

ななつの海から

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

第16号
.....
2019年3月



CONTENTS >>>



● Research

- ・漁獲物を用いたクロマグロの生態研究……3
- ・多魚種漁業の資源評価と管理：天皇海山底魚漁業における“directed CPUE”解析からわかること……9
- ・カツオ仔稚魚分布調査 - 加入量変動と初期生残過程の解明に向けて - ……19
- ・ガストロ：南洋の光輝く大型魚の分布・生活史・資源状況の研究……24

● Activity

- ・主な出来事……30

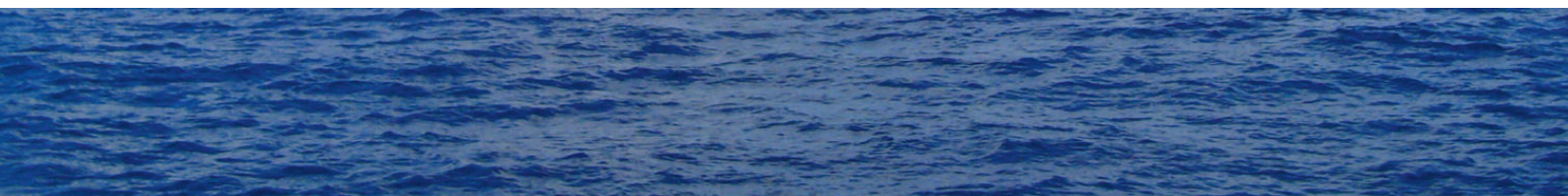
表紙写真解説

2016年度開洋丸天皇海山調査における中層トロール漁獲物。
狙ったキンメダイのほかに、メダイやロウソクチビキなど多様な魚種が混ざって採集されている。

(撮影日：2016年8月5日)

(撮影場所：天皇海山)

(撮影者：西田一也)



漁獲物を用いた クロマグロの生態研究



くろまぐろ資源部 くろまぐろ生物グループ
 田中庸介・田中寛繁・平岡優子・芦田拓士・田和篤史・石原大樹・植松幸希・河津優紀
 佐藤拓也・澤井悦郎

はじめに

くろまぐろ生物グループでは、太平洋クロマグロ (*Thunnus orientalis*、以下クロマグロ) の生態研究に取り組んでいます。具体的には、漁獲物を扱った成長・成熟・回遊等に関する研究や、調査船による産卵場・生育場での仔稚魚期の生態に関する研究を行っています。本稿では、これらのうち主に漁獲物を用いたクロマグロの生態研究に関する近年のトピックスをいくつか紹介します。

クロマグロは、日本周辺では北海道から沖縄県までの広い海域で漁獲されます。クロマグロの資源評価では、海にいる魚の量を年齢別に推定するため、漁獲された魚の体長組成が重要な基礎データとなります。そのため、漁獲されたクロマグロの体長（主に尾叉長、後述）の測定を主要な水揚げ港で行っていますが、このとき一部の魚には頭部と尾部に年齢等各種標本調査のための札をつけています（図1）。この札は、商品となったまぐろが解体された後に、残った頭部と尾部を

サンプルとして国際水研で収集するためのものです。各地の市場関係者や小売業者のご協力の下、送って頂いたサンプルから、国際水研で耳石・脊椎骨を取り出し、年齢・生まれ海域の解析を行い、また併せて取り出した筋肉から化学分析などを行っています。また、一部の水揚げ港では卵巣を採集し、その成熟状態から産卵生態についても調べています。

耳石を用いた成長解析

①年齢の推定

魚の頭部の脳付近には、耳石（じせき）という炭酸カルシウムでできた硬組織が3対あり、それぞれ礫石、星状石、扁平石という名前がつけられています（図2）。耳石の形や大きさは魚種によって様々ですが、中心部が最も古く、成長とともに外側に新しい組織が形成されていきます。耳石の成長には季節的な周期性がみられることが多く、いろいろな魚種で、耳石のなかで一番大きい扁平石を用いて年齢推定が行われています。



図1. 年齢等各種標本調査に用いる頭部と尾部の回収用の札（左）と、札のついたクロマグロの頭部と尾部（右）

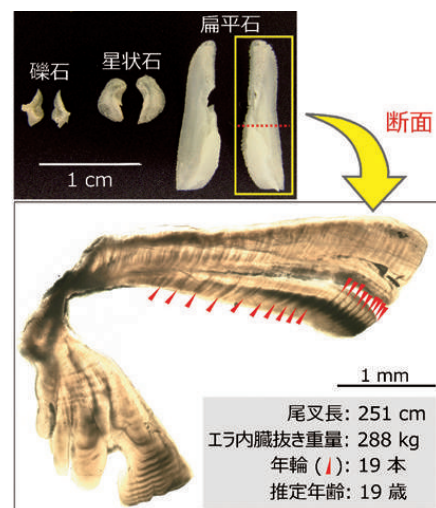


図2. クロマグロの3対の耳石(上)と、扁平石の切断面(下)

魚の年齢は、成長速度や成熟年齢、寿命など、その魚種の生活史を理解するうえで不可欠な情報です。

クロマグロの耳石断面には光の透過性の差による濃淡の繰り返し模様が見られます(図2)。この濃淡が一年に一回形成されることが証明できれば、その数からクロマグロの年齢を推定できることになります。クロマグロの耳石の濃淡は体長(尾叉長、図3)200cm以上の大型個体で特に明瞭です。そこで、各地で漁獲された大型のクロマグロの耳石を集めて、漁獲された月ごとに耳石の最も外側の部分(最近形成された部分)の濃淡を調べました。その結果、耳石に見られる縞の濃い部分は、毎年一回、冬から初夏に形成される“年輪”であることが分かりました(Shimose *et al.* 2009)。つまり、耳石の濃淡を数えることでクロマグロの年齢を推定できることが明らかとなりました。

②年齢推定結果の検証

耳石の年輪から推定されたクロマグロの年齢と、他の方法から推定された年齢を比較し、両者が一致すれば、推定された年齢の信頼性は高くなります。そこで、もう一つの年齢推定法として、「Bomb radiocarbon dating法」を用いました。この方法は、耳石の中心部分を化学的に分析し、1950~60年代に行われた核実験で地球上に多量に放出された放射性炭素同位体(^{14}C)をマーカーとして、耳石の形成年代を推定するものです。これら二つの方法から推定された年齢を比較した結果、0~28歳の各年齢において、両方法による年齢

推定結果が一致し、耳石の年輪による推定年齢の信頼性が高いことが確認されました(Ishihara *et al.* 2017)。

③クロマグロの成長

クロマグロの成長はとても速く、体長(脊索長)3mm程度で卵から孵化した仔魚は、1歳で尾叉長約50cm、2歳で約80cm、3歳で100cm以上に成長すると推定されました。また、9歳で尾叉長約200cmに達した後は成長が遅くなり、寿命は20歳以上、最大の尾叉長は250cm程度と考えられています。これまでに当グループで確認した最高年齢は28歳でした。これらの成長特性を数学的に表した成長式(尾叉長と年齢の関係式、図3)は、資源評価の過程で、漁獲されたクロマグロの尾叉長・体重組成から年齢組成を推定するのに用いられており、とても重要な知見となります。

脊椎骨を用いた生まれ地域推定

耳石と同様に、クロマグロの尾柄部(尾びれに向かって胴体が一番細くなっている部分)の脊椎骨にも年輪が形成されることが分かり(図4)、この年輪の大きさを測定することで、そのクロマグロが生まれた海域が推定できるようになりました(Uematsu *et al.* 2018)。現在、クロマグロの産卵場としては、南西諸島(沖縄・石垣島周辺海域)と日本海の2箇所が主であると推定されています(後述)。脊椎骨の年輪は冬に形成されますが、南西諸島の産卵期(4~7月)は日本海(6~8月)よりも早いため、南西諸島生まれのほ

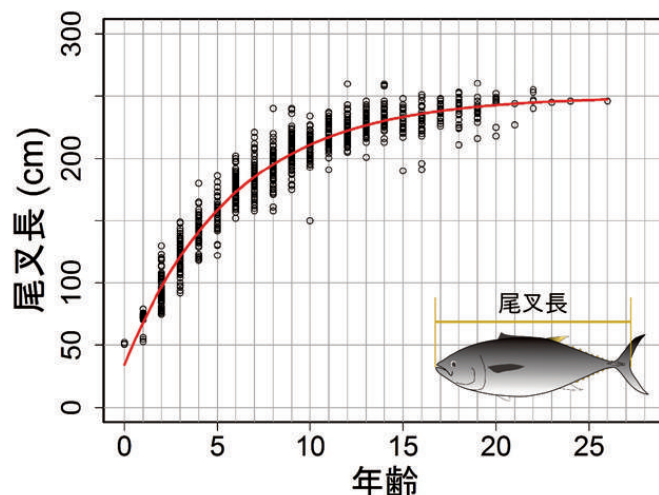


図3. クロマグロの尾叉長と年齢の関係。丸は観測値で赤線はvon-Bertalanffyの成長式

うが生まれてから最初に迎える冬までに成長できる期間が長くなります。このため、脊椎骨の中心からひとつめの年輪までの距離が大きい個体は南西諸島生まれ、小さい個体は日本海生まれと推定できるようになりました。まだ分析個体数が十分ではありませんが、南西諸島と日本海で産卵期に漁獲された産卵親魚（以下、親魚）の脊椎骨を調べた結果、どちらの海域でも、南西諸島生まれと日本海生まれの親魚が混ざって来遊していると推定されました。それぞれの産卵場で生まれたクロマグロが、どのように資源全体へ寄与しているのかを明らかにすることが今後の課題です。

生殖腺（卵巣）の解析

卵巣の解析からは、魚の産卵期、産卵量および年齢別の成熟率（何歳で何割が成熟するのか）などの情報が得られます。これまでに南西諸島や日本海の産卵場での研究（Ashida *et al.* 2015, Okochi *et al.* 2016, Shimose *et al.* 2018）から、クロマグロは同じ産卵期に1匹の雌が複数回産卵する多回性産卵魚であること、主な産卵期は南西諸島において4~7月、日本海では6~8月であること、親魚の年齢は南西諸島で8歳魚以上であり、3~6歳魚が主体である日本海に比べて高齢であることなどが分かりました（図5）。1回あたりの平均的な産卵数は南西諸島

で1500万粒、日本海で641万粒と推定されています。また、日本海でのクロマグロの産卵は、これまでマグロ類の産卵適水温と考えられてきた表面水温24℃以上よりも低い19℃台から起こることが明らかになりました（Okochi *et al.* 2016）。

最近の解析からは、日本海のクロマグロでは親魚の栄養状態が良いと生み出す卵が大きくなる事が示唆されました（Ohshimo *et al.* 2018a）。大きい卵からは大きい仔魚が生まれる傾向がありますので、親魚の栄養状態が仔魚の生き残りに影響を及ぼす可能性があります。また、最近新たに、5~7月に伊豆諸島周辺から常磐・三陸沖で漁獲されたクロマグロからも、産卵状態にある個体が確認され、それらの親魚の年齢は6~8歳が主体であることが分かりました（図5）（Ohshimo *et al.* 2018b）。しかし、伊豆諸島周辺から常磐・三陸沖で観察されたクロマグロの産卵個体が南西諸島や日本海のように濃密な産卵場を形成しているのか、また、この海域で生まれた卵が孵化し、仔稚魚期における生残過程を経て、どの程度クロマグロ資源の加入量変動に寄与しているのかはいまだ不明です。今後も調査船調査等と組み合わせてこれらの海域における産卵生態についてさらに詳しく調べていく予定です。

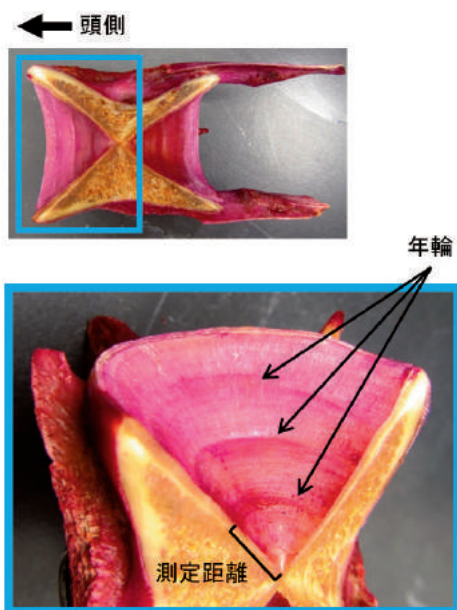


図4. クロマグロの脊椎骨を縦に切った断面(上)および断面の一部を拡大したもの(下)。脊椎骨には染色処理を施している

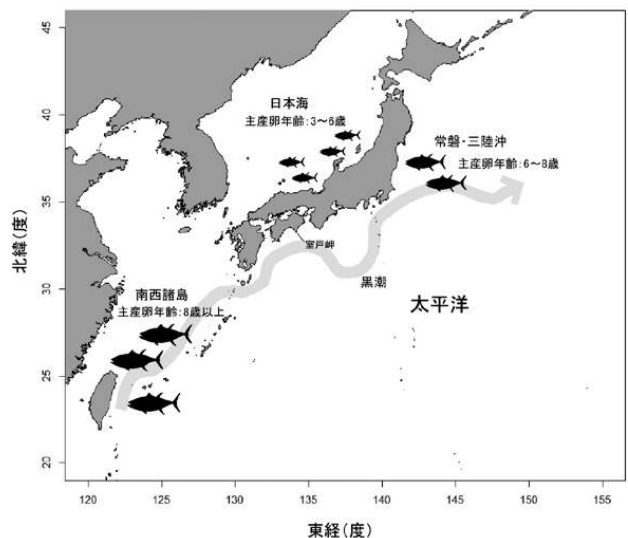


図5. クロマグロの産卵場と産卵親魚の年齢組成のイメージ

筋肉の安定同位体比分析

クロマグロの一部の個体は成熟する前に東部太平洋（アメリカ西海岸沖）まで渡洋し、再び日本近海へ帰ってきた後、産卵に加わることが知られています（図6）。クロマグロの回遊生態や成長段階別の分布様式を推定することは、本種の資源管理に大きく貢献します。クロマグロにアーカイバルタグ（記録型電子標識）を取り付けた調査から、本種の行動が徐々に明らかになってきましたが（Fujioka *et al.* 2018a, Fujioka *et al.* 2018b）、アーカイバルタグは高価であるため、サンプルの数を大幅に増やすことは困難です。そこで、生化学的な手法を開発することにしました。

生物の組織（筋肉や骨、内臓）における炭素（C）や窒素（N）には、重さが異なる同位体と呼ばれる元素が存在し、その比から得られる「安定同位体比」は、餌として食べた生物の安定同位体比を反映することが知られています。また、海域によって生物の安定同位体比には違いがあることが知られています。従って、広い海域を回遊する魚では、安定同位体比を調べることで、その個体がどこの海域の生物を食べていたのか、つまり、どこの海域にいたのかを推定することができます。クロマグロでは、筋肉の窒素安定同位体比

（ $\delta^{15}\text{N}$ ）から、渡洋経験の有無を検討できるようになりました（Tawa *et al.* 2017）。この結果、日本海で漁獲されたクロマグロは3歳から渡洋回遊経験のある個体（高い $\delta^{15}\text{N}$ の値をもつ個体）が出現しはじめ、高齢魚になるに従ってその割合は高くなっていると推定されました（図6）。今後も電子標識や他の化学分析などの手法と組み合わせ、渡洋回遊の実態や意義について解明していく予定です。

クロマグロ幼魚の成長・食性

クロマグロの漁業資源への加入量は毎年変動するため、その原因解明は本種の資源変動機構を解明するうえで重要な研究テーマの一つです。そのため、加入直後の0歳魚（その年生まれの幼魚、ヨコワとも呼ばれる）の漁獲物の生物特性についても経年的にデータを取得し、調査船調査と組み合わせながら、0歳魚の生残過程を研究しています。

0歳魚の耳石には1日1本形成される日輪が確認できます。従って、日輪の本数や耳石の大きさの変化を観察することで、その個体が卵から孵化した日や、成長の良し悪しを調べることができます。最近の分析から、クロマグロでは標準体長15mm未満の仔魚期の成長がそ

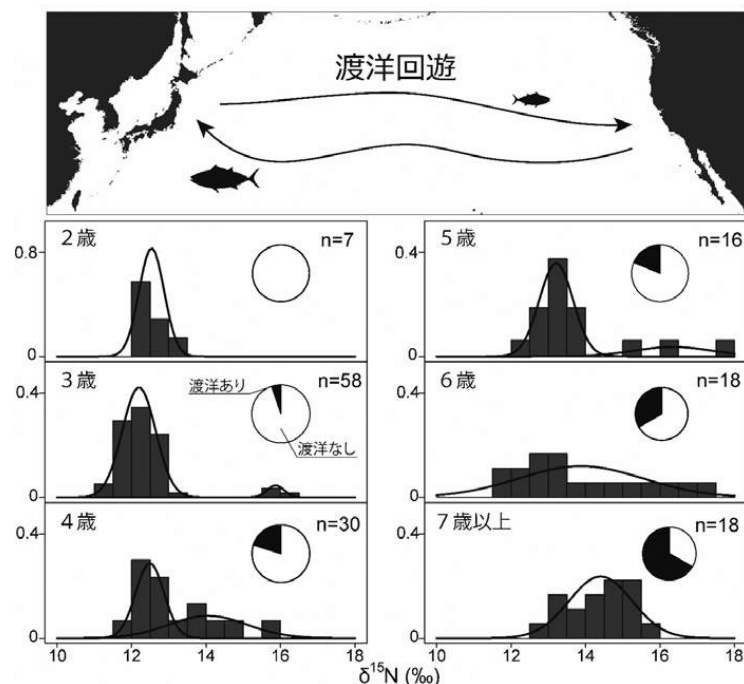


図6. クロマグロの渡洋回遊のイメージ（上）と、日本海で採集されたクロマグロの筋肉中の窒素安定同位体比（ $\delta^{15}\text{N}$ ）による年齢別の渡洋個体割合の推定結果（下）。 $\delta^{15}\text{N}$ が高い値を示す個体が渡洋ありと推定される

の後の稚魚期の生残に大きく関わっていることが示唆されました (Watai *et al.* 2017)。また、0歳魚の仔魚期と稚魚期における成長を生育海域間で比較したところ、仔魚期では日本海の成長の年変動が南西諸島に比べて激しい一方、標準体長約15cm以上の稚魚の段階では、日本海側の成長が太平洋側よりも良いことが分かりました (Watai *et al.* 2018)。

生残や成長の過程では、餌の質や量が重要となる可能性があります。高知沖で採集される尾叉長15~25cmの0歳魚の胃内容物調査からは、黒潮 (図5) の流路が室戸岬 (図5) に近い年ほど、餌となるカタクチイワシなどの小魚とクロマグロの生息域が重なるため、多くの餌を食べ、より太っている個体が多いことが分かりました (Hiraoka *et al.* 2019)。ただし、この研究で調査した時点の餌環境は体長の成長そのものとは関係がなく、成長には生息域の水温が影響することが分かりました。さらに幅広くデータを解析し、0歳魚の生息環境と成長・生残過程の関係について明らかにしていきたいと考えています。

おわりに

以上のようにくろまぐろ生物グループでは様々な側面からクロマグロの生態を研究しています。漁獲物を用いたこれらの研究は漁業者、市場関係者、小売業者などの皆さんをはじめ、様々な方々のご協力の上に成り立っています。この場を借りて改めて御礼申し上げます。今後もより良い成果が出せるよう努力していく所存です。(本研究は水産庁国際資源調査・評価推進事業の一環として行われています。)

引用文献

- Ashida, H., Suzuki, N., Tanabe, T., Suzuki, N. and Aonuma, Y. 2015. Reproductive condition, batch fecundity, and spawning fraction of large Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* landed at Ishigaki Island, Okinawa, Japan. *Environ. Biol. Fish.* 98 : 1173-1183.
- Fujioka, K., Fukuda, H., Tei, Y., Okamoto, S., Kiyofuji, H., Furukawa, S., Takagi, J., Estess, S., Farwell, C. J., Fuller, D. W., Suzuki, N., Ohshimo, S. and Kitagawa, T. 2018a. Spatial and temporal variability in the trans-Pacific migration of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) revealed by archival tags. *Prog. Oceanogr.* 162:52-65.
- Fujioka, K., Fukuda, H., Furukawa, S., Tei, Y., Okamoto, S. and Ohshimo, S. 2018b. Habitat use and movement patterns of small (age-0) juvenile Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) relative to the Kuroshio. *Fish. Oceanogr.* 27:185-198.
- Hiraoka, Y., Fujioka, K., Fukuda, H., Watai, M. and Ohshimo, S. 2019. Inter-annual variation of the diet shifts and their effects on the fatness and growth of age-0 Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) off the southwestern Pacific coast of Japan. *Fish. Oceanogr.* doi:10.1111/fog12421
- Ishihara, T., Abe, O., Shimose, T. and Takeuchi, Y. 2017. Use of post-bomb radiocarbon dating to validate estimated ages of Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, of the North Pacific Ocean. *Fish. Res.* 189:35-41.
- Ohshimo, S., Sato, T., Okochi, Y., Ishihara, Y., Tawa, A., Kawazu, M., Hiraoka, Y., Ashida, H. and Suzuki, N. 2018a. Long-term change in reproductive condition and evaluation of maternal effects in Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, in the Sea of Japan. *Fish. Res.* 204 : 390-401.
- Ohshimo, S., Sato, T., Okochi, Y., Tanaka, S., Ishihara, T., Ashida, H. and Suzuki, N. 2018b. Evidence of spawning among Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, in the Kuroshio and Kuroshio-Oyashio transition area. *Aquat. Living Resour.* 31 : 33.
- Okochi, Y., Abe, O., Tanaka, S., Ishihara, Y. and Shimizu, A. 2016. Reproductive biology of female Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, in the Sea of Japan. *Fish. Res.* 174 : 30-39.
- Shimose, T., Tanabe, T., Chen, K. S. and Hsu, C. C. 2009. Age determination and growth of Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, off Japan and

- Taiwan. Fish. Res. 100 : 134-139.
- Shimose, T., Aonuma, Y., Tanabe, T., Suzuki, N. and Kanaiwa, M. 2018. Solar and lunar influences on the spawning activity of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) in the south-western North Pacific spawning ground. Fish. Oceanogr. 27 : 76-84.
- Tawa, A., Ishihara, T., Uematsu, Y., Ono, T. and Ohshimo, S. 2017. Evidence of westward transoceanic migration of Pacific bluefin tuna in the Sea of Japan based on stable isotope analysis. Mar. Biol. 164 : 94.
- Uematsu, Y., Ishihara, T., Hiraoka, Y., Shimose, T. and Ohshimo, S. 2018. Natal origin identification of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) by vertebral first annulus. Fish. Res. 199 : 26-31.
- Watai, M., Ishihara, T., Abe, O., Ohshimo, S., Strussmann, C. A. 2017. Evaluation of growth-dependent survival during early stages of Pacific bluefin tuna using otolith microstructure analysis. Mar. Freshw. Res. 68 : 2008-2017.
- Watai, M., Hiraoka, Y., Ishihara, T., Yamasaki, I., Ota, T., Ohshimo, S., Strüssmann, C. A. 2018. Comparative analysis of the early growth history of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* from different spawning grounds. Mar. Ecol. Prog. Ser. 607 : 207-220.

多魚種漁業の資源評価と管理：天皇海山底魚漁業における “directed CPUE” 解析からわかること



外洋資源部 外洋生態系グループ 澤田 紘太

はじめに

資源量の推定は資源管理の基礎ですが、深くて広い海の中にある魚の量を直接に知るのは困難です。そこで資源量に比例すると考えられる指標、すなわち資源量指数を算出し、その増減をみることで相対的な資源の動向を推定することがよくあります。水産学では、単位努力量当たり漁獲量Catch per Unit Effort、略してCPUEを資源量指数に使うのが一般的です（岡村・市野川 2016）。ここで努力量とは、底曳網の曳網時間や、底刺網の反数、延縄の針数といった、魚を獲るために費やされるあらゆる労力の量を指します。たとえばCPUEが2倍、つまり同じだけの努力量で2倍の魚が獲れるようになったなら、海の魚は2倍くらいに増えたのだらうと大雑把には考えられます。

科学的な調査ならば、理想的には決まった方法で毎回同じように魚を獲って、CPUEを比べることができます。しかし、遠洋への調査航海を頻繁に行うのは難しく、予算や時間、漁具等の制限もあって、得られるデータはどうしても限られてしまいます。充分な量のデータを得るには、商業的な操業から得られた漁業データを活用するのが現実的でしょう（岡村・市野川 2016）。しかし、漁業者の方々は調査のために魚を獲るわけではないので、いつでも同じように操業するわけではありません。漁況や海況、市況などに合わせて臨機応変に操業するのは漁師さんの腕の見せ所なのだと思いますが、その結果をデータとして解析する側からすれば難しい問題になります。

そのような問題の一つが、「狙い」です。漁業の中には、常に特定の魚種しか獲れない、あるいは他の魚種が獲れても捨てるだけで利用しないものもありますが、多数の魚種を同時に漁獲し利用する「多魚種漁業」も珍しくありません。多魚種漁業ではたくさんの魚種が漁獲されますが、一回一回の操業で獲れる魚はランダムではないでしょう。海底地形や海況、魚群探知機、

それに経験と勘に基づいて、操業ごとに特定の魚種を狙って操業していると考えられます。ときには思い通りにいかないことがあるとしても、ほとんどの場合、狙った魚が効率よく獲れ、それ以外の魚はあまり獲れないでしょう。つまり、各魚種のCPUEが操業時の狙いによって変わってしまうのです。たとえば、ある魚種がブームになって高く売れるようになったとすると、努力量の中に占めるその魚種狙いの操業の割合は高くなり、その魚はたくさん獲れることでしょう。そうなると、たとえ魚の資源量が変わらなかったとしても、見かけ上のCPUEが高くなってしまい、資源量が増えていると誤って推定してしまうかもしれません。狙いの効果を補正する方法はいくつか提案されていますが、私たちはそのなかでも「directed CPUE」と呼ばれる方法を使って、後述する天皇海山の底魚漁業における資源量指数を算出しました（澤田ら 2017; Sawada et al. 2017）。ここでは、その方法と結果についてご紹介したいと思います。

天皇海山の底魚漁業

私たちのグループでは、北西太平洋に位置する海山列である「天皇海山」漁場に関する調査研究を主要なテーマの一つとしています。この海域は公海にあり、日本だけでなく韓国やロシアの漁船も操業する国際漁場です。そのため、北太平洋漁業委員会（NPFC）のもと、持続的な利用と海洋生態系保全のための漁業管理が進められています（一井 2016）。

天皇海山ではクサカリツボダイ *Pentaceros wheeleri*、キンメダイ *Beryx splendens*、オオメマトウダイ *Alloctytus folletti* といった魚種が主な漁獲対象となっていますが、それら以外にもナンヨウキンメ *Beryx decadactylus*、カガミダイ *Zenopsis nebulosa* など、さまざまな魚種が同時に漁獲され、利用されています（水産庁 2008b; 西田ら 2018）。なかでも重要なのはクサカリツボダイで

すが、この魚は表層生活期が長く、成熟サイズで海山に着底するとその後は成長せず、それどころか年々痩せていくという奇妙な生活史を持ちます (Kiyota et al. 2016; 柳本 2016)。加入量は年によって大きく異なり、しかも成熟サイズに達している大きな個体が入るため、卓越加入が発生すると急激に資源量が増加します。最近では2010年・2012年に卓越加入があり漁獲量が急増しましたが、2013年以降は加入が少なく、漁獲圧の高さも相まって資源量が低迷していると考えられています (米崎・清田 2018)。ここ数年は、クサカリツボダイよりもキンメダイのほうが漁獲量がずっと大きく、減少したクサカリツボダイの代わりにキンメダイが漁業を支えている状態です。その他に、オオメマトウダイはトロールでの漁獲量はあまり大きくありませんが、底刺網漁業では重要な漁獲対象種となっています。

NPFCの保存管理措置では、底魚漁業を行う漁船のすべてに科学オブザーバーと呼ばれる調査員を乗船させ、科学データの収集を行わせることが加盟国に義務付けられています。NPFCの正式な発足は2015年ですが、日本は2009年から自主措置としてオブザーバーによるデータ収集を開始させています。科学者による講習を受けた者が各船に1名以上乗船し、水産庁認定の科学オブザーバーとしてデータ収集を行っています (澤田ら 2017)。ここでは、この科学オブザーバーデータを用いた解析結果についてご紹介しましょう。

狙い操業を考慮した解析

私たちが用いた「directed CPUE」法は、フランス海洋研究所のAlain Biseau博士が1998年に提唱した、比較的古い手法です (Biseau 1998)。しかし、漁獲物組成というもっとも基礎的な漁業データから容易に計算することができるというメリットがあります。この手法では、各魚種について、その魚種を狙って行われた操業だけを抽出し、CPUEの計算を行います。したがって、狙って獲られることがほとんどなく、混ざって獲れるだけの魚種については計算しません。まず、狙って獲られる種と、そうでない種を判別する必要があります。そのための手順も、Biseau博士の論文のなかで提唱されています。

ところで、漁獲量のデータでは複数のよく似た種が

区別されずに報告されてしまうことがあります。漁獲量は製品重量から加工前の魚の重量を逆算して求めるので、まとめて製品化される魚種はデータ上も区別できなくなってしまうためです。今回のデータではサバ類やメヌケ類などがそれにあたり、たとえばサバ類ではゴマサバ*Scomber australasicus*とマサバ*S. japonicus*が混ざっています (上村ら 2016)。本稿ではこのような総称も含めて便宜的に種・魚種という言葉を使いますが、生物分類学でいう種とは必ずしも一致していません。

狙い対象種の判別

一回一回の操業について、漁獲物の中には狙って獲れた魚種と、意図的でなく混ざって獲れた魚種があります。狙って獲られることのある種を、ここでは狙い対象種と呼びます。ほとんどあるいはまったく狙って獲られることがなく、混ざって獲れるばかりの種を、ここでは混獲種と呼びます。狙い対象種であっても、別の狙い対象種を狙った操業で混ざって獲れることもあります。

キンメダイが狙い対象種だとすると、「漁獲物の大部分がキンメダイである操業」が、それなりの頻度で存在しているはずですが、クサカリツボダイやその他の魚種を狙ってキンメダイが混ざってしまう操業もあり、そのような場合には「漁獲物のなかでわずかな割合だけがキンメダイである操業」となりますが、それによるキンメダイ漁獲はあまり多くないはずですが。それに対して、もしキンメダイが混獲種だとすると、「漁獲物の大部分がキンメダイである操業」は減多にないはずで、キンメダイ漁獲量の大部分は「漁獲物のなかでわずかな割合だけがキンメダイである操業」に由来しているでしょう。

視覚的に判断するために、上の段落をグラフで表現してみましょう (図1)。横軸には、「一操業の漁獲物に占めるその種の割合」を取ります。キンメダイのグラフなら、「漁獲物のうち0%がキンメダイである操業 (=キンメダイが獲れなかった操業)」から、「漁獲物のうち100%がキンメダイである操業 (=キンメダイしか獲れなかった操業)」まで、すべての操業をキンメダイが漁獲物に占める割合順に並べるのをイメージしてください。縦軸は横軸の値よりもキンメダイが占める割合の低い操業をすべて合計したときの漁獲量です。

少し複雑ですが、「キンメダイの割合がx%以下である操業をすべて合計すると、キンメダイの漁獲量はyトンになる」というxとyのグラフを書くことになります。もしこのグラフが横軸50%、縦軸100トンという点を通っているとしたら、「漁獲物の半分以下がキンメダイである操業をすべて合計すると、キンメダイの漁獲量は100トン」となり、言い方を変えれば「キンメダイ漁獲のうち100トンは、キンメダイが半分以下しか含まれていない操業から得られている」ということになります。

狙い対象種と混獲種では、このグラフのかたちが違うはず（図1）。狙い対象種では、グラフの右のほう、つまりその種の割合が高い操業の重要性が高いはず。その種の割合が低い操業に由来する漁獲物は、その種の漁獲量全体に比べてごく少ないものでしょう。そうすると、グラフは左側では平らに近く、右端に行くにつれて急激に増加する「指数関数型」になるはず。ただ混ざりの多い漁業では狙い対象種であってもなかなか100%とはいかないこともあるでしょうから、そのような場合には真ん中よりで急増し、そのあとは頭打ちになる「S字型」のグラフになります。一方で混獲種では、その種ばかり獲れるような操業は滅多にないはずなので、グラフは低い左側で急増し、右側ではほとんど平らな「飽和型」のグラフとなるでしょう。このように、各種についてグラフを描いてみて指数関数型かS字型になれば狙い対象種、飽和型になれば混獲種と仕分けすることができます。

天皇海山漁場で日本船により水揚げされている各魚

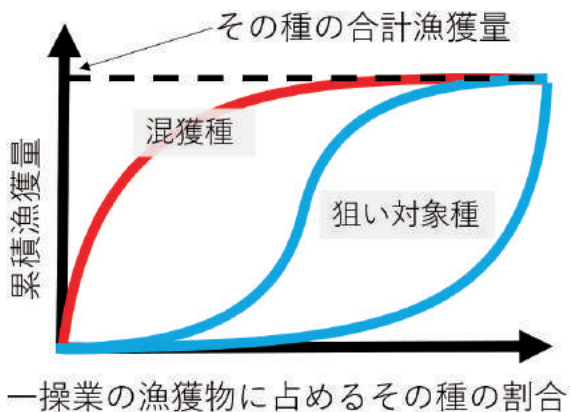


図1. 狙い対象種判定用プロット概念図。混獲種は飽和型（赤）、狙い対象種は指数関数型またはS字型（青）を示す。

種について、上の手順でグラフを描いてみました（図2・3）。グラフの形がみやすいように、縦軸の値は各種の年間漁獲量で割ってあります。すべて描くとスペースを取るのので、一部の混獲種については省略してあります。図2はトロール、図3は底刺網の科学オペレーターデータから作成したものです。予想された通り、どちらの漁法でも主要な漁獲対象種であるクサカリツボダイ・キンメダイ・オオメマトウダイといった魚種が指数関数型となり、狙い対象種と判定されました。トロールによるオオメマトウダイの漁獲量はそれほど多くないのですが、それでも狙い対象種と判断できることに注意してください。この魚はクサカリツボダイ・キンメダイといった他の漁獲対象種よりも深いところで獲れるようなので、オオメマトウダイ狙いの操業は多魚種狙いの場合と異なる場所で行われるということが反映されているのでしょう。トロールでは、その他に狙い対象種となったのはサバ類とハゲヤセムツ *Epigonus denticulatus* です。サバの漁獲量は少なく、限られた年にしか漁獲されていません。しかしこの魚は浮魚であり底魚類とは分布や泳ぎ方が異なるため、それに合わせた曳網をする必要があるの、狙って獲られる魚種として検出されたのは理にかなっています。ハゲヤセムツはあまり知られていない魚ですが、まれに食用になるほかに養殖飼料として利用される魚です。底刺網ではクサカリツボダイ・キンメダイ・オオメマトウダイに加えて、メヌケ類が狙い対象種と判断されました。このメヌケ類が生物学的にどの種なのかははっきりしませんが、ベニメヌケ *Hozukius guyotensis* などと思われます。

狙い操業の識別とCPUEの計算

さて、狙い対象種のリストができました。それ以外の魚種はすべて合計して「その他」として扱うことにします。すべての狙い対象種と「その他」について、その種だけを狙った操業とそうでない操業を区別するのが次の目標です。それができれば、あとは狙い操業から漁獲量と努力量を合計し、割り算すれば「directed CPUE」=狙い操業によるCPUEを得ることができます。このCPUEは、いつでもその魚種を狙った操業だけから計算されるので、年によってその魚種を狙う操業の頻度が変わったとしても、それに影響されない資源量

指数となります。

再びキンメダイを例にしましょう。キンメダイを狙った操業では、漁獲物に占めるキンメダイの割合が高い傾向にあるはずですが。逆に考えて、キンメダイの割合が一定以上に高い操業だけを抽出すれば、その大部分はキンメダイ狙いでしょう。それでは、たとえば100%キンメダイの操業だけを使えばどうでしょうか。どれもまず間違いなくキンメダイ狙いの操業ではありますが、一方でキンメダイ狙いでもほかの魚は混ざることが多いので、実際のキンメダイ狙いの操業の多くを切り捨ててしまい、ごくわずかなデータだけから計算を

行うこととなります。場合によっては、100%そればかり獲れる操業がなく、CPUEを計算できないかもしれません。これは、あまりいい方法ではなさそうです。もう少し基準を緩めて、なるべく多くの狙い操業をカバーしたいところですが、緩めすぎるとキンメダイを狙っていない操業も含まれてしまいます。ちょうどいい基準を探す必要があります。この基準のことをBiseau博士は「基準レベルQualification Level」と呼んでいます。

基準レベルの決め方としてBiseau博士が提案しているのが、「説明レベルExplanatory Level」を使った方

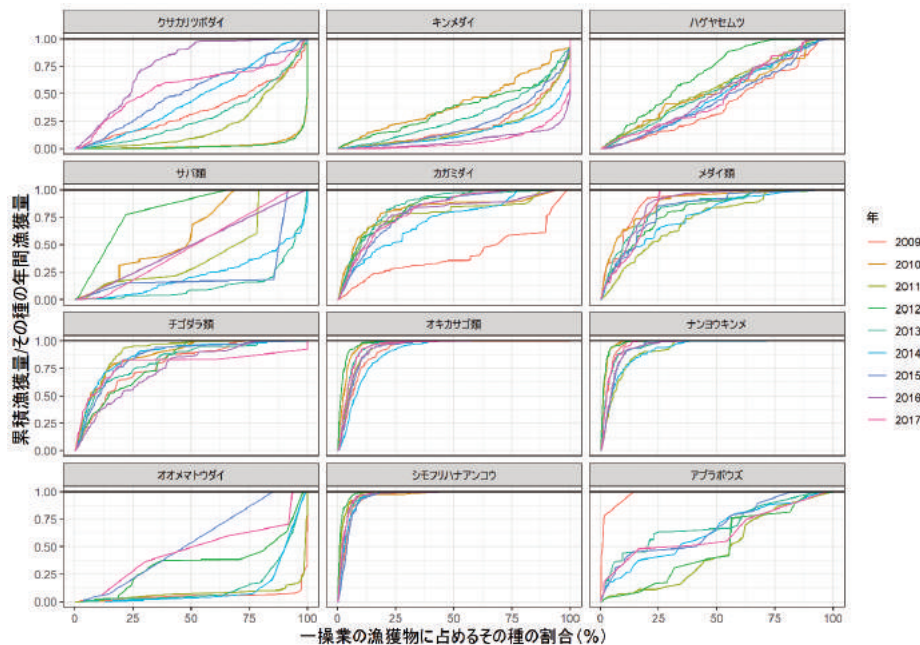


図2. 狙い対象種判定用のプロット（トロール）。漁獲量の少ない一部の混獲種、種不明の報告は省略。

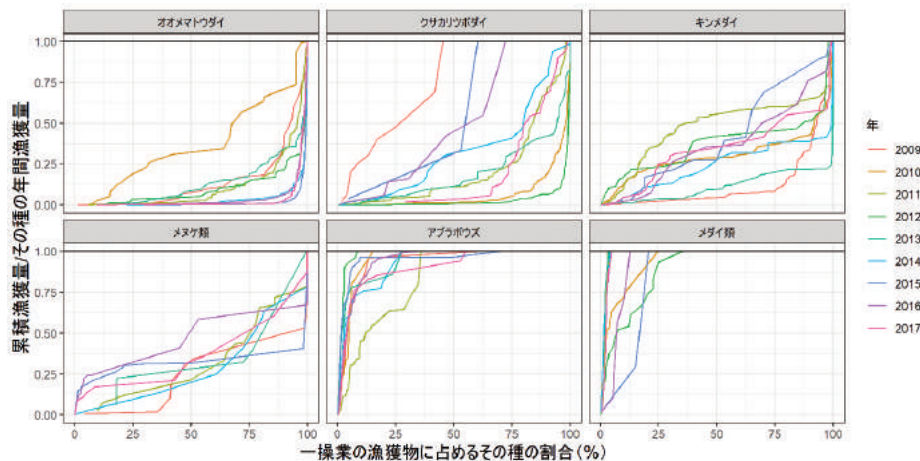


図3. 狙い対象種判定用のプロット（底刺網）。漁獲量の少ない一部の混獲種、種不明の報告は省略。

法です。たとえば説明レベルを90%にするとしたら、キンメダイ総漁獲量の90%をカバーできるような基準を、狙い操業とみなす基準とします。具体的な手順で説明しましょう（数値は仮想のものです）。ある年に、キンメダイが100トン獲れていたとします。キンメダイ100%の操業だけを合計すると、そのような網はあまり多くないので、1トンにしかありませんでした。キンメダイ99%以上の操業だけを合計すると、他魚種が少し混ざる操業もカウントされるので、5トンとなりました。少しずつ基準を緩めながらこの計算を繰り返していくと、キンメダイ80%以上の操業で計算したときに、合計が90トンとなったとしましょう。100トンのうち90%がこれで説明できたので、説明レベルを90%とするならば、この年のキンメダイ狙い操業を判定する基準レベルは80%となります。言い換えれば、キンメダイが80%以上を占める操業だけを考えれば、キンメダイ漁獲量の90%が「説明」できるので、説明レベルを90%としたときの基準レベルは80%となるわけです。キンメダイの占める割合が80%未満の操業は、キンメダイ狙いでない操業とみなして計算から除外します。説明レベルによって定められた基準レベル、すなわち「説明基準レベルExplanatory Qualification Level」が80%となります。

説明レベルを決めれば、基準レベルをデータから決めることができました。では、説明レベルはどう決めればよいのでしょうか。残念ながら、ここは任意に決めるしかありません。Biseau博士は75%または90%という値を提案しているので、今回の解析ではそれに従い、この2つの値を使いました。説明基準レベルは魚種によって異なり、狙っても他魚種が混ざりやすいような魚種では低くなることもあります。そのような場合、同じ操業が複数種の狙いとして判定されてしまうことがあります。そういった操業は除いて、それぞれの魚種についてその種だけを狙ったと判定された操業だけをCPUEの計算に用います。トロールについては曳網時間、底刺網については反数を努力量の指標に、努力量あたりの漁獲量を計算します。なお、底刺網については一網あたりでなく一日あたりの漁獲量のデータしかないなので、一日を一操業とみなして計算しました。

CPUEの増減

それでは、CPUEの計算結果をお見せしましょう。2つの説明レベル（75%と90%）で計算したdirected CPUEと、すべての操業を合計して計算した見かけのCPUEをグラフで示します（トロール：図4、底刺網：図5）。CPUEはあくまで資源量の指標なので、重要な

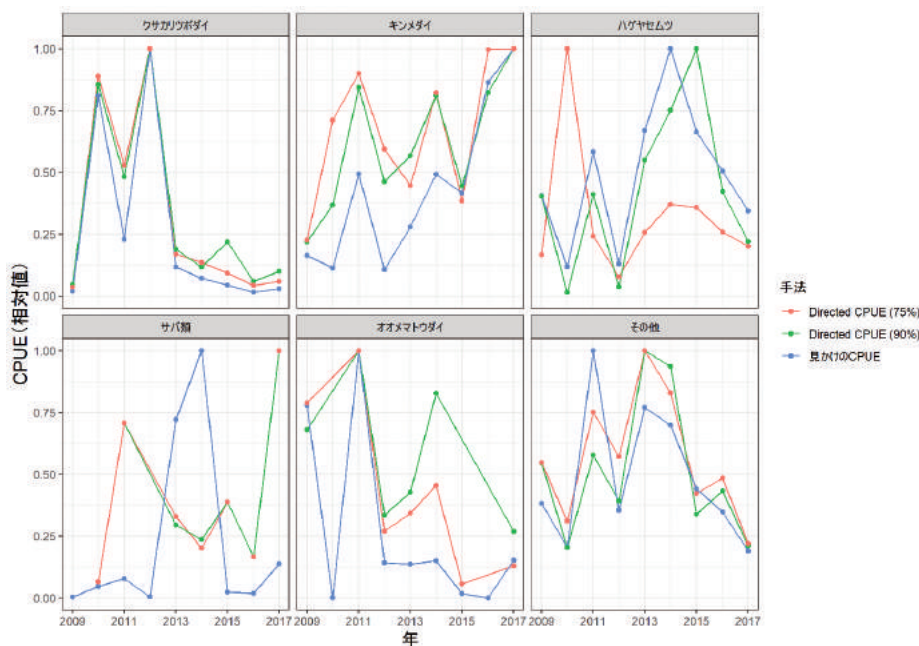


図4. 各魚種のCPUE（トロール）。説明レベルを変えた2種類のdirected CPUE（赤と緑）と、何も補正していない見かけのCPUE（青）を图示。

のは増減であって値そのものではありません。そこで、増減傾向の比較がしやすいように、計算方法ごとに最大値の年を1とする相対値をプロットしました。魚種によっては、いくつかの年に対応する点が抜けていますが、これはその種だけを狙ったと判定される操業がなく、CPUEが計算できなかったことを意味します。

まずはクサカリツボダイからみてみましょう。トロール（図4）でも底刺網（図5）でも、directed CPUEと見かけのCPUEの間で、増減傾向はほとんど変わりません。どの方法を使っても、卓越加入のあった2010年と2012年にCPUEが急増し、その後は低迷しているという資源の現状を反映した傾向になっています。この種については、手間をかけて狙いを補正しなくても、あまり問題はなさそうです。しかしほかの種はそうではありません。トロールのキンメダイを見てください。見かけのCPUEは2010年と2012年に低く、2013年以降は急増しているように見えますが、2つのdirected CPUEはジグザグに増減していて、一貫した増加を示してはいません。また、底刺網のオオメマトウダイでは、見かけのCPUEは2011年から2015年まで増加し続けていますが、directed CPUEの傾向はやはりそれほど一貫していません。これらの魚種について、もし見かけのCPUEを使って資源を評価したら、資源動向を現実よ

りも楽観的に見積もってしまうかもしれません。

狙いの変化を見つける

狙い操業がCPUEの増減傾向に与える影響は種によって異なり、クサカリツボダイでは狙いを補正しなくてもあまり影響はありませんが、キンメダイ・オオメマトウダイでは大きな影響がありました。なぜこのような違いが生じたのでしょうか。クサカリツボダイは最も優先して狙われる、漁業者にとって、いるならば獲りたい魚です。しかし同時に、大きなサイズでの卓越加入と高い漁獲圧により、資源量が最も大きく変動する魚でもあります。クサカリツボダイに対する狙い操業の強さは、クサカリツボダイ自身がどれくらいいるかによって決まります。クサカリツボダイがいない年には、クサカリツボダイへの狙い操業は減りますが、何も獲らないわけにはいきません。漁業経営を支えるために、キンメダイやオオメマトウダイといった他の魚種に対する狙い操業を増やすのでしょうか。

このような狙いの変化は、図2・図3のグラフからも読み取ることができます。簡単におさらいすると、狙い対象種では右側近くで急増する指数関数型かS字型、混獲種では左側で急増してすぐに頭打ちする飽和型の曲線になるものです。もともとは魚種ごとに全体的な

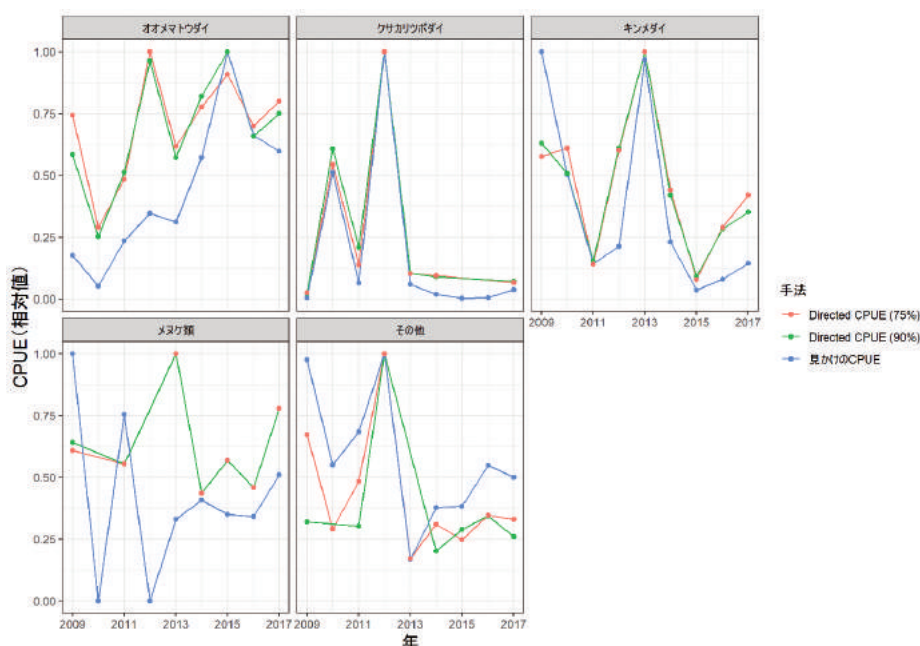


図5. 各魚種のCPUE（底刺網）。説明レベルを変えた2種類のdirected CPUE（赤と緑）と、何も補正していない見かけのCPUE（青）を图示。

パターンを見るために書いた図ですが、今度は年ごとに詳しく見てみましょう。図2のクサカリツボダイを見ると、卓越加入のあった2010年・2012年に非常に極端な指数関数型（右端での急増）を示しています。一方で、漁獲量が低迷している2016年などは、ほとんど混獲種のような飽和型に近いカーブになっています。それに対してキンメダイを見ると、クサカリツボダイの豊富だった2010年・2012年には弱い指数関数型になっていて、クサカリツボダイの乏しい2016年には強い指数関数型になっています。キンメダイが多いか少ないかではなく、クサカリツボダイが多いか少ないかによって、クサカリツボダイ・キンメダイ2種の狙い操業の強さが変わります。この非対称性は、前の段落で述べたように、クサカリツボダイは最も優先して漁獲されるが、最も変動の大きい魚種であるためであると考えられます。

「そのときに多い魚種を狙って漁獲する」という漁獲戦略は「スイッチング漁獲」と呼ばれ、変動する資源を有効に活用する方法のひとつとされています（勝川 2007）。しかし、自発的な狙いの変化がうまく持続的なスイッチング漁獲になるとは限りません（Katsukawa & Matsuda 2003）。最悪の場合、資源を順に崩壊させる「連鎖枯渇」を引き起こしてしまうおそれもあります。とくに天皇海山においては、特異な生活史を持ち資源変動の非常に大きいクサカリツボダイが優先漁獲種で、その代替となるキンメダイやオオメマトウダイは長い時間をかけて成長・成熟するゆっくりとした生活史を持つと考えられています（キンメダイ：亘ら 2017; オオメマトウダイの近縁種：Stewart et al. 1995）。このような生活史を持つ魚種は海山の底魚類に多いのですが、そのために漁獲圧に対して脆弱であると考えられています（Morato et al. 2006）。クサカリツボダイの卓越加入を待つ間に、他の魚種を乱獲してしまわないよう、慎重な漁業管理が求められます。

実は、クサカリツボダイが枯渇するとキンメダイが狙われるというパターン自体は、天皇海山漁業の関係者なら感覚的にわかっていたことです（西田 2016）。今回の解析はある意味、直感的にわかっていたことを改めて示したにすぎません。しかし、それは無意味ということではありません。データから客観的な手法で

示したことで、国内外の科学者・行政官・漁業者で議論するための共通の基盤として使うことができるようになりました。

解析の問題点

今回の解析で狙い操業の影響を補正した資源量指数を算出できました。しかし、そうして得られた資源量指数から資源量とその動態を推定する段階には、残念ながら至っていません。その原因はいくつかありますが、大きくデータの問題と、手法の問題に分けて説明しましょう。

データの問題は、何よりもまず最近のデータしかないことです。数年間だけの変動から資源動態を推定しても信頼できる結果は得られないでしょう。また、とくに漁業が始まった当初のデータは、漁獲の影響のない状態に最も近く、資源動態を推定するうえで重要です。古い時代の高精度のデータがないのは、解析を進めるうえで大きな問題です。もう一つの問題は、近年のデータにも疑問があることです。2017年に、一部の日本籍漁船から報告されている漁獲量が実態と乖離していることが発覚しました（Technical and Compliance Committee 2018）。水産庁と業界団体の尽力により2010年以降の合計漁獲量は修正されましたが、今回の解析で用いた詳細なデータの修正には至っていません。

今回用いた方法は、漁獲物組成という基礎的なデータから簡便に計算できるという点では優れていますが、いくつかの欠点があります。大きな問題は、各魚種の狙い操業と判定されなかったデータを切り捨てる必要があることです（Okamura et al. 2018）。このため、魚種・年によっては計算に使われる操業数が極端に少なく、結果の信頼性に疑問が生じます。場合によってはそもそも計算できないことすらあります。また、説明レベルを変えた場合など切り捨て方によって結果が変わってしまいますが、どのような切り捨て方がよいのかを客観的に判断できる方法がありません。近年よく使われる「モデル選択」という枠組みがありますが、これは同じデータへのモデルの当てはまり具合をみるものなので、使うデータが異なる場合には適用できないのです。もう一つの問題は、狙い以外の要因、たとえば場所や季節、船などによるCPUEの違いを補正できていないことです。今回の結果で得られた資源量指

数は、実際に大変動するクサカリツボダイ以外の魚種については、変動が激しすぎるように思われます。この原因は、年によって異なる狙い以外の要因を補正できていないためかもしれません。このような補正には、統計学的な「CPUE標準化」の手法がよく使われていますが（庄野 2004）、directed CPUEと標準化をどう組み合わせられるのか、はっきりしていません。狙い操業を考慮したCPUEの計算手法はほかにもいくつか提案されていますが（馬場ら 2012; Hiraoka et al. 2016; Thorson et al. 2017; Okamura et al. 2018など）、必要なデータ、想定する状況、計算の複雑さなどがそれぞれに異なっています。漁業ごとに適した方法を慎重に検討すると同時に、他の方法とのクロスチェックなどを行い、さまざまな観点から結果の妥当性を評価する必要があります。

狙い対象種のCPUEしか計算されていないことにも注意が必要です。利用される混獲種については「その他」としてしか扱えませんし、投棄される種についてはそもそも解析対象に入っていません。さらに複雑なことに、さまざまな事情で同じ魚種でも投棄されたり水揚げされたりすることもあります。NPFCCの科学オペレータープログラムでも投棄魚の報告はありますが、投棄される魚の量を見積もって記録するため、製品重量から換算して求められる水揚漁獲物のデータとはどうしても精度が違ってしまいます。解析の都合で言えば、得られるデータの性質が違えば別々に扱うのはある意味で自然です。しかし、個体群に与える影響という観点では、狙って獲れても混ざって獲れても、水揚げされても投棄されても、同じだけの個体数が死んでしまうのであれば違いはありません。漁業を支えるだけでなくさまざまな生態系サービスをもたらしてくれる海洋生態系を健全に保つためには、主要な漁獲対象種だけでなくもっと多様な生きものたちに目を配らなければなりません、今回の研究ではそこまで至っていません。

狙いの変化は過去にもあった？

天皇海山漁場が開発された1960年代後半から70年代前半までの間、クサカリツボダイだけが大量に漁獲され、キンメダイの漁獲はごくわずかでした。1975年ごろ、クサカリツボダイの漁獲量が急減したのと同時期

に、キンメダイの漁獲量・CPUEが急増していますが、その数年後にはキンメダイの漁獲量・CPUEも大きく減少しています。2008年に天皇海山キンメダイの資源評価が行われたとき（水産庁 2008a）に、この急変が問題になりました。一般的な資源変動のモデルでは、この変化をうまく説明できなかったのです。その際には、1980年前後に何か環境の変化があり、キンメダイの資源変動パターンがこのときだけ違っていただけと仮定することでモデルを当てはめています。しかし、ここまで読まれた方ならお気づきでしょう、この変化も狙いの変化で説明できるのではないかと、私は考えています。クサカリツボダイの減少とともにキンメダイへの狙い操業が急増したことで、資源の変動とは無関係に、キンメダイの漁獲量が増えたと考えるほうが自然でしょう。かつて天皇海山の資源を研究していた佐々木喬博士も、同様の指摘をしています（佐々木 1985）。2008年の資源評価でも、独自の方法（努力量をクサカリツボダイとキンメダイの漁獲量対数比に応じて案分する）で狙いの補正を試みてはいるのですが、近年のデータを使った試算によると、この方法では見かけのCPUEとほとんど同じ傾向になってしまい、激しい狙いの変化を補正しきれものではなさそうです（澤田ら 2017）。

生態学から考える

質と量の異なる複数の資源があるとき、どれをどのように利用すべきか？私は行動生態学の出身なので、こう問われると「最適採餌戦略」という言葉をすぐに連想します。この枠組みで研究される問題の一つが、動物が質の高い餌だけを選び好みして食べる「専門家」になるか、目についた餌を幅広く食べる「何でも屋」になるかを調べるものです（本間・西田 2012）。この問題と、一番獲りたい魚だけを選んで獲るか、それとも魚群を見つければいいまいちな魚でも狙うのかという問題は、本質的には同じものです。詳細な検討はこれからですが、行動生態学の理論をうまく使えば、資源の変動に対する狙いの変化を予測できるようになるのではないかと私は考えています。

次に考えられるのは、そのような狙いの変化が魚類群集に与える影響です。先ほどスイッチング漁獲について述べましたが、同じように「スイッチング捕食」

という概念が生態学で提唱されています（実は、スイッチング捕食のほうが先にあって、それを水産学に導入したのがスイッチング漁獲です。Katsukawa & Matsuda 2003）。スイッチング捕食は餌となる生物群集の多様性を保つ可能性があるといわれ、さまざまな研究が行われています（石井・嶋田 2007）。漁業者／捕食者による狙いの変化という概念を鍵として、水産学と生態学の研究成果をまとめ、両方の分野を発展させていくことができるかもしれません。

NPFCでの多魚種資源管理

今回の解析では、資源量指数に基づく資源動態の推定というもともとの目的には到達できていませんが、狙いの変化とそれによる資源量指数のバイアスを客観的な手法で明らかにすることができました。そこで、この解析結果のうちトロールの部分について、NPFCの第2回クサカリツボダイ小科学委員会（2017年、上海）で発表しました（Sawada et al. 2017）。この委員会は名前通りクサカリツボダイだけを扱うものでしたが、今回の結果を踏まえれば、クサカリツボダイ一種だけに着目した管理には問題があります。たとえばクサカリツボダイに厳しい漁獲量規制を行えば、キンメダイやオオメマトウダイを狙った操業が増え、後者の資源状況を悪化させてしまうかもしれません。クサカリツボダイ以外の魚種を考慮することなく管理措置を導入するのは、多魚種漁業である天皇海山底魚漁業の持続性にとって、またそれを支える天皇海山の生態系にとって、非常に危険です。そこで、この委員会は2018年から底魚類小科学委員会と改称され、クサカリツボダイだけでなく幅広い底魚類を扱うことになりました。

いま、天皇海山底魚漁業の管理は大きな転換期を迎えています。2017年には、アメリカがクサカリツボダイの資源状況を憂慮し、管理措置が導入されるまでのクサカリツボダイ・キンメダイの禁漁提案を予告しました（提案したのではなく提案を予告した、というのが、国際的な駆け引きの複雑なところですが）。それに応じて日本は加入の多寡に応じたクサカリツボダイの漁獲量調節とキンメダイの小型魚を保護するための漁具規制をセットにした管理措置を提案しました。この管理措置は日米の共同提案として2018年に採択

（North Pacific Fisheries Commission 2018）され、この原稿を書いている2019年1月、まさにスタートしたところです。これらの議論はもともとクサカリツボダイの漁獲量低迷から始まったのですが、代替的に漁獲される種としてキンメダイも考慮に入っています。私たちの研究が複数種を同時に考慮した管理を導入する一助になったとすれば、研究者としては嬉しいものです。とはいえ喜んでいられるばかりではなく、導入された措置が漁業と資源をどう変えていくのか、注意深く見守っていかなければなりません。

謝辞・利益相反

本研究は国際水産資源変動メカニズム等解析事業、国際漁業資源評価調査・情報提供事業（水産庁）の一環として実施されました。

参考文献

- 馬場真大・井上祐里奈・井上誠章・原田泰志・藤原邦浩・廣瀬太郎・養松郁子 2012. 日本海底びき網漁業対象資源の動向把握手法の検討. 日本海ブロック試験研究集録 45: 82-83.
- Biseau, A. 1998. Definition of a directed fishing effort in a mixed-species trawl fishery, and its impact on stock assessments. *Aquat. Living Resour.* 11, 119-136.
- 本間淳・西田隆義 2012. 採餌, 捕食回避. 日本生態学会(編) 行動生態学. 共立出版 pp. 17-48.
- 石井弓美子・嶋田正和 2007. スイッチング捕食は多種共存を促進するか?: 理論とその実証. 日本生態学会誌 57(2): 183-188.
- 一井太郎 2016. 北太平洋漁業委員会 (NPFC) 発足. *ななつの海から* 9: 9-12.
- 上村泰洋・川端淳・米崎史郎・高橋正知・由上龍嗣・渡邊千夏子 2017. 天皇海山海域におけるゴマサバの生物学的特性. *水産海洋研究* 81(1): 18-28.
- 勝川俊雄 2007. 水産資源の順応的管理に関する研究. *日水誌* 73(4): 656-659.
- Katsukawa, T., Matsuda, H. 2003. Simulated effects of target switching on yield and sustainability of fish stocks. *Fish. Res.* 60(2-3): 515-525.
- Kiyota, M., Nishida, K., Murakami, C., Yonezaki, S.

2016. History, biology, and conservation of Pacific endemics 2. The North Pacific armorhead, *Pentaceros wheeleri* (Hardy, 1983) (Perciformes, Pentacerotidae). Pac. Sci. 70(1): 1-20.
- Morato, T., Cheung, W.W.L., Pitcher, T.J. 2006. Vulnerability of seamount fish to fishing: fuzzy analysis of life-history attributes. J. Fish Biol. 68(1): 209-221.
- 西田一也, 2016. 遠洋底魚漁業と生態系保全のこれまでとこれから: 北太平洋天皇海山海域における底魚漁業をめぐる動向. Wildlife Forum 21: 7-9.
- 西田一也・澤田紘太・米崎史郎・清田雅史 2018. キンメダイ 天皇海山海域. 平成29年度国際漁業資源の現況.
- North Pacific Fisheries Commission 2018. 4th Meeting Report. NPFC-2018-COM04-Final Report. 242 pp.
- 岡村寛・市野川桃子 2016. 水産資源学における統計モデリング. 統計数理 64(1): 39-57.
- Okamura, H., Morita, S.H., Funamoto, T., Ichinokawa, M., Eguchi, S. 2018. Target-based catch-per-unit-effort standardization in multispecies fisheries. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 75(3): 452-463.
- 佐々木喬 1985. 海山における日本のトロール漁業の経過と現状. 水産海洋研究会報 47-48: 161-166.
- 澤田紘太・西田一也・米崎史郎・清田雅史 2017. 激しく変動する資源とその代替資源: 天皇海山の多魚種底魚漁業における狙い操業を考慮した CPUE の計算. 東北底魚研究 37: 95-104.
- Sawada, K., Nishida, K., Yonezaki, S., Kiyota, M. 2017. Application of the directed CPUE method to the multispecies bottom fisheries in the Emperor Seamounts region for the monitoring of stock status and fishing activity. NPFC-2017-SSC NPA02-WP02 (Rev. 1). 14 pp.
- 庄野宏 2004. CPUE 標準化に用いられる統計学的アプローチに関する総説. 水産海洋研究 68(2): 106-120.
- Stewart, B.D., Fenton, G.E., Smith, D.C., Short, S.A. 1995. Validation of otolith-increment age estimates for a deepwater fish species, the warty oreo *Alloctytus verrucosus*, by radiometric analysis. Mar. Biol. 123(1): 29-38.
- 水産庁 2008a. Appendix D: キンメダイの資源評価. Information describing splendid alfonsin (*Beryx splendens*) fisheries relating to the North Western Pacific Regional Fishery Management Organisation. 22 pp.
- 水産庁 2008b. Appendix F: 混獲種の分析. Assessment of associated species. 5 pp.
- Technical and Compliance Committee 2018. 3rd Meeting Report. NPFC-2018-TCC03-Final Report. 83 pp.
- Thorson, J.T., Fonner, R., Haltuch, M.A., Ono, K., Winker, H. 2017. Accounting for spatiotemporal variation and fisher targeting when estimating abundance from multispecies fishery data. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 74(11): 1794-1807.
- 柳本卓 2016. 太平洋のオアシス「天皇海山」とクサカリツボダイの奇妙な生活史. 猿渡敏郎(編) 生きざまの魚類学. 東海大学出版部 pp. 75-94.
- 米崎史郎・清田雅史 2018. クサカリツボダイ 天皇海山海域. 平成29年度国際漁業資源の現況.
- 亘真吾・米沢純爾・武内啓明・加藤正人・山川正巳・萩原快次・越智洋介・米崎史郎・藤田薫・酒井猛・猪原亮・宍道弘敏・田中栄次 2017. キンメダイの資源生態と資源管理. 水研機構研報 44: 1-46.

カツオ仔稚魚分布調査 — 加入量変動と初期生残過程の解明に向けて —



国際水研かつお・まぐろ資源部
清藤秀理・大橋慎平・田中文也・青木良徳・藤岡 紘・青木暁子・南 浩史
国際水研外洋資源部
増島雅親・岡崎 誠

はじめに

カツオに関する話題提供は今回で4回目になります。これまでは主に漁業から得られた情報に基づいたカツオ成魚を中心に話題提供してきました。前号(第15号)では国際水産資源研究所漁業調査船「俊鷹丸」宮崎船長により、平成29年に実施されたインドネシア群島水域でのカツオ仔稚魚・幼魚調査の様子とその実施に向けた一連の手續きに伴う様々なエピソードとともに紹介されました。本号では、インドネシア群島水域での調査も含めた2012~2018年の過去7年間に熱帯域・亜熱帯域を中心としたカツオ仔稚魚・幼魚分布調査について、これまでの歴史的経緯と合わせて紹介します。かつお・まぐろ類の初期生活史を対象とした調査研究の歴史は長いですが、かつお・まぐろ類の分布域が広大であることから、その理解は意外にも進んでいませんでした。本稿では、資源学・水産海洋学分野で主要な研究項目となる親仔(再生産)関係、加入量変動、初期生残過程に関連した内容になります。

カツオの成長段階

調査について紹介する前に、今回の研究内容紹介がどの生活史を対象としているかを明確にするためにカ

ツオの成長段階を整理します。図1にカツオの成長段階(ふ化後のサイズと日数)と採集方法を合わせて示しました。私たちの多くが“カツオ”と聞いて想像するのは、お腹の前部から尾部にのびる数本の縞模様があり、黒潮に乗ってやってきて一本釣船で釣られるカツオでしょう。カツオが卵から孵化し、成魚に至る成長段階を意識する人はほとんどいないと想像します。カツオも人と同じく幼少期を経て大人になります。どの種にも当てはまることですが、成長段階を言葉として定義することは難しく、人の場合は便宜的に生年月日から1年を加算する暦年齢とするのが一般的です。魚の正確な生年月日を特定することはほぼ不可能なため、一般的には「年齢形質」と呼ばれる部位を調べることで年齢を推定します。この年齢形質は、鱗、脊椎骨、耳石(炭酸カルシウムの結晶)などに現れます。成長段階は、年齢(日齢)とともに、卵、ふ化後の卵黄吸収の有無、卵黄吸収後の形態学的な特徴や生殖腺の成熟状態に基づいて定義されます。本稿では、混乱を避けるためにカツオの成長段階を以下のように定義し、体長範囲(ふ化後の日数)を合わせて示します。これらは、田邊(2002)が示した発育段階を基に作成しました。

卵	仔魚	稚魚	幼魚	未成魚	成魚(産卵親魚)
孵化後サイズ	0.1-1.0 cm	1-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40cm ~
孵化後日数	10日以下	約10-40日	約40-90日	約90日-1年	1年以上
実験室 人工孵化・飼育	調査船 2mリングネット 中層トロール	調査船+漁業 調査船では採集が難しい	主に漁業 竿釣・まき網・ひき縄など		
資源評価ではほぼ議論されない 加入量・親仔関係			サイズ別・年齢別尾数 成長・成熟		

図1. カツオの成長段階、サンプリング方法と資源評価での対応項目。

仔魚：ふ化後約1.0cm未満（ふ化後10日以下）。
卵黄吸収され、鰭を支える鰭条数が定数に達するまでの段階。遊泳力はほぼ無い。

稚魚：体長1.0～10cm未満（ふ化後10～40日）。
鰭を支える鰭条数が定数に達し、カツオの形態的な特徴が発達する初期の段階（腹部の銀白色化など）。

幼魚：体長10～20cm未満（ふ化後40～90日）。
カツオの形態的な特徴を有するが、カツオ特有の縞模様は見られない。

未成魚：体長20～40cm未満（ふ化後90～1年）。
生殖腺は未発達で産卵に寄与できない。

成魚：体長40cm以上（ふ化後1年以上）。生殖腺は発達し、産卵に寄与できる。

仔魚と稚魚の採集とその結果については次章に紹介します。未成魚と成魚は漁業から情報を得ることが可能ですが、幼魚についてはこれまでの調査船調査による採集尾数が少ないことに加えて、日本の主要な漁業でも漁獲対象となりにくく、標本数が少ないのが現状です。成長段階の違いによる分布様式の把握や成長分析のためには幼魚の採集は必要であり、この必要性は飯塚ら（1989）によっても指摘されていました。彼らは、刺網による幼魚の採集を試行しましたが、十分な成果を得られませんでした。我々の調査でも彼らの方法を若干改良した採集深度を変更できる刺網に使用により試行しましたが、残念ながら十分な成果を得るこ

とができませんでした。漁具設計の検討も必要ですが、カツオ幼魚が調査船によって採集されにくい理由として、幼魚が採集漁具からの逃避してしまうことが挙げられます。また、漁獲対象となりにくいのは未成魚・成魚とは異なる分布様式のため発見されにくい、あるいは売り上げを意識して漁獲しない漁業者の心理などが考えられます。

熱帯域・亜熱帯域におけるかつお・まぐろ類仔稚魚分布調査の歴史

カツオ仔稚魚・幼魚の採集方法の確立を含めた初期生態に関する研究については、田邊（2002）に詳しくまとめられています。抜粋しますと、カツオ仔魚は、大正末期から昭和初期にプランクトンネットで採集されたのがはじまりとされており、1960年代まで開口部直径1mのプランクトンネットを使用して、主に日本と米国が調査を実施してきました。その中でも特筆すべき成果は、図2に示したように、西川ら（1985）が太平洋、大西洋、インド洋の広範な海域を口径1.4～2.0mのネットにより採集したかつお・まぐろ類仔稚魚分布を季節別・海域別にまとめたことです。この図から、カツオの仔魚は周年にわたって熱帯域と亜熱帯域（北緯10度～30度の海域）で、第2・3四半期の南西諸島付近に出現すること、第3四半期の太平洋側の35°N付近まで拡大することが明らかになりました。この結果から、カツオ仔魚の出現はふ化後数日であることと遊泳能力が低いこと（上柳、1979）を考慮すると、

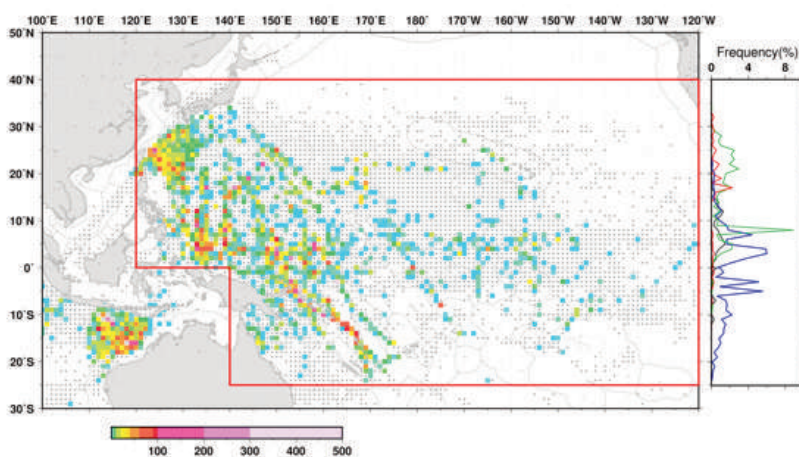


図2. (左) カツオ仔魚採集尾数の水平分布 (Nishikawa et al., 1985を改変)。個体数は寒色から暖色にかけて増加する。(右) 四半期別の緯度別採集尾数頻度 (n=13,248個体。黒：1～3月、緑：4～6月、赤：7～9月、青：10～12月)。描画には1953年～1989年に採集され、整理されたデータを利用

仔魚出現海域はほぼ親魚が産卵した海域である可能性を示唆しています。

一方、仔魚よりも大きいサイズの稚魚の採集は1960年代からトロールネット類によって開始されました。しかし、仔魚の調査のように分布の特徴を明らかに出来るほど多くの標本は得られませんでした。これを解決するために、田邊（2002）はカツオ稚魚・幼魚の遊泳能力を考慮した採集器具として大型中層トロール網の利用を考案し、これにより効率的なカツオ稚魚・幼魚の採集ができるようになりました。現在使用している表中層トロール網の全長は約96m、改良型TANSYU-2型と呼ばれており、投網・揚網も大掛かりになりますが、ワープ長と船速を調整することにより所定の深度を高速で曳網できるのが特徴です。このトロール網を使用した2012～2018年までの調査で採集されたカツオ稚魚の尾数を図3に示します。図2で示した仔魚分布で確認できたような水平的な特徴は認められず、むしろ局所的にパッチ状に分布する傾向が示唆されます。これまでの調査の結果、カツオ稚魚は深い深度に分布していること、深度によって採集されたサイズが異なり、浅いほどバラツキが大きく、深いほど一定サイズの稚魚が多くなる傾向が明らかとなってきました。表面で産み出された卵が受精し、約24時間でふ化し（上柳、

1979）、生息域は仔魚期には浅く、徐々に生息域が深くなり、稚魚へ成長することが示唆されます（図4）。また、浅い深度でサイズにバラツキが見られるのは、仔魚よりも大きいサイズでかつ遊泳力を持った稚魚や幼魚が混在している可能性を示唆しています。稚魚の採集深度が深くなる要因については、初期成長様式と鉛直的な海洋構造との関係を考慮した生残過程を明らかにすることが必要と考えています。

初期生活史と資源評価

水産資源の変動は、単純に死亡する量と加入する量の変化として捉えることが基本となります。カツオの場合、死亡量は漁獲対象になっている主に未成年および成魚の漁獲や飢餓、被食により決まり、加入量は親魚の産卵量及び仔魚の生残量により決まります。資源状態を決定する科学委員会では、加入量の変動要因や初期生残過程を議論することはほとんど無く、親魚量と加入量を算出することが最も重要になります。この親仔関係は、水産資源解析分野では再生産関係と呼ばれ、資源量を推定するための重要な概念になります。

年齢を考慮した資源評価モデルでは、生活史をこれまでの知見に基づいて定義する必要があります。中西部太平洋のカツオの加入量は、1四半期齢（孵化後約3ヶ

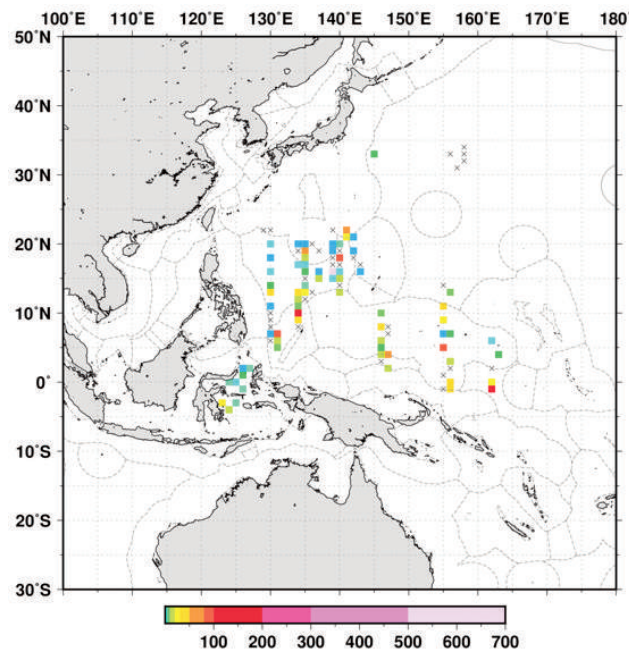


図3. 2012年から2018年までの俊鷹丸調査中層トロールによるカツオ稚魚尾数の水平分布。他国EEZでの調査については、北マリアナ（2015年）、ミクロネシアEEZ（2012, 2013年）、パラオEEZ（2015, 2018年）、インドネシア群島水域（2018年）で実施。色合いは図2と同じ。

月)の魚の量と定義されており、現在の成長式に当てはめると体長約10cm程度になります。これは、上述した成長段階の「仔魚と稚魚」にあたります。産卵は周年行われていると仮定し、それぞれの四半期の最初に加入する設定になっています。資源評価の作業では、再生産に係る部分は単純なモデルで対処し、ベバートン・ホルトモデル(ある産卵親魚量まで親魚量の増大とともに加入量は増大するが、ある親魚量から加入量は一定値に漸近する)が採用されています。これまでのカツオ資源量推定結果からは、低い産卵親魚量と加入量を経験したことが無く、この再生産関係のモデルが妥当かどうかについて検討する材料が少ないのも事実です。

水産資源分野では、再生産関係をモデル式で表す場合、専門用語で“スティープネス (steepness)”と呼ばれるパラメータが必要になります。スティープネスは、親魚量が初期資源量の20%の時に期待される加入量と初期資源量に対応する加入量の比と定義されます。このスティープネスを適切に推定できないとMSY(最大持続生産量)の推定精度が下がることにつながります。これは、管理基準値の算出、それに基づいた管理勧告の作成にも影響を及ぼします。中西部太平洋かつお・まぐろ類委員会では、限界管理基準値の採用条件として、このスティープネスが推定できている場合と

できていない場合、できていない場合は生活史(自然死亡率や成熟率)や漁業の変化(選択性)の理解を考慮してレベル1~3に区分しています(<https://www.wcpfc.int/harvest-strategy>)。また、中西部太平洋のカツオの場合、スティープネスを推定するための情報量が少ないこと、生活史と漁業変化の理解が不十分であることからレベル3に位置付けられており、限界管理基準値は漁業がないと仮定した場合の産卵親魚量の20%と定義されています。なお、このスティープネスの値は中西部太平洋カツオ資源評価モデルの設定では、他の熱帯性まぐろ類であるメバチとキハダと同じ値を採用しています。

このように、資源評価モデルに仔魚・稚魚分布様式や初期生残過程を明らかにするための調査結果が積極的に適用されないのは、資源評価の作業は資源量の推定が大目的であり、初期生残過程などのプロセスを考慮することで資源量推定精度の不確実性が高くなり、合意形成をより難しくする可能性が挙げられます。しかしながら、調査で得られた情報を良く検討した上で、推定された加入量について正しい情報を提供すること、あるいは初期生残過程を明らかにすることで仔魚・稚魚の自然死亡率の推定に貢献できることが期待されます。この加入量の問題は、資源学分野では親仔関係含めて現在でも活発に議論されており(例えば、

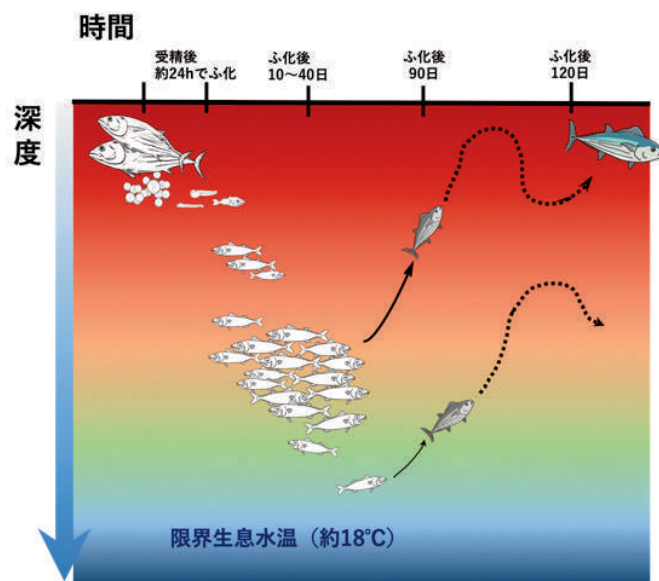


図4. カツオ成長段階ごとの生息深度に関する仮説を模式化。カツオは海面付近で産卵していると仮定。自然下での産卵行動の観察事例は無い。人工飼育実験では受精後約24時間でふ化し、その際の体長が約2.4mm程度と報告されている(上柳ら、1979)。2017~2018年の俊鷹丸調査では同一観測点において30~200mを2~3日間かけて曳網した結果、稚魚は深い層で多く出現した。

Schwach, 2014; Pepin, 2016)、これらの議論に貢献できるような調査の組み立てとその結果の活用が必要と考えています。

調査船調査の必要性

調査船による調査は、労力も費用もかかるため、調査そのものの理解だけでは無く、結果が得られるのにも時間がかかります。西川ら(1985)が示したかつお・まぐろ類の仔魚分布図は今でも解析に利用されており(例えば、Reglero *et al.*, 2014)、長期的なデータ収集と蓄積の視点に立ったサンプリング計画が必要と考えています。また、かつお・まぐろ類のような高度回遊性魚類の仔稚魚分布様式や初期生残過程を明らかにするためには、他国EEZに及ぶ海域での調査が必要になります。2017年に実施したインドネシア共和国群島水域への入域は、これまでのEEZ内における調査から一歩踏み込んだ調査でした。過去に経験のある他組織のわずかな情報と科学委員会のテーブルイクでの会話から調査実現へのきっかけを作ることができました。この調査航海では、乗船したインドネシア調査員や水産試験場研究員とは太平洋のカツオ初期生活史について問題意識を共有できたことも良い機会だったと考えています。また、彼らは指定した深度でトロールを曳網する俊鷹丸の高い技術に感嘆し、清潔で充実した船内設備に感心し、イスラム教徒であるインドネシア研究員に配慮した食事に感謝していました(写真1)。水と燃油の補給のための寄港地のBitungでは、地元の魚市場を見学し、地先で獲られている魚を知ることもできました(写真2)。このような調査は、国際的な科学委員会における資源評価の議論と並び、他国の研究者と問題意識を共有するために必要と考えます。これまで他国EEZでの調査は、北マリアナ諸島海域(米国)、



(写真2) 寄港地Bitungの街並み(左)と魚市場で売られていた魚(右)。

パラオ共和国、ミクロネシア連邦でも実施してきました。調査のみならず、寄港地で異国の生活をほんの一瞬垣間見ることは自らの無知を知る良い機会ともなりました。

最後に、入域には水産庁担当者を始め、水研機構の関係者の多大な労力があってこそ調査の実現に至っていることを忘れず、この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 飯塚景記・浅野政宏・永沼璋(1989) 南方カツオ(*Katsuwonus pelamis* LINNAEUS)の食性とカツオ幼魚の出現状況. 東北水研研報. 51: 107-116.
- 西川康夫・本間 操・上柳昭治・木川昭二(1985) 遠洋性サバ型魚類稚仔の平均分布, 1956 - 1981年. 水産庁遠洋水産研究所浮魚資源部, 1 - 99.
- Pepin, P. (2016) Reconsidering the impossible - linking environmental drivers to growth, mortality, and recruitment of fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 73: 205 - 215.
- Reglero, P., Tittensor, D.P., Álvarez-Berastegui, D., Aparicio-González, A. and Worm, B. (2014) Worldwide distributions of tuna larvae: revisiting hypothesis on environmental requirement for spawning habitats. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 501: 207 - 224.
- Schwach, V. (2014) A sea change: Johan Hjort and the natural fluctuation in the fish stocks. *ICES J. Mar. Sci.* 71: 1993 - 1999.
- 田邊智唯(2002) 西部北太平洋熱帯域におけるカツオの初期生態に関する研究. 水研センター研報. 3: 63 - 132.
- 上柳昭治・西川康夫・松岡玳良(1979) カツオの人工ふ化と仔魚の形態. 遠洋水研報. 10: 179 - 188.



(写真1) インドネシア群島水域調査中のスナップショット(左: リングネットサンプルソーティングと見つかったカツオ仔魚、右: 楽しい食事風景)

ガストロ：南洋の光輝く大型魚の分布・

生活史・資源状況の研究



くろまぐろ資源部 温帯性まぐろグループ 伊藤 智幸

30年前にミナミマグロ漁場の遠洋はえ縄船に乗船した時に印象的だったのは、シケが日常の海で海水を上から下からかぶっても黙々と枝縄をコイルする船員の力強さと、光を反射して強く輝くガストロでした。体長1メートル以上に及び、鱗がやけに大きく、一見では分類不能な魚。日本の近海にはおらず、南十字星が空高くに見えるほど南の海の、そして陸が見えないほどはるか沖合に行かないと出会えない魚です。ここではガストロを紹介し、その分布と回遊、生活史、資源状態についての研究結果をお示しします。

ガストロの姿や名前、おいしいのか？

ガストロでまず目立つのは銀色の大きな鱗です（図1）。はえ縄操業で夜に魚を揚げると船のライトが当たって、ギラギラと光り輝いて上がってきます（ミナミマグロはえ縄操業の理解には勝又（2018）を参照）。額が出っ張り、相対的に眼が下方に付いています。腹ビレがマグロ類のものよりも大きく、腹部に深い溝があって第一背ビレもそうですが外から分からないくらいに完全に収納されます（かつて私は完全に騙されま

した）。小型のガストロでは腹ビレはさらに大きく（体との相対で）、蝶のように広がり、英名バタフライ・キングフィッシュの由来ともなっています。

全体にはマグロ類と似たところがあって、第一背ビレと第二背ビレがあり、尾ビレの形も三日月型で、身体の後半身に小離鱗があります。ガストロはマグロ属と同じサバ科に含まれ、ガストロ属にガストロ1種だけです。研究者によっては、ガストロ1種だけでサバ科の中での亜科を構成すると提唱するなど、サバ科の中でも変わりものです。

学名は*Gasterochisma melampus*ガステロキズマ・メランプス。属名はラテン語で胃にXの字の模様があるという意味で、確かにガストロの胃袋を見ると外側に白い筋がバツテン模様で付いています。標準和名はウロコマグロと言いますが、漁業者の間ではガストロの呼称が浸透しています。

ガストロは食べられます。とびきりおいしいというわけではありませんが、クセはなく、「まぐろミリン漬け」といった加工品として静岡県のスーパーマーケットでは売られています。研究サンプルの残りの肉



図1. ガストロ（上）とミナミマグロ（下）の写真

を竜田揚げにしたらとても美味しかったです。クセがなく大型であるという点からは、メカジキと似た食べ方が良いようです（要するに味付け・ソースしだい）。

ガストロ研究の意義

私のグループではミナミマグロを研究しています。ミナミマグロの産卵場はインドネシアの南沖の熱帯海域にあり、生まれた魚はオーストラリア沿岸で過ごしながらかつて徐々に沖合生活を始めます（国際漁業資源の現況のミナミマグロ参照）。4歳、体長1mくらいになると、完全に沖合生活になり、南緯35度から40度のアフリカ沖からニュージーランドまでの広い海域に分布し、季節的に数千km以上を東西に大きく移動することも分かっています。10歳以上になると、南緯40度の海域から熱帯域の産卵場に行って産卵し、また南の海域に戻ります。ミナミマグロは、なぜこのような大規模な回遊をしたり、なぜ熱帯域に産卵場をもつのでしょうか。その理解のためにはミナミマグロだけを見つめるのではなく、ガストロをはじめとしたミナミマグロと同じ生態系で暮らす他の種類の魚と比較することで、ヒントが得られるかもしれません。

また、国連食糧農業機関（FAO）では1995年に責任ある漁業のための行動規範を定め、その中で漁業は対象魚種だけでなく生態系にも配慮すべきとしています。ミナミマグロ資源を管理する国際機関のみなまぐる保存委員会（CCSBT）においても生態関連種作業部会（ERSWG）があり、日本のはえ縄漁業をはじめとしたミナミマグロ漁業が生態関連種に与える影響を調べるべきとしています。すなわち漁業はミナミマグロ資源が健全ならばそれで良いというわけではなく、影響を受けている可能性のある生物種の保全にも配慮するのが潮流となっています。ミナミマグロはえ縄漁業でミナミマグロの他に主に漁獲・混獲されるのは、ビンナガ、ガストロ、ヨシキリザメ、ニシネズミザメです。ヨシキリザメやニシネズミザメについては研究が進められました（仙波2014）。

ガストロは日本のミナミマグロはえ縄漁業で混獲され、船に保持され、水揚げされていますが、その生態も資源状態も明らかではありません。1972年に国際水産資源研究所の前身である遠洋水産研究所の藁科・久田がミナミマグロはえ縄船の漁獲物から分布と体長を

示しました（藁科・久田 1972）。これが最初で、そして最も包括的なガストロ研究論文でした。その後はブラジルやハワイといった通常の分布域の外側からの発見例が報告されたり（Ito *et al.* 1994; Rotundo *et al.* 2015; Santos and Nunan 2015）、骨格の詳細な研究からサバ科であることが確認されたり（Kohno 1984）、サバ科を含む広い分類群内での分子遺伝学を用いた系統関係の研究に含まれたりしました（Block *et al.* 1993; Collette *et al.* 2001; Miya *et al.* 2013; Qiu *et al.* 2014）。ガストロには耳石が無いとする研究（Gauldie and Radtke 1990）（3種類の耳石のうち礫石だけは存在するが小さく、一般的に年齢査定が行われる扁平石は存在しない。）や脳を温める筋肉があるとする研究（Carey 1982）も発表されていますが、これらでほとんど全ての論文であり、未知の部分が大きい種類です。そうした学術的期待と産業上の課題に好奇心を加えて、ガストロの研究を進めました。

分布・サイズ・産卵場

研究には、20年以上にわたって蓄積された日本のはえ縄漁業の漁獲成績報告書データ（ガストロは1994年から報告対象魚種に含まれた）、ミナミマグロ漁場の科学オブザーバーのデータ、そして1980年代の10年間にわたる海洋水産資源開発センター（現在の水産研究・教育機構 開発調査センター。以下では開発調査センター）の南東太平洋における調査データを使用しました。

日本のはえ縄の漁獲成績報告書データから集計したガストロの漁獲海域を図2に示します。海域ごとに操業回数は大きく異なるので、分布密度を反映できるように漁獲率で示しました。漁場縁辺域は操業回数が少ない場合もあり、漁獲種の記入ミスがあった場合には大きく目立つことになるので、そうした海域のデータは色を変えて慎重な判断が必要な海域として示してあります。ガストロは、太平洋にも大西洋にもインド洋にも、南緯40度付近で周極的に分布していました。ミナミマグロは南東太平洋では少ないのですが、ガストロはここでも分布しました。分布密度の高いところはミナミマグロでは南緯35度ですが、ガストロでは南緯40度と高緯度であり、漁獲時の平均表面水温はミナミマグロが14℃であったのに対してガストロは11℃であり、

ガストロは低温に適応した魚です。

ガストロの産卵場は南東太平洋にあることが分かりました。1987年から開発調査センターが実施した調査はガストロの漁場開発を目的としたものでした。多数のガストロが釣れたものの、価格が安くて経営的には成り立たないと判断され、残念ながら新漁場開発とはなりません。その調査において発達した卵巣を持つ魚を漁獲したことから、ガストロの産卵場がチリ沖に存在することが分かりました。メスは体長140cmで成熟していました。この知見は国内の事業報告書としてまとめられていましたが世界的にはガストロの産卵場は未知とされていました。そこで、開発調査センターの協力を得てデータをまとめ、ガストロの漁場開発調査の首席調査員であった澤田石氏と共著で国際学術誌に発表をしました (Itoh and Sawadaishi 2018)。

ガストロ漁場開発調査のデータとミナミマグロはえ縄船を対象とした科学オブザーバーデータを合わせて解析すると、ガストロの体長(尾叉長)は海域によって違いがあることが分かりました(図2)。ガストロは、アフリカ沖・オーストラリア沖で小さく、南米のチリ沖では大型でした。

ここから、ガストロの生活史を通じた回遊パターンが次のように考えられます。ミナミマグロの漁場(アフリカ沖・オーストラリア沖・太平洋南西海域)で漁獲され、日本にも流通しているガストロは、まだ成熟

していない未成魚です。それが140cmくらいになって成熟すると、ほとんど全ての魚がチリ沖に、産卵のために回遊します。産卵海域は通常の分布域よりも北方の水温の高い海域にあります。チリ沖には180cm以上の大型魚もいることから、一度チリ沖に戻ったガストロは二度とアフリカ沖などには行かずにそこで成長し、その後もこの海域で産卵をするのでしょうか。ミナミマグロの場合も産卵場は北方の高水温域であるインドネシアの南の海域(10S-20S、100E-120E)にありますが、産卵海域に滞在し続けることはなく、南緯40度海域で東西季節移動を行い、若魚と成魚で分布はそれほど異なりません。ガストロが若魚と成魚とで分布域がはっきり違う点は、太平洋クロマグロと共通した分布・回遊パターンと言えます。

資源量・漁獲量

ミナミマグロの資源は、歴史的に大きく減少しましたが、最近、増加してきました。これはCCSBTのメンバー国が漁獲量を厳しく規制してきたことが功を奏しています。特に2011年から運用を開始した管理方式(MP)が効果的に働いています。管理方式は総漁獲枠を算出するアルゴリズムであり、資源回復目標を合意して定めた回復確率以上で達成できるように、資源動態の不確実性を様々にシミュレーションして調整したものです(黒田(2012)、伊藤(2017))。

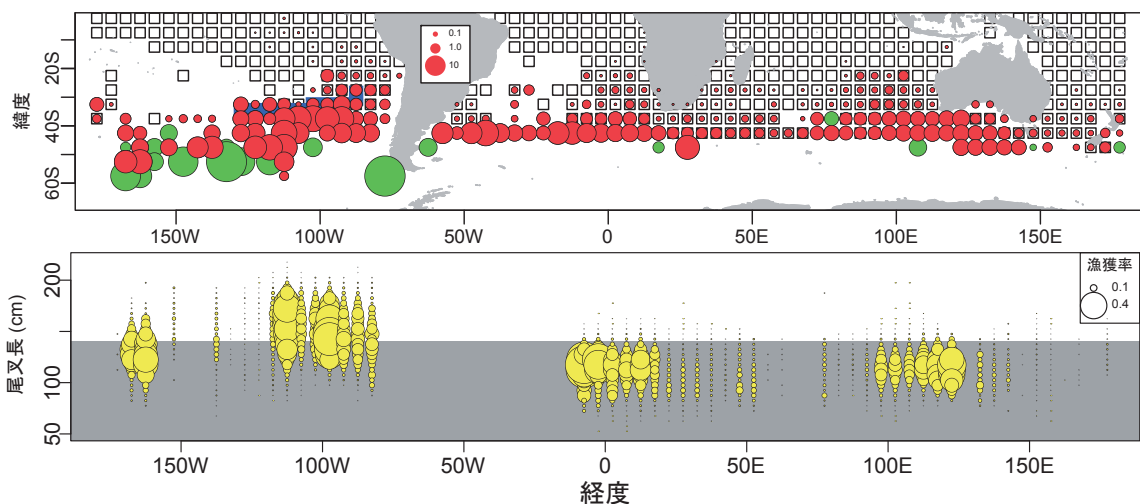


図2. ガストロの分布(上)と経度別の尾叉長(下)。上図で、丸の大きさは緯経度5度区画での漁獲率を表わす。緑色丸は操業回数が少なく慎重な判断を要する場合。四角ははえ縄操業が行われた区画。チリ沖の青色の海域は、発達した卵巣をもったガストロが漁獲された、産卵場と想定される海域。Itoh(2019)を改変した。下図で、丸の大きさは経度5度、尾叉長5cm区分での漁獲率を表わす。メスの成熟体長(尾叉長140cm)で色分けした。

図3ではミナミマグロとガストロの漁獲率（はえ縄の釣り針1000本当たりの尾数）を、日本のはえ縄の漁獲成績報告書のデータを使用して示しています。ミナミマグロの漁獲率は資源状態を反映して大きく減少した後に増加に転じています。一方、ガストロの漁獲率は最近約20年間で横ばいです。（この図ではノミナルCPUEを示していますが、一般化線形モデルで標準化しても類似した傾向が見られました。）

焼津に水揚げされたガストロを調べた藁科・久田（1972）における1969-1970年のデータでは、平均漁獲率（図の赤丸）は約2.3尾／1000針であり、最近20年間で同レベルにありました。1970年は、ミナミマグロ操業が南緯40度海域で開始されてからまだ数年しかたっており、ガストロ資源の開発初期の状態を示していると考えられます。このことからガストロ資源は乱獲されておらず、健全な状態にあると分かりました。

正確な世界の年間漁獲量は知られていません。FAOの統計においても100トンに満たず、日本を含めて未報告が多いと考えられました。そこで、日本の漁獲量を集計し、他国のミナミマグロ漁獲量に日本漁船

のガストロ：ミナミマグロの比を掛けて計算したところ、世界の一年間の漁獲量は600トンから3700トン、平均で約1800トンと推定されました。これはミナミマグロの漁獲量が1万4千トンであるのと比較してかなり少ない値です。

ミナミマグロ漁業による盛んな漁獲圧にも関わらずガストロ資源が影響を受けていない理由には分かりません。例えば、南東太平洋ではえ縄漁場が発達しなかったことから成魚資源が常に保護されていたこと、ミナミマグロ資源では減少の一因でもあったまき網による漁獲がガストロにはなかったこと、ミナミマグロはえ縄操業がミナミマグロを狙って水温・深度・水平分布域を選択しておりガストロの集中分布域とは異なっていた可能性、が考えられます。ただし漁獲率も漁獲量もミナミマグロより低いことから、ガストロ資源は豊富にいるわけではない危険性もあり、今後もガストロの資源状況をモニターしていくべきでしょう。

ガストロ研究への思い

分布・漁獲率・体長をまとめた論文はFisheries

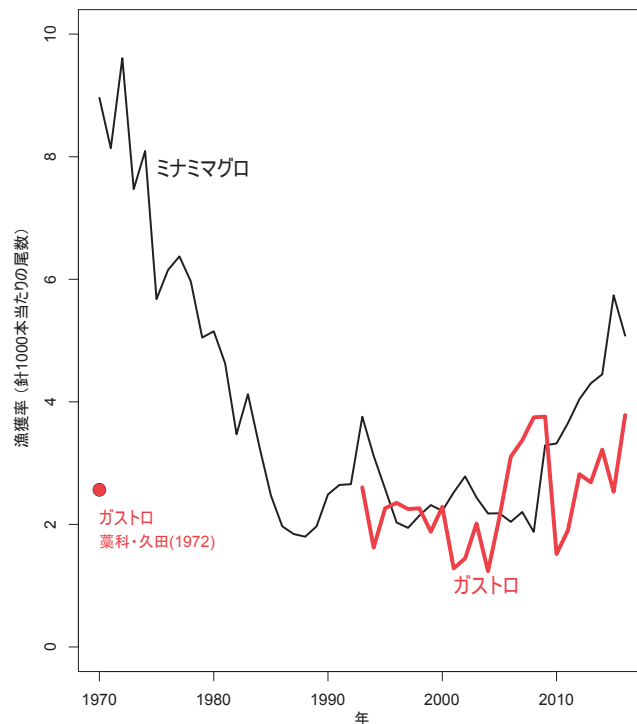


図3. ガストロとミナミマグロの漁獲率の推移。Itoh (2019) を改変した。

Scienceに掲載されました (Itoh 2019)。今後、ミナミマグロとガストロとで共通する部分・異なる部分をさらに掘り下げていけば、南半球高緯度域に生息する高度回遊性魚類についての回遊や生活史について、さらに発見があるのではと期待しています。

個人的には、前記の産業的な重要さに加えて3つの思いからガストロ研究を進めていました。一つ目は、はえ縄船の現場で調査した科学オブザーバーの苦労に対して。科学データは得ただけでは十分には役に立たず、その結果をまとめ科学界の審査を経て世に出し、世界の科学者がその知見を次の研究に活かせるようにしなくてはなりません。科学オブザーバーに調査をさせた我々はその責務をいつも背負っていますので、少しでも荷を降ろせた気がします。二つ目は、開発調査センターのデータを研究的に活かすことができたことです。開発調査センターはガストロを対象とした漁業が商業的に成り立つのか検証することを目的に調査を実施しましたが、得られたデータ・情報には科学的にも重要なものが多くあります。今回のガストロの産卵場もそうした情報の一つです。その情報を、科学的な意義を明確にすることを通じて学術的知見に変えることができます。論文発表で世界に知らしめたことで開発調査センターの方々の払った努力の価値を学術面においても高めることができました。三つ目は、ガストロ研究の先鞭をつけた故人、藁科さんへの敬意です。遠洋水産研究所の焼津事務所において漁況情報収集・魚体測定調査に長年従事した藁科さんには、焼津市場での測定作業の手伝いを通じて魚や漁業について教えていただきました。マグロ類やカジキ類の種判別について聞くと、「顔みりゃ分かるだろうが」と初めに言いながら詳細に教えてくれました。藁科さんが手がけたガストロ研究を引き継いで発展させることができました。ただ、「ガストロなんかやったって、本業のミナミマグロを放っておいちゃだめだろう」と言われそうで、まだまだ進むべき研究の道が長そうです。(本研究は水産庁国際漁業資源評価調査・情報提供事業の一環として実施されています。)

参考文献

Block B. A., Finnerty J. R., Stewart A. F. R., Kidd J. 1993. Evolution of endothermy in fish: mapping

physiological traits on a molecular phylogeny. *Science* 260 : 210-214.

Carey F. G. 1982. A brain heater in the swordfish. *Science* 216 : 1327-1329.

Collette B. B., Reeb C., Block B. A. 2001. Systematics of the tunas and mackerels (Scombridae). In: Block B. A., Stevens E. D. (eds) *Fish Physiology: Tuna: Physiology, Ecology, and Evolution*. Academic Press, San Diego, pp 1-33.

Gauldie R. W., Radtke R. L. 1990. Using the physical dimensions of the semicircular canal as a probe to evaluate inner ear function in fishes. *Comp. Biochem. Physiol. A* 96 : 199-203.

Ito R. Y., Hawn D. R., Collette B. B. 1994. First record of the butterfly kingfish *Gasterochisma melampus* (Scombridae) from the north Pacific Ocean. *Japan. J. Ichthyol.* 40 : 482-486.

伊藤智幸 2017 ミナミマグロの漁獲枠が過去30年間で最高に. *ななつの海から*. 12 : 7-8.

Itoh T., 2019. Biological aspects of the butterfly kingfish *Gasterochisma melampus*: distribution, total catch, size composition and CPUE. *Fish. Sci.* 85 : 285-294.

Itoh T., Sawadaishi S. 2018. Spawning area and season of butterfly kingfish (*Gasterochisma melampus*), a large scombrid adapted to cooler temperate southern water. *Mar. Freshw. Res.* 69 : 16-23.

勝又信博 2018. ミナミマグロ漁場における海鳥混獲調査. *ななつの海から*. 15 : 21-26.

Kohno H. 1984. Osteology and systematic position of the butterfly mackerel, *Gasterochisma melampus*. *Japan. J. Ichthyol.* 31 : 268-286.

黒田啓行 2012. 10年越しの悲願達成: ミナミマグロのTACを決める管理方式が完成しました. *ななつの海から*. 2 : 3-7.

Qiu F., Kitchen A., Burleigh J. G., Miyamoto M. M. 2014. Scombroid fishes provide novel insights into the trait/rate associations of molecular evolution. *J. Mol. Evol.* 78 : 338-348.

Rotundo M. M., Júnior T. V., Van Sebreeck Doria D. M. A. 2015. Report of the butterfly kingfish,

Gasterochisma melampus (Scombridae: Gasterochismatinae) in southeastern Brazil. Panam. J. Aquat. Sci. 10 : 293-296.

Santos S. R., Nunan G. W. 2015. A record of the Southern Ocean *Gasterochisma melampus* (Teleostei: Scombridae) in the tropical south-western Atlantic, with comments on previous records. Mar. Biodivers. Rec. 8:e27.

仙波靖子 2014. 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～. な
なつの海から. 6 : 8-12.

高橋紀夫・伊藤智幸・津田裕一・境磨・黒田敬行 2018.
ミナミマグロ 平成29年度国際漁業資源の現況.

藁科侑生・久田幸一 1972. まぐろはえ縄で漁獲された
Gasterochisma melampus RICHARDSON および
Allothunnus fallai SERVENTY の分布、体長に
ついて. 遠洋水研報. 6 : 51-75.

主な出来事 (平成30年4月1日～平成30年9月30日)

●国際会議

期 間	用 務	出 張 先
4	ISCサメ類作業部会 北太平洋アオザメ資源評価会合 (甲斐)	ラホヤ (アメリカ)
4	ICCAT 大西洋クロマグロMSE会合 (中塚、塚原、木元)	マドリード (スペイン)
4	海鳥混獲データ共同解析ワークショップ (大島、井上 (裕))	モンテビデオ (ウルグアイ)
4	WCPFC資源評価事前会合 (清藤、佐藤 (圭)、青木)	マドリード (スペイン)
4	ICCATメバチ資源評価データ準備会合 (松本、佐藤 (圭))	マドリード (スペイン)
4	調査・研究打合せ (村瀬)	テッセル (オランダ)
4	国際捕鯨委員会科学委員会 (村瀬)	ブレッド (スロベニア)
4	PICES移行域シンポジウム (清藤、青木)	ラパス (メキシコ)
4-5	ISCビンナガ作業部会 (清藤、青木、井嶋)	ラホヤ (アメリカ)
4-5	第67b回IWC科学委員会 (木白、吉田、前田)	ブレッド (スロベニア)
5	南極の海洋生物資源の保存に関する委員会音響調査解析小部会 (村瀬)	プンタアナレス (チリ)
5	IATTC混獲作業部会、第9回科学諮問委員会 (佐藤 (圭)、大島、福田)	ラホヤ (アメリカ)
5	IOTC 管理方式に関する技術委員会および年次会合 (松本)	バンコク (タイ)
5	ICCAT行政官科学者対話 (中塚)	フンシャル (ポルトガル)
5-6	WCPFC/ABNJ漁業混獲問題解決に関するワークショップ (大島、越智)	ヌーメア (ニューカレドニア)
5-6	IOTC CPUE共同解析ワークショップ (松本、佐藤 (圭))	基隆 (台湾)
6	ICCAT生態系混獲作業部会 (大島、井上 (裕))	マドリード (スペイン)
6	PICES/ICES 4th International symposium on The Effects of Climate Change on the World Oceans (小埜)	ワシントン (アメリカ)
6	まぐろ類RFMO合同MSE作業部会 (中塚)	シアトル (アメリカ)
6	CCSBT第9回オペレーティングモデル・管理方式技術会合 (伊藤 (智)、津田)	シアトル (アメリカ)
7	ICCAT 2018年さめ類種別会合 (本多、仙波)	マドリード (スペイン)
7	第4回NPFC年次会合 (木白)	東京都
7	ISC18 統計部会、ビンナガ作業部会、サメ類作業部会およびプレナリー会合 (岡本、中塚、魚崎、清藤、福田、藤岡、甲斐、井嶋、西川)	麗水 (韓国)
7	CCAMLR生態系モニタリング管理作業部会 (村瀬、一井)	ケンブリッジ (イギリス)
7	ICCATめばち資源評価会合 (松本、佐藤 (圭))	パサイヤ (スペイン)
8	WCPFC第14回科学委員会 (岡本、南、中塚、魚崎、清藤、佐藤 (圭)、福田、甲斐、井嶋、越智、青木)	釜山 (韓国)
8	ノルウェー研究所とのRMP実行に関する協議 (木白)	ベルゲン (ノルウェー)
8-9	IATTC第93回年次会合 (南)	サンディエゴ (アメリカ)
8-9	NPFCサンマ資源評価手法に関する検討会 (大島、富士)	台北 (台湾)
8-9	CCSBT第23回拡大科学委員会 (伊藤 (智)、津田)	サンセバスチャン (スペイン)
9	NPFCサンマ資源評価に関する打ち合わせ (大島)	上海 (中国)
9	第14回WCPFC北小委員会 (岡本、中塚、清藤、福田、井嶋)	福岡県
9	インド洋まぐろ類委員会 (IOTC) 第14回生態系混獲作業部会 (本多)	ケープタウン (南アフリカ共和国)
9	クロマグロおよびビンナガの共同研究打合せ (藤岡)	モントレー, サンディエゴ (アメリカ)
9-10	ICCAT 2018年魚種別会合およびSCRS会合 (岡本、南、本多、松本、中塚、伊藤 (智)、佐藤 (圭)、塚原、越智、青木)	マドリード (スペイン)

●学会・研究集会

期 間	用 務	出 張 先
4	大気海洋研究所共同利用シンポジウム「管理目標を見据えた我が国の新しい資源評価と管理」 (小埜、増島、金治)	千葉県
5	ISC太平洋クロマグロMSEワークショップ (岡本、塚原)	神奈川県
8	ワークショップ「水産資源解析における標準化とその周辺」 (佐藤 (圭)、富士、松本)	東京都
8	第38回JAFIC漁業情報研究「今年はどうなる？サンマ資源」 (富士)	東京都
9	日本哺乳類学会2018年度大会 (金治、佐々木)	長野県
9	平成30年度中央ブロック資源海洋調査研究会 (岡崎)	高知県
9	日本鳥学会2018年度大会 (越智)	新潟県
9	日本海洋学会2018年度秋季大会 (小埜、増島)	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
5	クロマグロ産卵場における仔稚魚分布調査（田中（寛）：陽光丸）	南西諸島周辺
5-6	北太平洋における外洋性サメ類の標識放流及び生態調査（井嶋：俊鷹丸）	北西太平洋の日本領海域内及び公海域
6-8	南西諸島、薩南、日本海におけるクロマグロ仔稚魚分布調査（田中（寛）、岡崎、芦田、田和：俊鷹丸）	東シナ海、太平洋、日本海
8-9	日本海北部におけるクロマグロ稚魚分布調査（田中（寛）、芦田：北光丸）	日本海
9	ウナギ調査（小埜：蒼鷹丸）	本州南方海域、九州-パラオ海領周辺海域

●フィールド調査（海上） その他船舶

調査期間	調査名	海 域
6-7	日本海ツチクジラ分布生態調査（佐々木：第7開洋丸）	日本海海域のうち、我が国EEZ内の水域

●フィールド調査（陸上）

調査期間	調査名	海 域
4	ヨコワ曳き縄漁聞き取り調査（森永、岡崎）	鹿児島県
5	まき網オブザーバー調査（清藤）	鹿児島県
5-6	クロマグロ成魚の標識放流調査（藤岡）	新潟県
5	開洋丸ニホンウナギ生態解明調査（増島）	東京都
6	クロマグロ成魚の標識放流調査（藤岡）	新潟県
6	クロマグロ魚体測定調査（西川）	鳥取県
6	メキシコ産クロマグロ測定調査（田中（庸）、芦田）	東京都
6-7	ウミガメ類の生物学的調査（松永）	鹿児島県
7	東日本沖鯨類広域航空目視調査（吉田、金治、前田、佐々木）	宮城県
7	日本海（飛鳥）におけるクロマグロの産卵に関する情報収集と卵稚仔の採取調査（田和）	山形県
7	クロマグロ測定調査（田中（庸）、田中（寛））	東京都
7	カツオ・ビンナガ市場調査（藤岡）	和歌山県
7-8	クロマグロ標識放流調査（福田）	高知県
7	築地大卸5社への流通実態聞き取り調査（津田）	東京都
7-9	網走沖鯨類捕獲調査（吉田、前田）	北海道
8	築地大卸5社への流通実態聞き取り調査（津田）	東京都
8	クロマグロ標識放流調査（幼魚、当歳魚）（藤岡、福田、田中（寛））	高知県
8	築地市場クロマグロ測定調査（平岡、田和）	東京都
9	築地メキシコ産クロマグロ測定調査（田和、田中（寛））	東京都

編集後記

それでも地球は動いている

昨年末の国会で漁業法の一部改正がなされ、70年振りに大改革が動きだしました。日本周辺の水産資源の利用に向けて、十分な資源管理と必要な資源回復を図ると共に水産業の成長産業化が求められています。改正漁業法第9条5項では「農林水産大臣は、国立研究開発法人水産研究・教育機構に、資源調査又は資源評価に関する業務を行わせることができる。」と明記され、“国際的にみて遜色のない科学的・効果的な評価”による日本周辺水域の資源管理における水産機構の役割は大きなものとなっています。われわれ国際水研は、これまでの半世紀の歴史で常に国際的に遜色の無い先進的な資源評価・管理議論の中で戦ってきました。本誌や前身の遠洋R&T、遠洋ニュースをひもともってもらえれば、折々の最新のまたは先取りした管理や解析手法の解説が掲載されてきています。他の水産研究所広報誌がより簡潔に分かり易く一般の方々に研究成果を知っていただく形に変わっていった中、当水研の広報誌は名称を変えながら、国際舞台で共に議論する日本の行政官や業界関係者、大学研究者への情報提供も念頭に模索し続けています。まだまだ毎回うまく編集できずに反省続きですが。

まったく話は変わって、昨年2018年の生食カツオ市場はアニサキス禍で大きな影響を被りました。アニサキスによるアナフィラキシーは別途十分な注意が必要ですが、今回の「アニサキス禍」は生きたアニサキス幼虫が人間の胃壁や

腸壁に刺入するものであり、生鮮水揚げ魚が“加害者”としてターゲットになりました。さらに、消費者&市場心理としてカツオ冷凍魚（解凍生食向け）も避けられる形で影響が出たようです。この生食向けカツオ市場のニーズの短期的変動に対し、漁業サイドは水揚げまでの時間を考慮した漁場選定・航海戦略の変更や、漁業種類によっては対象種の変更もあったように見受けられました。一方、2017年にもアニサキス話題がありましたが、カツオは全くその対象外でした。2017年はバンコク市場での国際缶詰原料カツオ価格が高騰し、日本からも凍結カツオの輸出が行われました。近海生鮮カツオ漁獲物でも、操業から日数を経たものや小型やキズものも等しく1kg180円の浜値相場（底値の高止まり）が続く状況となりました。これもまた漁業サイドの操業戦略に影響を与え、その結果としての漁獲量や漁場位置になったと考えられます。もちろん、両年とも、来遊資源の回遊動向や漁場環境も併せて考える必要がありますが、漁業行為は研究者のためのランダムサンプリングでは無く、漁業者や市場の意思も深くかわっているに気を配っていく必要があると思わされた2年間でした。

本欄で書くことでもなさそうですが、漁業という経済活動を通して水産資源を見ていく上で重要な周辺情報が、研究から隔絶され何年か後にデータの解釈に戸惑うことがない様にしたいと思っています。

（業務推進部長 小倉未基）



発行／国立研究開発法人 水産研究・教育機構 編集／国立研究開発法人 水産研究・教育機構 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/>