



Title	ケージ内魚群からの魚群エコーの日変化について
Author(s)	向井, 徹; MUKAI, Tohru; 飯田, 浩二 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 42(3), 90-97
Issue Date	1991-08
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24080
Type	departmental bulletin paper
File Information	42(3)_P90-97.pdf



ケージ内魚群からの魚群エコーの日変化について

向井 徹*・飯田 浩二*・佐野 典達*

Diurnal Variation of Encaged Fish Echoes

Tohru MUKAI*, Kohji IIDA* and Noritatsu SANO*

Abstract

The diurnal variation of the echo energy and the echo peak amplitude generated from encaged fish are discussed. The experiment was conducted at Lake Kuttara which is abundant with kokanee (*Oncorhynchus nerka f. adonis*). The net cage was made of nylon monofilament which has a volume of approximately one cubic meter. Ten kokanee, caught by fishing net, were released into the net cage. During the experiment periods, the net cage was kept at a depth of 10 meters under the transducer which was driven by a 50 kHz transmitter. About 600 echoes from encaged fish occurring over a 24 hour period were measured and analyzed. The results obtained were as follows:

- 1) Kokanee were located at the lower part of the cage before sunrise. In the daytime, they concentrated within the central part of the cage. Interestingly, just after sunrise they distributed themselves dynamically throughout the entire cage.
- 2) The shape of the echo energy PDF measured just after sunrise showed a large variation when compared with PDFs occurring during other time periods.
- 3) The averaged target strength of kokanee, as calculated from the echo energy just after sunrise, was about 3 dB higher than those occurring during other periods in the day.

はじめに

積分方式による計量用魚群探知機（以下計量魚探という）を用いて資源現存量を推定する場合、計量魚探で測定された体積散乱強度を対象魚の平均ターゲットストレングスで除することにより魚群の密度を推定する。そのため、ここに用いる平均ターゲットストレングスの値によっては推定資源量に大きな誤差を生じる。例えば、用いた平均ターゲットストレングスの ± 3 dBの誤差は、資源量推定における(1/2)倍あるいは2倍の過小、過大評価となる。ところで、魚体のターゲットストレングスは魚体の運動や魚体姿勢、鰭の大きさなどで複雑に変化することが知られている¹⁾。

一般に、魚の遊泳行動には日変化があると言われており、遊泳速度や遊泳姿勢も一日の中で変化することが予想される。従って、魚体の正確な平均ターゲットストレングスを推定するためには、自然状態における測定が不可欠であるばかりでなく、測定時間を考慮しなければならない。

本研究は、現場において複数の活魚をケージに収容し、自然遊泳状態における魚群エコーの連続観測を行い、昼夜間で魚群エコーがどのように変化するかを考察したものである。

* 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)

材料および方法

1990年10月北海道クッタラ湖(最大水深148m)において、同湖で捕獲したヒメマス (*Oncorhynchus nerka f. adonis*) の活魚10尾をケージ(網籠)に収容し、ケージ内魚群の超音波反射信号を連続測定した。実験に用いたケージを図1に示す。本ケージは、上下2つのステンレス製リング(直径1.5m)とナイロン製網地(目合10mm)で製作したネットケージ(直径1.1m, 高さ1.0m, 容積0.95m³)で構成され、上下リングとネットケージの間隔をそれぞれ2mとし、これらを8本のナイロンテグスで連結した。本ケージの特徴は、ケージ本体からの超音波反射を極力抑えるため、ケージ自体には骨組みを設けず、後の魚群エコーの判別ならびに定量測定を容易にした。

実験はまず、ネットケージ網地の脱気をするため、あらかじめ一昼夜間、湖の定点の水面下に垂下し、その後、表1に示すヒメマス活魚10尾(平均体長198mm, 平均体重83g)をネットケージに収容し、水面下約10mに降ろし、環境に適応させるため再びそのまま一昼夜間放置した。

測定は、周波数50kHz, パルス幅1msecの送信出力で、ビーム幅が約33°のトランスデューサ(60mmφ)を駆動し、受波信号は40logrの特性を持つTVG回路を通した後、増幅・包絡線検波した。この装置を小型FRP船(長さ7.1m, 幅1.7m)に装備し、測定地点においてネットケージが音響ビームの音軸上に位置するように船を固定し、約300~600パルス分の魚群エコーをデータレコーダ(TEAC XR-310)に収録した。魚群エコーの収集は二昼夜連続して行い、最後に、定量化を行う際に必要となる魚を回収した後の空のネットケージ本体のエコーおよびターゲットストレングスが既知の較正球(38mmφ)のエコーも収録した。なお、魚を入れたケージは実験中約2日間、水面下に降ろしたままに一定の条件のもとで測定を行った。実験終了後ケージを回収し、ネットケージ内のすべての魚が生存していたことを確認した。

後日、現場で得られたデータを実験室で再生し、収集した魚群エコーをカラーモニターで観察す

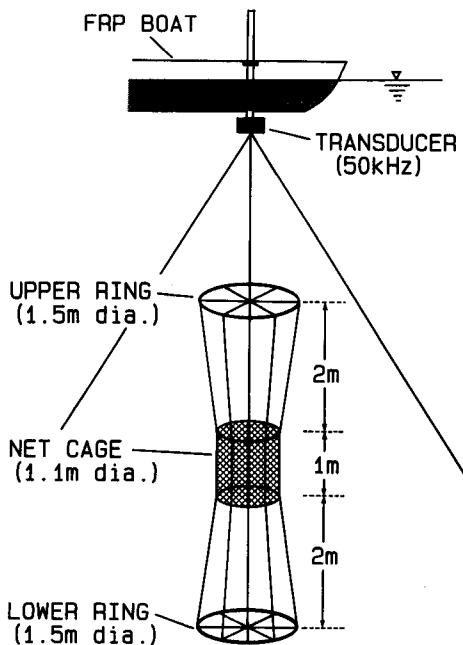


Fig. 1. Configuration of experimental apparatus.
The net cage was aligned on the acoustic axis.

Table 1. Body length and weight of kokanee used in the experiment.

Fish No.	Length			Body Weight (g)
	Total (mm)	Fork (mm)	Scaled (mm)	
1	212	200	188	94
2	206	192	182	96
3	200	184	176	86
4	190	180	168	71
5	188	178	166	69
6	206	190	180	92
7	176	166	156	57
8	214	200	190	108
9	216	198	188	100
10	172	160	152	58

るとともに、魚群エコー波形を解析した。魚群のエコーエネルギーは、FFT アナライザー (ONO SOKKI CF-920s) の二乗演算機能および時間積分機能を利用して、ネットケージに相当する時間区間に対して魚群のエコー信号を二乗積分して求めた。

結果および考察

魚が入っていない空のネットケージによるエコー波形 (3D 表示) を図 2 に示す。図中、横軸は時間 (msec)、縦軸はエコーレベル (V) で 60 パルス分のエコー波形を連続表示したものである。図に現れている 3 個のエコーは左側から順に上部リングのエコー、空のネットケージのエコー、下部リングのエコーである。この図から、ネットケージのエコーは上下リングと明確に分離され、またそのエコーレベルは非常に小さくかつ安定しているのが分かる。

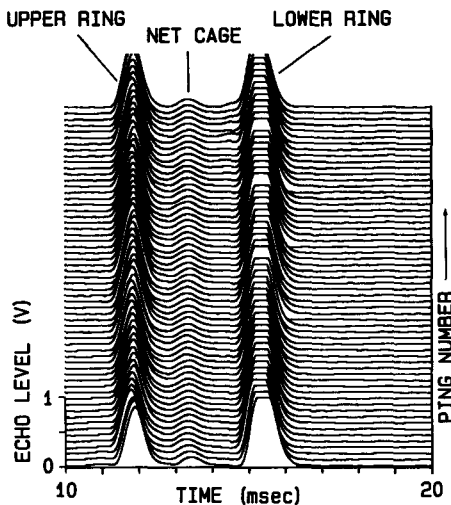


Fig. 2. Three-dimensional plots of echo waveforms from the empty net cage.

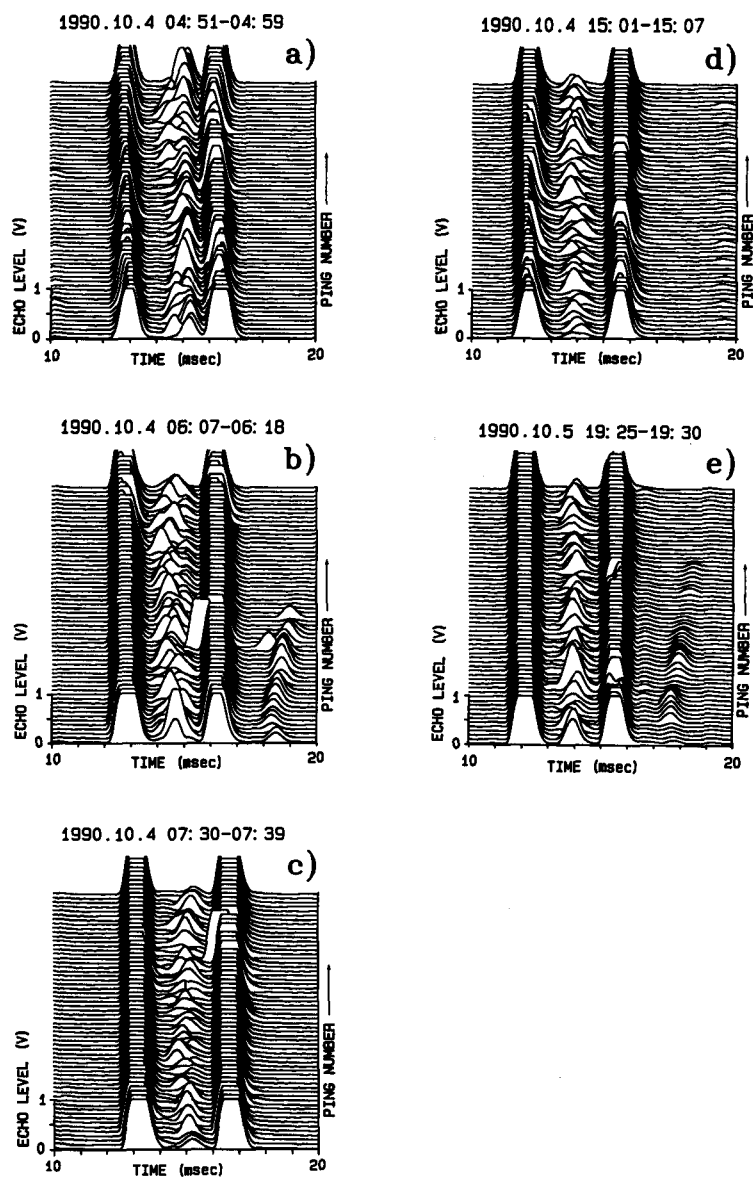


Fig. 3. Three-dimensional plots of echo waveforms from 10 encaged kokanee. Sixty successive echoes for each of the following periods are indicated.

- a) 1990.10.4 04:51-04:59 (30 minutes before sunrise)
- b) 1990.10.4 06:07-06:18 (30 minutes after sunrise)
- c) 1990.10.4 07:30-07:39 (2 hours after sunrise)
- d) 1990.10.4 15:01-15:07 (2 hours before sunset)
- e) 1990.10.5 19:25-19:30 (2 hours after sunset)

次に5つの異なる時間帯において測定された魚群のエコー波形(3D表示)を図3a)~e)に示す。横軸は時間(msec), 縦軸はエコーレベル(V)で, 測定した日時も合わせて示してある。測定日における日出は5時30分, 日没は17時30分であり, 図3a)~e)の順にそれぞれ日出30分前, 日出30分後, 日出2時間後, 日没2時間前, 日没2時間後の魚群エコーの様子である。どの図においても, 上部リング, 魚群エコー, 下部リングがそれぞれ明確に分離されているのが分かる。それぞれの時間帯で魚群エコーの状態を比較すると, 日出30分前(図3a))ではネットケージ下部に魚が集中し, 図3c)~e)の時間帯ではネットケージの中部に比較的魚がまとまって分布している。しかし, 日出30分後(図3b))では, このような現象はみられず, また魚群エコーの幅が広がっていることから, 魚はネットケージの中で上下に散らばって分布していると思われる。

これらのデータをもとに, 魚群のエコー波形を二乗積分して求めたエコーエネルギーの頻度分布を図4a)~e)に示す。横軸はエコーエネルギーの相対値, 縦軸は頻度(%), Nは解析に用いたパルス数を表し, それぞれの測定日時も表記した。なお, 図4a)~e)は図3a)~e)の測定時間帯と各々対応している。各図を比較すると, 図4a), c), d)ではエコーエネルギーのピークが相対階級で0~1にあるのに対し, 図4e)では相対階級1~2, 図4b)では相対階級4~5に認められる。各時間帯におけるエコーエネルギーの平均値を算出するとa)~e)の順にそれぞれ2.8, 4.7, 2.0, 2.6, 2.6となり, 日出30分後における魚群のエコーエネルギーの平均値は, 他の時間帯のおよそ2倍となった。

クッタラ湖におけるヒメマスの行動の日変化は, 飯田ら²⁾によって報告されているが, それによ

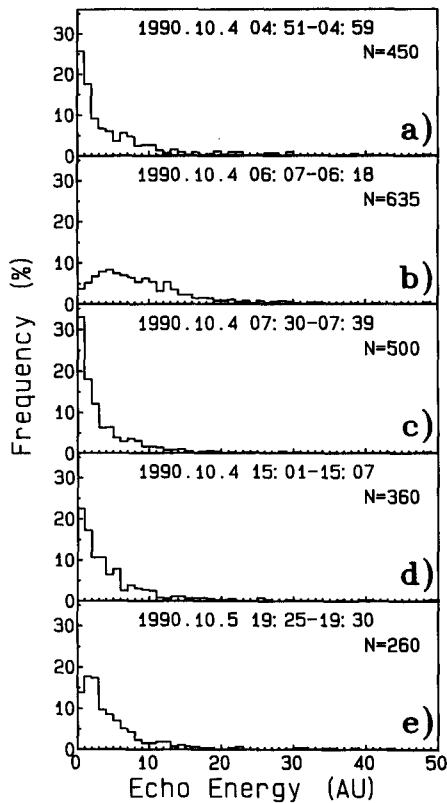


Fig. 4. Variation of the echo energy PDFs from the 10 encaged kokanee as measured during periods in the same day.

るとヒメマスは日中成群し、夕刻から日没前後に小型群に分かれ摂餌行動を行い、夜間単体として分散する。さらに、魚は日没前後すなわち“まずめ”時において摂餌行動をするという一般認識から、日出 30 分後における魚群のエコーエネルギーの増加は、これらの行動にともなうネットケージ内での魚の分布や魚体姿勢の変化によって生じたものと考えられることができる。

そこで、このような魚群のエコーエネルギーの変化における、魚一個体当たりの平均ターゲットストレングスの変化を調べた。測定した魚群のエコーエネルギーから魚一個体当たりの平均ターゲットストレングス $\langle TS \rangle$ を次式を用いて求めた。

$$\langle TS \rangle = 10 \log \left(\frac{\langle I_{nf} \rangle - \langle I_n \rangle}{\langle I_r \rangle} \right) - 10 \log (n) + TS_r \quad (1)$$

ここで、 $\langle I_{nf} \rangle$ はネットケージと魚群の合成エコーエネルギーの平均値、 $\langle I_n \rangle$ は空のネットケージのエコーエネルギーの平均値、 $\langle I_r \rangle$ は校正球からのエコーエネルギー、 n はネットケージ内の魚の個体数、 TS_r は校正球のターゲットストレングスである。校正球としてはターゲットストレングスが既知の直径 38 mm のスチール球 ($TS = -40.5$ dB) を用いた。このスチール球のエコーエネルギーの頻度分布を図 5a) に、空のネットケージのエコーエネルギーの頻度分布を図 5b) に示す。横軸はエコーエネルギーの相対値、縦軸は頻度 (%), N はパルス数である。両図を見ると校正球および空のネットケージのエコーは非常に安定していることが分かる。これらより各時間帯におけるヒメマスの平均ターゲットストレングスを求めると、日出 30 分前から日没 2 時間後まで順にそれぞれ -48.8 dB, -46.4 dB, -50.5 dB, -49.2 dB, -49.2 dB となり、日出 30 分後を除いて平均ターゲットストレングスは約 -49 dB であるのに対し、日出 30 分後の平均ターゲットストレングスは -46 dB で約 3 dB 大きくなっている。

これらのことから、計量魚探を用いて資源量推定を行う場合、調査時間を考慮した適切な平均ターゲットストレングスを使用しなければ、正確な推定ができないと考えられた。

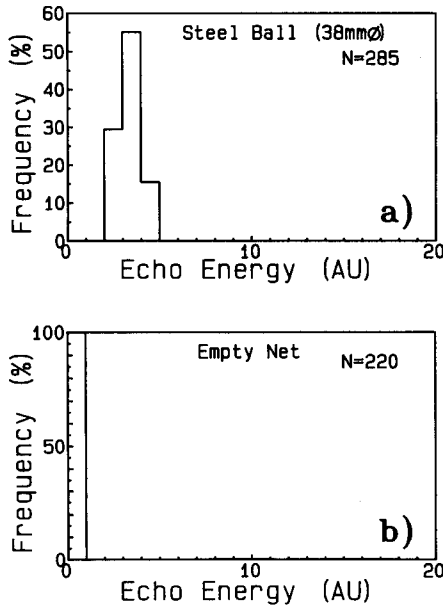


Fig. 5. Echo energy PDFs from the reference target sphere (a) and the empty net cage (b).

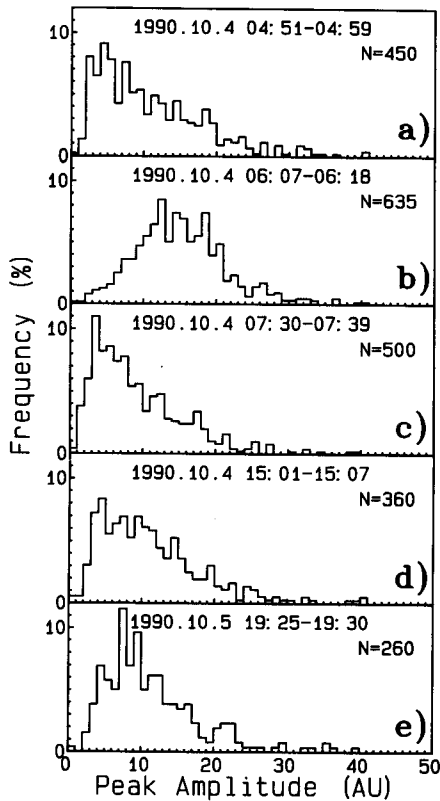


Fig. 6. Variation of the peak echo amplitude PDFs from the 10 encaged kokanee as measured during periods in the same day.

本実験では、様々な時間帯で魚群エコーを測定し、時間帯が異なるとエコーエネルギーの頻度分布の形や平均値が変化することが分かった。今回日没前後のデータを収集しなかったが、日没前後においてもエコーエネルギーに何らかの変化が生ずることが推測される。

ところで、魚群のエコー信号の解析において、エコーエネルギーの測定とともにエコー信号のピーク振幅の測定も行いその変化を調べた。結果を図 6a)~e) に示す。横軸はエコーのピーク振幅の相対値、縦軸は頻度 (%), N は解析に用いたパルス数である。この図においても、日出 30 分後 (図 6b)) の頻度分布が他と異なり、また日没 2 時間後 (図 6e)) の頻度分布にもわずかな変化がみられる。このようなピーク振幅やエコーエネルギーの頻度分布の変化には、魚の分布や姿勢の情報が多分に含まれていると考えられる。従って、これらの変化から逆に魚の分布や姿勢を推定しうる可能性を示唆しており、今後の課題としたい。

要 約

ネットケージに収容したヒメマス活魚 10 尾の魚群エコーを、日出 30 分前、日出 30 分後、日出 2 時間後、日没 2 時間前、日没 2 時間後に測定し以下の知見を得た。

1) 日出 30 分前にはヒメマスはネットケージ下部に集中して分布していたが、日出 2 時間後、日没 2 時間前、日没 2 時間後ではネットケージの中部に分布していた。しかし、日出 30 分後ではネットケージ内の上下に散らばって分布していた。

向井ら： ケージ内魚群からの魚群エコーの日変化について

2) 各時間帯で魚群のエコーエネルギーの頻度分布を比較したところ、日出 30 分後のものに大きな変化が現れた。

3) 各時間帯での魚群のエコーエネルギーの平均値からヒメマス一頭当たりの平均ターゲットストレングスを算出すると、日出 30 分前から日没 2 時間後までのそれぞれの時間帯について -48.8 dB, -46.4 dB, -50.5 dB, -49.2 dB, -49.2 dB となり、日出 30 分後の平均ターゲットストレングスは他の時間帯の値より約 3 dB 大きかった。

4) 魚群エコーのピーク振幅の頻度分布において、日出 30 分後の頻度分布に大きな変化が現れ、さらに日没 2 時間後の頻度分布にもわずかな変化がみられた。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、実験に参加された同学部漁業測器学講座の院生、学生諸氏に感謝の意を表す。また、クッタラ湖での実験にご協力頂いた虎杖浜漁業協同組合の各位に深謝する。

文 献

- 1) 向井 徹・鈴木恒由・佐野典達・飯田浩二 (1988). ヒメマスのターゲットストレングスにおよぼす鰓の影響について. 北大水産彙報, **39**, 106-114.
- 2) 飯田浩二・鈴木恒由 (1981). 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. 同誌, **32**, 272-280.