

平成 20 年度水産基盤整備調査委託事業

簡易型計量魚探等を使用した
魚類蝟集モニタリングシステムの実証
報 告 書

平成 21 年 3 月

社団法人マリノフォーラム 21
独立行政法人水産大学校
古野電気株式会社

目 次

I. 調査課題名	1
II. まえがき	1
III. 調査実施年度	1
IV. 調査事業の目的	2
1. 調査の目的	2
2. 技術課題	2
2. 1. 魚礁と魚群の分離識別技術の確立と自動化	2
2. 2. ノイズとなる音響散乱層から生物を分離する技術の確立	2
2. 3. 全国同一レベルで比較できる評価方法の確立	2
2. 4. 蛸集効果調査の効率化	2
3. 実施体制	3
4. 平成20年度の具体的目標	3
V. 調査内容	
1. シミュレーション法による魚礁と魚群の識別	4
1. 1. 調査日程	4
1. 2. 調査対象魚礁	4
1. 3. 調査方法	7
1. 4. 解析方法	8
2. 音響散乱層の魚類分離	9
3. 魚礁周辺における昼夜間の魚類など生物の移動分布の把握	9
4. 蛸集効果調査の効率化	10
4. 1. 飯岡工区	10
4. 1. 1. 調査日程	10
4. 1. 2. 調査対象魚礁	11
4. 1. 3. 調査方法	12
4. 2. 風合瀬沖	16
4. 2. 1. 調査日程	16
4. 2. 2. 調査対象魚礁	16
4. 2. 3. データ解析方法	16
4. 2. 3. 1. データ解析のための設定	16
4. 2. 3. 2. 音響指標の算出方法	17
5. 魚礁の生物蛸集効果範囲の把握	19
5. 1. 調査方法	19
5. 2. 調査日程	20
5. 3. 調査対象魚礁	20

VI. 調査結果	21
1. シミュレーション法による魚礁と魚群の識別	21
2. 音響散乱層の魚類分離	24
3. 魚礁周辺における昼夜間の魚類など生物の移動分布の把握	26
4. 蛸集効果調査の効率化	28
4. 1. 飯岡工区	28
4. 2. 風合瀬沖	29
4. 2. 1. 第1回目調査	29
4. 2. 2. 第2回目調査	30
5. 魚礁の蛸集効果範囲の把握	32
VII. 考察	33
VIII. 定量的な把握に向けて	35

I. 調査課題名

「簡易型計量魚探等を使用した魚類蝟集モニタリングシステムの実証」

II. まえがき

近年、漁業においては、漁業者の減少、高齢化の進行などにより漁獲努力量の低下を招くなど、取巻く環境は大きく様変わりしつつある。

人工魚礁の直接的な機能を評価するための「生物蝟集量」は人工魚礁のポテンシャルを示す有効な指標となっており、この生物蝟集量から、資源量もしくは経済的効果を推定するための原単位である漁獲金額を把握する道筋を明らかにすることは、魚礁効果評価手法開発の出口と言えよう。

最近の情勢から、「水産基盤整備事業」における対象海域が沿岸から沖合へと拡大し、魚礁も大水深、大規模化するに伴い、魚礁の設置効果を評価するためには魚礁自体の情報だけでは不十分で、その周辺に蝟集する生物の空間分布を明らかにすることが重要となっている。このような状況に対処して生物蝟集量を定量的に算出できる手法は、現在のところ、音響的手法の他にはないものと考えられる。

魚礁が設置されている沿岸からその少し先の沖合までの、小型漁船が漁業を営む海域の水産資源を持続的に確保することは漁業活動上極めて重要であり、魚礁のもたら影響は大きい。

このため、魚礁の生物蝟集量を定量的に、しかも各県レベルで異なっていた計測方法を全国同一レベルで比較できる計測方法とデータ処理方法を開発することが重要である。そこで、本事業は全国規模で魚礁設置効果を一律に評価できる音響的手法による生物蝟集量の計測システムを構築しようとするものである。

本事業ではH16～18年度（以下「第1フェーズ」という。）の成果（比較的廉価な普及型計量魚探機を用いた魚礁設置効果評価のための要素技術開発）を受けて、19年度以降、実証化を目指したさらなる技術開発に取り組み、20年度は継続技術課題「魚礁近傍域の魚礁と魚群の分離識別手法、高・低周波による魚類とプランクトン類の識別手法」などを解決し、魚礁の生物蝟集量を推定する魚礁設置効果の評価手法開発を目指すこととした。

そのため、昨年度の調査結果から、光学的手法を音響的手法による資源評価に必要な魚種・魚体長情報を確認する補完手段と位置づけ、今年度は、音響技術による魚礁の蝟集効果を評価する手法として、魚礁の設置効果を示す「音響指標」と「資源評価の推定」を可能とする手法の確立に努めた。

III. 調査実施年度

平成20年度

IV. 調査事業の目的

1. 調査の目的

魚礁における魚類や頭足類などの生物の蝟集効果の評価結果は、沿岸漁業を持続的に行うための漁場整備の一環として、沿岸域における生物の現存量を主とする資源動向の調査を通じて資源管理を実施し、また、魚礁設置の費用対効果を検証する手段の一つとして活用できるようにすることである。本調査事業は、音響技術手法を用いて容易に、かつ定量的に魚礁の生物蝟集効果を評価する技術手法を確立することを目的とする。このため、単に生物蝟集量を測るだけでなく、漁獲量（経済的価値）に換算可能な実用的データを取得できる調査手法の開発を行った。

2. 技術課題

2. 1. 魚礁と魚群の分離識別技術の確立と自動化

「第1フェーズ」（事業名：回遊魚、根付き魚の魚礁への蝟集効果の定量的把握法とモニタリングシステムの開発）において、水産大学校は二値化画像処理（画像を黒と白の2色化して処理すること）による判別分析法を用いて、従来経験的判断によって設定されていた魚群と魚礁の閾値判別を数理的に求める手法¹⁾を開発した。H19年度事業の中で、さまざまな魚礁形状および設置状況から得られる複雑なエコーグラムに対しては、この方法にも限界があり資源評価の観点から魚群量を過大評価する恐れのあることが分かったため、この点を解決することが必要である。

2. 2. ノイズとなる音響散乱層から生物を分離する技術の確立

音響指標に必要なデータ解析のために、「SV差分法」（平均体積散乱強度を用いた処理方法）を用いて分離し、それらのエコーから資源評価が自動的に算出できる手法を確立することが必要である。

2. 3. 全国同一レベルで比較できる評価方法の確立

従来から行われてきた魚礁の生物蝟集効果の評価は、底生性魚類を主な対象とし魚礁内および近傍域での釣獲調査等に基づいていたが、浮魚類など回遊魚による漁業生産が行われている実態を考慮すれば、魚礁が設置された海域の海洋環境や食物連鎖にも視点を置き、音響的手法を積極的に導入した魚礁の生物蝟集効果の評価手法を確立することが重要な課題である。

さらに、評価を全国規模で比較、利用可能とするためには、種々の魚礁の設置環境、規模、形状に適用可能なものとする必要がある。そのため、魚礁の蝟集範囲を決定するための「魚礁およびその周辺における昼夜間の魚類など生物の移動分布」および「魚礁の影響範囲の実証」の課題を解決することが重要である。

2. 4. 蝟集効果調査の効率化

広域大型魚礁では、その規模および魚礁ブロックなどの配置状況によっては、音響調査範囲が広大となり、通常音響調査強度を適用すれば、調査は6時間以上にも及ぶことになり、実際には困難となる。このため、魚礁域は通常調査強度とし周辺部は調査強度を弱くして、調査を4～5時間に収める方法（以下「2段階調査」という。）が必要である。

3. 実施体制

社団法人マリノフォーラム21 : 企画、情報分析、現地調査の実施、プロジェクト運営管理
独立行政法人水産大学校 : 魚礁エコー域を識別する処理技術の高精度化の実現
古野電気株式会社 : 音響による魚礁蛸集効果調査手法の確立

4. 平成20年度の具体的目標

- (1) 魚礁と魚群の識別分離をシミュレーション法によって解決する。
- (2) 音響散乱層を高・低周波によるSV差分法により自動分離する。
- (3) 魚礁およびその周辺における昼夜間の魚類など生物の移動分布を把握する。
- (4) 魚礁の生物蛸集効果範囲を把握する。
- (5) 蛸集効果調査の効率化を図る。

V. 調査内容

1. シミュレーション法による魚礁と魚群の識別

「第1フェーズ」においては、「2値化画像処理法」での実現を目指したが、複雑な魚礁のエコーに対して計算式によって求められる閾値では、自動的に処理するには限界があり、しかも資源量が過大評価される危険性を含むことが判った。このことは調査に用いる送受波器のビーム幅やサイドローブなどの指向特性に起因することから、魚礁に対して調査するコースによって三次元的に得られる様々な魚礁エコーの危険な領域を取り除いて、より確実で安全な方法としてのシミュレーション法を開発し、実海域においてで検証した。

1. 1. 調査日程

調査には、山口県水産研究センター所属漁業調査船「くろしお」(119トン)および「第二くろしお」(16トン)を使用した。なお、昼夜間の比較調査を実施するために2隻体制とした。

1回目： 5月20日～22日 「くろしお」「第二くろしお」の2隻

2回目： 10月15日～17日 「くろしお」

1. 2. 調査対象魚礁

本調査の対象は、山口県阿武町から約2.5マイル沖に設置された「高層魚礁」(高さ30m)、「マンジブロック M-5R型」(同5m)、「グレートリーフ 225A型」(同7.5m)の計10基で構成される「H10年礁」を対象とした。

魚礁の設置・調査海域の水深は65m～72mで、西北西-東北東方向に潮流が認められる。設置場所の概略図を図1に、それぞれの魚礁を構成する魚礁ブロックを図2および3に示す。なお、各図の下側に示す魚礁配置図は、海底地形探査装置 HS-600F(古野電気製)で計測し、作成した等深線海底地形図である。

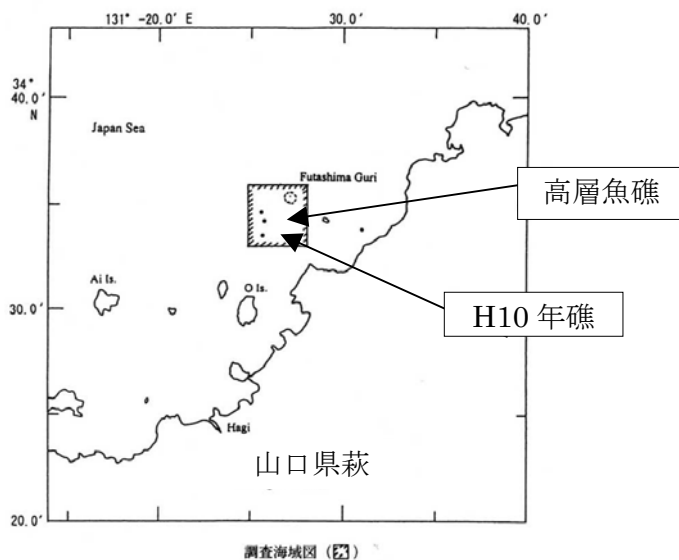


図1 山口県萩沖の魚礁設置図

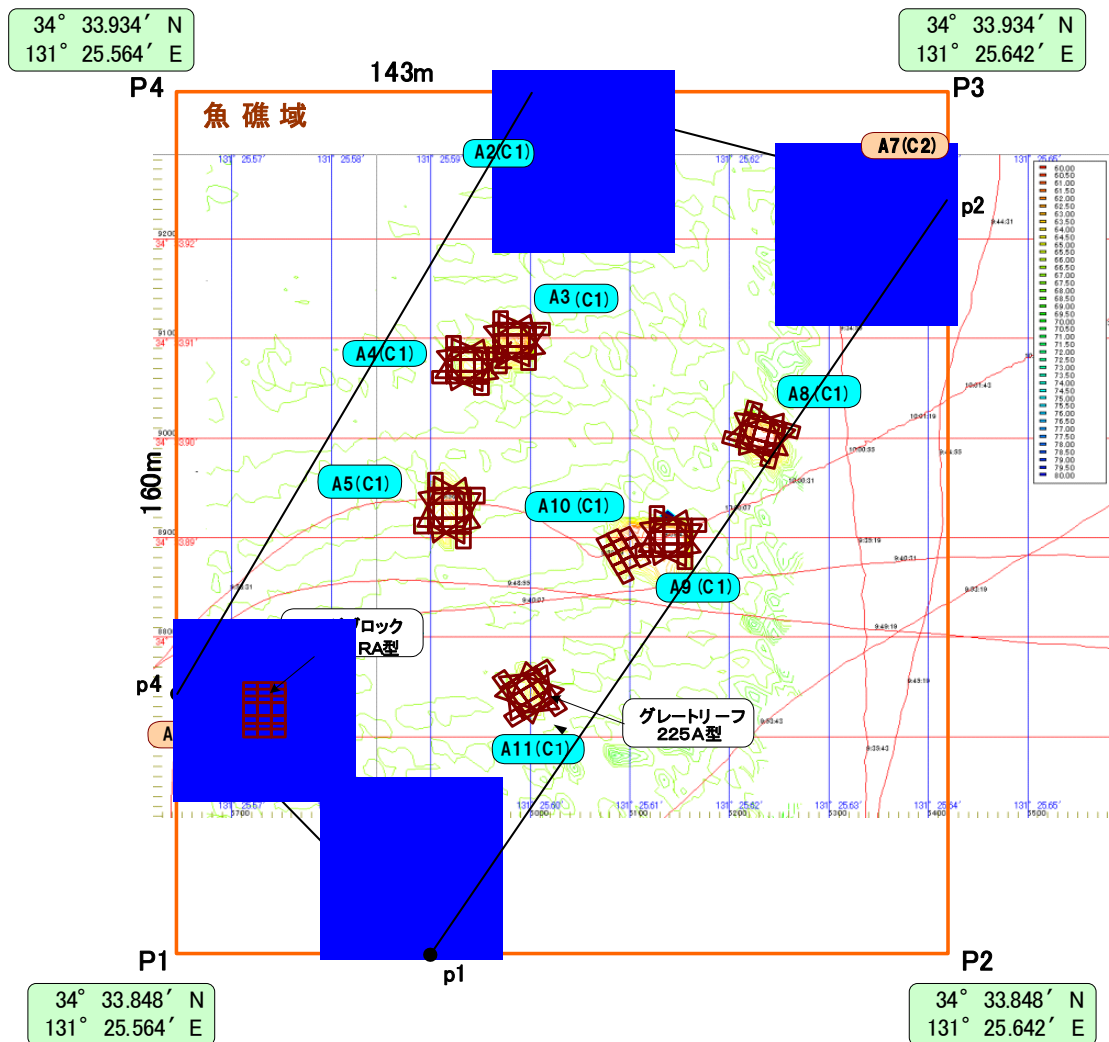
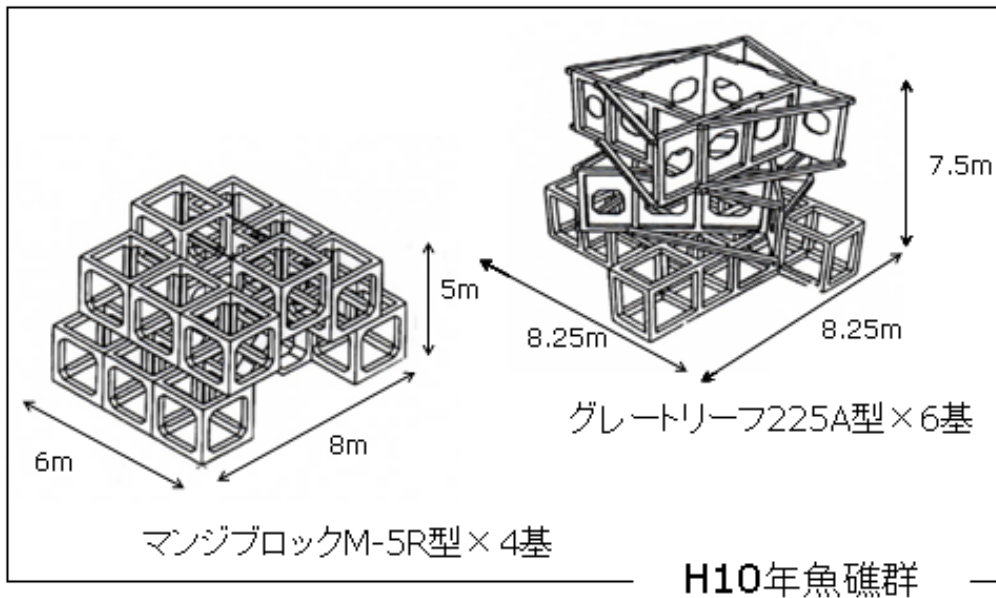
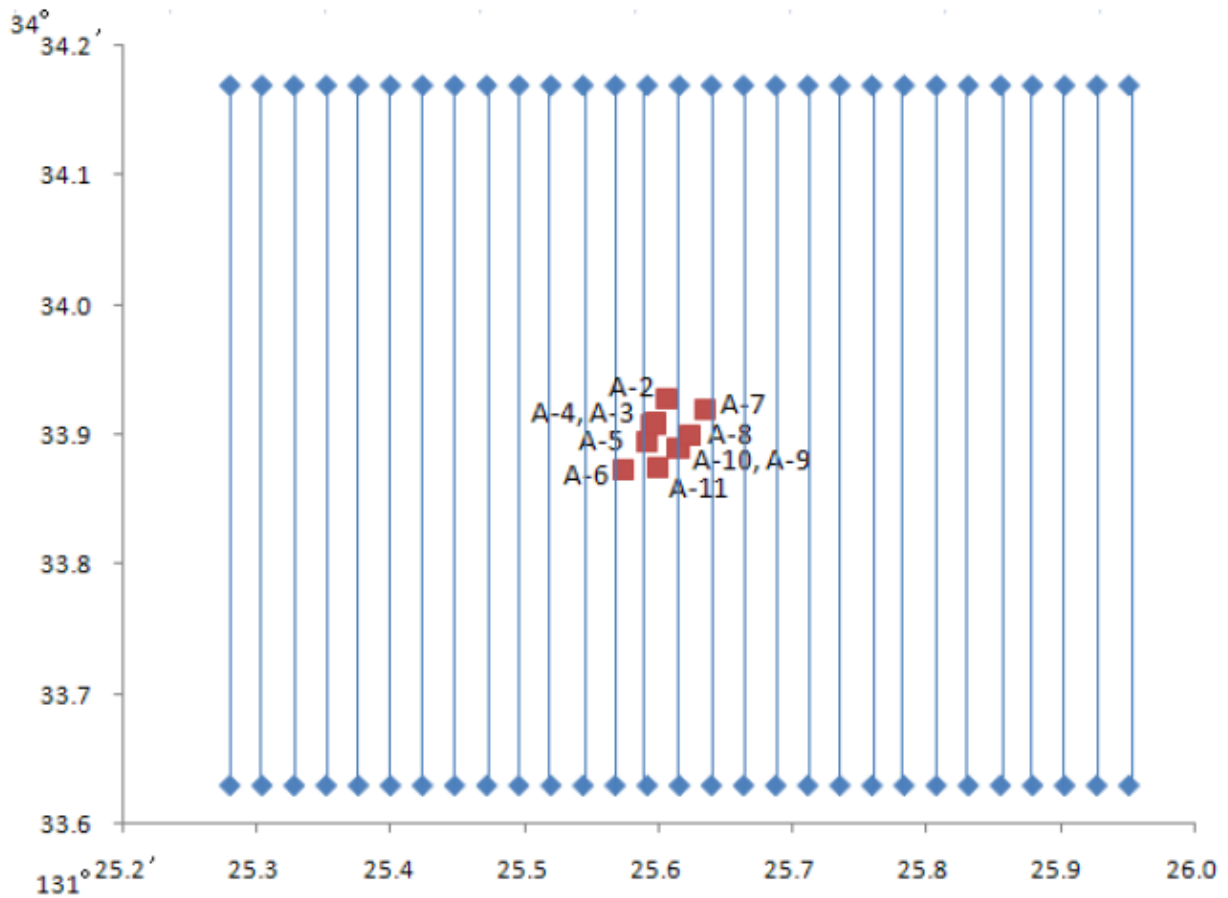


図2 H10年礁の構成ブロックと配置

1. 3. 調査方法

調査は、H10年礁の中心部(以後魚礁中央部と言う)から東西および南北方向に約500m(0.27マイル)、東西南北に1000m(0.54マイル)を調査範囲とした。調査線および各ラインの設計緯度経度を示す。



index	緯度			経度		
Point1	34 °	34.169 ′	N	131 °	25.279 ′	E
Point2	34 °	33.629 ′	N	131 °	25.279 ′	E
Point3	34 °	33.629 ′	N	131 °	25.939 ′	E
Point4	34 °	34.169 ′	N	131 °	25.939 ′	E
A-6	34 °	33.873 ′	N	131 °	25.574 ′	E
A-5	34 °	33.894 ′	N	131 °	25.592 ′	E
A-11	34 °	33.874 ′	N	131 °	25.600 ′	E
A-4	34 °	33.908 ′	N	131 °	25.595 ′	E
A-5	34 °	33.909 ′	N	131 °	25.598 ′	E
A-10	34 °	33.890 ′	N	131 °	25.616 ′	E
A-9	34 °	33.890 ′	N	131 °	25.614 ′	E
A-8	34 °	33.900 ′	N	131 °	25.624 ′	E
A-2	34 °	33.928 ′	N	131 °	25.606 ′	E
A-7	34 °	33.920 ′	N	131 °	25.635 ′	E

図4 H10年礁の音響調査設計に基づく調査線図および経度緯度

調査線設計の結果は、調査強度 29 、調査線間隔 0.02nm(約 37m) 、調査線数 29 本(船速 4kt) となった。本調査には、簡易型計量魚探機(古野電気製 ETR-30N : 38、50、82、107、200 の各 kHz) と曳航式計量魚探機(Simrad 製 EK60 : 70 および 200 kHz) を用いた。
(nm : nautical mile 浬)

ここで、使用した各魚探機の設定値を表 1 に示す。船速約 4 ノットでは 1 ping 毎に音響信号を収集した。ここで得られた音響信号は、音響解析ソフト” Echoview ver. 4.5” (Myriax 製) を用いてエコーグラムを作成し、体積散乱強度(以下、SV 値) および面積散乱強度(以下、SA 値) を算出する。また、魚探機に現れるエコー反応の生物種を確認するため、MOHT ネット(ニチモウ製 : 内径 1.43×1.43m、目合 : 1.95mm) によるサンプリング調査やサビキ釣りによる釣獲試験も併せて行うこととした。

表 1 使用した魚探機の性能

簡易型計量魚探機 古野電気製 ETR-30N

周波数(kHz)	ビーム幅 _{-3dB} (2θ)	ビーム幅 _{-6dB} (2θ)	ビーム幅 _{サイドローブ} (2θ)	指向性利得(dB)	等価ビーム幅(dB)
38	20.0×20.8	27.4×28.4	31.6~39.6	21.2	-11.6
50	13.3×18.0	18.2×24.6	20.8~27.2	23.6	-14
82	9.0	12	8.4	26.3	-18.4
107	9.4	12.9	12.8~16.5	26.4	-18.6
200	5.9	8.1	10.1	30	-22.7

曳航式計量魚探機 Simrad 製 EK60

周波数(kHz)	ビーム幅 _{-3dB} (2θ)	ビーム幅 _{-3dB} (2θ)	指向性利得(dB)	等価ビーム幅(dB)
	Alongship(deg)	Athwartship(deg)		
200	14.0	14.0	28.0	-16.4
70	22.6	21.4	24.0±1	-20.7

1. 4. 解析方法

本調査事業では「第 1 フェーズ」で一部課題として残った、魚礁エコー範囲(魚群分布を計測できない範囲)を、自動的に分離識別できるシステムの構築を図った。ここで、魚礁エコー範囲の推定においては、これまで開発してきたシミュレーション法を用いて、ビーム幅による影響を考慮した魚礁エコー範囲を幾何学的に推定した。解析には 16 年 5 月期および 11 月期に普及型計量魚探機(古野電気製 ETR-30N) の 5 周波数(38、50、82、107、200 の各 kHz) で取得したデータを用いた。さらに、プランクトン、魚類(稚仔も含む)のサンプリング結果と魚礁周辺に分布する魚類の音響散乱特性や分布(昼夜変化や季節変化)に基づき、魚探機を用いて魚礁域を調査する上での対象生物の識別精度や調査範囲に関する総合的検討を行った。

2. 音響散乱層の魚類分離

中下層域音響散乱層を構成するプランクトン類や稚仔魚と魚類との分離を行うため、「1. シミュレーション法による魚礁と魚群の識別」の調査の際に、それに合わせてサンプリングネットに新たに MOHT（稚魚採集用ネット）を採用し、音響散乱層エコーの対象生物種（プランクトン類と稚仔魚）を確認すると同時に計量魚探機で音響信号を収録し解析した。

調査の詳細は、「1. シミュレーション法による魚礁と魚群の識別」を参照のこと。

3. 魚礁周辺における昼夜間の魚類など生物の移動分布の把握

魚礁の生物増集効果について、夜間調査は調査船運行上の安全確保などに制約があることから昼間調査が行われてきたが、資源量をより正確に計測できる調査の時間帯は昼間と夜間のいずれであるかの検証が必要であった。このため「1. シミュレーション法による魚礁と魚群の識別」の調査の際に、それに合わせて計量魚探機（シムラッド社製 EK-6 (38kHz, 120kHz)）で調査を実施した。特に、昼夜間で魚類など生物の分布が魚礁直上域と周辺域で、どのような変化があるのかに注力した。

なお、本調査は、収録したエコーグラムを用いて解析した。

調査の詳細は、「1. シミュレーション法による魚礁と魚群の識別」を参照のこと。

4. 蛸集効果調査の効率化

今回、「通常調査」と「2段階調査」をそれぞれ実施し、音響調査結果である音響指標値に大差がないかどうかを確認した。

ここで、「2段階調査」とは、調査強度を一定ではなく変化させ、強弱をつけて短時間に行う調査のことをいう。

なお、調査は飯岡工区（千葉県）及び風合瀬沖（青森県）の2カ所で実施した。

4. 1. 飯岡工区

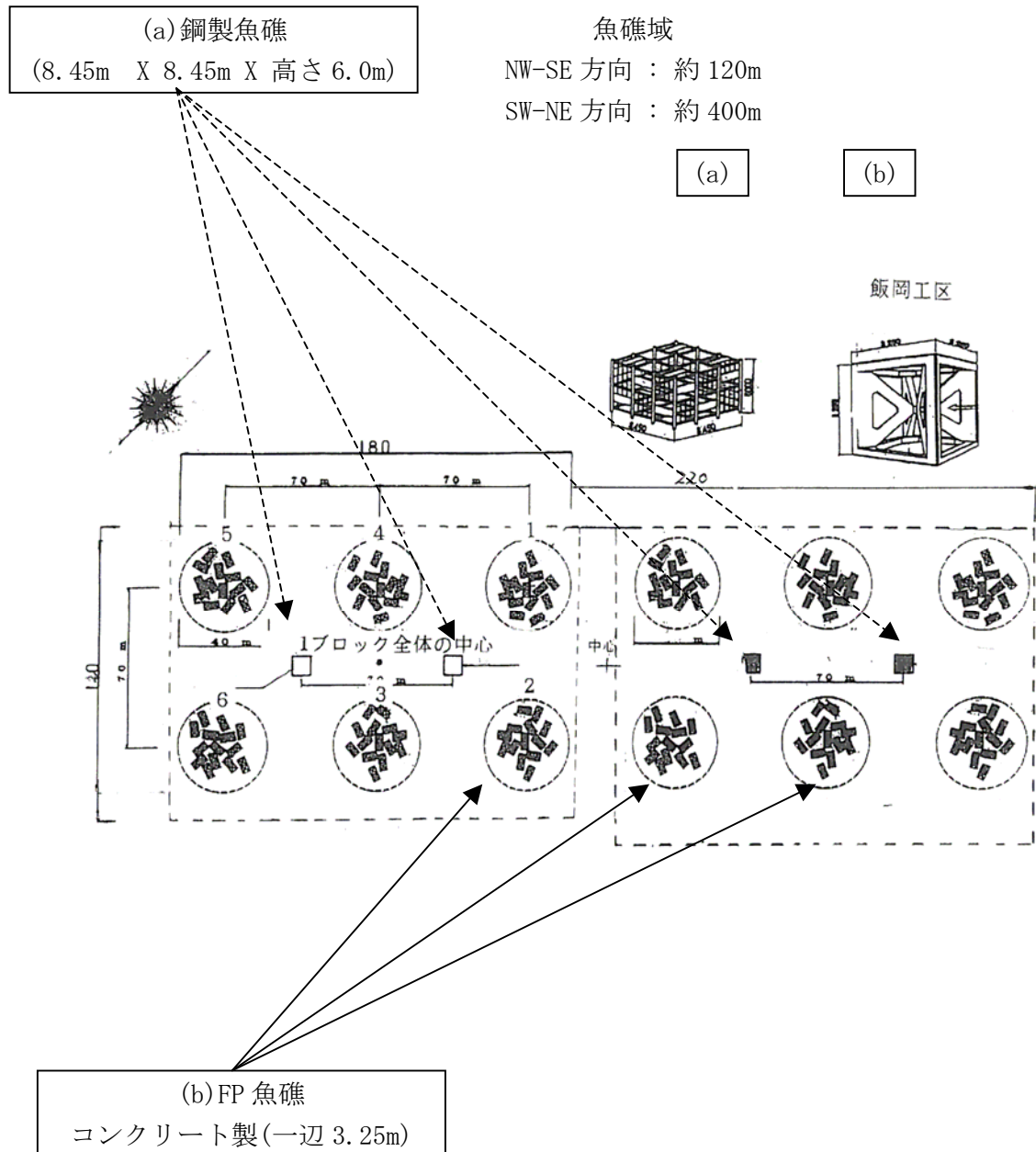
4. 1. 1 調査日程

調査には、千葉県水産総合研究センター所属漁業調査船「ふさみ丸」を用いて、千葉県の飯岡工区魚礁を対象に調査した。

1回目：5月27日～28日	飯岡工区魚礁
2回目：6月25日～26日	〃
3回目：8月6日～7日	〃
4回目：9月4日～5日	〃

4. 1. 2. 調査対象魚礁

飯岡工区魚礁



魚礁域: 位置 N 35° 32.878' ~ N 35° 33.001'
E140° 43.236' ~ E140° 43.500'
水深---27.8m ~ 30.1m (平均水深は約 29m)

図5 飯岡工区魚礁展開図

4. 1. 3. 調査方法

調査目的である広域大型魚礁における実用的な調査方法を確立するために、従来の「通常調査」と「2段階調査」をそれぞれ実施し、検証を行った。

1回目：夜明け後「2段階調査」、続いて「通常調査」を実施

3、4回目： 同上（各2日間）

具体的な調査線の設計は次に示す通りである。それぞれの調査前に水深ごとの水温分布測定を実施して簡易型計量魚探機を校正し、潮流も同時に観測した。

<通常調査> 図6「飯岡工区魚礁の通常調査方法」に示す。

調査強度：22

調査線数：23本（図6の丸数字で表示）

調査線間隔：70.7m

所要時間	4.5時間
------	-------

<2段階調査> 図7「飯岡工区魚礁の2段階調査方法」に示す。

全体調査

調査強度：13

調査線数：15本（図7の丸数字で表示）

調査線間隔：119.7m

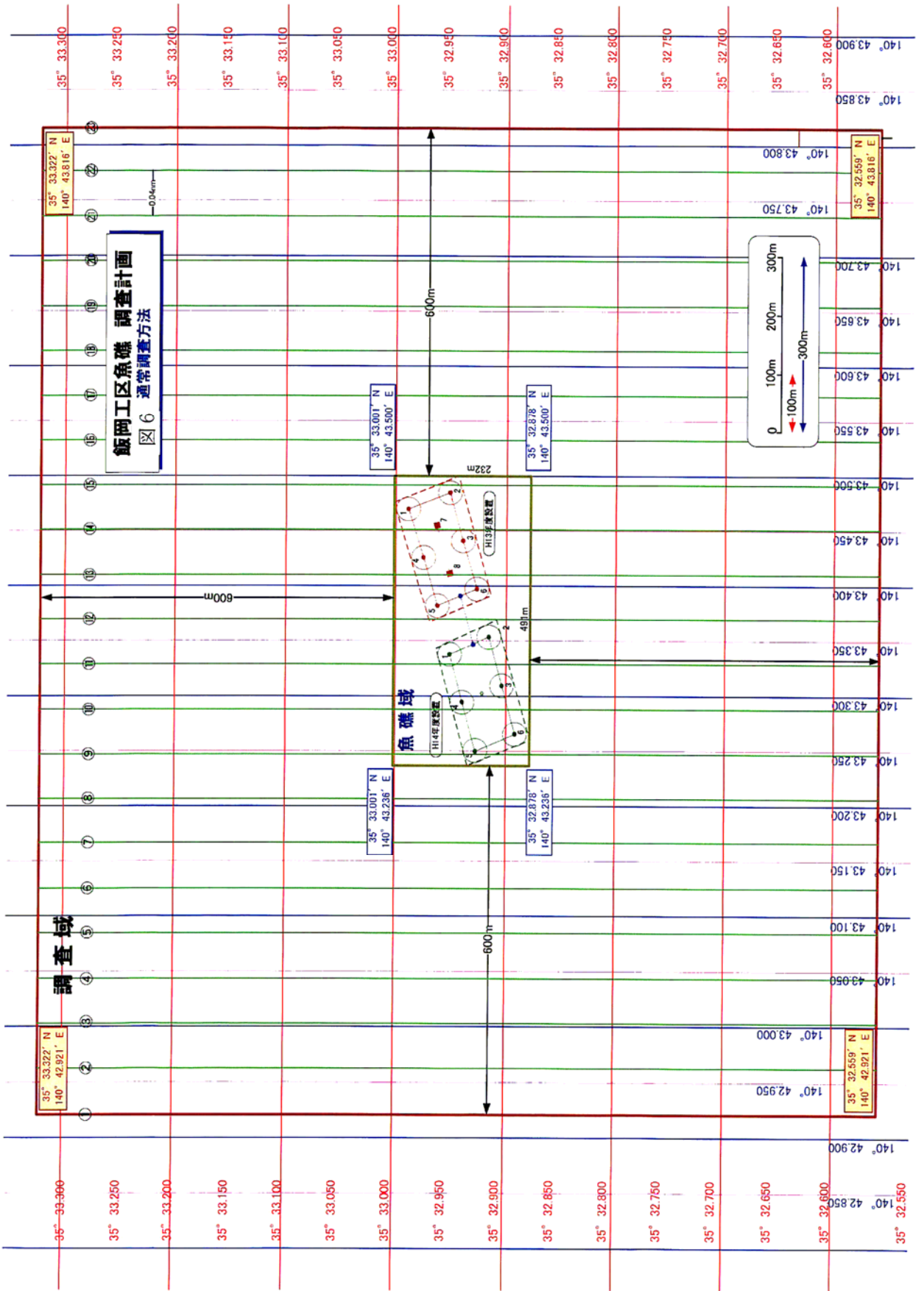
詳細調査

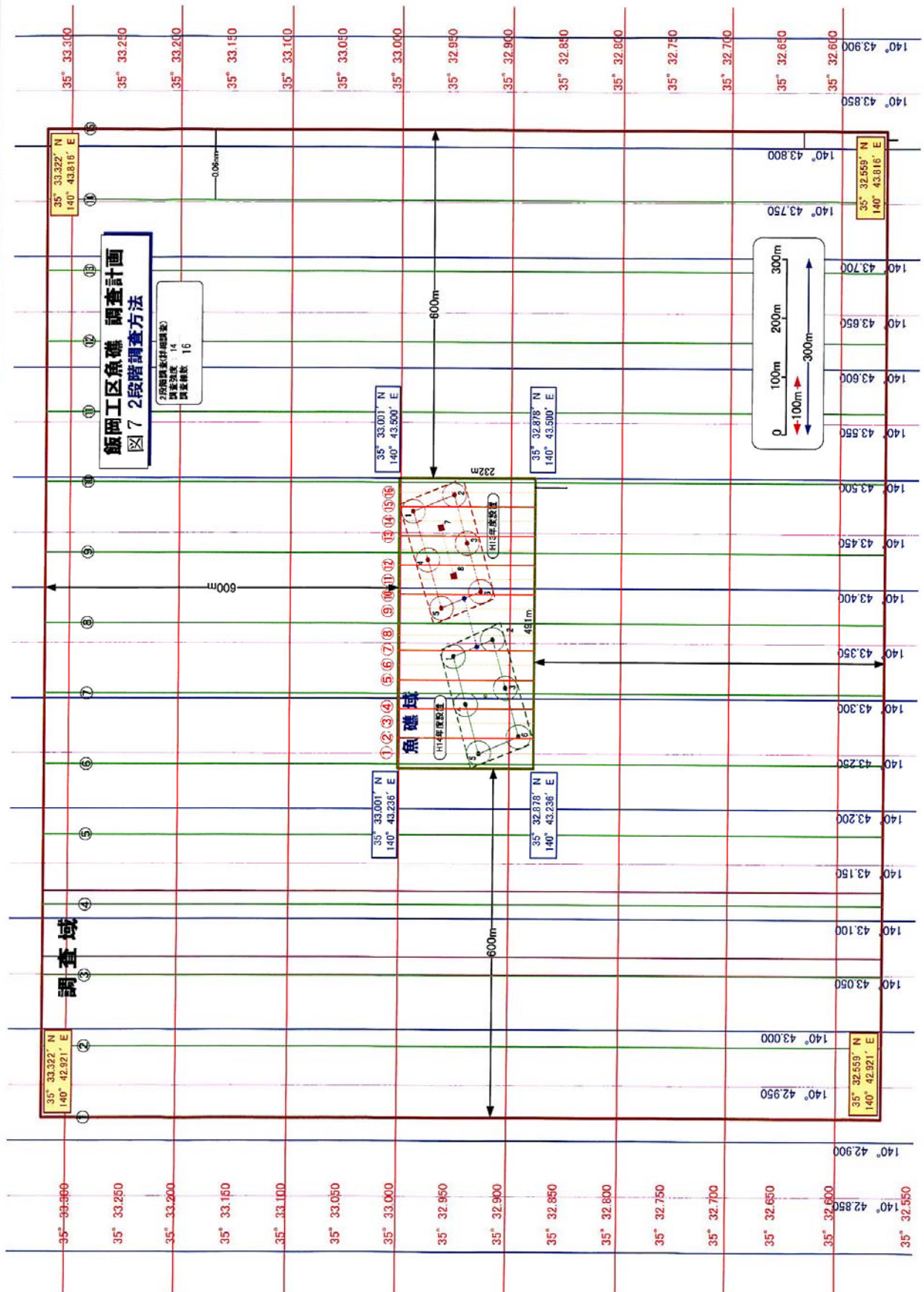
調査強度：14

調査線数：16本（図7の丸数字で表示）

調査線間隔：24.1m

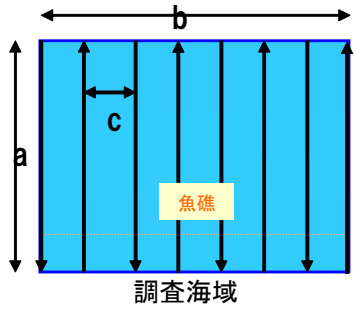
所要時間	5時間
------	-----





調査強度、調査線数、調査間隔の算出

調査線設計に必要な調査強度、調査線数および調査線間隔は次の式から求めることができる。



音響調査線概要図

$$D(\text{調査強度}) = \frac{\text{調査線全長}}{\sqrt{\text{調査面積}}} \text{ ----- 基本式}$$

調査線全長 = $a N$, 調査面積 = $a b$

$$N(\text{調査線数}) > D \sqrt{\frac{b}{a}} \quad C(\text{調査線間隔}) < \frac{b}{N-1}$$

前項5.2.1の5)の条件に当てはめると

[通常調査]では次の式を適用する。

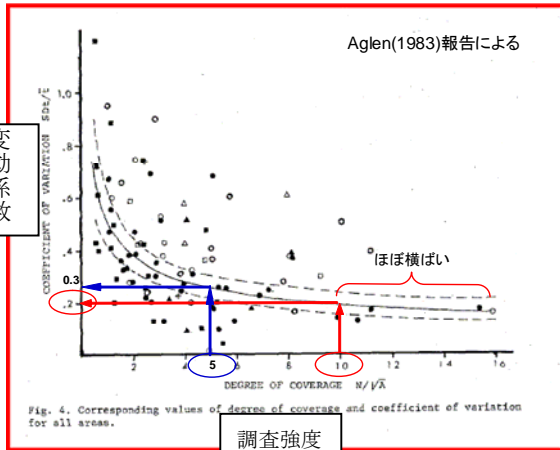
$$D(\text{調査強度}) = \frac{\text{調査線全長}}{\sqrt{\text{調査面積}}} \geq 10 \text{ ----- B式}$$

$$N(\text{調査線数}) > 10 \sqrt{\frac{b}{a}}$$

[2段階調査の全体調査]では次の式を適用する。

$$D(\text{調査強度}) = \frac{\text{調査線全長}}{\sqrt{\text{調査面積}}} \geq 5 \text{ ----- C式}$$

$$N(\text{調査線数}) > 5 \sqrt{\frac{b}{a}}$$



変動係数

調査強度

調査強度と変動係数

文献 : Aglen, A. [1983] Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied FAO Fish.Rep., 300, 293-298

4. 2. 風合瀬沖

4. 2. 1. 調査日程

調査には、青森県水産総合研究センター所属漁業調査船「青鵬丸」を用いて、風合瀬沖魚礁を対象に計量魚探機（EK-500 SIMRAD 製）で調査した。

1回目： 7月24日 計量魚探の較正、7月25日 航走調査

2回目： 11月26日 航走調査

4. 2. 2. 調査対象魚礁

青森県西津軽郡深浦町風合瀬沖魚礁

4. 2. 3. データ解析方法

4. 2. 3. 1. データ解析のための設定

データの解析には Echoview (Myriax Software 製、バージョン 2.25) を使用した。”ガイドライン”に基づき境界深度等を図8のように設定した。

確認された魚礁エコーの中で最も高い魚礁の頂上から2m浅い深度を「魚礁境界深度」とし、それと海底ラインとの距離（本解析では6.45m）を幅とする魚礁境界深度より下の層を「境界深度下部」とした。また、魚礁境界深度よりも上の層を「境界深度上部」とした。「海底ライン」は海底エコーが解析に含まれないようにするため海底上1mとした。境界深度上部では、送受波器から5mのところを「表層境界深度」とし、表層付近の残響などを除外した。境界深度下部では、魚礁エコーが含まれると大きな誤差となるので、エコーグラムのカラーを変化させて魚礁エコーの輪郭を推測し、海底ラインを手動で修正した。なお、泡などによる不要なエコーは適宜除外した。

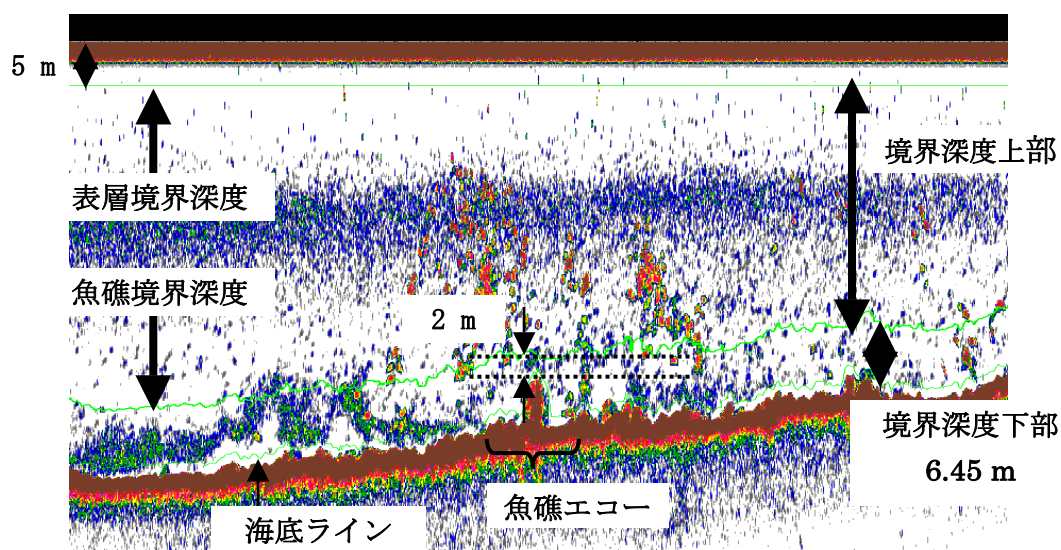


図8 解析範囲の定義

[音響指標] 算定の概念図

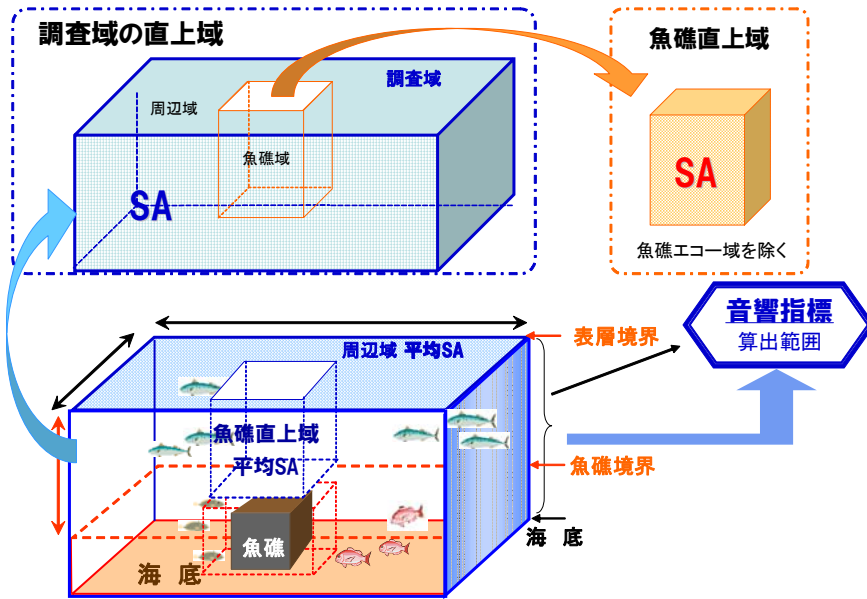


図-9 [音響指標] 算出の概念図

5. 魚礁の生物蛸集効果範囲の把握

音響技術手法による魚礁の生物蛸集効果の評価を行うには、基盤となる魚礁の正確な位置と配置状況を特定する必要がある。しかし、現実には魚礁の設置状況が不明確な例が数多く見受けられる。評価以前に、魚礁と天然礁が存在しており、魚礁域として評価する適切な範囲を設定する必要があるが、困難な場合がある。そのため、精査には、マルチビームソナーなどの特殊な機材が必要で、労力と費用面で新たな出費を余儀なくされることから、ほとんど実施されていないのが実態である。

今回、青森県の風合瀬沖魚礁では広範囲に魚礁ブロックが配置されており、正確な魚礁の設置場所と分布範囲を把握するための事前調査を「2段階調査」方法により実施した。

5. 1. 調査方法

古い魚礁では、魚礁が海底でどのように配置されたか不明な場合が多く、魚礁域が不明な例がしばしば見受けられる。このような場合は、根気よく魚礁を確認する作業が求められる。しかし、魚礁が設置されている周囲の海底状況によっては、小さな魚礁ブロックなどは、魚探機に捉えることが難しい。このような場合は、できる限り調査範囲を広げて、魚礁域が外れない工夫が必要となる。しかし、現実には膨大な調査時間を要するため実施されていない。従って、このような場合に「2段階調査」方法が適用できるか青森県風合瀬沖の魚礁を対象に検証を行った。

1回目調査では魚礁域の事前調査に基づき、調査設計を行い調査した。その結果図10に示す通り、調査域がほぼ魚礁域と同じであることが判り、調査域の周辺にも魚礁が確認された。

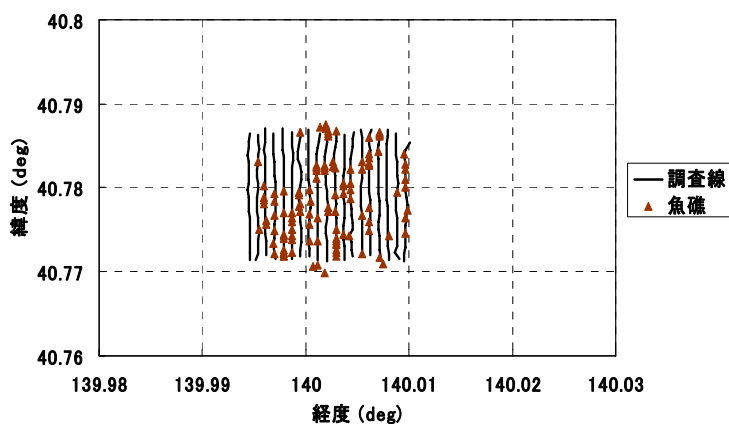


図10 風合瀬沖魚礁の第1回目調査結果

このことから、第2回目調査では、魚礁域が東西1449m、南北1573mに対し、調査域を東西2649m、南北2773mとし、魚礁域と調査域とが区別できるようにした。このため、「2段階調査」方法を適用し、魚礁域と調査域を航走する「全体調査」を行った後、魚礁域を「詳細調査」することとした。その場合の調査線の設計は船速8ktで以下の通りとした。

全体調査：調査強度---11.7、調査線間隔---0.13nm、調査線数---12本(船速8kt)

詳細調査：調査強度---11.5、調査線間隔---0.07nm、調査線数---12本(船速8kt)

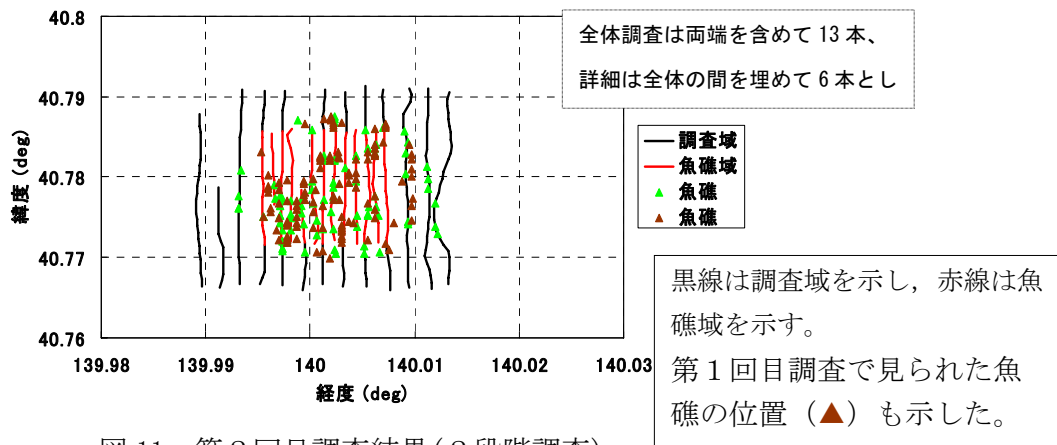


図 11 第2回目調査結果(2段階調査)

5. 2. 調査日程

調査には、青森県水産総合研究センター所属漁業調査船「青鵬丸」を用いて、風合瀬沖魚礁を対象に計量魚探機 (EK-500 SIMRAD 製) で調査した。

1回目: 7月24日 計量魚探の較正、7月25日 航走調査

2回目: 11月26日 航走調査

5. 3. 調査対象魚礁

青森県西津軽郡深浦町風合瀬沖魚礁

VI. 調査結果

1. シミュレーション法による魚礁と魚群の識別

5周波数（38、50、82、107、200の各kHz）の普及型計量魚探機により、船速、航走針路、ビーム幅およびパルス発射回数を変動パラメータとして、魚礁の直上を3ノットで通過した場合の音響計測シミュレーションを行った。図12の上図はシミュレーションにより、200kHzのビーム幅を3度から33度まで一様に変化させて魚礁エコー範囲を幾何学的⁴⁾に再現した結果である。

さらに、シミュレーションによって得られたping毎の時間、位置（緯度・経度）および水深情報を、Echoviewが直接読み込めるファイル形式（EVL）に自動的に変換するプログラムを作成した。これにより、シミュレーション法によって再現された魚礁エコー範囲を音響解析ソフトEchoviewのエコーグラム上に自動的に描画することが可能となった（図12下図）。また、シミュレーションの結果から、図12の下図に示す魚礁横のエコーは33度のビーム幅を有するサイドローブにて探査された画像であることが判った。

そこで、5周波数（38、50、82、107、200の各kHz）の普及型計量魚探機を用いて、高層魚礁とH10年魚礁を対象に計測した場合、各魚礁がどれ位のビーム幅に基づいて画像化されたものかシミュレーション法により調べた。図13は高層魚礁およびH10年魚礁の周波数毎のエコーグラム上に、シミュレーションで得られた魚礁エコー範囲を重畳した結果である。緑で示すラインがシミュレーションで再現された魚礁エコー範囲である。この結果、高層魚礁は38kHzで24度、50kHzで20度、82kHzで10度、107kHzで16度、200kHzで33度を示し、-3dBの公証のビーム幅（ 2θ ）より広いビーム幅で探知された画像であることが推察された（表2）。

一方、H10年礁の画像は、38kHzで20度、50kHzで15度、82kHzで10度、107kHzで12度、200kHzで16度を示し、いずれも高層魚礁と同様に-3dBの公証のビーム幅（ 2θ ）より広いビーム幅で探知されていたことが判った（表2）。また、高層魚礁とH10年魚礁を比べると、H10年魚礁は高層魚礁より比較的狭いビーム幅で画像化されていることが判った。

これらの結果の違いは、対象とする魚礁の高さや形状あるいは船の航走の仕方が影響しているものと考えられた。

以上の結果から、ビーム幅に基づくシミュレーション法は形状が異なる様々な魚礁に対し、エコーグラム上に魚礁エコー範囲を自動描画できる汎用性のあるプログラムであることが検証できた。

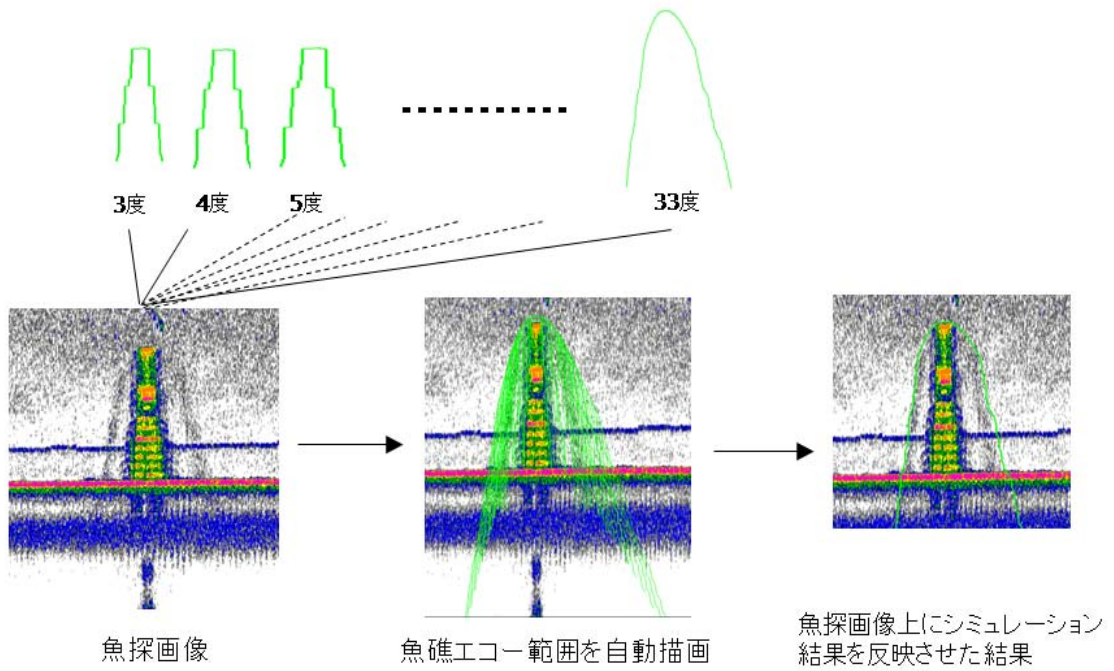
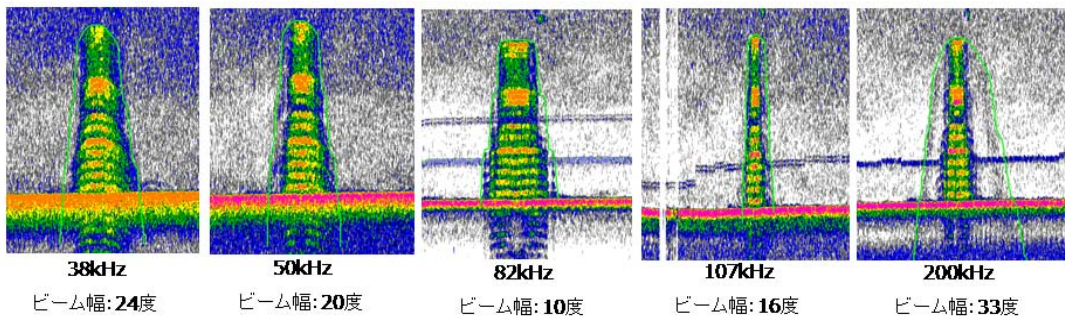


図 12 38kHz の場合シミュレーション法により推定された魚礁エコー範囲(上図)とエコーグラム上に魚礁エコー範囲を反映した結果(下図)

<高層魚礁>



<H10年魚礁>

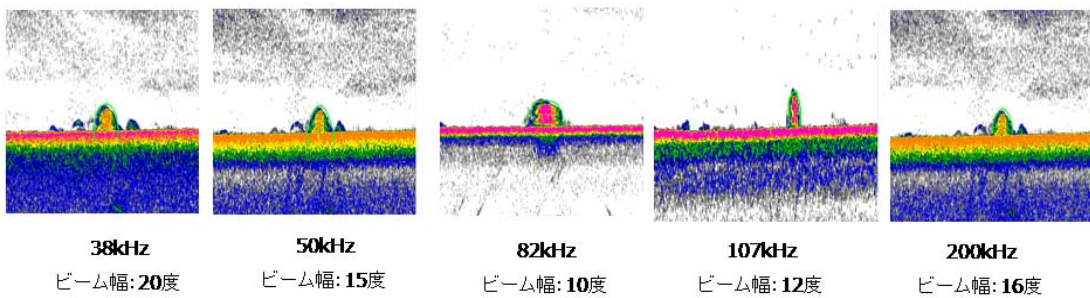


図 13 シミュレーション法により推定された魚礁エコー範囲(高層魚礁: 上図, H10年魚礁: 下図)

表2 シミュレーション法により推定されたビーム幅と実際の魚探機のビーム幅

高層魚礁

	38kHz	50kHz	82kHz	107kHz	200kHz
Simulation結果(deg)	24	20	10	16	33
実際のビーム	メインビーム	メインビーム	メインビーム	第1サイドローブ	第2サイドローブ
ビーム感度(dB)	-25	-24	-15	-18	-25
-6dBの半減角	10.4	9.1	6	6.45	4
-3dBの半減角	14.4	6.65	4.5	4.7	3

H10年礁

	38kHz	50kHz	82kHz	107kHz	200kHz
Simulation結果(deg)	20	15	20	12	16
実際のビーム	メインビーム	メインビーム	メインビーム	第1サイドローブ	第2サイドローブ
ビーム感度(dB)	-18	-10	-15	-19	-24
-6dBの半減角	10.4	9.1	6	6.45	4
-3dBの半減角	14.4	6.65	4.5	4.7	3

2. 音響散乱層の魚類分離

魚礁と魚群の分離識別はこれまで、魚探機により得られた SV 値の分布に基づいて、二値化処理技術を応用した判別分析法（平成 16 年度開発）により行われてきた。そこで、二値化画像処理技術を用いて魚礁と魚群を分離識別した結果と、シミュレーション法による結果とを比較した。

この結果、シミュレーション法を用いて得られた魚礁エコー範囲の面積は、二値化処理技術を用いて得られたそれに比べ、高層魚礁で平均約 1.6 倍、H10 年魚礁で平均約 1.8 倍大きい値を示した（図 14、表 3）。すなわち、このことは従来の二値化処理技術による判別分析法を用いた方法だけでは、魚礁に蟄集する生物量を過大に評価してしまうことを意味する。そこで、実際にどの程度生物量を過大に評価してしまうのか調べるため、赤色で示す過大評価エリア内における魚類の蟄集量を、魚探機により得られた SA 値を基に推定した。そのためには、魚礁に蟄集する魚類の 1 個体あたりの反射強度を示すターゲットストレンジスを求める必要がある。今回は Hamano and Nakamura (2001) が同海域において調べた平均体長 17.4 cm、平均重量 46.5 g のマアジ (*Trachurus japonicus*) のターゲットストレンジス (-42.6 dB) を用いた。

この結果、高層魚礁では平均 H10 年魚礁では平均 過大に評価されていることが分かった。以上の結果から、シミュレーション法を用いることで魚礁タイプ別の蟄集魚群を対象として、魚礁エコー範囲の識別処理技術の高精度化を図ることができた。

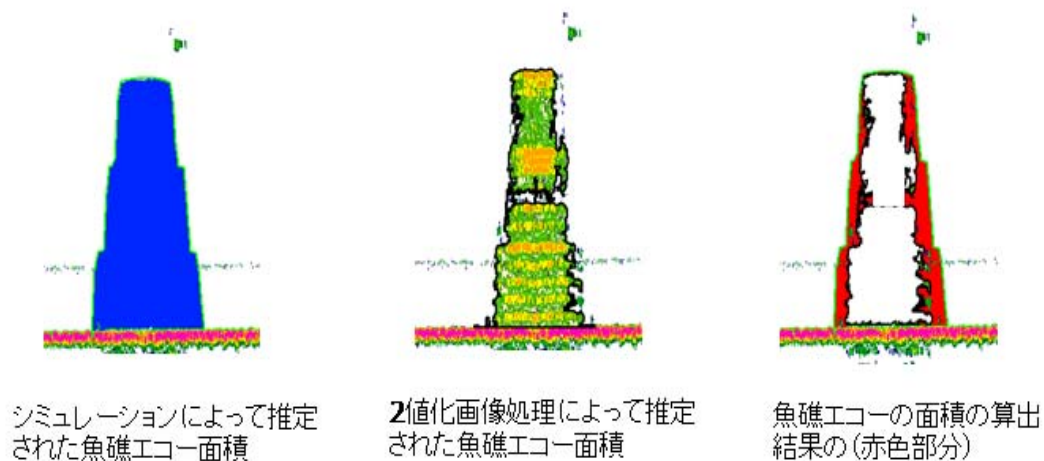


図 14 二値化画像処理とシミュレーション法により推定された魚礁エコー範囲

表3 二値化画像処理とシミュレーション法により推定された魚礁エコー範囲の比較

高層魚礁

	シミュレーション面積 (m ²)	2値化面積 (m ²)	面積差 (m ²)	SA (dB)	Density (individual/m ²)	重量密度 (g/m ²)	Abundance (g)
No.1	894.7	552.6	347.2	-46.5	0.406	18.876	5339.5
No.2	863.4	359.6	503.8	-46.4	0.420	19.521	9834.9
No.3	856.3	507.0	352.3	-44.9	0.588	27.338	9631.4
No.4	825.0	693.8	131.2	-59.9	0.023	1.089	142.8
No.5	888.0	739.4	148.5	-51.9	0.118	5.491	863.8

H10年魚礁

	シミュレーション面積 (m ²)	2値化面積 (m ²)	面積差 (m ²)	SA (dB)	Density (individual/m ²)	重量密度 (g/m ²)	Abundance (g)
No.1	221.3	159.2	62.2	-62.0	0.011	0.532	33.1
No.2	148.4	110.1	38.	-74.7	0.001	0.029	1.09
No.3	191.8	76.7	115.1	-53.8	0.075	3.491	401.7
No.4	190.0	87.2	102.9	-52.0	0.114	5.284	543.6
No.5	192.6	122.0	70.5	-56.2	0.043	2.010	142.9

3. 魚礁周辺における昼夜間の魚類など生物の移動分布の把握、

魚礁周辺に蟄集する生物の分布は昼夜や季節によって変化する可能性が考えられる。そこで、本項では平成20年5月期に実施した調査結果に基づいて、魚礁周辺における生物分布の昼夜変化について調べるとともに、魚礁の設置効果を評価する上での調査範囲の検討を行った。

図15および図16は、70 kHzの曳航式計量魚探機により魚礁中央部（以降、魚礁群の中心部のことをいう）と中央部から500 m離れた地点において、昼夜で観測されたエコーグラムの一例である。

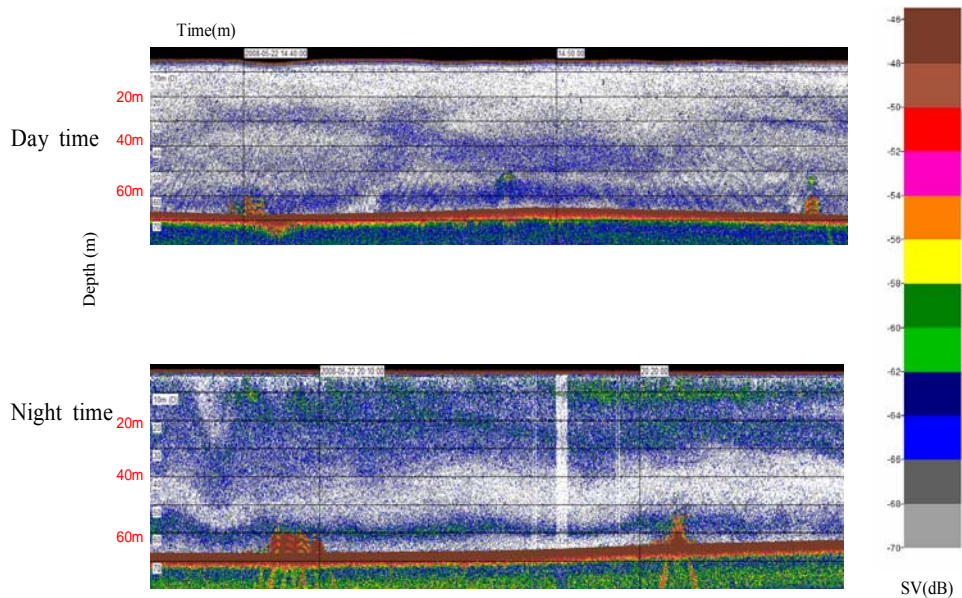


図15 魚礁中央部で得られた昼夜のエコーグラム

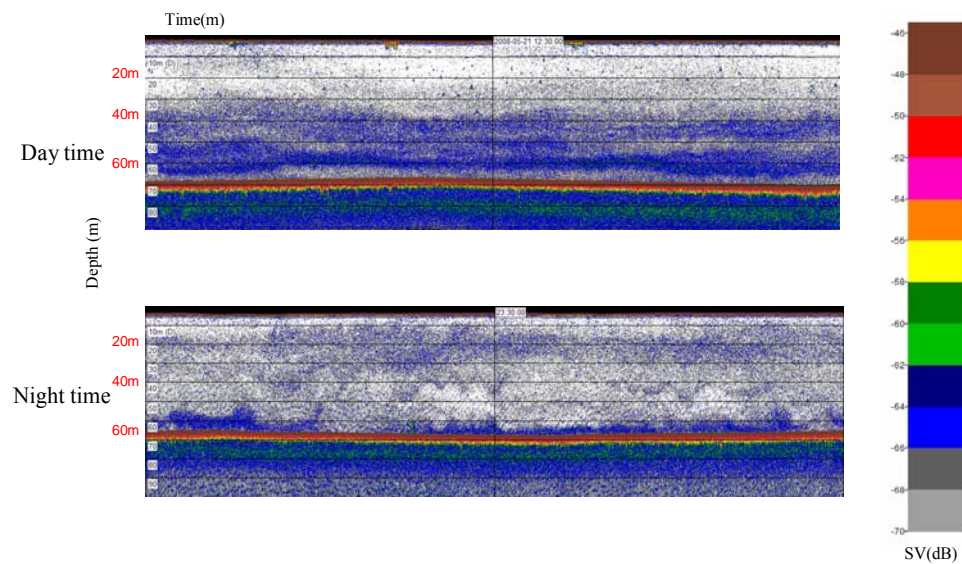


図16 魚礁中央部から500m離れた地点で得られた昼夜のエコーグラム

各図で上側が昼間、下側が夜間の結果を示している。ここではバックグラウンドノイズを除去するために、 -75dB の閾値を設定した。

これらの図が示すように、昼間の魚礁中央部では35m以深から海底付近で、SV値が -65 dB 前後を示す音響散乱層が観測された。夜間は昼間と同様に海底付近で音響散乱層が観測されるとともに、35m以浅で、昼間では観測されなかった濃密な音響散乱層が観測された。

一方、魚礁中央部から500m離れた地点では、昼間は35m以深から海底付近にかけて音響散乱層が観測され、夜間になると音響散乱層は35m以浅で観測されたが、その分布密度は魚礁中央部で観測された値よりも低い傾向を示した。図17は、魚礁域全域における生物分布の昼夜変化を調べるため、図15および16のエコーグラム上で音響散乱層が観測された表層から水深35mまでと、特徴的な反応がみられた35m以深の平均SV値を、GIS (ESRI製; ArcGIS ver. 9.0) のバッファリング機能を用いて、魚礁中央部から50m間隔で500mまでの範囲を空間抽出した結果である。縦軸は平均SV値を示し、横軸は魚礁群の中心からの距離である。

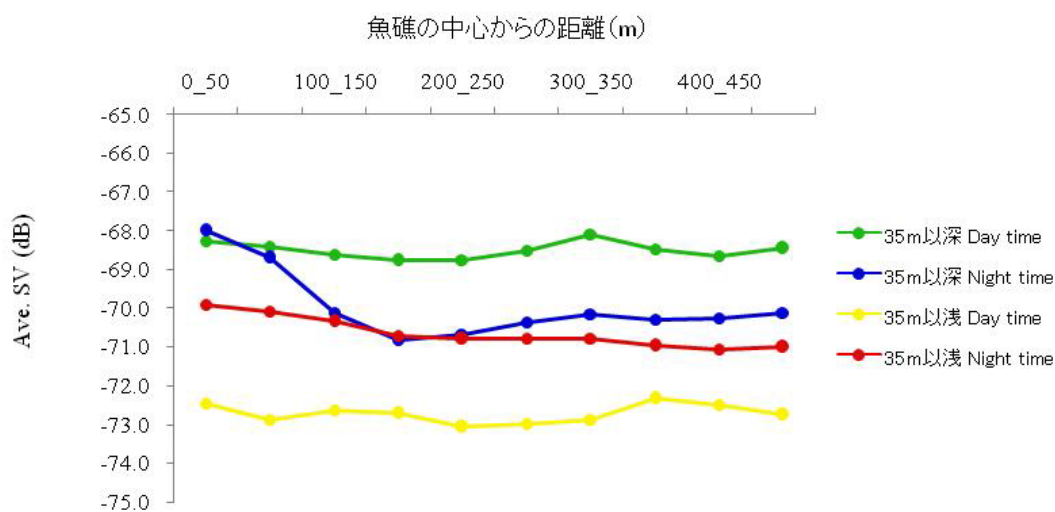


図 17 魚礁周辺で得られた平均 SV 値の昼夜間での比較

この図から、表層から35m層における平均SV値は、次の通りである。

(a) 魚礁中央部から50m以内では、昼間： -72.5dB 、夜間： -69.9dB を示し、夜間の方が昼間に比べ約 2.6dB 高い値を示した。

(b) 魚礁中央部から100m以遠では、昼間：平均 -72.7dB 、夜間：平均 -70.8dB と昼夜間の平均SV値の差は 1.9dB を示した。

一方、35m以深の層における平均SV値は同様に次の通りであった。

(c) 魚礁中央部から50m 以内では、昼夜間で約 -68.0dB と同程度の値を示したのに対し、それ以遠では特に夜間において魚礁群の中心から距離が離れるに従って平均SV値が徐々に低下する傾向が見られた。そのため、昼夜間の平均SV値の差は昼間の方が夜間に比べ平均約 1.8 dB 高い値を示した。

これらの結果から、一つの仮説として昼間海底付近に広く分布していた生物は、夜間魚礁中央部付近へと移動したものと推察される。

4. 蛸集効果調査の効率化

4.1. 飯岡工区

飯岡工区魚礁における「2段階調査」と「通常調査」による比較検証を行った結果は、表4に示す通り、「ガイドライン」に定義する「音響指標算出範囲」の音響指標値がほぼ等しいことから、「2段階調査」方法でも広域大型魚礁における生物蛸集効果評価には問題なく対応できることが実証できた。

表4 飯岡工区魚礁における音響指標の比較

飯岡工区	2段階調査	通常調査	
第1回目	0.71	0.26	5月 27日
第3回目	1.00	1.05	8月 6、7日
第4回目	1.20	1.10	9月 4、5日

第1回目の算出結果がどちらも「1.0」以下であるのは、調査時の音響エコーグラムも加味して判断した結果、魚礁の上よりも周辺に多く魚群が分布したことを意味する。また、第1回目のみ、夜明け直後の06:28より2段階調査を開始し、09:52から通常調査を行った。そのため、潮変わりした状況下で潮流が異なることから、通常調査時の方が魚礁から離れた場所で濃密な魚影が分布していたことが判明しており、音響指標値に差が出たものと考えられる。

この点を考慮して、3回目と4回目には2日間に分けて、ほぼ同じ時間帯で調査を行った結果、同等の値が得られた。エコーグラムの状況を図18に示す。

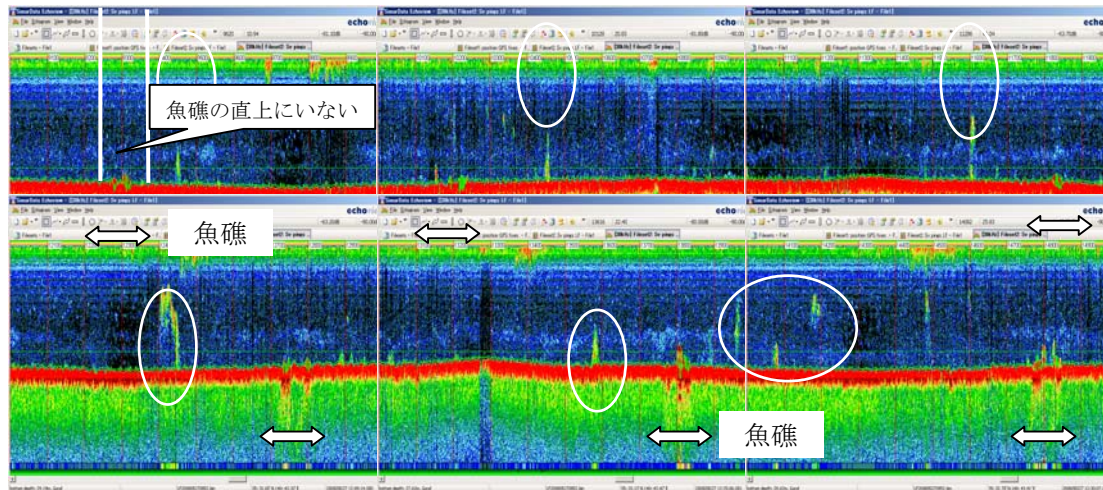


図18 第1回目の通常調査時のエコーグラム

4. 2. 風合瀬沖

4. 2. 1. 第1回目調査

SA マップを図 19 に、平均 SA の値を表 5 に、エコーグラムを一例を図 20 にそれぞれ示す。魚礁の位置と SA マップを比較すると、魚礁と SA の分布に相関はあまり見られなかった。値の大きな SA は多数見られたが、これらのエコーは図 20 のような境界深度上部にいた浮魚類と考えられる。魚種確認のため釣りを試みたがサンプルは得られなかった。平均 SA は境界深度上部の方が下部よりも 4.1 dB 大きかった。

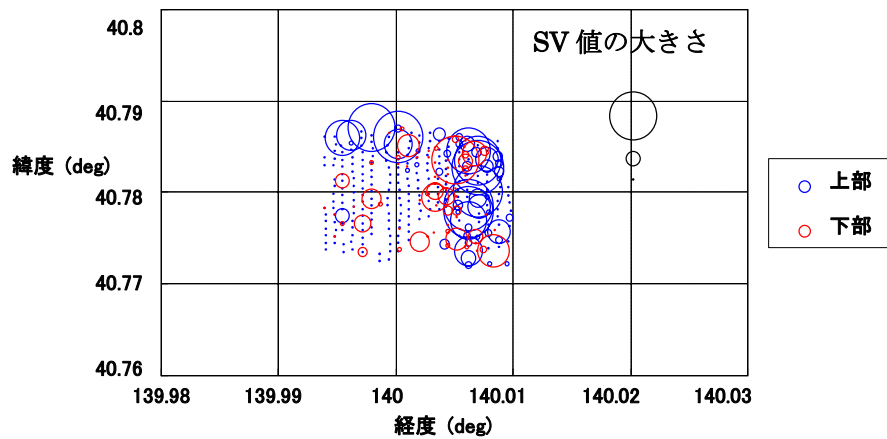


図 19 第1回目調査の SA マップ

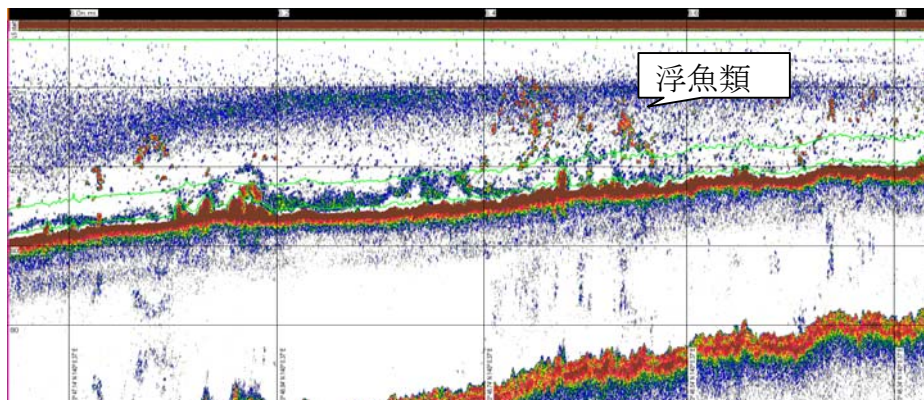


図 20 第1回目調査で得られたエコーグラムの一例

表 5 第1回目調査で得られた平均 SA

	平均 SA (dB)
境界深度上部	-49.3
境界深度下部	-53.4

4. 2. 2. 第2回目調査

SA マップを図 21、22 に、平均 SA と音響指標の値を表 6 に、エコーグラムの一例を図 23 にそれぞれ示す。魚礁の位置と境界深度上部の SA マップを比較すると、東側の 3 本の調査線を除けば、魚礁の位置と SA の分布には相関があることが判る。エコーグラムを確認したところ、あまり大きくはないが第 1 回目調査で見られたような魚群のエコーが見られた。別途、行われた標本船釣獲調査によれば、30cm 以下のブリ幼魚が釣獲されており、第 1 回目調査でも見られたエコーはこのような魚種である可能性が高い。境界深度下部では、魚礁の位置と SA の分布には相関は見られず、境界深度上部より値の大きい SA が局所的に見られた。音響指標は、境界深度上部で 1.24、境界深度下部で 1.35 であった。

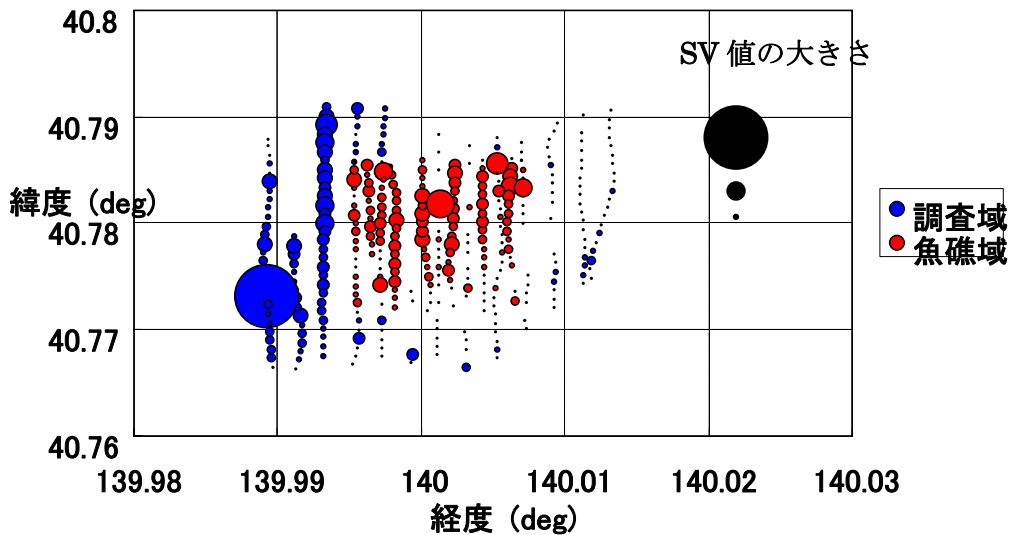


図 21 第2回目調査で得られた SA マップ(上部)

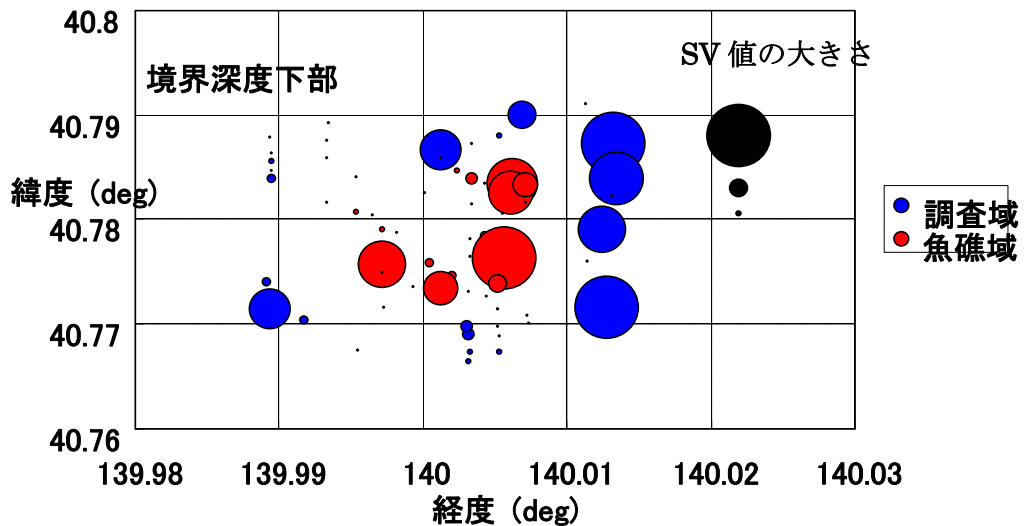


図 22 第2回目調査で得られた SA マップ(下部)

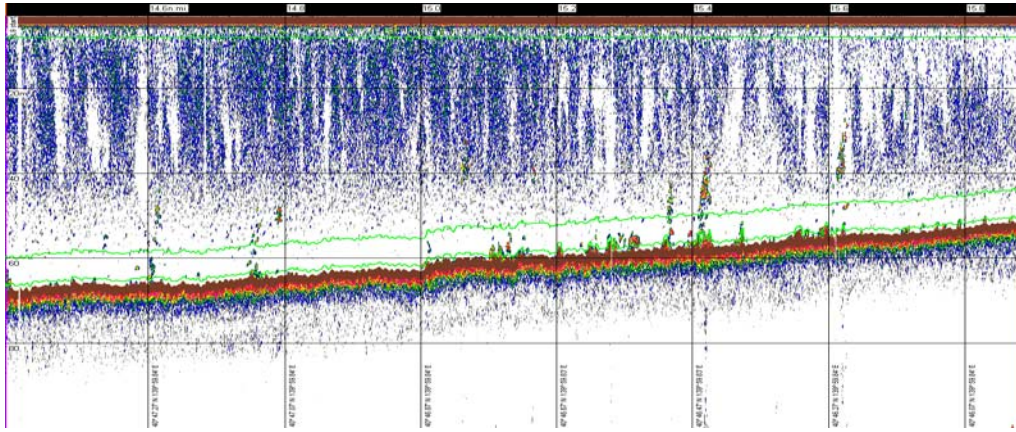


図 23 第 2 回目調査で得られたエコーグラムの一例

表 6 第 2 回目調査で得られた平均 SA と蝸集効果音響指標

		平均 SA (dB)	平均 SA (線形量)	音響指標
境界深度上部	魚礁域	-49.05	1.245×10^{-5}	1.24
	調査域	-49.99	1.001×10^{-5}	
境界深度下部	魚礁域	-51.84	6.542×10^{-6}	1.35
	調査域	-53.14	4.851×10^{-6}	

以上、1 回目調査結果を踏まえた 2 回目調査結果から、風合瀬沖魚礁のように天然礁と魚礁が混在している広範囲な魚礁域では、魚礁域のみを対象とした調査と天然礁も含めた広範囲な調査とを組み合わせた「2 段階調査」方法が、生物蝸集効果を把握するために有効であることが判った。

5. 魚礁の蛸集効果範囲の把握

昼夜において表層から海底までの全層で得られた平均SV値の結果に基づき、魚礁の設置効果を評価するための「魚礁の生物蛸集効果範囲」について検討した。

ここでは魚礁域において昼夜で生物量に差が見られなくなる距離を「魚礁の生物蛸集効果範囲」として、昼夜に全層で得られた平均SV値の差の連続性をコレログラムを用いて調べた。この結果を図24に示す。縦軸は昼夜で得られた平均SV差の自己相関係数を示し、横軸は魚礁中央部からの距離を示している。この図から、魚礁中央部から120～140mの地点において自己相関係数が0となり、昼夜でのSV差の連続性が失われることが判った。また、その自己相関係数は200mまで同程度の値を示した。これらの結果は、小川（1968）⁵⁾や柿元（1967）⁶⁾の報告とほぼ一致した。

以上の結果と既報の知見を総合的に考察すると、魚礁の生物蛸集効果範囲は140～200mであることが判った。

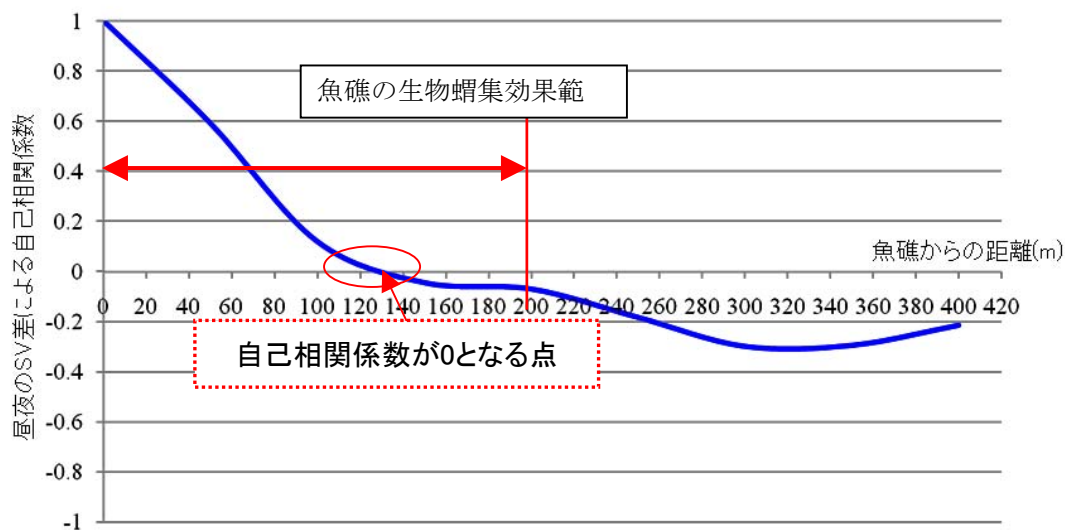


図 24 昼夜間の SV 差のコレログラム

VII. 考 察

今年度の調査では、音響技術手法による魚礁の生物蛸集効果評価を行うための基本技術課題を解決することができた。この成果を受けて、魚礁設置に伴う魚礁の生物蛸集効果評価を「音響指標値」としてモニタリングでき、さらには魚礁の「生物蛸集量」を定量的に推定できることとなった。

特に、昨年度までは”ガイドライン”に魚礁境界下部の魚礁を含む範囲については、「特殊解析範囲」として位置づけ、あくまで参考値としてきたが、今後は海面から海底までのすべての範囲について音響指標値として算出することが可能となった。従って、音響指標算出に当たっては、表層から海底までの全層を「音響指標算出範囲」と定め、”ガイドライン”の改定を行うが、「生物蛸集量」については推定値であることから参考値として取り扱うこととした。

以下、本技術開発の成果は以下のとおりである。

(1) シミュレーション法による魚群と魚礁の識別手法が確立できた。

第1フェーズにおいて、「2値化処理法」を開発したが、複雑な魚礁のエコーに対しては計算式によって自動的に処理することには限界があり、また、資源評価が過大評価されることから、これらを解決する手法としてシミュレーション法を開発し、魚群と魚礁の識別手法が確立できた。

(2) 音響散乱層の生物種の確認および音響手法(高周波・低周波によるSV差分法)による魚類分離が有効に機能することが判った。今後多くの調査事例による分析を経て、自動的に行えることを期待する。このことにより技術的には、開発の成果として、分離された魚類のエコーグラムから魚礁の生物蛸集量を自動化処理により資源評価を推定することが可能となったと言える。

(3) 音響調査手法によって、昼間は魚礁およびその周辺に幅広く分布している魚類などの生物が、夜間には魚礁の直上域付近に濃密な分布を形成することを示唆することができた。

従って、調査範囲全域内の魚類など生物の蛸集量は昼間と夜間ではほぼ同量であることも算定できた。今後、この手法を用いて多数の調査を行い、事例解析する必要がある。

(4) 昼夜間の音響調査データを基にSV差分法を用いて魚礁域の中心から距離ごとに解析した結果、
魚

礁の生物蛸集効果範囲は120m~200m程度であり、最大で200m未満程度であることが実証できた。

(5) 魚礁の音響調査では原則として”ガイドライン”に示す調査強度などの調査設計およびその手法に基づき「通常調査」方法で実施するが、広域大型魚礁の規模や魚礁域が不明な魚礁においては、「2段階調査」方法によっても「通常調査」方法と比較して問題がないことが千葉県および青森県における調査結果で実証できた。しかし、魚礁の音響調査は、基本的には「通常調査」方法により行うものとする。

(6) 今回調査で、魚類などの生物資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把握できた。このことは、回遊性魚類(浮魚類)についても、魚礁の蛸集効果を定量的に把握できることを示唆しており、「水産基盤整備事業」による科学的かつ効率的な魚礁設置による資源の確保と増殖への貢献が期待される。

(7)平成 20 年度の成果を踏まえた調査手法について

- a)魚礁の形状・規模に関係なく、魚礁域の東西南北方向の端から 600m の範囲を調査域とし、調査強度を 10 以上(従来は 5 以上)に高めることとする。
- b)広域大型魚礁では、調査時間の制約や効率的調査実施の観点から、「2 段階調査」方法すなわち、調査域の「全体調査」と魚礁域の「詳細調査」を行う方法を新規に設定する。原則は「通常調査」であることから、調査計画の段階で「通常調査」か「2 段階調査」のいずれの方法が適切かを検討し決定する。
- c)従来「音響指標」に加え、魚礁の「生物蛸集量」を推定値として算出できることとする。なお、算出に当っては当該魚種や魚体長などの[TS]値がまだ少なく、魚礁の代表的な底生性魚類などの知見が殆どないので、これらの収集が今後の課題であり、当面の適用に際しては専門家の意見を求めるなどの注意が必要である。

以上、本年度で基本的な調査手法は技術的に解決できたと考えられる。また、各調査ごとに使用機材が一部異なる状況で実証調査を行ってきたが、計量化機能を持つ魚探機は魚礁調査においても有効に機能し、活用できることが実証できた。特に、「音響指標」は客観的指数として、その計算プロセスでは物理量を扱うことから、調査方法が同じであれば誰が行っても同じ答えが出せるという最大の利点があり、全国展開には不可欠で強力な手法となろう。さらに、魚類の現存量を推定する手法についても、浮魚類では、釣獲調査などを増やせば魚種・体長の確認が見込まれ、SA から分布密度へ換算し、現存量を推定することが可能であることを実証できた意義は大きい。

VIII. 定量的な把握に向けて

本技術開発により、当初目的である等質で定量的な調査手法が確立できた。今後はこれらの成果を全国展開する場合に以下の諸課題について検討する必要がある。

(1) 底生性魚類を主とする[TS]値の計測

音響技術手法により、分布密度が判れば、魚種ごとの一尾当たりの[TS]値が判り、底生性魚類の現存量となる「蛸集量」を算出できる。これらの魚種は様々な形状や魚体長を有しており、実験水槽だけでは計測が困難なことが予想されるため、自然状態におけるTS計測手法を確立する必要がある。過去の研究事例があるが、まだ手法的に確立した技術となっていないのが現状である。

この分野は、国・県の研究機関や大学の研究者が技術を使うことにより本技術を確立する必要がある。

(2) 本事業の技術手法を用いてさらなる信頼性の追求

魚礁の生物蛸集範囲や昼夜間での魚類など生物分布を定量的に算出して分析が可能になった点は大きな成果であるが、自然相手の計測であることから、信頼性を確保するためには多くの事例検証を必要とする。そのため、本成果に基づきさらに事例を収集していくことが必要である。

(3) 前項に関連した体制とシステムづくり

具体的には、わが国の沿岸域を大きく3～4ブロックに別けて、その地域で主となる魚種を定め、また、その地域に位置する大学や研究機関が核となって、各県との連携を図り、情報を共有化するシステムづくりが重要となる。各都道府県レベルでは、音響関係の研究員不足や、調査船に装備されている計量魚探機が有効活用されていないなどの実態を克服していくことも重要な課題であろう。

(4) 「水産基盤整備事業」として推進するための必要事項

上記(1)～(3)項を踏まえた上で、機材、要員、技術サポート面から必要となる項目は以下の通りである。

- a) 簡易型計量魚探機を、よりユーザーフレンドリーな製品化にする必要がある。
- b) 各都道府県で専門研究員を育成、確保する。
- c) 地域ブロックごとに研究員に研修指導を実施する。

体制作りには時間を要するため、当面は本事業に関連した企業および大学研究機関等で拡大実施することが望ましい。

- d) 各都道府県は、音響手法による調査並びに魚群量を算出するための魚礁域に分布する生物の魚種・体長組成に係る調査を、周年にわたって計画的に行う必要がある。当面は地域ブロックに分けた中で、積極的な都道府県の参加を中心に実施することが望ましい。

謝辞

本調査にあたっては、青森県、千葉県、山口県にご協力をいただいたことに対して感謝する。

引用文献

- 1) 濱野 明・中村武史：簡易型計量魚探機を用いた全国規模での魚礁設置効果評価法の標準化。
平成 16 年度水産基盤整備調査報告書. P. 1-3 (2004)
- 2) 濱野 明・青木邦匡・中村武史：簡易型計量魚探機を用いた全国規模での魚礁設置効果評価法の標準化。
平成 17 年度水産基盤整備調査報告書. P. 1-7 (2005)
- 3) 濱野 明・青木邦匡・中村武史：簡易型計量魚探機を用いた全国規模での魚礁設置効果評価法の標準化。
平成 18 年度水産基盤整備調査報告書. P. 1-8 (2006)
- 4) A. Hamano, T. Nakamura. Combined use of quantitative echosounder with scanning sonar to visualize semi-quantitative three-dimensional image of fish schools. J. Nat. Fish. Uni. 50(1), 1-11 (2001)
- 5) 小川良徳. 人工魚礁と魚付き.-人工魚礁とその効果-. 水産増殖臨時 7 号, 1-21 (1968)
- 6) 柿元 皓. 人工魚礁の効果範囲について. 水産増殖, 14(4), 1-167 (1967)