

# FRA NEWS

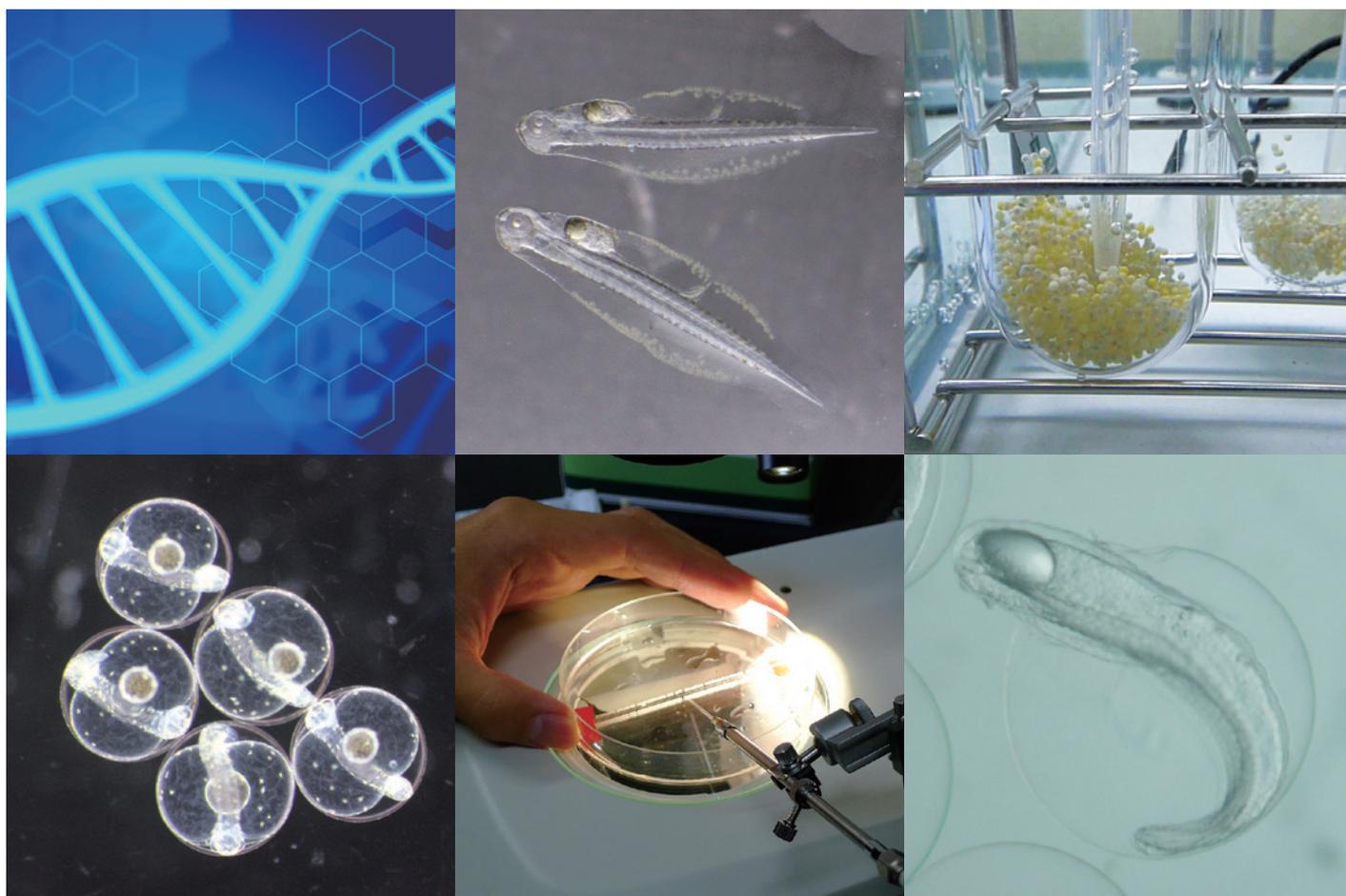
水産業の未来を拓く

vol.  
**59**

2019.8

## 水産育種いしゅぶ研究の最前線!

～ 養殖の発展に向けて ～



写真上：左から、遺伝子イメージ、プリふ化仔魚、トラフグ受精卵  
写真下：左から、プリ受精卵、マイクロインジェクション、ニホンウナギふ化仔魚

### Contents

- 2 水産育種研究の最前線! ～養殖の発展に向けて～
- 20 用語説明
- 22 会議・イベント報告
- 23 刊行物報告／執筆者一覧
- 24 会議・イベント報告
- 24 編集後記

# 養殖における育種とは

人の手で水産物を生産する養殖は、水産物の安定供給や大量生産だけでなく、味や風味などの品質管理も可能にします。優良な性質をもつ水産物を作り出すための「育種」の取り組みを紹介します。

## 生物を遺伝的に改良する

魚や貝、海藻、真珠など、今、さまざまな水産物が世界各国で養殖されています。水産物の安定供給や品質向上のため、養殖では種々の取り組みがありますが、「育種」もその一つです。

育種では、人が望む性質をもつ個体を選び、それを親にして子どもを作り、その中からより望ましい性質をもつ個体を探し、さらにそれを親にしてまた子どもを作り、より望ましい性質の個体を探します。これを繰り返して、遺伝によって優良な性質をもつ生物に改良します。イネや小麦などの農産物や、ウシやブ

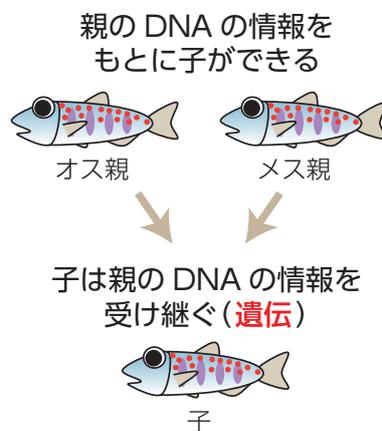
タなどの家畜も育種によってつくられてきました。病気に強い、生産量が多い、味が良いなど、人間が望む優良な性質をもつよう、生物のDNAの情報を人工的に変えてきたともいえます(図1)。このような育種のおかげで、食料が増産でき、人は繁栄してきたともいえます。

## 優良水産物開発の期待

養殖する水産物にも、育種に関するさまざまな要望があります(図2)。

たとえば、「魚の成長を速くして、出荷までの養殖期間を短くできないか」「病気に強くして、養殖途中で死ぬ個体を減らせないか」など。これらは効率的

- DNAは親から子へと伝わります(遺伝)
- DNA(遺伝子)の情報をもとに体が構成されたり、体の中のさまざまな現象が起こったりします(生物の性質に影響)
- 個体や種によって遺伝情報が異なるため、性質も変わります(さまざまな個性)



増養殖研究所  
育種研究センター  
ゲノム育種グループ  
まさおか 哲治

育種は、これらのDNAの特徴を利用して、  
生物を遺伝的に改良します

図1 育種におけるDNA情報の改良



本編中に出てくる難しい用語のうち、おもなものを本誌20～21ページの用語説明にまとめてあります。ぜひ参照ください。

で安定した水産物の生産につながります。このほか「もっと風味を向上させた」「愛らしい姿の観賞魚にしたい」といった要望もあります。

近年は遺伝子に関するDNAの情報が増えたため、これをもとに水産物の性質を把握したり、改良したりする研究がさかんです(図3)。

養殖水産物の育種は、病気やエサ、環境、繁殖、養殖施設や機械、食品加工流通、経済など、さまざまな分野の取り組みと関わりをもちます。このため、これらの分野で協力し、育種を進めることが重要になります。

養殖における育種は、将来にわたって水産物(食料)の安定供給と高品質化、水産業などの持続的発展を通じて、人々の豊かで安心できる生活に貢献します。

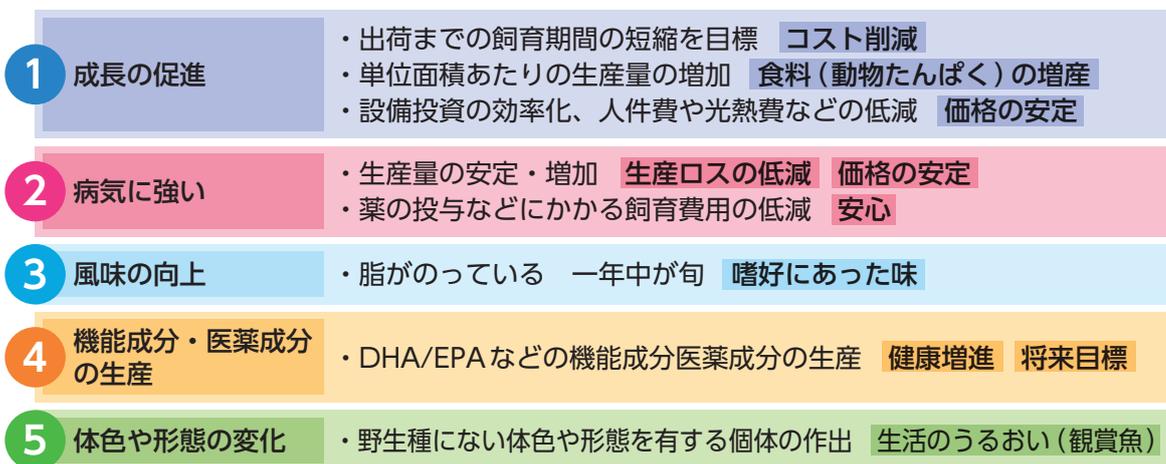


図2 育種への要望と目標

### I. 育種素材の収集



- ・人が望む性質をもつ個体の探索や管理、保存(ジーンバンクに関する研究)
- ・遺伝的な違いを確認する技術の研究
- ・精子や卵およびこれらを作る細胞を保存する技術の研究

### II. 性質の把握(評価)



- ・性質を評価する技術の研究
- ・性質評価の効率を高める技術(マーカーアシスト選抜など)の研究

### III. 性質の改良



- ・性質を短時間で効率よく改良する技術(ゲノム編集など)の研究

## 育種による優良水産生物の開発



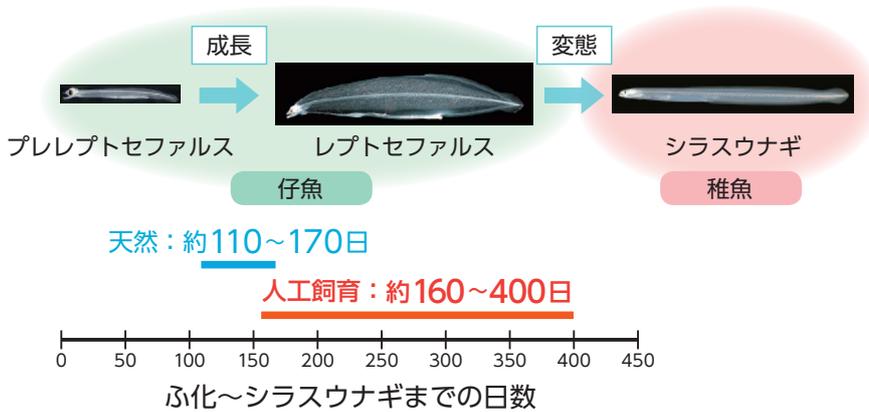
図3 育種の過程(流れ)と研究

# ゲノム育種でウナギ仔魚期を短縮

## 大量生産を阻む仔魚期間の長さ

養殖に使われるシラスウナギの漁獲量が減少傾向にある中、水産研究・教育機構では、ニホンウナギを卵から人工ふ化させて成魚に育て、その成魚が産んだ卵を再び人工ふ化させるといふ、完全養殖に取り組んでいます。これまでの研究開発により、2002年に人工シラスウナギ（ウナギの稚魚）までの飼育に成功、2010年に二代目のふ化に成功し、完全養殖のサイクルが完成しました。

しかし、現在の飼育技術では、ふ化からシラスウナギに変わるまでの仔魚（レプトセファルス）の期間が約160〜400日（平均250日）と長く、このことが人工シラスウナギの大量生産の障害になっています（図1）。



### 仔魚期間の長さが大量生産の障害

図1 ウナギのふ化からシラスウナギに変態するまでの期間（=仔魚期間）

ニホンウナギの仔魚期間の長さは親子に遺伝することが確認されています。つまり、仔魚期間の短い個体を選抜



増養殖研究所  
ウナギ種苗量産研究センター  
量産基盤グループ  
のむら かずはる  
野村 和晴

して次世代を作ること繰り返すことで、従来よりも短い飼育期間でシラスウナギに変わる系統を作り出すことが可能です。

### 遺伝情報を活用した育種価推定

特定の有用な形質をもつ個体を親に選出、選抜して遺伝的に改良する「選抜育種」は、従来から行われてきました。ただし、個体の表面に現れる特性・特質（表現型）は、通常、遺伝と環境の両方の影響を受けるため、その個体の遺伝的能力

が正しく評価されないことがあります。

そこで、その個体の表現型情報から環境の影響を取り除いて、個体ごとの遺伝的能力を表す「育種価」を推定する方法が考案されました。これにより「遺伝的能力の高い親」を選ぶ精度が向上しました。

従来の育種価推定には個体ごとの血縁記録（家系図）が必要でした。近年は、ゲノム全体に配置した多数のDNAマーカーを用いて遺伝子型データを取得して行う「ゲノム育種価」によって、効率的に育種価を推定することができるようになりました。

### 育種期間短縮に期待

このゲノム育種価を用いた選抜育種（ゲノム育種）は、現在、多くの家畜や作物で急速に普及しています。従来の方法に比べ、育種価の予測精度が向上し、1世代当たりの遺伝的改良の程度が大きいため、目標到達までの育種期間が短縮

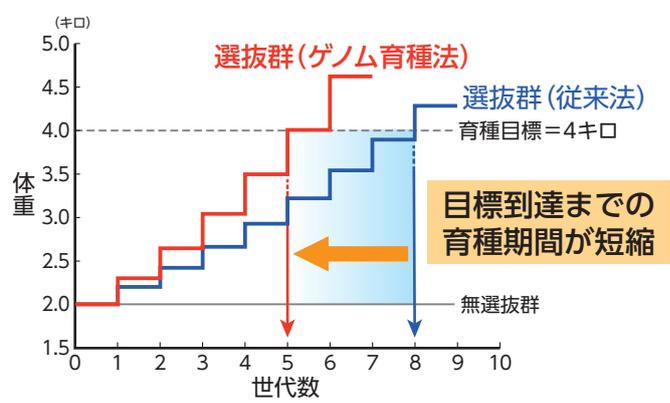


図2 大型海産魚の成長率を指標とした場合のゲノム育種法と従来法の育種の効率の違いを示す模式図  
育種価の予測精度の向上により、育種の効率化・短期化が期待されます

されることが期待されています(図2)。当機構では、現在、ゲノム育種法によるウナギ仔魚期間の短縮に向けた実証研究を進めています(図3)。このような研究を通じて、ウナギの完全養殖実用化に貢献するとともに、水産分野でのゲノム育種法の普及につなげることをめざしています。

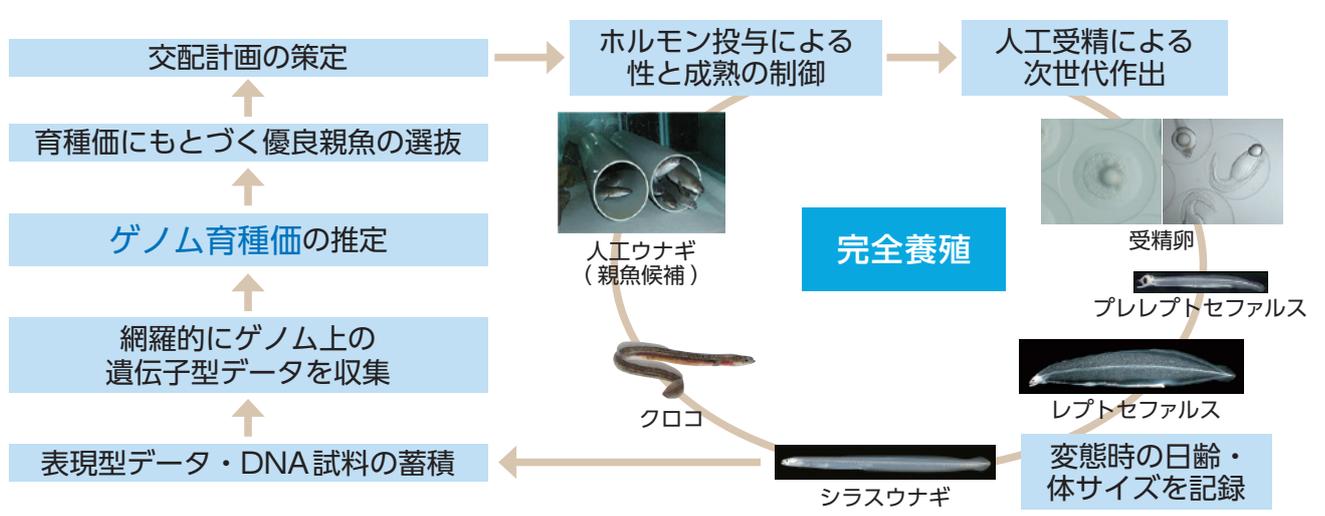


図3 現在進めているゲノム育種法によるウナギ仔魚期間短縮に向けた実証研究の流れ

※本研究成果は、平成28年から開始した農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業」のうち「水産物の国際競争に打ち勝つ横断的育種技術と新発想飼料の開発」の一環として行われました。

# ゲノム編集でトラフグの育種を効率化

## 効率的な育種が実現

高級魚として知られるトラフグは、その全ゲノムが解読されており、ゲノム編集（DNAの配列を部分的に変える）による育種が進んでいます。

従来の選抜育種は、飼育しているトラフグの中から大きくて成長が速い個体を選抜し、交配を繰り返し返して、優良な品種を作る（作出）というものです。ただし、身が厚くて成長が速い優良な品種を作出するまでには、選抜と交配を5〜7世代（10〜20年間）繰り返し返すことになるため、長い時間と大きな労力がかかります。

一方、ゲノム編集による育種では、「クリスパー・キャス9」というRNAを用いて、狙ったゲノムDNAを編集し

て、目的とする優良な品種を作出します。

どちらの方法でも優良な品種は作れますが、ゲノム編集による育種は、目的の遺伝子を狙って改変することができ、1世代交配すれば、目的の品種を作れます。そのため、簡便かつ短期間（2〜3年）で、身が厚くて成長が速い優良品種を作出することが可能です（図）。

## 肉づきがよく速く成長

トラフグの肉づきをよくし、速く成長するための育種では、ミオスタチンの遺伝子を欠損させます。

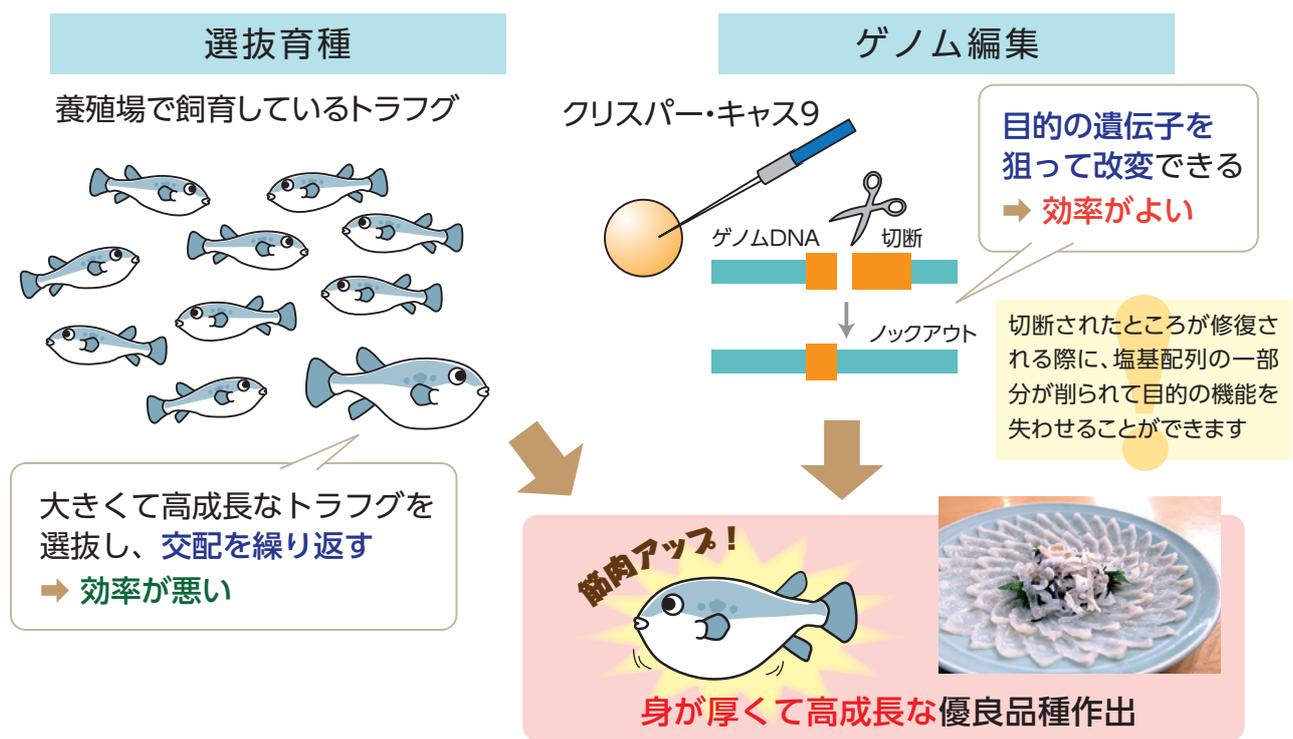
ミオスタチンは筋肉細胞の増殖分化に関わるタンパク因子の一つで、哺乳類ではこの遺伝子の機能欠損により、全身の骨格筋量が増加することが知られています。



瀬戸内海区水産研究所  
資源生産部  
養殖生産グループ  
よしうら やすとし  
吉浦 康寿

ふ化6か月の個体で、ミオスタチン欠損トラフグと、通常トラフグを比べると、前者のほうが体高や体幅が増加し、全身の筋肉量が多くなっています（写真）。ミオスタチンを欠損させた個体は、背中や尾の筋肉量が増加し、可食部が約1.4倍に増加することが判明しました。

また、マダイでも、身が厚くなるという同様の結果が得られています。今回の成果により、養殖魚の産肉性の向上に広く有効な遺伝子であることが確認されま



	簡便さ	作出時間	実用化の実績
選抜育種	△	10～20年	あり
ゲノム編集	◎	2～3年	なし

図 選抜育種とゲノム編集による品種作出



※本成果は科学研究費助成事業の基盤研究(B)人工制限酵素を用いた水産有用魚種スピード育種法の開発 課題番号: 26292104 によるものです。

# DNAマーカーをヒラメの細菌病対策に活用

## 細菌病被害が大きいヒラメ養殖

かつて最大で年間8000トン以上の生産量があった国産養殖ヒラメ。その生産量は年々減少し、現在ではおよそ2200トン程度になっています。

その背景にあるのが、食中毒を引き起こす寄生虫であるクドアの風評被害による国内消費の停滞や、細菌病被害による不安定な生産、外国産ヒラメの輸入増などです。細菌感染症のうち、最大の被害をもたらすものがエドワジエラ症細菌によるエドワジエラ症で、レンサ球菌が原因となるレンサ球菌症がそれに次いでいます。

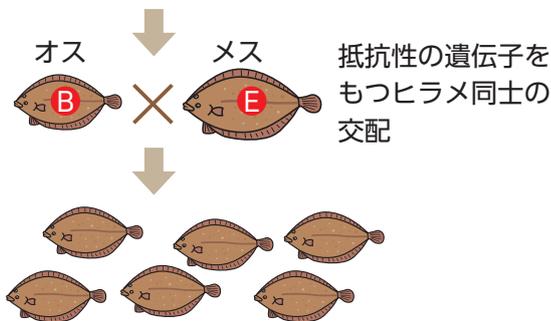
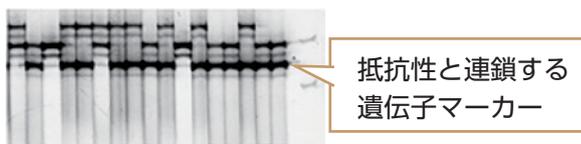
水産研究・教育機構では、水産生物の防疫に関する研究開発を行っています。その中の一つとして育種も進めており、

これまでに、レンサ球菌症については、抵抗性をもつヒラメの家系の開発と、その抵抗性に関連するDNAマーカー（ゲノム上の特定の塩基配列）などの研究を進めてきました。ここでは、その実証研究の現状を紹介します。

## 実用化に向けた実証実験

レンサ球菌への抵抗性に関するDNAマーカーを指標とし、交配によって在来家系に抵抗性をもたせた家系をつくる方法が開発されました。現在、その実用化に向けて研究を進めています（図1）。

実用化に当たり、レンサ球菌以外の病気への抵抗性も確認しておく必要があります。とくに



### 抵抗性家系の作出

天然魚より、レンサ球菌感染症に抵抗性があります



増養殖研究所  
育種研究センター  
ゲノム育種グループ  
おかもと ひろゆき  
岡本 裕之

図1 DNAマーカーを使った抵抗性の家系の作出のイメージ図

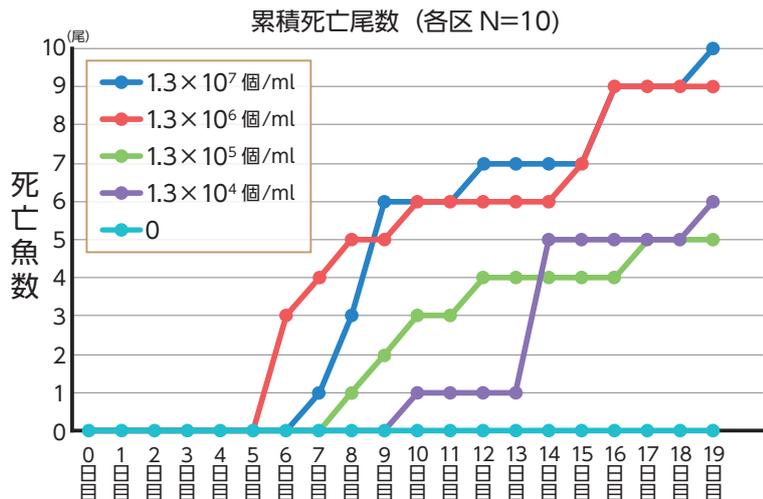


図2 エドワジエラ感染試験時の累積死亡尾数

試験期間が約20日では、試験に適切なエドワジエラの菌濃度は  $1.3 \times 10^6$  個/ml (●) であることがわかりました



写真1 感染試験のようす

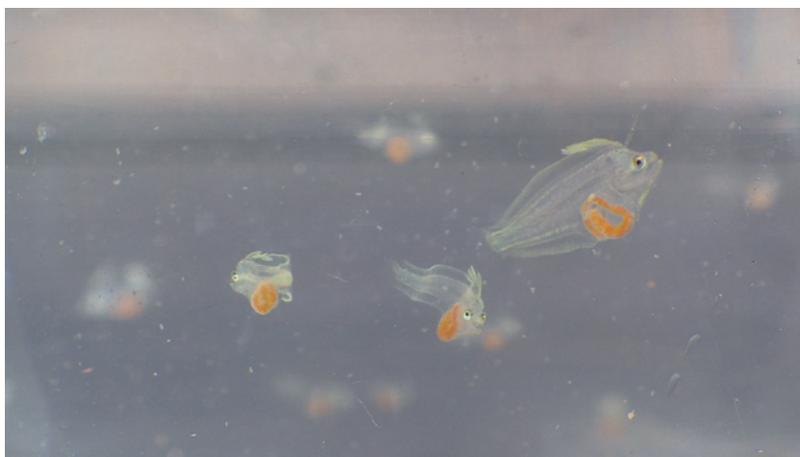


写真2 現在生産中のマーカが目印となる抵抗性をもたせた家系の変態期仔魚

エドワジエラ症に対して、どのような抵抗性を示すのか、確認する試験を行いました。  
エドワジエラの細菌濃度を変えて、約20日間の感染試験を行った結果、100%に近い死亡率となる  $1.3 \times 10^6$  個/ミリリットルが適切であることが分

かりました(図2)。  
現在はこの感染条件にもとづいて、実際にマーカーが目印となる抵抗性をもたせた家系を用いてエドワジエラ症に対する抵抗性の評価を行っています(写真1)。  
今後、抵抗性をもたせた家系(写真2)

で、レンサ球菌症とエドワジエラ症に対して一定の抵抗性が示され、さらに生産現場での成長実証試験で、養殖生産上大きな問題がないことが明らかとなれば、実用化の道は大きく開けるでしょう。近い将来、日本のヒラメ養殖産業の再興に貢献することを期待しています。

# マーカーアシスト選抜によるブリの魚病耐性育種

## マーカーアシスト選抜法の利用

ゲノム情報を利用した育種手法として、近年マーカーアシスト選抜法が利用されるようになりました。これは、育種の対象となる生物がもつ好ましい性質（成長が速い、病気に強いなど）が、遺伝子によって決定されていることを利用し、その遺伝子をもつ個体をゲノム上の特徴的な塩基配列（DNAマーカー）を使って探し出す方法です。

作物や家畜において多くの実用例があります。養殖魚も、ここ10年ほどの短期間に、ニジマス、タイセイヨウサケ、ヒラメ、マダイで実用化に至っています。ここでは、私たちが実施したマーカーアシスト選抜法によるブリの寄生虫耐性育種について解説します。

## ブリに寄生するハダムシの駆除

ハダムシはブリの体表に付着する寄生虫で、魚の成長不良や二次的な細菌感染症を引き起こす原因となり、ブリ養殖において深刻な問題となっています（図1）。ハダムシの駆除のため、頻繁にブリを淡水につける作業が行われますが、多くの労力が必要なため、養殖業者には大きな負担となっています。

私たちは、ブリの野生魚にはハダムシが付きにくいブリと付きやすいブリがいることに着目しました。そこで両者のゲノムの塩基配列の違いを調べ、ハダムシが付きにくくなる性質には複数の遺伝子が関与していることを突き止めました。

さらに、これら複数の遺伝子をもつブリ、もたないブリを親として複数の組み



増養殖研究所  
育種研究センター  
ゲノム育種グループ  
尾崎 照 遵

合わせて掛け合わせ、得られた第二世代たちのきょうだいとなる家系について、ハダムシの付きにくさを調べたところ、抵抗性遺伝子をもつ個体の方がハダムシ寄生数が少ないことを確認しました（図2）

今後、抵抗性遺伝子をもつブリを利用して、産業上有用なハダムシが付きにくくなるブリの系統を作出することが可能となります。さらに、このマーカーアシ



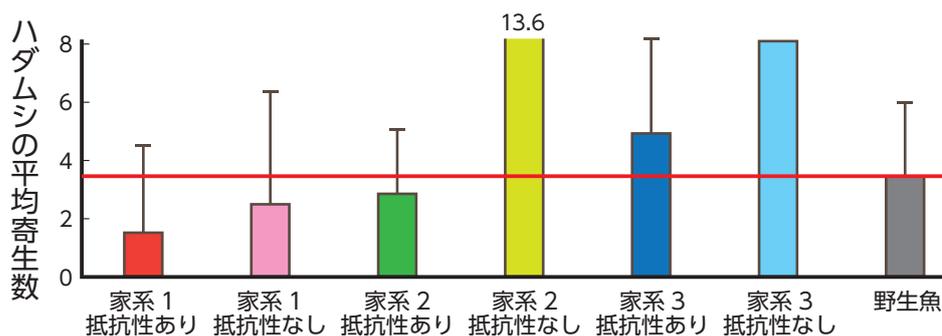
図1 ハダムシ寄生虫症の問題

スト選抜法を利用し、ブリ養殖で問題になっている細菌やウイルスによって引き起こされる病気に対しても強いブリを作

る育種が加速して行くことが期待できます。

ブリ人工種苗・第二世のきょうだい家系のハダムシ寄生調査の結果

ブリ野生魚と比較して寄生数(=付着数)が3割以上軽減



「抵抗性遺伝子あり」は、「抵抗性遺伝子なし」よりもハダムシが付きにくい結果になりました。さらに、家系1の「抵抗性あり」は、野生魚と比較して約50%ハダムシの寄生数が低減しました

図2 ブリ人工種苗・第二世代のきょうだい家系のハダムシ寄生調査の結果

※本成果は、農林水産技術会議委託プロジェクト研究「養殖ブリ類の輸出促進のための低コスト・安全生産技術の開発」によるものです。

# 始まったばかりのアサリの育種

## アサリ養殖への期待

アサリは日本の家庭で最もよく購入される貝類です。日本人にとって身近な食材といえますが、国内生産量は最盛期の5%以下まで減り、流通するアサリの

80%以上が外国から輸入されています(図1)。国内では生産量のほとんどを漁獲に頼っているため、養殖への期待が高まっています。

貝類の養殖といえば、マガキやホタテガイが有名ですが、これらと比べてアサリは価格が安いので、養殖が全国的に普及するには効率的な生産が求められます。それには養殖方法の改善だけでなく、養殖に適した特性をもつアサリを作る、すなわち育種が必要です。

## 貝殻模様を育種研究に

日本とは対照的に世界のアサリ生産量は増え続けています(図2)。1990年頃から養殖による生産量が急増し、アサリの育種研究もこの時期から始まりました。



瀬戸内海区水産研究所  
海産無脊椎動物研究センター  
貝類グループ  
おしま だいすけ  
小島 大輔

近年では最大のアサリ生産国である中国でさかんに研究され、成長や貝殻の模様に着目した育種が進められています。殻模様に着目した育種はほかの貝でもありますが、アサリほど多様な殻模様をもつ種は珍しいため、殻模様がコントロールできれば、ブランドアサリのシンボルとしての利用が期待できます(写真1)。

## 成長がよく目立つアサリを作る

私たちも数年前から成長と貝殻模様に着目して育種研究を始めました。成長の

国内生産量は1980年代半ばから減少し、その頃から輸入が増加

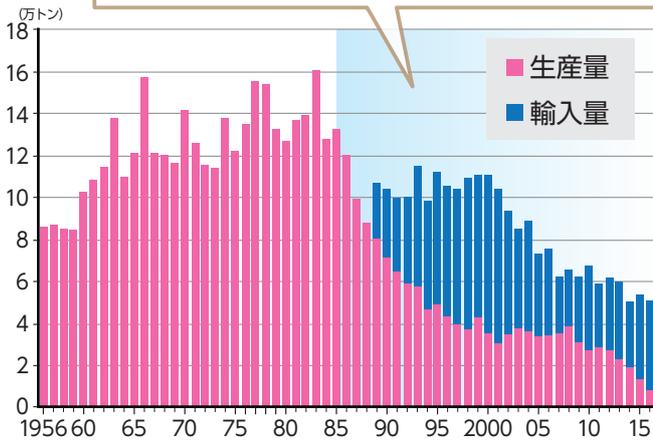


図1 国内のアサリ生産量と輸入量の推移

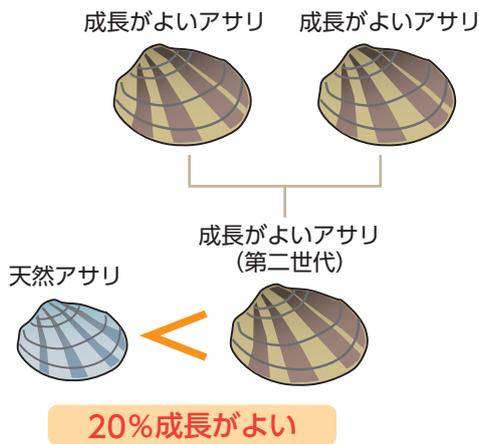


図3 成長のよいアサリの育種

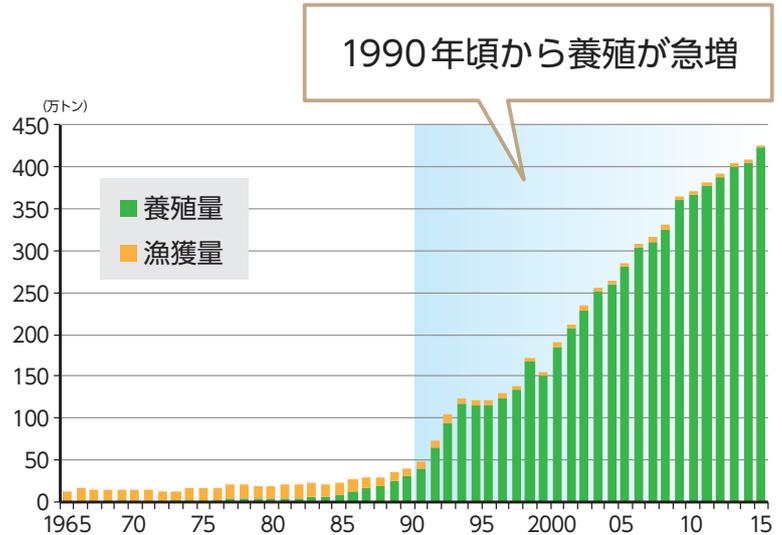


図2 世界のアサリ養殖量と漁獲量の推移



写真1 アサリの貝殻模様  
これだけ多彩な貝殻模様をもつ種は貝類の中でも珍しいです



写真2 遺伝する可能性の高い貝殻模様  
左から白色型、青色型、しま型、二本帯型。同じ貝殻模様同士を交配すると子のほとんどが同じ模様になります

よいアサリ同士を交配して生まれた第二世代（家系）と天然アサリを同じ環境で飼育したところ、家系は天然よりも約20%成長がよい結果となりました（図3）。

また、特徴的な貝殻模様のアサリ同士で交配して子の貝殻模様を調べたところ、写真2で示した4種類の模様は遺伝する可能性が高いと考えられました。実

際に成長のよい家系と遺伝する貝殻模様の存在が確認できたので、「成長がよく目立つアサリ」を作ることは夢ではないと思います。

さまざまな養殖環境で実証試験を重ねて養殖に適したアサリを作ること、養殖アサリ生産の普及と国産アサリの復活に貢献できればと考えています。

# アコヤガイの選抜技術による高品質な真珠

## 100年以上続く真珠養殖の技術

昔から珍重されてきた真珠は、貝が作る宝石です。現在はアコヤガイを用いた養殖によって多くの真珠が生産されています。真珠養殖を可能にした最も重要な技術は100年以上前に日本で開発され、現在も使われています。

アコヤガイの貝殻の内側はきらきらと輝く美しい真珠層できています。貝殻は体の周りである外套膜という組織が作ります。貝殻の内側にある真珠層と、真珠の表面にある真珠層は実は同じです(図1)。真珠養殖では、外套膜が貝殻の真珠層を作ることを利用します。

まず、外套膜の一部(組織片)をアコヤガイ(ピース貝)から切り取り、球形の核(真珠核)と一緒にほかのアコヤガ

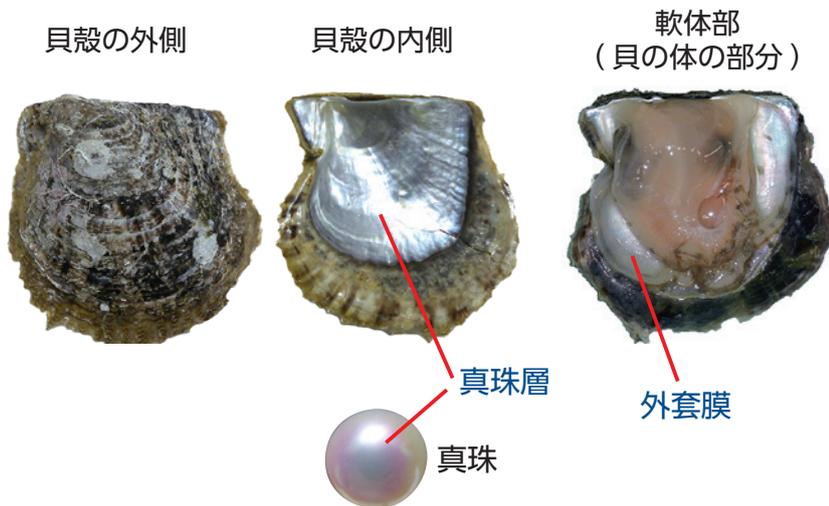


図1 アコヤガイの貝殻と真珠

イ(母貝)の生殖巣内に移植します(挿核)。その後、この組織片は真珠核の表面を包み込む真珠袋となり、母貝から栄



増養殖研究所  
育種研究センター  
ゲノム育種グループ  
まさおか 哲治

養や酸素、真珠の材料などをもらって真珠核の表面上に真珠層を作ります。この母貝を海で半年〜1年以上飼育して真珠袋に真珠層を作らせ続けると、美しい真珠ができます(図2)。この「外套膜の組織片を移植し、真珠核の周りに真珠袋を形成させ、これに真珠を作らせること」が真珠養殖の最も重要な技術です。

## 優良なピース貝や母貝の作出

真珠の品質は、ピース貝の貝殻にあ

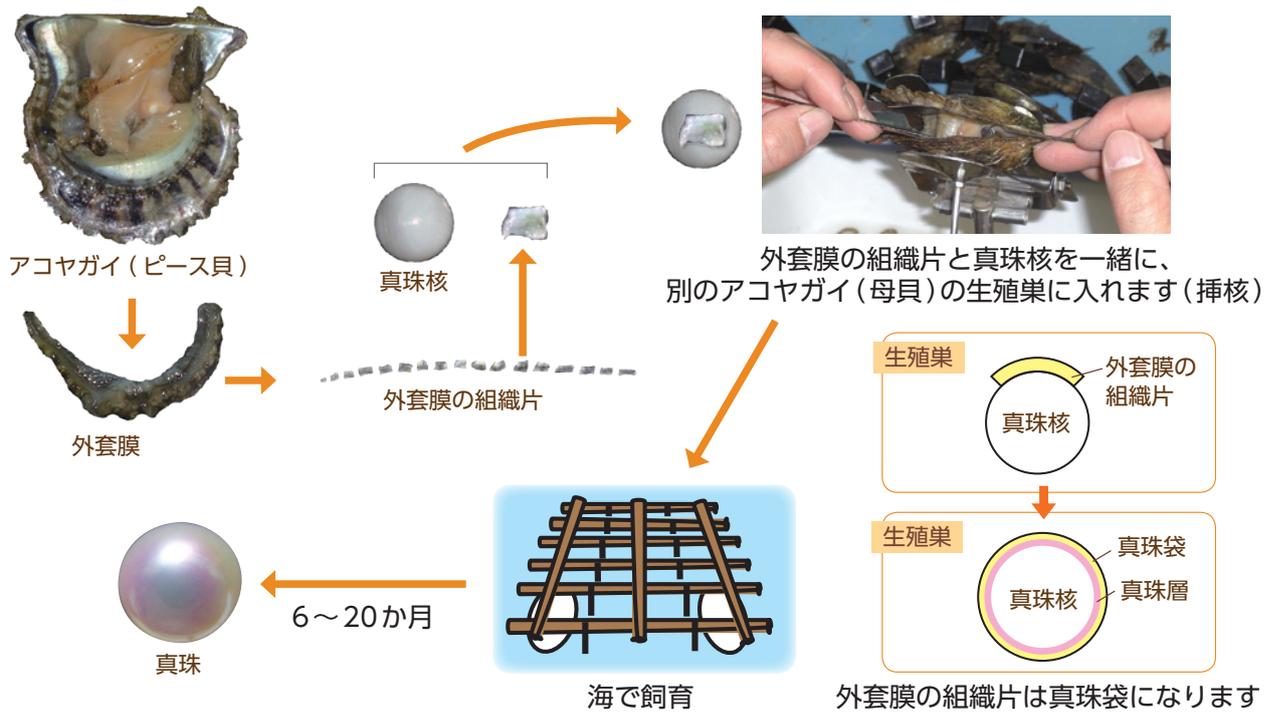


図2 アコヤガイによる真珠養殖

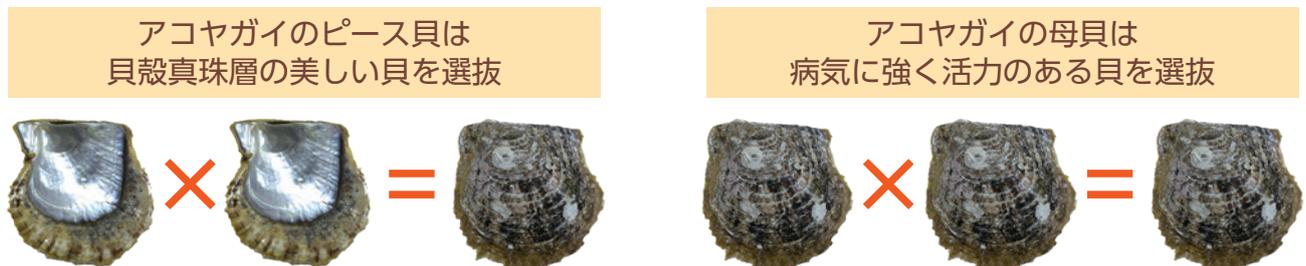


図3 アコヤガイの選抜

る真珠層の品質を受け継ぎます。このため、美しい高品質真珠を生産できる、ピース貝用のアコヤガイを選抜する技術の開発を進めています(図3)。

このような選抜技術は、日本独自の品質保証や品質管理にも応用できると考えられます。一方、養殖中に母貝が赤変病のような病気で弱ると、体内の真珠袋に栄養などを与えられなくなり、真珠が生産できません。このため、病気に強く真珠を効率的に生産できる、母貝用のアコヤガイを選抜する技術の開発も進めています。さらに、これらの選抜技術を用いて優良なピース貝や母貝の作出にも取り組んでいます。

将来的には、このような研究を通じて、高品質真珠や消費者の嗜好にあった真珠を提供していきます。また、ジャパンブランド、地域ブランドの確立に貢献します。

# 未知の遺伝子解明によるノリの育種

## 難しいノリの育種

日本の養殖ノリは紅藻類アマノリ属のスサビノリ系統がほとんどです（写真）。また、養殖品種のほとんどがスサビノリ系統のナラワスサビノリという1品種から作られた可能性が高く、養殖品種の中で遺伝的な違いを見つけ出すことは簡単ではありません。

このため、ノリでは新たに優良な個体を選び出していく品種改良（選抜育種）は難しいと考えられます。ノリの育種が難しい理由はほかにもありますが、育種に関して、ノリと陸上植物の違いを比較すると表のようになります（表）。

## 遺伝子情報の活用

北方系由来の海藻であるスサビノリは

	アマノリ 	陸上植物 
育種対象の核相*	n 半数体の育種手法を開発する必要性あり	2n 既存の育種技術（選抜育種など）
オス・メスの別	同株 株間の人為的交配が煩雑	異株、同株 株間の人為的交配は簡単
共生細菌 (ほかの生物と助け合いながら生きている細菌)	必須 必要な共生条件の情報なし ノリと細菌の相互作用も不明	必ずしも要るわけではない
環境コントロール	困難 環境への依存度大 わずかな環境変化で形質も変動	それほど困難ではない 環境変化での形質は比較的安定
優良形質の把握	進んでいない	進んでいる
DNA マーカー開発	進んでいない	進んでいる

\*核相：染色体のセット数（組数）のこと。nは染色体が1セット（1組）、2nは染色体が2セット（2組）もっていることを示しています

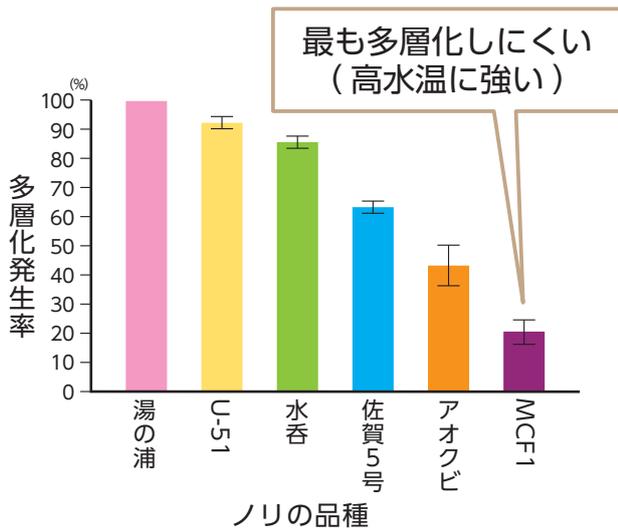
表 育種に関するノリ品種育成と農作物品種育成の違い  
(生活環の相違と育種手法について)



写真 スサビノリ



研究推進部  
研究開発コーディネーター  
おじま のぶひこ  
尾島 信彦



※千葉県水産総合研究センターの実験結果より一部抜粋して作図

図1 ノリ養殖品種を24°Cで14日間培養したときの多層化発生率

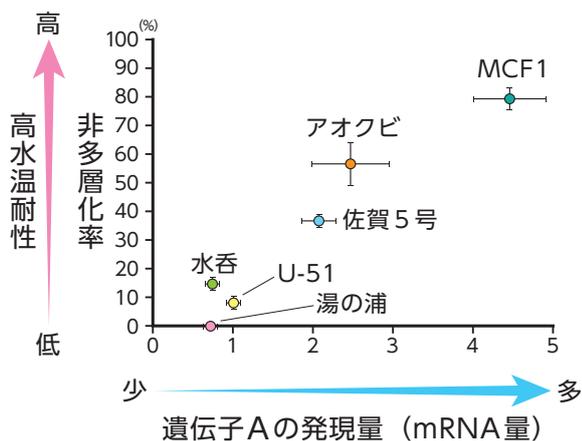


図2 遺伝子Aの発現量と多層化耐性との相関分析結果

多層化しにくい(高水温に強い)品種ほど遺伝子Aの発現量が多いことがわかります

\*発現量：DNAがもっている遺伝情報をもとに、実際にRNAやタンパク質が合成されて体内で働くことを「遺伝子が発現している」といいます。発現量は、発現されたRNAやタンパク質の量を測定して調べます。

### ノリって実は？

海苔は、日本や韓国、中国などアジアの一部とヨーロッパの一部など、限られた国でのみ食べられていました。しかし、世界各地にすしが広がったことで、最近では世界中で食べられるようになりました。

高水温に弱い傾向があり、水温が23°Cよりも高くなると葉(葉状体)にコブのようなものができやすくなります。これを「多層化」といいます。多層化したノリは食品としての価値が低くなるため、高水温に強いノリの新品種が望まれています。一方、千葉県水産総合研究センターにより、高水温による多層化のしやすさ、しにくさはノリの養殖品種によって違うことが明らかになりました(図1)。

この違いに着目し、水産研究・教育機構ではノリの高水温耐性(多層化耐性)に関わる遺伝子を探すことにしました。まず、高水温により発現量(\*)が大きく増える未知のノリ遺伝子を3つ(仮にA、B、Cと呼びます)見つけ出しました。これら3遺伝子の発現量を、6品種のノリで比べたところ、とくに遺伝子Aの発現量と多層化耐性との間に強い相関関係があり(図2)、遺伝子Aがノリの高水温耐性に大きく関与していると考えられます。

この知見を活用することで、たとえば遺伝子Aの発現量が多いノリ株を高水温耐性に優れた株として選り出すことができるようになります。最近、ゲノム編集など新技術の開発が世界的に進んでおり、これまで育種が難しいとされてきた生物への応用が期待されています。このような新技術をノリの育種に応用するためにも、ノリにまだ数多く存在する未知の遺伝子の働きを明らかにしていく必要があります。

※本成果は水産庁委託事業「地球温暖化対策推進費のうち、地球温暖化による沿岸漁場環境への影響評価・適応技術開発委託事業」によるものです。

# 民間との連携でめざすブリの高成長育種

## ブリ養殖を巡る3つの課題

ブリは、日本の魚類養殖生産量の40%（およそ10万トン）を占める主要養殖種です。近年、その輸出額は年々増加しており、重要輸出品目としても注目されています（図1）。しかし、ブリの養殖は、主として採捕した天然稚魚を生け簀すに入れて育てるため、次のような課題を抱えています。

- (1) 天然資源の変動や回遊の変化によって養殖用稚魚の確保が不安定
- (2) 天然稚魚の採捕時期に合わせて一斉に養殖がスタートするため、出荷時期が秋期から冬期に集中し、周年出荷が困難
- (3) 優良形質をもつ系統を作り出す育種があまり進んでいない

このため、養殖業界からは育種による養殖期間の短縮への期待や、海外マーケットへの周年出荷を見据えた人工種苗へのニーズが高まっています。

## 3つのプログラムがスタート

そこで、水産研究・教育機構では、本年度よりブリ養殖の成長産業化を目的として「ブリ優良人工種苗周年供給システム構築」事業を開始しました。具体的には、3世代の選抜育種によってブリの高成長系統を作り出す「育種プログラム」、受精卵や人工種苗の有償提供により養殖ブリの周年出荷を可能とするための人工種苗の利用技術を普及する「種苗供給プログラム」、ブリの種苗生産技術を普及する「技術移転プログラム」の3つのプログラムを進めることとしました。

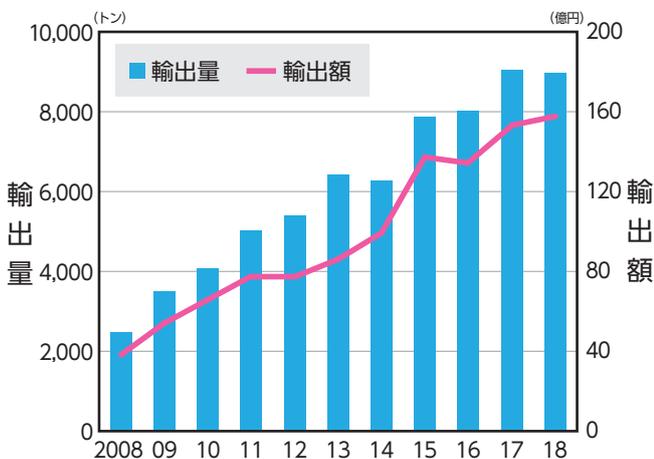


図1 ブリの輸出量と輸出額の推移

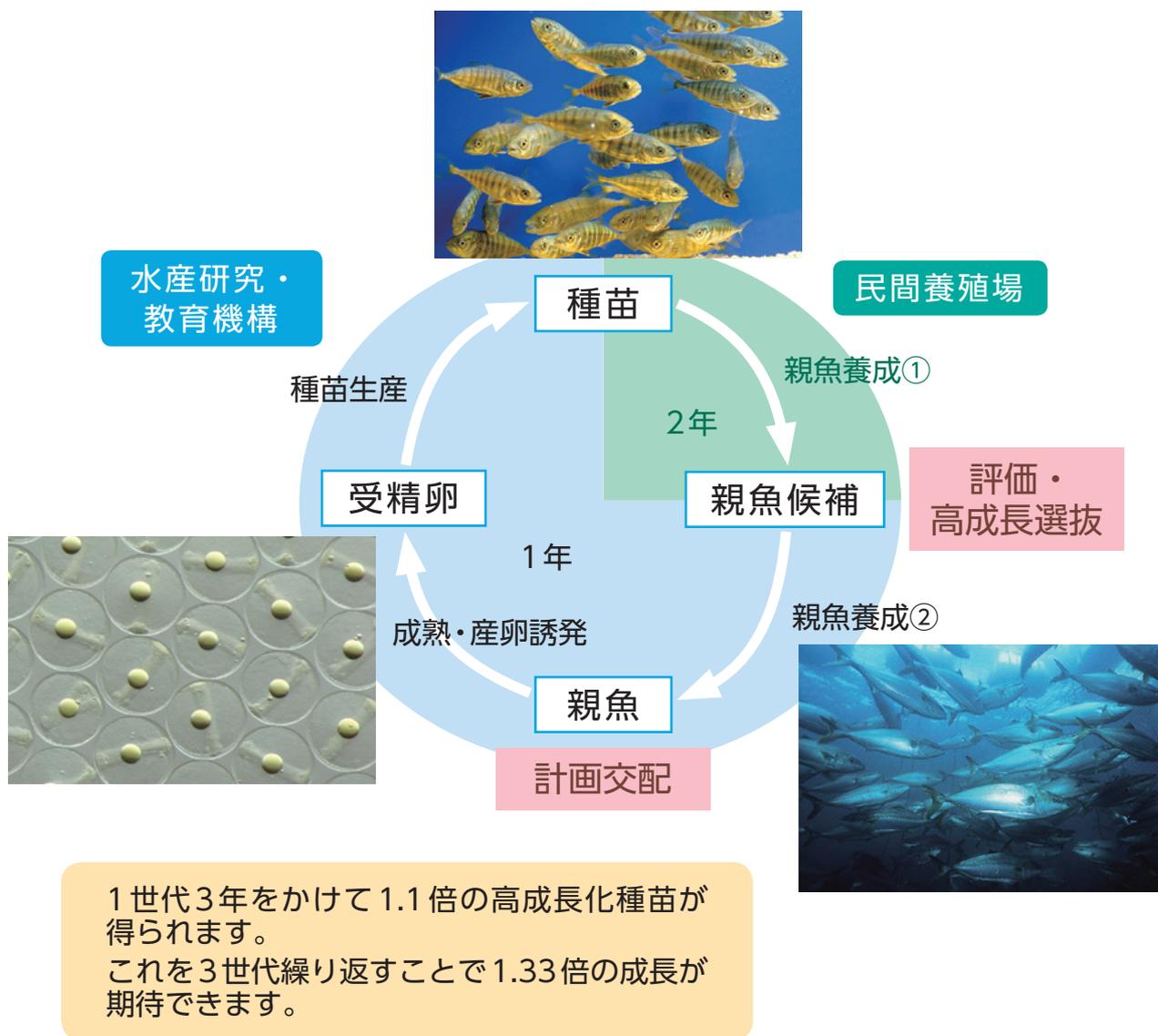


増養殖研究所  
育種研究センター  
系統開発グループ  
よしだ かずのり  
吉田 一範



「育種プログラム」では、育種のための親魚養成の一部を民間養殖場に委託し、養成群から選抜した親魚候補群を当機構に戻すというプロセス（図2）を導入します。これにより大規模な親魚養成が可能となり、より多くの家系から成長のよい優良な個体を選抜できるだけでなく、実際の養殖環境に適合した個体を選抜できるといった2つのメリットがあります。

この取り組みによって、2029年には天然種苗の1.33倍の成長（1世代あたり1.1倍の高成長化）が期待されます。この頃までには「種苗供給プログラム」や「技術移転プログラム」により、人工種苗の生産や利用技術が普及していると思われるので、作出した高成長系統の受精卵や種苗を国内のブリ養殖場に供給するシステムが構築され、ブリ養殖業の成長産業化に貢献していくと考えられます。

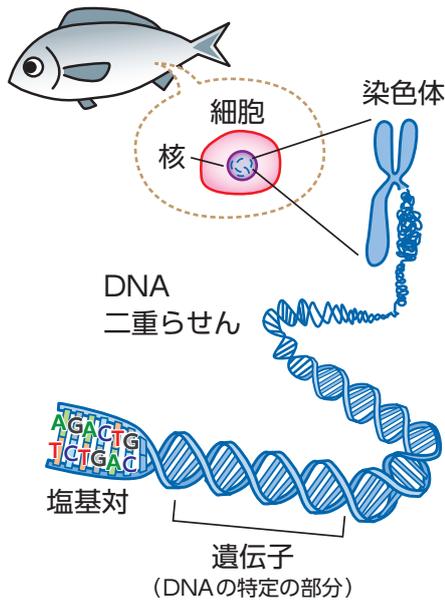


1世代3年をかけて1.1倍の高成長化種苗が得られます。これを3世代繰り返すことで1.33倍の成長が期待できます。

図2 民間養殖場と連携した親魚養成



# 用語説明



【遺伝子】+【染色体】=【ゲノム】

## DNA (デオキシリボ核酸)

4種類の塩基、アデニン (A)、チミン (T)、グアニン (G)、シトシン (C) が、塩基対と呼ばれるA+T、G+Cの決まった組み合わせで構成され、遺伝情報となっています。

## ゲノム

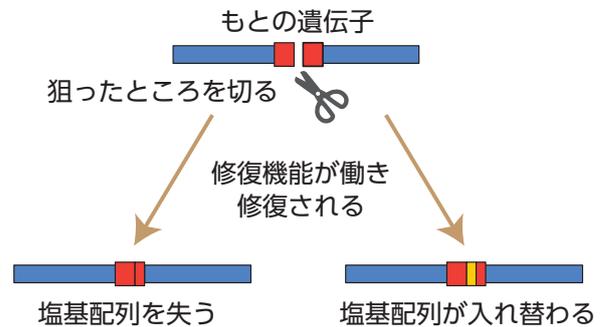
遺伝子「gene」(ジーン)とすべてを意味する「-ome」(オーム)を合わせた造語で、染色体がもつ全遺伝情報のこと。

## ゲノム育種

生物のゲノムの情報を利用して、有益な品種を育成すること。

## ゲノム編集

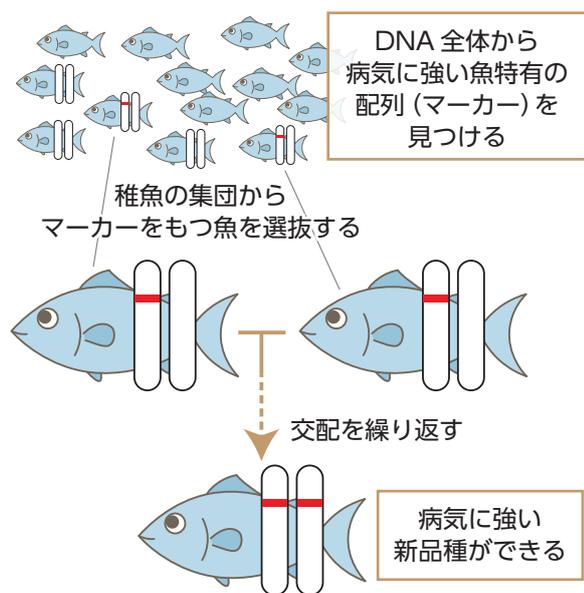
DNAの切断は自然界でも起こります。修復機能の働きで、DNAは修復されますが、まれに正しく修復されずに塩基配列の欠損や置換などが起こります。ゲノム編集では、目的とする塩基配列の特定の部分で切断を行います。その後、修復機能が働いて、自然界でも起こる塩基配列の欠損や置換などの変化が起こります。



## ゲノム情報

水産研究・教育機構では、水産重要魚介類の全ゲノム塩基配列の解読に取り組んでいます。これまでに解析した以下の情報を当機構のウェブサイトで公開しています。

- スサビノリゲノム塩基配列情報  
[http://nrifs.fra.affrc.go.jp/ResearchCenter/5\\_BB/genomes/nori/index\\_j.html](http://nrifs.fra.affrc.go.jp/ResearchCenter/5_BB/genomes/nori/index_j.html)
- クロマグロ全遺伝子配列情報  
[http://nrifs.fra.affrc.go.jp/ResearchCenter/5\\_BB/genomes/Tuna\\_DNAmicroarray/index\\_j.html](http://nrifs.fra.affrc.go.jp/ResearchCenter/5_BB/genomes/Tuna_DNAmicroarray/index_j.html)
- ブリ全遺伝子配列情報  
[http://nrifs.fra.affrc.go.jp/ResearchCenter/5\\_BB/genomes/Yellowtail\\_genes/index\\_j.html](http://nrifs.fra.affrc.go.jp/ResearchCenter/5_BB/genomes/Yellowtail_genes/index_j.html)

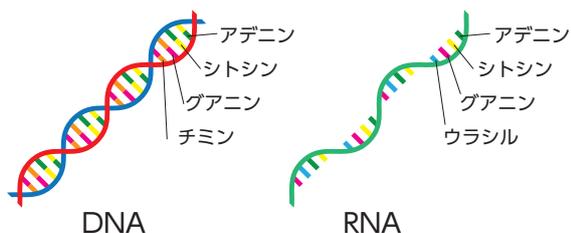


### DNAマーカー

遺伝子の本体であるDNAを構成する4種類の塩基の並び方(DNA配列、塩基配列)の違いを調べることで、個体を識別する際の目印として利用することができます。このような、目印となるDNAの並び方の違いをDNAマーカーと呼んでいます。生殖細胞を作る際にDNAの間で組み換えが起こりますが、DNA上の遺伝子は遠くにある遺伝子同士よりも近くにある遺伝子同士の方が組み換えは起こりにくいことが分かっています。目的とする重要な遺伝子の近くにあるDNAマーカーの存在を調べることで目的の遺伝子の存在を確認することができます。

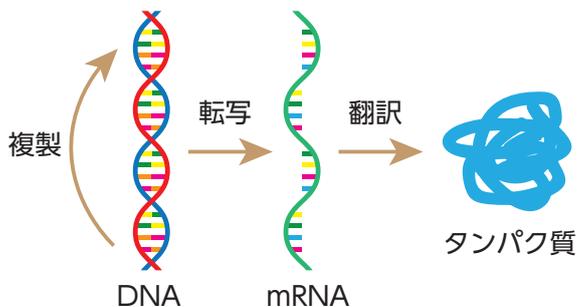
### RNA

リボ核酸(ribonucleic acid)のこと。塩基であるアデニン・グアニン・シトシン・ウラシルと糖の一種リボースが結合したヌクレオシドに、リン酸がさらに結合したものをヌクレオチドと呼びます。このヌクレオチドがたくさんつながり、一本の鎖のように連なったものがRNAです。



### メッセンジャーRNA (mRNA)

細胞の核の中でDNAの塩基配列をもとにつくられ、酵素などのタンパク質をつくるための遺伝情報伝える役割があります。



### 「ゲノム編集」と「遺伝子組換え」の違い

いろいろな理由で、DNAが切断されることは自然界でも起こりうることです。切れたDNAは元通りに修復されますが、まれに修復ミスが起こります。この修復ミスが起こると、DNAに変異が生じて生物の性質が変わることがあります。これが突然変異のもととなっています。その確率は100万分の1から10万分の1と言われています。この突然変異を人工的に発生させるのがゲノム編集です。

一方、遺伝子組換えは、ある生物に新たな機能をもたせるために、目的の性質をもつほかの生物の遺伝子をゲノム上に組み込むことです。

## 第16回成果発表会を開催

水産研究・教育機構は、調査研究や技術開発の成果を一般の方にも理解してもらうため、成果発表会を開催しています。16回目となる今回は、2019年2月12日に「水産業の成長産業化と資源研究－資源の回復を目指して－」をテーマに、都内の大手町サンケイプラザで開催、193人の来場がありました。

4人の研究者が、(1) 2018年6月に発表された「水産政策の改革」や資源評価の概要と当機構の資源調査研究への取り組みの方針など、(2) 目標値の設定や資源評価対象魚種の拡大など、(3) 評価の具体例としてスケトウダラの太平洋系群や日本海北部系群の状況など、(4) マサバについての系群による評価手法の違いなど、それぞれ講演しました。

全体討論では、資源評価と漁業者との関係性、資源評価を分かりやすくするための方策、資源の管理目標の共有などについて、熱心に討議されました。なお、成果発表会の要旨は、以下のURLからご覧いただけます。

成果発表会要旨 ▶ <http://www.fra.affrc.go.jp/bulletin/seika/20190212.pdf>



開会のあいさつをする水産研究・教育機構理事長 宮原 正典  
みやはら まさのり

## マリニピア日本海「大人の水族館講座」で講義

日本海区水産研究所資源管理部の佐久間 啓<sup>さくま けい</sup> 研究員が3月24日、新潟市水族館マリニピア日本海で日本海の底魚類に関する講演を行いました。中高年層を中心に約30人が参加しました。

講演では、すべての生き物に共通する遺伝的なつながりについて「家系図」をモチーフに解説しました。また、日本海の深海に生息するゲンゲ科の底魚類を題材に、家系図から生き物の歴史をひも解く遺伝解析の手法を説明しました。講義終了後は、さまざまな質問や意見がありました。身近な日本海の生き物の背後にある歴史を、より深く知ってもらう機会になりました。



研究員の説明を熱心に聞く参加者



水産研究・教育機構 研究開発情報  
**北の海から 第34号**  
 発行時期：2019年2月  
 問い合わせ先：北海道区水産研究所 業務推進部  
 業務推進課  
 ウェブサイト URL：http://hnf.fra.affrc.go.jp/kank-  
 oubutu/kitaumi/kitanoumikara34.pdf



水産研究・教育機構 研究開発情報  
**SALMON 情報 第13号**  
 発行時期：2019年3月  
 問い合わせ先：北海道区水産研究所 業務推進部  
 業務推進課  
 ウェブサイト URL：http://salmon.fra.affrc.go.jp/  
 kankobutu/srr/srr013.pdf



水産研究・教育機構 研究開発情報  
**東北水研研究レター No.42**  
 発行時期：2019年2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/42/42.pdf



水産研究・教育機構 研究開発情報  
**ななつの海から 第16号**  
 発行時期：2019年3月  
 問い合わせ先：国際水産資源研究所 業務推進部  
 業務推進課  
 ウェブサイト URL：http://fsf.fra.affrc.go.jp/nanat-  
 sunoumi/nanaumi16.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24号**  
 発行時期：2019年3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/24/all.pdf



水産研究・教育機構 研究開発情報  
**西海(せいかい) No.25**  
 発行時期：2019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\_25/seikai\_no25.pdf



水産研究・教育機構 研究開発情報  
**増養殖研究レター 第8号 創立40周年記念号**  
 発行時期：2019年3月  
 問い合わせ先：増養殖研究所 業務推進部  
 業務推進課  
 ウェブサイト URL：http://nria.fra.affrc.go.jp/hak-  
 ko/letter/z8.pdf



水産大学校 研究報告 第67巻 第3号  
 発行時期：2019年3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/ken-  
 kyu/sangakukou/kenkyuhoukoku/67.html



水産大学校 研究報告 第67巻 第3号  
 発行時期：2019年3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/ken-  
 kyu/sangakukou/kenkyuhoukoku/67.html



水産研究・教育機構 研究報告 第49号  
 発行時期：2019年3月  
 問い合わせ先：研究推進部 研究支援課  
 ウェブサイト URL：http://www.fra.affrc.go.jp/  
 bulletin/bull/bull49/index.html



水産研究・教育機構 NEWS LETTER  
**おさかな瓦版 No.89**  
 発行時期：2019年5月  
 内容：魚礁  
 問い合わせ先：経営企画部 広報課  
 ウェブサイト URL：http://www.fra.affrc.go.jp/bul-  
 letin/letter/no89.pdf



水産研究・教育機構 NEWS LETTER  
**おさかな瓦版 No.90**  
 発行時期：2019年7月  
 内容：漁港  
 問い合わせ先：経営企画部 広報課  
 ウェブサイト URL：http://www.fra.affrc.go.jp/bul-  
 letin/letter/no90.pdf

執筆者一覧

■水産育種研究の最前線！～養殖の発展に向けて～

- 養殖における育種とは……………増養殖研究所 育種研究センター ゲノム育種グループ 正岡 哲治
- ゲノム情報の活用① ゲノム育種でウナギ仔魚期を短縮……………増養殖研究所 ウナギ種苗量産研究センター 量産基盤グループ 野村 和晴
- ゲノム情報の活用② ゲノム編集でトラフグの育種を効率化……………瀬戸内海区水産研究所 資源生産部 養殖生産グループ 吉浦 康寿
- ゲノム情報の活用③ DNAマーカーをヒラメの細菌病対策に活用……………増養殖研究所 育種研究センター ゲノム育種グループ 岡本 裕之
- ゲノム情報の活用④ マーカーアシスト選抜によるブリの魚病耐性育種……………増養殖研究所 育種研究センター ゲノム育種グループ 尾崎 照遵
- 水産無脊椎動物の育種研究① 始まったばかりのアサリの育種……………瀬戸内海区水産研究所 海産無脊椎動物研究センター 貝類グループ 小島 大輔
- 水産無脊椎動物の育種研究② アコヤガイの選抜技術による高品質な真珠……………増養殖研究所 育種研究センター ゲノム育種グループ 正岡 哲治
- ノリの育種研究 未知の遺伝子解明によるノリの育種……………研究推進部 研究開発コーディネーター 尾島 信彦
- 実践的育種の実例 民間との連携でめざすブリの高成長育種……………増養殖研究所 育種研究センター 系統開発グループ 吉田 一範

# 「海洋都市横浜うみ博 2019」に出展

7月20日・21日の2日間、横浜港大さん橋国際客船ターミナルにある大さん橋ホールで開催された「海洋都市横浜 うみ博2019」に出展しました。

4回目となる今回は、人気のおさかなクイズや、子どもから大人までが見てさわって水産業の仕組みが学べる模型、アニメーション、水産の流れを紹介した間違い探し、ウェブサイトで泳がせる塗り絵などの体験・展示を行いました。

うみ博への来場者数は2日間で2.3万人と過去最多でした。水産研究・教育機構のブースにも多数の親子の来場があり、ウェブサイトで泳がせる塗り絵は、昨年も参加されたりピーターの方もいて、大盛況でした。

下記のウェブサイトで皆さんに塗っていただいた魚が泳ぐようすを動画でご覧いただけます。

▶あつまれFRAキッズ！イベントページ

<http://www.fra.affrc.go.jp/forkids/event-sp/index.html>



塗り絵の動画の画面イメージ



編集後記

魚の育種で身近なものに、金魚がいます。金魚の育種は、魚の品種改良の歴史が最も古く、およそ2000年前に中国で赤いフナが見つかったことが始まりだそうです。大和郡山市のウェブサイトによると、現在、日本で飼育されている金魚の品種は約30種、細かく分ければもっと多くなるそうです。近年、育種に遺伝子が利用されて

います。遺伝の仕組みを解き明かす「メンデルの法則」が発表されたのは1865年で、当時はまったく評価されませんでした。1900年になり、3人の研究者がそれぞれメンデルの法則を再発見したことから、遺伝学が誕生しました。1953年に遺伝子のDNAの構造が明らかになると、遺伝子に関する研究が大きく進歩しました。

水産業でも養殖の役割がより大きくなっていることから、生産技術の安定化、増産、品質の向上などに対する育種の貢献が大きく期待されています。当機構も育種研究を進め、安全・安心な水産物を安定的に供給できるよう貢献していきます。(角野 彰)

