



Title	魚群探知機を用いた北海道倶多楽湖におけるヒメマス資源および生態に関する研究
Author(s)	飯田, 浩二; IIDA, Kohji; 鈴木, 恒由 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 32(3), 272-280
Issue Date	1981-09
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23766
Type	departmental bulletin paper
File Information	32(3)_P272-280.pdf



魚群探知機を用いた北海道倶多楽湖におけるヒメマスの
資源および生態に関する研究

飯田 浩二*・鈴木 恒由*

An Acoustic Survey for the Estimation of Fish Stocks and Behavior
of Kokanee (*Oncorhynchus nerka f. adonis*) in Lake Kuttara

Kohji IIDA* and Tsuneyoshi SUZUKI*

Abstract

There are two ways to estimate fish stock abundance with acoustic techniques. One is the counting method by pattern recognition of individual fish echo, and the other is the intensity integration method of fish school echo.

We carried out the basic experiment with the simple model to compare and examine these methods. We thought it would be an ideal condition to do experiment on the Kokanee (*Oncorhynchus nerka f. adonis*) since it is the only fish which inhabits the lake Kuttara, and also there are no inflow and outflow rivers, so the fish abundance does not fluctuate quickly.

The investigation was continued for two years, from 1979 to 1980 in every June, August, October for a week, day and night each time. The results suggest that they are dispersing near the surface at night time, and make a large school in mid water in the early morning, then the school becomes small and hastens their movement in day time.

The echo sounder we used was 50 KHz in frequency and the beam angle was 46° (half pressure point both angle). The transducer was placed on the ship's side with the sound axis 45° downward to the horizontal which enabled us to detect fishes horizontally.

ま え が き

近年、魚群探知機を用いて資源量を推定しようとする試みが、内外で盛んに行われている。その方法は、分解能を高めて得られる単体魚エコーのパターン認識によるカウンティングと、魚群エコーの信号強度を時空間で積分し、それに比例する魚群密度から、魚群量を推定するエコーインテグレーションに大別される。これらは、対象魚種の生態に応じ、使い分けられなければならないが、最終的にはその精度が問題であり、そのためには漁獲を含む実験的検証が必要となる。さらに、その実験はできる限り単純で、正確かつ実際の漁場で行われることが望ましい。すなわち、魚種が判別できること、魚群の逸散などによる魚群量の急激な変動がなく、また波浪からの船体動揺による測定系の変動の少ないことなどである。著者らは、こうした点を考慮して、北海道倶多楽(クッタラ)湖における、ヒメマスの生態調査を行うと同時に、魚群探知機による資源量推定のための基礎的モデル実験を行った。

* 北海道大学水産学部漁業測器学講座
(Laboratory of Instrument Engineering for Fishing, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

なお、倶多楽湖 (図 1. a, 1. b) は海拔 257 m, 面積 4.34 km², 最大深度 148 m を有するカルデラ湖で、その形状は、ほぼ円形に近く、ごく小さな細流を除くと、流入河川および流出河川はない。したがって栄養の補給が少なく、典型的な貧栄養湖に属し、これまでの透明度は最大 23.5 m を記録している。水産動物としては、北海道支笏湖から移入されたヒメマスの、ほぼ単一魚種が生息し、地理的にも、生物学的にも実験条件に恵まれた湖である。

本稿は、これまでの魚群探知機による調査結果から、同湖におけるヒメマスの生態を論じ、資源量推定や技術的問題点について検討した。

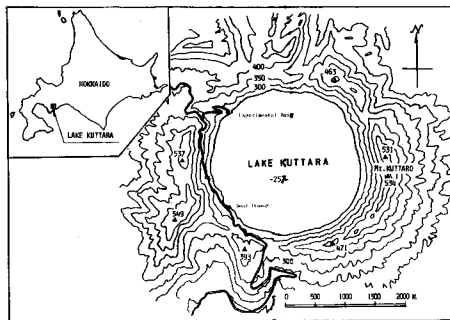


Fig. 1 a. The location and the topographical map of Lake Kuttara.

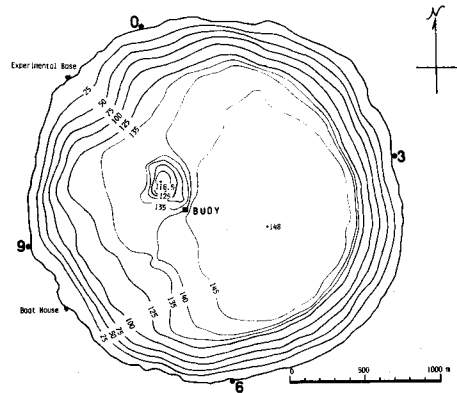


Fig. 1 b. The bottom topography of Lake Kuttara.

実験装置および観測方法

使用した魚群探知機はポータブル型で、電源は内蔵乾電池、または外部バッテリーによる。周波数は 50 KHz, パルス幅 1 ms で乾式記録紙を用いている。送受波器は、半減全角が 46° (実測値) のものを垂直の他に、俯角 10°, 20°, 30°, 45° の斜方向に向けられるように工夫し、実験艇の左舷側水面下約 1 m の所に固定した。実験艇は長さ 5 m, 幅 1.6 m の FRP 船で船外機を装備している。魚探記録は、記録紙の他、魚群探知機内部から増幅、検波後の信号を直接取り出し、アナログ型データレコーダに記録した。これらのデータは後日、魚探信号収録・処理装置^{2), 3)}を用いて、画像再生及び信号解析を行った。

観測に先立ち、磁気コンパスと六分儀を用いて湖水地形の測量を行い、位置の指標となるよう、おおよそ湖周を 12 等分するように標識を湖岸に設置した。湖水中央部にはブイを浮かべ、アンカーで固定した。また、垂直魚探を用いて、湖心を通る多数の縦断コースを航走し、湖底地形の把握に努めた。夜間観測には、各標識に簡易発光灯を付し、実験艇の測位に利用した。

船速及び観測コースの選定に当たり、魚群の移動速度や水平分布を考慮しなければならないが、初期段階では、魚群密度、生態とも未知であったため、自由な船速やコースをとったが、後に観測時間の短縮、定量的な比較、測位のし易さを考え、縦断コース、円形コース、四角形コースを採用した。船速はなるべく一定になるように走り、標識の出発、到着、通過時刻をもとに、後に計算で求めた。速すぎると、単体魚像の記録が難しくなるので、特に、夜間観測は 1-2 m/s で、昼間は 2-3 m/s で航走した。

また、斜方向魚探を用いることが本調査の特色でもあるが、その導入過程は次の様である。予備調

査において、50 KHz の垂直魚探を使用した、ヒメマスの探知頻度が非常に低かった。これを検討した結果、1) もともと魚群密度の低いヒメマスが、比較的表層を遊泳しているために、垂直魚探の探知範囲に入る確率が小さいこと、2) 実験艇が接近することにより、下方向の魚群が逃避する可能性がある、の2点が考えられたので、これらの解決策として、送受波器を斜方向へ向け、表層の横方向の探知を行うことにし、指向性、湖面反射等を考慮して、最適俯角の選定を行った。送受波器の半減半角は 23° (図 2. a) であるが、俯角を 30° にしても、近距離の湖面反射に、魚体エコーがマスクされることがあったので、最終的には俯角 45° に決定した。

さらに、全観測を通じて、ヒメマス単体として認められる記録の最大距離と、魚群記録のそれから、実測した指向特性をもとに、それぞれ探知範囲を推測した。すなわち、送波電力を P_0 、音源から距離 R の魚体のエネルギー反射率を γ 、送受波器総合指向性利得を $b^2(\theta)$ 、受波器で受波された反射波の電力を P_s とすると、

$$P_s = P_0 \gamma b^2(\theta) \frac{1}{R^4} e^{-2\beta R} \quad (1)$$

ここに、 β は吸収減衰係数であるが、本実験のような近距離では、一般に無視し得る。今、最大探知距離 R と、音軸と魚体とのなす角 θ 、との関係を求めるために、送波電力を一定、受信限界電力も一定とすると、(1) 式は、

$$R \approx k_1 \gamma b^2(\theta) \quad (2)$$

記録紙上で得た実際の魚体および魚群の最大探知距離から、これが最大反射率のものと考えられるから、したがって (2) 式は、

$$R \approx k_2 \sqrt{b(\theta)} \quad (3)$$

となり、等反射率物体の探知範囲は、送受波器の音圧指向特性パターンから一義的に求まる (図 2. b, 2. c)。ただし k_1 , k_2 は比例定数である。

調査は、1979-1980 年の各 6 月、8 月、10 月におおの 1 週間の日程で実施された。毎回、早朝、日中、夕刻、夜間に観測を行い、記録紙上での目視による、魚像の計数の他、磁気テープに記録された、魚探信号波形の解析により、魚群の大きさを推測した。

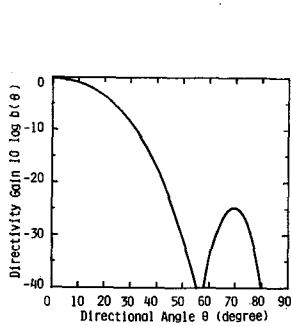


Fig. 2 a. Directivity gain of the transducer, where θ is the angle from the sound axis.

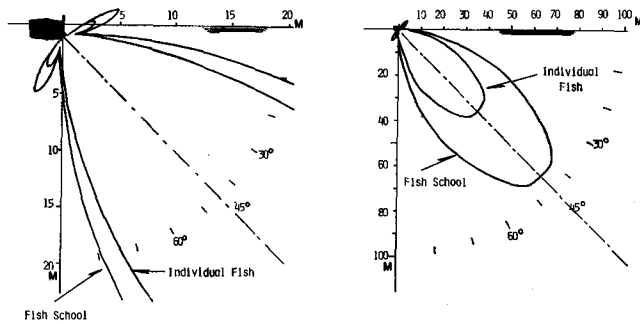


Fig. 2 b, Fig. 2 c. Detectable area of fish and fish school obtained by the transducer's directivity and the target strength.

魚探記録と考察

単体記録と群体記録について

夜間観測では、毎回、単体魚像(図3.a)を記録した。通常1-2m/sの船速では、多数のいわゆるコメットとして記録されるが、5m位の至近距離では、エコーの重複回数が少ないので、単体の識別が困難となる。また、船速を上げると、槍型から縦棒型となり、3m/sを越えると、層状の記録となり、ついに表面残響の中に見失うこともあった。この時の魚探パルスの発射回数は78回毎分であったから、5mの至近距離では、わずか1~2回の探知となり、これを説明している。単体魚像はほぼ20m以内の距離に集中しており図2.cから、少なくとも同水深に浅くに分布していると考えて差し支えない。また、魚群探知機の記録密度から、少なくとも距離分解能(理論値75cm)以上の間隔で表層に分散していることがうかがわれる。

次に、群体魚像(図3.b)であるが、これは一般に昼間に記録され、夜間には記録されない。群体魚像は単体のそれと比べると、強く、大きく、特に距離方向の厚さが大なので、一見して識別できる。春夏秋季を通して、その存在が認められ、50m以浅の中、深層に多く見られ、魚群の密度や大きさは、まちまちであるが、その出現頻度やエコーの強さから、一般に、早朝はその一つ一つが大きく密に成群し、日中時間が経つにつれて、群は小型化し、その移動速度を速める。この特長は、秋、夏、春の順で著しい。

昼夜間記録について

白石⁴⁾は、日光湯ノ湖での調査で、ヒメマスは、夕方になると沖合から岸寄りに移動して餌を食べ、そこで夜を過して朝方にはまた沖合に退避するという日周活動を行うと述べている。また、日中、深層にいる魚群が、餌料となる動物プランクトンを追って、夕方その群を解いて、分散、浮上するという一般認識に基づいて、本湖のヒメマスの水平的、垂直的分布および活動状態、成群状態について考察した。図4.a, 4.b, 4.c, 4.dは1980年6月下旬の魚群分布の日変化を示すもので、早朝(図4.a)、湖岸帯に比較的大規模で濃密な群を作っていたヒメマスは、日中、40m程の湖底に成群し(図4.b)、夕刻、小型群に分れ、20m付近に頻繁に現れ、摂餌行動を行っていると思われる(図4.c)。日没後(図4.d)、すでに単体として分散、浮上し、その分布は、湖岸だけでなく、湖心でも同様に

Fig. 3 a. Echogram of the typical individual fish echoes.

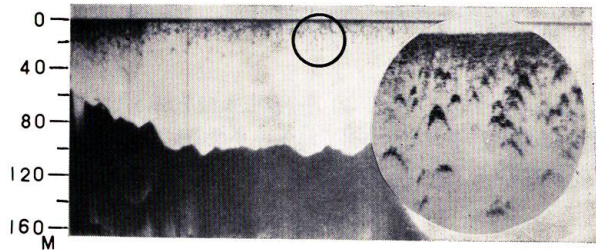
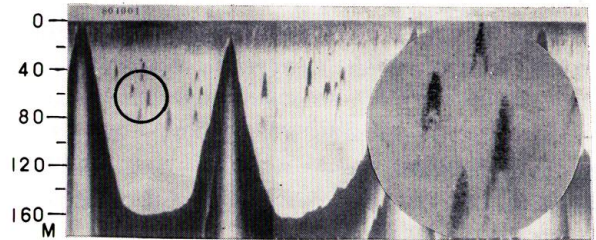


Fig. 3 b. Echogram of the typical fish school echoes.



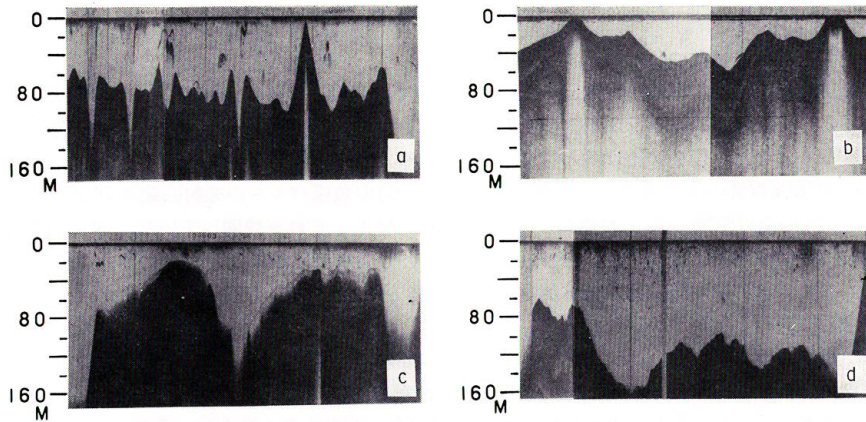


Fig. 4. Diurnal motion of fishes recorded on the echo sounder on June 23, 1980.
 a: Echogram in the morning, 0730-0800.
 b: Echogram in the noon, 1130-1230.
 c: Echogram in the evening, 1530-1620.
 d: Echogram in the night, 2010-2050.

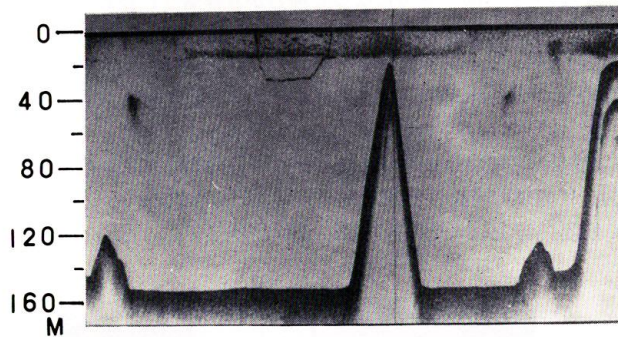


Fig. 5. Night time echogram obtained by crossing the lake with vertical echo sounder.

認められた。また、1979年10月の垂直魚探を用いた、夜間縦断観測において、湖心では薄く、湖岸で濃い表層散乱層の記録を得ており、小型の他魚種又は動物プランクトンの水平的な広がりを表わしている(図5)。しかしながら、夜間のヒメマス分布に偏りを見い出せるほどのデータは得ていない。

季節的特徴について

ヒメマスの生態の季節的特長は、特に早朝の成群状況に顕著である。図6.a, 6.b, 6.cはそれぞれ1980年の6月, 8月, 10月の代表的朝型記録であるが、季節の順に魚群が濃密になり、大型化し、その数も多くなる。又、図6.b, 6.c両方とも、四角形コースであるが、図6.aは円形コースで得たものである。これから見ると、その出現水深も6月には10-30mのものが8月には20-50m, 10月には30-80mと深くなり、その分布は湖岸帯から沖合へと移っている。10月の観測には、湖岸で産卵行動をしている多数の成熟したヒメマスを確認しており、産卵生態の手がかりになるものと考えている。夜間の記録については、春から夏にかけて、漁獲の影響とみられる単体記録像の減少があった他は、各季節を通じて、特に変わらない。

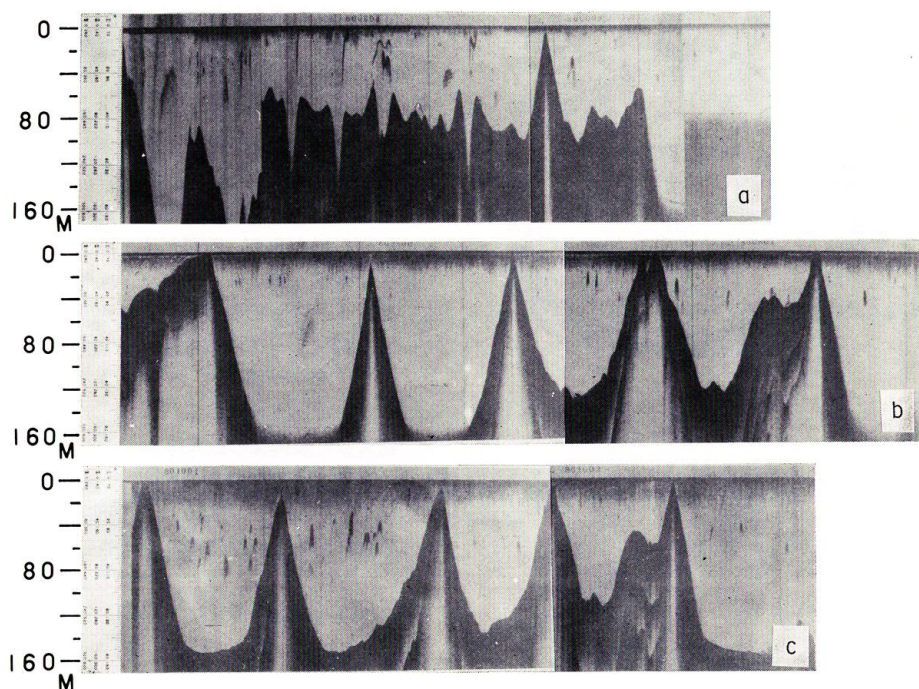


Fig. 6. Seasonal motion of the fish school in the morning.
 a: Fish school echoes in the morning on June, 1980.
 b: Fish school echoes in the morning on August, 1980.
 c: Fish school echoes in the morning on October, 1980.

資源尾数推定に関する問題

本湖に生息するヒメマスの資源尾数の推定が本調査の最大の目的であるが、魚群探知機を利用して、魚群量を測定する方法。とりわけ、エコーインテグレーションやエコーカウントのように、高度の電子技術や、情報処理を必要とするものには、まだ未解決の部分が多い。白石ら^{4),6)}は、夜間、分散浮上して均一に分布する、ワカサギについて、垂直魚探に記録される単体魚像数を数え、指向角から求めた探知体積をもとに、魚群密度を計算した。さらに、田中⁷⁾は、反射パルス数の重複回数から、魚体長を推定し、体長別、深度別に魚群密度を求める方法を提案している。本調査においても、斜方向魚探を用いた場合の、平均的ヒメマス単体の、最大探知範囲を求め、探知体積と単体魚像の出現数から、魚群密度を求め、さらに、観測コース上の単位面積当り (100m²) の存在数を推定した。図 7. a, 7. b, 7. c はそれぞれ 1980 年 6 月, 8 月, 10 月の夜間の同湖における、観測を基に計算した観測コース上 100m² 当りの尾数分布とその記録図である。10 月のものは、天候悪化のため、コース途中で観測を断念したものであるが、観測範囲における 100m² 当りの魚尾数の平均値はそれぞれ、1.18, 0.42, 0.57 と 8 月, 10 月では 6 月と比べて約半分以下に減少している。倶多楽湖では毎年 5 月中旬から 8 月中旬までの 3 カ月間、遊漁が解禁されるので、漁獲による絶対尾数の減少を反映しているものと思われる。

以上はいずれも、夜間、群を解いて、分散、浮上することを利用した方法であるが、魚群そのものの密度測定や計数等を行ったという報告はまだない。これは、魚群エコーの解析や強度測定が容易で

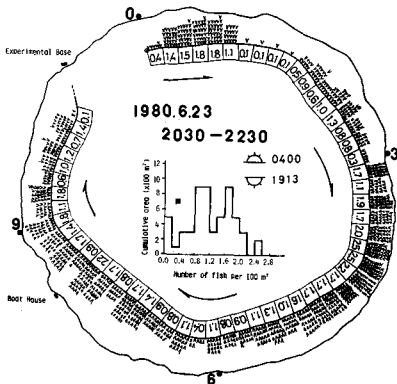


Fig. 7 a.

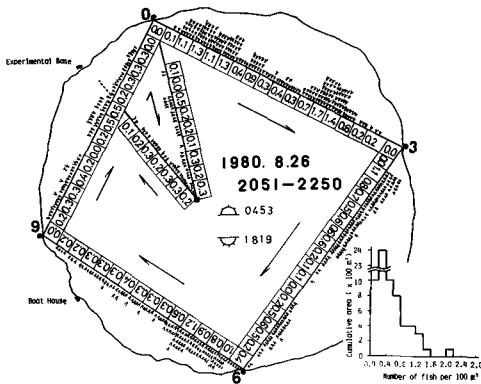


Fig. 7 b.

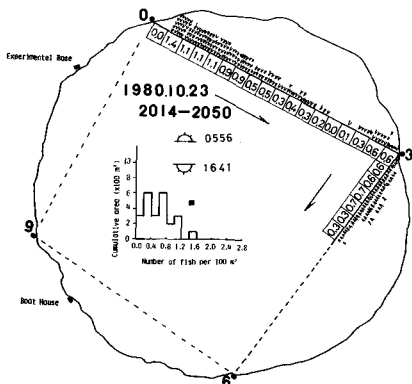


Fig. 7 c.

ないためと考えられるが、最近古澤ら⁸⁾が生簀中のハマチ群からの反射強度と分布体積を測定し、魚群密度を算出した。幸い、本湖において、早朝、ヒメマスがかなり大型の濃密な群を形成し、中、深層(20~80 m)に分布することが確認されたので、これらの魚群エコーを積極的に利用することを考えた。現在、距離による減衰や、指向性利得等、全てのパラメータを補正した魚群エコーの強度測定をするに至っていないが、磁気テープに記録された魚探信号波形から、魚探画像の再生や大きさの解析が可能である(図8.a, 8.b, 8.c)。すなわち、拡大した魚群像の最大厚さdから、魚群の最大奥行、すなわち物理的大きさを推定することを試みた。図9は、1980年10月の早朝に観測された魚群の大きさの分布を示したものである。また、夜間の分散魚群がほぼ遊泳機能を停止し、早朝、近くに成群すると仮定して、同位置、同コースで得られた前夜の単体魚像数から、1群の尾数を計算すると、小型群で20-30尾、大型群で70-120尾程になるが、夜間の魚の遊泳活動がどの程度のものか確認できないので、やはり魚群の散乱強度測定による直接推定が望ましい。

今回は、魚群散乱強度の絶対測定ができなかったが、今後、早朝の大型群を対象に、散乱強度測定を行い、群体散乱理論に基づいた、魚群の密度測定を行う所存である。

Fig. 7 Number of comets which were recorded really, and the calculated fish density per unit of area and the histogram of fish density in the night time along the experimental course.

- a: Circle course on June 23, 1980 [2030-2230].
- b: Square course on August 26, 1980 [2051-2250].
- c: Square course on October 23, 1980 [2014-2050].



Fig. 8 a. Image display of echo sounder signals from individual fishes near the bottom.

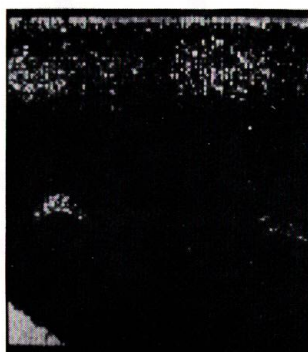


Fig. 8 b. Large and dense fish school echo in the morning.

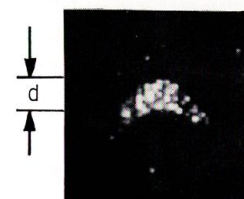


Fig. 8 c. Enlargement image of the fish school echo and the thickness d of the fish school.

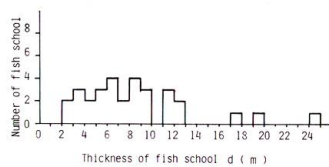


Fig. 9. Histogram of thickness of fish school.

あとがき

著者らは、魚群探知機による漁業資源推定のためのモデル実験として、北海道倶多楽湖における、ヒメマスの資源・生態調査を、垂直および斜方向魚探を用いて、春夏秋期に渡り、昼夜間観測を行った。

得られた魚探記録は、早朝、昼間の中、深層における濃密な群体記録と、夜間、表層において見られる、多数の単体記録とに大別される。

これらを考察すると、ヒメマスは、早朝、中、深層に大型の群を形成し、日中は、湖岸の湖底近くに分布し、夕刻、小群に分れ、その移動速度を速め、索餌活動をする。日没後、群を解き分散、浮上し、明け方、摂餌活動をして、また成群するという日周行動をされると考えられる。

秋季の産卵期には、早朝の魚群は大型化してくる。

また、夜間観測で得られた、単体魚像数を計数し、さらに単体魚像の最大距離から、魚群探知機の指向特性を基に魚体の探知範囲を推定し、単位面積当りの魚体数を求めた。単位面積当りの魚体数は、6月、8月、10月の順で減少しており、漁獲による資源尾数の減少と考えられる。

早朝型魚群の直接的密度測定はできなかったが、魚群エコーの信号波形から、魚群の物理的大いさを推定した。

本調査は現在も継続されており、バイオテレメトリーによる直接的な生態調査や、魚群エコーの絶対的散乱強度の測定を行い、エコーインテグレーションの技術的検討と、引き続き、単体魚像のカウンティングを合わせて、本湖のヒメマス資源の尾数推定を行っていく所存である。

謝 辞

本実験を行うに当り、倶多楽湖のヒメマス^ニの生態に関して、多くの助言を与えられた、北海道立水産孵化場研究職員伊藤和雄氏、北海道大学水産学部洞爺湖臨湖実験所長黒萩尚助教授、および宿泊施設、実験艇の使用を快く承諾された、虎杖浜漁業協同組合長松田広一氏、多忙のところ実験の便宜を計られた、同組合須貝富美男氏に感謝致します。

さらに、実験の労を惜しまなかった、当講座卒業生、河岸 賢、山橋充典、林 芳彦、下田康雄、小野統一、辻 道彦、大西信幸の諸君にお礼申し上げます。

最後に、本稿の執筆に当り、有益な助言を与えられた、北海道大学水産学部佐野典達助教授に感謝致します。

文 献

- 1) 北海道立水産孵化場 (1869~1979). 北海道立水産孵化場事業成績報告 (昭和 44, 45, 46, 47, 51, 52, 53, 54 年度).
- 2) 飯田浩二・鈴木恒由 (1980). 魚探信号の定量化に関する研究 I. 魚探信号の収録について. 北大水産彙報 31, 339-353.
- 3) 青木由直・飯田浩二 (1980). マイクロコンピュータを利用した魚探信号の収録・処理システム. 北大工学部研究報告 98, 51-63.
- 4) 白石芳一 (1972). 湖の魚. 205p. (岩波科学の本 6) 岩波書店, 東京.
- 5) 白石芳一 (1972). 魚群探知機による湖沼調査法. 130 p. 海外技術協力事業団 資料番号総(情)-72-4.
- 6) 白石芳一・古田能久 (1963). 魚群探知機による神奈川県芦ノ湖の魚族分布と資源尾数の推定に関する研究. 淡水研究報告 13, 57-76.
- 7) 田中 実 (1978). 魚群探知機による資源量推定法に関する基礎研究. 淡水研究報告 28, 77-139.
- 8) 古澤昌彦・石井 憲・間庭愛信 (1980). 超音波魚量計の開発. 電子通信学会技術研究報告 US80-20.