

「科学魚探」に関する研究座談会 第2回 「科学魚探」のこれから

主催：水産海洋研究会
共賛：株式会社 本地郷

日 時：昭和56年11月5日(木)
会 場：東海区水産研究所 第2会議室
コンピーナー：鈴木秀彌(東海区水産研究所)
川上武彦(東海区水産研究所)

話題および話題提供者

- | | |
|----------------------------|----------------------------------|
| 1. 音響による資源量推定の方式と実用 | 古澤昌彦(水産工学研究所) |
| 2. 科学魚探(FQ-30)を使ってみて | 中山覚介(水産庁開洋丸) |
| 3. 科学魚探信号収録装置 FQ-60 | 箕原喜代美(古野電気) |
| 4. ポータブル科学魚探 EY-M の利用 | 柏俊行(本地郷) |
| 5. SIMRAD 社の科学魚探システムの現況と将来 | Raymond BREDE (SIMRAD 社) |
| 6. 科学魚探の色々な利用方法 | 土井長之(日本エヌ・ユー・エス) |
| 7. コンピーナーまとめ 「科学魚探」のこれから | 鈴木秀彌(東海区水産研究所)
川上武彦(東海区水産研究所) |

1. 音響による資源量推定の方式と実用

古澤昌彦(水産工学研究所)

1. はじめに

従来の資源量推定は、漁獲高に基づく方法や生物学的方法によって行われてきており、かなりの成果を上げているが、結果が出るまでに時間がかかること、確度が悪いことなどの問題があり、これらのみでは要求に応えきれていないのが現状である。そこで、直接性・迅速性・簡易性・確度などの点から、音響による資源量の直接推定方法が注目され、内外で研究および実用化が盛んである。

本稿では、これまでに発表された音響による資源量推定の各種方式を紹介するとともに、実用に当たって注意すべき点について述べる。

2. 音響による各種資源量推定方式

表1は、これまでに発表された各種方式を、便宜的に各種情報毎に分類してまとめたものである。以下、これ

らについて個別に説明する。

魚探機またはソナーを用いれば、魚群の分布状況(規模・形・出現頻度・魚群の組成)・行動(遊泳または移動速度・回遊径路・日周または季節変化・遊泳深度)・環境(棲息域の海底地形および底質・他魚種との関係)などが大体わかるので、資源調査の基礎としての生態調査に使われている。

パイオテレメトリーは音響によるテレメータ技術の一種であり、主に魚の行動生態を知る目的で開発された。対象となる魚を捕獲し、これに極く小型のピンガーを装着し、これを普通数尾の魚と共に放ち、ピンガーより送られて来る超音波信号を目標として追跡する船の航跡から魚の移動径路がわかり、ピンガーからの信号を深度センサ・水温センサなどで変調すれば、遊泳水深・遊泳層の水温などもわかる。この技術は実用化されており、い

「科学魚探」に関する研究座談会 第2回「科学魚探」のこれから

表1 音響による資源推定的方式

情報	方式	説明	長所	短所
生態	魚探機・ソナー	記録・映像から分布状況・行動・環境などを調査	装置簡単	高度な情報は不正確
	バイオテレメトリー	魚にピンガーを装着し、追跡し、移動経路・速度・水深・水温などを検知	ミクロ的信息正確、装置比較的簡単	行動不自然
魚量	記録方式	魚探記録から、厚さ・長さ・出現頻度などを知り魚量指標を得る	装置簡単、一斉調査可	不正確、密度不明、手間要す
	計数方式	個体魚のエコーの個数をカウントし魚数を求める	疎分布に良、較正簡単	密分布で誤差大、高分解能要す、雑音の影響大
	積分方式	エコーのパワを積分し、係数処理し分布密度を得る	広い密度範囲に有効	疎分布で誤差大、スケールファクタの較正・安定化重要
魚体長	反射率方式	単体エコーを分離し、反射率を測定し、体長に換算	魚量計と共用可	疎分布のみ、反射率→体長の変換誤差有、較正重要
	間接法	(反射率)×(指向特性)を得て、魚がビームを切る確率を考慮して反射率を求める	装置簡単	間接的故誤差大
	直接法	デュアルビームを用い、指向特性の影響を直接に除く	直接的故誤差小	装置複雑
	ドプラー方式	ドプラーシフトから魚体運動検知し、それと体長との関係から魚体長を計算	密分布に適す	疎分布困難、装置複雑
	CW法	CW又は長パルスにより、尾端によるドプラーシフト量を求める		非現実的、間接的
	CTFM法	CTFM波により、遊泳速速度と屈曲運動周波数を求め計算	多情報得られる	装置特殊
	共振方式	低周波・広帯域音で浮袋による共振周波数→浮袋容積→体長		間接的、装置特殊
魚種	(総合方式)	多情報を得、各魚種毎のそれらの標準値と比較		

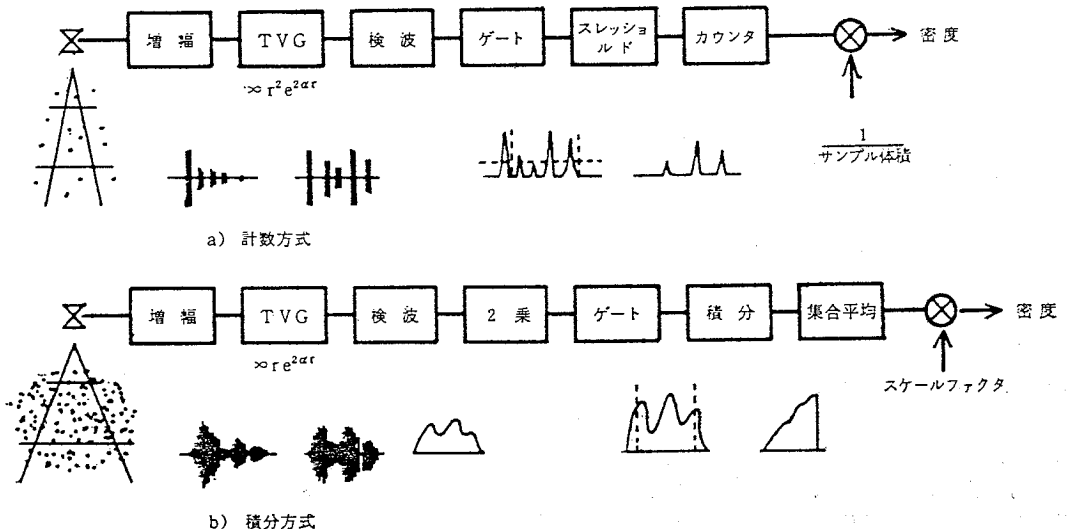


図1 魚量測定の方法の2種

くつかの成果をあげている。

魚量または資源現存量の推定は、現在最も精力的に研究・実用化がなされている分野である。

従来から行われている資源量推定方式は、記録方式と呼ばれるもので、通常の魚探機やソナーを用いる。調査船が予め決められた調査線上を走り、その時に得た魚探またはソナー記録上の魚群の長さ・厚さ・出現頻度から、体積などの魚量指標を出し、全調査海域に引き伸す。この方法は通常の魚探またはソナーを用いるので簡単であり、一斉調査なども行えるが、体積の推定精度が悪く、群内の分布密度がわからず、解析に手間がかかるといった問題があり、これらを改善すべく次に述べるような自動的かつ高精度な方法が開発されてきた。

自動的方法は、表1または図1に見るように、大きくは計数方式と積分方式とに分類される。計数方式は魚のエコーの個数を数えるものであり、積分方式は魚群エコーのエネルギーを測るものである。いずれも、TVG (Time Varied Gain) 回路により深度によるエコーの大きさの差を補正する。また、サンプル体積やスケールファクターを考慮することによって、最終的には絶対密度が、例えば尾/m³といった形で得られる。計数方式では、個々の魚のエコーが分離されねばならず、高分解能を要し、低密度な分布にしか使えないので、余り使用されていないようである。

現在、「科学魚探」の名で市販され、世界的にも実用化研究が盛んなのは、積分方式である。この方式においては、受信音圧 p_r と魚群の密度との間の次式の関係を用いる。

$$n = \frac{2}{p^2 \Omega c \tau} \cdot r^2 e^{2\alpha r} \cdot \frac{1}{t_s} \cdot p_r^2 \quad (1)$$

ここに、 p は送波音圧、 Ω は等価指向角、 c は音速、 τ は等価パルス幅、 r は対象魚群の深度、 α は吸収減衰係数、 t_s は単体魚の平均ターゲットストレングス (強度の反射率、通常 $10 \log_{10} t_s = TS$ と表す。以下 TS と記す) である。この式を実現するための処理が図1の b) である。この式から、TVG 処理 (第2因数) と2乗処理 (第4因数) をしたのちに、スケールファクターとして電気音響係数 (第1因数) と TS (第3因数) を与えれば、密度がわかることになる。実際には、あばれをならすために深度方向の積分をし、その結果は単位面積当りの密度 (例えば、尾/n・mi²) となり、これを積分範囲で割って平均とした場合には単位体積当りの密度 (例えば尾/m³) が得られる。また、集合平均の際に船速情報を入れ

ば、単位走航距離当りの平均値が得られる。この結果を、調査線上にプロットし、等密度線を引き、対応する面積との積和をとれば調査海域の全魚量がわかる。

魚体長を推定することは、魚量以上にむずかしく、今のところ完全な実用化はなされていないようである。

反射率方式というのは、フィールドで TS を測定し、それを予めわかっている TS と魚体長との関係から魚体長に変換する方式である。図2はその概念図である。魚群エコーの中から単体魚のエコーを分離し、それに魚量測定時とはほぼ同様な距離補正および電気音響係数の補正を行うと、次式の単体エコー強度 I が得られる。

$$I \propto D^2 t_s \quad (2)$$

ここに、 D は指向性関数であり、送受往復で2乗されている。この式だけでは TS は分らないので、この強度を多くの単体エコーについて測定し、それらを平均する。すると D^2 の平均値は、魚がビームを切る確率からわかるので、平均の t_s がわかる。この方法だと平均回数がよほど多くないと推定精度が下るので、この点を改善するために考えられたのが、デュアルビームを用いる直接法である。この方法では広・狭の2ビームを用い、狭ビームで送信し、広・狭両ビームで受信する。今 D を狭ビームの指向性関数、 D' を広ビームの振向性関数とすると、(2)式以外に、

$$I' \propto DD' t_s \doteq D t_s \quad (3)$$

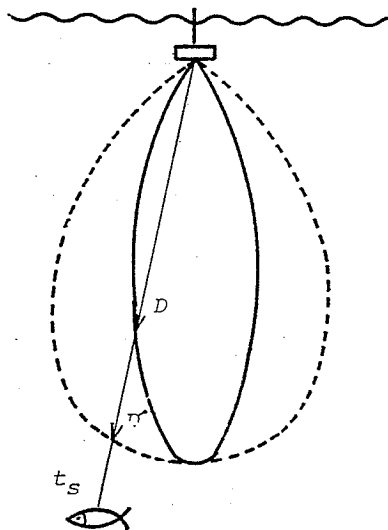


図2 反射率方式による体長推定

が得られる。これら両式を連立させれば、 t_s がわかる。この反射率方式によって得られる t_s の値を、前記の魚量測定時のスケールファクタとして使えば、曳網によるサンプルによって体長・魚種組成を知り、それから t_s を知り、絶対密度に変換する作業が自動的に行える。しかし、計数方式魚量測定と同様に単体エコーが分離される必要があるため、まだかなり問題もある。

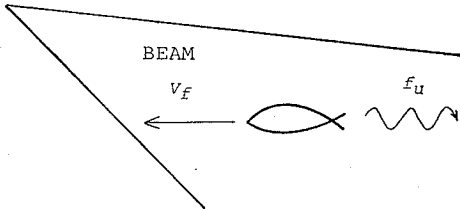


図3 ドプラー方式による体長推定

ドプラー方式というのは、通常のパルス方式の魚探とは異なり、エコー中に含まれる魚の運動によるドプラーシフトを検知して、それから速度情報を得、速度情報と魚体長との関係から体長を知ろうというものである。図3は、この方式の概念図であり、エコー中のドプラーシフトによって、遊泳速度 V_f と遊泳の際の魚体の屈曲運動周波数 f_u を知り、次式の実験式から体長 L を推定する。

$$V_f = L(af_u + b) \quad (4)$$

ここに、 a 、 b は係数である。この方式には、連続波(CW)または長パルスを用いる方法と、FM 超音波を用いる方法とがあるが、後者の方が現実的である。

体長推定における共振方式というのは、爆破音源などにより広帯域超音波を発生させ、その魚群による反射波のスペクトル分析をし、魚の浮袋による共振周波数を検知し、その周波数と浮袋容積との関係および浮袋容積と魚体長の関係から魚体長を推定する。この方式も未だ検討の段階である。

魚種の推定は最もむずかしいが、熟練した漁業者が、特定海域の魚探記録からかなり確度高く魚種推定を行っていることを考えれば、実現不可能ではない。現在一番現実的と思える方法は、魚探機やソナーによって得られる情報の種類を増し、さらにそれらの推定確度を高め、それらの情報と、予め用意されている各魚種毎のそれらの標準値とを比較し、適合度を調べ、魚種を推定する方法であろう。その場合、水温等の環境情報や、海域・季節などの情報も含められるべきである。

3. 資源量推定時の注意点

本章では、現在実用期に入っており、「科学魚探」の名で市販されている積分方式魚量計の実用の際の注意点について述べる。

1) 一般的事項

魚量計のスイッチを入れるだけでは、魚量または資源量が測定されるものではない。装置の特性を充分に知った上で、多様な対象(魚群分布)に適した測定方法をとった場合のみ、信頼に足る推定値が得られる。すなわち、対象と装置と測定者が三位一体とならなければならない。

魚量計と魚探機は、本質的な原理は同一である。しかし、魚量計は測定器であるという意味では、魚探機と本質的に異なる。例えば、他の測定器と同様に較正が必要であり、調査プログラムの中にこのプロセスが含まれなければならない。また、エコー信号等を忠実に定量的に処理する必要があるため、オーバーレンジや雑音に対する考慮が必要である。

2) 反射および減衰について

(1)式中の平均ターゲットストレングス t_s は、絶対量を知るための不可欠のデータである。しかし、この値は、周波数・体長・魚種・遊泳姿勢などによって複雑に変化する。これらのパラメータを考えたTSのデータを集積することが魚眉の課題であり、現在研究が進められている。正確な値は、この研究成果を待つ以外にないが、大体で良い場合には、次の実用式を使えば良い。

$$TS = 10 \log_{10} t_s = -52 + 10 \log_{10} wf \text{ [dB]} \quad (5)$$

ここに、 w は体重(kg)、 f は送信周波数(kHz)である。 t_s の姿勢依存性は、使用する超音波の波長に対して体長が長い程大きくなるから、この影響を少なくするには、大きな魚に対しては低周波を使う方が良い。

拡散減衰および吸収減衰はTVGによって補正されるが、吸収減衰を正確に補正することはかなり難しく、50 kHz以上の周波数で100 m以深を測定する場合には、これによる誤差が大きくなるので注意を要する。また、魚群による透過減衰の影響もかなり大きい。この点についても研究中であるが、濃密魚群・厚い魚群・大きな魚群の下の魚群などを対象とする場合には、かなり過小評価となるはずである。この他に、船の走航による減衰がある。曳航方式の送受波器を用いた場合にはこれは少ないが、船底装備の場合には高速時・荒天時に大きくなる。ほぼ均一な魚群や海底を対象にして船速を変えつつ測定を行い、この程度を確かめておく必要がある。

一般に TVG には、 $20 \log r$ の特性と $40 \log r$ の特性がある。単魚体の TS を測定する時に $40 \log r$ を用い、群体の密度を測定する時に $20 \log r$ を用いる。しかし注意を要するのは、 $20 \log r$ という特性は、ビームに対して大きな群の場合に、ビームの開きにより深部の魚群の反射強度が増えるので、拡散減衰の片道分が自動的に補正されるためである。したがって、ビームの拡がりより小さい個々の魚群を対象とする場合には $40 \log r$ の特性やそれと $20 \log r$ の中間の特性が必要となる。

3) 調査計画の際に考慮すべき点

超音波魚量計では、鉛直方向の探索を行う。この場合、水面から 20 m 位までの測定結果は相当に過小となり、信頼性が乏しい。これは、送受波器の吃水・TVG の作動限界・魚群の逃避などによる。したがって、表層魚を対象とする場合は、ソーナーを使わざるを得ない。この場合のエコーレベルは、魚の音波に対する姿勢によって大幅に変るため、このエコーレベルから密度を推定することは、今のところかなりむずかしい。よって、記録方式と同様、拡がりや出現頻度から平均体積を推定し、漁獲などによって想像される密度から魚量を知る以外はない。

(1)式において、 t_s を左辺に移し、

$$s_0 = n t_s \quad (6)$$

とすると、これは、単位体積当りの反射強度（体積散乱強度）となり、 t_s が不明の場合、または他魚種が混在している場合には、これを測定する。これは、現段階では、魚群の組成や群中の魚の TS を音響的方法で同時に知ることが非常にむずかしいからである。そこで、音響調査時に曳網などによりサンプリングを行い、魚種および体長組成を知り、予め用意されているそれぞれについての t_s の値により、次式によって各カテゴリー毎の魚量としなければならない。

$$n_i = \frac{c_i}{\sum_{i=1}^m c_i t_{si}} s_0 \quad (7)$$

ここに、 n_i は i カテゴリーの魚の密度、 c_i は曳網サンプ

ル中の i カテゴリーの尾数組成、 m は総カテゴリー数、 t_{si} は i カテゴリーの TS、 s_0 は測定された体積散乱強度である。

これらのことから、実際の調査では、魚量計のみでなく、ソーナーになる調査・曳網によるサンプリング・海洋調査などが有機的に結合されなければならない。

調査の際には、後の整理も考え、少い時間で信頼性の高い結果が得られるようにする必要がある。例えば、垂直方向の積分層は、10層程度任意にとれるが、余り細切れにしない方が良く、全体を知るために 20 m ~ 海底までの層は必ず取ると良い。

4) 分布形態に対する考慮

積分方式は、魚の分布がほぼ均等であることを前提とする。したがって、それに反するような魚群の場合は、次の考慮が必要となる。

分布が均等に近い時季、時間を選ぶ。一般に夜間の方が魚群は分散しているといわれる。

広範囲に底付きとなっている場合。(1)式の等価指向角 Ω は、魚が水面から海底まで分布していると仮定して計算される。したがって、底付きの場合は、 Ω が大き過ぎ、結果が過少となる。

塊状は散在している場合も仮定を満たさないから、記録方式などを併用する。

その他、前述した魚群減衰に対する考慮も必要である。

4. おわりに

以上、音響による資源推定方式の概要と、積分方式魚量計の実用の際の注意点について、主として音響工学的面から述べた。

我国における魚探の研究は、古くから行われており、我国の魚探機は世界的に見ても優秀である。しかし、資源調査に対する利用の点では、未だ揺籃期である。将来は、音響資源調査のウェイトが大きくなると思われるので、十分な研究体制・開発体制・調査体制が確立されなければならない。当面は、基礎研究の充実と、音響研究者と資源研究者との間の十分な協力体制が必要である。