

水産総合研究センター研究開発情報 | 編集:国際水産資源研究所

ななつの海から

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

第6号

2014年2月



独立行政法人 水産総合研究センター

CONTENTS >>>



● Topics

- ・特集：まぐろ資源をめぐる最近の調査研究の動き－その2－
- ・ I 最新機器で迫る！未知なるクロマグロ幼少期の生態……3
- ・ II ワシントン条約から見た漁業管理～海洋生物資源の利用に対する世界の目……8

● Column

- ・連載コラム：海と漁業と生態系
【第4回】 Ecopathモデルを作ってみよう……13

● Activity

- ・主な出来事……22

表紙写真解説

2013年7～8月に高知県高岡郡中土佐町上ノ加江漁港沖において、小型電子標識を腹腔内に、棒状標識を第二背鰭基部に装着したクロマグロ当歳魚。標識装着による魚体への影響を取り除くために、生簀で馴致され野外放流を待つ様子。

(撮影場所：土佐湾 撮影者：くろまぐろ資源グループ 藤岡 紘)

特集：まぐろ資源をめぐる最近の調査研究の動き—その2—

I. 最新機器で迫る！未知なるクロマグロ幼少期の生態

くろまぐろ資源部 くろまぐろ資源グループ 藤岡 紘
福田 漢生



1. はじめに

『マグロとメジとカツオは、春にポントス（黒海）に入って、そこで夏を過ごすが、ほとんどたいていの回遊魚や群遊魚もそうである。もっとも、たいていの魚は群遊性であって、群遊魚の魚には、必ずリーダーがいる。（中略）つまり、食物のためと、産卵のために入ってくるのである。なぜなら、産卵に適した場所があるし、淡水で外海より甘い水が幼魚を育てるからである。産卵して生まれたものが生長すると、プレイアデス星の上った直後（5月末）に外海へ出る。ところで、冬が南風で始まる場合は、比較的ゆっくり出てくるが、北風のときはこの風は順風であるからずっと早く出てくる。しかし、子魚といっても、ポントスにいる間は長くはないので、このころイスタンブールで捕られるものはまだ小さい。』

（アリストテレス著、動物誌、島崎三郎訳より）

古代ギリシャの哲学者アリストテレスによって紀元前4世紀に書かれた一節である。本書にはその他にもマグロやカツオの群れの回遊、成長や再生産、漁業について記されている。約2400年前にどうやってこれだけのことを調べたか、どのような思考でこの結論に至ったかに思いを巡らせるととても楽しいし、これほどまでに大胆にマグロの生活史を描けたことに感嘆する。この一節を紹介させて頂いたのは、我々の研究における興味もこれと同様であったからだ。マグロの群れが、いつ、どこを、どのように泳ぎ、どんなタイミングで再生産イベントが起こるのか、生まれた仔魚はどんな風に生き残ろうとするのか、彼らを取り巻く環境はそれにどう作用するのか、そして漁業はその魚をどう獲るのか。これらの発見を紡いでいって一つの生活史を正確に描けるようになれば、それはきっと資源評価にも、資源管理にも役立つだろう。そんな思いで日々の研究に取り組んでいる。

一般に、資源解析に使用するデータのほとんどは漁獲量やCPUEなどの漁業データである。大量の漁業

データを適切に処理すれば強力な情報源となる一方、操業が行われていない時期や場所の情報は得られず、実際にどこまで資源状態を反映しているのかその代表性は定かではない。我々は、これらの資源研究の基礎となる漁業データに対して、漁業から独立した生態情報を収集し、その漁業データの信頼性の把握や妥当性の担保、ひいては生態学的情報を付加した資源指数の構築を目指している。このように大きな目標を見据えながら、当グループに来て約3年（藤岡）、約2年半（福田）の間に、日々奮闘を続けている中で少しずつ進展してきたクロマグロの回遊生態と群れ行動の研究について紹介したい。

2. クロマグロは黒潮を避けている!?～移動と回遊～

クロマグロは南西諸島付近で産卵する（一部は日本海）。仔稚魚は飢餓や被食から逃れ、黒潮に輸送されて、やっとの思いで成育場となる高知・長崎沿岸域に夏に辿り着くのであろう。ようやく成育場に到着したクロマグロ当歳魚、まだまだ旅の途上、どのように日々を過ごしているのかはわかっていない。壮大な回遊記の序章、幼少期の白紙のページを埋めるべく、最新機器で彼らの生態に迫った。

近年、広大な海洋での魚類の行動を直接測定する方法の1つとして、電子標識（以下アーカイバルタグ）による標識放流が行われている。このアーカイバルタグを魚に取り付けることによって、生息する水温環境や深度帯の把握、また照度記録から魚の位置・移動経路の推定ができるようになってきた。クロマグロでは、先行研究において尾叉長45cm以上の魚にこの技術が適用されてきた。我々が対象とする当歳魚は、生後2～3ヵ月齢の尾叉長20cm程の魚であり（図1；大人の手のひら大）、魚体が小さいことに加えて脆弱であるため、これまでアーカイバルタグの装着は難しかった。そのため、これまで当歳魚の回遊生態は漁獲情報や単純な棒状標識を用いた標識放流情報を基に想定されて



図1 2013年8月10日に高知県沖で曳縄により漁獲されたクロマグロ当歳魚（尾叉長22cm）



図2 アーカイバルタグを腹腔内に挿入され放流を待つクロマグロ当歳魚（中央個体：尾叉長23cm）

きたが、漁場外の沖合などの分布を把握することは困難であった。

そこで我々は、小さな当歳魚へのアーカイバルタグの装着技術を確立することと、実際に天然海域を自由遊泳する当歳魚の移動・回遊や生息環境情報を取得することを試みた。アーカイバルタグを迅速に装着するための手術台を開発し、あわせて水中での手術（装着するお腹部分だけ空中に出す）と丁寧な取り扱いによって、魚の取り上げから30～60秒以内で腹腔内にアーカイバルタグを挿入することができるようになった。その結果、術後の生残率が飛躍的に向上した。またアーカイバルタグがわずか2.3g（LAT2910：直径7.8mm、長さ26mm、Lotek社製）と小型化したことも生残に貢献した。今回これらの技術革新により、小さな魚（最小で尾叉長18cm）へのアーカイバルタグの標識放流に成功し、自然環境下における回遊情報を連続的に記録できるようになった（図2）。再捕個体の移動経路を推定したところ、夏の間、当歳魚は高知県沖のごく沿岸域から漁場の外側である黒潮付近までを生息域としていることが示された（図3）。今のところ黒潮を横断するような沖合への移動は記録されていない。従って、魚の沖合方向への生息域は黒潮の離接岸に左右されると予測されるため、漁獲情報を基にしたクロマグロ当歳魚の来遊量は黒潮の変動に伴って見かけ上大きく変動する可能性があることなどがわかってきた。今後は、データの蓄積を行って、漁業の行われていない時空間を含めた魚の移動経路や太平洋と日

本海産まれの魚の交流やその割合などを解明し、来遊豊度の正確な推定方法を検討する基礎的知見とする予定である。

3. 複数個体を同時に観る！～群れ行動～

魚の群れ行動には被食リスクの軽減や索餌効率の向上、回遊精度の向上、移動コストの節約などの生態学的利点があるとされている。そのため、多くの魚が群れを形成するが、魚の群れにとって最大の脅威の一つは人間である。FAO統計によると、1980年代以降、人類は年間6,000万トン以上の海産魚類を漁獲によって消費しており、その多くは群れを形成する魚類である。集団で行動することによって様々な利益を享受してきた魚も、高度な音響機器や浮き魚の蝸集効果を狙った人工魚礁、素早く群れを漁獲する漁具などを発達させた人間には発見が容易で漁獲効率の良いターゲットとなってしまった。クロマグロに関しても、1950年代から現在までの漁業の中では特に若齢魚の群れを漁獲するまき網が資源に強いインパクトを与えていることが明らかにされた。

このようなインパクトの強い漁業の漁獲効率やその経年変化を正確に把握することは重要であるが、実際に海を泳いでいた群れの規模や、それがどのように漁獲され、逃避するののかの全体像を把握することは困難である。これまでのマグロの群れに関する研究は航空機撮影によるもの、計量魚群探知機を用いたもの、水槽で行動観察を行ったものなどが主であった。私（福

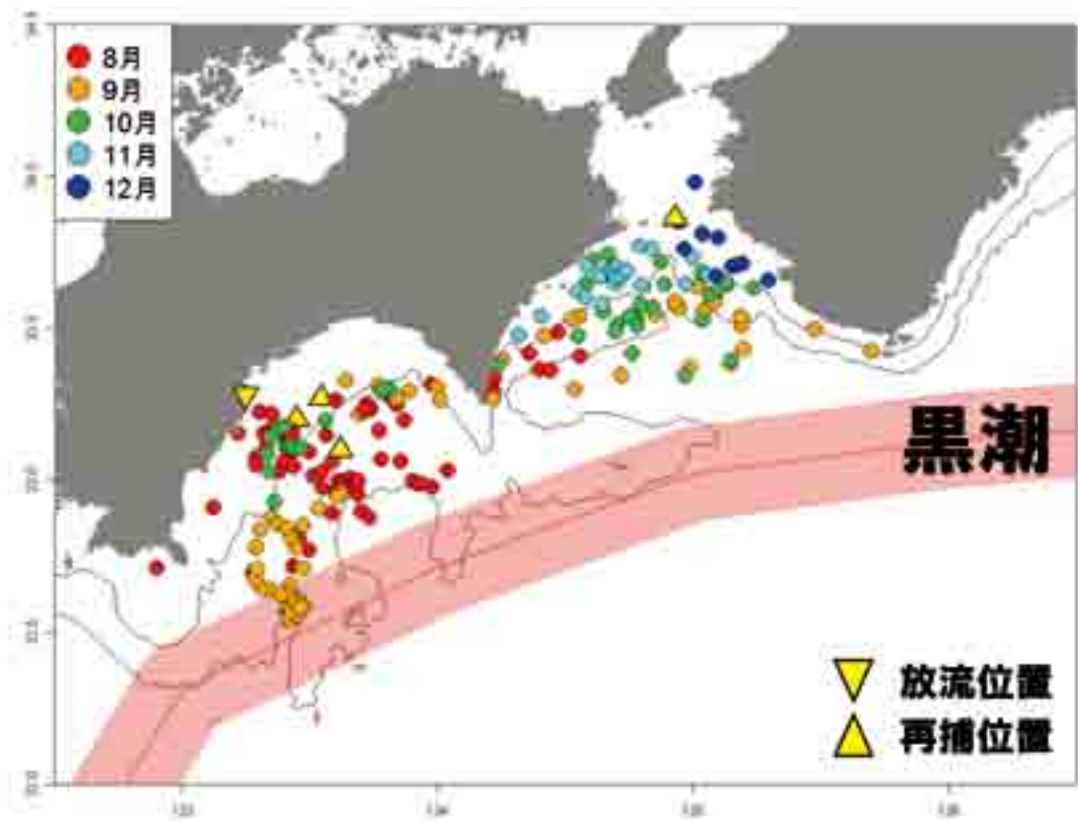


図3 アーカイバルタグを用いたクロマグロ当歳魚の分布の時空間変化。再捕された4個体の記録から、2012年8月3日から12月12日までの1日毎の魚の位置を状態空間モデル (Kalman filter) により推定。

田)は学生時代には養殖クロマグロを対象にした行動研究に従事し、特に孵化後から二ヶ月ほどのクロマグロの群れ行動を水槽で飼育しながらビデオカメラで観察した。水槽実験は魚の行動を細かく観察できることが利点であるが、それが全て野外に当てはまるかは疑問である。航空機撮影や計量魚群探知機は野外の行動を観察できるが、観察可能な空間や時間とそれらの分解能に制限がある。上述したように、天然環境下で移動や回遊の情報を収集するためにはアーカイバルタグが汎用されるようになってきている。しかし、既存のアーカイバルタグでは個体自身の動きを長期間にわたって計測できる一方で、個体の周辺情報である群れの密度やその動きなどを計測するには十分でない。そこで我々は、音響タグ、あるいは小型運動記録計を用いてクロマグロの魚群行動を野外で長期間にわたって詳細に観察する手法開発とデータ取得に取り組んでいる。

3-1. 音響タグと音響測位システムを用いた群れ行動観察

ここで用いたのは、対象生物に超音波発信機を装着し、受信機でそれを受信することで位置情報を得るバイオテレメトリと呼ばれる技術を応用したものである。超音波発信機から発される信号を、ステレオ録音可能な水中音録音機 (AUSOMS ver.3.0、アクアサウンド社製) を複数機用いて高サンプリング周波数で記録する。この時に録音機の各チャンネルに記録される信号の到達時間差から求めた複数の双曲線の交点から個体の位置を推定する (図4)。超音波発信機は深度センサを搭載しており、発信間隔に個体の経験深度を付与できる。まずは手法の有効性を検証してデータを確実に得ることを目的として、2012年に長崎県対馬市の海上に敷設した養殖用生簀内においてクロマグロの群れ行動を測定した。クロマグロ1歳魚 (尾叉長70cm程度) 7個体に深度情報を約1秒間隔で発信する超音波発信機を装着し、ステレオ水中録音機3機を用いて192Hzのサンプリング周波数で録音した。その結果、生簀内のクロマグロの行動を11日間連続で記録するこ

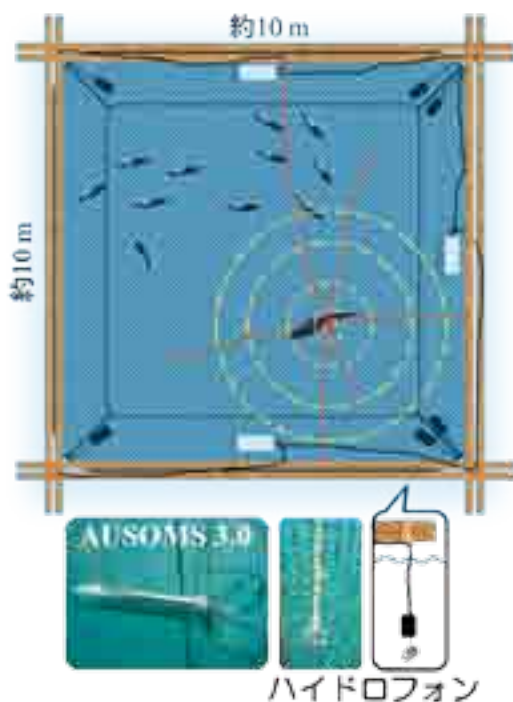


図4 音響測位システムを用いた群れ行動計測の実験系

とができた（図5）。この時の測位精度は、もっとも良かった測位点で平均誤差55cmであったが、現在は録音機のレイアウトなどを再考し、平均誤差30cm程度まで高精度化することに成功している。このように手法の有効性を確認し、2013年には、同システムを高知県沖の生簀内でクロマグロ当歳魚に適用して3次元の位置測位に成功した。現在データ整理を進めている

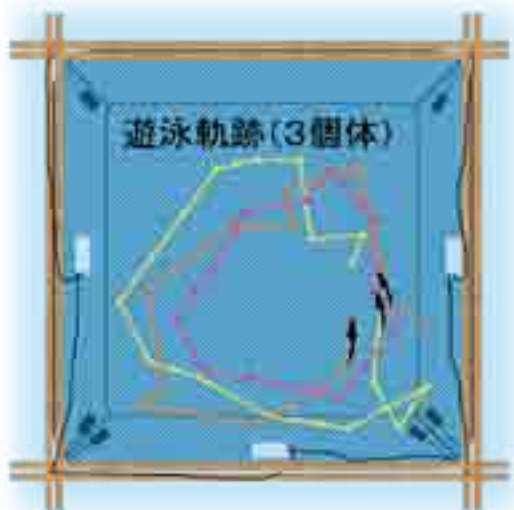


図5 音響測位システムを用いて得られたクロマグロの遊泳軌跡(23秒間)

段階ではあるが、群れの同調性や密度、遊泳速度などに加えて、群れの社会性に関する情報なども近いうちに紹介できるかもしれない。

3-2. 6自由度運動記録計を用いた群れ行動観察

既存の航空機撮影や計量魚群探知機、上記の音響タグによる魚群観察手法では、調査員が観察対象魚群の近傍まで移動して写真やエコーグラムをとる、または受信機を設置し回収して音響タグデータを収集する必要がある。天然環境下で長期間の群れ行動を明らかにすることを目的とすると、既存の手法は一長一短といった印象である。さらに我々は当歳魚という小型の魚を対象としていることも制限の一つである。将来的に、アーカイバルタグのように標識放流と再捕から群れの情報を得ることが可能になれば、天然環境での群れの動態を把握することが容易になると考えられる。

すなわち、群れ行動パラメータを内部メモリに記録できる小型の電子標識の開発が期待される。今のところ標識の電池寿命や記録期間は制限されているが、小型化の問題をクリアし、個体の運動を詳細に記録できる電子標識が開発された。まずはこの標識を用いて群れ行動のパラメータを計測できるかどうか検討した。今回用いたのは、3軸のジャイロセンサーと加速度センサを搭載しピッチ・ロール・ヨーの姿勢角とサージ・スウェイ・ヒープの並進加速度を高いサンプリング周波数で記録する電子標識である（以下ジャイロロガー）。ジャイロロガーは重力加速度および運動加速度や角速度から尾鰭振動や姿勢角、旋回運動などを把握することができる。これらの詳細な運動データの個体間の同調性から魚の群れ行動の時系列変化が観察できるかどうかを、まずは生簀実験で検証した。ジャイロロガー（図6；60mm×12mm×6mm）をクロマグロ当歳魚の背鰭基部に装着して生簀内に放流し、1昼夜の馴致期間を設けたのちに6自由度の運動データを記録した。その結果、当歳魚はデータ取得期間を通して整然とした群れを形成・維持していた（図7）。データを詳しく見てみると、個体は尾鰭を左右に振動させた遊泳と尾鰭を止めた惰性遊泳（滑空）を繰り返す遊泳様式を行っており（図8）、群れでいる場合には、尾鰭を一瞬止めて慣性力と重力を利用して遊泳するタイミングが個体間で一致することがわかった。1/200

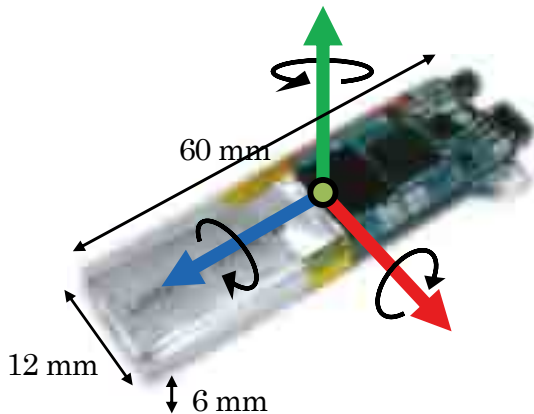


図6 6自由度運動を計測するジャイロロガー



図7 群泳するジャイロロガーを装着したクロマグロ当歳魚

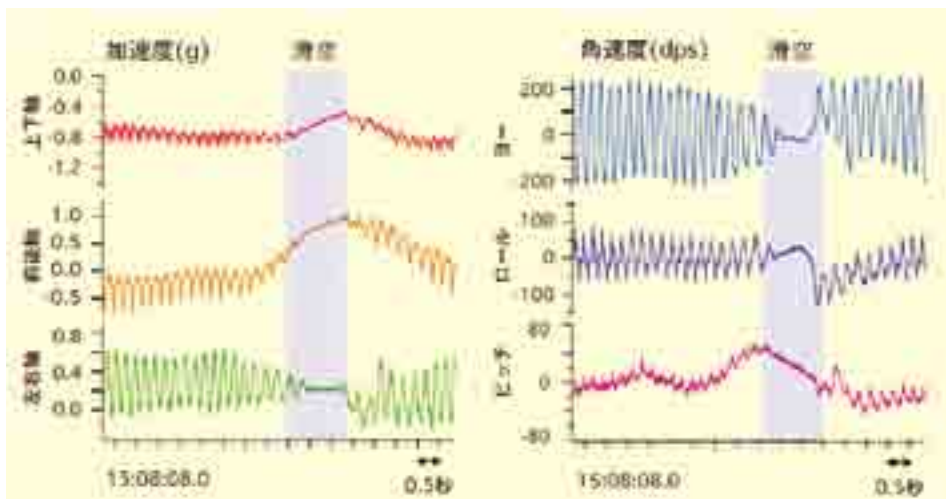


図8 ジャイロロガーを装着したクロマグロ当歳魚（尾叉長27cm）から得られた角速度・加速度記録の例

秒という詳細な時間分解能で行動を計測し、1秒単位で“遊泳の同調性”を検出できたことで、記録計の標識放流と再捕によって群れ行動パラメータを取得できる可能性が示された。

上記2つの手法は、いずれもクロマグロ魚群の構造や特徴を把握することに有効であり、貴重なデータを得ることができた。今回は生簀内での実験であったが、今後は手法を組み合わせるなどして、生簀外での群れ行動データの取得にも取り組むたいと思っている。また、現在得られたデータを解析し、光や水温などの物理環境や時刻帯によって群れ構造がどのように異なるか、群れを形成する個体の数やサイズ、年齢が異なる場合にどのような群れを構成するかなどを明らかにする予定である。これらは、本種魚群の大きさや空間分

布、体長組成に関わり、漁場形成や漁獲率、水揚げ物の年齢組成にも影響すると考えられる。

4. おわりに

今回ご紹介したように、我々は、天然環境で自由遊泳する“小さな魚の生態情報（移動・回遊）”と、個体自身の生態情報に加えて“個体の周囲の生態情報（群れ・社会行動）”の把握という、2つの大きな挑戦をしている。近年、計測機器に搭載するセンサは年々小型化また多様化し、記録容量も増え続けており、生態研究には最新機器を用いることが必要不可欠となってきた。一方、文中で紹介したように計測機器は一長一短であるため、新しい機器の情報収集、機器の選択、機器の魚への装着技術など、様々な装置や

道具を組み合わせながら新しい発見のために頭を悩ませ奮闘している。海という巨大な3次元的空間でマグロの生きるすべを知りたい、という探求心また情熱を通して、彼らの生き様を少しでも垣間見ることができればまさに一念通天の境地に達する。アリストテレスは、群遊魚の中には必ずリーダーがいると書いたが、これを検証するのも楽しそうだ。そしてこれらの研究の積み重ねが今後の資源動態の解明につながる重要な基礎資料となるはずである。最終的に、生態パラメータを資源評価モデル、あるいは入力データの高度化に活かすべく、じっくりと研究を進めていきたいと思う。

謝辞

標識魚の再捕に御協力を頂いた各漁業者、各漁協、各県水産試験場等の方々に厚くお礼申し上げます。また、JVへ参画頂き、群れ行動研究における計測機器類の使用、フィールド調査にあたり多大なご協力を頂くとともに、常に研究上の有益な御助言をくださった京都大学の荒井修亮教授、三田村啓理助教、野田琢嗣博士、総合地球環境学研究所の市川光太郎博士に深謝いたします。

Ⅱ. ワシントン条約から見た漁業管理

～海洋生物資源の利用に対する世界の目～



かつお・まぐろ資源部 まぐろ漁業資源グループ 仙波 靖子

2013年3月、タイのバンコクでワシントン条約（CITES、絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関する条約）の第16回締約国会議（以下、CoP16）が開催された（図1）。CITESと言えば、2010年に話題になった大西洋クロマグロの附属書掲載提案を巡る騒動をご記憶の方もいるかもしれないが、サメ類についても、附属書への掲載を巡って長年に渡る攻防が繰り返されてきた。一連の経緯については、大西洋クロマグロについては魚住（2010）や中野（2010）を、サメ類については中野（1998, 2012）を参照されたい。CoP16では、ホホジロザメが2004年

に附属書Ⅱに掲載されてから、9年ぶりにサメ類が附属書Ⅱに掲載されることとなった。これまでに掲載されたサメ3種（ジンベエザメ、ウバザメ、ホホジロザメ）が、いわゆる大型希少種とされる“カリスマ種”であったのに対し、今回掲載されたサメ類のうち、ニシネズミザメ、ヨゴレ、アカシュモクザメ（乾燥フカヒレの区別が困難なため、類似種規定によりヒラシュモクザメ、シロシュモクザメを含む；以下シュモクザメ類）は商業漁業対象種である。ここでは、CoP16に関わる一連の対応と様々な利害関係者との関わりの中で筆者が見聞した情報を紹介するとともに、今回の結果が示唆する意味について考えてみたい。



図1 CITES CoP16でサメの附属書掲載提案が審議にかけられている様子。投票は、国名を伏せる秘密投票で行われた。（西田勤氏提供）

1. 概要

2012年秋、ニシネズミザメ、ヨゴレ、シュモクザメ類、マンタについて、附属書Ⅱへの掲載を提案する文書がブラジル、コロンビアを中心とする中南米諸国やEU、アメリカによってCITES事務局に提出された。多くは、環境問題や野生生物保全に熱心な国として知られている。このうち、ニシネズミザメ、ヨゴレ、シュモクザメ類は、日本のはえ縄漁業でも混獲され、利用されている種であるので、本稿ではこれらに焦点をあてることとする。掲載提案書の概要を以下に記す。

ニシネズミザメ（北大西洋と南半球の高緯度域に分布）：北大西洋資源は、1920年代に沿岸はえ縄による対象漁業が始まって以来、乱獲により資源水準が悪化した（ベイズ推定を用いた余剰生産量モデルによる推定では、1961年から2009年にかけて、カナダ・アメリカ側の北西資源は64%減少、EU側の北東資源は30-40%減少した^(注1)とされる）。北西資源は、沿岸国の国内規制により資源の回復が報告されているが、北東資源は依然として低水準であり（ICCAT2009）、これらの減少率が掲載提案の主な根拠となっている。一方で、広大な分布域が予想される南半球の個体群については、ウルグアイ沖のはえ縄漁業の混獲データをもとに標準化したCPUE（1000針あたり漁獲尾数）が減少傾向にあることを主な根拠に資源状態が懸念されている。

ヨゴレ（世界の熱帯の外洋域に多く分布）：ヨゴレについては、北西大西洋における豊度のトレンドを推定した結果（Baum and Myers 2004）の他、中西部太平洋（Rice and Harley 2012；開発前の資源量の10%未満まで減少と推定）、東部太平洋で資源評価が進められており、これらの結果が顕著な資源の減少を示唆していたことが掲載提案の大きな根拠となっている。

シュモクザメ類（世界の熱帯～温帯の沿岸域に多く分布）：シュモクザメ類は沿岸性が強く、沿岸零細漁業（刺網・底びき網など）で多く混獲されている。かつてはメキシコ湾でフカヒレ漁業が勃興しCPUEが大きく低下したが、近年では規制の効果により、北西大西洋の個体群の豊度に回復の兆しが報告されている。メキシコやブラジル等の中南米諸国の多くの港で、水揚げ量や漁獲量が減少していることが掲載提案の主な根拠とされている。シュモクザメ類は、アフリカ等、地域によっては国内市場で肉が利用されているが、フカヒレの国際貿易が乱獲に拍車をかけていると言われている。

2. 漁業管理サイドから見た提案書

これらの種は、過去にも附属書掲載提案が出されていたが（CoP14, CoP15）、過去の提案書の内容と比較してみると（中野 2012）、論旨や掲載の根拠が殆ど変化していないことがわかる。これらの提案に対する

反論のポイントは、大きく、1）減少したとする根拠の代表性（または、減少程度の科学的妥当性）、2）国際取引規制の有効性（例えば、国内流通がメインである種に対しての有効性）に分けられる。1）は、南半球のニシネズミザメ個体群の資源水準に対する、ウルグアイ沖の結果の拡大解釈等が該当する。2）は非常に多くの問題を孕んでおり、上記の事例の他に、掲載に伴う手続き規則が必ずしも明確に定まっていない問題（例えば、NDF^(注2)など）、これらの手続き規則への各国の対応能力の問題（更には、取引停止に伴う闇取引の活発化といった負の効果まで）、そもそもCITESによる規制の効果が十分に検証されていない問題など、多岐にわたる。CITESによる水産資源管理の問題点については、諸貫（2010）に詳しいので、こちらを参照されたい。

漁業管理サイドとしても、前回のCoP15以降、各RFMO（地域漁業管理機関）で一部の種に対する船上保持の禁止（表1）や、資源評価に向けた動きが加速された。船上保持禁止とは、フカヒレや魚体を含む一切の組織の船内保持・転載・水揚げ等を禁止する、極めて厳しい措置と言える。この規則に従うならば、売買・取引が停止することになるので、国際取引規制をする必要性は低いということになる。では何故、今回のCoP16では、提案された全ての種が可決されるに至ったのだろうか？これについて、明確な1つの答を提示することはできないが、幾つかの情報からその理由を推察することはできそうである。

3. 環境保護団体との対話

今回の結果を踏まえて、自然環境や野生生物保護（以下、環境保護）の視点から見た漁業国の取り組みや、環境保護団体が目指すものは何か？という問題に関心を持ち、筆者は幾つかの環境NGOの集会に参加した。そこから浮かび上がってきたのは、彼らの漁業管理への不信と、一枚岩ではない漁業国の意識の変化であった。

漁業管理への不信については、サメ類に限らず、様々な水産種の個体群で資源が減少しているが、漁業管理で資源が回復した事例が少ないことが根拠となっている。サメ類では、北西大西洋のニシネズミザメや北西大西洋のシュモクザメ類を除くと、TACの設定

表1. まぐろ類地域漁業管理機関 (tuna RFMO) で施行されているサメの規制

海域	RFMO	管理措置	規制の内容
大西洋	ICCAT	Recommendation 04-10	漁獲したサメは全量保持(頭・内臓・皮を除く) 鰭と魚体を一緒に陸揚げしない場合は、オブザーバーや認証制度により5%ルールを遵守
インド洋	IOTC	Resolution 05/05	(ヒレの割合は科学委員会や作業部会でレビューする) 利用しない生きたサメの放流を奨励
中西部太平洋	WCPFC	Conservation Measure 2010-07(2006-05~)	漁獲量データの提出
東部太平洋	IATTC	Resolution C-05-03	
大西洋	ICCAT	Recommendation 09-07	ハチワレは、全量について積載・陸揚げ・転載・取引の一切を禁止、針にかかった場合は全て適切に放流*
		Recommendation 10-07	ヨコレは、全量について積載・陸揚げ・転載・取引の一切を禁止、針にかかった場合は全て適切に放流
		Recommendation 10-08	シュモクサメ類は、全量について積載・陸揚げ・転載・取引の一切を禁止、針にかかった場合は全て適切に放流**
		Recommendation 11-08	クロトガリサメは、全量について積載・陸揚げ・転載・取引の一切を禁止、針にかかった場合は全て適切に放流**
		Conservation Measure 2011-04	ヨコレは、全量について積載・陸揚げ・転載・取引の一切を禁止、針にかかった場合は全て適切に放流
中西部太平洋	WCPFC	Resolution C-11-10	ヨコレは、全量について積載・陸揚げ・転載・取引の一切を禁止、針にかかった場合は全て適切に放流
東部太平洋	IATTC	Resolution 12/09	オナガサメ類は、全量について積載・陸揚げ・転載・取引の一切を禁止、針にかかった場合は全て適切に放流
インド洋	IOTC	Resolution 13/06	ヨコレは、全量について積載・陸揚げ・転載・取引の一切を禁止、針にかかった場合は全て適切に放流***

*メキシコの沿岸小型船は、110尾を上限として漁獲を許可。
 **途上国の沿岸漁業は、国内消費に限り、また漁獲量データを提出することを条件に漁獲を許可。
 ***排他的経済水域(EEZ)内で操業する沿岸零細漁業は現地消費に限り漁獲を許可。

や禁漁措置等の具体的な管理措置が実施されていない。その後、幾つかの種については、船上保持禁止措置が実施されることになったが、遅々として管理が進まないことについての漁業管理者への不信感は払拭されず、最近では“国際取引規制は、RFMOの船上保持禁止措置の遵守を補完・推進するために必要”との見解が示されるようになってきている。サメ類の場合は、フカヒレの国際取引(フカヒレを狙った乱獲)が資源悪化の大きな駆動要因になっているとし、これがCITESによる国際取引規制の妥当性を主張する根拠となっている。

漁業国の意識の変化については、東南アジア諸国が、サメ類の乱獲によって自国周辺海域の生態系の構造が変化することを懸念し、環境保護団体の主張に賛同する傾向が生じている、という情報を得た。特に、国際取引の影響を受けない国(国内消費が主流である国や漁業の比重が小さい国)や、エコツーリズムによる観光収入の比重が大きい国などにとっては、漁業管理への不信も相まって、CITESによる資源管理を支持する下地が形成されていたのかもしれない。CoP16で衝撃を受けた体験の1つは、漁業管理推進派の急先鋒と目されていた中国の影響力が予想より小さかったことである。世界最大のフカヒレ取引国でもある中国は、規

制の導入には懸念があるとしながらも、CoP16の決定を受け入れ条約の下で国際協調を図る、との姿勢を示した。結果として、これらのサメ類の掲載を留保^(注3)した締約国は、アジアでは日本とイエメン共和国^(注4)のみであった。実効的な漁業管理だけでなく、生態系への配慮が注視されるようになり、漁業国の中でも、海洋生物資源の利用に対する様々な価値観が生まれているようである。

これとは別に、会議参加者の層に注目すると、CoP15では大西洋クロマグロという水産重要種が国際取引規制の俎上に上がったということで、各国から水産・漁業省の関係者が代表として多く参加しており、一致団結して議論をリードした結果、サメ類の掲載も否決に至った、とする見方もある(中野 私信)。一方で、CoP16では、各締約国の参加者の多くは環境省関係者であり、会議場の雰囲気は必ずしも漁業管理サイドの主張に好意的ではなかった記憶がある。

もちろん、今回の結果は上記に限らず、事前の交渉やプロモーション活動の規模の差、漁業管理サイドの議論に説得力が足りなかった(少なくとも、そう受け取られた)ことなど、複数の要因が影響したものであることを付け加えておく。

4. 研究者の役割

サメ類に限らず、水産資源の持続的な利用には、種別の漁獲量や努力量、更には漁獲位置や月日、魚のサイズや性別など、多くの情報に基づいた資源評価とそれに基づく資源（漁業）管理が重要なことは論を俟たない。事実、サメ類の持続的利用に関しては、種別漁獲量などの基礎データが限られていることが最大の問題であることは、かねてから指摘されていた。このような状況に対し、日本政府はNPOA-sharks（サメ類の保存管理のための国内行動計画）を策定し、はえ縄漁業をはじめとする日本の漁業関係者は、漁獲成績報告書の提出や科学オブザーバーの乗船等を通じて、1950年代頃からこれらのデータ収集に多大な労力を払ってきた。国際水研の研究者は、これらのデータをもとに資源解析・評価を行い、国際会議で議論をしている。その結果は水産庁など一部の関係者には随時報告しているが、漁業者や一般市民（環境保護団体を含む）に対してはどうだろうか？また、得られた知見を科学的な成果として、科学論文という形でまとめ、社会へ還元してきただろうか？

今回、筆者はニシネズミザメの南半球の分布と豊度

について、会議文書（後に科学論文）の形で提案書への反論を試みた。解析の基となったのは、1992年から収集されてきたCCSBT科学オブザーバー（通称みなみまぐろオブ）の測定データ、1982-1994年に実施された開発調査センターの調査データ（がすとろ・しまがつお・あろつなす資源調査）、及び1994年から収集されてきたはえ縄漁業の漁獲成績報告書のデータ^(注5)である。残念ながら、本種の附属書掲載提案を否決に導くには至らなかったが、これらを解析することにより、1) 従来の認識と異なり、南半球の個体群は外洋域に広く分布し、また大洋間で連続して分布すること（図2）、2) ミナミマグロはえ縄漁業で混獲されるのは、個体群の一部（未成魚）であること、3) 南半球の個体群の標準化CPUEは減少傾向にないこと、を示すことができた。

漁業者の方々に話を伺うと、提供したデータから何がわかったのかを知りたい、という要望を度々受ける。また、データを提供することで、不利な状況になるのではないかという懸念があるとも聞く。いずれも、研究成果や資源評価・管理について分かりやすく情報発信することの重要性と共に、これらが不十分であるこ

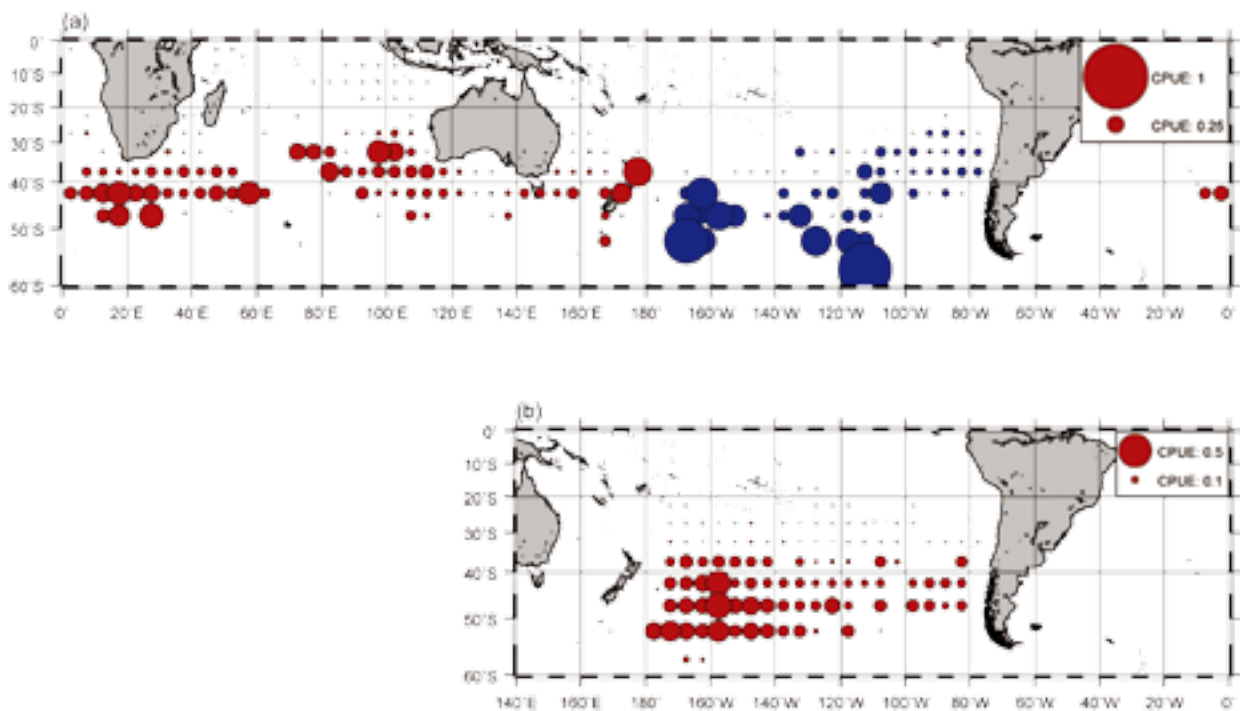


図2 南半球におけるニシネズミザメのCPUE（1000針又は流し網1000kmあたりの漁獲尾数）の空間分布（年、月は統合してある）。(a) はえ縄漁業（赤丸：みなみまぐろ漁業のオブザーバーデータ、青丸：開発調査センターの調査データ）、(b) 流し網調査（開発調査センターの調査データ）のデータに基づき、緯度5°×経度5°のブロックで集計した。

とを示唆しており、このギャップを埋めるべく情報発信能力の強化に改めて取り組みたいと感じた次第である。

おわりに

CITESでは、今後も水産種の附属書掲載提案が続くと言われている。今回、商業漁業対象種が附属書に掲載されたことは、大きな転機となるだろう。このような状況の中、漁業者サイドもMSCやMEL-JAPAN等のエコラベル認証の取得等を通じて、自分たちの漁業は自分で守るという気運が高まってきているようである。既に指摘されているように、海洋生物資源の利用については様々な価値観が存在するようになっており、世界の流れは「利用対保全」という二項対立から、生態系保全と持続的利用を両立させる漁業の実現に向けて、舵を切りつつあるように思われる。国際世論の流れを意識しながらも、商業漁業対象種が国際取引の枠組みで管理されるべきかについては、引き続き積極的な議論を続ける必要があるだろう。最後に、一連の会議でお世話になった多くの関係者の方々に、この場を借りて御礼申し上げる。

引用文献

- 中野秀樹. 1998. ワシントン条約とサメ. 遠洋, 102 : 2-7.
- Baum, J. K. and Myers, R. A. 2004. Shifting baselines and the decline of pelagic sharks in the Gulf of Mexico. Ecology Letters, 7: 135-145.
- ICCAT. 2009. Report of the 2009 porbeagle stock assessment meeting. ICCAT-SCRS/2009/014.
- 魚住雄二. 2010. CITESクロマグロ騒動ふたたび. 海洋と生物, 32 (4) : 309-316.
- 諸貫秀樹. 2010. 海洋生物資源の持続的な利用に向けて-CITES問題に関連して. 海洋と生物, 32 (1) : 10-15.
- 中野秀樹. 2010. 大西洋クロマグロを巡る攻防. 遠洋リサーチ&トピックス, 8: 2-6.
- 中野秀樹. 2012. サメ保護問題「サメとワシントン条約」. 水産振興, 535.
- Rice, J. and Harley, S. 2012. Stock assessment of oceanic whitetip sharks in the western and central Pacific Ocean. WCPFC-SC8-2012/SA-WP-06 Rev1.

注¹ 但し、北東資源に関しては1961年以前から開発が進んでおり、1926年を基準とした推定が妥当とされており、この場合は60-70%減と推定される。

注² Non detriment findingsの略：個々の製品（標本）の国際取引が当該種の存続をおびやかさない根拠を示す証明書のこと。附属書IIに掲載された種の製品の輸出に際して必要となる。日本では個々の申請に対し、経済産業省が科学当局に照会する形となり、水産種については水産庁が担当局となって発行する。

注³ 条約加盟国は、附属書に掲げる種について留保を付することができることとなっており、留保を付した種については、締約国でない国として取り扱われることになる。

注⁴ イエメン共和国は、シュモクザメ類に対してのみ留保を発表している。

注⁵ サメ類の種別漁獲量のデータは、1994年から収集されている。

連載コラム：海と漁業と生態系 【第4回】 Ecopathモデルを作ってみよう



外洋資源部 外洋生態系グループ長 清田 雅史

これまでは漁業と海洋生態系をめぐる研究情勢やツールとしての生態系モデルについてレビューを行なってきた。今回は趣を変え、実践編として生態系モデル作製に挑戦してみよう。図1のような仮定の生態系を考える。植物プランクトンから大型浮魚に至る表層系とデトライタスから大型底魚に至る底層系、および両者を結びつけるマイクロネクトンと高次捕食者という10の構成要素と2種類の漁業を想定したものだ。現実の世界に比べればずっと単純だが、捕食被食関係を表す矢印線がそれでも結構複雑に入り組んでいることがわかるだろう。こうした複雑な捕食被食関係を通じた物質やエネルギーの流れを全体として把握し、その中における個々の要素の役割を解析するためのツールがEcopathである（米崎 2010, 清田2013）。

1. ダウンロードとインストール

まずソフトウェアを入手することから始めよう。MS Windowsがインストールされたパソコンから、Ecopath with Ecosim（以下EwEと呼ぶ）のウェブサイト（<http://www.ecopath.org/>）へアクセスし“Download Now”のボタンを押せばセットアップ

ファイルがダウンロードされる（2013年12月現在の最新バージョン6.4について以下説明する）。セットアップファイルをダブルクリックし、問われるままに進めば“Program Files (x86)”内の“Ecopath with Ecosim 6.4”フォルダーの中にプログラムファイルがインストールされる（MS-Windowsのランタイムパッケージのインストールを求められる場合もある）。

“UserGuide”フォルダー（もしくはスタートメニューの“Ecopath with Ecosim 6.4”の下の“Help”）の中にユーザーガイドがあり、使用方法が解説されている。また、ドキュメントフォルダー（もしくはスタートメニューの“Ecopath with Ecosim 6.4”）内の“EwE sample databases”の中には数個のサンプルファイルが格納されていて参考になる。ちなみにEwEのデータファイルはEwEmdbまたはEwEacddbという拡張子のMS-Access互換形式になっており、MS-Accessからファイルを開いて、格納されているデータを直接確認することも可能である。

2. 基本データの入力

デスクトップ上のアイコンやスタートメニューか

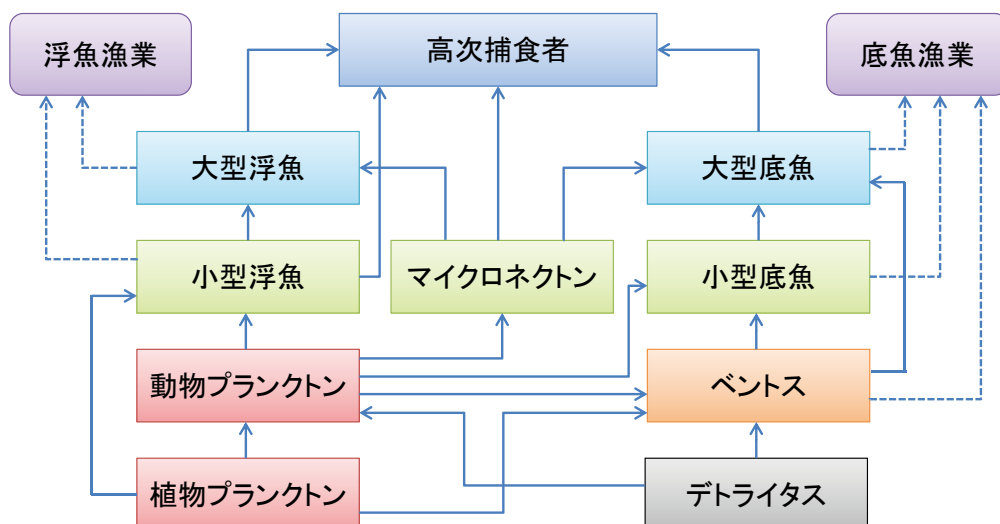


図1 本稿でEcopathモデルを試作した仮定の生態系の模式図

らEwEを起動し、File/New Modelを選択して新しいファイルを作成しよう。左側のNavigatorウィンドウのInput dataから各構成要素（グループ）の基本データを入力する。Model Parametersではモデルの名前（メニューバーの上に表示される）、小数点表示桁数、エネルギーの単位などを指定する。次にメニューバーのEcopathからDefine Groupsを選択し、グループの名前、特性、グラフ表示色を指定する。ここでは表1のような10のグループを設け、デトライタスはDetritusにチェック、植物プランクトンはProducerにチェック、他はConsumerにチェックを入れる。続いてBasic inputからBiomass (B)、Production / biomass (P/B)、Consumption / biomass (Q/B) の値を入力する。B（現存量）は単位面積あたりのバイオマスで、現実的なモデリングでは調査データ、資源評価データを利用できる。植物プランクトンのBはクロロフィル量や低次生産モデルから推定することも可能であろう。漁業調査を行なっている水域であれば、Bの値の見当をある程度（少なくとも相対的には）つけられるのが、水産関係者によるEcopathモデリングの強みである。一方P/B（現存量あたり生産量）を直接観測することは困難だが、全死亡から計算する方法（平衡状態では全死亡率はP/Bと釣り合っていると考えられる）、平均体長と成長式のパラメータから経験式によって求める方法などがある。Q/B（現存量あたり消費量）は、飼育実験、胃内容分析から推定する他

に、水温、体重、尾鰭の形、もしくは自然死亡係数に基づく経験式から求める方法が、ユーザーガイドに記載されている。実際には、P/BやQ/Bは類似種の値を転用する場合も多い。これらの値の代わりに、Production / consumption (P/Q、消費量あたり生産量) やEcotrophic efficiency (EE) を入力することもできるが、これらを推定することは困難であり、むしろモデルに計算させてバランスがうまく取れているか確認する手がかりとして利用する場合の方が多い（後述）。ここでは仮想的に、表1の右側3列の値を入力しよう。

さらに今度は、食う食われるの関係をDiet composition（食物組成、DC）において設定しよう。左側が食われる側、上側が食う側で、食う側の列ごとの食物比率の合計が1になるように入力する。DCは胃内容分析や文献情報などを参考にして入力するが、調査結果に基づく値であってもモデル上でバランスが取れるとは限らない。ここでは表2の値を初期値として入力する。回遊性種捕食者の系外での摂餌を想定したければ、Import欄に系外食物比率を入力することもできる。

次は漁業に関する入力である。まずFisheryのDefine fleetsで浮魚漁業と底魚漁業の項目を新設し、Landingsで単位面積あたり漁獲量を入力しよう。ここでは表3の値を利用するが、実際には漁獲統計から算出できるだろう。

表1 Basic inputに入力するグループ名とB、P/B、Q/Bの初期値。
赤色の数字は後にバランスを取る際に60.0→40.0、3.00→5.00に修正する。

	Group name	Habitat area (fraction)	Biomass in habitat area (t/km)	Production / biomass (/year)	Consumption / biomass (/year)
1	高次捕食者	1	0.10	0.05	60.00
2	大型浮魚	1	2.00	0.30	1.50
3	小型浮魚	1	12.00	0.60	2.50
4	マイクロネクトン	1	3.00	0.50	2.00
5	大型底魚	1	4.00	0.50	2.00
6	小型底魚	1	10.00	0.60	4.00
7	ベントス	1	30.00	2.00	6.00
8	動物プランクトン	1	10.00	30.00	120.00
9	植物プランクトン	1	20.00	150.00	
10	デトライタス	1	100.00		

表2 Diet compositionに入力する食物組成の初期値。
赤色の数字は後にバランスを取る際に0.8→0.7, 0.2→0.3に修正する。

	Prey ¥ predator	1	2	3	4	5	6	7	8
1	高次捕食者								
2	大型浮魚	0.100							
3	小型浮魚	0.600	0.800						
4	マイクロネクトン	0.200	0.200						
5	大型底魚	0.100							
6	小型底魚					0.400			
7	ベントス					0.600	0.800		
8	動物プランクトン			0.800	1.000		0.200	0.100	
9	植物プランクトン			0.200				0.200	0.900
10	デトライタス							0.700	0.100
11	Import								
12	Sum	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
13	(1 - Sum)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表3 Fishery / Landingsに入力する漁獲量の値

	Group name	浮魚漁業	底魚漁業	Total
1	高次捕食者			0.000
2	大型浮魚	0.100		0.100
3	小型浮魚	0.500		0.500
4	マイクロネクトン			0.000
5	大型底魚	0.050	0.100	0.150
6	小型底魚		1.000	1.000
7	ベントス		2.000	2.000
8	動物プランクトン			0.000
9	植物プランクトン			0.000
10	デトライタス			0.000
11	Sum	0.650	3.100	3.750

3. バランス調整

とりあえずここまで入力すれば、最低限必要な情報が揃ったことになる。さっそくEcopathにマスバランスを取らせてみよう。NavigatorウィンドウのParameterization (Ecopath) の下のBasic estimatesをクリックすれば良い。すると図2のようなエラーメッセージが表示されるだろう。モデルのバランスが取れていない、大型浮魚とマイクロネクトンのEEが不適切である、という指摘である。表示されたBasic estimatesのメインスクリーンを見てみると、この2グループのEEが1を越えていて、赤字で表示されていることがわかる。EEはマスバランス方程式

生産 = 漁獲 + 蓄積 + 被食 + 移出 + その他死亡
 における1-その他死亡率、すなわち

$$EE = 1 - \text{その他死亡} / \text{生産量}$$

$$= (\text{漁獲} + \text{蓄積} + \text{被食} + \text{移出}) / \text{生産量}$$

であり、1を越えることはあり得ない。EEが1を越えなければバランスが取れないということは、生産量に対して被食や漁獲が過大に設定されている状態を表している。Basic inputにおいて小型浮魚やマイクロネクトンのBが少ないかP/Bが小さい、捕食者のBが多すぎる、もしくはDCにおいて、小型浮魚に対する捕食割合が高すぎる、といった原因によりマスバランスが取れていないのであろう。ここではまずマイクロネクトンのBを3.0から5.0に増し、さらに小型浮魚とマイクロネクトンに対する大型浮魚のDCを0.7と0.3に変更してみよう。すると今度は大型浮魚のEEが1より大きくなってしまふ。大型浮魚が支出超過になっているようだ。そこで大型浮魚を食べる高次捕食者のQ/Bを



図2 マスバランスが取れていない場合に表示されるエラーメッセージの例

60から40に下げると、エラーメッセージが出なくなり、一応バランスを取ることができた。

実際にモデルのバランスを取る際には、調査や観測に基づく信頼性の高いデータはできるだけ元の状態のまま残すようにし、近縁種や経験則から持ってきた値から先に変更するのが原則である。DCやQ/Bを操作する時には、グループの特徴や入力データの代表性も考慮すべきである。また、EEが0～1の範囲に収まっても、Respirationの中にマイナス値がないか、Respiration / biomass（現存量あたり呼吸量、生理活性の高さを表す）が生物学的にそれらしい値になっているか、Mortalitiesの全死亡（Z）や漁獲死亡が極端な値になっていないか、といった点も検討しておくべきである。このように、バランスを取る作業では、漁業と生物に関する経験と知識が問われる。

4. 出力から見える生態系の特徴

作ったモデルに問題がないことを確認したら、Ecopathの出力を使って生態系の特徴を調べてみよう。NavigatorウィンドウのParameterization (Ecopath/Tools)の下Flow diagramをクリックすると図3のようなフローダイアグラムが表示される。丸の大きさが現存量 (B) を、線の太さが捕食被食によるバイオマスのフロー（流量、スループット）を表している（色や線の表示はタスクバーのOptionsを使って設定変更できる）。フロー、すなわち捕食被食量の具体的な数値はParameter (Ecopath)/ Consumptionから見るができる。縦軸方向に各グループの栄養段階が表されている点でも、図1に比べ情報量が多い。逆に栄養段階別にバイオマスとフローを集約したのが、Parameter (Ecopath)/Tools/Network Analysis/Flows and biomasses / Lindeman spine (図4) である

(Kay et al. 1989)。四角の中にバイオマスとフローの割合が描かれ、四角から出入りする線が捕食と被食および漁業やデトライタスへの流出量を表す（具体的な数値はFlows and biomassesのBiomass by trophic levelやFrom detritusなどに示されている）。このように栄養段階別に集約することで、異なる生態系の物質循環特性を同じ形式で比較できるようになる。Parameter (Ecopath)/ Tools / Network Analysis / Flows and biomasses / Transfer efficiencyは、転換効率、すなわち各栄養段階への流入量に対する流出量の割合を示しており、全体の平均値はシステム全体のエネルギー伝達効率を表す重要な数値である。さらに、Parameter (Ecopath)/ Tools / Network Analysis / Flows and biomasses / Catch by trophic levelは 漁獲の栄養段階組成を示し、Parameter (Ecopath)/ Fishery QuantityのTrophic levelは漁業別の漁獲物平均栄養段階 (MTLc) を示す。MTLcはD. ポーリーの

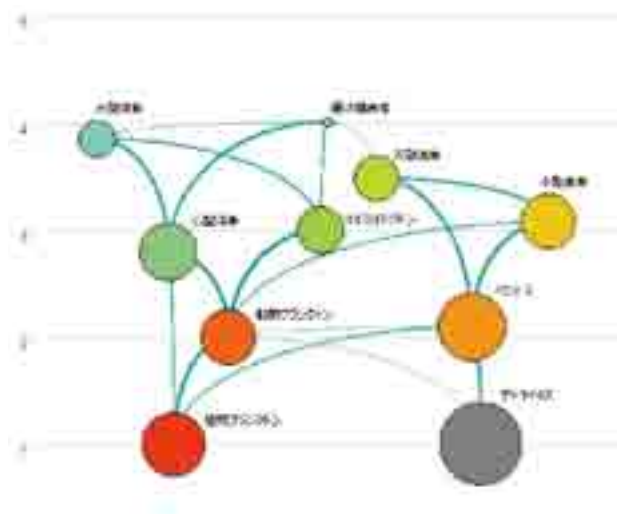


図3 Ecopathにより求められた仮想の生態系のフローダイアグラム。丸の大きさは現存量、線の太さはバイオマスの流量、左側の目盛りは栄養段階を表す。

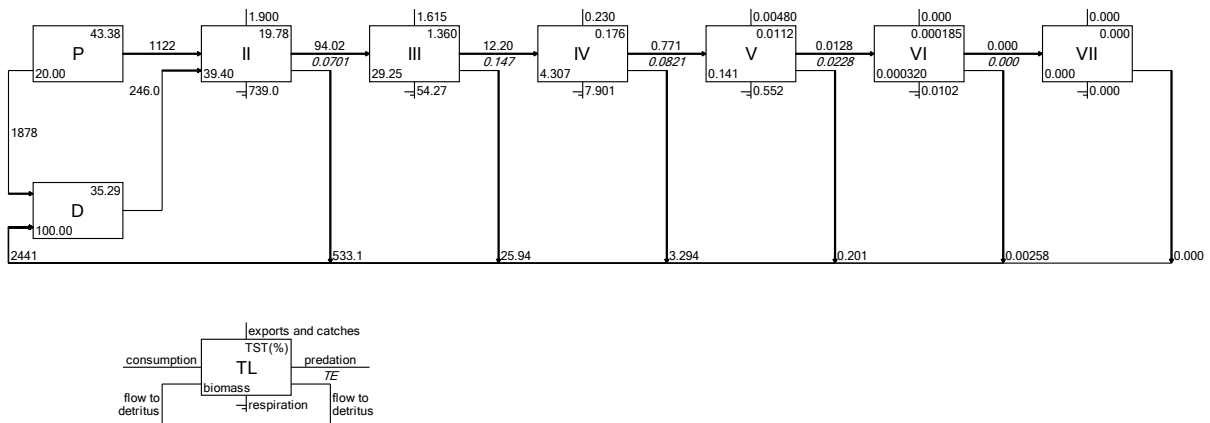


図4 生態系中のバイオマスとその流れを、栄養段階別に集約したLindeman Spine図。このような形式に変換することで、異なる生態系の物質循環状況を容易に比較できるようになる。

フィッシングダウン説で有名であるが (Pauly et al. 1998)、漁業が生態系をどのように利用しているか理解する上で確認しておきたい数値である。

一方、生態系構成種の重要度を表す情報が、Parameterization (Ecopath)/ Tools / Network Analysisの下にあるMixed trophic impact (MTI) やKeystoneness (キーストーンネス) から得られる。MTIは、個々のグループの現存量を少量増加させた時に他のグループが受ける影響の大きさを表す指標で、図5では右のグループから上のグループへのプラスの作用 (○) とマイナスの作用 (●) が丸の大きさを表されている。例えば、高次捕食者が増加すれば、その餌である大型浮魚や大型底魚には負の影響が及び、大型底魚の餌である小型浮魚には若干プラスの影響が現れる栄養カスケード的なトップダウン効果 (清田 2012) を見て取れる。逆に動物プランクトンが微増すると、餌である植物プランクトンにはマイナスの、捕食者である小型浮魚やマイクロネクトンにはプラスの作用が加わり、巡り巡って動物プランクトン自身にもネガティブな影響が及ぶ複雑な関係を表しているようだ。キーストーンネスはMTIに似るが、現存量が小さくても他のグループに大きな影響を及ぼすものをキーストーン種と呼ぶことから、現存量を加味して影響の大きさを評価した値になっている。キーストーンネスが0に近いもしくは0以上のグループが鍵種としての重要性が高い (Libralato et al. 2005)。Keystoneness graphの図は横軸が他種への影響の大きさ (MTIの平方和の平方根)、横軸がそれに現存量を加味したキー

ストーンネスで、今回試作したモデルでは高次捕食者がキーストーン種であることがわかる。現存量は少ないが恒温動物を想定してQ/Bを非常に大きくし、浮魚、底魚、マイクロネクトンいずれにも影響を与えるように設定してあることから、当然予想される結果である。

5. Ecosimによるシミュレーション

最後に、Ecosimを使った前方シミュレーションもやってみよう。Ecosimは平衡状態にあるEcopathモデルのバランスを取って崩すことによって生じる変化を計算するシミュレーターである。一般的には、漁獲を増減させることによって生じる生態系の変化を予測する目的で使われることが多い。さっそくやってみよう。まず浮魚漁業の漁獲量を1.5倍にしたとき、生態系に

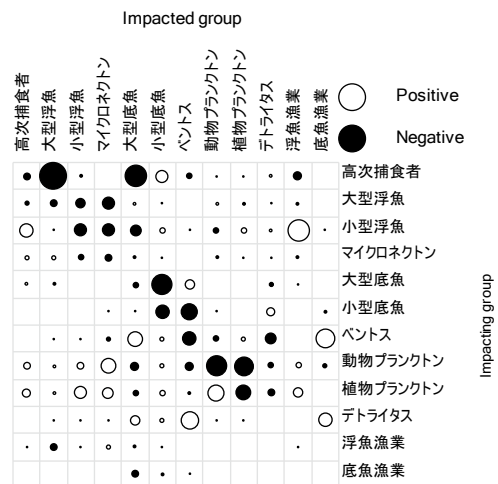


図5 右側のグループの少量増加が上のグループに与える影響を表すMixed Trophic Impactの図

どのような変化が起るか見てみることにする。Time dynamic (Ecosim)/ Input / Fishing effortをクリックし、新しいシミュレーションシナリオに名前を付けてCreateを押した上で、Fishing Effortのメインウィンドーの下に現れる浮魚漁業をクリックすると、将来どのように漁業を変化させるか指定できるようになる。Set to valueで“Enter one or more values…”のボックスに1.5と入力しよう。こうすることで、将来100年間にわたって浮魚漁業の漁獲努力量が1.5倍に設定される。次にTime dynamic (Ecosim)/ Output / Run Ecosimをクリックし、右下にあるRunボタンを押すとシミュレーションが始まる。結果はすぐに計算され、ウィンドー上には現存量の変化が図6上のようにグラフとして表示される筈である。メインスクリーン右側の各グループをクリックすると、そのグループが太線で表示されるのでわかりやすい。大型浮魚が減少し、マイクロネクトンが増加するが、20年目以降は

平衡状況になることがわかる。図6上は相対バイオマスを表すグラフだが、Data to plotメニューからCatch (relative)を選択すると、漁獲量の相対変化もプロットできる(図6下)。大型浮魚のバイオマスは減少するが漁獲量は増加しており、小型浮魚の漁獲量は(バイオマスはほとんど変化していないにもかかわらず)大型浮魚以上に増加している点が興味深い。逆に2つの漁業の努力量を全てゼロにしてEcosimを走らせると、小型浮魚、大型浮魚などは増加し、マイクロネクトンは減少する。このようにEwEを用いて将来変化を予測することによって、多魚種を漁獲する複数漁業が生態系に及ぼす影響を理解するのに役立つ。こうした解析は、従来の単一種資源評価モデルでは、なかなかできなかったことである。Ecosim中での漁獲努力量の増減に対する現存量や漁獲量の応答を利用して、魚種別のMSYを推定する試みもなされている(Walters et al. 2005)。

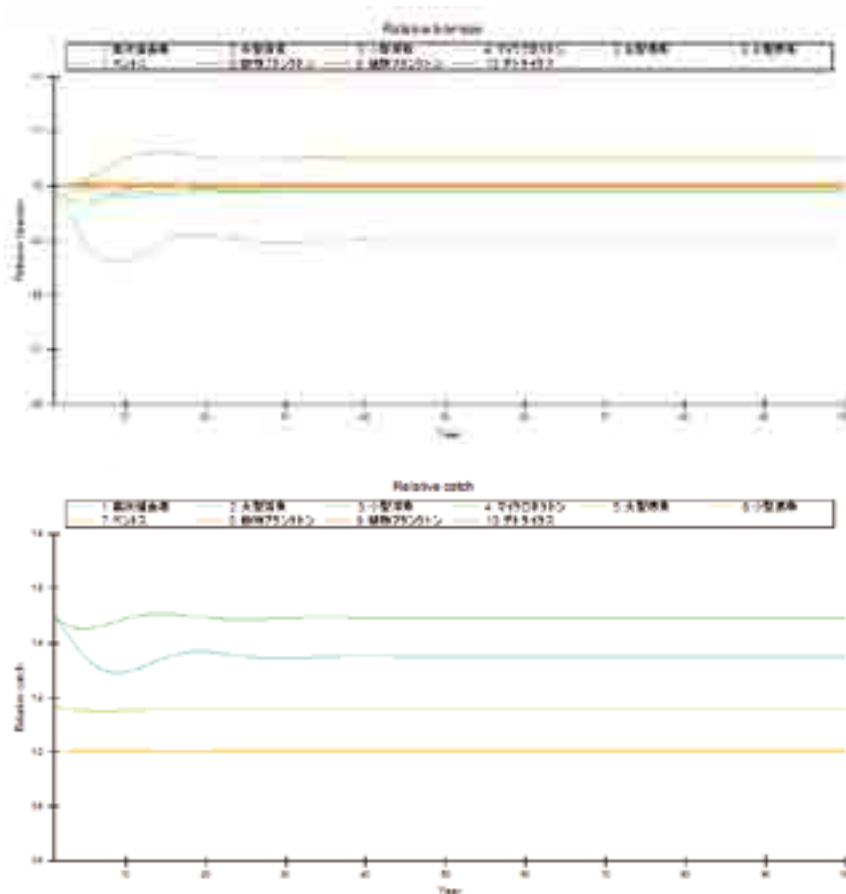


図6 浮魚漁業の漁獲努力量を1.5倍にしてEcosimでシミュレーションを行なった場合の現存量(上)と漁獲量(下)の相対経年変化(vulnerability = 2)。20年を経過した頃から平衡状態に収束する。

ただし、Ecosimの将来予測の信憑性は慎重に検討する必要がある。試しに、Time dynamic (Ecosim)/Vulnerabilityに入力されている数値をデフォルトの2.0から3.0に変更した上で、浮魚漁業1.5倍のシミュレーションを回してみると、全く違った将来予測結果が得られる(図7)。vulnerabilityパラメータ(v)を3.0にすると、100年後にも平衡状態には収束せず、大型浮魚とマイクロネクトンは振動を続け、大型浮魚の現存量は減少傾向を示す。vは、捕食者が餌生物に及ぼす影響(トップダウンコントロール)の強さを調節するパラメータで、 $v = 3$ では餌生物密度が低下しても捕食者が食べ続ける傾向が強まるため、ロトカ・ボルテラ的な振動(清田 2012)が強く表れるものと思われる。このように、Ecosimの将来予測結果はvの設定に大きく依存することを覚えておいて欲しい。従って、vの不確実性が大きい場合に、Ecosimを用いて最適状態を探索するのは不適切である。過去の漁獲努力

量と魚種別漁獲量の時系列データからvをチューニングする機能もEcosimには搭載されており、Ecosimを重要な意志決定に使用する場合には、vのチューニングや感度分析が欠かせない。

最後にもう一つ、Ecosimの変則的だが有用な使い方をお教えしよう。とりあえず $v = 2$ と仮定した時には、浮魚漁業1.5倍でも、漁業完全ゼロでも100年後には別の平衡状態に収束した。これら異なる漁業の条件の下で現れる生態系の状態を、元の状態と比較することで、漁業の影響を相対的に比較することができる。各シナリオでEcosimを回して得られたシミュレーション結果(Save outputを押し下げてからRunを押すと、メニューバーのディスクレット形アイコンボタンで指定された場所に、シミュレーション結果の数値がcsv形式で出力される。ただしグループ名を日本語にしていると出力が文字化けするので、Ecosimを積極的に使うのであればグループ名は半角アルファ

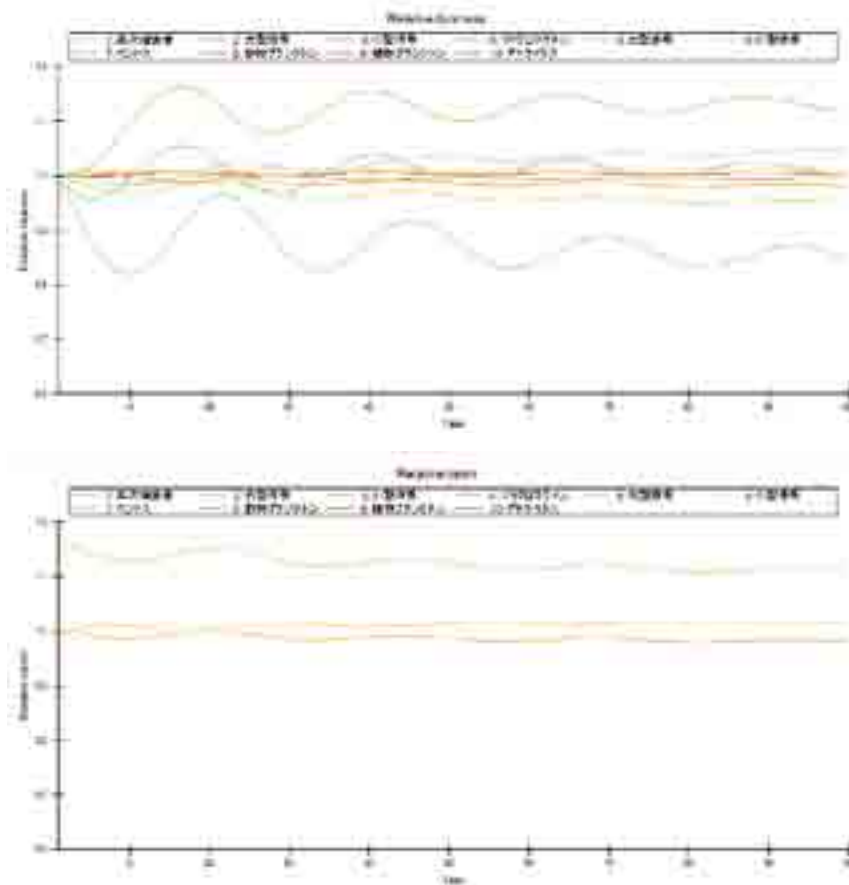


図7 浮魚漁業の漁獲努力量を1.5倍にしてEcosimでシミュレーションを行なった場合の現存量(上)と漁獲量(下)の相対経年変化(vulnerability = 3)。変動が大きく100年経過しても安定しない。

ベットのの方が便利である) から、最終年の現存量と漁獲量をEcopathに入力し直すことで、各シナリオの平衡状態のモデルを作製できる。こうすることで異なる漁獲圧の下での生態系の特性値を比較できる。例えば、漁獲が食物網を通じて基礎生産量の何%を消費しているかを表すPPR (%) 値 (Pauly and Christensen 1995) は、漁獲1.5倍シナリオでは4.41%から5.51%に増え、漁獲が基礎生産へ与える負荷が高まっていることを確認できる (表4)。逆にシステム全体としての転換効率、漁獲ゼロの9.1に比べ漁獲がある場合には9.5と高まっている (漁獲ゼロではQ/Bが大きい高次生物が相対的に多くなることによるものであろう)。全体的には、漁獲ゼロの場合と漁獲1.0倍もしくは1.5倍の指標値に大きな違いはなく、今回試作したモデルの中で漁業が生態系に与える影響は比較的小さいものであると考えられる (ただし、あくまで試算値でありパラメータvの感度分析などが必要である)。

6. おわりに

以上EwEモデルの使い方を駆け足で紹介した。関心を持たれた方は是非実際にデータを入力してモデルを動かしてみたい。実際やってみれば生態系モデルといえども恐れることはなく、現存量や胃内容組成などに関する調査データがあれば、実際のモデルを作ることも可能と感ぜられるだろう。EwEユーザーガイドには、モデルの作り方、走らせ方について詳しい解説が記述されているので、モデル構築の際には併せて読むことをお奨めする。しかし、マニュアルには作ったモデルをどう使うかについては記されていない。ここに示した漁業の影響評価はEwEの使用方法

の一例にすぎず、空間管理、収益計算、管理戦略評価、海洋保護区設計など新しい機能も随時追加されている。そうした機能をいかに利用してEwEを実際何に役立てるか、良く考えることが大切であろう。ただし、EwEはあくまでも平衡状態を基本とするモデルであり、Ecosimによる前方シミュレーションはパラメータvの影響を強く受けることは知っておいた方がよい。捕食被食関係を表すfunctional responseが系の挙動を大きく左右する傾向は、他の生態系モデルでも同様に認められる。

参考文献

- Kay, J. J., Graham, L. A., and Ulanovicz, R. E. 1989. A detailed guide to network analysis. pp. 15-61. In: Wulff, F., Field, J. G., and Mann K. H. (eds) Network Analysis in Marine Ecology: Methods and Applications. Springer-Verlag, Berlin.
- 清田雅史. 2012. 海と漁業と生態系: 1. 漁業を巡る生態系の動き. ななつの海から, 3: 20-20.
- 清田雅史. 2013. 海と漁業と生態系: 3. 海洋生態系モデルの群像. ななつの海から, 5: 15-22.
- Libralato, S., Christensen, V., and Pauly, D. 2005. A method for identifying keystone species in food web models. Ecological Modelling, 195: 153-171.
- Pauly, D., and Christensen, V. 1995. Primary production required to sustain global fisheries. Nature, 374: 255-257.
- Pauly, D., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R., and Torres, F. 1998. Fishing down marine food

表4 異なる漁獲圧のシナリオの下で平衡状態に収束したEcopathモデルの特性値の比較

特性値	Ecopath 内での名称	初期設定	浮魚漁業	全漁業
			1.5 倍	ゼロ
生産量の合計	Sum of all production	3,378	3,379	3,378
漁獲物平均栄養段階(MTLc)	Mean trophic level of the catch	2.56	2.59	N/A
純生産量	Net system production	2,198	2,201	2,197
総現存量	Total biomass (excluding detritus)	93.1	93.0	93.8
システム転換効率	Transfer efficiency (Total)	9.5	9.5	9.1
総漁獲量	Total Catch	3.75	4.05	0
漁獲物の PPR(%)	PPR to totPP (%)	4.41	5.15	N/A

webs. Science, 279: 860-863.

Walters, C. J., Christensen, V., Martell, S. J., and Kitchell, J. F. 2005. Possible ecosystem impacts of applying MSY policies from single-species

assessment. ICES J. Mar. Sci., 62: 558-568.

米崎史郎 2010. 海洋生態系を「視る」. 遠洋リサーチ & トピックス, 9: 29-34.

主な出来事 (平成25年4月1日～平成25年9月30日)

●国際会議

月	用 務	出張先
4	WCPFC資源評価準備会合 (小倉、岡本)	ヌーメア (ニューカレドニア)
4	ICCATビンナガデータ準備会合 (松本、清藤)	マドリード (スペイン)
4～5	IATTC第4回科学委員会 (竹内、岡本、佐藤 (圭))	ラホヤ (アメリカ)
5	ICCAT大西洋クロマグロ生物学的パラメータレビュー会合 (伊藤、木元)	テネリフェ (スペイン)
5	WCPFC管理基準作業部会 (中野)	ホノルル (アメリカ)
5	64th Tuna Conference (平岡、藤岡)	レイクアローヘッド(アメリカ)
5～6	第65回国際捕鯨委員会科学委員会 (森下、宮下、木白、吉田、金治、村瀬)	済州 (韓国)
6	ICCAT大西洋メカジキ作業部会資源評価準備会合 (余川、甲斐)	マドリード (スペイン)
6	第85回ICCAT年次会合 (岡本)	ペラクルス (メキシコ)
6	ICCATビンナガ資源評価会合 (松本、清藤)	スカリエタ (スペイン)
6	ICCAT西クロマグロ行政官科学者合同会合 (伊藤、木元)	モントリオール (カナダ)
6～7	CCAMLR SAM・EMM・中間SC・特別会合 (一井、瀧)	ブレーメルハーフェン(ドイツ)
6～7	ICCAT生態系小委員会 (南)	マドリード (スペイン)
7	ISC種別作業部会及び本会議(中野、余川、魚崎、竹内、阿部、佐藤 (圭)、仙波、甲斐、山崎、平岡、大島、福田)	釜山 (韓国)
7	世界資源評価法会合、ICCATクロマグロ資源評価手法会合(伊藤、高橋、境、木元)	ボストン (アメリカ)
7	CCSBT技術会合 (伊藤、高橋、境)	ポートランド (アメリカ)
8	WCPFC第9回科学委員会 (小倉、余川、岡本、魚崎、竹内、南、甲斐、清藤)	ポンペイ (ミクロネシア)
8	CCSBT第10回生態学的関連種作業部会及び第18回拡大科学委員会 (余川、南、伊藤、高橋、境、仙波、井上)	キャンベラ (オーストラリア)
8～9	ICCATメカジキ作業部会資源評価会合 (余川、甲斐)	オリアオ (ポルトガル)
9	WCPFC北小委員会 (小倉、竹内、大島、平岡)	福岡県福岡市
9	IWCビューロー会議及び米国との捕鯨問題等に関する意見交換 (森下)	ワシントン (アメリカ)
9	北太平洋漁業管理機関第6回準備会合及び第11回科学作業部会 (清田、林原)	高雄 (台湾)
9	IOTC生態系混獲作業部会 (松永、井上)	レユニオン (フランス)
9～10	ICCAT魚種別作業部会会合及びSCRS会合 (小倉、余川、魚崎、岡本、南、伊藤、竹内、松本、木元、甲斐)	マドリード (スペイン)
9～10	WCPFC技術遵守小委員会 (佐藤 (圭))	ポンペイ (ミクロネシア)

●学会・研究集会

月	用 務	出張先
4	イワシクジラ分科会 (宮下、木白)	東京都
4	第18回JAFIC漁業情報研究会 (芦田)	東京都
6	スナメリ研究会 (吉田)	広島県広島市
6	鯨類捕獲調査レビュー研究会 (宮下)	東京都
6	インド・太平洋魚類学会 (平岡、藤岡)	沖縄県宜野湾市
6	平成25年度第1回CITES研究会 (本多、中野、小倉、清田、林原、境、仙波、甲斐)	東京都
7	所内プロ研「外洋域に分布する生物へのハビタットモデルの適用とその比較検討」ワークショップ (清田、林原、金治、村瀬)	静岡県静岡市
9	第29回日本霊長類学会・日本ほ乳類学会2013年度大会 (清田、吉田、奥田)	岡山県岡山市
9	所内プロ研公開ワークショップ「限られたデータに基づく水産資源管理と生態系保全のための評価モニタリング方法の検討秋季ワークショップ」 (清田、境、米崎、奥田)	三重県津市
9	平成25年度日本水産学会中部支部大会 (本多、境)	三重県津市

●フィールド調査（海上） 水産庁船及び独法所属船

月	調査名	調査海域
5	新型ピンガーによる鯨類行動観察のための予備調査（村瀬：俊鷹丸）	駿河湾
5	クロマグロ卵仔魚分布調査（鈴木：陽光丸）	南西諸島海域
7-8	クロマグロ卵仔魚分布調査（鈴木：照洋丸）	日本海中西部海域
7-8	鯨類目視生態環境調査（村瀬：俊鷹丸）	北西太平洋外洋域
7-8	天皇海山トロール漁場海底環境調査（林原：開洋丸）	北太平洋海域

●フィールド調査（海上） その他の船舶

月	調査名	調査海域
5-6	春期カマイルカバイオブシー・移動追跡調査（南川：第八開洋丸）	日本海及び太平洋海域
7-8	まき網実態調査（佐藤（圭）：第81天王丸）	三陸沖海域
9-10	釧路沖ミンククジラ衛星標識調査（南川：第二昭南丸）	道東三陸海岸

●フィールド調査（陸上）

月	調査名	調査海域
4	味の素(株)委託事業によるカツオ標識放流調査（松本）	沖縄県与那国町
5	ミンククジラ航空機目視調査（宮下、木白、吉田）	宮城県仙台市
5	みなみまぐろ国内流通実態調査における卸売業者への聞き取り調査（境）	東京都
5	ピンナガ市場調査（佐藤（圭））	千葉県勝浦市
6	ヨコワ測定調査（福田）	福岡県福岡市
6-7	クロマグロ生殖腺採集調査（山崎）	鳥取県境港市
7	国内サメ駆除実態調査（仙波）	沖縄県石垣市
7	土佐湾沿岸性鯨類生態調査（木白）	高知県黒潮町
7	根室海峡鯨類調査（南川）	北海道根室市
7	境港市場調査（平岡）	鳥取県境港市
7	カジキの測定調査（甲斐）	静岡県下田市
7-8	クロマグロ当歳魚の標識放流調査（藤岡）	高知県中土佐町
8	クロマグロ当歳魚の標識放流調査（福田）	高知県中土佐町
8	曳き縄用船調査・標識放流調査（大島）	高知県四万十市、中土佐町
8	まき網操業実態の聞き取り調査（佐藤（圭））	福島県いわき市
8	みなみまぐろ国内流通実態調査での商社への聞き取り調査（境）	東京都
9	釧路沿岸鯨類捕獲調査（宮下）	北海道釧路市
9	釧路沖鯨類捕獲調査（金治）	北海道釧路市
9-10	釧路沖鯨類捕獲調査（木白）	北海道釧路市

それでも地球は動いている

編集後記

2013年度2回目の「ななつの海から」第6号をお届けします。

今号の特集記事「まぐろ資源をめぐる最近の調査研究の動き－その2－」は、当研究所の“若手”の取り組みを紹介するシリーズの締めくくりとして、くろまぐろ資源部とかつお・まぐろ資源部の若手研究者が執筆いたしました。まず、最新の電子標識というツールでクロマグロ幼魚の回遊生態の謎に迫る挑戦の紹介です。次いで、サメを巡る取り組みを例にワシントン条約の視点から見た漁業管理を巡る動きと取り組みを紹介しました。

このように様々な視点や切り口で当所の気鋭の研究者が日々取り組んでいる研究の内容をご理解頂ければ幸いです。また、第4回となった連載コラム「海と漁業と生態系」も、実際にEcopathモデルを例に生態系モデルの作製に挑戦というところまで進みました。読者の皆様の中にはEcopath with Ecosimのウェブサイトアクセスされた方

もいらっしゃると思いますがいかがでしたでしょうか。ご不明の点がありましたら当所の連絡先（下記）などを通じて執筆者へご照会ください。本誌を介して読者の皆様と執筆者とが双方向コミュニケーションできれば望外の喜びと存じます。

さて、この編集後記を記しているのが年末12月、今号発行は例年のように年度末に近い2月です。そこで、晩秋から冬の季節に研究所の前庭を彩るクロガネモチの赤い実（写真）を紹介して編集後記とします。クロガネモチは関東以南の比較的温暖な地域に分布する常緑性の高木ですが、樹高はそれほど高くなり、冬場にたくさんの赤い果実を美しくつけるモチノキの仲間です。若い枝や葉の軸が紫黒色を帯びることからその名がつけられたようなのですが、名前の縁起のよさから庭木としても親しまれているようです。

（業務推進部長 本多 仁）



発行／独立行政法人 水産総合研究センター 編集／独立行政法人 水産総合研究センター 国際水産資源研究所
〒424-8633 静岡県静岡市清水区折戸5丁目7番1号 TEL 054-336-6000 FAX 054-335-9642 E-mail : www-enyo@fra.affrc.go.jp

<http://fsf.fra.affrc.go.jp/>