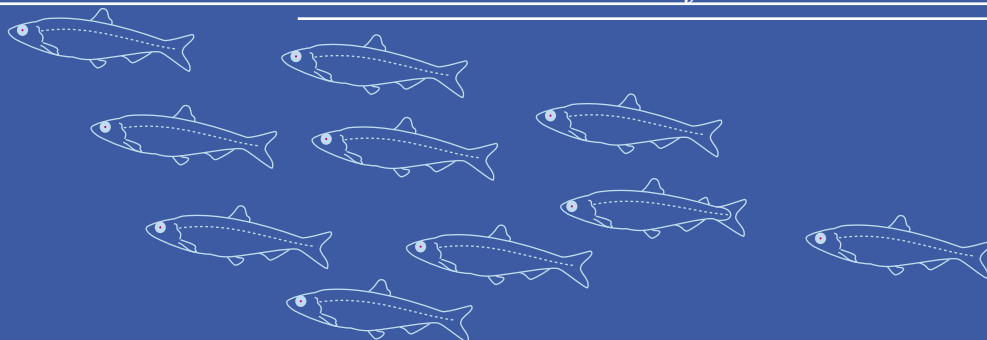




水産技術

Journal of Fisheries Technology



目次

創刊にあたって	會田勝美, 中前 明, 川口恭一	1-3
「水産技術」創刊の趣旨と内容 ～技術の伝承・継続～	社団法人日本水産学会, 独立行政法人水産総合研究センター	4
技術論		
水産業と水産技術.....	松里壽彦	5-11
技術小史		
海面魚類養殖施設の歴史と網生簀式養殖.....	宮下 盛	13-19
水産総合研究センター（旧日本栽培漁業協会）によるクロマグロ栽培漁業技術の開発.....	升間主計	21-36
原著論文		
高鮮度冷凍クジラ肉の解凍方法の開発	村田裕子・荻原光仁・舟橋 均・上野久美子・岡崎恵美子・木村郁夫・福田 裕	37-41
緑茶抽出物浸漬法によるサケ卵の卵膜軟化症抑制効果.....	佐々木 系・吉光昇二	43-47
北海道えりも以西太平洋沿岸域における放流されたマツカワ人工種苗の 産卵期と成熟年齢および成熟全長.....	吉田秀嗣・高谷義幸・松田泰平	49-54
水槽で飼育したマツカワ天然魚の産卵間隔と産卵数.....	渡辺研一・鈴木重則・錦 昭夫・南 卓志	55-59
ホシガレイのふ化に及ぼす水温の影響.....	平田豊彦・石井孝幸	61-65
クルマエビの種苗量産時における歩脚欠損の発生過程について.....	山根史裕・辻ヶ堂 諱	67-72
マダラ稚魚の腹鰭抜去標識の有効性.....	手塚信弘・荒井大介・島 康洋・桑田 博	73-76
携帯型アスピレーターを用いたトラフグ耳石の大量収集法の開発	鈴木重則・町田雅春・成生正彦・榮 健次	77-82
短 報		
ウナギ仔魚飼育方法を応用したハモ仔魚飼育の試み	加治俊二・西 明文・橋本 博・今泉 均・足立純一	83-86
第1巻第1号掲載報文要旨		87-88

CONTENTS

Preface

Katsumi AIDA,
Akira NAKAMAE, and
Kyouichi KAWAGUCHI 1-3

Message

Japanese Society of Fisheries Science and
Fisheries Research Agency 4

Conception of technology

Technical Characteristics of Fisheries Industry in Japan Toshihiko MATSUSATO5-11

Short history of Technology

The History of Marine Aquaculture Facilities and the
Net-Cage Culture System Shigeru MIYASHITA 13-19

Development on Techniques of Stock Enhancement for
Pacific Bluefin Tuna *Thunnus orientalis* by the Fisheries
Research Agency (formerly Japan Sea Farming
Association) Shukei MASUMA 21-36

Original articles

Development of Thawing Method for Frozen Whale
Meat with High Concentration of ATP Yuko MURATA, Mitsuhiro OGIWARA, Hitoshi FUNAHASHI,
Kumiko UENO, Emiko OKAZAKI,
Ikuo KIMURA, and Yutaka FUKUDA 37-41

Control of Soft Egg Disease of Chum Salmon by Green
Tea Extract Kei SASAKI, and Syouji YOSHIMITSU 43-47

Spawning Season, Mature Age and Length of Released
Barfin Flounder *Verasper moseri* in the Pacific Coastal
Waters off Southwestern Hokkaido Hidetsugu YOSHIDA, Yoshiyuki TAKAYA,
and Taihei MATSUDA 49-54

Spontaneous Spawning Rhythm and Egg Number of
Wild Barfin Flounder *Verasper moseri* Reared in a Tank Ken-ichi WATANABE, Shigenori SUZUKI,
Akio NISHIKI, and Takashi MINAMI 55-59

Effect of Water Temperature on the Egg Hatching of
Verasper variegates Toyohiko HIRATA and Takayuki ISHII 61-65

Occurrence Process of Pereiopod Deficits in the Seed
Mass Production of Kuruma Prawn *Marsupenaeus
japonicus* Fumihiko YAMANE and Akira TSUJIGADO 67-72

Effectiveness of the Fin Removal Marking for Pacific
Cod *Gadus macrocephalus* juveniles Nobuhiro TEZUKA, Daisuke ARAI,
Yasuhiro SHIMA, and Hiroshi KUWADA 73-76

A Novel Method for Mass-Collecting Otoliths Using a
Portable Aspirator in Tiger Pufferfish *Takifugu rubripes* Shigenori SUZUKI, Masaharu MACHIDA, Masahiko NARIU,
and Kenji SAKAE 77-82

Short paper

Trial for Rearing Pike Eel Larvae *Muraenesox cinereus*
by Applying the Japanese Eel Larvae Rearing Method Shunji KAJI, Akefumi NISHI, Hiroshi HASHIMOTO,
Hitoshi IMAIZUMI, and Junichi ADACHI 83-86

Abstracts

..... 87-88

創刊にあたって

社団法人日本水産学会

会長 會田勝美

このたび（社）日本水産学会が監修し、（独）水産総合研究センターが企画・編集を担当して、「水産技術」が創刊されることになりました。1932年に設立された日本水産学会は1970年に社団法人となり、水産学の発展に寄与してきましたが、昔から「水産学栄えて、水産業亡ぶではこまる」、「学会は学者のサロンになっている」などと苦言を呈されてもきましたので、「水産技術」の創刊は、水産分野における今後の技術開発と普及をはかり水産業の発展に資することができるものと、たいへんうれしく思っております。

水産学は応用科学であり、水産業の発展に資する使命を果たさなければならないことはいまでもありません。しかし、社団法人には憲法ともいべき定款があり、そこに記載された目的には、「この法人は、水産学に関する学理およびその応用の研究についての発表および連絡、知識の交換、情報の提供等を行う場となることにより、水産学に関する研究の進歩普及を図り、もって学術の発展に寄与することを目的とする。」とあり、水産業の発展に寄与するとは書かれていません。そこで定款の目的を改正すべく、「——もって学術の発展に寄与するとともに、水産業の発展、水産学教育の推進、社会連携の推進、国際協力の推進を図り、人類福祉の向上に資することを目的とする。」と下線部分を加えた案を理事会で承認していただき、事前に文部科学省の了承を得ようとしたのですが、内諾は得られませんでした。

どうしたものかと苦慮しているときに、水産総合研究センターでは関連研究機関の統合も進んだことから各分野の技術関係の論文を一つに纏める方向で検討されていること、それに関して日本水産学会誌に技術論文が収録できないかなどの問い掛けもあったことから、両者で検討を進めた結果、最終的に上記のような形での「水産技術」の創刊に至ったわけです。

水産学は基礎研究や応用研究で得られた成果を基に、技術開発を進めその普及をはかることにより、水産業の発展、さらには人類福祉の向上に資するまでを射程に入れなければなりません。その意味で「水産技術」の創刊は、大きな一歩となるとともに、日本水産学会と水産総合研究センターとの連携・協力がますます強固になる礎となるものと期待しています。

創刊にあたって

独立行政法人水産総合研究センター

理事長 中 前 明

水産の技術開発は、他の科学技術の開発と同じように、日進月歩です。このため本誌も、広く投稿論文の募集を行い、社会への迅速な情報の供給を目指します。これらの情報が、水産業に関わる研究者、技術者や実務に携わる専門家の間で共有されることによって、既報の技術開発成果をより高いレベルの技術開発へ結び付けることや、熟練の技術者から若い技術者に技術を伝承することが可能となります。

初めての街を歩くとき、GPS や方位磁石、地図もなく歩いたのでは最適なルートをたどれません。論文作成に慣れていない者は、その作成プロセスを最適に行えず、時には袋小路へ迷い込み、客観的判断を失って、正しくない方向へ進みがちなため、編集担当委員が正しい方向を示します。本誌企画・編集委員会においては、投稿された論文のひとつひとつを大切に査読し、掲載内容を編集委員会で検討し、著者へ修正を求めることにより、読者の側から理解しやすい誌面作りを行いたいと考えています。このことにより、多くの研究者、技術者の成果が本誌の上に積み上げられるものと信じ、本誌が次の世代の道標となることができます。このことも本誌の大きな使命と考えています。

本誌がこれらの役割を踏まえ、水産界の発展を推進する力の一翼を担えることを期待しています。

創刊にあたって

独立行政法人水産総合研究センター
顧問 川 口 恭 一（前理事長）

水産業に役立つ技術をいち早く水産業界や社会に伝え、最新技術の活用を促進することを目的に、このたび技術論文誌「水産技術」が約半年の準備期間を経て社団法人日本水産学会と独立行政法人水産総合研究センターから創刊されることになりました。

本誌は、資源、海洋、増養殖、水産工学、流通加工等、幅広い分野を対象とし、さらには、それぞれの分野の基礎研究から応用研究まで多種多様な研究・技術開発の成果を掲載し、技術開発の先端を走る研究者や生産の現場で活躍する技術者等の水産業に携わる多くの方々に迅速に紹介して行く技術誌と聞いております。この雑誌の創刊により、それによって、水産業の現場や国民生活に水産技術が大いに活用され、関係団体、企業、大学、水産研究所等との間で情報交換、研究開発ニーズの把握、共同研究の推進、研究成果の普及などがスピード感をもって積極的に推進されることを期待します。

また、研究開発推進面においては、これまで記述されてこなかった様々な技術が記録され、次の世代に継承されていく誌面としての機能も期待されるところです。

「水産技術」創刊の趣旨と内容 ～技術の伝承・継続～

社団法人 日本水産学会
独立行政法人 水産総合研究センター

水産技術は、水産業に役立つ技術開発成果をいち早く伝え、最新技術の活用促進を目的とした技術論文誌です。水産業にはいろいろな技術が係わっているため、本誌は、資源、海洋、増養殖、水産工学、流通加工等、幅広い分野を対象としています。本誌が、水産業に関わる研究者、技術者や実務に携わる専門家等に広く愛読されることにより、最新の技術開発成果が現場ですぐに活用され、新たな技術が生まれ、さらに後世に伝承されていくことが期待されます。

学術論文は、仮説を検証し、再現できたものが報告されますが、水産分野の技術開発は、自然を相手としているため、再現実験に時間を要し、論文を書くタイミングを逸してしまうこともありがちです。その結果として、貴重な科学的知見が埋もれてしまうことになります。技術開発は結果の積み上げが基本であるため、本誌は、科学的な裏付けがとれた結果であれば論文として取り上げます。調査航海や実験研究で得た結果の記述も重要な知見と考えています。

本誌では、投稿された論文のひとつひとつを大切に精査し、読者の観点から、より理解しやすい論文へブラッシュアップしたいと考えています。このことにより、よりたくさんの技術者の足跡が本誌の上に残され、さらに次の世代の水産における技術者を育成することができると考えています。このことは、本誌の特徴であり、重要な使命であると考えています。

本誌は、これらの活動を通して水産業発展の一翼を担うことを目指しています。

本誌に掲載する論文等の種類は、次の通りとします。

- ① 原著論文：
オリジナルな技術開発についての論文。
- ② 総説：
特定の研究領域に関する主要な文献内容の総覧とし、その記述が単なる羅列でなく、特定の視点にもとづく体系的なまとまりをもつもの。
- ③ 技術小史・技術論：
これまでの技術開発の歴史を基に技術開発の経緯及び技術開発内容についてとりまとめたもの、あるいは、ある分野における技術についての考え方をとりまとめたもの。
- ④ 短報：
実験結果や手法などに技術的な新規性もしくは価値が認められ、いち早く報告する必要があるもの。
- ⑤ 資料：
限られた部分に関する実験結果や新しい手法等の技術開発情報として価値があるもの。
- ⑥ 技術情報：
知的財産情報など、広く内外の新技术に関するもので、原則として、企画・編集委員会で情報を収集したもの。
- ⑦ その他、企画・編集委員会で必要と認められたもの。

国内外からの投稿を受け付けます。原稿は原則的に日本語としますが、企画・編集委員会が認めたものに関しては、この限りではありません。

水産業と水産技術

松里 壽彦*

Technical Characteristics of Fisheries Industry in Japan

Toshihiko MATSUSATO

2008年8月18日受付, 2008年9月3日受理

現存する多くの産業も同様であろうが、水産業は複雑な技術の塊である。現在の水産業で用いられている技術のなかには、科学的には説明されていない古来からの伝承的技術から現代科学の最先端の技術までを含むことから、水産業の技術を一言で説明することは困難である。考え方によっては、現在用いられている我が国の水産業の技術は、農業と同様、知的財産化されていない宝の山とも、多くの先人達の工夫と知恵の集合体とも思える。特に他産業技術と比べ、機械、器具等のハード技術より、永い歴史とともに蓄積された機械、器具を使いこなす技術、いわゆるソフト技術の比重が大きいことが特徴である。多少乱暴な言い方をすれば、水産業は人間の食料供給に係わる産業であるため、業としての成立はともかく、基本的な技術の発祥は、人類の発祥とともに始まったと考えられる。少なくとも、今から五千年以上前の古代エジプトにおいて川漁で今日用いられている道具の多くが壁画現物（網地・釣針等）として残っており、さらには船上での干物加工（背、腹両開き）や蓄養と思われる図まで発見されている¹⁾。我が国においても、全国各地で発見されている貝塚は、現在も行われている「煮貝」技術の証拠でもあろうし、貝塚から発見される数十種にのぼる魚骨は、それぞれの魚種に対応した漁獲技術があったからに他ならない。この永い歴史を持つが故の、近代科学成立以前からのハード、ソフト技術の塊である水産業の技術を考えるためには、多少考え方を整理することが必要であろう。

水産業の一般的定義としては「水産業とは漁業、加工業、流通業及び養殖業からなる総合的産業」であろう。漁業を支える基本的技術としては、漁場・漁況予測、造船、漁具・漁法、漁労技術等があり、最近では資源管理に係る多様な技術も用いられている。水産加工業は、大

きくは食品加工業の一部ではあるが、伝統的加工技術から近代的加工技術までを含み、「カニカマ」や人工キャビヤ製造技術、「珍味」製造技術及び多様な海藻加工技術など食品加工の中においても特異に発達分化している。水産流通業は、近年発達の著しい「物流」の中にあつて、全国津々浦々からの漁獲物の消費者までの輸送・販売といった水産の伝統的な流通技術とともに、世界的な水産物の流通をも含んでおり、巨大かつ複雑な技術系を形成している。例えば我が国で発達の著しい「活魚輸送技術」、氷点冷蔵技術、急速冷凍技術などは「鮮度」を重視する我が国の市場に対応した技術であるが、今や世界的にも重要な流通技術となりつつある。我が国の養殖業は他の三業種に比べ、比較的歴史も浅く、畜養・増殖技術を含めても千数百年程度である。ただ、他の三業種とは異なる技術、例えば養魚場からの収獲、活魚輸送、活メめ等特異な発達を遂げている²⁾。内水面池中養殖の代表的事例の一つである中国において特異に発達した、いわゆる中国式の複合養殖においては、既に紀元前500年前に書かれたとされる世界最古の養殖技術マニュアル「養魚経」³⁾の技術の一部（親魚性比、種苗の数次放流、周年漁獲、弱い魚食性を持つスポンとの混養による疾病等の生態的制御等）を現在も用いており、生態の著しく異なる、「四大家魚」、少数の魚食性魚種等による精緻、かつ大規模な混養が行われているが、そもそも四大家魚がなぜ適しているのか、ごく少数とはいえ魚食性魚の放流の意味、魚種ごとの放養尾数の差異、さらには、一連の漁労作業の理由等も今もって十分な説明はなされていない。

中国式複合養殖で知られているように、伝承的技術は往々にして、個々の技術を具体的、合理的に説明することが困難である。ただ、永い年月に晒され、検証され、

* 松里技術士事務所 〒004-0055 北海道札幌市厚別区厚別中央5条4丁目9-10-807 技術士（水産）
T.M Professional Engineer's Office (Fisheries), Atsubetsu-chuo 5-4-9-10-807, Atsubetsu-ku, Sapporo, Japan 004-0055
t.matsusato@agate.plala.or.jp

さらに少しずつ改良されてきた伝承的技術は、先人達の知恵の塊でもあり、科学的解析を加えることにより、安定した、優れたシステムとなり得る大きな可能性を秘めている。ここでは論議を深めるために、科学的説明、証明のなされていない伝承的技術を仮に「技能」と呼び、科学的原理に基づく技術を「技術」と呼ぶことにする。もとより「技能」と「技術」に優劣の差はない。例えばコンブの生産の現場では、一般に一次加工として「干す」作業を行うが、この「干す」という一見単純な、それでいて意外に困難な作業の意味が科学的に解明されつつあるのは、つい最近のことである。含水率の高い生コンブはそのままでは腐敗しやすく、保存のためにも収穫後速やかな乾燥が必要なのは、誰にでも理解できようが、天日下での乾燥過程でコンブの風味がより改善されたり、干コンブの目的の一つである「出汁」取りが容易になる等の効果が認められるならば「干す」という一見単純な作業の改良も慎重になされなければならない。「技能」は、また、科学的に説明されないことから、それを担う人の「技量」により結果が大きく異なるのが特徴でもある。水産加工の原点ともいうべき「素干品」や「塩干品」のような一見単純な「技能」による製品ほど生産者の技量によって製品の良否が異なってくる。「技能」に「技術」を継いだり「技能」を「技術」に置き換える際の大切なポイントであろう。

1. 「技術」と素材

水産業における技術の変遷をたどると、例えば漁船の建造のように、漁船を含む造船技術の発展に伴って、大きく変化した分野もある。素材にしても木材から鋼材、FRP、さらにアルミ材へと変わってきてはいるが、比較的小型の作業船、特に海上における作業が中心となる漁船は、他の船舶とは別の発達史を持つことになる。沿岸漁業を担う小型の漁船に関しては、今なお伝統的な和船大工の高い「技能」によって造られた木造船の方が海上での安定性、漁業種による修理・加工の容易性等の点では新しい技術によるFRP船より優れているとの現場の声も強い。また、最近では、FRP廃棄船の処理の問題から、木造船の優位が見直され、合板船等の研究も行われている。経済的には圧倒的に優位なFRPも最終処理技術の欠陥から、その優位性が脅かされることもあり得る。つまり、「技術」は直線的に発達することもなければ、素材が多彩となることが、即、進歩、発展とはならないところに難しさがある。

この小型漁船の例は、和船建造の「技能」は新たな素材を用いた造船技術に生かされているとしても、素材の持つ、利点と欠点が社会環境の変化により総合的評価が変わることを示している。技術開発に際しての事前のアセスメントの大切さを物語っている。

同じような例は、水産業の現場では、多数見受けられ

る。例えば、養殖業における小割生簀技術は我が国のみならず世界の養殖発展の大きな技術要素の一つである。開発当初から漁網を用いていたが、その後金網も用いられるようになった。金網は合成繊維に比して網の付着生物が少なく、潮通しが良い等の利点を持つが、亜鉛や銅の溶流出汚染等の問題を伴い、その優位性が失われつつある。このことは素材の問題とともに、公有水面における養殖業で用いられる技術には環境保全の面からの評価が必須であることを示している。

さらに同様な例を挙げると鮮魚等の輸送に用いられる「魚函」には、稲わらでできた俵とともに木製の樽や箱が用いられてきたが、陸上輸送のためには積み重ねに便利な木製箱が多用され、さらに保温性に優れ、軽く、多様な成形可能な発泡スチロール製魚函へと変化してきた。確かに木製と発泡スチロール製魚函を比べると、多くの面で発泡スチロールの方が優れているが、最近になり、前述したFRPと同様、廃棄処理の面から見直されつつある。素材開発の方向としては、小型漁船と同様、木材（合板）に戻るか、自然界で分解可能な生分解性素材や、最近の進歩の著しい表面処理した紙パック等が考えられている。最近のセラミクス工学の発展や、高分子化学等、素材開発は盛んに行われており、それらの成果を水産業の技術に取り込む努力は大切であるが、既に述べたように、実際の現場で使用可能な技術とするためには、開発以前に、廃棄処理技術を含めたトータルの事前評価がますます重要となってきた。

2. 「技能」から「技術」へ

農林水産業の現場においては、優れた従事者による工夫が日々積み重ねられている。現場での工夫の塊が「技能」ということになる。本来は優れた技能者の下での長年にわたる「修業」（現代風に表現するならオン・ザ・ジョブ・トレーニング）により、「体得」するものである。漁村においては、現在もなお、漁の経験が重要視されるのは、一つは海中に生息する魚介類の生態が充分解明されていないため、船上で感知（つまりは五感で）し得るわずかな変化を、魚群の行動につなげ、次の魚群の行動を予測する能力は、永い経験によってのみ培われるものだからであり、さらに、深い経験を有する者は、海気象の変化も鋭敏に察知する能力に秀でていることも多く、その判断が命に直結することもあるからであろう。現在は、富山県に代表される定置網漁業にしても、流れのある、しかも複雑な海底地形の中で、網と縄と重りと浮きだけで、海中に、あのような巨大な構造物を組み立てることは、単に長い経験だけでなく優れた能力を必要とする。経験を積みば誰でもできる訳ではない。養殖の現場においても「投餌」は、微妙なノウハウの塊であり、養殖技術の中で最も重要な技術にもかかわらず、現在は「餌を投げる」とことと違い違っているような養殖

場も無い訳では無い。優秀な養殖業者は「魚の顔を見て」とか「魚に聞いて」とか内容不明な説明しかしない。これはまさに「技能」であり、この「技能」を体得するためには、優秀な業者の下で、修業する以外はないのかもしれない。しかし、水産業の現場では従事者の高年齢化が進み、マンツーマンで後継者を育てようにも、そもそも後継者がいないことも多い。経験によって得られた「技能」は何もしなければ「技能者」一代限りとなる。実は「技能」は我が国の文化とも深く関連する。各分野の技能者に問うと、多くの場合「いわく言い難し」となる。それ故、「習うより慣れよ」となる。前述した、中国複合養殖の現場、中国無錫市においても、一つの池で数種の魚を数十万尾単位で養殖しているが、その魚種ごとの放流尾数が明らかに異なっている。また魚食性魚2種については主要魚種の数千分の一の数を放養している。これについて色々質問しても「昔から、経験的にやっている」との答えしか得られない。多くの関連文献に当たっても「生態の異なる4～6種の主としてコイ科の魚種を混養し」しか記載されていない。このため今日的には非常に優れた中国式複合養殖技術を国連（FAO）が中心となって、大規模に多くの国に技術を広めようとしても、根本的な理論がなければ、技術の伝播は困難となる。かつて三重県において、魚類の養殖のため竹筏が必要となり、長い経験を有するカキ養殖業者に指導をお願いしたことがある。使う道具は単純であり、一応筏は組み立てられるのだが、最後になり「組み合わせる一本一本の竹の性質を考えながら、組み立てるよう」注意され、技能伝習の困難さを実感した。

一方、現在用いられている重要な技術の多くは現場での小さな発見、工夫や現場に伝わる技能の科学的解明と体系化によって確立された。

例えば、コンブ、ワカメ、ノリ等の海藻類の養殖技術や、ノリ養殖の冷凍網技術等が有名である。これらの技能から技術化されたものの一つ一つに、現場の優れた技能者と科学者としてトレーニングを受けた優れた研究者の組み合わせがあることが必須と思われる。水産分野における技術開発のかなりの部分は、このような「技能」の「技術」化であり、それ故、技術開発のための高度な機械・器具等必要ではなく、現場で何気なく用いられている技能やわずかな工夫を察知する鋭い観察眼と科学的素養があれば可能である。科学を標榜する試験研究機関においてすら、使用している技術に対して科学的に明確な説明すらできないまま、技術開発を行おうとしている所もあるが、これは、「技能」と「技術」の混同であり、経験に裏打ちされていない「技術」も危険であるが、短い経験に基づく「技能」は時には単なる思い込みであり、極端な場合は「呪い」（まじない）に過ぎない場合すらある。

さらに、「技能」は長い経験によってもたらされたものであるが、一方では「技能」を発揮する環境の変化に

は非常に脆い面も合わせ持つ。逆に言うなら優れた「技能」は限られた環境下で最も効果を発揮し、「技術」は考え得る条件さえ整えば、効果が予測しうると言うことであろう。予測ができなければ有効な対処も考えられない。

3. 技術小史の重要性

「技能」から「技術」に変換する際重要なのは、用いられている微細な技術にも眼を向け、記載することである。数十年振りでも、あるサケ・マス孵化場を訪れた際、驚いたのは孵化槽の底面には小石が散在しており、かつてのような小石層が無いことであった。

かつては、孵化直後のサケ・マス孵化仔魚は遊泳力に乏しいので、水底に沈み、小石の間等流れの無いところで一時留まり、その後浮上すると説明されていた。何故小石層が無くなったか、底流はどのようにコントロールされているか。細やかな事ではあるが、サケ・マスの孵化技術の変化に違いがないし、かつての説明からどのように変化してきたのか詳かにする必要がある。おそらく、ここ数年の間に多くの技術的改良がなされてきており、また、現在もなお、技術革新が続けられていることであろうが、一つ一つの細かな技術の変化の歴史が科学的に記載されなければ、サケ、マス孵化技術の記載等は不可能である。

同様のことが栽培漁業技術分野でも多く見られる。何故、技術を変えたか。その科学的根拠は何か。部分の技術を変えることにより、全体的な影響はどのようなか等、きちんとした記載が無いままに、結果的に生存率が高いとか成長が良かったとか、結果論として「良い技術」とするのは間違いであり、持続性のない「技能」に陥る危険が大きい。試験研究機関に限らず、自らが採用した技術については全て科学的に説明できなければ「技術」とは言えず、積み重ねができないために発展は期待できない。「技能」だけに頼るのであれば、試験研究機関は不必要となる。

例えば粘着卵の人為的孵化を行う場合、まず、塊状では、中心部の卵への酸素の補給が困難になり、また、死卵を取り除くことも困難になる。従って、可能ならば、一層の卵層とすることにより、二つの困難を克服できる。実際、チョウザメについては粘土を混ぜることにより、ゴカイやハタハタの場合は粘着前に一層とすることにより、この問題を解決してきた。つまり、もし、チョウザメやハタハタ、ゴカイやその他ニシン等の粘着卵の個々の技術小史があるならば、それらをまとめると「粘着卵の効率的孵化技術」に関する技術論が可能となる。さらに、一層の卵層による孵化技術には欠点もある。それは、多量の卵を飼育するには面積が必要となること、付着底面の掃除が通常困難であること等考えられる。水中に塊として保持できれば立体的に利用可能となり管理

が容易となる。ただ、死卵の除去が困難である。

自然界ではこのような死卵の影響は多量の水流によって低く押さえられている。多量の飼育水もしくは静菌技術が導入できれば塊のままの飼育も可能かもしれない。さらに、もう少し自然界を観察するとハタハタ、ニシン等は、附着基盤として海藻を利用している。海藻は柔軟であり、それ自体優れた除菌作用を有しているだけではなく、孵化と同時期には枯死し、多くの微生物により分解されるが、それらは孵化仔魚の絶好の餌料となっている。

このように粘着卵の孵化技術を考えると多くの技術開発の余地が残されていることは明らかで、今後の発展が期待されるが、それ故に現在用いられている技術を科学的に記載することが将来の技術開発のためにもいかに重要かが理解できよう。

4. 「技術」の地域性

技術には国籍があるといわれるが、科学的に裏付けられた技術には地域性も国籍もない。ただ、多くの要素技術が組合され、一つの生産システムとなる時、地域や国によって特徴が現れる。他国の技術援助において、我が国の技術をそのまま移転しようとしても、失敗することが多い。むしろ、優れた技術系は地域なり国の自然環境や技能等を巧みに技術系の中に取り入れていることが多い。

例えばイランにおけるコイの種苗生産は、他の多くの国と異なり、1ヘクタールを超す広大な稚魚池が用いられているが、イランでは、種苗生産はカスピ海側で行い、養殖は、むしろペルシャ湾近くで行われている。そのため、広大な稚魚池から何ヶ月にもわたり、順次、一定サイズ以上の稚魚を捕獲し、長距離の活魚輸送を行っている。近年のコイ稚魚生産技術はハンガリーの技術援助によってもたらされたものであり、仔稚魚の飼育は、当初100～200ℓ程度の小さな容器で行っていたが、このような小さな容器での飼育では、長時間輸送に耐え得る種苗の生産が困難であることから、中間育成のため屋外の広い素掘り池を使用し、さらに仔魚期からの飼育も、その池で行うことになった。一見すると乱暴で、技術レベルも低いように見えるが、実態は、各国で行われている技術を経過し辿り着いた一段と高度な技術となっている。ハンガリーから学んだ技術のイランでの応用とすることができる。このイランのコイ仔稚魚飼育技術を他国に移転することは可能であろうか。原理的には可能であっても、屋外の広大な仔稚魚池の環境コントロールは困難であり自然条件の異なる所では安定した生産は望めないであろう。この場合は、イラン固有の技術というより、イランの国土において安定した生産が行われている技術の成立条件が未解明であり、地域特有の「技能」のレベルに留まっているためと考え得る。地域及び各国の特

有の技術と称されるものの多くは、科学的な解析が不十分で「技能」のレベルに留まっているものと考えられる。世界で最も長い歴史を持つ中国複合養殖も科学的解明の待たれる優れた「技能」の一つと考えると理解し易いであろう。水産加工業の発達している我が国において、例えば練り製品があるが、地域によって製品に差がある。この場合は、技術に地域性があるというより、地域の練り製品に対する嗜好が異なるからであって、小田原で長崎のような比較的軟かな練り製品を造ることは可能である。他の例としては、近代的な高密度エビ養殖技術が挙げられる。現在もなお、持続性のある高密度エビ養殖技術は完成しておらず、同一の飼育池での生産可能な期間は2～3年と驚く程短い。

そのため、次々と新しい地域に移転し生産を続けることになり、生産性が落ちた広大なエビ養殖池は、塩害もありそのまま放置され、大きな社会問題となっている。技術論的には、台湾、フィリピン、インドネシア、タイ、インドと地域を変えながらも、例え短期間でも生産を上げたこの近代的高密度エビ養殖技術は、普遍的技術とも思われるが、いずれの地域においても、持続性に乏しく、短命な危険な技術、未完成な技術と評価せざるを得ない。世界において小規模ではあるが高密度養殖で持続性を持つ養殖は、極く少数ではあるが存在する。また、同一地域内にあっても安定した生産を上げている養殖場と不安定な養殖場も存在する。これらについての徹底した科学的調査による解析により、持続性を持つ高密度大規模エビ養殖技術が初めて確立されよう。

5. 個別技術とトータル技術

産業の現場において用いられる技術は複合技術であり、かなり複雑な構造となっている。優れたエンジンだけでは船は進まないし、配合飼料が完全であっても養殖生産が安定する訳ではない。逆に、用いられる技術の一部欠陥はシステム全体の機能を阻害する。例えば海面養殖の現場において、投餌を手撒きから機械による自動給餌に代えるためには、生簀の構造から用いる飼料まで色々変えざるを得ない。さらに、天候による摂餌率の変化にどのように対応するかも重要であり、ややもすると残餌が増え、飼料効率が低下する可能性もある。手撒きでは、魚群の摂餌状態が良く観察され、それに応じて投餌量を細かく変えることが可能であるが、自動給餌の場合調節が困難な場合も多い。サケ・マス養殖においては広く普及している配合飼料の自動給餌システムが何故、我が国の海面魚類養殖ではなかなか普及しない理由は、給餌に係わる基本的な知見が不足しているからに外ならない。まず、ブリ養殖のように、種苗が天然採捕である限り、種苗の質は年毎に違うことになる。次に、水温、塩分等の変動の著しい沿岸においては、標準給餌率表を作ることが困難であり、家魚化されていないブリでは、

日々の摂餌量も大きく変化する。従って、ブリ養殖で用いられている技術の多くが、精緻というより大まかな技術の塊とならざるを得ず、そのため最終製品の質、コスト等は従事者の技量に負うところが多く、「技術」の「技能」化となり易い。ブリ養殖の場合、個々の技術は、先行するサケ・マス養殖等からの応用で実施されても、種苗を天然に依存する限りトータルの技術システムとしては機能しないこととなる。また、このことが、現在厳しい経営状態にあるブリ養殖の技術による再生を困難にしている原因の一つとなっている。

水産業の現場における技術のイメージとしては、まず、基本的な技術で結ばれた一つの系としての技術システムがあり、それに地域の特性や企業の経営戦略等により特異な個別技術が組み込まれている、というのが一般的であろう。ただ、実際はこの基本的な技術系の中に、明らかに個人の技量に依存する「技能」が組み込まれている場合も多く見られる。また、この「技能」部分を企業機密とし、他社製品との差別化に利用している場合もあるが、人に全面的に依存する「技能」部分が全体の生産性のネックとなることになろう。木に竹を継ぐことは基本的には無理がある。

6. 優れた技術とは

二十数年前のことになるが、タイ南部のエビ養殖場において、木製の風車による揚水機を見たことがある。水産の技術に強く興味を持つきっかけになったものであり忘れ難い。

当時、おそらく、水田の灌漑用として各地で用いられたものの水産分野への応用技術である。風車自体は長い丸太の先端に取り付けられており、羽根は木製でバナナの葉でできていた。揚水部については簡単な水車のような構造で風が吹くとカタカタ音を出しながらゆっくり揚水していた。一見のどかなローテクの風景であり、せめて羽根は薄い合板の方がより効率が良いのではと思った。その後、このような自然エネルギーを用いた揚水機が注目され、日本の援助により、風速に応じた可変式のアルミニウム製風車が導入された。しかし、結果は無惨にも最新式風車は1シーズンも持たず壊れてしまい技術導入のプロジェクトは失敗に終わった。何がいけなかったのか。技術的に考えて、失敗の原因は何か。実は、バナナの葉でできた羽根が鍵であった。農業で用いられた風車の水産分野への応用に当たって、当然、弱い風にも対応可能なようにと、合板その他の羽根は試みたのだが、農業地域と異なり、エビ養殖場の多くは、ほとんど海岸に接しており、時折、強い風が吹き、合板等の羽根では、羽根どころか本体も壊れることもあり、色々試みた結果がバナナの葉となったとのこと。バナナの葉こそ強い風では壊れ、本体を守り、かつ、直ちに修理が可能な材料であり、技術的にも優れていることになる。アル

ミニウム製の風車が破損した場合、現地での修理は困難となり、修理までに時間もかかり、かつ高価である。産業の現場で用いられる優れた技術とは、破損、事故が起きた場合、速やかに現場において修理・回復可能な技術である。また、技術者たる者、眼前の技術を評価する際は充分にその技術の由来を聞き取り、理解した上で行うべきであろうし、さらに、どのような技術からも学び取る力を持つことが大切であろう。

世界中の大多数の高密度エビ養殖場は持続性の低さのため、経営が困難となっている。その対策として、より水質汚染(?)に強いエビ種への変換やエビから魚類の養殖への転換でしのいでいる。我が国のクルマエビ養殖の主産地は沖縄へと移っているが、その沖縄県のある島において、近くに隣接している二つの養殖場で片方は生産が安定しているのに対し、他方は不安定な状態が続いていた。以前より興味があり、何が原因なのかを知るため現地を訪れてみた。養殖技術の診断は、現地に至る道路や集落、周辺の他の産業等、全身を目と耳にして、あらゆる情報を集めることから始まる。まず訪れたのは安定した生産を上げている優秀な養殖場であったが、数面のエビ養殖池(中には干涸したものも含む)を見て、積んであるエビ籠を眺めながら、エビ養殖技術では重要な、エビ養殖池の完全な干涸、曳き網や電気ショックを使わずエビ籠による輪採、池底はサンゴ砂等を確認した。その後、養殖業者の方に直接話をうかがい、いくつかの事実を再確認した。結論としては、優良な成績をおさめているエビ養殖場で用いられている技術には特異なものはなく、むしろ、クルマエビ養殖技術の基本を守っているに過ぎない。つまり、成績不振の他の多くの養殖場では、何等かの理由(多くは属人的なもの)でクルマエビ養殖の基本を守れず、欠陥を改善する技術的努力もしていないということである。改めて、クルマエビ養殖の基本技術を確立した先人達の力に感服するとともに、優れた技術は、原理的には地域性はなく、おそらく世界中で通用するのであろう。技術を守るのも人ならば、技術を崩すのも人である。優れた技術とは、基本的には地域、国籍を越えて通用するものであり、技術の改良とは、その基本技術を補完するものである。

7. 水産研究と技術開発

既に述べたように、水産業は総合的産業であり、水産学は応用学である。ただ、水産学の基礎となる生物学や生態学が応用学に耐え得る程発達している訳ではなく、結局、産業の対象とする生物(水産生物)については、水産学自らが基礎的な生物学も担わざるを得ないだけである。例えば、養殖業に対応し、病害防除のための診断や鑑定を行わざるを得ないが、病理解剖に耐えうるような解剖学は未発達である。魚類の心臓の血管系の記載されない。そのため魚病研究に携わる者の一部は比較解剖

学や比較生物学の研究を自ら行わざるを得ない。さらに、水産業が対象とする生物（水産生物）は餌料生物としての単細胞生物から鯨のようなほ乳類までを含み、海藻を含めると、種レベルでは1000～2000にもものぼる。我が国の水産に関係する研究者は、密接な関連を持つ小型船の造船工学や海洋学、比較免疫学を含めても1万人程度である。この1万人で水産業に係る基礎から応用までの多種多様な研究を行っているわけだが、当然のことながら十分な知見は得られない。基礎的研究は大学に任せ、水産研究所や地方自治体の試験研究機関は産業に直結した技術開発に専念する等の意見を口走る者がいるが、それらは、水産分野の研究資源（研究者数、質、研究資金）を無視した意見である。さらに、農林水産業は、大規模経営が少数で、個人企業が多いため、個々の経営体の研究能力には限界があり、これらの試験研究については、公的機関が税金を用いて行ってきた経緯がある。極論するなら水産分野においては「試験・研究、技術開発・技術普及はお上がしてくれる」との認識が一般的であろう。確かに基礎研究、応用研究や海上調査、広域な観測等は、業者個人で行うことは困難であるが、技術開発に関しては、現場の従事者の日々の工夫、努力が最も効果的である。既に述べたように、現在の水産業を支える基本的技術の多くは、産業従事者と優れた（というより、水産研究を志す者ならば当然備えていると思われる能力を持つ）研究者との共同作業の中から産み出されてきており、このことは我が国の水産業を発展させるには重要なポイントであろう。つまり常に考える業者と技術開発に意欲を持ち、現場の産業従事者と充分会話が可能で研究者の両方が必須ということになる。水産研究者には厳しいようであるが、全ての研究成果は産業に貢献できて初めて評価されることを肝に銘ずるべきであろう。

技術開発に当たっては、対象とする技術によっては大規模な設備・機械や精密機器を必要とするものもあるが、水産分野における技術の多くは、既に何度も触れたように、産業従事者との会話から新しい技術が生まれることも多い。また、現在有効に用いられている「技能」の技術化も大切な技術開発である。そのような意味においては、最低限の科学的素養と技術開発に対する強い熱意さえあれば誰にでも技術開発は可能である。水産分野の研究者、技術者の数は限られており、他分野からの技術的提案も重要であるが、そのためにも、まず、水産分野の技術をきちんと記載することが大切である。水産の技術を学ぶには、用いられている技術の総述だけでなく、個々の技術の由来（技術小史）、技術の科学的説明（技術記載）、技術の比較（技術論）、技術評価等の多くの記載（論文化）が必要である。

8. おわりに

我が国の経済全体も水産業も先が見通せない厳しい状況の下にある。多くの国民が国や自分たちの前途に不安を抱いている。特に水産業においては、水産業を構成する四業種間の連携が失われつつあり、漁業は未曾有の原価高、魚価安、そして、漁業資源水準の低下傾向。加工業は、原価高と伝統的水産加工品の需要の低迷、流通は、古来より発達してきた国内流通体制の破壊と、大手小売商の営業不振、国際流通の競合の増加と環境の悪化、養殖業においては、原価高と魚価安さらには輸入品との競合、経営の悪化、これらに加え、最多の動力源、オイルの高騰。人口減による水産従事者の予想を超える減少。まさに、我が国水産業はその長い歴史の中にあつて、その存続すら危険な状況にある。一方では食品の安全に対するかつてない国民的な強い要求から、国産食品に強い関心と期待が寄せられていることから、このことを産業発展のバネとする必要があり、我が国の水産に関しては政策、施策を含めて大きな転換期に直面していることは間違いない。その中であつて、長い間、我が国の水産業を支え、その発展に寄与してきた世界にも類を見ない多彩な、それ故複雑な技術の改革こそ重要ではないか。原油が高騰し、既存のエネルギー全体が高騰している現在、我が国の水産業の全ての技術を省エネルギーの観点から見直し、改善していくことは、将来の我が国の水産業の再生、発展のためには必要なことではなかろうか。例えば、天日干しよりも室内冷風乾燥の方が同一の品質の計画生産には有利であろうが、自然エネルギーである天日の持つ意味も考え直す必要はないか。天日干しの不利な点は新たな技術でカバーできないものか。冷凍技術の発達は、水産物の保蔵・物流を変えた程の影響があるが、膨大なエネルギーを必要とする保冷温度は適切であろうか。必要な状況は理解できるが、一部農畜産業でも言われた、「機械貧乏」のように過剰な設備投資により原価を押し上げていないか。養殖業では、本来、出荷量は漁業に比べると調整可能であるにもかかわらず、川下の需要を考慮しない集中出荷による魚価安はないのか。変化する消費者の要求に養殖業は適確に反応しているか。ともすれば、単なる競争心のため、小型漁船に出力の大きいエンジンを積んでいないか。円高の影響で比較的安価に入手できた原油、天然ガス等がこれからは、徐々に逼迫していくことであろう。本来、我が国の水産業は、他産業と異なり、世界的にも恵まれた、我が国周辺海域の漁業資源に支えられて発展してきた。資源水準の低下が懸念されている昨今ではあるが、魚種を問わなければ、我が国沿岸沖合で年間400万tの漁獲水準を維持することは充分可能である。このような恵まれた国は世界中でも数少ない。国際流通も重要ではあるが、原料等を他国に依存することは産業の命運を他国に委ねることである。

水産業を水商売としてはならない。そのためにも、まず、国内産業としての水産業を再構築する必要があり、技術も産業の要望に応え、新たな技術系を確立する努力こそ、今求められている。

文 献

- 1) TGH JAMES 1979 Introduction to Ancient Egypt, British Museum Publications, LONDON.
- 2) 大島泰雄編著 1994 水産増・養殖技術発達史, 緑書房, 東京.
- 3) 中国水産学会編 1986 范蠡養魚経, 中国水産学会, 北京.

技術小史

海面魚類養殖施設の歴史と網生簀式養殖

宮下 盛*

The History of Marine Aquaculture Facilities and the Net-Cage Culture System

Shigeru MIYASHITA*

Marine aquaculture first began in Japan in 1928 when Sakichi Noami and Wasaburo Noami reared yellow tail at an embankment style facility in Kagawa prefecture. For many years the embankment and net partition styles dominated Japanese marine aquaculture. However, the acceleration of aquaculture facility development saw experiments focused on the net cage style, with Prof. Teruo Harada of the Fisheries Laboratory of Kinki University starting such developments in 1954. Consequently, the net cage style of marine aquaculture became the main system worldwide. The net cage style is a compound consisting of a frame, a cage net and mooring facilities. Over time, the materials used and the style have been considerably improved.

2008年5月1日受付, 2008年8月6日受理

1. 海面魚類養殖の起源と養魚施設の変遷

海面魚類養殖の歴史は、野網佐吉・和三郎父子が香川県引田町（現在、ひがし香川市引田）の安戸池で始めたブリ（ハマチ）養殖によって幕を開けた。父子が安戸池を築堤式養殖場として活用し着業したのは1927年であったが、この年、イシダイ、ハギ、カンパチの放養を試み失敗している¹⁾。ハマチ養殖を開始した時期については、1927年^{2,3)}、1929年⁴⁾、1930年^{5,6)}などの諸説があるが、安戸池で当初から事業を任された野網和三郎の著書¹⁾および、後に網生簀式養殖法を開発した近畿大学水産研究所の原田輝雄宛私信によれば、ブリの幼魚“モジヤコ”を初めて放養したのは1928年である⁷⁾。ちなみに、2008年3月には、香川県の関連数団体によって、野網和三郎生誕100年・ハマチ養殖80周年記念式典が挙行された⁸⁾。

なお、安戸池では1928年のブリ養殖開始年に、産卵後のマダイ成魚700尾余りも同時に放養したという。現在でも、ブリとマダイの2魚種で海面魚類養殖総生産量

の85%前後を占めることを考えると、安戸池と野網和三郎は、名実ともに海面魚類養殖の発祥地ならびに創始者であり、その名は永久に記憶されよう。

安戸池の築堤式養殖方法とは、図1に示すように、入り江、または島と島の間の一帯海域を築堤によって仕切り、干満差または潮流を利用して水門により海水の入れ替えを行う方法である。築堤式養殖場による着業は、施設が大がかりで膨大な資金を必要としたため、後に香川県や徳島県を中心に数ヶ所開設されるにとどまり、やがて太平洋戦争への突入によって1943年以後中断した。戦後、築堤式養殖は安戸池が1951年に、その他の養殖場も1957年ごろから再開された。その後、海面養魚に対する気運の高まりにより1960年前後に、築堤式に比べて海岸の地形に対する設計上の制約も少なく、資金面でもより安価な、網仕切式養殖が開発された。

網仕切式養殖は、図1に示すように、仕切り面の網をコンクリートパイルなどで支持する方法と浮子によって支持する懸垂式があり⁹⁾、養魚場内を幾つかに区切ることも可能なため、1958年ごろから西日本各地に普及し

* 近畿大学水産研究所 〒649-2211 和歌山県西牟婁郡白浜町 3153

Fisheries Laboratory of Kinki University, 3153 Shirahama, Nishimuro, Wakayama, 649-2211, Japan
miyasita@kindaiacenter.jp

た。

ところで、築堤式および網仕切式とは、養殖場の囲いの構造のみで分類した呼称である。一方、これらを地形の利用方法と囲いの構造からみると、①小さな湾の湾口を仕切った湾型、②島と島間に挟まれた潮通しの良い小海峡の両側を仕切った海峡型、③平坦な海岸でコンクリートパイルによって支持した金網で養殖場を囲う網囲い型^{10,11)}に分類できる。

いずれにしても、これらの施設は着業するのに相当の資金を必要とする大規模養殖施設であり、誰もが個人で容易に着業できる形態ではなかった。さらに、水質環境を維持できる海水の交流があり、海上交通の妨げにならない場所となると立地条件が限られるため、養殖生産量を飛躍的に押し上げるまで普及するには至らなかった。

以上の背景から開発されたのが網生簀式養殖である。この養殖方法は、当初1辺が5～7mの方形生簀多数を連結設置したことから小割式と呼ばれ、農林水産省の漁業・養殖業生産統計における養殖方法別区分には、現在も従来通りの名称で記載されている。しかし、現在ではこの養殖方法が世界中に普及し、マグロ養殖用をはじめ大型化した生簀では単独設置される場合も多くなり、網生簀式養殖と称するのが一般的である。そこで本稿でもこれに倣うことにする。

2. 網生簀式養殖の発達

2-1. 網生簀の起源

生簀の起源は、カツオ一本釣りに用いる活餌魚の蓄養生簀であろう。我が国にカツオの名が登場するのは白河天皇（1053～1129）の頃であり、平安時代にはすでに食用に供されていたとされる¹²⁾。しかし、イワシやイカナゴなどの活餌魚を使った一本釣りがいつ頃から行われ、生簀を用いたその蓄養がいつ頃から始まったかは定かでない。三重県の海山町史には、天明6年（1786）に尾鷲浦との活餌イワシ確保に絡む紛争が激しいこと、生簀に

イワシを飼っていること、などの記述がある¹³⁾。このころの「生簀」の形がどのようなものであったのかは不明だが、遅くとも江戸時代中期には既に餌イワシの蓄養が行われていたことは明らかである。三重県では、明治末期までカツオ船は手漕ぎ八丁槽で、餌イワシの生簀には、竹で編んだ壺状の“ボテカゴ”が使われていたといわれ、大きなものでは最大部の直径が2mであり、活餌魚以外の一時蓄養にも使用されたという^{14,15)}。また、八丁槽船内にはいつごろからか1.4m³ほどの活餌魚槽が設置されたという。しかし、明治末期に石油発動機船が登場し、大正時代に入ると漁船の著しい発達に伴ってカツオ漁が次第に沖合へ、遠洋へと進出を始めた。その結果、出漁航海が日帰りから次第に長期化するにつれ活餌魚槽も大型化し、積み込む活餌魚も大量に必要となったため、現在の形の蓄養生簀が生まれたものと推測される。ちなみに、三重県におけるカツオ船のディーゼル化は大正末期であった¹⁴⁾。

このように活餌魚の蓄養生簀が発達すれば、次にこれを応用して沿岸で漁獲された魚類を飼育してみようという試みがなされるのは自然の成り行きといえよう。

網生簀養殖の起源は、宮本千秋が1933年に山口県仙崎町で、竹杭を建て、これに袋網をかけて生簀としモジヤコを蓄養した事例や、1934年に福井県水産試験場が三方郡常神湾口で夏ブリの蓄養試験を実施した事例であるといわれる¹⁶⁾。その後も各地で網生簀による飼育が試みられたが、何れも所期の目的を達するには至らなかった。

2-2. 網生簀式養殖法の開発

現在の網生簀によるハマチ養殖の普及の端緒は、戦後安戸池が再開されて3年後、1954年から原田輝雄が和歌山県白浜町の近畿大学白浜臨海研究所（現水産研究所）で開始した網生簀養殖試験であろう^{7)*}。築堤式や網仕切式では分けしての比較実験ができないことから始められたが、原田は、竹を番線で固定して枠体（小

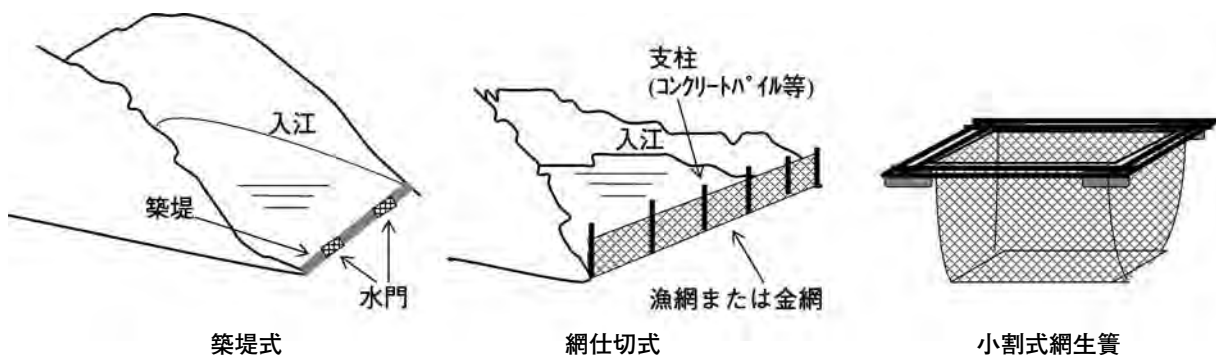


図1. 各養殖方法の概観図

* 原田輝雄、熊井英水（1959）合成繊維漁網によるブリのイケス網養成について。昭和34年度日本水産学会年会講演要旨集、p.44.

割)を作製し、当時のシュロなどで編まれた生簀網を頻繁に交換しながら、夏のモジャコ放養から翌年1月までのハマチ養殖に初めて成功した。さらには、1956年産のハマチを越冬してブリ(4年魚)まで長期間養成することにも成功した⁷⁾。しかし、当初使用したシュロ製の網は重く、その作業は重労働であった。このような折り、三重県水産試験場から「イワシの蓄養目的で化繊生簀網を作ったが目合いが大き過ぎて使えない。他に利用できないか?」という問い合わせがあり、これを借用して試験したところ結果は良好であった。この報告を受けた三重県では、直ぐにこれを採用し、近畿大学が推奨した地元の白浜漁業協同組合でもハマチ養殖を開始するなど、1957年頃から網生簀養殖を始めるものが現れたという¹⁷⁻²⁰⁾。

この間、ブリ養殖に関しては、餌料と成長との関係やハダムシ対策などの主要飼育技術の開発が進み⁷⁾、築堤式や網仕切式に比べて、区分け飼育が容易で他魚種にも対応できることや、出荷時の取り上げも容易のほか、水質悪化時には移動が可能であるとともに設置場所の条件が飛躍的に拡大され、何よりも少資金で着業できるなどの圧倒的な長所があった。さらに、合成繊維漁網の開発と相俟ってハマチの網生簀養殖の普及を一気に加速させたといえる。当時の近畿大学水産研究所には各地から視察が相次ぎ、1967年12月11日には、英国の著名な歴史学者アーノルド・トインビー博士も視察に訪れ、網生簀養殖に高い感心を示したという。その2年後の1969年には、原田は西ドイツのヘルゴランドで開催された海洋生物の増殖に関する国際シンポジウムに招聘され、網生簀養殖についての講演を行っている。

このように、和歌山県と三重県を中心に興ったハマチの網生簀式養殖は、西日本の太平洋沿岸に爆発的に普及した。1976年からの16年間、ブリ類養殖生産量全国一であった愛媛県におけるハマチ養殖試験の開始は1958年であり²⁰⁾、多くの県でこのころから開始されている。その結果、1955年におよそ20万尾であったハマチの放養尾数は、網生簀養殖法の開発によって、1960年には257万尾、1964年には1,836万尾と急激に増加した。なお、マダイの網生簀式養殖が最初に行われたのはハマチより1年遅い1955年である*。

以上の網生簀式養殖法の開発に伴う海面魚類養殖の発達経過は、漁業・養殖業生産統計年報からみる各養殖施設数の推移(表1)と養殖生産量の推移(図2)をみれば明らかである。なお、ブリ類養殖は、生産量約15万トンに達して定常期に入った1980年ごろから、中国よりカンパチ種苗が輸入されるようになり、同魚種への転換が次第に進んだ結果、現在ではその生産量の30%前後をカンパチが占めるに至っている。

表1. ブリ養殖における生産量と養殖方法別施設数の変化

年度	漁業生産量 (t)	養殖生産量 (t)	築堤式	網仕切式	網生簀式
1960	41,259	1,431
1965	43,819	14,779	12	71	4,822
1970	54,845	43,354	7	65	13,563
1975	38,316	92,408	8	111	19,083
1980	42,009	149,311	4	82	28,878
1985	33,422	150,961	2	60	25,720
1990	52,098	161,106	3	38	23,124
1995	61,666	169,765	2	28	19,464
2000	77,461	136,834	1	3	15,082

出所：漁業・養殖業生産統計年報

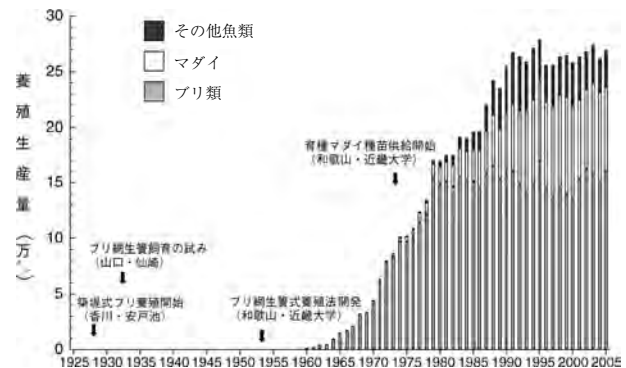


図2. 海面魚類養殖業の歴史と生産量の推移 (生産量の出所は漁業・養殖業生産統計年報)

3. 網生簀式養殖とその施設の変遷

作業性や安全性からみた網生簀式養殖の適地は、内湾や島陰など波浪の影響が少なく、適度の潮流によって水質環境が良好な場所となる。これらの条件から当初の養殖は湾奥部で始められ、網生簀の係留も安価な土壌やアンカーであり、少ない資本で誰もが着業できた。しかし、物理的に安全であることと、養魚成績を左右する水質環境とは地理的に相反する関係にあり、一般的に湾奥部ほど水質環境が劣る。経済発展に伴って増大した陸上排水による汚染と過密養殖がもたらす自家汚染によって養殖環境は悪化を続けた。

一方、輸入食品の増大を背景にした養殖量の増大は市場価格の低迷を招き、人件費などの諸経費の高騰もあって、養魚経営は1980年代以降次第に圧迫され始め、合理化による生産コストの低減が必要な時代に入った。これらの結果、資本力のある養殖場は湾奥部から次第に湾口部、あるいは沖合へと拡大し、網生簀の大きさも1辺(直径)が15~30mのものへと大型化し、生産の合理化が図られてきた。

図3にブリ類養殖における経営体数と施設数の変遷を示したが、総生産量は減少していないにも拘らず、1978年頃に約4,000であった経営体数は、2000年には約1,200にまで減少している。また、経営体数が約1/3に減少したのに対して網生簀面数は1/2しか減少しておら

* 原田輝雄(1956)マダイの成長と給餌量, 昭和31年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, p.5.

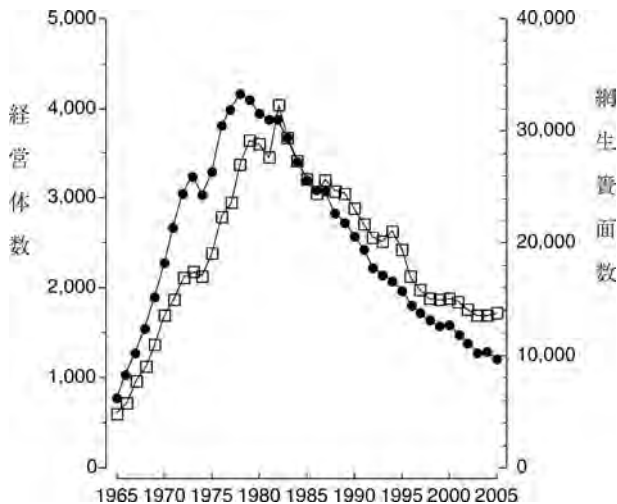


図3. プリ類養殖における経営体数と網生簀面数の推移
 ●, 経営体数; □, 網生簀面数
 出所: 漁業・養殖業生産統計年報

ず、網生簀の大型化と合わせると施設面積はそれほど減っていない。これは、地域毎に事情は異なるが、一般的に一経営体の平均生産量が倍増していることを示しており、養殖場が沖合へ移動するにつれて、資本金の大きい経営体の養殖規模が拡大し、従来通り内湾でしか経営できない小規模養魚家が減少していることを物語っている。

網生簀式養殖施設は、飼育魚類を収容する生簀網、生簀網を取り付ける枠体、これを海面に浮かせるフロート(浮子)、およびアンカーまたはコンクリート方塊とロープからなる係留施設で構成される。これらに使用される資材は、先述のような生簀の設置場所および規模の変遷と、化学、工学的技術の発達とが相俟って大きく変化するとともに、対象魚種や魚のサイズなどによって選定する材質も多様化して現在に至っている。しかし、この変遷に関する文献は少ないので、本稿では、近畿大学水産研究所が網生簀式養殖法を開発して以来、それに関わる関連資材メーカーとの受託試験や取り引きに基づく経緯から以下に概要を述べる。

3-1. 生簀枠体と浮子

網生簀は、定位させる設置形態別に分類すると、内湾で一般的に多くみられる浮揚式生簀および外洋性海域でみられる浮沈式生簀(図4)に大別される(いずれも小割式)。これらの生簀枠体を構造面から分類すると、浮力の小さい枠体をフロートで支える「フロート支持方式」、生簀枠体そのものが浮体を兼ねる「浮体支持枠方式」、およびフロートとロープで構成する「連結フロート方式(浮子式)」となる²¹⁾。その他に、底建式生簀などの特殊型の生簀があるが、定置網に付置されて蓄養に供されるもので、養殖には用いられていない。

当初の方式はフロート支持方式で、一辺が5~7mと小さく、その設置場所も湾奥部であったことから、竹

や間伐材を組み合わせて作った極めて安価なものであった。フロートには、真珠の筏式養殖が全盛時代であったことから、その筏に使われていたコールタール塗りの木樽が転用された。次いで、1960年ごろからドラム缶が利用され始めたが、これらは何れも腐食などにより気密性が失われ易いため年に一度は交換し、コールタールを塗布し直す必要があり、それらの作業に要する労力は相当なものであった。そこで、竹などの生簀枠自体が浮体を兼ねる浮体支持枠方式や、網漁具である巻網を応用したフロートとロープのみで構成される浮子式の生簀も考案された。1970年前後からは、現在汎用されている発泡スチロール製フロートの登場によって、高強度で作業性の良い亜鉛メッキ鋼管枠が徐々に普及し、前者は一旦姿を消した。また、浮子式生簀も、網替えなどの作業性が悪いため、選別を行わないマグロや、その他の魚種でも選別を必要としない大規模な本養殖場以外では現在もほとんど採用されない。

ところで、現在もフロート支持方式で多くみられる10~12m角形鋼管枠生簀は、海水による腐食が速く耐用年数が短いことや、沖合の円形大型生簀枠では波浪による金属疲労も加わり破断事故もみられた。そこで、新素材の検討および設計面での改良が加えられた結果、小型生簀では、1975年前後から厚肉プラスチック被覆鋼管枠が開発され、1985年ごろからFRP製パイプ枠も試作された。FRP製パイプ枠は、枠体固定方法から耐波性に問題があったことや、表面が滑り易いうえに高価なため普及しなかった。しかし、1998年ごろ、量産が可能で滑り止め表面処理を施せるコンポーズ式加工技術が開発され、価格も鋼管枠に近づいたことから、カキ養殖

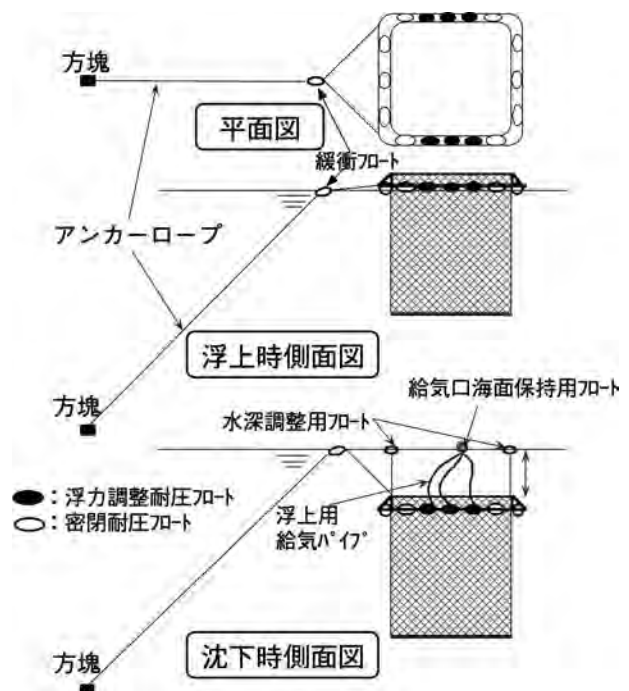


図4. 浮沈式生簀の模式図と調整方法
 (一点係留浮沈式/鹿児島県 鹿屋漁協)

従用とともに海面魚類養殖へも次第に使われ始めている。

大型生簀では、1975年前後から直径30～40mのフロート支持方式での鋼管枠、棒鋼枠、H鋼枠（円形）などが次々に開発され一部で使用された。なお、これらフロート支持方式の枠体に用いるスチロール製フロートは、損傷が速い上に、1997年ごろからその廃棄焼却を巡ってダイオキシン問題が急浮上した。以後、それまで価格が4倍前後と高く、沈下式生簀以外に使われなかった樹脂製フロートが、高耐久性とともにランニングコスト面からも見直され徐々に転換されつつある。

一方、大型生簀では、1990年前後から、高強力ゴムパイプ枠（八角形）が開発されたが、イニシャルコストが高く普及しなかった。その後、1997年ごろから耐用20年以上といわれるアクアラインケージ（Aqualine社製、輸入元：ニチモウ(株)）やポーラサークル（Helgeland Plast社製、輸入元：(株)鷹取製作所）という商品名の柔構造生簀枠がノルウェーより、続いてシーケイジの商品名（Everspring Marine Development社製、輸入元：(株)ダイニチ）でオーストラリアからそれぞれ輸入され始めた。これらはいずれも、わが国では1970年ごろから一時姿を消していた浮体支持枠方式であるが、浮体である直径25～30cmの高密度ポリエチレンパイプ（HDPパイプ）を二重とし、これを枠体と兼ねたものである。これらは、一定規格のHDPパイプを溶接することによって自由に大きさを変えることができるため、最近ではマグロ養殖生簀を中心に普及しつつある。HDPパイプ枠のサイズは様々であるが、国内では直径20～30mのものが多く、海外では、地中海で同30～90m、オーストラリアおよびメキシコで同40mが一般的である。なお、後者2ヶ国でのHDPパイプ枠は直径を一回り大きくしての一重が主である。

3-2. 生簀網

生簀網を海水中に入れておくと、カサネカンザシやフジツボなどの付着生物が着生し海水の交流を妨げ、飼育魚類の摂餌、成長を阻害し、生残率を低下させる。網生簀式養殖は、先述のように生簀網の交換を行い、これらを防除することで可能となった。したがって、網管理に関する作業は省力化を進める上で重要な要素であり、生簀網の強度、耐久性、交換時の作業性（軽量化）、付着生物防除策などが現在まで求められ続けている。

網生簀養殖が始まった1954年当時の生簀には、柿渋などを用いたカッチ染めの綿糸製、またはコルタルで染めたシュロ製の網を使用していた。特に後者では繊維が太いために海水の交流が悪く、網目の汚れが速く頻繁に交換する必要がある、その上、重く嵩ばることからその作業に費やす労力は大変なものであった。しかし、

やがて化繊網が導入され作業性は飛躍的に向上した。

とはいえ、最初に導入された化繊網の素材は、塩化ビニール（商品名クレモナ）、塩化ビニリデン（同クレハロン）、ナイロンなどであったが、何れも紫外線に弱く、空中露出部の劣化が激しかった*。今日のような強度と耐久性を備えたポリエチレン網（ポリ網）などが開発されたのは1967年前後であり、現在使用されている素材は様々である²²⁾。

一方、1960年頃から付着生物防除策として防汚剤の研究が行われていたが、1970年以降に実用化され、生簀網を染めることで網交換の手間が1/3以下に省力化された。また、これによって飼育魚の体表に寄生するハダムシ（ベネデニア）が激減し寄生虫駆除の手間も省けた。しかし、1972年以降、有機スズ系防汚剤（TBTO）が食品である養殖魚に蓄積する恐れがあるので使用を自粛するよう水産庁から通達が出され、1986年のマスコミ報道を機に使用禁止となった。その後、これに替わる防汚剤の研究が行われ、窒素系、銅系などの薬剤が開発されているが、その防汚効果はTBTOに比べると甚だ弱く、特にブリ類養殖ではハダムシ対策が大きな課題になっている。

また、この間生簀網としては様々な素材が登場してきた。まず、1970年ごろから金網を用いる試みが始まり、鶏舎などに使われていた亀甲金網の応用、ビニール被覆金網および亜鉛メッキ金網（後メッキおよび先メッキ）などが試された。その結果、前二者では耐用年数が著しく短く実用化できなかった。ただし、ビニール被覆金網のうち密着被覆型では、ハダムシの防除効果は少ないものの5年以上の耐用年数が得られた。亜鉛メッキ金網は、耐用年数2～3年であるが、ハダムシに対して化繊網におけるTBTOと同様の効果があることが分かり、ブリ類養殖で次第に普及し始めた。メッキの方法も種々試され、当初行われていたドブ漬け方式による後メッキでは、その加工段階で鉄線表面上に滴下凝固による突起ができ、魚捕り網がかかりやすいなどの欠点が生じるため現在では使われていない。その後、この亜鉛メッキ金網は、特に化繊網に対するTBTOの自粛指導もあり、1975年以降に急速に普及した。

以上の他、腐食しない金属としてチタンの生簀網が検討され、1972年から試験が始まり、10年以上の海水浸漬でほとんど劣化がないことが実証された。しかし、湾奥部の波静かな場所では問題なかったものの、沖合養殖場での試験で網の破断が発生し、波浪による揺れで摩耗し易いことが判明したことから実用化されなかった。

次いで、1980年ごろからポリエステル亀甲網が登場した。従来の漁網（ポリ網）は繊維が柔軟なマルチフィラメントであり、取り扱い易さという長所とともに、波浪や潮流に対して網成りが悪いという短所を有する。こ

* 熊井英水（1990）網いけす（小割）養魚施設。日本水産学会平成2年度第一回水産増殖懇話会講演要旨、7-8。

れに対して同亀甲網は、モノフィラメントで曲がり難く金網と同様に網成りが良い。樹脂製であるのでハダムシに対する防除効果は少ないが、10年以上の耐用年数が認められたことから、ブリ類以外の魚種の生簀網として一部地方で普及した。

以上のように、天然繊維、化学繊維、金属類など様々な素材の生簀網が開発されてきたが、現在主に使用されている網は、ポリ網などの化繊漁網、ポリエステルモノフィラメント亀甲網、および金網の三種類に大別できる。

なお、金網はこれまで亜鉛メッキ金網を中心に開発されて来たが、最近では銅とニッケルの合金網やアルミニウムと亜鉛の合金メッキ金網などが開発されている。前者は高価格のために普及していないが、後者では、亜鉛メッキ金網に比べて2～3倍の耐用年数を示し、価格面でも大きな違いがないため順に普及している。このアルミニウムと亜鉛の合金メッキ金網に使われる鉄線は、1988年ごろから電線ケーブルの支持線として開発されたもので、1994年ごろから養殖網生簀への転用が検討され、亜鉛メッキ金網製造ノウハウを基にアルミ含有量10%とした現在の金網が開発されたのは2000年ごろである。

3-3. 係留施設

当初から行われた小割の係留方式は、図5に示すように、場合によっては10台以上の網生簀をロープで連結し、四方からアンカーとロープにより固定する。1954年の網生簀養殖開始当時のロープにはシュロ縄が使われたが、脆く切れやすかったために、次いでコールタール染布巻ワイヤーロープが用いられた。しかし、これも扱い難く、1960年前後からビニール被覆ワイヤーが導入された。この強度は十分であったが、紫外線により被覆の一部に亀裂が生じると内部に海水が進入し、ワイヤーの腐食進行が外から見えないまま突然破断するに至った。これらの欠点が解消されたのは、1965年前後からクレモナロープが導入されてからである。

その後、1970年代に入り、クレモナの1/2以下の価格でポリエチレンロープが登場し普及した。しかし、こ

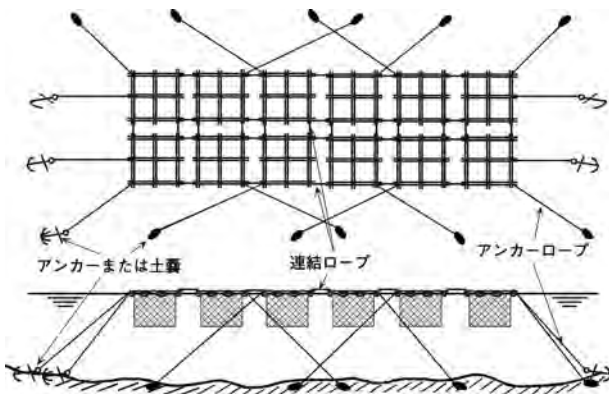


図5. 連結式係留法の模式図 (小型網生簀)

のロープは比重が低いため、風下側で緩んだアンカーロープが海面に浮上して漁船のスクリューに巻き込むなどの事故が多発した。そこで、1980年代に入り比重1.5に調整した鉛入りポリロープが開発され、現在では用途によってこれらが使い分けられている。

アンカーには当初、土嚢または鋼製錨が使用されていた。鋼製錨には両爪、および四爪が用いられていたが、底質が砂泥地の場合には波浪によって生簀が曳かれることが多く、1975年頃から抵抗を大きくするために爪面積を広くした片爪型鋼製錨が多く使用されるようになった。

以上のような複数連結した小型生簀の係留方法は、現在でも広く用いられているが(図4)、重力の大きい鉄製品を生簀枠体および生簀網に用いた場合、潮流が速い場所では沈没の危険があるので注意を要する。近畿大学水産研究所では、串本町大島の実験場で直径8mのマグロ用鋼管枠生簀(金網)を沈没させた事例がある。引き上げた生簀枠に残されたフロートのスチロールが想像をはるかに越えて小さく圧縮されているのを認めた。この現象から、激しい風波と潮流を受けた枠体が、一度海中に沈み込むとフロートの発泡スチロールが水圧で徐々に萎縮することにより、浮力を失うとともに容積の減少と波浪によって枠体から外れ易くなり、加速度的に浸水し沈没したものと推測された。また、複数の生簀を連結し、先端生簀をロープで方塊に係留する振らせ式(一点係留法、図4)を採用している鹿児島県の錦江湾では、1989年7月の台風来襲時にこの現象で多数の生簀が沈没し、ハマチ養殖に大被害を受けたことがある。それ以来同地では、生簀の連結は2台以内とし、一部フロートに耐圧樹脂製を用いて浮沈式としている。その他、波浪の影響が少ない場所では、一本の幹網(ワイヤー)の両端を方塊で固定し、これに生簀枠ごとに中央部3ヶ所を固定、一列に係留する方法などもみられる。

また、養殖場が当初の湾奥部から沖合へと進出し、生簀の大きさも大型化するにつれ、生簀の係留には10～40トンのコンクリート方塊が用いられるようになった。その係留方法としては、方形または基盤の目状に張り巡らせた側張りロープを方塊で四方に固定し、側張りの四

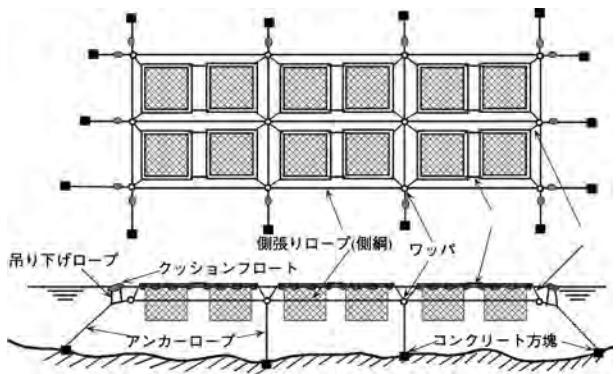


図6. 側張式係留法の模式図 (小型生簀：浮揚式または沈下式)

隅および交点に設けた“ワッパ”と生簀柁をロープで繋ぐ側張方式が一般的である(図6)。この方式では、隣の生簀の抗力を受けないように、1, 2台の生簀単位で側張りに係留される。なお、側張り方式を採用する養殖場の規模は一般的に大きく、1セット当たりの敷設費用が相当高額になるので、大規模養殖場以外では漁業協同組合の事業として施工する例が多い。

以上、網生簀式養殖施設の変遷を述べてきたが、現在のこれら各資材については、月刊「養殖」2001年度臨時増刊号、養魚施設ガイドに詳述されている^{23,24)}。本稿では最後に、現在の網生簀を構成する資材の概要を図7にまとめた。

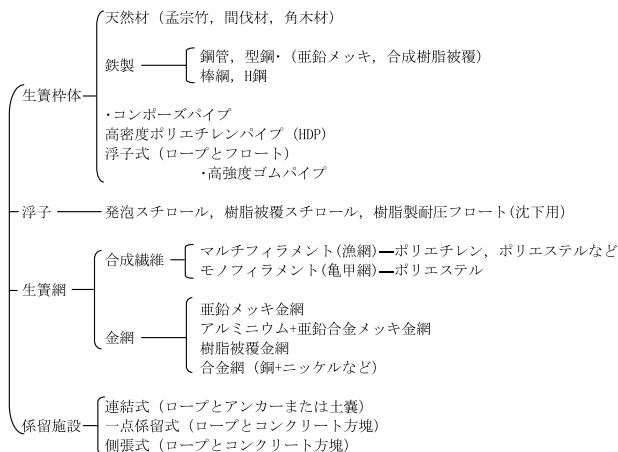


図7. 網生簀構成資材の現状

文 献

- 1) 野網和二郎(1969)海を拓く安戸池, みなと新聞社, 下関, 223 pp.
- 2) 松居暢夫(1986)ブリ。「浅海養殖」(社団法人資源協会編著), 大成出版社, 東京, pp.186-218.
- 3) 松尾文夫(1988)ハマチ(歴史と現状)。「養魚講座4ハマチ・カンパチ」(大島泰雄・稲葉伝三郎監修), 緑書房, 東京, pp.7-12.
- 4) 香川県漁業史編さん協議会(1994)海面養殖業の動き。「香川県漁業史」, 香川県漁業史編さん協議会, 高松, pp.450-460.
- 5) 松本利一(1935)香川県におけるハマチ蓄養. 定置漁業界, 25, 296-299.
- 6) 堀 重蔵(1936)ハマチ養殖. 養殖会誌, 6(7,8), 140-145.
- 7) 原田輝雄(1965)ブリの増殖に関する研究. 近畿大学農学部紀要, 3, 1-291.
- 8) 野網和二郎生誕100年・ハマチ養殖80周年記念事業実行委員会(2008)養殖発祥の地 香川 ハマチ養殖80周年のあゆみ, 野網和二郎生誕100年・ハマチ養殖80周年記念事業実行委員会, 東かがわ市, 1-114.
- 9) 原田雄四郎(1969)網生簀養殖。「養魚講座4 ハマチ・カンパチ」, 緑書房, 東京, pp.84-96.
- 10) 江草周三(1964)養魚池の環境条件. 科学朝日, 8(24), 97-101.
- 11) 本間昭郎(2001)海面養殖施設の現状と課題. 月刊「養殖」2001年度臨時増刊号 養魚施設ガイド, 11-13.
- 12) 阿部宗明, 本間昭郎(1997)「現代おさかな辞典」, エヌ・ティー・エス, 東京, pp.1-1196.
- 13) 海山町史編纂委員会(1984)江戸期の漁業. 「海山町史」, 海山町役場, 海山, pp.260-302.
- 14) 野村史隆(1982)カツオ一本釣漁法と漁具. 海と人間, 9, 1-22.
- 15) 中田四郎(1997)志摩国における鰹釣漁業史. 海と人間, 25, 75-137.
- 16) 大島泰雄(1994)水産増・養殖技術発達史, 緑書房, 東京, pp.109-110.
- 17) NHK産業科学部(1985)小割式養殖事始. 「証言・日本漁業戦後史」, 日本放送出版協会, 東京, pp.151-154.
- 18) 三重県水産試験場尾鷲分場(1958)生簀網によるハマチの蓄養試験について. 昭和33年度三重県水産試験場尾鷲分場事業報告, 126-140.
- 19) 原田輝雄(1990)総説(特集ブリ)ブリ養殖の隆盛といけす網の発達. 水産増殖, (38)3, 304-305.
- 20) 小林憲次(1998)養魚史年表. 「愛媛県魚類養殖業の歴史」, 愛媛県かん水養魚協議会, 松山, 204-215.
- 21) 社)マリノフォーラム21(1998)養魚施設評価基準, 社)マリノフォーラム21 新技術評価基準検討委員会, 1-64.
- 22) 本多勝司(1981)漁具材料, 恒星社厚生閣, 東京, pp.1-247.
- 23) 近 磯晴(2001)海面網生簀. 月刊「養殖」2001年度臨時増刊号 養魚施設ガイド, 19-25.
- 24) 熊井英水(2001)クロマグロの養殖施設と養成環境. 月刊「養殖」2001年度臨時増刊号 養魚施設ガイド, 64-68.

技術小史

水産総合研究センター（旧日本栽培漁業協会）による クロマグロ栽培漁業技術の開発

升間 主計*

Development on Techniques of Stock Enhancement for Pacific Bluefin Tuna *Thunnus orientalis* by the Fisheries Research Agency (formerly, Japan Sea Farming Association)

Shukei MASUMA*

Fisheries Research Agency (formerly, Japan Sea Farming Association), at the Yaeyama Station had worked on the technical development of broodstock and seedling production of Northern Pacific bluefin tuna in captivity at Ishigaki island of Okinawa prefecture between 1985 and 1997. Young bluefin tuna were transported to Ishigaki over a long distance (1,300-1,500 km) and time (74-113 hours) by boats. The broodstock raised did not spawn, but its growth in the subtropical region was demonstrated to be faster than that of the other farming sites. The Amami Station began research from 1994 at Amami Island, Kagoshima Prefecture. Spawning of bluefin in captivity started in 1997, and occurred in every year since then. In their research, many findings on the spawning ecology, behaviors, and so on of bluefin tuna in captivity were obtained. Further, the food sequence, management of water in rearing tanks, and countermeasures against VNN disease for seedling production of bluefin tuna have been developed.

This report was prepared after reviewing the findings and practices of JASFA and FRA during 20 years (from 1985 to 2005).

2008年5月12日受付, 2008年8月27日受理

かつて世界のマグロ総漁獲量の50%以上を占めていた日本のマグロ類漁業は、現在では僅かに15%を占めるに過ぎなくなっている¹⁾。主な漁獲対象となっているマグロ類は太平洋のクロマグロ *Thunnus orientalis*, 大西洋・地中海のクロマグロ *Thunnus thynnus*, キハダ *Thunnus albacares*, メバチ *Thunnus obesus*, ビンナガ *Thunnus alalunga*, ミナミマグロ *Thunnus maccoyii* の6種であるが、このなかで、クロマグロは最大で体長300 cm, 体重で600 kg以上にまで達するマグロ類中で最も大型となる種であり、また魚価は、時期、市場、サイズ及び肉質により大きく変動するものの、平均1,000~5,000円/kg, 高値の時は約3万円/kgにまで達すること

もある高級魚である。このように、クロマグロは他魚種に比べて魚価が高いことから国際的な漁業管理が行われているが、国際的なルールを逃れるためのFOC（便宜置籍船）、これらの船によるIUU（違法、無報告、無規制）漁業が問題となっている。また、1992年に第8回ワシントン条約（絶滅の恐れのある野生動植物の種の国際取引に関する条約）締約国会議において西大西洋のクロマグロを付属書I（取引禁止品目）、東大西洋のクロマグロを付属書II（貿易監視品目）に掲載するように提案が行われ、クロマグロを含むマグロ類への資源管理に関して、初めて国際的に強い関心が示されるようになった。

* 独立行政法人水産総合研究センター 宮津栽培漁業センター 〒626-0052 京都府宮津市小田宿野1721
Miyazu Station, National Center for Stock Enhancement, FRA 1721 Odashukuno, Miyazu, Kyoto, 626-0052 Japan
masuma@fra.affrc.go.jp

一方、1960年代後半、沿岸資源増大のための栽培漁業への関心が高まるなか、海洋開発宣言（1961年）に端を発した世界的な海洋開発時代の幕開けを背景に、資源培養型漁業開発のための研究が我が国の主導的な役割を果たして推進すべきプロジェクトとして位置づけられ、1970年から3年間、「大規模海中養殖実験事業」として、クロマグロの「つくり育てる漁業」に向けた取り組みが開始された²⁾。さらに1980年から1988年には、「近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究（マリーナランディング計画）」のなかで近畿大学、養殖研究所を中心としてクロマグロの親魚養成試験が行われ、そのなかで、1979年には近畿大学において、満5歳となった養成クロマグロが世界で初めて網生簀内で自然産卵し、ふ化後47日目（全長57mm）までの飼育に成功した^{*1)}。その後も近畿大学では、親魚養成から得た卵を用いて、クロマグロ仔稚魚の発育過程における種々の形態学および生理生態学的特性を明らかにするとともに、その完全養殖への足がかりを得るための研究を進め³⁾、2002年に完全養殖に成功した^{*2)}。

このような社会的、技術的背景のなかで、日本では世界に先駆け、栽培漁業による資源増殖手法の開発を目的として、1985年に水産庁の委託を受けた日本栽培漁業協会八重山事業場（現独立行政法人水産総合研究センター八重山栽培漁業センター、以下八重山事業場）においてクロマグロ、キハダの種苗生産技術開発が開始された。また、1994年からクロマグロに関する技術開発は日本栽培漁業協会奄美事業場（現独立行政法人水産総合研究センター奄美栽培漁業センター、以下奄美事業場もしくは奄美栽培漁業センター）に移され、今日まで研究開発が続けられている。さらに、近年のクロマグロの養殖事業の拡大に伴い、養殖種苗を天然に依存する養殖形態から、天然に依存しない人工種苗による養殖産業の振興を目指した大型のプロジェクトが独立行政法人水産総合研究センター（以下水産総合研究センター）を中心として2007年から開始された。

以上のようにクロマグロを取り巻く情勢は近年とくに急速な展開を示しており、それは日本のみにとどまらない状況にある。

そこで、本報告では、これまでに日本栽培漁業協会から始まり、水産総合研究センターで得られた2005年までの20年間の成果を整理することで、今後のマグロ類、とくにクロマグロに関した栽培漁業（親魚養成、種苗生産等）、養殖事業等の技術開発への取り組みが、より効率的に実施されるための参考とすることを目的とした。

1. 八重山および奄美への事業場設置の経緯

八重山事業場 社団法人日本栽培漁業協会八重山事業場として、1985年に沖縄県の石垣島に開所し、クロマグロ・キハダの種苗生産技術開発が開始された。本間⁴⁾は、八重山事業場の対象魚種としてクロマグロが挙げられた理由として、マリーナランディング計画のなかでクロマグロの産卵場所が南西海域、とくに沖縄県石垣島周辺が主産卵場であることが明らかにされつつあったが、プロジェクトのなかで親魚を養成する拠点が亜熱帯の南西海域に他になかったこと、「台風が多いものの、サンゴ礁に囲まれた水深の浅い礁湖に大型生簀網を設置することが技術的に可能である」との保証を水産総合研究センター水産工学研究所の解析によって得られたことを挙げている。また、クロマグロの先行的な技術開発魚種として成熟がクロマグロに比べて早いキハダが加えられ、2種のマグロ類を対象とした技術開発が始まった。それまでに亜熱帯、低緯度域でのクロマグロの飼育例はなく、八重山事業場での取り組みから重要な多くの知見が得られた。八重山事業場での取り組みは、奄美事業場での産卵が始まった1997年まで継続された。

奄美事業場 奄美事業場は鹿児島県の奄美大島の南側対岸にある加計呂麻島に建設され、1994年4月から親魚養成への取り組みが開始された。八重山事業場から奄美事業場へクロマグロに関する増殖技術開発の拠点が移行された経緯について、本間⁴⁾は、八重山でのクロマグロの成熟・産卵が後述するように高水温環境により不調であったことから産卵適水温を26℃前後と考へ³⁾、さらに、夏場の高水温時の水温が29℃以下の環境を有する適地として事前に奄美大島の調査を実施していたこと、1992年3月の京都で開催されたワシントン条約会議の影響により、国としてクロマグロ資源培養に、より積極的に取り組む方針が示されたためであったと述べている。また、大洋を回遊する本種を既存の生簀網形式でなく、より広い環境で飼育することが順調な成熟に効果があるとの考えにより、小湾を網で仕切った施設を建設するに適した地形を加計呂麻島が有していた点も挙げられる。

2. 親魚養成（輸送および飼育、成熟、採卵）

(1) 八重山事業場

輸送と親魚養成 八重山事業場では1985年から1992年までの間に6回、ヨコワ（以下、当歳魚を示す）および1歳魚の輸送及び収容が実施された（表1）⁵⁻¹⁰⁾。それま

*1) 原田輝男、熊井英水、村田修、中村元二、岡本茂、乗田孝雄（1979）クロマグロの人工種苗生産の研究 - I 養成クロマグロの成熟と産卵。昭和54年度日本水産学会秋季大会講演要旨集、85。

*2) 宮下盛、村田修、澤田好史、岡田貴彦、倉田道雄、熊井英水（2003）クロマグロの完全養殖。2003（平成15年）度日本水産学会大会講演要旨集、p151。

表 1. 八重山事業場におけるクロマグロ親魚候補魚の収容概要

年級*1	施設	種苗の入手		輸 送		収 容			
		場所	時期 (年.月.日)	時間 (時)	生残率 (%)	年.月.日	年齢	尾数	体重 (kg)
1984	フロート式角形網 (40×21×8.9m)	高知県大月町 柏島の民間養 殖業者	不明	74	100	1985.11.9	1	34	4.8
1986	〃	高知県沖	1986.7.28~8.4	113	65.5	1986.8.11	0	226	0.12
1987	フロート式角形網 (35×35×9m)	高知県沖	1987.7.24~8.4	120	41.5	1987.8.10	0	160	0.11
1988	フロート式角形網 (45×25×11m)	高知県沖	1988.7.23~7.25	126	49.3	1988.8.8	0	340	0.19
1990	〃	高知県沖	1990.7.23~7.29	74	29.5	1990.8.6	0	192	0.18
1991	フロート式円形網*2 (直径47m)	沖縄県本部町 の民間養殖業 者	不明	24	98	1992.11.1	1	90	12.5~19.8

*1 級群はクロマグロの生まれた年を示す。

*2 1988年級群で使用していた角形生簀網の張りロープによって、生簀網の形を円形に保つように調整した。

で 500 g 以上のクロマグロは活かして輸送できないとされていたが、1985 年の秋に体重 4.8 kg のクロマグロ 34 尾が高知県大月町柏島から沖縄県石垣市まで約 1,300 km, 74 時間を掛けて輸送（活魚船 99 トン）され、輸送後の生残率は 100% であった⁴⁾。さらに、ヨコワ（0 歳魚）の輸送例では 1986 年に 1,500 km, 113 時間の輸送（活魚船 349 トン）に成功し、続いて 1987, 1988 及び 1990 年にも輸送を実施し、29.5 ~ 65.5% の輸送後生残率が得られている（表 1）。最も低かった 1990 年の 29.5% の例では輸送中水槽壁面への衝突死が多く、その原因としてこれまでに比べて輸送中の水温が 29 ~ 30℃ と 1 ~ 2℃ 高かったこと、波浪が高かったこと、活魚水槽壁面の色が従来のダークグリーンではなくライトグリーンであったこと等から、魚群が落ち着かなかつたためと推察された⁹⁾。このことから、輸送中の水温、波浪条件、活魚水槽壁面の色などが長距離輸送にとって輸送後の生残率を上げるための重要な要素であることが推察された。

生簀網へ収容後の生残率は低く、とくに当歳魚（0 歳魚）を収容した 1986 ~ 1988, 1990 年級群では 1 年後（1 歳魚）で 7.5 ~ 17.7 % , 2 年後で 2.7 ~ 16.5 % となった（表 2, 図 1）。一方、民間養殖場で 1 年間飼育された 1 歳魚を収容した 1984 年級群では、その 1 年後で 20% , 1991 年級群では 60.7% と最も高い値を示した（表 2）。死亡は収容直後から約 1 ヶ月間に多く、死亡率は 1987 年級群で約 70 % であった（図 1）。また、とくに網替え後に死亡が多く認められた（図 1）。八重山事業場先海域では春から夏にかけて貝類を中心とした付着物が多く、網の沈下を招くために、年 1 回程度の網替えを実施せざるを得なかった。網重が増すとフロート式生簀網の場合、網が内側に寄せられ、平面積が狭められた。とくに 1991 年級群では沈下によって狭められた網への衝突が頻発し、約 20% の個体が死亡した（図 1）¹¹⁾。八重山

事業場の各養成事例での生残はいずれも低く、死亡の原因は生簀網への衝突死、網との擦れによる衰弱死であった¹²⁾。

八重山での養成では 1994 年に成熟調査のため取り揚げられたが、1987 年級群で 7 歳、1988 年級群で 6 歳にまで達した¹³⁾。

成 長 成長は和歌山、高知、鹿児島県での養成例¹⁴⁻²⁰⁾ と比べ、最も早い成長を示した²¹⁾。八重山での年間平均水温は約 25℃ で最低で 20℃ , 最高で 31℃ にまで達した（図 2）。升間ら²¹⁾ は水温変化率と摂餌変化率の関係を調べ、25 ~ 28℃ への水温の急上昇期と 25 ~ 21℃ への下降期にやや摂餌が低下するものの、28 ~ 30℃ の高温期でも摂餌が活発であり、夏期の高水温はクロマグロの養成にとって、必ずしも決定的な障害条件ではないことを示唆した。また、升間ら²¹⁾ は摂餌転換効率についても試算し、当歳魚で養成開始から 1.5 年間で 10.1% ,

表 2. 社日本栽培漁業協会八重山事業場におけるクロマグロ養成親魚の収容 1, 2 年後の生残状況

年級	収容時 年齢	生残率(%)	
		1年後	2年後
1984	1	20.0 (7)	-
1986	0	16.8 (36)	2.7 (6)
1987	0	17.7 (28)	16.5 (26)
1988	0	12.4 (35)	9.7 (28)
1990	0	7.5 (15)	6.5 (13)
1991	1	60.7 (54)*	-

* 括弧内は尾数を示す。

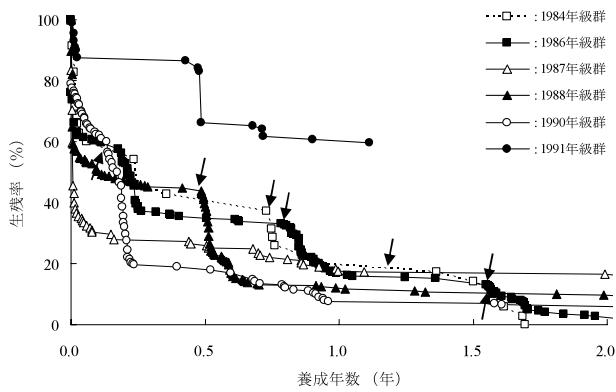


図1. (社)日本栽培漁業協会八重山事業場におけるクロマガゴ養成親魚の収容から2年後までの生残の推移 (図中の→は網替えを示す)

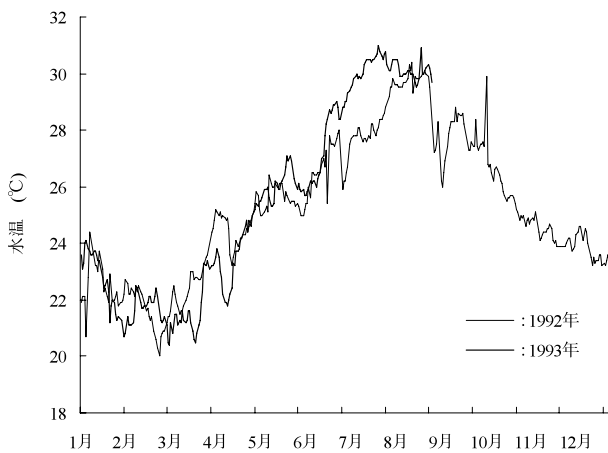


図2. (社)日本栽培漁業協会八重山事業場沖における10m水深での水温の推移

次の1年間で7.6%、さらに1年後では4.6%と徐々に低下し、荒巻¹⁹⁾が鹿児島県で実施したクロマガゴの養殖試験結果と一致することを示した。

これらの亜熱帯域でのクロマガゴの成長、餌料効率などのデータは²¹⁾、前述のヨコワの長距離輸送の成功と共に⁵⁾、その後の南西諸島域でのクロマガゴ養殖事業の発展に大きく寄与した。

成熟 3歳以上の個体で得られたGSI (生殖腺体指数) の変化を図3に示した¹³⁾。雌雄共にGSIが1を越えた個体は1尾のみであった。GSI 2.15の雌個体では卵巣内の最大卵径は0.64 mmに達していた。これらの結果を基に、共同研究を行っていた養殖研究所の香川博士 (現宮崎大学) は、①石垣島でもクロマガゴの成熟は可能である、②最も生殖腺が発達するのは4月頃③雌雄共に5月には生殖腺が退縮する、しかし④6～7歳で未熟な雌が出現することを考えると石垣島はクロマガゴの産卵環境にとって、必ずしも良いとは考えられない、との見解を示した¹³⁾。

ホルモン注射による産卵誘発試験 1992年7月2、15～17日にホルモン注射による催熟試験を実施した。打注方法には吹き矢 (Telinject 社製) を使用した²²⁾。シリ

ンジにはゴナトロピン10万単位を封入し、クロマガゴが餌に誘われて表面に上がってきた時や体の一部を表面に出して泳いでいる時を狙って発射した。計7回試行し、その内6回で魚体に突き刺さり、魚体へ薬液が注入されたと認められたが、その後産卵は観察されなかった。

精液保存試験 1985年7月31日に京都府丹後半島沖で中型巻網船によって漁獲され、翌8月1日に鳥取県境港に水揚げされた平均体重 (鰓腹除去) 145 kgのクロマガゴ2尾の精巢から精巢内精子を採取し、凍結保存を実施した⁵⁾。後に精子が活発に運動するのを確認した。

(2) 奄美事業場

海上施設 奄美栽培漁業センターのクロマガゴ養成施設の特徴は2つ挙げられ、1つは小湾を網仕切した (以下、仕切網) 広さ14 haの養成施設、2つ目は採卵作業の際に筏枠の上を安全に歩行可能である直径40 mの棒鋼製円型筏で、クロマガゴの養成施設としていずれもこれまでに例を見ない施設であった (図4)。

親魚養成 親魚候補魚の活込みは、1994年から2005年までの間に6回実施し (表3)、活込み時の年齢は当歳 (0歳)、1、4歳および8・9歳魚 (混養群、以下同様) であった。

1994年6月に沖縄県本部町から活魚船により輸送した1歳魚189尾を円型生簀網に収容して養成を開始し、1995年9月に、それまで生残していた172尾のうち95尾を仕切り網へ移し (以下仕切網群)、77尾は引き続き円型網生簀 (以下生簀網群) で養成し、両施設での比較 (成長、生残、産卵等) 試験を開始した。その結果、成長に差は認められなかったものの、生簀網群と仕切網群の生残に大きな違いが認められ、安定的な大量採卵を目的として長期間に亘って同一年級群を養成する必要がある場合、死亡率の低い仕切網施設が有利であることが示唆された²³⁾。また、生簀網群では長期間、狭い範囲で同一方向 (左回り) に遊泳していたことから、尾鰭が左に変形して曲がり、一方、仕切網群では、2歳時まで生簀網内で養成していたことから若干の変形は見られるものの、ほぼ体軸に沿って正常に近い形を維持していたことから、長期に亘る狭い環境での養成は尾鰭の形態異常を引き起こすことが分った²³⁾。尾鰭の変形は正常な遊泳の妨げとなり、生簀網への衝突死の原因となる可能性が示唆される。さらに、精子の密度と活力を両群で比較したところ、精子密度に違いは認められなかったが、精子活力が生簀網群の雄に比べて仕切網群で高いことが認められ、養成方法が精子活力に影響することが示唆された²³⁾。また死亡 (網に衝突し、網を突き破って逃亡したケースも含む) 時期について、8月に多く、養成7年 (年齢8歳) 以上でやや高くなる傾向があること、ほぼ毎日給餌する場合、体重に対する日間給餌率は養成後2年目 (3歳) (体重で約80～90 kg) までに急速に低下

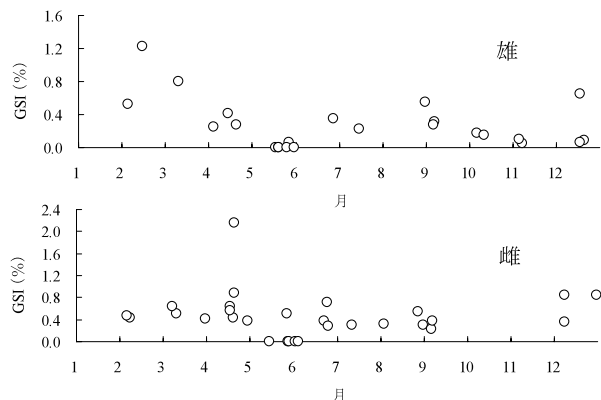


図3. 八重山事業場におけるクロマグロ養成親魚の成熟状況 (上段：♂ 下段：♀, 岡¹³⁾を改変)

し、その後1.5%前後に収束する傾向が認められ、升間ら²¹⁾が八重山で養成したクロマグロの日間給餌率について得た結果とほぼ一致していたこと、今回養成したサイズでは1日1～2回の給餌が適当であろうと推察されたこと等、仕切網群と生簀網群を比較養成した結果から多くの知見が得られた²³⁾。

4歳および8・9歳魚の収容では、クロマグロ養殖業者の生簀網から直径40m棒鋼製筏・円型生簀網へ魚を移し、養殖場から奄美栽培漁業センターまでの約7kmをタグボートで約4時間掛けて曳航した(表3, 図5)²⁴⁾。移動時の平均速度は約1.8km/時であった。1994年(4歳魚)には平均体重約80kgの親魚45尾、1997年(8・9歳魚)は推定体重250kg、17尾を移動し、いずれの移動事例においても、移動中の死亡は見られなかった²⁴⁾。

1996、1999および2004年に高知県で活け込んだヨコワの奄美への輸送は、これまでに八重山事業場で利用していた100～300トンクラスの活魚船ではなく、20トン未満の漁船で実施したが、200尾程度の輸送には問題なかった。

2004年9月12日に高知県上ノ加江沖で捕獲されたヨコワ198尾(337±89.3g, n=14, 平均値±標準偏差と測定数を示す。以下同様。)を直径40m円型生簀網へ収容し(以下、太平洋群)、同年11月13日に同じ生簀網へ島根県隠岐沖で捕獲されたヨコワ251尾(以下、日本海群)(541±121g, n=39)を追加収容し飼育を行った。収容時期の違いから日本海群を収容した時点で太平洋群は既に2～3kgに達しており、サイズに約5倍の違いが認められた。しかし、輸送や収容時のハンドリングの影響と推測される死亡が少なくなる収容14日目以降の生残率を比較すると、やや日本海群の生残率が低い傾向が認められるが(図6)、収容時のサイズ差による大きな影響はなかったものと推察した。

生簀網へ収容後の生残率を図7に示した。2004年級群では生残率が他の年級群より低くなったが、この年級

群では、収容時にIDタグを全個体へ装着したことから、そのハンドリングの影響により死亡率が高くなったものと思われる。1歳魚で収容した1993年級群は、先述した八重山での生残と同様に2年後までの生残率が0歳魚で収容した他の群よりも遙かに高い結果となった。

奄美では八重山ほどには付着物による網の汚れがひどくなく、さらに棒鋼製筏を用いることによって従来のフロート式生簀よりも浮力が大きかったことから、網替え後に死亡が多発した八重山での経験を生かし、網替えを極力少なくすることで、八重山での生残率に比べて、奄美では非常に高い結果を示した。

麻醉試験 2000年からクロマグロの成熟、行動調査及び標識装着等のためにストレスを与えず、体表に擦れないようなハンドリング方法の技術開発を目的として、釣針などの電極を通して魚体に電気刺激を加えることで「暴れ」等の行動を制御できるかどうかを検討するための試験を実施した。これらの試験は広島大学難波教授(当時)の指導の元で実施した。2001年にはギンガメアジ *Caranx sexfasciatus*, ボラ *Mugil cephalus*, クロマグロ人工種苗を用い、2002年にはミナミクロダイ *Acanthopagrus sivicolus*, クロマグロ成魚を用いた電気麻醉試験を実施した^{25,26)}。成魚(推定FL200cm, BW180kg)を用いた試験では釣によって生簀網手前まで寄せた後、頭部を海面より露出させて、1～7mAの電流を流し、麻醉状態を観察した後にリリースしたところ、翌日は頭部に電極の痕が認められたが、3日後には痕も目立たなくなり回復した。また、2002年には電気麻醉後に採血を試みたが、リリース後に蘇生せず死亡した(全長233cm, 体重217kg)²⁵⁾。これらの結果から電気麻醉についてはその効果は認められるものの、通電する電流量、釣の場合には針先からの漏電、人間への影響など幾つかの解決すべき問題を残していた。

生簀網内の行動観察 生簀網内でのクロマグロの行動を観察するために幾つかの試みを行った。1996年にはFURUNO製スキヤニングソナーCH34を用い、仕切網内、生簀網内のクロマグロ魚群の行動観察を実施した²⁷⁾。また、ビデオによる行動観察も試みたが、いずれも、潜水による目視観察を補うほどの効果は認められなかった。

そこで、1999年にデータロガーをクロマグロに装着することによって生簀網内での遊泳行動の情報を一定期間連続的に得ることを目的として、遠洋水産研究所と共同で試験を実施した。供試魚には推定体重80～100kgの3歳魚を用いた。データロガー(LTD100, Lotek社製)は水温(精度:±0.2℃)、水深(精度:±5m)、照度を1分毎に約130日間記録するようにセットした。データロガーはナイロン製ダートタグに取り付けられたアクリル製ケース内に収納し、ケースは脱落したときに浮くように浮力調整した。装着は釣りで引き寄せたクロマグロに銚を用いて魚体背部に差し込むことによって行っ

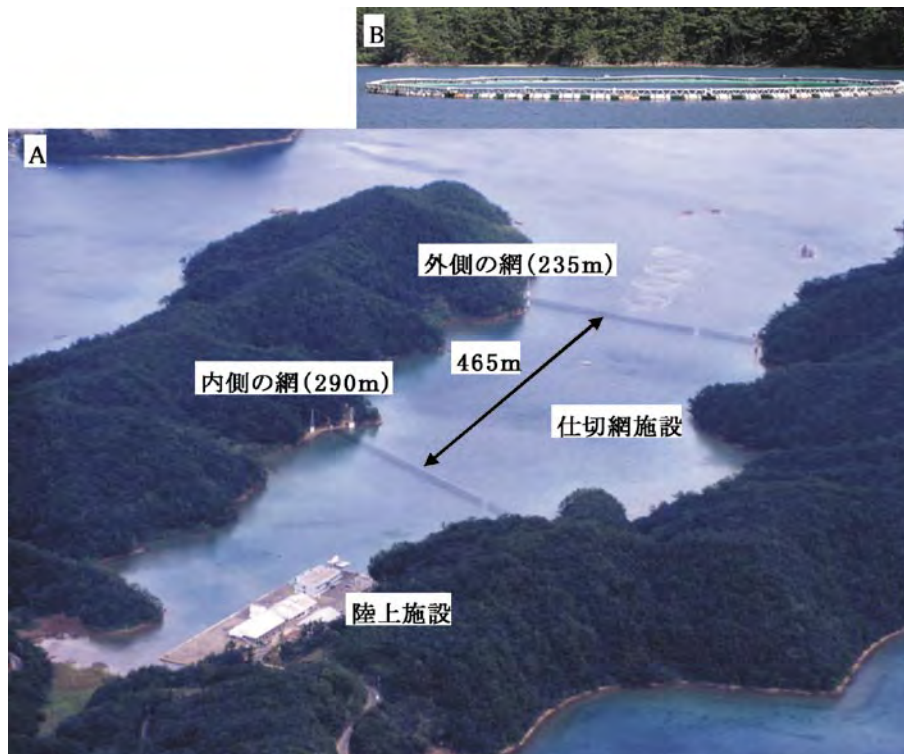


図4. 奄美栽培漁業センターにおけるクロマグロ親魚養成施設
A：センター施設全体 B：棒銅製直径40m円形筏

た。10月5日から7日にかけて各1尾、計3尾にデータロガーを装着し、その内、1尾で約1ヶ月間の行動を記録することができた。この個体について表層（0～5m）、中層（6～10m）、深層（11m以深）の日周行動の変化を解析したところ、装着後翌日から群れに加わって遊泳しているのが潜水観察され、2日目までは昼夜共に深層を遊泳し、3日目からは昼間中層～深層、夜間中層、21日目からは昼間中層から深層、夜間表層を遊泳していることが明らかとなった。24日目頃から昼間に急潜行、急浮上する行動が頻繁に記録され天然クロマグロで報告されている行動と類似していた*。

水中写真撮影（ニコノスRS、フィッシュアイレンズ）により生簀網内の生残尾数の推定を試みた。生簀網最深部から水面方向に数枚撮影し、映った魚を計数して、最大尾数を推定尾数とすることで大まかな推定は可能であった²⁷⁾。また、半導体レーザー（レーザー光間を3cmに設定）とVTRカメラを組み合わせ、魚体に映ったレーザースポット2点（2点間の距離は3cm）から魚体長の推定を試みた。魚体の向き、ビデオで視認できるスポットの強さ、同一個体を測定する可能性等の問題点はあったが、高い精度を求めないのであれば利用は可能と思われた²⁷⁾。

成長 奄美事業場での養成では11歳で最大581kgに

達するまでの成長が認められた。奄美事業場での養成クロマグロの成長は八重山事業場での成長と差が認められなかった（図8）。奄美事業場での10m水深の水温は12年間の平均で年間20.1～28.1℃の範囲にあり（図9）、八重山事業場の水温（図2）に比べると低いが、周年活発な摂餌行動が観察された。以上の結果から、奄美事業場の環境はクロマグロの成長に適した環境であると考えられた。

1999年には収容したヨコワ122尾の内51尾にワイヤーレスIDタグ（AVID社製）を装着し、同時に全長測定を行った。死亡時に回収されたIDから死亡するまでの日平均成長率を求めた²⁸⁾。収容時平均全長33.8cmの個体で、収容1～3ヶ月の日平均成長速度は2～3mmと推定された²⁸⁾。

成熟・産卵 1990～1999年の間にサンプリングや死亡により得られた魚の体重、生殖腺重量からGSIを求め、また一部の生殖腺は定法により薄片標本を作製してヘマトキシリン・エオシンによる二重染色を行い、顕微鏡下で成熟状態を観察した。雌のGSIは5～9月に比較的高く、比較的大型の卵巣卵を持った個体は6と9月でのみ確認されたが、卵黄球期に達した卵は1～9月下旬までの卵巣に認められた（図10）²⁹⁾。とくに、2002年9月30日に第三次卵黄球期の卵を持つ個体が認められた

* 升間主計，手塚信弘，小磯雅彦，鶴巻克己，神保忠雄，武部孝行，新田朗，山田陽巳，馬場徳寿（2000）データロガーを用いた生簀網内クロマグロの行動観察，平成12年度日本水産学会春季大会，p65.

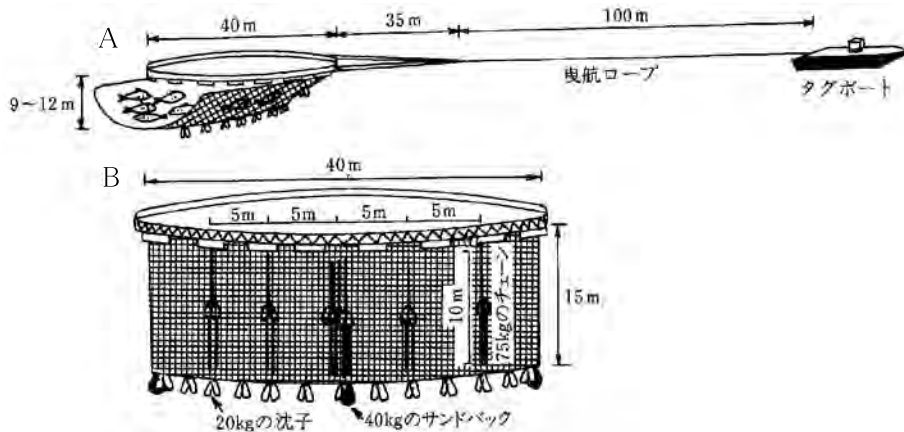


図 5. クロマグロの移動作業の概略 (升間²⁴⁾より引用)

- A 曳航時の筏, 生け簀網の形状と曳航方法
 B 生け簀網吹かれ防止のための錘装着状況

ことから, 10月以降の産卵の可能性が示唆された。雄では4~9月にGSIが高く, 雌のGSIが高い時期とほぼ一致した²⁸⁾。雄では取り上げ時に精液が流れ出る個体がしばしば観察された。しかし, 雌ではほとんどの個体でGSIが低く, 養成魚群の群成熟度(群れの全親魚尾数に対する成熟した親魚の割合, ここではGSIが1.0以上を成熟とした)が著しく低いことが示唆された(図10)²⁸⁾。

2004年収容群では太平洋群と日本海群の識別ができるように全個体にIDタグを装着し, また遺伝子解析用として胸鰭の一部を切り取って保存した。この養成の目

的は, 天然魚の成熟調査から太平洋群の産卵開始年齢が5歳, 日本海では3歳と推定されていたことから³⁰⁾, 海域による成熟の違いの有無を検証するために実施した。さらに, 先述したように養成魚の群成熟度が低かったため, 収容尾数を多くして成熟個体数を増すことで, 産卵の可能性を高めることを目的として実施したところ, 2004年群は3歳で産卵を開始した。また, 4~8月に雌5~6尾をサンプリングし, 卵巣の成熟を調査したところ, 日本海と太平洋で採取された個体間に成熟状態に差のないことが示唆された*。

1997年5月13日, 奄美の民間養殖業者から譲り受け

表 3. 奄美栽培漁業センターにおけるクロマグロ親魚候補魚の収容概要

年級	施設	種苗の入手		収容時				
		場所	時期 (年.月)	年月日	年齢	尾数	体重 (kg)	備考
2004	棒鋼製筏・円型生簀網 (直径40m, 深さ15m)	高知県沖 島根県隠岐	2004.8	2004.9.12	0	198	0.38	
			2004.10	11.13		251	0.60	
1999	高密度ポリエチレン製筏・ 円型生簀網 (直径20m, 深さ12m)	高知県沖	1999.8	1999.9.7	0	122	0.53	
1996	棒鋼製筏・円型生簀網 (直径40m, 深さ15m)	高知県沖	1996.8	1996.9.3	0	291	0.33	
1993	"	沖縄県本部町の民間養殖業者	不明	1994.6.8	1	189	8.3	収容後約16ヵ月後に生残していた172尾の内95尾を仕切網へ移動し, 飼育を継続した。
	仕切網	"		1994.10.16	2	77 95	61*	
1990	棒鋼製筏・円型生簀網 (直径40m, 深さ15m)	鹿児島県奄美大島の民間養殖業者	不明	1994.11.5	4	45	90*	
1987・1988	"	"	不明	1997.3.23	8,9	17	250*	年齢組成は不明

*目視による推定体重

* 玄浩一郎, 武部孝行, 二階堂英城, 香川浩彦, 松原孝博, 澤口小有美, 東藤孝, 平松尚志, 原彰彦, 武部孝行, 井手健太郎, 塩澤聡, 西明文, 升間主計 (2008) クロマグロ高度化—奄美栽培漁業センターにおける養成3歳魚雌クロマグロの繁殖特性. 平成20年度日本水産学会春季大会, p238.

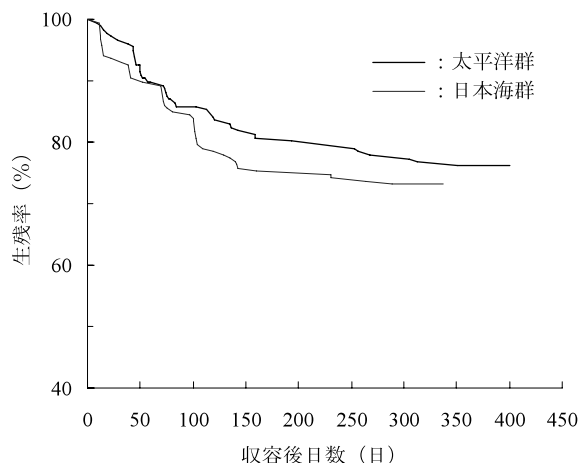


図 6. 同じ生け簀網に収容時点で大きさが異なるクロマグロ養成 2 群の生残率の推移

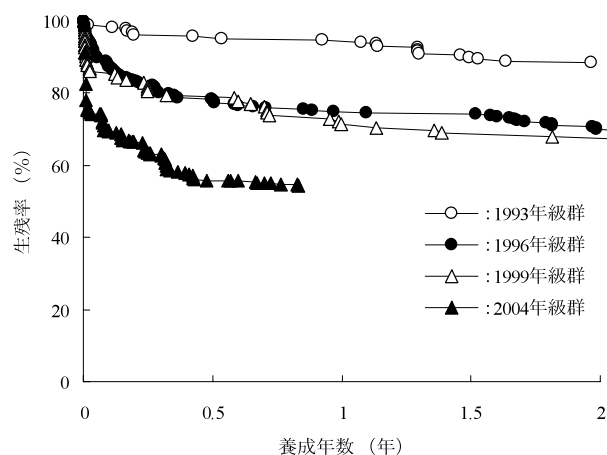


図 7. 奄美栽培漁業センターにおけるクロマグロ養成親魚の収容から 2 年後までの生残の推移

た親魚群（1987，1988 年群の混養）9・10 歳魚で産卵が始まり，その後，5 歳以上の各親魚群で毎年産卵が続いた（表 4）。とくに，2002 年に採卵数が最も多く，約 5 億粒を採卵した（表 4）。産卵期間は，5 月中旬から最も遅くまで産卵したケースでは 11 月初旬まで続いた（表 4）。しかし，産卵ピークは 6，7 月と推測された。

本種の産卵生態に関して，これまでの産卵結果から多くの知見が明らかになってきている³¹⁾。産卵開始時期については，5 月以降で 23℃からの水温上昇が急であるほど産卵開始が早まり，産卵期間も延長し，逆に，水温上昇が緩慢であれば産卵開始時期が遅れ，長すぎる場合には，ほとんど産卵しない場合もありうることを示唆した³¹⁾。また 20 例の産卵例から，その内 7 例が 9 月以降も産卵し，4 例は 8 月下旬まで産卵が続き，とくに，2001 年では 11 月 10 日まで産卵が続いていること，産卵が終了した時に水温は産卵を開始した水温と同じ 24.3℃であったことなどから，本種の産卵の終了が主に水温の下降と光周期の短日化にあることが想定されるが，短日化要因は水温の下降要因に比べて産卵抑制への影響が弱い可能性のあることが示された（表 4）³¹⁾。卵径については，本種は最小で 0.8 mm サイズの小型卵を産卵し，卵径と水温には負の相関が認められ³¹⁾，産卵は 17:31～23:36 の時刻に行われ，さらに，産卵時刻と水温の間には一回帰で示される強い相関が認められた³¹⁾。

2001 年からは，卵から抽出した mtDNA の D-Loop 領域を PCR 法で増幅し，その PCR 産物を RFLP（制限酵素断片長多型）法を用いて解析することで産卵雌を推定し，産卵雌毎に産卵生態の解明に取り組んだ。その結果，本種の多回産卵性，複数個体が同調して産卵に関与すること，数日間連続して産卵すること，同じ個体が 6 月から 11 月まで産卵していたこと等を明らかにした³²⁾。

3. 種苗生産

本種への種苗生産技術開発への取り組みは 1993 年から始まった^{33,34)}。1997 年から奄美事業場で採卵が可能となるまで，日本配合飼料(株)内海水産バイオテクノロジー開発センター（現中央研究所海洋開発センター）（1993～1995 年），マルハ(株)（1996）より卵を譲り受けて実施した。また，奄美栽培漁業センターでの産卵が不調であった年には拓洋(株)と近畿大学（2004，2005 年）より卵の譲渡を受け，種苗生産試験を行った。

表 5 にこれまでの種苗生産結果の概要を示した³³⁻⁵⁵⁾。以下では初期飼育，海上飼育における各項目について，これまでの取り組み経過を取りまとめた。

ふ化仔魚・卵輸送 クロマグロ受精卵及びふ化仔魚は，ビニール袋（通称ウナギ袋，容量約 15 l）に酸素と共に封入し輸送された^{32-40,42)}。高知県にある古満目事業場でふ化させた仔魚を 3 袋に収容し，29 時間（着時水温 27.5℃）を要して八重山事業場まで輸送したところ，到着時に若干海水の白濁は認められたが，死亡した仔魚はごく僅かで，合計 0.67 万尾のふ化仔魚を飼育水槽へ収容することができている³⁴⁾。この他の例では約 3 千～5.5 千尾/l のふ化仔魚を 15～17 時間掛けて輸送している³⁴⁾。受精卵輸送とふ化仔魚輸送の比較では，数時間の輸送においても，ふ化仔魚輸送の方で高い生残が認められた³⁶⁾。

飼育海水 飼育海水にはろ過海水，またはこれを UV（紫外線）殺菌した海水が利用されていたが，2000 年に奄美事業場でウイルス性神経壊死症（以下，VNN）による死亡が確認されたことから⁵³⁾，VNN 防除対策として 2002，2003 年に UV の照射レベルをウイルスが殺菌可能とされている 104 μw・秒/cm²とし，また，電解装置（荏原実業製）によって得られたオキシダント殺菌処理海水を飼育水とする比較飼育試験を実施した^{54,55)}。これらの試験は全て上浦事業場（現養殖研究所病害防除部

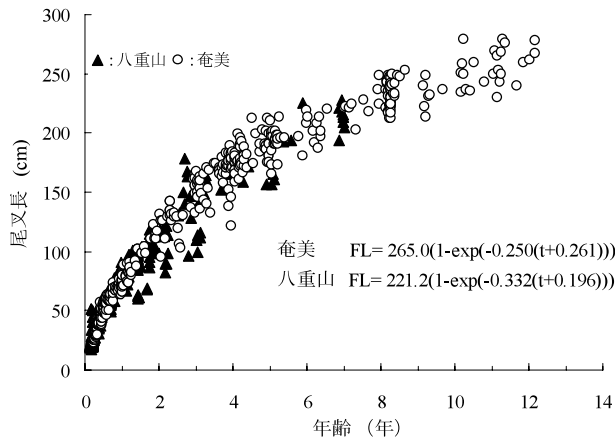


図8. 奄美、八重山で養成したクロマグロの成長
(図中の式は推定した von Bertalanffy の成長式を示す)

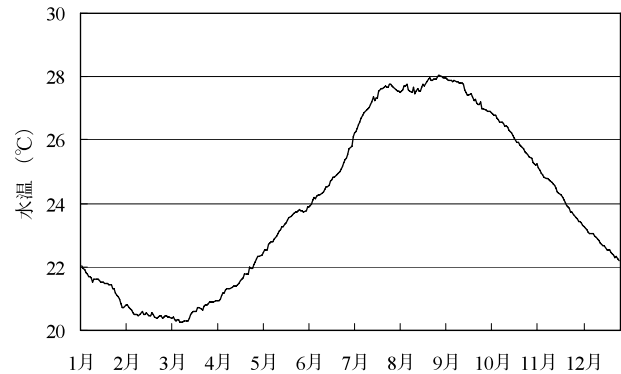


図9. 奄美における過去12年間の平均水温(水深10m)の推移

および浦栽培技術開発センター)の協力の下で実施された⁵³⁾。イソジンによる卵洗浄, UV 殺菌海水による飼育例では, 全てにおいて RT-PCR 検査の結果 VNN の発生または NNV の陽性が認められた⁵⁶⁾。電解装置によるオキシダント卵洗浄, 同処理海水での飼育を行い 2003 年の種苗生産では, Nested PCR 検査で NNV が検出されたが, RT-PCR 検査では検出されなかった⁵⁶⁾。2004, 2005 年は, RT-PCR 検査で稚魚から NNV は検出されず(武部, 今泉, 未発表), 本方法によって VNN を防除できることが示唆された。

一方, 今泉ら⁵⁷⁾は, オキシダント処理海水を用いたふ化管理は, 活性炭処理後僅かに残留したオキシダントがふ化に影響を及ぼす危険性があることを指摘し, その残留量を常に把握する必要性を報告した。

飼育密度 ふ化仔魚の収容数は約 1~3 万尾/m³を目処として行ってきた⁵⁰⁾。しかし, VNN の発生を機に 2003 年以降では収容尾数を 1 万尾以下とするようになった⁵⁴⁾。

飼育水温 1994 年に行った適正飼育水温試験(22, 24, 26 及び 28℃)では, 全ての試験区において日齢 7 で 0~5%までに生残率が低下したため, 明瞭な結果は得られなかったが, 26℃が適正水温と推定された³⁵⁾。一方, 26℃に比べて 28.5℃で飼育した仔魚でワムシ摂餌数が多く, 成長も早かったという結果が得られている⁴⁹⁾。また, 竹内⁴⁶⁾は水温 29.1~30.6℃で飼育し, 生残率 0.22%, 約 1,400 尾(平均全長 24.2 mm)の稚魚を育て, 高水温下での飼育が可能であることを示した。

飼育照度 八重山事業場に比べて奄美事業場では, 初期生残で低い傾向が認められていた。その違いを検討したところ, 奄美事業場での水面照度が 100~500 lx であるのに対して八重山事業場では約 5,000 lx と高かった⁴⁹⁾。奄美事業場での飼育例を整理すると, 日齢 8 の生残は 800 lx 以下では 5%以下と低く, それ以上では 30%以上と高いことが明らかとなった^{49,58)}。このことから,

飼育初期の照度条件がクロマグロ仔魚の生残に強く影響することが示唆された⁴⁹⁾。

餌料系列 種苗生産の基本となる餌料系列を決定するために, ワムシ, アルテミア幼生, 餌用ふ化仔魚, 配合飼料, 生餌(イワシシラス, イカナゴシラスの細片, ミンチ)の利用法(時期, 種類, 量等), 有効性について試験が実施された(表 5)。手塚⁴¹⁾は開口(ふ化後 3 日)からふ化後 8 日の仔魚に S 型(S 区)または L 型ワムシ(L 区)(近大株)を給餌し, 生残, 成長および日間摂餌量を調べた。その結果, L 区で成長, 生残ともに高く(8 日目: L 区平均全長 4.92 mm, 生残率 8.6%, S 区 4.66 mm, 1.7%), 摂餌量も体重に対する乾燥重量%で L 区が 49~66%, S 区で 21~48%と L 区で高い値を示し, L 型ワムシの有効性を示唆した⁴¹⁾。また, 全長 7~10 mm の仔魚でイシダイ *Oplegnathus fasciatus* ふ化仔魚を十分に給餌した飼育例では生残が良好で, 共食い行動の沈静化が観察されたが, 給餌量が 1/3~1/2 と少なかった例では餌不足, 共食いによる大量死亡が起こったことを観察した⁴¹⁾。竹内⁴⁰⁾はワムシに続く餌料系列としてアルテミア幼生, ふ化仔魚(ハマフエフキ *Lethrinus nebulosus*), シラス, 配合飼料について検討し, ワムシの後はふ化仔魚からシラスへ続く餌料系列が成長, 生残ともに良かったことを示した。手塚⁴⁷⁾はアルテミア幼生を餌用ふ化仔魚と交互に 1 日 5 回に分けて給餌することによって餌用ふ化仔魚の不足を補うことができると述べている。また, 手塚⁴¹⁾はクロマグロ仔魚のイシダイ仔魚摂餌数について求め, 本種の飼育に大量のふ化仔魚が必要であることを示した。これらの結果から, クロマグロ種苗生産における餌料系列は L 型ワムシ(近大株)→アルテミア幼生/ふ化仔魚→ミンチであろうと考えられている(手塚氏私信)。

手塚⁴²⁾は, クロマグロ仔魚がアルテミア幼生を摂餌する最小サイズが全長 5.2 mm, イシダイふ化仔魚の摂餌は全長 6.5 mm であることを報告し, 餌料系列での各

餌料の給餌時期について示唆した。

栄養強化 ワムシについて市販の栄養強化剤4種を用いた比較飼育試験(2000年)⁴¹⁾では明確な結果が得られていない。また、ワムシのタウリン強化の効果試験が、現・東京海洋大学との共同研究により実施され(2002～2005年)(表5)、クロマグロ仔魚の初期の生残、成長に対してタウリンが有効であることが示された*。

通気方法・水流管理 本種の飼育初期、とくにふ化後10日目までの生残率が極めて低く、初期に安定して高い生残率を得るための技術開発は最重要課題として取り組まれてきた。開口までと開口後における流水・止水飼育^{44,51)}、飼育初期の通気量(微通気、約0.4ℓ/分・強通気、約3ℓ/分)⁴⁴⁾、通気方法(エアストーンの設定個数、エアブロック)^{47,51)}等の検討がなされた。なお、エアブロック方式とは約1mmの穴を約10cm間隔で開けた直径13mm、長さ1～2mの塩ビ製パイプを飼育水槽底面に同じ方向に向けて数カ所設置し、通気によって発生する泡を利用して水流を起こさせる方式である⁵⁹⁾。1997年に塩澤⁵⁹⁾はキハダの飼育においてエアブロック方式によって飼育水に水流を発生させ、ふ化後5日目で88%と高い生残率を得た。この成果を受けて、八重山⁴⁵⁾、奄美^{46,50,53)}(2004, 2005年, 武部・二階堂未発表)においてエアブロック方式による飼育試験が実施された。また、2000年の0.5m³水槽での飼育試験で、夜間に仔魚が沈下する現象が観察された(升間, 未発表)。経験的に夜間に減耗することが知られていたことから、その原因が仔魚の沈下にあると推察された。そこで、仔魚の沈下を防止するため、慶徳ら⁶⁰⁾がマガダイの飼育に用いた方法を参考にし、換水用ネットの中に設置した水中ポンプによって吸い上げた飼育水を、直径40mmのホース

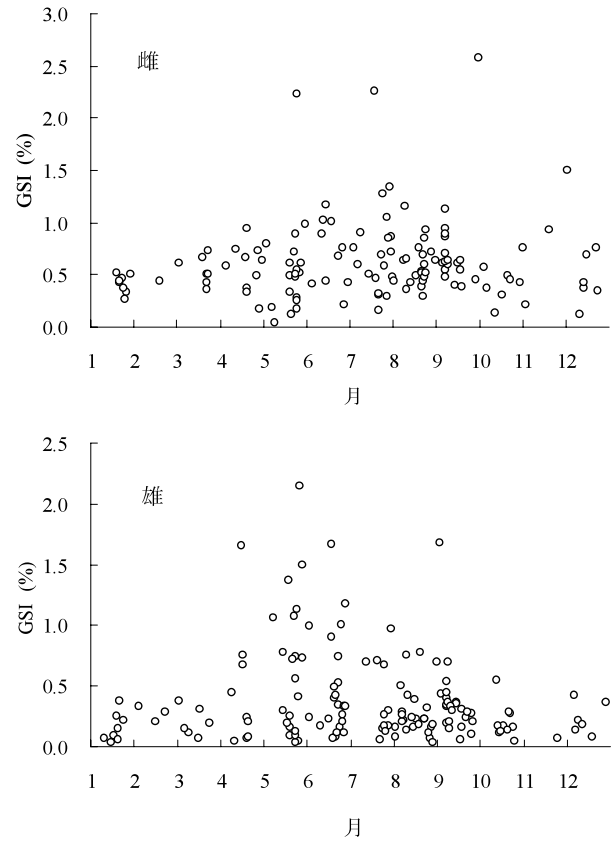


図10. 奄美栽培漁業センターにおける養成クロマグロの成熟(升間²⁹⁾を改変)

から水槽底に直交させた2本のパイプ(同じ方向に約7.5cm間隔で直径1.5mmの穴を穿った約2mの塩ビ製パイプ)に通し、その穴から吐出させることで巡流を発生させる方法(以下、水中ポンプ方式)が試みられ

表4. 奄美栽培漁業センターにおけるクロマグロ採卵結果

年	産卵群(生簀網)数	年齢	産卵期間	親魚尾数 ^{*1}	総採卵数(×10 ⁴ 粒)	平均浮上卵率(%)	平均正常ふ化率(%)
1997	1	9,10	5.13～7.12	17	433	99.1	83.3
1998	3	5,10,11	5.23～8.24	7～48	19,121	98.1～100	83.6～91.1
1999	3	6,11,12	5.27～9.14	3～73	4,258	93.3～97.6	58.3～83.9
2000	2	7	6.10～10.27	35, 68	4,212	96.6～99.2	72.9～81.3
2001	3	5,8	5.25～11.10	32～96	1,633	87.7～97.1	79.6～82.9
2002	3	6,9	5.13～9.29	22～75	48,212	88.8～94.9	76.0～86.3
2003	3	7,10	5.19～8.26	10～65	6,482	96.0～94.4	65.4～78.8
2004	4	5,11	6.6～7.18	2～55	707	100	65.1～69.6
2005	3	6,12	7.15～7.16	12～40	8	100	85.2

*1 産卵を開始した日付での生残尾数。

* 高木康太・竹内俊郎・二階堂英城・武部孝行・今泉均・井手健太郎・升間主計・高橋隆行(2005) タウリン強化ワムシのクロマグロ仔魚への給餌効果。平成17年度日本水産学会大会, p101.

表 5-1. 水産総合研究センター（旧日本栽培漁業協会）におけるクロマグロの種苗生産の概要

年	センター(事業場)名	使用水槽	収容			飼育方法			取り上げ			備考
			事例数	ふ化仔魚数(万尾)	水温(℃)	試験内容	事例数	日齢(日)	尾数(尾)	生残率(%)	平均全長(mm)	
1993	上浦	100kℓ	1	8	24.0	100m ³ 水槽では4日齢から換水、エアリフトによって弱く回転	-	-	-	-	-	日本配合飼料(株)内海水産バイオテクノロジー開発センターより卵を譲り受けた。
		0.5kℓ	2	6	24.0~25.0	流水、止水飼育の比較	-	-	-	-	-	
1994	上浦	5kℓ	5	6	24.0~25.0		-	-	-	-	-	日本配合飼料(株)内海水産バイオテクノロジー開発センターより計5回卵を譲り受けた。輸送卵密度830~4,770粒/尾。
		0.1, 0.5kℓ	22	36	24.0~26.0	適水温試験(22, 24, 26, 28℃)初期餌料試験(ワムシ、天然コベ+ワムシ)	2	24	58	0.13	18.3	
		25, 100kℓ	3	36	24.0~26.0		34	4	0.002	33.8		
		0.1, 0.5kℓ	21									
1995	奄美	5kℓ	1	3	24.0~26.0	水温24.9℃に調整して飼育、餌料系列ワムシ→アルテミア(幼生、養成)およびスズメア卵→配合飼料を給餌、全長10mm前後に分槽	1	40	59	0.2	25	輸送時間は約15時間であった(計1回輸送)。密度は約1,500尾/尾。
		1, 5kℓ	3	8	24.4~29.6	餌料系列(S型ワムシ, アルテミア幼生)	-	-	-	-	-	
		0.5kℓ	3	13	25.2~29.2	飼育水温比較(冷却調温区、自然水温区28~30℃)、ホルモン処理→生残・成長はホルモン区>自然水温>昨年24.9℃区>冷却調温区	3	23~32	7	-	-	卵の由来は同上。
		5kℓ	3									
1996	奄美	50kℓ	3	217	27.3~29.0	餌料系列の改善ワムシL, S型比較, ワムシ・ふ化仔魚の摂餌量推定, 沖出しハンドリング試験, 沖での死亡時刻の推定, 経口ALC投与試験	2	22, 26	771	0.18, 0.02	31.5, 35.9	(株)マルハより卵を計2回譲り受けた。
		5kℓ	8				2	21, 27	68	0.05, 0.05	20.0, 43.4	
1997	八重山	1kℓ	5	7.6	25.0~28.0	餌料系列の把握(アルテミア→配合、仔魚→シラス又は配合)、飼育水温試験(25, 28℃)、衝突防止試験(生實網、ブルーシート、エアカーテン)	3	26	85	0.12~0.29	26.3	(株)マルハより卵を譲り受けた。
		4kℓ	2	5.5			2	24, 29	402	0.47, 0.94	25.8, 21.4	
		50kℓ	4	453.3	24.6~27.8	仔魚の摂餌開始サイズはアルテミアでTL5.2m	2	30	158	0.003, 0.008	41.6	奄美事業場での採卵に成功した。
		1, 5kℓ	17	220.6	m.ふ化仔魚でTL6.5mm, ふ化から開口までの飼育管理(通気量+遮光, 自然光), 飼育水槽に衝突死防止用シートを設置, 選別	0						
		60kℓ	1	45	-	ふ化後11日目に全滅	-	-	-	-	-	奄美事業場より卵を輸送した。

表 5-2. 水産総合研究センター（旧日本栽培漁業協会）におけるクロマグロの種苗生産の概要

1998	奄美	50kℓ	16	2,556	25.3～29.5	通気方法（エアブロック、エアストーン）、餌料系列（S.L.ワムシ・ふ化仔魚）、アルテミア給餌法の改善、仔魚の代謝量の測定、顎損傷防止への衝突防止シートの効果、海上飼育での網地比較（ゴース、テトロンフラックセル、モジ網）	8	27～39	11,813	0.01～0.26	29.9～69.4	仔魚の基礎代謝に関する研究では広島大学難波教授との共同研究として開始した。
	八重山	60kℓ	3	161	27.3～30.2	エアブロックで回流水流発生、TL8mmまでワムシ単独給餌、ふ化仔魚不足による減耗、2次飼育にゴースネット使用、海上生簀網に下顎の損傷を防止するための目合い比較試験（24節網、側網24節×底網220径）	2	25, 26	4,857	0.22, 0.63	24.2, 28.3	前年成功したキハダの種苗生産方法の再現を目的として実施された。
1999	奄美	50kℓ	9	761	26.1～29.0	飼育法の改善として収容方法比較（ふ化仔魚または卵収容）、流水飼育、ワムシ→ふ化仔魚給餌飼育、飼育照度の検討、I型ワムシ餌量推定、酸素消費・アンモニア態窒素の排出量測定、海上飼育用網生量の検討（側網200径、底網24節または200径）	4	32～38	1,016	0.009～0.05	49.4～68.8	以降、奄美事業場のみでクロマグロの種苗生産技術開発は進められた。
2000	奄美	50kℓ 6kℓ	13 1	16,349	24.4～27.8	適正な餌料系列の開発（ワムシ栄養強化剤）、飼育管理手法（エアストーンの個数/水槽、換水方法）	1	33	103	0.007	63.3	NNVの感染が初めて確認された。
2001	奄美	50kℓ	11	556	-	シブへの早期餌付試験、微粒子配合飼料給餌試験、水中ポンプ方式を利用した巡流飼育、遮光と自然光飼育の比較、感震器官と行動の関連研究、上浦栽培漁業センターとの共同研究としてVNN防除技術開発試験を開始	1	32	1,030	0.15	27.9	インジンのによる卵洗浄を実施、配合飼料試験では東京水産大学、仔稚魚の感震器官と行動の関連について広島大学、鹿児島大学との共同研究が開始した。
2002	奄美	50kℓ	23	552	24.1～28.5	ワムシのタウリン強化の有効性、VNN防除対策技術の開発（UV照射レベの改善、電解装置によるオキシダント処理海水の利用、インジンとオキシダント卵洗浄、目化石添加、低密度）、ポンプ・エアブロックによる巡流飼育の比較、天然幼魚と人工魚の外形状態の比較	2	29 28	1,300 537	0.3□0.3	21□33	全ての飼育例でVNNが発生し、しかも早期発生した。
2003	奄美	50kℓ	4	1,319	24.1～28.5	ワムシのタウリン強化濃度試験、仔稚魚の脂質、蛋白、グリコーゲン分析、VNN防除（オキシダント海水利用、卵発生と消毒時期の検討）、明（昼）・暗（夜）期の仔魚の成長	2	22～23 29	4,191 2,430	1.8□1.2	29.6□40.9	電解装置によるオキシダント処理海水を用いた飼育例でのみ、NNVが陰性となった。
2004	奄美	50kℓ	7	287	-	タウリンの有効性、餌料系列試験（ワムシ、アルテミアのみで19日齢（10.3mm））、ワムシ日間摂餌量の再調査、水流発生法の比較（水中ポンプ、エアブロック）、仔魚の生残に及ぼす乱流の影響	4	28～36	2,290	0.04～0.32	28.4～48.1	奄美での産卵が不調であったことから、近畿大学から2回、（株）拓洋から3回の卵の譲渡を受けた。 東京大学海洋研究所と乱流に関する研究を開始。
2005	奄美	50kℓ	6	405	27.8～29.2	巡流とエアブロック飼育の比較、ワムシタウリン強化試験、飼育水の乱流強度が生残、摂餌に及ぼす影響	5	26～30	3,177	0.06～0.14	27.6～44.4	奄美での採卵が不調であったことから、近畿大学から1回、（株）拓洋から5回卵を譲り受けた。

た⁵¹⁾。その結果、日齢5の生残率は対照区（エアレーション7個設置）4.7%（0.5～13.0%）に比べて巡流区は91.0%（55.0～100%）と高く、初期の生残率の向上が認められた⁵⁷⁾。その後、エアブロック方式、エアレーション方式（エアレーションのみを行った方式）との比較^{50,51,53)}、2005年にエアブロック方式と水中ポンプ方式での比較飼育を行ったところ、水中ポンプで巡流を起こした飼育で明らかに初期の生残率が向上するのを確認した（図11）（武部、未発表）。

衝突防止 稚魚期に入り遊泳力が増すと水槽壁面への衝突による死亡が観察された。八重山事業場では全長5～6 cmの稚魚を用いて、60 kℓ水槽内に直径5 m×深さ1.8 mの生簀網区（水槽内に生簀網を設置した区）、エアレーションカーテン区（水槽壁面に沿って穴を開けた塩ビパイプを設置し、通気することで泡を発生させ、壁面に稚魚が近づかないように意図した区）及びブルーシート区（水槽壁面に沿ってポリエチレン製シートを張った区）を設けて衝突死防止試験を実施したところ、ブルーシート区で衝突死防止効果が高く、エアレーションカーテンでは衝突死防止効果が認められなかった⁴⁰⁾。また、水槽内に衝突時の衝撃を緩和する衝突死防止幕（壁はポリエチレン製ブルーシート、底は塩化ビニール製）を取付けた飼育を実施し^{44,47,49)}、顎に損傷のある稚魚の出現率が衝突死防止幕を設置した飼育例で平均2.5%であったのに対し設置しなかった飼育例では平均23.1%と大きな違いが認められた⁴⁷⁾。しかし、幕から仔魚が漏れ出る事例や幕のシワにふ化仔魚がトラップされて蝟集し、死亡するなどの事例が発生したことから、2000年以降の飼育から使用を中止した⁵¹⁾。

沖出し方法 陸上水槽から取り上げ、海上生簀網へ収容するまでのハンドリング（稚魚をタモ網またはバケツで掬い取り、移す操作）は沖出し後の生残に大きく影響する。取り上げから収容までバケツでの輸送を含めると3～4回のハンドリングを行っていた1996年⁴²⁾、1997年⁴⁵⁾では沖出し翌日の死亡率はそれぞれ9.7～75.9%と17.9%であった。1998年には小型クレーンを利用してハンドリング回数を2回としたところ、翌日の死亡率は3.8～16.3%にまで低くすることができた⁴⁸⁾。

海上飼育 海上での飼育試験への取り組みは1996年から始まり、沖出し後初期の大量減耗および飼育中に増加する下顎（歯骨）の損傷（左右の歯骨が外れ、片方または左右に開いた状態となる：以下、下顎損傷）の発生が問題となった⁴⁰⁾。発生のメカニズムとしては摂餌行動等によって生簀網に稚魚が衝突し、網目に掛かった下顎歯を外すために稚魚が暴れて下顎を損傷していることが観察により明らかとなった。1996年と1997年の海上飼育において、生簀網の目合をそれぞれ160径（約3 mm角）と120径（約4 mm角）にした結果、1997年は1996年に比べて下顎損傷個体が約2倍出現し、目合が下顎損傷の原因と推察された⁴⁵⁾。生簀網の大きさ、目

合について検討したところ、200径（約2.4 mm角）以下の目合の生簀網で飼育することで下顎損傷の出現率を低くできることが明らかとなったが、目合が小さいと汚れによる目詰まりを起こしやすく、酸素欠乏による大量死亡が懸念された⁴⁸⁾。そこで、1999年には底面網を24節（約6 mm角）、側面網を200径とした生簀網を製作し、全面200径の生簀網での飼育と比較したところ、生残率、下顎損傷の発生率は底面24節の網でそれぞれ45.6、3.5%、全面200径の網で38.3、7.3%と生残、下顎損傷率ともに底面24節網で良好な結果が得られた⁵⁰⁾。また、同じ収容密度（2.4～2.5尾/m³）にした直径5 mと10 mの生簀網での飼育試験では、生残、下顎損傷出現率ともに広い10 m生簀網で良好な結果が得られ、生簀網の広さがクロマグロ稚魚を海上で育てるために重要なポイントであることが示された⁴⁸⁾。

生簀網内での稚魚の死亡時刻について小磯⁴²⁾は、死亡個体の出現が朝6～9時の間に多く、生簀網内照度が0.1 lxから1.11 lxに変化するときに2尾の稚魚が生簀網に衝突して死亡したのを確認したことから、夜明け時に網への衝突死が起りやすくなっていることを示唆し、理由としては、早朝の急な照度の変化と強い空腹が強いストレスになると推測した⁴²⁾。さらに、鹿児島大学川村軍蔵教授との共同研究により、早朝に起る網膜運動反応において網膜適応の不調和が視覚的な方向感覚の喪失を引き起こすことが衝突の原因の一つであることを明らかにした⁶²⁾。

海上飼育での稚魚への給餌回数については、手塚ら⁶³⁾は1日4回程度が適当であると述べている。

奄美栽培漁業センター地先ではメジロザメ科のツマガロ *Carcharhinus melanopterus* が多く、とくに1998年には生簀網を食い破って侵入するケースが延べ5回起った⁴⁸⁾。原因は死亡して底に沈下したクロマグロ稚魚を、網の外から食べようとしたサメが網を食いちぎって侵入したものと考えられた。その後、底網を2重にするなどの対策を実施し、サメの被害は防止できたものの、網替えなどの作業性が悪く、この方法は実用性に欠けた。

放流 1998年9月14日にダート型標識を装着した全長30 cmの幼魚111尾⁴⁸⁾、1999年10月28日に同じ標識を装着した尾叉長約36 cm（体重約1.1 kg）の幼魚30尾をセンター地先に放流した⁵⁰⁾。2005年10月6日には全長31 cm、141尾を奄美大島東部の沖合に放流した。しかし、これまでに再捕された例はない。

4. その他

クロマグロ養成技術交流会 1991年に水産庁振興部開発課主催、日本栽培漁業協会後援として、第一回クロマグロ養成技術交流会が開催され、9機関が参集した。本会は国内または外地でマグロに関わっている日本の機関が集まり、意見交換を行うことで、親魚養成、仔稚魚

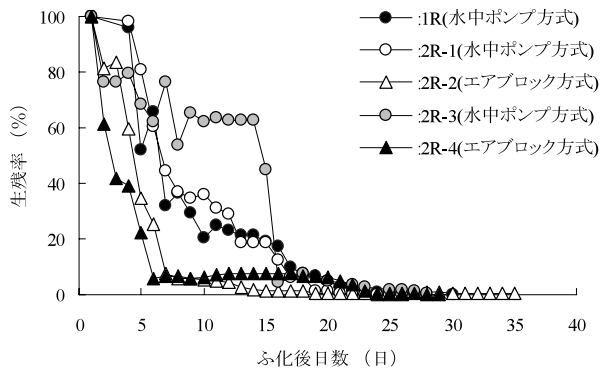


図 11. クロマグロ仔魚の飼育管理における水流発生法（水中ポンプ方式、エアブロック方式）の違いによる生残率の比較（武部，未発表）

飼育技術，養殖技術等々の技術開発を進展させることを目的とした。なお，1992年からは旧日本栽培漁業協会が主催となり現在までに18機関が参加し毎年開催されている。

栽培漁業研究と養殖研究 近畿大学では生簀網での採卵の成功から26年目に完全養殖に成功した。近畿大学は本種の種苗生産技術の先駆的研究，技術開発を現在も進め，その成果は「近大マグロ」，「完全養殖マグロ」のブランド名で人工種苗による養殖魚の生産・出荷にまで達している。一方，日本栽培漁業協会では放流種苗の生産に向けた技術開発を進め，親魚養成と共に放流種苗の遺伝的多様性を維持するための技術開発に取り組んできており³²⁾，両者の取組みは親魚養成，種苗生産技術開発の面で共通しているが，方向性を異にしていると考えられている。しかし，水産総合研究センターでは2007年2月にバーチャル研究所として「まぐろ研究所」を設立し*，資源研究から経営，流通，加工および増養殖研究に及ぶ広範囲な研究領域へ取組みを広げることとして，クロマグロへの取組みは養殖産業への貢献を含めて実施されるようになってきていることから，両者の研究は大きく重なってきている。

5. 今後の課題

本技術開発史で述べたように親魚群の低い成熟率と産卵を開始する環境が，クロマグロの安定採卵に向けた親魚養成でポイントとなるであろう。しかし，数多くの親魚を維持するためには，施設，餌代，管理費等に多額の費用を必要とする。EU，オーストラリアが本格的にクロマグロ，ミナミマグロの催熟，採卵技術開発に参入しているなかで，日本の技術を確認たるものとし，優位性を維持するためには，産官学による，より一層の協力体制の下で進められるべきであると考えられる。

一方で2004年から4年間の計画で農林水産技術会議

の事業である「マグロ類の人工種苗による新規養殖技術の開発」への取り組みが産官学によりスタートした。このなかで，成熟・産卵に関する知見がさらに増し，安定採卵に向けた方向性は確立されるであろう。しかし，種苗生産に関する技術については，その技術開発に困難さを極めているのが現状である。本報告で述べてきたように，これまでの取り組みで本種特有の問題（初期減耗，共食い，衝突死等）について一定の知見が得られているものの，量産化に向けたレベルに達するためには解決すべき多くの問題が残されていると考える。今後，これまでの成果を下に本事業のなかで養殖種苗あるいは放流種苗としてクロマグロ稚魚の生産数を増大させるための技術開発の進展が期待される。

謝 辞

1985年10月から2005年10月までの20年間，日本栽培漁業の時代から水産総合研究センターまで一貫してクロマグロの親魚養成，種苗生産技術開発に関わってきたことから，今回の技術史の取りまとめの執筆を担当することとなった。これまで日本栽培漁業協会本間昭郎専務（当時），須田 明常務（当時）には，本種技術開発の大きな道筋を示して頂き，また，八重山事業場時代には伏見浩場長（現福山大学教授），石橋矩久場長（当時）をはじめ多くの上司，職員の方々に手助けして頂いたことに深謝の念を表す。また，奄美では手塚信弘主任技術開発員，小磯雅彦主任技術開発員（現能登島栽培漁業センター）には奄美でのゼロからのスタートを共に苦労し，また，その他の職員，関係者の協力の下で今の奄美栽培漁業センターの礎を築いてきた。本来ならば共著とすべき方も居られるが，余りにも多くの方々の協力によって得られた成果であることから，本報では謝辞とさせて頂いたことをご了解頂きたい。併せて，これまでのご努力に深甚な謝意を表したい。また，近畿大学熊井英水教授，宮下 盛教授には多くの点で貴重な情報，指導を頂き，また，熊井教授，日本配合飼料(株)石田 明参事，マルハ(株)草野 孝取締役，(株)拓洋山本宇宙社長には貴重なクロマグロの卵を快く譲って頂いたことに，厚くお礼を申し上げたい。

最後に本技術史を纏めるに当たり，纏まりのない文章を懇切丁寧に査読して頂いた査読者の方々にお礼を申し上げます。

文 献

- 1) 鈴木治郎（2005）まぐろ・かつお類の漁業と資源調査（総説）。「平成16年度国際漁業資源の現況」（水産庁・水産総合研究センター編），東京，pp.23-27。

* まぐろ研究所（<http://tuna.fra.affrc.go.jp/>）

- 2) 農林水産技術会議事務局 (1989) 広域回遊性浮魚の資源増大をめざして—クロマグロの資源増大—。「海洋牧場」(農林水産技術会議事務局編集), 恒星社厚生閣, 東京, pp.8-59.
- 3) 宮下 盛 (2002) クロマグロの種苗生産に関する研究. 近大水研報, 8号, 1-171.
- 4) 本間昭郎 (1995) マグロ増養殖技術開発への取り組みとその周辺. さいばい 社団法人日本栽培漁業協会, No.76, 9-13.
- 5) 岡 雅一 (1986) クロマグロ. 日本栽培漁業協会事業年報 (昭和60年度), 日本栽培漁業協会, 53-56.
- 6) 岡 雅一 (1988) クロマグロ. 日本栽培漁業協会事業年報 (昭和61年度), 日本栽培漁業協会, 55-57.
- 7) 岡 雅一 (1989) クロマグロ. 日本栽培漁業協会事業年報 (昭和62年度), 日本栽培漁業協会, 47-48.
- 8) 兼松正衛 (1990) クロマグロ. 日本栽培漁業協会事業年報 (昭和63年度), 日本栽培漁業協会, 61-62.
- 9) 兼松正衛 (1992) クロマグロ. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成2年度), 日本栽培漁業協会, 63-65.
- 10) 升間主計 (1994) クロマグロ. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成4年度), 日本栽培漁業協会, 51-52.
- 11) 升間主計 (1993) クロマグロ. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成5年度), 日本栽培漁業協会, 50-53.
- 12) 升間主計 (1988) クロマグロ. 日本栽培漁業協会事業年報 (昭和61年度), 日本栽培漁業協会, 54-57.
- 13) 岡 雅一 (1996) クロマグロ (1) 八重山事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成6年度), 日本栽培漁業協会, 45-47.
- 14) HARADA, T. (1978) Recent tuna culture research in Japan. 5th Intl. Ocea. Develop. Pre print (1), C 1-55.
- 15) 広田仁志・生田敬昌・森田正一 (1976) クロマグロの養成について. 栽培技研, 5 (1), 1-9.
- 16) 荒牧孝行・北上一男・九万田一己 (1974) クロマグロ (ヨコワ) の養殖試験. 昭和49年度鹿児島県水産試験場事業報告, 1-6.
- 17) 荒牧孝行・九万田一己 (1975) クロマグロの養殖試験. 昭和50年度鹿児島県水産試験場事業報告, 1-6.
- 18) 荒牧孝行・九万田一己 (1976) クロマグロの養殖試験. 昭和51年度鹿児島県水産試験場事業報告, 8-17.
- 19) 荒牧孝行 (1980) クロマグロの養殖. '80 栽培漁業技術開発セミナー, 1-9.
- 20) 椿 智欣 (1981) マグロ養殖の試み. 伊豆分場だより, 202, 16-18.
- 21) 升間主計, 岡雅一, 兼松正衛, 手塚信弘, 照屋和久, 伏見浩, 石橋矩久 (1991) 八重山における養成クロマグロの摂餌と成長. 栽培技研, 20, 35-40.
- 22) 升間主計 (1992) クロマグロ. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成4年度), 日本栽培漁業協会, 51-52.
- 23) 升間主計, 手塚信弘, 二階堂英城, 武部孝行, 井出健太郎 (2004) 2つの飼育方法を用いた奄美大島でのクロマグロ *Thunnus thynnus orientalis* の養成. 水研センター技報, 1, 19-26.
- 24) 升間主計 (1994) クロマグロ. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成6年度), 日本栽培漁業協会, 47-49.
- 25) 尾花博幸 (2003) 奄美事業場3 クロマグロのハンドリング技術の開発. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成13年度), 日本栽培漁業協会, 446-450.
- 26) 尾花博幸 (2003) 奄美事業場3 クロマグロのハンドリング技術の開発. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成14年度), 日本栽培漁業協会, 367-369.
- 27) 山崎英樹, 升間主計 (1996) 仕切網, 生簀網の行動モニタリング手法の開発. 平成8年度奄美事業場報告, 81-82.
- 28) 升間主計 (2001) クロマグロ. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成11年度), 日本栽培漁業協会, 82-90.
- 29) 升間主計 (2006) クロマグロ・キハダの親魚養成と産卵生態に関する研究. 九州大学学位論文, 1-197, 口絵 I - II
- 30) TANAKA, S. (2005) Maturation of Bluefin Tuna in the Sea of Japan. ISC PBF-WG/06/ Doc.9. 7 pp.
- 31) 升間主計・手塚信弘・小磯雅彦・神保忠雄・武部孝行・山崎英樹・尾花博幸・井手健太郎・二階堂英城・今泉 均 (2006) 養成クロマグロの産卵に及ぼす水温の影響. 水研センター研報, 別冊4号, 157-171.
- 32) 升間主計, 手塚信弘, 尾花博幸, 鈴木伸明, 野原健司, 張成年 (2003) ミトコンドリア DNA 分析から推定した養成クロマグロの産卵生態. 水研センター報告, 6, 9-14.
- 33) 兼松正衛 (1995) K-9 クロマグロ (1) 上浦事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成5年度), 日本栽培漁業協会, 185-187.
- 34) 手塚信弘 (1995) K-9 クロマグロ (2) 八重山事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成5年度), 日本栽培漁業協会, 187-189.
- 35) 高橋庸一 (1996) K-10 クロマグロ (1) 八重山事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成6年度), 日本栽培漁業協会, 165-166.
- 36) 小磯雅彦 (1996) K-10 クロマグロ (2) くらまぐろ奄美基地. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成6年度), 日本栽培漁業協会, 166-167.
- 37) 手塚信弘 (1996) クロマグロ (2) くらまぐろ奄美基地. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成6年度), 日本栽培漁業協会, 167-169.
- 38) 高橋庸一 (1997) K-10 クロマグロ (1) 八重山事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成7年度), 日本栽培漁業協会, 187-189.
- 39) 手塚信弘 (1997) K-10 クロマグロ (2) くらまぐろ奄美基地. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成7年度), 日本栽培漁業協会, 189-191.
- 40) 竹内宏行 (1998) K-10 クロマグロ (1) 八重山事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成8年度), 日本栽培漁業協会, 185-186.
- 41) 手塚信弘 (1998) K-10 クロマグロ (2) 奄美事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成8年度), 日本栽培漁業協会, 186-196.
- 42) 小磯雅彦 (1998) クロマグロ (2) 奄美事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成8年度), 日本栽培漁業協会, 196-199.
- 43) 竹内宏行 (1999) K-10 クロマグロ (1) 八重山事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成9年度), 日本栽培漁業協会, 201.
- 44) 手塚信弘 (1999) K-10 クロマグロ (2) 奄美事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成9年度), 日本栽培漁業協会, 201-205.
- 45) 小磯雅彦 (1999) クロマグロ (2) 奄美事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成9年度), 日本栽培漁業協会, 205-206.
- 46) 竹内宏行 (2000) K-10 クロマグロ (1) 八重山事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成10年度), 日本栽培漁業協会

- 会, 204-209.
- 47) 手塚信弘 (2000) K-10 クロマグロ (2) 奄美事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成 10 年度), 日本栽培漁業協会, 209-214.
- 48) 鶴巻克己・小磯雅彦 (2000) クロマグロ (2) 奄美事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成 10 年度), 日本栽培漁業協会, 215-220.
- 49) 手塚信弘 (2001) クロマグロ (1) 奄美事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成 11 年度), 日本栽培漁業協会, 185-191.
- 50) 鶴巻克己 (2001) クロマグロ (1) 奄美事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成 11 年度), 日本栽培漁業協会, 192-194.
- 51) 手塚信弘 (2002) 奄美事業場. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成 12 年度), 日本栽培漁業協会, 379-383.
- 52) 手塚信弘 (2003) 奄美事業場 4 クロマグロの種苗生産技術の開発. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成 13 年度), 日本栽培漁業協会, 450-454.
- 53) 西岡豊弘 (2003) 上浦事業場 (6) クロマグロの種苗生産過程で発生した VNN. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成 13 年度), 日本栽培漁業協会, 319-322.
- 54) 手塚信弘 (2003) 奄美事業場 4 クロマグロの種苗生産技術の開発. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成 14 年度), 日本栽培漁業協会, 369-376.
- 55) 手塚信弘・武部孝行 (2003) 奄美事業場 4 クロマグロの種苗生産技術の開発. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成 15 年度), 日本栽培漁業協会, 142-143.
- 56) 手塚信弘, 升間主計, 武部孝行, 二階堂英城, 井出健太郎 (2004) クロマグロ種苗生産におけるオキシダント処理海水のウイルス性神経壊死症 (VNN) への防除効果. 水研センター技報, **1**, 76-79.
- 57) 今泉 均, 武部孝行, 二階堂英城, 井出健太郎, 升間主計 (2006) 海水中に残留した微量オキシダントがクロマグロ受精卵のふ化に及ぼす影響. 水研センター技報, **5**, 34-38.
- 58) 手塚信弘, 升間主計, 小磯雅彦, 武部孝行, 二階堂英城, 井出健太郎 (2005) クロマグロ仔魚の生残に及ぼす照度と水流の効果. 水研センター技報, **3**, 41-44.
- 59) 塩澤 聡 (1999) K-11 キハダ (八重山事業場). 日本栽培漁業協会事業年報 (平成 9 年度), 日本栽培漁業協会, 206-211.
- 60) 塩澤 聡・竹内宏行・廣川 潤 (2003) カンパチの種苗生産方法の改良. 栽培技研, **31**, 11-18.
- 61) 慶徳尚壽・升間主計・勝山明里 (1981) 150m³ 水槽によるマダイの種苗生産についてⅢ 飼育水の水作りと攪拌の効果の検討. 水産増殖, **29** (1), 13-19.
- 62) MASUMA, S, G. KAWAMURA, N. TEZUKA, M. KOISO, T. JINBO, K. NAMBA (2001) Retinomotor responses of juvenile bluefin tuna *Thunnus thynnus*. *Fish. Sci.*, **67**, 228-231.
- 63) 手塚信弘, 升間主計, 武部孝行, 二階堂英城, 井出健太郎 (2004) クロマグロ稚魚の適正給餌回数. 水研センター技報, **2**, 51-54.

原著論文

高鮮度冷凍クジラ肉の解凍方法の開発

村田裕子^{*1}・萩原光仁^{*2}・舟橋 均^{*2}・上野久美子^{*2}・岡崎恵美子^{*1}・
木村郁夫^{*1}・福田 裕^{*3}

Development of Thawing Method for Frozen Whale Meat with High Concentration of ATP

Yuko MURATA, Mitsuhito OGIWARA, Hitoshi FUNAHASHI, Kumiko UENO,
Emiko OKAZAKI, Ikuo KIMURA and Yutaka FUKUDA

Frozen whale meat, which was frozen before rigor mortis, contains a high concentration of ATP. Such frozen whale meat contracts by using ATP as energy when it thaws, thus the quality of the meat declines. In this study, a method of thawing frozen whale meat with a high concentration of ATP was examined. Frozen whale meat with more than 60% of ATP was stored at $-1\sim-15^{\circ}\text{C}$ for 1~10days before thawing. ATP% and pH of the meat before and after thawing, and volume of drip after thawing, were determined. After storage at $-3\sim-5^{\circ}\text{C}$ for 3~10days, the ATP% of the frozen meat was less than 10% and the volume of drip from quick thawed meat was less than 10%. Pre-treatment under frozen storage at a high-temperature close to 0°C before quick thawing was a suitable thawing condition for frozen whale meat with a high concentration of ATP.

2008年5月1日受付, 2008年7月14日受理

従来より、冷凍クジラ肉は解凍時に大量のドリップを排出するため問題となっていた。近年、冷凍技術の発達や硬直前の高鮮度の状態で凍結されるクジラ肉が増加しているため、解凍ドリップの問題は大きくクローズアップされ防止技術の開発が特に強く求められている。

高鮮度のクジラ肉は、捕獲・調査・加工処理後に大量のATP（アデノシン-5'-3リン酸）が残存し、さらに急速凍結後、 -30°C 以下で貯蔵されることにより、残存したATPのほとんどが解凍時まで保持されている。このように大量のATPが存在する肉は、ATPによる筋肉タンパク質の冷凍変性抑制効果により、品質の保持が期待される¹⁾。一方、このような高ATP含量の冷凍肉は、適切な解凍方法で処理をしないと解凍時に解凍硬直を起し、大量のドリップの流出、肉の硬化と変形（いわゆ

るちぢれ）が起り、食品としての品質劣化につながる^{2,3)}。

クジラ肉の解凍ドリップの流出を防止するため、クジラ料理店などクジラ肉取扱業者はそれぞれ経験に基づいた独自の解凍技術を用いているのが現状である。

一方、尾藤は、高鮮度のマイワシ肉、カツオ肉を用い、冷凍貯蔵中のATPおよびNAD（ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド）の分解と解凍肉のドリップ量との関係を調べ、解凍前に $-2^{\circ}\text{C}\sim-10^{\circ}\text{C}$ の温度帯で一定期間保持することによりATPあるいはNADの分解とともに解凍硬直によるドリップ流出が抑制されることを報告した^{4,5)}。高鮮度のクジラ肉についても、このような解凍前の温度処理とATP等の濃度変化を明らかにすることにより、解凍硬直を回避する解凍方法の提示が期

*1 独立行政法人水産総合研究センター 中央水産研究所 〒236-8648 横浜市金沢区福浦2-12-4

National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, 2-12-4 fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama, 236-8648, Japan
betty@affrc.go.jp

*2 共同船舶株式会社

*3 独立行政法人水産大学校

待された。

そこで、本研究では、解凍前に各種凍結貯蔵温度に保管した場合の解凍前後の ATP 含量の変化と解凍硬直との関係に着目し、科学的な知見に基づく解凍方法の検討を行った。

材料と方法

試料 平成 18 年度北西太平洋鯨類捕獲調査の副産物であるミンククジラ (*Balaenoptera acutorostrata*) の冷凍肉を用いた。この試料は調査後、急速凍結を行い試験に供試まで -30°C 下で保存した。この試料の ATP % は 60 ~ 70% であった。

実験方法

1. 実験 1 冷凍クジラ肉試料 (250 ~ 300g) の肉を -5 、 -10 、 -15°C で 5 日間あるいは 10 日間保管後、それぞれ以下に示す急速および緩慢解凍方法で処理を行った。サンプリングは解凍前後に ATP 関連化合物分析用および pH 測定用として採取した。解凍後のドリップ量、解凍前後の ATP 関連化合物量と pH について測定を行った。コントロールは、 -30°C 貯蔵の冷凍クジラ肉を用いた。

2. 実験 2 冷凍クジラ肉試料 (150g) の肉を -3°C および -1°C で 1, 2, 3, 5, 7 日保管後、それぞれ急速解凍を行い、実験 1 と同様に解凍前後の ATP 関連化合物分析用および pH 測定用を採取した。また、 2°C で 24 時間放置して解凍した試料についても ATP 関連化合物分析用および pH 測定用の試料を採取した。コントロールおよび測定項目は実験 1 と同様に行った。

解凍方法

1. 急速解凍 25°C の恒温室に放置、中心温が 2°C になった時点で解凍とした。

2. 緩慢解凍 -5°C の低温室で 8 時間放置後 2°C の低温室に放置し、 2°C になった時点で解凍とした。

3. 2°C 、24 時間解凍 2°C の低温室に 24 時間放置した。

分析および測定方法

1. ドリップ量 解凍硬直の指標として試料の解凍前後の重量を測定し、以下の式で求めた。

$$\text{ドリップ量}(\%) = \frac{(\text{解凍前の重量} - \text{解凍後の重量})}{\text{解凍前の重量}} \times 100$$

2. ATP 関連化合物中の ATP 濃度 Murata⁶⁾ らの方法に準じて行った。試料 5 g に 10% 過塩素酸 10 ml を加え、ホモジナイズ後、遠心分離 ($7500 \times g$ で 10 分) し、上清をエキスとした。沈殿について 5% の過塩素酸を 10 ml 加え同様にホモジナイズ、遠心分離し上清を先に得られたエキス (上清) に加えた。エキスは 10 N および 1 N の水酸化カリウムで中和し、ろ過 (No.2 のろ紙

を使用) により沈殿を除去した濾液に蒸留水を加えて 50 ml とし、分析用エキスとした。分析は Shodex GS-320HQ (昭和電工株製 $4.5 \phi \times 300 \text{ mm}$) カラムを用い、移動相は 0.1M リン酸緩衝液 (pH=2.98)、流速 0.8 ml/min、検出は 250 nm の条件で行った。

ATP% は以下の式により計算した。

$$\text{ATP}\% = \frac{\text{ATP}(\text{nmol}/\text{mg})}{\text{ATP 関連化合物総量}(\text{nmol}/\text{mg})} \times 100$$

3. pH 試料 5 g に 0.02M モノヨード酢酸ナトリウム水溶液 25 ml を加えホモジナイズした溶液の pH を測定した。

食味試験 解凍前に -3°C で 1 ~ 7 日間処理したクジラ肉について共同船舶株の社員 7 名による食味試験を行い、肉の固さ、舌触り、臭いなどを品質指標として自由記述法により評価した。

結果

実験 1

各温度処理後の ATP 含量 冷凍クジラ肉試料を -5 、 -10 、 -15°C で 5 日間あるいは 10 日間保管後、それぞれ急速解凍および緩慢解凍を行った際の解凍前後の ATP % を図 1 に示した。解凍前の ATP % は低温保管処理前 (コントロール) では 60% であった。5 日間の低温処理

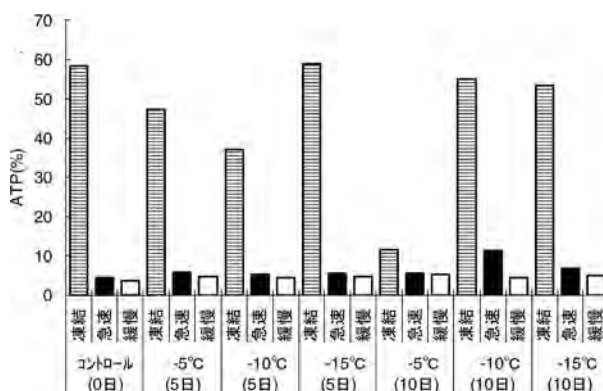


図 1. 解凍前に、 -5 、 -10 、または -15°C で処理した冷凍クジラ肉の解凍前後の ATP 含量変化 () は、解凍前の各処理温度での保管日数を示す

により、ATP 濃度は -5°C および -10°C 保管でわずかな減少が見られたが、 -15°C 保管ではほとんど減少しなかった。10 日間では、 -10°C および -15°C でわずかな減少が見られたが、 -5°C では約 10% まで減少した。解凍後の ATP % は、いずれのサンプルにおいても急速解凍および緩慢解凍のどちらの場合でも 10% 以下であった。

各温度処理後の pH 冷凍クジラ肉試料を -5 、 -10 、 -15°C で 5 日間、10 日間保管後それぞれ急速解凍および緩慢解凍を行った際の解凍前後の pH を図 2 に示した。コントロールの解凍前の pH は 6.2 であった。ATP % と同様に、解凍前の肉 pH は -5°C で 10 日間保管後に 5.8 まで低下した他は、各処理温度で 5 日間および 10 日間

保管後の変化はわずかであり、解凍後はすべての試料において6以下となった。

各温度処理後のドリップ量 冷凍クジラ肉試料を-5、-10、-15℃で5日間および10日間保管後、それぞれ急速解凍および緩慢解凍を行った際の解凍ドリップ量(%)を図3に示した。

急速解凍では、-5℃で10日間保管した肉のドリップが10%以下であったが、コントロールおよび他の保管温度と日数処理条件の肉では15~25%であった。すなわち、高濃度のATPを含有する冷凍クジラ肉を急速解凍すると25%ものドリップが流出し、著しい解凍硬直が発生すること、またこの冷凍クジラ肉を解凍前に-5~-15℃で処理したものについてもATP濃度の高い場

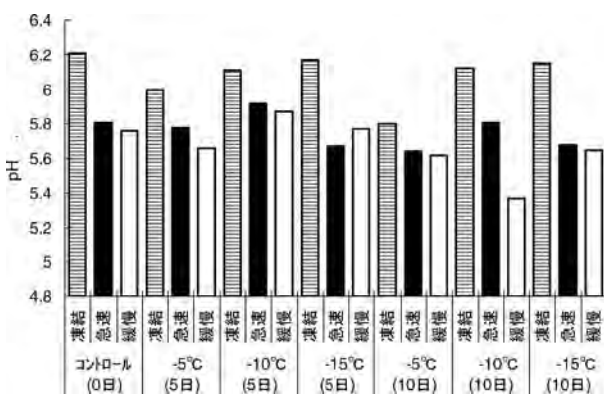


図2. 解凍前に-5、-10または-15℃で処理した冷凍クジラ肉の解凍前後のpH変化 () は、解凍前の各処理温度での保管日数を表す

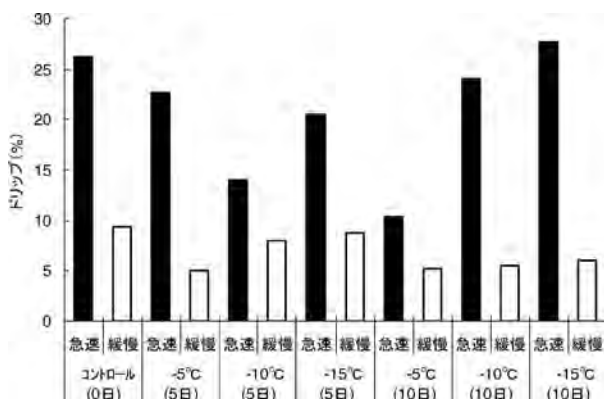


図3. 解凍前に-5、-10、または-15℃で処理した冷凍クジラ肉の解凍時のドリップ量(%) () は、解凍前の各処理温度での保管日数を表す

合は解凍硬直によるドリップ発生を抑制できないことが確認された。

一方、緩慢解凍ではどの試料もドリップは10%以下であり、ATP濃度の高い冷凍クジラ肉であっても緩慢解凍すれば解凍硬直の発生がわずかであることが確認された。

実験2

各温度処理肉における解凍前後のATP%の変化 冷凍クジラ肉試料を-3℃および-1℃で保管した場合のATP%の変化および2℃、24時間放置後のATP%を図4に示した。解凍前のATP%は低温保管処理前(コントロール)では70%であった。解凍前のATP含量は、-3℃、1日処理では減少がわずかであり、2日目20%、3日目以降10%以下となった。-1℃では1日目ですでに10%以下に減少していた。解凍後のATP含量は実験1と同様にすべての試料において10%以下となった。

各温度処理における肉のpHの変化 冷凍クジラ肉試料を-3℃および-1℃で保管したものの解凍前後のpHを図5に示した。コントロールの解凍前のpHは6.5であった。2℃、24時間放置後および-3℃1日放置後の解凍前後のpHが他の試料に比べやや高いが、いずれも5.8~6.1に低下した。コントロール以外は解凍前後pHに大きな変化は見られなかった。

各温度処理後のドリップ量 ドリップ量については図6に示した。コントロールでは、25℃の室温による急速解凍後で44%、2℃24時間解凍で35%、-3℃1日処理後コントロールと同様の急速解凍で20%であったが、その他の解凍前に-3℃あるいは-1℃で保管処理をした

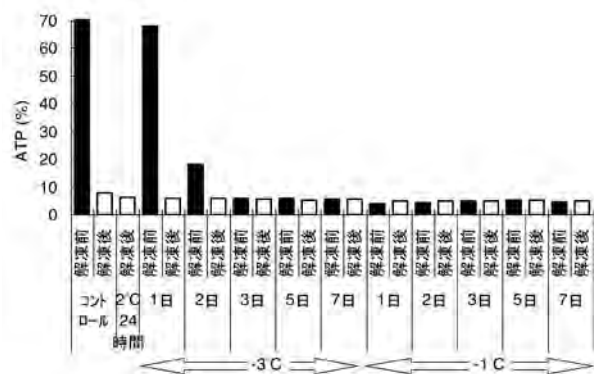


図4. 解凍前に-1または-3℃で処理した冷凍クジラ肉の解凍時のATP含量変化

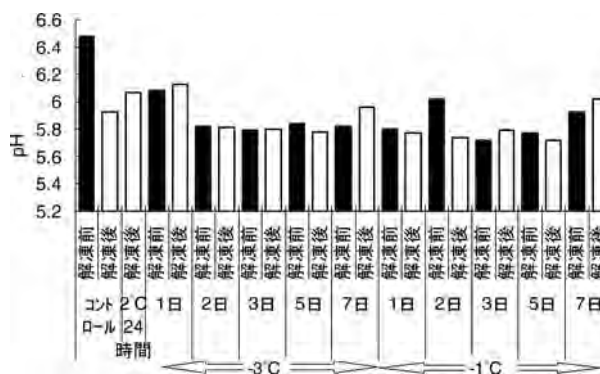


図5. 解凍前に-1または-3℃で処理した冷凍クジラ肉の解凍時のpH変化

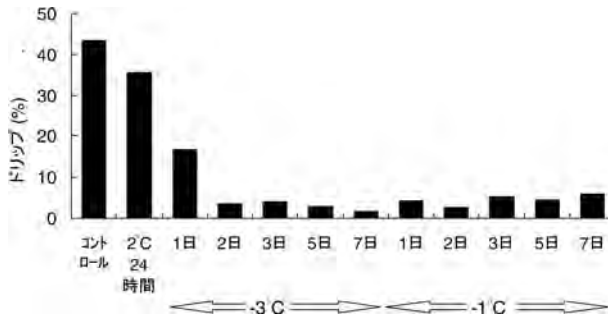


図 6. 解凍前に-1または-3度で処理した冷凍クジラ肉の解凍時のドリップ量 (%)

表 1. 高鮮度冷凍クジラ肉の解凍前の-3°C保管処理による食味変化

-3°C保管	品質評価
コントロール (2°C, 24h)	肉が少し固い、ドリップに臭いあり。
-3°C (1日間)	肉が一番固く、美味しくない。
-3°C (2日間)	しっとりしている。後味で臭いが少し残るが、2日間以降のものとの差はほとんどない。
-3°C (3日間)	2日間との差はほとんどない。
-3°C (5日間)	熟成されてしっとりしている。臭みを感じない。
-3°C (7日間)	臭みがなく美味しい。舌ざわりが良い。

試料では急速解凍処理でも 10% 以下である。解凍前に-3°Cで3日間以上、あるいは-1°Cで1日以上処理したクジラ肉ではドリップ流出がほとんどなく、解凍硬直の発生を防止できることが確認された。

食味試験 解凍前に-3°Cで保管処理をし、25°Cの室温で解凍したクジラ肉の食味変化を表1に示した。

解凍前の-3°Cでの保管2日目では臭いが少し残るものの刺身として食する品質状態となり、さらに保管5日目以降のものは熟成と考えられる食味の向上およびしっとり感があり刺身品質として最適であると評価された。

考 察

冷凍クジラ肉の解凍硬直とドリップに関する研究は1950年代に南氷洋産冷凍クジラ肉に関しての報告がある^{7,8)}。その中で、天野ら⁷⁾は解凍硬直によるドリップ流出を防ぐには、低温下での解凍が有効であると指摘している。

しかし、クジラ肉の解凍については、各業者の経験による独自の解凍技術で行われてきたのが現状である。一方、現在ではATP関連化合物の分析技術も発展し、高速液体クロマトグラフィーによる迅速で精度の高いATP濃度分析が可能となった。本研究では解凍前後のATP含量に着目し、-15°C~-1°Cの温度帯での解凍前保管処理を用いた解凍方法について検討を行った。

実験1および2から解凍ドリップ量は解凍前のATP

濃度と関係していることがわかった。したがって、解凍時のドリップ流出を防ぐためには、解凍前にATP含量を減少させることが有効であることが明らかとなった。

なお、データには載せていないが、クジラ肉には捕獲時にすでにATPの消耗した個体もあり、このような低ATP含量のクジラ肉については、急速解凍してもドリップの流出はわずかで、解凍時の硬直も見られなかったため、解凍方法で品質が左右されにくいと考えられる。

実験1では-5、-10、-15°Cで5日および10日保管したときのATP、pH、ドリップ量の変化を見たが、-5°C10日間保管で著しいATPの減少と解凍ドリップ量の減少が見られた。このデータをもとに実験2として-1°Cおよび-3°Cで保管試験を行ったが、-3°Cでは2日、-1°Cでは1日でATPが減少し、ドリップ量も10%以下に抑えることができた。-1°C保管では1日でATPの10%以下への消失が見られたが、保管中に肉表面に氷の膜が現れたことから品質的には-3°C保管のほうが良いと判断した。また、食味試験では3日目以降で臭いが消失し、解凍した刺身の品質としては、解凍前の-3°C保管3日目以降に良好となった。さらに5日目以降は熟成と考えられる更なる食味の向上が見られた。

肉の熟成や食味の向上については今後の課題であるが、本研究の結果、ATP含量の高い冷凍クジラ肉を解凍前に-3°Cで3~7日間保管を行うことにより、ATP濃度を低下させ、急速解凍しても解凍硬直を抑制することが可能となり、ドリップ発生が少ない食味の良好な解凍クジラ肉とするための条件が明らかにされた。

すなわち、高鮮度のクジラ肉は、捕獲後の漁船内保管、流通中、あるいはその後の長期冷凍保管時においては-30°C以下でATP含量の高い状態で保存することによって筋肉タンパク質の冷凍変性を抑制し、解凍前における-3°C付近での温度処理を行いATP濃度を下げることが食味の良好な高品質の解凍クジラ肉を得るために有効であることが明らかとなった。

本技術が、高鮮度冷凍クジラの高品質な流通加工技術として応用され、クジラ肉の消費拡大に寄与することを期待する。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、御協力いただきました(財)日本鯨類研究所 畑中寛顧問、藤瀬良弘理事、(社)海洋水産システム協会 長島徳雄専務理事に御礼申し上げます。本研究は水産庁補助事業として(社)海洋水産システム協会が平成18、19年度に交付を受けた水産業振興型技術開発事業「ブランドニッポン」漁獲物生産システム開発事業の1課題である「漁獲物の解凍硬直防止技術の開発」により行われたことをここに付記します。

文 献

- 1) 吉岡武也, 新井健一 (1986) ミオシン Ca-ATPase の熱変性におよぼす ATP の保護効果, 日水誌, **52**, 1829-1836.
- 2) 山中英明 (1984) コイ筋肉の解凍硬直ならびに解糖に及ぼす凍結速度の影響。冷凍, **59**, 11-16.
- 3) 山中英明, 中川西剛, 菊池武昭, 天野慶之 (1978) コイの硬直に関する研究—I 死後硬直ならびに解凍硬直の顕著な差異, 日水誌, **44**, 1123-1126.
- 4) 尾藤方通 (1978) カツオ肉の凍結貯蔵中における NAD, ATP 両レベルおよび pH 変化のドリップ量への影響, 日水誌, **44**, 897-902.
- 5) 尾藤方通 (1980) イワシ肉の凍結貯蔵中における NAD, ATP 分解と解凍肉の pH およびドリップ量, 東海水研報, **103**, 65-72.
- 6) MURATA Y, HENMI H and NISHIOKA F (1994) Extractive Components in the Skeletal Muscle from Ten Different Species of Scombroid Fishes, Fisheries Sci., **60**, 473-478.
- 7) 天野慶之, 富谷章子, 木下良雄, 樽見みつ (1952) 南水洋産冷凍鯨肉に関する研究報告 (1951 ~ 1952 年度), 235-256.
- 8) 田中和夫, 饗場 清, 田中武夫 (1952) 南水洋産冷凍鯨肉に関する研究報告 (1951 ~ 1952 年度), 85-206.

原著論文

緑茶抽出物浸漬法によるサケ卵の卵膜軟化症抑制効果

佐々木 系^{*1}・吉光昇二^{*2}

Control of Soft Egg Disease of Chum Salmon by Green Tea Extract

Kei SASAKI, and Syouji YOSHIMITSU

Soft egg disease (SED) is often observed during the incubation of salmonid eggs at hatcheries in Hokkaido, Japan. The SED causes softening of the egg membrane and reduces the internal hydrostatic pressure of the eggs. Thus, the mortality of diseased eggs is increased by unusual premature hatching and by the handling required for egg picking and transportation at hatcheries. The efficacy of immersing in green tea extract (GTE) including 43% tannin was examined for the control of SED of chum salmon (*Oncorhynchus keta*). The internal pressure of the eggs was significantly higher in egg groups immersed in GTE solutions (tannin concentration: 700-2,800 ppm) for 30 or 60 min just after fertilization than that of untreated controls. Those GTE treatments also improved the survival rate of eggs during incubation. The present results suggest that GTE is effective to prevent SED in chum salmon eggs.

2008年5月23日受付, 2008年9月8日受理

サケ科魚類の卵に発生する卵膜軟化症は、卵膜が溶解して窪みや小穴が形成され、ふ化前に卵膜が破れやすくなる障害である¹⁾。サケ科魚類の卵は、強固な卵膜に囲まれているため物理的な衝撃に対して強い耐性を有している。しかし、卵膜軟化症が発生すると卵の物理的な耐性が低下し、僅かな衝撃でも卵膜が損傷するために、しばしば大量の減耗が起こる。卵膜軟化症の存在は1929年に高安ら¹⁾により報告されたのを初め、大野²⁾、武田³⁾によって相次いで報告されている。江草・中島⁴⁾は、その後新たな報告がみられなかったことから、卵膜軟化症は限定された時期と地域において発症する疾病と考えた。しかし、1970年代以後、国内ではアマゴ (*Oncorhynchus masou ishikawae*)⁵⁾、サクラマス (*O. masou*)⁶⁾での症例が、国外ではギンザケ (*O. kisutch*)⁷⁾、マスノスケ (*O. tshawytscha*)⁸⁾での発生が報告され、現在でも北海道内を中心として広い地域で本障害が発生しており、卵膜軟化症の予防が重要な課題となっている。

卵膜軟化症は様々な要因が関与する疾病とされているが、その予防には過マンガン酸カリウムによる卵の薬浴

が有効であり⁹⁾、卵膜軟化症の発生が見られるふ化場では、採卵直後に過マンガン酸カリウムの薬浴による予防処置が行われてきた。しかし、2003年の薬事法の改正にともない、過マンガン酸カリウムの使用が認められなくなったことから、新たな卵膜軟化症予防法の確立が求められている。

コリガエフ¹⁰⁾は本疾病の予防方法として、タンニン溶液への一定時間の浸漬法が有効であることを報告している。タンニンはタンパク質と結合して変性させる収れん作用をもつポリフェノール化合物で、緑茶等に多く含まれている¹¹⁾。

本研究では、タンニンの含有量が高い緑茶抽出物溶液へのサケ受精卵の浸漬法が卵膜軟化症の発生抑制に有効であることを実験的手法により明らかにするとともに、その効果的な使用方法について検討した。

材料と方法

供試卵 2005年10月26日に釧路川, 2004年10月18

*1 独立行政法人水産総合研究センター さけますセンター 斜里事業所 〒099-4404 斜里郡清里町字江南 807-17 Shari Station, National Salmon Center, FRA 807-17 Konan, Kiyosato, Shari, 099-4404 Japan keis@affrc.go.jp

*2 独立行政法人水産総合研究センター さけますセンター

日に天塩川、2005年11月8日に斜里川に遡上したサケ親魚から採卵し受精させた卵を用いた（図1）。受精卵は、約1時間流水中に置いて吸水させ、卵膜の硬化を確認後、輸送用の卵箱に収容し、それぞれさけますセンター鶴居、中川および斜里の各事業所へ輸送し、ボックス型ふ化槽（縦790mm、横625mm、高さ540mm）に約400,000粒ずつ収容した。

供試緑茶抽出物 本研究では卵膜軟化症に対する効果判定のために、緑茶抽出物；ポリフェノンCH30（㈱三井農林、東京。以下、PP CH30）を使用した。PP CH30は緑茶からの温水による抽出物を乾燥したもので、100g中にタンニン42.3gを含有している。この緑茶抽出物であるPP CH30を事業所のふ化用水に溶解して所定のタンニン濃度の溶液を作成した。PP CH30に含有されるタンニンは水に全溶解することから、タンニン濃度は次式により算出した。

$$\begin{aligned} \text{タンニン濃度 (ppm)} \\ &= \text{PP CH30(g)} \times 0.423 / \text{溶媒量 (ml)} \times 10^6 \end{aligned}$$

なお、緑茶抽出物溶液への浸漬は、供試卵をボックスふ化槽に収容後直ちに行った。また、積算温度（℃）は受精当日を0℃とし、次式により求めた。

$$\text{積算温度 (℃)} = \text{水温} \times \text{日数}$$

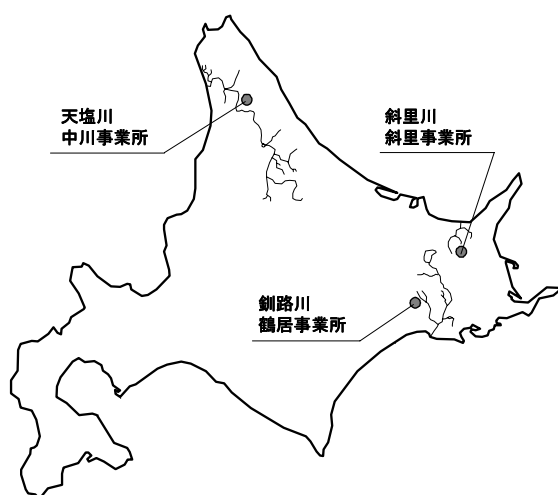


図1. 調査河川および事業所の位置

緑茶抽出物浸漬法による卵膜軟化症発症抑制効果の検討

抑制効果を検討するため、釧路川に遡上したサケ親魚から採卵した受精卵を用い、ふ化槽に収容直後から60分間にわたりタンニン濃度700、1,000、1,400ppmの緑茶抽出物溶液160ℓに浸漬した3試験区と、緑茶抽出物溶液に浸漬せず、ふ化用水に60分間浸漬した対照区を設定した。いずれの試験区も供試卵を浸漬している間、15分毎に人の手による攪拌を計3回行った。その後、各試験区のふ化槽に湧水を毎分40ℓ注水し、40日後に収容卵の発眼率と卵内圧を測定した。卵管理期間中のふ

化用水の平均水温は7.4℃であった。

緑茶抽出物浸漬法の異なる卵および環境条件での効果

異なる卵および環境条件での効果を検討するため、天塩川に遡上したサケ親魚から採卵した受精卵を用い、ふ化槽に収容直後から60分間にわたりタンニン濃度1,400、および2,800ppmの緑茶抽出物溶液200ℓに浸漬した2試験区と、緑茶抽出物溶液に浸漬せず、ふ化用水に60分間浸漬した対照区の3試験区を設定した。いずれも供試卵を浸漬している間、溶液はポンプを使用して循環させた。その後、各試験区のふ化槽に地下水を毎分40ℓ注水し、42日後に収容卵の発眼率と卵内圧を測定した。また、51日後にはふ化率も調査した。卵管理期間中のふ化用水の平均水温は9.4℃であった。

浸漬時間の検討 浸漬時間の違いによる有効性を検討するため、斜里川に遡上したサケ親魚から採卵した受精卵をふ化槽に収容直後、タンニン濃度700ppmの緑茶抽出物溶液160ℓにそれぞれ30、および60分間浸漬した2試験区と、緑茶抽出物溶液に浸漬せず、ふ化用水に60分間浸漬した対照区の3試験区を設定した。いずれも供試卵を浸漬している間、溶液はポンプを使用して循環させた。その後、各試験区のふ化槽に湧水を毎分40ℓ注水し、38日後に収容卵の発眼率と卵内圧を測定した。卵管理期間中のふ化用水の平均水温は7.7℃であった。

緑茶抽出物浸漬法による卵膜軟化症発症抑制効果の判定は、本疾病がひき起こされる対照区との発眼率、および卵内圧の比較により行った。

発眼率・ふ化率の測定 発眼率は、それぞれの試験区について、発眼後の積算温度320～340℃時点で、ふ化槽内の供試卵から白濁した死卵を取り除いて発眼卵を数計し、次式により求めた。

$$\text{発眼率 (\%)} = (\text{発眼卵数} / \text{供試卵数}) \times 100$$

天塩川由来の卵を使用した試験では、発眼率に加え、ふ化率を比較した。ふ化率は次式により求めた。

$$\text{ふ化率 (\%)} = (\text{ふ化尾数} / \text{発眼卵数}) \times 100$$

卵内圧の測定法 それぞれの試験区の供試卵30～60粒について、積算温度300～400℃時点での卵内圧を測定した。卵内圧を測定するために、ALDERDICE *et al.*¹²⁾が人の眼球内圧力を測定する原理を応用してサケ卵の内圧を測定するために開発した計測装置を参考にし、図2に示した計測装置を作成した。作成した計測装置は、レコードプレーヤーのトーンアームを利用し、アームの先端に任意の重量が負荷されるように調整することが可能である。本研究では、アーム先端の荷重が3gとなるように調整し、卵の上部に負荷をかけたときに形成される卵の扁平部の円の直径（以下、扁平部直径とする）を、実体顕微鏡下（40倍）で接眼マイクロメーターを用いて測定した（図3）。卵内圧が高い場合は負荷に対する反発が大きいため扁平部直径が小さくなり、卵内圧が低い場合

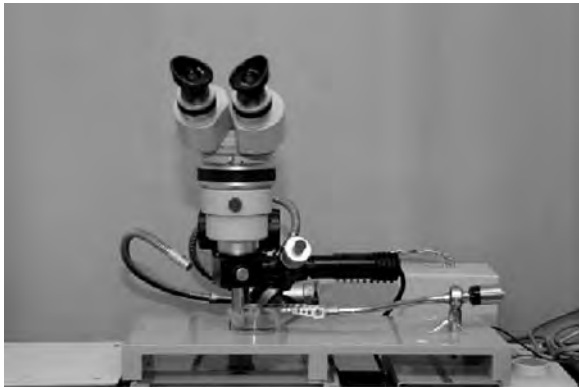


図2. 卵に一定の荷重をかけたときの扁平部直径を測定するために作成した装置

は反発が小さいため扁平直径が大きくなる。そのため、扁平部直径の大小は卵内圧の高低を反映することになり、卵膜軟化症を発症した卵では卵の硬度が低下するため、扁平部直径は大きくなる。なお、正常卵の扁平部直径は積算温度 300～400℃時点で 3.10～3.40 mm 程度の値となる。

結 果

緑茶抽出物浸漬方による卵膜軟化症抑制効果 緑茶抽出物中のタンニンの濃度を 700, 1,000, 1,400 ppm のとして、60 分間の浸漬を行った 3 試験区の扁平部直径を図 4 に示した。直径は 2.28～2.36 mm で、各濃度の試験区間での有意差は認められなかったが、いずれの濃度においても対照区 (3.57 mm) より有意に小さい値を示した (t -test, $p < 0.05$)。発眼率は、試験区で 88.6～92.2% と高い値を示し、いずれの濃度においても対照区 (84.7%) を上回った。また、試験区では、タンニン濃度が高いほど発眼率も高くなった (表 1)。

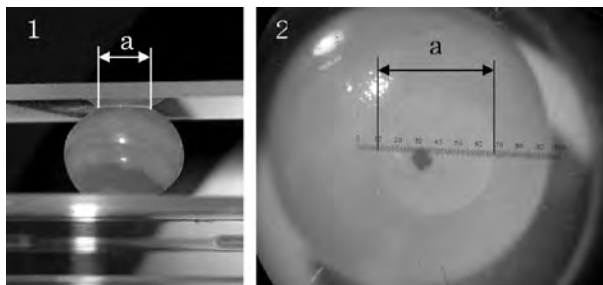


図3. 接眼マイクロメータによる卵の扁平部直径 (a) 測定法。写真 1 は側面、写真 2 は上面を示す。卵の硬度が低いほど a は大きくなる。

緑茶抽出物浸漬法の異なる卵および環境条件での効果

天塩川に遡上したサケ由来の卵の扁平部直径の結果を図 5 に示した。タンニン濃度 1,400, および 2,800 ppm の緑茶抽出物浸漬を行った 2 試験区での卵の扁平部直径は 2.94 および 3.31 mm で、斜里川のサケ由来卵にくらべ

て高い値を示したが、両濃度共に対照区 (4.58 mm) より有意に小さい値を示した (t -test, $p < 0.05$)。発眼率は、試験区で 82.9 および 84.6% で、いずれの濃度においても対照区 (81.8%) を上回った (表 2)。しかし、濃度が高くなるに従い、発眼率は高くなる傾向を示したものの、対照区とほぼ同様の値を示した。一方、ふ化率では試験区で 97.9 および 97.8% と高い値を示し、対照区 (89.4%) よりも 8.4～8.5% 高くなった (表 2)。

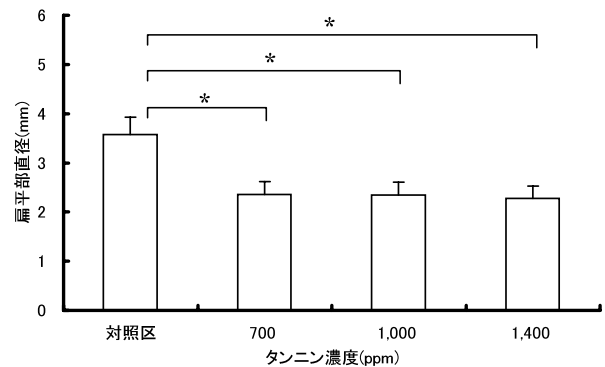


図4. 緑茶抽出物溶液に 60 分間浸漬後、積算温度 300℃時の卵の扁平部直径の比較

*は $p < 0.05$ で有意であることを示す。バーは標準偏差を示す

表1. タンニン濃度 700, 1,000, 1,400 ppm の緑茶抽出物溶液に浸漬した釧路川卵の発眼率 (%)

区	タンニン濃度 (ppm)	浸漬時間 (分)	発眼率 (%)
対照区	0	60	84.7
試験区	700	60	88.6
試験区	1,000	60	90.5
試験区	1,400	60	92.2

浸漬時間の検討 タンニン濃度 700 ppm の緑茶抽出物溶液に 30, および 60 分間の浸漬を行った 2 試験区の扁平部直径は 2.59 および 2.78 mm で (図 6)、両浸漬時間共に対照区 (3.51 mm) より有意に小さい値を示した (t -test, $p < 0.05$)。発眼率は、試験区で 92.8 および 93.7% と高い値を示し、両浸漬時間共に対照区 (87.7%) を上回った (表 3)。

考 察

卵膜軟化症の発症に関与する因子として細菌¹⁵⁾、卵が接触する水の硫酸イオン濃度⁶⁾、高水温⁷⁾の影響等が報告されている。このため、日本魚病学会の定めた病名一覧においても、卵膜軟化症は、細菌が主な原因とされるが様々な要因が関与する疾病とされている。これまででは、卵膜軟化症の予防法として、過マンガン酸カリウムの 20 ppm 水溶液をふ化槽に 60 分間滴下する方法が広

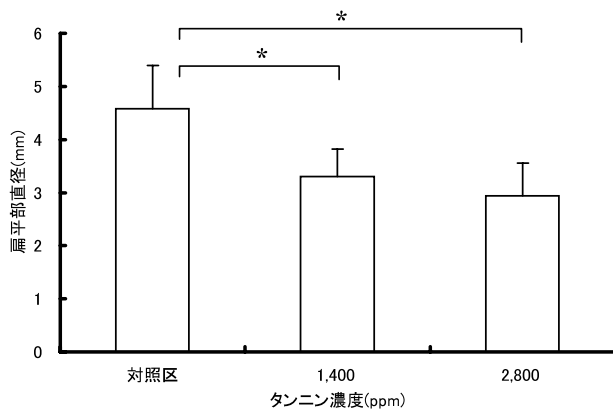


図5. 緑茶抽出物溶液に60分間浸漬後、積算温度400℃時の卵の扁平部直径の比較
*は $p < 0.05$ で有意であることを示す。バーは標準偏差を示す。

表2. タンニン濃度1,400, 2,800 ppmの緑茶抽出物溶液に浸漬した天塩川卵の発眼率およびふ化率

区	タンニン濃度 (ppm)	浸漬時間 (分)	発眼率 (%)	ふ化率 (%)
対照区	0	60	81.8	89.4
試験区	1,400	60	82.9	97.9
試験区	2,800	60	84.6	97.8

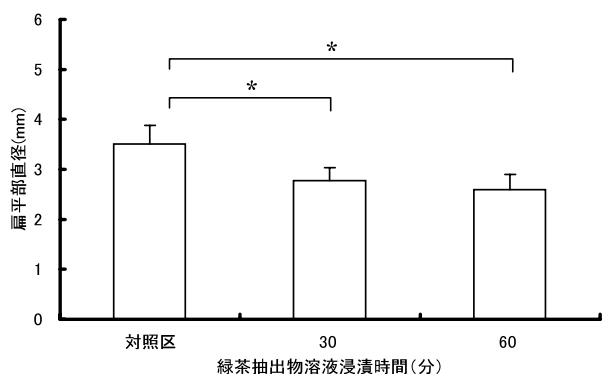


図6. タンニン濃度700 ppmの緑茶抽出物容器に浸漬後、積算温度300℃時の卵の扁平部直径
*は $p < 0.05$ で有意であることを示す。バーは標準偏差を示す。

表3. タンニン濃度700 ppmの緑茶抽出物溶液に30, 60分間浸漬した斜里川卵の発眼率 (%)

区	タンニン濃度 (ppm)	浸漬時間 (分)	発眼率 (%)
対照区	0	60	87.7
試験区	700	60	92.8
試験区	700	30	93.7

く用いられてきた。しかし、その作用機序については卵膜軟化症の原因や発症のメカニズムが未解明であることもあり、明らかになっていない。

本研究で行った一連の実験で、サケ受精卵を積算温度

0℃時に緑茶抽出物溶液へ浸漬した試験区では、対照区と比較して扁平部直径は有意に小さくなり、発眼率やふ化率は高くなる傾向が認められた。このことから、緑茶抽出物溶液は卵内圧および発眼率の低下をもたらす卵膜軟化症の抑制方法として有効であると考えられる。タンニン濃度700, 1,000, 1,400, および2,800 ppmの緑茶抽出物溶液に浸漬した卵の場合、浸漬を行わなかった卵と比較して、いずれの濃度においても卵内圧が有意に高く、各濃度区間では扁平部直径の値に有意な差が認められなかった。また、700 ppmのタンニン濃度に浸漬した結果では浸漬時間が30分で発眼率が93%と高かったことから、タンニン濃度が700 ppm,あるいはこれ以上の緑茶抽出物溶液で30分以上浸漬することにより、卵膜軟化症抑制効果が期待される。結果には示さなかったが、斜里事業所では350 ppmでも同様の効果が認められている。今後、実用化に備え、より低濃度での効果についても検討したいと考える。

サケ科魚類の卵膜は水に接すると、卵膜内のカルシウムイオンの働きによりトランスグルタミナーゼが活性化し、卵膜を構成しているタンパク質の分子量が50 kdaから120 kdaへと増大し、強固な膜が形成される^{13,14)}。この一旦高分子化した卵膜は、プロテアーゼなどのタンパク質分解酵素に影響を受けない物理的にも化学的にも安定した強固な膜となるとされている。卵膜軟化症はこの強固な卵膜をも溶解する症状を示すが、予め緑茶抽出物溶液への浸漬することにより、主成分であるタンニンが何らかの化学的な作用を卵膜に起こし、卵膜の溶解を防止すると推測される。

本研究において、サケ卵の卵膜軟化症の抑制に緑茶抽出物が有効である結果が得られたが、緑茶抽出物は過マンガン酸カリウムに比べて高価である。このため、卵膜軟化症が一部の採卵群の卵のみに発症するふ化場では、より効果的な使用方法を含め実用化に向けた検討が求められる。そのためには、卵膜軟化症発症後の緑茶抽出物浸漬法の有効性を調べるとともに、より安価で卵膜軟化症に有効な成分の検索を行い、簡便かつ安全な防止法の開発を図る必要がある。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり、養殖研究所札幌魚病診断研修センターの野村哲一博士には有益なご助言をいただきました。深く感謝いたします。鶴居、斜里、中川事業所の職員の皆様にはデータの収集に多大なるご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) 高安三次・武田志麻之輔・大野磯吉(1934)西別鮭鱒孵化場鮭卵被害調査。水産調査報告, 37, 1-140。

- 2) 大野磯吉 (1929) 西別孵化場鮭被害卵消毒試験経過。鮭鱒彙報, **1**, 3-6。
- 3) 武田志麻之輔 (1930) 最近本道孵化場に起れる鮭卵の病害の原因に就いて。鮭鱒彙報, **2**, 1-7。
- 4) 江草周三・中島健次 (1973) 魚病に関する文献集 第1集 寄生体性疾病と寄生体。魚病研究, **7**, 137-229。
- 5) 梅原光夫・隆島史夫・立川 互 (1985) アマゴの卵膜軟化症。水産増殖, **32**, 230-232。
- 6) 伊澤敏穂・新谷康二・村上 豊・北村隆也・坂井勝信 (1998) 卵膜軟化症の発症原因。魚と水, **35**, 19-28。
- 7) COUSINS, K. L., and J. O. T. JENSEN (1994) The effects of temperature on external egg membranes in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and the occurrence of soft-shell disease. *Can. J. Zool.*, **72**, 1854-1857.
- 8) BARNES, M. E., R. J. CORDES, and W. A. SAYLER (2003) Soft-Egg Disease in Landlocked Chinook Salmon Eggs: Possible Cause and Therapeutic Treatments. *North. Am. J. Aquacult.*, **65**, 126-133.
- 9) 半田芳男 (1932) 鮭鱒人工蕃殖論。北海道鮭鱒孵化事業協会, 北海道, 190 pp。
- 10) コリガエフ (1962) 秋鮭卵膜崩壊予防剤としてのタンニン。(大屋善延 訳)。魚と卵, **120**, 8-11。
- 11) 金沢和樹 (2004) ポリフェノールとは何か。養殖, **7**, 14-16。
- 12) ALDERDICE, D. F., J. O. T. JENSEN, and F. P. J. VELSEN (1983) Measurement of hydrostatic pressure in salmonid eggs. *Can. J. Zool.*, **62**, 1977-1987.
- 13) 井内一郎 (1997) 魚類の卵膜硬化酵素。上智大学生命科学研究紀要, **16**, 13-26。
- 14) IUCHI, I. (2001) Further analysis of egg envelope (Chorion) hardening in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Sophia Life Science Bulletin*, **20**, 43-52.

原著論文

北海道えりも以西太平洋沿岸域における放流された マツカワ人工種苗の産卵期と成熟年齢および成熟全長

吉田秀嗣*¹・高谷義幸*²・松田泰平*²

Spawning Season, Mature Age and Length of Released Barfin Flounder *Verasper moseri* in the Pacific Coastal Waters off South-western Hokkaido

Hidetsugu YOSHIDA, Yoshiyuki TAKAYA, and Taihei MATSUDA

We investigated the spawning season, mature age and total length of released barfin flounder *Verasper moseri* collected on landing markets around the Pacific coastal waters off south-western Hokkaido from 1994 to 2005. Monthly changes of gonadosomatic index and observations of gonads show that the spawning season is from April to June. The age at first maturity is 3 years old for females and 2 years old for males. However, we consider that the age at first maturity varies with body size. The length at first maturity is 453 mm and 338 mm in total length (TL) for females and males, respectively. It is estimated that the length at which 50% of specimens are mature, based on logistic curves, is 535 mm in TL for females and 371 mm in TL for males.

2008年3月19日受付, 2008年8月22日受理

マツカワは、冷水性のカレイ類で、茨城県以北の太平洋沿岸、若狭湾以北の日本海沿岸、北海道周辺、千島列島近海、オホーツク海南部から沿海地方にかけて分布し、日本では主に北海道太平洋沿岸に分布する¹⁾。天然資源は極めて低い水準にあり、「日本の希少な野生水生生物に関するデータブック（水産庁編）」では「希少種」とされている²⁾。北海道では過去にはマツカワを専門にねらった刺網漁業があったが、「北海道水産現勢」など漁獲統計では「その他のかれい類」に含まれて集計されていたため、過去の漁獲量については不明である¹⁾。しかし、えりも以西太平洋の浦河漁業協同組合、えりも以東太平洋の広尾漁業協同組合の資料によれば、それぞれ、1970年代前半に年間50トン以上、20トン以上あった漁獲量が1970年代後半には急減したことが記録されており、その原因の一つとして未成魚や産卵前に成魚を過度に漁獲したためと考えられている^{3,4)}。

このように天然資源の水準が低下したため、マツカワ資源の回復を図ることを目的として、北海道では1987年に初めて、(社)日本栽培漁業協会厚岸事業場（現(独)水産総合研究センター北海道区水産研究所厚岸栽培技術開発センター）で生産された人工種苗が厚岸湾に放流された。その後、種苗生産数の増加に伴い、放流場所は太平洋側を中心に拡大した。北海道立函館水産試験場および室蘭支場（現北海道立栽培水産試験場）では、えりも以西太平洋をモデル海域として、1991年から放流を開始し、放流した人工種苗の成長⁵⁾、食性⁶⁾および移動^{7,8)}などを明らかにするとともに、放流に適した場所や時期の探索など放流技術開発を進めてきた。

マツカワの資源回復には、放流による資源添加のほか、再生産による効果も期待されている。しかし、前述したように資源の減少原因が過度の漁獲によるものだとすれば、放流した種苗の多くが産卵前に漁獲されてしま

*¹ 北海道立函館水産試験場 〒042-0932 北海道函館市湯川町1-2-66

Hokkaido Hakodate Fisheries Experiment Station, 1-2-66 Yunokawa, Hakodate, Hokkaido 042-0932 Japan

yoshidahi@fishexp.pref.hokkaido.jp

*² 北海道立栽培水産試験場

結 果

標本の収集状況 12年間に得られた標本は全て放流魚で、天然魚は含まれていなかった。標本数は雌364尾、雄1,165尾の合計1,529尾で、雌の標本数は雄の約3分の1であった(表1)。また、年齢を調べた結果、雌は1～6歳、雄は1～4歳で、高齢魚の標本数は少なかった。月毎の標本数は一定ではなく、漁獲量を反映して、4月、8月、9月および1～3月では少なかった。

産卵期の推定 GSIの月別変化を図2に示した。雌のGSIは7月および8月には2.0以下と低値であったが、9月にはGSIが急激に高くなり(最高値10.9)、12月には最高値が15.0に達した。この最高値は卵核胞の崩壊が起こっていない第三次卵黄球期(GSI 15～20)¹⁴⁾に相当するので、12月の時点では成熟期には達していないと推察され、9～12月は産卵期ではないと推定された。1～4月は標本数が少なくGSIの傾向は把握できなかった。5月の標本にはGSIが20を超える個体が2尾含まれていたが、卵巣の観察によりこれら2尾は産卵直前または産卵中と判断された(表2)。他方、5月の標本のGSI 3.5以下の2尾は産卵後と判断された。6月の標本に含まれていたGSI 2.2以下の個体のうち、1尾は産卵後と判断された。これらのことから、1～4月についてはわからないが、少なくとも5月は産卵期と推定され、6月にはほぼ産卵期は終了しているものと推定された。

雄のGSIは7～9月の標本では0.3以下と低値であったが、10月にはGSIが急激に高くなり(最高値2.5)、12月には最高値が3.9に達したが、1月には低下した(最高値2.7)。2～4月にはほとんど標本を採集することはできなかったが、5月の標本ではGSIは1.5以下と

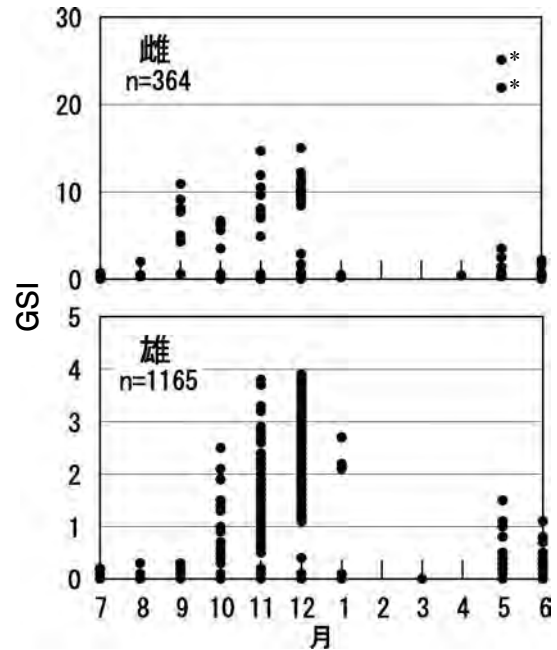


図2. マツカワのGSIの季節変化
* : 産卵直前または産卵中と判断された個体

表1. マツカワの標本数

性別	年齢	月別標本数												合計
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
雌	1	0	0	0	1	2	0	15	17	22	2	0	0	59
	2	1	11	77	25	2	1	4	29	63	5	0	0	218
	3	0	7	14	2	1	2	1	5	8	1	0	0	41
	4	0	5	2	0	1	4	7	4	9	0	0	0	32
	5	0	1	2	0	0	0	0	1	7	0	0	0	11
	6	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
	計	1	26	95	28	6	7	27	56	110	8	0	0	364
雄	1	0	0	2	3	0	4	50	24	28	3	0	2	116
	2	0	18	225	76	10	3	24	135	219	14	0	0	724
	3	0	35	92	5	2	1	13	31	111	2	0	0	292
	4	0	4	14	4	1	0	1	1	8	0	0	0	33
	計	0	57	333	88	13	8	88	191	366	19	0	2	1,165
合計		1	83	428	116	19	15	115	247	476	27	0	2	1,529

表2. 産卵直前～産卵後と判断されたマツカワの採集時データ

卵巣の観察結果	水揚げ年月日	水揚げ漁協	水深(m)	漁具	全長(mm)	体重(g)	性別	GSI	年齢
産卵直前または産卵中	2002.5.14	浦河	10～20	鮭定置網	695	5,780	雌	25.1	6
産卵直前または産卵中	2004.5.10	苫小牧	—	刺網	670	5,859	雌	21.9	5
産卵後	2002.5.22	様似	90	刺網	645	3,592	雌	3.5	6
産卵後	2002.6.4	厚真	—	刺網	580	2,869	雌	1.6	5
産卵後	2004.5.20	苫小牧	—	刺網	665	4,290	雌	2.5	4

さらに低くなっており、その後7月まで減少した。

成熟年齢および成熟全長の推定 月齢と GSI との関係を図3に示した。雌では1歳と2歳の標本の中には GSI が3以上の個体は出現しなかったが、3歳の9月以後に採集した標本では GSI が3以上の個体の出現頻度が高かった。一方、雄では1歳の標本中には GSI が0.5以上の個体は出現しなかったが、2歳の10月以後の標本では GSI が0.5以上の個体の出現頻度が高かった。これらのことから、初回成熟年齢は雌では3歳、雄では2歳と推定され、雌の方が1歳遅かった。

次に、年齢別成熟個体出現率および未成熟個体と成熟個体の平均全長、平均体重を表3に示した。成熟個体は雌では3歳以上で出現し、その出現率は3歳で25%、4歳で89%で、5歳以上の標本では全て成熟個体であった。また、標本数が少なく検定はできなかったものの、未成熟個体と成熟個体の両者が見られた3歳と4歳の雌では、ともに平均全長および体重はそれぞれ成熟個体の

方が大きかった。一方、雄では成熟個体は2歳以上で出現し、その出現率は2歳で77%であり、3歳以上の標本ではほぼ全てが成熟個体であった。また、未成熟個体と成熟個体の両者が見られた2歳の雄では、平均全長および体重は成熟個体の方が有意に大きかった（全長： $p < 0.01$ 、体重： $p < 0.01$ ）。

全長と GSI との関係を図4に示した。周年を通して採集した標本のうち、GSI が3以上の雌は全長453 mm以上で見られた。全長453 mmの標本は GSI が3.0で、12月に採集された3歳魚であった。また、GSI が0.5以上の雄は全長338 mm以上で見られた。全長338 mmの標本は GSI が3.8で、11月に採集された3歳魚であった。このように、採集した標本の中での最小成熟全長は、雌では453 mm、雄では338 mmであり、雌の方が大きかった。

次に、全長と成熟個体出現率との関係を図5に示した。雌雄ともに全長が大きくなるに従い、成熟個体の出

表3. マツカワの12月における年齢別の成熟個体出現率および未成熟個体と成熟個体の平均全長、平均体重

性別	年齢	個体数		成熟個体 出現率 (%)	平均全長 (mm)		検定結果 [全長]	平均体重 (g)		検定結果 [体重]
		未成熟	成熟		未成熟	成熟		未成熟	成熟	
雌	1	22	0	0	309	—	—	480	—	—
	2	63	0	0	385	—	—	857	—	—
	3	6	2	25	461	530	—	1,509	2,537	—
	4	1	8	89	570	616	—	2,456	4,221	—
	5	0	7	100	—	622	—	—	4,353	—
	6	0	1	100	—	670	—	—	5,590	—
雄	1	28	0	0	316	—	—	481	—	—
	2	50	169	77	365	404	$P < 0.01$	706	953	$P < 0.01$
	3	1	110	99	300	433	—	401	1,165	—
	4	0	8	100	—	470	—	—	1,445	—

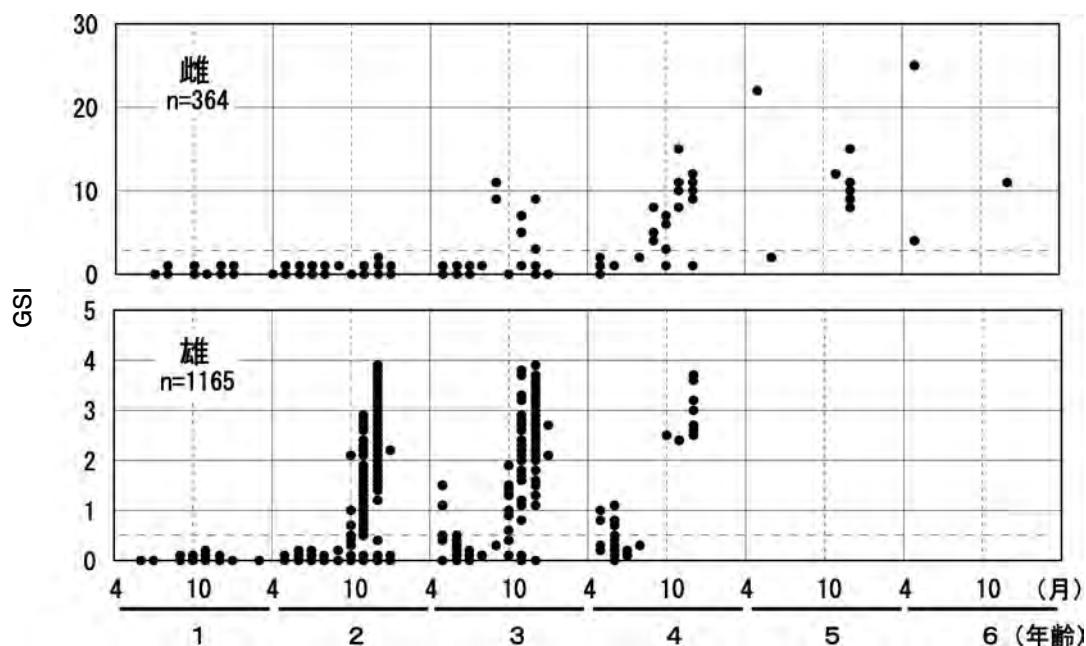


図3. マツカワの月齢と GSI との関係
注) 横軸と平行な破線は、雌 (上図) では GSI 3、雄 (下図) では GSI 0.5 を示す。

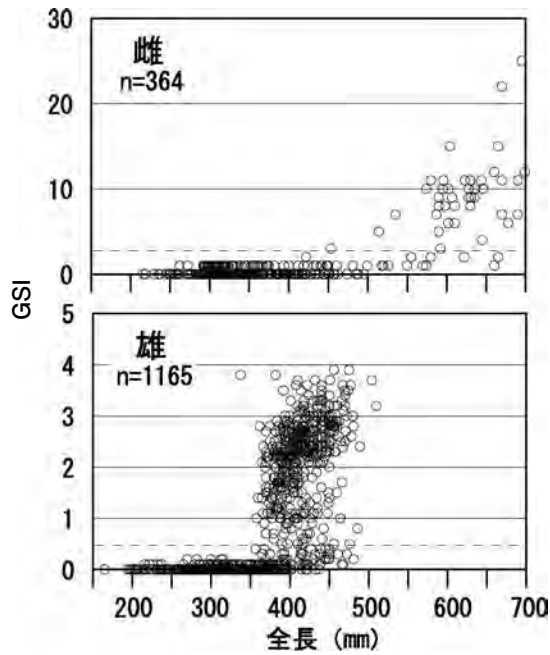


図4. マツカワの全長とGSIとの関係
注) 破線は雌(上図)ではGSI 3, 雄(下図)ではGSI 0.5を示す。

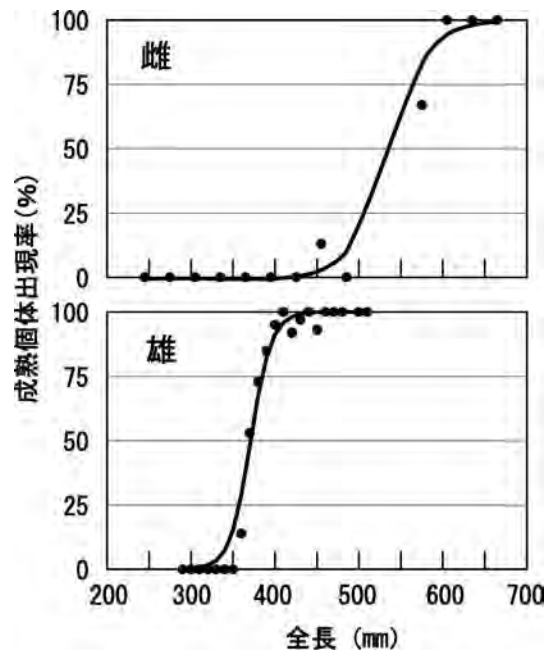


図5. マツカワの全長別成熟個体出現率と成熟曲線

現率は高くなるという関係が見られ、以下のロジスティック曲線が得られた。

$$\text{雌: } M(TL) = 1 / (1 + e^{(22.004 - 0.0411 \cdot TL)})$$

$$\text{雄: } M(TL) = 1 / (1 + e^{(30.206 - 0.0814 \cdot TL)})$$

これらのロジスティック曲線から、成熟個体の出現率が50%に達する全長、すなわち50%成熟全長を計算すると、雌では535 mm、雄では371 mmと推定された。

考 察

本研究では天然海域での雌の初回成熟年齢は、満3歳(4月には満4歳になる)であることを示した。萱場¹¹⁾は、自然海水温で飼育した人工種苗の雌は、満2歳の3月から満3歳になった4月に初回成熟に達するとしている。一方、萱場¹¹⁾は異なる実験では自然海水温で飼育した場合でも、満3歳になった4月には採卵できず、満4歳になった4月に採卵できたことを報告しており、この実験での初回成熟年齢と本研究で得られたそれとは一致していた。このように自然海水温で飼育した雌の初回成熟年齢が、1歳異なった原因については言及されていないが、冬期間に加温飼育して成長を促進させた実験では、満3歳になった4月に高頻度で成熟することが知られていることから、雌の初回成熟年齢は、産卵を迎える春までの成長で決まる可能性が高いと考えられている^{11,14)}。また、天然海域での雄の初回成熟年齢は、満2歳(4月には満3歳になる)であることを示した。自然海水温で飼育した雄は、満3歳になった4月に成熟するが、冬期間加温飼育した場合には満1歳の2月に成熟す

ることが報告されている¹¹⁾。このように雄の初回成熟年齢も飼育水温による成長の違いで変わると推察される。従って、本研究では天然海域での初回成熟年齢は、雌では満3歳(4月には満4歳)、雄では満2歳(4月には満3歳)という結果であったが、水温や餌環境等が異なる海域では成長も異なるので、初回成熟年齢も変わることが考えられた。

また、天然海域においては、成熟個体の出現率は加齢とともに高くなるが、同じ年齢内では全長の大きな個体が成熟し、小さな個体は未成熟であることを示した。萱場¹¹⁾は、自然海水温で飼育した雌の満3歳になった4月の成熟個体出現率は3.8%と低いが、低水温期に加温飼育した同年齢の2群では全長が伸長し、成熟個体の出現率はそれぞれ86.7~94.2%と飛躍的に高くなることを報告している。このように天然海域、飼育環境下ともに、同じ年齢でも大きい個体が成熟していたことは、成熟には体サイズ、つまり成長の良さが強く関係していることを示す。

さらに、本研究で得られた標本の最小成熟全長は雌で453 mm(12月)、雄で338 mm(11月)であり、12月の標本から求めた50%成熟全長は雌で535 mm、雄で371 mmと推定された。本種は北海道太平洋側では冬期間には成長しないため¹⁵⁾、本研究で示した11~12月での最小成熟全長および50%成熟全長は、翌春の産卵期の全長と見なしても問題はないと思われる。ただし、雌の50%成熟全長については、データ数が少なかったことから、今後、標本収集に努める必要がある。また、飼育環境下では、雌は全長45 cmで成熟することが知られており¹⁴⁾、天然海域と飼育環境下での雌の最小成熟

全長は一致した。このように、環境が異なっても、成熟が可能となる全長が同じだったことは、成熟には成長が極めて重要であることを示す。

以上のように性成熟に関しては、天然海域と飼育個体とでは一致する面が見られたことから、天然海域では標本不足のため産卵期かどうか不明であった1～4月について、飼育で得られている知見を用いて推定を試みた。萱場¹¹⁾は、自然海水温で飼育した雌の卵母細胞の最終成熟は、3月以後に誘起され、排卵は3月下旬から始まり、採卵は4月には可能であったことを報告している。このことは4月が産卵期であることを示唆するとともに、3月も産卵期である可能性を示す。次に、本研究では6月には成熟した透明卵を有する産卵直前または産卵中の個体は出現せず、産卵後の個体が出現したため、6月にはほぼ産卵は終了しているとした。しかし、渡辺¹⁰⁾は、6月に本海域で透明卵を持つ個体が漁獲されたことを報告している。本研究では標本数が少なく、6月に透明卵を有する個体が出現しなかったと思われることから、渡辺¹⁰⁾の報告を支持し6月も産卵期と推定した。これらのことから、本海域における産卵期は4～6月と推定され、3月も産卵期である可能性が残された。産卵期については、標本収集に努めるとともに、組織学的な確認を行う必要がある。

今後、マツカワの資源回復を図る上で、種苗放流だけではなく、資源管理も重要な手法となってくる。そのためには、産卵期、産卵場を明確にして、本海域での漁業の実態と照らし合わせて、保護対策を検討する必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、標本の採集と測定にご協力いただいた各地区の栽培漁業推進協議会および水産技術普及指導所の皆様に深謝いたします。また、本論文をとりまとめるにあたり、有益なご助言をいただいた北海道立栽培水産試験場の萱場隆昭博士にお礼申し上げます。

文 献

- 1) 松田泰平 (2003) マツカワ. 「新北のさかなたち」(上田吉幸・前田圭司・嶋田 宏・鷹見達也編), 北海道新聞社, 札幌, pp.242-245.
- 2) 南 卓志 (1998) 日本の希少な野生水生生物に関するデータブック (水産庁編). (社)日本水産資源保護協会, 東京, pp.102-103.
- 3) 佐々木正義 (1997) 日高及び胆振太平洋海域のマツカワの漁業実態と生態について. 北水試だより, **38**, 7-12.
- 4) 佐々木正義 (2005) 北海道におけるマツカワ漁業資源研究. 北海道立水産試験場技術資料 No.5, 50-63.
- 5) 吉田秀嗣・高谷義幸・松田泰平 (2007) 北海道えりも以西太平洋沿岸域におけるマツカワ人工種苗の成長 (短報). 北水試研報, **72**, 47-49.
- 6) 吉田秀嗣・高谷義幸・松田泰平 (2007) 北海道噴火湾に放流されたマツカワ0歳魚の分布と食性. 栽培技研, **35**, 5-10.
- 7) 吉田秀嗣・高谷義幸・松田泰平 (2008) 北海道噴火湾から標識放流したマツカワの移動と放流群別再捕率 (短報). 北水試研報, **73**, 47-48.
- 8) 高谷義幸・吉田秀嗣・松田泰平 (2008) 北海道日高海域から標識放流したマツカワの移動と放流時のサイズ (短報). 北水試研報, **73**, 49-51.
- 9) 疋田 豊治 (1934) 北日本産鰈類. 水産研究彙報, **4**, 187-297.
- 10) 渡辺研一 (1998) 北海道太平洋沿岸で漁獲されたマツカワの排卵状況から推定した産卵期. 水産増殖, **46**, 589-590.
- 11) 萱場隆昭 (2005) マツカワの種苗生産技術に関する研究. 北水試研報, **69**, 1-116.
- 12) 高谷義幸・松田泰平・吉田秀嗣 (2004) マツカワ若齢魚の耳石輪紋の年齢形質としての有効性 (短報). 北水試研報, **66**, 11-13.
- 13) 北川大二・石度芳男・桜井泰憲・福永辰廣 (1994) 三陸北部沿岸におけるヒラメの年齢, 成長, 成熟. 東北水研研報, **56**, 69-76.
- 14) 萱場隆昭 (2005) 北海道におけるマツカワ種苗生産研究. 北海道立水産試験場技術資料 No.5, 4-35.
- 15) 渡辺研一・鈴木重則・錦 昭夫 (2001) 厚岸に放流されたマツカワ人工種苗の移動・成長と放流効果. 栽培技研, **28**, 93-99.

原著論文

水槽で飼育したマツカワ天然魚の産卵間隔と産卵数

渡辺研一*¹・鈴木重則*²・錦 昭夫*³・南 卓志*⁴Spontaneous Spawning Rhythm and Egg Number of Wild Barfin Flounder *Verasper moseri* Reared in a Tank

Ken-ichi WATANABE, Shigenori SUZUKI, Akio NISHIKI and Takashi MINAMI

By way of investigation of spontaneous spawning rhythm and the number of spawned eggs, one barfin flounder female and two males, which were wild fish, were reared at a constant water temperature of 6 °C. The start of spawning and the spawning period were not same individually. One female spawned 10 or 11 times for one spawning season. Average spawning intervals were from 2.9 to 3.5 days. One female (approx. 720 mm in total length) spawned a low number in the early and last spawning period, and up to 180 thousands of eggs were produced at one time. In the middle spawning period, the proportion of fertilized eggs was higher than that in the early or last spawning season. Egg diameters became smaller with the increase of spawning time.

2008年3月14日受付, 2008年8月18日受理

マツカワ *Verasper moseri* は、茨城県以北の太平洋沿岸および若狭湾以北の日本海沿岸、北海道周辺、千島、サハリン、沿海州などに分布する^{1,2)}。中でも北海道東部沿岸を主分布域とし、成長の良さ³⁾、その肉質の良いこと²⁾および市場価値が高いこと等から、栽培漁業対象種として有望視されている。さらに、本種は資源が壊滅状態にあるため希少生物とされている⁴⁾。そのため種の保全の必要性が指摘されており、その方策として種苗放流が望まれている⁴⁾。

種苗を放流するためには、親魚から計画的に受精卵を得て種苗生産する必要がある。本種の再生産に関する知見として、生化学的な検討^{5,6,7,8)}、孕卵数⁹⁾、排卵間隔¹⁰⁾、群としての水槽内における自然産卵¹¹⁾、水温刺激による産卵誘導法と誘発産卵における人工生産した雌1尾の産卵状況^{12,13)}および水温制御による雌雄の性成熟

の同調法や自然産卵における環境制御因子の探索等¹³⁾の報告があるが、産卵誘発処理を施さずに自然産卵した場合の天然由来親魚の個体ごとの産卵に関する知見は見あたらない。そこで本報告では、産卵誘発処理を施さない場合におけるマツカワ天然由来親魚について、産卵期間内における個体ごとの自然産卵の回数と産卵数を把握し、誘発産卵状況と比較することを目的とした。

材料および方法

1994年の秋と1998年の秋に、北海道東部沿岸で定置網および刺網により漁獲された天然魚を、日本栽培漁業協会厚岸事業場（現：独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所厚岸栽培技術開発センター）の水槽で飼育し、産卵試験に用いた（表1）。1回の試験で

*¹ 独立行政法人水産総合研究センター 養殖研究所 業務推進部 〒516-0193 三重県度会郡南伊勢町中津浜浦 422-1
National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency, Nakatsuhamaura, Minamiise, Mie, 516-0193, Japan
knabe@fra.affrc.go.jp

*² 独立行政法人水産総合研究センター 南伊豆栽培漁業センター

*³ 無所属

*⁴ 東北大学大学院農学研究科

表 1. 試験に用いたマツカワ親魚の概要

試験区	ID*	全長 (mm)	体重 (g)	雌雄	入手年
1	401	720	7,430	雌	1994
	351	578	3,020	雄	1994
	FOF	490	1,710	雄	1998
2	746	715	7,160	雌	1998
	409	590	3,390	雄	1994
	612	525	2,080	雄	1994
3	401	725	7,320	雌	1994
	351	580	3,240	雄	1994
	FOF	495	1,770	雄	1998

*個体番号

は、雌 1 尾と雄 2 尾を水槽に収容し（以下単数群）、2000 年に 1 回、2001 年に 2 回の合計 3 回の試験を実施した。2000 年に用いた親魚群は、2001 年の試験にも使用した。親魚の飼育方法、卵の回収・計数方法および受精卵のふ化方法は渡辺・鈴木¹¹⁾の方法に従った。すなわち、親魚は 50 kl 角形コンクリート水槽に収容し、餌料として冷凍のエビジャコまたはモイストペレットを適宜給餌した。そして、産出された卵の回収率を向上させる目的でエアレーションにより飼育水を攪拌した。水温は、自然水温が 3℃を下回る 12 月から 3℃、3 月上旬には 4℃、中旬に 5℃、下旬に 6℃になるように加温し、その後は 6℃で一定とした。産出した卵は、水槽からオーバーフローさせ、集卵ネットで回収した。採卵は 1 日に 1 回、10 時または 16 時に行った。浮上卵量および沈下卵量をメスシリンダーを用いて計量し、あらかじめ算出した係数 180 粒/ml を乗じて卵数を推定した。浮上卵からランダムに約 200 粒を採取して、実体顕微鏡により受精率および卵発生段階を観察した。得られた浮上卵は、疾病防除の目的でオキシダントを 0.5 mg/l 含む海水で 10 分間消毒後ふ化水槽に収容し、微通気、8℃に調整した海水の流水下で管理した。ふ化終了時に肉眼で正常と判定されるふ化仔魚数を容量法により計数してふ化率を算出した。受精卵の発生段階（4 細胞期～モルラ期）の観察時に、30 粒をランダムに選び、万能投影機で 20 倍に拡大してノギスで卵径を測定した。なお、渡辺・鈴木¹¹⁾が行った産卵開始直後に親魚を取り揚げて採卵す

ることは行わなかった。

本試験における個体ごとの産卵間隔と既報の排卵¹⁰⁾、産卵間隔^{12,13)}との違いについて、クラスカル・ワーリス検定により比較した。有意差が認められた場合には Scheffe の F 検定により多重比較を行った。産卵回数と卵径の比較には t 検定を用いて統計検定を行った。浮上卵率、受精率およびふ化率の比較には、分割表による χ^2 独立性の検定を用いた。

結果と考察

各試験における自然産卵結果を表 2 に示した。

3 尾のマツカワは 3 月下旬から 5 月中旬までの 27～42 日間、2～7 日間隔で産卵し、試験区により産卵開始日と産卵期間が異なった。本種の個体ごとの産卵については、Kayaba *et al.*¹²⁾ および萱場¹³⁾が 4 尾の雌を個別に飼育して水温上昇（6℃から 8℃）による誘発産卵試験を行い（以下誘発単数群）、3 月下旬から 4 月下旬までの 15～28 日間、0～5 日間隔で産卵した例を報告しているが、本試験と同様に産卵開始日と産卵期間が異なっていた。一方、複数の雌を収容して 6℃で飼育した群¹¹⁾（以下複数群）では 3 月中旬から 5 月下旬まで間隔を置きながら 2 カ月以上、8 尾を 1 水槽に収容して水温上昇による誘発産卵を行った群¹²⁾（以下誘発複数群）では 3 月下旬から 5 月上旬までの 44 日間毎日、水槽内で自然産卵した例が報告されている。このように、単数群および誘発単数群の産卵期間は複数群より短い傾向が見られるが、本報告および既報^{12,13)}で明らかとなったように、個体により産卵開始日と産卵期間が異なる可能性があると考えられる。

本報告のマツカワ雌親魚は産卵期間内に 10～11 回産卵し、産卵間隔は平均で 2.9、3.3 および 3.5 日であった（表 2）。既報の排卵間隔は 3.5 日¹⁰⁾、および誘発単数群で受精率が産卵期間を通して高かった個体の産卵間隔^{12,13)}は 3.0 日、2.8 日と計算されるが、本報告の結果も併せて統計検定したところ、これらの排卵・産卵間隔に有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。また、誘発単

表 2. マツカワ天然魚による産卵試験結果の概要

試験区	産卵期間 (日数)	産卵 回数	平均産卵間隔 (日; 範囲)	産卵数 (千粒)	浮上卵数 (千粒)	浮上卵率* ¹ (%; 範囲)	受精卵数 (千粒)	受精率* ² (%; 範囲)	ふ化率* ³ (%; 範囲)
1	2000年4月9日～5月14日 (42)	11	3.5 (2-7)	1,351.8	1,195.2	88.4 (57.9-98.5)	937.5	78.4 (0-96.5)	58.8 (30.2-100)
2	2001年3月26日～4月21日 (27)	10	2.9 (2-3)	926.7	680.4	73.4 (12.1-95.1)	512.5	75.3 (2.0-93.3)	34.3 (7.3-66.7)
3	2001年3月31日～5月3日 (34)	11	3.3 (2-5)	1,276.4	975.8	76.4 (48.9-92.9)	545.2	55.9 (11.8-79.7)	48.0 (4.2-98.8)
既往知見* ⁴	1997年3月18日～4月17日 (29)	20	-	4,619 (923.8)	2,353 (470.6)	50.9	2,029 (405.8)	86.5	55.6

*¹ 浮上卵率 = 浮上卵数 ÷ 産卵数 × 100

*² 受精率 = 受精卵数 ÷ 浮上卵数 × 100

*³ ふ化率 = 正常ふ化仔魚数 ÷ 受精卵数 × 100

*⁴ 渡辺・鈴木(1999). 5尾の雌と3尾の雄による産卵試験結果. 産卵数, 浮上卵数, 受精卵数の () 内の数字は, 1尾あたりを示す.

数群の雌親魚は産卵期間内に8～11回産卵していた^{12,13)}。以上の天然魚と人工生産魚の産卵試験結果から、本種は一般に産卵期間内におよそ3日の間隔で10回程度、1カ月にわたって産卵するものと考えられた。

産卵期間と産卵間隔には種に特有な成熟リズムや産卵生態が認められ、マダイ *Pagrus major*¹⁴⁾では50日間に34回、ヒラメ *Paralichthys olivaceus*¹⁵⁾では3カ月の産卵期間中の66～88%の日で産卵したことが報告されている。両種に比べマツカワの産卵期間は短く、産卵間隔は長い特徴が認められた。

産卵回数ごとに得られた卵数を試験区ごとに図1に示した。浮上卵と沈下卵を合わせた産卵数は産卵初期もしくは後期で少ない傾向が認められた。いずれの雌親魚も最大で1回におよそ18万粒を産卵した。Kayaba *et al.*¹²⁾が報告した誘発単数群の産卵状況も、本試験結果と同様であった。

1997年に天然魚を用いた複数群の自然産卵結果¹¹⁾では、体重4,400～5,900gの雌親魚が平均92万粒を産卵

した。本試験の単数群の産卵数は93～135万粒であった。単数群の産卵数は複数群と同等かそれ以上であった。本試験では体重7,160～7,430gの雌親魚を用いており(表1)、孕卵数は体重と正の相関がある⁹⁾ことから、単数群が複数群の1尾当たりの産卵数を上回ったのは、雌親魚の体重差による影響が考えられる。一方、萱場¹³⁾は本種の雌の収容尾数を多くすることにより、1尾あたりの産卵数の減少、受精率の低下等を観察している。他魚種の水槽内での産卵においても、マダイ¹⁶⁾、カタクチイワシ *Engraulis japonica*¹⁷⁾などで、親魚の飼育密度を低下させると産卵数が多くなるとの報告がある。単数群も複数群も同一形状の水槽に収容しており、飼育密度は単数群で低い。これらのことから、飼育密度が低かったことも単数群の個体当たりの産卵数が複数群より多かった要因として考えられる。

浮上卵数は68～120万粒、受精卵数が51～94万粒、平均浮上卵率は73～88%、平均受精率は56～78%であった(表2)。複数群の1尾当たりが産卵した浮上卵数、受精卵数はそれぞれ47万粒、41万粒と単数群で多かったが¹¹⁾、上述の通り雌親魚の体重が異なるためおよび親魚の飼育密度が低かったためと考えられる。複数群の浮上卵率は51%と単数群の方が有意に高かった(いずれの試験区も $p < 0.05$)。受精率は87%と複数群の方が有意に高かった(いずれの試験区も $p < 0.05$)。受精卵が得られた日の浮上卵の一部をふ化させたところ、平均で34～59%のふ化率が得られた。複数群として自然産卵させて得た受精卵をふ化させた場合および人工授精した場合¹¹⁾と5%の確率で統計的に比較すると、試験区1では複数群の自然産卵および人工授精の結果より有意に高かったが、試験区2,3では有意に低い場合もあり、一定の傾向は認められなかった。

受精率の変化を試験区ごとに図2に示した。試験区1では、2回目と10回目の産卵において受精率が低く、産卵期間を初期(1～3回目)、中期(4～7回目)、後期(8回目～)に区切って平均受精率の検定を行ったところ、中期は初期、後期より有意に高かった($p < 0.05$)。試験区3でも同様の結果が得られた。試験区2では初期の受精率が中期の受精率より有意に高かった($p < 0.05$)。試験区1,3は同一親魚を用いており、この結果は個体差を含めさらに検討する必要がある。

試験区1では受精卵が得られたすべての産卵回数においてふ化率を測定した。試験区2および3では、ふ化試験に供する水槽を十分用意できなかったため、すべての産卵回数におけるふ化率を測定できず、詳細な比較はできなかった。試験区1のふ化率は、2,3,8回産卵時に80%以上と高く、他の産卵回数では30～60%と低かった。Kashiwagi *et al.*は¹⁸⁾、シロギス *Sillago japonica*において、ふ化管理時の水温とふ化率に負の相関関係があることを報告している。しかし、本報告ではふ化管理時

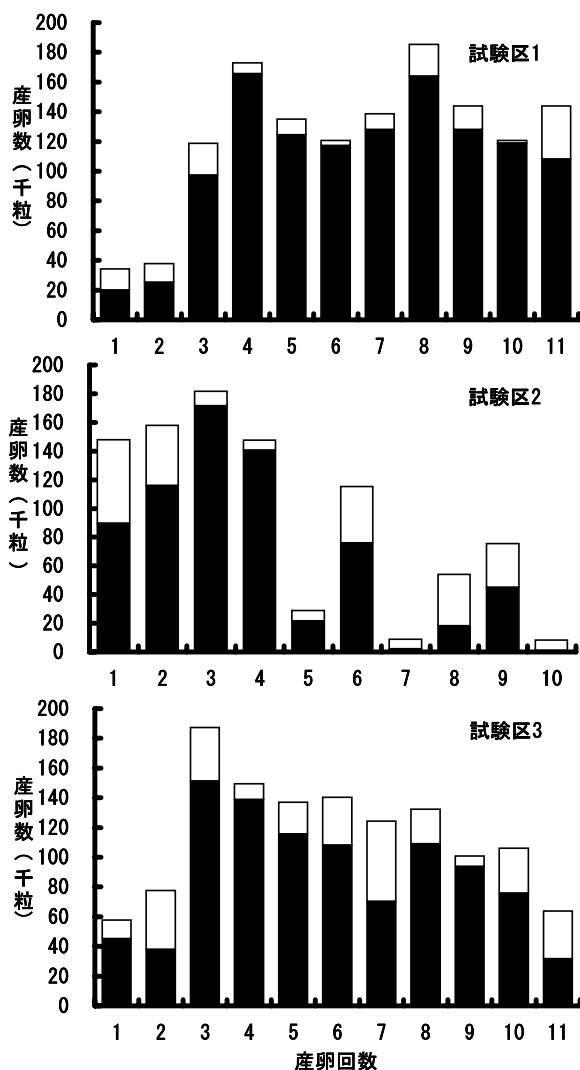


図1. 試験区ごとの産卵回数と産卵数の関係
 ■浮上卵数 □沈下卵数

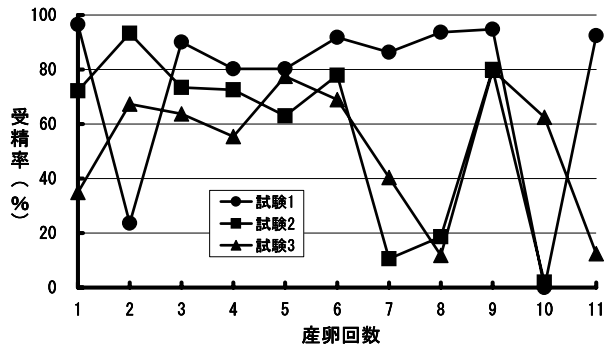


図2. 試験区ごとの産卵回数と受精率の関係

の水温を8℃で一定としており、ふ化率に水温以外に影響する要因の存在が示唆されるが、その要因解明については今後の課題である。

木村・有瀧はイサキ *Parapristipoma trilineatum* において、浮上卵率とふ化率の間に正の相関関係があることを報告している¹⁹⁾。試験区1において浮上卵率とふ化率の相関関係を調べたが、マツカワでは浮上卵率 (FR) とふ化率 (HR) の間に明瞭な関係は認められなかった ($HR = -0.14FR + 71.98$; $r = 0.081$)。他の産卵成績を比較すると、産卵数は8回目で多いものの、特に2回目では少なかった。受精率は、2回目で低いものの、3、8回目では高かったが、より高い産卵回数もあった。これらのことから、産卵期間におけるふ化率の変化に規則性を認めることはできなかった。

各試験区における産卵回数 (TS) ごとの卵径 (ED) の推移を図3に示した。いずれの区においても、卵径は産卵初期に大きく、末期で小さい傾向を示し、試験区1では ($ED = -0.0025TS + 1.88$; $r = 0.482$) の関係が認められた。この回帰係数が1と見なせるか検定したが、確率は0.05未満であり、試験区1における卵径は産卵回数とともに小さくなった。試験区2および3でも同様であった。松浦ら¹⁴⁾は雌マダイ1尾を雄とともに水槽に収容して産卵させた結果について報告している。それによると、卵径の変化は今回の結果と同様の傾向を示していた。松浦らはこの要因として前日の水温が影響し、産卵水温が高いほど卵径が小さくなるとしている。また、1尾の雌を用いた試験ではないが同様のことがシロギス²⁰⁾、キュウセン *Halichoeres poecilopterus*²¹⁾、スジアラ *Plectoropomus leopardus*²²⁾、ヒレナガカンパチ *Seriola rivoliana*²³⁾ およびアカハタ *Epinephelus fasciatus*²⁴⁾ などでも報告されている。マツカワの場合に水温は6℃で一定であり、マダイ等で観察された結果を当てはめることができない。以上のことから、本種では水温と関連はなく、他の要因の介在が考えられ、卵成熟過程や生理的变化などとの関係も調べる必要がある。

いずれの試験区も7,160～7,430gとほぼ同程度の体重の雌親魚を用いているにもかかわらず、試験区1、3

では平均卵径がおよそ1.8～1.9mmの範囲であったが、試験区2ではおよそ1.6～1.8mmと明らかに小さかった。試験区1、3は同一親魚を用いており、この結果は受精率と同様に個体差による可能性が考えられる。

ID401の雌親魚は2000年と2001年の2回試験に供試した(表1)。産卵回数、産卵間隔に有意差は認められなかったが(いずれも $p > 0.05$)、産卵数、浮上卵数、受精卵数は2001年に明らかに少なくなった。表2に示すように浮上卵率、受精率、ふ化率も2001年に低下した(いずれも $p < 0.05$)。この雌親魚は最大全長に近いと考えられ^{1,2,3)}、雄親魚も同一個体を使用した。このため、産卵成績の低下は、雄親魚も含めて加齢による可能性が推察されるが、今後さらにデータを蓄積して検討する必要がある。

マツカワの栽培漁業を推進するには、自然産卵により計画的に大量の受精卵を得ること、短期間に多くの雌か

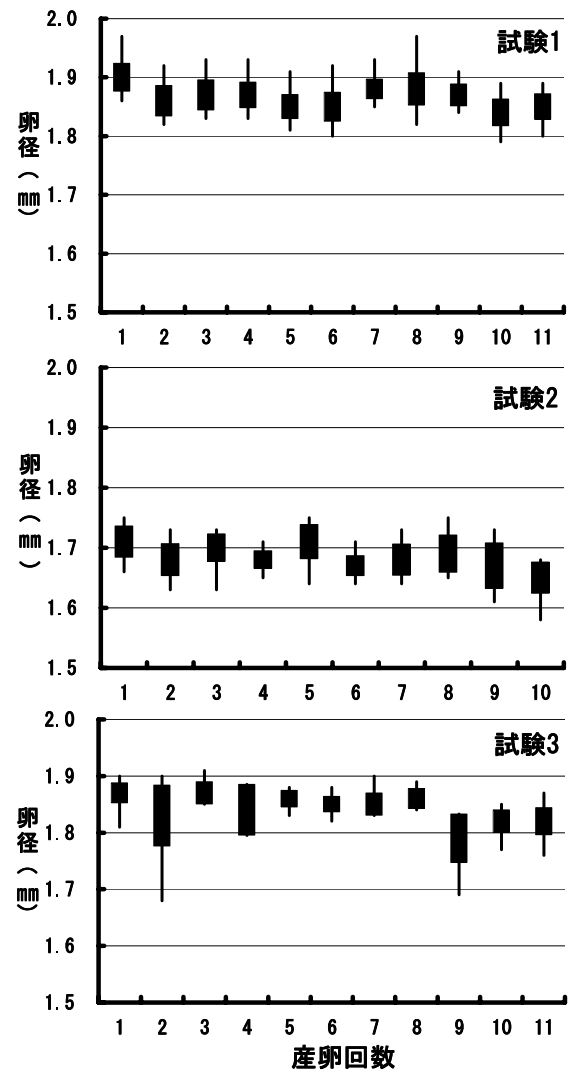


図3. 試験区ごとの産卵期間における卵径の推移

— 最大値
 ■ 平均値 + 標準偏差
 — 平均値 - 標準偏差
 | 最小値

ら同時に採卵することが必要である。そのためには、産卵開始の同調、排卵間隔の同調技術の開発が必要である。さらに萱場¹³⁾は親魚飼育水槽の換水率がマツカワの自然産卵の制限要因となりうることを示しており、複数群として飼育する際の適正な環境等について、さらに検討していく必要があると考える。

謝 辞

旧日本栽培漁業協会参与廣瀬慶二博士に本論文のご校閲をいただいた。ここに記して深謝の意を表する。

文 献

- 1) 疋田豊治. 北日本産鰈類. 水産研究彙報 1934 ; 4 : 187-295.
- 2) 尼岡邦夫, 仲谷一宏, 矢部 衛. [マツカワ]「北日本魚類大図鑑」(尼岡邦夫, 仲谷一宏, 矢部衛)北日本海洋センター, 札幌, 1995, 306.
- 3) 渡辺研一, 鈴木重則, 錦 昭夫. 厚岸湾に放流されたマツカワ人工種苗の移動・成長と放流効果. 栽培技研 2001 ; 28 : 93-99.
- 4) 南 卓志. [マツカワ.]「日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料 (I), 分冊, II. 海産魚類」水産庁, 東京, 1994, 284-288.
- 5) Matsubara T, Sawano K. Proteolytic cleavage of vitellogenin and yolk proteins during vitellogenin uptake and oocyte maturation in barfin flounder (*Verasper moseri*). *J. Exp. Zool.* 1995; 272: 34-45.
- 6) Matsubara T, Koya Y. Course of proteolytic cleavage in three classes of yolk proteins during oocyte maturation in barfin flounder *Verasper moseri*, a marine teleost spawning pelagic eggs. *J. Exp. Zool.* 1997; 278: 189-200.
- 7) 山野目健, 大森正明, 金辻宏明, 河原栄二郎. マツカワにおける雌特異血清蛋白の周年変化と LHRHa コレステロールベレットの産卵促進効果. 岩手水技セ研報 1997 ; 1 : 13-19.
- 8) 山野目健, 田川正朋. 多回産卵魚マツカワにおける卵中甲状腺ホルモンの人為的操作の試みおよび初期減耗に及ぼす効果の検討. 岩手水技セ研報 2000 ; 2 : 21-27.
- 9) 渡辺研一, 南 卓志. 人工生産したマツカワの孕卵数. 日水誌 2000 ; 66 : 1068-1069.
- 10) Koya Y, Matsubara T, Nakagawa T. Efficient artificial fertilization method based on the ovulation cycle in barfin flounder *Verasper moseri*. *Fisheries Sci.* 1994; 60: 537-540.
- 11) 渡辺研一, 鈴木重則. 水槽内におけるマツカワの自然産卵と卵の発生状況から推定した産卵時刻. 日水誌 1999 ; 65 : 408-413.
- 12) Kayaba T, Sugimoto T, Mori T, Satoh N, Adachi S. and Yamauchi K. Induced spontaneous spawning using an increased temperature stimulus in the cultured barfin flounder *Verasper moseri*. *Fisheries Sci.* 2003; 69: 663-669.
- 13) 萱場隆昭. マツカワ種苗生産技術に関する研究. 北海道水産試験場研究報告 . 2005; 69: 1-116.
- 14) 松浦修平, 古市政幸, 丸山克彦, 松山倫也. マダイ1尾による毎日産卵の確認とその卵質. 水産増殖 1988 ; 36 : 33-39.
- 15) 平野ルミ, 山本栄一. 個別飼育実験によるヒラメの産卵周期と産卵数の確認. 鳥取水試報告 1992 ; 33 : 18-28.
- 16) 廣瀬慶二. [最近の成熟, 産卵制御法.]「海産魚の成熟・産卵リズム」(廣瀬慶二編)恒星社厚生閣, 東京, 1991 ; 125-137.
- 17) 鶴田義成, 広瀬慶二. 日本産カタクチイワシ (*Engraulis japonica*) の個体数変動と関連した再生産力の自己調節. 北太平洋漁業国際委員会研究報告 1993 ; 49 : 107-114.
- 18) Kashiwagi M, Sakaki H, Takahashi T, Iwai T. A relationship between egg size and hatching rate in Japanese whiting *Sillago japonica*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1987; 53: 2105-2110.
- 19) 木村清志, 有瀧真人. イサキの種苗生産と仔稚魚の形態形成に関する基礎的研究 -I 水槽内自然産卵. 三重大水産研報 1985 ; 12 : 181-192.
- 20) 柏木正章, 中村総之, 岡田芳和, 山田直博. シロギスの卵径の産卵期間中の周期的変化. 水産増殖 1985 ; 33 : 134-138.
- 21) 木村清志, 桐山隆哉. キュウセン水槽内産出卵の卵径と孵化率, 孵化時間. 水産増殖 1992 ; 40 : 87-92.
- 22) 照屋和久, 升間主計, 本藤 靖. 水槽内でのスジアラの産卵および産卵行動. 栽培技研 1992 ; 21 : 15-20.
- 23) 川辺勝俊, 加藤憲治, 木村ジョンソン, 岡村陽一, 竹ノ内卓夫, 吉田勝彦. 小笠原諸島父島におけるヒレナガカンパチの親魚養成と採卵. 水産増殖 1997 ; 45 : 201-206.
- 24) 川辺勝俊, 加藤憲治, 木村ジョンソン. 小笠原諸島父島におけるアカハタ養成魚からの周年採卵. 水産増殖 2000 ; 48 : 467-473.

原著論文

ホシガレイのふ化に及ぼす水温の影響

平田豊彦^{*1}・石井孝幸^{*2}Effect of Water Temperature on the Egg Hatching of
Spotted Halibut *Verasper variegatus*

Toyohiko HIRATA and Takayuki ISHII

The effect of water temperature on egg hatching was observed at 6°C, 8°C, 10°C, 12°C, and 14°C using the fertilized eggs of Spotted halibut *Verasper variegatus*, sampled from wild fish, released fish growing-up in ocean, and artificially-incubated fish. The hatching rate was highest at around 10°C for all the tested broodstock fish, and hatching time was shorter at higher temperatures. The water temperature at which hatching can occur was estimated to be in the range of 8°C to 12°C. This range is higher than that of the same genus Verfin flounder *Verasper moseri*, and narrower than that of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and Slime flounder *Microstomus achne*. The observed adequate water temperature for egg-hatching control differed from the test results of other organizations to some extent which suggests the difference comes from broodstock management and local ocean conditions. Also, the survival rate of hatched larval fish at the stage of mouth opening showed an increasing tendency at around 10°C, thus allowing the assumption that temperatures around 10°C are favorable for initial survival.

2008年3月31日受付, 2008年9月4日受理

ホシガレイ (*Verasper variegatus*) は、カレイ科マツカワ属の魚で、本邦では主に本州中部以南、日本周辺海域では、ピーター大帝湾から朝鮮半島、および東シナ海から渤海にかけて分布している^{1,2)}。本種は、美味な上に高値で取引されるため独立行政法人水産総合研究センター宮古栽培漁業センター、同瀬戸内海区水産研究所伯方島栽培技術開発センター、宮城県、茨城県、神奈川県、愛媛県、長崎県など国・県の研究機関で新たな栽培漁業の対象種として種苗生産および放流に関する技術開発や調査研究が行われてきた。

本種は、福島県でも市場の価格が1,000～20,000円/kgと高値で、漁獲量も1980年以降7トン未満で推移している高級かつ希少種であるためヒラメ (*Paralichthys olivaceus*) に次ぐ栽培漁業対象魚種に取り上げられ、1991年から本県の水産種苗研究所 (以降種苗研) で種

苗生産技術の開発を行っている。しかし、自然産卵が困難な上に人工授精後の受精率、ふ化率が低いなど採卵状況が安定しないのに加え、仔稚魚期の生残率も高くないことから種苗生産技術は量産規模に達していない。

ホシガレイの卵発生や仔稚魚の発育については、田北³⁾や堀田⁴⁾の報告がある。一方、有瀧⁵⁾は、飼育水温や仔魚の発育と変態に関連した形態異常の出現について関係性を推察した。また、佐久間⁶⁾は、種苗生産に関する試験を行い、漁獲され数十日畜養した天然魚の卵管理水温は、10°Cが適当であるとしている。また、高橋⁷⁾らは、稚魚から養成した親魚 (2, 3, 4歳) の卵の観察から卵管理の適水温は10～12°Cであることを明らかにした。しかし近年、種苗研では天然魚の入手が非常に困難で親魚は漁獲後長期間種苗研で畜養された天然魚 (以下天然魚)、種苗を成魚まで飼育した個体 (以下人工

*1 福島県農林水産部水産課 〒960-8670 福島県福島市杉妻町 2-16

2-16 Sugitsuma, Fukushima, Fukushima, 960-8670 Japan

hirata_toyohiko_01@pref.fukushima.jp

*2 財団法人福島県栽培漁業協会

魚)や放流種苗の漁獲魚(以下放流魚)など由来が多岐にわたっている。

ここでは天然魚と放流魚、および人工魚の2群から得られた受精卵を用い、卵管理時の水温の違いがそれぞれのふ化率やふ化までの日数に与える影響について観察し、既存のデータと比較したので報告する。

材料と方法

試験は2003年2月20日～3月6日まで(以下試験1)と同年2月27日～3月17日まで(以下試験2)の期間に2回行った。試験に用いた卵は、試験1では1999年に福島県水産種苗研究所で生産した天然魚由来の人工4歳魚から得たものを、試験2では福島県相馬原釜漁港に水揚され、種苗研で畜養した天然魚および放流魚から得たものをそれぞれ使用した(表1)。

採卵時の親魚の飼育水温は、試験1では7.9℃、試験2では8.2℃だった。両試験とも卵は乾導法による人工授精で媒精し、100ℓのアルテミアふ化槽(以下ふ化槽)に収容した。ふ化槽の卵は10℃で調温した海水を0.5回転/日でかけ流し、微通で管理した。媒精から5.6時間後にふ化槽の通気と注水を止め、浮上した卵を正常に受精した(以下受精卵)と見なし、試験に供した。試験区の水温は6, 8, 10, 12, 14℃に設定した。受精卵は海水の入った1,000 mlのビーカーに100個を目安に収容

し、試験区ごとに設定した恒温槽もしくは恒温室に2個ずつ静置して卵の観察を行った。ビーカー内の水温は、どの試験区も3～4時間後には設定水温に達した。試験期間中水温は、毎日2回測定・調整した。毎日の観察で、白濁・沈降した卵は死んだ卵(以下死卵)と見なしピペットで除去した。また、予備実験の観察から各ビーカーともふ化仔魚が観察されてから1日後をふ化完了日とし、この時点で未ふ化の卵も死卵とした。ふ化率(ふ化仔魚数/収容卵数×100)は、ふ化完了日にふ化仔魚を計数して求めた。また、ふ化完了日には、各試験区のふ化仔魚を顕微鏡下で観察し、体幹部や尾部が湾曲している個体を奇形として奇形率(奇形個体数/ふ化仔魚数×100)を算出した。ふ化完了後は、それぞれのビーカーを10℃の恒温槽に入れ、開口する7日令まで観察し、ふ化仔魚の生残率(生残尾数/死亡尾数+生残尾数×100)を求めた。

結果

試験1には、親魚7個体から得られた卵271,300個のうちから1,046個を、試験2では親魚3個体から得た卵89,700個のうちから1,060個を試験に用いた。採卵時の水温は、試験1が7.9℃、試験2が8.2℃だった。それぞれの受精率は、試験1が75.8%、試験2が45.5%であった。(表1)

表1. 試験に供したホシガレイ卵の由来

試験回次	採卵日	親魚種別	採卵時飼育水温(℃)	個体No	採卵数(個)	総採卵数(個)	受精率(%)
1	2003.2.20	♂・♀人工4歳	7.9	a	46,500	271,300	75.8
				b	57,400		
				c	81,700		
				d	21,800		
				e	27,400		
				f	25,200		
				g	11,300		
2	2003.2.27	♂・♀養成天然魚 ♂養成天然魚・♀放流魚	8.2	a	26,700	89,700	45.5
				b	16,000		
				a	47,000		

表2. ホシガレイ受精卵水温別管理試験の結果

試験回次	試験月日	設定水温(℃)	平均水温(℃)	サンプルNo	収容卵数	ふ化仔魚数	奇形仔魚数	ふ化率(%)	奇形率(%)	ふ化所要日数	ふ化積算水温(℃・日)	7日令	
												生残数(尾)	生残率(%)
1	2003.2.20 ～3.6	6	6.0 (5.7～7.4)	a	102	0	0	0	0	8	69.6	17	94.4
				b	100	0	0	8	17	81.0			
		8	8.7 (8.5～9.2)	a	105	18	3	17.1	16.7	7	72.8	29	90.6
				b	101	21	43.0	34.4	7	40	93.0		
		10	10.4 (10.0～10.6)	a	102	32	11	31.4	23.8	6	72.6	16	76.2
				b	100	43	23.0	6	20	69.0			
		12	12.1 (12.0～12.1)	a	108	21	5	19.4	0	5	70.0	1	25.0
				b	126	29	3.9	0	5	70.0	1	25.0	
		14	14.0 (13.8～14.1)	a	102	4	0	3.9	0	5	70.0	1	25.0
				b	100	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2003.2.27 ～3.17	6	6.4 (5.3～8.3)	a	105	7	7	6.7	100	11	70.4	2	28.6
				b	110	0	0	0	0	0	0		
		8	8.8 (8.4～9.2)	a	103	25	2	24.3	8.0	8	70.4	22	88.0
				b	104	30	28.8	8	19	63.3			
		10	10.3 (10.3～10.4)	a	111	16	0	14.4	0	7	72.1	14	87.5
				b	104	23	22.1	7	21	91.3			
		12	12.1 (12.0～12.2)	a	107	17	7	15.9	41.2	5	60.5	14	82.4
				b	108	4	3.7	5	4	100			
		14	14.1 (14.0～14.2)	a	103	0	0	0	0	0	0	0	0
				b	105	0	0	0	0	0	0	0	0

表2に試験結果の概要を示す。

試験1 各試験区の平均水温は、6℃区が6.0℃(5.7～7.4℃)、8℃区が8.7℃(8.5～9.2℃)、10℃区が10.4℃(10.0～10.6℃)、12℃区が12.1℃(12.0～12.1℃)、14℃区が14.0℃(13.8～14.1℃)であった。

6℃区は観察開始から6日目に2個とも、14℃区では2個のうち1個で全ての卵が白濁・沈降したため発生が止まったと判断した。そのほかでは、8℃区は8日目に、10℃区は7日目に、12℃区は6日目に、14℃区に残ったものは5日目にそれぞれふ化が完了した。ふ化率は、6℃区は0%、8℃区は17.1%と20.8%、10℃区は31.4%と43.0%、12℃区は19.4%と23.0%、14℃区は3.9%と0%であった。ふ化仔魚の奇形率は、10℃区が34.4%で最も高く、次いで12℃区が23.8%、8℃区が16.7%、14℃区が0%の順になった。ふ化開始までの積算水温は69.6～72.8℃・日であった(表2)。

図1に水温とふ化率の関係を示した。ふ化率は10℃付近が最も高く、それ以上でも以下でも低くなる傾向がみられた。また、図2にふ化仔魚の開口時の生残率を示したが、およそ9～10℃で最も高くなった。

試験2 試験期間中の平均水温は、6℃区が6.4℃(5.3～8.3℃)、8℃区が8.8℃(8.4～9.2℃)、10℃区が10.3℃(10.3～10.4℃)、12℃区が12.1℃(12.0～12.2℃)、14℃区が14.1℃(14.0～14.2℃)であった。

6℃区では観察開始から5日目に2個のうち1個で、14℃区では2個とも全ての卵が白濁し沈降したため発生が止まったと判断した。ふ化率は6℃区が6.7%と0%、8℃区が24.3%と28.8%、10℃区が14.4%と22.1%、12

℃区が15.9%と3.7%、14℃区が0%であった。ふ化仔魚の奇形率は、6℃区で100%となり、次いで12℃区が41.2%、8℃区が8.0%、10℃区は0%で最も低かった。

図3に水温とふ化率の関係を示す。ふ化率は、9℃付近で最も高くなる傾向を示した。ふ化までの所要日数は、試験1同様温度が高いほど短かった。また、表2に示すとおり、ふ化までの積算水温は60.5～72.1℃・日であった。ふ化仔魚の開口時の生残率は、図4のとおり10℃区と12℃区で80%以上と高くなる傾向がみられた。

考 察

試験1、試験2の結果からホンガレイは親魚が天然魚および放流魚と人工魚のどちらの群でも水温10℃前後でふ化率が最も高くなることが示唆された。これは、佐久間⁷⁾らが報告した結果と同様で本種は親魚の由来にかかわらず上記水温帯が最適な卵管理条件であると思われる。

また、ふ化仔魚の開口時の生残率も同様の結果を示したことから、初期生残にとっても10℃前後の卵管理が好条件と思われる。

一方、奇形率は試験1では10℃区で最も高く、逆に試験2では最も低い傾向を示した。安永⁸⁾は、ヒラメのふ化仔魚の奇形率はふ化率と逆の傾向があるとしている。試験2については、これと同様の結果となったが、試験1ではこれとは反対の傾向を示したため、今後、水温以外の環境要因や親魚由来等の生理・生態学的知見も加えた調査が必要と思われる。

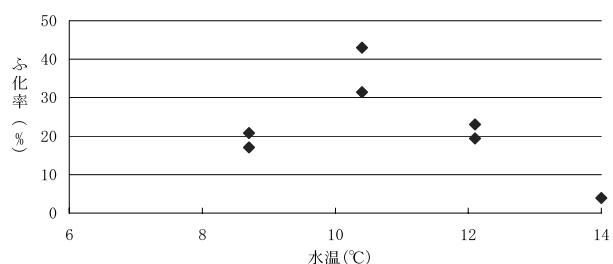


図1. 卵管理水温とふ化率(試験1)

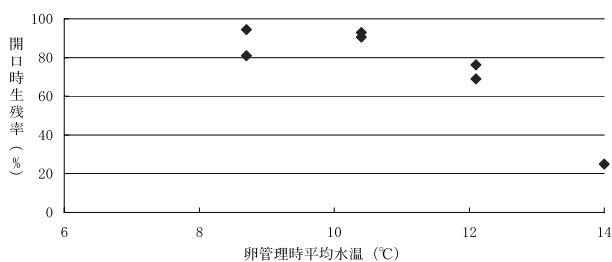


図2. ふ化仔魚の開口時における生残率と卵管理水温の関係(試験1)

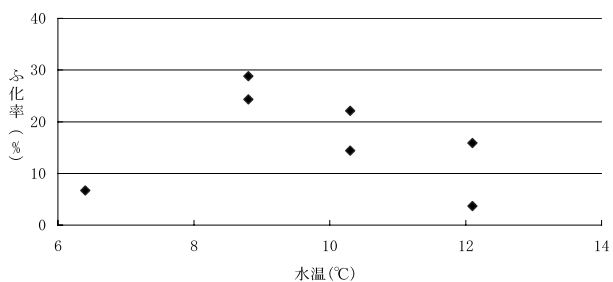


図3. 卵管理水温とふ化率(試験2)

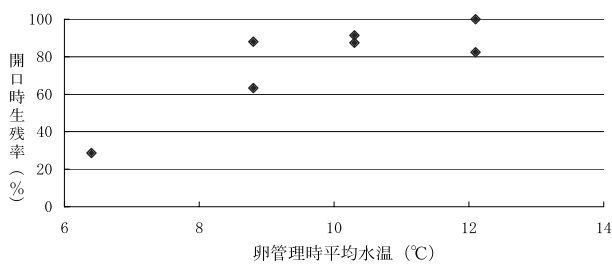


図4. ふ化仔魚の開口時における生残率と卵管理水温の関係(試験2)

高橋⁷⁾らは、近畿大学富山実験場で養成したホシガレイの人工魚から得られた卵を用いて12～18℃で試験を行い卵管理の適水温は、10～12℃付近にあるとしている。また、社団法人日本栽培漁業協会（現独立行政法人水産総合研究センター栽培漁業センター）宮古事業場と伯方島事業場ではそれぞれ畜養した天然魚から得られた卵による観察で、宮古事業場では8～10℃、伯方島事業場では10～12℃付近にふ化適水温があるとしている。⁹⁾一方、涌井¹⁰⁾は種苗研で畜養した天然魚から得られた卵を使用して6～20℃で試験を行い、10℃で最もふ化率が高くなったことから卵管理水温は、8～12℃が好適であるとしている。今回も含め、種苗研での試験結果は高橋らの結果や伯方島事業場よりも低く、宮古事業場よりも高い傾向となり、本種における卵管理の適水温は、飼育条件や地域によって異なる可能性もある。

北海道立栽培漁業総合センターによるとホシガレイと同属のマツカワ (*Verasper moseri*) では、8℃を最高値とし7℃～9℃の範囲で60%以上のふ化率が得られ、この水温帯を発生適水温範囲としている*。今回得られたホシガレイのふ化適水温範囲はマツカワに比べて幾分低い。これは両種の分布範囲が前者は南に、後者は北に偏っているため、それぞれの生息環境が卵発生条件に反映しているものと推察される。

本研究では、試験区のうち最も低い6℃や高い14℃ではふ化しない事例が散見されることから、ホシガレイのふ化可能な水温範囲（ふ化範囲）は8℃～12℃である可能性が高い。これに対し安永⁸⁾は、ヒラメのふ化範囲は低温で10℃、高温で24℃とホシガレイに比べて広いことを報告しており、乃一¹¹⁾もヒラメの卵発生は、水温10～20℃で正常に進行することを明らかにした。

さらに種苗研で行った試験の結果、ヒラメ、ホシガレイと同様の分離浮遊卵を産出するババガレイ (*Microstomus achne*) でもふ化率は7～17℃の広範囲で90%前後と高い値を維持した。¹²⁾

このようにホシガレイのふ化範囲は一部の栽培漁業対象種より狭いことが窺え、良質な仔魚を効率的に得るには卵管理時の水温を好適条件である10℃前後に保持することが極めて重要であろう。

一方、ふ化までの積算水温は、試験1で69.6～72.8℃・日、試験2で60.5～72.1℃・日となり、10℃で管理した場合、6～7日目にはふ化が完了すると推定できる。

福島県ではホシガレイが12～1月に県北部の水深20～40mで多く漁獲されることから、根本¹³⁾らは、この水深帯で本種が産卵する可能性を示唆している。本種の卵は分離浮遊卵であるため、産卵期の表面水温が発生に大きな影響を与える。表3に上記ホシガレイの産卵海域と推定される水深帯（20～40m）の11～3月における平均表面水温値（1976～2005年）を示した。この海域において、表面水温がホシガレイ卵の発生可能となる約8～12℃になる時期は、概ね12月下旬から2月までの2ヶ月間余りである。また、本種の卵に最適な10℃前後になる期間は約1ヶ月と短い。ホシガレイの資源量は元々少ないが、このように再生産に適した物理的環境の限られることが本種の資源量を極めて低く抑えている要因の一つであるとも考えられる。

ホシガレイの種苗生産では、最近、親魚への黄体形成ホルモン放出ホルモンのアナログ（LHRHa）の投与技術の導入などにより、採卵の回数や量等、採卵状況を改善することが可能となってきている。¹⁴⁾しかし、未だふ化率は採卵回次ごとに安定していない。ふ化率を向上させるためには、良質卵を安定して確保することが最も重要と思われるが、卵質を有効に判断する技術は確立されていない。本種において良質卵を安定的に確保するには、親魚の育成技術の検討や本種の成熟・産卵リズムの解明も重要と思われるが、今回実施したように採卵後の卵管理条件等をさらに改善するなど、技術の向上も併せて行っていく必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、データ収集など試験への協力やご助言をいただいた福島県水産種苗研究所の方々、ならびに沿岸水温のデータを提供していただいた福島県水産試験場海洋漁業部の方々へ厚く御礼申し上げます。

表3. 福島県相馬沖における水深別表面水温の平年値

水深 (m)	11月	12月	1月	2月	3月
	平均水温 (°C)	平均水温 (°C)	平均水温 (°C)	平均水温 (°C)	平均水温 (°C)
20	16.25	12.57	8.42	7.26	6.87
30	16.74	13.62	10.15	8.28	7.24
40	16.99	14.35	10.92	8.95	7.72

データは福島県水産試験場が1976～2005年に実施した沿岸海洋観測データに基づく

* 平成17年度栽培漁業技術開発事業（魚類Cヒラメグループ）検討会資料

文 献

- 1) 南 卓志 (1994) マツカワ, 日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料. 水産庁, 東京, 284-288
- 2) 尼岡邦夫・仲谷一宏・矢部 衛 (1995) 北日本魚類大図鑑. 北日本海洋センター, 札幌, pp.307
- 3) 田北 徹・藤田矢郎・道津喜衛 (1967) ホシガレイの卵発生およびふ化仔魚について. 長崎大学水産学部研究報告, **23**, 101-106
- 4) 堀田又治・有瀧真人・田川正朋・田中 克 (2001) ホシガレイの初期生活史: 飼育実験による変態・着底過程の解明. 栽培技研, **29**(1), 59-72
- 5) 有瀧真人・太田健吾・堀田又治・田川正朋・田中 克 (2004) 異なる飼育水温がホシガレイ仔魚の発育と変態に関連した形態異常の出現に及ぼす影響. 日水誌, **70**(1), 8-15
- 6) 高橋範行・村田 修・亀島長治・矢田 茂・植田嘉造・熊井英水 (2000) ホシガレイ養成親魚の人工採卵と卵管理水温. 近大研報, **7**, 43-49
- 7) 佐久間徹 (2001) ホシガレイ種苗生産技術に関する研究. 福島種苗研報, **3**, 1-37
- 8) 安永義暢 (1975) ヒラメ卵稚仔の発生・生残に及ぼす水温塩分の影響について. 東海水研報, **61**, 151-169
- 9) 社団法人日本栽培漁業協会, 2002, 協会研究資料, 81, 「ホシガレイ栽培漁業技術開発推進検討会報告書」, 21-22
- 10) 福島県 (福島県水産種苗研究所), 1992, 事業報告書, 15-16
- 11) 乃一哲久 (1997) 2. 初期生態. 「ヒラメの生物学と資源培養」(南 卓志・田中 克編), 水産学シリーズ, 112. 恒星社厚生閣, 東京, pp.25-39
- 12) 福島県 (福島県水産種苗研究所), 1996, 事業報告書, 7-14
- 13) 根本芳春・藤田恒雄・渡邊昌人 (1999) ホシガレイに関する研究 - I. 福島水試研報, **8**, 5-16
- 14) 渡辺 透・平田豊彦・河合 孝 (2005) LHRHa コレステロールペレットを用いたホシガレイの採卵. 福島種苗研報, **4**, 13-17

原著論文

クルマエビの種苗量産時における 歩脚欠損の発生過程について

山根史裕^{*1}・辻ヶ堂 諱^{*2}

Occurrence Process of Pereiopod Deficits in the Seed Mass Production of Kuruma Prawn *Marsupenaesus Japonicus*

Fumihiro YAMANE, and Akira TSUJIGADO

We observed occurrence process and degree of the pereiopod deficits in the seed mass production of kuruma prawn *Marsupenaesus japonicus* and examined connection with the density as an outbreak factor. The pereiopod deficits were first observed on 5-10 days old postlarvae, and almost all of the prawns on 20 days old postlarvae had this deficit. The pereiopod deficits were not observed by the breeding of the low density, and outbreak frequency became higher as density rose. We guess that the cause of pereiopod deficits are individual interference, and outbreak frequency increases because the tank bottom becomes overcrowded with the growth. Therefore, it is effective in the seed mass production to shift postlarvae to intermediate rearing of low density after 15 days old postlarvae as soon as possible.

2008年4月7日受付, 2008年9月3日受理

日本におけるクルマエビ *Marsupenaesus japonicus* の栽培漁業は、1963年（昭和38年）に瀬戸内海栽培漁業協会（現、独立行政法人水産総合研究センター）で種苗生産の技術開発が開始されたことに始まった¹⁾。それ以降、全国各地で種苗生産・放流事業が展開されており、2007年には約1.2億尾の種苗が放流されている²⁾。クルマエビの種苗生産では、飼育過程で歩脚欠損した個体が出現することが知られている。歩脚欠損個体は正常個体に比べて潜砂能力が劣り^{3,7)}、そのまま放流しても食害による減耗の可能性が高いため、種苗生産後に敷砂のある状態で一定期間の中間育成を実施し、欠損の回復と潜砂能力の向上を図った上で放流するのが一般的である。クルマエビは自然環境下において体長7~9mmに成長した時点で浮遊生活から底棲生活へ移行して着底し⁸⁾、潜砂習性を獲得する⁹⁾。本種の種苗生産過程においては、これらの生態の変化が飼育水槽内で行われる。宇都宮・八

柳³⁾は敷き砂の無いコンクリート水槽で長期間飼育した種苗の歩脚欠損を観察し、発生要因を水槽底面で潜砂行動をするために生じる擦れとしている。一方、石田⁴⁾は歩脚欠損の発生要因について収容密度との関連を詳細に調査し、共喰いを含む個体干渉によるものとしている。このように、クルマエビの種苗生産過程で発生する歩脚欠損には2つの要因が報告されている。しかし、これらは調査対象が小型の網生け簀の飼育群であったり、コンクリート水槽ではあるが、大きさの異なる群を同一水槽で一緒に飼育していることから、現行の種苗量産とは大きく異なる。

種苗量産時の歩脚欠損の発生状況を調査した事例は既に1例あり¹⁰⁾、欠損発生の要因として個体干渉の可能性を示唆しているが、要因の特定には至っておらず、発生時期や発生過程についても不明な点が多い。そこで本研究では、クルマエビの量産規模の種苗生産において、

*1 財団法人三重県水産振興事業団 三重県栽培漁業センター 〒517-0404 三重県志摩市浜島町浜島 3564-1

Mie Prefectural Fish Farming Center, 3564-1 Hamajima, Shima, Mie 517-0404, Japan

asa-pooh.yamane@wine.plala.or.jp

*2 財団法人三重県水産振興事業団

定期的に歩脚を観察して欠損の発生時期、程度を調査するとともに、歩脚欠損の発生要因として収容密度およびコンクリート水槽の影響についても再度検証した。

材料と方法

種苗量産過程における歩脚欠損の発生状況 2004年および2007年に三重県栽培漁業センターで実施した量産規模のクルマエビ種苗生産のそれぞれ1飼育事例について、クルマエビの歩脚欠損の発生状況を調査した。飼育に使用した水槽は、有効水量100kℓの角形コンクリート水槽(8.6m×8.6m×1.7m)で、飼育方法は2事例とも同様である¹⁾。調査はポストラバ5日齢時(P5, 以下同様)から、2004年はP36まで、2007年はP24まで、5日ごとに歩脚欠損個体数、脚の欠損節数、体長を計測した。サンプルは飼育水槽の4点から約100~200尾採取し、実体顕微鏡下で歩脚の他、第1、第2触角、第3顎脚、遊泳肢のそれぞれ左右両対、尾扇の欠損の有無を観察した。また、歩脚に欠損の認められたクルマエビ40~50尾については、それぞれの脚の欠損節数を記録した。観察終了後は、P5、P10、P15のクルマエビは万能投影機を使用して体長を測定した。P20以降のクルマエビの体長は実測した。

収容密度と歩脚欠損発生の関係 歩脚欠損の発生とコンクリートおよび収容密度の関係について調査するため、同様の試験を2回実施した(試験1:2005年実施, 試験2:2007年実施)。飼育容器には、底面をコンクリート敷きにした30ℓ透明パンライト水槽(水量25ℓ)を用いた。水槽にP10のクルマエビをそれぞれ1尾(10尾/m²相当), 10尾(100尾/m²相当), 50尾(500尾/m²相当), 100尾(1,000尾/m²相当)収容し, P25まで飼育した。試験に用いたクルマエビは, 試験1では量産の飼育水槽から歩脚の無欠損個体を実体顕微鏡下で選別して収容したが, 試験2では選別せずにそのまま収容した。試験期間中は, 配合飼料(ヒガシマル社製クルマエビ用配合飼料)を1日3回給餌し, 残餌は適宜除去した。換水は1日40回転の掛け流しとし, 水温は24℃とした。歩脚欠損の観察は, 収容時およびそれ以降5日に1回実体顕微鏡下で実施し, それぞれの脚の欠損節数を記録した。観察個体数は, 収容時およびP15, P20においては, 1尾区および10尾区では全数, 50尾区および100尾区では20~30尾とし, 観察後はクルマエビの体長を測定して再度水槽へ収容した。試験終了時(P25)には4区とも全数を取り上げて歩脚欠損の観察および体長測定を行った。

表1. 2004年と2007年に行われた種苗量産事例におけるクルマエビの飼育結果

年	飼育期間*1	P1		Pn*2	取り上げ			
		尾数 (万尾)	密度 (万尾/kℓ)		平均体長 (mm)	尾数 (万尾)	密度 (万尾/kℓ)	生残率 (%)
2004	5/20~7/5	229.5	2.3	36	20.1	127.9*3	1.3	55.7
2007	5/24~6/27	307.1	3.1	24	14.1	166.9	1.7	54.3

*1 孵化日から取り上げまで。

*2 Pnはポストラバ日齢。

*3 P30で26.4万尾を間引き。

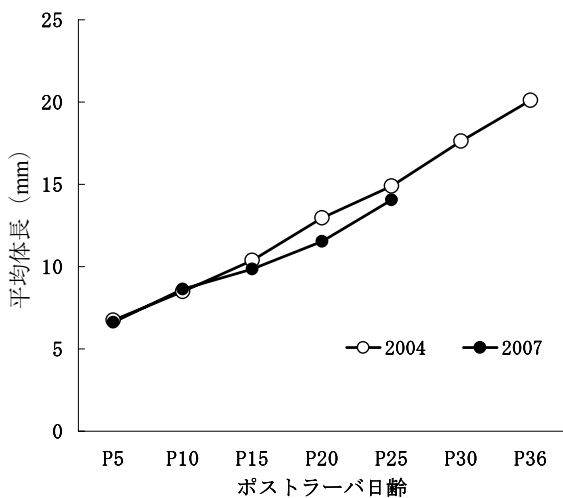


図1. 2004年と2007年に行われた種苗量産時のクルマエビの成長

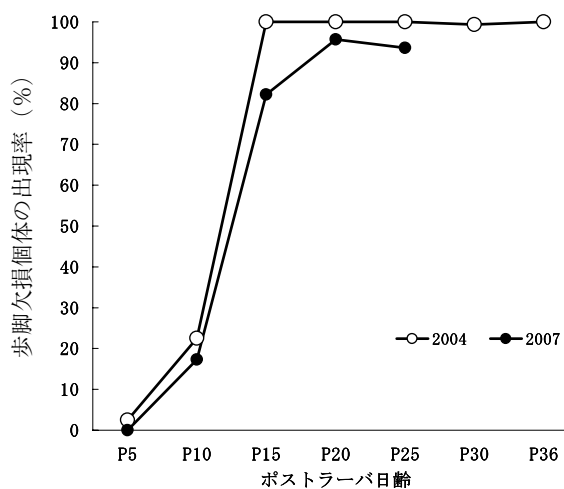


図2. 2004年と2007年に行われた種苗量産時のクルマエビの歩脚欠損個体の出現率の推移

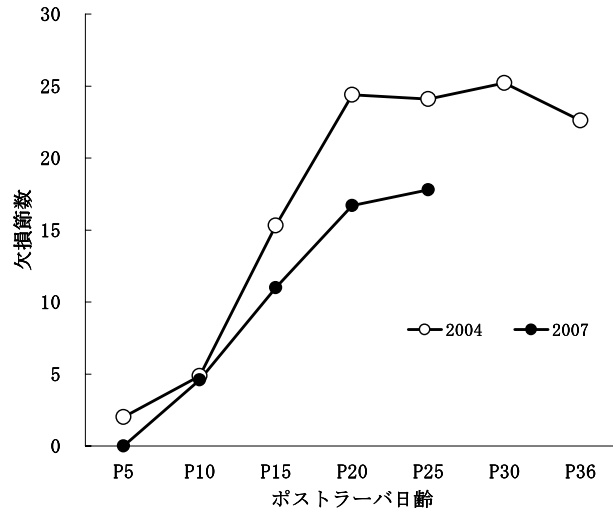


図3. 2004年と2007年に行われた種苗量産事例におけるクルマエビの歩脚欠損個体1尾あたりの欠損節数の推移

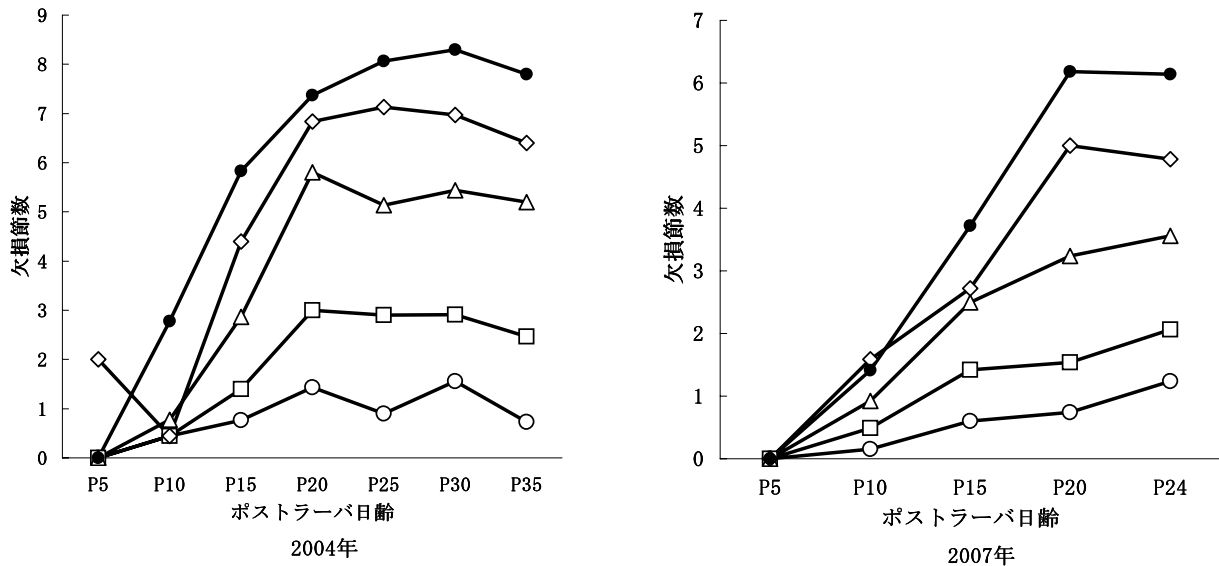


図4. 2004年と2007年に行われた種苗量産事例におけるクルマエビの歩脚欠損個体1尾あたりの部位別欠損節数の推移

○—第1歩脚 □—第2歩脚 △—第3歩脚 ◇—第4歩脚 ●—第5歩脚

結 果

種苗量産過程における歩脚欠損の発生状況 調査を実施した2事例における飼育結果を表1に、クルマエビの成長を図1に示した。P1のクルマエビの生残数は、2004年の飼育では229.5万尾、2007年の飼育では307.1万尾であった。飼育終了時のクルマエビのポストラバ日齢と取り上げ尾数は、2004年の飼育ではP36で127.9万尾（P30で26.4万尾間引き）、2007年の飼育ではP24で166.9万尾であった。P1から飼育終了時までのクルマエビの生残率は、2004年は55.7%、2007年は54.3%であった。2007年のP1におけるクルマエビの生残数は2004年よりも77.6万尾多く、2004年に比べて成長が若

干劣ったが、両事例とも飼育期間中に伝染性疾病等による斃死はみられず、概ね順調に経過した。飼育期間中の歩脚欠損個体の出現率は図2に示すとおり、2004年はP5から、2007年はP10から出現した。2004年のP5のクルマエビの平均体長は6.8mm、2007年のP10のクルマエビの平均体長は8.6mmであった。歩脚欠損個体の出現率は、P15にかけて顕著に増加し、その後は飼育終了時までほとんど全ての個体に欠損が観察された。この間、歩脚以外の第2触角、第3顎脚、遊泳肢の一部に欠損がみられた。特に第2触角は、P20以降観察したほとんどの個体に欠損がみられた。次に、歩脚欠損個体の1尾当たりの欠損節数の推移を図3に、部位別の欠損節数の推移を図4に示した。両事例とも歩脚欠損個体1尾当

たりの欠損節数は飼育日数に従い増加し、部位別にはほとんどの観察日で第5歩脚が最も多く、第1歩脚に向かうに従い少なくなる傾向がみられたが、個体によっては第5歩脚よりも第4歩脚以下の欠損節数が多いものも観察された。

収容密度と歩脚欠損発生の関係 試験1および試験2における各区の生残率および成長を表2に、歩脚欠損個体の出現率を表3に示した。両試験とも1尾区、10尾区では飼育中に死亡はみられず、50尾区、100尾区の取り上げ時の生残率は、試験1がそれぞれ100%および93%で、試験2は88%および80%であり、飼育期間中において伝染性疾病等による死亡はみられなかった。歩脚欠損個体は、1尾区では収容時から試験終了時まで観察されなかった。10尾区は、試験1では収容時から試験終了時まで歩脚欠損個体がみられなかった。試験2では、収容時に60%の個体に歩脚欠損がみられたが、その後回復し、P20以降歩脚欠損個体は出現しなかった。50尾区は、P20までは歩脚欠損個体の出現率が減少あるいは収容時と同様の傾向を示したが、その後増加し、試験終了時には50%（試験1）、90%（試験2）の個体に歩脚欠損がみられた。100尾区は成長とともに歩脚欠損個体が増加する傾向を示し、P20以降試験終了時までほぼ全ての個体に歩脚欠損がみられた。次に、歩脚欠損個体の1尾当たりの欠損節数の推移を表4に、部位別の欠損節数の推移を図5、6に示した。歩脚欠損個体1尾当たりの欠損節数は、欠損個体の出現率に比例して増減し、第5歩脚ほど多く、第1歩脚に向かうにしたがい減少する傾向を示した。

考 察

底面をコンクリート敷きにした小型容器を用いた収容密度別の飼育試験の結果、収容密度の低い1尾区および10尾区では欠損の発生が無い、あるいは収容時の欠損が回復していることが明らかとなった。他方、収容密度の高い50尾区、100尾区では、欠損個体の割合がクルマエビの成長に従い増加した。石田⁴⁾が実施した試験においても、収容密度が高くなるほど歩脚欠損個体の出現割合が高くなる傾向が示されており、本試験において歩

脚欠損の発生と収容密度に深い関係があることが再確認できた。また、低密度区での結果から、歩脚欠損が単一のクルマエビの飼育では発生しないことが示された。これらのことから、歩脚欠損発生の要因は、コンクリート底面で潜砂行動をすることによる擦れではなく、個体干渉によるものと考えられた。種苗量産時の観察結果から、欠損個体はP5～P10（平均体長6～9mm）の時に出現することが明らかとなった。この時期は天然のクルマエビが浮遊生活から底棲生活へ移行する変態期に相当し⁸⁾、飼育水槽内においても底面への着底が顕著になる。この着底（P5～P10）を境に歩脚欠損個体が出現し、以降、P15という早い段階でほとんどの個体に歩脚欠損が観察されたのは、脱皮が深く関係しているものと考えられる。WASSENBERG and HILL¹²⁾は、クルマエビ類の*Penaeus esculentus*の脱皮行動を詳細に観察し、脱皮直後は約22分間横たわり、その後5～6時間じっとして底泥に潜ることを報告している。クルマエビでも、脱皮直後は脱皮殻のそばで数分間じっとしていることが観察されている¹³⁾。これらは、エビが脱皮により消耗し、しばらくは活発に行動できないことを示唆している。また、堀内¹⁴⁾は、飼育水槽内のクルマエビの脱皮を観察し、脱皮は壁際か石レンガ等のシェルターの陰で行われることが多く、飼育尾数が増えると同類をシェルターと誤認して隣で脱皮する事態が発生する可能性を示唆している。以上の事例は、何れも種苗生産期の小型個体を観察したものではないが、飼育水槽内のポストラバも浮遊期から底棲生活期への移行にともない脱皮を着底して行うようになり、その後は成体と同様の脱皮行動をするようになると考えられる。脱皮直後は体が柔らかく、損傷しやすいので、この状態で他個体に干渉されることが欠損の大きな発生要因であると考えられる。欠損が第5、第4歩脚、あるいは第2触角に多発するのは、これらの部位が形態的に長く、外側に位置しているため、鋏脚により攻撃されたり、捕獲されて嚙られたり、あるいは個体間で接触して擦れるためと考えられる。

しかし、石田⁴⁾も述べているとおり、個体干渉が即死亡に結びつくわけではない。歩脚欠損個体の1尾当たりの欠損節数が飼育日数とともに増加することは、成長により水槽底面におけるクルマエビの密度が高くなること

表2. 底面をコンクリート敷きにした小型容器を用いた収容密度別飼育試験におけるクルマエビの生残率および成長

年	試験区	生残率 (%)	平均体長*3 (mm)			
			P10*4	P15	P20	P25
試験1*1	1尾	100	8.6	10.4	12.4	14.0
	10尾	100	8.8	10.2	11.4	12.8
	50尾	100	8.8	10.4	10.9	12.9
	100尾	93	8.8	10.1	11.2	13.0
	100尾	80	8.7	9.8	10.5	12.4
試験2*2	10尾	100	9.0	10.5	11.2	11.8
	50尾	88	8.7	9.8	11.0	12.9
	100尾	80	8.7	9.3	11.8	12.7

*1 2005年実施。

*2 2007年実施。

*3 1尾/槽区は1尾の体長。

*4 ポストラバ日齢。

表3. 底面をコンクリート敷きにした小型容器を用いた収容密度別飼育試験におけるクルマエビの歩脚欠損個体の出現率

年	試験区	P10*3	P15	P20	P25
試験1*1	1尾	0	0	0	0
	10尾	0	0	0	0
	50尾	0	10	0	50
	100尾	0	45	90	89
	100尾	0	0	0	0
試験2*2	10尾	60	30	0	0
	50尾	15	8	18	90
	100尾	15	48	100	100

*1 2005年実施. 無傷害個体を選別して収容。

*2 2007年実施. 量産の飼育水槽から無選別で収容。

*3 ポストラバ日齢。

表 4. 小型容器を使用した収容密度別飼育試験におけるクルマエビの歩脚欠損個体1尾あたりの欠損節数

年	試験区	P10 ^{*3}	P15	P20	P25
試験1 ^{*1}	1尾	0	0	0	0
	10尾	0	0	0	0
	50尾	0	1.0	0	2.5
	100尾	0	2.4	3.6	4.7
試験2 ^{*2}	1尾	0	0	0	0
	10尾	7.8	9.7	0	0
	50尾	5.4	5.0	2.0	4.0
	100尾	5.4	6.0	11.0	10.0

*1 2005年実施。
*2 2007年実施。
*3 ポストラーバ日齢。

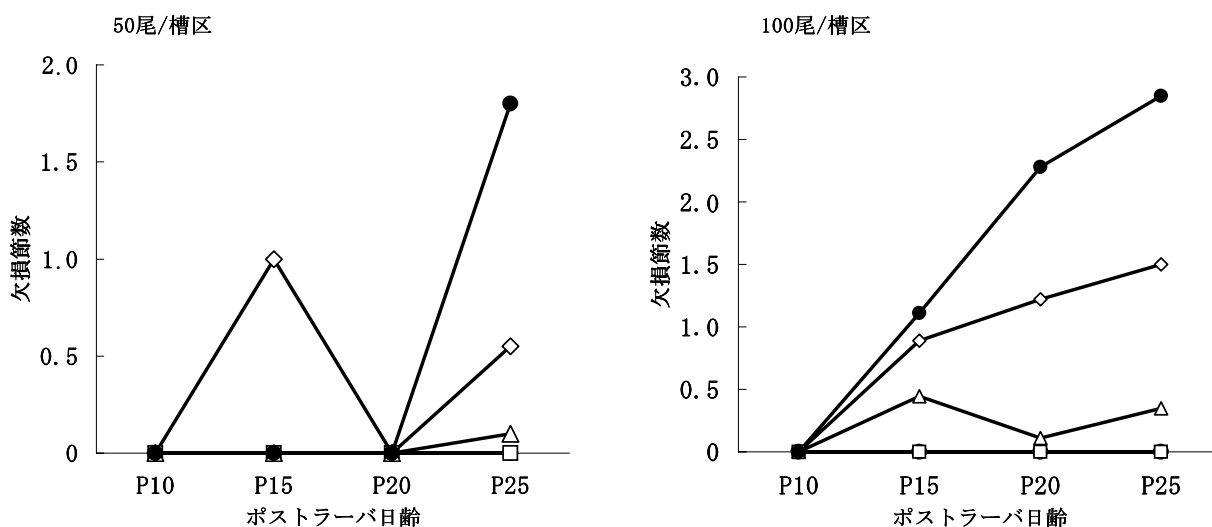


図 5. 小型容器を使用した収容密度別飼育試験における歩脚欠損個体1尾あたりの部位別欠損節数の推移（試験1, 2005年実施）

○ 第1歩脚 □ 第2歩脚 ▲ 第3歩脚 ◇ 第4歩脚 ● 第5歩脚

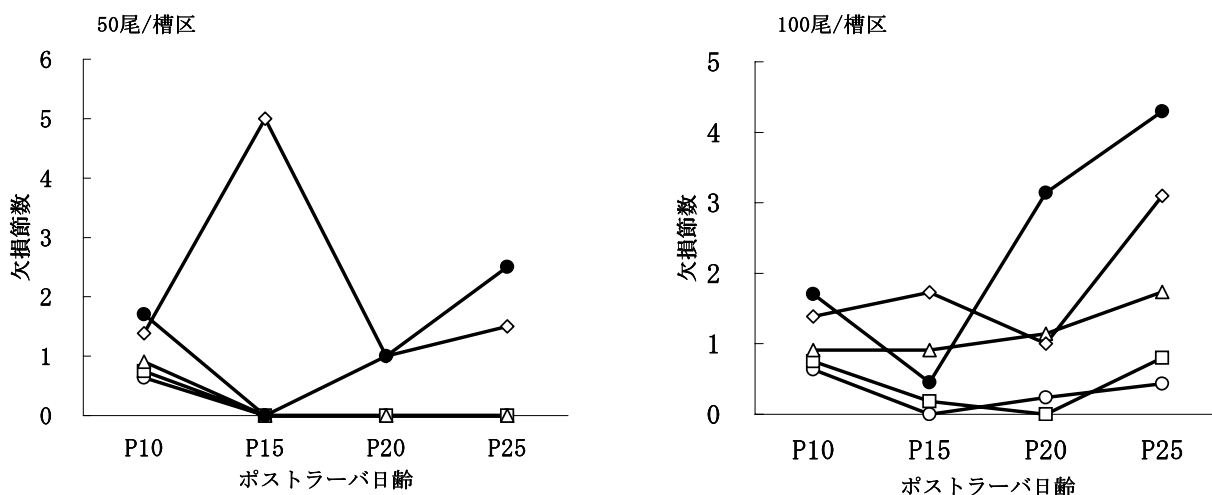


図 6. 小型容器を使用した収容密度別飼育試験における歩脚欠損個体1尾あたりの部位別欠損節数の推移（試験2, 2007年実施）

○ 第1歩脚 □ 第2歩脚 ▲ 第3歩脚 ◇ 第4歩脚 ● 第5歩脚

で、同一個体が繰り返し干渉されるようになることを示しており、この結果、重傷を負い、遊泳、逃避能力がほとんどなくなった個体が共喰いされることにより、生残数が減少するものと考えられる。実際の飼育においても、5対の歩脚の大部分が欠損し、遊泳肢も欠損した重傷個体がP15以降散見されるようになる。また、このような個体干渉の繰り返しは、エビに相当なストレスを与えていると考えられ、疾病の発生も危惧される。

歩脚欠損の発生と拡大は、クルマエビの生活様式が浮遊生活から底棲生活へと変化することに伴い、エビの収容密度が立体的な水槽容量から底面積の問題へと転換することに起因する。収容密度の調整を考慮しないとP15以降は過度の個体干渉の結果、共喰いされる個体が増加することで著しく生産効率が低下する。底面積を基準とした適正密度で飼育することで、コンクリート水槽でも歩脚を含めた附属肢の健全な種苗が得られるものと考えられる。しかし、この場合の飼育密度は相当な低密度と考えられ¹⁵⁾、大量生産する必要がある放流用種苗の飼育では現実的ではない。したがって、量産規模の種苗生産過程では附属肢の欠損が発生することを前提として、P15以降のなるべく早い段階で平面的に低密度の中間育成へ移行することによって、生産効率の向上と疾病防除が図られるものと考えられる。

謝 辞

本論文をとりまとめるにあたり、有益なご助言を頂いた三重県水産研究所の青木秀夫博士に御礼申し上げます。

文 献

1) (社)日本栽培漁業協会 (2003) 日本栽培漁業協会 40 年史, pp. 55.

- 2) 水産庁, 独立行政法人水産総合研究センター, (社)全国豊かな海づくり推進協会 (2007) 平成 17 年度栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績 (全国), pp.90-91.
- 3) 宇都宮 正・八柳健郎 (1975) クルマエビ種苗生産時に出現する欠損エビについて. 栽培技研, 4, 1-6.
- 4) 石田雅俊 (1974) クルマエビ人工生産種苗の潜砂能力, とくに歩脚の障害との関係について. 栽培技研, 3, 11-18.
- 5) 柄多 哲・中村一彦・山本 強・金尾博和・柴田忠士 (1985) 中間育成時の底質条件を異にしたクルマエビ種苗の潜砂粒度について. 兵庫水試研報, 23, 49-55.
- 6) 羽野元秀・長野泰三・川西 敦 (1986) クルマエビ種苗の歩脚欠損と潜砂能力との関連性. 香川水試研報, 2, 31-37.
- 7) 岡田一宏・辻ヶ堂 諱・渡辺公仁・上谷和功・浮 永久 (1993) 陸上水槽によるクルマエビの中間育成と歩脚障害の回復および進行. 三重水技研報, 5, 35-46.
- 8) 倉田 博 (1972) クルマエビ栽培における種苗とその播殖に関する諸原理について. 南西水研報, 5, 33-75.
- 9) 石岡宏子 (1973) クルマエビ人工種苗の生理生態に関する研究. 南西水研報, 6, 59-84.
- 10) 加治俊二・今泉圭之輔 (2003) 栽培漁業技術シリーズ No.9 「クルマエビ種苗生産技術～(社)日本栽培漁業協会志布志事業場での取り組み～」. 日本栽培漁業協会, 東京, 58pp.
- 11) (財)三重県水産振興事業団 (2004) 平成 15 年度三重県栽培漁業センター・三重県尾鷲栽培漁業センター事業報告書, pp.16-17.
- 12) T. J. WASSENBERG and B. J. HILL (1984) Moulting behaviour of the tiger prawn *Penaeus esculentus*(Haswell). *Aust. J. Mar. Freshw. Res.*, 35, 561-571.
- 13) (社)全日本水産写真資料協会 (1973) 日本の水産「車海老」, pp.16-21.
- 14) 堀内洋一郎 (1997) 今月の作業「クルマエビ」- 斃死のメカニズム. 養殖, 34(7), 126-127.
- 15) 石田雅俊 (1989) クルマエビの放流用種苗条件と種苗生産技術研究 (3 報). 福岡豊前水試栽培研究業績集上巻, pp.591.

原著論文

マダラ稚魚の腹鰭抜去標識の有効性

手塚信弘^{*1}・荒井大介^{*2}・島 康洋^{*1}・桑田 博^{*2}Effectiveness of the Fin Removal Marking for Pacific Cod
Gadus macrocephalus Juveniles

Nobuhiro TEZUKA, Daisuke ARAI, Yasuhiro SHIMA, and Hiroshi KUWADA

On the 8th day after marking, the survival rate of a group which was marked by removing the right ventral fin (33~116 mm TL) was higher than the groups with an anchor tag (43~116 mm TL) or loop tag (64~108 mm TL). In observations of marking conditions at 151st day, the proportion of condition A (visually discernible) was 100% for anchor tag, 88% for fin removal, 56% for fin cut and 0% for brand mark. However, since anchor tags many remain embedded in the body with as the cod grow, these results suggest that fin removal marking is the most effective external marking for pacific cod juveniles.

2008年4月23日受付, 2008年9月2日受理

マダラは冷水性の底棲性魚類で、北部日本の重要な漁獲対象種となっている¹⁾。石川県以北から青森県以南の日本海で漁獲されるマダラの漁獲量は1990年以降減少しており、資源量は低位水準で横ばい傾向にあるとされている²⁾。このような状況のなか、栽培漁業によるマダラ資源増大への期待が高まっており、能登島栽培漁業センター（以下、当センター）では1982年からマダラの栽培漁業に関する技術開発を実施してきた。そして、2003年からは年間50万尾を超える種苗を生産し、放流することが可能となった。

一般に、種苗放流の効果把握にあたっては、外部標識を装着した種苗を放流し、再捕報告や市場調査により放流魚の再捕率を明らかにする方法が広く用いられている³⁾。これまでにマダラ1歳魚については、森岡ら¹⁾が1998年に平均全長25 cmの本種の放流魚に背骨型タグ標識を装着、放流して再捕率が7.9%であったことを、久門⁵⁾は2001年に平均全長28 cmでループタグを装着して約1,000尾を放流し、手塚²⁾はこの群の再捕率が11.7%と高かった事を報告している。しかし、本種の生息上限水温は12℃であることから⁶⁾、水温が12℃以下

の期間が短い当センターでは全長30 mmを超える種苗の生産は困難であり²⁾、このような小型魚に外部標識の装着は困難であったことから、これまでマダラ当歳魚の外部標識に関する検討はされていなかった。一方、渡辺ら⁴⁾は日長処理による採卵時期の早期化に成功し、当センターでも種苗生産期間がこれまでよりも長くなったことで全長60 mm以上の種苗を生産することができるようになった。このことにより、外部標識の装着が可能な稚魚の確保が可能となり、放流が可能となった。

そこで、装着タイプの外部標識³⁾からアンカータグ及びループタグを、マーキングタイプ³⁾から鰭抜去、鰭切除及び焼印を選定した。これらの標識について、装着時の全長と生残率の関係、標識の残存性に関する試験を行い、さらに作業効率からも好適な外部標識について検討した。

材料と方法

供試魚の由来 受精卵は、富山県水産試験場との共同研究により深層水施設で日長処理を施した親魚から採卵し

*1 水産総合研究センター, 能登島栽培漁業センター 〒926-0216 石川県七尾市能登島曲町15-1-1
Notojima Station, National Center for Stock Enhancement, Fisheries Research Agency, Notojima, Nanao a, Ishikawa 926-0216, Japan
ntezuka@fra.affrc.go.jp

*2 水産総合研究センター, 業務企画部 〒220-6115 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-3-3

た。仔魚は、50 kℓ 容量のコンクリート水槽で全長約 30 mm まで飼育した。餌料は、仔魚の成長に伴いシオミズツボワムシ、アルテミアおよび初期飼料協和 N400～700（協和発酵）を用いた。飼育水は砂ろ過海水を用い、50～300%/日の換水率で注水した。

標識装着が生残に及ぼす影響の調査では、上述の 50 kℓ 水槽から約 5,000 尾の稚魚を 8 kℓ 容量の FRP 水槽に移し、機械冷却により水温を 10℃ に維持しながら、初期飼料協和 700（協和発酵）を給餌して飼育した後に試験に供した。また、標識の残存状況の観察では、上述の 50 kℓ 水槽の稚魚を海上の生簀網に沖出し、夜間燈火で集めたプランクトンと初期飼料協和 C1000（協和発酵）を給餌して全長約 70 mm まで飼育して試験に供した。

外部標識の装着方法 標識の装着作業にあたっては、供試魚を海水水で水温 1～3℃ に冷却した海水に 0.5～5 分間浸漬して麻酔した。アンカータグ（US-15 mm：日本バノック）は、タグガン（303X, X-N 針付き：日本バノック）を用いて第 2 背鰭後端と側線の中央部やや背鰭側に魚体を貫通させて装着した。ルーブタグ（Lox No.3：日本バノック）は、中空の塩化ビニール製の針（直径 2 mm、長さ 20 mm）を用いてアンカータグと同様に装着した。鰭抜去は、毛抜きを用いて右腹鰭を担鰭骨ごと抜去した。鰭切除は、解剖バサミを用いて右腹鰭を鰭の基部で切除した。焼印は、岩本ら⁷⁾に従って、コードレス半田ゴテ（コテライザーオートミニ：中島銅工）を用いて、アンカータグ装着部と同様の場所と総排泄口左上の 2ヶ所に直径約 3 mm の円型の焼印をつけた。

標識装着が生残率に及ぼす影響 試験区は、鰭抜去、アンカータグおよびルーブタグの各標識区と、麻酔をかけるが標識を装着しない麻酔区、および 8 kℓ 水槽から稚魚をすくい試験水槽に移しただけの対照区の合計 5 区を設定し、さらにそれぞれの区ごとに稚魚のサイズによって 4 または 7 の小区を設けた。小区での標識装着時の稚

魚の平均全長は、試験魚以外の 30 尾の全長を測定して求めた結果、鰭抜去区、麻酔区および対照区は 33, 43, 50, 61, 68, 81, 116 mm になり、小型魚に装着すると死亡することが予想されたアンカータグ区およびルーブタグ区、それぞれ 43, 50, 61, 68, 81, 116 mm および 64, 74, 88, 108 mm になった。供試魚数は各区のどのサイズも 30 尾とし、標識装着後 8 日目の生残尾数を調べた。

試験水槽は、70 ℓ 容量のプラスチック製水槽を用いた。飼育水は、冷却した砂ろ過海水を使用し、300～500%/日の換水により水温を 10℃ に維持した。初期飼料協和 C1000（協和発酵）を 9 時～17 時の間に 0.5～2 時間に 1 回、1～2 g/回を手撒きで給餌した。毎日、死亡魚は試験区から除去し計数した。

標識の残存状況の観察 試験区は、アンカータグ区、鰭抜去区、鰭切除区、焼印区の各標識区、および 8 kℓ 水槽から稚魚をすくい試験水槽に移しただけの対照区の 5 区を設定した。標識装着尾数はアンカータグ区が 226 尾、鰭抜去区が 235 尾、鰭切除区が 248 尾、焼印区が 248、対照区が 390 尾であった。標識装着後 8 日目の各区の生残数はそれぞれ 184, 227, 248, 208, 390 尾であった。これから標識の装着が不完全な個体、それぞれ 13, 21, 12, 20, 0 尾を除去し、観察開始時の各区の尾数を、それぞれ 171, 206, 236, 188, 390 尾とした。観察開始時の平均全長はそれぞれ、73.2, 75.7, 73.5, 75.9, 74.4 mm であった（表 1）。

試験水槽は、500 ℓ 容量のポリカーボネイト製水槽を用いた。飼育水は砂ろ過海水を使用し、300～500%/日の換水により飼育水温を 11℃ に維持した。初期飼料協和 C700, 1000（協和発酵）およびヒラメ稚魚用 1 号（丸紅飼料）を自動給餌器（YDF-100S：ヤマハ）で、6 時～18 時の間、15 分に 1 回、5～20 g/回を給餌した。飼育水槽は 60 日後に 2 kℓ 容量の円型 FRP 水槽に換えた。

観察開始後 151 日目の調査終了時に全個体を取り上げて、生残数と全長を調べ、標識の残存状態を観察した。標識の残存状態は目視観察により、A [一目で判別可

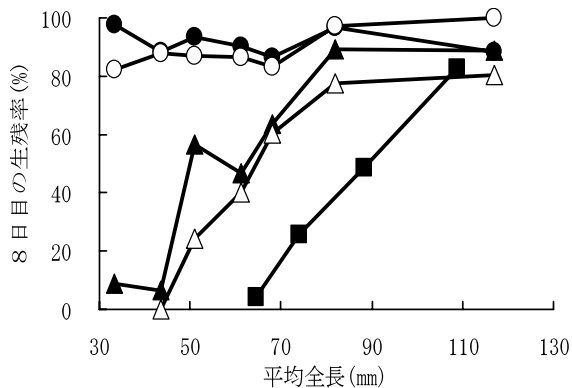


図 1. 標識装着時の平均全長と装着後 8 日目の生残率
 ▲：鰭抜去区 △：アンカータグ区
 ■：ルーブタグ区 ●：対照区
 ○：麻酔区

表 1. 標識の残存試験各区における試験魚の成長と生残

試験区	試験開始時		試験終了時 ^{*1}		
	尾数 (尾)	全長 (mm)	尾数 (尾)	生残率 (%)	全長 ^{*2} (mm)
アンカータグ	171	73.2 ± 2.6 ^{*3}	52	30.4	141.6 ± 11.9
鰭抜去	206	75.7 ± 3.5	88	42.7	147.6 ± 10.4
鰭切除	236	73.5 ± 3.6	104	44.1	146.7 ± 12.7
焼印	188	75.9 ± 4.6	47	25.0	141.5 ± 12.8
対照	390	74.4 ± 3.3	151	38.7	148.8 ± 12.1

*1 : 151 日目

*2 : 分散分析の結果、各試験区に有意差無し ($p < 0.05$)

*3 : 平均 ± 標準偏差

表 2. 各標識の装着作業効率

標識	装着時の全長範囲 (mm)	事例数 (例)	作業効率*1 (尾/時/人)
アンカータグ	43~81	6	234 ± 0.69
鰭除去	33~81	7	186 ± 0.67
鰭切除	73	1	186
ループタグ	64~108	4	132 ± 0.50

*1: 平均±標準偏差

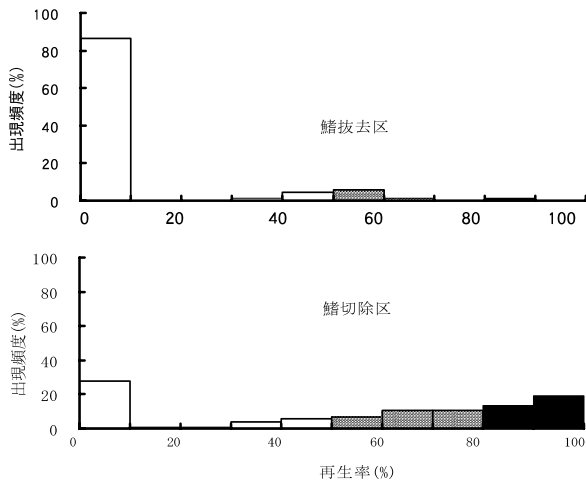


図 3. 観察終了時（151 日目）の鰭除去区と鰭切除区の鱗の再生率と標識の残存状況

□ A: 一目で判別可能 ■ B: よく見ると判別可能 ■ C: 判別不可能

能], B [良く見ると判別可能], C [判別不可能] の 3 段階に分け, 各残存状態の尾数を生残数で除して残存率 (%) とした。鰭除去区と鰭切除区の鰭の再生状況を評価する目的で, 再生した腹鰭の長さを未処理の左腹鰭の長さで除して鰭の再生率 (%) とした。

外部標識の装着作業効率 前述の標識の残存状況の観察のための標識装着作業時に, 装着尾数を作業開始から終了までの時間と作業人数で除して, 作業効率 (尾/時/人) とした。

結 果

標識装着が生残率に及ぼす影響 各区の標識装着時の平均全長と標識装着後 8 日目の生残率の関係を図 1 に示した。平均全長 33 mm の時の麻酔区の生残率は 82% で, 対照区の 98% に比べて低かったが, 平均全長 43 mm 以上では, 両区が生残率の差は小さくなった。

平均全長 43 mm 以下のアンカータグ区と鰭除去区が生残率は 0 ~ 6% と低かったが, 平均全長 68 mm では 60% と 63%, 平均全長 81 mm では 78% と 83% となり,

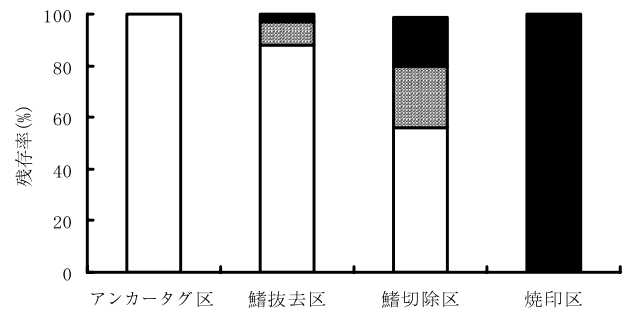


図 2. 観察終了時（151 日目）の標識の残存率

□ A: 一目で判別可能 ■ B: よく見ると判別可能 ■ C: 判別不可能

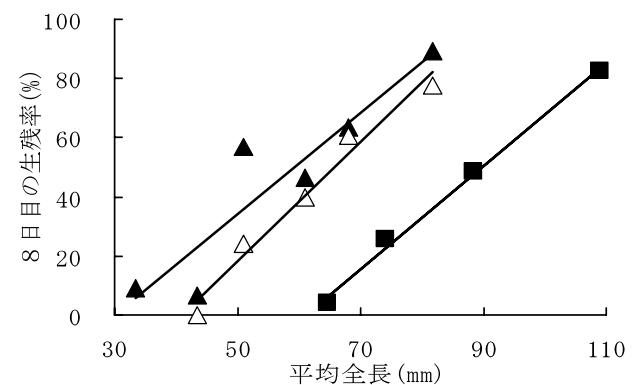


図 4. 標識装着時の平均全長と装着後 8 日目の生残率の関係

▲: 鰭除去区 △: アンカータグ区 ■: ループタグ区

表 3. 各標識区の平均全長と装着後 8 日目の生残率の間の関係式

標識区	全長範囲 (mm)	関係式	相関係数	データ数
鰭除去区	33~ 81	$y = 1.7x - 51.0$	0.923	6
アンカータグ区	43~ 81	$y = 2.0x - 82.7$	0.987	5
ループタグ区	64~124	$y = 1.7x - 105.8$	0.998	4

生残率は平均全長が大きくなるとともに高くなる傾向があった。また, アンカータグ区が生残率は常に鰭除去区よりも低かった。ループタグ区が生残率は平均全長 74 mm では 26% と低かったが, 平均全長 109 mm では 82% に達した。

標識の残存状況の観察 試験終了時の各区の平均全長は 141 ~ 148 mm の範囲にあり, 分散分析の結果, 各区の平均全長に有意な差は見られなかった (表 1)。試験終了時の残存状態 A の個体の割合は, アンカータグ区で 100%, 鰭除去区で 88%, 鰭切除区で 56% であった (図 2)。また, 焼印区が生残状態 A と B の個体の割合は 0% で (図 2), 全ての個体が識別不能な残存状態であった。

鰭抜去区と鰭切除区の再生率は、全く再生していない0%の割合が鰭抜去区で86%、鰭切除区で29%で、再生率100%の個体の割合は鰭抜去区で0%、鰭切除区で19%であった。また、残存状態Aの群の鰭の再生率(図3)は0~50%、Bは50%以上80%未満、Cは80%以上であった。

各外部標識の装着作業効率 標識の装着作業の効率は、アンカータグが234尾/時/人、鰭抜去と鰭切除が186尾/時/人、ループタグが132尾/時/人であった(表2)。

考 察

標識装着が生残に及ぼす影響調査において、麻酔区の生残率と対照区の差は小さく、低水温での麻酔は全長33~116mmのマダラ稚魚の生残に影響を及ぼさないと考えられた(図1)。

標識装着時の平均全長と装着後8日目の生残率の関係において、鰭抜去区は平均全長33~81mm、アンカータグ区は平均全長43~81mm、ループタグ区は64~108mmの範囲で、有意な正の相関関係($p > 0.01$)が得られ(表3, 図4)、同じ生残率を得るためにはループタグでは放流魚のサイズを最も大きくする必要があり、ついでアンカータグ、鰭抜去の順になると考えられた。また、アンカータグ区は、標識の残存性と装着作業効率が鰭切除や鰭抜去よりも高かったが(表2, 図2)、装着後の生残率は鰭抜去や鰭切除に比べて低かった(図1)。また、アンカータグはマダラの放流後の成長に伴い体内に埋没する可能性が考えられ、これらの結果を総合的に判断すると、当歳魚の標識はアンカータグよりも鰭抜去と鰭切除が適していると考えられた。一方、観察開始後151日目の鰭抜去区と鰭切除区の鰭の再生率は、鰭切除区が86%で鰭抜去区の29%よりも高かった(図3)。小

型魚への装着性、標識装着後の生残率及び標識の残存状況を総合的に判断すると、マダラ当歳魚の外部標識には鰭抜去が最も適していると考えられた。

今回の試験結果では、全長68mmの稚魚に鰭抜去標識を施した場合の標識後8日目の生残率は63%であったが、全長81mmの稚魚であれば生残率は83%に達した。稚魚の大量標識放流を行うにあたっては、より確実に標識を行う必要があることから、今後は好適な飼育水温期間内に全長80mm程度の稚魚を生産する手法を開発する必要がある。また、1歳魚では放流後3年まで再捕報告が得られていることから¹⁾²⁾、稚魚の標識試験においても放流魚が市場に水揚げされるまでの期間を想定して、長期間の標識の残存状態を確認する必要がある。

文 献

- 1) 森岡泰三・山本和久・堀田和夫・大槻観三(1998) 石川県能登島沖に放流されたマダラ人工種苗の成長と移動. 栽培技研, 27, 11-26.
- 2) 手塚信弘(2006) 親魚飼育の具体例-マダラ. 水研センター研報別冊4, 147-149.
- 3) 大河内裕之(2006) 栽培漁業技術開発の最前線-II 放流効果の調査手法と標識技術. 日水誌, 72, 450-453.
- 4) 渡辺研一・堀田和夫・桑田 博(2005) 富山県水産試験場で海洋深層水を用いて飼育したマダラ親魚の日長処理による採卵時期の早期化. 栽培漁業センター技報, 3, 4-8.
- 5) 久門一紀(2001) 回帰型回遊性魚種の放流技術開発, マダラ放流技術開発, -日本栽培漁業協会事業年報(平成13年度). pp.07-109.
- 6) 森岡泰三・桑田博(2002) 七尾北湾とその沖におけるマダラ稚魚の生息上限水温と食性. 日水誌, 68, 345-350.
- 7) 岩本明雄・藤本宏・山崎英樹・津崎竜雄・熊谷厚志・早乙女浩一(2001) ガス充填式半田ゴテを用いた焼印標識の実用性について. 栽培技研, 29, 13-20.

原著論文

携帯型アスピレーターを用いたトラフグ耳石の 大量収集法の開発

鈴木重則^{*1}・町田雅春^{*2}・成生正彦^{*1}・榮 健次^{*3}

A Novel Method for Mass-Collecting Otoliths Using a Portable Aspirator in Tiger Pufferfish *Takifugu rubripes*

Shigenori SUZUKI, Masaharu MACHIDA, Masahiko NARIU and Kenji SAKAE

Takifugu rubripes is one of the most important species for stock enhancement in Japan. To develop a method of evaluating the stocking effectiveness of released puffer juveniles marked on otoliths by alizarin complexone, we examined the mass-collecting of otoliths from a pufferfish-processing plant. The otolith collection efficiency by the aspiration method using a portable aspirator (81% collected) was significantly better than the conventional scrape method (33% collected). By the aspiration method, otoliths could be collected from 8.7% of the fish landings in Shizuoka Prefecture in the 2007 season. These results demonstrated that stocking effectiveness can be evaluated with high accuracy by this collection system using a portable aspirator.

This report was reviewed over their findings and practices having been worked by JASFA and FRA during 20 years (from 1985 to 2005).

2008年5月1日受付, 2008年8月15日受理

トラフグ *Takifugu rubripes* は北海道以南の太平洋沿岸, 日本海, 東シナ海, 黄海および渤海に分布する我が国における重要な水産資源である¹⁾。しかし, 近年におけるトラフグ資源は乱獲等の影響により, 資源水準は低い上に, 資源動向は横ばいもしくは減少傾向にあると評価されている²⁾。そのため, トラフグ資源を安定的・持続的に利用するためには, 人工種苗放流も含めた資源管理が必要である。独立行政法人水産総合研究センター南伊豆栽培漁業センターでは2000年より, 三重県水産研究所資源開発管理研究課, 愛知県水産試験場漁業生産研究所および静岡県水産技術研究所浜名湖分場等と連携して, トラフグ伊勢・三河湾系群を対象とした栽培漁業による水産資源の持続的利用を目指した研究開発に取り組んで

いる。三重県, 愛知県および静岡県の沿岸におけるトラフグ人工種苗の放流効果調査では, 放流群別に異なる色の蛍光イラストマー標識を胸鰭基部に装着して, 放流適地の探索など様々な比較放流試験を実施してきた^{3,4)}。今後は小型サイズの比較群を含めた放流試験の実施を計画していることから, 卵や仔魚でも標識の装着が可能なALC耳石標識⁵⁾の利用を検討している。しかし, ALC耳石標識は, 標本魚を入手・解剖して頭部より耳石を摘出し蛍光顕微鏡で観察しなければ標識が確認できない。さらに, トラフグのような高級魚が対象の場合には, 大量の標本魚を購入して精度の高い調査を行うことは予算および産業ニーズの両面から困難である。胸鰭切除標識とALC耳石標識のダブル標識方法により, 放流魚のみ

*1 独立行政法人水産総合研究センター 南伊豆栽培漁業センター 〒415-0153 静岡県賀茂郡南伊豆町石廊崎 183-2 Minami-Izu Station, National Center for Stock Enhancement, FRA 183-2, Irouzaki, Minami-Izu, Kamo, Shizuoka, Japan sshige@affrc.go.jp

*2 独立行政法人水産総合研究センター 宮津栽培漁業センター

*3 独立行政法人水産総合研究センター 能登島栽培漁業センター

を効率的にサンプリングする追跡調査も行われているが⁹⁾、本研究開発で計画している全長3～4 cmの小型種苗はハンドリングに弱く、胸鰭切除標識やアンカータグ等の外部標識を施すことは難しい。さらに、放流効果調査の実施には多大な労力と経費が必要であり、予算的制約が益々厳しくなる中で、精度の高い調査の継続的な実施が困難となりつつある。そのため、試験研究機関からは、限られた予算で実施可能な新たな放流効果調査手法の開発が望まれている。トラフグは猛毒のテトロドトキシンを含むため、卵巣や肝臓等の有毒部位および、毒性が不明な脳や眼球を取り除く、いわゆる身欠き処理が行われるが、その処理には免許を持つ専門の調理師が従事しなければならない。身欠き処理の効率化を図るため、トラフグを水揚げする漁港周辺にふぐ専門の加工場が設置され、一括して大量処理される場合が多い。この毒を持つために流通・加工経路が限定されるトラフグ産業の特徴に着目し、ふぐ専門の加工場において身欠き処理の過程で取り除かれる非可食部のうち、脳およびその周辺組織のみを収集し、この中から大量の耳石サンプルを得ることでALC耳石標識を利用した放流効果調査が実施可能か試験した。また、トラフグ頭部から耳石を効率的に採取する方法について検討したので、その結果を報告する。

材料と方法

供試魚 供試魚は遠州灘で底延縄等により漁獲され、舞阪漁港（静岡県浜松市）または、福田漁港（静岡県磐田

市）に水揚げされた後、遠州灘ふぐ調理用加工協同組合（静岡県浜松市、以下、加工場と略す）まで活魚輸送されたトラフグである（図1）。加工場に持ち込まれたトラフグのサイズを把握するために、身欠き処理される直前に全長、体長、体重を毎月25～100尾について測定した。サイズの測定はすべて加工場において実施した。なお、静岡県では漁獲された魚体重700 g以下の小型魚については、資源保護のため再放流されている。

耳石の採取 トラフグ耳石の効率的な採取方法を検討するため、後述する「掻き出し法」と「吸い取り法」の2種類の方法で脳およびその周辺組織を採取し、耳石の採取効率を比較した。耳石の採取試験はすべて加工場において実施した。トラフグ活魚は低温麻酔後に頭部を切り落とし、その頭部を正中線上で半分に分るなどの身欠き処理を施した後に、両側の頭蓋腔内から脳およびその周辺組織を採取した。脳およびその周辺組織の採取作業は加工場の従業員1名が実施した。トラフグの耳石は肉眼で確認することが難しいことから、採取作業中に頭蓋腔内に耳石が残存しているかの確認は行わなかった。なお、脳およびその周辺組織のサンプルは加工場より無償で提供を受けた。

掻き出し法 掻き出し法では、箸の頭部を大きく斜めにカットした天削タイプの割り箸1本を利用した。半分に分ったトラフグ頭部の頭蓋腔内を割り箸の先端で掻き出し、脳およびその周辺組織を調理用ボウルに受けて収集した（写真1）。その後、保存用のビニール袋（サイズ200×200 mm、ラミネートフィルム製）に移し替えて冷凍保存した（写真2）。

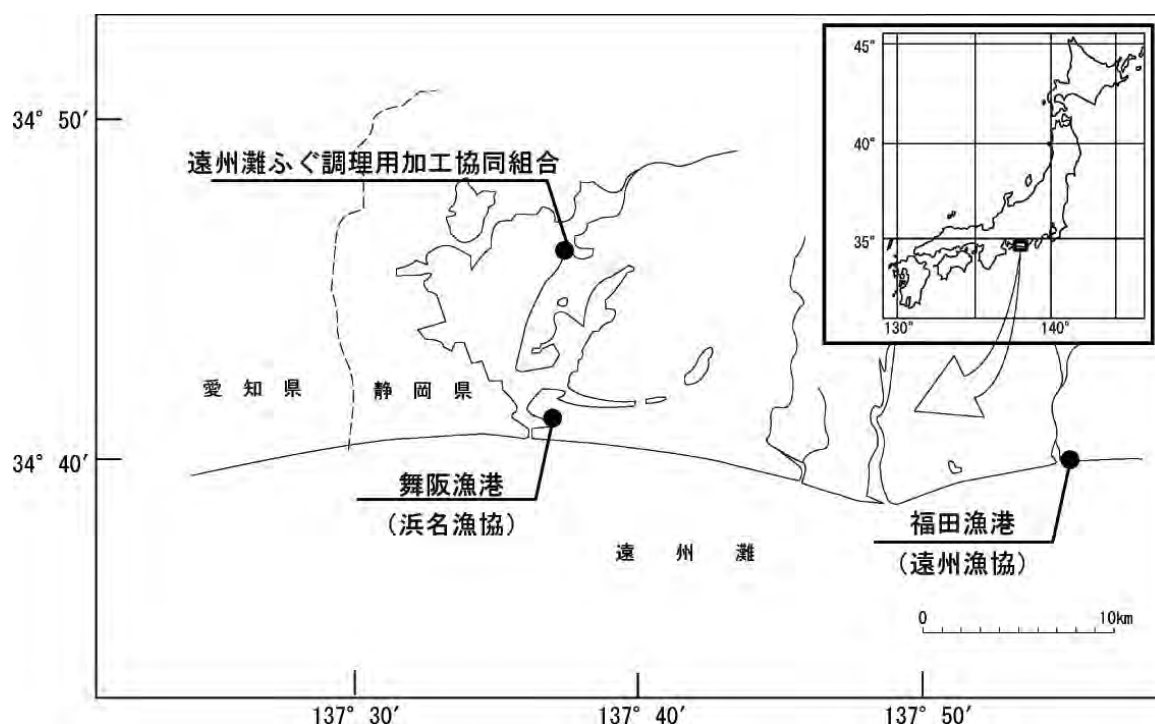


図1. 静岡県におけるトラフグ主要水揚げ市場（舞阪漁港・福田漁港）および遠州灘ふぐ調理用加工協同組合の位置



写真1. 掻き出し法によるトラフグ頭部からの耳石の採取
割り箸を利用して頭蓋腔内を掻き出し、脳および
その周辺組織を調理用ボウルに受けて収集した。



写真2. 処理日ごとに個別のビニール袋に入れられたトラフグ
の脳およびその周辺組織
袋には処理日、水揚市場および処理尾数が記入されて
いる。

吸い取り法 吸い取り法では、採取作業に携帯型アスピレーター（M20、メファー社製）を使用した（写真3）。アスピレーターのチューブには付属のシリコンチューブ（外径12mm・内径8mm）を利用し、チューブの先に容量10mlのポリエチレン製駒込ピペットを取り付けた。なお、駒込ピペットは口径が5mmとなるように先端をカットした。吸引ボトルには500ml容量のものを使用した。ボトル内には予め保存用のビニール袋を広げ

てセットし、吸引した脳およびその周辺組織をそのまま冷凍保存できるようにした。脳およびその周辺組織の採取は、チューブの先に取り付けた駒込ピペットを筆記具のように片手で持ち、頭蓋腔内全体を吸引することにより行った。なお、アスピレーターの吸引力は能力最大（排気流量15ℓ/分）に設定した。

扁平石の選別および測定 収集した脳およびその周辺組織は、処理日ごとに個別のビニール袋に入れて加工場の冷凍庫で保管し、約2週間毎に南伊豆栽培漁業センターに輸送した。脳およびその周辺組織をビニール袋のまま温水に浸して解凍した後、オープニング100μmのネットを張ったざるに移して水道水の流水で血液等を洗い流した。これをシャーレに移して実体顕微鏡下で扁平石のみを取り出した。得られた扁平石については個数を計数した後、万能投影機（Nikon PROFILE PROJECTOR V-12）で50倍に拡大し、耳石長および耳石高をデジタルノギス（Mitutoyo CD-S15C）で測定した（図2）⁷⁾。2種類の採取方法により得られた扁平石のサイズに有意差が認められるか Welch-t 検定により検証した。採取および選別等作業が扁平石の破損に及ぼす影響を調べるために、耳石の損傷状況を観察した。裂溝で分断されている扁平石を損傷耳石とし、耳石損傷率を損傷耳石数/採取耳石数×100で算出した。2種類の採取方法により耳石損傷率に有意差が認められるかカイ二乗検定により判定した。掻き出し法および吸い取り法で収集した耳石の採取効率率は採取耳石数/(処理尾数×2)で算出した。2種類の採取方法により耳石採取効率率に有意差が認められるか二群の比率の差の検定により判定した。なお、損傷耳石の採取耳石数については、裂溝から上部は複数個に碎片化している場合が見られたために、裂溝から下部のみを採取耳石数としてカウントした。

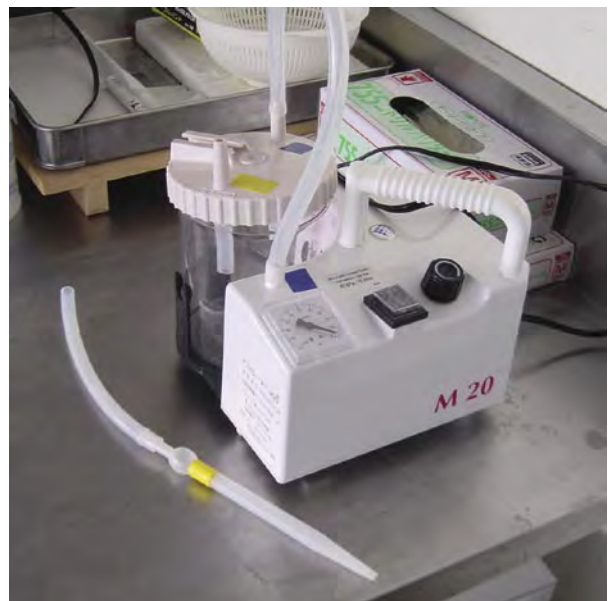


写真3. トラフグ耳石の採取試験に利用した携帯型アスピレーター（M20・メファー社製）

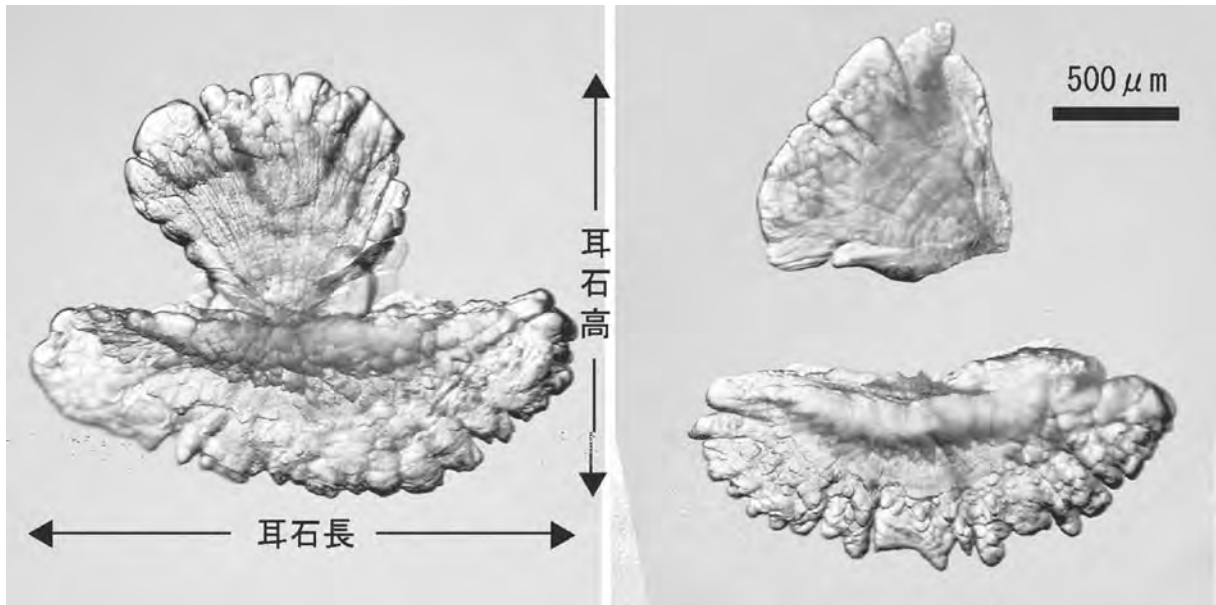


図2. ふぐ加工場において収集したトラフグ耳石
 左：通常の耳石（耳石長：2.19 mm，耳石高：1.71 mm）
 右：採取および選別作業により損傷した耳石（耳石長：2.05 mm）
 損傷耳石については，三日月型の下部のみを採取耳石数としてカウントした。

結 果

掻き出し法による採取試験は2005年10月～2006年2月に，吸い取り法による採取試験は2007年10月～2008年2月に実施し，各期間に加工場に持ち込まれた全てのトラフグを採取試験に供試した。掻き出し法に供試したトラフグのサイズは，全長35～61 cm，体長29～52 cm，体重0.73～5.20 kg (n=228)であった。また，「吸い取り法」の採取試験に供試したトラフグのサイズは，全長34～48 cm，体長28～40 cm，体重0.64～2.56 kg (n=249)であった（表1-1，2）。加工場で身欠き処理されたトラフグの尾数および採取した耳石の個数は，掻き出し法では3,068尾および2,036個，吸い取り法では7,255尾および11,778個であった（表2）。耳石採取効率，掻き出し法で33.2%，吸い取り法で81.2%であり，掻き出し法に比べて吸い取り法が優れていた ($Z_0=66.98$ $p<0.01$)。吸い取り法による各月の耳石採取効率は78～83%と高い値で安定していた。耳石損傷率は，掻き出し法で3.9%，吸い取り法で4.0%であり，損傷した耳石の割合は同程度に低かった（掻き出し法非損傷耳石：1,956個，掻き出し法損傷耳石：80個，吸い取り法非損傷耳石：11,310個，吸い取り法損傷耳石：468個， $\chi^2 = 0.00967$ ，自由度 = 1， $p>0.05$ ）。得られた耳石のサイズは，掻き出し法の試験期間では耳石長が平均1.99 mm（範囲0.84～3.57），耳石高が平均1.61 mm（0.90～2.73 mm）であり，吸い取り法の試験期間では耳石長が平均1.94 mm（範囲0.81～3.26），耳石高が平均1.56 mm（0.68～2.32 mm）であった（図3）。2種類

の採取方法で得られた耳石サイズは，耳石長および耳石高ともに有意差が認められた（耳石長 $t=6.43$ ， $p<0.001$ ，耳石高 $t=11.95$ ， $p<0.001$ ）。

考 察

本試験の結果により，加工場の身欠き処理過程で取り除かれる脳およびその周辺組織を採取することで，トラフグの耳石を大量に収集できることが明らかとなった。さらに，携帯型アスピレーターを用いて脳およびその周辺組織を吸引して採取する方法により，耳石を効率的に採取できることが明らかとなった。吸い取り法により効率的に耳石が採取できた要因としては，携帯型アスピレーターによる方法自体が優れていることに加えて，トラフグの耳石サイズが耳石長および耳石高ともに2 mm前後と小さく，携帯型アスピレーターの能力でも吸引することが可能であったこと，および冷凍保存用のビニール袋を予め携帯型アスピレーターの吸引ボトル内にセットしたことにより，工程が単純化され耳石の紛失を防止できたことなどが考えられた。吸い取り法による予備採取試験を冷凍保存後のトラフグ頭部を使用して行ったところ，耳石の納まる膜迷路組織が脱水され，頭蓋腔の壁面に強く付着した状態となり，耳石採取効率は50%程度と低かった。一方，加工場で身欠き処理されるトラフグは，活魚で入荷後，短時間で処理され，脳およびその周辺組織の採取に供する頭部が新鮮な状態であったため，高い採取効率が得られたと考えられた。

本試験による耳石の採取では，(1)採取作業を加工場

表 1-1. 掻き出し法による耳石の採取試験に利用したトラフグのサイズ

測定年月	測定数 (尾)	全長(cm)			体長(cm)			体重(kg)			
		平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	
2005	10	100	38.9	35	43	33.4	30	38	1.07	0.73	1.45
2005	11	49	39.9	35	44	34.3	29	38	1.16	0.81	1.56
2005	12	25	40.7	38	46	34.7	32	38	1.27	0.98	2.01
2006	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	2	54	47.5	40	61	40.1	33	52	2.43	1.20	5.20
全体	228	41.4	35	61	35.3	29	52	1.43	0.73	5.20	

表 1-2. 吸い取り法による耳石の採取試験に利用したトラフグのサイズ

測定年月	測定数 (尾)	全長(cm)			体長(cm)			体重(kg)			
		平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	
2007	10	64	36.3	34	40	30.4	28	34	0.84	0.68	1.04
2007	11	40	37.3	35	40	31.5	29	34	0.91	0.66	1.21
2007	12	50	38.9	34	45	32.8	29	37	1.06	0.64	1.72
2008	1	52	39.1	35	43	32.7	30	35	1.08	0.79	1.42
2008	2	43	39.8	37	48	33.3	30	40	1.18	0.80	2.56
全体	249	38.3	34	48	32.1	28	40	1.01	0.64	2.56	

表 2. 加工場におけるトラフグ身欠き処理の実施状況およびトラフグ耳石の月別採取結果

採取方法	加工年月	水揚市場	稼働日数 (日)	処理尾数 (尾)	採取耳石数 (個)	耳石採取効率 ^{※1} (%)	耳石損傷率 ^{※2} (%)	
掻き出し法	2005	10	舞阪・福田	18	1,841	1,123	30.5	2.1
	2005	11	舞阪・福田	17	576	428	37.2	7.4
	2005	12	舞阪・福田	11	171	101	29.5	9.7
	2006	1	舞阪・福田	12	340	244	35.9	3.8
	2006	2	舞阪・福田	9	140	140	50.0	3.6
	小計			67	3,068	2,036	33.2	3.9
吸い取り法	2007	10	舞阪	22	2,574	4,296	83.4	4.3
	2007	11	舞阪	15	1,670	2,619	78.4	3.2
	2007	12	舞阪	18	1,693	2,775	82.0	4.8
	2008	1	舞阪	14	931	1,456	78.2	2.1
	2008	2	舞阪	8	387	632	81.7	5.7
	小計			77	7,255	11,778	81.2	4.0
合計			144	10,323	13,814	66.9	4.0	

※1 耳石採取効率=採取耳石数/(処理尾数×2)

※2 耳石損傷率=損傷耳石数/採取耳石数

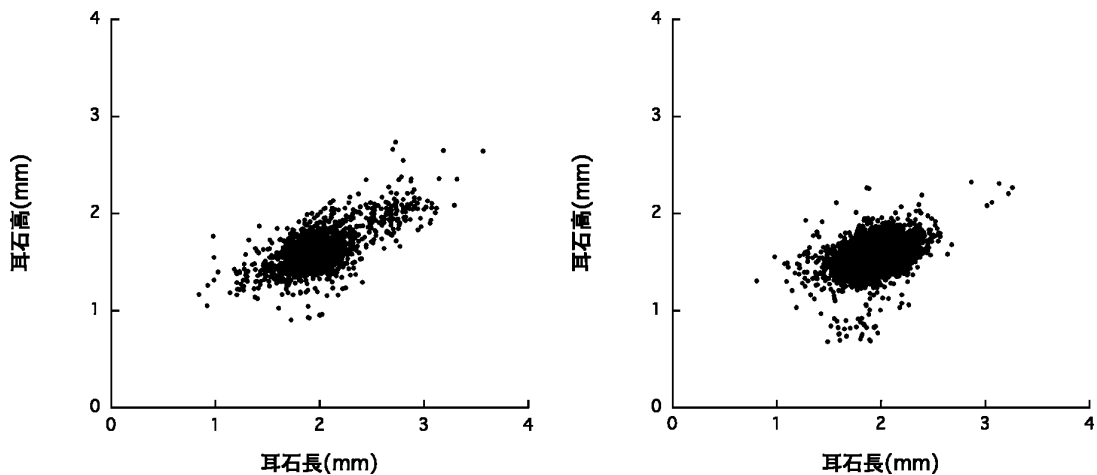


図 3. ふぐ加工場において採取したトラフグ耳石（扁平石）の耳石長と耳石高の関係

左：2005年10月～2006年2月に掻き出し法で採取した扁平石

右：2007年10月～2008年2月に吸い取り法で採取した扁平石

の従業員が実施すること、(2)耳石を確認しながら採取作業を進めるわけではないこと、(3)非可食部である脳を取り除くための作業が主体であることから、トラフグ1尾から得られる扁平石の個数は0個、1個または2個とばらつきのあることが予想される。1個体から得られる耳石個数のばらつきが大きい場合には、放流効果の推定にあたり実用に耐えうる精度の結果を得ることが困難となる。この問題を解決するためには、各個体から得られる扁平石の個数を均一にすること、すなわち耳石採取効率を高めて耳石を取り残し無く採取する方法を開発することが必要となるが、吸い取り法では耳石採取効率が81.2%と高く、十分に精度の高い調査を実施できる可能性が示唆された。耳石損傷率は両採取方法ともに4%程度であり、放流効果を推定するための有標識率調査を実施する上で大きな障害とはならないと考えられた。耳石損傷率が低かった原因としては、トラフグ耳石の採取および選別作業中、扁平石は耳石膜に覆われた状態であり、物理的損傷を受けにくいと考えられ、本手法の実用性が示された。2種類の採取方法で得られた耳石サイズが異なっていた原因については、表1に示した通り供試魚のサイズがそれぞれの試験期間で異なっていたことが影響している可能性が高い。しかし、トラフグのサイズと耳石サイズとの関連性は明らかにされておらず、両者のサイズについて関連性を明らかにするための調査・研究が必要である。吸い取り法による試験期間である2007年10月～2008年2月には、1万個を超える大量の耳石を採取することができた。松村⁸⁾は、鮮魚店および料理店からトラフグ頭部の提供を受けて放流効果調査を実施しており、その調査尾数は年間68～243尾、標本抽出率は5.4～18.3%であったと報告している。吸い取り法の採取試験と同期間に静岡県内で水揚げされたトラフグは67.5トン^{*1}、同期間に舞阪漁港に水揚げされたトラフグの平均体重は1.0kg^{*2}であったことから、加工場には静岡県内に水揚げされたトラフグの10.7%(7,255/67,500)が持ち込まれ、そのうち8.7%(7,255×0.812/67,500)の個体から耳石が採取されたと推定された。つまり、標本抽出率は8.7%と算出され、本手法を用いることにより静岡県内においても松村⁸⁾と同程度の精度で放流効果調査が実施可能であると考えられた。

表1に示した通り、加工場で処理されるトラフグは魚体重1kg程度の小型魚が中心であった。しかし、舞阪漁港および福田漁港では全長50cm、体重2kgを超えるトラフグも水揚げされる⁹⁾。このことは加工場で処理されるトラフグは小型魚に偏っており、無作為抽出されていないことを意味している。よって今後は、漁港に水揚げされるトラフグと加工場で処理されるトラフグのサイ

ズ組成等の差異を水揚伝票のデータから明らかにし、本耳石収集法と組み合わせた放流効果評価手法を検討する必要がある。

加工場から採取した耳石を利用して、放流効果を評価するためには、前述の通りまだ解決しなければならない課題が残されている。しかし、本調査手法は標本魚を購入する必要がないことから、限られた予算で実行可能な新たな放流効果評価手法になり得ると期待される。ただし、本調査を継続的に実施するためには、その目的および必要性を加工場に対して十分に説明し、理解を得ることが最も重要である。また、採取する脳およびその周辺組織の毒性については明らかにされていないことから、関連法令を遵守するとともに、その取扱いには十分な留意が必要である。

謝 辞

本試験を行うにあたり、御協力を頂いた遠州灘ふぐ調理用加工協同組合の新村祥一理事長、新村行司工場長ならびに従業員の皆様に深くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 林 小八(1997) 現状と展望. 「トラフグの漁業と資源管理」(多部田修編), 恒星社厚生閣, 東京, 9-15.
- 2) 水産庁・独立行政法人水産総合研究センター(2007) 平成18年度我が国周辺水域の漁業資源評価(魚種別系群別資源評価・TAC種以外) 第3分冊 1392-1456.
- 3) 大河内裕之・町田雅春・田中寿臣・小泉康二・阿知波英明・甲斐正信・中西尚文・中島博司(2006) トラフグの長期飼育試験から推定したイラストマー標識の脱落率とその補正法. 栽培技研 34(1), 53-58.
- 4) 田中寿臣・中西尚文・阿知波英明・町田雅春・大河内裕之(2006) トラフグ放流効果調査におけるイラストマー標識の適用. 栽培技研 34(1), 43-51.
- 5) 松村靖治(2005) アリザリン・コンプレクソン並びにテトラサイクリンによるトラフグ *Takifugu rubripes* 卵および仔稚魚の耳石標識. 日水誌 71, 307-317.
- 6) 松村靖治(2005) 有明海におけるトラフグ *Takifugu rubripes* 人工種苗の当歳時の放流効果と最適放流方法. 日水誌 71, 805-814.
- 7) 大泉 宏・渡邊 光・空 雅利・川原重幸(2001) 日本近海に生息するハダカイワシ科魚類の耳石による種同定マニュアル. CD-ROM Version 1.1J. 独立行政法人水産総合研究センター遠洋水産研究所
- 8) 松村靖治(2006) 有明海におけるトラフグ *Takifugu rubripes* 人工種苗の産卵回帰時の放流効果. 日水誌 72, 1029-1038.
- 9) 小泉康二(2006) スタートは好調!? ～トラフグ漁解禁～. はまな(静岡県水産試験場浜名湖分場広報誌) NO.516, 6-8.

*1 静岡県ふぐ漁組合連合会

*2 鈴木未発表

短 報

ウナギ仔魚飼育方法を応用したハモ仔魚飼育の試み

加治俊二*¹・西 明文*²・橋本 博*³・今泉 均*³・足立純一*⁴Trial for Rearing Pike Eel *Muraenesox cinereus* Larvae
by Applying the Japanese Eel Larvae Rearing MethodShunji KAJI, Akefumi NISHI, Hiroshi HASHIMOTO,
Hitoshi IMAIZUMI, and Junichi ADACHI

We tried to rear pike eel larvae by applying Japanese eel larvae rearing method on which feeding was done by impelling larvae to locate the food on the bottom of rearing tank using their negative phototaxis. At first, we reared them by this method. But they were dead within 10 or 11 days after hatching as same as larvae without feeding. According to observation of negative phototaxis of pike eel larvae, it rised in proportion to a rise of illumination below 3,000lx and was almost steady above 3,000lx. So, we tried to feed larvae rising illumination to 4,000lx from 250-400lx. They survived on and after 11 days after hatching (one survived for 43 days after hatching), and some larvae obviously grew (one was 24.9mmTL). This result suggested it was possible to rear pike eel larvae applying Japanese eel larvae rearing method.

2008年5月1日受付, 2008年8月15日受理

ウナギ目魚類には重要な水産資源であるハモ *Muraenesox cinereus*, ウナギ *Anguilla japonica*, マアナゴ *Conger myriaster* などが含まれるが, それらにはレプトケファルス幼生期があり, その種苗生産技術は確立されていない。マアナゴについては, Horie *et al.*¹⁾が人工授精により受精卵及びふ化仔魚を得ているが, 良質卵の確保には至っておらず, 仔魚飼育は行われていない。ウナギについては, Tanaka *et al.*^{2,3)}が仔魚飼育方法を検討し, サメ卵を主成分とする液状飼料を用いることでシラスウナギまでの育成に世界で初めて成功しているが実験規模の域を出ていない。一方, ハモについては, 1970年代の瀬戸内海のハモ漁獲量の減少を受けて, 親魚養成や採卵技術の開発に社団法人日本栽培漁業協会上浦事業場

(現独立行政法人水産総合研究センター養殖研究所上浦栽培技術開発センター)などが取り組み, 加温刺激あるいはホルモン投与により自然産卵で受精卵を大量採卵し, 仔魚の飼育も試みたが, 適正な初期餌料が見出せず, その育成は成功していない⁴⁻⁷⁾。

志布志栽培漁業センターでは2001年より, ウナギとハモを対象にして, レプトケファルス幼生期という特異な仔魚期を持つウナギ目魚類の種苗生産技術開発への取り組みを開始し, ハモについては, 加温刺激やホルモン投与に依らない自然産卵による安定大量採卵に成功して良質な仔魚の確保が可能となった⁸⁾。本報告では, ウナギ仔魚で開発された飼育方法^{2,3)}を応用したハモ仔魚の飼育方法について検討した結果を報告する。

*¹ 独立行政法人水産総合研究センター 南伊豆栽培漁業センター 〒415-0153 静岡県賀茂郡南伊豆町石廊崎183-2
Minami-Izu Station, National Center for Stock Enhancement, FRA 183-2, Irouzaki, Minami-Izu, Kamo, Shizuoka, Japan
kajis@fra.affrc.go.jp

*² 独立行政法人水産総合研究センター 奄美栽培漁業センター 〒894-2414 鹿児島県大島郡瀬戸内町俵崎山原955

*³ 独立行政法人水産総合研究センター 志布志栽培漁業センター 〒899-7101 鹿児島県志布志市志布志町夏井205

*⁴ 独立行政法人水産総合研究センター 栽培管理課 〒220-6115 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-3-3
クイーンタワーB 15階

材料と方法

給餌飼育試験 1 供試したハモ仔魚は日向灘、志布志湾、八代海で漁獲されたハモを陸上水槽で3～4年養成した親魚から自然産卵によって得た。容量法によって、日齢3～4の仔魚200～300尾をイセエビ幼生用に開発されたボール型飼育容器⁹⁾(実水量10ℓ)に収容し、水温23～25℃の紫外線殺菌海水を0.4ℓ/分で注水する流水とした。油球及び卵黄をほぼ吸収し、針状歯が明瞭となった日齢4～5(写真1)に給餌を開始した。給餌時には照度が250～400 lxになるように照明を点灯し、注水を止め、液状飼料(サメ卵48g、低フィチン酸大豆ペ

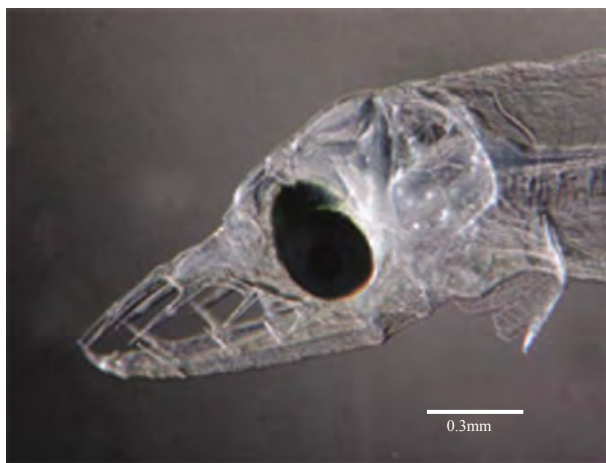


写真1. 給餌開始時のハモ仔魚頭部（日齢4～5）

プチド粉末3.25g、オキアミ自己消化物粉末3.25g、ビタミンE、C粉末0.5g、蒸留水50ml)3～5mlを駒込ピペットで飼育容器底面(直径10cm)全体に静かに撒き、15～20分間そのままの状態とした。その後、注水を利用して残餌を巻き上げ、流水状態に復し、照度を

数lxまで落とした。給餌は1日5回、2時間おきに7、9、11、13、15時に行った。

仔魚の負の走光性の観察 前項と同様にして得た日齢4の開口個体16尾を1ℓガラスビーカーに収容し、10lxから12,449lxまでの照度で行動を観察した。10lxは電球、200～836lxまでは蛍光灯(白色)、1,406lx以上は自然光を光源として利用した。低照度から観察を開始し、所定の照度に30～60秒静置した後に底面に下向きに遊泳している個体を計数し、その時の照度を照度計(ANA F9)で記録した。

給餌飼育試験 2 給餌時の照度を4,000lxに上げた以外は飼育試験1と同じ飼育方法とした。

無給餌飼育 給餌飼育試験2の14事例のうち11事例については無給餌での生残状況を調べた。紫外線殺菌海水を入れた500mlビーカー1個に20～34尾のふ化仔魚を収容し、無給餌、無換水で、水温24.0～24.4℃の実験室内に静置し、毎日1回、8～9時に死亡個体を取り上げて、全ての個体が死亡するまで飼育した。

結果と考察

飼育試験1では38事例の飼育を試みた。一部の個体で摂餌が認められたが、給餌開始から1週間前後となる日齢10～11で成長すること無く全滅した。本実験条件下では、給餌開始日となる日齢4～5のハモの仔魚は水面直下の飼育容器壁面を斜め上向きに遊泳している個体が多く、負の走光性を示して液状飼料を撒いた飼育容器底面まで泳ぐ個体は少なかった。

そこで、給餌開始日の仔魚の負の走光性を観察した。その結果、飼育試験1の照度条件では負の走光性を示す個体は16尾中1尾だけであった。さらに、負の走光性は、3,000lxまでは照度に比例して強まること、それ以上では大きな変化はなく8～9割の個体が負の走光性を

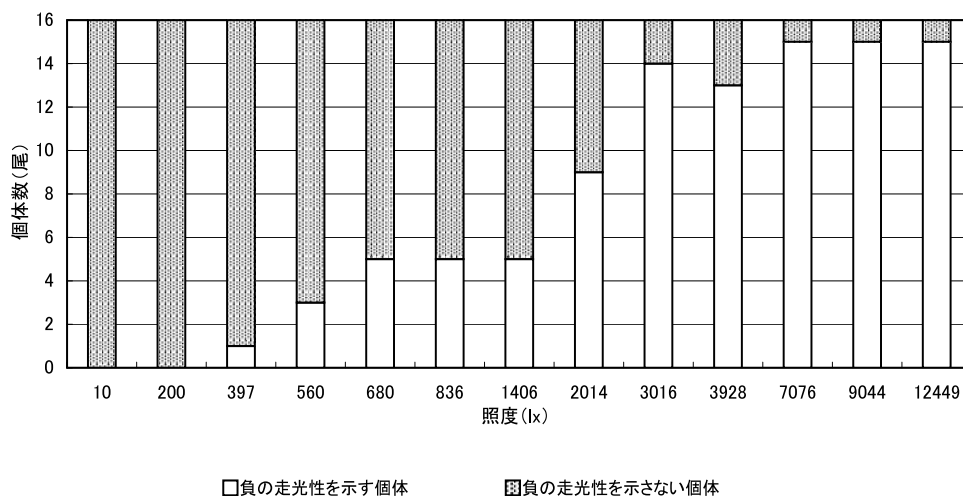


図1. 給餌開始時（日齢4）のハモ仔魚の走光性と照度の関係

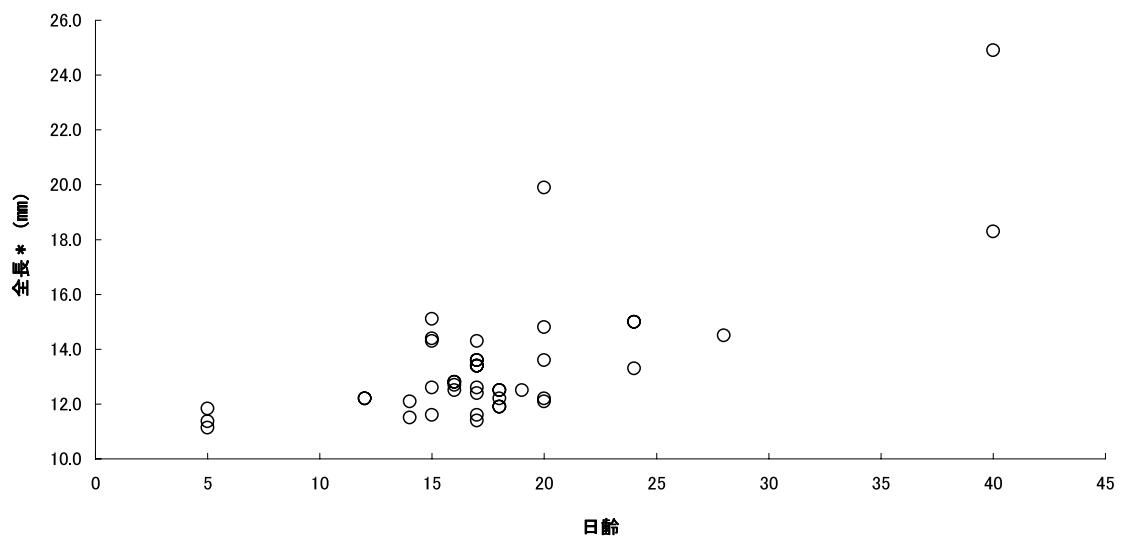


図 2. ハモ仔魚の成長
* 吻端から尾鳍先端

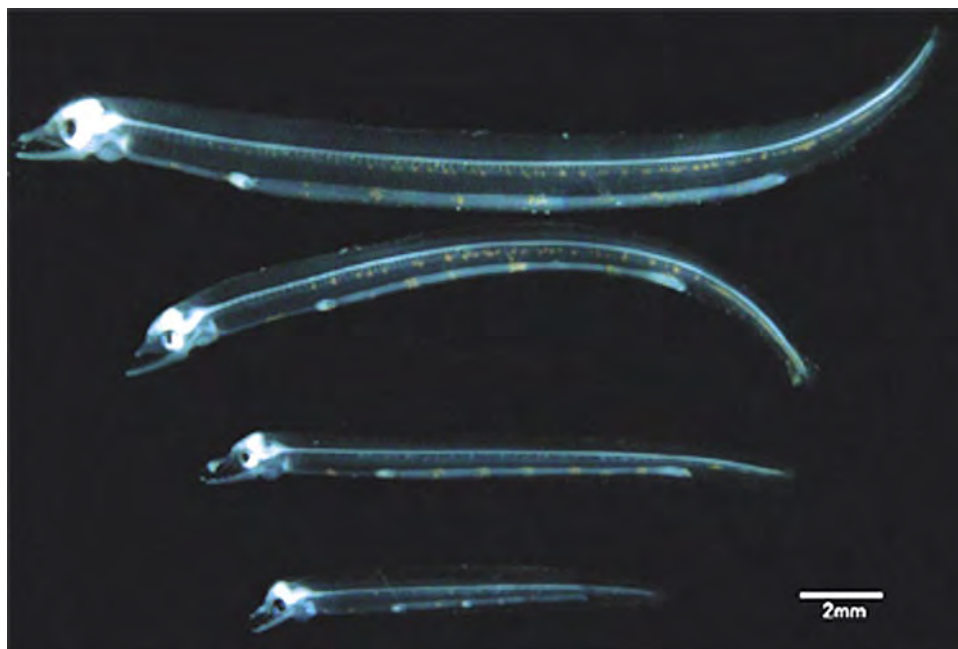


写真 2. ハモ仔魚
日齢 (全長) は下から 5 (10.1 mm), 24 (15.0 mm), 40 (18.3 mm), 40 (24.9 mm)

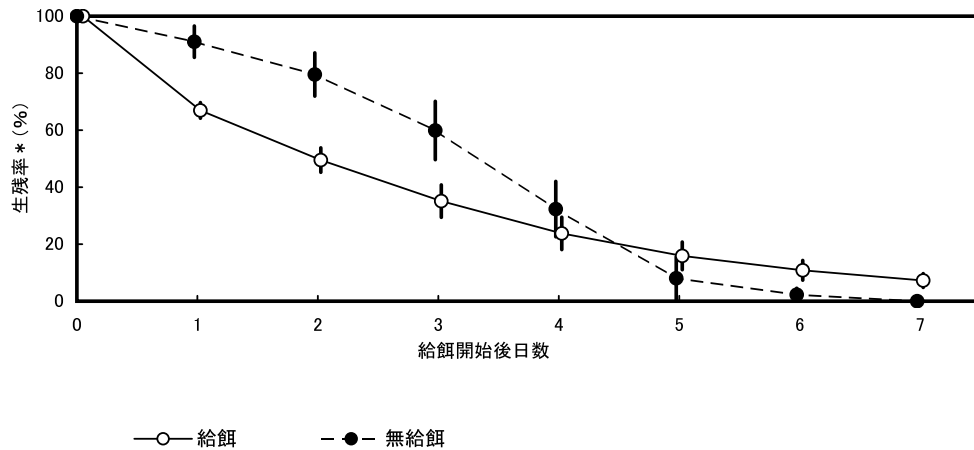


図3. 給餌仔魚と無給餌仔魚の平均生存率の比較

* 給餌を開始した日齢を起点として生存率を求め、11事例の平均値±標準誤差で示した。

示すことが判明した (図1)。

この観察結果を受けて飼育試験2を実施した。14事例の飼育を試みた結果、13事例で日齢16～43まで生存させることに成功した。さらに、5事例では明らかな成長が認められ、最大個体は日齢40で全長(吻端から尾鰭先端)24.9 mmまで成長した(図2, 写真2)。しかし、無給餌飼育を併せて実施した11事例の給餌仔魚と無給餌仔魚について給餌開始日齢を起点とした8日間の生存状況を見ると、両者に大きな違いはなく、給餌によって初期の生存を向上させることは出来なかった(図3)。

今回の結果から、ハモ仔魚も、照度を強めて負の走光性を高めることにより、ウナギ仔魚飼育方法を応用した初期飼育が可能であることが示唆された。生存状況が悪いのは、ハモ仔魚の負の走光性がウナギ仔魚ほど明瞭でないために液状飼料との接触機会が少なく、多くのハモ仔魚が必要十分な摂餌をすることが出来ないためと考えられ、今後は環境条件のさらなる検討が必要である。

文 献

1) HORIE, N., T.UTOH, Y. YAMADA, A. OKAMURA, H. ZHANG, N. MIKAWA, S. TANAKA and HP. OKA (2002) Development of

embryos and larvae in the common Japanese conger *Conger myriaster*. Fisheries Sci. **68**:972-983.

- 2) TANAKA, H., H.KAGAWA, and H. OHTA (2001) Production of leptocephali of Japanese eel (*Anguilla japonica*) in captivity. Aquaculture, **201**, 51-60.
- 3) TANAKA, H., H. KAGAWA, H. OHTA, T. UNUMA, and K. NOMURA (2003) The first production of glass eel in captivity: fish reproductive physiology facilitates great progress in aquaculture. *Fish Physiology and Biochemistry*, **28**, 493-497.
- 4) 上浦事業場 (1983) 1. 成体の確保と採卵 J-4 ハモ. 日本栽培漁業協会事業年報, 昭和57年度, 76-77.
- 5) 広川 潤 (1989) III-1 成体の確保と採卵 K-1 ハモ. 日本栽培漁業協会事業年報, 昭和62年度, 37-38.
- 6) 藤本 宏 (1992) III-1 成体の確保と採卵 K-1 ハモ. 日本栽培漁業協会事業年報, 平成2年度, 44-45.
- 7) 三橋直人 (1994) III-3 種苗生産技術の開発 K-1 ハモ. 日本栽培漁業協会事業年報, 平成4年度, 150-151.
- 8) 独立行政法人水産総合研究センター志布志栽培漁業センター (2008) ハモの親魚養成と採卵技術の現状について「養殖」, 564, 緑書房, 東京, 64-67.
- 9) SEKINE, S., Y. SHIMA, H. FUSHIMI, M. NONAKA (2000) Larval period and molting in the Japanese spiny lobster *Panulirus japonicus* under laboratory conditions. Fisheries Sci., **66**, 19-24.

本号掲載論文要旨

海面魚類養殖施設の歴史と網生簀式養殖

宮下 盛

海面魚類養殖は、野網佐吉・和三郎父子が築堤式と称する養魚場で1928年に香川県で始めたブリ養殖が最初である。その築堤式や、後に開発された網仕切式養殖施設も一定の普及をみたが、海面魚類養殖の発展を一気に加速させたのは、原田輝雄が近畿大学白浜臨海研究所（現水産研究所）で1954年に開始した小割式（網生簀）養殖試験であろう。その後世界中に普及したこの網生簀式養殖施設は、枠体とフロート、生簀網および係留施設によって構成されるが、その方式や用いられる資材は、様々な変遷の末、現在に至っている。

水産技術, 1(1), 13-19, 2008

緑茶抽出物浸漬法によるサケ卵の卵膜軟化症抑制効果

佐々木系・吉光昇二

サケ卵の卵膜軟化症に対する緑茶抽出物の効果について調べた。サケ受精卵を用い、卵膜軟化症の発生条件の下で、タンニンを含有する緑茶抽出物溶液に浸漬処理する実験を行い、発眼後の卵内圧および生残率について未処理卵との比較を行った。その結果、浸漬処理を行うことにより、卵圧および生残率の低下を防止する効果が認められ、緑茶抽出物の卵膜軟化症予防法としての可能性が示唆された。

水産技術, 1(1), 43-47, 2008

水産総合研究センター（旧日本栽培漁業協会）によるクロマグロ栽培漁業技術の開発

升間主計

水産総合研究センター（旧日本栽培漁業協会）八重山事業場では1985年から1997年まで沖縄県石垣島においてクロマグロの親魚養成・種苗生産技術開発を行った。幼魚は活魚船によって長距離（1,300～1,500km）、長時間（74～113時間）輸送され、親魚養成されたが、産卵には至らなかった。亜熱帯海域での成長は本土に比べて極めて早いことを示した。奄美栽培漁業センターは鹿児島県奄美大島において1994年から取り組みが始まった。1997年から毎年産卵に成功している。そのなかで、養成下での本種の産卵生態、行動に関する研究を進め多くの知見が得られた。また、種苗生産では餌料系列、飼育水管理、VNN防除法等に関する技術開発が進められた。本報は、日本栽培漁業協会・水産総合研究センターの研究開発によって得られた20年間の成果について取り纏められた。

水産技術, 1(1), 21-36, 2008

北海道えりも以西太平洋沿岸域における放流されたマツカワの産卵期と成熟年齢および成熟全長

吉田秀嗣・高谷義幸・松田泰平

1994～2005年にえりも以西太平洋沿岸の水揚げ市場から収集したマツカワ放流種苗を用いて、本種の産卵期、成熟年齢および成熟全長を調べた。生殖腺体指数の季節変化と生殖腺の観察から、産卵期は4～6月と推定された。本研究での初回成熟年齢は雌では3歳、雄では2歳であったが、体サイズによってその年齢は変わることが考えられた。最小成熟全長は雌では453mm、雄では338mmであり、50%成熟全長はロジスティック曲線から雌では535mm、雄では371mmと推定された。

水産技術, 1(1), 49-54, 2008

高鮮度冷凍クジラ肉の解凍方法の開発

村田裕子・荻原光仁・舟橋 均・上野久美子・岡崎恵美子・木村郁夫・福田 裕

高ATP含量の冷凍クジラ肉の解凍方法について検討を行った。解凍前に-5℃で保管した場合は10日間でATP%が60%から10%以下まで低下した。-3℃保管では2日目にATP含量が70%から10%以下まで低下し、急速解凍後のドリップの流出も5%以下に抑えることができた。このことから、-5～-3℃の温度帯での保管処理によりATPを3～10日間で低下させ、急速解凍時のドリップの流出および解凍硬直を抑制し、食味の良い解凍クジラ肉を得る条件を明らかにした。

水産技術, 1(1), 37-41, 2008

水槽で飼育したマツカワ天然魚の産卵間隔と産卵数

渡辺研一・鈴木重則・錦 昭夫・南 卓志

天然由来の1尾のマツカワ雌親魚と2尾の雄親魚を6℃の一定水温で飼育し、産卵間隔と産卵数を調査した。産卵の開始と終了時期は個体により異なった。平均の産卵間隔は2.9～3.5日で、10ないし11回産卵した。1回の産卵数は産卵期の初期と後期に少ない傾向が認められた。全長720mmの雌親魚は1回に最大で18万粒程度を産卵した。受精率は産卵初期と後期で低かった。卵径は産卵を経るにつれて小さくなる傾向が認められた。

水産技術, 1(1), 55-59, 2008

ホシガレイのふ化に及ぼす水温の影響

平田豊彦・石井孝幸

蓄養したホシガレイの天然魚と漁獲直後の放流魚、および人工魚から得た受精卵により、卵管理水温の違い(6℃, 8℃, 10℃, 12℃, 14℃)がふ化に与える影響について観察した。

ふ化率は親魚がいずれの場合も、10℃前後が最も高く、ふ化までの所要日数は、温度が高いほど短かった。ふ化が可能な水温は8~12℃と推定され、同属のマツカワよりも高く、ヒラメやババガレイなどに比べ、狭い範囲であることが分かった。卵管理の適水温は、他の機関の試験結果とやや違い、飼育条件や地域により異なる可能性があると思われた。ふ化仔魚の開口時の生残率も10℃前後で高くなる傾向を示し、初期生残にも10℃前後が好条件と考えられた。

水産技術, 1(1), 61-65, 2008

携帯型アスピレーターを用いたトラフグ耳石の大量収集法の開発

鈴木重則・町田雅春・成生正彦・榮 健次

我が国における重要な栽培漁業対象種であるトラフグのALC耳石標識を利用した放流効果評価手法を開発するために、加工場で身欠き処理されるトラフグから、耳石(扁平石)を大量に採取する方法について検討した。その結果、トラフグ処理尾数に対して採取できた扁平石の割合は、搔き出し法では33.2%と取り残しが多かったが、吸い取り法では81.2%が採取できた。吸い取り法を試験した5ヶ月間に1万個を超える大量の扁平石を採取することができ、本手法の実用性が示された。

水産技術, 1(1), 77-82, 2008

クルマエビの種苗量産時における歩脚欠損の発生過程について

山根史裕・辻ヶ堂 諱

クルマエビの歩脚欠損について、種苗量産過程における発生時期や程度および発生要因として収容密度との関連を調べた。クルマエビの歩脚欠損はポストラーバ5~10日齢時(P5~10)から観察され始め、P20(平均体長12mm前後)には、ほぼ全ての個体にみられた。また、歩脚欠損は低密度の飼育では観察されず、飼育密度が高くなるにつれ発生した。以上のことから、クルマエビの歩脚欠損は個体干渉により生じており、成長につれ水槽底面が過密になることで発生頻度が増すと考えられた。よって、種苗量産過程ではP15以降のなるべく早い段階でクルマエビを低密度の中間育成に移行することで効率的な生産が図られることが考えられた。

水産技術, 1(1), 67-72, 2008

ウナギ仔魚飼育方法を応用したハモ仔魚飼育の試み

加治俊二・西 明文・橋本 博・今泉 均・足立純一

ウナギ仔魚で開発された飼育方法を応用してハモ仔魚の飼育を試みた。ウナギ仔魚の飼育方法そのままでは日齢10~11で全滅した。ハモ仔魚の走光性を観察すると、3,000lxまでは照度に比例して負の走光性が強くなることが判明した。そこで、給餌時の照度をそれまでの250~400lxから4,000lxに変更し、ボール型水槽の底に餌を置く飼育を試みた結果、摂餌する個体の割合が増え、最長日齢43, 最大全長24.9mmまで生残, 成長させることに成功し、ウナギ仔魚飼育方法を応用したハモ仔魚飼育の可能性が示唆された。

水産技術, 1(1), 83-86, 2008

マダラ稚魚の腹鰭抜去標識の有効性

手塚信弘・荒井大介・島 康洋・桑田 博

マダラ稚魚に平均全長33~116mmで鰭抜去を、平均全長43~116mmでアンカータグを、平均全長64~108mmでループタグを装着した場合、装着後8日目の生残率は鰭抜去区、アンカータグ区、ループタグ区の順に高かった。平均全長73~76mmに標識を装着し、観察開始後151日目の「一目で標識の判別が可能な個体の割合」は、アンカータグ区で100%, 鰭抜去区で88%, 鰭切除区で56%, 焼印区では0%であった。アンカータグはマダラの放流後の成長に伴い体内に埋没する可能性が考えられ、これらの結果を総合的に判断すると、マダラ稚魚の外部標識には鰭抜去が最も適していると考えられた。

水産技術, 1(1), 73-76, 2008

水産技術投稿要領

第1条 水産技術への投稿は、本要領に定めるところによる。

第2条 論文等は原著で、未発表かつ他に発表を予定していないものに限る。

第3条 論文等は原著論文，総説，技術小史・技術論，短報および資料とする。

第4条 投稿者は、別記の水産技術投稿原稿の書き方および投稿の方法に従う。2 投稿者は、別紙の水産技術投稿用紙1部（用紙に出力したもの）、投稿原稿2部（同）、水産技術投稿用紙および投稿原稿それぞれを記録した電子記録媒体（CD-R ディスク等）1枚を水産技術企画・編集委員会事務局（以下「事務局」という。）あてに郵送する。

第5条 写真および図は、原則としてモノクロームとする。投稿者の希望により、水産技術企画・編集委員長が認めた場合には、カラー印刷も可能とする。

第6条 投稿者が、別刷を希望する場合は、投稿者の実費負担にて印刷する。

第7条 本誌掲載文の著作権は、独立行政法人水産総合研究センターに帰属する。

水産技術投稿原稿の書き方および投稿の方法

1. 原稿

用紙は、A 4 判白紙とし、縦長に置き、上下左右に各 2 cm 以上の十分な余白を設け、35 字×25 行の十分に行間を取った横書き形式で、文字の大きさは 11 あるいは 12 ポイント、字体は特に指定する以外は明朝体（MS 明朝、平成明朝等）で作成する。本文、和文・英文要旨、文献には行番号を付し、全てのページにページ番号を付すこと。

2. 論文等の種別

掲載する論文等は、原著論文、総説、技術小史・技術論、短報および資料とする。

原著論文とは、オリジナルな技術開発についての論文とする。

総説とは、特定の研究領域に関する主要な文献内容の総覧とし、その記述は、単なる羅列でなく、特定の視点に基づく体系的なまとまりを持つものとする。

技術小史・技術論とは、これまでの技術開発の歴史を基に、技術開発の経緯および技術開発内容について取りまとめたもの、あるいは、ある分野における技術についての考え方等を取りまとめたものとする。

短報とは、実験結果や手法などに技術的な新規性もしくは価値が認められ、いち早く報告する必要があるものとする。

資料とは、限られた部分に関する実験結果や新しい手法等の技術開発情報として価値があるものとする。

3. 原稿の枚数および構成

原稿の長さは、概ね刷り上がり 10 頁を限度とする。ただし、水産技術企画・編集委員会が認められた場合および水産技術企画・編集委員会が特に依頼した総説等の原稿はその限りではない。

投稿原稿は、表題、著者名、所属、所在地、英文表題、英文著者名、英文要旨、本文、文献、表、図・写真、和文要旨の順に綴る。

4. 表題

表題は、論文内容を適切に表現する簡潔な文とし、英文表題を添える。和文表題での生物名は原則として標準和名のみとし、学名は併記しない。英文表題での生物名は、英名に続けて学名を記入し、イタリックで記載する。

5. 著者名

英文著者名はローマ字で記載し、名 (first name)、姓 (family name) の順とする。姓の最初の文字はキャピタル、2 番目以降の文字はスモールキャピタルで記載する。

連名の場合、和文著者名では中点「・」で、英文著者名では、「,」と「and」で連ねる。

(例)

ヒラメの成熟に及ぼす水温の影響について

鈴木一郎^{*1}・山田二郎^{*1}・田中三郎^{*2}

Effect of Water Temperature on the Maturation of the Flounder *Paralichthys olivaceus*

Ichiro SUZUKI, Ziro YAMADA, and Saburo TANAKA

6. 所属および所在地

和文著者名の右肩にアスタリスク「*」(ただし、共著者のある場合には* 1, * 2, …)を付けて記載し、本文第1頁の下段に脚注として記載する。第一著者は所属する機関名とその所在地を和文と英文で記載し、電子メールアドレスを付す。第二著者以下については、所属機関名を和文で記載する。また、国家資格等の表記を希望する著者は、投稿用紙へ明記する。

(例)

^{*1} 独立行政法人水産総合研究センター 玉野栽培漁業センター

〒706-0002 岡山県玉野市築港 5-21-1 (Tamano Station, National Center for Stock Enhancement, FRA 5-21-1 Chikko, Tamano, Okayama, 706-0002 Japan). taro3@affrc.go.jp.

^{*2} 独立行政法人水産総合研究センター 屋島栽培漁業センター

7. 要旨

要旨は和文と英文を併載する。

和文要旨はA4判用紙に横書きで作成し、表題、著者名を含めて300字以内とする。

英文要旨はA4判用紙に横書きで作成し、表題、著者名を除いて200語以内とする。ただし、著者が英訳を編集事務局に依頼する場合は、事務局が要旨の英訳を行う。

8. 本文の構成

原著論文の場合、本文の記載は、原則として、まえがき、方法(分野によっては材料と方法等)、結果、考察、謝辞、要約(必要な場合)、文献の順序に従う。

原著論文以外の論文等は、方法、結果、考察など項目に細分しなくてもよい。見出しは左寄せで記載しゴシックで記載する。ただし、まえがきの見出しはつけない。方法や結果の項等の小見出しはゴシック指定を行い、番号は付けず、本文は追い込みとする。さらに細分化した見出しが必要な場合には、番号を、1., 2., …, (1), (2), …, 1, 2), … の順に使用して区分する。A, B, は用いない。番号および小見出しは並字で記載する。この場合もゴシック指定を行い、本文は追い込みとする。

(例)

材料と方法

親魚の飼育 採卵に用いた親魚は、20〇〇年〇月〇日に…

1. 餌料 親魚用の餌料としてイカナゴ、イワシ、などの鮮魚と配合飼料を…

1) 配合飼料 市販の配合飼料を…

9. 文 献

- 1) 引用した文献は、引用順に連番号を付ける。本文中では以下の例のように肩付き番号（上付き文字で記載する）で示し、「田中（1993）は…」のような引用は行わない。著者が複数の場合、2名までは姓を連記し、3名以上の場合には筆頭著者の姓に「ら」または「*et al.*」を付けて示す。
- 2) 外国語の文献を引用する場合は、著者名はキャピタル・スモールキャピタルで記載する。
- 3) 句読点の箇所に引用番号を付ける場合には、句読点の前に付ける。

(例)

田中^{1,2)}は…, …が知られている³⁻⁶⁾。

鈴木ら⁷⁾は…

SUZUKI *et al.*⁸⁾は…

- 4) 文献のリストは、本文の末尾にまとめて引用番号順に記載する。
- 5) 雑誌に掲載された論文を引用する場合は、以下の例に示すように、引用番号、著者名、年、表題、雑誌名、巻、ページの順に記載する。雑誌名は、慣用法に従って略記する。巻数はゴシックで記載する。欧文雑誌から引用する場合、雑誌名はイタリックで記載する。
- 6) 単行本から引用する場合は、引用番号、著者名、年、書名、出版所、出版地、ページの順に記載する。
- 7) 文献リストでは、著者が3名以上の場合でも著者名は全て記載する。また、同一著者や同一題名が続く場合にも「-」のように省略しない。
- 8) 事業報告書等で、著者名が明示されていない文献から引用する場合には、引用番号、報告県名（機関名）、年、報告書、ページの順に記載する。

(例)

・雑誌の場合

吉村研治・宮本義次・中村俊政（1992）濃縮淡水クロレラ給餌によるワムシの高密度大量培養。栽培技研，21，1-6.

NOGAMI, K., and M. MAEDA(1992) Bacteria as biocontrol agents for rearing larvae of the crab *Portunus trituberculatus*. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 49, 2373-2376.

・単行本（引用箇所が1箇所の場合）

田中昌一（1985）水産資源学総論。恒星社厚生閣，東京，pp.181-183.

GULLAND, J. A. (1983) Fish stock assessment. Wiley, New York, pp.83-96.

・単行本（同一の本から複数箇所を引用している場合）

田中義麿・田中 潔（1980）科学論文の書き方。裳華房，東京，365pp.

COCHRAN W. G. (1977) Sampling techniques. Wiley, New York, 428 pp.

・単行本（複数の論文を集めた本の中の1編を引用する場合）

廣瀬慶二（1992）最近の成熟・産卵制御法。「海産魚の産卵・成熟リズム」（廣瀬慶二編），恒星社厚生閣，東京，pp. 125-137.

ALLENDORF, F. W., and N. RTMAN (1987) Genetic management of hatchery stocks. in “Population

genetics & fishery management” (ed. by N. RYMAN, and F. UTTER), Univ. of Washington Press, Seattle, pp.141-160.

- ・事業報告書（著者名が明示されていないもの）

茨城県（1992）平成2年度放流技術開発報告書，太平洋ヒラメ班．茨21-茨63．

海洋水産資源開発センター（1992）平成2年度沖合漁場総合整備開発基礎調査，日本海大和堆海域（本文編）．216 pp．

- ・私信，未発表（投稿中を含む）や学会講演，シンポジウム要旨，修士論文などは文献の項には記載しない。必要なら引用箇所を上付き指定でアスタリスク（~~*~~，~~*1~~，~~*2,3~~…）を付け，脚注とする。

10. 図・写真・表

- 1) 図，写真，表の原稿は，本文とは別葉とし，挿入箇所を本文原稿中の右の欄に赤字で記載する。
- 2) 図，写真，表の原稿の大きさは，A4判を超えないことを原則とする。刷り上がりの時の大きさは，横幅が16 cm または 8 cm となるので，縮小率または刷り上がり時の大きさ，カラー指定の有無を必ず明記する。
- 3) 図，写真，表には番号と和文の説明文をつける。
- 4) 図，写真の番号および説明文は，「図 1.…」，「写真 1.…」として原図の下部に直接記入する。表の番号および説明文は，「表 1.…」として表の原稿の上部に直接記入する。

11. 脚注

脚注は，1箇所なら「~~*~~」，複数箇所の場合は連番号を使用し，「~~*1~~」，「~~*2~~」のように上付きで指定して，関連頁の下段に入れる。

12. 文字

- 1) 下記のとおり赤字で字体の指定を行う。

イタリック：abcd，abcd → *abcd*

ゴシック：abcd，abcd → **abcd**

スモールキャピタル：abcd → **abcd**

キャピタル：abcd，abcd → **abcd**

キャピタル・スモールキャピタル：abcd，abcd → **abcd**

上付き： $m\sqrt{2}$ ， $m\sqrt{2}$ → m^2 ：山田~~1~~），山田~~1~~ → 山田¹）

下付き： $O\sqrt{2}$ ， $O\sqrt{2}$ → O_2

- 2) 数式の上付き，下付きの記号，およびギリシャ文字は明瞭に指定する。

13. 用語等

- 1) 生物名は，標準和名をカタカナで書く。学名を入れる場合には本文中の初出の箇所に記載し，

イタリックで記載する。原則として命名者名を省略する。

- 2) 化学名は慣例に従って漢字もしくはカタカナで記載し、原語を用いる必要がある時は小文字で書く。
- 3) 遺伝子座の命名は、Gene Nomenclature for Protein-coding Loci (JB Dhaklee *et al. Trans. Am. Fish. Soc.* 1990; 119: 2-5) に準拠すること。
- 4) 酵素名は、本文中の必要な箇所に酵素番号および系統名あるいは常用名を記述する。酵素番号および系統名は、国際生化学連合 (International Union of Biochemistry and Molecular Biology, IUBMB) の酵素委員会 (Enzyme Commission) によって分類された “Enzyme nomenclature 1992” (Academic Press) に準拠する。ATPaseのように基質が省略されている場合を除いて酵素の名前を省略しない。
- 5) 新規の核酸塩基配列およびアミノ酸配列データは、GenBank, EMBL あるいは DDBJ のいずれかのデータバンクに登録すること。本文中に accession number を表記する際には、報文の場合は試料および方法の最後に、短報の場合は本文の最後に表記すること。論文審査時に accession number が得られない場合は、その配列データファイルを CD-R ディスク等に収めて提出することを要求する場合がある。また、既に公表されている accession number を記載する場合には、適当な文献を引用すること。投稿直前と受理時に配列データの検索や比較結果を、最新のデータベースで再確認することが望まれる。
- 6) 物理量の名称や量記号等は、できるだけ国際純正・応用化学連合 (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) の勧告に従う。物理量の記号はイタリックで記載する。添字はそれ自身が物理量を表すときはイタリックとし、そうでない場合にはローマン体 (立体) で記載する。
- 7) 単位の記載においては、国際単位系 (SI) を尊重する日本水産学会誌に準じる。略記するものについては複数でも s を付けない。
- 8) x, y, n (個体数など) などの変数, α, β などのパラメータ, $p, r, U\text{-test}, t\text{-test}$ などの統計量はイタリック指定とする。

化学関係の記号は次のように字体を区別する。

イタリックとするもの: $o\text{-}, m\text{-}, p\text{-}, N\text{-}, O\text{-}, S\text{-}, n\text{-}, d\text{-}, l\text{-}, prim\text{-}, sec\text{-}, tert\text{-}, cis\text{-}, trans\text{-}$
ローマンとするもの: pH, Rf, Cl⁻, bis-, iso-, homo-

- 9) 図、表など引用に伴う著作権に関係した紛争は、全て著者 (引用者) の責任となるので、他から図や表を引用する際には原著者および著作権所有者の了解を得ておくこと。

14. 原稿の提出方法

- 1) 提出する原稿は、字体指定等を行った原稿 (正原稿) と写し (コピー) および電子ファイルに保存した原稿 (電子ファイル原稿) とする。
- 2) 電子ファイル原稿は、Windows あるいは Macintosh の MS Office や一太郎で提出することが望ましい (その他対応ソフトウェアは表 1 を参照のこと)。どうしても表 1 に掲載したソフトウェアのファイルで投稿できない場合は、テキストファイルのみを提出すること。

- 3) 写真などの画像を電子ファイルで提出する際には、必ず別ファイルとすること。また、300dpi以上のTIFFかEPSファイルとすること。JPEGも可能であるが、破壊的圧縮方法であることに留意すること。また、色再現性を高めるために、オリジナル写真、版下あるいはプリントアウトしたものを必ず添付すること。
- 4) 日本語は、全角を使用し、英数字、小数点および斜線は、半角を使用する。英文要旨および図表に全角特殊記号（÷, 凸, ∴, ♀, ℃, ¥, ☆, ◎, △, →, ※, ! など）を使用しない。
- 5) 改行マークは、文章の段落の区切りのみに使用する。
- 6) スペースキーは、英単語などの区切りにだけ使用し、文献などの字下げには使用しない。
- 7) 電子ファイル原稿を電子メールに添付し送付することもできる。各添付ファイルにはファイル名として、著者名と原稿、図表、写真を明記すること。
例：清水智仁（原稿）.doc, 清水智仁（図表）.xls, 清水智仁（写真）.tif
- 8) 郵送で提出する電子記録媒体は、CD-Rディスク等とする。
- 9) CD-Rディスクは、ISO9660フォーマットとする。
- 10) 電子記録媒体を郵送する際には、ラベルに整理番号、連絡者氏名、原稿の表題、ファイル名および原稿作成に使用したソフトウェアを明記する。ラベルが使用できない場合は別紙に明記し、電子記録媒体に同封して郵送すること。
- 11) 電子記録媒体の郵送に際しては、物理的な破損を防ぐために丈夫なケースで保護すること。提出する電子ファイルはバックアップコピーを行い、印刷終了時まで著者の手元に保管する。

（表 1）電子ファイル投稿時の推奨ソフトウェア

プラットフォーム	ソフトウェア
Windows	MS Office, 一太郎, Illustrator, 花子, Corel Draw
Macintosh	MS Office

15. その他

- 1) その他の記載様式は、水産技術の最新号に記載された論文を参照する。
- 2) 事務局より原稿受理の連絡があり次第、著者は印刷用の最終原稿を提出する。

波 紋 (編集連絡)

●広辞苑第5版によると‘波紋’とは、①水面に物を投げたときなどに、輪のように広がる波の模様。②関連してつぎつぎに及んでいく変化や反応と書かれている。

●表紙の波紋はひとつの新しい技術が次の技術を呼び起こし、大きく広がっていく様を表しています。たとえ小さな技術であっても、広がりは無限であり、作る波は決して小さくありません。

●本誌が水産業に関わる研究者、技術者、実務に携わる専門家等に広く愛読されることにより、最新の成果が現場にすぐに活用され、新たな技術が生まれ、さらに後世に伝承されていく…、表紙にはそのような思いが込められています。

●また本誌は、増養殖、資源・海洋、利用加工、漁業・水産工学等の総合的な技術情報を提供するとともに、論文作成に関わる人材の育成も目指しています。投稿のほど、よろしくお願いします。

(編集事務局)

水産技術 (第1巻第1号)

企画・編集委員長

馬場 徳寿 (水産総合研究センター業務企画部)

企画・編集委員

日野 明德 (東京大学)

東海 正 (東京海洋大学)

小坂 善信 (青森県農林水産部水産局水産振興課)

上田 幸男 (徳島県立農林水産総合技術支援センター)

鈴木 康仁 (福井県水産試験場)

木村 郁夫 (日本水産株式会社中央研究所)

廣瀬 慶二 (元日本栽培漁業協会)

渡邊 研一 (水産総合研究センター養殖研究所)

武内 智行 (水産総合研究センター水産工学研究所)

川崎 清 (水産総合研究センター中央水産研究所)

廣川 純夫 (水産総合研究センター開発調査センター)

檜山 義明 (水産総合研究センター業務企画部)

伴 真俊 (水産総合研究センターさけますセンター)

幹 事

有元 操 (水産総合研究センター業務企画部)

鴨志田正晃 (水産総合研究センター業務推進部)

事務局

水産総合研究センター業務推進部研究管理課

e-mail: fish_tech@ml.affrc.go.jp

http://www.fra.affrc.go.jp/bulletin/fish_tech/index.html

水産技術 第1巻第1号

平成20年9月25日印刷

平成20年9月30日発行

監修者 社団法人日本水産学会

編集者 馬場 徳寿

発行者 独立行政法人水産総合研究センター

印刷者 日昇印刷株式会社

〒220-6115 神奈川県横浜市西区みなとみらい

〒104-0043 東京都中央区湊 1-14-14

2-3-3 クイーンズタワーB 15階

電話 03 (3553) 3161 (代)

電話 045 (227) 2701

水産技術 第1巻 第1号 2008年9月

技術論

水産業と水産技術・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 松里壽彦 5-11

技術小史

海面魚類養殖施設の歴史と網生簀式養殖・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 宮下 盛 13-19
水産総合研究センター（旧日本栽培漁業協会）によるクロマグロ栽培漁業技術の開発・・・・・・・・ 升間主計 21-36

原著論文

高鮮度冷凍クジラ肉の解凍方法の開発
・・・・・・・・・・・・・・・・村田裕子・荻原光仁・舟橋 均・上野久美子・岡崎恵美子・木村郁夫・福田 裕 37-41
緑茶抽出物浸漬法によるサケ卵の卵膜軟化症抑制効果・・・・・・・・・・・・・・・・ 佐々木 系・吉光昇二 43-47
北海道えりも以西太平洋沿岸域における放流されたマツカワ人工種苗の産卵期と成熟年齢および成熟全長
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・吉田秀嗣・高谷義幸・松田泰平 49-54
水槽で飼育したマツカワ天然魚の産卵間隔と産卵数・・・・・・・・・・・・・・・・ 渡辺研一・鈴木重則・錦 昭夫・南 卓志 55-59
ホシガレイのふ化に及ぼす水温の影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 平田豊彦・石井孝幸 61-65
クルマエビの種苗量産時における歩脚欠損の発生過程について・・・・・・・・ 山根史裕・辻ヶ堂謙 67-72
マダラ稚魚の腹鰭抜去標識の有効性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 手塚信弘・荒井大介・島 康洋・桑田 博 73-76
携帯型アスピレーターを用いたトラフグ耳石の大量収集法の開発
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・鈴木重則・町田雅春・成生正彦・榮 健次 77-82

短 報

ウナギ仔魚飼育方法を応用したハモ仔魚飼育の試み・・加治俊二・西 明文・橋本 博・今泉 均・足立純一 83-86