

総(情) - 72 - 4

魚群探知機による湖沼調査法

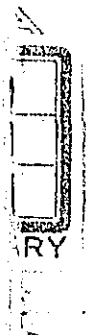
水産庁淡水区水産研究所

白石 芳一

昭和 47 年 7 月

海外技術協力事業団

総務部



国際協力事業団	
受入 月日 '84. 3. 28	000
登録No. 02525	89
	KA

は し が き

開発途上国の水産業に対するわが国の技術協力は今後益々その重要性を増すことが考えられるが、従来は海面漁業にそのウェイトが置かれてきたきらいがあり、とくに魚群探知機の利用分野においてはその傾向が強く、内水面（主に湖沼）漁業へのこれが活用は殆んどなされていない状況にあります。

そこで、わが国の内水面漁業の研究、とくに魚群探知機による湖沼における魚類の生態、資源量の推定、プランクトンの浮遊状況等について分析研究に永年従事されてきた淡水区水産研究所 白石芳一氏 にこれらの分野について執筆していただきました。

本書が、淡水魚増養殖関係各位のご参考に供しうれば幸いです。

昭和47年7月

 LIBRARY



1015072[0]

海外技術協力事業団

総務部長

ま え が き

水中の障害物を超音波によって探索するという考えは、1912年英国の豪華船タイタニック号がその処女航海において氷山に衝突し沈没するという事件が起きた際、英国の物理学者リチャードソンが着想したものといわれている。

したがって、魚群探知機は元来航海用の測深機や軍用の探信機などが母体となって発達したもので、1920年(大正9年)英国で実用化され、昭和の初めに日本に輸入された。第二次大戦中にも超音波を用いての潜水艦探知の実験は行なわれたが、急速な発展を見、かつ漁船に装備されるようになったのは戦後の1949年(昭和24年)ごろからである。

当時は主として海の深さを測って、漁場探知や船の位置を知るため使われていたが、次第にイワン巻網やカツオ、マグロ漁業に適用してよい漁獲成績をあげた事に始まって、以西底曳漁船などにも逐次装置されるようになってきた。1953年(昭和28年)頃からは直接魚群を探知して本格的に漁業に利用するようになり、現在では単なる魚群探知のみでなく、その威嚇駆集や誘致にまで利用されようとしている。

しかしこの魚群探知機は単に海洋の測深や魚群を探知するのみでなく、広く海洋学や陸水学的分野についても活用できる事が逐次明らかにされつつある。

すなわち水産学的分野においては魚群の種別判定、水平分布、垂直分布、日周期移動などの生態的分野についてはもちろん、資源量推定などについても有効な武器となり得ることがわかってきた。また陸水学的分野においても地形、地質の調査、さらに湖底堆積物の分布状態をはじめ、動物プランクトンの日周期活動やその垂直、水平分布などはプランクトンネットを用いての調査より、はるかに能率的に概況を把握することができ、また従来の方法では観測が困難な面をも、比較的たやすく知ることができるようになった。さらに水温躍層の深さの場所による差異、波浪の大きさ、河水の流入状況などをはじめ、潮流と魚族やプランクトンの関係など、従来多大の労力をかけなければ概況さえも把握できなかった水理学的現象が、質的ではあるが魚探の活用によって比較的たやすく知ることができるようになった。また人工湖や古い湖沼に見られるメタンガスの発生状態や、濁度の垂直および水平分布などについても、魚群探知機は有効に利用できる。

以上のように漁業への本格的利用の他に陸水学、海洋学をはじめ広く水体内の実態をさぐる上の有力な武器であるにもかかわらず、従来内水面では充分活用されなかったのは、機械が比較的高価なことのほか、この方面に関する解説書が少ないことがその一因であったと思われる。

筆者はこれら諸点を考えて、湖沼調査に際して少しでも広く魚探を活用普及したいため、20

年来集めて来た魚探記録を整理してみた。各分野について不十分な点もあるが関係方面に多少でも参考になれば幸甚である。

稿を進めるに当り、魚探記録の蒐集に協力された淡水区水産研究所古田能久技官及び資料の整理に協力された栃木県水産試験場技師 齋藤辯氏 に深謝の意を表す。

昭和47年6月8日

日光中禅寺湖のほとりにて

白石 芳一

目 次

第1章	魚群探知機による研究の史的展望	1
1・1	海洋における研究の沿革	1
1・2	内水面における研究の沿革	5
第2章	魚群探知機の原理とその利用状況	8
第3章	魚群探知機の一般的性能	12
3・1	周波数とその性能	12
3・2	振動子（送受波器）の種類とその性能	16
3・3	指示器の種類とその性能	17
3・4	記録紙の種類とその性能	18
3・5	発振器の種類とその性能	29
3・6	増幅器の種類とその性能	20
3・7	電源とその性能	20
第4章	機種を選定と使用上の注意	22
4・1	機種を選定	22
4・2	魚探使用上の注意	24
4・3	振動子の取り付け	24
4・4	雑音防止	25
4・5	記録の取り方	26
4・6	記録の保存	26
4・7	その他の注意事項	26
第5章	性能試験	27
5・1	感度調節	27
5・2	深度補正	29
5・3	指向角について	30
第6章	魚の反射記録の基本型	34
6・1	魚が水平に移動している場合	34
6・2	魚が上昇している場合	35
6・3	魚が下降している場合	35

第7章	物体の反射記録の基本型	36
7・1	各種漁具の反射記録	36
7・2	視測器具の反射像	40
7・3	沈下物の反射記録	43
第8章	各種反射記録の比較	47
8・1	航速の差による反射記録の比較	47
8・2	垂直方向の伸縮 — 記録深度の切替え	48
8・3	周波数の差による反射記録の比較	49
第9章	湖底に関する反射記録とその解析	54
9・1	湖底地形の反射記録	54
9・2	異った底質の反射記録	56
第10章	水理に関する反射記録とその解析	64
10・1	水温躍層の反射記録	64
10・2	波浪の反射記録	65
10・3	異質の水の流入記録	66
10・4	航跡の反射記録	67
10・5	水塊の攪拌の反射記録	67
10・6	メタンガスの反射記録	68
10・7	濁度の分布記録	69
第11章	生物に関する反射記録とその解析	71
11・1	植物プランクトンの反射記録	71
11・2	動物プランクトンの反射記録	71
11・3	水草の反射記録	77
11・4	魚類の反射記録	78
第12章	魚探による調査の応用例	97
12・1	水文学的応用例	97
12・2	水産学的応用例	105
主なる参考文献		118
索引		127

第1章 魚群探知機による研究の史的展望

魚群探知機の活用に先立つて機械の開発があるが、ここではもっぱらその利用方面について沿革の概況を述べることにする。

1・1 海洋における研究の沿革

魚探乃至音響測深機はその利用の広範囲と重要性のため、主として海洋において開発が進められて来た。

すなわち第2次大戦後は機器の開発に力がそそがれ、ついで測深または漁場の探知に活用され、更に1953年頃から直接の魚群探知にも使われはじめた。またそれに伴って副次的利用法も開発されて来た。

1) 海底地形の測量

海洋における利用は海底地形の測量にはじまる。橋本らは魚探による海底地形を24KCと200KCで比較し(橋本ほか 1955)、さらに14.5KCと200KCで同一漁場を測量し(橋本ほか 1958)、共に200KCの方が精度が高いことを確認した。さらに間庭(1958)は平坦な海底では砂質と泥質が区別できることを確かめ、また進んで西村(1961)は魚礁に沈めたコンクリートブロックが200KC魚探で海底と分離し得ることを確認した。

2) DSLの研究

橋本(1941)は500m深度の水温躍層付近に特種な反射層があることを認めたが、その後各国においても同様な研究が行なわれ、いずれも100m~数100mの深度に反射層が存在することが知られて来た。その後1952年以降数年にわたり海洋におけるDSLの共同研究が海洋物理、生物、漁業など各方面から進められ、その結果は東水大の報告に発表されている。すなわち Uda(1956)は漁場とDSLの関係について研究し、DSLは夏は沖にも岸よりにも見られるが、冬は岸よりだけに見られると報告している。Hashimoto et al(1956)は実験水槽で温度差、密度差およびプランクトン層の反射損失を実測し、また実際海面のDSLの超音波反射損失を実測した。

Hashimoto et al(1956)は24KCと200KCでは200KCの方がDSLを明らかに記録できるとし、かつDSLの周波数による反射損失を求め、DSLの下降時間と水中照度との併行性を実証した。Komaki et al(1956)はDSLの反射源が動物プランクトンであることは確認できなかったが、酸素のない所にはDSLが記録できず、生物の多い場所に記録できることが明らかになった。

西村(1958)は東支那海でDSLの日周移動を研究し、夕方上昇して朝方沈降することを確かめた。同様な現象は世界各国で認められ、研究されている。(S.Olsen 1960ほか)。

橋本ら(1968)は北洋のトラバガニ漁場でDSLが現われた海面では漁獲尾数も多い傾向を認めた。

橋本(1961)は別府湾、駿河湾、相模湾などでDSLを記録し、駿河湾ではサクラエビ漁場、網代川奈ではブリ漁場にあたることを明らかにした。

3) 潮目の研究

水温や塩分の差による密度差は魚探によって明瞭に反射されるので、従来河口における淡水と海水の境界面や、親潮と黒潮の境界面などに出来るいわゆる潮目の構造について、さらにそれと魚族分布の関係についてはかなりの研究成果がある。

鈴木・佐野(1960)は石狩川河口において、Hashimoto et al (1956)は信野川河口において、それぞれ淡水が海に流出する場合の混合状態または塩水くさびについて記録した。

また石田ほか(1960)は海洋において水温躍層は、温度1℃の差で潮境として記録できることを実験的に解析し、前田ほか(1959)は魚探で記録される潮目の場所にサケ・マス的好漁場があることを報告した。

4) 魚探による漁具の活用

小山(1962)は魚探を使って定置網の漁獲量を陸上で推定する装置を考案し、実験した。川田ほか(1959)は水中の網地の反射記録からその反射率を算出した。

斎藤(1953)は一隻曳機船底曳漁具の沈降速度を魚探によって調べた。

河口ほか(1962)はマグロの延縄や餌の深度を魚探によって確認し、その際mm波が有利であることを確かめた。

5) 魚群の記録と種別判定

はじめて魚探の記録から魚種を判別したのは Hodgson (1950)といわれるが、本邦においてははじめて魚探を用いてカツオ、ビンナガ、メバチなどの調査を行なったのは木村ほか(1952)である。従って音響測深機がはじめて船に装置されたのはマグロ漁船であるが、当時は潮を知るために取りつけられた。その後各国でこの方面の研究は急速に進展した。日本でもすでに海上電機社(1951、1954)が魚群探知機によるマイワシ、カタクタイワシ、サバ、アジ、イサキ、マダイ、コノシロ、スルメイカ、サンマ、ホッケ、ス

クトウダラ、モオカザメ、マイルカ、クラゲ、イナダなどの種類の記録の特長を上げて、それぞれの種類が記録の型によって判定できるとした。

Cushing et al (1952)は魚探の記録を卓状、コメット型、羽毛型及び積み重ね型の4型にわけ、そのうち前3者が魚族の記録であるとした。Cushing et al (1956)はまたその記録を解析することにより魚群の大きさと構造を解析できるとした。

最近では深さ200m程度まで単体のマグロも探知できるようになった(橋本・間庭1961)。またフィリピン海域で160mまで(間庭1919)、南太平洋でも(西村ほか1966)200m以深でそれぞれ単体マグロを認めた。平野ほか(1963)はマグロ施網の操業には全方向魚探を利用することが便利であるとした。

また橋本・間庭(1956)はサケの流網漁場で、サケが判別されるとした。また吉幸田ほか(1957)はカムチャッカ近海でのトラバガニ漁場で、底生魚の記録像が多い所にはカニの漁獲尾数も多いことを認めた。橋本ほか(1956)はタカアシガニが50KC魚探でも探知し得ることを確認し、実験的に反射損失を測定したが、200KCの方がより分解能がよいことを確認した。また間庭(1958)は50KCでブラウン管記録式併用の魚探で、アラメと岩盤、40cm間隔でつるした2個のビー玉等を明瞭に分離記録した。また橋本ほか(1954)は50KC魚探でマコンブ、ガゴメ、ワカメ、ツルモ等の探知が可能であることを確かめた。一方西村(1958)は底魚用魚群探知機を試作し、トラバガニ漁業について使用し、さらに東支那海漁場の水深40~120mの場で実用し得ることを確かめた。またAghazha et al (1960)は魚探の記録から Cod, Herring 及び Baltic sprat などが区別できるとした。

6) 魚群の反射損失

東海水研漁具漁法部(1950)は50KCの超音波による魚群の反射について水槽実験を行なったが、特に反射記録から各魚種の特長は得られなかった。Hashimoto(1953)は魚群体よりの反射波の合成に関する研究を行ない、反射損失を測定する新しい方法Sliding Methodを考案し、これによって各種の海底、海草、ビー玉などの反射損失を測定した。この方法はその後各方面で活用されている。たとえば橋本・間庭(1954)は生簀の中のカタクタイワシの魚群の250尾/m²の密度の中の透過損失を実験的に算出した。橋本ほか(1955)はさらに魚群の反射損失の測定法として、直接測定と間接測定の2方法を考案し、進んで魚群の密度と反射損失の関係を数量化した。

橋本ほか(1956)はmm波など波長が短い方が、反射損失の実測値と理論値とよく合うこ

とを確かめ、さらに間庭(1959)はイワシなど小さい魚体の反射損失と波長の関係を検討した。Scharfe(1951)は魚探記録を解析して、超音波によって魚群は逃避しないことを確かめた。一方、吉牟田ほか(1956)はキンギョ、ウグイ、ニジマス等の成魚と稚魚に超音波を照射し、その影響を実験した生簀内のイワシ、サバ、アジなどにも照射したが何等の変化も見られなかった。ただし24KC、100~1,000Wの特続超音波では魚類が異常をきたし、また斃死することが観察された。Scharfe(1951)はこれに反しいかなる場合も魚体には何等の影響がなかったと報告している。さらに Jones et al(1958)及び橋本ほか(1958)は魚体、特にうきぶくろの反射損失について研究し、魚体の反射はうきぶくろのみによるものでなく魚体全体が関係することを確かめた。Cushing(1964)は魚の大きさと反射の強さについて詳細な研究を進めている。

7) 魚の生態学的研究

魚探が開発された当初は個体の追求よりも魚群の追求に重きをおき、主として魚群の大きさ、生息深度、魚群内の密度またその分散速度などが研究された(Renoid et al 1947)。Meyer(1953)はグリーンランド付近でタラの研究に魚探を活用し、特にその日周期活動について多くの知見をもたらした。橋本ほか(1957)はブリが定置網に入る時の騒音を記録した。川田・田原(1958)は進んで魚探によって定置網漁場の魚道の測量を試みた。

さらに田原(1963)は多くの魚探船によって特にブリの魚道を推定した。Nishimura(1962)は魚探によってマグロ類の生態を研究し、その遊泳深度の日周期性が空中の照度によって変化することを明らかにした。

8) 魚個体群の推定

魚群の推定にあたっては指向角の大きさや形が重要なことはいうまでもなく、この点は古くから検討されている(Scharfe 1952)。

海洋においては魚探によって魚個体群を推定しようという試みはすでにCushing(1952)によってなされた。Richardson et al(1959)はバレンツ海におけるタラの魚群と個体群が魚探によって推定されるとした。Mitson et al(1916)は魚探による反射記録の強さと努力あたりの漁獲量が明瞭な相関があることを報告している。黒木ほか(1956)は灯火に集る魚群を2つの魚探によって調べ、その魚群の大きさを調査しさらに魚群の密度をも推定し、魚群量の推定方法に1つの方向性を与えた。Nishimura

(1962)は魚探によってマグロの密度を算出し、10,000㎡に1～3尾であるとした。

1・2 内水面における研究の沿革

以上のように魚群探知機の研究特にその漁業への活用法は、主として海面において開発されたが、これにくらべると内水面における魚探の利用は、きわめて微々たるものであった。すなわち1つには漁業が小規模であり、高価な魚探を活用する程の漁業が発達していないこと、1つには一般に魚探の重量が大きく、その都度船内へ持込むような手廻のものが少ないことのため、内水面においてはあまり活用されていない。しかし湖沼は海面と異なって船が小型なため、波が静かなため船の運行が比較的たやすいことから、各種の基礎試験や魚族の生態的研究には利便が多く、このために比較的多くの基礎研究が行なわれて来た。

1) 湖盆測量

秋山(1950)は1949年すでに相模湖狭水路を横断視測し、魚探が湖盆測量に偉力を発揮し得ることを見通した。つづいて東海研漁具漁法部(1952)は50KC魚探により人工湖である相模湖の測深を行ない、6～7年間に多量の流入土砂が堆積している事を発した。川田ほか(1952)は本栖湖において16KC魚探で測深を行ない、全水面の湖盆図を作製した。その後橋本ほか(1955、1958)は福島県柳津発電所調整地において湛水前の三角測量による横断地形と、湛水後の音響測深によるそれを比較した結果、急傾斜の階段地形の所では実形と甚だ異なっているが、傾斜が緩やかな断面では三角測量と音響測量とは一致した結果を得た。特に橋本・西村(1958)は200KC～400KCの周波数を使用すれば、器機も小型となって湖沼用として実用化し得るとした。同氏ら(未発表)はまた中禅寺湖の横断測量によって測深図を得て、測深や湖盆形態の調査に魚探を利用し得ることを示した。

国土地理院の小谷昌らは測深機と三角測量により、本格的に本邦の主要湖沼を測量した。すなわち琵琶湖、霞が浦、北浦、十和田湖、田沢湖、小河原湖、宍道湖、中海など本邦における主要な湖沼の詳細な湖盆測量を行ない、湖盆図を作製した。国土地理院のこの作業は現在も続行されている。

2) 他の陸水学的研究

東海区水研漁具漁法部(1952)は本栖湖における測深の際特殊反射層があることを発見し、白石(1960)は魚探が魚のみならず、陸水学的にきわめて応用範囲が広いことを強調した。また白石・古田(1963)は芦ノ湖で夕方魚族の上昇に先立ってプランクトンが上昇して来る状態を記録し、動物プランクトンの垂直移動の調査に活用し得ることを示し

た。

Hashimoto et al (1956) は信濃川河口において水温や密度の差が、魚探によって記録される実例として、塩水くさびが河口深く入っている事を報告した。

3) 漁具に関する研究

水中に張った延縄や網具が、どの深さにどんな状況で設置されたかを知ることは魚探の活用面の1つであるが、内水面ではあまり活用されていない。わづかに河口(1962)が十和田湖において各種の延縄を張り、水中における縄の状況と、つけた餌の状況を魚探で調査した例があるのみである。

4) 魚族の生態に関する研究

魚探による主要な研究面は魚族の生態である。

まず川田・吉牟田ほか(1952)は相模湖において、灯下に集るワカサギ、オイカワを魚探によって調査した。また同氏ら(1952)は本栖湖において魚族の昼夜における垂直水平分布を調査した結果、魚種は明らかでないが、夜間は群が散り、遊泳深度も上昇することを見た。同時に本栖湖におけるアユの産卵場を測深と刺網試験によって研究した。

魚族の水平、垂直分布についてはその後津幡・三浦(1960)によって十和田湖の調査が、白石・古田(1963)及び古田・山口(1964、1965)によって檜原湖の調査が、白石ほか(1963)によって菅沼、丸沼、沼沢沼の調査が進められた。

これら一連の研究によって、湖沼における魚族の昼夜における著しい分布状態の差が明らかになり、生態学的に興味あるいくつかの事実が解明されるに至った。

白石らはさらに人工湖における魚族の分布を数量的に記録し、動物プランクトンの密度と比較した結果、五十里湖(白石ほか 1963)、田瀬湖(白石 1962)、富山県の有峰、室牧、小牧の3つの人工湖(白石ほか 1963)などにおいて、動物プランクトンの密度と魚群の密度が併行的に分布していることを発見した。白石(1961)はさらにワカサギなどの遊泳魚の分布が、風向と関連があることを魚探によって確かめた。さらに橋本・間庭(1962)は群馬県榛名湖で氷上より水深測量とワカサギ魚群の探知を行った。また白石ほか(1970)は主にヒメマスしか生息しない菅沼において魚探によってヒメマスの朝まずめと夕まずめ、さらに昼夜による群と個体の深度分布と水温の関係を研究した。

5) 魚群量の推定に関する研究

以上の魚群の生態が判明するにつれて、水産資源学の重要命題である魚群量の推定に魚探を活用する試みがなされて来た。

先に黒木・中馬（１９５３）は池田湖において昼間の魚群の大きさと、記録濃度から魚群量を推定し、ワカサギ、アユの総数を１００～１３０万尾以上、マス一万尾以上と推定した。

しかし白石・古田（１９６３）は昼間の魚族資源量は測定が困難であるとし、芦ノ湖において夜間の密度計算から表層魚を除いた資源量を魚探によって算出した。同じ手法によって

白石ほか（１９７０）は、群馬県菅沼の魚群の個体数を推定し、さらに刺網を併用してその総重量を算出することを試みた。

第2章 魚群探知機の原理とその利用状況

魚群探知機の原理は山彦のようなもので、機体に発生させた電氣的振動を送波器で機械的振動にかえ、これが超音波となって発射され、湖底や魚など水と密度差のある物体にあたり反射して帰ってくると、受波器がその微弱な音波をとらえて、これを電氣的振動に変え、増幅し、反射してくる時間を距離に表わしてブラウン管または記録紙に指示できるようにしたものである。(図2・1)。

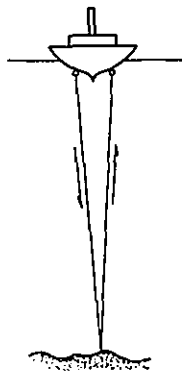


図2・1 超音波の伝播と反射の原理

なく“音探”である。

一般に魚群探知の方法としては、つり糸や刺網でその所在を探知する方法、鳥の群から魚群を知る方法などから始まって魚の鳴き声や機械的発生音を利用する方法、光の反射による水中テレビ等いろいろな方法があるが、現在では音波による魚群探知法が最も進歩したのものとして活用されている。

なお魚探は音響測深機より開発されたものであるが、このほか音波を利用した機械には波浪計、液面計、探鯨機、水平または全方向探知機等があり、更に超音波を利用して海中騒音計、警報装置、水中電話等のほか化学的特性を利用した

洗浄機、各種加工機等各方面に開発が進められており、魚群探知機はそのうち最も重要な利用方法の一つといえよう。

従来販売されている魚探機は200種以上に及び、用途によって性能・大きさ・重量等が違っている。いま周波数別に見ると表2・1のように14KC以下のものから200KCまで各種の波長のもがあり、更に最近ではmm波まで使われる傾向にある。一般に魚探では14KC、24KC、40KC、50KC、200KCなどが比較的多く用いられているが、そのうち14～50KCは低周波で、指向角が広いので主として魚群の探知に用いられている。200KCなどはおもに船の直下の狭い範囲を記録するので測深用に使われてきたが、技術の進歩にともない200KC 400KCなどmm波でも強力な出力によって、深海の魚群をくわしく探知することができるようになってきた。また切り替えによって2～3周波を出し得る機種も開発され、今後ますます能率的な機種があらわれるものと思われる。

また魚探の重量について見ると表2・2のように10kg以下のものから100kg以上のものまで各種あるが、総じて携行用といわれるものは15kg以下のものが多く、それ以上では各部に分け

表2・1 周波数別に見た機種数

K C	機種数
< 14	28
16	7
20	2
22	9
24	17
25	2
28	26
40	24
50	46
56	1
70	1
88	2
100	2
200	6
2周波の内1	19
2周波	13

第2・2 重量別に見た機種数

kg	機種数
<10	5
10~19	35
20~29	14
30~39	18
40~49	15
50~59	26
60~69	10
70~79	4
80~89	2
90~99	8
100 <	24

(昭和29年 調)

て携帯用としてあっても全重量はかなり大きくなり、能率の点からは著しく劣ってくる。また50kg以上のものは簡単に持ち運びできないので、各地に分散している湖沼へけい行して調査するには不適なものが多い。

更に全国における海面漁業での魚探の利用状況を見ると図2・2のようで(水産庁 1956)かなり以前に既に北海道から九州まで全国的に普及しており、特に太平洋方面での漁業により広く活用されている。しかもその利用状況は図2・3上図のように年々加速度的に増加しており、そのうちでも図2・3下図に示すように施網、機船底曳などの漁業では必須の装備として、特に1951年頃より各種漁船に装備されるものが多く、逐年増加の傾向にある。

一方内水面においては全国的に見ても、湖水または人工湖の調査用としてわずかに10台内外あるにすぎず、またこれを活用しているところはきわめて少ない。後述のように魚探は魚群の生態学的資源学的調査の武器であるばかりでなく、各分野の陸水学的調査にも威力を発揮し得るので、今後内水面においても活用することが望ましい。

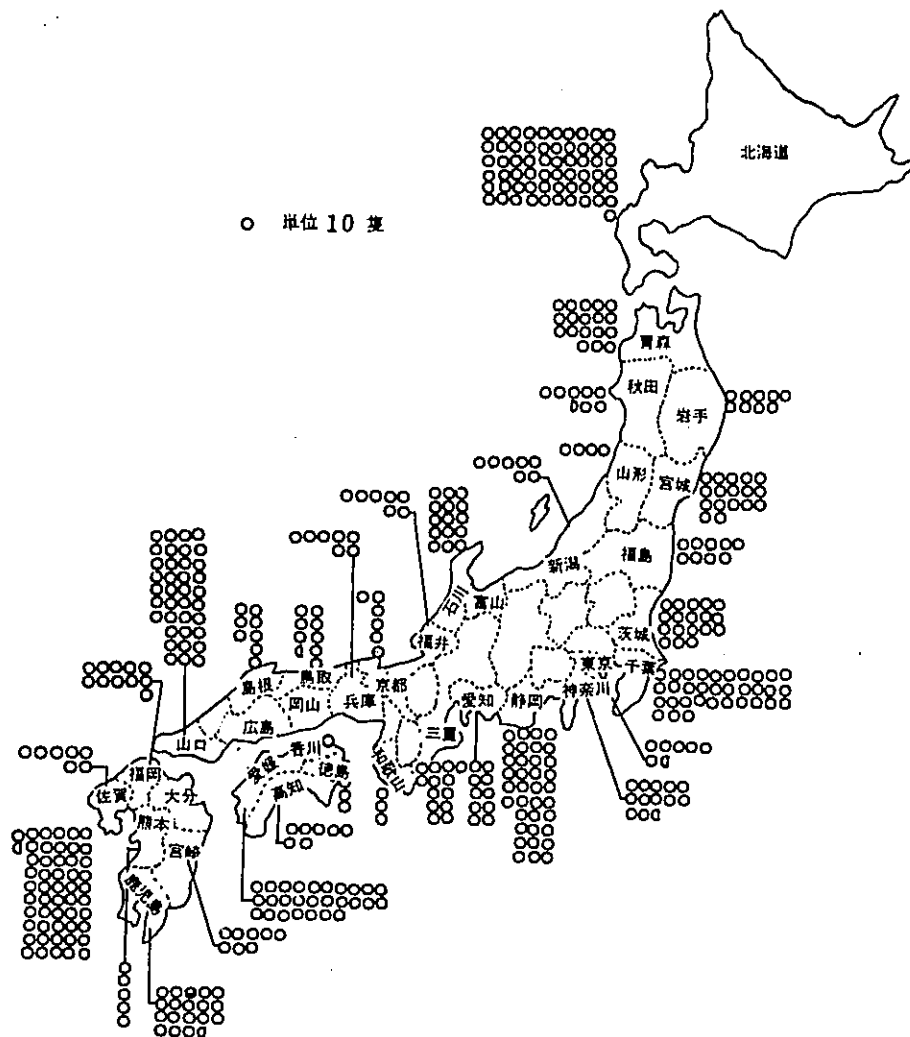


図 2・2 魚群探知機を設備した漁船の分布 (昭和 29 年調)

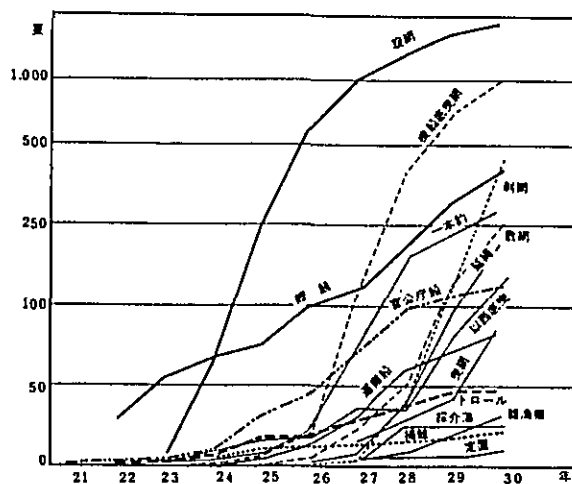
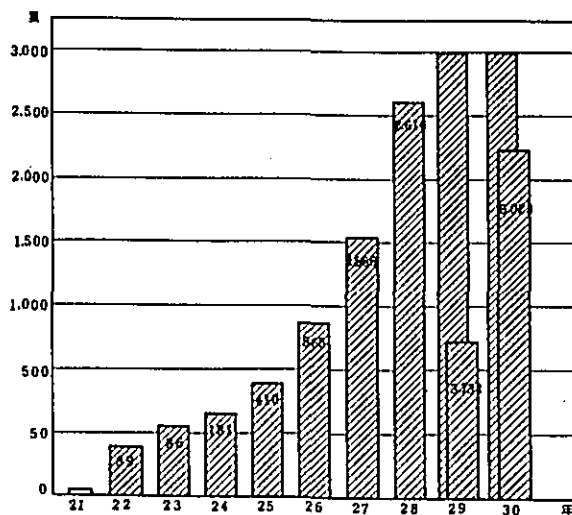


図 2・3 魚群探知機の年度別普及状況
(昭和 29 年調)

最近人工湖で土砂による湖底の埋没状況を調べるため、測深機や魚探を利用している所がかなり多くなってきたが、これとても実際には機械の使い方や、記録の読み方が不十分のため必ずしも有効に利用されているとはいえない。

第3章 魚群探知機の一般的性能

魚探機は通常つぎの各部からなっている。すなわち発振部→送波器→受波器→増幅器→指示器および電源部からなっている。

超音波をつくるには発振器で所要の周波数の電氣的振動を作り、これを送波器へ送ると、送波器では機械的振動に変わり、これが水中へ伝えられ広がって行くのである。

受波器は水中の物体から反射して来る微弱な超音波を受信して、これを電氣的振動にかえるが、その力はきわめて微弱であるので増幅器で増幅する。増幅された電波は指示器へ送られ、ブラウン管に指示されるか、記録紙上に記録される。

これら各部は実際には図3・1に示すように各部別々になっているもの(A)、指示器と増幅器、電源部と発振器をそれぞれ一体としたもの(B)、また指示器と発振器、増幅器を一体とし、電源部を別としたもの(C)、さらに送受波器を別として他の部分をすべて一体にしたもの(D)などいろいろな考案がなされている。

これら魚探の各部分の性能や構造については多数の文献のほかに2・3の成書もあり、また最近トランジスターやIC回路、集積回路などエレクトロニクスの飛躍的發展によって、魚探の構造や性能が著しく進展しつつあるので、ここでは詳しくは述べないが一応機械を取扱う上の各部分の性能について簡単に述べることにする。

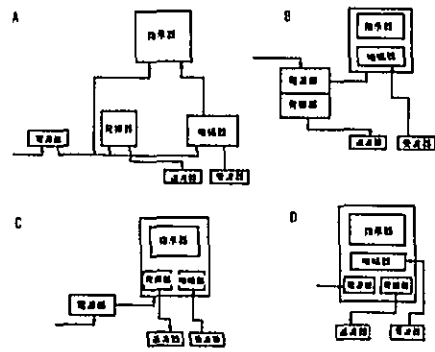


図3・1 魚群探知機の各部の組立て方式

3・1 周波数とその性能

魚探記録の媒介となるものは周波数であり、これが魚探の性能を決定する重要な基礎条件となるので、まず周波数の性能について述べておくことにする。

音の速さは空気中を1秒間に340mの速さで伝わるが、水中では約1,500mの速さで伝わる。一般に音速はかたいものを伝わる時ほど大きく(表3・1)、従って海中では水圧・水温・塩分濃度などの差によって、1秒間1,500mを伝播する間に約1m前後の差を生ずるのである。

音速は周波数と波長の積で表わされ、水中ではほぼ一定なので周波数が高くなるほど波長が短くなり、周波数が低いほど波長は長くなる。水圧と音速との関係は指数函数的であるが、塩

分による音速の変化は直線的である。またわずかながら高温中では音速が大きくなり、低温では音速が小さくなる傾向がある。

表 3・1 各種物体の超音波伝播速度

物 体	伝 播 速 度 m/sec
空 気	340
そ の 他 の 気 体	200 ~ 500
水	1,500
そ の 他 の 液 体	900 ~ 1,700
金 属	4,500
そ の 他 の 個 体	3,000 ~ 5,500

したがって超音波によって深海などの測深を精密に行なう場合には温度、塩分などの条件によって観測値を補正する必要があるが、深さ2~300m以浅の陸水を調査する場合には、たとえ温度や圧力の影響があっても1%以下であるので一般には補正を要しない。

また水中は静かなように思われているが、波浪の音・船のエンジンの音・振動音・スクリューの音その他

魚の鳴き声や遊泳音などいろいろな音が入りみだれている。これを海中騒音という。騒音はほとんど可聴音であるため、魚探にはこれと混同しない超音波が用いられる。超音波とは人間の耳で聞くことができない16,000サイクル(16KC)以上の振動数、したがって10cm以下の波長の音をいう。この超音波にはなおつぎの特性がある。

- (1) 可聴音は四方に波紋状に広がるが、超音波は指向性が強く一定方向に進むので、エネルギーの分散が少なく分解能や忠実性が高い。
- (2) 可聴音波と混合せず、海中騒音による妨害がない。
- (3) 波長が短いほど指向性は強くなるが到着距離は短くなる。波長が長いと遠距離まで到着する。したがって可測深度が大きくなる。
- (4) 波長が短いほど物体の分解能がよくなる。
- (5) 物体からの反射は周波数が高いほど強くなる。

上記の理由から現在使用されている魚探の周波数は、14KCから200KCまで広範囲にわたっているが、それらの周波数が魚探に利用される場合にはまたそれぞれの特性がある。すなわち一般的に言えば図3・2に示すように、低い周波数の場合にはその広がる角度すなわち指向角が大きく、高い周波数の場合にはその角度が狭い。しかしまた高い周波数が使われた送波器からは副極が出やすく、このため浅い所では周波数の高いものが、見かけ上はかえって指向角が広がる場合もあり、これが記録の上に妨げとなる場合がある。更に指向角が広いと

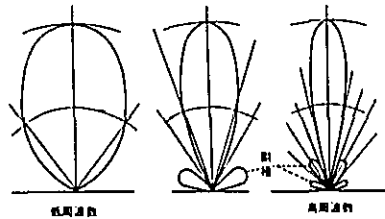


図 3・2 周波数の大小と指向角の関係

広範囲の魚群が探知できるが、記録が濃密になりすぎて、魚群の中の個体を分解して記録することができないし、指向角が広いと図 8・6 に見るように測深にも誤差を生じやすい。また一般に周波数が高く波長が短い程、プランクトンなどのような反射率の小さいものまでが記録される長所があるが、一方水中減衰が多いため深層にまで超音波が達しない欠点がある。

しかし一般的にいて 200 KC などのいわゆる mm 波は波長が短くなるにつれて分解能がよくなり(間庭 1962)、かつ船底などの気泡層による減衰や伝播減衰も比較的小さいことがわかってきた(橋本ほか 1957)ので、逐次活用される気運にある。一方 10 KC 以下の超音波も種々の特長があり研究が進められている。

音波の到達距離を左右する要因は周波数・送波出力・受信能力などで周波数は少ないほど、したがって波長が長いほど遠くまで到着する。また送波出力が大きいほど、また受信能力が大きいほど、遠距離からの記録を得ることができる。この間音波が発射されて受信器にもどる途中いろいろな減衰と損失がある。

- 1) 船底減衰 船底付近には船底と水との摩擦によって直径 0.1 ~ 1.5 mm 位の気泡や水の流動がありこれが減衰の原因となる。この場合 200 KC の方が 50 KC より減衰が少ない(橋本ほか 1957)。
- 2) 気泡減衰 水の表面近くにある波浪による気泡沫や、植物プランクトンの体中の気体またはその放出した気体などは超音波の減衰の原因となる。
- 3) 伝播減衰 音波は水中を伝播する間に拡散するほか水の分子や、水中の微細な浮遊物に吸収されて減衰する。これを伝播減衰という。この減衰は周波数によって異なり、周波数が高いほど減衰率は大きい。また水平伝播の方が垂直伝播より減衰が大きい。
- 4) 走航減衰 走航中の感度は船を停止させて魚探を動作させる時よりも多少劣る。これは船の航行により水塊の擾乱、特に船底減衰や気泡減衰が複合したものとして働くものと考えられる(橋本ほか 1954)。
- 5) 反射損失 魚または湖底に音波がぶつくと、固いものではよく反射するが、やわらかいものでは音波が吸収され一部が反射してくる。この場合周波数が高くなるほど反射率が高くなる。その反射率は魚種や物体によりちがう。したがって逆に反射の度合によって反射物

体の固さを推定したり、底質を判別したりすることができる。

上記のような音波が吸収されて減衰する過程をよく理解して、記録紙上に表われた反射記録を解釈することが必要であるが、更にその程度は減衰率（デシベル）で示され、橋本・間庭（1957）の方法によって測定することができる。今その1・2例を示すと表3・2のようになる。これによると岩質の海底で反射が強く、ついで砂利、泥の順となっている（橋本ほか、1953）。また魚についても同様に反射損失を求めることができる。しかし魚も魚種により、生死により、また魚の部分により反射率が異なる。表3・3は海産魚についての2・3の例で、周波数が多くなると反射率が小さくなる（橋本ほか、1953）。

表3・2 各種物体に反射損失と反射率
（西村1958）

底質	反射損失 (db)	反射率%
泥質	11	28
砂質	8	38
岩質	4	60
礫	5	56
砂利	8	38
アジメ	25	5
カジメ	21	9
ホンダワラ	15	18
コンブ	33	2

も同様に反射損失を求めることができる。しかし魚も魚種により、生死により、また魚の部分により反射率が異なる。表3・3は海産魚についての2・3の例で、周波数が多くなると反射率が小さくなる（橋本ほか、1953）。

表3・3 各種海産魚の反射損失 (db) と周波数の関係

（西村 1958）

魚種	全長 (cm)	周波数 (KC)			
		28	50	100	200
サバ 1	37.5	40	38	36	30
サバ 2	35.5	39	38	—	33
ソーダカツオ	34	42	39	—	34
アジ	21	48	47	43	42
キンメダイ	31	42	41	36	34
トラバガニ	田中18	—	18	—	15

3・2 振動子（送受波器）の種類とその性能

送波器は電氣的振動を機械的振動に変えて水中に送り出し、受波器は水中からの超音波を受けて電氣的振動に変えるもので、一括して電気音響変換器または振動子と言う。

送電波器の種類とその材質にはつきのようなものがある。

送受波器	{	圧電式	{	水晶板振動子
				ロツシエル塩振動子
	{	磁歪式	{	ニッケル振動子
				アルフェロ合金振動子
	{	電歪式	{	チタン酸バリウム振動子
				ランジュバン振動子

すなわち圧電式は厚い金属板の上に直方体に切った水晶、またはロツシエル塩の結晶を並べて厚いゴム板で覆い、ヒマシ油を充填したもので、現在はあまり利用されていない。磁歪型は0.3～0.5 mmの薄いニッケルアルフェロ・フェライトなどの磁性材料素子を接着し、これにコイルを巻いたものである。電歪型（阿部ほか、1951）はチタン酸バリウム粉末を板状に焼き、両面に鉄板または直鍍を貼布したものである。これらは感度、周波数幅、送波器の能率、雑音除去能力、指向性、耐久性、重量、価格などの諸点からみてそれぞれ長短がある。

一般に振動子は大きいほど指向面積または指向角が広くなる（図3・3）。

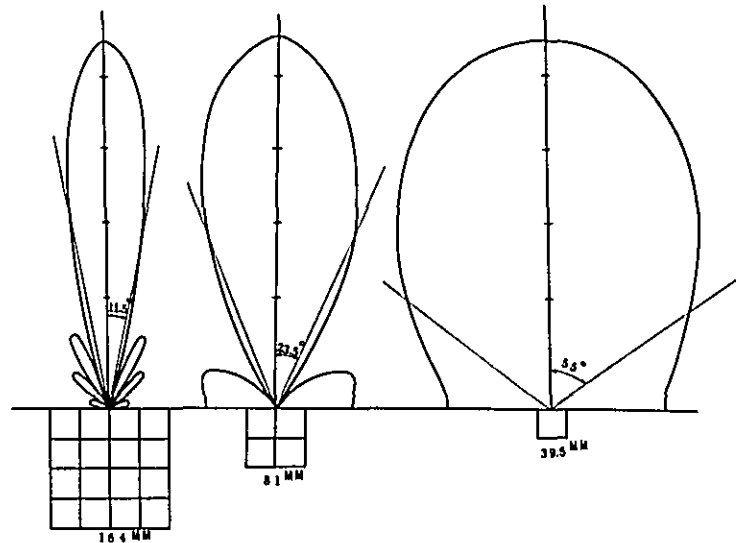


図3・3 送波器の大きさと指向角の関係

すなわち送波面積と指向角は反比例する。また振動子の発射面の形により指向範囲が異なるので(図3・4)、目的に応じて各種の大きさや形のもが選ばれる。

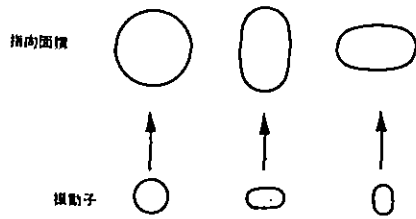


図3・4 送波面の形と指向面の関係

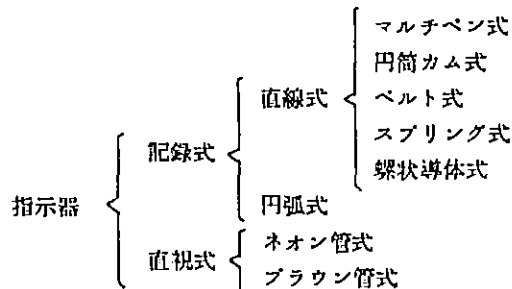
なお小型振動子は縮金と張り綱で船側にとりつけられるが、大型のものは船底装備、上下装備、キール装備など船底に穴をあけて装備しなければならず、これらの方法にはそれぞれ長短があり、よい記録をとる上で重要な問題である。また1箇の振動子で2周波以上に使われる場合もあるが、送波器と受波器を別にした

方が発振線を細くすることができる。

3・3 指示器の種類とその性能

指示方式には記録式とブラウン管に指示するものがあり、これら記録器の深度の単位にはメートル・ファゾム=6尺 \approx 1.828m・ヒロ=5尺=1.5mなどがある。また深度目盛には直線目盛と円弧目盛の別がある。その直線、円弧の別は機械の構造によるもので、回転式は円弧目盛となるが、これは機械的には故障がおきにくい長所がある反面、記録が読みにくい欠点がある。一方直線記録は読みやすいため広く用いられ、円筒カムを使用する方法、ベルトを使用する方法、螺旋状導体を使用する方法、スプリングを用いる方法などいろいろな方式があり、それぞれ長短がある。なお最近マルチペン式なる記録方式が新しく開発された。これは多数のペンを記録紙上に走らせ、音波を受けた瞬間にそれに接続されているペンのみが導通し、記録する仕組みになっている。湖底付近など水中の一定深度範囲を拡大したり、凹凸のある海底を一線上に記録したりできるので今後の活用が期待される。いずれにせよブラウン管式などに比べるとその感度は劣り、微細な反射などは記録しがたい欠点がある。

以上の各方式をまとめると次のようになる。



また記録式とブラウン管式の長短を比較すると表3・4のようになる。一般には調査記録をとる必要上記録紙が普及しているが、将来は感度のよいブラウン管式が使用され簡便に記録されることが望ましい。

表3・4 記録式とブラウン管式の比較

記 録 式		ブ ラ ウ ン 管 式	
長 所	短 所	長 所	短 所
①記録が残る	①記録に時間を要す	①記録は瞬間的	①記録が残らない
②湖底断面がわかる	②小魚群の探知困難	②小魚群、疎魚群でも探知可能	②湖底断面がわからない
③船速から魚群の大きさが推定できる	③故障が生じやすい	③故障が少ない	③魚群の大きさは推定し難い
	④毎分300回以上の発射の記録はむずかしい	④毎分6,000回の発射、受信ができる	

3・4 記録紙の種類とその性能

記録式は現在湿式と乾式の2種類がある。

- 1) 湿式の性能 湿式は炭酸カリと澱粉及び重曹、硝酸ソーダ、クレオソートなどを紙にしみこませ、適当な湿度を保たせてあるものが普通で、これに電気を通ずると炭酸イオンが遊離して炭酸となり、澱粉に作用して褐色を呈するようになっている。その長所は感度がよいため所要電圧が低くてすみ、回路が簡単でかつ感度が反射の強さに応じて連続的であるという点、及び電流の消耗が少ない点などであるが、短所は長期間の保存に耐えず時間がたつと退色し、かつ紙の寸法が縮まる点などで、直ちに乾燥すれば多少は長持ちするが長期間の保存は困難である。記録紙の幅は機種に応じて150mm、100mm、75mmなどがある。湿式記録紙にはこのほかホーガン式なるものがあるが、まだ特殊な方面にしか使われていない。
- 2) 乾式の性能 乾式は錫、アルミニウム、黒鉛などを紙に塗布して電導性を与え、更に表面に放電により破壊され易い白色の半導電性物質(酸化チタンチオン化合物など)を塗布したもので、電流を通ずると表面の塗布物質が破壊され、黒い染地が露出する。長所

としては変色や伸縮がなく、半永久的に保存できることであるが、短所は所要電圧が高いので火花によって煙や臭気を生じ、ペンの損失が早く、かつ装置が複雑となるほか感度が不連続的である上に湿式より感度が鈍いと言われている。

すなわち図3・5で見ると湿式記録紙は小電力でも記録がとれ、したがって小さい入力

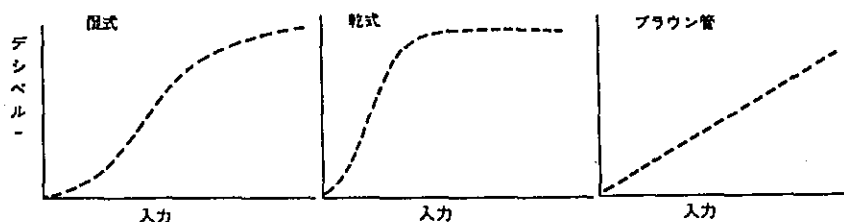


図3・5 各指示方式における入力の大きさと感度の関係

でも記録するが、乾式記録紙は表面の塗布物を破壊するのに湿式記録紙と比較して、より強い電力を必要とし、したがってより大きな入力が必要となる。これに対しブラウン管は入力の強さに応じて映像波形を振幅する。

なお記録紙の感度を数値によって比較するにはマーヂンテスト(橋本・間庭、1957)によって、たとえば湖底の反響余裕値から求めることができる。このほか記録紙の伸張率や拡張力、吸水率なども多少とも乾式湿式両者の優劣を比較する要因となろう。

次に記録紙の動く速度すなわち紙送りが速いと記録がうすく、おそいと克明な記録がとれる。現在では紙送りをかえることができる機械もあるが、一般には紙送り速度は一定している。したがって船の走航速度がわかっている場合には、使用された記録紙の長さから航行距離を推算することができる。あるいは逆に一定距離を一定時間で航行した場合には航行速度を推算することができる。したがって一定の魚探については、航行距離-航行時間-記録紙の長さの関係をグラフにしておき、随時航行速度や航行距離などを読み取れるようにしておくとう便利である(大川、1967)。

3・5 発振器の種類とその性能

発振器は強力な電気振動を発生する装置で、発振の継続時間すなわちパルスの長さによって分解能や感度が異なる。すなわちパルス幅が短いほど分解能がよく小さい魚の単体などを映すことができるが、あまり短かすぎると感度が鈍る。また周波数が高いほどパルス幅を短くすることができる。

魚群を探索し、また同一魚群を正確に記録するためには超音波の発振回数を多くしなければ

ならない。1分間の発射回数は記録紙の幅によってきまる。記録方式では1分間に最高300回であるが、ブラウン管方式では6,000回の受信が可能である。

これらの性能を考慮して、現在次の3つの発振方式が用いられている。

1) リレー式

リレー接点の開閉により充電されているコンデンサーの電荷を、送波器に伝えるもので図

3・6(A)にその様式を示す。

2) 放電管式

リレーのかわりに放電管を使用したもので、その回路は図3・6(B)に示す。放電管は静電型のも
のとサイラトロン型、フォトトランジスターを使用した無接点方式等に大別できる。

3) 真空管式

これは前二者と異なり、真空管を用いて所要周波数の電気振動をおこし、これを送波器に与えるもので図3・6(C)にその基本回路を示す。

以上の各方式はそれぞれ得失があるが、いずれも数千ボルトから200ボルト程度の高圧回路であるので、その取り扱いには充分注意を要する。

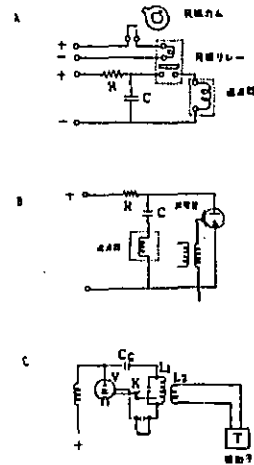


図3・6 発振方式の各種
上はリレー式、
中は放電管式
下は真空管式

3・6 増幅器の種類とその性能

増幅器は反射してきた微弱な音波を受けた受波器の電気出力を、記録または表示できるのに必要な大きさの電力に増幅するもので、かつ雑音を増幅しないことが必要である。表示装置が乾式か湿式か、またブラウン管式かネオン管式かによってその所要電力が異なるが、一般的にいて入力回路と増幅回路と出力回路の3つの部分よりなる。増幅回路には受信波をそのまま増幅するストレート増幅方式と、これに他の電気振動を加えて強力な増幅を行なうスーパーヘテロダイン方式等がある。これらはラジオ等の回路とほぼ同様であるので細部は省略するが、各部の調整はむずかしいので、素人が手をつけることはさけた方がよい。

3・7 電源とその性能

魚探は前述のように送波器、受波器、発振装置、表示装置及び増幅装置などよりなるが、その動作にはすべて電力を必要とし、前二者はリレー真空管などを動作させるため数ボルトから数百ボルトの直流を必要とし、記録器では電動機をまわすため、数ボルトの直流または100

ボルトの交流が必要である。魚探には交流100及び226ボルト、50及び60サイクルを電源とするものと、直流(24、12、6、各ボルト)を電源とするものなどがある。したがって直流の電圧を所要電圧にかえるコンバーター、直流を交流にかえるインバーター、交流になおす整流器また小型魚探ではバイブレーターなどが電源附属部分として必要となる。

(附) STC回路(近接反射抑圧調整回路)

魚探機では海面、湖面に近い浅い所ではブランクトンや水中けん濁物が多いため、目標とする魚群または魚体が鮮明に記録されないことが多い。

STC回路は受信器の感度を水面に近いところでは低くし、深くなるにしたがって感度を上げるような回路で、魚群または魚体を表面から深層まで鮮明に写すことができる。最近この回路を付して表面附近の記録を明らかにするものが多くなった。

以上魚探各部の構造性能を簡単に記述したが、これらを組合わせて浅海用、深海用、マグロ用など多くの種類がある。その中主として振動子と指示部について長短を概括すると表3・5のようで、これらから目的に合った機種を選び、その長所を生かして充分に使いこなすことが大切である。

表3・5 振動子及び指示方式の各種型式とその長短

項目		型式	長所	短所
振動子	数	送受別	雑音少	大型
		送受共用	小型	
	種別	ニッケル アルフェロ	耐久力大 安価	高価 低感度
電圧	チタバリ	高感度	破損しやすい	
指示方式	ヘン送り機構	アーム式	堅牢	円弧式
		ベルト式	機構簡單	記録断続 回転不整
		スプリング式		
		カム式	直線式	記録不鮮明
		螺旋導体式	速度調整容易	
記録方式	記録式	記録式	保存可能	分解能劣る
	ブランク管式		分解能良好	瞬間的
周波数	高周波		指向性鋭	記録範囲小
	低周波		遠距離広範囲	振動子大
記録型式	直線式		読取容易	
	円弧式			読取困難
記録紙	乾式		永久保存	電力大
	湿式		高感度	保存期間短し
大きさ	小型		軽量低廉	出力小
	大型		出力大	高価

第4章 機種を選定と使用上の注意

4.1 機種を選定

一般に海洋での魚探機は表4.1に示すように深度、対象、探査方向などにより区別できるが、日進月歩のエレクトロニクスに応じて、各種の機種が生れては消え、消えては生れて来る。大きさの点だけから見ても200kg以上の超大型機から、数kg以下の携帯用小型機に至るまで多種多様である。したがって1機種ですべてを代表させることはできないので、使用の目的によって機種を慎重に選定しなければならない。すべてカタログには長所は上げられてあるが、短所が書いてない。使用目的を明確にして、調査の上に少しでも広く活用できるような機種を選ぶことが肝心である。

表4.1 現用の魚群探知機および音響測深機の種類

機種	用途	対象	周波数(KC)	到達距離(m)
魚群探知機	中表層魚用	ブリ、イワシ、アジ、サバ	14、40~50	—
	底層魚用	エビ、カニ、スケトウダス、ホッケほか	50、200	100
	サケ・マス用	サケ、マス	—	0 ~ 60
	マグロ用	マグロ単体	28、200	50 ~ 200
	プランクトン用	DSL	200	100
	水平ソナー	表・中層魚	200	300
	捕鯨用	クジラ、オットセイ	200	1,000
音響測深機	航海保安用		< 200	—
	浅海用		200	< 200
	深海用		10~100	1,000

湖沼用としての機種を選定に当たっては、重量、周波数、記録紙の種類、記録様式、記録深度、電源、価格などの点に特に注意し、前章の特長と使用目的を照合して決定する。一般的に言えることは次の諸点である。

重量：小さな船に持ち込むためには個々の部品は20kg以下、合計重量もせいぜい40kg以下が望ましい。

周波数：50KCと200KC、または28KCと200KC等、長、短2周波を備えているものが望ましい。精密調査には200KCが、概況把握には50KCや28KCなど低周波が適する。

記録様式：記録の解説には直線式が望ましい。

記録紙：後日の保管には乾式が望ましい。また紙幅もできるだけ広いものがよい。

電源：小型のバッテリーに発動機を接続して連続充電しつつ使用するのが便利である。

記録深度：10m以浅の湖沼では10mまでの極浅海用が適しており、他のものでは発信線が邪魔になって0~4m位の範囲の解説がむずかしい。10m以深の湖沼では50m用、100m用などまたは多段式のものがあるが、一般に湖沼では50m~100mまで調査できれば多くの場合その目的は達せられる。

一般的に機器の構造とその長短を表示すると表4・2のようになる。

表4・2 魚群探知機の構造とその特性

項目		型式	長所	短所
振動子	数	送受別	雑音少	形大
		送受共用	装備簡単	発振線太
	種類	磁歪	ニッケル アルフェロ	耐久力大 安価
電歪		チタバリ	高感度	破損しやすい
指示方式	ペン送り機構	アーム式	堅牢	円弧式
		ベルト式	機構簡単直線式	記録断続
	スプリング式	堅牢、直線式	回転不整	
	カム式	直線式	—	
	螺旋導体式	速度調整容易	記録ぼけやすい	
記録方式	記録式 ブラウン管	保存可能 分解能良好	分解能劣る 瞬間記録	
周波数	高周波 低周波	指向性鋭し 遠距離用	記録範囲小 振動子大	
記録型式	直線式 円弧式	脱取容易 —	— 脱取困難	
記録紙	乾式 湿式	永久保存 高感度	電力大、寸寸発生 保存期間短し	
大きさ	小型 大型	軽量低廉 浅海用出力大	出力小 高価、重量大	

4・2 魚探使用上の注意

魚群探知機の使用にあたっては一般に自動車の仕業点検と同じく、常に全般を注意深く点検することが大切で、特に次の諸点に注意する必要がある。

1) 部品点検

魚群探知機は本体、コード、振動子などをはじめ沢山の部品からなっているが、これらの部品のうち1つでも欠けると魚探の性能が失われてしまう。

特に湖沼調査の場合機械はその都度舟に持ち込むことが多いので、使用前に部品を十分点検整理しなければならない。予備記録ペン、コード類などは特に忘れやすいので機械の一部に部品一覧表を貼布しておき、出発前に照合するとよい。

2) 性能点検

魚探の使用にあたってはできれば陸上で、または船につみ込んで出発前に全部接続し、機械を一度作動させてみるのが望ましい。これによって部品を忘れることも防げるし、電源や機械の様子を知ることができる。このうち特に重要なのは電源の性能点検、記録状況の点検の2つである。

電源はたとえ十分充電してあっても長く放置しておく、放電してしまふことがあり、またははじめの一瞬電圧が高くてすぐ降下してしまふことがあるので、少なくとも数分間作動させてみる必要がある。また記録状況の点検に当っては記録が適当に濃いかどうか、発振線および湖底線がそろっているかどうか、記録が跳んでいないかどうかなどの点を注意する必要がある。記録がうすいのは電源電圧の不足か記録ペンの浮動、短小などによる。発振線や湖底線が不整なのは電源モーターの回転が不整なためである。また電源電圧の変動がおこると記録水深に誤差が生ずる。なおペンがおどつて記録が断続する場合はベルトが弛緩している事が多い。

4・3 振動子の取付け

振動子の取付け位置や取付け方法も重要な予備作業で、この点が適正でないと十分な成果を得ることはできない。

1) 取付け位置 振動子の取付け位置は船底と船側の2つがある。なるべく船首よりに取付けることが望ましい。船の後部はとかく船底と水の摩擦によって生じた気泡が、振動子の下面を横ぎるので雑音を生じやすい。

2) 取付け方法 船底取付けは普通造船または魚探メーカーの技術者によって行なわれる。船側への取付けは一般に舷が傾斜しているので、沈木や取付金具によって振動子を垂直に固

定するよう注意しなければならない。ただし振動子下面に気泡を生じないために下面を心持ち進行方向に向けることが望ましい。特に振動子の取付位置の前にリベット、付着物などの突出物があると気泡が生じやすい。

- 3) 振動子の深さ 振動子をどの位深くまで入れるかは船速や船の大きさによってきまる。すなわち速い時には船側などでできる気泡が、振動子の下面を通らないように深く入れる。船速がおそいかまたは停止している時には水面からわずか入っていればよい。一般に淡水では走航中でも20cm以上入っていればよい。船底より深くさげると接岸の時に振動子を破壊するおそれがあるので注意を要する。

また特に測深の場合には水面より振動子までの深さを記録紙上で補正できるようにしているものがある。

4・4 雑音防止

魚群や湖盆が記録されたとしても、同時に雑音が記録されると記録の解読に少なからぬ不便を生ずるので、雑音はできるだけ取除くよう努力しなければならない。一般に増幅感度をあげすぎると雑音を記録しやすいが、このほか雑音はいろいろな原因で生ずる。そのおもなものをあげると次のようである。

1) 機械の整備不良の場合

電源不良または自己発振による場合で雑音は規則的に出てくる。この調整は専門家にまかせることが安全であるが、特に小型機では接続部分の取りはずしが頻繁なため接続不良、断線などによる雑音がおこりやすい。

2) 超音波の発振体が船内にある場合

船のエンジンやスクルーなどから超音波が出ることが多く、またそれらの振動が原因で船体の一部が超音波を出すこともある。雑音がスクルーから出ているかどうかは、エンジンをかけてスクルーを動かしたり止めたりして雑音の有無を見ると判定できる。

3) 振動子が浅すぎるため、その下を気泡が通過する場合

振動子を深く入れ、またはやや前向きにして雑音が消えるかどうかを点検する。

4) 記録ペンの先にすすがたまり、またはベルトがゆるくて放電が不規則になる場合

すすは紙やすりなどで注意して取除く。

5) アースが不十分な場合

アース線をとっていない場合や、記録紙が長くたれさがったり手をふれたりしていて、短絡している場合には雑音が記録されやすい。

4・5 記録の取り方

記録の取り方はその目的によって千差万別であるが、その条件を列挙すると機械の調節によるものとして、感度・周波数・指向角・発振回数・記録紙の種類・記録紙の速度などいろいろある。これらのうち感度以外は機械によって定められていて、変えることができないものが多かったが、最近では2周波以上の切りかえや、記録紙の速度をかえられる機種が開発されてきた。また感度も作動中はなるべく一定にしておき、魚群密度や底質の判別が比較できるようにしておくことが望ましい。

一方環境条件としては船の速度・記録時刻・記録深度などがあるが、特に魚やプランクトンなどの生物記録は、これら条件がかわるとその記録が著しく異なる。特に速度を加減したり、測定深度を変えることによって記録の様相は全く異なるので、これと感度の調節によって目的の記録を明瞭に得ることが望ましい。その詳細については後述する。

4・6 記録の保存

湿式記録紙は湿度が酸化することによって褐色化するので、記録をとった後なるべく早く充分乾燥すると共に、その後も湿気のない暗所に保存し乾燥剤を入れておくことが望ましい。乾式記録紙は多くはそのまま保存するが、ラッカーかワニス塗布して炭素粉の脱落を防ぐ方法もある。

なお記録紙には必ず次の事項を明記し後日の参考にする。

- (1) 調査目的
- (2) 使用機械名、周波数、感度
- (3) 調査年月日及び時刻
- (4) 調査場所または調査コース、水深
- (5) 調査者
- (6) その他必要事項

4・7 その他必要事項

器材の保存には湿気の多い所、日当りなどをさけること、機械的振動や衝撃をさけること、雨や水しぶきなどで本体をぬらさないこと、常に調整保守を充分にし、故障または不調箇所は必ず使用直後になおしておくことなどが必要である。

また蓄電池の使用後は必ず充電しておくこと、長期間未使用の電池は使用前に点検充電することが望ましく、更に電源電池は常に表面を清潔にしておかないと使用しない時でも放電しやすい。最近では小型の発電機が開発されているので、蓄電池を出来るだけ小型のものとし、充電しながら使用することができるようになった。

第5章 性能試験

機械は「生きもの」であるからその時々によって調子がちがう。したがって前項の点検や注意事項を守つてもなを実際記録をとる前にまず、次の各性能試験をしておくことが必要である。

5・1 感度調節

記録を取るにあたり、まず感度ダイヤルをまわして目的に合った濃度の記録をとらなければならない。

それがためには、一応感度ダイヤルを0から10まで逐次回転して各感度の記録を取り、そのうち目的に合った感度に調節しなければならない。

また感度調節の場合の船速はあまり速すぎると走航波衰をおこして、特に単体像やブランクトン像などがうつつりにくくなる。一方おそすぎると密度のうすい木体では対象物の記録数が少なく感度を調節しにくくなる。なおこの調節をしておく、各濃度の時の記録から魚群密度などを算出する場合の補正値が得られる。一般に湿式記録は感度目盛に応じて逐次濃くなるが、乾式では非連続的である所から急に濃度がこくなる傾向がある(図5・2)。また高い周波数よりも低い周波数の方が感度による記録の濃淡が著しい。

1) 周波数50KCの場合

図5・1は周波数50KCによる感度調節の一例で機械の調子や電圧によって異なるが、はっきりかつなるべく多く数えられる所がよく通常感度7~8前後がよい。

2) 周波数200KCの場合

周波数200KCにおいても感度調節の要領はほぼ同じであるが、波長が短いと音波が速くに及ばないので、深部の物体が記録されにくく、したがって50KCよりやや感度を上げる必要

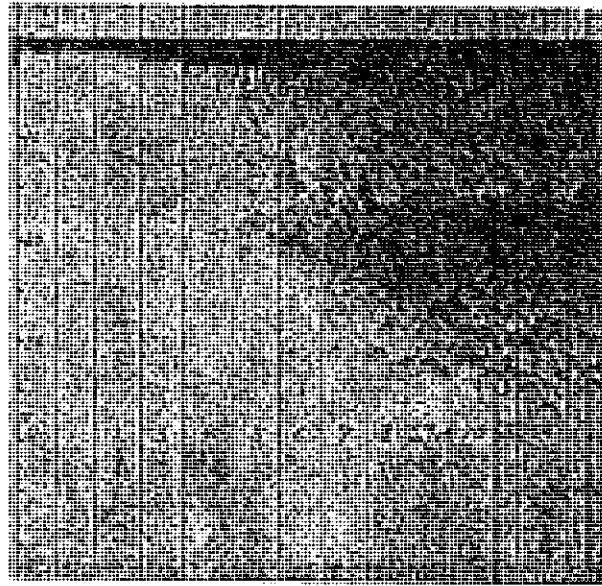


図5・1 池田湖における夜間の魚群の感度試験(1961年6月、F701)

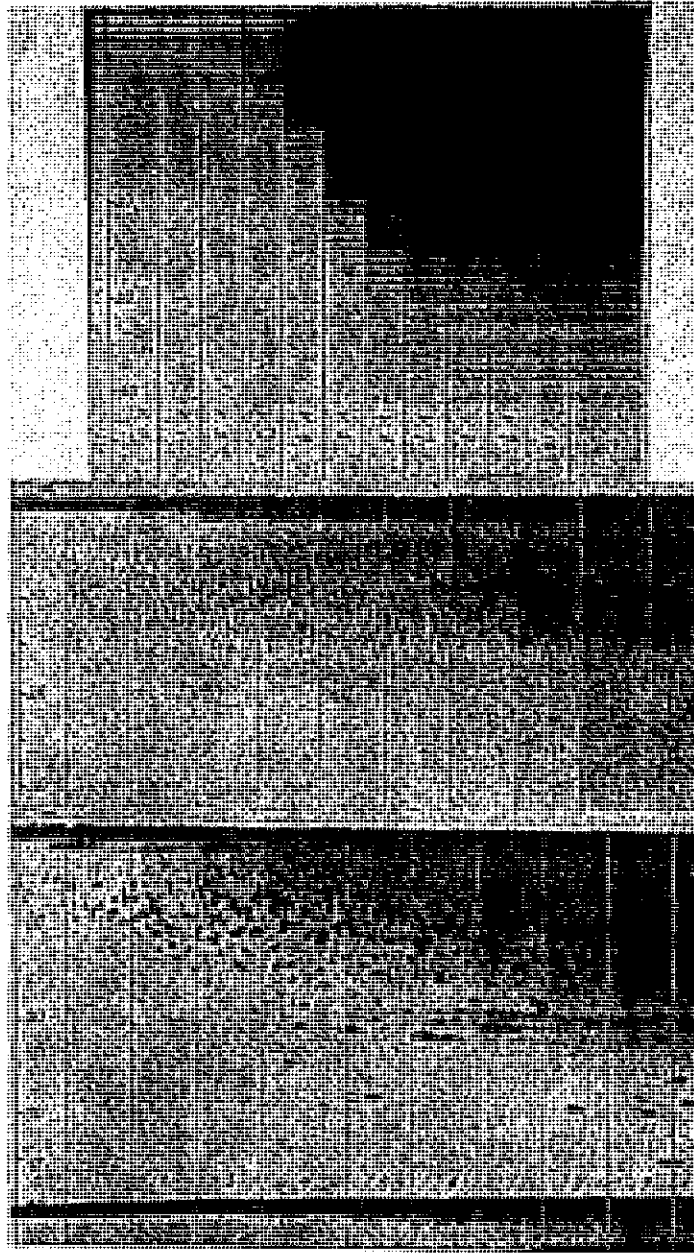


図5・2 上図は水槽内における感度試験(1962年8月、F-701)
中図及下図は十和田湖における感度試験。中図は高速、下図は低速。
(1960年10月、NTLB-1500)

がある。図5・2(上)は水槽内の反射記録で高感度の場合は50回以上も反射をくりかえしていることを示す。通常は図5(中)(下)に見るように感度4~7位の濃度がよい。高濃度消去の場合もおなじ要領でよい。一般に感度を上げると雑音をひろいやすいが、雑音と反射記録を区別するためには船速を遅くして、一物体を長く記録すると雑音は規則正しく現われるのですぐ見わけられる。

5・2 深度補正

超音波の水中での速度は圧力、塩分、水温などによって異なるが、一般に毎秒1.5kmと言われているのは温度18℃の時のことで、実際には水温が高いほど多少ずつ音速は早くなる。したがって水中での音速を1.5kmとして作ってある魚群探知機や、測深機の記録は精密に測定する場合には、塩分や水温によって深度を補正する必要がある。湖沼では塩分による補正は不要なので、水温だけを補正すればよい。しかしその補正式は

$$\text{見かけの水深} = \frac{1.500,000h(h+1)}{\sum(421\theta + 0.0168h + 1410 - 0.034\theta^2)}$$

なる複雑な様式によって補正しなければならない。hは水深、 θ は水温である。しかし各水深の水温に対して上記の式をあてはめて算出したり、各地点別に算出したりすることは複雑でやりきれない。さいわい湖水の水温は垂直的にはどこでもほぼ同様に分布していることが多いので、測深に際して一ヶ所湖心などで一度補正をすればほぼ目的を達し得よう。

しかし実際にはコンクリート製の三角錐をおろして、実測値と記録上の読取値とを比較補正してグラフを作製し、各深度の読取値を補正することが最も簡便な方法であろう。これをパーチェックという。

図5・3は青森県十和田湖における最深部の測深のため、コンクリートブロックを垂下した時の記録である。各測定点で上下2層に記録されているが、上のはロープの結び目の記録である。

一般に100m以上の深部を単に錘測や音響測深機だけで実測することは危険である。何となればロープだけではそこが最深部であるかどうか、錘測ロープが垂直に下つているかどうか更に鉛錐が湖底へ到達したかどうか、などの確認はむずかしい。また音響測深機では最深部の発見はたやすいが水温変化による音速補正を要する。この場合には音響測深機で最深部の位置やロープが垂直に下つているかどうか、更に湖底に到着したかどうかを確認し、音響測深記録とロープの長さの両方から実際深度を計測するのがよい。十和田湖の最深部をこうしてロープ

の長さ325 mに対し、音響測深機では324 mを測つたことがある。

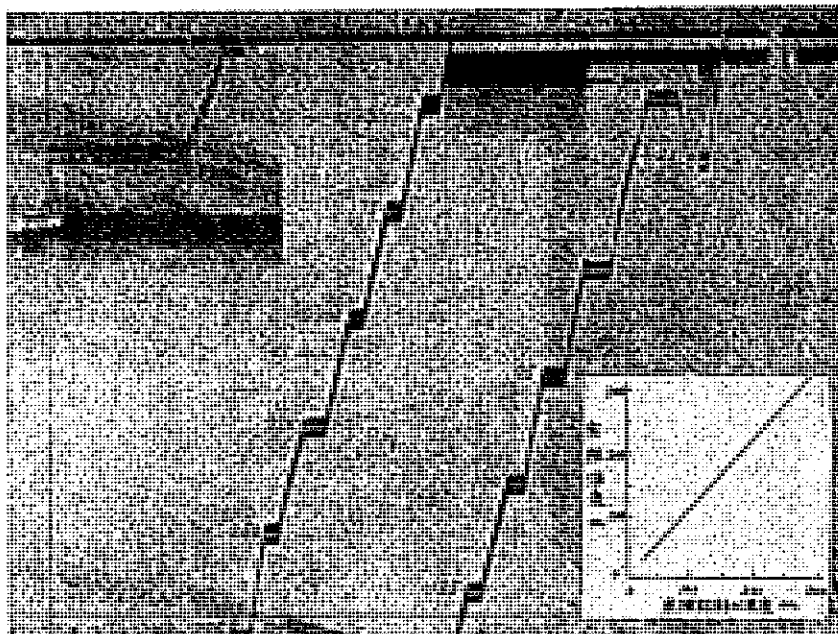


図5・3 十和田湖における測深のためのチェックバーの記録像、
数字は深度mを示す。(1960年7月、NTNL-1500)

この両者の差は結局測深機の誤差であり、図5・3の右下のような校正図をつくっておくと補正に便利である。なおそれまで十和田湖の最深部は一般には334 mといわれたが、この時には325 mを測深した。また数年後国土地理院の手によって326.8 mと計測された。

6・3 指向角について

使用する魚群探知機の記録がどの位の角度の水中を記録したものであるかは、記録解読の上で重要な問題で、機械によりその角度は一定していて、カタログなどの規格に示されている一般に指向角、半減角、半減半角などいわれているものは皆同じで、従来は規格の数値を用いるより仕方がなかったが、実際に果してそれだけの角度で記録されているかどうか問題であった。

今指向角を測る2・3の方法を述べる。

1) 室内における指向角の測定法

魚探メーカーでは社内に無反射の小型水槽を作り、その両側に送波器と受波器を取り付け、送波器を除々に回転して受波する角度や強さを測り指向角を決定する。この方法だとくわしい測定ができるが、野外で果してそれだけの規格で作動するかどうかはわからない。

2) 有効指向角の測定方法 (低周波の場合)

これは直接記録紙の上から実際に働いている角度を計算する方法で、その角度を有効指向角と名づけた (白石・古田、1963)。

さて夜間は魚の動きが鈍くなり、船速に対して魚はほぼ静止していると考えても差支えないと思われ、この場合50KCなどの低周波では魚がコメット型の記録になる。そこで逆に

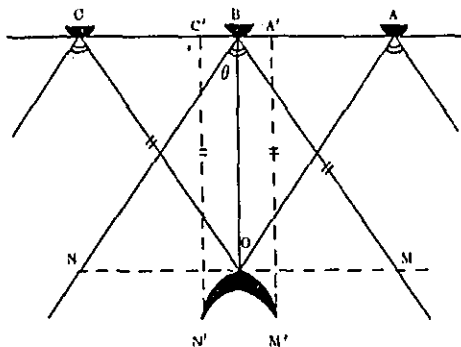


図5・4 コメット型記録とその有効指向角の測り方

この記録像から図5・4のようにA'M'に等しい半径でBを中心にかき、Oを通る水平面との交点をM、Nとすると、角MBNは指向角となる。しかも機械の理論値からでなく、実際の電圧や機械の性能に応じた記録範囲であるので、かりに有効指向角と名づけることにした。

このようにして各深度の記録から有効指向角を作図して垂線上にのべると図5・5のようになる。

すなわち一点で発射した音波はこの点線内の方向に強く放射され、したがって強く反射するが、それより外側への発振は急に弱くなり記録紙上にはあらわれないことになる。F-705 (50KC) による実測例を図5・6に示す。図に見るようにそれぞれの記録から得た指向角の変動は著しく大きいものではなく、したがってかなり高い精度で指向角を算出することができる。

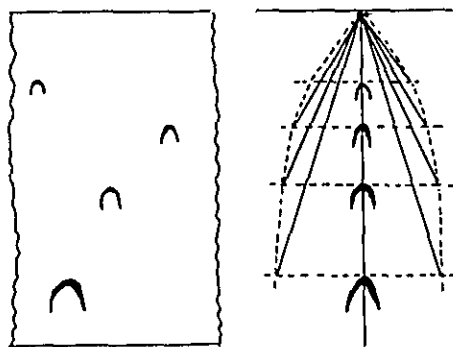


図5・5 各深度の単体記録からの指向面積の測り方

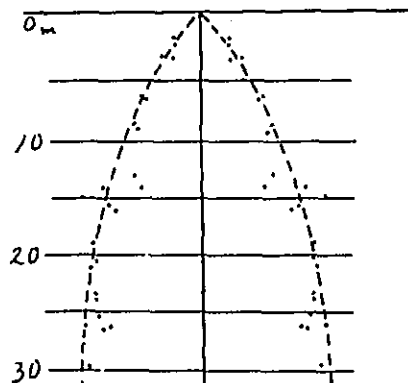


図5・6 50KC魚探の指向面積測定例

3) 有効指向角の測定方法（高周波の場合）

200 KC など周波数が高い場合には単体記録像はコメット形にらず一見I型になることが多い。これも記録紙の紙送りを早くすればコメット型である筈であるが、これから前記のように作図することはむずかしい。そこで白石・古田(1961)は次の方法によった。まず船を停止すると各深度の記録像は長い一線となる。各深度毎に記録像の長さを計り平均すると、表層近くのは深層のものより短い。この記録像の長さは表層では0である筈であるので、各深度の長さから表層の記録の長さを引くとこれが指向範囲を表わすことになる(図12・20)。実際にこうして算出した指向角は他の方法で測定したものとあまり変わらない。

4) Target を用いる方法

各深度に魚などの物体を吊下しておき、丁度その真上を振動子を走らせることにより、各深度の記録の長さから指向角を測定する。

従来魚やビン玉、またはピンポン玉などで実測したのものがあるが、いずれも前記の方法とたいした差異はない。なおこの方法は船が真上を走るため、また垂下した標的が垂直に下つているためには静かな入江などで行なうのがよい。

5) 副極について

振動子からは一本のビームが発射されるだけでなく、何本もの副極が出るが(図3・2、3・3)、実際は主極が最も強いのでそれだけが記録されることが多い。

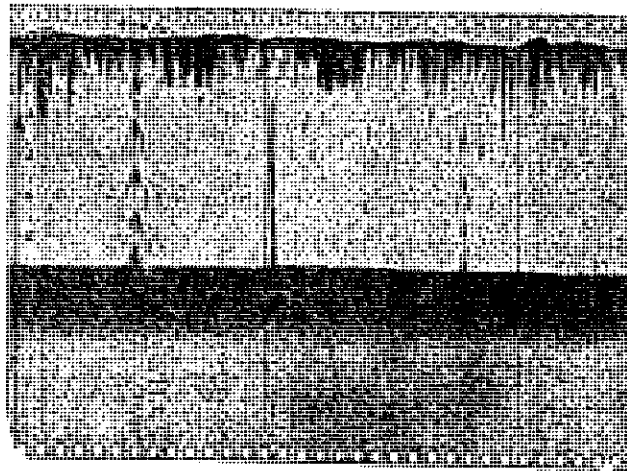


図5・7 静岡県一碧湖における垂下した試験魚体の反射記録(1970年1月29日 SD-1500)

しかし周波数が高くなると副極も強くなり、記録されることもある。図9・5、9・8のように湖底層が二重にったりするのはこの副極のためで、深くなるほど規則正しく実際の湖底からはなれることと、これより濃度が薄いので判別される。また図5・7のように記録の両側に羽のはえたように記録されるのも副極で、これから図5・4にしたがって副極の角度を作図すると図5・8のようになり、使用した3機種種の副極を、記録作図測定した結果は図5・9のようになった。すなわちNTLBの副極角は約 52° 、SD-1,500は約 60° 、F-705は約 73° であった。なおこれらによって記録はにぎやかになり、誤脱の原因となるが、なれると実記録と誤ることはない。

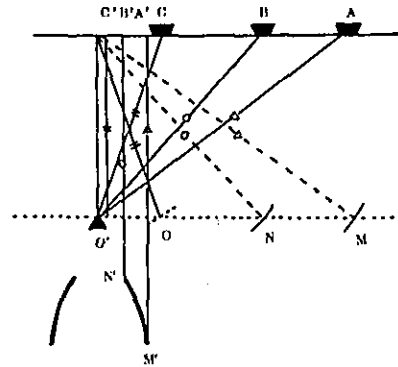


図5・8 副極像よりの副極角の測り方

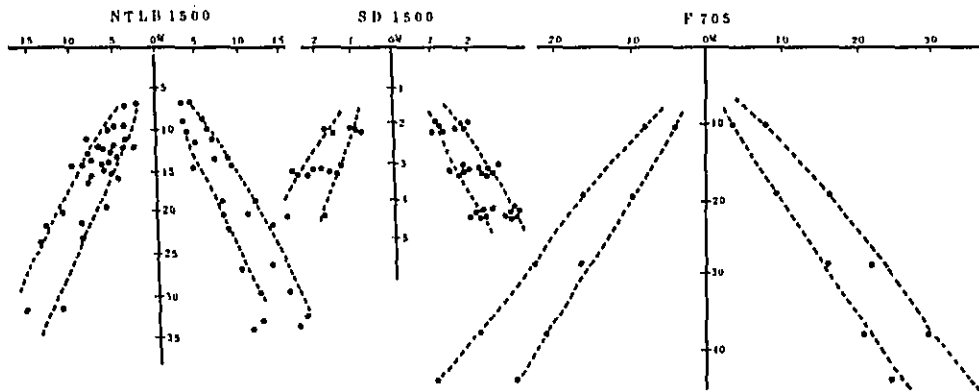


図5・9 使用した3機種種の記録から作図した副極角

第6章 魚の反射記録の基本型

一般に船速に比して湖中での魚の遊泳速度は小さいと考えられるので、船が動いている場合は相対的に見て魚は水平的には静止していると考えてもよい。また魚の降下上昇速度も船の速度と相対的で、その組合わせはいろいろあるが、ここでは基本的に魚が水平に移動している場合と垂直に移動している場合に分けて考えることとする。また魚探の周波数は14 KCから200 KCまで広範囲にわたり、その記録像は周波数によってかなり異なっているが、基本的には低周波数のものによって代表されるので、ここでは低い周波数の場合について考えることにする。

6・1 魚が水平に移動している場合

1) 船も魚も静止している時

まず船も魚も静止している時はその相対的位置の如何にかかわらず、魚は一直線としていつまでも記録されることになる。図7・10(上図)、図8・5(右図)、図11・7(上図)などがそれに近い例である。

2) 船が動いて魚が静止している時

次に船が動いていて魚は一点に静止していると考えると、図5・4において船がA点に来た時AとOの距離、すなわち記録紙上ではA'M'のM'点として記録される。船が進んでBすなわち魚の真上に来ると、魚との距離BOと、記録紙上の距離BOが一致する。さらに船が魚から遠ざかると再び見かけの記録深度が大きくなり、C点に去るとN'点に記録を残して消える。したがって全体として静止した魚の上を通過する場合の記録はM'ON'となり、このような半月型の記録像をコメット型と呼んでいる。要するに周波数が低く、大きな指向角の魚探では単独像も魚群もコメット型に映るが、夜間魚が分散した時は個々の魚は図5・1、図8・1、図11・7、図11・16(上図)、などに見られるようにコメット型の大きさがほぼ一定し、かつ中くぼみになつており、魚群の場合は図10・6、図11・9(中図)図11・10(上図)、図11・16(下図)などにみられるようにくぼみがなく、記録が大小いろいろとなるので一見して魚群であることがわかる。概して単体像は夜間に表われ、魚群は夜は全く見られない。

3) 船が停止して魚が動いている時

船が停止して魚が動いている場合は、相対的には前項の場合と全く同じである。これから船を完全に停止させておくと、その記録像から魚の速度を推測することができる。すなわち図5・4でB点に静止していて、M'ON'のようなコメット型の記録がとれた場合には魚

の速度は

$$\text{魚の速度} = \frac{\text{A C の距離}}{\text{A' C' の紙送りの時間}}$$

として算定できる。この原理を応用すると水中の浮遊物体の動きから潮流を測定することもできよう。とくにダムの取水口などの潮流分布を調べるにはこの方法が便利であろう。

6・2 魚が上昇している場合

1) 船が動いている時

船が動いて魚が垂直に上昇している時、たとえば図6・1左図のような場合には同右図のような記録になる。

すなわち船が1の場所にきた時に魚が1'に来ると、記録紙上では右図の1'になり、船が2・3と進むにつれて2'・3'となり、その距離が近くなるので、記録紙上では右図の2'・3'となり、魚の真上4の位置を過ぎ

てもなお魚が上昇するので、船との距離が短くなり、右図5'・6'と上って来るが、ある限度を越えると距離が遠くなり、右図7'のように下つてくる。実際には船速に対して魚の上昇速度が大きい場合(図11・16上図)またメタンガスなどが上昇する時(図10・5)にも同様な記録を示すものであるが、魚の上昇記録は日没時に最も多く記録される。

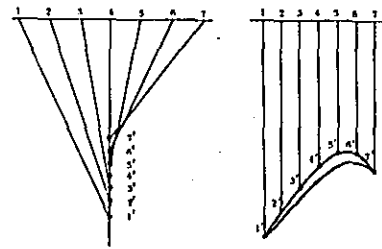


図6・1 船が動いて魚が上昇している時の記録像の出来方

2) 船が停止している時

魚が垂直に上昇し、船が停止している場合には、両者の相対的位置によっていろいろに記録されるが、一般に振動子の直下に近いほど記録の傾斜が急角度となり、かつ船の位置によって指向角内にある間だけ記録されるので、真上にあればほぼ垂直に映り、それから遠ざかる程、深部で指向角からはずれて記録されなくなる。また船が正確に停止しているとすればその記録と紙送り速度から図6・1に準じて上昇速度を算出することができる。

6・3 魚が下降している場合

この場合は上昇移動の原理と全く反対で、図7・11に示したゴミの沈下などに見られる記録像に類似してくる。魚が降下する像は実際には朝方に得られることが多いが、従来湖沼において発表された記録は少ない。

第7章 物体の反射記録の基本型

魚群のほかに観測器具、漁具などが水中にある時、どんな記録が得られるかを知っておくことは、魚探記録解読の基礎であるので、ここではそれら物体の反射記録を例示することとする。

7・1 各種漁具の反射記録

水中における漁具の沈降速度、網なり、設置深度などは漁獲効果を上げる上の重要な点であり、従来は潜水によってたしかめる事が多かったが、最近では魚探によってもある程度その目的を達することができるようになった(斎藤 1953)。淡水中での2、3の漁具の記録像を例示すると次のようになる。

1) 刺網の反射記録

設置した刺網が実際どの深度にどのように張られているかは、漁撈の上からも魚群と刺網の関係を知る上からも重要であろう。図7・1上図は琵琶湖における記録で、10~12mに動物プランクトンの濃密な層がありその境界が水温躍層を示している。それより上層が表水層でプランクトンの雲状の反射があるが、下層では魚以外は記録されていない。

図の左半分の表水層と深水層に示された1つずつの膜状の記録は試験刺網で、刺網の深度やたるみ具合を確認することができる。また左側の記録はフナの小糸網の横断記録で、丁度水温躍層を貫いて張つてあることがわかる。ゲンゴロウブナはこの上半部にかゝる事が多く、表水層下部に生息していることを示す。

図7・1の下図は十和田湖における200KCによる記録で、前図と同様15~16mの深さに水温躍層があり、表水層にはヨシノボリ、深水層にはヒメマスが分布している。このヒメマスをねらった刺網は躍層直下に張られている。図はその横断記録で木製の浮子と鉛の沈子が強く反射して工の字状に記録されている。

2) 地曳網の反射像

海洋では定置網(田原 1953、川田ほか、1958)や建干網(長崎 1951)などの網なりや、漁獲能率の研究に魚探が利用された例はあるが、その活用は十分ではない。

図7・2は琵琶湖におけるヒウオ(アユの稚魚)の地曳網の袋部分から垣網の方まで(下図のAB)記録したものである。網の中の魚は濃密で、ひいたあとの湖水の魚の密度は薄くなっている。また、ヒウオは皮膚がやわらかであるため、この網からのがれたものは大部分きずついていることが、翌日深部へ退避せずに湖岸一帯に浮泳しているものがあることから推察される。



図7・1 上図は琵琶湖における長小糸網の横断及び縦断記録。
 (1959年9月、F-701)
 下図は十和田湖における刺網の横断記録。(1960
 年10月、NTLB-1500)

また曳網をひいた水塊の容積がわかるとヒウオの単位水塊あたりの尾数がわかり、網の内
 外の密度計算からその時の漁獲割合を算出することができる。

なお降雨後の濁水などを除けば通常ヒウオ地曳での漁獲物はほとんどすべてヒウオであり、

他の魚族はほとんど見られないので上記の魚探記録もほとんどヒウオであり、従って体長3~4cmの透明な魚体が200KCの小型魚探で明瞭に記録されることになる。

3) 帆曳網の反射記録

茨城県の霞が浦や北浦では漁期によって表層のみ帆曳網が許可されていること

があるが、実際は網がどの深さに入っているかを夜間に目で確認することは透明度の小さいこの湖沼にあってはきわめてむずかしい。

図7・3は北浦において、シラウオ漁を操業中の帆曳網の袋網がどの位の深さをひいているかを記録したもので、下層に濃密な魚群が見られる中で、左側の紡錘型の記録は袋網の中間部分である。ともに湖底から1m位上層を袋網が移動しており、網を曳いたあとの魚群密度が前図と同様にうすくなっている。



図7・2 琵琶湖におけるひうを地曳網の記録像。
(1958年12月、F-705)

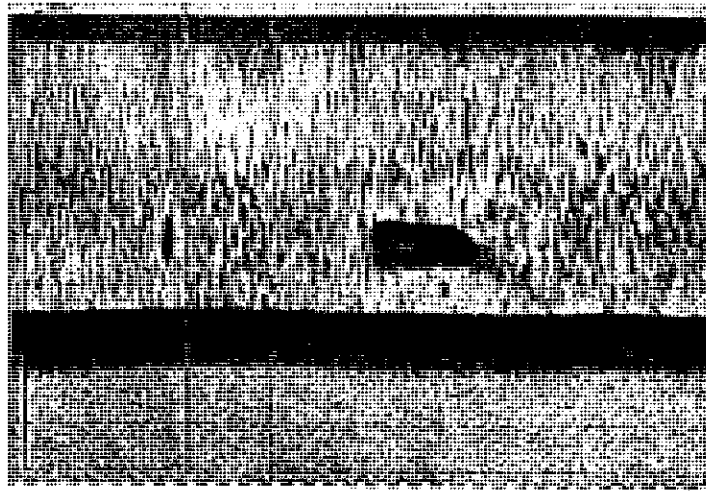


図7・3 北浦における帆曳網の記録像(1960年8月、
SD-1500)

この図で明らかなように船がゆっくり走ると魚は各個体に分解して記録されるが、早く走ると記録がくつついて雑音のように記録され、1個体ずつ計数することが出来なくなる。

いずれにせよ夜間どの深さを操業しているかを知る方法として魚探を役立てることができる。

4) 釣具の反射記録

音波の反射は水との密度差の大きいものほど強いので、釣糸の先につけた鉛玉はもちろん釣針なども強く反射する。魚の遊泳深度すなわち“たな”を探すと共に釣糸の先がどの深さまで沈んでいるかを知るためにも魚探を役立てることが出来る。従って海釣りなどで釣りの補助具として携帯用の小型魚探が開発されているが、日本ではあまり使われていない。しかしこの機械はまた湖底までの深さもたやすくわかるので便利である。

図7・4は十和田湖において行なわれているヒメマス釣りの仕掛けの記録で釣り糸の先に

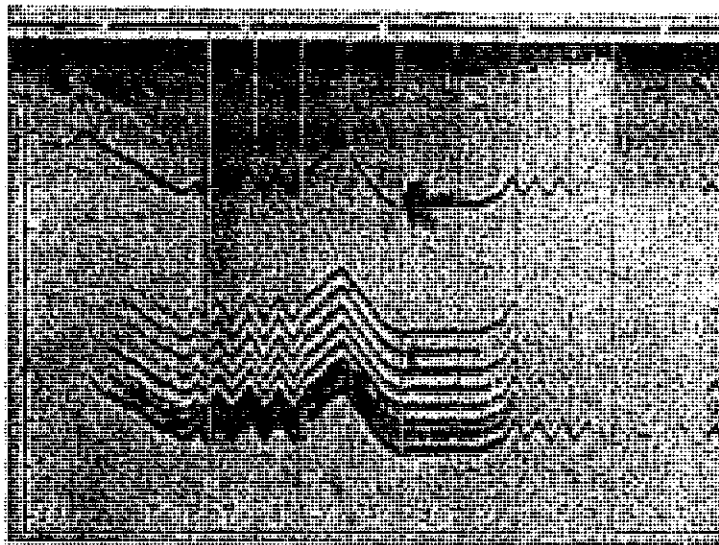


図7・4 十和田湖における釣り糸の記録像(1960年6月、NTLB-1500)

鉛のおもりをつけ、その上に3cm程のフナ2尾と3.5cmほどのスジエビ5尾を順次につけておとした時の記録である。40m以深でも感度1でスジエビがついている釣針を1つ1つ記録することができるが、この場合釣針が記録されたのかスジエビが記録されたのかは明らかでない。いずれにせよ記録に出る魚の遊泳層まで釣糸をおろしてヒメマスを沢山釣ったことがある。

将来は魚の遊泳深度すなわち“たな”を知るためのほかに、その深度や釣り糸がどこまでおりているかを知る道具としてこの種の魚探が広く普及するものと思われる。

5) 柴漬その他の反射像

柴漬、魚付林、築磯などの研究は従来もっぱら潜水によって調査が進められたが、最近では魚探によりそれらの埋没状態や、魚の集合状態などを調査することができるようになった。

湖沼ではあまり利用された例はないが、海洋では沈没船の位置や沈没状態などを調べた例がある。

7・2 観測器具の反射像

各種観測器具の水中における状態や、その動作状況を知っておくと観測操作のたすけになることがある。ここでは通常の観測器具の記録像を例示することとする。

1) 採水器の反射像

特に深水層に降ろした採水器が通常の通り作動したか、また風の吹いている湖上で垂直に降りているかなどが問題になることがあるがこのような時に魚探を併用すると便利なおことがある。

図7・5は藤原ダムにおける採水器の垂下、メッセンジャーの落下、採水器の作動、引上げの操作状況を記録したもので、採水器やメッセンジャーの沈下による泡沫の引込み状態や、メッセンジャーの落下によって採水器が作動し、附着していた泡沫が分離浮上している様子が明らかに記録されている

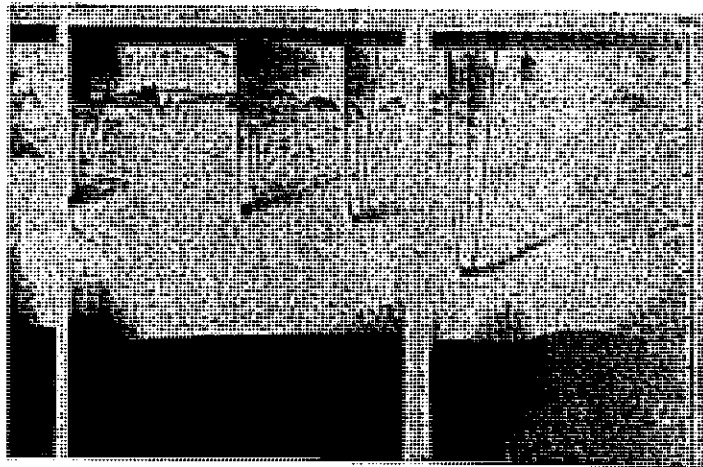


図7・5 藤原湖における採水器の操作記録(1960年9月、F701)

様子が明らかに記録されている。一般に魚探に記録される泡沫は後述するように、微少な泡沫で肉眼的に見えないものでも記録される。

なお上記採水器は丸川式であるが、ナンゼン式のような転倒式ではメッセンジャーの落下によって採水器が転倒して2つにわかれることは次項の定量プランクトンネットの記録と同様である。

2) プランクトンネットの記録像

図7・6は琵琶湖における定量プランクトンネットの操作状態を記録したものである。すなわち一定水深までネットを降してから5m引上げ、そこでメッセンジャーを落下する。前項と同様にメッセンジャーは15m近くまで気泡を引込んでいることがわかる。メッセンジャーが落ちるとプランクトンネットのかぎがはずれてネットは下に折れるので、かぎとネットが別々に記録されている。この図からメッセンジャーを落してからネットがうまく働いたかどうかを知ることができる。

なおこの図で表水層中の雲状の記録は *Bosmina*, *Cyclops* などのプランクトンがパッチを作っている事を示しており、均等分布はしていないことを明示している。このことはプランクトンのサンプリングの問題に関連して今後重要な問題となる。また阻層附近にはパッチをつくらない濃密なプランクトン層が見られる。これはおもに *Eudiaptomus* からなる動物プランクトンで、図11・2に示すように夕方になると上昇するのが普通である。

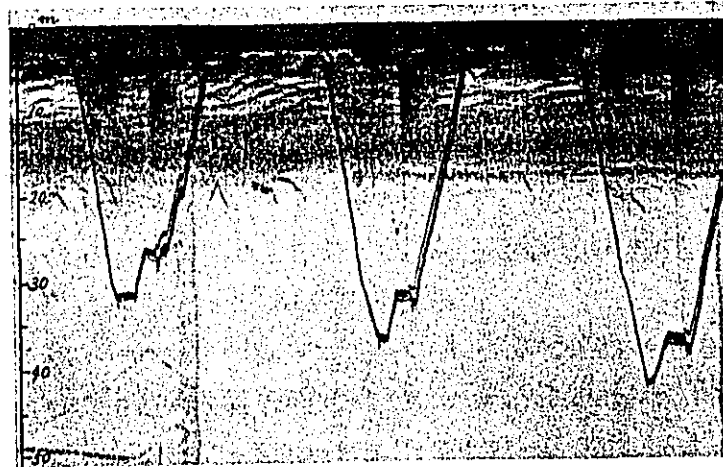


図7・6 琵琶湖におけるプランクトンネット操作の記録像
(1959年9月、F701)

3) 電気水温計エレメントの記録像

図7・7は十和田湖における電気水温計のエレメントの沈下状態で、湖底まで1 m毎に測

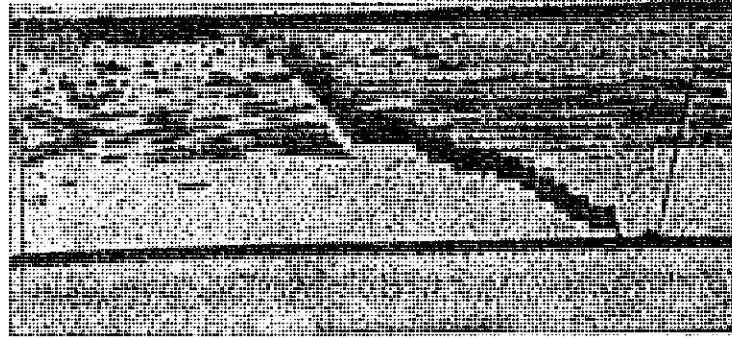


図7・7 十和田湖における電気水温計によるエレメントの垂下の記録像(1960年10月、NTLB-1500)

温した後引上げられる状態を示している。

この測温に魚探を併用することは、エレメントが垂直に降りているかどうか、またそれが湖底についたかどうかを知るのに好都合である。

4) 稚魚ネットの記録像

一般に稚魚ネットなどで深層を曳く場合にはオッターボードをつけたり、錘をつけたりするが錘をつけた場合は速度がますとローブに対する抵抗からネットが浮上する。図7・8は琵琶湖においてヒウオを採集するための親船から曳いている稚魚ネットに8kgの鉄鎖をつけて、親船の後にひいている曳船上の魚探で記録したもので、相対的な速度は魚体の記録の長さから推察される。すなわち最初は魚体の記録が長く船はほぼ停止していてネットは2.5 m近くにまで沈んでいるが、船速が大きくなると稚魚ネットは表層近くに浮上し、船速がややおそくなるとネットが8~10 m近くを走ることになる。琵琶湖のヒウオは8~10 m付近が最も密度が大きいので船速を加減して、その付近に稚魚ネットをもつていくと多く採捕される。

5) 振動子の垂下記録

一般に振動子は船底または船側に固定されていて、送信される音波が湖底または魚体に反射してかえって来る時間から、振動子と物体との距離を測定するようになっている。ここでは振動子自体を沈下してみると、図7・9上図のようになる。

すなわち振動子の下面が記録紙の発振線に記録されるので、見かけの上では湖底が浮き上っ

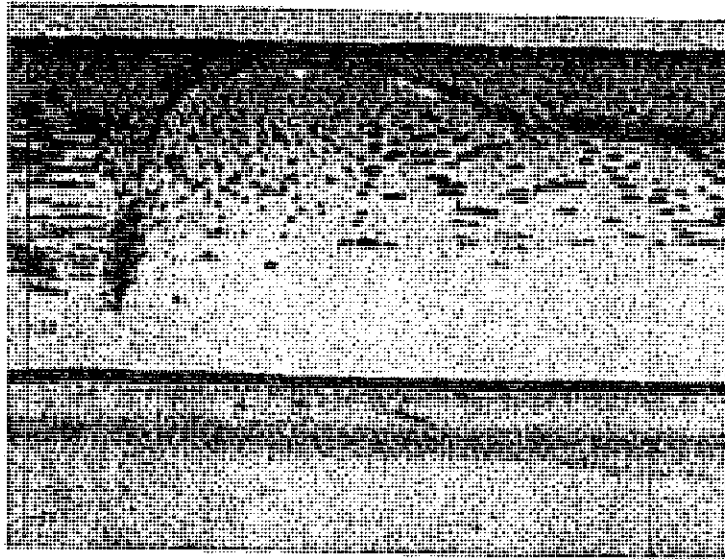


図7・8 琵琶湖における稚魚ネット曳航の記録像
(1960年9月、NTLB-1500)

て来るように記録される。これによって振動子直下の魚群が発振線直下に記録され、魚群密度は指向角や距離による減衰の差を考慮しないで、各層ごとの密度やプランクトンの分布状態を比較できる。すなわち図で中央の最も高い湖底は振動子を約12.5m沈めた時で、振動子直下にはわずかの魚影が見られるにすぎない。一方振動子を表層においた時の12.5mにはかなりの魚影が見られる。この点から振動子を沈めていくと、その直下の魚は多少とも逃避する傾向が見られるようで、図7・9下図は特に魚が活潑な時には5m上部に降りて来た振動子によって分散する魚群を示している。

7・3 沈下物の反射記録

1) 投石

図7・10は2、3の湖沼での投石試験の記録である。投石試験は魚探の感度をテストしたり、魚の反応を試験したりする場合に行なわれる。

上図は琵琶湖においていろいろな大きさの石を投下した場合の記録で、大きさに応じて記録の傾斜がちがひ、それから沈下速度が計算できる。またこの図には投石による泡沫の引込みも記録されている。

中図は芦ノ湖における投石試験で落下する石のため2、3の魚が逃避した事を示している。

下図は赤城大沼における結氷下のワカサギ魚群で、湖底近くに密集しており、つり糸をそ

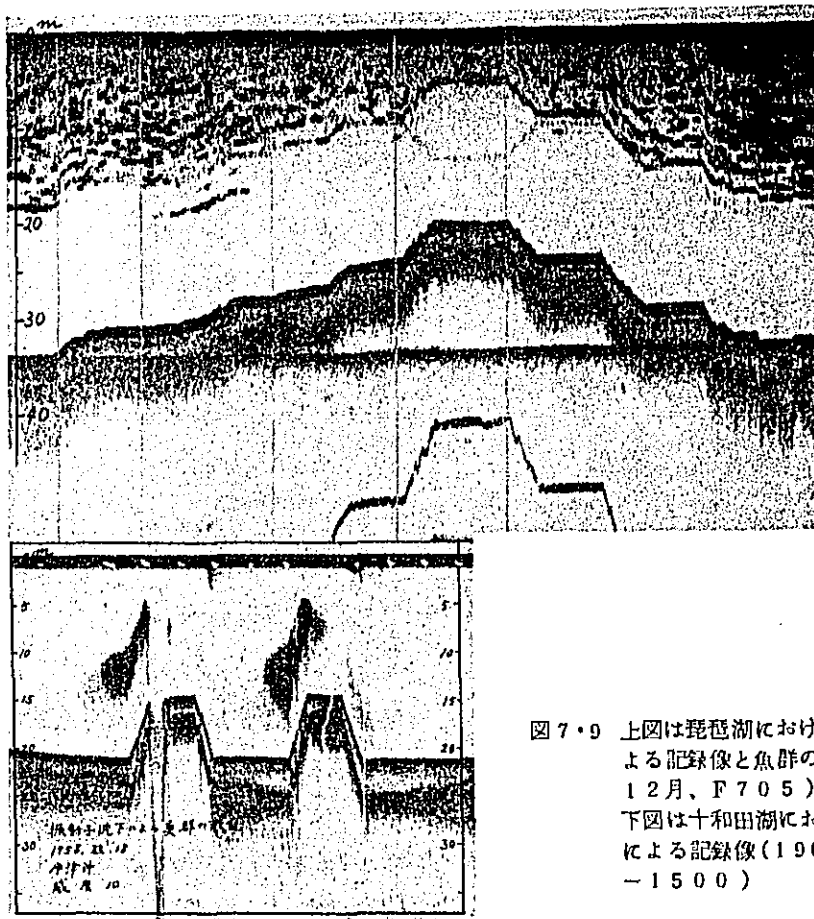


図 7・9 上図は琵琶湖における振動子の沈下による記録像と魚群の逃避(1958年12月、F705)
 下図は十和田湖における振動子の沈下による記録像(1960年9月、NTLB-1500)

ここまで下ろすとよくつれる。投石すると逃避状態が見られ、冬季結氷下でもかなり活潑であることが知られる。また左方の2、3の石は洗った石で右方のは砂泥のついたままの石であり、洗わない方は砂泥が逐次剝離して石よりおそい速度で落下して行くことを示している。

なお一定の大きさ以上の石では魚群は逃避するが、砂粒などを投入するとかえって集まることがあるので、これらの点を更に究明すると実験生態学的に貴重な資料が得られるものと思われる。

2) 塵芥

記録された影像が魚であるか、木の枝や塵芥であるかは、船が走っている時の記録から区別することはむずかしいが、船が停止すると塵芥は徐々に沈下して行くし、魚は同一水深を保っている事が多いので判別できる。図7・11は九州の諸塚湖の堰堤付近における塵芥の

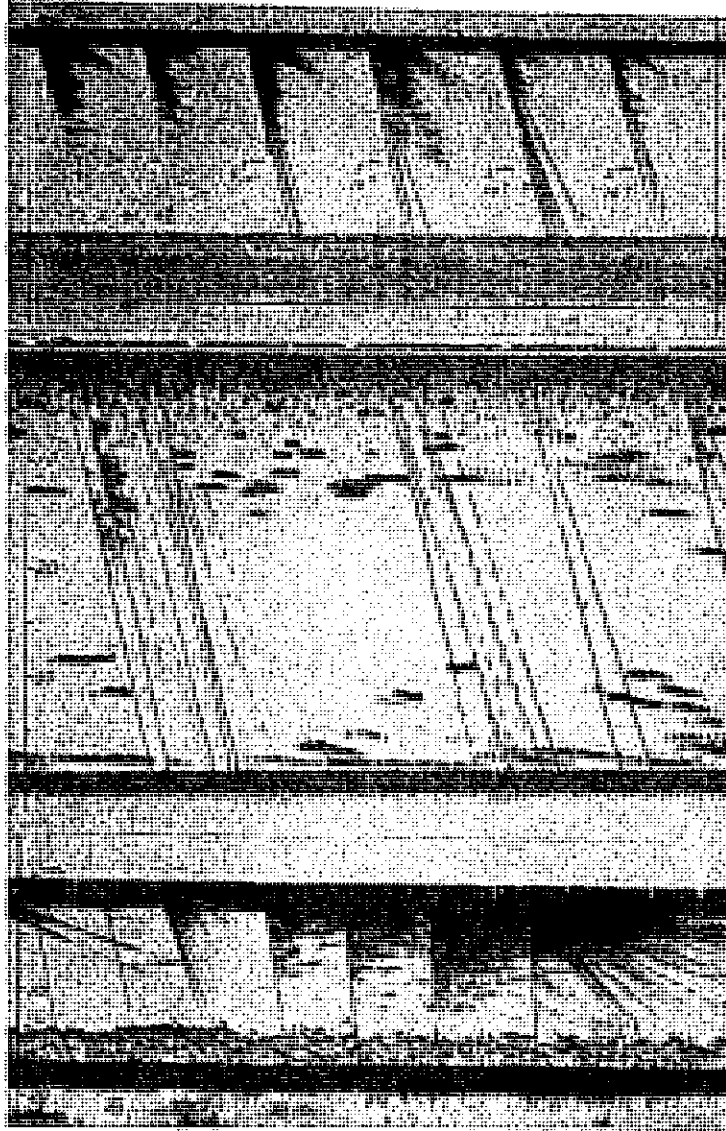


図7・10 上図は琵琶湖における投石試験の記録像(1958年12月、F705)
中図は芦ノ湖における投石試験と魚の逃避像(1960年9月、NTLB-1500)。
下図は赤城大沼における投石試験と湖底に越冬するワカサギ魚群の反応(1961年10月、F701)

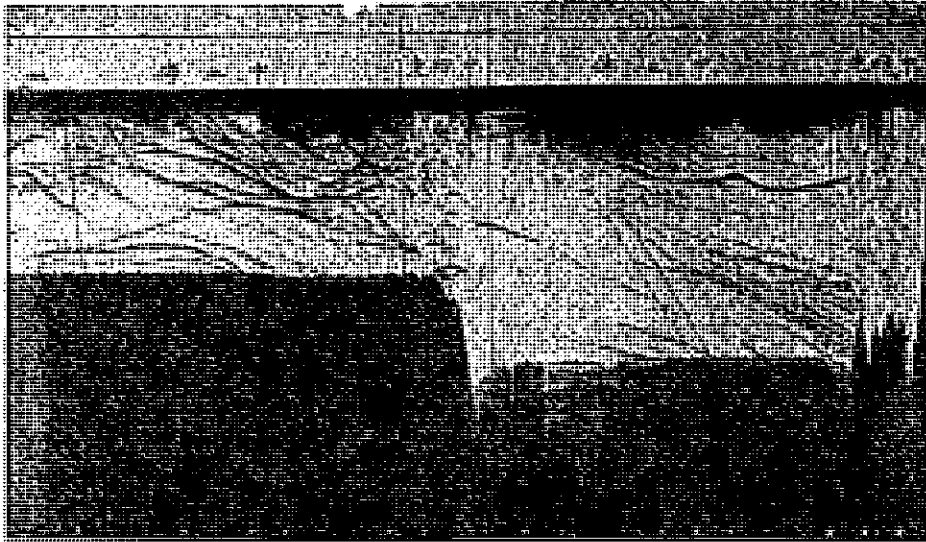


図 7・11 諸塚湖における沈下する塵芥の停止中及び走行中の記録像(1961年
6月、F-701)

沈下状態を、走向中と停止中とで比較したものである。図に見るように徐々に沈下する塵芥は船の走行中には魚体とあまりかわらない記録像となるので、塵芥であるか魚であるかを判別するには船速をゆるめまたは停止するよりほか方法がない。

このことは浮上するメタンガスと魚を判別する場合にも全く同様である。

第8章 各種反射記録の比較

魚探記録の解説はレントゲン像に似てかなりなれないとむずかしいといわれる。殊に水中の物体を実視できない現状では、一つの物体をいろいろな方法で記録してそれを比較検討することによつて実態の理解を早めるのが一つの方法である。

たとえば同一魚群をいろいろな周波数の魚探で写したり、同一周波数で航速をかえて記録したりして比較検討することがそれである。以下2、3の記録例を示すことにする。

8・1 航速の差による反射記録の比較

魚探の記録は船速によつてまた周波数によつてその様相が著しく異なってくる。したがつて記録の目的に合った周波数で適当な船速を選ぶ必要がある。

1) 周波数50KCの場合

図8・1は池田湖における夜間の記録で、左半分は徐行した場合、右半分は高速度での記録である。いずれもいわゆるコメット型の個体像で、群をつくっているものは認められないが、特に表水層の中の魚体は徐行した場合に明らかになり計数しやすくなるが、逆に高速度では計数されえない。一般に船速を早くすると単体像が重複するほか走航減衰によつて記録がうすくなり視みにくくなり、船速をおそくすると単体が1つ1つ数えられる場合が多い。

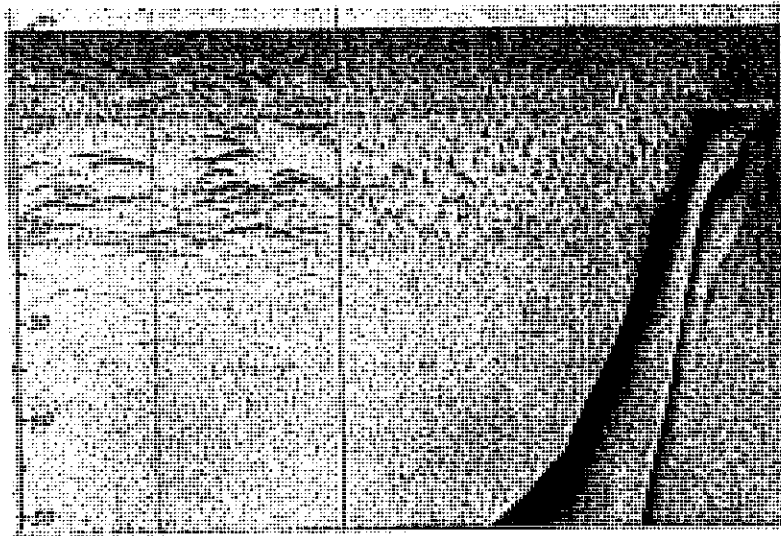


図8・1 池田湖における50KCによる夜間停止中(左図)と走行中(右図)の記録像の比較(1961年6月、F-701)

しかし密度が非常に小さくて、ごく稀にしか魚影が記録されない場合には適当に船速を大きくして広範囲を記録しなければならない。

なお従来海洋での記録は一般に速度が早すぎるため、雑音かプランクトンか魚の集合体か判別できない例が多く、こんな場合には船速をおとしてみる必要がある。

2) 周波数200KCの場合

200KCの場合は指向角が小さく、したがって単体像は特にこまかく映るので、速度を早くすると雑音と見分けがつかなくなる。

図8・2の上図は琵琶湖のヒウオを記録したもので、船を停止するとヒウオは各個体が写るが航行中は雑音とまちがいがやすい。図8・2下図は北浦のワカサギ魚群の夜間記録で、これも徐行すると魚であることがわかるが、船速を上げるとことこの場合パルス幅が長いので個体の解読もむずかしくなり、雑音と区別できなくなる。

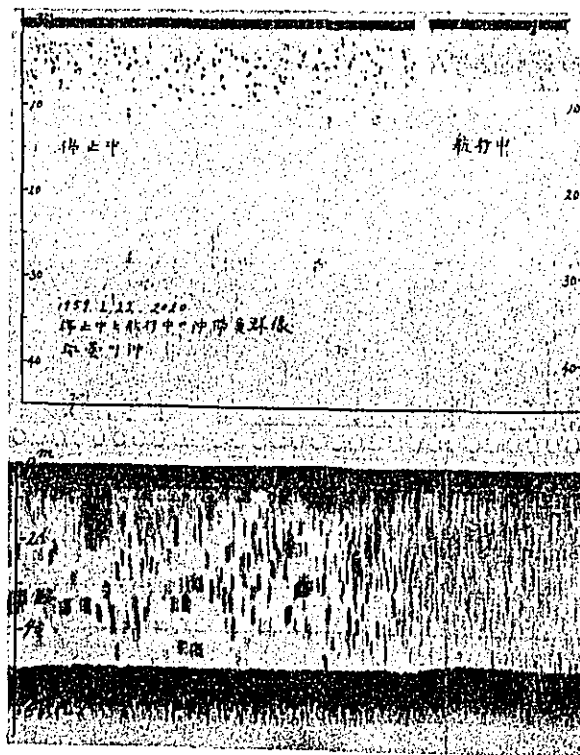


図8・2 上図は琵琶湖における200KCの停止中と走行中の記録像の比較。(1959年1月、F-705)
下図は北浦における船速の変化による記録像の変化。(1960年8月、SD-1500)

いずれにせよ200KCで魚体と雑音を区別するためにはなるべく船速をゆっくりした方がよいが、密度が小さい水体では指向角が小さいため魚が記録されないことがある。

なお雑音は感度を高めると出やすく、船速に関係なく同様な像を規則正しく記録することが多い。

8・2 垂直方向の伸縮 — 記録深度の切替え

魚探記録の水平方向の伸縮は航速を加減することによって行なわれるが、垂直方向の伸縮は記録深度の切替えによって行なわれる。

表層から深層までの概況などを知るには大縮尺のものがよく、湖底の起伏や表水層の詳細を知る場合には小縮尺のものが便利で、従来は深、中、浅の切替などによっていたが最近ではマルチペン式のものが開発されている。図8・3は前者の例で15cmの記録紙に各種の深度で記録してあるが、全層を記録すると表水層が濃くなるが深層までの魚の分布状態を知ることができる。



図8・3 十和田湖におけるNTLB-1500の深度切換による記録像。左図の左半分は深、右半分は中、右図の左半分は浅、右半分は中深度。(1960年10月)

また記録紙幅も75mm、100mm、150mm幅など各種があり、最近では200mm幅のものも見られるが、150mm幅の記録紙が最も普通である。すなわち150mm幅の記録紙に10mを記録するもの(0.66m/cm)のほか50m(3.33m/cm)、250m(16.6m/cm)、1,500m(100m/cm)など各縮尺のものがあり、相対的にはそれぞれ伸縮されて記録されることになる。

要は測定する深度に応じて適当な機種を使用することが望ましいが、淡水の魚族を記録するためには0～50mの測深範囲でたりることが多い。

8・3 周波数の差による反射記録の比較

1) 走航中の比較

図8・4は200KCと50KCとを同時に作動させ航行した時の記録を比較したもので200KC(上図)では半減角 3° で50KC(下図)は 24° となり後者は前者の8倍である。

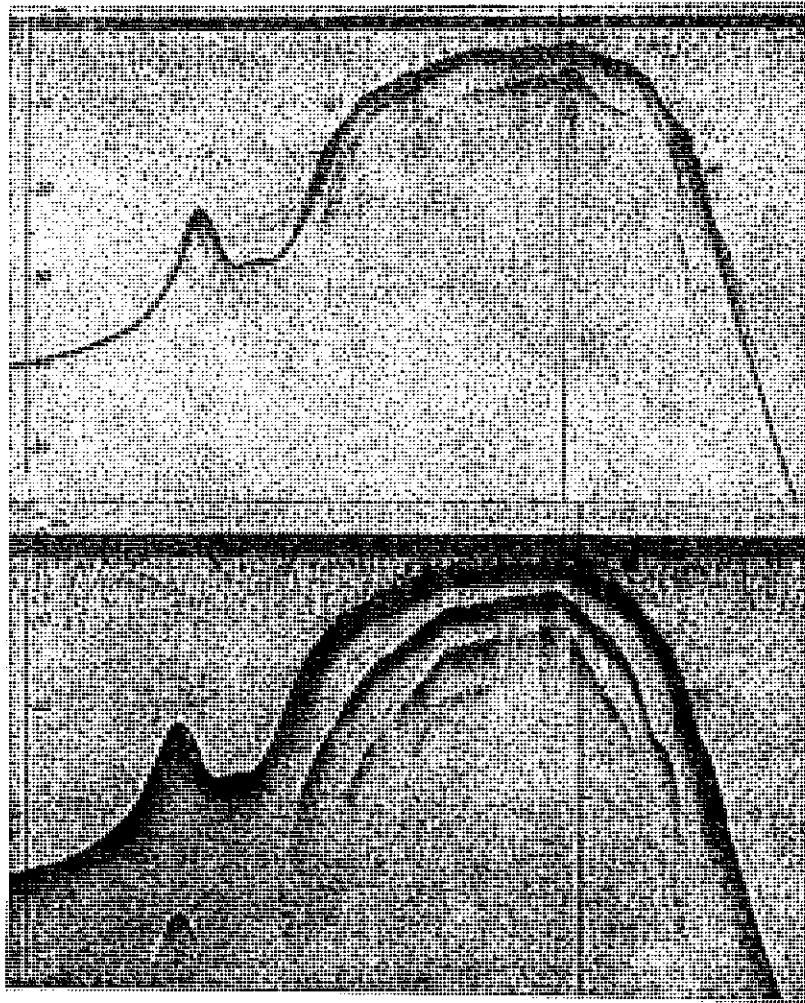


図8・4 池田湖における夜間のF705(200KC)とF701(50KC)による魚群同時記録(1959年6月)

全体として指向角の狭い200KCよりも、指向角の大きい50KCの方が魚群の密度が大きい感じをうけるが、指向角が 3° と 24° ではもし記録能力が同じとすれば64倍の面積を記録していることを考慮にいれなければならない。また50KCでは魚の個体が山型からコメット型となり、20mほどの下層になると全体がぼやけて記録される。これに反し200KCでは深度が深くなっても魚はコメット型にならないが、指向角が狭いのでその利得は大きく、明瞭に記録されている。

これらの点は機種選定に際しての最も重要なポイントである。

2) 200KCと50KCの停止中または徐行記録の比較

図8・5は走航中(左図)と停船中(右図)の表層及び湖底の魚体の記録である。

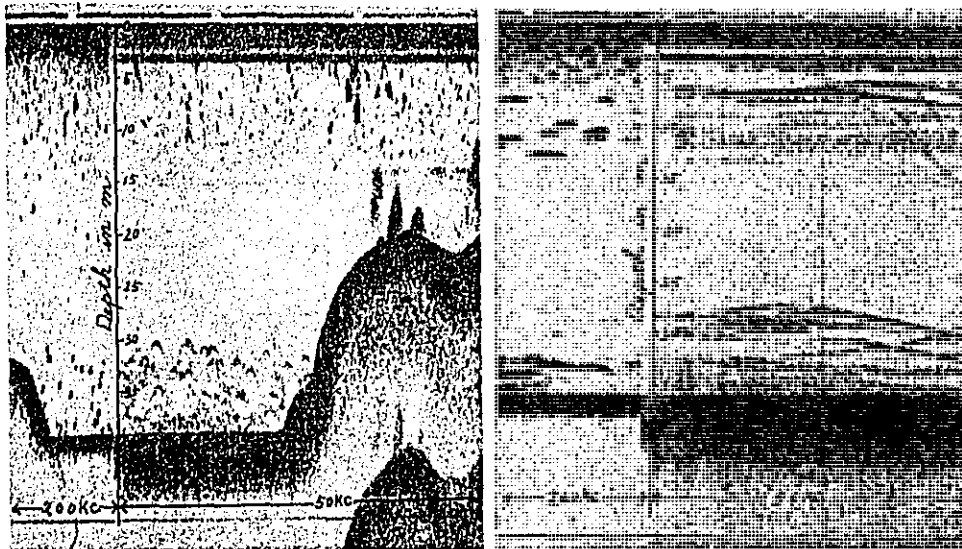


図8・5 芦ノ湖における航行中(左図)と停船時(右図)における200KC(各図左部分)と50KC(各図右部分)の比較記録(1960年9月、NTLB-1500)

左図の200KCと50KCを比較して見ると、200KCと50KCを比較して見ると、200KCでは明らかな点として数えられるが、50KCでは表層魚も底層魚もコメット型をなし、特に底層魚は典型的である。また右図は停船中とはいえ船は風で多少流されるので、半減角の狭い200KCではすぐ指向角外にはずれるが50KCでは長い間指向角内にある。また角度が前者は小さく後者が大きいので記録されている魚体数は前者は後者より少なく記録されている。また湖底の反射も前者は後者より幅広く記録される。

3) 湖底像の比較

図8・6は複雑な湖底の記録で、上図は200KCによるもの、下図は50KCによるものである。概況は同じでも細部についてはかなり異なっている。200KCでは偽底の中にも真の湖底が記録され、なれば正確な湖底や深度を知ることができる。これに反し下図の

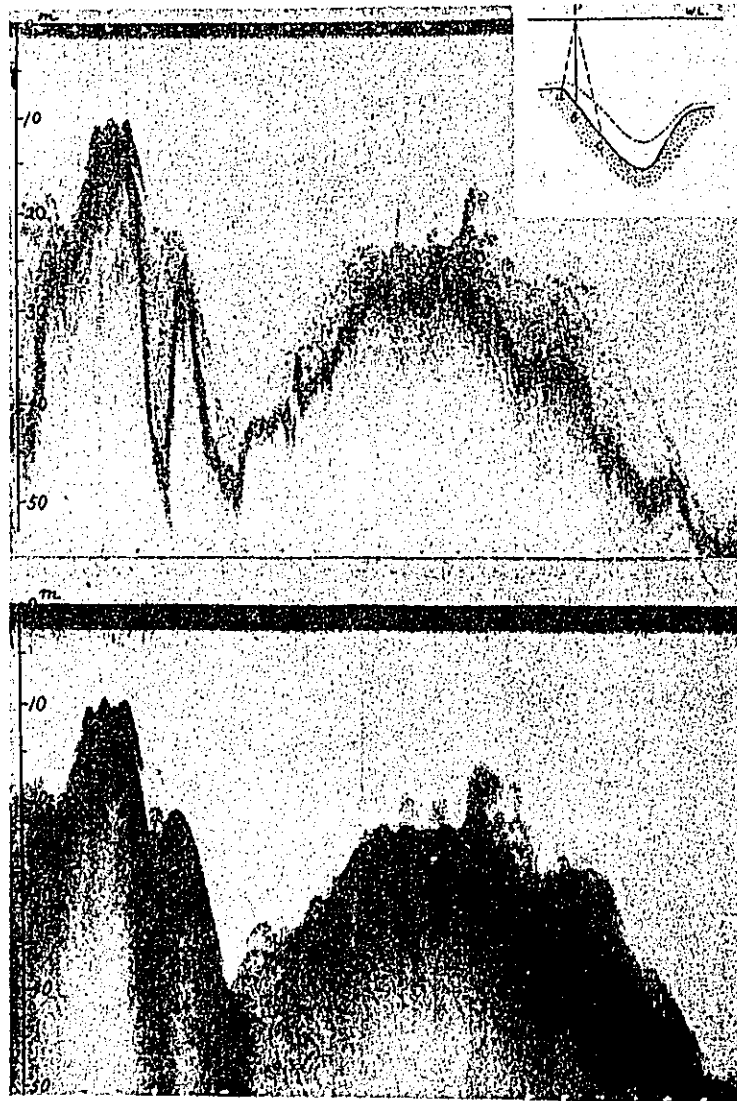


図8・6 池田湖におけるF705(200KC)
とF701(50KC)による地形の同
時記録(1959年6月)

50KCでは指向角が大きいため広範囲からの反射によって記録は更に複雑となり、真の湖底は全くわからない。このように複雑な湖底では50KCよりも指向性の鋭い200KCがより正確な湖底像を得ることが出来るので、測深機として利用される。

なおこれら偽底の生ずる理由は、図8・6の投入図に示すようにP点に船が来た時その真下のb点までが真の深さであるが指向角が角 $\alpha p c$ であるため、Pbより近いPaのa点が底として記録され、b点はその湖底記録の中に重複し、Paが見かけの深さとなって記録される。図8・6のうすい湖底像はこのようにして記録されたもので、真の深さは最も反射の強い部分である。

第9章 湖底に関する反射記録とその解析

陸上の地形は実際に見ることができ、それによって地質の推定も可能であるが、湖中の地形地物は従来の錘測法では能率的でなく、そのため湖盆形態から見た地形地質または地史の研究は陸上のそれに比して著しくおくれしている。

ことに海底地形の音響測深機による測量は従来の錘測に比して極めて能率的であるため、Svedrup (1942) の例示をまつまでもなく、本邦でも各方面にわたっての検討が行なわれ(橋本ほか、1954・1955・その他)、海洋地形の調査に活用されつつある。更にそれら地形から地質地史の研究が行なわれたり、干拓地の測量など実際面にも使われている。一方漁業方面への利用として定置網漁場における魚道を推定するための測量(川田ほか、1958)や魚礁調査(川田ほか、1953)、築碇の形状調査(川田 1954)などにも活用され、海洋においては測深機としても広く活用されるに至った。

一方人工湖や湖沼においても秋元ほか(1950)が相模湖で測深精度についての検討を行ったのをはじめとして湖盆の測量にも使用され(川田ほか、1952)、現在では大きな人工湖においては堆砂状態の調査のため音響測深機がその管理所に供えつけてある所が多いが、必ずしも活用されているとはいえない。

また天然湖沼についても最近10年間に地理調査院により琵琶湖・十和田湖などをはじめ本邦の主要湖沼の詳細な湖盆形態が音響測深機によって測量され、湖盆形態に関する知見は大いに増しつつある。

また地形のみならず地質的な面も本格的には強力な超音波を発振するスーパーカーやコーアサンブラーによらねばならないが、概況は魚探や測深機でも知ることができる。

以下それについて2、3の例を示す。

9・1 湖底地形の反射記録

1) 湖盆形態

湖底の深さを錘測によって調べていた時代には陥没湖や火口湖の複雑な湖盆の詳細はなかなか判明しなかったが、指向角の狭い魚探または測深機を用いると少なくとも航跡下の深度変化はくわしく判明するので、従来よりはるかに細かい起伏がわかるようになった。

たとえば琵琶湖では測深機による測量の結果細部の地形が判明し、それによって湖底の地史に関する知見が急速に進展しつつある(小谷、1957)。また人工湖や火口湖などの複雑な湖底を調査するには特に魚探が便利で、池田湖、田沢湖、十和田湖などの湖盆形態は魚探

によって従来と異なった新しい知見をましてきた。筆者も日光湯の湖で後述のように320点余りを数日ばかりで錘測によって得た結果と、2時間ばかりで魚探によって得た結果とが殆んど同じ結果を得たことがある。また鹿児島県の鯉池でその水容積を算出するための基礎的資料を数人で1週間かかかって錘測しようとしたのを手伝って数時間で実測したことがある。ただし魚探によって湖盆形態を調べる場合には三角測量の要領で舟の位置を確認する方法をとり、また偽底と真の湖底との誤脱をさけるなどの注意が必要で、機械も測深専門の200KCなど指向角の狭い高周波の測深機が望ましい。ただし測深機の多くは多重記録式になっていて、かつ反復反射が記録されることがあり、真の湖底のほかにも2重3重の反射が記録されて、記録をきわめて見にくいものになることがある(図9・1)。また音波の速度は前述のように水の密度、従って塩分濃度や水温によってちがってくるので、正確な測深を行なうためにはこれから塩分や水温に対する補正を必要とする。また簡単な方法としては図5・3に示したような実際深度と機械の示す深度とを対比して補正表か補正図をつくっておけば便利である。しかし時期がちがえば水温がちがえばパーチェックもやりなおす必要があるので、根本的には補正式によらねばならない。

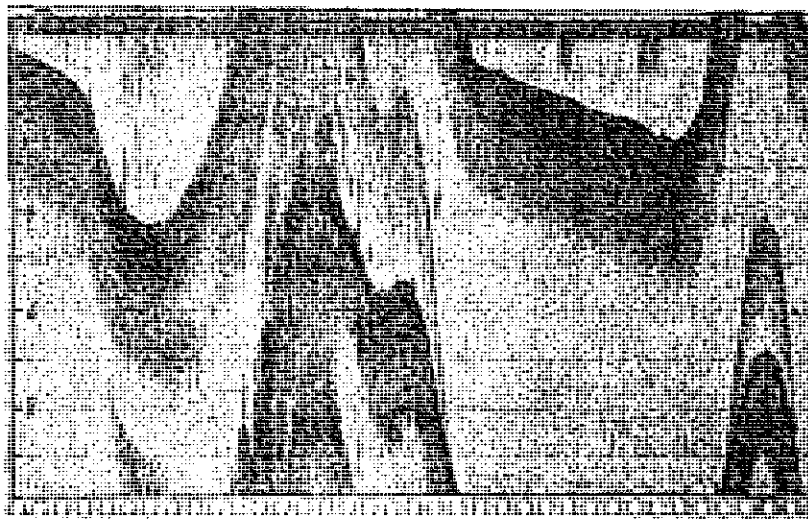


図9・1 湯ノ湖における極浅海用多重発射式魚探の記録像
(1965年10月、SD-1500)

2) ガス穴(釜穴)の反射記録

諏訪湖の湖底からは至る所メタンガスが発生しているので、これを採集して燃料とするた

めの会社が出来ている。メタンガスの噴出箇所は釜穴またはガス穴と呼ばれ、冬季にも結氷せず、スケートのシーズンには危険か所として赤旗が立てられる。

さてこのガス穴すなわちメタンガスの噴出口はかって田中(1918)によりその構造を想定されたことがあるが、魚探によると図9・2のように湖底平原よりも1mまたはそれ以上も陥没し、その中心からメタンガスが噴出していることがわかった。



図9・2 諏訪湖の釜穴の構造。湖底平原より1m以上も深く掘れ、そこからメタンガスが発生している。(1968年4月、SD-1500)

メタンガスは微細なものでも魚探によって記録できるので湖面全体をこの様な方法で調査することにより、メタンガスの発生状況の分布図ができ、湖底の解析に一つの資料を与えるものと思われる。

3) 埋没林の状態

図9・3は桧原湖の湖底に見られる埋没林で、桧原湖は1888年に盤梯山の噴火によってできた湖水で、当時の山林がそのまま湖底に現存している事を示す。このような調査を湖全面にわたって進めると、盤梯山の噴火によつてできた桧原湖付近の当時の樹林の分布を知ることができる。またその上図は昼間、下図は夜間の記録で、夜間は樹林の中から浮上した多くの魚族が記録されており、この埋没林が天然の絶好な魚付林となっていることがわかる。

芦ノ湖の名所「さかさ杉」も同様な由来で、同湖ができた時に埋没した樹林であるといわれ、さかさ杉は1本のみでないことが判明した。

9・2 湖底地質の反射記録

海洋における魚群の探知はまず瀬や礁の発見にはじまる。すなわち海底地形とその反射状態から底質を推定し、海流の変化や餌料の分布を通じて魚群の集合水域を知り、好漁場選定の基

準とすることができる。湖沼においてもこの点はわかりなく、魚探によって岩盤、砂礫、泥質などの分布状態をたやすく知ることができるが、これと魚族の関連についてはほとんどわかっておらず、今後の研究にまつものが多い。

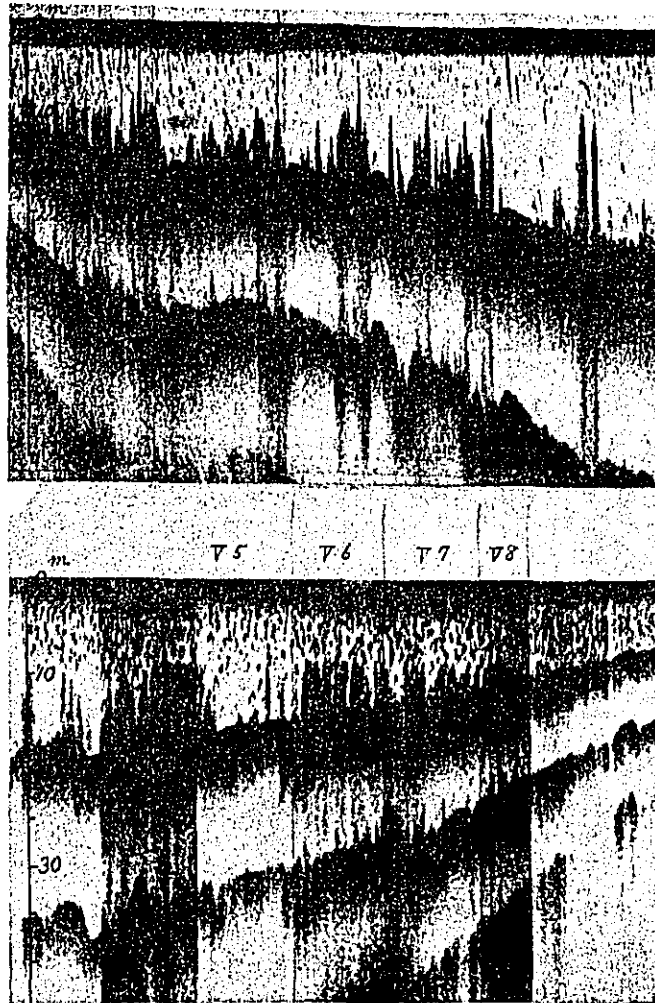


図9・3 榎原湖における湖底の埋没林の記録像。
(1961年9月、F701)

1) 砂礫および泥土の分布

湖底が砂や岩などの反射しやすい底質であれば、反射が強いため反復反射し、泥などであれば、音を吸収して反射は弱い。図9・4は砂質と泥質の湖底の境界付近を記録したもので右側半分は湖流が大きいため泥がたまらず砂質のため反射が強くと2重反射が見られるが、左

側は泥質で音波を吸収しているので2重反射がない。図の上図には魚族が砂質と泥質の境界付近に群をなしている様子が記録されている。

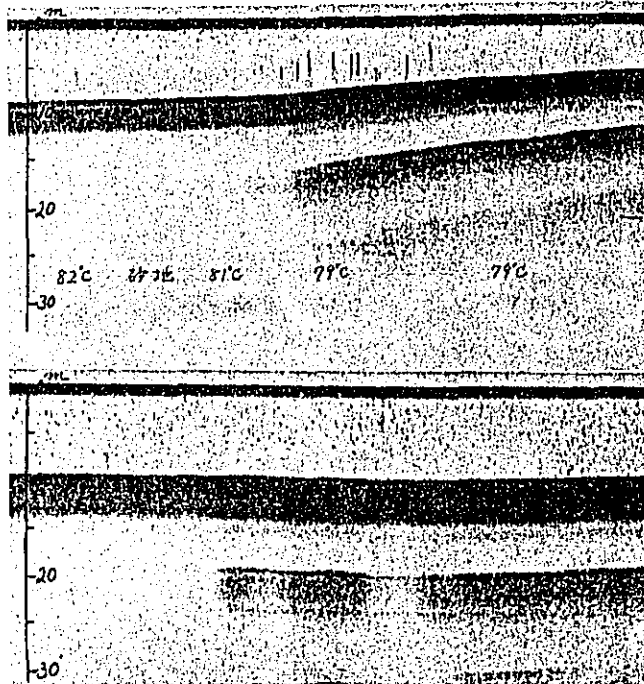


図9・4 琵琶湖における砂地と泥地の湖底の記録像。
(1959年2月、F705)

2) 岩盤

海洋においては岩盤は瀬、礁または根と称して漁場探知のよりどころとなっている。一方湖沼においても湖底の凸出部が多くは岩盤であることは魚探による反射の強さを見るとより明らかで、図9・5のように岩盤のある場合は反射が強く、第2・第3の反復像が記録される。また図のように夜間は突出部が特に魚族のよりどころにはならないようである。

湖底に突出している岩盤はその地形からでも判別できるが、泥の中に埋もれている岩は湖底地形からはわからない。魚探はその場合にも岩盤の所在を明らかにする。図9・6の例は地形的には大きな変化がないが、岩盤の部分だけ反射が強いことから埋没岩を判別することができることを示している。図9・7は十和田湖の湖底記録で反射の強い部分を消去した記録であるが、平坦な湖底とは異なり、複雑な反射像を示している。これは湖底が軟らかい岩盤からなり立っている場合の記録で、部分により音の吸収が異なっていることを示している。

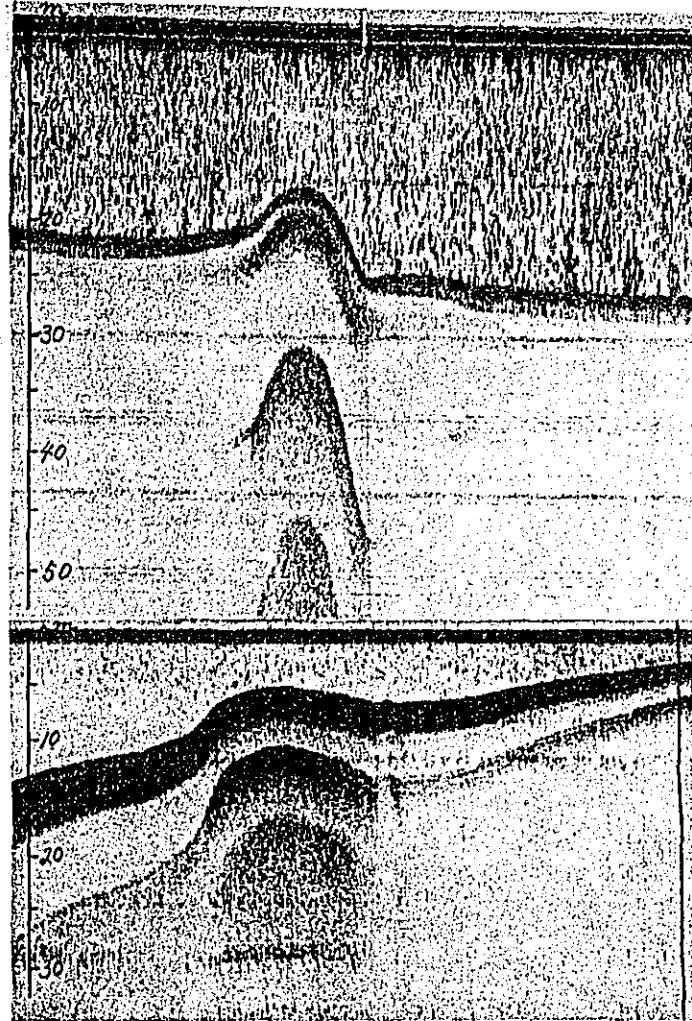


図 9・5 上図は小河原沼における岩盤湖底の記録像
 (1960年10月、NTLB-1500)
 下図は琵琶湖における岩盤湖底の記録像
 (1959年2月、F705)

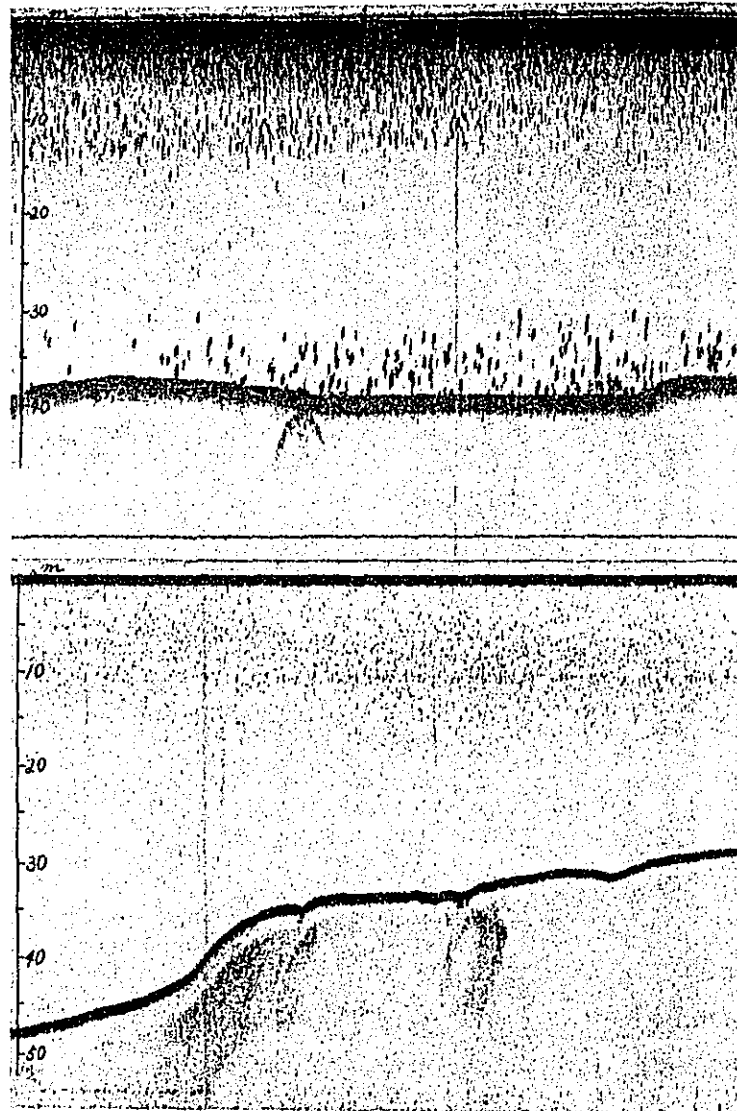


図9・6 上図は芦ノ湖における湖底の埋没岩（1960年
9月、NTLB-1500）
下図は琵琶湖における湖底の埋没岩（1959年
2月、F705）

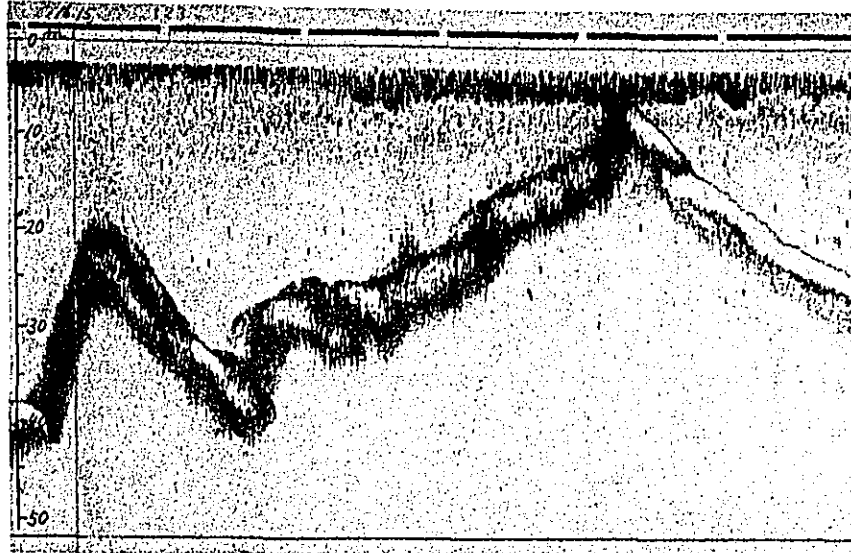


図9・7 十和田湖における軟い岩盤の湖底像(1960年7月
NTLB-1500)

3) 湖成鉄

従来琵琶湖には湖成鉄といわれるものが湖底の2地点から産出することが知られており、珍しいものとされていたがこれは酸化鉄の沈着したもので、その反射が強いため魚探によってたやすくその所在がたしかめられ、琵琶湖の周辺一円の湖棚の落ち込みの部分に成生していることが知られた。図9・8はその1例で特に強い反射像が湖棚の落ち込み付近すなわち図の左すみに記録されている。図9・6下図もその1例と思われる。しかしその成因については未だ明らかでない。

4) 湖底堆積物

琵琶湖はその成生が古く、湖底平原には8m近くの堆積物が見られるが、それも場所によって厚さが異なる。これを個々にボーリングしてたしかめることは不可能に近いが、魚探によるとほぼその厚さや分布状態などを知ることができる。図9・9上図はその例で10m近くの堆積物のほか、竹生島の根が湖底平原より10数mも深く掘り下げられている状況を示す。小谷(1957)によるとこの地形は潮流による穿堀で、竹生島のほか沖の白石・葛生崎・塩津湾沿岸など各地に散見される。なお図から堆積物が2重・3重の構造をなしていることも知られる。また下図は芦ノ湖の湖底堆積物を示し、凹地に特に堆積物が多いことを示している。一般にこれらは感度をしぼらないと記録されないので、魚群と同時に記録する

することはむずかしい。またこのような湖底堆積物はいつれの湖沼でも見られるものでなく、今まで日本で最も古い琵琶湖の大規模な堆積のほか、芦ノ湖・檜原湖など最も新しい湖沼で発見されていることは興味があるが、今後の調査によって更に事例も増すことができよう。

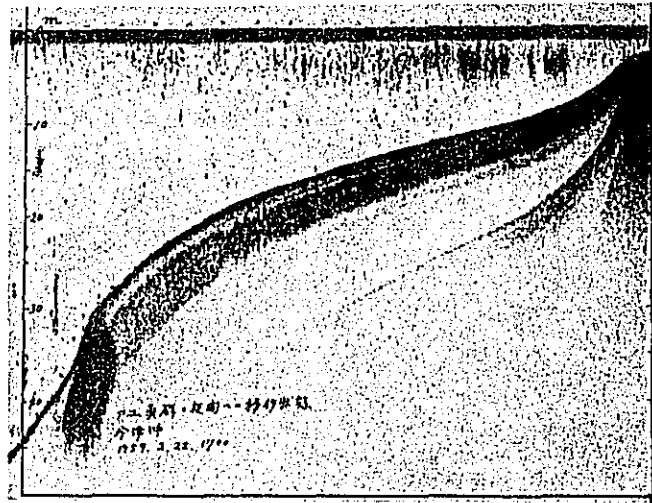


図9・8 琵琶湖の湖棚下端における湖成鉄の記録像
(1959年11月、F705)

6) 人工湖の堆砂測量

最近人工湖などで年々の土砂の堆積量を測量するのに、従来用いられていた錘測法にかわって測深機が活用されるようになった。しかし高価な機種を購入して使ってみたが、どれが本当の湖底であるかわからないとして倉庫のすみに放置してあるダム管理所も数か所見かけたことがある。実際に用いるとダムや激しい凹凸のために偽層が記録されやすいため、相当に経験を経ないと誤読する危険があるが、慣れると労力の点から見て極めて便利な機械である。

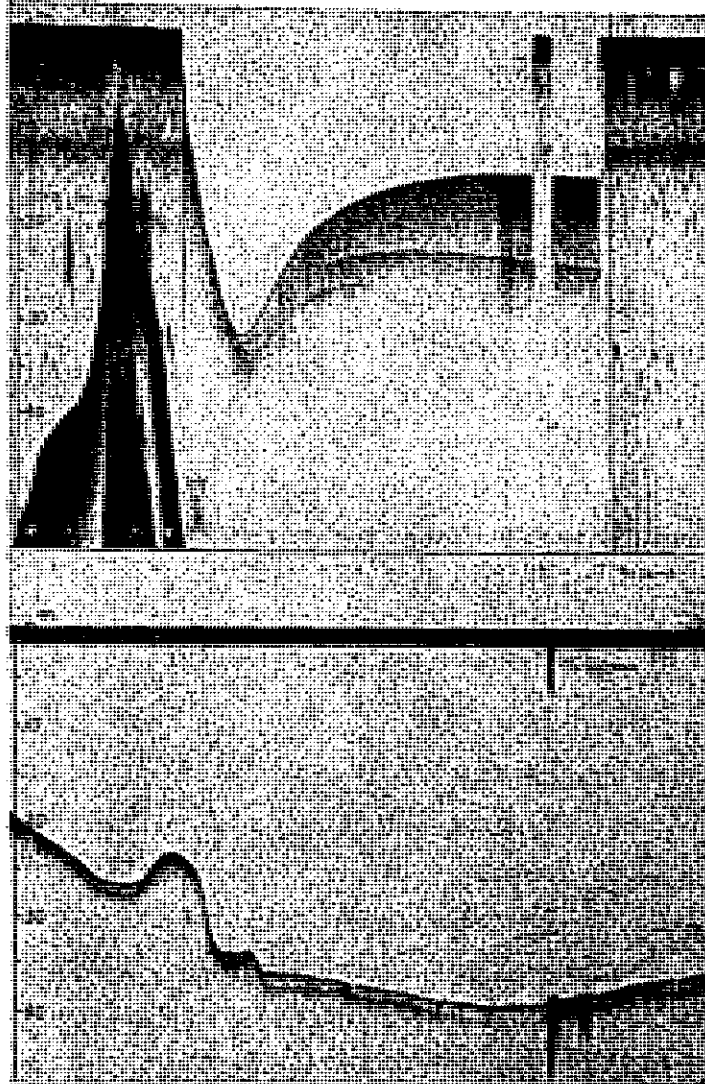


図9・9 上図は琵琶湖竹生島付近の湖底の記録像
(1959年11月、F705)
下図は芦ノ湖における湖底の堆積物の記
録像(1960年9月、NTLB-1500)。

第10章 水理に関する反射記録とその解析

一般に水中の水理的現象、たとえば水温の変化や流れは肉眼的に見ることがむずかしく、これが観測には特殊な機器を必要とする。しかしこれらの機器による計測でも1点または1線の観測はできても、広い面積にわたっての概況を知るためには大きな労力を要する。

音波が反射するのは密度差によるので、水温のちがった水塊の流入など、水温差の大きい水塊の境界があると音波が反射して記録される。水塊のいずれかにけん濁物や、多量のプランクトンなどが含まれている場合にも間接的にそれらの境界を知ることができよう。

魚探によって水温躍層や湖流が直接的または間接的にわかるとすれば、ただ船を走らすだけで躍層の水平分布など広範囲の調査がたやすくできる。

またメタンガスや空気の混入は水との密度差が大きいので最も明瞭に記録され、空中よりの泡沫の混入、湖底よりのメタンガスの湧出、更に魚の排出気体など従来の技法では調査もむずかしく、従ってあまり知られていない事象もたやすく知ることができる。

これらの諸現象は陸水学的に見てもいろいろ興味のある問題を提示する。いまその2、3を例示しよう。

10・1 水温躍層の反射記録

一般湖沼や人工湖では夏季には水温躍層が発達し、従つてプランクトンや魚が特異な分布をなすので、それから逆に水温躍層を推定することができる。図10・1はその例で、上図では水温の変化の大きいいわゆる躍層中には魚もプランクトンも少なく、その真上にプランクトンと温水性魚族が、その下に冷水性魚族が密集していることを示す。なおこの図は躍層真上に密集しているプランクトンが、部分により集合層の厚さが著しくちがっていることを示している。また表水層にはプランクトンによる強い反射があるが、深水層ではこれがない。中図は十和田湖の入江の例で境界がきわめて明瞭で顕著な水温躍層が発達していることを示しているが、下図は北海道支笏湖の例で波の荒い本湖の水温躍層は2次躍層、3次躍層などきわめて複雑な構造を示している。一般に静かな湖水や副湖盆などは単純な水温躍層を示すが、風当りの強い湖水や湖岸付近、更に台風のとなどにも躍層の構造は複雑になっている。

また水温躍層の出来はじめは水塊の流動がたやすく、従って躍層の構造は複雑であるが季節が進むにつれて明瞭にかつ安定して来る(図10・1中)。

また卓越した季節風により一定の吹走流がある湖沼では、風上と風下で水温躍層が著しくちがうことがある。

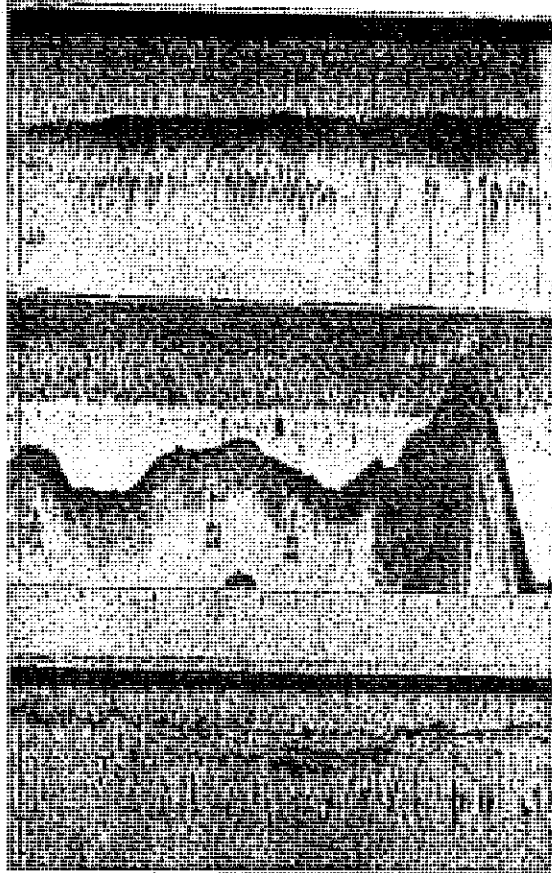


図10・1 上図は琵琶湖における動物プランクトン躍層と魚群遊泳層の関係(1959年8月、F701)
 中図は十和田湖における表層魚群(ヨシノボリ)と深層魚群(ヒメマス)の整一な分布状態(1960年10月、NTLB1500)
 下図は支笏湖における複雑な躍層構造と魚群の分布状態(1963年8月、F701)

すなわち従来陸水学的には水温の垂直分布は一湖沼内の地域によりあまり差がないとされ、湖心がそれを代表していると考えられてきたが、このように広範囲な水面を短時間に調査してみると、水域によってかなり躍層の構造や深度が異なることが明らかとなり、これらの点から湖水の流動を推定する資料も得られるようになった。

なお冬季には水温も垂直的に著しい差異が見られず、プランクトンも減少しかつ沈下分散するので、反射記録から水温分布を知ることはむずかしいが、魚類の垂直分布などから水温分布を伺い知る資料は得られる(図10・5上、図11・12)。

10・2 波浪の反射記録

記録紙の発振線付近は平穏な日にはきれいであるが、波浪の高い時には波頭が碎けて水中に分散しているため、かなり深くまで泡沫の反射が記録される。図10・2は小河原沼における

例で、上図は夜間平穏な時の記録を示し、特に表面発振線付近は比較的きれいである。同じ場所を台風時に調査した結果が下図で表面から10 m以深まで波浪の記録が見られる。なお上図は夜間像で魚族が浮上分散しているのに対し、下図は昼間像で魚は成群して湖底に生息している。また波浪による船の動揺で振動子と湖底との距離が伸縮し記録紙上に湖底が波状に記録されている。

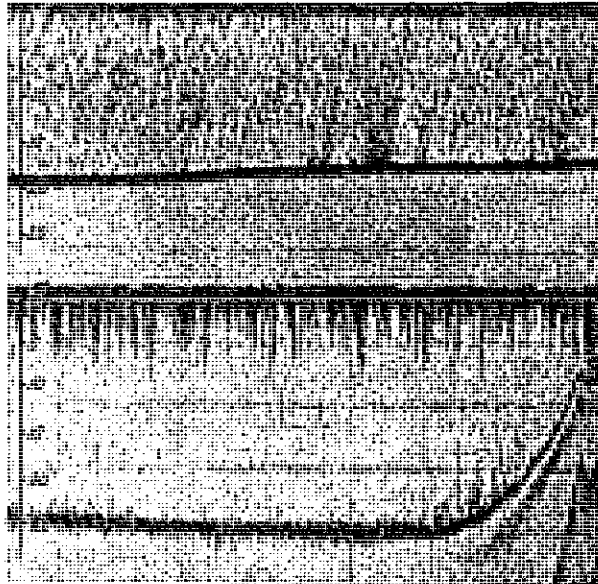


図 10・2 小河原沼における晴天時（上図）と荒天時（下図）の表層の波立ち状態の記録像（1960年10月、N'TLB-1500）

10・3 異質の水の流入記録

1) 河川水の流入

河川の水が湖水や海に流入する際にその分散状態や流入深度は塩分や水温を観測し、また投入した染料や塩分の分散によって知ることができるが、これを調査することはかなり困難なことである。河川水が濁水であったり、泡沫を含んでいる場合にはその水塊の反射が強いため、湖水を区別できその分散状態を魚探で追跡することができる。河川水に泡沫剤や銀粉など反射しやすい物質を混入すれば更にたやすくその分散状態を追跡することができよう。

2) 発電揚水の分散

いったんダムから放流した水を揚水してダムに入れ、それを再び発電に使い、いわゆる揚

水発電が今後かなり広く行なわれる情勢にある。この際揚水した水が取水口から出てダムのどの深さにどのように拡散して行くかを知ることは発電の面よりも、水産にとつて重要な問題である。福島県の宮下湖の濁水が沼沢沼に揚水された場合どのように分散をするかを魚探によって調査したことがあり、濁水は比重の関係で水温のほぼ等しい水温躍層下にまで上昇して拡散していることがわかつた(白石・古田、1963)。

10・4 航跡の反射記録

河川水の流入や波浪によって水が攪拌され、その反射が記録されるのと同様に、船の後に残された航跡も当然記録される。図10・3はその一例である。この反射が水の攪拌による密度差によるか、水中に混入された空気の泡沫によるのかは明らかでないが、いずれにせよ航跡における水塊の攪乱がどの位の深さにまで達するか一目でわかる。

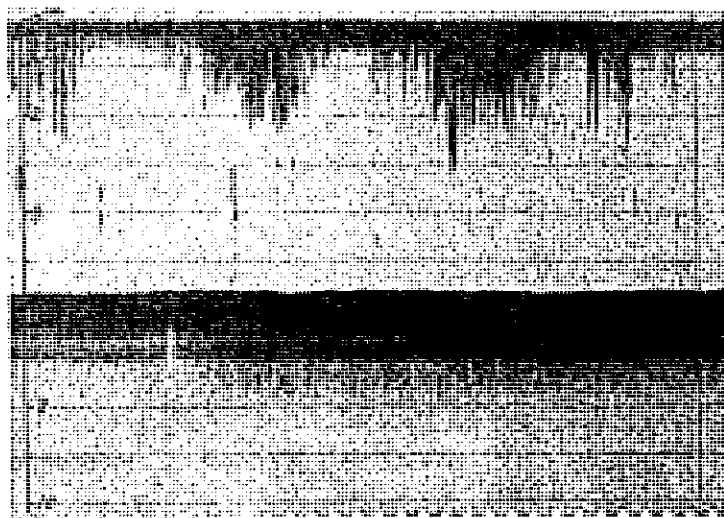


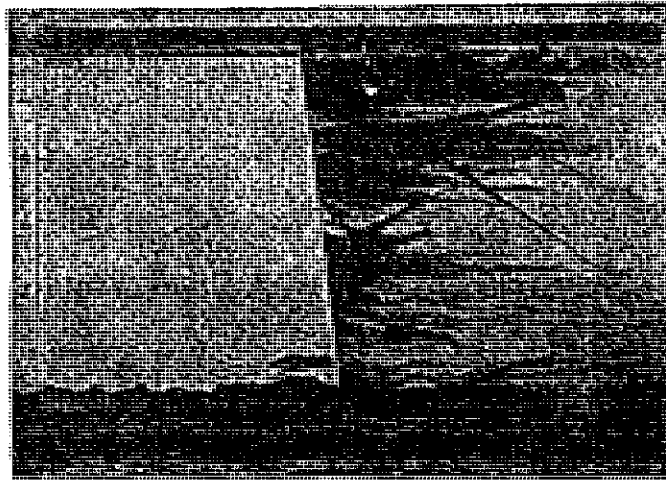
図10・3 霞ガ浦における航跡の記録像(1960年3月、SD-1500)

10・5 水塊の攪拌の反射記録

図10・4は湯の湖の結氷下によく洗つた石を投入した時の記録で、石の面に付着している泥や砂は殆んどないのに、湖底平原に落ちるまで反射記録を生じている。これは石の落下によつて水を攪拌し、それによつて部分的に密度差が生じ、反射記録となつたものと考えられる。なおこの時の水温は水の下1mより底層までほぼ4℃である。また落下時に小さい砂が1~2粒落ち、中層で気泡が剝離して浮上し、湖底に落ちるとメタンガスが浮上したことを記録して

いる。また記録では湖底にいた魚が石の落下によって逃避したことも伺える。

このように水塊が攪拌によって記録されることは、航跡や流入河川水がよく記録されることも、また図12・11のように浮上をはじめ魚の遊泳運動が記録されることも同様の現象と思われるが、水塊の攪拌そのものが記録されるのか、攪拌によって水中に溶解している気体が気泡化するのか、細部については今後の検討にまたねばならない。



1 図10・4 湯ノ湖の結氷下の投石試験。15cm大の石をよく洗って落下。水の攪拌が記録されている(1970年2月、SD-1500)

10・6 メタンガスの反射記録

湖沼や人工湖におけるメタンガスの発生については従来あまり知られなかったが、魚探は気泡をたやすく記録できるので、古い湖沼や人工湖でのメタンガスの発生状況が次第に明らかになりつつある。図10・5上図は琵琶湖の湖底平原の堆積物と沿岸帯の岩盤の境界線から出てくるメタンガスの発生状況で、その調査は堆積物の研究を進める上に役立つと思われる。また人工湖では河川から流下した枯枝や、枯葉などが流速の低下によつて人工湖の上流区に沈下しそこに多くのメタンガスが発生する。また更に微細な有機沈澱物の堆積により微細なメタンガスが一面に発生することがある。下図は五十里湖の上流区におけるメタンガスの発生状況で、これらメタンガス発生の分布は後述のように沈下物の分布状態を知り更にそれから水体の流動状態を推定する上に役立つ。

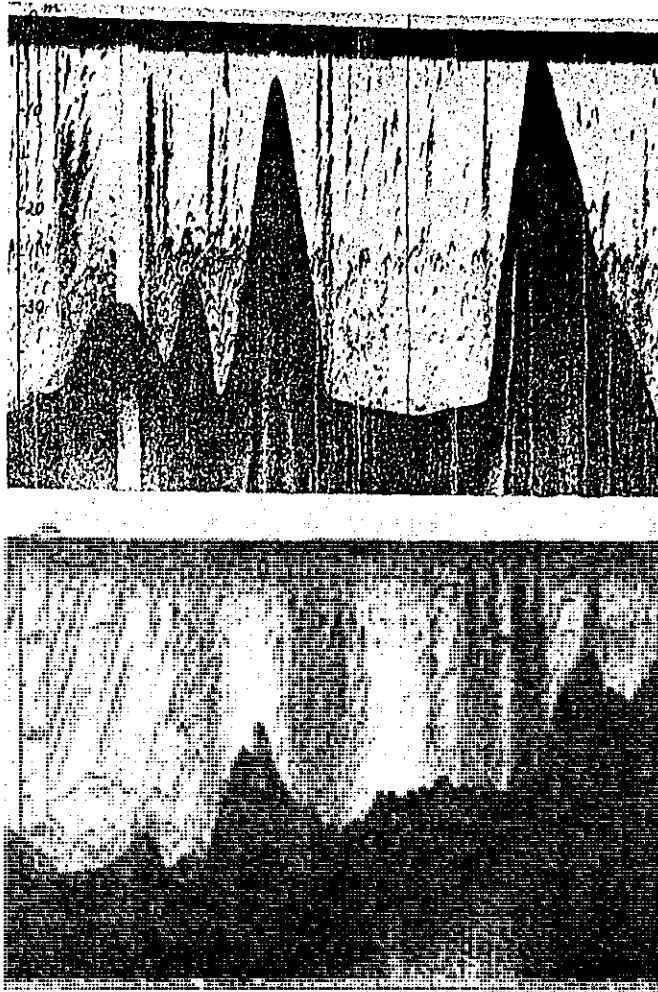


図10・5 上図は琵琶湖における岩盤と堆積物の内より噴出するメタンガスの記録像(1959年11月F701)。
 下図は五十里ダム上流区におけるメタンガスの記録像(1960年9月、F701)

10・7 濁度の分布記録

湖沼や人工湖における濁度の分布を調査することは非常に労力を要する。もしもその濁水が湖水と密度が異なる時はその垂直分布の状態を簡単に知る事ができる。図10・6は群馬県の藤原湖における濁度の微細な垂直分布の一例であり、このほか琵琶湖において伊勢湾台風後2ヶ月たつてもなお流入した濁水が中層に複雑な分布を示していることがわかった。これらの微細構造を採水によって調べることは不可能に近く、魚探を利用することが便利なことがある。

しかし濁っている場合に必ずしも反射が強いとは限らず(図11・1)、この間の事情については更に検討を要する。

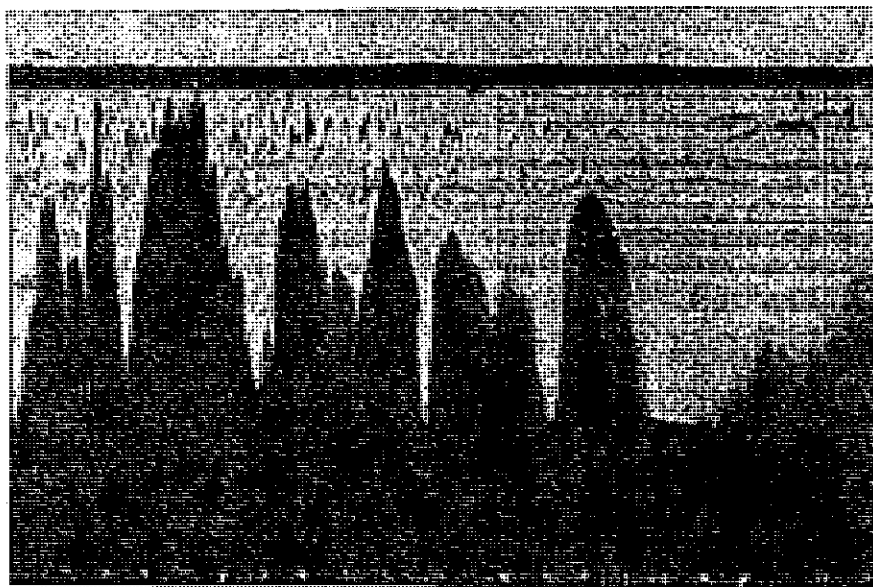


図10・6 藤原湖における濁りの微細分布と魚群の遊泳層
(1960年9月、F701)

第11章 生物に関する反射記録とその解析

魚は湖流・光・水温などの環境条件に極めて敏感に反応することは、実験室では明らかでも、野外で実際にこれら環境の変化に対して魚がどう反応しているかということ、更にそれが昼夜でどう違うか、季節別にどう違うかというようなことを一般の漁獲漁具で調べることは極めてむずかしい。魚探はその名前のように魚の所在を知るのが主眼であるから、その使い方によって魚に関するいろいろな知見がたやすく得られることは言うまでもない。

さらに魚探の反射記録は密度差から得られるものであるので、魚のみならずたとえ動物プランクトンのような微細なものでも、バッチを作っていたり、また植物プランクトンのように気泡を体内に貯えた時などには当然強い反射があり、記録される。海洋におけるDSLに関する知見（橋本ほか、1954、その他）はその代表的なものであり、湖沼におけるDiaptomusなどの日周期的垂直移動も従来のようなプランクトンネットによる調査に比してきわめて簡単に知ることができる。このほか海洋ではクラバガニ（橋本ほか、1958）や海藻類（橋本ほか、1954）などの探知に魚探を利用しようとする研究も進められている。

このように従来の方法では調査困難な生物学上の事象を魚探では比較的たやすく知ることができるが、一方魚探だけでは種類が判明しがたいという欠点もあり、この場合にはプランクトンネットやドレッジによる採集、または各種漁具や水中テレビによって種類の確認や組成を調べなければならない。

以下その2・3の例を示すことにする。

11・1 植物プランクトンの反射記録

一般に植物プランクトンは体内に酸素の気泡をもった時によく反射するようである。

図11・1は群馬県藤原湖の例で右半分が洞元湖よりの濁水で、黄濁した水も予期に反し記録されずに魚のみが反射記録され、左半分は宝川が流入した入江における植物プランクトンの水の華の発生していた部分で、これはよく記録されている。もし体内の酸素の気泡が反射体であれば1日のうちで時間により反射の強さが違ってくるであろう。また一般に夏季湖水の表層で反射が多いのも、貧栄養湖で春先だけ表水層に強い反射が見られるのも植物プランクトンが主因であるが、どの位の密度であれば反射するかは今後の検討にまたねばならない。

11・2 動物プランクトンの反射記録

1) 動物プランクトンの集合層

夏季水温躍層付近によく見られる強い反射層が動物プランクトンであるか、その遺骸脱殻

であるか、更に単なる水温差による密度の差によるものかは、かなり判定が困難であるが、多くは動物プランクトンの集合層である。(図11・2)。一般に水温差は1mにつき1℃以上の時に反射記録されるといだが、反射層が何に原因するかを確定するためには実際にプランクトンネットで採集するか、または夕刻上昇を確認することが最もよい方法である。

1960年9月に琵琶湖北部の11~13m層に見られた濃密な反射層は夕刻には浮上してEudiaptomusの群集であることが認められたが(図11・2下図)、つぎの10月に同所で同様な調査をしたところ、夕方浮上するEudiaptomusのほかに躍層に止まり動かないものが記録された。プランクトンネットで採集した結果これはEudiaptomusの脱殻であることがわかった。

2) 上昇状況

プランクトン集合層や湖岸帯に密集する微生物を確認する方法の一つとして、夕刻そのものが上昇するか否かを見る方法がある。図11・2はその例で上図は琵琶湖の湖岸帯の底に密集していた微小動物(おそらくモエビの幼生と思われる)が夕刻上昇する様子を示す。

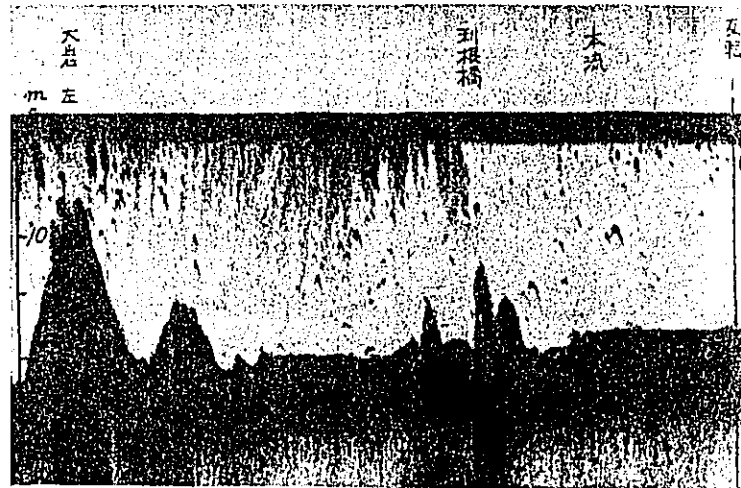


図11・1 藤原湖における水の華(左半分)と濁水(右半分)の記録像(1960年12月、F701)

下図は琵琶湖沖帯のEudiaptomusを主とする動物プランクトンの上昇を示している。いずれの場合もきわめておそい速度で上昇しているが、これをプランクトンネットなどで調査することはかなり困難である。魚探によれば一水域に舟を止めておくだけで記録がとれる。また上図の黒く大きな点々は魚族で上昇する微小生物を追つての摂餌活動と思われる。

3) 湖岸逃避

湖岸逃避とは動物プランクトンが湖岸近くで密度が少ない現象を言うもので、古くRuttner(1915)によりルンツ湖で発見されたが、この現象の実態や原因については従来十分な研究がなされていない。

図11・3上図は琵琶湖北端大浦の湖岸や湖底から浮上して来た生物などで、プランクト

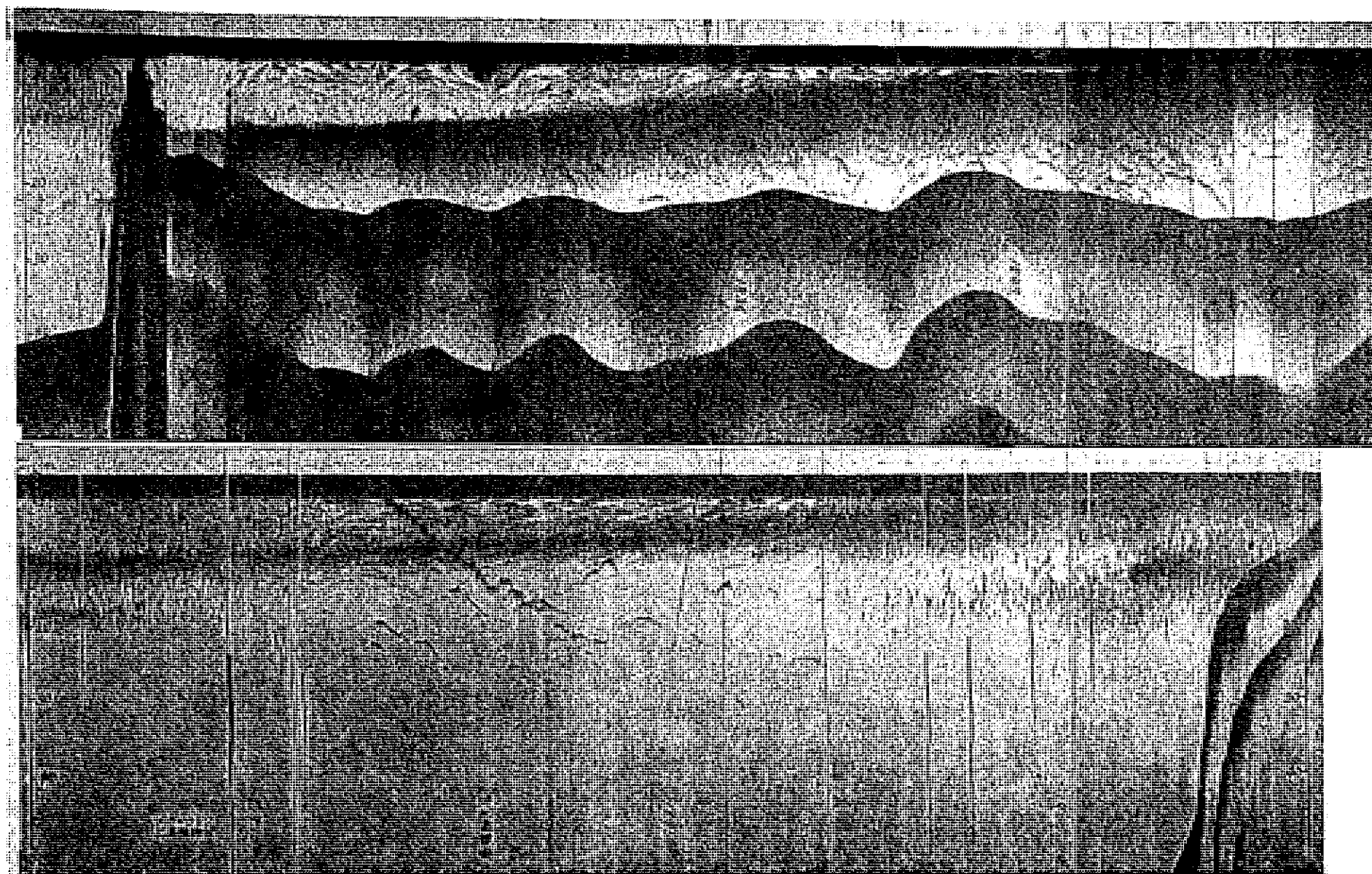


図11・2 上図は琵琶湖首浦付近の夕方の微生物の上昇記録(1960年9月、F701) 下図は琵琶湖石田川沖合の夕方のプランクトンの上昇記録(1959年8月、F701)

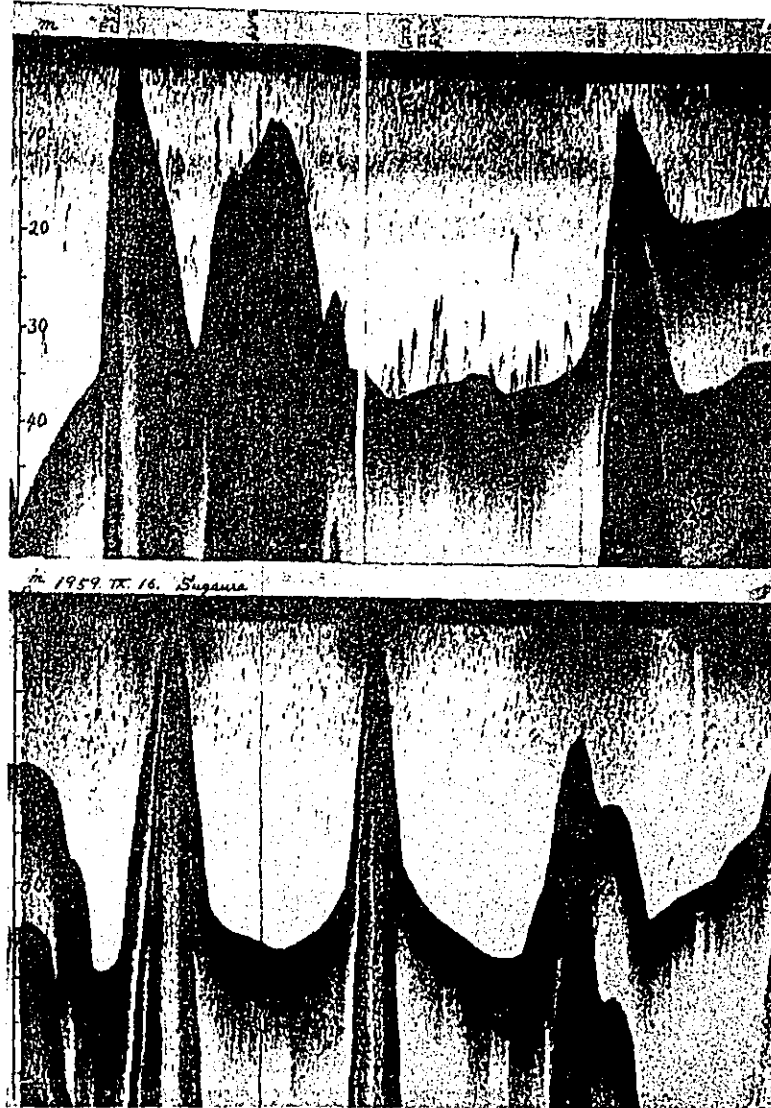


図11・3 上図は琵琶湖における昼間の沿岸帯のプランクトン
と魚群の分布(1959年9月、F701)
下図は琵琶湖における夜間沿岸帯のプランクトン及
び魚群の分布(1959年9月、F701)

ンが魚族に捕食されて密度が少なくなっている様子を示している。すなわち全般的には表水層の12mまではプランクトンの強い反射が記録されているが、湖岸付近はうすくはげたようになつており、その中心に多くの場合魚群が記録されプランクトンが魚族に捕食されていることを示している。図11・14も同様な現象を示す。すなわち湖岸はプランクトンが少なく沖合で少ないのでこれ自体湖岸逃避の現象を示している。図11・3の下図は琵琶湖北端菅浦の沿岸帯の夜間の記録である。図で見るように湖岸付近のみに極めて強い反射像が表われている。これについては充分調査が進んでいないが、湖岸帯の湖底は一般に栄養に富み、各種の生物が豊富に生息していることが考えられ、これが夕方上昇してきたものと思われる。このように夜間は特に湖岸近くに生物が多く、これが動物プランクトンを摂取した後、湖底に退避するので、動物プランクトンから見ると昼間は湖岸逃避の現象を呈することになる。



図11・4 芦ノ湖における表層プランクトンの吹走流による躍層直上へのまわり込みを示す記録。上図は強風の吹きはじめ、下図はその後の状態を示す(1960年9月、NTLB-1500)

4) 風向とプランクトンの分布

表層プランクトンが風向と関係あることは当然考えられるが、本邦湖沼においてこの点について明らかにされた例は少ない。図11・4は風向とプランクトンの関係を示す一例で、神奈川県芦ノ湖での記録である。プランクトンは吹走流につて風下の方に集まり、更に理論的には吹走流の反流が湖層真上にあるとされているが、それを実測することはむずかしい。上記の場合それが確認された例である。なおその反対の風が吹くと湖岸付近には湖層付近の水が上昇してプランクトンの濃度がうすくなり、これも湖岸逃避現象の一因となると思われる。

5) 火光に対する動物プランクトンの反応

特に甲殻類などの動物プランクトンが灯火への趨向性が著しいことは実験的によく知られたことであるが、実際に湖沼上でもこれを確認することができる。図11・5は水面に懐中電燈を照らして動物プランクトンの集合状態を調べたもので、点灯後1分たらずで魚探に記録されるような密度に集合し、消灯すると再び散逸する事が明らかである。灯火の色や強さをかえることによって集合状態を比較すれば、野外における生態学的実験を進めることができよう。

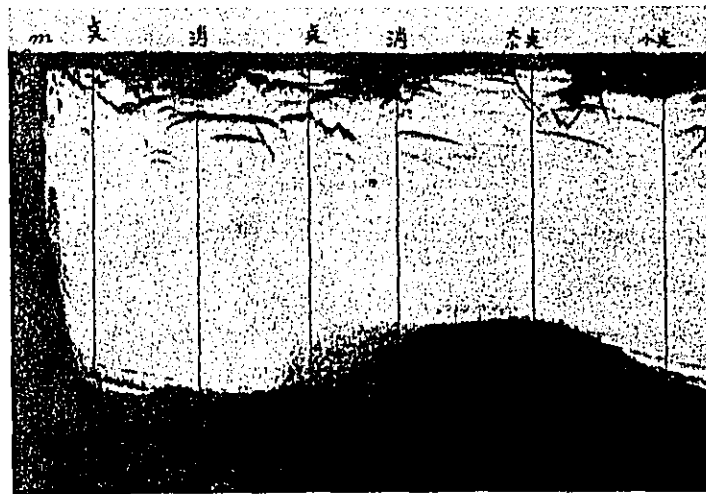


図11・5 藤原湖における灯火の点滅による動物プランクトンの集散状況(1960年9月、F701)

11・3 水草の反射記録

水草の草丈や密度さらにその分布範囲を知ることは極めて困難であるが、魚探を利用すると

比較的簡単にわかり、したがって現存量の調査にも寄与することができる。すでに海洋でもコンブ・ホンダワラ・カジメ・アヅモなど（橋本ほか、1954）のほかテングサ地帯までも魚探記録から判別できるという。

図11・6は湯の湖の湖岸帯における車軸藻の生育帯の記録である。図に見るように生育深度はもちろん草丈なども測定でき、藻類の分布や深度による草丈の違い、更に葉上の泥土の堆積状況なども解析することができる。

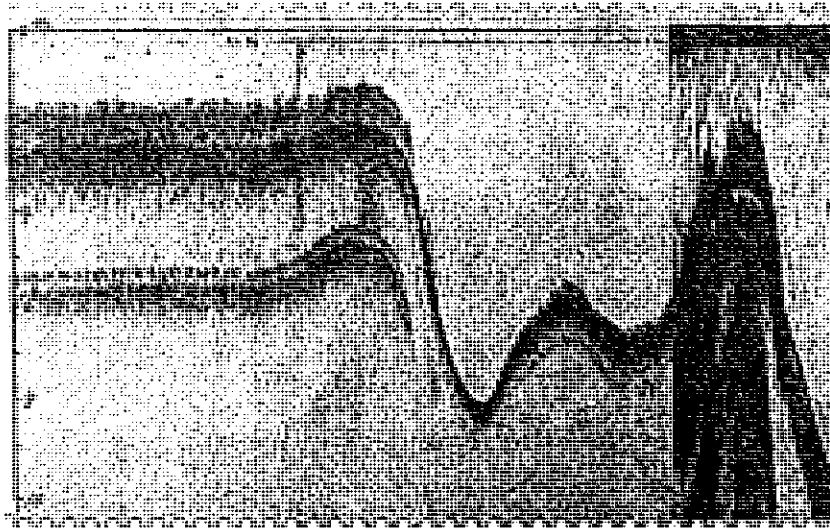


図11・6 湯ノ湖における沈水植物（車軸藻）の記録像
（1967年8月、SD-1500）

11・4 魚類の反射記録

1) 魚種の判別

海洋においては魚探による記録像から、ある程度魚類が判定できるとされている。すなわちマイワシ・サバ・スケトウダラなど魚種によって魚群の形や超音波の反射率が違い、かつ漁場の環境からもある程度魚種が判別されるという（海上電気、1951）。一般漁業者は魚探の使用によってかなり適確に魚種を推定でき、更に魚群の大きさからその魚群量を推定できる能力をもつに至っていると言われている。これに対して魚族資源の研究面では十分でないにしてもサバ（大川ほか 1958）、アジ（大渡ほか 1953）、イワシ（中井 1950・大渡ほか 1954）、スケトウダラ（斎藤ほか 1951・高倉 1954）サンマ（斎藤ほか 1953）など多くの海産魚が魚探によって研究されて来た。特にマグ

ロについては木村(1952)をはじめ多数の研究が進められ、西村(1956)などによりその密度や魚群量までも推定し得る状態になっている。更にトラバガニ(橋本ほか、1958)や底魚(西村、1958)などについても研究が進められており、海洋漁業における活用範囲は急激に広まりつつある。

淡水魚についてもコアユ(図11・8)・ワカサギ(図11・9上)・アブラボテ(図11・10)・ヒメマス(図11・13)などはその遊泳深度・魚群の形状などからある程度の判定はできるが、これらの魚群の位置、形状は夜と昼で、また冬と夏で全く異なり、特に夜間群をといて分散浮上する時には多くの魚種が混在するので、魚種の判別は全くつかなくなるのが一般である。この点は魚探の最も大きな欠点で将来はこの欠点を補う方法の開発が望ましい。なお結氷期には氷を通して魚群の探知や測深が可能であるが(橋本ほか1962)、この場合は昼間でも多くの魚種が湖底に集合しているため、魚種の判別はむずかしい。

2) 単体の記録像

魚の反射記録は型が同じ位の大きさであること、中凹みのコメント状であることから単体であることはわかるが、魚体の大きさがわからないことが魚探の欠点とされている。更に魚の単体が肉質から反射するか、うきぶくろから反射するかなど(橋本ほか1958)多くの問題が残されているが、琵琶湖のヒウオ(コアユ)のような数cm以下の小さい魚でも単体として記録されることも明らかにされ(図7・2ほか)ヒメマスの昼間の単体像と夜間線層直下の単体層(図11・13)など生態学的知見や漁獲試験によって逐次単体像の知見は増しつつある。

また図11・7上図は芦ノ湖における200KCによる停船中の記録で下図は琵琶湖における50KCによる記録である。いずれも単体と判定されるが魚種は不明である。しかし単体像は同水深の場合はいづれも大きさが同じで200KCでは水平の線状記録となり50KCでコメント型になる。なおこれらの図からも明らかなように、魚は音波によって逃避しないことが明らかであるが(三善1953)、小さな水槽中では逃避したり、また強力な音波では種々障害をおこすという(吉牟田ほか、1956)。なお上図左上に魚の排出ガスが記録されている。

3) 魚群の記録像

50KCなど長波長による昼間走航中の記録で単体に似ているが、単体より大きくかつその大きさがまちまちであり、単体のように下凹みになつていない記録が見られるが、こ

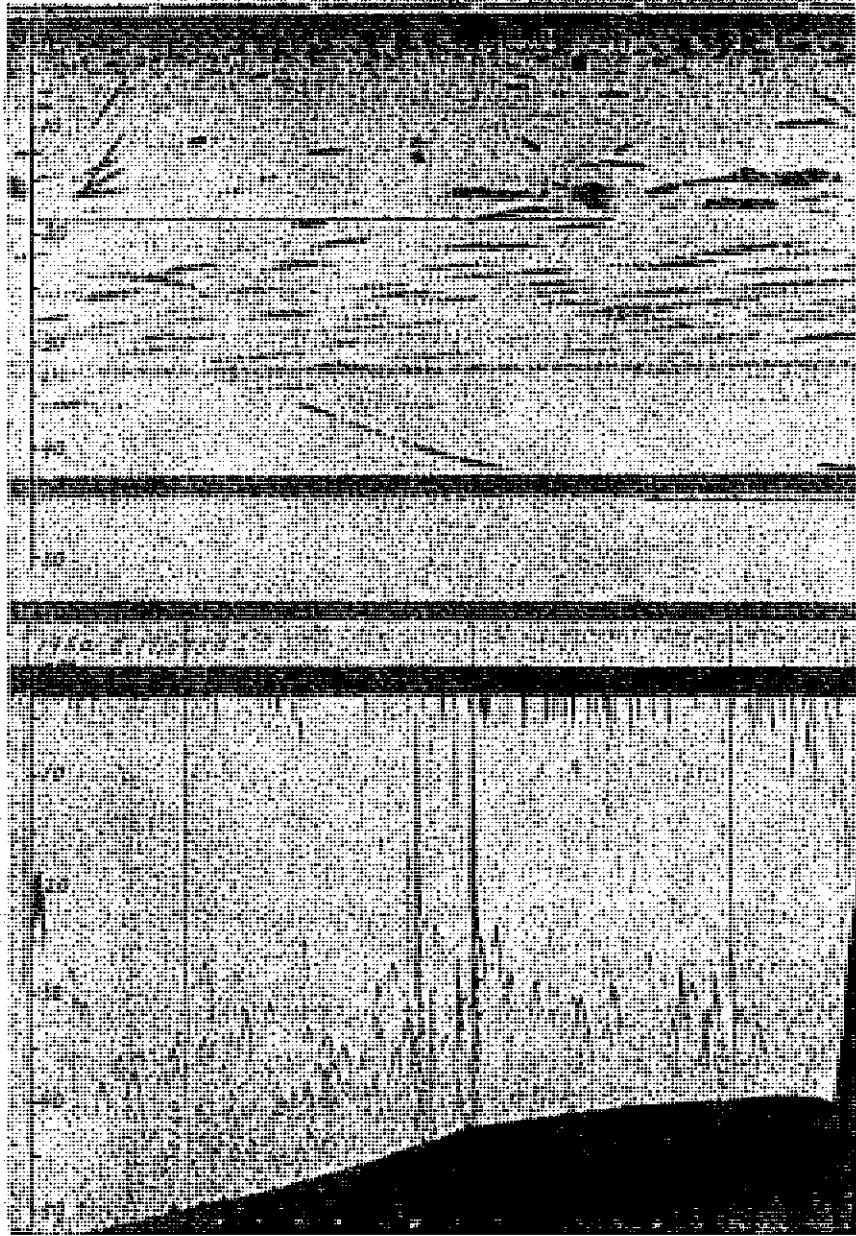


図 11.7 周波数の差による記録像の比較。上図は200KO (NTLB-1500) による芦ノ湖の記録(1960年9月)。
下図は50KC (F701) による琵琶湖の記録(1960年2月)。

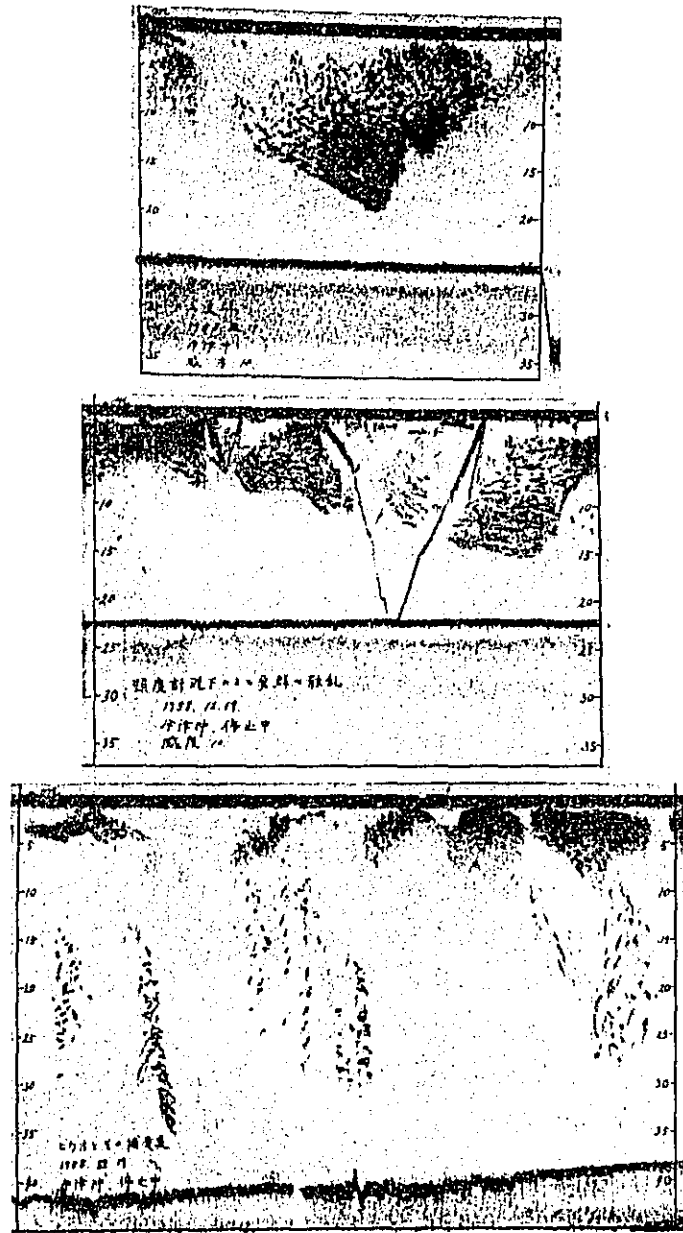


図11・8 琵琶湖におけるヒウオ魚群の記録像(1958年12月、
 D705) 上図は自然状態の魚群、中図は照度計沈下による魚群の散乱、
 下図はバス、ウグイなどの捕食魚とこれに追われているヒウオの魚群像。

れが魚群を表わしている。船速をおそくすると魚群はますます大きく記録され単体との差が明らかとなる。しかも一般に50 KCでは黒一色の魚群も200 KCでは単体に分解できることが多い。図11・8はその例で琵琶湖のヒウオ魚群を示す。上図は自然状態の魚群を200 KCで記録したもので50 KCでは黒一色になるが、ここでは各個体に分解記録されている。更に中図は照度計の沈下によって魚群が逃避する状況を示す。また下図は下層のハスまたはウグイによってヒウオ魚群が表水層に追いつけられ、200 KCでも分解できないほど密集していることを示す。琵琶湖では水面を飛びはねるヒウオ魚群をよく見かけるが、その時この群の下にはこのような捕食魚群が記録されることが多い。

4) 魚の放出気泡

海洋でも魚群が気泡を放出することが知られているが、湖水の魚もガスを放出することが魚探でしばしば記録できる。図11・7上図に示したように個体の時でも気体を放出することが見られるが、特にワカサギ・アユ・ヒメマス・ウグイなどが群をなしている時に多くのガスを放出しているのが見られる。図11・9上図は芦ノ湖におけるワカサギ魚群の放出する気体で、当地の漁夫は泡が出ている所に刺網を入れるとワカサギが大漁できると言い伝えている。中図も丸沼のワカサギ魚群で沢山の気泡を出している。また下図のように特に上昇する態勢の時に気泡の放出がしばしば見られるが、これはあらかじめうきぶくろ中の気体を放出して外圧との調整をとるためと思われる。

5) 昼間像と夜間像

魚が昼と夜とでその分布や成群状態に著しい差異を示すことは、海洋では伊東ほか(1954)をはじめとして逐次明らかにされてきたが、淡水魚についてはあまり研究が進められていない。図11・10は琵琶湖北部での冬期のアブラボテの記録で、上図は昼間の魚群であり、下図は同じ場所での夜間像である。夕方継続的に記録するとこの著しい差異の移行状態を記録することができる。後述の図11・6下図は丸沼における夕方の群より個体への分散状態を示す。これらからわかるように多くの魚は昼間は魚群を形成していても、夜間は上昇分散するもので、淡水魚では夜間に成群しているものはないようである。

また冬季には一般に温水魚は冬眠するといわれているが、魚探によると昼間深水層にいて夜間になると浮上してくるものが多いことがわかる。図11・11は琵琶湖北部塩津湾の真冬における晴天時の昼間像(上図)と曇天の昼間像(中図)と夜間(下図)の記録である。晴天の昼間像は湖岸近くに多少の稚魚(?)群を見るのみで全く魚影が見られず、魚はすべて遙か沖合の60 m以上の深部にひそんでいるが夜間は塩津湾内に一面に移動分散してくる。



図 11・9 上図は芦ノ湖における昼間のワカサギ魚群とその呼出ガス（1961年3月、NTLB1500） 中図は丸沼における昼間の記録像とその呼出ガス（1961年11月、F701） 下図は同上の夜間像とその呼出ガス（1961年11月、F701）

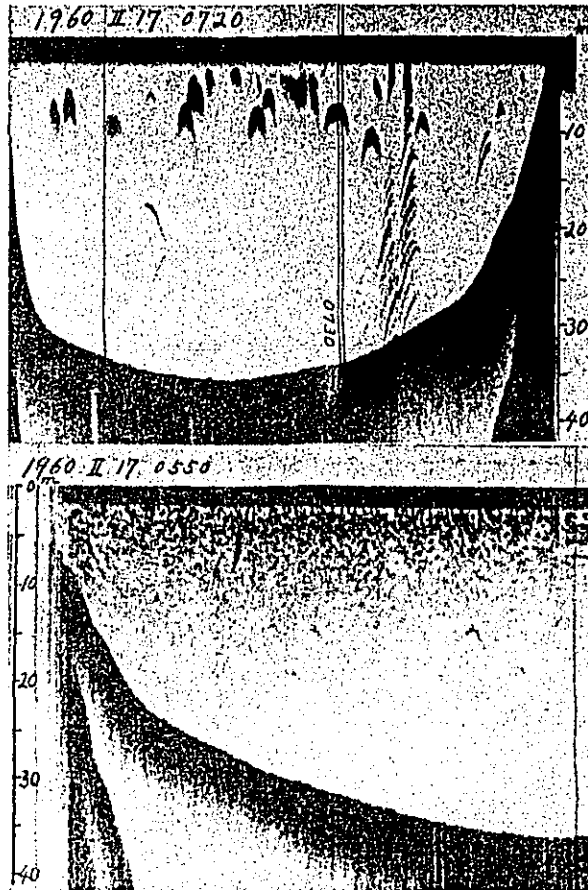


図11・10 琵琶湖菅浦沿岸におけるアブラボテ
の昼間（上図）と夜間の記録像。
（1960年2月、F-701）

また曇天にはその中間状態を示している。この場合の魚族はモッコ・ゼセラ・ヨシノボリ・スヂエビなどで、これらは冬季でも約6kmの間を毎日集散移動していることになり、一般に言われている越冬とは全く違った活潑な移動を行なっていることがわかる。

6) 遊泳層について

従来魚の遊泳層の調査は刺網などにより多大の労力を費したが、魚探によれば瞬間にしてその位置を確認することができる。図11・12上図は芦ノ湖の9月末の記録で、沿岸帯の大きなワカサギ魚群のほか表水層に分布する魚群、湖底上に点在する魚群などがある。表水層魚はヨシノボリの稚魚と思われる。また刺網による検証の結果湖底のものはウグイである

ことがわかった。しかしこれら魚群は後述のようにいずれも夜間になると表水層に浮上分散して表層魚と見わけがつかなくなる。また下図は藤原湖の9月の記録で湖岸にわずかの稚魚群がみられるほかコイ・フナ・ウグイ・エゾウグイなどがすでに湖底に分散退避している。しかしそのうちウグイ・エゾウグイなど夜間になると浮上する魚種もある(白石、1962)

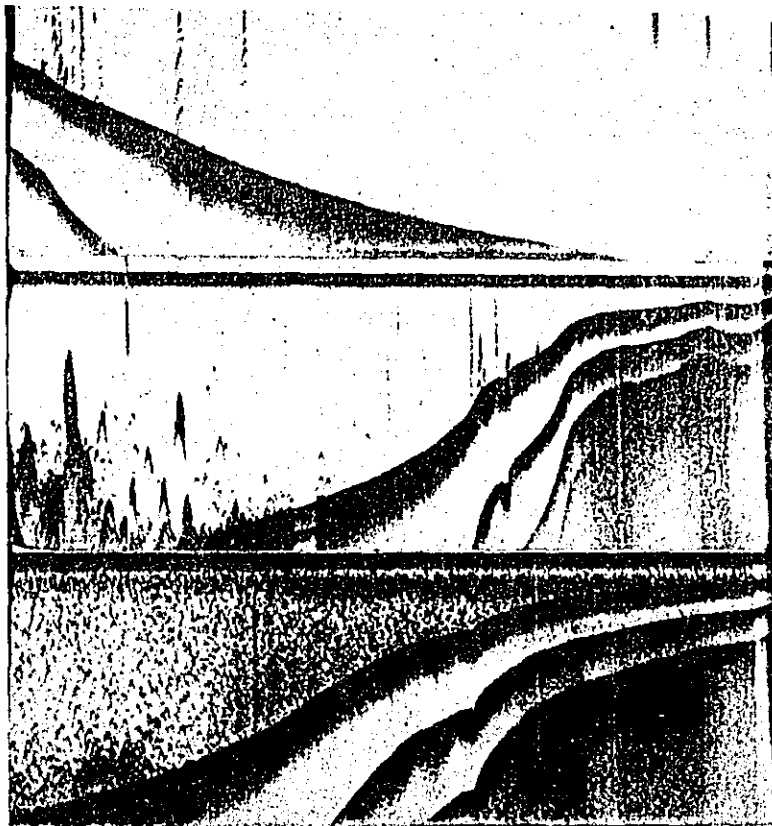


図11-11 琵琶湖における晴天時の昼間像(上図)と曇天時の昼間像と夜間の記録(下図)。(1963年1月、F701)

このように冬季でも従来考えられている様に冬眠状態になるものは少ないようであり、いかなる魚種が冬眠し、いかなる魚種が冬季でも活動的であるかは今後検討の余地があるようである。

一方活動期には温水魚の多くは表水層近くに生活し、魚によっては昼間群をつくり、夜間分散する。またヒメマスは代表的冷水魚であるがその成魚は秋には昼間図11・13に示す

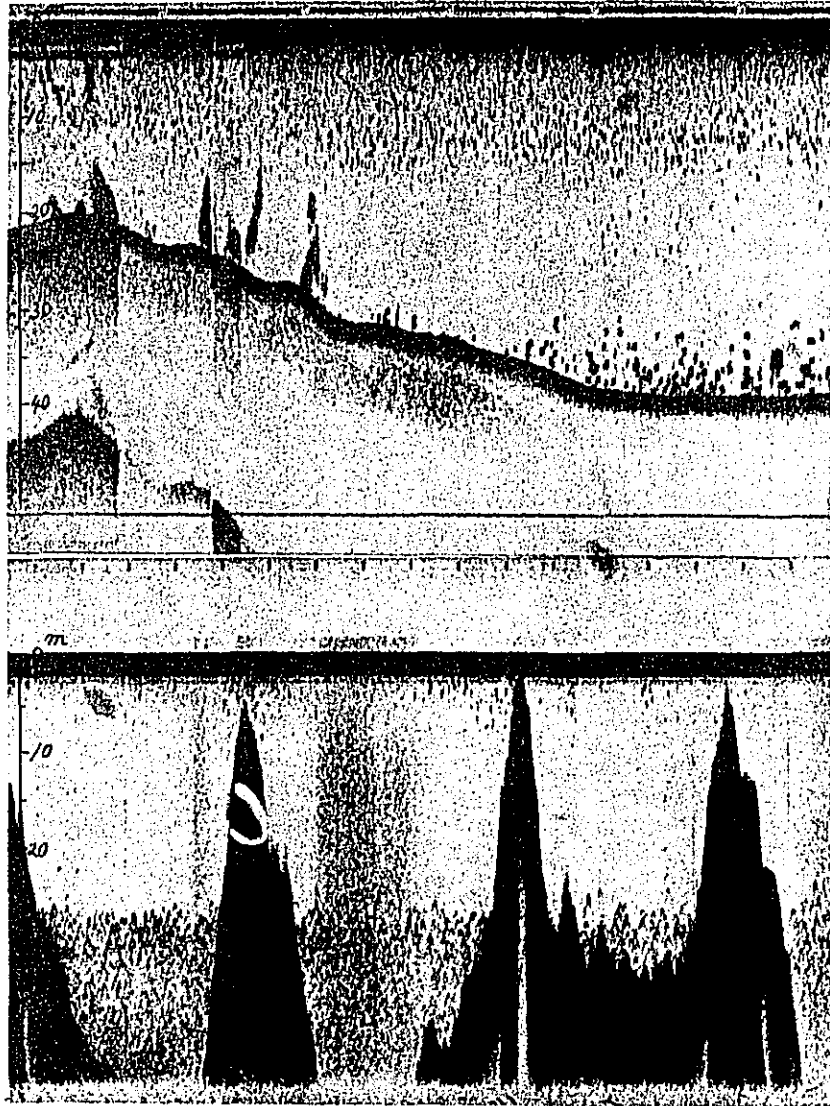


図 11・12 上図は昼間の芦ノ湖における表層魚群（ヨシノボリ）と底層魚群（ウグイ）及び沿岸魚群（ワカサギ）（1960年9月、NTLB-1500）
 下図は藤原湖における底層魚群（1960年9月、F-701）

ように50 mから100 m以上の深水層に滞り、まばらな群をなすが夜間には浮上して沿岸帯の躍層下に並ぶのが見られ、その間かなりの範囲を回遊する。

このように魚種によりまた季節により遊泳層が異なるが、一般的に見て昼間は深層に潜入し、まれに成群していても、夜間になると個々に分散して一定水深に遊泳することが多い。またその水深はおもに水温に左右されているようで、季節的に著しい変化がある(図12・10)。

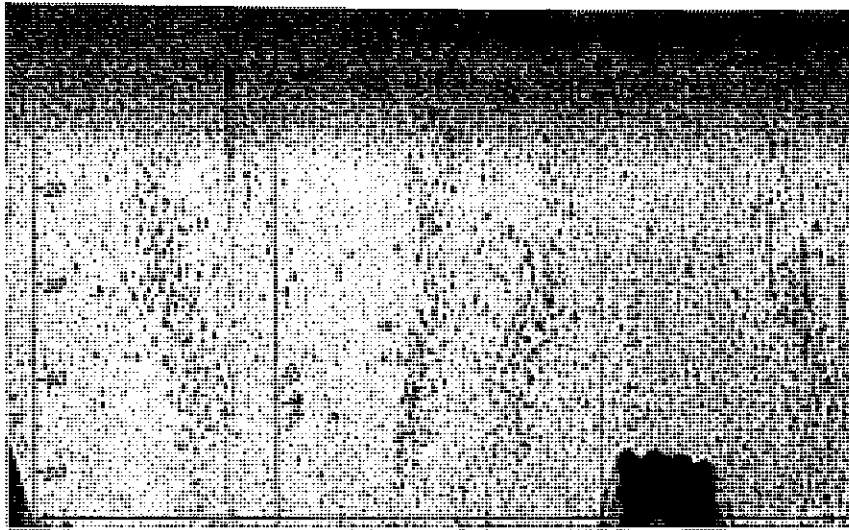


図11・13 十和田湖の最深部に昼間集結したヒメマス魚群
(1960年10月 NTLB-1500)

7) 魚族とプランクトンの位置関係

魚はその餌料である動物プランクトンと常に同じ水塊内にいるとは限らない。前述の図10・1上図は表水層のプランクトン密集層とそれに関合をおいて魚の遊泳層が見られる一例である。

この魚族は冷水魚であるため躍層より上の高温層に入るとはもちろん、水温変化の多い変水層にも生息することが困難なため結局深水層の上部に位置し、摂食時にのみ表水層に侵入する。

8) 魚族の摂餌範囲

魚の餌料圏は季節的に見るとその摂餌回遊範囲と一致するが、日々の摂餌活動においてどの範囲の餌料を食べるかということの調査はきわめて困難である。魚探はこの点でも有力な

資料を提供するもので、たとえば魚群の周囲のプランクトン密度が薄くなっていることはよく見かけることで、図11・14はその例を示す。上図は九州椎葉湖の一例で、表水層の中でも魚群の多い所ではプランクトンがうすく、魚群の少ない所ではプランクトンが多い。調査の結果この魚群はゲンゴロウブナが多く、表水層のプランクトンは植物性のものが主体となっていた。また下図は琵琶湖の湖北における例で、沿岸帯のおちこみ直前に多くの魚群が集結し、プランクトンの密度もその附近がうすくなっている。特に大きな魚群の周囲でプランクトン反射が少なくなっているのは魚群がその範囲を摂餌圏としているからであろう。同様な所見は図11・3上図にも見られる。

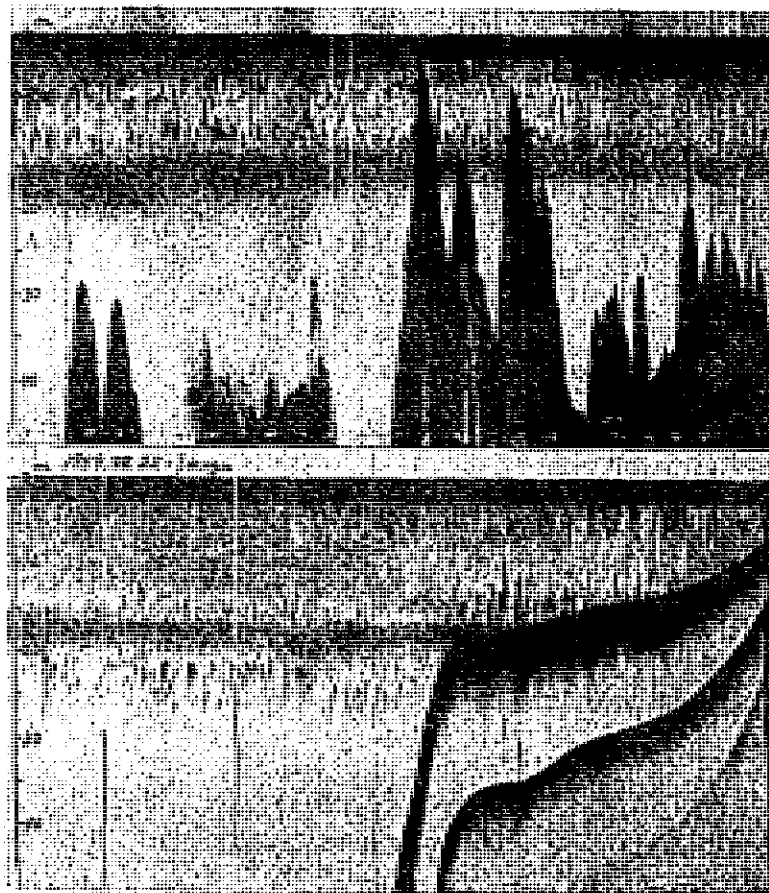


図11・14 椎葉湖(上図)と琵琶湖(下図)における昼間のプランクトン群集とこれを捕食する魚群の記録像
(1959年 F-701)

しかし一般に西南日本のダムや富栄養湖ではプランクトンの密度も高く、魚族も多いので、より明らかな魚の摂餌範囲を記録しやすいようである。なお両図とも躍層上部に濃密な反射層があるが、これはおそらく動物プランクトンの密集層であろう。また椎葉湖の深水層には冷水魚が見られないが、琵琶湖には多くの冷水魚が躍層直下に分布している。

9) 風向と魚の分布

魚の分布と風向とは密接な関係があるといわれながら、調査が困難なためその確認がむずかしく、これを実証した資料も殆んど見られない。魚探はこの点でも役に立つ資料を与えてくれる。図11・15は九州の御池における魚族分布で、風下に魚族が集っていることを示している。ワカサギなどのプランクトン食性魚は多く風下に集まるようである。これはおそらく餌料としてのプランクトン分布と関係があると思われる。

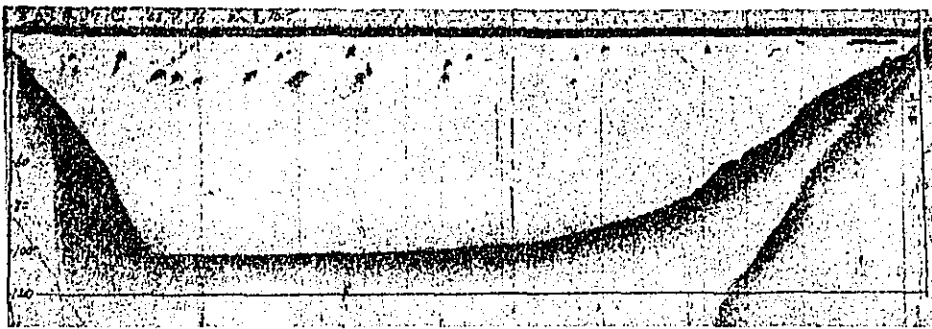


図11・15 宮崎県御池(1958年5月)の魚群の分布(F-701)

10) 魚の昼夜移動

湖沼の魚族の生態のうち興味あるものの1つはその昼夜移動である。前述のように動物プランクトンなどが著しい昼夜移動を行ない、魚類もそれに対応して移動する。いま昼夜の魚の分布状態を比較して見ると、水平分布・垂直分布・成群状態の変化の3つの点で著しく異なる。

これらの変化や移動は主として夕方と朝方の比較的短時間に行なわれるので、いわゆる朝まずめ、夕まずめとして注目されてきたが、これを刻々に把握することは従来の漁具では困難であり、ましてこれを動物プランクトンなど魚類の餌料の移動と対応して調査することは極めて困難であった。魚探はこの面でも有効な調査器具であり、海洋の魚族についても、内

水面でも逐次詳細な資料が得られつつある。

図11・16上図は琵琶湖における11月下旬の夕方の魚群の垂直移動を示すもので、図の左側に見るように夕方17時ごろまでは中層と底層の2層に密集している魚群が17時以後になると両層とも逐次上昇をはじめ、18時40分ごろには表水層に濃密に分布し、深水層の魚もその記録像から見ると更に上昇する傾向が伺われる。また下図は群馬県丸沼における昼間より夜間への魚群の変化を示したものである。すなわち夕方17～18時ごろまでは深水層には個体の魚が見られ、表水層には魚群が点在しているが、これが18時ごろになると深水層の魚が浮上すると共に表水層の魚群は逐次分散して、19時ごろには全部表水層に個々に分散する。すなわち個体も群も夕方になると浮上し、かつ群は個体に分散する。

このように夕方表水層に浮上した魚は朝方再び深水層へ移動して昼間の状態にもどるが、朝方の下降状態を記録したものは極めて少なく、あまり公表されていない。図11・17は琵琶湖における一例で水温躍層直下に集まった魚類が5時頃から下降していく状態を示している。

以上のように毎日朝夕にはまず魚族の餌料である動物プランクトンなどの餌料生物が移動し、これを追跡して魚族が移動するという日周期移動をくりかえしていると思われるが、これらの詳細を再三くりかえして調査する方法としては現在では魚探を活用する以外に便利な道はなからう。

11) 産卵行動

海洋においては魚群特にマイワシ(伊東ほか、1954)やスケトウダラ(高倉 1954)などの産卵行動の調査に魚探が活用されて来た。特に前者のように浮魚の産卵生態の調査に魚探は有力な武器となる。

淡水魚についてのこの方面の探索は未だ行なわれていないが、ヒメマス・ワカサギ・その他の産卵期における産卵回遊の追跡や産卵活動の調査には魚探が活用される可能性が強い。

12) 投石に対する反応

以上は魚の自然状態の記録であるが、更に餌料や砂礫の投入、火光の照射に対して魚や魚群がいかに反応するかは魚の生態を知る上に極めて有効な試験手段であり、また海洋ではその手法による漁業も撒餌漁業・火光漁業として発達している。

活動期の魚は撒餌のみならず砂・礫・石・その他の投入によって急速に集合または逸散逃避するさまが魚探に記録される。図11・18上図は西湖のアユの魚群が投石によって逸散する様子を示したもので、魚の上部10m位に石が近づくと魚は逸散する。個体でも同様な

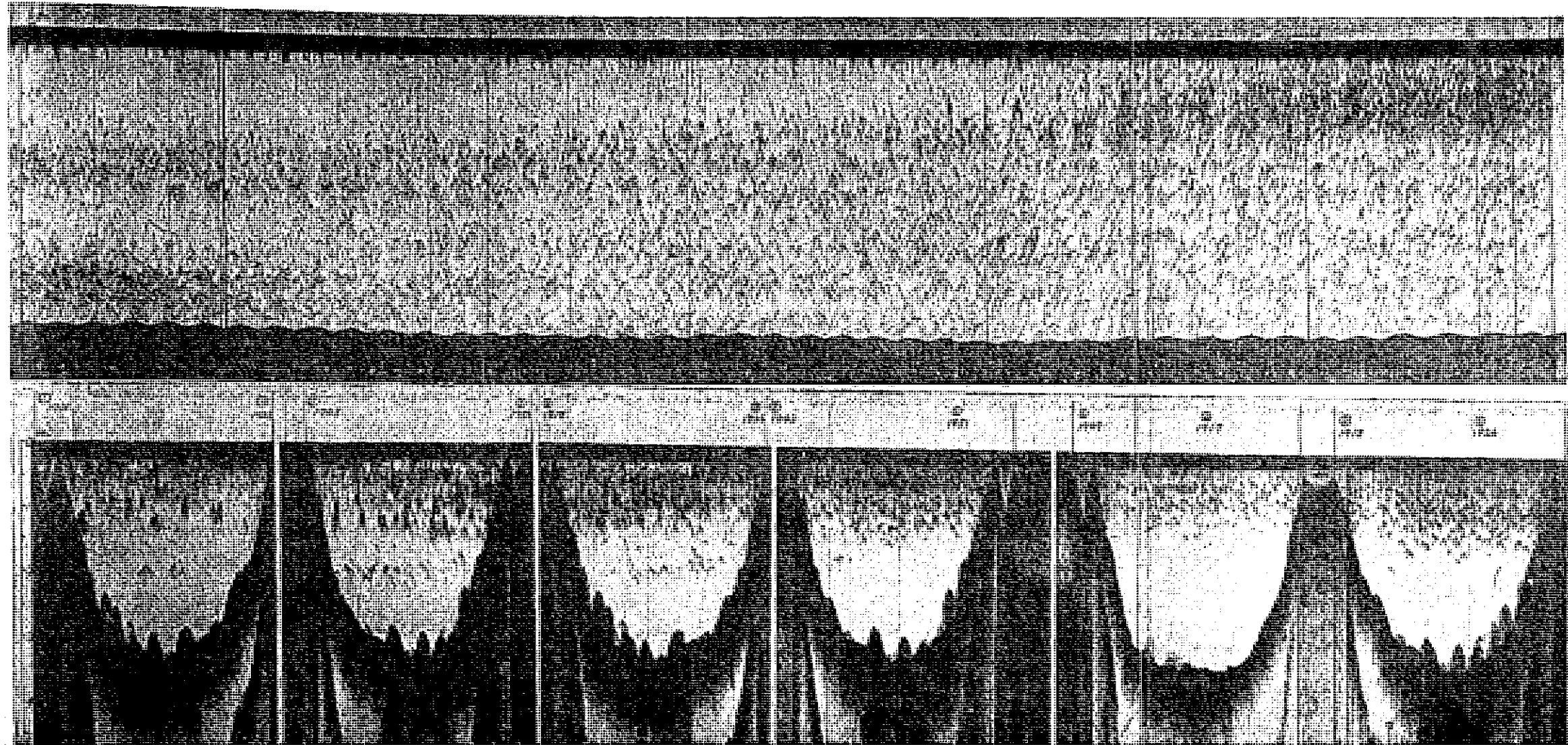


図11-16 上図は琵琶湖の秋季夕刻における魚群の上昇状態(1959年12月、F-701)
下図は丸沼における秋季夕刻の魚群の上昇分散状態(1961年11月、F-701)

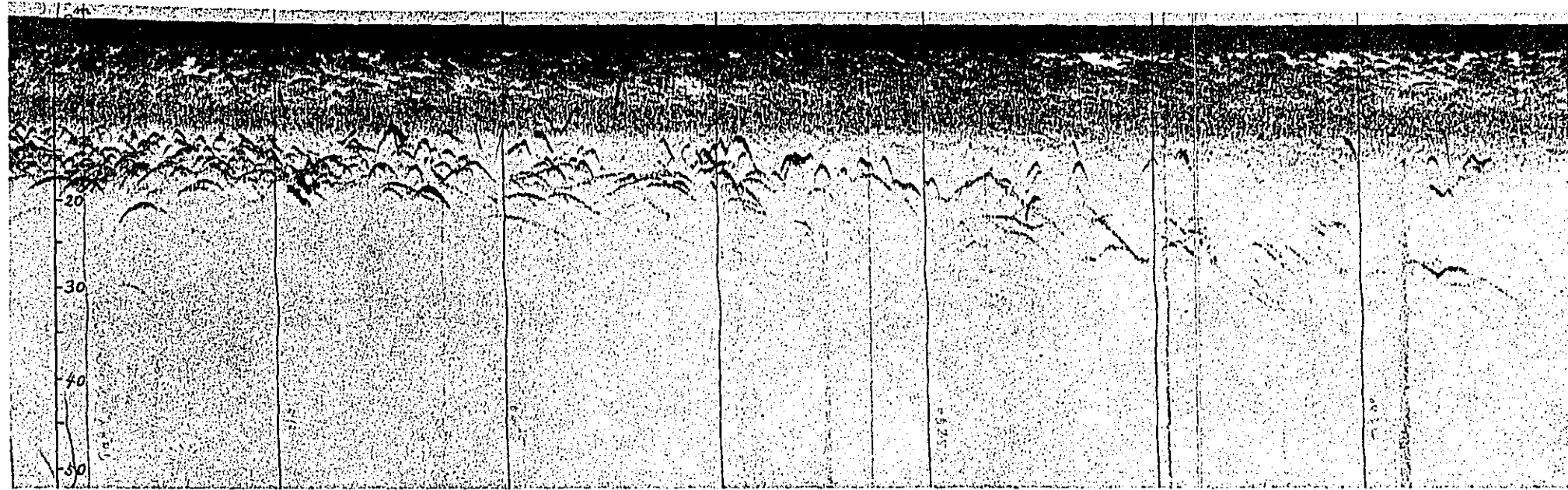


図11・17 琵琶湖における朝方の魚群の下降分散状態(1959年9月15日 F-705)

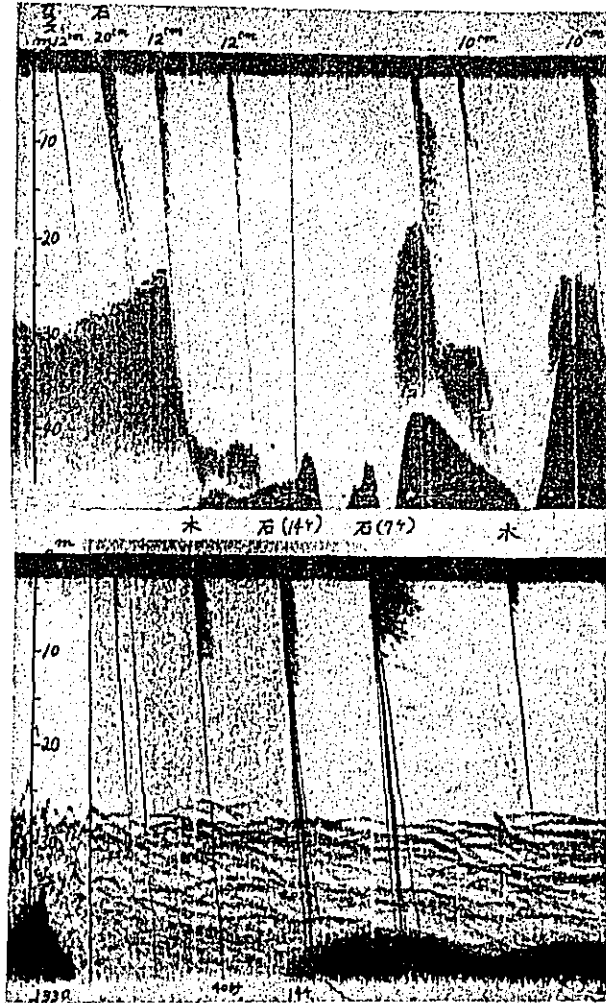


図11-18 上図は西湖におけるアユ魚群の投石による
 散乱記録(1962年3月、F-701)
 下図は五十里ダムにおける温水性魚群の投石
 による反応記録(1962年3月、F-701)

逃避行動を示す(図7・10中)。しかし砂などの細かいものに対してはかえって集合する様子も見られる。また休眠期にはいくら石や木の枝を投下しても全く反応しないこともある(図11・18下)。このように魚の反応からその活動状態を判定することができ、これらの点を更に進めれば野外における実験生態学的手法として有効な知見が得られるものと考えられる。

13) 火光に対する反応

魚は種類によって火光に極めて敏感で、サンマの棒受網漁業はこの性質を利用したものである。一般に天然光に対しては昼夜活動として周期的に反応しているが、人為的な火光に対してどのように反応するかは湖沼の魚に対して殆んど解明されていない。しかし宍道湖におけるワカサギの火ぶり漁業などを見てもわかる通り火光に対しては特に鋭敏で、川田・ほか(1952)、は相模湖において2・3の実験を行なったが、一般淡水魚の火光に対する反応を通じてその生態を解明する研究はまだほとんどなされていない。魚探はこの場合でも有効に活用できるであろう。

14) 撒餌に対する反応

海洋では撒餌漁業としてサバのはね釣りなどが発達しているが、これには魚探で魚群のいる水域を確認しそこに撒餌を施し逐次魚群を浮上させてから釣り上げる。また魚群の浮上状態からその後の漁獲の良否が判断できる。湖沼ではコイやマス・ワカサギの釣りをはじめると先立つて撒餌をすることがあるが、これによつて果して魚が集まるかどうかの確認も魚探を利用すれば便利であろう。

第12章 魚探による調査の応用例

すでに述べて来た所により魚探が湖沼学の分野においても、各種の活用ができることが明らかになったと思われる。

特に場所、季節、時刻などにより変化するプランクトンや魚類などの生物群集の調査は魚探を駆使することによって、従来方法より簡易に概況を把握できるので、調査の回数を増すことができ、また短時間内に変化の様相を把握することができる。

しかし魚探の最大の欠点は魚種その他の対象生物の種名が直接にはわからないことであるので、魚探の利用と共に従来のプランクトンネットや刺網などの生物採捕器具、または水温計などを併用すればより適格な資料が得られるであろう。これら手法は今後ますます進展する可能性があるが、とりあえず魚探による調査例を述べて参考とする。

12・1 水文学的応用例

1) 湖盆形態の調査

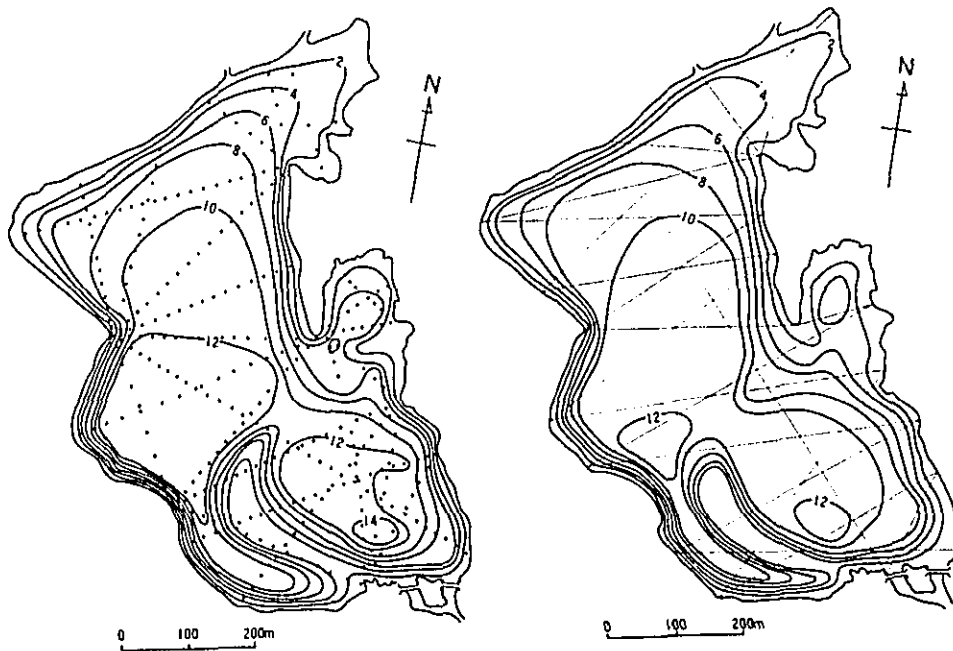


図12・1 日光湯ノ湖の鯉測および魚探による湖盆形態図。左図は1952年の鯉測によるもので点は鯉測点。右図は1962年の魚探測深によるもので細線は走航コースを示す。

魚探は音響測深機を基礎として発達したもので、測深機としての本来の使い道は古くより開発され、Svedrup ほか(1961)も錐測によって測られた海底地形よりも音響測深による結果の方がはるかに詳細であることを例示している。

本邦においても専門の測深機が開発されて、10m以上の詳細な測深や何千mもの深海の海底地形が研究されている。一方本邦湖沼については国土地理院の小谷昌らにより琵琶湖をはじめ、霞が浦北浦、田沢湖、十和田湖、池田湖などの主要湖沼について詳細な湖盆図が作製されている。

筆者らが1952年に日光湯の湖において320点を数日かかりで錐測した結果と、最近魚探によって1時間たらずで測深した結果とを比較すると図12・1のようで、両者の間に労力に莫大な差があるのに拘らず大差のない湖盆図が得られた(白石・島田・古田、1964)。

同様な湖盆の測量は上記主要湖沼以外の各地の湖沼や人工湖についても魚群調査の際副次的に行なわれ、それらの湖盆形態が逐次明らかになりつつある。

2) メタンガスの発生分布

メタンガスとは一般には有機物の分解によって生じたメタン系の気体の総称で、人工湖においては流入した落葉をはじめ沢山の有機物が堆積する場所に多く発生している。従ってメタンガスの発生地帯を調べると朽葉の沈殿区域が推定され、これは同時に流速の分布状態を推定する裏付けともなる。すなわち上流から流入した落葉は流速の小さくなった場所に沈殿し、流速の大きい所へは沈着しない。従って逆に落葉の沈着しない場所は流速が大きいと考えられる。

ことにダムにおいては一般に上流区に落葉が堆積し、下流までは及ばないことが多いが、洪水時などには下流まで塵芥が流下してダムサイトに蓄積し、メタンガスが発生することがある。

また古い人工湖ではプランクトンや微細なセストンが沈着し、それによって肉眼的には見えないメタンガスが多量に発生している場合もある。これら肉眼では認められない微細な気泡も魚探によれば明らかに記録できることが多い。

図12・2は1959年に湛水した五十里湖の完成直後の1960年9月における流入口よりダムサイドまでのメタンガスの発生状況の記録である。これによると本湖ではメタンガスは上流区域のみに発生していることがわかる。そこでさらに上流よりジグザグコースによって調査した記録からメタンガスの水平分布図を作ると図12・3のようになり、

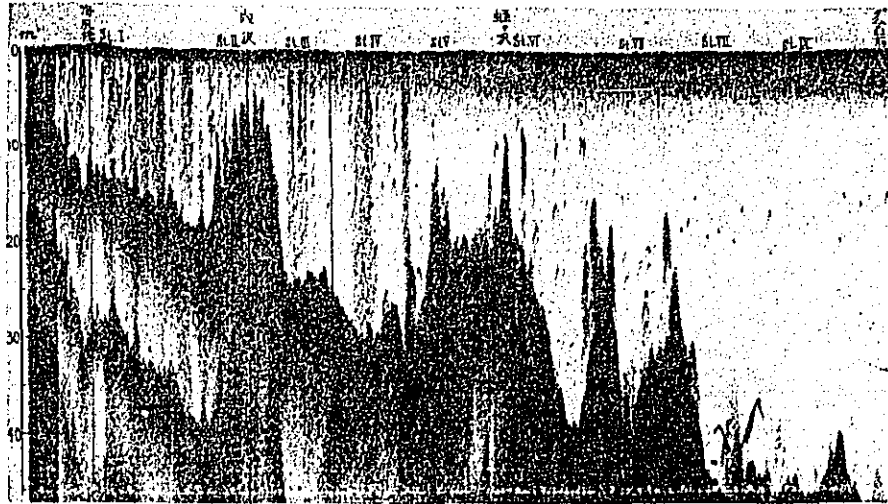


図12・2 栃木県五十里湖におけるメタンガスの発生状況
(1960年9月、F701)

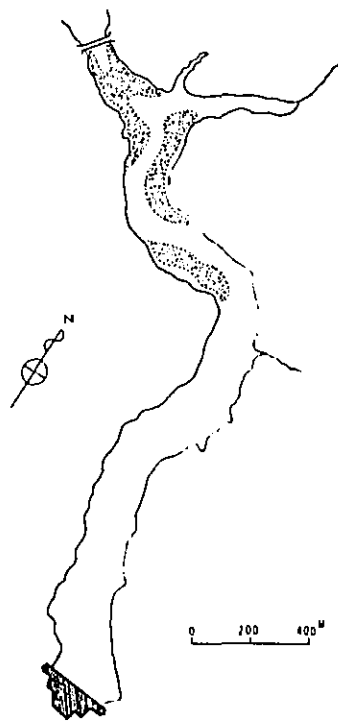


図12・3 栃木県五十里湖におけるメタンガスの発生地区
(1960年9月)

上流区でも流心の流速の大きい所にはメタンガスの発生はみられず、流速のゆるやかな渦流の生じやすい所に顕著なメタンガスの発生が見られる。これは渦流のある所では流れが小さくなり、有機物が堆積するものと思われる。なおメタンガスの多発している水域でも岸近くには発生していない。これは一般に湖岸の傾斜が急で朽葉が堆積し得ないためと思われる。

なお同人工湖における湛水3年後の1962年3月には魚族が著しく増加していたが、メタンガスの発生は減少していた(白石・古田・徳永、1963)。これは最初の調査が9月すなわち落葉時期であるのに対し、1962年には3月すなわち冬季末の調査であるためメタンガスの発生は季節的に著しい差があるように思われる。

次に図12・4は神奈川県相模湖において1960年10月に記録されたメタンガスの発生状態

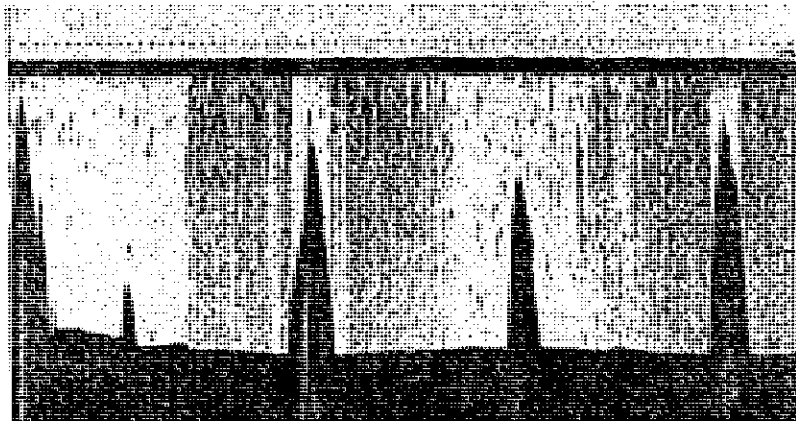


図12・4 神奈川県相模湖におけるメタンガスの発生状況
 (1960年10月、F701)
 突出部は湖岸を示し、その傾斜区域もメタンガスは発生していない。

で、ダム的一方の岸と対岸とでメタンガスの発生状態が著しく異なる。そこで上流よりダムサイトまでデグザグコースによりメタンガスの発生状態を記録し、これを分布図に示すと季節により異なるが、代表的な10月の結果を示すと図12・5のようになる。メタン

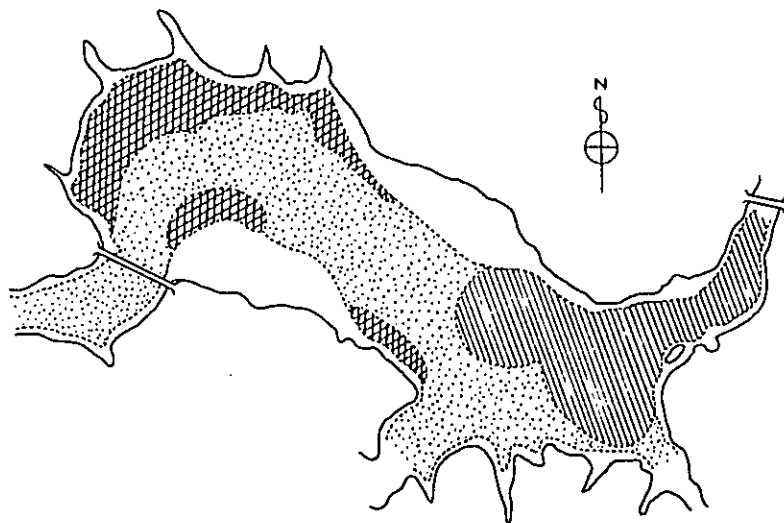


図12・5 神奈川県相模湖におけるメタンガスの発生分布。交線地区は大形の泡沫発生水域、斜線地区は微細な泡沫の発生水域、点の水域は僅かの発生を示す(1960年10月)

ガスの発生分布地域は概して湛水前に河川のあった所が湛水後も流心となっており（中野ほか、1950）、その地帯からのメタンガスの発生は少なく堆積物が少ないことを示している。一方上流区の渦流のあると思われる地帯では前記五十里湖と同様に不規則に多量のメタンガスが発生している。また下流区一帯から発生するメタンガスは図12・4に見るように気泡が小さく肉眼的にも見えない場合が多いが、その量は魚探像から見て莫大なものであろう。このように上流区の渦流域では大型気泡が不規則に発生しているが、下流区では一面に微細なメタンガスが発生している。これは上流区が落葉をはじめ多量の有機物が堆積しているのに対し、下流区にはプランクトンや微細なセストンが沈着し従って、それぞれメタンガスの発生状態が異なっているものと思われる。

なお湖岸より湖底平原に至る急傾斜地帯からは五十里湖と同じく周年メタンガスは発生しないが、ここは急傾斜のため落葉その他の有機物の堆積のないところで、むしろ岩盤などが露出している場所と考えられる。

以上のように魚探によってメタンガスの分布状態から有機物の堆積状態が推定され、それから更に測定困難な湖流の流動状況を推定することができる。

メタンガスの発生の最も著しいのは新しい人工湖であるが、古い人工湖ではまた別な発生状況を呈し、更に天然湖でも発生している例が少なくない。例えば琵琶湖などでも図10・5上図に見るように、北湖における湖岸のおちこみと湖底平原の交線の所からは至るところメタンガスが発生している。

諏訪湖をはじめ冬季結氷する湖沼では「釜穴」または「ガス穴」などと言われてメタンガスが氷下にたまり、またその地点だけ結氷しないのでたやすく認められるが、魚探によれば結氷しない時期でもメタンガスの発生の多少が記録され、更に前記相模湖のように目に見えないメタンガスも記録される。

また特にメタンガスが発生浮上する際には湖底付近の水をまき上げるほか、泥中のプランクトン遺骸を気泡中に包んで浮上し、水面でこれを散布するので、相模湖のように広範囲にしかも周年メタンガスを発生している水体では、湖の物質循環の上でもメタンガスの発生は少なからぬ役割を果たしているものと考えられる。

これら資料をもとにしてメタンガス発生の貧栄養・富栄養などの湖沼のタイプによる差、また人工湖と天然湖の差、水体の新旧による差、一水体における発生の水平分布、季節的变化などについて研究することにより、多くの新しい知見が得られよう。

3) 水温躍層とプランクトン躍層

一般的に水温計では水温躍層はわかるが、プランクトン躍層がわからない。一方プランクトンネットではプランクトン躍層がわかっても水温躍層はわからない。更に水温躍層とプランクトン躍層の存在によって魚族の遊泳層なども左右され(図11・11)、これらがお互いに関連し合っていることが伺われる。これら水温とプランクトン、魚類の生息層の関係はきわめて密接であるので、プランクトン躍層の深さから水温躍層の深さをたやすく推定できる。

一方木崎湖で水温の垂直分布からニジマスの遊泳層を推定した特例(中野1931)はあるにしても、一般的に見て水温躍層やプランクトン躍層から魚族の遊泳層を推定することはむずかしい。また従来湖沼においては水温躍層は場所によって著しい差はないものとしておもに湖心で観測されてきたが、プランクトン躍層を手がかりとしてその水平分布を調べてみると、場所によって水温躍層の深さや構造がかなり違うことがあり、また湖心で躍層があっても沿岸帯には見られないこともある。たとえば大量の取水により擾乱されるダムサイトと静かな入江の水温とではかなり差異があり、水温躍層も従ってプランクトンの垂直分布状態も著しく違うことがある。宮崎県の小野湖で調査した例は図12・6のよう

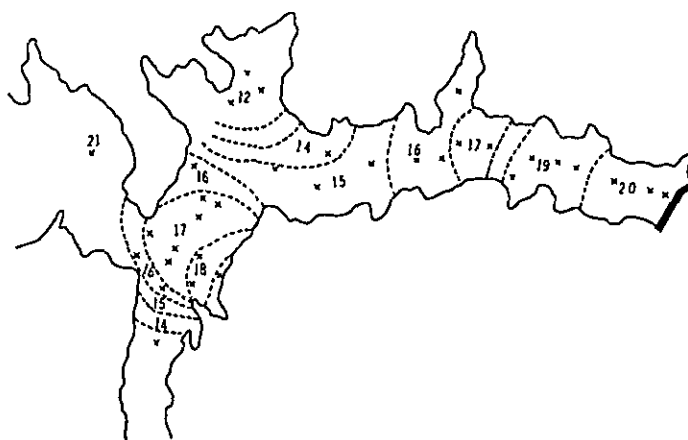


図12・6 宮崎県小野湖における水温躍層深度の水平分布

サイトでの水温躍層は20mにあるのに対し、入江では12mと実に8mもの差があることがあった。これに左右されて魚族の垂直分布も場所により著しく異なっていた。

図12・7は1960年7月及び10月の十和田湖における水温躍層の深度の分布状態で、図10・1中のように表水層と深水層の間は明瞭なかつ安定した反射の差異を示すので、その境界を水温躍層として全湖についてその深度を記録し、等深線で整理したものである。図に示すように水温躍層は西南部が最も浅く、18m以下で東北部へ進むに従って深くなっているが、中の海は一般深く21mを示し、かつ安定した状態を示していた。

これら分布状態からは卓越風が西南より東北に吹き、中の海では過流をおこしている事が推察される。それによって吹走流やプランクトン分布、更に魚族の分布などもこの水温躍層の分布と密接な関連が考えられる。

以上のような事例も各地点の水温を転倒寒暖計や電気水温計で測っていたのでは全般的に把握することはむずかしいが、魚探による調査が進めばこの様な例はより多く発見される可能性がある。

4) 動物プランクトンの上昇

上記のように魚探によれば水温躍層やプランクトン躍層は昼間きわめて簡単に認めることができ、動物プランクトンのあるもの特にその幼体は日没前後に深所より浅所に上昇し、日の出と共に再び深所に沈下することが知られている。しかし実際には短時間の間にどのように上昇移動するかを調べることは簡単ではない。海洋のように200mも深い所に見られるDSLなどについてはなおさらである。

しかるに魚探によるとその間の移動状態がたやすく把握できる。図11・2上図は琵琶

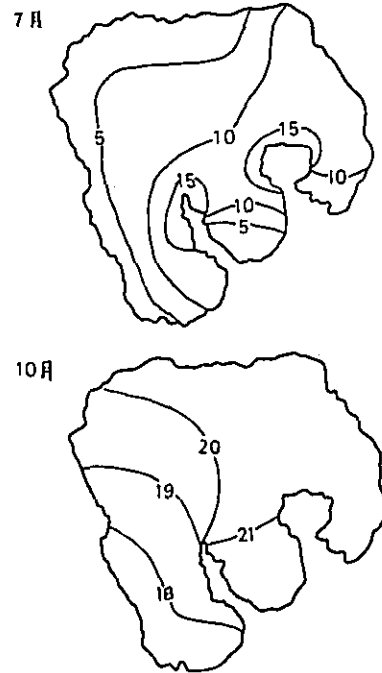


図12・7 十和田湖における水温躍層の深度の分布状態
上図は1960年7月、下図は1960年10月
(NTLB-1500)

湖菅浦沿岸付近での例、下図は琵琶湖沖合の例である。琵琶湖のこの頃における躍層形成の優占種は *Eudiaptonus japonicus* の Nauplii であると思われるが、このほかに *Mesocyclops*, *Cyclops*, *Daphnia*, *Diaphanaroma* なども混じっている (伊藤 未発表)。

これらが構成するプランクトン躍層は前述のように水温分布と密接な関係があり、かつ比較的低周波数の魚探により明らかに記録できる。しかも図に見るように少なくとも一団となって上昇し、かつその速度は比較的一定している。その上昇距離と所要時間から上昇速度を算出すると表 12・1 のように 1 分間に 0.3 m 前後の上昇速度である。この値は

表 12・1 琵琶湖及び芦ノ湖における動物
プランクトンの上昇速度

湖沼名	地点	調査時期	調査時刻	上昇距離(m)	上昇速度($\frac{m}{min}$)
琵琶湖	今津沖	1959. VIII 25	1815~1835	13 ~ 2.5	0.28
"	"	" VIII 26	1830~1845	11 ~ 8	0.20
			1845~1900	8 ~ 3	0.33
"	菅浦	" IX 16	1820~1836	12 ~ 6.5	0.33
			1836~1848	6.5 ~ 3	0.31
芦ノ湖	湖心	1960 IX 20	1800~1805	32 ~ 31.5	0.10
			1805~1815	31.5 ~ 30.0	0.15
			1815~1825	30.0 ~ 27.5	0.25
			1825~1835	27.5 ~ 20	0.75

Worthington (1931) の示した値よりやや大きい、種類による差異か湖沼による差異かは今後の検討によらなければならない。

更に 1960 年 9 月 20 日芦ノ湖の例では上表に示したように深い所では 1 分間に 0.1 m 位の上昇速度であるが、浅い所へ来ると逐次速くなり、20 m 前後では 1 分間 0.75 m とかなり早くなっている。この点は Worthington (1931) より引用した Welch (1952) の図から見ても上昇速度が表水層へくるほど大きくなっており、魚探によるものとプランクトンネットによる結果が一致した傾向を示している。このように深さにより速度に差がある点などをプランクトンネットで研究することはむずかしく、上記の

Worthington (1931) の例は多大の労力をかけての成果であろう。

このように魚探では天空の明るさにより、季節により、湖沼によりこれらの上昇速度が違うかどうかなどが比較的たやすく調査できるが、まだ多くの事例についてくわしい調査がなされておらず、今後の研究にまたねばならない。

6) 動物プランクトンの下降

動物プランクトンの上昇移動が夕方行なわれるのに対し、下降移動は朝方行なわれるが、朝方早く調査することは夕方の調査より困難で、このため調査例数はきわめて少ない。図 11・17 は前述したように朝方の下降移動の 1 例である。

また琵琶湖における 1959 年 8 月 27 日早朝の琵琶湖今津沖の例によると 3~7.5 m の間を 13 分間で下降し、その速度は 0.35 m/sec で上昇速度よりやや速いことになる。この点も Worthington (1931) の結果と類似しているが、例数が少ないので、今後の資料蒐集をまって検討しなければならない。

いずれにせよ動物プランクトンの下降移動も上昇移動と全く同様にして比較的たやすく調査することができる。

12・2 水産学的应用例

すでに述べてきたように魚探によって多方面の湖沼学調査が可能ではあるが、何といてもその特長は魚族を採捕することなく、しかも数 m から数 100 m の深さまでの魚の動勢を瞬時にして知ることができることである。このことは魚種がわからないという魚探の欠点を補ってなおあまりある長所といえることができる。

従ってこの利器を使って今まで述べてきたように各方面にわたって魚の生態を知ることができるが、なお 2・3 の水産学的应用例を述べることにする。

1) 垂直分布

まず最も手軽に得られる結果は魚族の垂直分布である。従来魚族の垂直分布は一般に刺網などによって調査してきたが (Dendy 1948、白石 1961、ほか)、その労苦は一通りでなかった。魚探によるとほとんど瞬間的に遊泳層が判明する。

図 12・8 は富山県の主要な 3 つの人工湖の魚族の垂直分布で (白石・古田 1963) 各水深における尾数は 1,000 m² 当りの密度を示している (密度の算出方法については後述する)。

有峰湖は海拔高度 1,087 m の高地にあって、水温躍層は 3~6 m に見られ、魚族はその直下に密集しておりイワナ、ヤマメ、アブラハヤなどが多い。室牧湖の海拔高度は 178

m余で層厚は1~1.3 mにあり、魚族は温水魚が優勢としていて表水層の中に多い。更に小牧湖の海拔高度は259 mで、10数種の温水魚が生息しているがいずれも表水層中に生息している。

このように水温層の深度に応じて魚族の分布も一様ではないが、少なくとも水温と魚族との関係は密接で、魚種

の解明と相まって魚族の垂直分布とその環境条件との関係を調査するために魚探は欠くことのできない利器となろう。

図12・9は天然湖である菅沼におけるヒメマスヒメマスの遊泳層の例である。この湖にはわずかのニジマスニジマスが見られるが、主としてヒメマスヒメマスが生息しているので同図の遊泳層もヒメマスのそれと考えると差支えない。これに見るように上沼より中沼、中沼より下沼と逐次その遊泳深度が深くなっている。この3つの沼は狭い切通しによって通じ、ヒメマスは自由に移動できる。従ってこれら3湖のヒメマスが同体型のものと考えられるのに、このように遊泳層が違うのは水温の垂直分布と水中照度の条件が違うためと考えられる。すなわち魚は上沼では水温8.8~6.9℃の間に、中沼では10.9~8.2℃の間に、更に下沼では11.4~5.4℃の間に分布してその遊泳深度がちがってはいるが、いずれの湖でも水温層の直下

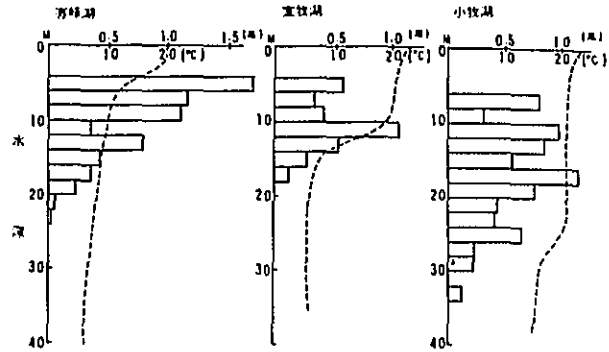


図12・8 富山県の3人工湖における魚族の遊泳層と水温の垂直分布との関係、尾数は1,000 m²当りの尾数

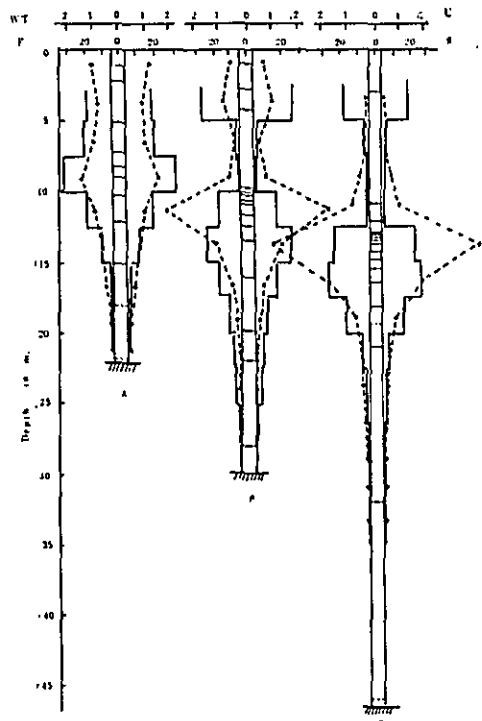


図12・9 菅沼の上・中・下沼におけるヒメマスの垂直分布と水温との関係、点線は2.5 m毎の水温較差を示し、実線はヒメマスの密度を示す。

に集まっているという点では共通している。

このことはヒメマスが代表的冷水性魚族であることによるものであると思われるが、なお今後検討すべき点が少なくない。

2) 垂直分布の年周期性

上記のような魚族の垂直分布は周年一定であるはずはなく、水温やプランクトンの垂直分布などに左右されて周年変化を示すことは当然であろう。図12・10は中禅寺湖における魚族の夜間における遊泳層の周年変化と、これに対応する水温の垂直分布を示してある。

中禅寺湖にはヒメマス、ウグイをはじめ10種内外の魚族が生息しているが、湖の沖帯における魚族は昼間は種類によって遊泳層が異なるが、夜間はほぼ一定の深度に集中し、しかもその深度が季節的に変化する。

すなわち酷寒の2・3月頃には夜間でも20mを中心として5mまでしか浮上してこないが、6・7月には表面まで浮上して来る。しかし夏になると表層から10mまでは20℃内外の高温になるので、その好適水温が10℃～13℃と考えられているヒメマスは表面までは浮上できなくなり、15℃前後を中心として密集する。次に11月以降になって表層の水温が再び低下して15℃前後になると魚は再び表層まで浮上して来るようになる。

このように1年に2回、6～7月と11～1月に夜間魚が表層まで浮上できる時期があり、この時が釣りの好期となっているが、7～10月の間は表層の高温を避け、12月から次年度の5月までは表層の低水温を避けて10～25mに集中している。7～10月にマスがあまり釣れないのは不便なことで、その時期の遊泳層や餌料の多少などの究明によって、この時期でも釣果を上げることが今後の課題であろう。

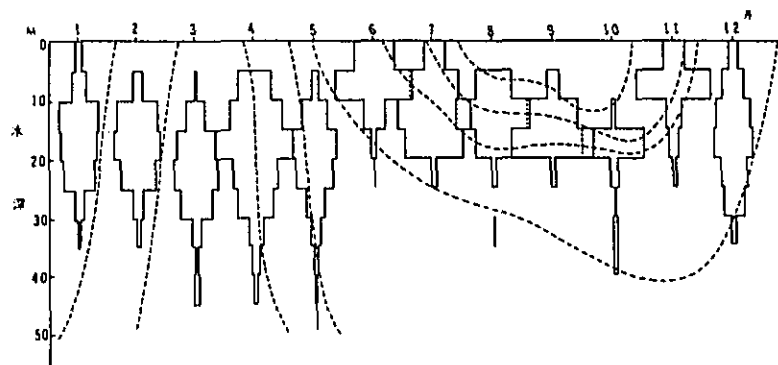


図12・10 日光中禅寺湖における夜間の魚族遊泳層と水温分布との関係(1966年)

3) 魚族の上昇移動

上述のように魚族の垂直分布は季節的にも変動しているが同時に1日のうちでも特に夜

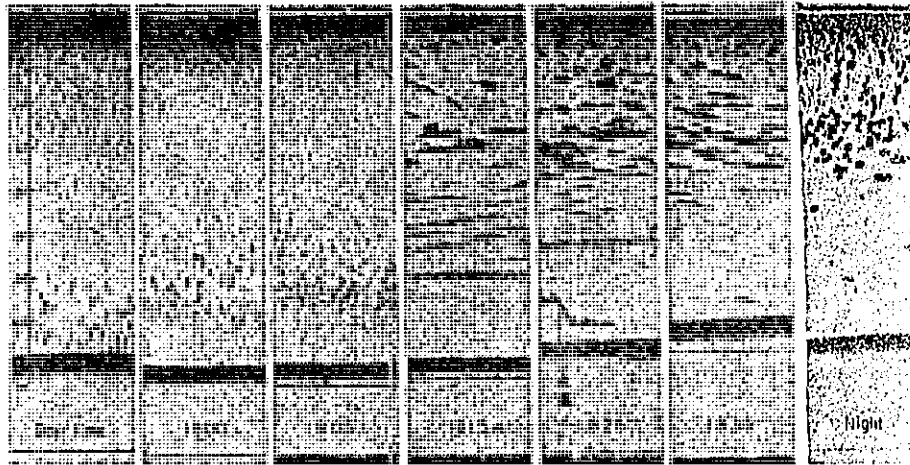


図12・11 神奈川県芦ノ湖における夕方の魚族の上昇状況。18時15分以後は停船記録。プランクトン層が記録されている。濃い像は魚体、うすい像は魚の上昇運動による水塊の擾乱を示すものと思われる。(1960年9月、NTLB-1500)

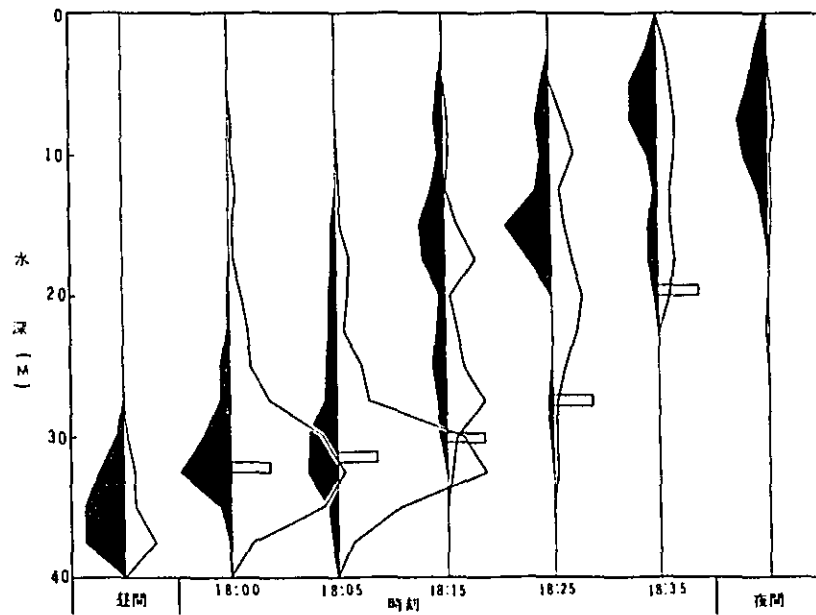


図12・12 神奈川県芦ノ湖における魚族の上昇状況。図12・11より計数。黒は魚族、白は遊泳による擾乱水塊。白いヒストグラムはプランクトン層を示す。(1960年9月)

と昼で異なり、その間著しい上下移動を行なっている。このことは一般に夕まずめ、朝まずめとして知られている。

下降移動については従来ほとんど調べられた例がなく、その様相が明らかでないが、上昇移動についてはすでに各方面の資料があり、白石・古田(1963)も1960年9月芦ノ湖のウグイの上昇移動について報告している。すなわち上昇の状況は図12・11のようで、これを深度計算して模式的に示すと図12・12のようになる。すなわち図12・11のように湖底に分散している魚が夕方18時頃から0.8 m/minの速度でほぼ表水層まで上昇する。この速度は田瀬湖(白石・古田 1962)における0.7 m/minとはほぼ似た値を示しているが、少なくともその時の動物プランクトンの上昇速度よりは、はるかに大きかった。

なおこの記録では魚の濃い記録以外に特に上昇時だけ魚の記録に似たるうすい記録があらわれるが、これは図10・3や図10・4に示したように水塊の擾乱が記される所から考えて魚の遊泳によって擾乱された水塊の記録と考えられる。

図12・13及び図12・14は先に示した図11・16から魚の浮上状態を図化した

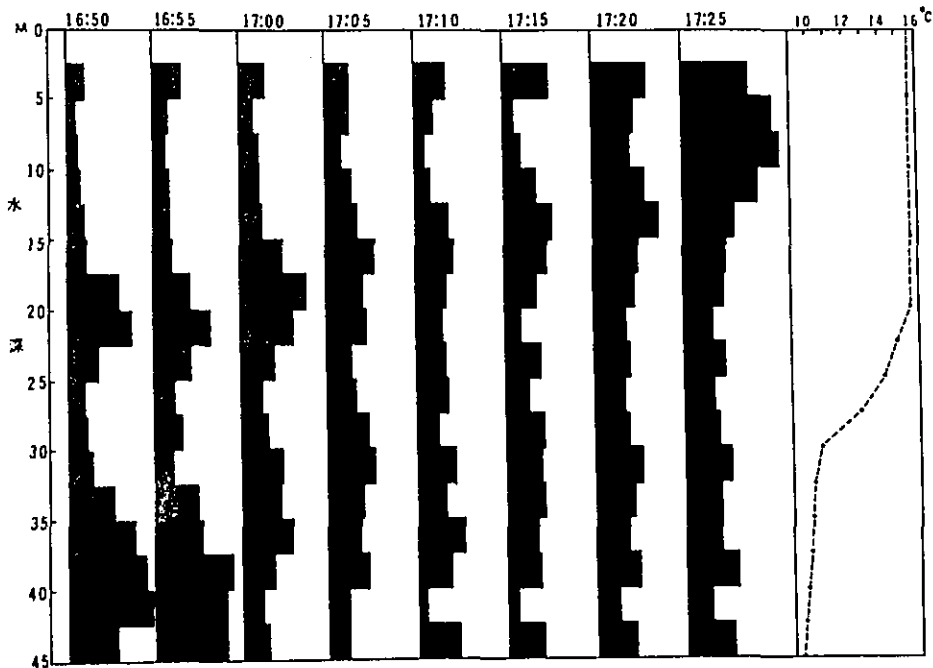


図12・13 滋賀県琵琶湖における夕方の魚群の分散浮上状況。図11・16上図より模式化。(1959年11月)

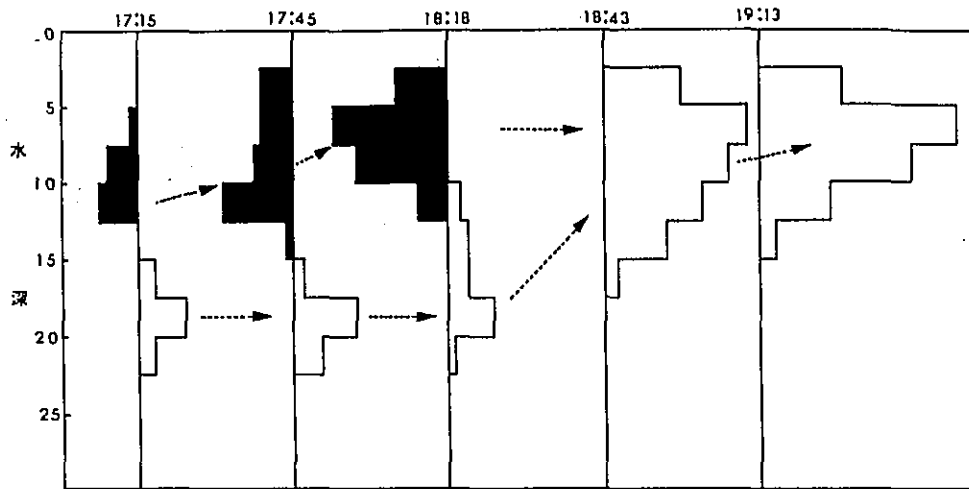


図12・14 群馬県丸沼における夕方の魚群の分散浮上状況。黒は魚群、白は单体を示す。
図11・16下図より模式化。

もので、図12・13では琵琶湖において20m層及び底層の45m前後の2層に密集していた魚が17時前後よりまず底層魚が移動を開始し、ついで20m層の魚群が浮上した。その上昇速度は約 0.35 m/min で通常の魚の遊泳速度からは考えられないおそさであるが、これはこの時刻の上昇移動が摂餌活動であり、表12・1に示したプランクトンの上昇にあわせて摂餌しつつ上昇していくためであると考えられる。

また図12・14下図の丸沼における場合でも魚群の上昇速度は約 0.25 m/min 、個体の上昇速度は 0.5 m/min ときわめておそい。

一般にプランクトンの上昇速度と魚族の上昇速度は常に一致しているとは限らない。この点も今後資料の集収によって検討すべきと考える。

4) 縦断分布

以上は魚の分布を一地点で垂直的に見た場合であるが、これを縦断面から見ても魚は一樣に分布はしていないことはもちろんで、それを調べることは従来漁具漁法ではこれまできわめて困難であった。

すなわち通常刺網によってまた特殊な場合には夜間投網によって分布を調べたものもあるが(白石 1961)その調査日数や調査範囲には労力の点で限度があり、これも魚探

によって比較的たやすく達成される。

図12・15及び図12・16はそれぞれ人工湖である田瀬湖及び五十里湖における魚族の密度の縦断分布を示したもので、最高密度の場所がほぼダムから流入口までの中央にあり、かつ併記してあるように動物プランクトンの最高密度域ともほぼ一致している。

図12・17は檜原湖における魚族の縦断分布で、ここでも前例と同じく、長軸のはほぼ中央に密度の最も高い水域が見られ、動物プランクトンもほぼ同じ水域に高密度の場所が見られた。

このように餌料としての動物プランクトンの密度の高い水域と魚族の密度の高い水域が一致していること

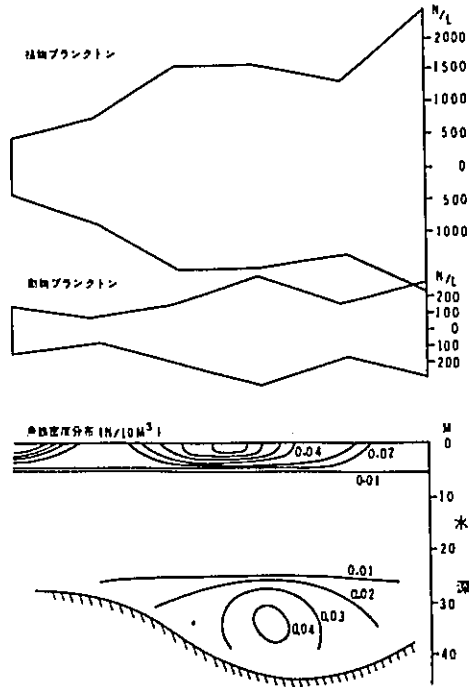


図12・15 岩手県田瀬湖の流入河口よりダムサイトまでの植物及び動物プランクトン並びに魚族密度分布 (1961年10月)

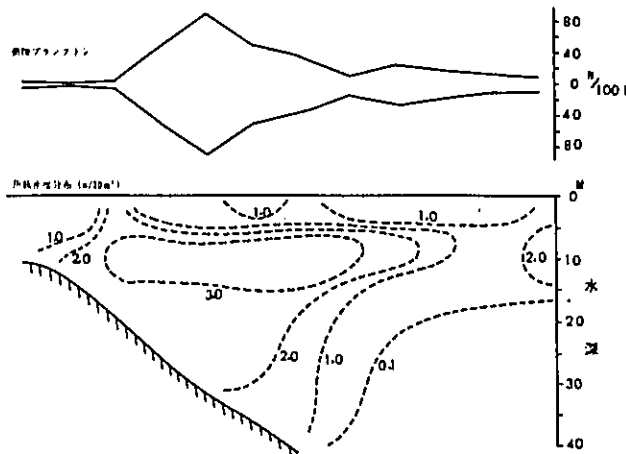


図12・16 栃木県五十里湖における流入河口よりダムサイトまでの動物プランクトン並びに魚族の密度分布 (1962年3月)

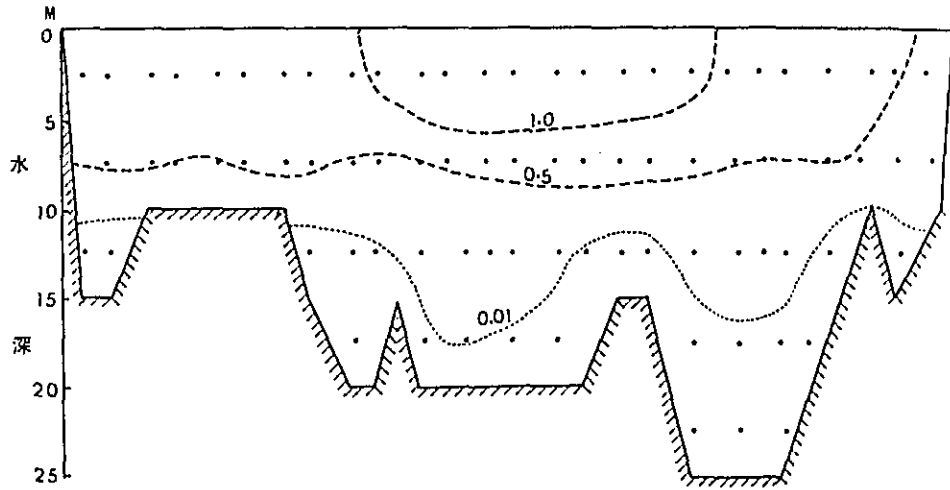


図12-17 福島県楡原湖の魚族密度の縦断分布。数字は100㎡当りの尾数(1961年9月)。

は、上記の人工湖や天然湖のはかに前述の富山県の有峰、小牧、室牧の3つのダムでも見られ、比較的普遍的な現象のように考えられ、しかもその地点が流入口付近でもなく、ダムサイト付近でもなくその中間にあることは興味ある現象で、今後の検討が待たれる。

5) 水平分布

以上のように縦断分布がわかると、同じ手法で水平分布も調べることができる。ただし

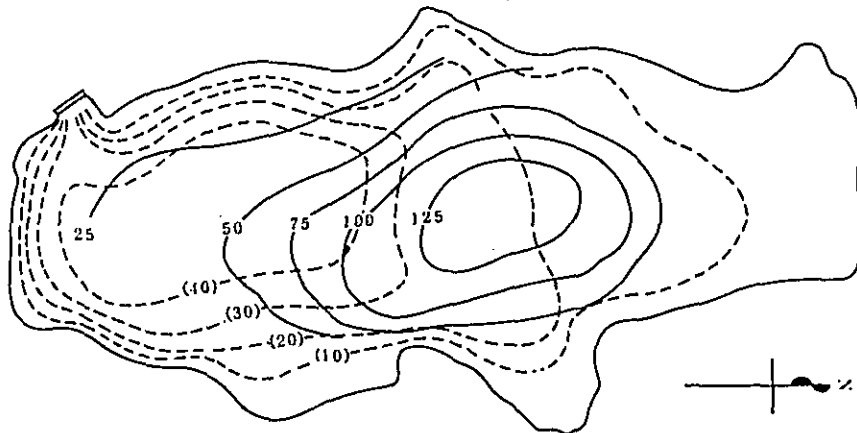


図12-18 群馬県丸沼における夜間の水深7.5～10mにおける魚の水平分布。数字は10㎡あたりの尾数を示す。点線及び括弧内の数字は等深線を示す。(1962年7月)

各地点は水深がちがうので、深い所までの魚の個体数を平面に集積して示すのは不合理で、その表示方法についても今後の検討を要する。

図12・18は群馬県丸沼の夏季における例である。本湖では夜間表、中層群と深層群に明らかに3分されるので、5～10mに分布する中層群のみを対象として湖水をデグザグコースによって調べ、各コースを細分してその中での密度を算出して図示したものである。

図に見るように一般にこの中層群は湖岸での密度は小さく、湖水の中央が最も密度が高く同心円的に分布している。しかしこの最も密度の高い所はいわゆる湖心ではなく、昼間大きな魚群の見られる亜沿岸帯のおちこみで、夜間になるとここを中心として四方に分散するものと考えられる。

これらの生態から見ると、この中層群はワカサギと考えるのが妥当であり、事実丸沼ではかなりのワカサギが生息し産卵期には流入する小川へ大量にそ上する。

また図12・19は1960年十和田湖におけるヒメマス密度の水平分布で、十和田湖のヒメマス成魚は昼間水温躍層下に大きな反射を示す記録として明示されるので、これを300m毎に計数して分布図を示したものである。上図は1960年7月のもの、下図は10月のものである。図に明らかなように7月には湖岸帯に分布しているが、10月には湖の南部の深い所に多く集まるようになる。

このように少なくとも比較的な分布状態はこまかい密度を計算せずとも簡単に把握することができる。

6) 資源尾数の推定方法

以上魚族の垂直水平分布及びその移動状況や季節的变化が魚探調査に

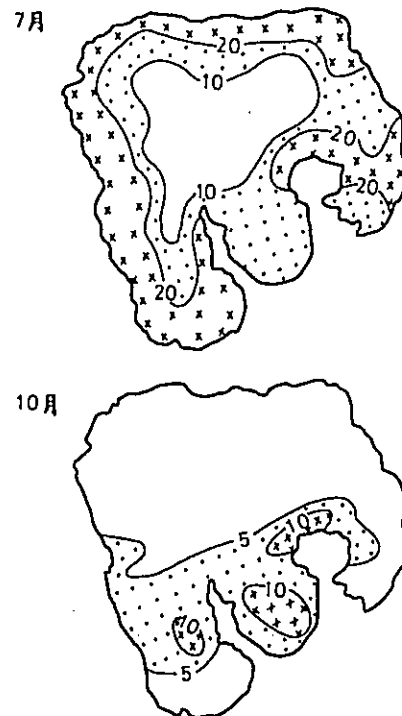


図12・19 十和田湖におけるヒメマスの密度の水平分布。
上図は1960年7月、下図は1960年10月
(NTLB-1500)

よって、従来の方法よりは比較的たやすくわかる事を述べたが、それらは結局質的または生態的面的量的表示にすぎない。

一方水産資源学の分野で最も重要な作業の1つは個体数の推定であり、従来の資源研究の努力の大部分はこの一点に投入されてきたといっても過言ではない。

魚探によって魚群量を推定する試みはYokotaほか(1953)をはじめ、黒木ほか(1953)、川田(1952)などによってなされたが、いずれも魚群を対象として行なわれて来た。これに対して西村(1966ほか)らはマグロの単体記録からその密度や資源量を算出することを考え、石井(1969ほか)はこれを機械的に計数する試みを行なっている。

次に述べる方法(白石・古田 1963)は、夜間魚が群を解いて分散浮上した時を見計って調査するもので、まだ完全とはいえないが資源量推定の有力な方法の1つと信ずるので、とりあえずその基本原理と応用例について述べることにする。

使用する魚探は目的とする湖沼の深さ、または魚族の遊泳深度の限界などにより適当なものを選択する。

また魚族の密度により使用する波長と船速を適当に組合せ、魚の個体が記録紙上で1つ1つ数えやすいように心がける。たとえば魚の密度が濃い時は200KCでなるべくゆっくり走り、魚影が少ない時は50KCで早く走ってもよい。一般には船速を小さくし、低周波を使うと適当な記録が得られやすい。

魚探から音波が発射される角度すなわち指向角は機種によって一応規定されてはいるが、実際にどの範囲の魚が記録されているかは前述のように実際に記録された映像から直接有効指向角を算出して決定するのが最も簡単である。これら各深度について求めた有効指向角をつなぎ合せて、有効指向角曲線を描き、これを適当な水深ごとに区切って掃射面積(a)を算出する(図12・20)。

航行距離 ℓ は通常航程計またはオートログによって測定されるが、簡単な方法としては一定速度で各コースを航行し、地図上で求めたコースの長さ ℓ と所要時間から航行距離を算出する方法が便利である。

魚群密度の算定については掃射幅が深度によって異なるため、密度は深度別に求める必要がある。まず掃射水容積Uは深度層別の掃射面積をaとして航行距離を ℓ とすると $U = a\ell$ によって求められる。次に掃射水容積内の個体数Sは、魚探記録上で各深度層内の航行距離a間の像の数としてかぞえられる。うすい像もすべてかぞえるようにする。U

水深	50 KC 有効指向角曲線	掃射 面積 M ²	200 KC 有効指向角曲線	掃射 面積 M ²
0		16.0		6
5		42.8		16
10		59.9		21
15		70.6		23
20		78.5		24
25		84.0		23
30				23
35				21

図12・20 有効指向角より算出した深度別掃射面積

とSが得られれば密度は $d = S/U$ として計算される。密度は各深度層、各地区ごとに算出され、これによって等深度間の密度分布や垂直密度分布などが数量的に表示できる。富山県の人工湖(図12・8)や丸沼(図12・18)の密度分布はこのようにして算出された。

最終目的である総個体数の推定は各水域ごとに深度層別の体積Vがわかれば、個体数は $d \cdot V$ として求められ、これを深度層・水域について加え合わせれば、全水域の総個体数が推定される。深度層別の面積は、湖水の形を厚紙で作し、各水域別の重量比を用いて全湖面積を案分比例する方法(田中 1918)によって求められる。これに各深度層の厚み(深さ)をかけて、各深度層ごとの水容積とする。計算の手順を一覧表にすると表12・2のようになる。

以上の方法によって推定した資源尾数の1例を表12・3に示した。群馬県菅沼は主としてヒメマスしか生息しないので、この資源尾数はすべてヒメマスと考えられる。このうち特に中沼について詳しく調査したが、一夜のうちに同一方法で行なった3回の計算例は10%内の誤差であった。また芦ノ湖においては湖底及び沖帯の魚群について算出した(白石・古田 1963)。このほか中禅寺湖・檜原湖・十和田湖など資源尾数の算出例は逐次増加している。

表12・2 総資源尾数を算出する手順

コース №	I						
等深水域 №	1	2	3	n		
等深区分	1						
0~5 m ($a_1=6.0$)	S_i	S_1	S_2	S_3	S_i	S_n	a 掃射面積
	l_i	l_1	l_2	l_3	l_i	l_n	S_i 等深線内の魚体数
	U_i	$a_1 l_1$	$a_1 l_2$	$a_1 l_3$	$a_1 l_i$	$a_1 l_n$	l_i 等深線間の距離
	d_i	S_1/U_1	S_2/U_2	S_3/U_3	S_i/U_i	S_n/U_n	U_i 掃射水溶積
	V_i	V_1	V_2	V_3	V_i	V_n	d_i 単位水塊の密度
	N_i	$V_1 d_1$	$V_2 d_2$	$V_3 d_3$	$V_i d_i$	$V_n d_n$	V_i 水域水溶積
5~10 m ($a_2=16.0$)	S_i						N_i 水域資源尾数
	l_i						
	U_i						

表12・3 群馬県菅沼におけるヒメマス資源尾数

水深 (m)	上 沼			中 沼			下 沼		
	密度 /1000	水容積(m³)	資源尾 数	密度 /1000	水容積(m³)	資源尾 数	密度 /1000	水容積(m³)	資源尾 数
0~2									
2~4									
4~6									
6~8									
8~10	1.668	159,072	265						
10~12	3.540	146,320	518						
12~14	7.142	134,828	963	2.486	71,868	179			
14~16	5.132	123,336	633	3.587	66,626	239			
16~18	2.717	121,844	331	2.973	61,384	182	1.185	708,794	840
18~20	0.342	100,354	34	2.251	56,136	126	1.386	687,626	953
20~22				1.087	50,912	55	1.402	665,818	933
22~24				0.679	45,694	31	1.082	643,912	697
24~26				0.271	40,476	10		622,008	
26~28							0.063	600,102	38
28~30							0.191	578,198	110
計			2,744			822			3,571

なお魚探では単に個体数しかわからないので、魚種組成や体型組成を別に調査して推定できればこれと前記総個体数の推定値を魚種別、各体型別に案分し、さらに資源重量まで算出することができる。

しかし以上の方法によって推定される結果の客観性についてはなお検討すべき点が少なくない。

たとえば密度推定にあたって用いる指向角は表層で特に反射が強かったり、副極があるので、記録にかたよりが生じやすい。また深層の小さな魚がすべて記録されるかどうかにも問題がある。これらに対する検討方法としては前述の有効指向角の算出法のほかに水中に標的を沈下して、その記録から指向角を算出するなどの方法がある。またコースの選定にあたっての水体の区分法や層別の間隔などにも問題がある。

更に標識放流や多量の漁獲の前後の計算値を比較して、魚探の精度を算出する方法も考えられる。また刺網などによって魚種組成、体型組成を決定する段になるとより多くの難問題点が山積している。

これらの点の細部にわたって検討することはたやすい事ではないが、従来の資源推定法に比すれば遙かに迅速かつ簡便と言えるので、今後の発展を期待してやまない。

なおそれら密度や資源尾数の算出に際してはなお多大の労力を要するので、最近発達しているコンピューターを利用して能率を上げ、更に一定水域については調査と同時に密度や資源尾数が算出される、いわゆる直観式機械化の方向も考えていかねばならない。

主なる参考文献

魚群探知機の開発に関する研究は数多いが、ここでは直接魚探を利用する上で参考になる性能に関するもののみを集録した。またパンフレットやPR用のものなどは出来るだけ省いた。なお海外の文献についてはModern Fishing Gear of the World(1959, London)にくわしいので参照されたい。

1. 一般解説書

- Azhazha, V. G. and E. V. Skishkova 1960 : Fish location by hydroacoustic devices. Moskva, 1-114.
- 川田三郎 1956 : 魚群探知機。解説と漁業技術改良への利用法。1~300、東京、東海出版。
- 間庭愛信 1960 : mm波魚群探知機。35、11月号OHM、超音波応用号、1~6。
- 茂在寅男 1953 : 音響測深機。附、魚群探知機。1~122、神戸、海文堂。
- 日刊工業新聞社 1960 : 超音波技術便覧。616~617。
- 野田 隆 1968 : 魚群探知機概要。1~71。
- 大川 浩 1967 : 魚探の使用法。日水研、No.10、1~40。
- 内田六郎・菅沢美利 1958 : 魚群探知機。取扱の実際。OHM文庫、東京、オーム社。
- 和田英一訳(ビエールビカール著) 1951 : 超音波の話。白水社。
- Harton, J. W. 1959 : Fundamentals of Sonar. 1-413, United States Naval Inst. Annapolis, Maryland.

2. 魚探の機能に関するもの

- Feher, K. 1959 : Horizontal echo ranging. Modern Fishing Gear of the World, London, 512-514.
- Haines, C. R. G. 1959 : The development of echo sounding and echo ranging. Modern Fishing Gear of the World, London, 493-497.
- 葉室親正・石井謙治 1961 : 遠隔式中層曳網深度測定装置(Ⅲ型)について。漁研技報、別刷、15、53~60。
- 原田耕作 1950 : 磁歪式音波測深機の現況。水路要報、17、54~56。

- Jones, F. R. H. and G. Pearce 1958: Acoustic reflexion experiments with perch to determine the proportion of the echo returned by the swimbladder, *Exp. Biol.*, 35(2), 437-450.
- 橋本富寿 1951: 超音波測深機魚群探知機並にその応用に関する研究。漁船資料、2、1~134。
- Hashimoto, T. and Y. Kikuchi 1957: Ultrasonic propagation measurement in sea water up to 400 kc. *T. A. S. A.*, 29(6), 702-707.
- 橋本富寿・菊地喜充・西村実・間庭愛信 1958: 200 KC超音波による簡易水平ソナーの試作並びに海上実験。漁船研技報、8、119~129。
- ・間庭愛信・茂木和男 1953: 魚群探知機に関する研究 V、魚体の反射損失。漁船研技報、4、143~153。
- ・——・—— 1953: 魚群探知機に関する研究 VI、魚群体の反射に就ての基礎実験(1)。漁船研技報、4、154~161。
- ・—— 1956: 波長がmmとなった場合の魚体における超音波反射損失に関する研究。漁船研技報、8、111~118。
- ・—— 1956: 海水中の超音波の伝播特性。漁船研技報、8、113~118。
- ・—— 1961: 水中テレメーターに関する基礎実験。漁船研技報、15、119~124。
- ・西村実・間庭愛信 1955: 海水中におけるミリメートル波超音波の伝播特性並に魚群探知実験。漁船研技報、6、93~103。
- 平野正勝・野田隆・ほか 1952: 映像式魚群探知機の試製実験。水産研究会報、4、338~340。
- ・—— 1960: ニューテレビグラフ。電波時報、2月号、47~51。
- 川田三郎・吉牟田長生 1959: 魚群探知機基礎試験II。水中における網地の超音波反射特性。東海水研報、23、25~37。
- 菊地喜充・望月敬治・阿部弘 1950: 音響測深のマーヂンテスト。電通会誌、33、4、183。
- 熊嶺武晴 1950: 音響測深機と魚探機。漁船、52、248~250。

技報、別冊、155~166。

Hashimoto, T. et al 1956: On the collection net used in the case of observation of DSL. J. Tokyo Univ. Fish., 42(2), 151-156.

橋本富寿・間庭愛信 1954: DSLの超音波伝播特性に及ぼす影響に関する研究。漁船研技報、別冊、167~186。

Hashimoto, T. and Y. Maniwa 1956: Study of DSL by ultrasonic wave(1). J. Tokyo Univ. Fish., 42(2), 113-123.

————— 1956: Study of DSL by ultrasonic wave (2). J. Tokyo Univ. Fish., 42(2), 125-132.

————— 1956: Result of experiment on reflection of ultrasonic wave due to differences of water temperature and density. J. Tokyo Univ. Fish., 42(2), 133-138.

橋本富寿・西村 実 1953: 魚群探知機に関する研究 III. 魚群探知機による測量に関する研究。漁船研技報、4、134~137。

————— 1953: 魚群探知機に関する研究 IV. 魚群探知機による人工魚礁、投石及藻場の探知に関する研究。漁船研技報、4、128~142。

石田正己・ほか 1960: 潮境の探知に就いて。北大水産彙報、10(4)、291~302。

————— 佐野典達 1962: 海中不連続からの超音波反射について 第1報、海中小反射物群からの超音波反射の近似的取扱について。北大水産彙報、12(4)、279~292。

Johnson, M. W. 1948: Sound as a tool in marine ecology, from data on biological noise and the deep scattering layer. J. Marine Research, VII, (3), 443-458.

Komaki, Y. and Y. Matsue 1956: Observation on the so-called deep scattering layer(D. S. L.), with special reference to the vertical distribution of plankton. J. Tokyo Univ. Fish., 42(2), 139-150.

前田辰昭・上野元一・今尾昇 1965: DSLの研究 II. オコック海のDSLについて。北大水産研究彙報、16(4)、241~。

Moore, H. B. 1950: The relation between the scattering layer

- and the Euphausiacea. Biol. Bull., 99(2), 181-212.
- 西村 実 1961:海水騒音および魚群音の周波数特性について。漁船研技報、15、111
~118。
- Olsen, S. 1960:Observations on sound scatters in Newfoundland waters. J. Fish. Bd. Canada, 17(2), 211-219.
- Robert, S. 1958:Deep scattering layer in the Pacific and Antarctic Oceans. J. Marine Research, 17, (3), 430-442.
- 齊藤市郎・三島清吉 1953:音響測深機(魚探機)によるプランクトンの探知と漁場に於ける操業位置選定に関する研究(予報)。音響測深機による D. S. L の探知。北大水産 報、2(4)、269~272。
- 実吉純一 1952:超音波による魚群探知と測深。日本音響学会誌、8(2)、59~69。
- 鈴木恒由・佐野典達 1960:石狩川河川の流水によって湾内にできる潮目について。北大水産集報、11(3)、132~160。
- Uda, M. 1956:Researches on the fisheries grounds in relation to the scattering layer of supersonic wave. [Introductory report]. J. Tokyo Univ. Fish., 42(2), 103-111.

4. 海の魚に関するもの

- 青山 雄・見元孝一・柴田恵司・鶴木恵一郎 1970:S型魚群計量装置海上基礎実験および光学魚量計基礎実験結果報告。1~31。
- Beverton, R. F. H. and R. W. Blacker 1959:Echo sounding experiments in the Barents sea. IV Experiments on quantitative echo sounding in deep water. Minist. of Agri., Fish and Food, Fish. Invest. Ser. II, 22(9), 22-48.
- Cushing, D. H. 1952:Echo-surveys of fish. J. Cons. Int. Explor. Mer., 18, 46-600.
- Cushing, D. H. and I. D. Richardson 1955:Echo sounding experiments on Fish. Fishery investigations Ser. II, 18(4), 34.
- , A. T. Lee and I. D. Richardson 1956:Echo traces associated with thermoclines. J. Marine Research, 15(1),

1-13.

————— 1958: Echo sounding experiments in the Barents Sea. II, On the relation between trawl catches and counts of echo signals. Minist. of Agri., Fish and Food, Fish. Invest. Ser. II, 22(9), 7-16.

橋本富寿・ほか 1954: 魚群探知機によるコンブ群落の探知に関する研究。漁船研究技報、別冊5、187~194。

—————・間庭愛信 1958: 北洋鮭鱒漁場における魚群探知実験。漁船研技報、8、131~147。

—————・西村 実 1958: 魚群探知機によるトラバガニの探知について。漁船研技報、別冊、12、137~147。

伊東祐方・渡辺和春・西村三郎・笠原昭吾 1954: 能登海域におけるマイワシの産卵時刻と夜間の行動。日水研究年報、1、1~18。

Jokobsson, J. 1959: Locating herring schools on the Icelandic North Coast fishing ground. Modern Fishing Gear of the World, London, 528-531.

Johnson, W. H. 1939: Effects of light on movement of herring. J. Fish. Res. Bd. Canada, 4(5), 349-354.

Jones, F. R. H. 1959: Echo sounding experiments in the Barents sea. III. Echo sounding experiment with single cod. Minist. of Agri., Fish and Food, Fish. Invest., Ser. II, 22(9), 16-21.

海上電気K・K 1954: 魚群探知機の記録上より見たる魚群形と魚種の判別に就いて。(改訂版)、1~19。

川田三郎・原田陽三 1958: 魚群探知機による定置網漁場における魚道の測定の一つの試み(予報)。日水会誌、24(6・7)、469~474。

木村喜之助 1929: 音響装置による魚群検出法(其の一)。水産試報、24(2)、55~60。

—————・岩下光男・服部稔郎 1952: 音響測深機に記録されたカツオ・マクロ群の像。東北水産研報、1、15~19。

前田辰昭・上野元一・齊藤市郎 1959: 漁場の研究1。オロック海のサケ・マスについて。北大水産研集報、10(1)、47~56。

- 間庭愛信 1961: フィリッピンにおける魚群探知機の現状。漁船研技報、15、125~136。
- 三島清吉 1951: 魚群探知機によるスルメイカ群団の探知について。北大水産研彙報、1(2)、99~100。
- 三善清旭・宮崎一老 1942: 超音波による魚群の検出(1)。日水会誌、10(6)、283~284。
- 野沢 端・間庭愛信・田原陽三 1960: 尾鷲湾におけるブリ魚道の調査。尾鷲湾ダム放水の漁業に及ぼす影響の予察調査論文集、175~186。
- 大川 浩・町田 弘・佐々木文雄 1958: 北海道南部および青森県北部海域における魚探反応によるサバ魚群の分布並びに魚群行動変化の観察資料。北水研、漁具漁法科、1~55。
- 大渡 敏・ほか 1954: 魚群探知機の記録から見たイワシ群の生態(Ⅲ) 外敵の攻撃から逃避するイワシ群の魚探記録。日水会誌、19(12)、1144~1149。
- ・古野清孝・古野清賢 1953: 魚群探知機の記録から見たイワシ群の生態。日水会誌、18(12)、669~674。
- ・———・——— 1953: 魚群探知機によるアジ群の生態について。日水会誌、18(8)、362~364。
- ・——— 1954: 魚群探知機の記録から見たイワシ群の生態(Ⅱ) 水温に影響された場合の魚探記録。日水会誌、19(11)、1072~1076。
- Richardson, I. D. et al 1959: Echo sounding experiments in the Barents Sea. I. Problems of echo-detection of cod in the Bear island region. Minist. of Agri., Fish and Food, Fish. Invest. Ser. II, 22(9), 1-9.
- 1952: Some reactions of pelagic fish to light as recorded by echo-sounding. Minist. of Agri., Fish and Food, Fish. Invest., Ser. II, 18(1), 1-20.
- 斉藤市郎・三島清吉 1951: 底曳網漁場及び漁具漁法に就て。(昭和25年度調査) 北日本海深海魚田調査報告、2、7~57。
- Schulder, F. 1951: The present views and limitation of fish traces obtained in echo-sounding. Fischereiwelt, 3(7), 110~112.
- Shaeffers, E. A. and D. E. Powell 1959: Correlation of midwater

trawl catches with echo recordings from the North-Eastern Pacific. Modern Fishing Gear of the World, London, 517-520.

- 柴田恵司 1962:魚群探知機に表れた記録解析の試み I. 延縄の水中形状についての二三の知見。長崎大水研報、13、9~17。
- 1963:魚群探知機に現われた記録解析の試み—IV. D. S. L. とマグロ類の食物環境について(1)。長崎大水研報、15、59~84。
- 1963:魚群探知機記録の解析 II. 使用魚探の技術的考察並びにマグロを含む魚族の生態について。長崎大水研報、14、15~27。
- 1964:魚群探知機に現われた記録の解析—V. 黄海下りえび漁場について(1)。長崎大水研報、17、25~43。
- 1965:魚群探知機に現われた記録の解析—VI. 生物調査への応用について。長崎大水研報、19、37~46。
- 1968:魚群探知機の解析—VII. 魚の遊泳速度。長崎大水研報、25、59~65。
- ・矢田殖郎 1963:魚群探知機に現われた記録解析の試み—III. 延縄の水中型状変化の力学的考察及び鈎深度のコントロールについて。長崎大水研報、15、49~58。
- 田原陽三 1963:魚群探知機による定置網漁場における漁場調査。プリント、1~29。
- 高倉輝男 1954:魚群探知機によるスケソウダラ産卵群生態について。日水会誌、20(1)、10~12。
- Tester, A. L. 1943:Use of the echo sounder to locate Herring in British Columbia Waters. Fish. Res. Bd. Canada, 53.
- 宇田道隆 1952:海中超音波による水産生物研究の進歩。科学、22(2)、78~83。
- Yokota, Y., T. Kitagawa and T. Asami 1953:Basic study of fish school research by fish finder. 日水会誌、19(14)、341-375。
- 吉牟田長生・三次信輔 1956:超音波の魚に及ぼす影響。東海水研研報、13、51~60。

5. 陸水生物学にするもの

- 川田三郎・吉牟田長生・外4名 1952:湖沼に於けるワカサギ、オイカワの趨光性について。日水会誌、18(5)、227~230。

- 白石芳一 1962:魚群探知機による人工湖田瀬湖の魚族調査。岩手商工労働部漁政課、1～16。(パンフレット)
- ・藤井景介・田中実 1970:菅沼におけるヒメマス資源量の推定。JIBP-PP、湯ノ湖グループ、調査経過報告書、1～20。
- ・古田能久・ほか 1962:丸沼、菅沼、沼沢沼における魚群探知機による魚族の生態調査。高標高にある湖沼の水温、水質及び生物、魚族等に関する調査報告、134～169。
- ・—— 1963:魚群探知機による魚族の生態学的ならびに資源学的研究 第3報 富山県・有峰、小牧、室牧3人工湖における魚族分布と水温、プランクトンの関係。富山水産課、1～21。
- ・—— 1963:魚群探知機による神奈川泉芦ノ湖の魚族分布と資源尾数の推定に関する研究。淡水研報、13(1)、57～76。
- ・——・徳永英松 1963:魚群探知機による魚族の生態学的研究 第2報、五十里湖の魚族分布と環境条件。第4回人工湖利用部会資料、1～12。(パンフレット)

6. 陸水学に関するもの

- 秋元喜一郎・ほか 1950:音響測深機による貯水池の水深測量実験。沖電気時報、17(1・2)、1～9。
- Bobber, R. 1962:Interference versus frequency in measurements in a shallow lake. J. A. S. A. 33(9), 1211-
- Jones, J. L., C. B. Leslie and L. E. Barton 1958:Acoustic characteristics of a lake bottom. J. A. S. A. 30(2), 142-
- 川田三郎・吉牟田長生・外4名 1952:魚群探知機による湖沼水深測量。日水会誌、18(4)、171～174。
- 白石芳一 1960:魚群探知機の陸水学的応用。陸雑、21(3/4)、245～255。
- ・島田武・古田能久 1964:日光湯ノ湖における水産開発のための基礎研究。第一報、湯ノ湖の湖盆形態。淡水研報、14(1)、37～44。

索 引

A. 赤坂大沼	43	F. 藤原湖	70
アルフェロ合金振動子	16	副極	32
有峰湖	10	フナ	36
芦ノ湖	108	G. 減衰率	15
圧電式振動子	16	魚群	79
B. パーチェック	30	魚群探知機	8
琵琶湖	73	H. 波長	13
部品点検	24	半導電性物質	18
分解能	19	半減半角	30
C. 稚魚ネット	42	半減角	30
チタン酸バリウム振動子	16	反響余裕値	19
超音波	16	反射率	15
忠実性	13	反射損失	14
中禅寺湖	107	波浪計	8
コメット型	34	発振部	12
コンバーター	21	発振線	23
D. 電気音響変換器	16	桧原湖	112
電気的振動	16	ヒメマス	113
伝播減衰	14	ヒウオ	36
電波探知機	8	帆曳網	38
電歪式振動子	16	放電管式発振	20
洞元湖	71	表水層	64
E. 液面計	8	I. 五十里湖	111
円筒カム	17	池田湖	50
		インバーター	21

J. 地曳網	36	マージンテスト	19
磁歪式振動子	16	丸沼	91, 112
上下式装備	17	メッセンジャー	40
受波部	16	メタンガス	68, 98
受波器	12	御池	89
受信能力	14	宮下湖	67
		mm波	8
K. 可聴音	13	諸塚湖	46
海中騒音計	8	室牧湖	106
紙送り速度	19		
感度調節	27	N. 二重反射	57
乾式記録紙	18	ニッケル振動子	16
霞ガ浦	67	沼沢沼	67
キール装備	17	入力回路	20
気泡減衰	14		
機械的振動	16	O. 小野湖	102
記録紙	18	音速	12
北浦	38	音探	8
湖盆形態	54, 97		
小河原沼	59, 65	P. ブランクトンネット	41
コイ	85	パルス幅	19
小糸網	36		
小牧湖	106	R. 蝶状導体	17
高濃度消去		ランジュバン振動子	16
湖成鉄	61	リレー式発振	80
湖底堆積物	61	ロッシェル塩振動子	16
極浅海用魚探機	23		
		S. 相模湖	100
M. 埋没岩	58	西湖	95
埋没林	56	採水器	40

さかさ杉	56	S T C 回路	21
刺網	36	菅沼	116
性能点検	24	垂直伝播	14
整流器	21	水中電話	8
船底減衰	14	水平伝播	14
船底装備	17	水平ソナー	22
摂餌団	87	水温計	103
柴漬	40	水温躍層	64, 102
推葉湖	88	水晶板振動子	16
指示器	17	錘測	98
指向角	30	諒訪湖	55
指向面積	31		
支笏湖	64	T. 多重発射式	55
深度補正	29	探鯨機	8
振動子	16	探信機	
深海用魚探機	22	田瀬湖	6
真空管式発振	20	投石試験	43
深水層	64	十和田湖	113
シラウオ	38	築磯	40
湿式記録紙	18		
周波数	12	U. 鯉池	55
出力回路	20	魚付林	40
送波部	12		
送波器	16	V. バイブレーター	21
送波出力	14		
走航減衰	14	W. ワカサギ	82
底魚用魚探機	22		
測深機	8	Y. ヨシノボリ	84
掃射面積	115	湯の湖	97
掃射水容積	114		

著者紹介

白石 芳一

大正5年6月長野県生。

昭和16年12月東京文理科大学動物学科卒。

昭和17年2月より昭和21年5月まで兵役。

昭和22年6月より農林省水産庁中央水産試験場、東海区水産研究所を経て淡水区水産研究所勤務、この間学術論文100余篇の外カンボディア・タイ・マレーシヤへ調査研究のため出発。

