



特集1

太平洋のマグロ育成を究める

国際共同研究でマグロ類の生態を解明し、資源管理に貢献する

世界的なマグロ需要の急増で天然のマグロ類の減少が心配されている。JSTと国際協力機構 (JICA) が連携する「地球規模課題対応国際科学技術協力 (SATREPS)」のもとに、その解決策を探究するプロジェクトがある。近畿大学水産研究所、パナマ共和国水産資源庁 (ARAP)、全米熱帯マグロ類委員会 (IATTC) が力を合わせ、マグロ類の持続的な利用に向けた資源管理と養殖技術向上を目指している。

枯渇が危ぶまれる マグロ類

マグロは刺身や寿司ネタ、ツナ缶の原材料などとして、日本人にとってなじみ深い魚だが、世界的に増え続ける消費によって、マグロ類の天然資源は減少傾向にある。特に大西洋に分布するタイセイヨウクロマグロは枯渇が心配され、野生動物の国際取引を規制する「ワシントン条約」の締約国会議で、規制対象種にすべきとの提案がなされたことは記憶に新しい。結果的に、この提案は否決されたものの、厳重な資源管理が求められた。

タイセイヨウクロマグロだけでなく、太平洋のクロマグロをはじめ、キハダ、メバチ、ピンナガ (ピンチョウ) など、ほかのマグロ類についても、無制限に消費し続けられるほど資源量が安定しているわけではない。漁獲高の年変動が大きい種もあり、一部では幼魚まで無差別に捕るような乱獲も見られる。現在、世界ではマグロの資源管理のため、海域ごとにIATTCなどの地域漁業管理機関が組織され、資源量の把握と漁獲規制に取り組



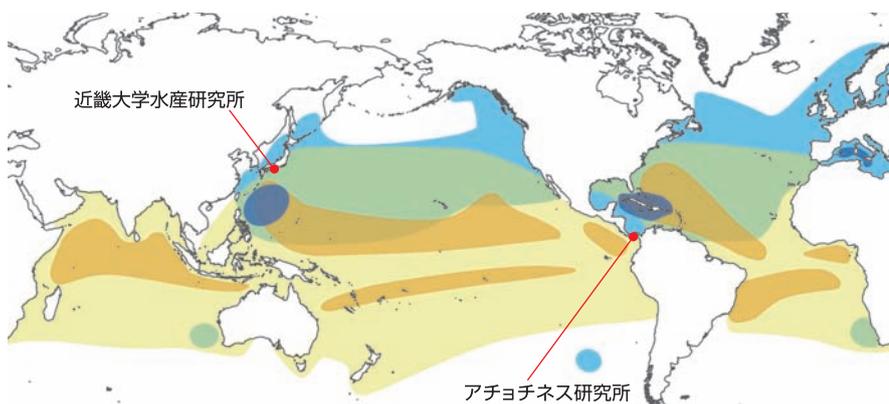
和歌山県の串本町大島の沿岸に設置された直径30メートルのいけすで、クロマグロに餌やりするパナマ水産資源庁の研究者。いけすは生まれ年ごとに設けられ、稚魚期からの一生を過ごす場となる。

んでいる。特に日本は世界中のマグロ類の25%ほどを消費しているだけに、率先してマグロ類の資源管理をすることが求められている。

このような地球規模の課題に対してSATREPSでは、日本の高度な科学技術を生かした国際協力による解決に向け

た取り組みをさまざまな国と地域で行っている。その1つとして、マグロ類の持続的な利用を実現するための国際共同研究が2011年から開始された。中心となっているのは、世界で初めてクロマグロの完全養殖を実現したことで知られる近畿大学水産研究所である。相手は、太平洋の東半分のマグロ類の資源管理を行うIATTCと、パナマ側研究拠点のアチョチネス研究所を共同で運営するARAPだ。

主な目的は、キハダおよびクロマグロの産卵生態およびふ化後の仔稚魚期や幼魚期の生育過程 (初期生活史) の解明だ。親魚になれば体重が100kgを超えるものも珍しくないマグロ類だが、その卵や仔稚魚は非常に小さく弱々しい。マグロの親魚は、生存の確率を高めるために数百万粒もの卵を産んで子孫を残そうとするが、その99.9%は幼魚に育つまで



クロマグロ (青) とキハダ (黄) の生息域。濃い色で示しているのは産卵域。

のわずか数カ月間に死んでしまう。そんなマグロも、幼魚にさえなれば相当数が成魚になると考えられている。いまだに謎が多い産卵から幼魚までの初期段階の生活の全容を明らかにし、自然界で生き残る確率をさらに0.1%高めることができれば、計算上、成魚の資源量は倍増する。マグロ類に限らず、自然界での産卵や初期の生育に欠かせない条件をつかみ、幼魚まで生き残る割合を確実に推定することで、資源管理や将来の資源予測に活かすことが重要だ。

パナマはキハダ研究の 好適地

マグロ類の中で漁獲量が世界で最も多いのはキハダで、全体の6割以上を占める。キハダ漁業はパナマの水産業にとっても重要な位置を占め、東太平洋のキハダ漁獲量の約15%を水揚げしている。日本への主要な輸出品目でもあり、日本も消費地として恩恵を受けている。さらにパナマの太平洋沿岸海域には、主に熱帯海域に分布するキハダの主要な産卵場があり、1年を通して繁殖が見られる。親魚から幼魚までの発育段階が見られる絶好

の海なのだ。

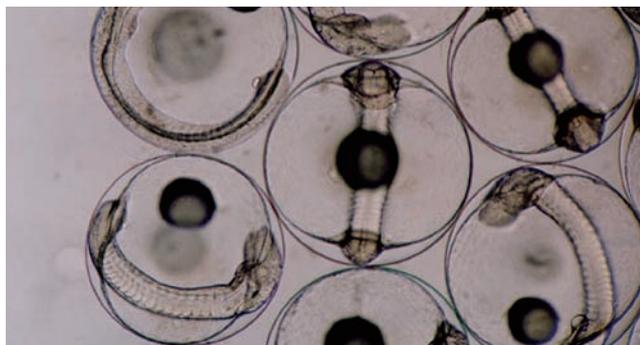
「パナマには、キハダを研究するのに最適な環境が整っているのです。この点に注目したIATTCは、パナマのアチョチネスにキハダを研究するための施設を設置しました。そこには、日本の支援でキハダ親魚の陸上飼育施設がつくられ、かつて専門家の派遣も行われていたことから、アチョチネス研究所での共同研究が始まったのです」と近畿大学水産研究所の澤田好史教授は格好の背景を語る。

マグロの仲間は8種が知られているが、その主な分布海域は種によって少しずつ異なる。例えば、太平洋で最も高緯度域にまで分布しているのは、北半球ではクロマグロ、南半球ではミナミマグロ、そして赤道域を中心に分布しているのがキハダだ。さらにその中間域にメバチやピンナガが分布している。キハダは、日本近海でも産卵していることがわかっているが、研究環境としては熱帯域に位置するパナマに及ばない。澤田さんは、「パナマでキハダの研究を行うことで、これまでわかっていくマグロの生態と比べることができます。日本のマグロ類研究の発展にとって大きな意味があるだけでなく、日本近海のキハダ資源管理にも応用することが可能です」と共同研究の重要性について話す。また、プロジェクトでは将来的にキハダの完全養殖を実現させるための基礎的な研究を進めている。

澤田 好史 さわだ・よしふみ

近畿大学大学院農学研究科教授
近畿大学水産研究所大島実験場長

1959年、和歌山県生まれ。82年に京都大学農学部水産学科卒業、同年、京都大学大学院農学研究科に入学、91年に同研究科水産学専攻博士後期課程修了。同年より京都大学農学部研究員。94年から近畿大学水産研究所研究員、助手、講師、助教授を経て、2004年に近畿大学大学院農学研究科助教授。08年、近畿大学水産研究所教授、08年より現職。10年よりSATREPS研究代表者。



(上) いけすの水面から採取された直径1ミリほどの受精卵。
(下) 孵化直後の仔魚は体長約3ミリ。飼育下でも稚魚まで育つのは1割だけだ。

互いの養殖技術を磨く

完全養殖とは、対象となる魚の生活史の1サイクルを、すべて人間による飼育環境下で実現することを指す。天然資源に頼ることなく、飼育している親魚が産んだ卵から魚を生産することができるため、水産資源の持続的な利用の切り札となっている。

クロマグロについては、近畿大学水産研究所が完全養殖を実現し、すでに商業生産もしているが(右コラム)、キハダではまだ実現していない。

「私たちが、それまでの他魚種での養殖経験を総動員して、クロマグロの完全養殖を実現するまでには30年以上の年月が必要でした。いくら同じマグロ類での先例があっても、5年間でキハダの完全養殖を実現させるのは難しいでしょう。まずは、キハダを卵から幼魚まで育てることを目指しています」と澤田さんは地道な研究の重要性を説く。

夏の間は、クロマグロの繁殖期に合わせARAPから派遣された研究員が、近畿大学の水産研究所でクロマグロの養殖技術を学びながら、その仔稚魚を対象にキハダ養殖のための比較研究を進めている。ARAP研究開発局のアンヘル・ギ





(上) 約20日で稚魚になり、ヒレなど魚らしい外観になる。
(下) 体長50ミリほどに育った稚魚でも、いけすに移すだけで大量死する。

ジェン研究員は、「近畿大学には、優れた養殖技術や経験だけでなく、自然を相手にする忍耐強さなど学べるものが多く、とても貴重な経験になっています。ARAPからは養殖学や遺伝学など、多様なバックグラウンドを持った研究者が参加していますから、このプロジェクトを通じて得た研究成果と経験を生かして、将来バナマでキハダの完全養殖を実現したい」と語る。



死亡した稚魚の大きさや死因の調査。胃からプラスチック片などの異物を探し、レントゲン画像から激突による骨折を見つける。



プロジェクトの成果は、キハダの養殖を実現するための基礎的な知識としてだけでなく、クロマグロの養殖技術の向上にも役立つと期待されている。

「まだまだクロマグロの養殖も開発の途上にあります。親魚から受精卵を安定的に得ることも課題の1つですが、何より、飼育下であっても卵から稚魚にまで育つ率はまだ10%ほどで、いけすで飼育される幼魚になるのは、その約半分でしかありません」と澤田さんは言う。これまでの研究で、ふ化したばかりの仔魚は天敵がない陸上水槽でもさまざまな理由で数を減らし(下コラム)、その対応策が工夫されてきた。また、餌にも課



クロマグロのDNA解析を行う阿川助教。

32年の研究で実現したクロマグロの完全養殖

「海を耕し、海産物を生産しなければ日本の未来はない」との理念のもとに設立された近畿大学水産研究所は、シマアジやタイなどさまざまな魚の養殖技術を実現させてきた。1970年からはクロマグロの研究に着手し、天然の卵や仔稚魚に頼らない完全養殖技術の確立を目指した。しかし、その道のりは決して平たんではなかった。

最初に取り組んだのはクロマグロの幼魚の飼育だったが、他の魚種と違い、いけすに入れるとすぐに死んでしまう。いけすや餌の改良などの末、1974年によく飼育に成功した。次の課題は産卵だが、クロマグロが成熟するには5年もの



時間がかかる。苦勞して育て、卵を産ませることができたのは1979年のことだった。

陸上の水槽でふ化した仔魚は、水面に張り付く浮上死、浮き袋が育たない沈降死、旺盛すぎる食欲による共食い、衝突死などで全滅を繰り返した。徹底的な観察と工夫を重ねて仔稚魚の死亡率を下げていき、2002年に飼育環境下でふ化したマグロが産卵。研究開始から32年目にして待望の完全養殖を達成した。現在では、年間2000

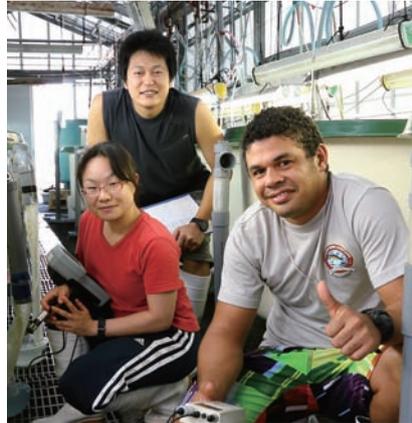
尾ほどを「近大マグロ」として出荷するほか、大量飼育した幼魚を国内の養殖業者に卸す事業も展開している。

題が残されている。餌やりの手間が少なく、生育に効果的な人工配合飼料は開発したものの、生産原価が高いため、餌を大量に食べる幼魚や成魚に与えては、採算に合わないのだ。さらに栄養成分も改善の余地があると言う。

「やるべきことは、まだたくさん残されています。両種の稚魚の生態で共通する点はたくさんわかってきましたし、違う点も見えてきました。これらの成果は、クロマグロの稚魚が生き残る確率を高めることにも貢献できるでしょう」と澤田さん。

オス、メスの判定も難しい

課題はほかにもある。農産物の生産と同じように、マグロ類の養殖でも早く太り、より美味しい優良な品種の開発が求められる。ところが、「マグロ類を改良するには、さまざまな問題がある」と近畿大学水産研究所の阿川泰夫助教が説明する。「品種改良では、優良な特徴を持つものを親魚に選び出し、何代も交配を繰り返すことによって、望みの特徴を持った品種を生み出すため、繁殖を確実に行うことが必要です。しかし、マグロ類は外観や性染色体の形だけでオスかメスかを見



夏の間は日本に滞在し、クロマグロの仔稚魚の研究を行う。水槽の様子を見る全米熱帯マグロ類委員会研究者（左上、右）と水槽のpHを調べるパナマ水産資源庁の研究者ら（左下）。

分けることができません。ここで飼っているクロマグロについてはようやく、それぞれの個体に発信機をつけながらヒレの先を採取・分析することで、特定のDNAの塩基配列から雌雄を判定できるようになりました。ただし、キハダに関しては、雌雄判定できていない。解剖して生殖腺を調べれば、雌雄の判定が可能だが、殺してしまえば産卵・放精することができず、繁殖には使えない。今後、キハダでも品種改良を視野に入れて、雌雄判定を可能にするDNAの塩基配列を見つけ出す研究をする予定だ。

「生きたまま雌雄判定ができるようになれば、適正な数のオス、メスを同じいけずに入れて、繁殖を促すことが可能になります。繁殖期に入ったマグロは、オスがメスを追いかけるようになり、メスが産卵すると、オスが放精して受精します。しかし、飼育している中では、十分に成熟していると思われるメスであっても、卵を産んでくれるのは10尾に1尾ほどです。雌雄がわからないままでは、産卵が起きない可能性もあります。品種改良だけでなく、確実な繁殖のためにも、雌雄判定技術は必要です」と阿川さんは話す。

マグロの資源予測にどこまで迫れるか

養殖技術の研究が進む一方で、資源管理を行うための研究も進められている。

IATTCは、現状の資源を減らしすぎない範囲で、なるべく多い漁獲枠を条約締約国に割り当てなければならない。これまでの漁獲実績から、現状の資源量の推定が試みられているものの、将来の変動予測は難しいのが実状だ。そのため、漁獲枠の割り当てを巡って各国の主張が対立し、IATTCで漁獲枠が決められない事態に陥るようになってきた。

漁獲枠がなくては、適切な資源管理ができない。各国が納得できる枠を定めるには、マグロ類の資源量の変動を科学的に予測する技術が求められるが、それは決して簡単ではない。その理由について、「食物連鎖の低位に位置する魚種であれば、ある程度の資源量の予測は可能です。例えば、イワシならば植物プランクトンの発生量から大漁の可能性を予測できます。しかし、食物連鎖の高位に位置するマグロ類では、生育環境や食物連鎖などさまざまな要因が関わるため、資源の変動



全米熱帯マグロ類委員会のダニエル・マーギュリス上席研究員。



アチョチネス研究所の水槽で飼育されているキハダの稚魚。この頃から名前の由来の黄色を帯びる。



パナマ共和国ロス・サントス県にあるアチョチネス研究所での研究の様子。春と秋に日本の研究者も参加してキハダの仔稚魚の研究が行われている。

を予測することは非常に難しい」と澤田さんは説明する。

気候変動による漁獲高の変化や分布海域の移動もある。また、量による規制だけでなく、海域によっては未成魚まで根こそぎにする漁法を制限したり、繁殖期を禁漁にしたりする対策にも期待がかかる。それも生態が明らかになってこそ意味を持つ。マグロは広い範囲を回遊しているため、1つの国の沿岸ではその生活史のごく一部しか見ることができない。そこで総合的に研究する国際共同研究の定番となる。

このプロジェクトでは、IATTCのダニエル・マーギュリス上席研究員らが中心となって、日本とパナマでキハダとクロマグロの稚魚の生態を比較することから、マグロ類の資源変動の予測技術を確認するための研究を実施している。夏に合わせ来日したマーギュリスさんは、「マグロ類に限らず、水産資源の豊かさはその稚魚が生き残る確率に大きく左右されます。IATTCは、17年前からパナマでキハダの研究を続けてきましたが、今回、日本でのクロマグロ研究から両者の違いを調べ、どのような条件がマグロ類の稚魚が生き残る確率に影響を与えるかを明らかにしようとしています。海水の水温、塩

分濃度、pH、溶存酸素量、さらにはプランクトンの発生状況などを総合的に判断し、資源量を予測できるようにしていきたい」と研究の目的について話す。

マグロの繁殖海域は広大で、実際に産卵し稚魚が育っているさまを観察し、直接資源量を把握することは不可能に近い。卵をどれだけ産んでいるか、どれだけ生き延びているか、IATTCでは生息環境の変化からより確実に推定しようとしている。

国際的で持続可能な協力体制を構築する

SATREPSでは、人材育成や事業化などによる相手国側での研究成果の社会実装も大きな目的の1つに掲げている。

ARAPでは、養殖事業に投資する企業を呼び込めるような技術基盤を作ることも目標としている。「パナマ政府は、国内で停滞しているエビ養殖に代わる養殖業を育成したいと考えています。SATREPSのおかげでキハダの養殖技術がうまくいき始めているので、企業の誘致にも結び付けたい」とギジェンさんは話す。「パナマでキハダ養殖技術の基礎が確立されれば、今後、日本企業が養殖産業を展開させていく上でも大いに役立つことになる」

と澤田さんも考えている。これまで日本で培ってきたクロマグロの養殖技術を一方的に移転するのではなく、共同研究を通して一緒に技術を向上させ、協力して産業化していくことは、日本にとっても大きな意義がある。

「日本国内の市場は限られているので、海外展開できる養殖の専門家を育成し、また、彼らが活躍できる場づくりとして共同研究を広げたいと考えています。マグロが一番難しいので、ここでその養殖をマスターすれば他の魚種にも応用が利きます。優れた技術を身に付けた人材を世界各地の養殖業に根付かせたいと考えています。共同研究で培った人間関係や技術開発を生かして、プロジェクトの後も末長く養殖技術や資源予測技術の研究開発を継続して、産業化に至るまで協力していける体制づくりをしたいと思います」と力強く話す。

このプロジェクトは、マグロ類の持続的な利用を可能にするための体制をつくる礎として、重要な役割を担っている。



パナマ水産資源庁研究開発局のアンヘル・ギジェン研究員。