

増養殖研究レター No.8

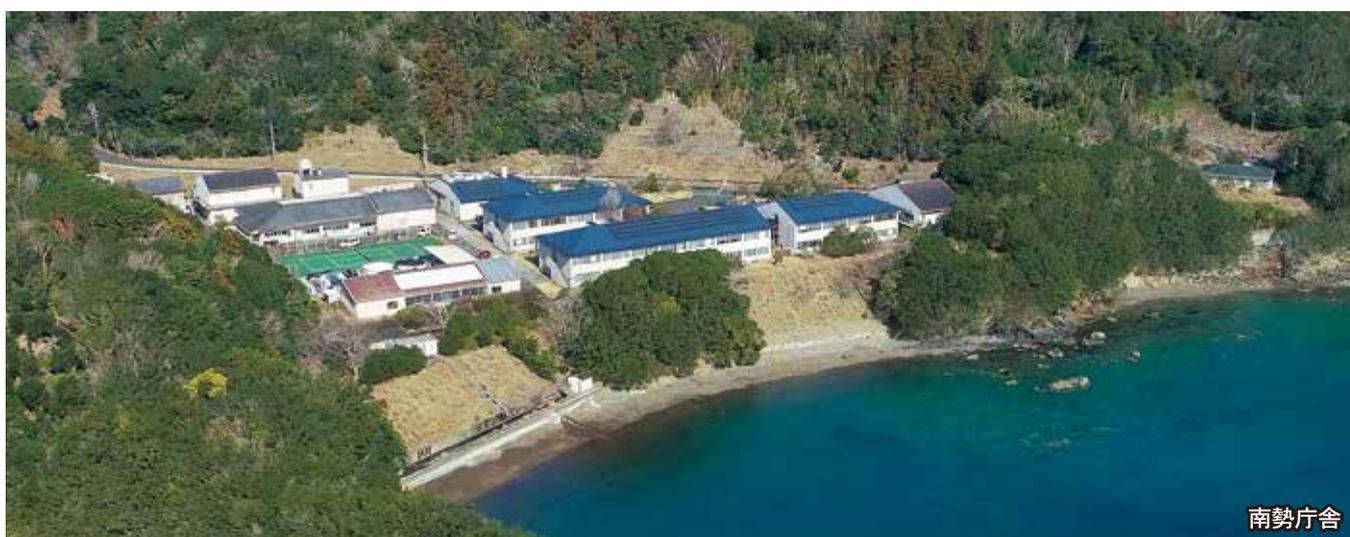
メタデータ	言語: ja 出版者: 水産総合研究センター 公開日: 2024-02-29 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2000240

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



増養殖研究レター

第8号 (2019年3月) 設立40周年記念号



編集 増養殖研究所



国立研究開発法人
水産研究・教育機構

増養殖研究所設立 40 周年を迎えて

(所長 乙竹 充)



増養殖研究レターをお手にとりて頂きまして、どうもありがとうございます。昭和54年に水産庁養殖研究所として設立された当所は、

今年で40周年を迎えることになりました。養殖業の成長産業化に向けて、職員一同、励んで参りますので、今後ともご指導・ご鞭撻を、どうぞよろしくお願いいたします。本号では最近の当所の研究トピックス17題をご紹介します。これらは、「養殖研究フロントライン」として、みなと新聞にも掲載されました。

次ページ目次にあるのが17題のトピックスです。1.～3.の3題は環境調和型養殖技術についてです。餌を与える給餌養殖(魚やエビ等の養殖)と餌を与えない無給餌養殖(藻類や貝等の養殖)を組み合わせ、環境への負担を減らし、かつ生産性を高める複合養殖技術の開発を目指しています。

4.と5.の2件は貝類の種苗生産についてです。4.では貝柱が美味な二枚貝であるタイラギの人工受精技術をご紹介します。レチノイン酸を使用することにより、低コストで安定した人工受精が可能となりました。本技術は現場ですぐに使用できると同時に、科学的にも大きな発見です。また、5.では東日本大

震災で被災した福島県の復興のための、アワビの種苗生産についてご紹介します。

6.では、放流後のトラフグ稚魚をその海域に効率よく定着させる技術をご紹介します。

7.～10.の4題は養殖魚の病気の対策についてです。7.ではブリで被害が大きいベコ病の治療薬の開発を、8.ではヒラメに寄生するナナホシクダアの簡便な検出法を開発を、9.ではギンザケで問題となっている赤血球封入体症候群の診断・検査技術の開発をご紹介します。10.ではアユの友釣りと細菌病の関係についての研究結果をご紹介します。

次の11.～14.の4題は、生産性や品質の高い新たな系統を作り出す育種についてです。11.と12.ではブリを例として、新たな育種技術をご紹介します。当所では育種は養殖の成長産業化の鍵を握る重要な研究対象と位置づけ、当機構の開発調査センターと協力して、育種されたブリ人工種苗の社会実装を目指しています。また、13.と14.では、ゲノム編集技術を利用した人工系統による外来魚の駆除法の提案をご紹介します。

最後の15.～17.の3題は、水産研究・教育機構が当所のウナギ種苗量産研究センターを中心に、大学や県、民間企業の手も借りながら総力をあげて取り組んでいるシラスウナギの大量生産技術の開発についてです。15.では全体の概要を、16.では親魚養成用飼料の開発状況を、17.では仔魚(稚魚になる前の幼生)用飼料の開発状況をご紹介します。

表紙写真説明

上：増養殖研究所 南勢庁舎(三重県度会郡南伊勢町, 昭和59年開所。そのあと本所となる。)
下：増養殖研究所 玉城庁舎(三重県度会郡玉城町, 昭和54年開所。当時は本所。)

沿革 ～増養殖研究所 40 周年の歩み～

昭和 54 年 3 月	淡水区研究所養殖部・日光支所、真珠研究所本所・大村支所、東海区水産研究所増殖部を廃止し、水産庁の付属の研究機関として養殖研究所を設置
平成 13 年 4 月	独立行政法人水産総合研究センター養殖研究所として再発足（南勢、玉城、日光の 3 庁舎）
平成 15 年 4 月	部・グループ制の導入、魚病診断・研修センターを設置
平成 16 年 4 月	日光支所を中央水産研究所に移管
平成 18 年 4 月	企画連絡室と総務課を統合し、業務推進部に再編。上浦、古満目の両栽培漁業センターを栽培技術開発センターとして編入
平成 23 年 4 月	研究所名を養殖研究所から増養殖研究所に改称して再発足。中央水産研究所から内水面研究部（日光庁舎、上田庁舎）、浅海増殖部（横須賀庁舎）を編入、及び南伊豆、志布志の両栽培漁業センターを統合（9 庁舎体制）
平成 26 年 4 月	養殖技術部を育種研究センターに改組。また養殖技術部ウナギ量産研究グループを養殖システム部に編入
平成 28 年 4 月	研究所名を国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所に改称して再発足。内水面研究部（日光庁舎、上田庁舎）と資源生産部（横須賀庁舎）を中央水産研究所に移管。ウナギ種苗量産研究センターを設置。
平成 28 年 9 月	古満目庁舎を閉庁（南勢、玉城、上浦、志布志、南伊豆の 5 庁舎体制）

目次

研究情報（みなと新聞に 2018 年 5 月から 2019 年 1 月まで連載された内容を紹介）

1. 新たな養殖技術開発への模索 ～環境調和型養殖技術の開発～	4
2. アサリ資源の激減と養殖技術開発 ～安全安心な国産アサリを食卓へ～	5
3. 潮間帯でのマガキの天然採苗 ～簡単かつ低コストな地場採苗にむけて～	6
4. タイラギ人工受精技術の開発	7
5. 復興対策としてのエゾアワビの種苗生産	8
6. 天然トラフグの安定供給を目指した研究開発	9
7. 開発が進むブリ類のべこ病の対策技術	10
8. ヒラメに寄生するナナホシクダアの簡便な検出法の開発	11
9. ギンザケの病原ウイルスの性状解明	12
10. アユの友釣りとは魚病の関係 ～エドワジエラ・イクタルリ感染症は高水温期に影響あり～	13
11. 日本の養殖の成長産業化のカギを握る育種研究 I	14
12. 日本の養殖の成長産業化のカギを握る育種研究 II	15
13. ゲノム編集の概要	16
14. ゲノム編集で外来魚を駆除する技術開発	17
15. ニホンウナギ種苗生産技術開発の取り組み	18
16. 最新技術が明らかにした親魚養成用飼料の見直しの必要性	19
17. サメ卵からの脱却を目指した仔魚用飼料の開発	20

新たな養殖技術開発への模索 ～環境調和型養殖技術の開発～

(養殖システム研究センター 増養殖環境グループ：皆川 昌幸)

近年、貝類など沿岸の漁業資源が大きく減少しており、その原因の一つとして海域の貧栄養化が指摘されている。“貧栄養”とは、植物プランクトンや海藻が育つのに必要な栄養分である海水中の窒素やリンが少ない状態をさす。

かつての高度経済成長期には、農業・生活排水などに含まれる多量の窒素やリンが沿岸海域に流入し、海が“富栄養化”して赤潮の発生も問題となっていた。しかし近年は、水質総量規制（排水中の窒素・リンの濃度だけでなく、排出する総量を規制）などにより陸域から流入する窒素やリンの量が減少し、一部の沿岸域では逆に貧栄養化が進んでいる。そのため、自然の生産力を利用したノリや貝類などの無給餌養殖では、ノリの色落ちなどの生育不良も発生し、問題となっている。

一方、魚類養殖では多くの餌を魚に与えており、その食べ残しや魚の排泄物は、分解して窒素やリンとなり海域を富栄養化させている。また、これら有機物が分解するとき海水中の酸素を消費して貧酸素状態を作り出している。多くの養殖場では、赤潮や貧酸素による魚や二枚貝などの大量斃死がたびたび起こり大きな問題となっている。

私たちの研究グループは、魚類の給餌養殖と藻類や貝類の無給餌養殖を組み合わせることで、栄養塩を効率良く利用する養殖法を“環境調和型養殖”と名付け、その技術開発研究を行っている。生簀などの魚類養殖場から出てくる栄養塩を、海域の生物生産へ効率良く利用する技術は、生態系や環境に配慮した養殖認証の取得へも大いに活用されるものと考えている。

私たちは主に三重県南部にある五ヶ所湾で研究を行っている。ここでは、かつて湾全域で真珠養殖が盛んに行われていた。1960年代以降魚類養殖が始まり、現在はマダイ、クロマグロなどの給餌養殖と、カキ、真珠、ヒ

トエグサなどの無給餌養殖が、湾内のそれぞれ異なる場所で集中して営まれている。この湾で2016年から毎月、湾全域の水質調査を行い、水温、塩分、溶存酸素、栄養塩（アンモニア態窒素、亜硝酸、硝酸、リン酸、ケイ酸）、クロロフィル、pH、全アルカリ度を測定して、その変動を調べている。さらに年4回、湾内に設置されているマダイ養殖生簀の周りで詳細な水質調査を行い、生簀から排泄される栄養塩の量や分布を季節毎に調べている。これまでに得られたデータから、1) 養殖海域での栄養塩等の季節的・経年的な変動、2) 湾全体の一次生産量、3) 養殖により生じる栄養塩の量と拡散範囲、について明らかになってきた。今後は、この調査で得られた結果に基づき、ヒトエグサや貝類などの無給餌養殖の生産効率を向上させる養殖技術を考えていく予定である。



採水風景（調査艇“はまぼう”にて）



隣接するカキ養殖筏（手前）とヒトエグサ養殖竿網（奥）



湾内にあるマダイ養殖場の生簀

アサリ資源の激減と養殖技術開発 ～安全安心な国産アサリを食卓へ～

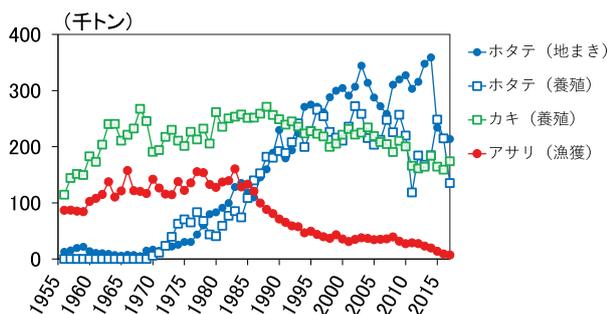
(養殖システム研究センター 増養殖環境グループ：石樋 由香)

アサリは、全国どこのスーパーマーケットにも並ぶ日本人になじみの深い水産物である。アサリの漁獲量は、1980年代中頃までは10～16万トンあったが、1980年代後半から減少し続け、2017年度には7千トンにまで大きく落ち込んでいる。産地別にみると、千葉県では1960年代まで全国漁獲量の約半分の5～8万トンが漁獲されていたが、その後、東京湾の埋め立てにより漁場面積が4分の1となり、大幅に漁獲量が減少した。その減少分を補うように、1970年代には熊本県や福岡県などの有明海、大分県の周防灘での漁獲が伸びた。しかし、これらの地域でも1980年代後半からアサリ資源が激減し、近年では1千トンを割り込んでいる。愛知県では1990年代以降も比較的漁獲量が安定していたが、近年は減少傾向に転じている。アサリ資源の減少には、乱獲、環境の悪化、食害、餌不足など、様々な要因が複雑に絡み合っており、いまだに有効な資源回復策は見つかっていない。

以上のような国内生産の低迷により、輸入されたアサリが消費全体の8割以上を占め、その上、産地偽装の問題も後を絶たない。このままでは、安全安心な国産アサリが日本の食卓から消える日がくるかもしれない。一方、アサリと並んで人気のある二枚貝のカキやホタテガイでは、早くから養殖技術が確立されており、安定した生産を維持している。アサリ

資源の先行きが暗い今、天然資源の回復策だけでなく、アサリを稚貝から育てて収穫する養殖技術の開発が急務といえる。

当機構では、現在、様々なアサリ養殖技術の開発に取り組んでいる。養殖種苗となるアサリ稚貝を得る技術には、親貝から卵を採り水槽内で稚貝まで育てる種苗生産や、干潟に砂利を入れた網袋を置きアサリ稚貝を効率よく採集する「網袋採苗」などがある。また稚貝から成貝に育てる技術として、稚貝を育てる場所に網をかぶせることで、波浪による散逸やクロダイなどの捕食動物から稚貝を守る「かぶせ網」の手法、コンテナに稚貝を入れて、餌となる植物プランクトンが豊富な海中に吊り下げる「垂下養殖」がある。また、エビ養殖場でアサリと一緒に育てる複合養殖の研究にも取り組んでおり、クルマエビの残餌や排泄物を栄養として増殖した植物プランクトンが、アサリの餌となることが分かった。アサリ養殖はまだ始まったばかりで、労力やコストの問題など、解決すべき課題はたくさんあるが、美味しい国産アサリを日本の食卓に届けられるよう、試験研究データを積み重ねている。



主要二枚貝類の国内生産量
海面漁業生産統計調査（農林水産省）をもとに作成



(上段) 砂利を入れた網袋でアサリ稚貝を育てる網袋採苗
(下段) コンテナにアサリを入れて筏から吊り下げる垂下養殖

潮間帯でのマガキの天然採苗 ～簡単かつ低コストな地場採苗にむけて～

(養殖システム研究センター 増養殖環境グループ：長谷川 夏樹)

マガキ養殖では、ホタテガイの貝殻を海に吊るし、養殖の出発点となるカキの稚貝（種ガキ）を採取（採苗）している。この方法で得た大量の種ガキを、ホタテガイの貝殻ごと筏から吊るして養殖することで、日本のマガキは世界有数の生産量を維持してきた。マガキの採苗は広島県と宮城県の2大産地で大規模に行われており、全国に点在する中小規模の産地へも種ガキが供給されている。しかし、宮城県では東日本大震災による混乱やその後の採苗不調、また広島県では環境変化が原因と考えられる採苗不調の頻発で、種ガキの価格が高騰し供給も不安定化するようになった。このため、当機構では、種ガキの安定確保に向けた研究開発に取り組んでいる。

大産地では、マガキの浮遊幼生や稚貝の出現を調査し、タイミングを見計らって採苗器を筏などに吊るして稚貝を付着させている。しかし、中小規模の産地にとっては、調査の技術や経費が必要となり、やや困難な方法である。そこで我々は、カキ殻を粉砕して固めた“ケアシェル”という球状の資材をカゴに入れ、潮の満ち引きによって水没と干出を繰り返す“潮間帯”と呼ばれる海岸に置くことでマガキ稚貝を採取できる技術を開発した（農林水産業・食品産業科学技術研究推進事

業委託事業）。潮間帯は定期的に干出し、海の多くの生物にとっては過酷な場所だが、マガキは潮間帯で生息できる数少ない生物である。そのため潮間帯に採苗器を設置することで他の付着生物が付きにくくなり、タイミングを見計らわなくてもマガキの採苗ができる。また、採苗器の設置場所によっては、ケアシェル1粒に種ガキが1個付着し、稚貝が一つずつ分かれている“シングルシード”と呼ばれる種ガキを多く得ることができる。シングルシードをカゴに入れて養殖すると殻の形がカップ状になり、付加価値の高い殻付きカキが生産できる。

この方法であれば、中小規模の産地でも簡単かつ低コストに“地場採苗”ができる。また、シングルシードを用いた殻付きカキの生産を行うことで、生産者の収益性の改善が期待できる。現在は、本手法等を用いた地場採苗、得られた種ガキを使った産業レベルの養殖生産、さらに販売や収益性の検討なども含めた実証研究を通じて、新たなマガキ養殖システムを確立することを目指した研究開発に取り組んでいる（農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」）。



ケアシェル（球状のもの）に付着した種ガキ



潮間帯でのマガキ天然採苗の様子
(筒状のカゴにケアシェルを入れて採苗器としている)

タイラギ人工受精技術の開発

(養殖システム研究センター 増養殖環境グループ：松本 才絵)

タイラギは貝柱が美味しい高級二枚貝である。瀬戸内海や有明海を中心に国内の砂泥域に生息する。主に潜水漁で漁獲されるが、近年その資源量が激減している。そのため当機構では、タイラギの人工種苗生産技術を開発し、生産された稚貝の漁場への放流や養殖技術を確認することで資源や生産量を復活させる取組みを進めている。

多くの二枚貝は繁殖期に卵と精子を体外に放出し海中で受精する。タイラギの種苗生産では養成した親貝を温度管理して産卵を促しているが、必要な量の良質な受精卵が得られない場合もあり生産現場の負担は大きい。そこで私たちの研究グループはタイラギの人工受精法の開発に取り組んできた。

親貝から人工的に取り出した卵と精子を混ぜ合わせても受精卵が得られることはまれである。多くの場合、卵が受精できる状態にならないからである。人工的に取り出した卵を蛍光試薬により核を光らせて観察すると、図1左のように核が卵の中心に広がって見える。この状態の卵は受精できない。一方、卵が受精可能な状態になると図1右のように核が集まる。マガキやアコヤガイでは、取り出した卵を海水あるいはアンモニアを少量添加した海水に浸すことで、また、幾つかの二枚貝では神経伝達物質であるセロトニンを用いることで卵を受精可能な状態にできる。しかし図2に示すように、これらの物質はタイラギには効果がなかった。そこでタイラギの卵を受精可能な状態にする物質を探索した結果、レチノイン酸（ビタミンAの代謝産物）を作用させると受精可能な卵の割合が増加す

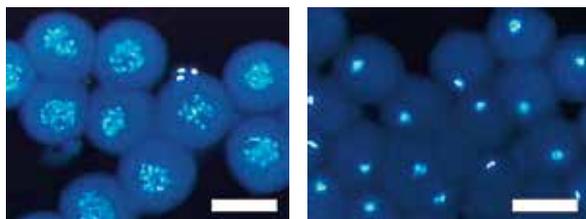


図1 蛍光試薬で核を光らせたタイラギ卵

卵巣から取り出した状態の卵（左、核が卵の中心に広がっている）とレチノイン酸処理で受精可能な状態になった卵（右、核が集まっている）白線は0.05 mm

ることを発見した。また精子についても、レチノイン酸を作用させるとその運動が非常に活発になることも発見した。

これらの知見をもとに「イノベーション創出強化研究推進事業」（農研機構生物系特定産業技術研究支援センター管轄）の中でタイラギの孵化幼生を安定して大量に得ることができる人工受精技術を開発した。なお、大分県農林水産研究指導センターの協力により、本技術を使って得られた幼生が正常に生育して着底稚貝にまで育つことを確認した（図3）。今回開発した人工受精技術は、既存の種苗生産施設内で無理なく実施できる作業であり、またレチノイン酸は安価で用量も微量であることから、低コストで種苗生産の現場に導入できる。タイラギの受精卵が確実に得られるようになることで、養成する親貝の数を減らすことができ、また幼生飼育の計画が立てやすくなるなど、種苗生産現場の負担が軽減されることが期待される。

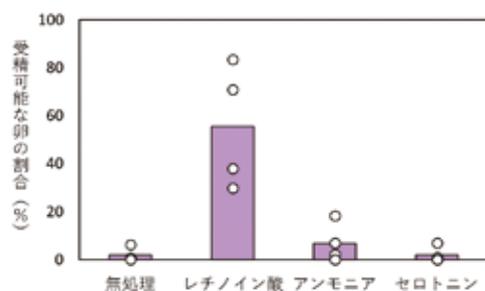


図2 レチノイン酸処理による受精可能な卵の割合の変化
レチノイン酸処理では、無処理、アンモニアやセロトニン処理に比べて受精可能な卵の割合が増加、棒はメス4個体の平均値、白丸は各メスの測定値



図3 人工受精卵から得られたタイラギ着底稚貝
(大分県農林水産研究指導センター提供)

復興対策としてのエゾアワビの種苗生産

(ウナギ種苗量産研究センター 量産実証グループ長：鴨志田 正晃)

福島県では、ヒラメやエゾアワビなどの栽培漁業が盛んに行われ、特にエゾアワビは年間50万個程度の稚貝が放流され、放流した種苗の約10%程度が水揚げされるなど県内のアワビ漁業を支えてきた。しかしながら、平成23年の東日本大震災により福島県の栽培漁業施設は壊滅し、放流用種苗を生産することができなくなった。

福島県の栽培漁業の再生に向け、平成23年度から水産庁の「被災海域における種苗放流支援事業」がスタートし、静岡県にある当所南伊豆庁舎では、福島県栽培漁業協会の職員と連携してエゾアワビの種苗生産、放流を行うことになった。

事業の開始当初は、アワビ類の感染症であるキセノハリオチス症が問題となっていた。その対策として、飼育水の殺菌に加え、飼育排水を通じて病原体が地先に流出することを防止するため、飼育排水殺菌システムを新たに設置して種苗生産を開始した。

福島県の海域に放流するため遺伝的多様性に配慮し、地元福島県の海域で漁獲された親貝から採卵、ふ化した幼生を南伊豆庁舎まで輸送して飼育を行った。

アワビ稚貝の初期の餌料には、コッコネイスという付着珪藻を用いた。少量を周年培養して元種とし、必要な時期にポリカーボネイト製の波板に付着させて大量培養した。しかしながら、南伊豆庁舎でアワビ類の種苗生産を実施するのは初めてであり、付着珪藻の培養が計画通りにいかず、餌不足に陥り稚貝が大量死することもあった。このため、付着珪藻の培養が不調の時には、針型珪藻という浮遊性も持つ種を小型容器で大量培養し、波板に付着させて餌とする飼育方法も試みている。稚貝の大きさが5mm程度に達すると市販のアワビ用配合飼料も食べることができるようになり、約1年間飼育することで放流に適した30mmサイズまで成長する。

この事業の目標は、おおよそ30mmのエゾアワビ稚貝を3～5万個福島県内に放流することであり、ほぼ目標は達成されている。放流時には福島県の漁業者も参加して潜水によりアワビを放流しており、福島県内でのエゾアワビ稚貝生産の再開に期待を寄せている。福島県の栽培漁業施設は再建中で、平成30年度内に竣工する見込みとなっている。それまでの間、南伊豆庁舎でエゾアワビの種苗生産、放流を継続し、福島県の栽培漁業の復興に貢献していきたい。



エゾアワビ種苗生産施設と生産に取り組む福島県栽培漁業協会職員



福島県いわき市地先へエゾアワビを放流



著者と生産したエゾアワビ種苗

天然トラフグの安定供給を目指した研究開発

(ウナギ種苗量産研究センター 量産実証グループ：鈴木 重則)

トラフグは養殖生産が盛んに行われている一方で、超高級食材としての天然トラフグに対するニーズも根強い。近年は一定品質の食材を安定的に供給することが強く求められる時代だが、天然物の供給量は年々の自然発生量の多寡に大きく左右される。高級食材であっても不安定な供給に依存したビジネスはリスクが大きい。そこで、漁獲量の急激な低落を回避し、関連産業への食材の安定供給を確保するため、天然トラフグに対する漁獲管理の最適化と並行してトラフグ人工種苗の大規模な放流が全国各地で進められている。しかし、放流された人工種苗の生き残りは決して良いとは言えない。その原因は、突然不慣れた環境に放流されたトラフグ種苗がところかまわず無駄に泳ぎ回り、生息に適さない海域へ向かってしまったり、外敵に食べられてしまったりするためと考えられている。

そこで、トラフグ人工種苗をスムーズに生息に適した海域へ定着・順化させて生残率を高める手法の開発に、神奈川県水産技術センターと共同で取り組んでいる。具体的には、砂浜の汀線から腰の水深までの海面をとり囲むように、長さ数百メートル×高さ1メートル程度の簡易な仕切り網を設置し、その中へ全長4～5センチまで育てた数万尾のトラフグ人工種苗を放流する。一晩仕切り網の中で種苗を落ち着かせた後、翌朝に仕切り網を撤去して種苗を解放するという手法である。この手法に至った経緯として、放流後の潜水観察で、砂浜の浅い海底の砂に潜ったトラフグ種苗が落ち着いた様子でいることを目撃していた背景がある。トラフグ稚魚の行動特性に即して放流することで、放流直後に生じていた減耗要因を大幅に排除できる可能性を見出した。

放流翌日に曳網を用いて浅海域に定着した

トラフグ種苗の状況を調査した結果、曳網回数当たりの採集尾数は、仕切り網を設置しない場合には1～143尾/回(4事例)と大きく変動したが、仕切り網を設置した場合には35～42尾/回(2事例)と安定していた。この試みは緒に就いたばかりであり試行回数は少ないが、仕切り網の設置はトラフグ種苗を確実に浅海域へ定着させる一定の効果があることを確認できた。放流海域の砂質や餌生物などの環境は年々変化するため、環境が変化しても本手法が安定した効果を発揮できるのか、さらに実験を積み重ねて明らかにする必要がある。加えて、トラフグ稚魚が好む砂質や潜砂行動を起こす要因などについても解明を進め、天然トラフグの安定的な供給の確保に貢献する研究を発展させたい。



仕切り網と
トラフグ放流魚

仕切り網の内側で休息する放流直後のトラフグ人工種苗



トラフグの
潜砂行動

砂に潜って落ち着いた様子のトラフグ人工種苗



曳網調査

放流魚を再捕し定着、成長や摂餌状況を調べる(神奈川県横須賀市齊田浜)

開発が進むブリ類のべこ病の対策技術

(魚病研究センター 感染制御グループ長：佐藤 純)

魚類の微胞子虫症は、真菌の仲間であるミクロスポリジウム属の微胞子虫による感染症である。ブリのべこ病は、筋肉に微胞子虫が感染し、筋組織が融解して体表が凸凹になることを特徴とする疾病で、古くから知られている。図1は、ブリ類に感染する微胞子虫 *Microsporidium seriolae* である。海産魚のべこ病は、ブリ類、マダイ、クロマグロ、ホシガレイでも発生が報告されている。近年、ブリの種苗（モジャコや人工種苗）、カンパチおよびヒラマサの人工種苗でべこ病が流行しており、種苗の死亡や成長不良も発生している。さらには、出荷サイズまで育成した魚でも、筋肉中に胞子を内包した袋状の組織（シストと呼ばれる）や治癒過程のシストの痕跡がクレームの対象となり、大きな経済的被害が生じている。本病に対しては、駆虫薬や治療薬がなく、未だ効果的な対策は無い。四国や九州地方のブリ類養殖の主要漁場で被害が甚大なため、べこ病の対策技術の開発が強く望まれている。

当機構では、近畿大学水産研究所、愛媛県農林水産研究所水産研究センター、鹿児島県水産技術開発センターと共同で、農林水産省の水産防疫対策委託事業により、本病の治療法の開発に取り組んでいる。

これまでに、感染初期の筋肉中における本微胞子虫の増殖抑制や胞子の形成阻止に、フェバンテルなどのベンズイミダゾール系薬剤^(注)の経口投与が有効であることを明らかにし、フェバンテルの安全な投与濃度も確認した。あわせて、本微胞子虫の微量検出法も開発した。

今回、新たに、べこ病に感染したカンパチに飼料に添加したフェバンテルを経口投与した結果、本微胞子虫の筋肉中での増殖やシストの形成を抑制できることが明らかになった。水温によって異なるが、シストは感染後1～2週間程度で形成される。既にシストが形成された感染魚に、フェバンテルを投与した試験では、シスト内の胞子はある程度殺されるものの、シスト自体は残った。そのため、微量検出法により初期段階の感染を迅速に診

断し、シストが形成される前に、フェバンテルを投与することが重要と考えられる。

現在、フェバンテルの有効最小投与量や残留性、野外での治療試験などについて、詳細なデータの取得を進めている。実際の養殖現場で有効な治療法となるか、その確認にはまだ時間がかかるが、これらの成果による治療法が実用化されれば、本病による被害の軽減に、大きく貢献すると期待される。

この内容の一部は増養殖研究レター第7号魚病特集号で紹介済みです。

用語の解説

(注) ベンズイミダゾール系薬剤

ベンズイミダゾール環を有する化合物で、様々な寄生虫感染症に対する駆虫薬として知られている。日本では、フェバンテルおよび体内代謝物であるフェンベンダゾールは、ブタの線虫類である豚回虫、豚腸結節虫、豚鞭虫の駆除薬、イヌの線虫類あるいは条虫類である大回虫、大鉤虫、大鞭虫、瓜実条虫の駆除薬、魚類ではフグ目魚類の単生類であるヘテロボツリウムの駆除薬として承認されている。

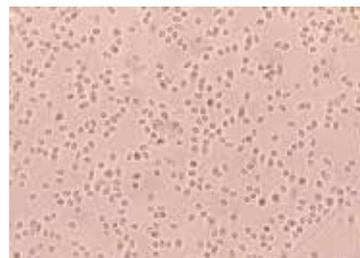


図1 べこ病原因虫 (*Microsporidium seriolae*) の胞子。大きさは、長さ3μm、幅2μm程度。

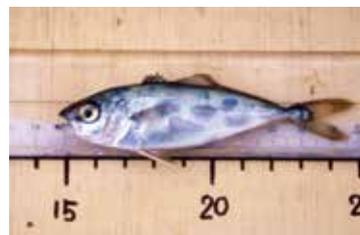


図2 べこ病に感染したブリ種苗

体側筋中のシストの形成及びその消失により体表に凹凸が見られる。

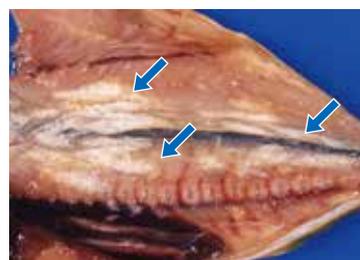


図3 体側筋中に認められるシスト (矢印部分)

微胞子虫の胞子を内包した乳白色の多数のシストが広範囲にわたって認められる

ヒラメに寄生するナナホシクダアの簡便な検出法の開発

(魚病診断・研修センター 魚病診断グループ：米加田 徹)

ナナホシクダアは海外より輸入されたヒラメの筋肉から初めて発見され、クダア属の新種として2010年に報告された。ナナホシクダアが重篤に寄生したヒラメを生で食べると、一過性の下痢や嘔吐を引き起こすことがある。そのため、ヒラメの筋肉1グラムあたり、クダアの孢子数が100万個を超える場合、食品衛生法第6条に違反するものとして取り扱うこととされている。本寄生虫は粘液胞子虫の一種で、大きさは約10ミクロンである。クダアなどの粘液胞子虫は極嚢と呼ばれる花びらのように見える特徴的な構造を有しており、内部には極糸が収まっている(図1)。これまでのところ、ヒラメをはじめ、ウマズラハギやクサフグに寄生することが分かっている。ナナホシクダアが寄生している魚の生命に及ぼす影響は比較的少ないと考えられるが、ヒトの食中毒の原因物質であることから、食の安全性を確保するための対策が進められている。

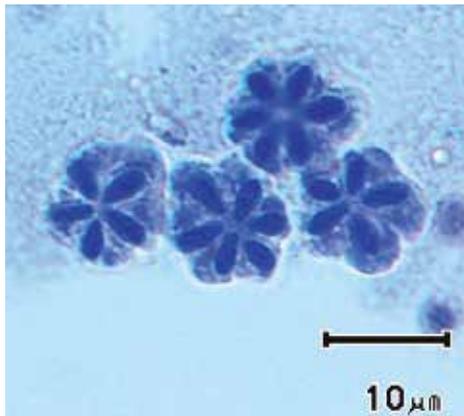


図1 ナナホシクダアの孢子
(大きさ約10 μm)

当機構では養殖現場でのナナホシクダア感染症の防除に向けた調査研究を実施してきた。これまでの成果の一つとして、ヒラメ養殖場の飼育水の砂ろ過やUV処理がナナホシクダアの感染防除に有効であることが明らか

かとなっている。ただし、砂ろ過処理は装置の性能に違いがあることから、UV処理と併用することがより効果的であると考えられる。

食の安全性を確保するためには、養殖場の飼育水の処理に加えて、養殖場に導入する種苗の検査及び養殖魚の出荷前の検査が必要である。これまでも様々なナナホシクダアの検査キットが開発されてはいるが、コスト面で導入が困難なケースもある。そのため簡易検査法として顕微鏡観察による検査、すなわち、鰓蓋や尾柄部の筋肉をスライドガラスに塗抹し、染色して顕微鏡で観察する方法が広く実施されている。しかし、ナナホシクダアの孢子は非常に小さいため、魚の細胞が多く混在しているとナナホシクダアを見つけ出すことが困難になってしまう。そこで、ナナホシクダアと魚の細胞を簡便に識別できるように、ナナホシクダアの孢子だけが染色される技術の開発を試みてきた。これまでに孢子の表面に結合する物質を見出し、蛍光標識を施したこの物質により孢子の表面を光らせることに成功した(図2)。今後は、一般的な光学顕微鏡で検出できる方法を開発し、検査の更なる簡便化を目指したいと考えている。

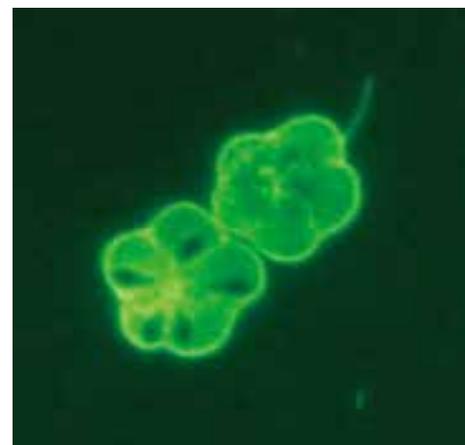
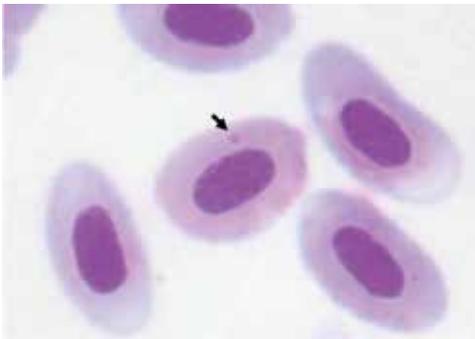


図2 蛍光で光らせたナナホシクダア

ギンザケの病原ウイルスの性状解明

(魚病研究センター 病原体グループ：坂井 貴光)

養殖ギンザケに大量死亡を引き起こすウイルス病の一つとして赤血球封入体症候群(EIBS)が知られている。この病気にかかったギンザケでは、血液中の赤血球内に多量の原因ウイルスを含む封入体が見られ、重症化すると極端な貧血や肝臓の黄色化が起こる。東日本大震災によって甚大な被害を受けたギンザケ養殖において、復興の妨げとなるこの病気の防除対策の確立は非常に重要である。



矢印は、感染したギンザケ赤血球内に見られるウイルス粒子の封入体

(写真提供：宮城県水産技術総合センター 熊谷 明 博士)

原因となるウイルスは培養できないため、この病気の防除に必要な本ウイルスの性状解明が進んでいなかった。そこで当所は、農林水産技術会議の事業「サケ科魚類養殖業の安定化、省コスト・効率化のための実証研究」の中で、宮城県と協力して本ウイルスのゲノム解読に取り組み、全遺伝子の情報を明らかにした。その結果、本ウイルスは新種のウイルスであることが分かり、ピシンオルソレオウイルス2 (PRV-2) と命名した。近縁なウイルスとしてPRV-1が国外で報告されている。PRV-1による感染症は、カナダ、アメリカ、チリ及びノルウェーのギンザケやアトランティックサーモンで発生しているが、国内では見つかっていない。

PRV-2の遺伝子情報の解明によって、防除対策に有用な本病の遺伝子診断法(現在、本病にかかっているかを調べる方法)と感染履歴検査法(過去に本病にかかったことがあるかを調べる方法)を開発することができた。遺伝子診断法は感染した本ウイルスを高感度に検出することができるため、感染の初期か

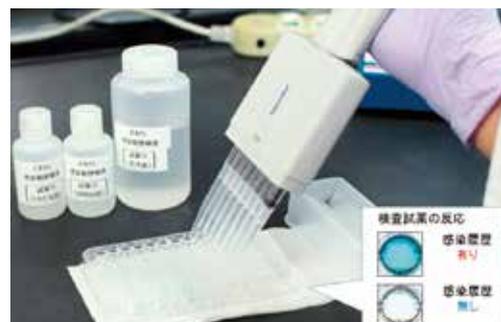
ら本病を迅速に診断できるようになった。感染履歴検査法では、感染の経験を知るための手掛かりとなる抗体の有無を調べる。感染から回復したギンザケの血中には、本ウイルスと結合する特定の抗体が産生されている。我々は、本ウイルスの遺伝子情報を利用してウイルスのタンパク質を合成することに成功し、このタンパク質と反応する抗体を特定して感染履歴検査法を確立した。

これらの診断・検査法によって、海面養殖用ギンザケ種苗の感染履歴を把握し対策を立てることができるようになった。感染履歴のある種苗は原因ウイルスへの免疫を持つとともに、僅かながら原因ウイルスを有している場合があり、感染履歴の無い種苗と同じ生け簀で飼育するとEIBSを発症させる恐れがある。そのため、感染履歴のある種苗と無い種苗を区別し、隔離飼育や給餌制限等を行うことで、被害を軽減させることができる。

これらの診断・検査法をギンザケ養殖の計画的な生産に実際に役立てるため、現在普及に向けた取り組みを行っている。

また、PRV-2の遺伝子情報によりワクチン開発研究にも着手できるようになった。現在、国内の養殖ギンザケに対して、水産用医薬品として承認されているワクチンは、ピリオ病のワクチンだけであり、赤血球封入体症候群の承認ワクチンは、国内外で未だ無い。水産用医薬品としての承認には、高い予防効果を有するワクチンが必要であるため、前述した研究成果を利用して、今後もワクチン開発の研究を進めていく予定である。

この内容の一部は増養殖研究レター第7号魚病特集号で紹介済みです。



開発した感染履歴検査法

アユの友釣りとは魚病の関係 ～エドワジエラ・イクタルリ感染症は高水温期に影響あり～

(魚病研究センター 免疫グループ：寺島 祥子)

アユは内水面の代表的な水産資源である。アユが縄張りを形成する習性を利用した友釣りは釣り人に人気の漁法で、漁協の重要な収入源となっている。天然河川のアユで発生する病気として、冷水病やエドワジエラ・イクタルリによる感染症が知られている。特にエドワジエラ・イクタルリ感染症は2007年に国内の天然アユで初めて発生が確認された比較的新しい細菌病である。この感染症は夏場の水温の高い時期（水温20℃以上）に発病しやすく、天然アユの大量死を引き起こすことから、問題となっている。また、この病気にかかると、アユの元気がなくなり、友釣りで釣られにくくなることが懸念されているが、実際にこの病気と友釣りでのアユの釣られやすさの関係はよく分かっていなかった。そこで、当所と中央水産研究所の研究チームで、天然河川のアユでエドワジエラ・イクタルリ感染症と釣られやすさの関係を経時的に調べたところ、その関係が明らかとなった。

河川の平均水温とアユのエドワジエラ・イクタルリの保菌率には関係があり、河川の平均水温が高いほど、エドワジエラ・イクタルリ



図1 保菌率と水温の推移

週の平均水温が高い8月第1週から8月第2週にかけて、エドワジエラ・イクタルリの保菌率が高くなっていた

を保菌しているアユの割合が多かった（図1）。さらに、河川の平均水温が最も高い週の保菌率は、友釣りされたアユに比べて友釣りで釣れなかったアユで約2.4倍高かった（図2）。これは、アユがエドワジエラ・イクタルリを保菌していると、少なくとも水温が高い時期には友釣りで釣られにくくなっていることを示している。

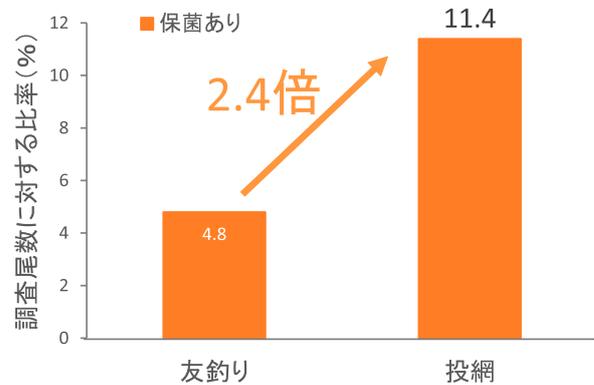


図2 高水温期における保菌率の比較

週の平均水温が高い週では、友釣りで釣れた個体よりも友釣りで釣れなかった個体（投網個体）でエドワジエラ・イクタルリを保菌していた個体の比率が高かった

これまでエドワジエラ・イクタルリによる遊漁への悪影響として、天然アユの大量死が知られていたが、本研究の結果により、大量死が起きていなくても釣果に影響していることが分かった。エドワジエラ・イクタルリによる感染症を防ぐためには、原因菌を河川に持ち込まないことが重要な対策となる。アユの感染症対策を効果的に進めるために、関係者の皆様のより一層のご理解とご協力をよろしくお願い申し上げます。

日本の養殖の成長産業化のカギを握る育種研究 I

(育種研究センター ゲノム育種グループ：尾崎 照遵)

海面と内水面養殖の主要対象種であるブリやウナギは、天然から稚魚を採捕して育成する生産形態をとっている。このことは、養殖対象種の天然資源が悪化した場合それらの養殖ができなくなることを意味する。また、欧米では食糧生産としての養殖に持続可能性を重視する傾向が強まっており、天然の稚魚を利用する養殖への風当たりが強くなっている。さらに、環境への影響が少ない養殖システムの推奨、世界的な気候変動、海外での養殖事業発展に伴う国際競争、アニマルウェルフェア（動物福祉）などの新たな問題に対応する必要があり、養殖魚に求められるものが味や価格だけではなくなりつつある。

完全養殖と選抜育種のサイクル

天然資源に依存しない「完全養殖」が可能になれば、世代を重ねることで魚は「飼いやすい」「おとなしい」など養殖に適した性質を持つようになり、「家魚化」が進行する。さらに計画的な選抜を行う「育種」を行えば、経済的な価値を有する優れた特徴を持つ「品種」を作り出すことができる。完全養殖と選抜育種の技術を組み合わせることで、安定した優秀な系統・品種をつくりあげることができ、養殖生産における諸問題の解決が可能になる(図)。

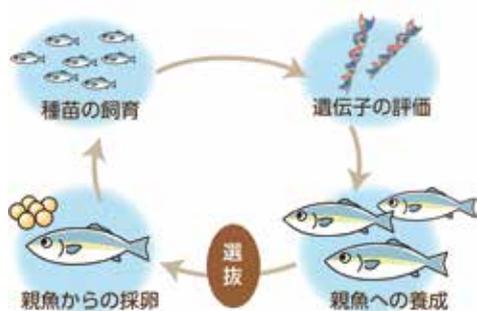


図 完全養殖と選抜育種のサイクル

日本を起源として世界で注目を浴びるブリ類養殖

ブリ類養殖は1928年に日本の香川県引田町安戸池で築堤式養殖として最初に始まった。現在、国内のブリ類養殖生産量は一定量に抑えられているが、海外ではサーモンに続

く養殖魚としてブリ類が注目され、実際に需要が増えている。米国を始め、メキシコ、オーストラリア、チリ、デンマークなどではブリ類を次世代の養殖魚として位置づけ、育種を含む養殖技術開発が進められており(写真)、世界各国でブリ類を生産し、増加する需要に応えようという機運が高まっている。この世界的なブリ類への需要増は日本においても好機であり、進め方次第で日本のブリ類養殖は成長産業となり、大きく発展することにつながる。そのためには、世代を経るごとに収益性の向上が確実に期待できるブリ類の系統開発を日本において進め、国際競争力を高める必要がある。



写真 米国ハブズ・シーワールド研究所で養殖研究を進めるケビンシュアート氏と水槽内で泳ぐカルフォルニアヒラマサ

増養殖研究所・育種研究センターのミッション

21世紀の初頭からの遺伝子解析技術の進歩により、「ゲノム」を指標に「遺伝現象」について理解が深まり、品種改良の理論と技術が飛躍的に発展した。特に、個体ごとに異なるゲノムの特徴を指標とすることで、目的とする優れた特徴(例えば成長、肉質、病気への抵抗性)について個体ごとの能力を数値化し、順位づけすることができるようになった。今後「成長、肉質、病気への抵抗性」に対する品種改良がより確実に進められるようになる。このような最新の方法には「マーカーアシスト選抜」や「ゲノム育種価予測」がある。当所では、これら先進的な手法を取り入れ、養殖産業界と多くの共同研究を進めている。

日本の養殖の成長産業化のカギを握る育種研究 II

(育種研究センター ゲノム育種グループ：尾崎 照遵)

20 世紀後半の生物学研究では、DNA（デオキシリボ核酸）配列を読んでその情報から生命現象の理解を深めようとする研究分野が隆盛を極めた。生命現象のすべてがわかると言われていたが、DNA 情報だけでは説明できない表現形質（個体それぞれを特徴づける個性）も多く存在することが分かった。例えば「成長に関わる遺伝子」は、数百から数千存在すると考えられており、表現形質の多くがひとつの遺伝子では説明できない。特に高成長や抗病性などの生産性向上につながる形質についてその傾向が強い。（図 1）

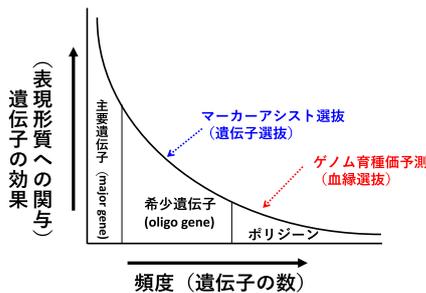


図 1 表現形質への関与と遺伝子の数

育種を成功に導くカギは対象種の個性の集約「オール・フォー・ワン」

畜産動物の育種では、長年にわたる表現形質の記録と血縁情報を用いた遺伝統計学的手法により、計画的交配を行い、品種改良が進められてきた。現在では血縁情報にゲノム情報をプラスし、より効率的に系統の改良を行うことができる。個体のゲノム情報を利用することで、優れた形質へ関与する数多くの遺伝子を一つの系統に集め、成長の早い個性、病気に強い個性、環境ストレスに強い等の異なる優れた形質を一つの系統に集約する「オール・フォー・ワン」が可能になる（図 2）。

日本の養殖産業を成功に導くカギは生産者と一体となって進める育種「ワン・フォー・オール」

ブリ類養殖場の多くは、種苗の「モジャコ」の多くを天然から採捕して利用している。つまり一代限りの生産がほとんどで、継代して優れた形質を選び出して生産性を向上させる

という育種の行為は含まれていなかった。しかし、日本の養殖産業が成長産業となるためには、品種改良によってブリ類養殖の生産性を高めて国際競争力を強化することが不可欠である。そのため現在当機構では、民間事業者と一体となって進める、ブリの育種事業を計画している（図 3）。育種には長期的な視野に立った綿密な計画と安定的な飼育管理等が必要であり、当機構単独での取り組みには限界がある。ブリ養殖業を成長産業にするため、民間養殖場にもご協力いただき、「ワン・フォー・オール」の考えで育種事業を成功させたい。

水産研究・教育機構の育種研究

ゲノム情報を利用した育種手法には、「マーカーアシスト選抜」や、「ゲノム育種価予測」がある（図 1）。当機構では、ブリ類の寄生虫耐性、高成長、その他の優れた形質について、これらの手法を用いて育種研究を進めている。

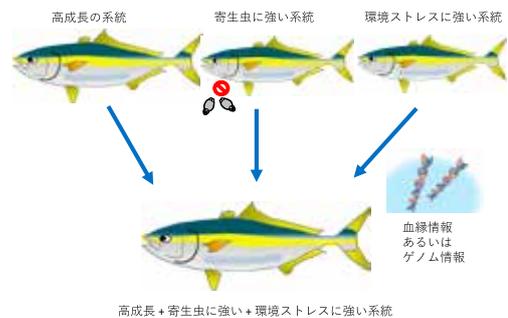


図 2 複数の個性を一つの系統に集約する「オール・フォー・ワン」

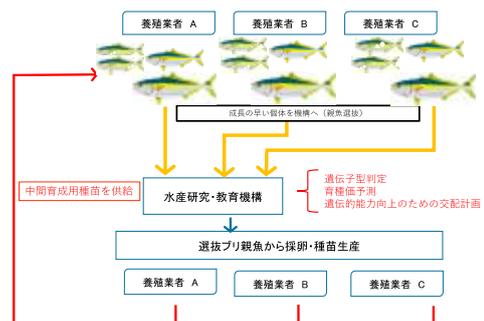


図 3 生産性の向上を目標に個々の生産者の協力による「ワン・フォー・オール」

ゲノム編集の概要

(育種研究センター ゲノム育種グループ長：岡本 裕之)

他分野の科学技術同様に、育種技術の開発も日進月歩に進んでいる。ここではいくつかの新しい技術の内、近年、医療や農業分野などで大きく着目されている、特定の遺伝子の働きを調節する革新的な技術「ゲノム編集」について、簡単にご紹介したい。ノックアウトマウスや遺伝子治療など、個体レベルで遺伝子进行操作する研究は二十年以上前から行われ、成功例が報告されていた。ただしそれには非常に大変な準備と労力が必要で、失敗のリスクが高く、コスト的にも時間的にも容易ではなかった。しかし、近年クリスパー・キャス9という新たな技術が開発され、(生物種にもよるが) DNA を扱える研究室なら非常に簡便に遺伝子の働きを調節することができるようになりつつある。調節といっても、現在は遺伝子の働きを抑えることが主流である。国内においてただちにその成果が市場に出る状況ではないが、水産分野においてもゲノム編集によるダブルマッスル(筋肉倍増)のマダイやトラフグの開発が進められている。クリスパー・キャス9の優れている点は、任意の重要な遺伝子(DNA)を「自分が選んだ」場所で切断でき、その働きを調節することが可能となったことである(図)。

この新技術の水産利用について、外国の研究動向はどうであろうか。2018年7月15

ー20日にオーストラリアで行われた水産育種の国際シンポジウムでは、ノルウェーを筆頭にアメリカ、中国、シンガポールなどで、ゲノム編集魚の利用を視野に入れた様々な計画が進められていることが報告された。まずノルウェーでは、養殖大西洋サケを持続的に生産また増産するためには、生け簀からの逃亡時の生態系へのリスクとサケシラミなどの病気の拡散を回避する必要がある。そのため、ゲノム編集技術を使った研究を国の機関が中心に進めている。生態系への逃亡時のリスクについては、生殖細胞の維持に必要な遺伝子の機能を抑制することで100パーセント不妊になり、リスクを軽減できるそうである。また不妊化により雌雄ともに成熟しないため肉質が低下しない効果もあるとのことであった。サケシラミの防除については寄生に関わる遺伝子の改変を行っているとのこと。さらにゲノム編集魚の受け入れの判断を社会に任せるため、中立的な立場で次世代を担う高校生に対する説明などを積極的に実施している。また大西洋タラについても不妊化の研究が進められている模様。アメリカは、キャットフィッシュ(ナマズ)においてダブルマッスル魚の作出を論文報告していたが、今回のシンポジウムでは新たな情報は得られなかった。オランダの研究者からは、新たな育種技術としてゲノム編集魚の選抜育種シミュレーションが報告された。中国およびシンガポールの中国系の研究者は、ゲノム編集技術に非常に着目している様子で、具体的な成果は報告されなかったが、コイ科の魚でみられる多数の肉間骨の減少あるいは消失への利用を計画しているとのことであった。一方フランスやスペインなどは、ゲノム編集魚の養殖への利用については従来同様一切考えていないことに変化はなかった。わが国からは、内水面漁業の回復へ貢献を目指している新たな外来魚対策技術の開発について報告した。次のページではこの外来魚対策研究について紹介したい。

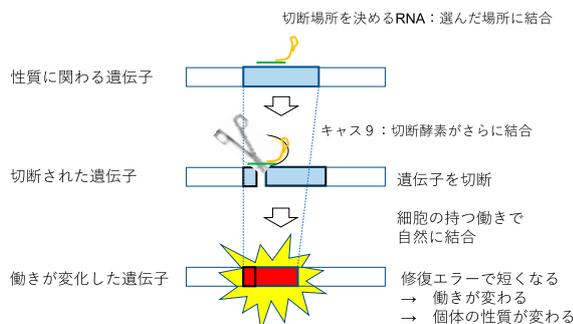


図 クリスパー・キャス9により目的の遺伝子の働きを変える

→有用な性質に関わる候補遺伝子の働きを調べること
→に利用

ゲノム編集で外来魚を駆除する技術開発

(育種研究センター ゲノム育種グループ長：岡本 裕之)

ゲノム編集は水産の分野でも世界的に注目されている技術であるが、この技術を使った育種産物が食品として実用化できるか否かは、利用のルール作りや国民の理解、許容などの課題もあり、現時点では結論がでていない。食品以外でゲノム編集技術を実用化する試みとして、我々は世界的にも例のない外来魚駆除技術の研究開発を実施している。外来魚の中でもブルーギルやオオクチバス（通称ブラックバス）は、高い適応力で日本各地に生息域を拡げ、捕食に加えて餌や住処を奪うなどして在来魚の生息・生存を脅かしていることから、「侵略的外来種」と呼ばれている。水産業においても、琵琶湖のホンモロコ漁など伝統的な内水面漁業に大きな被害を与えている。釣りや網、電気ショッカーなどによる捕獲によって駆除（減少）に成功している地域もあり、在来魚の回復が認められているケースもある。しかし根絶できなければ、放っておくと元の数に戻ってしまうため、毎年休むことなく駆除作業を繰り返す必要がある。このような従来の捕獲による外来魚駆除手法を補完する技術として、ゲノム編集技術を使った不妊化魚による新たな駆除手法を考案し、研究を開始している。沖縄のウリミバエの根絶をヒントに、2014年から環境省・環境再生保全機構の環境研究総合推進費（4-1408、4-1703）によって実施している。原理を右図に示す。まずゲノム編集技術で雌だけを不妊化させる遺伝子をもった雄をつくり対象水域に放流する。この編集魚の雄（赤で示した）は通常の雌と産卵行動し、受精した卵から生まれる次世代の雌は不妊になる。このようにして対象水域内で不妊化した雌を増やす。不妊になった雌は子孫を残せないで、やがて最後にはその水系の全個体が根絶できる。コンピューター上のシミュレーションでその効果が確認されている。これまでにゲノム編集技術の一つであるクリスパー・キャス9を使って、メスの成熟に関わる遺伝子を編集するところまで成功している（写真）。現在はその編集した遺伝子を2セット持った

(ホモ化した)魚を作出する段階である。なお、この不妊化技術は、病原体を仲介する蚊の駆除などで開発されている「野生生物の中に人為的に特別な遺伝子を組み込んで遺伝子構成を変えてしまう（ジーンドライブ）」方法とは原理が全く異なり、遺伝子をゲノム中に組み込むことはしていない。現在、大学や民間企業とも共同して、不妊化したブルーギルを放流用に増産するための技術開発や効果的な放流手法の開発、さらに自然環境へ放流する前に必要となる生態系の保全に配慮した安全性試験方法の検討や、編集魚の野外利用に対する社会的判断・受容に必要な問題点の整理や市民との意見交換にも取り組んでいる。国の方針が示され、こうした社会的合意を得た上で、内水面漁業の発展とわが国固有の生態系の保全に貢献する技術にしたいと考えている。

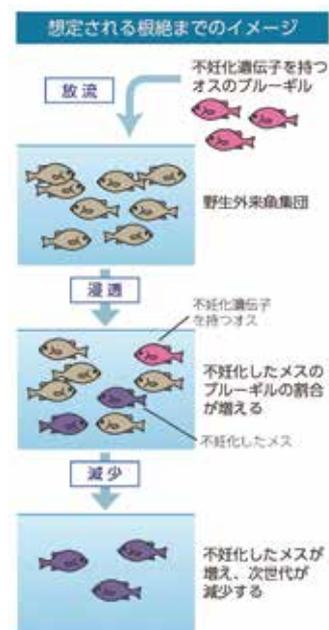


図 不妊化魚による根絶の概念図



写真
メスの妊性に関わる遺伝子を編集されたオス

ニホンウナギ種苗生産技術開発の取り組み

(ウナギ種苗量産研究センター長：山野 恵祐)

秋、下りウナギは海に向けて産卵の旅を始める。産卵場はマリアナ海溝近くの遠い南の海、およそ 3,000km にも及ぶ長い旅。翌年の夏、親ウナギは産卵し、生まれた子供（ふ化仔魚）は透明で葉っぱのような形をしたレプトセファルス幼生へと育つ。冬、海流に乗って運ばれながら育った幼生はシラスウナギへと変態し、日本沿岸にたどり着く。

さて、養殖のために河口や沿岸で採られるシラスウナギの量が減少し、大きな問題となっていることは多くの方がご存じかと思う。特に 2018 年漁期は過去最低の漁模様であった。2014 年、ニホンウナギは国際自然保護連合によって絶滅危惧種に指定された。過去 30 年間（ウナギの 3 世代の期間）に生息数が半分以下に減少したと判断されたためである。私たちがこれからも鰻丼を食べていくためには、ウナギ資源の保全を図りながら、持続的に養殖していく手立てを考えなくては行けない。そのため、ウナギにとって心地よい河川環境の創出、シラスウナギの採捕量や養殖池入れ量の規制、国際的な協力体制の構築など、多面的な対策が進められている。このような対策の一つとして、私たちウナギ種苗量産研究センターでは、その名の通りシラスウナギの大量生産技術の開発に取り組んでいる。

シラスウナギの種苗生産は、最初に記した

壮大なウナギの生活史を、人の管理下において再現するものである。しかし、ウナギの生活史は大量種苗生産が可能となっているマス類、マダイ、ヒラメなどとは全く異なることもあり、これまでの種苗生産技術の常識は全く通用しない。そのため、1973 年に初めて人工ふ化に成功してから、ふ化仔魚が餌を食べて成長するまでには、四半世紀の時を必要とした。その後、2002 年に最初の 1 尾のシラスウナギ生産に成功し、2010 年に人工生産したウナギから採卵することができ、いわゆる完全養殖を達成した。その後も飼料の改良、成熟促進ホルモンの人工合成、水槽開発などの技術開発に取り組み、現在では毎週のように受精卵を得ることや、年間千尾の単位でシラスウナギを作ることが可能になっている。遅々とはしているものの、着実にシラスウナギの生産技術は進展している。しかし、日本のウナギ養殖には 1 億尾ものシラスウナギが必要であり、商業的に成り立つためにはコスト削減も大きな課題である。これらの問題の解決に向けて、当センターでは大学や県、民間企業の手も借りながら研究開発に取り組んでいる。以降、2 ページにわたり、具体的な取り組み状況を紹介する。

これらの研究は水産庁や生研支援センター（先導プロジェクト）などの予算で実施している。



ウナギ完全養殖のサイクル

最新技術が明らかにした親魚養成用飼料の見直しの必要性

(ウナギ種苗量産研究センター 量産基盤グループ：樋口 理人)

13年の月日と約27億ドルを費やし2003年ヒトゲノム計画の終了が宣言されて以来、DNA解析技術は飛躍的に進歩してきた。今や10万円程度、わずか数日以内に全ゲノム解析(全遺伝子情報の解読)が可能となっており、食用養殖魚のトラフグ、クロマグロ、タイセイヨウサケ、アメリカナマズ、ソウギョ、ニジマス等の多くの魚種で全遺伝子情報の解読が試みられ、ニホンウナギでも解読が終了した。これにより全遺伝子中のどの遺伝子が働いているかを調べるのがウナギでも可能となった。今回は、その応用例を紹介する。

当所では、シラスウナギの時に雌性ホルモン添加飼料を食べさせて雌にした人工養成魚をウナギ種苗の生産に用いているが、産卵時に未熟な卵巣片が総排泄孔に詰まる現象が頻発し、非常に問題となっている(写真)。また、卵巣の一部からしか排卵されず、結果として一尾から得られる受精卵が少ないこともある。しかし、天然魚雌を親魚として用いた場合にはこのような現象はほとんどみられないため、人工養成魚の育成過程に問題があると考えられていたが、その原因は謎であった。そこで、天然魚と人工養成魚の全遺伝子について、各遺伝子がどの程度働いているかを調

べたところ、人工養成魚では脳の成長ホルモンや肝臓の性ホルモン結合グロブリンの遺伝子の働きが顕著に低いことがわかった。また、代謝物を網羅的に解析するメタボロミクス解析によって人工養成魚の肝臓には天然魚の数倍程度ある種の糖類が蓄積していることもわかった。その他の解析結果も併せることにより、人工養成魚はヒトの糖尿病予備群に近い状態であることがわかった。ヒトを含む哺乳類では、肥満や糖尿病は生殖能力に様々な悪影響を与えることが知られているが、ニホンウナギでも同じではないかと考えている。市販のウナギ用飼料には他魚種用と比べて多くの糖質(デンプン)が添加されており、親魚養成用として適切かどうかを今後調べる必要がある。

このように遺伝子情報を利用して各遺伝子の働きや代謝物を調べることにより、魚の栄養状態の違いが判断でき、対策を打ち出すことができる。今後、飼料の評価、機能性成分の検証、栄養欠乏(過剰)指標物質の探索やそれらを利用した栄養状態診断法の開発等、様々な局面での応用が期待できる。当所ではウナギ仔魚用初期飼料開発にもこのような解析手法を導入している。



未熟な卵巣片が総排泄孔に詰まった雌

サメ卵からの脱却を目指した仔魚用飼料の開発

(ウナギ種苗量産研究センター 量産基盤グループ：神保 忠雄)

ウナギ種苗生産技術の開発において、最も重要な課題の一つに仔魚（稚魚になる前の幼生）用飼料の開発がある。長年に渡る様々な試行錯誤の末、アブラツノザメ卵を主原料とした水産用栄養強化剤が仔魚用飼料として有効であることが1996年に初めて発見された。それを糸口として、サメ卵を主体としたスラリー状の懸濁態飼料（以下、サメ卵主体飼料。写真1）が開発され、現在では年間数千尾程度の規模でシラスウナギ（稚魚）の生産が可能なレベルにまで、技術開発が進展している。



写真1 サメ卵懸濁態飼料

しかしながら、アブラツノザメの資源量が低迷していることから、サメ卵主体飼料の大量・安定供給には不安がある。また、天然ではシラスウナギになるまでに150日程度であるにもかかわらず、サメ卵主体飼料で飼育した場合には、通常200日以上かかる。さらに、現在の餌のやり方では、仔魚が光を嫌うことを利用して、上から仔魚に光を当てて水槽の底に追いやり、底面にある飼料を食べさせているため、一般的な魚介類の種苗生産で使用するような数十トンといった大型水槽では飼育できない。このように多くの解決すべき課題があるため、シラスウナギの量産化のためには飼料の品質のさらなる向上や、食べさせ方の工夫が不可欠である。

現在、当機構では、サメ卵ではなく、入手の容易な原材料からなる、新規懸濁態飼料の開発を大きな目標としている。新規飼料の作製や改良には、ウナギ仔魚の遺伝子の活動状況、体内の代謝物を網羅的に解析して得られた情報、天然生息域での海洋環境や摂餌生態の調査から得られた情報を活用している。試作した飼料については、実際に仔魚に与えて、成長や生残を調べることでその有効性を検証するとともに、仔魚にとって食べやすい物性への改良や、省コスト化についても検討を進めている（写真2）。

一方で、天然のウナギ仔魚は、マリンスノーなどの海中浮遊物を食べていると考えられている。そのため、海中を漂うタイプの飼料の方が仔魚にとって適した餌であることは容易に想像できるが、仔魚が食べて成長する海中浮遊型飼料の開発にはこれまで誰も成功していない。浮遊型飼料は大規模飼育にも適した飼料であることから、シラスウナギの生産規模の飛躍的な発展を期待して、様々な浮遊型飼料の製作にも取り組んでいる。

このように、ウナギ仔魚用飼料に関する取り組みについては、まずはこれまで使用してきたサメ卵を主体とした飼料からの脱却を目指しつつ、さらなる改良を加えて、最適な飼料の開発を鋭意進めているところである。



写真2 恒温室給餌風景