

水産増養殖と環境まちづくり

福井県立大学海洋生物資源学部 編



福井県立大学
Fukui Prefectural University

水産増養殖と環境まちづくり



福井県立大学

水産増養殖と環境まちづくり

目 次

ごあいさつ	1
まえがき	2

1. 水産増養殖の科学と社会

世界・日本での水産増養殖の現状と課題	横山 芳博	4
魚をつくることだけが養殖ではありません	富永 修	9
九頭竜川の天然記念物 アラレガコ生息地	田原 大輔	15
養殖水産物の食の安全と安心	松川 雅仁	21

2. 海の恵みと福井の文化

若狭国は御食国・若狭湾岸の漁労文化	南保 勝・杉山 友城	28
ふくいの水産増養殖	仲野 大地	38
漁場としての海	兼田 淳史	42
山川里海のつながり	杉本 亮	48

3. 福井県立大学の増養殖研究

新しい福井ブランド 「ふくいサーモン」への期待	東村 玲子	52
「小浜よっぱらいサバ」のおいしさの秘密	細井 公富	56
「越前がに」のふるさとを探る	瀬戸 雅文	61
福井県産ワカメの収穫量向上への取り組み	吉川 伸哉・中嶋 登	65

4. 先端増養殖のテクノロジーと遺伝子研究

ゲノムを養殖にどう活かすか?	末武 弘章	72
魚類医療現場の最前線	龍澤 文雄	76
魚の遺伝的な個体差を探る 養殖用の優良品種作出へ向けて	小北 智之	82

5. 元気な魚づくりはエサが肝心

良質なオイルを生産するラビリンチュラ類と水産増養殖	高尾 祥丈	88
実はとっても役立つ微細藻 サブリと増養殖とナノテクの話	佐藤 晋也	92
あとがき		99

ごあいさつ

福井県立大学長 進士 五十八

福井のまちを歩くと橋本左内、由利公正、そしてグリフィスに出会う。新しい時代、新しい世界へチャレンジする彼らの青春と覇気が伝わってくる。ぜひ現代の若人にも共感してほしい。

AI、IoT技術革新で今ある職業の大半は消えるという。しかし絶対にこれからも不可欠の仕事がある。「食料生産」。今世紀半ばの世界は食料危機にみまわれると予測されている。

陸のフロンティアは限界にきていて、海からのタンパクに期待するしかない。食料自給率アップは日本と世界の喫緊の課題なのだ。

日本はかつて海洋国といわれたが残念ながら今や世界に遅れをとっており、政府も漁業法改正や本格的な振興策を打ち出している。

ところで、福井県ブランドの代表「越前ガニの極」は一ぱい46万円だし、若狭小浜の鯖街道は日本遺産であり、サバ、フグ、ウニ、ワカメなど福井の水産業は全国区で、北前船など海業の先進県でもある。

ちなみに福井県立大学海洋生物資源学部は日本海側、そして公立大学唯一の拠点大学で、サバの養殖技術をいち早く完成した実績もある。

FAOの試算では、健康志向世界の魚消費量は急増しているが、海からの漁獲量はこれ以上望めず、これからは養殖量の増強しかない。1980年の養殖比率は9%であったものが現在では既に50%超、2030年までには食用魚介類需要は倍増すると予測されている。

なお2040年に向けた「福井県長期ビジョン」には、水産のスマート化、増養殖拡大、福井県立大学の食農・水産系学科増設が明記され、特に人と企業が集まる嶺南Eコースト、WAKASA リフレッシュエリアなど、本学の海洋生物資源学科そして「先端増養殖科学科」新設への期待が明記されている。

この〈福井県立大学ブックレット〉では、こうした期待に応えるべく新学科の意義を広く県民のみなさまにご理解いただきたくとりまとめたものである。少々難しい章もあるが、関心をもたれた部分からお読みいただければありがたい。

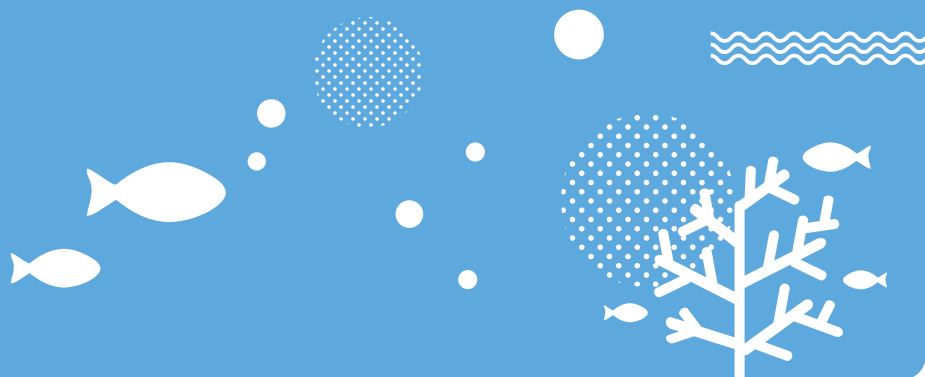


まえがき

「養殖に関するイメージといえバ？」と質問されると、真っ先に思い浮かぶのは、マグロやウナギ、ブリなどの飼育技術ではないでしょうか。しかし、水産養殖は他にも幅広い分野にわたる先端的な研究が進められています。近年の養殖は、決して勘と経験だけに依存しているわけではありません。ゲノム科学や水圏環境科学さらにはIoT、ICT、AI 解析などの情報科学が応用されるようになってきました。また、養殖は天然の魚介類を対象とする漁船漁業とは異なり、計画的な生産をおこなうことから安定して水産物を供給することができます。そのため、流通、販売、飲食・観光産業などと密接に関連し、地域経済を支えるための重要な役割を担っています。さらに、世界的にみると養殖生産量はどんどん増加し、平成 25 年には漁業生産量全体の 50% を超えるようになりました。養殖産業は国内だけでなく世界的視野にたった販売戦略が求められるようになっていきます。一方、日本のすぐれた養殖技術は発展途上国の新たな生業を創出し、生活を豊かにするという国際的貢献につながる分野ともいえます。

本ブックレットは、養殖が科学に基づき、幅広い分野に貢献していることを理解していただくことが目的です。本書では、まず増養殖研究と社会のつながりを説明し、それを支える文化・自然・生業を概説しています。また、増養殖研究の具体的な事例を本書の後半部でまとめました。本書を一読された後に、今までとはちがう増養殖研究のイメージを持っていただくきっかけになればさいわいです。

1. 水産増養殖の科学と社会





世界・日本での水産増養殖の現状と課題

横山 芳博

日本海若狭・小浜の青い海、そしてその海を黄金色に染める夕日、私たちの福井県立大学海洋生物資源学部のある小浜キャンパスから、とても美しい景色を見ることができます。心をゆっくりと癒してくれるこの豊かな海には、様々な海洋生物が棲んでいます。

私たちは、海洋生物の一部を水産物として食品などに利用しています。水産物はとてもおいしく、また、例えば血液をサラサラにする（血管や血球の細胞膜が柔軟になって流動性が高くなります）などの健康機能性を持つことが分かってきました。他にも、多くの機能が期待されており、水産物の機能性については、まだまだ検討することがたくさんあると言えます。¹⁾ 一方、クラゲやヒトデなどのように低利用や未利用の海洋生物も多く、それらの有効利用方法の開発なども大切でしょう。²⁾

また、海には流れ（潮流）があります。この潮流が時々速くなったり、曲がったりして、海で働く人達を困らせたりします。しかし、原因不明の現象も多いようです。海的环境や生態系について、今後の研究・検討課題はとても沢山あると言えます。

ところで、水産物の健康機能性を述べましたが、海の魚介類（天然物）を大量に漁獲し続けることはできるのでしょうか（図1）。「世界及び我が国における漁業・養殖業生産量の推移」を見てください。世界の漁業総生産量は1960年代に約5000万トン、その95%程度が海面漁業（天然物の漁獲）でした。1990年頃に総生産量は約1億トンに増加、その90%近くが天然物です。

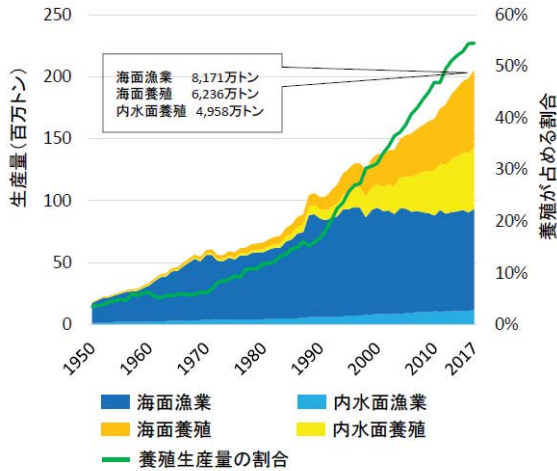


図1 世界及び我が国における漁業・養殖業生産量の推移

内水面（淡水）と海面を合わせて天然物が約 9000 万トンで、これ以降は天然物の漁獲量は横ばい、つまりほぼ限界に達しているということです。ところが、2017 年には総漁獲量は 2 億トンを超えています。1990 年頃以降天然ものは増えていませんが、海面や内水面の養殖生産量が大幅に増加しています。2013 年以降は、漁業生産量全体に占める割合が 50%を超えています。つまり世界的に、養殖生産は漁業総生産量の半分以上を占めており、成長産業といえます。³⁾

一方、我が国の状況はどうでしょうか。「我が国の漁業生産量の推移と養殖生産量の占める割合の推移」（図2）をご覧ください。我が国の漁業生産量は 1980 年代まで増加し、1300 万トンを超える漁獲量は世界で一番でした。その後、200 海里問題や一部漁獲対象魚（特にマイワシ）の減少、漁業就労人口の減少などにより、漁業生産量は減少しています。また、日本は世

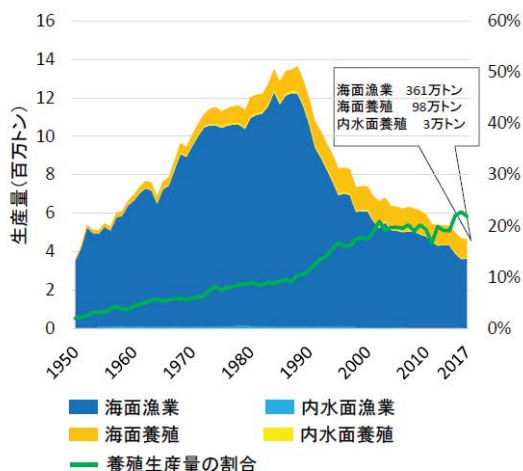


図2 我が国の漁業生産量の推移と養殖生産量の占める割合の推移

界6位の海洋大国なのに、設備投資が遅れているとも言われています。例えば、日本の船の規模は平均4トン位です。これは、韓国の1/2、ノルウェーの1/10位となります。我が国の養殖業における生産量は、昭和63(1988)年まで増加した後、近年減少傾向にあるものの、漁業生産量全体に占める割合は漁船漁業の生産量の減少により2割代前半を維持しています。我が国でも漁船漁業による生産が頭打ちとなっているため、養殖業への期待が大きくなっていると言えます。

世界的には成長産業の養殖ですが、我が国で期待の大きい海面魚類養殖について、世界と我が国を比較してみます(図3)。「海面魚類養殖の種類及び割合」を見てください。北欧(12国)では172万トンを生産、その90%以上をサケ類(タイセイヨウサケ85%以上、ニジマス10%程度)が占めています。北米(2国)は16万トンを生産、その95%以上がサケ類(タイセイヨウサケ

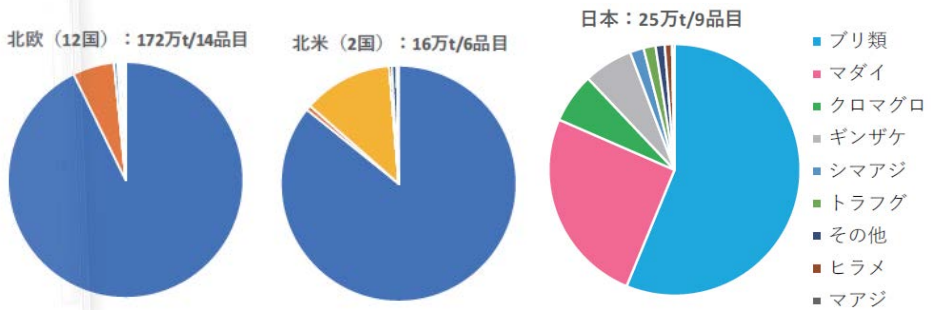


図3 海面魚類養殖の種類及び割合

約 80%、サケ科約 15%) です。海外の養殖が盛んな北欧・豪州・北米・南米では、サーモン養殖に特化して発展してきています。我が国では、ブリ類が 50%強、マダイが 25%程度と多いのですが、その他にも 29 道県で少なくとも 44 品目が養殖されています。我が国の海面魚類養殖は、南北に長く亜熱帯気候から亜寒帯気候に位置するため、ブリ類、マダイの他に、とても多様な魚種を生産しているのが特徴です。³⁾

餌を人為的に与えて飼育する海面魚類養殖においては、生産と需要に関する課題があります。生産の課題としては、生産コスト（餌代）上昇、餌の安定確保、給餌方法の効率化、人口種苗の開発（育種）、ワクチンの開発、漁場（養殖適地）の不足、養殖施設（沖合養殖等）の施設改善、密殖による環境悪化等です。また、需要の課題としては、国内消費量の横ばい・減少、海外市場の開拓、産地加工施設の改善、品質保持技術の改善です。様々な課題がありますが、餌（例えば、魚粉に頼らない餌の開発や品種の開発）、給餌や密殖（AI や IoT の活用による省力化や環境モニタリング）、育種やワクチン（生体・遺伝子情報の活用）に関する課題は、地道な基礎研究と一体的に時間をかけて研究・



開発する必要があります。我が国、そして世界の増養殖業を守り育てるために、とても大切な課題ばかりです。これらの課題解決のためには、魚介類の分子生物学や遺伝子工学に関する最先端の知識・技術や、AI や IoT 等の情報工学に関する知識・技術の活用も必要になってきます。

世界的には養殖業は成長産業です。我が国では多くの魚種を養殖しています。また、それぞれの種において育種やワクチン開発などの先端的な知識と技術を必要とする多くの課題があります。私たち福井県立大学を含めた大学で水産増養殖を研究するのは、我が国・世界の増養殖を守り育てるために、これら多様な課題に取り組む必要があるからです。

最後になりましたが、海洋生物資源学部では、増養殖を中心に学ぶ新学科（先端増養殖科学科・仮称）設置を計画中です。国内の増養殖産業の発展、地域産業の創出のみならず「増養殖分野」で国際的にリーダーシップをもって活躍する人材を育成するための教育・研究に取り組めます。2022 年（令和 4）年 4 月に開設の予定です。こちらもお期待ください。

引用文献

- 1) 山下倫明・鈴木敏之・横山芳博（編）（2014）「魚食と健康」，恒星社厚生閣，東京，151pp.
- 2) 坂口守彦・高橋是太郎（編）（2011）「農・水産資源の有効利用とゼロエミッション」，恒星社厚生閣，東京，233pp.
- 3) 水産庁ホームページ「養殖業成長産業化総合戦略」，https://www.jfa.maff.go.jp/j/saibai/yousyoku/attach/pdf/seityou_senryaku-2.pdf，2020 年 8 月 5 日.

魚をつくることだけが養殖ではありません

富 永 修

水産・海洋は社会科？

クラーク博士で有名な札幌農学校2期生の内村鑑三は、明治14年(1881年)に行った“漁業もまた学術なり”と題する卒業講演で、水産学は農業の農学に対応するもので、日本は水産物の豊富な国として研究をおろそかにすべきでないと論じました。

福井県立大学海洋生物資源学部では、物理学、化学、生物学・微生物学、地学・海洋学などの自然科学に関する科目を中心にカリキュラムが組み立てられており、それらに加えて水産経済学や食品流通論などの社会科学の科目が配置されています。大学受験で水産海洋系は理科系学部として認識されていますが、自然科学から社会科学にまたがる学際的分野といえます。一方で日置・丹羽¹⁾によると、2009年から2013年の5年間に全国47都道府県の公立高校の入学試験で出題された「日本の水産業」、「海流」、「海の生物」に分類された内容のほとんどが社会科で出題されていたそうです。また、小中学校で水産業や海洋に関する内容は原理や仕組みといった理科の観点ではなく、事実を説明する社会科の観点で教育されていることも報告しています。

現在、多くの人たちが水産・増養殖に対してもつイメージは、小中学校の時代に学んだことが元になっているのかもしれませんが。そのため、大学の研究者が考える水産・増養殖との間にはギャップがあると感じています。本章では身近な養殖研究を紹介し、研究者と社会の皆さんの間の垣根を少しでも低くすることができればと思います。



田んぼで魚をつくる① 地域産業と伝統をささえる

長野県の佐久地方では天保3年（1842年）以来、稲作のかたわらで魚を育てる稲田養魚が行われています。現在の稲田養魚は、田んぼの一部にフナが産卵する場所をつくり、そこに親のフナとバイカモなどの水草をいれます。そして、卵が水草に産み付けられると水田に移して、ふ化した稚魚が自然に発生したプランクトンを利用できるようにします。さらに餌不足を避けるために、配合飼料も与えて約5cmになるまで飼育します。成長したフナは甘露煮などに加工されて流通しますが、一部は生きたまま袋詰めで出荷されるようです。また、フナと一緒に育てたお米は「フナ米」として売られています。

このフナ米に関して井口ら²⁾は、10代から60代までの男女84名を対象に面白い実験を行いました。フナを養殖した水田とフナを入れない水田で育てたお米（対照米）の食味官能試験をしたのです。そうすると、お米の由来を知らせないときには、香りや味など6項目の評価に差がありませんでしたが、フナ米か対照米かを伝えたと、フナ米を高く評価する被験者が多数を占めるようになりました。あらかじめアミロースやたんぱく質などの成分にはほとんど差がないことが確認されていたことから、味覚に対する評価がお米の成分という客観的な特性だけでなく、安全性や健康に対する心理状態といった主観的な要素に大きく依存していることがわかりました。

田んぼでフナを養殖するということが、単に魚をつくることだけではなく、お米（農業）に潜在的な付加価値をつけるという役割を果たしていることがわかります。このような農漁複合の取り組みにより、食の安全を通して消費者との新たなつながりが創られ、地域振興がより促進されることになります。

田んぼで魚をつくる② 住民参加の自然再生事業とのつながり

福井県若狭町の三方湖周辺でも水田でフナ・コイを育てる取り組みが行われています。しかし、長野県の佐久地方とはちがいで食糧生産のためではなく、地域の住民が協働して自然再生を目的として事業が進められています。若狭町とその隣の美浜町にまたがる三方五湖は希少種を含む海水性、汽水性、淡水性の多様な生物が生息していることから、2005年にラムサール条約湿地に登録されました。また、たたき網漁などの伝統的な漁業が今も行われ、2019年2月には日本農業遺産に認定されました。このように三方五湖の自然は食料、農業・漁業、文化などの豊かな恵みをもたらしてきました。しかし、近年はフナ・コイなど在来の生き物の減少が深刻な問題となっています。

三方五湖の最上流に位置する三方湖は、水害対策のために湖岸の99%が垂直の人工護岸に改変されています。また、流入する河川や農業用水路もそのほとんどがコンクリートで護岸され、いわゆる2面張りや3面張りの水路になっています。その結果、水草帯が消失し、水草を産卵場所として利用する魚類の繁殖環境が大きく損なわれてしまいました。松崎ら³⁾は、三方湖と三方湖に流入する河川における30年間の淡水魚類調査の結果を解析し、その期間に個体数が減少した種や消失してしまった種の生態的特性から産卵環境の不健全化と産卵適地の減少が生じたことを指摘しています。このようにフナ・コイの資源回復には産卵場所としての水草帯の確保と稚魚を育てる空間が必要ということがわかってきました。そこで、田んぼを活用して三方湖のフナ・コイを増やそうという取り組みが始められることになりました。しかし、マゴイにはコイヘルペスというウイルス病問題があり、他の水系からの放流は制限されています。そのため、稚魚をつくるためには三方湖水系の親魚を用いる必要がありました。



春先になるとフナやコイは産卵のために三方湖から水路を遡上します。かつては水路につながる田んぼで卵を産んでいましたが、今では田んぼと水路の間に段差があり、魚が田んぼに入ることができません。また、先ほど述べたように水路には水草がほとんどない状態です。そのため、水路に入っても繁殖を成功させることができません。そこで、キンランという人工水草で産卵場所をつくり水路に設置しました（図1）。翌日には体長約1mのコイがキンランに産卵し（図2）、びっしりと受精卵が産みつけられていました（図3）。受精卵をキンランごと水槽に移した後、ふ化した仔魚を計数して水田に収容しました。孵化したときに数mmだった仔魚は、田んぼの中のプランクトンや底生生物を利用して、1か月後には平均で約5cmまで成長していました（図4）。また、収容した仔魚の60%以上を回収することができました。育った魚は水田から水路に放流され、三方湖の資源回復に貢献することになります。水田を活用した養殖そのものは難しくはありません。ここでは、養殖に備わる多面的な機能や価値観を通して地域の産業や伝統の継承さらには自然再生に養殖技術が貢献していることを理解していただければと思います。



図1 受精卵採集用のキンランいかだ：竹の長さは1m(左)と水路に設置されたキンランいかだ(右)
自然産卵基質の水草が見当たりません



図2 コイがキンランに産卵する瞬間
いかだの下には約1mのマゴイが泳いでいます



図3 キンランのいかだで採集された授精卵
キンラン1房(1.5m)に約60,000粒の受精卵が産みつけられていました



図4 水田から回収したフナ・コイ
6月4日に1,139尾収容し7月4日に709尾回収
平均サイズは約5cmでした



水産増養殖の未来

水産増養殖は様々な社会的課題に対して責任を負っています。2015年の国連総会で採択されたSDGs「持続可能な開発目標」の一つ「海の豊かさを守ろう」では、環境にやさしい養殖や養殖用飼料として海産生物以外の原料の利用などが課題として突きつけられています。一方で、絶滅に瀕している海産生物の保全や漁獲量が減少している水産資源の増強に対して、増養殖の技術が貢献することは間違いありません。ただ、ウナギのように種苗の量産技術が完成していない事例も多く残されています。こういった社会的・学術的な課題を解決していくことで水産増養殖学分野はさらに成長し発展していくことができます。また、水族館や動物園は多くの人たちに癒しとなごみの空間を提供してくれます。わたしたちの日常の中にも増養殖の技術が生かされていることを忘れないでいただければと思います。

さいごに、三陸の若者たちが立ち上げたフィッシャーメンズジャパンは、水産業の新しい3K『カッコいい』、『稼げる』、『革新的』をキャッチフレーズに2024年までに新しい職種「フィッシャーメン」を1000人増やすという目標を掲げています。こういった若者たちの発想とやる気が新たな産業を育てる原動力になっていきます。近い将来には新3Kが養殖のイメージになっていることでしょう。

引用文献

- 1) 日置光久・丹羽淑博 (2020) 学術の動向, 8月号, 88-93.
- 2) 井口恵一朗 他 (2009) 日本水産学会誌, 75(1), 205-212.
- 3) 松崎慎一郎 他 (2011) 保全生態学研究, 16, 1-5.

九頭竜川の天然記念物 アラレガコ生息地

田 原 大 輔

福井県には全国でも九頭竜川だけの天然記念物があります。コウノトリでもイトヨでもなく、アラレガコです?! アラレガコは九頭竜川流域の地方名で、標準和名はカマキリやアユカケで、ピンと来る方はかなりの魚好きな方ですね。

スズキ目^{もく}カジカ科^かのアラレガコは本州広くに生息し、河川で主にアユなどの魚を食べて大きく成長し、ニホンウナギと同じように冬に繁殖のために海へ降る降河回遊性の日本固有の淡水魚です。九頭竜川では生息数が多く、さらに他河川よりも大型の個体が多かったため、アラレガコを狙ったアラレガコ伝統漁法や、甘露煮や照焼きなどの独特なアラレガコ食文化が発達してきました。このようなアラレガコ伝統文化は、全国でも類を見ず、九頭竜川流域にのみ存在していました。そのため、魚だけでなく伝統文化も含めて文化の元となる生息地全体を保護する目的で、1935年に“アラレガコ生息地”として福井市から大野市までの九頭竜川が国の天然記念物に指定されました。アラレガコは冬に河口近くの岩礁域で産卵し¹⁾、1か月程の浮遊生活後に、稚魚まで砂浜海岸で生育します。春になると、5cm程のアラレガコ稚魚が九頭竜川の中流域を目指して川底を這うようにゴソゴソと遡上していきます。しかし、河川に落差のある堰などの河川工作物が設置されると、落差遡上能力の弱い小さなアラレガコ稚魚は遡上できません²⁾。そのため、全国の多くの河川で稚魚の遡上が阻害され、生息数が減少している稀少種（絶滅危惧Ⅱ類）でもあります。また、高次捕食者のアラレガコは河川のアンブレラ種（その地域における生態ピラミッド構造、食物連鎖の頂点の消費者）かつ河



川連続性の指標種として捉えることもできます。このように、河川生態系のトップに位置するアラレガコが生息していくためには、アラレガコの餌となる魚類を含む多様な水生生物が多く生息でき、海と川を自由に行き来できる河川環境だけでなく、河口近くに岩礁域から砂浜域まで多様な沿岸海域環境が必要になります³⁾。しかし、九頭竜川でもアラレガコの生息数が減少し、アラレガコ伝統文化も消滅の危機にあります。そこで、2019 年からは流域関係者らと「アラレガコ伝統文化を守る会（以後、アラレガコの会）」を設立し、食文化の復活（養殖）と生息地の再生（増殖・保全）を目指して九頭竜川アラレガコ再生プロジェクトを進めています(図1)。このプロジェクトでは、養殖したアラレガコを使って食文化を復活させ、九頭竜川アラレガコへの関心・保全意識を高めてもらい、生息地となる九頭竜川流域でのアラレガコ生

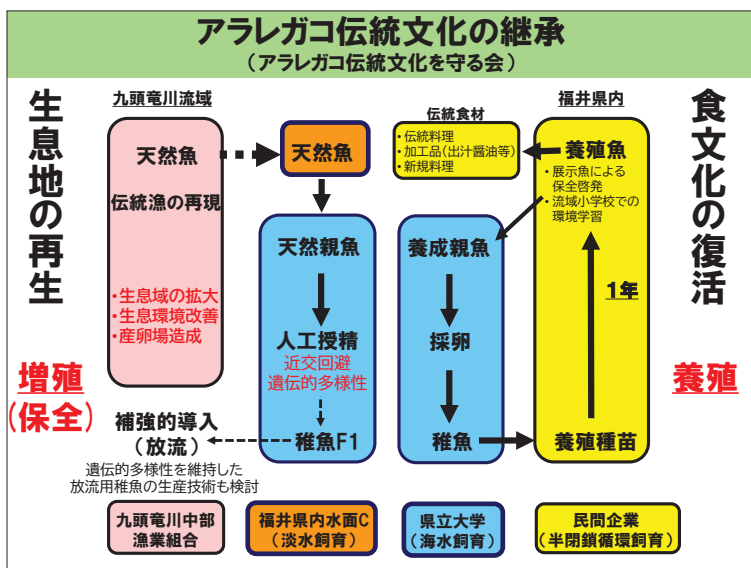


図1 九頭竜川アラレガコ再生プロジェクトの概要

息地の再生を目指しています。

一般に、増養殖研究所や増養殖効果などと「増養殖」という言葉が使われていますが、これは「増殖」と「養殖」を合わせた言葉で、水産分野では両者は大きく異なる事業を指します。増殖 (fish propagation) は、漁場改善や漁業管理をしながら天然資源を保護し増やしていくことです。一方、養殖 (fish culture) は、一定区域内で水生生物を人工的に繁殖および生活を積極的に管理し飼育することです。南北に長く海に囲まれた日本では、他国と比べて多種多様な魚介類を食べる食文化があります。そのため、冷水種から温帯種までの海産魚介類や淡水魚類など多種多様な水生生物の繁殖・養殖技術が確立されてきました。これらの養殖技術は、我々の魚食文化を支えるだけでなく、絶滅に瀕した稀少魚類の保全にも役立っています。例えば、北海道尻別川のイトウ（絶滅危惧 IB 類）絶滅を回避するために、個体の放流（補強的導入）による保全措置が実施され、放流稚魚の生産には、近縁のサケマス類の人工繁殖技術が応用され、天然記念物のアユモドキ（絶滅危惧 IA 類）にはドジョウの繁殖技術が応用されています⁴⁾。生息域内の希少生物個体群がこのままでは近い将来に絶滅してしまう可能性が高いと判断された場合には、生息地以外の場所で対象生物を保護増殖させ保全していく手法（生息域外保全）が実践されます。淡水魚類では、水族館等で飼育繁殖が行われますが、通常、水族館では年中一定の光・水温条件で展示飼育されているため、飼育下では成熟・産卵しない魚種が多いです。そのため、飼育下で成熟・産卵させるための環境条件を整備する必要があります。その際には、近縁の養殖対象種での催熟技術や養殖技術が応用されています。日本の養殖技術は世界でも類を見ないほどの技術力を有しています、ニホンウナギやクロマグロの完全養殖技術を世界で初めて確立したことからも分かります。特に、仔



稚魚の餌料となる動物プランクトン（シオミズツボワムシ）の大量培養技術や、受精卵から稚魚までに育てる海産魚類の種苗生産技術のほとんどは、日本が世界で初めて開発してきました。日本で開発されたこれらの種苗生産技術は、多くの国々に伝播され、世界の養殖技術の発展に大きく貢献してきました。

現在、福井県内および九頭竜川流域では養殖の生きたアラレガコを見ることが、そして食することもできます。今は本学が中心になってアラレガコに関する研究を進めていますが、アラレガコの研究に最初に取り組んだのは坂井市にある越前松島水族館です。1975年に九頭竜川の生息個体数の減少を危惧して、人工授精による繁殖技術を確認しました。この成果は、日本動物園水族館協会から繁殖賞“カマキリ”を受賞しています。この技術を基に、1988年から福井県が新しい内水面養殖魚として、稚魚の大量生産および養殖条件を確認しました。アラレガコは、産卵および仔稚魚は沿岸域の海水で発育するので、淡水魚ではなく海産魚の仔稚魚の養殖技術が応用されました。水産試験場では多くの海産魚類の生産技術を持っていたことも好都合だったのです。最後に、2005年から本学と小浜水産高校（現若狭高校海洋科学科）との高大連携事業で、閉鎖循環式陸上養殖（飼育水は循環濾過され再利用する養殖法）および飼育環境条件の改善により、養殖期間を2年から1年に短縮することに成功しました。2017年からは、アラレガコ研究の原点となる越前松島水族館で養殖アラレガコの常設展示が始まり、展示魚による保全啓発が行われています。2020年の現在では、県内の民間企業がアラレガコ養殖の事業化に向けて、大学から民間企業への技術移転が行われています。このように、アラレガコの養殖技術は、福井県内の水族館・試験機関・高校・大学・民間企業による地域の知が集約され、県内で脈々と継承されて確立されてきました。

このように養殖アラレガコによる食文化の再生は一定の成果がみえてきました。今後は九頭竜川の生息地再生に向けた調査研究へ舵を切っていきます。アラレガコ伝統文化の再生として、2015年から九頭竜川中部漁協組合による伝統漁“エバ漁”による生息調査を実施し（図2）、過去の漁獲記録と比較し、現在の九頭竜川での生息状況の把握に努めています³⁾。アラレガコの会では、産卵環境保全のために、沿岸部で人工産卵場造成にも取り組んでいます。また、全国のアラレガコの遺伝集団構造から九頭竜川アラレガコの保全単位を調査したところ、九頭竜川から石川県までが保全単位であることが明らかになりました⁵⁾。同じ福井県内でも、若狭湾沿岸の嶺南河川と嶺北の九



図2 九頭竜川アラレガコ伝統漁法“エバ漁”



頭竜川では異なる地域集団であるため、県内河川間でのアラレガコに移出入を実施しないことが本種の保全につながっていきます。最近では、外部研究機関と連携して、最新の環境 DNA（河川水中のアラレガコ由来の DNA から生息の有無を判定できる）による九頭竜川での生息実態調査も始めました。現在は九頭竜川にもアラレガコは生息していますが、野生個体数が減少し危機的状况に陥ることも危惧されます。危機的状况に備えて、これまでに確立した種苗生産などのアラレガコ養殖技術に、近交回避のための採卵用親魚の遺伝情報の把握を合わせることで、遺伝的多様性を維持した稚魚生産技術の開発にも取り組んでいきます。このように、魚介類の養殖技術は食糧確保や食文化の継承だけでなく、稀少種の保全にも役立てることができます。

引用文献

- 1) Takeshita N. (1999) *Ichth. Res.*, 46, 309-313.
- 2) 高木基裕 他 (1992) 水産増殖, 40, 329-333.
- 3) 田原大輔 他 (2019) 応用生態工学, 22, 1-17.
- 4) 渡辺勝敏・森誠一 (2016) 「淡水魚保全の挑戦—水辺のにぎわいを取り戻す理論と実践—」東海大学出版会, 秦野, 327pp.
- 5) 大橋慎二 (2019) 福井県立大学修士論文, 27pp.

養殖水産物の食の安全と安心

松 川 雅 仁

安全で美味しい養殖水産物を提供するために

魚介類は天然・養殖を問わずそれらの大半が自然水域環境の中で棲息しており、海水や淡水といった環境中に分布する危害物質が、微生物あるいはプランクトンからはじまる食物連鎖を通じて魚介類に蓄積されます。本章では最初に、水域環境中または魚介類の体内に蓄積される危害物質の濃度の制御とその管理を通じて、消費者に安全な養殖水産物を提供するための取り組みについて紹介します。また、消費者の食の安全と安心への関心が高まる中で、養殖魚のトレーサビリティを推進する国の制度や、養殖魚を美味しい状態で消費者に届けるための鮮度保持技術など、安心して養殖魚を食してもらうことに繋がる取り組みについても合わせて紹介します。

無毒のフグ養殖をめぐる

フグ毒の本体は、テトロドトキシン（TTX）で、その毒性の表示にはマウスユニット（MU）単位が用いられます。この TTX は、フグ体内だけでなく自然界に広く分布し、微生物から始まる食物連鎖を通じて TTX 保有動物に蓄積されると考えられています。フグの各組織の中には 1,000MU/g 以上の猛毒部位もあるので、その部位を 10g 食ただけで人の推定致死量（10,000MU）に達します。そのため、フグを丸のままで流通と販売することは食品衛生法上禁止されています。

このような背景の中で、野口らは 2001-2003 年にかけて 7 つの県（福井、



静岡、和歌山、愛媛、長崎、熊本、鹿児島）のトラフグ養殖現場において、フグ毒をもつ餌生物のいない環境下での養殖試験を行い、そのフグの毒性はTXXの蓄積されやすい肝臓組織でも一般に無毒とされる 10MU/g 未満であったと報告しています¹⁾。また、2005 年以降も無毒のトラフグが陸上開放性循環水槽（佐賀）や陸上閉鎖性循環水槽（群馬）により養殖可能なことも報告されるなど、無毒トラフグ養殖生産技術の検証実績は継続的に蓄積されています。これらの検証結果を受けて、現状養殖無毒フグの丸のままでの流通と販売の許可には未だ至っていませんが、近い将来に向けてその実用化への期待が寄せられています。

●有毒プランクトンを起源とする海洋生物の毒化とその安全性の確保

有毒化したプランクトンを起源とする海洋生物の毒化がいくつか知られています。その一つがシガテラ毒魚です²⁾。シガテラ毒魚は、熱帯および亜熱帯のサンゴ礁海域に生息する魚に見られ、外国において年間数万人以上の人々がシガテラ毒にかかっていると推定されます。死亡率は低いとされていますが、その特異な症状は、温度感覚異常（ドライアイス・センセーション）とされ、麻痺や痙攣を伴い、回復には時間を要し、数カ月乃至及ぶこともあります。我が国でのシガテラ毒による食中毒事例は、今のところ特に沖縄県での発生が目立ちますがそれほど多くはありません。一方、地球温暖化に伴うシガテラ毒を有するプランクトンの温帯地域への広がりや、イシガキダイを食したことによるシガテラ食中毒が沖縄県より北に位置する宮崎県、鹿児島県（1998 年）ならびに千葉県（1999 年）で相次いで発生しています。このような事情から、これまで問題視してこなかった温帯海域においてもシガテラ毒への注意が必要であり、養殖環境下におけるシガテラ毒を有するプランクトンのモ

ニタリングも懸案事項とされています。

次に、養殖生産量の多いホタテ、マガキ、アサリおよびシジミなどの二枚貝で発生する麻痺性貝毒と下痢性貝毒について触れます。麻痺性および下痢性貝毒の主要貝毒成分はそれぞれサキシトキシン群とオカダ酸群で、いずれも生産海域中の有毒プランクトンを起源とします。そのため各都道府県により有毒プランクトンの発生状況と貝毒量の定期的なモニタリングが行われ、規制値をオーバーした際には貝類の出荷が自主規制されています。このような監視体制のお陰で、毒化した貝類による食中毒は近年見られません。しかしながら、実際の出荷自主規制は延べ日数として3,796日（2011年）にも及んだ年もあり、二枚貝生産者にとって痛手となっています。

以上を背景とした中で、近年の目覚ましい機器分析技術の向上により、下痢性貝毒検査の公定法がマウス毒性試験法から機器分析法に移行しています（2015年4月から）。従来のマウスを用いた下痢性貝毒検査では、人に対して下痢原性を認めない成分も毒量に換算されたことにより、自主規制に至った場合もありました。一方、有毒成分の直接的な評価が機器分析法の導入により可能となったことを受けて、自主規制判断の精度向上による生産者の負担の軽減が期待されています³⁾。

養殖魚を対象としたトレーサビリティシステム

食品におけるトレーサビリティは、(Ⅰ) 食品事故が発生した場合の製品の回収や原因究明の迅速化、(Ⅱ) 食品の安全性や品質・表示に対する消費者の信頼の確保を目的とする管理制度です。我が国においてトレーサビリティが法律上義務化されている食品は、牛肉（2003年から）と米（2010年から）です。一方、法律上義務化されていませんが、農林水産省では食品のトレー



サビリティの推進を目的として「生産情報公表 JAS」を制度化し運用を開始しています。⁴⁾「生産情報公表 JAS」の対象食品として、牛肉（2003 年）、豚肉（2004 年）および農産物（2005 年）が順に制定され、それらより少し遅れた 2008 年に、消費者ニーズの非常に高い品目であった養殖魚がそれに加わりました。

生産情報公表養殖魚の JAS 規格において公表される具体的な情報は、表 1 に示した 8 項目です。このように、消費者が生産履歴の明らかな養殖魚を安心して購入できるように、養殖魚の生産情報が正確に記録・保管・公表されているかどうかを農林水産大臣に登録された第三者機関（登録認定機関）が生産者等を認定し、その生産者等自らが JAS 規格に適合しているか検査を行い、検査に合格したものに JAS マークを貼付して販売することのできる制度が整備されています。

表 1 生産情報公表養殖魚の JAS 規格における公表情報

- (1) 養殖業者の氏名又は名称、住所及び連絡先並びにその管理の開始の年月日
- (2) 養殖場の所在地
- (3) 養殖魚の水揚げの年月日
- (4) 種苗の種類別
- (5) 種苗が漁獲された年月日及び場所（天然種苗の場合）
- (6) 養殖業者が給餌した飼料の名称及び当該飼料の製造業者の氏名又は名称
- (7) 養殖業者が使用した動物用医薬品の薬効別分類及び名称
- (8) 養殖に使用された漁網防剤の名称

安全かつ美味しい養殖魚の提供に向けて

死後の魚の品質変化は、流通における温度や時間だけでなく、漁獲直後の致死条件にも影響を受けます。具体的には、漁獲時の魚の暴れを防止しながら延髄破壊、鰓（エラ）の切断による脱血および神経締め等の鮮度保持処理が死後の魚の品質保持に有効です。このような鮮度保持に有効な処理が養殖魚の流通においても広く実践され、養殖魚の提供に安心を付与しています。一方、即殺後のより迅速な冷凍処理が冷凍魚の品質保持に有効に働くことも既に確かめられており、その結果を図1に示します⁵⁾。マサバを即殺直後

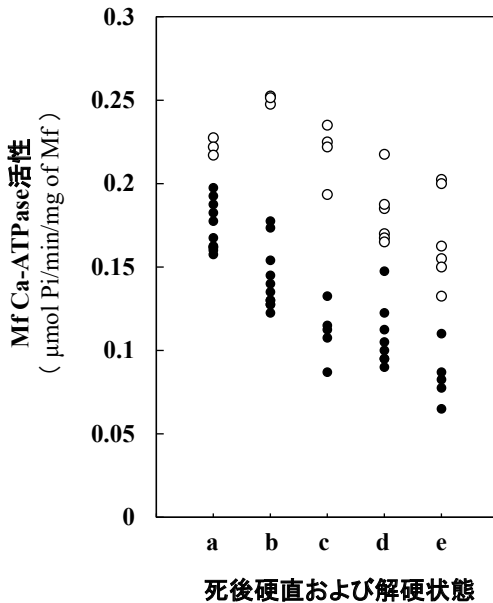


図1 冷凍前の死後硬直および解硬の進行が冷凍マサバ筋肉の変性に及ぼす影響
○冷凍前、●冷凍後

氷蔵すると、筋肉の主要構成タンパク質である筋原線維タンパク質（Mf）の質の良さを反映するCa-ATPase活性レベルは、硬直中（c）に至るまであまり変化しませんが、その後徐々に低下する傾向を示します（図中○）。一方、死後変化の各時点において−40℃で24時間凍結し、その後−30℃において8-10カ月間貯蔵された冷凍マサバ筋肉中のMfの同活性レベルは、冷凍前の筋肉の硬直または解硬の進行に伴って低下する傾向を示

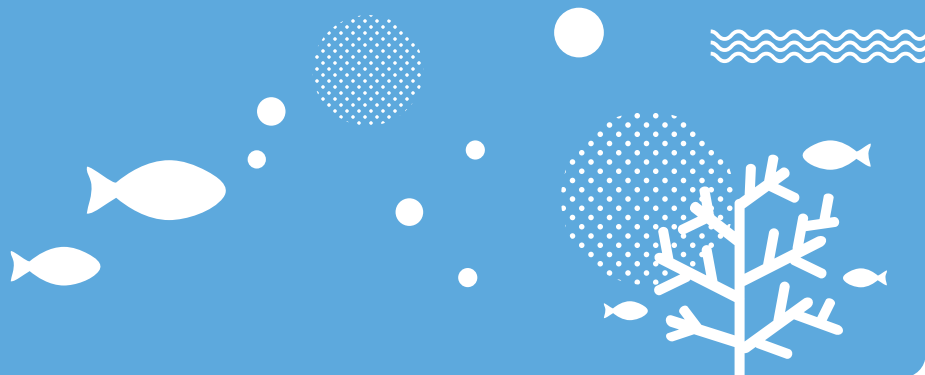


します(図中●)。すなわち、即殺直後(a)のマサバ筋肉の冷凍変性は、硬直前(b)の筋肉の場合と比べても非常に小さいことが確かめられています。一般に、即殺後の冷凍処理が養殖魚においてより実践しやすい点も考え合わせると、以上の結果は、養殖魚を対象とした即殺後の迅速な冷凍処理が、冷凍魚のより効果的な品質保持に結び付くことを示しています。

引用文献

- 1) Noguchi T. et al. (2006) *Comp. Biochem. Physiol.* -Part D, 1, 145-152.
- 2) 野口玉雄 (2004) 魚介類(マリントキシン)による食中毒, 「水産学シリーズ 143 水産食品の安全・安心対策—現状と課題—」阿部宏喜・内田直行編, 恒星社厚生閣, 東京都, 54-57.
- 3) 飯岡真子 (2017) 新たな貝毒リスク管理ガイドラインについて, 「水産学シリーズ 187, 貝毒」鈴木敏之, 神山孝史, 大島泰克編, 恒星社厚生閣, 東京都, 27-35.
- 4) 農林水産省ホームページ「生産情報公表 JAS」, https://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/seisan.html, 2020 年 8 月 5 日.
- 5) 福田裕 他 (1984) 日本水産学会誌, 50, 845-852.

2. 海の恵みと福井の文化





若狭国は御食国・若狭湾岸の漁労文化

南 保 勝・杉 山 友 城

大陸と都をつなぐ、若狭と小浜の地域特性

福井県小浜市がある若狭地方は、いにしえより日本海を隔てた対岸諸国との交易が開け、日本海側屈指の要衝として栄えてきました。若狭を拠点とした大陸文化の往来に加え、陸揚げされた豊富な海産物、各地の物産は、陸路、若狭と都をつなぐ鯖街道を経て、近江、京都、奈良に運ばれたのです。

この若狭について、若狭町歴史文化館館長で若狭三方縄文博物館館長の永江寿夫氏が次のように述べています。「若狭は、前面に海の幸多き日本海を擁し、日本海諸藩の交易の拠点として、またその彼方、韓国、中国などの海を越えてもたらされた大陸文化の玄関口として機能してきた。また背後、南下すれば古代日本政治や文化の中心ともなった奈良や京都、大阪の畿内が位置しており、ここ若狭は閉じられた世界ではなく、開かれた空間、人と文化文物往来の開放系の空間なのである…」¹⁾と。

ところで、日本に伝わる最古の歴史書『日本書紀』では、若狭が若狭国として初めて登場するのが675年（天武天皇4年）からです。それまで若狭は若狭の国造や角鹿の国造の領土だったといわれ、4世紀後半にヤマト王権の支配下に入った後、7世紀後半に若狭国が誕生したそうです。

鎌倉時代には執権である北条氏自身が若狭の守護職を務めましたが、鎌倉幕府と北条氏の滅亡後は、北条氏を倒し武家の棟梁となった斯波氏など、その時代時代の室町幕府の実力者か、それに連なる人物が若狭の守護職を務めました。例えば、室町時代初期には一色氏が、その後は安芸国分郡守護の安

芸武田氏から分出した若狭武田氏が、若狭武田氏が衰退すると越前朝倉氏の庇護を受けた時代もあったようです。その朝倉氏も尾張守護代より台頭した織田氏に滅ぼされて、その後は丹羽長秀が支配し、本能寺の変の後、織田信長に代わって豊臣秀吉が政権を握ると、若狭国は山内一豊などの秀吉の子飼いの大名が治めるようになりました。

江戸時代に入ると、京極高次が若狭を領することとなり、のちに越前敦賀郡を含む若狭地方一帯は小浜藩領となりました。また、江戸時代には北前船が若狭地方を本拠地とした為に、敦賀と並んで小浜は海運の一大拠点として大いに盛えました。小浜と都を結ぶ数々の街道が鯖街道と呼ばれるようになったのも鯖の水揚げが多かった江戸時代に入ってからです（図1）。そして、1634年（寛永12年）、それまで武蔵国川越城主であった酒井忠勝が入封し明治維新まで続くことになります（図2）。酒井家の時代には、色漆を用いて貝殻や卵殻などを塗り込め、研ぎ出しの技法で模様を出す若狭塗を藩の殖産興業として奨励しました。そのほか、江戸時代を通じて歴代藩主は学問を盛んに奨励しました。人材育成に重きを置いた小浜藩の方針は江戸時代後期になるとみごと開花し、解体新書（ターヘル・アナトミア）を出した杉田



図1 いずみ町商店街にある鯖街道の起点を示す石盤（筆者撮影）



図2 小浜市役所正面に鎮座する酒井忠勝の石像（筆者撮影）



玄白、中川淳庵をはじめとする優れた才能を持つ家臣を多く輩出しました。

一方、若狭小浜が誇る産業といえば、400年以上の歴史を持つ塗箸の生産を挙げなければなりません(図3)。現在、日本の塗箸のなんと80%以上がこの地から生産されているそうです。そしてもう一つ、この地が誇る特産物といえば、



図3 若狭塗箸3種
(福井県立大学杉山研究室所蔵)

「へしこ」、「ぐじ(甘鯛)」、「若狭カレイ」、「サバ」などの海産物で、現在、これらは全国に知られる高級ブランドとなっています。いずれにせよ、若狭小浜は京都や大阪など畿内の一大消費地をバックヤードに、これまで「海の幸」を活かしながら高い経済力を維持してきました。こうした地域特性が、若狭小浜で増養殖を生み出す原動力となっているのではないのでしょうか。

若狭と塩づくり

『日本書紀』では、若狭という国名の由来について、若狭^{くにのみやつこ}の国造であった膳臣余磯^{かしたのお み あし り ちゅう}が履中天皇に御酒を注いだところ、その盃に桜の花びらが舞い落ち、感激した天皇が余磯に「稚桜部民^{わかさくらべのみ}」の号を授けられたのが語源(国学者伴信友^{ばんのぶとも}の説)といわれます。

さらに、良好なリアス式海岸をもつ若狭湾は、新鮮な海の恵み(魚介類)を捕獲する絶好の漁場でもあり、それらを擁する若狭国は、昔から、伊勢、志摩、淡路などと共に、朝廷に食料を貢^{みにつくに}ぐ御食国として知られていました。御食国とは、神や天皇に供する食物、御贄^{みにえ}の献上国のことであり、大和時代から主に海産物などの御食料(穀類以外の副食物)を貢いだと推定される国を

指す言葉です。

参考までに、若狭が御食国として調（各地の特産物）で収めた物産の中味をみますと塩が圧倒的に多く、平城京から若狭の調塩の木簡が数多く発見されている事実からも、飛鳥時代（6世紀後半～8世紀）にかけ、若狭が重要な塩の供給地であったことが確認できます。若狭湾沿岸には、今も土器に海水を入れ煮詰めて塩を生産した製塩遺跡が70か所以上残っていますし、このことは古代の若狭が塩の一大産地として大いに栄えていた事実をうかがわせるものです（図4, 5, 6）。



図4 若狭湾沿岸の製塩土器の出土分布（福井県HPより）



図5 小浜市岡津にある岡津製塩遺跡の入口
（筆者撮影）



図6 岡津製塩遺跡にある製塩土器出土の跡
（筆者撮影）



では、なぜ若狭の塩づくりが盛んとなったのでしょうか。『日本書紀』では、第25代天皇の武烈天皇^{ぶれつ}の世に、大伴金村^{おおとものかむら}によって滅ぼされた平群真鳥^{へぐりのまどり}は、あらゆる塩が天皇のご膳に上がらぬよう呪いをかけたとあります。ただ、角鹿^{つぬ}の塩だけは呪いをかけ忘れたために、その塩だけが天皇のご膳に上がったことを伝えています。角鹿^{つぬ}の塩とは現在の敦賀湾の塩だけでなく、この地に水揚げされる若狭一帯の塩を指していたのでしょうか。

ただ、江戸時代、18世紀に入ると塩づくりは瀬戸内の塩に圧倒されるようになり、その勢いが失われていきました。塩づくりが衰退した要因をみると、そもそも若狭の製塩法は、塩田に桶で汲み上げた海水をまき、夏の太陽熱と風によって水分を蒸発させ、塩の結晶が付着した砂をかき集め、それに塩水をかけてこい塩水を採り出し、それを窯で長時間煮詰めて塩を採り出すという、いわゆる揚浜式という製法でした。こうした塩づくりには、塩に炊き上げるための燃料（当時、燃料になる木々を塩木と呼んでいた）が大量に必要で、この塩木を確保するには大きなコストと大変な苦労をともしました。そして、17世紀の終わりになりますと、気候条件に恵まれ潮の干満の大きい瀬戸内海沿岸で潮汲みや潮まきの作業のいらぬ入浜式の製塩が盛んになり、そこで生産された安価な塩が、海の総合商社、北前船により大量に出回ることになりました。この結果、越前・若狭の浦うらの塩づくりが大きな打撃を受け、徐々にこの地域から衰退していったのです。

いずれにせよ若狭の海は、塩づくりという産業を生み、当時の日本で一世を風靡した時代があったことは大いに誇れることではないでしょうか。

日本海側唯一の海洋生物資源学部／福井県立大学

日本には、水産・海洋系の学部・学科を持つ大学・大学校が24あります。

その中でも、福井県立大学の海洋生物資源学部は、日本海側唯一の水産・海洋系の学部なのです。

福井県立大学海洋生物資源学部がある福井県小浜市における教育文化の歴史は古く、1774年にまで遡ります。当時の小浜藩第10代藩主・酒井忠貫が、京都の儒者・^{にしよりぼくさん}西依墨山を招いて、小浜藩の藩校「^{じゅんぞうかん}順造館」を開校したことが始まりと伝わっています。校名の由来は「道に順つて士を造る」という漢籍の一文からとられ、開校以後、幕末の志士・^{うめだ うんびん}梅田雲浜など、多くの人材を輩出してきました。

なお、「順造館」は福井県下の他藩と比べても最も早く開校しています。これは、開校以前より、初代藩主の酒井忠勝は藩士教育を、第2代藩主の忠直は小浜町人のための公開講座を行うなど、藩学に熱心であったことが影響しています。

ちなみに、現在の若狭高等学校の正門は「順造門」と呼ばれ、これは順造館から移築された遺構であり、現代にまで受け継がれてきたとても貴重な文化財なのです（図7）。

時間が流れ、明治の時代に入ってもなお、当地域における教育文化の取り組みが熱心に行われていたことが分かります。1872年（明治5年）に学制が交付されると、当地には常高寺を仮設校舎にした小学校が開校しています（図8）。



図7 若狭高等学校の正門として残る順造門（筆者撮影）



図8 常高院栄昌尼（浅井長政の次女・初）が創建した常高寺の山門（筆者撮影）



これを皮切りにして、数年のうちには 39 の小学校が設立され、校舎や教法とも斬次整備されました。とりわけ、女子の就学率が高く、明治末期近くまで県平均を上回る水準だったのです。

さて、明治前期における福井県下の産業は、農業と漁業に大きな比重がかかっていました。「府県物産表」（1874 年）で全国的な動向と比較すると、農産加工品・器具、船舶等の工業生産や水産物生産は高い伸びを示していました。しかし、松方デフレ（1882 年）は、漁民にも「極貧の困窮」をもたらしました。さらには、コレラ禍（1889 年）とそれに続く不漁も輪にかけ、西津米騒動（1890 年）にまで発展してしまいました。

「極貧の困窮」を乗り越えた漁民の仕事は、明治中後期になると、大きく変容します。漁船の大型化、新たな漁法、改良漁船・漁具の導入など、近代化が進んだのです。これまで、親から子へ伝えられ、働きながら学び、自らが実践するなかで身につけるものであった漁業が、大規模化と複雑化によって、勘や経験だけに頼らない商いの確立を求める動きを誕生させました。こうした流れは、1899 年に全国初の中等教育実施水産学校「小浜水産学校」の誕生に結びつきます。

この小浜水産学校を前身とする現在の若狭高等学校海洋科学科（旧・小浜水産高等学校）では、これまで船舶や養殖や食品加工分野など多岐に亘る教育を行ってきています。現在もなお「海を学び、海から学ぶ」を掲げ、福井県立大学と連携協定を結び、海洋を中心とした自然科学、小型実習船を使用した、海洋資源、船舶、海洋分野。また、海洋・水産に関わる生産から加工、流通分野など、即戦力となる人材の育成を行っています。

若狭小浜は、水産・海洋という「海の学び」の発祥地であり、発信地として、歴史と先進性を兼備した全国的にも希有な地域といえるでしょう。

海と漁業と共生してきた若狭と小浜

若狭小浜は、平野部が狭く限られているため田畑が少ないところです。一方で、複雑に入り組んだリアス式海岸と対馬海流は、豊富な海の恵みをもたらしてくれています。

対馬海流は、豊富な海産資源だけではなく、古くは、大陸との繋がりをもたらしました。朝鮮半島から船出すると、海流に乗って辿り着くのが、若狭、敦賀、能登なのです。日本海に小さく開いた湾口に、大陸からの船が往来し、若狭を玄関口にして、人や物や文化に至るまで、奈良の都にまでもたらしました。

当地は、藤原京や平安京の時代、若狭国と呼ばれていましたが、田畑が少ないエリアが一つの国として成立することは稀なことでした。大陸文化との交流の入り口であり、海産物が豊富にとれる地域は、当時の皇室や朝廷にとっては特別な場所だったと言えるでしょう。

さて、若狭国で水揚げされるアワビやウニ、カレイや鯖は御贄として、朝廷に献上されていました。このような国は、他には志摩国と淡路国で、これに若狭国を加えた三国は「御食国」と呼ばれたのです。

その後、都が京都に遷都されると、若狭ぐじ、若狭かれい、鯖などの海産物は魚荷衆に担がれ、小浜から熊川、朽木、大原八瀬、そして京都をつなぐ「鯖街道」によって運ばれました（図9）。70kmほどある山道を魚荷衆は、「京は遠ても



図9 熊川宿の西側入口と熊川宿のまち並み
(筆者撮影)



十八里」と自らを励ましながら、夜通し歩いたそうです。

現在では、若狭小浜の海産物は「若狭もの」と称され、京都の料亭や食卓、伝統行事には欠かせないものになっています。

では、若狭小浜の人々が、海とどのように付き合っていたのかを少しだけ眺めてみましょう。

「西津小松原・下竹原・出村漁家の老若男女三千人六百家といふ、大船八百九十艘、小船百五六十艘あり—鯖を釣事第一の生業なり—田烏の海・外面・高浜の沖に昔は釣りしに、段々海上の自由をしり、但馬国経力崎犬崎の三山見ゆるところまで船を浮へたりしに、近き頃ころ猶能登国近き海上まで船を浮ぶ—」²⁾。

これは、江戸時代に記された「稚狭考」から一部を引用したものです。多くの人が漁労に携わっていたこと。若狭湾を飛び出し、鯖を釣るために能登近くまで漁場を求めていたことなどがここには記されています。他にも、鯖が多く釣れるときは、一人が一夜で200本を釣り、一人銀二百匁（43万円※諸説あり）ほど稼いだとも「稚狭考」には記録されています。

当時の若狭の人々にとって海の恵みは生活の安定をもたらしてくれるものだったのです。また、鯖以外にも、小鯛や大鯛、あじ、鰯、かれい、ぐじ、はも、あわびなどが、地漁魚類として京都や近江、丹波へ売り捌かれることで、地域全体の経済的繁栄に貢献するものであったことが想像できます。

漁業の停滞や漁家民宿の発生と衰退、これに伴う漁村の疲弊、沿岸漁業の盛隆、沖合漁業の急速な進展、新漁法の導入など、漁労のスタイルは時代と共に変容していますが、今もなお、海と密接した産業が、若狭小浜には息づいています。

地場の企業である小浜海産物や福井缶詰は、若狭小浜の主要産業のひとつである食品加工業を担い、小浜製網は漁業には欠かすことができない網や綱を生産しています。他にも、伝統的工芸品産業の指定を受ける「若狭塗」のデザインの中には、小浜湾の海底を模して図案化されたものもあるほどです（図 10）。海は、当地を支える産業や企業の誕生と発展に貢献しています。若狭小浜の人々は海と繋がり、海で繋がり、海の恵みと共に暮らし続けているのです。



図 10 若狭塗の宝箱
(福井県立大学杉山研究室所蔵)

引用文献

- 1) 永江寿夫（2015）地の記憶をたどりながら、ここに生きていくこと 若狭鯖街道熊川宿の逸見勘兵衛家の試みから「建築士」公益社団法人日本建築士会連合会編，日本建築士会連合会，東京，17p.
- 2) 小浜市史編纂委員会（1998）「小浜市史 通史編 上巻」．小浜市役所，小浜，1000-1001.

参考文献

- ・ 永江寿夫編（2006）「若狭街道熊川宿」．若狭町教育委員会，若狭.
- ・ 永江寿夫（2015）地の記憶をたどりながら、ここに生きていくこと 若狭鯖街道熊川宿の逸見勘兵衛家の試みから「建築士」公益社団法人日本建築士会連合会編，日本建築士会連合会，東京.
- ・ 福井県（1993）「福井県史 通史編 1 原始・古代」．福井県，福井.
- ・ 南保勝（2019）「地域経営分析」．晃洋書房，京都.
- ・ 小浜市史編纂委員会（1998）「小浜市史 通史編 下巻」．小浜市役所，小浜.
- ・ 小浜市史編纂委員会（1998）「小浜市史 通史編 上巻」．小浜市役所，小浜.
- ・ 杉山友城（2020）「地域創生と文化創造」．晃洋書房，京都.
- ・ 南保勝（2016）「福井地域学」．晃洋書房，京都.



ふくいの水産増養殖

仲 野 大 地

水産増養殖は、増殖と養殖に分けることができます。増殖とは、天然水域において漁業資源が減少してきた場合、それを回復し、あるいは積極的に天然資源を維持・増大しようと努力が払われるときの、その手段と技法¹⁾をさします。増殖事業の一つとして、人工授精によって生産した種苗(稚魚など)を海や河川等に放流し、大きくなった時点で漁獲する栽培漁業が推進されてきました。福井県内には、1975年に福井県栽培漁業センター、1983年に(社)日本栽培漁業協会若狭湾事業場小浜施設(現在の「(国研)水産研究・教育機構」)、1982年に福井県あゆ種苗センター(現在の「福井県内水面総合センター」)が設置されました²⁾。これらの施設では、今日までに様々な魚種の種苗が生産されてきました。また、1979年からは奥越漁業協同組合(大野市)の孵化場においてサケの人工種苗の孵化と放流が始まり²⁾、県内では1999年まで行われていました³⁾。

一方で、養殖とは、一定区域を占有して、その区域内で自己所有の魚介類や藻類などの生活と生息環境を管理し、それらの生物の繁殖や成長を図り、目的とする大きさ(商品サイズ)まで育成する方式¹⁾です。養殖は主に給餌養殖(餌を人為的に与えて飼育する養殖)と無給餌養殖(環境中のプランクトンや栄養等を利用して飼育する養殖)に分けられます。給餌養殖では養殖魚に与える餌代が生産経費の大半を占めており、餌を与える手間も必要です。一方で、無給餌養殖では、餌代も餌を与える手間も不要です。ただし、水温や日照などの環境要因の変化の影響を受けやすく、収穫量も変動するという特徴があります。

県内の海面で給餌養殖が行われている魚種としては、トラフグ、マダイおよびニジマス（トラウトサーモン）、無給餌養殖としてはマガキ、ワカメなどが挙げられます。トラフグ養殖は、1954年に高浜町の漁業者が若狭湾で漁獲されたトラフグを蓄養したことが起源とされています。その後、1970年代からトラフグやマダイの人工種苗が嶺南の各地で養殖されるようになり、1992年に生産量はピークに達しました（図1）。その後、生産量は減少し、近年では漸減傾向となっています（図1）。2015年からは、民間企業や地域の漁業者の協業によるニジマス（トラウトサーモン）の海面養殖が始まりました。海外の魚類養殖場で使用されているような大型の円形生簀を導入したことから、養殖施設の規模は従来よりも大きくなりました。また、給餌には自動給餌器を活用し、養殖管理の方法も変わってきました。2018年の魚種別生産量では、ニジマス（トラウトサーモン）が最も多くなり、福井県の主要な養殖魚種となりました（図1）。その他にも、マサバやマハタのような新たな魚種の養殖への取り組みも始まっています。無給餌養殖であるマガキやワカメの生産量は減少傾向が続いています（図1）。需要の変化、経営体の高齢化、養殖環境の変化などの複数の要因が生産量に影響を与えています。

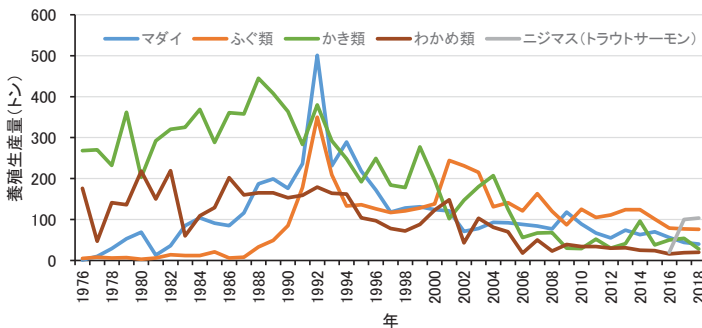


図1 福井県の魚種別養殖生産量の推移
福井県農林水産部水産課集計資料より作成



養殖業は、養殖の開始から収穫までに一定の期間（場合によっては複数年）を必要とします。県内の沿岸は、急崖が海岸まで迫る嶺北地方（越前）と岬や湾が交互に存在する嶺南地方（若狭）で形成されており、両者の海岸の形状は大きく異なります。冬季には北西の季節風が卓越し、激しい風浪が海岸に押し寄せます。嶺北地方では冬季の風浪が特に激しく、海上に養殖施設を設置することが困難でした。一方で、嶺南地方では冬季でも比較的静穏な海域があり、養殖施設を設置することができたため、養殖業は主に嶺南地方で盛んに行われてきました。

嶺南地方で養殖業に従事しているのは個人や家族による小規模な経営体が多く、一部の経営体では民宿を兼業しています。養殖で生産された新鮮な魚介類は民宿で提供されており、県内外の観光客に人気があります。養殖業は水産物の生産だけでなく、地域の観光や経済にも貢献しています。

近年では、冬季の風浪にも耐えられる強固な施設が開発されたり、浮沈式の生簀（波の影響を受けにくくするため、生簀を水中に沈める生簀）も誕生してきました。また、生簀にカメラやセンサーなどをつけて養殖魚の状態を確認し、遠隔操作によって管理ができる養殖技術も進んできており、労働環境と生産性の向上が期待されています。さらに、循環式陸上養殖という方法も脚光を浴び始めました。養殖工程での窒素収支を調査した報告では、商品として回収される魚の窒素分はわずか3割しかなく、残りの7割は生簀の外に排出されている⁴⁾とされています。同じ場所で長期間にわたって養殖を続けると、生簀から排出された有機物が蓄積し、赤潮の発生などの被害が発生する可能性もあります。循環式陸上養殖では、飼育水を浄化して再利用することができるため、従来の養殖方法よりも環境負荷の低減が期待されています。このような新しい技術を活用すれば、嶺北地方でも養殖ができるよう

になり、嶺南地方でもさらに養殖を拡大していくことができると期待されます。また、生産量の規模を拡大するためには、ニジマス（トラウトサーモン）養殖のように協業で行う体制を進めていくことも重要になってきそうです。

福井県の漁業生産量（2017年）に占める養殖の割合は3%、生産額に占める割合は8%です⁵⁾。日本全体の海面漁業（2018年）では、同じく23%と32%です⁶⁾。世界では、漁業生産量に占める海面養殖業の割合（2018年）は30%、内水面養殖業も含めると54%であり⁷⁾、養殖生産量の比率は急激に拡大してきました。世界の水産物需要の拡大により、生産量の拡大は今後も続くと予想されています。現在、世界では養殖業は成長産業として位置づけられ、国内においても成長産業としての機運が高まっています。需要の把握、新しい技術、協業化、福井県の地域特性などを最適に組み合わせれば、近い将来には福井県の養殖の形態は大きく変化し、生産量も増加していきます。

引用文献

- 1) 竹内俊郎 他編（2016）「水産海洋ハンドブック第3版」，生物研究社，東京，295pp.
- 2) 福井県・（社団法人）日本栽培漁業協会（1987）「福井の栽培漁業」，（財団法人）福井県漁業振興事業団，福井，1-32.
- 3) 松崎賢・成田秀彦（2001）平成11年福井県内水面総合センター事業報告，48-50.
- 4) 山本義久 他編（2017）「循環式陸上養殖 飼育ステージ別〈国内外〉の事例にみる最新技術と産業化」，緑書房，東京，18-29.
- 5) 福井県（2020）「ふくいの水産業基本計画」1p.
- 6) 水産庁（2020）「漁業生産の状況の変化」令和元年度水産白書，6-12.
- 7) 水産庁（2020）「世界の漁業・養殖業生産」令和元年度水産白書，154-15.



漁場としての海

兼 田 淳 史

越前・若狭の海の流れ

越前・若狭の海（図1）が豊かであることは、古くから広く知られてきました^{1), 2)}。越前・若狭の海は、なぜ豊かなのでしょうか。この章では越前・若狭の海の漁場に注目し、この海が豊かな好漁場を形成できる素晴らしい天然の条件を備えていることについて紹介します。

福井県立大学は、シミュレーション技術を用いた流れの計算や海洋観測などから越前・若狭の海の流動構造について研究を進めています³⁾。若狭湾およびその周辺の流れは対馬暖流や複雑な地形の影響を強く受けるため、最新のシミュレーション技術を用いても精度良く表現することは難しかったのですが、近年はよい精度で流れを再現することができるようになってきました。図2には、越前・若狭の流れのシミュレーション計算をした結果のうち、夏期の計算結果を例として示しています。この海域の流れの主な特徴について見ていきましょう。沖合で流れが強いのは、対馬暖流が流れているためです。対馬暖流は若狭湾の湾口を沿うように東西方向に流れているときもあれば、岸から離れて流れているときもあり、その強さや位置の変化は越前・若狭の流れに対して大きな影響を与えています。さらに若狭湾の流れに注目すると、地形の影響を受けて渦が形成されており、渦の形成場所や強さなどによって岸近くの流れは左右されることがわかります。また、越前岬付近と若狭湾湾奥の岸近くの流れを注意深くみると、流速がずいぶん異なっていることに気が付いたかもしれません。この違いについては、越前岬に近い鷹巣と敦賀半

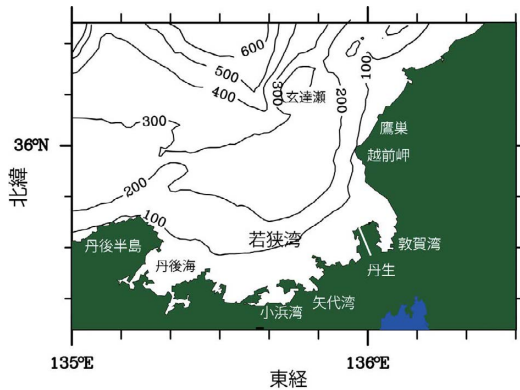


図1 越前・若狭とその周辺の海。地図中の数字は水深(m)を示す。

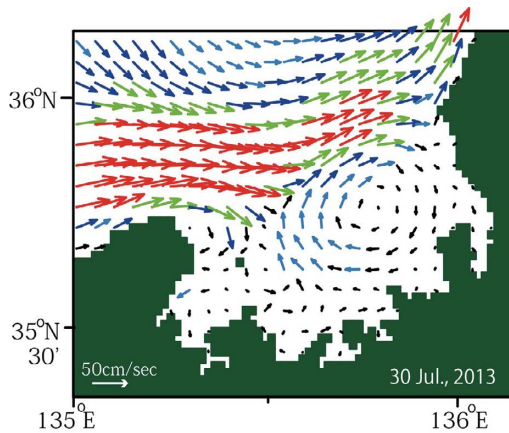


図2 若狭湾および周辺の流れのシミュレーション結果の例(海面下10m)

島の先端付近に位置する丹生(図1の地名参照)で行った流れの観測結果から理解してみましょう。

鷹巣と丹生の沖合には定置網漁場があり、その漁場の流れの特徴を解明するために海面下10m層に流速計が設置されています。その観測例として、図3には2019年7～10月の流れの時間変化が示されています。

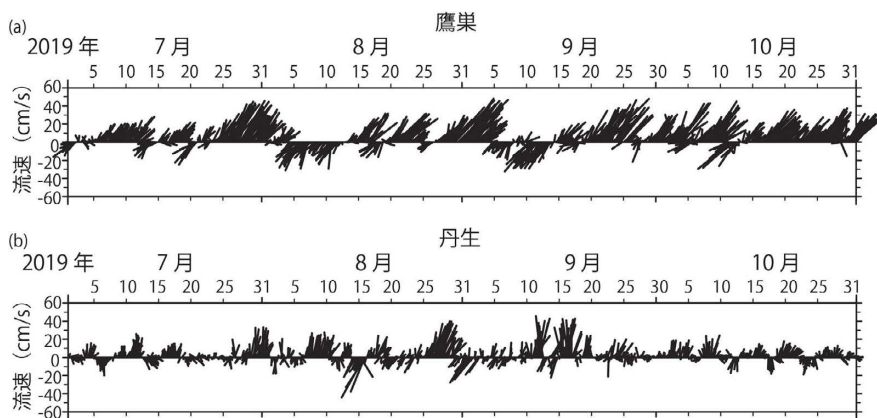


図3 鷹巣と丹生の流れの時系列（海面下10m）の例

鷹巣では毎秒20cmを超える北東方向へ進む流れが多く、期間で発生しており、一時的に流れが強くなったときには毎秒50cmを超えていたことがわかります。一方、丹生沖の流れは秒速20cm以下の弱いときが多く、流向は鷹巣と比べると変わりやすい特徴を持っていることが示されています。一時的な強い流れは鷹巣と同様に発生しており、短期間ではあるものの毎秒40~50cm程度の強流が発生していたことが理解できます。これらの結果は場所によって岸近くの流れの特徴は大きく異なっていること、そして地域水産業にとっては漁場ごとの流動特性を把握する研究が重要であることを示唆しています。また、岸に近い海でも強い流れが発生することは注目すべき特徴で、この一時的な強流は「急潮」と呼ばれています。急潮は越前・若狭の海だけでなく、相模湾や豊後水道、丹後半島周辺など多くの沿岸域で発生する現象です。発生原因は海域によって異なっていますが、越前・若狭の海では対馬暖流の変動や若狭湾内に形成される渦の接近、台風や低気圧の影響によって発生することが明らかにされています。

冬期の流れは、夏期の流れに関する知見と比べると観測が難しいこともあって十分な知見はありません。冬期を含めた越前・若狭の海の流れの理解をさらに深めることは今後の大切な課題となっています。

増養殖漁場と海の流れの関わり

流れと漁場の形成には、密接な関わりがあります。例えば、黒潮や親潮といった海流の動きが漁場の環境に変化を与え、漁獲される魚の種類や量に大きな影響を与えることについて聞いたことがあるのではないのでしょうか。ここでは注目されている増養殖の漁場と流れの関係について考察してみます。

増養殖業の漁場は生簀^{いけす}などを用いて築かれることが多いのですが、その設計時には前節で述べた急潮や、台風の襲来時、厳しい冬期季節風による強流や大波などに耐えうる強度を想定することが求められます。地域特性にあった漁場の構築には、対象となる魚介類の情報だけではなく、その地域の流れや波といった物理環境の情報も重要なのです。

また、増養殖業を長きにわたって安定して行うには、漁場環境の保全に対する「流れ」の役割について理解を深めることが重要になります。漁場環境の保全に対する流れの役割は、とりわけ魚類養殖の場合は残餌などの水質悪化につながる物質の沖合への排出があげられます。この排出量の大きさは流れや波の大きさ等によって決まり、養殖における投餌の許容量を左右する等、漁場の環境保全を維持するときに重要な評価項目になります。また、養殖漁場の保全に向けた環境評価では、流れのみならず有機物の動きや分解速度、漁場の酸素濃度の変化などの理解を含めた学際的で総合的な評価が必要で、さまざまな項目の調査や研究が求められます。

さらに、長きにわたって海の恩恵を受けるためには、地球規模の環境変動



にも目を向ける必要があります。日本海の流れや水温に対して、地球規模の気候変動が影響を与えていることは既に報告されています⁴⁾。最新の水温や流れの情報を収集するとともに、日頃から海の変化について私たち自身が意識することは増養殖場の将来について計画するうえで今後ますます重要になるでしょう。

自然の恩恵と漁場の形成

最後に越前・若狭の漁場の全体像について、特に当海域で多様な漁場が形成されていることについて図4を用いて説明します。

若狭湾(図1参照)は外洋に対して開放的で、沖合を流れる対馬暖流の影響を強く受けます。そのため、越前・若狭の漁場には広大な海域を回遊する生活史を持つブリ類やサワラ、イカ類など多くの魚が来遊するなど、広範囲の海の魚の恵みを大いに受けているといえるでしょう。一方で、越前沖の玄達瀬や松出し・大グリ(図1参照)のように水深300m付近から海面近くま

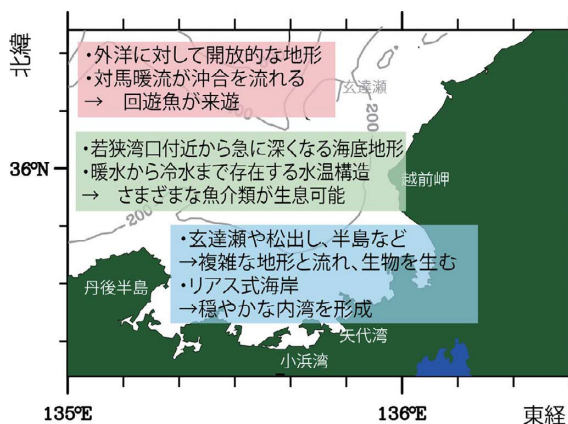


図4 若狭・越前の海の豊かさを生み出す条件

でに達する急崖が存在するなど、変化に富んだ海底地形を有する特徴も持っています。この独特の海底形状は湧昇流を引き起こすといわれており、好漁場を生み出す別の要因となっています⁵⁾。さらに、若狭湾湾口付近は 200m を越える水深となっており、その底層では低水温を好む越前カニや越前カレイなどが生息しています。表層を対馬暖流が流れる一方で、底層では年間を通じて冷水が存在する自然条件が「底層の好漁場」を形成し、越前・若狭の海の豊かさを高めているといえるでしょう²⁾。加えて、複雑に入り組んだリアス式の海岸線を有する沿岸域では回遊魚などを狙った定置網漁や釣り漁、刺し網漁などが行われ、さらに内湾では波が静穏な地の利を生かしてフグや真珠、カキなどの養殖業が行われています。また、近年では水産資源供給の安全と安定性を高めるために、水産増養殖に対する期待が高まっています。

このように、越前・若狭の好漁場は恵まれた自然条件に従い、海の特性を生かした漁業を生み出しているからこそ成立しているといえます。私たちは豊かな恵みをうける一方で、海に過剰な負担をかけて自然のバランスが崩れないように海の流れや環境について理解することや、水産資源の維持や漁場環境の保全に対する努力をこれからも続けていくことが求められています。

引用文献

- 1) 福井県水産試験場ホームページ, <http://www.fklab.fukui.fukui.jp/ss/> 2020年8月5日.
- 2) 青海忠久編著 (2011)「若狭のおさかな改訂版」, 晃洋書房, 京都, 195pp.
- 3) Kaneda et al. (2017) Sudden strong current generated by an eddy in the eastern part of Wakasa Bay, Japan, *J. Oceanogra.*, 73(2), 181-192.
- 4) 気象庁ホームページ「海洋の健康診断表」, <https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/index.html>, 2020年8月5日.
- 5) 環境省ホームページ「生物多様性の観点から重要度の高い海域」, <http://www.env.go.jp/nature/biodic/kaiyo-hozen/kaiiki/>, 2020年8月5日.



山川里海のつながり

杉 本 亮

食料や水の供給、気候の安定など、「生態系サービス」と呼ばれる自然の恵みは人間の福利に貢献しています。沿岸海域が地球上に占める面積はごくわずかですが、多くの人がある近傍に生活し、そこから多大な生態系サービスを受けています。世界中のあらゆる生態系がもたらす生態系サービスの経済価値を試算した Costanza ら¹⁾によると、沿岸海域は熱帯雨林などを凌いで地球上で最も単位面積当たりの経済価値が高いとされています。なぜこれほどに沿岸海域の生態系サービスが高いのか、その要因は数多くありますが、重要な要因の一つとして、沿岸海域が備える高い生物生産力を挙げることができます。

日本列島に降り注いだ雨は森を潤し里を育み、陸域の豊富な栄養物質を溶かし込みながら河川水や地下水として沿岸の海へと流れ下ります。この海へと流れ込んだ水に含まれる豊富な栄養物質が、植物プランクトンなどの一次生産者の増殖を促し、沿岸海域の高い生物生産力を生み出す原動力となります。福井県には、緑豊かな山々に囲まれた越前地方、清らかな水に恵まれた若狭地方、2つの要素が転じた「越山若水」という言葉が古くからあります。この清らかな水を介した山と海のがつながりが、越前・若狭の豊かな魚介類を育む上でも重要な役割を果たしています。

県土の74%が森林によって覆われ、415kmにも及ぶ海岸線延長を有する福井県では、大小さまざまな河川を介して山と海がつながっています(図1)。越前地方には、幹線流路延長116km、流域面積2,930km²にも及ぶ北陸地

方屈指の大河川である九頭竜川が流れています。九頭竜川の流域面積は県土の70%に相当します。流域の土地利用は山地等が約81%、農地が約13%、宅地等その他が約6%となっています。一方、若狭地方は流路延長が短く、勾配が極めて急な小河川（笙の川・耳川・北川・南川など）が山と海を直接つないでいます。若狭地方で最大の一級河川である北川におい

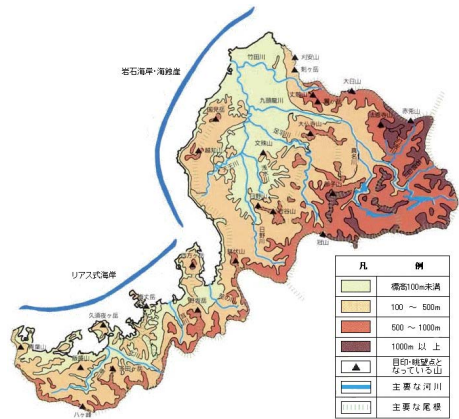


図1 福井県の地形概略

(引用文献：福井県景観づくり基本計画 http://www.erc.pref.fukui.jp/sogo/d090/1992/html/Keikan_2-1.html)

ても、幹川流路延長は30.3km、流域面積は210km²程度になります。流域の土地利用は山地等が約83%、農地が約13%、宅地等その他が約4%となっています。九頭竜川と若狭地方を流れる河川では、流域のサイズは大きく異なりますが、土地利用はよく似ています。また、福井県は米の生産地として有名ですが、農地の約90%は豊富な水を利用した水田地帯となっています。

他方、福井県は地下水が豊富なことでもよく知られています。私達が飲み水として常日頃利用する上水道を例にすると、福井県内の上水道に占める地下水の割合は7割を超えています。これは、日本の中でもかなり高い値で、鳥取県、熊本県に次いで第3位です。越前大野の「お清水」・「本願清水」、若狭地方の「瓜割の滝」・「雲城水」は環境省が選定する名水にも選ばれています。福井県は日本の中でも指折りの、地下水に恵まれた場所と言えます。

この地下水ですが、帯水層（地下水が地下を流れる層）が海まで直接つながっ



ている場所では、地下水を介した山から海までのつながりが形成されています（図2）。大規模な河川が発達していない若狭地方や、急峻な海岸地形を有する越前海岸では、地下水の直接流入が重要となります。

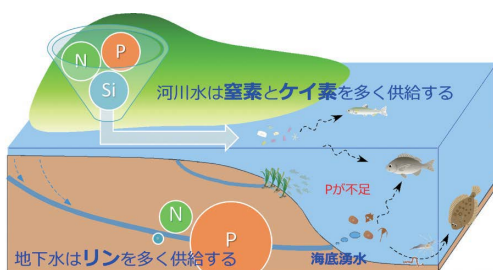


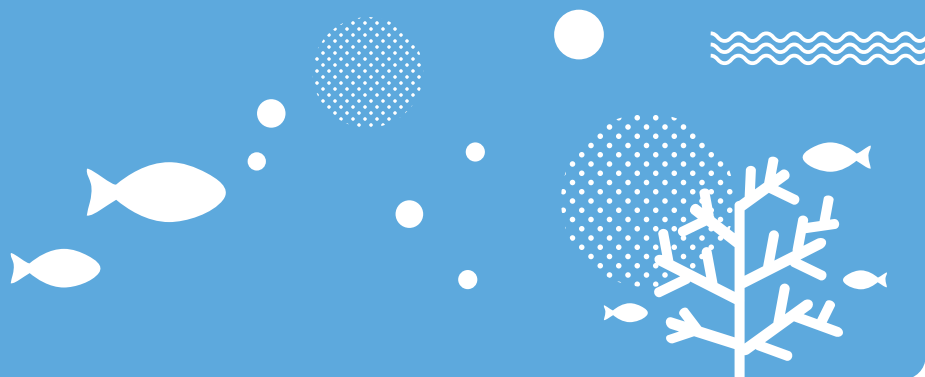
図2 小浜湾への栄養物質供給の概念図

ます。例えば上述の「雲城水」は、小浜湾に隣接しているにも関わらず、海水と混ざることなく地下30mから淡水がこんこんと自噴しています。そのため、小浜湾に海底湧水（地下水が海の底から湧き出す現象）が存在していることは、地元の漁業者や一部市民の間で古くから知られていました。筆者らの研究グループの研究により、河川水に匹敵もしくは上回る栄養物質が海底湧水により供給されていることも分かっています²⁾。また、地下水の流入は植物プランクトンの一次生産速度や現存量を有意に向上させ、魚などの生産にも貢献していることが確認されています。小浜湾内で古くから養殖されているマガキの生産にも大きく影響しているものと考えています。河川水の役割に比べて、地下水が沿岸海域に果たしている役割の理解はまだまだ十分ではなく、今後明らかにしていかなければならない課題でもあります。

引用文献

- 1) Costanza R, et al. (1997) *Nature*, 387, 253-260.
- 2) 小路淳・杉本亮・富永修 編著 (2017), 「水産学シリーズ 185 地下水・湧水を介した陸-海のつながりと人間社会」, 恒星社厚生閣, 東京都, 141pp.

3. 福井県立大学の増養殖研究





新しい福井ブランド 「ふくいサーモン」への期待

東 村 玲 子

サーモンの人気は急上昇中

みなさんの一番好きな寿司ネタは、何ですか？表1にあるように、「よく食べているネタ」として最も多くの人に選ばれたのは、男女ともにサーモンです。このアンケートは、2020年3月にマルハニチロ株式会社が全国の15歳～59歳の男女3,000人に対して行いました。同社は、このようなアンケートを毎年行っており、サーモンは2012年からずっと1位を保っています。

表1 回転寿司に行った際によく食べているネタ（複数回答方式）
上位10位までを表示

	全体 n=3000		男性 n=1500		女性 n=1500	
	ネタ	%	ネタ	%	ネタ	%
1位	サーモン	47.3	サーモン	41.3	サーモン	53.2
2位	マグロ（赤身）	33.5	マグロ（赤身）	36.7	エビ	33.7
3位	マグロ（中トロ）	29.8	マグロ（中トロ）	31.2	マグロ（赤身）	30.3
4位	ハマチ・ブリ	28.3	ハマチ・ブリ	28.8	マグロ（中トロ）	28.5
5位	エビ	27.9	イカ	23.1	ハマチ・ブリ	27.9
6位	ネギトロ	22.3	エビ	22.1	ネギトロ	23.2
7位	イカ	21.4	えんがわ	21.9	イクラ	21.0
8位	えんがわ	21.3	ネギトロ	21.4	えんがわ	20.7
9位	イクラ	19.1	アジ	18.9	イカ	19.7
10位	アジ	16.5	イクラ	17.1	甘エビ	17.8

出所：マルハニチロ「回転寿司に関する消費者実態調査2020」より抜粋

それでは、サーモンはいつからこのような人気の魚となったのでしょうか。実は、そんなに古いことではありません。寿司ネタに限らず、日本人が1年間に購入する魚を量でみると、ずっと長い間マグロがトップでした。ところが、2002年にサーモンがマグロを追い抜き、それ以降はサーモンが1位を維持しています。

サーモンはどこから来るのか？

このように人気となったサーモンですが、現在ではおよそ10万トンの生食（刺身・寿司など生で食べる）市場があると言われています¹⁾。そのうち、国内産のサーモンが占める量は、たった8,000トン程度です。つまり、みなさんが食べているサーモンのうち、国内で生産されるのは10%にも満たず、ほとんどが輸入に頼っているということになります。

このような状況のなかで、サーモン人気はこれからも衰える気配はありません。そればかりか、日本以外の国でも大人気の水産物となっています。特に、養殖サーモンは刺身で食べるのに適していることもあり、健康志向の国だけでなく、中国など経済的に豊かになって来た国でも好評を博しています。

さて、日本では全国各地で、サーモン養殖を行う動きが活発化しています。あまりにも各地で養殖が行われているため、そうした養殖サーモンは「ご当地サーモン」と呼ばれています。その数は、海面養殖、陸上養殖を合わせて、100にも昇ると言われています¹⁾。

「ふくいサーモン」とは？

福井県にも「ふくいサーモン」と名付けられた養殖サーモンがあるのをご存じでしょうか？現在のところ、養殖場所は、大きく分けて①おおい町大島



地区、②小浜市西小川地区、③福井市鷹巣地区にて行われています。おおい町大島地区では、経営の主体を福井中央魚市株式会社が担っています。小浜市西小川地区では小浜市漁業協同組合、有志の漁業者、そして地元企業から成る「小浜市トラウトサーモン養殖振興協業体」が運営しています。福井市鷹巣地区では大島地区と同じく福井中央魚市が経営主体です。こんなに人気のサーモンですから、どんどん売れているのでしょうか？

みなさんも水産物に色々な名前を付けて「ブランド化」を目指す動きが全国各地で行われているのはご存じでしょう？福井県で有名なのは、「越前がに」ですが、他にも嶺南地方では「若狭がれい」が古くから知られるブランド水産物です。しかし、新しい水産物をブランド化するには、名前を考えるにあたって、どこで生産されているかということは大きなポイントの1つとなります。福井県の旧国名は、西側が若狭、東（北）側が越前ですので、それぞれ生産地が分かれている越前がににも若狭がれいも、古くからの呼称であるということもありますが、問題にはなりません。ところが、「ふくいサーモン」の名前の由来を考えると、先ほど述べた養殖を行っている場所が問題になります。「若狭」も「越前」も使えない。両方とも丸くまとめようとした結果が「ふくいサーモン」という名前なのです。



ふくいサーモン養殖の様子（おおい町大島地区）



ふくいサーモン養殖の様子（小浜市西小川地区）

「ふくいサーモン」への期待

ふくいサーモンという名前を付けたものの、上述のように生産主体が分かっていることは1つの課題となります。本来ならば、同じ「ふくいサーモン」に関わる人が協力してマーケティングを行うことが望ましいのです。同じ「ふくいサーモン」が販売先でケンカをしている状況は望ましくありません。

ブランド水産物の特徴として挙げられるのは、みなさんが一般にイメージする「みんなが知っている」「高級品」というものとは、少し違うということです。全国で「ご当地サーモン」が生産されている現状では、福井県内、もしくは販売する店を絞るなど、効果的なマーケティングが望まれます。

実際に、日本産のサーモンが海外産のサーモンに比べて、苦戦しているのは、その価格です。ノルウェーやチリを主とするサーモン養殖は大規模経営によって行われているために、コストが日本産に比べて非常に安いのです。

しかしながら、ふくいサーモンは地元で獲れているものです。美味しさ、安全性、地元への応援など、消費者の方々が思わず手に取ってしまうような、ふくいサーモンの魅力を積極的に発信していくことが今後の課題でしょう。

引用文献

- 1) 水産庁（2018）水産政策審議会企画部会第76回議事録，26pp.



「小浜よっぱらいサバ」のおいしさの秘密

細井 公富

養殖魚の美味しさ

我が国で本格的に養殖魚が生産されるようになって 50 年以上が経ち、今では養殖生産量が漁業生産量の約 1/4 を占めています¹⁾。スーパーの魚売り場では、ブリやマダイ、カンパチなど養殖の魚を、年間を通して見ることができます。

自然の環境で育った天然魚と人の手により育てられた養殖魚にはどのような違いがあるのでしょうか？天然魚は自然の環境で生息している魚を漁獲するので、獲れる量が安定しません。また、「旬」の季節には脂がのり美味しくなりますが、味が落ち価値が低くなる時期もあります。それに対して養殖魚は、人が管理するイケスなどの中で、餌を与えられて大きくなります。計画的に生産することができるため、季節を問わず安定した品質の魚を供給することができます。一方で、狭いイケスにたくさんの魚を飼育することが多く、運動量が少ないために、肉質が柔らかく脂が乗りやすい傾向があります。

少し前までは養殖魚の品質は、天然魚に及ばず“美味しくない”というイメージが強かったのですが、養殖技術の進歩によりその品質は向上しています。本章では、養殖魚のさらなる品質向上を目指した最近の取り組みについて、私たちが福井県小浜市で取り組んでいる養殖サバの事例も含めて紹介します。

エサを工夫する

エサ(餌料)は、養殖魚の美味しさを決める非常に重要な要素です。かつて、

養殖魚が「脂臭い」と言われていたのは、主にイワシなど生餌を与えていたことによって、餌の脂の臭いが魚に移ったことが原因でした。現在は、配合飼料を用いることで「脂臭い」養殖魚は過去のものになっています。健康でおいしい養殖魚が生産できるようになったのは、栄養バランスの良い配合飼料が開発されたことが大きな要因です。一方で、魚の種類ごとに必要な栄養素のバランスは異なり、またその要求量も季節や環境によって変化することから、養殖飼料についてはまだまだ研究の余地がありそうです。

さて、養殖魚のさらなる高品質化 / 差別化のために、魚を美味しくするいろいろな成分を添加した餌を使った養殖が行われています。今、最も有名なのはユズやミカンなどのフルーツを添加した餌で育てたブリなどの養殖魚、いわゆる「フルーツ魚」ではないでしょうか。

高知大学の研究で開発された「フルーツ魚」は、魚肉に柑橘系の香りがするのが特徴で、ブリを中心に20種類以上あります。開発の最初の目的は、ブリの血合肉（赤褐色の部分）に含まれるミオグロビンという色素タンパク質が酸化し褐色（茶色～ねずみ色）に変色する「褐変」現象を抑えるため、ユズに含まれる抗酸化物質によりミオグロビンの酸化を抑えようというものでした。褐変抑制効果に加えて、ユズの香り成分がブリ筋肉に移行するという結果は予想外のものであったようです²⁾。

柑橘類の他には、アラメ・ヒジキなどの海藻類やお茶（伊勢まだい、若夏プレミアムブリ等）、オリーブ（オリーブハマチ / ブリ）、ハーブ（サーモン、マダイ、ウナギ等）、変わり種としてはチョコレート（チョコブリ）などの事例があり、ブランド化には地域の特産物が利用されることが多いようです。効果としては、前述した褐変防止のほか、鮮度保持やうま味の増強などが謳われているものもありますが、科学的根拠がはっきりしないものもあります。



福井県小浜市で生産される養殖サバは、日本酒の副産物である酒粕を配合した餌料を与え、「小浜よっぱらいサバ」という名称でブランド化を図っています（写真1）。魚に酒粕を与えることは初めての試みで、その効果を官能試験（実際に食べて、ヒトの感覚により食味を評価すること）で検証しました。

よっぱらいサバと通常の養殖サバの刺身の比較試験を行った結果、通常の餌を与えた養殖サバとは風味に違いがあり、「小浜よっぱらいサバ」の方が魚臭さが少なく美味しいと評価されました。さらに化学分析により、酒粕に含まれている「酢酸エチル（日本酒の香りの構成成分）」や「リモネン（柑橘系の香り）」等の香り成分が、「小浜よっぱらいサバ」の筋肉からも検出されました。これらの成分が「小浜よっぱらいサバ」の美味しさを担う要因の一つかもしれません。酒粕には、香りの成分以外にも抗酸化成分やビタミンなど、様々な生理活性物質が含まれており、これらの効果の科学的検証を進めています。



写真1 福井県小浜市で生産される「小浜よっぱらいサバ」

締めかたの工夫

魚の肉は、ウシやブタ、ニワトリなどの家畜・家禽類の肉と比べて死後の肉質変化が素早く進みます。特に刺身などとして生食する場合は、一定以上に鮮度が低下すると美味しさが失われてしまうため、いかに鮮度を維持するかが非常に重要です。これは天然魚でも養殖魚でも同じことですが、イケスで飼育している養殖魚では、需要に応じて、水揚げ時の活締め処理等の鮮度維持のための高度な処理を比較的簡単に行うことができます。店頭に並んでいるお刺身では、養殖の魚の方が鮮度が良いことが多いように感じます。

私たちは小浜の養殖サバに異なる締め処理を行い、鮮度の変化を検証しました。氷を加えた海水に魚を投入し、温度を下げることで魚を締める「氷締め」、鋭利なピックで脳を破壊し即殺する「活締め」、さらに細いワイヤーで脊髄を破壊する「神経締め」(死後の脊髄反射による筋肉の活動を抑制)の3種類の方法を試しました。その結果、死後変化の進行によって起こる死後硬直(硬直指数)は「氷締め」が最も早く、「活締め」では約9時間、「神

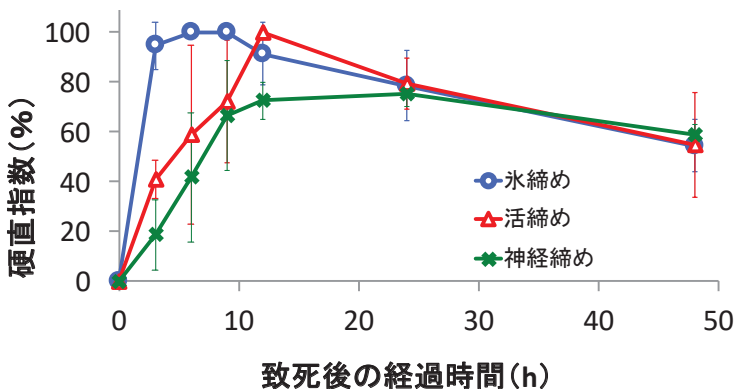


図1 締め処理の違いによる養殖サバの死後硬直の遅延



経締め」ではさらに3時間ほど、その進行を遅らせることができることがわかりました(図1)。サバは、「鯖の生き腐れ」といわれるほど魚の中でも死後変化が早く、普通の扱いではすぐに身が柔らかくなったり身割れがおこったりして、刺身で美味しく食べることができません。「小



写真2 船上で行われる「小浜よっぱらいサバ」の活締め処理

浜よっぱらいサバ」は、「活締め」あるいは「神経締め」処理で高い鮮度を保つことで刺身で美味しく食べることができます(写真2)。

本章では、おいしい養殖の魚をつくるための取り組みのごく一部を紹介しました。生産者は育て方や出荷処理に様々な工夫を凝らし、試験・研究機関はそれを支えるために様々な研究を行っています。ウシやブタが何千年も前に家畜化されたことと比べると、近代養殖はまさに始まったばかり。これからも養殖技術は進歩し、いろんな種類のもっとおいしい魚が作られるようになることが期待されます。

引用文献

- 1) 農林水産省(2020) 令和元年漁業・養殖業生産統計。
- 2) 深田陽久(2017) 日本調理学会誌, 50(3), 124-126。

「越前がに」のふるさとを探る

瀬戸雅文

越前がには福井県内で漁獲されるズワイガニの地域ブランド名で、漁の解禁とともに冬の味覚を求めて多くの観光客が来県し、「県の魚」に指定されています。

ズワイガニは、水温 0～3℃程度の泥砂域に生息する冷水性の甲殻類で、日本海では、親ガニは水深 260～300m を境にして、浅所に雌ガニ、深所に雄ガニが主に分布しています。若狭湾の沖合では、2～4月に水深 225～275m の海底で、雌ガニに抱かれた卵から幼生が孵化し、1 時間以内に脱皮して第Ⅰ期ゾエアとなり、水深 50m より浅い水深帯まで浮上して濃密に分布することが知られています。第Ⅰ期ゾエアは約 1 ヶ月後に脱皮して第Ⅱ期ゾエアとなり、徐々に降下しながら水深 150～200m でメガロパへ変態し、海底で脱皮して稚ガニとなり、その周辺で生涯に亘って生活をするものと考えられています。このため、越前がに漁場における資源の消長は、海流などの流れに伴う浮遊幼生の移動分散過程に大きく依存することが容易に想像できますが、これまで自然界で孵化直後の幼生は見つかっておらず、メガロパの甲幅は 2mm 前後と微小な上に、海には様々な生物の幼生が存在するため、海洋調査からズワイガニ浮遊幼生の移動経路を追跡することは極めて困難です。

本学の海洋生物資源臨海研究センターに近接する（国）水産研究教育機構 日本海区水産研究所小浜庁舎では、ズワイガニの種苗生産技術の開発に取り組み、世界で初めて稚ガニの量産化に成功しています。そこで、同庁舎より



ズワイガニの浮遊幼生を入手し、遊泳行動を詳細に観察して、その運動をパソコン上で再現可能なズワイガニ数値幼生を開発しました¹⁾。

図1は、ズワイガニ浮遊幼生に作用する力と運動の関係を示したものです。浮遊幼生には、外力として重量 W と浮力 F_B 、海流などの流れ V が作用しています。浮遊幼生は腹肢を規則的に運動させることにより推力 F_t を発生し、速度 V_s で遊泳運動を行います。これに伴い、浮遊幼生には流体力 F_D (幼生が流体から受ける抵抗力) が作用します。浮遊幼生の観察では、甲幅、湿重量、幼生密度を測定し、水温、塩分、および光源を変化させながら幼生の遊泳行動を調べました。

浮遊幼生の遊泳行動には、腹肢を周期的に動かして浮上と降下を繰り返しながら一定方向へ移動する運動と、腹肢を極僅かに動かして定位する運動が観察されます。このため、連続する浮上と降下による実質的な深度の変化をもとに上昇速度 V_{sz} を求めました。さらに、上下動を伴う遊泳行動が発現する頻度を遊泳頻度と定義しました。浮遊幼生の遊泳行動には正の走光性が認められ、齢期が若いほど波長依存性が顕著となり、弱い光にも敏感に反応しました。幼生の体サイズや運動能力に関する代謝速度は水温に大きく依存するため、積算水温（孵化日からの日平均水温を積算した値）は、幼生の発育に伴う形態形成や遊泳行動の変化をある程度反映できるものと考えられます。

図2は、水面より様々な波長の光を照射した場合の、上昇速度の積算水温による変化を示しています。浮遊幼生の上昇速度は成長とともに減少する傾向が認められます。また、上昇速

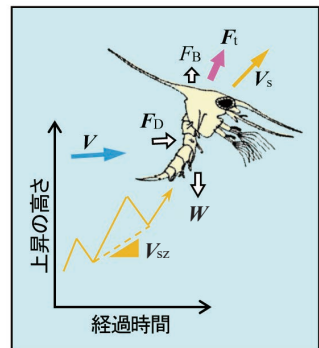


図1 ズワイガニ数値幼生

度の極大値は、成長に応じて青色光（波長 465nm）から緑色光（波長 522nm）へと変化し、さらに波長の長い黄色光～赤色光の領域では急速に減少しました。

図 3 は、遊泳頻度の水温と積算水温による変化を示しています。第 I 期ゾエアは低水温で活発な遊泳行動を示しました。遊泳頻度は水温の上昇や成長とともに減少し、水温 23℃以上で停滞しました。一方、メガロバ期においては、顕著な上下動はほとんど認められませんでした。

図 4 は、若狭湾沖合域の各水深帯における、東向きの流れの季節変化を示したものです²⁾。これより、鉛直混合が発達する 2 月～4 月は、ほぼ全層に亘って流れが弱く、対馬暖流が強まる初夏から秋期にかけては上層と下層で流れの向きが逆転し、反流（対馬暖流と反対方向の弱い流れ）が発生しています。

図 5 は、横軸に積算水温、縦軸に水深をとり、2 月 1 日と 9 月 1 日に若狭湾沖合域の水深 300 m よりズワイガニ数値幼生を放出した場合の遊泳軌跡を計算したものです。遊泳軌跡には海中光の日変化に応じたノコギリ波形状の上下動が認められ、

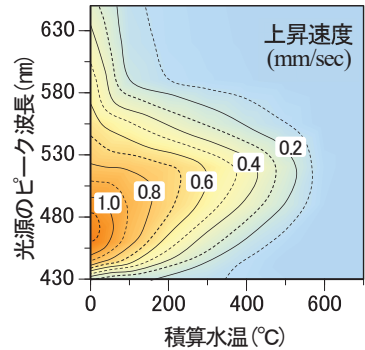


図 2 上昇速度の発生状況

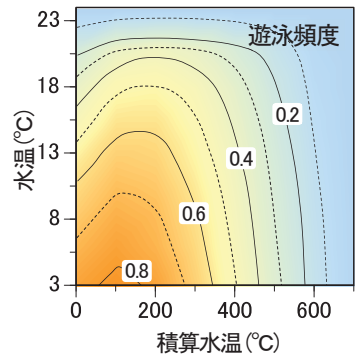


図 3 遊泳頻度の発生状況

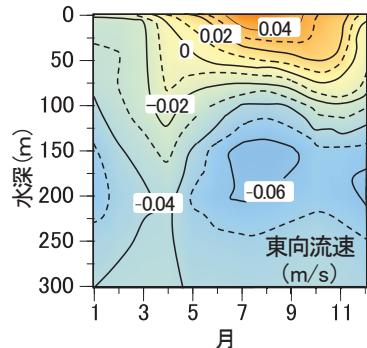


図 4 東向流の時空間変化



その振幅は成長とともに減少しています。

ズワイガニ浮遊幼生は、孵化後、青色光に誘因されて1日当たり 86m 程度の速度で上昇し、2～4 月に孵化した幼生のみが餌料環境の豊かな水深 50

mより浅い海域まで到達できます。その後、対馬暖流に身を委ねながら成長を続け、幼生の重量が自身の推力を上回ると次第に降下し、反流に押し戻されて若狭湾沖合域に舞い戻ることがわかりました。

西には隠岐海脚が遙か大和海嶺まで連なり、東には能登半島の北端に禄剛海脚が聳え、これらの海脚と海嶺で囲まれた日本海随一の環状地形が反流を誘起し、越前がにのふるさとをはぐくんでいるのかもしれませんが。ズワイガニ数値幼生を活用した移動経路の探索技術は、資源加入に有利な親ガニ個体群の特定や、初期生残率の向上に配慮した海洋保護区の選定など、本種の個体群動態に則した、新たな資源管理手法の構築に寄与することが期待されます。

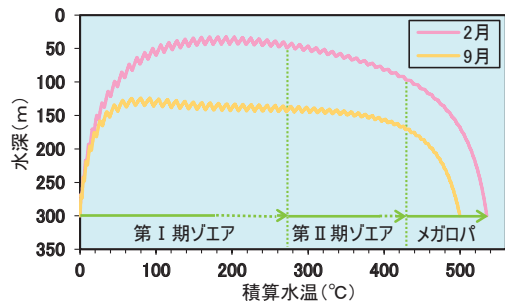


図5 数値幼生の遊泳軌跡の一例

引用文献

- 1) 小西望美 他 (2011) 土木学会論文集 (海洋開発), 67(2), 310-315.
- 2) 瀬戸雅文 他 (2012) 日本水産工学会学術講演会講演論文集, 97-98.

福井県産ワカメの収穫量向上への取り組み

吉 川 伸 哉・中 嶋 登

海草と海藻

誰もが「かいそう」という言葉は聞いたことがあると思いますが、「かいそう」と聞いたときに、思い浮かぶ漢字は、「海草」と「海藻」の2通りあるかと思います。どちらの「かいそう」も、光合成を行う生産者であると共に、産卵の場や稚魚のすみかとして沿岸の生態系を支えている点では同じですが、生物学・分類学の観点では「海草」と「海藻」は異なっています。前者の海草は、皆さんが花壇などで目にする顕花植物（体が根、茎、葉に分かれていて、花が咲く）であるのに対して、後者の海藻は、藻類と総称される紅藻、褐藻、アオサ藻（緑藻）をまとめた呼び方であり、多くの海藻は顕花植物で見られるような器官分化が乏しく、根の代わりに付着器で器物の表面に付着し生活しています。

長い海岸線を有する日本は、水産資源に恵まれ、人々は多くの海産物を利用して生活してきました。「かいそう」も古くから日本人が利用してきた海産物の1つですが、とくに食用として使われてきた「かいそう」はほとんど全て、後者の海藻になります。海藻の食用利用の歴史は古く、現在もっとも馴染み深い食用海藻の1つであるノリは奈良時代、本稿で取り上げるワカメは平安時代には食用とされていた記録が残っています¹⁾。

ワカメと養殖

ワカメは褐藻類に含まれる海藻で、褐藻類はワカメの他にもコンブ、ヒジキ、モズクなど多くの食用海藻を含んでいます。形がよく似ていることから



もわかるように、ともに食用として親しまれているコンブとワカメは、分類上1つのグループに含まれたいわば兄弟のような関係です（図1）。褐藻類の特徴は、その名の通り褐色（茶色）であることです。ワカメの天然での姿・色を知らない人は、味噌汁に入っている緑色のワカメをイメージし、ワ



図1 ワカメ（左）とコンブ（右）：
どちらも褐藻綱コンブ目に含まれます

カメが褐藻であることに、違和感を持つかもしれません。褐藻は光合成色素として顕花植物と同じ緑色の色素であるクロロフィルa 以外に、クロロフィルc とフコキサンチンと呼ばれる色素を持っており、これらの色素とタンパク質が1つになることで藻体の色が褐色になります。味噌汁のワカメが緑色をしているのは、熱により色素と結合しているタンパク質が壊れるため、ワカメが本来のクロロフィルの色である緑色に変化するためです。

ワカメと近縁なコンブの生育場所のほとんどが北海道であるのに対して、ワカメは東北から九州地方まで幅広く分布しており、規模の大小はありますが、全国各地で養殖が行われています。スーパーや八百屋に並んでいる野菜とは異なり、海に行くと天然の海藻を目にすることが出来るため、普段食べている海藻は天然のものと思っている人も多いかと思いますが、実は食卓で良く見られる海藻の中で天然のものが多く流通しているのはコンブくらいで、全国的に販売されている海藻の多くは養殖されたものです。国内産のワカメの約97%が養殖のワカメであり、福井県産としてスーパーで販売されているワカメも、多くは養殖のワカメです。また、ワカメは福井県で養殖さ

れているほぼ唯一の海藻です。

養殖を行う上でもっとも重要なことの1つが、海藻の生活環（海藻の一生）を理解し、人為的に生活環をコントロールすることです。ワカメの生活環は、配偶体世代だけ成り立っているわれわれ動物の生活環とは異なり、孢子体世代と配偶体世代の2つの世代を交互に繰り返します。普段皆さんが食べているワカメは孢子体世代の姿で、配偶体世代のワカメは、とても小さいため、生育場所でその姿を確認するのは困難です。福井の天然のワカメは、冬に孢子体が成長し、3月-5月にかけて孢子体の下部に孢子葉と呼ばれる器官を形成します（図2a）。孢子葉は、一般的にはメカブと呼ばれる部位で、その中に、顕花植物の種のような役割を果たす遊走子が形成され、海中に放出されることにより、ワカメは自身の分布を広げます。海中に放出された遊走子は、海中を遊泳した後に、基質に付着してオスもしくはメスの糸状の配偶体に成長します（図3a）。夏の海水温が高い期間を小さい配偶体として過ごし、再び海水温が低下し日長時間が短くなる秋になると、オスとメスの配偶体のそれぞれで形成された精子と卵（図3b）が受精し、再び孢子体になります。

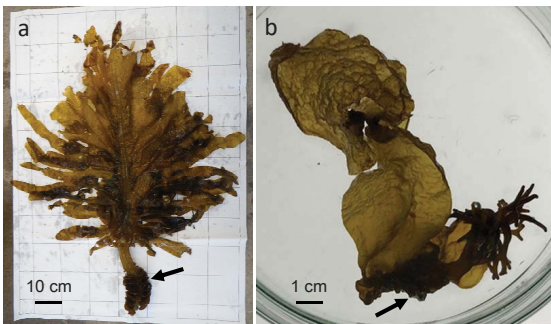


図2 野外の試験場 (a) と実験室内の水槽で成長したワカメ (b) : 水槽で成長したワカメの大きさは、野外的なものとおおよそ10分の1ですが孢子葉（矢印）の形成が見られます

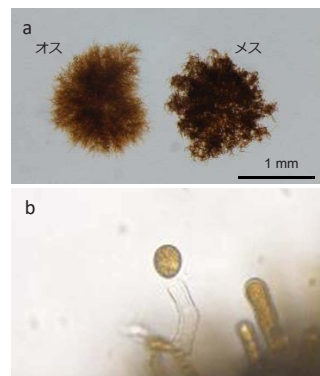


図3 ワカメの配偶体 (a) と卵 (b)



ワカメ養殖では、孢子葉から遊走子を採集し配偶体を得た後に、配偶体を糸に付着させ、配偶体の成熟を誘導することで幼孢子体が付着した種糸を作ります。海水温が十分に低くなった時期に、種糸を挟み込んだ養殖用ロープを養殖する海域に沖出し、3-4 カ月程度海中でワカメを育てた後に成長したワカメを回収します。

福井県のワカメ養殖の現状と現在の取り組み

近年、福井県のワカメ養殖の生産額は低下傾向にあります。その理由として考えられるのは、養殖海域の貧栄養化の影響や、主として県外から購入する種糸の品質の問題です。

福井県のワカメ養殖の多くは、徳島県などのワカメ養殖が盛んな県から種糸を購入して行われています。これまでの研究で、種苗の産地間で成長に必要な栄養の量（栄養要求性）が異なっていることが報告されているため²⁾、福井県のワカメ養殖においても、福井県の環境に合った種糸の産地の選定や開発が重要です。実際に同じ環境で産地が異なる3つの種糸（徳島県産、宮

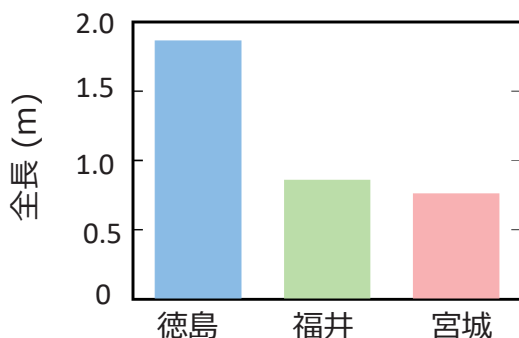


図4 種糸の産地とワカメの成長：
小浜湾で100日間養殖後の全長の比較

城県産、福井県産) を使ってワカメの成長を比較したところ、徳島産の種糸由来のワカメは、他の2つの種糸由来のワカメに比べて顕著に良く成長することが示されました(図4)。この結果だけを考慮すると徳島県産のワカメが若狭湾の環境に適しているようにも思えますが、実験室内で窒素が豊富な環境を作り培養実験を行うと、福井県産のワカメの方が徳島県産のワカメより良く成長することが解ってきました。このことは福井産のワカメも環境次第では十分に成長することを示しています。

長年の基礎・応用生物学的知見があるコメやコムギなどの陸上植物と比べ、ワカメでは生物学的な知見は非常に少なく、異なる産地間のワカメにおける栄養要求性や成長に関わる遺伝的な仕組みは、現在までのところまったくわかっていません。しかしながら、近年は遺伝子解析の手法が急激に発展し、多くの生物でゲノムを調べ比較することが可能になって来ました。今後、各産地のワカメでゲノム解析を行うことで、人為的にそれらのワカメの長所を組みあわせた若狭湾の環境に合ったワカメを作れるようになるかもしれません。そのためには、実験室内でワカメの交配と選抜を繰り返す、つまり管理された実験室内でワカメの一生を完結させることが重要となります。これまで体長が1m以上にも成長するワカメの胞子体を胞子葉が出来るまで培養するために、1000L程度の非常に大きな水槽が使われてきましたが、最近の著者らの実験で2Lの培養容器内でも胞子体が胞子葉を形成し、遊走子・配偶体が得られることが解って来ました(図2b)。この技術により色々な産地のワカメの掛け合わせで胞子体を作成し、任意の環境下で胞子体の選抜を行い、そこから子孫を得ること(選抜育種)が可能になります。このような遺伝子解析と選抜育種を組み合わせ、若狭湾の環境により適合したワカメを作ることが、福井県産のワカメ養殖の生産量の向上につながるのではと思います。

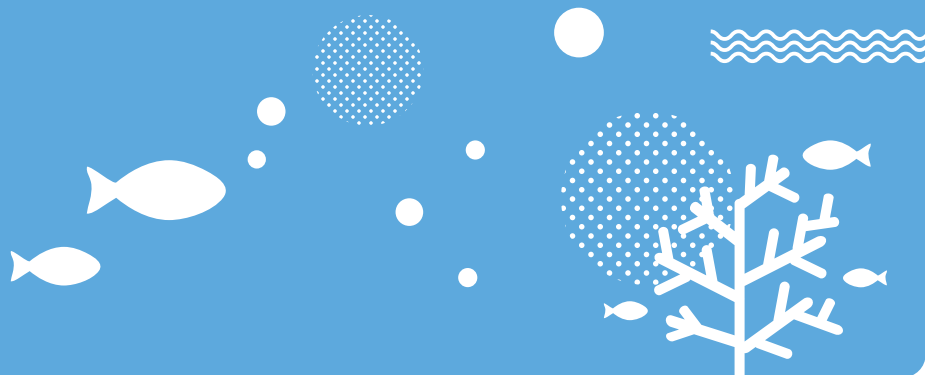


福井県のワカメ養殖のもう一つの課題は、種系の多くを県外に依存しているため、種系の輸送や保管によるワカメの成長への影響です。これらの影響を検証するため、種系を輸送時の条件を再現した半乾燥状態で保管し、その後のワカメ胞子体の生残を確認したところ、半日程度の半乾燥状態であっても、幼胞子体の生残率が低下することが示されました。多くの種系は産地から半乾燥状態で輸送されることが多いため、今後は適正な輸送方法について検討するとともに、大学と水産試験場が協力して県内で種系を作成し、供給できる体制を整えることも福井県産の養殖ワカメの生産量上げるために重要であると思われます。

引用文献

- 1) 今田節子 (2003) 「海藻の食文化」, 成山堂書店, 東京, 66-67, 97-98.
- 2) Sato Y. et al. (2017) *J. Appl. Phycol.*, 29, 2287-2295.

4. 先端増養殖のテクノロジーと遺伝子研究





ゲノムを養殖にどう活かすか？

末 武 弘 章

「ゲノム」は生命の設計図

ゲノムは生命の設計図です。みなさんの細胞の中には遺伝情報を持った DNA という物質があります。その DNA は A、T、G、C という 4 つの塩基で書かれた暗号のようなものです。生命活動に必要な遺伝情報をもつ DNA の 1 組をゲノムといい、多くの遺伝子の情報などを含んでいます。体を構成する体細胞は両親から各 1 組ずつゲノムを受け継ぎ、2 組のゲノムを持ちます。

ヒトの設計図を解読し、その意味を理解し、利用するためのヒトゲノム計画が行われ、2001 年にその概要が発表されました。ヒトゲノムを理解するには、ヒト以外の動物のゲノムと比較するのが有効です。実験動物であるマウスなどのゲノム解析が計画されましたが、やはり大変な努力が必要でした。そんな中、ヒトと同じ脊椎動物の中ではトラフグのゲノムサイズがヒトの 1/8 ほどでたいへん小さいことがわかりました。そのため、トラフグゲノムは非常に早い時期に解読され（概要発表 2002 年）、例えば、ヒトとトラフグではゲノムサイズの違いに関わらず、遺伝子の数はどちらも約 2 万個程度であることがわかりました。これ以降、魚類のゲノム情報を利用した研究が本格的に始まりました。現在では、次世代シーケンサー（NGS）により、高速に大量のゲノムデータを安価に解読することが可能になり、クロマグロなどおなじみの魚のゲノムが解読されています。

こうして発表された魚類のゲノム情報は最初バラバラの断片でしたが、ゲノム上の繰り返し配列（マイクロサテライト DNA）や 1 塩基の違い（SNP（ス

ニップ)) をゲノム上の目印 (DNA マーカー) として利用して作成した連鎖地図と組み合わせることによって、ゲノムのどこにどの遺伝子があるかがわかるようになりました。さらに、NGS によりゲノム全体に渡る DNA マーカー情報が蓄積し、これにより種内の系統関係や遺伝的特性などを高精度に解析できるようになり、次に述べるゲノム育種の基盤となりました。

ゲノム育種

育種とは人にとって都合のいい形質をもったものを選抜し、系統を樹立することです。大きさや色など外部から見てすぐにはわかるような形質については昔から育種が行われており、金魚や鯉の品種がたくさんあることはご存知かと思います。ところが、例えば、養殖において重要である病気に強いかどうかは見た目ではわかりません。ゲノム情報が利用できるようになったことから、ゲノムの個体差と形質の個性を結びつけるゲノム育種が可能になってきました。

ゲノム情報を利用して、成長が速いなどのような育種に有用な形質を持つ魚に共通に見られるゲノム領域の解析が行われています。多くの有用形質は複数の遺伝子に支配されており、その同定は簡単ではありません。そのため、ある有用形質を持つ個体を形質の異なる個体と交配させ、DNA マーカーを目印に特定の有用形質に関係するゲノム上の遺伝領域がどこにあるかを明らかにする QTL 解析が広く行われています。この方法でヒラメのウイルス病であるリンホシスチス病耐性魚が実用化されています。さらに、NGS によりゲノム全体に渡る大量の SNP を利用できるようになったことから、SNP と形質の関係を統計的に解析するゲノムワイド関連解析 (GWAS) や、SNP と形質の情報をもとに、遺伝的能力を推測する予測式により、求める特性を



持つ個体を選抜するゲノミックセレクションという方法が水産の分野でも利用されはじめています。ゲノミックセレクションでは稚魚のうちに成魚になったときの特性を判別できることから、飼育スペースや労力の削減、育種のスピードアップが期待され、今後の育種の主流になると考えられています。

養殖対象魚には家畜・家禽とは異なり、大きな遺伝的多様性をもつ天然資源が存在します。このことは有用形質を持つ魚を天然資源から見つけられる可能性が高いことを意味します。これは、今後の水産ゲノム育種の大きな可能性を示すもので、この分野の益々の発展が期待されます。

ゲノム編集

これまでにゲノムが生き物の設計図だという話をしてきました。ここで、もしこの設計図を書き換えたら、生き物自体が変わるだろうと予想できます。自然界には、突然変異といってこのゲノムが書き換わることがあります。突然変異によって生じる生物の多様性が進化の原動力であり、生物が進化するためにはかせないものです。この突然変異を人工的に起こす取り組みが行われてきました。植物では早くから放射線や化学物質を利用した突然変異の誘発による品種改良が行われてきました。しかし、こうした突然変異はランダムに起こるものであり、狙った遺伝子を書き換えるということではできませんでした。その後、特定の遺伝子を狙った遺伝子改変技術（ゲノム編集）として ZFN 法や TALEN 法が開発されましたが、現在では、2012 年に開発された簡便で安価な CRISPR/Cas9（クリスパーキャスナイン）法が主流となっています。CRISPR/Cas9 法は様々な動物において利用可能であり、多くの研究者に受け入れられ、2020 年にはノーベル化学賞を受賞しました。魚類では筋肉形成に関わる遺伝子の改変による肉厚マダイなどが知ら

れています。福井県立大学においても、ゲノム編集技術を用いた魚病対策研究が進められています。

CRISPR/Cas9 法はガイド RNA という DNA に結合する物質で標的遺伝子を指定して、Cas9 という酵素でその遺伝子を切断します。切断後、遺伝子の修復中に変異が起こるという原理であり、ガイド RNA や Cas9 は残留せずになります。そのため、外来の遺伝子をゲノムに導入する遺伝子組み換えにはあたらないと考えられることから、厚生労働省は 2019 年に放射線などによる従来の品種改良と安全面において同程度であるとし、これにより実質的にゲノム編集生物の流通が認められました。今後も、生態系への影響や食品としての安全面など考慮すべきことがらは山積しているものの、新たな育種法として期待されています。

このように急速にゲノム情報の利用が可能になり、水産増養殖においても大きな変革の波が訪れつつあります。日本も世界戦略を持って優れた特徴を持つ養殖品種を作り出し、日本発の美味しい魚を多くの人に食べてもらえるようになるといいですね。



魚類医療現場の最前線

瀧 澤 文 雄

養殖場における魚の病気と病原体

美味しくて栄養価が高い魚食が世界中で注目されており、水産物の需要と消費量が増えています。この需要を満たすために、養殖生産の拡大が更に期待されています。しかし、養殖現場では環境の悪化や高密度飼育などが原因となり、感染症の発生が問題になっています。

多くの人たちが、風邪を引いて咳や高熱が出たことがあると思います。風邪は、ウイルスや細菌などの病原体が私たちに感染することにより引き起こされます。普段は「免疫系」が働いて、病原体を排除することができますが、急激な温度変化や体力が落ちていると、病原体に対する抵抗力も低下し、排除できずに病気になってしまいます。魚も同じように、急激な温度変化、水

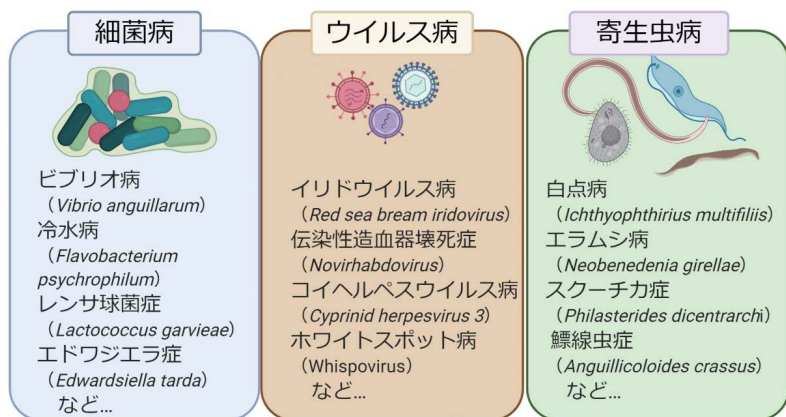


図1 養殖魚に見られる感染症と病原体

質の悪化、餌の品質の低下、過密飼育などが原因となり、感染症にかかりやすくなります。養殖魚に感染症を引き起こす病原体には、人の感染症と同じように、ウイルス、細菌、寄生虫、真菌などがあり、代表的な魚の感染症を図1に挙げました。

養殖場における魚病への治療対策

病気の対策には、病気になったら治す「治療」と病気にならないようにする「予防」があります。病気になった魚の治療法としては、飼育環境を変える環境操作と薬を使う化学療法が挙げられます。環境を変える治療法の例としては、温度変化により、魚は生育できるが病原体が増殖できないような温度にして治療することが可能です。また、サバなどに寄生するハダムシなどの外部寄生虫の駆除には、浸透圧を変化させる淡水浴や塩水浴が行われることもあります。

一方、薬剤を用いた治療法としては、ヒトと同様に、抗菌剤、駆虫剤が使われています。しかし、薬剤が魚体へ残留することもあるため、薬剤の種類によっては、用法・用量・使用禁止期間といった使用基準が厳しく定められており、薬剤を適切に使用することが重要です。かつては、海での魚類養殖において細菌病が流行し、治療のために抗菌剤が多く使用されていました。しかし、抗菌剤はウイルスには効き目がないことや、多用することにより薬剤耐性菌や環境汚染などの懸念もあるため、魚病対策における抗菌剤の有効性は低下してきています。特に薬剤耐性菌の問題は深刻です。

抗菌剤はヒトの医療に限らず、畜産業、水産業、農業など幅広い分野で用いられ、薬剤耐性菌があらゆる分野において増えてきています。薬剤耐性菌が増えると、感染症の治療が難しくなり、重症化や死に至る可能性が高まり



ます。また、魚や動物で発生した薬剤耐性菌が水・畜産物や農産物を介して人に広がる可能性があることも分かってきました。このような中、国際的な薬剤耐性菌対策に向けた薬剤耐性（AMR）対策アクションプランが行われており、魚病に対する予防対策の重要性がさらに増しています。

養殖場における魚病への予防対策

魚病の予防法の基本として、適正な飼育管理を行い、魚が元気な状態に保つことが大前提になります。そして、病原体と魚介類の接触を避けるために、病魚を隔離する感染源対策や病原体の侵入を防ぐ感染経路対策が大事です。また、病原体が増えにくい環境で飼育する環境制御や飼育法の改善に加えて、消毒やろ過した飼育水を用いることも重要な予防法になります。魚卵をヨード剤などで消毒することにより卵に付着している病原体を消毒することも行われていて、消毒した卵を病原体がいない飼育水で育てることで、病気の発症を予防できます。

病気に抵抗性のある耐病性育種も行われており、リンホシスチス耐性ヒラメや冷水病耐性アユの養殖用種苗が販売されています。耐病性育種は、近年の分子生物学の発展に伴うゲノム解析を応用して、さらなる発展が期待される分野です。

水産用ワクチンの現状と課題

養殖魚においても、ヒトと同様に免疫機能を利用した予防対策が行われており、免疫系を活性化させるような免疫賦活剤や栄養剤、ワクチンを用いた予防対策が主流になってきています。多くの水産用ワクチンが近年承認されてきており、養殖現場においても抗菌剤の治療対策から、ワクチンを用いた

予防対策の主流になってきています（図2）。ワクチンの普及により、2000年前後にはワクチンの販売額が抗生物質を勝ち、さらには魚病被害額もワクチン普及前に比べて、減少してきています。

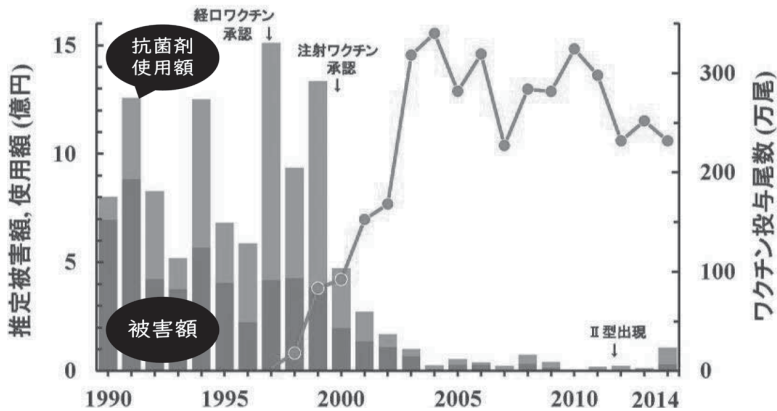


図2 ワクチンの効果 大分県における養殖ブリ類の α 溶血性レンサ球菌症関連ワクチンの投与尾数（折れ線グラフ）と被害額（棒グラフ下段）と抗生物質使用額（棒グラフ上段）の推移。
（パンフレット「水産用医薬品について」から転載）

しかしながら、ワクチンの課題も多く残っています。まず、日本の養殖の特徴でもある多魚種少量生産のため、多様な病気が発生していますが、それに対してワクチンの種類が不足していることが挙げられます。これまで、日本で実用化されたワクチンは8種類の細菌病と2種類のウイルス病だけが対象であり、他に大きな被害が出ている病気が沢山あります。また、魚種ごとに免疫系が大きく異なるため、原則として水産用ワクチンは魚種ごとに承認されています。しかし、特定のウイルスや細菌は、様々な魚種に感染できるため、今後、ワクチンの安全性と有効性を担保しつつ、多くの魚種に使用



できるようにする対応が求められており、ワクチンの適用が可能な魚種を増やすために、類似した免疫応答能力を有する魚種の範囲などを科学的に検証する取り組みが行われています。

ワクチンには、大きく分けて死んだ菌を用いる不活化ワクチンと毒性を弱めた菌を用いる生ワクチンがあります。生ワクチンは、病原菌が生きおり自然な感染を模倣できるため、不活化ワクチンに比べて、より強く、長期間にわたる免疫応答を誘導できるメリットがあります。しかし、病原菌の毒性が復帰してしまう可能性があり、水中では菌が増殖しやすく、発症魚の隔離が難しいため、日本で承認されている水産用ワクチンはすべて不活化ワクチンです。不活化ワクチンではウイルスや細胞内に寄生する細菌に対して有効な免疫が誘導されないことが知られており、免疫機能を効果的に増強させるアジュバント（免疫賦活剤）と組み合わせて使用される場合が多いです。それでもなお、ウイルスや細胞内に寄生する細菌の被害が増えており、今後より効果的なアジュバントの開発や、バイオテクノロジーを活かした安全な生ワクチンの開発が望まれます。

ワクチンの投与ルートも今後の重要な課題です。養殖魚へのワクチンの投与は主に注射、浸漬、経口の3つのルートがあります（図3）。当初は、一匹ずつ注射するのは、実用的ではないと考えられて、魚をワクチン液に漬ける浸漬ワクチンが開発されました。しかしながら、多くの浸漬ワクチンは効果が低く、現在では、注射法で行う水産用ワクチンが主流になっています。しかしながら、注射ワクチンは、大変な注意力と労力が必要です。最近、自動ワクチン接種機も作製されて、一時間で一万尾を超えるワクチン投与が可能になってきています。しかし、高価な機械であるため、まだまだ人の手で接種するのが主流です。現場では投与が簡便な浸漬法や経口法が可能なワク

	注射法	浸漬法	経口法
有効性	○	△	△
アジュバントの種類	多い	少ない	少ない
処理速度（労力）	遅い	やや速い	速い
術者の事故の可能性	有り	無し	無し
魚へのストレス	大	小	無し
仔稚魚への投与	できない	可能	摂餌可能以降
ワクチン必要量	少量	多量	多量
ワクチン投与量	正確	やや不正確	不正確

図3 ワクチンの投与法

チンが望まれており、近年、魚のエラや皮膚で働く抗体やワクチンを取り込む細胞の研究が行われており、今後、魚類の粘膜組織に関する研究が発展することにより、ワクチンの改良につながっていくと考えられます。

あらゆる分野で、治療から予防に主眼をおいた病気に対する対策が取られています。魚類においても、研究技術やツールの発展により、ヒトや哺乳類と同様なレベルで研究が行うことが可能になってきているため、今後、魚の免疫系や病原体に関する研究がさらに進展することにより、より効果的で簡便な投与が可能なワクチンの開発につながることが期待されます。



魚の遺伝的な個体差を探る 養殖用の優良品種作出へ向けて

小 北 智 之

ヒト一人一人の外見や性格などが異なることは自明なことでしょう。このような特徴を生物学では表現型または形質と呼びます。「氏か育ちか」という言葉があるように、表現型の違いには、先天的な要因（遺伝要因）と後天的な要因（環境要因）の両方の要因が関与しています。遺伝要因に焦点を当てた場合、表現型の個体間差異は、生物の全遺伝情報であるゲノム中の何らかの DNA 配列の差異によって生み出されているといえます。

このような生物種内に見られる遺伝的な違いを利用し、産業用の優良品種を作出しようとする試みは育種と呼ばれています。イネやコムギなどの栽培植物、ウシやブタなどの畜産動物の育種は、古くから盛んに行われており、既に多くの品種が存在しています。その一方で、水産養殖業における優良品種は、農業や畜産業と比較した場合、ほとんど作出されていないといっても過言ではありません。むしろ、日本人には、キンギョ、最近ではメダカといった淡水性観賞魚の改良品種のほうが馴染み深いかもしれません。しかし、産業規模が観賞魚とは比較にならない水産養殖業向けの優良品種の開発は、水産業の成長産業化に向けて大きな意味をもっています。

それでは、水産養殖業の現場において優良な形質とはいったいどのようなものでしょうか。このような形質は経済的形質と呼ばれることがあります。観賞魚なら鮮やかな色彩や面白い形態などが人気のある形質であると思いますが、養殖対象魚の場合は、成長や成熟の早さ、耐病性の強さ、低・高水温

への耐性、肉質の良さなどが代表的な経済的優良形質といえるでしょう。一般的な育種方法として、「選抜育種」と呼ばれる方法があります。この方法では、まず経済的形質において優れた形質値を示す個体を見つけ出し、その子孫から、また優れた形質値を示す個体を選定します。次に、このような選抜を複数世代繰り返すことによって、優れた形質値を保有する集団を作出していくというものです。このように、優良な品種の開発のためには、高成長個体といった優れた形質値を示す個体を探索することが重要な第一歩になります。一般に、野生生物には、種内に豊富な遺伝的な変異、つまり遺伝的多様性が存在し、このような種内変異は、同一集団内の個体間にも存在しますし、地理的に異なる集団間にも存在します。

このような現象を海洋生物資源学部が立地する若狭地方において“いさざ”の名称で馴染みがあるシロウオという魚の成長速度を例として紹介しましょう。ハゼ科の遡河回遊魚であるシロウオは、生物学的には幼形進化の代表的魚類の一つとして知られていますが、春を告げる風物詩であるシロウオ漁や“踊り食い”の料理法でご存じの方もおられるでしょう。本種は、北海道南部から九州南部までの浅海域に広く分布していますが、近年の研究から遺伝的に高度に分化した日本海集団と太平洋集団の存在が知られています¹⁾。日本海は現在でも半閉鎖的な海域ですが、更新世の氷期―間氷期サイクルによる気候変動の影響を顕著に受けた代表的な海域の一つです。氷期に外側の海域と分断されたことが原因で、遺伝的な固有性をもつ集団が日本海に生息していることがいくつかの海洋生物で知られていますが、シロウオもこのような例の一つです。また本種の2集団には生殖隔離が成立してないことが明らかになっており、これらの両集団は種内系統とみなすことができます^{2), 3)}。

日本海集団は太平洋集団に比較して体サイズが大きいのですが(図1)、こ

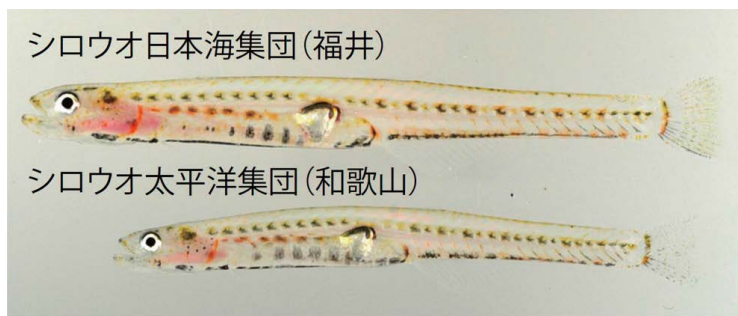


図1 シロウオ日本海集団と太平洋集団 写真は雌

の現象は成長速度の遺伝的な差異が原因となっています。つまり、日本海集団は太平洋集団よりも遺伝的に早い成長速度を進化させており、これは高い摂餌活性によって達成されています²⁾。さらに面白いことに、同じ日本海集団の中でも、成長速度が南北の集団間で遺伝的に異なることも判明しています。佐賀県産、福井県産、青森県産のシロウオ孵化仔魚を水温や餌量などを共通環境にした飼育条件下で育成すると、高緯度の集団ほど早い成長速度を示しました(図2)。共通環境下で育成しているわけですから、この差異は遺伝的に決定されているといっても問題ないでしょう。一般に、このような形質の遺伝的な集団間変異は生息環境への適応の産物として形成された場合もあれば、確率的なプロセスによって偶然に形成された場合もあります。実はこのような違

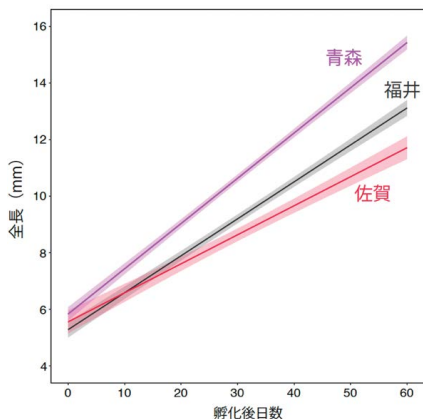


図2 共通環境下で育成したシロウオ日本海集団の初期成長パターンにおける緯度間変異

いが生み出されるプロセスやメカニズムの理解は、生態学や進化学といった基礎生物学分野における大きなトピックとなっています。

話を養殖用の優良品種開発に戻しましょう。シロウオの成長速度の例で見たように、同じ種と言っても、さまざまな遺伝的特性を持った個体が野生集団には存在しています。例外的な場合を除くと、海産魚類は、陸上動物と比較して、元々の野生集団の集団サイズが非常に大きく、高い遺伝的多様性を有することが知られています。これは、養殖対象となるような魚種にももちろん当てはまります。したがって、魚類の野生集団は、選抜育種のための優良個体の宝庫といえるでしょう。

それでは、優良な形質を保有する個体を効率よく探索するにはどのような方法を用いればよいのでしょうか。多数の親魚を用いて家系を多数作出し、それらを水槽や生け簀で長期的に育成・維持して形質値を調べるという方法を海産の養殖対象種に適用するには、大規模な施設が必要となり、人的・金銭的な側面からなかなか難しい側面があります。しかし、そもそも育種は遺伝的に決定されている形質を対象とするわけですから、経済的形質における形質値の個体間差異を DNA の塩基配列の差異に還元できれば話はかなり簡単になります。つまり、表現型の個体間変異の原因遺伝子領域ひいては原因 DNA 変異が同定できれば、該当する DNA の塩基配列情報を解読することだけでその個体のもつ特性を明らかにすることが可能となります。先に述べたシロウオの例で言うと、厳密な実験的検証は実施されていませんが、日本海集団と太平洋集団の成長速度の変異にはある食欲関連遺伝子⁴⁾が、日本海集団内の緯度間変異にはある成長関連遺伝子が部分的に関与していることが示唆されています。近年、あらゆる生物の全ゲノム情報の解読が以前とは比べものにならないほどの費用と時間で実施可能となっており、さらに、特



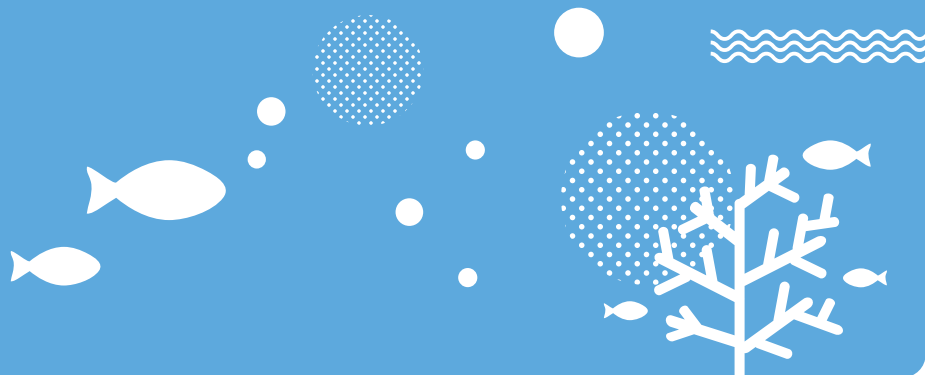
定の領域の DNA 配列だけなら極めて簡単に情報を得ることができます。このような技術的革新を背景として、経済的に優良な形質を保有する個体を DNA の配列情報を利用して探索する「ゲノム育種」と呼ばれる育種方法が台頭してきました。この方法を用いることで、さまざまな側面から効率的な品種開発が可能となり、農畜産物を対象とした研究が進展しています。

魚類においては、表現型変異の原因遺伝子や原因 DNA 変異の同定は、発生生物学や遺伝学のモデル実験動物であるゼブラフィッシュやメダカ、生態学や進化学のモデル野生動物であるイトヨやシクリッドなど基礎生物学分野で重要な成果が挙げられていますが、養殖業の対象となる有用海産魚類ではほとんど明らかにされていません。しかし、原因遺伝子を探索するための遺伝統計学的手法〔QTL（量的形質遺伝子座）マッピングや GWAS（ゲノムワイド関連解析）など〕は、さまざまな魚種に適用可能です。現在、養殖対象魚種の経済的形質を対象としたゲノム育種は有望視されており、水産業にブレークスルーをもたらす潜在性をもつ研究分野と言えるでしょう。

引用文献

- 1) Kokita T.・Nohara K. (2011) *Mol. Ecol.*, 20, 143-164.
- 2) Kokita T. et al. (2017) *Biol. J. Linn. Soc.*, 120, 563-577.
- 3) Hirase S. et al. (2020) *Heredity*, 124, 563-577.
- 4) Kokita T. et al. (2013) *Mol. Ecol.*, 22, 1341-1355.

5. 元気な魚づくりはエサが肝心





良質なオイルを生産するラビリンチュラ類と水産増養殖

高尾 祥 丈

高度不飽和脂肪酸（PUFA）と魚類の生育

ドコサヘキサエン酸（DHA）やエイコサペンタエン酸（EPA）は、血中脂質の低下や、学習能・視覚機能の向上など様々な生理機能をもつオイル（脂質）として知られています。DHA や EPA は図 1 に示すような構造を持つ高度不飽和脂肪酸（PUFA）であり、その不飽和結合の位置から ω -3 脂肪酸と呼ばれ、多くの海洋生物に特徴的に存在している脂肪酸です。これらのオイルはイワシなどの青魚に多く含まれていることで有名ですが、実は海産魚類の生育において非常に重要な必須の脂肪酸であることがわかっています。魚種にもよりますが、仔魚期には飼料の 1 ～ 3 % 分の DHA を要求し、欠乏すると大量へい死や活力の低下、成長の大幅な遅延がおこることがわかっています¹⁾。しかし、魚類やその直接的な餌となるカイアシ類やアミ類などを含む後生動物は、それらを自ら合成することはできません*。一方、海洋に多く存在する珪藻やハプト藻、渦鞭毛藻類などの微細藻類や一部の細菌類は、自

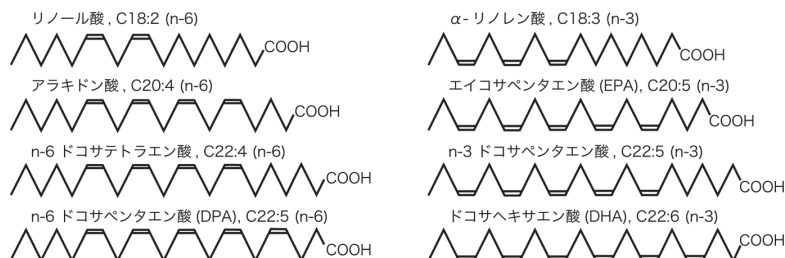


図 1 様々な高度不飽和脂肪酸の構造

ら PUFA を合成する能力を持っています²⁾。このため魚類などの高次栄養段階の生物は、これらの微生物が生産する PUFA を、食物連鎖を介して獲得する必要があります。

*原料となる α -リノレン酸を摂取することで合成が可能ですが、 α -リノレン酸から DHA や EPA への変換効率は低く、ヒトの場合 EPA で 8%、DHA で 4% と言われています³⁾。

PUFA を生産する微生物ラビリンチュラ類

上述のとおり、様々な微生物が DHA などの PUFA を生産することが知られていますが、取り分け大きな注目を集めているのがラビリンチュラ類という真核微生物です(図2)。一般的に PUFA は細胞膜を構成するリン脂質、あるいは糖脂質に存在するため、一つの微生物細胞に含まれる量はそれほど多くありません。しかし、ラビリンチュラ類はこの PUFA を細胞膜だけではなく、細胞内に蓄積することができます。さらにラビリンチュラ類の中には総脂質量に対する DHA の割合が非常に高い、いわゆる高純度 DHA 生産性のグループも存在します⁴⁾。これらの特徴に加えて、ブドウ糖、ペプトン、酵母エキスなど安価な材料で培養でき、増殖力も高いという特徴から、ラビリンチュラ類を用いた DHA などの良質なオイルの生産・供給という産業利用の試みが活発に行われています。また、ラビリンチュラの産業利用の試みは PUFA 以外にも、鮭の身や甲殻類の赤色色素であり抗酸化作用を持つアスタキサンチンの生産や、ラビリンチュラ類の仲間である

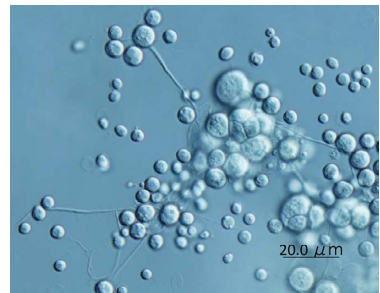


図2 ラビリンチュラ類の光学顕微鏡像



オーランチオキトリウムを用いたバイオ燃料（スクアレノ）生産など多岐にわたっています。

海洋生態系におけるラビリントウ類の重要性

ラビリントウ類は、産業利用の観点からだけではなく、沿岸生態系を理解する上でも非常に重要な生物です。このユニークな原生生物は、直径 5–20 μm ほどの大きさで、葉緑体を持たず、有機物の分解によってエネルギーを得る分解者です。特殊な環境に生息しているのではなく、沿岸域において腐食性または寄生性生物として様々な試料（海水、底泥、藻類、植物、軟体動物の表面など）から普遍的に分離されます。また、その生息域は非常に広く、熱帯・亜熱帯地域のマングローブ域から中緯度域の沿岸・汽水域はもちろん、極域や深海にまで及んでいます⁵⁾。さらにその biomass（生物量）は同海域に存在する浮遊性細菌の 3.5 ~ 43% にも達することが明らかとなっています⁵⁾。つまり、ラビリントウ類は海洋に幅広く普遍的に生息する代表的な分解者であると言えます。

一般的に海洋における分解者としては細菌類が挙げられますが、その菌体生産を起点とする食物連鎖「微生物ループ」は植物プランクトンによる有機物生産を起点とする食物連鎖と同じくらい重要であることがわかっています。ラビリントウ類は細菌よりもサイズが大きく、より高次の栄養段階に直接捕食されると考えられることや、その生息域の広さ、バイオマスの豊富さ、PUFA 生産能力を考慮すると、ラビリントウ類による有機物分解を起点とした食物連鎖「ラビリントウループ」とも言うべき経路は、質・量ともに細菌類を起点とする「微生物ループ」に匹敵する重要なエネルギー循環経路であると考えられます。

ラビリンチュラ類の水産増養殖への利用

水産増養殖において、ラビリンチュラ類は主に餌や養殖魚の質を向上させるために用いられています。仔魚の生残率の向上は生産効率の観点から非常に重要な課題ですが、仔魚期の飼育に餌として用いられるアルテミアやワムシなどの動物プランクトンには DHA などの PUFA が十分に含まれていません。そこで、ラビリンチュラ類をこれらの動物プランクトンに餌として与えることで、飼料としての品質を強化させる試みが行われています¹⁾。また、サーモンの養殖が盛んなカナダでは、ラビリンチュラを混合した飼料を与えることでサーモンオイルの品質向上を図る試みも行われています⁶⁾。

ラビリンチュラ類の生産するオイル（脂質）の組成は、属や種、培養条件などによって変化することがわかっています。筆者らは、海洋生物資源学部が立地する小浜湾でラビリンチュラ類の生態調査をおこなっており、その中で様々な属のラビリンチュラ株を分離することに成功しています。将来的に、その豊富なライブラリーから種の選抜や様々な培養条件の検討を行うことで、魚種や要求される品質に合わせたカスタマイズ可能な養殖飼料として、これからの水産増養殖に貢献できると考えています。

引用文献

- 1) 林雅弘・松本 竜一 (2001) 海洋と生物, 23(1), 57-61.
- 2) 横地 俊弘・中原東郎 (2001) 海洋と生物, 23(1), 39-45.
- 3) Burdige, G. C. (2002) *Br. J. Nutr.*, 88(4), 355-364.
- 4) Bowles, R. D. et al. (1999) *J. Biotech.*, 70, 193-202.
- 5) Naganuma, et al. (1998) *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 162, 105-110.
- 6) Miller, M. R. et al. (2007) *Comp. Biochem. Physiol. Part-A*, 148(2), 382-392.



実はとっても役立つ微細藻 サプリと増養殖とナノテクの話

佐藤 晋也

そうるい
藻類が、増養殖の現場で餌として重要な役割を果たしているのをご存知ですか？藻類と聞くとコンブやワカメ、海の生き物に詳しい人だとアオサやホンダワラなど、大型の藻類、いわゆる「海藻」を思い浮かべる人も多いかと思いますが、ここでの主役は単細胞の生物「微細藻」です。海藻は食卓や海水浴で目にするかと思いますが、微細藻の細胞は1ミリにも満たないミクロのサイズで肉眼では見えません。その名の通り微細ですので、普段の生活をおくっているとその存在を意識することはありませんが、実は光と水がある場所であれば大抵どこでも生育していて、とても身近な存在です。ここでは、そんな微細藻に焦点をあて、彼らが我々の生活にどのように関わっていて、また増養殖の現場でいかに大切な役割を担っているのか、最先端の研究動向を交えて紹介します。

そもそも藻類ってなに？

藻類というのは、進化的に多様な生物を人間が無理やりまとめたグループです。それぞれの生物が大きく異なるため、藻類とはどのような生き物かを簡潔に言い表すことはできません。あえて藻類を定義すると「酸素発生型光合成を行う生物のうち、コケ植物、シダ植物、種子植物を除いたもの」となりますが…、そう言われてもよく分かりませんよね。分子系統学的手法が普及するにつれ生物の類縁関係の全貌が徐々に明らかとなり、藻類がいかに

多様なグループの寄せ集めであるか分かってきました。

図1は2019年に発表された真核生物の系統樹¹⁾です。樹の根元で真核生物の祖先が誕生し、そこから進化が起こり新たな生物が誕生する様子を樹の枝分かれに見立てて表現しています。真核生物は大きく分けて9個の大

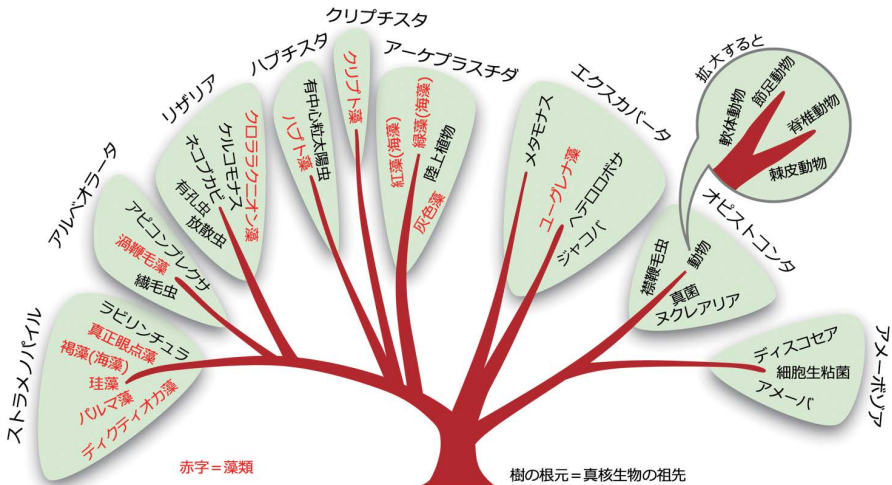


図1 藻類の系統的位置を示した真核生物の系統樹

真核生物が誕生した樹の根元から進化が進み、枝分かれして9個のグループへと分かれた様子を示している。系統樹で近くに位置している生物同士は進化的にも近縁で、形や生きざまが似ていることが多い。赤字で表示された「藻類」は系統樹の上で1箇所にまとまらない、つまり系統的にまとまりのない生物である。一方、動物はヒトや魚などの脊椎動物、タコやイカといった軟体動物など多様な生物を含むが、系統樹の上では一つのまとまった一群である（丸囲いの中は動物を拡大し、それぞれの動物群の関係を詳しく表示している）。Adl et al (2019) を改変。



きなグループに分かれ、それぞれのグループにはリザリア、エクスカバータなど聞き慣れない名前がつけられています。オピストコンタというこれまた聞いたことのないグループのメンバーをのぞいてみると、我々ヒトを含む「動物」が含まれています。動物の中を更に詳しくみると、脊椎動物（哺乳類・魚類・鳥類など）に加え、棘皮動物（ウニ・ヒトデ・ナマコなど）、節足動物（エビ・カニ・昆虫など）や軟体動物（タコ・イカ・貝類など）といった様々なメンバーがありますが、真核生物全体の多様性からみると動物はよくまとまった単一のグループであることがわかります。一方、赤字で表示された「藻類」は系統樹上で様々な位置にみられ、進化的に全くまとまりがないことが見てとれます。それぞれの藻類はグループ内の多様性が異なり、例えば各グループが含むおよその種数は、クリプト藻で200種、渦鞭毛藻は2,000種、珪藻は20,000種と大きな幅があります。藻類のうち、海藻と書かれた緑藻（アオノリ・アオサなど）・紅藻（マクサ・トサカノリなど）・褐藻（ワカメ・コンブなど）は肉眼で見える大型海藻を含み、我々の食用としても利用されます。褐藻はそのグループ内に大型藻の種類しか含みませんが、緑藻・紅藻の中には大型藻に加え単細胞の種類（つまり微細藻）もあります。またそれ以外の藻類グループは微細藻のみで構成されていて、そうした藻類に関しては日常生活では全く目にする機会がない生物といえます。次のパートでは、様々な分野で利用されていて、肉眼では見るできないものの実は我々に関わりが深い微細藻を紹介します。

山椒は小粒でもぴりりと辛い～とっても役に立つぞ、微細藻類！

微細藻はその細胞内に栄養を豊富に含んでいる種類が多く、古くから各分野で利用されてきました。例えばクロレラはタンパク質含量が多く大量培養

も容易なことから、50 年以上前から健康食品として普及しています。ドナリエラやヘマトコッカスはそれぞれ β -カロテンやアスタキサンチンという抗酸化作用に優れた色素を大量に作るため、化粧品や健康食品に利用されています。油を多く作る微細藻も多く（図2）、ボトリオコッカスは炭化水素という石油系の油を作るため、ガソリンの代替燃料としての利用が期待されています。ちなみに上記の微細藻（クロレラ、ドナリエラ、ヘマトコッカス、ボトリオコッカス）はすべて緑藻に含まれる種類です。ユーグレナ藻のメンバーの、その名もユーグレナは絶賛売り出し中の有望株で、サプリメントとして

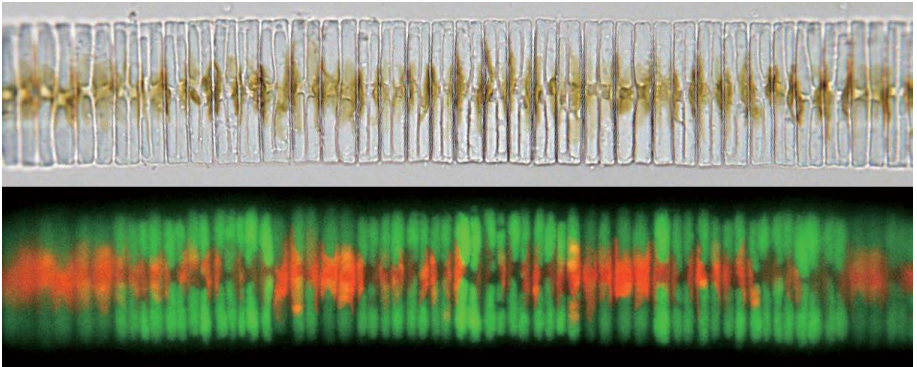


図2 細胞内に油をためる微細藻

上は光学顕微鏡による観察、下は同じ細胞を蛍光顕微鏡で観察したもの。特殊な蛍光試薬で油を緑色に染色してある。上の写真で黄色く、下の写真では赤く写っている部分は葉緑体。細胞一つは1mmの20分の1（50 μ m）程度の縦長の細い棒状で、それらが横につながって帯状の群体となっている。写真の種類は細胞内に油をたっぷりためこんだ珪藻シュードスタウロシラ。



だけでなくヨーグルトやクッキーといった製品にも使われています。コンビニで目にした事がある人もいるでしょう。ちなみにこのユーグレナ、細胞の先端から伸びる鞭毛で水中を自由に泳ぎ回るため、ミドリムシという和名がついていますが、虫ではなくれっきとした藻類のなかまです。

微細藻はその栄養価の高さから、水産増養殖の現場でも重宝されています。魚の増養殖では稚仔魚の初期餌料（＝赤ちゃんの離乳食）として、ワムシやアルテミアなどの動物プランクトンを使っています。細胞サイズが小さいことも微細藻の強みの一つで、クロレラやナンノクロロプシス（真正眼点藻）、各種珪藻類などは栄養満点なうえに動物プランクトンが食べることができる丁度良いサイズのため理想的な餌として、つまり魚にとっての餌の餌として大活躍しています。またアワビやサザエ等の貝類やウニなどの養殖では、やはり離乳食として主に付着性の珪藻類を板の上で増殖させて与えます。小型の海水魚を加工して作る魚粉や魚油は飼料としては有用な反面、多くの問題を抱えていますが、最近の研究では、ナンノクロロプシスが作る油を魚油の代替品として使用できることが分かってきました。このように、微細藻の応用の可能性はまだまだ無限に広がっているといえます。

高い機能性と将来性、なにより美しいルックス、次世代微細藻界のエースは「珪藻」だ！

多様な微細藻のなかでも、珪藻はその栄養価の高さや増殖の速さから、各種水産増養殖の現場や有用物質生産のため世界中で広く用いられてきました。そのため、近年は生き物の設計図であるゲノムの全塩基配列を決定する作業、いわゆる全ゲノム解読も多くの珪藻を対象として進んでおり、遺伝子レパートリーから彼らの有用物質生産能力の把握、また遺伝的子改変を通じ

たスーパー珪藻の作出が進むことが期待されています。しかし、現在全く新しい視点から珪藻が世界的に脚光を浴びています。その理由は彼らが作るガラス質の特殊な細胞壁にあります（図3）。顕微鏡でその細胞壁をみるとその輪郭が円、楕円、四角、五角形など多様なことに驚かされます。0.1 ミリにも満たないこの小さな細胞壁を更に拡大すると、その表面には細かい穴が規則正しく整列し美しい模様をつくっている様子を見ることができます。また細胞壁の外側や内側に複雑な形の構造物をもつ仲間もいます。このような複雑なガラス構造を我々が人工的に作るためには、特殊な装置で圧力や温度

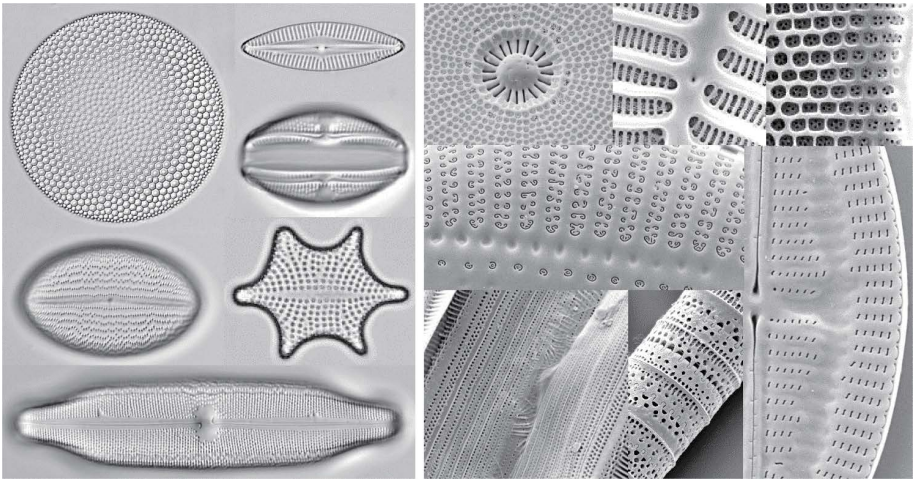


図3 珪藻のガラス細胞壁

左：光学顕微鏡による観察。多様な形の細胞壁には、美しい模様が刻まれている。

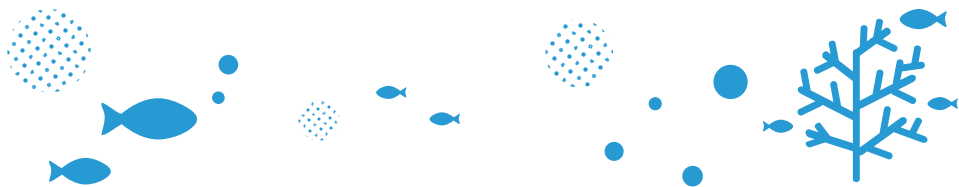
右：走査型電子顕微鏡による観察。超高解像度撮影により、規則正しく並んだ穴を見ることができる。



を上げて数日間かけてガラスのブロックを加工する必要がありますが、驚くことに珪藻は常圧、常温の自然環境下で、1時間もかからずにこのような精緻な構造を作ることができます。珪藻によるミクロのガラス細工の秘訣を知りナノテクノロジーに応用することで、半導体性能の向上や小型ロボット開発などの分野におけるブレイクスルーとなることが期待されます。我々の研究室でも、複数の珪藻を用いて全ゲノム解読を進めており、餌生物や有用物質産生能といった側面についての研究に加えて、彼らのガラス細工メカニズムの遺伝的理解を目指して研究を進めています。

引用文献

- 1) Adl et al. (2019) *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 66(1), 4-119.



あ と が き

世界的な人口増加や開発途上国の経済発展などを背景にして、水産物需要は拡大を続けています。その一方で過剰な漁獲や地球規模での気候の変動などによって水産資源の枯渇が国際的な問題となっています。そのため、天然資源の持続的な利活用とともに、水産増養殖による食糧増産への注目がますます高まっています。本ブックレットでは、水産増養殖が世界的な命題である食料資源の安定供給に貢献するだけでなく、地域経済の振興や地域文化の伝承、環境保全という役割も担っていることをお伝えしました。また、水産増養殖が成長し発展していくためには、まだまだ多くの学術的・社会的な課題が残されており、そのために先端的な科学技術を取り入れた研究が進められていることを紹介しました。

しかし、お話できなかったことが、まだまだあります。例えば、環境保全型の養殖技術、自然の生産力を利用する無給餌養殖、ICT、AI、ロボット技術を応用するスマート養殖、途上国での技術指導などの国際的貢献、増養殖関連の起業（ベンチャー）などの内容を含めることができませんでした。これらの話題に関しては、あらためてブックレットを作成して紹介することができればと思います。

大学は教育研究機関として社会とのつながりを常に意識する必要があります。特に、水産増養殖の様々な分野でリーダーシップをもって活躍できる人材を育成することはとても大切な役割と考えています。本ブックレットが、水産増養殖をとおして社会に貢献する研究をしてみたい、地域、国内のみならず海外で活動してみようという大志をもった若者たちの参考になれば幸いです。

執筆者（執筆順）

横山	芳博	〔福井県立大学	海洋生物資源学部	教授〕
富永	修	〔福井県立大学	海洋生物資源学部	教授〕
田原	大輔	〔福井県立大学	海洋生物資源学部	教授〕
松川	雅仁	〔福井県立大学	海洋生物資源学部	准教授〕
南保	勝	〔福井県立大学	地域経済研究所	特任教授〕
杉山	友城	〔福井県立大学	地域経済研究所	准教授〕
仲野	大地	〔福井県立大学小浜キャンパス	企画サービス室	企画主査〕
兼田	淳史	〔福井県立大学	海洋生物資源学部	教授〕
杉本	亮	〔福井県立大学	海洋生物資源学部	准教授〕
東村	玲子	〔福井県立大学	海洋生物資源学部	准教授〕
細井	公富	〔福井県立大学	海洋生物資源学部	准教授〕
瀬戸	雅文	〔福井県立大学	海洋生物資源学部	教授〕
吉川	伸哉	〔福井県立大学	海洋生物資源学部	教授〕
中嶋	登	〔福井県水産試験場	主事〕	
末武	弘章	〔福井県立大学	海洋生物資源学部	教授〕
瀧澤	文雄	〔福井県立大学	海洋生物資源学部	准教授〕
小北	智之	〔福井県立大学	海洋生物資源学部	准教授〕
高尾	祥丈	〔福井県立大学	海洋生物資源学部	准教授〕
佐藤	晋也	〔福井県立大学	海洋生物資源学部	准教授〕

福井県立大学ブックレット①

水産増養殖と環境まちづくり

2020年11月30日発行

編集者 福井県立大学海洋生物資源学部

発行者 福井県立大学

〒910-1195 福井県永平寺町松岡兼定島 4-1-1

印刷 創文堂印刷株式会社

ISSN 2436-052X

100周年ロゴマークについて

本学は、1920年4月に設置された福井県農業試験場内の「福井県農業技術員養成課程」が始まりです。1966年に福井県農業短期大学校、1975年に福井県立短期大学、1992年に福井県立大学へと発展、2007年に公立大学法人に組織変更し、今年がちょうど100年目に当たります。「実は100年」です。この節目にロゴマークを作成しました。

福井県の鳥で、学章にも使用されている“つぐみ”をイラスト化し、くちばしには県立大学の木である、白樺をくわえています。

福井県立大学が「実は百年」であることを、県民の皆様にご理解いただき、次の100年に向かって、“羽ばたく”願いを込めています。

