防除対策は重要である。表 I-11 にブリの親魚養成過程におけ

表 I-11 ブリの親魚養成過程で見られた主な疾病の発生状況

| 病名 | 発生時期 | 被害状況 | 主な症状 | 対応策 | |
|-------------|----------------|------------------------------------|---|--|---|
| ウイルス性 疾病 | イリドウイルス 感染症 | 8～10月 (水温下降期) | 海上飼育で発生。 飼育群の20%程度 が死亡。 | 体色の黒化、脾臓の 腫大。 | ビタミンCの強化(1 %添加)。 |
| 細菌性 疾病 | レンサ球菌症 | 9～10月 (水温下降期) | 海上および陸上飼 育で発生。飼育群 の10～20%程度が 死亡。 | 狂奔遊泳、眼球の突 出や出血、鰓蓋内側 の出血および潰瘍、 心臓の外膜と脳の発 赤。 | エリスロマイシンを 50mg/魚体重1kg/日 の量で5～7日間投 与。投薬時には、給餌 量を通常の50%程度に 低減。 |
| | 滑走細菌症 | 4～5月 (人工授 精による 採卵後) | 海上飼育で発生。 飼育群の5%以下 程度が死亡。 | 口唇部のビラン、鰭 の欠損、体表がやや 白っぽい。 | ニフルスチレン酸ナト リウムによる薬浴と塩 酸オキシテトラサイク リンの経口投与。 |
| | ビブリオ病 | 5～7月 (水温上 昇期、薬 浴後に発 生) | 海上飼育で発生。 飼育群の5%以下 程度が死亡。 | 体表、肛門周辺の出 血、体表の潰瘍。 | 塩酸オキシテトラサイ クリンの経口投与。 |
| | ノカルジア症 | 1～2月 (低水温 期) | 海上飼育で発生。 飼育群の5%以下 程度が死亡。 | 皮下組織の潰瘍、潰 瘍から白色の膿の流 出。 | 塩酸オキシテトラサイ クリンの経口投与。 |
| | 類結節症 | 6～7月 (梅雨時 期) | 海上飼育で発生。 飼育群の5%以下 程度が死亡。 | 生簀の底で静止、体 色の黒化。 | アンピシリンの経口投 与。 |
| 寄生性 疾病 | はだむし症 | 周年 (特に水 温上昇 期) | 海上および陸上飼 育で発生。飼育群 の5%以下程度が 死亡。 | 体表のビランおよび スレ、ヤセ。 | 3～5分間淡水浴。 |
| | えらむし症 | 6～8月 (高水温 期) | 海上飼育で発生。 飼育群の5%以下 程度が死亡。 | 鰓の褪色、ヤセ。 | 濃塩水浴。海水に6～ 9%の食塩を添加し、 5分程度浸漬。 |
| | 白点病 | 2～3月 | 陸上飼育で発生。 飼育群の10%以下 程度が死亡。 | 体表に小白点。 | 他水槽へ親魚の移動。 換水量の増加。銅イオ ンの添加。 |

る疾病の発生状況を示した。本項では、これまでの親魚養成過程で発生し、実際に被害があった疾病を中心に、その発生時期、対処方法および予防法等について述べる。

1) ウイルス性疾病

近年報告されているブリの重要な疾病には、1990年にマガイで初めて報告されたイリドウイルス感染症(井上ら, 1992a; Nakajima and Sorimachi, 1994)と“黄疸症”(反町ら, 1993; Iida and Sorimachi, 1994)がある。前者は、これまでにブリのほかにカンパチ、シマアジ、スズキ、イシダイおよびイシガキダイなどのわが国の

重要な養殖対象魚種でも発生することが確認されている(井上ら, 1992b)。また、後者は血液中に認められる長桿菌に起因すると報告されているが(反町ら, 1993)、餌料の酸化脂肪によって黄疸症状が引き起こされる場合もあるようであり、特に、生餌等の餌料の品質管理の重要性も指摘されている(松岡, 1994)。現在のところ、ブリの親魚養成過程において大量の死亡を伴うウイルス性疾病の発生は、イリドウイルス感染症(平成10年夏期の古満目事業場での死亡事例)のみである。本事例は、近隣養殖場でのイリドウイルス感染症の発生が感染源となった水平感染と推定されてい

る。

また、本種の種苗生産過程ではウイルス性腹水症（江草・反町，1986）が発生し、計画通りの種苗生産ができない事例が見られている。この原因ウイルスは yellowtail ascites virus (YAV)（反町・原，1985）と呼ばれ、採卵用親魚から仔魚への垂直感染の可能性も示されている（一色ら，1993）。このような再生産に関与したブリのウイルス性疾病の防除対策に関しては、今のところ技術的に確立されていない。ウイルス性腹水症やウイルス性変形症（中島ら，1993；Maeno *et al.*, 1995）については、親魚からの垂直感染の可能性が示唆されていることから、今後、病原ウイルスの検出系の確立や疫学調査が必要と考えられる。

2) 細菌性疾病

養殖場におけるブリの細菌性疾病はこれまで数多く知られているが、*Enterococcus seriolicida* によるレンサ球菌症および *Pasteurella piscicida* による類結節症が特に重要とされている（松岡・室賀，1993）。また、ブリの親魚養成過程において、これまで親魚にレンサ球菌症、滑走細菌症、ピブリオ病、ノカルジア症および類結節症の発生が認められている。発生時期は、レンサ球菌症では主に9月から10月の水温下降期、ノカルジア症は1月から2月の低水温期に認められている。滑走細菌症およびピブリオ病では、人工授精による採卵終了後の4月から7月の間に発生が多い傾向にあった。類結節症では、梅雨時期に地先海域の塩分濃度が低下した時期に発生が認められている。被害状況は、仔稚魚期に発生した場合より死亡率は低い。レンサ球菌症では最高で飼育群の20%程度の死亡率が認められている。その他の細菌性疾病では大量の死亡が発生した事例は今のところ見られない。

海面小割や陸上水槽における瀕死の親魚の行動観察等から病原体による異常遊泳と想定できる疾病としては、レンサ球菌症および類結節症がある。前者では狂奔遊泳および生簀網への衝突、また、後者では生簀底での静止と体色の黒化が特徴的な症状として上げられる。

疾病発生後の対応策として、いずれも薬剤による経口投与で治療するが、ノカルジア症の場合、短期的には薬効は認められなかった。レンサ球菌症では、エリスロマイシンによる経口投与を行っ

たが、投与後3日目以降に摂餌が不活発となるため、投与開始日より給餌量を通常の50%程度に制限した。なお、薬剤の投与効果を向上させるためには、薬剤の海水中への溶出・逸散を防止する必要があるため、MPでの給餌が有効である。滑走細菌症およびピブリオ病の予防対策としては、網替え、親魚の移動および人工授精による採卵後のニフルスチレン酸ナトリウムによる薬浴が有効であった。レンサ球菌症の予防対策としては、RFから流出するドリップを低減するために、凍結したRF（サバの凍結切り身）や凍結MPを給餌したこともある。また、レンサ球菌症や類結節症に対しては予防免疫に関する研究も行われているが、有効なワクチンは開発されておらず、もっぱら抗生物質等による治療に依存している。疾病の防除対策では、早期発見が最も重要であり、毎日の行動観察を充分に行う必要がある。特に、給餌中に親魚に落ちつきがなく敏感な行動を示す場合は注意を要する。

3) 寄生虫性疾病

ブリの親魚養成過程における主な寄生虫性疾病として、*Benedenia seriolae* によるはだむし症、*Heteraxine heterocerca* によるえらむし症および *Cryptocaryon irritans* による白点病が認められている。主な発生時期は、はだむし症は周年認められるが、特に5月から7月の水温上昇期に本虫の大量の寄生が認められる。えらむし症は6月から8月の高水温時期に確認される。また、白点病は1回だけの発生であるが、古満目事業場の陸上水槽において平成9年2月から3月に認められた。被害状況は、はだむし症およびえらむし症では飼育群の5%以下の死亡があるに過ぎないが、白点病では10%程度の死亡が認められ、被害が大きい。

はだむし症および白点病では、親魚の行動および外観からある程度疾病を推察でき、前者では生簀網および水槽壁への親魚がこする行動や体表のすれで、後者では、水槽の側壁に設置された観察窓をとおして、夕刻近くの照度が低下した頃、親魚体表上で光る白点の存在で、疾病の発生を推察することができる。

疾病発生後の対応策として、はだむし症では3～5分間の淡水浴、えらむし症では5分程度の濃塩水浴（海水に6～9%の食塩を添加）を行った。また、白点病では、他の水槽への親魚の移動や換

水量の増加を行ったが効果は認められなかった。このため、最近では、銅イオン発生装置（和光技研（株）製）の導入により、注水に銅イオンを溶出させて飼育水中に添加する方法が試みられ効果をあげている。

えらむし症の予防策としては、親魚の体力低下時に発生しやすいことから、夏場に給餌量を増加させることが有効であった。また、白点病では、長期の陸上飼育で発生しやすいことから、3カ月以内の水槽換えが有効である。なお、細菌性疾病と同様に早期発見が最も重要であり、毎日の行動観察等を十分に行う必要がある。

また遡ると、昭和40年頃からブリの養殖等において、トリブチルスズオキシド（TBTO）が小割網の防汚塗料として使用され、寄生虫の防除に効力を発揮していた時代がある。しかし、この有機スズ塗料の環境汚染や魚への影響を懸念する声が高くなり、また食品としての養殖魚の安全性の観点から有機スズを含む防汚剤の毒性が問題となり（江草，1990）、現在では使用されていない。養殖場においては、この有機スズを含む防汚剤が使用されなくなってから、ブリのはだむし症の被害が増大しているようである。近年のはだむし症の防除対策としては、過酸化水素（商品名：マリンサワー）を用いた駆除も行われている。しかし日裁協では、親魚に対して安全でかつ有効な淡水浴で寄生虫の駆除を行っている。ただし、水道水を用いた淡水浴には注意が必要である。すなわち、夏期に淡水浴を行う場合には、水温上昇に伴い親魚の基礎代謝量が増加していることと海水中の溶存酸素濃度が低いことから、冬期の淡水浸漬時間（約5分）より短めに設定する必要がある。

II. 採 卵

内田ら(1958)が長崎県男女群島女島で初めてブリの人工授精に成功して以来、再生産に関する研究が継続されてきている。これまで、本種の種苗生産を目的とした天然親魚を用いた人工種苗の生産に関する研究は、昭和35年に近畿大学において人工ふ化の実験が行われ、2,000尾のふ化仔魚を得たのが最初である(原田, 1961, 1966)。その後、多くの人によって天然親魚からの種苗生産が試みられてきている(道津, 1962; 藤田ら, 1965; 榎田・落合, 1971), また、養成親魚からの採卵も可能ではあるが(榎田ら, 1969; 広沢, 1972; 藤田ら, 1977; 落合・榎田, 1979; 有元ら, 1987), 天然親魚からの採卵結果と比較すると採卵数が少なく受精後のふ化率等もかなり劣ることが指摘されてきた。一方、天然親魚の場合には、産卵期における定置網の漁獲量に左右されるため、安定した親魚の確保が次第に困難な状況になってきている。このような理由から、日裁協ではブリの受精卵あるいはふ化仔魚を計画的かつ安定的に確保するために、前章で述べたような点に留意して親魚養成を行ってきた。

ここでは、成熟期に達したブリ親魚の成熟度の調査方法、親魚からの採卵方法および養成している海域における産卵期よりも早い時期での採卵(以下 早期採卵)を目的とした親魚の成熟促進方法について、これまでに得られた知見について述べる。

なお、本稿においてはブリの採卵手法に関する用語の使い分けとして、「人工授精による採卵」*¹、「自然産卵」*²および「誘発産卵」*³に区別することとした。

1. 成熟度調査

健全な種苗の量産を行うには、まず、良質な受精卵を大量に確保することが重要である。特に、ブリでは最終成熟期が短時間で終了するため退行

卵の出現も早く(有元ら, 1987), ホルモン注射のタイミングを逸さないことが特に重要と思われる。このため、定期的に成熟状況を調査し、適切な時期でのホルモン処理が必要である。以下に、その調査方法やこれまでに得られた結果について述べる。

(1) 生殖腺指数と卵巣卵径

1) 成熟に伴う生殖腺指数と卵巣卵径

五島事業場において養成したブリ親魚の GSI と卵巣中の最大卵径群の平均値(以下平均卵巣卵径と記す)との関係について検討した。供試魚には定置網で漁獲し海上の円形小割(前述)あるいは陸上水槽(前述)で養成した雌親魚36尾を用いた。漁獲直後の大きさは平均体重5.6kg(3.2~7.8)であり、1~3年間養成した後の成熟調査時の大きさは9.7kg(6.4~12.5)であった。調査期間は12月中旬から4月中旬までの本種の成熟期とした。養成期間中の水温は、12.2~18.3℃であった。卵巣卵は、カニューレ(写真II-1)を生殖孔より挿入して卵巣の一部をサンプリング(写真II-2)した後、0.8%生理食塩水中に移してピンセットでほぐした。卵巣卵径の測定は、個体別に卵巣卵中の最大卵径を有する群50粒を万能投影機で測定し、平均卵巣卵径を求めた。

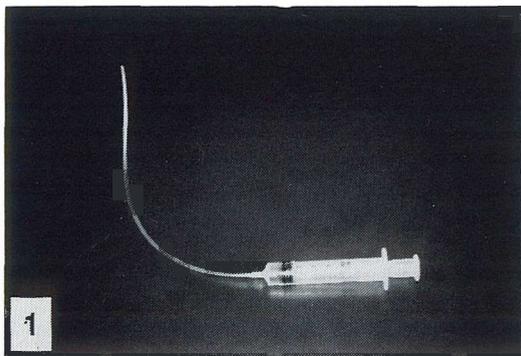
その結果、卵黄形成以前の未熟な成熟段階では、GSIは2以下で平均卵巣卵径も200 μ m以下であった(図II-1)。その後、GSIが3以上で平均卵巣卵径が300 μ m以上に達する段階から卵黄形成が認められ、6以上に達すると平均卵巣卵径700 μ m以上の第三次卵黄球期の卵が多く観察され(廣瀬私信)、ホルモン注射により採卵することができた。

以上の結果、本種では GSI と平均卵巣卵径の増大傾向がほぼ一致することから、成熟状況を把握する手段として、卵巣卵径を測定することによ

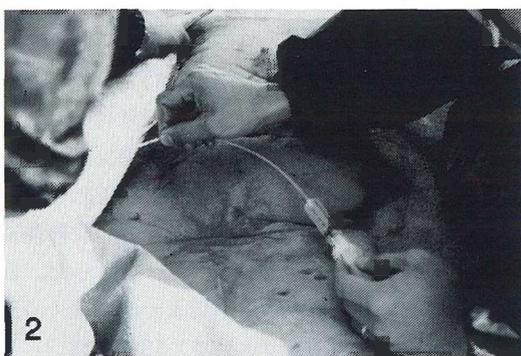
*¹ 人工授精による採卵：成熟親魚にホルモン注射を行って排卵を誘起した後に、雌雄の各個体から採卵あるいは採精し、乾導法あるいは湿導法により人為的に授精を行い受精卵を得ることを指す。

*² 自然産卵：最終成熟・排卵促進のためのホルモン処理をしない水槽内産卵を指す。

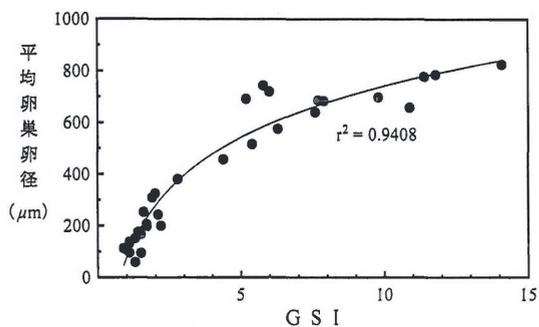
*³ 誘発産卵：ホルモン処理や環境要因の制御を用いた水槽内産卵を指す。



写真II-1 親魚の生殖腺サンプルの採取に用いたカニューレ



写真II-2 親魚生殖孔からのカニューレ挿入による卵巢サンプルの採取状況



図II-1 ブリ雌親魚の GSI と平均卵巢卵径との関係 (五島事業場)

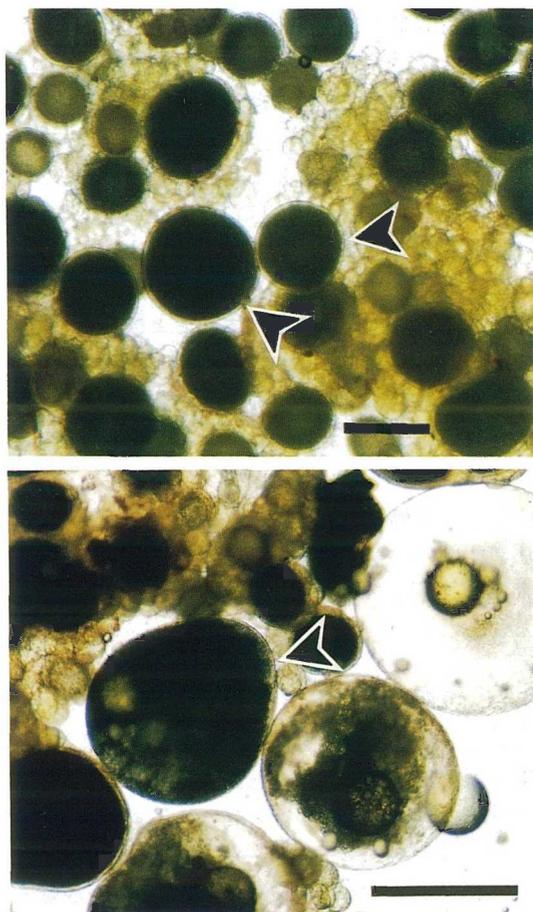
りある程度の成熟状況を推察できると考えられた。

2) 退行変性卵

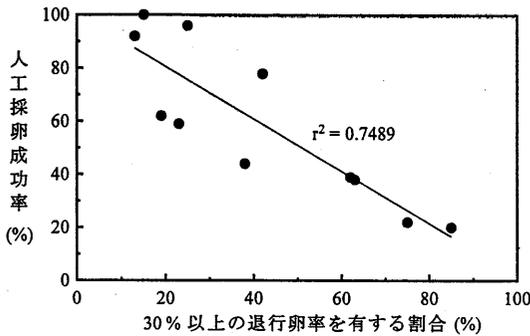
養成した親魚の成熟状況を判定するための手段として、上述したカニューレを用いる方法がある。簡易的に卵巢卵の退行状況を判別する方法として、予め生理食塩水を 3 ml 程度入れた透明な

チューブ等に卵巢卵をサンプリングし、この濁りの度合いで判断する方法がある。退行変性卵（以下単に退行卵と記す）の少ない卵巢卵では生理食塩水は透明のままであるが、退行卵を多く含む卵巢卵では濁りを生じる。顕微鏡下での卵巢卵径測定時には、最大卵径群の卵の細胞質が不透明で形が変形（正常卵は円形）しているもの、あるいは卵黄の色が褪色している卵（透過光で正常卵は黒っぽい）を退行卵の目安とする（写真II-3）。

五島事業場において、人工授精による採卵に供した親魚群の最大卵巢卵径群中に占める退行卵の割合（退行卵率）とその後の人工授精における採卵成功率（10万粒以上の採卵ができた個体の割合）との関連について検討した。その結果、採卵供試魚の中で30%以上の退行卵率を有する個体の割合が全体の20%以下の場合には、採卵成功率は80%以



写真II-3 ブリの卵巢中に見られる正常発生卵（上；50×）と退行変性卵（下；100×）
スケールは500 μm を示す



図II-2 ブリの採卵親魚群中の30%以上の退行卵率を有する個体の割合と人工授精による採卵の成功率との関係（五島事業場）

上と高く、逆に30%以上の退行卵率が高い場合は採卵成功率は低くなる傾向が認められ、採卵成績は卵巣卵径のみでなく、卵巣中の退行卵の割合によっても左右された（図II-2）。そのため、卵巣卵中の退行卵の割合についても調査する必要があると考えられた。なお、本種では成熟段階が進むにつれて退行卵率は高くなる傾向があり、平均卵巣卵径と退行卵率との関連からホルモン注射の時期を選択しなければならない。

(2) 血液性状

栽培漁業における優良な親魚の養成は、給餌する飼餌料にも大きく影響を受けている。しかし、たとえ成熟あるいは産卵に有効な飼餌料を給餌して優良産卵親魚を養成できたとしても、その親魚が真に優良親魚であるか否かの評価を下すには、その後の誘発産卵あるいは人工授精等による採卵成績との関連から推察せざるを得ないのが現状で

ある。そのため、産卵期直前における産卵親魚としての適正度あるいは健康度を把握できるような評価法があれば、その後の採卵成績を予想する上での有効な指標になり得る。また、その指標項目に影響を及ぼす飼育要因を特定し親魚養成の技術開発にフィードバックできれば、現状よりも科学的かつ合理的な技術開発が目指せるものと考えられる。

池田・舞田（1993）は血液による養殖魚の健康診断で次のように述べている：「血液検査の持つ診断技法としての特性を生かす道は、検査した魚群がその後どのような転帰をたどるかを高い確率で予測することにある。このことにより、取り得る対処法の選択肢の幅を拡げ、最善の策、または次善の策を科学的根拠に基づいて講じていくことを可能にするということである」。このような考え方は、これまで養殖場において事前に養殖種苗の異常を察知する手段として主に魚病対策として導入されてきた。しかし、可能性としては産卵親魚の評価にも応用し得ると考え、産卵期直前の血液性状とその後の採卵結果との関連を調べた。

1) 血液検査項目

産卵期直前におけるブリ親魚の血液性状検査の項目には、池田・舞田（1993）を参考に、ヘマトクリット、総タンパク、総コレステロール、アルカリフォスファターゼ、グルコース、トリグリセライド（TG）、グルタミン酸オキザロ酢酸トランスアミナーゼおよびグルタミン酸ピルビン酸トランスアミナーゼの計8項目とした（表II-1）。これらの検査項目のうち、ヘマトクリットを除く7項目は採血後に分離した血清を用いてビジョン

表II-1 ブリ親魚の血液検査項目と一般的な意味

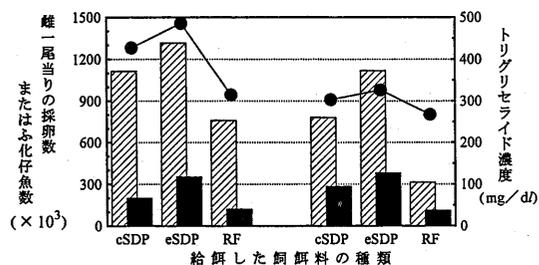
| 検査項目 | 略号 | 検査試料 | 検査の意味 |
|---------------------------|------|------|------------------------------|
| ヘマトクリット | Ht | 全血 | 血液中の赤血球の割合、貧血の指標 |
| 総タンパク | TP | 血清 | 栄養状態の指標 |
| 総コレステロール | TCHO | 血清 | 肝機能や体内脂質代謝の指標 |
| アルカリフォスファターゼ | ALP | 血清 | 肝機能の指標、生体内作用は多様 |
| グルコース | GLU | 血清 | エネルギー源の一つ、ストレスにより上昇 |
| トリグリセライド | TG | 血清 | 中性脂肪の一つ、生体のエネルギー源 |
| グルタミン酸オキザロ酢酸 トランスアミナーゼ | GOT | 血清 | 細胞質内でのATP変換に重要な役割を持つ肝機能の指標 |
| グルタミン酸ピルビン酸 トランスアミナーゼ | GPT | 血清 | GOTとともに糖新生が促進される時に誘導され肝機能の指標 |

システム（ダイナボット社製）による自動分析を行った。また、ヘマトクリットは採血後にヘマトクリット管を用いて常法により測定した。

2) 採卵結果との関連

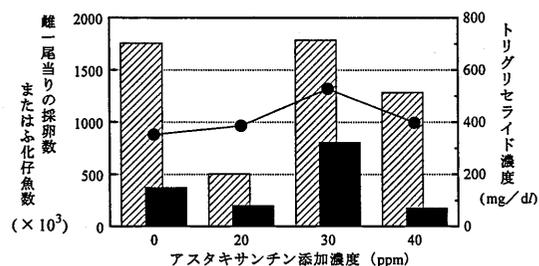
上記8項目のうち、ブリの採卵結果と相関性が見られたのはTGのみであった。ここでは、その結果について述べる。

異なる飼餌料(cSDP：市販ソフトドライペレット, eSDP：ビタミンCおよびEで栄養強化したSDPおよびRF：混合生餌)を給餌して養成した親魚群の産卵期直前における血清TG測定結果と採卵成績との関連を図II-3に示した。2回の試験を行った結果、いずれもeSDP区の雌親魚群でTG濃度が最も高く、その後の産卵試験でも



図II-3 2回の異なる飼餌料を給餌したブリ親魚群の産卵期直前における血清トリグリセライド濃度とその後の誘発試験産卵結果との関係(平成7年度日裁協年報)

●：雌親魚のトリグリセライド濃度の平均値,
 ▨：採卵数, ■：ふ化仔魚数
 cSDP：市販ソフトドライペレット, eSDP：
 栄養強化したソフトドライペレット, RF：混
 合生餌。



図II-4 アスタキサンチン添加濃度の異なる配合飼料を給餌したブリ雌親魚の産卵直前の血清トリグリセライド濃度とその後の誘発産卵試験の結果(平成8年度日裁協年報)

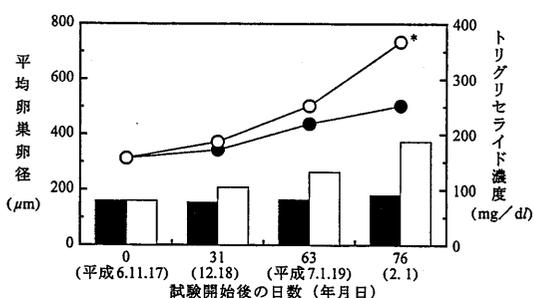
▨：採卵数, ■：ふ化仔魚数, ●：血漿トリグリセライド濃度の平均値

良好な成績が得られた。また、SDPへのアスタキサンチン適正添加濃度の把握を目的に行った採卵試験においても、30ppm添加区でTG濃度が高くなった(図II-4)。これらの結果は、産卵前の血清TG濃度の測定が産卵親魚としての優良なブリ親魚の評価手法の一つとなる可能性を示唆していると考えられた(虫明ら, 1998)。ただし、現段階ではブリの産卵親魚の評価手法として血液の生化学的検査を行うに当たっては、得られた数値のみの絶対的評価はまだできる段階ではない。今後、事例の蓄積が必要である。

3) 成熟との関連

次に、ブリの成熟との関連性の有無について検討した。後述するように成熟期のブリ親魚に対して、光および水温などの飼育環境条件を制御することにより、通常の産卵期よりも約2カ月早い2月に採卵できるようになった(Mushiake *et al.*, 1998)。ここでは、光および水温両条件を制御して行う成熟促進期間中の親魚の卵巣卵径の変動と血清中TG濃度との関連について述べる。

両条件制御区親魚の卵巣卵径と両条件無制御区(対照区)親魚とは試験開始63日後から差が見られるようになり、76日後には有意な差が生じた(図II-5)。そして、血清TGも同様に変動し、76日後には約2倍の差が認められた。TGは本来中性脂肪の一つで生体のエネルギー源となることはよ



図II-5 ブリの成熟期間中における平均卵巣卵径と血清トリグリセライド濃度との経時的変化(虫明ら, 1998; Mushiake *et al.*, 1998)

○：光および水温両条件制御区の平均卵巣卵径
 ●：両条件無処理区の平均卵巣卵径
 □：光および水温両条件制御区親魚のトリグリセライド平均値
 ■：両条件無処理区親魚のトリグリセライド平均値

*両区に統計的有意差あり ($p < 0.01$)

く知られている(表Ⅱ-1参照)が、成熟との関連性に関する知見はほとんどない。親魚の成熟が進むに従い何故 TG 濃度が上昇するかというメカニズムは不明であるが、このような現象からも TG がブリ親魚の成熟状況を推察するための評価手法の一つとなる可能性が示唆された(虫明ら, 1998)。

4) トリグリセライド (TG) の時期的変動

ブリ親魚の血清 TG の時期的変動の検討を行った。供試材料には、定置網で漁獲された天然魚を生餌で養成した親魚群、同天然魚を市販のソフトドライペレットで養成した親魚群、養殖業者から購入した成魚を生餌で養成した親魚群、および同養殖魚を市販のソフトドライペレットで養成した親魚群の4群を用い、これらの各親魚群について時期別に血清 TG を測定した。

その結果、いずれの親魚群においても血清 TG は雌雄を問わず成熟期後期の3月に最も高い値を示した(図Ⅱ-6)。それ以外の時期においては大

きな変動は見られなかった。この結果からも血液中の TG が成熟と何らかの関連性を有していると推察された。なお、これらの測定結果を個別にみると、血清 TG の濃度はおおむね [天然魚由来の親魚群] > [養殖魚由来の親魚群], また, [市販ソフトドライペレット給餌親魚群] > [生餌給餌親魚群] の傾向を示した。このことは、今後産卵親魚としての優良親魚を養成する上で、天然魚を市販ソフトドライペレットで養成するのが最も合理的な方法であることを示唆していると考えられた(虫明ら, 1998)。また、天然に市販ソフトドライペレットを給餌した群では、周年他の親魚群よりも高い値を示し、さらに成熟開始直前の11月にも明瞭な差があることは、親魚の選別に有効とも思われる。今回示された親魚の来歴や給餌飼餌料の他にも血清 TG 濃度を高め得るような飼育要因を見出し、その要因を実際の親魚養成過程にフィードバックしていくことが効率的な親魚養成技術の開発に結びつくものと考えられる。

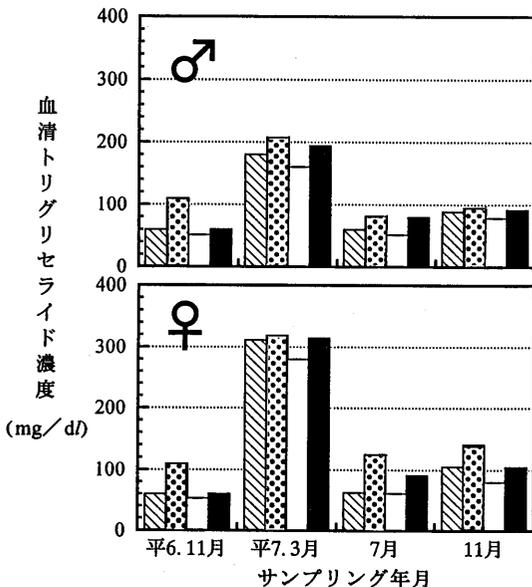
2. 採卵手法

古満目および五島両事業場において、それぞれ昭和53年および同56年より本種の親魚養成技術開発に着手した。ここでは、I章で述べた「親魚養成」により飼育された親魚群からの採卵手法に関して、これまで両事業場で得られた結果について述べる。

(1) ホルモン処理

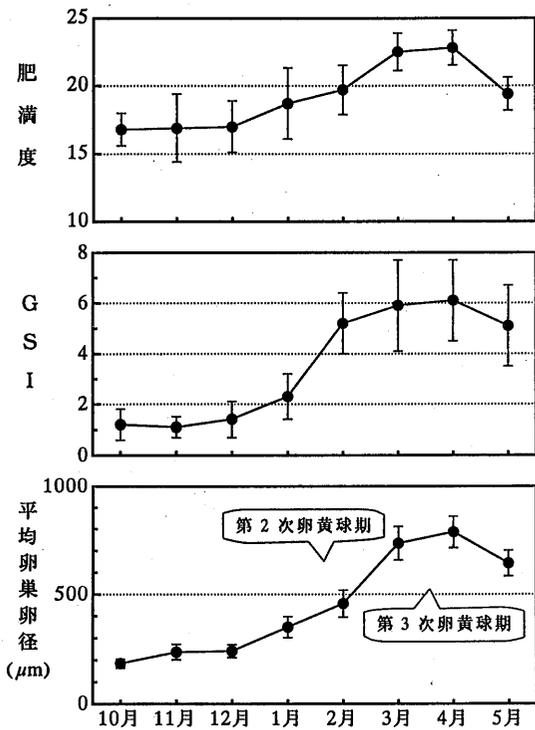
1) 卵巣卵径

古満目事業場の海上小割でモイストペレットを給餌して養成したブリ親魚群の肥満度、GSI および最大卵巣卵径の平均値の月別測定結果を図Ⅱ-7に示した。古満目事業場ではほぼ毎年2月初旬から中旬の間に年間最低水温(14~15℃)となり、いかなる飼餌料で養成した親魚群においてもその頃から急激に肥満度が上昇し始める。ここに示したのはその一例であるが、肥満度の上昇とともに GSI および最大卵巣卵径の値も上昇し始める。注目すべきは、11月の時点で最大卵巣卵径の平均値が $237 \pm 35 \mu\text{m}$ に達していることである。後述する早期採卵においては、同時期の平均卵巣卵径が $300 \mu\text{m}$ 以上であった。このような現象は、今のところ他の海域で養成したブリ親魚には見ら



図Ⅱ-6 ブリ親魚群の由来及び給餌飼餌料別にみた血清トリグリセライド濃度の周年変動(平成7年度日裁協年報)

- ▨ : 天然魚を生餌で養成した親魚群
- ▤ : 天然魚を市販ソフトドライペレットで養成した親魚群
- : 養殖魚を生餌で養成した親魚群
- : 養殖魚を市販ソフトドライペレットで養成した親魚群



図Ⅱ-7 プリ親魚の成熟に伴う肥満度、GSI および平均卵巣卵径の変動 (古満目事業場)

れていないことから、古満目海域でのプリ親魚養成における海域特性の一つと考えられる。

2) ホルモンの種類と量

排卵あるいは放精前の親魚の成熟を同調化させることを目的としてホルモン注射を行い、人工授精による採卵を行った。

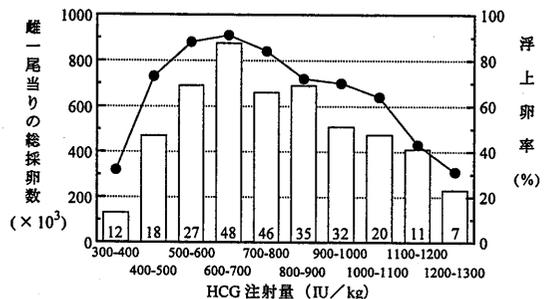
① ヒト胎盤性生殖腺刺激ホルモン (HCG)

ヒト胎盤性生殖腺刺激ホルモン (human chorionic gonadotropin: HCG) は排卵を目的に使用される一過性のホルモンで、元来妊娠時の胎盤絨毛組織から分泌され、黄体形成ホルモン作用を有し魚類の生殖腺刺激ホルモンと作用が似ていることから、ハクレン等の脳下垂体 (後述) の生殖腺刺激ホルモンに代わって広く魚類の成熟に利用されている (隆島, 1989)。

古満目事業場では、昭和61年から平成3年の6年間にわたって養成プリ親魚にHCG注射を行い、その後の人工授精による採卵試験結果から本種の産卵誘発に有効と考えられるHCGの適正投与量を把握することを試みた。その結果、600~

700IU/kg注射区の親魚から最も多くの卵 (平均総採卵数82.4万粒) が採卵でき、かつ浮上卵率 (90.4%) においても最も高い結果が得られた (図Ⅱ-8)。また、400IU/kg以下の注射区および900IU/kg以上の注射区では1尾当たりの採卵数は50万粒以下と少なく、浮上卵率も70%程度に低下する傾向が認められた。したがって古満目事業場では、プリ親魚の産卵を促進する場合のHCG処理は、魚体重1kg当たり600IUを注射するのが最も効果的であると考えた。

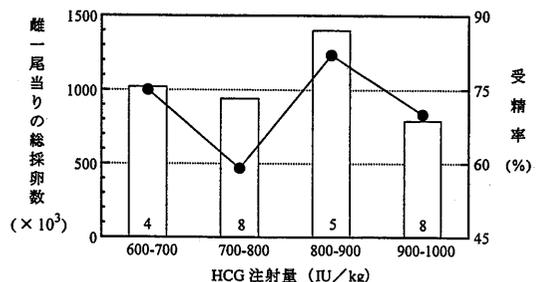
また、五島事業場においても同様の試験を行った結果、800~900IU/kg注射区で雌1尾当たりの総採卵数および受精率が最も高い結果が得られた (図Ⅱ-9)。古満目および五島事業場での雌親魚魚体重1kg当りのHCG適正注射量は、それぞれ600~700IUおよび800~900IUと異なった結



図Ⅱ-8 異なるHCG量を注射したプリ親魚の人工授精による雌1尾当たりの採卵結果 (虫明, 1996)

□: 総採卵数, ●: 浮上卵率

採卵数の中に示した数字は雌親魚の供試尾数を示す



図Ⅱ-9 異なるHCG量を注射したプリ親魚の人工授精による雌1尾当たりの採卵結果 (五島事業場)

□: 総採卵数, ●: 受精率

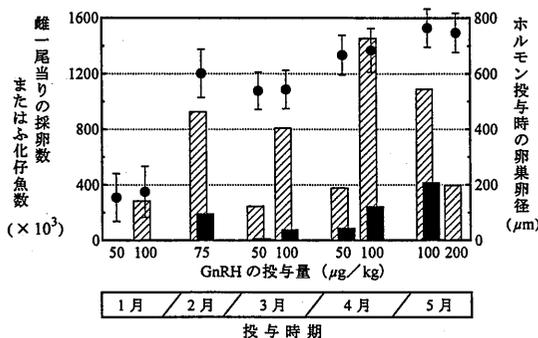
採卵数の中に示した数字は雌親魚の供試尾数を示す

果が得られたが、その原因は試験に供した親魚の養成海域の環境条件や成熟段階に違いがあったためと考えられる。しかし、いずれの事業場においても、以後の産卵試験ではこの濃度を基準にHCG注射を行い、特に産卵成績等に支障を来していない。今後、親魚養成を行う海域の環境条件と成熟状態に見合ったHCG注射量の関係を明らかにする必要があると考えられる。

② 生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン (GnRH)

近年、脳中の生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン (gonadotropin-releasing hormone: GnRH) を用いた魚類の成熟の促進および産卵の誘発に関する研究が、大西洋サケ (Crim *et al.*, 1986), マボラ (Lee *et al.*, 1987), マダイ (Matsuyama *et al.*, 1993), ギンダラ (Solar *et al.*, 1987) およびムシガレイ (奥村・栄, 1993) などの海産魚で行われてきている。GnRH を投与すると、脳下垂体の生殖腺刺激ホルモン (GtH) 生産細胞の活性が高まり、血液中の同ホルモン量を増加させる作用があり、ホルモン効果が期待できる (隆島, 1989)。なお、高等脊椎動物においては、卵胞刺激ホルモン放出ホルモンと黄体形成ホルモン放出ホルモンとがあり、それぞれFSHRHとLHRHと略記されている。

五島事業場では、このGnRHを徐放的に放出させ効果を長くするためにコレステロールペレットあるいはポリマーペレットによりブリの成熟促進試験を行ってきた。その結果、GnRHペレットを投与する時期によりブリの誘発産卵成績が異



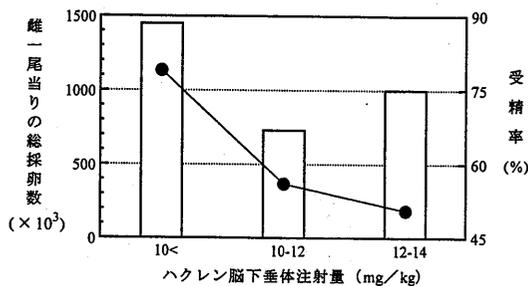
図II-10 ブリ親魚へのGnRHの投与量別および投与時期別にみた誘発産卵試験結果 (五島事業場)
 ▨: 採卵数, ■: ふ化仔魚数, ●: 最大卵巣卵径の平均値

なる結果を得ている (図II-10; 有元, 1990, 1991, 1992, 1993)。第二次卵黄球期以降の成熟段階では体重1kg当り50~100μgのGnRHの投与量が効果的で、さらに成熟が進んだ段階 (第三次卵黄球期) では100μg程度の濃度が有効と判断している (有元, 1990)。しかし、結論としては比較的長期間にわたって卵は得られるものの卵質に問題が残された、と述べている。したがって、現段階ではGnRHペレット投与による採卵の試みが行われているが、大量のふ化仔魚の確保には結び付いておらず、今後さらに詳細な検討が必要と考えられる。

③ ハクレン脳下垂体

ハクレンを始め、サケあるいはコイの脳下垂体を乾燥させて粉末にし、魚類の成熟を促進させた研究の歴史は古い。使用する際には、乳鉢でよく磨砕し生理食塩水に懸濁させた後に軽く遠心分離して得られた上清をシリンジにとる。産卵期の成魚から得られた脳下垂体には有効成分であるGtHが多く含まれているため効果が高いが、有効成分量が分からないまま使用することが多いので注意を要する (隆島, 1989)。

五島事業場において、ハクレン脳下垂体の適正注射量を把握するため人工授精による採卵試験で評価した結果、親魚の魚体重1kg当り10mg程度の投与量で比較的高い効果がみられた (図II-11)。しかし、この脳下垂体には上述したように有効成分量が不明なこととそれに代わるHCGの使用が手軽でかつ効果的であったことから、ブリのホルモン処理には現在はほとんど使用されていない。



図II-11 異なるハクレン脳下垂体注射量を投与したブリ親魚の人工授精による雌1尾当りの採卵結果 (五島事業場)
 □: 総採卵数, ●: 受精率

3) ホルモンの投与時期

ホルモン注射による産卵誘発を行うには、親魚の成熟段階が重要な指標となる。隆島 (1989) は、「排卵促進を目的としてホルモンを投与する場合は、卵巣卵の卵黄蓄積が完了した段階に達していることが前提である」と述べている。したがって、むやみにホルモンを注射しても期待するような採卵結果は得られない。ここでは、HCG と GnRH ペレットを使用する場合のホルモンの投与時期についてこれまでの試験結果について述べる。

① HCG

先に述べたように、HCG は排卵促進用のホルモンであることから、注射を行う時の親魚の成熟状態が重要である。HCG 注射を行う直前の親魚の卵巣卵をカニューレによりサンプリングし、第三次卵黄球期に達している卵巣卵が比較的多くを占める場合とまだ第二次卵黄球期が多くを占める場合とで、HCG 注射後の人工授精による採卵比較試験を行った。

その結果、第三次卵黄球期に達している卵巣卵が比較的多くを占める場合には雌親魚 1 尾当りの採卵数は約 100 万粒でふ化仔魚数では約 40 万尾が

得られた (図 II-12)。一方、第二次卵黄球期がまだ多くを占める場合にはそれぞれ約 50 万粒および約 15 万尾と採卵成績は良くなかった。したがって、HCG による産卵誘発を行う場合には平均卵巣卵径が $700 \mu\text{m}$ 以上の第三次卵黄球期の卵巣卵を多く有する親魚を選ぶことが重要であり、投与のタイミングを見計らう必要がある。

② GnRH

GnRH のコレステロールペレットは、前述のように親魚自身の GtH の分泌作用を促進させるホルモンであるため、比較的長期間にわたり採卵は可能であるが、大量のふ化仔魚の確保という観点からは検討すべき問題点が残されている。これには GnRH ペレットを投与する親魚の成熟段階にも影響を受けていることは容易に想像がつく。五島事業場で行われた試験においても、卵黄形成初期には成熟促進効果が認められていない (有元, 1990)。しかし、第二次卵黄球期以降では卵巣卵の成熟促進効果が若干認められている (図 II-10 参照) ことから、前述の HCG と同様に投与のタイミングが重要となってくる。

(2) 人工授精による採卵

1) 採卵時期

五島事業場において、HCG 注射を行って 48 時間、72 時間および 96 時間に 3 回の人工授精による採卵を行い、本方法における最適な採卵時期の検討を行った。その結果、雌 1 尾当りの採卵数と仔魚数、受精率およびふ化率のいずれもが HCG 注射 48 時間後に行った場合で最も高い値を示した (図 II-13)。また、HCG 注射後に各時間ごとに数尾を取り揚げた後、卵巣を摘出して GSI を求めるとともに卵巣の一部を検鏡して平均卵巣卵径の測定を行った。その結果、平均卵巣卵径は HCG 注射 36 時間後にはほぼプラトーの状態に達し、GSI は今回の設定時間内では 36 時間後を除いて上昇する傾向が見られた (図 II-14)。これらの結果から、HCG 処理後の人工授精による採卵のタイミングとしては、48 時間後が適正と考えられた。ただし、HCG 注射時に成熟が十分に進んでいない時、あるいは海上小割での自然水温が低い時には、48 時間後に大量に採卵できない事例もあった。このような場合、五島事業場では再度 52 時間後に人工授精を行って採卵できた事例もあっ

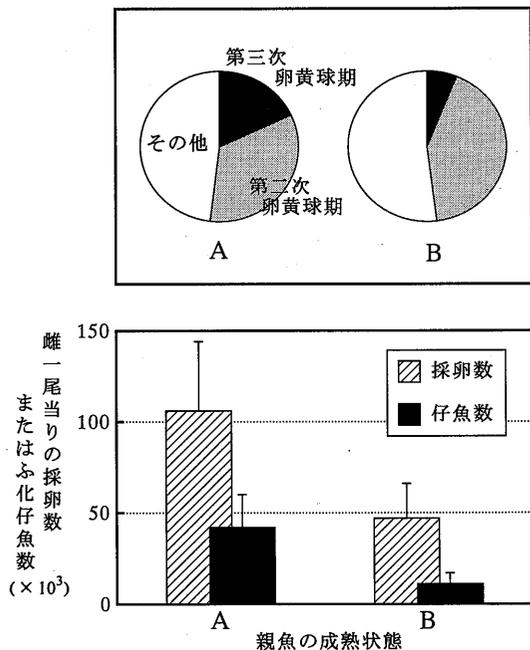


図 II-12 HCG 注射直前の卵巣卵に占める第三次卵黄球期の割合 (上) とその後の人工授精による採卵結果 (下) との関係 (虫明, 1996)

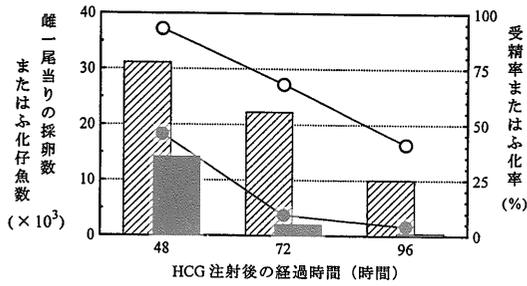


図 II-13 HCG 注射後の経過時間別のブリの人工授精による採卵結果 (五島事業場)

▨ : 採卵数, ■ : ふ化仔魚数, ○ : 受精率, ● : ふ化率

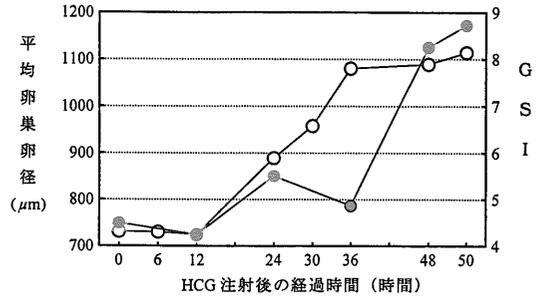


図 II-14 HCG 注射後のブリ親魚の平均卵巣卵径と GSI の経時的変化 (五島事業場)

○ : 平均卵巣卵径, ● : GSI

た。

なお、HCG 注射を行った親魚群は、雌雄それぞれ別の小割網 (5 m × 5 m × 5 m) に収容して成熟および排卵・排精させる必要がある。これは、雌雄の親魚群を同一小割網に混養した場合には、

人工授精を行う注射48時間後までに小割網内での誘発産卵が見られることがあるためである。

2) 採精と採卵

ブリ親魚から人工授精による採卵を行う場合、麻酔液中に浸漬すると親魚が暴れて排卵した卵の

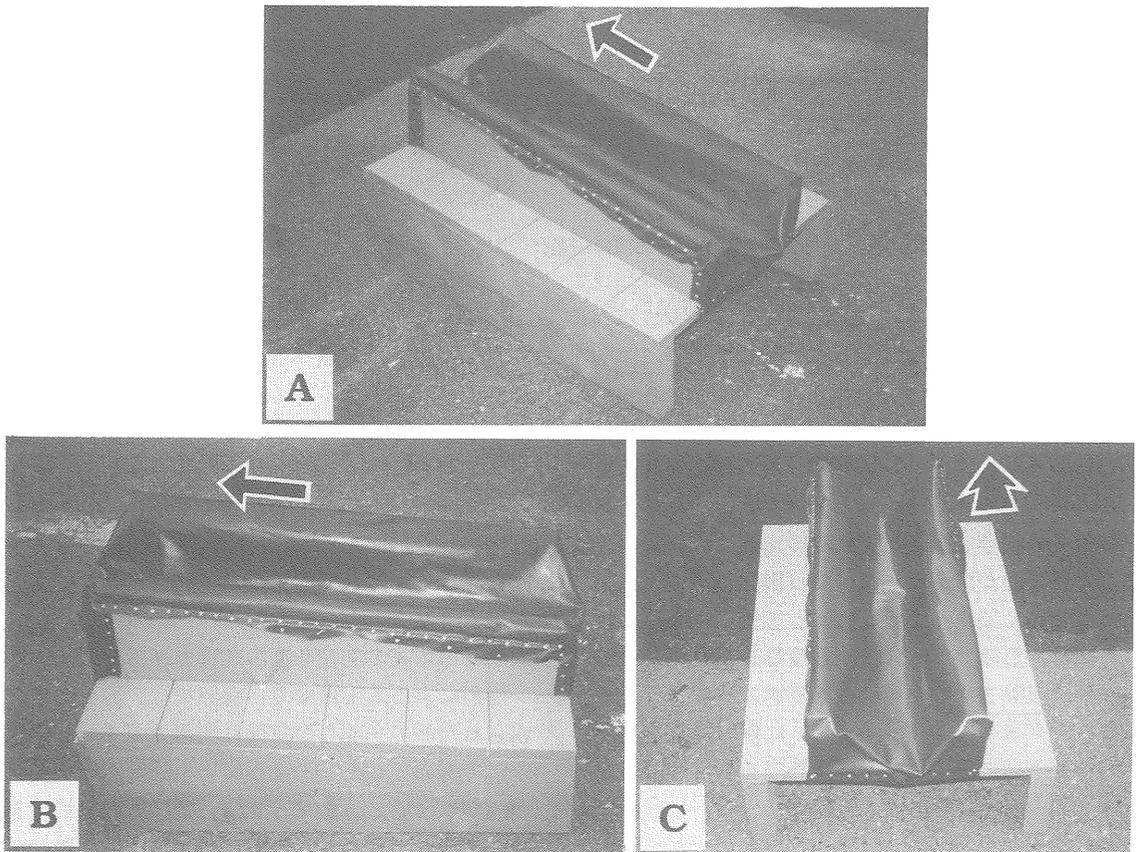


写真 II-4 ブリの人工授精による採卵に用いた採卵台

→ : 親魚の頭部を向ける方向を示す,

A : 採卵台の全体, B : 採卵台の側面, C : 採卵台の正面

ほとんどは体外に放出されてしまい、大部分を損失することになる。そのため、古満目事業場ではブリ用の採卵台（写真Ⅱ-4）を作製し、五島事業場でも同様の採卵台を用いた。

まず、雄親魚から取り揚げて採精を行う。採卵台中央の溝に腹側を上にして親魚を固定し、採精を行う者は親魚の尾柄部を前方にして採卵台にまたがり、下顎部を臀部で固定するような格好で腰掛ける。尾柄部はもう一人が抑えるか、採卵台に備えた固定器具で固定する。そして、両手で前方腹部から生殖孔に向けて腹部を押さえて精液を搾出する。搾出した精液は、乾燥したピーカー等の広口容器を生殖孔付近に寄せてとる。通常は3尾程度から個体別に約100ml程度ずつ採精し、保冷剤を入れた容器（市販のクーラーボックス等）に入れて媒精を行う時まで保存する。

次いで、雌親魚からの採卵を行う。雄親魚の場合と同様に採卵台に固定し、腹部を押して卵を搾

出する。搾出した卵は採卵台の溝を通して、予め採卵台近くに置いた乾燥させたステンレス製ボール（φ30cm以上が良い）に自然落下させて集める。搾出開始時点で卵が出にくい場合には、カニューレ等を生殖孔に挿入することによって搾出しやすくなる。採卵の状況は、透明の成熟卵の量に応じて、あるいは未成熟卵や血液の混入状況に応じて判断する。過度の採卵を行うことは、血液の混入による媒精時の受精率の低下を招いたり、場合によっては時間の経過に伴い、親魚が酸素欠乏死に至ることもある。

3) 媒精

五島事業場において、昭和59年にブリの媒精方法（湿導法と乾導法）に関する試験を行った。その結果、乾導法の方が受精率およびふ化率が高かった（表Ⅱ-2）ことから、五島および古満目の両事業場とも、以後の媒精はすべて乾導法により行っている。

表Ⅱ-2 ブリの人工授精における媒精方法と採卵結果の関係
(五島事業場)

| 媒精の方法 | 平均浮上卵率 (%) | 平均受精率 (%) | 平均ふ化率 (%) |
|---------|------------|-----------|-----------|
| 乾導法(4)* | 97.8 | 79.1 | 62.9 |
| 湿導法(4) | 97.1 | 56.9 | 48.9 |

* () 内の数字は使用した親魚尾数。

媒精は雌親魚1尾からの採卵ごとに行う。ろ過海水（容量1ℓ程度）を入れた容器に予め個体別に採精・保冷しておいた精液を各々約10mlずつ添加し、速やかに攪拌して混合させた後、回収した卵の入ったステンレス製ボールの縁辺部から上述の希釈精液をゆっくりと注入する。そして、卵に対する物理的損傷を加えるのを防ぐため、できるだけ表面が滑らかな攪拌棒（製図に用いる羽根箒が良い）でゆっくりと攪拌して受精させる。攪拌後は、日陰で5～10分間程度静止した後、余分な精液を除去するためにろ過海水で洗浄する。その後、メスシリンダー（2ℓ）に移し替えて浮上卵と沈下卵に分離させて浮上卵率を測定した後、浮上卵のみを後述するふ化容器（Ⅲ-2）に収容する。

4) 問題点

HCGの投与回数は、いずれの事例においても

1回のみとしたが、2回以上のホルモン投与による人工授精では親魚への負荷が大きいためか採卵数がきわめて少なく、ふ化仔魚の活力も著しく劣ることがこれまで経験的に知られている。また、アユではHCGの多回投与が卵質（受精率やふ化率）に悪影響を及ぼすことが報告されており（Hirose, 1980）、このことからホルモンの多回投与は効率的な採卵結果には結びつかないことが推察される。

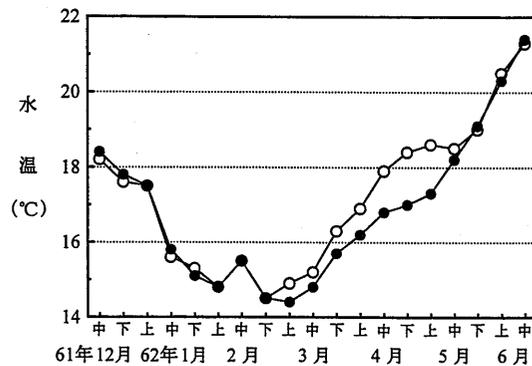
ブリは本来多回産卵型の魚種であるが、ホルモン注射による人工授精での採卵では、卵巣内に形成された卵の一部しか有効に利用できず、2回目以降の採卵では上述のように効率的な採卵結果は期待できない。したがって、卵巣卵の有効利用を図る上でも、陸上水槽での自然産卵技術の確立が望まれる。

(3) 自然産卵

本種の自然産卵に関しては、古満目事業場において少量の産卵を確認した事例（古満目親魚養成前進基地，1978）があるが、種苗生産に使用できるようなまとまった量の採卵はできていない。そのため、五島事業場では大量の良質卵を確保するために、海上小割で養成した親魚を毎年晩秋から春にかけて陸上水槽に収容し、産卵水槽の環境管理、温度刺激等について種々の試行を繰り返し、自然産卵手法の開発に努めた。本項では、これまで実施してきた自然産卵*試験結果に基づいて、本種の自然産卵における環境要因（水温や照度）と養成過程の成熟状況および産卵結果について述べる。

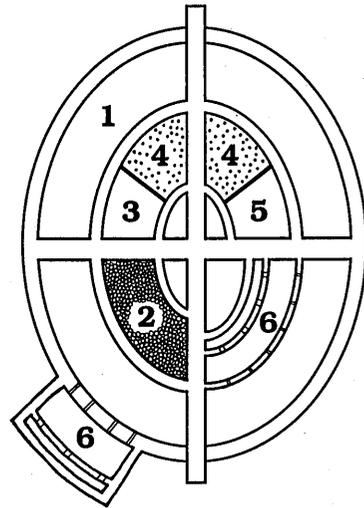
1) 水温

これまでの水温刺激のみによる自然産卵試験における最良事例の養成水温の経過を図Ⅱ-15に示した。12月中旬に海面小割より屋内親魚回遊水槽（400m³，ドーナツ型水槽，図Ⅱ-16および写真Ⅱ-7）に天然養成2年魚を54尾（雌は内23尾）を収容した。水温は、収容時には18℃台であったが、徐々に低下し2月上旬には13℃以下となったため、加温して14℃台を3月上旬まで維持させた。その後、産卵期となる4月20日以降に水温が18.5℃となるように加温してゆるやかに上昇させた。産卵適水温を18.0～19.0℃と想定して、4月



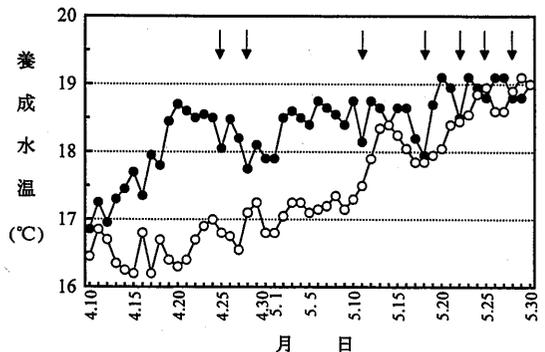
図Ⅱ-15 昭和62年度ブリの自然産卵試験期間中における親魚の養成水温と自然海水温の変動（有元ら，1987）

○：養成水温，●：自然海水温



図Ⅱ-16 ブリの親魚回遊水槽の平面図（五島事業場）（有元ら，1987より引用）

- 1：回遊水槽（縦22m，横20m，幅3.8m，深さ2.0m）
- 2：第一ろ過槽（40m³）
- 3：沈殿水槽（20m³）
- 4：第二ろ過槽（40m³）
- 5：採水槽（20m³）
- 6：採卵水槽（幅1m，深さ1m）



図Ⅱ-17 ブリの自然産卵試験における産卵刺激としての水温の変動（有元ら，1987より引用）

↓：水温刺激，●：養成水温，○：自然水温

25日より5月30日までの間に計7回の水溫刺激を加えて飼育水温を変動（18.0～19.0℃）させた（図Ⅱ-17）。なお、水温刺激は、親魚の摂餌状況並びに腹部の膨らみ状態を目安に行った。その結果、5月23日までに5回の産卵が認められ、総採卵数

* ここで言う自然産卵は p. 19の脚注で示したように、HCG等のホルモン剤を使用しない水槽内での産卵を示している。この試験では、産卵誘発要因として水温刺激を使用しており、真の意味での自然産卵とは異なる。

表Ⅱ-3 プリの水溫刺激による自然産卵試験の最良事例（有元ら，1987より引用）

| 採卵 月日 | 産卵推定時刻*1 | 総採卵数 (万粒) | 浮上卵 | | 受精卵 | | ふ化仔 魚数 (万尾) | ふ化率*2 (%) | 平均卵 径 (μm) | 平均油 球径 (μm) |
|----------|-----------|--------------|-------|------|-------|------|-------------------|--------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | | | 数(万粒) | 率(%) | 数(万粒) | 率(%) | | | | |
| 5月5日 | 4:00~5:00 | 200.2 | 38.3 | 19.1 | 35.8 | 93.5 | 6.2 | 3.1 | 1194 | 309 |
| 5月7日 | 4:00~5:00 | 114.3 | 39.0 | 34.1 | 29.4 | 75.4 | 5.8 | 5.1 | 1183 | 289 |
| 5月14日 | — | 73.8 | 39.1 | 53.0 | 0 | — | 0 | — | 1185 | 278 |
| 5月15日 | 6:00~7:00 | 361.4 | 311.3 | 86.1 | 304.7 | 97.9 | 244.3 | 67.6 | 1183 | 299 |
| 5月23日 | — | 101.5 | 48.3 | 47.6 | 0 | — | 0 | — | 1228 | 298 |
| 合計 | | 851.2 | 476.0 | 55.9 | 369.9 | 77.7 | 256.3 | 30.1 | | |

*1 採卵時の卵の発生段階から推定した。

*2 総採卵数に対するふ化仔魚数の割合で算出した。

851万粒からふ化仔魚256万尾を得た（表Ⅱ-3）。

水溫は本種の自然産卵を支える基本的な条件である。有元ら（1987）の報告している結果では、5月上旬から下旬にかけて、18.0~19.1℃の狭い水溫帯で本種の自然産卵が行われている。また、本種の親魚養成では、水溫13℃以下となると日間摂餌率が1%以下となり、低水溫は本種の順調な成熟を阻害する可能性があることが指摘されている（有元ら，1987）。さらに、急激な水溫上昇は、卵黄形成期における退行変性卵の出現要因になると考えられる。このため、本種の自然産卵では、冬期の水溫管理における14℃台の維持および産卵水溫18~19℃に向けての緩やかな水溫上昇が重要と思われる。なお、昭和58年度の試験では、冬期の水溫を17℃台に維持させたが、自然産卵は認められず、詳細な成熟と水溫との関係把握が重要と思われる。水溫刺激により5回の産卵が確認されているが、産卵個体数は目視観察から数尾程度であったと推定され、産卵関与個体数は少なかったと判断されている。溫度刺激が適正な時期に与えられたか否か、水溫刺激として与える溫度幅は適正範囲であったか否か、あるいは産卵水槽の形状や親魚の収容尾数等についても、今後の検討が必要と思われる。

2) 照度

魚類の成熟・産卵には、飼育環境中の照度および日長変化の乱れが成熟リズムに影響を与える可能性がある。五島事業場の屋内の親魚回遊水槽は、当初、屋根がスレート構造となっていたために晴天時でも100lux以下と暗かった。このため、自然産卵がみられた62年度（1987年）には、天窓（幅

1.8m×長さ25.0m、ポリカーボネイト樹脂製の波板）を設け、夜間のみ白熱灯を点灯した。天窓設置後の水面上の照度は晴天時には1000~2500luxとなり、従来の100lux以下と比較するとはるかに明るかった。この結果、前述したように、天2の親魚54尾（うち雌23尾）を用いた自然産卵試験で851万粒の採卵ができた。

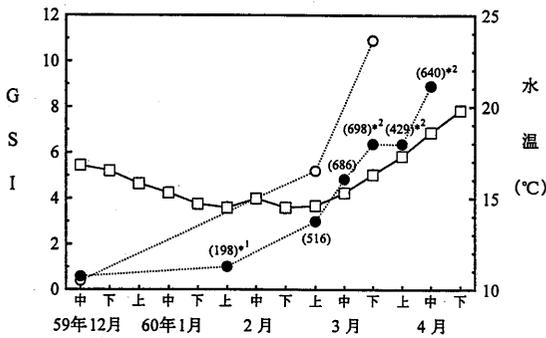
しかし、62年度の試験では飼育水溫および水槽照度の両要素が以前の試験と異なっており、照度の向上だけが自然産卵にどの程度影響したかは現段階では確認するには至っていない。さらには、本種の自然産卵においてどの程度の照度が必要かも解明されていない。また、照度の増加が水槽内の親魚の運動量を増大させる可能性もあるため、今後とも注意深く見守る必要がある。

3) 成熟と産卵

これまで陸上水槽（90m³および400m³）で行った養成親魚（天1および天2）の成熟状況を表Ⅱ-4に、養成水溫変化とGSIならびに平均卵巢卵径との関係を図Ⅱ-18に示した。養成親魚を陸上水槽で管理した場合、雌の成熟は水溫12℃台でも進むが、その速度は極めて遅い。水溫が15℃以上になると成熟速度はやや速くなり、16℃前後で急速に進み、17℃近くになる頃（例えば59年試験1では3月下旬から4月上旬）には、人工採卵可能な成熟段階（平均卵巢卵径650 μm 以上）まで進むと思われる。しかし、その後17℃を境として卵巢卵の退行変性が見られるようになる。雄では、水溫が上昇期に入り、水溫が15℃近くに達すると急激な成熟が進むと考えられる。雌雄の成熟過程の差をGSIを手がかりに見てみると、冬季の12

表II-4 プリ親魚の生殖腺成熟度の調査結果 (有元ら(1987)を一部改変)

| 年 度 | 試験 番号 | 調 査 月 日 | 魚体重 (kg) | 尾又長 (cm) | 肥満度 | 生殖腺重量 (g) | 生殖腺 指 数 | 平均卵巢卵径 (μ m) | |
|-------|----------|------------|-------------|-------------|--------|--------------|---------------|----------------------|---------------|
| 昭和59年 | 試験1 | 12月12日 | 9.8 | 84.0 | 16.5 | ♀ 56 | 0.57 | — | |
| | | | 10.2 | 86.0 | 16.0 | ♀ 60 | 0.59 | — | |
| | | | 6.9 | 78.0 | 14.5 | ♂ 26 | 0.38 | — | |
| | | 2月6日 | 10.2 | 88.0 | 15.0 | ♀ 102 | 1.00 | 166 (100-230) | |
| | | | 11.7 | 88.0 | 17.2 | ♀ 140 | 1.20 | 243 (130-400) | |
| | | | 11.4 | 87.0 | 17.3 | ♀ 110 | 0.96 | 206 (160-270) | |
| | | | 9.3 | 83.0 | 16.3 | ♀ 80 | 0.86 | 175 (110-250) | |
| | | 3月8日 | 12.6 | 90.0 | 17.3 | ♀ 320 | 2.54 | 457 (300-540) | |
| | | | 10.0 | 82.0 | 18.1 | ♀ 350 | 3.50 | 575 (360-720) | |
| | | | 12.4 | 90.0 | 17.0 | ♂ 646 | 5.21 | — | |
| | | 3月21日 | 11.6 | 90.0 | 15.9 | ♀ 562 | 4.84 | 686 (525-800) | |
| | | 3月31日 | 8.0 | 80.5 | 15.3 | ♀ 510 | 6.38 | 698 (450-830) | |
| | 12.6 | | 90.0 | 17.3 | ♂ 1375 | 10.91 | — | | |
| | 4月9日 | 10.0 | 88.0 | 14.7 | ♀ 150 | 1.50 | 200 (120-300) | | |
| | | 11.3 | 87.0 | 17.2 | ♀ 720 | 6.37 | 658 (550-740) | | |
| | 試験2 | 2月6日 | 11.0 | 85.0 | 17.9 | ♀ 80 | 0.73 | 151 (90-200) | |
| | | | 10.2 | 87.0 | 15.5 | ♀ 72 | 0.71 | 131 (80-180) | |
| | | 3月8日 | 10.0 | 85.0 | 16.3 | ♀ 100 | 1.00 | 252 (200-320) | |
| | | | 8.6 | 82.0 | 15.6 | ♂ 32 | 0.37 | — | |
| | | 4月9日 | 12.8 | 91.0 | 17.0 | ♀ 210 | 1.64 | 381 (300-480) | |
| | | | 8.6 | 80.5 | 16.5 | ♂ 340 | 3.95 | — | |
| | | | 10.3 | 83.0 | 18.0 | ♂ 290 | 2.81 | — | |
| | | 4月20日 | 12.5 | 93.0 | 15.5 | ♀ 614 | 4.91 | 640 (500-700) | |
| | | 昭和60年 | 試験2 | 12月19日 | 11.5 | 91.8 | 14.9 | ♂ 12 | 0.10 |
| 6.5 | | | | | 79.0 | 13.2 | ♂ 2 | 0.03 | — |
| 9.7 | | | | | 85.0 | 15.8 | ♂ 10 | 0.10 | — |
| 2月13日 | | | | 11.8 | 89.0 | 16.7 | ♀ 90 | 0.76 | 197 (80-280) |
| | 9.9 | | | 82.0 | 18.0 | ♂ 16 | 0.16 | — | |
| | 10.8 | | | 87.0 | 16.4 | ♂ 28 | 0.25 | — | |
| | 12.2 | | | 89.0 | 17.3 | ♂ 38 | 0.31 | — | |
| 3月13日 | 10.5 | | | 82.0 | 19.0 | ♀ 109 | 1.04 | 346 (260-420) | |
| | 11.1 | | | 84.0 | 18.7 | ♂ 152 | 1.37 | — | |
| | 9.5 | | | 80.0 | 18.6 | ♂ 37 | 0.38 | — | |
| | 9.3 | | | 83.0 | 16.3 | ♂ 84 | 0.90 | — | |
| 4月12日 | 11.9 | | | 85.0 | 19.4 | ♀ 539 | 4.53 | 673 (540-770) | |
| | 10.7 | | 82.0 | 19.4 | ♀ 269 | 2.52 | 513 (420-600) | | |
| | 13.4 | | 87.0 | 20.3 | ♀ 334 | 2.49 | 613 (410-770) | | |
| | 12.3 | | 87.0 | 18.7 | ♀ 375 | 3.05 | 561 (420-730) | | |
| | 13.3 | | 90.0 | 18.2 | ♀ 857 | 6.44 | 675 (600-800) | | |
| | 14.2 | | 95.0 | 16.6 | ♂ 992 | 6.99 | — | | |
| 4月23日 | 10.0 | | 83.0 | 17.5 | ♀ 514 | 5.14 | 759 (600-850) | | |
| | 9.2 | | 80.0 | 18.0 | ♀ 174 | 1.89 | 493 (380-580) | | |
| | 9.5 | | 84.0 | 16.0 | ♂ 485 | 5.10 | — | | |



図II-18 昭和60年度ブリの自然産卵試験期間中における養成水温と親魚のGSIの変動(有元ら, 1987を改変)

○: 雄のGSI, ●: 雌のGSI,
□: 養成水温

*1 括弧内の数字は平成卵巣卵径(μm)を示す

*2 卵巣卵中に退行卵が出現したことを示す

月から3月初旬にかけての水温下降期および3月上旬以降の水温上昇期のいずれにおいても、雄のGSIが先行して上昇する傾向がみられた。さらに、卵巣卵を組織学的にみると、水温が15℃近くになる3月上旬から4月上旬には第二次から第三次卵黄球期に達し、さらに水温が17℃台に上昇する4月上旬から下旬には第三次卵黄球期の卵数が増し、最終成熟の直前まで成熟は進行したと思われるが、その後退行卵の出現により卵巣重量や卵径の減少が認められている。

このような雌雄の成熟過程の差を考慮しつつ、過去の自然産卵事例を参考に、冬期の水温を14℃台、4月下旬から5月上旬に18.5℃になるように水温を徐々に上昇させるという考え方で自然産卵が認められている。しかし、この水温管理の有効性にはさらに再現性の確認をする必要がある。

(4) 誘発産卵

天然海域に棲息している親魚は、水温や光(光周期)などの成熟に必要な条件を求めて回遊し、最終的に産卵海域における環境等の諸条件が引き金となって再生産に関与していることはよく知られている。しかし、人為的な環境下で飼育されている養成親魚を成熟させる場合には、これまで水温以外の環境条件にはあまり注意が払われておらず、産卵を誘発する場合にも主としてホルモン処

理のみに依存してきたのが現状である。

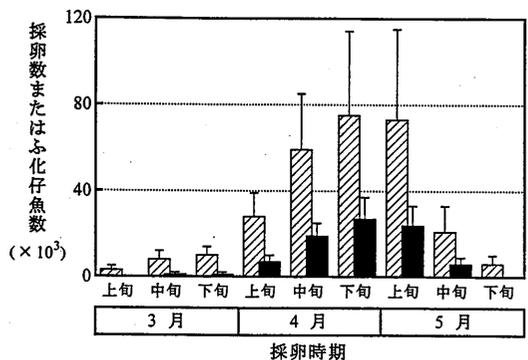
ブリにおいても、内田ら(1958)が長崎県男女群島女島で初めて本種の人工授精に成功して以来、再生産技術に関する研究が継続されてきているものの、養成親魚での自然産卵による大量の良質卵の確保は実現していない。そのため、ホルモン処理による直接的な最終成熟・排卵を誘発する手法が今なお継続して用いられている。さらに、誘発産卵のためのブリ親魚に対するホルモンの適正な投与量に関する報告も前述〔II-2-(1)〕した以外にほとんどなく、生産現場ではこれまでの経験的手法に依存して産卵を誘発してきたのが実情である。

ここでは、水温や光等の環境条件を制御していない自然条件下における養成親魚の産卵盛期と雌親魚1尾の多回産卵について述べる。

1) 産卵期と産卵数

古満目および五島両事業場において、昭和62年度から平成5年度までの間に海上小割で養成し、陸上水槽において自然条件下で行われたブリの誘発産卵試験結果および人工授精による採卵結果を旬別に整理した。なお、誘発産卵試験においては、供試した雌親魚が同等に産卵に関与したと仮定して、雌親魚1尾当りの採卵数とふ化仔魚数を算出した。

その結果、古満目および五島の両事業場で養成されたブリ親魚の産卵盛期は4月下旬から5月上旬と考えられた(図II-19)。



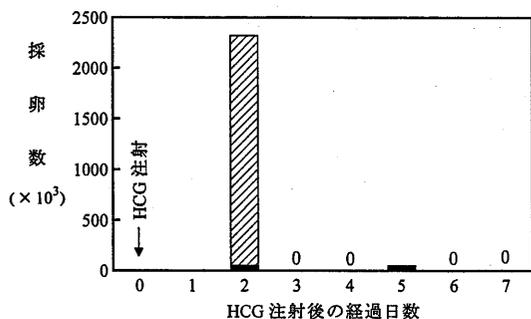
図II-19 ブリの雌親魚1尾当りの採卵数およびふ化仔魚数の時期的変動(昭和62年度~平成5年度日裁協年報より算出)

▨: 採卵数, ■: ふ化仔魚数

2) 雌親魚1尾当りの産卵数と多回産卵

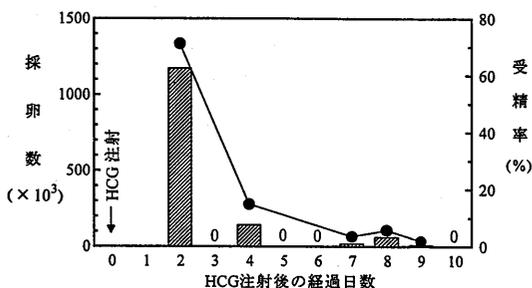
卵巣に形成された成熟卵のうち、雌親魚が1シーズンに産卵する数に関しては今のところ椋田(1991)と虫明(未発表)の実験データ以外にない。椋田(1991)は、雌1尾と雄3尾にHCG注射を行ったブリ親魚を水槽に収容した結果、初回産卵時(HCG注射2日後)に232万粒を採卵し、その3日後(HCG注射5日後)にもわずかながらの採卵(約5万粒)に成功している(図II-20)。虫明(未発表)も同様の実験を行い注射2日後の初回産卵で117万粒を採卵した(図II-21)。その後、HCG注射4日、7日、8日および9日後にも採卵し、それぞれ14, 2, 6および1万粒の卵が得られた。これらの事実、ブリが1シーズン中に多回産卵する魚種であることを裏付けるとともに、1シーズン中に産出される卵数のおおよその指標にもなると考えられる。

一方、ブリの卵巣に形成される卵数に関しては、小西(1935)、三谷(1956)および内田ら(1958)が報告しており、それぞれ約500万粒、約400万粒



図II-20 HCG処理を施したブリ雌1尾と雄3尾の親魚の産卵経過(椋田, 1991)

▨: 浮上卵数, ■: 沈下卵数



図II-21 ブリの雌親魚1尾による多回産卵と採卵状況(虫明, 未発表)

▨: 採卵数, ●: 受精率

および55~160万粒と推定されている。この推定卵数の開きは計測した卵の大きさの下限、卵巣の採卵部位、調査魚体の大小、あるいは個体差などの諸要因に起因していると考えられている(内田ら, 1958)。上記の椋田(1991)および虫明(未発表)の実験で得られた総採卵数はそれぞれ237万粒および140万粒であることから、小西(1935)あるいは三谷(1956)の推定値を元に計算すると、卵巣内に形成された卵のうち28.0~59.3%の成熟卵が産卵されたことになる。

また、ブリの卵巣卵の組織学的調査によっても成熟状況は均一ではなく、卵巣卵の発達是非同時型に属することが明らかにされている(椋田・落合, 1971; 大池ら, 1985)。このような特徴は、マダイ(松浦, 1972)、メダカ(Yamamoto and Yoshioka, 1964)、アユ(松山・松浦, 1984)およびシマアジ(村井ら, 1985)でも確認されている。これは、これらの魚種が多回産卵型魚種であり、産卵期は一般に長く、その間に未発達な卵母細胞から卵黄形成期への補充が起こることに起因していると考えられている(高野, 1989)。

(5) 早期産卵

マダイ(福所ら, 1986; Matsuyama *et al.*, 1993)やヒラメ(電源開発株式会社, 1996)では水温および光条件の制御による非産卵期における採卵が可能であることが報告され、すでに事業レベルでも実施されている。日裁協においては、ブリ親魚を用いて飼育環境条件(特に光と水温)のコントロールあるいはGnRHやHCGなどのホルモン注射による養成親魚から通常の産卵期よりも早い時期での採卵の試みが行われている(有元, 1991, 1992, 1993; 河野ら, 1993)。

このような早期採卵試験を行う場合には、時期的にも早期に親魚を成熟させる必要があることから、栄養的にも優良親魚の養成が必要不可欠な条件となってくる。ここでは、これまでにブリ親魚からの早期採卵に関して得られた知見について述べる。

1) 環境要因の制御による成熟促進

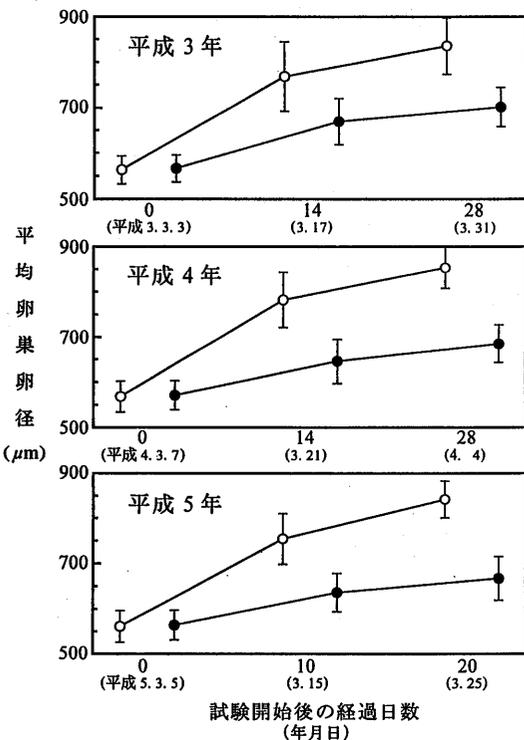
① 長日処理

日裁協古満目事業場では、五島事業場での試験結果(有元, 1991, 1992, 1993)を受け、モイストペレットで飼育した養成ブリ親魚を用いて産卵

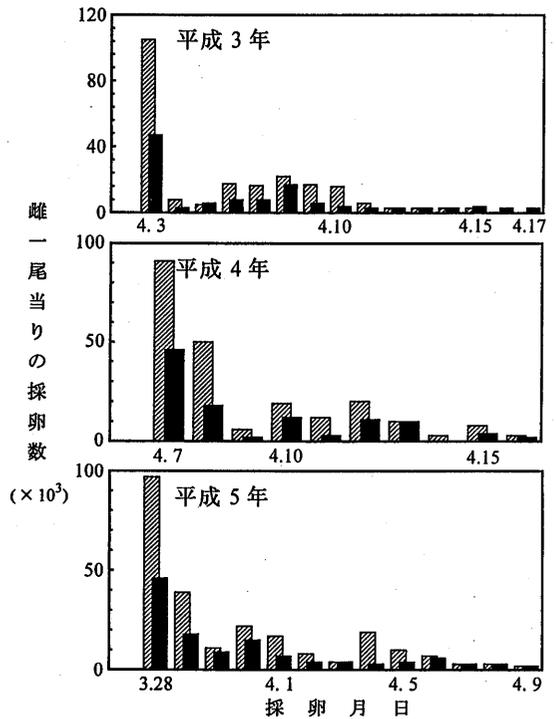
期直前に3~4週間の間、人工照明による長日処理を行いその後HCG注射による誘発産卵試験を行うことにより、長日処理の有効性について平成3年度から5年度の3カ年間にわたって検討した。

その結果、産卵期直前の20~28日間の長日処理により雌親魚の平均卵巣卵径は対照区(無処理区)に比べて有意($p < 0.01$)に増大し(図II-22)、その後のHCG注射による誘発産卵試験においても3月下旬から4月初旬に大量の良質卵確保が可能であることが判明した(図II-23)。したがって、この長日処理により通常の産卵期(4月下旬から5月上旬)よりも約1カ月早い時期における採卵が可能となった(Mushiake *et al.*, 1994a)。興味深いのは、そのメカニズムは不明であるものの、対照区の親魚ではいずれの年もHCG注射44~56時間後に初回産卵が認められたのに対して、長日処理区では52~54時間後に同調的な産卵が認められたことである。

ここではデータは示さないが、平成3年度から



図II-22 ブリ親魚の平均卵巣卵径の経時的変化 (Mushiake *et al.*, 1994 a)
○: 長日処理区, ●: 対照区



図II-23 ブリ親魚群の長日処理区と対照区との採卵結果 (Mushiake *et al.*, 1994 aを改変)
▨: 長日処理区, ■: 対照区

5年度の各試験区から得られた卵の卵径は、いずれも初回産卵で得られたものが最大で、産卵が繰り返されるにしたがって次第に小さくなった。このような産卵の繰り返しに伴う卵径の変化は、これまでもマダイ (Watanabe *et al.*, 1985a)、キジハタ (Fukuhara, 1989) およびシダイ (伊藤, 1978) でも報告されている。また、長日処理区の親魚から得られた卵径は、対照区の親魚からのものよりも大きい値を示したが、これは長日処理区の親魚の産卵数の方が対照区よりも多いことから、親魚1尾当りのホルモン量が異なり、長日処理区ではゆっくりと最終成熟が生じ、かつ卵径が大きくなったことに起因していると考えられた。

また、各年のいずれの試験区においても、初回産卵で得られた仔魚のSAI値が最も高かった。後述するように、SAI値はブリふ化仔魚の活力を判定する指標として有効であると考えられている(虫明ら, 1993b)。このことから、比較的産卵の初期に得られたふ化仔魚を使用することによって、ブリ種苗生産における初期生残率の向上を目指せるものと考えられる。

② 光および水温条件の制御

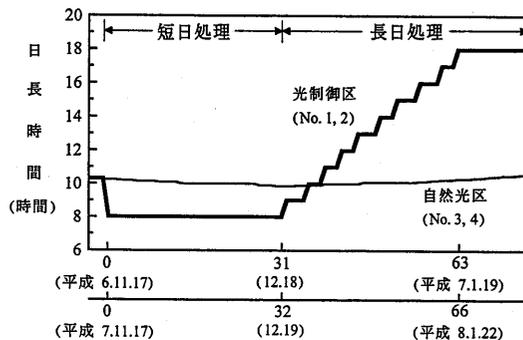
上述した長日処理による成熟促進により、通常よりも約1カ月早い時期に採卵できるようになった。しかし、種苗生産で飼育された人工種苗を天然海域に放流する段階で、同時期の天然種苗と比較した場合にまだ大きさが大きく見劣りし、人工種苗による放流効果が上がりにくいことが指摘されてきた。そのため、さらに早い時期の採卵技術の開発が望まれるようになってきた。それには、親魚を通常の時期よりもさらに早期に成熟させる飼育技術が必要であった。

そこで、カワマス (Henderson, 1963), ニジマス (Bieniarz, 1973; Breton and Billard, 1977; Whitehead *et al.*, 1978) およびギンザケ (MacQuarrie *et al.*, 1978) などのサケ科魚類における日長変更方法を参考にしながら、成熟から産卵に至る時期のブリ親魚の飼育環境に着目して、光および水温の両条件の制御による成熟促進ならびに早期採卵の可能性について検討した。

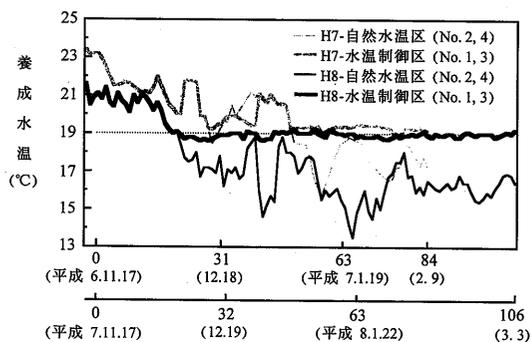
光条件は1カ月間の短日処理 (8L-16D) と長日処理の組み合わせとし、明期が18時間に達した後はこれを維持した (図II-24)。また、水温条件に関しては本種の成熟状態が完熟に達する期間の水温範囲が16~19℃ (椋田・落合, 1971) で、約19℃が維持された条件下で卵巣卵が完熟期を迎えるといわれている (椋田, 1991) ため、飼育水温の下限を19℃に設定し、産卵期間中もこれを維持した (図II-25)。これら両条件の組み合わせにより4試験区を設定した (表II-5)。すなわち、光および水温両条件制御区 (No. 1)、光あるいは水温の一方を制御した試験区 (それぞれ No. 2 と

No. 3) および両条件無処理区 (対照区; No. 4) とした。なお、この試験には天2の親魚を用いた。

その結果、親魚の最大卵巣卵径群の平均値は、試験開始後の経過日数の増加に伴い [試験区 No. 1] > [No. 2] ≒ [No. 3] > [No. 4] の順に増大する傾向が見られた (図II-26)。その後、



図II-24 ブリの成熟促進期間中の日長時間の経時的変化 (Mushiake *et al.*, 1998)



図II-25 ブリの成熟期間中の養成水温の経時的変化 (Mushiake *et al.*, 1998)

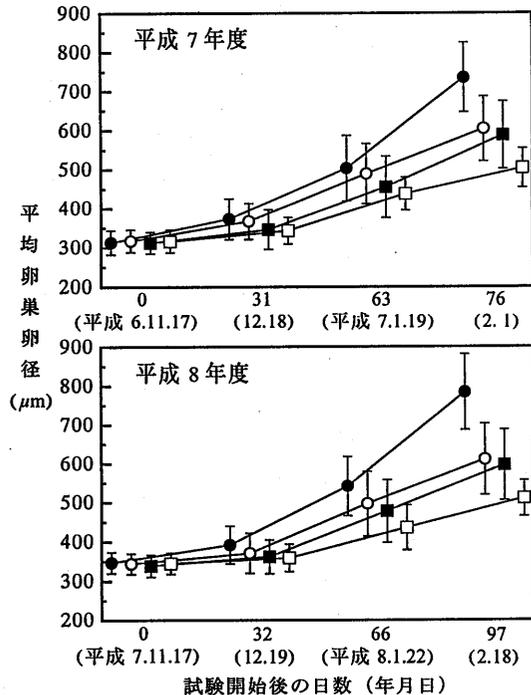
表II-5 ブリの早期採卵における設定試験区 (Mushiake *et al.*, 1998)

| 平成 年度 | 試験区 No. | 水槽の大きさ (m ³) | 環境条件 | | 収容親魚 (♂:♀) | 試験開始時の 平均卵巣卵径±SE*(μm) |
|----------|------------|-----------------------------|------|----|---------------|--------------------------|
| | | | 光 | 水温 | | |
| 7 | 1 | 65 | 制御 | 制御 | 6 (3:3) | 314±36 |
| | 2 | 65 | 制御 | 自然 | 6 (3:3) | 313±30 |
| | 3 | 65 | 自然 | 制御 | 6 (3:3) | 309±35 |
| | 4 | 65 | 自然 | 自然 | 6 (3:3) | 311±27 |
| 8 | 1 | 65 | 制御 | 制御 | 12 (6:6) | 347±38 |
| | 2 | 65 | 制御 | 自然 | 12 (6:6) | 344±36 |
| | 3 | 65 | 自然 | 制御 | 12 (6:6) | 339±40 |
| | 4 | 65 | 自然 | 自然 | 12 (6:6) | 345±39 |

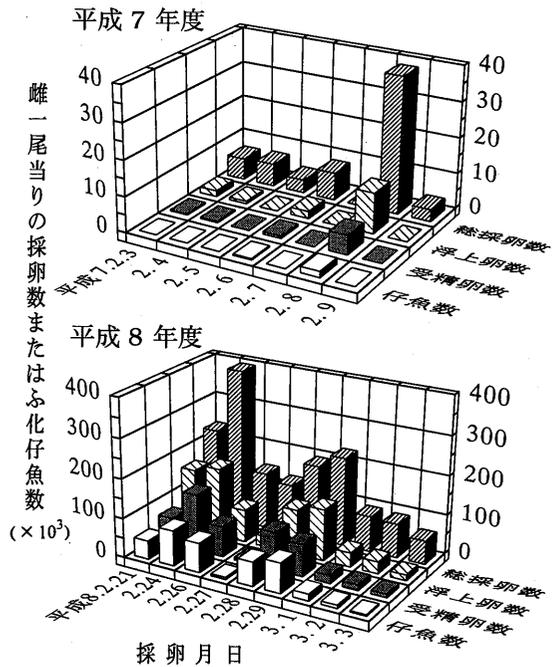
* SE: 標準誤差.

すべての試験区の親魚群に対して HCG 注射による誘発産卵を行ったところ、平成7年および8年とも No. 1の親魚群のみがそれぞれ2月初旬からおよび2月下旬から産卵した(図II-27)。また、得られた仔魚のSAIも従来行ってきた通常の産卵期に得られた値と比較しても遜色のない値を示した(図II-28)。これらの結果より、産卵期前のブリ親魚群を光および水温の両制御条件下で飼育することにより、卵巣卵を有意($p < 0.01$)に成長させ、その後HCG注射を行うことで通常の産卵期よりも約2カ月早い2月に採卵できることに成功した(Mushiake *et al.*, 1998)。

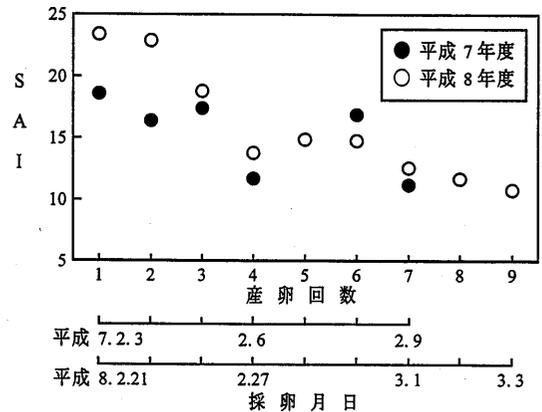
親魚の飼育環境条件(特に光と水温の両条件)が成熟の促進に効果があった事例としては、これまでにメダカ(Awaji and Hanyu, 1989)、トビヌメリ(Zhu *et al.*, 1991a, 1991b)、シロギス(古川ら, 1991)、シマアジ(虫明, 1996)およびカラフトマス(Beacham and Murray, 1988, 1990)でも報告されている。環境条件制御によるブリの



図II-26 ブリの成熟促進期間中における平均卵巣卵径の経時変化 (Mushiake *et al.*, 1998)
 ●: 光および水温両条件制御区 (No. 1)
 ○: 光条件制御区 (No. 2)
 ■: 水温条件制御区 (No. 3)
 □: 両条件無処理区 (No. 4)



図II-27 ブリの早期採卵試験(光と水温制御区: No. 1)における採卵状況 (Mushiake *et al.*, 1998)



図II-28 ブリの早期採卵試験で得られたふ化仔魚のSAI (Mushiake *et al.*, 1998)

成熟促進が認められ再現性も確かめられているが、メカニズムに関する研究は今後の課題として残されている。

2) ホルモン処理による成熟促進

五島事業場では昭和61年度より、水温制御によりブリの産卵時期を約1カ月程度早め、3月下旬に人工授精による採卵に関する技術開発を行った。

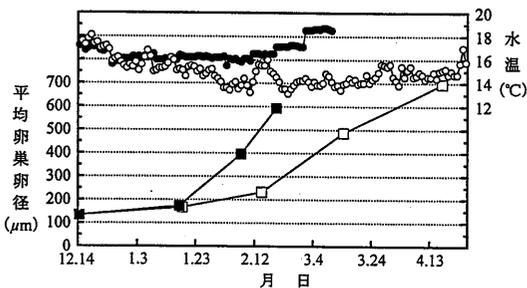
昭和63年度より、水温制御に加えて、電照による長日処理と GnRH ホルモンにより成熟を促進し、HCG を注射して誘発産卵による早期採卵技術開発を行ってきた。この方法により、平成2年度には通常の産卵期より約2カ月早い2月28日に誘発産卵により採卵を行うことができた。その後、さらに早い時期の採卵を目指して、11月～1月に GnRH を投与して成熟を促進させ採卵することを試みたが、2月中旬頃に採卵することはできなかった。また、2月中旬に得られた卵も、受精率やふ化率が悪く、卵質的には不十分であった。

したがって、平成6年度以降は、水温制御と電照により卵黄形成を促進し、2月20日頃に GnRH を投与して、HCG 注射により2月下旬から3月上旬に安定して採卵する技術開発を試みた。以下に、これまで得られた知見について述べる。

① 親魚の水槽収容と水温変化

親魚の産卵水槽への収容は12月中旬から下旬頃に行い、90m³水槽に雌雄合わせて最大30尾を収容した。収容と同時に500Wの電灯2基を用いて17時30分から23時30分までの6時間の長日処理を行った。水温は収容当初は自然水温で飼育し、16℃以下になる12月下旬から1月上旬頃より加温して飼育水温を16℃（年によっては15℃台）に維持した。GnRH を投与した後は水温を徐々に加温し、HCG 注射と同時に18.5～19.0℃として採卵を行った。

平成8年度に行った早期採卵試験における飼育



図II-29 親魚の養成水温と平均卵巣卵径の経時的変化（五島事業場）

- ：海上小割養成親魚の平均卵巣卵径
- ：陸上水槽養成親魚の平均卵巣卵径
- ：海上小割における自然水温
- ：陸上水槽における養成水温

水温の変動を、その時の平均卵巣卵径の変化（後述）と合わせて図II-29に示したが、自然水温は1月、2月と徐々に低下し、最低水温は14℃になる場合があった。

② GnRH の投与方法

GnRH (des Gly¹⁰ [D-Ala⁶] -LHRH ethylamide) は徐放的に放出させ効果を長くするために、コレステロールペレットあるいはポリマーペレットにしたものを親魚に投与した。コレステロールペレットは GnRH をエタノールに溶かし、コレステロールと混合した後に乾燥させ、さらにココアバターと混合してストロー精液管に詰めペレット状にしたものを投与した。一方、ポリマーペレットは GnRH を電顕用包埋剤である Lowicryl K4M (Chemische Werke Lowi 社製) を用いて紫外線重合ポリマーとしたもので、共同研究を行っていた松山倫也助教授（三重大学、現在九州大学）の研究室で作製された。投与方法はブリの軀幹部筋肉にステンレス釘で穴を開け、ペレット挿入用インジェクターにより挿入した。GnRH のコレステロールペレットおよびポリマーペレットの投与量は、いずれも魚体重1kg 当りそれぞれ30～150 μg の範囲で試験を行った。

③ 平均卵巣卵径の変化

試験期間中の雌親魚の成熟状況を調べるため、定期的にカニキュレを用いて卵巣の一部をサンプリングして平均卵巣卵径を求めた。

五島事業場では、12月の親魚の陸上水槽収容時の平均卵巣卵径は130～170 μm である。そのまま海上小割で継続して養成すると、2月中旬頃より卵黄形成が開始されて平均卵巣卵径が増大し、4月上旬から中旬にかけて第三次卵黄球期である700 μm に達する。これに対して、陸上水槽に収容して前述した水温制御と長日処理を行うと、1月下旬頃より平均卵巣卵径は急激に増大し、2月中旬には500～600 μm になる（図II-29）。このまま継続して養成すると、2月下旬から3月上旬には平均卵巣卵径は700 μm 以上となり、これらの親魚は HCG 注射することによって排卵させることが可能であることがわかった。

④ GnRH 投与による成熟促進試験例

平成4年度の試験 図II-30に平成4年度に行った GnRH による成熟促進試験結果を示した。この年には、特に採卵の時期を設定せずに、1月

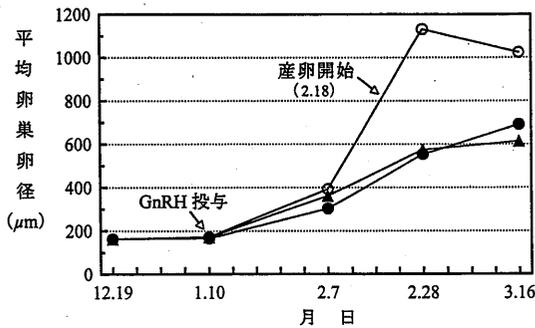


図 II-30 GnRH 投与によるブリ親魚の成熟促進試験 (五島事業場)

- ：コレステロールペレット区
- ：ポリマーペレット区
- ▲：対照区

中旬に GnRH を投与しその後の成熟状況を調べた。

12月19日に天3親魚(平均体重9.0kg)を90m³水槽3面に、コレステロール投与区(♀7尾, ♂5尾), ポリマーペレット投与区(♀7尾, ♂5尾)および対照区(♀13尾, ♂3尾)に分けてそれぞれ収容した。収容と同時に長日処理(前述)を行い, 水温は15℃以下となった1月30日までは自然水温とし, 以後は加温して15℃を保持した。コレステロールペレット区では, 2月18日に産卵が認められたため水温を19℃に上げ, 以後はこれを維持した。ポリマーペレット区と対照区とは2月中旬以降徐々に昇温し, HCG注射を行った3月16日に17℃, 3月18日以降は19℃とし以後産卵期間中はこれを維持した。1月10日にコレステロールペレットおよびポリマーペレットをいずれも親魚1

尾当たり1mgずつ投与した。

12月19日の水槽収容時の平均卵巣卵径は162μmであり, GnRHを投与した1月10日には170μmとあまり変化はみられなかった。その後, 2月7日まではそれぞれ平均卵巣卵径が徐々に増大したが, 実験区間での大きな差はなかった。しかし, 2月28日までにコレステロールペレット区では平均卵巣卵径の急激な増大が認められ, その間2月18日に産卵が開始された。ポリマーペレット区と対照区の親魚では同程度に成熟が進んだが, 2月28日以降はポリマーペレット区の方が平均卵巣卵径がやや増大した。これらの両区では産卵が確認できなかったため, 3月16日にHCG(900IU/kg)を注射したところ, 2日後から産卵が認められた。

このように, コレステロールペレット区では2月7日以降急激な平均卵巣卵径の増大がみられ, この時, 血中のエストラジオール-17β量も急激な増加がみられた(香川ら, 1992)。コレステロールペレット区では2月18日から3月25日まで産卵が認められ(表II-6), 雌1尾当たりの産卵数は178.5万粒と多かったが, ふ化仔魚数は5.9万尾と少なかった。一方, ポリマーペレット区および対照区では3月18日から3月25日まで産卵が認められ, 雌1尾当たりの産卵数はそれぞれ110.3万粒および61.5万粒, また, ふ化仔魚数はそれぞれ26.0万尾および12.8万尾であった。しかし, 対照区に比べあまり変わらない結果となった。

コレステロールペレット区では急激な卵黄形成および排卵促進効果がみられたが, 卵質は良くなかったのに対して, ポリマーペレット区ではコレ

表 II-6 GnRH 投与による成熟・産卵促進試験結果 (五島事業場)

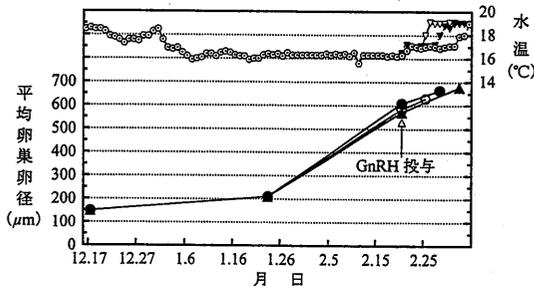
| 試験区と 試験期間 | 供試親魚 供試尾数 (♀) | 試験水槽 の大きさ (m ³) | 産卵期間 (月日) | 雌親魚1尾当たりの | | 浮上 卵率 (%) | 受精 率 (%) | ふ化率*1 (%) |
|----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--------------|-------------|---------------|-----------------|----------------|--------------|
| | | | | 産卵数 (万粒) | ふ化仔魚数 (万尾) | | | |
| GnRH コレステロールペレット (12.19-3.25) | 天 3*2 12 (7) | 90 | 2.18-3.25 | 178.5 | 5.9 | 23.1 | 38.4 | 3.3 |
| GnRH ポリマーペレット (12.19-3.25) | 天 3 12 (7) | 90 | 3.18-3.25 | 110.3 | 26.0 | 41.4 | 65.1 | 23.6 |
| 対 照 区 (12.19-3.25) | 天 3 16 (13) | 90 | 3.18-3.25 | 61.5 | 12.8 | 50.8 | 76.3 | 20.9 |

*1 総採卵数に対するふ化率で求めた。

*2 親魚の大きさ: 平均尾又長79.0cm (77.0-81.0), 平均体重9.0kg (8.2-9.8)。

ステロールペレット区ほど顕著な成熟促進効果は認められなかったものの、対照区に比べてHCG注射時の退行卵の出現が少なかった。

平成9年度の試験 ブリ親魚に早い時期にGnRHをコレステロールペレットとして投与すると、前述の平成4年度の試験例のように、急激に成熟が促進され産卵が行われる場合もあるが、不安定で卵質もよくなかった。また、卵黄形成が全く始まっていない雌に投与してもほとんど効果はみられなかった。したがって、近年では2月下旬から3月上旬の採卵を目標として、まず、加温処理と長日処理の併用により成熟を促進させる。次いで、平均卵巢卵径が500 μm （卵黄形成の中期）になると思われる2月20日頃にGnRHを投与し



図II-31 GnRH投与によるブリ親魚の成熟促進試験（五島事業場）

- ：コレステロールペレット区の平均卵巢卵径
- ：ポリマーペレット区の平均卵巢卵径
- ▲：対照区の平均卵巢卵径
- ▽：コレステロールペレット区の養成水温
- ▼：ポリマーペレット区の養成水温
- ◎：対照区の養成水温

て5～10日後の平均卵巢卵径が700 μm 以上に達すると推定される2月下旬にHCG注射により産卵させるというパターンで早期採卵を行っている。

図II-31に平成9年度に行った早期採卵試験における飼育水温と平均卵巢卵径の経時的变化を示した。12月17日に天2親魚（平均体重10.1kg）を水槽に収容し、長日処理（前述；6時間）と最低飼育水温を16°Cに設定して養成を行った。2月20日に雌雄各7尾を1試験区として、親魚1尾当りGnRHをコレステロールペレットで0.4mg投与する区、ポリマーペレットで0.6mg投与する区および対照区を設定した。また同時に、いずれの試験区においても飼育水温を17°Cに上昇させた。その後、コレステロールペレット区は成熟が早く進むことを考慮し、2月25日にHCGを注射して水温を19°Cに、また、ポリマーペレット区および対照区ではそれぞれ3月1日および3月4日にHCG（600IU/kg）を注射して、両試験区ともその日に飼育水温を19°Cに上昇させた。

その結果、コレステロールペレット区では2月28日より産卵が認められ、3月17日までに総採卵数で687.1万粒が得られたが、浮上卵数は76.0万粒であった。また、ポリマーペレット区では3月3日から産卵がみられ、3月17日までに総採卵数で995.1万粒、浮上卵数227.2万粒が得られた。特に、初回産卵時に産卵の同調化がみられ、産卵初日の総採卵数は258.3万粒、浮上卵は158.9万粒であった。対照区では3月6日から3月20日までの間に総採卵数945.0万粒、浮上卵数435.1万粒が得られ、産卵初日にも137.2万粒が採卵された（表

表II-7 GnRH投与による成熟・産卵促進試験結果（五島事業場）

| 試験区 (試験期間) | 供試親魚 供試尾数 (♀) | 試験水槽 の大きさ (m^3) | 産卵期間 (月日) | 雌親魚1尾当りの | | 受精率 (%) | 産卵1日目の | | |
|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|--------------|-------------|---------------|------------|-------------|---------------|-------|
| | | | | 産卵数 (万粒) | ふ化仔魚 数(万尾) | | 産卵数 (万粒) | ふ化仔魚 数(万尾) | |
| GnRH コレステロールペレット (12.17-3.20) | 天2* 14(7) | 90 | 2.28-3.17 | 87.3 | 1.3 | 12.4 | 75.9 | 4.2 | 0 |
| GnRH ポリマーペレット (12.17-3.20) | 天2 14(7) | 90 | 3.3-3.17 | 109.7 | 11.0 | 29.6 | 80.7 | 258.3 | 158.9 |
| 対照区 (12.17-3.20) | 天2 14(7) | 90 | 3.6-3.20 | 72.9 | 33.7 | 85.3 | 94.9 | 137.2 | 128.8 |

* 親魚の大きさ：平均尾又長82.7cm，平均体重10.1kg.

II-7)。

⑤ 問題点と課題

水温制御と長日処理に加えて、GnRH 投与により成熟を促進し、HCG 注射により2月下旬から3月上旬での早期採卵が可能となった。その際、GnRH をコレステロールペレットで投与するタイミングとして卵黄形成期の中期が良いと考えられるが、まだその時期の把握ができていない。また、その後の HCG 注射のタイミングが難しく得られた受精卵の卵質にも問題があった。一方、ポリマーペレットによる投与では、成熟はコレステロールペレットに比較して緩やかで産卵時期もやや遅くなるが、比較的安定して採卵できることがわかった。なお、これまでの試験において、3月上旬であれば GnRH を投与せずに水温制御と長日処理だけでも十分に成熟し、HCG 注射によって良質の受精卵が得られることが明らかとなった。

今後、さらに早い時期の安定的な採卵を目指すには、現在の条件設定では不十分であり、異なった環境条件の設定と GnRH の有効利用方法の検討が必要である。その試験として、ここにはデータは示さないが、前項の古満目事業場での条件設定を参考にし、最低飼育水温を19℃として養成を行うと、五島事業場でも2月中旬には採卵できる可能性が示された。また、GnRH ペレットの利用では、ペレットの性質上投与直後に多量のホルモンの放出が知られており (Sherwood *et al.*, 1988 ; Matsuyama *et al.*, 1993), それにより GtH の急激な放出が促される。一般に、卵黄形成中は脳下垂体からの GtH の分泌が最終成熟時に比較し低いことから、多量のホルモン分泌が卵黄形成中に成熟にマイナスに作用することが考えられる。そこで、ペレットの投与前に1～2日間生理食塩水中に入れ、急激な放出をさせたものを使用することが必要と思われる。一方、人工的に養成した親魚の方が成熟が早いことが経験的に知られており、これらの親魚の活用をさらに考慮するべきである。

Ⅲ. 卵管理とふ化

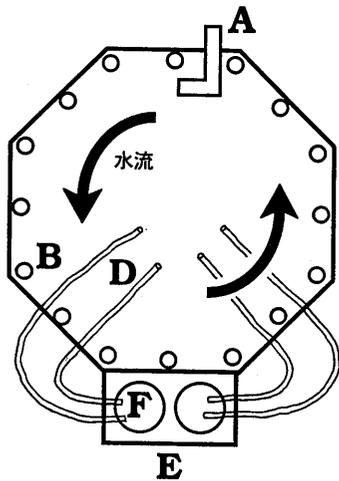
柏木 (1989) は卵管理の重要性を次のように述べている。「魚卵のふ化は、持って生まれた卵質と受精・発生過程で遭遇する環境によって異なる。卵質は、卵産出までの親魚の生理状態などに起因し、親魚の養成技術または採卵技術に大きく関わる問題である。そして、産出卵の質的な評価は卵管理の効率的運営にとって欠かせない技術の一つである。つまり、卵管理の過程では、良質卵を選別し、その発生における最適の環境条件をつくり、健全な仔魚を生産することが必要である」。これは、健全なふ化仔魚を種苗生産に供給するためには、産出された卵を効率よく回収し、好適な環境で管理・ふ化させるということが非常に重要であり、また、それらの卵の質的な評価を行なう技術が必要であるという指摘である。この章では、水槽内に産出された卵の回収方法、採卵した卵のふ化までの管理方法、卵とふ化仔魚の質的な評価方法、および卵とふ化仔魚の輸送方法等について述べる。

1. 卵の回収

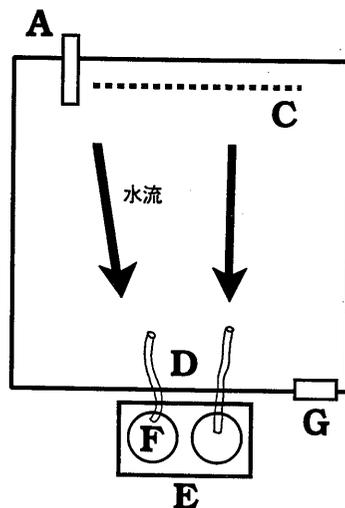
産卵水槽内に産み出された卵は、水槽壁等への接触による物理的損傷を与えないためにも比較的

短時間のうちに効率よく回収することが重要である。ブリの卵は分離浮遊性卵であり、産出された受精卵は水槽の比較的浅い水深帯に分布しているため、飼育水のオーバーフローによる回収が最も効果的であると考えられる。しかし、この方法には飼育水の表面に浮いている親魚の排泄物や残餌も同時に回収してしまうという欠点がある。エア配管やサイホンの位置などは、使用する水槽の形状および注水量等によって異なる。ここでは、古満目事業場および五島事業場で実施している卵の回収方法について述べる。

古満目事業場の八角形産卵水槽 (65m²) では、図Ⅲ-1に示したようにエアリフトにより飼育水を緩やかに回転させ、卵を水槽中央部に集めて回収している。回収には水槽の水面下10~20cmに設置したフレキシブルホース (φ50mm) 4本をサイホンとして用い (写真Ⅲ-1, 2), 水槽横に設置した採卵水槽 (写真Ⅲ-1, 3) 中の採卵ネット (φ70cm×深さ60cm, 黒色ゴース地テトロン # C-119, 東レ社製, 写真Ⅲ-4) でろ過収集する方式を採用している (図Ⅲ-1, 写真Ⅲ-3)。陸上水槽での換水率はおおむね4~6回転/日である。



八角形産卵水槽 (65 m², 古満目事業場)



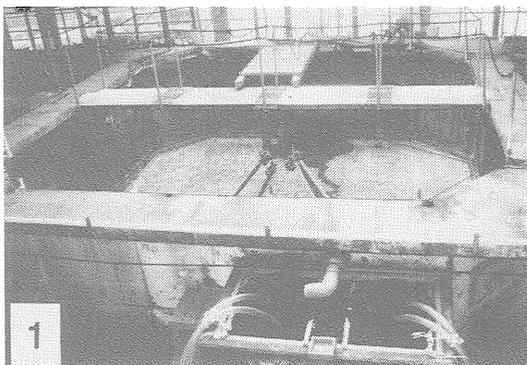
四角形産卵水槽 (90 m², 五島事業場)

図Ⅲ-1 陸上水槽における採卵方法

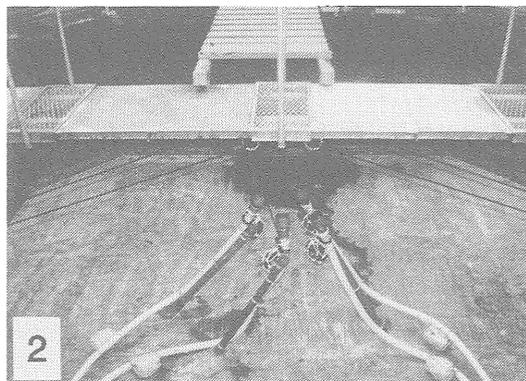
A : 注水, B : エアリフト, C : エアブロック, D : サイホン,
E : 採卵水槽, F : 採卵ネット, G : オーバーフロー

一方、五島事業場では四角形産卵水槽（90m³）を使用して、エアブロックにより注水口と対角の位置にあるオーバーフロー口に表層水を流し

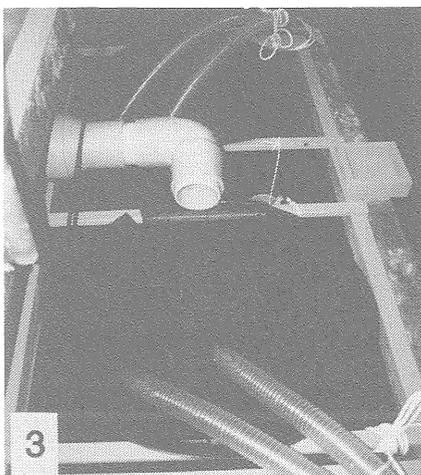
（図Ⅲ-1、写真Ⅲ-5）、採卵を行わない時には、油膜その他の懸濁物等を流し出している。採卵は、オーバーフロー口近くにフレキシブルホース（φ



写真Ⅲ-1 プリ親魚の採卵に使用されている八角形産卵水槽（容量65m³、古満目事業場）



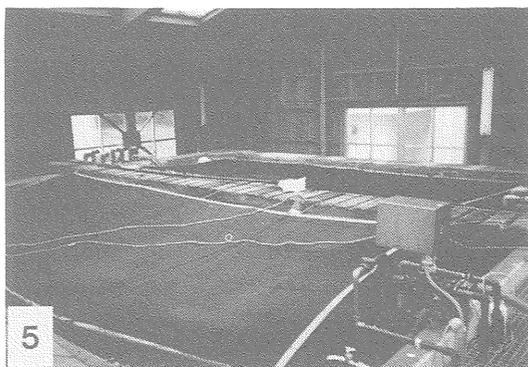
写真Ⅲ-2 八角形産卵水槽内部に配置された採卵用サイホン



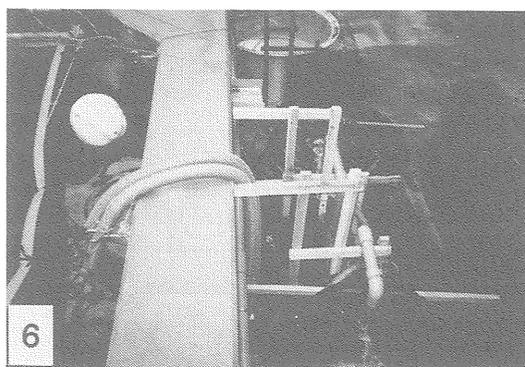
写真Ⅲ-3 八角形産卵水槽に隣接する採卵水槽と内部に設置された採卵用ネット



写真Ⅲ-4 採卵に使用されている採卵ネット（φ70cm×深さ60cm、実容量0.19m³）



写真Ⅲ-5 プリ親魚の採卵に使用されている四角形産卵水槽（容量90m³、五島事業場）



写真Ⅲ-6 四角形産卵水槽に隣接して設置された採卵水槽

50mm) を2～4本設置し、サイホン式で卵を回収している。卵の回収は、ポリカーボネイト水槽(0.5m³)内に設置した採卵ネット(同上)にろ過収集して行っている(図Ⅲ-1, 写真Ⅲ-6)。

両事業場における産卵水槽の飼育水の換水率は、古満目事業場では水槽の大きさとは無関係に

通常4～6回転/日としている(表Ⅲ-1)。一方、五島事業場では400m³および90m³水槽での換水率は、通常使用時はそれぞれ5～6回転/日および2～3回転/日としているが、90m³の産卵水槽で卵を回収する時には、3～4回転/日としている(表Ⅲ-1)。

表Ⅲ-1 陸上水槽におけるブリ親魚の産出卵の回収方法

| 事業場名 | 産卵水槽(m ³) | 通気方法 | 卵の回収場所 | 回収方法 | 換水率(回転/日) | 採卵水槽(大きさ等) | 採卵用ネット |
|------|-----------------------|--------|--------|------|-----------------|----------------------------------|---------------------------|
| 古満目 | 65 | エアリフト | 水槽中央 | サイホン | 4～6 | コンクリート製 (80cm×160cm, 深さ100cm) | 黒ゴースネット (φ70cm×深さ60cm) |
| | 130 | エアリフト | 水槽中央 | サイホン | 4～6 | プラスチック製 (76cm×123cm, 深さ60cm) | 黒ゴースネット (φ70cm×深さ60cm) |
| 五島 | 400 | エアブロック | 水槽壁 | サイホン | 5～6 | コンクリート製 (幅1m×深さ100cm) | 黒ゴースネット (φ70cm×深さ60cm) |
| | 90 | エアブロック | 水槽壁 | サイホン | 通常2～3 (3～4)* | パンライト (0.5m ³) | 黒ゴースネット (φ70cm×深さ60cm) |

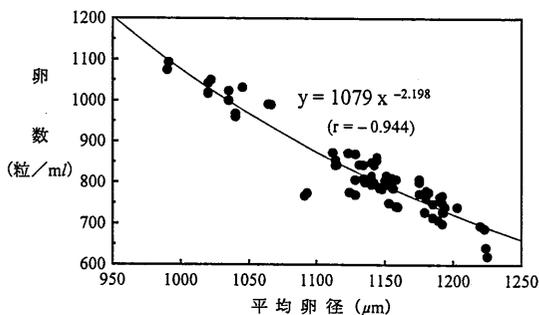
* 卵を回収する時。

陸上水槽で採卵した卵および人工授精で得られた卵はバケツ(20ℓ)に収容し、10分程度静置して浮上卵と沈下卵を分離する。バケツ内で浮上した卵は、500mlのビーカーを用いてポリカーボネイト製メスシリンダー(2ℓ)に静かに掬い取る。そして、さらに10分間程度静置させて浮上卵と沈下卵に分離させた後、浮上卵と沈下卵の容積をそれぞれ読み取り、浮上卵率を算出する。卵径(x)と容積1ml当りの卵数(y)の実数計数を行った結果、図Ⅲ-2に示すように

$$y=1079x^{-2.198} \quad (r=-0.944)$$

なる相関が見られた。

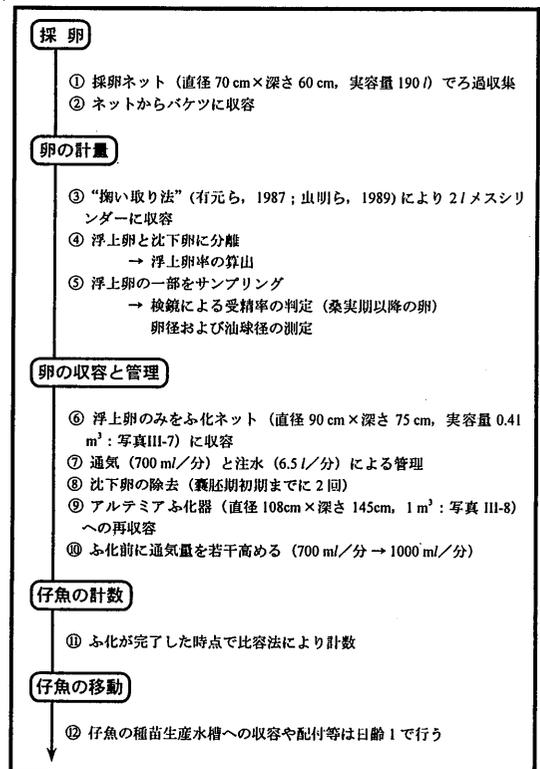
したがって、容積から卵数への換算は、卵径測定を行った後にこの換算式により算出した。



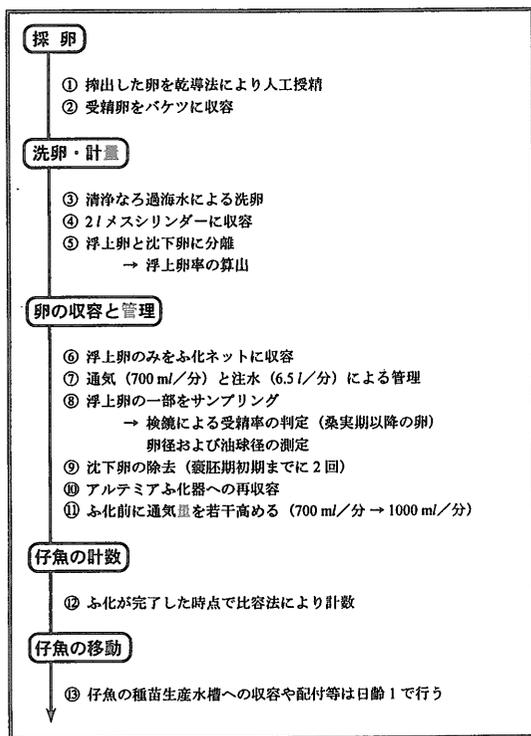
図Ⅲ-2 ブリの卵径と単位容積当りの卵数との関係(古満目事業場)

2. 卵管理

得られた卵のふ化までの卵管理の過程では、そ



図Ⅲ-3 ブリの誘発産卵事例における卵管理フロー



図Ⅲ-4 ブリの人工授精による採卵事例における卵管理フロー

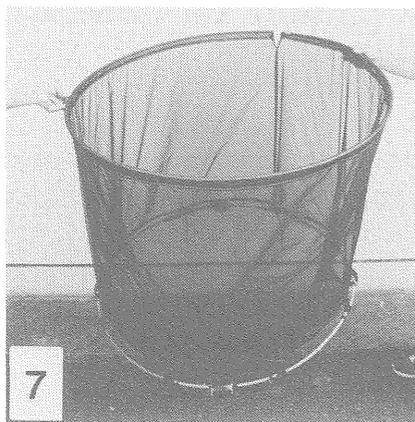
の発生における最適の環境条件をつくり、健全な仔魚を生産することが必要である (柏木, 1989)。ここでは、比較的容易に把握できる卵管理中の環境条件として、適正通気量および換水量に関して同じアジ科に属するシマアジでの事例 (虫明, 1996) を参考としたブリ卵管理への応用事例について述べる。なお、ブリではホルモン注射による誘発産卵および人工授精の両方で採卵が可能であり、得られた卵のふ化までの管理方法に関するフローをそれぞれ図Ⅲ-3および図Ⅲ-4に示した。

(1) ふ化容器と収容密度

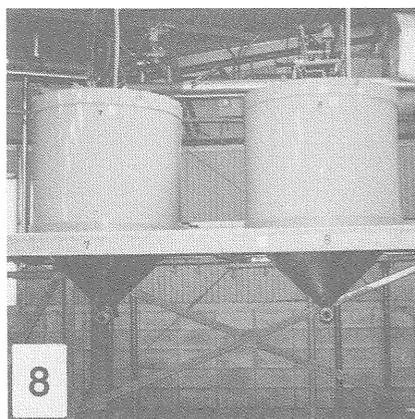
1) ふ化容器

ブリの卵をふ化させる特別な容器はない。日裁協では、ブリに限らず大量の分離浮性卵をふ化させるにはゴース地で作製した、通称“ふ化ネット” (直径90cm×深さ75cm:写真Ⅲ-7) あるいはアルテミアふ化器の逆円錐形の部分を若干改良した通称“ふ化器” (直径108cm×深さ155cm:写真Ⅲ-8) を使用している。

これらのふ化容器の利点と欠点を表Ⅲ-2に示し



写真Ⅲ-7 卵管理に使用されているふ化ネット (φ 90cm×深さ75cm, 実容量0.41m³)



写真Ⅲ-8 卵管理に使用されているアルテミアふ化器 (φ 108cm×最深部の深さ145cm, 1m³)

た。ふ化ネットは、安価で取り扱いやすい反面、破損しやすい短所がある。また、柔軟性のある構造のため通気や注水の影響で吹きだまりができやすい。しかし、生地がなめらかなため、比較的強度の高い受精膜への損傷を与えにくく、卵の取り揚げはきわめて簡単に行える利点を有する。また、実容量が比較的小さいこともあり、ふ化までの間に行う沈下卵の除去が後述するふ化器よりも容易に行える。しかしその反面、ふ化して仔魚になると、取り揚げ時に仔魚がネットへ付着し仔魚膜に物理的損傷を与えるため、その後の生残に影響が出やすい。したがって、ネットからの取り揚げには細心の注意を払う必要がある。また、ネットであるため隣接するネットとの海水の交流が自由であるため、疾病防除対策上は病原微生物の水平伝

表Ⅲ-2 “ふ化ネット” および “ふ化器” の長所と短所

| 名 称 | 実容量 (ℓ) | 長 所 | 短 所 |
|----------|---------|---|---|
| ふ化ネット | 410 | 取り扱いが簡単 卵の取り揚げが容易 沈下卵の除去が容易 | 仔魚の取り揚げが困難 吹きだまりができやすい 破損しやすい 疾病対策上、ネット別の管理に不適 |
| アルテミアふ化器 | 1,000 | 収容卵数が多い 疾病対策上、水平伝播の防除に有効 卵管理が容易 破損しにくい | 取り扱いが不便 沈下卵の除去が困難 |

播が容易に起こるため不適である。

一方、ふ化器は高価でその大きさおよび重量から取り扱いが不便であるという短所を有するが、大量の卵を収容することができ、容器が独立しているため、容器間の病原体の水平伝播の可能性がきわめて低い。また、吹きだまり等ができにくいため卵管理が比較的容易に行えるとともに、熟練すれば卵や仔魚の取り揚げも比較的容易に行えるようになる。ただし、ふ化ネットの場合と比較すると、通気と注水を止めても構造上、沈下卵が一箇所に集積しにくく、沈下卵の除去に比較的長時間を要することが短所として挙げられる。

2) 卵の収容密度

ふ化ネットあるいはふ化器へのブリの卵の収容密度に関する実験データは得られていない。卵のふ化率や病原微生物の水平感染を考慮すると、低密度で卵管理できればそれに越したことはない。しかし、卵管理に使える施設内の作業スペースの問題、同時期に産卵期を有する他魚種との卵管理スペースの競合、あるいは沈下卵の除去に要する時間的制約等を勘案すると、自ずと集約的な卵管理体制を採らざるを得ないのが現状である。古満目事業場ではこれまでシマアジの卵を用いた収容密度に関するデータをもとにブリの卵に応用してきた。ここでは、その経験的に得られた知見について述べる。

シマアジの卵を用いた実験では、ふ化ネットを用いた収容密度の評価をふ化率と仔魚膜の異常率を指標にした。ここで、通常は仔魚のほぼ全体を均等に覆っている仔魚膜の一部が欠損している場合を異常と判定した。卵管理中の通気量および注水量は、後述するようにそれぞれ700ml/分および6.5ℓ/分とした。その結果、1 ネット当り100

万粒 (242万粒/m³) 以下の収容区では90%以上の高いふ化率を示したが、100万粒以上の収容区では密度の上昇とともにふ化率が低下した。また、ふ化率に反比例して仔魚の仔魚膜異常率が上昇する傾向が認められた (虫明, 1996)。これは、ネットへの収容密度が高くなることにより、卵およびふ化仔魚間の距離が小さくなることによる物理的損傷による結果であると考えられた。これらの結果から、シマアジの卵ではふ化ネットへの最大収容密度は100万粒 (242万粒/m³) であると考えられた。

しかし、このデータをブリの場合にそのまま応用することはできない。それは、卵径の大きさが異なるためである。シマアジの卵径は1,000~1,100 μm であるのに対して、ブリは1,200~1,300 μm の卵径を有する。平均値をとって単純に体積比を比較すると、ブリ卵はシマアジ卵の約1.5倍の体積を有する。この体積比をそのまま卵数に換算すると、ブリの卵のふ化ネットへの最大収容密度は66.7万粒 (161万粒/m³) となる。これらの理論値を元に古満目事業場ではふ化ネットおよびふ化器への最大収容卵数をそれぞれ60万粒および150万粒としてきた。親魚の栄養状態や採卵時期等の卵管理に間接的な影響を与える要因を無視すれば、これまで経験的にはこれらの収容卵数でもふ化に特に問題はなかった。

(2) 通気量と注水量

1) 通気量

卵管理中の通気は卵への溶存酸素の供給以外にも、卵が分離浮性卵である場合には通気によって生ずるふ化容器内での水流により卵を容器内に一様に分散させる上で重要な意味を持つ。卵の収容

密度と同様に、ブリでの基礎的実験結果に基づくデータがないため、本項でもシマアジでの事例を参考に述べる。

シマアジの卵管理中の通気はふ化ネット内にエアーストン(φ40mm, 球形)1個を用いて行い、試験区には約100ml毎に200~2,000ml/分の各通気区を設けた。また、通気自体の卵のふ化に及ぼす影響を検討するため毎回無通気区も併せて設けた。その結果、毎分700mlの通気量まで通気量の増加に比例してふ化率の上昇が見られ、それ以上の通気量ではごくわずかながらふ化率が低下する傾向が認められた(虫明, 1996)。なお、無通気区の卵はいずれもふ化直前にネット底部に堆積して全くふ化しなかった。得られた仔魚の仔魚膜異常率は通気量が1,000ml程度までは特に大きな変化はなかったが、1,000ml以上になると通気量の増加につれて高くなる傾向を示した。これは、強通気によるネットとの接触に伴う仔魚膜の損傷、あるいは強通気そのものによる仔魚膜への物理的影響による結果と考えられた。無通気区で示されたような卵の沈下による酸素欠乏死を考えると、シマアジでは卵管理中の最適通気量は700ml/分と考えられた。同じ分離浮性卵であるブリの場合にもこの通気量は応用できると考え、ふ化ネットおよびふ化器での通気量にはこの値を採用している。

2) 注水量

卵管理中の注水量は、上述の通気量とともに卵への溶存酸素の供給以外に卵を一様に拡散させる上で重要な意味を持つ。ここでもシマアジでの事例を参考に述べる。

卵管理中のふ化ネット内への注水は、砂ろ過海水を水道用ホース(φ13mm)を用いて行った。注水量試験区は、1時間当りの換水率50%(毎分3.2l)、80%(同5.2l)、100%(6.5l)、120%(7.8l)、150%(9.8l)および200%(13.0l)の各区を設けた。その結果、100%換水区(毎分6.5l注水)で最も高いふ化率が得られた(虫明, 1996)。得られた仔魚の仔魚膜異常率は、注水量の増加とともに高くなる傾向が認められた。溶存酸素の供給を目的とした過剰の注水量は、通気量の場合と同様に卵およびふ化仔魚に与える物理的損傷が大きく影響するためにふ化率の低下ならびに仔魚膜異常率の上昇をもたらすものと考えられ

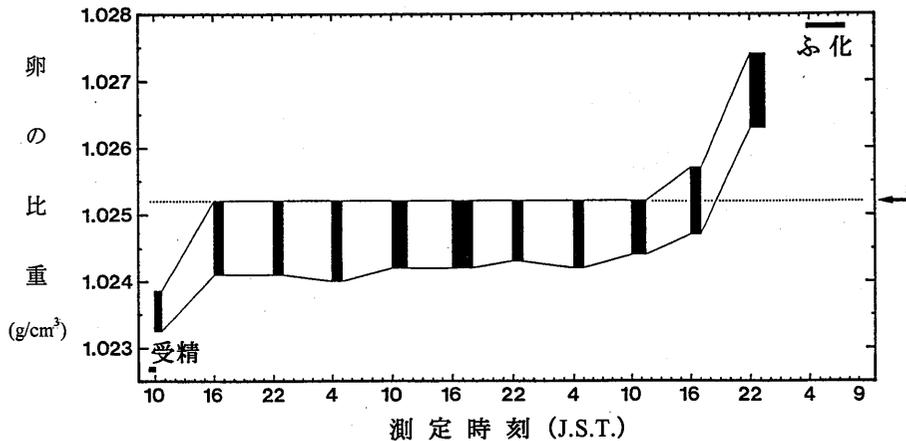
た。したがって、シマアジの卵管理においては1時間で100%換水(6.5l/分)が最適注水量と考えられ、ブリの場合にもこの値を採用しているが、これまでのところ特に問題はない。

3) 卵比重の変動

ふ化前に卵が沈下する現象は、これまでにスケトウダラ(中谷・前田, 1984)、カタクチイワシ(Tanaka, 1990)、マダイ(Tanaka *et al.*, 1991; Kitajima *et al.*, 1993)、シマアジ(虫明, 1996)およびクロマグロ(升間私信)などの海産魚類も共通に認められている。クロマグロを除く魚種では、いずれもふ化前の卵の比重が海水より大きくなることを確認しているが、その生態学的意義は天然海域における再生産機構に関連していると推察されているに過ぎない。ここでは、ブリの卵を用いて行った受精直後からふ化直前の発生段階別の卵比重の測定結果を示す。

試験には人工授精により得られた卵を供した。ふ化ネット中での卵管理は上述の方法で行いながら、必要に応じてガラス製ピーカーで掬い取って試験に供した。ふ化ネットへの卵の収容からふ化までの間の卵の飼育水温は $20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ に保持した。卵の比重の測定は基本的にTanaka(1990)の方法に準じて行った。すなわち、1lのガラス製メスシリンダーにNaClあるいは蒸留水で比重を約 $0.0004\text{g}/\text{cm}^3$ の幅で $1.0221 \sim 1.0285\text{g}/\text{cm}^3$ に調整した海水(水温 20°C)を1l入れた。試験中の各メスシリンダーの水温はウォーターバスにより $20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ に保持した。そして、収容による卵の上下動の影響をなくするため10分間静置した後、結果を判定した。メスシリンダー中ですべての卵が表層に浮上あるいはシリンダーの底に沈下した場合には、その海水の比重が卵の比重のそれぞれ最高あるいは最低とみなした。この操作を受精直後からふ化直前までの間に約6時間間隔で計11回行った。なお、1回当りの観察時間は約1~2時間とした。

その結果、卵比重の変動傾向はシマアジでの結果(虫明, 1996)にきわめて類似していた(図III-5)。すなわち、受精直後の卵では飼育海水の比重($1.0252\text{g}/\text{cm}^3$)よりも $0.001\text{g}/\text{cm}^3$ 程度比重が小さく、その後、受精後48時間までは上限は海水の比重と同じであったが、下限は次第に大きくなる傾向が見られた。受精後54時間経過した時点



図Ⅲ-5 人工授精により得られたブリ受精卵の比重の変動 (虫明, 1996)
 カラムの高さと幅はそれぞれ各測定時刻における卵比重の範囲と維持時間を示す。
 図中の矢印は飼育海水の比重を示す (1.0252 g/cm³)。

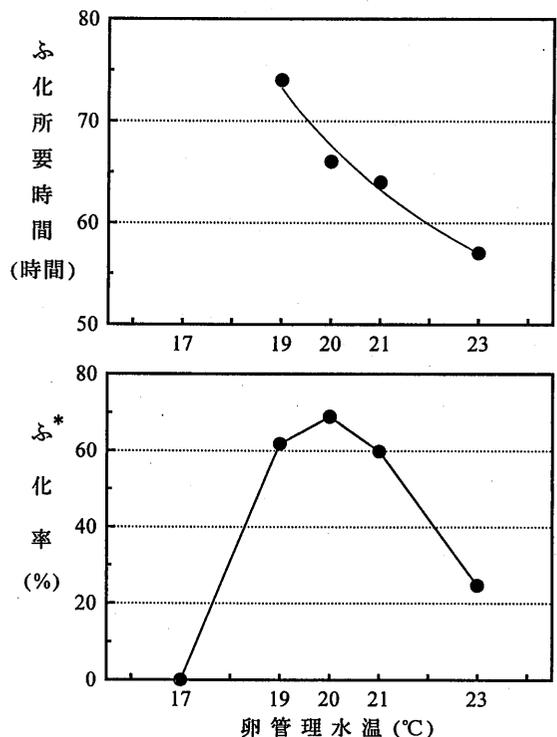
で海水の比重よりも大きくなり始め、60時間経過後では卵の比重は1.0263～1.0274g/cm³と最大に達した。そして、受精後約66時間でふ化が始まった。卵の比重が最大に達した時の値は、シマアジでの値 (1.0264～1.0274g/cm³) とほぼ同じであった。

ブリにおいても無通気条件下では卵はふ化しない、あるいは極めて低いことはよく知られている。したがって、ブリの卵管理を行う場合には、ふ化直前の卵管理条件が特に重要となり、前述したように適度な通気と注水を施すことでふ化容器内で卵の様な分散を図ることにより、卵の堆積に起因する酸素欠乏死を防ぎ、ふ化率を高めることが肝要であると考えられた。

(3) 水温とふ化時間

魚類の体温は環境水温に応じて変化するため、水温は魚類の全生活史における代謝速度を直接的に支配し、種々の生理生態に大きな影響を及ぼしている (柏木, 1989)。また、受精からふ化までの卵の発生速度は魚種によって異なるが、同一魚種でも水温によって大きく異なることが知られている。内田ら (1958) は、水温18.0～24.5℃においてブリの卵のふ化時間は約51時間であったと報告している。古満目および五島事業場では得られた卵を用いて水温別にふ化試験を行った。試験は500ml ガラスビーカーに浮上卵50粒を收容し、ウォーターバス方式で試験水温 (17, 19, 20, 21

および23℃) を保持した。観察は試験開始後約2時間毎に行い、ふ化した仔魚は駒込ピペットにより計数しながら除去した。なお、供試した卵のふ化が完了した時点をつ化所要時間とした。



図Ⅲ-6 ブリ卵の水温別ふ化所要時間 (上) とふ化率 (下) (崎山・今泉, 未発表)
 *受精卵数に対するふ化率で求めた

水温別のふ化所要時間とふ化率を図Ⅲ-6に示した。17℃では全くふ化は認められなかった。一方、ふ化が認められた実験区の平均ふ化所要時間は、19℃で74時間、20℃で66時間（静かなビーカー試験では卵が水面に出ている時間が長いいため卵表面が水温より低くなるためか、ふ化ネットの場合より時間を要すると思われる）、21℃で64時間、23℃では57時間と高水温区ほどふ化が早まった。その時の卵のふ化率は、20℃区で最も高くなった（受精卵数に対するふ化率で66.7%）。これまで古満目および五島両事業場とも卵管理は水温20℃を基準に行ってきた。その理由は、親魚の産卵水温が18.5~19.0℃であったため、産出卵を水温の大きく異なる海水に収容するのは卵の正常発生に悪影響があると考えたためである。今回の試験結果はその経験的やり方が妥当なものであったことを裏付けるものと考えられる。

一般に魚卵には水温変化に対し、高い感受性期があることが知られている。その時期はシロギスにおいては受精時から胞胚期までと囊胚中期から眼胞形成期までの2つの期間で水温変化に弱いと報告されている（Oozeki and Hirano, 1985）。ブリではこのような高感受性期に関する知見はないが、同様の可能性が十分に考えられるため、卵の管理水温には注意を払う必要がある。

一般に、浮性卵ではふ化までの時間が短く、沈性卵や付着卵では長く、水温の上昇に伴いふ化時間は指数関数的に短縮し、この変化は Van't Hoff の Q_{10} 則（温度反応速度関係）に従うと言われており（柏木, 1989）、他の魚種ではふ化時間と水温の関係式も求められている。

3. 卵およびふ化仔魚の評価

種苗生産現場では、より健全な種苗を生産することは量産と並ぶ大きな技術目標である。そのためには、良質な卵や活力の高いふ化仔魚を得る必要がある。良質な卵は、給餌する飼餌料の種類等による産卵親魚の栄養状態に左右されるため、前述したように優良親魚の養成が重要となってくる。一方、仔魚の活力に関しては、これまで経験的あるいは感覚的にある程度理解はできるものの、活力を仔稚魚の体重などと同様に数値化しない限り、種苗生産技術の確立を目指す上で科学的な検討対象とすることは困難である。

種苗の質的評価に関しては、サケ（中野・白旗, 1988）で魚の成長と生体成分の分析や遊泳速度の測定による種苗性の評価、また、マダイ（福原, 1974, 1986；慶徳ら, 1985；丸山ら, 1986）では無給餌飼育による仔魚の質的評価および空中乾出や麻酔抵抗性による種苗性の評価について検討がなされている。さらに、カサゴではふ化仔魚の無給餌飼育（飢餓耐性試験；後述）を行い、無給餌生残指数（SAI）を求めて、ふ化仔魚の活力判定の評価指標とすることが提案されている（新聞・辻ヶ堂, 1981）。

近年、卵や仔魚の質的評価を行うには生化学的手法による解析が行われてきているが、種苗生産現場で比較的簡便に実施可能な手法はほとんどなく、これまでの経験的手法に依存しているのが現状であろう。そこで、ブリにおいてもこのような観点から卵あるいはふ化仔魚の評価を行うことを試みた。

(1) 生物学的評価

1) 受精卵

① 一般的性状

ブリの受精卵は油球1個を有する分離性浮遊卵であり、卵径は1,200~1,300 μm 、油球径300~330 μm である（内田ら, 1958）。通常、油球は1個であるが、受精直後には複数の油球を有する卵もあり、発生に伴い油球の数は減少し、最終的にほとんどの油球は1個になる。卵黄はやや黄色を呈し、不規則な亀裂がある。通常、水温18~20℃下では受精後60時間前後でふ化する。受精率とふ化率は、産卵群や産卵個体により大きな差が見られる。ブリ卵の浮上卵率、受精率、卵径、油球径およびふ化率は、産卵親魚群の由来や養成に使用された飼餌料によって異なることが経験的に知られている。

② 生物学的性状と初期生残

卵の大きさは卵径や卵重量として容易に測定可能である。ブリの卵径は産卵初期が最も大きく、産卵回数が増えるに従って小型化する傾向が認められ、同様な傾向はマダイ（Watanabe *et al.*, 1985b）、キジハタ（Fukuhara, 1989）およびイシダイ（伊藤, 1978）においても認められている。しかし、ブリ受精卵の大きさと初期生残の間に相関関係は見られず、マダイやニジマスに関する研

究でも卵の大きさと初期生残との関係は明確にされていない。卵の大きさは卵質やふ化仔魚の活力の指標にはなり得ないものと思われる。

マガイ (Watanabe *et al.*, 1984c, 1984d, 1985b) では油球異常率が高いときの浮上卵率やふ化率は低く、また、クロダイ (清野, 1974) では卵黄吸収過程での死亡率が高い傾向が見られ、油球異常と卵質、初期生残率との間に関連性が認められている。しかし、シマアジについては、発生初期に油球異常が多い場合でも、発生が進むにつれ油球が融合する傾向が見られ、そのような卵であってもふ化率は90%以上であったという報告がある (村井ら, 1987)。ブリは、シマアジと同様に受精直後は油球が多数存在する個体が高率で見られるが、発生が進むにつれ融合し最終的には1個になり、油球異常と卵質や初期生残率について関連性はないものとされている。

受精率、浮上卵率、ふ化率は産卵群により異なることから、卵質は産卵群や産卵個体により、かなりの差があるものと思われる。しかし、それらの項目と初期減耗 (おおむねふ化直後から10~20日間の仔魚期における大量減耗; 塚本, 1989) との間には相関関係は見いだされておらず、形態学的手法によりふ化仔魚の活力を評価することは困難であると思われる。

③ 受精卵の個体差

前述した通り、ブリの卵はふ化直前に卵比重の増加により沈降する現象が見られ、その後、ふ化が始まる (図Ⅲ-5参照)。沈降は受精後54時間前後から始まり、その後、すべての受精卵が沈降するまでに約8時間を要し、ふ化が始まってから全個体がふ化するまでに約4~5時間を要する。このような現象は、受精後の卵の発生速度に個体差があることを意味し、同一親魚群から得られた受精卵であっても、産卵に関与した親魚の個体差に伴って卵質的にかなり異なることが推察される。通常、種苗生産用に採卵されるブリの卵は、産卵初期に量的にまとまって得られた時の卵を使用することが多い。供試した全雌個体が産卵に関与したと思われる事例もあるが、陸上水槽の壁面に設けられた観察窓から産卵後の親魚の腹部を観察すると、ほとんどの場合がその内の何割かが産卵に関与したと思われる事例が多く、このことに起因して得られた卵の卵質は親魚間の個体差がかなり

反映されていると考えられる。そのため、卵質やふ化仔魚の活力評価には、平均値だけでなく個体差を十分に考慮する必要があると思われる。今後データの集積を継続して行う必要がある。

2) ふ化仔魚

① 形態異常個体の出現状況と初期生残

ふ化仔魚の形態異常 (下顎の異常、頭部の陥没および仔魚膜の異常) の判別はふ化直後においてはきわめて難しいため、通常開口した時点 (日齢3) で行われている。しかし、ふ化仔魚での形態異常の発見率は低く、これまでの出現率は1.7~15.9% (五島事業場) であり、それほど大きな問題とはなっていない。ふ化仔魚の形態異常率は産卵親魚の個体差の影響を大きく受ける傾向が見られているが、今まで形態異常率と初期生残との間には特に相関は見られていない。形態異常個体はふ化後6~7日以内に死亡するものと思われ、形態異常率が極端に高い場合はふ化仔魚の質としては不良であるが、形態異常率が低い場合は初期生残率に大きな影響は与えないものと思われる。これらの点に関しても、今後もデータを蓄積する必要があるものと考えられる。

(2) 無給餌生残指数 (SAI)

ブリのふ化仔魚を用いて無給餌飼育 (飢餓耐性試験) を行い、その生残尾数と生残日数からSAIを求めて、その値がブリふ化仔魚の活力判定の評価指標となり得るか否かについて検討した。

1) 飢餓耐性試験の方法

容量500mlのガラス製ビーカーに予め試験水温 (20℃) に調温しておいた砂ろ過海水を約200ml入れておき、別のビーカーでふ化ネットから無作為にすくい取ったふ化仔魚 (いずれも日齢0) を可能な限りショックを与えないように30尾ずつ流し込んで収容した。その後、調温海水を加え500mlとした。試験期間中、ビーカーには覆いをせず、屋内の自然光条件下でウォーターパス方式により試験水温を保持した。また、ハンドリングなどの影響を極力少なくするため、換水と通気は全く行わなかった。ビーカー内の仔魚の観察は毎日ほぼ一定時間に1回行い、死亡魚は計数して駒込ピペットを用いて除去した。なお、観察は供試した全個体が死亡するまで継続した。

2) 無給餌生残指数の算出

飢餓耐性試験の結果から、次式(新聞・辻ヶ堂, 1981)を用いてSAIを算出した。

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

ここで、 N は試験開始時のふ化仔魚数、 hi は i 日目の累積死亡尾数、および k は生残尾数が0となるまでの日数である。

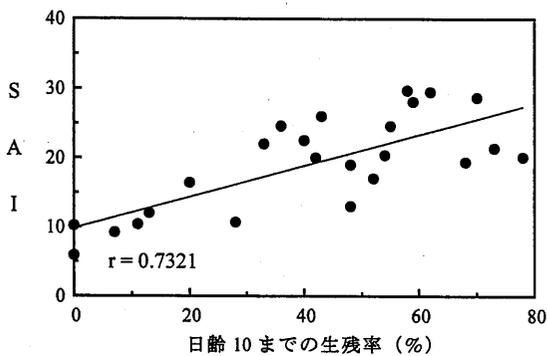
3) SAIと初期生残率

昭和63年から平成4年にかけて行った日齢10までのブリふ化仔魚の初期生残率と各飼育に供したものと同一ロットのふ化仔魚のSAIとの関係を図Ⅲ-7に示した。日齢10までの初期生残率(x)とSAI(y)との間には、

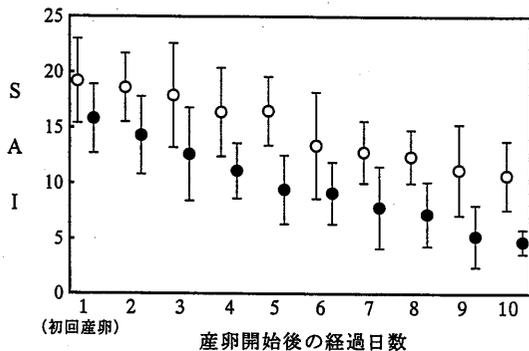
$$y = 0.22x + 10.19 \quad (r = 0.7321)$$

と正の相関関係が認められた。

また、同一親魚群が連続的に産卵した時に得ら



図Ⅲ-7 ブリ仔魚のSAIと初期生残率(日齢10まで)との関係(虫明ら, 1993b)



図Ⅲ-8 ブリの産卵回数とふ化仔魚のSAIの関係(虫明ら, 1993b)

○：浮上仔魚，●：沈下仔魚

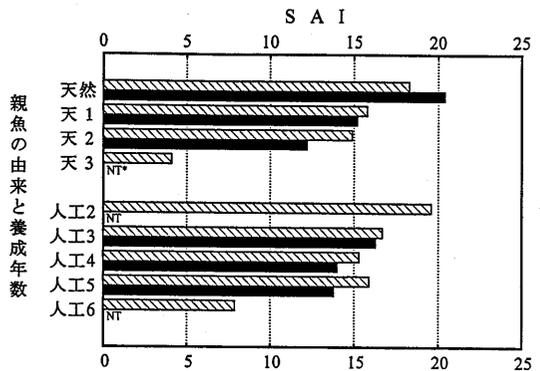
れた仔魚では、産卵回数の増加とともに仔魚のSAIは次第に低下した。また、注水と通気を止めた時の浮上仔魚は、沈下仔魚よりも常に高いSAIを示した(図Ⅲ-8)。

ブリの種苗生産現場では、これまで経験的に比較的早い時期に得た仔魚のうち、注水と通気を止めた時に水面に浮上する仔魚を比較的良質の仔魚と判断して以後の飼育に供してきた。上述のように、仔魚のSAIが高いロットほど飼育試験における初期生残率も高い傾向が認められた。また、五島事業場では、陸上水槽における日齢9までの生残率と稚魚を沖出しするまでの最終生残率との間に正の相関関係($r = 0.7342$)が認められている(有元, 1990)。

したがって、仔魚のSAIが高いロットほど最終的な生残率が高いと判断し得るものと考えられた。また、これらの結果は、これまでの経験的なやり方が妥当なものであったことを裏付け、シマアジ(虫明・関谷, 1993)と同様に、ブリにおいてもSAIがふ化仔魚の活力を判定する指標として有効であると考えられた。

4) 親魚の由来と年齢

親魚の由来、年齢および産卵方法別に行った飢餓耐性比較試験の結果を図Ⅲ-9に示した。誘発産卵および人工授精による採卵方法の違いや親魚の由来の違いとSAIの間には高齢魚ではやや低い値を示したが、全体に顕著な差は認められず、これらの比較項目とは無関係に成熟年齢に達した親魚では、若齢親魚から得られた仔魚ほど高い



図Ⅲ-9 ブリ親魚の由来および養成年数別に見た仔魚のSAI(虫明ら, 1993b)

▨：誘発産卵，■：人工授精

*NTは試験を行わなかったことを示す

SAI 値を示した。前述 (I-1) したように、人工生産魚を用いた人工授精による採卵結果では、満4~5歳の時が量的には最も多くの受精卵が得られた (図 I-6)。一般に、大量の受精卵が得られるような場合が卵質的には高い場合が多いことが経験的に知られているが、生産現場においてはこのような場合の卵質を狭義での卵質、すなわち、浮上卵率、受精率あるいはふ化率として理解されており、得られたふ化仔魚の活力や仔魚の生残率等をも含めた広義の卵質としては理解されていない状況にある。卵質と SAI の項で後述するように、ブリ仔魚の SAI と狭義の卵質との間に関連性がみられたのは、ふ化率だけであった。そのため、卵質が高い親魚年齢と仔魚の SAI が高い値を示す親魚年齢とに食い違いが生じているものと考えられた。

5) 試験条件の検討

① 水温

水温18~24℃の範囲で試験を行った結果、水温が低いほど SAI は高く、水温が高くなるほど SAI が低くなる傾向が認められた (図 III-10)。

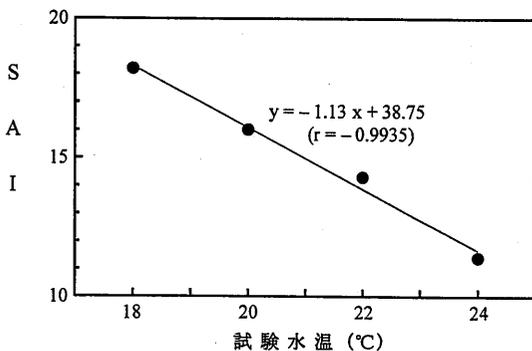


図 III-10 ブリ仔魚の SAI に及ぼす試験水温の影響 (虫明ら, 1993 b)

ここで、試験水温を x (°C)、水温 x での SAI を y とすると、 $18 \leq x \leq 24$ において、

$$y = -1.13x + 38.75$$

となり、高い負の相関関係が認められた ($r = -0.9935$)。

飢餓耐性試験を行うに当たっての第一の問題点は試験水温である。天然ブリの場合、成熟状態が最高に達する期間の水温範囲は16~19℃ (楳田・落合, 1971) で、19℃付近で最終成熟に入り (楳田, 1991)、高知県古満目海域では17~23℃で産卵す

ると報告されている (高知県水産試験場, 1970)。日裁協ではこれまで主に水温19~20℃の範囲で産卵させ、20℃でふ化まで卵管理を実施してきたため、試験水温の基準を20℃に設定した。そこで、18~24℃の範囲で水温別試験を行い、得られた水温と SAI の直線回帰式から水温差による SAI の補正式を求めた。ここで、試験水温を x_1 (°C: $18 \leq x_1 \leq 24$)、水温 x_1 での SAI を y_1 とすると、水温20℃における SAI (y) は、

$$y = y_1 + 1.13(x_1 - 20)$$

により求められる。

② 収容密度

飢餓耐性試験を行うに当たっての第二の問題点は、仔魚の収容密度である。図 III-11 に500ml ビーカーにおいて、収容密度を変えた場合の SAI の試験結果を示した。海水500ml 当り10尾から40尾収容した試験区では、SAI にはほとんど差は見られなかった。しかし、50尾収容区では若干の SAI の低下が見られ、さらに100尾収容区では、30尾収容区と比較していずれも有意に SAI の低下が認められた。

多くの海産仔稚魚ではふ化直後から飢餓耐性に対し、かなりの個体差があることが報告されている (Blaxter and Hempel, 1963; Lasker *et al.*, 1970; Jones, 1972)。したがって、ふ化仔魚の活力判定に当たっては、少数の個体を用いて実験するよりも、より多くの仔魚を用いてロットとしての活力を判定する必要がある。図 III-11 に示され

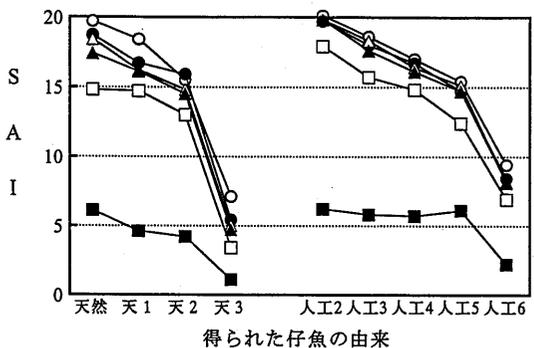


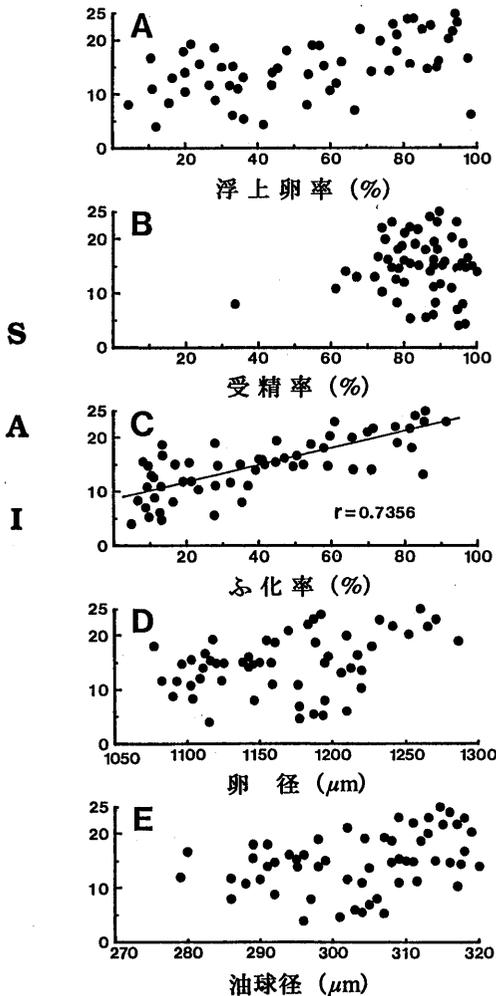
図 III-11 由来の異なるブリ親魚から得られた仔魚の収容密度別に行った飢餓試験結果 (虫明ら, 1993 b を改変)

- : 10 尾収容区, ● : 20 尾収容区
- △ : 30 尾収容区, ▲ : 40 尾収容区
- : 50 尾収容区, ■ : 100 尾収容区

たように500mlの容器を用いた場合、仔魚の収容尾数が50尾では過密の影響によりSAIがやや低下し、100尾ではさらに低下する傾向が認められた。したがって、ブリふ化仔魚の飢餓耐性試験においては500ml当り30尾程度がほぼ適正な収容密度と考えられた。

6) 卵質とSAI

ふ化仔魚のSAIと浮上卵率(図Ⅲ-12 A)、受精率(同 B)、卵径(同 D)および油球径(同 E)との間には、特に関連性は認められなかったが、ふ化率(同 C)との間には有意な相関関係($r=0.7356$)が認められた(古満目事業場)。すなわち、

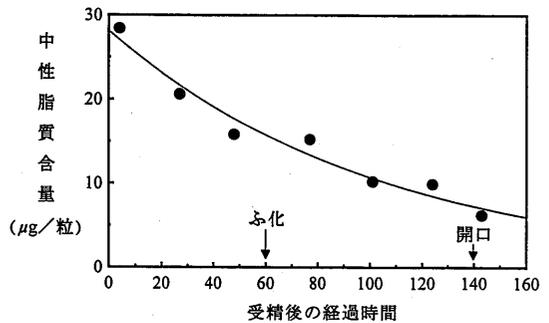


図Ⅲ-12 プリ受精卵の卵質と仔魚のSAIとの関係(虫明ら, 1993 b)
A: 浮上卵率, B: 受精率, C: ふ化率, D: 卵径, E: 油球径

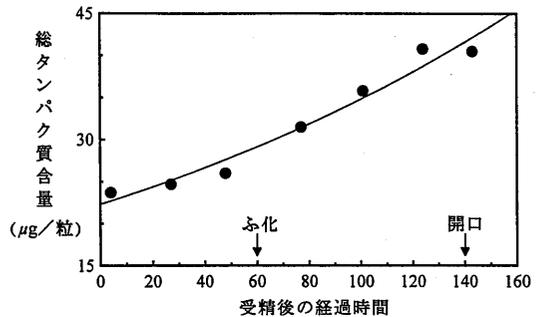
より早い段階でSAIと関連するような判定項目を見出すことを考えて卵質との関連性について検討した結果、ふ化率との間に相関が認められた。SAIとふ化率との相関に関しては、五島事業場におけるブリ(有元, 1990)および岡山水試におけるキジハタ(萱野・尾田, 1990)でも認められており、今後、ブリの親魚養成の技術開発を進める上で、ふ化率およびSAIのいずれもがふ化仔魚の活力判定の有効な指標になると考えられる。

(3) 生化学的評価

形態学的手法によるふ化仔魚の活力評価方法は未だ開発されていない。そこで、卵とふ化仔魚の体成分を分析することにより、生化学的な面からの卵とふ化仔魚の活力評価を試みた。試験は平成6年度から8年度に行い、ブリの受精卵とふ化仔魚の体成分(タンパク質量, 中性脂質量, 酸性フォスファターゼ活性, アルカリ性フォスファターゼ活性)を分析し、それらの測定値とSAIや初期生残との関係を調査した。これらは、開口するま



図Ⅲ-13 プリ受精卵およびふ化仔魚の中性脂質量の変化(五島事業場)



図Ⅲ-14 プリ受精卵およびふ化仔魚の総タンパク質量の変化(五島事業場)

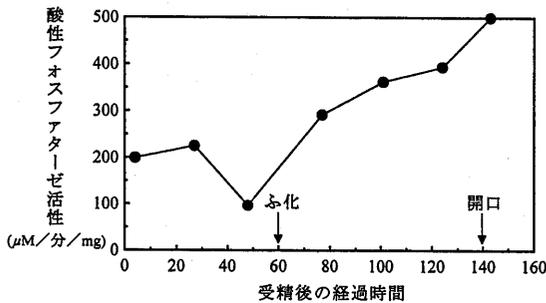
での受精後140時間まで測定した。

受精直後のブリ受精卵中の中性脂質含量は28 μg /粒であったが、ふ化時には約半分になり、開口時には受精時の約30%まで減少した(図Ⅲ-13)。一方、総タンパク質含量は発生が進むにつれて増加する傾向が見られ(図Ⅲ-14)、中性脂質をエネルギー源として消費し、卵中の遊離アミノ酸を用いて体タンパク質を合成することにより発生が進むと推察された。体成分の中で、中性脂質は生体のエネルギー源となることから、本種の場合の飢餓耐性の一つの指標であるSAIとの関係が想定される。また、体成分の合成や分解には数多くの酵素が関与するものと思われるが、その中で酸性フォスファターゼは細胞内のタンパク質の代謝に関与する酵素であり、アルカリ性フォスファターゼは器官の形成や骨化等に関与するとされている。両酵素とも受精後しばらくの間は低いレベルであったが、ふ化直後から活性が高まる傾向が見られ(図Ⅲ-15, 16)、この時期に器官形成などの

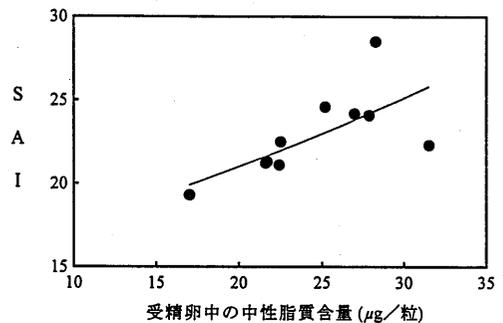
発育が急激に進行していると推察された。内部栄養に依存し、器官形成が活発に行われる発生初期の段階における酸性フォスファターゼ活性とアルカリ性フォスファターゼ活性のレベル、中性脂質の含有量はふ化後の仔魚の発育や生残に大きく影響するものと思われる。

1) SAI と中性脂質の関係

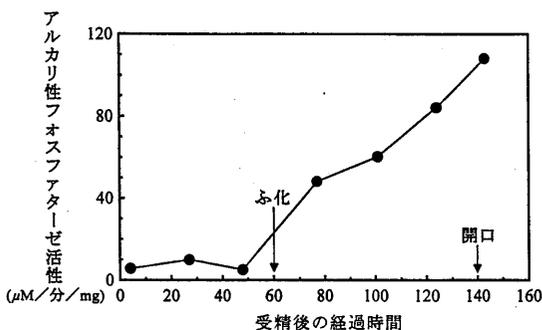
無給餌条件下での生体の維持には、エネルギー源となる物質の含有量とそれらの利用効率が重要である。エネルギー源となる主な物質は脂質、炭水化物およびタンパク質であるが、魚卵中に含まれる炭水化物量はわずかである。また、タンパク質は体タンパク質の合成素材であるだけでなく、酵素やホルモンの主要な成分であり、生体の維持に極めて重要な成分であることから、通常の下ではエネルギー源になることはない。したがって、脂質がふ化直後の仔魚のエネルギー源であると考えられる。今回の実験において、ブリ受精卵中の中性脂質含量が多いふ化仔魚ほどSAIが高



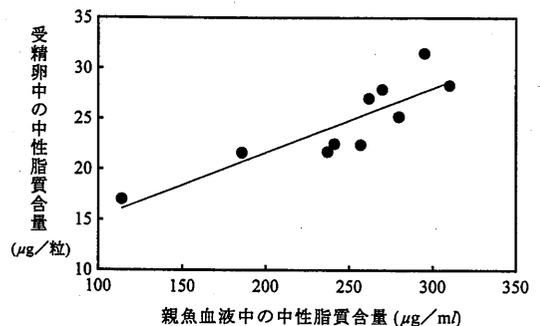
図Ⅲ-15 ブリ受精卵およびふ化仔魚の酸性フォスファターゼ活性の変化(五島事業場)



図Ⅲ-17 ブリ受精卵中の中性脂質含量と仔魚のSAIとの関係(平成7年度日裁協年報)



図Ⅲ-16 ブリ受精卵およびふ化仔魚のアルカリフォスファターゼ活性の変化(五島事業場)

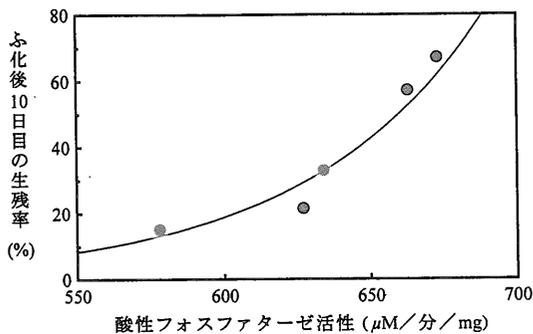


図Ⅲ-18 ブリ親魚血液中の中性脂質含量と受精卵中の中性脂質含量との関係(平成7年度日裁協年報)

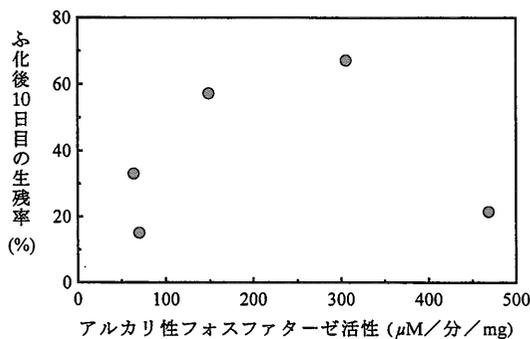
い傾向が見られた(図Ⅲ-17)。このことから、受精卵中の中性脂質含量を測定することによりSAIの推定が可能となり、さらに、SAIと初期生残の関係が明確になれば、中性脂質含量を測定することにより卵質の評価が可能になるものと思われる。また、血液中的中性脂質量が多い親魚は中性脂質量の多い卵を産出する傾向が見られたことから(図Ⅲ-18)、親魚血液中的中性脂質量が優良親魚の養成の指標として有効である可能性が高いと考えられた。この点に関しては、血液性状の項目(Ⅱ-1)で明らかにしたことと結果がよく一致している。

2) 飼育初期の生残率と酵素活性

ふ化直後と開口時の酸性フォスファターゼ活性とアルカリ性フォスファターゼ活性を測定し、ふ化後10日目の生残率と比較した。ふ化直後の両酵素の活性は低く、ふ化仔魚群による明瞭な差は見られなかったが、開口時にはその差が明瞭になり、



図Ⅲ-19 開口時の酸性フォスファターゼ活性とふ化後10日目の生残率の関係(五島事業場)



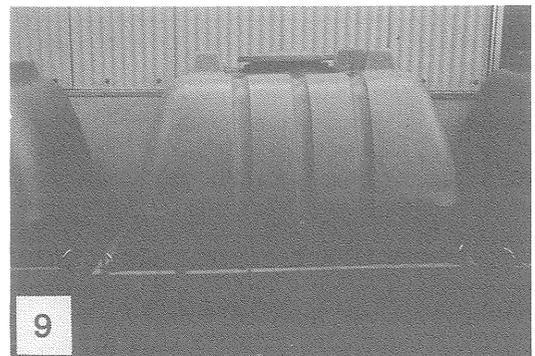
図Ⅲ-20 開口時のアルカリ性フォスファターゼ活性とふ化後10日目の生残率の関係(五島事業場)

開口時の酸性フォスファターゼ活性が高いふ化仔魚ほど初期の生残率が高い傾向が見られた(図Ⅲ-19)。一方、アルカリ性フォスファターゼは開口時の酵素活性が低かったり、逆に極端に高い場合にも生残率が低い傾向が見られ(図Ⅲ-20)、その関連性は判然としなかった。

両酵素の活性は、上述したようにふ化後発生が進むにつれ高まる傾向が見られた。開口時における両酵素活性は仔魚による差が見られ、開口時の仔魚の発育レベルに個体差があることが推察された。特に、酸性フォスファターゼでは開口時の活性が高いふ化仔魚ほど初期の生残率が高かったことから、ふ化仔魚の活力評価に有効である可能性が示唆された。また、酸性フォスファターゼ活性は発育が進むにつれて高まり、活性が高いふ化仔魚ほど生残率が高かったことから、開口時における発育レベルの差がその後の生残を左右する要因になり得ることが推察された。

4. 卵および仔魚の輸送

昭和53年度に初めて古満目事業場においてブリの採卵に成功して以来、屋島事業場へその卵あるいはふ化仔魚を輸送して種苗生産を行ってきた。当初は採卵量も少なかったことから、酸素封入したビニール袋(容量10ℓ)を発泡スチロール箱に詰めて輸送(以下ビニール袋輸送と記す)していたが、その後次第に採卵数も増加してきたため、輸送水槽(塩化ビニール製のヒドロタンク;容量1.2m³)(写真Ⅲ-9)を用いてふ化仔魚で輸送するようになった。ここでは、屋島事業場で実施してきたブリの卵あるいは仔魚の輸送方法について述べる。



写真Ⅲ-9 卵およびふ化仔魚輸送に使用する水槽(塩化ビニール製ヒドロタンク、実容量1.2m³)

(1) ふ化仔魚輸送

1) 輸送容器

ふ化仔魚の輸送を開始した当初は、ビニール袋輸送を試みた。しかし、その後大量のふ化仔魚が得られるようになってからは、ほとんどの場合がトラックに積載した輸送水槽4～5基を用いて輸送した。各水槽には分散器1個により微量(500～800ml/分)の酸素通気を行い、その通気量の調整には微量バルブを使用した。なお、輸送時間は古満目事業場からは7～8時間、五島事業場からで約10時間を要した。

2) 輸送水槽へのふ化仔魚の収容

古満目あるいは五島事業場におけるふ化仔魚は、通称“ふ化ネット”(写真Ⅲ-7参照)または“ふ化器”(写真Ⅲ-8参照)に収容されている。輸送水槽への積み込み前には、沈下卵(未受精卵や発生が停止した卵)、ふ化後の卵殻および活力の不良なふ化仔魚をサイホンホース等を利用して注意深く除去した。そして、ふ化ネット内あるいはふ化器内で飼育水を減水して仔魚を濃縮した後、バケツやビーカー等で水ごと掬い取って輸送水槽へ直接収容した。また、ふ化仔魚の尾数が多いにある場合は、ふ化容器内のエアレーションおよび注

水を止めて静置した後、水面に浮上してきた仔魚のみをバケツで掬い輸送水槽へ収容する方法を採用した。また、本種の仔魚は開口(水温20℃の場合でふ化後3日目)前に沈降することから、輸送中の水槽底部への沈降・堆積による死亡を防ぐため輸送はふ化後0～2日目に行った。

3) 輸送水温

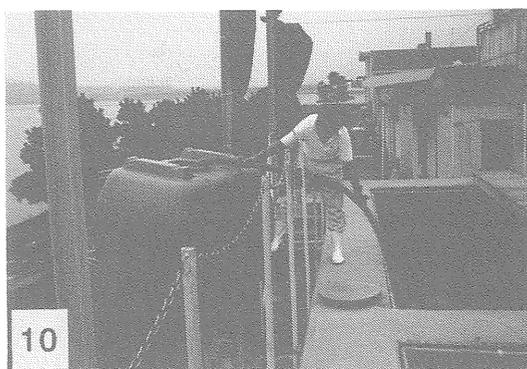
昭和53年度から平成5年度の間に古満目あるいは五島事業場から屋島事業場にふ化仔魚で輸送した結果を表Ⅲ-3に示した。本種のふ化水温は概ね19～20℃に設定していることから、輸送水温もふ化水温に合わせた。ふ化仔魚の輸送時期は親魚の産卵時期との関連から4月～5月が主体で、昼間の輸送は水温の上昇による水質の悪化やそれに伴う仔魚の死亡が懸念されたことから、夜間に輸送してきた。その際、逆に水温の低下を防止するため、輸送に使用するトラックには保冷車を用いたが、保冷車が確保できない場合には保冷用シートで水槽全体を覆った。いずれの事例も翌朝に屋島事業場へ到着したが、輸送中の水温低下は最大で約2℃であり、これまで水温低下により輸送中に仔魚が大量に死亡した事例は観察されていない。

表Ⅲ-3 古満目および五島事業場から屋島事業場へのブリふ化仔魚輸送結果の概要(屋島事業場)

| 年 度 | 輸 送 | | 輸 送 容 器 | 1 回 の 輸 送 尾 数 (万尾) | 平均輸送密度 (尾/ト) (最低～最高) | 生残尾数 (万尾) | 平均生残率(%) (最低～最高) |
|------|-----|-----------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------|---------------------|
| | 回 数 | 月 日 | | | | | |
| 昭和53 | 1 | 5/ 5 | ビニール袋 | 5.6 | 2600 | 5.3 | 95.3 |
| 昭和54 | 1 | 4/29 | ビニール袋 | 2.4 | 435～755 | 1.9 | 78.2 |
| 〃 | 5 | 5/ 2～5/16 | 輸送水槽(0.3, 1.2m ³) | 4.8～118.5 | 191 (111～294) | 3.9～ 85.9 | 88.5 (72.5～98.8) |
| 昭和55 | 4 | 4/29～5/23 | 輸送水槽(1.2m ³) | 15.4～145.6 | 148 (64～303) | 13.8～139.8 | 94.5 (89.6～96.6) |
| 昭和56 | 6 | 4/26～5/25 | 〃 | 14.7～236.8 | 393 (123～788) | 12.4～155.9 | 80.3 (65.8～90.4) |
| 昭和57 | 3 | 4/28～5/15 | 〃 | 90.1～168.4 | 252 (188～351) | 69.2～141.6 | 76.9 (69.7～84.1) |
| 昭和58 | 6 | 4/21～5/17 | 〃 | 30.5～165.0 | 187 (85～275) | 28.6～135.6 | 81.6 (68.9～93.9) |
| 昭和59 | 3 | 4/25～5/ 6 | 〃 | 46.2～137.6 | 152 (99～229) | 42.9～131.1 | 89.4 (80.0～95.3) |
| 昭和60 | 6 | 4/16～5/17 | 〃 | 17.4～261.6 | 187 (48～316) | 13.3～277.4 | 79.5 (57.3～91.4) |
| 昭和61 | 5 | 4/26～5/29 | 〃 | 29.4～303.0 | 216 (123～303) | 24.8～273.8 | 88.2 (84.4～93.3) |
| 昭和62 | 2 | 4/29～5/11 | 〃 | 275.0～285.8 | 260 (255～265) | 240.0～247.0 | 86.9 (86.4～87.3) |
| 小計 | 42 | | | | 224 (48～788) | | 85.0 (57.3～98.8) |
| 昭和63 | 4 | 4/26～6/ 2 | 輸送水槽(1.2m ³) | 50.4～321.8 | 242 (210～268) | 24.0～160.0 | 51.5 (37.6～71.2) |
| 平成元 | 2 | 4/13～4/23 | 〃 | 223.4～330.3 | 499 (310～688) | 111.8～207.0 | 56.3 (50.0～62.7) |
| 平成2 | 7 | 4/21～5/24 | 〃 | 155.7～408.4 | 390 (280～514) | 126.9～330.3 | 82.0 (61.1～96.3) |
| 平成3 | 5 | 4/15～5/25 | 〃 | 106.7～250.4 | 360 (227～455) | 67.3～220.7 | 68.7 (44.0～100) |
| 平成4 | 3 | 4/10～5/ 5 | 〃 | 125.0～158.6 | 231 (208～264) | 110.8～120.6 | 84.2 (73.5～90.7) |
| 平成5 | 2 | 4/ 7～4/16 | 〃 | 168.7～181.2 | 292 (281～302) | 113.7～142.6 | 73.1 (67.4～78.7) |
| 小計 | 23 | | | | 338 (208～688) | | 71.0 (37.6～100) |

4) 到着後のふ化仔魚の収容

屋島事業場に到着後は、飼育水槽へ収容する前に輸送水槽の底に沈んだ衰弱魚や収容時に混入した沈下卵等をサイホンホースで取り除いた。当初は、輸送水槽からパンライト水槽（0.5m³）へ一度収容し、その水槽をフォークリフトで飼育水槽まで運んでホース（φ50mm）を用いて飼育水槽へ緩やかに流し込んでいた。しかし、ふ化仔魚へ与える物理的ダメージを軽減する目的で、平成2年度より輸送水槽をフォークリフトで持ち上げてホース（φ50mm）で飼育水槽へ直接流し込む方法に切り替えた（写真Ⅲ-10）。

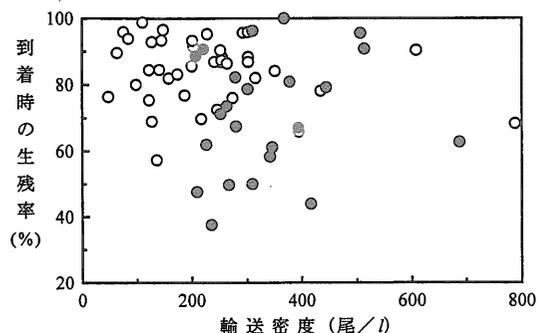


写真Ⅲ-10 屋島事業場に到着後のふ化仔魚の飼育水槽への収容

5) 輸送密度と到着時の生残率

表Ⅲ-3に示すように、ふ化仔魚による輸送は昭和53年度から平成5年度までの間に延べ65回行った。生残率は、昭和53年度から昭和62年度までは屋島事業場への到着時の輸送水槽内の仔魚の計数値から算出した。しかし、輸送水槽内の仔魚は高密度に収容されており、計数に伴う攪拌作業により物理的ダメージを与えることを考慮して、昭和63年度以降は収容翌日に飼育水槽内の仔魚の一部をサンプリングし、その計数値から算出する方法に変更した。

図Ⅲ-21に輸送時の収容密度と到着時の生残率との関係を示した。平均輸送密度は昭和62年までが224尾/ℓ(48~788)であったのに対して、昭和63年以降では338尾/ℓ(208~688)であった。到着時の生残率の算出方法が異なるので単純な比較はできないが、生残率で見ると昭和62年までが85.0%(57.3~98.8)、昭和63年以降は71.0%(37.6



図Ⅲ-21 古満目および五島事業場からのブリふ化仔魚の輸送密度と屋島事業場への到着時の生残率との関係（屋島事業場）

- ：輸送水槽内の計数値から算出（昭和62年度以前）
- ：飼育水槽内の計数値から算出（昭和63年度以降）

~100.0)と比較的良好な結果を示した。なお、輸送密度と生残率の間には有意な相関は認められなかった。

到着時の生残率は輸送密度以外にも親魚の成熟および栄養状態、ふ化仔魚のハンドリング、あるいはふ化仔魚の質的要因等も大きく影響を及ぼしているものと考えられ、一概に輸送密度のみで到着時の生残率の高低を推察することはできないと思われる。

(2) 受精卵輸送

表Ⅲ-4に昭和53年度から平成9年度までの間に古満目あるいは五島事業場から屋島事業場へのブリ受精卵の輸送結果を示した。受精卵による輸送は昭和53年から平成9年まで延べ26回実施しており、100万粒以上の大量卵輸送は昭和62年度以降より実施してきた。

1) 輸送適期と輸送容器

卵の輸送もふ化仔魚の輸送と同様に無換水の状態で輸送されるため、輸送途中で卵発生が停止したりすると水質の悪化が生じる。このため、輸送容器に沈下卵（未受精卵や発生が停止した卵）の混入を可能な限り防ぐことが重要である。そのため、古満目事業場では採卵を行いふ化水槽へ収容した翌日の午前中と輸送水槽に収容する直前に沈下卵の除去を行った。前述（Ⅲ-2）したように、ブリの卵はふ化までに受精後60時間前後を要し、

表Ⅲ-4 古満目および五島事業場から屋島事業場へのブリ受精卵の輸送結果の概要（屋島事業場）

| 年 度 | 輸 送 | | 輸 送 容 器* | 1 回 の 輸 送 卵 数 (万粒) | 平均輸送密度 (粒/ℓ) | 平均ふ化率(%) (最低～最高) |
|---------|--------|-----------|--------------------------|-----------------------|-----------------|---------------------|
| | 回数 | 月 日 | | | | |
| 昭和53 | 2 | 5/ 3～5/ 5 | ビニール袋 | 1～26 | 700～2,700 | 43.3 (6.6～79.9) |
| 昭和54 | 1 | 5/ 4 | 輸送水槽(0.3m ³) | 17 | 556 | 0 |
| 昭和55～61 | 〈実施せず〉 | | — | — | — | — |
| 昭和62 | 1 | 5/16 | 輸送水槽(1.2m ³) | 180 | 300 | 29.4 |
| 昭和63 | 1 | 4/21 | ビニール袋 | 3 | 1,500 | 56.0 |
| 〃 | 1 | 4/29 | 輸送水槽(1.2m ³) | 105 | 438 | 100 |
| 平成元 | 1 | 4/23 | 輸送水槽(1.2m ³) | 207 | 1,725 | 49.3 |
| 平成2 | 〈実施せず〉 | | — | — | — | — |
| 平成3 | 1 | 4/18 | ビニール袋 | 40 | 3,000 | 56.0 |
| 〃 | 1 | 4/22 | 輸送水槽(1.2m ³) | 320 | 533 | 22.9 |
| 平成4 | 〈実施せず〉 | | — | — | — | — |
| 平成5 | 2 | 4/14～4/21 | 輸送水槽(1.2m ³) | 255～306 | 531～638 | 73.7 (47.4～99.9) |
| 平成6 | 2 | 4/ 8～4/19 | 輸送水槽(1.0m ³) | 393～455 | 910～983 | 68.0 (64.8～71.2) |
| 平成7 | 3 | 3/24～4/25 | 輸送水槽(1.2m ³) | 96～532 | 268～1,110 | 35.8 (14.2～54.2) |
| 平成8 | 5 | 2/22～3/12 | ビニール袋 | 35～100 | 5,000～10,000 | 54.9 (15.6～68.2) |
| 〃 | 1 | 3/12 | 輸送水槽(1.0m ³) | 100 | 500 | 61.0 |
| 平成9 | 4 | 2/21～3/14 | ビニール袋 | 68～100 | 7,000～10,000 | 74.9 (63.5～93.6) |
| 計 | 26 | | | | | 54.8 (0～99.9) |

* 輸送容器：容量が0.3および1.2m³の水槽はヒドロタンク，1.0m³は卵輸送専用で作製した水槽である。

しかもふ化直前には卵比重の増大による水槽底部への沈下（受精54時間後以降）がみられる。また、一般に魚類の卵は受精直後の比較的早い発生段階（桑実期以前；ブリでは受精6時間後まで）にはハンドリングに対する影響を最も受けやすいことが経験的に知られている。したがって、ブリ受精卵に対して比較的安全な卵輸送を行うためには、受精卵のハンドリングが行え、かつふ化直前の沈降がみられるまでの時間帯、すなわち、受精6時間以降に卵輸送を開始し、同54時間後までには卵

輸送を完了させる必要があると考えられた。

輸送に使用する容器には、昭和53～54年度は酸素封入したビニール袋を、昭和61年度以降の大量の受精卵の輸送には塩化ビニール製のヒドロタンク（1.2m³）や輸送水槽（1.0m³）を用いた。なお、高密度条件下での輸送の可能性について検討するため、平成8年度にビニール袋での輸送における密度別試験を行い、その結果を表Ⅲ-5に示した。対照区であるFRP水槽（1.0m³）では輸送密度を500粒/ℓとし、ビニール袋での輸送は、海水

表Ⅲ-5 ブリ受精卵の密度別輸送試験結果（屋島事業場）

| 輸送容器 | 容量 (ℓ) | 輸送密度 (粒/ℓ) | 積込水温 (℃) | 到 着 時 の | | ふ化率 (%) |
|--------|-----------|---------------|-------------|---------|--------------------------|------------|
| | | | | 水温 (℃) | NH ₃ -N (ppm) | |
| FRP 水槽 | 1,000 | 500 | 19.3 | 18.2 | 0.00 | 49.6 |
| FRP 水槽 | 1,000 | 500 | 19.3 | 18.0 | 0.00 | 72.4 |
| ビニール袋 | 10 | 5,000 | 19.3 | 17.8 | 0.05 | 69.0 |
| ビニール袋 | 10 | 10,000 | 19.3 | 18.0 | 0.13 | 100 |
| ビニール袋* | 10 | 5,000 | 19.3 | 16.5 | 0.00 | 100 |

* 輸送中の水温を人為的に低下させるため、発泡スチロール箱の蓋を開放して輸送した。

1ℓ当り5,000粒および10,000粒とした。その結果、高密度で収容するほど到着時のアンモニア態窒素濃度の上昇が認められたものの、ふ化率は対照区より良い結果を示した。この結果を踏まえて平成8年度以降は、5,000~10,000粒/ℓの密度で受精卵を収容しビニール袋での輸送を行っている。この輸送方法は、輸送する卵数が少量の場合には大型水槽による輸送に比べて取り扱いが簡便で宅配便や航空便での輸送も可能であり、輸送コストの低減も可能である。ただし、大量の受精卵を輸送する場合には多くの人手と時間を所要することから、今後工夫する必要がある。

2) 輸送水温

ふ化仔魚の場合と同様に、ふ化水温の19~20℃を保持した。平成6~7年度の輸送結果では、積み込み時の水温が20℃で輸送中に15~16℃まで水温が低下した事例があったが、ふ化には特に悪影響はみられなかった。なお、近年は前述の早期採卵(Ⅱ-2)で得られた卵を2~3月に輸送しているが、その際にも宅急便や航空便を利用したビニール袋での輸送が効力を発揮している。

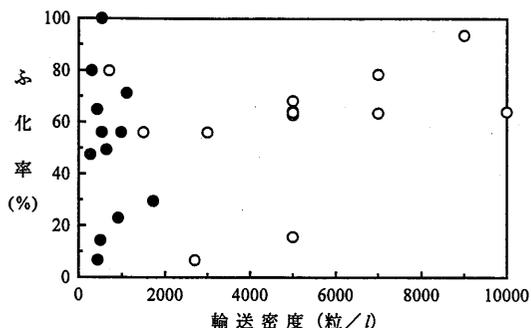
3) 卵のふ化方法

昭和62年度、輸送した受精卵を直接飼育水槽内に収容してふ化させるとともに、その一部をパンライト水槽(30ℓ)に収容してふ化率の比較を行ったところ、30ℓ水槽でのふ化率が61.0%であったのに対して、直接水槽に収容した場合には29.4%と低いふ化率となり、飼育水槽に直接ブリの受精卵を収容してふ化させる方法には問題があると考えられた。そこで、平成3年度からは、古満目および五島事業場と同じアルテミアふ化器(1.0m³)を用いたふ化施設を整備した。ふ化水槽への卵の収容密度は100万粒を上限とし20~25回転/日の換水を行った結果、ふ化率は概ね60~80%と良好な結果が得られている。

4) 輸送密度とふ化率および生残率

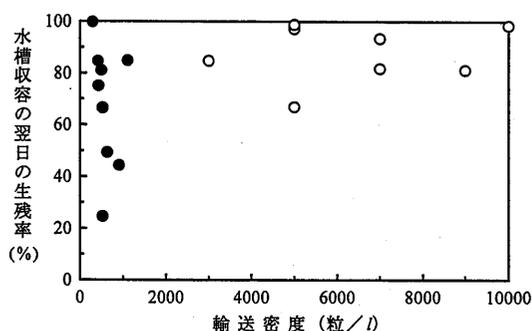
比較的大型の輸送水槽(1.0~1.2m³)とビニール袋(10ℓ)とを用いて、受精卵を輸送した時の密度と到着後のふ化率および水槽に収容した翌日の生残率との関係について検討した。

輸送した卵質の点からみると、輸送容器の違いによる卵のふ化率あるいは翌日の仔魚の生残率に差はみられなかった(図Ⅲ-22およびⅢ-23)。しかし、輸送水槽を用いた場合の卵の収容密度は



図Ⅲ-22 古満目および五島事業場からのブリ受精卵の輸送密度と屋島事業場でのふ化率との関係(屋島事業場)

○：ビニール袋(10ℓ)を使用した場合
●：輸送水槽(1.0~1.2m³)を使用した場合



図Ⅲ-23 輸送方法の異なるブリ受精卵の輸送密度と飼育水槽に収容した翌日の生残率との関係(屋島事業場)

○：ビニール袋(10ℓ)を使用した場合
●：輸送水槽(1.0~1.2m³)を使用した場合

2,000粒/ℓ以下であるが、ビニール袋では7,000~10,000粒/ℓの高い収容密度でも著しいふ化率の低下はみられていない。したがって、ビニール袋での輸送は、前述したように手間等の問題はあがあるが、輸送水槽を用いた場合よりも高い収容密度での輸送が可能と言えよう。

これらの結果から、現状の輸送密度の範囲(1,000~10,000粒/ℓ)内ではふ化率および生残率に悪影響は及ぼさないと考えている。したがって、受精卵の輸送方法としては、卵を小分けして輸送できる(危険分散)、輸送コストが安く

到着時のふ化器への収容作業等が簡便に行えるとの理由から、ビニール袋輸送が良いと考えられる。

IV. 残された課題

これまで述べてきたようなブリの採卵技術開発を行った結果、人工授精あるいはホルモン処理による誘発産卵によって種苗生産に使用できる受精卵あるいはふ化仔魚を確保する技術がある程度確立されたといえる。しかし、今後さらに良質な受精卵あるいはふ化仔魚を計画的かつ安定的に確保するためには、以下のような技術開発が必要と考えられる。

1. 早期採卵技術の確立

今後のブリの親魚養成技術開発においては、養成している海域における産卵時期よりも早い時期での早期採卵技術の確立が大きな課題である。これは、種苗生産した人工種苗の大きさを同時期の天然種苗（モジャコ）の大きさに近づけるため、あるいはそれより大きな種苗を生産するための技術開発である。従来行ってきたような4～5月に採卵して得られたふ化仔魚を用いた種苗生産では、生産された人工種苗の大きさが天然種苗に比較すると小さいため、人工種苗放流の効果が上がりにくいことが指摘されている（藤本，1997）。そのため、早期採卵で得られたふ化仔魚を用いた人工種苗生産が強く望まれるようになってきている。早期採卵を行うためには、親魚を通常の時よりも早く成熟させる飼育技術が必要であり、前述〔II-2-(5)〕したような飼育環境条件（光および水温条件）の制御により親魚の成熟促進を図る技術（Mushiake *et al.*, 1998）や GnRH コレステロールペレットなどのような徐放性にしたホルモンを用いた成熟促進技術が開発され、2月における採卵が可能となった。

これらの技術開発を行う上で、成熟促進期間中の親魚の成熟調査は必要不可欠である。現段階では約1カ月間隔とはいえ、雌親魚からの卵巣卵のサンプリングや各種ホルモン処理に代表されるような過度のハンドリングによるストレスが親魚に負担となっている。これらのハンドリングが影響して、場合によっては退行卵が出現することが経験的に知られているため、成熟調査時の親魚の取り扱いには注意が必要である。

今後、周年にわたる人為的環境条件下での親魚

管理、あるいは長日処理開始時期の一層の早期化等による、より効果的な成熟促進技術の開発により12月での採卵も期待されており、さらに技術開発の余地が残されている。

2. 親魚の評価手法の確立

一般に養成した親魚の評価手法を確立することは、科学的根拠に基づいた親魚養成技術の確立とその合理化を図る上でも重要な技術開発項目である。その先行種として、現在ブリ親魚での評価技術の開発が行われている。魚類血液の生化学的性状を指標とした親魚の評価法が確立でき、それらを親魚養成ヘフィードバックすることによってより効率的な親魚養成技術の開発が期待できる。また、その考え方は他の魚種にも応用可能な点など期待される面も大きい。

しかし、闇雲に親魚からの採血を行い各項目を測定したところで、期待されるような結果は決して得られない。むしろ、過度のハンドリングがストレスサーとなり、成熟等を阻害する懸念さえある。したがって、実施するからには、親魚養成過程のどの部分（栄養的側面、生理的側面、あるいは疾病的側面等）との関連を把握するのか、また、どのようなタイミングで行えば良いかなどの事前の検討を行う必要があろう。さらに、人間が健康診断で血液検査をする時を思い起こせば分かるように、魚類でも事前の給餌は血液性状に大きな影響を与える。そのため、採血を行う親魚群に対しては最低24時間の絶食が必要である。このほかにも、親魚の取り揚げや麻酔等に要する時間や方法は常に同じでなければならない、あるいは急激な温度変化や直射日光（特に紫外線）による溶血を避けるために採取した血液の取り扱いには注意しなければならない。ハタ科魚類のように、魚種によっては血液が空気との接触により凝固しやすい種類があり、このような魚種の血液性状を検査する場合には血漿ではなく血清を用いるなどの工夫が必要である。さらに、親魚の個体差が大きいことも配慮しなければならない。これらの基本的な注意事項を十分に考慮した上でのサンプリング計画の立案が必要である。

これらの諸項目に留意した上で血液検査を行えば、生化学的性状検査による優良親魚の評価項目の特定が可能になるとともに、上述したような親魚養成の技術開発へのフィードバックも期待できる。

3. 卵および仔魚の評価手法の確立

得られたふ化仔魚の活力を判定するための一つの指標として、飢餓耐性試験により算出されるSAIが有効であると考えられた。しかし、飢餓耐性試験の結果が判明するまでに1週間前後の期間を要することから、種苗生産を前提として仔魚の良否を判定する活力評価手法としてはあまり適当ではない。また、厳密に言うと、飢餓耐性試験は仔魚の活力そのものというよりも、むしろ親魚から付与された蓄積栄養の良否を判定する手法であり、本来の仔魚の健苗性とは若干意味が異なる。健苗性の語義に関しては、いくつかの定義が与えられているが、種苗生産の観点からすると、生残率が高く成長速度の速い種苗と考えられ、また、放流種苗の観点からすれば、生態的側面も考慮した種苗性の高い種苗と言えよう。その場合、これらの要素を検定するためにどのような指標を用いるかが大きな問題となる。近年、核酸比(RNA/DNA)等による生化学的手法を用いた稚仔魚の活力判定が試みられているが(福田ら, 1986; 滝井ら, 1992)、まだ生産現場で実用可能な技術レベルまでには至っていない。また、生態的アプローチ(仔魚の遊泳力や浮力)や仔魚の乾燥重量の測定による活力判定手法についても検討する余地が残されている。今後、科学的根拠にもとづいた種苗生産を目指していく上では、飼育に供する段階で判定結果が得られ、かつ仔魚の健苗性そのものを評価できるような迅速な評価手法の開発と放流種苗のための種苗性向上に関する技術開発が必要であると考えられる。

4. 疾病対策

ブリの親魚養成過程における疾病ならびにその対策に関しては前述した通りであるが、再生産過程に関与する疾病、すなわち、その病原微生物が親魚から仔稚魚に垂直伝播する可能性が高い疾病としては、これまでウイルス性腹水症やウイルス性変形症が報告されている。多くの海産魚類のウ

イルス病に対しては、現在のところ発病時に種苗等の焼却処分が行われているのが現状で、防除対策と呼び得るような方策は検討されていない。今後、このウイルス性腹水症やウイルス性変形症に関しても、親魚の選別、卵およびふ化仔魚からの原因ウイルスの検出などによる防除対策の確立が必要と考えられる。これらのウイルス病に関しては、シマアジのウイルス性神経壊死症で開発されたような防除対策(Mushiake *et al.*, 1994b; Mori *et al.*, 1998; 室賀ら, 1998)は今のところ確立されておらず、今後このような深刻な病気がブリに起こらないという保証はどこにもない。したがって、実際の種苗生産現場においては感染症対策をも念頭においた種苗生産システムの確立が必要と考えられる(Muroga, 1992; 室賀, 1995)。

5. 遺伝子の多様性を考慮した採卵用親魚の確保

1971年にFAO(Food and Agriculture Organization)主催による魚介類の遺伝研究に関する国際会議が開催されて以来、天然魚の遺伝的維持管理の観点から、放流種苗による天然種苗への影響を考慮する必要があることが指摘されている。我が国においては種苗生産技術の発展に伴い、人工種苗の放流尾数が年々増加の一途をたどる中で、種苗生産過程における変異の減退や家魚化現象に伴う適応値(=ある遺伝子型が次代の集団の遺伝子供給源に自分の遺伝子をどれだけ送り込むかを表す相対値)の低下が在来の天然集団にどのような影響をもたらすのか事前評価が求められてきている。また、種苗生産過程における健苗性や種苗の適応値の低下に影響をもたらす遺伝的要因には、遺伝子頻度の変化や遺伝変異の減退が挙げられている(谷口・青木, 1994)。

このような要因に関わる項目としては、有効親魚数、採卵用親魚の系統、近親交配および無意識的選択等が考えられている(谷口・青木, 1994)。これらの問題は、自然環境条件とは著しく異なる環境下で種苗生産を行うことにより、この人為的環境条件に適応できる個体だけが生き残り、放流種苗として出荷されることに原因があると言われている。したがって、放流用の人工種苗の生産においては、人工種苗を養成した親魚から得られた卵や仔魚を飼育した種苗で特にそのことが懸念さ

れることから、これまで行ってきたように天然親魚由来の種苗あるいは成魚を用いた親魚養成に取り組むべきである。そして、放流種苗の遺伝子の偏りを軽減させるためには、親魚の計画的な入れ替え、あるいはできるだけ多くの親魚を使用する等の配慮が必要である。さらに、採卵技術としては、親魚の成熟を同調させることにより、より多くの親魚を同時に産卵に関与させる技術や多数の親魚を用いた人工授精技術の開発が必要と考える。

6. 種苗生産コストの低減

本書で述べたブリの親魚養成や採卵技術は、放流用の人工種苗を生産するための技術である。生産された種苗はやがて海に放流され回収される段階において、放流効果としての経済効率が議論される。ブリの放流用種苗を生産する上で親魚養成および採卵に関わるコストが占めるウエイトは、陸上水槽での飼育管理維持費のほか、親魚候補群の運搬・搬入費、小割網の交換等の海上作業に関わる人件費および飼餌料の購入費に要する経済的比率がかなり大きなものとなり、これによって放流種苗の生産単価が大きく左右されると考えられる。本稿においては、この点については特に言及しなかったが、今後、ブリ親魚に限らず、これらの生産コストを考慮した効率的かつ一局集中的な親魚養成および採卵に関する技術の開発が望まれると考えられる。

7. その他

これまで本稿で述べてきたように、ブリ親魚からはホルモン処理等によりある程度計画的に採卵可能な技術が開発された。しかし、技術的あるいは方法論的には確立されてはきていないものの、養成親魚から安定した採卵を目指す上では、やはり産卵リズム等の解明が必要になるであろう。また、将来的にはブリの親魚に限らず合理的な親魚養成技術を確立するためには、親魚の養成過程における飼育経過や産卵試験における採卵結果等のデータをピットタグ(Identification Devices Inc.)等により、親魚の個体別データ管理を図る必要がある。そのため、それらのデータの引き出しを容易に行うためにもコンピューターによるデータ管理が必要である。

V. 謝 辞

ブリの親魚養成技術開発成果を取りまとめるに当たっての特徴の一つとして、水産庁養殖研究所との共同研究で得られた成果を基礎にして発展した技術開発成果が多いことが挙げられます。中でも終始御指導と御助言を賜わるとともに本稿をお読み頂き貴重な御助言を頂きました水産庁養殖研究所繁殖生理部（現在 繁殖部）の廣瀬慶二 元部長（現在 日本栽培漁業協会技術参与）に謹んで深謝の意を表します。

水産庁養殖研究所繁殖生理部の大池一臣 元主任研究官（現在 シャトー海洋調査常務）、同 香川浩彦 元主任研究官（現在 繁殖生理研究室長）ならびに三重大学生物資源学部 松山倫也 元助教授（現在 九州大学教授）には、親魚の成熟促進および産卵誘発手法等に関して多くの御指導と御助言を頂きました。同研究所栄養代謝部の故 新井 茂 元室長（前日本海区水産研究所所長）ならびに新聞脩子 元主任研究官には親魚用モイストペレットの開発に関する共同研究で貴重な御助言を頂くとともに叱咤激励と御懇篤な御指導を頂きました。また、ブリの親魚養成用配合飼料の開発に関する共同研究では東京水産大学水産学部 渡邊 武 教授に貴重な御助言とともに多大な御指導を頂きました。親魚の長日処理による成熟促進技術の開発に当たっては、京都大学農学部 坂本 亘 教授に懇切御丁寧な御指導を頂きました。高知大学海洋生物教育研究センター 榎田 晋 助教授には、ブリの成熟・産卵リズムを解明する共同研究で大変お世話になりました。これらの方々の御厚情に心より深謝致します。

また、本技術開発を行うに当たり、約20年間の長期にわたり遅々として進まぬ現場での技術開発の現状に対して終始温かい御理解を頂きながら叱咤激励を頂くとともに、共同研究がより良い環境で行えるように御配慮頂きました日裁協 本間昭郎 前専務（現在 日裁協顧問）、須田 明 元常務（現在 日裁協技術アドバイザー）、菅野 尚 元常務、松岡玳良 前常務（現在 海外漁業協力財団）、古澤 徹 常務、松永 繁 技術参事ならびに水田洋之介 技術部長を始めとする歴代役職員の皆様に感謝申し上げます。

さらに、現場での親魚養成、産卵試験、採卵作業、卵のふ化管理、卵および仔魚の輸送等に関する技術開発に長年携わってこられた長谷川 泉 元場長、河野一利 氏、宿輪 仁 氏、尾野 久 氏ならびに白井重行 氏を始めとする古満目事業場、五島事業場および屋島事業場の関係各位に御礼申し上げます。

VI. 引用文献

- 新井 茂・新聞脩子・原 彰彦・長谷川 泉・虫明敬一・河野一利(1986)：養殖ブリ 2⁺ 年魚の親魚養成と採卵成績. 昭和61年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 523.
- 新井 茂(1990)：親魚養成における飼餌料について. 平成元年度栽培漁業技術研修事業基礎理論コース, 親魚養成シリーズテキスト, No. 4, 6-12.
- 有元 操・津崎龍雄・宿輪 仁(1987)：ブリの親魚養成と自然産卵. 栽培技研, 16, 63-79.
- 有元 操(1990)：成体の確保と採卵, ブリ. 日本栽培漁業協会事業年報昭和 63 年度, 24-27.
- 有元 操(1991)：成体の確保と採卵, ブリ. 日本栽培漁業協会事業年報平成元年度, 27-35.
- 有元 操(1992)：成体の確保と採卵, ブリ. 日本栽培漁業協会事業年報平成 2 年度, 29-33.
- 有元 操(1993)：成体の確保と採卵, ブリ. 日本栽培漁業協会事業年報平成 3 年度, 21-22.
- 有元 操(1995)：成体の確保と採卵, ブリ. 日本栽培漁業協会事業年報平成 5 年度, 25-26.
- Awaji, M. and I. Hanyu(1989)：Temperature-photoperiod conditions necessary to begin the spawning season in wild type medaka. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55, 747.
- Barton, B. A., R. E. Peter and C. R. Paulencu(1980)：Plasma cortisol levels of fingerling rainbow trout (*Salmo gairdneri*) at rest, and subjected to handling, confinement, transport, and stocking. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 805-811.
- Beacham, T. D. and C. B. Murray(1988)：Influence of photoperiod and temperature on timing of sexual maturity of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). *Can. J. Zool.*, 66, 1729-1732.
- Beacham, T. D. and C. B. Murray(1990)：Photoperiod and its effect on incidence of sexual maturity in pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). *Can. J. Zool.*, 68, 1209-1213.
- Bieniarz, K.(1973)：Effect of light and darkness on incubation of eggs, length, weight and sexual maturity of sea trout (*Salmo trutta* L.), brook trout (*Salmo trutta fario* L.) and rainbow trout (*Salmo irideus* Gibbons). *Aquaculture*, 2, 299-315.
- Blaxter, J. H. S. and G. Hempel(1963)：The influence of egg size on herring larvae (*Clupea harengus* L.). *J. Cons.*, 28, 211-240.
- Breton, B. and R. Billard(1977)：Effects of photoperiod and temperature on plasma gonadotropin and spermatogenesis in the rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, 17, 331-340.
- Crim, L. W., B. D. Glebe and A. P. Scott(1986)：The influence of LHRH analog on oocyte development and spawning in female Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, 56, 139-149.
- 電源開発株式会社(1996)：ヒラメ親魚養成試験. 平成 7 年度温排水利用養殖試験報告書, 4-20.
- 道津喜衛(1962)：ブリ産卵親魚の育成. 日水誌, 28, 549-551.
- 江草周三・反町 稔(1986)：ブリ稚魚の Yellow-tail Ascites Virus (YAV) 感染症の病理組織学的研究. 魚病研究, 21, 113-121.
- 江草周三(1990)：ブリ養殖における魚病の経年的多様化. 魚病論考—水産業と魚病. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 32-54.
- 藤本 宏(1997)：資源添加技術開発の概要, ブリ. 日本栽培漁業協会事業年報平成 7 年度, 252-257.
- 藤田矢郎・道津喜衛・原田輝男(1965)：ホルモン刺激によるブリの人工採卵. 昭和40年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 308.
- 藤田矢郎(1969)：ブリの生態. 養魚講座「ハマチ・カンパチ」, 緑書房, 東京, pp. 13-19.
- 藤田矢郎・与賀田稔久・飯島秀雄(1977)：人工ふ化・養成ブリからの採卵. 長崎水試研報, 3, 16-22.
- 福田雅明・矢野 豊・中野 広・杉山元彦(1986)

- ：クロガシラガレイ稚仔魚の成長に伴うタンパク質と核酸量の変化。日水誌, 52, 951-955.
- 福原 修(1974)：初期の飢餓がマダイ仔魚の生残り, 成長および発育に及ぼす影響について。南西水研報, No.7, 19-29.
- 福原 修(1986)：種苗の健全性。マダイの資源培養技術(田中 克・松宮義晴編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 26-36.
- Fukuhara, O.(1989)：A review of the culture of grouper in Japan. *Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab.*, No. 22, 47-57.
- 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.
- 古川 清・會田勝美・吉岡 基・佐藤英雄・羽生功(1991)：シロギスの産卵リズムに及ぼす光周期と水温の影響。日水誌, 57, 2193-2201.
- 原田輝男(1961)：ブリの人工ふ化について。昭和36年度日本水産学会講演要旨集, p. 20.
- 原田輝男(1966)：人工ふ化, ブリの増殖に関する研究。近畿大学水産研究所報告, No. 1, 24-38.
- Henderson, N. E.(1963)：Influence of light and temperature on the reproductive cycle of the eastern brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill). *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 20, 859-897.
- 広沢国昭(1972)：ブリの採卵について。栽培技研, 1(2), 17-24.
- Hirose, K.(1980)：Effects of repeated injections of human chorionic gonadotropin (HCG) on ovulation and egg qualities in the Ayu, *Plecoglossus altivelis*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 46, 813-818.
- Iida, T. and M. Sorimachi(1994)：Cultural characteristics of the bacterium causing jaundice of yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. *Fish Pathol.*, 29, 25-28.
- 池田弥生・舞田正志(1993)：血液による養殖魚の健康診断Ⅱ。養殖, 30(9), 緑書房, 東京, pp. 106-108.
- 井上 潔・山野恵祐・前野幸男・中島員洋・松岡学・和田有二・反町 稔(1992a)：養殖マダイのイリドウイルス感染症。魚病研究, 27, 19-27.
- 井上 潔・山野恵祐・松岡 学・中島員洋・反町稔(1992b)：数種の高産養殖魚類にみられた“イリドウイルス感染症”。平成4年度日本魚病学会春季大会講演要旨集, 30.
- 石原 忠・保田正人・柏木 哲・八木基明(1974a)：海産魚のチアミナーゼの研究-V。カタクチイワシによるハマチの栄養性疾患とB₁の添加効果(1)。日水誌, 40, 675-682.
- 石原 忠・保田正人・柏木 哲・秋山むつ子・八木基明(1974b)：海産魚のチアミナーゼの研究-IV。カタクチイワシによるハマチの栄養性疾患とB₁の添加効果(2)。日水誌, 40, 775-781.
- 一色 正・川合研児・楠田理一(1993)：採卵用ブリ親魚からのYAVと抗YAV中和抗体の検出。魚病研究, 28, 65-69.
- 伊藤捷久(1978)：イシダイの自然産卵による採卵と仔魚のふ化について。栽培技研, 7(1), 5-12.
- Jones, A.(1972)：Studies on egg development and larval rearing of turbot, *Scophthalmus maximus* L., in the laboratory. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 52, 965-986.
- 香川浩彦・奥澤公一・田中秀樹(1992)：徐放性LH-RHペレットによる非産卵期のブリとマダイの産卵誘発。養殖研究所と日本栽培漁業協会との共同研究報告会資料。
- 柏木正章(1989)：ふ化管理, 魚類の成熟, 発生, 成長とその制御。水族繁殖学, 緑書房, 東京, pp. 211-230.
- 河野一利(1988)：成体の確保と採卵, ブリ。日本栽培漁業協会事業年報昭和61年度, 17-18.
- 河野一利(1990)：成体の確保と採卵, ブリ。日本栽培漁業協会事業年報昭和63年度, 21-23.
- 河野一利・虫明敬一・長谷川 泉(1993)：成体の確保と採卵, ブリ。日本栽培漁業協会事業年報平成3年度, 19-21.
- 萱野泰久・尾田 正(1990)：池中養成したキジハタ自然産出卵の卵質。岡山水試報, 5, 48-52.
- 慶徳尚寿・安江 浩・田中 実・花岡絹代・中杉祥子・裏崎憲子(1985)：タイ類種苗生産1。ふ化仔魚の活力, 広島栽培漁協種苗生産年報, No. 4, 6-7.
- Kitajima, C., Y. Yamane, S. Matsui, Y. Kihara

- and M. Furuichi (1993) : Ontogenetic change in buoyancy in the early stage of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59, 209-216.
- 清野通康(1974) : 産出卵の卵質評価. 魚類の成熟と産卵—その基礎と応用 (水産学シリーズ No. 6, 日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 113-119.
- 古満目親魚養成前進基地(1978) : 陸上水槽におけるブリの自然産卵. 栽培技研, 7(2), 51-54.
- 高知県水産試験場 (1970) : ブリに関する研究. 高知水試調査研究報, 1, 1-114.
- 小西芳太郎(1935) : 相模湾における「ブリ」稚魚の調査. 定置漁業界, (25), 260-266.
- Laidley, C. W. and J. F. Leatherland (1988) : Cohort sampling, anaesthesia and stocking density on plasma cortisol, thyroid hormone, metabolite and ion levels in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish Biol.*, 33, 73-88.
- Lasker, R., H. M. Feder, G. H. Theilacker and R. C. May (1970) : Feeding, growth, and survival of *Engraulis mordax* larvae reared in the laboratory. *Mar. Biol.*, 5, 345-353.
- Lee, C. S., C. S. Tamaru, G. T. Miyamoto and C. D. Kelley (1987) : Induced spawning of grey mullet (*Mugil cephalus*) by LHRH-a. *Aquaculture*, 62, 327-336.
- MacQuarrie, D. W., J. R. Markert and W. E. Vanstone (1978) : Photoperiod induced off-season spawning of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, 18, 1051-1058.
- Maeno, Y., M. Sorimachi and S. Egusa (1995) : Histopathology of viral deformity in yellow-tail fingerling, *Seriola quinqueradiata*. *Fish Pathol.*, 30, 53-58.
- 丸山敬悟・津村誠一・森岡泰三(1986) : マダイ種苗の健全性に関する試験—1 粗放的生産魚と集約的産魚の比較. 栽培技研, 15, 157-167.
- 松岡 学・室賀清邦(1993) : 愛媛県下の養殖海産魚における細菌性疾病発生の歴史(1966-1992年). 広島大学生物生産学部紀要, 32, 109-118.
- 松岡 学(1994) : ハマチ, 魚種別重要疾病の予防と治療. 養殖 (臨時増刊号), 31(2), 149-151.
- 松浦修平(1972) : マダイ卵巣卵の成熟過程と産卵数. 九大農学芸誌, 26, 203-215.
- 松山倫也・松浦修平(1984) : 琵琶湖産コアユの多回産卵現象. 日水誌, 50, 183-187.
- Matsuyama, M., M. Hamada, T. Ashitani, M. Kashiwagi, T. Iwai, K. Okuzawa, H. Tanaka and H. Kagawa (1993) : Development of LHRH-a copolymer pellet polymerized by ultraviolet and its application for maturation in red sea bream *Pagrus major* during the non-spawning season. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59, 1361-1369.
- Mazur, C. F. and G. K. Iwama (1993) : Effect of handling and stocking density on hematocrit, plasma cortisol, and survival in wild and hatchery-reared chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*, 112, 291-299.
- 三谷文夫(1956) : ブリの生殖巣について, ブリは1回にどれだけ卵を産むか. ていち, (10), 158-161.
- 三谷文夫(1960) : ブリの漁業生物学的研究. 近畿大学農学部紀要, 81-300.
- Mori, K., K. Mushiake and M. Arimoto (1998) : Control measures for viral nervous necrosis in striped jack, *Pseudocaranx dentex*. *Fish Pathol.*, 33, 443-444.
- 村井 衛・青木雄二・西村和久・隆島史夫(1985) : 小笠原父島沿岸域における天然シマアジの性成熟過程と産卵期. 水産増殖, 33, 76-81.
- 村井 衛・加藤憲司・中野 卓・隆島史夫(1987) : シマアジの卵発生と仔魚の形態学的変化. 水産増殖, 34, 217-226.
- Muroga, K. (1992) : Hatchery diseases of marine fish in Japan. In "Diseases in Asian aquaculture I" (ed. by M. Shariff, R. P. Subasinghe, and J. R. Arthur), Fish Health Section, Asian Fish. Soc., Manila, pp. 215-222.
- 室賀清邦(1995) : 海産魚介類の仔稚におけるウイルス性および細菌性疾病 (総説). 魚病研究, 30, 71-85.

- 室賀清邦・古澤 徹・古澤 巖(1998)：シマアジのウイルス性神経壊死症(総説). 水産増殖, 46, 473-480.
- 虫明敬一・河野一利・長谷川 泉(1989)：シマアジの採卵について-Ⅱ. 栽培技研, 18, 15-24.
- 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.
- 虫明敬一・新井 茂・松本 淳・新聞脩子・長谷川 泉(1993a)：モイストペレットで飼育した養殖ブリ2年魚の人工採卵. 日水誌, 59, 1721-1726.
- 虫明敬一・藤本 宏・新聞脩子(1993b)：ブリふ化仔魚の活力判定の試み. 水産増殖, 41, 339-344.
- Mushiake, K., K. Kawano, W. Sakamoto and I. Hasegawa(1994a)：Effect of extended day-length on ovarian maturation and HCG-induced spawning in yellowtail fed moist pellets. *Fisheries Sci.*, 60, 647-651.
- Mushiake, K., T. Nishizawa, T. Nakai, I. Furusawa and K. Muroga (1994b)：Control of VNN in striped jack: Selection of spawners based on the detection of SJNNV gene by polymerase chain reaction (PCR). *Fish Pathol.*, 29, 177-182.
- 虫明敬一・河野一利・ウィラクンピリヤ ウィスー・渡邊 武・長谷川 泉(1995)：市販ソフトドライペレットを給餌したブリの採卵結果. 日水誌, 61, 540-546.
- 虫明敬一(1996)：シマアジおよびブリの親魚養成技術の開発に関する研究. 特別研究報告9号, 日本栽培漁業協会, 東京, pp. 62.
- 虫明敬一・河野一利・山崎哲男(1998)：産卵期直前の血液性状検査によるブリの優良産卵親魚評価の試み. 平成10年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 749.
- Mushiake, K., K. Kawano, T. Kobayashi and T. Yamasaki (1998)：Advanced spawning in yellowtail, *Seriola quinqueradiata*, by manipulations of the photoperiod and water temperature. *Fisheries Sci.*, 64, 727-731.
- 中島員洋・前野幸男・有元 操・井上 潔・反町稔(1993)：ブリ稚魚の“ウイルス性変形症”. 魚病研究, 28, 125-129.
- Nakajima, K. and M. Sorimachi (1994)：Biological and physico-chemical properties of the iridovirus isolated from cultured red sea bream, *Pagrus major*. *Fish Pathol.*, 29, 29-33.
- 中野 広・白旗総一郎(1988)：サケの健苗性評価について. 日水誌, 54, 1263-1269.
- 中谷敏邦・前田辰昭(1984)：スケトウダラ卵の発生に対する水温の影響およびその浮上速度について. 日水誌, 50, 937-942.
- 能勢健嗣(1980)：養魚と養魚飼料の現状. 魚類の栄養と飼料(荻野珍吉編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 1-11.
- 落合 明・榎田 晋(1979)：ブリの成熟と採卵に関する研究. 瀬戸内海栽培漁業協会研究資料, No. 12, 1-15.
- 奥村重信・栄 健次(1993)：ムシガレイにおけるLHRH-a コレステロールペレットの成熟促進効果. 水産増殖, 41, 13-18.
- 大池一臣・足立伸次・長浜嘉孝・松本 淳(1985)：産卵期の養殖ブリと天然産ブリの卵巣卵熟度と血中ステロイドホルモン. 養殖研報, 7, 13-20.
- Oozeki, Y. and R. Hirano (1985)：Effects of temperature changes on the development of the Japanese whiting *Sillago japonica*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 51, 557-572.
- Pickering, A. D., T. G. Pottinger and P. Christie (1982)：Recovery of the brown trout, *Salmo trutta* L., from acute handling stress: a time-course study. *J. Fish Biol.*, 20, 229-244.
- Pickering, A. D. and T. G. Pottinger (1987)：Crowding causes prolonged leucopenia in salmonid fish, despite interrenal acclimation. *J. Fish Biol.*, 32, 701-712.
- 坂口宏海・竹田文弥・丹下勝義(1969)：ハマチのビタミン要求に関する研究-I. B₆およびC欠乏症について. 日水誌, 35, 1201-1206.
- 坂口宏海・浜口 章(1969)：酸化油添加飼料によるハマチの飼育とビタミンE添加の効果. 日水誌, 35, 1207-1214.
- Sherwood, N. M., L. W. Crim, J. Carolsfeld and S. M. Walters (1988)：Sustained hormone release. I. Characteristics of in vitro release

- of gonadotropin-releasing hormone analogue (GnRH-A) from pellets. *Aquaculture*, 74, 75-86.
- 新聞脩子・辻ヶ堂 諦(1981)：カサゴ親魚の生化学的性状と仔魚の活力について。養殖研報, No. 2, pp. 11-20.
- Solar, I. I., I. J. Baker and E. M. Donaldson (1987) : Effect of salmon gonadotropin releasing hormone analogue on ovarian hydration and ovulation in captive sablefish (*Anoplopoma fimbria*). *Aquaculture*, 62, 319-325.
- 反町 稔・原 武史(1985)：腹水症を呈するブリ稚魚から分離されたウイルスについて。魚病研究, 19, 231-238.
- 反町 稔・前野幸男・中島員洋・井上 潔・乾靖夫(1993)：養殖ブリ“黄疸症”の原因。魚病研究, 28, 119-124.
- 高野和則(1989)：卵巣の構造と配偶子形成。水族繁殖学 (隆島史夫・羽生 功編), 緑書房, 東京, pp. 3-34.
- 隆島史夫(1989)：ホルモンによる催熟技法。魚類の成熟, 発生, 成長とその制御。水族繁殖学 (隆島史夫・羽生 功編), 緑書房, 東京, pp. 132-140.
- 滝井健二・中村元二・高岡 治・古田晋一・熊井英水(1992)：ふ化後におけるマダイ稚仔魚の核酸および一般成分の変化。水産増殖, 40, 285-290.
- Tanaka, Y.(1990) : Change in the egg buoyancy of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* during embryonic development. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56, 165.
- Tanaka, Y., Y. Mukai, K. Takii and H. Kumai (1991) : Chemoreception and vertical movement in planktonic yolk-sac larvae of red sea bream *Pagrus major*. *J. Appl. Ichthyol*, 7, 129-135.
- 谷口順彦・木島明博(1985)：地方群の移動・交流に関する集団遺伝学的分析。MR プログレスレポート, マアジ, (30).
- 谷口順彦(1994)：魚類の人工種苗放流と野生集団の遺伝的保全。海洋, 290, 501-504.
- 谷口順彦・青木 宙(1994)：野生集団の遺伝的保全。現代の水産学 (水産学シリーズ No. 100, 日本水産学会出版委員会編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 152-153.
- 塚本勝巳(1989)：仔稚魚の成長。魚類の成熟, 発生, 成長とその制御。水族繁殖学 (隆島史夫・羽生 功編), 緑書房, 東京, pp. 239-289.
- 鉄 健司(1967)：ブリの体長・体重関係について。モジャコ採捕のブリ資源に及ぼす影響に関する研究。農林水産技術会議研究成果, 30.
- 内田恵太郎・道津喜衛・水戸 敏・中原官太郎(1958)：ブリの産卵および初期生活史。九大農学芸誌, 16, 329-342.
- 榎田 晋・広沢国昭・落合 明(1969)：高知県古満目漁場に来遊するブリ産卵群とシナホリンによる成熟促進について。日水誌, 35, 446-450.
- 榎田 晋・落合 明(1971)：産卵期前後における養成ブリの成熟について。魚雑, 18, 175-181.
- 榎田 晋(1991)：ブリ。海産魚の産卵・成熟リズム (水産学シリーズ No. 85, 広瀬慶二編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 92-100.
- Verakunpiriya, V., K. Mushiake, K. Kawano and T. Watanabe(1997) : Supplemental effect of astaxanthin in broodstock diets on the quality of yellowtail eggs. *Fisheries Sci.*, 63, 816-823.
- Viyakarn, V., T. Watanabe, H. Aoki, H. Tsuda, H. Sakamoto, N. Okamoto, N. Iso, S. Satoh and T. Takeuchi(1992) : Use of soybean as a substitute for fish meal in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 1991-2000.
- Watanabe, T., T. Arakawa, C. Kitajima and S. Fujita (1984a) : Effect of nutritional quality of broodstock diets on reproduction of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 50, 495-501.
- Watanabe, T., S. Ohhashi, A. Itoh, C. Kitajima and S. Fujita (1984b) : Effect of nutritional composition of diets on chemical components of red sea bream broodstock and eggs produced. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 50, 503-515.

- Watanabe, T., A. Itoh, C. Kitajima and S. Fujita (1984c) : Effect of dietary protein levels on reproduction of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 50, 1015-1022.
- Watanabe, T., A. Itoh, A. Murakami, Y. Tsukashima, C. Kitajima and S. Fujita(1984d) : Effect of nutritional quality of diets given to broodstock on the verge of spawning on reproduction of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 50, 1023-1028.
- 渡邊 武(1985) : 親魚飼料. 養魚飼料 (水産学シリーズ No. 54, 日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 135-145.
- Watanabe, T., A. Itoh, S. Satoh, C. Kitajima and S. Fujita(1985a) : Effect of dietary protein levels and feeding period before spawning on chemical components of eggs produced by red sea bream broodstock. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 51, 1501-1509.
- Watanabe, T., T. Koizumi, H. Suzuki, S. Satoh, T. Takeuchi, N. Yoshida, T. Kitada and Y. Tsukashima(1985b) : Improvement of quality of red sea bream eggs by feeding broodstock on a diet containing cuttlefish meal or on raw krill shortly spawning. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 51, 1511-1521.
- Watanabe, T., M. Lee, J. Mizutani, T. Yamada, S. Satoh, T. Takeuchi, N. Yoshida, T. Kitada and T. Arakawa(1991a) : Effective components in cuttlefish meal and raw krill for improvement of quality of red sea bream *Pagrus major* eggs. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 681-694.
- Watanabe, T., T. Fujimura, M. Lee, K. Fukusho, S. Satoh and T. Takeuchi(1991b) : Effect of polar and nonpolar lipids from krill on quality of eggs of red sea bream *Pagrus major*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 695-698.
- Watanabe, T., H. Sakamoto, M. Abiru and J. Yamashita (1991c) : Development of a new type of dry pellet for yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 891-897.
- Watanabe, T., V. Verakunpiriya, K. Mushiake, K. Kawano and I. Hasegawa (1996) : The first spawn-taking from broodstock yellowtail cultured with extruded dry pellets. *Fisheries Sci.*, 62, 388-393.
- Whitehead, C., N. R. Bromage, J. R. Forester and A. J. Matty (1978) : The effects of alterations in photoperiod on ovarian development and spawning time in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, 18, 1035-1043.
- Yamamoto, K. and H. Yoshioka(1964) : Rhythm of development in the oocyte of the medaka, *Oryzias latipes*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 15, 5-19.
- Zhu, Y., K. Furukawa, K. Aida and I. Hanyu (1991a) : Effects of water temperature and photoperiod on the initiation and termination of the autumn spawning season in tobinumeri-dragonet *Repomucenus beniteguri*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 1871-1876.
- Zhu, Y., K. Furukawa and K. Aida (1991b) : Effects of photoperiod on spawning rhythm in the tobinumeri-dragonet *Repomucenus beniteguri*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 2033-2037.

栽培漁業技術シリーズ No. 5

ブリの親魚養成技術開発

平成11年3月25日発行

編集 社団法人 日本栽培漁業協会企画調査室
発行 社団法人 日本栽培漁業協会
〒101-0047 東京都千代田区内神田3-14-8
ニシザワビル5階
電話 (03) 5296-3181
印刷所 日昇印刷株式会社
〒104-0043 東京都中央区湊1-14-14
電話 (03) 3553-3161