



Title	ケージ内魚群密度と超音波散乱強度との関係について
Author(s)	李, 吳在; LEE, Lae-Jae; 鈴木, 恒由 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 38(3), 253-258
Issue Date	1987-08
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23958
Type	departmental bulletin paper
File Information	38(3)_P253-258.pdf



ケージ内魚群密度と超音波散乱強度との関係について

李 昊 在*・鈴木 恒 由*・飯 田 浩 二*

The Relationship between Acoustic Backscattering
Strength and Density of Fish in a Net Cage

Lae-Jae LEE*, Tsuneyoshi SUZUKI* and Kohji IDA*

Abstract

The paper describes the fish-density dependence of the acoustic backscattering strength by aggregations of encaged, free-swimming fish in relation to the verification of the echo-integration method.

In the experiment, various numbers of kokanee (*Oncorhynchus nerka* f. *adonis*), with a mean length of 15.5 cm and a mean weight of 51.0 g, were introduced into a net cage of approximately 0.64 m³. During the backscattering measurements, the cage was suspended on the sound axis of the 50 kHz transducer having a beam width of 33 degrees at -3 dB downpoints. The volume backscattering strengths from fish aggregations were measured as a function of fish density. In addition, the dorsal-aspect target strengths of live and defrosted specimens of kokanee used in the cage experiment were measured.

The results obtained are as follows:

1) The dorsal-aspect target strengths of live fish varied from -52.0 to -37.5 dB with a mean of -42.6 dB.

For the defrosted fish, the mean target strength was -45.4 dB.

2) The relationship between mean volume backscattering strength ($\langle SV \rangle$: dB) and fish density (ρ : fish/m³) was expressed by the following equation:

$$\langle SV \rangle = -48.5 + 10.5 \cdot \text{Log}(\rho)$$

with a correlation coefficient of 0.93.

結 言

近年、魚探技術の急速な進歩と共に、魚探信号を定量的に処理して水産資源量を直接推定しようとする研究が盛んに行われるようになった。一般的に、魚群探知機を用いた資源量推定の方法は、魚群エコーを対象とする積分方式と単体エコーを対象とする計数方式に大別できる。現在実用化に向けて改良されつつある積分方式の資源量推定法の基本は、魚群からの平均体積散乱強度を測定し、これを対象魚1尾当りの平均標的強度 (Target Strength) で割って、魚の密度を推定するものである。すなわち、この方式では、送受波器のビーム内に分布している魚群の分布密度と平均体積散乱強度との間に線形的な比例関係が存在するはずだという仮定に基づいており、またこの比例関係を資源量の推定に利用している。しかしながら、実際の魚群では、前述の仮定が満たされないことが多いため、いまだ推定精度の面で問題点が多い。そこで我国は勿論、諸外国に

* 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)

おいても、多くの研究者の間でこの方式の信頼性を検討するための様々な検証実験が行われている¹⁻³⁾。

著者らは、積分方式の資源量推定を検証するための一つの試みとして、模擬魚群を対象に標的の分布密度の推定及び群体エコーの統計的な性質などについて検討を行い、その結果を報告した⁴⁾。

本研究では、ネットケージ (籠) に魚群を收容し、徐々に密度を増加させながら魚群エコーを計測し、ケージ内の魚の密度と平均体積散乱強度との間に線形的な比例関係が存在するかどうかについての検討を行った。

資料及び方法

実験は、1987年6月に北海道倶多楽湖 (最大水深 148 m) において、同湖の定置網で捕獲したヒメマス (*Oncorhynchus nerka* f. *adonis*) を用いて行った。実験に用いた 60 尾のヒメマスの体長 (標準体長) 及び体重組成を図 1 に示す。平均体長は 15.5 cm, 平均体重は 51.0 g であった。

本研究で測定したケージ内の魚の密度は各々 24, 47, 55, 63, 71, 78, 94 尾/m³ の 7 種類であった。実験装置の模式図を図 2 に示す。

計測装置及び活魚槽を搭載した小型 FRP ボート (長さ 7 m, 幅 1.6 m) を湖の中央に設置したブイに固定し、送受波器はボートの舷側水面下約 1 m に超音波を鉛直方向に送受信できるように設置した。魚群を收容したネットケージは、送受波器から十分離してビームの音軸上に設置した。

ケージ内での魚群の分布状態を自然の状態に近付けるためには、ケージをできるだけ大きくすることが望ましいが、ケージが大きの場合ほど、ケージ自体とケージ内の魚群からの反射エコーの相互干渉が大きくなるため、魚の入っているケージによるエコーエネルギーから空のケージによるエコーエネルギーを差し引いて魚群によるエコーエネルギーを求める際、その値が不安定になり易くなる。そこで本実験では直径 0.9 m, 高さ 1.0 m の小型ケージ (ナイロン網地, 目合 10 mm) を製作して使用した。実験は、はじめに、活魚槽から既知の数の魚 (24 尾/m³) をケージに移して約 600 パルス分に対する魚群エコーを計測した後、ケージ内の魚群密度を徐々に増加させ、その都度魚群エコーを計測した。また、実験の最後には魚の入っていない空のケージからの反射エコーを計測した。

魚探信号の収録、処理及び解析システムを図 3 に示す。超音波エコーの計測は、50 kHz の魚探機 (光電製作所製 CVS-888) を用いて行った。

実験に用いた送受波器 (60 mm φ) の指向特性を図 4 に示す。図 4 から得られた -3 dB 点での

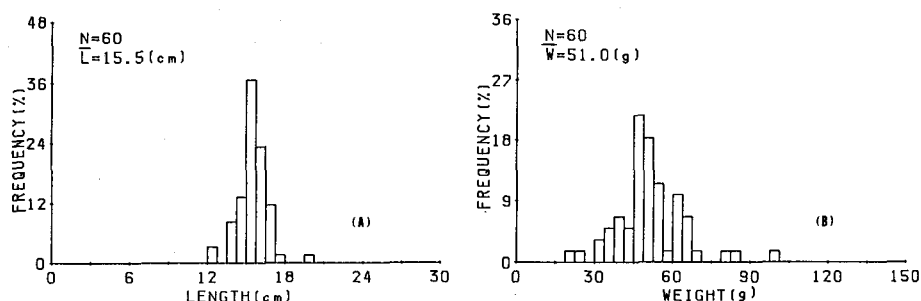


Fig. 1. Frequency distributions of body length (A) and weight composition (B) of kokanee (*Oncorhynchus nerka* f. *adonis*) used in the cage experiment.

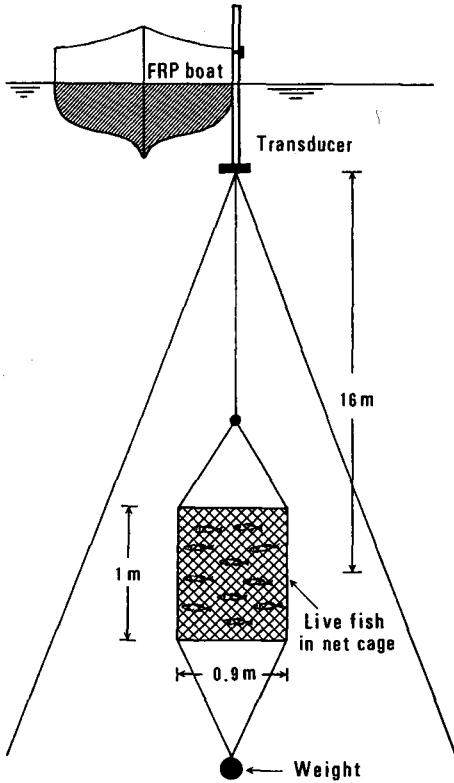


Fig. 2. Measurement configuration.

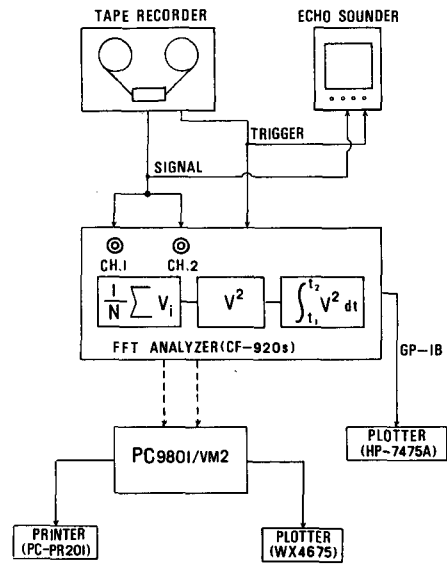


Fig. 3. Block diagram of data acquisition and processing system.

ビーム幅は約 33° であった。このビーム幅は送受波器から約 16 m の水深に設置されたケージの大きさに比べて十分広いため、本実験においては平均体積散乱強度を算出するに当たり、指向特性の影響は無視できるものとした。

現場では、包絡線検波された魚深信号と送波トリガ信号をアナログデータレコーダ (TEAC 製 XR-310) に収録し、後日実験室で魚探信号を再生してエコーの分析を行った。魚探信号の定量化は 2 チネルの FFT アナライザ (小野測器製 CF-920s) を用いて行った。すなわち、内蔵の A/D 変換部で 12 bit の分解能と 51.2 kHz のサンプリング周波数でデジタル化した魚探信号を二乗処理し、ケージの上部と下部に相当する時間区間に対して積分を行い、魚群からのエコーエネルギーを求めた。さらに、エネルギーデータをパソコン (日本電気製 PC-9801 VM2) で分析し、結果をプロッター (渡辺測器製 WX4675) に出力した。

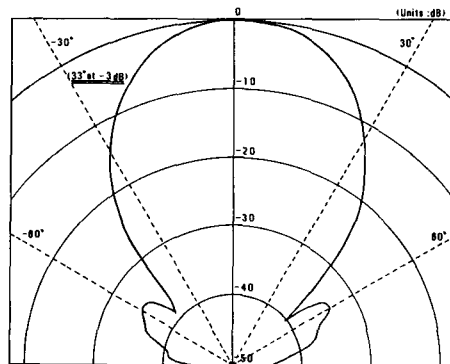


Fig. 4. Directivity pattern of 50 kHz transducer.

魚探システムの校正には、標準球（スチール球，38 mm ϕ ，TS=-40.8 dB）を用いた。標準球からの反射エコーは、ケージ実験の後に収録した。

一方、ケージ実験に用いたヒメマスの一部については、現場で MS 222 で麻酔させた後、標的強度を測定し、また残りの一部については凍結保存し、後日解凍して実験水槽において標的強度を測定した。活魚については、ケージ実験と同様に、送受波器から約 16 m の水深の音軸上に魚を下ろし、覚醒状態になるのを待って、個々の魚に対して約 200 パルス分の反射エコーを計測して平均標的強度を求めた。解凍魚については、無響水槽（3 m \times 3 m \times 12 m）の一端に、超音波を水平方向に送受信できるように設置した送受波器から、約 2.8 m の距離の音軸上に魚を固定し、回転装置を用いて背方向を中心とするピッチ角 $\pm 45^\circ$ の範囲を 1 $^\circ$ 間隔で反射エコーを計測して平均標的強度を求めた。

結果及び考察

実験に用いたヒメマスの標的強度の頻度分布を、活魚（6尾）および解凍魚（6尾）について各々図5の（A）と（B）に示す。図5Aは現場で測定した1200パルス分（200パルス \times 6尾）の背方向に対するTSの頻度分布であり、図5Bは実験水槽で測定した背方向を中心とする $\pm 45^\circ$ のピッチ角に対するTSの頻度分布である。活魚（平均体長15.9 cm）の平均TSは-42.6 dBであり、解凍魚（平均体長15.7 cm）の平均TSは-45.4 dBであった。解凍魚の平均TSは活魚より約2.8 dB小さい。このように解凍魚においてTSが小さくなった原因としては、凍結から解凍に至るまでの魚の組織の変化やTSの平均化方法の差異などが考えられる。

魚群の分布密度と平均体積散乱強度との関係を図6に示す。縦軸は平均体積散乱強度〈SV〉であり、横軸は単位体積当りの魚の分布密度 ρ である。図中の○印はネットケージに収容した魚の分布密度における平均SV値を、実線はこれらの平均SV値による回帰直線を示す。

図6での〈SV〉は次式を用いて求めた。

$$\langle SV \rangle = 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{\langle E_{CF} \rangle - \langle E_C \rangle}{\langle E_S \rangle} \right) + \langle TS_S \rangle - 10 \cdot \text{Log} (N) + 10 \cdot \text{Log} (\rho) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、〈 E_{CF} 〉は魚群を収容したケージからの平均エコーエネルギー、〈 E_C 〉は魚が入っていない空のケージからの平均エコーエネルギー、〈 E_S 〉はケージの代わりにケージの中心位置に設置された標準球からの平均エコーエネルギー、〈 TS_S 〉は標準球の平均TS、Nはケージ内に収容された魚の数である。(1)式で〈 E_{CF} 〉の値が〈 E_C 〉の値より極端に小さかったデータは、〈SV〉の計算か

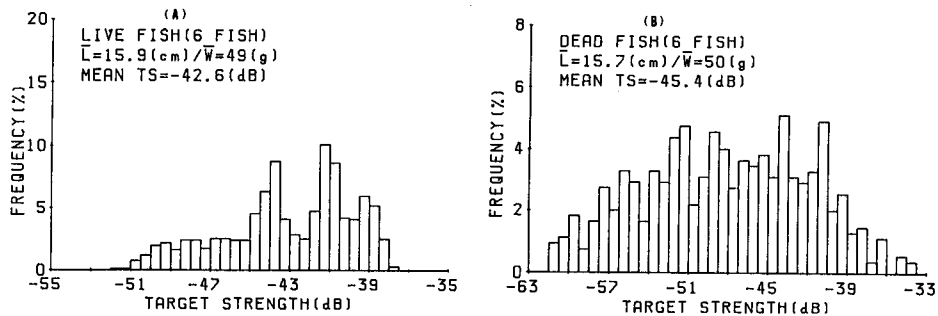


Fig. 5. Frequency distributions of the dorsal-aspect target strengths of live (A) and defrosted specimens (B) of kokanee (*Oncorhynchus nerka* f. *adonis*) used in the cage experiment.

李ら： ケージ内魚群密度と超音波散乱強度との関係

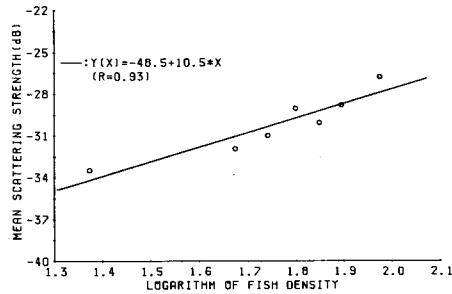


Fig. 6. The relationship between mean volume backscattering strength and fish density.

ら除外した。

図6から分かるように、単位体積当りの魚の密度 ρ が大きくなるに連れて、平均 SV 値は直線的に増加する傾向を示した。すなわち、密度、24, 47, 55, 63, 71, 78, 94 尾/m³ の時の平均 SV 値は各々 -33.5, -31.9, -31.0, -29.1, -30.1, -28.8, -26.8 dB であった。また、 $\langle SV \rangle$ と ρ との間には、

$$\langle SV \rangle_{dB} = -48.5 + 10.5 \cdot \text{Log}(\rho) \dots\dots\dots(2)$$

という回帰直線式 (相関係数 $R=0.93$) を得た。

積分方式の基礎となる体積残響理論によると、サンプリング体積中に非常に多くの魚が一様ランダムに分布し、また多重散乱の影響が無視できる場合、 $\langle SV \rangle$ と ρ との間には、

$$\langle SV \rangle_{dB} = \langle TS \rangle + 10 \cdot \text{Log}(\rho) \dots\dots\dots(3)$$

という関係式が理論的に成立する。ここで、 $\langle TS \rangle$ は魚 1 尾当りの平均 TS である。(3) 式は各個体の背方向からの一次散乱波がランダムな位相で合成されることを意味している。

(2) 式と (3) 式とを比べると、(2) 式の回帰直線の傾き 10.5 は (3) 式の理論予測値の傾き 10 にほぼ一致していることが分かる。しかしながら、ケージ実験に用いたヒメマス 1 尾当りの平均 TS 値に相当する (2) 式の定数項 -48.5 dB は、解凍魚の平均 TS 値 -45.4 dB (図 5A) や活魚の平均 TS 値 -42.6 dB (図 5B) に比べて 3 dB 以上小さい。このように、(2) 式の $\langle TS \rangle$ が図 5 の平均 TS より小さくなった原因としては、ケージ内の魚の姿勢が一様でなく、必ずしも魚群エコーが背方向の散乱波だけによるものではないこと、魚群減衰や二次散乱波の存在、合成波における干渉成分の存在等が考えられる。

積分方式による資源量推定の精度を向上させるためには、更にこれらの点に関する検討が必要であろう。

要 約

魚群による超音波散乱強度の分布密度依存性を検討するために、ネットケージに収容した魚群を対象に、50 kHz の周波数で、基礎実験を行った。

その結果は、次のように要約される。

- 1) ケージ実験に用いたヒメマスの平均 TS は、活魚 (平均体長 15.9 cm) について -42.6 dB であり、解凍魚 (平均体長 15.7 cm) については -45.4 dB であった。

2) 魚の分布密度が大きくなるに連れて、平均SV値は直線的に増加する傾向を示した。また、 $\langle SV \rangle$ と ρ との間に次の回帰直線式 (相関係数 $R=0.93$) を得た。

$$\langle SV \rangle_{dB} = -48.5 + 10.5 \cdot \text{Log}(\rho)$$

本研究を進めるに当たって、種々有益な御助言を頂いた漁業測器学講座佐野典達助教授、並びに実験に御協力頂いた虎杖浜漁業協同組合の皆様から感謝の意を表します。

文 献

1. 水産庁研究部 (1985). 昭和 58 年度漁業資源評価システム高度化調査結果報告書. 344 p.
2. Lozow, J.B. and Suomala, J.B. (1971). The application of hydroacoustical methods for aquatic biomass measurements. *Charles Stark Draper Laboratory Rep.* R-712, 92 p.
3. Foote, K.G. (1983). Linearity of fisheries acoustics, with addition theorems. *J. Acoust. Soc. Am.* 73, 405-418.
4. 李 昊在・鈴木恒由 (1987). 魚群探知機による模擬魚群の分布密度の推定について. 北大水産彙報 38, 239-252.