

FRA NEWS

水産業の未来を拓く



2018.12

バイオロギング —海の生き物の行動を知る—



放流に向けて、遊泳状態などの経過観察中のクロマグロ

Contents

- 2 バイオロギング —海の生き物の行動を知る—
- 22 会議・イベント報告
- 23 刊行物報告／執筆者一覧
- 24 会議・イベント報告
- 24 編集後記





”バイオロギングで観る“水産生物

生き物のことを知るための基本的な方法は「観察」です。海の中の生き物の場合、潜水して観察しますが、丸一日潜って観察するのは体力的に難しく、夜間では危険も伴います。そこで、人間の代わりに生き物に観察データを取ってきてもらうという発想で生まれたのが「バイオロギング (Bio-logging)」です。これは、生き物 (バイオ) に記録計や発信器を取り付けてデータを記録し (ロギング)、その生き物の行動や周辺環境の情報を調べる研究手法です。

バイオロギングは歴史の浅い研究分野ですが、クロマグロやカツオの生態解明など、多くの水産研究分野に貢献しています (図)。

現在は測器が小型化し、大きな生き物

だけでなく、手のひらサイズの魚や無脊椎動物にも測器を装着し、観察できるようになりました。また、魚の生息域や移動・回遊を調べることから、飼育魚の健康状態や食欲、エサの消化効率を調べることまで研究範囲が広がっています (図)。

この特集では、これまでの水産研究・教育機構のバイオロギング研究から明らかになった、海の生き物の生態やそれにもとづく水産資源管理の取り組みを紹介します。



西海区水産研究所
亜熱帯研究センター
沿岸資源生態グループ
おくやま じゅんいち
奥山 隼一

バイオロギングで得られる水産生物の情報

- 位置情報 (水平・深度)
- 環境情報 (水温・塩分)
- 摂餌行動
- 産卵行動
- 体温・胃内温度

バイオロギングで分かる水産生物の生態・生理

- 生息域 (エサ場・産卵場)
- 移動・回遊経路
- 環境変化に対する応答行動
- 採餌生態
- 産卵生態
- 消化効率
- 水温・塩分適正 (耐性)

バイオロギングが貢献できる水産研究の分野

- 資源管理単位 (系群) の策定
- 漁獲メカニズムの理解
- 漁場環境の特定
- 回遊性魚類資源の来遊予測
- 禁漁区・海洋保護区の時期・範囲の決定
- 増養殖魚の飼育管理
- 環境変動に対する将来予測
- 人間活動・開発が与える影響評価
- 種苗放流効果の検証

図 バイオロギングと水産研究

測器の種類と特徴

研究目的や対象生物に合わせて使い分ける

バイオロギングの測器はさまざまです。研究目的や対象生物に合わせて測器を選ばなければなりません。ここでは、バイオロギングの測器の種類と特徴を解説します。

測器は、記録型と発信型に分かれます。前者は小型の記録計を対象生物に装着してデータを記録した後に回収し、データを取得するものです。後者は装着した発信器から電波や超音波を介してデータを取得するもので、バイオテレメトリーとも呼ばれます。

記録型 魚から豊富なデータを取得

測器はおもにセンサー、データを記録するメモリー、電力用の電池からなりま

す。近年の技術発展で小型化・大容量化が進み、測器を装着できる対象が大型生物から小型魚類にまで広がっています。センサーの種類も多様化し、深度・水温のほか、魚の遊泳速度や加速度、回転する速度などの瞬間的な運動情報、心拍・脳波などの生理情報まで得られます（表・写真）。

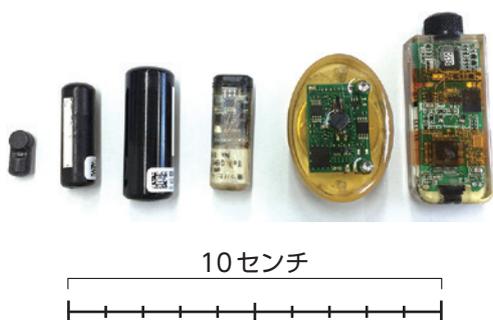


写真 さまざまな発信器・記録計
左3つが超音波発信器（発信型）。左から4つ目は深度・水温記録計、5つ目は三軸加速度・深度・水温記録計、6つ目は映像記録計

センサー	取得できる情報	どんなことが分かるのか
圧力	深度	滞在深度、潜水時間
温度	環境温度	水温、体温、胃内温度（摂餌のタイミング）
電気伝導度	塩分濃度	海水の塩分濃度
プロペラ	対流速度	遊泳速度
加速度	加速度	装着部位の動作・姿勢、生物の活動量、酸素消費推定量
ジャイロ	角速度	回転運動
光量	環境照度	日照量・位置（低解像度）
音	音（可聴音～超音波）	鳴き声、音発生源（発信器）の位置
磁気	地磁気	方位
電位	心拍・筋電・脳波	心拍数・筋活動量・外部刺激に対する脳の応答
イメージ	静止画・動画	生物が見ている環境、エサなどの情報、生物の動き
GPS	水平位置（水中では使えない）	生息域、移動軌跡、行動圏

※バイオロギングー最新科学で解明する動物生態学ー 京都通信社（2009年）から引用、一部改変

表 記録型で分かるおもなこと

記録型は多くの種類、多くの量の生物の行動や環境情報を高頻度で取得できます。魚の遊泳速度や尾びれの振動数、水温が急に変化する場所での魚の反応など、観察では分からなかった生物の行動・生理に関する事実が次々と明らかになってきました。

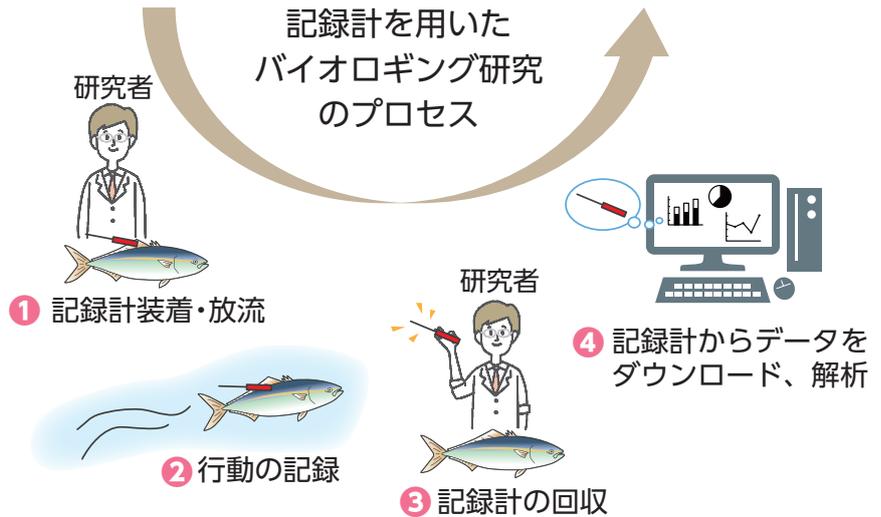


図1 記録型の概念図

一方、測器を回収しなければデータを取得できないという欠点もあります（図1）。このため、漁業による再捕獲が期待される種を対象にする（6～9ページ参照）、さけ・ます類の母川回帰を利用する（10～13ページ参照）など、測器の回収を調査計画に入れる必要があります。近年では、後述するように切り離し装置と組み合わせ、一定時間経過後に測器を生物から切り離し、水面に浮上させて回収するシステムや、人工衛星通信を利用してデータを送信するシステムなどが開発されています（記録発信型）。

海中には電波が届かないため、GPSによる水中の位置測位はできません。このため、照度センサーで日の出、日の入を記録し、南中時刻（*）と日長時間から緯度・経度を把握する方法が考案されています。しかし、GPSほど精度が高くないため、マグロ、カツオなど高緯度回遊魚の移動推定に使われています。ヒラメ、カレイなどの底生生物は、生物が

経験する潮位変動と各地の潮位変動から、位置を推定する方法が考案されています。

発信型

生物の移動や生息域を調査

発信型は、生物の移動や生息域の調査に適した方法で、発信源（生物）からの信号を受信機で受け取り位置を把握します（図2）。通信には超音波を用います。超音波は送信できる情報量が限られ、記録型と比べてセンサーの種類やデータ量は少ないですが、発信間隔や周波数変調を利用して個体を識別し、深度・加速度・水温などの情報を得ることができます。

発信型には、受信機を船に積んで対象生物を追う追跡タイプと、受信機を海中に設置して対象生物が受信範囲内に来るのを待つ設置タイプがあります。

追跡タイプは、リアルタイムで生物の位置や行動・環境情報を得られるメリッ

* 南中時刻：太陽が真南にくる時刻のこと

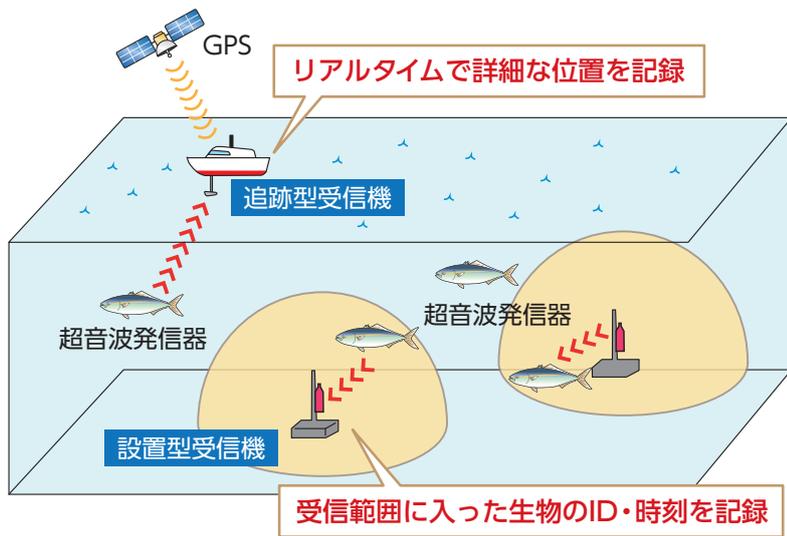


図2 発信型の概念図

受信範囲は追跡型、設置型ともに数百メートルです

トがあります。一方で、追跡の労力と調査のために雇う船などの費用が大きい、多くの個体を同時追跡するのは難しいといったデメリットがあります。

設置タイプは、調査の労力が少なく、同時に多くの個体を追跡できます。そのため、沿岸域での行動記録調査の主流となっています。ただし、受信範囲内に対

記録発信型

移動範囲が広い生物の追跡

対象種が入らないとデータを得ることができません。また、受信範囲は受信機の設置台数に依存するため、広い範囲を追跡するには多くの受信機が必要です。近年では、時刻を同期させた3台以上の受信機を用いて、それぞれの受信時刻の差から発信源の位置を高精度で推定する手法が考案されています。

対象生物の行動が分からず測器の回収が難しい、移動範囲が広く発信型での追跡が難しいといった生物のために開発されたのが、「ポップアップアーカイバルタグ(PAT)」と呼ばれる記録計です。これは記録型のように生物の行動・環境情報を取得・蓄積した後、一定時間後に対象種から切り離され、海面へ浮上する仕組みになっています。浮上後、人工衛星通信で記録情報をユーザーに提供します(図3)。PATは大きいいため、適用

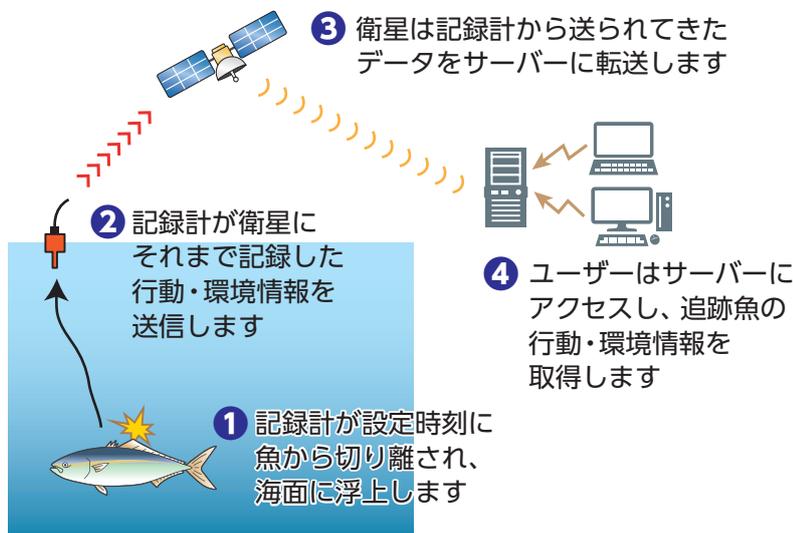


図3 記録発信型の概念図

対象はマグロやサメ、大型クラゲ(14) 17ページ参照)など大型種に限られます。鯨類やアシカ・アザラシなどの鰭脚類、海亀類など呼吸のために海面に浮上する生物の場合は、測器を切り離さなくても、海面に浮上する数分間で記録データを送信できるため、ほぼリアルタイムで対象生物の情報を知ることができます。

クロマグロの回遊調査と資源管理

回遊と日本の漁業の関係

クロマグロは、北太平洋の温帯域を広く回遊する魚で、日本では昔から親しまれてきました。古くは縄文時代の貝塚からクロマグロと思われる骨が出土しており、公式統計では1890年代から本種と思われる漁獲記録が残っています。すしネタや刺し身用として重宝される高級食材ですが、江戸時代では鍋や汁物の具材としても広く親しまれていました。

高度な漁船漁業が発達する以前からクロマグロが利用されてきた理由の一つに、産卵場や成育場が日本の近海にあり、季節や地域によってはごく沿岸まで来遊してることが挙げられます。現在も、定置網やひき縄釣りなどの沿岸漁業で多くのクロマグロが漁獲されていま

す。なかでも小型のものは、地域や体の大きさによってシンコ・メジ・シビコ・マヨコ・ヨコワ・ヒツサゲなど多様な呼び分けがあり、地域に根付いた漁業でクロマグロを利用してきたようすがうかがえます。

このように日本と結びつきの強いクロマグロですが、資源量の減少が懸念されています。クロマグロの資源評価を行うISC（北太平洋マグロ類国際科学委員会）の最新の資源評価では、クロマグロは1990年代中盤から2010年にかけて減少を続け、11年以降はゆるやかな回復傾向が見られるものの、評価の最終年（16年）でも低水準にあります。現在は厳しい資源管理が国際的に導入されており、シミュレーションでは、今後、資源が回復していくと予測されています。



国際水産資源研究所
くろまぐろ資源部

くろまぐろ資源グループ 福田 寛生

しかし、資源の動向をより正確に把握するために、クロマグロに対する科学調査をさらに充実させることが求められています。

資源管理に重要な回遊調査

水産研究・教育機構では、クロマグロの生態や資源、漁業に関する研究をしており、ISCでの資源評価でも重要な役割を担ってきました。回遊についても標識放流調査などを長い間、行っています。

この回遊調査は、通常標識を用いた調査と、データ記録型電子標識（以下、電子標識）を用いた調査の両方を実施して

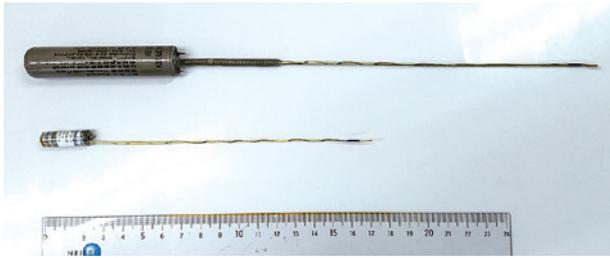


写真1 0歳魚に装着するデータ記録型電子標識（下）と大型魚に装着するデータ記録型電子標識（上）



写真2 データ記録型電子標識を腹腔内に装着し放流された直後のクロマグロ0歳魚（およそ23センチ）



写真3 放流後48日後に再捕されたクロマグロ（37.8センチ）

います。前者は、資源評価でとくに重要な死亡率（漁業によって、また漁業以外でどれぐらいの魚が死んでいるのか）を調べることを目的としています。クロマグロの資源評価は、この調査で得られた成果をもとに、死亡率を仮定しています。後者では、電子標識の小型化、長寿命化が進んだこともあり、以前は小さくとも体重2キログラム程度のクロマグロにしか装着できなかった電子標識が、体重200グラム程度の魚にも装着できるようになりました（写真1）。このサイズはふ化後3カ月程度の0歳魚と考えられますが、この頃からひき縄漁業や定置網漁業で漁獲されるため、回遊に関する情報を得ることは資源評価にも資源管理にも重要になります。

漁業者の協力あってこそ

クロマグロの幼魚は、乾いた手で触れるとろろこが落ちて死んでしまうほど接触に弱いため、活きのよい魚を選び、で

きるだけ水中で短時間に電子標識を装着する必要があります。私たちの調査では、クロマグロの蓄養（天然の幼魚を種苗とする養殖）に長く携わってきた腕利き・目利きの漁業者にクロマグロを釣ってもらい、専用の装着器具を用いることで、200グラム程度のクロマグロに電子標識を装着し、放流することに成功しました（写真2）。

放流されたクロマグロは、短ければ数週間、長ければ数年後に漁獲され、再捕した漁業者からの報告によって、魚に装着した電子標識が私たちの手元に戻ってきます（写真3）。

電子標識を用いた調査は、漁業者の皆さんの再捕の報告がなければデータを得ることができません。多くの漁業者の皆さんに、忙しい中、時間を割いて報告してもらっています。

電子標識を付けたクロマグロは、幼魚の成育場となっている対馬海峡や土佐湾から多く放流していますが、日本の沿岸

はもちろんのこと、アメリカの太平洋側からも多くの再捕報告があります。

0歳魚の経路を解明

再捕されて手元に戻ってきた電子標識には、これまで未知であった0歳魚の回遊経路や、泳いだ深度、経験した水温など、多くの情報が記録されていました。

土佐湾で放流した約200グラムの魚の深度を見てみると、放流したばかりの8月から9月前半は30〜50メートルよりも浅い深度を泳いでいるのに対し、それ以降は50〜100メートルの深度を泳ぐ時間が長くなっています(図1)。クロマグロが経験した水温と並べると、彼らの泳いでいる深度には水温が強く影響していて、より深い(冷たい)ところには行かずに、暖かい水の中で泳いでいたことが分かります。

また、アメリカで再捕されたクロマグロから得た電子標識データからは、彼らがいづ、日本沿岸から太平洋を横断した

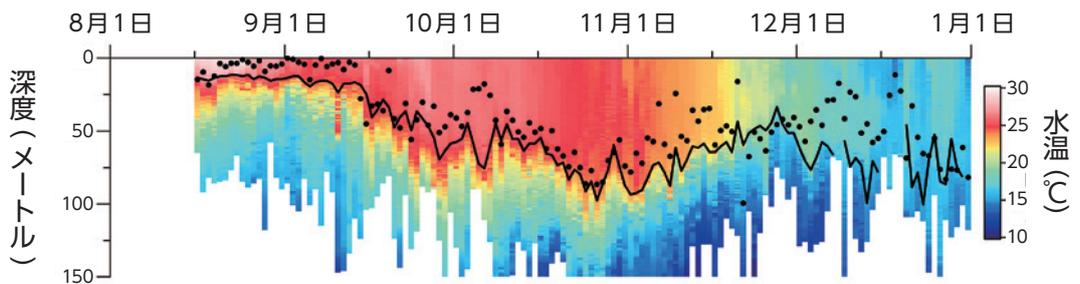


図1 クロマグロの日中の平均滞在深度(黒丸)と水温

のかのタイミングが明らかになりました。15個体の太平洋横断のタイミングを比較すると、ふ化した1年後に横断を開

始するもの、1年半後に開始するもの、それよりも遅く約2年後に開始するものの3つのパターンに分けることができました。このタイミングの違いは、彼らので育った成育場が関係しているようで、ふ化した1年後に横断するものは土佐湾などの太平洋側で育ったものに限られていました。対馬海峡周辺は日本海側のおもな成育場と考えられています。そこで育ったクロマグロは少し遅れて太平洋を横断するようです(図2)。

成魚の調査にも挑戦

紹介したクロマグロのバイオロギング研究では、電子標識の小型化により、小さい0歳魚がどのように回遊しているかが明らかになりました。既存の研究成果とあわせて、0歳から3歳頃までの回遊について、その一面が明らかにされたといえるかもしれません。

しかし、産卵を始める3歳以降のクロマグロ成魚の回遊については、ほとんど



分かっていません。個体ごとの詳細な産卵回遊、とくに産卵期間や頻度、毎年産卵するのかを明らかにすること、また成魚の年齢によって産卵場や産卵回遊の詳細が変わるのかを明らかにすることは、生物学的にも資源評価の高度化のためにもとても重要です。

50キロを超えるクロマグロ成魚に標識を装着して放流するには、繊細な0歳魚とはまた違ったチャレンジがあります。が、当機構や関係機関の研究者や漁業者の皆さんの協力を得てやり遂げたいと思います。

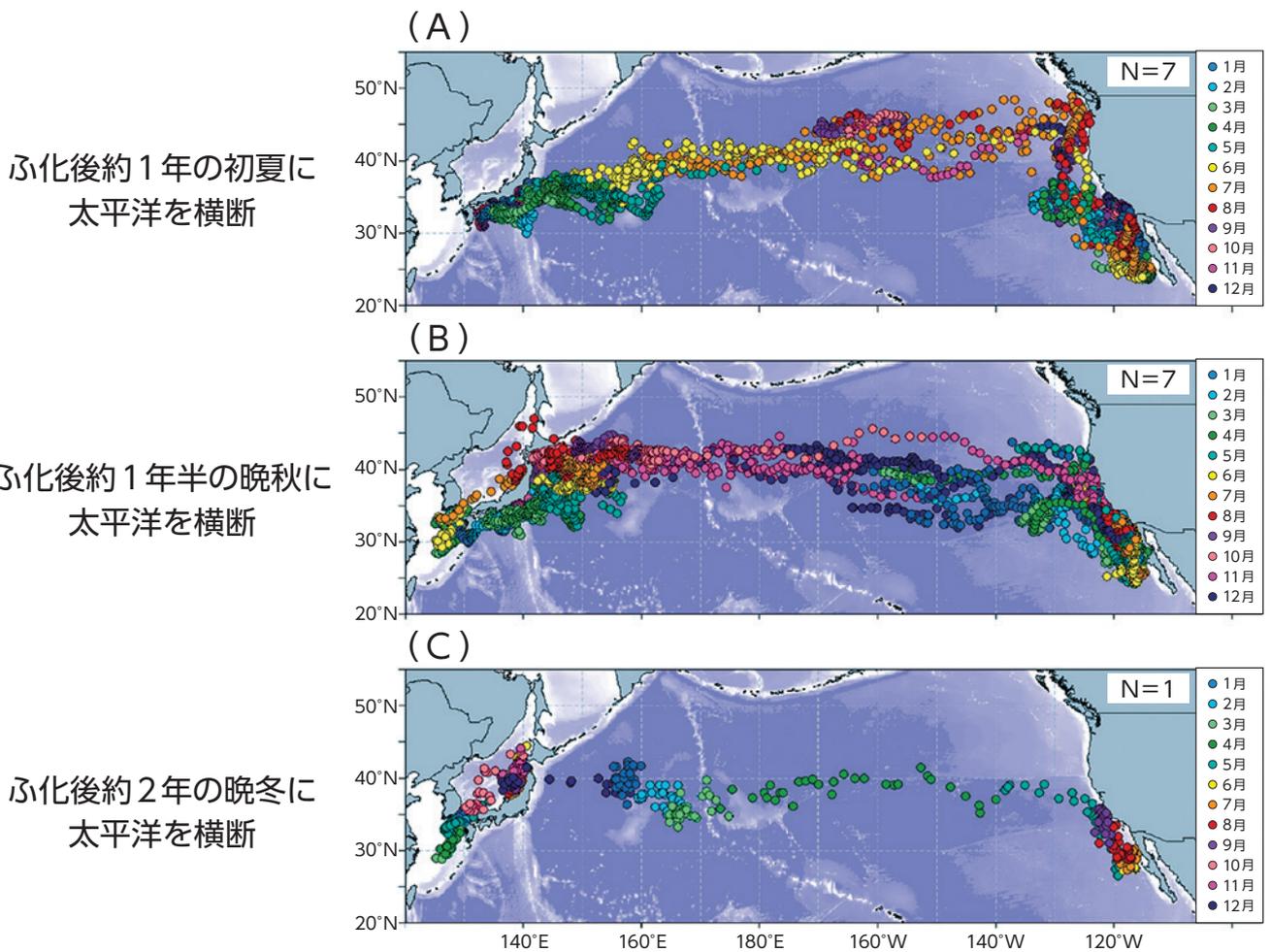


図2 太平洋西部から東部へのクロマグロの渡洋回遊のようす

サケの回帰行動をアーカイバルタグで探る

なぜ母川に回帰できるのか

サケは、外洋で1〜7年回遊生活をし、生まれた川や放流された川（母川）に回帰します。日本生まれ（日本系）の未成熟のサケは、海流や遊泳によって北太平洋およびベーリング海まで回遊します（図1）。しかし、成魚となって川に帰るときは、海流に乗るだけでは回帰できません。では、なぜサケの成魚は目印のない母川に回帰できるのでしょうか？

これまで、サケの成魚は嗅覚、太陽コンパス、磁気コンパスを利用して母川まで回帰するという仮説が提唱されてきました。近年は、さけ・ます類の回帰経路の統計解析や回帰シミュレーションの結果から、回帰メカニズムとして磁気コンパス説が話題となっています。これは、



北海道区水産研究所
生産環境部
生産変動グループ 東屋 知範 あすまや ともりのり

さけ・ます類の稚魚が母川から海に降りたとき（降海）、その場所の地磁気である全磁力や伏角ふっかく（図2）を記憶し、成魚になって回帰するとき、記憶している地磁気をたどりながら母川まで回帰するという仮説です。しかし、これまで、さけ・ます類が外洋から母川まで回帰する間に経験した地磁気を直接観測した例はありませんでした。

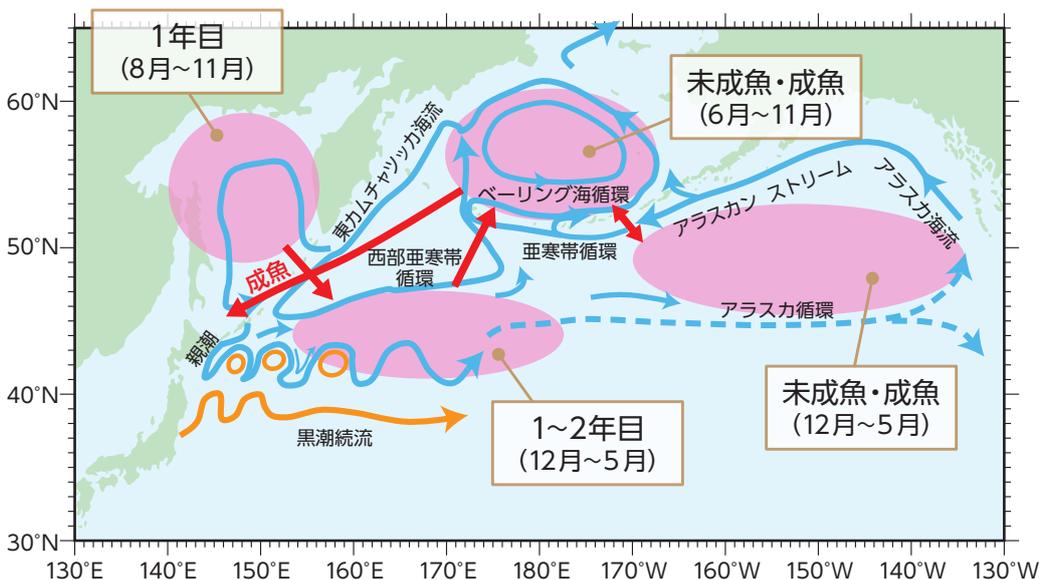


図1 日本系サケの回遊経路と海流
赤線はサケの回遊経路。青線と黄色線は主な海流

※ Ocean ecology of chum salmon. American Fisheries Society(2018)から引用、改変



写真1 ベーリング海で調査船によって採集されたサケの測定とアーカイバルタグの装着風景

サケが弱らないように水槽の中で注意深く尾叉長の測定、うるこの採集、アーカイバルタグの装着をした後、放流します



写真2 アーカイバルタグを装着したサケ

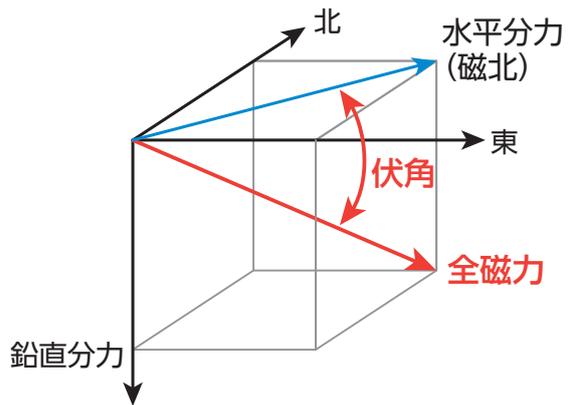


図2 全磁力と伏角の関係

地球の持つ固有の磁場を地磁気と呼び、その地磁気の大きさを全磁力、水平面と全磁力のなす角度を伏角といいます

※国土地理院(2018): 磁気図2015.0年値の作成 から引用、改変

仮説を検証

この仮説を確かめるため、2012年〜17年に、中部ベーリング海で合計44尾のサケの成魚に、水温・水深・頭の向き・地磁気的全磁力と伏角を1時間おきに記録できる測器(アーカイバルタグ)を装着し、放流しました(写真1、2)。その結果、アーカイバルタグを装着したサケが12年と13年に1尾ずつ北海道沿岸で回収されました。ここでは12年に回収されたタグナンバー608を付けたサケ

(サケ608号)について紹介します。

サケ608号は、12年7月下旬に中部ベーリング海(次ページ 図3 ★印)から放流され、74日後に北海道沿岸(図3 ▲印)で回収されました。放流地点から回収地点までの最短距離(大圏コース、図3 黒細線)は2875キロで、その間の平均移動速度は時速1・62キロでした。これは1秒間にサケが自分の体一つ分移動する速度で、これまでの研究で明らかになっている回帰時の移動速度とほぼ同じでした。この移動速度は、人の歩く速度の約半分に相当します。

ベーリング海から北海道沿岸までの間にサケ608号が経験した全磁力の平均は5万1106 nT(ナノテスラ、磁束密度の単位)、伏角の平均は63・2度でした。北向きを0度とすると、サケ608号の頭の向きの平均角度は243度でした。これは、中部ベーリング海から北海道沿岸の方を向いたときの方向とほぼ一致していました。サケ608号の経験

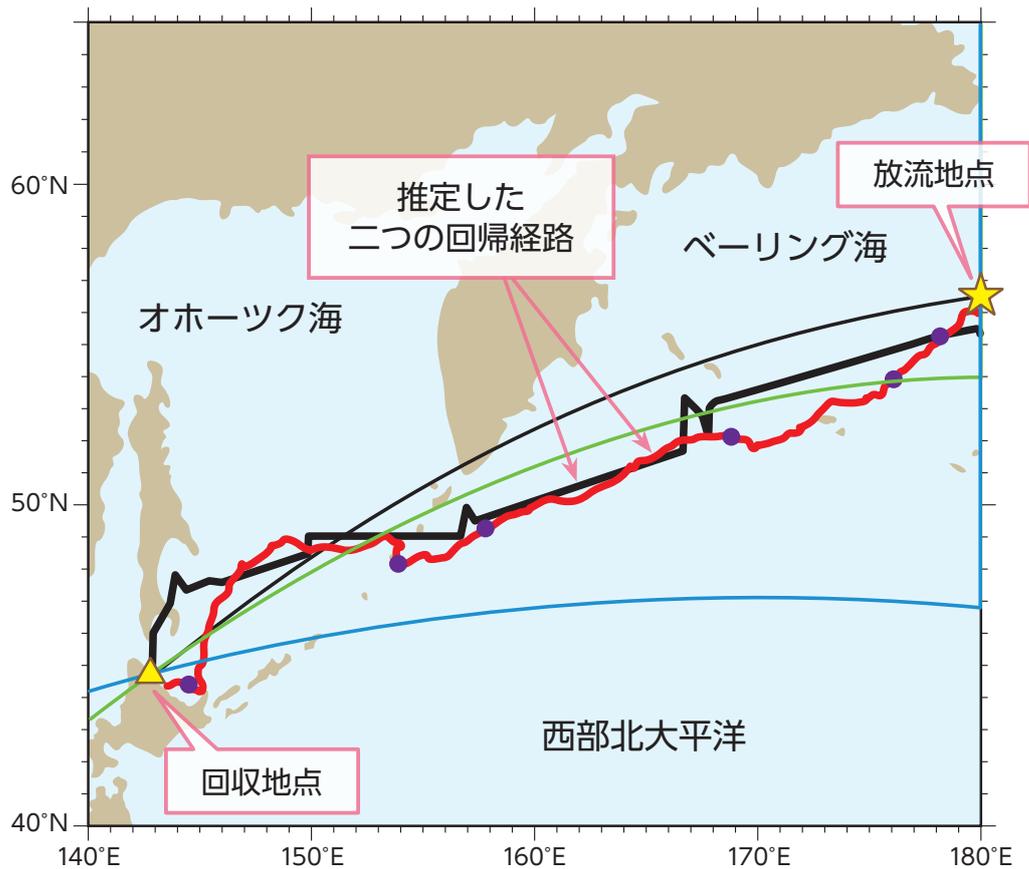


図3 サケ608号の推定回帰経路

★はアーカイバルタグを装着しサケを放流した地点、▲は回収地点。黒細線(—)は最短距離の大圏コース、黒太線(—)と赤太線(—)はタグデータから推定した回帰経路。推定した赤太線の回帰経路上に10日ごとに●を記入しています。緑細線(—)は回収地点の全磁力の等値線、青細線(—)は回収地点の伏角の等値線です

平均水温は9・7℃で、平均遊泳水深は28・8メートルでした。
回収されたデータから、ベーリング海から北海道沿岸に至るまでサケがたどった回帰経路を二つの方法で推定しまし

た。一つは、アーカイバルタグが記録した水温・全磁力・伏角と同日の表面水温(*1)・全磁力・伏角のマップ(*2)を利用して位置を推定する方法(図3黒太線)。もう一つは、アーカイバル

タグが記録した頭の向きの角度と仮定した遊泳速度から位置を推定する方法(図3赤太線)です。二つの方法で推定した回帰経路はほぼ一致し、サケ608号は、放流後約20日目にベーリング海から西部北太平洋に出た後、西南西に向かい、約50日目には千島列島を通過してオホーツク海に入り、そして70日目には北海道沿岸に達したようです。

回帰経路は大圏コースより南側に位置し、サケ608号はベーリング海から北海道沿岸まで最短コースでは回帰していないようです。また、回帰経路はこの海域の海流の流路とも異なっていました。興味深いことに、サケ608号の回帰経路は、回収された地点の伏角(58・9度)の等値線(図3 青細線)ではなく、全磁力(5万540nT)の等値線(図3 緑細線)にほぼ沿っていました。つまり、サケ608号の母川がアーカイバルタグが回収された付近であれば、仮説のように、サケは降海した付近で記録した

*1 NASA(米国航空宇宙局)のデータ: <http://podaac.jpl.nasa.gov/>

*2 NOAA(米国海洋大気庁)のデータ: <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/EMM/>

地磁気（全磁力）をたどりながらベーリング海から北海道沿岸まで回帰してきたこととなります。

このように地磁気を記録できるアーカイバルタグが回収できたことで、サケの成魚が地磁気を利用して外洋から母川付近まで回帰している可能性を世界で初めて示すことができました。

水温・水深も明らかに

サケ608号はベーリング海から北海道沿岸までどのような水温・水深を経験してきたのでしょうか。図4にサケ608号が回帰する間に経験した水深と水温を示します。ベーリング海では10℃以下の水温を、北大西洋の表層で13℃以上、40メートル以深で2℃以下の水温を経験していました。サケ608号は、漁具を使った調査ではサケが採集されなかった低い水温帯にまで達していたことが分かりました。

北海道沿岸域では18℃以上の水温帯を

避けるように174メートルまで潜ることもありました。このようにサケの成魚は同じような水温帯を遊泳して回帰するのではなく、垂直に泳いで表面水温よりかなり低い水温帯まで達していることや、1日のうちに10℃以上の水温差を頻繁に経験していることなどが、アーカイバルタグの記録から分かりました。

アーカイバルタグデータで明らかになったサケの経験水温、水深、回帰経路は、地球温暖化などの気候変動に対して、サケの分布海域や回帰経路がどのように変化するかを予測するための基礎資料となります。サケが地磁気をたどって外洋から母川に回帰するのであれば、地球温暖化により海洋環境が多少変化しても、サケの回帰経路はあまり変化しないかもしれません。

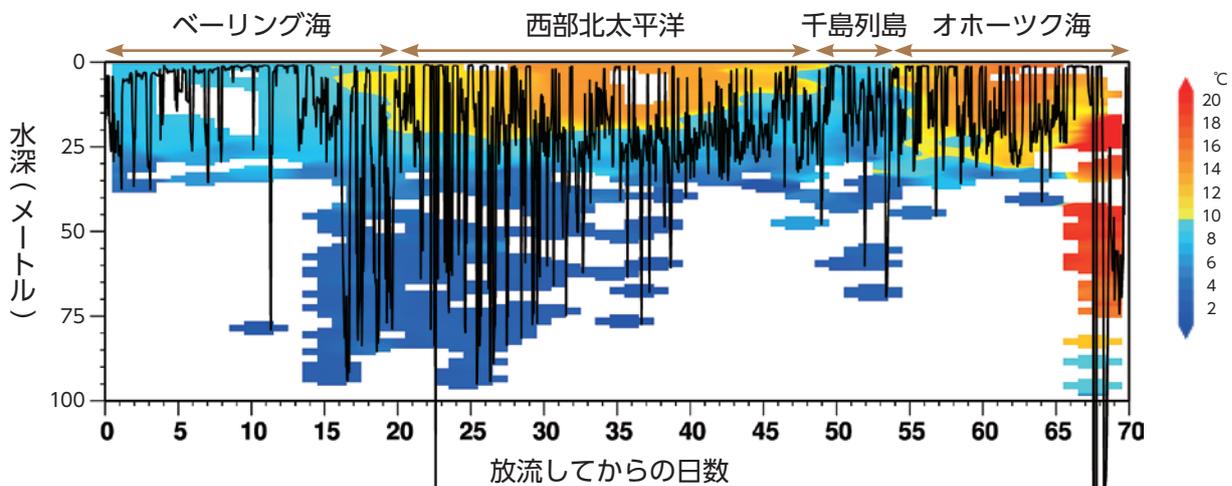


図4 サケが放流されてから回収されるまでに記録された水温と水深
縦軸は水深、横軸は放流されてからの日数を示します。暖色は10℃以上、寒色は10℃以下の水温を示します。黒太線はサケの遊泳深度を示します

大型クラゲの行動特性を探る



写真1 大型クラゲ

めずらしかった大型クラゲ

「大型クラゲ」とは、成長すると傘の大きさが1メートル以上にも達するような巨大なクラゲの総称で、おもに知られているのがエチゼンクラゲです（写真

1）。2002年の秋、突如、日本海に大量に出現し、以降はほぼ毎年のように頻繁に日本近海に大量に出現。漁具を破壊したりほかの魚の水揚量を減少させたりするなど、各地の漁業に大きな被害を与えました（写真2）。

最近の研究により、大型クラゲの発生海域は中国沿岸であることが知られています。被害を抑える対策を検討する上で、大型クラゲが水中でどのように動いて漁場に到達するのかなど、その行動特性を把握しておく必要があります。

21世紀に入るまで日本に大型クラゲが大量に出現することとはめずらしく、その生態や行動はほとんど知られていま



写真2 トロール網に大量にはいった大型クラゲ



日本海区水産研究所
資源環境部
海洋動態グループ
ほんだ なおと
本多 直人

せんでした。研究対象とされたこともなく、調査の手法も検討されていませんでした。そこで、このクラゲの行動を調べるために、水中ビデオカメラや超音波を出してその反射をとらえて映像化する音

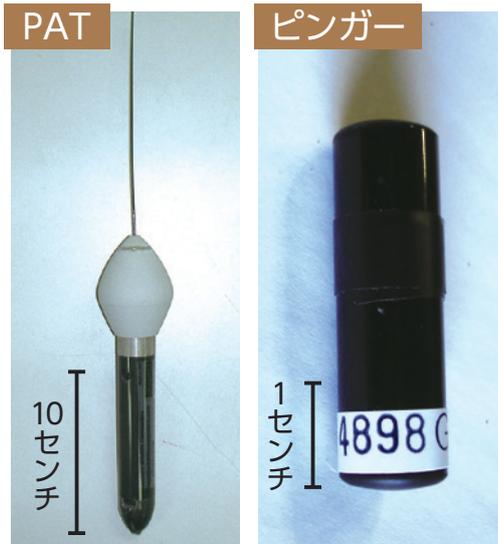


写真3 PATとピンガー

響力カメラによる観察手法に加えて、さまざまな研究手法が検討されました。

二つの装置で行動を追跡

データロガーなどの装置を大型クラゲに装着し、個体を追跡して行動を調べる手法もその一つです。大型クラゲの場合、漁獲の際にデータロガーの再回収ができないため、対象生物の再捕獲を必要としない「ポップアップアーカイバルタグ（PAT）」と使い捨ての超音波ピンガーという装置による調査を試みました（写真3）。PATは深度・温度・照

度センサーとデータを記録するメモリーが装備され、あらかじめ設定された時間を経過するとクラゲから切り離されて海面に浮上（ポップアップ）し、記録されたデータを人工衛星に送信します。ピンガーは超音波発信器と深度センサーが付いており、発信される超音波信号を船で受信して追跡することでクラゲの行動をすぐに把握できます。

このような装置を用いた手法は、マグロ類やカジキ類などでも使われます。装置を取り付けるときは、対象生物を海面付近まで引き寄せて鉗ちりで突き刺して装着するほか、船上で体表に装着したり体内に埋め込んだりしています。しかし、大型クラゲの場合、装置を突き刺して装着するには体表が柔らか過ぎます。試行錯誤の末、クラゲの傘の下の首のような部位にバンドで巻き付ける方法を考案しました（写真4）。また、大型クラゲを壊さずに船上まで持ち上げることが非常に困難なため、海中を遊泳するクラゲにス

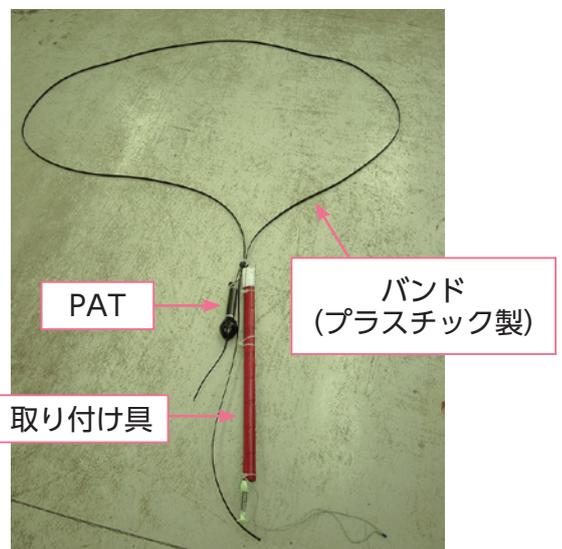


写真4 自作の取り付けバンド

キューバ潜水で近づき、クラゲを傷付けることなく装置を直接取り付けられることになりました。

危険を伴う追跡装置の装着

調査では沖合にいる元気なクラゲを対象にしますが、いきなり沖合で取り付け作業を行うことは大変な危険が想定されるため、研究所の大水槽に実物大の模型を浮かべて取り付け練習を何度も繰り返し返した上で調査に臨みました。

調査は04～06年の秋から冬に実施しま

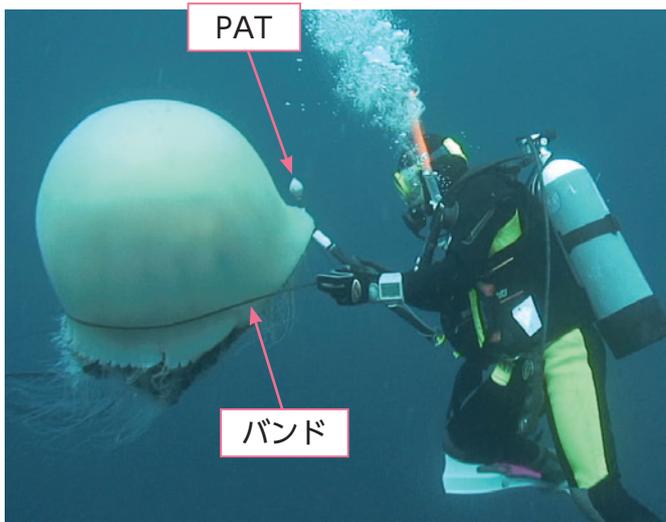


写真5 大型クラゲへの取り付け

した。まず船で沖合に向かい、目視や水中カメラなどを駆使して大型クラゲの群れを探索します。見つけたら潜水を開始しますが、海面に浮遊しているクラゲはすでに衰弱していることが多いため、中層を遊泳している元気なクラゲを探し、その個体に装置を取り付けました（写真5）。

調査を始めた当初は、大型クラゲに関する知見もないため、危ない経験をいくつもしました。たとえば、装置を取り付けた後、その装置がクラゲの遊泳を邪魔していないか、しばらく観察するのですが、取り付け直後からクラゲは真下に逃げ始めます。それを夢中で追跡しますが、危険な深さにまで逃げてしまうこともあり、途中で追跡調査を中断することもありました。また、大型クラゲの触手には強い毒があり、刺されると激しく痛み炎症を起こします。調査を始めたころは防備も甘く、顔を刺されて痛々しい傷痕が1カ月以上残ったこともありました（写真6）。

そのような苦勞を乗り越えて、計12個体に装置を取り付け、データの取得に成功しました（図1）。

行動特性とその活用

調査の結果、大型クラゲの行動に関するさまざまな知見が明らかになりました。とくに垂直方向の移動に関しては、興味深い結果が得られました。図2

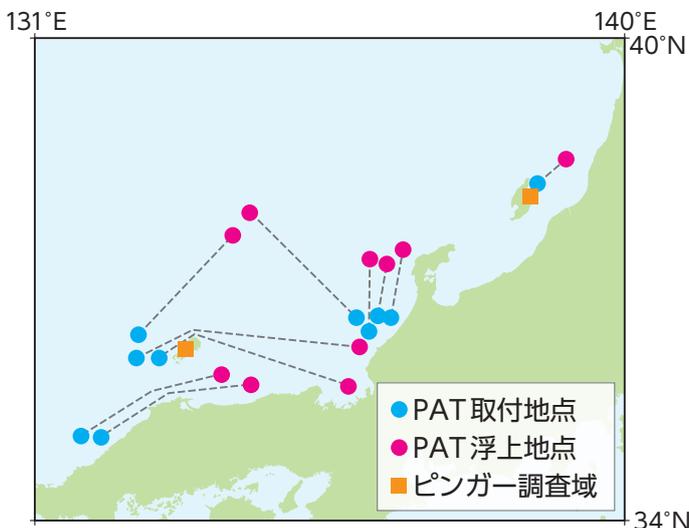


図1 PATとピンガーの取り付け場所、浮上場所



写真6 クラゲに刺された傷痕

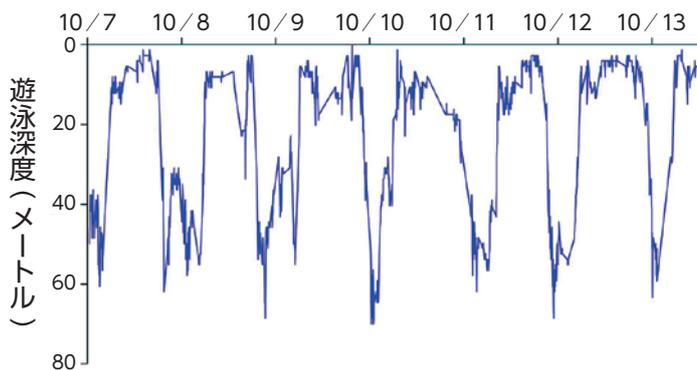


図2 遊泳深度の一例

は観測された遊泳深度の一例です。このように大型クラゲは頻繁に垂直移動を繰り返していました。この行動には時間帯による特徴もあり、遊泳深度は昼過ぎに浅く、未明に深くなる傾向が確認されました。また、秋から冬にかけて大型クラゲが日本海を北上するにつれて、遊泳深度が徐々に深くなる傾向も確認されました。最大深度は150メートル以上になります。最大深度は150メートル以上になります。最大深度は150メートル以上になります。最大深度は150メートル以上になります。

ころを頻繁に遊泳することも分かりました。

こうした行動特性にもとづいて漁業被害の軽減対策を考えることで、その効果を高めることができます。たとえば、大型クラゲが遊泳しやすい深さや、その深さにクラゲが多い時間帯を避けて操業すれば、水揚げの際にクラゲが網に入り込んでしまう被害を少なくすることができます。

また、大型クラゲを海の上で粉碎して駆除する対策も各地で実施されています。その場合は、逆にクラゲが多い深さや時間帯に駆除漁具を操業することで効率的な駆除ができるようになります。

さらに水産研究・教育機構では、大型クラゲが各地へ到達する経路や時期をシミュレーションで予測する研究も実施しています。海流は深さにより速さや向きが異なるので、クラゲの遊泳深度とそのパターンをもとに計算することで、より正確な予測ができるようになりました。



この調査をした当時は大型クラゲの大量出現が国際的にも話題になっていたため、海外を含む多数のメディアから、調査に関する取材などを受けました。PATの取り付けに成功した翌日には、全国紙の朝刊一面に掲載されるほどでした。水中で巨大なクラゲと潜水する映像はインパクトが大きかったようで、海外のテレビ局による取材や撮影も多く、調査は世界中に発信されました。

しかし、大量出現が続いていた大型クラゲも09年を最後にほとんど日本に出現しなくなりました。このまま減少していくことを期待したいですが、今後また大量出現する可能性は常にあります。当機構では、現在も継続して毎年大型クラゲの分布・出現状況を監視しています。ちなみに18年の秋も大型クラゲの出現はとて少なく、私たちもほっとしているところではあります。

トラフグの産卵場所をデータロガーで探す

特定が難しい産卵場所

トラフグの主要産卵場となっている瀬戸内海では、西から関門海峡、備後灘、備讃瀬戸と三つの産卵場が確認されています。

トラフグをはじめ、フグ類は「粘性沈着卵」という海水中に浮かない卵を産みます。卵は海底の砂の上に付着して発生・ふ化するという特徴があります。このため、産卵場所を潜水して調査するのが大変なこともあり、産卵場のどの水深で、どういった海底環境で産卵するのか分かっていません。とくに、埋め立てや海上橋建設、航路拡充による浚渫（海底の土砂をすくい取る工事）などを経た現在では、トラフグが多く獲れた時代と比べて、瀬戸内海の海底環境は大きく変化

しています。

かつてフグ類の卵が採れた海域でも、産卵する親魚が来なくなるなど、産卵場所の特定は難しくなっています。加えて、トラフグは水槽内で自然産卵することが少ないため、実験的に養殖親魚の産卵行動を観察した結果をもとに、野外での行動を予測することも困難です。

屋外調査に活用

こうした問題を解決する一つのツールが、バイオロギングをはじめとする標識追跡技術です。私たちは養殖親魚の成熟観察に用いるカニュレーション（細い管で卵や精液を吸い出し、その成熟度合いを調べる手法）と水温・深度センサーを搭載したデータロガーを野外調査に活用し（写真1）、放流追跡中に産卵したト



瀬戸内海区水産研究所
資源生産部

資源管理グループ 平井 慈恵



フグ放流の瞬間（右）と再捕個体（左）

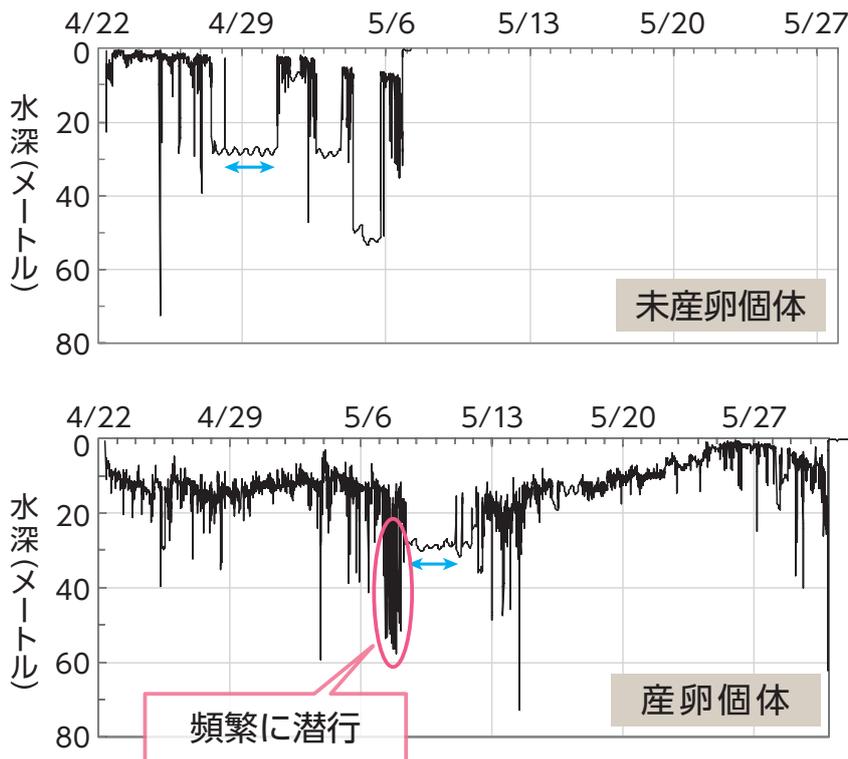


図1 再捕されたトラフグの深度データの一例

未産卵個体（上）と産卵個体（下）。矢印（↔）は定位。未産卵個体は散発的な潜行しか見られませんが、産卵個体は定位行動の前に50メートル以上の水深まで頻繁に潜行しています（○部分）

* CRESTの進行領域「海洋生物多様性および生態系の保全・再生に資する基盤技術の創出」での平成25年度採択課題「データ高回収率を実現するバイオロギング・システムの構築～魚類の個体群・群集ダイナミクス解明に挑む～」で開発

ラフグの移動中の水温、深度から、産卵床となる水深の推定を試みています。少しでも多くのデータロガーを回収するため、国の戦略的創造研究事業（CREST）で開発された廉価型のデータロガー（*）を用いて、北海道大学をはじめとする関係機関と共同で、トラフグ

の標識追跡調査を行っています。分かってきた産卵行動
これまで2017年と18年に8個体のデータロガーを装着したトラフグを回収しました。そのデータから、産卵期中のトラフグは海底への着底や潜砂などの定

位行動を数日間とることがあり、とくに、産卵した個体は数日間の定位行動をとる前の3日以内に、50メートル以上の水深まで潜行する回数が多くなることが分かりました（図1）。50メートル以上の潜行が産卵行動と何らかの関係があり、その後の定位行動は産卵後の休息を示しているのではないかと考えています。これまでのデータから産卵場所の候補となる水深帯を選定し、調査船による採卵調査をしています。実際に50メートル



写真1 タグ、ロガーを装着したトラ

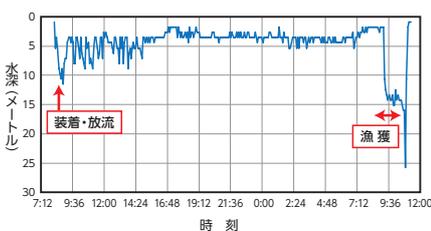


以上の水深帯では、海底の砂の粒子の大きさが過去に採卵した場所の砂と近く、今後の調査の進展が期待されます。

バイオリギングによるデータを調査に活用することで、トラフグの産卵現場を特定し、資源状態の把握と資源の回復に役立てていきたいと考えています（図2）。



① 標識追跡による移動過程の成熟状態の把握



② ロガー解析による産卵深度の推定

● 資源の維持増大
● 持続的利用への応用



③ 調査船による産卵候補地の探索
産卵量の定量的調査

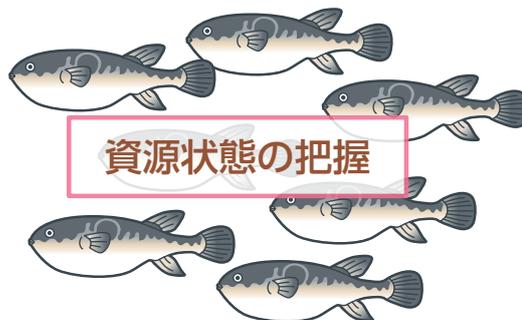


図2 トラフグ産卵調査でのバイオリギング調査の位置づけ

バイオロギングが未来をひらく

西海区水産研究所
亜熱帯研究センター
沿岸資源生態グループ
おくやまじゅんいち
奥山 隼一

進化するバイオロギング

バイオロギングで使われる測器はほとんど小型化・低価格化しています。近い将来、この特集で紹介した水産生物よりさらに小型の生き物も追跡できるようになるでしょう。また、低価格化が進むということは、同じ研究予算で、より大量の魚に装着できることを意味します。これまで100尾の魚に記録計を装着・放流していたのが1千尾、1万尾と放流することができるようになります。従来のプラスチックの標識がすべて電子標識に取って代わるのもそう遠くないかもしれません。

小型化は新たな水産研究分野にも貢献しました。たとえば、測器を生き物ではなく、釣り針などの漁具につけて調査する

手法の開発です。加速度・深度記録計を釣り針につけることで、魚がいつ、どの水深で、釣り針がどの角度の時に漁獲されたのかを明らかにすることができま

生き物が観測データを収集

もう一つのバイオロギングの方向性として、人間や自動観測機器の代わりに、海の生き物に海洋観測を行わせようという動きがあります。これまで説明してきたように、バイオロギングでは海の生き物が生息している位置や水深、水温や塩分などを記録することで、その生き物の生態を理解しようとしてきました。しかし、別の見方をすると、生き物が海洋環

境データの観測をしていると捉えることができるのです。海の中の水温や塩分がどのように分布しているのかは、海洋・水産研究をする上で基盤となる情報です。このため、海洋観測船や自動海洋観測機器などを用いて多くの観測調査が行われています。従来の調査に加えて、バイオロギングで得られた海洋観測データを海洋・水産研究に利用しようという試みが世界で始まっています。

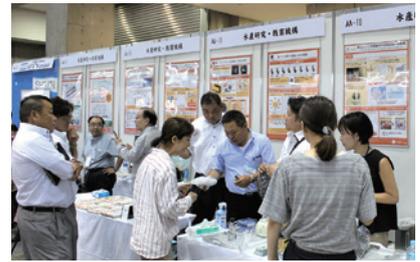
バイオロギング研究の発展は、電子・通信技術の発展が基盤となっています。今後、情報通信・解析技術が発展することで、ますます利用されることが多くなると予想されます。水産研究・教育機構は、最新の情報技術をうまく活用しながら、水産研究の発展、そして適切な水産資源管理に貢献していきます。

第20回ジャパン・インターナショナル・シーフードショーに出展

水産研究・教育機構は、8月22日～24日の3日間、東京ビッグサイトで開催された「第20回ジャパン・インターナショナル・シーフードショー」に出展しました。

展示ブースでは、「養殖ノリの競争力強化」、「アサリを育てる取り組み」、「マグロの脂肪含量を船上で測定できる小型近赤外分光計」、「コメを中心とした飼料によるギンザケ養殖技術」、「ヒスタミンセンサー」など、企業や漁業協同組合などの方々と取り組んだ5つの研究成果と、水産物を安心して持続的に利用するため、科学的な情報を分かりやすく提供する「SH“U”Nプロジェクト」を紹介しました。試食イベントではノリしょう油とバラ干しノリのスープを600食以上提供しました。

23日と24日には水産技術交流セミナーを開催。23日は「ギンザケに米を食わず！」と題して飼料米を利用したギンザケ用配合飼料開発を、24日は「アサリを育てて増やす」と題してアサリ資源を効率的に増やす取り組みを紹介しました。両セミナーとも多くの方に足を運んでいただき、セミナー終了後には活発な議論が交わされました。



ブース展示の様子



セミナーでは来場者が熱心に講演を聴いていました

全国豊かな海づくり大会

高知県で「第38回全国豊かな海づくり大会～高知家大会～」が10月27日・28日に開催され、水産研究・教育機構は、高知市中央公園で行われた関連行事「第9回豊かな海づくりフェスタ in こうち」に出展しました。

ブースには幅広い年代の来場者がありました。水産物が食卓に並ぶまでを見てさわって学べる模型・アニメーション・塗り絵など、親子で楽しみながら水産や魚について学べる展示や、パンフレットの配布を行いました。

当機構の「あつまれFRAキッズ！イベントページ」に、このイベントで応募があった塗り絵を掲載しています。下記のURLとQRコードから見るすることができます。ぜひご覧ください。

▶あつまれFRAキッズ！イベントページ
<http://www.fra.affrc.go.jp/forkids/event-sp/>



水産研究・教育機構ブースの様子



ウェブサイトで紹介する塗り絵は大盛況



水産研究・教育機構 研究開発情報
北の海から 第32号

発行時期：2018年8月
問い合わせ先：北海道水産研究所
業務推進部 業務推進課

ウェブサイト URL
<http://hnf.fra.affrc.go.jp/kankoubutu/kitaumi/kitanoumikara32.pdf>



水産研究・教育機構 研究開発情報誌
日本海 リサーチ&トピックス第23号

発行時期：2018年9月
問い合わせ先：日本海区水産研究所
業務推進部 業務推進課

ウェブサイト URL
<http://jsnfri.fra.affrc.go.jp/pub/rt/23/all.pdf>



水産研究・教育機構 研究開発情報
ななつの海から 第15号

発行時期：2018年10月
問い合わせ先：国際水産資源研究所
業務推進部 業務推進課

ウェブサイト URL
<http://fsf.fra.affrc.go.jp/nanatsunumi/nanaumi15.pdf>



水産研究・教育機構 研究開発情報
瀬戸内通信 No.28

発行時期：2018年10月
問い合わせ先：瀬戸内海区水産研究所
業務推進部 業務推進課

ウェブサイト URL
<http://feis.fra.affrc.go.jp/publi/setotsuu/setotsuu28.pdf>



水産研究・教育機構 研究開発情報
西海(せいかい) No.24

発行時期：2018年10月
問い合わせ先：西海区水産研究所
業務推進部 業務推進課

ウェブサイト URL
http://snf.fra.affrc.go.jp/print/seikai/seikai_24/seikai_no24.pdf



水産研究・教育機構 研究開発情報
研究の葉 2018

発行時期：2018年10月
問い合わせ先：水産工学研究所
業務推進部 業務推進課

ウェブサイト URL
http://nrife.fra.affrc.go.jp/seika/H30/H30_seika_index.html



水産大学校
研究報告 第67巻 第1号

発行時期：2018年10月
問い合わせ先：水産大学校 校務部 業務推進課

ウェブサイト URL
<http://www.fish-u.ac.jp/kenkyu/sangakou/kenkyuhoukou/67.html>



水産研究・教育機構 NEWS LETTER
おさかな瓦版 No.86

発行時期：2018年11月
内容：イセエビ
問い合わせ先：経営企画部 広報課

ウェブサイト URL
<http://www.fra.affrc.go.jp/bulletin/letter/no86.pdf>



執筆者一覧

■ バイオロギング 一海の生き物の行動を知るー

- バイオロギングで“観る”水産生物……………西海区水産研究所 亜熱帯研究センター 沿岸資源生態グループ 奥山 隼一
- 測器の種類と特徴：研究目的や対象生物に合わせて使い分ける……………西海区水産研究所 亜熱帯研究センター 沿岸資源生態グループ 奥山 隼一
- 回遊経路・範囲を知る：クロマグロの回遊調査と資源管理……………国際水産資源研究所 くらまぐろ資源部 くらまぐろ資源グループ 福田 漢生
- 回遊経路・範囲を知る：サケの回帰行動をアーカイバルタグで探る……………北海道水産研究所 生産環境部 生産変動グループ 東屋 知範
- 行動パターンを知る：大型クラゲの行動特性を探る……………日本海区水産研究所 資源環境部 海洋動態グループ 本多 直人
- 産卵の現場を特定する：トラフグの産卵場所をデータロガーで探す……………瀬戸内海区水産研究所 資源生産部 資源管理グループ 平井 慈恵
- バイオロギングが未来をひらく……………西海区水産研究所 亜熱帯研究センター 沿岸資源生態グループ 奥山 隼一

第46回日米水産増養殖専門部会 科学シンポジウムに参加

1964年に設立された天然資源の開発利用に関する日米会議(UJNR)には、海洋関係専門部会と非海洋関係専門部会があります。海洋関係専門部会に属する水産増養殖専門部会では、日本の窓口を水産研究・教育機構が、アメリカの窓口を大気海洋局(NOAA)が担当し、研究者の交流や共同研究をしています。その一環として、日本とアメリカが1年交替で会合を開いています。2018年は11月14～15日にアメリカのコネチカット州ミスティックで「第46回水産増養殖専門部会科学シンポジウム」が開催されました。

今回のテーマは「環境変動による養殖生産への影響とその緩和に向けた研究」で、アメリカから18人、日本から10人の計28人の大学や国の研究者が参加しました。温暖化などの環境変化をもたらす海藻養殖への影響、沿岸環境の酸性化、海藻養殖によるメタン排出抑制、貝類養殖と環境などの口頭発表が19件ありました。各発表後の討論では、環境と養殖との関連について活発な議論が交わされました。また、養殖場も視察しました。



シンポジウム開始時の米国部会長のあいさつ風景



参加者一同で記念撮影

編集 後記

今からさかのぼること33年前、ショルダーフォンが発売されました。重さは約3キロ、肩から下げて持ち運べる携帯電話で、20万円ほどだったそうです。その後、携帯電話は、小型化、高性能化が進み、スマートフォンの普及に至っています。

このような技術革新は、私たちの

身の回りのものに限ったことではありません。科学分野でも、分析法や調査法などの発達で新しい展開を見せています。今回の特集で取り上げたバイオリギングもその1つです。

バイオリギングの研究は1964年の南極のアザラシが潜水する深さとその時間を調べる研究が始まりだそうで

す。現在では、いろいろな種類の観測機器がクジラ、ウミガメ、魚などに取り付けられ、これまで知られていなかった情報が明らかになってきています。機材の高性能化、小型化が進むと、いずれはリアルタイムで魚が見ている世界を目にすることができるかもしれません。(角埜 彰)