

平成 18 年度水産基盤整備調査委託事業

音響・光学機器などを活用した魚礁の蛸集効果把握技術開発調査グループ

報告書

課 題

**回遊魚・根付魚の魚礁への蛸集効果の
定量的把握法とモニタリングシステムの
開発および人工海中林の効果把握調査**

第一部：回遊魚・根付魚の魚礁への蛸集効果の
定量的把握法とモニタリングシステムの開発

第二部：人工海中林の効果把握調査

平成 19 年 3 月 15 日
社団法人 マリノフォーラム 21

第一部
平成18年度水産基盤整備調査委託事業報告

I. 調査課題名

回遊魚、根付き魚の魚礁への蛸集効果の定量的把握法と
モニタリングシステムの開発及び人工海中林の効果把握調査

II. 実施機関名

社団法人 マリノフォーラム21 古野電気株式会社 船用機器事業部	開発部	朝原 克具
	国内営業部 開発部	鉛 進 尾形 正樹 賀川 二郎 大久保 義都
旭化成建材株式会社	サービス統括部	西村 武彦 浅見 直史
	海洋資材開発部	志賀 隆顕

III. 調査実施年度

平成 18 年度

IV. 緒言(まえがき)

平成18年度は、過去二カ年の成果を踏まえ、計量魚群探知機および簡易型計量化魚群探知機を使用した場合の音響手法による魚礁の蛸集効果を具体的に定量化し、継続的なモニタリングにより魚礁の蛸集効果評価に役立てる技術開発と手法開発を目指す。

魚類など生物資源量を確実に算出可能な範囲における蛸集効果を示す音響指数として「**蛸集効果音響指標**」の概念を導入し、そのために必要な調査方法(広域精密調査および狭域精密調査)の開発およびその調査結果から音響指標値の算定検証を行う。

- 1)魚礁の影響が及ぶ近傍のエコーに対し、音響技術で最大可能な安全な領域を定めるために、水産大学校と連携して画像処理技術の基本開発を完成する。
- 2)今後の実証化試験事業のために「**音響による魚礁蛸集効果評価手法ガイドライン**」としてとりまとめ、全国規模で容易に等質でしかも定量的に調査および解析が可能な指針を策定する。

また、平成 18 年度は、長崎県五島市富江町沖に設置されている既存の人工海中林漁場の近傍に既存魚礁を新たに配置し、魚礁相互の影響範囲を重なるように配置することで、魚礁をそれぞれ単独で配置した場合より、さらに蛸集効果が向上する可能性について検証するため、本年度調査は人工海中林漁場の単独効果を把握する。標本採集調査の民間漁船に搭載の魚群探知機(50kHz)および GPS プロッターを利用し、今年度調査計画に準拠した音響手法でより定量的な魚礁調査方法で、今後、漁業者および魚礁設置に関係の人でも比較的可能となるように試みる。

V. 調査方法

V-1. 調査海域

本調査課題では過去二カ年同様、水産大学校が継続して研究調査を行ってきた山口県阿武町モドロ岬地先に設置されている「汎用型高層魚礁」および「平成10年度大型魚礁」の二箇所にて試験調査を行った。

V-2. 調査内容

本年度は5月中旬、8月末および10月中旬の三回を予定したが、8月度は残念ながら悪天候により中止となった。しかし、初夏と秋の二回に亘り、簡易型計量化魚探機を使用し、(38,50,82,107,200KHz)の5周波による実験調査を水産大学校、および山口県水産研究センターと共同で行った。

調査船は、二回とも山口県水産研究センターの所属船「第二くろしお(16トン)」を傭船使用し、第二回目調査(10月)の調査では「くろしお(119トン)」も加わり、計量魚群探知機による同様調査を平行して行った。調査の概要は次の通りである。



写真 - 1 第二くろしお



写真 - 2 くろしお

V-3. 調査方法の概要

最終年度では、蜆集効果音響指標を算出するために次の二つの調査方法でそれぞれ二箇所の魚礁で実施した。

そこでまず、蜆集効果音響指標算出概要について簡単に述べる。

[蜆集効果音響指標]とは、音響技術で確実に算出できる領域を基本とし、魚礁の最浅部付近よりも浅の調査海域の水塊(体積)に生息する魚類など生物からの反射エコーに対して魚礁範囲直上の平均面積散乱強度を調査海域全体で得られる平均面積散乱強度で除する指数として表す値であり、基本式および概念図は次の通りである。

(詳細はガイドラインを参照)

基本式

$$\text{蜆集効果音響指標} = \frac{\text{平均Sa(音響魚礁範囲)}}{\text{平均Sa(調査海域範囲 - 音響魚礁範囲)}}$$

Acoustic Index (Fae)

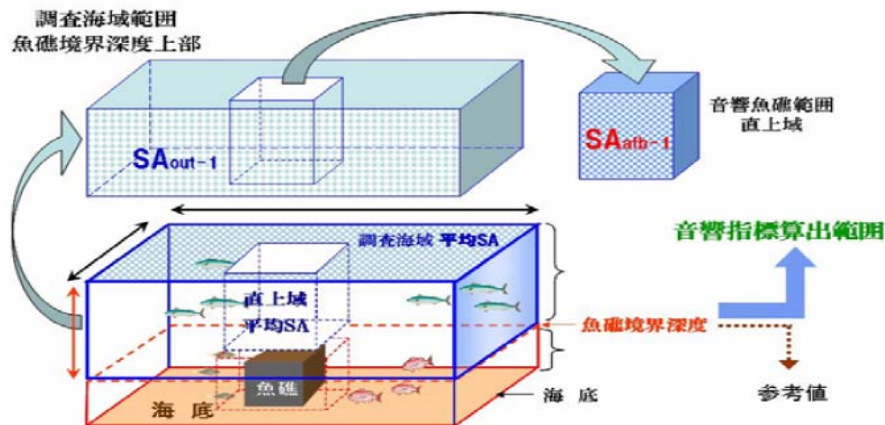


図 - 1 蝟集効果音響指標算出の概念図

それぞれ分子と分母の平均面積散乱強度を算出するためには、音響魚礁範囲および調査海域範囲の設定を適正化する必要があり、そのために次の二つの精密調査を実施した。

[広域精密調査] 音響手法が得意とする魚礁周辺の蝟集効果範囲の調査を目的とする。

[狭域精密調査] 魚礁域と魚群の分離識別技術開発の見極め検証を目的とする。

なお、詳細はガイドラインに示すが、簡単に音響魚礁範囲について説明しておく。

「音響魚礁範囲」とは、原則として複雑な形状を有する魚礁の直上およびその付近で音波を発射した場合に、音響ビーム(指向角)によって魚礁の虚像など何らかの魚礁エコーが現れなくなる魚礁の中心点からの距離範囲を基に、その範囲を含むより安全な長方形の領域と定める。

具体的な調査方法および調査線の設計は Aglen(1983)による調査強度の考えを魚礁調査に適用し次の通りとする。

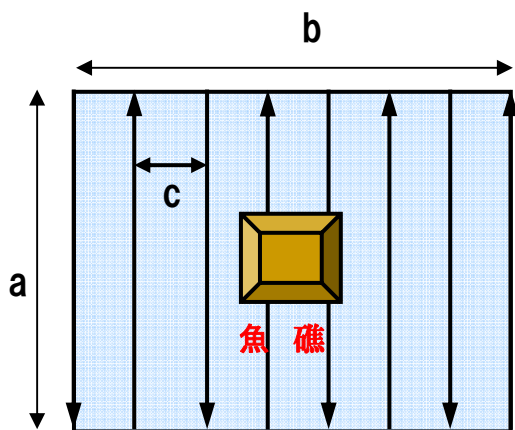


図-2 調査海域

$$\text{調査強度} = \frac{\text{調査線全長}}{\sqrt{(\text{調査面積})}} > 5$$

調査線全長 = aN , 調査面積 = ab
 $(N_c = \text{調査船の間隔数})$ 調査線数 $N = N_c + 1$
 C : 調査線間隔[nm] , N : 調査線数
 $N > 5\sqrt{b/a}$, $C < b/5\sqrt{(b/a-1)}$

Aglen によれば、調査線全長を調査面積の平方根で除した値を調査強度(degree of coverage)とし、多くの調査事例から調査強度と調査結果の変動係数(標準偏差／平均値)の関係について述べており、調査強度がおよそ 5 より大きいと変動係数はほぼ 0.3 より小さい。

3.1 広域精密調査

平成 10 年魚礁においては魚礁群の中心点を、また高層魚礁では魚礁の中心をそれぞれ基点に東西南北方向に 0.15nm($a=0.3\text{nm}$, $b=0.3\text{nm}$)ずつの範囲を設定した。

Aglen の式に当てはめれば、 $N>5$ (調査線は 6 本以上)、 $C<b/4=0.075\text{nm}$ (調査線間隔は 0.075nm より狭く)という結果になり、実際の調査においては操船難易度も配慮し、水深 100m における 38kHz(-3dB の指向角 20°) のビームが捉える海底面の半径 $R=17.6\text{m}$ を目安として調査線の間隔を 0.01nm(18.52m)に決定した。

これを基に計算すれば、調査線の本数は 29 本とし、経線に平行に調査線を設定の上、**560m(約 0.3nm)四方範囲を 0.01nm 間隔、速力 5kt** で行うことに決定した。

この場合の調査強度は Aglen の式から 30.0 となり、魚礁を対象とする精密調査にふさわしい設計と言える。

実際には、広域精密調査では平成 10 年魚礁、高層魚礁ともに定線長を 0.27nm(500M)四方とし、総延長が 8.11nm となり、所要時間は約 3 時間で計画した。

3.2 狭域精密調査

狭域精密調査では、魚礁を中心に半径 100m の範囲を 8 方位による調査線で速力は微速(**2~3kt** 程度)で、所要時間は約 1 時間で計画した。

平成 10 年魚礁でにおける境域精密調査は、10 基配列されている魚礁ブロック群の最南西方向に位置する魚礁ブロック(仮称 A-6 号)をターゲットに行った。

VI. 調査結果

VI-1 第一回目調査(5/15 ~ 5/16)

実験初日は山口県水産研究センターを午前 8:30 に出港し、午前 11:03 から平成 10 年魚礁の A6 ブロックに対する狭域精密調査を開始し、引き続き高層魚礁に移動して午後 2:10 から同調査を実施した。それぞれの調査完了後に CTD 計測および ROV による魚礁観測を実施し、魚影と魚種の確認を行った。

萩港に入港前に島影の水深約 40m 付近で簡易型計量化魚探機の較正を実施した。

実験二日目は前日に比べて波高がやや高くなったものの、平成 10 年魚礁、高層魚礁と順次調査を実施した。

時間の関係で ROV による観察は中止とし、CTD 計測のみとなった。

魚探機の Echogram から得られた調査海域の概要は、高層魚礁付近から沖合側において表層から中層にかけて片口いわしが広く分布していたが、平成 10 年魚礁付近ではあまり認められず、各魚礁ブロックの直上付近にアジと思われる魚影が確認できた。

その状況の Echogram を[図 - 3] および[図 - 4]に示す。また参考に 調査海域の平均体積散乱強度 SV 値を GIS により[図 - 5]および[図 - 6] に表示する。図中における黒枠部分はそれぞれの魚礁域であり、魚礁からの反射が強いため、SV 値が高くなっている。赤色の破線に囲まれた領域では、南西方向から北東方向にかけて帯状に片口いわしの群れが分布している様子を示している。

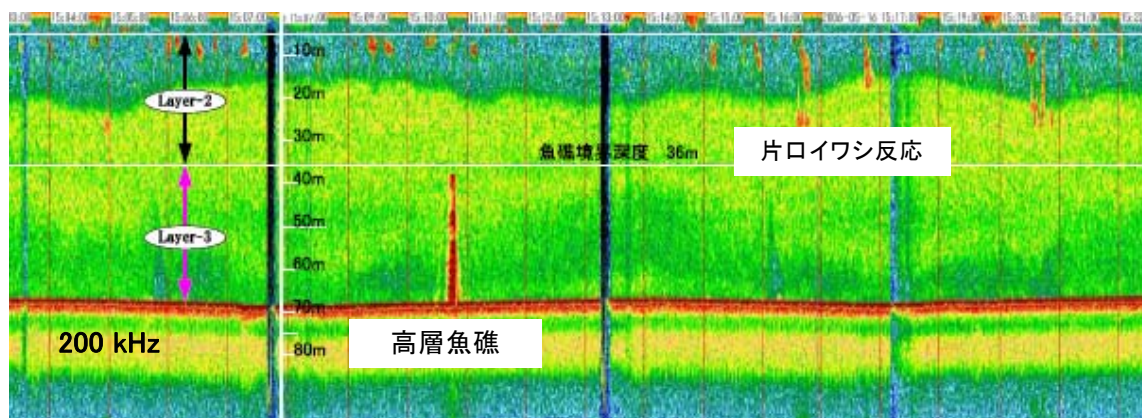


図 - 3 高層魚礁付近の Echogram (200kHz)

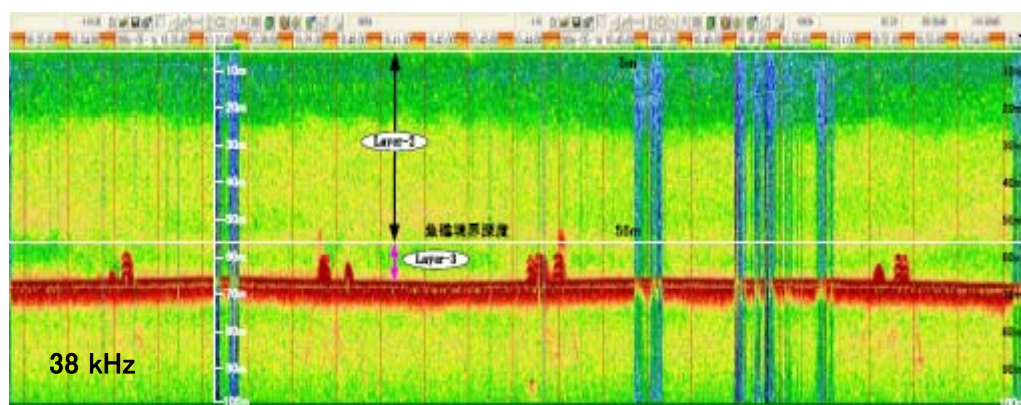


図 - 4 平成 10 年魚礁の Echogram (38kHz)

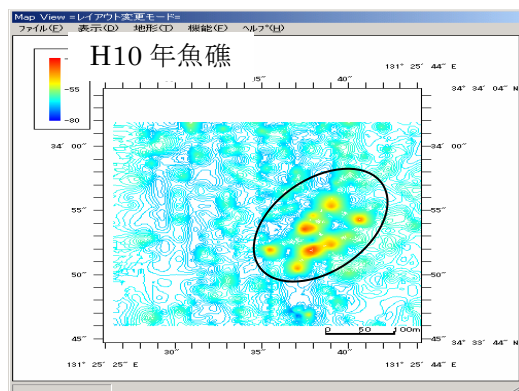


図 - 5 平成 10 年魚礁

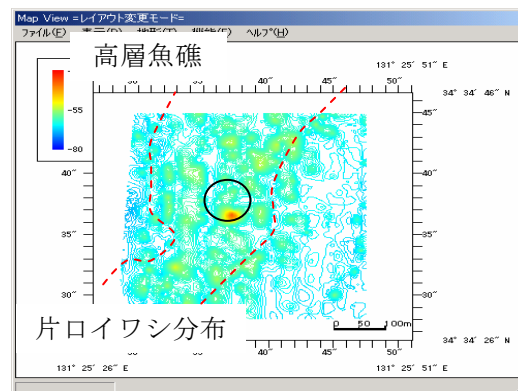


図 - 6 高層魚礁

VI-2 第二回目調査(10/11 ~ 10/12)

第二回目は、水大校側の曳航式で計量魚群探知機 EK-60(Simrad 社製)を併用して調査を実施するため、「くろしお」「第二くろしお」の二隻を運行した。

実験初日は第一回目同様に 8 方位による狭域精密調査を二隻で交互に行い、萩港入港前に校正を実施し、実験二日目も前回同様に広域精密調査を二隻で交互に実施し、CTD 計測、ROV 観察についても同様とした。

二回目調査では調査海域全般に亘って大型クラゲが表層から水深約 20m 付近まで分布し、魚群はそれよりも下層に分布が認められた。高層魚礁では魚礁の直上および側面に魚

影が見られたものの、調査海域全体的に魚影が少なかった。一方、平成 10 年魚礁ではそれぞれの魚礁ブロックの直上から中層にかけてところどころ濃い魚影が顕著に認めれた。



写真 - 3 くろしおの調査風景

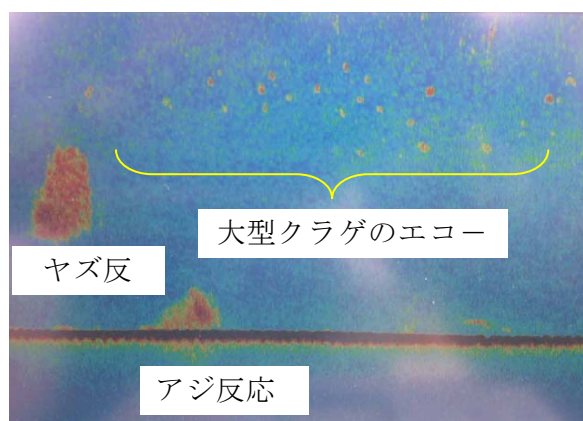


写真 - 4 大型クラゲの映像

ROV 観察では平成 10 年魚礁(A-6 号)においてはウマヅラハギ、カワハギ、および魚礁の周辺を遊泳するヤズ(ブリとハマチの中間)が確認された。一方高層魚礁では魚礁の中および際で下層から上層部全体的にかけてイシダイの群れが多数認められ、比較的大きなイサギの群れが周囲を上下方向にも活発に遊泳する状況が確認できた。

VI. 3 簡易型計量化魚群探知機の較正結果

5.3.1 各送受波器の指向特性

周波数 kHz	型式	形状	-3dB 全角 deg	-6dB 全角 deg	指向性利 得 dB	等価ビーム幅 dB
38	38BL-9HR	矩形	20.0 × 20.8	27.4 × 28.4	21.2	-11.6
50	50BL-12HR	矩形	13.3 × 18.0	18.2 × 24.6	23.6	-14.0
82	82B-12C	円盤	9.0	12.0	26.3	-18.4
107	100B-10R	円盤	9.4	12.9	26.4	-18.6
200	200B-8B	円盤	5.9	8.1	30.0	-22.7

表 - 1 各送受波器の型名と特性

3.1 較正結果

較正は必ず調査を行う毎に標準球によって実施し、較正海域は潮流の影響が受けにく、水深が 30m~40m の萩沖の島影で実施した。小型船での較正作業は付近を航行する船舶による船体動揺などでエコーが安定しづらいという状況がしばしば発生するが、較正によって得られるデータの信頼性を確保する重要度を認識する必要がある。

下記の[表 - 2]に示す値は較正值の比較例である。

	感度 (SL+ME+G)	昨年度の較正感度
38 kHz	153.6 dB	156.2 dB
50 kHz	155.4 dB	157.1 dB
82 kHz	160.9 dB	160.4 dB
107 kHz	160.8 dB	161.5 dB
200 kHz	166.1 dB	167 dB

表 - 2 各周波数における感度 (SL+ME+G)

VI-3 調査結果と解析について

VI-3.1 広域調査結果

3.1.1 平成 10 年魚礁の調査結果

調査により得られた収録データ(生データと称す)を基に、Echo view ソフトにより CTD 計測結果による音速および吸収減衰補正を加え、SV 変換処理を行ったエコーグラムを[図 - 7] および[図 - 8]にサンプルとして示す。5 月度と 10 月度では明らかに海の環境状態が異なっていることがよく分かる。

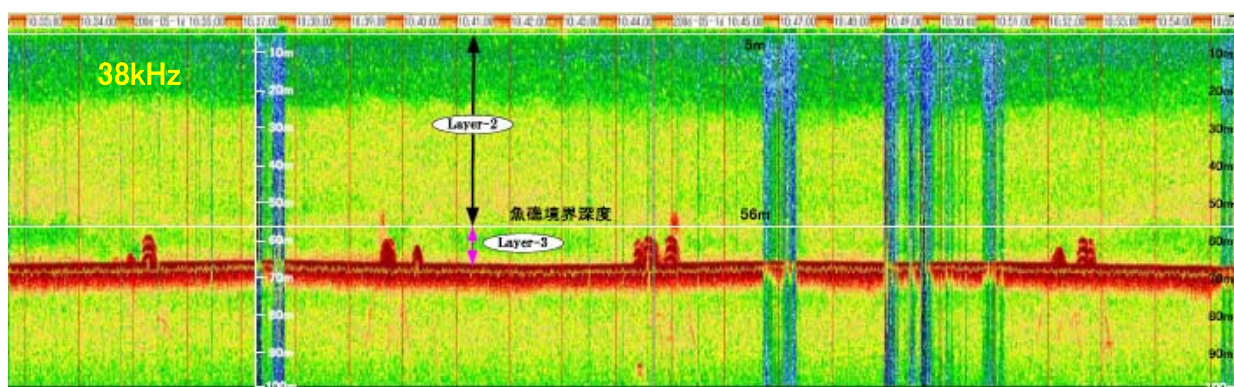


図 - 7 第一回目調査(5 月度)の Echogram(38kHz)

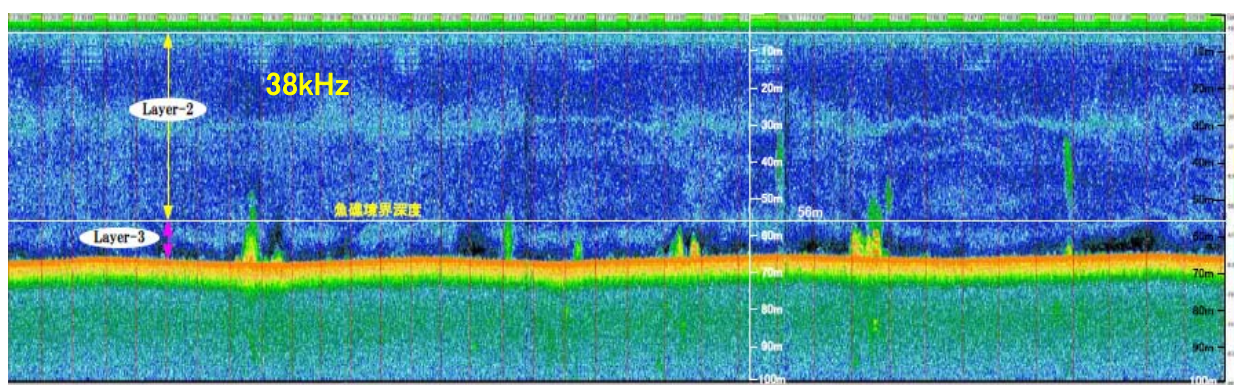


図 - 8 第二回目調査(10 月度)の Echogram(38kHz)

これらの結果から、蜆集効果音響指標算出に必要な平成 10 年魚礁における魚礁境界深度は 56m と決定し、平均 SA 算出の魚礁境界深度上部の積分層(Layer-2 の範囲)は 5～56m に設定した。なお、積分周期は 10ping ごとで約 5 秒(船速 5kts で距離 13m に相当)間隔で処理している。

[表層境界深度]とは、

船底下の送受波器が海況によって生じる泡切れ現象などや物理的な音響の残響現象などの不安定なエコー要因を取り除くために設定する深度であり、送受波器直下から 5m として定義する。

[魚礁境界深度]とは、

魚礁エコーの頂上深度に船体動揺によってビームが振れることによるエコーの不安定部分を除去するために頂上深度よりも 2m 浅く設定する深度として定義する。

3.1.2 高層魚礁の調査結果

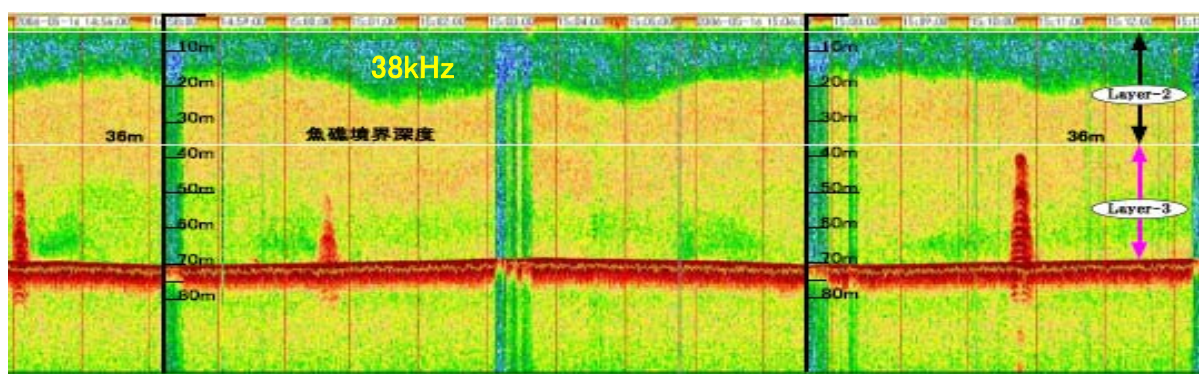


図 - 9 第一回目調査(5 月度)の高層魚礁エコーグラム

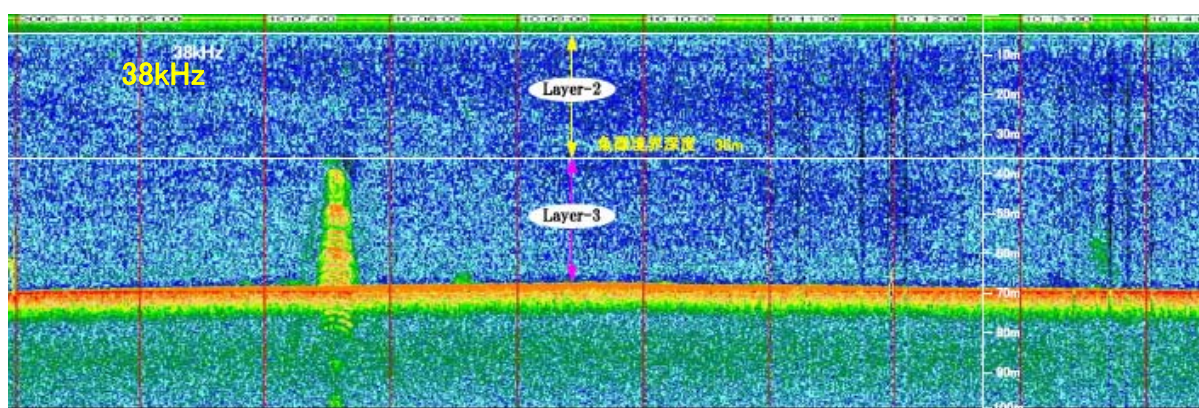


図 - 10 第二回目調査(10 月度)のエコーグラム

魚礁境界深度は 36m となり、積分層(Layer-2)は 5～36m に設定した。

VI-3.2 狭域調査結果

本調査目的であるビーム特性による魚礁エコーの及ぶ範囲の見極めについて、指向角が広い 38kHz(-3dB 半角: 10 度)で、実際に魚礁エコーが海底面より上に捉えられる距離範囲(今後、最大遠点距離と称す)の見極め検証を行った。本調査は初めての魚礁では必ず実施し、音響魚礁範囲を定める基礎データとして重要な作業として位置づける。

3.2.1 平成 10 年魚礁の場合

8 方位調査の結果ビームが魚礁を捉える最大遠点距離は約 26mであることが分かった。

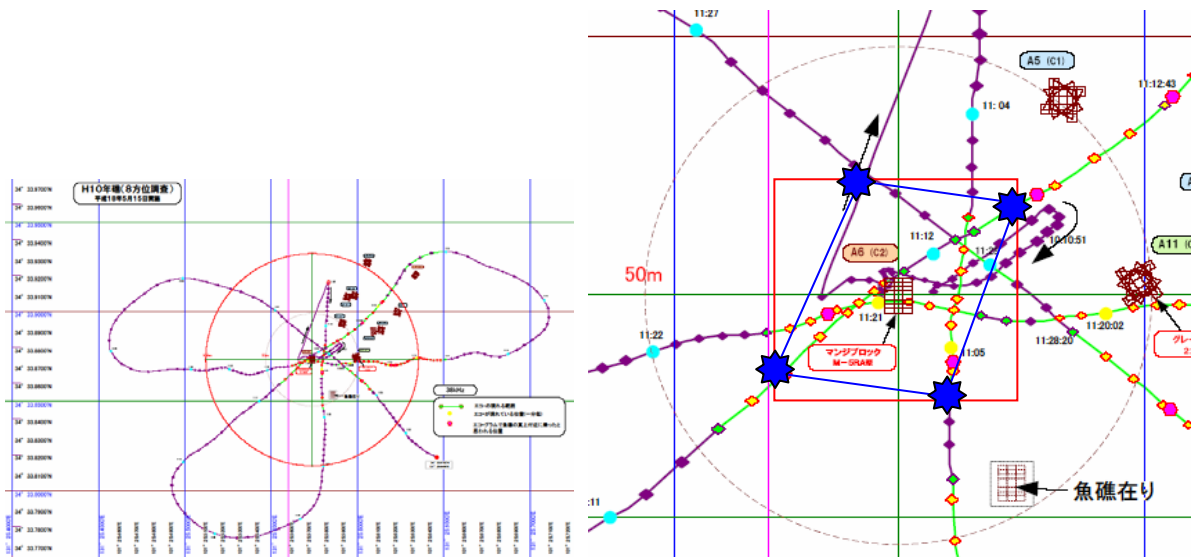


図 - 11 平成 10 年魚礁の狭域調査による音響魚礁範囲設定

3.2.2 高層魚礁の場合

同調査の結果、高層魚礁においては約 32m が最大遠点距離となった。

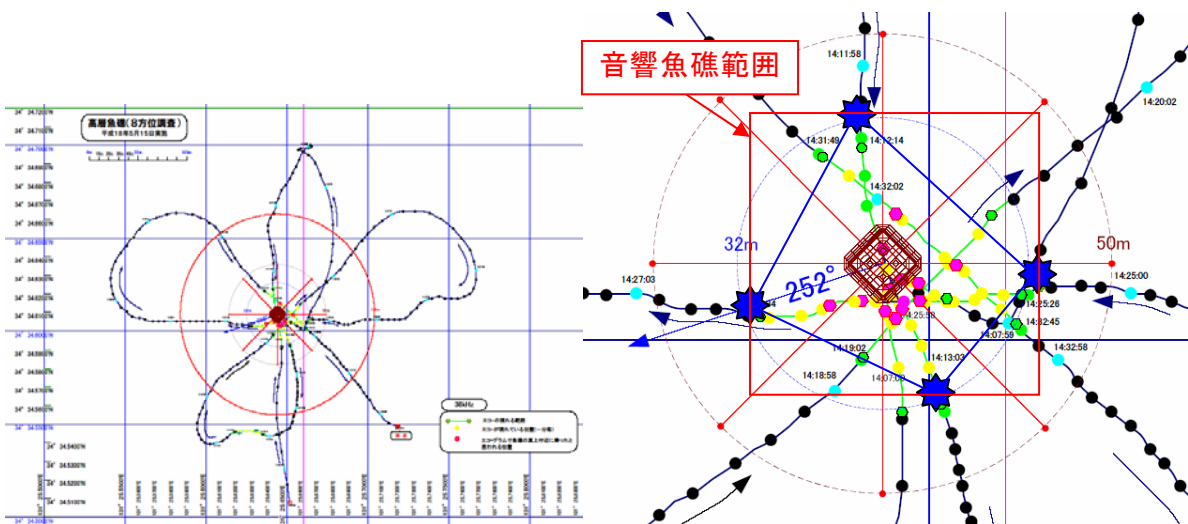


図 - 12 高層魚礁の狭域調査による音響魚礁範囲設定

VI-3.3 魚礁領域の識別分離について

蛸集効果音響指標は魚礁境界深度より上部の安全な領域であるのに対し、魚礁境界深度から海底までの魚礁エコーが混在する領域で同様に音響指標を参考値として算出する。そのためには音響ビーム特性によって実際の魚礁エコーの近傍に現れる音響的に危険な範囲を除去する技術手法が必要となる。ここでは、水産大学校で開発のビーム特性によるシミュレーション手法で予め危険な領域を定め、実際のエコーから体積散乱強度 SV を算出し、エコーレベル分布から「二値化処理技法」により、エコーレベル閾値を決定し魚礁エコーの危険な領域を定め、双方の結果を和集合処理および安全率を見て魚礁エコー範囲として除去する方法に基づき、手動にて魚礁エコーの識別分離を行った。

[図 - 13]および[図 - 14]は平成 10 年魚礁と高層魚礁のエコーグラムから抜粋したもので白線が魚礁領域の識別ラインとなっている。

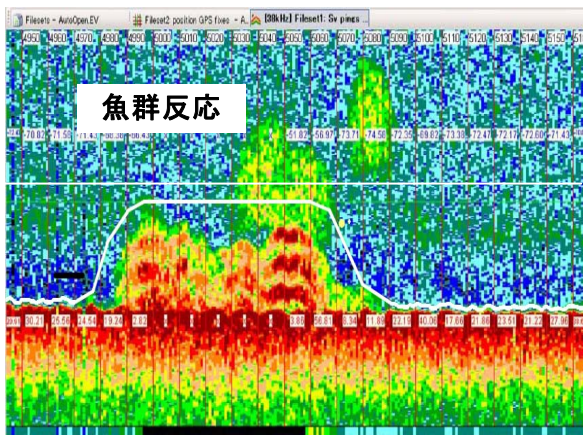


図 - 13 平成 10 年魚礁例

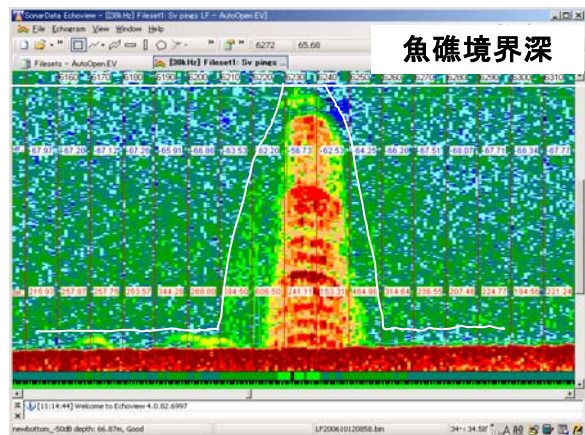


図 - 14 高層魚礁例

(注)二値化処理を用いた魚礁エコーシミュレーションの技術手法については水産大学の報告書に委ねる事にする。

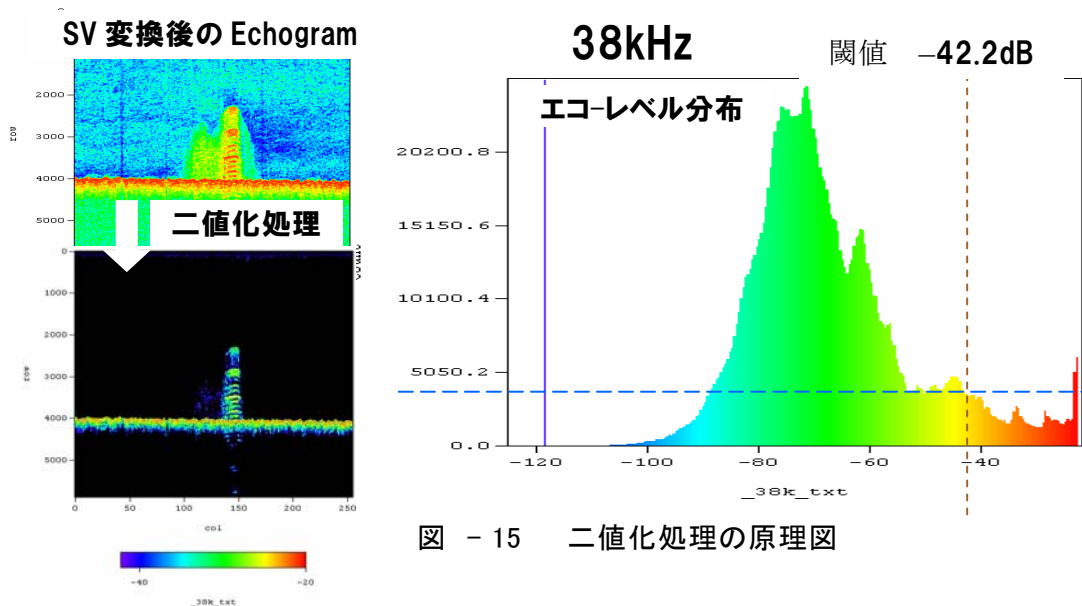


図 - 15 二値化処理の原理図

VI-3.4 蜆集効果音響指標の算出結果

3.4.1 蜆集効果音響指標(魚礁境界深度直上範囲)

3.4.1.1 音響指標値算出の条件

- 1) 音響指標値は計量魚群探知機および簡易型計量化魚群探知機により較正が行われる機器によって計測し、算出する。
- 2) 音響指標値は、音響技術で確実に捉えられる安全領域において算出するものとし、それ以外の不安定な領域では参考値として扱い、実証化試験で確立する。
- 3) 音響指標値は 38kHz を採用し、200kHz は参考値として扱う。
200kHz の波長(λ)は 0.75cm であり、一部の動物プランクトンなどの生物量を多く含む可能性があるため、音響資源調査手法で基準化されている 38kHz (波長 λ : 3.75cm)

を音響指標値として採用した。

- 4) 音響指標値はリニアスケールで表示する。(有効数字は下一桁とする)
すなわち、[音響指標値 = 1]とは簡単に述べれば魚礁周辺の魚群分布と魚礁直上の魚群分布に差が認められない(同じである)ことを意味する。
- 5) [表 - 3] に示す直上、調査範囲の[SA], [Sa]はそれぞれ[平均 SA] および[平均 Sa]であり、広域調査によって得られたデータから算出したものである。

3.4.1.2 蝸集効果音響指標値算出結果

音響指標値を算出した結果は下表[表 - 3]に示すとおりである。

	直上 SA	調査範囲 SA	直上 Sa	調査範囲 Sa	音響指標
H10 年魚礁 (5 月) 200kHz	-45.7	-47.0	2.6915E-05	1.99526E-05	1.35
H10 年魚礁 (10 月) 200kHz	-48.5	-49.8	1.4125E-05	1.04713E-05	1.35
H10 年魚礁 (5 月) 38kHz	-43.2	-42.7	4.79E-05	5.37E-05	0.89
H10 年魚礁 (10 月) 38kHz	-50.8	-51.4	8.32E-06	7.244E-06	1.15
高層魚礁 (5 月) 200kHz	-44.9	-44.7	3.2359E-05	3.38844E-05	0.95
高層魚礁 (10 月) 200kHz	-54.4	-55.8	3.6308E-06	2.63027E-06	1.38
高層魚礁 (5 月) 38kHz	-42.1	-42.9	6.17E-05	5.129E-05	1.20
高層魚礁 (10 月) 38kHz	-50.1	-53.5	9.77E-06	4.467E-06	2.19

表 - 3 蝸集効果音響指標(H18 年度調査)

[表 - 3] の結果から春季(初夏)と秋季では海中の状態が生物生産に与える違いを垣間見ることができる。また、魚礁に蝸集する度合いが平成 10 年魚礁では秋の方が春に比べて約 2 割程度、高層魚礁では約 8 割程度増加していることが伺える。当然のことながら魚種によって異なることが予想され、今後の基準化目安の課題である。

3.4.2 魚礁境界深度直下範囲の音響指標(参考値)

ここでは飽くまで参考値として紹介する。算出の概要図は[図 - 16]に示す通り、音響魚礁範囲内に含まれる魚礁の部分分離識別して取り除いた水塊(体積)の平均面積散乱強度と音響魚礁範囲を除いた調査海域範囲の平均面積散乱強度の比として同様に音響指標値を算出した。今後、実証化試験の中では検証しなければならない重要な課題である。

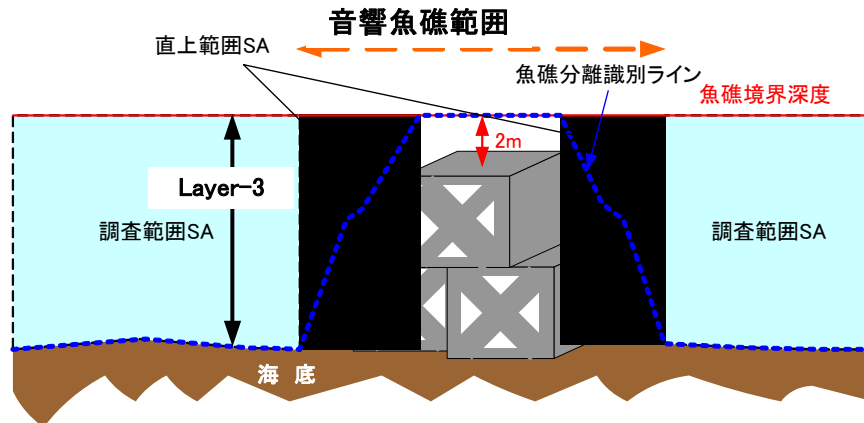


図 - 16 魚礁境界深度直下範囲の算出概要図

38kHz の 5 月度(春季)と 10 月度(秋季)の音響指標値を[表 - 3]と[表 - 4]で比較すると、平成 10 年魚礁では秋季は魚礁付近に蛸集する度合いが約 1.7 倍高くなっていることが伺える。

一方、高層魚礁においては魚礁への蛸集度は高いものの、下層部では春季に比べて約 0.8 倍になって魚礁付近よりも周辺に分布する傾向が伺えた。

	直上 SA	調査範囲 SA	直上 Sa	調査範囲 Sa	音響指標
H10 年魚礁 (5 月) 200kHz	-67.9	-67.9	1.6218E-07	1.62181E-07	1.00
H10 年魚礁 (10 月) 200kHz	-67.4	-71.6	1.8197E-07	6.91831E-08	2.63
H10 年魚礁 (5 月) 38kHz	-61.7	-60.5	6.76E-07	8.913E-07	0.76
H10 年魚礁 (10 月) 38kHz	-68.1	-70.9	1.55E-07	8.128E-08	1.91
高層魚礁 (5 月) 200kHz	-59.4	-60.7	1.1482E-06	8.51138E-07	1.35
高層魚礁 (10 月) 200kHz	-61.5	-63.7	7.0795E-07	4.2658E-07	1.66
高層魚礁 (5 月) 38kHz	-51.1	-52.6	7.76E-06	5.495E-06	1.41
高層魚礁 (10 月) 38kHz	-61.0	-63.6	7.94E-07	4.365E-07	1.82

表 - 4 魚礁境界深度直下範囲の音響指標(参考値)

VI-3.5 資源解析(参考値)

今回の調査時に見られた魚群反応は過去の知見より主体がアジであることから体長が10cmの小アジとして資源解析を行った。計算に使用した値は水工研のTS文献調査各パラメータを使用し、魚体重は次の式により算出した。その結果16g/匹となった。

$$TS = 20 \log L + TS_{cm} \quad TS = 10 \log W^{\frac{2}{3}} + TS_{kg}$$

$$W = 10^{\frac{3}{20}(20 \log L + TS_{cm} - TS_{kg})}$$

魚種情報

魚種	TS _{cm} [dB]	L[cm]	TS[dB]	W[g]/single
アジ	-68	10	-48	16

資源解析 5月度 H10年魚礁 38kHz									
範囲	平均SV [dB]	単位体積尾数 n/m ³	単位体積重量 w[g]/m ³	総体積 [m ³]	音響魚礁範囲 N(尾数)	調査海域範囲 N(尾数)	音響魚礁範囲 w[g]	調査海域範囲 w[g]	
音響魚礁範囲	-60.4	0.057881	0.917349002	704.466	40,775	46,428	646,241	735,828	総尾数 [尾]
調査海域範囲	-59.8	0.065905	1.044518663	8,160,000		537,782		8,523,272	総重量 [g]
									-5,653 -89,587
資源解析 10月度 H10年魚礁 38kHz									
範囲	平均SV [dB]	単位体積尾数 n/m ³	単位体積重量 w[g]/m ³	総体積 [m ³]	音響魚礁範囲 N(尾数)	調査海域範囲 N(尾数)	音響魚礁範囲 w[g]	調査海域範囲 w[g]	
音響魚礁範囲	-68	0.009979	0.158161618	704.466	7,030	6,336	111,419	100,415	総尾数 [尾]
調査海域範囲	-68.5	0.008994	0.142540760	8,160,000		73,389		1,163,133	総重量 [g]
									694 11,004
資源解析 5月度 高層魚礁 38kHz									
範囲	平均SV [dB]	単位体積尾数 n/m ³	単位体積重量 w[g]/m ³	総体積 [m ³]	音響魚礁範囲 N(尾数)	調査海域範囲 N(尾数)	音響魚礁範囲 w[g]	調査海域範囲 w[g]	
音響魚礁範囲	-57.2	0.120429	1.908676464	198,400	23,893	20,056	378,682	317,861	総尾数 [尾]
調査海域範囲	-58	0.101087	1.602122053	4,960,000		501,392		7,946,525	総重量 [g]
									3,838 60,820
資源解析 10月度 高層魚礁 38kHz									
範囲	平均SV [dB]	単位体積尾数 n/m ³	単位体積重量 w[g]/m ³	総体積 [m ³]	音響魚礁範囲 N(尾数)	調査海域範囲 N(尾数)	音響魚礁範囲 w[g]	調査海域範囲 w[g]	
音響魚礁範囲	-65.2	0.018890	0.299390508	198,400	3,748	1,711	59,399	27,124	総尾数 [尾]
調査海域範囲	-68.6	0.008626	0.136712198	4,960,000		42,785		678,093	総重量 [g]
									2,036 32,275

表 - 5 アジ(体長 10cm)の資源解析結果

本表の右の欄に示す総尾数と総重量は[調査海域範囲]の平均体積散乱強度 SV]が音響魚礁範囲において同レベルであるとした場合、実際に計測した[音響魚礁範囲]の平均体積散乱強度 SV]により算出した資源量と比較した尾数と重量の増減値を示している。

例えば、平成 10 年魚礁の5月度(38kHz)では魚礁付近よりも周辺の方が多いいことを示しており、蜆集効果音響指標(魚礁境界深度直上域)では[0.9]、直下範囲の参考値では[0.8]となっている。

Ⅶ. 考察

Ⅶ-1 三カ年の成果と課題

Ⅶ-1.1 成果について

- 1) 平成16、17年度の二カ年の成果として、計量魚群探知機による音響資源調査の技術手法を魚礁に特化して蜆集効果評価にも転用が可能であることが確認でき、簡易型計量魚探機として遜色なく機能することが実証できた。
- 2) 簡易型(より廉価で簡便な)計量魚群探知機としては、水産大学校で技術開発の魚群と魚礁の分離識別画像処理技術の成果も組み込み可能となり、総合的に短期間で音響手法による調査が可能な基本的技術開発の目処がついた。
- 3) 魚礁の蜆集効果評価として音響技術手法に基づく[蜆集効果音響指標]の概念を導入することで、従来では底生性魚類が主体となっていた蜆集効果評価が回遊魚も含めた総合的な魚礁設置による効果を定量的で、等質に得ることができた。
- 4) 魚礁周辺に蜆集する回遊魚および比較的周辺近くに形成する魚群については音響計測

調査が優れ、魚礁に近接する根付き魚類については音響的には限界があるので水工研で開発の光学センサーによるモニタリングシステムの技術開発に委ねることにした。

- 5) 将来の資源増殖および資源確保という観点から捉えれば、魚礁の設置により魚類など生物資源源量が魚礁の直上付近で全般的に高くなっている傾向が示された。このことは海洋環境の中で食物連鎖などを考えれば、回遊性魚類に対しても、魚礁の設置による新たな期待効果を定量的に把握できることを示唆しており、実証化試験での検証の見通しが得られた。水産基盤整備事業の科学的かつ効率的な魚礁設置に貢献が期待できる。
- 6) 三カ年の技術開発により、実証化に向けた「音響による魚礁蝟集効果評価手法ガイドライン」を指針としてまとめる事ができた。

VIII. 摘要

VIII-1 実証化試験事業に向けた課題について

- 1) 簡易型計量魚群探知機として最終検証し完成品に仕上げる。
- 2) 魚礁境界深度下部領域の音響評価手法の確立
 - a) 魚礁エコー範囲をより正確に識別する為に水大校の魚礁エコー範囲の推定法がより精度向上につながるようにハード面の技術追求を平行して実施する。
 - b) 様々な形状の魚礁に対して実証化試験の中で画像処理技術の事例検証を実施し、魚礁分離識別手法を確定する。
 - c) 境界深度下部領域の音響指標算出として平均 SV と平均 SA のどちらを用いるのかを実証化の中で検証し決定する。
- 3) 「音響による魚礁蝟集効果評価手法ガイドライン」に基づき、継続的にモニタリングを行い、音響指標の有効性と指標値評価基準のガイドラインを策定する。
- 4) 調査から取得データの解析まで、各都道府県の水試の方々ができる限り容易に活用できるように OJT による研修の実施が必要である。
- 5) 従来の視認調査および標本採集などによる調査との整合性の検証が新たな課題となる。

VIII-2 まとめ

- 1) 音響手法による新たな魚礁の蝟集効果音響指標の概念により、定量的で等質な調査が可能になった。
- 2) 指標値は下二桁を有効数字として表示するが、この指標値による判断基準は今後の実証化試験の中で継続的にモニタリングすることで判明するものと期待する。また、魚種との関係についても実証化の中で課題として取り上げる必要がある。
- 3) 参考値として取り扱った魚礁境界深度下部領域については、もっと多くの魚礁事例について水産大学校が開発したエコーシミュレーションと二値化による画像処理方法の再検証が必要であると同時に、この領域における魚礁蝟集効果の算定手法についても実証化試験で決定する。
- 4) 各都道府県レベルで容易に導入が可能とするために、実証化事業で協力いただく都道府県の研究員の方々が調査から解析まで主体的に対応できるように OJT 教育による研修も重要な課題である。
- 5) ガイドラインをさらに実用化のために充実、普及が可能となるように整備し、魚礁設置の効果を総合的な観点、すなわち生物量としての生物生産の場所として、長期的なモニタリングによって解明できることを期待する。

第二部

報 告 書

課 題

人工海中林の効果把握調査

平成 19 年 3 月 15 日
社団法人 マリノフォーラム 21

Ⅳ. 緒言(まえがき)

1.1 目的

既存の人工海中林漁場の近傍に既存漁場を新たに魚礁相互の影響範囲が重なるように配置することで、魚礁をそれぞれ単独で配置した場合よりさらに蛸集効果が向上する可能性について検証する。本年度は人工海中林漁場の単独効果を把握するために音響調査を行うこととした。

Ⅴ. 調査方法

v-1 全体の調査内容

(1)調査海域

調査は人工海中林漁場が造成されている長崎県五島市福江島沖合とした。

(2)標本船調査

標本船調査を人工海中林区、既設魚礁区、天然礁区(ヨコ曾根)の3地区において行い、それぞれの地区における蛸集魚類の漁獲状況を把握した。

(3)音響調査

音響調査は人工海中林区と既設魚礁区の2地区において行い、それぞれの地区における蛸集状況を魚群探知にて把握した。

(4)ROV 調査

人工海中林区において剛体タイプ(4基)の ROV 調査を行い、設置状況や蛸集魚類のビデオ撮影を実施した。

なお、第二部の報告書としては(3)項の音響調査について報告する。

v-2 調査海域と調査方法

2.1 音響調査海域の概要

音響調査を対象としたのは次に示す[人工海中林区]と[既設魚礁区]とした。

[図 -1]に対象海域全体の地図を示す。

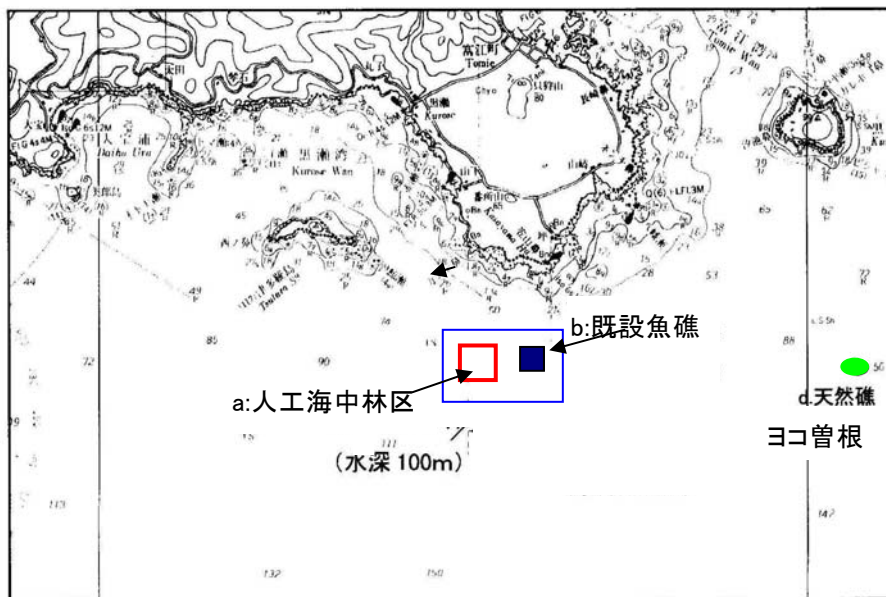


図-1 調査海域全体地図

- a:人工海中林区 中心座標 N32° 33′ 24″ E128° 45′ 28″ 世界測地系
b:既設魚礁区(4m角型コンクリート魚礁)
中心座標 N32° 33′ 22″ E128° 46′ 25″ 世界測地系

2.2 音響調査方法の概要

音響調査は、調査海域における魚類の蛸集状況を魚群探知機によって把握するために行った。調査海域は人工海中林区と既設魚礁区とし、調査は平成18年9月と11月の2回にわたり実施した。

調査方法は通常魚探(漁船に備え付けの魚群探知機)により対象域を走査し、魚群探知機の画面に映し出された魚群の数や色および位置情報、遊泳水深などを記録し、整理した。

2.2.1 音響による蛸集効果の調査目的と概要

- 1)本年度計画の追加魚礁により人工海中林区と既存魚礁区の複合的配置による相乗蛸集効果を広域及び狭域で継続的に音響調査する。

[広域調査] --- 既設魚礁を含めた範囲の調査(A海区およびB海区)

[狭域調査] --- 既存魚礁の8方位調査

- 2)音響調査では従来 継続して行われている漁船による方法を再検証し、今後漁業者レベルでより簡便でしかも継続的に可能な手法を確立する。音響調査に使用する機材は標本船搭載の魚群探知機とする。

2.2.2 標本船による浮き魚の魚探調査手法

一般論として、浮き魚類は動きが早いことからしばしば魚群探知機に捉えにくい。

浮き魚を対象にする場合は魚探機に使用する送受波器の指向角が比較的広いビームが有利となり、画像上の判断もしやすくなる。したがって周波数的には50kHzが最適と言える。今回調査に備船した第八福吉丸に搭載の魚群探知機は古野電気製(型名FCV-1200L)で50kHzであった。[図-2]の魚探機画像に示すように魚群は「ブーメラン状のエコ-」もしくは「筋状エコ-」として現れるので、ブーメラン状のエコ-はその数をまた筋状エコ-は筋の本数をカウントすることでその時の魚探機が捉えた浮き魚の本数がわかる。ただし、魚体長が小さい場合や、魚群の密度が濃い場合は識別カウントは容易ではない。

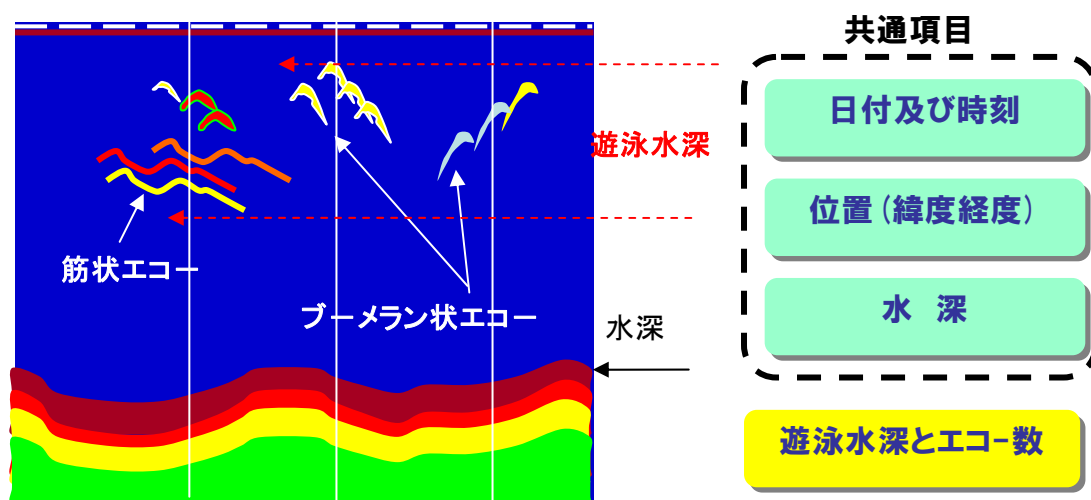


図 -2 浮き魚調査の概要図

2.2.3 標本船による中下層魚群の魚探調査手法

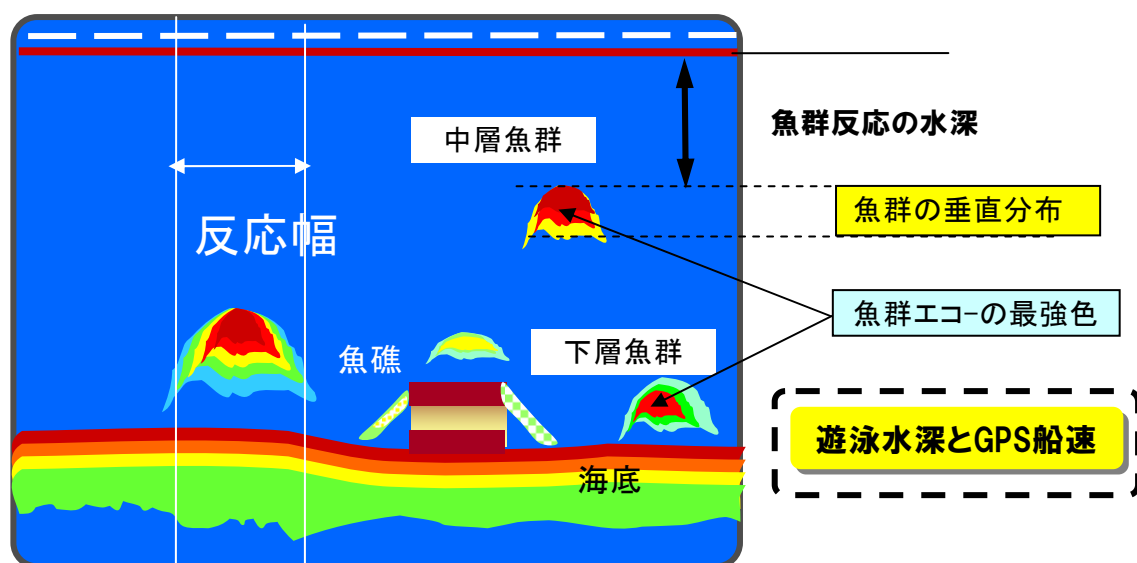


図 - 3 比較的魚体長の小さい魚群の概要

分類		反応水深	反応幅	最強色	船速
中層魚	1	35m	1/5分	赤茶	3.5kt
	2				
	3				
下層(底)魚	1	62m	1/2分	赤	2.0kt
	2				
	3				

表 - 1 記録野帳表例

中下層のあじ、さば(青物類)および底魚類については、群れの大小に関係なくエコー画像の群れの数と低周波(一般的には 50kHz が多い)の画像の色調を確認する。

具体的には、[表 - 1]のように野帳記録することにより間接的に魚群の分布状況をおおよそ推定することが可能である。

- 1) 反応幅は分時マークから概略の時間 ---- 例えば 1/3 分などと表記する。
- 2) 反応水深はエコーの頂上部分とする。

2.3 調査方法の設計

標本船による調査方法については魚礁の蜻集効果手法の考えに準拠して、2.2.1 項に示したように広域調査と狭域調査に分けて実施する。今回の調査目的である人工海中林区と新たに設置予定の既存型魚礁区との係りを調査するために次のように[A]および[B]海区に分けて調査を行うことにした。

広域調査は次の二箇所の調査範囲に分ける。

[A海区調査] --- 人工海中林区、追加魚礁区を含む海域

[B海区調査] --- 既設魚礁区を中心とする海域

それぞれの調査範囲における調査線の設計については Algen (1983)による調査強度の考えを基本採用して設定した。

2.3.1 広域調査時の音響調査線(Transect)の策定

調査線(設定)の設計---Aglen (1983)による調査強度の基本式から

$$\frac{\text{調査線全長}}{\sqrt{(\text{調査面積})}} > 5$$

の条件を満たし、なおかつ高・低周波のビーム幅(想定)による水深 100m の探知範囲を考慮して調査線の間隔を 0.04nm とする。調査時の船速は 5KTS(対地船速)で行うこととした。

2.3.2 広域調査(A海区およびB海区)

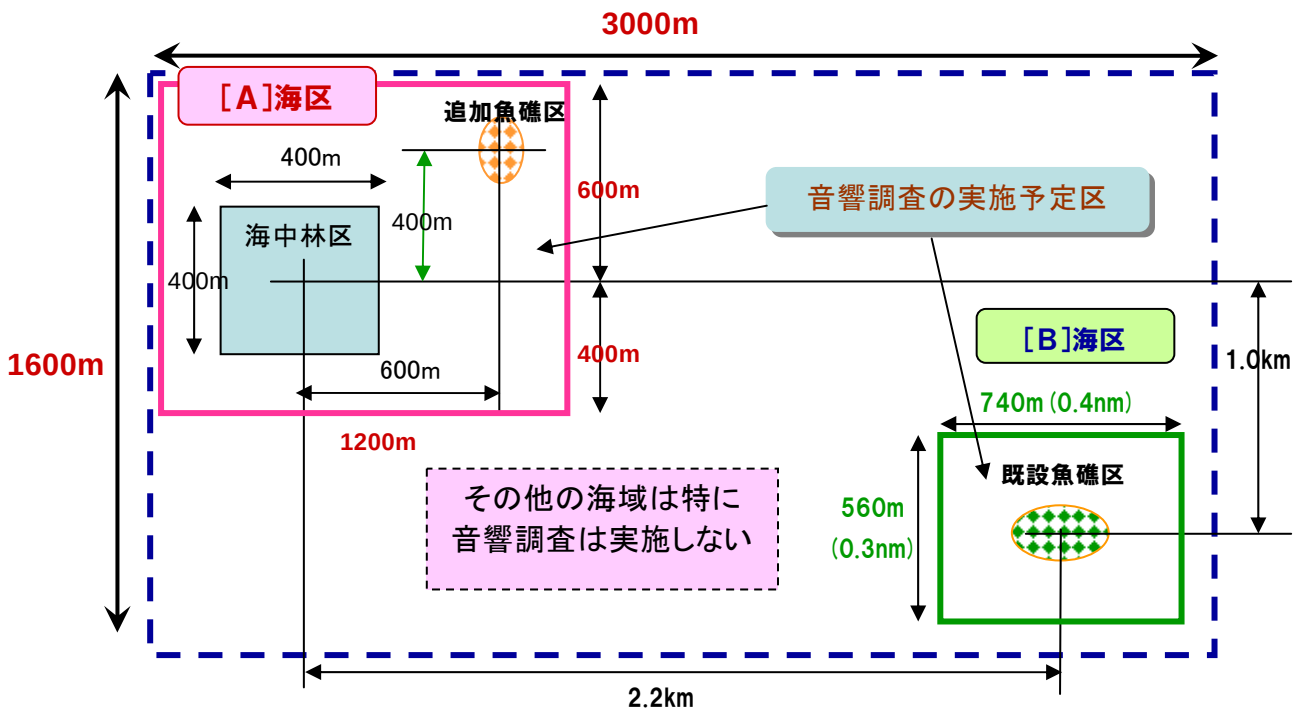


図 - 4 広域調査海域の概要

1) 広域調査の海域はA海区調査海域(海中林区と追加魚礁)およびB海区調査海域(既設魚礁)を含む範囲とし、東西方向に 3000m、南北方向に 1600m の範囲とする。

人工海中林区と既設魚礁区は 2.2km 離れていることからA海区とB海区はそれぞれ独立した位置付けとみなす。

2.3.2.1 A 海区調査海域

- ※1 調査線の間隔は 0.04nm(約 74m)とし、調査のコースは南北方向とする。
- ※2 調査時の船速は 5KTS(対地船速)とする。(5kts 相当 = 約 2.6m/sec)
- ※3 調査線の走行については当日の状況に合わせ必ずしも順番どおりでなくても良い。
例えば奇数番(一本飛ばし)で走行し、次に偶数番を行うなど

調査線数 : 17本 , 総延長 : 17, 000m(9.2nm)

所要時間 : 調査線 109分(5kts時) , コース変更 5分X16=80分

所要総時間は189分(約 3時間)

参考: 調査海区 Aとした場合は調査線数が 17 本、調査強度は約 15.5 となり、Aglen の条件を十分満たしている。

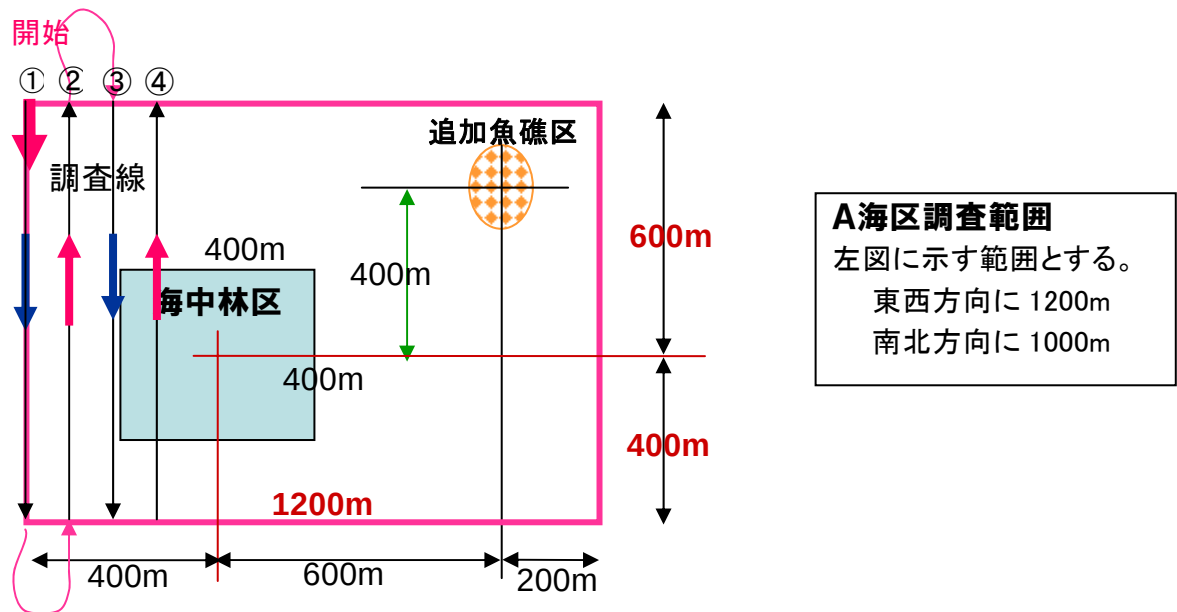


図 - 5 A 海区調査海域の調査線

2.3.2.2 人工海中林区の調査海域

東西／南北ともに 0.3nm の範囲とする

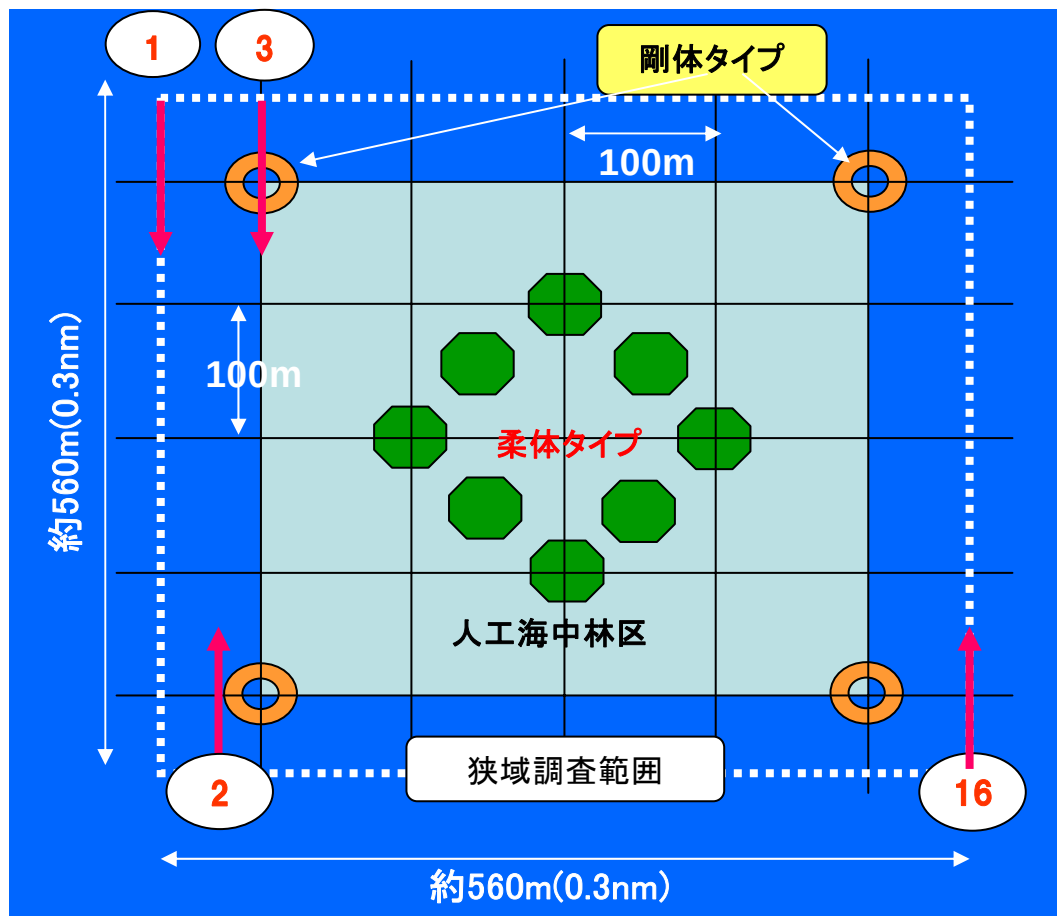


図 - 6 人工海中林区

調査線の間隔	0.02nm(約 37m)とし、調査のコースは南北方向とする。
調査時の船速	5Kt(対地船速)とする。
調査総延長	8,890m(約 4.8nm)
調査線数	16 本 <u>調査強度 16</u>
調査所要時間	計約 133 分 (調査線走行 約 58 分)

2.3.2.3 B 海区調査海域

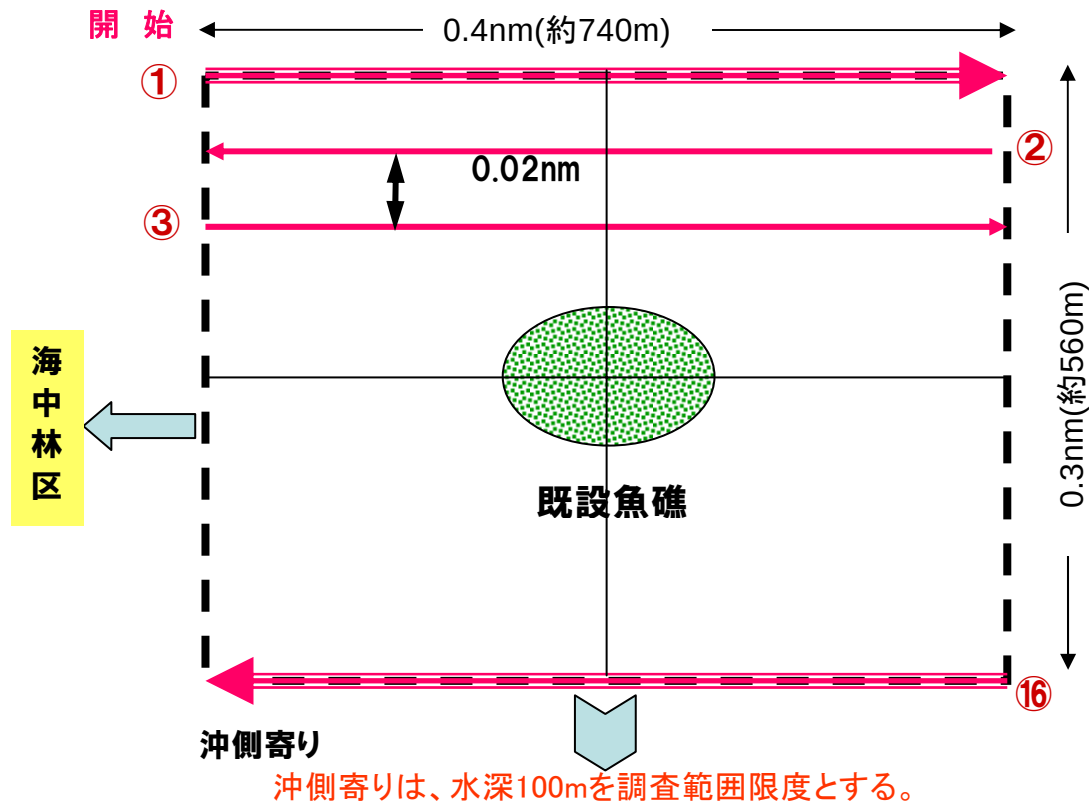


図 - 7 B 海区調査海域の調査線

B海区調査範囲	東西方向に 0.4nm(約 740m)、南北方向に 0.3nm(約 560m)
調査線の間隔	0.02nm(約 37m)とし、調査のコースは東西方向とする。
調査時の船速	5Kt(対地船速)とする。
調査総延長	11,850m(約 6.4nm)
調査線数	16 本 <u>調査強度 18.5</u>
調査所要時間	計 約 152 分 (調査線走行 約 77 分)

VI. 調査結果

VI-1 音響調査の傭船調査船

第一回目および二回目ともに第 82 福吉丸を傭船した。

本船に装備され、調査に使用する機器は

GPS プロッター (古野電気製 型名 GP-3100)

カラー魚群探知機 (古野電気製 型名 FCV-1200L[50kHz]) であった。

第二回目には、データ収録を何とか行うために[図 - 8]に示すように、画像収録用の DAT を

接続し、別途 GPS 受信機を仮設置し PC に測位データを収録する方法をとった。

魚探機の画像を動揺する洋上で写真撮影が容易でないことと、写真品質がデータとして使用に耐えないためである。収録された画像は社内に持ち帰り、同型機を使用して再生することで写真撮影の問題点がクリア-することができる。また調査データとして保存できる意義が大きい。

1.1 GPS 測地系について

事前に調査計画を進めるにあたり、GPS 測位データが「日本測地系」と「世界測地系」が混在しており、正確な魚礁の位置が不明であった。第8福吉丸のGPSは「日本測地系」を使用しており、魚礁設置時には「世界測地系」であったものと推測し、過去に調査を進める中で他の傭船のGPS受信機の装備も含めて標本船のデータが主体となり混在したものと推察する。

今後はこのようなことがないように測地系をいずれかに統一すべきであるが、傭船の装備が「日本測地系」であるので何らかの対策が必要で、今後のことを考慮すれば「世界測地系」に統一することが望ましい。

1.2 魚群探知機について

本船に装備されている魚群探知機は、泡切れ現象を招きやすかった。

一般的にも、50kHz以下の低周波は泡切れに弱いことは周知の事実である。また船型と船底装備位置などの関係で個別に状況が異なるが、本船では船速が10kt程度で泡切れがひどくなる傾向であることが分かった。したがって、海況によって魚探画像の品質が損なわれる。

第一回目においては、初日は風であったので特に問題はなかったが、二日目は波高が1m程度になると泡切れがしばしば見受けられた。

今後、このような大水深海域における魚礁は浮き魚と下層魚類などの複合的な調査が欠かせないであろうと推察するので高周波(200kHz)と低周波(50kHz)の二周波体制で臨むことを推奨する。

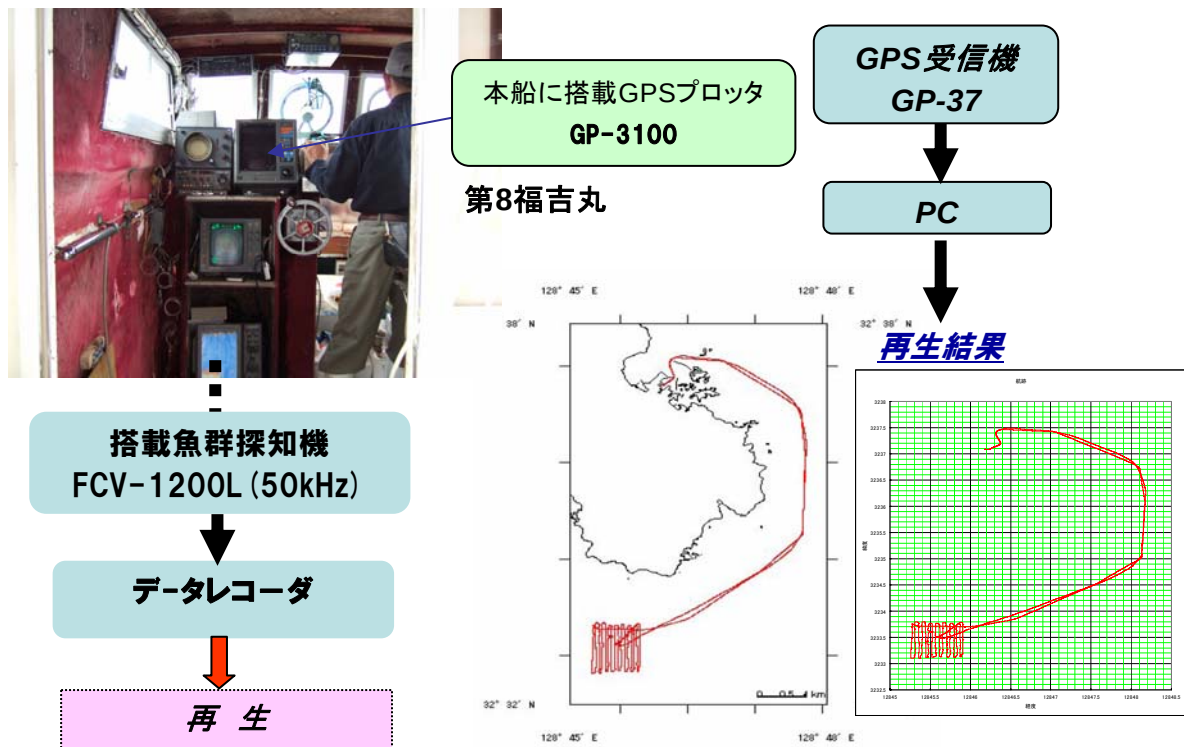


図 - 8 第8福吉丸での調査概要(第二回目)

VI-2 第一回目調査結果

第一回目の調査は調査者にとって初めてであり、事前に必要な資料が過去に行われた魚探調査では保有していないなど、ある程度手探り状態で調査計画を建てた。

また、傭船する漁業者に理解いただき、実際に走行が狙い通り可能かという危惧の中で実施したが、結果としては海中林区の北西端(所定の開始地点 A1)側から南北方向に折り返し走行を繰り返すことで実施し、最初是不慣れのためにコースがジグザグしたが回数を重ねるにあたり問題はなくなった。

しかし、途中で調査線を間違えるハプニングもあり、計画調査線数 16 本に対して 13 本の調査線に修正した。Algen の調査強度の観点では計画時の[強度 16]が[強度 13]に低下するものの調査としては支障がないものとして続行し、殆ど問題なく計画通りに実施できた。

第一回目調査は、平成 18 年 9 月 27、28 の両日にわたり実施し、調査は野帳にて筆記し、それを基に解析した。人工海中林区の調査結果を[図 - 9]に示す。

船頭さんの話では当日の時間帯における潮流は東から西向きに比較的速く流れていたようで、全体的には海中林区の東側半分に魚影が認められた。浮き魚類は海中林の構造物の中段から上段部に掛けて、アジを主体とする下層反応は構造物の根元付近と海中林の構造物から離れた東側に多く分布が認められた。

魚礁が設置されている海域の周辺の海底状況とも大きな関連があるものと推測するが、[図 - 9]の中で調査時に測深した水深データを使用し、過去に長崎県水試によって報告されているこの海域の大まかな水深データを利用して重ねると概略の等深線図を描くことができた。その結果によれば、全体的に等深線は西南西から東北東に掛けて走っており、海中林区の中心から南側が徐々に等深線が込み合い海底に多少の起伏が認められる。

また海中林区の南東端付近の水深が 100m を越す海域においてもアジの海底魚群反応が分布していた。

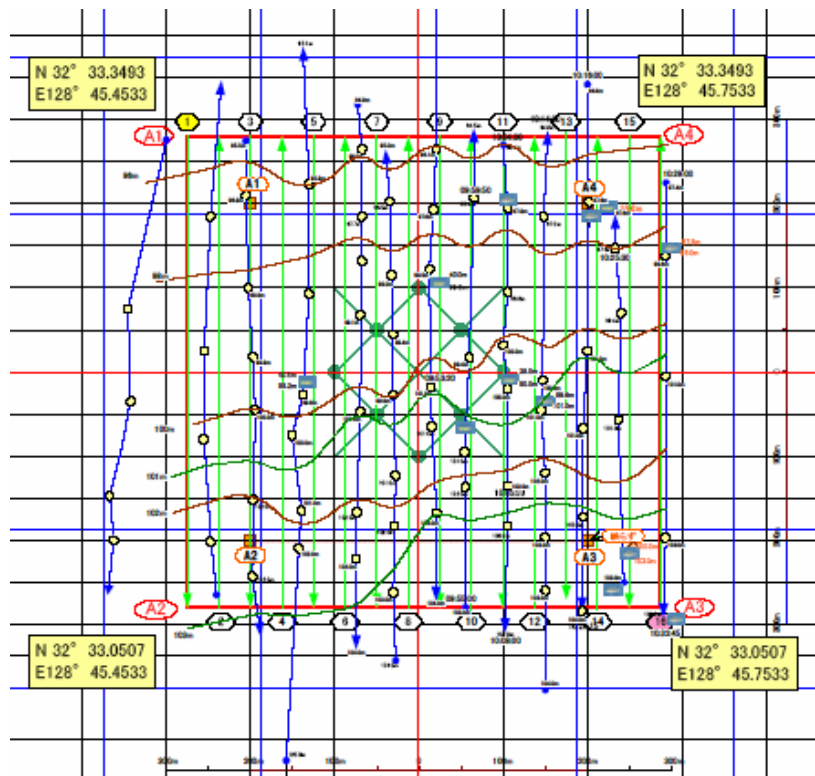


図 -9 人工海中林区の調査結果

VI-3 第二回目調査結果

第二回目調査は平成 18 年 11 月 13、14 の両日にわたって実施した。

第一日目(11 月 13 日)

- 低気圧の接近で南よりの風が吹き、うねりが高くなってきたものの、波高は 1.5m 程度であった。
- 調査は[人工海中林区調査]、[B 海区調査]および[狭域調査(既設魚礁)]を実施した。

第二日目(11 月 14 日)

- 低気圧の通過後で西北西の風が強く実施が心配されたが挙行し、海況は前日のうねりに加え、波高が高く 2.5～3m 程度の悪条件下での実施となった。
- 調査は[A 海区調査]を実施した。

3.1 第一日目調査結果

3.1.1 B 海区調査の結果

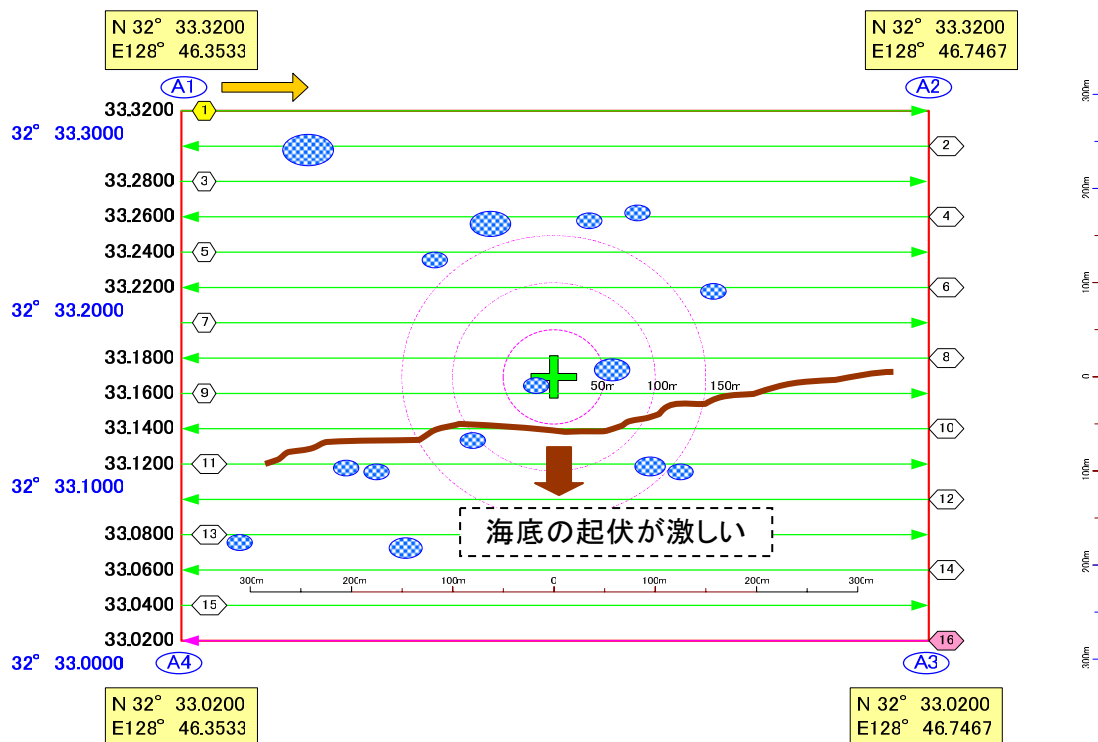


図 - 10 B 海区調査結果

B 海区は既設魚礁よりも北側は比較的海底の起伏が少なく、なだらかな海底であり、起伏のあるところとところどころに海底魚群反応が認められた。

一方、魚礁の南側は海底の起伏が激しく、瀬付き魚群が認められた。魚礁の近傍では直上付近に魚影が二つ認められた。

[図 - 10]に調査海域内の下層魚群反応もしくは海底付き魚群反応が認められた位置をマークして分布状況を示した。魚種は不明である。B 海区は魚礁の周辺が天然礁など海底の起伏の変化が激しく、底魚類などが生息するのに好条件な場所となっているため、魚礁としての鰐集効果が認められるかどうか判断が困難である。

参考に魚群探知機の映像例を[図 - 11]～[図 - 13]に示す。

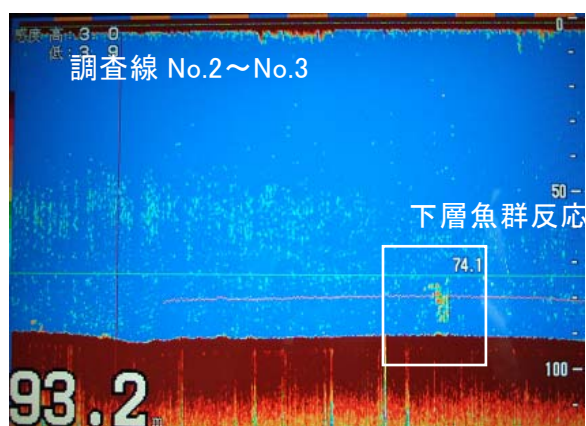


図 - 11 B 海区北側の状況

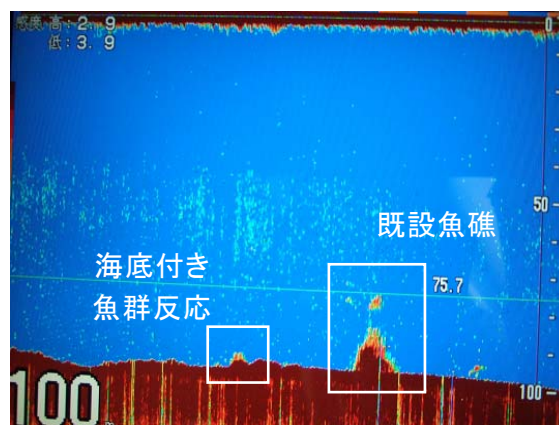


図 - 12 既設魚礁付近

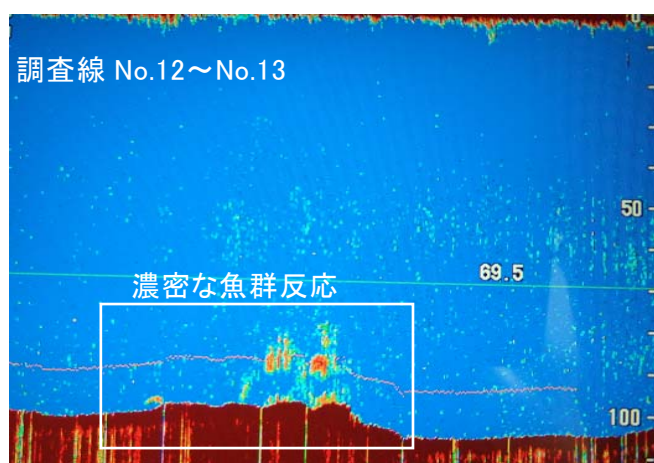


図 - 13 天然礁付近の魚群反応

3.1.2 狭域調査(既設魚礁区)の結果

この調査は、既設魚礁区が実際にどの程度の範囲に設置されているかを 8 方位走行により調査したものである。

設置計画によれば、「4m 角型コンクリートブロック」を多段に積み上げて構成されているようであるが、南北方向には水深が 98m～96m の傾斜地に設置されていることが魚探機の映像から読み取れる。したがって、魚礁の中心付近は東西方向では平均水深が 97m になっている。

また垂直方向には、魚礁の高さは水深 78m 付近まで確認でき、約 19m 程度の高さであることがわかる。しかし、形状としては 4m 毎の段数が三段確認できるがその上は塔状になっているものと推測する。一方、水平方向では北西-南東方向に少し長めに設置されている様子がわかり、全体的な水平配置から推測すれば、東西南北方向に長方形もしくは正形状に設置する計画が傾斜地に設置するため、北西南東方向のやや菱形状になったと考える。

[図 - 14]に調査結果を示したが、その中で魚探調査で捉える「音響魚礁範囲」を緑線で示した。その範囲は東西方向に 95m、南北方向に 107m の長方形であり、今後調査する場合の既設魚礁の基本範囲となる。

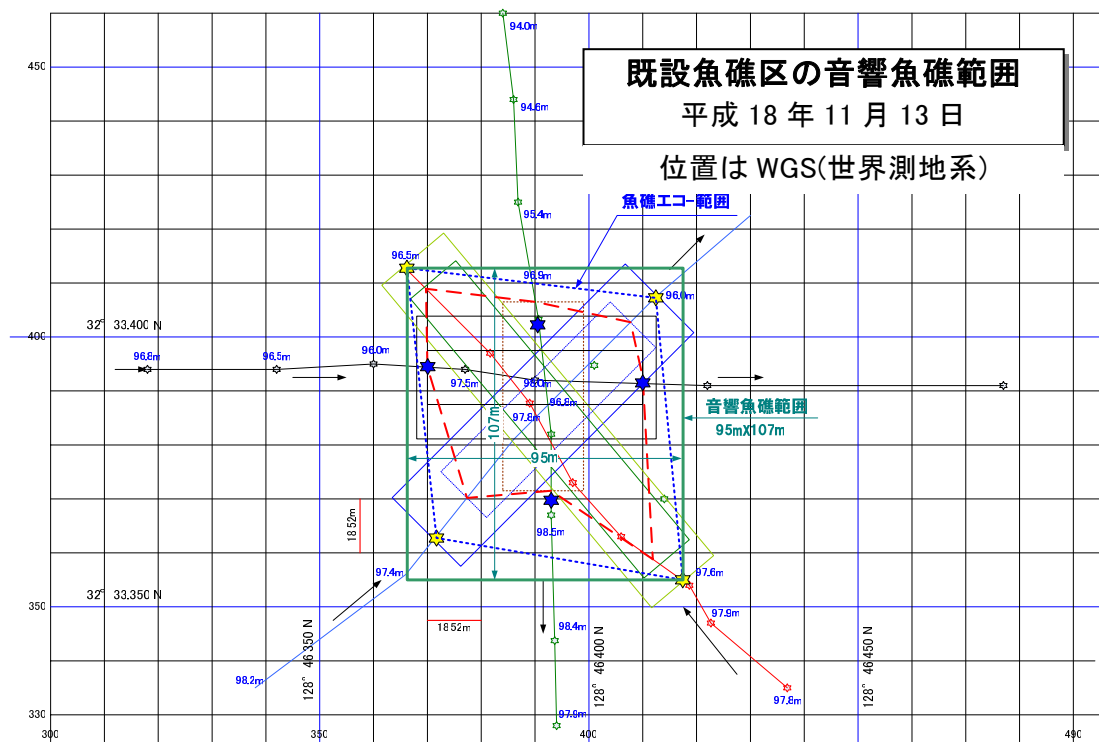


図 - 14 既設魚礁区の音響魚礁範囲

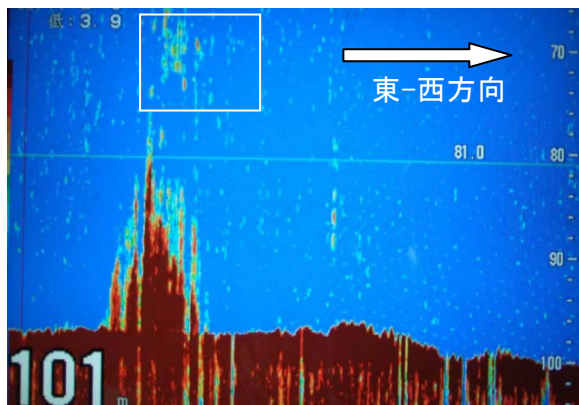


図 - 15 東西方向調査線エコー

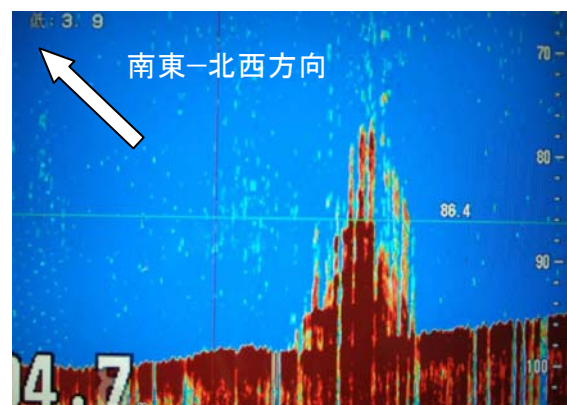


図 - 16 南東北西方向調査線エコー

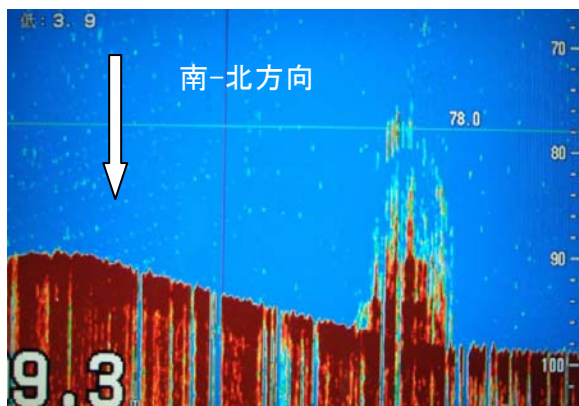


図 - 17 南北方向調査線エコー

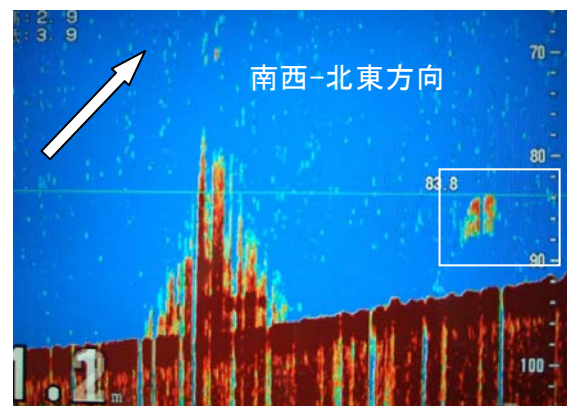


図 - 18 南西北東方向調査線エコー

3.2 第二日目調査結果

悪条件の中で魚探機には泡切れ現象が激しく、画像が途切れた。

魚影について、天候にも左右されることが多く、蜆集効果としてどの程度把握できるか疑問であったが[図 - 19]の結果に見られるように、人工海中林区の南西側に浮き魚の魚影が比較的濃密に認められた。また、下層反応としてはアジ類と思われる魚群反応が海中林区の中から北側に 四つ魚群が分布していた。

調査海域の南側および北東端にも各二つずつ分布していた。

海中林区の内側に見られる下層魚群反応は海中林の構造形状で土台部分から下から一段目付近に分布していることが分かった。

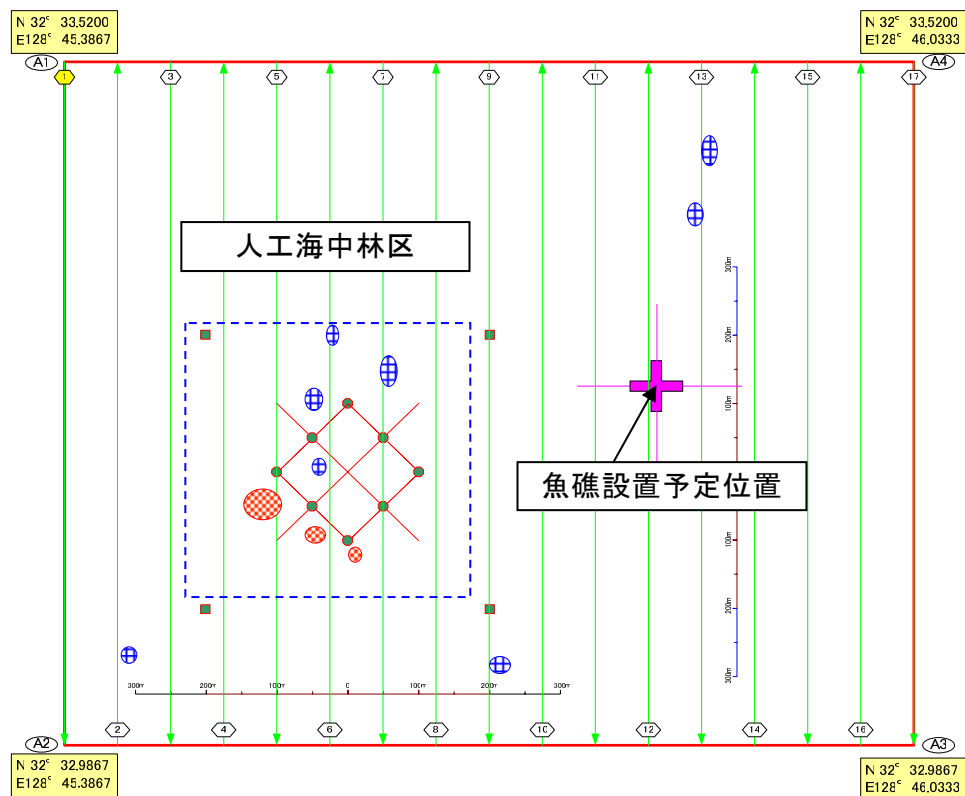


図 - 19 第二回目調査時の A 海区調査結果

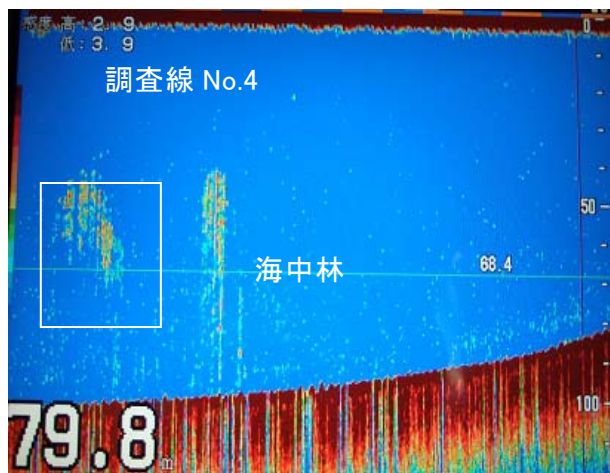


図 - 20 調査線 No.4 のエコー

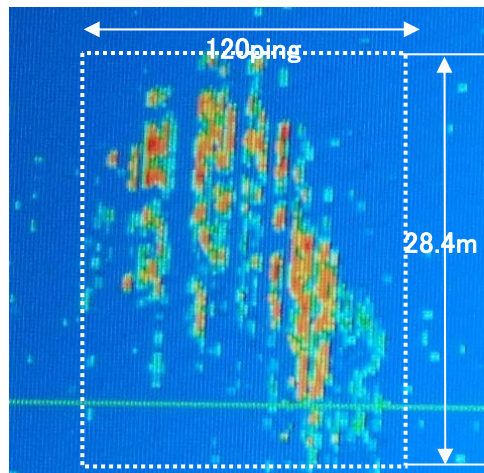


図 - 21 ヒラソウダ類の反応

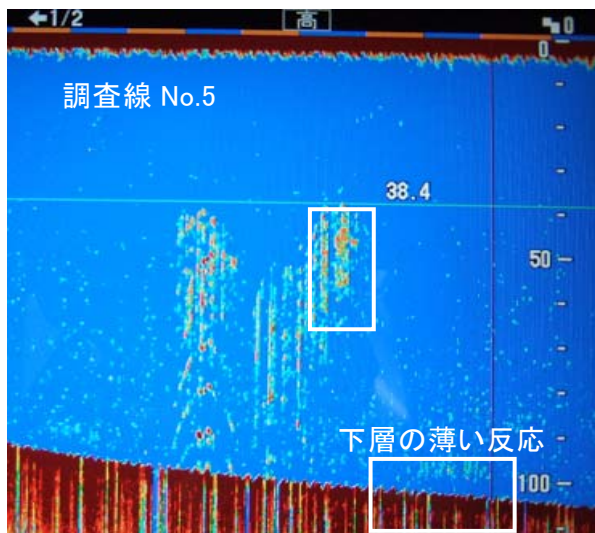


図 - 22 調査線 No.5 のエコー

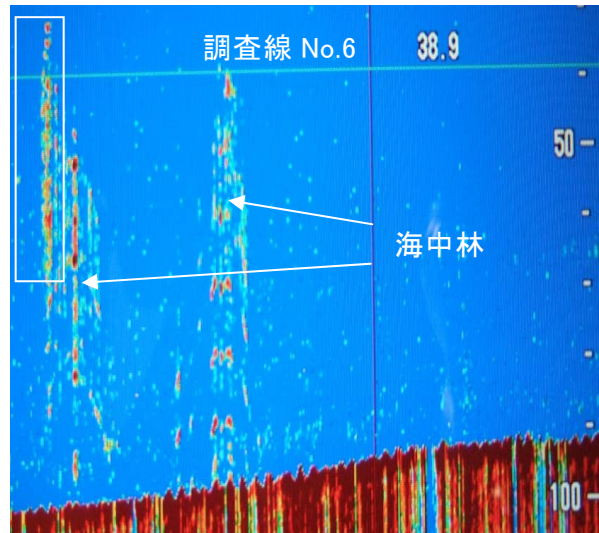


図 - 23 調査線 No.6 のエコー

Ⅶ. 考察

- 1) 人工海中林区では、魚礁の構造から浮き魚類は魚礁の中～上部域に掛けて魚影が確認できた。アジ類は 魚礁の下部構造部から海底付近に多く分布している。
- 2) 既設魚礁区においては魚礁の直上域の水深 70～80m 付近に浮き魚が 9 月と 11 月共に確認できた。しかしこの海域では周辺域が起伏が激しく、底魚類には天然の好生息地となっているので魚礁としての蛸集効果の判断は難しいと言える。
- 3) 本調査では従来魚探調査をより正確に、しかも容易で定量的に行える簡便法を試みた。
 - ☆二回の調査ともに海況に恵まれず、魚探画像が泡切れにより不安定となった。
 - ☆既設魚礁について狭域調査では魚礁域が推定できた。(南北 107m, 東西 95m)
 - ☆魚影については船頭さんの経験が左右するものの、ある程度魚種推定が可能であった。しかし、定量的という観点では観測時もしくは後処理でデータ解析が可能となるようにデータを収録して蓄積することが不可欠である。
- 4) 大水深海域における人工海中林区を含めた広域魚礁では、今年度の調査で分かるように浮き魚類は海中林の魚礁付近に、底魚類およびアジ類などの下層魚群反応は周辺海域に分布していることが伺えた。また魚礁構造物の土台部分にも魚影が確認できるなど、浮き魚類と底魚類が相乗的に魚礁およびその周辺に蛸集する可能性が期待される。

Ⅷ. 摘要

- 1) 今回の調査で実施したように広範囲に魚探調査を行う必要性が示唆された。
- 2) 音響手法による調査を継続的にモニタリングすることで蛸集効果を調査することが重要であろう。
- 3) 周辺海域に天然礁などが散在するような場所での魚礁の蛸集効果の評価は非常に難しい。今後の音響調査においても天然礁を含めたより広域な調査方法などの検討が重要である。
- 4) 音響調査においては、定量的なデータの取得および解析、さらには調査手法全体の精度向上を図るためには民間漁船だけでは限界があり、県の調査船の導入を検討すべきである。