

水産業の未来を拓く

vol.86

FRA NEWS

特集

クロマグロ



写真提供：(公財)東京動物園協会

- 専門家に聞きました [森本 和月] 魚病ワクチンのスペシャリスト 養殖業を守るため日々実験 ～ワクチンを多くの魚種に使えるように～
- 理事長勉強会 特別企画“大放談会”水産業のタイムカプセル -100年先の未来を思い描く-

クロマグロ

はじめに

●クロマグロの資源管理

ク

ロマグロは北太平洋を広く回遊するため、複数の国にわたって漁獲されます。日本沿岸でも漁獲され、ごく沿岸から沖合域まで非常に多くの漁業者が関係します。そのため、日本が利用する国際的な資源の中でもっとも力を入れて研究されている魚種の一つです。

しかし、1980年頃から資源状態が悪化し、2014年には国際自然保護連合のレッドリストに掲載され、管理の強化が叫ばれるようになりました。その後、資源管理の強化により資源状態は回復に向かい、2021年にはレッドリストから除外されました(図1)。

日本は、かつて世界の海に漁船が進出していた一大遠洋漁業国でした。当時に比べて規模は縮小していますが、いまでも日本の漁船は世界中でカツオ・マグロ類をとって日本の市場に供給しています。

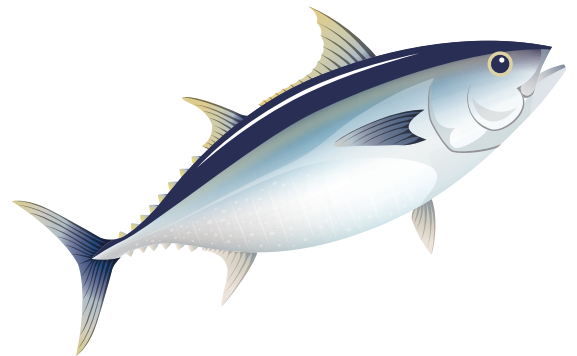
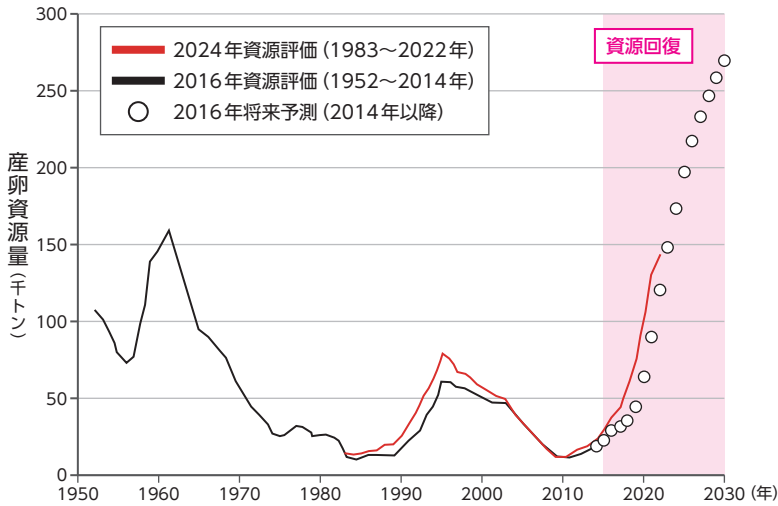


図1 資源管理の強化により2024年の評価で資源状態が回復に向かっていることがわかった(詳しくはP14~15)

2	特集 クロマグロ	
	はじめに	水産資源研究所 水産資源研究センター 広域性資源部 副部長 中塚 周哉
4	クロマグロの生態研究	同部 まぐろ生物グループ グループ長 田中 寛繁
6	最近の調査とわかってきたこと① 調査船によるクロマグロ産卵場調査	同グループ 主任研究員 田和 篤史
10	最近の調査とわかってきたこと② 耳石、脊椎骨からみえてきた回遊の傾向	同グループ 主任研究員 石原 大樹
12	最近の調査とわかってきたこと③ 生殖腺の解析で産卵生態が明らかに	同グループ 主任研究員 芦田 拓士
14	クロマグロ資源評価とその舞台裏 - 国際協働と検証のバランス	同部 まぐろ第1グループ グループ長 福田 漢生
16	未来を見据えた資源管理	同部 副部長 中塚 周哉
18	専門家に聞きました [森本 和月]	
	魚病ワクチンのスペシャリスト 養殖業を守るため日々実験 ~ワクチンを多くの魚種に使えるように~	経営企画部 広報課 飯島 祥子
24	特別企画 大放談会 最終回 水産業のタイムカプセル - 100年先の未来を思い描く -	研究戦略部 研究主幹 山崎 いづみ
	読者アンケート・編集後記	広報誌編集事務局

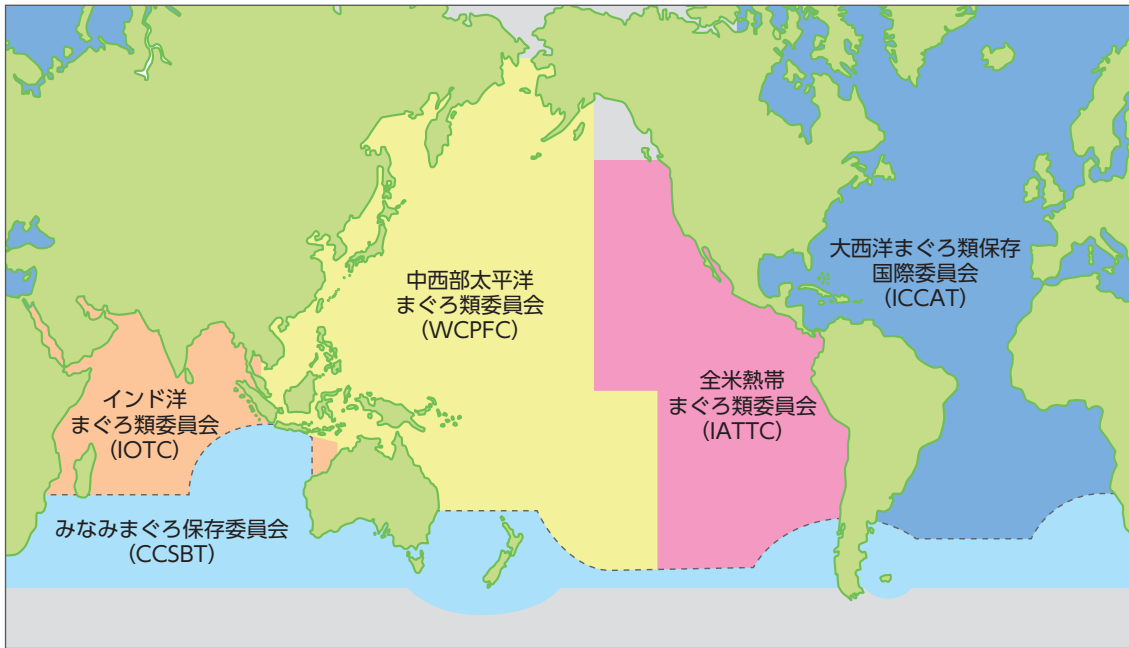


図2 かつお・まぐろ類の地域漁業管理機関 (RFMO)
Tunas Regional Fisheries Management Organization

そして、クロマグロ類三種（クロマグロ、タイセイヨウクロマグロ、ミナミマグロ）の7〜8割を消費しています。そのため、これらの魚種の資源管理に貢献することは、

消費国、漁業国としての重要な責任です。日本はその責務を果たすべく、すべてのマグロ類地域漁業管理機関（以下、RFMO）に参加し重要な役目を担っています。

現在、世界には五つのRFMOがあり（図2）、すべてのマグロ漁業はいずれかのRFMOで管理され、管理に従わない漁船の漁獲物は市場に出荷することはできません。

ただ、RFMOでの資源管理は科学的な議論といろいろな国の思惑が複雑に絡み合うので、臨機応変に資源を管理することは簡単ではありません。とくに、値段の高いトロがとれるクロマグロ類三種では、過去にRFMOによる資源管理が十分に機能していなかった事例もあり、その有効性が批判されてきました。タイセイヨウクロマグロでは、2000年代初頭に大量の未報告漁獲が明らかとなり、2009年にはワシントン条約の付属書への掲載が提案さ

れました（結果的に会議で否決）。一方、ミナミマグロでは、RFMOに参加する各国の見解が極端に分かれたために統一的な資源評価を実施することも、保存管理措置の合意もできない状態が続き、1999年には日本の調査漁獲が国連海洋法裁判所に提訴される事態にもなりました。しかし、これらの二種の保存管理はそのあとの紆余曲折を経て、それぞれのRFMOでの管理が軌道に乗り、資源も回復しています。

日本周辺の重要魚種であるクロマグロも、関係者のさまざまな努力の結果急速に回復してきています。当機構は、日本の資源評価の中核を担っていますが、海の中の水産資源の状況はわからないことも多く苦労の連続です。そうした中で、クロマグロ資源の回復は、明快な成功事例となりました。

今号では、当機構が取り組むクロマグロ資源評価に加え、採集したサンプルによる生態学的研究（P4〜5、P10〜13）や、調査船を使った調査（P6〜9）など、さまざまな調査研究の概要を紹介し、それらが資源管理や資源回復の成功にどのように貢献してきたか（P14〜17）をお伝えします。



クロマグロの生態研究

●クロマグロとは？

ク ロマグロ(学名 *Thunnus orientalis*) は、主に北太平洋の温帯域に分布しているマグロ属魚類の一種です

(図1)。

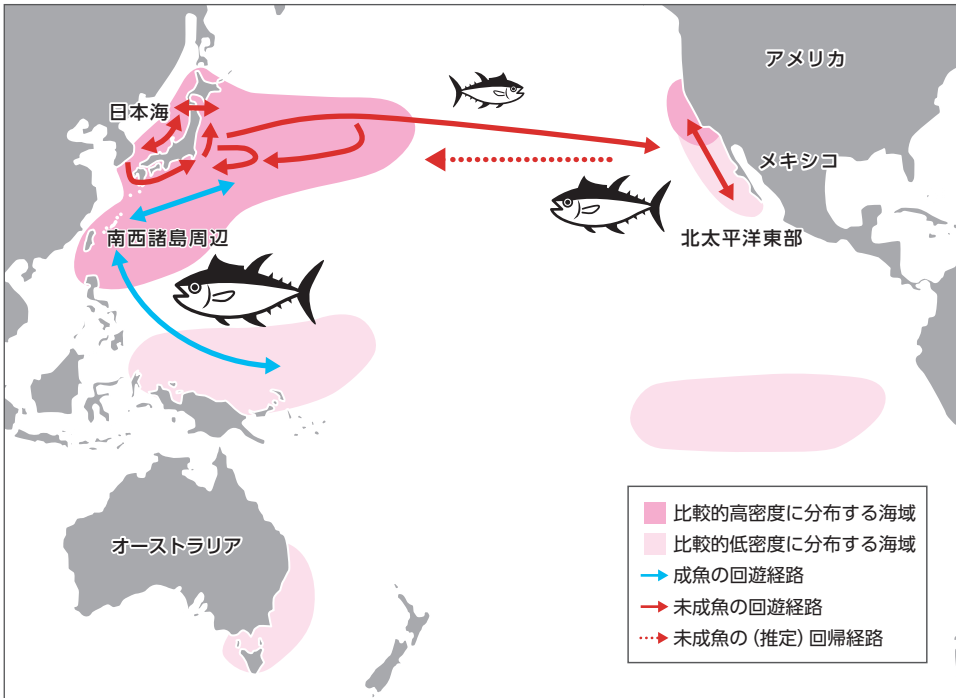


図1 クロマグロの分布・回遊図(「国際水産資源の現況」の図を改変)

漁業管理で「まぐろ類」として扱われるのはサバ科のマグロ属、カツオ属、などの魚になります。これらはマグロ族としてまとめて扱われることもあります。クロマグロに近いマグロ属魚類には、大西洋に

分布するタイセイヨウクロマグロと、南半球に分布するミナミマグロ(インドマグロなどとも呼ばれます)がいます。標準和名でクロマグロと名のつく魚がクロマグロとタイセイヨウクロマグロの二種いますが、これらは別種です。ほかにも、温帯域から熱帯域にかけて分布しているマグロ属魚類には、キハダ・メバチ・ビンナガなどがいます。

私たちのグループは、クロマグロの資源評価のための調査研究を行っています。資源評価には、漁獲量や漁獲された魚の大きさのデータがもつとも重要なデータとなりますが、何歳でどれくらいのか、何歳から卵を産むのか、などの生態情報も必要です。そのため、水産庁や地方自治体などの協力を得ながら、クロマグロが水揚げされる市場で、成長や産卵の生態を調べるためのサンプルを採集し、解析しています(写真1)。また、産卵場で生まれたばかりの卵や稚魚の量は、それらを産んだ親魚の量を反映する傾向があります。そのため、調査船を使って、産卵場で卵や稚魚を採集し、その分布や量なども調査していきます。



水産資源研究所 水産資源研究センター
広域性資源部 まぐろ生物グループ
グループ長

た なか ひろ しげ
田中 寛繁



写真1 水揚げされたクロマグロ



アーカイバルタグは小型の記録装置で行動を詳しく調査でき、ダートタグは移動や成長を知るための簡易な標識

写真2 標識(ダートタグ)をつけたクロマグロ



1歳では尾叉長は60センチほどになる

□先から尾びれの凹みまでの長さ

びさちょう 尾叉長

図2 1歳のクロマグロ



写真3 クロマグロの胃内容物(イワシ類)

● 分布

クロマグロは、北海道から沖縄まで各地で漁獲されています。さらに、アメリカやメキシコの沿岸の北太平洋東部にまで回遊し、一部の群れは南半球のニュージーランド周辺などにも回遊します。こうした広範囲な回遊のルートは、魚に標識をつけて放流し、その動きを追跡する研究によって明らかになっています(写真2)。しかし、産卵場は北太平洋の西部にしかない(P11参照)と

● 成長

この特徴があり、とくに日本周辺はクロマグロの産卵場として重要な海域です。そのため、日本周辺での調査が非常に重要です。

クロマグロの成長はとても速く、1歳で尾叉長は、60センチ程度になり(図2)、3歳になると1メートルを超えます。大きくなったクロマグロの胃内容物を調べると、イワシ類やイカ類などが出てき

ます(写真3)。海域や時期によってエサの種類はさまざまであり、そのときに多いエサを食べていると考えられます。

このように、私たちはクロマグロの生態について、さまざまな研究をしています。近年、クロマグロの資源量は回復傾向にあります。魚の資源量の増減が起こると、分布や生態が変化することがあります。そのため、これからも引き続き研究を行い、クロマグロの生態をしっかり捉えていきたいと思っています。



最近の調査とわかってきたこと ①

調査船によるクロマグロ産卵場調査

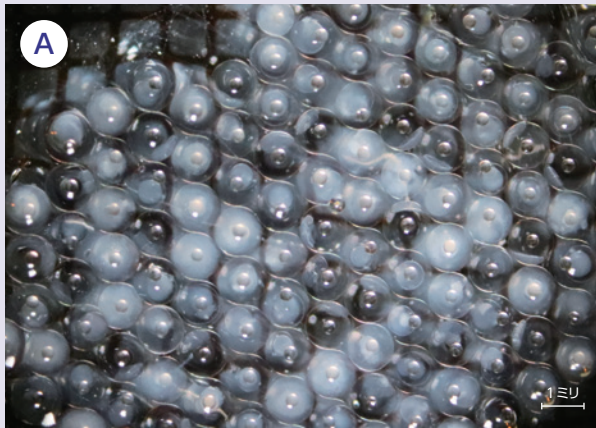
●産卵場調査とは

調 査船によるクロマグロ産卵場調査は、主に『仔稚魚』を対象として

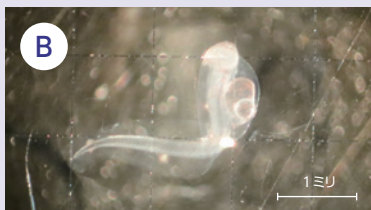
おり、半世紀以上の歴史があります。この調査の目的は、産卵場を明らかにすること、海洋環境との対応を含めた初期の生態や生き残り(生残)の仕組みを明らかにすることです。調査から得られた情報は基礎的なクロマグロの生活史の理解につながり、適切な資源管理に貢献しています。当機構では、水産庁や地方自治体の協力も得ながら、クロマグロの産卵場である南西諸島周辺海域や日本海など複数の海域で、毎年産卵場調査を実施しています。

●仔稚魚とは？

クロマグロは大きいイメージをもたられるのですが、産み出される卵はわずか直径1ミリほどです(図1A)。卵は1〜2日でふ化します。ふ化した直後の仔魚(図1B)と呼ばれる成長段階の体長も



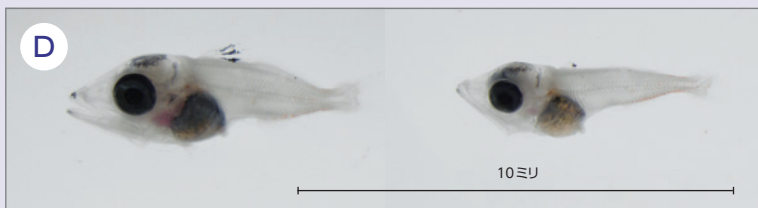
産卵直後に採集された卵



ふ化直後の仔魚
体長約3.1ミリ



ふ化後3日経過した仔魚
体長約4.8ミリ



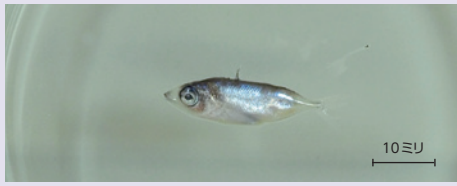
仔魚 体長約6.5ミリ(左)と約5.8ミリ(右)

図1 採集されたクロマグロの卵と仔魚



水産資源研究所 水産資源研究センター
広域性資源部 まぐろ生物グループ
主任研究員

たわ あつし
田和 篤史



稚魚 体長約22.6ミリ



稚魚 体長約71.8ミリ

図2 採集されたクロマグロの稚魚

2〜3ミリくらいしかありません。

ふ化後2〜3日が経過すると、小型の動物プランクトンなどを食べはじめ(図1C)、約2週間後には体長が6〜10ミリ程度に成長します(図1D)。しかし、この段階ではまだ速く泳げないため、素早く動くエサを捕らえたり、外敵から逃げたりすることは簡単ではありません。さらに1週間ほどすると、体長は10〜20ミリとなり、ヒレが発達して遊泳能力が向上します。この時期から稚魚(図2)と呼ばれる成長段階に入り、体の形も徐々にマグロらしい姿へと変化していきます。このように成長が速いとされるクロマグロであっても、産まれてから約1か月間は、人間でいえば赤ちゃんのように未熟な状態です。

●なぜ仔稚魚を調べるのか

クロマグロは一度に数十万から数千万もの卵を産みますが、その中で仔稚魚期を生き延びられる個体はほんの一握りにすぎません。この1か月程度の期間にどれだけの個体が生き残るか(生残率)は、将来的な親魚の数、つまり資源量に大きな影響を与えます。仔稚魚期の生き残りは毎年大きく変動すると考えられていて、その要因を明らかにすることができれば、資源管理にとっても有益な情報となります。

しかし、仔稚魚期の生き残りは複雑な海洋環境や親魚の栄養状態なども影響していて、すべてを解明するのは簡単ではありません。私たちのグループではこの複雑な生き残りの仕組みを明らかにすることを一つの目標として調査船を使った調査・研究を進めています。

●どうやって採集するか

クロマグロの産卵場調査では当機構所属の俊鷹丸(総トン数887トン・図3左)や水産庁所属の開洋丸(総トン数2510トン・図3右)などの大型調査船を使います。



水産研究・教育機構 俊鷹丸



水産庁 開洋丸

図3 クロマグロの調査で使われる大型の調査船

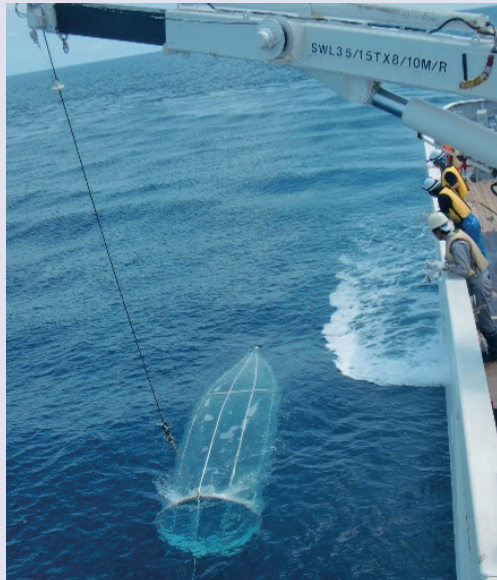
リングネットによる調査とは

目の細かい円錐形のネット（リングネット）を使用して、ネットが深く沈まないようにクレーンなどで吊り下げ、一定の速度で表層をひいてサンプルを採集する。採集されたプランクトンや仔稚魚の種類、数、サイズなどを研究機関に持ち帰り、詳細に分析する。



採集された
サンプル

リングネットの外観



クレーンで吊り下げられるリングネット

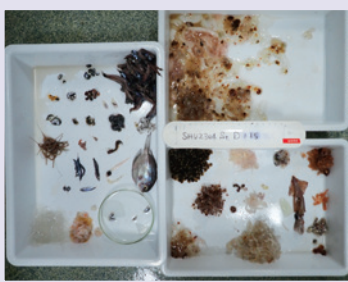
図4 リングネットによる調査風景

LCネットによる調査とは

調査船から特殊なネット（LCネット）を使用して、クロマグロなどの希少な魚種の仔稚魚や、大型クラゲといった浮遊生物を採集し、その分布状況や生態を把握する。採集されたサンプルは、DNA分析などによる種判別や個体数の計数が行われる。



LCネットの外観



採集された
サンプル



船尾でひかれるLCネット

図5 LCネットによる調査風景

仔稚魚の採集方法は成長段階によって異なります。仔魚を対象とした調査では直径2メートルのリングネット（目合1・0ミリ）を使用します（図4）。このリングネットを船の側面から海

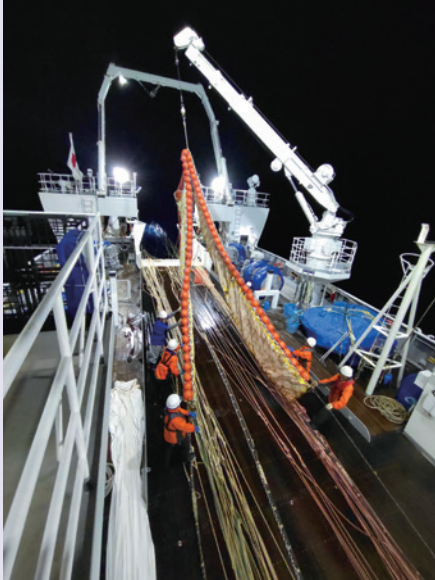
に入れて、1.5〜2.0ノットの速さで10分間表層をひきます。採集したサンプルは船上ですぐに選別し、さらに形態によって種まで判別しますが、船上で判別できない場合は、陸

に持ち帰ってDNA分析により判別します。稚魚を対象とした調査では、網口10×10メートルのLCネット（図5）または網口30×30メートルの表中層トロール

※1 ノット(knot)：1ノット=時速約1.85キロ

表中層トロールネットによる調査とは

長さ数十から百メートルにもおよぶ大型のトロールネットを使用して、調査船が一定の速度で網をひき、表層から中層に生息する魚類を捕獲する。調査対象魚の遊泳速度や生息水深に合わせて、網をひく速度やワイヤーの長さ、網の開き具合などを調整する。



表中層トロールネットの外観



捕獲されたサンプルの選別



捕獲されたサンプル

図6 表中層トロールネットによる調査風景

ネット(図6)といった大型の網を使用します。これら大型の網は船尾(船の後端)から海に入れて、3・0〜5・0ノットの速さで20〜30分間ひきます。採集し

たサンプルは船上で選別します。稚魚の段階では形態で種を判別することが難しいため、すべてDNA分析によって種を判別します。

DNA分析による種の判別とは

抽出したDNAの特定の領域の塩基配列を解読し、既知のデータベースと照合して、生き物の判別を行う方法。形態(体の形や構造的な特徴)での判別が困難な稚魚や卵だけでなく、採集した際に壊れてしまった体の一部などだけでも判別することができる。

● 成果と今後

これまで、調査船による産卵場調査をベースとした研究で、クロマグロ仔稚魚の分布・食性・栄養状態・好適環境条件、成長と生き残りの関係など、初期生息に関する多くの知見が蓄積されました。近年では、南西諸島周辺海域や日本海に加え、三陸常磐沖でも仔魚が採集され、第三の産卵場として注目されています(P13参照)。

しかし、いまだに初期生残の仕組みの全容は解明されておらず、今後も継続的な調査・研究が必要です。また、新たな試みとして、調査船で採集した仔魚の量から産卵親魚量を推定する研究が始まっています。この研究は長年の産卵場調査のデータ蓄積があるからこそ可能であると同時に、今後の継続的な調査が不可欠です。

初期生残の仕組みの解明や漁業データに依存しない産卵親魚量の推定は、資源管理および資源評価に貢献するものであり、調査船を使った産卵場調査は今後ますます重要になると考えられます。



最近の調査とわかってきたこと②

耳石、脊椎骨からみえてきた回遊の傾向

● 耳石からわかること

耳石 (扁平石) は平衡感覚や聴覚に
関係する器官の一部で、クロマグ
ロでは、脳の下にあります(図1A)。耳

石はふ化の数日後から形成され始め、生
涯成長を続けます。断面には透明な部分

と不透明な部分が交互に並んだ縞模様

が見られ(図1B)、その数が生存年数と
ほぼ一致するため、耳石の断面を観察す
ることで年齢がわかります。日本海お

よび太平洋のさまざまな場所で漁獲さ
れたクロマグロの耳石を集めて成長を

● 脊椎骨からわかること

同様に、尾の部分の脊椎骨(図1C)の
収集も行っています。脊椎骨の関節面に
も年輪が形成されます。脊椎骨の関節面
の半径と尾叉長の成長は比例すること
から、脊椎骨関節面の半径から体長を逆
算して求めることができます。しかし、
体の成長が止まると骨の成長も止まる
ため、大きな個体の年齢推定には不向き
です。

● 漁獲個体のふ化海域を推定する

クロマグロの産卵場は、南西諸島周辺、
日本海、三陸常磐沖にあるとされていま
す(P13・図2参照)。しかし、三陸常磐
沖では稚魚以降が採集されておらず、
本海域でふ化した個体は漁獲対象となる
資源にはほとんど加入していないと考
えられます。このため、資源となるクロ

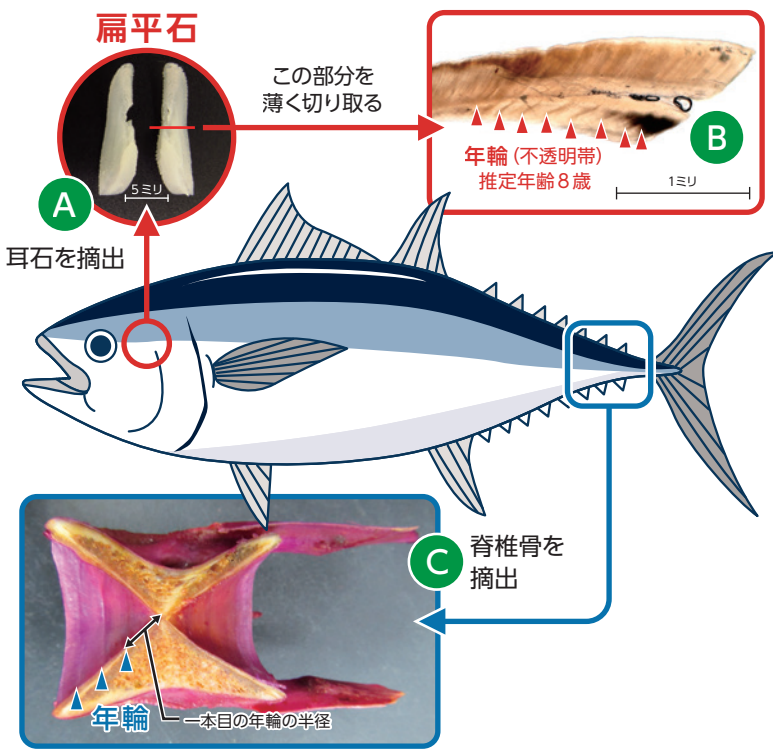


図1 クロマグロの耳石(A)と切片に見られる年輪(B)、脊椎骨を染色後に縦割りした関節面にみられる年輪(C)

推定した結果、3歳で
尾叉長120センチ、
5歳で160センチ、
8歳で200センチ、
20歳で230センチに
なることがわかり、大
きさからおよその年齢
がわかるようになりま
した。しかし、成長に
は個体差があるので、
正確な年齢を知るため
には継続的な耳石の収
集・研究が必要です。



水産資源研究所 水産資源研究センター
広域性資源部 まぐろ生物グループ
主任研究員

石原 大樹

マグロの主なふ化海域は南西諸島周辺と日本海に分けられます。また、産卵期の違いから、ふ化時期は南西諸島周辺では5・6月、日本海では7・8月と異なります。ふ化した仔魚は成長しながら、最初の冬を九州西沖から本州周辺の日本近海で過ごします。脊椎骨に現れる一本目の年輪はこのときに形成されると考えられています。ふ化の時期が1〜3か月異なりますが、年輪の形成時期が同じなので、一本目の年輪の半径は、ふ化から年輪形成までの期間が短い日本海でふ化した個体では小さく、南西諸島周辺海域でふ化した個体では大きくなります。この年輪の半径は生涯保たれることから、一本目の年輪の半径からふ化海域を推定できます。

● 個体群構造の推定

年齢とふ化海域の推定結果から、クロマグロの個体群構造がみえてきます。主な産卵場である南西諸島周辺と日本海で漁獲された親魚についてみると、どの年齢群でも両方の産卵場でふ化した個体が混ざっていることがわかりました。これは、クロマグロが単一の個体群であることを示しており、単一の水産

資源としている現在の資源管理体制は妥当といえます。

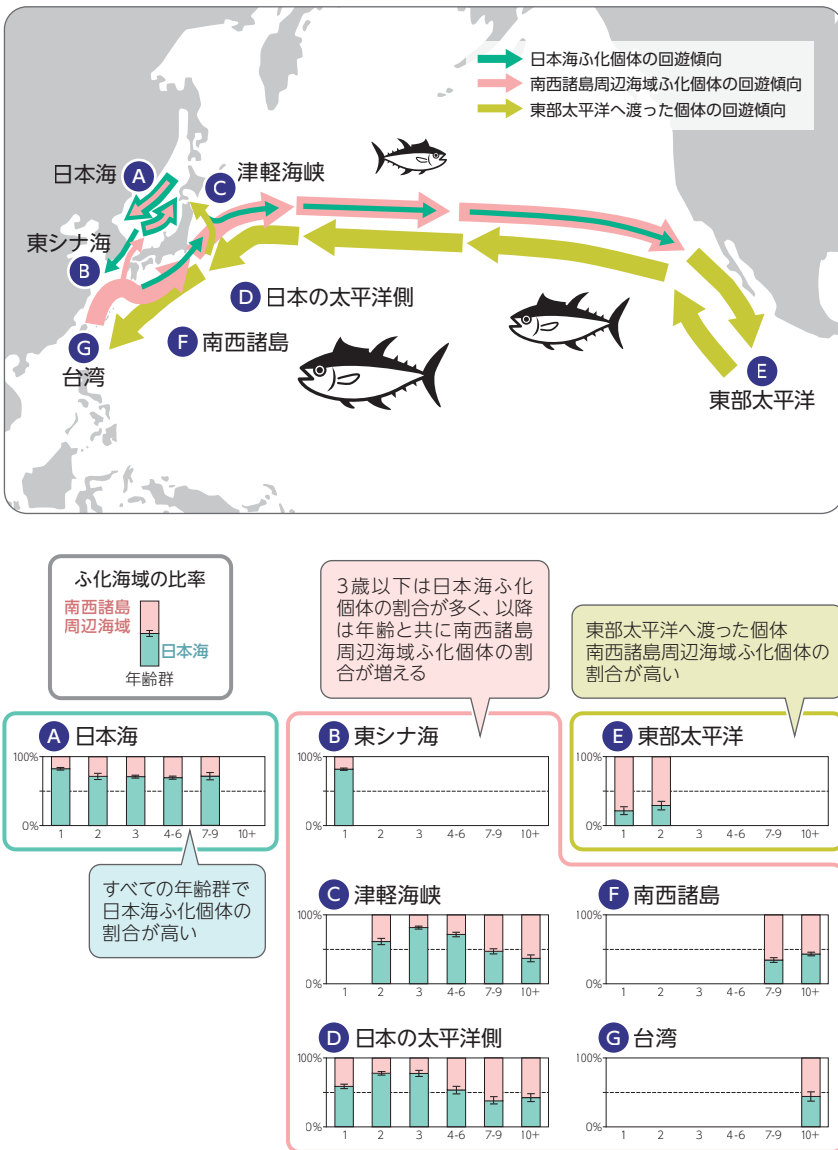
● わかってきた回遊傾向

海域別、年齢群別にふ化海域比率を比較すると、次のような回遊傾向がわかってきました(図2)。

- ① 日本海でふ化した個体は日本海または日本近海にとどまる傾向が強い。
- ② 南西諸島周辺海域でふ化した個体は

東部太平洋へ渡る傾向が強い。
 ③ 東部太平洋へ渡った個体は3歳以降、徐々に日本近海へ帰ってくるが、日本海へ入る個体は少ない。

これらは、電子標識を用いた研究結果を補強し、ふ化海域による回遊傾向の解明、ひいては南西諸島周辺海域および日本海で産卵する親魚の数が資源へ与える影響についての重要な知見となっています。





最近の調査とわかってきたこと ③ 生殖腺の解析で産卵生態が明らかに

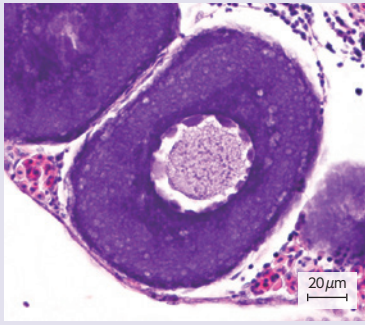
●はじめに

天 然下のクロマグロの生殖腺を使った産卵生態研究は、クロマグ

ロの生態研究の中で比較的新しく、まとまった知見が公表されはじめたのは2000年代に入ってからでした。その背景には、顕微鏡で生殖腺内の卵の状態

を観察する方法(図1)が取り入れられたのが1990年代の半ばであったこと、さらに最大で20キロになる生殖腺を

と、さらには最大で20キロになる生殖腺を大量かつ継続的に集めるのが難しいことがあります。ここでは、生殖腺の解析によって明らかになったクロマグロ親魚の産卵に関する知見を紹介します。



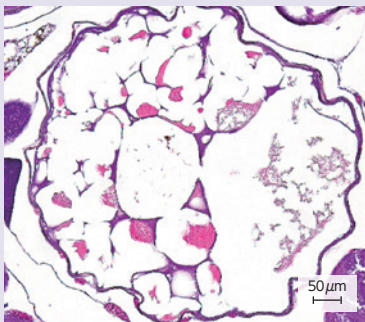
① 成熟していない細胞

卵になるための成熟が始まっていない状態の細胞。非産卵期の個体の卵巣で多く見られる。



② 成熟途中の細胞

卵になるための成熟が始まった状態の細胞。細胞内の赤い小さい円状の物体は、卵黄。産卵期直前～直後の個体の卵巣で見られる。



③ 産卵直前の細胞

卵になる直前の細胞。数時間後には排卵・産卵を通じて体外に放出される。

1 μm : 1 マイクロメートル (1/1000 ミリメートル)

図1 卵の発達過程の顕微鏡写真

●産卵場

現在、クロマグロの主な産卵場(図2)

は、①南西諸島周辺、②伊豆諸島、三陸沖、③日本海の三海域にあると考えられています。このほか、東シナ海や北部日本海(秋田県、北海道)でも産卵個体が漁獲された記録があります。産卵の時期は、①が4月下旬、7月中旬、②や③では5、6月に始まり、8月まで続くことがわかりました。また、産卵のための準備(成熟)をしている個体は産卵期より早い時期に日本周辺海域にいることがわかりました。これは大型のクロマグロが日本周辺でもっとも多く漁獲される時期と一致します。東部太平洋(カリフォルニア沖)では春、夏に産卵できるサイズの魚が分布していますが、これらの個体は成熟・産卵していません。



水産資源研究所 水産資源研究センター
広域性資源部 まぐろ生物グループ
主任研究員

あしだ ひろし
芦田 拓士

●産卵が行われる水温

マグロ属魚類は、表面水温が24℃以上の海域で産卵すると考えられています。しかし、クロマグロの産卵個体が漁獲された表面水温は17〜29℃で、従来考えられていたよりも低い水温でも産卵していることがわかってきました。また、産卵個体がよく見られる表面水温は産卵場によって違うようです。たとえば、日本海では21℃以上、南西諸島周辺海域では24℃以上で活発に産卵していると考えられます。

●成熟・産卵する大きさと年齢

クロマグロは尾叉長100センチで成熟・産卵する個体が初めて出現し、その割合は成長につれて増加していくと考えられています。また、産卵場によって分布する親魚の大きさが異なり、三つの産卵場(図2)のうち太平洋側の①には主に170センチ(約6歳)以上の大型の親魚だけが、高緯度域の②では160センチ(約5歳)以上の親魚が分布・産卵しています。日本海側③では、日本海中部には100センチ(約3歳)以上の親魚が、日本海西部には主に130センチ(約4歳)以上の親魚が

分布し、産卵しています。

●大型魚ほど多く産卵

クロマグロが一度の産卵で産み出す卵の数は、体が大さくなるにつれて増加する傾向があります。個体差はありますが、たとえば、尾叉長100センチで80〜90万粒程度、200センチになると1000万粒を超え、最大で3000万粒近くの卵を産み出します。クロマグロは1回の産卵期に繰り返し産卵する魚で、2日続けて産卵している個体も確認されていますが、1個体が産卵期に何度産卵するのかは、まだわかっていません。

●最後に

クロマグロは産卵期に1個体が多くの卵を産むことのできる魚ですが、幅広い水温で産卵する可能性があることから、すべての卵がふ化や仔魚の成長・生き残りに適した環境に産み出される保証はありません。しかし、明らかになった知見

を整理していくと、「卵のふ化や仔魚の成長・生残に適した暖かい水温下で繁殖能力の高い大型の親魚が産卵している」といった傾向も見ることができま。このように産卵場によって違う親魚の特性が、クロマグロ資源の再生産や資源の加入にどのような影響をおよぼすのか、今後明らかにしていく必要があります。

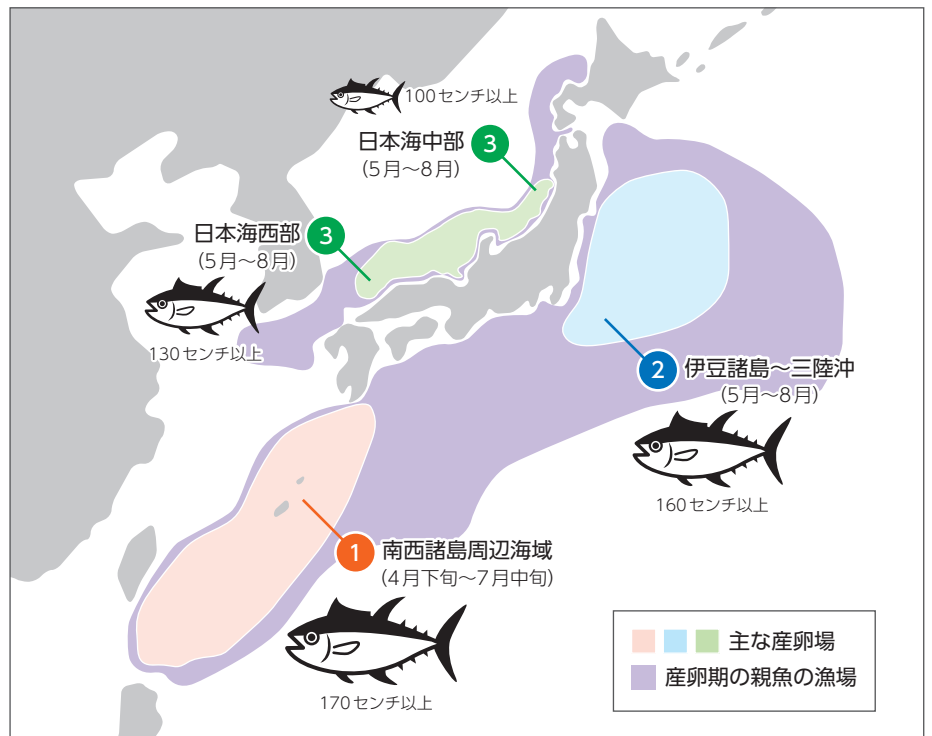


図2 クロマグロの産卵場と産卵場で漁獲される親魚のサイズの関係



クロマグロ資源評価とその舞台裏

— 国際協働と検証のバランス

● 資源評価を担う作業部会

ク

ロマグロの資源管理は、中西部太平洋まぐろ類委員会(WCPFC)と全米熱帯まぐろ類委員会(IATTC)で、科学的根拠に基づいて実施されています。この科学的根拠の中心が「資源評価」で、北太平洋まぐろ類国際科学委員会(ISSC)のクロマグロ作業部会(以下、作業部会)で、各国の科学者が共同で資源量の推定とその評価を実施しています。この作業部会は、ISSC加盟国とIATTCの科学者約20人で構成され、日本からは私を含む当機構の研究者が加わり、議長職や資源解析の中心的な役割を受け持っています。

● 資源の回復

2024年の最新の資源評価では、クロマグロ資源が過去の歴史的最低水準から順調に回復し、資源回復目標である初期産卵資源量の20%を2021年に達成したことが確認されました(図1)。

2011年以降の漁獲量管理の効果で、漁業の資源への影響が大幅に低減されたことも明らかとなり、ISSCはクロマグロ資源が乱獲状態に該当しないと科学的に評価しました。この評価結果を受け、両委員会は

2025年以降の漁獲上限の引き上げを決定し、日本の漁獲可能量も大型個体で1.5倍、小型個体で1.1倍に増加しました。資源回復が達成された現在、今後の長期的な管理方針を両委員会で議論を進めています。

今回の資源評価の特徴の一つに、最新年までの評価期間を従来の1952年からではなく、1983年以降に短縮した点があります。



水産資源研究所 水産資源研究センター
広域性資源部 まぐろ第1グループ
グループ長

ふくだ ひろむ
福田 漢生

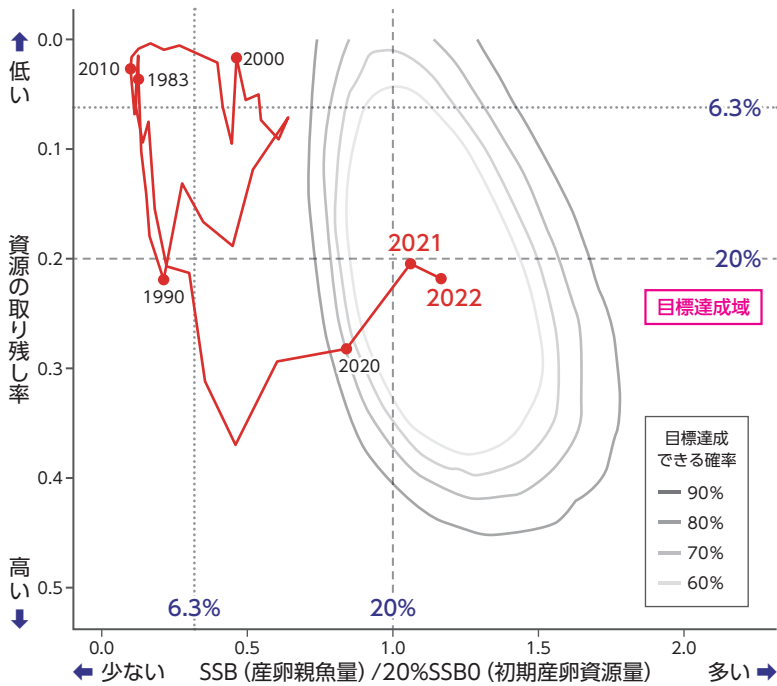


図1 クロマグロの資源水準と漁獲強度についての神戸プロット※1

※1 神戸プロット : FRA NEWS vol.85 7ページ参照
横軸は、初期産卵資源量の20パーセントに対する各年の産卵資源量の割合を示し、縦軸は各年の漁獲強度を資源の取り残し率で表した指標。縦横の破線は、クロマグロ資源の回復目標である「初期産卵資源量の20パーセント」を示し、点線は暫定回復目標であった「未開発時点の産卵資源量の6.3パーセント」を示す。図中の楕円は、2022年の推定値に関する不確実性を表す。縦軸も横軸も、資源回復目標である20パーセント(0.2)を上回ったことがわかる

これにより、資源解析モデルの構造を簡素化しつつ、近年の豊富なデータを重視して資源動態を推定することで、より信頼性の高い資源量推定が可能となりました。ISCではこのような資源研究を、各国の科学者がデータやアイデアを持ち寄り、年に1〜2回開催される作業部会の会議の中で具体化しています。多くのメンバーは長年クロマグロ資源研究に関わっていて、資源が低水準だった時期から協力してきた経験から、強い信頼関係ができあがっています。研究の背景や意図を理解し合い、共同研究や論文執筆も活発に行われています。

● 慎重な検討による評価

そのような関係があっても、資源評価の議論には多くの時間がかかります。1〜2週間の会議期間中、朝から夜まで延々と議論と解析・検証を行います。それでも時間が足りないと感じることがしばしばあります。今回の資源解析モデルの改修でも、評価期間を短縮する提案が初めて出されたのは2021年であり、実際に反映されるまで3年がかかりました。とくに今回の改修は、評価期間の短縮による資源量推定の高度化だけ

ではなく、長期的な資源変動や漁業の影響を把握することにも影響をおよぼす可能性がある提案であったため、議論はきわめて慎重に進められました。おそらく各漁業国の科学者は、この提案が科学的に妥当であるかどうかに加え、WCPFCやIATTCの資源管理、さらには自国の漁業に不測の影響が生じないかを慎重に検討したものと想像されます。幸いにも、今回の提案は純粹に資源解析の精度向上を目的としたものであり、その目的が達成されていると認められたことから、最終的に採用されました。

● 高度化する資源評価

このように、クロマグロの資源評価は、国際科学委員会と海外の科学者と密接に協力しながら、緊張感のある検証を経ており、高水準の資源解析が実現されています。その成果をもっとも端的に示す例として、2016年の資源評価および将来予測と、今回の最新評価との比較があります。2016年当時の評価では、これまでと同様の増えやすさの仮定の下で2022年

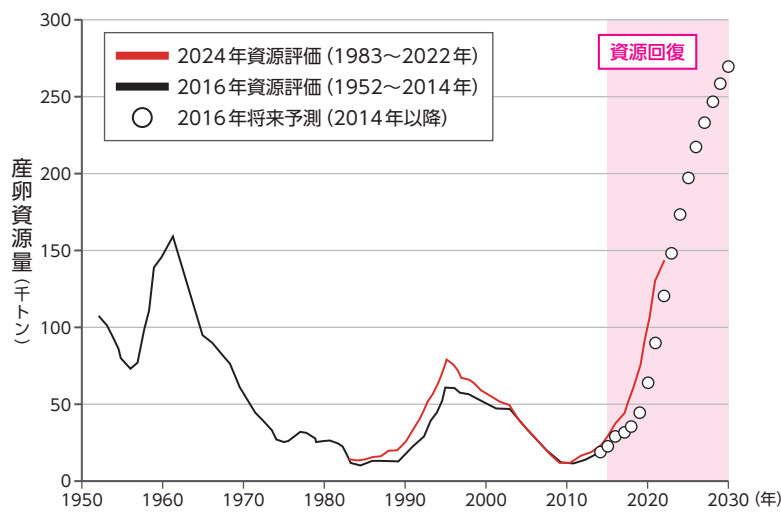


図2 2016年のISCによる資源評価・将来予測の結果と、最新(2024年)の資源評価結果の比較

将来予測と実際の資源量推定値がよく重なっており、2016年時点から精度良く将来を予測できていたことがわかる

までに厳格な資源管理が実施されれば、資源は回復すると予測されており、2024年の資源評価結果はまさにその予測どおりの回復を示しています(図2)。このような将来の予測性能の高い資源解析は、資源管理方を検討するための科学的根拠として、きわめて有益なことから、今後も国内外の科学者との協力により現在の完成度を維持し、さらに高度化を図っていききたいと考えています。



未来を見据えた資源管理

● 終わりに

最

後に、クロマグロの将来の資源管理に向けた研究についてご紹介

します。冒頭にも紹介しましたがRFMOによる資源管理は必ずしも成功の歴史とはいえない状況にあります。それは、資源管理の科学的な議論と参加国の思惑が複雑に絡み合い、臨機応変に資源を管理することが難しいためです。

まず、新しいデータや科学的知見が積み重ねられていくと、より良い資源評価をめざす中で資源評価結果が大きく変わってしまうことがあります。水産資源評価では大なり小なり起きてしまうことなのですが、これにより漁業の管理方法が大きな変更を迫られることになること、すぐに関係者の合意が得られないということが起こりえます。また、RFMOでは参加国のさまざまな思惑で、これまでのやり方が突然支持されなくなることもよくあります。そのため、タイムリーな資源管理ができず、資源が悪化するこ

とがとぎとぎ起きていました。このような課題を解決するために、近年多くの

● MSEの導入

RFMOで実施されるようになってきているのが管理戦略評価(以下、MSE)と呼ばれる手法です。

前述のとおり、RFMOでの資源管理には、科学的な議論と参加国の思惑という二つの側面による意思決定の難しさがあります。MSEとは、より長期的な視点で資源管理のルールを考え、異なる価値観や意見などを持つ人々も巻き込んで議論して合意できるようにするという手法です。

MSEでは、より長期的に安定して使える漁獲管理措置を開発するため、さまざまな管理手法をシミュレーションします。その際、資源評価にともなう不確実性を考慮するため、資源の増減を想定した複数の数理モデルを用いて、管理手法が幅広い状況に対応できるかを確認します。こうして、科学的不確実性にも負けない管理措置を作り上げていきます。また、たとえば資源を高い水準で維持するには漁獲を抑える必要があるなど、



水産資源研究所
水産資源研究センター
広域性資源部 副部長

なか つか しゅう や
中塚 周哉

利害のバランスを取る難しさを関係者全員で共有しながら、どの管理手法がより望ましいかについて合意を形成していきます。それにより将来の意見対立をあらかじめ解決してきます。その結果、科学的にも交渉的にも長期的に安定した資源管理が可能になります。

RFMOでのMSE実施は着実に増えていきます。とくにミナミマグロでは、世界でもっとも早期の事例の一つとして、2011年からMSEで開発された管理措置が実施されています。タイセイヨウクロマグロでは、2023年からMSEで決定されたTAC^{*}が施行されています。クロマグロも、回復目標達成後、MSEを用いたより長期的な管理措置への移行をめざすことがRFMOで合意され、当機構を含むISCの科学者にMSEの開発が要請されました。

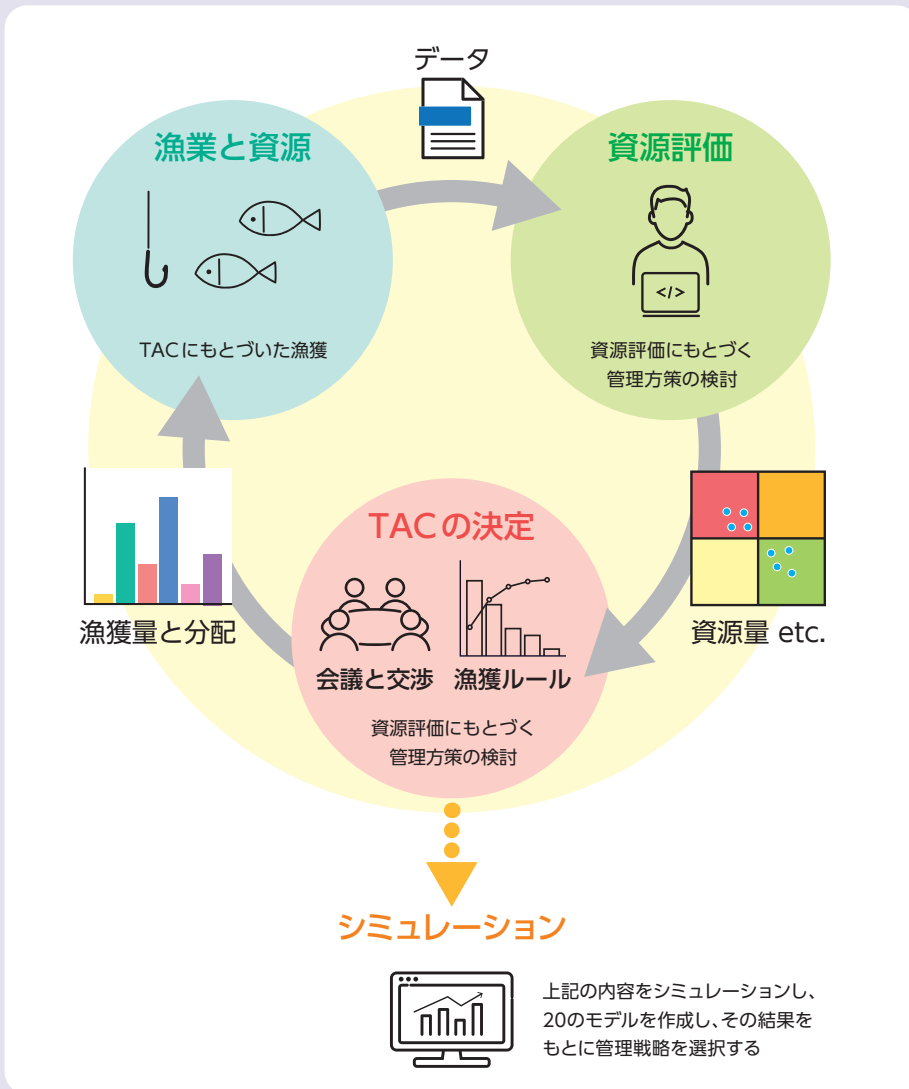
※1 TAC(Total Allowable Catch): 漁獲可能量。特定の魚種ごとに1年間にとってよい漁獲量の上限を決める制度

ISCではクロマグロの資源評価を基礎に、2年余りをかけてクロマグロ用のMSEを開発し、RFMOから要請されたさまざまな管理手法を評価して、2025年のRFMOの会合で結果を報告しました。これらの結果から、どのような管理措置を導入すべきか、RFMOで議論が行われましたが、まだ結論は出ていません。引き続き議論が継続される見とおしとなっています。

クロマグロは、ほとんど管理のなかった時代から、日本を中心に調査・研究を進め、資源評価を高度化し、科学的根拠に基づいた資源管理につなげた結果、資源の劇的な改善が成し遂げられました。そしていまは、さらに先を見据えた安定的な資源

管理戦略評価 (MSE)

魚を守りながら持続的に漁業を続けるために、どの管理ルールが最適かコンピューターによるシミュレーションで評価します。



参考：水産庁 太平洋クロマグロの資源・養殖管理に関する全国会議

令和7年6月10日(中西部太平洋まぐろ類委員会(WCPFC)北小委員会等に向けた太平洋クロマグロの資源状況等に関する説明会)配布資料を基に作図

<https://www.jfa.maff.go.jp/j/study/enoki/kuromaguro.html>

管理を、MSEを通じて実施しようとしています。しかし、良い資源管理の基本は良い資源評価であり、良い資源評価は継続的なデータの蓄積と私たち科学者を含む、さまざまな関係者の絶え間ない努力によってのみ維持できます。これら

一度失われると、簡単には取り戻せません。当機構では引き続き、日本の最重要水産資源の一つであるクロマグロが将来にわたって適切に管理されるよう調査・研究の努力を継続していきます。

魚病ワクチンのスペシャリスト

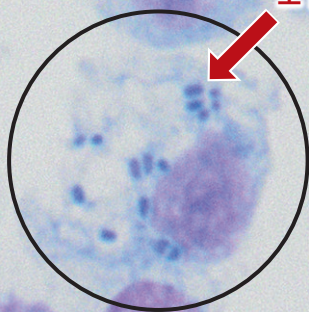
養殖業を守るため日々実験

〜ワクチンを多くの魚種に使えるように〜

さまざまな分野で活躍する専門家に、研究者になったきっかけや現在取り組んでいる研究内容などについてインタビュアー!!
今回は「魚病ワクチンのスペシャリスト」の森本和月さんに話を聞きました。

インタビュアー：広報課 飯島祥子

エドワジエラ属細菌



マクロファージ*1

ヒラメのマクロファージの塗抹標本*2。
マクロファージがエドワジエラ属細菌(P.21参照)を食べている

【経歴】

2023年4月に増養殖研究所(現：水産技術研究所南勢庁舎)に任期付き研究員として採用。趣味は釣りとネコと遊ぶこと。

【バイブル】

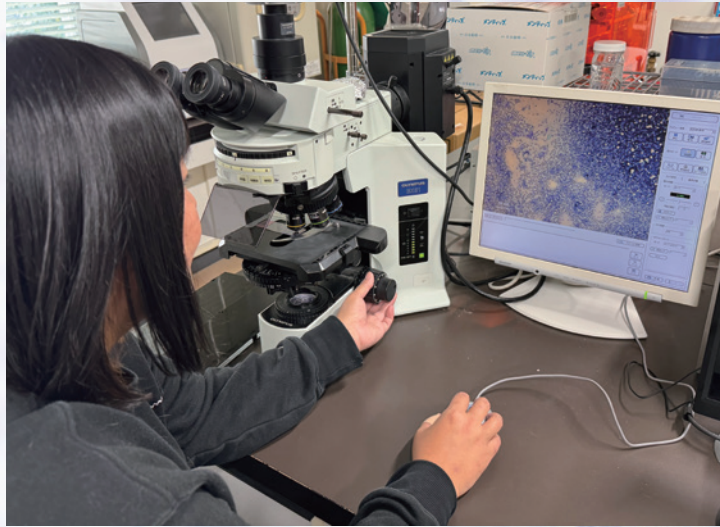
魚介類の微生物感染症の治療と予防(恒星社厚生閣)
シグナル伝達キーワード辞典(羊土社)



水産技術研究所 養殖部門 病理部
免疫グループ 研究員

もりもと なつき
森本 和月

*1 マクロファージ：白血球の一種で、体内の異物や病原体を捕食し、免疫系の重要な役割を果たす細胞
*2 塗抹標本：細胞をスライドガラス上に薄く塗り広げて、染色して作成した標本



顕微鏡で染色した細胞を観察している森本和月さん

研究者を志したきっかけは？

幼い頃から動物が大好きで、ペットとしてネコやアヒル、ニワトリ、ハムスターなど、さまざまな動物を飼っていました。でも魚は苦手で、ぬるぬるした感触や、ほ乳類とは

違った形に怖さを感じ、「なぜ苦手なのか？

魚を知れば怖くなくなるのか？」という疑問をずっともっていました。そんな時、高校で水産大学の説明を聞く機会があり、魚について学べることに魅力を感じて、水産大学校への進学を決めました。進学後は魚への苦手意識が消え、むしろさまざまなことに興味がわいてきました。もっと魚について深く知りたいと思い、研究者を志すようになりました。

なぜ魚病を研究テーマに？

水産大学校でいろいろな講義を受ける中、魚病の講義がとても面白くて、この先生のもとで学びたいと思ったのがきっかけです。それまで魚に病気があることや、予防・治療ができることを全く知りませんでした。その中でも『まだ治せない病気があって、免疫を高めれば病気を防げるかもしれない』という話に興味があって、その先生の研究室に入りたいと思いました。

その後、魚の免疫についてより深く学び、研究をしたいと思い、宮崎大学大学院に進学しました。修士課程・博士課程を経て、ポスドク(期限付き研究員)として1年間研究を続け、その後は学術振興会の特別研究員として機構に所属し、現在は任期付き研究員として研究を続けています。

最初に取り組んだ研究は？

「エドワジエラ症」という魚の感染症に関する研究です。この病気は昔からマダイやヒラメ、ウナギで被害を出していて、いまも予防法がありません。

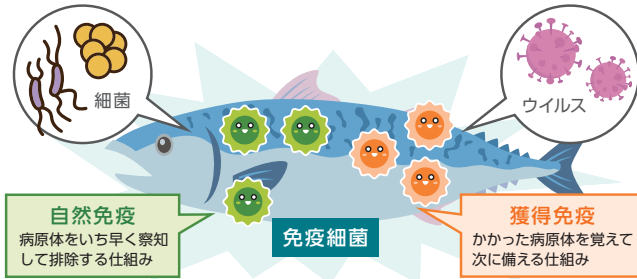
私は免疫力(自然免疫)を高める成分(免疫賦活剤めんえきふかつざい)を使い、魚が病気に負けない方法を研究しました。大学では植物から抽出した成分をエサに混ぜて与えるなど、いろいろ試しましたが、効果が得られずに終わりました。現在もこの病気の予防法について研究を続けています。

—今はどんな研究をしているのですか？

魚のワクチンを、より多くの魚種に使えるようにする研究をしています。日本では魚種ごとにワクチンが承認・製品化される仕組みですが、市販されているワクチンは、承認申請のためにデータを取得した特定の魚種にしか、原則として使用が認められていません。たとえばブリの病気のために承認された市販ワクチンは、同じ病気にかかるシマアジやヒラメなどでの使用が認められていません。そこで、すでに市販され

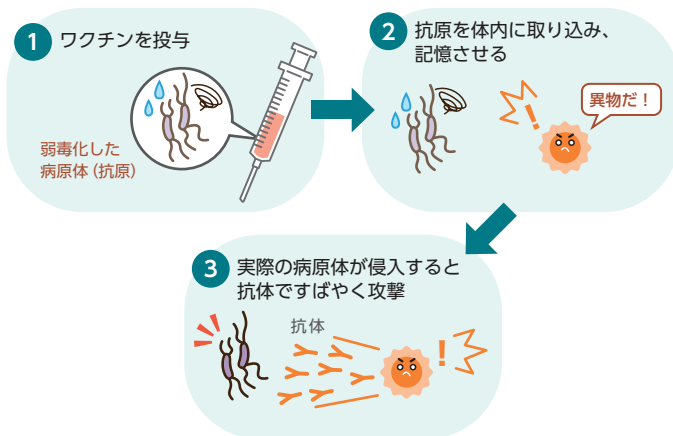
免疫とワクチン

人間にも魚にも細菌やウイルスなどの病原体から身を守る仕組みがあります。これを「免疫」と呼びます。「免疫」には、生まれつき体に備わっている「自然免疫」と、後から獲得する「獲得免疫」の2種類があります。獲得免疫は過去にかかったことのある病原体を体の中で記憶していて、次に同じ病原体が入ってきたときに強く反応する仕組みです。その仕組みの中でも、「抗体」は病原体の排除にかかわる重要な分子として知られています。



ワクチンの中には、この「獲得免疫」の中の抗体による防御反応を利用するものがあります。

①ワクチンの成分は死んだ病原体や病原体を弱めたもの(弱毒株)などで、抗原(病原体の中でも免疫を刺激する分子)として接種することで、体内に取り込みます。②取り込まれた抗原をもとに、病原体の「記憶」をつくり、③次に同じ病原体が入ってきたときに強く反応して病気にかかりにくくすることができます。これがワクチンで免疫を獲得する仕組みです。



—研究している魚病にはどんなものがありますか？

サケ科魚類の場合は「β溶血性レンサ球菌症」、サバ科魚類の場合は「α溶血性

ているワクチンがさまざまな魚に効くので

あれば、ワクチン開発のコストや労力を下げ、使える範囲を広げることができるようになります。このようなワクチンの使用対象魚種の拡大をめざす研究もしています。とくにサケ科やサバ科を対象に研究しています。

レンサ球菌症」という病気です。

β溶血性レンサ球菌症は、海産魚から淡水魚まで幅広い魚種がかかる細菌の病気です。目が飛び出したり、おなかに水(腹水)がたまったり、体表や腸から出血したり、くるくる回って泳ぐなどの症状がみられる重い病気です。

α溶血性レンサ球菌症は、ブリ類やクロマグロなどの魚種がかかる病気です。目に炎症が起きたり、体が擦れたり、心臓が炎症を起こすなどの症状がみられます。

また、学生時代から研究を続けている「エドワジエラ症」は、マダイやヒラメ、ウナギなどがかかる細菌の病気です。マダイでは頭に潰瘍ができ、ヒラメでは脱腸、ウナギでは腹水などの症状が見られます。現在、魚に感染するものは主に2種類のエドワジエラ属の細菌であることがわかってきました。

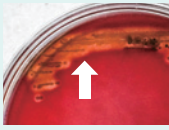
—魚のワクチンや免疫の研究とは、具体的にどのようなことをやるのでしょうか？

ワクチンや免疫の研究と言っても、さまざまな研究手法があります。

私が所属するグループでは、病原体の特徴を詳しく調べることから、効率的にワクチンをつくるための病原体の増やし方、魚へのワクチンの投与方法を工夫するなどしています。

魚病の原因になる細菌

ストレプトコッカス イニエ (*Streptococcus iniae*)

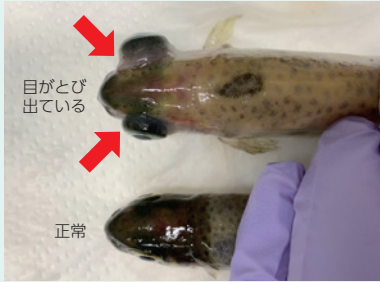


血液寒天プレート
付着した細菌が赤血球
を強く壊している



顕微鏡画像。名前のとおり
球体が連なった形をしている

β 溶血性レンサ球菌症の原因になる細菌。淡水・海水のさまざまな魚に感染し、赤血球を強く壊す性質(β 溶血)を持つ。感染力が強く大量死を引き起こし、養殖業に大きな損失を与えることがある。

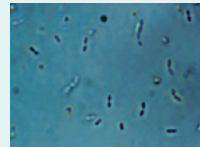


サケ科魚類(ヤマメ)

ラクトコッカス ガルビエ (*Lactococcus garvieae*)



血液寒天プレート
付着した細菌が赤血球
をわずかに壊している



顕微鏡画像。菌のサイズは
約1~数マイクロメートル

α 溶血性レンサ球菌症の原因になる細菌。養殖魚に感染し、強い毒性を示す。赤血球をわずかに壊す性質(α 溶血)があり、感染すると敗血症を引き起こす。世界中の養殖現場で深刻な経済的被害をもたらしており、海外ではニジマス、日本ではブリやクロマグロの被害が大きい。



サバ

エドワジエラ アングイラルム (*Edwardsiella anguillarum*) と エドワジエラ ピシシダ (*Edwardsiella piscicida*)

エドワジエラ症の原因になる細菌。体内に炎症や肉芽腫^{にくがしゅ}*3を引き起こす。とくに高水温期に発症しやすく、マダイやヒラメ、ウナギなどで重い症状を引き起こすことがある。

エドワジエラ アングイラルム (*Edwardsiella anguillarum*)



細菌をプレートで培養したもの。
点に見えるところ(コロニー)に
は1億もの細菌がいる



マダイ

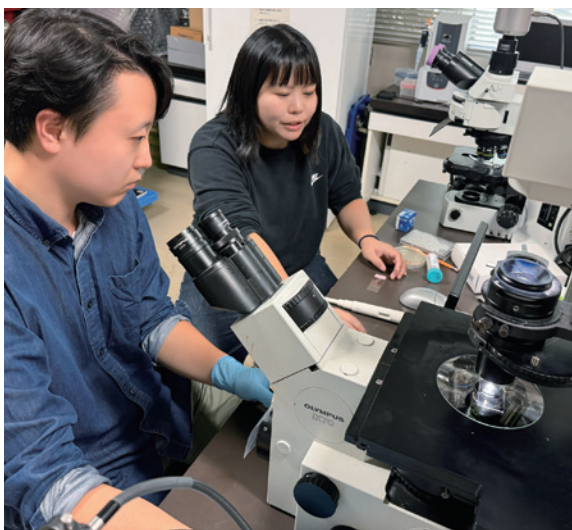
エドワジエラ ピシシダ (*Edwardsiella piscicida*)



細菌をプレートで培養したもの



ヒラメ



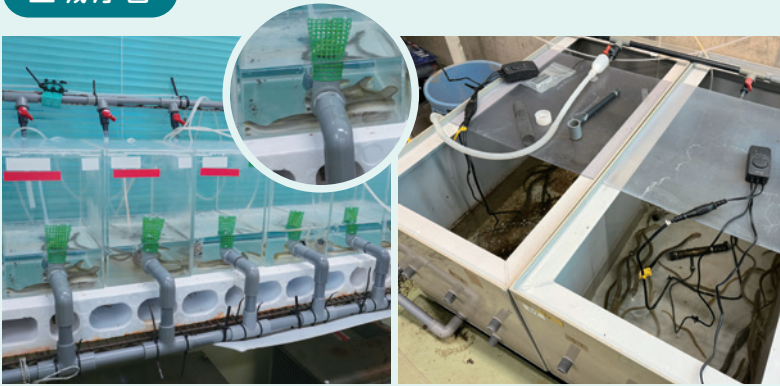
培養した菌をグループ員と顕微鏡で観察する森本さん(右)

その中でも私の研究では、魚がワクチンや病原体にどう反応するかを調べ、抗体の働きや、免疫に関係する遺伝子の変化を解析しています。

具体的には、市販のワクチンを説明書どおりの用法・容量で魚へ注射し、採血して血液中の抗体量を測ったり、実際の病原体を感染させ、生き残る割合や症状を観察したりします。また、サケ科魚類などの同じ仲間や同じ病気にかかる魚の間で免疫の反応がどれぐらい似ているか、遺伝子レベルでの解析も行っています。このような研究から、市販のワクチンのさまざまな魚種への使用をめざすことで、養殖現場での疾病対策につながっています。

*3 肉芽腫：繰り返す炎症などにより、免疫細胞が集まって形成される組織のこと

玉城庁舎



飼育環境試験中のウナギの飼育水槽

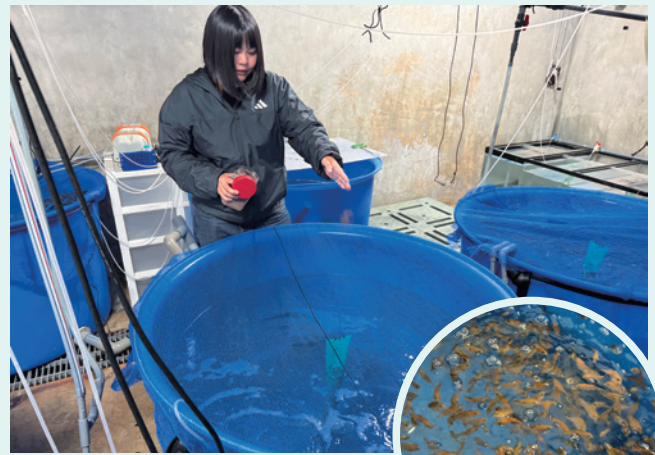


飼育環境試験中のサケ科魚類(ブラウントラウト)の飼育水槽

南勢庁舎



屋外の飼育水槽

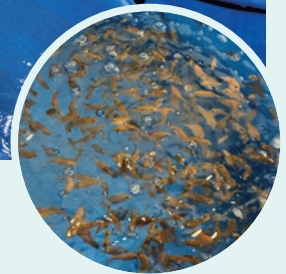


日課のエサやり。魚に異常がないか、ようすを見ながらエサをあげている



ヒラメ

近づくともエサを求めて水面まで泳ぎ始める



試験用に飼育中のマダイの稚魚

なぜ魚にワクチンが必要なのですか？

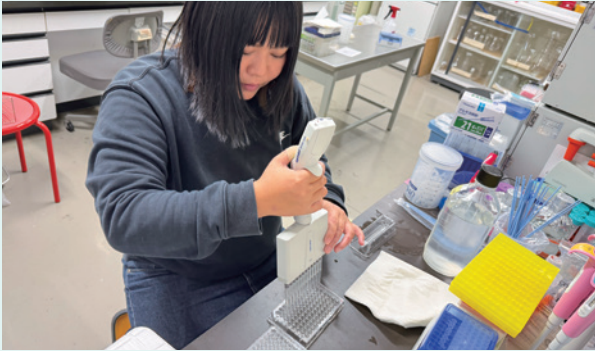
養殖業者の方々にとって魚病は深刻な問題です。いけすや養殖場には逃げ場がなく、一匹でも病気にかかるると全滅するリスクもあります。薬で治せる病気もありますが、発見が遅れて被害が大きくなることも多いです。また、魚が死ななくても病気にかかる商品価値が下がることもあります。だからこそ、ワクチンで魚病を事前に予防することが重要です。

試験用の魚はどこで手に入れるのですか？

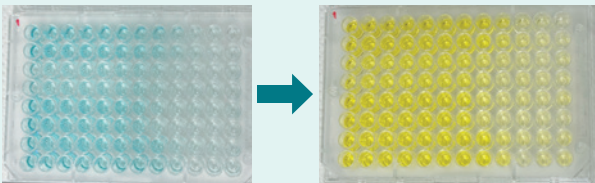
試験用の魚は、機構内や県の水産試験場から分けってもらったものや種苗会社から購入したものなどを使用しています。試験結果に環境要因などが入り込まないように、入手した魚を実験に使うサイズまで当機構の施設で飼育して使います。魚は三重県の玉城庁舎と南勢庁舎で飼育しています。現在、玉城庁舎ではニジマスなどのサケ科魚類やウナギを、南勢庁舎ではマサバ、マダイ、ヒラメおよびウナギを飼育しています。すべてを一人で見ることは難しいため、飼育にはほかの職員の手も借りますが、課題が特殊なため、扱っているのが私だけの魚種も多いです。

そんなにたくさん管理するのは大変ではないですか？

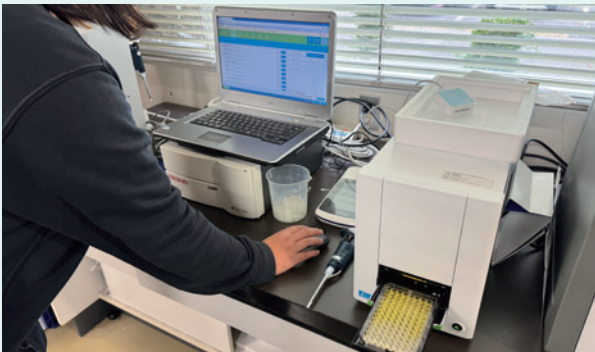
抗体の検出試験のようす



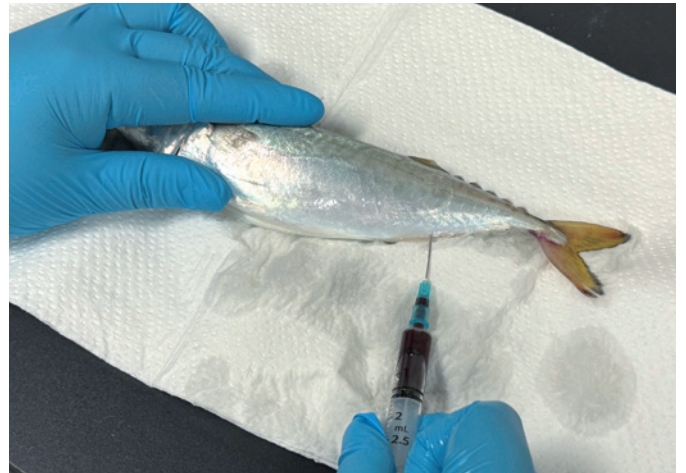
くぼみのたくさんあるプレートに抗体を吸着させ、血清を入れて抗体と結合させたものを、発色する薬を入れて酵素と反応させる。色の変化で抗体量を測り、抗体が多いほど、色が濃くなる



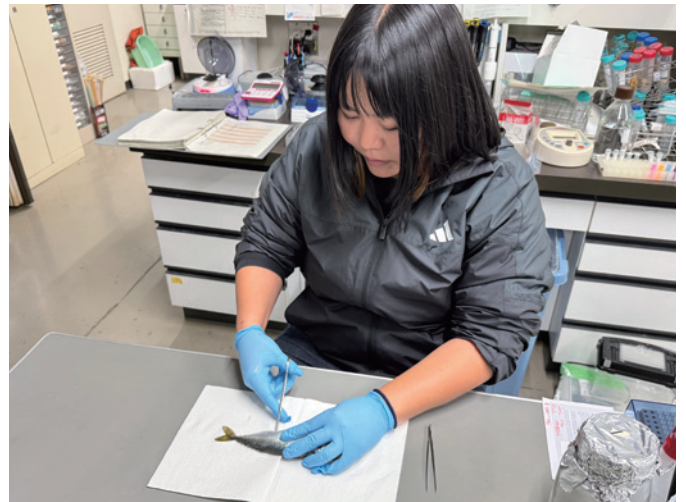
反応するほど濃い青になり、反応を止めるために酸を加えると黄色くなる



反応を止めたものを専用の機械で解析し、どの程度抗体が反応したかを数値で出力する



マサバの採血のようす。魚の場合は背骨の下にある血管や心臓に針を刺し、血液をとる。とった血液から血清(血液の成分)を取り出し、抗体の検出試験(詳細は左)に使う



病気に感染した魚を解剖し、内臓の症状を確認することもある

そうですね。魚種が多いだけでなく、これらの魚はワクチンの実験に使うため、健康管理にはとくに気を使います。魚種ごとに飼育方法が違うことも、管理を難しくしている大きな要因です。それでも、この研究が形になり、養殖業者の方が安定して生産を続けられるようにするために、必要な努力だと思っています。

最後に、研究者をめざす人へメッセージをお願いします。

私が学生時代に「やっておけばよかった」と思うのは、人見知りや緊張しやすい性格の克服ですね。研究者の仕事は実験ばかりではありません。学会や会議など、人前で話す機会がとて多いんです。だから学生のうちに知らない人と話す練習や、人前で話す経験を積んでおくことをおすすめします。

また、実験は失敗することが多くありますが、途中でやめてしまったら結果は得られません。だからこそ、粘り強く取り組める人が向いていると思います。研究者をめざすなら、最後まであきらめない心を持って挑戦してみてください。

ありがとうございました。

2024年10・11月に開催した「理事長勉強会特別企画“大放談会”『世界の水産業の未来～20-50-100年後～』。雑誌のような気軽さの中で飛び出した「理想とする水産業の世界」のアイデアを、2回にわたり紹介しました。それ以外にもユニークなアイデアがたくさん寄せられていたので、連載の締めくくりの今回は、その中からいくつかを紹介します。

誰でも水産業に関われる未来へ

水産業は長年「経験と体力が必要な仕事」とされてきました。しかし、ドローン給餌やAIによる海況判断、ロボットの網替えや選別など、養殖から出荷まで自動化が進めば、経験や体力に頼らない多様な働き方へ。海と人の距離が近づき、「誰でも参加できる」水産業の未来が期待できます。



100年後、宇宙で魚を育てる？

月や惑星で暮らす未来、食料の選択肢として「魚」が注目されています。地球で陸上養殖を効率化し、安定技術を確立することが第一歩。高たんぱくで栄養価が高い魚は、持続可能な食料源として理想的。未来の食卓には、月面で育った魚が並ぶ—そんな夢が技術革新で現実になるかもしれません。



寄せられたアイデア

VR競りと完全養殖でいつでも“旬を楽しむ”世界へ

VRを使ったオンライン競りが実現すれば、全国のバイヤーが港に行かずに魚を選べる時代に。魚の分布が変わっても無駄なく活用できる、資源を守る仕組みが進化します。さらに完全養殖が普及すれば、季節に左右されず脂ののった魚を一年中味わえる。すし好きにとって夢のような世界が訪れます。



人造魚肉が変える食の未来

人口増加と環境負荷の課題に対し、人工的に魚肉を培養する技術が注目されています。昆虫由来のエサや培養技術の進歩で、安定したたんぱく源を確保し、季節や漁獲量に左右されない食文化を実現。海を守りながら魚のおいしさを届ける未来が近づいています。



多様な参加者が描いた未来

特別企画には、20代から60代まで幅広い職員からアイデアが寄せられました。関心の高いテーマは「生産者の世代・働き方の変化」や「食料の安定供給」、「水産資源の適切な管理」など。担い手不足や漁業の不安定さを懸念する声も多く寄せられました。オンラインと対面を合わせ約300人が参加し、全職員の3分の1にあたる規模で多彩な視点が交わり、豊かな議論が生まれました。



最後に — 海の未来をつなぐ、私たちの挑戦

水産業の未来について寄せられた提案の実現可能性は未知数です。しかし、世界の水産業が直面する困難を乗り越え、かけがえのない海の恵みを次世代につないでいくためには、多様なアイデアを統合し、柔軟かつ大胆に実行していくことが重要だと考えています。今回のイベントで印象的だったのは、職種に限らず参加者一人ひとりが抱く水産業への深い愛着と情熱です。幼い頃の釣りや水族館での感動、研究への好奇心など、それぞれの「原点」が、厳しい現状と向き合いながらも、より良い未来を創造する力になると信じています。

本企画の連載は今回をもって終了いたします

読者アンケート

通年でアンケートを実施しています。
ご意見、ご感想など、
ぜひお寄せください。

アンケートフォーム



ウェブサイト <https://forms.office.com/r/bPJjW7AvpZ>

編集後記

今回特集したクロマグロ。年末の魚専門スーパーでは、刺し身が出るたびにバーゲンセールのような争奪戦。「みんな本当に好きなんだなあ」と感じました。実は私も、女性客と中トロをめぐり張り合いました。ちなみに、大トロがとれるのはクロマグロ、タイセイヨウクロマグロ、ミナミマグロの三種です。スーパーで見かけたら思い出してください。 広報課 荒井 大介