

50kHz 超音波の球体群反射と透過に関する基礎的研究

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者	松野, 保久 山中, 有一
巻/号	54巻10号
掲載ページ	p. 1763-1768
発行年月	1988年10月

50 kHz 超音波の球体群反射と透過に関する基礎的研究

松野 保久, 山中 有一

(1988年5月12日受付)

Fundamental Study on the Reflection by a Cluster of Balls and Transmission through that Cluster by 50 kHz Ultrasonic Wave

Yasuhisa Matsuno* and Yuichi Yamanaka*

By using the 50 kHz fish finder the measurements were carried out at an indoor 50 ton-water tank. Some nylon balls (diameter 15.8 mm) were used instead of fish. The horizontal and vertical settings of these balls were made at random by a personal computer. A transducer of the fish finder received the reflected waves, and a hydrophone received the transmitted waves. These signals were analyzed by means of the signal analyzer.

The results obtained were as follows: ① The relationship between the density and the transmitted voltage is more reliable than that between the density and the reflected voltage. ② When each distance of the respective ball from the transducer changes within a pulse length, the transmitted voltage is far more stable than the reflected voltage in all the measured densities.

The applicability of the transmitted voltage in determining the density of the fish school is suggested by these two items, ①, ②.

超音波を使用した漁業資源の調査には現在、積分方式、計数方式ともに多くのデータの蓄積の下に漸次改良が加えられ実用化されている。これらを使用して広大な大洋海域における資源量の推定は必要不可欠であるが、一方養殖場のように狭い水域における精確な魚量の推定^{1,2)}もまた重要な事項である。しかしこれらは標的からの反射波電圧の測定を基礎としているため、種々の原因による測定電圧の変動という問題を避けて通ることができない。このため計測システムの改良^{3,4)} 測定値に関する統計的手法^{5,6)}によってその解決策が試みられている。近年特に各国における資源量調査は積分方式が主流となっている。この時複数の魚群が積層して存在すれば、船舶の受波器に到達する下部の魚群からの反射波は、上部の魚群を2度透過することになり、下部の魚群量を少なく評価する誤りを犯すことになる。よって超音波エネルギーが魚群を透過する時の減衰量を精確に知ることは、より精確な資源量把握と密接な関係にあり、今後多くのデータの蓄積⁷⁾が待たれるところである。そこで基礎的なデータを得ることを主眼として実験水槽において、模擬標的を使用して群体における透過波と反射波についての基礎的測定を行い、2,3の知見を得たので報告する。

測定方法

使用した水槽は屋内にあり、長さ 6.5 m, 幅 3.3 m のコンクリート製で水深は 2.6 m とし、河過した海水を注入した。測定システムの概要を Fig. 1 に示した。50 kHz 魚探機 (日本無線製, NJA-280 ku) の送受波器を横向きに水深中央に、そして音軸延長上 3.4 m のところに水中マイクロホン (沖電気工業製 ST-1005) を鉄製パイプを加工しそれぞれ固定した。送受波器および水中マイクロホンからの信号は全て波形解析処理装置 (岩崎通信機製 SM-2100A) によって解析した。

魚体の模擬標的として直径 15.8 mm のナイロン製ボールベアリング (椿本精工製) を複数個使用した。複数個の模擬標的 (以下球体という) が一定の体積空間中にランダムに分布するよう配慮した。その 1 例を Fig. 2 に示した。音軸より垂直に上下 7.5 cm, 横方向 15 cm の間に球体 5 個を取り付けるための点を電算機によりランダムにプロットした。これら球体はナイロン製テグス 0.3 号 (直径 0.09 mm) (呉羽化学工業製) によって連結し垂直的な分布とした。また直径 12 cm の円板に、この垂直的に連結した一連の球体を吊下するための点を同じく電

* 鹿児島大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Kagoshima University, Shimoarata, Kagoshima 890, Japan).

*1 李 采在: 魚群の超音波散乱特性に関する基礎的研究. 学位論文 Doctoral thesis, 北海道大学, 函館, 1988, 42-52.

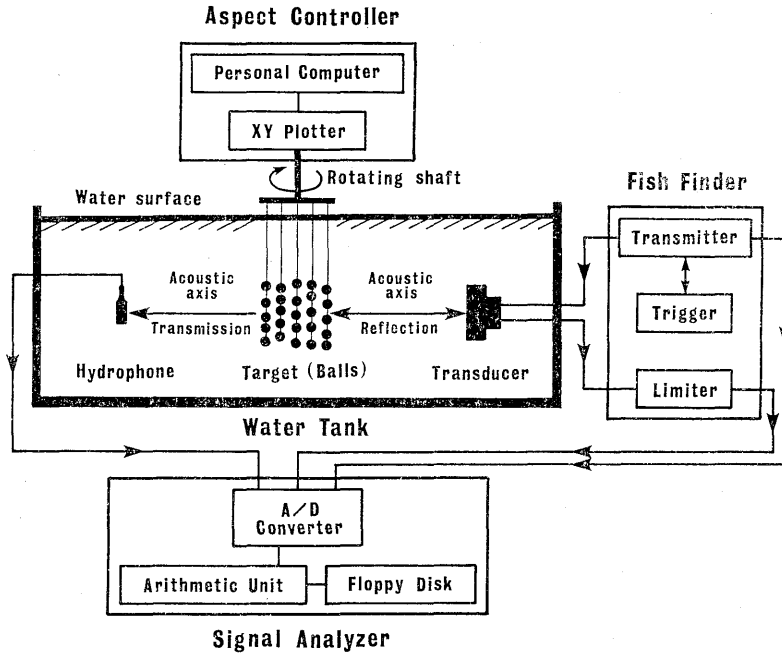


Fig. 1. Schematic diagram showing the system of the observation in the water tank.

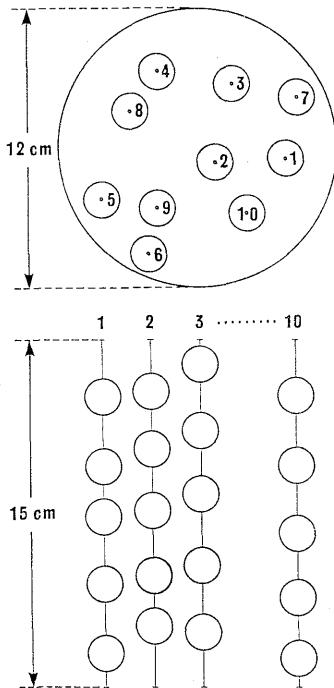


Fig. 2. An example of the horizontal and vertical distribution of balls.

算機によりランダムにプロットし、音軸に対して水平的な分布とした。ただし両者いずれの場合においてもプロットされた二点間は球体の直径以上離れるようにした。

この群体標的は送受波器と水中マイクロホンの中央に位置せしめ、Fig. 1 に示したように電算機とXYプロッターを組み合わせ、任意の角度回転可能なようにした。測定に当たっては当初送受波器に対して任意の角度でセットし、以後回転させながら360度まで10度間隔で停止させ、その都度測定を実施した。

信号の測定ならびに処理は次のように行った。魚探機の送波器より発射された単一のパルス信号(パルス幅0.5 ms, ビーム幅24°)は、群体標的により反射し、受波器(今回の測定では送波器と受波器は兼用されている)に戻ってくる受信信号と、群体を透過して水中マイクロホンに達する受信信号となる。この2つの受信信号を同時に直接波形解析処理装置にinputし、各ピーク電圧を測定した。なお偶然誤差処理のため、それぞれ50個の受信信号を平均化処理して、その結果を1点のデータとした。しかし使用した水槽は無響水槽ではないので、水槽の形状、サイド・ローブその他の原因により、標的が存在しない場合でも水槽特有の受信信号が現れる。これを偽像とした。この偽像は非常に安定した波形であるため、本測定では定誤差として取り扱った。よって平均化処理した受信信号波形から偽像の波形を減算処理することにより群体標的の受信信号のみ取り出すことができた。この例をFig. 3 に示した。以後反射波電圧とはこの偽像を処理した受信信号電圧をいう。又Fig. 4 に透過波の平均化処理した受信信号波形を示した。透過波電圧とはこの受信信号電圧をいう。

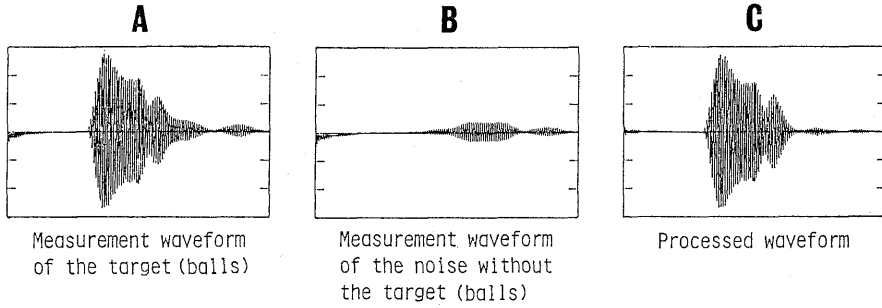


Fig. 3. Schematic diagrams showing the process of the reflected waveform. $C=A-B$

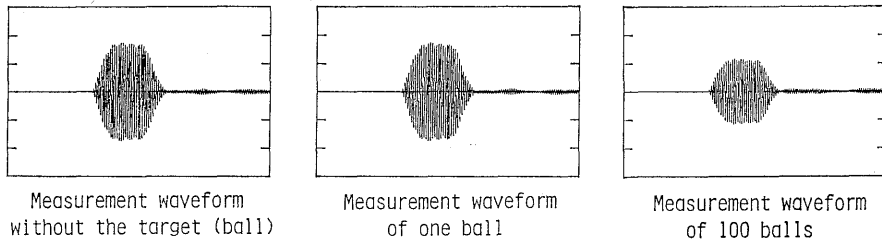


Fig. 4. Schematic diagrams showing the transmitted waveform.

結果及び考察

群体標的からの反射波電圧、及び透過波電圧の測定結果を Fig. 5 に示した。またそれぞれの数値を Table 1 に示した。群体標的からの反射波電圧と群体標的の分布密度との関係を Fig. 6 に示した。このグラフにおいて a は回帰直線、 b は回帰直線の 95% 信頼区間、 c は Y 軸のデータの 95% 信頼区間を描いたものである (以下のグラフは全て同じ)。反射波電圧は群体の分布密度が大きくなるに従い直線的に増加する傾向を示しており、その回帰式は次の通りである。

$$\log(R.V.) = 0.46 \log(\rho) + 1.41$$

ただし $R.V.$ は反射波電圧、 ρ は群密度である。ここにおいて回帰直線の相関係数は $r=0.25$ であった。Table 1 に示したように各群密度における反射波電圧の標準偏差値は非常に大きい。群体標的を 360 度回転させることは、限られた空間ではあるが、魚群が遊泳中、各単体魚と送受波器間の距離が変化することを模したものであり、同一密度であっても各球体の位置変化すなわち距離変化によって、受波器で受信する反射波電圧が大きく変化することを示している。これは古澤ら¹⁾ 松野²⁾ が示した群体エコーの音圧を示す式において、パルス幅内に存在する n 個の球体の距離差による一次反射の及び二次反射の位相差が測定電圧に大きく影響したものと推定される。よって Fig. 6 に示したグラフのデータの 95% 信頼区間が大きいことから、測定反射波電圧から直接群

体標的の密度を推定することは困難を要するものと推定される。

群体標的を透過した透過波電圧は反射波電圧と比較して、Table 1 に示したように標準偏差値も小さく安定した測定値が得られた。群体標的を透過する時の超音波エネルギーの損失は、主として超音波の吸収、散乱の影響を受けたものと推定される。両者³⁾ による超音波エネルギーの減衰は次式で表わされる。

$$\frac{dI}{I(r)} = -\alpha dr - \beta \rho dr \tag{1}$$

$$\int_0^x \frac{dI}{I(r)} = -\alpha \int_0^x dr - \beta \rho \int_0^x dr \tag{2}$$

$$\log I(x) - \log I(0) = -\alpha x - \beta \rho (r_2 - r_1) \tag{3}$$

ここで $r_2 - r_1 = l$ (群体標的の音軸上の長さ) とすれば

$$\log I(x) - \log I(0) = -\alpha x - \beta \rho l \tag{4}$$

$$\log I(x) = -\beta l \rho + (\log I(0) - \alpha x) \tag{5}$$

$$\log(CE^2) = -\beta l \rho + (\log I(0) - \alpha x) \tag{6}$$

$$\log E = \frac{1}{2} \left\{ -\beta l \rho + (\log I(0) - \alpha x) - \log C \right\} \tag{7}$$

$$\text{ここで } A = -\frac{1}{2} \beta l, B = \frac{1}{2} \left\{ \log I(0) - \alpha x - \log C \right\}$$

とおけば

$$\log E = A \rho + B \tag{8}$$

ここで

$I(x)$: 受信点 (水中マイクロホン) における強度

$I(0)$: 送波の強度

E : 受信電圧

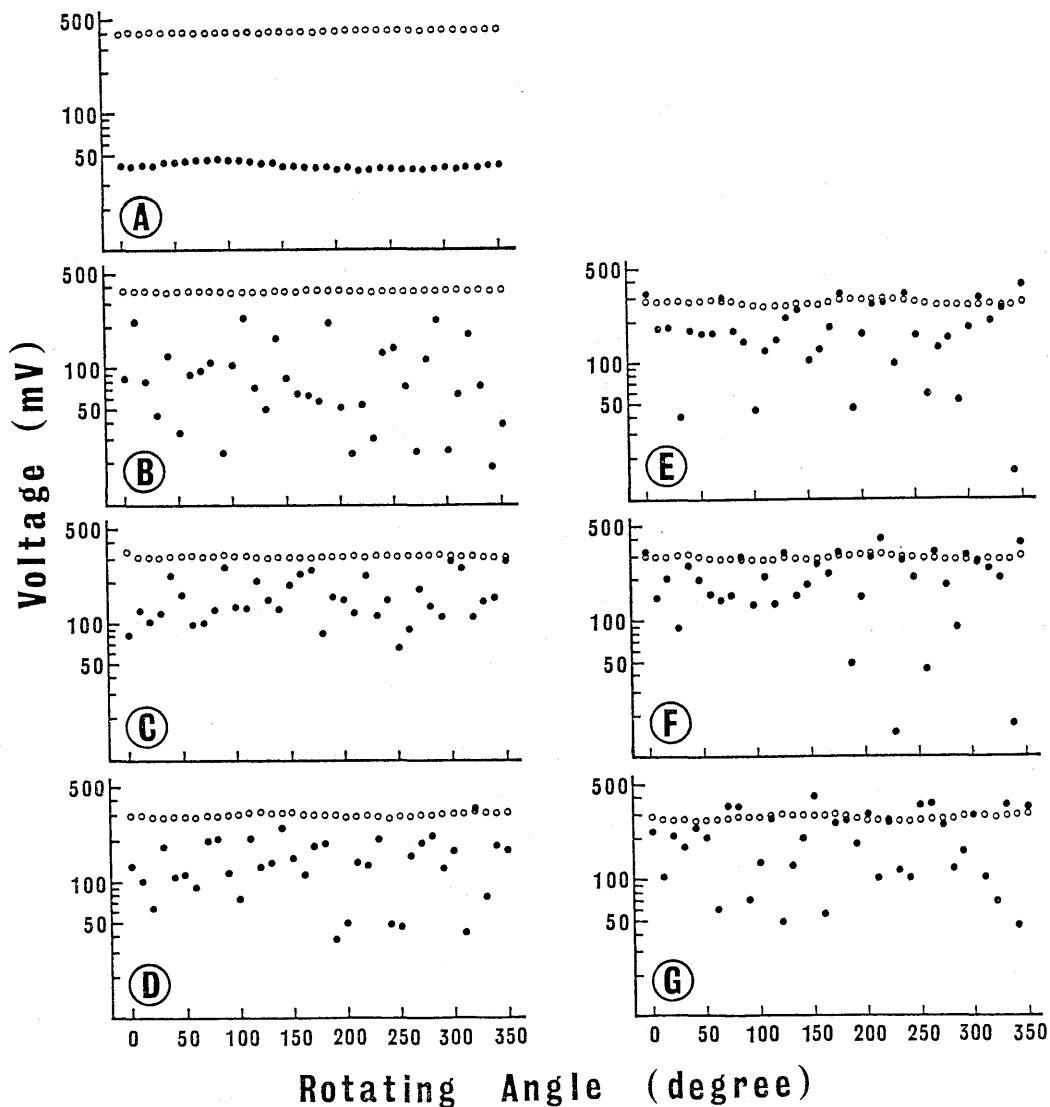


Fig. 5. The measured voltage of the reflected and the transmitted waves.

●..Reflection ○..Transmission

A..3.0 inds/l B..14.7 inds/l C..21.2 inds/l D..29.5 inds/l E..56.0 inds/l F..58.9 inds/l G..70.7 inds/l

Table 1. The mean value and its standard deviation of measured results of reflection voltage and transmission voltage

Number of balls	Density (inds/l)	Reflection voltage (mV)		Transmission voltage (mV)	
		Mean value	Standard deviation	Mean value	Standard deviation
1	0.6	7.32	—	435.39	—
5	3.0	42.60	2.81	405.90	4.81
25	14.7	94.72	64.13	377.57	5.05
50	21.2	161.38	61.75	314.71	4.94
50	29.5	145.02	66.02	314.67	8.66
95	56.0	182.14	93.09	278.67	11.77
100	58.9	194.39	92.55	277.04	9.98
120	70.7	206.29	108.62	279.94	10.41

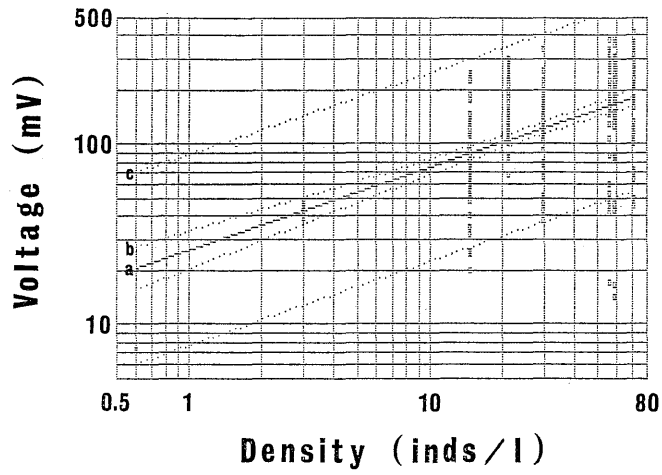


Fig. 6. The relationship between the density and the reflected voltage.

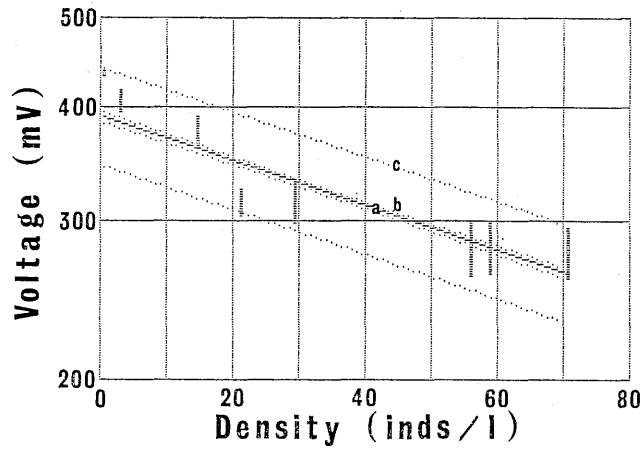


Fig. 7. The relationship between the density and the transmitted voltage.

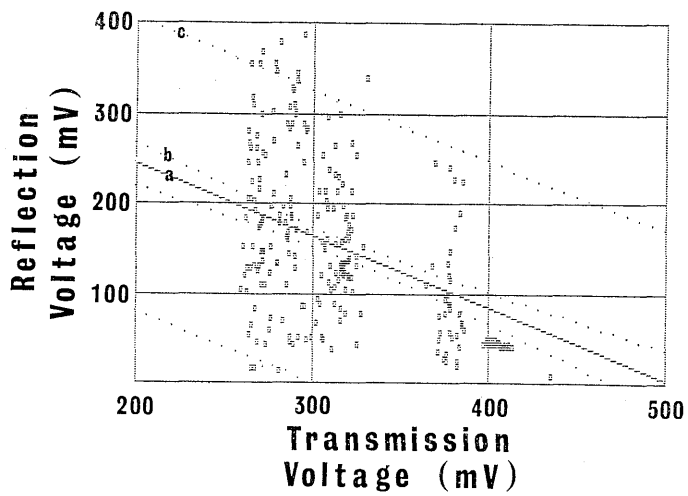


Fig. 8. The relationship between the transmitted voltage and the reflected voltage.

$4I$: 減少量

α : 群体標的がない時の吸収係数

β, c : 比例定数

x : 送波器から水中マイクロホンまでの距離

r : 減衰に有効な音軸上の伝搬距離

r_1 : 送波器から群体標的の前面までの距離

r_2 : 送波器から群体標的の後面までの距離

(8) 式は Fig. 7 に示した回帰直線の式と軌を一にし、透過波電圧 $T. V.$ の場合の回帰式は次の通りである。

$$\log(T. V.) = -0.01(\rho) + 2.59$$

この回帰直線の相関係数は $r = -0.91$ であった。(1) 式における比例定数 β は群体標的の減衰係数と考えることができる。よって (8) 式における A は $-\beta \cdot 1/2$ とおいたので

$$\beta = -\left(\frac{2}{1}\right)A \quad (9)$$

よって群体密度 ρ を 1 m^3 中に存在する個体数とすれば減衰係数は $4.09 E-5 (\text{m}^2)$ となる。

反射と透過には種々問題があるが、両者の関係について Fig. 8 に示した。この回帰式は

$$(R. V.) = -7.99(T. V.) + 402.81$$

この回帰直線の相関係数は $r = -0.55$ であった。同図より透過波電圧が増加すれば反射波電圧は減少する傾向にある。しかし前述したように反射波電圧は特に各標的からの位相差が大きく影響するものと推定される。よって送波器から発射された単一パルス信号のエネルギー保存則が成立することを理由として、透過波電圧が大きい時反射波電圧が小さくなり、またその反対の現象も起こるとは言えない。グラフに示されたようにデータの 95% 信頼区間が大きいことに注意する必要がある。

以上考察してきたように今回の測定では群体標的からの透過波電圧は、全ての群密度において反射波電圧より

非常に安定した結果を得た。また透過波電圧は群密度が大きくなるに従い減少する傾向にあり、群密度と透過波電圧との関係は、群密度と反射波電圧の関係より信頼できる結果を得た。これは従来魚群の分布密度の推定には主として反射波電圧が利用されてきたが、これに替わって透過波電圧の応用の可能性を示唆している。すなわち広く漁場を探索する漁船装備の魚探機への応用は大きな困難が伴うものと思われるが、ごく限定された水域において、予め充分計画された複数個の送波器・受波器を使用することにより、例えば養殖生質、定置網、あるいは人工魚礁付近における魚量推定に応用できるものと考えられる。

終わりに本論文を校閲下された北海道大学水産学部教授佐野典達博士に深謝申し上げる。

文 献

- 1) 古澤昌彦, 石井 憲: 水産工学研究所報告, **1**, 143-156 (1980).
- 2) 佐野典達, 見上隆克, 秋葉芳雄, 安間 元: 北海道大学水産学部彙報, **32**, 388-399 (1981).
- 3) 古澤昌彦, 石井 憲, 間庭愛信: 電子通信学会技報, **80**, 1-8 (1980).
- 4) 河口真一郎, 佐野典達, 沖野睦郎, 水洗能治: 日水誌, **52**, 93-97 (1986).
- 5) 河口真一郎, 佐野典達, 水洗能治: 日水誌, **53**, 1-7 (1987).
- 6) 石井 憲, 古澤昌彦, 宮野鼻洋一: 水産工学研究所報告, **4**, 73-94 (1983).
- 7) 松野保久: 鹿児島大学水産学部紀要, **36**, 227-377 (1987).
- 8) 実吉純一, 菊池喜充, 能本乙彦: 超音波技術便覧, 日刊工業新聞社, 東京, 1971, pp. 616-618.