

「科学魚探」に関する研究座談会 第 3 回 計測システム開発の国際的動向とわが国の現状

主 催： 水 産 海 洋 研 究 会
協 賛： 株 式 会 社 本 地 郷

日 時： 昭和 57 年 8 月 20 日(金)
会 場： 東海区水産研究所第 2 会議室
コ ン ビ ー ナ ー： 鈴 木 秀 彌 (東海区水産研究所)
川 上 武 彦 (")

座 長： 青 山 恒 雄 (東大海洋研究所)

話題および話題提供者

- | | |
|--|---------------------------|
| 1. 水産音響シンポジウム (ベルゲン, 1982) 報告 | 古 澤 昌 彦 (水産工学研究所) |
| 2. 水産音響シンポジウムに出席して | 笹 倉 豊 喜 (古野電気KK) |
| 3. 科学魚探を使つての資源解析例—水産音響シンポジウムの報告 | 土 井 長 之 (日本エヌ・ユー・エス㈱) |
| 4. ポータブル計量式魚探 (SIMRAD EY-M) による魚礁航走調査法について | 岡 本 峰 雄 (海洋科学技術センター) |
| 5. ストックアセスメント技法に関する基礎研究 (抄) | 稲 垣 正・青 山 恒 雄 (東京大学海洋研究所) |
| 6. 討論およびまとめ | 青 山 恒 雄 (東京大学海洋研究所) |

1. 水産音響シンポジウム (ベルゲン, 1982) 報告

古 澤 昌 彦 (水産工学研究所)

1. はじめに

1982年6月21日から24日にわたり、ノルウェーのベルゲンで、水産音響シンポジウム (Symposium on Fisheries Acoustics) が開かれ、筆者もこれに参加したので、シンポジウムの概要及び主な発表内容について報告する。

主催は ICES (The International Council for the Exploration of the Sea) であり、FAO が共催した。同様なシンポジウム (Symposium on Acoustic Methods in Fisheries Research) が 1973 年にも同じベルゲンで開かれ、その報告書は、現在も多く引用されている。前回は、水産全般にわたる音響技術に関するものであったが、今回は、水産資源調査のための音響的方法をメイン

テーマにして組織された。

今回提出された論文は18ヶ国から97編に及び、参加者は31ヶ国 148 人であった。又、この分野の主要な研究者の多くが参加し、音響資源調査関係のほとんどの分野にわたる最先端の論文発表が行われた。

前回のシンポジウムは、1960年代に行われた各種の自動的方法 (エコー処理) による音響資源調査方法の総まとめという感があるが、今回のシンポジウムは1970年代に定着した積分方式 (エネルギー測定方式) による資源調査の総括とターゲットストレングスの自然状態における測定などの新技術の検討が主な特徴であった。

したがって、今回の発表内容を整理すれば、この分野の現状と問題点と将来とが一望できる。我国におけるこ

「科学魚探」に関する研究座談会

の分野の研究と実用化はかなり遅れており、また一般には余り知られていない分野でもあるので、本報は通常の会議報告とはやや趣きを異にし、解説を混じえながら、シンポジウムの概要と発表内容を紹介する。なお、著者に無断の論文引用が禁じられているため、著者名及び論文名は掲げることができないが、論文番号のみ例えば(23)のように示す。

2. シンポジウムの概要

図1に国別論文数を示す。ノルウェー、米、英、ソが多く、我国からは4編発表された。図に示したように、ノルウェーでは Bergen の Marine Research Institute、米国では、Washington University、英国では Aberdeen の Marine Laboratory および、Lowestoft の Fisheries Laboratory、ソ連では VNIRO からの発表が大きい割合を占め、上記研究組織がこの分野では指導的役割を演じていることがわかる。また、モロッコなどのいわゆる発展途上国の発表がかなりあるのは、FAO の支援によるところが大きい。ノルウェーの比重が大きいのは、地元の利もあるが、従来から組織的かつ大規模な研究を行っているためである。シンポジウムの開催場所がベルゲンに選ばれたのも、この地がこの分野の研究のメッカであるからであろう。

前回のシンポジウムの論文数は50で、このうち今回のテーマである音響資源調査関係は32編であったから、論文数が10年間で約3倍に増加したことになる。この事実を見ても、世界的にいかに音響資源調査に力が入れられ

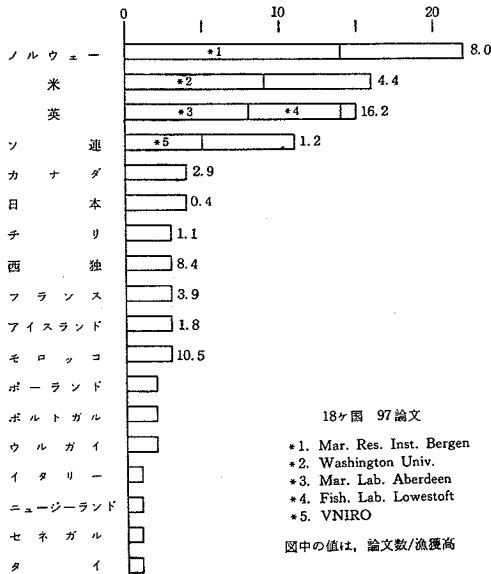


図1 論文数

てきているかがわかる。

各国のこの分野に対する力の入れ具合を見るために、論文数を各国の漁獲高(1979年の統計、単位100万トン)で割った値も図1に示した。この値もノルウェー、米、英が高く日本は比較的低いソ連の1/3である。この値によって一概に評価はできないし、我国においては漁業が盛んなため漁獲統計をもとにした資源調査法などが発達しているという反論もあろうが、我国のこの分野の研究の遅れを示す一つの目安である。特に漁業資源評価は、国際的な問題を含んでいるので、今後の我国の研究体制や調査体制の強化が望まれる。

図2には、参加人員を示した。明確なことはわからないが、1/3が主に工学関係、2/3が資源関係の研究者であったようである。

表1に、主催者側による分野分類と論文数とを示す。(複数分野にまたがる論文がかなりある。大分類は筆者のつけたものである。) これを見ると、ターゲットストレンジス(以下TS)と調査関係のウェイトが大きいことがわかる。これは、前記したように、積分方式資源量推定がほぼ定着したため、それによる調査結果、および、その方法で絶対値を知るためのスケールファクタであるTSの測定結果および測定法に関するものが多いことを示している。他の分野では、装置の較正、魚の船に対する逃避などの種々の誤差因、ソナー調査などの新し

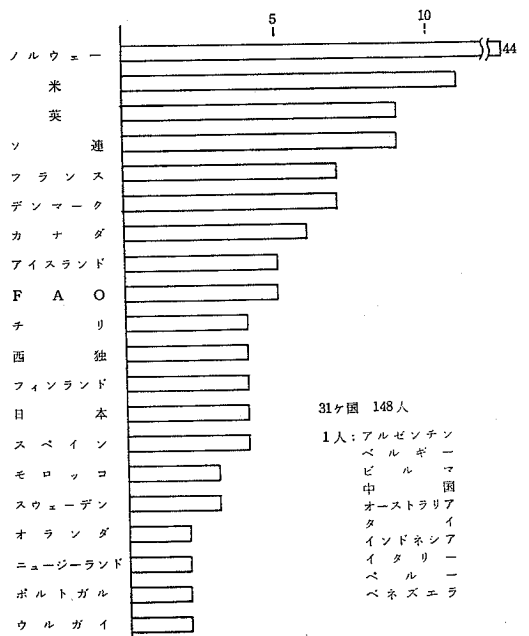


図2 参加人員

表 1 発表分野の分類および論文数

基礎的事項	26
A. ビーム形状に関する問題	11
B. 他の物理的原理	8
G. 群および多重エコー	7
装置と方法	28
C. 装置の較正	8
H. エコーの判定, 特殊な技術, データ処理	8
K. 工学的事項と装置	12
ターゲットストレングス	33
D. TS の実験的研究	15
E. TS の自然状態測定	13
F. TS に関する特殊な事項	5
調査	41
L. 統計的手法および調査設計	9
I. 調査の結果および利用	11
J. 他のデータとの比較	11
M. プランクトンおよびオキアミ	10

い方法, などが主な内容となっている。

我が国からは, 魚の TS と魚群による音波減衰の高確度測定のための同時較正法 (25), 1981 年度の南極における開洋丸によるオキアミの TS, 分布, 量調査 (26), 資源調査用魚群探知機 (27), 魚体モデルの TS (28) の 4 件の論文が提出された。

コンビーナは CRAIG であり, チェアマンは, SUOMALA, NAKKEN, MATHIESEN などのこの分野の草分けがとめた。全体の論文数が, 準備委員会の想像を遙かに上まわったため, 表 1 の各分野を報告者 (Rapporteur) がまとめて発表する方式がとられた。この報告者には EHRENBURG, FOOTE などの精鋭が当たった。表 1 は, この分担量も考えての分野である。

各分野の発表の前には, それぞれの分野の展望のために招待論文が発表された。それらは, 一般的原理 (1), 物理的較正 (2), 音響反射体としての魚等 (3), 調査設計 (4) に関する 4 件である。

北欧の 6 月はほとんど夜がなく, 発表件数も多いことから, 朝 9 時から夜 6 時まで発表及び議論が行われ, かなりのハードスケジュールであった。もっとも coffee break は比較的長くとられ, 簡単ではあるがレセプションも 2 回もたれ, 研究者間の交流が計られた。6 月 23 日の夏至の祭りには, フェリーとバンドを仕立てての「真夏の夜の旅」が催され, ベルゲンの近くのフィヨルド見学を真夜中まで楽しむことができた。また, 計量用魚探システムを積んだ調査船見学も催された。

このシンポジウムの準備はかなり周到に行われ, 予め参加者に各論文を送付するなど, 効率を上げるための工

夫がなされた。一方, 取消し論文が 19 編に及んだり, 字数や書式を守らない論文の方が多いため, 杜撰な面もあった。

3. 音響資源調査の概要

次項で発表内容を紹介するにあたり, 音響資源調査について簡単に説明する。

ソナー方程式によれば, 一尾の魚の反射強度 I , および, 魚群からの反射強度 I_T はそれぞれ次式で示される。

$$I = I_0 t_s \frac{e^{-4\alpha r}}{r^4} b^2(\theta, \phi) \quad (1)$$

$$I_T = I_0 n t_s \frac{e^{-4\alpha r}}{r^2} \frac{c\tau}{2} \Psi \quad (2)$$

ここに, I_0 は送波強度, t_s は魚体の平均 TS, r は距離, α は吸収減衰係数, $b(\theta, \phi)$ は魚の方向 (θ, ϕ) の指向性関数, n は分布密度 (例えば 尾/m³), c は音速, τ は等価パルス幅, Ψ は等価ビーム幅 (立体角) である。 $n t_s$ は普通体積散乱強度 S_0 と呼ばれる。

資源量を推定する自動的方法は, 単体魚のエコーの数を計数する計数方式と群体エコーのエネルギーを測定する積分方式とがあり, 前者は (1) 式に基づき, 後者は (2) 式に基づく処理が行われる。計数方式では単体エコーが分離される必要があり, したがって, 疎な分布に対して分解能の高いシステムを使った場合のみ有効であるが, これはかなりきびしい条件であるため, 現在主に実用されているのは, 比較的広い密度範囲で信頼に足る推定値の得られる積分方式である。

しかし, 最近実用化研究の盛んな TS の自然状態測定法 (TS measurement *in situ*, 以下自然法と略す) では, (1) 式に基づき TS を測定するので, 計数方式と同様な処理が必要になり, この面から計数方式の見直しが行なわれている。

両方式とも, 伝搬減衰項は TVG (Time Varied Gain) で補正し, I_0, c, τ, Ψ などの電気音響係数は事前に較正しておく。

(2) 式は, 深度方向及び水平方向 (船の進行方向) に平均つまり積分した場合のみ成立する式であり, したがって積分処理が必要となり, また, 電気音響係数および TS などの係数処理も必要となる。そこで, 通常の資源調査システムは, 定量化された魚探機と, エコー積分器又は計算機とを結合したものである。

通常の調査では, 深度方向積分範囲を数層設定し, 単位走航距離 (例えば 1 n. mi.) 毎に S_0 値または下式で示される積分値 M を得る。

$$d = CM \quad (3)$$

この式は (2) 式と等価なものであり、 M は I_T に対応する積分値 (mm)、 d は単位海面当りの重量密度 (t/n. mi.²)、 C は変換係数 (t/n. mi.²/mm) であり TS も含むので対象魚種毎に予め測定しておく。グリッド状又はジグザグに調査船を走航させ、例えば 1 n. mi. 毎に、この d 、または、 S_0 を単位面積当りの密度に変換したものをプロットし、等密度線を引く。この密度と対応する面積との積和を求めて、調査海面の資源現存量を得る。

(2) 式、または (3) 式の C に含まれる TS は最も重要なスケールファクタである。これまでの研究によって、平均の TS はほぼ魚体長の 2 乗に比例することがわかっている。しかし、魚種による違い、周波数による違いについては、今回のシンポジウムでも議論されたところであるが、未だ解明されていないところが多い。便法として、TS を体重で規準化して 1 kg 当りの TS (TS_{kg}) を用いる事が多い。これは、平均 TS が体重に比例するとしても、それほど大きな誤差とならないこと、次式のように比較的簡単に積分値から重量密度が得られることによる。

$$S_0 = nt_s = nwt_{skg} = \rho t_{skg} \quad (4)$$

ここに w は平均体重 (kg)、 t_{skg} は TS_{kg} の値、 ρ は重量密度である。

4. 発表内容の紹介

4.1. 基礎的事項

超音波エコー法における送波、反射、受波の過程を、線形システムのパルス応答と考える理論が提出された (1, 31)。この場合パワーをもとにした理論は、エネルギーをもとにした理論に置き代り、例えば、送波強度 (W/m²) はパルス強度 (J/m²) となる (117)。

(2) 式の反射強度と分布密度の比例関係は、これまでも実験的に確かめられていたが、魚の遊泳姿勢変化による TS のあばれなどを考慮した厳密な実験が、網に入れた魚を対象として行われ、かなり良い比例関係が確認された (43)。

魚が半波長の整数倍の間隔で分布すると、いわゆるコヒーレント散乱となり (76)、この比例関係がくずれることが、その心配は少ないであろう (1)。また、分布密度が高いと多重散乱現象が起る (106)、ある密度 n_c 以上でいわゆるシャドウイング効果が起る (43)。この n_c について検討が行われたが、何人かの研究者による値には桁が異なる程の違いがあり、今後の研究を要す (1)。この散乱は結果的には魚群減衰としてあらわされ、その測定結

果の発表もあり (25)、それによると濃密魚群及び厚い魚群での減衰はかなり大きいであろう。

音波の吸収減衰には未だ明確でない所があり、その値いかんによっては資源推定結果に大きな誤差をもたらす。この補正法についての発表がありそれによると水温や塩分のプロフィールによって補正すべきであるとしている (71)。

(2) 式に含まれていない減衰項には、上述の魚群減衰以外に、風波により水面付近に生ずる気泡層による減衰がある (37)。例えば、風速 20 ノット 38 kHz で 2.5 dB の減衰があり、送受波器を 10 m に下げるとこれが 0.3 dB に減った。

調査船が魚群上を通過しながら測定を行うと、船舶騒音によって魚が逃避する。今回の発表例によると (48, 49) この逃避効果は非常に大きく、例えば 10 m で本来の値の 0.6%、40 m でも 46% と測定値が減少する。この現象は、船舶騒音により上部の魚が逃避行動を起すと、それが深部にまで伝搬し、送受波器直下の密度が小さくなると共に、姿勢が下方に向き TS が小さくなるからであるとされている。この逃避効果は、今回のシンポジウムで発表された量推定の際の誤差因のうち TS とならび最重要と考えられる。

積分方式では、魚の有無にかかわらず広範囲の水塊について積分を行うことによって比較的簡単に安定した値を得ることができる。しかし、対象魚が少い時には、水塊やプランクトンによる反射や雑音なども積分してしまい大きな誤差を与えることがある。そこでこの誤差を軽減するため、スレッシュホールドが設けられている。しかし、このスレッシュホールドにより負の誤差が出る場合がある。これは、ビーム軸から外れた魚からの弱いエコーや、深部の単体エコーがスレッシュホールド以下になるためである。後者は、単体エコー強度は (1) 式に従い $1/r^4$ に比例するが、TVG 特性はサンプル体積の増加を考慮して $1/r^2$ になっているためである。このため、単体エコーの多い夜間の方が群体エコーの多い昼間より過少評価となることがある。これらについて、理論的、実験的検討がなされた (32, 64)。

水面付近及び海底付近はデッドゾーンとなる (83)。水面付近のデッドゾーンは送受波器の吃水及び残響によるものである。海底付近のデッドゾーンは、海底上の積分層は海底信号を規準にとられ、したがって海底上 $ct/2$ 内にいる魚のエコーが十分に積算されないことによる (36)。しかし、トロールによる漁獲と音響推定値の比較の結果、この誤差は少ないという報告もあった (45)。

以上、基礎的事項について紹介したが、積分方式が原理的、実用的にはほぼ完成したことを反映して、誤差をいかに少なくするかという面からの基礎的検討が多かった。

4.2. 装置および方式

資源量や体長の推定値を得るには、(1) および (2) 式にあらわれる電気音響係数の絶対較正又は測定が必要である。また、TS まで含めて、例えば (3) 式の C を較正する方式（直接較正法又はケージ法）もあるが、これについては次節で紹介する。ここでは、送波レベル、受信感度、等価指向角(Ψ)、TVGなどの較正、および、船間較正について紹介する。

送波レベル及び受信感度は、従来は較正用ハイドロホンを用い別々に較正されていたが、これによると誤差は良い場合でも ± 1.4 dB 程度は存在する (2, 93)。使用する送受波器を直接に相互較正法により較正すれば誤差は少ないが (2, 87)、最近は精度上及び実用上で優れている標準反射球を用いる傾向にある。これは、較正に特別な計測器を必要としないこと、反射に方向性がないこと、送受信系を総合的に較正できること、経時変化がほとんどないこと、などによる。反射球としてピンポン玉が良く使われるが、この TS を多くのサンプルについて測定したところ (89)、38 kHz では 10 dB に及ぶ非常に大きなあばれが存在することがわかり、較正球としては不適当である。30 kHz では、あばれは少ないが、径から計算した値 -40.5 に対し -38.1 dB とかなり異なる。そこで、 ka (波数 \times 半径) が 5 より小さいステンレスや銅などの金属球について検討がなされ、非常に良い標準反射体が得られた (2, 31, 34, 40)。今後はこの方法に統一されるものと思われる。

等価指向角の測定上又は計算上の誤差についても検討がなされた (64, 79)。この値は、魚の分布によっても変わるので注意を要する (63)。

音波の伝搬減衰は TVG によって補正されるが、最近のデジタル技術の進歩によって、TVG 回路そのものの誤差は少なくなり、 ± 0.5 dB 以内に収めることができ、計算機を用いた TVG の較正などもできるようになった (16, 85)。しかし、アナログ方式の TVG も実用されており、 ± 2 dB 程度の誤差が認められたこともあった (34) ので注意を要する。

共同調査や一斉調査を行う場合には、ほぼ同一の魚群を対象として船間又は機間の較正 (21, 27, 34, 93) を行う方が良い。一例によると、3 dB (魚量換算で 2 倍) 程度の相違がある場合もある (93)。

以上、較正について紹介したが、発表結果から総合的

に考えられる誤差値は、較正器で ± 0.2 dB、装置で ± 0.5 dB、船間較正で ± 1 dB 程度が良い方の値であろう。なお、較正を不要にするための方法 (25, 47) も提案されている。

今回報告された調査例はほとんどが積分方式によるものであるが、計数方式も、それと原理を同じくする TS の自然状態測定の実用化が進むにつれて見直されてきている。個々のエコーの計数のみでなくレベル測定も行えば、TS の値ごとに分布密度が得られ (5, 53)、これを体長ごとの密度に変換することも可能であるので、非常に有効である。しかし、密分布に対してはこの方法は使えないので、河川、湖沼などの狭い水域で利用したり (18, 97)、積分方式の補助として用いられることが多い。補助的利用は、主に記録紙から単体エコーを読みとる方法であり、計数結果で積分結果を較正したり (93, 96)、積分方式で得られる体積散乱強度 S_0 を計数方式で得られる分布密度 n で割って平均 TS を求め (10) たりする場合である。

垂直魚探では、前述した表面付近のデッドゾーンや逃避効果のため、表面付近の推定値に大きな負のバイアスが生ずるが、水平ソーナ (92) や上向きビーム (97) によってそれをカバーすることができる。

ソーナでは、音波の伝搬や魚体反射の指向性の複雑さのため密度を知ることはむずかしいので、魚群の個数又は体積を測定し、それと漁獲又は積分方式から推定される群内密度とから資源量を知る。スキャンニングソーナと垂直魚探を併用し、垂直面を走査し、サンプリング体積を増すと共に群に関する情報を加味して、推定精度を上げる試みもなされた (101)。このような用途に適する計量用ソーナも完成した (55)。

このような動向を見ると、近い将来には、積分方式と、TS の自動測定もできる計数方式と、ソーナとを総合した資源調査システムがあらわれるであろう。

次にやや特殊な方式を紹介する。CTFM ソーナの高 SN 比という特長を生かすと、ほぼ積分方式と同様な方法により、SN 比が 30 dB 程度改善された装置を実現することが可能である (29)。低周波音の魚の浮袋による共振を利用して体長を推定する試みも発表された (52)。この装置は、放射面の直径が 1.5 m の傘付リング振動子を送波器とし、エンドファイヤアレイを受波器とする大掛りなものである。米国からの発表には、主にサケを対象とした河川用又は湖沼用の各種方法の検討が目立っていた (100, 102, 107, 108)。

エコーのデジタル又は電算機処理に関する発表も多

表 2 ターゲットストレングス測定法分類

制 御 法	— 懸 垂 法 (6, 25, 28, 47, 73, 100)
	— ケー ジ 法 (10, 11, 12, 60, 62, 77, 78, 90, 115)
自 然 法	— 間 接 法 — ノンパラメトリック法 (66, 86, 109)
	— (CF 法) (20, 53, 54, 72)
	— パラメトリック法 (100, 105)
	— 直 接 法 — デュアルビーム法 (5, 81, 82, 94)
	— スプリットビーム法 (104)
併 用 法	— カウン ト 法 (10)
	— カメ ラ 法 (12)
	— 曳 網 法 (10, 57, 74)

注 () 内数字は論文番号 CF 法はノンパラメトリック法の一つ

い。quadrature sampling によりキャリアを含む段階でデジタル化する方法(15)、国際的に行われているオキアミ調査のためのデータバンク(14)、計量魚探システム訓練用のシミュレータ(56)などが、目新しいものである。

音響的方法による魚種判定は非常にむずかしいが、魚種推定の試みとして、TS の周波数特性の違い(41)、エコー信号のイメージとアプリオリデータとの比較(23)、記録のカテゴリー分け(114)などの方法が検討された。

4.3. ターゲットストレングス

表 2 に、今回の発表内容をもとにして TS の測定方式を分類した(3, 104)。

純粋に音響的な方法は、制御状態測定(制御法)と自然状態測定(自然法)とになる。前者は、一尾の魚を懸垂機構などでつるし、魚を回転しつつ反射の指向性をとる懸垂法と、複数尾の魚を測定用の特殊な網に入れ、全体の反射強度から一尾の TS を得るケージ法とに分かれる。自然法では、実際の海中で游泳している状態で TS を測定する。この方法は、指向性関数の寄与を間接的に除くか直接的に除くかで、二つの方法に分かれる。音響以外の手段を併用する方法は、積分方式により S_0 を測定し、魚探記録からの個体エコーの計数値や水中カメラや曳網など他の方法で得た密度でこれを割って TS を知るものである。

以下、主な方式を簡単に紹介する。

懸垂法の場合には、実際に用いる TS の平均値を知るために游泳姿勢を考慮して平均を行う(6, 47)。ケージ法は、TS の測定を主目的とする場合と、前述したように魚を含む全測定系の較正のために行われる場合とがある。後者の場合は、(3)式の C を得るのであるが、これに電気音響係数の補正を行えば、平均の TS を知ること

ができる。

自然法で直接に得られる値は、(1)式の係数を除くと、

$$I = b^2(\theta, \phi) t_s \equiv BT \quad (5)$$

であり、 B および T は確率変数と考えられる。 T の分布を知るためには、 p を密度関数として下式の積分方程式を解かなければならない(109)。

$$p_I(i) = \int_0^{\infty} p_T(t) p_B\left(\frac{i}{t}\right) \frac{dt}{t} \quad (6)$$

この式の原理的な解は、CRAIG & FORBES により 1969 年に与えられており、この CF 法にもとづく実用機も完成し(54)、測定結果もいくつか発表された。(6)式の新たな解法も発表された(66, 109)。

上記の方法はノンパラメトリック法なので、誤差を少なくしようとする多くのサンプルを要する。体長を波長で割った値が大きい場合には、受信エコーレベルの分布はレーリー分布と仮定でき、パラメトリック法により比較的少ないサンプルで TS の平均値を得ることができる(105)。この仮定は実験的に確認されている(100)。

以上の二方法は、従来の魚探機が使い簡単ではあるが、間接法であるためサンプル数を多く要する割に推定精度が悪い。そこで考えられたのが、デュアルビームまたはスプリットビームを用いることにより対象の方向の指向性関数または方向そのものを直接測定する方式である(104)。スプリットビーム法はまだ検討の段階であるがデュアルビーム法は実用期にさしかかっている状態なので、これに関する論文が多い。この方法では、軸をそろえた広・狭の二ビームを用い、狭で送波し、広・狭両ビームで受波する。指向性関数を狭ビームは b 、広ビームは b' とすると、(5)式以外に

$$I' = bb' t_s \quad (7)$$

が得られ、 $b' \approx 1$ とできるので、(5) (7) 式から t_s が求まる。この方法に関する報告には、狭ビームのサイドロープを押さえ精度を上げる方法 (81, 82)、検証実験(5)、測定結果 (5, 94) などがある。

今回報告された TS の測定値は非常に多いので、その紹介は別の機会に譲るが、 TS_{kg} は普通の魚で $-35 \sim -28\text{dB/kg}$ 程度である。また、全体的に見て、TS の周波数依存性と TS_{kg} の体長依存性は余り大きくないので、この程度の値を大体の目安として良いであろう。ICES が最近 TS_{kg} の推奨値を出しており、今回の論文の中には以前の TS の値をこの推奨値に変えると実に 3.2 倍も資源量の推定値が異なる (80) としているものもあった。

TS の推定精度を悪くしているのは、姿勢依存性であろう。水中カメラによる観察結果によると、昼夜の游泳姿勢は非常に異り、そのため夜の方が TS が 6 dB 低くなる (7)、という報告があった。しかし、これが 3 dB 程度 (94) とするものなど色々であった。浮袋の影響についても、3 dB (11)、10 dB (2, 28) と定説はない。西洋サバは浮袋がないが、このため、 TS_{kg} が -47.4dB とかなり低く、浮袋の容積変化に伴う TS の深度変化が認められない、という報告もあった(78)。周波数依存性については、プランクトンの TS は周波数と共に

下り (41)、オキアミは上る (70) という結果が出され、議論を呼んだ。

これらの結果を見ると、TS についてはまだ多くの研究を必要とする。

4.4. 調 査

調査設計についてはかなり多くの発表があった。推定結果の誤差は、推定値の平均の回りのあばれ具合を示す精度と推定値の真値からの偏りをあらかず確度とに明確に区分する必要がある (4)。推定結果の誤差に対する要求は、科学的見地からは確度が要求され、資源管理的見地からは精度が要求される (84) とする意見もあった。調査線の選び方に関しては、サンプリング理論(4, 110) や探索理論 (75) などの既存の理論を適用しようという試み、シミュレーションによる方法(19, 65)、分布や行動に関するデータの積み重ねを重視するもの、などがあるが、今のところ規格化されていない(63)。調査線間隔を決める実際的な指標は、調査線の全長を調査海域面積の平方根で割った値であり、この値を10程度以上にとれば、推定値の変動係数を 0.2 以下にすることができる (33)。

音響調査を成功させるための条件として共通的に言われていることは、次の 5 点である。

- 1) 事前に対象魚群の分布海域、移動状況を把握して

表 3 調 査 一 覧

論文番号	著 者 国 名	年 度	魚 種	海 域	備 考
21	アイスランド、 ノルウェー	78~82	シシャモ (capelin)	アイスランド周辺	
22	アイスランド	73~82	ニシン	"	
26	日 本	81	オキアミ	南 極	
30	ノルウェー	75~80	シシャモ	バレンツ海	
36	ノルウェー	75~81	タ ラ	大西洋北東	
38	ノルウェー	71~81	タラ、シシャモ、 サバ	"	各種推定法比較
45	ノルウェー	79~82	各 種	スリランカ	
47	ノルウェー	78~80	ニ シ ン	ノルウェー近海	相対 TS 使用
58	ポーランド	81	各 種	バルチック海	
61	ポルトガル	81	イ ワ シ	ポルトガル沿岸	4 回
62	タ イ	79	各 種	タ イ 湾	
80	英	78~82	イ ワ シ	北海西部	
88	英	79~71	ニ シ ン	北海中央	
92	モ ロ ッ コ	79~81	イ ワ シ	モロッコ沿岸	ソーナ併用
95	米	80~81	タ ラ	アラスカ湾	
96	米	77	ベニザケ	Cultus 湖	
98	米	71~82	ニ シ ン	ワシントン近海、 アラスカ南東	
99	米	76~81	ニ シ ン	アラスカ	
101	米	80~81	rock fish	太平洋北東	

おく(47)。例えばアイスランドにおけるシヤモ(capelin)の調査では、漁業からの情報や予備的音響調査によって分布範囲を的確につかみ、一日程度で密な本調査を行い、成果を上げている(22)。

- 2) 中層に広く一様に分布している時季、時間を選ぶ。これはデッドゾーンや逃避効果を避け、積分方式の理論の仮定を成立させ、積分層の選び方などを簡単にするためである。
- 3) 魚群の組成が一樣に近い対象が良い。これは、積分値をカテゴリー分けする際の誤差を少なくするためである。ノルウェーに於ける2種のタラ(codとhaddock)の量推定の結果、codは過少評価、haddockは過大評価となったが、これはサンプルのためのトロール網に対する2種の魚の逃避反応の違いであろうと推察されている(36)。
- 4) 良い天候条件の時に行う。これは当然のことであるが、特に気泡減衰を避けるために必要である。
- 5) 同一海域、同一対象に対する調査を長期にわたり繰り返して行くと、精度の検討や問題点の把握に有効である(21)。

表3に、今回発表された調査の一覧を示す。ノルウェー、英、アイスランド、米の数年にわたる組織的調査とその他の国の試験的又は初期的調査とが対照的である。音響推定結果は、漁獲(21)、VPA、卵稚仔調査などの結果と比較されるが(38)、非常に良く合う場合(21、45)もあるが、2~3倍の違いが出る場合もある(36)。

2. 水産音響シンポジウムに出席して

1. シンポジウム出席の経過

魚探による資源量推定の試みは古くからなされていたが、近年マイコンの出現によって複雑な計算が短時間で行なえるようになり、ここ数年急速な発展を遂げた。また世界的な資源問題とのからみで資源調査の必要性からこの分野の研究が盛んになってきた。この度の国際シンポジウムでは広く世界に「音響による海洋生物資源の測定に関する論文」の投稿を求め、その結果20ヶ国100余件の論文を集め、開催の運びとなったものである。

古野電気では、国産初の科学魚探一号機について、水産庁調査船「開洋丸」による南極海でのオキアミ調査の

5. おわりに

今回の発表内容から総合すると、音響資源調査法の総合的誤差は、良い場合で ± 3 dB、つまり真値の1/2~2倍程度と考えられる。他の方法でもその程度の誤差はあると思えるので、音響資源調査法は、従来の方法と肩を並べたと言えよう。事実、ノルウェー、英、アイスランド、米では、実際の資源管理に使われている。

誤差はともかくとして、この方法は、迅速であり漁業に依存しないという利点があるため、今後更に発展することは間違いない。特に今回の発表内容から見て、TSの推定確度の向上などによる積分方式の高確度化、体長推定の実用化が進むであろう。

シンポジウム期間中に、ベルゲン海洋研のG.O. SARS始め、3隻の調査船を見学することができた。G.O. SARSには、独立した音響機器室と計算機室が設けられており、前者には、初期の頃から最新に至るまでの計量魚探システムが5台程度設備されており、さながら音響調査船の観であった。

参加者の顔ぶれや発表、討議内容から察すると、ノルウェー、英、米の先進国では、水産音響の研究者の層が、年齢、専攻分野、研究分野の全てにわたりかなり厚く、組織的に研究、調査が行われていることがうかがわれた。

我国に於いても、最近、音響資源調査に対する関心が高まりつつあるが、未だ初期の段階であり、研究者も非常に少ない。研究体制の整備が急務であることを実感させられた。

笹倉豊喜(古野電気KK)

結果をとりまとめた論文「ECHO SOUNDER FOR FISH STOCK ASSESSMENT」を本シンポジウムに提出し筆者が出席した。

2. 会議内容の要約

シンポジウムの目的は、音響による資源調査(Acoustic Survey)を行なうにあたり、測定精度を向上させるにはどのような点に注意すればよいかを各国の専門家により議論・討論を行なうということであった。

音響による資源量評価(Acoustic Estimation)の精度を向上させるには、次の3点が重要である。

(1) 機器精度

(2) T.S. の測定方法及精度

(3) 調査方法 (Survey Design)

このうち今回のシンポジウムでは (2) の項目に対しての議論が特に多く若い研究者の間で活発な意見が交換された。特に Dr. FOOTE (Institute of Marine Research, Bergen Norway) によれば、0.1 dB の測定精度も不可能ではなく、その実験例も発表された。また、ROBINSON (Fisheries Laboratory, Suffolk England) は機器の較正について発表を行ない、種々のパラメータについて検討を重ねシステム精度は、0.5~1 dB でなければならぬと述べている。

実際の調査についての論文の中で GUZMAN (Instituto de Fomento Pesquero, Santiago Chile) らは、オキアミの TS 測定に対し網中に数百匹以上のオキアミを入れ、それをテレビカメラでモニターしながら単位体積中の数を読みとり TS を算出するというをやっており測定精度の向上に努めている。

装置関係ではセクタースキニングソナーによる計算式やサイドルッキングソナーによるもの他、Simrad が発表した *in situ* 状態での単体魚の TS 測定装置やそのシュミレータ等について調査船上での展示公開も行なわれた。発展途上国の発表では、現在市場に出ている科学魚探はコストも高いし形状も大きすぎるとの意見が出された。また、調査の多くは小さなチャータ船によるところが多いので可搬型かつ安価な科学魚探が切望されていた。

3. 出席の感想

音響による資源量評価の研究は未だ始まったばかりであるが、ノルウェー、イギリス、チリ等はかなり進んでおり研究者の層も厚く熱心である。日本は漁業国であり獲る方の技術及漁撈計器の進歩は世界一かも知れないが、資源評価という面では一步遅れていると感じた。事実今回日本からの論文は 3 件のみであるのに対し、ノルウェー、イギリス、ソ連等はそれぞれ 20 件以上もの論文を提出し多くの参加者があった。

音響で資源評価を行なうということはまだいろんな問題を含んでおり、これからも世界各国での研究が進められるであろう。その中で我々メーカー側としては機器の精度を向上させるべく努力しなければならない。

4. 提出論文の要約

海洋資源の定量化を目的として魚群探知機による信号

処理、収集システムを試作し南極海において実船実験を行なった。

このシステムは FIBX のオキアミ調査の目的で設計され、積分方式の原理に基づいてエコー信号により体積後方散乱強度を算出して記録する。システム構成は魚探部、積分器、ドットプリンター及データレコーダーから成る。魚探部は超音波の伝搬減衰補正を行なうと共に信号の A/D 変換を行ない演算部へ送る。積分器では魚探部から送られてくる信号をデジタル演算処理を行ない設定された各層毎の後方散乱強度を計算する。受信エコー信号は深度方向に 1024 サンプルされ、積分層は 12 層より成る、12 層の内 10 層はドットプリンターで設定され、残り 2 層はインテグレーター部の前面パネルでセットされる。

後方散乱強度は設定された 12 層について設定された積分周期毎に計算出力されると共に垂直分布曲線として魚探部の記録紙上にグラフ化される。従って各層の数値データとは別に垂直分布曲線によって連続的な対象物 (例 DSL) の垂直分布密度の解析等にも有効である。超音波の拡散減衰は $20 \log R$ または $40 \log R$ で補正される。 $20 \log R$ の場合 330 m までは乗算器を用いてアナログ的に補正されそれ以降の深度はマイコンで補正される。 $40 \log R$ では 100 m 点がアナログ補正とマイコン補正の分岐点である。また吸収減衰の補正は全深度を通じてマイコンで行なっている。各層毎の後方散乱強度はドットプリンター用紙に航法計器による位置データと共に打ち出される。また後日のデータ解析のために紙テープにもパンチアウト可能である。

水産庁調査船開洋丸による南極海オキアミ調査 (FIBX) において科学魚探 FQ-30 により、以下の結果を得た。

- 1) オキアミ単体のターゲットストレングスの測定結果

$$TS = -59.4 \text{ dB} \quad 1 \text{ g 当り}$$

- 2) 調査海域における平均散乱強度

$$\bar{S}_0 = -60.9 \text{ dB} \quad 191,400 \text{ km}^2$$

を得た。また、

- 3) 音響測定とネットサンプリングの比較
- 4) 他の調査船とのデータ比較
- 5) 散乱層の垂直分布の解析等も実施した。

3. 科学魚探を使つての資源解析例

—水産音響シンポジウムの報告—

土井長之 (日本エス・ユー・エスKK)

1982年6月21~24日の間、ノルウェーのベルゲンにて開かれた水産音響シンポジウムに於ては、当初115(このうち、実際には発表されないものもあったが)の論文が提出された。その国別内訳は、次の通りである。

カナダ	6	チリー	4
西ドイツ	3	フランス	3
アイスランド	3	イタリー	2
日本	4	ニュージーランド	1
ノルウェー	28	ポーランド	3
ポルトガル	2	セネガル	1
南ア	2	スペイン	1
タイ	1	ソ連	14
英	18	米	17
ウルガイ	2		

全世界の約7分の1の漁獲をあげ、水産研究者も非常に多い日本としては、如何にも少ない論文数である。また、出席者も日本はたったの3人で、魚探の生産台数や漁船に普及している率が日本はトップクラスでも、科学魚探の研究への応用面では日本は発展途上国であることは否めない。そこで、シンポジウムで明らかとなった外国の利用技術のいくつかを紹介してみる。

シンポジウムに提出された、すべての論文の範疇の紹介については古澤の報告に譲り、ここでは「調査結果と応用」並びに「他の資源量推定法との比較」に関するものの中から4例を紹介する。即ち、科学魚探を実際に使つての解析例である。なお、無断の論文引用が禁じられているので、ここでは研究例として概略の紹介にとどめる。

例1. アイスランドのニシン

アイスランドのニシンは夏季に産卵し、その頃が漁期である。しかしこの時には、他の魚も混在し分布区域も広い。故に科学魚探調査には適していない。ところが冬季になると海岸の狭い地域に集中分布し、他の魚も混じっていない。この時が科学魚探調査の好機であり、1~2日の短期調査によって資源量を推定する。

1982年1月9~10日の集中分布域と科学魚探調査航跡を図1に示す。曲線で囲まれた三つの海域に、ニシンは集中していた。

音響の強さを魚群量に換算する為に、標的強度が必要であるが、アイスランドニシンについては体長(L: cm)を変数として次式を用いている。

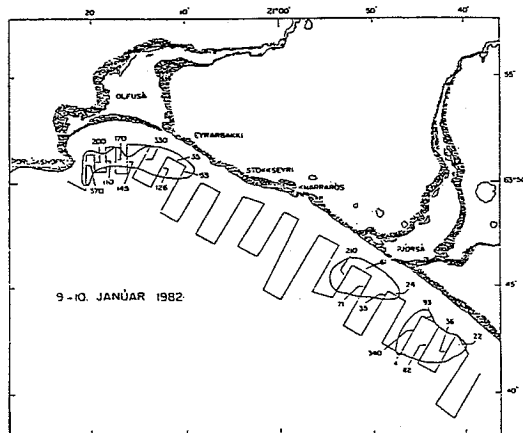


図1 1982年1月9~10日ニシン冬期集中分布図と科学魚探調査航跡

表1 科学魚探によるニシン現存量推定(1973~1982年)

年令	[単位 10 ⁶ 尾]									
	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82
1	211	7	184	60	293	216	26	500	23	
2		179	26	86	563	444	234	620	99	
3		24	171	12	59	279	468	110	206	
4		27	21	92	24	63	325	218	54	
5		3	13	17	176	25	65	232	157	
6		2	4	12	23	140	52	41	205	
7			4	6	23	38	117	36	30	
8			4	3	12	38	13	72	10	
9						25		13	57	
10									12	
3+		56	213	142	317	608	1040	722	731	
4+		32	42	130	258	329	572	612	525	

表 2 arctic cod (マダラ) の資源量推定

[単位 10⁷ 尾]

推定方法	年 年齢	1977					1978					1979					1981				
		N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆
科学魚探		88	10	32	14	5	24	80	15	17	3	1	11	50	8	5	7	6	12	24	27
VPA法		101	35	44	29	12	47	82	25	21	11	19	39	60	16	9	6	10	13	24	27

表 3 haddock (タラ) の資源量推定

[単位 10⁷ 尾]

推定方法	年 年齢	1977				1978				1979				1981			
		N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅
科学魚探		76	20	6	1	15	74	6	+	1	18	25	1	3	1	7	16
VPA法		28	12	4	2	20	26	5	1	6	16	13	2	10	5	4	8

$$TS(\text{dB}) = 21.7 \log l - 75.5$$

試験捕獲魚の年齢組成を考慮して、表 1 に示すように各年の年齢別の資源量を科学魚探記録より推定している。

例 2. 北東大西洋の arctic cod (マダラ) と haddock (タラ)

北東大西洋の arctic cod (マダラ) の科学魚探による現存量推定値を表 2 に示す。年別・年齢別の推定がなされている。その他の推定法との比較をする為に、日本で所謂コホルト解析 (VPA 推定) の結果も併記されている。

北東大西洋の haddock (タラ) についても全く同様な資源量推定を行った結果を表 3 に示す。両推定値を比較してみると、科学魚探推定の方が VPA 推定より arctic cod では過小評価、haddock では過大評価気味である。しかし、VPA 法推定が真実であるとは言えないし、魚の移動や分布、浮魚、小魚、若年魚などがからんでいることなどを考えると当然差はでてくる。どちらがより正しいか疑問である。

例 3. 北海西部の sprat (イワシの類)

科学魚探を用いる調査では、単一魚種である場合は当然精度がよい。sprat はこの条件に合うが、小型ニシンが混獲されることもある。産卵期は夏季であるが、この時は海底に広く他魚種と混って分散しており、この時期は科学魚探で資源量を見積ることは難しい。故に冬季に科学魚探調査が行われている。体重に基づく標的強度を以て資源量を重量で推定する。

表 4 科学魚探による sprat の小海区 (30'×30') 別の現存量推定

[単位千トン]

小海区 (南 西角の位置)	1月 1978	2月 1979	1月 1980	3月 1980	1月 1981	1月 1982
58°00 04°00	1.1	—	0.2	—	0.1	0.0
" 03°00	3.7	—	0.0	—	0.4	0.0
" 02°00	—	—	—	—	0.2	0.0
" 01°00	—	—	—	—	—	0.0
57°30 04°00	4.3	1.9	7.2	0.2	4.1	6.0
" 03°00	5.1	75.5	5.0	2.9	6.1	4.1
" 02°00	0.8	2.1	1.8	2.6	2.3	3.4
" 01°00	0.5	—	—	—	0.6	2.0
57°00 03°00	19.0	5.4	0.1	0.2	1.6	0.1
" 02°00	0.3	19.8	1.5	2.1	11.9	1.1
" 01°00	—	—	—	—	1.0	1.0
56°30 03°00	45.5	127.9	6.2	3.3	22.4	1.3
" 02°00	2.6	12.9	0.4	0.6	19.4	3.2
" 01°00	0.7	—	—	—	—	2.2
50°00 04°00	0.1	—	—	0.2	5.6	0.2
" 03°00	23.8	21.3	6.0	2.2	11.1	5.2
" 02°00	7.1	1.5	0.5	—	2.8	0.0
" 01°00	2.3	—	0.1	—	—	0.0
55°30 03°00	0.6	0.1	—	—	—	—
" 02°00	4.4	1.0	—	—	2.4	0.0
" 01°00	1.9	0.8	—	—	0.8	0.0
55°00 02°00	12.9	28.7	—	—	5.5	—
" 01°00	0.6	1.3	—	—	1.4	—
" 00°00	—	—	—	—	—	—
54°30 02°00	14.4	8.7	—	—	0.7	2.3
" 01°00	144.9	9.8	—	—	2.6	14.3
" 00°00	2.0	—	—	—	—	6.5
54°00 01°00	49.0	—	—	—	13.0	5.3
" 00°00	296.75	—	—	—	—	15.4
総 量	644.45	318.7	29.0	14.3	116.0	72.60

$$\text{標的強度}/\text{kg} = -34 \text{ dB}$$

「科学魚探」に関する研究座談会

表 5 ニシンの科学魚探調査の例

(1979~80 期)

月/日	位 置	調査船	航走	面積 (10 ⁶ m ²)	現存量 (10 ⁶ ポンド)	調査時間 (分)
11/13	Lisianski	A	1	2.39	5.43	29
	"	"	2	4.07	6.96	31
	Stag Bay	"	1	—	—	18
11/14	"	"	1	—	—	12
	Lisianski	"	1	—	—	31
	Anita Bay	B	1	16.9	16.9	74
11/15	"	"	1	17.4	17.9	93
	"	"	2	12.8	16.0	86
	El Capitan	C	1	3.77	1.17	88
	"	"	2	4.33	1.17	86
11/16	Port Frederick	A	1	8.45	—	47
	"	"	2	6.69	3.21	61
	Tuxekan Narrows	C	1	1.04	0.10	32
	"	"	2	0.38	0.11	12
11/17	Tanakee Inlet	A	1	3.64	8.01	89
	"	"	2	1.30	8.97	38
	"	"	3	1.82	7.80	38
	Trocadero Bay	C	1	5.63	3.04	49
11/18	Meares Passage	"	1	3.31	5.23	39
	"	"	2	3.87	4.37	29
	Diamond Point	"	1	4.18	3.34	35
12/3	Anita Bay	B	1	11.75	4.46	90
	"	"	2	5.96	5.90	71
	"	"	3	8.36	4.68	59
12/7	Scow Bay	"	1	3.81	5.61	70
	Fritz Cove	D	1	1.88	*	27
12/8	Meares Passage	C	1	3.69	2.95	39
	"	"	2	2.57	2.83	29
12/10	El Capitan	"	1	4.41	2.03	59
	Fritz Cove	A	2	0.73	*	12
	"	"	3	0.73	*	12
12/12	Scow Bay	B	1	4.37	14.0	52
12/14	"	"	1	4.77	3.81	54
1/15	Anita Bay	"	1	6.48	*	54
	"	"	2	1.07	*	32
1/16	"	"	1	0.54	*	18
1/24	Olga Straits	A	1	0.98	2.25	27
	"	"	2	0.98	1.27	27

を採用する。

30'×30' マス目毎に現存量を出し、等量線を引いて全海域の現存量を推定する方式を採用。30'×30' マス目毎の推定値を各年別に示すと表 4 となる。総計では

1978 年 644×10³ トン

1982 年 73×10³ トン

であるが、この減少は稚仔の中層曳採集によっても確認される。sprat と混在しているプランクトンによる推定誤差や昼夜の変化を見ることは難しい。

卵調査や中層トロールの曳網当りの漁獲による資源量相対指数との比較を行うことができる。

例 4. ワシントン州とアラスカのニシンの科学魚探による資源推定と漁業管理

ワシントン州とアラスカ地方のニシンは極めて短期(時としては数時間)で強度の漁業によって獲られるので、通常の解析では間に合わない。科学魚探による推定と管理は、二三の例外はあるにせよ、満足のいくものである。

表 6 科学魚探で推定したワシントン州 3 地域のニシン現存量 (1975~1982)

漁 期	South Sound		Protection Island/ North Hood Canal		Bellingham Bay/ San Juan Islands	
	調査回数	現存量 10 ³ トン	調査回数	現存量 10 ³ トン	調査回数	現存量 10 ³ トン
1975~76	6	17.2	2	12.5	0	—
1976~77	4	11.9	2	8.5	2	8.6
1977~78	3	6.2	1	7.5	1	3.0
1978~79	3	8.8	2	4.1	0	—
1979~80	4	4.2	2	7.0	1	1.8
1980~81	6	7.8	2	9.0	4	2.5
1981~82	4	9.0	3	4.5	7	6.0

通常の漁獲統計に基づく解析法はすべて漁期が終わってからの解析はできないし、それも数年の時間的ずれすらあることが多いので、漁業管理面で全く実用的でない。ポータブル科学魚探を用いて多くの調査船で同時一斉調査方式でデータ収集を行う。夜、中層へニシンが分散する時に調査が行われることが多い。標的強度としては体重を基にして、

$$-33 \text{ dB/kg}$$

を採用する。但し 15 cm より小さいか 30 cm より大きい魚ならば補正が要る。各調査船の各地域での調査結果の一例を表 5 に示す。このような多くの調査を各年毎にまとめると表 6 を得る。

商業漁獲と科学魚探推定値とを対比すると表 7 となるが、ほぼ比例関係にあることが認められる。

表 7 Sitka Sound におけるニシン漁獲量と科学魚探による推定現存量との比較 (1976~1981)

年	漁 獲 量 10 ⁶ ポンド	推定現存量 10 ⁶ ポンド
1976	1.6	14.6
1977	0	11.3
1978	0.4	29.6
1979	4.5	62.7
1980	8.8	79.0
1981	7.2	54.0

標的強度、生物種、体長、習性等に情報不足があるとはいえ、注意深く較正を行えば不確さは軽減できる。科学魚探利用は時宜を失わない漁業管理上の有効なアプローチである。

4. ポータブル計量式魚探 (SIMRAD EY-M)

による魚礁航走調査法について

岡 本 峰 雄 (海洋科学技術センター)

1. はじめに

人工魚礁、人工礁漁場は磯場・天然礁の拡大、幼稚仔魚の保護育成、回遊性魚の蝸集等を期待して設置されており、造成海域ごとに規模・材質・形状等が詳細に検討されている。魚礁は一般に、海底上にある広さと高さをもって設置されているが、近年は中層や表層に浮遊して係留されるものや、魚礁域を音響馴致による放流漁場に利用する等の先行的な試験研究も数多く行われている。

著者は、浅海域に設置された人工魚礁を対象として蝸集魚群の分布構造や日周行動を調べ、魚群量を定量的に

求めようと試みている。この研究の一環として、1981年 9 月以降、ポータブル計量式魚探 (SIMRAD EY-M) の試用を開始し、性能と魚礁研究への応用の可能性について検討を行った。その結果、計量式魚探の利用法について若干の知見を得ることができたので報告する。

2. 人工魚礁研究の現状

魚礁設置後、そこに蝸集した魚群の種類と数量を知ること、魚礁の効果を知るうえで最も基本的かつ大切なことである。現在、魚礁の効果判定は魚群探知機による航走調査、標本船による試験操業、漁獲統計資料の解析

等の方法で行われている。これらの調査は主として漁獲対象となる有用魚種の把握に焦点が絞られており、魚礁の集魚機構や生態系の解明等に関しては、あまり注意が払われていないようである。

魚礁の集魚要因の解明を行う場合、まずそこに生息している全ての魚種について魚種別の分布量を把握することが必要と思われる。魚群の定量化ができれば、魚礁における物理・化学・生物学的な諸環境要因との比較が可能となる。その結果、魚種別の集魚要因の推定や特定魚種の廻集を目的とした魚礁の設計基準の作成等が可能になるであろう。

ところが現実の魚礁研究では、物理・化学的な面に比較すると、生物学的な面は大きく立ち遅れている。この原因は、魚礁に生息する魚種が多く、それらが海底や魚礁に定座・魚礁内に潜入・魚礁のごく近辺や表・中層で遊泳といった雑多な生活様式を有していること、魚礁の規模自体が広い海洋に対しては微小なものであること、海水という媒体により調査方法に制約が多い等のあることがあげられる。このため、魚群の全容を把握しようとする自体が極めて大きな研究課題となっており、物理・化学的な計測結果と比較できるほどの精度良い調査結果を得るなど、未だ試行錯誤段階に留まっているのが現状である。

著者らは、従来の船舶を用いた海面からの調査とは異なり、潜水観察と各種海底設置式測器類とを併用した海底を基準にした調査法によって、魚礁と魚群の結びつきや魚群量の定量評価法を検討している。潜水観察によれば、少なくとも日中生息している魚類に関しては、種類と概略の数とを知ることができる。しかし、潜水観察にはいくつかの欠点と限界とがある。潜水時間は深度の増加に伴って著しく減少し、濁った海域では視界がきかず、観察能力が低下する。また、遊泳力の強い魚種はダイバーの影響によって行動が活発化し、定量的な把握が困難となる。最も大きな問題点は、観察者の知識・能力によって得られる結果の信頼性が異なることである。これらの欠点を補うため、数種の海底設置式自動測器を製作・使用している。例えば自動式水中カメラ、海底から上向きに設置する自動魚群探知機等である。この種の測器で得られる情報は、定性的には潜水観察の精度には及ばないが、荒れた海であっても数昼夜以上の連続データが得られ、若干の定量化可能な要素も含まれている。しかしながら、魚礁における魚群の分布域は水平方向、鉛直方向ともかなり偏っているため、測器の設置場所により、得られる結果が著しく異なっている。測器の設置に

際しては、魚礁域での魚群分布域を十分に観察したうえで、欲しいデータが得られる場所を選定し、確実に予定点に固定することが必要である。

著者らは、いくつかの魚礁で継続した調査を行っており、多くの魚種について分布域や昼夜の行動変化に関する情報を得ることができた。しかし、遊泳力の強い魚種や回遊性の魚種が廻集していた場合、個体数や分布域を知ることはできなかった。それらにはキビナゴ、イワシ類、ヒラマサ、マアジ等が含まれる。そこで、この種の魚類の分布状況を把握するため、魚群探知機による航走調査の必要性が生じてきた。

ところで魚礁研究に用いる魚探機の性能について見ると、5トン未満の小型船で使用でき、かつ高性能なものが必要である。小型船を用いるのは、魚礁上に係船する際に魚礁ブロックに固縛した索で十分なこと、また用船する場合の費用の問題等による。高性能であることは当然の要求であるが、魚礁の場合特に、対象が小規模なことを考慮する必要がある。静岡県西伊豆の田子魚礁(図1)を例にとると、造成規模は約2,600空 m^3 で、

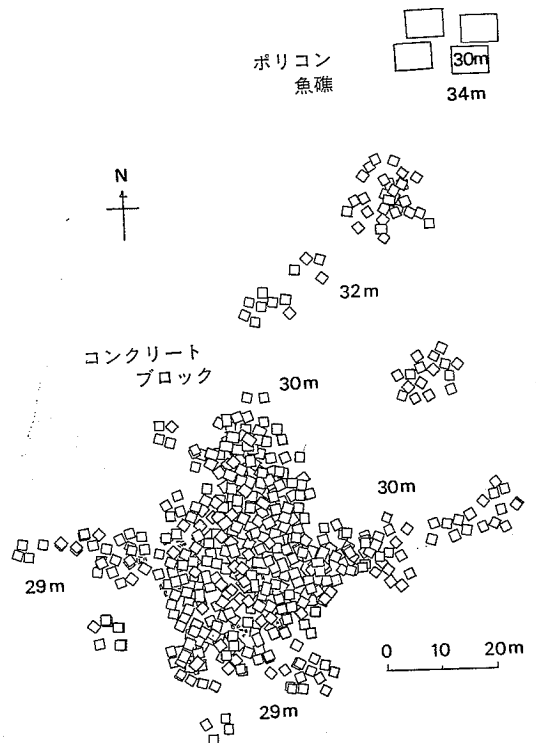


図1 田子魚礁配置図
(1.5 m 角コンクリートブロック 616 個、
100 m^3 型ポリコン魚礁 4 基)

分布域は東西約 80 m, 南北約 130 m である。従って、直線状に航走調査を行う場合、1 本の測線長は数百メートルで、その間に十分なデータが取得されなければならない。記録の質に関しては、データ処理に客観性の持てるものでなければならない。以上の条件を満たすものとして、EY-M を選定し、実験を行った。

3. 計量式魚探 (EY-M) の利用

(1) 装置の概要

使用した計量式魚探は SIMRAD EY-M で、周波数 70 kHz, ビーム角 11° (TYPE 70-24-F) と 22° (TYPE 74 AA) のものである。計測結果は記録紙のほか、カセットテープレコーダ (NAKAMICHI 550) またはオープンリールのテープレコーダ (UHER 4, 200) に収録し、持ち帰った後 SIMRAD QD Digital Echo Integrator (以下 QD と称す) で解析を行った。QD では水深を 10 層に分け、船速 (kt) と積分距離 (最小 0.1 Mile) を与えることにより、層別に距離内の容積 1 m³ 当りの \bar{S}_0 (平均後方体積散乱強度, Mean Volume Backscattering Strength) を dB 単位で得ることができる。積分層は 0.1 m 単位で設定でき、表層は送受波器から 3 m 以遠を 8 層、底層は海底沿いに 2 層を設定することができる。積分層は表層から順に第 1 層から第 10 層と呼ぶ。海底の傾斜や起伏により、表層と底層で重なりが生じた場合、第 10 層が最優先となり、そこで重なった表層のデータは除かれ、その分、積分層厚が指定値よりも少なく表示される。第 9 層と表層の重なりは重複して表示されるため、注意を要する。 \bar{S}_0 の値は、魚種別、体長別に求められた TS (標的強度, Target Strength) の値により、魚群密度に換算できる。しかし、現在は国内における TS の標準値がないのと、魚礁の魚類は雑多で種の判定が困難なことから、 \bar{S}_0 をそのまま用い、魚種名と概略の全長を併記するにとどめている。

(2) データ処理方法について

イ. 積分距離

QD では、取得したデータの積分距離は最小で 0.1 Mile であり、測線の長さが数百メートルの場合、1~2 組のデータしか得ることはできない。しかし QD に入力する船速と積分距離の関係は、データを分割するためのタイマーとして働いているにすぎない。例えば船速 12 kt, 積分距離 1 Mile は 5 分間の平均を求めるのと同様である。船速は最大 25 kt まで入力できるから、魚礁を航走する場合、1~2 kt の低速で走り、解析の際に 5~20 倍程度の速度を与えれば、0.1 Mile よりも細かい間隔で積分可能である。

図 2 は、小さな天然礁に対し、1.15 kt の低速で航走した記録例である。中層の魚群の大きさを知るため水深 10~34 m を 3 m ずつ 8 層に分け、船速を 1.15 kt, 11.5 kt, 23.0 kt として 0.1 Mile ごとに積分を行った。群れの大きさは長さ約 18 m, 厚さ約 15 m であるが、通常の 0.1 Mile ごとの積分では、185 m 範囲内の平均化した値として示される。船速値に 10 倍, 20 倍の値を与えて計算すれば、18.5 m および 9.3 m ごとに積分されるから、群れの分離が良好となる。図中に実線で囲んだ部分を魚群とした場合の比較結果を表 1 に示したが、細分化して積分してもほとんど誤差は生じないことがわかった。

ロ. ボトムオフセット

魚礁で航走調査を行う場合、魚群と魚礁の分離は大きな問題点となる。魚礁の内部や海底に分布する魚類を海上からの魚探調査で求めるのは無理であるが、それらが多少でも浮きあがる時間帯に調査を行えば、若干の情報は得られると思われる。EY-M では、海底と魚群の分

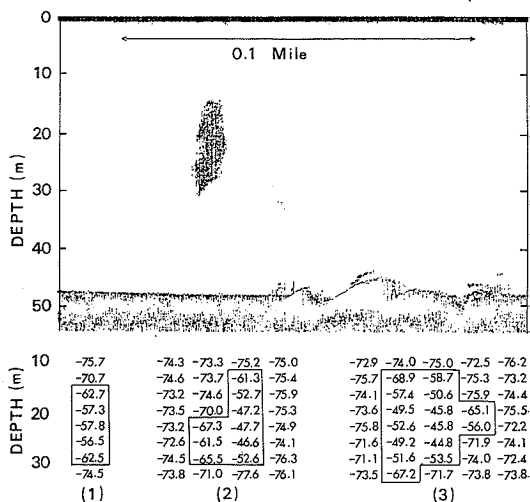


図 2 積分距離の短縮による \bar{S}_0 (dB) の変化 (実際の船速 1.15 kt に対し、(1) 1 倍, (2) 10 倍, (3) 20 倍, の値を与え、計器指示 0.1 Mile ごとに積分)

表 1 群れを細かく積分した時の値の比較

船速 (kt)	積分距離 (Mile)	群れの大きさ		
		\bar{S}_0 (dB)	区画数	比較
1.15	0.1	-58.6	5	100
11.5	0.01	-51.0	9	104
23.0	0.005	-50.3	15	101

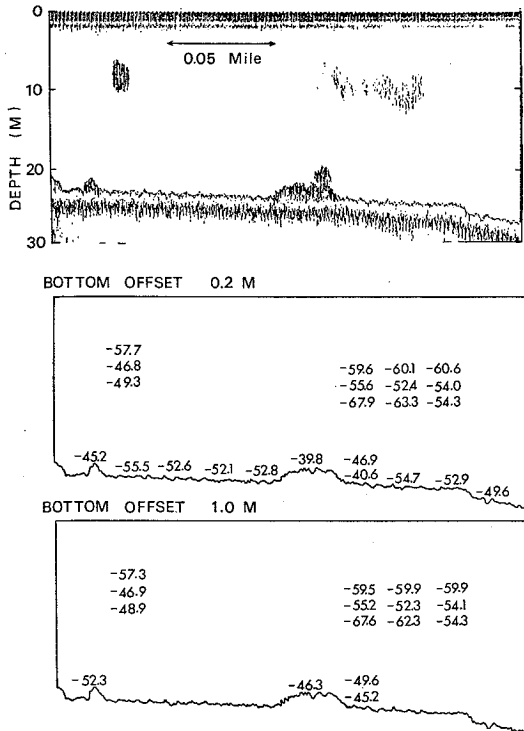


図3 ボトムオフセットによる底層の \bar{S}_v (dB) の変化。(積分距離 0.02 Mile, 層厚 2 m)

離のため、0.1~1.0 m の範囲内でボトムオフセットをかけることができる。そこで、図3に示した人工魚礁の航走記録を、0.2~1.0 m のボトムオフセットをかけて解析した。その結果、0.2 m では記録紙上に魚影が見られないにもかかわらず、海底沿いの第10層で -52~-55 dB の大きな値が示された(図3中)。これは、海底反射の1部を魚群として読み取ったものと思われる。第10層の値は、ボトムオフセットの厚さを増すことで減少し、ほぼ 1.0 m で満足できるものになった。ただし、1.0 m のボトムオフセットをかけた場合の値と、実際の低層の魚群との対応の問題は、今後の検討課題であると考ええる。

(3) 各種調査

EY-M と QD を用いた計測方法の例をのべる。

イ. 直線航走

魚礁から浮かせたマーカーブイに対して、放射状に走るか、船位測定を行いながらグリッド状に航走する方法である。

中層に浮遊した浮き棚魚礁(人工藻場プラント)での記録例を図4に示した。魚種は明らかではないが、QD

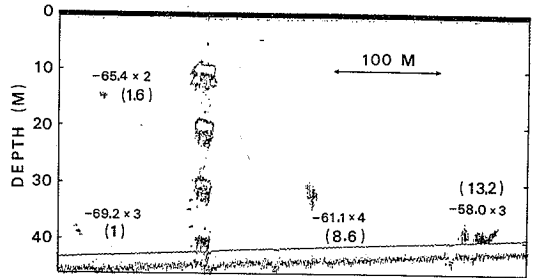


図4 浮き棚魚礁周辺の直線航走例(積分距離 0.01 Mile, 層厚 4 m。図中の数字は群れの \bar{S}_v 値 (dB) と、群れの占める単位積分区画数。カッコ内は、群れの大きさの相対的比較値)

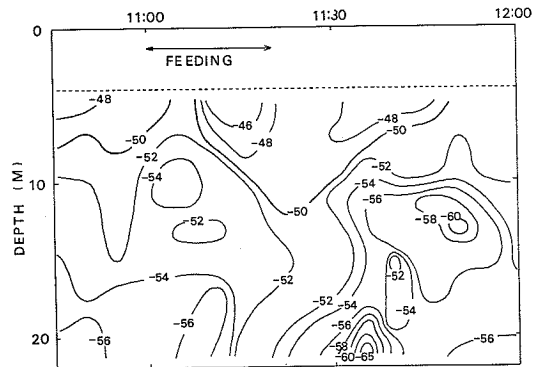


図5 給餌ロボットでの定置計測(積分時間 5分, 層厚 2 m。数字 \bar{S}_v (dB))

で層厚 4 m、積分距離 0.01 Mile で処理した時の \bar{S}_v 値を求めた。この値は群れの大きさの相対値である。各群の構成魚種と TS がわかれば魚群密度(尾/m³)に換算できる。また、群れの相対的な大きさを比較することも容易で、図中には、左下の小さな魚群を1とした時の各群の大きさを示してある。

ロ. 定置計測

調査船を現場海域に係留して行う定置計測は、魚群の日周行動を知るには有効な方法である。図5はマダイ音響馴致用の給餌ロボット(直径 3 m のドーナツ型ブイ)に係船して、放音・給餌前後の計測を行った例である。記録は水深 4~22 m を 9 層に分け、5 分間ごとに積分した。表・中層に多数分布していたウマヅラハギは放音・給餌が始まるとさらに密集し、底層にもマダイやスズメダイが集まる様子が良好に把握された。

田子魚礁で、1.5 m 角のコンクリートブロックに固縛した索に係船し、測定した記録を図6に示す。一般に魚礁においては、上面の凹凸が激しく、船位のわずかな移

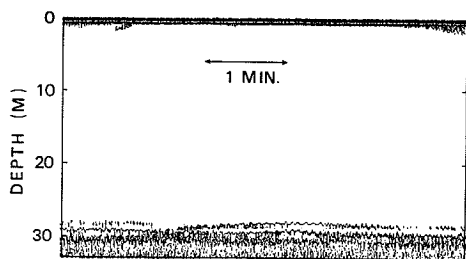


図 6 田子魚礁での定置計測

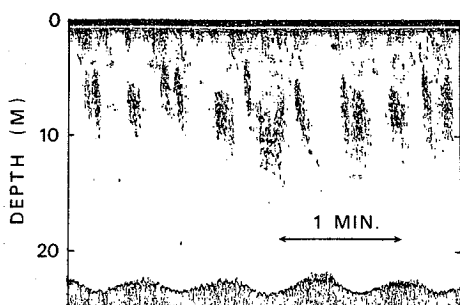


図 7 給餌ロボットを中心とした旋回航走記録

動によって、海底面の形状変化が著しい。海上の船舶からの測定では、この程度が限界であろうが、このままでは魚礁にごく接近した部分の情報を得ることは難しい。

ハ. くり返し航走

定置計測によれば、ある固定測点での変化を知るには有効であるが、田子の例のように、魚礁上での係船は不確実なことが多い。また魚礁域での魚群の分布域は偏りも大きい。魚群行動の変化をとらえるには、もう少し広範囲にわたって平均的なデータを得るほうが有効と思われる。

図7は、給餌ロボットを中心に、10~12mの距離を保ち、同一速度で旋回航走調査を行った記録の一部である。計測は放音・給餌の時間帯を中心に3時間行い、データは2分ごとに積分を行った。その結果定置計測の場合と同様に、魚群行動の経時変化について有益な情報を得ることができた。

範囲をさらに拡大し、全域の平均値を求めた例を図8に示す。給餌ロボットを中心に四方に50mの距離にマーカーブイを設置し、ブイの外側から中心に向かって3回転、続いて外側に向かって3回転のうずまき状航走を行った。データは船速を無視して31分割し、水深4m層から海底上2m層までを3mごとに積分した。その結果を単純平均し、給餌ロボットを中心とした半径50m以内の対象容積約117,000m³について、-54.5dBの \bar{S}_0 値



図 8 給餌ロボットを中心とした半径50mのうずまき型航走記録

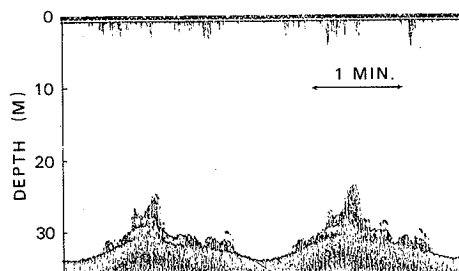


図 9 田子魚礁の2本のマーカーブイを用いた8の字型航走記録

を得た。魚種はウマヅラハギ、マアジ、イサキが中心と判断された。因みにTSの値は、魚体重量で表現すると概ね-35~-28dB/kg程度と言われている。この値を適用すると、給餌ロボットを中心とした半径50m内の魚群量(表層4mと底層2mを除く)は262~1,312kgの範囲内であると概算される。現状ではこのように測定値の幅が大きいが、航走調査とは別にTS値の計測を行えば、かなり高い精度で魚群量を知ることができる。

魚礁においても、同様の航走を行えば、全域の平均値を求めることが可能であろう。図9は、田子魚礁の北端と南端のブロックから海面に2本のマーカーを浮かせ、それを目印に、8の字型のくり返し航走を行った記録である。1サイクルごとに積分するように船速と積分距離を与えたところ、 \bar{S}_0 の変化は小さなものであった。将来は、このような平均的な値を魚礁面積にかけるだけで、魚群量の推算が可能になるかもしれない。

4. おわりに

魚礁における魚群観測用として、計量式魚探EY-Mの性能と可能性について、利用者の立場から種々の検討を加えてみた。その結果海底沿いの第10層に関しては、魚群探知機に共通の問題点が残っているが、それ以外の点では実に便利な測器であるとの印象を受けた。魚礁域の表・中展層性魚については、現状でも十分に客観性のあるデータを取得することができる。従って、異なった海域のデータであっても同一の尺度で比較することが可能であり、今後の効果調査の有力な手段になるものと期待

される。

ただし取得されたデータの扱いに関しては、現状ではあまり操作をせず、 S_0 値のまま利用したほうが望ましいと考える。魚礁域においては、魚種は雑多で、しかも混在しているため、魚探機の影像からは種名の判断が難しいこと、また、TS の値に関して、現在活発な研究が行われているものの、国内での魚種別推奨値が整理されていないこと等の理由による。魚群量や魚群分布構造に関しては、 S_0 値のままでも十分知ることができる。そこで、当面は S_0 値に航走条件、積分時の条件、魚種名等を併記し、将来再利用できるような資料として残すべき

と考える。ただし、構成種とその TS が精度良く求められた場合には、この限りではない。

人工魚礁に蝟集する魚類のうち、8~9割の種は魚礁の包絡線の内部に生息している。それらの個体数はかならずしも表・中層性魚ほどの大きなものではないが、魚礁の機能を考えるうえでは、何らかの形で定量化してゆく必要がある。著者らの今後のテーマは、魚群探知機では探査が困難な、魚礁の包絡線内の魚群をどのように把握するかに絞られている。魚礁付き底層群の行動を知ること、EY-Mの第10層の扱いについて、判断の基準を得ることもある。

5. スtockアセスメント技法に関する基礎研究 (抄)

稲垣 正・青山恒雄 (東京大学海洋研究所)

はじめに

魚族資源量の推定は、従来漁獲統計、標識放流、試験操業等の結果を解析する方法で行われてきた。しかし、これらの方法は、多大な労力と時間を要し、今日の国際漁業体制のもとでは、迅速な資源量推定という要請に充分応え得ない場合が生じるようになった。

そこで、近年、魚群探知機(以下魚探と記す)によって直接資源量を計測・推定する方法が重要視されるようになった。

魚探は、この様な時代の要求及びエレクトロニクス技術の発達によって、調査・研究用計測機として非常に精度が向上してきた。いわゆる「科学魚探」は、その最先端機器として生物の密度情報である後方体積散乱強度(back scattering volume strength)等をリアルタイム処理し、その場で数値として提供してくれる。

しかし、得られた数値から資源量を推定するためのデータ処理・解析方法及び計測方法(航法等)は、いまだわが国では十分に検討がなされていない状態である。

さて、魚群等の群をなす生物を対象とした資源量の推定を行うためには、どの様なことを検討しなければならないであろうか。大別するとふたつの手法の検討が考えられる。

ひとつは、マクロ的手法として、計測海域全体の魚群数、規模及び分布様式を推定するためのもので、航法を考慮に入れた計測手法である。

もうひとつは、ミクロ的手法として、魚群等の個体密

度を推定するための手法である。

筆者らは、この両面について研究を実施中である。以下実施内容について概要を記す。

マクロ的手法

魚探船による計測海域の航走によって得られる情報は、航走ライン下のみの中情報であり、面的なものではない。しかし、面的な状態とするために海域をくまなく航走計測することは、時間的に不可能に近い。従って、線的情報から面全体(設定海域)の状況を推定するための手法を検討する必要がある。

魚群等の形状、規模及び分布情況は、魚種、成長段階、環境等のさまざまな条件によって変化すると考えられ、現実には非常に複雑である。従って、筆者らは、簡単なモデルを考え、机上において計測手法の検討を行っている。

最も単純なモデルは、魚群の水平的な形状を円とし、規模(直径)を一様とした場合で分布様式がランダムと仮定したものである。

この場合、魚探船によって得られる情報は群(円)の一部を切ったみかけ上の群長(弦の長さ)と遭遇した群間の距離及び遭遇群数である。これらの情報から、真の群長(直径)と海域内の全群数を推定するわけである。

これは、統計的な手法によって解析的に求めることができる。しかし、より現実的な群を考えると、群形を円と仮定しても、さまざまな大きさの群を想定しなくてはならない。

こうなると解析的には解けず、シミュレーション法が必要になる。そこで、シミュレーションによって、さまざまな状況について検討を進めている。

ミクロ的手法

群の個体密度を推定する手法であり、理論的検討、実験的計測は多くの研究者によって行われている。筆者らは、現場における計測に主眼を置き、模擬魚群（ピンポン玉等）の計測や活魚を用いたケージキャリブレーション法によって密度推定法の検討を行っている。

現場計測は、実験室的な計測とは異なり、送受波器の音軸とケージとの位置関係は定まらず、さらには、ケージ内の活魚の位置、姿勢が定まらず、反射強度には大きな変動が生じる。しかし、現場において、反射強度と密度との対応が要求される場合が生じることを考えると、大きな変動値から、密度に対応する反射強度を推定する手法を検討しなければならない。

筆者らは、海上における模擬魚群の計測から、小密度の場合（1～5個体）には、反射強度が個体数の二乗に比例する値を得た。複合エコー理論によると、個体数に比

例しなければならぬ。この現象は興味あるものだが、計測データの取扱い方法（強度変動の最大値を使用）にも問題が含まれているとも考えられる。すなわち、現場計測法におけるデータ処理上での問題である。計測によって得られた反射強度の時系列変動を単純に平均することにも問題があり、今後の検討事項である。

おわりに

以上が継続して行っている基礎研究の概要である。今後さらに検討を加え魚群による資源量推定方法の確立をめざさなければならないと考えている。しかし、本研究は、魚探を資源量計測機として活用するためのものであり、一方では、対象生物の生態的な研究が充分なされている必要がある。また、従来の資源解析的な方法による知見も重要なものである。従って、研究者間の情報交換等、研究体制の強化が望まれる。

参 考 資 料

青山恒雄 (1982): ネットンおよびマイクロネットンのクイックアセスメント技法開発に関する基礎的研究。昭和56年度文部省科学研究費研究成果報告書。

6. 討 論 及 び ま と め

司 会 青 山 恒 雄 (東京大学海洋研究所)

司会: 魚探を組織的に使って来遊魚群量を計測しようという研究は、今日広く行われているが、わが国の研究レベルは西欧諸国にくらべ10年以上の遅れをとっているようである。本日ベルゲン・シンポジウムの報告をお聞きして、ますますその感を強めた。

戦後、魚探の実用化が進むと間もなく、横田グループによる豊後水道の魚探計測が組織されているから、研究開始が遅れたわけではない。しかし、計測のハード面を改良するという発想は、わが国の水産研究や水産業の中では育たなかったようである。農林水産技術会議による“漁業資源調査方法の開発に関する研究 (1968～1972)”で計量型魚探の開発研究が行われたが、その成果も本格的な機器の完成へむけて継続されなかった。

ともあれ、今日では計量型魚探が市販されるようになり、それを使用した本格的な魚群量計測のプロジェクトも実現している。少くとも計器を十分に駆使できる基礎は緊急に固める必要がある。今回の座談会もそうした気運の醸成にむけて計画されたものと解する。

三谷文夫 (三洋水路): 土井の紹介でも示されるように、日本における魚探計測の仕事はかなり遅れている。その理由の一つとして、対象生物相が異なることが挙げられる。北海等では魚類相が単純で、魚探計測も単一種を対象として組まれたものが多い。これに対し、わが国周辺では600余種の魚が分布しており、漁業対象の生物群集が極めて複雑である。魚探計測では対象生物の主体を知ることが出来ないため、対象の複雑さが、魚探計測の研究の気運を阻害して来たとみられる。複雑な対象に対する計測をどう進めるか検討する必要がある。

司会: 日本でも実際のクイックアセスの仕事は、ナンキョクオキアミとか三陸沖のマイワシやマサバで進められている。複雑な生物相に対する仕事については世界的にみても進んでいない。視点をかえて、バイオマス全体としての計測を行い、他の情報と組み合わせ、種別のバイオマスに分解するという方法も検討する価値があるように思う。

種別に計測可能なようなハードの開発に向けた努力も

「科学魚探」に関する研究座談会

必要であるが、今日のハードによる情報でも、ソフト面の改善で一步種別情報に踏みこめないものかということである。

土井：魚の生態に関する情報を良く整理した上で調査計画を立案するのも一方法であろう。ある漁場・ある期間内の漁獲物組成は非常に複雑であっても、個々の網次別にみると魚種組成は意外に単純な場合が多い。この点に解の手掛りが拾えるのではないか。

一般に、調査計画が杜撰すぎる。調査計画に対する考えが、わが国では非常に遅れている。しっかりした調査計画もなく調査を実施したのでは、その結果の解析にどんなに苦労しても効果はあるまい。

司会：同感である。一般海洋調査においても調査設計は海洋の動態に応じて行われるべきであるが、魚探計測では更に対象の行動が激しいので、調査設計は慎重を要するだろう。本日の発表の中でも調査設計に関する報告が幾つかあったが、計測を魚が群をとして中層に分散する夜間を実施するべきであるといったことも計測実施上の

重要な条件とみられる。また、混在する魚群でも特定条件下では群が分離するような場合がないものか研究する必要がある。漁業者は集魚灯や機械的音に対する反応の違いから、対象魚種の判別を行うこともしているが、各種の刺激を与えて魚群の行動の変化を検出し、魚種の判別を行う研究も努めてみる価値があろう。

魚探記録に限定する場合でも、周波数やビーム幅等の異なる機種を組み合せ使用等も検討が遅れている。

土井： S_0 を魚種別に限定して求めるのではなく、まぎりの率をかえた混成群別に求めておけば、混成割合とバイオマスとを計測できる場合もあると思う。

司会：いろいろ大胆な提案も有り有益であった。資源研究者の立場からは、多くの問題点の指摘が有るものと思うが、批判を恐れては科学の進歩はない。独創性の有る研究の出現を切望する。

なお、TS 測定用の標準反射体の選定については、早急に作業を進める必要があるように思う。