

# 水研センター 秋の一般公開のお知らせ

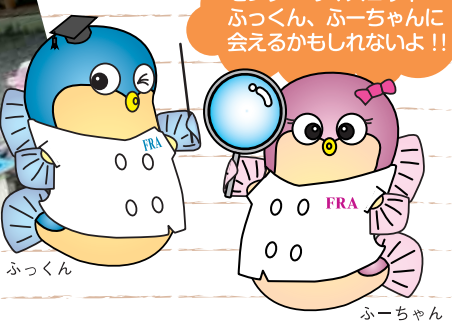


水産総合研究センターでは、毎年1回、日本全国にある研究所や栽培漁業センターの内部を、広く一般の方々に公開しています。実験機材や魚の飼育など、実際に行っている研究の様子が見えるほか、タッチプールやおさかなクイズなど、各研究所ごとに楽しい企画をご用意してお待ちしておりますので、ご家族そろって是非お越しください。

- |  |   |
|--|---|
| <p>10/6 10:00~15:30<br/>日本海区水産研究所<br/>(新潟県新潟市中央区水道町1丁目5939-22)</p> | <p>10/20 10:00~15:00<br/>水産工学研究所<br/>(茨城県神栖市波崎7620-7)</p>     |
| <p>10/7 10:00~15:00<br/>東北水産研究所八戸支所<br/>(青森県八戸市字鮫町下盲久保25-259)</p>  | <p>10/20 10:00~16:00<br/>中央水産研究所<br/>(神奈川県横浜市金沢区福浦2-12-4)</p> |
| <p>10/13 10:00~16:00<br/>遠洋水産研究所<br/>(静岡県静岡市清水区折戸5-7-1)</p>        | <p>10/21 9:30~15:00<br/>西海区水産研究所<br/>(長崎県長崎市多以良町1551-8)</p>   |
| <p>10/13 9:30~15:00<br/>北海道水産研究所<br/>(北海道釧路市桂恋116)</p>             |   |



センターのマスコット  
ふっくん、ふーちゃんに  
会えるかもしれないよ!!



サカナが見えてくる。

## 水産研究最前線 ミクロからマグロまで プログラム

**日時** 平成19年10月3日(水) 13:00~16:30  
**場所** 日本消防会館ニッショーホール 港区虎ノ門2-9-16

主催:独立行政法人 水産総合研究センター  
後援:水産庁、(社)大日本水産会、全国漁業協同組合連合会、海と魚と食を考える会、全国水産加工業協同組合連合会、(社)マリノフォーラム21、(社)海洋水産システム協会、(社)全国豊かな海づくり推進協会

お問い合わせ先

〒220-6115 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-3-3 クイーンズタワーB棟15階  
独立行政法人 水産総合研究センター広報室 TEL 045-227-2625 HP <http://www.fra.affrc.go.jp/>

## ごあいさつ

本日は、独立行政法人水産総合研究センターの成果発表会にお越しいただき、誠にありがとうございます。

当水産総合研究センターは、昨年4月より第2期中期目標期間に入り、水産基本法の基本理念である「水産物の安定供給の確保」と「水産業の健全な発展」に科学・技術の面から貢献するため、調査・研究・技術開発に全力で取り組んでおります。

これらの成果を分かりやすく伝えることも重要な使命として、種々の講演会やセミナー、シンポジウム等を行っており、そのひとつとして水産関係者をはじめ一般の皆様も対象にした成果発表会を毎年開催しております。今回は、テーマを「水産研究最前線－マイクロからマクロまで－」と題し、DNA解析やマイクロアレイなどマイクロな技術の活用から、音響探査、マクロ種苗生産の取り組み、漁場調査などのマクロな調査活動まで、当センターの幅広い活動の中から最先端の成果をご紹介します。マイクロな基盤技術も社会へのマクロな貢献を目指したものであり、水産物の安定供給の確保と水産業の健全な発展に向けたこれらの取り組みが、少しでも皆様のお役に立つことになれば幸いです。

今後とも「コミュニケーション」を大切に、水産に関する調査・研究・技術開発を積極的に行って参りますので、皆様のご理解と一層のご支援を下さいますようお願い申し上げます。

平成19年10月3日  
独立行政法人水産総合研究センター  
理事長 川口 恭一

## プログラム

1.開会	13：00
2.理事長挨拶	
3.成果発表	
1) ミクロの技術で魚病を診断 -「DNAチップ」を使って迅速・正確に- 大迫 典久（養殖研究所 札幌魚病診断・研修センター）	13：05
2) 音と光で魚を探る -探査技術最前線- 澤田 浩一（水産工学研究所 水産情報工学部）	13：40
3) DNAでここまでわかる -北洋のサケの起源と分布を推測- 佐藤 俊平（さけますセンター さけます研究部 遺伝資源研究室）	14：15
休憩	14：50
4) 南太平洋にイカを求めて -ニュージーランド漁場調査- 高山 剛（開発調査センター 底魚・頭足類開発調査グループ）	15：10
5) クロマグロの大量生産を目指す -若齢魚からの大量採卵に成功- 二階堂 英城（奄美栽培漁業センター）	15：45
4.まとめと展望	16：20
5.閉会	16：30



# ミクロの技術で魚病を診断

－「DNAチップ」を使って迅速・正確に－

大迫 典久（養殖研究所 札幌魚病診断・研修センター）

## 1. はじめに

近ごろ話題になったコイのヘルペスウイルス病のように、魚も人間と同じように病気にかかります。病気の原因も寄生虫、細菌、ウイルス、その他栄養や環境に由来するものなど様々で、魚の種類によっても病気は異なります。いま魚介類の養殖は盛んに行われており、特に最近では養殖対象種の増加に伴い、病気の発生件数およびその種類が増えて問題となっています。魚病による被害の推定額は、年間100億円を超えています。今後、養殖業がさらに発展し、また消費者に安全で安心な養殖魚を提供していくためには魚介類の病気対策が重要です。病気が出た場合は出来るだけ早い段階でその病気を迅速かつ正確に診断して、病気の種類に応じて適切に対処することが最も重要です。そのため、様々な魚種の多種類の病気に対応する診断法の開発が望まれています。

## 2. 魚の病気の診断法

従来の一般的な魚の病気の診断方法では、まず体表に出血や潰瘍があるかどうかや寄生虫が付いていないかなどを観察し、ついで、病気の原因となる細菌やウイルスを検出するため、病

原体を培養します。細菌の培養には寒天を使った培地を、ウイルスの培養には魚類の細胞を使います。病原体の培養では、十分に増殖して観察可能になるまでには早くも丸一日かかります。さらに培養された病原体が何であるかを判別するためには、病原体の性状を調べる様々な検査を行う必要があるため、結局、判定結果がでるまでには数日かかっていました。簡便な診断方法としては、病原体に対する抗体がその病原体に結合することを利用した凝集法や蛍光抗体法があります。これらの方法は、簡便で迅速に判定できる点で優れた方法ですが、抗体が何らかの理由で病原体以外の物と反応してしまったり、病原体との反応と区別が難しい場合や、病原体が少ない場合は検出できないといった感度の問題があります。

これらの問題を解決するため、新しい診断手法としてポリメラーゼチェーンリアクション（PCR）法が用いられるようになりました。これは病原体のDNAを酵素を用いて増幅し、それを検出するという方法です。このPCR法は、従来法に比べ非常に正確かつ高感度で判定でき、非常に有効な方法ですが、一度に一種類の病原体しか検出できません。病気の診断では、普通

その原因がわからないわけですから、いろいろな病原体を調べる必要があり、その結果いく通りものPCRを繰り返し行う必要がでてきます。そこで、一度に多くの病原体を検出する方法として、DNAチップによる診断法を開発しました。

## 3. 「DNAチップ」とは？

それでは「DNAチップ」とは、いったいどういうものでしょうか。DNAチップは、この言葉のとおり、小さな基板（チップ）の上にDNAを貼り付けたもので、整然としかも数多く配列させていることから、マイクロアレイ（アレイは配列の意味）とも呼ばれています。この診断方法の原理は以下のようなものです（図1）。まず、病原体に特徴的なDNAを基板（ナイロン膜やスライドガラスなど）上に貼り付けます。様々な病原体のDNAを小さなスポット状に整然と貼り

付けることで、たくさんの病原体の情報をのせたDNAチップができます。一方、病魚の診断用試料（病原体が含まれている組織や臓器など）からDNAを取り出し、それらのDNAに標識をつけておきます（このときはDNAは二本鎖）。そしてこれらの標識したDNAを一本鎖にして、作製したDNAチップ上に貼り付けてあるDNAと混ぜ合わせます。DNAは通常二本鎖で出来ており、それぞれの鎖のDNA配列が相補的な相手と結合する性質があることから、試料中の病原体のDNAに相補的なDNAがチップ上に貼り付けてあった場合には、そこで結合して二本鎖を形成し、結果としてチップにくっつくことになります。試料から抽出したDNAはあらかじめ標識してありますので、それがチップ上のDNAと結合すると、結局、チップ上のスポットが標識されることになります。一枚のチップ上に調べたい病原体の

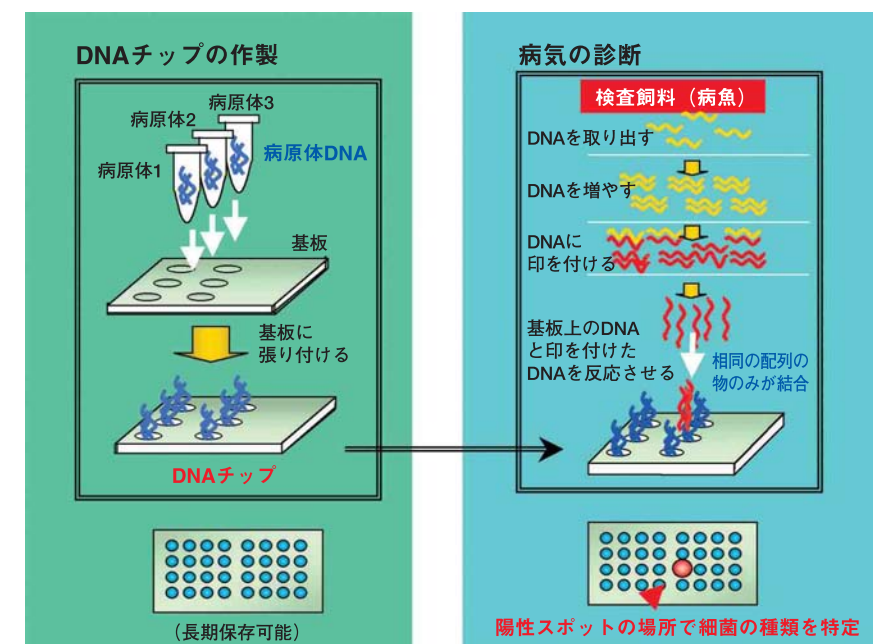


図1 魚介類疾病診断用DNAチップによる検出原理

DNAを全てスポットしておけば、目的の病原体が試料中にあるといずれかのスポットが標識されますので、そのチップに貼り付けたDNAのスポットの位置を病原体名の配列表と照らし合わせれば、この病気が何かわかるというわけです。

#### 4. 魚病診断用のDNAチップ

現在までに養殖魚介類で発生している病気のうち、診断がつきにくい細菌とウイルスを検出するDNAチップをそれぞれ作製しました。実用化に向けた低コスト化のために、DNAを貼り付ける基板をナイロン膜とし、手動のスポッター（DNAを基板に貼付ける器具）を用いました（図2）。まず、病原細菌による疾病の診断用チップとしては魚介類の主要な病原細菌などの35種類の細菌のDNAをスポットしたチップ、及び病原細菌の中でも特に同属の種類が多いために判定が難

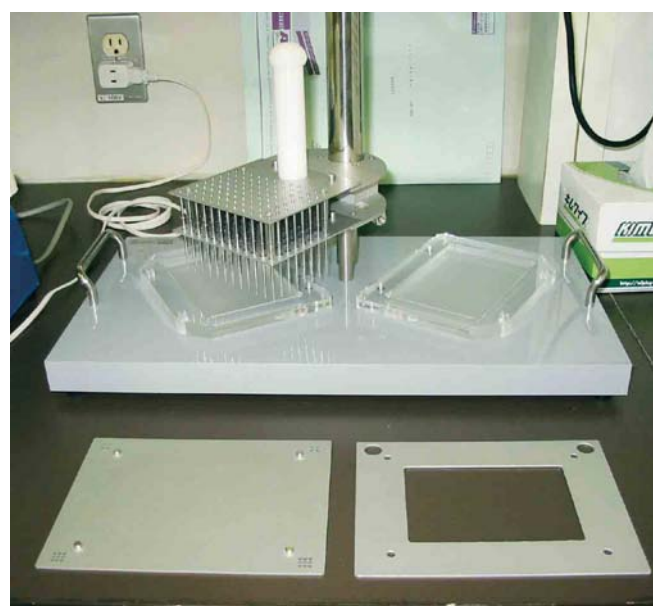


図2 魚介類疾病診断用DNAチップの作製のためのスポッター  
手前の鉄板にナイロン膜を挟み、スポッター（奥の台座上）の針をDNAがはいった96穴のマイクロプレート中に浸してから膜に押し付け、DNAをスポットする。

しいビブリオ属の病原細菌のDNAを19種類スポットしたチップを作製しました（図3）。一方、主要なウイルス病については海産魚の病原ウイルス10種類、淡水魚のウイルス8種類、（その内両者に共通のウイルス3種類を含む）の合計15種類の病原ウイルスを検出するDNAチップを作製しました（図4）。これらのDNAチップを用いることにより、一度に多くの病原体についての検査が可能になるとともに、従来の培地を用いた培養による病原菌の検出に比べて診断までの時間が大幅に短縮され、検出感度も上がり、養殖魚介類の現在知られているほとんどの病原細菌による病気と主要な病原ウイルスによる病気について迅速かつ正確に診断できるようになりました。これらのDNAチップはすでに県の水産試験場などの実際の魚病診断現場で試され、有用性が実証されています（図5）。

#### 5. おわりに

DNAチップが普及し、養殖現場に近い所で魚介類の病気が迅速で正確に診断できるようになれば、疾病の早期発見、早期治療が可能となり、病気の蔓延が防止できます。そして、消費者への安全・安心な養殖生産物の提供につながる

とともに、魚介類の養殖業の安定経営にも貢献できるものと考えています。なお、養殖魚介類の病気は現在でも増え続けています。今後は新しい疾病に対応していく必要があるとともに、より使い易いようにDNAチップに改良を加えていき、魚病の診断現場での普及を目指していきます。

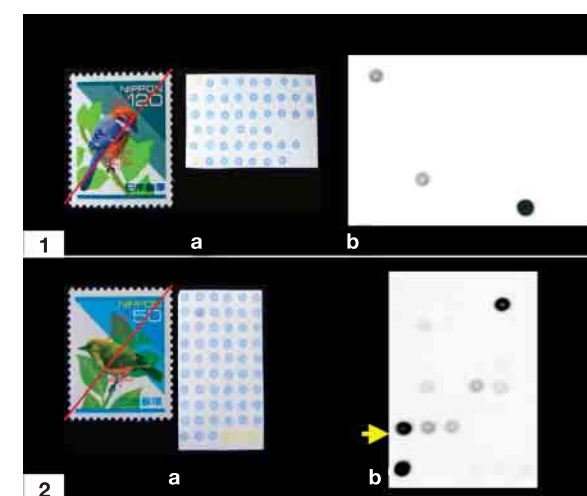


図3 作製した魚類病原細菌検出用DNAチップ  
1：一般魚病細菌の検出に用いるチップ  
2：ビブリオ属の細菌検出に用いるチップ  
1、2ともにaは作製したチップ（わかりやすくするためDNAのスポットを青く染色）、bは検出した事例、強く黒色を示すスポットが陽性。陽性スポットに対応する菌種が検出された病原体。ただし、ビブリオの検出には横並びの3スポットが陽性であることが必要（矢印）。



図4 作製した魚類病原ウイルス検出用DNAチップ  
aは作製したチップ（わかりやすくするためDNAのスポットを青く染色）、bは検出した事例、強く黒色を示すスポットが陽性で、検出には横並びの3スポットが陽性であることが必要。



図5 作製したDNAチップの使用法のマニュアルの例  
作製したDNAチップ（病原細菌検出用、ビブリオ属細菌検出用、病原ウイルス検出用）について、それぞれ使用法についてマニュアルを作製し、診断現場での普及を図っている。



# 音と光で魚を探る

－探査技術最前線－

澤田 浩一（水産工学研究所 水産情報工学部）

## 1. はじめに

水産資源の状態は、調査船を運航し直接対象魚種やその卵と稚魚を獲って調べるだけでなく、工学的な手法を用いても調べることができます。この工学的な手法を用いて、より正確に定量的な資源の把握ができるように、私たちは資源計測装置や情報処理技術に関する研究を行っています。工学的な手法というとちょっとイメージがしにくいかもしれませんが、例えば水中で超音波を発生し、返ってきたエコーの強さから対象生物の量を推定する装置、あるいはイルカなどが持つ高性能な音響探査能力、いわゆるイルカのソナーを利用した次世代型魚群探知技術、また魚群行動のシミュレーションにより魚群構造を明らかにする技術などの開発に取り組んでいます。

今回は、その中で音と光を利用した最前線の資源探査システム、J-QUESTについて紹介します。

## 2. 音と光で魚を探るとは

ハダカイワシ類、小型イカ類、オキアミ類などのマイクロネクトンは、世界中で莫大な資源量があり、アジやサバなど水産資源として重要な魚種の餌となっています（図1）。また、その多くは日周鉛直移動を行い（図2）、表層から深層への物質循環の役割を果たしていると考えられています。しかし、これらの役割を定量的に評価するためには、正確な資源量推定が必要となります。これまでのネット採集による分布密度の推定では、ネットの種類と採集対象生物によって、獲られやすさが異なるために、推定量に最

大で10倍もの差が生じていました。一方、計量魚群探知機（以下、計量魚探機）を使う音響手法は、対象生物に影響を与えることが少ないリモートセンシングであり、点の推定となるネット採集に比べ、はるかに多くのサンプリングが連続してできるので定量性が高いと考えられています（表1）。しかし、音響手法だけでは、種の識別や体長分布の推定ができません。そこで、光を使った技術、すなわちステレオカメラを併用して対象生物を撮影することにより、種の識別や体長推定が可能になります。これを実現する音響・光学複合生物観測システムがJ-QUESTです（図3）。

## 3. 音響による資源調査

音響調査では、パルスエコー法（やまびこの原理と同じ）を利用した計量魚探機を用います。計量魚探機は、数ミリ秒以下の短い時間、超音波を送信し、魚などのターゲットに反射して返ってくるエコーを受信します。送信から受信までかかった時間と音速（おおよそ1500m/s）からターゲットまでの距離が、受信したエコーの強さから体積当たりの反射強度（ $S_v$ ）や一尾当たりの反射強度（ $T_s$ ：ターゲットストレングス）の測定

ができます。したがって、分布密度（ $n$ ）は

$$n = \frac{S_v}{T_s}$$

で求めることができます。

## 4. 音響・光学複合生物観測システム、J-QUESTの開発

J-QUESTは、農林水産技術会議の特別研究「漁業資源調査のためのマリノセンシング技術の開発（平成8-11年度）」で開発した海中ロボット搭載を目的とした小型計量魚探機および高感度ステレオTVカメラからなる音響光学複合システムをベースとしています。

この時点では、有線式でない海中ロボットへの搭載を考えて、バッテリー駆動、データは内部収録としました。

次に、ニュージーランド、米国との国際共同研究「ダイナミックな日周鉛直移動を行う魚類のターゲットストレングスと生物学的情報の測定手法（平成13-15年度）」により、調査船から吊り下げ、深度250mまでにいる魚群に近づけることによって、 $T_s$ 、魚種、体のサイズ、遊泳姿勢などを計測できるシステムとなり、J-QUESTと命名しました（図3）。

しかし、J-QUESTを用いた調査では、ハダカイワシ類の映像を得ることができませんでした。これは、J-QUESTに搭載した照明を点灯すると、夜間上昇していたハダカイワシ類の魚群が下がることから、照明光を忌避していることが原因と思われました。そこで、平成17年度に、ハダカイワシ類の視覚特性を調べるために、夜間表層に浮いてきたハダカイワシ類を生かした状態で採集し、その眼球を採取しました。採取時には、



↑ 亜寒帯から移行域にかけての優占種のひとつトハダカ（マス目 5mm）



↑ ツノナシオキアミ（約20mm）

図1 代表的なマイクロネクトン

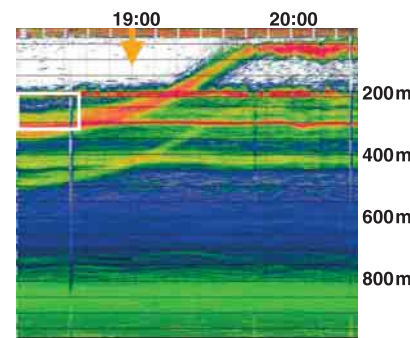


図2 ハダカイワシ科魚類などの日周鉛直移動矢印は日没時間。図中の白枠はJ-QUESTによる観察範囲を示す。

表1 ネット採集と音響手法による分布密度推定の比較

	ネット	音響
定量性	△	○
得られる情報	種組成、体長組成	$S_v$ 、 $T_s$
他に必要な情報	濾水量	種組成、 $T_s$
サンプリング体積	小	大
種組成、体長組成	○	×
問題点	採集効率	種組成の識別

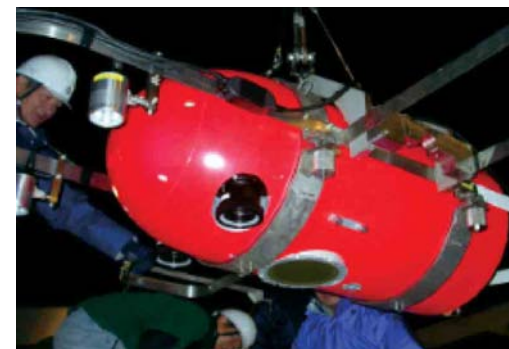


図3 音響・光学複合生物観測システム（J-QUEST）

できるだけデッキ上を暗くして、極力光に当たらないようにしました。採取した眼球から光に反応する視物質（網膜にある光の刺激を電気信号にかえる細胞に存在する色や明るさを感じる物質のこと。例えば青の視物質を持っていれば青い色を感じることができる。）の抽出を行い、光の波長別の感度特性（分光感度特性）を調べました（図4）。

これにより、暗順応（暗い環境に慣れた状態）しているハダカイワシ類の感度の高い波長は489nmと青色寄りにあることがわかりました。

視物質だけでなく、網膜の電位からも視覚特性を調べました。一般に、網膜に光が照射されると、網膜に電位が生じ、この活動電位を記録したものをエレクトロレチノグラムと呼んでいます。ハダカイワシ類を生かした状態で目の網膜に電極をつけ、いろいろな波長の光を照射して、網膜に生じる電位から波長別の反応を調べました（図5-a）。これにより、赤色より青色の光に強く反応していることがわかりました。また、同じ青色の光を照射しても、照射時間が短くなるにしたがって、ほとんど反応しなくなることがわかりました（図5-b）。さらに、光学顕微鏡に

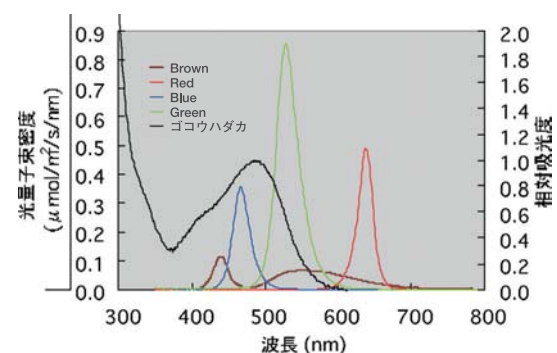


図4 ハダカイワシ類（ゴコウハダカ）の分光感度特性とLEDの発光波長

よる網膜断面の観察から、通常の魚類と異なり、明るいところで働く錐体（色を感じる細胞）がないこと、光を感じる細胞に入る光の量を調節する、すなわちサングラスの役割を果たす黒色顆粒がほとんどないことが明らかになりました。これらについては、今後、電子顕微鏡などを用い、より精密に確かめていく予定です。

これらの結果を踏まえて、平成18年から3年間の予定で、J-QUESTでハダカイワシ類の映像を映すことができるように、ハダカイワシ類に見えない、あるいは行動に影響を与えない照明方法の開発に取り組んでいます。図4に白色の光、青色の光、緑色の光、赤色の光を発光する発光ダイオード（LED）の分光特性を色別に示しました。黒い線はハダカイワシ類が感じる光を示しています。黒い線を見ますと600nm以上の光に対してはほとんど光として感じないことがわか

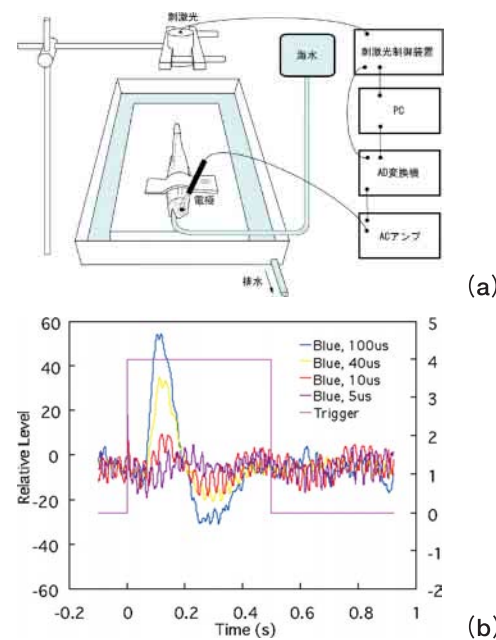


図5 網膜電位測定のための装置の模式図(a)と点灯時間が5、10、40、100 μ秒と異なる青色光の刺激により発生した電気信号(b)

ります。すなわち、赤色の光を照明として使えば、ハダカイワシ類には見えないと推定できますので、行動に影響を与えないでハダカイワシ類を観察できると考えられます。また、ハダカイワシ類が光として感じる青色の光であっても、照射時間を短くすることによって網膜の電位反応がなくなりますので（図5-b）、照射時間を適切に設定することによっても、同様のことができると考えています。

現在のところハダカイワシ類の映像を収録するまでには至っていませんが、それ以外ではサンマ、カタクチイワシ、サバ類、タコイカ、などたくさんの生物のステレオ画像、エコーデータを収録することができました（図6）。

## 5. おわりに

ハダカイワシ類の中で、典型的な日周鉛直移動を行うトドハダカは、昼間300-500mの深度にいますが、夜間数十mの表層まで上昇します。

J-QUESTでは、深度250mまでにいる生物の観測が可能でしたが、さらに改良を加えたJ-QUEST $\chi$ （図7）では、深度500mまでがその観察範囲となり、昼間におけるトドハダカの観察



図6 カタクチイワシを襲うタコイカの映像 2004 July 30、02:21:43 (SMT)、J-QUEST 深度25m。

も可能となります。

このため、新規に耐圧型のスプリットビーム式送受波器の開発を行いました。本送受波器は、均圧型とよばれる構造を持ち、送受波器単体であれば、深度1000mの深海でも使用できます。また、静水圧によって送信レベルが変化しないように工夫してあります。照明は、赤色と青色の各2灯のLED照明から構成され（図8）、点灯時間と消灯している時間、すなわち照明のインターバル周期をかえることによって、ハダカイワシ類に見えない照明条件が設定できるようになっています。

今後、J-QUEST $\chi$ を利用することにより、ハダカイワシ類に限らず、図6に示したような捕食行動など、これまで得られなかった生物の生態について知見が得られるものと考えています。



図7 海上実験中のJ-QUEST $\chi$  下側に突出しているのが500m耐圧型送受波器。



図8 赤、青のLED照明を点灯したJ-QUEST $\chi$  送受波器は未装着。



# DNAでここまでわかる

－北洋のサケの起源と分布を推測－

佐藤 俊平（さけますセンター さけます研究部 遺伝資源研究室）

## 1. はじめに

サケは日本をはじめロシア・カナダ・アメリカにいたる環太平洋一帯に広く分布しています。サケはサケ属魚類（サケ・カラフトマス・サクラマス・ベニザケ・ギンザケ・マスノスケ・ニジマス）の中でカラフトマスと並び最も広い範囲に生息し、また最も進化した種であるとされています。川で生まれたサケの稚魚は海で数年間成長し、そして親になると産卵のため再び自分の生まれた川に帰ってきます。日本で生まれたサケは、はるか遠くベーリング海まで餌を求めて移動し、さらに冬を越すためアラスカ湾まで足を伸ばすと考えられています（図1）。サケ

はこのように非常に大規模な回遊をするわけですが、はたしてはじめからこうした大回遊を行っていたのでしょうか？むしろサケがその分布域を拡大していく過程でその大回遊能力を獲得していったと考えるのが自然ではないでしょうか。それを知るために、まず現在のサケ集団がどのような遺伝的な背景を持っているのかをミトコンドリアDNA（細胞小器官の一つであるミトコンドリアの中にある環状DNAのことで、母親だけから子に受け継がれる特性を生かして家系を追跡するための研究などに利用されている）を用いて調べてみました。

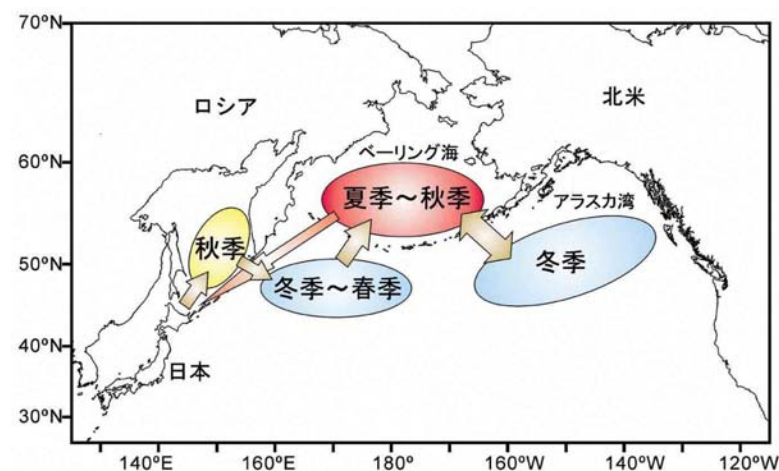


図1 現在考えられている日本系サケの回遊経路  
浦和（2000）を元に作図。

## 2. ミトコンドリアDNAからサケの集団構造とその起源を探る

日本16集団・韓国1集団・ロシア10集団・北米21集団の合計48集団（図2の●印）から得られた2,000個体以上のサケについて、ミトコンドリアDNAの解析を行いました。その結果、サケは遺伝子で見ると30種類のタイプに分けられること、そしてそれらは大きく3つのタイプ（A・B・C）にまとまることわかりました。次に、30種類の遺伝子のタイプが地域ごとにどのように分布しているのかを調べてみました。日本地域の集団ではA・B・Cすべてのタイプを含んでおり、Aのタイプが過半数を占めていました。ロシア地域の集団でもすべてのタイプを含んでいましたが、Bのタイプが80%を占めていました。一方、北米地域の集団ではBのタイプが99%以上を占め、わずかにCのタイプが見られたもののAのタイプは全く見られませんでした（図2）。

ある遺伝子のタイプを調べた場合、一般的に古くから存在する集団では見つかるタイプは多

くなり、新しい集団では少なくなります。それぞれの地域に分布している遺伝子タイプの数を調べてみると、日本地域の集団で最も多く、次いでロシア地域の集団、そして北米地域の集団が最も少ないという結果になりました。また、各地域の集団がどの程度遺伝的に異なっているのかを知るために遺伝子タイプの多様度を調べてみても、日本地域の集団で最も大きく、北米地域の集団で最も小さいことが明らかとなりました。これらの結果から、日本地域の集団が最も古くから存在していると考えられました。

このようなサケ集団の遺伝的な違いは、サケが長い時間をかけて分布域を拡大していった結果と考えられます。ではサケはいったいどこを起源とし、どのようなプロセスにより現在の様な集団を形成したのでしょうか？この疑問を明らかにすべく、これまで得られたデータを元に、統計的手法を使ってサケ集団の形成過程の推定を試みました。その結果、どうやらサケは極東（古日本海もしくはその周辺地域）を起源とし、ロ

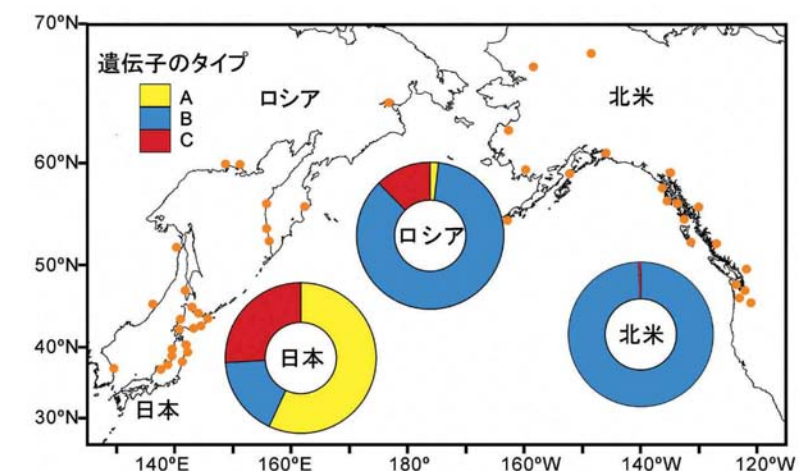


図2 日本・ロシア・北米地域におけるサケの遺伝子タイプの分布  
地図上の●はサケの採集地点を示す。

シアをへて北米地域に分布域を広げていったと推定されました(図3)。この結果は図1に示した現在の日本系サケの回遊経路と大体一致しています。もしかしたら日本系サケは自らの分布域を徐々に広げていきながら、同時に現在に至るその回遊経路を確立していったのかもしれませんが。

### 3. 遺伝情報からサケの分布を確かめる

これまでは環太平洋サケ集団がどのような遺伝的な特徴を持ち、どこを起源としているのを見てきました。では現在のサケ、特に日本系サケは広い北洋のどこを回遊しているのでしょうか？この情報は、日本系サケの資源管理等を行う上で大変重要になります。北洋では日本系サケはロシアや北米から出てきた他国系サケと一緒に生活しています。これは各国由来のサケが北洋(特にベーリング海)を主な餌場として居るためです。そのため、沖合のサケ混合集団から日本系サケを識別(系群識別)する必要があります。遺伝的系群識別法は、それぞれの地域のサケ集団が持っている遺伝的な特徴を利用して、混合集団の中にどの国由来のサケが何%

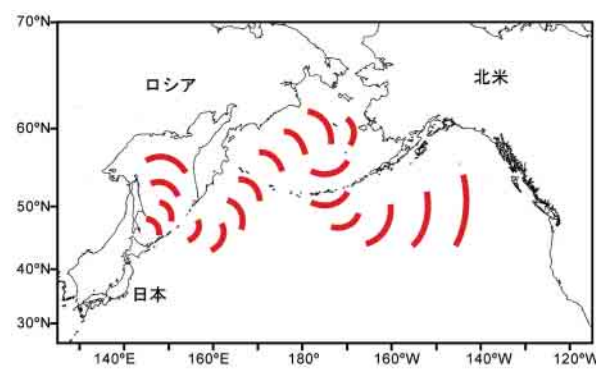


図3 推定されたサケの分布域拡大過程  
環太平洋地域の西から東へ連続的な分布域の拡大が考えられた。

いるのかを推定する方法です。この方法には基準群と呼ばれるデータセットが必要なのですが、実は最初の研究で明らかにした環太平洋サケ48集団の遺伝的な特徴を基準群として利用することが可能なのです。それでは次に、このサケ48集団を基準群に用いて行ったサケ混合集団の遺伝的系群識別について紹介します。

### 4. 日本のサケは北洋の何処にいる？

夏のベーリング海は、サケが餌を求めて移動してくる場所であり、サケの資源量を考える上で重要な海域です。そのため、これまで多くの調査がこの海域で行われてきました。最近では2002-2003年の9月および2004年の6-7月に、水産庁調査船開洋丸によるさけ・ます資源の国際共同調査が実施されています(図4)。

この時得られたサンプルについて遺伝的系群識別を行ったところ、日本系サケは夏から秋のベーリング海に広く分布することがわかりました。特にベーリング海の中央部(180°ライン)の北側でその割合が高いことが明らかとなり、この傾向



図4 開洋丸による夏季ベーリング海沖合調査  
さけ・ます類を漁獲するための表層トロール網を船尾より投入しているところ。

は調査期間の3年間を通じてほぼ同様でした(図5)。

一方、冬は夏に比べ水温が低下し餌環境も悪化することから、サケにとって死亡する確率が高くなる危険な時期です。2006年1-3月に実施された冬季さけ・ます調査航海で得られたサンプルを用いて遺伝的系群識別を行ったところ、北西太平洋(東経165°ライン)で得られたサンプルの95%は海洋年齢1歳(海に降って初めての冬を経験するサケ)のサケ幼魚であり、そのうち約17%が日本系サケでした(図6)。それに対しアラスカ湾(西経145°ライン)で得られたサンプルは、90%以上が海洋年齢2歳以上(2度目以降の冬を経験するサケ)のサケ未成魚であり、アラスカ湾の北側では北米系が、南側では日本系サケとロシア系を合わせたアジア系サケが多く分布していることが明らかとなりました(図6)。

### 5. おわりに

近年、日本系サケの資源量は高水準を保っていますが、年によっては変動することもあります。回帰資源量を安定させるためには、この変動要因を明らかにしなければなりません。そのため

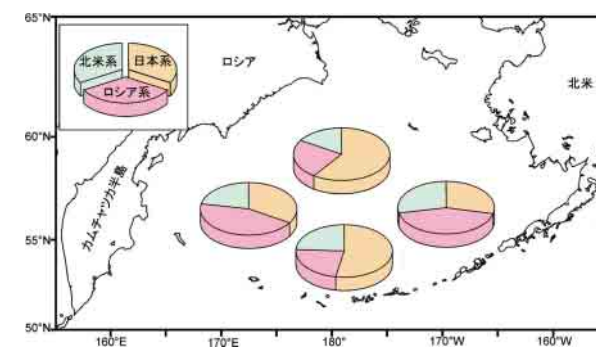


図5 海洋域におけるサケ混合集団の系群組成の例  
2003年9月のベーリング海におけるデータ。日本系サケはベーリング海一帯に広く分布し、中でも中央部(180°ライン)の北側でその割合が高い。

には調査船調査を継続的に行い、今回ご紹介したような日本系サケの分布域をはじめとする様々な科学的データを蓄積していくことが重要です。これにより得られるデータは、毎年行われる外国とのさけ・ます漁業交渉の場で、日本系サケ資源に対する我が国の権利を主張するための基礎的な資料にもなります。また、長期間にわたりデータを蓄積していくことで、様々な海洋環境の変動をいち早く察知し、日本系サケ資源が減少しないための対策を講ずることも可能になると考えられます。

ここでは、サケの細胞の中にあるDNAを利用して、北洋という大海原に生きるサケの起源と分布を調べた研究について、皆さんにその一端を垣間見ていただきました。サケは北日本の水産業にとって重要な魚種の一つであるとともに、日本で最も親しまれている魚です。そのサケは、ちょうど今がシーズンです。今年も多くのサケが北洋から日本へ戻ってきます。皆さんの食卓に秋サケが上るとき、彼らの歴史や彼らが生息する北洋に思いをはせながら、サケの味を楽しんでみるのはいかがでしょうか。

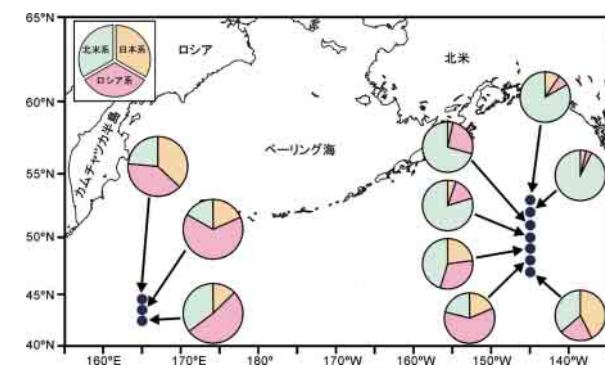


図6 2006年1-3月の北西太平洋(東経165°ライン)およびアラスカ湾(西経145°ライン)におけるサケ混合集団の系群組成(%)



# 南太平洋にイカを求めて

－ニュージーランド漁場調査－

高山 剛（開発調査センター 底魚・頭足類開発調査グループ）

## 1. はじめに －たぶん食べてるNZのイカ－

ニュージーランドは、日本から南南東に約9000キロのところに位置します。ニュージーランド（NZ）といえば、畜産や観光が盛んなイメージですが、その周辺には世界有数のイカ漁場があることをご存じでしょうか。2004年にはNZ周辺海域で14万トンものイカが漁獲され、かなりの量が日本国内にも流通しています。NZのイカは、肉質が柔らかく、惣菜の原料として人気があり、イカめしやイカそうめんなどに加工されています。皆さんももしかしたら、NZのイカとは知らずに食べていることがあるかもしれません。

NZ沖合でのいか釣り漁業は、日本の漁船によって約40年前に始められました。最盛期には150隻あまりが出漁し、5万トン近く漁獲していましたが、1980年代以降、資源量がより大きい南大西洋の



写真1 調査船 第八白嶺丸

漁場が開発されたことなどにより、NZ漁場から日本船は次々と撤退しました（図1）。

ところがここ数年、南大西洋への出漁がアルゼンチンの国内事情等により困難になってきたことや、ペルー沖で漁獲されるイカの魚価が下落したことにより、NZ周辺漁場の再開発の必要性が高まりました。このため、開発調査センターでは、2002年度よりNZ漁場の再評価を目的としたいか釣り調査を開始しました。ここでは、昨年行った操業試験の結果をもとに、NZいか釣り漁場の経済的評価を行います。

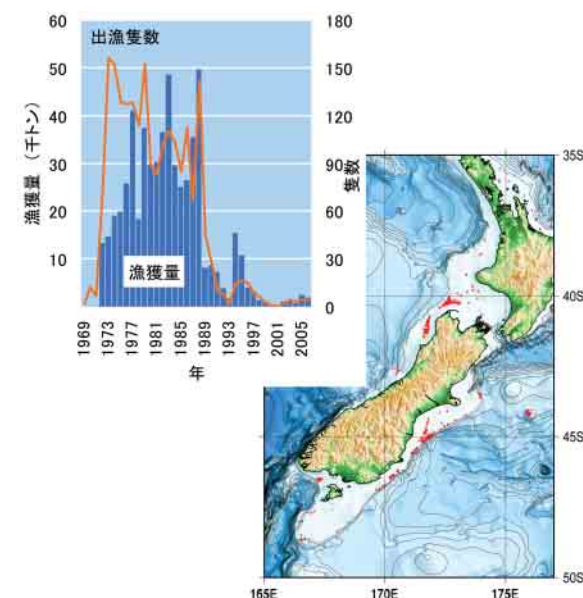


図1 我が国いか釣り漁船のNZ出漁隻数・漁獲量と調査海域  
赤い点は2006-07年調査の操業地点。

## 2. NZイカの正体は？

－2種類いる？ 漁師は知っていた－

NZ周辺で漁業の対象となるイカは2種類います。一つは、オーストラリア沿岸とNZの西岸に分布するオーストラリアスルメイカ、もう一つは、南島周辺の広い範囲に分布するニュージーランドスルメイカです（図2）。これらが、別の種であることに決着が付いたのは、NZでいか釣り漁業が始まってから約20年後のことでした。両種は形態的によく似ていますが、漁獲直後の色がオーストラリアスルメイカでは白っぽく、ニュージーランドスルメイカでは赤っぽいことから、漁業者は早くから両種の違いに気づいていたそうです。

これら2種は、混ざって漁獲されることもあるため、別々に製品化されたり、流通の段階で区別されたりすることはありません。2006年度の調査では、オーストラリアスルメイカとニュージーランドスルメイカが重量比で約1:4の割合で漁獲

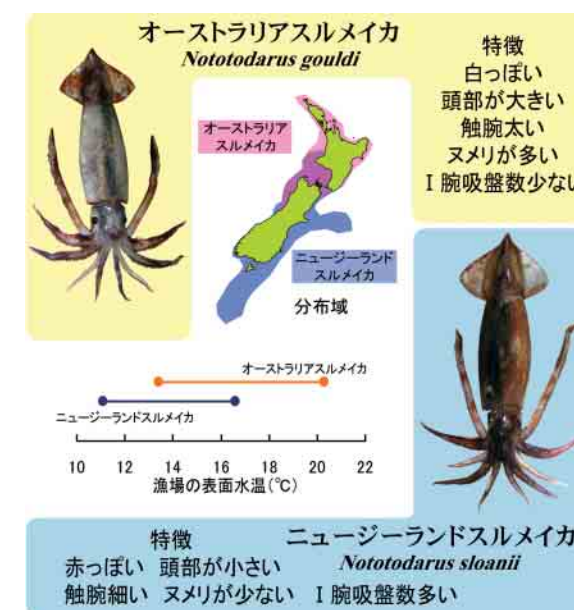


図2 NZ周辺で漁業の対象とされるスルメイカ類

されましたが、取り扱い上の実態をふまえ、ここでは両種の区別をせずに話を進めます。

## 3. 調査の結果

－漁獲量750トン、水揚額1億4千万円－

NZ周辺でのいか釣り調査は、2006年の12月3日から2007年の5月4日までの約5ヶ月間行いました。この間の操業1日あたりの漁獲量は6.04トンで、期間中合計749トンを生獲しました。主な漁場は、本島西側、カンタベリー湾、ベリヤンバンクに形成され、これら3漁場の漁獲量は全体の約9割に達しました（図3）。漁獲物は、ラウンド（丸のまま）またはつば抜き（内臓を除き、いわゆる「胴」と「足」の部分）を別々に製品とする）の状態に冷凍ブロックとし、718トンの製品に仕立て、全量を函館に水揚げしました。その結果、およそ1億4千4百万円（税込み、キロ単価201円）で販売することができました。

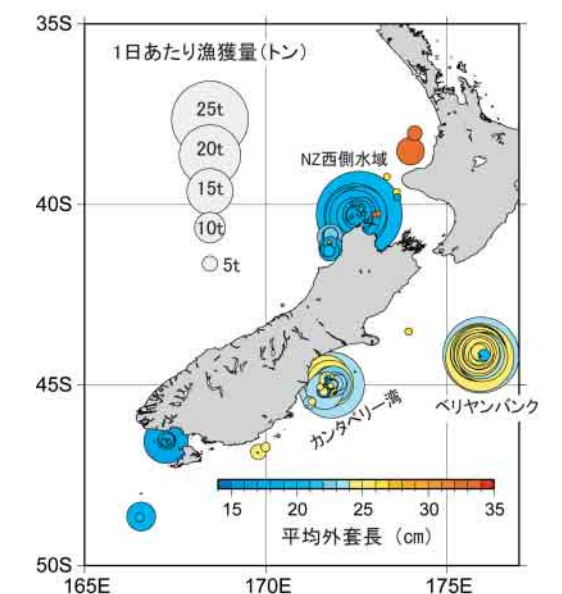


図3 操業1日あたり漁獲量の分布  
円の大きさは漁獲量、色は漁獲物の平均外套長を表す。

4. 経済的評価 -NZイカ釣り皮算用-

本題に入る前に、いか釣り漁船の実態について少し説明します。日本のいか釣り漁船は、185トン以上の大型船、30～185トンの中型船、30トン未満の小型船の3つのカテゴリーに分けられています。大型・中型クラスの代表的な船型と、調査船との比較を図4に示しました。大型船と中型船では、釣機台数で2倍の差があります。このことは、同じ条件で操業した場合、大型船は中型船の2倍のイカを漁獲できることを意味します。また、冷凍ブロックの積載量で比較すると、大型船は中型船の5倍の能力を持っています。中型以上のクラスは、NZに出漁する能力を持っていますが、現在出漁しているのは大型船のみで、中型船はもっぱら日本の沖合で操業しています。2005年の統計（漁業経営調査報告2006：農林水産省統計局）では、年間漁業経費は大型船の場合3億9百万円、中型船では1億8百万円とされています。2005年と比べ、現在は燃料油価格が値上がりしているため、2007年における年間漁業経費は大型船で3億1千3百万円、中型船で1億9百万円程度となると考えられます。

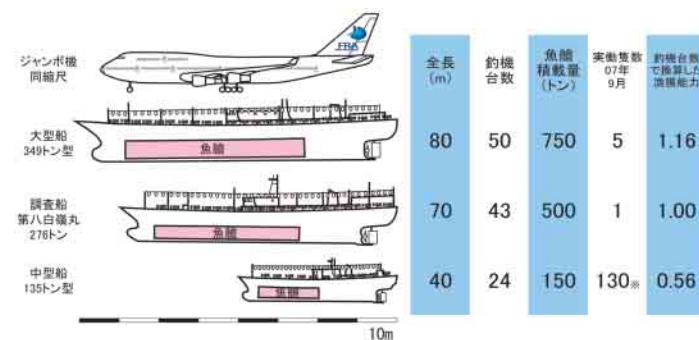


図4 各クラスのいか釣り漁船の規模 ※中型船は30トン以上185トン未満の隻数。

この値が採算ラインの目安となりますが、NZへの出漁期間は長くて半年間程度なので、年間の漁業経費をそのまま用いることはできません。そこで、各タイプの年間稼働月数（大型船11ヶ月、中型船10ヶ月）で割った値を採算ラインとして用いました。1ヶ月あたりの採算ラインは、大型船で2千8百万円、中型船で1千百万円と試算されます。NZ操業の水揚金額を、日本を出発してから再び帰ってくるまでの期間で割り、上記以上の額が得られれば黒字の商売ができることになります。

では、どれくらいのイカを漁獲すれば、採算ラインが達成できるのでしょうか。

調査で得られたデータをもとに、日本を出発してから再び帰ってくるまでの出漁期間と、期間を通した1ヶ月あたり水揚金額の関係をいか釣り船のタイプ別に求め、図5の上のグラフに示し

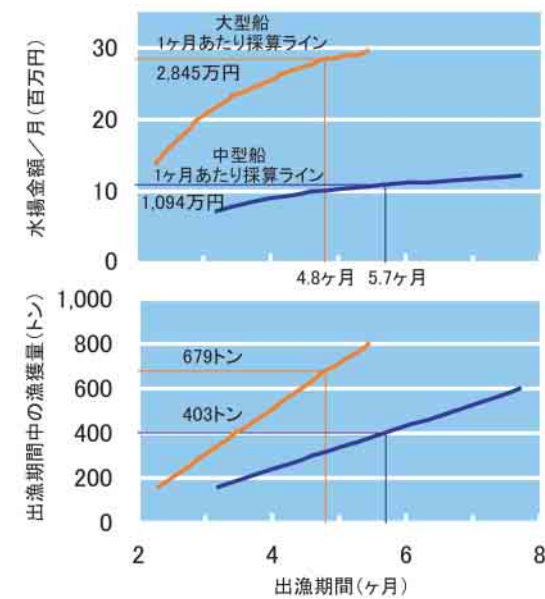


図5 NZ出漁期間と1ヶ月あたり水揚金額、及び漁獲量の関係

ました。この関係から、採算ラインを達成するためには、大型船で4.8ヶ月、中型船で約5.7ヶ月の出漁期間が必要であることがわかります。また、図5の下側のグラフは、出漁期間と期間中の漁獲量の関係を示しています。下のグラフの関係から、上記期間中の漁獲量は、大型船で約680トン、中型船で約400トンであることがわかります。この間、大型船は転載をしなくて済みますが、船の最大積載量の都合上、中型船は2回、250トンコンテナに転載することになります（転載にかかる経費は水揚額から差し引いています）。

上記試算の漁獲量、及び操業期間は、漁船の能力、及び運航スケジュールに照らし合わせて十分に実現可能な範囲にあります。このことは、NZ周辺漁場は現在と同じ資源水準が続く限り、大型船のみならず中型船にとっても有用な漁場であることを示唆しています。

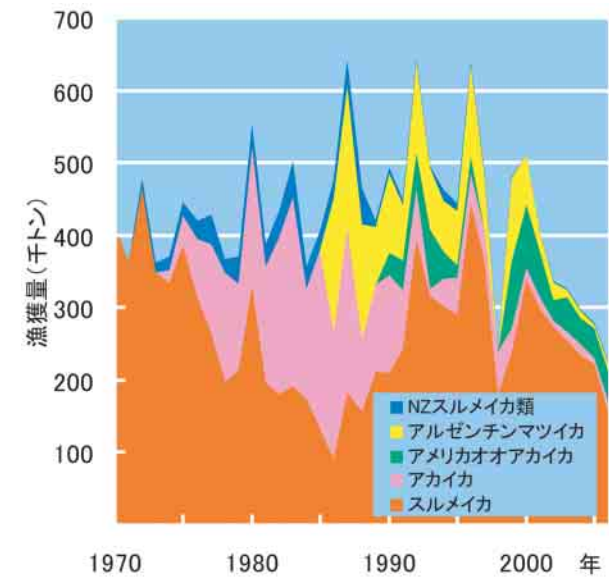


図6 イカ種類別漁獲量の推移

5. おわりに -NZはイカの安定供給に欠かせない漁場-

調査によって、NZ周辺水域が経済的に価値の高い漁場であることがわかりました。では、わざわざ遠くまで出かけてイカを獲ることに、どのような意義があるのでしょうか。

市場でのイカの人気は高く、毎年コンスタントに需要がある一方、資源量は激しく変動します。図6は、我が国におけるイカ類の種類別漁獲量の経年変化を示しています。国内の漁獲と消費の中心を占めるスルメイカの漁獲量は、1970年代はじめには40万トンを超えていましたが、80年代半ばには10万トン近くまで落ち込みました。その後回復し、90年代には再び40万トンを超えましたが、現在では20万トン程度で推移しています。80年代半ば、落ち込んだスルメイカの供給量をカバーしたのが、太平洋で漁獲されるアカイカや、NZ、南大西洋で漁獲されるスルメイカの仲間たちでした。

現在、海外でのいか釣りが次々と不振に陥っています。最盛期には150隻を超えた大型いか釣り船も、2007年9月現在わずか6隻まで減ってしまいました。このような状況下、もしスルメイカの資源水準が1980年代並まで低下した場合、不漁によって大幅な供給不足となり、漁業者のみならず関連産業にまで大きな影響が及ぶと心配されます。今回、中型船でもNZでの操業が可能であることを示しましたが、「もしも」の場合に利用できる漁場を確保しておくことは、食料の安定供給のために重要なことなのです。



# クロマグロの大量生産を目指す

－若齢魚からの大量採卵に成功－

二階堂 英城（奄美栽培漁業センター）

## 1. はじめに

まぐろ類は、缶詰から高級寿司種まで、日本国民に広く親しまれている魚です。中でもクロマグロは刺身まぐろの最高級品であり、我が国にとって極めて重要な水産資源の一つです。

本年度改訂された新しい水産基本計画の中で、まぐろ類に関して資源変動機構の解明・国際資源管理の推進・養殖生産の推進といった施策の重点化が示されました。それに対応して、水産総合研究センターでは本年2月に「まぐろ研究所」を設立し、まぐろに関する各研究所が連携した研究を強化しています。

日本近海のクロマグロは、初夏にフィリピンから沖縄にかけての海域および日本海西部で産卵します。仔稚魚は海流に乗って我が国周辺に來遊して育ち、一部は太平洋を横断してカリフォルニアにまで回遊します。そのため、日本だけでなく太平洋沿岸の多くの国が漁獲する国際的な漁業資源であり、沿岸諸国が加盟するまぐろ類地域漁業管理機関によって資源管理が行われています。クロマグロ太平洋系群の我が国の年間漁獲量は8千トンから34千トンの間を周期的に変動しています。総資源量は6～16万トンと推定されていますが、加入量の変動が大きく、近年、

減少傾向にあります。そのため、人工種苗の放流も検討されています。

一方、天然資源の減少を受けて、クロマグロ養殖が世界的に増えており、日本では沖縄県、鹿児島県奄美地方、長崎県、高知県、和歌山県などで行われています。その種苗には、夏に西日本沿岸に來遊する幼魚であるヨコワ（0.5～1.0kg）が年間約20万尾ほど捕獲されており、養殖が盛んになるにつれて、その需要も更に増加傾向にあります。しかし、天然の種苗の確保は不安定であるとともに、天然資源への影響も懸念されています。

そこで、放流用および養殖用として人工種苗の大量生産技術の確立が望まれています。水産総合研究センターでは、奄美栽培漁業センターで本種の親魚養成と種苗生産の研究開発に取り組んできました。

クロマグロはまぐろ類の中でも成長が早く、最大600kg以上もの巨体になります。しかし、高速遊泳をするにもかかわらずストレスに過敏なため、生きたまま取り扱うことが極めて困難です。そこで、大型の海上生簀網と湾を網で仕切った施設で親魚養成を行っています。

ここでは、若齢魚からの採卵などのクロマグ

ロ研究成果の概要と今後の展望について紹介します。

## 2. 親魚養成とこれまでの産卵

クロマグロの親は、湾を網で仕切った14haもある広大な施設や直径40mの円形生簀で、サバとイカを中心とした餌を与えて養成しています（図1）。温暖な奄美で養成されるクロマグロは、天然魚と比較して体重で見ると2倍以上のスピードで成長します（図2、3）。

また、天然魚の成熟は、雌は3歳魚から、雄は2歳魚から始まることがわかっています。一方、当センターにおける産卵は、1997年に7歳群と、9歳と10歳の混合群の親魚で初めて確認され、



図1 奄美栽培漁業センターの海上施設図



図2 3歳のクロマグロ（体重80～100kg）

2004年には僅かですが5歳魚からの産卵が確認されました。親魚の大きさと尾数は年毎に異なりますが、現在まで毎年産卵しています。2002年には合計4.7億粒が採卵できました（図4）。

2002年の事例について、9歳雌雄合計53尾の親魚群について採取した卵の遺伝子を分析したところ、1日の産卵に関与する雌親魚は1～7尾で、産卵期間中合計16尾の雌が産卵し、雌1尾の1シーズンの産卵数は最大3,000万粒であることがわかりました。しかし、産卵状況は年によって大きく変動し、その原因が解明されていないため、受精卵の安定供給が課題になっています。

そこで、今年度から始まった農林水産省の事業では、近畿大学や長崎県総合水産試験場とチー

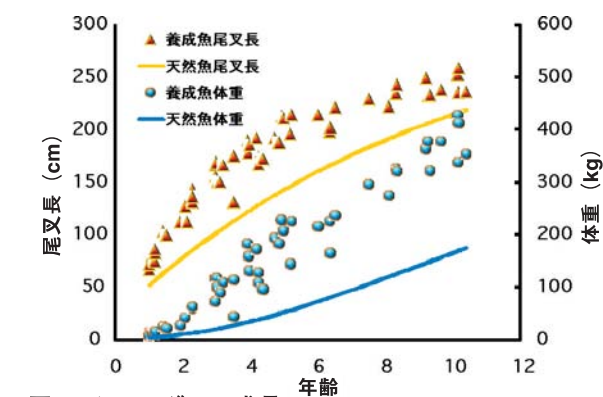


図3 クロマグロの成長

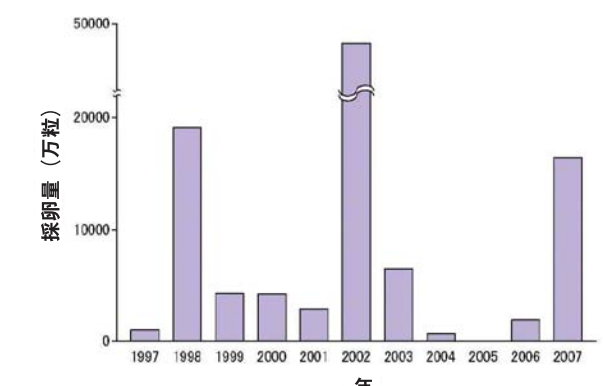


図4 採卵数の推移

ムを組んで、和歌山、長崎、奄美のクロマグロ育成場の環境、卵巣の発達状況や産卵との関係を調べています。これにより今後、クロマグロの産卵条件が明らかになると考えています。

### 3. 3歳魚からの採卵に成功

奄美栽培漁業センターのクロマグロ親魚は、これまで5歳魚以下で大量に採卵できた例はありません。したがって、一つの親魚群から卵を得るためには、0歳魚から6年間養成する必要があります。また、台風等による死亡や生簀から逃げてしまうリスクもあります。もし、これが天然魚のように3歳で産卵が可能になると、長期間の養成に掛かるコストとリスクを軽減できます。また、魚体が小さければ扱いやすくなるので、人工授精等の可能性もひらけ、安定かつ計画的な採卵が可能となります。

そこで、2004年秋に日本海と太平洋の両海域で採捕された0歳魚のヨコワをそれぞれ194尾と251尾の合計445尾入手し、養成を始めました。



図5 産卵チェックネット  
生み出された卵は浮上するので、下向きのアートネットに卵を集めて有無を確認する。

搬入時には、将来、どの個体が産卵したのかを調査するためDNA解析用に鱭の一部を採取しました。これらのうち、2007年に253尾（太平洋産127尾 日本海産126尾 生残率56.9%）が生き残り、3歳に達しました。そこで、今年の産卵期には、産卵チェックネットを生簀内に浮かべて、毎朝、産卵の有無を観察しました（図5）。

その結果、6月6日に約1200粒の卵が確認され、卵とふ化仔魚のDNA解析によりクロマグロであることを確認し、3歳魚の産卵が確認できました。その後、6月8日から7月24日まで産卵が確認され、今シーズンの総採卵数は1億6千万粒となりました（図4）。6月～7月中旬が産卵期であることは、今年度初めて行ったサンプリング魚による定期的な卵巣の成熟状態の測定でも確認されました（図6）。

今回産卵した3歳魚は、太平洋と日本海から入手したヨコワを混合して飼育しています。採取した卵と親魚のDNAを比較分析したところ、雌のうち約10%の個体が産卵に関与しており、太平

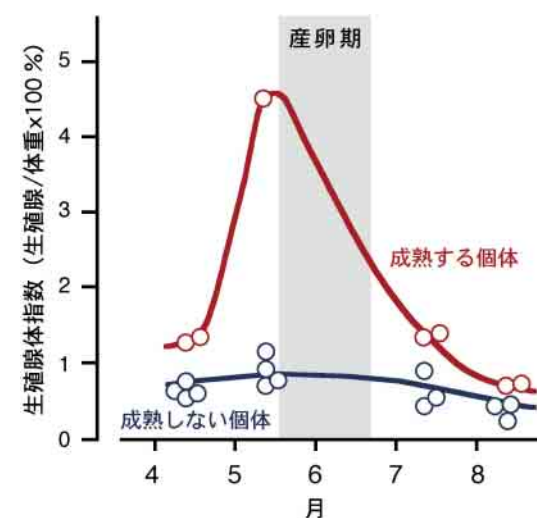


図6 生殖腺体指数 (GSI) の季節変化

洋と日本海由来の両方の親魚が産卵した事が判明しました。これまでクロマグロの成熟は体の大きさに依存すると考えられていましたが、3歳魚では両者の関連性はあまりないようです。

### 4. 今後の展望

今回、3歳魚からの採卵に成功しましたが、親魚の成熟や産卵に及ぼす、環境や親魚の生理学的条件については必ずしも明らかではありません。今後は、親魚の由来や養成密度、および水温や日照時間等の環境条件が成熟や産卵に及ぼす影響を解析します。さらに、DNA判別手法を用いてクロマグロの産卵に関与する親魚の条件を詳細に分析し、安定採卵に有効な親魚の管理手法の解明に取り組みます。また、3歳魚で採卵が可能になったことで、今後は催熟技術の開発やそれに必要な親魚のハンドリング技術についての研究開発を進めることが可能となりました。これらを通じて、人工授精技術の開発や高品質養殖種苗の育種研究を進めます。

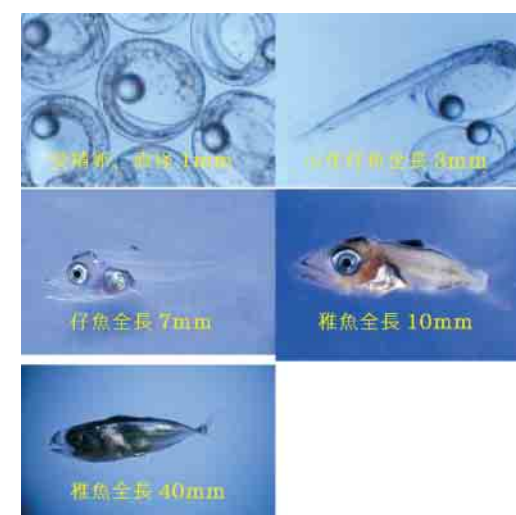


図7 クロマグロの卵と仔稚魚

一方で、得られた卵を用いて大量の仔稚魚の飼育技術の研究開発も行っています。生まれてから1週間くらいのクロマグロは比重が大きくて沈みやすく、水槽底に接すると大量死亡が起こります。その後も、共食いや衝突死が激しく起こります。そのため、生まれてから5cmくらいまでの生残率は1%以下でした（図7）。しかし、生まれてから1週間の死亡は、飼育水の水流の方向や流速等のコントロールによって軽減できることが明らかになってきました。また、全長10mmくらいから生きたハマフエフキふ化仔魚に加えて、安定供給できる冷凍のふ化仔魚を与えることも、生残率の向上に有効なことが分かってきました（図8）。さらに、衝突死は光の影響を制御することで軽減が可能なが、他機関の研究で明らかとなっています。現在の生残率は低いのですが、近い将来、マダイやヒラメ並に生残率を向上させて、種苗の大量生産技術を確立し、安全で安心な養殖マグロが食卓に並ぶように努力を続けていきます。



図8 元気に泳ぐクロマグロ稚魚