

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

音響による

魚礁蝟集効果評価手法ガイドライン

*Guide Line of the Technique to Estimate Fish Attracting Effect of  
Artificial Reef by Using Simplified Quantitative Echo Sounder*

## ガイドライン作成に当り

◎水産庁の水産基盤整備調査委託事業として、音響機器を用いて全国規模で等質、定量的な調査・解析(算出)ができる音響調査技術手法の開発を行った。

本ガイドラインは、魚礁の蝟集効果評価のための基礎資料に資する技術およびその手法開発として、研究員の方々に利用頂くためにまとめたものである。

# 目次 (その1)

## 第1章 技術的背景と目的

- 1.1 現状の技術的背景(その1、その2) .....1
- 1.2 目的 .....3
- 1.3 目的を実現するための技術開発 .....4
- 1.4 調査方法の概要 音響魚礁調査とは .....5

## 第2章 音響調査に使用する機材

- 2.1 音響調査機材および構成 .....6
- 2.2 音響データの解析概要 .....8
- 2.3 音響機器の較正 .....8
  - 2.3.1 海底エコーによる計量魚探機の総合チェック .....9
- 2.4 適正周波数について .....10

## 第3章 魚礁音響調査に必要な用語の定義

- 3.1 音響調査に必要な用語の種類 .....11
  - 3.1.1 各用語の示す概要図 .....12
- 3.2 単独魚礁と広域魚礁 .....13
  - 3.2.1 広域魚礁の分類(広域魚礁と広域大型魚礁) .....14
- 3.3 音響魚礁域[魚礁域]の定義 .....15
  - 3.3.1 魚礁域設定の基本的考え .....16
  - 3.3.2 広域魚礁の魚礁域 .....17
  - 3.3.3 広域大型魚礁の魚礁域 .....18
- 3.4 音響調査域[調査域]の定義 .....19
  - 3.4.1 魚礁の蝟集範囲 .....19
  - 3.4.2 音響調査域[調査域]の定義 .....20
- 3.5 蝟集効果音響指標[音響指標]の定義 .....21
  - 3.5.1 [音響指標]算定の概念図 .....22
  - 3.5.2 魚礁分類別の音響指標の算出 .....23
  - 3.5.3 表層境界深度[表層境界]の定義 .....24
  - 3.5.4 魚礁境界深度[魚礁境界]の定義 .....25
  - 3.5.5 音響指標算出の平均SA積分範囲 .....26
- 3.6 魚礁近傍域[近傍域]の定義 .....27
- 3.7 [魚礁エコー域]の定義 .....28

## 第4章 調査域の設定方法

- 4.1 予備調査の背景と目的 .....29
- 4.2 単独魚礁の予備調査と魚礁域の設定方法 .....30
- 4.3 広域魚礁の魚礁域設定方法 .....31
  - 4.3.1 広域魚礁の外周4基点の設定 .....31
  - 4.3.2 長軸方向垂直断面図 .....32
  - 4.3.3 広域魚礁の[魚礁域]決定方法 .....33
  - 4.3.4 予備調査による魚礁域の設定事例 .....34
- 4.4 調査域の設定方法 .....35
  - 4.4.1 単独および広域魚礁の場合 .....35
  - 4.4.2 広域大型魚礁の場合 .....36

## 第5章 魚礁の音響調査方法

- 5.1 魚礁調査に関する諸条件(その1、その2、その3) .....37
- 5.2 調査計画の設計 .....40
  - 5.2.1 調査強度の基本的な考え .....40
  - 5.2.2 2段階調査方法とは .....41
  - 5.2.3 調査強度、調査線数、調査間隔の算出 .....42
  - 5.2.4 調査線の具体設計例(その1、その2) .....43
  - 5.2.5 調査線数の決定と条件 .....45

## 第6章 収録データの解析方法

- 6.1 Echoviewなどソフトによる音響データの基礎解析 .....46
  - 6.1.1 Echoviewソフトによる音響データの解析フロー .....47
  - 6.1.2 簡易型計量魚群探知機の較正方法(その1、その2) .....48
  - 6.1.3 SV エコーグラム例(38kHz,200kHz) .....50
- 6.2 シミュレーション法による魚礁エコー域の推定 .....51
- 6.3 [音響指標]の算出 .....52
  - 6.3.1 音響指標調査表を用いて算出 .....52
  - 6.3.2 [音響指標]算出例 .....53
  - 6.3.3 音響指標の意義 .....54

# 目次 (その2)

## 附 属 章

### 附1章 特殊解析

附1.1 特殊解析について	55
附1.1.1 魚群量の算出方法	56
附1.2 蝸集量の推定	57
附1.2.1 蝸集量の算出	57
附1.2.2 魚礁域と周辺域における蝸集量の比較例	58
附1.3 2周波SV差分法による魚類の識別	59
附1.3.1 2周波SV差分法のエコーグラム処理例	60
附1.4 魚礁エコー域の推定方法	61
附1.4.1 水大校の画像処理による[魚礁エコー域]推定法(その1、その2)	62
附1.4.1.1 魚礁エコーシミュレーション法の原理	62
附1.4.2 2値化処理法の原理	64
附1.4.2.1 魚礁エコー2値化処理法の実処理例	65
附1.4.2.2 2値化処理により推定された[魚礁エコー域]	66
附1.4.3 実用的な魚礁エコー除去方法	67
附1.4.4 Thresholdの設定方法	68

### 付属資料

資料-1 水産庁による「い集効果調査要領」の抜粋	69
資料-2 音響魚礁域と調査域の座標系	70
資料-3 計量魚群探知機の標準球のTS	71
資料-4 海底エコーの特性と利用(その1 ~ その4)	72
資料-5 Assessment of the effect of artificial reef clusters on fish distribution using GIS techniques	77
資料-6 広域および広域大型魚礁における調査線設計(その1、その2)	78
資料-7 2段階調査の設計手順	80
資料-8 魚礁エコーシミュレーション法の原理(その1~その4)	81

# 第1章 技術的背景と目的

## 1.1 現状の技術的背景

(その1)

- 1) 魚礁の蝟集効果評価については長年にわたって進められてきたが、現在実施されている蝟集効果調査方法(既往方法)では定量的な成果が継続的に見出せていない。  
また、魚礁の蝟集効果評価が底生性魚類を主体とするものであり、回遊性魚類に対する蝟集効果評価が手薄な状況である。  
魚礁の設置は、基本的に魚類など生物が蝟集する海洋環境を整えることであり、季節ごとに回遊する魚類を漁業者が捕獲できる生産の場でもあるので、総合的な観点から**魚礁の蝟集効果を定量的に評価できる手法**が必要となった。
- 2) 昭和58年11月に 水産庁による「い集効果調査要領書」<sup>1)</sup>が通達されてはいるが、具体的には各都道府県ごとに調査方法も微妙に異なるなど、統一されていないのが現状である。  
その要因としては、手法と実施に対する技術面での遅れとその技術を普及指導する体制が脆弱であったことは拭い去れない。  
一方で、折角今日まで推進してきた全国の調査結果が 定量的に、しかも等質に扱えないという問題が顕在化し、わが国の沿岸から沖合水域に掛けての水産資源を確保するという観点に立てば、定量的に現存資源量の推移をモニタリングする技術手法の開発が急務である。

1) 昭和58年11月7日付(58-1268号)水産庁振興部開発課長通知による  
「沿岸漁場整備開発事業の魚礁設置事業に係る新規構造物の取扱いについて」の別紙2「い集効果調査要領書」  
[資料-1]を参照

## (その2)

- 3) 従来の調査方法としては、漁獲調査・視認調査・魚探調査・その他（水槽実験、標識放流、アンケートなど）があり、視認調査(潜水およびROVによる調査)、漁獲調査が主体である。それぞれの調査には特徴を有するが、ピンポイントな調査が主体であり、広域な範囲を把握しえないという弱点がある。  
今後は調査結果を定量的に把握できるより科学的な手法を採用することが求められ、そのために最も有効な音響資源調査手法の開発が必要となった。
- 4) 計量魚群探知機の原理を基にした音響資源調査手法により、比較的短時間で広範囲にしかも定量的に計測することが可能であり、また事業主体となる各都道府県の水産試験場などの研究員の方々にとって、容易に扱える技術手法の開発が必要となった。
- 5) したがって、魚礁の蝟集効果評価としては、従来より行われている魚探調査に代わり、計量化機能を有する魚探機(計量魚群探知機もしくは簡易型計量魚群探知機)を使用した音響による蝟集効果評価ができる調査・解析方法について技術開発を行い、全国的に等質な調査が普及できるように、ガイドラインの策定が求められている。

## 1.2 目的

水産基盤整備事業において整備した魚礁について、その効果を確認する手法として漁獲量や魚礁の蛸集量の変化について調査確認が行われているが、漁獲する漁業者の操業状況や魚礁設置以外の要素による影響などで正確な把握が困難となっている。

しかしながら、これまでの魚礁整備における効果評価手法では、統一的な基準がなく、評価者が自ら適切な方法を検討し、海域や魚種にふさわしい方法を選定して取り組んできたのが実態である。しかし、それらの手法の妥当性の検証を行う必要があるなど、現状においては資金面や専門技術者の少ない地方公共団体などが事業主体である場合は、効果把握が困難となっている。

そこで水産庁において、統一的な調査方法を策定することにより、魚礁の蛸集効果評価が可能になり、各事業主体の評価を比較することや、全国規模での効果評価の積み上げができる。一方で、魚礁設置の事業主体である地方公共団体にとっては、効率的かつ低費用で魚礁設置効果把握が可能となることから、音響調査手法のガイドラインを策定し、全国規模での活用を促進することにある。

## 1.3 目的を実現するための技術手法開発

### 1.3.1 音響魚礁調査手法の開発とガイドラインの策定

従来の魚探調査は、魚礁の直上を走行し、魚礁近傍の魚影を確認するだけの作業であり、しかも魚探機の原理を十分理解せず、安易に利用するため、しばしば物理的要因として魚探機画面に現れる虚像に対して、魚礁効果としての魚類が蝟集されているという誤った報告が見受けられる。

これらの問題点を解決できる技術手法として、全国の各都道府県の水産試験場ならびに水産研究機関が、魚礁およびその周辺に蝟集する魚などの生物量を、計量魚群探知機による音響資源調査手法の技術を活用し、容易にかつ定量的に計測もしくはモニタリングを行うための評価手法の技術開発を行い、ガイドラインの策定を行う。

### 1.3.2 簡易型計量魚群探知機の開発

計量魚群探知機を保有しない研究機関のために、また将来継続的にモニタリング調査を計画的に実施するためにも、操作が容易で廉価な簡易型計量魚群探知機を開発する。

※ 計量魚群探知機を保有する研究機関は本ガイドラインに基づき計量魚群探知機の活用を促進する。

### 1.3.3 蝟集効果音響指標の策定

具体的には、魚礁の音響調査手法開発ならびに魚群と魚礁の識別などの技術開発を行い、魚礁の蝟集効果評価の指数となる蝟集効果音響指標を示す。

以後は「**音響指標**」と称す。



# 1.4 調査方法の概要 音響魚礁調査とは

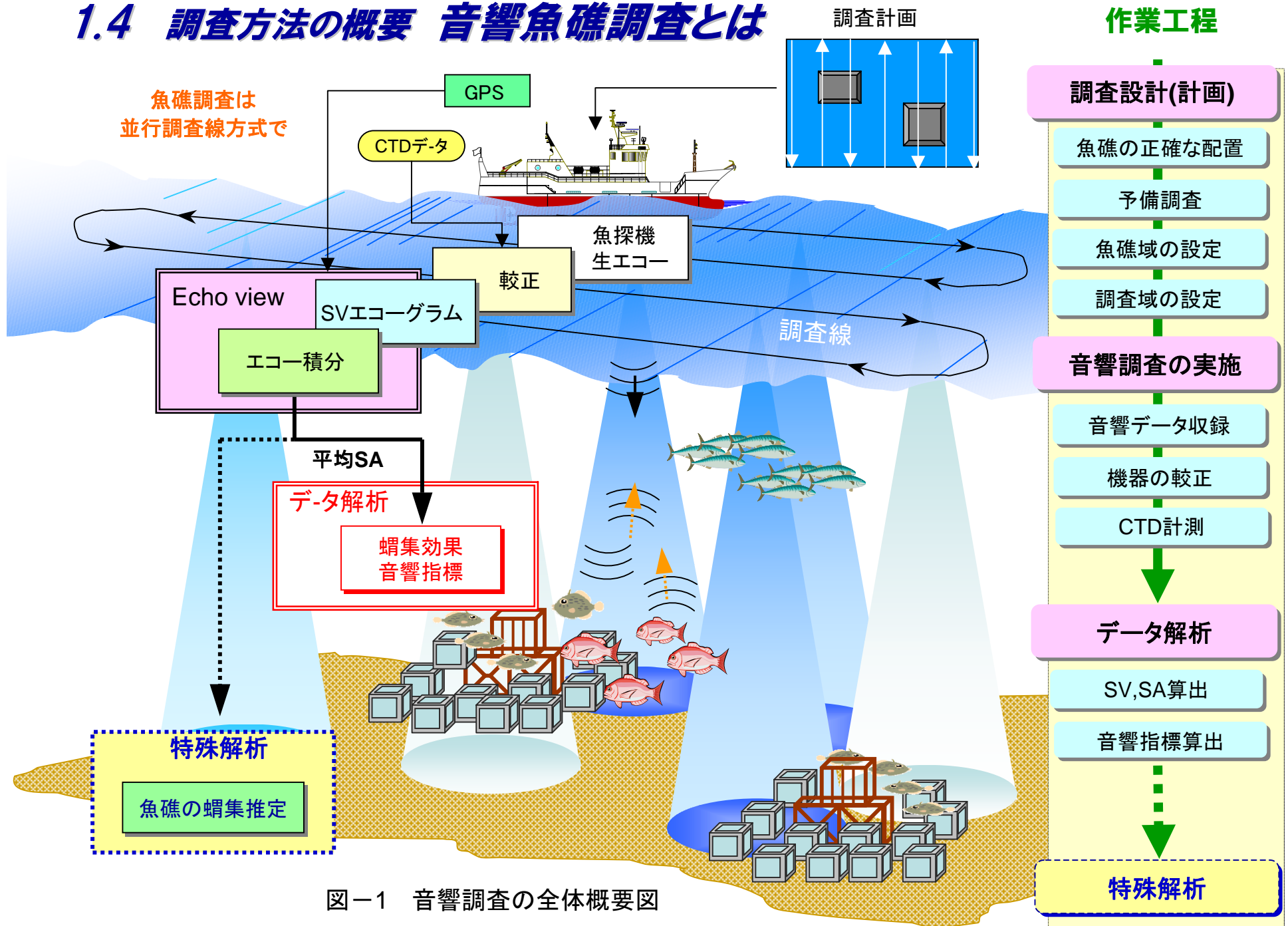


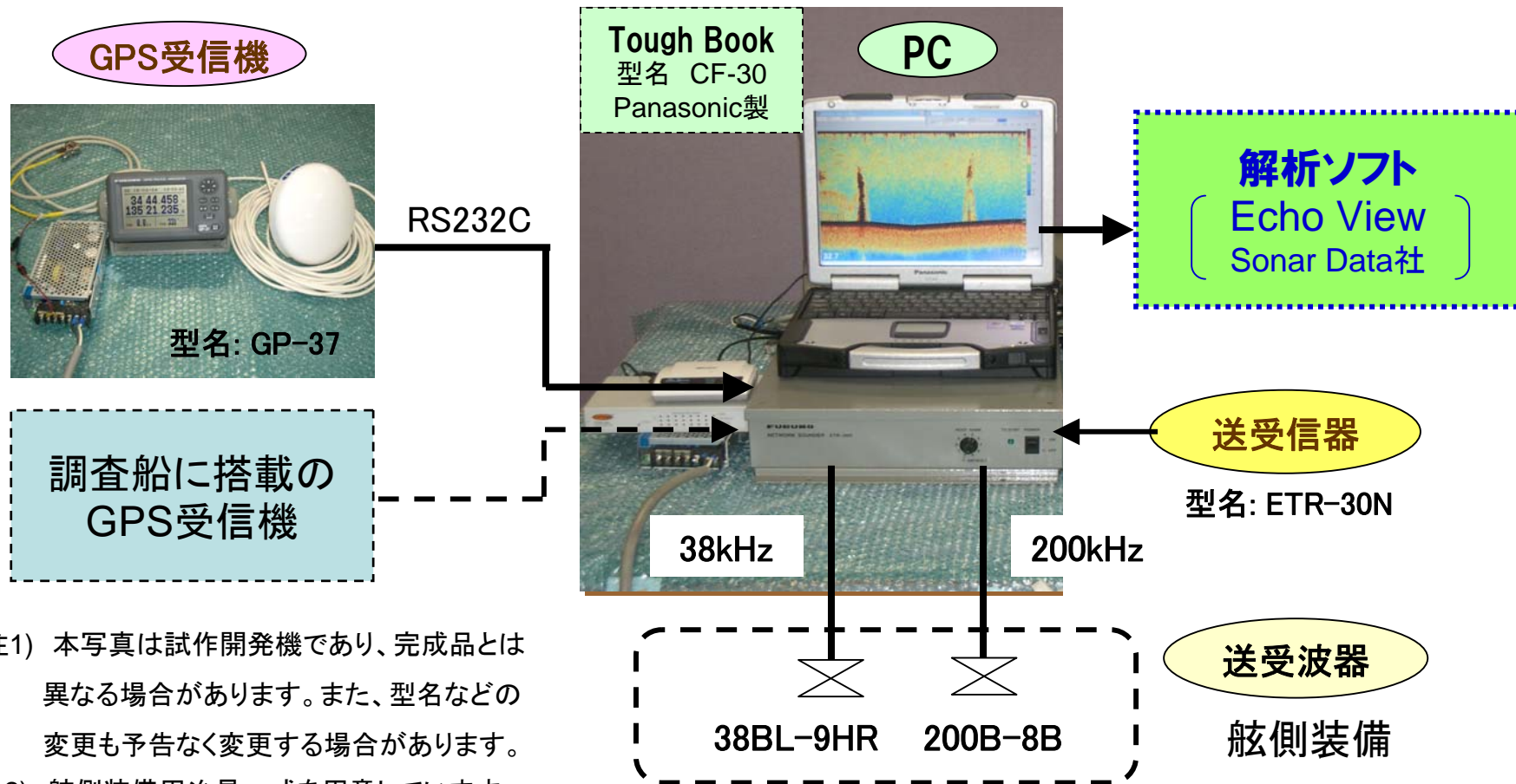
図-1 音響調査の全体概要図

# 第2章 音響調査に使用する機材

## 2.1 音響調査機材および構成

音響調査に用いる機材は次の計量化装置と収録・解析が可能な構成とする。

- ① 「計量魚群探知機」もしくは「簡易型計量魚群探知機」(下図)のハードウェア
- ② データ収録・解析が可能な「解析ソフトウェア」



- (注1) 本写真は試作開発機であり、完成品とは異なる場合があります。また、型名などの変更も予告なく変更する場合があります。
- (注2) 舷側装備用治具一式を用意しています。

図 - 2 簡易型計量魚群探知機の系統および構成図

## 2.2 音響データの解析概要 — 簡易型計量魚群探知機の場合 —

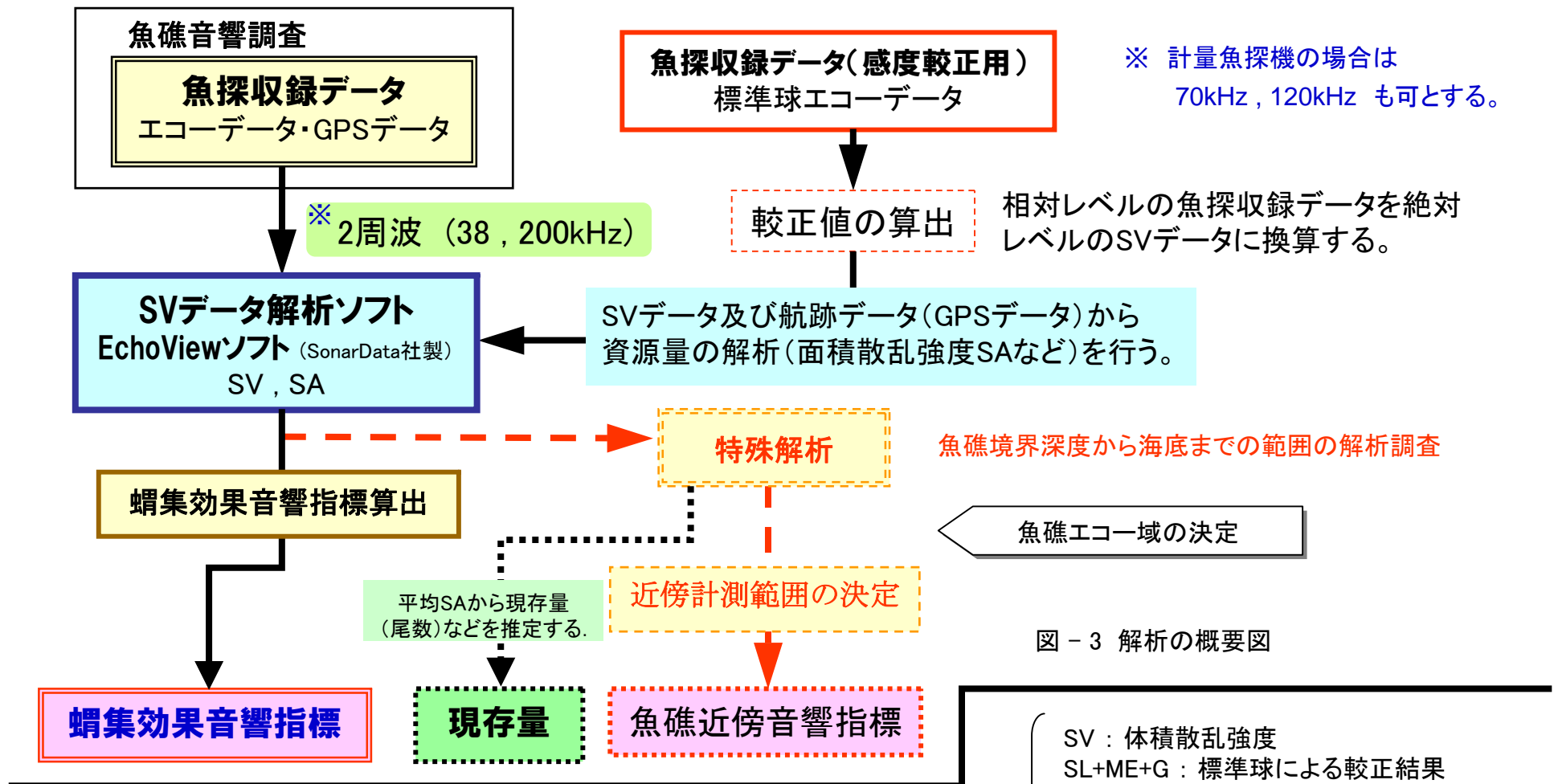


図 - 3 解析の概要図

SV, SA換算を下式に示す。

$$SV = EL - (SL + ME + G) + 20 \log r + \frac{2\alpha r}{1000} - 10 \log \left( \frac{c\tau}{2} \right) - 10 \log \psi$$

$$SA = \int_{\text{魚礁境界深度}}^{\text{表層境界深度}} Svdr$$

SV : 体積散乱強度  
 SL+ME+G : 標準球による較正結果  
 EL :  $EL = A \cdot V_{data}$   
 Vdata : 簡易型計量魚探データ  
 A : ログアンプ傾き, r : 深度  
 A : 吸収減衰, c : 音速  
 T : パルス幅  
 $\Psi$  : 等価ビーム幅

## 2.3 音響機器の校正

(注) 音響指標算出式「A式(p21参照)」によれば校正による影響はなくなるが、計測器としての絶対量を扱う観点から、機器校正は必須とする。

- 1) 計量魚群探知機は、必ず毎年**標準球による校正<sup>2)</sup>**を行うものとし、原則として調査の事前に校正を実施する。

文献2) 校正方法は下記文献を参考とする

平成7年3月発行の水産工学研究所技法(漁船工学)第15号「計量魚群探知機の校正方法」  
(古澤昌彦・宮野鼻洋一・澤田浩一・高尾芳三)

- 2) 計量魚群探知機による魚礁調査を行う場合、機器の感度に大きな変化がないかどうかは**海底エコーを利用した簡易チェック<sup>3)</sup>**が可能である。

簡易チェック法は、海図上の特定の海域で、水深や底質がほぼ均一な平坦な場所を定めて実施するもので、その概要については2.3.1項で紹介する。 [資料-4]を参照

文献3) 「海底反射を利用した計量魚群探知機の総合的検証」(青山、濱田、古澤)  
Nippon Suisan Gakkaishi 65(1), 78-85(1999)

- 3) 簡易型計量魚群探知機の場合は、調査ごとに調査前後のいずれかで標準球による校正を行う。
- 4) 魚礁調査用の標準球としては、**38.1mmφのタングステンカーバイド(TC)球を推奨**する。

※ 計量魚探機の校正マニュアルでは、周波数は70kHz以外の38, 120, 200kHzでは38.1mmφのTC球が推奨標準球とされており、70kHzについては41.7mmφが推奨標準球とされている。

しかし、38.1mmφは適切とは言えないまでも使えない径ではないので、魚礁調査用としては4周波共通に38.1mmφのTC球を推奨する。

※ メーカー指定がある場合は指定の校正球を使用する。\_\_\_

## 2.3.1 海底エコーによる計量魚探機の総合チェック(準校正)

計量魚群探知機では、調査時にいつも機器の校正を実施することは容易ではない。したがって、毎年校正は必ず実施した上で、調査時に機器の感度に異常がないかどうかを簡便に確認する方法として2.3項の2)で紹介した。

そこでその原理と方法について簡単に紹介する。

この方法は、漁船で魚探機を使用する場合、経験的に底質の分かっている場所で、感度設定を予め決めておき、海底エコーの反射を「カラーレベル」と「海底エコーの尾引きの長さ」で異常がないかを確認している方法と同様であり、計量魚探機で科学的に検証する方法である。

### 【方法の概要】

- 1) 母港近くの平坦で底質一様の50m以深の海底を選定する。
- 2) 通常の調査スピード、通常の(計量)魚探機のパラメータ設定で、8kt程度で約60秒間(約250m)航走する。
- 3) 航走コースの始点と終点の正確な位置を記録する。
- 4) 航走コースでの海底のSVもしくはSAからSSを求め記録する。
- 5) 毎調査時に同じコースでSSを求め、ほぼ同じであることを確認する。
- 6) この方法はあくまでもチェックであり、別途標準球校正が必要である。

## 2.4 適正周波数について

計量魚群探知機による音響資源調査では **38, 70, 120 kHz** の3周波数から、**38kHz** を標準にそれぞれの調査目的や対象魚種に合わせて選択使用されている。平成16～18年度の3カ年の技術開発で検討した結果、簡易型計量魚探機もしくは計量魚探機の使用を考慮し、魚礁用周波数としては両者とも38kHzを主に他の70, 120, 200kHzのいずれかと組合せ、対象識別などを行い易くする。

簡易型計量魚探機―― **38kHz & 200kHz** , 計量魚探機―― **38kHz & (120kHz)** もしくは 70kHz or 200kHz)

### 蝟集効果音響指標の算出要件

① 計量魚群探知機で標準化されている周波数**[38kHz]**を採用する。

② 成魚から稚仔魚や一部プランクトンまでの生物量を計測する

1) 魚礁の蝟集効果を調査する適正周波数は主を**[38kHz]**とする。

38kHz：測定誤差が小さく、音響資源調査による知見が豊富で、比較、参考が容易である。

波長との関係で、あまり小さなプランクトンまでは検出しない。

(波長は3.95cm)

120kHz：生物量としてプランクトンも含めた検知に必要である。(計量魚群探知機を用いる場合)

(波長は1.25cm)

200kHz：魚礁の近傍をより正確に把握するためにシャープなビームが必要であり、120kHz同様に

生物量としてプランクトンを含めた検知に必要である。(簡易型計量魚探機の場合)

(波長は0.75cm)

2) 簡易型計量魚群探知機に使用する送受波器の指向特性

#### 38kHz送受波器

(型式：38BL-9HR)

半減全角(-3dB) 20.0度

サイドローブ(受信時) -14dB

#### 200kHz送受波器

(型式：200B-8B)

半減全角(-3dB) 5.9度

サイドローブ(受信時) -22.5dB

# 第3章. 音響調査に必要な用語の定義

## 3.1 音響調査に必要な用語の種類

本章においては、音響手法による魚礁の蝟集効果評価を行うに当り、蝟集効果音響指標を算出するために必要な用語の種類と定義を定める。

★3.1.1では、音響魚礁調査を実施する場合には、魚礁域を中心に周辺域も含めた広範囲な海域を調査船によって並行走行し、絶対的な物理量である音響強度のデータを収録する。これらのデータから、魚礁の蝟集効果評価の「音響指標」を算出するためには、調査海域の水平面方向と垂直面方向の計算範囲を定める必要があり、それぞれの定義した領域を図-4に示す。

★それぞれの用語が持つ意味、調査計測に必要な技術的知見、および具体的算出方法などについては第4章および5章で別途説明する。

### ◎蝟集効果音響指標算出に必要な用語の種類

(注) 3)~7)項、および8-1項については今後[ ]内の朱書き表現とする。

- 1) 単独魚礁-----3.1
- 2) 広域魚礁----- 3.1
- 2-1 広域大型魚礁----- 3.1 ( 3.1.1 )
- 3) 音響魚礁域 [魚礁域]----- 3.2 ( 3.2.1 , 3.2.2 , 3.2.3 )
- 4) 音響調査域 [調査域]----- 3.3
- 5) 蝟集効果音響指標 [音響指標]--- 3.4 ( 3.4.1 )
- 6) 表層境界深度[表層境界] ----- 3.4.2
- 7) 魚礁境界深度[魚礁境界] ----- 3.4.3
- 8) 特殊解析----- (第7章を参照)
- 8-1 魚礁近傍域 [近傍域]----- 3.5
- 8-2 魚礁エコー域-----3.6

### 3.1.1 各用語の示す概要図

魚礁域および調査域の垂直断面の様子を示す

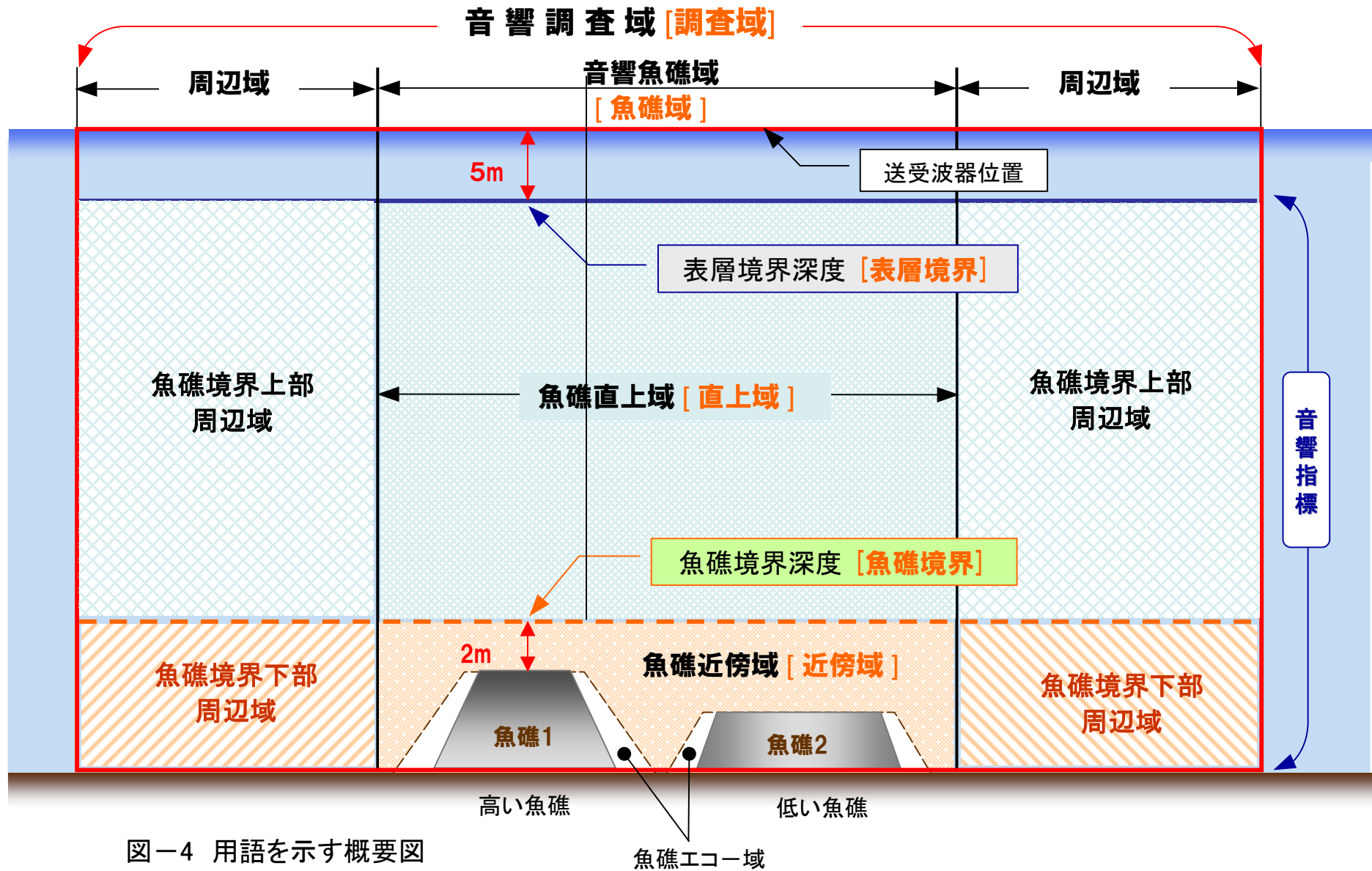


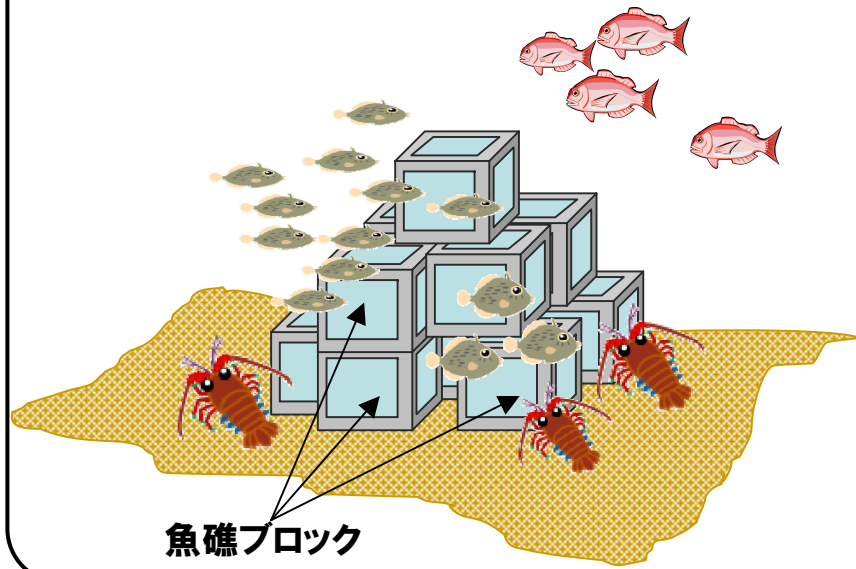
図-4 用語を示す概要図



## 3.2 「単独魚礁」 および 「広域魚礁」 の定義

### 単独魚礁

魚礁を構成する各種のブロックを一箇所に集中して多段積上げるなど設置し、計画時に単一魚礁として設計された魚礁をいう。



### 広域魚礁

比較的高さのある魚礁ブロックなどを一定範囲内に分散設置し、計画時に設置範囲全体としての蛸集効果を期待して設計された魚礁群をいう。

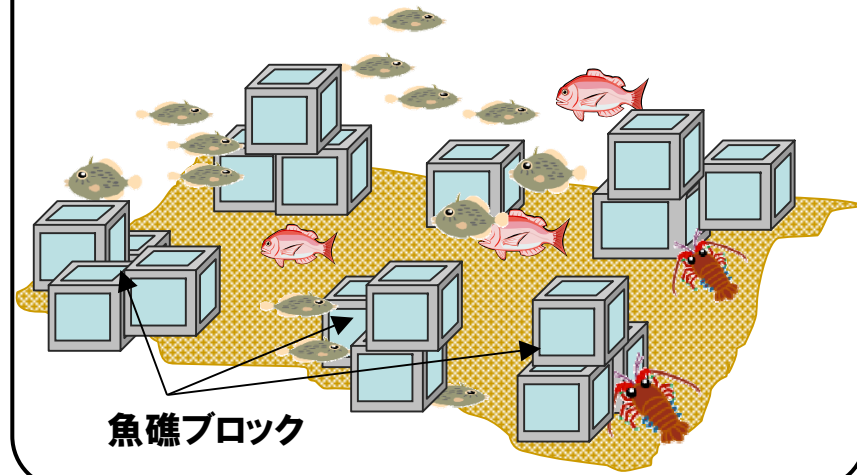


図 - 5 単独魚礁と広域魚礁のイメージ図

### 3.2.1 広域魚礁の分類 (広域魚礁と広域大型魚礁)

全国的に展開している一般的に広域魚礁と呼ばれる魚礁については本ガイドラインでは次の二つに大別する。

① 広域魚礁

鋼製やコンクリート製の魚礁を数基一定間隔で約400～500m程度内に配置する魚礁

② 広域大型魚礁

一つのブロックの中心付近に比較的高い鋼製魚礁などを配置し、その周りにFP魚礁(3m立方角程度)などのコンクリート魚礁を配置し、その規模が約100m四方にもおよびブロック5～10数基を広範囲(約1マイル程度)に規則的に配置するような魚礁

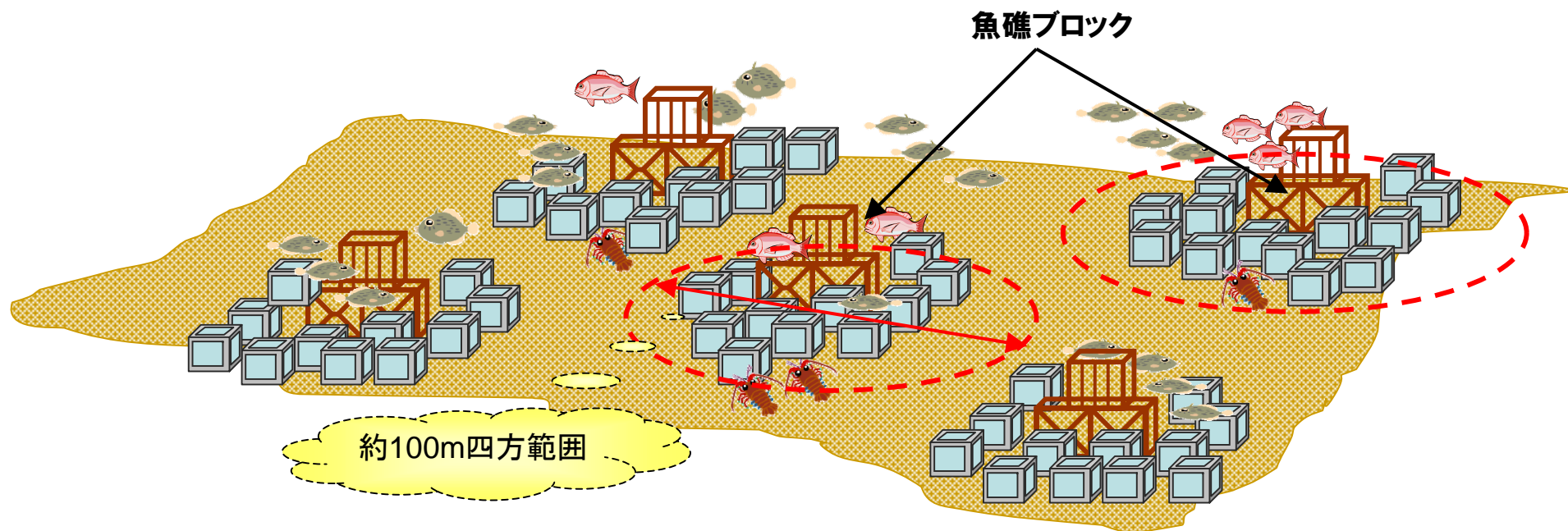


図 - 6 広域大型魚礁のイメージ図

### 3.3 音響魚礁域 [魚礁域] の定義

**魚礁域**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(メインビームやサイドローブなど)によって受信される魚礁の虚像など、何らかの魚礁からの反射エコーの影響を受ける範囲と定める。

音響調査の調査線は全国どこの海域においても、東西もしくは南北方向に設定し、音響指標算出の計算を容易にする。したがって、複雑な魚礁配置の形状から魚礁を含む最小面積の矩形(長方形もしくは正方形)とする。具体的な設定方法は第5章に定める通りとする。

**魚礁域は東西-南北を軸とした矩形(長方形もしくは正方形)の範囲**

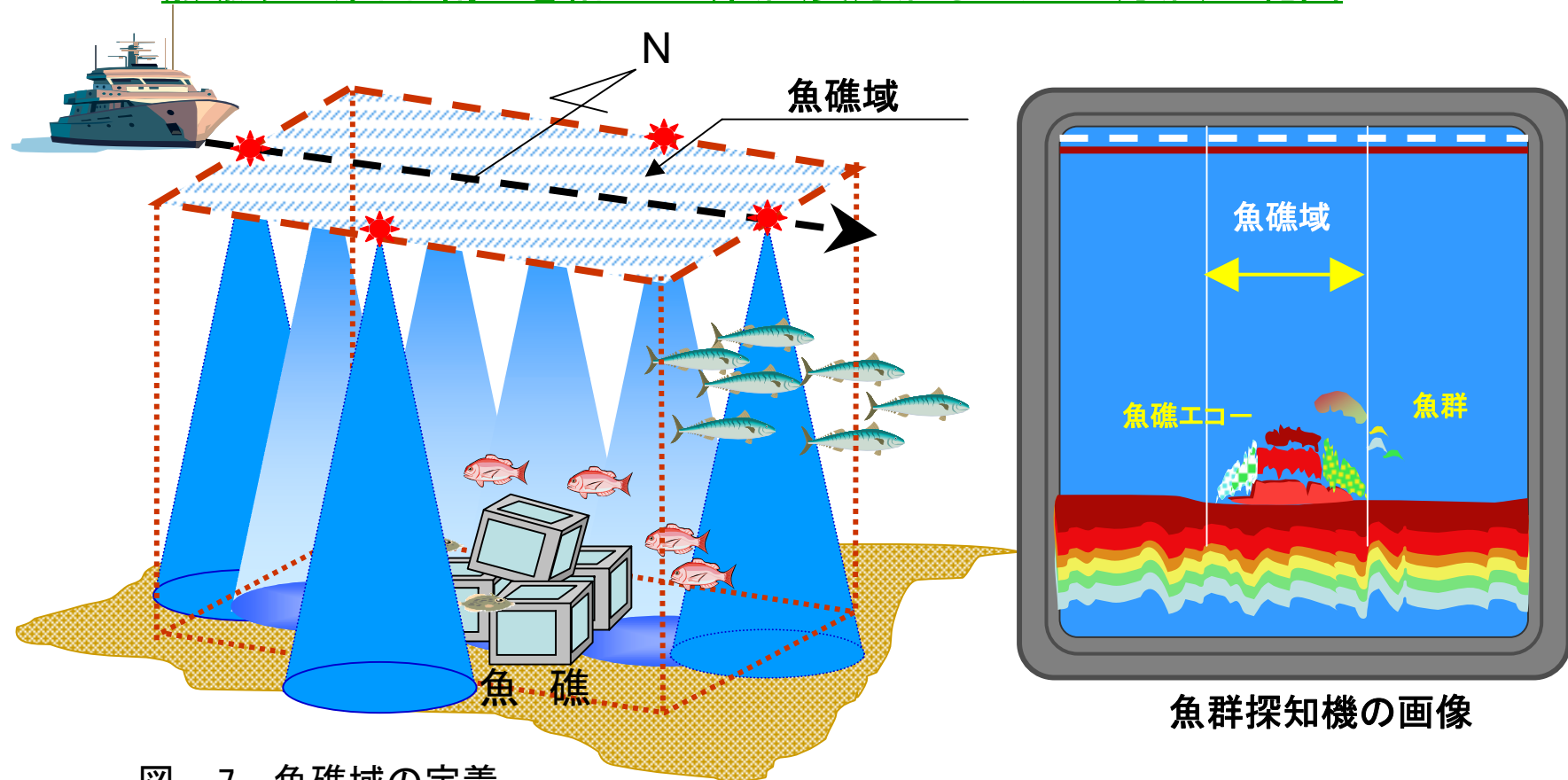


図 - 7 魚礁域の定義

### 3.3.1 [魚礁域] 設定の基本的考え

「単独魚礁」および「広域魚礁」における具体的な魚礁域は、音響指標の定義および算出式に用いる重要な要素であり、かつ調査域の設定など音響魚礁調査の基本設計の根幹となるため次のとおりに定める。

#### 1) [音響指標] 算定の魚礁域

魚礁設置計画図を参考に、複雑な形状の魚礁(広域魚礁の場合は魚礁群)の占める範囲を実際に調査し、それを基にその範囲よりも小さくならない長方形(正方形の場合もある)の範囲をそれぞれの[魚礁域]と定める。

#### 2) [魚礁域] 算定の予備調査

計画図に基づき設置された魚礁は、工事精度に左右され、実際の海中では必ずしも計画図どおりに配置されていないことがしばしば発生している。そこで対象魚礁で初めての調査においては、より正確な魚礁の配置や構造を把握するための作業が必要となり、実施するのが[予備調査]である。

※ 第4章「魚礁域の設定方法について」を参照

### 3.3.2 広域魚礁の魚礁域

広域魚礁には、対象とする魚種別目的に合わせ、その規模および構成する魚礁ブロックなどが様々であり、隣り合う魚礁の配置間隔によっては、音響ビームが分離もしくは重複するような場合が発生する。

※ 下図(図-8および9)参照

魚礁群全体で蝟集および増殖効果をもたらす基本計画であるため、広域魚礁における魚礁域は下図に示すとおり、魚礁が配置されている全域とする。

ただし、広域大型魚礁の場合はそれぞれの魚礁ブロックごとに魚礁域を設定し、それらの魚礁域を含む最小面積の範囲とする。(3.3.3項を参照)

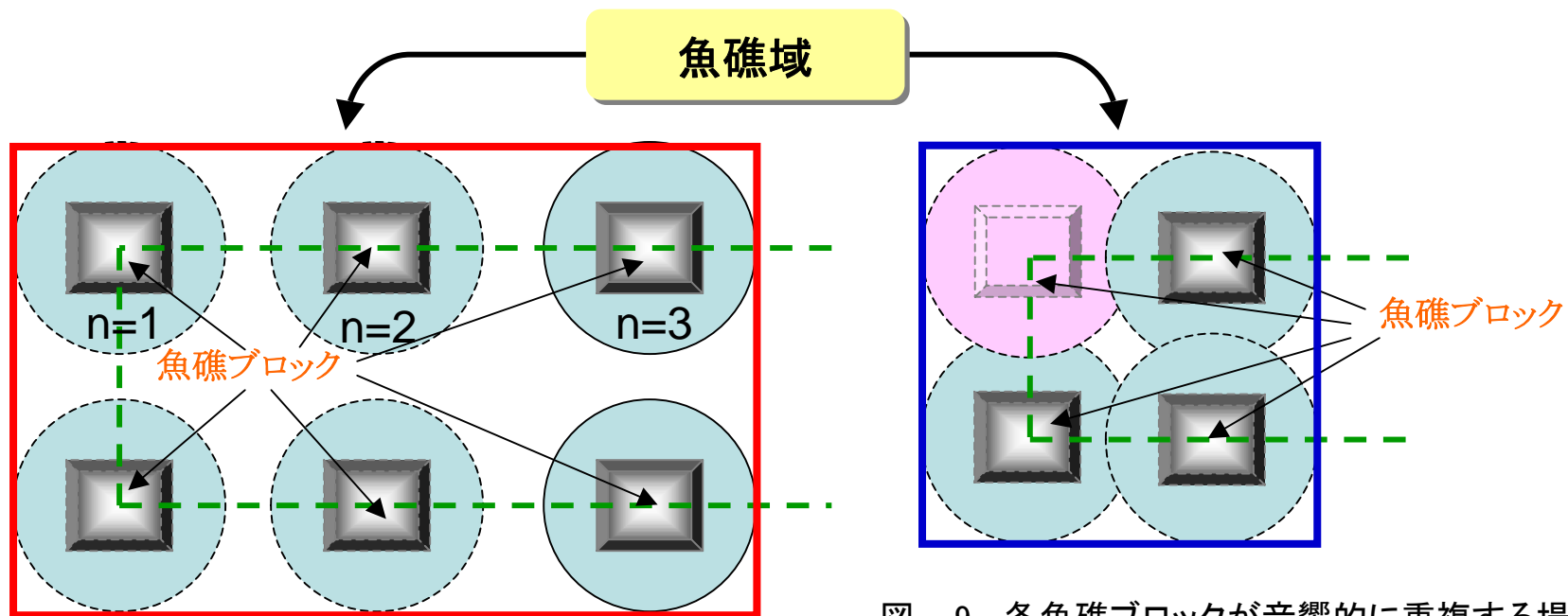


図 - 8 各魚礁ブロックが音響的に分離する場合

図 - 9 各魚礁ブロックが音響的に重複する場合

### 3.3.3 広域大型魚礁の魚礁域

広域大型魚礁では、それぞれの魚礁ブロック毎に定義に基づき魚礁域を設定する。次に、それぞれの魚礁域を囲む縦、横軸の最大長辺となる長方形を[魚礁域]と定める。

(注) この場合の調査域の設定については[4.4.2項]に定める通りとする。

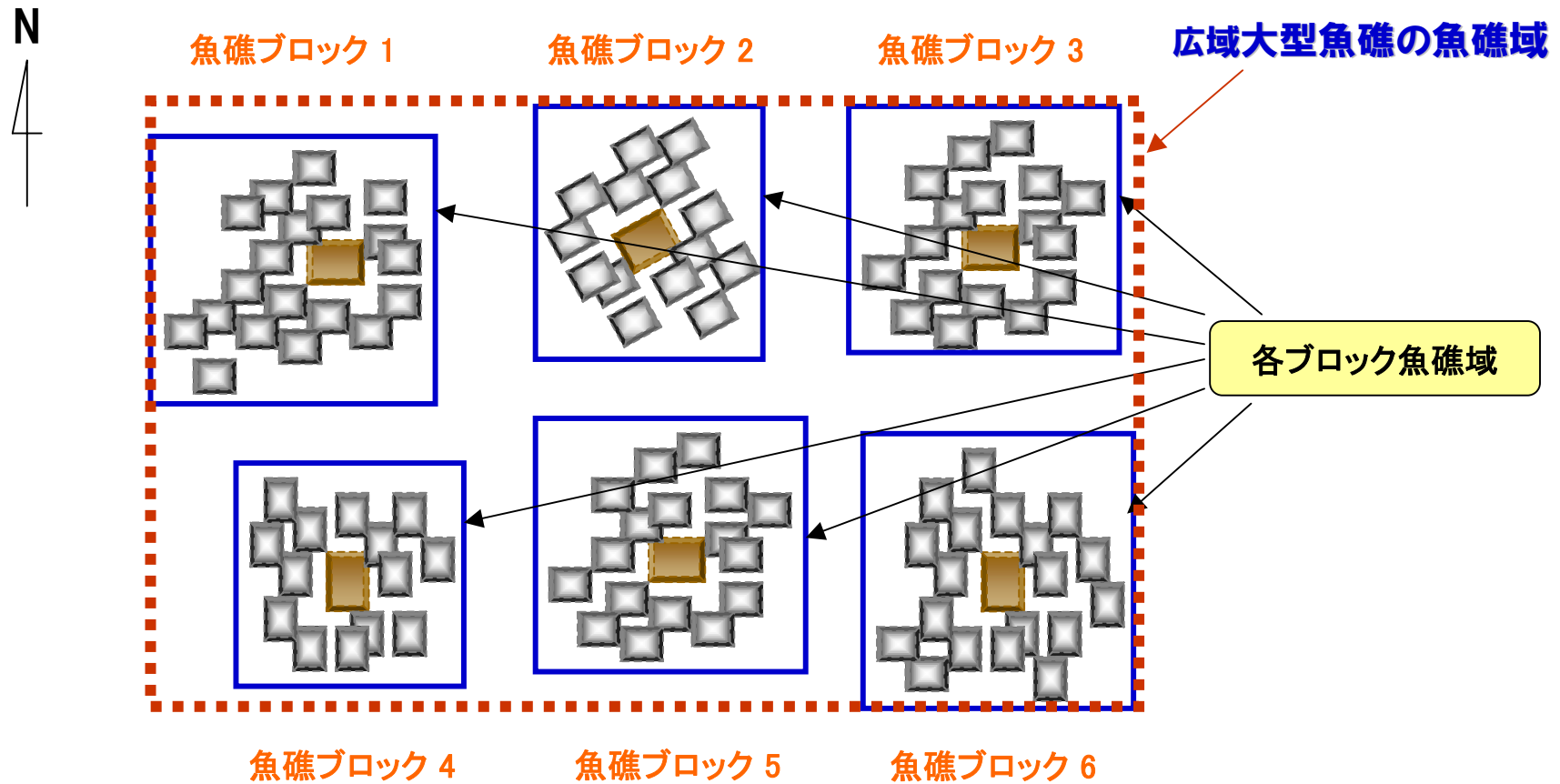


図 - 10 広域大型魚礁の場合の魚礁域イメージ図

## 3.4 音響調査域 [調査域] の定義

### 3.4.1 魚礁の蛸集範囲

#### 過去の知見

- 1) 柿本(1967)<sup>4)</sup>、小川(1968)<sup>5)</sup>により、魚礁の蛸集効果範囲は200m程度であるとの研究報告がある。  
文献 4) 柿元 皓.人工魚礁の効果範囲について.水産増殖,1967;14(4),1-167  
文献 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,1968;1-21
- 2) 水産大学校の濱野らの研究によれば、人工魚礁において魚影が確認できる蛸集範囲は200m程度であると報告されている。<sup>6)</sup>  
文献 6) Assessment of the effect of artificial reef clusters on fish distribution using GIS techniques  
(Akira Hamano, Takeshi Nakamura, and Kazuyoshi Uchida)  
the First International Symposium on GIS in Fishery Science Seattle, Washington,U.S.A.;2-4 March 1999
- 3) 従来より水産庁の指導により、魚礁から200mの範囲を設定している。  
このよりどころは、柿本、小川の研究報告によるものである。

#### H20年度調査の成果

H20年度の山口県との共同調査で、「H10年魚礁」を対象に昼夜間における魚類を含む生物量の距離分布を音響調査した結果、高周波と低周波によるSV差法を用いて解析した結果、魚礁域の中心からの距離140～200m付近まで蛸集範囲であることが示唆され、同様な結果が裏付けられた。

## 3.4.2 音響調査域 [調査域] の定義

魚礁の蛸集効果を示す音響指標を算出するためには、それぞれの魚礁に対する調査域の設定が必要となる。  
※「3.5 蛸集効果音響指標の定義」を参照

調査域については魚礁からの距離をどの程度まで設定するのが妥当かは議論の的になるところであるが、前項3.4.1により魚礁の蛸集範囲を200m程度とし、音響指標算出に必要な調査域の範囲を次のような根拠に基づき定義する。

### 【定義付けの理由】

- 1) 魚礁調査においては、従来より底生性魚類を主体とする調査方法であり、今後は回遊魚などの浮魚類も対象とするためより広範囲な調査域が望ましい。
- 2) 1回の音響調査に要する調査時間が最大限で約5時間程度であることから、時間内でAglenの調査強度に関する条件(5.2.1項参照)を満足しなければならない。
- 3) 音響指標の信頼性を確保するためには、算出の基になる魚礁域と調査域の面積比が、最低4~5倍程度が必要であり、単独魚礁の場合と広域大型魚礁の場合では条件が異なるが、魚礁域とそれ以外との違いを明確に数値表示できることが望ましい。
- 4) 上記3項を踏まえ、3.4.1項による魚礁蛸集範囲を200m単位とした場合、広域大型魚礁の最大級で一辺が約400m程度であることから、魚礁蛸集範囲200mを両端に加えた範囲は、一辺が800mにおよび、面積比4倍(長さ比2倍)では調査域の一辺が1600m長に達する。魚礁域の両端から見れば片側600mになることから、魚礁蛸集範囲200mの3倍となる。  
魚礁域が100m程度の単独魚礁では面積比を5倍程度として捉えれば、同様に魚礁域から片側に約600mの範囲を調査域とすることが可能となる。

**魚礁域に対し、縦(緯度方向)、横(経度方向)それぞれの方向に蛸集範囲とされる200mの範囲を十分カバーする範囲を調査域と定義し、具体的な目安としては蛸集範囲の3倍程度(600m)とする。** ※ 調査域の設定方法については第4章を参照



### 3.5 蝟集効果音響指標 [音響指標]の定義

**音響指標** とは音響技術およびその手法で確実に魚類など生物量を算出できる領域における蝟集効果を示す音響指数である。

具体的には、魚礁エコー域を除いた調査海域の水塊(体積)に生息する生物(魚類など)からの反射エコーに対して、魚礁直上域の平均面積散乱強度を魚礁周辺域で得られる平均面積散乱強度で除した指数とし、次式で示す。

$$\text{音響指標} = \frac{[\text{SA}_{\text{ar}}]}{\text{平均SA(魚礁直上域)}} \div \frac{\text{平均SA(調査域 - 魚礁直上域)}}{[\text{SA}_{\text{survey}}]} \quad \text{A式}$$

Acoustic Index [AI]

3.5.1項に音響指標算出の概念図を示す。

調査範囲の魚礁境界深度直上部の平均SAは次の通り。

$\text{SA}_{\text{survey}}$  : 音響範囲直上域を除く調査範囲の平均SA

$\text{SA}_{\text{ar}}$  : 音響範囲直上域の平均SA

### 3.5.1 [音響指標] 算定の概念図

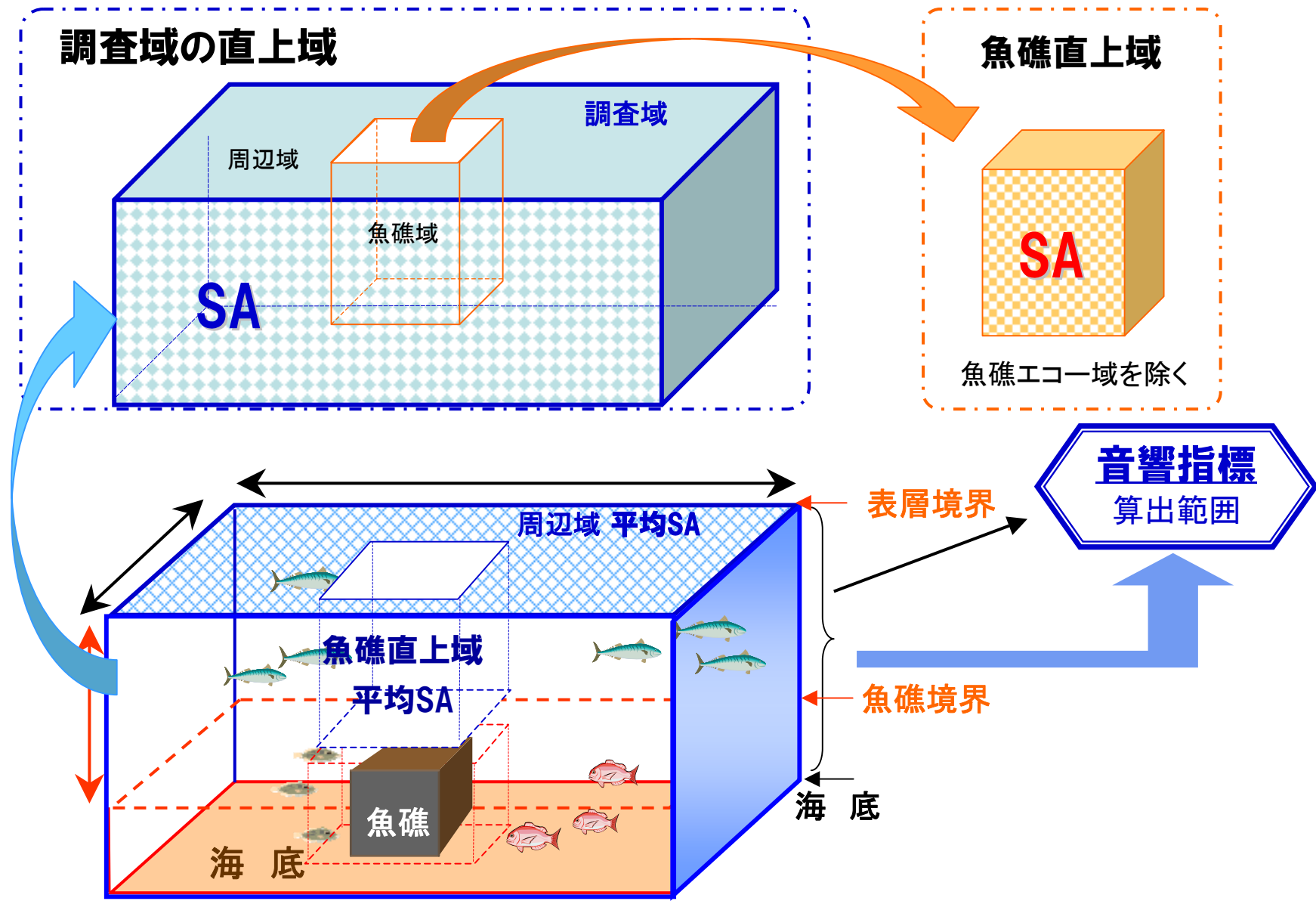


図-11 [音響指標] 算出の概念図

### 3.5.2 魚礁分類別の音響指標の算出

単独および広域魚礁の場合



広域大型魚礁の場合

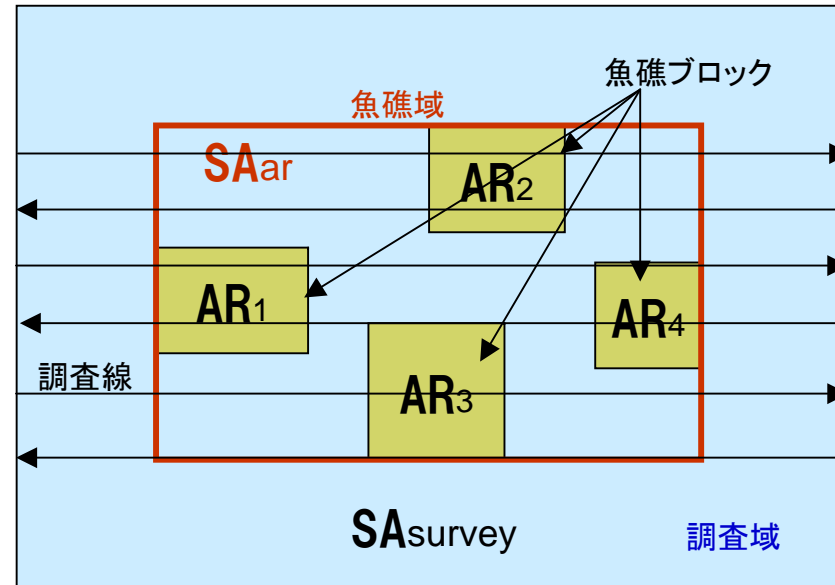


図-12 魚礁分類別の音響指標算出概要図

$$\text{音響指標} = \frac{\text{平均SA}_{ar}}{\text{平均SA}_{survey}}$$

$$\text{音響指標} = \frac{\text{平均 SA}_{ar}}{\text{平均 SA}_{survey}}$$

広域大型魚礁では、3.3.3項に従い、それぞれの魚礁ブロックから魚礁域を求め、その域内を通過した調査線によって得られたエコーデータから魚礁域の[平均SA<sub>ar</sub>]を算出する。

### 3.5.3 表層境界深度 [表層境界] の定義

**表層境界** とは、送受波器直下の不安定エコー部分を解析時に排除する境界水深であり、調査船の大きさ、装備状況にかかわらず次のように定める。

**表層境界 = 5m とする。**

(注) 海面からの深度は[吃水 + 5m] となる。

※ **不安定エコー部分**とは次の場合に現れるエコーをいう。

魚探機の送受波器は、船底下に装備されることから、水深基準がこの位置を[0m]、すなわち一般的に発振線と呼ぶ。したがって船舶の大小に関係しないが、海面からの深度は[吃水 + 5m]となり、吃水線が船舶の大小によって異なる。この送受波器の位置(調査船の船型および船底装備状況)により、一般的に送波時の残響などや調査時の海況などに起因して、泡切れ現象や走行雑音などの外的要因によって引き起こされる発信線直下の不要なエコーである。

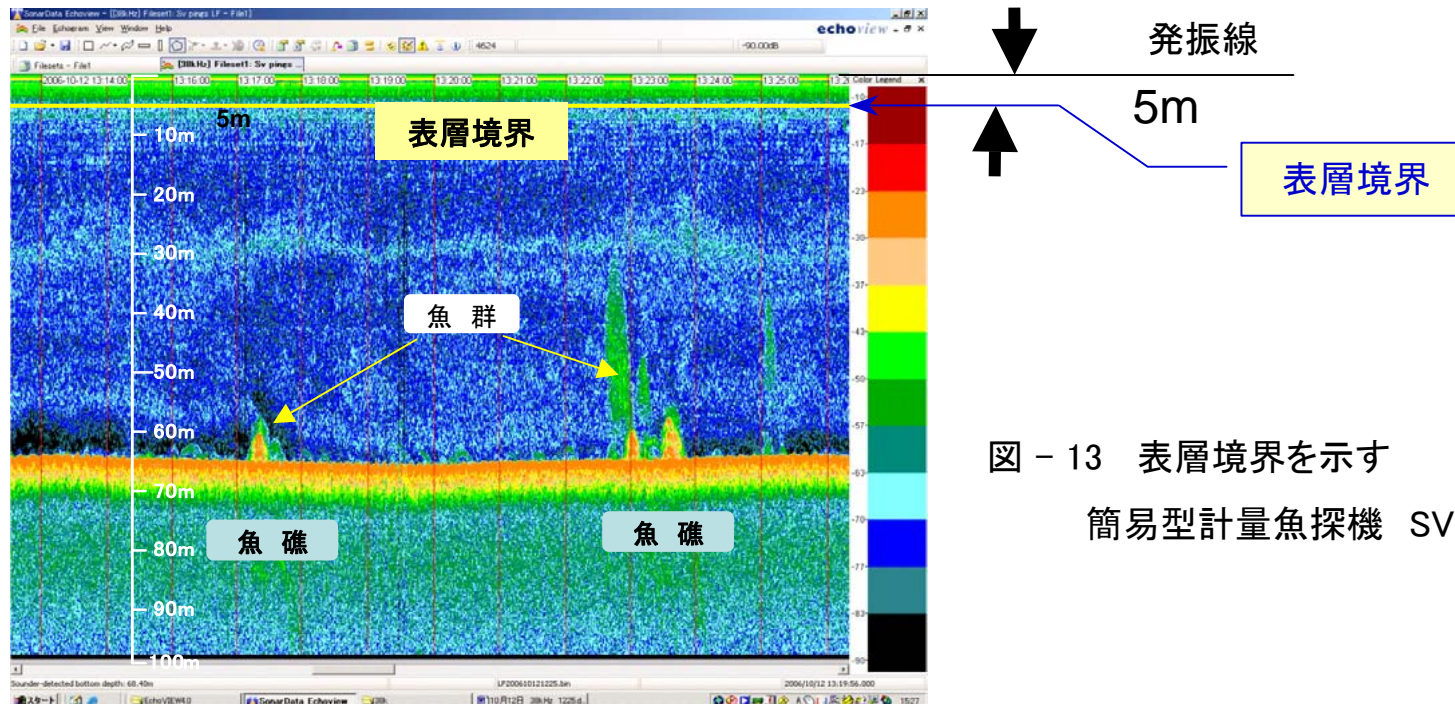


図 - 13 表層境界を示す

簡易型計量魚探機 SVエコー画像例

### 3.5.4 魚礁境界深度 [魚礁境界] の定義

**魚礁境界** とは、調査海域において音響ビームが魚礁エコーを捉えた場合、その最浅深度を更に2m浅くした深度 とする。

$$\text{魚礁境界深度} = [\text{魚礁エコーの最浅深度}] - [2\text{m}]$$

※ 船体動揺によるビームのアバレを考慮し、距離分解能( $c\tau/2$ )の3倍未満を安全域とする。

広域魚礁で形状や高さが異なる魚礁が設置されている場合は、実際の調査時には必ずしも魚礁の直上に位置するとは限らないため、走行時に得られた魚礁エコーの一番高いものをその調査における魚礁域直上の境界深度とする。

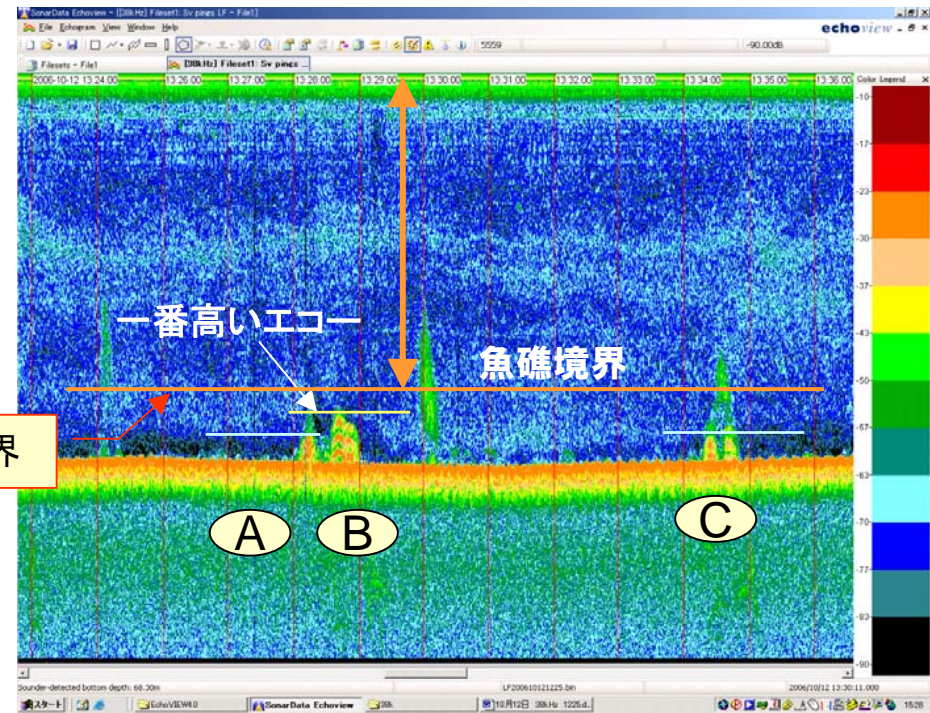
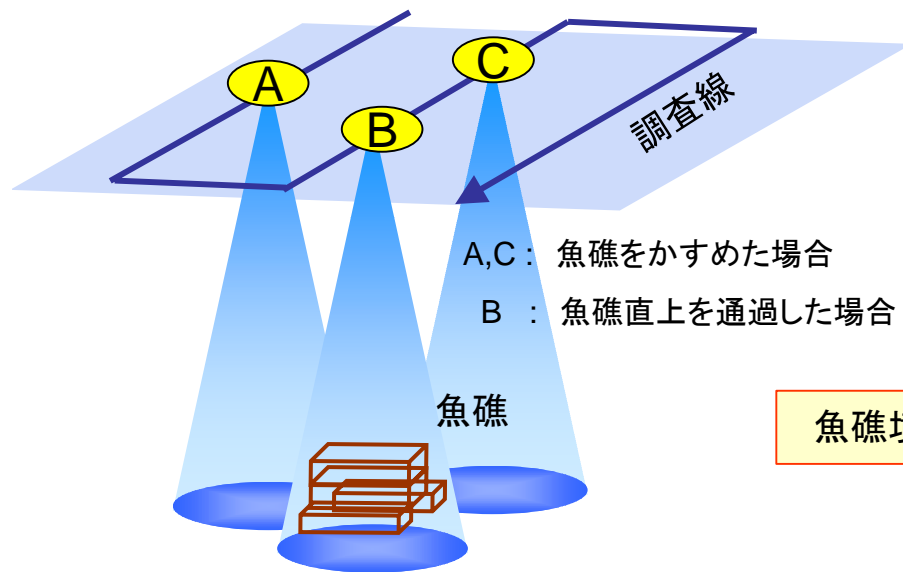


図-14 魚礁境界を示す  
概要図とSVエコー画像例

### 3.5.5 音響指標算出の平均SA積分範囲

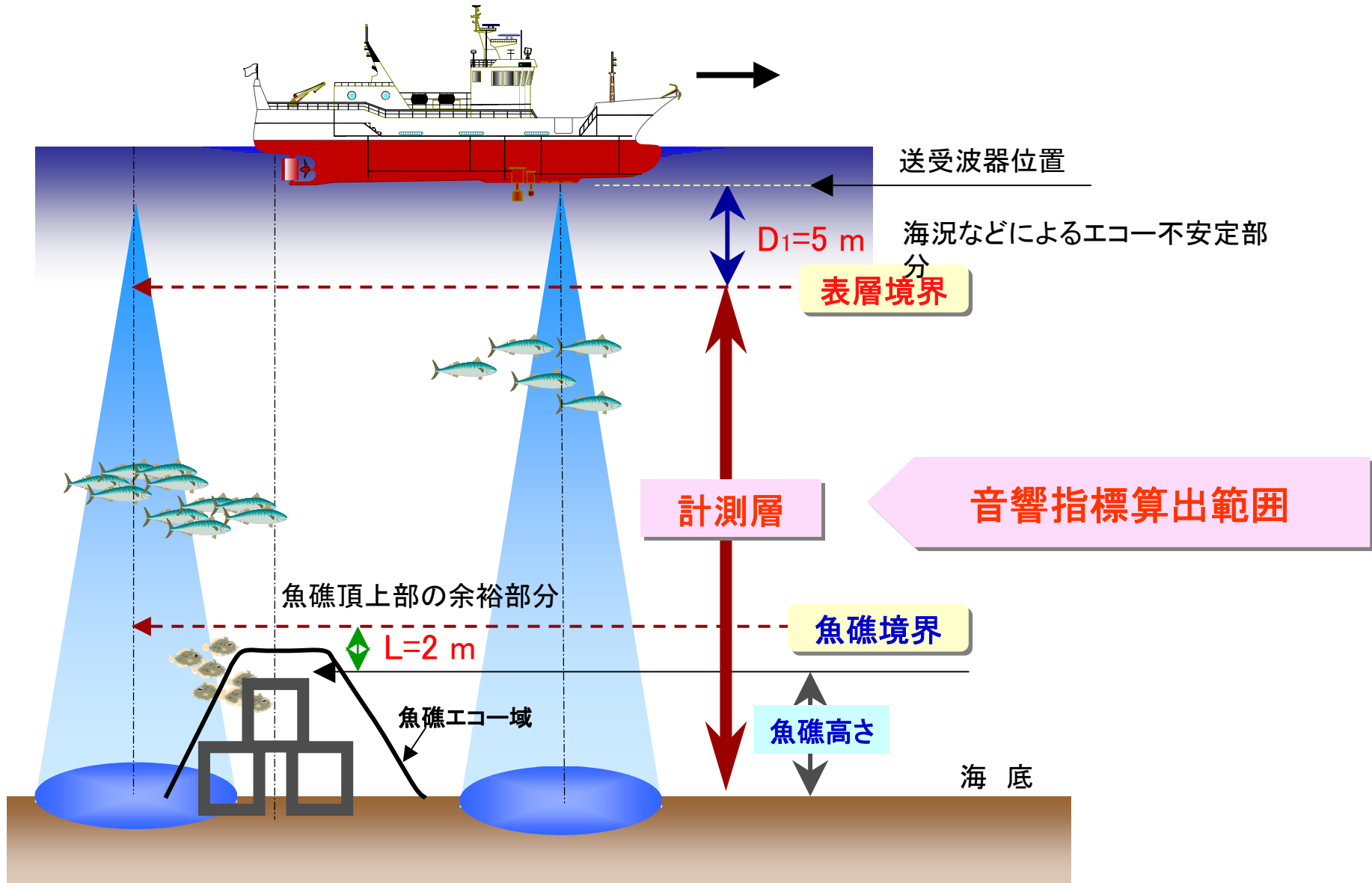


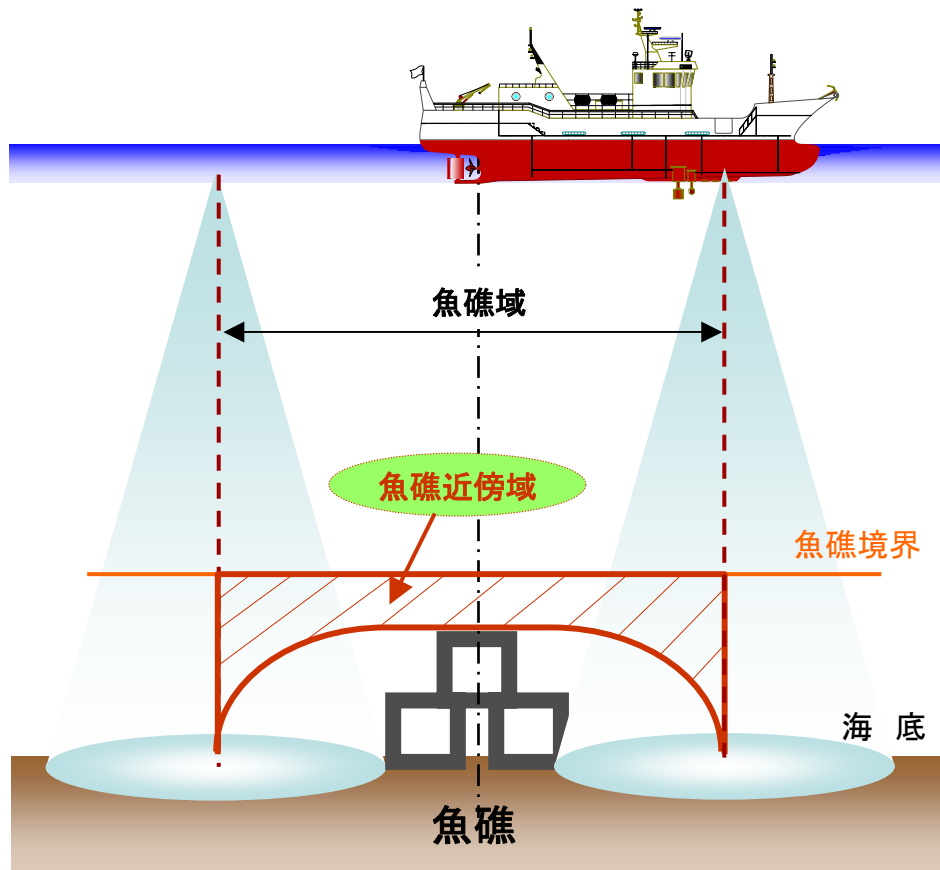
図-15 平均SA算出の断面概要図

### 3.6 魚礁近傍域 [近傍域] の定義

一般的には魚礁のすぐ傍であり、柿元,大久保(1983)<sup>7)</sup>による魚礁における魚類の行動生態分類上から **I型およびII型に分類される魚種が生息する範囲** である。

音響的には魚礁境界水深以深において音響ビームで魚礁エコーが分離可能な距離範囲内と定義する。

文献 7) 「新潟県沿岸域の人工魚礁漁場における魚類の行動学的研究」(柿元, 大久保)



#### I型魚類

魚礁に体の大部分、もしくは体の一部を接触させている種 (アイナメ・カサゴなど)



#### II型魚類

体を魚礁に接触することは少ないが、極近いところにいる種 (マダイ・イシダイ・カワハギ類・メバル類など)

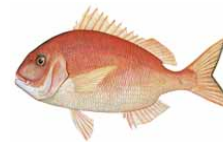
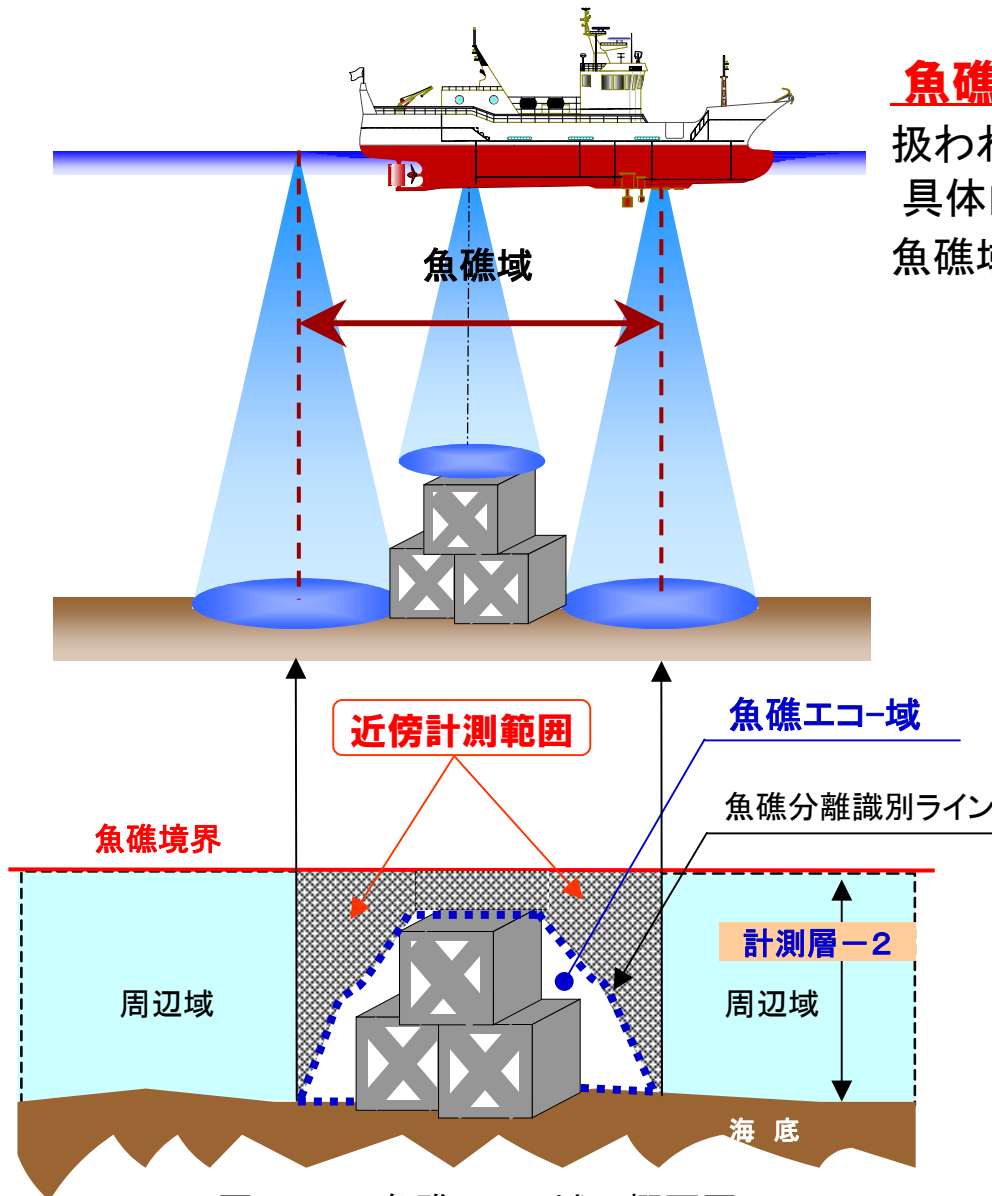


図-16 魚礁近傍域の定義

### 3.7 [魚礁エコ-域]の定義



**魚礁エコ-域**とは附1章に定める特殊解析として扱われる範囲に適用する。  
具体的にはビーム幅に伴う画像拡大効果などにより、魚礁域内で魚群分布を計測しない範囲と定める。

- ※ 左図(図-17)においては、破線(青色)に囲まれた範囲となる。
- ※ 広域魚礁では構成する魚礁ブロック毎に附1.2項「魚礁エコ-域の推定方法」により魚礁エコ-域を決定する。

図-17 魚礁エコ-域の概要図



# 第4章 調査域の設定方法

## 4.1 予備調査の背景と目的

### 魚礁設置の実態と背景

- 1) 魚礁設置は計画設計段階から設置場所およびその周辺の海底地形の状況(海底の底質、起伏の変化および周辺の天然礁の状況など)が配慮されている筈であり、魚類などの魚礁への蝟集効果との係りが予想されるにもかかわらず、科学的な検証が不十分であると推察する。
- 2) 設置された魚礁の位置および設置範囲などは、全国的にしばしば計画とのズレを生じるなど正確性に欠けている面があり、利用する漁業者、遊魚船者などからの苦情にもつながっている。特に古い魚礁設置では、当時の測位機器の精度が悪かったことなどにより、ズレが生じていることが多く、正確な魚礁域を定めるためには予備調査が不可欠である。

### 予備調査の目的

音響手法による魚礁調査を実施するためには、第3章(3.3項)に示した魚礁域を決定し、継続的に調査する場合の重要な基礎資料として、事前に魚礁および魚礁が設置されている状況を把握する必要がある。

そのためには既知の魚礁位置を基に予め魚礁位置を確認する作業が必要である。

★ 単独魚礁においては8方位調査線による予備調査 (4.2項を参照)

★ 広域魚礁においては平行調査線による予備調査 (4.3項を参照)

(注) 広域魚礁で魚礁域が予め既知であれば、それを基に音響調査線の設計に従い、調査データを収録し、解析時に魚礁域を定めることが可能であり、調査の効率化を図る観点からも予備調査は必ずしも必要としない。

## 4.2 単独魚礁の予備調査と魚礁域の設定方法

- 1) 単独魚礁は1か所に集中して設置されることから、8方位走行により、設置状況を容易に確認することが可能である。目標とする魚礁の計画設置時の中心点の緯度経度を割り出し、GPSプロッターなどにマークを打ち、マークを中心に **半径約100mの円を策定し、8方位による調査** を行う。



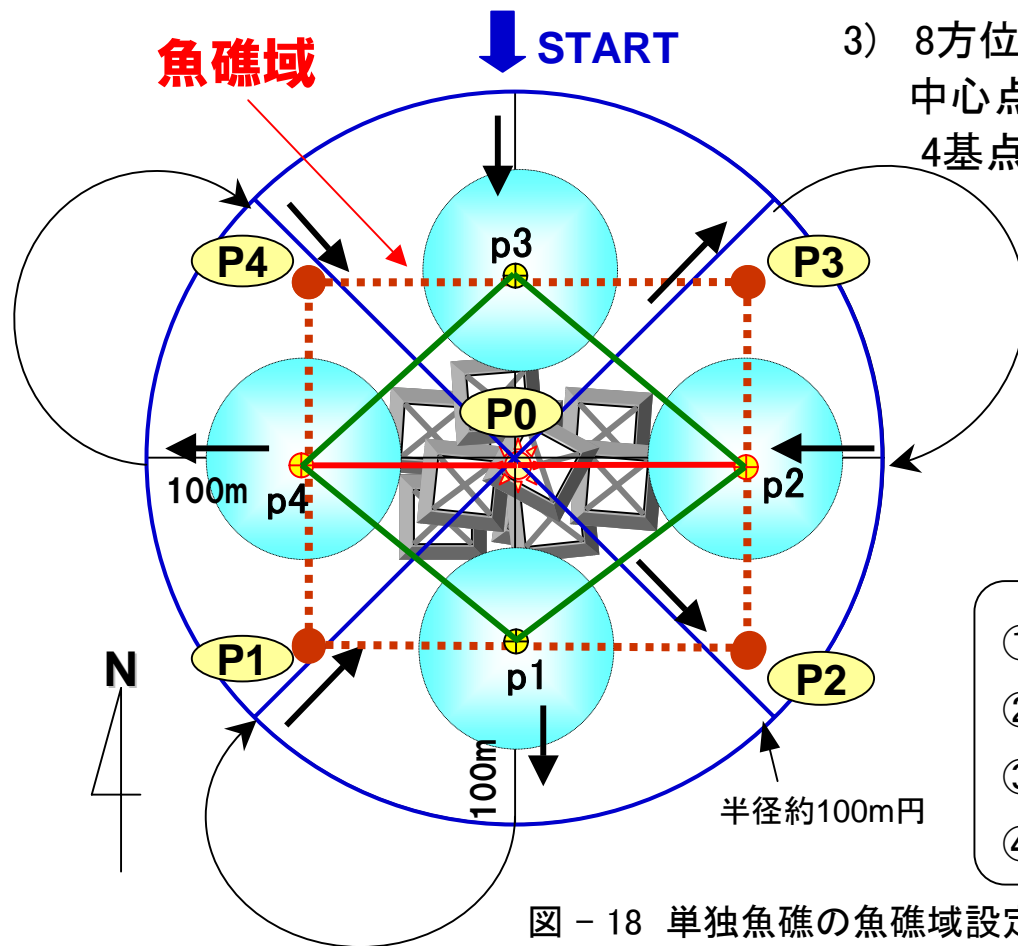
- 2) 8方位の調査線はその海域の特性および調査当日の海況などを考慮してスタート位置を決める。



- 3) 8方位走行によって得られた魚礁の影響が現れない中心点から 最大距離となる上位4基点を定め、これら4基点から形成される四辺形を設定する。



- 4) 4.3.3広域魚礁の場合と同手順で、東西-南北を軸とする長方形を設定し、**魚礁域**とする。



### 走行例 (左図の場合)



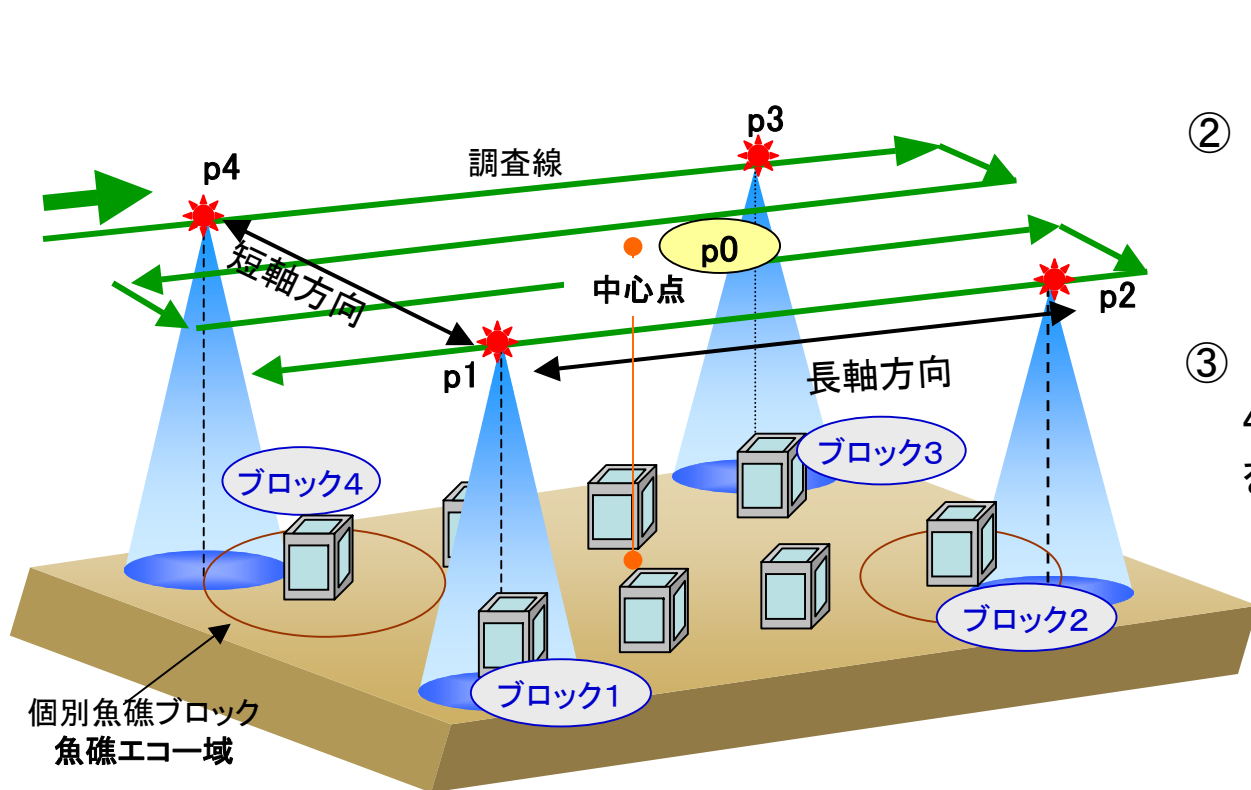
- ① N → S  p1,p3が南北方向のポイント
- ② SW → NE P0は中心点
- ③ E → W  p2,p4が東西方向のポイント
- ④ NW → SE

図 - 18 単独魚礁の魚礁域設定方法

## 4.3 広域魚礁の魚礁域設定方法

### 4.3.1 広域魚礁の外周4基点の設定

- ① 魚礁設置計画に基づき、長軸もしくは短軸方向に予備調査の調査線を設定し、船速 5kt 程度、調査線の間隔 0.02~0.03nmで魚礁域を探索し、魚礁群の四隅に位置する魚礁ブロックを特定する。（下図ではブロック1~ブロック4に該当）



- ② 特定した魚礁ブロックを 基点ブロック とする。
- ③ それぞれの基点ブロック毎に 4.2項の手法により魚礁エコー域を確認し、魚礁群の境界上の4基点 p1~p4(★印)を求める。

図-19 広域魚礁の魚礁域設定方法

### 4.3.2 長軸方向垂直断面図

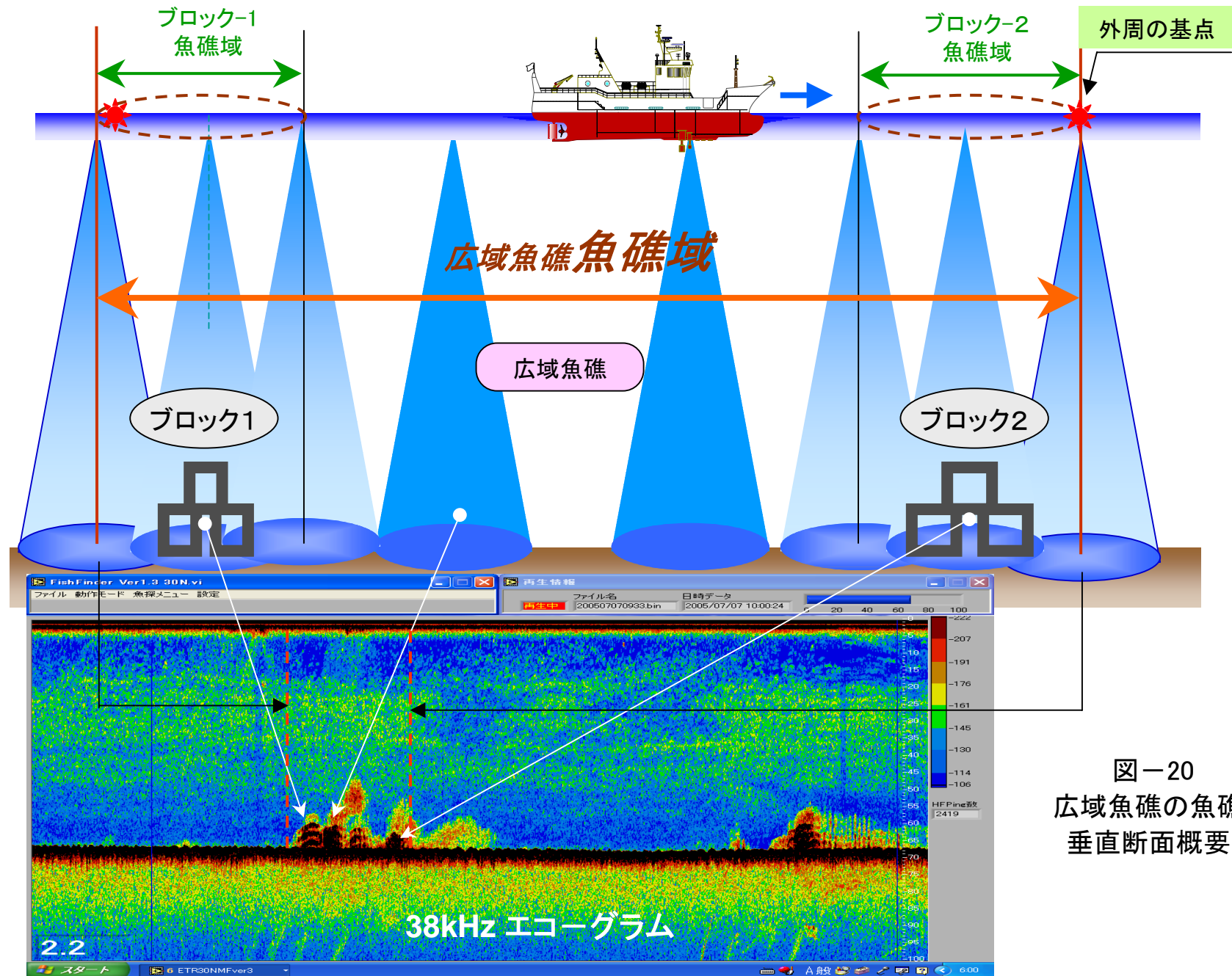


図-20  
広域魚礁の魚礁域  
垂直断面概要図

### 4.3.3 広域魚礁の[魚礁域]決定方法

魚礁域の設定は次のとおりとする。

- ① 広域魚礁の四隅に位置する魚礁の魚礁域の境界上の4点(p1~p4)を定める。
- ② 4点で囲まれた四辺形を作成する。
- ③ 四辺形の対角線のそれぞれX(横方向)、Y(縦方向)成分を作図する。(右図の緑色点線部)  
X軸---東西方向  
Y軸---南北方向 } とする。
- ④ 各対角線のX、Y成分の長さの長い方をそれぞれ長辺と短辺とし、各点がそれぞれの辺上に位置するように長方形(P1~P4)を作図する。この長方形の範囲を **魚礁域** とする。
- ⑤ この長方形の中心点を原点とするX-Y座標軸を定め、調査域設定の軸とする。

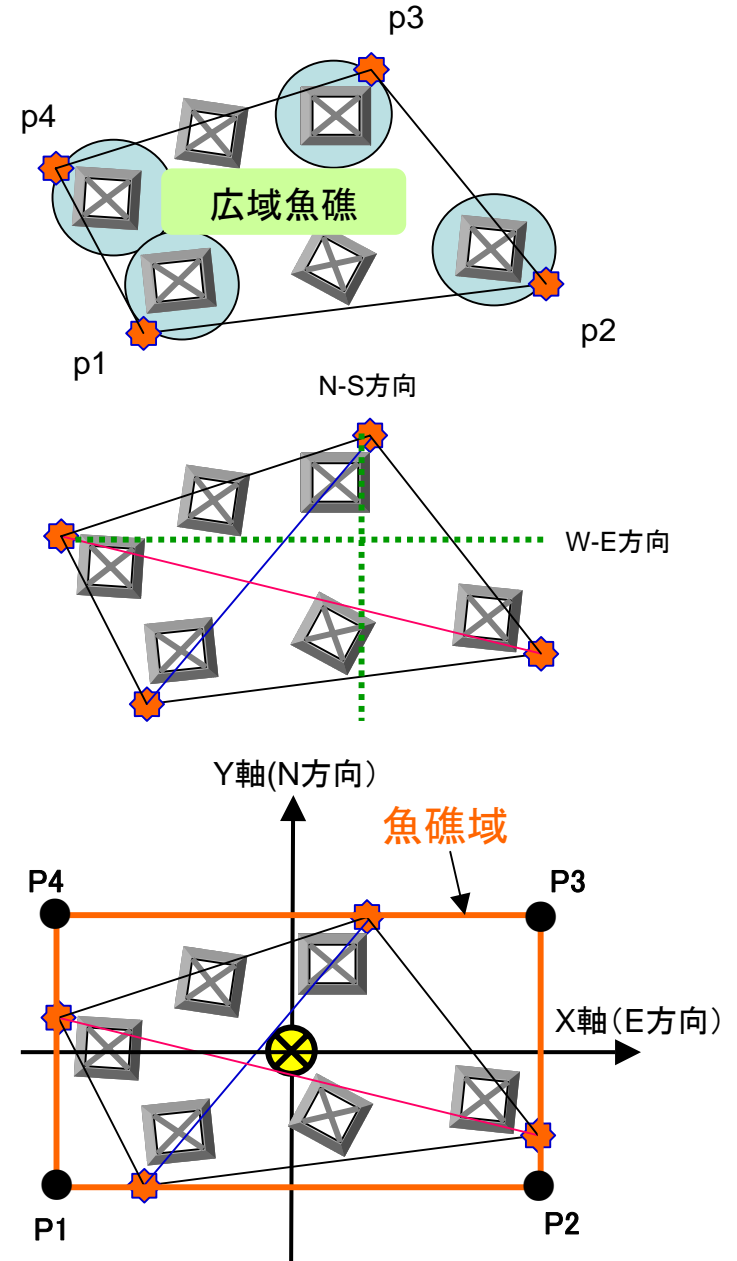


図-21 広域魚礁の魚礁域決定概要図

# 4.3.4 予備調査による魚礁域の設定事例

( 山口県阿武町奈古沖のH10年魚礁および高層魚礁 )

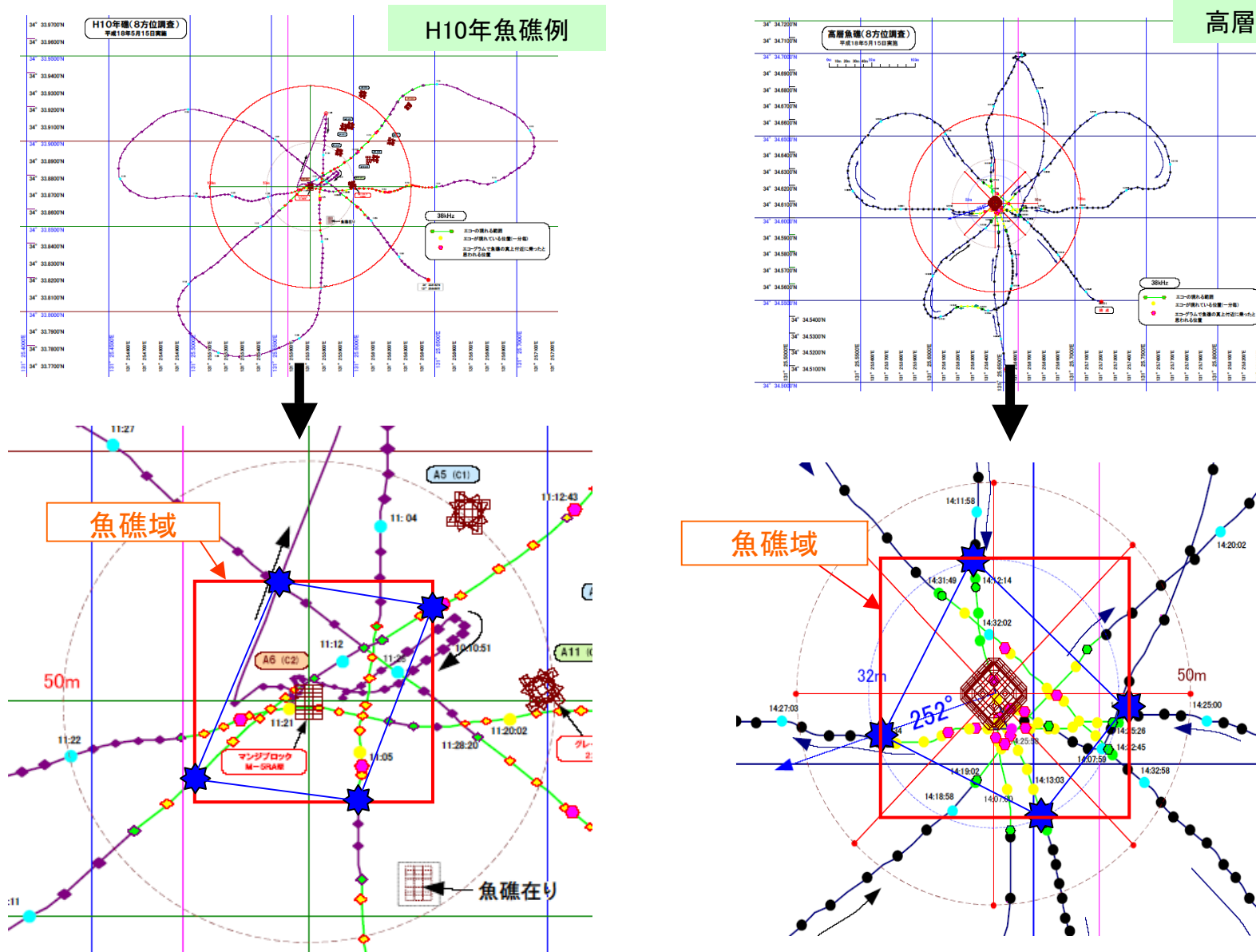


図-22 予備調査の実例

## 4.4 調査域の設定方法

### 4.4.1 単独および広域魚礁の場合

調査域の設定は、4.2および4.3項に基づき、単独魚礁および広域魚礁の魚礁域がそれぞれ定められたことを受けて、3.4項の定義に基づき 長辺、短辺の両端から各600m延長した距離を辺とする長方形の範囲とする。

※ 600mと決定した理由は、人工魚礁の蛸集範囲が200m程度であるとの研究報告を受けて、実調査時間なども配慮し、その3倍の距離である600mとした。(3.4.2項の調査域の定義を参照)

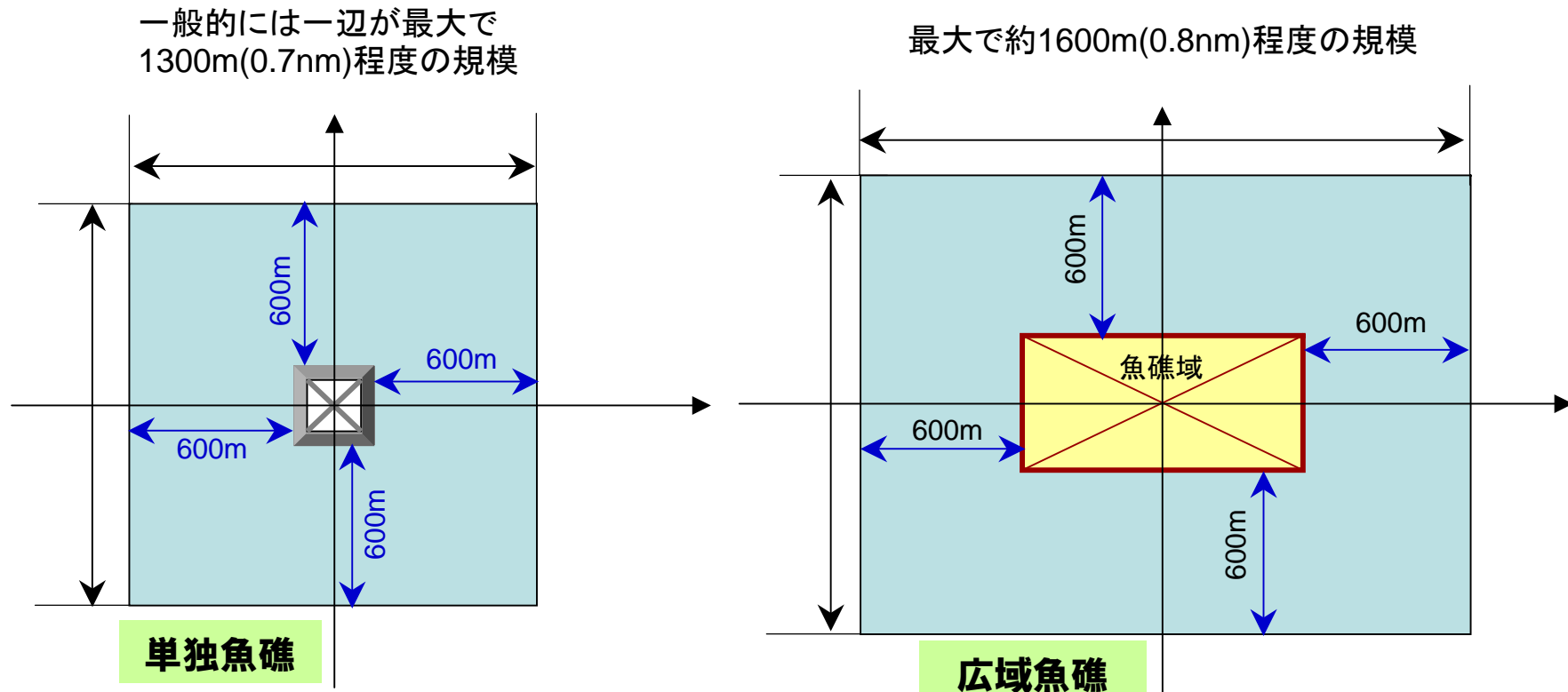


図-23 調査域設定の概要図

## 4.4.2 広域大型魚礁の場合

広域大型魚礁では、構成する魚礁ブロックごとに 3.3.3項に基づき魚礁域を定める。

それぞれの魚礁域が位置する東西南北方向の最端位置から各600m延長した距離を辺とする長方形の範囲とする。

5.2項調査線設定の基本設計に基づき、調査強度および調査時間などから4.4.1項と同様とした。

資料一 「広域大型魚礁の調査域の調査線設計」を参照

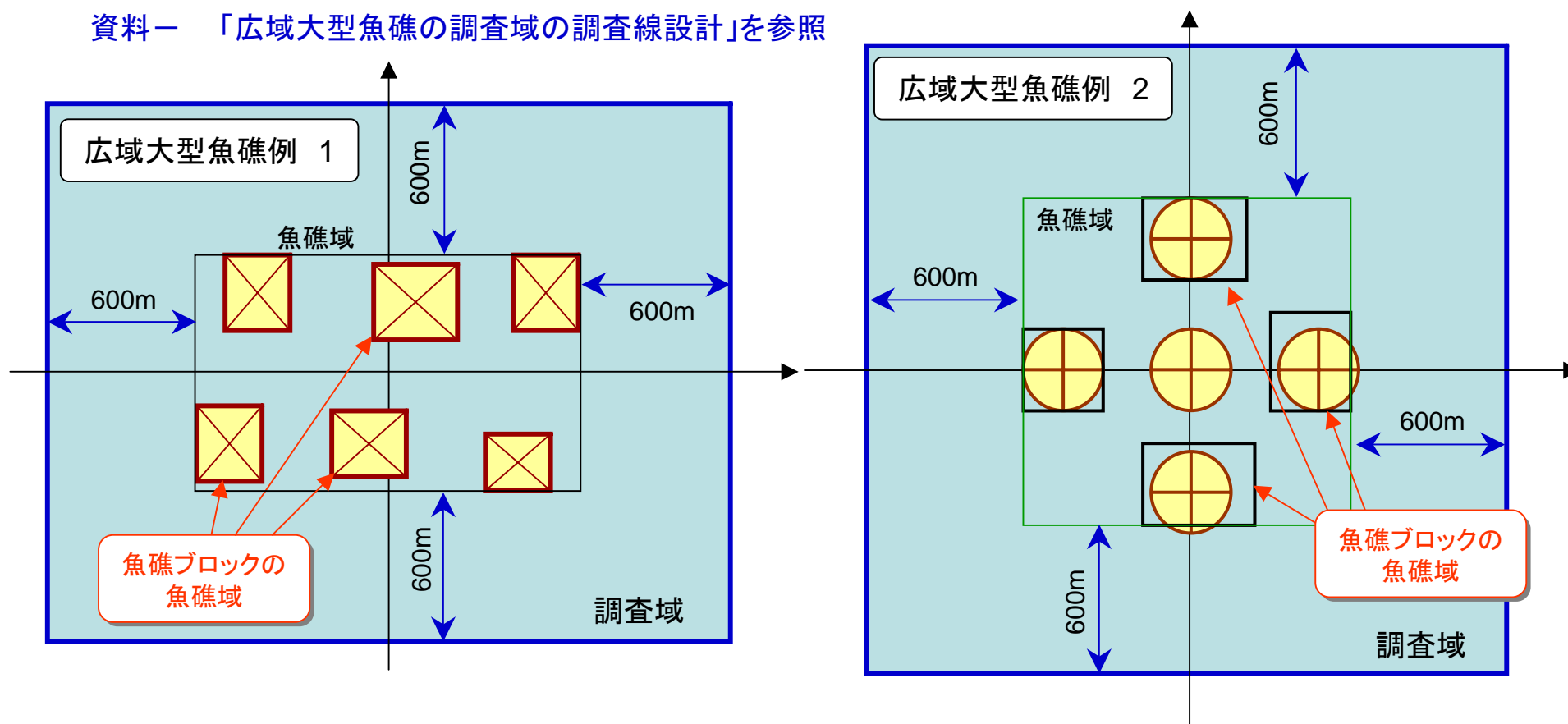


図-24 調査域設定の概要図



# 第5章 魚礁の音響調査方法

## 5.1 魚礁調査に関する諸条件

(その1)

### ① 調査海況

調査日の海況については、収録する魚探機のエコーグラムが泡切れなどによる影響のない安定したエコーを取得するため、次の要領を目安とする。

1) 調査の実施目安は次のとおりとするが、海況の見通しも含めて 船長判断に委ねる。

気象予報で [波高2.0m] 未満を調査実施条件の目安とする。

2) 調査が可能な海況においても、調査船の規模に伴う船底装備状況などを勘案し、現場で魚探機のエコー状態(泡切れ程度など)を確認の上、実施する。

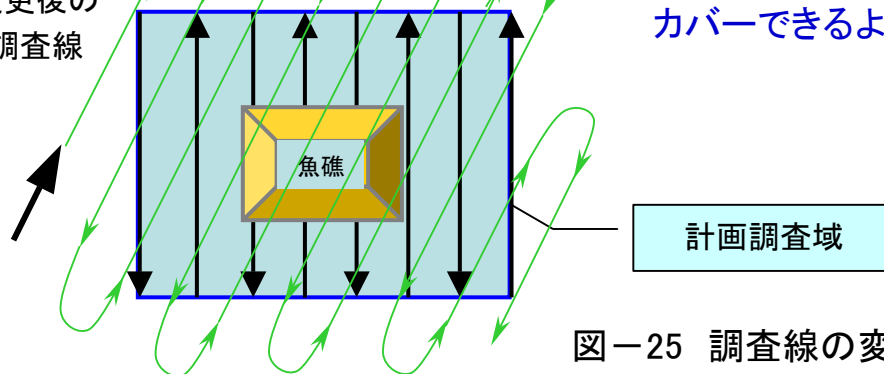
調査不適の目安は次のとおりとする。

- ★ 1分間に5~6回程度以上の泡切れ現象が認められる場合 もしくは
- ★ 1回の泡切れで数秒間泡切れが継続する状況がしばしば発生する場合

3) 計画どおりでは難しいと予想される場合は、風向き、潮の流れ、波の向きを考慮して、魚探機エコーに支障が出

にくい方向に調査線の方向を変更し実施する。

変更後の  
調査線



※ この場合は当初の調査域をカバーできるように調査する。

図-25 調査線の変更

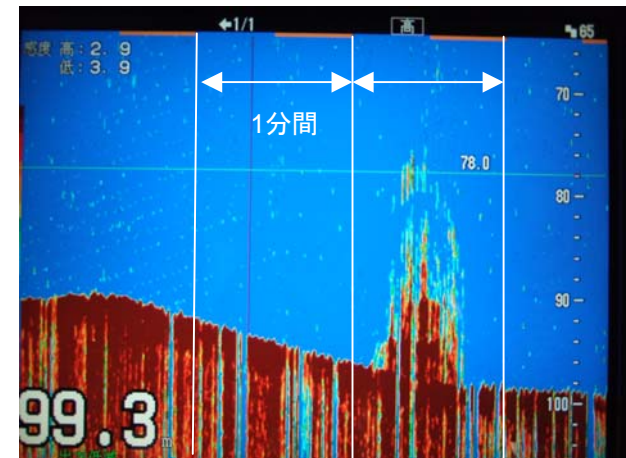


図-26 泡切れ現象で不適な例

## ②音響機器の干渉

魚探機のエコーに不要波のエコーが混入しないようにするために原則として他の音響機器は「断」とする。

しかし、同時取得データなどのために必要な機器については、事前に現場環境の下で確認し、どうしても影響を及ぼすものについては、調査中に限り機器を「断」とし、別途工夫する。

### 要領

- 1) 周波数が同一の場合は必ず相手機を「断」にする。
- 2) 周波数の整数倍に相当する場合は現場海域で必ず干渉の有無を確認する。
- 3) 干渉をある程度抑える工夫としては送受波器間の距離を離し、船底直下5m付近で相互のビームが交錯しないように配慮する。

## ③その他の雑音

その他の外来雑音としては下記の3種類の雑音が予想され、それぞれ調査の事前に確認し、雑音の原因となる要因対策を施す。

### 1)接地不良雑音

調査船に搭載以外の魚探機を用いる場合は、機材を持ち込んで仮設置を行うことになるのでアースは確実に船体に落とすよう配慮する。特に小型調査船ではFRP材質の船体が多いので、アース線は別途舷側から海中に落とすように工夫する。

### 2)走行雑音

走行雑音は、送受波器周辺の取付部の位置や形状によって引き起こされる場合が殆どであり、船速によって現れる程度が異なる。一般的には映像に雨が降っているような筋状の雑音となって現れるが、調査時の船速で影響がないかどうかを確認し、雑音の影響が問題にならない程度まで船速を落として調査を実施する。舷側装備の場合は船体との位置関係が起因する場合があるので舷側パイプの取付位置を前後に移動させたり、突出量を深くするなどの対策を施す。

### 3) 装備環境による不要エコー雑音

舷側装備の場合は特にエンジン関係の雑音を拾う場合があるのでエンジンの真横付近は避ける。また、突出量も深く設置することが好ましい。

#### 舷側装備位置の要領

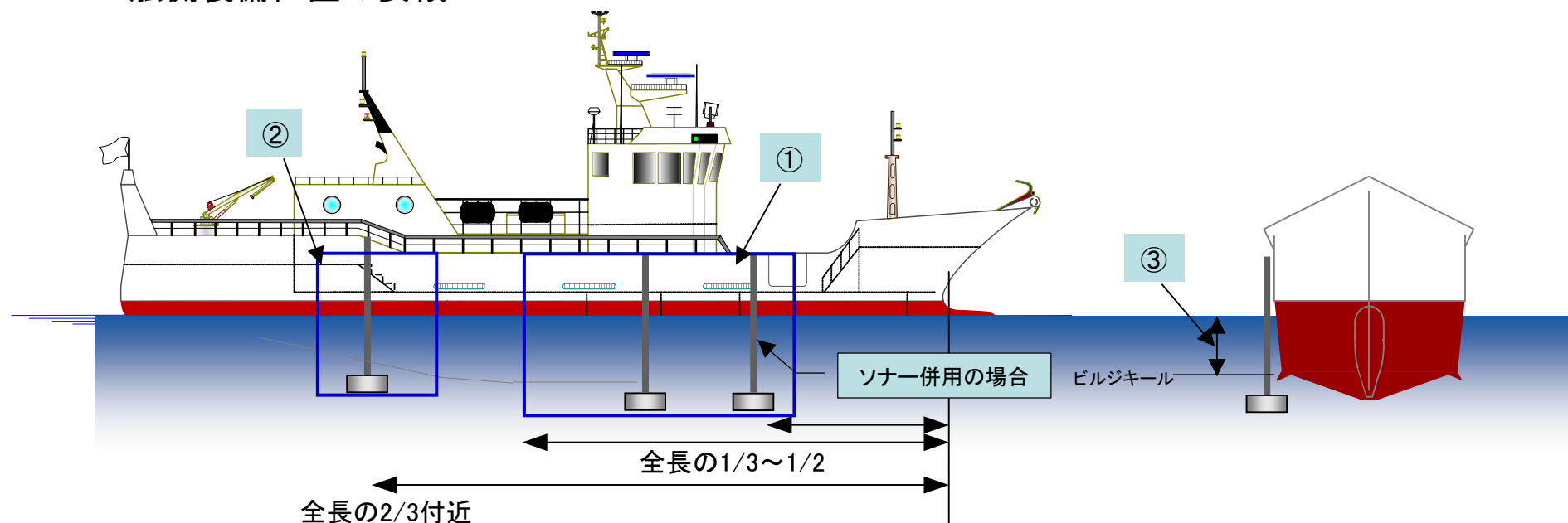


図-27 送受波器の舷側装備要領図

- 舷側装備位置
- a) 送受波器を舷側装備する場合は上図(図-27)の「①」もしくは「②」の位置に取付ける。海況が思わしくなく、ピッチングの影響がある場合は「②」の位置が好ましい。
  - b) ソナー装備船でソナーを併用する場合には、「①」の位置ではソナーよりも前方に配置するか、もしくは「②」の位置に取付ける。
- 取付要領
- c) 舷側用パイプの突出量は上図(図-27)の「③」に示すようにビルジキールよりも下方に取付ける。(走行時の気泡層の影響を回避し、音響的に船体の不要な反射エコーを避ける。)

## 5.2 調査計画の設計

### 5.2.1 調査強度の基本的な考え

1) 調査時間の制限下で、調査の最適化を図るためには調査線数をどう設計するかである。

したがって、魚礁の音響調査には、一般的に用いられている図-29に示すような並行調査線方式を用いる。

また、調査の時間帯は原則として夜間は避け、昼間に行くこととする。

2) 並行調査線方式では、音響資源調査で古澤によって報告<sup>8)</sup>されている Aglen (1983)による調査強度<sup>9)</sup>の考えを魚礁調査に適用し、調査強度の条件を次のとおりとする。

文献 8) 古澤 昌彦:「音響水産資源調査の原理、実際、将来」西海ブロック漁海況研報 第12号 2005.2

文献 9) Aglen,A “Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied ”  
FAO Fish Rep. No.300, 293-298(1983)

3) 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いる。

4) 音響資源調査では、図-29に示す調査強度と変動係数の関係から、調査強度がおよそ「5」より大きいと変動係数がほぼ0.3より小さいという関係を採用して調査線設計を行っている。

5) 魚礁調査においては、出来る限り調査線間隔を密にする観点から、調査強度が「10」より大きいと変動係数はほぼ横ばいの0.2程度である という関係を採用して調査線設計を行う。

ただし、[通常調査]では調査強度を「10」以上に設定する。

[2段階調査]では全体調査は「5」以上、「詳細調査」は「10」以上とする。

## 5.2.2 2段階調査方法とは

広域大型魚礁の調査域を調査する場合は、単独魚礁などとは異なり、魚礁域の調査強度を確保し、広い調査域を効率的に調査する必要がある。5.2.3項に示す調査強度と調査時間の制限が厳しい場合には、[2段階調査方法]を採用する。

**2段階調査方法**とは、下図(図-30)に示すように、調査域全域を計測する**[全体調査]**と魚礁域を可能な限り詳細に計測する**[詳細調査]**に分かれて実施する調査方法である。

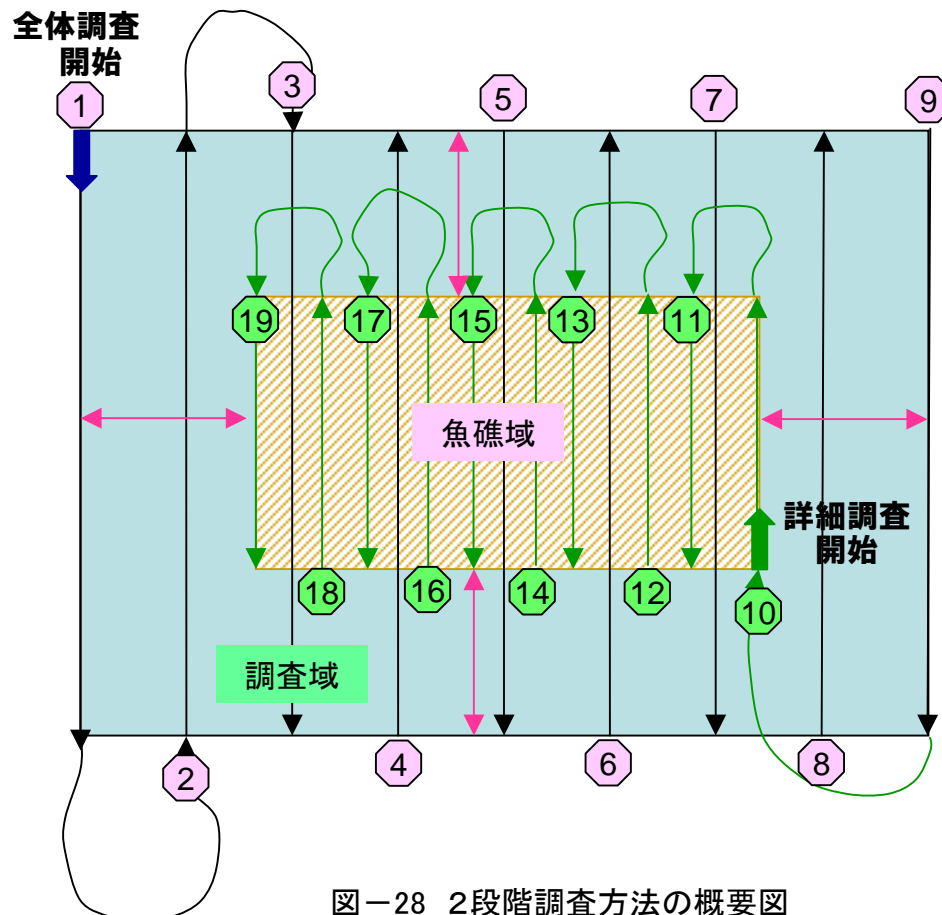


図-28 2段階調査方法の概要図

調査時間は全体と詳細の両調査を併せて目安の6H以内に納まるように設計する。  
ただし、5.2.3項のB式を満足する。

※具体設計は[資料-6]を参照

**全体調査**

① ~ ⑨

5.2.3項のB式に基づき調査域の調査設計を行う。

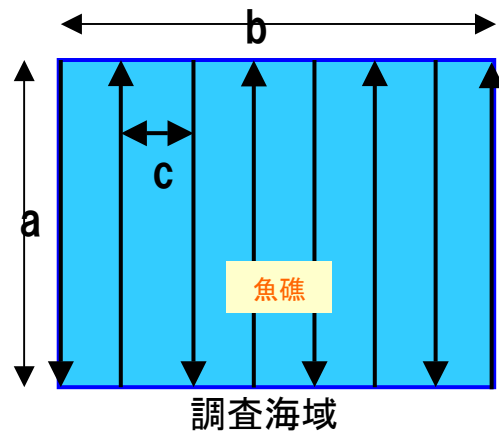
**詳細調査**

⑩ ~ ⑱

同様に、5.2.3項のB式に基づき魚礁域の調査設計を行う。

この場合には、全体調査により魚礁域を通過した調査線は重複しないように設計する。

## 5.2.3 調査強度、調査線数、調査間隔の算出



図一29 音響調査線概要図

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。

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

$$\text{調査線全長} = a N, \quad \text{調査面積} = a b$$

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

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。

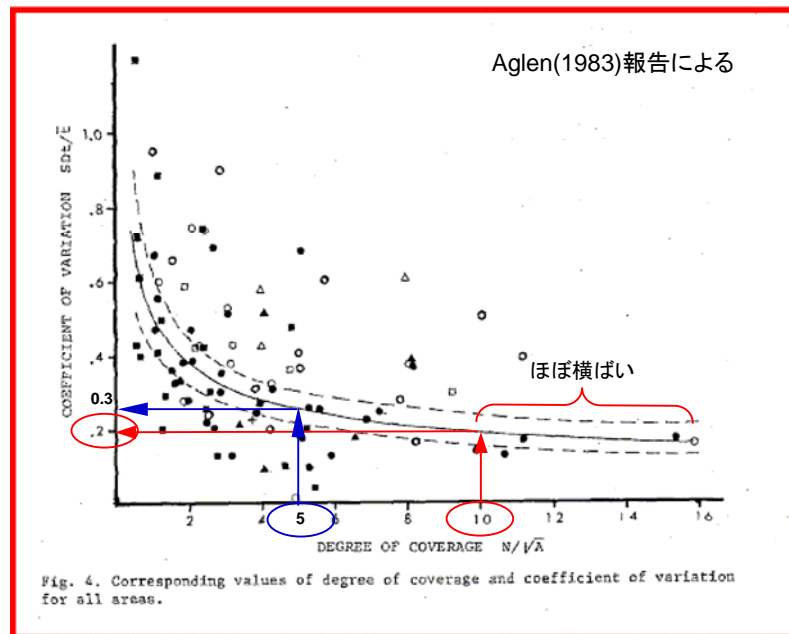
$$D(\text{調査強度}) = \frac{\text{調査線全長}}{\sqrt{\text{調査面積}}} \geq 10 \quad \text{----- B式}$$

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

**[2段階調査の全体調査]**では次の式を適用する。

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

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



図一30 調査強度と変動係数

## 5.2.4 調査線の具体設計例

(その1)

通常調査方法を適用して調査線設計を行った事例

### 1) 単独魚礁例の場合

$a = 0.38\text{nm}$  ,  $b = 0.38\text{nm}$  が調査域の場合は、調査強度の条件は次のとおりとなる。  
したがって、調査線数 $N=11$ に設定すると調査強度は「11」となる。

$$N(\text{調査線数}) > 10 \quad \text{となり、ゆえに} \quad C(\text{調査線間隔}) < b/10 = 0.038\text{nm} \quad (N=11\text{に設定})$$

### 2) 広域魚礁例の場合

$a = 0.49\text{nm}$  ,  $b = 0.59\text{nm}$  が調査域の場合は、同様に調査線数 $N=11$ に設定すると調査強度は「10.02」となる。

$$N(\text{調査線数}) > 10.9 \quad , \quad C(\text{調査線間隔}) < b/10 = 0.059\text{nm} \quad (N=11\text{に設定})$$

上記例における調査線数を変えた場合の調査強度と調査線間隔の関係を下表(表-1)に示す。

N 調査線数	単独魚礁例の場合		広域魚礁例の場合	
	C<	調査強度	C<	調査強度
11	0.038nm (46m)	11	0.059nm (109m)	10.02
17	0.024nm (44m)	17	0.036nm (67m)	15.5
20	0.02 nm (37m)	20	0.031nm (57m)	18.2
25	0.016nm (30m)	25	0.025nm (46m)	22.8
30	0.013nm (24m)	30	0.02 nm (37m)	27.3

上記例で、実際に調査する場合、調査強度をできる限り高く設定する観点では調査時の操船および調査時間の限界などから緑色太枠内が目安となる。しかし、調査線数が25~30本の場合は海況にも左右され易い操船限界であることから、設計値としては調査強度を10~25(赤色線枠)程度に設定することが好ましい。

実際には0.02nm未満は海況にも左右されやすく、操船の限界である。

表-1 調査線数と調査強度

     設計目標の目安

## 2段階調査方法を適用して調査線設計を行った事例

## 3)広域大型魚礁例の場合

## 全体調査

魚礁域が0.3nmX0.34nmで、調査域が( a = 0.94nm , b = 0.99nm )の場合は、面積比が8.3倍 となる。

全体調査に要する時間を3時間とした場合、船速5ktでは 調査強度Dは  $D \leq 11.06$ となる。

したがって、下限値の**D=11.0**は 5.2.1項のB式を満足する。

続いて調査線間隔Cは **C=162.4m(約0.088nm)**となり、 $C < 0.099$ の条件も満足する。

以上から調査線数Nは  $N > 11.3$ となり、**N=12**と決定できる。

## 詳細調査

調査時間を3時間未満で魚礁域をできる限り精査できる設定を行う必要があるので、2.5時間と3時間で、船速は全体調査と同じ5ktで検証すると次のとおりとなる。

調査強度D、および調査線間隔Cは

$D(2.5H) \leq 16.87$  (**D=16**) となり、**C=36.6m(0.02nm)**

$D(3H) \leq 20.14$  (D=20) となり、**C=29.3m(0.016nm)**

したがって、調査線数Nはそれぞれ

$N_{2.5H} > 17.2$ となり、**N=18** ,  $N_{3H} > 21.5$ となり、**N=22** となる。

調査線間隔については実際の操船で0.02nm以上が好ましいことから、2.5時間でも十分であると判定できる。



2段階調査は船速5ktで調査時間5.5時間、調査線数 計30本で調査線設計が完了

全体調査: 調査強度 11 , 調査線数 12本 , 調査線間隔 0.0088nm

詳細調査: 調査強度 16 , 調査線数 18本 , 調査線間隔 0.02nm

※ 設計に当たっては、[資料-6]、[資料-7]を参照



## 5.2.5 調査線数の決定と条件

- 1) 調査強度条件式(5.2.1項のB式) による設計条件を満足する。
- 2) 調査対象とする魚礁の魚礁域を考慮し、実調査時に魚礁域を通過する調査線数を確保する。
  - ※ 魚礁域が狭い場合には、調査時の現場海域の海象によっては調査計画通りの操船が困難となり、コースずれにより実際に魚礁を捉える調査線数が減る恐れが発生する。
- 3) 魚礁域のとなり合う調査線間で、38kHz音響ビームによる海底面反射範囲にできる限り隙間がないように設定する。  
(魚礁域の調査強度をできる限り大きく取れるように配慮する。)
  - ※ 計量魚群探知機 では最近、周波数に関係なくほぼ同じビーム幅の比較的シャープなビームが採用されている。 (-3dB/down -- 約7度程度)
- 4) 調査時間は、実際の操船術など総合的に調査効率を考慮して 決定する。
  - ※ 調査時間が6Hを越すような場合は、干満による潮汐が変化するなど調査開始時と終了時では魚礁近辺の海洋環境が異なるため回避する。
- 5) 調査設計の目安は、操船も含め、調査精度をより高める観点から次のとおりとする。

調査時間の目安は**最長[ 5H ]程度**とする

調査強度は **10 < 調査強度 < 25程度**  
調査線間隔は **0.02nm~0.06nm程度**

魚礁域は  
調査強度10以上!

(注) ただし、2段階調査方法における全体調査以外に適用する。

## 第6章 収録データの解析方法

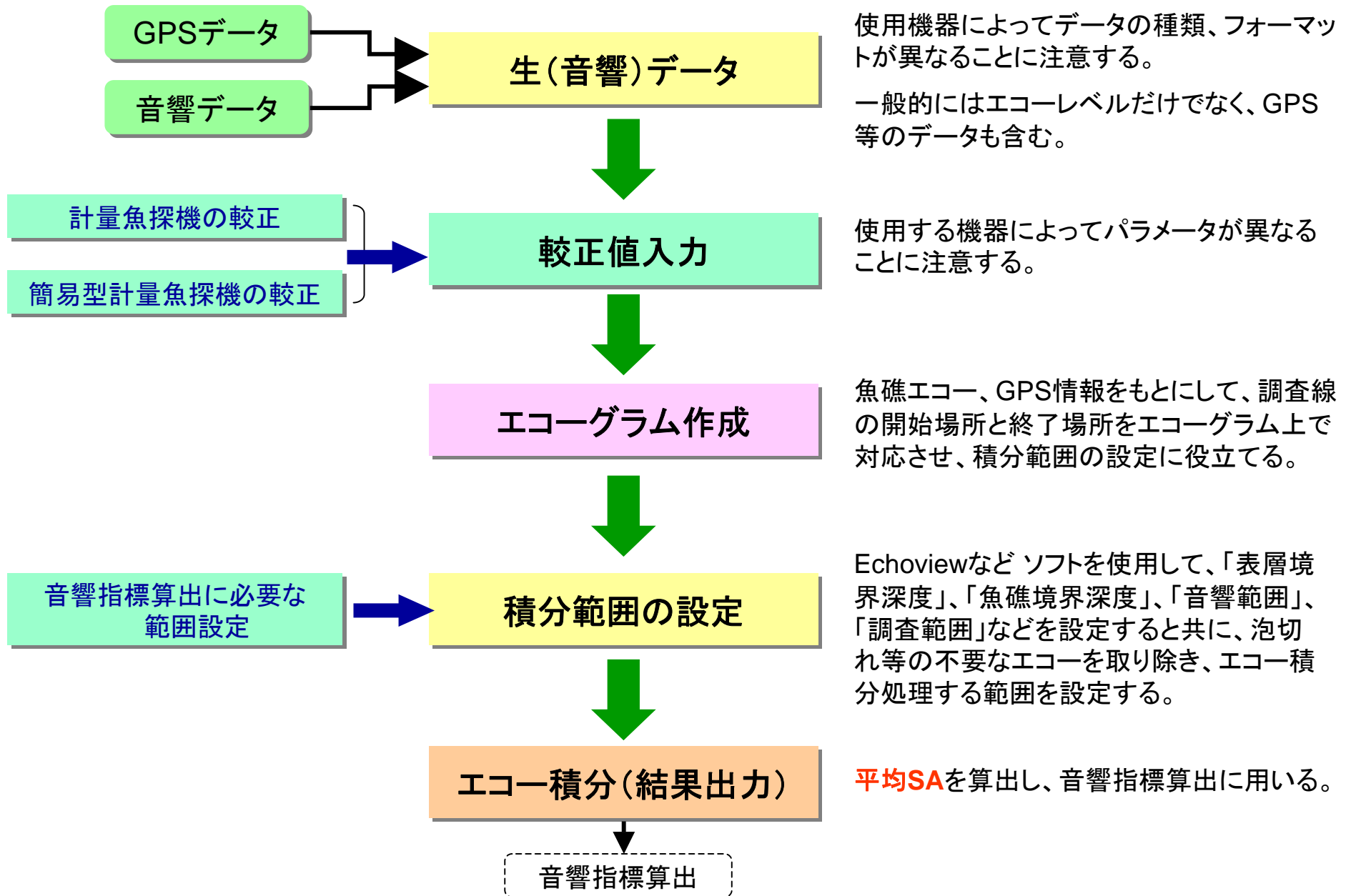
### 6.1 Echoview などソフトによる音響データの基礎解析

2.2項「簡易型計量魚群探知機の解析概要」に基づき、収録したデータを [ Echoview などソフト ] を用いて必要な範囲のエコー積分を行い、それぞれの平均SA値から音響指標を算出する。

ここではEchoviewソフトによる解析処理フローについて概要を述べる。

Echoview (Sonar Data社製) などソフトとは、計量魚探機などで収録した音響データの後処理ソフトウェアで、多くの音響調査機器 (計量魚探機等) をサポートしているが、使用する機器によってEchoviewに入力するパラメータ等が異なるので、使用する機器のデータフォーマット、較正パラメータ等について熟知することが必要である。簡易型計量魚群探知機では収録したデータをSV変換後にEchoviewソフトで処理できるように対応している。

## 6.1.1 Echoviewソフトによる音響データの解析フロー



## 6.1.2 簡易型計量魚群探知機の較正方法

(その1)

1) 目的：2.3項「音響機器の較正について」に基づきシステムの較正を実施する。

### 2) 較正場所の決定

#### ① 較正場所の要件

較正場所は較正が容易に行える潮流の影響が少なく、水深が確保できる湾内などの平坦で比較的底質の柔らかい場所(海域)を予め決定し、原則として調査時には同じ場所で行う。また、波浪による船体動揺の影響を受けにくい場所の選定および船が振れないようにオモテとトモアンカーの工夫が必要。

#### ② 較正場所の水深

水深は原則として30~40m程度を確保する。

#### ③ 較正球(標準球)の深度

標準球の深度は、20mに設定してエコーを収録する。その場合、標準球のエコーが最強色(赤茶色)になるように較正用釣り竿で調整する。

※ 深度は送受波器と標準球の距離とする。

#### ④ データ収録時間

エコーのデータ収録は標準球のエコーが安定した状態で最低一分間以上得られること。

#### 【注意】

較正する場合は原則として錨泊して行う。  
同時にCTD計測を実施する。

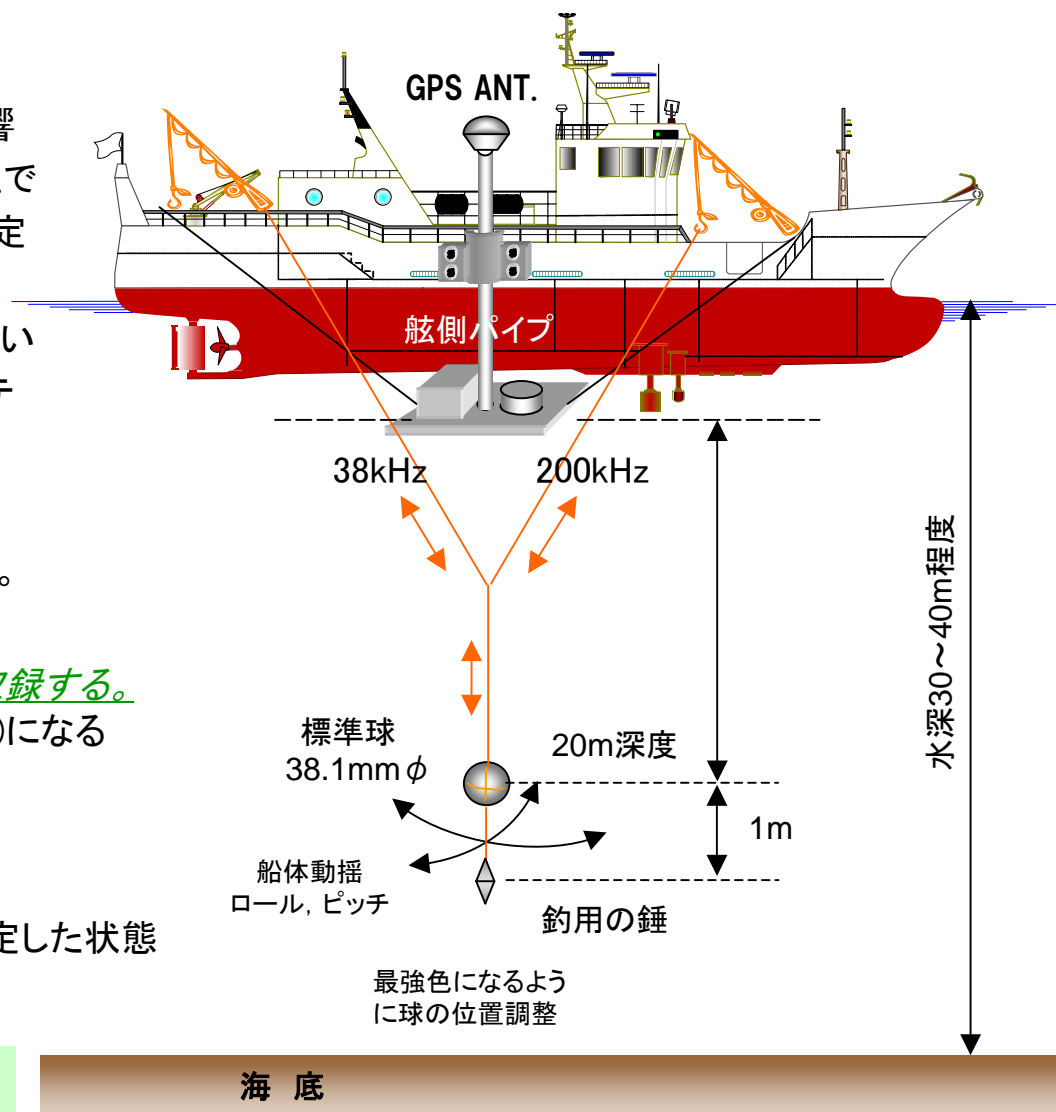


図-31 標準球による較正

### 3) 較正方法の概要

(その2)

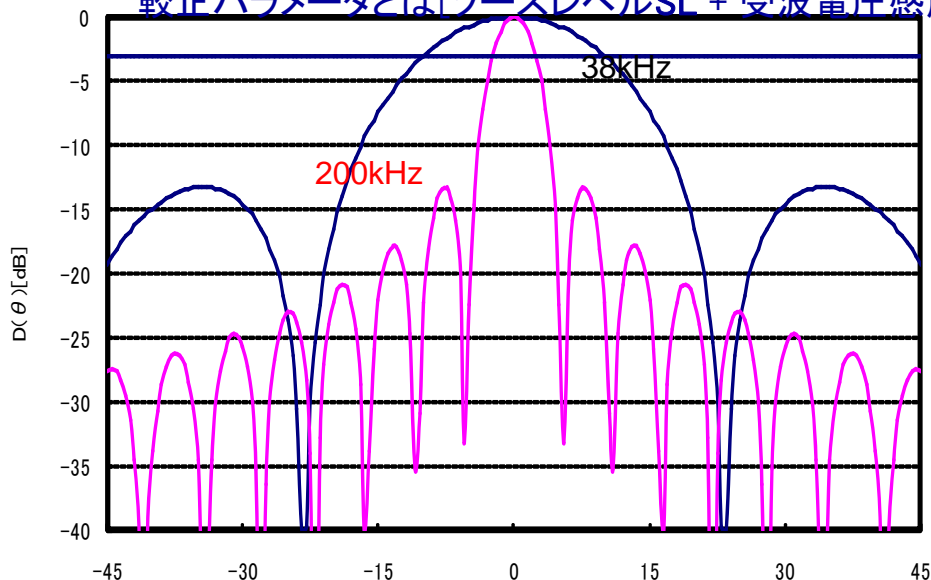
- 標準球は、材質(タングステンカーバイト)、38.1mmφを用いる。
- 標準球のTSは、下表より決定する。
- 較正はデュアルビーム方式にて行う。

較正では指向性主軸での感度として定義されるので、標準球が指向性主軸上にある時較正する必要があり、標準球が指向性主軸にあることを確認する方法としてデュアルビーム方式を用いる。

したがって、指向角が数倍異なる2周波の送受波器(38kHzと200kHz)を使用する。

- 較正は、Echoview上で較正パラメータを調整する。

較正パラメータとは[ソースレベルSL + 受波電圧感度ME + 受信器感度G]である。



周波数 [kHz]	推奨TS値 [dB]
<b>38</b> [kHz]	<b>-42.3</b>
70 [kHz]	-41.5
120 [kHz]	-39.9
<b>200</b> [kHz]	<b>-39.1</b>

計量魚群探知機で推奨のTS値

型式	等価ビーム幅	半減全角	基準較正パラメータ
38BL-9HR	-11.6dB	20.8°	156.8dB
200B-8B	-22.7dB	5.9°	163.9dB

図-32 送受波器の指向特性図

# 6.1.3 SV-エコーグラム 例 (38kHz, 200kHz)

山口県阿武町奈古沖のH10年魚礁例

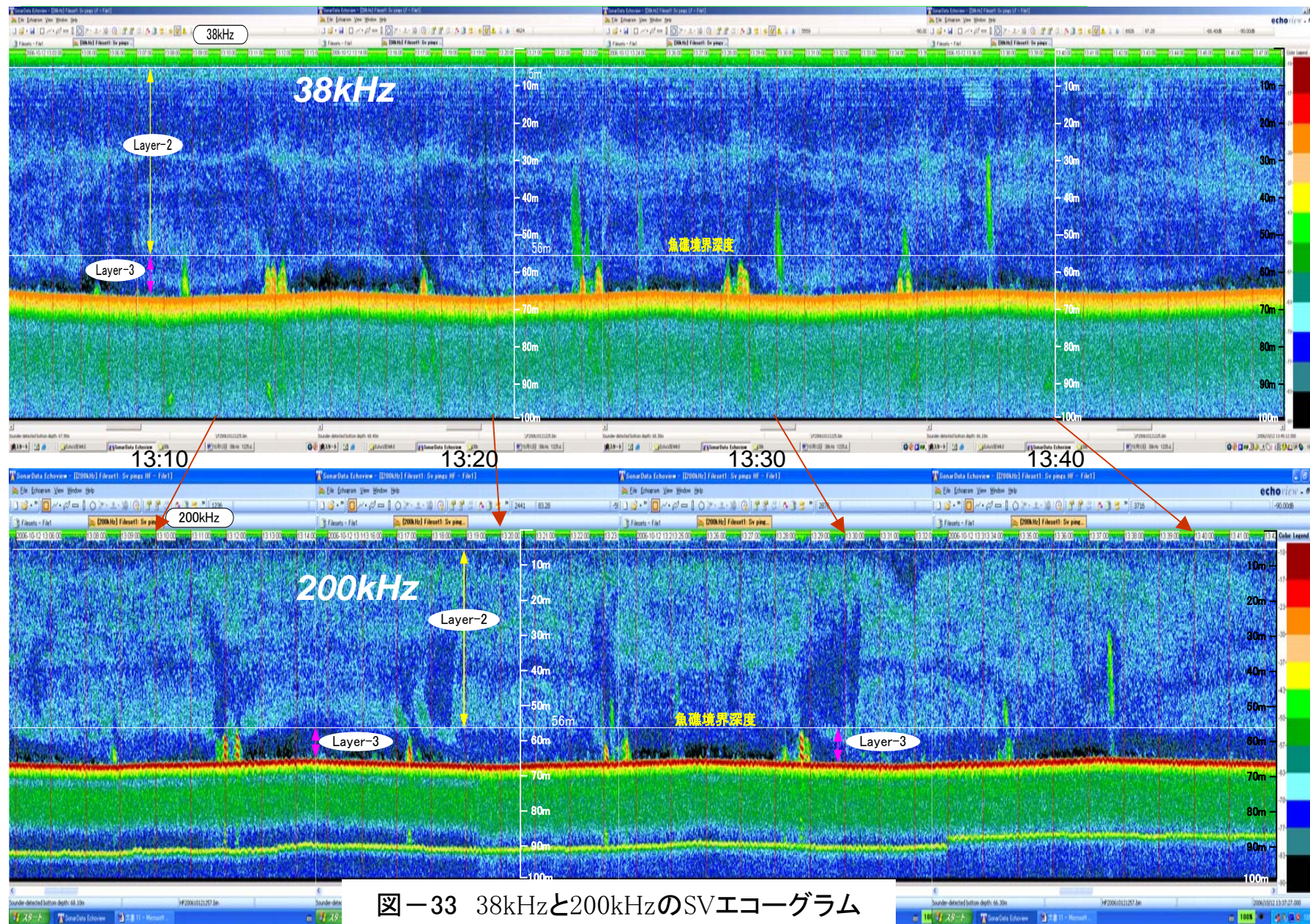


図-33 38kHzと200kHzのSVエコーグラム

## 6.2 シミュレーション法による魚礁エコー域の推定(識別)

魚礁の調査では、音響手法を用いた場合にどうしても魚礁エコーを識別分離する手法が課題となってきた。また、得られた音響エコーの状況によっては簡便的に処理できる場合もあり、実用的な処理方法については附1.2.2項で紹介する。

どのような現象が起こるのかと言え、魚礁エコーには、音響ビームによる物理的要因のために次のような現象を招き、魚礁に対する自船との位置関係で三次元的に非常に複雑な反射エコーとなるためである。

1) ビーム幅の影響により、深度が増すごとに画像が実際よりも拡大される(画像拡大効果)

2) サイドローブにより、メインビームによるエコー以外の反射エコーが混入する(虚像)

水産大学校では、これらを解決すべく研究開発の結果、魚礁の形状が予め既知であれば、シミュレーション法によって、いたずらを受ける恐れのある部分を三次元で範囲設定し、魚礁の音響エコーから強制的に排除することで、魚礁と魚群の識別を自動化処理ができる手法を開発した。

開発段階における「2値化処理法」では、状況によって完全に除去しえず、魚礁の蝟集量を過大に算出する危険性のあることが分かり、本シミュレーション法を開発した。(H20年度成果)

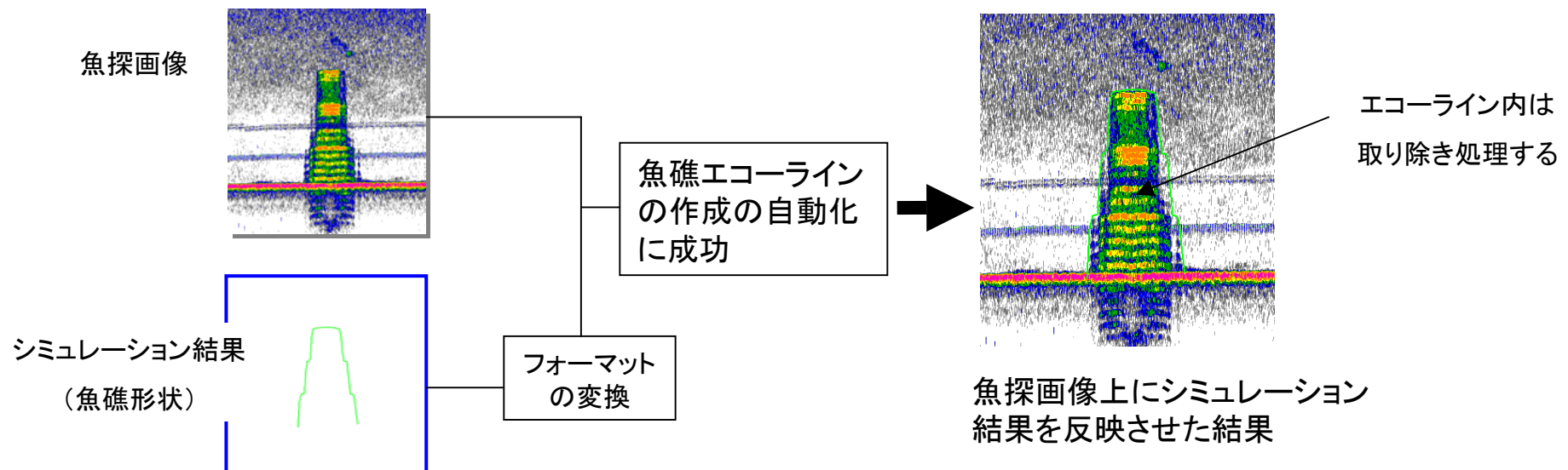


図-34 シミュレーション法による処理

# 6.3 [音響指標]の算出

## 6.3.1 音響指標調査表を用いて算出

音響指標の算出は、下記の音響指標調査表(計算式入力済みのExcel表)に、Echoview ソフトで算出した魚礁域および調査域のそれぞれSV,SA値を代入することで自動的に計算することができる。

魚礁の増殖効果評価のための音響指標調査表

観測回数		35kHz	70kHz	120kHz	200kHz
1. 調査日時および船況					
調査船	調査日時	第1回	平成10年魚礁	魚礁調査	
第二回以上	年月日 時刻	天候	風向	風速	波高
	H18年5月18日 9:00~12:00	晴れ/曇り			m 0.5~1.0m
2. 調査対象魚種					
対象魚種	山口県阿武郡吉津 1010年魚礁				
魚礁位置(GPS)	緯度: 34° 33' 54" N	経度: 131° 25' 35" E			
3. その他の観測					
CTD観測	有/無				
ADCP観測	有/無				
流向	流速	水深	水深	水深	水深
1層 (m)		10	10	10	10
2層 (m)		10	10	10	10
3層 (m)		10	10	10	10
4. 音響調査の基礎情報					
4.1 魚礁基礎観測点(4点)					
	経度(Longitude)	緯度(Latitude)	水深	観測種	
P1	N	E	m		
P2	N	E	m		
P3	N	E	m		
P4	N	E	m		
基点	N	E	m		
4.2 音響魚礁域					
	経度(Longitude)	緯度(Latitude)	水深	観測種	
PH1	34.58437	N 131.426	E	m	
PH2	34.58437	N 131.4271	E	m	
PH3	34.58588	N 131.4271	E	m	13.813
PH4	34.58588	N 131.426	E	m	0f
4.3 音響調査域					
	経度(Longitude)	緯度(Latitude)	水深	観測種	
PS1	34.58323	N 131.4243	E	m	
PS2	34.58323	N 131.4287	E	m	
PS3	34.58683	N 131.4287	E	m	180.000
PS4	34.58683	N 131.4243	E	m	0f

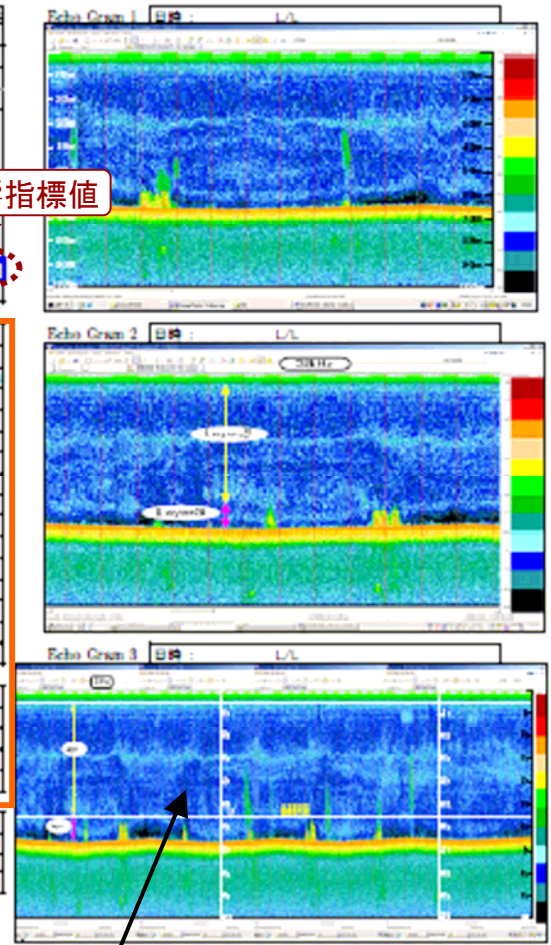
特記事項: [SV] 体積率換算深度  
[SA] 面積率換算深度

音響魚礁域、調査域の設定

5. 音響データ解析					
単位	観測種	千々数	平均SV	平均SA	音響指標
音響魚礁域					
LAYER-2	5m ~	魚礁境界深度(56)			
A1:境界深度上部	704.488m	52	-43.2		
LAYER-3	魚礁境界深度(56)				
A1:境界深度下部					
A2:境界深度下部					
音響調査域					
LAYER-2	A2:境界深度上部	E.180.000M	500	58	-42.2
LAYER-3	A2:境界深度下部				
増殖効果音響指標(Layer-2)	A1/A2-A1				0.8
特殊解析音響指標(Layer-3)	B1/B2-B1				
6. 資源解析(参考値)					
6.1 魚種情報					
魚種1	アジ	10	16	-60	-48
魚種2		0f			
魚種3					
魚種4					
魚種5					
6.2 魚群					
	魚種	単位体積量	単位体積量	魚数	重量
音響魚礁域					
魚種1	アジ	0.057881	0.917249	40.775	846.241
魚種2					
魚種3					
音響調査域					
魚種1	アジ	0.065905	1.04451866	537.702	735.020
魚種2					
魚種3					
7. 魚礁の増殖効果評価					
	魚種	魚数増減	重量増減		
魚種1	アジ	3.433	-39.507		
魚種2					
魚種3					
魚種4					
使用機器					
	型名	観測数	日付	1回目	2回目
計算処理ソフト					
観測計量化装置	35kHz		観測日		

特殊解析の資源量推定

SV, SA値を代入



エコーグラムを添付することで計算結果との照合が可能

表-2 音響調査表記入例



## 6.3.2 [音響指標] 算出例

魚礁直上域		直上域SA	周辺域SA	直上域Sa	調査域Sa	音響指標
H10年魚礁	200(5月)	-45.7	-47	2.69153E-05	1.99526E-05	1.35
	200(10月)	-48.5	-49.8	1.41254E-05	1.04713E-05	1.35
	38(5月)	-43.2	-42.7	4.7863E-05	5.37032E-05	0.89
	38(10月)	-50.8	-51.4	8.31764E-06	7.24436E-06	1.15
高層魚礁	200(5月)	-44.9	-44.7	3.23594E-05	3.38844E-05	0.95
	200(10月)	-54.4	-55.8	3.63078E-06	2.63027E-06	1.38
	38(5月)	-42.1	-42.9	6.16595E-05	5.12861E-05	1.20
	38(10月)	-50.1	-53.5	9.77237E-06	4.46684E-06	2.19
魚礁境界下部		魚礁近傍域	近傍域SV	周辺域SV	音響指標	
H10年魚礁	200(5月)	-67.9	-67.9	1.62181E-07	1.62181E-07	1.00
	200(10月)	-67.4	-71.6	1.8197E-07	6.91831E-08	2.63
	38(5月)	-61.7	-60.5	6.76083E-07	8.91251E-07	0.76
	38(10月)	-68.1	-70.9	1.54882E-07	8.12831E-07	1.91
高層魚礁	200(5月)	-59.4	-60.7	1.14815E-06	8.51138E-07	1.35
	200(10月)	-61.5	-63.7	7.07946E-07	4.2658E-07	1.66
	38(5月)	-51.1	-52.6	7.76247E-06	5.49541E-06	1.41
	38(10月)	-61.0	-63.6	7.94328E-07	4.36516E-07	1.82

特殊解析(附1.1参照)

表-3 音響指標算出例の表

### 6.3.3 音響指標の意義

1) 魚礁周辺海域に回遊する魚群の魚礁性が推測可能となる。

魚礁における魚類の行動生態分類が知見として報告されているが、魚種(特に回遊性魚類など)によっては生育段階や季節によって魚礁に対する分布様式が変化するなど魚礁へ蜻集する度合を示す魚礁性がまだまだ不明である。

2) 底生性魚類および回遊性魚類に対する魚礁の蜻集効果範囲が推測可能となる。

3) 回遊魚に対する魚礁性が定期的なモニタリングにより期待できる。

#### 4) 音響指標が示す意義

**音響指標 < 1**

魚礁の蜻集効果が認められないことから、季節、時間帯など長期的なモニタリングの観点から蜻集効果の確認が必要である。

**音響指標 > 1**

魚礁の蜻集効果が認められるが、魚礁設置計画時の原単位との関係については、蜻集効果の状況を継続的にモニタリングによる観察が必要である。

全国規模で等質、且つ定量的な指標を得ることができることが分かった。今後はこの指標値を用いてどのように評価基準の策定を行うかは、魚礁設置の事業主体となる各都道府県における継続的な調査結果を踏まえた検討が必要となる。

# 附1章 特殊解析

## 附1.1 特殊解析について

本ガイドラインでは、音響資源調査によって得られた絶対物理量であるSV値(平均体積散乱強度)から、魚礁の蛸集量を参考値として推定する解析を特殊解析として位置づける。

この手法は計量魚群探知機による音響資源調査で用いられ、次式で表される。

$$\text{平均体積散乱強度 [SV]} = \text{平均分布密度 [N]} \times \text{平均 [TS]}$$

この手法を魚礁の音響調査にも適用することで、魚礁の蛸集量を推定することが可能となる。

この式から、[SV]と[TS]を計測することで、平均分布密度[N]が分かることになり、特定の魚種の魚体重と調査海域全容積を乗じることで蛸集量を算出することができる。(詳細は 項を参照)

当然のことながら、TSの精度によっては蛸集量が大きく左右されることにもなる。

しかし、平均TSすなわち魚種別の個体音響強度は、一部の魚種については沖合海域における資源調査の必要性から、長期間に亙り調査を繰り返し、しかも多くの計測事例が算出基盤になっているが、魚礁に蛸集する代表的な底生性魚類の魚種では計測事例の知見が殆どないのが現状である。

## 附1.1.1 魚群量の算出方法

SA値：（Area backscattering strength;面積後方散乱強度）

<Sa値の算出式>

$$sa = \int_{z_1}^{z_2} sv(z) dz$$

〔  $z=ct/2$ ,  $z$ :水深,  $c$ :音速 〕

<魚群量の算出式>

$$\rho(i) = sa(i) / ts \times w \quad \textcircled{1}$$

$$BS = \sum_{i=1}^k \rho(i) \quad \textcircled{2}$$

$sa(i)$ =水平方向*i*番目の面積散乱係数 (dB)

$ts$ : 1尾当たりのターゲットストレングスの線形量

$w$ : 対象魚種1尾当たりの重量

$\rho(i)$ : 水平方向*i*番目の単位面積当たりの重量密度

BS: 魚群量

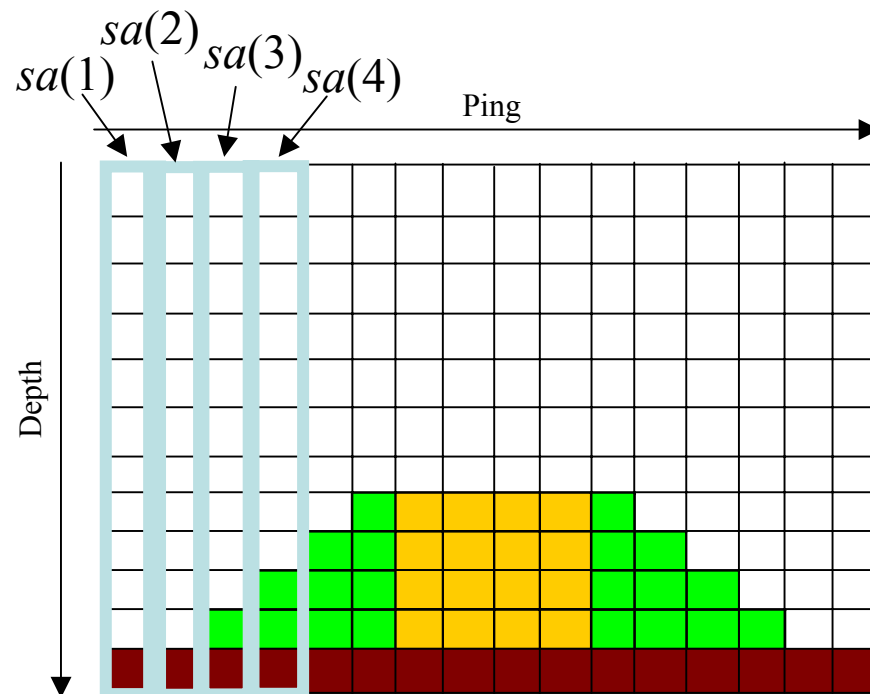


図-35 魚探画像の模式図

マアジ (*Trachurus japonicus*)

平均体長: 17.4 cm

平均体重: 46.5 g

平均TS: -42.6 dB

Hamano and Nakamura (2001)

# 附1.2 蛸集量の推定

H18年度 山口県との調査データに基づく  
(H10年魚礁及び高層魚礁の調査)

## 附1.2.1 蛸集量の算出(試算)例

体長が10cmの小アジ( TS<sub>cm</sub> -68dB , TS -48dB)による試算

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 <sup>3</sup>	単位体積重量 w[g]/m <sup>3</sup>	総体積 [m <sup>3</sup> ]	音響魚礁域 N(尾数)	調査域 N(尾数)	音響魚礁域 w[g]	調査域 w[g]
魚礁域	-60.4	0.057881	0.917349002	704,466	40,775	→ 46,428	646,241	→ 735,828
調査域	-59.8	0.065905	1.044518663	8,160,000		537,782		8,523,272
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 <sup>3</sup>	単位体積重量 w[g]/m <sup>3</sup>	総体積 [m <sup>3</sup> ]	音響魚礁域 N(尾数)	調査域 N(尾数)	音響魚礁域 w[g]	調査域 w[g]
魚礁域	-68	0.009979	0.158161618	704,466	7,030	→ 6,336	111,419	→ 100,415
調査域	-68.5	0.008994	0.142540760	8,160,000		73,389		1,163,133
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 <sup>3</sup>	単位体積重量 w[g]/m <sup>3</sup>	総体積 [m <sup>3</sup> ]	音響魚礁域 N(尾数)	調査域 N(尾数)	音響魚礁域 w[g]	調査域 w[g]
魚礁域	-57.2	0.120429	1.908676464	198,400	23,893	→ 20,056	378,682	→ 317,861
調査域	-58	0.101087	1.602122053	4,960,000		501,392		7,946,525
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 <sup>3</sup>	単位体積重量 w[g]/m <sup>3</sup>	総体積 [m <sup>3</sup> ]	音響魚礁域 N(尾数)	調査域 N(尾数)	音響魚礁域 w[g]	調査域 w[g]
魚礁域	-65.2	0.018890	0.299390508	198,400	3,748	→ 1,711	59,399	→ 27,124
調査域	-68.6	0.008626	0.136712198	4,960,000		42,785		678,093

表-5 蛸集量の算出例



## 附1.3 2周波SV差分法による魚類の識別

魚礁に蟄集する魚群量を推定するためには、音響散乱層に含まれる海洋生物と魚類の識別が必要であり、2周波の計量魚群探知機による「SV周波数差法」(8,9)を適用することで有効であることが判明した。しかし、現在まで魚礁調査での事例がないため、今後計測事例を積み上げ、精度向上を図る必要があることから、参考値として扱うこととした。

ΔSVは下記の式によって計算できる。

$$\Delta SV = SV_{200\text{kHz}} - SV_{38\text{kHz}} = TS_{200\text{kHz}} - TS_{38\text{kHz}}$$

$$\left( \begin{array}{l} SV = \text{体積後方散乱強度} \\ TS = 1 \text{ 固体あたりの反射強度 (ターゲットストレン} \\ \text{グス)} \end{array} \right)$$

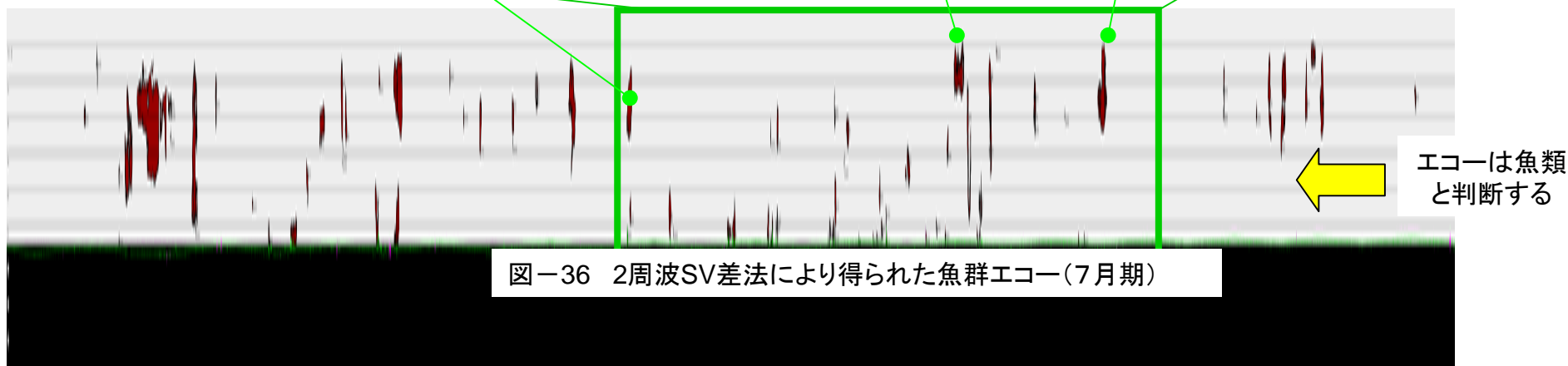
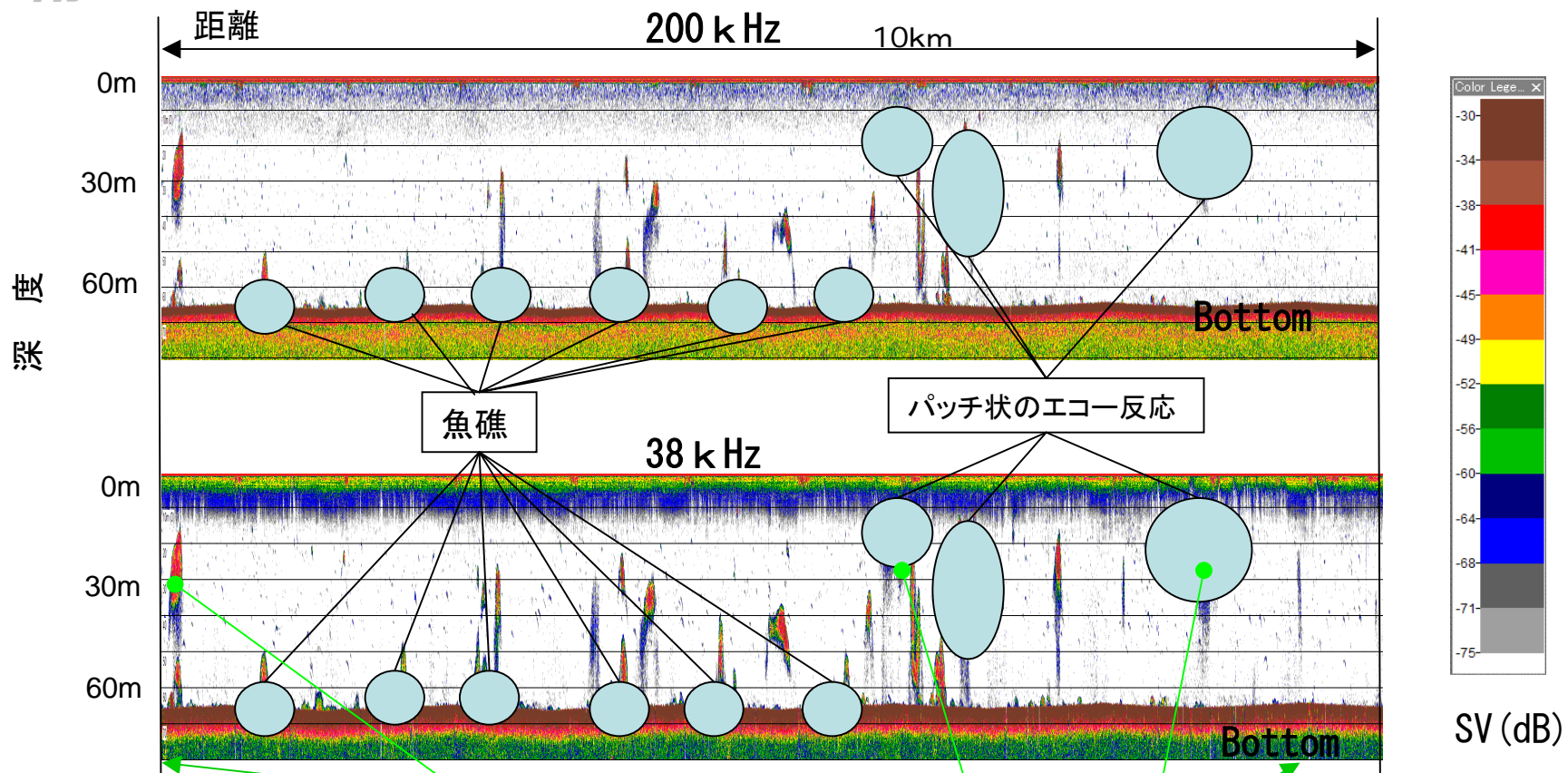
SV差法とは、高周波と低周波による波長の違いにより、魚類を含む海洋生物からの反射強度が音響エコーとして異なる点に注目して考えられた手法である。特に高周波の方が魚類以外に動物プランクトン(一部)の反射エコーを多く含み、低周波(38kHz)では殆ど魚類であることから、両者の差として残ったエコーを魚類として扱う手法である。したがって、ΔSVは次のように判定が可能となる。

$$\Delta SV \leq 0 \quad \text{魚群}, \quad \Delta SV > 0 \quad \text{プランクトン}$$

文献 8) K.miyashita,K.tetumura,S.Honda,T.Oshima,R.Kawabe and K.Sasaki. Diel change in vertical distribution pattern of zooplankton and walley Pollock (*Theragra chalcogramma*) off the Pacific coast of eastern Hokkaido, Japan, estimated by the volume back scattering strength(Sv) difference method. *Fish.Oceanogr.*, 13,2004;99-110

文献 9) 飯田浩二, 向井 徹, 森 英樹. 音響散乱層の体積後方散乱強度の周波数特性と構成種のターゲットストレングスに関する考察. 65(1),1999;66-72

# 附1.3.1 2周波SV差分法のエコーグラム処理例 H20年7月度のH10年魚礁調査時





## 附1.4 魚礁エコー域の推定方法

- 1) 魚礁近傍に蝟集する魚群と魚礁の識別は、現在の音響技術の可能な範囲で行う。
- 2) 魚礁エコーの影響が及ばない魚礁エコー域を決定する技術手法は、ハードウェアによる「生エコー処理」と「画像処理」の両面からアプローチし、音響指標値算出に障害となる不要なエコー要素が入り込まない確実な範囲を推定できる方式とする。
- 3) 魚礁エコー域を推定するには基本的に次のとおりの方式があるが、より簡便で、安全な方式を実証化試験の中で追求する。

### ①簡易型計量魚群探知機の基本機能としての海底判別方法

ある程度のエコーレベル差があれば魚群と魚礁をハードウェアで識別可能とする。

### ②水産大学校で開発の画像処理方法

「魚礁エコーシミュレーション」と「魚礁エコー2値化処理」の2段階処理による方法

### ③実用的な魚礁エコー除去方法([エコー表示レベル変化法])と称す)

SV変換されたエコーグラムに対して適正な Threshold値を決め、魚礁と魚群を分離する方法

※ 附1.2.3項「Thresholdの設定方法」を参照

①は基本機能として機器に具備されることから、解析処理としては②および③の方式について検証する。

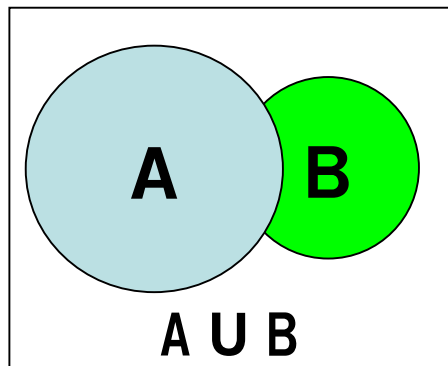
③の方式は、定量性と客観性において特に問題とならなければ、より簡便で実用性が高く、有効な手段として期待できる。

## 附1.4.1 水大校の画像処理による[魚礁エコ-域]推定法

(その1)

- 1) 魚礁エコ-域を決定する手法は、ビーム幅に基づく幾何学的シミュレーションにより推定された魚礁エコ-域と、音響強度分布に基づき2値化処理により推定された魚礁部を集合の和集合的考えを用いて推定する。
- 2) 外的要因などによるエコーの不安定部分を取り除く為に**安全率**を設ける。

$$\text{魚礁エコ-域} = \left( \begin{array}{c} \text{幾何学的に} \\ \text{決めた範囲} \\ \text{魚礁エコ-} \\ \text{シミュレーション} \end{array} \right) \cup \left( \begin{array}{c} \text{音響強度を数学的} \\ \text{処理で決めた範囲} \\ \text{魚礁エコ-} \\ \text{2値化処理} \end{array} \right) * \text{安全率}$$



### A: 魚礁エコ-シミュレーション法

シミュレーション法により、状況に応じてビーム幅の違いによるそれぞれの魚礁エコ-範囲を推定する。  
(-3dB, -6dB, サイトローブ)

### B: 魚礁エコ-2値化処理法

魚礁および近傍エコーの音響強度分布に基づく2段階画像処理

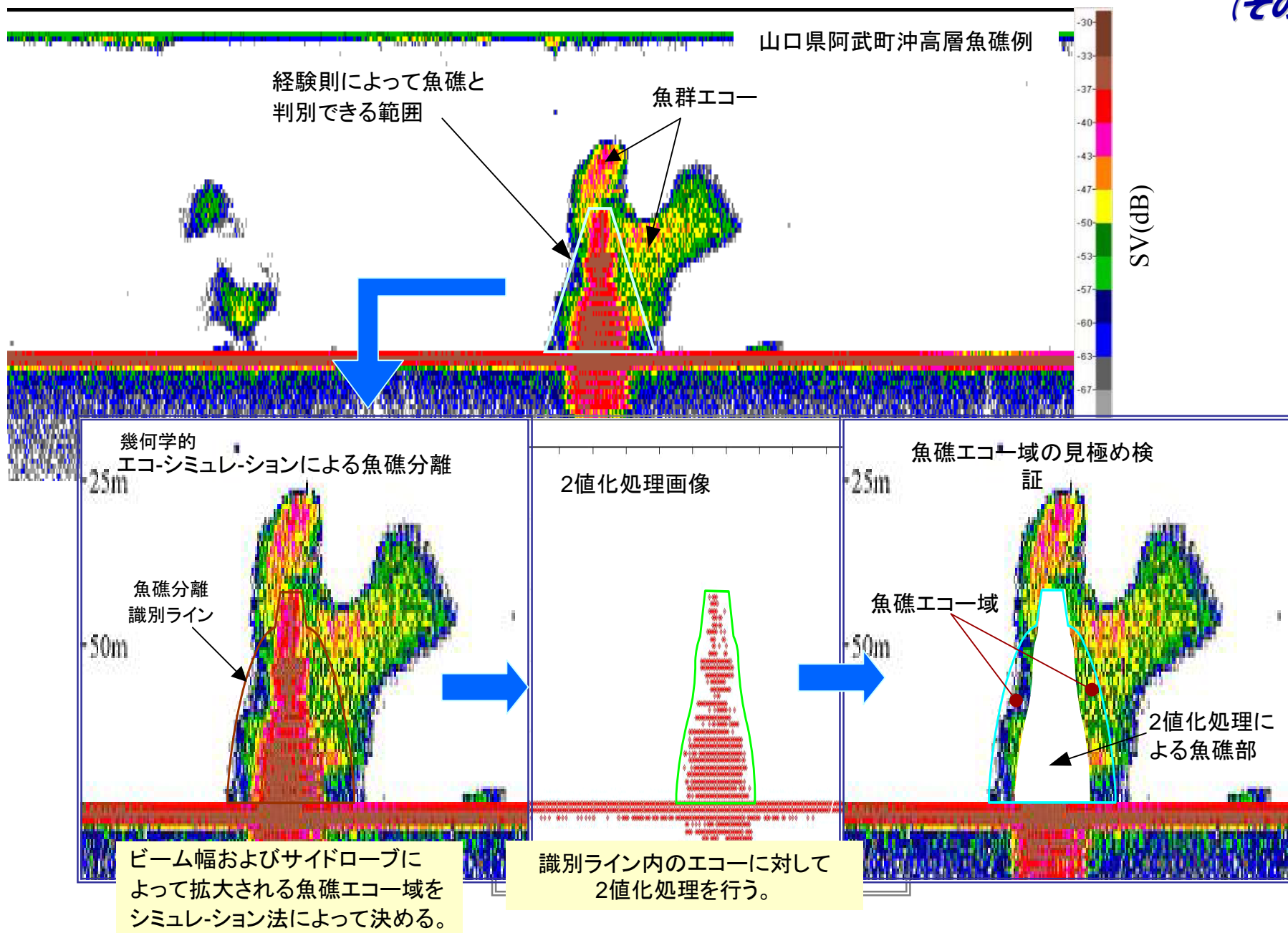
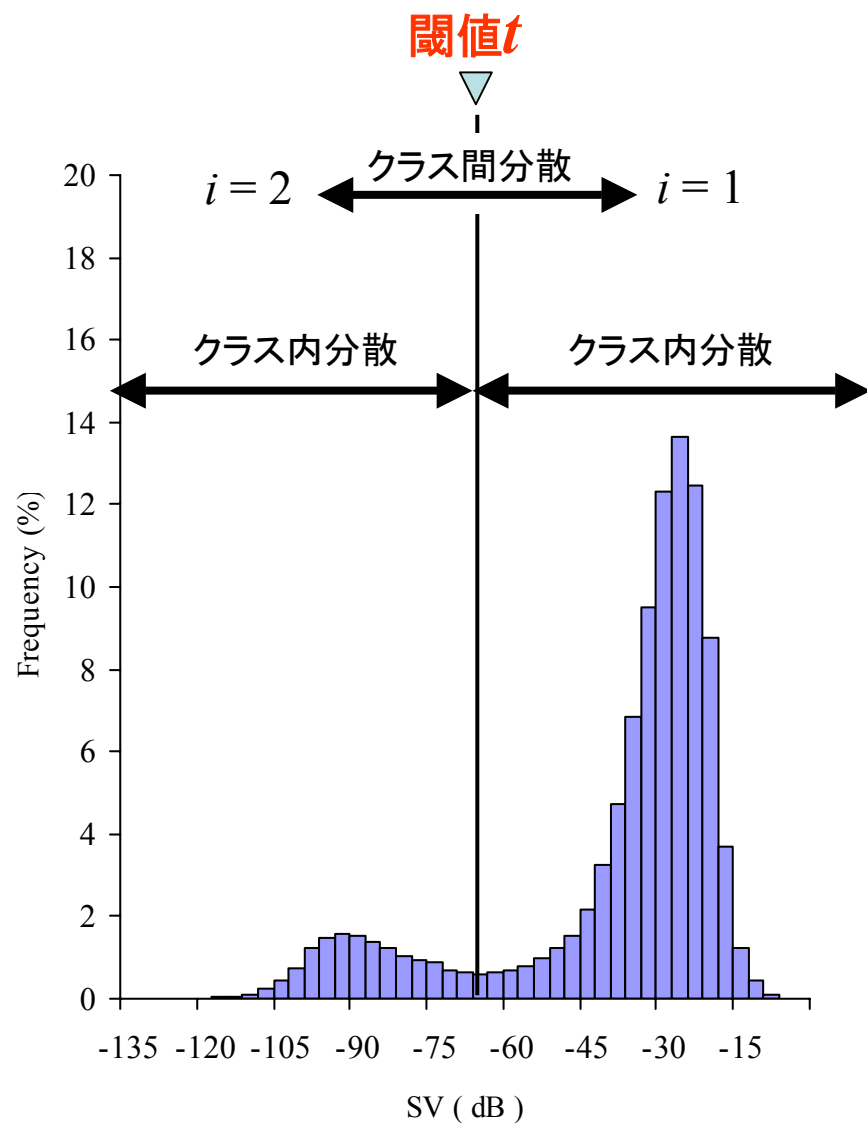


図-37 画像処理のプロセス

## 附1.4.2 2値化処理法の原理



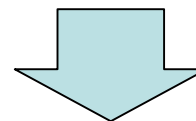
クラス内分散

$$\sigma_W^2 = \frac{\omega_1 \sigma_1^2 + \omega_2 \sigma_2^2}{\omega_1 + \omega_2}$$

クラス間分散

$$\sigma_B^2 = \frac{\omega_1 \omega_2 (M_1 - M_2)^2}{(\omega_1 + \omega_2)}$$

クラス $i$ のセル数	: $\omega_i$
クラス $i$ の平均 SV 値	: $M_i$
クラス $i$ の分散	: $\sigma_i^2$



クラス内分散とクラス間分散の判別比が最大となる閾値  $[t]$  を求める

図-38 2値化処理の数理解析図I

# 附1.4.2.1 魚礁エコー2値化処理法の実処理例

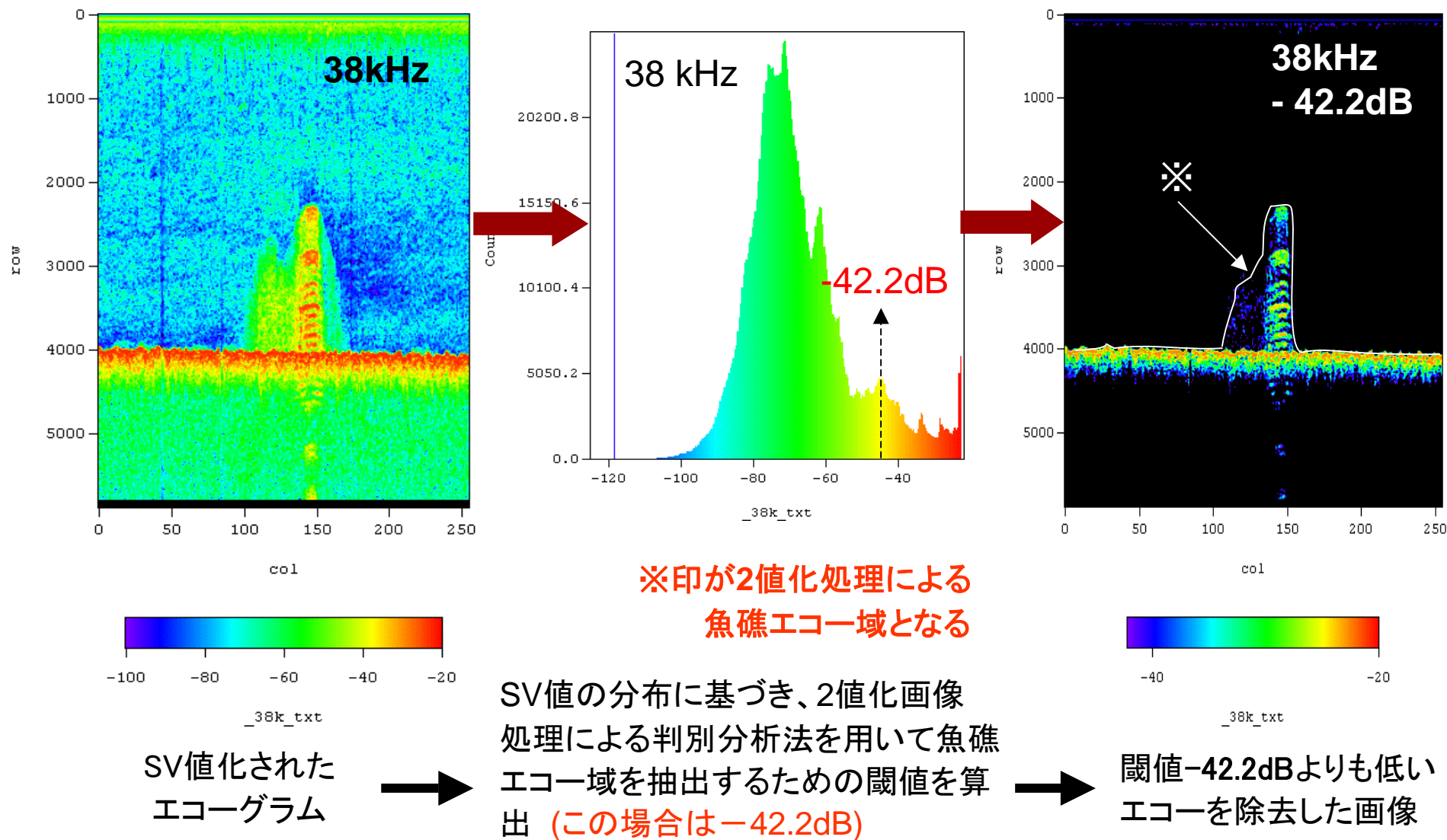
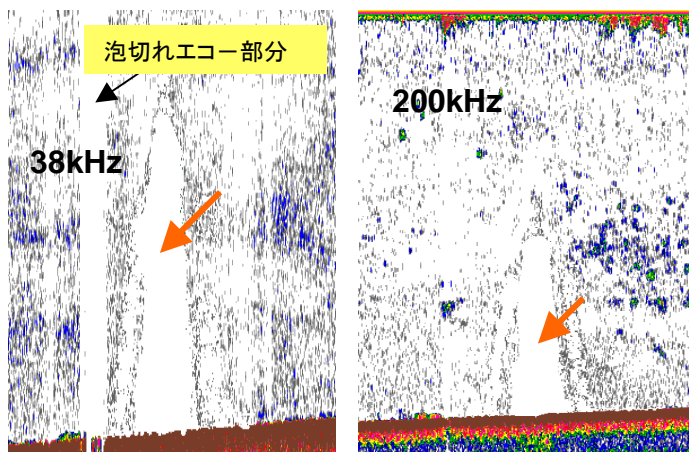


図 - 39 魚礁エコー2値化処理フロー図

## 附1.4.2.2 2値化処理により推定された[魚礁エコー域]

### 高層魚礁例



### H10年魚礁例

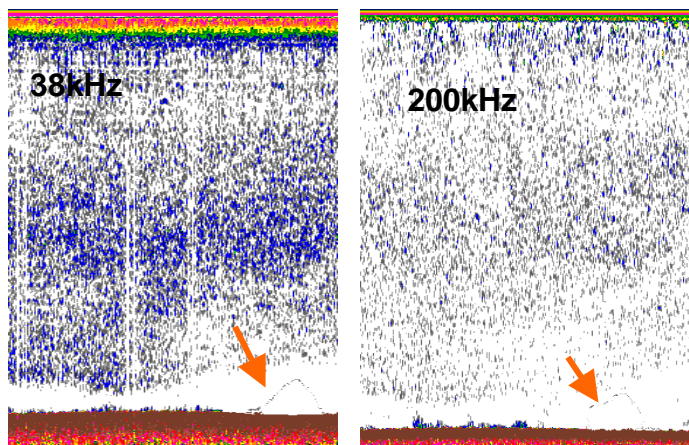


図 - 40 2値化処理法により求められた魚礁エコー域

### 2値化処理により推定された魚礁エコー域

38kHz、200kHzの魚探機により得られたSV値の分布に基づき、2値化画像処理による判別分析法を用いて魚礁エコーの影響範囲を抽出するための閾値を周波数毎に算出した。

高層魚礁を対象に解析計算された閾値は

**38kHz: -72.1dB、200kHz: -68.3 dB**であった。

一方、H10年魚礁を対象に解析計算された閾値は

**38kHz: -71.7 dB、200kHz: -67.8 dB**であった。

そこで、ここで得られた周波数毎の閾値をもとに、エコーグラム上で魚礁エコーの影響範囲を白抜きで示したのが左図(図-31)である。(←印部分)

この結果、シミュレーション法と2値化処理による判別分析法を組み合わせることによって魚礁エコー域を求めることができた。

(H18年度水産大学校報告書より抜粋)

参考にその他の3周波数の閾値 結果を示す。

#### 高層魚礁

50kHz: -73.4 dB

82kHz: -73.2 dB

107kHz: -73.8 dB

#### H10年魚礁

50kHz: -73.1dB

82kHz: -74.4 dB

107kHz: -70.6 dB

## 附1.4.3 実用的な魚礁エコー除去方法

### 基本的な考え:

簡易型計量魚群探知機は魚礁調査に特化し、新たに音響調査を勉強する研究員も含めて、容易に調査・解析ができるシステムづくりを目指している。したがって、音響で不確実な魚礁近傍のエコーについては参考とし、安全な領域で調査・解析を行う必要があり、その安全な領域の決定方法として実用的な魚礁エコー除去方法を考案した。

本手法に重要なことは次の点を満足することである。

- ① より簡便性の高い実用的な方法である。
- ② 解析方法が経験や感覚に依らない定量的な方法である。
- ③ 人為的な処理による個人差が生じない客観的な方法である。

### 実用的な魚礁エコー除去法

- ① SVエコーグラムの表示において、まず最初に表示thresholdを大まかに(例えば10dbstep)に減らしてゆき、その変化を魚礁のcontour(輪郭)として見ながら概略の目安をつける。
- ② Echoviewソフトで各thresholdごとにエコーレベルの輪郭図(contour-map)を作る。  
※ 次項「附1.2.3」のThresholdの設定方法を参照
- ③ 魚礁エコーは連続性が見込まれるのでthresholdのminimumを決め、そこまでを魚礁エコーの影響範囲(すなわち魚礁エコー域)と判断できる。
- ④ そのminimumを決める場合は、魚群および単体エコーにつき最小のSVレベルに当たりをつけ、それより5~10dB低いレベルに設定する。

## 附1.4.4 Thresholdの設定方法 [エコー表示レベル変化法]

- 1) 生のSVデータを元にEcho ViewソフトでSV変換値を自由にColor Barに設定して表示する。  
**目安として-30dB~-80dBとする。**
- 2) 簡易型計量魚群探知機は収録時のデータ(Echo-Level)は8bit(0~255)のデジタル値であり、Dynamic rangeが100dBであることから0.39dB/digitとなる。  
参考に、深度(距離)方向のSampling周波数は44.1kHzであるため約1.7cmの分解能を有す
- 3) SVエコーグラム表示を確認しながら、SV値が低くなる方向にThresholdを変化させ、魚礁エコーができる限り浮かび上がる最小レベル付近に設定する。
- 4) 3)項で得られたSV値に船体動揺などによって引き起こされるエコーグラムの不安定部分を考慮して 5~10dB余裕を持たして決定する。

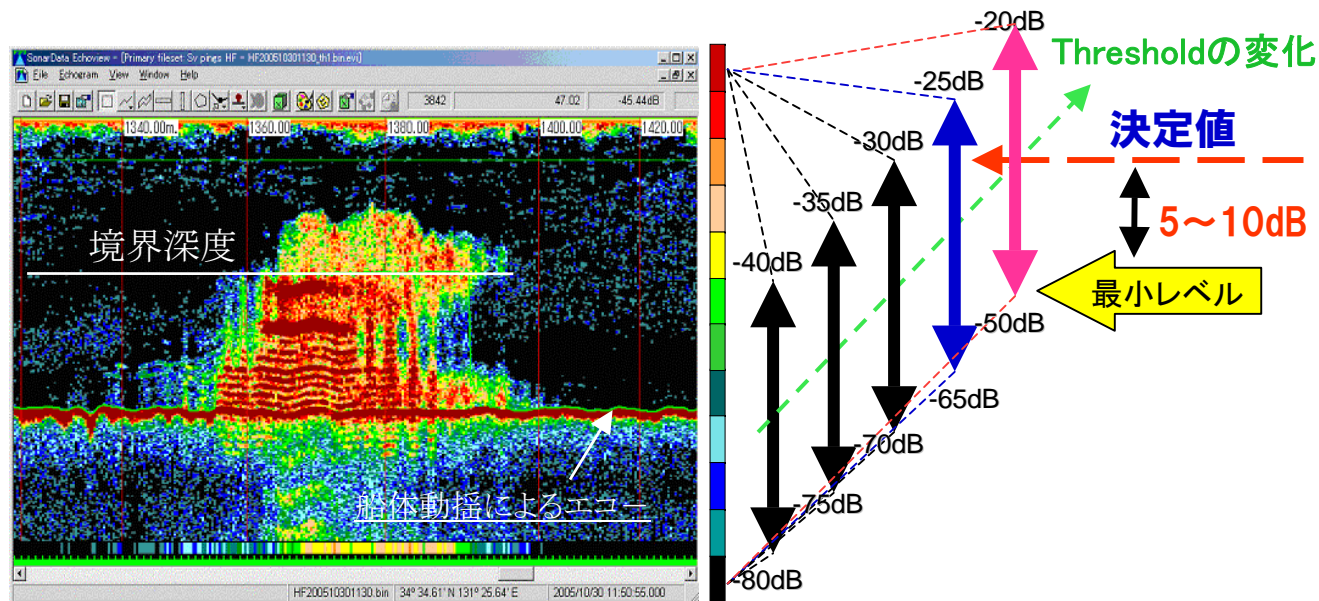


図-41 エコーグラムのThreshold設定方法



# 付属資料

## 資料-1 水産庁による「い集効果調査要領」通知文の抜粋

### い集効果調査要領の「各調査の実施方法」より

沿岸漁場整備開発事業の魚礁設置事業に係る新規構造物の取扱いについて

58-1268  
昭和58年11月7日  
水産庁振興部開発課長通知

このことについては、「沿岸漁場整備開発事業の魚礁設置事業に係る新規構造物の採用等について」（昭和56年9月3日付け56-1292水産庁振興部開発課長（以下「旧通達」という。））により実施してきたところであるが、昭和59年度以降の取扱いについては、下記によることとしたので知願いたい。

なお、昭和59年度事業に係る新規構造物についての提出資料の内容及び提出期限は旧通達によっても差し支えない。

#### 記

- 1 魚礁設置事業に新規構造物の使用を予定している都道府県は別記1を参考に新規構造物を検討し、使用を予定している年度の前年度の12月末日までに、別記2の資料を当課へ提出する。
- 2 都道府県は、新規構造物の使用を検討するに当たっては原則として従前どおり専門家、学識経験者等を含めた審査機関により検討するものとする。
- 3 当該構造物を使用する事業のヒヤリングの際、都道府県から説明を求め事業執行上支障がなければ当該事業の補助金交付決定を行うものとする。
- 4 新規に使用された構造物についての他の都道府県への周知は従前の例による。

#### (4) 各調査の実施方法

ア 次のイからエまでの各調査はいずれも構造物設置後3か月を経過した後1か月以上の間隔を置いて3回以上実施するものとする。

##### イ 漁獲調査

① 調査の実施に当たって、開発メーカーは、調査協力漁協と調査日、調査協力者等について協議するものとする。調査協力者は調査協力漁協の組合員であって原則として釣、延縄又は刺網漁業を営む漁業者のうちから組合長と協議の上決定する。

② 開発メーカーは、設置構造物を中心とする半径1km以内の海底地形状況図（等深線、天然及び人工魚礁位置図等）を作成するとともに、漁獲調査日ごとに調査対象構造物周辺の漁場（当該構造物から表中層性魚については300m以内、その他の魚類については200m以内の漁場とする。）での調査協力者の漁獲状況（所要時間、1隻当たり乗組員数、漁具漁法、漁具使用量、船名、魚種別の漁獲量等）を整理する。

##### ウ 視認調査

潜水又は水中テレビ、水中自動カメラ等により、対象水産動物が設置した構造物にい集している状況を写真撮影し、記録整理するものとする。

##### エ 魚探調査

少くとも6方位線から測定した魚探の記録紙により、対象水産動物のい集状況を明らかにするものとする。

##### オ その他の調査

新規構造物のい集効果を説明するのに役立つと思われる資料を作成するため必要な調査（水槽実験、標識放流、アンケート等）を行う。

## 資料-2 音響魚礁域と調査域の座標系

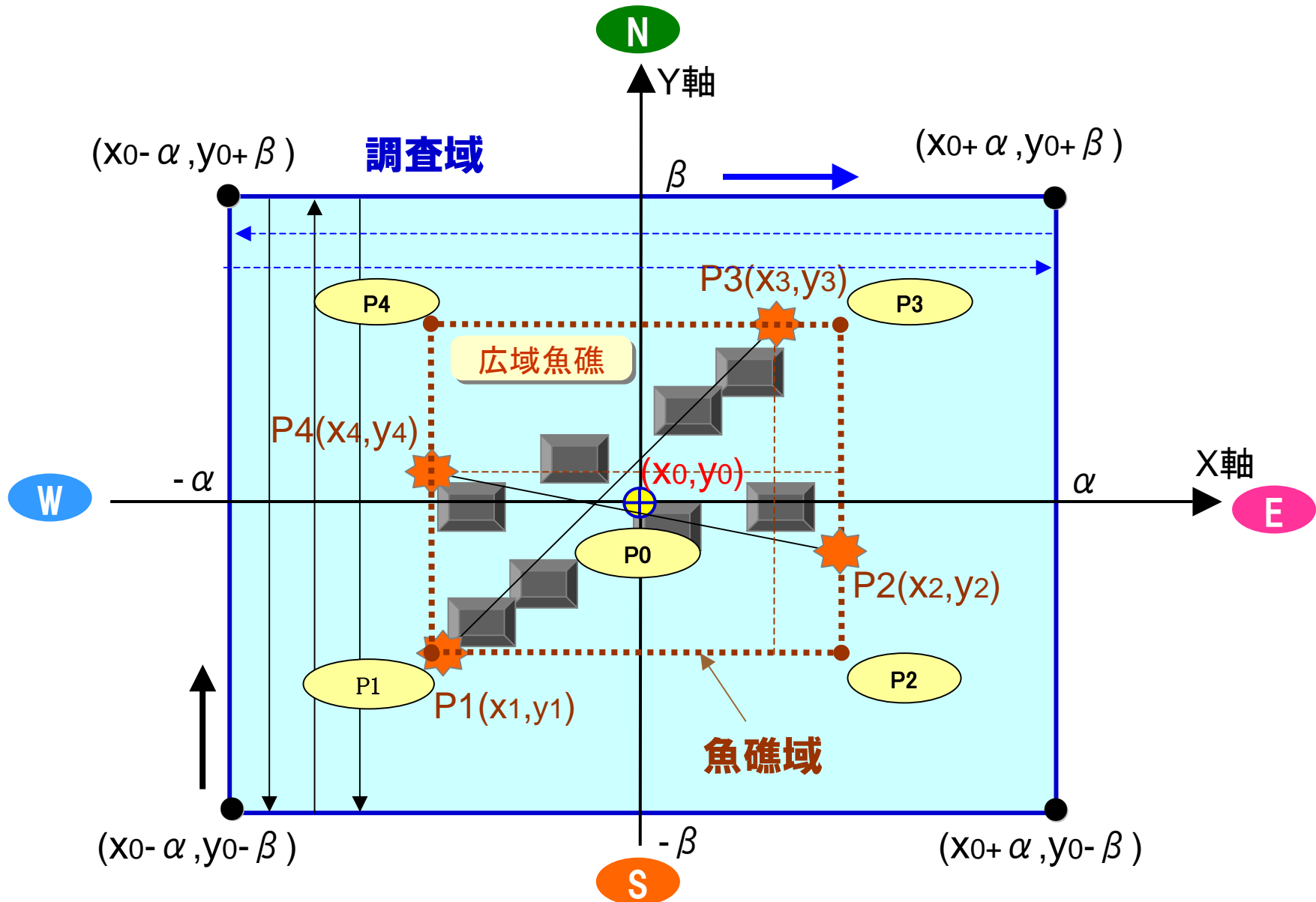


図 - 42 広域魚礁の魚礁域と調査域の関連座標図

# 資料-3 計量魚群探知機の標準球のTS

(その1)

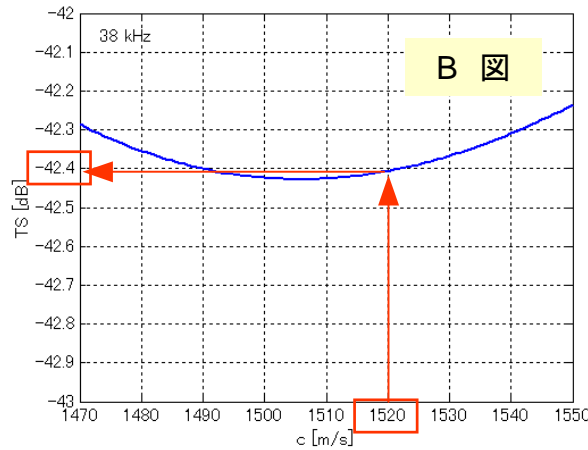
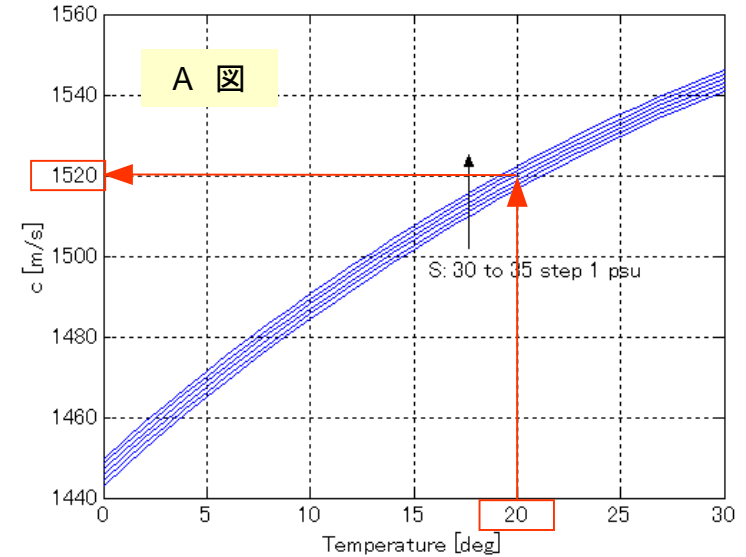
38.1mmφのTC標準球の[TS]は次の表とする。

周波数 [kHz]	推奨TS値 [dB]
38 [kHz]	-42.3
70 [kHz]	-41.5
120 [kHz]	-39.9
200 [kHz]	-39.1

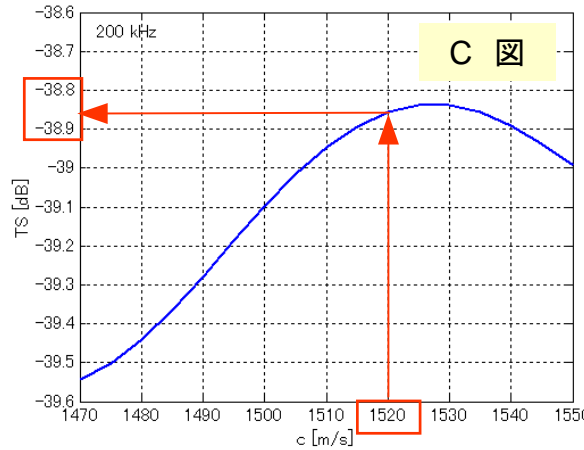
CTDなどで水温と塩分濃度を測定した場合は、下記のようにしてさらに正確なTSの値を使用することが好ましい。

- ・水温と塩分からA図により音速Cを求める。
- ・使用する周波数に応じてB図～D図より選び、音速に対応するTSの値を読み取る。

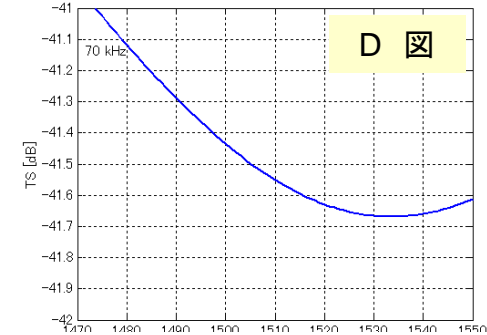
水温、塩分と音速Cとの関係



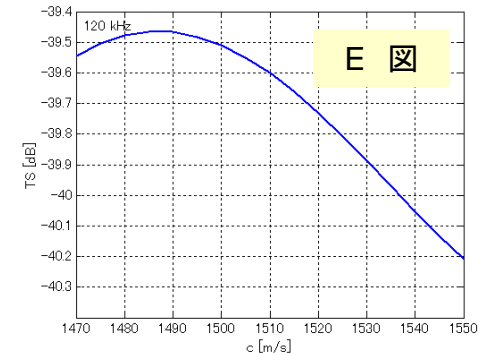
音速とTSの関係(38kHz)



音速とTSの関係(200kHz)



70kHz



120kHz

図-43 音速とTSの関係図(周波数別)

## 資料-4 海底エコーの特性と利用

(古澤 昌彦による説明資料より引用)

### 計量魚探機(ソナー)は平均音響パワーの計測器

- 計量魚探機としてSV,SA,TS
- 雑音測定(「雑音のSV」)
- 海底表面散乱強度SSの測定(「海底のSV」)
- その応用として, 計量魚探機の総合チェック
- 海面・海底残響の測定(計量ソナー)

### 参考文献

- 1) 雑音計測 Y.Takao and M.Furusawa, "Noise measurement by echo integrator," Fisheries Science, 61(4), 637-640 (1995).
- 2) 表面散乱による較正 青山千春, 濱田悦之, 古澤昌彦, "水槽の水面反射を利用した計量魚群探知機の較正," 水産学会誌, 63(4), 570-577(1997).
- 3) 海底散乱による総合チェック 青山千春, 濱田悦之, 古澤昌彦, "海底反射を利用した計量魚群探知機の総合的検証," 水産学会誌, 65(1), 78-85(1999).
- 4) 計量ソナーによる残響計測 湯勇, 古澤昌彦, 青山繁, 樊春明, 西森靖, "全周型スキヤニングソナーによる表層魚群の体積散乱強度の計測方法," 日本水産学会誌, 69(2), 153-161(2003).
- 5) 海底表面散乱強度の計測 H. M. Manik, M. Furusawa and K. Amakasu, "Quantifying Sea Bottom Surface Backscattering Strength and Identifying Bottom Fish Habitat by Quantitative Echo Sounder," Japanese Journal of Applied Physics, 45(5B), 4865-4867 (2006).
- 6) 海底付近魚群計測 MANIK, H. M., FURUSAWA, M. and AMAKASU, K., "Measurement of sea bottom surface backscattering strength by quantitative echo sounder," Fisheries Science, 72 (3), 503-512 (2006).

# 海底表面散乱強度SS

表面散乱強度

$$S_s = \frac{I_r}{I_i A}$$

表面散乱のソナー方程式

$$P_s^2 = P_0^2 r^{-4} \exp(-4\alpha r) \Phi r^2 S_s$$

体積散乱のソナー方程式(比較)

$$P_v^2 = P_0^2 r^{-4} \exp(-4\alpha r) \Psi r^2 c\tau/2 S_v$$

# 海底の円環散乱モデル (1)

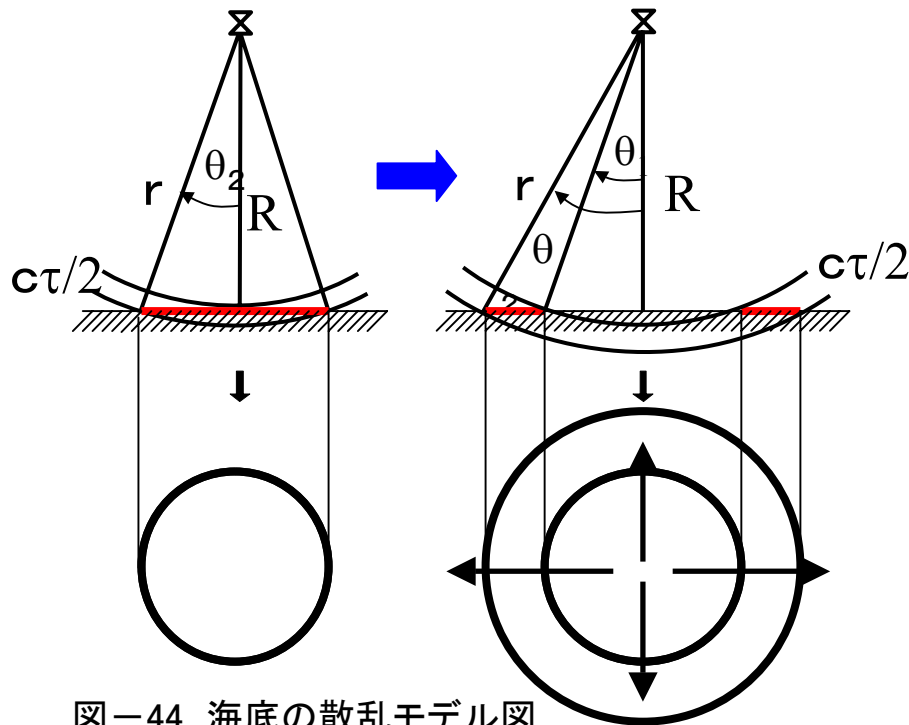
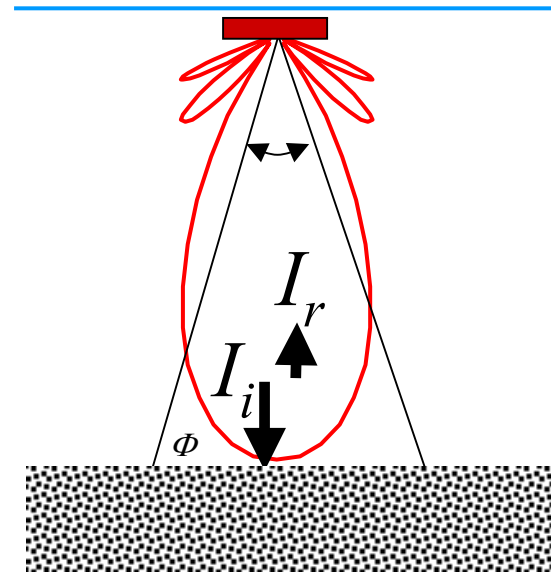


図-44 海底の散乱モデル図

(その1)



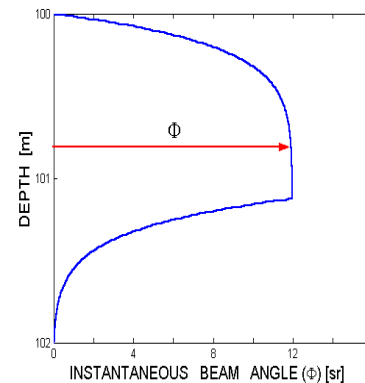
等価指向角

表面散乱

$$\Phi = \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} b^2 \tan \theta d\theta d\phi$$

体積散乱

$$\Psi = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} b^2 \sin \theta d\theta d\phi$$



## 海底の円環散乱モデル (2)

Bottom surface backscattering strength

$$S_S = \frac{S_{VB} \Psi (c\tau/2)}{\Phi}$$

$S_{VB}$  raw SV of bottom echo

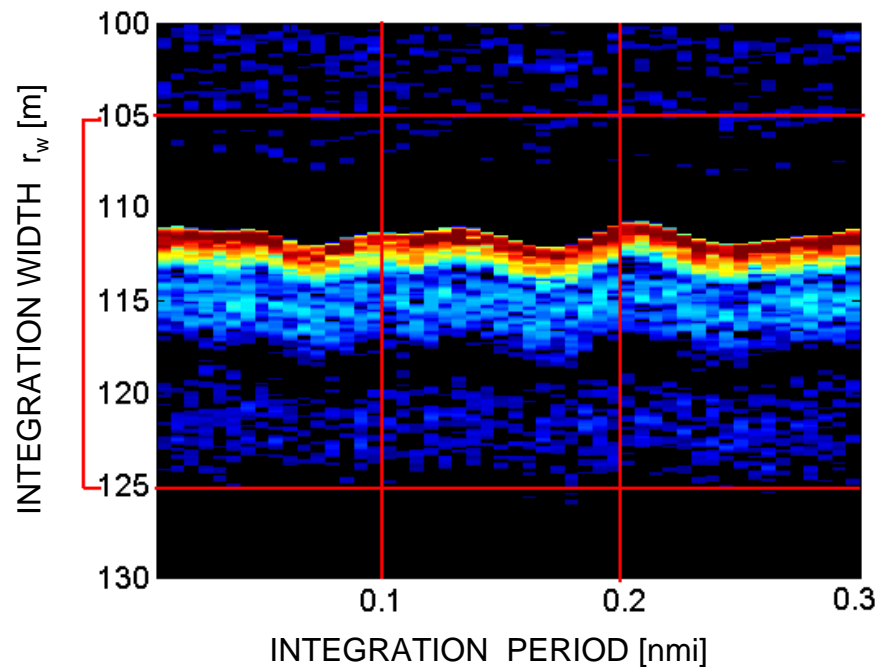
$\Phi$  instantaneous equivalent beam angle for surface scattering

$\Psi$  instantaneous equivalent beam angle for volume scattering

$c$  sound speed

$\tau$  pulse width

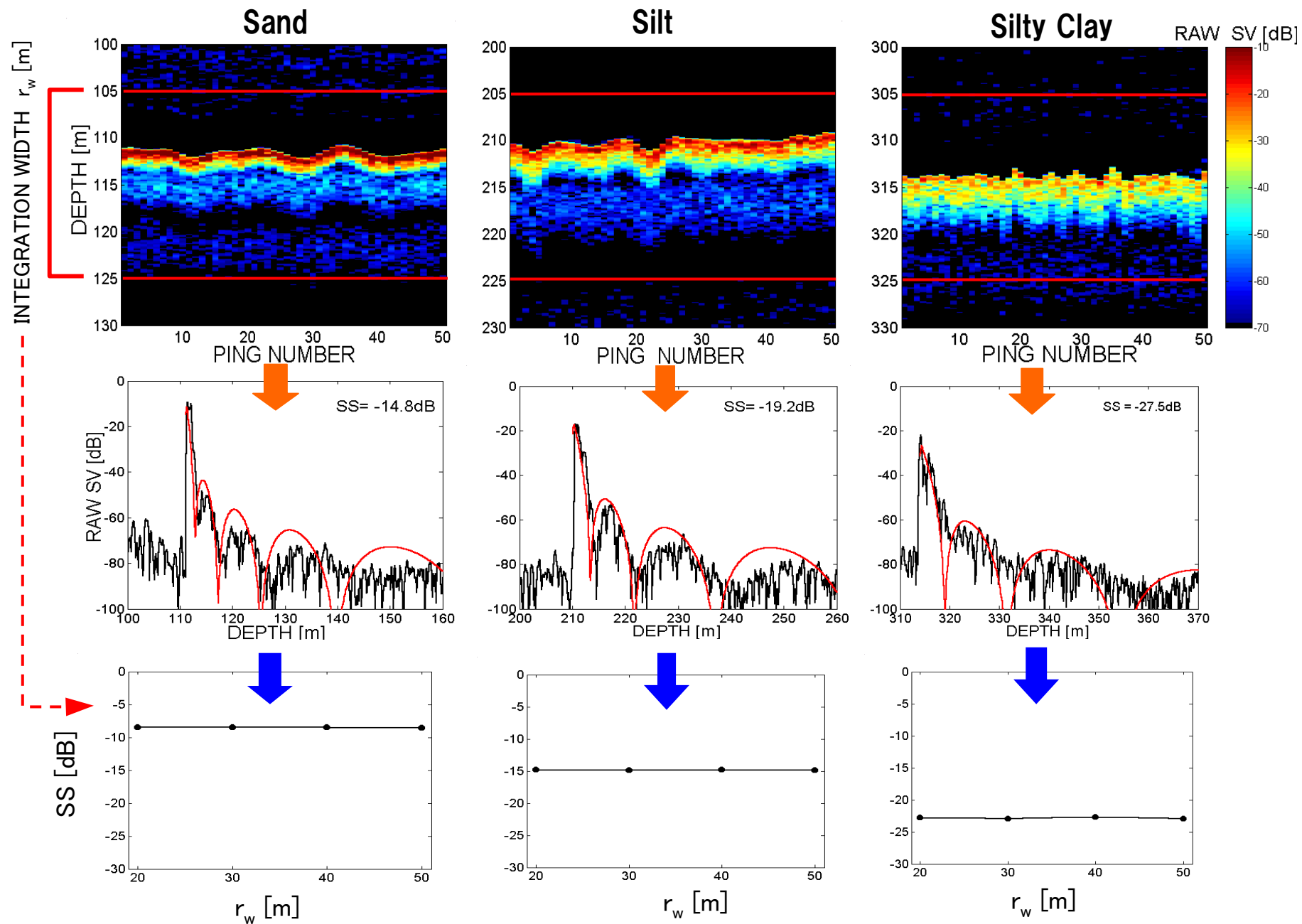
## 海底エコーのエコ-積分モデル



$$\langle S_S \rangle = r_w \langle S_{VB} \rangle = S_A$$

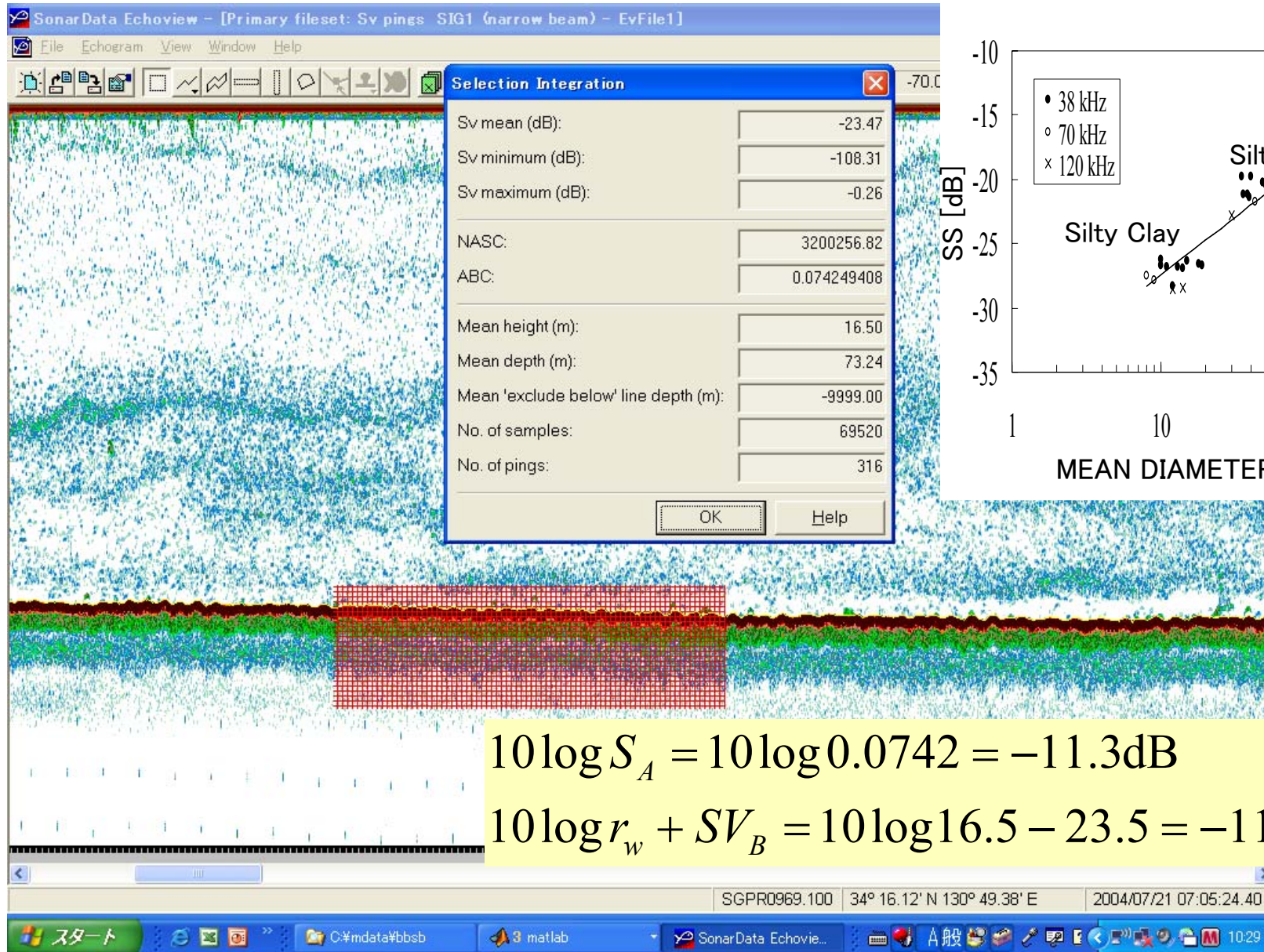
# 海底の生のSVの実測値と円環モデルの比較

図-45 底質別比較図 (その3)



# 海底エコーのエコー積分の実際

## 海底表面散乱強度と底質粒径の関係

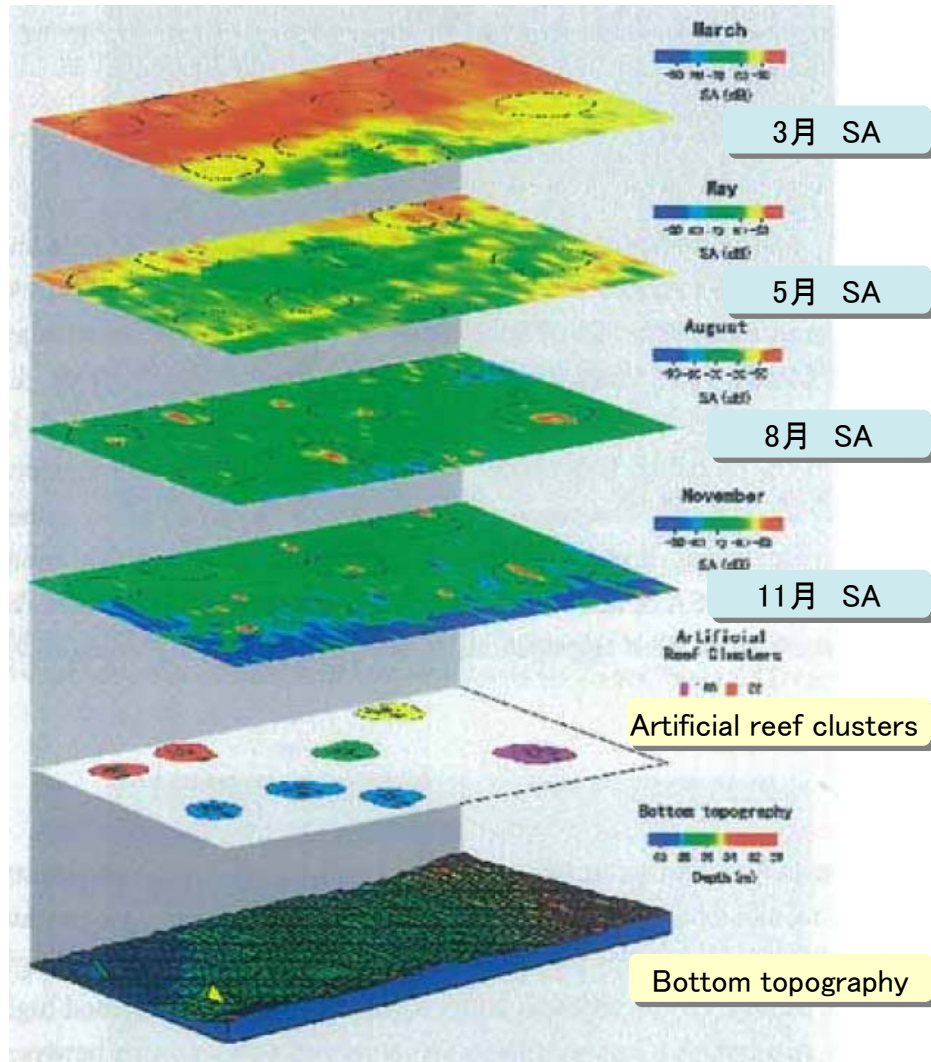


$$10 \log S_A = 10 \log 0.0742 = -11.3 \text{ dB}$$

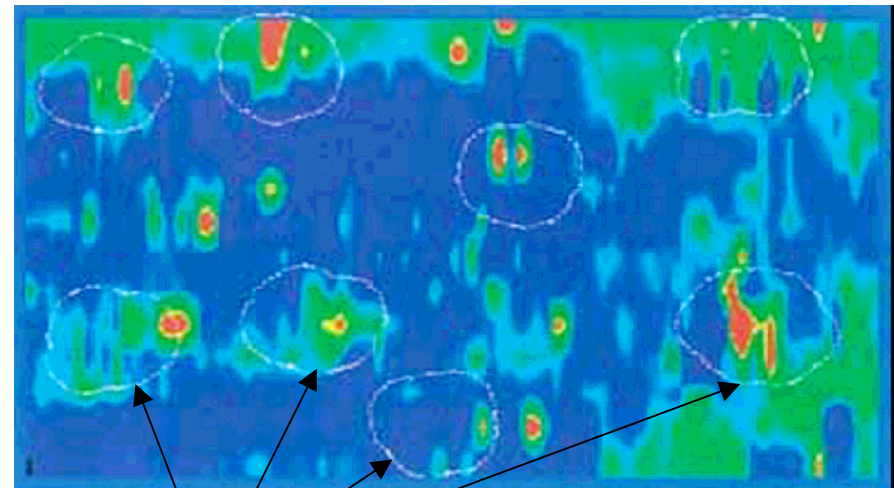
$$10 \log r_w + SV_B = 10 \log 16.5 - 23.5 = -11.3 \text{ dB}$$



# 資料-5 *Assessment of the effect of artificial reef clusters on fish distribution using GIS techniques*



Distribution in area of C (artificial reef clusters) of the average area back-scattering strength (SA), setting 200m from a reef the buffering range (dotted circles), with a three dimensional illustration of bottom topography.



魚礁から200m範囲内に蛸集されている

Bottom topography

図-46 月別蛸集範囲と蛸集量の変化

## 資料-6 広域および広域大型魚礁における調査線設計

(その1)

図-23、24に示す調査域を想定した場合、図-32の調査強度と変動係数の関係より、古澤の報告による「調査強度が[およそ5]より大きいと変動係数がほぼ[0.3]より小さい」という関係を参考にし、魚礁調査に特化してさらに「調査強度が[10]より大きいと変動係数がほぼ0.2で横ばい」であるという領域に絞り込んだ。

そこで、想定し得る最大の調査面積(S)と許容し得る最大調査時間(R/船速 +  $\alpha$ )から調査強度(D)を求め、その値が[10]以上であれば良いと考えることができる。

したがって、魚礁規模により調査面積は異なりますが、最大許容調査時間を5時間程度として、調査強度を下記の計算に基づき算出することができる。

D: 調査強度, R: 全調査線長, S: 面積, N: 調査線本数とすると次式が成り立つ。

$$S = ab, \quad R = Na, \quad N = b/c \quad (1)$$

$$D = \frac{R}{\sqrt{S}} = \frac{Na}{\sqrt{ab}} = N \sqrt{\frac{a}{b}} = \frac{ba}{c\sqrt{ab}} = \frac{\sqrt{ab}}{c} = \frac{\sqrt{S}}{c} \quad (2)$$

$$\therefore R = D\sqrt{S} \quad (3)$$

$$c = \frac{\sqrt{S}}{D} \quad (4)$$

$V_s$ : 調査船速(m/min) 、一回のUターン所要時間を[  $t=5$  ]分とした場合は次式(5)で表すことができる。

$$[ \text{全調査線長} / \text{船速} ] + [ \text{Uターン所要時間} ] \leq 5 \text{時間}(300 \text{min.}) \quad (5)$$

(1),(3)より展開し、Dの下限値は(8)式により求められる。

$$R/V_s + 5(N-1) \leq 5 \text{時間}(300 \text{min.}) \quad (6)$$

$$D\sqrt{S} (1/V_s + 5/a) \leq 305 \quad (7)$$

$$D \leq \frac{305}{\sqrt{S} \left( \frac{1}{V_s} + \frac{5}{a} \right)} \quad (8)$$

(その2)

[通常調査]および[2段階調査]の全体調査に適用し、一般式として考えると、調査時間Tは次の通りとなる。

[調査域]では、調査強度、調査線数などは前ページ(その1)の(1)~(4)式に基づき

S:魚礁域面積、R:魚礁域調査線全長、N:同調査線数、D:同調査強度とすると

$$T = NA/V_s + \alpha(N-1)$$

同様に、[魚礁域]では s:魚礁域面積、r:魚礁域調査線全長、N':同調査線数、d:同調査強度とすると

$$s = ab, \quad r = N'a, \quad N' = b/c$$

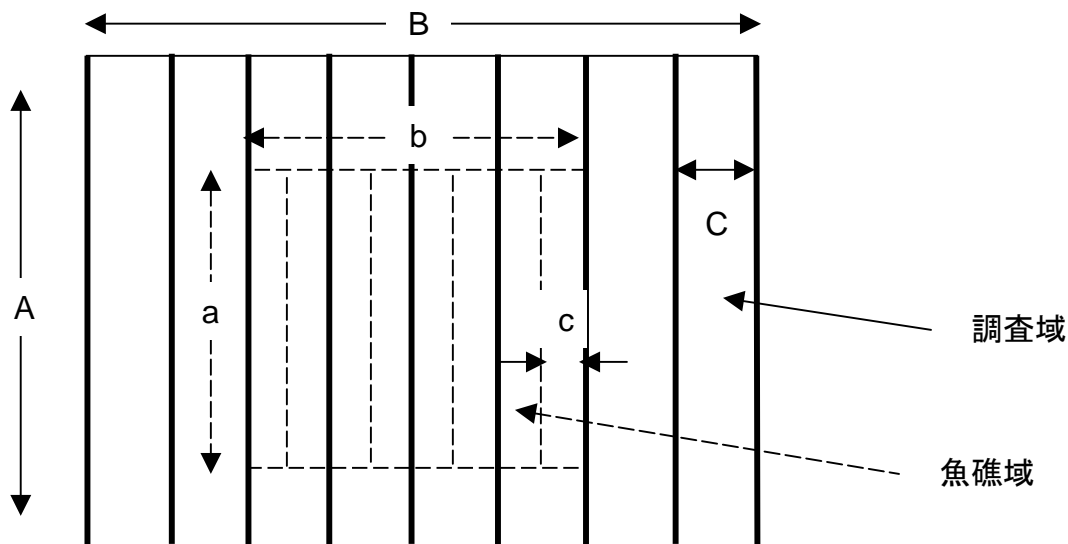
$$d = \frac{r}{\sqrt{s}} = N' \sqrt{\frac{a}{b}}$$

2段階調査では、全体調査の調査線間に新たに調査線を追加することになるので、魚礁域調査線間隔:[c]、魚礁域調査線数:[n]、追加調査線数:[n']波それぞれ次のようになる。

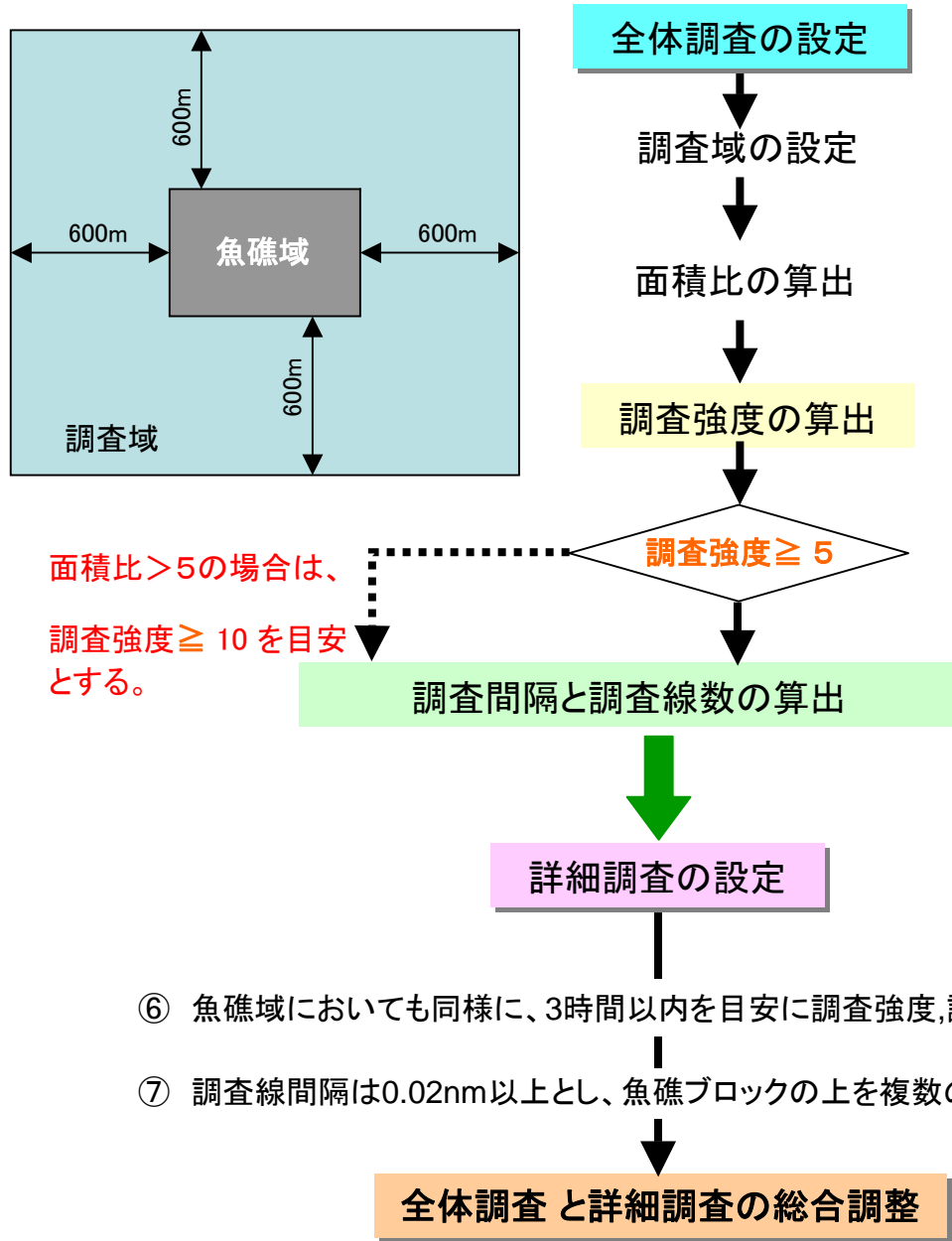
$$n = b/c$$

$n' = n/2$ 、魚礁域調査強度  $d' = n \sqrt{\frac{a}{b}}$  と大きくなる。追加調査時間[t]は  $t = n'a/V_s + \alpha(n'-1)$  となり、

全体調査を含めた総合の調査時間[T']は  $T' = T + t$  で表される。



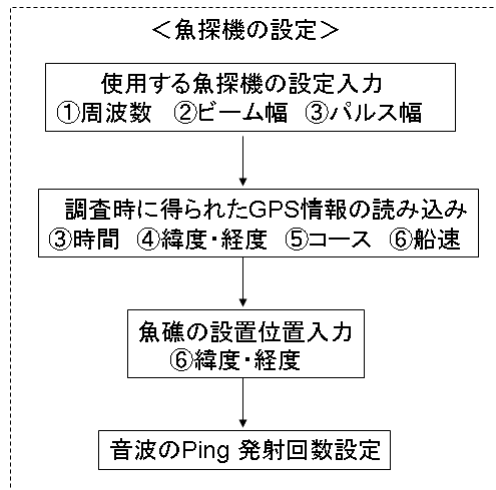
# 資料-7 2段階調査の設計手順



- ① 2段階調査は5.3項に基づき[全体調査]に続き  
[詳細調査]へと実施する。
- ② 魚礁域の縦、横の辺に対してそれぞれ  
**600m拡大した調査域を設定**する。
- ③ 面積比=周辺域(調査域-魚礁域)/魚礁域  
が「5」よりも大きいか、小さいかの目安をつける。
- ④ 資料-6の(8)式により調査強度の下限値を求める。  
全調査に要する調査時間を最大6時間未満とすること  
から全体調査の設計条件は  
**調査時間: 3時間以内, 船速: 5kt**として算出する。  
全体調査では **調査強度  $\geq 5$**  を適用する。
- ⑤ 3時間調査では調査線間隔が200~300m程度になる  
ものと予想されるので、これ以上の間隔になる場合は、  
船速を6ktに上げるか、時間調整を行うかの判断が必要になる。
- ⑥ 魚礁域においても同様に、3時間以内を目安に調査強度,調査線間隔,調査線数を算出する。
- ⑦ 調査線間隔は0.02nm以上とし、魚礁ブロックの上を複数の調査線が通過するように配慮する。
- ⑧ 全調査時間が6時間以内になるように、  
調査強度、調査間隔および船速を変更  
して全体と詳細のバランスをとる。

# 資料-8 魚礁エコーシミュレーション法の原理

(その1)



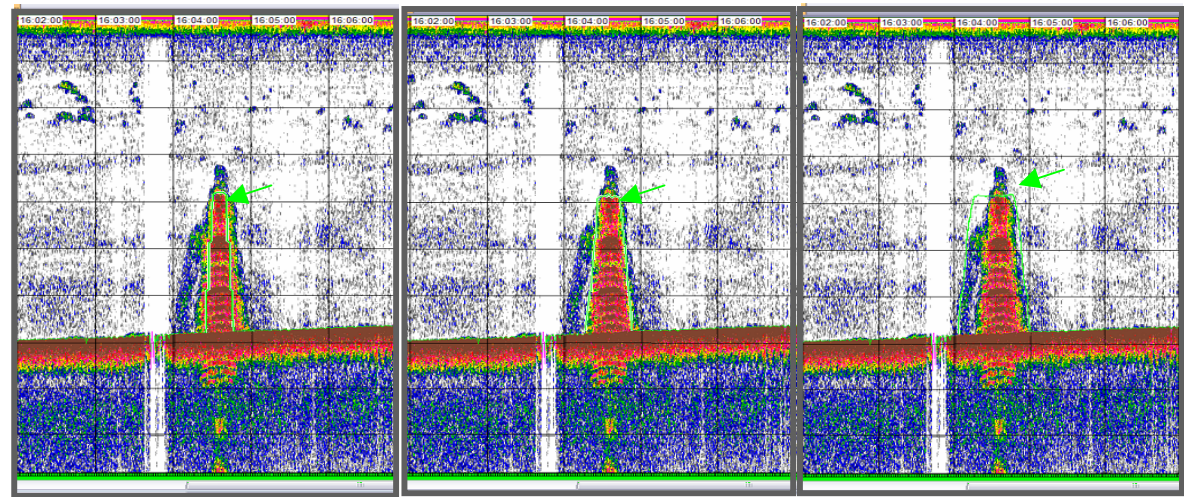
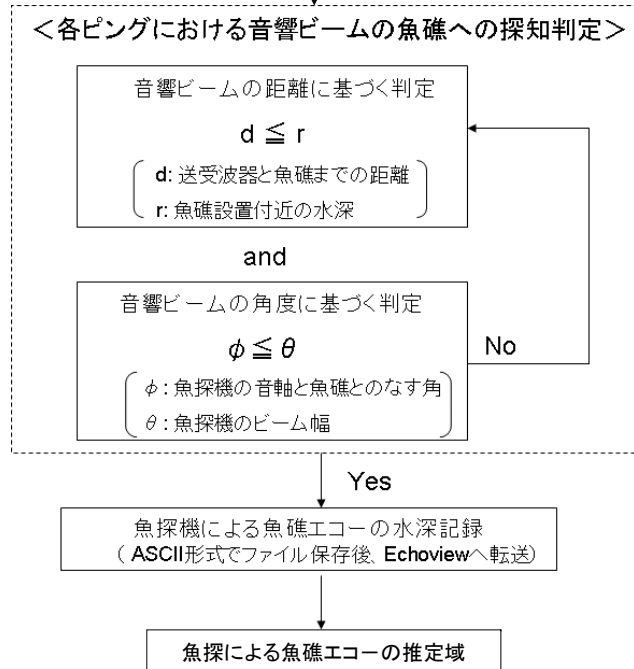
## シミュレーションプログラムにより推定された[魚礁エコー域]

シミュレーション法により38kHzの-3 dBのビーム幅(2θ)、-6 dBのビーム幅(2θ)及びサイドローブのビーム幅(2θ)をもとに、調査時に得られた実際のGPSの航跡に基づいて魚礁エコー域を再現し、現場調査で得られたエコーグラム上に重ね合わせて示した。

この結果、それぞれのビーム幅における魚礁エコー域は緑色のラインで示す通りとなった。

-6 dBのビーム幅(2θ)に基づいて再現された魚礁エコー域は、調査現場で得られた魚礁と考えられるエコーとほぼ一致したことから、高層魚礁のエコーは-6dBのビーム幅(2θ)に基づいて画像化されたものとする。

(H18年度水産大学校報告書より抜粋)



-3dBの場合

-6dBの場合

サイドローブ

山口県阿武町奈古沖の高層魚礁例

図-47 魚礁エコーシミュレーション法の処理フロー図

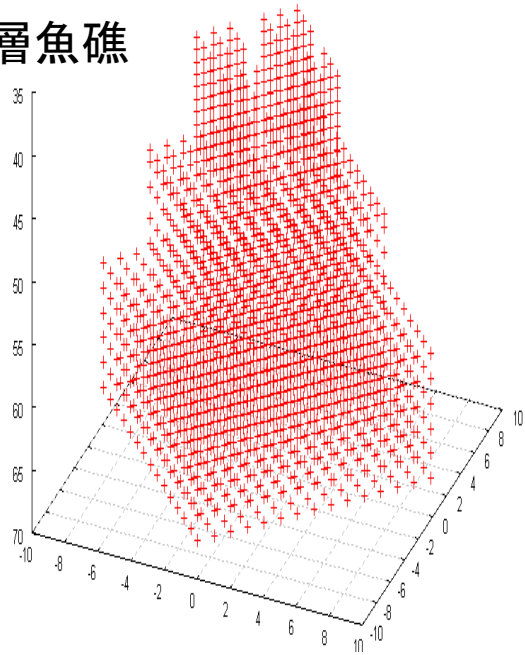
# 3次元座標化した魚礁



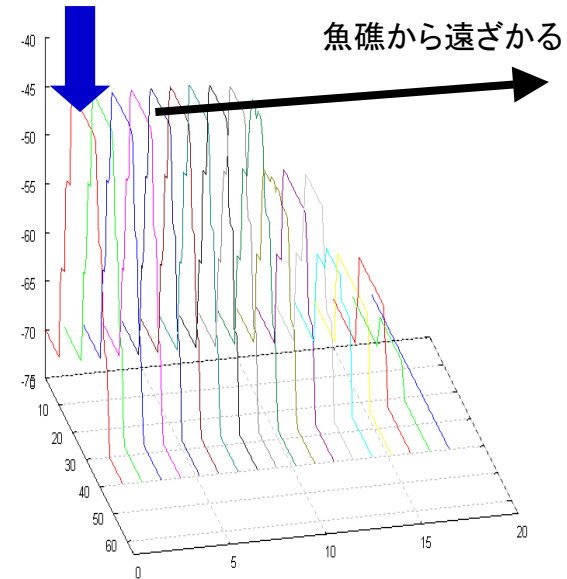
# シミュレーション結果

(その2)

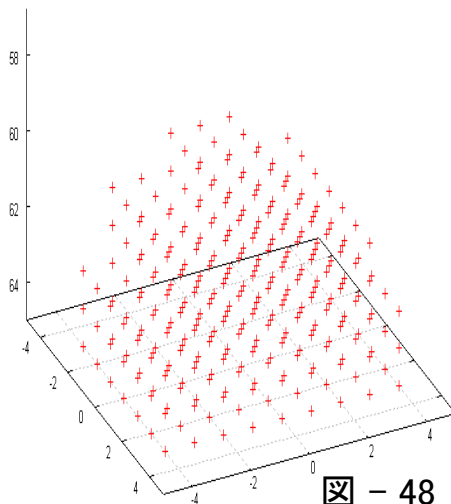
高層魚礁



魚礁直上



マンジブロック型魚礁



魚礁直上

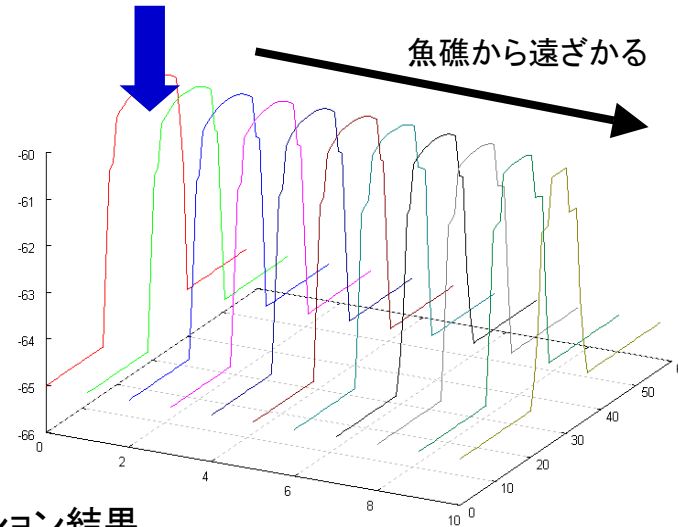
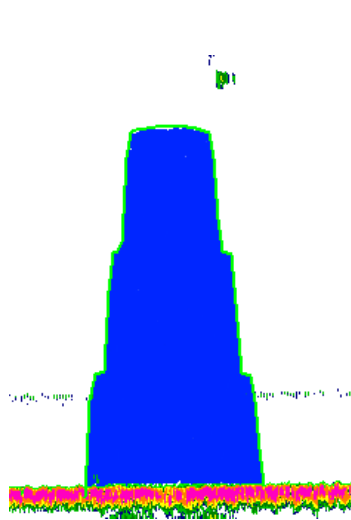
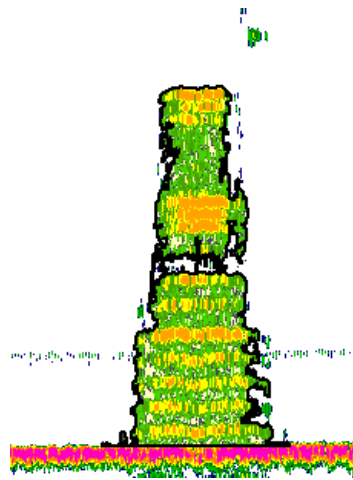


図 - 48 魚礁エコ シミュレーション結果

# 2値化画像処理と幾何学的シミュレーションの結果比較 (その3)



シミュレーションによって推定された魚礁エコー面積



2値化画像処理によって推定された魚礁エコー面積



魚礁エコーの面積の算出結果の違いがみられた

比較すると、

シミュレーションの魚礁エコー面積の方が広い。

図 - 49 魚礁エコー域の2値化処理とシミュレーション処理の比較図

# 2値化処理とシミュレーション法による処理の比較検証結果 (その4)

## 高層魚礁

	シミュレーション面積 (m <sup>2</sup> )	2値化面積 (m <sup>2</sup> )	面積差 (m <sup>2</sup> )	SA (dB)	Density (individual/m <sup>2</sup> )	重量密度 (g/m <sup>2</sup> )	Abundance (g)
No.1	894.7	552.6	347.2	-46.5	0.406	18.876	5339.5
シミュレーション面積 > 2値化画像処理 約1.6倍(高層魚礁), 約1.8倍(H10年魚礁)				-46.4	0.420	19.521	9834.9
				-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

2値化処理の方が[平均約5.2kg]過大推定

	シミュレーション面積 (m <sup>2</sup> )	2値化面積 (m <sup>2</sup> )	面積差 (m <sup>2</sup> )	SA (dB)	Density (individual/m <sup>2</sup> )	重量密度 (g/m <sup>2</sup> )	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

表-6 2値化処理とシミュレーション処理の  
蛸集量比較計算

2値化処理の方が[平均約0.2kg]過大推定



## ◎ガイドライン作成者

検討委員会	委員	古澤 昌彦(東京海洋大学名誉教授)
	委員	濱野 明(水産大学校教授)
古野電気(株)	国内営業部	鉛 進(総括)
	開発部	尾形 正樹・賀川 二郎・大久保 義都
	サービス統括部	西村 武彦・浅見 直史・岡崎 亜美
(独)水産大学校	助教	中村 武史
(社)マリノフォーラム21	開発部次長	朝原 克具
東京海洋大学	助教	甘糟 和男