

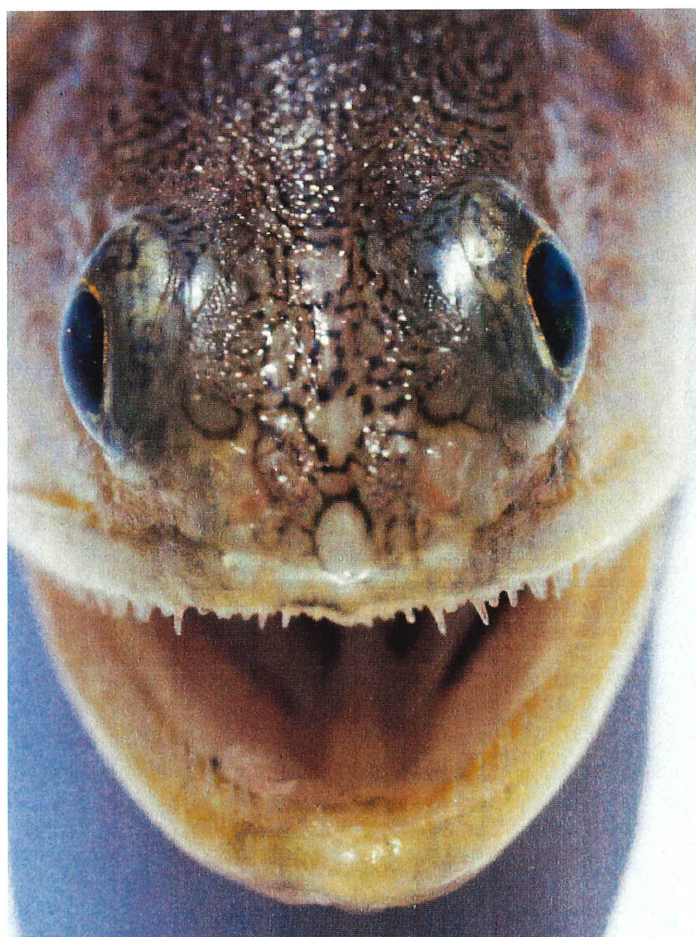
JAMARC No.56

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 海洋水産資源開発センター 公開日: 2024-03-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2001222

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



JAMARC



第56号
'01/3



海洋水産資源開発センター

JAPAN MARINE FISHERY RESOURCES RESEARCH CENTER

JAMARC 第56号 目次

◇ 海洋水産資源開発センターの平成13年度予算について	
水産庁増殖推進部 漁場資源課	
課長補佐 田 垣 晃 生	1
◇ 特別企画：アコースティック資源調査	
1. 計量魚探の仕組みと調査解析の実際	
水産庁北海道区水産研究所 亜寒帯漁業資源部 資源評価研究室	
主任研究官 本 田 聡	5
2. 水産音響技術と開発センター	
海洋水産資源開発センター 開発部 開発調査第一課	
大 島 達 樹	17
参考資料 アコースティック資源調査に関する入門書	23
◇ 内分泌かく乱物質による水域汚染と魚類に対する影響実態	
瀬戸内海区水産研究所 環境保全部長 山 田 久	
生物影響研究室長 藤 井 一 則	24
◇ 技術情報「中層フロートを用いた全球海洋観測（ARGO計画）」	
気象庁 気象研究所 海洋研究部 第二研究室	
主任研究官 蒲 地 政 文	39

◆センターだより◆

◇ センター事業の動き（平成12年度後半）	45
◇ 外国船情報（平成12年度後半）	47
◇ 役職員の異動	48
【編集後記】	48

海洋水産資源開発センターの平成13年度予算について

水産庁増殖推進部 漁場資源課 課長補佐 田 垣 晃 生

海洋水産資源開発センターの業務は、設立根拠法である海洋水産資源開発促進法（昭和46年法律第60号）の第35条第1項に規定されている業務（いわゆる本来業務）と同法同条第2項に規定されている業務（受託業務）に大別することができます。国は、開発センターに対して、前者について海洋水産資源開発費補助金を交付するほか、後者に該当する各種調査を委託していますが、平成13年度から水産庁の研究所が独立行政法人に移行することに伴って、資源調査関係の委託費については、調査の一貫性と責任体制を明確化すると趣旨から、関係経費を一括して独立行政法人水産総合研究センターに対する委託費として計上し、その一部を開発センターに再委託する仕組みに組み替えられました。補助金・委託費の各事業ごとの予算額を別表に示します。

○補助金について

認可法人である開発センターの事業については、累次の閣議決定による特殊法人等の整理・合理化、事業の縮減という政府全体としての既定方針の下、これまでも縮減・合理化を求められてきましたが、13年度予算編成においては、特殊法人等に加えて、公益法人や公務員制度の見直しを含む、より広範かつ抜本的な「行政改革大綱」が閣議決定（平成12年12月）されるなど、一層厳しい情勢となりました。加えて、水産庁では「水産基本政策大綱」及び「水産基本政策改革プログラム」を決定（平成11年12月）し、これに沿って各種施策を展開していくことしていますが、新たな施策の実施に必要な財源は、水産庁全体として既存事業の見直しによって捻出せざるを得ないことから、開発センターに対する補助金についても、水産庁内における検討の段階から大幅な縮減を求められるこ

ととなり、最終的には平成12年度予算額に対して7%以上の縮減という、近年にない大幅な減額となりました。このため、13年度事業は、12年度からの継続事業のみとなりました。

沖合漁場等総合開発調査事業：小型いか釣り漁業の光力と漁獲の関係の解明、ふぐ延縄漁業における漁法の違いによる漁獲特性の解明といった資源管理に資するための調査、及び近海かつお・まぐろ漁業について、我が国EEZ内の水深2千～3千メートルの大水深海域において中層型浮魚礁による漁場造成技術を用いて、漁場拡大と新たな安定的漁場として活用する手法を開発するための調査を実施。

海洋水産資源利用合理化開発事業：まぐろはえなわ漁業、海外まき網漁業、いか釣り漁業、かつお釣り漁業について、漁場の開発調査に加え、より高品質な漁獲物の生産による付加価値向上、エルニーニョ現象等の大規模な漁場環境の変動に対応した漁場形成パターンの解明、海洋生態系への配慮といった観点に立った企業化調査を実施。

新漁業生産システム構築実証化事業：東海・黄海及び北部太平洋の大中型まき網漁業、沖合底びき網漁業（2そうびき）、遠洋トロール漁業について、漁獲から市場上場までの実態に応じた最新の漁労技術・機器を応用した省人・省力化及び付加価値向上等により、対象となる資源と漁業経営に見合った、より合理的な漁業生産システムの実証化調査を実施。

なお、開発センターの組織定員について、既存定員の振り替えにより、資源管理型漁業、中層型浮魚礁による沖合漁場造成、混獲防止対策などのための調査を担当する**開発調査第三課**の設置が認められました。

○委託費について

水産庁の研究所が独立行政法人に移行することに伴って、資源評価調査（我が国周辺水域における主要漁業資源の調査）、国際資源調査（さけ・ます資源調査、温帯性まぐろ資源調査）が、独立

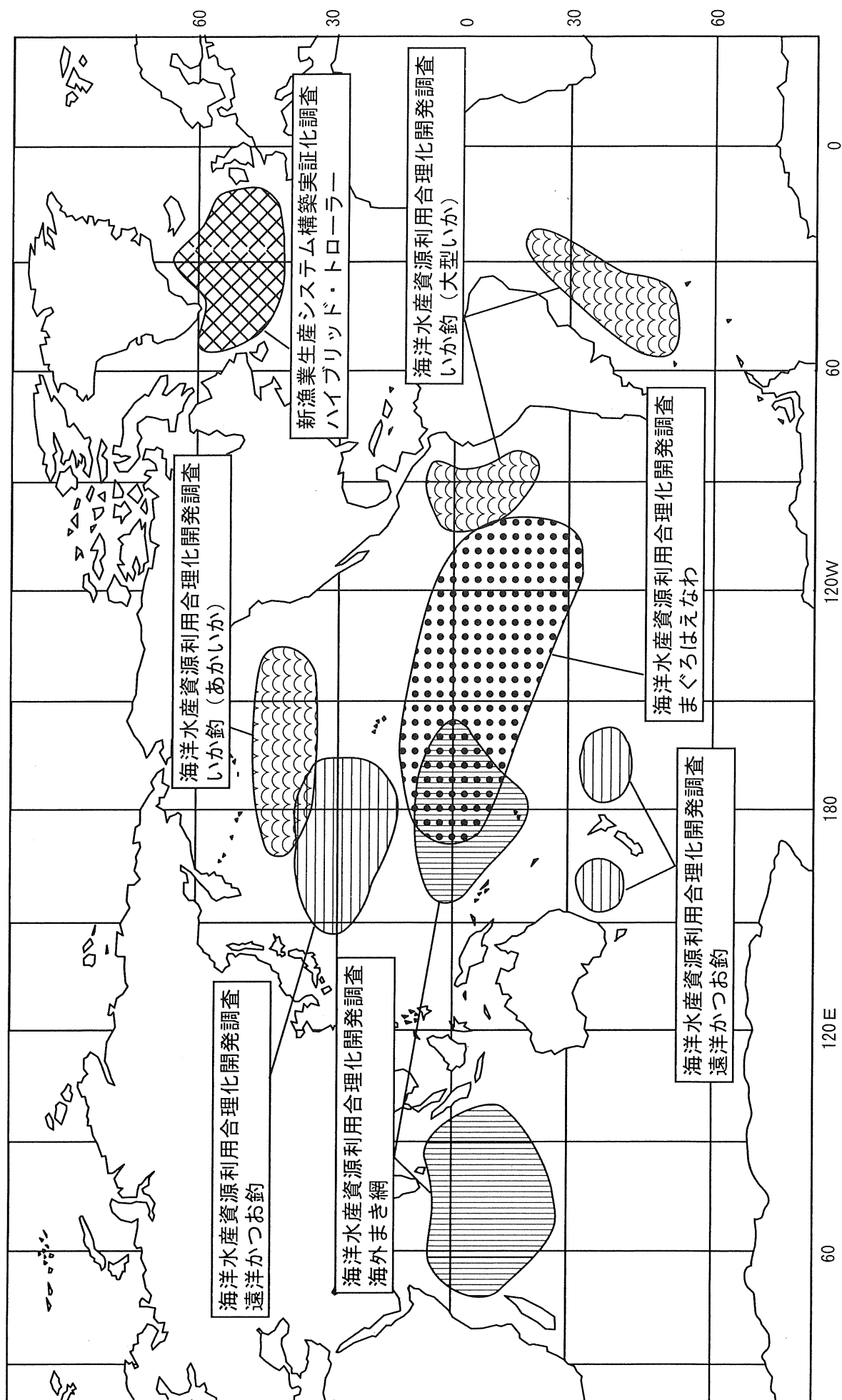
行政法人水産総合研究センターからの再委託に組み替えられましたが、海洋生物混獲防止対策調査（新規）が認められるなど、全体としては、ほぼ前年度並みの予算額となりました。

別表

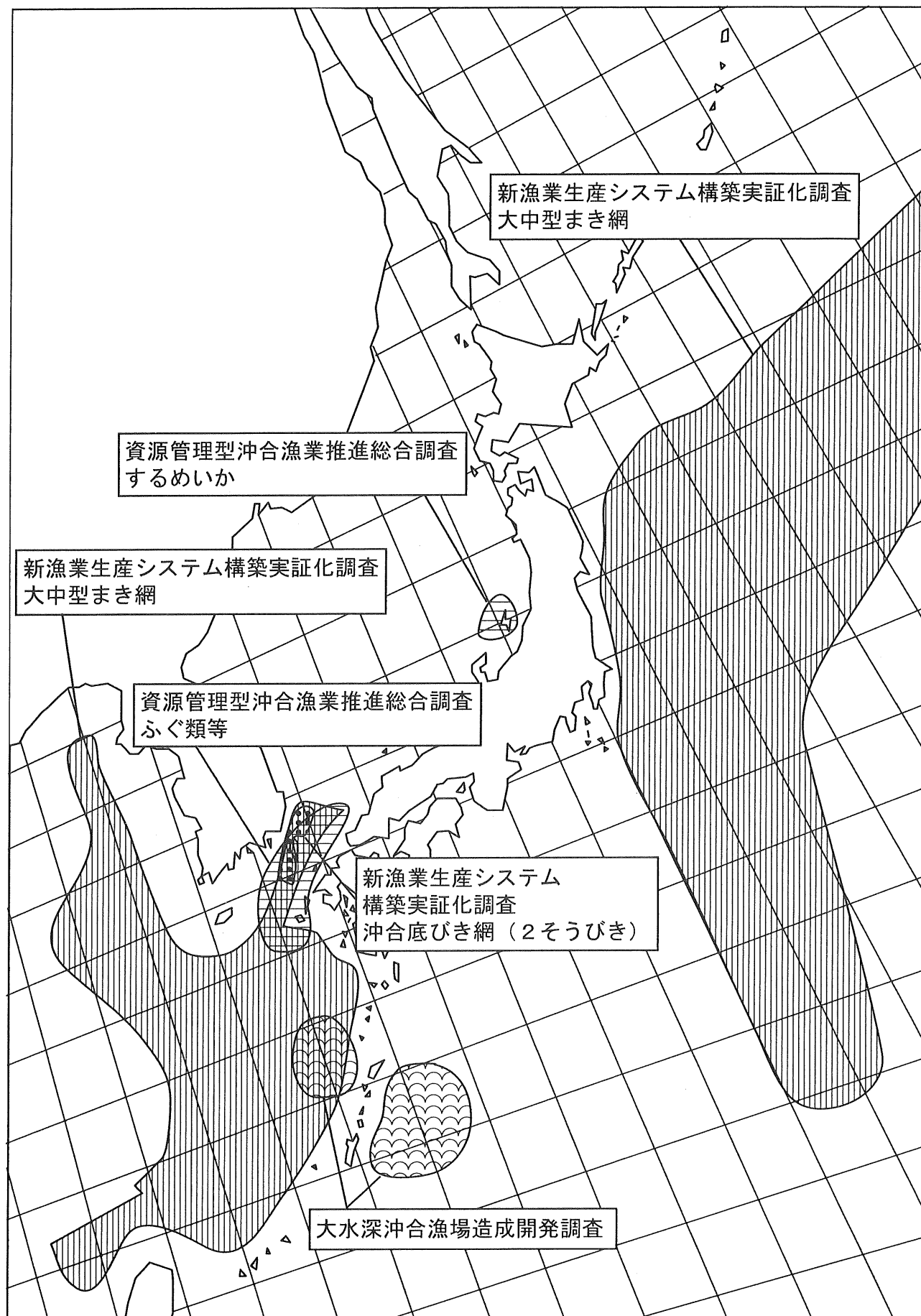
海洋水産資源開発センター関係の予算概要

区 分	平成12年度	平成13年度	前年比
補助金	千円	千円	%
海洋水産資源開発費補助金	4,374,086	4,055,879	92.7
Ⅰ 海洋水産資源開発事業運営費補助金	483,610	488,277	101.0
Ⅱ 海洋水産資源開発事業費補助金	3,890,476	3,567,602	91.7
1. 沖合漁場等総合開発調査事業費	491,412	467,495	95.1
（1）資源管理型沖合漁業推進総合調査費	218,330	213,123	97.6
（2）大水深沖合漁場造成開発事業費	273,082	254,372	93.1
2. 海洋水産資源利用合理化開発事業	1,928,939	1,868,834	96.9
まぐろはえなわ	267,495	263,077	98.3
ま き 網（インド洋）	476,598	464,791	97.5
ま き 網（中部太平洋）	407,543	392,589	96.3
い か 釣（大型イカ）	232,887	225,930	97.0
い か 釣（あかいか）	204,759	190,698	93.1
か つ お 釣	339,657	331,749	97.7
3. 新漁業生産システム構築実証化事業費	1,470,125	1,231,273	83.8
大中型まき網（東海・黄海）	560,623	366,342	65.3
大中型まき網（北部太平洋）	519,016	504,393	97.2
沖合底びき網（二そうびき）	182,835	161,973	88.6
ハイブリット・トローラー	207,651	198,565	95.6
委託費（再委託予定分を含む。）	692,117	696,338	100.6
注：（ ）内は、水研センターからの再委託予定分		(547,498)	-
1. 資源評価調査費（組替新規）	283,599	(284,976)	-
2. 国際資源調査事業費（組替新規）	-	(262,522)	-
・さけ・ます資源調査費（組み替えて2.へ）	32,991	-	-
・温帯性まぐろ資源調査費（組み替えて一部2.へ）	270,380	-	-
・ " （みなみまぐろ操業情報収集調査）		→34,183	-
3. 科学オブザーバー育成体制整備事業費	17,695	17,695	100.0
4. 小型魚国際資源管理対策事業費	14,215	13,504	95.0
5. 国際漁業条約科学情報収集調査費	27,851	26,458	95.0
6. 海洋生物混獲防止対策調査事業費（新規）	0	57,000	-
7. 海洋生態系保全型漁業確立実証調査費	45,386	0	-
補助金・委託費（再委託予定分を含む。）の合計	5,066,203	4,752,217	93.8

平成13年度調査予定海域図



平成13年度調査予定海域図



1. 計量魚探の仕組みと調査解析の実際

水産庁北海道区水産研究所 亜寒帯漁業資源部 資源評価研究室 主任研究官 本 田 聡

1. まえがき

最近、水産資源調査において、「計量魚探（計量魚群探知機の略）」という単語を聞く機会が多くなりました。現在開発センターで実施中の調査においても、計量魚探、あるいはソナーなどの音響調査機器を用いた資源調査がいくつか含まれております。

そこで、音響測器がどのような仕組みで動いているのか、またそれを用いてどのように調査を実施しているのかについて、現在開発センターで実施しているスケトウダラ音響資源調査を例にとりながら、簡単に紹介させていただきます。

2. 調査の原理

2.1 音響調査の原理

漁船や調査船に乗り込むと、大抵ブリッジや研究室に、カラーモニタの付いた魚群探知機（以下魚探機）あるいはソナーが装備されています（図

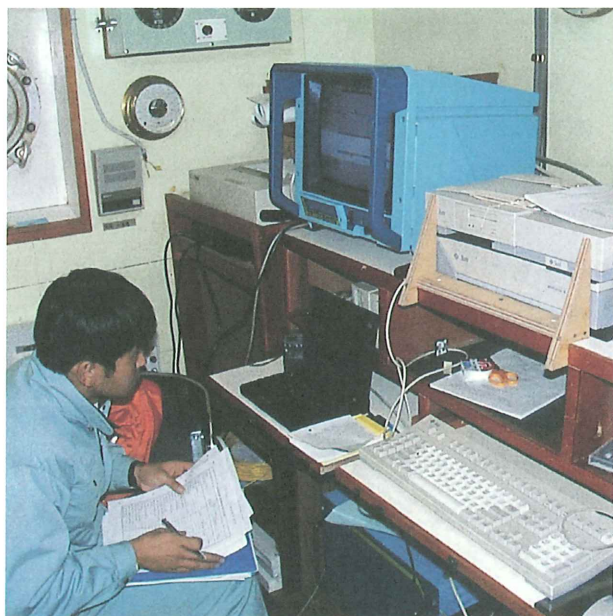


図1 計量魚群探知機（第三開洋丸装備のEK-500）

1）。魚探機やソナーは、水中に超音波を発射し、その反射を捉え画面に表示することで、魚群や海底までの距離あるいは魚群の分布量などを知ることが出来る測器で、現在では船の必須装備の一つになりつつあります。

どのようにして海中の魚群や海底との距離を測ったり、魚群の分布量を知るのか？それには、水中における超音波の振る舞いの特徴を知る必要があります。

2.1.1 魚群探知機の仕組み

1) はね返ってくるまでの時間で距離を測る

海水中で音が進む速度は、一秒あたり約1500mです（正確には水温や塩分などによって多少変化します）。空中よりも早く伝わるのですが、それでも距離が離れるほど、到達にはそれなりの時間がかかります。魚群や海底までの距離を測る際には、この特徴を利用しています（図2）。

例えば、水深150mのところで、海表面（＝海底）から海底に向かってまっすぐに超音波を出します（送波）。船から発射された音波は、150m下の海底まで到達した後上向きに反射し、再び150m上の海表面まで戻ってきて魚探機に捕捉さ

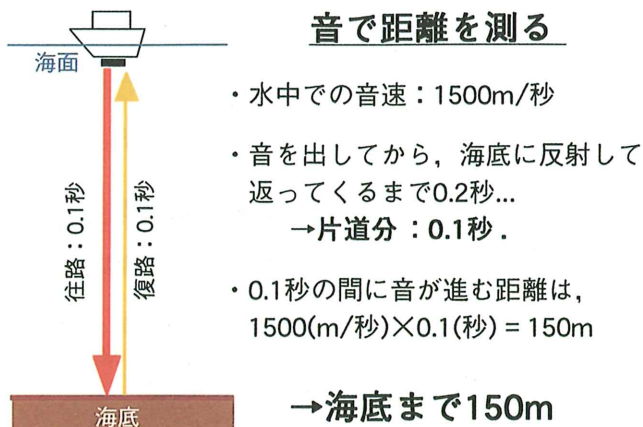


図2 音響測深のしくみ

れます（受波）。この場合、音が発射されてから船に返ってくるまでの距離は、船と海底の間の往復で $150\text{m} \times 2 = 300\text{m}$ です。さらに海水中では一秒間に音は 1500m 進むことになっていますから、 300m 進むのには $300/1500 = 1/5 = 0.2$ 秒かかる計算になります。

この過程を、かかった時間の側から考えてみましょう。超音波を発射してからその反射音を受け取るまで 0.2 秒かかったとすると、船から出た音が海底（あるいは対象物）にたどり着くまでの片道分にかかる時間は 0.1 秒となります。よって、船から海底（あるいは対象物）までの距離は、音速 $1500\text{m/秒} \times 0.1\text{秒} = 150\text{m}$ であると計算されます。

このような方法によって、魚探機やソナーは、船（魚探機）と魚群あるいは海底との距離を測っています。

2) 魚の量は、跳ね返ってくる音の強さで示される

魚を相手にする場合には、船と魚群との間の距離の他に、魚群の「量」を知ることも重要な目的の一つとなります。これは、跳ね返ってくる音の「強さ」で知ることが出来ます。この強さは、魚探機の送受波器（音を水中に発射し、また同時に受け取る装置）から発射した音の強さと、何かに跳ね返って戻ってきた音の強さの比を用いて表現されます（図3）。これをターゲットストレングス、TSと呼びます。例えば、 10000 の音を出して、そのうち1だけ跳ね返ってきたとすると、強さの比は $1/10000 = 0.0001$ となります。しかしこれでは小数点以下の桁が多くて読みにくいので、常用対数を取り、さらにそれを10倍してデシベル（dB）表示することで、 0.0001 を -40dB と表して

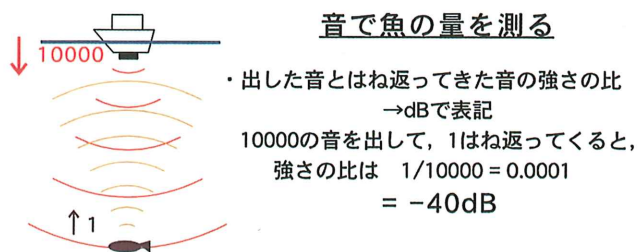


図3 反射の強さの定義

います。これを何dBから何dBまでは何色というように、強さに応じて色を塗り分けて、船からの距離に応じて画面に表示すれば、おなじみのソナーやカラー魚探機の画面が再現されます。

3) 反射の強さを決めるもの

反射の強さ（TS）は、

- ・対象物の質
- ・対象物の大きさ（音を遮る断面積）

で決まります（図4）。

はね返る音の強さはどの様に決まるか？

要素1：反射しやすい／し難い種類

反射 ↑ 弱 クラゲ（ゼリー）
↓ 強 ホッケ（鰐（うきぶくろ）無し）
スケトウダラ（鰐有り）

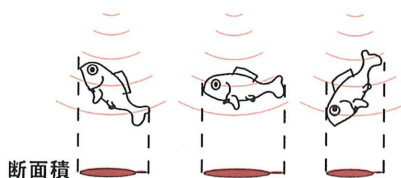
要素2：魚の大きさ

上から見た魚の面積 反射の強さは、魚（or鰐）の断面積に比例。
体が大きいほど、断面積も広がる。



〔断面積は、体長の二乗に比例〕

※魚の遊泳姿勢と断面積の関係



同じ大きさの魚でも、遊泳姿勢によって、音を遮る面積が変化してしまう。

図4 反射の強さを決める要素

要素1：対象物の質

（音をはね返しやすいか否か）

水中に送波された超音波が反射するためには、音響的に海水と異なる性質が必要とされます。簡単な例を挙げるならば、クラゲのように水に近い肉質をもつ生物では、超音波は体を透過してしまうために反射は弱く、逆に魚肉のように海水と異なる性質の物体では音の反射は強くなります。

また、魚の場合には、鰐（うきぶくろ）の存在が音の反射にとって重要な役割を果たします。鰐は、魚体のごく一部にしか過ぎませんが、魚体からの音波の反射の大部分を担っています。いわば、体の中に「太鼓」を持っていて、それが魚探機からの音に共鳴して大きな音を返すと考えてくださ

い。この「太鼓」が存在するおかげで、鰐を持つ魚の反射の強さは同サイズにおける鰐を持たない魚の何倍にもなります。

要素2：対象物の大きさ（音を遮る断面積）

もう一つ、魚の大きさ（鰐を持つ魚では鰐の大きさ）も反射の強さに大きく関わります（図4）。大雑把には、送波された超音波を遮る面積に比例すると考えるのが簡単でしょう。魚探機の場合には魚の背方向から音波を当てることになるので、背方向から見た体の断面積が重要になります。個体そのものが大きかったり、あるいは魚群全体として超音波を遮る断面積が大きければ、その反射も強くなり、逆に個体あるいは魚群規模が小さく、音波を遮る断面積が小さくなれば、その反射は弱くなります。

魚の背方向からみた断面積が魚体長に比例すると考えれば、魚種毎に体長とTSの関係を求めることも可能となります。

例えば、スケトウダラの場合、一尾あたりのTSは

$$TS = 10 \log L^2 - 66.0 \text{ (dB)}$$

（Lは魚の尾叉長、cm）

で求めることが出来ます。

最近、「魚の体長組成が分かる」というキャッチコピーの魚探機がありますが、それらはこの理論を用いています。

※遊泳姿勢によって、断面積は変化する。

ここで一つ注意すべき点があります。先ほど反射の強さは音を遮る「断面積」によって変化すると書きましたが、ここに重要なポイントが隠されています。というのも、魚の遊泳姿勢が変われば、同じ大きさの魚でも音波を遮る面積が変化しうのです（図4）。もし仮に時間帯によって魚の遊泳姿勢が変化する様な場合、一尾の同じ魚の反射の強さも時間帯によって変化している可能性があります。そのため、ある魚種のTSを求める際には、サイズ組成に加えて、その時の魚の遊泳姿勢、そしてそれらと季節や時間帯、生活ステージなどとの関連も一緒に調べ、その都度適切なTS推定

値を求めなくてはなりません。しかし、これは現実的には非常に困難なため、多くの場合は遊泳姿勢角の分布に正規分布を仮定するなどした上で、平均のTSを求めています。先に挙げたスケトウダラの体長とTSの関係式も、実は遊泳姿勢角の分布が正規分布であるという前提を置いています。

4）減衰する音の補正

反射音を測定するに当たって、もう一つ考えなければならない重要な要素があります。それは水中での超音波の減衰です。

音は秒速1500mで海水中を進んでいきますが、同時にその音は四方八方に広がっていくために、音の強さは距離の2乗に反比例して小さくなってしまいます（球面拡散）。さらに海水中を音波が進む間に、音が吸収されて小さくなる効果も知られています（吸収減衰）。この2つの減衰をきちんと補正してやらないと、距離の異なる魚群や海底からの反射強度を同じ指標として比べることが出来なくなってしまいます（遠い物体ほど小さく見積もられてしまう）。

そこで、計量魚群探知機では、Time Variable Gain (TVG) という方法で、送波から受波までかかった時間を元に対象物との距離を計算し、その往復の間に生じる拡散の分だけ、受波された値に「ゲタ」を履かせる操作を行っています。また吸収減衰については、水温と塩分から音の吸収の程度（吸収減衰係数）を推定し、これも対象物との往復距離に応じて補正を行っています。これらの操作によって、船との距離が近い魚群も遠い魚群も同じ尺度でその魚群規模を比較することが出来るようになるのです。

5）計量魚探機の考え方

先ほど、反射の強さは、対象物の質と大きさ（断面積）によって決まると述べました。計量魚探機の考え方はこの後者の考えかたを利用しています。すなわち、「跳ね返ってくる音の大小は、対象物の尾数（断面積の総和）に比例するはず」と考えるのです（図5）。

先に挙げた例では、魚が1尾分布した際のTS

は $1/10000$ 、 -40dB でした。では、同じTSを持つ魚が3尾いた場合にはどれだけの反射が戻ってくるのでしょうか？ここで計量魚探機の考え方では、対象物が3倍になったのだから、反射も3倍になる、すなわち $3/10000$ 、デシベル表示をすると -35.2dB の受波があるはずと考えます。これを逆に追えば、受波した音の強さ： -35.2dB ($=0.0003$) を1尾あたりのTS： -40dB ($=0.0001$) で割り算することによって、分布尾数は3尾と推定するわけです。

音の強さから魚の尾数へ

はね返ってくる音の強さは、対象物の尾数（断面積）に比例するはず

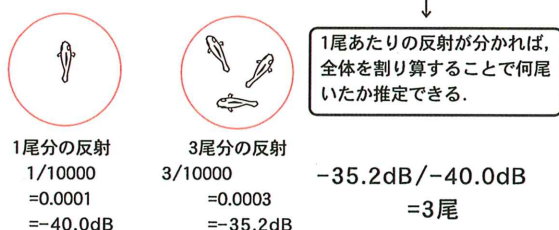


図5 「計量」魚群探知機の考え方

※魚が垂直方向に重なっていたら、音を遮る断面積は単純な尾数倍よりも小さくなるのではないかと疑問を持たれる方もおられると思います。しかし、よっぽど濃密な魚群でない限り、魚が重なり合って他の魚の陰に入るといったことはなかなか起こりません。さらに、もし実際に魚が完全に重なって分布したとしても、先の魚の体を通り抜ける音の存在、さらには障害物の後ろに音が回り込む性格「回折」があるため、完全な陰というのは出来にくく、重なり合う魚のそれぞれに音は届くのです。ただし、その反射音をそれぞれの個体からのものと区別して受波できるかどうかは、その魚探機の解像度によります。

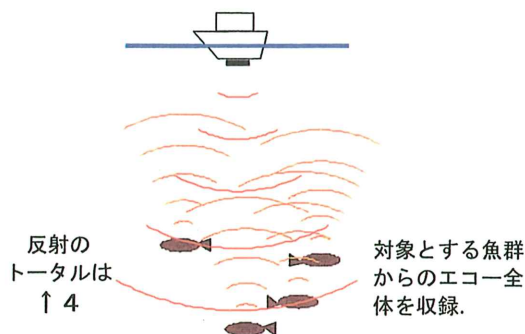
2.1.2 計量魚探機の2つの測定モード

多くの計量魚探機は、2種類の測定モードを持っています。一つは魚群全体の反射強度を測定するモード、もう一つは個体からの個々のTSを測定するモードです。このそれぞれについて簡単に説明します（図6）：

計量魚群探知機、2つのモード

1) SVの収録

→魚群量の指標（割り算の分子）



2) TSの収録

→個々の魚からの反射の強さ（割り算の分母）

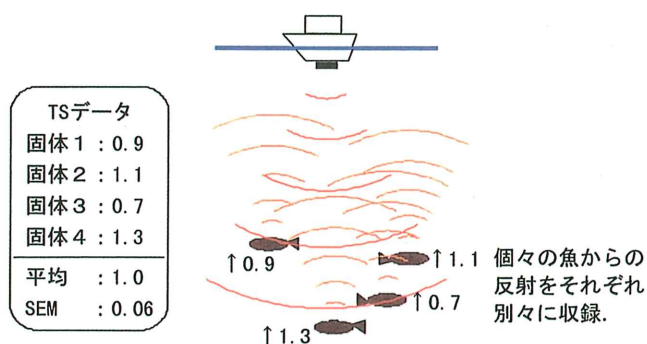


図6 計量魚群探知機の測定モード

1) SV測定モード

このモードでは、対象とする魚群全体からの反射強度を収録します。魚群からの反射は、単位体積あたりの反射の強さ（体積後方散乱強度、SV）として、1立方mあたり $-xx\text{dB}$ といった表記で表されます。この値はそのまま魚群分布密度の指標として用いられることもあります。TSで除算することによって尾数に変換されます。

2) *in situ* TS測定モード

*in situ*とは、「現場で」という意味で、その場に分布する個々の魚の反射の強さを測定するモードです。しかし、この測定は、上述の魚群量の測定モードよりも厳しい条件が課せられます。というのも、一尾あたりのTSを得るためには、その反射の元が確実に1尾であることが必要になる

わけです。ところが、複数の個体が同じ場所にいたりすると、その複数の個体からの反射が1尾分の反射として誤って捉えられてしまう可能性があります。この場合、TSは実際の値よりも過大に推定されてしまいます。そのため、このモードでの測定が成立するためには、

- ・送受波器と魚群との距離が比較的近く、
- ・魚群がそれほど濃密でなく、ビーム内での各個体の分離が可能である程度に個体間の距離が離れている

といった測定条件を満たす必要があります。

適切な条件下でTSを得ることができれば、その値を分母としてSVを除算することにより、実際の分布尾数を推定することが出来ます。しかしながら、通常、魚探機で捉えることの出来る魚群は*in situ* TS測定には濃密すぎて、上述の条件を完全に満たすことは実際にはなかなか困難です。そのため実際には、前述の平均TSと体長の関係式などを用いて平均TSを推定し、その値を尾数換算に用いる場合が殆どで、*in situ* TS測定の結果は、仮定したTS値の妥当性の判断などに副次的に用いられるに留まっています。

2.2 音響調査の利点と欠点

これまで、魚探機の原理およびどの様にして分布尾数の推定がなされているのかについて簡単に説明してきました。このような特徴をもった音響測器を実際の資源調査の中で利用する場合に、他の方法に比べてどの様な利点、欠点があるのかについて考えてみます。

2.2.1 データ取得の効率と、データの形式

漁業などを介して[間接]的にデータを収集し、資源量を推定する方法に対して、計量魚探調査のように調査船により現場の魚群分布状況を調べる調査方法を[直接推定法]と呼びます。このグループには、計量魚探調査の他に、着底トロールによる面積密度法や、さらにはプランクトンネットや稚魚ネットによる分布量調査などが含まれます。

さて、直接推定法のグループの中で、音響調査とネット類を曳網する調査との最大の相違点は、

データの[採られ方]であると言えます(図7)。ネット類の曳網調査では、サンプリング作業そのものに時間と手間が掛かることから、多くの場合、自ずと実施可能な調査回数に制限が生じざるを得ません。そのため、多くの場合、測点は広い調査エリアの中に[点]として疎らに配置されることになります。この場合、測点と測点の間の距離は遠く離れており、各点で得られたデータは相互に独立であると考えられます(ちょっと難しい話になりますが、ある場所でたくさん魚が獲れたからといって、遠く離れた隣の測点で再びたくさん魚が獲れるとは限らない、といった場面を想像してください。この時、この2点は相互に[独立]であると見なされます)。このような条件の下で調査計画を組む場合、調査範囲内に測点を無作為に配置し、かつその各測点から得られるデータが独立であることを前提とする[ランダムサンプリング法]が適用されます。この方法では平均分布密度とその推定誤差が推定されます。一方、音響資源調査では、船が航走している間連続的にデータが収録されます。この場合、測点は航跡に沿って[線]として連続的に分布し、[点]で得られる調査に比べて、調査密度、掃下面積は格段に広がります。また、航跡に沿ってデータが連続的に分布するため、隣り合うデータ間には空間的な自己相関(隣り合うデータがどのくらい似ているか)が生じることが多くなります(先ほどの例とは逆に、たくさん魚が獲れた場所のすぐ隣ではやはり魚がたくさんいるに違いない、という状況を

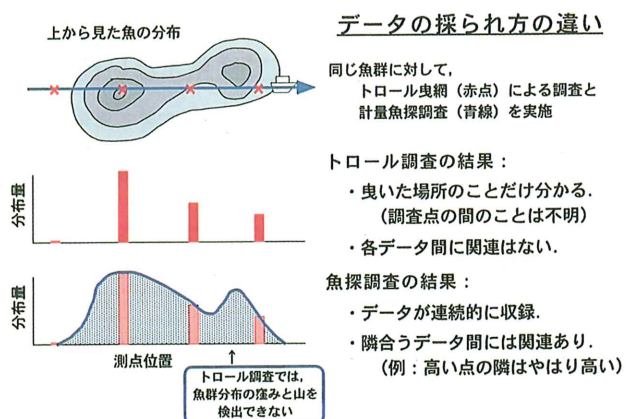


図7 [点]の調査と[線]の調査の違い

想像してみてください)。自己相関の存在を考慮するか無視するかは、推定の精度に大きく影響を与えます。この場合、ランダムサンプリング法の適用は不適当となり、ジオスタティスティックス (Geostatistics) という、自己相関を考慮に入れた新たな統計手法の方が適しています。この新たな統計手法の水産分野への応用は音響資源調査の解析から始まりましたが、このことは音響調査データのもつ特性と無関係ではありません。

音響調査とネット類の曳網調査との違いをざっと挙げてみましたが、違いをまとめると：

- i) 時間、面積に対する調査の効率と、それに基づく調査密度の違い
- ii) データの連続性とそれに基づく適切な解析手法の選択

ということが出来るでしょう。

2.2.2 魚探機では見えない場所の存在

一方で、魚探調査ならではの欠点もあります。魚群探知機の原理上仕方がないことなのですが、送受波器のすぐ近く（海面近く）、あるいは海底のごく近くに分布する魚を捕らえることは出来ません（図8）。

海表面付近については、送受波器が船底に装備されている場合は、まず海表面から船底までの範囲の魚は映りようがありません。また送受波器から数m下までの範囲は音響ビームが完全には形成されないために正確な量を捉えることが出来ません。さらに船底からごく近い表層では、船の航走に伴う魚群の逃避行動などの影響も考慮に入れるべきでしょう。そのため、ごく表層性の浮魚類な

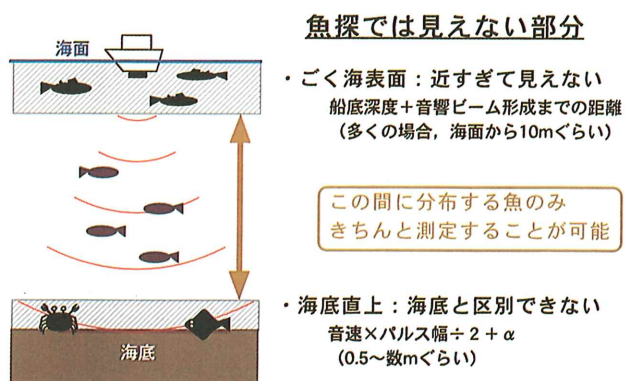


図8 魚群探知機の有効な範囲

どの調査には通常の音響資源調査は不適当です。

海底付近については、海底の反射と魚群の反射が区別出来るか否かの問題になります。一般には、調査に使用するパラメタの一つ、パルス幅（音を出し続ける時間）において音が進む距離の半分だけ魚と海底と離れていれば分離可能といわれますが（例：パルス幅が0.6msの場合、45cm）、調査中の船の動揺（に起因する音波ビームの動揺）などを考えると、実際にはもう少し海底との距離が離れていないと確実な分離は難しいと考えられます。その意味で、カレイ、ヒラメやカジカ類、カニなど常時海底に着底している魚種も音響調査には不適当といえます。

2.2.3 種類やサイズ組成まで分かるか？

音響データのみから魚探機に映っている魚群反応の魚種とサイズ組成が分かれば、音響資源調査は魚探航走のみで完結できるのですが、実際にはそこまでには至っていないのが現状です。魚群の形状の特徴、季節や時間帯による出現パターンなどから魚種に「あたり」を付けることはある程度可能ではありますが、完全な魚種判別はまだ困難です。またサイズ組成についても、前述の *in situ* TS測定が完璧に機能すれば可能になるかもしれませんが、その条件を満たすことは極めて少なく、実際にはトロール試験操業などによる魚種確認作業を併せて行う必要があります。

2.2.4 海が荒れたら調査にならない

多くの場合、魚探機の送受波器は船底に取り付けられています。すると、荒天時など船が大きく動揺している時には、送受波器の向きも様々な方向に動いてしまい、必ずしも海底に向かって垂直な方向ばかりを測ることはなりません。この場合、測った音響データは実際よりも過小になることがあります。また波浪や船底の動揺によって海表面の水が気泡をたくさん含むと、超音波はそこで急激に減衰してしまいます。この場合も得られたデータは過小となります。

このような理由から、音響調査が可能な天候条件は、トロール調査などに比べてよりシビアであ

ることが出来ます。

2.3 調査手法

音調資源調査には以上のような特徴があります。調査設計に当たっても、この特徴を活かすかたちで計画を策定する必要があります。

2.3.1 適切な対象魚種、水域、季節などの選定

まず最初に、対象とする資源が音響調査に適したものであるかどうかを吟味する必要があります。前述のように、海表面や海底付近に集中して分布するような資源は、音響調査には不適切です。また、資源の日周鉛直移動、あるいは季節回遊といった生物特性も事前に検討しておく必要があります。たとえ魚探機で捉えることが出来ても、それが該当する資源全体においてどの程度の割合を占めるものかが分からなければ、何を測っているのか分からなくなってしまいます。

また、出来ることならば海況が静穏な時期を選んで調査を行う方が、風浪などによるデータの劣化を防ぐ意味で好ましいでしょう。

2.3.2 定線の設定

（データの採られ方と、資源の分布様式）

魚探調査の大きな特徴は、少ない時間、労力で、航跡に沿ってデータが「連続」的に得られることでした。この特性を活かすためには、ランダムサンプリング法ではなく、システムチックな定線配置の方が適当な場合が多いようです。また詳しくは述べませんが、前述のジオスタティスティックス（特に一次元Transitive法）の適用を考える場合には、平行、等間隔に定線を配置することが必要となります。

定線の間隔を短くしてたくさんの定線を引けば、調査の密度は上がり、精度も向上するはずですが、一方で調査に掛かる時間は長くなっていきます。多くの場合、調査期間中の魚の移動は「無いもの」として調査設計とデータ解析を行っています、調査期間中の魚の移動（特に調査海域とその外との間での魚群の出入り）があからさまなほど長い調査期間を設定したのでは、調査設計の前提が崩

れてしまいます。このあたりは精度と時間とのトレードオフを考えながら、適切な配分を探る必要があります。

2.3.3 魚探航走および魚種確認作業

魚探調査そのものは、定線に沿って調査船を航走させれば済んでしまうわけですが、他にもいくつか留意点があります。

1) 魚探航走の時間帯

対象とする資源の生態的な特徴によっては、魚探航走を行う適切な時間帯を選択する必要があります。時間帯によって海表面や海底付近に魚群が張り付いてしまったり、魚探機でうまく捉えることが出来ない、また時間帯によって魚の遊泳姿勢角分布が大きく変化するようなことが予想される場合には、そういった不適切な時間帯を外した形で調査時刻を設定する必要があります。

2) 生物サンプリングによる魚種確認

「魚探調査」とはいえ、魚探データだけで調査が完結できないことは前述の通りです。現状の音響資源調査の技術では、音響情報のみから魚群の魚種組成やサイズ組成を正確に知ることは出来ません。そのため、魚探機に映った魚群の一部をトロール網などを用いて採集し、魚種組成やサイズ組成の確認を行う必要があります。この結果と魚探データを突き合わせることによって、魚探機で得られた魚群量を各魚種、各サイズ、年令群に分解することが出来るようになります。

2.3.4 データの解析

調査の終了後、音響データを解析して対象魚種、年令群毎の現存量に直していく解析作業を行います。

現在この作業の過程では、全ての音響データの中から必要な魚群反応のみ抽出し、それらの魚群のみ再度積分し直して魚群量を求める「2段階積分」と呼ばれる方法が多く用いられています。多くの場合この作業は、専門のソフトウェアを用いて行われます。2段階積分が終了すると、調査船

の航跡に沿って、単位面積あたりの魚群分布量が連続的に出力されます。これらの値を調査面積で引き延ばすことで、調査水域全体での推定現存量が得られますし、またジオスタティスティックスを用いることで推定値の誤差を求めることが出来ます。

3. 実際の調査例、解析結果

それでは、次に実際に著者が参加しているスケトウダラ音響資源調査を例として、調査の中身について紹介いたします。

3.1 調査範囲と実施内容

スケトウダラ太平洋系群は、北は北方4島周辺から、南は津軽海峡を越えて房総半島付近まで広く分布すると考えられています。このうち、北海道東部太平洋海域（道東海域）では未成魚を対象とした沖合底引き網漁業が行われています。我々はこの海域を主対象として、1997年以降夏冬年2回の調査を継続して実施してきました。調査対象海域に道東海域を選択した理由は、1）毎年大量の水揚げがコンスタントにあり、系群全体の少なからざる部分がこの水域に分布していると考えられること、また2）日常的にトロール操業が行われている海域であり、魚種確認のためのトロール調査を導入しやすいと見込まれたこと、によりま

す。

スケトウダラが分布すると思われる水深帯を網羅するように、水深50mから500mまでを結ぶ定線を8マイル間隔で平行に配置しています（図9）。この際、水深と魚群分布の対応が確認しやすいように、定線は基本的に等深線と垂直になる方向に設定しています。この定線上を昼夜それぞれ1回ずつ航走して魚探データを収録し、またその他の調査／観測を行います。実施内容は、計量魚探航走（昼夜）、離／着底トロールによる魚種確認（昼）、ボンゴネットによるプランクトン採集（夜）、海洋観測（昼）です。

航走中まとまった魚群が確認された場合には、定線航走を中断しトロールによる魚種確認作業を行います（図9）。ここで採集された標本（魚種、サイズ／年令組成）を基に、魚探機で捉えた魚群の解釈を行います。

3.2 データ解析

調査が終わり、全ての標本、データが陸揚げされると、陸上での測定およびデータ解析作業が始まります。現在陸上で行っている作業には以下のようなものがあります：

魚体精密測定

耳石を用いた年令査定

魚探データの解析

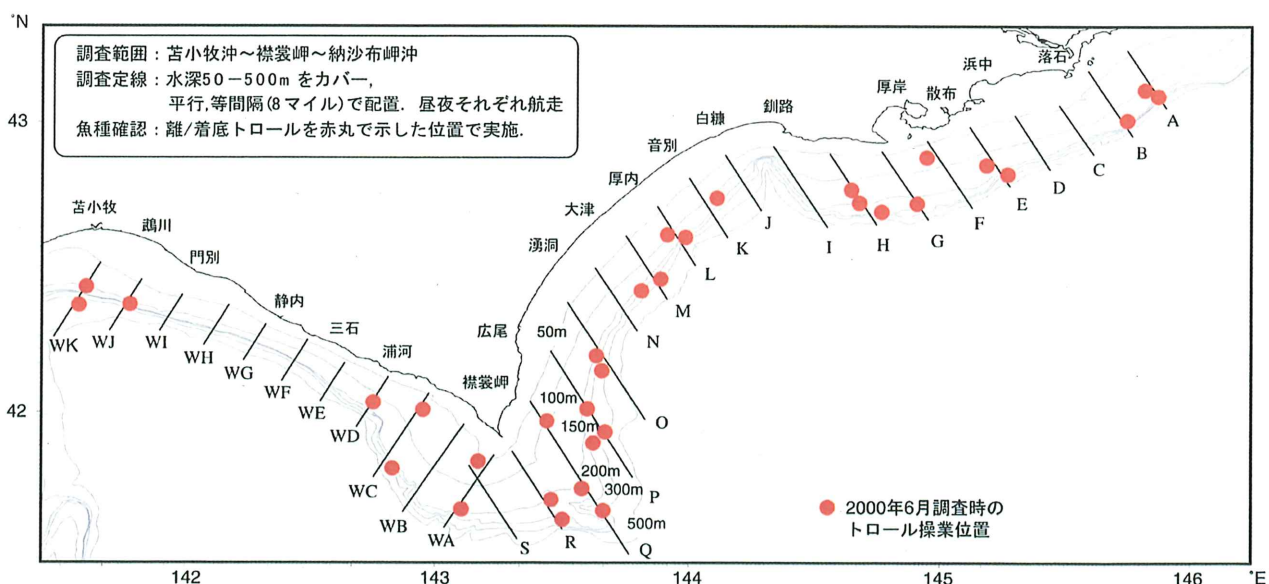


図9 定線の配置とトロールによる試験操業位置（2000年6月）

このうち最も時間の掛かる作業は耳石の年令査定作業です。

1 調査航海につき大体2千から3千個体分の標本が陸揚げされますが、この殆どの個体について年令査定を行います。複数の個体から得られた耳石を順番に並べて樹脂に包埋した後、耳石中心を通るように切断し、耳石断面に現れる年輪の数を顕微鏡で計数するのですが、その作業に2～3ヶ月は掛かってしまいます。年級群別の現存量をきちんと算出するためにはどうしてもこの作業は必要なのですが、それでは時間が掛かりすぎて行政からのリクエストには間に合いません。そこで、体長組成から年級分解が可能な0、1歳魚については、船上での体長穿孔結果を基に魚探データの解析を行います。この場合、データが陸揚げされてから約1週間後には結果を出すことが出来るようになりました。

次にデータ解析の過程について簡単に説明しましょう。

魚探データには、いつ、どこを航走したときに、

どのくらいの規模の魚群がどの様に分布していたかという情報が非常に細かく記録されています(図10)。ただし、その魚群が何の魚種か、またその年令組成などについては、調査者が判断しなければなりません。この際に用いるのが、トロール標本から得られる体長組成分布や年齢構成の情報です。これらの生物情報を、調査者の判断によって各魚群に対応づけていきます。各魚群に対してこまめにトロール操業が行われていれば、この作業は割と簡単なのですが、トロール操業数が少なく、一箇所の生物情報で広範囲の魚群を説明しなければならない場合には、魚群反応の中身の解釈は難しくなりますし、また年令分解の精度も低下することになります。

この作業が終わってしまえば、後は専用ソフトと表計算ソフト上での作業です。やることは煩雑ですが、機械的な作業で、あまり考える余地はありません。

以上の作業により、年齢群別のスケトウダラの分布密度マップが得られます(図11)。現在の作

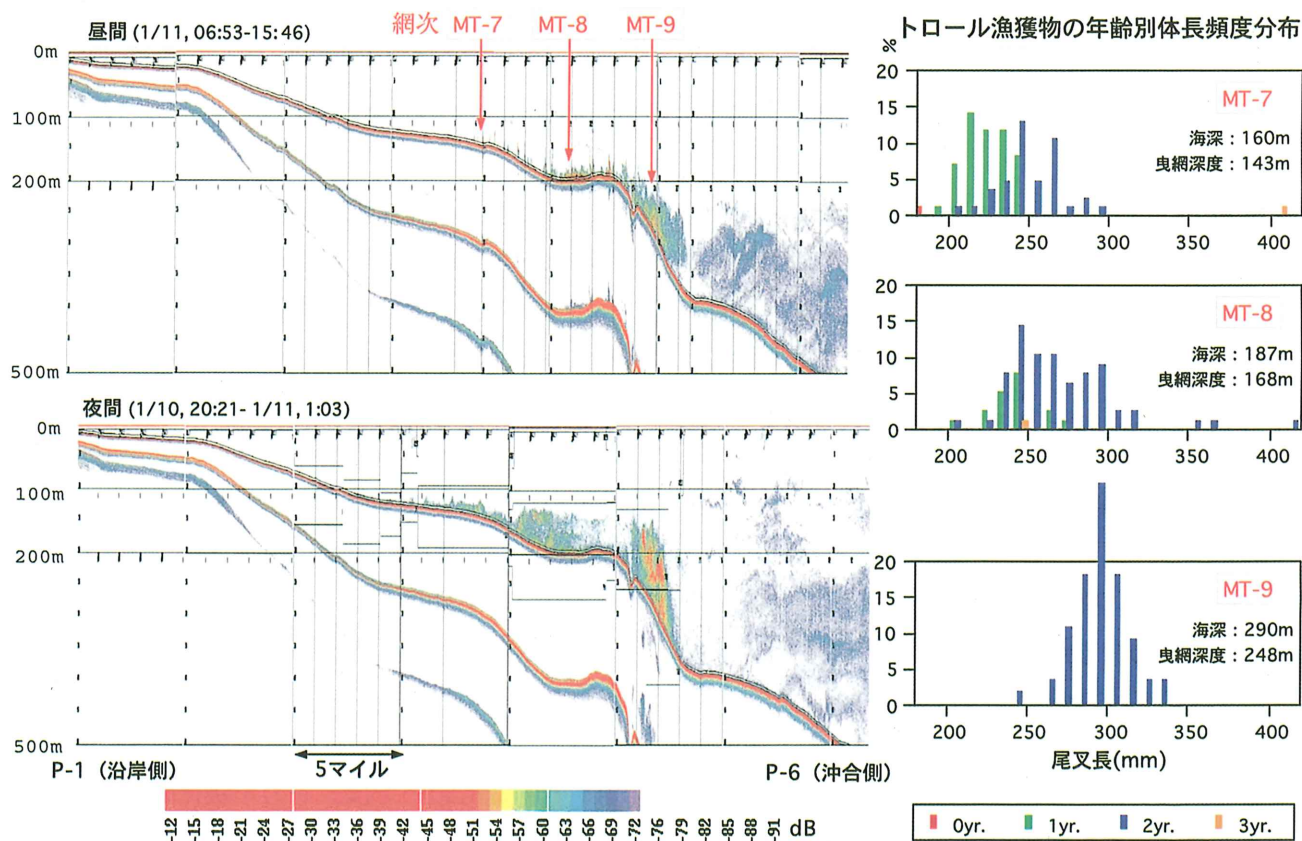


図10 魚群反応とトロール操業結果との組み合わせ (1998年1月, 襟裳岬沖)

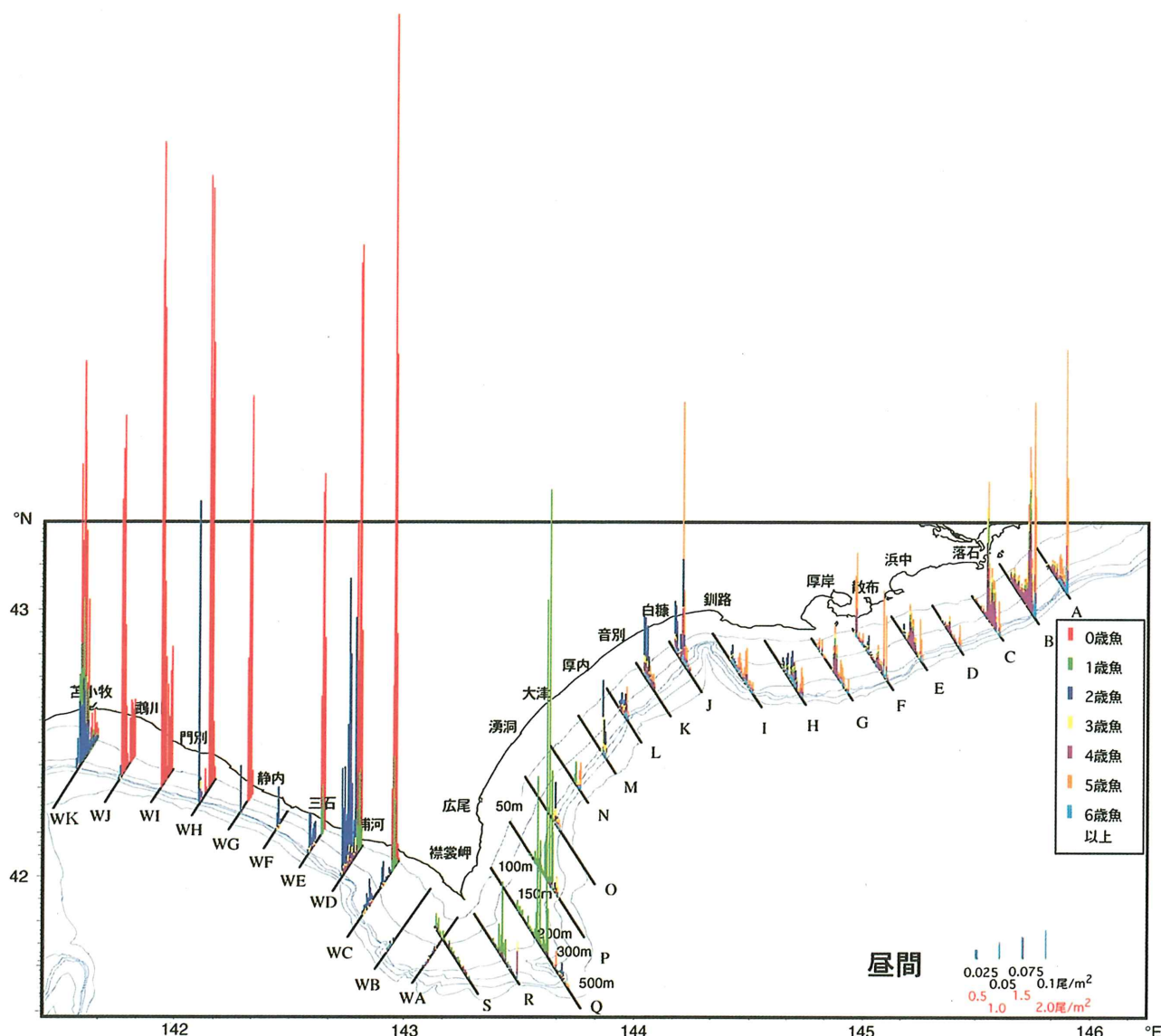


図11 年令別のスケトウダラの分布パターン（2000年6月）

業仕様では、航走0.1マイル毎に、海面1平方mあたりに分布するスケトウダラの年齢別尾数および重量が得られます。これを調査面積分引き延ばせば、水域全体での年齢別分布尾数になります。

4. 将来展望

4.1 従来の資源評価手法との関係

前述の通り、資源評価手法には、例えばコホート解析のように漁業情報を元にして資源状態を推定する間接的な方法と、魚探調査や着底トロールによる面積密度法などのように、その場に分布する資源に対して直接調査を行い、その豊度を推定する〔直接〕法の2種類が存在します。北海道のスuketウダラ資源評価の場合、これまでは漁業から得られる漁獲量を元にした資源評価が中心でし

た。今後もこの評価手法を基本として資源評価が行われることには変わりはないと思われます。しかしながら、この「間接法」ではどうしてもクリアできない問題も明らかになってきつつあります。

例えば水産研究所は、各水産資源において、〔翌年の生物学的許容漁獲量（ABC）〕を出すことを求められています。しかし漁業情報を元にして、限りは、実際に漁業が始まらなないと、その資源あるいは年級がどのくらいの規模だったのかが分からず、どれだけ獲って良いか見積もることが出来ないというジレンマに陥ってしまいます。特に新たに漁獲対象資源に加入する若い年級群を利用する漁業においては、その年級に対する漁獲情報が存在しませんから、全く事前情報のないままに漁獲可能量を決定しなければならなくなります。

またTAC体制の下では、あらかじめ規制された漁獲量に合わせて漁獲が行われるようになるので、これまで資源状態の指標として用いてきた漁獲量やCPUEといった指数に偏りが生じる危険性も指摘されています。

一方、現存量の直接推定法は、漁業で利用されていようがいまいが、その場にいる魚の量を調査船で測ってきます。この調査によって、漁獲対象資源に加入する前に資源あるいは年級群の規模をあらかじめ見積もることが出来れば、数年後にその年級群が加入する時点での年級群規模を予測し、それに対応した漁獲可能量を算定することも可能となるかもしれません。現在私たちが実施しているスケトウダラ音響資源調査の狙いもここにあります。

今後、従来の漁業情報に基づく間接的な資源評価法と、計量魚探調査などによる直接推定法は、いずれかが主流となり、またいずれかが廃れると言うことは考えにくく、両者の特徴を活かしながら各手法を組み合わせ、また相互にその結果を補完、検証しながら用いられていくものと思われます。

4.2 その他の直接推定法との関係

最初にも挙げましたが、直接法の中では、魚探調査の他にトロールによる面積密度法が有名です。どちらも、ある単位面積あたりの分布量を測り、それを調査面積全体で引き延ばすという方法を取る点では共通していますが、一方で調査に掛かる努力量および調査密度という点においては両手法は大きく異なります。

現在開発センターが実施している資源調査においても、この両手法がそれぞれ用いられています。魚探法は先に紹介しました北海道周辺のスケトウダラ調査で採用されており、また面積密度法は東シナ海の底魚類分布調査に用いられています。なぜ片や魚探法を採用し、もう片方では面積密度法を用いているのか？それは海域や対象魚種の特性によります。

繰り返しになりますが、魚探法の弱点は、魚種判別が難しいことと、海底／海表面付近の魚群が

分からないことでした。逆にトロールによる面積密度法の弱点は、着底している魚種しか相手に出来ないこと、またトロール操業に掛かる手間と時間から、調査の密度に自ずと制約が生じることです。更に海域によっては、海底地形や他の漁具との関係から、トロール操業が出来ない場合もあり得ます。

さて、北海道周辺の魚類相は割と単純で、季節にもよりますが、陸棚上の中層～底層に分布する魚群の大半をスケトウダラと見なすことが出来ます。さらにスケトウダラの若齢魚は海底から若干浮上して分布する傾向があり、海底との分離もそれほど困難ではありません。

一方、東シナ海における底魚類の分布の特徴は、多くの魚種が少量ずつ海底上に分布するというものです。

もうお分かりでしょう。北海道のスケトウダラはまさに魚探調査のためにある様な好適な条件をもつ資源であり、また逆に東シナ海の底魚類の分布様式は、魚探法が不得意とする資源の典型で、それゆえ面積密度法が採用されていると言えるでしょう。

また、音響調査と面積密度法のどちらがより優れているかという比較に留まらず、魚種によっては両手法を組み合わせた調査も考えられます。カナダにおけるタラ類の資源調査では、着底トロール調査と音響調査の双方を同時に実施することで、日周鉛直移動によって着底と離底を繰り返す資源に対する、より正確な現存量推定手法の開発を試みています。

4.3 音響資源調査の将来

音響調査は、データ取得の効率上は非常に優れた方法でありながら、その特性上どうしても越えることの出来ない問題点がいくつか残されていると書きました。しかし、音響測定の際からも、これらの問題の解決に向けて様々な取り組みが行われています。

例えば、船の動揺や水中の気泡による音の劣化／減衰に対しては、最新鋭の調査船では減揺装置の装備、昇降装置による送受波器の船底からの突

出などによる対策が行われるようになり、高い効果を得ています。

また *in situ* TS の測定時における解像度の問題については、送受波器を海中に沈めて魚群との距離を短くし、解像度を上げることによって、高精度の *in situ* TS 分布を得ようという試みを現在行っております。

また、音響的な手法以外にも、ROV などによる光学的な観察手法の適用による魚種判別、サイズ判別が試みられています。

これまで何度か述べたとおり、音響資源調査は全ての魚類資源に万能な調査手法ではありません。しかしながら、音響測定技術の発展や、他の手法による情報の補完などを進めていくことによって、今後音響資源調査の適用範囲はさらに拡大し、より多くの海域で、より多くの魚種を対象として実施されるようになることでしょう。

※文章中の記号の使い方について

文中で、TS、SV といった音響用語を示す略称を何度か使いました。これらはそれぞれターゲットストレングス、体積後方散乱強度の略称として用いましたが、同様にアルファベット二文字の表記で、単なる略称ではなく、変数としてのターゲットストレングス、体積後方散乱強度を表すこともあります。この場合、その単位の定義、単位等に応じて記号をいろいろと使い分ける必要があ

ります。

同じアルファベット二文字でありながら、その表記の仕方によって複数の意味を持つ（しかもそれは発音上は全く区別が付かない）というこの記述は、時に水中音響理論や音響資源調査を理解する上で混乱の元になることがあるのですが、残念ながら、これらの値の定義や表記法の統一までは至っていないというのが現状です。

各定義等については難しくなるので本稿では説明はいたしません。皆さんが他の音響資源調査などの本や論文を読まれる時など、その記号の意味について迷った際には、そのアルファベット二文字の記号が「ローマン体（立体）」で書かれているか、それとも「イタリック体（斜体）」であるか注目してみてください。前者の場合、その記号は本稿と同様に言葉の「略称」として使われている場合が多いですが、後者の場合には、その記号はそれぞれの定義と単位に従って規定された「変数」を示す場合があります。

また、文中ではイメージの湧きやすいように「反射」という単語を多用しましたが、本来的には「散乱」が正しい呼び方になります。通常の資源調査の中ではどちらを用いてもそれほど大きな誤解を招くことにはならないとは思いますが、もし論文中などでこのような使い方をすると誤用になりますので、ご注意下さい。

2. 水産音響技術と開発センター

海洋水産資源開発センター

開発部 開発調査第一課 大 島 達 樹

はじめに

水中音響の利用

水の中は「音の世界」と言われます。

空中と違って水中では、光はすぐに吸収されてしまい遠くまで届きません。逆に、水中の音は空中よりも「速く」、「遠くまで」伝わります。このような性質により、水中では音によってもたらされる情報の方が、光による情報よりはるかに多くなるのです。

魚群探知機やソナーなどの音響測器が発明されたことにより、水中から得られる情報は飛躍的に増えました。そして、この技術が漁業に革命的な進歩をもたらしたのです。

さらに、定量的な測定機器へと進化した「計量魚群探知機」は、学術研究や資源評価といった分野にまで応用範囲を広げることとなりました。今では計量魚探は水産資源調査に欠かせないツールとしての地位を確立したと言えるでしょう。その機能・精度はなお着々と進歩を続けています。

開発センターにおける音響調査

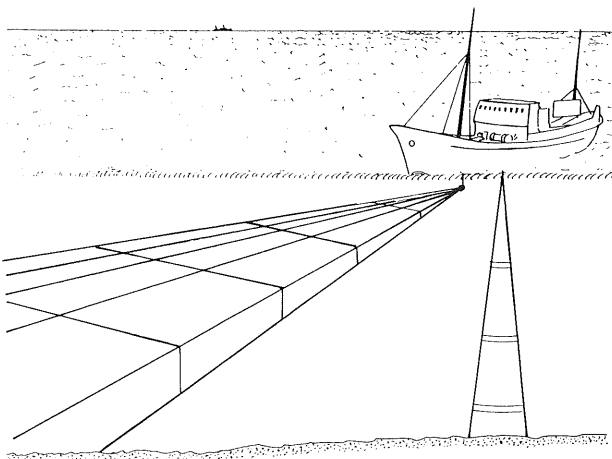
海洋水産資源開発センターにおいても、音響調査の重要性は高まっています。

開発センターでは数多くの調査を実施していますが、その中で音響的手法を中心に据えた調査は二つあります。一つは「スケトウダラ現存量調査*」、もう一つは「ミナミマグロ資源加入状況モニタリング調査**」で、いずれも水産庁からの委託事業です。一方、開発センター独自の事業の中では、「海洋水産資源利用合理化開発事業（ま

き網：第18太神丸）」の一環として、人工流木に集まる魚群の種組成・体長組成を、計量魚探を使って判別しようとする新たな試みが始まっています。

スケトウダラ音響調査については、本号の中で北水研の本田さんが詳しく述べられていますのでそちらを参照して下さい。

本稿では、残る2つの調査の現場で音響的手法がどのように用いられているかをご紹介します。さらに、今後の開発センターの事業の中で、音響技術が果たす役割について考えてみたいと思います。



図は本誌23ページに紹介されているR.Bミットソン著「ソナー」1994より、垂直魚探のビーム（右）と水平ソナー走査範囲（左）を表す

*正式名称は「資源評価調査（資源量直接推定調査（すけとうだら音響調査））」

**正式名称は「温帯性まぐろ資源調査（資源加入状況モニタリング調査）」

みなみまぐろ加入状況モニタリング調査

調査の背景

高級寿司ネタであるミナミマグロですが、乱獲による資源の減少が問題となり、その漁獲割当量は1989年以来低いレベルで抑えられており、必ずしも最適利用が図られていない状況にあります。

日本が実施してオーストラリアとの国際裁判にまでもつれ込んだ「ミナミマグロ調査漁獲」は、広く報道されましたが、この「調査漁獲」とは別に音響を用いた「資源加入量モニタリング調査」が実施されています。本調査は水産庁の委託により開発センターが実施しており、ミナミマグロの幼魚を対象として、資源を回復させるために十分な加入量があるかどうかをモニターすることを目的としています。もちろん、ミナミマグロのように広い海域を泳ぎ回る魚は、生活史や回遊経路・分布域も不明な点が多く、全体としての資源加入量をズバリ算出することは不可能です。よって一定の調査海域で毎年同じルーチン調査を繰り返すことで、加入量の年変動（トレンド）を掴もうとしているのです。

現在この海域では幼魚を対象とした漁業はないため、漁業からの情報を期待することはできません。そのため、音響的手法によって海域の現存量を測っているのです。

調査の手法

音響調査は大きく分けて、加入量を評価するためのルーチンであるソナー調査と、補助的な計量魚探実験の2つの部分から構成されています。

ソナー調査（ライントランセクト）

いくら幼魚とはいえ、遊泳速度の速いマグロが相手なので簡単ではありません。船の真下だけを捉える魚探では限界がありますので、広い範囲をカバーできるスキャニングソナーが採用されています。

図1のように、ジグザグに設定したトランセクトラインを航走しながら、ソナーに映った魚群の魚種・トン数等を記録し、そこから調査海域のミ

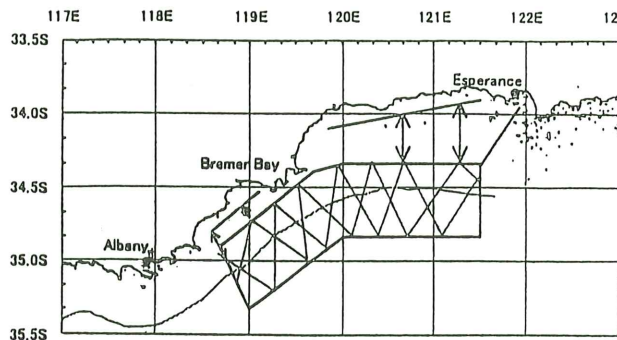


図1 《調査ラインの例》 ミナミマグロ幼魚の遊泳経路である海域に設定されている。この海域に生息しているのは大半が1歳魚



図2 ソナー士がスキャニングソナーを使って推定した魚種・トン数を記録する

ナミマグロ幼魚の加入量を推定します。この際、ソナーの探索範囲を600mに固定し、その範囲内で見つけられた魚群をカウントしていきます。調査海域はミナミマグロ幼魚の移動経路となっているため、この調査によってその年の加入量のレベルが分かるというわけです。

この調査のユニークな点は、ベテランソナー士に魚群の魚種・トン数を推定させていることです（図2）。というのも、スキャニングソナーのデータを定量的に処理する方法はまだ確立されておらず、量の推定は人間の経験値に頼らざるを得ないという事情があるためです。ソナーのデータを定量的に評価することが難しい理由は、ソナーの場合ビームが横向きのため、魚のどの方向からビームが当たるかによって、その音響反射が大きく変動し不確定性が大きすぎるためです。

この調査の場合、幼魚資源加入量の絶対値ではなく、そのトレンドを把握することが目的です。ソナー士の判断といういささか主観的な方法に頼ってはいますが、毎年同じ方法で調査している限りは「トレンドをつかむ」という目的は達成できていると考えられます。

計量魚探実験

ソナー士の推定に頼っている限り、「ソナー士の推定は本当に正しいのか？」という疑問は付いて回ります。そこで、ソナー士が推定したトン数がどれほど正確なのかを明らかにするための比較実験も行っています。同じ群に対して、〔ソナー士の推定値〕と〔計量魚探による推定値〕をそれぞれ別々に出し、両者を比較するというものです。計量魚探を用いると、ある魚群の音響的な密度(SV)が求められます。この音響密度を魚の尾数に換算するためには次のようにします。まず魚群のSVを魚一尾あたりの反射強度(平均TS)で割り、尾数の密度に変換します。あとは魚群の体積が分かれば、密度をかけて群全体の尾数を求めることができます。そこに魚の平均体重をかければ、その魚群全体の重量が推定できるという理屈です。

現場では、計量魚探を曳航しながら魚群の上を横切り、魚群のおおよその大きさと、その音響密

度SVを測ります。ここでキーとなる「平均TS」は、ミナミマグロをイケスに入れた状態で実測しています。しかし、高速で泳ぎ回るミナミマグロの群の上に船を持っていくのは非常に難しいため、残念ながら、あまりデータ数が確保できていないというのが現状です。

今後の展開・課題

2000年8月31日、9月1日に、日豪共同で本調査のワークショップが開催されました。この場で、より客観的で定量的な資源評価に向けた新たな調査システムが提案されましたので、そのアウトラインをご紹介します。

それが図3に示した、スキャニングソナー、ファンビームソナー、計量魚探を組み合わせた調査システムです。

ファンビームソナーとは、図4のように、船の進行方向に直角な平面をスキャンするようなビームを出すソナーです。魚群の上を通過しながらその断面積を連続して測っていくことになるため、各断面を積分すると魚群の体積が求まります(ただし、魚群の移動の補正が必要)。

スキャニングソナーで魚群を発見するとともにその遊泳方向・スピードなどを判断し、ファンビームソナーで魚群の体積を計測し、計量魚探で魚

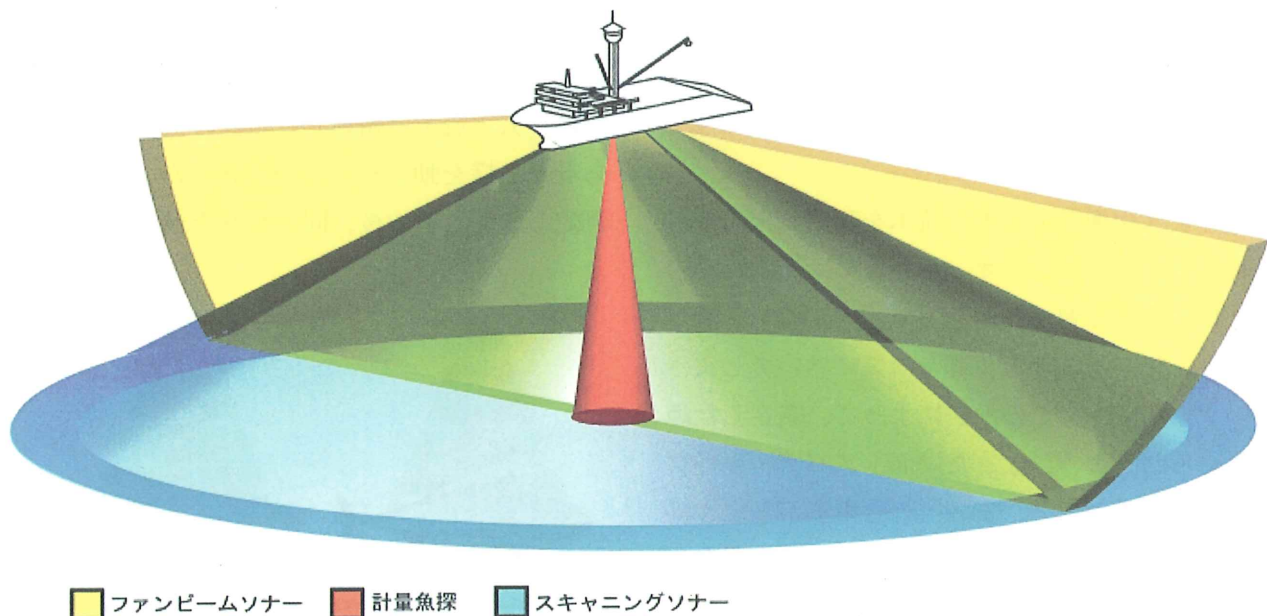


図3 《新しいソナーシステムの模式図》 スキャニングソナーで魚群を探知しその遊泳方向などを把握する。ファンビームソナーで魚群の容積を求める。計量魚探で魚群の密度を測定する

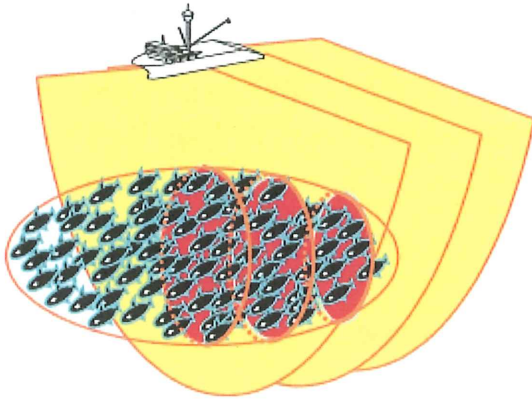


図4 ファンビームソナーで魚群の断面積を計測する。船の進行方向に沿って魚群の断面を積み重ねていくと魚群の体積が求められる

群の密度を計測します。これが実現すれば、魚群のトン数がより客観的に推定できるようになると期待されます。

水産資源を調査・研究する上で、計量魚探よりも広い範囲を探知できる「計量ソナー」の完成が待ち望まれています。上で紹介したシステムは、その計量ソナーのプロトタイプの一つと位置づけられると思います。完成までにはまだまだ超えるべきハードルが多く残されていますが、計量ソナーの開発は今後の音響調査の重要課題の一つであり、その意味でも今後の本調査にかかる期待は大きいと言えるでしょう。

人工流木に蛸集するカツオ・マグロ類のTS測定実験

調査の背景

海外まき網漁業では人工流木を利用した操業が行われています。カツオ・マグロ類は流木などの流れ物に集まる習性があるので、人工流木を流してやり、集まってきた魚群を一気に巻いてしまうという漁法です。この漁法によって、安定した漁獲が得られるようになった反面、メバチ・キハダ小型魚の混獲が増え、資源への悪影響が懸念されるようになりました。そのため、人工流木操業の際に、小型魚の混獲を減らす方策が求められています。

今のところ、小型魚の混獲を減らすことの出来

る確実な方法は見つかってはいません。魚種・サイズによる遊泳層の違いを利用し、操業の方法を工夫することで混獲を減らすとか、混獲率の低い季節や海域を選ぶなどのアイデアが出されています。これらのアイデアを実現させるためには、人工流木への蛸集状況などについて科学的なデータを蓄積をしていくことが必須となります。蛸集状況を調べる手段として計量魚探に注目しました。計量魚探の *in situ* TS測定機能を利用して、魚群の種組成やサイズ組成を推定できる可能性があるのです（図5）。

調査の手法

計量魚探には「*in situ* TS測定モード」という機能があり、水中の魚の音響的な反射強度（TS）を実測することが可能です。TSは、その魚の種類やサイズによって違うため、魚種／サイズ判別のヒントになると考えられています。特に、魚の体内に空気の入った鰾（うきぶくろ）がある場合、同じサイズで鰾のない魚に比べTSは非常に大きくなります。カツオは鰾を持たないのに対し、キハダ／メバチは鰾を持っているため、TS測定機能を利用することで、これらを音響的に判別できる可能性があるのです。

また、同種の魚ならば、サイズが大きいほどTSは大きいと考えられています。

こういった情報をよりどころにして、第18太神丸による計量魚探実験が始まりました。図6のように、人工流木に蛸集した魚群の上を航走しながら計量魚探を動かし、その魚群の *in situ* TSを測定します。その後、同じ魚群を巻き網で実際に

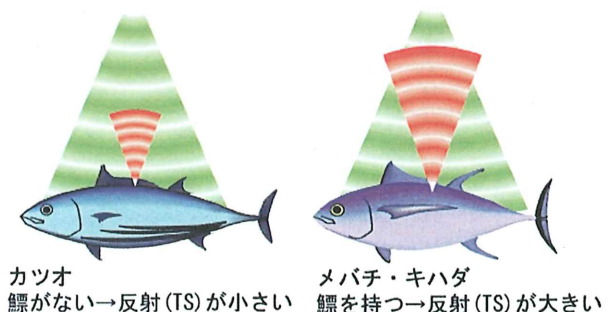


図5 同じサイズであっても、鰾を持つメバチ・キハダの方がTSが強いと考えられる

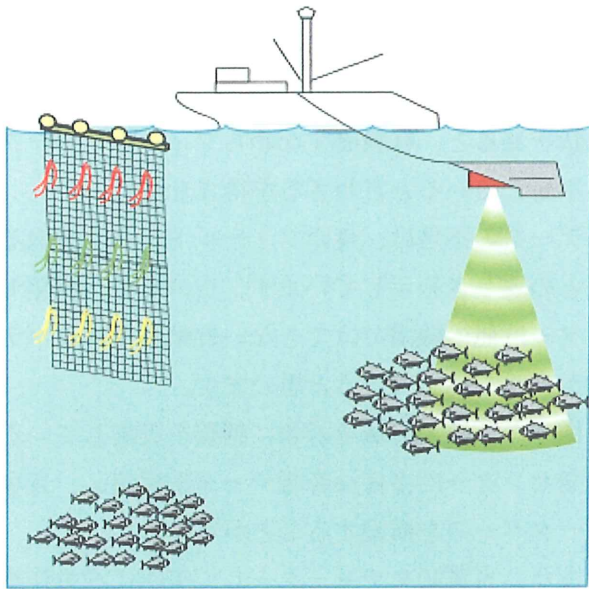


図6 《18太神丸による現場TS測定実験》ポータブル計量魚探を曳航し、人工流木に鰈集する魚を測定する

漁獲し、漁獲物の種組成／サイズ組成が、TSの頻度分布から予想されるものと一致するかどうかを検証します。ここでよい一致が見られるようになってくれば、混獲対策の第一歩となるでしょう。

今後の展開・課題

この調査はまだ予備調査を一度だけ実施した段階であり、今後さらに調査設計をブラッシュアップしていく必要があります。予備調査の結果からは、魚群の密度が高すぎて、計量魚探の解像度では正確な計測ができないという問題が浮かび上がってきています。

正確な測定のためには、解像度を高めて、一個体一個体の魚がきちんと識別できるような条件を整える必要があります。具体的には、魚があまり密集しない時間帯に調査をすとか、魚探の送受波器を魚群に近づけて、解像度が高い状態で計測するなどの対策が考えられます。

また、カツオマグロ類についてはまだTSデータが十分ではありません。現場でのTS測定で得た値は魚の姿勢その他によってある程度幅があります。これを解釈するために、カツオ・キハダ・メバチの各魚種について、より正確なTSとサイズの関係性が求められるでしょう。現場での実測

と平行しながら、生け簀などを使って各魚種の実測TSデータを蓄積していく必要があると考えます。

開発センターと音響資源調査

スケトウダラの例で見られるように、すでに計量魚探は資源量調査には欠かせないツールとなった観があります。さらに、これからはこの技術が調査・研究の分野だけでなく、漁業者によっても活発に利用されるようになっていくと予想されます。

魚種判別／サイズ判別

計量魚探の機能の中でも、開発センター関係者や漁業者にとって最も関心が高いのは、TSによる魚種判別／サイズ判別でしょう。太神丸で実施した実験もその試みの一つと言えます。

魚探による魚種判別／サイズ判別はまだ確立された技術とは言えませんが、これが可能になれば、操業するか否かの判断材料になりますし、対象に応じて操業方法を調整することが可能となり、効率アップにつながると思われます。価値の高い魚を選択的に獲ることが出来れば、漁業の採算アップにつながるでしょう。

では、どうすれば魚種／サイズ判別の精度を向上させることができるのでしょうか。以下の3方向からのアプローチがあると思います。

①TS測定の精度の向上

魚探のハードウェア、TS推定ソフトウェアは今後も進化していくと思われます。それに伴い、単体魚のTS推定の精度の向上が期待できます。

②TSデータの蓄積

魚種判別／サイズ判別にあたっては、それぞれの魚種のTSがいくらかという情報が不可欠です。今後、多くの重要魚種について、そのサイズとTSの関係を明らかにしていく必要があるでしょう。そのデータの蓄積があつてはじめて現場TSを解釈することが可能になるのです。

このためには例えばイセスなどに魚を入れてそのTSを実測する「制御法」という手法が用いられます。ミナミマグロ調査ではイセスを使ってミ

ナミマグロ幼魚のTSを実測しています。

③TS以外の音響データを活用

TSは音響機器から得られる情報の一部に過ぎません。音響機器によって、魚群の密度、魚群の形や規模、遊泳スピード、パターンの昼夜変動、周波数特性の差など、魚種判別に利用できる様々な情報が得られます。例に挙げたような様々な情報を総合的に判断して、魚種／サイズ推定の精度が向上できるでしょう。

例えば、人工知能（AI）やニューラルネットワーク（NN）といわれるソフトウェアを利用すれば、音響だけでなく、周辺の環境データなどあらゆる情報を総合的に利用できます。これらのソフトは、経験を積ませて、ソフトに学習させることによって正答率が向上していく性質を持っています。理論的に答えを導くのではなく、経験的なアプローチと言えます。

開発センターと音響調査

魚種判別のような複雑な要素を含む仕事は理論と経験則の両面から進めていく必要があります。現状を見ると、経験面すなわちフィールドデータが不足していると言わざるを得ません。

データの不足は、良いフィールドデータを取ることの難しさを示しています。この点で、開発センターは他の機関ではできない貢献ができるポテンシャルを持っていると思います。

様々な魚種・海域を対象に調査を実施している開発センターは多様な音響データを採集し、音響データベースを構築することが可能です。

また、当業船をチャーターして実際に漁労作業を行うため、推定した魚種組成と実際のそれを比較検証できるという強みもあります。

将来的に、新しい音響技術を漁業に応用する際にも開発センターが果たすべき役割は大きいと言えます。

アコースティック資源調査に関する入門書（発行順、価格は消費税抜き）

魚類資源量評価のためのソナーシステム使用法

J. Burczynski 著 見元孝一訳 青山恒雄監修

日本水産資源保護協会1982年

水産音響学－水族資源量推定の理論と実際

K. A. Johannesson 他 FAO Fisheries Technical Paper No. 240 1983

柴田恵司・見元孝一共訳

海洋水産資源開発センター 資料No. 29 1985年 360円

ソナー

R. B. ミットソン著 濱野明・前田弘訳

恒星社厚生閣 1994年 6800円

海洋音響用語辞典

海洋音響学会編 海洋音響学会 1999年

TAC管理下における直接推定法－その意義と課題

II. 2. 音響手法、3. 音響と光学の新技术

浅野謙治編

日本水産学会監修 水産学シリーズNo. 124 恒星社厚生閣 2000年 2200円

海を音で見る

古澤昌彦著

日本水産学会監修 ベルソープックスNo. 未定 成山堂書店 2001年（近刊） 1600円

内分泌かく乱物質による水域汚染と魚類に対する影響実態

瀬戸内海区水産研究所 環境保全部

部長 山 田 久

生物影響研究室長 藤 井 一 則

1980年代後半から魚類の生殖腺重量の低下、抱卵数や受精率の低下、精巣卵など雌雄同体現象や雄魚における雌特異卵黄蛋白前駆物質（ビテロジェニン）の検出など魚類の生殖・内分泌系に対する異常が多く報告され、内分泌かく乱物質による汚染が危惧された。水産庁では「環境ホルモン（内分泌かく乱物質）影響調査検討会」を設置し、汚染状況や魚介類に対する異常現象を取りまとめるとともに、今後実施すべき課題を提言した¹⁾。

一方、農林水産省では、プロジェクト研究「農林水産業における内分泌かく乱物質の動態解明と作用機構に関する総合研究」を開始し、原因物質の探索、影響評価手法の開発、影響実態および水生生物に対する作用機構の解明に関する研究が急速に進められてきた。

内分泌かく乱物質は、1996年12月にE Uが主催した「内分泌障害性化学物質の健康と環境への影響に関する欧州ワークショップ」では、「外来性物質であり無処置の生物の内分泌系に対し、その個体もしくは子孫の世代の何れかの段階で健康障害性の変化を起こさせる物質」と定義されている¹⁾。また、ホワイトハウス科学委員会が1997年1月に開催した「内分泌障害性化学物質に関するスミソニアン・ワークショップ」では、内分泌かく乱物質の定義は「生体の恒常性、生殖、発生あるいは行動に関与する種々の生体内ホルモンの合成、貯蔵、分泌、体内輸送、結合、そしてホルモン作用そのもの、あるいはそのクリアランスなどの諸過程を阻害する性質を持つ外来性の物質」とすることが申し合わされた¹⁾。これらの定義を広義に解釈すると、内分泌かく乱物質は非常に多くの種類の多様な特質を有する物質で構成され、環境庁は内分泌かく乱の疑わしい物質として67物質を選定している²⁾。

これらの物質の中には男性ホルモンあるいは女性ホルモン様作用を示す物質が含まれ、水生生物に対する影響および作用機構は多様である。本稿では、水生生物に対する作用機構について概観するとともに、特に、女性ホルモン様物質（エストロゲン様物質）による沿岸域の汚染状況、水生生物に影響を及ぼす閾値の実験的解析について上記プロジェクト研究の成果も含めて紹介する。さらに、これらの成果を総合的にとりまとめ水生生物に対する影響実態を評価するとともに、今後の課題についても考察する。

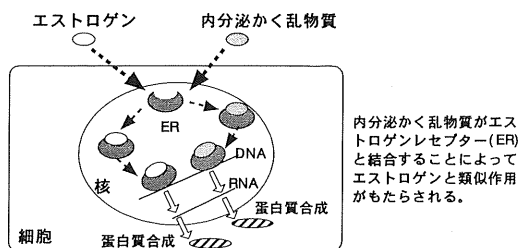
1. 内分泌かく乱物質の作用機構

内分泌かく乱物質の水生生物に対する作用は、図1に示すように①ホルモン受容体に結合してホルモンと類似の作用をする（アゴニスト）、②内分泌かく乱物質が受容体に結合することにより本来のホルモンに受容体への結合を阻止し、正常なホルモン作用を阻害する（アンタゴニスト）および③ホルモン代謝に関与する酵素活性を抑制することにより生体内の正常なホルモン代謝系を阻害する（代謝型影響）の大きく3種類の作用機構に分類される。

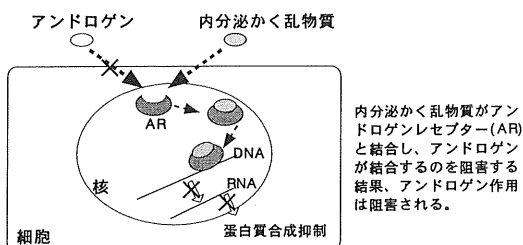
現在問題となっている主な内分泌かく乱物質の中で①の作用を有するエストロジェンのアゴニストとして、アルキルフェノール類やフタル酸エステル類などの化学物質、人畜に由来する女性ホルモン（エストラジオール、エストロンやエストリオール）、経口避妊薬の有効成分の合成ホルモン（17 α エチニルエストラジオール）および大豆などに含有される植物エストロジェンが知られている。これらの物質はエストロゲン様物質（ゼノエストロジェン）あるいは環境エストロジェンと総称されており、図2に示すようベンゼン環が水

内分泌かく乱物質の作用メカニズム

1. エストロゲン類似作用（アゴニスト）



2. アンドロゲン阻害作用（アンタゴニスト）



3. その他（代謝阻害等）

ダイオキシン ⇒ P450機能亢進 ⇒ ホルモン代謝異常

図1 内分泌攪乱物質の作用機構

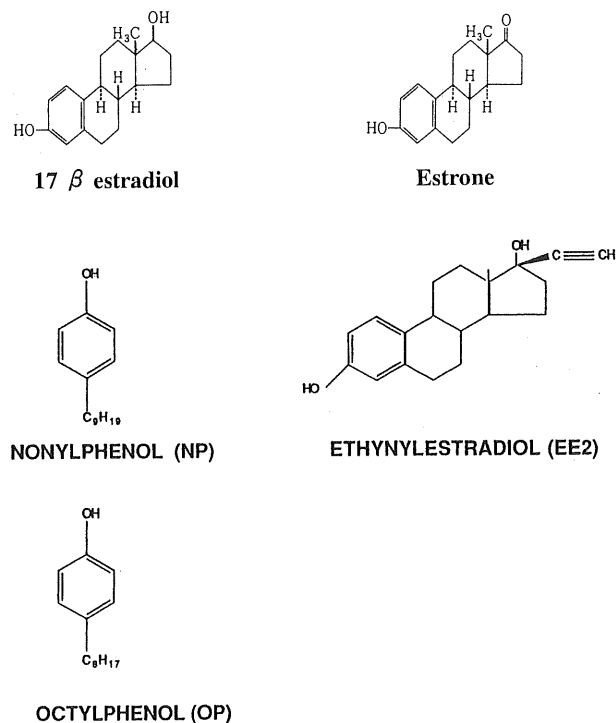


図2 エストロゲンおよび代表的なエストロゲン様内分泌かく乱物質の構造式

酸化され、さらに水酸化されたベンゼン環に比較的大きなアルキル鎖あるいはベンゼン環が結合する共通の化学構造を有する物質である。エストロジェンが結合する受容体（リセプター）の形状の

ためにエストロゲン様内分泌かく乱化学物質は共通の化学構造を有するものと考えられている。

アンドロジェンのアゴニスト、すなわち男性ホルモンと類似の作用を有する物質がパルプ工業廃水に含有される可能性を示唆する研究結果が多く報告されているが、その原因物質は同定されていない。

②の作用機構を有する物質は、アンドロジェンのアンタゴニストとしてDDTの代謝産物であるDDEが知られており、雄の生殖機能を害する可能性が考えられている。

③の作用を有する物質としてダイオキシン類や有機スズ化合物が挙げられる。例えば、有機スズ化合物は、テストステロン（男性ホルモン）から17βエストラジオール（女性ホルモン）の生合成に関与する酵素（アロマターゼ）活性を抑制する。すなわち、17βエストラジオールの生成が阻害されるために雄性化することが示唆されている。有機スズ化合物により引き起こされる巻貝のインボセックスが代表的な例である。すなわち、これらの1群の物質はリセプターへの結合のメカニズムによらず、正常なホルモン代謝過程を変化させることにより生殖・内分泌系異常を引き起こすと考えられている。

これらの作用機構により分類される内分泌かく乱物質の中で、①の作用メカニズムにより生殖に異常を引き起こすエストロゲン様物質について比較的研究が進んでいる。したがって、本稿ではエストロゲン様物質に焦点を当てて最近の研究成果について述べる。

2. 汚染実態の把握手法

（1）化学分析による環境中濃度の把握

環境の媒体（水質、底質および生物）中の化学成分を直接機器分析で測定する方法は化学物質汚染の実態把握において基本的な方法である。内分泌かく乱化学物質についてもガスクロマトグラフィー質量分析計による多成分同時分析法が環境庁において検討され、その手法は確立している³⁾。エストロゲン様物質は、個々の化学物質が類似の作用を示す場合があるので、多成分の複合的、

かつ総合的な影響を評価する必要がある。このためには、個々の成分を分析する化学分析の手法では、内分泌かく乱が危惧される化学物質を網羅的に測定することが重要である。

(2) 培養細胞による汚染実態把握

エストロゲンリセプターを有し、エストロゲン様物質の存在下で増殖する細胞や酵母が開発されている。たとえば、乳ガン由来細胞のMCF-7、子宮内膜ガン由来細胞のIshikawa Cellなどである。これらの培養細胞を用いる方法は、化学物質のエストロゲン活性のスクリーニング並びに環境水中エストロゲン活性の測定にしばしば用いられている⁴⁾。海水から有機溶剤で抽出した抽出物のエストロゲン様活性を測定する場合、抽出物中にはエストロゲン様活性を抑制する物質も共存するので、この方法で測定したエストロゲン様活性（汚染実態）は、各種物質が複合的に作用した結果の見かけの汚染実態と考えられる。

(3) ビテロジェニンなどバイオマーカーによる実態把握

エストロゲン様物質が魚類のエストロゲンリセプターに結合すると、魚類は本来のエストロジェンの指令と認識して図3に示すように肝臓を刺激してビテロジェニン（卵黄タンパク前駆物質）の合成を促進する⁵⁾。ビテロジェニンは血液を介して卵母細胞に運搬され、卵が成熟する。したがって、エストロゲン様物質が魚類に作用すると、本来ビテロジェニン濃度の低い雄魚でも血中に高濃度のビテロジェニンが検出される。血中ビテロジェニン濃度は、エストロゲン様物質による影響の検出法としては簡便かつ高感度な方法であるが、それを用いた影響評価のためには①雄魚のビテロジェニンのバックグラウンド値および内因性のホルモン濃度の変動などに起因する雄魚のビテロジェニン濃度の季節変化など基礎的課題をさらに追求する必要がある。

(4) 魚類生殖腺の発達や組織異常など

魚類生殖腺の成熟状況（体重に対する生殖腺重

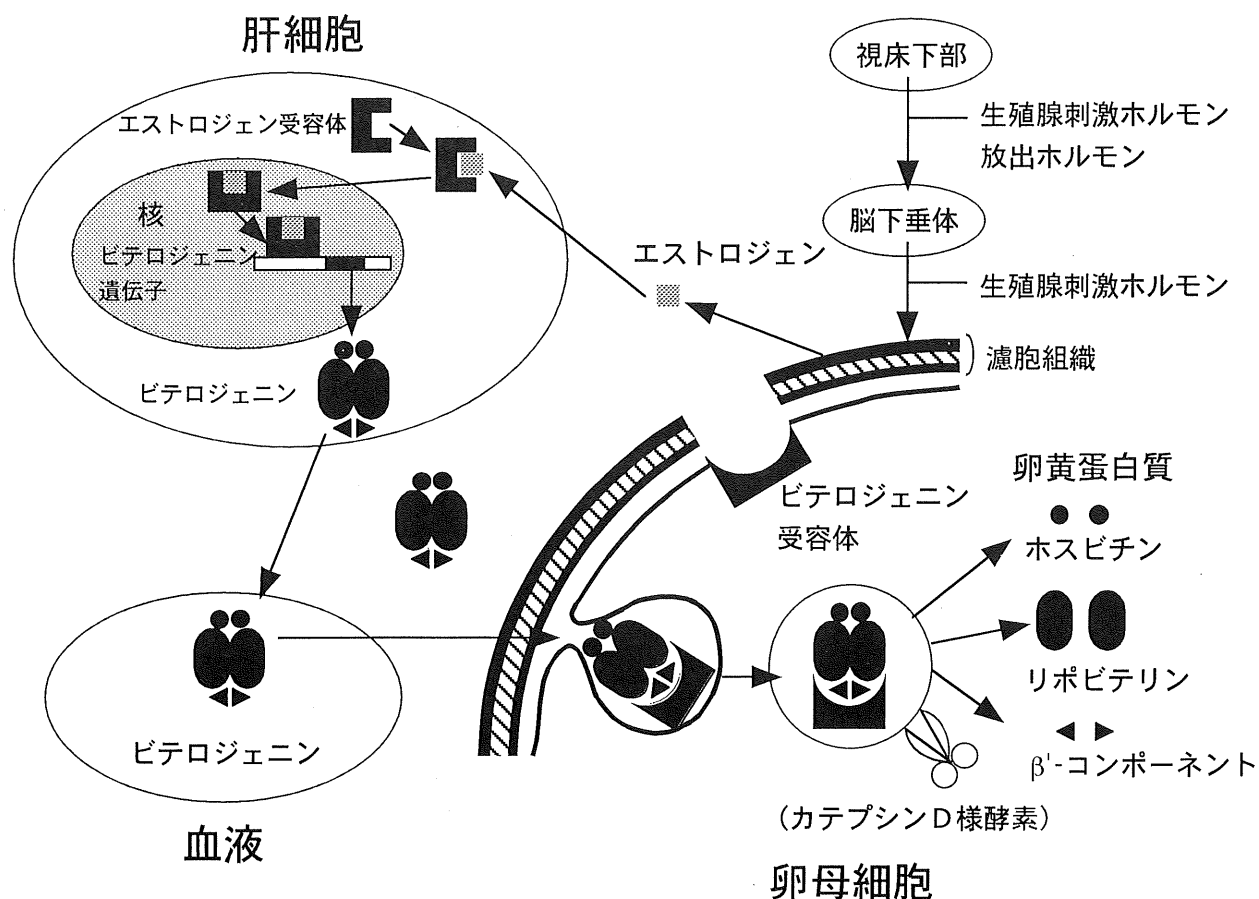


図3 卵黄形成過程とビテロジェニン（原⁵⁾から引用）

量の割合、G S I)、精巣卵などの生殖腺組織異常あるいは性比の偏りも内分泌かく乱物質の影響把握のためにしばしば用いられる。これらの方法はG S Iなど非常に簡便なものから組織異常の観察など経験と熟練を要するものまでその手法は幅が広い。また、性比は、魚類の分布、棲み分けあるいは成長に伴った性転換などにより変動することがある。したがって、影響実態把握のために性比を用いる場合には、対象魚類の生態的な特性を詳細に解明・理解する必要がある。

その他、血中ステロイドホルモンの変動等が影響実態把握のために指標として考えられるが、アメリカ環境保護庁の内分泌かく乱物質のスクリーニングと試験方法検討委員会（EDSTAC）⁶⁾では表1に示した項目が内分泌かく乱物質影響実態把握のための指標として使用できることを提言している。

3. 我が国における汚染の実態

(1) 環境水中内分泌かく乱物質濃度

環境庁が平成10年に実施した調査⁷⁾では、表2に示すようにP C B s、有機スズ化合物（T B TおよびT P T）、アルキルフェノール類（ノニルフェノール、4-*t*-オクチルフェノール）、ビスフェノールAおよびフタル酸エステル類（フタル酸-2-エチルヘキシル）が水質、底質および水生生物から高頻度でかつ高濃度で検出された。一方、4-*t*-ブチルフェノール、フタル酸-*n*-ブチル、スチレンモノマーおよび17βエストラジオールが水質および底質から検出された。

ノニルフェノール、4-*t*-オクチルフェノール、ビスフェノールAおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシルの水質試料における検出率は、それぞれ、60%、56%、63%および34%であった。これらの物質の水中濃度は、ノニルフェノールで<50~21,000ng/l、4-*t*-オクチルフェノールで<10~13,000ng/l、ビスフェノールAで<10~580、また、フタル酸ジ-2-エチルヘキシルで<300~1,100

表1 内分泌かく乱の影響評価指標

(Endocrine Disruptor Screening and Testing Advisory Committee; EDSTAC)

影 響 評 価 指 標	コ メ ン ト
1. ビテロジェンの誘導	ラジオイムノアッセイ（R I A）、酵素免疫反応（E L I S A） mRNAの利用、特別な技術と施設必要 血液が少量の場合の問題、魚種に特異な抗体の開発
2. 血漿ステロイドホルモン濃度	血液少量の場合、全魚体あるいは生殖腺組織について測定 魚類の生殖周期により濃度変動、同一時期に測定する必要あり。 日周期変動にも注意する必要あり。
3. 受容体への結合	研究成果少ない。 エストロゲン様物質（メトキシクロール、クロルデコン）は、非エストロゲン様物質（ナフタレン）と同様に卵母細胞のリセプターに結合し、卵の成熟阻害
4. 第2次性徴の変化	製紙工場排水への暴露で雌のメダカにgonadopodium（交接肢：精液を母体内に送り込む機構の一つ、尻鰭の全部の一部が長く伸びて変化したもの）の形成 17β-エストラジオール暴露によりファットヘッドミノーの雄のfatpads（皮膚が肥厚した小突起）や生殖円形小突起が消失 生物を殺す必要がないことが利点である。
5. 性分化の変化	病理組織学的手法が必要であり、時間及び経費が必要。
6. 生殖腺指数（G S I）	簡単に総合的な指標、同一時期の調査する必要がある。
7. ステロイドホルモンの生合成	
8. 配偶子の最終段階の成熟	配偶子の大きさ、卵核胞の崩壊、総合的な評価指標
9. 卵核胞の崩壊	これが起こると卵が成熟したことになり、卵の成熟期の指標となる。
10. 視床下部-脳下垂体機能	ゴナドトロピンの分泌変化、測定法の確立必要

表2 我が国水環境において検出された内分泌かく乱化学物質（平成10年度環境庁調査）

内 分 泌 か く 乱 物 質	主 な 用 途	検 出 状 況				
		水 質		底 質		水生生物
		検出率	濃度 (ng/l)	検出率	濃度 (ng/g)	
ポリ塩化ビフェニール (PCB)	熱媒体、ノンカーボン紙 電気製品	208/405 (69%)	220	126/152 (83%)	133/141 (94%)	1300
有機スズ化合物 トリブチルスズ (TBT)	船底塗料、漁網防汚剤	29/405 (7%)	<2-8	81/152 (53%)	113/141 (80%)	<1-120
		1/405 (0.2%)	<1-4	29/152 (19%)	70/141 (50%)	<1-210
アルキルフェノール類 4-tert-ブチルフェノール ノニルフェノール 4-tert-オクチルフェノール ビスフェノールA	界面活性剤の原料及び 分解生成物 樹脂の原料	110/405 (27%)	<10-870			
		245/405 (60%)	<50-21000	36/152 (24%)	42/141 (30%)	<1.5-780
		228/405 (56%)	<10-13000	11/152 (7%)	16/141 (11%)	<1.5-30
		255/405 (63%)	<10-580	55/152 (36%)	8/141 (6%)	<5-15
フタル酸エステル類 フタル酸ジ-2-エチルヘキシル フタル酸ジ-n-ブチル	プラスチックの可塑性剤	136/405 (34%)	<300-1100	125/152 (82%)	30/141 (21%)	<25-180
		23/405 (6%)	<0.3-1.9	67/152 (44%)		
スチレンモノマー	プラスチック原料	63/405 (16%)	<10-140	5/152 (3%)	16/141 (9%)	<1-4
17-β-エストラジオール*1	人畜由来の女性ホルモン	260/405 (64%)	<1-16	134/152 (88%)		

*1: ELISA 法で測定したために GC-MS 法による測定値に比較して値が大きい。

であった。これらの結果から、我が国水域環境を汚染する主要なエストロゲン様物質はノニルフェノールおよび4-*t*-オクチルフェノールであると言える。これらの物質の底質および生物における検出率は、フタル酸ジ-2-エチルヘキシルを除くと、水質試料に比較して小さく、これらのエストロゲン様物質は主として水汚染を引き起こす物質であると推察される。

これに反し、PCBや有機スズ化合物は、水試料に比較して底質や生物での検出率が高く、これらの物質は底質汚染を引き起こすとともに、生物に蓄積されやすいことが明かである。

合成化学物質の他に人畜由来の女性ホルモン(17βエストラジオール)が、環境庁の調査において水質および底質からしばしば検出された。平成10年度の環境庁による17βエストラジオールの測定は酵素免疫反応による方法(ELISA法)で測定された。水中に共存する物質の影響を受けるためにELISA法による17βエストラジオールの濃度は実際の濃度より高いことが、その後に関発されたGC-MS法による測定値との比較により明らかになった。

筆者らの広島湾および福岡湾における調査では、海水中天然(17βエストラジオールとエストロン)および合成エストロゲン(17αエチニルエストラジオール)濃度をGC-MS(NCI)法で分析した。

17αエチニルエストラジオールは、広島湾と福岡湾いずれの海水からも検出されなかった。エス

トロン濃度は、広島湾で<0.5~2.6ng/l、また、福岡湾で1.3~2.0ng/lであった。一方、広島湾および福岡湾海水中17βエストラジオール濃度は、それぞれ、<0.1~0.5ng/lおよび0.1~0.3ng/lであった。広島湾では下水処理水放流口近傍の太田川放水路河口(St. 3)および海田湾(St. 5)で高かった。しかし、広島湾および福岡湾で測定された最も高い17βエストラジオールおよびエストロン濃度は、ニジマスの血中ビテロジェニンを著しく高くする濃度(17βエストラジオール; 1~10ng/l、エストロン; 25~50ng/l)と比較すると、それぞれ、1/10~1/20および1/2~1/20の低い値であった。

(2) 培養細胞による汚染実態把握

広島湾および福岡湾の観測点で表層海水(10 l)を採集し、C18カートリッジを用いる固相抽出法によりエストロゲン様物質を抽出した。乳ガン由来細胞(MCF-7)および子宮内膜ガン由来細胞(Ishikawa Cell)を用いて、細胞増殖を測定した。別に求めた17βエストラジオール濃度と細胞増殖の関係式(検量線)から内分泌攪乱活性をE2当量として評価した⁴⁾。

海水の内分泌かく乱活性は、図4に示したように広島湾でnd~0.094ngE2/l、福岡湾で0.042~0.400ngE2/lの範囲であり、両湾ともに湾奥で高い傾向であった。広島湾の結果では海水の内分泌かく乱活性は、下水道終末処理場放流口近傍のSt. 3およびSt. 5でそれぞれ0.094ngE2/lおよび0.054ngE2/lと高く、内分泌攪乱物質が陸上、特

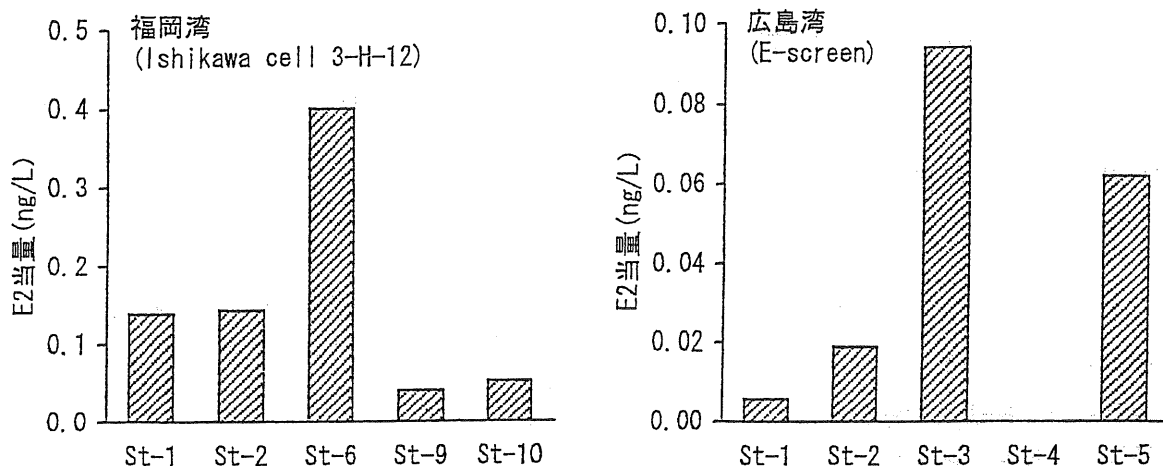


図4 海水中内分泌かく乱活性

に、下水処理場等によることが示唆された。

(3) ビテロジェニンによる汚染実態把握

環境庁⁷⁾や建設省⁸⁾による河川・湖沼の調査では、表3に示したように多摩川や手賀沼などの2、3の水域において雄のコイ血液中に高濃度(多摩川および手賀沼における最大値は $100 \mu\text{g/ml}$ および $9 \mu\text{g/ml}$)のビテロジェニンが検出され、内分泌かく乱物質の影響が示唆された。

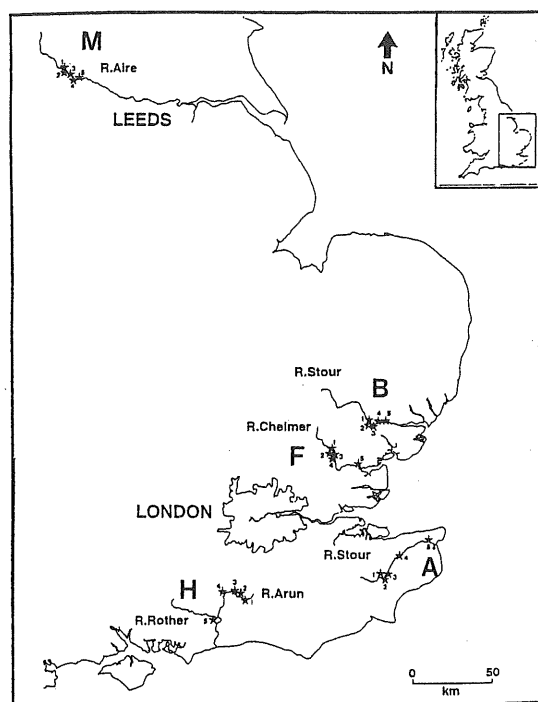
沿岸域に生息するカレイでは、ステロイドホルモン濃度およびG S Iなどに特段異常は認められなかった。雄マコカレイ血中ビテロジェニン濃度は、広島湾で測定された $1 \mu\text{g/ml}$ 以上の3個体を除くとすべて $0.4 \mu\text{g/ml}$ 以下であった。この濃度は、英国沿岸のカレイに比較すると著しく低く、我が国沿岸域に生息するマコガレイでは内分泌かく乱物質の影響は明確でなく、また、英国沿岸ほど著しいものではないと推察される。

4. 下水処理水中の原因物質の探索

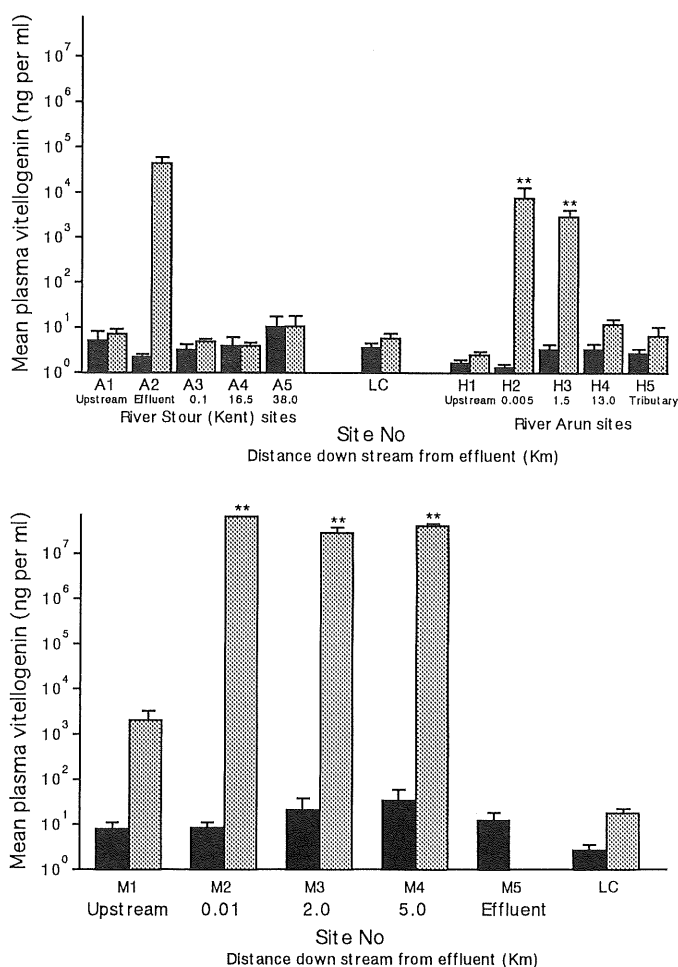
英国の河川に設置したケージ内でニジマスを飼育した実験⁹⁾では、図5に示したように血中ビテロジェニン濃度が下水処理水放出口の下流で高くなり、下水処理水中に内分泌かく乱物質が存在することが示唆された。

筆者らは下水処理水から抽出した物質をシリカゲルカラムクロマトグラフィーで分画するとともに、各画分のエストロゲン活性を培養細胞の手法で調べた。さらに、活性が認められる画分に含有される成分のシリカゲル薄層クロマトグラフィーでの挙動を標準物質と比較する方法で原因物質を探索した。

下水処理水約100 lからジクロロメタン抽出で粗抽出物を得、シリカゲルカラムクロマトグラフィーにより極性の異なる溶媒(ヘキサン、ヘキサン(Hex)とジエチルエーテル(Et20)の混



移植実験水域



移植前(黒) 後(灰色)のビテロジェニン濃度

図5 雄ニジマスの英国河川への移植実験

LC: 実験室での対照実験、*: 1%の危険率で有意

表3 コイの成熟状況および血中ビテロジェニン濃度

採集時期	場 所	性	魚体の大きさ			GSI (%)	ヒテロジェニン (μ g/ml)	エストラジオール (pg/ml)	テストステロン (ng/ml)
			体重(kg)	全長(cm)	体長(cm)				
11月中旬 ^{*1}	羽村堰	♂	0.66	38	30	0.46	<0.10		
11月下旬 ^{*1}	拝島橋	♂	1.5-3.4	46-64	36-51	4.1-8.8	<0.10-100		
11月下旬～ 12月上旬 ^{*1}	多摩川原橋	♂	1.6-2.0	48-57	37-44	2.5-7.5	<0.10-0.83		
	田園調布堰	♂	1.6-2.8	48-58	38-47	6.2-11	<0.10-3.5		
11月下旬 ^{*2}	印旛沼	♂	1.5-4.6	46-73	39-59	0.61-7.6	<0.039-1.1	0-35	0.22-1.5
	手賀沼	♂	0.70-1.5	42-48	34-41	0.32-11	<0.039-9.0	0-16	0-2.8
12月中旬 ^{*2}	秋川	♂	1.7-3.4	49-67	41-53	1.0-7.5	<0.039-6.9	0-1.1	0.85-5.1
	浅川	♂	1.3-3.5	45-66	36-54	4.8-10	<0.039-7.7	7.5-85	0.47-3.4
11月中旬 ^{*1}	羽村堰	♀	0.45-2.2	31-52	26-44	0.58-4.2	1.9-2,400		
11月下旬 ^{*1}	拝島橋	♀	2.3-5.3	56-70	46-57	2.5-16	150-23,000		
11月下旬～ 12月上旬 ^{*1}	多摩川原橋	♀	1.6-3.2	51-62	39-48	7.6-20	2,000-11,000		
	田園調布堰	♀	1.8-6.5	52-74	41-60	7.8-29	3,500-12,000		
11月下旬 ^{*2}	印旛沼	♀	1.6-7.8	56-89	44-73	0.82-15	<0.039-2,700	0-1,200	0-1.8
	手賀沼	♀	0.80-1.6	39-51	34-43	0.40-11	12-4,100	0-360	0-1.7
12月中旬 ^{*2}	秋川	♀	1.1-3.5	43-66	35-52	0.47-16	1.3-9,400	0-290	0-4.3
	浅川	♀	2.2-3.5	55-72	45-57	2.0-22	1.3-11,000	8.4-240	0-1.9

*1: 建設省「平成10年度水環境における内分泌攪乱化学物質に関する実態調査結果」

*2: 環境庁「平成10年度内分泌攪乱化学物質による野生生物影響実態調査」

液、ジエチルエーテルおよびメタノール）を用いて6画分に区分した。各画分のエストロゲン活性をIshikawa Cellにより測定するとともに、各画分に含有される成分を薄層クロマトグラフィーで推定した。エストロゲン活性は、画分4（Hex : Et 20、70 : 30で溶出）、画分5（Et 20で溶出）および画分6（Me OHで溶出）で認められ、画分5で最も高かった（図6）。薄層クロマトグラフィーによる標準物質との比較により、内分泌かく乱活性が高い画分4にはエストロンおよび17 α エチニルエストラジオール、画分5には17 β エストラジオール、エストリオールおよびビスフェノールA、画分6にはエストリオールが検出され、これらの物質が内分泌かく乱の原因物質として可能性が高いことが示唆された。

西川ら¹⁰⁾による酵母を用いた内分泌かく乱物質のスクリーニングに関する研究によれば、17 β エストラジオールの活性を1とすると、エストロンおよび17 α エチニルエストラジオールの活性は約1/100、エストリオールは約1/1,000、アルキルフェノール類は1/1,000～1/10,000、また、ビスフェノールAは約1/100,000である。したが

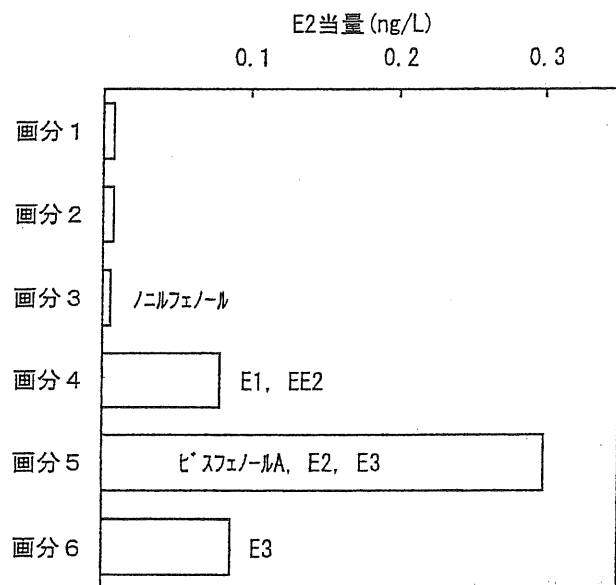


図6 下水処理水抽出物の分画とエストロゲン活性および各画分に含有されるエストロゲン様物質

E1 : エストロン、E2 : 17 β エストラジオール、E3 : エストリオール

EE2 : 17 α エチニルエストラジオール

って、いわゆる内分泌かく乱物質と言われるアルキルフェノールなどの合成化学物質の活性は女性ホルモンに比較して低いために、人畜に由来する女性ホルモンは環境水中エストロゲン様内分泌かく乱の主要な原因物質の1つであると考えられる。

5. エストロゲン様物質の魚類内分泌系に対する影響濃度と我国における影響実態評価

(1) 影響濃度

ノニルフェノールなどのアルキルフェノール類やビスフェノールAなどの化学物質、下水処理水中に含有される非イオン界面活性剤の分解生成物および天然女性ホルモンなど魚類内分泌系に対して影響を及ぼす多くの物質について、魚類の飼育実験を通して精巣卵の出現、生殖行動の異常、受精率の低下や次世代仔魚の奇形発症率あるいはビテロジェニンの誘導を指標として、魚類に発現する異常現象と原因物質の濃度との関係の解析が多くの研究者により行われてきた¹¹⁻¹⁵⁾。これらの研究の概要は表4のように要約される。

ノニルフェノールは水中濃度が数10～100 μ g/lの濃度でメダカやマミチヨグの雌化を引き起こすことが確認された^{11, 12)}。

4-*t*-オクチルフェノールのメダカに対する影響が、生殖行動、受精率および次世代の奇形発症の視点で研究された¹³⁾。生殖行動（求愛演舞）は25 μ g/lで抑制され、次世代の奇形は10 μ g/lの低濃度で認められることが明らかになった。一方、性転換は100 μ g/lで発症し¹⁴⁾、また、血中ビテロジェニンは飼育水中4-*t*-オクチルフェノール濃度が1～10 μ g/l（ニジマス）、10～100 μ g/l（ローチ）で有意に増加したことがRoutledgeらの研究¹⁵⁾で明らかになった。したがって、アルキルフェノール類の魚類に影響を及ぼす濃度は、概ね1～100 μ g/lであると考えられる。

ニジマスとローチとで比較すると、ニジマスがより低濃度のゼノエストロゲンによりビテロジェニンを誘導し、感受性が高いことが明らかであった。ニジマスはコイ科魚類に比較して卵が大き

表4 エストロジェン様物質の魚類に対する影響

内分泌攪乱物質	魚種	実験方法の概要	影響評価指標	影響が発現する濃度	文献	水質中濃度 (μ g/l)
ノニルフェノール	メダカ	ふ化後1～2日の仔魚から3ヶ月暴露	雌雄同体の出現	10 μ g/l 雌雄同体なし 50 μ g/l 出現率 50% 100 μ g/l 出現率 86%	Gray, M. A. ら (1997)	<0.05 ～ 21
	マミチヨグ	受精卵から	雌雄同体の出現	146 μ g/l(実測濃度)26 尾 中 1 尾出現	角埜(1999)	
4-t-オクチルフェノール	メダカ	ふ化後1日の仔魚から6ヶ月暴露	生殖行動の観察	追尾行動 50 μ g/l 求愛行動 25 μ g/l 交叉行動 50 μ g/l	Gray, M. A. ら (1999a)	<0.01 ～ 13
		ふ化後1日の仔魚から6ヶ月暴露したメダカの次世代受精率の観察	受精率及び次世代の奇形発症	受精率の低下 50 μ g/l 次世代への影響は 10 μ g/l でも認められる。	Gray, M. A. ら (1999a)	
		ふ化後1日の仔魚から35日間暴露	雌雄同体の出現	100 μ g/l 出現率 29%	Gray, M. A. ら (1999b)	
	ニジマス	雄成魚を21日間飼育	ビテロジェニンの誘導	10 μ g/l で有意に誘導 閾値は 1 ～ 10 μ g/l	Routledge, E. J. ら (1998)	
17 β エストラジオール	ローチ	雄成魚を21日間飼育	ビテロジェニンの誘導	100 μ g/l で有意に誘導	Routledge, E. J. ら (1998)	
	ニジマス	雄成魚を21日間飼育	ビテロジェニンの誘導	10ng/l で有意に誘導 閾値は 1 ～ 10ng/l	Routledge, E. J. ら (1998)	
エストロン	ローチ	21日間飼育		100ng/l で有意に誘導 閾値は 10 ～ 100ng/l	Routledge, E. J. ら (1998)	
	ニジマス	雄成魚を21日間飼育	ビテロジェニンの誘導	50ng/l で有意に誘導 閾値は 25 ～ 50ng/l	Routledge, E. J. ら (1998)	

Gray, M. A. and Metcalfe, C. D. 1997. Induction of testis-ova in Japanese Medaka (*Oryzias latipes*) exposed to p-nonylphenol. *Environ. Toxicol. Chem.*, **16**, 1082-1086.

Gray, M. A., Teather, K. L. and Metcalfe, C. D. 1999a. Reproductive success and behavior of Japanese Medaka (*Oryzias latipes*) exposed to 4-tert-octylphenol. *Environ. Toxicol. Chem.*, **18**, 2587-2594.

Gray, M. A., Niimi, A. J. and Metcalfe, C. D. 1999b. Factors affecting the development of testis-ova in Medaka, *Oryzias latipes*, exposed to octylphenol. *Environ. Toxicol. Chem.*, **18**, 1835-1842.

角埜 彰 1999. 魚類の性転換機構、内分泌攪乱物質による生殖への影響と作用機構に関する研究、平成 10 年度報告書

Routledge, E. J. et al. 1998. Identification of estrogenic chemicals in STW effluent. 2. In vivo responses in trout and roach. *Environ. Sci. Technol.*, **32**, 1559-1565.

いために、多量な卵黄を蓄積する必要がある。すなわち、ニジマスは多量なビテロジェニンを生産することが要求されるので、低濃度ゼノエストロジェンに対する感受性が高く、ビテロジェニン誘導の魚種による差異の原因と考えられている。

ビテロジェニンの誘導を引き起こす 17β エストラジオールの閾値の濃度は、ニジマスで $1\sim 10\text{ng/l}$ 、ローチで $10\sim 100\text{ng/l}$ であった¹⁵⁾。すなわち、4-*t*-オクチルフェノールの実験と同様に、ニジマスはローチに比較して低濃度の 17β エストラジオールでビテロジェニンを誘導し、感受性の高い魚類であることが指摘できる。一方、ニジマス血中ビテロジェニンは、エストロン濃度が $25\sim 50\text{ng/l}$ で誘導された。アルキルフェノール類に比較すると、 17β エストラジオールは $1/1,000$ の低濃度で、また、エストロンは $1/200$ の低濃度でビテロジェニンを誘導することが明らかであった。これらの結果から、下水処理水中に含有される天然女性ホルモン様物質は低濃度で魚類の内分泌系に影響を及ぼし、内分泌かく乱の主要な原因物質であることが推察される。

Routledgeら¹⁵⁾は、エストロン (25ng/l) と 17β エストラジオール (25ng/l) が共存する状態で暴露した場合には、それぞれを単独に暴露した時に比較してニジマス血中のビテロジェニン濃度が著しく高くなることを証明した。ニジマス血中ビテロジェニン濃度は、エストロンを 50ng/l あるいは 100ng/l で暴露した場合に比較しても高かった。 17β エストラジオールはエストロンに比較して内分泌かく乱活性が高く、同じ濃度であればビテロジェニン濃度を2～5倍高く誘導することが報告されている。すなわち、 17β エストラジオール濃度 25ng/l は、 $50\sim 125\text{ng/l}$ のエストロンに相当することが報告されている。すなわち、 25ng/l のエストロンと 25ng/l の 17β エストラジオールは、 $75\sim 150\text{ng/l}$ のエストロンに相当し、同時暴露によるニジマス血中ビテロジェニン濃度は、 $75\sim 150\text{ng/l}$ の濃度でエストロンを暴露したときに測定される血中ビテロジェニン濃度と一致する。すなわち、 17β エストラジオールとエストロンの複合暴露は魚類ビテロジェニン濃度の誘導に相加

的に影響することが明らかになった。したがって、ホルモンリセプターに結合することにより作用を発揮するような類似の作用機構で魚類内分泌系に障害を及ぼすエストロジェン様物質は、それらが単独で魚類に影響を及ぼすのではなく、多くの物質が相加的に影響することが明らかになった。Routledgeら¹⁵⁾による研究結果は、内分泌かく乱物質の水生生物に及ぼす影響の評価においては、水域環境に検出される類似の作用機構を有する多くの物質の複合的な影響評価の必要性を指摘している。

Grayら¹⁴⁾は、4-*t*-オクチルフェノールのメダカの雌化を研究し、雄から雌への性転換がふ化3日後の初期生活史において最も起こりやすいことを明らかにした。これらの結果は、内分泌かく乱物質の魚類の性転換に与える影響を解明するためには、受精卵—ふ化—仔魚の段階における実験の必要性を示唆する。

中村¹⁶⁾は遺伝的な雄あるいは雌の魚類を用いて内分泌による性転換機構を研究し、雌化のためにはふ化後5日ないし14日の発生初期過程に女性ホルモン（エストラジオール）が作用することが必須であることを解明した。すなわち、アルキルフェノール類やビスフェノールAなどの合成化学物質あるいは経口避妊薬の有効成分（ 17α エチニルエストラジオール）や 17β エストラジオールなどの合成および天然女性ホルモンなどの女性ホルモン様物質の魚類の発生初期過程での暴露は、魚類の雌化を引き起こすことを実験的に解明した。また、有機スズ化合物は、男性ホルモン（テストステロン）の女性ホルモン（エストラジオール）への変換に関与する酵素（アロマターゼ）の活性を抑制するために、女性ホルモンが必要な発生初期過程に女性ホルモン作用が機能しないために雄性化することを実験的に証明した。これらの実験結果から、魚類の発生初期過程に内分泌かく乱物質が暴露されたときに魚類の性転換が起こることが明らかになった。

（2）影響評価

魚類に対する女性ホルモン様物質の影響濃度は以下のように集約される。表4に示したように、

それぞれの物質の影響評価に使用した指標が異なるので、影響濃度を物質毎に比較することはできない。概要をまとめると、魚類に影響を及ぼす濃度の最低値は、ノニルフェノールで数10 $\mu\text{g/l}$ 、4-*n*-オクチルフェノールで1~100 $\mu\text{g/l}$ 、エストロンで25~100ng/l、17 β エストラジオールで1~100ng/lである。

魚類に影響を及ぼすノニルフェノールおよび4-*n*-オクチルフェノール濃度の最低値は、表2に示したように我が国の陸水域においてまれに観測される最大値と概ね一致する。さらに、魚類に対するアルキルフェノール類の影響は、上で影響濃度の項で述べたように水域で検出される成分の複合作用として発現すると考えられる。すなわち、アルキルフェノール類の各成分の濃度を総和すると、魚類に影響を及ぼす濃度の最低値を越える可能性もある。これらの結果は、アルキルフェノール類濃度が高い一部の陸水域においては、魚類の内分泌系へのアルキルフェノール類の影響を危惧しなければならない汚染状況であると推察される。

表2に示した天然女性ホルモン（17 β エストラジオール）の水中あるいは底質中濃度は、酵素免疫反応の方法（ELISA法）で測定した。本法による測定は水中共存物質の影響を受け、測定値が高めにでることが、GC-MS法による測定値との比較研究により明らかにされている。したがって、表2の測定結果は、17 β エストラジオール濃度を過大に評価している可能性がある。著者らが広島湾および福岡湾海水中の女性ホルモンを測定した調査では、17 α エチニルエストラジオール濃度は検出限界以下であった。また、17 β エストラジオールおよびエストロン濃度は、それぞれ、0.1~0.5ng/lおよび<0.5~2.6ng/lであった。これらの濃度は、ニジマス血中ビテロジェニンの誘導を引き起こす濃度、17 β エストラジオール：1~10ng/l、エストロン：25~50ng/l、17 α エチニルエストラジオール：0.1~10ng/lに比較すると低かった。

また、著者らの調査では、広島湾海水からノニルフェノールは検出されず、ビスフェノールA濃度も0.01 $\mu\text{g/l}$ と著しく低い値であった。すなわ

ち、今回検討した物質では、海水中濃度は魚類に影響を及ぼす濃度の最低値に比較して低いために、女性ホルモン様物質の沿岸に生息する魚類に及ぼす影響は大きくないと推察することができる。

6. 魚類への生物濃縮

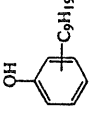
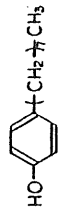
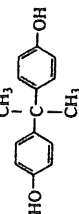
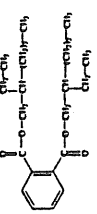
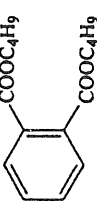
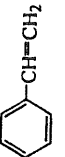
内分泌かく乱物質は、魚介類の摂取を通して人に蓄積され、人の健康に障害を及ぼすことが危惧される。したがって、①魚介類を通じた摂取、②魚介類への生物濃縮および食品としての安全性の評価は重要な課題である。化学物質の水生生物への生物濃縮は物性（特にlog Pow）に依存することが知られている。我が国の水域でしばしば検出されるアルキルフェノール類、フタル酸エステル類およびスチレンモノマーのlog Powは、表5に示すように高蓄積性物質のそれに比較すると小さい^{17, 18)}。また、測定された生物濃縮係数（BCF）は、ノニルフェノールで0.9~3.3、4-*n*-オクチルフェノールで12~469、ビスフェノールAで5.1~67.7、フタル酸ジ-2-エチルヘキシルで1.0~29.7、フタル酸ジ-*n*-ブチルで<3.1~176であった。最も大きなBCFでも4-*n*-オクチルフェノールの469である。したがって、PCBsや有機スズ化合物とは異なり、エストロゲン様物質であるアルキルフェノール、ビスフェノールおよびフタル酸エステル類の生物濃縮性は小さいと推察される。

7. 今後の課題

（1）雄魚ビテロジェニン濃度のバックグラウンド値と季節的変動

従来、魚類血中ビテロジェニンは、魚類の卵形成の指標として成熟・再生産の研究において測定されてきた。したがって、その研究対象は雌魚であり、しかも比較的高濃度のビテロジェニン測定が研究の中心であった。しかし、エストロゲン様物質の内分泌かく乱物質の研究では、雄魚の低濃度のビテロジェニン測定が要求され、新たな測定手法が開発されている。また、卵膜を構成する蛋白の前駆物質、コリオジェニンの測定手法および新たな影響評価指標としての有用性が明らかにされて

表 5 水域から検出される内分泌かく乱化学物質の物質情報と生物濃縮性

内分泌かく乱化学物質	構造式	用途	外観	融点	沸点	log Pow	BCF
ノニルフェノール ¹⁾ (ノニル位置により物性、 毒性異なる) (不純物: フェノール、ジフェノール)		界面活性剤、油溶性フェノール樹脂エラストマーの合成原料	淡黄色液体	-10	293 ～ 297	3.28	0.9 ～ 3.3
4-tert-オクチルフェノール		界面活性剤の原料及び分解物				5.28(計算)	
4-n-オクチルフェノール ²⁾				80.5 ～ 81.5	276	5.50(計算)	12 ～ 469
ビスフェノール A ¹⁾ (正式名: 4,4'-イソプロピリ デニルフェニル) (不純物: 4,4'-イソプロピリ デニルフェニル、フェノール)		ポリカーボネート、エポキシ、フェノール樹脂原料、樹脂添加剤	白色固体	156 155 ～ 157		3.32(実測) 3.67(計算)	5.1 ～ 67.7
7-ヒドロキシ-2-イソブチル (略称: DOP, DEHP) (添加剤: ビスフェノール A)		可塑剤、溶剤	無色液体	-55	386	7.74(実測) 8.63(計算)	1.0 ～ 29.7
7-ヒドロキシ-n-ブチル (別名: 7-ヒドロキシフェノール、n-ブチルフェノール等) (略称: DBP) (不純物: n-ブチルフェノール)		可塑剤	無色液体	-35	340	4.72(実測) 4.65(計算)	<3.1 ～ 176
スチレンモノマー ¹⁾ (別名: スチロール、ビニルベンゼン) (不純物: エチルベンゼン、 ソルベント、ベンゼン、 添加剤: 4-tert-ブチルカテコール)		合成樹脂用モノマー	無色液体	-30.6	145 ～ 146	2.95(実測) 2.87(計算)	

1): 化学物質ハザードデータ集 vol. 1 & 2 (通産省基礎産業局監修)、2): 化審法の既存化学物質安全性点検データ集(通産省基礎産業局監修)

いる¹⁹⁾。

過去の研究では、卵形成におけるビテロジェンの変動機構解明が主要な研究目的であるために、雄魚のビテロジェニン濃度の変動機構はほとんど解明されていない。最近の研究では、雄魚にもビテロジェニンが検出されること、ビテロジェニン濃度が魚種により異なること、さらに雄魚でも内因性のホルモン代謝によりビテロジェニン濃度が変動することが次第に明らかになっている。すなわち、エストロゲン様物質の魚類に及ぼす影響の実態把握のためには、雄魚のビテロジェニンのバックグラウンド値およびその変動を解明し、正常と異常とを識別できる評価基準を確立する必要がある。

(2) 複合的汚染に係る総合的評価とその手法の確立

類似の作用機構を有するエストロゲン様物質の魚類に対する影響は相加的であると考えられている。したがって、各種の物質が存在する実際の環境における複合汚染の場合には、その影響をそこに存在する化学物質について総合的に評価する必要がある。すなわち、海水中に検出される濃度と魚類に対する影響の閾値とを比較し、下記の式に示す様にこれらの比の合計によりその影響を評価する手法が考えられる。

$$\sum EC_i/OEC_i = EC_1/OEC_1 + EC_2/OEC_2 + \dots + EC_n/OEC_n < 1$$

ここで、ECは水中における濃度、OCEは魚類に対する影響の最低値である。

水中に検出された物質について求めた比の合計値が1以下であれば、エストロゲン様物質の魚類に対する影響は認められないと評価することができる。このためには、水中に存在するエストロゲン様物質の種類およびその濃度並びにこれらの物質の魚類に対する影響をさらに詳細に検討する必要がある。

(3) エストロゲン様物質以外の内分泌かく乱物質の影響評価

内分泌かく乱物質の水生生物に対する影響の研

究は、エストロゲン（女性ホルモン）様物質の魚類に対する影響の視点での研究が精力的に進められ、多くの研究成果が得られ、影響実態が次第に解明されている。しかし、魚類以外の水生生物に対する影響に関する研究は非常に乏しい。さらに、パルプ工場排水の含有されると考えられているアンドロゲン様物質の影響については、作用機構およびその影響の実態把握手法も含めて今後の研究に待つところが非常に大きい。

謝辞

本稿で述べた研究成果は、科学技術庁振興調整費による「内分泌攪乱物質による生殖への影響とその作用機構に関する研究」および農林水産技術会議計上予算による「農林水産業における内分泌かく乱物質の動態解明と作用機構に関する総合研究」において得られたものである。ご協力を賜った関係機関の方々に深謝する。研究の一部は、神戸女学院大学川合真一郎教授、広島大学飯島憲章助教授および九州大学大嶋雄治博士との共同研究である。発表を承認して下さった共同研究者並びに本稿の執筆の機会を与えて下さった多くの方々に感謝します。

文献

- 1) 水産庁環境ホルモン（内分泌攪乱物質）影響調査検討会：環境ホルモン（内分泌かく乱物質）影響調査検討会における検討状況について。pp63, 1998
- 2) 環境庁：外因性内分泌攪乱化学物質問題への環境庁の対応方針について－環境ホルモン戦略計画SPEED' 98－。官公庁公害専門資料, 33 (5), 74-97, 1998
- 3) 環境庁：外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル。官公庁公害専門資料, 34 (2), 48-66, 1999, 官公庁公害専門資料, 34 (3), 53-74, 1999, 官公庁公害専門資料, 34 (4), 109-122, 1999, 官公庁公害専門資料, 34 (6), 123-135, 1999
- 4) 川合真一郎：2. in vitroのスクリーニング法。水産環境における内分泌攪乱物質（水産

- 学シリーズ126, 川合真一郎・小山次郎編), pp19-30, 恒星社厚生閣, 東京, 2000
- 5) 原 彰彦: 水環境における汚染影響評価のバイオマーカーとしてのビテロジェニン. 環境毒性学会誌, 2, 35-42, 1999
 - 6) G. Ankley: Overview of a workshop on screening methods for detecting potential (anti-) estrogenic/androgenic chemicals in wild life. Environ. Toxicol. Chem., 17, 68-87, 1998
 - 7) 環境庁: 平成10年度環境ホルモン緊急全国一斉調査(大気・水質・底質・土壌・水生生物・野生生物). 官公庁公害専門資料, 35(1), 110-155, 2000
 - 8) 建設省: 平成10年度水環境における内分泌攪乱物質に関する実態調査結果. 官公庁公害専門資料, 34(4), 167-185, 1999
 - 9) Harries, J. E.: Estrogenic activity in five United Kingdom river detected by measurement of vitellogenesis in caged trout. Environ. Toxicol. Chem., 16, 534-542, 1997
 - 10) 西川淳一, 今川正良, 西原 力: 内分泌攪乱物質の核内ホルモン受容体に対する影響. 実験医学, 18, 731-736, 2000
 - 11) 角埜 彰: 魚類の性転換機構. 内分泌攪乱物質による生殖への影響と作用機構に関する研究, 平成10年度報告書, 1999
 - 12) Gray, M. A. and C. D. Metcalfe: Induction of testis-ova in Japanese Medaka (*Oryzias latipes*) exposed to p-nonylphenol. Environ. Toxicol. Chem., 16, 1082-1086, 1997
 - 13) Gray, M. A., K. L. Teather and C. D. Metcalfe: Reproductive success and behavior of Japanese Medaka (*Oryzias latipes*) exposed to 4-tert-octylphenol. Environ. Toxicol. Chem., 18, 2587-2594, 1999
 - 14) Gray, M. A., A. J. Niimi and C. D. Metcalfe: Factors affecting the development of testis-ova in Medaka, *Oryzias latipes*, exposed to octylphenol. Environ. Toxicol. Chem., 18, 1835-1842, 1999
 - 15) Routledge, E. J.: Identification of estrogenic chemicals in STW effluent 2. In vivo responses in trout and roach. Environ. Sci. Technol., 32, 1559-1565, 1998
 - 16) 中村 将: 魚類の性分化に及ぼす内分泌かく乱物質の作用機構の解析. 農林水産業における内分泌かく乱物質の動態解明と作用機構に関する総合研究平成11年度研究報告, 102-103, 2000
 - 17) 通商産業省: 化学物質ハザードデータ集
 - 18) 通商産業省: 化審法既存化学物質安全性点検データ集, 1992
 - 19) 藤井一則: 新規バイオマーカーによる内分泌かく乱物質の魚類への影響評価法の開発と実態把握. 農林水産業における内分泌かく乱物質の動態解明と作用機構に関する総合研究平成11年度研究報告, 66-67, 2000

中層フロートを用いた全球海洋観測

— ARGO (A global Array of Profiling Floats) 計画 —

気象庁 気象研究所 海洋研究部 第二研究室 主任研究官 蒲 池 政 文

自動浮沈しながら深度別水温・塩分を観測するフロートを全海洋に約3,000個漂わせ、中層域を含む海洋環境を全球かつリアルタイムに把握しようとする大規模な海洋観測システムの計画（ARGO計画）の概要を紹介します。米海洋大気庁を中心とした国際協力のもとに進められているこの計画には我が国では国土交通省および文部科学省が中心となって参加し、水産庁も協力しています。本論文は社団法人 日本深海技術協会の会報1999年4号（通巻23号 平成11年10月1日）に掲載された同題論文を同協会および筆者の許可を得て転載するものです。

1. はじめに

地球の気候変動の監視・予測を実現するためには、気候変動に大きな影響を与えている海洋の変動を、時期、海域によらず、長期間リアルタイムで監視することが必要である。長期間の海洋観測の重要性和最近の国際的な研究計画については、例えばNowlin (1999)¹⁾を参照されたい。

現在まで、海洋の表面については人工衛星により観測が行われ、また、海洋の内部については、観測船等により情報を得る努力がされている。しかし、それらは海洋の限られた部分、限られた時期についての情報であり、海洋の変動の全体像を把握するには不十分である。そのため、海洋の内部構造まで含めて時期・場所によらず、安価で自動的かつリアルタイムに全球海洋を観測する手段の開発と得られた観測データに他の手段による観測データを加えて総合的に活用する観測・監視・解析システムの構築が必要とされている。さらにそのようなシステムを最小限の資源を用いて効率よく構築することが、緊急の課題として世界的に求められている。

海洋の内部を流れながら、定時に浮上し、表面から中層まで水温・塩分分布を自動的に計測し、かつリアルタイムで送信できる中層フロートが、このようなシステムを構成する有力な手段であり、これらを用いた海洋自動モニタリングシステムが、従来の船舶観測および衛星観測と併せて海洋観測

の主流をなすと期待されている。

ここでは、最近注目を集めている中層フロートを用いた全球海洋観測—ARGO計画—の概要を紹介する。また、世界中の研究者が取り組み始めた関連の研究についても触れる。

2. 中層フロートについて

まず中層フロートについて紹介する。中層フロートとは、海洋の1000~2000m位の一定の水深を流れて、位置、水温、塩分を測定するフロートの総称である。一定の水深を保つ為には、2つの方式がある（四竈、1993）²⁾。1つはフロート本体が海水より圧縮されにくく作っており、その海水との圧縮率の差によって生じた復元力により、ほぼ一定の深さを保つ方式である。今ひとつの方式は、フロート内部のポンプにより体積を変えて深さを保つ方式である。これらの方式を用いて多種の中層フロートが作成・使用されてきた。中層フロートに関する仕様・機能・歴史的な概観については、四竈（1993）²⁾を参照されたい。

最近よく使用されている中層フロートは、パラス（PALACE: Profiling Autonomous Lagrangian Circulation Explore）と呼ばれるもので、浮力を定期的に変更し、一定期間設定深度を漂流し、その後海面まで浮上し、その位置および浮上する間に測定した中層から海面までの水温・塩分の鉛直分布を人工衛星に送信し、その後

また設定された漂流深度まで戻り漂流を続けるフロートである。図1に中層フロートの仕様の一例を、図2に中層フロートによる観測サイクルの説明図を、図3にフロートの軌跡の例を、図4に測定された水温・塩分分布の1例を示す。

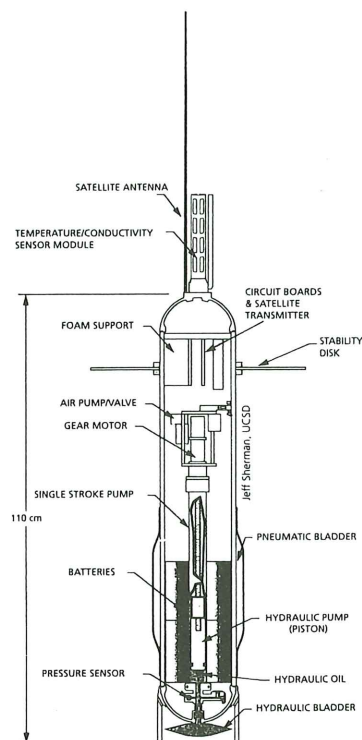


図1 中層フロートの仕様の一例(Wilson、1999)³⁾

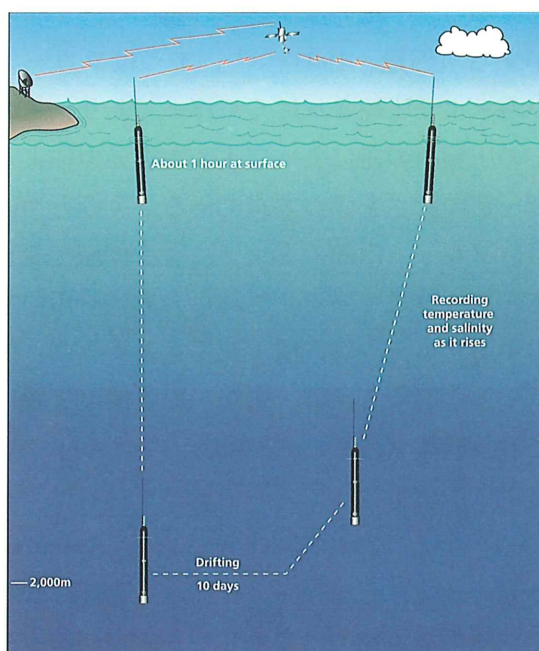


図2 パラスによる観測サイクルの説明図(Wilson、1999)³⁾。約100回のサイクルにわたって観測可能である。

これらの中層フロートは、各研究者のグループによって、限られた興味ある海域を調べるために用いられてきた。最近、冒頭に述べたように、気候変動解明のためには、長期間全球海洋を安価に観測・監視し、解析する必要性が急速に高まったため、以下に紹介するARGO計画が提案された。



図3 北大西洋で、1998年12月の1ヶ月間に漂流した中層フロートの軌跡の例(Wilson、1999)³⁾。

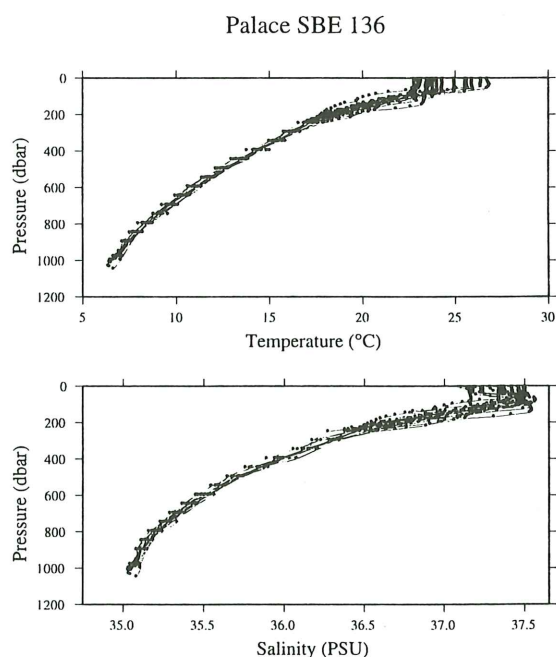


図4 北大西洋で1997年10月から1998年4月までに、中層フロートによって観測された水温・塩分(Riser、1998)⁴⁾。

3. アルゴ (ARGO) 計画について

アルゴ計画は、全球に約3,000個の中層フロートを展開して、海面から深さ約2,000mまでの海洋の水温、塩分の鉛直分布を2週間毎に取得する計画である。そのデータは、後に述べるGODAE計画で、人工衛星Jasonの海面高度データや他の海洋観測データとともに、数値モデルにデータ同化して海洋の現況を知るために使用されるとともに、季節～数年スケールの気候変動の予測に役立てようというものであり、画期的な計画である。アルゴ計画で提案される中層フロート3300基を、全球海洋でランダムに配置した場合の位置を図5に示す。このフロートの投入個数は、従来得られた観測データの時系列の空間分布から算出した統計的な空間スケールの全球平均値が約300kmであったことによるものである。

現在船舶観測 (例えばXBT) によって、表層 (例えば450mまたは750m深) の鉛直分布が年間約40,000件取得されている。また、熱帯域のTOGA/TAO-TRITONブイからは、年間約20,000件の鉛直分布が得られている。アルゴ計画の中層フロートからは、水温および塩分のプロファイルが年間約80,000件取得できる。そのため、従来の観測手段と併せて用いることにより、データの数倍増する。また、従来は塩分のプロファイルを全球に渡って、定期的に取得することは不可能であった。

1999年3月22～25日に、米国イーストン市でGODAE/ARGO合同会議が開かれた。8ヶ国 (米国、英国、フランス、ドイツ、カナダ、オーストラリア、日本、ブラジル) が参加し、席上、各国がアルゴ計画に関わる将来プロジェクトを紹介した。しかしながら、各国のフロート投入予定海域は北大西洋に片寄り、インド洋が少なく、南太平洋は0であった。いかに全球で一様に展開するよう各国の利害を調整し、協力しあうかが重要であると考えられる。また、多くの科学的・技術的な問題も議論された。

また、1999年4月に開かれた第9回日米コモン・アジェンダ次官級会合において、協力案件の一つとしてこのアルゴ計画が取り上げられた。その結果、同会合の共同報告書において「国際法に従って、ARGO海洋観測計画の促進のための方途につき研究する。」旨確認され、我が国も大いにこの計画に取り組むこととなった。

より詳細な計画については、Argo Science Team (1993)⁵⁾、及びインターネットのホームページ<http://www.argo.ucsd.edu/>をご覧ください。ことをお奨めする。

4. ARGO計画の問題点と関連する研究テーマについて

前述の1999年3月22～25日に、米国イーストン市で開かれたGODAE/ARGO合同会議では、全球海洋を

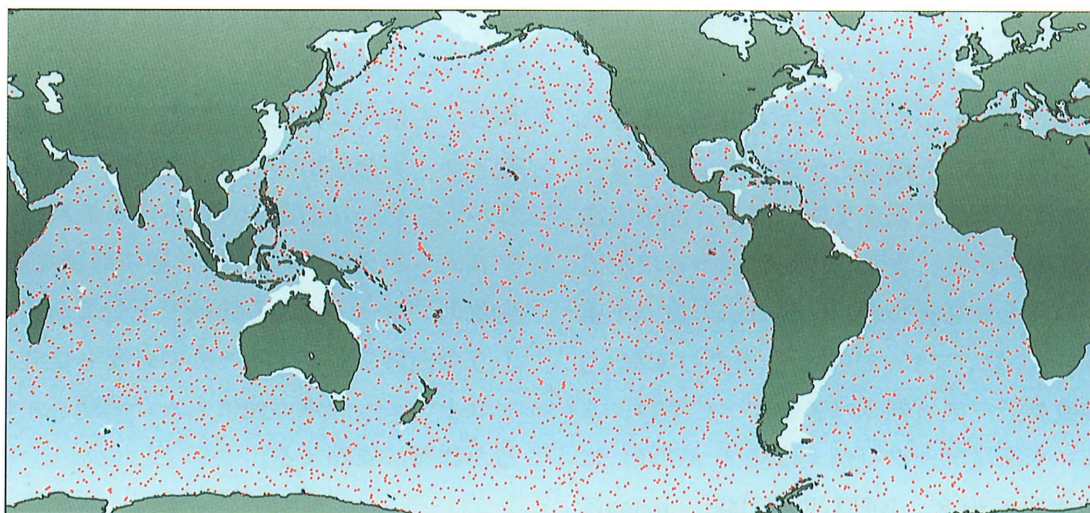


図5 全球に3300基ランダムに投入した場合の例 (Argo Science Team, 1998)⁵⁾

一様に観測する計画をたてることの他に、様々な技術的な問題点が指摘された。それらについて簡単に紹介する。

まず、海洋観測船を用いて全球で万遍なくフロートを投入することは非常に困難である。

そのため、投入方法としては、観測船の他に篤志観測船（VOS : Voluntary Observing Ship）と空中（飛行機）からの投入が注目されている。VOSは、これまでも重要な手段として、観測データを提供してきている⁶⁾。最新の投入方法は中層フロートを箱毎海中に投入する方式である。この方式だと、船舶を停止させずに航行中でも（例えば25ノットでも可能とのこと）投入できる。また、空中からの投入は、技術的には問題なく、コストの問題のみである。その為、アルゴ計画での多数のフロートの投入には、VOSが最も有力な手段と考えられる。

次に重要な問題は、塩分センサーのドリフトである。現在、微生物の付着が原因で、1-2年で -0.05 ~ $+0.1$ psuのドリフトがある。アメリカでは新しいセンサーを開発中である。

全球で3000基のフロートが稼働し始めた場合、データ量が増えるため、衛星通信も問題である。現在ARGOSシステムを用いているが、その他にORBCOMM、Iridiumも考慮され始めている。現在よりもバンド幅を広くする等の改善により、表面にいる時間の短縮とバッテリーの消耗を押さえる方向が考えられる。また、現在はフロートからデータを送信するだけであるが、双方向通信も考慮する必要がある。その結果、海域・時期により観測深度を変更できるようになる。

データセンターとしてのシステム構築も残された問題である。まず、観測データ受信後2~3日で配信できるような品質管理手法の開発と配信方法の選択が必要である。また、1ヶ月以上後に配信する場合の完全な品質管理、配信方法の確立が重要である。さらに、フロートのデータだけでなく、他の船舶観測データ（例えばXBT、CTD、ADCP等）や衛星データ（例えばNAO/AVHRR）による海面水温データ、TOPEX/POSEIDON、Jasonによる海面高度データ等）、および海洋大循環モデ

ルとを組み合わせ、全球海洋が格子点で覆われるようなデータセットを作成する技術（データ同化技術）の開発も重要である。

また、アルゴ計画等で多数のフロートを展開する場合、フロートの軌跡（およびその軌跡上で定期的に観測される水温・塩分の観測点）が統計的に全ての海域にわたって均等に分布することが効率的であり、望ましいと考えられる。そのような軌跡・観測点の分布が得られるような最適な投入位置や観測位置を決定する必要がある。そのことにより、少ない資源で効率良く海洋を観測できる。そのような最適な観測システムを構築するために必要な知見を得る研究が非常に重要であり、また緊急になされるべきである。

まず、効率的な初期の投入位置を算出するための方法を紹介する。海洋大循環モデルのなかで、（疑似）フロートを投入し漂流させる。初期投入位置を個々のフロートで変更し、それに対する、その後の軌跡の変化を求め、その変化を逆に系統的に初期投入位置の変更として算出する方法を開発することにより、この初期投入位置の決定がなされる。また、その決定は、各種の制約条件（例えば、観測船の測線上あるいはVOSの航路上）の下で、後の変化から最適な初期条件を算出する方法（最適化法）を開発することにより実行可能である。

フロートの運用には、フロートによる水温・塩分・流速場のデータを得る頻度を、観測海域の特徴に照らして決定する必要がある。海域によっては、その海域を支配する代表的な時間・空間的なスケール（海域代表スケール）が異なると考えられる。そのため、代表的な海域を選んで、海域代表スケールを算出することは重要である。つまり細かいスケールの運動が卓越する海域では多数のフロートが必要がある。また逆に静穏な海域では、少数のフロートによる観測で十分であろう。そのような指針をあたえるための研究も重要である。

以上のような点の他にもまだ問題点が挙げられるが詳細は省略する。

5. 全球海洋データ同化実験 (GODAE :Global Ocean Data Assimilation Experience) 計画について

アルゴ計画で得られる観測データの最大のユーザーであるGODAE計画について簡単に紹介する。

GODAEは数日遅れの準リアルタイムの観測データを同化する実験 (operational (near) real time global data assimilation experiments) である。2003年から2005年の3年間に行うことを目指している。この同化の結果、4次元の格子点上のデータセットが得られる。そのデータセットは、現実の衛星・船舶等の観測を含みかつモデルの各種方程式のバランスを満たすものである。副産物として得られるそのデータセットを解析することにより、海洋の「現実的な」循環像が得られるので、(現実的な観測・同化・予報システムの開発という側面だけでなく) 科学的な研究にも資するものである。

GODAE計画の具体的な目標として現在のところ、以下のような5つのsub-objectiveが設定されている。

- ① 局地的・沿岸域の海洋予測システムの予測可能性の延長を目指す。そのための境界条件を与える。
- ② 全球表層海洋での高解像度の現況解析および数日～20日程度の予報を行う。
- ③ 科学的な研究のための統合化された解析およびそれに使用できる格子点値を提供する。そのことにより、CLIVAR等の気候研究に資するデータの提供が行える。
- ④ 気候予測のための現実的な初期条件の提供を行う。季節予報からより長期の気候変動予測のための、現実的で最適な初期条件の提供を行う。
- ⑤ 最適な全球海洋観測網の設計・策定を行う。

計画の詳細は省くが、計画のDocumentsはインターネットのホームページ

<http://www.bom.gov.au/bmrc/mrlr/nrs/oopc/godae/homepage.html>

に掲載してあるので、興味のある読者はそちらを

参照されたい。

6. おわりに

この小論では、アルゴ計画の概要とその問題点を中心に紹介した。このARGOとGODAEの両計画は、海洋のオペレーショナルな業務を大いに変更・進展させるものであるという効果だけでなく、海洋表層の水温分布、ひいては蓄熱量の全球の分布が求まるために、気候変動、特に季節予報、エルニーニョ予報に多大な効果をおよぼすと考えられる。

今後、このような長期的な海洋観測・監視・解析システムの構築がますます重要になっていくものと思われる。

参考文献

- 1) Nowlin, W. D. (1999) : A Strategy for Long-Term Ocean Observations. Bull. of the Amer. Met. Soc., vol. 80, 621-627.
- 1) 四竈信行 (1993) : 中層フロートからスローカムまで—これからの海洋モニタリング—. 月刊海洋, 号外No. 4, Symposium海洋大循環, 98-109.
- 2) Wilson, S. (ed.) (1999) : Observing the Ocean... in Real Time: Argo (アルゴ計画のパンフレット)
- 3) Riser, S. (1998) : An Examination of the North Atlantic Circulation Using PALACE Floats, 1998 U.S. WOCE Report, 22-25
- 4) Argo Science Team (1998) : On the Design and Implementation of Argo. An Initial Plan for A Global Array Of Profiling Floats. ICPO Report No. 21. Godae Report No. 5, 32pp.
- 5) 網野政明 (1993) : 民間船舶による海洋観測。月刊海洋, 号外No. 4, Symposium海洋大循環, 110-114.

◆ センターだより ◆



〈センター事業の動き〉

(平成12年10月1日～平成13年2月28日)

平成12年

- 10. 4 資源管理型沖合漁業推進総合調査（フグ類等：東シナ海海域）
検討委員会（福岡）
- 10. 5 受託：科学オブザーバー育成体制整備事業
鯨類目視調査マニュアル検討会（遠水研）
- 10. 8 資源管理型沖合漁業推進総合調査（スルメイカ：日本海海域）
あさひ丸、第28司丸、北晴丸 用船解除（両津）
- 10. 16、17 受託：科学オブザーバー育成体制整備事業
ベーリング公海スケトウダラ資源調査オブザーバー講習会（北水研）
- 10. 24 浦安市立美浜北小学校総合学習に協力（浦安市）
- 11. 1 資源管理型沖合漁業推進総合調査（フグ類等：東シナ海海域）
春日丸、大黒丸 用船開始（萩市 越ヶ浜）
- 11. 2 受託：資源評価調査（底魚類現存量調査：東シナ海海域 熊本丸）
検討会（西水研）
- 11. 10－12 農林水産祭出展（東京国際展示場ビッグサイト）
- 11. 11 新漁業生産システム構築実証化事業（大中型まき網）
北部太平洋海域事業内検討会（センター）
- 11. 14 中国西日本漁業交流団訪センター
- 11. 17 受託：科学オブザーバー育成体制整備事業
ベーリング公海スケトウダラ資源調査マニュアル検討会（北水研）
- 11. 27 受託：科学オブザーバー育成体制整備事業
NAFO水域オブザーバー講習会（日トロ協）
- 11. 28、29 受託：海洋生態系確立実証調査事業 混獲物有効利用検討会 （気仙沼市）
- 11. 29 新漁業生産システム構築実証化事業（沖合底びき網）
二そうびき：日本海西部海域 検討会（山口市）
- 12. 5 NAFO水域を中心とした最新の漁業情勢についての説明会 （センター）
- 12. 7 受託：資源評価調査（資源量直接推定調査）
すけとうだら現存量音響調査検討会（北水研）
- 12. 8 平成12年度海洋水産資源利用合理化開発事業報告会（イカ釣り）
（大型イカ：熱帯太平洋東部海域、全国大型いかつり漁業協会と共催）（センター）
- 12. 8－12 大水深沖合漁場造成開発事業 中層型浮魚礁再設置作業
- 12. 11 受託：資源評価調査（資源量直接推定調査）
ずわいがに現存量調査 検討会（日水研）
- 12. 15 受託：温帯性まぐろ資源調査
ミナミマグロ資源動態モニタリング調査 検討会（センター）
- 12. 15 新漁業生産システム構築実証化事業（ハイブリッド・トローラー
北大西洋西部（NAFO）海域 第7安洋丸用船解除（ロングボンド）

平成13年

- 1. 11 理事懇談会
- 1. 12 年頭記者会見
- 1. 19 受託：科学オブザーバー育成体制整備事業
(ミナミマグロ産卵場調査マニュアル検討会) (遠水研)
- 1. 25 受託：海洋生態系確立実証調査事業混獲実態調査
操業実態等検討会 (都内熊谷電気)
- 1. 30 農林水産環境シンポジウム 島理事長パネラー参加
(ホテルグリーンタワー幕張)
- 2. 6 新漁業生産システム構築実証化事業 (大中型まき網)
東海・黄海海域 事業内検討会 (長崎市)
- 2. 13 資源管理型沖合漁業推進総合調査 (スルメイカ：日本海海域)
検討会 (センター)
- 2. 17 新漁業生産システム構築実証化事業 (大中型まき網)
北部太平洋海域 事業内検討会 (小名浜)
- 2. 23 受託：海洋生態系確立実証調査事業混獲実態調査
合同検討会 (運営・操業実態・混獲物有効利用) (センター)
- 2. 26 トロール漁業専門委員会 (センター)
- 2. 27 受託：小型魚国際資源管理対策事業検討委員会 (センター)
- 2. 28 いか釣り漁業専門委員会 (センター)

〈外国船情報〉

開発センターの調査船により視認された外国船

(平成12年12月17日～平成13年3月29日)

第3新興丸（調査海域：南太平洋西部海域）

月 日	発見位置	風向-風力	水温 (℃)	国籍及び船名	t 数別隻数	操業状態等報告事項
12年 12. 17	45-34S 60-30W	NW-3	10. 8	台湾、韓国	50～60隻	
12. 28	46-30S 45-40S	WNW-4	9. 9	中国、台湾、韓国	100～200隻	イカ釣船
13年 2. 13	46-17S 60-28W	N-3	12. 8	中国、台湾、韓国 ロシア	60隻 2 隻	イカ釣船 トロール船
3. 20	46-31S 60-29W	SW-4	10. 5	台湾	20隻	イカ釣船
3. 21	46-05S 60-05W	SSW-3	10. 0	日本含め各国 欧州	多数隻 10数隻	イカ釣船 トロール船

第18太神丸（調査海域：太平洋中部海域）

月 日	発見位置	風向-風力	水温 (℃)	国籍及び船名	t 数別隻数	操業状態等報告事項
12年 12. 24	00-04S 162-03E	E-4	29. 8	台湾 アメリカ	2 隻 1 隻	まき網船
13年 2. 23	05-37S 170-49E	E-2	29. 7	韓国	1 隻	はえ縄船

開発丸（調査海域：太平洋中東部海域）

月 日	発見位置	風向-風力	水温 (℃)	国籍及び船名	t 数別隻数	操業状態等報告事項
12年 12. 25	05-51N 148-03W	SSE-4	27. 3	台湾	1 隻	
13年 3. 7	06-52N 177-49W	ENE-4	27. 9	韓国	1 隻	
3. 29	06-58N 175-36W	ENE-4	28. 0	韓国	3 隻	

〈役 職 員 の 異 動〉

(H12. 10. 1 ~ 13. 3. 31)

年月日	氏 名	前 職	異 動	現 職
職員				
H13. 3. 31	堀 田 俊 孝	開発調査第一課	退職	水産庁漁政課 船舶予備員
H13. 3. 31	佐 山 博	総務課課長補佐	退職	水産庁漁政課総務班 庶務係長
嘱託調査員				
H13. 3. 14	及 川 岩 雄	総務課販売担当	退職	全漁連気仙沼工場
H13. 3. 15	矢 原 祥 助	日韓・日中新協定 対策漁業振興財団	採用	総務課販売担当

編集後記

- 本年 1 月 10 日、神奈川県三浦市三崎港から 1 隻の船が出港しました。えひめ丸、愛媛県立宇和島水産高等学校所属の同県漁業実習船で平成 8 年に竣工した総トン数 499 トンの美しい白い船でした。乗組員 20 名、指導教官 2 名、海洋工学科 2 年生 13 名、計 35 名が乗船していました。愛媛県は長い海岸線を有し、真珠、マダイ、ブリなどの養殖業が盛んな他、小型底びき網なども盛んな漁業県です。県の産業の中核を担うことになる水産高校生に対する県民の期待、および、個々の生徒のこれからの人生に対する肉親らの期待に見送られての出港でした。たいへん残念なことにこの 2 月 10 日の事故により同船は現在ホノルル沖深さ約 600m の海底に横たわっています。生存者が語る「通路を海水と重油が混ざって押し寄せてきた」状況のなか、船内の指導教官、乗組員の胸には、今回の実習航海で生徒たちに伝えたかった海上に於ける最優先事項「安全」が実現されなかった無念さが去来したのでは、と思います。
- 音響を利用した資源調査の重要性が最近高まっているところから、本号では、いわば「入門編」として調査の原理と方法、現場での調査実例を紹介し、参考書リストを付けました。技術的発展が期待出来る分野であり、その進展を見て「発展編」を企画したいと考えています。
- 本年 7 月 1 日、センターは設立 30 年を迎えます。次 JAMARC57 号は、30 年間の調査成果を特集してお届けする予定です。ご期待ください。

(M. T)

表紙写真：オキエソ (*Trachinocephalus myops*) の顔

資源管理型沖合漁業推進総合調査 〈(ふぐ類等)のうちあまだい〉 (東シナ海海域)

第 5 良栄丸で底はえなわにより漁獲 山下秀幸調査員撮影

JAMARC No. 56 2001.3

編集 海洋水産資源開発センター
発行

〒102-0094 東京都千代田区紀尾井町3番27号

剛堂会館ビル6F

☎ 03-3265-8301 (代) (代)

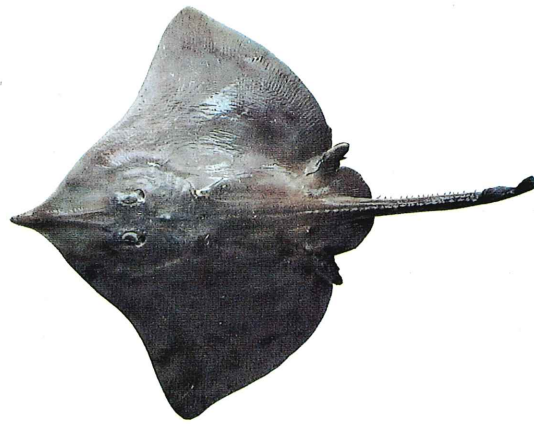
ホームページ・アドレス

<http://www.jamarc.go.jp/>

印刷 タナカ印刷(株)

本書の一部あるいは全部を無断で複写複製（コピー）することは法律で認められた場合を除き、著作者および出版社の権利の侵害となります。予め当センターあて許諾を求めて下さい。

— 愉快的名前のおさかな紹介 —



和名：ナナシカスベ

英名：Smooth skate

学名：*Raja innominata* Garrick et Paul, 1974

図鑑：ニュージーランド海域の水族 深海丸により採集された
魚類・頭足類・甲殻類 JAMARC1990より

世界に約850種といわれる板鰐類のうち約200種がカスベの仲間です。この仲間の分類は大変むづかしく、研究者たちを大いに悩ませてきました。本種も例外ではなく、学名は「名付けられていないカスベ」を意味します。さて、深海丸で採取されたこの標本は石原 元博士によって本種と同定され新しい和名を付されることになりました。博士は、悩んだ末、学名の和訳にしておこう、とこの名をつけたとのことでした。