

「科学魚探」に関する研究座談会

主催 水産海洋研究会
協賛 株式会社 本地郷

日 時： 昭和 54 年 12 月 3 日 14:00~16:30
会 場： 海洋水産資源開発センター会議室
コンピナー： 鈴木 秀 弥 (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：

科学魚探の開発と利用
SIMRAD の科学魚探

土 井 長 之 (東海区水研)
Raymond Brede (ノルウェー, SIMRAD 社)

科学魚探の開発と利用

土 井 長 之 (東海区水産研究所)

魚探という言葉があるが、いみじくも現在の日本の魚探のイメージを表わしている。魚群を探知する魚探機一探すだけである。魚群(あるいは魚)を探す魚探という言葉はまさにそのものびたりだという気がする。それに対して科学魚探というのはそうではないのであるが、このことは後で説明する。

魚があるか、ないかを見るということであれば今の魚探で充分であり、不自由しないわけである。魚を探すこと自体は悪いことではない。しかし、群れがあるかないかを探しているだけの日本の今の魚探の姿には問題があると云うことである。

たとえば、第1点として、ある形、ある濃さの魚の群れがあって、それが表面近くにある場合と底の方にある場合と同じ映像で映るかどうか? 今の日本の魚探では絶対に同じには映らない。同じ対象物でありながら上層にいるときと下層にいるときとは映像が違う。ただ、あるということはわかるが……。下にあってても上にあってても同じように映ってくれなければ困る。

第2点として群の中に魚が100尾いたときと10尾いたときとはそれぞれ魚探の濃さが10:1になっていなければならない。今の日本の魚探はそのようにはなっていない。底の方に10尾いても、それを強調する意味で濃くみせるようにする努力こそすれ、10:1の比率という海の

中の資源の大きさに比例した映像を作ろうという努力はない。

第3番目の問題としては、資源量をみようとするのが我々の目的だから魚探をたたきながら船で走ったときに、せめて魚探をたたいた線上だけでもその下に魚の量がいくらあるかをトンとか尾数とかの絶対量で示してもらいたいわけである。もちろん、今の日本の魚探ではそれは無理である。

以上の3つの点、即ち①魚が上にいても下にいても同じ形に映ること、②その中の魚の数に比例した映像信号が分ること、③映像信号を積分して魚の数がいくらかを絶対値で知ること、これら3点を満足させるものが「科学魚探」というものになるはずである。

昔、海軍などで使った魚探のはしりは測深儀であった。海の中の深さを測るということである。同じように魚の量を測る機械を作って欲しいと思う。つまり測魚儀でも言うことができようか、これが科学魚探というわけである。

私は魚探の専門家ではないが、魚群探知機の記録を用いて南氷洋のオキアミの資源量を推定する計算を行った。それは魚群があるかないかを見る今の魚探でよかった。魚群を測る器機でなくてよかった。科学魚探でなくとも船の走ったときその下にオキアミの群れが何個ある

かを数えれば計算ができた。浅い深いということは関係なく、群れの数だけを数えて、この海域ではオキアミの群れが何個あるかを推定した。オキアミの群れの中の密度は操業記録（海洋水産資源開発センター提供）の中から 1m^2 当り約 100g ということがわかった。オキアミの群れの鉛直の長さも魚探でわかるからその群れの体積は大體想像がつく。これらを総合して計算すると南氷洋のオキアミの分布しているところでは 1km^2 当り 60トン くらいいる。分布面積は約 2000万 km^2 でかけあわせて南氷洋のオキアミ資源は 12億トン くらいいると見積った。

そのようなことで魚探とかかわるようになった私は、現在何をやろうとしているかという、BIOMASS計画という国際的な南氷洋調査機構があるが、そこで、魚探ではなく科学魚探を用いて南氷洋のオキアミ資源は何億トンであるかを直接推定したいのである。科学魚探によるこの方法は前述の推定方法とは本質的に異なるものである。

そのためには科学魚探が必要になる。つまり魚群の形が上層にあって下層にあって同じ形にうつること、密度に比例した映像信号を取り出せること、それから、それを積分することによって航跡下の絶対資源量を出すことである。科学魚探は不可能であるかどうか？可能である。理論的にはやさしいことである。つまり理論音響学の学理に則って魚探を作れば科学魚探になる。同じ形にしようと思えば TVG（時間差利得）をかけるとか 100 尾と 10 尾のように影像の比を $10:1$ にしたければ自乗回路をつけるとか、受信音波を積分することも難しいことではない。科学魚探一測魚儀一というのは、一言で言えば音響学の理論にのっとった魚探を作ればよいことになる。もう一言つけ加えれば海の中の目標物からの反射音波（体積後方散乱強度）を正確に測れば良いということである。体積後方散乱強度が何に比例するかというと 1m^2 の中にいる魚の数即ち魚群の密度に比例する。これがオキアミあるいはイワシの群れとすると群れの中にいる魚の数に比例して音波を反射する。その音波を積分して尾数に換算すれば絶対資源量を直接推定できるのである。

科学魚探について3つの条件を述べた。それをひっくり返して一言で言えば体積後方散乱強度を精密に測るということである。そうすれば海の中にオキアミが何gいるか、イワシが何尾いるかがわかるわけである。

勿論生物によって反射率が異なるから生物の種類による違いは当然計算に入れなければいけないが、科学魚探

とて魚種判別ができるわけではない。海の中のことであるから音響学的雑音が多い。魚探では雑音レベルが 10 倍くらいのことはいくらでもあるようである。波、船の航走などの条件によって技術的に解決していかなければならない問題は多々ある。しかし、実際問題として解決が不可能ではない。どんどん科学魚探を作ればぐんぐん進歩するであろう。

日本で科学魚探が何故作られなかったと言うと、日本の魚探メーカーは、漁民びったりで、魚があるかないかを示すだけでよかった。そのため研究者には顔を向けていなかったのであろう。魚の資源量がどうかということには無関心であったと言われても仕方なかろう。

ところが現在、 200 海里の問題がもち上ったり、何十年となく研究し続けている魚種でもどれだけ詳しいことがわかったのかと云う批判がおきたり、鯨みたいなあんなに大きな目にみえる（といっても呼吸のため浮上して潮を吹く時だけであるが）ものの資源量推定にも大きな誤差があることが判明したり等々資源解析の荒っぽさや穴が指摘されている。永い年月調査し漁獲の統計を解析して資源量を出す、これが普通の方法だが、かける時間の割には進歩が遅い。答の出るのも何年か先である。推定値に 2 割、 3 割の誤差があるなどはザラである。

かくして、ここに良い科学魚探があるとしよう。資源量何万トンというようにすぐに答が出る。海の中の魚群の密度を測っているわけであるから船が走ったところだけでも直ぐ分る。走らなかつたところは標本抽出理論で工夫していけば推定することが出来る。 200 海里問題に役立つであろうし、永年通常の資源解析になやまされたことがウソのようになろう。これを直接推定法と呼んでいる。漁業を通さなくて直接魚の資源をみるからである。漁業を通すと漁業から得た資料はどうしても偏る。これは漁獲行為は海の中からランダムサンプリングしているわけではないので海の中の魚の状態を代表しているとはいえない。そのようなデータをいくらこねまわして資源解析したとてうまくいくわけではない。それよりも漁業を通さなくて直接海の中の資源を測る—これが科学魚探の真髄である。これからは科学魚探をそう云う風に使って、これまで調査されていないような 200 海里内の各種の魚や今まで何十年と調査を続けてきた主要魚種の現存量がいくらか、すぐわかるようにすればよい。前述したように物理音響学の理論通り設計すれば体積後方散乱強度は測り得るものであるから科学魚探は可能である。現に SIMRAD 社は作っている。日本の魚探メーカーが作らなかつたのが不可解でさえある。

科学魚探の中に2通りある。1つはアナログで表示するタイプともう1つはデジタルで表示するものと2通りである。SIMRAD 社ではアナログは一応完成しているようだが、デジタルはまだ試作の段階であろう。日本では両方ともない。SIMRAD 社に世界を独占させると甘えて進歩がないかもしれないから日本でも大いに開発して自由社会の原則にのっとり競争して良いものを作っていくことになれば資源学者にとっても役立つし漁業者にも役に立つことになる。

科学魚探が一番良いことは、漁業が開発される前に資源を測ることができる点であろう。今までは資源を漁業

がつぶして資源がなくなってから研究者に資源がいくらあったか計算しろということになっていた。漁業の始まる前に資源量の計算が科学魚探では出来るのであれば、日本の略奪漁業・濫獲漁業の汚名を返上できると云うものである。

このように科学魚探には良いことが多い。だから金がかかっても取組みに値しよう。いや、それほど金はかからないと思われる。物理の理論通り作ればよいのであるから。科学魚探が実用化に向って進んでいく趨勢は否定しがたいので私もそれを先取りして科学魚探の開発に働いてゆく心積りでである。

科学魚探の原理

土井長之(東海区水産研究所)

科学魚探は海の中の魚群の絶対重量(或は絶対尾数)を測定するものでなければならない。そのために先ず正確に測るべきものとしては、体積後方散乱強度である。魚群の密度測定の基本となる体積後方散乱強度とは「入射音波強度に対する、散乱層単位体積当りの入射方向への散乱音波の強度の比」である。但し入射・散乱強度は散乱体より単位距離の点での値とする。発信器の強さ、受信器の特性、音波の指向特性、魚群までの距離、音速、発信パルス幅、海水の吸収率などのパラメーターと体積後方散乱強度との理論的關係は次の(1)式で示される。

$$v_{rms}^2 = R^2 I_0 \frac{1}{r^2} e^{-2\beta r} s_v \frac{c\tau}{2} \phi \dots\dots\dots(1)$$

- ここに s_v : 体積後方散乱強度
- I_0 : 送波軸上での音源強度(単位距離における)
- R : 受信器の受波器を含めた電圧感度
- r : 魚群までの距離
- β : 海水の吸収減衰係数
- c : 海水の音速
- τ : パルス幅
- ϕ : ビーム幅(指向特性 $b(\theta, \phi)$ より求める)

v_{rms} : 受信器出力の平均電圧

I_0, R, ϕ, τ の魚探機のハードウェアの特性が校正されており、海水の吸収特性 β が既知であるとする、魚群からの反射波による受信電圧 v_{rms} を測定すれば、目的とするところの体積後方散乱強度 s_v を(1)式によって求めることができる。

音響理論ではデシベル単位で式をたてることが多い。デシベルは変数の常用対数を10倍したものである。(1)式をこれで表せば

$$V_{rms} = VR + SL - (20 \log r + 2\alpha r) + SV + 10 \log \frac{c\tau}{2} + 10 \log \phi \dots\dots\dots(2)$$

となる。ここに

- $V_{rms} = 10 \log v_{rms}^2$: 受信出力レベル
- $SL = 10 \log I_0$: 出力レベル
- $VR = 20 \log R$: 感度レベル
- $(20 \log r + 2\alpha r)$: 距離拡散減衰と吸収減衰

$SV = 10 \log s_v$: 体積後方散乱強度レベル

$\alpha = \beta \log_{10} e$: 吸収減密係数

(2) 式を変形して、知りたい項 SV を左辺に移して書き直せば、

$$SV = V_{rms} - SL - VR + (20 \log r + 2 \alpha r) - 10 \log \frac{c\tau}{2} - 10 \log \psi \dots \dots \dots (3)$$

を得る。体積散乱強度 SV は (3) 式に示す様に、 SL , VR , c , τ , ψ を知り、 $20 \log r + 2 \alpha r$ の距離減衰項を正確に補正すれば、受信器出力の 2 乗平均電圧 V_{rms} (v_{rms}^2) を測定する事により求める事が出来る。従って科学魚探としての基本条件は次の 3 点である。

- (1) SL , VR , τ , ψ の値は、較正された値である事
- (2) 測定距離範囲において $20 \log r + 2 \alpha r$ の減衰補正が正確になされる事。これを TVG (時間差利得) と呼んでいる。
- (3) 出力電圧の自乗値 V_{rms} (v_{rms}^2) が出力として得られる事。自乗回路が必要。

従来の漁業用魚探は上の条件のいずれも満していない。

なお、上記理論式は、

- a. 音波伝搬路は直線とする。
- b. 任意の瞬間における散乱体は一様かつランダムに分布している。
- c. 散乱体は散乱の方向性を持たない。
- d. パルス幅は十分小さく、微小体積が伝播に与える影響は無視出来る。
- e. 散乱層による音波強度の減衰は無視する。
- f. 多重散乱は起こらないとする。

のような条件が満されるものとして、導き出したものである。故にこれらの仮定が成り立たない場合には、理論式の補正が必要となる。

体積後方散乱強度 s_v あるいは SV が求まっても、魚群の絶対量はまだ不明である。 s_v と魚群密度 n (具体的には n 尾/ m^3 , 単位体積に存在する魚の尾数) との関係は

$$s_v = \frac{n\sigma}{4\pi} \dots \dots \dots (4)$$

で表わされる。ここに

- n : 散乱層内における散乱体の密度即ち魚群密度, 尾数/ m^3
- σ : 散乱断面積

である。散乱断面積 σ は、音響的断面積である。 σ は魚種により、また同じ魚種でも魚体の大きさにより異なる。オキアミでは、魚体の各部を球に近似させて求めた幾何学的断面積を基にして求められている。また既知の数の魚を網に入れて海中に沈めて s_v をはかり、実験的に σ を求めることができる。

さて、体積散乱強度 SV (これを s_v に直すには $SV = 10 \log s_v$ の関係式によって直ちに求められる) を (3) 式で正確に求めることができ、対象魚群の魚種の散乱断面積が分っておれば、魚群の密度 n が絶対値として (4) 式より求められることになる。そして、 n を空間的に時間的に積分すれば、走航海面下の資源量を求めることができるのである。積分はアナログ型でも、デジタル型でも可能であるが、小型マイクロコンピュータの出現により、デジタル型が主流となる。