



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	市民フォーラム 海洋生態系と水産食資源のサステナビリティ科学—水産食資源と海洋生態系を守るために— プログラム・要旨集
Relation	海洋生態系と水産食資源のサステナビリティ科学—明日の水産食資源と海洋生態系を守るために— 平成20年6月28日 札幌市
Issue Date	2008-06-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/34128
Type	other
File Information	23-1.pdf





市民フォーラム

海洋生態系と水産食資源のサステナビリティ科学 水産食資源と海洋生態系を守るために



日時 2008年6月28日（土） 9時～17時

場所 北海道大学学術交流会館（講堂）

主催 北海道大学大学院水産科学研究院
北海道水産林務部

後援 北海道新聞社

<http://sw2008.jp/fish>

挨拶

原 彰彦（北海道大学大学院水産科学研究院長）



この度は、北海道大学大学院水産科学研究院と北海道水産林務部の共催による市民フォーラム「海洋生態系と水産食資源のサステナビリティ科学－水産食資源と海洋生態系を守るために」にご参加下さりありがとうございました。

わたしたちが住む地球生態系は不確実性が高くダイナミックなシステムです。地球生態系の構成種である私たちはその生態系と共存して行かねば、生きていけません。さて、世界の人口は著しく増加してすでに 60 億人を越えましたが、そのような著しい人口増加に対処するため、私たちの食料資源は陸域生態系での生産飽和状態を踏まえて、ますます海洋に依存せざるを得ない状況にあります。

本来、海洋生物資源は人類にとって再生産部分を利用する持続可能な資源のはずです。海洋生態系は、常に自然要因とヒューマン・

インパクトによって変動しています。この海洋生態系は沿岸環境の汚染、海岸人工構造物による生物の生息環境の攪乱、地球温暖化などの長期的気候変動、過度な漁業による大型魚類など高次生物減少に伴う食物網の単純化などにより、生物多様性が急激に失われつつあると言われていきます。今後の魚類資源管理は、種レベルに限らず生態系をベースとした持続的資源管理法を取り入れていくことが肝要であるとも言われています。しかし、現状では水産資源の需要は益々増加し、資源争奪の激化は国際化しつつあり、将来にわたり海洋生態系から食料をどのように安定的に供給することができるかが、人類の課題となりつつあります。

本フォーラムでは、未来の子どもたちのために恵み豊かな水産食資源と海洋生態系を守るにはどうしたら良いかという観点から、地球生態系の物質循環も視野に入れた海洋生態系ベースの持続可能な資源管理の重要性をお伝えし考えてゆきたいと思います。

（2008 年 6 月 28 日）

目 次

Contents

挨拶	1
プログラム	3
講演要旨	
基調講演	
井田 徹治 「世界の漁業の行方ー共有財産の持続可能な管理は可能か？」	4
イアン・ペリー 「地球生態系と人類の食資源確保」	11
講演	
帰山雅秀 「水産食資源の確保と海洋生態系の保全」	14
桜井泰憲 「温暖化に負けない漁業をめざして」	20
吉水 守 「持続的増養殖生産を目ざしたサケの健康管理と HACCP システム による安全・安心な秋サケ製品の提供」	25
佐伯宏樹 「低利用水産資源の複合的高度利用の試みー個々の資源評価を 高めるアプローチ」	31
パネル・ディスカッション	34
ポスター展示	35
協賛団体	36

プログラム

海洋生態系と水産食資源のサステナビリティ科学 ー水産食資源と海洋生態系を守るためにー

- 9:00-9:10 開会あいさつ 原 彰彦（北海道大学大学院水産科学研究院長）
- 基調講演**
- 9:10-10:00 井田徹治（共同通信社科学部次長）
「世界の漁業の行方」
- 10:00-12:00 イアン・ペリー（国際 GLOBEC 議長、元 PICES-CCCC 議長）
「地球生態系と人類の食資源確保」
(The vulnerability of coupled marine and human ecosystems to climate and fishing)
- 12:00-14:00 **昼食 & ポスタープレゼンテーション**
*ポスターはホワイトエに掲示してあります
- 講演**
- 14:00-14:20 埴山雅秀（北海道大学大学院水産科学院）
「水産食資源の確保と海洋生態系の保全」
- 14:20-14:40 桜井泰憲（北海道大学大学院水産科学院）
「温暖化に負けない持続可能な漁業をめざして」
- 14:40-15:00 吉水守・笠井久会・横山純（北海道大学大学院水産科学院）
「持続的増養殖生産を目ざしたサケの健康管理と HACCP システムによる安全・安心は秋サケ製品の提供」
- 15:00-15:20 佐伯宏樹（北海道大学大学院水産科学院）
「低利用水産資源の複合的高度利用」
- 15:20-15:40 **休憩**
- 15:40-16:50 **パネル・ディスカッション**
「人類の水産食資源と海洋生態系の持続可能性」
座長：目黒雄司（北海道新聞論説委員）
パネラー：宮村正夫（道漁連副会長）、松尾直人（(株)ラルズ、ゼネラルマネジャー）、井田徹治、吉水守、桜井泰憲
- 16:50-17:00 閉会挨拶 武内良雄（北海道水産林務部長）

基調講演

■「世界の漁業の行方－共有財産の持続可能な管理は可能か？」

井田徹治(共同通信社科学部次長)

Tetsuji Ida



共同通信社科学部次長。1959年12月、東京生まれ。1983年、東京大学文学部卒、共同通信社に入社。つくば通信部などを経て1991年、本社科学部記者。2001年から2004年まで、ワシントン支局特派員(科学担当)、現職。環境と開発の問題を長く取材、気候変動に関する政府間パネル総会、気候変動枠組み条約締約国会議、ワシントン条約締約国会議、環境・開発サミット、国際捕鯨委員会総会など多くの国際会議も取材している。主な著書には、「地球環境データブック」(共著、ワールドウォッチジャパン)、「サバがトロより高くなる日・危機に立つ世界の漁業資源」(講談社現代新書)、「ウナギ 地球環境を語る魚」(岩波新書)などがある。

深刻化する漁業資源の減少

20世紀末ごろから人類にとって重要な漁業資源の減少傾向が顕著になってきた。国連食糧農業機関(FAO)の2006年版世界漁業資源白書(SOFIA)によれば、世界の漁業資源のうち、利用度が低く今後も漁獲量を増やせる可能性がある資源は23%しかなく、52%は「限界まで利用されている」状態にある。乱獲、つまり捕りすぎなので漁獲量を減らさなければならない資源が全体の17%、枯渇状態にある資源が7%、枯渇状態からの回復途上にあるのが1%とされている。天然の魚の漁獲量全体でみても、最近では横ばい、場合によっては減少傾向にある可能性もある。(図1、2)

サメやマグロ、タラなど大型の魚の資源量が、漁業が始まる前に比べて90%以上減少したことや、世界の海から食物連鎖の上位にある生物が一貫して減っていることを指摘する研究成果が発表され、世界の漁業資源は「危機的な状況にある」と言われるまでになってきた。現在、世界中で3100万人の人が漁業に従事し、水産物は日本人を含めた貴重なタンパク源になっている。世界人口は、2050年には90億人に達すると見込まれ、持続可能な漁業の実現と減少した資源の回復を進めることは、国際社会にとっての大きな課題となっている。

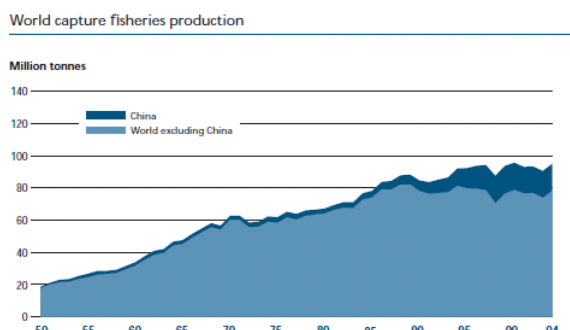


図1 世界の漁業の漁獲量(天然) FAO 2007

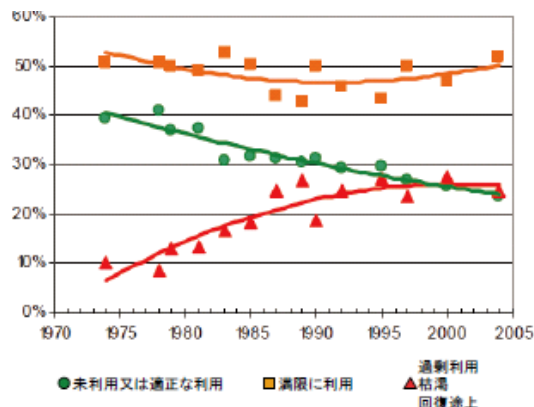


図2 1974-2004年の世界の資源利用状況の傾向(水産庁、FAO 2007)

資源減少は身近な魚まで

乱獲が主因で漁業資源が減少し、漁業が崩壊した例としてカナダ・大西洋岸のタラ漁があげられる。このほか、近年では、フカヒレ採取目当ての乱獲が深刻なサメ類、違法な漁獲が深刻なメロ（銀ムツ）、タツノオトシゴ、中華料理の高級食材として乱獲が進んだナポレオンフィッシュ（メガネモチノウオ）やナマコなどの資源レベルが悪化していることが報告され、絶滅の恐れがある動植物を保護するワシントン条約での規制が決まったり、規制の導入が議論されたりしている。問題は遠い外国のことではなく、日本人が長年にわたって大量に消費してきた魚にも起こっている。代表的な例は、クロマグロや大西洋のミナミマグロで、近年、急激に資源レベルが低下していることが科学者によって指摘され、後述するように国際的な資源管理機関によって厳しい漁獲量の規制が行われているが、資源に好転の兆しはみられない。日本が大量に漁獲している太平洋のクロマグロは、大西洋ほど深刻ではないが、産卵能力のある親魚の量が急減していることなどが指摘され、科学者は現状を越えて漁獲量を増やすべきでないと勧告している。（図3）

マグロの資源レベルの低下は、これら2種類のマグロに比べて価格が安く、漁獲量も多い「普及品」のメバチマグロにまで及んでいる。日本近海の漁業資源をみても、日本人が最も多く漁獲してきた魚の一つであるスケトウダラをはじめとして、サバ、マイワシ、ズワイガニなど資源状況が悪化し、漁獲量の規制が導入されている魚種が少なくない。

日本人が世界の70%近くを消費しているとされるウナギの資源量も世界的に急速に減少しており、ヨーロッパウナギについてワシントン条約の規制導入が決まったことは記憶に新しい（図4）。マグロもウナギも卵から成魚までの完全養殖が商業化されていないために、高いレベルの消費が続いていることや資源管理が不十分であることが、資源の将来にとっての大きな脅威になっている。

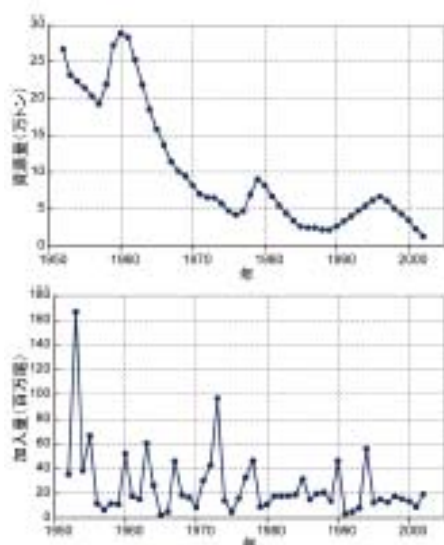


図3 太平洋クロマグロの親魚量の推移

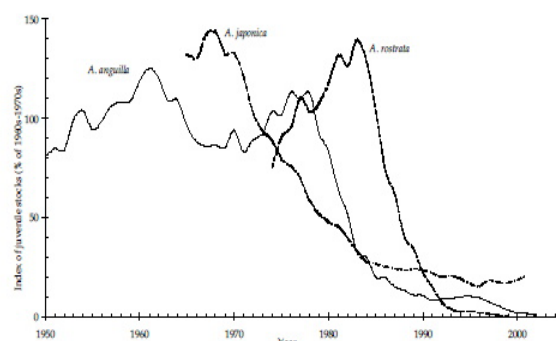


Figure 1 Time trends in juvenile abundance of the major eel stocks of the world. For *Anguilla anguilla*, the average trend of the four longest data series is shown, which trend appears to occur almost continent-wide; for *A. rostrata*, data represent recruitment to Lake Ontario; for *A. japonica*, data represent landings of glassed in Japan.

図4 世界の3種類のウナギの漁獲量の推移

悪化する海の環境

漁業資源の減少を招いた大きな原因は乱獲であるが、産業革命以来、魚を育む海の環境が一貫して悪化してきたことも関連していると指摘されている。海の環境を悪化させるのは人間活動による地上起源の汚染物質の流入や化学物質汚染、沿岸の開発による生態系破壊、海運が原因の汚

染や移入種の拡大などで、米国やカナダなどの研究グループは、世界の海の中で人間活動の影響を受けていない海域は極域などわずか 3.7%に過ぎないと指摘している。研究グループによると、東シナ海や日本海などの日本近海は世界で最も人間活動の影響を受けている海域の一つである。

人間活動が海洋環境に与える悪影響として近年、注目されているものが、海水温度の上昇によるサンゴの白化や海水のアルカリ度の低下（海水の酸性化）、海水循環の阻害など地球温暖化の影響である。大気中の二酸化炭素の濃度が上昇することによって海水の酸性度が高くなる現象が指摘されており、「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」は、1750 年ごろから現在までに海の pH が約 0.1 低下したことを指摘、今世紀末までにさらに 0.14 から 0.35 低下すると予測している。海洋のアルカリ度が低下すると、サンゴや甲殻類、貝などが炭酸カルシウムの骨格をつくることが困難になること、ある種の魚が海水中の酸素を取り込むことが困難になること、魚の回遊上重要な耳石の形成不全が起こることなどを通じて、海の生態系に大きな影響を与えると懸念されている。また、IPCC は海水温度の上昇によるサンゴの白化などの影響は既に顕在化しつつあり、今後、気温が 2.5 度上昇以上すると、白化が原因でサンゴが広い範囲で死滅するとも予測している。

このほか、地球温暖化は漁業対象種の分布域の変化、外来種の分布域の拡大、魚の病気の拡大、成長や産卵の抑制などを招くことが指摘されており、既に英国南西部では多くの海洋生物の分布域が 200 キロ近く北上したことが観測されている（WWF 2005）

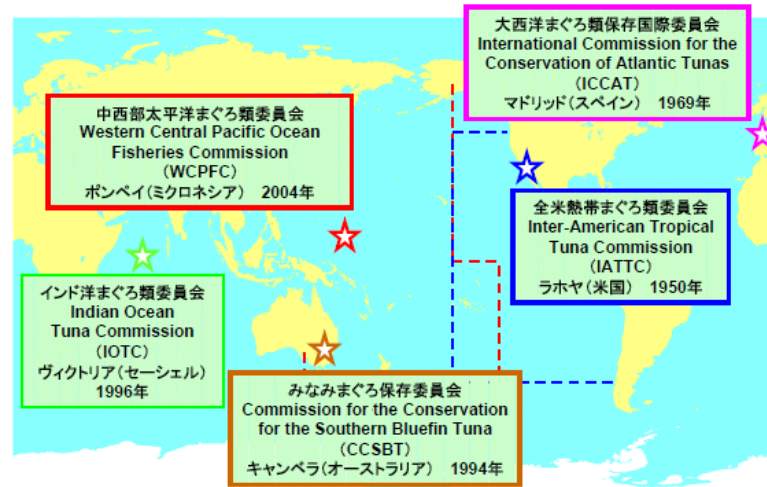
日本でも日本近海のサンマの漁場が 100 年後にはほとんどなくなること（農林水産技術会議）、水温上昇によってサケの日本の河川への回帰が阻害される可能性があること（北海道大）、クロマグロの産卵域が消失する可能性やウナギの回遊に影響が出る可能性があること（東京大）などが予測されている。

国連環境計画（UNEP）は、これらの温暖化の影響を受けやすい地域と、人類にとって重要な漁場とが重なっていることを指摘、温暖化が世界の漁業に悪影響を与えると警告している（UNEP 2008）。

資源管理に向けた世界の取り組み

各地の資源の減少によって国際的な資源管理の重要性が指摘されるようになり、各地でマグロやカジキなど主要な漁業の魚を対象に関係国が地域漁業管理機関（RFMOs）が設立され、漁獲量や漁期、漁法などを決めて、資源の管理に取り組むようになった。東部熱帯域のマグロ類の資源管理のために 1950 年に設立された「全米まぐろ類委員会（IATTC）」の歴史が最も古く、2004 年に設立された「中西部太平洋まぐろ類委員会（WCPFC）」が最も新しい。マグロの RFMOs の場合、5 つの機関の協調行動が不十分なことが指摘され、2007 年 1 月、神戸市で世界で初めて 5 つの管理機関が一堂に会する合同会議が開かれた。違法な漁獲を行う漁船情報の共有化などを通じて違法な漁獲をなくすために強力することなどを決めたが、決定に拘束力はなく、過剰な漁獲能力削減には合意できないなど、その効力は未知数であると言える。

まぐろ類の地域漁業管理機関(RFMO) Tunas Regional Fisheries Management Organization



国際的な漁業資源管理のための国際的な取り組みとしてもう一つの重要なものとして、2001年に発効した「国連公海漁業協定」がある。これはタラやカレイなど国境を越えて広い範囲を移動する魚や、マグロ、カツオなどの漁業対象種の保全のための国際協力の推進を目指すもので、本来、だれでも自由に漁獲することができる公海の漁業資源について「保存管理措置に合意する国のみが資源の利用機会を有する」と明記。沿岸国などの臨検態勢・権限の強化や予防的アプローチを盛り込むなど先進的な内容になっている。日本も遅ればせながら2006年に条約を批准した。未加盟の中国などの大漁業国に加盟と規定の順守を働き掛けることが今後の大きな課題になっている。

資源管理を阻むもの・違法漁業

上述のように資源の減少を受けた資源管理の取り組みが進んでいるが、これらの手法には限界が大きく、世界の漁業では「違法・無報告・無規制（IUU）漁業」が横行している。国際自然保護連合（IUCN）によると、IUU漁業の規模は年間95億ドルとも試算される。メロ（銀ムツ）は市場に出回る50-80%がIUU漁業からのものとされ、これが資源の急減の主因となっている。また、マグロ漁でも、便宜置籍による規制逃れや産地偽装（マグロロンダリング）などのIUU漁業が横行している。トルコが大西洋で日本向け蓄養マグロのために国際的な漁獲枠を越えて漁獲していたことが判明、2004年11月には台湾船によるメバチマグロの産地偽装が、2005年12月には中国船によるメバチの原産地偽装が相次いで発覚、2006年12月には、日本漁船が長期間にわたってミナミマグロを国際的な漁獲枠を大きく越えて漁獲していたことが明るみに出た。大西洋のマグロ漁ではスペインやフランスなどもIUU漁業に関与していたことが判明している。

そもそも地域の管理機関に加盟するインセンティブが少ない上、管理機関の意思決定が全員一致で行われるため、思い切った規制の導入が難しく、罰則もなく、監視機構も不十分であること、管理機関同士の連携が不十分なことなどが有効な資源管理を阻みIUU漁業の横行を招いている。

「価格が安いこと」が評価され、資源管理への投資が評価されない現状の市場の構造では、資源管理や環境配慮への投資を行うことのインセンティブは少なく、結果的に規制に従わないフリーライダーが生まれる構造になっている。

世界の漁業の未来

地域レベルでの漁業資源管理機関の設立や国際条約の締結、国際的な研究などさまざまな対応が取られてきたが、これらの対策は不十分であると言わざるを得ないのが現状で、漁業資源の悪化に歯止めはかかっている。かつては、日米、欧州、ロシアなどの限られた国のものであった公海や沖合の漁業に、経済成長が著しい中国やインドネシア、ペルーなどの発展途上国の参入が進んで、漁獲能力が拡大し、限られた資源を多くの漁業者が奪い合う状況に陥っている。伝統的な漁業国である先進国と後発の途上国の対立が顕在化して国際的な資源の保護と管理の取り組みは進まず、伝統的な零細漁業者との軋轢も激しくなる傾向にある。希少な鳥類や哺乳類の混獲、大規模な深海トロールによる深海環境の破壊など、漁業がもたらす環境問題への対応も十分とはいえない。地球温暖化や沿岸に居住する人口の増加によって海洋環境の悪化は今後も悪化することが予測され、海の環境とそれに依存する漁業は、このままでは近い将来にさらに厳しい立場に追い込まれることは確実である。

危機を見えにくくするもの

深刻化する一方の漁業資源の危機は、世界有数の漁業国であり、最大の水産物の消費国の一つである日本人にとっても重要な問題であるのだが、世界の漁業が置かれた現状に対する一般の理解は十分とは言えない。タラが捕れなくなったら、南半球の近縁種のホキに、マサバが取れなくなったらノルウェー周辺のタイセイヨウサバにと、代替魚種や代替漁場が次々と開拓される結果、また、マグロやウナギのように大規模な蓄養漁業が普及した結果として、安価な水産物の市場への供給が続くことが危機を覆い隠しているといえる。

危機にどう対処するか

このような漁業資源の危機に対処し、将来世代までにわたる持続可能な漁業と海洋環境の保全とを両立させるためには、これまでの思考方法の大転換と、すべての利害関係者による積極的な取り組みが必要になる。

国際的には、資源管理機関の能力を大幅に向上させ、罰則を含めた強力な資源管理策を導入することが急務となる。管理機関に加盟するインセンティブを作るためには、管理機関の加盟国以外からは水産物を輸入しない、違反国からは輸入しないといった「貿易的措置」の積極的な利用が検討されるべきで、貿易的措置を条約の規制実施の主要な手段としているワシントン条約による取引のモニタリングも積極的に検討することが必要だろう。

・200 カイリ以内の漁業資源の管理は、各国の責任である。日本に関して言えば、既得権益と大規模漁業者の利益を重視する現在の漁業政策、資源管理手法を改め、予防的措置に基づく科学的な資源管理手法を実現することが求められる。科学者が勧告する望ましい漁獲量（ABC）を大きく上回り、漁獲枠に達するまで、漁船に自由な漁獲を認める日本の現状の「漁獲可能量（TAC）」の制度には問題点が非常に多い。後述する譲渡可能な個別漁獲枠（ITQ）の導入や厳密な予防的措置の導入などを含めて抜本的な見直しが急務である。

・持続可能な漁業の実現と海洋環境の保全にとって重要な政策の一つが、海洋保護区の設定と拡大である。これは 2002 年にヨハネスブルクで開かれた「持続可能な開発に関する世界首脳会議（WSSD）」で採択された行動計画の中にも明記されている。公海での保護区の設定も含めて、生態学的な視点に立った適切な「海のゾーニング」の実現も急務である。

・資源管理や環境保全に投資をせずに安い価格の商品を提供し、結果的に得をするというフリーライダーの存在を許す市場のシステムの改革も急務である。そのためには、漁業者による「責任のある漁業」の実現に加え、①政府による厳密な監視と厳しい罰則の導入など「責任ある政策」②商品のトレーサビリティの確立や情報公開、違法品の疑いがあるものに手を出さない姿勢など、輸入、流通、小売りにかかわる業者の「責任ある企業行動」③環境や環境に配慮した商品を進んで選択する「責任ある消費」の一の確立が欠かせない。

・市民団体による行政、企業、漁業者の監視と啓発活動、海洋管理協議会（MSC）のラベリングシステム（海のエコラベル）や、米国で導入されている混獲防止のためのラベリング制度に代表される認証制度の普及なども、市場から劣悪な「エコダumping」商品を排除する上で重要な取り組みとなる。

コモンズの管理に向けて

誰の所有物でもなく、その漁獲に誰もが自由に参入できる公海の漁業資源は、典型的な「コモンズ（共有材）」である。「コモンズの悲劇」という言葉に象徴されるように、これらの資源を持続的に管理することは非常に困難で、コモンズは容易に劣化してしまう。「大気」という国際共有財産「コモンズ」の管理の失敗であるという点や、米国や中国というフリーライダーの存在によって強力な規制に従うインセンティブが低下しているという点、新規に参入してきた発展途上国と過去に大量の温室効果ガスを排出してきた先進国との利害が激しく対立している点など、地球温暖化が抱える問題点は、現在の漁業資源をめぐる情勢と非常によく似ている。現在の先進国と途上国の公平性の問題であると同時に、現在の世代と次世代の間の公平性にかかわっているという点でも両者に共通点は多い。

地球温暖化の原因となる温室効果ガスの排出削減のために、企業に排出の上限を課して、企業間や国家間での排出枠の売買を認める「排出量取引制度（CAP&TRADE）」の重要性が指摘され、漁業資源の有効な管理手法として、漁船ごとに漁獲枠を与え、漁船間で枠の売買を認める譲渡可能個別割当制（ITQ）が提案されているなど、対策面での共通点があることも興味深い。

いずれにしても「コモンズ」の持続的な管理のための有効な方策を確立することは国際社会にとって喫緊の課題である。日本には資源管理の失敗例が多いが、秋田のハタハタ漁や、アジア初のMSC認証の獲得を目指している京都府舞鶴市のカニやカレイ漁など適切な資源管理が行われている成功例も少なくない。これらの失敗と成功の経験を国際社会と共有してゆく努力が必要であろう。

おわりに・市場の力、消費者の力

地球温暖化は、環境保護のために必要なコストを「外部化」してしまったという点で、「市場の失敗」の典型例と言える。世界銀行のチーフエコノミストも努めたことがある英国のニコラス・スターン卿らが中心になって温暖化の経済的な側面を詳細に研究した著名な報告書「スターンレポート」は、地球温暖化を「未曾有の規模の深刻な市場の失敗だ」と指摘した。資源管理のために必要なコストを外部化し続けてきた結果としての漁業資源の危機的な状況も、地球規模での市場の失敗の典型例だと言える。

巨大な日本の水産物市場が、世界の漁業に与える影響は非常に大きく、日本の市場がいつまでも無責任な消費を続けていけば、国際的な非難を受けることは免れない。既に、安価ではあるが、

不健全なマグロやウナギを大量に消費している日本の市場には各国から厳しい目が向けられている。

だが、逆に、適切な規制が導入されれば、市場の失敗を市場メカニズムを通じて解決することも可能になる。先にあげた排出量取引や ITQ などはその一例である。

世界有数の規模を誇る日本の水産物市場は、世界の漁業を持続可能なものに変革し、海洋環境を保全、改善してゆくための大きな力と責任を持っていることを、全ての関係者が今一度、認識するべきであろう。日本における「責任ある水産物市場」は、行政や漁業者だけでなく、商社や流通関係者などの関連業者、そして何よりも一般の消費者が、その力と責任を自覚した行動を常にとり続けようとする不断の努力なしには実現し得ないのであるから。

参考文献

1. The state of the world fisheries and aquaculture, FAO, 2006
2. IPCC Working Group I Report "The Physical Science Basis", IPCC, 2008
3. IPCC Fourth Assessment Report ,Synthesis Report, IPCC, 2008
4. Stern Review on the economics of climate change, Nicolas Stern et al, 2007
5. Are we putting our fish in hot water?, WWF, 2005
6. In dead Water: Merging of climate change with pollution, over-harvest, and infestations in the world's fishing grounds, UNEP,2008
7. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities"Ransom A. Myers and Boris Worm Nature, May 15, 2003
8. Global trends of mean trophic level of fisheries landings, 1950 to 1994, Daniel Pauly Science, February 6, 1998,
9. A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems, Benjamin S. Halpern et al, Science, February 15, 2008
10. The Tragedy of the Commons, Garrett Hardin, Science, December 13, 1968
11. The Empty Ocean, Richrad Ellis,Island Press,2003
12. In a Perfect Ocean,Daniel Pauly et.al, Island Press,2003
13. Ocean Bunkruptcy, Stephen Sloan,The Lyons Press,2002
14. 平成 19 年度版国際漁業資源の現況 水産庁、2008
15. 農林水産研究開発レポート No.23 (2007) 地球温暖化が農林水産業に与える影響と対策 農林水産省農林水産技術会議

基調講演

■「地球生態系と人類の食資源確保

The Vulnerability of Coupled Marine and Human Ecosystems to Climate and Fishing

イアン・ペリー(国際 GLOBEC 議長)

R. Ian Perry



国際 GLOBEC*議長。カナダ・ブリティッシュコロンビア州生まれ。ブリティッシュコロンビア大学動物学科卒、同大学院で動物学と海洋学を学ぶ。大学院在籍時よりカナダ水産海洋省で職を得、バンクーバー、セントアンドリュースおよびナナイモで水産海洋学分野の研究に従事。現職の前は、PICES**科学審議会議長。また現職の他に、カナダ国立水産研究所(ナナイモ)の主任研究員をつとめる。海洋生態系における環境と食物網の相互関係などに注目している。国際雑誌 Fisheries Oceanography の編集にも6年間携わった。

*全球海洋生態系動態研究計画(Global Ocean Ecosystem Dynamics, GLOBEC)、**北太平洋海洋科学機関(North Pacific Marine Science Organization)

世界の海は変わりつつある。海の将来像に不確定要素が多分にある。それは海洋生態系が気候変動、酸性化現象、過度な漁獲やその他の要因にどのように左右されるのか見えないという不確定要素である。海水温の上昇などの気候変動は、北方圏において魚類及び無脊椎動物の生息分布を変えてしまうことが予想され、さらに、海洋生態系の種構成を変え、最終的には海の生産力を減退させてしまうことが予想される。これらの予想がどの地域で発生するか特定することは極めて難しいが、海そして海洋生態系におけるこれらの変化は、海洋生態系に依存している人間社会の繁栄と発展に大きな影響を及ぼす。ここでは、この自然の海と人間社会を結びつけて「海洋社会生態系」と定義する。海洋生態系が変化すると人間社会に影響を及ぼすが、同時に、人間社会がどう対応するかによって海洋生態系にも影響を与えるのである。不確定要素だらけの中、だからこそ求められる海洋社会生態系の姿はどのようなものなのか？様々な変化に相対峙したとき、自らの回復力を増進させて脆弱性を抑え、海洋資源の持続性を確実なものにするべく海洋社会生態系とはどのようなものなのか？

私は、漁業と気候とが相まって、海洋生物の個体、個体群、群集、そして生態系にどのように作用し、それらが気候変動に対して海洋生態系をいかに脆弱にしてしまうかを論じていく。魚類の個体の気候に対する過敏性が、漁業によって左右されるとは思えない。漁業が大型で高齢な魚を獲り、生態系の比較的低位の魚類群集を集中的に大量に漁獲することにより、種の生活史特性を変えてしまうことが、魚類群集を気候変化に対して過敏にする。漁業は、魚の体サイズを小型化し、魚類群集の栄養段階を低下させている。すなわち、それは魚類に急速な環境変化への対応を迫り、世代交代時間の短縮を強いる結果となっているのである。高い漁獲圧のもとで、海洋生態系は、ボトムアップ制御¹を強め、気候に対してより敏感となるのである。

¹ Bottom-up control : 生態系の下位の生物の影響が上位の栄養段階に及ぼす影響。その逆をトップダウン制御という。

これらの変化は、積み重なって気候の変動と変化に対する海洋生態系の脆弱性を増大させる可能性がある。海洋生態系における劇的な変化は、「危機」と呼ばれることが多く、そしてその「危機」は海に依存する人間社会に重大な影響を及ぼすことになる。海洋生態系の危機に面したとき、人類がとるべき共通戦略は、漁場や漁業時間などの多様化、操業域の拡大などがある。もっと長い時間スケールで見れば、適応すべき戦略には漁業以外の分野も含まれる。例えば、ネットワーク、教育、政策の多様化や漁業コミュニティの教育指導などである。そもそも、水産業は、もっと多様化できたはずであるが、集中的な漁獲方法や漁獲対象種の多様化、高額な漁具や漁船の借金による負担という戦略にだんだんつぶされてしまい、持続性が無くなってしまったのかもしれない。

われわれは海の将来像を確実に知ることは出来ない。しかし今、海洋の個体群・群集そして海洋生態系の自然回復力を維持するべく行動に移し、海が活力ある人間社会を作り出してくれている実態（生態系サービス）をよく把握・認識し、海を支えていくことにより、我々は将来の不安を最小限にとどめ、危機を回避し、将来いかなる変化が起きようとも、ゆるぎない持続可能な「海洋社会生態系」を確立することができるのではないだろうか。

The world's oceans are changing. There is great uncertainty about future conditions in the ocean and how marine ecosystems may respond to climate change, acidification, intensive harvesting, and other factors. Climate changes such as increased warming are predicted to shift the distributions of fish and invertebrates northwards, to change the species composition of marine communities, and ultimately to decrease the productivity of the oceans. However, these predictions are highly uncertain for any specific location. Such changes in the ocean and its ecosystems will impact the prosperity and growth of the human communities which depend on these ecosystems. These coupled natural marine and human systems are called marine social-ecological systems. When marine ecosystems change, they affect human communities, but how these communities respond will also impact marine ecosystems. In a world of uncertainty, therefore, what are the characteristics of marine social-ecological systems which increase their resilience, and decrease their vulnerability, to these changes to ensure the sustainability of marine resources?

I will discuss how fishing and climate together act on individual fish, fish populations, fish communities, and marine ecosystems to make them more vulnerable to climate impacts. Fishing is unlikely to alter the sensitivities of individual finfish and invertebrates to climate. Fishing makes populations sensitive to climate variability by removing the older age classes, removing sub-populations, and altering life history traits. Fishing reduces the average size of individuals and the trophic level of fish communities which decreases their turnover time making them respond to environmental variability more quickly. Marine ecosystems under intense exploitation evolve towards stronger bottom-up control and greater sensitivity to climate.

These changes can accumulate and increase the vulnerability of marine systems to climate variability and change. Dramatic changes in marine ecosystems are often called “crises”, and can have significant impacts on marine-dependent human communities. Common strategies of human communities when faced with marine ecosystem crises include intensification of fishing; diversification of fishing locations, times, and

habitats; and migrations to other areas. At longer time scales, adaptive strategies include diversification outside of fishing; networking; education; political action; and abandoning communities. Initially, fisheries can become more diverse but eventually strategies such as fishing harder, diversifying target species, and increasing debt loads to buy new gear or vessels may not be sustainable.

We can not know for certain the future state of the ocean. But by acting now to retain the natural resilience of marine populations, communities, and ecosystems, and by recognising and supporting the features that produce resilient human communities, we may be able to minimise unpleasant surprises, avoid crises, and ensure sustainable marine social-ecological systems no matter what future changes may occur.

講演

■「水産食資源の確保と海洋生態系の保全」

梶山雅秀（北海道大学大学院水産科学研究院 教授）

Masahide Kaeriyama



北海道大学大学院水産科学研究院教授。1949 年 4 月、北海道生まれ。1973 年北海道大学水産学部卒、同年水産庁北海道さけますふ化場勤務、1998 年より北海道東海大学工学部教授、現職。サケ属魚類の生態学に関する研究に長年携わるとともに、海洋生態系生態学に及ぼす自然要因とヒューマン・インパクトの影響に関する研究にも取り組んでいる。この間、2000 年よりアラスカ大学フェアバンクス校客員教授も兼任し、NPAFC, PICES, IUCN などをはじめ国内外の各種委員を歴任している。

主な著書には、「最新のサケ学」(成山堂書店)、「サケ・マスの生態と進化」(共著、文一総合出版)、「魚のエピソード」(共著、東海大学出版)、「レジームシフト—気候変動と生物資源管理—」(共著、成山堂書店)などがある。

はじめに

海洋の生物資源である水産食資源は、本来再生できる持続可能な資源です。銀行へ預けた貯金に例えると、水産食資源は元金に手をつけず、利息のみ利用していけば永続的に利用することができます。2004 年の世界水産生産量は、漁獲量が 95 百万トン(67%)、養殖量が 46 百万トン(33%)、合計 141 百万トンに達しました (FAO 2007)。しかし、漁獲量は 1990 年代以降減少傾向を示し、増えているのは養殖量のみです。このことは、漁業が水産食料資源の利息のみならず元金にまで手をつけ始めたことを意味します。マグロ類を例にとると、現在の資源量は漁業開始以前の水準に比してわずか 10%にまで減少してしまったといわれています(Myers & Worm 2003)。その反映でしょうか、北大西洋のクロマグロは IUCN（国際自然保護連合）の絶滅危惧 Ia 類(CR)に位置づけられています。水産生産量のうち人類の食糧として利用された消費量は 106 百万トンで、食糧以外の水産生産量が 35 百万トン（25%）に及びます。世界の 26 億人が水産生産物を食糧として利用し、一人当たりの年間消費量は 1970 年の 11kg から 2004 年の 16.6kg に増加しており、この量は年間動物タンパク質消費量の 20%に相当します。最近、特に中国における水産生産量と消費量の増加が著しいといわれています (FAO 2007)。沿岸底魚漁業により廃棄される低付加価値魚類(low-value/trash fish: LTF)の増加は海洋生態系食物網の単純化をもたらしており、LTF を発展途上国の食料として利用するか、先進国の養殖用魚粉として利用するかで競合が起きています (FAO 2007)。

先ほど述べましたように養殖生産量は最近著しく増加していますが、その内容を吟味するといろいろな問題が浮かび上がってきます。エビ好きの日本人は、養殖エビを約 23 万トン輸入していますが、その多くは東南アジアからで、東南アジアではエビ養殖場を作ることによりマングローブ林生態系が広域にわたり破壊されたばかりでなく、養殖に使われた大量の有機物や抗生物質による水質汚染が深刻化しています(Primavera 2005)。また、わが国のスーパーなどで大量に販売され、特に若者に人気の高い回転寿司のサケは、北欧あるいはチリなどで養殖されたタイセイヨウサケですが、この養殖サケにはダイオキシンや PCB などの有害化学物質が高濃度に蓄積されているといわれています (Hites et al. 2004)。このように、現在生産量が増え続けている水産養殖物は

地球生態系の健全性と人類の食料としての安全性に著しく影響を及ぼしていると言って過言ではありません。わが国の食料自給率は先進国の中でも最も低く、2004 年カロリーベースで約 40%です。その一方で、かなりの食料の食べ残しや廃棄が進んでおり、「輸入しては食べ残す飽食日本」（農林水産省 2006）などと揶揄される今日です。

ここでは、陸域の食資源が生産飽和状態であることを踏まえて、水産資源は持続可能な資源としてますますその重要性を増しつつあること、わたしたち人類は不確実性の高いダイナミックな地球生態系と共存しなければ生きて行けないことを認識し、海洋生態系を保全しつつ水産食資源の持続的利用をどのように図って行ったらよいのかを考えてみたいと思います。特に、サケ類（サケ属魚類）を中心に環境収容力の概念のもとに、地球温暖化、乱獲、孵化場魚と野生魚との相互作用などのヒューマン・インパクトが海洋生態系に及ぼす影響としてとらえ、話を進めることとします。

サケとは？

私たちが日常的に「サケ」として親しんでいる魚は、シロザケといます。ここでは、サケ科サケ属の魚類を総称してサケ類と呼んでいます。一般的に、海と川を行き来する魚のことを「通し回遊魚」といい、そのなかでも、サケ類のように川で産まれた後に海へ回遊し、成長して再び産卵のために川へ回帰する魚を、「遡河回遊魚」といいます。サケ類はもともと淡水を起源とし、氷河期から間氷期にかけて、海の高い生産力を利用するために降海性を、淡水で産卵して子孫を残すために母川回帰性を進化させてきたと考えられています。

最近、北海道へ帰ってくるシロザケは増え続け、17 万トン以上に及びます。北海道で漁獲されたシロザケの 3 分の 1 以上（約 7 万トン）は中国へ輸出され、一次加工されたのちにさらに欧米へ輸出され、ヘルシー・サーモンとして好評を博しています。一方、日本では、ダイオキシンなどの有害化学物質を高濃度に残留した養殖タイセイヨウサケがノルウェーやチリなどから輸入され、スーパーマーケットや回転寿司を中心に大量（17～23 万トン）に消費されています。食料自給率が先進国の中で最も低い日本で、豊かに獲れるサケを大量に輸出し、食品としての安全性に不安が残る養殖サケを大量に輸入しているというのは、なにかおかしい話です。

サケ類は、人間の食料としてだけではなく陸域生態系にとっても「海からの贈り物」です。産卵のために川に帰ってきたサケ類は、海に由来する物質を陸へ運び、森を育てます。また、その体はヒグマや昆虫などのエサになり、陸の生態系の生物多様性を高める役割も果たしています。しかし、サケ類が遡上する他の国々（カナダ、米国、ロシア）に比べて、日本で自然再生産している野生のサケ類は、ごくわずかです。サケ類が産卵できる自然河川が河川工事や河川工作物でほとんど消失してしまったため、海と陸の生態系が野生のサケ類によってつながる回廊（コリドー）は、北海道の知床世界自然遺産地域や道南の遊楽部川（八雲町）など、ごく一部の地域にしか見られません。水産食料資源を維持するためには孵化放流事業も必要ですが、野生のサケ類が産卵できるよう、自然河川のリハビリテーションも大切です。その重要性を「環境収容力」というキーワードと地球温暖化の影響から考えたいと思います。

サケの環境収容力

金魚鉢が大きければ大きいほど、たくさんのキンギョを飼うことができます。器の大きさが同じでも、酸素を大量に供給すると、また、程度にもよりますが、餌をほどよくたくさん与えると、

より多くのキンギョを飼うことができます。このように、ある海洋に魚が住める器の大きさのことを、その生態系の環境収容力といいます。シロザケ、カラフトマス、ベニザケの環境収容力を調べてみると、30年から50年の周期で増減しており、現在は増加の時期にあることがわかります。さらに、この環境収容力の変動は、この3種のサケ類が主に餌を食べ、成長する場となるベーリング海に発生するアリューシャン低気圧と連動していることが明らかとなっています。ベーリング海、特に大陸棚がよく発達した東部ベーリング海では、冬にアリューシャン低気圧が発達すると嵐が多く起こります。この嵐は海水を活発に攪拌し、海底の栄養塩（窒素やリンなど）を表層に持ち上げます。また、アリューシャン低気圧は反時計回りの渦流ですので、南方から湿った暖気呼び込み、表層の海水温を上昇させます。その結果、植物プランクトンのブルーミング（増殖）が活発になり、それを食べる動物プランクトンが増えて、生態系の生物生産力は著しく高まります。そして増えた動物プランクトンなどの餌が、サケ類の環境収容力を高めるわけです。つまり、「風が吹けば、桶屋が儲かる」と同じメカニズムで、「風が吹けばサケが増える」ということになります。

特定の空間に生息する生物の総量をバイオマスといい、サケの場合、一定地域の海での漁獲数と河川遡上数の合計を指します。また、バイオマスつまり実際のある地域の生息数と環境収容力の差を、残存環境収容力といいます。この残存環境収容力は、環境収容力にどれくらい余力があるかという指標になります。この残存環境収容力と産卵に帰ってきた北海道シロザケとの関係を見ますと、残存環境収容力が少ないほど、サケの体は小さく、高齢化することが分かりました。このような現象を密度依存効果といい、個体数が増加するほど個体間の競争が激化し、個体レベルの成長速度が低下することを意味します。これは、北海道シロザケだけではなく、シロザケという種全体の中でも観察されています。このことは、何を意味しているのでしょうか。

この疑問に答える前に、北太平洋のシロザケを、自然再生産している野生魚と人工孵化放流事業により再生産されている孵化場魚にわけて約80年間のバイオマスの変化をみると、両者の合計は1930年代と1990年代ともにほぼ同じですが、孵化場魚は1980年代以降急増しており、野生魚は半分以上に減少していることがわかります。この理由について、次のような二つの仮説が考えられています。

- (1) 近年、シロザケの環境収容力はとても高まっているが、ロシアなどの野生魚の再生産がうまくいかず、ベーリング海に余剰の環境収容力があって、そこに孵化場魚が入り込むことができた（空きニッチ説）。
- (2) 孵化場で飼育されて大型で放流された稚魚が、沿岸海域において小型の野生魚と競争を起こし、大型な孵化場魚が小型の野生魚に置き換わってしまった。現に、アラスカのプリンス・ウィリアム・サウンドのカラフトマスでは、このような事例が発生しています（置換説）。

いずれの仮説が正しいか現在のところ必ずしも明らかではありませんが、このことと、先ほどの小型化・高齢化のことを考え合わせてみると、増加した孵化場魚が密度依存効果を通して野生魚の成長にも影響を及ぼしていることが分かります。

このように、最近のシロザケは①環境収容力は著しく高く、②孵化場魚が大幅に増加しているのに対して、野生魚は減少傾向にあり、③増えた孵化場魚には密度依存効果が発現し、その影響が野生魚にまで及んでいる可能性が高いという特徴を示しています。これまで魚をはじめとする水産資源の管理は、生息環境が変わらないことを前提に、単一の種、あるいは個体群（ある地域のある種）をターゲットに、最大持続生産量を目標として行なわれてきました。しかし、実際に

は環境は不安定で常に変化しており、サケ類の環境収容力も気候変動とリンクして変化します。また、密度依存効果にみられるように、限られた環境収容力の中では、種の中での相互作用がはたります。これらのことは、水産資源管理を種レベルや個体群レベルで行なうには限界があり、海洋生態系をベースに持続的に資源の保護管理を行なっていくことの重要を表しています。

地球温暖化がサケ類に及ぼす影響

北海道で孵化場から川へ放流されたシロザケは、すぐに海へ降り、沿岸で2〜3カ月生活したのちオホーツク海に移動して、夏から秋（7〜10月）をそこで生活します。放流の時点で、ある程度大きくなっており、オホーツク海での成長が良いほど、北海道シロザケの生残率は高いことが明らかとなっています。

帰ってきたサケ親魚の体サイズと鱗から、発育段階ごとの成長履歴を追うことができます（鱗バックカリキュレーション法）。1970年から2002年までのオホーツク海における北海道シロザケの成長をこの鱗バックカリキュレーション法により求めてみました。その結果、1990年代の成長が目覚ましく良好であることが分かりました。海水の少ない年の夏から秋にかけての海水表面温度は高く、そのような年ほどシロザケの成長が良いことがわかりますが、まさに1990年代は、オホーツク海の海水が急激に減少した時期にあたります。

北海道、岩手県、そして韓国のシロザケの生残率を時系列で追ってみると、北海道、特にオホーツク海沿岸や根室沿岸のシロザケの生残率は増加の傾向を示し、成長パターンと同様、1990年代に目立って増えていることがわかります。一方、岩手県と韓国のシロザケの生残率は、1990年代後半以降、著しく減少しています。岩手県や韓国のシロザケは、川から海に降りて間もないころに、対馬暖流（津軽暖流）の影響を受けます。この対馬暖流が、近年、地球温暖化の影響を受けていることは容易に想像できます。つまり、この生残率の増減は、地球温暖化が、オホーツク海に暮らす北海道シロザケにとってはプラスの影響を、幼魚の時期を対馬暖流域ですごす岩手県や韓国などの南方のシロザケにとってはマイナスの影響を及ぼしていることを示唆しています。それでは、地球温暖化が今後さらに進むと、サケ類はどうなるのでしょうか。

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）は、2007年の第4次報告書で人間活動に起因する地球温暖化が確実に起こっていると断定しました。そこで、SRES-A1Bシナリオによる気温上昇の予測モデルに基づき、50年後および100年後のシロザケの分布状態を予測してみました。その結果、次のように推測されました。①シロザケの分布域は北方へ移動し、北太平洋東部（アラスカ湾）の生息域は著しく縮小。夏には北極海の一部で生息可能となる。②北海道シロザケは2050年までにオホーツク海への回遊ルートを失い、2095年までには生存が困難となる。③ベーリング海のシロザケの環境収容力は2050年までに大幅に減少し、密度依存効果が進む。2095年までにはベーリング海の分布域は失われる恐れがある。つまり、約90年後の北海道では、シロザケが遡上する姿を見られなくなる可能性が、極めて高いと考えられるのです。

今、私たちは何をしなければならないか

では、私たちは大切な水産食資源を、どのように持続的に守っていけばよいのでしょうか。それには、世界で最も進んだ持続的社会であるといわれるスウェーデンのバックキャスト的施策が大きなヒントになると思われます。福祉国家として知られるスウェーデンは、科学者の合意と政治家の決断によって、生態学的に持続可能な社会への道を選択し、「緑の福祉国家」をめざしはじ

めました。国家の持続可能性のバロメーターとなる IUCN の健全性指数 (WI) で、スウェーデンは世界一位を獲得しています。この理由は、スウェーデンが「現在から将来を見る」または「長期ビジョンが不明確のまま現状を迫認する」フォアキャストではなく、「将来から現在を見る」または「長期ビジョンから方向を検証しながら社会を変えていく」バックキャストを選択したことに起因すると考えられています。フォアキャスト的手法が「地球は無限」という前提に立って現状を延長・拡大していくのに対し、バックキャスト的手法は「地球は有限」という前提でいつまでに何をするかというポリシーと政策を決め、国を挙げて社会を変えていく方法でもあると言われています。

このような政策を可能にするのが、予防的原則と順応的管理であると考えられています。予防的原則とは、「環境を保全するために、重大な、あるいは回復不能な損害の脅威がある場合、十分な科学的根拠がないことを理由に、費用対効果の高い環境悪化防止対策を先延ばしにしてはならない」(リオ宣言, 1992 年) であり、この予防原則を科学的に実行するのが「順応的管理」です。順応的管理とは、例えば、不確実性の高い生態系を対象とする場合、まだ実証されていない事柄について、ある前提に基づいて管理計画を立て、その計画の実施を常にモニタリングしながら状況の変化に即して対応を変え(順応性)、モニタリングと実施のフィードバック機構によって、前提の妥当性を検証していくという方法です。この方法では、実証されていない前提というリスクの上に取り組むわけですから、十分な合意形成と説明責任が伴います。また、前提の予測が外れることも計画に盛り込み、どのような事態になったら失敗であるかを事前に明記しておくこと(反証可能性)が重要です。

このようなバックキャストと順応的管理の手法を取り入れながら、今後の水産資源のあり方とアクション・プランを、自然科学と社会科学の面から考えてみましょう。まず、①自然科学的なアプローチで第一に重要なのは、「足るを知る」ということです。生態系は常に不安定で不確実なものです。環境収容力には限界があり、しかも変動します。そのことを熟知し、生態系をベースとした持続的水産資源の保全にシフト・チェンジしていく必要があるでしょう。次に大切なのは、②生態系をベースするには、リスク管理を重視しなくてはならないということです。乱獲や地球温暖化のような回復不可能な脅威にさらされている場合には、予防原則に立ち、生態系のモニタリングとモデリングを相互にフィードバックさせる順応的管理を行なうべきでしょう。また、③生態系の生物多様性を保全することも大きな課題です。サケ類の場合であれば、自然生態系と野生魚のリハビリテーションをはかることが重要です。日本の河川は自然生態系からきわめて遠いものとなってしまいました。孵化場魚の再生産には成功しましたが、野生のサケ類はきわめて少ないのが現状です。今後の地球温暖化の脅威に対処するためにも、自然選択に強く、環境変動への適応力の高い野性魚の復活をはかるべきでしょう。そのためには、魚が住める河川生態系がしっかりしていなければなりません。木を植え、河川の自然生態系を守ることが基本となります。同様のことは海洋生態系にも当てはまります。

社会科学の面から水産資源を考えるにあたって、まず重要なのは、④食料安全保障という視点です。日本人のグルメ嗜好のために、世界中からマグロやエビなどが買い集められています、それは地球上の乱獲や生態系の破壊に手を貸していることに他なりません。一方、中国やインドをはじめとするアジアの国々の経済発展や人口増加を背景として、既に世界では水産食料資源の争奪戦がはじまっており、実際に日本の「買い負け」が増えているともいいます。私たちは今、自分たちの食料の確保について、本当に真剣に考えるべき時期にきています。次に、⑤地産地消

です。現在、北海道で漁獲されるシロザケの3分の1以上が輸出され、大量の養殖サケが輸入されているのは、前述の通りです。しかし、日本には従来、シロザケを見事に保存し、利用してきた食文化があります。かつてアイヌの人びとは、サケを食料としてだけでなく、皮や骨まで使い尽くし、神の魚としてあがめていました。それが現在では、フードマイレージ（食料輸送距離）の数値が大きくなり、健康リスクを高める養殖サケの切り身のほうが、好んで食べられている状況です。一人ひとりがサケのような身近な食材を見直し、伝統的な食文化に学びながら、自分たちが何をどう食べるか、そして、それが環境や生態系にどのように関わっているかを考えることは、今後の水産食料資源を考える上で重要ではないかと思います。

参考文献

1. FAO 2007. The state of world fisheries and aquaculture 2006.
(<http://www.fao.org/docrep/009/A0699e/A0699e00.htm>)
2. Hilborn, R. and Eggers, D. 2000. A review of the hatchery programs for pink salmon in Prince William Sound and Kodiak Island, Alaska. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 129, 333-350.
3. Hites, R.A., Foran, J., Carpenter, D.O., Hamilton, M.C., Knuth, B.A., Scwager, S.J. 2004. Global assessment of organic contaminants in farmed salmon. *Science* 303, 226-229.
4. 井田徹治. 2005. 「サバがトロより高くなる日」. 講談社、東京.
5. 井田徹治. 2007. 「ウナギー地球環境を語る魚」. 岩波書店、東京.
6. Kaeriyama, M. and Edpalina, R. R. 2004. Evaluation of the biological interaction between wild and hatchery population for sustainable fisheries management of Pacific salmon. *In* Stock Enhancement and Sea Ranching, Second Edition: Developments, pitfalls and opportunities (eds. Leber, K. M., Kitada, S., Blankenship, H. L., and Svasand, T.), pp. 247-259, Blackwell, Oxford.
7. 帰山雅秀. 2008. サケから考える水産食料資源の展望. 岩波ブックレット, No. 724: 11-25.
8. Kaeriyama, M., Yatsu, A., Noto, M., Saitoh, S. 2007. Spatial and temporal changes in the growth patterns and survival of Hokkaido chum salmon populations in 1970-2001. *N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull.* 4, 251-256.
9. 農林水産省. 2006. わが国の食料自給率とその向上に向けて－食料自給率レポート.
10. 小澤徳太郎. 2005. 「スウェーデンに学ぶ「持続可能な社会」」. 朝日新聞社、東京.
11. Primavera, J.H., 2005. Mangroves, fishponds, and the quest for sustainability. *Science* 310, 57-59.
12. 武内和彦. 1998. 食糧問題と地球環境. 「地球環境学 6」(武内和彦・田中孝編), pp. 1-22, 岩波書店、東京.

講演

■ 温暖化に負けない漁業をめざして

桜井泰憲（北海道大学大学院水産科学研究院 教授）

Yasunori Sakurai



北海道大学大学院水産科学研究院教授。1950 年 10 月、岐阜生まれ。1973 年北海道大学水産学部卒、同大学院を経て、1983 年より青森県営浅虫水族館勤務、1987 年より北海道大学水産学部勤務。現職。数多くの海洋動物の生態、亜寒帯海洋生態系変動と気候変化に関する国際共同研究などについて研究を行っている。また、国際的には、GLOBEC、PICES などの各種委員および役職、国内では、知床世界自然遺産地域科学委員会海域ワーキング座長をはじめ多くの委員を歴任している。主な著書には、「レジームシフト—気候変動と生物資源管理—」（共著、成山堂書店）、「日本海学の新世紀6、海の力」（共著、角川書店）、「イカの春秋」（共著、成山堂書店）などがある。

気候変化と水産資源の変動

今、私が最も関心を持つ研究テーマは、「地球温暖化や寒冷・温暖を含む海洋環境変化と漁業を含む人間活動が、海洋生態系の多様な生物の生活史戦略（生き方）と個体群変動に及ぼす影響」である。21 世紀に入り、私たちは否応なく地球温暖化という言葉を目にし、日常生活においても桜前線に代表される春の訪れの早さや真夏日の長さから、温暖化への不安を抱いている。ただし、都会のヒートアイランド現象もあって、2007 年からはついに 35 度以上の「猛暑日」もできた。ところが、暑ければ冷房、寒ければ暖房という近代生活の中で、私たちはたった 1-2℃の気温変化に気づくことはない。

海の生き物にとって僅かな水温変化が、どのような影響を与えているのか。人が生活している陸上での気温の変化の範囲は、マイナス 60℃からプラス 50℃と 100 度以上もの変化がある。では、水中かというと、海水が凍る温度は、およそマイナス 1.8 度、熱帯の最も暖かい海でもプラス 40 度以下であり、陸上よりもはるかに温度変化は少ない。それでも、僅かな水温変化が海洋生物資源の変動に与える事例が最近注目されている。

海の水温変化に反応した海洋生物の資源変動に関する研究は、1990 年代から急激に増加しつつある。その中で、最も注目されたのは、数十年間隔の気象変化

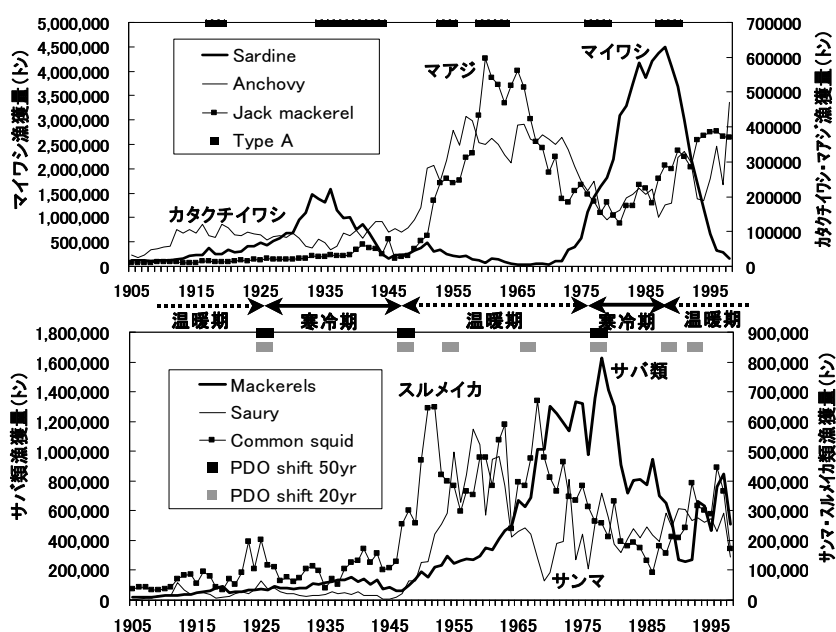


図 1. 20 世紀を通じた浮魚・イカ類漁獲量の経年変化。選択した環境情報は、黒潮（Type A、大蛇行パターン）、50 年周期と 20 年周期の PDO 変動（Minobe, 2000）。サバ類には、マサバ、ゴマサバを含む（Yatsu et al., 2005）。図中の寒冷・温暖期は、Minobe (1997) をもとに記入

と連動する海水温の寒冷・温暖のレジームシフト（海水温の低温，高温期が数十年間隔で変化すること）であった。例えば，日本周辺海域で最も多く漁獲されるイカ類・浮魚類の「魚種交替」は，海面の平均水温で僅か 1-2℃ほど下がった寒冷レジーム期にマイワシが爆発的に増え，1-2℃上がった温暖レジーム期にはマイワシは激減し，それに替わってカタクチイワシ，マアジ，スルメイカなどが増加した（図 1）。この海水温の温暖・寒冷レジームが数十年の周期性を持って再現するのであれば，再びマイワシが卓越する時代が必ず訪れる。

しかし，IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第 4 次報告（2007）の温暖化シナリオにあるように，21 世紀中には海の水温は上がり，これに加えて炭酸ガスの溶け込みによる酸性化が心配されている。私たちは否応なく温暖化を視野に入れた海洋生態系の変化を予測する研究に踏み込まざるをえない状況にきている。つまり，マイワシが復活しないことをも想定した，温暖化を軸とする海洋生物資源のシナリオを描かなければならない。これは，まさに「不都合な真実」である。

21 世紀の温暖化シナリオに海の生物は適応できる？

演者らは，北太平洋に生息するタラ類とイカ類の繁殖生態を調べてきた。これまでに，スケトウダラ，マダラ，コマイという北海道でもなじみのあるタラ類のほかに，北極海のマイナスの水温環境に生息するホッキョクダラの飼育に挑戦し，これら 4 種の産卵行動や卵・稚魚が生存できる水温，塩分条件などを明らかにしてきた。さらに，イカ類ではスルメイカとヤリイカの繁殖生態と卵やふ化幼生の最適水温や塩分条件などを調べてきた。イカやタラは一体何度の水温で生存できるか，卵や稚魚が正常に生きることのできる水温はなど，飼育実験による確認が大切である。例えば，スケトウダラの卵・仔稚魚がもっとも生き残る水温は 2-7℃，マダラは 2-10℃，ホッキョクダラはマイナス 1℃-3℃である。北極海の水氷の溶け方は猛スピードで起きており，あと 20 年ほどで夏の海氷が消えるかもしれない。もし，ホッキョクダラが激減した場合には，北極海のシロクマ，シロイルカ，アザラシ類，一角獣などの海洋動物の生存を確実に脅かすことになる。

多くの海洋生物種は，数十万年規模の氷河期，間氷期の気候変動の過程で種が分化してきた。つまり，地質年代レベルの温暖と寒冷に伴う海洋環境変化，これに加えて生息する海域の海面上昇や低下による地理的な生息隔離によって近縁種の分化が生じてきた。例えば，大西洋マダラと太平洋マダラは近縁種であるにも関わらず，その繁殖生態が異なっている。大西洋マダラは海面に浮く卵を産み，太平洋マダラは海底に沈む卵を産む。タラの仲間の起源は，間氷期の北極海とされている。その後の氷河期に北大西洋に進出して種分化が起き，再び間氷期に北極海へ生息域を広げ，その後のベーリング海峡が開いた時代に北太平洋へと進出している。おそらく，間氷期の温暖で甘い海水が海面を覆う北極海の中で，卵が沈むという特性を持ったタラ類だけが生き残り，それが太平洋マダラに種分化したと考えられている。ところが，21 世紀の温暖化は，数十万年の長い時間スケールではなく，僅か 100 年で 2-6℃も海面水温が上昇すると予測されている。海洋中の多様な生物にとっては，その急激な環境変化に適応して生き残る術を変える時間的猶予が全く与えられていない。

自分に適した水温などの環境条件を能動的に選択できる成魚とは違って，生まれた卵や仔稚魚はほとんど環境変化には受身である。そのため僅かな環境変化は，その生き残りに致命的な打撃を与えることとなる。東大の青木一郎教授，中央水産研究所の高須賀明典博士たちは，日本周辺で過去数十年間にわたって採集された膨大な浮魚類の卵と仔稚魚サンプルの出現する水温を調べ，

マイワシの仔稚魚は約 16℃、カタクチイワシは約 22℃で最も良く成長することを発見している。また、演者らも、25 年間にもわたって調べてきたスルメイカの生活史と生態研究から、スルメイカの産卵、卵発生とふ化幼生に適した水温が、18-23℃であることを発見している。これによって、1970 年代後半から 1980 年代末までの北太平洋の水温が低かった寒冷レジェーム期にマイワシが爆発的に増加し、1990 年以降の温暖レジェーム期になると、マイワシは激減してカタクチイワシやスルメイカが増加した現象が説明できる。さらに、アジやサバ類の同様の研究が進み、加えて飼育実験による卵、稚仔魚の生存可能な水温などの環境条件が判れば、日本周辺や世界中の浮魚類の魚種交替や、温暖化に伴う海洋生態系を構成する生物種の資源変動メカニズムの解明に迫ることができる。

ノルウェーでの先進事例

では、温暖化を見据えた水産資源を確保する対策はないのだろうか。ノルウェーでは沿岸を流れる暖流勢力が強くなり、将来ノルウェー沿岸のタラ類は、北極海のロシア側領海内に生息域を移してしまうシナリオを既に作っている。ノルウェー国立海洋研究所の Ken Drinkwater 博士らは、北大西洋全域のマダラが平均水温 1℃から 4℃上昇する場合の各地域個体群の崩壊、減少、増加を推定している。ヨーロッパ沿岸は、どんどん海水温が上昇して南から順に地域個体群が崩壊し、逆にカナダ東岸はマイナスの海水がプラスに転ずるため資源は増加すると予想している。この温暖化シナリオにも、大西洋マダラの飼育研究から導かれた卵発生と仔稚魚に適した水温や塩分条件が適用されている。タラ類に加えてニシンやシシャモも、より水温の低いロシア側海域（バレンツ海）に分布域が移ってしまう。この対策として、ノルウェーでは、すでに 20 年間にわたって大西洋マダラとハドック（タラ的一种）、オヒョウ、オオカミウオなど、フィヨルドの深層水を利用して完全養殖に挑戦している。すでに、2007 年にはマダラを数千トン養殖し、10 年以内に 10 万トン以上の生産を目指している。日本の沿岸でも、魚介類・海藻類の海面養殖が盛んに行われているが、今からでも遅くはない。温暖化のシナリオを軸とする水産資源の増養殖のシナリオを描き、早急な将来に向けた対策を講ずる必要がある。

水産資源変動の温暖化シナリオは可能か

それでは、日本の水産資源が IPCC の第 4 次報告で提案された 21 世紀の地球温暖化シナリオに準ずると、どのようになるのか。幸い、水産海洋学分野では気候変化、特にレジェームシフトに着目した研究の進展が著しく、温暖化という右肩上がりの時間軸の中での資源変動に取り組める状況にある。さらに、海洋研究開発機構の地球フロンティア研究センターと東京大学機構システム研究センターが、海洋の海面水温、流れ場などのいくつかの予測モデルを提案している。これらの結果から、例えば、2050 年に日本周辺の平均海面水温が 2℃、2099 年には 4℃上昇するシナリオを採用して、海流と海洋構造の季節、経年変化が得られれば、以下のような海洋生態系内の変化の予想が可能となる。

1) 各種海洋生物の生活史を通じた分布の変化、2) 資源変動の主な原因となる再生産—加入過程に与える影響、3) 個々の生物種が、温暖化への適応として産卵時期、場所などを変える可能性、4) 生活史全体を変化させる可能性（例：成長、成熟と年齢関係、回遊経路、産卵様式など）、5) 温暖化に応答する生活史変化に伴う資源豊度の増加、減少、あるいは絶滅リスク、6) 温暖化に伴う物理、化学、生物環境変化が海洋生態系を構成する生物多様性と種間関係（例：食

物網)の変化, などである。

おそらく, ここで列記した項目で, 今大胆に予想できるのは1) から3) である。4) から6) の項目については, 単に水温などの物理的海洋構造の変化だけでは, 予測することは難しい。しかし, 温暖化を軸とした場合も, 単一種の水産資源の管理ではなく, 生態系全体の多様性と保全を考慮した複数種の資源管理, 例えば減ると予測する魚種には厳しい資源管理基準を, 増加する資源には持続可能な資源利用を諮るなど, 生態系の多様性を保全した資源管理 (Ecosystem-based Management) や, 予防的原則に基づく順応的漁業 (資源) 管理が求められている。具体的な例として, ある海域で延縄によるスケトウダラ漁業が行われている場合, 温暖化シナリオでは確実にその漁業の衰退が見込まれるとする。しかし, これに替わってスルメイカ, サバ類, マグロ類がこの海域に来遊するとすれば, それに応じた順応的漁業の転換が必然的に生ずることとなる。これは, 沿岸の海藻類, 魚介類養殖にも当てはまる。水産資源の持続的利用のためには, 温暖化のデメリットだけではなく, メリットも検討する時期に来ていると主張したい。

温暖化に負けない漁業をめざして

多獲性魚類の魚種交替や資源変動は, 僅かな水温変化を伴う寒冷—温暖レジームシフトに連動した現象である。右肩上がりの温暖化に伴う水温上昇は, 海洋生物種の再生産の成否を通した資源豊度に最も大きな影響を与えることになる。多様な海洋生物の資源変動に対する気候変化の影響は, 限られた知見しかない現状ではあるが, 本講演で紹介するように, 水温などの環境変化に非常に敏感に反応している。地球温暖化を含む気候変化や漁業などの人間活動に伴う海洋生物の資源変動を解明するに当たり, 個々の生物の生活史を通した環境変化に応答するメカニズムの解明という地味な研究も大切である。もし, その情報が蓄積されれば, 地球規模での温暖化や海洋環境のレジームシフトなどのような, 海洋環境のダイナミックな動態の中での個々の生物の生残プロセスへと展開できるはずである。そして, 海洋生態系がどのように変わって行くかを予測し, それに応じた水産資源の持続的利用を私たちはめざす必要がある。同時に, これ以上の温暖化を防ぎ, 未来を担う子供たちが, いつまでもおいしい魚を食べることのできるよう, 私たちの役割は大きい。

参考文献

- 桜井泰憲: スルメイカの再生産と資源変動, 110-132, (有元貴文・稲田博史 編), 「スルメイカの世界」, 成山堂書店. (2003)
- 桜井泰憲: 地球温暖化—僅かな水温変化が海洋生物資源を変える. 海洋学の最前線と次世代へのメッセージ, 月刊海洋/号外, 40: 172-176 (2005)
- 桜井泰憲: 季節の旅人「スルメイカ」と日本海—資源変動のメカニズムを探る, 196-207, (蒲生俊敬・竹内章 編), 「日本海学の世紀6, 海の力」, 角川書店. (2006)
- 桜井泰憲: レジームシフトを含む気候変化に応答するイカ類の資源変動. 113-129pp, 「レジームシフト—気候変動と生物資源管理—」, 川崎健, 花輪公男, 谷口旭, 二平章・編, 成山堂書店, 東京. (2007)
- 桜井泰憲・岸道郎・伊藤進一: 温暖化を軸とする海洋生物資源変動のシナリオ. 地球規模海洋生態系変動研究 (GLOBEC) —温暖化を軸とする海洋生物資源変動のシナリオ, 月刊海洋, 5: 283-284. (2007)
- 桜井泰憲・岸道郎・中島一步: スケトウダラ, スルメイカ. 地球規模海洋生態系変動研究 (GLOBEC) —温暖化を軸とする海洋生物資源変動のシナリオ, 月刊海洋, 5: 323-330. (2007)
- 桜井泰憲: 知床氷縁生態系の特徴とその保全, 特集「守り伝えたい日本にある世界自然遺産」, 遺

伝, 61(5): 14-17. (2007)

桜井泰憲：ベーリング海生態系—漁業と海洋生物の共存. Arctic Circle, 64: 4-9. (2007)

講演

■ 持続的増養殖生産を目ざしたサケの健康管理と HACCP システムによる安全・安心な秋サケ製品の提供*

吉水 守（北海道大学大学院水産科学研究院 教授）

Mamoru Yoshimizu



北海道大学大学院水産科学研究院教授。1948年11月、大阪生まれ。1972年北海道大学水産学部卒、同大学院を経て、1980年より北海道大学水産学部勤務。現職。水産生物の健康管理に関する研究をベースに、魚類病原細菌およびウイルスの制御・疾病防除に関する研究と増養殖生産物の食料としての安全性確保に関する研究を行っている。

主な著書には、「魚介類の感染症・寄生虫症」(共著、恒星社厚生閣)、「新魚病図鑑」(共著、緑書房)、「微生物の利用と制御」(共著、恒星社厚生閣)、「食の安全を担う科学研究の新たな展開」(共著、東大食の安全研究センター)などがある。

*共著者: 吉水 守・笠井久会・横山 純

はじめに

水産増養殖は、食料としての魚介類の安定的な生産と、安全で安心して食べることのできる魚の提供を目指しています。サケ資源を食料として持続的に有効活用するには、健康な種苗を放流し、成長した魚を漁獲して、安心して食べられるように、漁獲から加工場、そして流通を経て私たちの手元に届くまでの過程を衛生的に管理する必要があります。

ヒトが魚を家畜と同じように管理すると、病気の発生は避けられず、有効な防疫対策が求められます。サケ・マス類の病原体は、魚が親になったときに卵巣腔液や精漿に出現します。すると卵や精子が汚染され、古くはこの汚染卵が病原体の拡散に深くかかわり、孵化稚魚が発病して大きな産業被害を引き起こしました。現在は、まず親魚の健康調査を行い、受精直後と発眼期の卵の表面を消毒して、病原体がいない水で孵化と飼育を行うことで健康な種苗が得られ、元気な稚魚の放流が可能になっています¹⁾。

漁獲後は、食品としての安全性の確保と共に、消費者に安心を提供することが必要です。安全性は科学的に確認できますが、安心は心の問題です。ハサップ (HACCP) は食品の安全性を最終製品によって確認するだけでなく、製造工程ごとに危害分析 (HA) をを行い、危害をおよぼす可能性のある工程を特定し、安全性を確認するための管理基準 (CCP) を設定して定期的に検査をし、製品の安全性を保証するシステムです (FAO ホームページ)。

わが国は魚介類を生で食べる習慣があり、多くの非加熱食品が流通しています。水産物の安全性を確保するためには、漁獲から産地の市場、加工場、流通、そして小売店と消費者に至る過程の HA を行い、自主的に CCP を設定して安全性を確保する日本版水産 HACCP を普及させる必要があると考えます²⁾。さらに、追跡 (トレーサビリティ) 手法を導入して、消費者に生産者の顔が見えるようにし、食品産業に従事している人に責任を自覚してもらう必要があります。

今回、北海道の代表的な水産物であるサケを対象に、魚の健康管理と漁獲から加工・流通・消費に至る各過程での衛生管理、特に、今まで見過ごされてきた漁獲から加工場に至るまでの衛生

管理の必要性和トレーサビリティについて考え、地域ぐるみの衛生管理を紹介したいと考えています³⁾。

健康種苗育成のための防疫対策の重要性

孵化した仔魚や放流前の稚魚が不健康で、病気になって死んでしまうと放流はできず、資源確保も難しくなります。サケ・マス類の場合、一般に、一旦感染症に罹り、その後回復した魚では、成熟期に生殖産物、特に卵巣腔液または精液に病原体が出現します⁴⁾。成熟するまでの飼育中に病原体を出す魚が存在すると、水を介して他の魚にも感染が広がってしまいます。当然、生み出された卵あるいは精子は病原体に汚染され、卵表面に病原体が存在すると、孵化した仔魚に感染します。このリスクを避けるために、採卵用の親魚の検査を実施し、飼育中の感染を防止する必要があります⁵⁾。

サケ・マス類では、受精後、胚が形成され眼ができる発眼期になるまでに約1ヶ月を要します。そのため、採卵時に卵巣腔液を採取し、病原体の保有状況の把握が可能です。伝染性造血器壊死症（IHN）ウイルスが卵や精子に吸着する現象が報告され、受精時に精子と共にIHNウイルスが卵内に侵入すると、垂直感染が避けられないとの論議が起こり、雄親魚も個別に検査する事態となりました。しかし、受精時に卵内に侵入したウイルスは、胚に感染してある程度増えますが、胚は8細胞期までに死亡し、ウイルスは卵内容物によって不活化されることを実験的に確かめました⁶⁾。死亡した卵の除去と正常発生卵の消毒、特に胚の安定期である発眼期にポピドンヨード剤で消毒すると有効であることが確かめられました。卵表面に付着しているウイルスを消毒し、病原体フリーの水で卵管理をする方法が一般化し、世界的に広く用いられています。その結果、稚魚期の病気は激減し、サケ・マス類の増殖事業は順調に進展し、内水面のニジマス養殖も産業として成り立つようになりました。

市販の消毒薬の中から、残留による魚への毒性の少ないものを選び、作業をするヒトの手指、長靴の消毒をはじめ、飼育器具類や飼育水槽の消毒が適切に行われるようになりました。ここ20年、飼育担当者の意識向上が進み、消毒済み区域へ無断で立ち入らない、入る場合には専用の服に着替える、消毒液の入った踏み込み槽を通過する、手洗いをするなどは常識になりました¹⁾。

飼育用水の殺菌に関しては、紫外線やオゾンによる殺菌が広く普及しています。紫外線を用いる場合は、病原体の紫外線感受性値を基に、その10倍程度の線量を照射しています。魚のウイルスは紫外線に弱いグループと、強いグループに分けられます。IHNウイルスやヘルペスウイルスなど、弱いウイルスは $10^4 \mu\text{W} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$ 、強いウイルスには $10^6 \mu\text{W} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$ 程度の照射が必要です。水深は紫外線の透過率を考慮してなるべく浅くし、水中の大型粒子を除去する工夫がなされています。一方、オゾン処理の場合、オゾンガスを注入する処理槽を設け、その後に空気で曝気してオゾンガスを除去しています。オゾンガスによる殺菌効率を上げる一つの方法として、ガス気泡のサイズを小さくして接触面積が増えるようにマイクロバブルを用いると、目で見えるセンチバブルよりも10倍以上殺菌効率が上がります。一方、飼育排水は量が多く、河川水の殺菌はまだ技術的に困難です。海水では技術開発が進み大量の海水の殺菌が可能となりました。魚病対策はもちろん環境対策からも効果的な排水の殺菌法の開発が急がれます⁷⁾。

水産物の安全性

前に記しましたが、わが国は魚介類を生で食べる習慣があり、刺身や寿司、酢の物のほか、多

く、非加熱食品が流通し、食卓を賑わしています。一方、水産物の安全性に対する危害分析 HA を行くと、非加熱食品のリスクとして第一に考えられるのが生物による危害です。特に微生物による危害として、水環境由来の食中毒細菌や腐敗細菌、魚類を中間宿主とする寄生虫、生物濃縮によるノロウイルスやA型肝炎ウイルスなどヒトの病原ウイルスがあげられます。化学的有害物質としては PCB や環境ホルモン等の化学物質、さらに生物濃縮によるフグ毒や貝毒などの自然毒、さらに物理的有害物質として砂や金属片、木片等があげられます。寄生虫に関しては-18℃・24 時間の冷凍処理による殺虫が有効です。貝類が濃縮するヒトのウイルスと貝毒、フグ毒を除けば、温度管理、低温にして細菌の増殖を防ぐことで水産物の安全性が確保できます。

魚介類にも病気があり、その原因がウイルスや細菌によるものが多く知られています。しかし、これら魚の病原体がヒトに感染し、健康障害を引き起こした例はほとんどありません。魚の病原細菌の一つである *Mycobacterium marinum* がヒトの皮膚に感染し、小さな結節様病変を作るとの報告がありますが、魚介類の病原微生物が危害要因から外れることは、水産食品の安全性を確保するうえで非常に有利です⁸⁾。

水産物の品質管理・安全管理

水産物は漁獲→漁港→産地市場→加工場→輸送→流通→小売店といった経路を経て、私たちの食卓に上ります。漁獲後、この流れの各段階で、時間の経過と共に品質が劣化する可能性があります。魚介類のタンパク質は畜肉に比べると劣化が早く、低温にして肉質を保つと共に、漁獲以降、消費者に届くまでの全ての段階で食中毒原因菌あるいは腐敗菌を付けない、増やさないための管理を行えば、ヒト由来ウイルスによる危害を除き（ウイルスは低温で安定です）、水産物の品質と安全性が確保できます。一方で、加熱調理が基本の畜肉が地面に置かれていないのに対し、なぜ魚市場において生で食べる魚を地面に並べるのか？長靴で出入りして時に魚をけとばすのか？といった素朴な疑問が投げかけられています。これらは水産関係者に求められる意識変革の第一歩で、ここ 15 年、水産物を地面から離す運動を進めています。現在は、少なくとも 10 cm は地面から離されるようになり、サケではタンクを使用するようになりました⁹⁾。

平成 10 年に北海道産のイクラによる病原性大腸菌（O-157 ; H-7）による食中毒が発生し、関係者に大きな衝撃を与えました。早期の段階で、食中毒の発生源が特定されましたが、一時、全てのイクラ製品が小売店の店頭から消えようとしていました。秋サケ漁業への影響も懸念されました。幸い行政と民間の関係団体が一丸となって信頼回復に努めた結果、危機的状況を回避することができました。しかし、この事件は水産物の品質管理のあり方について多くの教訓を残しました¹⁰⁾。

水産物の品質管理・衛生管理への取り組みは全国各地で行われていますが、イクラの O-157 事件を受け、北海道庁では水産物の漁獲から加工に至るまでの産地の一貫した品質管理に取り組む必要から、漁獲・漁港・地方市場・加工場等、業種別の品質管理の現状を調査・分析し、さらに問題点を把握して、具体的な改善策を盛り込んだモデル計画を策定しました¹¹⁾。演者もこの計画に参加する機会を得ることができました。また、漁港漁場漁村技術研究所からは環境に配慮した衛生管理型漁港の設計条件の検討に関する調査依頼を、標津町からは町独自の地域 HACCP に関連して、町内の河川や港の水質、細菌の調査依頼を受けました¹²⁾。これらの調査における危害分析結果と調査結果を基に、水産物の品質管理と衛生管理について整理することができました。漁獲から消費者までの水産物の流通の中で、水産物は加工場に搬入されてからは食品として厚生労

働省の指導に従うことになります。漁獲から加工場に至るまでは農林水産省の指導下であり、漁港を含めた水産物の品質管理と衛生管理に関する配慮が重要であることがわかってきました。加工原料としての漁獲物を食中毒細菌による汚染から守り、万が一付着しても増やさない対策が、より安全な食品を消費者へ提供するために必要と考えます。

漁港における品質管理

漁港での品質管理・衛生管理には、漁獲から加工場への引き渡しまでの工程が含まれます。加工場は食品を取り扱う場所であり、食品衛生法の下で衛生管理が行われてきています。しかし、加工場に搬入されるまでの水産物の管理は水産サイドに任されています。この工程には漁獲から水揚げまで、岸壁での水揚げ作業、産地市場でのセリが含まれます。

漁獲から水揚げの工程では、作業従事者の健康管理、船の清掃、備品・有害物の管理、出航前の点検、氷・使用海水の管理、船倉の衛生管理、漁獲物の品質管理、船内作業の衛生管理等が重要です。水産物を陸揚げする場合、当然の事ながら岸壁に直接置かないようにする必要があります。サケ・マス類はタンクの利用が広く普及し、他魚種でも利用されるようになってきました。EU 委員会の指摘により、ホタテ貝の取り扱いも改善されました。岸壁には車が乗り入れ、近隣の住民も出入りします。作業台あるいは選別台を設置し、選別された漁獲物は保冷タンク等に収容するのが好ましい姿です。

産地市場に関しては、多くの市場で建物構造を衛生管理型に改める必要があると指摘され、現在、漁港における荷捌き場の衛生管理指針が検討されています。具体的には、鼠族・昆虫の侵入防止、フォークリフトの専用化、床の水はけの改善、漁獲物を載せる台の設置、未処理排水の港内への流出防止、入場者の制限、専用の作業衣・帽子着用、トイレ使用時の靴の履き替えなどが論議され、使用水も水道水あるいは殺菌海水とするなど、早急な改善が必要であるとの提言がなされています。さらに、荷捌き場において漁獲物に関する記録を残すことが、今後重要な意味を持つと考えます。後述のトレーサビリティを導入する場合、現在牛の耳についている個体識別票は、水産物では個々の魚ではなく、養殖魚では生簀、天然魚では定置網あるいは漁場、漁船単位となると考えます。その意味でも入出港記録、漁獲の日時・場所、定置網あるいは養殖生簀の場所等の記録が重要であり、HA を考える場合の重要参考資料となります。

加工場および輸送・流通における衛生管理

加工場からは食品としての取り扱いとなり、食品衛生法に準拠し、保健所の指導管轄下となります。加工場では早くから衛生管理が導入され、現在は HACCP への対応で、順次改善がなされています。施設としては原料処理区域と食品加工区域の区別、従業員の衛生管理に対する意識の向上と健康管理、そして作業区域内での手・足・衣類の衛生管理、製品の温度管理、異物混入防止等が図られています。加工場の衛生管理は古くから注目され、種々の改善が加えられ、多くの優れた記述やマニュアルが出されています。輸送は大部分が保冷あるいは冷凍設備を備えたトラックあるいはコンテナを利用しています。この場合、冷凍機の故障、電源のトラブル、交通事故あるいは交通渋滞等により、品質が変化したり輸送に時間がかかったりする場合があります、これらに関しても記録の整備が不可欠です。さらに、流通過程では受け取り確認とそのときの輸送庫内温度の確認と記録、クレーム管理、リコール時の協力体制等の整備が重要と考えます。

トレーサビリティの必要性

HACCP によって安全性を確保するとともに、トレーサビリティの導入によって、生産者・製造者にも責任を自覚してもらうことが、小売店としても当然の戦略であり、消費者が望むところでもあります。上記の漁獲から消費者に至るまでの水産物の流れの中で、特に受け渡し場所における問題点の分析、改善策、基準の策定が必要であり、記録を残すことにより矢印を逆にたどること、すなわちトレーサビリティが可能になります。もっとも大切なのは、消費者の信頼を得るための情報の開示・提供であると考えます。漁獲の情報から加工・流通の情報等、生産現場から小売現場までの各過程での情報を開示することによって、消費者は安心して商品を購入することができます。あるスーパーで端末を操作すると、生産者の顔が見え、いつどこで漁獲され、どの業者の車でどこに運ばれ、セリは何時に、誰が競り落とし、どこで加工されたかといった情報が得られるようになってきました。バーコードやユーコード、バイオセンサーやICチップの開発が行われて、識別標識の管理をどの機関が行うかがこれからの課題と考えます。

おわりに

上記の成果は、道東・オホーツク沿岸のサケ・ホタテ、東北地方のギンザケにおいて順次達成されつつあります。日本経済新聞¹³⁾にも紹介され、漁価も他地域より高値で取り引きされています。船倉内の温度や魚体温に関しては、HA の中で想定された病原性大腸菌 O-157:H-7 の生存性と温度依存性をシミュレーションする中で、魚の温度を 8.9℃以下に保てば、万一、病原性大腸菌が付着したとしても増殖が抑えられる温度でした。もちろん他の食中毒原因菌や腐敗細菌の増殖も抑制され、品質管理にも役立ちます。水揚げ後、選別は選別台で行われ、氷を入れた保冷タンクに移されます。秋サケはタンクのままセリにかけられます。貝類もタンクに収容されるようになりました。市場内のフォークリフトも専用として、他車の出入りを規制しています。“魚体を地面から離す”をスローガンに、保冷タンクの高さも 60cm 以上、多くは 90cm となっています。水産物の品質を保ち、安全性を確保し、輸入品との競合や国内の産地間競争に打ち勝ち、地域の主要産業として水産業が発展していくためには、地域全体の衛生管理体制の確立が必要です。

参考試料

1. 吉水 守・笠井久会 (2005) 化学と生物、**43**: 48-58.
2. 笠井久会・野村哲一・吉水 守 (2004) 魚と卵、**170**: 1-8.
3. 吉水 守 (2006) 日水誌、**72**: 831-834.
4. 吉水 守・野村哲一 (1989) 魚と卵、**158**: 49-59.
5. Yoshimizu, M., T. Kimura, and J. R. Winton (1985) *Prog. Fish-Cult.*, **47**: 199-200.
6. Yoshimizu, M., M. Sami and T. Kimura (1989) *J. Aquat. Animal Health*, **1**: 13-20 (1989).
7. 吉水 守・笠井久会 (2002) 工業用水、**523**: 13-26.
8. 吉水 守・笠井久会 (2007) 『食の安全を担う科学研究の新たな展開』 pp. 117-127, 食の安全研究センター設立記念シンポジウム組織委員会編、東大出版会
9. 吉水 守 (2007) 「話題の広場」日本水産資源保護協会 月報、**512**: 9-15.
10. 吉水 守 (2002) 農林統計調査、**53**(3): 17-22.
11. 北海道水産林務部水産経営課 (2000) 水産物品質管理高度化推進事業「北海道水産物品質管理高度化モデル計画」43 p.

12. 標津町地域 HACCP 推進委員会 (2000) 標津町地域 HACCP 推進マニュアル策定報告書、112 p.
13. 日本経済新聞 (2001) 列島プラザ・新世紀ニッポン紀行、北海道標津町地域 HACCP、サケ衛生管理魚価も上げる、2001.11.4.

講演

■ 低利用水産資源の複合的高度利用の試み—個々の資源価値を高めるアプローチ

佐伯宏樹（北海道大学大学院水産科学研究院 教授）

Hiroki Saeki



北海道大学大学院水産科学研究院教授。1958年6月、大阪生まれ。1981年東京水産大学水産学部卒、民間企業の研究員を経て、1993年より北海道大学水産学部助教授、1996年には、ブリティッシュコロンビア大学農学部・客員研究員を兼任し、現職。多くの生物資源によって育まれている北海道を拠点として、海洋生物資源を高度に利用するための方法論の研究と食品素材としての安全性の確保研究に取り組んでいる。主な著書には、「魚貝類筋肉タンパク質—その構造と機能」（共著、恒星社厚生閣）などがある。

約3,000kmの広い海岸線と周囲に好漁場を有する北海道は、全国漁業生産（海面・養殖業:576.5万トン）の24%（139万トン：2006年）を占める一大生産地である。特に、ホタテガイ、スケトウダラ、サケ、コンブについては、いずれも全国生産量の80%以上が北海道で漁獲されている。¹⁾ 一方、水産物の生産規模に対応して、未利用・廃棄資源の量も大きく、水産系廃棄物の発生量は42万トン（2006年）に達している。このうちの大部分は循環利用（発酵その他の中間処理方法により、廃棄物を原材料として肥料、建築資材等、他の用途での有用物として利用）されているが、未だ2万トンを超える量が焼却や埋め立て処理によって処分されている。²⁾

従来の廃棄物や未利用資源の活用事例は、既存産業における代替原料の位置づけが多い。成熟した産業構造下のもとでは、代替原料には従来原料よりも安価であることが要求される。したがって、高コストを伴う場合が多い廃棄・未利用資源の利用を積極的に推進するためには、既存原料の代替だけでなく、従来にない新しい性質や機能の活用が必要である。本公演では道内水産物の代表であるシロザケを例として、多彩な水産資源を組み合わせることで新たな価値を創出する技術思想を紹介する。

魚肉タンパク質

アミノ酸バランスに優れ栄養価の高い魚肉タンパク質は、日本人の主要なタンパク質源であり、世界的にもその消費量は増加の一途をたどっている。³⁾ しかし魚類は一般に鮮度低下が激しく、その筋肉も畜産動物より肉質が変化しやすい。また魚体の大小、漁期、成熟度などの変動要因のため、食品素材として一定の品質を保障することが難しい。一方、食糧資源として世界で流通している植物タンパク質は、種子（大豆、トウモロコシ）や粉体（小麦粉）の状態で安定して貯蔵・流通されている。魚肉を汎用性の高い食品原料として利用するためには、長期保存可能で優れた性質をもつタンパク質素材への転換が必要である。たとえば、優れた栄養価や消化吸収性を維持したまま魚肉タンパク質を水溶化できれば、廃棄・未利用資源を活用することが容易となる。このような視点から、従来からも魚肉タンパク質を酵素分解や酸分解によって水溶化する試みがおこなわれてきたが、分解による機能喪失や呈味の劣化により、実用化には至っていない。

産卵回帰サケ資源

9月ごろから各河川に遡上するシロザケの姿は、北海道の早い冬の訪れを告げる風物詩である。各河川では産卵・採精のために大量のサケが採捕されている（2006年：370万尾）。自然遡上したサケは大地に還り、流域の環境を支えるが、増養殖事業によって産卵回帰した大量のシロザケを自然廃棄することはできない。体表面が婚姻色となった河川遡上魚体の筋肉では、鮮やかなサーモンピンクが喪失して乳白色となる。また肉質は脆弱で、脂質含量も大きく低下し、呈味も著しく損なわれている。このような理由から、河川遡上したシロザケは食用にほとんど利用されていない。しかし筋肉を構成するタンパク質自体には本質的な変化はみられないので、魚肉タンパク質としての利用価値は高い。

未利用海藻資源

北海道沿岸には豊富な海藻資源がある。最も重要な産業資源はコンブであるが、その栽培、加工過程で廃棄棄体が発生する。また藻場では、コンブの成長を促すために未利用の褐藻類を駆除、廃棄している。これらの廃棄・未利用海藻資源については、さまざまな利用研究が行われている。

サケ肉と海藻多糖による複合分子の創成

演者は、産卵回帰したシロザケの筋肉タンパク質に海藻由来の糖類を結合させ、新しいタンパク質-糖複合分子を創成した。図1はその概略である。⁴⁾ まず、褐藻由来のアルギン酸ナトリウムを海洋細菌から分離したアルギン酸分解酵素で処理してアルギン酸オリゴ糖を調製し、これを

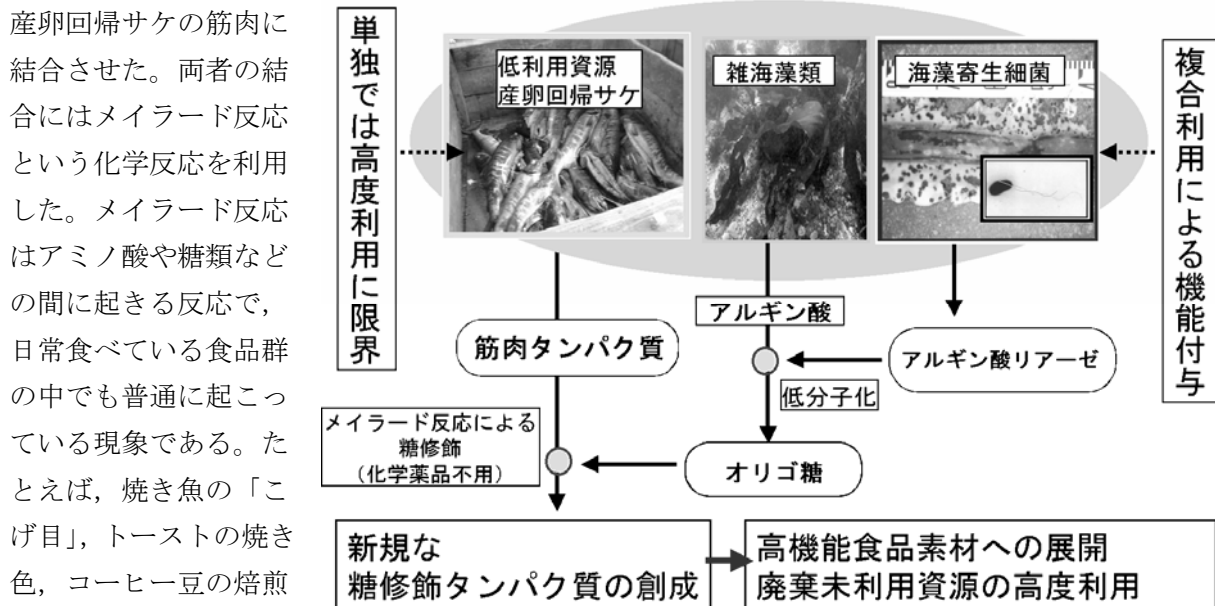


図1： 海洋資源の複合利用による産卵回帰シロザケ筋肉の性質改変。
Pseudoalteromonas elyakovii はアルギン酸分解酵素を産生し、コンブに寄生して葉体を浸食する。この酵素を用いて海藻由来のアルギン酸をオリゴ糖に分解し、利用価値の低い産卵回帰サケの筋肉タンパク質と反応させる。

このようにして得た魚肉タンパク質-

糖複合分子は、水に溶解し、また 80℃で加熱しても沈殿しない高い安定性を示した。⁵⁾ また通常の魚肉タンパク質が不溶化するような pH 5 付近でも溶解し、同時に優れた乳化特性を有して

いた。⁶⁾ 微生物が効果的に殺菌できる酸性下でも安定であるという性質は、食品素材として重要な特徴といえる。さらに、魚肉タンパク質本来の消化されやすさも損なわれておらず、不快な呈味も発生しなかった。以上の結果は、魚肉タンパク質を海藻由来のオリゴ糖と反応させることで、魚肉本来の食品機能が改善できることを示している。

低利用水産資源を複合的に活用する意義

水産・海洋関連産業を環境調和型産業として確立するためには、環境・資源の保全と同時に、廃棄・未利用資源を高度利用することが重要である。今回紹介した研究例は、魚類、雑海藻、海洋微生物という種類の異なる資源を複合的に活用することによって、新しい価値（機能）を付与することができた一例である。従来の廃棄・未利用資源研究では、個々の資源をどのように活用するかという点に主眼が置かれていたが、単独での高付加価値化には自ずと限界がある。水産資源は多種多様であり、それぞれの特徴を生かして複合的に利用することでできれば、新しい利用手段の創造も可能となるだろう。

参考文献

1. 平成 18 年度海面漁業・養殖業生産量（北海道），農林水産省北海道農政事務所統計部（2007）.
2. 平成 18 年度水産系廃棄物発生量調査，北海道水産林務部水産振興課（2007）.
3. 水産白書 平成 19 年版，水産庁（2007）.
4. 佐伯宏樹：化学と生物，42，pp. 776-778，日本農芸化学会，2004.
5. Sato, R., Katayama, S., Sawabe, T., and Saeki, H., Stability and emulsion-forming ability of water-soluble fish myofibrillar protein prepared by conjugation with alginate oligosaccharide. *J. Agric Food Chem.*, 51, 4376–4381 (2003).
6. Takeda, H., Iida, T., Okada, A., Ootsuka, H., Ohshita, T., Masutani, E., Katayama, S., Saeki, H., Feasibility study on the water solubilization of spawned out salmon meat by conjugation with alginate oligosaccharide. *Fish. Sci.*, 73, 924-930 (2007).

本要旨の一部は，佐伯宏樹:日本食生活学会誌 16(4),302-305（2006）より引用した。

パネル・ディスカッション

■「人類の水産食資源と海洋生態系の持続可能性」

座長： 目黒雄司（北海道新聞社 論説委員）

パネラー： 宮村正夫（北海道漁業協同組合連合会 副会長）
松尾直人（（株）ラルズ ゼネラルマネジャー）
井田徹治（共同通信社科学部 次長）
吉水 守（北海道大学大学院水産科学研究院 教授）
桜井泰憲（北海道大学大学院水産科学研究院 教授）

ポスター展示

日時：2008 年 6 月 28 日（土） 12:00-14:00

場所：学術交流会館 2 階ホワイエ

[P01～03] 21世紀 COE プログラム「海洋生命統御による食糧生産の革新」の概要
COE拠点リーダー 荒井克俊

[P04] 魚類血清蛋白質を用いた環境ホルモンのモニタリングシステムの開発
原 彰彦・Hong L・國弘康之・天野春菜・藤田敏明・平松尚志・東藤 孝

[P05] 水圏環境保全のための分離工学 丸山英男・関 秀司

[P06] 海洋生物の遺伝的多様性を探る 東 典子・阿部周一

[P07] 水産食品の健康機能，海藻から取れる機能性成分 宮下和夫

[P08] 持続的生産を目指したサケマス類の健康管理と食料としての安全性確保
吉水 守・西澤豊彦・笠井久会

[P09] 食品安全のためのフードチェーン・アプローチ
—コールドチェーンの温度上昇警告の試み— 太田水生・福澤 朋・一色賢司

[P10] アルギン酸オリゴ糖修飾したシロザケ筋肉タンパク質の安定性
武田浩郁・岡田 晃・大下敏夫・岸村栄毅・佐伯宏樹

[P11] 持続可能な漁業を推進する方法 (How to promote sustainable fisheries)
ジョン リチャード バウアー

[P12] 海の世界と生物をモデルする 岸 道郎

[P13] 資源と生態系にやさしい漁業技術の展開 藤森康澄・山下由紀子・木村暢夫

[P14] 宇宙から見た海の生態系 齋藤誠一・平譚 亨

[P15] 海洋生態系とサステナビリティ 桜井泰憲・綿貫 豊・岩田容子

[P16] キーストン種サケから見た北太平洋生態系と水産食資源のサステナビリティ学
梶山雅秀・工藤秀明

[P17] 環境に優しいミチウザメ養殖を目指して 足立伸次

[P18] ウップルノリにおける再生可能な遊離細胞の大量生産 嵯峨直恒・水田浩之

[P19] キンギョはウナギの卵をつくるのか？魚類の生殖系列キメラの可能性 山羽悦朗

[P20] 自然クローン生殖をする魚—ドジョウ 荒井克俊・森島 輝・吉川廣幸・藤本貴史・
Arias-Rodriguez L・Yasui S. G・山羽悦郎

協賛団体

本市民フォーラムの開催に当たり下記団体のご協力を得ました。
ここにご厚志を深く感謝いたします。(50音順、2008年6月28日)

北海道漁業協同組合連合会

北海道さけ・ます増殖事業協会

北海道定置漁業協会

パタゴニア日本支社



本フォーラムは、持続可能な社会の実現に向けて、
北海道洞爺湖サミットを応援しています





北海道定置
漁業協会