

FRA NEWS

水産業の未来を拓く



2020.3

クロマグロ **養殖** 最前線!

— 技術開発はどこまで進んでいるか —

Contents

- 2 クロマグロ養殖最前線! — 研究開発はどこまで進んでいるか —
- 22 アンケート結果
- 23 刊行物報告/執筆者一覧
- 24 TOPIC
- 24 編集後記



クロマグロ養殖の現状と 問題解決に向けた取り組み

クロマグロの国内需要はおよそ5万トン（2017年）。その約6割が国内生産でまかなわれており、そのうちの6割にあたる1.6万トンが養殖で生産されています。一方、資源量に目を向けると、漁獲の対象となる親魚は、2010年に過去最低レベルとなりました。それ以降、国際的な漁獲規制のもとゆっくりと回復していますが、まだまだ低い水準にあります（図1）。日本のクロマグロ養殖は天然種苗に大きく依存しているため、さらなる漁獲規制が進むことで、天然種苗の不足から養殖生産への影響が心配されます。このような状況のなか、問題解決の新たな糸口として脚光を浴びているのが、人工種苗を使ったクロマグロ養殖です。

人工種苗の課題

人工種苗は、養殖あるいは天然の親魚から人間が生産した養殖用の種苗のことです。近年、マダイやサーモンの養殖では、天然親魚に依存しない、いわゆる完

全養殖で作られた人工種苗の利用が主流となっています。

完全養殖は、人工的に育成した出荷魚の一部から卵を採り、再び親まで育てて次世代を生産する養殖形態です（図2）。

クロマグロでは、近畿大学が32年の歳月

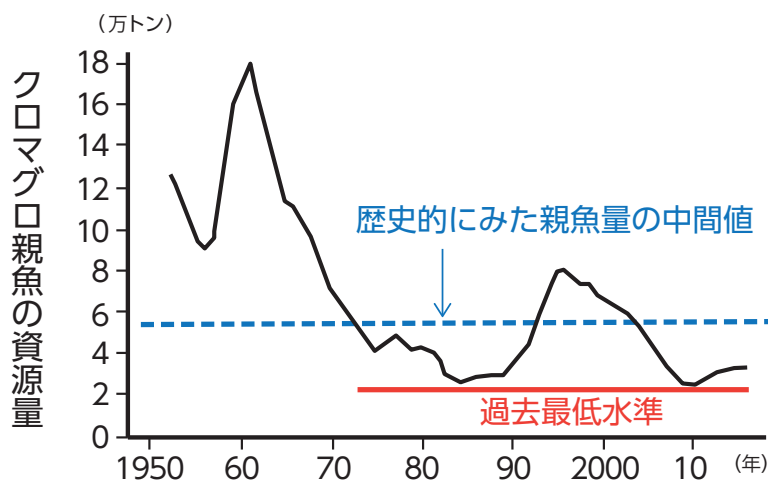


図1 クロマグロ親魚の資源量



西海区水産研究所
まぐる増養殖研究センター
げん こういちろう
玄 浩一郎

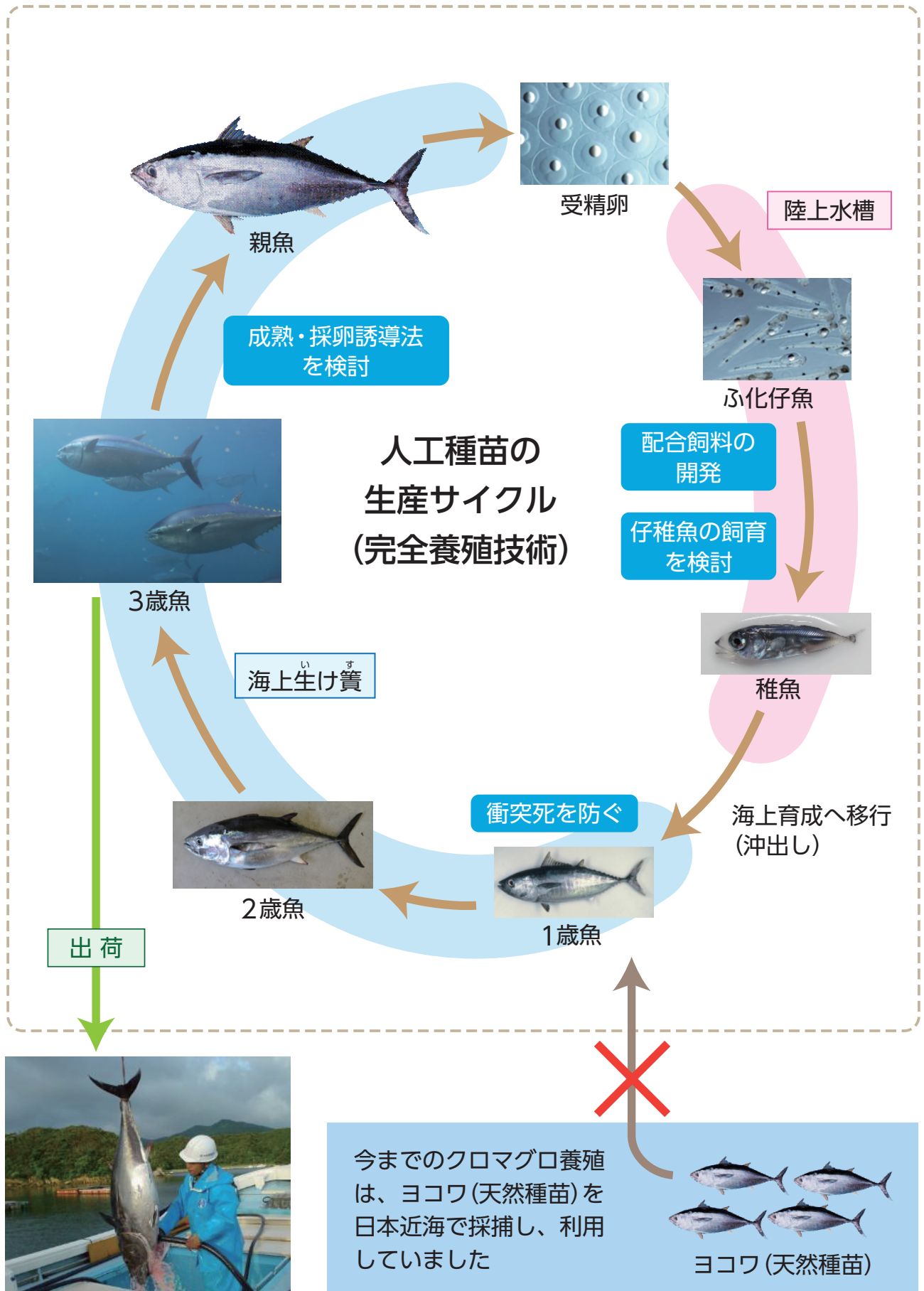


図2 人工種苗の生産サイクル

をかけ、2002年に世界で初めて完全養殖に成功しました。しかし、いまだに1万粒の卵から出荷できる魚が1〜10尾しか育てられないのが現状です。

そのおもな原因の一つとして、卵から人工種苗を作るまでの効率が極めて悪いことが挙げられます。というのも、これまでクロマグロ養殖は、天然で育った種苗を利用していたため、親魚をどのように飼育すれば卵を産むのか、卵から生まれた仔魚をどのように育てれば養殖種苗

にできるのか、などの知見がほとんどなかったからです。また、クロマグロは養殖魚のなかで最も大きく、その取り扱いが極めて難しいうえ、親魚や種苗を用いた研究開発には大型の施設が必要となります。それらが障害となり、なかなか研究開発が進んできませんでした。

人工種苗の生産効率の向上

これらの問題に取り組むため、水産研究・教育機構では、2011年に西海

区水産研究所にまぐろ増養殖研究センターを設置し、大学・研究機関や民間企業と連携・協力して研究開発を進めています。同センターは、成熟制御グループ（長崎庁舎）と種苗量産グループ（奄美庁舎）からなり、前者は研究レベルでは日本唯一の親魚用陸上水槽（親魚水槽）を、後者は種苗生産用の陸上水槽と育成用の海上生け簀を用いて研究開発をしています（写真・図3）。

完全養殖技術で人工種苗を生産するには、まずクロマグロから計画的・安定的に卵を採らなければなりません。しかし、研究開始当時は、海上の生け簀でクロマグロが偶然に産んだ卵を種苗生産に使用しており、計画的な採卵はできませんでした。そこで成熟制御グループは、野外調査で明らかとなった産卵に必要な飼育条件を親魚水槽で再現することで、2014年にクロマグロ親魚から人為的・安定的に卵を採ることに成功しました（6〜11ページを参照（成熟・採卵））。



写真 長崎庁舎の実験施設の外観（左）と親魚水槽（右）



図3 まぐろ増養殖研究センターの役割

一方、採れた卵から種苗を生産する過程で、仔魚が夜間に水底に沈降して大量に死亡する現象（沈降死）が大きな問題となっていました。このため種苗量産グループでは、仔魚の行動特性に着目した新たな飼育方法を開発することで、種苗生産初期の仔魚の死亡を大幅に軽減することができました（12～15ページを参照〈仔稚魚の飼育〉）。

さらに、これら研究開発の過程で得られた卵や飼育技術などに関する知見を、生産者の方々に提供することで、人工種苗を用いたクロマグロ養殖の普及・実証にも取り組んでいます。

クロマグロ養殖研究の展望

このように、卵や飼育方法に関する問題は解決のめどが立ったわけですが、まだ手つかずの問題も残されています。

その一つがエサの問題です。クロマグロは体重を1キロ増やすために、サバなどの生餌なまえさを15キロ必要とします。このた

め養殖生産者からは、成長のよい養殖用の配合飼料の開発が強く求められています（16～19ページを参照〈配合飼料の開発〉）。また、外部の刺激に敏感なクロマグロを人間が養殖しやすいものに変えていく、いわゆる家魚化かぎょも重要な課題となっています。このため、ゲノム編集技術など異分野との融合研究を積極的に推進しながら、問題解決に向けて取り組んでいます（20～21ページを参照〈新たな取り組み〉）。

さらに、近年、国内で生産した養殖クロマグロの新たな需要先として、海外市場への積極的な輸出促進の動きが加速化しており、国全体としてのトレーサビリティ（*）システムや認証制度の整備が不可欠となっています。そのため、当機構は全国クロマグロ養殖連絡協議会を設立し、これら養殖用人工種苗に関する課題の解決を通じて、養殖クロマグロの安定供給と国際競争力の強化に向けた取り組みを関係者の方々と進めています。

*トレーサビリティ：その魚ががいつ、どこで、だれがどのように養殖、漁獲したのかを明らかにして、生産から消費までを追跡可能な状態にすること

成熟・採卵

親魚から計画的に卵を採るために①

クロマグロ成魚の運搬方法

難しいクロマグロの輸送

クロマグロを受精卵から2歳まで奄美庁舎で育て、その後、長崎庁舎の親魚水槽に運び、3歳で産卵させます。しかし、クロマグロは大型化するうえ、皮膚が非常に弱いため、運搬中に外傷が生じるなどして、よく死亡します。このため、2歳魚での輸送は極めて難しいとされてきました。

そこで、長い年月をかけ、クロマグロにダメージを与えず、安全に運ぶ技術開発を行ってきました。どのように運ぶのか、順を追って紹介します。

奄美庁舎での積み込み

2歳のクロマグロは、体重10〜20キ

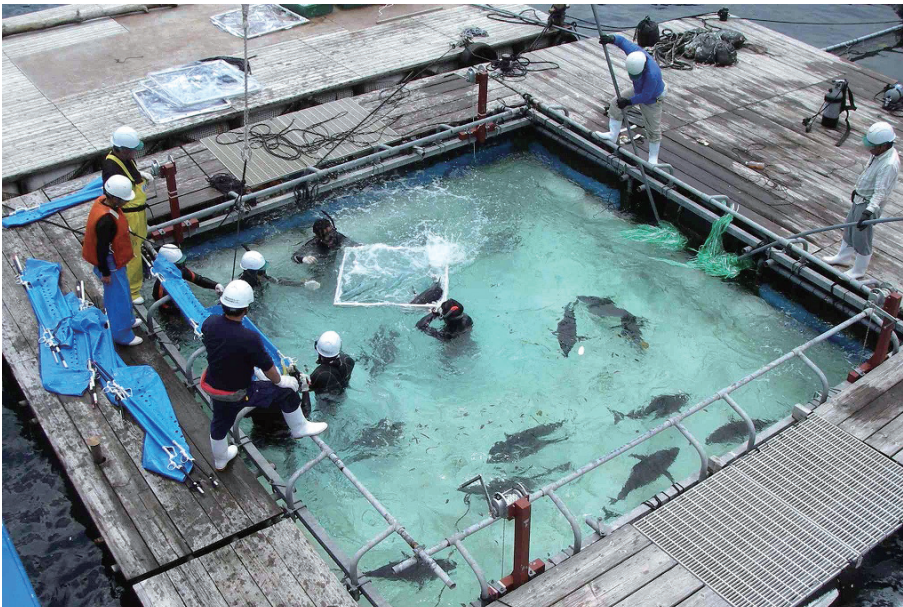


写真1 捕獲したクロマグロを担架に移すようす



図 活魚船で奄美庁舎から長崎庁舎へ



西海区水産研究所
まぐろ増養殖研究センター
成熟制御グループ
たかし としのり
高志 利宣

ロ、全長1メートルと非常に大きく、マダイなどのように網で捕まえることはできません。このため、ダイバーが大きな海上生け簀で泳いでいるクロマグロを小さな生け簀に誘導し、皮膚が傷つきにくい素材で作られた特殊な器具を使って数人がかりで捕まえます（写真1）。捕獲後は担架へ移し、魚を運ぶ特別な船（活魚船）の水槽に入れます。通常、80〜90尾くらいの活魚船に収容し、約2日間かけて長崎庁舎まで輸送します（図）。

長崎庁舎での搬入

活魚船が長崎庁舎に到着したら、船内の水槽でクロマグロを捕獲し、担架に移し替え、トラックで親魚水槽まで搬送します（写真2）。このときに、個体識別用のタグを体内に打ち込みます。クロマグロはえらを動かせないため、長時間泳げない状態になると呼吸ができずに死んでしまいます。そこで、運搬中はポンプでえらに海水を送り、酸素を補給するよ



写真2 トラックで親魚水槽まで輸送します

うにしています。

親魚水槽に到着後は、ダイバーが水槽に放流します（写真3）。

最初は試行錯誤でしたが、現在はほとんどダメージなく、3分程度で搬入できるようにになりました。このように、クロマグロは大型で非常に扱いが難しい魚ですが、対策を練ることで健康な状態での運搬が可能となり、成熟・採卵の実験などが行えるわけです。

動画を公開しています

クロマグロの養殖のようすや運搬方法の動画を、当機構のYouTubeチャンネル（fra_channel）で公開しています。ぜひご覧ください。

▼QRコードからご覧いただけます。



◀クロマグロ養殖技術の開発
<https://www.youtube.com/watch?v=oT-0fROQpbJA>

▶クロマグロ輸送試験
https://www.youtube.com/watch?v=G-DWG1_s4hvU

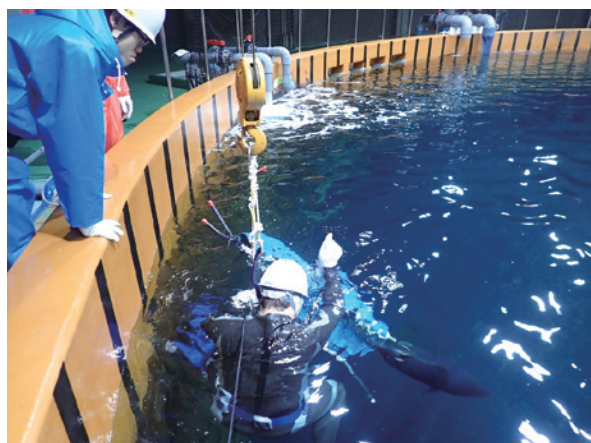


写真3 親魚水槽へやさしくクロマグロを放流します

クロマグロ成魚の陸上飼育

西海区水産研究所

まぐろ増養殖研究センター

成熟制御グループ

高志 利宣

循環システムで水質を維持

親魚水槽でクロマグロを飼育すると、エサの食べ残しや排泄^{はいせつ}されるフン・尿が発生します。これらを放置すると、水質が悪化し、魚がエサを食べなくなるなど健康に影響を及ぼします。水質の悪化を防ぐため、親魚水槽には水族館などで使用されている循環システムを導入していきます(図)。

循環システムは、エサの食べ残しやフンを取り除く物理ろ過装置、尿(アンモニア)を無害化する生物ろ過槽、微生物などを殺菌する紫外線殺菌装置を備えており、処理された水は再び親魚水槽へと戻ります。これらの処理により、良好な環境での飼育が可能になります。

さまざまな工夫で衝突死を防除

クロマグロの飼育で避けて通れない問題の一つに、「衝突死」があります。これは、光や音、ほかの魚の動きなどの刺激に驚いたクロマグロが、高速で水槽の壁に衝突し、骨折して死亡する現象です(写真1)。親魚水槽では産卵まで長期間の飼育になるため、魚が死なないう、水槽の色や光量の調整を工夫して対策しています。

まず一つめの対策として、過去の経験から褐色の水槽の壁に黒線^{くろせん}で縞模様^{しま}を描くことで衝突死が低減できることが分かっており、親魚水槽でも同様にしていきます(写真2)。次に、親魚水槽ではLED照明を用いて昼夜を人工的に制御し

ていますが、急激な光の変化が衝突死の要因になるため、昼夜の切り替え時には2時間かけてゆっくりと照度を変化させていきます(写真2)。

このようにさまざまな工夫をすることで、クロマグロを健康で良好な状態で飼育し、産卵までに多く生き残らせることが可能となりました。

しかし、このような対策にもかかわらず、衝突死を完全に抑えるには至っていません。そのため、衝突死の発生メカニズムを調べることにより、新たな防除技術の開発に取り組みたいと考えています。

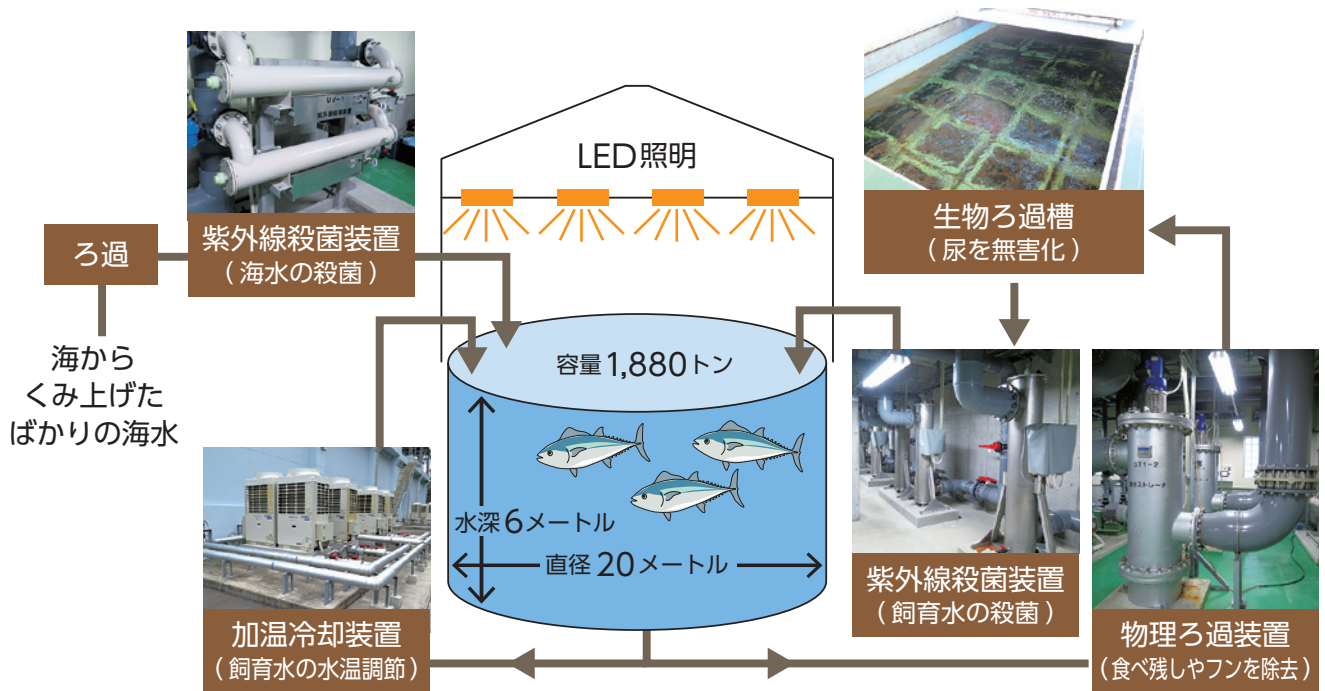


図 親魚水槽の循環システム

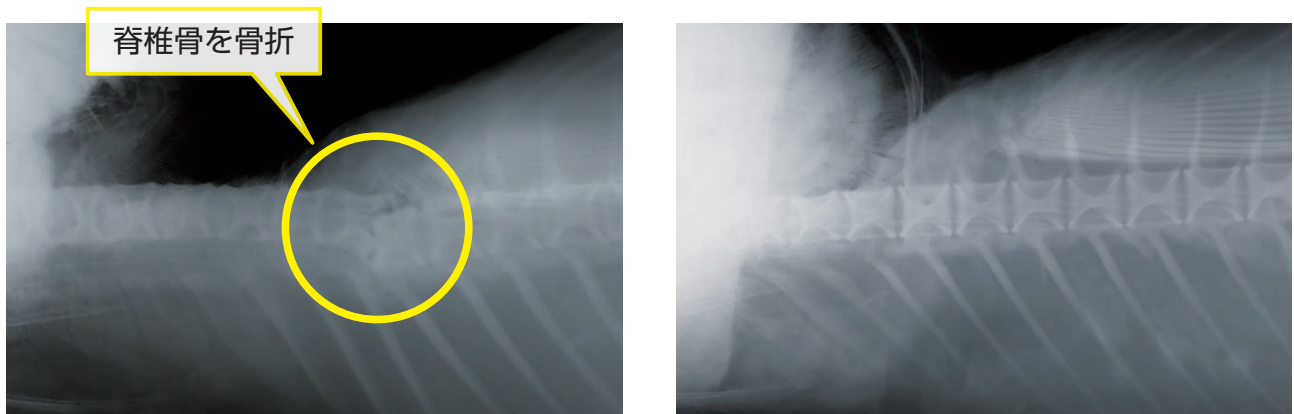


写真1 正常なクロマグロ(右)と水槽壁に衝突して脊椎骨を骨折したクロマグロ(左)のレントゲン写真



写真2 クロマグロを飼育している親魚水槽

成熟・採卵

親魚から計画的に卵を採るために ③

クロマグロの採卵方法

親魚水槽での安定採卵技術

人工種苗を利用したクロマグロ養殖への転換を図っていくためには、その出発点となる卵を安定して確保することが不可欠です。クロマグロの親魚は全長1・5メートル、体重が100キロにもなるため、通常は海面の大型生け簀で飼育しなければなりません。しかし、海面の生け簀では自然環境の影響を大きく受けるため、産卵が不安定となり、年によってほとんど卵を確保できないことが問題となっていました。

こうした背景から、人の手で飼育環境をコントロールでき、かつ大きな親魚を飼育できる親魚水槽（直径20メートル、深さ6メートルの円形水槽）を2基建設

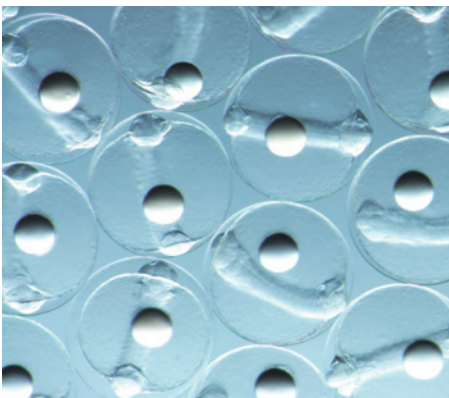
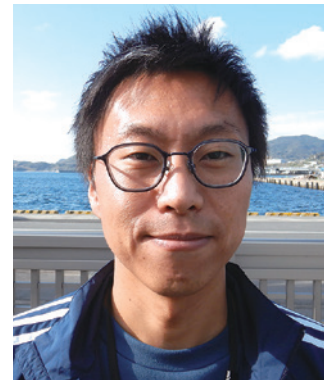


写真 親魚水槽での産卵シーン（上）と水槽で初めて得られた受精卵（下左）とふ化仔魚（下右）

先頭のメス（→）が卵を放出し、後ろのオス（→）が精子をかけ受精させます



西海区水産研究所
まぐろ増養殖研究センター
成熟制御グループ
樋口 健太郎

し、この水槽を利用した安定採卵技術の開発に取り組んできました。

クロマグロに産卵させるためには、産卵に適した環境条件を明らかにしなければなりません。そこで、過去に産卵の実績がある国内海域の自然環境データを収集・解析し、独自に産卵のための環境制御プログラムを作成しました。次に、前述した方法（6〜7ページ）でクロマグロ成魚を水槽へ輸送し、作成した環境制御プログラムにもとづいて飼育を行いました。

その結果、2014年に研究施設としては世界で初めて、水槽内での産卵に成功しました（写真）。以降も同様の方法で安定して卵を得ることに成功しています。

越冬できる人工種苗の研究

近年、多くの養殖場で、人工種苗が冬季に大量死することが大きな問題となっています。これは、生け簀の産卵時期が

天然海域と比べて遅いため、人工種苗が同時期の天然種苗より体が小さく、冬季の低水温に耐えられないことが原因と考えられています（図）。

現在、親魚水槽での環境制御プログラムのさらなる改善を図り、天然海域と同じ時期に卵を得ることで、越冬できる人工種苗を生産する新たな技術の開発に取り組んでいます。

このような研究を通じて、養殖種苗のもととなる卵を安定供給できれば、人工種苗の普及に大きく貢献できると期待しています。

動画を公開しています

陸上水槽で確認されたクロマグロの産卵行動の動画を、当機構のYouTubeチャンネル (fra_channel) で公開しています。ぜひご覧ください。

<https://www.youtube.com/watch?v=x-5oUPdGbVkk>



← QRコードからご覧いただけます。

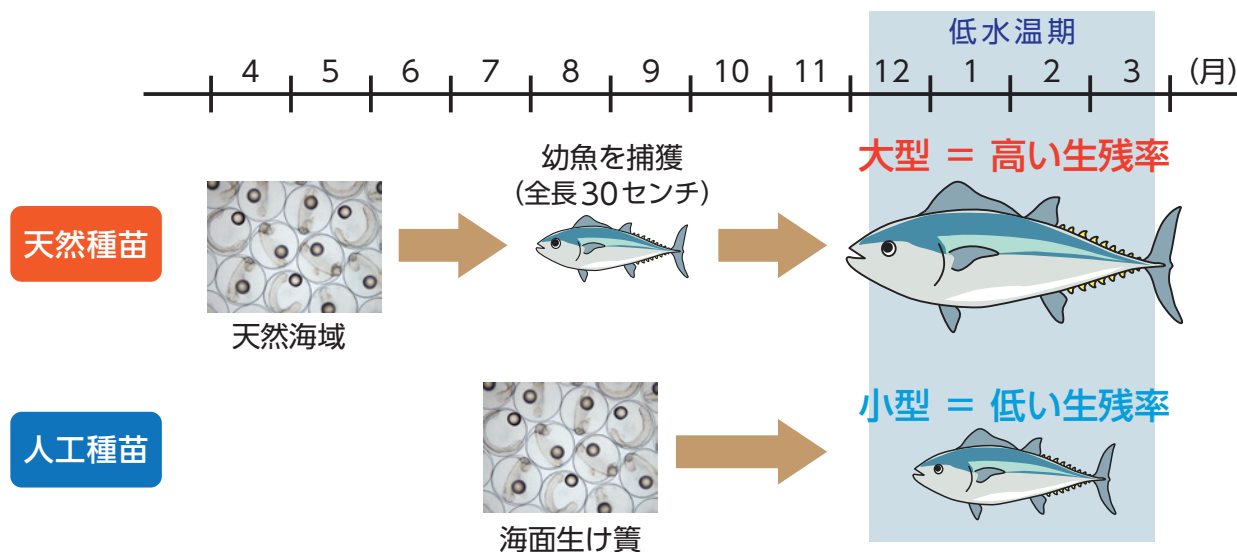


図 クロマグロ養殖における天然種苗と人工種苗の特性

沈降死を防ぐ24時間照明の効果

仔魚期最大の死亡原因「沈降死」

クロマグロの人工種苗の生産では、卵から人工種苗を育てる過程で、仔稚魚がさまざまな原因で死亡しています。そのなかでも仔魚期に最大の問題となっているのは「沈降死」です。ここでは、長年取り組んできた沈降死の防除策を紹介します。

沈降死は、水槽の下のほうに沈降した仔魚が水槽底面や沈殿物と接触し、外傷や細菌感染などを引き起こし、大量に死亡する現象です。ふ化後4日目から10日目ごろまでの夜間に発生し、時には生残率が5%以下になることもあります。

それではなぜ夜間に仔魚が沈降するのでしょうか。これまでの研究により、仔

魚はふ化後3日目（約4ミリ）から10日目（約6ミリ）にかけて体の比重が重くなり、沈みやすくなることが分かっています。日中は活発に遊泳するので沈降の問題は発生しませんが、夜間はほとんど遊泳しないため、水槽底面に沈んでしまい、沈降死に至ります。

生残率向上のための飼育技術

沈降死が夜間に生じることに着目し、沈降死が発生する期間だけ、飼育水槽の照明を24時間点灯して夜間をなくすことで、沈降死を防げるのではないかと考え、実験を行いました（写真1、図）。

その実験から、夜間の沈降死の低減が確認でき、ふ化後10日目の生残率が30%と従来の10倍以上まで向上させることに

照明を24時間点灯



写真1 飼育風景



西海区水産研究所
まぐろ増養殖研究センター
種苗量産グループ
はしもと ひろし
橋本 博



写真2 クロマグロの人工種苗
(約5センチ)

成功しました。この成果により、安定した仔魚期の飼育が可能になり、約5センチの人工種苗を1万尾以上生産できるようになりました(写真2)。

クロマグロの仔稚魚飼育では、沈降死のほかにも、「共食い」や「衝突死」などさまざまな要因による死亡が発生し、問題が残されています。これらの原因究明や生残率向上のための防除技術の開発にも取り組んでいます。得られた研究成果を民間の種苗生産機関に発信していくとともに、飼育技術が天然資源に依存しない人工種苗への転換に貢献できればと考えています。

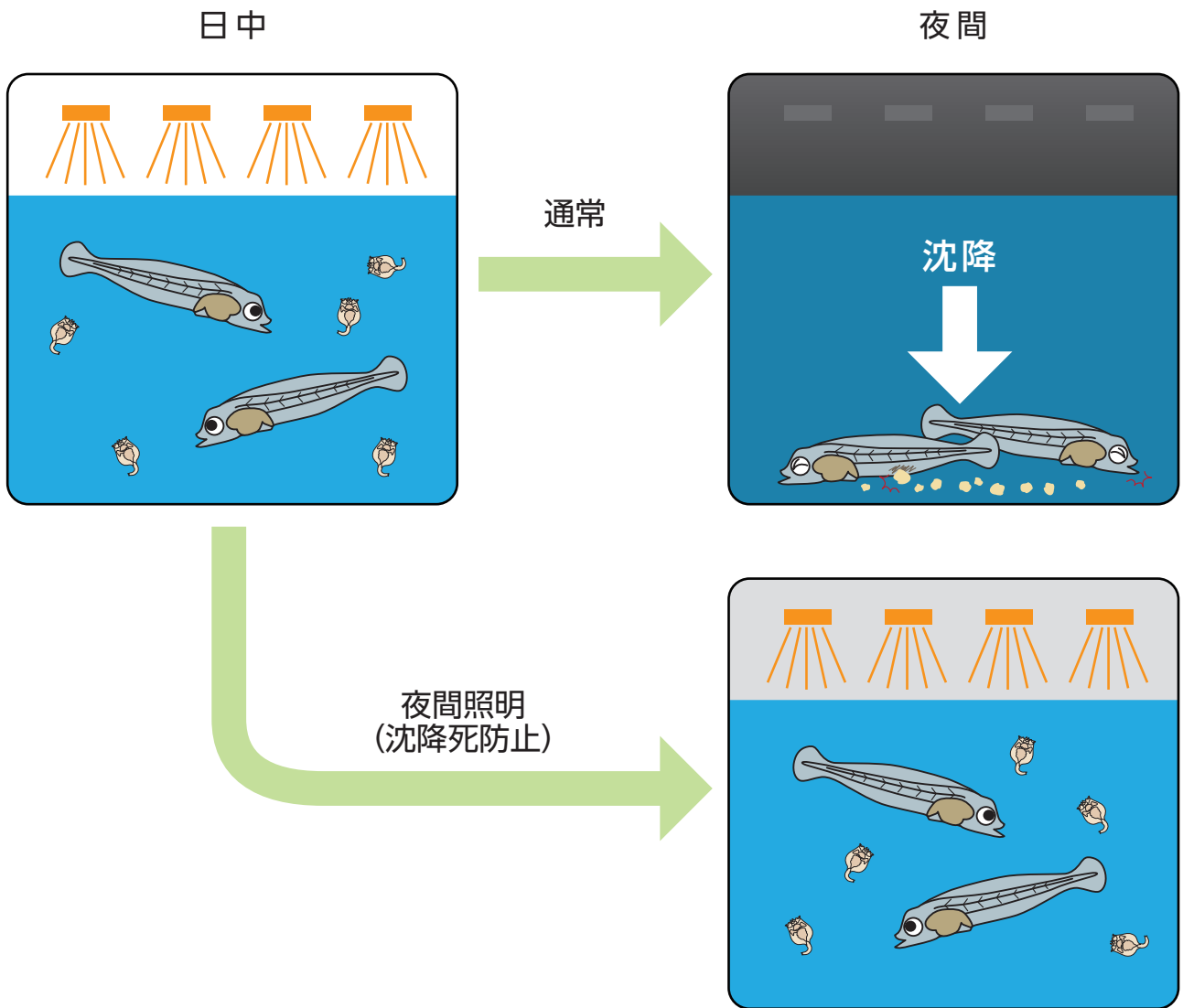


図 クロマグロの沈降死と夜間照明によるその防除方法

海上育成初期の死亡の軽減

沖出し後に大量死する人工種苗

現在、日本のクロマグロ養殖では、海上生け簀に入れる種苗の数は天然と人工でほぼ同数です。しかし、養殖終了（出荷）時には、天然種苗から成長した魚の比率が圧倒的に高くなります。これは、人工種苗の多くが養殖開始時から出荷までに死んでしまうからです。

通常、クロマグロの種苗は、陸上水槽で40日ほどかけて5〜6センチまで育てた後、広い海上の生け簀に移します（図1）。この陸上水槽から海上生け簀に移行する、いわゆる「沖出し」直後から2か月間に人工種苗が大量に死亡するので、出荷時の尾数が少なくなるとされています。このため、人工種苗を用いた養

殖では、海上飼育移行後の死亡の軽減が強く求められてきました。

光の急激な変化で起こる衝突死

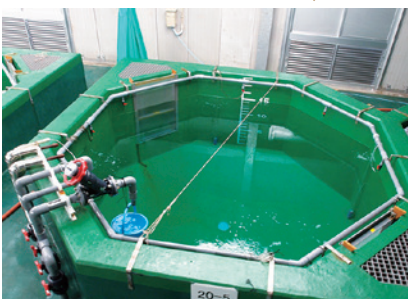
そこで、死亡原因を明らかにするため、潜水により、1日のうちの時間に死亡しているのか調査しました。すると、明け方に死亡する個体が急増することが判明しました。（図2）。また、それらを詳しく観察してみると、ほとんどの魚が骨折で死んでいることが分かりました（写真1）。

クロマグロは、もともと明るさの変化に順応する能力が極めて低いとされています。沖出し前の陸上水槽で飼育する期間は、室内で光の強さを調整しているのが大量死は起こりません。一方、沖出し

全長5～6センチ



陸上水槽から



海上生け簀へ



図1 沖出しのイメージ



西海区水産研究所
まぐろ増養殖研究センター
種苗量産グループ
くもん かずのり
久門 一紀

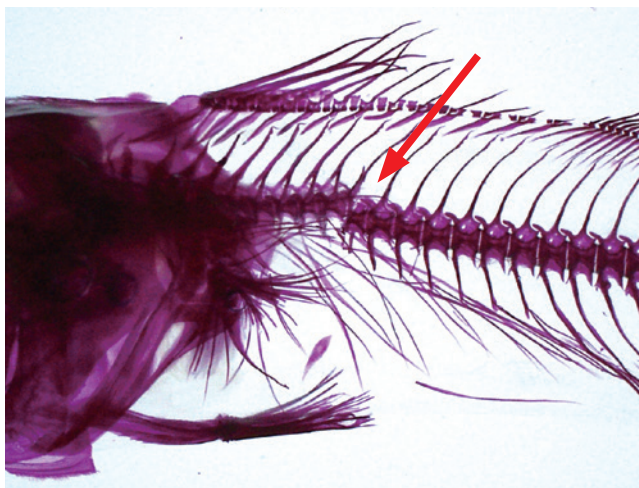


写真1 脊椎骨の骨折（透明標本）
赤矢印（→）は骨折箇所

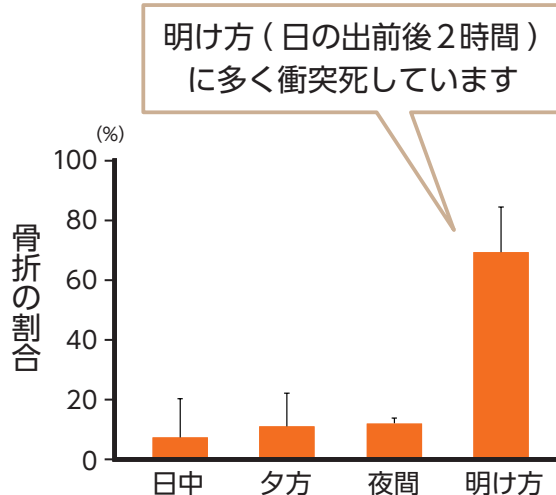


図2 衝突死が発生する時間帯

後は、夜から明け方にかけて太陽の光が急激に変化するため目がくらみ、前後左右が分からない状態で生け簀網に衝突し、死亡が急増するのではないかと考えられました。

昨今、現場では、これらの知見などをもとに、養殖生け簀の中央に明るいうライトを設置して、急激な明るさの変化を緩和するなどの対策をとるようになりました（写真2）。

効果的な防除をめざす取り組み

これまでの研究で、海上育成初期の死亡のおもな原因の一つが明らかとなりました。しかし、この時期の死亡には、病気やエサ、生け簀の大きさといった飼育条件だけでなく、台風や波浪、大雨といった気象現象など、さまざまな要因が関与しています。そのため、一つの原因を取り除いても飛躍的な効果が見られないのが現状です。

本来であれば、死亡要因を実験的に



写真2 生け簀中央に設置したライト

再現して一つひとつ影響を調査しますが、クロマグロの飼育は規模がケタ外れに大きいため、そのような検証はできません。このため死亡の候補要因を絞り込み、その影響を検証するといった新たな取り組みを始めています。

人工のエサで稚魚を飼育

大量の餌料仔魚が必要

クロマグロの仔稚魚を飼育する種苗生産では、さまざまなエサを使っています(図)。クロマグロの種苗生産はほかの養殖対象魚よりも難しいと言われる

が、その理由の一つは、一般的な海産魚用の配合飼料(*)で育てることができないことです。とくに、海上の生け簀で飼育できる大きさである約5センチの稚魚まで育てるためには、大量の餌料仔魚(卵からふ化したばかりの魚)をエサとして与える必要があります。

卵からふ化したクロマグロには、はじめはほかの養殖魚と同様にワムシという動物プランクトンを与えますが、1センチ前後に成長すると、より大きいエサと

して生きた仔魚(餌料仔魚)を食べ始めます。マダイ、イシダイ、シロギス、ハマフエフキ(写真1)などの仔魚がエサに使われていますが、稚魚に育てるまでにはとにかく大量の餌料仔魚が必要です。

種苗生産の課題

開発当初、クロマグロが大きく育つような配合飼料はなく、餌料仔魚を与えるしかありませんでした。消化のよい餌料仔魚は、成長がはやいクロマグロには最適なエサです。しかし、必要なときに必要な量を与えることが難しいため、餌料仔魚が足りないと、かみ合いや共食いが生じ、急激にクロマグロの数が減る原因となっていました。

これを防ぐには、成長に合わせて大量

マグロ仔稚魚の飼育にはいろいろなエサが必要

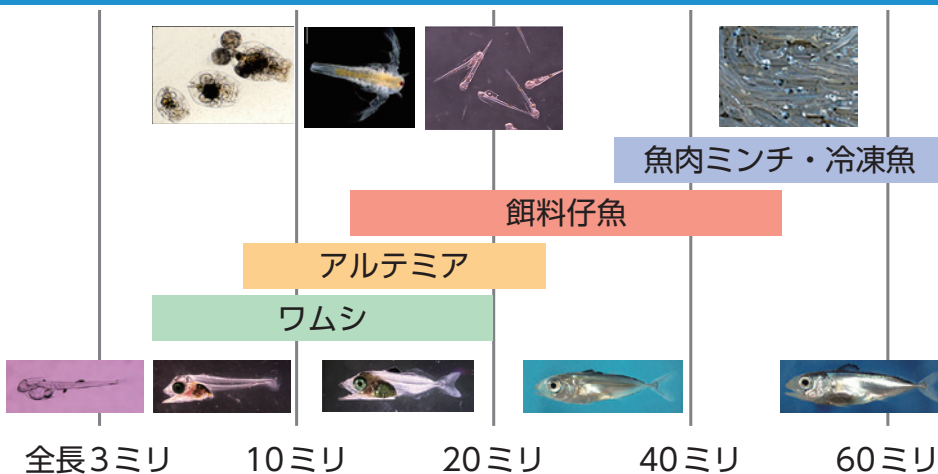


図 クロマグロ種苗生産の餌料系列

西海区水産研究所
まぐろ増養殖研究センター
種苗量産グループ 久門 一紀 かずのり

*配合飼料：目的に合わせて必要な栄養分が含まれるように配合して作った人工のエサ

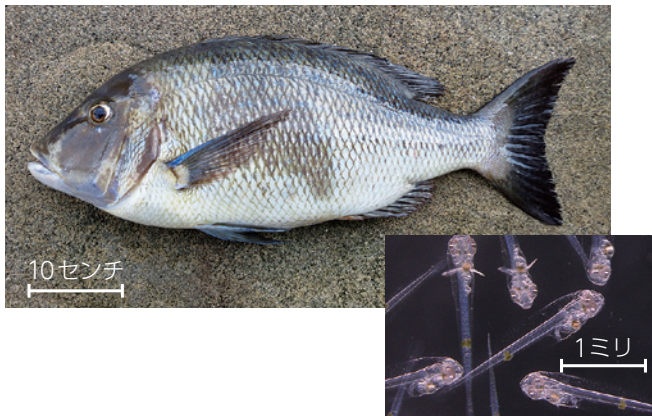


写真1 ハマフエフキの親魚と仔魚 (右下)

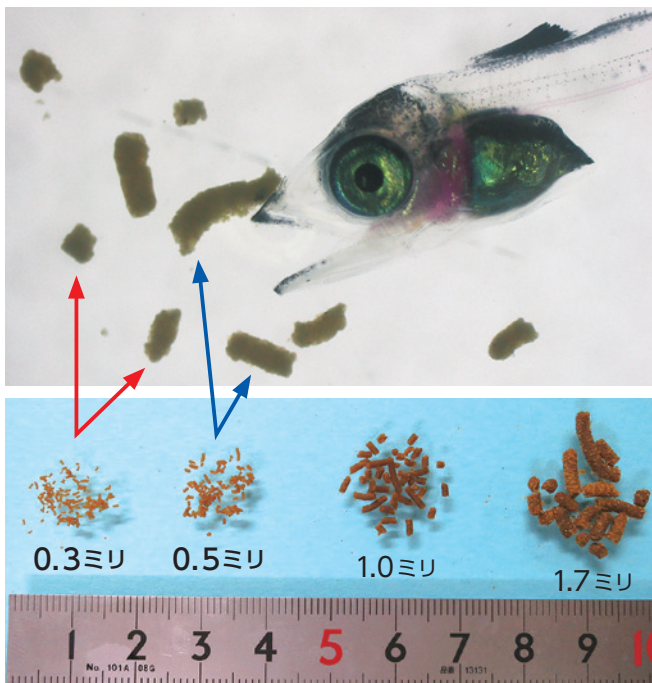


写真2 開発した配合飼料 (下) と1センチのクロマグロ (上)



写真3 餌料仔魚を使わず育った稚魚

人工のエサで餌料仔魚を削減

の餌料仔魚を準備する必要があります。しかし、餌料仔魚用の親魚確保や飼育、産卵させるための環境制御に多くの労力とコストがかかります。

そこで、餌料仔魚の使用量を少しでも減らすため、人工のエサの開発を行ってきました。まず、たくさんの餌料仔魚を

必要とする時期のエサとして、クロマグロの嗜好に合わせた柔らかくて細長い配合飼料を開発しました。これをベースにして、餌料仔魚を食べ始める約1センチの稚魚でも食べられる大きさの配合飼料(写真2)を開発しました。

餌料仔魚を与えたときの成長には及びませんが、この飼料を使うことで、餌料仔魚をまったく使わず稚魚まで育てるこ

とが可能になりました(写真3)。エサ不足が原因のかみ合いや共食いの軽減も期待できそうです。

配合飼料の開発はまだまだ発展途上ですが、生餌と同じように食べて、成長する配合飼料が完成すれば、クロマグロ稚魚の生産がより簡単になり、種苗生産コストの削減に大きく貢献できるはずです。

新たな手法でエサを改良

エサ開発の必要性

クロマグロは1キロ大きくなるのに15キロの生餌（冷凍サバ、イカなど）が必要と言われています。しかし、生物資源保護の観点から、生餌の利用は世界的に受け入れられなくなりつつあります。このため、クロマグロの養殖でも生餌に代わる配合飼料の開発が重要となっています。

しかし、従来の手法では、クロマグロのエサ開発に大きなコストがかかりました。エサ開発の手法は、水槽をたくさん並べて水槽ごとに種類の違うエサを与え、成長を比較するのが主流です。クロマグロは、稚魚でも50〜100トンの水槽（25メートルプール1〜2コース分の

水量）を用いて飼育するため、水槽の管理には多額の費用がかかります。さらに、1年間の試験回数に限られるため、試験を反復すると、おのずと開発期間が長くなります。そこで、新しい手法を導入することでエサ開発の効率化を試みました。

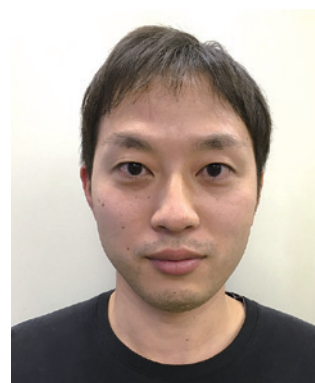
メタボローム解析を導入

まず、水槽内の水の流れ方などを工夫し、稚魚を1トンの小規模水槽で飼育する技術を開発しました（写真）。さらに、理化学研究所の協力のもと、1尾ごとに詳細に分析できるメタボローム解析（*1）という手法を導入しました。

これらの手法を組み合わせることで、2年間という短い期間で16種類のエサを



写真 小規模水槽を用いたクロマグロ稚魚の飼育



中央水産研究所
水産生命情報研究センター
分子機能グループ
相馬 智史

*1 メタボローム解析：体内の有機物（アミノ酸、糖など）を同時にすべて解析する手法で、生物の状態を詳細に知ることができます

試験しました。

機械学習で重要な栄養素を探索

こうして得られた大量のデータの中から重要な情報を抜き出すために、機械学習(*2)の手法を活用しました。これにより、成長のよい個体に多く蓄積されている栄養素を見つけ出しました(図1)。これらの栄養素はクロマグロの稚魚が必要としているものと考えられ、エサに加えることで成長がよくなる可能性があります。実際、ある栄養素をエサに添加してみたところ、成長の改善が確認されました。

今回開発した手法は、稚魚だけでなく、仔魚や成魚でも活用することができ、さらにはほかの魚種でも応用が可能です(図2)。

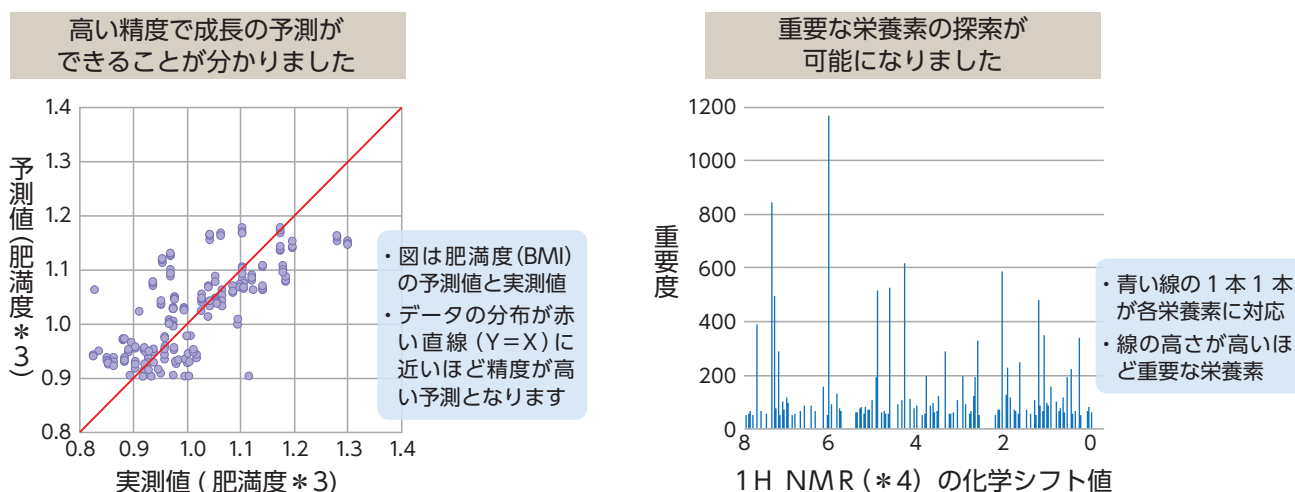


図1 機械学習手法を活用

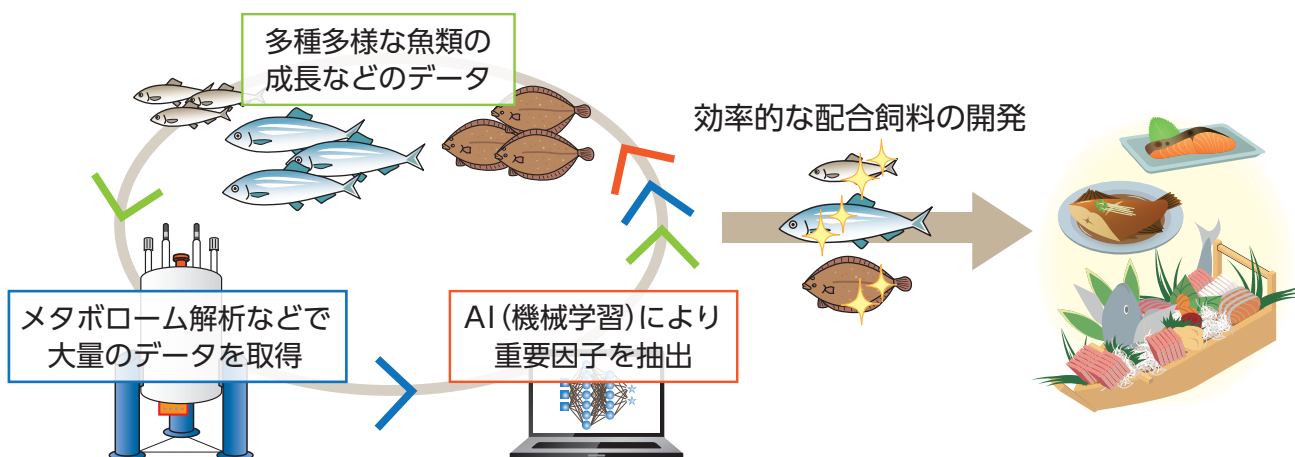


図2 多様な魚種の効率的な配合飼料の開発

- *2 機械学習：データの中から特徴をつかみ、法則を見つけ出す情報処理手法で、AI(人工知能)技術の一種です
- *3 肥満度：魚が痩せているのか太っているのかを示す数値で、大きな値ほど魚が太っていることを示します
- *4 NMR：核磁気共鳴(Nuclear Magnetic Resonance)。強い磁場の中で化合物の分子構造の分析を行う装置のことで、ここでは水素原子(1H)の分析値を用いています

※本成果は水産庁委託事業「クロマグロ養殖用の高機能・高効率飼料の開発事業」によるものです

新たな取り組み

養殖しやすいクロマグロをつくる

ゲノム編集技術による取り組み

養殖に向かない性質

これまでみてきたように、クロマグロを卵から親まで人為管理・育成することが可能になりました。しかし、クロマグロ本来の性質が変わったわけではありません。

クロマグロは、もともと神経質な性質をもっています。養殖現場では、不意な光などが引き金となってクロマグロが突如として高速で遊泳し、生け簀網に衝突して死亡すること（衝突死）が頻繁に起こります（図1）。そのため、いかにしてクロマグロを人間が養殖しやすい性質に変えていくか、いわゆるクロマグロの家魚化（広い意味での育種）が、今後の課題となっています。

しかし、**獐猛**なイノシシからおとなしいブタへの家畜化の長い歴史があるように、クロマグロを家魚化することは、膨大な年月と費用がかかります。そこで、新たな育種技術として脚光を浴びているゲノム編集技術に着目し、衝突死を軽減できる「おとなしい」クロマグロを開発してきました。

世界で初めてゲノム編集に成功

ゲノム編集技術とは、ゲノム上の特定部位を人為的に切断し、その後に誘導される修復機構を利用して、目的とするDNA領域を変異させる技術です。クロマグロを含む動物では、受精直後の卵に顕微鏡で観察しながらDNAの特定の配列を切断する人工制限酵素を注入し、それ

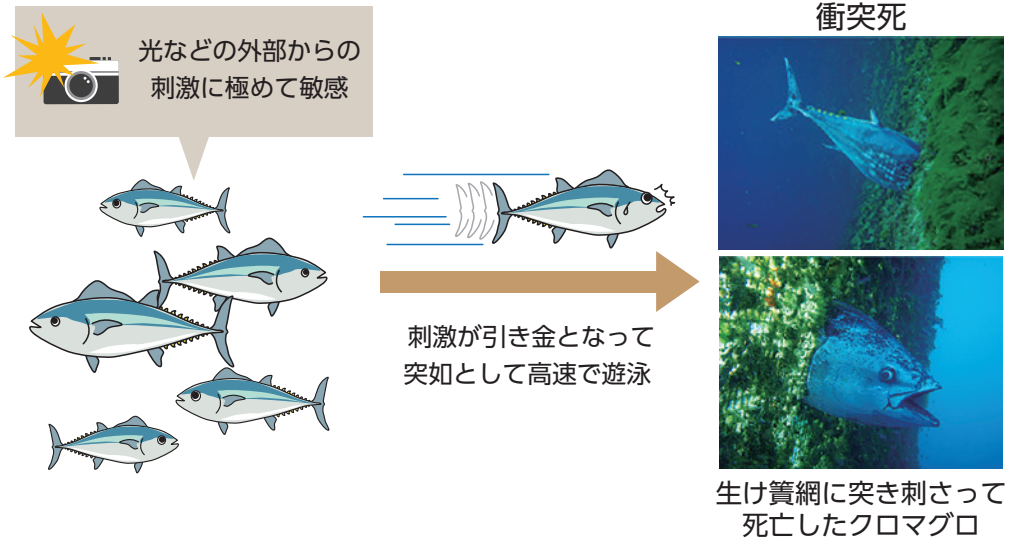


図1 クロマグロの衝突死

西海区水産研究所
まぐろ増養殖研究センター
玄浩一郎

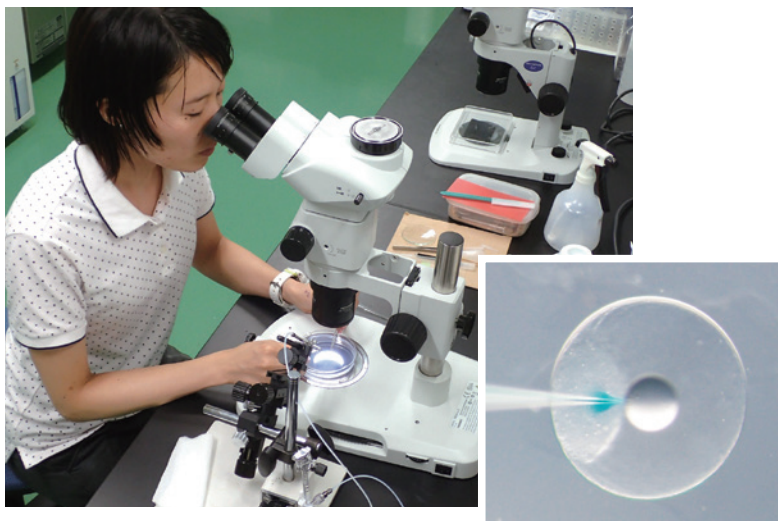
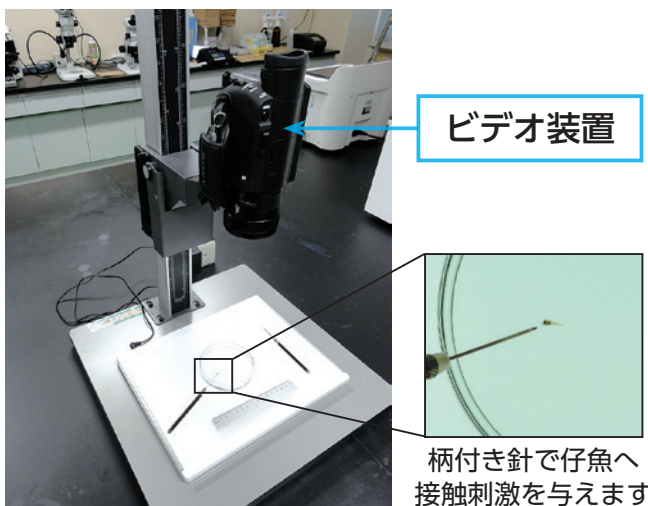


写真 顕微鏡下での注入操作のようす
 右上の写真は、人工制限酵素を注入したクロマグロの卵

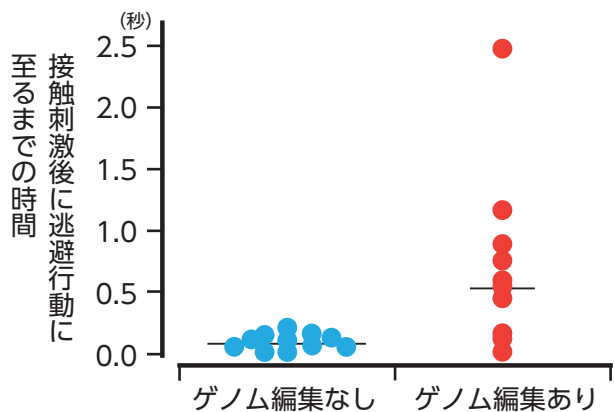
を育ててゲノム編集個体を作り出します（写真）。
 受精直後の卵をいかに集めるか、また処理した卵をいかに育てるかが、ゲノム編集を成功するためのカギになります。人工種苗生産の研究開発で得られた知見や技術などを駆使して、世界で初めてクロマグロのゲノム編集に成功しました。



さらに、この技術を用いることで、衝突死の原因となる高速遊泳に関わる遺伝子の機能を弱めると、接触刺激に鈍感で、かつ刺激後の遊泳速度も通常より遅いクロマグロ仔魚ができることを見い出しました（図2）。

ゲノム編集魚の実用化の課題

このように、ゲノム編集技術によって養殖しやすい性質をもった素材の開発が



ゲノム編集により鈍感な魚ができることが分かりました

図2 ゲノム編集クロマグロの接触刺激に対する反応の速さをみる実験

短期間で可能となりました。一方で、ゲノム編集魚は、その取り扱い方針が決まっただけで、現時点ではクロマグロを含めて養殖生産は行われていません。ゲノム編集魚を普及・実用化させていくためには、ゲノム編集魚の食の安全性や、飼育による環境への影響に関する知見の集積はもちろん、関係各省庁との情報の共有や社会の理解・賛同を得ていくことがとても重要です。

*** アンケート結果 ***

読者アンケートにご協力いただき、ありがとうございました

2020年1月に刊行した「FRANEWS」vol.61（水産資源再生のカギ 生態系ネットワーク研究）でアンケートをお願いしたところ、2月14日までに48人の方々から回答が寄せられました。ご協力ありがとうございました。以下にその結果の要点を報告します。

水産資源再生のカギ 生態系ネットワーク研究 で

◇生態系ネットワークの修復による水産資源の回復 について

面白かった（48人中39人）、分かりやすい（48人中36人）との評価をいただきました。

◇アサリ について

面白かった（48人中41人）、分かりやすい（48人中41人）との評価をいただきました。

◇アワビ について

面白かった（48人中40人）、分かりやすい（48人中39人）との評価をいただきました。

◇カレイ について

面白かった（48人中38人）、分かりやすい（48人中37人）との評価をいただきました。

今後「FRANEWS」で取り上げてほしいこととして、「近年の不漁について」、「海水の温度と魚の生態について」などがありました。また、「“磯焼け”という言葉は初めて知った。ほかにも赤潮などさまざまな理由で海が変化することを知り、勉強になった」、「『水産業のミライにつなげる工学技術（「FRANEWS」vol.58）』がとても面白かった」などの感想をいただきました。

読者の皆様からいただいたこれらのご意見を参考に、関心の高い研究開発の情報について画像などを多く用いることでより分かりやすく、また親しみやすく伝えられるように努めていきます。

「FRANEWS」に限らず、水産研究・教育機構へのご意見などありましたら、メール（fra-pr@ml.affrc.go.jp）や FAX（045-227-2702）でお寄せください。

▶ ご意見・ご感想をお寄せください。 …… メール：fra-pr@ml.affrc.go.jp FAX：045-227-2702



水産研究・教育機構 研究開発情報 北の海から 第36号、第37号

発行時期：第36号：2019年12月 第37号：2020年2月

問い合わせ先：北海道水産研究所 業務推進部 業務推進課

ウェブサイト URL：第36号：<http://hnf.fra.affrc.go.jp/kankoubutu/kitaumi/kitanoumikara36.pdf>
第37号：<http://hnf.fra.affrc.go.jp/kankoubutu/kitaumi/kitanoumikara37.pdf>



水産研究・教育機構 研究開発情報 東北水研レター 43号

発行時期：2020年1月

問い合わせ先：東北水産研究所 業務推進部 業務推進課

ウェブサイト URL：<http://tnfri.fra.affrc.go.jp/pub/letter/43/43.pdf>



水産研究・教育機構 研究開発情報 日本海 リサーチ&トピックス 第25号

発行時期：2019年9月

問い合わせ先：日本海区水産研究所 業務推進部 業務推進課

ウェブサイト URL：<http://jsnfri.fra.affrc.go.jp/pub/rt/25/all.pdf>



水産研究・教育機構 研究開発情報 西海(せいかい) No. 27

発行時期：2020年3月

問い合わせ先：西海区水産研究所 業務推進部 業務推進課

ウェブサイト URL：http://snf.fra.affrc.go.jp/print/seikai/seikai_27/seikai_no27.pdf



水産大学校 研究報告 68巻 2号、3号

発行時期：2号・3号：2020年1月

問い合わせ先：水産大学校 校務部 業務推進課

ウェブサイト URL：<http://www.fish-u.ac.jp/kenkyu/sangakukou/kenkyuhoukou/68.html>



水産研究・教育機構 NEWS LETTER おさかな瓦版 No.93、No.94

発行時期：No.93：2020年1月、No.94：3月

内容：No.93：魚群探知機、No.94：漁師の仕事

問い合わせ先：経営企画部 広報課

ウェブサイト URL：No.93 <http://www.fra.affrc.go.jp/bulletin/letter/no93.pdf>
No.94 <http://www.fra.affrc.go.jp/bulletin/letter/no94.pdf>

執筆者一覧

■クロマグロ養殖最前線！－技術開発はどこまで進んでいるか－

- クロマグロ養殖の現状と問題解決に向けた取り組み……………西海区水産研究所 まぐろ増養殖研究センター 玄 浩一郎
- 【成熟・採卵】親魚から計画的に卵を採るために
 - ①クロマグロ成魚の運搬方法……………西海区水産研究所 まぐろ増養殖研究センター 成熟制御グループ 高志 利宣
 - ②クロマグロ成魚の陸上飼育……………同 高志 利宣
 - ③クロマグロの採卵方法……………同 樋口健太郎
- 【仔稚魚の飼育】仔稚魚の生残率をあげるために
 - ①沈降死を防ぐ24時間照明の効果……………西海区水産研究所 まぐろ増養殖研究センター 種苗量産グループ 橋本 博
 - ②海上育成初期の死亡の軽減……………同 久門 一紀
- 【配合飼料の開発】生餌に依存しない養殖のために
 - ①人工のエサで稚魚を飼育……………同 久門 一紀
 - ②新たな手法でエサを改良……………中央水産研究所 水産生命情報研究センター 分子機能グループ 相馬 智史
- 【新たな取り組み】養殖しやすいクロマグロをつくる
 - ゲノム編集技術による取り組み……………西海区水産研究所 まぐろ増養殖研究センター 玄 浩一郎

水産業振興の拠点“山口連携室”

山口連携室は、水産大学校と山口県、下関市、県研究機関、漁業協同組合、企業などが水産に関する共同研究を実施し、水産業の振興を図るための連携拠点です。2017年4月に水産研究・教育機構に開設され、水産大学校で業務を行っています。

おもな業務は、研究の進捗状況の確認、助言と協力、連携勉強会での関連情報の提供、県や漁協が主催する会議などでの情報の収集・交換などです。これらを通じて、共同研究の推進を図っています。

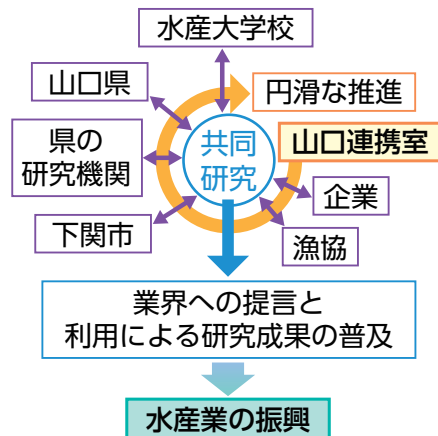
現在、「漁業構造改革の経営面からのPDCAサイクル（※1）確立」をテーマに4つの課題、「特定第3種漁港（※2）における輸出促進のための水産物高付加価値化」をテーマに3つの課題、「山口県沿岸の地域資源を活用した地方創生」をテーマに5つの課題、合わせて12課題を共同研究しています。

たとえば、「漁業構造改革の経営面からのPDCAサイクル確立」の研究課題「沖合底びき網で漁獲された未利用資源（廃棄部分を含む）の有効活用による高付加価値化」では、2019年11月24日に下関市唐戸市場、12月1日に防府市潮彩市場農林水産祭りで未利用魚のすり身を使った試作品（お魚バーガー、ナゲット、かば焼き風かまぼこ）の試食アンケート調査（写真）を実施しました。試食品への嗜好や感想など、今後の改良点や製品化に向けた貴重な情報を収集することができました。



未利用魚のすり身を使った試作品の試食アンケート調査の様子（防府市潮彩市場）

< 連携共同研究の概要 >



- ※1 PDCA サイクル: Plan (計画:目標を設定し計画を策定)・Do (実行:計画を実施)・Check (評価:計画どおり実行できたか評価)・Action (改善:結果を検討し改善する)を繰り返すことによって、生産管理や品質管理などの管理業務を継続的に改善していく手法のこと。
- ※2 特定第3種漁港: 利用範囲が全国的な漁港のうち、水産業の振興のためにとくに重要であるとして政令で定められた漁港。八戸漁港（青森県八戸市）、気仙沼漁港（宮城県気仙沼市）、石巻漁港（宮城県石巻市）、塩釜漁港（宮城県塩釜市）、銚子漁港（千葉県銚子市）、三崎漁港（神奈川県三浦市）、焼津漁港（静岡県焼津市）、境漁港（鳥取県境港市）、浜田漁港（島根県浜田市）、下関漁港（山口県下関市）、博多漁港（福岡県福岡市）、長崎漁港（長崎県長崎市）、枕崎漁港（鹿児島県枕崎市）の13港があります。

編集後記

今年の豊洲市場（東京）の初競りで、天然の276キロのクロマグロが1.9億円を超える価格で競り落とされたニュースがありました。クロマグロは日本の食文化を代表する食材の一つで、すしネタでも人気の魚です。その国内需要の3割超が、養殖によって生産されています。

水産庁によると、2018年のクロマグロ養殖場189のうち、人工種苗の

利用は76、天然種苗の利用は113でした。依然として天然のクロマグロ稚魚が種苗に利用されているのが現状です。

2002年に近畿大学が世界で初めて天然資源に頼らず安定的にクロマグロを供給できる完全養殖に成功しています。しかし、未解決の課題も多く残されており、人工種苗の普及には至っていません。

水産研究・教育機構は、大学・研究機関や民間企業と連携・協力しながら、卵や飼育方法など養殖用人工種苗生産に関する課題の解決に取り組んでいます。今回はその成果の特集です。クロマグロの完全養殖には、エサ、育種など未解決の課題もあり、当機構はこれらについても引き続き取り組んでいきます。

（角埜 彰）