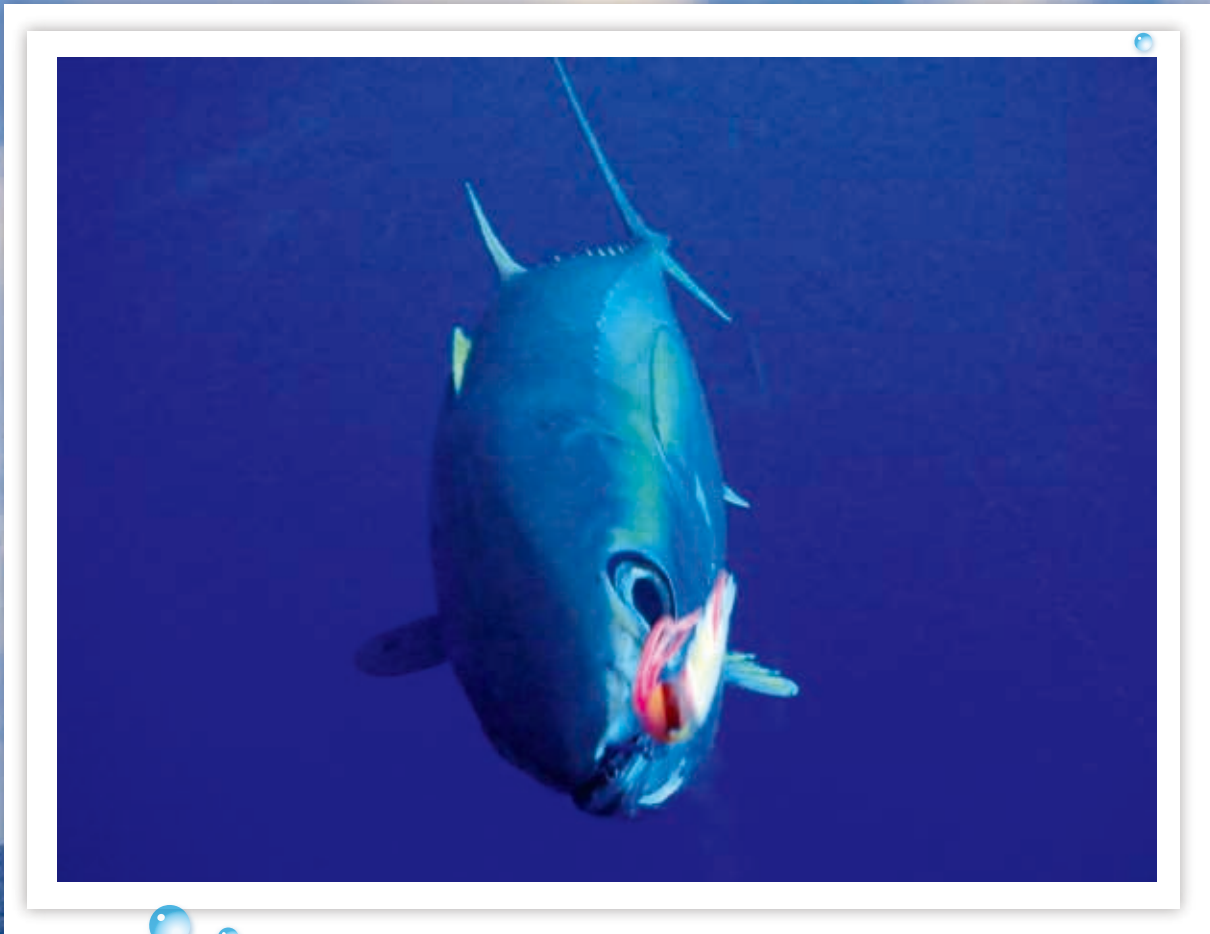


ななつの海から

● Na · na · tsu · no · u · mi · ka · ra

第13号
.....
2017年9月



CONTENTS >>>



● Topics

- ・日本近海に來遊するカツオ主群とは？……3
- ・「地域漁業管理機関におけるMSE（管理戦略評価）の実施状況」……6

● Introduction

- ・生態系アプローチ研究は何を見せてくれるのでしょうか？……11
～平成27年度岩手県三陸海域研究論文知事表彰 特別賞および水産海洋学会第19回論文賞の研究紹介～
- ・新たに加わった新人紹介……15

● Activity

- ・主な出来事……22

表紙写真解説

沖縄県の浮漁礁で曳縄の疑似餌に食いついたキハダ。

疑似餌の手前にビデオ・ロガーを装着し、食いつきの瞬間や浮き漁礁内での遊泳の様子を撮影。

（撮影場所：沖縄県石垣島沖周辺の浮き漁礁水深10m程度 撮影者：青木良徳）



日本近海に來遊するカツオ主群とは？ そのルーツ解明へのアプローチ

かつお・まぐろ資源部
清藤秀理・越智大介・青木良徳・西田 宏



はじめに

中西部太平洋におけるカツオの資源状態の評価は、WCPFC（中西部太平洋まぐろ類委員会）からの委託により、SPC（太平洋共同体事務局）のOFP（海洋漁業プログラム）部門が実施しています。2016年に実施された最新の資源評価においては、モデルの設定を変えることにより大きく変わる評価結果のどれが最も確からしいのか客観的に判断する基準が示されなかったことや、現実よりも速いと考えられる成長式を適用していたこと等が問題となり、WCPFC科学小委員会において統一的な結論が得られるに至りませんでした。カツオの漁獲量は中西部太平洋全体で依然として200万トンに近い水準にあります。カツオの分布域が縮小したために日本近海への来遊量が減少を続けているとの問題意識のもとで、熱帯域における強い漁獲が資源全体にどのように影響しているのかを解明する必要があります。そのためには、主漁場である熱帯域と季節的に漁場が形成される日本近海との間でのカツオの移動・回遊生態を把握し、漁業情報や漁獲物組成から把握できない仔稚魚・幼魚分布調査と合わせて、中西部太平洋におけるカツオの生活史を総合的に理解する必要があります。本稿では、既往および最新の知見を

紹介するとともに、現在考えられる回遊の全体像を示し、取り組んでいる調査研究について簡単に触れることにします。

夏から秋季に常磐～三陸沖で漁獲されるカツオの体長（カツオの年齢と生態）

日本近海でさまざまな漁業形態により漁獲されるカツオのサイズは、季節や漁場によって異なりますが、その主群を成す体長組成を規定することは、熱帯域と日本近海の間での資源のつながりを解明する作業仮説をたてるにあたり重要です。国際水研では、気仙沼港に調査員を配置し、夏～秋季にかけては竿釣りやまき網で水揚げされるカツオの体長測定を実施しています。図1は、気仙沼港で水揚げされたカツオの体長組成を、月別（2001～2016年までの測定値を合計して頻度分布としたもの）に示したものです。

漁期前半の6～7月には体長47～49cmのモードが漁期終盤の10～11月には54cmまでシフトしており、これは、漁獲対象群が成長しながら漁獲されているためと推察されます（図1）。この体長を、2016年のWCPFC科学小委員会で日本が示した、耳石測定結果と標識放流再捕データを総合的に解析した成長式^{*1}（図2）に

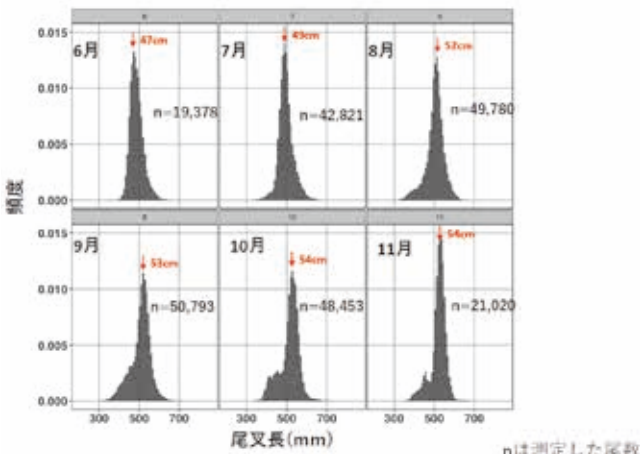


図1. 2001～2016年に北緯35度以北で漁獲され、気仙沼港に水揚げされたカツオの月別体長頻度分布（赤字はモード）

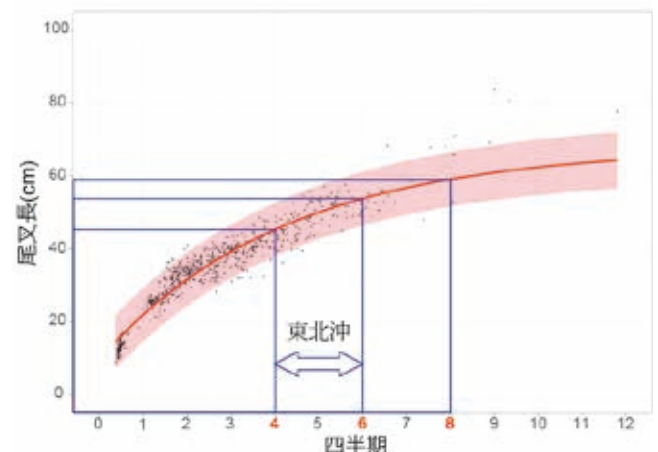


図2. カツオの年齢と尾叉長の関係（四半期で表示しているので四半期は満1歳に当たる）。点は耳石輪紋計測結果のプロット、赤線は標識放流再捕データも考慮した成長。

照らすと、生後4～6四半期、すなわち満1～1歳半の体長範囲にあることがわかります。気仙沼港の面する三陸沖では年間5万トン前後のカツオが水揚げされ、これは日本近海でのカツオ漁獲の7割以上となります。これを日本近海に来遊するカツオの主群と定義できます。この主群は、竿釣漁期始めの2月ごろに亜熱帯域に分布し、3月～4月ごろに北上回遊し、日本列島の太平洋沿岸域で漁獲対象となっている群と同じであると推察されます。国際水研ではこの群に焦点を絞り、熱帯域と日本近海への移動・回遊生態を把握することに調査を重点化しています。余談になりますが、この常磐～三陸沖で滞留するカツオは、比較的水温が高く、浅い深度を遊泳することが明らかになっています*2。これは、餌の多い（生産性の高い）常磐～三陸沖で滞留するカツオが移動距離を水平的にも鉛直的にも短く抑えながら、餌をたくさん食べることで、移動による消費エネルギーよりも多くのエネルギーを体内に取り込んでいることを意味します。その結果、肥満度が高まりますので、南下回遊する「戻りカツオ」は脂がのるといことも科学的に説明できるようになってきました。

冬季にカツオはどこまで南下するのか？

国際水研では、2009年の東北沖でのカツオ不漁などの問題を受けて、日本近海への来遊経路の解明を目的とした研究を行い、電子標識による標識放流調査結果をもとに、亜熱帯域から日本近海への主な回遊ルートを示し、日本南方の冷水域によって北上回遊が妨げられることなどを明らかにしてきました*3,*4。しかし、夏～秋季に常磐～三陸沖で漁獲されるカツオが、冬季にかけてどのように移動するのか、その詳細はわかっていませんでした。2014年6月に伊豆海域東方で放流し、2016年3月に亜熱帯海域で再捕された電子標識装着個体は、熱帯域へ南下回遊しました。このデータに基づいて推定された南下回遊の模式図を図3に示します。これによると、6月に伊豆海域東方で放流した個体が、7～9月の間は常磐～三陸沖で滞留し、10月には小笠原東方まで南下し、冬季には熱帯域で滞留し、その後亜熱帯海域まで北上したことがわかってきました。引き続き、得られたデータに基づいて水平的な移動と鉛直行動の特徴を記述し、南下移動のタイミング

の決定要因や南下に伴う体温生理機構を調べることを予定しています。

今後に向けて

中南海域（北緯15～25度）から日本近海への回遊など、既往の知見も併せて考えると、日本近海で漁獲されるカツオ主群に関する生活史模式図は、図4に示したようになります。

国際水研かつおグループでは、以下のような調査・研究の実施を通じて、日本近海に来遊するカツオの資源水準を適正に保つための方策を検討していきます。

1. 熱帯域～亜熱帯域での稚魚分布などに基づく加入プロセスを解明する

これまで、稚魚は亜熱帯域に比べて熱帯域で多く採集されていることから、熱帯域が主産卵場であると考

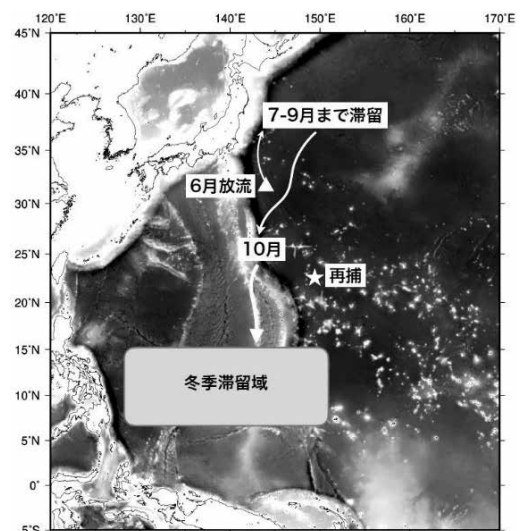


図3. 電子標識装着個体により明らかになった南下回遊経路
過去に実施された通常標識による標識放流手法であれば、放流地点と再捕地点しかわからないため、冬季に熱帯域に滞留していたのか不明であった。

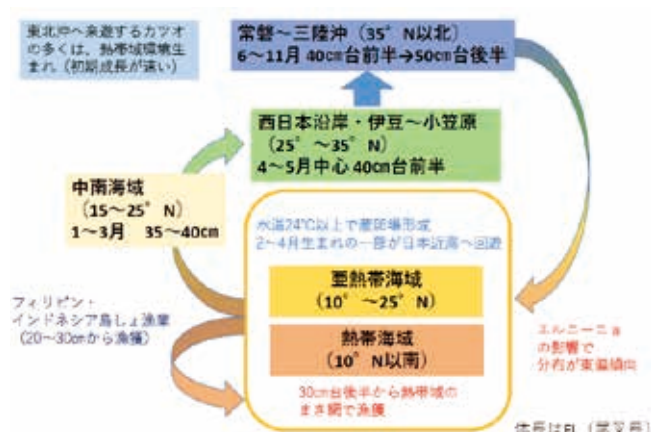


図4. 日本近海へ来遊する主群を説明するための生活史模式図

えられています。しかし、熱帯域で生まれたカツオのうちどの程度が熱帯域から成長しながら北上し、日本近海に來遊する主群を形成するのか不明です。そのため、国際水研所属の漁業調査船俊鷹丸（図5）を用いて、熱帯から亜熱帯域で採集された四半期別の稚魚分布と海洋環境データを収集し、その分布特性を示すとともに、日本近海への加入プロセスを解明することを目標とします。この調査は、既に2014年から始められています。

2. 熱帯域から日本近海への広域の回遊を直接明らかにする

これまで実施されてきたカツオ標識放流調査は、対象サイズが40cm以上の個体に限られており、日本周辺で漁獲されるカツオが來遊する前である40cm未満のカツオの移動解明が必須です。そのため、熱帯・亜熱帯域において、日本近海へ回遊することが期待できるような小型のカツオを対象とした標識放流調査を実施する予定です。

いろいろ技術的な困難さはあるのですが、その調査結果や成果を、今後この「ななつの海から」誌で順次紹介していきたいと考えています。ご期待ください。

- * 1 : Ochi, D., Ijima, T. and Kiyofuji, H. (2016) A re-consideration of growth pattern of skipjack on the Western Central Pacific. WCPFC-SC12/SA-IP-08.
- * 2 : Aoki, Y., Kitagawa, T., Kiyofuji, H., Okamoto, S. and Kawamura, H. (2017) Changes in energy intake and cost of transport by skipjack (*Katsuwonus pelamis*) during northward migration in the northwestern Pacific Ocean. Deep Sea Res., 140: 83-93.
- * 3 : 最新の標識でカツオの行動が見えてきましたーカツオは冷たい水が嫌い. FRANEWS 40(2014). 18-19.
- * 4 : 清藤秀理 (2015) II. 電子標識調査から明らかとなったカツオの來遊経路. ななつの海から. 第9号, 11-12.



図5. 湾内に停泊する国際水研漁業調査船「俊鷹丸」。

「地域漁業管理機関におけるMSE(管理戦略評価)の実施状況」



くろまぐる資源部 くろまぐる資源グループ 中塚 周哉

近年、マグロ類などの国際的な管理機関である地域漁業管理機関（RFMO）の会合では、「管理戦略評価（MSE）」に関する議題を目にすることが増えています。本稿では、この「MSE」とは何なのか、今後の漁業管理にどんな影響を与えるのかについて、可能な限りわかりやすく伝えたいと思います。「MSE」は非常に概念的で複雑なプロセスですし、後述の通り今後の国際的な資源管理において「MSE」の重要性はますます高まってくると考えられ、しかも漁業者を含む広範囲な関係者に影響が及びます。筆者の文章力ではなかなかうまく伝えることができないかもしれませんが、本稿を通じて「MSE」に関する理解・関心が少しでも広がればと考えております。

1. MSEとは

MSEとは、Management Strategy Evaluationの略であり、日本語に訳せば、管理戦略評価、ということになります。これは、さまざまな「管理戦略」、すなわち漁業管理の枠組みをコンピューターシミュレーションにより評価・比較する、という漁業管理の手法を評価するプロセスです。では、MSEで評価される管理戦略とは何でしょうか。一般的に、管理戦略というのは、①漁業資源に関する情報収集の方法（データ収集）、②その分析の手法（資源評価）、そして③その分析結果に基づく漁業管理措置が自動的に決定されるルール

「MSE」とは：

「管理戦略」の策定のため、その候補をコンピューターシミュレーションにより評価・比較するプロセス

「管理戦略」とは：

データ収集、資源評価、漁獲管理ルールからなる、情報収集からTACなどの管理措置の決定までを自動化した包括的な漁業管理の枠組み

（漁獲管理ルール）、の三つがパッケージとなった、情報収集からTACなどの管理措置の決定までを自動化した包括的な漁業管理の枠組みです。管理戦略の決定に当たっては、その後の資源管理がほぼ自動的に決定されることになるため、慎重な検討が必要です。その慎重な検討のためのプロセスがMSEになります。

管理戦略の策定には、多くのステップが要求されます（図左）。まず、行政官は漁業管理の大目標として、「管理目標」を定める必要があります。さらに、その管理目標の達成度合いを評価するための具体的な指標を決定します。一方で科学者は、資源評価において明確になっていない点、すなわち不確実性を踏まえ、管理戦略を評価するためのシミュレーションのモデル（オペレーティングモデル）を作成します。このモデルを使って様々な管理戦略の候補のシミュレーションを行い、その優劣を管理目標達成のための指標を用いて評価した上で、最適と考えられる管理戦略を選択するのです。

MSEを通じて管理戦略を策定することは、FAOの「責任ある漁業の行動規範」でもうたわれている予防的アプローチにかなうものであり、漁業管理の最適な手法と考えられています。そのメリットとして、①情報の入手から漁獲ルール（TACなど）の決定までが自動化されるので無駄な交渉がなくなる、②余った時間をより有意義な議論に充てることができる、③資源管理において想定される不確実性を踏まえた管理ができる、④必要な時に必要な管理措置が実施できる（過去には資源が悪化してもなかなか国際的な合意が得られず、資源の悪化を止められなかった例が数多く存在します）、⑤例えば、TACの年変動を小さくするかそれとも平均漁獲量を大きくするか、あるいは、漁獲を抑えて資源を早く回復させるかそれとも漁獲をあまり減らさずに資源をゆっくり回復させるか、など資源管理における様々なトレードオフを比較したうえで長期的

な管理戦略を選択できる、⑥MSC等の主要なエコラベルの取得の条件として漁獲管理ルールの採択が必須になりつつある、⑦行政官だけでなく、漁業者やNGOなど広く関係者で議論したうえで最良の管理戦略を選択できる、など、数多くが挙げられています。

2. RFMOにおけるMSEの実施状況

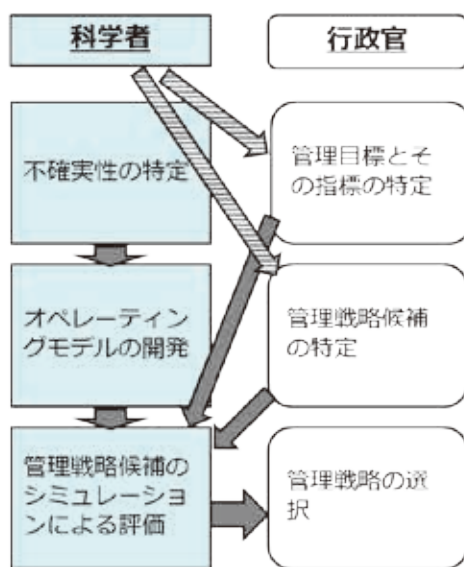
では、実際のMSEの実施状況はどうなっているのでしょうか。MSEはもともと欧米で発案されたアプローチであり、豪州、NZ、南アフリカなどでは国内漁業においてかなり導入が進んでいきます。また、米国やEUでも検討が進んでいます。一方、RFMOにおけるMSEについての国際的な議論はこれらのMSE先進国における実施状況と比較してずいぶん遅れています。これは、

そもそも世界で最初のMSEの適用がIWC（国際捕鯨委員会）におけるクロミンククジラの改定管理方式の開発だったとされていることを踏まえれば、興味深いことです。実際、MSEを完了したと考えられている国際的な事例は、上記IWCに加え、CCSBT（みなみまぐろ保存委員会）によるミナミマグロとNAFO（北西大西洋漁業委員会）によるカラスガレイのみです。では、他のRFMOにおけるMSEの実施状況をより詳しく見てみましょう。

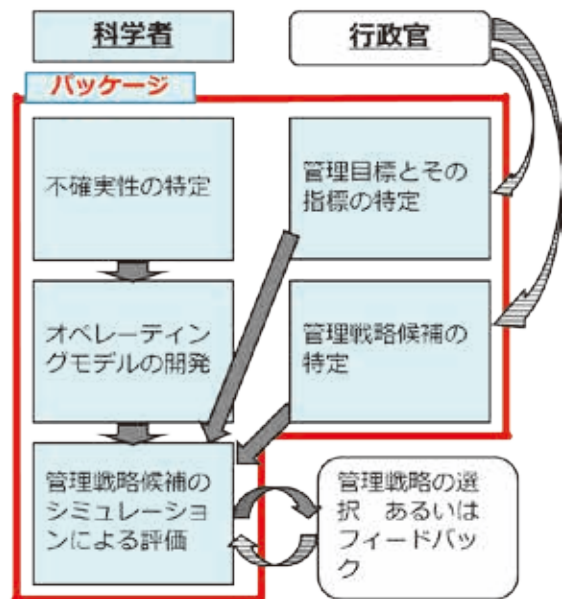
IATTC（全米熱帯まぐろ類委員会）

- ▶MSEを実施するという委員会での合意はない。
- ▶一方で、管理措置案を評価する際に、事務局がMSEに近いシミュレーションを自主的に実施。

MSE ベストプラクティス(Punt et al., 2016)



MSE パッケージアプローチ



図：従来型のMSEベストプラクティスと「パッケージ型」MSE (Nakatsuka, 2017)。色の付いたボックスは主に科学者が策定し、白いボックスは主に行政官が策定する。

ICCAT（大西洋まぐろ類保存国際委員会）

- ▶北大西洋ビンナガ、大西洋クロマグロ等についてMSEの作業が進展中。
- ▶MSEの実施や漁獲管理ルールの開発の基本方針に関する保存管理措置を採択済み。
- ▶各魚種のMSEについての議論を深めるため、科学者と行政官の対話のための会合を継続中。

IOTC（インド洋まぐろ類委員会）

- ▶カツオ、ビンナガ、メバチ、キハダについてMSEの作業が進展中。
- ▶2016年、漁獲戦略に関する技術会合の設立に合意。
- ▶カツオについては2016年に漁獲管理ルールが採択されているが、これはMSEを完了した管理戦略とは考えられていない。

WCPFC（中西部太平洋まぐろ類委員会）

- ▶2006年に会合でMSEについて言及あり。
- ▶管理目標作業部会が2012年から4回開催され、MSEや管理目標などの幅広い議題について議論。
- ▶管理戦略の基本方針に関する保存管理措置を2014年に採択。
- ▶カツオの暫定的な管理目標等について2016年の会合で合意。これを踏まえてさらに作業が行われる予定。

その他のRFMO

- ▶CCAMLR（南極海洋生物資源保存委員会）：メロについては安全に管理されておりMSEの実施は優先事項ではないと考えられている。
- ▶太平洋オヒョウ委員会：MSEの開発中。
- ▶SPRFMO（南太平洋漁業管理機関）：MSEについて議論を始めることになっているが、具体的な進展はない。

以上のような各RFMOにおける議論の分析から、以下の点が明らかとなりました。①全てのマグロ類RFMOおよびその他のいくつかのRFMOで、何らかの形でMSEに関する議論が行われている。②ICCAT、IOTC、WCPFCではそれぞれ、3、6、10年前からMSEに関して議論しているが、どれも完了に近いといえるような状況にはない。では、もともとIWCにおける国際的な議論から始まったMSEが、RFMOでの実施に時間がかかっている理由にはどのようなことが考えられるでしょうか。

3. RFMOでMSEを実施する上での課題

RFMOでMSEを実施する上での課題を考える前に、まず成功例に共通する特徴を分析してみましょう。先に述べたとおり、IWCの他には、国際的に完了したMSEはCCSBTのミナミマグロとNAFOのカラスガレイだけです。実はこの二つのRFMOでは、MSEの実施前に国際的な資源管理が行き詰りといってもよい状況にありました。CCSBTでは資源評価に合意できないためにTACが決定できない状況が何年も続き、最終的に国際裁判にまで発展してしまいました。その後改めてミナミマグロの管理の枠組みを国際的に合意するた

め、全ての関係者が参加して議論できる場を提供することを目的としてMSEが開始されました（2012年2月の「ななつの海から」第2号に詳しい経緯が記載されています）。一方のNAFOでは、資源の低下を受けて努力量を削減したにもかかわらずカラスガレイのTACが連続して超過され、既存の管理措置の有効性に疑問符が付いた結果MSEの実施が決定されました。すなわち、CCSBTもNAFOも行き詰った既存の管理枠組みからの脱却という差し迫った状況を踏まえてMSEが実施されたのです。さらに、これらのMSEは資源回復計画の評価という明確なゴールを持っていたこと、これらの漁業や資源の構造が比較的単純であったこと、外部科学者の助言を得られる環境にあったこと、などの事情もこの二つのRFMOでのMSEの完了に貢献したものと考えられます。ただし、MSEは比較的好条件でもかなりの時間を要します。例えばCCSBTではMSEが最初に完了するまで5年を要しています。

それでは、このような検証を踏まえ、RFMOでMSEを実施する上での難しさを考えてみます。

MSEを理解することの難しさ

まず、そもそもMSEというプロセスが非常に複雑で理解が難しいということが挙げられるでしょう。MSEはいまだに、科学者・行政官を含む多くのRFMO参加者にとって新しいもので、関係者の理解はまだ十分に進んでいるとは言えません。加えてRFMOでは、参加者の理解度のばらつきが一国でのMSEの議論の場合に比べてより大きく、さらに難しい関係文書が多く参加者にとって母国語で書かれていないという言葉の問題もあります。そのため、参加者の理解を深めるのはより難しいでしょう。前述の通り、MSEの結果をもとに決定される管理戦略は、例えば単年のTACなどと比較して長期的な影響があるため、交渉担当者となる行政官が議論の内容に何らかの不安を抱えている場合、その決定プロセスを止めるあるいは先延ばしするのは、全会一致が原則のRFMOでは簡単です。

行政官に求められる作業の難しさ

MSEを実施するためには、科学者だけでなく行政官にも多くの決定事項が求められます。特に、MSEの最初のステップとして、行政官が管理目標に合意し、そ

れを評価するための評価軸を決定することが求められます。しかしながら、行政官にとっては、その実際上の影響を見ずに何かに合意することには極めて大きな抵抗感があります。そのため、多くのRFMOでこの最初のステップに時間がかかっています。ただし、いくつかのRFMOでは、管理目標等の合意を暫定的なものとする事で議論の進展を図りつつあります。

保存管理措置の柔軟性が失われるという懸念

MSEの強みはデフォルトの保存管理措置ができるので、交渉で合意がない場合でも最後の切り所があるということです。しかしながら、これは資源管理にかかわる全ての人にとってのメリットとはならないかもしれません。MSEを通じて開発された管理戦略は簡単には再交渉することはできません。そうすると交渉担当者としては、自分の決断が長い将来に与える影響を考え、慎重にならざるを得ないでしょう。また、実際の交渉担当者からは、「既存のRFMOの保存管理措置の中には、非常に複雑な例外規定が含まれるものや国別割り当てを合計するとTACを超過するものなど、国際合意を得るための様々な工夫が含まれるものがあるが、MSEを通じた漁獲戦略はこのような必要悪ともいえるような措置を許容してくれるのか」、という疑問が聞かれます。交渉官たちは何とか国際合意を得るために、様々な努力をしています。これは、RFMOにおけるMSEを考えるためには、科学的観点だけでなく意思決定の観点からも検討する必要があることを示唆していると思います。

RFMOの構造上の問題

国際機関であるRFMOでは、科学委員会とコミッションとで決定事項を伝達する機会は限られています。通常、RFMOにおける科学者と行政官の連絡は、年に1度のそれぞれの会議レポートのやり取りです。しかし、科学者と行政官のより緊密な連携が求められるMSEの実施のため、CCSBTでは6回、NAFOでは3回の追加的な会合が、通常の会合に加えて開催されました。また、MSEの強みは漁業者を含めた幅広い関係者の参画が可能となることとされていますが、非常に複雑な国際的な漁業管理において、そのような幅広い関係者の参画を効果的に確保することが本当に可能なのか、疑

問のあるところでは。

コスト

MSEの実施には様々なコストが掛かります。その中には、追加的な科学者を雇用するコスト、会合を長くしたり追加的な会合を開催するためのコスト、会議の時間をMSEに割くための時間のコストなどがあります。これらの資源はどのRFMOでも確保に苦労しており、MSE実施への支持を集めるためには、MSEのメリットがこれらのコストを上回ることを示す必要があるでしょう。

4. RFMOでMSEを成功させるために

このような困難を乗り越えてRFMOでMSEを成功させるためには何が必要でしょうか。成功例の分析も踏まえて整理してみましょう。

理解の促進・コミュニケーションの改善

多くのRFMOでMSEに関する作業部会等が開催され、関係者の理解を深める努力をしていますが、CCSBTやNAFOの例を見ると、さらに多くの会合が必要となるのではないのでしょうか。また、MSEの参加者は他の参加者の考え方を理解する必要があるでしょう。例えば、行政官はたとえより良い管理措置ができたとしても、自国の犠牲だけが大きければ交渉官としては評価されないと考えるかもしれません。一方、科学者はMSEを実施することによって、資源評価のたびに結果が大きく変わる事への批判から逃れられる、というインセンティブがあるかもしれません。実際に、MSEの実施は多くの場合科学者が提起しています。

委員会の支持の取り付け

MSEを成功裏に進めるためには、意思決定機関である委員会の積極的な関与が不可欠です。そのために、いくつかのことが可能でしょう。例えば、現在の資源管理の問題点を指摘し、MSEによりそれがどのように改善するのか示す必要があります。その場合、理論的な説明だけでなく、TACや努力量がどのように変更されるのかという具体的な事例でメリットを示し、それとMSE実施に伴うコストの比較を行う、などが重要でしょう。一方で、後々こんなはずではなかった、とい

うことがないようにMSEのデメリットも説明する必要があるでしょう。例えば、いくつかの資源量指数が異なる傾向を示している場合にはMSEの実施も難しいですし、MSEの結果提示される管理戦略は現状の措置よりも厳しくなるかもしれません。また、MSEは漁獲管理ルールを策定するうえで必ずしも不可欠ではないということも明確にしておくべきでしょう。

RFMOにおける意思決定プロセスの改善

意思決定が複雑なRFMOでは、MSEの議論はできるだけ柔軟に進めていくべきでしょう。例えば、管理目標、評価指標、関連するリスクなどはパッケージで扱い、全てが合意されるまでは暫定値とする、などが考えられます（図右）。これは、具体的な数値を提示することによってのみ、行政官を含んだ意味のある議論が可能だと考えられるからで、管理戦略のさまざまな要素を、実際のその管理戦略を実施した時に想定される結果を見てから決めていこう、ということです。実際にいくつかのRFMOでの議論はそのような方向に動いています。

5. まとめ

基本的にMSEを使って漁獲戦略を検討するのは望ましいことですし、国際的にこの流れはますます強まるでしょう。しかしながら、MSEの実施には非常に手間がかかるし、MSEで不確実性を厳しく考慮した結果としてより保守的な管理措置が求められることもあり得ます。それだけの労力（時間、金、人）をかけることを、意思決定が複雑なRFMOで合意していけるのか。特に大きな問題なく管理されている魚種についてMSEを実施する必然性があるか。これまでにMSEを完了したRFMOでは、資源管理に行き詰まった結果、現状を打破する手段としてMSEが不可欠でした。そのほかのRFMOでは、それぞれのRFMOが時間をかけてMSEの必要性、必然性について結論を出す必要があるでしょう。（本稿は主として、Nakatsuka, S., Fisheries Research 187 (2017) 127-138, Management Strategy Evaluation in Regional Fisheries Management Organizations – How to promote robust fisheries management in international settingsの内容に基づきます。）

「本研究は水産庁国際資源評価等推進事業の一部として実施されました。」

生態系アプローチ研究は何を見せてくれるのでしょうか？

～平成27年度岩手県三陸海域研究論文知事表彰

特別賞および水産海洋学会第19回論文賞の研究紹介～



外洋資源部 外洋生態系グループ 米崎 史郎

はじめに

この度、栄えある2つの賞を頂くことができました。この上のない喜びと同時に、中堅研究者としての責務を感じずにはいられない心境です。岩手県三陸海域研究論文知事表彰は岩手県が実施主催者となっており、平成21年度から実施されています。三陸海域における海洋および水産研究の活性化を目的に、三陸海域に関する若手研究者の論文を募集し、書類・口頭発表審査が行われ、学識者らで構成される選考委員会によって、知事賞・特別賞が選考される、いわゆる懸賞論文です。実は、ポストドク研究者時代の平成21年度に、一度応募し書類審査で落選しており、今回雪辱を果たしたことになります。また、水産海洋学会は多くの方々をご存知のように、水産海洋分野ではパイオニアであり、近年では、水産資源と漁業を繋ぐ漁海況研究にとどまらず、水産資源を取り巻く海洋生態系に関する発表も行われるようになり、また地域の特性に応じた研究集会も活発に行われるなど、裾野が広く、非常に懐の深い学会へと発展しています。学生時代から憧れの学会であったので、論文賞の受賞は格別な思いを抱いています。

研究の動機

水産資源の利用と海洋生態系の保全を両立させるには、どのような研究アプローチが必要なのでしょうか、これが研究の出発点です。漁業活動は、いわゆるFishing down（漁業は高次栄養生物から順に搾取するため、海の中は低次生物ばかりになる）やTrophic cascade（漁業による高次栄養生物の資源減少の影響が、食物網を通じて低次栄養生物群に次々と波及する）現象などを引き起こし、海洋生態系の構造と機能に負の影響を与えるものとして、批判を受けるようになりました。このような背景から、漁業活動を海洋生態系の中に明確に位置付け、生態系全体を考慮した資源利用を目指す

考え方が示されるようになりました（例：Ecosystem Approach to Fisheries (EAF) やEcosystem-Based Fisheries Management (EBFM)）。EAFは、国連食糧農業機関（FAO）が提唱した概念で、持続可能な漁業の発展のためには、生態系全体をカバーすることは勿論、漁業資源の動向だけではなく、社会経済的な観点も重要視されています。前稿の中塚さんが紹介しているMSE（管理戦略評価）は、このEAFを意識したアプローチと言えるかもしれません。一方EBFMは、EAFとは少し趣が違います。EAFは生態系への配慮を単一魚種管理にフィードバックさせるのに対し、EBFMは生態系に係わる全ての要因を包括的に捉えた上で漁業管理を目指す考え方です。しかしながら、いずれの考え方も抽象的で、具体的な解決策を指し示してくれるものではありません。また、地域漁業管理機関（RFMOs）では、ウミガメ・海鳥・サメ類などの混獲削減や冷水性サンゴ類などのVME (Vulnerable Marine Ecosystems) 保護問題などをEAFへの対応として位置付けていますが、むしろ視点が特化しており、本来のEAFやEBFMが掲げている生態系の考慮から離れているようにも感じます。そこで、生態系全体を考慮する生態系研究はどのようなアプローチが有効なのか、外洋生態系グループでは2011年から始まった水産総合研究センター（当時）の第3期中期計画から水産機構が長年にわたり集積している漁業と調査データを活かした、漁業と生態系に関する研究に着手しました。本稿の受賞対象論文は、その研究の一部であり、その内容を簡単に紹介します。

三陸沖生態系の長期変動傾向に関する研究

漁業データとして、1952～2011年の宮城農林水産統計年報を基に、魚種別・漁法別の漁獲量や努力量をデータベース化し、漁業種類別のそれらの経年変化を調べました。また、各年の漁獲物の平均栄養段階（漁

業を捕食者として食物網の中に位置付ける指標となる値)を算出し、その経年変化も調べました。調査データとして、キタオットセイ(以下、オットセイ)の胃内容情報と生殖腺標本を用いました。この調査は、三陸沖を中心に遠洋水産研究所(現国際水産資源研究所)が1970~1990年代に資源生物学的モニタリングとして実施していた捕獲調査であり、得られたデータと標本は、国際水研清水庁舎付近にある日本新三景またユネスコの世界文化遺産である“三保の松原”にちなんで“三保コレクション”と私たちは呼んでいます。このデータベースは、海棲哺乳類の長期時系列試料として世界的に貴重なものとなっています。オットセイは、三陸沖生態系の主要な高次捕食者であり、春季を中心に成熟雌獣および若齢獣が15万頭程来遊すると言われていす。また、オットセイは現存量の多い餌生物から利用するopportunistic feeder(機会的捕食者)と言われており、彼らの食性情報は、餌環境の時系列変化を反映すると考えました。そこで胃内容物情報から長期的な食性変動を、また生殖腺標本の窒素安定同位体比分析から得られた栄養段階の経年変化を調べました。漁業とオットセイの情報を軸として、三陸沖生態系の長期変動傾向の復元を試みました。

魚種別漁獲量組成は、年代によって大きく異なっ

ていました。1950・60年代は、サンマ、カツオが高い割合を占めていましたが、1970年代に入るとマイワシ、サバ類が多くを占めるようになっていました。1990年代以降、スルメイカの占める割合が徐々に増えるとともに、魚種の数も増える傾向にありました。漁獲物平均栄養段階は、1980年代に入ると急激に下がり、その後は上昇傾向にありました。これは1980年代にサバ類より栄養段階の低いマイワシの漁獲量が急増したことによるもので、魚種交替による卓越魚種の交替を大きく反映した結果となりました(図1(A))。オットセイの平均栄養段階も1980年代に入ると低下しており、胃内容物の餌組成変化(餌生物としてマイワシの占める割合の上昇)とも一致していました(図1(B))。両者の結果を統合すると、三陸沖生態系は魚種交替による生態系構成種の変動が同時期に観察され、その変動は、漁業の影響によるトップダウン効果(Fishing downやTrophic cascade現象)よりも気候変動のようなボトムアップ効果の影響が大きいことが示唆されました。漁業データは、漁獲量規制や漁獲効率の向上などの影響を受けており、生態系の変動を端的に示しているとは言い難い部分がありますが、漁業とは独立した調査データと相補的に解析することにより、データに基づいた生態系変動を把握することができました。

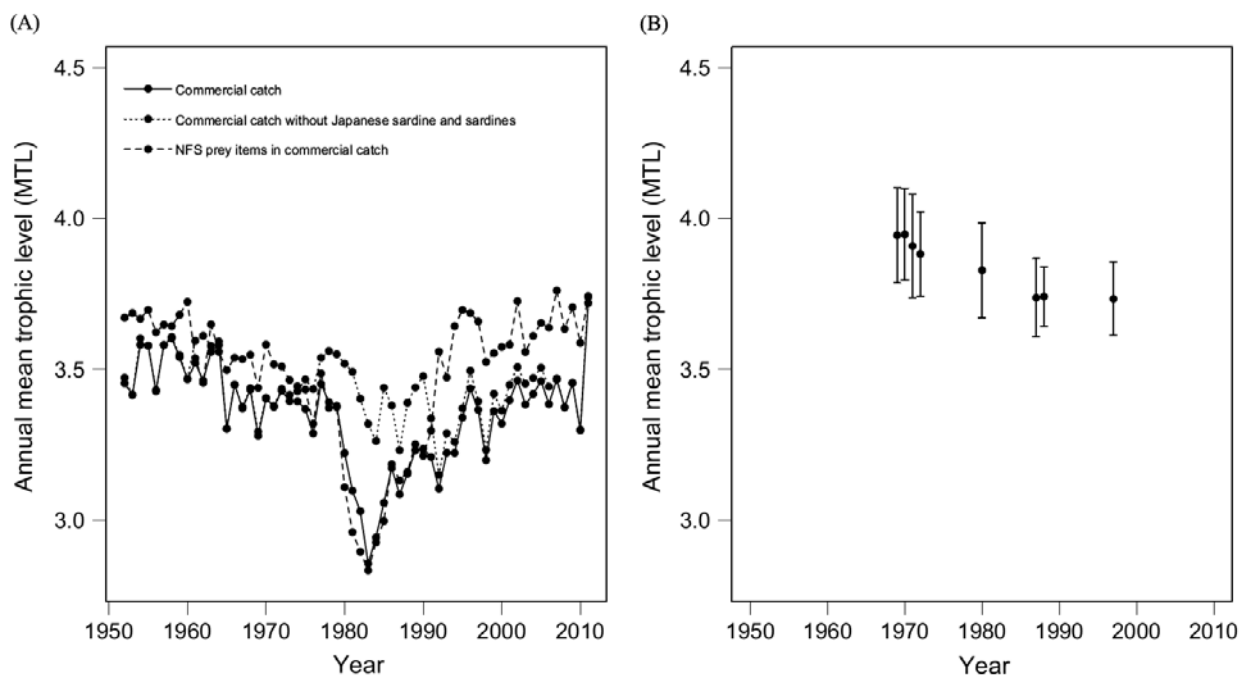


図1. 三陸沖における漁獲物(A)とキタオットセイ雌獣(B)の平均栄養段階(Mean Trophic Level)の時系列変化(Yonezaki et al., 2015)。(A)について、実線は漁獲物、細点線は漁獲物からマイワシを除いた値、粗点線は漁獲物のうちキタオットセイの餌生物となる漁獲物の値、をそれぞれ示す。

Ecopathアプローチによる三陸沖底魚群集を中心とした漁業生態系の構造把握

三陸沖において東北区水産研究所の底魚資源グループが長年担当している底魚類現存量調査（1997～2009年；主要魚種の現存量や食性情報）、漁獲統計資料（1997～2008年；かけ廻し、1そう曳きオットートロール、2そう曳き漁業）などを用いて、生態系モデルEcopath with Ecosim (EwE)の基本モジュールであるEcopathモデルを構築し、生態系の構造把握（捕食-被食関係の定量評価）を試みました。EwEは、生態系を考慮した漁業管理のために開発されたモデリングツールで、捕食-被食関係を通じた生物量の収支を定量化するマスバランスモデルです。研究対象としたのは、岩手県および青森県沖の海底水深100～1,000mの海域で、対象とした生物群は、マダラ、スケトウダラ、ソコダラ類、カレイ類を始め、中深層性サメ類、中深層性魚類、動物・植物プランクトンなど合わせて計46機能群を取り扱いました。構築したEcopathモデルから出力されるパラメータを比較検討することで、三陸沖の底魚類とそれらの餌生物群との相互作用が生態系の中でどのように位置付けられるのかを考察しました。

岩手・青森県沖合の底層生態系は、高次捕食者としてフジクジラをはじめとする中深層性サメ類とマダラ成魚が、中位捕食者としてスケトウダラ、ソコダラ類、

カレイ類が、またこれらの捕食者を支える餌生物群として、中深層性魚類（ハダカイワシ類）、底生性エビ類、ツノナシオキアミ、カイアシ類、マクロベントスが、主要な構成要素であることがわかりました（図2）。また、同じ底魚類であっても、それぞれの餌生物に対する選択性は異なっていました。例えば、中深層性魚類に対して、マダラは0歳魚以外、負の選択性を示しましたが、スケトウダラは正の選択性を示していました。ツノナシオキアミは、全体的に負の選択性を示す捕食者が多くなっていましたが、マダラとスケトウダラの0歳魚などが正の選択性を示していました。また生態系モデルを構築したことにより、ミッシングリンクとなっているハダカイワシ類を中心とした中深層性魚類の現存量（約40 t/km²）を推定することが可能となりました。さらに、漁業データを加味したことにより、漁業種類ごとに生態系における役割を位置付けることもできました。例えば、漁獲量を生産するのに必要な植物プランクトンの生産量は、かけ廻し漁業が2そう曳き網漁業よりも低くなっていましたが、高次捕食者（漁獲物よりも栄養段階の高い捕食者）への食物の損失量は、逆の結果を示していました。これは、2そう曳き網漁業の方が、栄養段階の高いマダラやムネダラなどを、より多くまたは選択的に漁獲していたためと考えられました。

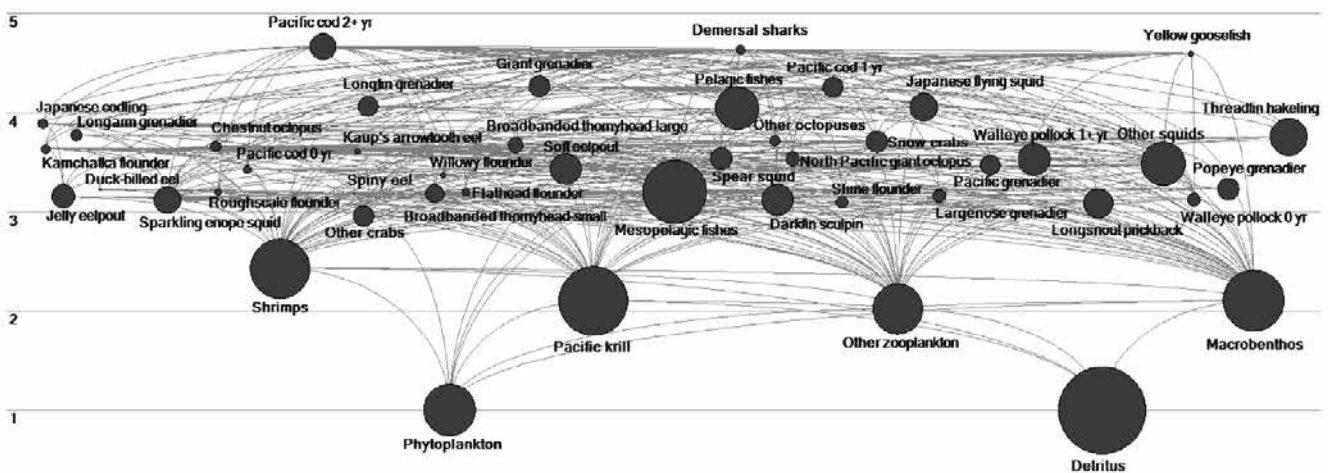


図2. 三陸沖におけるEwEにより出力された底魚類を中心としたフローダイヤグラム（米崎ほか，2016）。円の大きさは、機能群の相対的な現存量を示す。

生態系アプローチ研究は何を見せてくれるのでしょうか？

上述した長期時系列データを用いた生態系の変動履歴を復元し現状を評価するアプローチと、生態系モデルを使って現在の生態系の構造の中に漁業を位置付けるアプローチは、漁業活動をマクロな視点で海洋生態系の中で比較的明解に把握できるとともに、多魚種・複数漁業種類を同じ時間・空間スケールで捉え、海洋生物の資源生態を理解する上で非常に有用です。また、漁業を生態系の中にきちんと位置付けるEBFM型漁業生態系管理を推進していくためには、単一資源評価と海洋生態系評価の両輪を同時に回しながら、互いの評価結果を共有・補強し、漁業管理にフィードバックさせることも大切でしょう。

これまでの我が国における生態系アプローチ研究は、食性研究を中心にした詳細な被食-捕食関係の記述にとどまっていた。これら貴重な食性データを、生態系の時系列変動解析や生態系の構造と機能の定量的な評価に活かすことができたと自負しています。また、私たちのアプローチは、単一資源管理における調査研究を俯瞰できるだけでなく、新たな研究シーズを創出できる可能性を秘めています。海洋生態系研究は現在このような視点を得意とする欧米研究者の独壇場となっていることは否めません。ただ、我が国には、規模が縮小しつつありますが、調査船調査などのデータが堅実に蓄積されています。調査データは、当初の調査目的の成果だけではなく、異なる研究視点を持つことで、予期せぬ学術的な価値を引き出すことが可能です。

このようなマクロな研究視点は、何も私だけが独自に行ってきたものではありません。自身の置かれた研究環境に依るところもありますが、広い研究視野を持ち続けることの大切さをご教示頂いた、私の上司である清田雅史グループ長への感謝は筆舌には表しきれません。これからは、若手研究者に対して学術的な刺激や研究アプローチのヒントを与えられるよう、日々精進したいと思います。また、こうした漁業生態系モデル研究に一層磨きをかけるために、今秋より1年間ノルウェー国立海洋研究所にて、長期在外研究を行う予定にしています。

結びにかえて

調査データ収集に携わってこられた調査船の皆さんに深謝するとともに、受賞対象論文の共同研究者の方々のご協力とご理解に感謝申し上げます。また本稿は、平成29年度第2次調査航海【天皇海山海域調査】中の水産庁 漁業調査船 開洋丸の洋上にて執筆しています。改めて調査船乗組員の方々の調査へのご尽力には頭が上がりません。最後に、岩手県知事表彰の第二次選考（口頭発表審査）では、妻や子供たちに発表練習を何度も付き合ってもらいました。発表時間20分という中で、明瞭にして簡潔、そしてインパクトを与えるためには、どのようにアピールしたらよいか、大いに勉強させられました。その甲斐もあって、評価委員の先生からは、非常に洗練されたプレゼンテーションであったと評して頂きました。改めて、愛する家族の支えに感謝したいと思います。

受賞論文

Yonezaki, S., Kiyota, M., and Okamura, H. 2015. Long-term ecosystem change in the western North Pacific inferred from commercial fisheries and top predator diet. *Deep-Sea Research II* 113: 91-101.

米崎史郎・清田雅史・成松庸二・服部 努・伊藤正木. 2016. Ecopathアプローチによる三陸沖底魚群集を中心とした漁業生態系の構造把握. *水産海洋研究* 80 (1): 1-19

[本研究は、平成24～28年度文科省科研費新学術領域研究「新海洋像：その機能と持続的利用：広域回遊性魚類の資源変動メカニズムと海洋区系」（研究課題番号：24121008）および水産庁委託事業「我が国周辺水域資源評価等推進委託事業」の一部として実施されました。]

ななつの海から 新人紹介記事 1



外洋資源部 鯨類資源グループ 佐々木 裕子

2016年4月に外洋資源部鯨類資源グループに配属されました佐々木裕子です。現在、ツチクジラなど小型鯨類漁業の対象種や、イワシクジラをはじめとする大型ヒゲクジラ類の資源管理に資するため、新しい手法を用いた資源量推定に取り組んでいます。今回は、これまで取り組んできた研究についてご紹介したいと思います。

私は、学部・大学院と北海道大学に在籍し、生息地モデルを用いて鯨類をはじめ様々な生物種の分布環境を明らかにする研究 (Sasaki et al. 2013, 2016) に取り組んできました。生息地モデルは、生物の分布と分布環境 (海表面水温やクロロフィルa濃度など) との関係を統計モデルで表現する方法であり、対象種の分布に影響を与える環境要因を推定することができるだけでなく、推定した要因を元に、対象種の空間分布の予測が可能になります。環境は生物の分布量にも影響を与えていると考えられており、この生息地モデルは分布量の濃淡も予測できることから、私が現在取り組んでいる鯨類の資源量推定方法の基礎となっています。

学部・博士前期課程在籍中に取り組んだ研究は、イワシクジラとニタリクジラの分布と海洋環境との関係を生息地モデルを用いて解析し、両種の分布域の違いを検討することでした。両種はナガスクジラ科のヒゲクジラ類で、商業捕鯨時代には日本周辺海域で捕獲されていました。両種は遺伝的に近いだけでなく、成体の体長は15m前後、体重20t前後で、その体型も非常に良く似ています。頭部上面にある稜線の本数の違い (イワシクジラは主稜線1本のみ、ニタリクジラは主稜線と副稜線の計3本) や腹部の畝と臍との位置関係の他は、明確な判別指標がないことから、両種を洋上で瞬時に判別するのは難しいとされてきました。実際、両種が区別されず、イワシクジラとして報告されていた時代 (~1960年代末) もあるほどです (藤瀬ら, 2004)。もちろん、現在は、両種はしっかりと判別されており、

餌生物や分布環境などの違いも明らかになっています。しかしながら、洋上での観察のみでは両種の分布域の空間的な広がりを明らかにすることは難しいため、両種の分布環境の違いを元に、分布域が北西太平洋のどの辺りで分かれているか、生息地モデルを用いて推定を試みました。解析に使用した両種の分布位置情報は、我が国で実施している第二期北西太平洋鯨類捕獲調査 (JARNII: 2001-2016) より、2004年・2005年夏季の調査結果を用いました。また、人工衛星データなどを利用し、両種の分布に関係しそうな海洋環境情報 (海表面水温、クロロフィルa濃度、海面高度アノマリー、水深) を取得しました。ある環境が「イワシクジラ分布域である」か「ニタリクジラ分布域である」かにのみ着目し、イワシクジラ/ニタリクジラを応答変数に、海洋環境情報を説明変数とし、2値型の一般化線形モデル (Generalized Linear Model; GLM) を用いて解析した結果、海表面水温、クロロフィルa濃度、海面高度アノマリーが両種の分布域をわける要因であることが示されました。特に、海表面水温で見ると、その境界が21℃付近にあり、またクロロフィルa濃度の境界は0.2-0.3mg m⁻³で、大型浮魚類の回遊や索餌において重要な役割を果たすTransition Zone Chlorophyll Front (移行域クロロフィルフロント: TZCF) とよく一致していました。

博士後期課程では、生息地モデルを北西太平洋に分布するナガスクジラ、ザトウクジラ、ミンククジラ、イワシクジラ、ニタリクジラのヒゲクジラ類、イシイルカやシャチなどのハクジラ類に適用する研究を進めました。ここでは、それぞれの鯨種の分布の有無 (いる/いない) と海洋環境との関係を明らかにするために、2値型のGLMだけでなく、一般化加法モデル (Generalized Additive Model; GAM) を用いました。生物の分布と海洋環境との関係は、必ずしも線形関係にあるとは限らない (例えば、水温が上がれば上がるほど分布確率

が上がるわけではない) ため、両者の非線形的な関係を解析するためにGAMも用いました。この解析には、JARPN IIの目視調査データのうち、2002年から2007年までの5年分の目視位置情報を用い、同地点の海洋環境情報(海表面水温、クロロフィルa濃度、海面高度アノマリー、水深)は、人工衛星データなどを取得し利用しました。それぞれの鯨種のいる/いないを応答変数に、海洋環境情報を説明変数としたGLM・GAM解析の結果、夏季の分布に影響を与える海洋環境は種によって異なっており、中でも、海表面水温の影響が大きい事が分かりました。さらに、モデル結果を用いて北西太平洋海域の種別の分布確率を求め、種別の分布域を推定しました。ヒゲクジラ5種の2005年7月の推定分布域を地図化したものを図1に示します。ナガスクジラ、ミンククジラ、イワシクジラがTZCFより北に、ニタリクジラはTZCFの南に分布域を形成しており、イワシクジラとニタリクジラの分布の境界はTZCFとよく一致していることがわかります。またミンククジラは沿岸域に分布域を形成しており、北海道からカムチャッカ半島にかけても分布域を形成している事がわかります。

博士課程修了後は、2002-2013年のJARPN IIのデータよりイワシクジラ、ニタリクジラ、ナガスクジラの目視位置情報を基に、GAMを用いた資源量推定を試みました。3種について2013年7月の1度グリッド毎の分布量を推定したものを図2に示します。

種別の分布の濃淡から見ても、イワシクジラとニタリクジラの分布は南北にわかれていることがわかります。この結果は、沿岸域の分布パターン推定精度が悪い等の改善の点はありますが、今後、北西太平洋で実施される目視調査の実施海域を決める上でも役立つ情報になると考えています。

現在は、2値型のGAMを太平洋岸に來遊するツチクジラに応用し、分布と海洋環境との関係を解析するなど、これまで取り組んできた研究を他種に適用し潜在的な分布域を明らかにする他、生息地モデルをベースとしたDensity Surface Model (DSM) という空間と環境情報とを考慮した新しい資源量推定方法を用いた解析 (e.g. Miller et al. 2013) を進めています。鯨

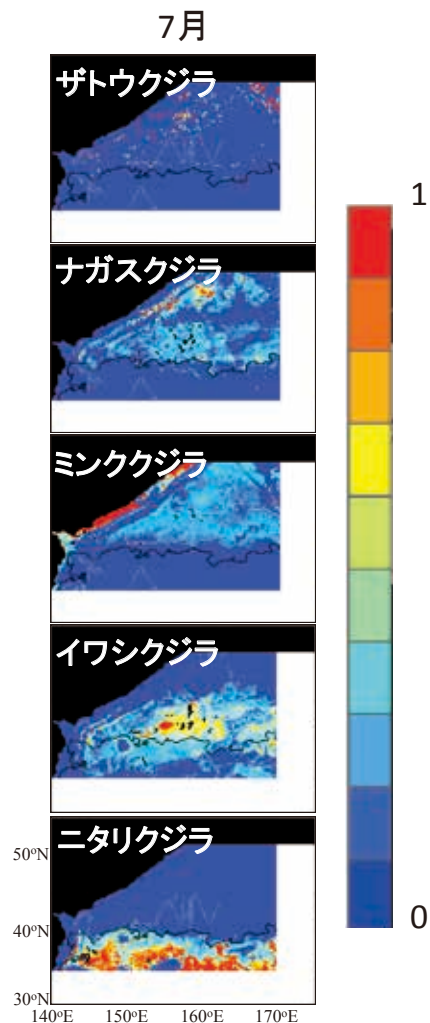


図1. 2005年7月のヒゲクジラ5種の推定分布域。カラーバーは0-1の分布確率を、黒線はTZCFを表す。研究対象外の海域と陸地は黒色でマスクした。調査努力と発見はそれぞれ白点と黒点で示した。

類の資源量推定には主にライントランセクト法が用いられており、これは国際捕鯨委員会 (IWC) でも認められている手法です。この手法は、目視調査で集積された発見データから、有効探索幅を推定し調査距離とあわせて密度を算出したのち、海域全体に引き伸ばすことで対象海域内の資源量を算出します。ライントランセクト法では、対象海域内での生物の分布は一様であることを仮定していますが、鯨類の分布状況は先述の通り、海域によって異なっており「海洋生物の分布量や來遊パターンは海洋環境に起因し、その分布量には濃淡がある」ということは海洋生態学・水産学における定説の一つでもあります。DSMは、生息地モデルをベースにしており、海域全体の分布量の濃淡を取り込むことができる資源量推定法として、近年注目

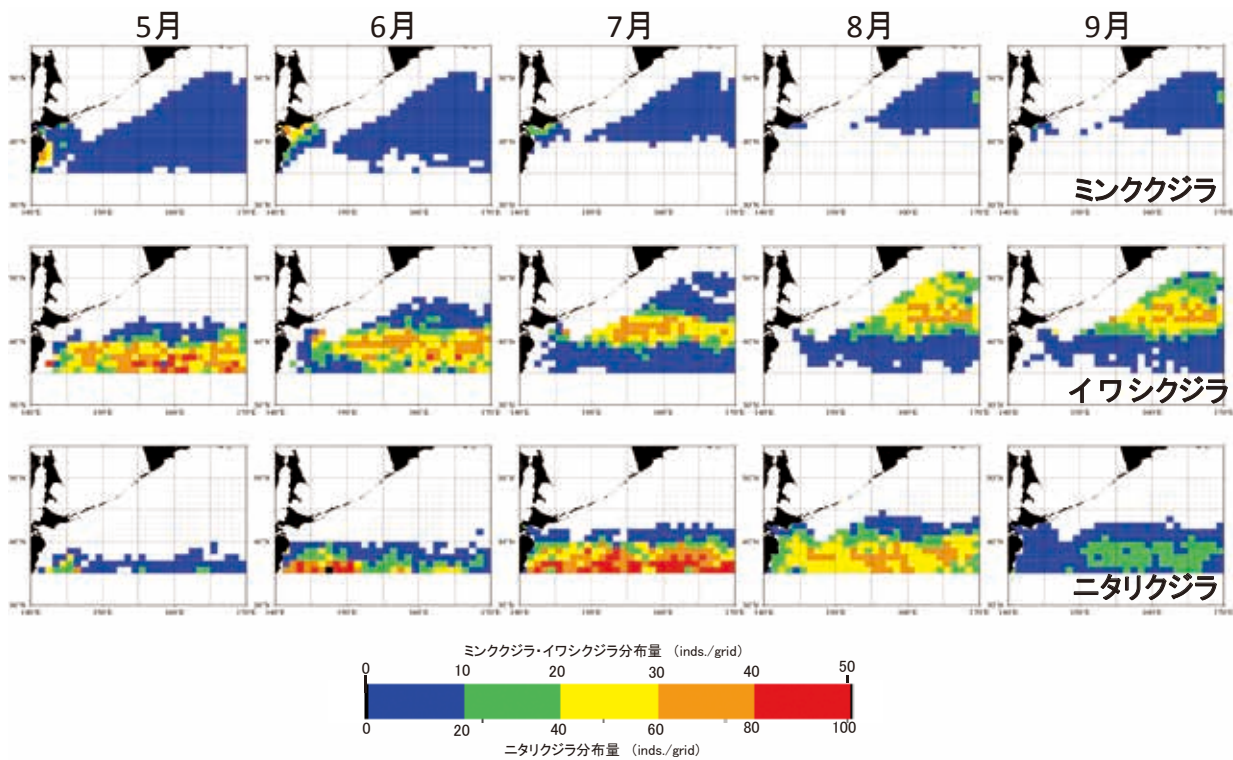


図2. 2013年7月のヒゲクジラ3種の1度グリッド毎の推定分布量 (inds. / grid)。カラーバーは、分布量を表す。白色は、分布量0のグリッドを表す。(PICES 2016にて発表済み)

されています。2017年5月のIWC科学委員会に先立って行われたワークショップでは、DSMで算出された推定値は、従来のライトランセクト法の資源量推定値と遜色ない精度を持つことが示唆されるだけでなく、海洋環境情報を用いて推定された資源量の空間パターンの有用性が認められました。未だ、DSMは発展途上ですが、将来的にこの手法が確立され、IWCでも認められれば海洋環境によって変化する鯨類の分布量やその空間変化が明らかになっていくと考えられますし、その情報を取り込んだの、より実態に即した資源量の推定も可能になると考えています。しかし、DSMのベースとなる生息地モデルは、生物の分布域を推定するために有効な方法ではありますが、モデルに用いられる変数によって、その結果が大きく変わることも忘れてはなりません。また、DSMを有効に利用するためには、生物の「分布を間接的に決めることのできる要因（例：海表面水温）」だけでなく「分布に本当に効いている要因」を見つけることや、どのような過程で分布が決まるのかを明らかにすることが必要です。そのためには、電子標識や試料採集などで得られる生物情報を取り込み、使用する海洋環境情報を

十分に検討することが重要であると考えています。

私は、統計モデルの知識や解析技術を習得するのももちろんのこと、これまで集積した目視調査データを整備することや、それに合わせた海洋環境情報を取得しデータベース化し、生物情報も積極的に取り入れていきたいです。今後も、引き続き解析を進めるとともに、データベースの充実に努め、実態に即した資源量推定を目指すことで鯨類の資源管理に役立てていきたいと考えています。

引用文献

藤瀬良弘・田村力・板東武治・小西健志・安永玄太.
2004. イワシクジラとニタリクジラ. 鯨研叢書 No.11.
日本鯨類研究所, 東京. 168 pp.

Miller, D. L., Burt, M. L., Rexstad, E. A., and Thomas, L. 2013. Spatial models for distance sampling data: recent developments and future directions. *Methods in Ecology and Evolution*, 4 (11), 1001-1010.

Sasaki, H., Murase, H., Kiwada, H., Matsuoka, K., Mitani, Y., and Saitoh, S. I. 2013. Habitat differentiation between sei (*Balaenoptera borealis*) and Bryde's

- whales (*B. brydei*) in the western North Pacific. *Fisheries Oceanography*, 22(6), 496-508.
- Sasaki, H., Matsuno, K., Fujiwara, A., Onuka, M., Yamaguchi, A., Ueno, H., and Kikuchi, T. 2016. Distribution of Arctic and Pacific copepods and their habitat in the northern Bering and Chukchi seas. *Biogeosciences*, 13(15), 4555-4567.
- Sasaki, H., Tamura, T., Hakamada, T., Matsuoka, K., Murase, H. and Kitakado, T. 2016. Spatial estimation of prey consumption by common minke, Bryde's and sei whales in the western North Pacific: A preliminary attempt. 2016 PICES Annual Meeting. OMNI Hotel, San Diego, USA, 3 November 2016. (abstract)

生息地モデル

鯨類の資源量推定に於ける生息地モデルとは、目視調査などで得られた対象種の分布地点（発見、捕獲など）の海洋環境情報を説明変数とし、分布の有無や数を応答変数に用いて、調査海域全体の資源頭数や分布パターンを推定する方法である。解析には、一般化線形モデル（Generalized Linear Model; GLM）、一般化加法モデル（Generalized Additive Model）などが用いられる。分布と環境との関係を統計モデルを用いて数式化したものの総称。種分布モデル、生息地予測モデル等とも呼ばれる。

Density Surface Model (e.g. Miller et al. 2013)

生息地モデルをベースに、調査等で得られた対象生物の発見データと海洋環境情報から、両者の関係を数式化し、資源量を推定する方法。

ななつの海から 新人紹介記事2



かつお・まぐろ資源部 かつおグループ 青木 良徳

2017年4月1日付けで国際水産資源研究所に任期付き研究員として採用され、かつお・まぐろ資源部かつおグループに着任しました青木良徳です。私は現在、カツオの海域間における移動についての調査、研究に携わっています。カツオの移動を調べている私ですが、自分自身もこれまで移動を繰り返してきました。東京大学大学院で修士課程を修了した後、研究等支援職員としてかつおグループで勤務し、その後大学に戻り学位を取得した後に、再びかつおグループに戻って参りました。今回の記事では、そんな私のこれまでの研究遍歴について、自己紹介を兼ねてご説明したいと思います。



キハダにアーカイバル・タグを装着する様子

修士課程在籍時

修士課程では、キハダの体温生理に関する研究をしていました。一般的には、魚類は変温動物とされていますが、例外的にカツオやマグロは体温が水温よりも高いことで知られています。こうした特徴は、高速遊泳や消化促進に繋がるとされています。ただ、キハダは主に熱帯・亜熱帯域の高水温環境下に生息する種であり、体温を獲得したことによって、かえって体温が高くなりすぎるリスク（オーバー・ヒート）もあると考えられます。こうした自己矛盾をキハダはどのように解消しているのかに興味を持ち、キハダを曳縄で漁獲し、電子標識（アーカイバル・タグ）を腹腔内に装着することで、本種の行動と体温の関係を調べました。その結果、キハダは高水温環境下では血流速度を上げることで熱を体外に放散し、低水温下では血流速度を下げることで体温の低下を抑えていることが分かりました。このような体温調節機構を備えることで、キハダはオーバー・ヒートを引き起こすことなく熱帯域に適応できたことを、修士課程では明らかにしました。

研究等支援職員として在籍時の業務内容

修士課程を修了した後、2011～2014年まで研究等支援職員として、主にカツオのアーカイバル・タグの放流調査と、得られたデータ解析に携わっていました。カツオの体温データを解析するうちに、体温が不自然に上昇する箇所を発見し、その原因が餌を食べた後の消化による体温上昇であることを飼育実験により明らかにしました。飼育実験で得られた摂餌量と体温の上昇量との関係を、亜熱帯域で装着したアーカイバル・タグのデータに適用した結果、カツオの摂餌量は亜熱帯域から東北沖への北上に伴い増加することを明らかにしました。また、運動量についても調べると、南の亜熱帯域では200m付近まで潜行するのに対し、東北沖のような北の海域では一日の大半を表層で過ごしており、運動量も大きく違うことが分かりました。なぜ東北沖ではカツオはずっと表層にいるのでしょうか？カツオが潜った時の水温を調べたところ、すぐ下には低水温が広がっていました。そのため、一瞬の潜水でもすぐに浮上しなければ死の危険を伴うのです。冷たい水温を避け、一日の大半を表層で過ごした結果、東北沖では亜熱帯域と同程度の水温を経験していたこと

が分かりました。摂餌量と運動量を調べていくうちに、体に蓄積されるエネルギーについて興味を持ち、カツオのエネルギー収支をさらに研究するために、博士課程に進学することに決めました。



体温上昇の要因を解明するため、生簀で飼育中のアーカイバル・タグ装着カツオに給餌をする様子

博士課程在籍時

博士課程では、餌から摂取したエネルギーが体内でどのように消費されていくのかについて研究を行いました。しかし、体内でのエネルギーの流れを直接計測することは難しいため、コンピューター上で仮想的にカツオを作成し、成長・産卵を再現しました。この仮想カツオのモデルにアーカイバル・タグで推定した摂餌量や経験水温の環境情報を与え、東北沖まで北上し

た場合と熱帯・亜熱帯域に滞留し続けた場合で、成長・産卵に投資するエネルギー量を比較しました。その結果、東北沖まで北上することによる摂餌量の増加や、低水温を避け、一日の大半を表層の高水温下で過ごすといった行動により、成長量および繁殖に投資可能なエネルギー量が、滞留した場合に比べて増加することを明らかにしました。つまり、カツオは、東北沖まで北上することで、より大きく成長し、多くの卵を産むことが可能になるのです。

現在の研究業務

学位を取得した後は、再びかつおグループでカツオの移動についての研究を行っています。現在、日本の沿岸域でのカツオの不漁が大きな社会問題となっております。カツオは熱帯・亜熱帯域で孵化後、その一部が日本周辺に回遊するとされています。しかし、実際には孵化から成魚までの生活史を通じた移動について完全には把握できていないのが現状です。そこで私は現在、標識放流が困難なカツオの初期生活期の移動を粒子追跡や仔稚魚調査の分布データを用いて調べています。まだまだカツオの漁業の現状については不勉強なこともあります。漁業の現場に赴いて勉強を積み重ね、日本周辺の沿岸域での不漁問題の原因究明に貢献できるよう取り組んでいきたいと思っています。どうぞよろしくお願いいたします。

ななつの海から 新人紹介記事3



外洋資源部 外洋生態系グループ 竹茂 愛吾

「これまでの研究とこれからの研究:沿岸から外洋へ、単一種から生態系へ」

今年度4月より外洋資源部外洋生態系グループに任期付研究員として着任いたしました。ななつの海から寄稿する機会をいただきましたので、私がこれまで携わってきた研究、そして国際水産資源研究所でこれから進めていきたいことについて、紹介させていただきます。

鳥取県に生まれ中国山地の溪流や日本海に触れながら育ったことから、自然に環境や生物に興味を持ち、長崎大学水産学部に進学しました。国際水産資源研究所に所属していますが、そもそも私の研究は外洋域ではなく、沿岸域からスタートしました。卒業研究では、長崎県の大村湾を対象とし、温暖化や気候変動に興味を持っていたことから、水温の長期変化をテーマに選びました。大村湾では旧国立真珠研究所によって、40年もの長期にわたり毎日測定された観測データが収集されていました。過去40年の水温変化を解析したところ、当初想定していた単純な「温暖化」ではなく、冬季には水温が上昇傾向、夏季には逆に低下傾向を示しました。「地球規模の温暖化によって水温が上昇している」という短絡的な説明ができず行き詰ったことを覚えています。さらに解析を進めたところ、夏季の日射量は長期的に減少傾向に、冬季の気温は上昇傾向にあり、夏季と冬季で異なる水温変化を示した要因を明らかにすることができました。さらに調べてみると、大村湾の水温変動は大陸規模の気候指数とも高い相関を示し、大村湾というスケールの小さな内湾がより空間スケールの大きな気候変動の影響を敏感に捉えているということがわかりました。このような水温をはじめとする物理環境の時間変化を詳細に解析するには時間解像度の高いデータがしばしば重要となります。旧国立真珠研究所職員の方々の方が40年にわたり日々測定さ

れた貴重なデータがこのような研究を可能としたことで、気候変動と沿岸環境の関係性を示すことに繋がり、長期にわたる海洋環境モニタリングの重要性を強く感じることとなりました。

修士課程では、果たして気候変動と関連した沿岸域の環境変化が海洋生物、特に水産資源にはどのような影響を及ぼしているのかについて、研究を進めました。九州西岸域の隣接する2つの漁場のカタクチイワシ漁獲量の推移を見てみると、ここ20年ほどは、南部の漁場で減少する一方、北部の漁場では増加傾向にありました。一見すると漁場が南から北へシフトしたように見えました。カタクチイワシをはじめとする小型浮魚類の大規模な資源変動(レジーム・シフト)の要因のひとつに水温と関連した仔魚期の生残率の変化が指摘されています。九州西岸域においても、過去50年で水温のレジーム・シフトに対応して、カタクチイワシの漁獲量が増減していましたが、南北の両漁場では水温変化に差がなかったことから、水温だけでは隣接する漁場間の対称的な漁獲量変動を説明できませんでした。そこで、初期生活史における輸送環境に着目したのですが、このときの経験から、コンピューター・シミュレーションを自身の研究手法のひとつとすることになりました。粒子を卵仔魚に見立てた数値シミュレーションを実施した結果、水温上昇に伴う産卵場の北方へのシフトが北部漁場への輸送量増加を、風速の低下に伴う海流の弱まりが南部漁場への輸送量減少に寄与していたことがわかりました。さらに、温暖化予測モデルを適用したシミュレーションでは、このまま温暖化が進行すると100年後にはカタクチイワシの卵仔魚はさらに北へ輸送され、九州西岸域に輸送される卵仔魚の量が激減するという予測が得られました。

上記の研究はカタクチイワシという単一種かつその生活史の一部(卵仔魚期)を扱ったものに過ぎず、遊泳能力を獲得した個体の能動的回遊やカタクチイワシ

を取り巻く餌生物や捕食者との相互作用、また漁獲などの人為的な影響は考慮していません。水産資源の変動メカニズムの理解や漁業を管理するうえでは資源を支える餌生物の生産過程から漁獲を含む被捕食関係に至る生態系を包括的に捉えることが不可欠であることから、学位取得以降、生態系モデル研究を展開しています。生態系モデルといっても、今日数多くの生態系モデルが開発されており、それぞれの研究背景や目的に応じた“特性”を持ち、これはモデルで考慮できる要素（物理・化学過程の有無や生物種の数）や空間解像度などによって特徴づけられています。生態系モデリングという、自身にとっては新しい世界に飛び込んだ結果、多様な特性を持つ生態系モデルに対し、どれを使うべきかといったことで、また悩むこととなりました。そこで、国際水産資源研究所に所属してから最初のテーマとして、様々な生態系モデルを同一海域に適用し、それぞれの特性を掴むことを目的とした研究をはじめました。この研究から、我が国周辺海域の様々な生態系の特徴の理解や漁業管理に有効な生態系モデルアプローチの提案に貢献したいと考えています。

一方で、生態系モデルはその“使い方”が大事でありかつ難しい点です。利用可能な生態系の情報量やコンピューターの処理能力の制限、そして何より生態系そのものの複雑さにより、そのモデル化には現実生態系

の大幅な簡略化を伴うため、研究の目的に応じて生態系の要素やプロセスを適切に取捨選択し、モデル構築のコストや再現が目的に見合っているかを見極めなければなりません。また、上記の理由により現実の“完全な”再現は不可能であるため、適切にモデルを構築したとしてもそこには常に不確実性が伴うことを仮定しておかなければなりません。モデルの限界を認識しつつ、観測から鍵となる生態系の要素やプロセスを見定め、モデルから得られた結果を慎重に解釈して漁業資源管理へ活かす方法を探ることが重要です。一方で、生態系内のエネルギーフローの定量化や将来予測はモデルの強みです。またここ数年、コンピューターの処理能力の向上に伴って、生態系モデルは著しく発展していると感じています。私自身は今後、高度化するモデルをしっかりとフォローし、生態系保全や漁業管理への応用研究に携わっていきたいと思います。

さて、この原稿は天皇海山海域調査に向かう開洋丸の上で執筆しています。発展する生態系モデルを今後有効利用するためにも、このような生態系調査によって観測データを収集し、国内外の研究者と連携しながら沿岸域から外洋域まで様々な海域の生態系研究にチャレンジしていきたいと思います。どうぞよろしくお願いいたします。

●Activity●

主な出来事（平成28年10月1日～平成29年3月31日）

●国際会議

期 間	用 務	出 張 先
10	CCAMLR魚類資源作業部会・科学委員会・本委員会（一井、瀧）	ホバート（オーストラリア）
10	CCSBTの遵守委員会及び年次会合（伊藤）	高雄（台湾）
10	IATTC年次会合（佐藤）	サンディエゴ（アメリカ）
10	オホーツク海北部鯨類目視調査報告会（村瀬）	ウラジオストック（ロシア）
10	高度回遊性魚類の持続的利用のための管理に関する西部太平洋－東アジアの3カ国ワークショップ（境）	セブ（フィリピン）
10-11	マグロ類RFMO合同作業部会及び大西洋クロマグロコアモデリンググループ会合（中塚、高橋、木元）	マドリッド（スペイン）
11	PICES年次会合（清田、小埜、金治、佐々木）	サンディエゴ（アメリカ）
11	WCPFC/ABNJウミガメワークショップ会合及び日米墨アカウミガメ回復計画会合（大島）	ホノルル（アメリカ）
11	PICES-ISC作業部会（清藤）	サンディエゴ（アメリカ）
11	ISC北太平洋ピンナガデータ準備会合（清藤、井嶋、越智）	ナナイモ（カナダ）
11	IOTC熱帯性まぐろ作業部会及び手法作業部会（松本）	ビクトリア（セーシェル）
11	第20回ICCAT年次会合（余川）	ヴィラモウラ（ポルトガル）
11	北太平洋まぐろ類国際科学委員会（ISC）サマ類作業部会（高橋、甲斐）	釜山（韓国）
11	カツオ資源における海洋生態系・空間資源動態モデルSEAPODYMの利用に関する会合（清藤、増島）	トゥールズ（フランス）

期 間	用 務	出 張 先
11-12	IOTC（インド洋まぐろ類委員会）及び科学委員会（松本、大島）	ビクトリア（セーシェル）
11-12	インドネシア共和国科学オブザーバー講習会（余川）	ジャカルタ（インドネシア）
12	WCPFC第13回年次会合（西田（宏）、佐藤、中塚）	ナンディー（フィジー）
12	ICES/PICES joint WKACIDUSE Workshop（小笠）	コペンハーゲン（デンマーク）
12	カツオ標識回収広報及びカツオ漁業情報収集（松本）	高雄、台東（台湾）
1	南半球海鳥混獲問題に関する意見交換（余川、井上（裕））	台北（台湾）
1	ISC統計作業部会運営委員会（山崎）	サンディエゴ（アメリカ）
1	ICCAT西大西洋クロマグロ多国間CPUE検討WS、ICCAT西大西洋クロマグロ資源評価コアグループ作業部会（木元）	メキシコシティ（メキシコ）
1-2	ICCAT GBYP VPAトレーニングコース（木元）	マイアミ（アメリカ）
1-2	SPCとの熱帯まぐろまき網、標識データ共同解析（松本、佐藤）	ヌーメア（ニューカレドニア）
1-2	北太平洋まぐろ類国際科学委員会（ISC）サマ類作業部会小モデルグループ会議（甲斐）	ラホヤ（アメリカ）
2	太平洋海鳥会議（井上（裕））	タコマ（アメリカ）
2-3	熱帯まぐろ類にかかわるIATTCとの共同研究（佐藤）	ラホヤ（アメリカ）
2-3	第1回海鳥回避措置効果評価準備ワークショップ（余川）	シュクザ（南アフリカ）
3	ICCATクロマグロデータ準備会合（伊藤、中塚、木元）	マドリッド（スペイン）
3	東南アジア地域における旋網漁業管理の比較研究に関するワークショップ（瀧）	クアラトレンガヌ（マレーシア）
3	SIOFA 第2回科学委員会（奥田）	レユニオン（フランス領）
3	小型鯨類の調査・研究に関する研修・打ち合わせ（金治）	ラホヤ（アメリカ）
3	北太平洋ヨシキリザメの資源評価会合（甲斐）	ラホヤ（アメリカ）
3	CCSBT 第12回生態関連種作業部会（西田（宏）、余川、伊藤、大島、井上（裕））	ウェリントン（ニュージーランド）
3	IOTC MSE作業部会（中塚）	コロombo（スリランカ）
3	セルベス・スルー海まぐろ類研究会合（清藤）	バンコク（タイ）
3-4	さめ類作業部会アオザメ資源評価データ準備会合（仙波）	マドリッド（スペイン）

●学会・研究集会

期 間	用 務	出 張 先
11	複数種の資源評価や予測に関するミニシンポジウム（中塚）	神奈川県
11	水産海洋学会発表大会シンポジウム（中塚、境、米崎）	東京都
11	共同利用シンポジウム「変動期に入った日本周辺海域の漁業資源」（中塚、米崎）	千葉県
11-12	第7回極域科学シンポジウム（一井、村瀬）	東京都
1	GEOSS-APシンポジウム（小笠）	東京都
2	ワークショップ「漁業管理と科学的情報」（高橋）	東京都
3	CK分析を用いた資源解析法開発に係るミニワークショップ（鈴木、高橋、境）	東京都
3	2017年度水産海洋シンポジウム（米崎）	東京都
3	平成29年度日本水産学会春季大会（島田、松本、清藤、大下、境、平岡、芦田）	東京都

●フィールド調査（海上） 官船及び機構調査船

調査期間	調 査 名	海 域
10-11	ニホンウナギ幼生の輸送に関する調査（岡崎：開洋丸）	フィリピン海
2	黒潮内側域環境調査（小笠：蒼鷹丸）	黒潮内側域
3	黒潮域低次生産調査（小笠：蒼鷹丸）	本州南方海域

●フィールド調査（海上） その他船舶

調査期間	調 査 名	海 域
1-2	ミナミマグロ引縄調査（伊藤、津田：Big Dreams）	オーストラリア

●フィールド調査（陸上）

調査期間	調 査 名	海 域
10	釧路沖鯨類捕獲調査（金治）	北海道釧路市
10-11	クロマグロ幼魚の標識放流調査（藤岡）	島根県
11	市場流通実態調査による聞き取り調査及びクロマグロ体長測定調査（境、塚原）	東京都
2	和歌山県いるか漁業漁獲物調査（前田）	和歌山県
2	和歌山県いるか漁業漁獲物調査（金治、前田、佐々木）	和歌山県
3	カツオ標識放流調査（松本）	沖縄県

編集後記

この度、旧遠洋水研時代を含め都合4度目の国際水研勤務となり、本欄を担当することになりました。今回は2年間清水を離れていただけですが、以前にも増して新たな職員が加わり新鮮味が感じられます。

さて、国際水産資源研究所の活動は、本年8月で前身の遠洋水産研究所からの通算で丸50年が経過しました(1967年8月1日：南海区水産研究所などを改組し遠洋水産研究所を設立)。これまでの漁業者・水産関連業界・行政・国内外の研究機関ならびに地域の方々のご支援に深く感謝いたします。30年目、40年目と節目には所の情報誌で特集を組んで概要報告を行ってきたところですが、昨今は過去の情報等もHPに掲載・記録するようにしており、現在の調査研究の方向性については昨年度の水産研究・教育機構第4期中長期計画開始にあたって本誌面(11号)でご報告しているところですので、ご参照いただければと考えています。ですので、今号は普段通りの紙面構成で、国際漁業管理やそれに関連した調査研究情報の発信という本誌の使命に則り、少しでも皆様のお役に立てる内容をお示しできればと思っています。

カツオに関しては、これまでも本誌や前身の「遠洋リサーチ&トピックス」等で、国際会議の状況、最新知見の紹介、漁業・資源の状況をお伝えしてきました。日本周辺海域のカツオ不漁問題は継続しており、さらに本年はカツオ原料相場も2013年来の高値をつけました。日本漁業のカツオ生産量の7割近くは加工用仕向けであると推定され、国際水研のある静岡・焼津地区でも鰹節や缶詰加工は大きな産業となっています。原料価格には上限があるようで今回の高値も天井知らずとはならないかもしれません。しかし加工現場からは製品の値上げも聞こえてきており、また生鮮向け価格にも少なからず影

響し過去に無い動きをしている等、影響が大なのは事実です。カツオ資源の動向には、こういった観点からも注意を払っていきたいところです。今号を皮切りに、さらに情勢や研究成果の解説を行い、正確で最新の基本情報を基に、いろいろな機会を利用して現状や研究方向について、現場で議論を重ねていきたいと考えています。

MSEについては、昨今の国際漁業委員会での資源管理議論の趨勢を理解する上で不可欠な情報として、先に出版された原著論文を基に解説してもらっています。生態系関連研究についても外部から表彰を受けた論文の内容を紹介してもらいました。日本学術会議食糧科学委員会水産学分科会からも「わが国における持続可能な水産業のあり方－生態系アプローチに基づく水産資源管理－」の提言があり、本研究も注目されることを期待しています。研究は原著論文としてとりまとめ、国際的・学術的にもしっかり評価される必要があります。一方でこれらの成果は、なるべく早く国内の業界・行政や調査関係者にわかりやすくお伝えする必要があります。今後も、重要な話題に関する最新の論文成果等を紙面で解説していきたいと考えています。

新人紹介は研究者3名から、これまでの研究内容を紹介してもらいました。水研での研究手法とは異なる自由で斬新なアプローチもあり、本人たちの今後の業務での活躍に期待するとともに、新たな研究への展開や所内外の研究連携につながる議論が活発に行えればと考えています。また、本年は俊鷹丸にも山本機関員が新規採用され活躍しています。

今後も、本誌の各種記事をスタートポイントとして、皆様と有意義な議論ができることを期待しています。

