

第28回 ACNフォーラム

(～日本の水産増養殖を考える会～)

講演要旨集



会 期：2017年10月18日(水)

会 場：アークホテルロイヤル 福岡天神
福岡市中央区天神3丁目13番20号

主 催：特定非営利活動法人ACN(アクアカルチャーネットワーク)

後 援：福岡市

(一社)九州経済連合会

広島県種苗生産者組合

(有)湊文社 (月刊アクアネット)

(株)みなと山口合同新聞社 (みなと新聞)

第28回 ACNフォーラム

— 日本の水産増養殖を考える会 —

プログラム

会 場：アークホテルロイヤル福岡天神 (TEL092-724-2222)
〒810-0001 福岡市中央区天神3丁目13番20号

1. 受付 (10:00~13:00)

2. 開会の挨拶 (13:00~)

NPO法人ACN (アクアカルチャーネットワーク) 理事長 田嶋 猛

3. 来賓挨拶

(有) 湊文社

代表取締役 池田 成己 様

4. 講演者の紹介

NPO法人ACN 顧問

長崎大学 教授 萩原 篤志 様

講演 1 (13:30~14:30)

「種苗生産水槽の流れを考える」

長崎大学水産学部 海洋資源動態科学講座

教 授 阪倉 良孝 様

— 休 憩 — (10分)

講演 2 (14:40~15:40)

「マサバの完全養殖技術開発とブランド化」

宮崎大学農学部 海洋生物環境学科

准教授 長野 直樹 様

— 休 憩 — (20分)

5. 質疑応答 (16:30~17:00)

6. 閉会の挨拶

— 目 次 —

| | |
|--|----|
| 「第28回ACNフォーラム 開会挨拶」 | 1 |
| NPO法人ACN（アクアカルチャーネットワーク） 理事長 田嶋 猛 | |
| 「人工種苗への新たな期待」 | 2 |
| (有)湊文社 代表取締役 池田 成己 様 | |
| 「講演2題へのメッセージ」 | 3 |
| NPO法人ACN 顧問 長崎大学水産学部 教授 萩原 篤志 様 | |
| 「種苗生産水槽の流れを考える」 | 4 |
| 長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科 教授 阪倉 良孝 様 | |
| 「マサバの完全養殖技術開発とブランド化」 | 13 |
| 宮崎大学農学部 海洋生物環境学科 准教授 長野 直樹 様 | |
| 水産関連企業 広告掲載一覧 | 18 |

メ モ

第28回 ACNフォーラム 開会挨拶

2017年10月18日

NPO法人ACN理事長

田嶋 猛

第28回ACNフォーラムを開催するに当たり、ご後援の各関係機関、ご講演の先生方や全国各地からお越しの水産増養殖関係の皆様には厚くお礼申し上げます。

過去2度のACNフォーラムでは、福岡市での2015年8月25日の時には、早朝から台風15号の直撃を受け、公共交通機関は全面停止、高速道路は閉鎖という状況になりました。そのため、2016年の佐世保市では40日遅らせ10月5日に開催しました。ところが、またまた台風18号が佐世保市西方海上を日本海に抜けるという状況になりました。それからと云うもの、増養殖業界では「ACNフォーラム開催日を避けてイベントをすれば天気が良い」との噂を漏れ聞くことになりました。今年こそは台風直撃の汚名返上を節に願っていたところですが、政界では予報もなく衆議院解散総選挙の嵐が吹いてきました。

ACNフォーラムは、偶数年に福岡市で開催してきた16回の「フォーラム」と、奇数年に西日本各地で開催してきた11回の「懇話会」の回数を合わせて、今回28回目を迎えることになりました。10年前までは、参加者が多くホテルシーホーク&リゾートやホテルニューオータニ博多で開催していましたが、その後規模は縮小したものの、その時々話題を先取りした先生方の講演と総合討論、及び盛況な情報交換会で参加者の一体感は高まってきています。

今回は、長崎大学水産学部の阪倉先生から、長年研究されている課題に新たな知見を交えて「種苗生産水槽の流れを考える」と題して、宮崎大学農学部の長野先生にはマサバの完全養殖技術に、自らが販路開拓された貴重な経験を加えて「マサバの完全養殖技術とブランド化」について講演して頂きます。

NPO法人ACN会員一同は、ACNフォーラムを通じて産学官の増養殖関係者に情報交換の場を提供し、少しでも業界の発展に寄与できることを嬉しく思っております。今後とも、ご支援とご鞭撻の程、宜しく願いいたします。

人工種苗への新たな期待

2017年10月18日

(有)湊文社 月刊「アクアネット」発行編集人

池田 成己

クロマグロやニホンウナギなどの資源問題を背景に、人工種苗や完全養殖の「エコ」の側面にスポットライトが当たり始めた感があります。大手量販店IYに至っては、この9月に「IY“初”完全養殖の真鯛」というニュースリリースを出したほどです。

一方、養殖業界においてはこれまで、生産性向上に貢献できるからこそ人工種苗が普及し、様々な改善も重ねられてきたと思います。そして、新たに期待されている形質として、いわば「低魚粉飼料適応性」があります。魚粉配合率を大幅に減らした飼料を与えても従来と遜色ない成長や増肉係数が得られるということです。今年6月に公表された「平成28年度水産白書」によると、ブリ類養殖業およびマダイ養殖業の漁労支出に占める餌代の割合は約70%に達しています。平成18年にはブリ類養殖業で62~66%、マダイ養殖業で54~63%だったとされていますので、5~10ポイントの上昇。その主因はもちろん魚粉の高騰であり、世界的な需給構造の変化が背景です。これを受けて水産庁は、平成22年度より、「漁業経営セーフティーネット構築事業」（配合飼料価格が急上昇した際の影響を緩和する制度）を実施していますが、初年度には約9万tだったその申込数量が、27年度には70万t強に。同年度の日本養魚飼料協会加盟メーカーによる飼料生産量が42.2万tですから、その1.7倍。内水面を含む国内養殖業者のほとんどが同制度を利用するようになったと考えられます。

けれども、この仕組みは魚粉価格が高止まりすれば機能しません。また、平成25年度の水産白書によれば、平均的な増肉係数はブリで2.8、マダイで2.7なのに対し、ノルウェーサーモンは1.2であり、しかもサーモン育成用飼料の魚粉配合率は今や10%台と伝えられています。日本の養魚飼料でも低魚粉化は進んできていますが、サーモンとの差は依然大きく、「低魚粉飼料でもよく育つ系統の作出が不可欠」といった声を度々耳にするようになりました。

こうした経緯から、小誌8月号では、育種による増肉単価低減の実現性も確かめようと特集を組んだのですが、飼料栄養の専門家と遺伝育種の専門家とでは認識に差がありました。後者によれば、低魚粉飼料適応性（特定の代替原料の利用性など）のような形質には多くの遺伝子が少しずつ関与しているので、相応の“結果”を得るには多くの解析家系を持つ必要がある（それらを飼育するための水槽も多数必要）。ゆえに、最終的に親魚にはならなかった多数の個体も商品化できる体制で臨まないと回していけない、とのことでした。

同特集の中で、淡水養殖マス類の低魚粉飼料化については、全国養鱒技術協議会による「連絡試験」の結果が紹介されました。この「連絡試験」は、複数県（現在は9県）の試験研究機関が共通項目の試験を同時期に行うことで信頼性の高い結果を速やかに得ようとする枠組みで、様々な重要課題を対象に1970年代から行われています（国の委託事業の受け皿ではありません）。生産者や三セクなどとも連携した“海産魚版の連絡試験”の枠組みも実現して欲しいものです。

他方、魚類の消化機能や免疫機能、運動能力などは発育段階によっても大きく異なりますので、ふ化サイズがサーモンに比べて遥かに小さい海産魚ではなおさら、仔稚魚期の飼育に繊細さが求められるはず。ふ化場での生産性向上はもとより、完全養殖可能魚種の拡大のためにも、物理的環境の制御の仕方など、この面での技術開発のさらなる進展も大いに期待されます。

講演2題へのメッセージ

NPO法人ACN 顧問

長崎大学水産学部 教授 萩原 篤志

JST（注1）による長崎県地域結集型プロジェクト（2003～2008）では、長崎県総合水産試験場のマハタ等の種苗生産技術開発の研究と共同し、当時長崎大学助教授の阪倉良孝先生が水槽内流れの研究で、当時ポスドクの長野直樹先生が形態異常研究の先鞭を付けました。私は それらのグループリーダーを務めており、お二人の生産的な研究活動をたいへん頼もしく感じていた次第です。全く同時期に農林水産技術会議によるミジンコ量産培養プロジェクトがACN副理事長稲田善和先生を代表研究者として発足し、私はこれにも参加させて頂き、大変鍛えていただきました。そして、地域結集型プロジェクトの後継事業として長崎大学の海洋サイバネ（注2）がスタートした次第です。

注1 JST（国立研究開発法人科学技術振興機構）は、文部科学省に属し地域における科学技術の振興を図るための事業を展開している。

注2 サイバネは「海洋サイバネティクス・プログラム」の略称で、長崎大学水産学部が実施し、長崎県及びACNも参画する社会人教育プログラムで、水産庁が主唱する「魚の国のしあわせ」プロジェクトに登録された。

講師紹介

「種苗生産水槽の流れを考える」

長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科 教授

阪倉 良孝

【略 歴】

- 1967年 長崎県五島市生まれ
- 1991年 東京大学農学部水産学科 卒業
- 1993年 東京大学大学院農学系研究科修士課程 修了
- 1996年 東京大学大学院農系生命科学研究科博士課程 修了 博士（農学）の学位を取得
- 1997年 日本学術振興会海外特別研究員（カナダ・ゲルフ大学魚類学研究所）
- 1999年 東京大学海洋研究所 博士研究員
- 2000年 長崎大学水産学部助手
- 2001年 長崎大学水産学部助教授
- 2007年 長崎大学水産学部准教授
- 2009年 長崎大学水産学部教授
- 2011年 長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科教授（現在）

【主な研究分野】

- 魚類行動学（海産仔稚魚を対象）
- 魚種育苗生産（ブリ、ヒラメ、マハタ、オニオコゼ、クロマグロなど）
- 栽培漁業（トラフグなど）
- 仔稚魚の天然水域での生態（ブリ、カンパチ）

【主な研究成果】

<著書>

- 1) 阪倉良孝 (2011) 第2章 統計学. 農学・水産学系学生のための数理科学入門, 日本水産学会水産教育推進委員会 編, 恒星社厚生閣, 東京, 51-67.
- 2) 阪倉良孝・萩原篤志 (2013) 7章 魚類の行動と種苗生産. 魚類の行動研究と水産資源管理, 棟方有宗・小林牧人・有元貴文 編, 恒星社厚生閣, 東京, 101-115.
- 3) 河端雄毅・阪倉良孝 (2015) 2章 仔稚魚における行動と生態の科学. ハタ科魚類の水産研究最前線, 征矢野清・照屋和久・中田久 編, 恒星社厚生閣, 東京, 21-33.
- 4) 照屋和久・阪倉良孝 (2015) 10章 海外展開を視野に入れた戦略的生産～これからのハタ科魚類養殖と資源管理に必要なこと. ハタ科魚類の水産研究最前線, 征矢野清・照屋和久・中田久 編, 恒星社厚生閣, 東京, 140-152.

<論文>

- 5) 塩谷茂明・赤澤敦司・阪倉良孝・中田 久・荒川敏久・萩原篤志. (2003) 仔魚飼育水槽内の流場の計測：マハタ飼育水槽の検討例. 水産工学 39, 201-208.
- 6) Shiotani S., Hagiwara A., Sakakura Y., Chuda H. (2005) Estimation of flow in a rearing tank of marine fish larvae by simplified numerical computation - A case of two-dimensional flow. Aquacultural Engineering 32, 465-481.
- 7) 田中由香里・阪倉良孝・中田 久・萩原篤志・安元 進 (2005) マハタ仔魚のワムシサイズに対する摂餌選択性. 日本水産学会誌 71, 911-916.
- 8) Ruttanapornvareesakul Y., Sakakura Y., Hagiwara A. (2007) Effect of tank proportions on survival of seven band grouper *Epinephelus septemfasciatus* (Thunberg) and devil stinger *Inimicus japonicus* (Cuvier) larvae. Aquaculture Research. 38(2), 193-200.
- 9) 清水大輔・崎山一孝・阪倉良孝・高谷智裕・高橋庸一 (2007) トラフグ人工種苗の減耗要因の検討；天然魚と人工種苗の比較. 日本水産学会誌. 73(3), 461-469.
- 10) Sakakura Y., Shiotani S., Shiozaki M., Hagiwara A. (2007) Larval rearing without aeration: A case study of the seven-band grouper, *Epinephelus septemfasciatus*, using a wave maker. Fisheries Science 73(5), 1199-1201.
- 11) Sakakura Y., Shiotani S., Chuda H., Hagiwara A. (2006) Improvement of the survival in the seven-band grouper, *Epinephelus septemfasciatus*, larvae by optimizing aeration and water inlet in the mass-scale rearing tank. Fisheries Science 72(5), 939-947.
- 12) 赤澤敦司・阪倉良孝・萩原篤志 (2008) 大きさと形の異なるシオミズツボワムシ3株に対するホシガレイ, ブリ, ヨシノゴチ仔魚の摂餌選択性. 日本水産学会誌 74(3), 380-388.
- 13) Sabate FDLS., Sakakura Y., Tanaka Y., Kumon K., Nikaido H., Eba T., Nishi A., Shiozawa S., Hagiwara A., Masuma S. (2010) Onset and development of cannibalistic and schooling behavior in the early life stages of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. Aquaculture 301(1-4), 16-21.
- 14) 武部孝行・小林真人・浅見公雄・佐藤 琢・平井慈恵・奥澤公一・阪倉良孝 (2011) スジアラ仔魚の沈降死とその防除方法を取り入れた種苗量産試験. 水産技術3(2), 107-114.
- 15) Masuma S., Takebe T., Sakakura Y. (2011) A review of the broodstock management and larviculture of the Pacific northern bluefin tuna in Japan. Aquaculture 315(1-2), 2-8.
- 16) 角田哲也・川原秀夫・塩谷茂明・阪倉良孝・萩原篤志 (2011) 仔魚飼育モデル水槽内のフローパターンの観察. 水産工学 48(2), 99-108.
- 17) Sakakura Y., Andou Y., Tomioka C., Yogo S., Kadomura K., Miyaki K., Hagiwara A. (2014) Effects of aeration rate and salinity gradient on the survival and growth in the early life stages of the devil stinger *Inimicus japonicus*. Aquaculture Science 62(1), 99-105.
- 18) Hasegawa T., Takatsuki N., Kawabata Y., Kawabe R., Nishihara GN., Ishimatsu A., Soyano K., Okamura K., Furukawa S., Yamada M., Shimoda M., Kinoshita T., Yamawaki N., Morii Y., Sakakura Y. (2017) Continuous behavioral observation reveals the function of drifting seaweeds for *Seriola* spp. juveniles. Marine Ecology Progress Series 573: 101-115.
- 19) Ina Y., Sakakura Y., Tanaka Y., Yamada T., Kumon K., Eba T., Hashimoto H., Konishi J., Takashi T., Gen K. (2017) Development of phototaxis in early life stages of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. Fisheries Science 83(4), 537-542.
- 20) 高桑勇太・山崎渉・角田哲也・阪倉良孝 (2017) 気泡流解析を用いた矩形水槽内流れの推察. 水産工学 (印刷中)

「種苗生産水槽の流れを考える」

長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科 教授

阪倉 良孝

1. 水槽の流れを研究するようになった経緯

学生時代から日本栽培漁業協会（現水産研究・教育機構）や県の水産試験場などの種苗生産の現場で研究をする機会に恵まれて現在に至っているが、そこで沢山の飼育マニュアルを目にしてきた。微細藻（ナンノクロロプシス）の培養から、餌料生物（ワムシ、アルテミア）培養と栄養強化、水槽のセッティング、卵管理と仔魚の収容、給餌、取り揚げに至るまでの様々な事柄が詳細に書かれていて、学ぶところが非常に多かった。その一方で、水槽の流れを制御するための通気量の設定は、「微通気」、「小通気」、「強通気」などと書かれていて、自分では書いてあるとおりに通気量を合わせたつもりでも、飼育を担当されている方から「ああ、それじゃ強すぎる」とか言われて首をかしげることがよくあった。1999年に京都大学の舞鶴水産実験所で、500Lパンライトでヒラメの種苗生産を自分一人ですることになった。この時の私のバイブルは、福井県立大学の青海忠久先生が作られたヒラメ飼育マニュアル、通称「青海マニュアル」であった。「青海マニュアル」で感銘を受けたのは、通気の仕方が私にも分かるように書かれていたことであり、これが今回紹介する研究の原体験となっている。

2000年に長崎大学に奉職してすぐに、長崎県と共同で当時の難種苗生産魚種の筆頭格であったマハタの種苗生産に挑戦することになった。マハタの仔魚はヒラメよりもデリケートで、水槽の流れが飼育成績に強く影響を与える。水試の職員の方々、同じ研究室の萩原篤志教授と学生たちとともに多くの試行錯誤を重ねた結果、マハタ仔魚飼育に最適な流れや通気量を数値として表すことができた。数値で表すことで、誰でも同じように水流調節ができる。このことが礎となって、他魚種の種苗生産の研究が系統立てて実施できるようになり、さらに飼育担当者への引継ぎが確実に became ことが大きな成果であると自負している。

本講演では、これまで実施してきた種苗生産水槽内の水流の制御を中心に概説する。

2. 仔魚の浮上死と水槽内の流れ

マハタの種苗生産では、仔魚が表面張力に囚われて水面で死亡する「浮上死」という現象がふ化後10日齢頃までみられ、仔魚が全滅することも少なくなかった。浮上死を減らすために、水面に油脂を散布して油膜を形成させて仔魚の水面接触をなくす方法が取られてきたが（引用文献1）、仔魚の開鰓（鰓の開腔）の阻害や水質悪化を誘導するという大きな問題が残る。特に、開鰓しなかった種苗は前彎症などの形態異常の出現率が非常に高くなる（引用文献2）。10日齢までのマハタ科仔魚の遊泳能力は低く、油膜形成なしに浮上死を軽減するためには、仔魚飼育水槽の水流を調節することが必須であると考えられた。

演者らの研究グループはまず、1トン水槽（パンライト水槽）を用いて、様々な流場を作って10日齢までのマハタ仔魚の生残と成長を調べるといった実験を繰り返した。水槽底中央にエアストーンを1個おき、1日1回転の換水条件にした。このとき、無通気の状態から1000 mL/分まで通気量を変

えて飼育を行ったところ、マハタの場合は200 mL/分の通気量で最も生存率が高くなった（図1，冒頭記載の研究成果5）。これよりも通気量が低くても高くなってもマハタ仔魚の浮上死数は多くなり，生存と摂餌状況は悪くなることも明らかになった。同一条件で，船舶工学を専門とされている塩谷茂明教授（現大阪経済法科大学）に，電磁流速計を用いて水槽内の流れを定量していただいたところ，エアストーンから出てくる気泡の上昇に伴って水槽内に鉛直循環流が形成されており，200 mL/分の通気では鉛直方向に最大8 cm/秒の流れが形成されていることがわかった。一方，オニオコゼの場合は，通気量が低いと生存率が低いのはマハタと同じであったが，300～1200 mL/分の通気量であれば飼育成績が高いことが分かった（研究成果17）。1200 mL/分というと，水槽を次亜塩素酸ナトリウムで消毒した後に塩素を飛ばすときのような非常に強い通気である。このように，魚種によって最適な流れが異なることにも注目したい。

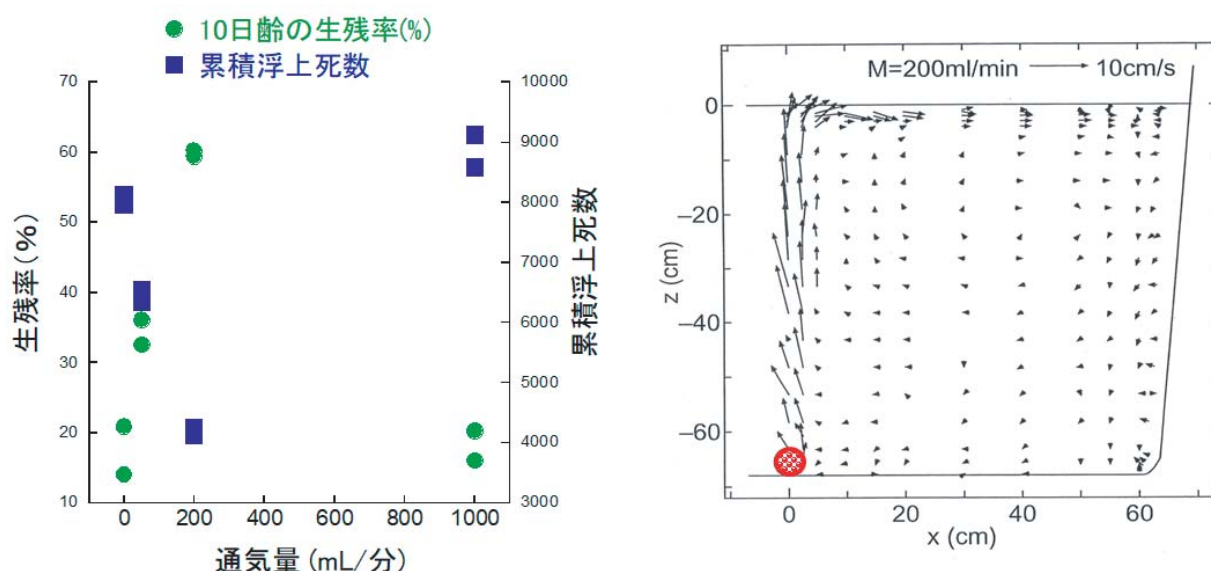


図1. 1トンパンライト水槽で異なる通気量を与えたマハタ仔魚を10日齢まで飼育したときの生存率(左図)。最も生存率の高かった200mL/分通気の際の鉛直循環流を右図に示した。塩谷ら(2003)を改変。

パンライト水槽では上述のようにマハタ飼育に最適な流れ（通気量）を決定することができた。もっと大きな量産水槽ではどうだろうか？長崎県総合水産試験場の量産水槽(100トン)は直径8 m，深さ2 mの円形をしており，中央に排水のドレンが設置されている。従来このような大型水槽の場合には，複数のエアストーンやエアリフターを設置するのが当たり前とされていたが，当時マハタ飼育を担当されていた中田久博士（現近畿大学准教授）が，パンライト試験の結果を受けて思い切って通気を中央だけに集約し，上昇流の最大流速を8 cm/秒（通気量630 mL/分）になるように調節した。その結果，10日齢までの生残が従来の3倍以上になり，飼育成績も安定した（研究成果11）。この時の流れを再現し，ドップラー流速計で測定したところ，パンライト水槽と酷似した鉛直循環流が形成されていた（図2）。また，広島県の民間種苗生産会社でも，同じ方法で1万尾以上のマハタ稚魚生産に成功した。このように小型水槽の実験結果が現場の量産にも適用できたのである。

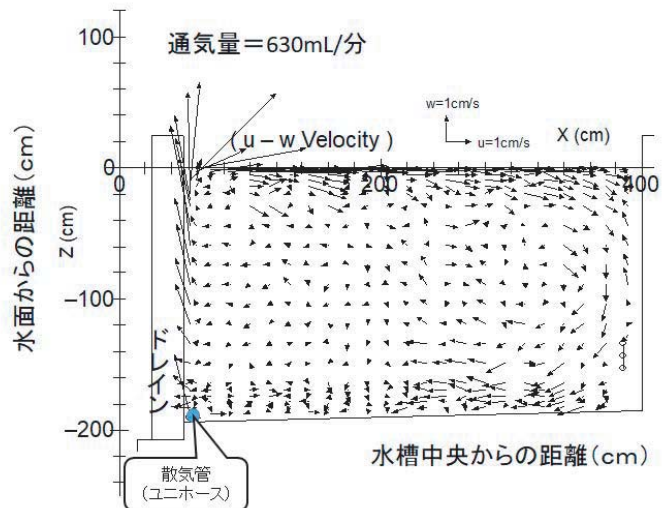


図2. 長崎県総合水産試験場の100トン量産水槽（左図：直径8m、深さ2m）とマハタ仔魚飼育に適用した流れの解析図（右図）。Sakakura et al. (2006) を改変。

ここまで紹介した飼育実験では水面に油膜形成を行っていた。油膜形成をすることなく仔魚の浮上死を抑制できないか、という考えから、萩原教授の発案で水槽の形を変えてみようということになった。市販のパンライト水槽（200 Lと100 L）とサンライトタンク（100 L）の3種類の水槽を使い、飼育水量と通気量をそれぞれ100 Lと50 mL/分に統一して、半径（水表面積）と水深、すなわちアスペクト比（ $AR = \text{水深} \div \text{水槽半径}$ ）の異なる水槽を設けてマハタとオニオコゼの初期飼育を試みた。その結果、表面積が小さく水深の深いサンライトタンク（ $AR = 3.29$ ）が、最も生残率が高く浮上死数は最も少なかった（研究成果8）。サンライトタンクはもともと微細藻類培養用であるが、仔魚飼育にも使えるというのが興味深い。同じ水量ならば、パンライト水槽よりもサンライトタンクの方が省スペースであることから、大学ではこれを多用している。これらのアスペクト比の異なる水槽の流れを、共同研究者である大島商船高等専門学校の角田哲也准教授が粒子画像流速測定法（PIV）で測定したところ、一般に魚類飼育に用いられている水槽（ $AR \approx 1$ ）では鉛直断面に1層の循環流が形成されているのに対し、アスペクト比の高い水槽では上下2層の循環流が形成されて鉛直方向に8の字を描く流れになっていることが分かった（図3. 研究成果16）。仔魚の水槽内での行動をみると、アスペクト比の高い水槽では仔魚が水流で輸送されて水表面に接触する時間が短いことが分かった。この実験当時はマハタ仔魚の生残率を高くすることに注力しており、棘条伸張期までの飼育や開鰓率（鰓の開腔率）までは調べていなかった。北島・塚原（1982）は、マダイ仔魚を通常の水深で飼育するものと、9日齢まで水深を浅くしてその後通常の水深に戻すものとに分けて稚魚になるまで飼育した。その結果、初期に水深を浅くした実験区のマダイの開鰓率は高くなったが、生残率は逆に低くなったことを報告している。この場合、マダイ仔魚はアスペクト比の低い水槽で飼うと死亡率が高くなることとなり、マハタやオニオコゼの結果と一致する。仔魚の水面接触頻度の高くなるアスペクト比の低い水槽では、開鰓率が高くなるという現象はマハタでも十分想定されるが、実験的な検証が必要である。

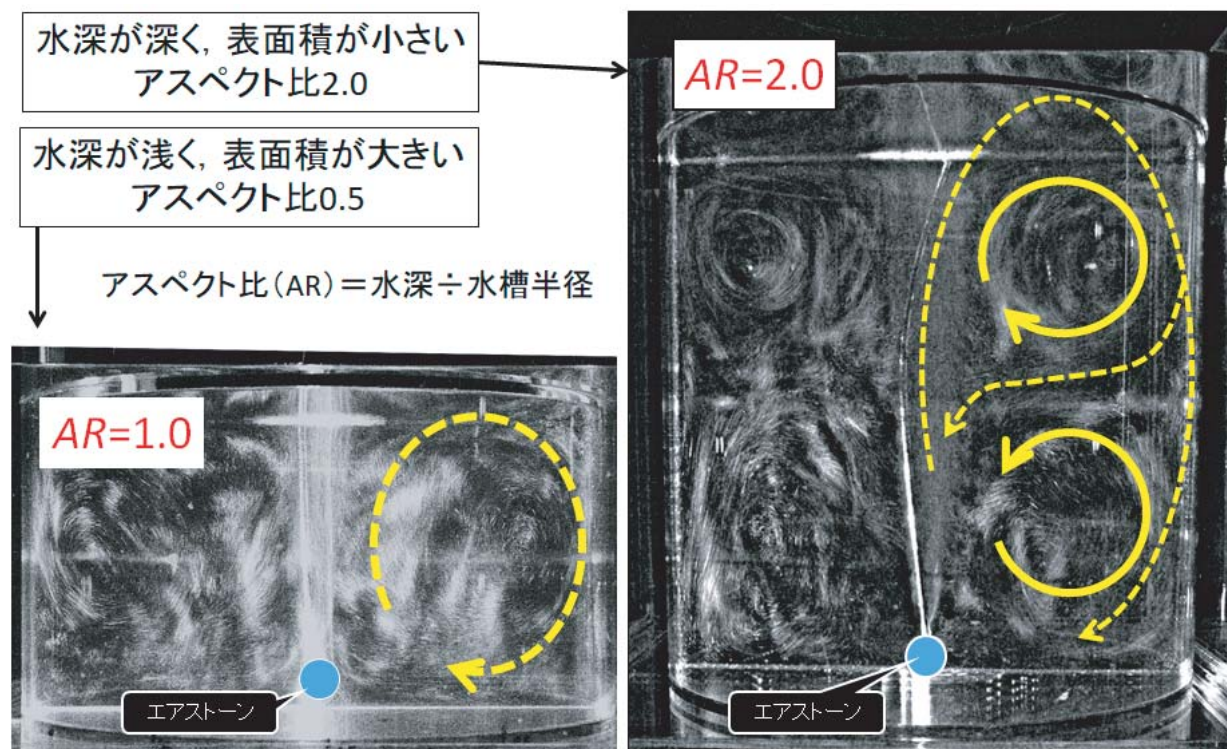


図3. PIVにより可視化したアスペクト比の異なる水槽の中の流れ（角田（2011）を改変）。

油膜形成をすることなくマハタ仔魚の浮上死は抑制するために考案したものに、造波装置がある。直径5 cmのゴム球を水面で毎秒1回上下させることで水面に波を形成し、仔魚の水面接触を防ぐというアイデアである。この場合、マハタは浮上死することはなく、生残も油膜形成+通気の場合と同等かそれ以上であることが明らかになった（研究成果10）。造波装置を設置した水槽には流れというよりも、上下の細かい振動（およそ1 mm/秒）が水槽底面にまで到達していた。種苗生産業者から聞き取った話では、量産規模の大きな水槽で造波を試みたところ、うまくいかなかったとのことである。小型水槽ならではの飼い方なのかもしれない。また、マダイの種苗生産の黎明期や二枚貝の幼生飼育でも浮上死はよく見られ、その頃は水面にブローで空気を吹き付けたり、水面にシャワーのように海水を散布して水面に波を作っていたということも聞いた。どうやら、浮上死というのは新しい魚種の種苗生産を始めるときについて回る現象で、その後見られなくなるようである。このことは、飼育を重ねるうちにその魚種の飼育に適した流速が分かってきて、その結果浮上死も減っていくことを示しているように思える。

マハタの浮上死防除の研究で試されたもう一つの例に、飼育水槽内に塩分勾配を作るという方法がある。塩分勾配を仔魚飼育水槽内に形成し、仔魚が自ら遊泳する塩分を選ばせる、というこの斬新なアイデアは、余語茂氏の特許（引用文献4）によるものであり、アユやヒラメで非常によい飼育結果が得られている。この方法でオニオコゼを飼育したところ、生残率が安定するだけでなく、発育が同期するということが分かった（研究成果17）。しかしながら、マハタ仔魚を塩分勾配水槽で飼育した場合、何度繰り返しても浮上死は見られないのに全滅してしまった。この原因は、次に挙げる沈降死という現象と深く関わっているようだ。

3. 仔魚の沈降死と水槽内の流れ

最近の魚類種苗生産で大きな問題となっているのは「沈降死」であり、ハタ類の他に、クロマグロやマツカワなど種苗生産の難しいとされている魚種に見られる現象である。沈降死は主に夜間に起こり、浮上死と同様にふ化後10日齢頃までみられる。クロマグロ仔魚の沈降を詳細に観察した研究（引用文献5）によると、クロマグロ仔魚は海水より比重が重く、仔魚が夜間に遊泳を停止して比重が増加することで水槽底に沈降し、受動的に流れの無い部分に集められて酸欠で死亡したり、バクテリアフロックなどに絡まったりして死んでいくものと考えられている。さらに最近のクロマグロの研究（引用文献6）で、鰾が未開腔または鰾開腔が不十分な個体が、夜間の体比重増大に抗するだけの揚力（浮遊力）が得られずに沈降し、沈降に逆らって過度に遊泳にエネルギーを使いすぎて衰弱し、その結果として死亡するという説が唱えられた。先ほど述べた塩分勾配水槽でマハタ仔魚が全滅した原因もまた、仔魚の沈降死の可能性が高い。一方、アスペクト比の高い水槽で飼育した事例では、その複雑な鉛直流が浮上死とともに沈降死の防除にも一役買ったのではないかと考えている。また、造波水槽の例は、水槽底での振動が仔魚の沈降を防いだのだろう。

沈降死の防除策には、仔魚が夜間に沈降することに着目して、1) 夜間通気増大法：夜間に通気量を上げて仔魚を水柱に留ませる、2) 水中ポンプ法（図4）：水槽底に沈降した仔魚を水柱に押し戻すために、水槽底にポンプで飼育水を吐出して水流を起こす、3) 全明飼育：24時間照明を施して仔魚を眠らせない、という3つの方法がある。夜間通気量増大法と全明飼育はクロマグロで成果が上がっている（引用文献7,8）。水中ポンプ法はハタ類で効果が上がっており、キジハタ（引用文献9）、クエ（引用文献）およびスジアラ（研究成果14）は、いずれも1機関で10万尾単位の種苗が取り上げられるようになった。スジアラは、最も種苗生産の難しい魚種といわれて1980年代から長く取り組みがなされてきていたが、今や隔世の感がある。ところで、水中ポンプ方式を採用した飼育水槽の流れの測定も水研機構によって試みられたが、クロレラなどが流れる様子は目視確認できるものの、その流れを既存の測定器機で定量することはできなかったとのことである。

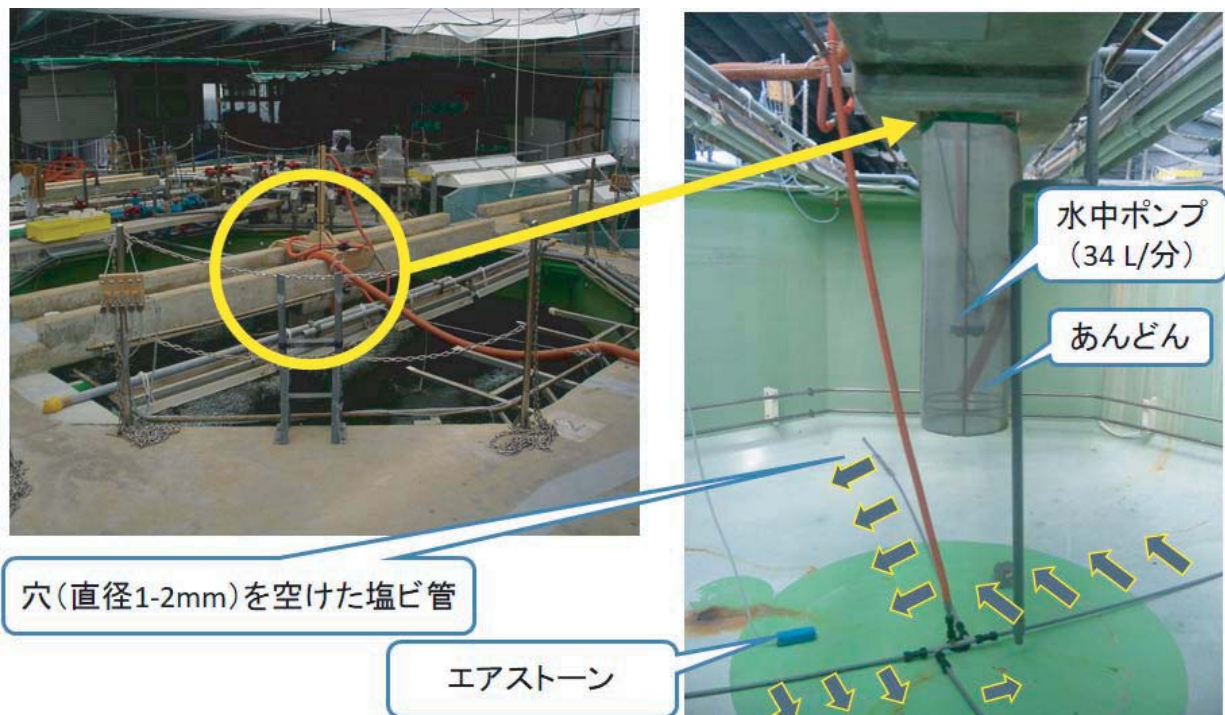


図4. 水中ポンプの設置例（50トン水槽）。武部ら（2011）より。

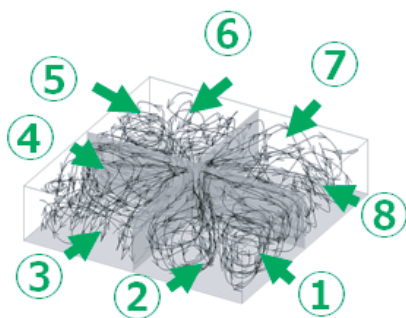
浮上死が問題になっていた魚種と、夜間の仔魚の沈降現象が問題になった魚種は一致していることは興味深い。いずれの場合もその魚種の種苗生産の黎明期に浮上死が問題となり、その後沈降死が問題となるという順をたどっている。このことが、飼育技術の向上により今まで気がつかなかった減耗要因にたどり着いたのか、飼育を重ねることで無意識の選択が働いた結果として飼育水槽で生き残りやすい魚が選別されていく、いわゆる家魚化が起こったのか、はっきりとした結論はまだ出ていない。

4. 矩形水槽（角型水槽）の流れ

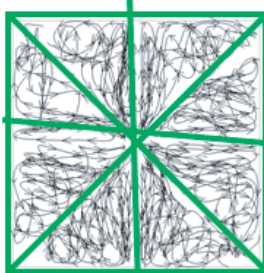
このような研究をしていると、必ず「四角い水槽では流れはどうなっているのか？」という質問を受ける。我々は、これまで円形水槽か八角形的水槽の流れを扱ってきた。これらの水槽は、水面が中央から対称の形をしていることから、エアストーンを水槽底中央に置いたときにできる流れは、鉛直方向には同じ形の循環流になる。したがって、二次元方向を無視して、鉛直方向の流れだけを論じていけばよかった。現場には正方形から長方形、ガラス水槽からコンクリート製の大型水槽まで、実に様々な角型的水槽（矩形水槽）がある。これらの形も水量も異なる水槽の中にどのような流れができるのか、仮にエアストーンを1個だけ置いて通気したとしても、これを計測するとなると膨大な実験をする必用があり、ずっと躊躇していた。

共同研究者の角田先生と長岡技術科学大学の山崎渉准教授が、矩形水槽の流れの計測に着手してください、つい最近その成果が出てきた（研究成果20）。底面が正方形（288 mm×288 mm）の実験水槽に、水深を72 mm（AR=0.5）、144 mm（AR=1.0）、288 mm（AR=2.0）の3つに設定した。これらの水槽底の中央にエアストーンを置いて400 mL/分の通気を施し、PIV法で流れを測定した。その結果、いずれのアスペクト比でも鉛直方向の循環流が形成されているが、水平方向に見るとAR=0.5の場合は8層、AR=1.0と2.0では4層に分かれることが明らかになった（図5）。さらに、各々の循環流の層の境界、特に水槽の4隅には、流れがごく弱いか、または止水に近い状態が検出された。これまでも「角型水槽では『死に水』ができる」といった表現をよく耳にしてきたが、現場で経験的に知られていることがようやく数値化できてきたところである。

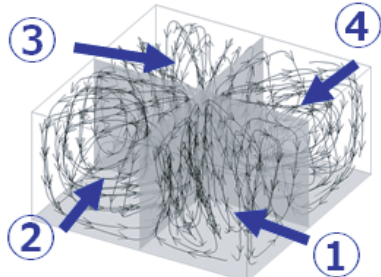
AR=0.5: 8つの渦



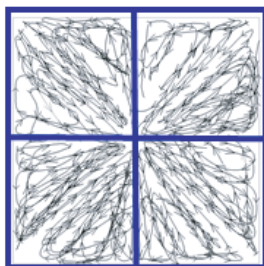
上から見たところ



AR=1.0: 4つの渦



上から見たところ



AR=2.0: 4つの渦

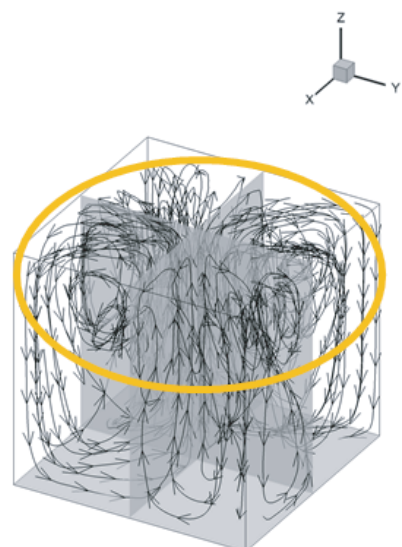


図5. アスペクト比の異なる矩形水槽内の流れを3次元で可視化したもの「高桑ら（2017）より」。

実際には、矩形水槽の死に水をなくすために、水槽の四隅にユニホースを設置して通気し、水槽全体に循環流ができるように工夫しているところ（引用文献11）がほとんどであろう。このような場合についても流れの可視化を進めていっているところである。今後は、これらの矩形水槽で仔魚飼育実験を行って、仔魚の生残と流れとの相関を調べていきたい。

【引用文献】

- 1) 土橋靖史, 栗山功, 黒宮香美, 柏木正章, 吉岡基. マハタ種苗生産過程における仔魚の活力とその生残に及ぼす水温, 照明およびフィードオイルの影響. 水産増殖 2003; 51: 49-54.
- 2) 宇治督, 中田久. 4章 形態異常の科学. 「ハタ科魚類の水産研究最前線」(征矢野清, 照屋和久, 中田久編) 恒星社厚生閣, 2015; 47-64.
- 3) 北島力, 塚原康生. 水槽の深さがマダイ仔魚の鰾開腔率に及ぼす影響. 長崎水試研究報告. 1982; 8: 137-140.
- 4) 余語滋. 人工種苗の管理方法. 特許第4091965号, 2008.
- 5) Takashi T, Kohono H, Sakamoto W, Miyashita S, Murata O, Sawada Y. Diel and ontogenetic body density change in Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* (Temminck and Schlegel), larvae. *Aquacult. Res.* 2006; 37: 1172-1179.
- 6) Ina Y, Sakamoto Y, Miyashita S, Fukuda H, Torisawa S, Takagi T. Ontogeny of swim bladder inflation and caudal fin aspect ratio with reference to vertical distribution in Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* larvae. *Fish. Sci.* 2014; 80: 1293-1299.
- 7) Nakagawa Y, Kurata M, Sawada Y, Sakamoto Y, Miyashita S. Enhancement of survival rate of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) larvae by aeration control in rearing tank. *Aquat. Living Resources* 2011; 24: 403-410.
- 8) Kurata M, Tamura Y, Honryo T, Ishibashi Y, Sawada Y. Effects of photoperiod and night-time aeration rate on swim bladder inflation and survival in Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* (Temminck & Schlegel), larvae. *Aquacult. Res.* 2017; 48: 4486-4502.
- 9) 南部智秀. II-7 キジハタの種苗生産・養殖技術(シンポジウム記録 ハタ科魚類の繁殖の生理生態と種苗生産). 日水誌 2014; 80: 1000.
- 10) 中田久, 土橋靖史, 辻将治. 6章 最新種苗生産技術・養殖と問題点〜クエ・マハタを例として〜. 「ハタ科魚類の水産研究最前線」(征矢野清, 照屋和久, 中田久編)恒星社厚生閣, 2015; 81-95.
- 11) 照屋和久, 與世田兼三. クエ仔魚の成長と生残に適した初期飼育条件と大量種苗量産試験. 水産増殖 2006; 54, 187-194.

講師紹介

マサバの完全養殖技術開発とブランド化

宮崎大学農学部海洋生物環境学科 准教授

九州大学大学院農学研究院 客員准教授

長野 直樹

【略 歴】

- 1971年 宮崎県生まれ
- 1995年 広島大学生物生産学部生物生産学科卒業
- 1997年 広島大学大学院生物圏科学研究科修士課程修了
- 2001年 鹿児島大学大学院連合農学研究科博士課程修了 博士（農学）
- 2001年 日本学術振興会特別研究員
- 2004年 財団法人長崎県産業振興財団地域結集型共同研究事業
プロジェクト推進室研究員
ハタ科魚類の骨格異常の問題解決に取り組む。
- 2006年 宮崎大学農学部生物環境科学科 産学官連携研究員
海洋微生物ラビリントラ類による高度不飽和脂肪酸、特にEPAやDHA
等の機能性脂質の大量生産技術開発に取り組む。
- 2012年 九州大学大学院農学研究院唐津水産研究センター共同研究部門
准教授
マサバの完全養殖技術開発とブランド化に着手する。
- 2017年 宮崎大学農学部海洋生物環境学科 准教授
- 2017年 九州大学大学院農学研究院 客員准教授

【所属学会】

日本水産学会、水産増殖学会、World Aquaculture Society、マリンバイオテクノロジー学会

【最近の研究活動】

[雑 誌]

1. 佐賀県唐津市におけるマサバの完全養殖とブランド化.
月刊養殖ビジネス(2017年1月号)
長野直樹

[学会発表]

1. マサバ完全養殖による地域活性化
平成29年度日本水産学会春季大会ミニシンポジウム
長野直樹
2. 唐津におけるマサバの完全養殖と特産品戦略.
第70回日本栄養・食糧学会大会シンポジウム
長野直樹
3. 養殖マサバと天然マサバの脂質含量及び脂肪酸組成の比較.
平成28年度日本水産学会春季大会
長野直樹, 尾塚美月, 北野 載, 坂口圭史, 松山倫也
4. Comparison of lipid content and fatty acid composition in wild and cultured chub mackerel *Scomber japonicus*.
Aquaculture 2016
Nagano N., Ozuka M., Kitano H., Sakaguchi K., Matsuyama M.
5. 佐賀県唐津市における完全養殖マサバのブランド化に関する取組.
平成27年度日本水産学会九州支部例会シンポジウム
長野直樹
6. 養殖マサバの成長と脂質特性.
平成27年度日本水産学会春季大会
長野直樹, 北野 載, 坂口圭史, 松山倫也
7. マサバの卵質と仔魚の質に及ぼす雌親魚の年齢の影響に及ぼす雌親魚の年齢の影響.
平成26年度日本水産学会大会春季大会
長野直樹, 北野載, 坂口圭史, Selvaraj S., Lumayno SDP, 松山倫也
8. Effect of broodstock age of female chub mackerel *Scomber japonicus* on egg and larval quality. Aquaculture America 2014
Nagano N., Kitano H., Sakaguchi K., Selvaraj S., Lumayno SDP, Matsuyama M

マサバの完全養殖技術開発とブランド化

宮崎大学農学部海洋生物環境学科 准教授

九州大学大学院農学研究院 客員准教授

長野 直樹

1. マサバ完全養殖の背景

佐賀県唐津市は玄界灘に面し、唐津城、虹の松原、唐津くんち、唐津焼き、呼子朝市といった観光資源に恵まれる。玄界灘ではケンサキイカ、マダイ、アジ、サバ等の新鮮な魚介類が漁獲されることから、水産業は主要産業の一つであると共に観光産業を食の面で支えている。しかし近年、水産業を取り巻く環境は厳しさを増しており、水産業の活性化を図ることが唐津市全体の発展の上で重要な施策の一つとなっている。そこで九州大学と唐津市は、2012年から「新水産資源創出研究プロジェクト」と題した共同研究に取り組み、唐津市水産業の活性化を目的として新しい養殖魚種の導入に向けた技術開発を行っている。その一環として「マサバ完全養殖プロジェクト」があり、マサバの種苗生産技術開発、養殖技術開発、および生産物の流通・ブランド化に取り組んでいる。

マサバは水産資源として重要な多獲性の大衆魚として知られるが、1970年代をピークにその漁獲量は減少し、2000年以降は低い水準で推移しており、漁獲サイズも小型化している。その様な状況において、天然魚のみならず養殖マサバの需要は高く、西日本を中心に養殖が行われている。しかし、マサバ養殖の多くは依然として天然種苗に依存しているため、その供給量は不安定であることから人工種苗の生産技術の開発が望まれており、ここ数年、大分県、鳥取県、和歌山県、福井県等では盛んに種苗生産の技術開発が行われている。九州大学と唐津市は2014年に「マサバの完全養殖」のサイクルを確立し、生産物の流通も4年目となるが、その技術開発と養殖マサバのブランド化への取り組みを紹介したい。

2. 種苗生産技術開発

種苗生産用の親魚には、海面生簀で育てられた人工種苗由来（完全養殖）の1歳～3歳魚を用いている。出荷用と親魚用の魚は同じ海面生簀で育成するため、一部を事前に陸上水槽（FRP5トン、**図1**）に移し、4から6月の間（水温18℃～22℃）に、生殖腺の状態を確認後、hCG（ヒト絨毛性ゴナドトロピン）またはGnRH（性腺刺激ホルモン放出ホルモン）を投与し、自然産卵および人工授精により採卵する。受精卵は卵径0.9～1.0 mm であり、雌親魚1尾あたり平均約50,000粒が得られる。採卵後は、4トン水槽にトン当たり10,000粒を収容し、仔魚が開口する孵化後2日齢からワムシ、アルテミアおよび冷凍コペポーダの順に給餌する。ワムシはスー



図1. 陸上水槽での親魚養成。約20尾を収容

パー生クロレラV12で、アルテミアはバイオクロミスで栄養強化している。ふ化後20日齢からはアンブローズ等の稚魚用配合飼料を成長に応じてサイズを変え給餌している。30日齢では体長が30 mm、体重が0.3 g以上に達し、体長が70mm以上となるふ化後60日以降には市販のEP (粒径1 mm) を給餌し、海面生簀に沖出ししている (図2)。

種苗生産尾数は初年度(2012年)に3,000尾であったが、2013~2015年は10,000~20,000尾と増加し、2016年は90,000尾、平成29年は60,000尾を生産した。当初、受精卵から沖出しまでの歩留まりは10%以下であったが、最近では20%まで向上してきている。歩留りの向上は、給餌間隔の工夫(共食い・噛み合い対策)、照度の調整(衝突死対策)などによる。体長5 mm 前後から始まるつき合い及び共食い(図3)には、給餌を頻繁に行うこと、大小選別をすることで対処している。

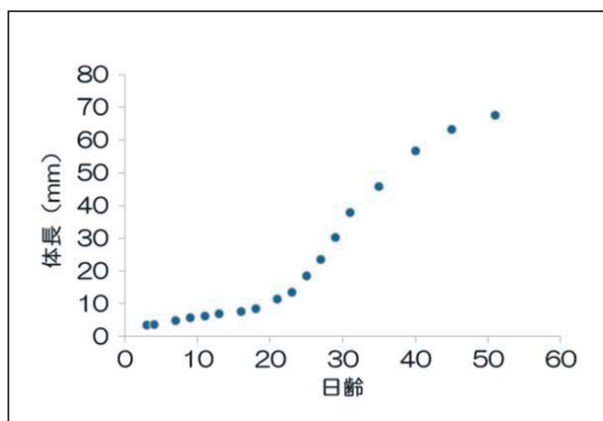


図2. マサバの初期成長



図3. マサバ稚魚の共食い

3. 養殖技術開発

6月から7月の間に沖出しした種苗は唐津湾、伊万里湾、名護屋湾等の海面生簀において市販のEPのみを給餌し、養殖している(図4)。本海域では冬季は10℃~11℃に水温が低下し、夏季は30℃近くまで水温が上昇することからこれらの期間は十分に給餌できず成長が停滞するが、翌年9月には出荷サイズ(400 g)に達する(図5)。

養殖を始めた2012年は種苗の受け入れが1軒しかなかったが、2013年には2軒、2015年には3軒となり、現在では6軒の経営体で養殖を行っている。

海面生簀における主な斃死要因は、連鎖球菌症、ハダムシ症であり、2016年に沖出しした種苗の歩留まりは約50%だった。また、海域により毎年夏季には渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* による赤潮が発生するが、餌止等の対策により甚大な被害に至っていない。高水温期には給餌の数日後に斃死が多くみられることもある。骨格異常の発症率は5%程度であり、これまでに腹椎と尾椎の変形や鰓蓋の欠損を確認している。



図4. 唐津湾の海面生簀

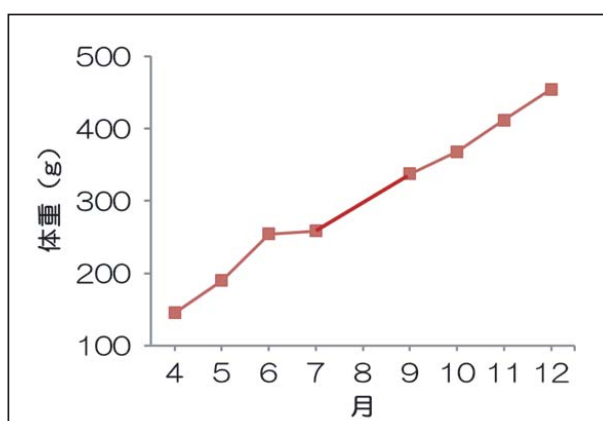


図5. 海面生簀での成長

4. 完全養殖“唐津Qサバ”のブランド化

これまでに2014年(9月～翌6月)には、約3,000尾、2015年は約6,000尾、2016年には約10,000尾を出荷し、名称も一般公募により“唐津Qサバ”と付けられた。また、今シーズンは昨年の約4倍量の40,000尾程度を出荷する予定である。出荷先は、唐津市内を中心としており、旅館・ホテル16軒、居酒屋、和食店等の飲食店7軒、スーパー・直販所4軒であり、徐々にではあるが唐津のご当地食材となりつつある。唐津市呼子町では「イカの活き作り」が地域のブランドとして定着しているが、特に冬季は海の悪天候や不漁で活イカが品薄になることから、この地区では特に活イカに次ぐ地域特産品となることが期待されている。一方で、都市部での認知度アップとファンや市場を形成し、唐津地区への観光客の誘導を図る試みも行っている。福岡市内の飲食店や百貨店への流通も行っており、今シーズンは東京へも販路を拡げる予定である。

“唐津Qサバ”の特徴として、1) 完全養殖である、2) 脂質含量が安定している、3) アニサキス感染による食中毒のリスクが極めて少ない、4) 活魚流通が可能である、5) 周年出荷可能である、6) 産学官の協力体制による生産物である点があげられる。ブランド化を図る上で、「完全養殖」は強みの一つとなっており、メディアからもこのフレーズが注目され、販売開始から現在まで50件以上の新聞や観光誌、テレビ、ラジオで紹介されている。品質に関しては“脂ののり”を売りとしており、天然のマサバは漁獲時期や海域により脂質含量が年間平均10%前後であるが、養殖マサバは給餌調整により

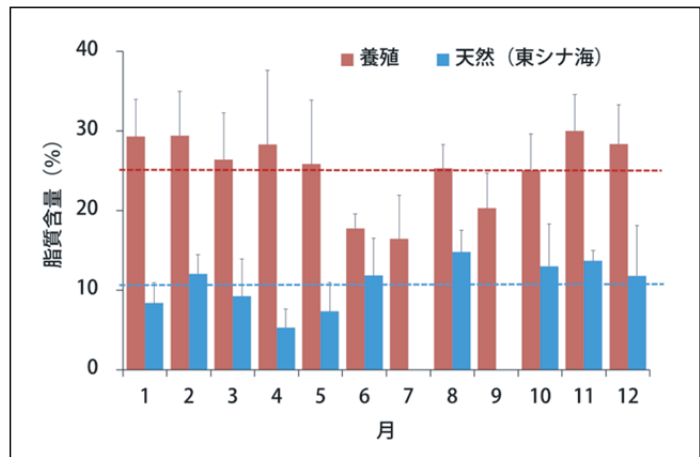


図6. 天然および養殖マサバの脂質含量



図7. 唐津Qサバの活き造り

脂質含量が年間平均25%である(図6)。また、“唐津Qサバ”は稚魚期から出荷まで一貫して配合飼料を給餌することにより、天然ではオキアミなどを介してサバ類に寄生するアニサキスがみられない。平成29年6月現在でのアニサキスの発見例は出荷した約2万尾中0件である。そのため活魚・鮮魚としての需要が高く、主に活き造りで提供される(図7)。

現在、「唐津Qサバ」の養殖は佐賀玄海漁協(唐津市)の組合員で結成した“唐津Qサバ会”で行い、出荷・販売については佐賀玄海漁協で管理する体制が整備され、商標登録やロゴの作成も進めている。また、月に1度は研究者、行政、生産者、販売者で勉強会を行い生産性や品質の向上を目指している。今後も「唐津Qサバ」養殖が唐津の産業として根付くように、大学、行政、漁協、観光業者および飲食業者が一致団結し「マサバ完全養殖プロジェクト」を進めていく予定である。