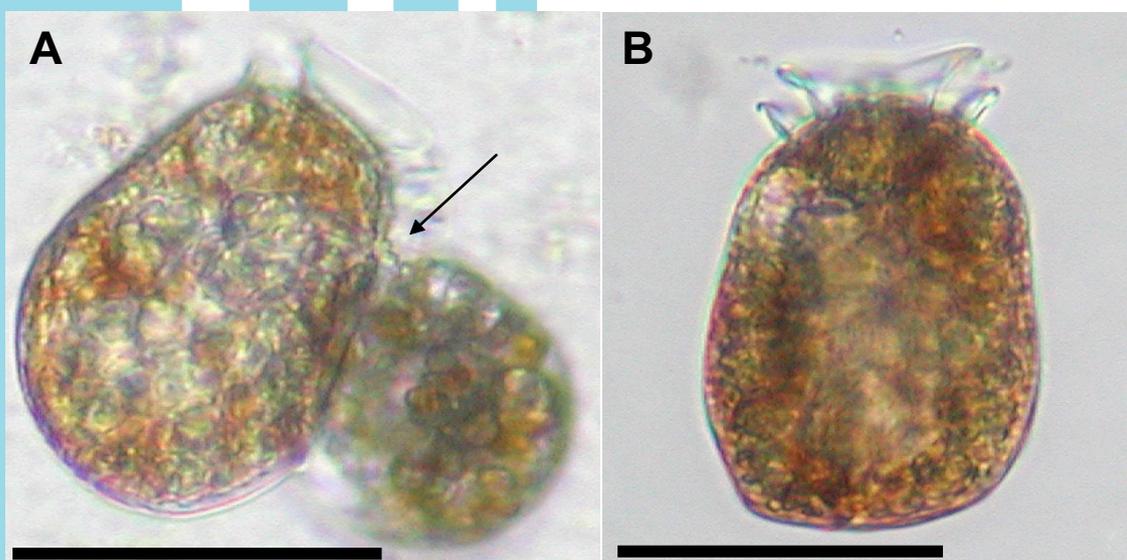


# 瀬戸内通信

No. 7 Dec. 2007



## CONTENTS

### 特集 水産研究開発の最前線

- 02 このカタクチイワシ、何処生まれ？
- 04 下痢性貝毒原因種である*Dinophysis*属数種の室内培養の成功と今後の研究展望
- 06 防汚剤の功罪
- 08 実験池に放流したトラフグ天然魚と人工種苗の比較

### 研究紹介

- 10 多魚種一括の資源管理に向けた取り組み
- 12 天然プランクトン中の麻痺性貝毒を簡便に測定
- 14 石油の毒性予測
- 16 干潟のシンボル、絶滅危惧種アオギスの生息状況と生息環境

### イベント報告

- 18 研究所一般公開「もっと知りたい瀬戸内海」を開催

### トピックス

- 19 サンゴ礁の有毒魚サザナミフグ、広島湾に現るサンゴ礁の魚コバンヒメジ採集される

編集 瀬戸内海区水産研究所



独立行政法人  
水産総合研究センター

## 特集：水産研究開発の最前線

## このカタクチイワシ、何処生まれ？

銭谷 弘

カタクチイワシは瀬戸内海の重要な漁業資源のひとつです。瀬戸内海で漁獲されるカタクチイワシは、瀬戸内海で生まれたものと太平洋で生まれたものが混じっていると予想されています。どこで生まれ、どこで育つのかを特定することは、漁業資源の保護・管理上、重要な因子です。カタクチイワシの生育場所の特定に、耳石微量元素分析を用いた方法が有効であることを示すことができました。

## カタクチイワシの資源管理単位

日本周辺で漁獲されているカタクチイワシ *Engraulis japonicus* は3つのまとまり（系群）で資源管理をすることになっています。1つは本州太平洋岸に主に分布する太平洋系群、1つは東シナ海から日本海に分布する対馬暖流系群、そして瀬戸内海に分布する瀬戸内海系群です（図1）。3つに分けている理由は脊椎骨数の違い、漁場や卵の分布範囲の違いです。しかし、DNA解析ではこの系群間を区別できないという結果が出ていたり、資源量が大きい近年では卵の分布範囲も連続していて系群が部分的に混ざり合った状態です。例えば、瀬戸内海へは太平洋系群の一部が春季に移入してくると考えられています。しかし、たとえ系群が混ざっていても、それぞれの系群である程度独自に資源量が決まっていれば、系群毎の資源管理を実施する必要があります。

「系群間もしくは発生海域毎のカタクチイワシ間に何かしらの違いがないものか？」「系群間での混じりがあったとして、どの程度なのか？」ある会議で、いくつかの府県の研究者の方から出た質問でした。

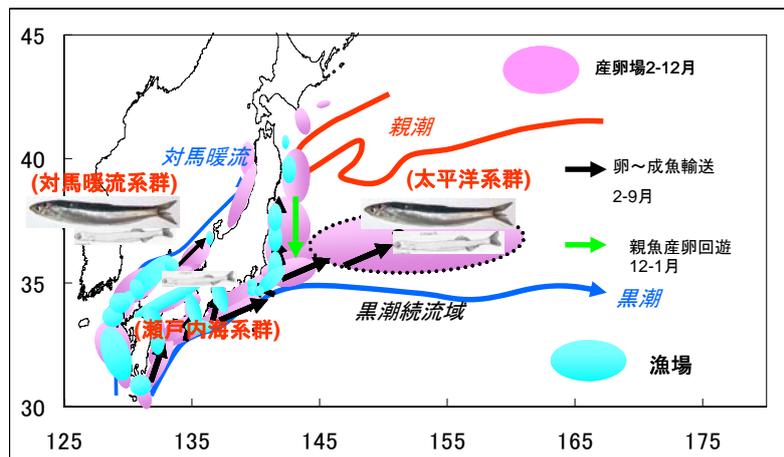


図1 日本周辺におけるカタクチイワシの系群と生活史模式図

## 発生海域の判別

魚類の聴覚器官には耳石（じせき）という組織があります。耳石は主に炭酸カルシウムを主成分としますが、同時に、微量な元素を耳石内に蓄積することが知られています。微量元素の種類によっては環境中の濃度と比例して、耳石内に蓄積されることもあります。それぞれの微量元素の濃度パターンの違いを利用して、カタクチイワシの発生海域の判別ができないかと考えたのが今回の試みです。この方法は耳石フィンガープリントと呼ばれる方法です。

耳石フィンガープリントでは微量な元素を相手にします。主な候補となる元素は Ba、Cu、Fe、Li、Mg、Mn、Ni、Pb、Sr 等です。問題はその分析方法です。発生した海域からいろいろな場所に移動していないことを保証するため、遊泳力が小さい仔稚魚を用いる必要があります。仔稚魚ですので、耳石も非常に小さく、したがって耳石中に含まれる微量元素濃度も薄いものとなります。研究をはじめた 2002 年当時、瀬戸内海区水産研究所はもちろん、共同研究者の木村量さんが所属していた中央水産研究所にも分析可能な機器設備はありませんでしたので、島津総合分析試験センターにプラズマ質量分析装置 (ICP-MS) での分析を依頼しました。1 検体が非常に高価な分析で分析元素数を増やすと限られた予算が不足することになります。判別に有効な元素を選択する必要がありました。予備分析を経て、結局、Ba、Mn、Sr の 3 元素で行うことになりました。後で、この選択が結果に結びつくのですが、木村さんの経験と勘に頼った部分でありました。

瀬戸内海 (大阪湾、燧灘、安芸灘) と太平洋の黒潮の続流域と呼ばれる本州沖合で採集されたカタクチイワシの耳石を分析した結果、太平洋に比べ瀬戸内海の Mn は高い傾向がみつかりました (図 2)。

### 瀬戸内海と太平洋の Mn の違いはなぜ？

瀬戸内海と太平洋のカタクチイワシの耳石内の微量元素成分に相違があり、特に Mn が違うというのは、どういうことなのか？あれこれ調べているうちに水中の Mn 濃度は沖合ほど低下する傾向があるという情報に行き着きました。耳石中の Mn 濃度の系群間の相違は海水中の Mn 濃度の相違を反映しているということなのでしょう。このことは、沿岸から沖合に生息する他魚種の系群判別でも Mn が有効である可能性を秘めています。

### これから...

少し複雑ですが、Mn等の濃度の違いを利用したカタクチイワシの太平洋と瀬戸内海の生まれの判別式は図 3 に示したようなものになります。得点が高いほど瀬戸内海生まれとなります。今回は耳石全量を用いて測定したので、仔稚魚期の情報がある耳石の中心部付近だけをどうやって分析するかという問題が残りましたが、瀬戸内海で漁獲対象となるカタクチイワシ親魚の何割が瀬戸内海に仔稚魚期に滞留し、何割が太平洋に仔稚魚期に滞留したかを判断する材料になると思われます。最近、レーザーアブレーションICP-MSという微小領域の分析が可能な高感度分析機器が普及してきました。分析技術の進歩が残された問題を解決してくれるでしょう。

(ぜにたに ひろむ、生産環境部沿岸資源研究室)

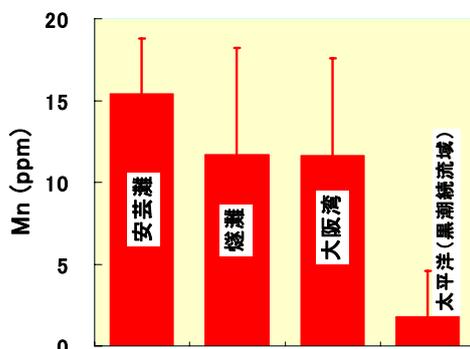


図2 瀬戸内海(安芸灘、燧灘、大阪湾)、太平洋(黒潮続流域)におけるカタクチイワシの耳石内Mn濃度

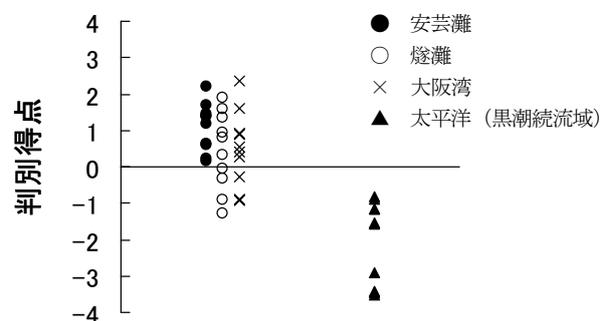


図3 2002年に安芸灘(●)、燧灘(○)、大阪湾(×)、黒潮続流域(▲)で採集されたカタクチイワシ仔稚魚耳石の微量元素(Ba, Mn, Sr)濃度を用いた判別分析。判別得点は以下の式より計算。

$$\begin{aligned} \text{判別得点} = & -0.115 \times \sin^{-1}\left(\sqrt{\frac{\text{Ba}}{100}}\right) \\ & + 0.977 \times \sin^{-1}\left(\sqrt{\frac{\text{Mn}}{100}}\right) \\ & + 0.233 \times \sin^{-1}\left(\sqrt{\frac{\text{Sr}}{100}}\right) \end{aligned}$$

特集：水産研究開発の最前線

# 下痢性貝毒原因種である *Dinophysis* 属数種の室内培養の成功と今後の研究展望

長井 敏、西谷 豪

下痢性貝毒の原因渦鞭毛藻であるディノフィシス属の培養は、これまでのプランクトン研究の歴史において、世界の多くの研究者が試みてきましたが、誰1人として成功しませんでした。2006年に韓国のグループが世界で始めて、ディノフィシス アキュミナータの培養に成功しました。現在、著者らも同様に、小型クリプト藻を餌に増殖させた繊毛虫ミリオネクタを餌として与えることで、ディノフィシス属の数種で培養株の確立と長期の継代培養に成功しています。これらのブレイクスルー的研究により、今後、下痢性貝毒原因種の増殖生理、毒生産条件、個体群構造など、未解明であった多くの事象に関する新たな知見が得られると期待されます。

## 下痢性貝毒とは？

下痢性貝毒の主な原因生物として、渦鞭毛藻のディノフィシス属やプロロセントラム属が知られています。これらの渦鞭毛藻がオカダ酸やディノフィシストキシン (DTX) といった毒を細胞内で生産し、食物連鎖を通じて、これら渦鞭毛藻を餌とするホタテガイなどに毒が蓄積します。人間が毒化した貝を食べて、毒が体内に入ると、激しい下痢、吐き気、嘔吐などを起こします。これを下痢性貝毒と言います。

## ディノフィシスという不思議な渦鞭毛藻

これまでのプランクトン研究の歴史において、いずれの種についても、誰1人として継代培養に成功しなかったため、ディノフィシス属の増殖生理・毒生産能・生活史といった基礎的な事項が未だ未解明のままです。葉緑体を持たないディノフィシスの種では、他のプランクトンを捕食する（従属栄養性）ことが知られていますので、その餌をディノフィシスにうまく与えてやれば、培養することは可能だと考えられます。一方、葉緑体を持つ光合成種は、適切な光・栄養条件を与えてやれば、培養できないはずがないのですが、これらの種の培養ができない理由については長い間、不明でした。多くの研究者の努力により、①光合成種がフィコビルリンやフィコエリスリンといった光合成色素を保持すること、②電子顕微鏡による細胞断面の詳細な観察から、光合成種がクリプト藻様の葉緑体を持つこと、③葉緑体遺伝子の解析から、光合成種の葉緑体がクリプト藻の1種であるテレオラックスと一致したことから、光合成種がテレオラックスから葉緑体を直接あるいは間接的に奪い、さらにこれを利用している可能性のあることが指摘されました。一方、全く別の研究で、米国メリーランド大学の研究グループが繊毛虫ミリオネクタの培養を、テレオラックスを餌にすることで、世界で始めて培養することに成功し、この成果がNature という有名な科学雑誌に掲載されました。

## ディノフィシス属の培養成功

世界で始めて3者の関係が突き止められたのは2006年のことで、ミリオネクタの培養に関する研究をしていた韓国の研究グループです。彼らは、テレオラックスを餌として増殖させたミリオネクタをディノフィシス アキュミナータに餌として与えることで、高密度かつ長期の継代培養に成功しました。

日本では、東北区水産研究所海区水産業研究部の神山孝史室長が同種の培養に成功し、そしてそのサポートを受けて、私どももディノフィシス属の種であるコウダータ、フォルティエ、アキュミナータ、インフンディブルスの培養に成功しました (図1)。餌を捕獲する時は、いずれの種もフィーディングチューブと呼ばれるゾウの鼻のような管をミリオネクタの細胞内に突き刺します (図1の矢印)。その後、1分程度でミリオネクタは動かなくなり、丸くなってしまいます。何らかの毒素を細胞内に注入している可能性も考えられます。その後45-90分かけて、細胞内容物を取り込みます。

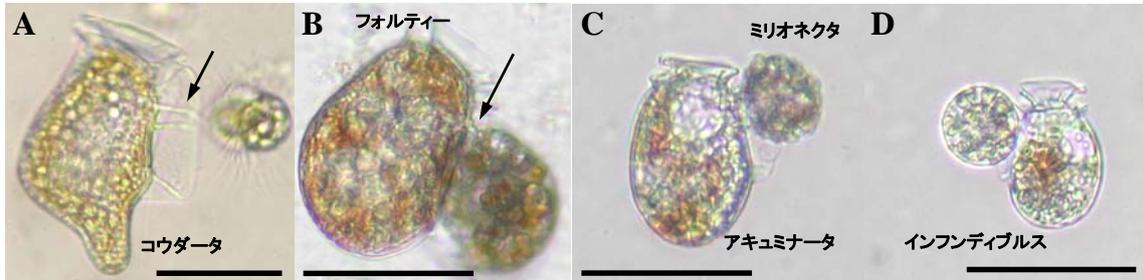


図1 下痢性貝毒原因種ディノフィシス属の細胞(繊毛虫ミリオネクタを捕食する様子)  
 A, コウダータ; B, フォルティエ; C, アキュミナータ; D, インフンディブルス;  
 矢印はフィーディングチューブを示す; スケールバーは全て50 ミクロン

現在、ミリオネクタを餌に与えると、コウダータでは約 5,000 cells ml<sup>-1</sup> (細胞密度、図2左)、フォルティエでは 2,500 cells ml<sup>-1</sup> (図2右)、アキュミナータでは 10,500 cells ml<sup>-1</sup>、インフンディブルスでは 2,000 cells ml<sup>-1</sup>の密度 (着色する) まで増殖させることが可能です。コウダータ、フォルティエの分裂速度は、それぞれ 1.03、0.85 分裂/日 divisions day<sup>-1</sup>であり、この速度は赤潮プランクトンに匹敵するものでした。餌が十分あるような環境では、ディノフィシスは高い増殖速度を持つことがわかりました。これらの種は、遊泳速度がゆったりしていても、瞬間的に移動・遊泳できるミリオネクタをいとも簡単に捕食し、とても活発な捕食を示します。

以上、ブレイクスルー的研究により、今後、これら下痢性貝毒原因種の増殖生態・毒生産能・現場における貝類毒化現象など、これまで不明であった多くの点を明らかにできると思います。  
 (ながい さとし、にしたに ごう、赤潮環境部有毒プランクトン研究室)

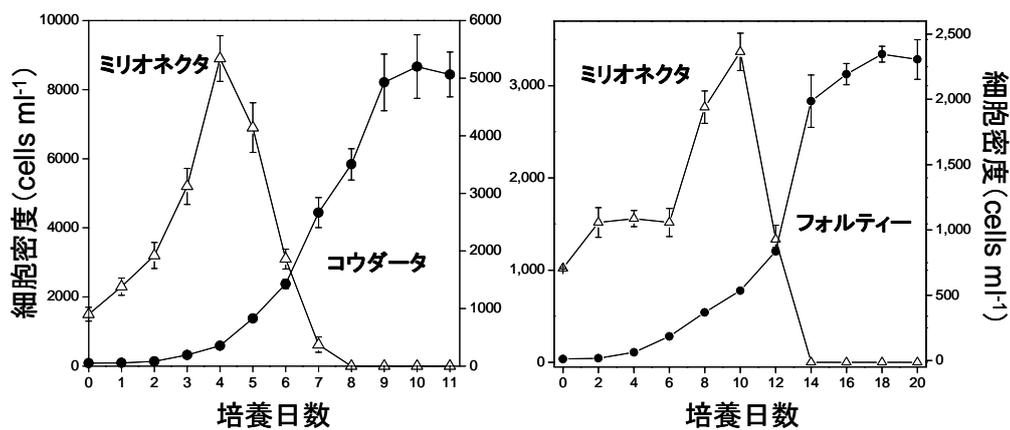


図2 下痢性貝毒原因種ディノフィシス属2種の培養実験結果  
 左, コウダータ; 右, フォルティエ; グラフ左はミリオネクタの細胞密度、右はディノフィシスの細胞密度をそれぞれ示す。

特集：水産研究開発の最前線

## 防汚剤の功罪

藤井 一則・隠塚 俊満

防汚剤は、漁網や船などを付着生物から守る大切な役割を果たしています。ところが、防汚剤の多くは毒性を持つため、海洋生態系への悪影響や、水産物の食品としての安全性にも問題を引き起こす恐れがあります。新しく開発された防汚剤の中には、使用が禁止された有機スズと同等の毒性を持つものもありますが、残留性や蓄積性は低く、開発者の努力を感じます。しかし、このような情報が未だ十分に得られていない防汚剤が多く残されており、今後ともこれら防汚剤の海産生物への影響を明らかにし、漁場環境の保全に役立てる必要があります。

### 防汚剤の大切な役割

防汚剤は、水産業界では生簀網、定置網、船などに海藻やフジツボなどが付着することを防ぐために使われています。漁網にこれらの生物がたくさん付着すると、水通しが悪くなるため、養殖魚が病気に罹りやすくなる、網揚げ作業に支障をきたすなどの問題を生じます。また、船底に付着すると水の抵抗が大きくなるため、燃費が悪くなるだけでなく、より多くの燃料を燃やすことになるため地球環境にも悪い影響を与えてしまいます。防汚剤は、これら問題点の解決に役立っています。

### 防汚剤の暗い過去

防汚剤の有効成分（防汚物質）で最も有名なのが、TBT（トリブチルスズ）を代表とする有機スズ化合物です。有機スズ化合物は、その優れた防汚効果と経済性から1980年代をピークに世界中で使われていました。ところが、水生生物に対する強い毒性、水環境中での残留性、水生生物への蓄積性などが次第に明らかになり、日本では「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（化審法）」によって1990年に使用が禁止されました。そこで現在では、有機スズ化合物に代わる防汚剤が色々と開発され、使用されていますが、新しい防汚剤が及ぼす海産生物への影響については、わからない事が多く残されています。

### 防汚剤の毒性

化学環境部では、これまでにTBT及び非有機スズ系防汚物質6種の海産藻類、甲殻類及び魚類に対する毒性、魚類への蓄積性などを調べてきました。その結果、全ての防汚物質が藻類に対して特に強い毒性を発揮し、高い防汚効果が推測されました。ところが、新しい防汚物質の中には、ごく限られた海域ではありますが、植物プランクトンの生長を阻害する濃度（図参照）以上の海水中濃度が検出された例があります。また、魚に対しても強い急性毒性（低い濃度で短期間に魚を殺す）を示すものがあり、さらには急性毒性値の1/100程度の濃度でもふ化率を低下させたり、奇形を誘導するものもありました。幸いなことに、環境水中でそのような防汚物質が、影響が出るほどの濃度で検出された報告はありませんが、調査例は少なく、今後さらなる調査・研究が必要と思われれます。

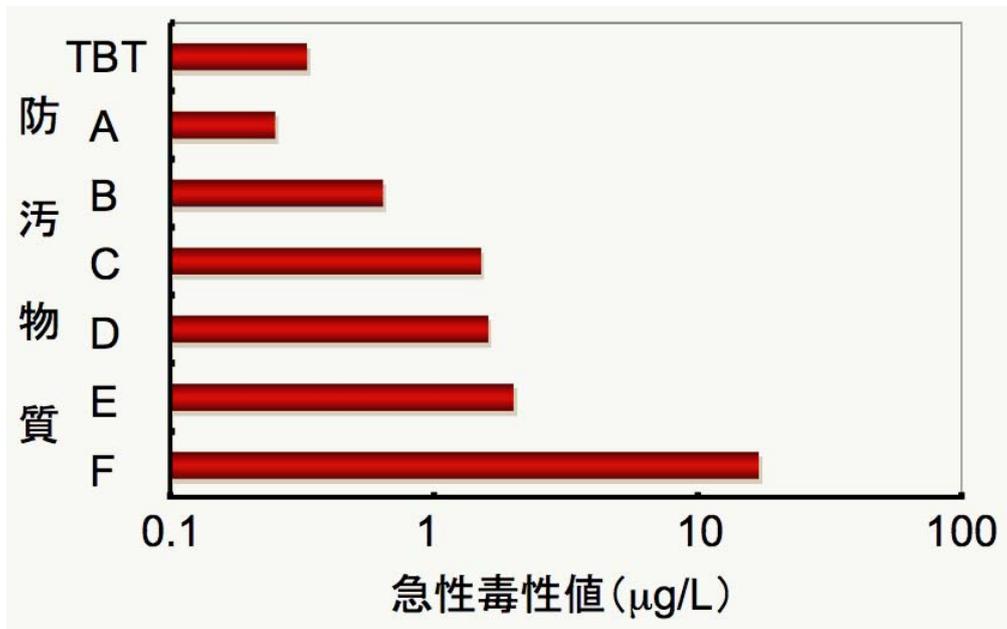


図 海産植物プランクトン *Skeletonema costatum* の生長を 50%阻害する各種防汚物質の濃度（急性毒性値）。棒が短いほど毒性が強いことを表し、TBT と比べると、A は若干毒性が強く、B、C、D、E は若干弱いことがわかる。この中で最も毒性の弱い F でも、一般的な毒性分類では最も毒性が強い区分（1000µg/L 以下）に分類される。

### 防汚剤と食の安全

防汚物質の中には農薬から転用されたものがあり、食の安全を守るために制定されたポジティブリスト制度の対象となります。従って、その防汚物質の体内濃度が基準値を超えると、食品として販売できなくなるので注意しなければなりません。我々が調べた範囲では、海水濃度の約 1 万倍も魚体内に濃縮される TBT に比べると、他の防汚物質の蓄積性は遙かに低いことがわかりましたが、研究例は少なく、蓄積性に関してもさらなる研究が必要です。

### おわりに

環境等への悪影響が明らかにされた有機スズ化合物は、国際的にも規制が検討され、締約国は 25 カ国と決して多くはありませんが、2008 年 9 月に船底への使用を禁止する国際条約が発効されることになりました。我々はこの事例を見本とし、新しい防汚剤についても海産生物への影響を明らかにして、漁場環境の保全に貢献したいと願っています。

(ふじい かずのり・おんづか としみつ、化学環境部生物影響研究室)

特集：水産研究開発の最前線

# 実験池に放流したトラフグ天然魚と人工種苗の比較

山崎 英樹

トラフグの放流初期の食害による減耗の実態を調べるため、捕食魚の存在する実験池に天然種苗と人工種苗を同時に放流し両者の生き残りを比較しました。その結果、天然魚の方が多く生き残っていることがわかりました。このような差が出たのには、放流後の天然種苗と人工種苗の行動の違いが原因のひとつであることが明らかになりました。今後は食害に遭いにくい放流種苗を飼育する方法や放流方法の開発が必要と考えられます。

## 実験池って何？

尾道市の離島にある百島実験施設には、塩田跡地の素堀池を改良した実験池（図 1）が3面あります。実験池1面の面積は約5,300㎡とサッカーグラウンドの3分の2ほどの広大なものです。実験池は水門を介して海につながっており、潮汐差を利用して海水交換する構造になっています。また、底質は砂泥で天然の干潟や内湾に近い環境となっています。百島実験施設ではこのような実験池の特徴を活かして、小さな水槽や天然海域では調査が困難な実験や研究を行っています。



図 1 百島実験施設

## 放流した稚魚の生き残り

栽培漁業では人工種苗（人が育てた稚魚）を天然海域に放流していますが、種苗は放流初期に大きく減耗（減少）することが知られており、放流種苗を漁業資源にうまく添加するためには、放流直後の種苗の生き残りが重要です。しかし、天然海では、観察や調査の困難さから減耗の実態はほとんど解明されていません。そこで、百島実験施設では実験池を用いて放流魚の生き残りについての各種試験を行っています。

## 天然魚の方がたくさん生き残りました

トラフグの人工種苗は全国で 240 万尾前後が毎年放流されていますが、放流初期の減耗の実態はほとんど分かっていません。そこで今回、捕食魚（50cm くらいのタイリクスズキ）がいる実験池に 5cm ほどのトラフグ天然種苗と人工種苗を同時に各 100 尾ずつ放して、その生き残りを調査しました（図 2）。放流後 5 日目に実験池の海水を全て排水し、生き残っているトラフグをすべて回収したところ、天然種苗は 86 尾、人工種苗は 56 尾と天然魚の方が多く生き残っていることがわかりました<sup>1)</sup>。トラフグが減耗した原因については、予備試験で捕食魚の存在しない池にトラフグ種苗を放流したところほとんどが生き残った<sup>2)</sup> ことからスズキによる食害が原因であることは間違いないと思われます。

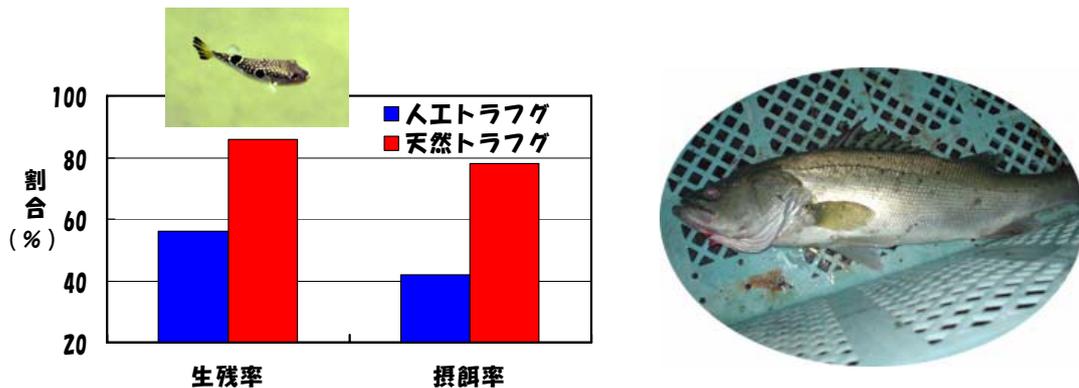


図2 トラフグ種苗の実験池での生残率と摂餌率および実験に用いたタイリクスズキ  
生残率：生き残った割合 摂餌率：餌を食べている割合

## 何故でしょうか？

トラフグ人工種苗は、天然種苗に比べ、捕食魚による食害に遭いやすく、大量の減耗が起こることが判りました。このことから天然種苗と人工種苗には食害を回避する能力に差があるものと考えられました。放流後の天然種苗、人工種苗の行動観察では、人工種苗は水面付近で群れを作りやすく、容易に捕食魚に発見されてしまう状況でした。一方、天然種苗は中層から低層でやや広めの群がりを作る傾向がありました。このような行動の差が生き残りの差につながった原因の一つであると考えられます。

そこで、本当に両者間でこのような行動の差があるのかどうか小型水槽を用いてさらに詳しく調べたところ、放流直後に底層に分布する個体の割合は天然種苗が人工種苗より高く、実験池での観察結果と同じ状況であり、放流後のトラフグ天然種苗と人工種苗の行動に違いがあることが明らかになりました。

## 今後は

今までの調査から食害の回避にトラフグの行動が関与していることがわかりました。このような放流後の天然種苗と人工種苗の行動の違いは、マダイやヒラメなどでも観察されている現象です。また、これらの魚では飼育方法を改良することで人工種苗の行動が天然種苗に近づくといわれています。今後はトラフグについても、食害に遭いにくい放流種苗を飼育する方法や放流方法の開発を進め、トラフグの資源回復を支援したいと考えています。

## 文献

- 1) 清水ら 日水誌 75 (5), 886-893 (2006)
- 2) 清水ら 日水誌 73 (3), 461-469 (2007)

## 研究紹介

# 多魚種一括の資源管理に向けた取り組み

亙 真吾

瀬戸内海では多くの魚介類について資源管理が行われていますが、そのほとんどが単一魚種での実施にとどまっています。エコパス・エコシムという生態系モデルをもとに、食う食われるの関係を考慮した多魚種一括の資源管理技術を開発するための取り組みに着手しました。

## 現状

瀬戸内海では小型エビ類から魚類まで多種多様な魚介類を漁獲していますが、一部では獲りすぎのものもあります。このため、いつまでも漁業を続けられるよう、水産研究所ではどのような獲り方をすればより安全かを科学的に予測し、漁業者や行政機関に今後の獲り方を検討するための判断材料を提供しています。現在行われている資源管理の多くは、1つの魚種ごとに実施されており、その中ではある魚を沢山漁獲したとき、それを食べる魚やそれに食べられる魚への影響まで考慮されていません。また、瀬戸内海で一般に行われている底曳網や刺網などの漁業では、図1のように様々な魚種を同時に漁獲しており、1つの魚種のみに着目した資源管理では必ずしも実情に即していません。沿岸資源研究室では、多魚種を一括したときの資源管理の効果を予測するために、食う食われるの関係を考慮した資源管理技術の開発に取り組みはじめました。



図1 底曳網を巻き上げる風景（左）、底曳網によって漁獲された生物（右）

## どんな方法で何を調べるか？

食う食われるの関係を定量化するため、エコパス・エコシムという生態系モデルを使用しました。このモデルを作るには、海の中の生物をいくつかのグループに分け、さらに各グループについてどこにどのぐらい生息するか（現存量）、どのぐらい餌を食べるか（消費量）、何を食べるか（胃内容物に含まれる餌ごとの組成）などの情報が必要です。これらのデータは、調査船での海洋観測や、漁船での生物採集、水槽での飼育実験など、さまざまな種類の

調査によって収集します。今までの知見を整理したところ、瀬戸内海では海底に生息する小型エビ類や多毛類（ゴカイの仲間）などのデータが少なく、今後の調査が必要であることがわかりました。図2に周防灘の1980年代のデータから試作した、食う食われるの関係を定量化したフロー図を示しました。ここでは海域の生物を15種類のグループに分類しました。さらに、漁獲の強さを変化させたときのグループごとの動向をコンピュータで計算することで、ある管理方策の下での将来期待される資源量水準や漁獲量を見積もることが出来ます。

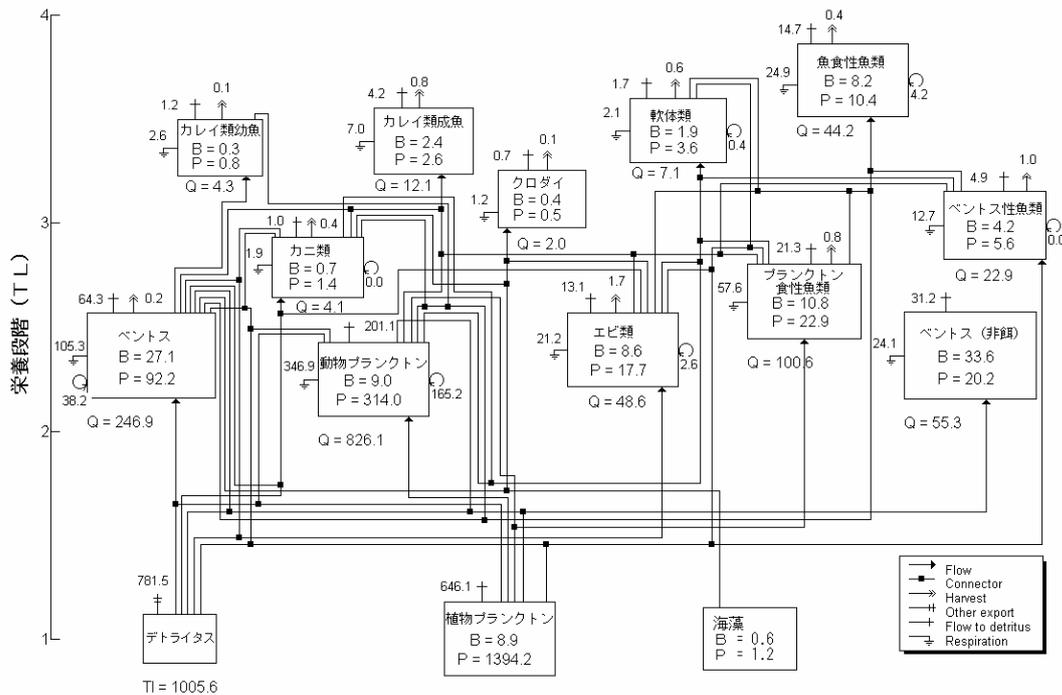


図2 周防灘で試作した食う食われるの関係を定量化したフロー図

### どんなことが解るか？

現在は魚種ごとに「この管理方策を実施すると5年後にはこの魚種の水揚げ量が10%程度増加する」といった予測にとどまっていたのが、この技術が実用段階に達すると「この管理方策を実施すると5年後にはエビ類とカニ類の漁獲量は増えるが、カレイ類の漁獲量は減る。全体の水揚げ量は10%程度増加する」といったより詳細な予測が可能になります。まだ試作の段階ですが、今後精力的にデータを収集し、多魚種を一括した資源管理技術の開発を目指していきたいと思えます。

(わたり しんご、生産環境部沿岸資源研究室)

## 研究紹介

# 天然プランクトン中の麻痺性貝毒を簡便に測定 ー貝毒発生をより正確に予測する試みー

松山 幸彦

日本では昭和 54 年以降、食用貝類の貝毒について監視体制が敷かれており、近年は貝毒を原因とする食中毒はほとんど発生していません。「危険な貝類を水際で締め出す」という目的において、食の安全・安心確保は十分に機能していると言えます。

## 食中毒患者は発生しないけど・・・

貝毒による中毒患者は発生しないようになりましたが、現場の海における貝毒発生は増え続けています。このため、貝毒が発生すると二枚貝養殖業などで生計を立てている漁業者の皆さんは、収入減や風評被害による価格下落などの被害を受けてしまいます。例えば広島湾で貝毒のためにカキ養殖の出荷が 3 週間停止されると、生産減が 34 億円にものぼる計算になります。貝毒の原因となる有毒プランクトンの発生そのものを防ぐことは困難なので、なるべく早く貝毒発生を正確に予測して、事前の対策を十分に講じることが求められています。

## 貝毒の予測は可能なのか？

昔は貝毒発生の原因が十分に把握されておらず、いつ、どのような条件で二枚貝の毒力が上昇するのか十分に解明されていませんでした。その後の研究等の進展により、現在では貝毒の原因となる有毒プランクトンが完全に同定されています。従ってこれらの出現をモニタリングにより詳細に把握することができれば、二枚貝の毒化を予測する事が可能です。

## 実際にモニタリングで予測してみると・・・

日本沿岸では都道府県を中心に沿岸モニタリング網が確立されており、有毒プランクトンの監視もこの体制を使って行われています。かつてに比べると予測精度は上がっているものの、実際に調査を行うと有毒プランクトンの同定に熟練を要すること、現場の細胞密度と二枚貝の毒化が必ずしも一致しないなどの矛盾点も多く見られ、貝毒予測はやはり簡単に行かないことが指摘されています。特に有毒プランクトンが抱えている毒量が、環境要因等によって 10 倍以上も変動することが、モニタリングの精度を落とす主たる原因となっています。

## 海水中の懸濁物毒量を直接測定する

貝毒発生をより正確に予測するために、二枚貝が摂食している懸濁物（有毒プランクトンを含む）中の毒量を機器分析などで直接測定してしまえば、煩雑な顕微鏡観察や種同定・計数作業抜きに毒化を正確に予測することが期待されていました。ただし、麻痺性貝毒は低分子アルカロイドでイオン性が強いため、海水中の塩分と分離が困難で、固相抽出などの濃縮が期待できません。さらに、高電圧をかけた真空中でもイオン化し難いため、高感度分析の切り札である LC-MS/MS 法による感度上昇が期待できないというデメリットがあり、研究はあまり進展していませんでした。

## ELISA 法の活用で道を拓く

瀬戸内海区水産研究所では、先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「現場即応型貝毒検出技術と安全な貝毒モニタリング体制の開発（H15～18年）」に参画し、大阪府立公衆衛生研究所で開発された簡便・迅速な超高感度 PSP-ELISA 法によって海水中の懸濁物中の毒量を直接かつ精度良く定量することに成功しました。二枚貝の餌となるプランクトン試料中の毒量を直接定量することで、労力のかかる顕微鏡観察に頼ることなく貝毒発生を正確に予測することが可能となり（図参照）、今後のモニタリング技術の向上に貢献するものと期待されます。

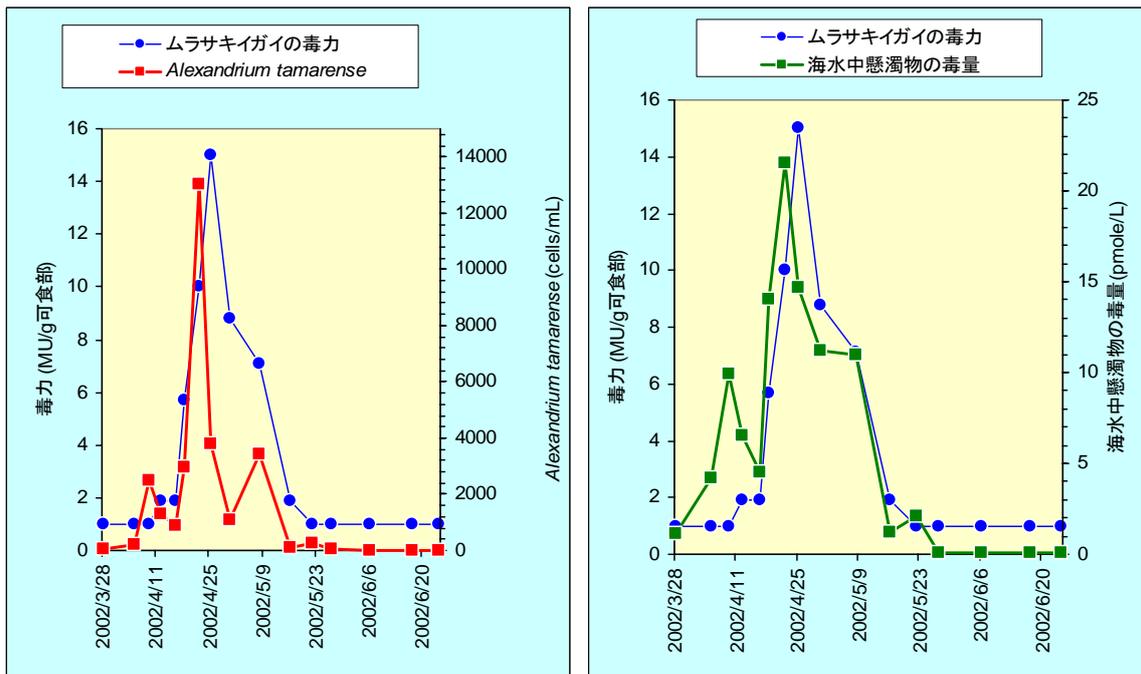


図 広島湾西部(瀬戸内水研棧橋)におけるムラサキイガイの毒力(MU/g 可食部)と有毒プランクトン・アレキサンドリウム タマレンセ(*Alexandrium tamarense*)出現密度(左)および ELISA 法で測定された海水中懸濁物毒量(右)の経時的変化。左側の有毒プランクトン計数に基づく従来法ではムラサキイガイ毒化との位相が認められるが、右側の懸濁物毒量で見ると両者の推移がほぼ一致し予測精度が高まっている。

(ムラサキイガイの毒力測定は大阪府立公衆衛生研究所濱野米一博士にご協力頂いた)

## プランクトンモニタリングは引き続き必要

もし ELISA 法が普及すると、顕微鏡の傍らに図鑑を並べての丸一日がかりの煩雑な有毒プランクトン種同定作業から開放されることが期待されます。しかし、ELISA 法では原因種の同定を行わないために、種特有の生理特性に基づく中長期の予察や学術的知見の蓄積は期待できません。新しい技術が普及したとしても、「有毒プランクトンを顕微鏡下で観察して最終確認を行う」という部分は必要最小限残して行かねばならないと考えています。

(まつやま ゆきひこ、赤潮環境部有毒プランクトン研究室)

## 研究紹介

## 石油の毒性予測

角 埜 彰

石油の毒性は各成分の毒性を足し算すれば推定できることが分かりました。そこで、石油に含まれる多環芳香族炭化水素化合物（PAH）の組成と濃度から毒性を推定し、実際に試験をして得られた石油の毒性値と比較した結果、石油の毒性の半分は PAH で説明できることが分かりました。

## はじめに

1997年1月2日のナホトカ号、同年7月2日のダイヤモンドグレース号の事故をきっかけとして、石油流出事故における生態影響に関する問題点を抽出し、環境省のプロジェクト研究「流出油及び油処理剤の海産生物に対する有害性評価に関する研究」を2001年から2005年までの5年間にわたり実施しました。ここでは、石油や油処理剤の毒性、石油の毒性予測、日本沿岸の油汚染の実態等の得られた成果について3回にわたり紹介しています。今回は、前回の「流出油の毒性－油処理剤との関連」に引き続き「石油の毒性予測」について紹介します。

## 石油に含まれる PAH

油に含まれる種々の成分の中で、特に毒性が強いことが知られている物質が、多環芳香族炭化水素化合物です。多環芳香族炭化水素化合物は PAH と略して呼ばれ、A 重油には表 1 に示すような PAH が主に含まれています。

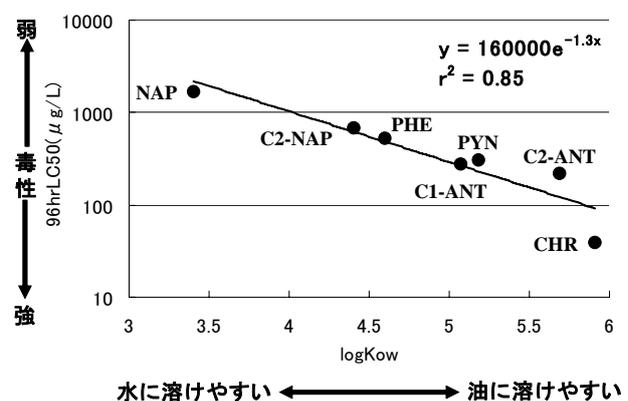
## PAH の毒性の推定

PAH の魚に対する急性毒性を調べた結果、図 1 に示すようにその毒性は油への溶けやすさと良い相関があり、「油に溶けやすい PAH ほど毒性が強い」ということが明らかとなりました。そこで、油への溶けやすさの指標である log Kow と急性毒性値である 96hrLC50（96 時間以内に半数の魚が死ぬ濃度）の関係を示す図中の式を用いて、A 重油に含まれている各 PAH の毒性を計算により求めると表 2 に示す値が得られました。

表1. A重油に含まれる各種PAH濃度

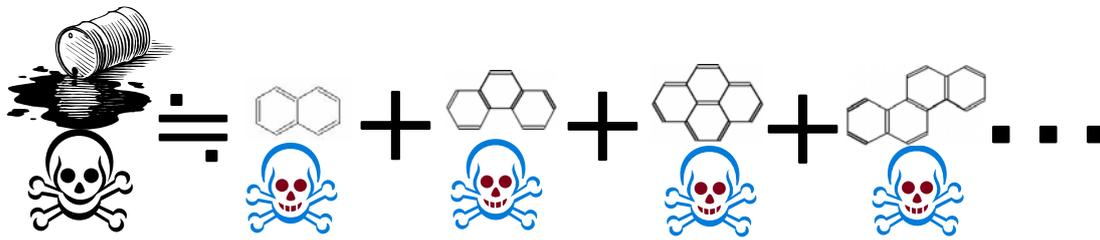
PAH	μg/mL
ナフタレン (NAP)	4400
メチルナフタレン (C1-NAP)	12000
アセナフチレン (ACEL)	3900
ジメチルナフタレン (C2-NAP)	28300
アセナフテン (AGE)	690
フルオレン (FLU)	640
フェナントレン (PHE)	2900
アントラセン (ANT)	270
メチルフェナントレン (C1-PHE)	3900
フルオランテン (FULT)	260
ピレン (PYN)	190
ベンゾ[a]アントラセン (B[a]A)	270
クリセン (CHR)	260
ベンゾ[b]フルオランテン (B[b]F)	290
ベンゾ[k]フルオランテン (B[k]F)	390
ベンゾ[a]ピレン (B[a]P)	110

図 1. PAH の毒性と脂溶性との関係



## PAHの複合毒性

PAHの複合毒性を調べた結果、PAHを組み合わせて複合的に作用させたときの毒性は相加的であり、石油の毒性は各成分の毒性を足し算すれば推定できることが分かりました。



油に含まれる PAH の複合毒性は相加的

## A 重油の毒性の推定

A 重油に含まれる各 PAH の毒性比 (A 重油に含まれる PAH 濃度 ÷ 96hrLC50 × 1000) を計算してその総和を求めると、表 2 に示す値が得られました。表 2 の合計値 108,761 は、A 重油を約 11 万倍希釈しても 96 時間以内に半数の魚を死に至らしめる毒性があることを示しています。この値から A 重油の毒性値を計算すると、9 μL/L となります。あらかじめ求めた A 重油の 96hrLC50 が 4.2 μL/L であったことと比較すると、A 重油の毒性の半分程度は PAH の組成及び濃度から推測可能であることが明らかとなりました。

(かくの あきら、化学環境部生物影響研究室)

表2. マミチヨグふ化仔魚に対するPAHのlog Kowと96hrLC50との関連から推定した毒性値A重油に含まれるPAHの毒性比  
(PAH濃度(μg/mL) ÷ 推定96hrLC50(μg/L) × 1000)

PAH	log Kow	推定96hrLC50 μg/L	毒性比
ナフタレン (NAP)	3.4	1,656	2,658
メチルナフタレン (C1-NAP)	3.87	1,070	11,215
アセナフチレン (ACEL)	4.07	882	4,420
ジメチルナフタレン (C2-NAP)	4.36	672	42,113
アセナフテン (ACE)	3.92	1,016	679
フルオレン (FLU)	4.18	796	804
フェナントレン (PHE)	4.6	536	5,407
アントラセン (ANT)	4.5	589	458
メチルフェナントレン (M-PHE)	5.07	345	11,306
フルオランテン (FULT)	5.22	300	868
ピレン (PYN)	5.18	311	611
ベンゾ(a)アントラセン (B(a)A)	5.61	208	1,300
クリセン (CHR)	5.91	39	6,667
ベンゾ(b)フルオランテン (B(b)F)	5.75	39	7,436
ベンゾ(k)フルオランテン (B(k)F)	6.84	39	10,000
ベンゾ(a)ピレン (B(a)P)	6.5	39	2,821
毒性比の合計			108,761

## 研究紹介

# 干潟のシンボル，絶滅危惧種アオギスの生息状況と生息環境

重田 利拓・薄 浩則

瀬戸内海で4カ所のアオギス生息地(局所個体群)を発見し、繁殖を確認しました。これにより、本州での繁殖場の存在が明らかになり、日本における生息地は計8カ所となりました。瀬戸内海7ヶ所の生息地は、一つの緩やかな大集団(周防灘周辺メタ個体群)と考えられ、生息域の縮小、生息数の減少により、メタ個体群全体として絶滅の恐れがあるものと判断されました。本種の生存には、干潟の存在、水質・底質などに次いで、干潟の餌環境が重要と考えられました。

## 干潟のシンボル「アオギス」とは？

アオギス *Sillago parvisquamis* (図1) は全長40cmに達するキス科の絶滅危惧種で、干潟とその周辺のみで生息することから「干潟再生のシンボル」とされています。かつて、東京湾など日本各地の河口・干潟に多く生息していましたが、高度経済成長にともなう干潟の喪失や水質の悪化などとともに、次第に姿を消してゆきました。近年採捕記録があるのは、瀬戸内海の3カ所と鹿児島県吹上浜の計4カ所のみです<sup>1)</sup>。これらのうち吹上浜のアオギスは、東京湾や瀬戸内海のものとは形態学的に異なると言われていています<sup>1)</sup>。従って、瀬戸内海の干潟は典型的な「アオギス」の最後の生息場所と言えます。さらに、比較的大きな群れが存在し繁殖が認められるのは、残すところ、九州北部の豊前(ぶぜん)海のみとされます<sup>1)</sup>。まさに危機的な状況です。

本種の生息環境や減少原因が分かれば、本種を絶滅から救うことができ、ひいては干潟再生への糸口とすることができるかも知れません。そこで、瀬戸内海研究会議から助成を受け、①瀬戸内海における生息状況(過去、現在)の把握・評価と②生息場所に共通する生息環境の把握を行いました<sup>2)</sup>。

## 今回分かったことー生息地、繁殖場、干潟環境など

1. 瀬戸内海で新たに4カ所の生息地(局所個体群)を発見し、4カ所では繁殖も確認できました(図1, 2)。これにより、本州沿岸にも本種の繁殖場があることが明らかになり、日本における生息地は計8カ所となりました。

2. 本種は周防灘周辺で一つの緩やかな大集団(メタ個体群)を形成すると考えられました(図3)。主力の豊前海(中津)局所個体群は直ちに絶滅する状況ではないものの、残りの6局所個体群は、生息域の縮小、生息数の減少が顕著であることから、絶滅の恐れのある危険な状態です。従って、本メタ個体群全体として、絶滅の恐れがあるものと判断されました。

3. 本種が生息する瀬戸内海の干潟(7カ所)には、①ある程度の規模、②河川の流入、③長い沖出し幅、④緩やかな勾配、⑤粒径が均質な灰色の砂底の存在など、いくつかの共通点が認められました。干潟の存在や水質・底質の他に、干潟の餌環境の悪化(餌のアサリの激減)による生存への悪影響が懸念されます。

## アオギス・干潟を護るために必要なことー今後の方策

本種の絶滅を回避し保護・再生するためには、まずは①主力の豊前海(中津)局所個体群の規模の維持と、第二、第三の主力となる局所個体群の再形成を図ること、②前記を実行するために必要な科学的知見の蓄積を図ること、③一般や地域の方々への本種に対する理解の促進と、本種の保護・再生に関連する法令等を整備すること、が必要です。

周防灘には、依然として我が国で2番目に広い6,861haもの干潟が存在しています。けれども、干潟のアサリ漁獲量は激減し、特にかつて主力産地の一つであった山口県瀬戸内海沿岸では壊滅状態です(図4)。従って、現状維持の「保全」だけでは不十分で、アオギスや他の希少生物の生存を脅かさないような、干潟環境の「再生」(餌資源の回復;少なくともアサリ 0.5-1 トン/ha以上が持続的に漁獲できる干潟環境)が必要と考えています。

なお、本研究の詳細は重田・薄(2007)<sup>2)</sup>をご参照下さい。

謝辞

本研究では、瀬戸内海研究会議を始め、遊漁者、漁業者、市場関係者、府縣市水産・環境担当者、博物館・水族館担当者、大学関係者、松井誠一先生など、多くの方々のお世話になりました。厚くお礼申し上げます。

文献

- 1) 望月賢二・松井誠一・喜田 潤 (1998):アオギス, 日本の希少な野生水生生物に関するデータブック(水産庁編), 86-87, 日本水産資源保護協会, 東京
- 2) 重田利拓・薄 浩則 (2007):干潟環境の保全・創造の指標としての絶滅危惧種アオギスの生息状況ならびに生息環境に関する研究, 瀬戸内海, 51, 63-66.

(しげた としひろ・うすき ひろのり、栽培資源部資源増殖研究室)

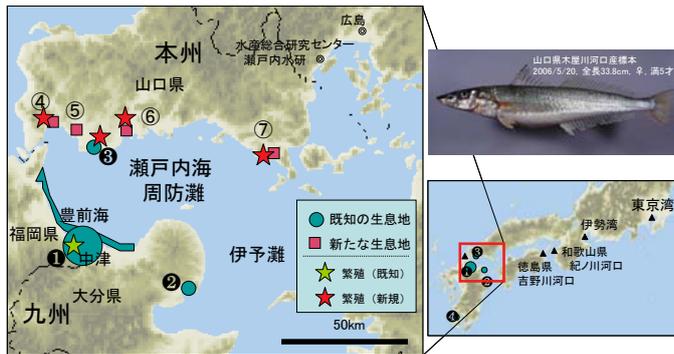


図1. 日本におけるアオギスの分布。  
 右上図:アオギス, 右下図:日本における本種の既知の分布図(望月ら(1998)<sup>1)</sup>を基に作図), 左図:本研究の結果を追加した本種の生息地と繁殖地。  
 ●大:比較的まとまって採集できる場所, ●小:稀に採集される程度の場所, ▲:近年捕獲記録がなく、絶滅した可能性の高い場所。既知の生息地は①:豊前海, ②:大分県守江(もりえ)湾(別府湾), ③:山口県宇部市厚東(こう)川河口, ④:鹿児島県吹上浜。★:繁殖が認められるところ。

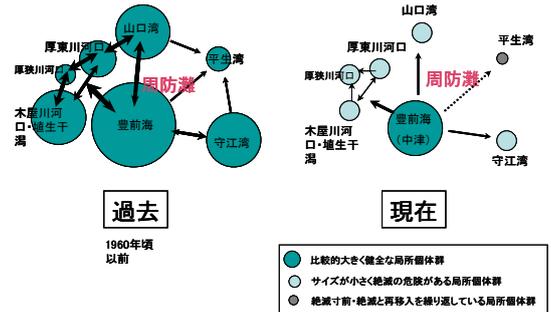


図3. アオギスの周防灘周辺メタ個体群の過去と現在の模式図。  
 矢印の向きと太さは、予想される交流の方向と大きさを表します。各局所個体群の独立性は高いのですが、卵稚仔期のみ、緩やかに交流することがあります。  
 「1960年頃以前」は、いずれの干潟でも、本種は広い範囲に多くいたようです。以降、底質の泥化にともない、生息場所が狭められ数も少なくなったようです。1990年代初めに、山口県側ではほとんど姿を消してしまい、「現在」に至っています。  
 仮に飛行機に例えるならば、昔は7個のエンジンで飛んでいたものが、現在はたった1個でどうにか飛んでいる状態で、いつ墜落してもおかしくない危険な状況なのです。

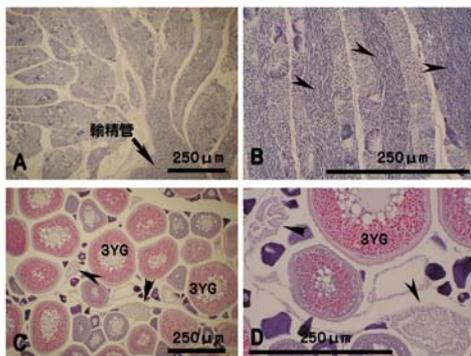


図2. 山口県厚東川河口産アオギスの生殖腺組織像。  
 2006年5,6月採集。A:精巣組織像。B:精巣組織像を拡大。矢印は排精された精子で繁殖していることを示します。C:卵巣組織像。D:卵巣組織像を拡大。矢印は排卵後濾胞細胞で産卵の証拠となります。

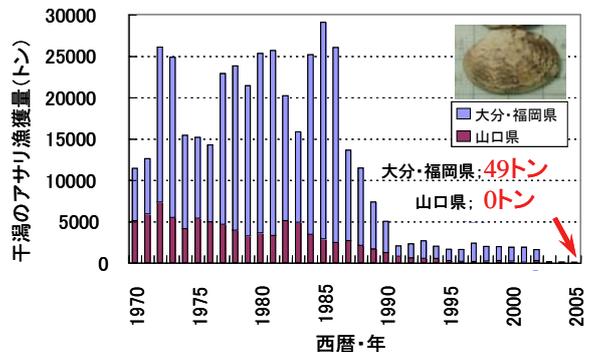


図4. 周防灘の干潟域のアサリ漁獲量(農水省農林水産統計を使用)。  
 大分・福岡県:49トン  
 山口県:0トン

## イベント報告

## 研究所一般公開「もっと知りたい瀬戸内海」を開催

岡 慎一郎

独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所では、平成 19 年 7 月 21 日(土)に、「もっと知りたい瀬戸内海」をキャッチフレーズとして研究所の一般公開を開催しました。研究所の近隣から一般市民の皆様をお招きして、多くの方に研究所の活動や海の環境保全等をご理解いただくとともに、海の生き物に触れ親しんでいただくことを目的としました。

研究紹介パネルの展示や顕微鏡による赤潮プランクトンの観察、アサリの貝殻を使った「貝合わせ」、模型のボートを使った汚損生物の影響実験、ロープワーク実演等の他、恒例となった海藻押し葉の作成体験、瀬戸内の魚の名前を当てるおさかなクイズ、見て触って海の生き物と親しむタッチプール、白い船体が美しい漁業調査船しらふじ丸の船内公開等を行いました。また、高知県海洋深層水研究所のご厚意によりご提供いただいた海洋深層水で作った氷を使用し、海洋深層水かき氷コーナーも行いました。

来所者は 602 名と、昨年に引き続き 600 名の大台を超え、そのうちの約 4 割が 2 回以上一般公開に訪れたことがある方々でした。来所者の多くは地元の廿日市市をはじめとする広島県の方でしたが、山口県、岡山県、島根県、兵庫県、愛媛県の他、遠く和歌山県からお越しの方もおられました。

各コーナーとも盛況でしたが、特に「タッチプール」と「おさかなクイズ」の人气が高く、次いで「海洋深層水かき氷」でした(図 1)。タッチプールはちびっ子とその御父兄に大人気で、ちびっ子にもみくちやにされた魚たちには気の毒でしたが、それと引き替えに人気トップの座を守ったというところでした(図 2)。

好天に恵まれ、事故もなく盛況の内に本年度も一般公開を終えることができましたが、これも日頃の業務の合間をぬって準備を行った、瀬戸内水研職員の努力の賜であることを最後に記して報告いたします。なお、次年度の一般公開は、7 月 19 日(土)に開催の予定です。また次回も多くの方にお越しいただきますよう、お願いいたします。

(おか しんいちろう、業務推進部業務推進課長)

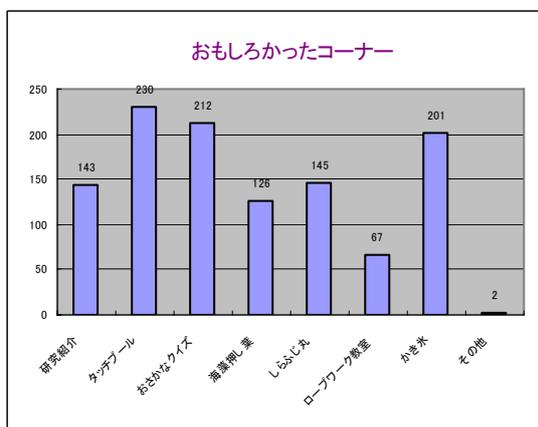


図 1 各コーナーの人気投票結果(複数投票)



図 2 タッチプールで魚と戯れるちびっ子達

## トピックス

## サンゴ礁の有毒魚サザナミフグ、広島湾に現る

2007年11月11日、広島湾・倉橋島の南西部沿岸で、サザナミフグ *Arothron hispidus* (フグ科) の未成魚1個体(全長15cm)が見つかりました(図1)。本種は、インド・太平洋、東部太平洋の熱帯域に分布し、日本では房総半島以南の亜熱帯域や暖海域のサンゴ礁に生息する魚です。体長(吻端から尾鰭の付け根までの長さ)は45cmになります。瀬戸内海では「稀種」とされる、とても珍しい南方系のフグ科魚類です。1957年に山口県周防大島南部、1981年に大阪湾、1998年に兵庫県播磨灘での採集記録があるのみで、瀬戸内海中西部(豊後水道系)では半世紀ぶりとなります。多くのフグ科魚種と同様に、本種も有毒で、皮膚、精巢、肝臓および卵巣は有毒、筋肉は無毒とした報告と有毒とした報告がともにあるそうです。本種を食べるはいけません。

ところで歴史を顧みると、1592年の朝鮮出兵の際、太閤・豊臣秀吉が「河豚禁制の令」を出しふぐ食を禁じたのですが、それ以降も禁制とされ続け、1888年になってようやく、初代内閣総理大臣・伊藤博文の働きかけにより、山口県のみでふぐ食が解禁されました。その後、ふぐ料理が一般に広まったのは戦後のことのようにです。高級魚の代名詞でもある天然トラフグですが、実は、瀬戸内海のトラフグ漁獲量(広島県)は1988年以降減り続け、2005年にはピーク時(1987年)の1/12の23tまで激減しています(図2)。

今年はふぐ食解禁120年の節目の年です。微力ながら、フグの研究の進展に貢献できればと考えています。最後に、本件でお世話になった中国新聞社の林淳一郎氏、レイ・ダイビングスクールの紙雅和氏に、厚くお礼申し上げます。

(重田利拓 栽培資源部資源増殖研究室)



図1. サザナミフグ(撮影地=広島湾; 紙氏提供)

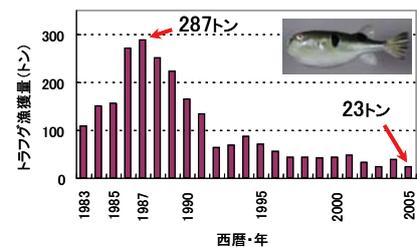


図2. 瀬戸内海(広島県)のトラフグ漁獲量の経年変化(農水省農林水産統計を使用)。

## サンゴ礁の魚コバンヒメジ採集される

2007年12月20日、山口県上関町沿岸で、コバンヒメジ *Parupeneus indicus* (ヒメジ科) の未成魚1個体(全長18.1cm)が採集されました(図)。本種は、インド・太平洋域、南日本のサンゴ礁域に生息する魚です。名前の由来ともなっている背部の大きな1楕円黄斑と、尾柄部の大きな1黒斑が特徴です。成長すると体長40cmにもなり、沖縄県では漁獲対象種になっているそうです。

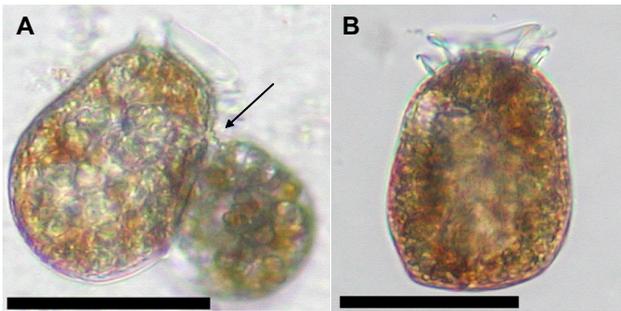
瀬戸内海では稀な南方系の魚種で、1966年に山口県光市、1981年に大阪湾で採集例が、2003年に別府湾での報告が、また、写真や標本はありませんが、1993年に愛媛県伊予灘での目視観察例があります。山口県の瀬戸内側では41年ぶり2例目の採集となります。

今後、地球温暖化が進むと予想されており、瀬戸内海の漁業の基盤となる魚類相がどのような影響を受けるのか、地道なモニタリングが必要です。最後に、本件でお世話になった山口県上関町の難波素・富美江ご夫妻、山口県柳井魚市場の松井弘明氏、西水研石垣支所の渋谷拓郎博士に厚くお礼申し上げます。

(重田利拓 栽培資源部資源増殖研究室)



図 コバンヒメジ(本標本)



## 表紙の解説

下痢性貝毒原因プランクトンのディノフィシス フォルティー プランクトンの研究が始まって以来、多くの研究者が下痢性貝毒原因渦鞭毛藻ディノフィシス属の培養を試みてきたが、2006年のPark ほかによる餌生物の発見まで、誰1人として長期の継代培養に成功しなかった。本種については、我々が世界で初めて培養に成功した。

A: 下痢性貝毒原因渦鞭毛藻ディノフィシス フォルティー (左, 側面像) が繊毛虫ミリオネクタ ルブラ(右)を捕食し、ペダングルと呼ばれる細い管(矢印)から細胞内容物を吸い上げて取り込んでいる様子を示す。

B: 本種は非常に食欲旺盛でミリオネクタを貪欲に捕食し、細胞がはち切れんばかりに膨張した様子を示す(腹面像)。現場天然サンプルでは、このような膨張した細胞の報告はない。スケールは50マイクロン(1mmの1/20)。

## 編集 後記

今号では特集記事を「水産研究開発の最前線」としました。当所では特集記事で紹介した業務をはじめ、多くの研究開発課題に取り組んでいます。これら取り組んでいる課題が、地域をはじめとした水産業の活性化を目的に日々努力しております。今号ではそれらの中から一部の成果を紹介させて頂きました。是非ご一読下さい。

また、本誌の更なる内容の向上に向けて、引き続き皆様からの意見を募集しております。下記メールアドレスまたはFAX番号までぜひお寄せ下さい。

今後とも本誌をご愛読下さいますよう、宜しくお願い申し上げます。

(業務推進部業務推進課情報係長 渡邊淳治)

## 瀬戸内通信

第7号  
平成19年12月発行

編集委員 内田卓志 堀 正和 長井 敏 隠塚俊満 重田利拓 末藤浩二郎 渡邊淳治  
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瀬戸内海区水産研究所  
〒739-0452 広島県廿日市市丸石2-17-5  
TEL:0829-55-0666(代) FAX:0829-54-1216  
E-mail:www-feis@fra.affrc.go.jp  
ホームページ http://feis.fra.affrc.go.jp/