

TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

海底面を利用した魚群探知機のキャリブレーション
に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2008-03-31 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 青山, 千春 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/708

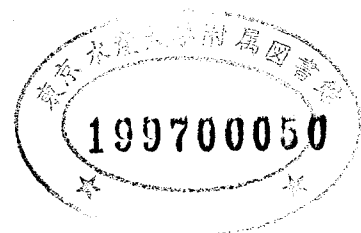
海底面を利用した魚群探知機の
キャリブレーションに関する研究

平成 8 年度

(1996)

東京水産大学大学院
水産学研究科
海洋生産学専攻

青山千春



海底面を利用した魚群探知機のキャリブレイションに関する研究

要旨

研究の背景と目的

1996年7月に締約された国連海洋法条約にともない、排他的経済水域での限られた水産資源の適切な管理と有効利用がより重要視されるようになった。水産資源の現状と動向を正確に把握し、合理的に適正量の漁獲を行う資源管理型漁業を一層推進する必要がある、さらに迅速かつ精度の高い資源量調査方法の確立が課題となっている。資源量調査方法のひとつに、超音波計量魚群探知機（以下、計量魚探機）による魚群量測定がある。

正確な魚群量測定のためには、計量魚探の送受信系のキャリブレイションが不可欠であり、キャリブレイション球やハイドロフォンを用いた方法が確立され、世界的に普及している。しかし、静穏な海域で、それらをトランスデューサの音軸上に配置する作業が必要であるなど、必ずしも容易でない。また、これらの方法は音軸線上に対してのキャリブレイションであり、魚群量測定を行うときに必要な、3次元的な指向特性（等価ビーム幅）は直接求めることができないので、指向性関数により計算で求めていた。本研究では、この等価ビーム幅を含めた、送受信系の総合的なキャリブレイションを水面及び海底面を利用して直接的に行う方法を開発した。

水面反射によるキャリブレイション

まず、実験水槽で水面反射を利用した、計量魚探のキャリブレイション方法を試みた。トランスデューサを、水面に向けて水中に設置し、送信を行う。水面の戻り散乱強度は 0dBとみなせるがそのエ

コーの振幅を測定し、トランスデューサの送受波感度と表面散乱の等価ビーム幅のキャリブレイションを行う。ビームが鋭い場合は水面の表面散乱と魚群に対する体積散乱の等価ビーム幅は等しいとみなせるので、後者もキャリブレイションできたことになる。このように、等価ビーム幅も含めた送受信系の総合的なキャリブレイションが可能となり、各要素を個々にキャリブレイションするより誤差の少ない結果が得られる。

海底面エコーの特性

海底面エコーの特性について、フィールドで測定し、検討を行った。まず、海底の底質や船体動揺などが原因で受信エコー電圧が変動するので、受信エコー電圧の最適な処理方法について検討し、できるだけ長時間の平均及び空間平均を求めればよいことが判った。

周波数の異なるトランスデューサを用いて海底面エコーを測定し、周波数が高いほど、海底面戻り散乱強度は小さくなっていた。底質の異なる海域で海底面エコーを測定し、かつ、採泥した海底堆積物を分析した。その結果、大きな粒径の含有量が多い底質ほど、海底面戻り散乱強度は大きくなっていた。音波ビームの入射角の変化に対しては、傾斜角が小さい限り、海底面戻り散乱強度はほとんど影響されない。トランスデューサから海底までの距離を変えることにより照射面積を変化させて、海底面エコーを測定した。その結果、海底面戻り散乱強度は、照射面積の変化にほとんど影響されない。

海底面によるキャリブレイション

海底面戻り散乱波による魚探機のキャリブレイションについて検

討した。

館山湾と学内係船場において、平坦で底質の均質な海域を選び、海底面戻り散乱強度を周波数に対して求めた。これにより、航走中に海底面エコーを測定するかエコー積分をするだけで、等価ビーム幅を含めた送受信器の総合的なキャリブレイションが可能である。

本研究で提案した、キャリブレイションの方法は、従来の方法に比べ、きわめて簡便である上、等価ビーム幅のキャリブレイションが同時に行えるところが、大きな特長である。この成果は、音響生物資源調査の実用と精度の向上に大いに役立つと言えよう。

目次

第 1 章	緒論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的	2
1.3	研究の概要	5
	文献	7
第 2 章	計量魚群探知機の原理と仕組み	8
2.1	緒言	8
2.2	単体魚の散乱	8
2.2	小魚群の散乱	10
2.3	大魚群の散乱	12
2.4	計量魚群探知機の原理	14
2.5	計量魚群探知機の仕組み	15
2.6	計量魚探模擬システム	20
第 3 章	水面反射を利用した計量魚群探知機のキャリブレイション	22
3.1	緒言	22
3.2	戻り散乱の原理	22
3.2.1	表面戻り散乱	22
3.2.2	体積戻り散乱	27
3.3	等価ビーム幅の検討	29
3.3.1	表面散乱の等価ビーム幅 Φ の近似	29

3.3.2 Φ の特性	31
3.3.3 Φ の最大値を得る条件	36
3.3.4 表面戻り散乱と体積戻り散乱の等価ビーム幅の関係	38
3.4 キャリブレーションのための水面反射実験	39
3.4.1 水面エコーの観察	39
3.4.2 等価ビーム幅のキャリブレーション	39
3.4.3 送受波感度のキャリブレーション	48
3.5 結言	49
付録1 指向性関数の近似式	51
付録2 等価ビーム幅とビーム幅の関係	54
付録3 水面反射の戻り散乱強度	55
文献	56

第 4 章 海底戻り散乱強度の測定	57
4.1 緒言	57
4.2 方法	58
4.2.1 測定システム	58
4.2.2 送受波器の装備方法の検討	61
4.2.3 測定位置とエコーレベルの変動	70
4.3 海底面戻り散乱強度の特性	74
4.3.1 周波数に対する特性	75
4.3.2 底質に対する特性	78
4.3.3 超音波の海底入射角	81
4.3.4 照射面積との関係	87

4.4 結言	95
付録1 底質の簡易分析方法	96
1.1 底質の採取方法	96
1.2 粒度分析法	97
付録2 含水比	98
付録3 密度	99
文献	100

第 5 章 海底面戻り散乱波を利用した魚群探知機の

キャリブレイション	101
5.1 緒言	101
5.2 海底面を利用したキャリブレイション方法	102
5.3 エコー積分値を利用する方法	105
5.3.1 海底エコーの積分処理	105
5.3.2 キャリブレイション方法	109
5.3.3 キャリブレイション方法の確認	109
5.3.4 船間較正への応用	111
5.5 結言	112
文献	114

第 6 章 結論

謝辞	118
----	-----

付録	119
----	-----

第 1 章 緒 論

1.1 研究の背景

1996年7月に締約された国連海洋法条約にともない、特に水産分野では、排他的経済水域での限られた水産資源の適切な管理と有効利用が必要であり、現状と動向を正確に把握し合理的に適正量の漁獲を行う、資源管理型漁業を一層推進する必要がある。そのためには、さらに迅速かつ高精度の資源量調査方法の確立が課題となっている。

水産資源の調査には魚群探知機等の超音波機器が多く利用される。中でも計量魚群探知機（以下、計量魚探機）による調査手法が近年主流となっている。¹⁾ 1994年6月、英国スコットランドのアバディーンで ICES(International Council for the Exploration of the Sea)主催の「水産音響とプランクトン音響国際シンポジウム」が開催され、水中音響機器の開発と計測方法、音響資源調査の方法と解析方法、音響による魚種判別、音響による魚やプランクトンの分布計測や行動検知などに関する多くの研究成果が発表された。²⁾ 計量魚探機などによる魚種判別方法や 3次元的な行動探知の方法など、さらに高次元の情報を得るための研究も発表され、音響による資源量調査方法のレベルが年々高くなってきていることがうかがえる。さらに今後は、生態調査や資源量調査を音響手法単独で行うのではなく、海流モデルやリモートセンシングによる海面水温情報など、他の環境情報と組み合わせることによって、地球規模の海洋環境や生態系全体の把握のための手段として期待できる。

1.2 研究の目的

本論文の目的は、表面散乱理論を用いることによって、魚探機で水槽水面や海底面からの表面散乱波の振幅を計測するだけで、直接的に魚探機の総合キャリブレイションができることを示し、その方法を実証することである。さらにそのためには、海底面からのエコーの特性を知ることが重要なので、計測したエコー電圧から海底面戻り散乱強度を求めて検討する。

目的を具体的に示す。

- (1) 魚探機の総合キャリブレイションを水槽段階で簡単かつ直接的に行う方法を考案する。
- (2) 海底エコーの特性を計測により明らかにする。
- (3) 表面散乱理論より、平坦で均質な海底面を計量魚探機のキャリブレイションに応用する方法を確立する。

(1) 魚探機の総合キャリブレイション

まず、計量魚探機について簡単に説明する。計量魚探機とは計量を目的とした定量化された魚群探知機であり、一般にはエコー処理装置や航海計器と結合され、構成されている。計量魚群探知機の基礎となるのは、体積散乱に関するソナー方程式であり、

$$I = I_0 \cdot r^{-2} \exp(-4\alpha r) s_v (c\tau/2) \Psi \quad \cdots (1)$$

で表される。ただし、 I は戻り散乱波の強さ、 I_0 は音源の強さ、 r^{-2} は拡散減衰、 α は吸収減衰係数、 s_v は体積戻り散乱強度、 c は音速、 τ はパルス幅、 Ψ は体積散乱の等価ビーム幅である。

この式のパラメータのうち、対象魚の散乱特性を表すのは、体積戻り散乱強度である。他のパラメータはあらかじめ測定可能であるから、戻り散乱波の強さ I を求めれば、体積戻り散乱強度 s_v が判る。この体積戻り散乱強度を対象魚の平均ターゲットストレンジスで割れば、対象魚の分布密度が判る。

計量魚探機で、正確な結果を得るためには(1)式の各パラメータが正確に与えられていなければならない。そのためには、送受波感度、等価ビーム幅、パルス幅、TVG特性など魚探装置に関するキャリブレーションが必要不可欠である。これらのパラメータを個々にキャリブレーションするには、標準ハイドロフォンを船底送受波器の直下に配置して行うなど、高度の技術と時間を要する。そこで現在では、より実施しやすいキャリブレーション球を用いた方法が確立され世界的に普及している^{3, 4)}。また、等価ビーム幅は、工場出荷時に水槽において指向特性を測定しておき、その結果から計算で求めるのが普通であるが、3次元的な指向特性が必要であり非常に手間がかかる。この研究は水槽段階でのキャリブレーションを簡単かつ直接的に行う方法を開発することである。すなわち、水面からの表面戻り散乱波の振幅の計測によって、等価ビーム幅を含む送受波感度のキャリブレーションを容易に行う方法を検討する。

(2) 海底エコーの特性

(3) 海底面を利用したキャリブレーション

計量魚探機で正確な結果を得るためには調査船が調査航海に行く前後もしくは途中に、キャリブレーション球による総合キャリブレーションをルーチン的に行う必要がある。しかし、このことは決して容易ではない。静穏な海域で錨泊して行わなければならないから

である。日本周辺ではそのような恵まれた海域と海況は稀である。この研究では海底面を利用した実地的なキャリブレーションの方法を提案した。すなわち、あらかじめ表面戻り散乱波を計測して、表面戻り散乱強度が既知の平坦で均質な海域を標準海底として決めておけば、その海域を通過しながら、海底面からのエコー電圧を測定するだけで計量魚探機の等価ビーム幅を含めた総合キャリブレーションが簡便に行える。

1.3 研究の概要

Fig.1 に本論文の構成を示した。第 3章では戻り散乱の原理と水槽の水面を利用した等価ビーム幅のキャリブレイション及び、総合キャリブレイションについて、第 4章では海底エコーの特性について、第 5章では海底を利用した計量魚探機のキャリブレイションについて示した。

以下、各章について概要を述べる。

第 1章は緒論で、研究の背景、目的、概要について述べた。

第 2章は、本研究で検討するキャリブレイション方法は、特に、精度が要求される計量魚探機を対象にしているから、その原理と計

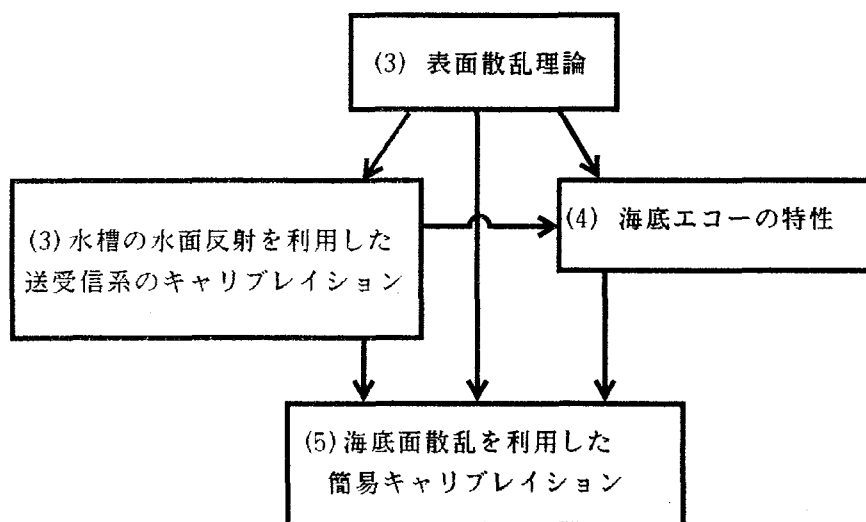


Fig.1 Skeleton of this paper.

Numbers and titles of chapters are shown.

測方法の現状を把握しておくことが必要なので、ここで述べた。

第 3 章では、実験水槽の水面反射を利用し、簡単かつ正確に計量魚探機のキャリブレーションを行う方法を検討した。すなわち、表面戻り散乱強度が 0dB である水面からのエコーの振幅を測定し、表面散乱の等価ビーム幅のキャリブレーションを簡単に行う方法を示した。ビームが鋭い場合は表面散乱と体積散乱の等価ビーム幅は互いに流用できるので、後者もキャリブレーションできたことになる。また、等価ビーム幅も含めた送受信系の総合キャリブレーションが可能となり各要素を個々にキャリブレーションするより誤差の少ない結果が得られた。

第 4 章は海底エコーの特性について、フィールドで測定を行い、検討を行った。周波数の異なるトランスデューサで海底エコーを測定し、海底面戻り散乱強度の周波数特性を調べた。底質の異なる海域で海底エコーを測定し、採泥器で採泥した海底堆積物を分析して、海底面戻り散乱強度の底質に対する特性を調べた。船体の動揺による影響と海底面の傾斜による影響を調べるために、超音波の海底面への入射角度を変化させて、海底面戻り散乱強度の入射角に対する特性を求めた。トランスデューサから海底までの距離を変えることにより照射面積を変化させて、海底エコーの表面戻り散乱強度との関係を示した。

第 5 章は海底面戻り散乱波による魚探機のキャリブレーションの実際的な方法について述べた。あらかじめ海底戻り散乱強度 S_s の判っている海域を通過し、海底エコーの受信電圧を測定する。平均受信電圧からエコーレベルを求め、 S_s は既知であるから (1) 式にこれらの値を代入すれば、残りのパラメータの値を知る。現場での測定

では、海底の底質の状態や船体動揺などが原因で受信エコー電圧の変動が大きいので、最適な受信電圧を決めるための処理方法について、まず検討した。測定海域は、館山湾の底質の異なる3海域、学内係船場内と海洋計測工学所管の実験水槽である。応用として、エコーレベルの代わりにエコー積分結果を用いれば、実用的なキャリブレーションと船間キャリブレーションが行える。

第6章は結論で本研究の成果をまとめた。

文献

- 1) D. N. MacLennan and E. J. Simmonds: Fisheries Acoustics, Chapman & Hall, London, p. 325 (1992).
- 2) 古澤昌彦：音響水産資源調査法の発展、水産海洋研究、60, pp289-295, 1996.
- 3) 古澤昌彦、宮野鼻洋一、澤田浩一、高尾芳三：計量魚群探知機の較正方法、水産工学所研究技報（漁船工学）, 15, 29-30 (1995).
- 4) ICESマニュアル

第 2 章 計量魚群探知機の原理と仕組み

2.1 緒言

計量魚探機を搭載した研究調査船は、調査航海ごとに送受信系のキャリブレーションをユーザーサイドで行うのが望ましいとされている¹⁾。しかし、従来の方法は、音軸上に標準球を配置するなど、手間がかかる上、点に対するキャリブレーションであったから、体積散乱の等価ビーム幅まではキャリブレーションできない。本研究で検討した。平面を用いる魚探機のキャリブレーション方法は、平面戻り散乱波のエコー電圧を測定するだけで、等価ビーム幅を含めた送受信系の総合キャリブレーションが行えるという利点がある。本章では、キャリブレーションの対象である計量魚探機の原理としくみについて示す。

2.2 単体魚の散乱

Fig. 2.1のように、音波が魚にあたるとそのパワーが散乱されて、一部が入射方向に戻ってくる。これを戻り散乱といい、その強さターゲットストレングス t_s は、

$$t_s = I_r / I_i \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

である。ただし、 I_r は、魚から単位距離だけ音源方向に戻った点における戻り散乱波の強さで、 I_i は、魚への入射波の強さである。通常は t_s をデシベル表現にしたものをターゲットストレングスと言い、TSと表す。

受波器位置における単体魚からの戻り散乱波の強さを I とすれば、

$$I = I_0 r^{-4} \exp(-4\alpha r) b^2 ts \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

である。ただし、 I_0 は音源の強さ、 r は受波器位置から単体魚までの距離、 r^{-4} は拡散減衰、 α は吸収減衰係数、 $\exp(-2\alpha r)$ は吸収減衰、 b は指向性関数である。

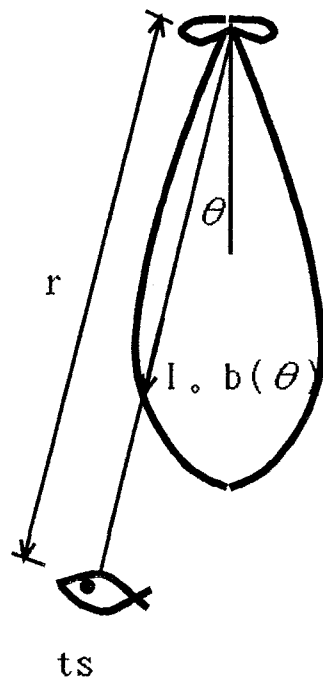


Fig.1 Scattering by single fish

2.2 小魚群の散乱

Fig. 2.2のように、送受波器のビームに対して、小さい魚群の場合を考える。魚群の大きさは断面積 ΔS で形は柱状であるとする。音速 c 、パルス幅 τ 、魚の分布密度 n とすると距離 r に相当する時間 $t=2r/c$ にエコー合成される魚は、距離分解能 $c\tau/2$ 内にいるからその数は $n\Delta S c\tau/2$ 尾となり、魚群全体の散乱強度は $n\Delta S(c\tau/2)ts$ となる。これを(2)式の ts の代わりに代入すれば、受波器位置における小魚群からの戻り散乱波の強さは、

$$\Delta I = I_0 r^{-4} \exp(-2\alpha r) b^2 n\Delta S(c\tau/2)ts \cdots (3)$$

となる。

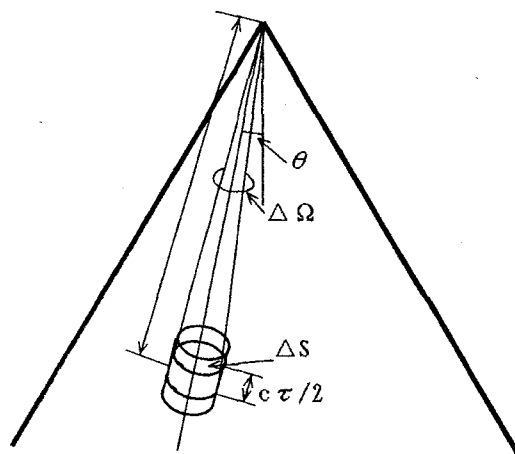


Fig.2 Scattering by small fish school.

2.3 大魚群の散乱

Fig. 2.3のように、ビームに対してある程度大きい魚群の場合は、(3)式を魚の存在する範囲 Ω (sr)について積分すればよい。 $\Delta S/r^2 = \Delta \Omega$ は立体角素分であるから n および、 ts が r の付近で同一とすれば、受波器位置における大魚群の体積戻り散乱波の強さは、

$$I = I_0 \cdot r^{-2} \exp(-4\alpha r) (c\tau/2) \Psi_{sv} \cdots (4)$$

$$\Psi = \int_{\Omega} \int_0^{\pi/2} b^2 d\Omega \cdots (5)$$

である。ただし、 sv は体積戻り散乱係数、 Ψ は等価ビーム幅で、魚群がビームに対して非常に大きな場合は $\Omega = 2\pi$ となる。

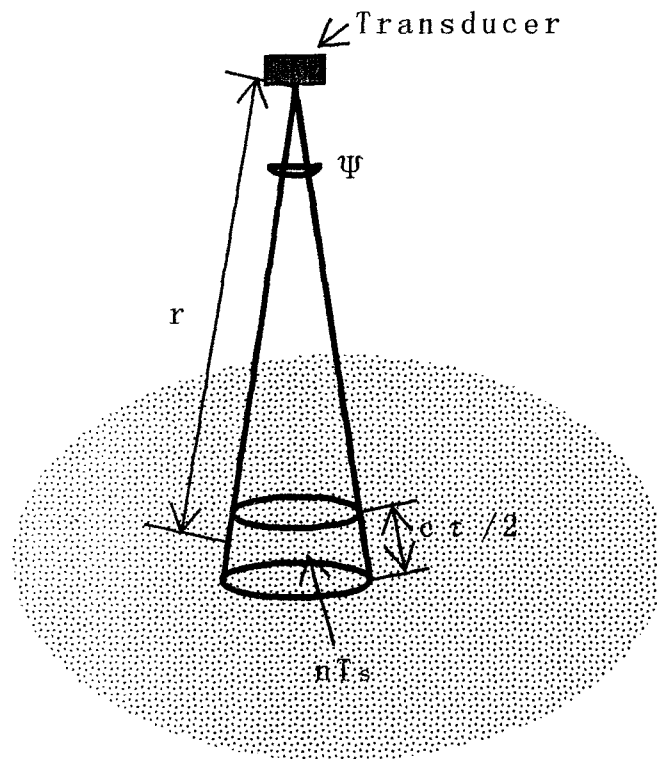


Fig. 3 Scattering from large fish school.

2.4 計量魚群探知機の原理

(4)式で、魚群の散乱特性を表すパラメータは、体積戻り散乱強度だけである。残りの装置や伝搬に関するパラメータは、あらかじめ測定可能か、または予測可能であるから、これらが既知であれば、エコーレベルを求めるだけで、体積戻り散乱強度が判る。(4)式を sv の式に書き換えると、

$$sv = (I/I_0) r^2 \exp(4\alpha r) (2/c\tau) \Psi^{-1} \quad \cdot \cdot \cdot (4)$$

となる。ここで、 $r^2 \exp(4\alpha r)$ は距離 r 、すなわち時間の関数であるから、魚群の戻り散乱強度が距離に関係なく一定であるためには、時変増幅が必要である。距離に比例して増大する伝搬減衰を補正するこの働きをTVG (time varied gain) という。TVGには、(2)式と(4)式をデシベル表示にした場合の距離項にあたる、 $40\log r + 4\alpha r$ と $20\log r + 4\alpha r$ の特性がある。一般に単体エコーを対象とする個体推定には、 $40\log r + 4\alpha r$ を用い、個群推定や広水域推定には、 $20\log r + 4\alpha r$ を用いる。個群推定の方法は、個々の魚群に対してその断面像による体積推定、群内の分布密度の推定、魚群構造の観察を行う。広水域推定は、広域の平均分布密度を知り、魚群の現存量を求める方法で、一般に積分方式といわれる。

こうして、全てのパラメータが決まるとエコーレベルから、 sv を計算することができる。これをターゲットストレングス ts で除すと、

$$n = sv / ts \quad \cdot \cdot \cdot (5)$$

となって、魚群の密度が求まる。

2.5 計量魚群探知機の仕組み

計量魚探機の送受信の基本的な構成図をFig.4に示した。

エコー音圧 P_R を受波（受波感度： M ）後、前置増幅（ゲイン： G_R ）すると、出力振幅

$$E_R = P_R M G_R \quad \dots (6)$$

を得る。 P_R には距離項が含まれるのでこれを除くためにTVGで補正したエコー信号を E_{TF} とすると、

$$E_{TF} = G(r) E_R \quad \dots (7)$$

となる。ただし、 $G(r)$ はTVG関数とする。

個体推定について考える。(2)式の、強さを音圧に変換した式

$$P^2 = P_0^2 D^2 r^{-4} \exp(-4\alpha r) t_s \quad \dots (8)$$

より、エコー音圧は P であるから、TVG関数は、

$$G(r) = G r^2 \exp(2\alpha r) \quad \dots (9)$$

を用いればよい。ここで、 D は音圧に対する指向性関数、 G をTVG係数と呼ぶ。このTVG出力を検波する。(6)～(9)式より、単体エコー

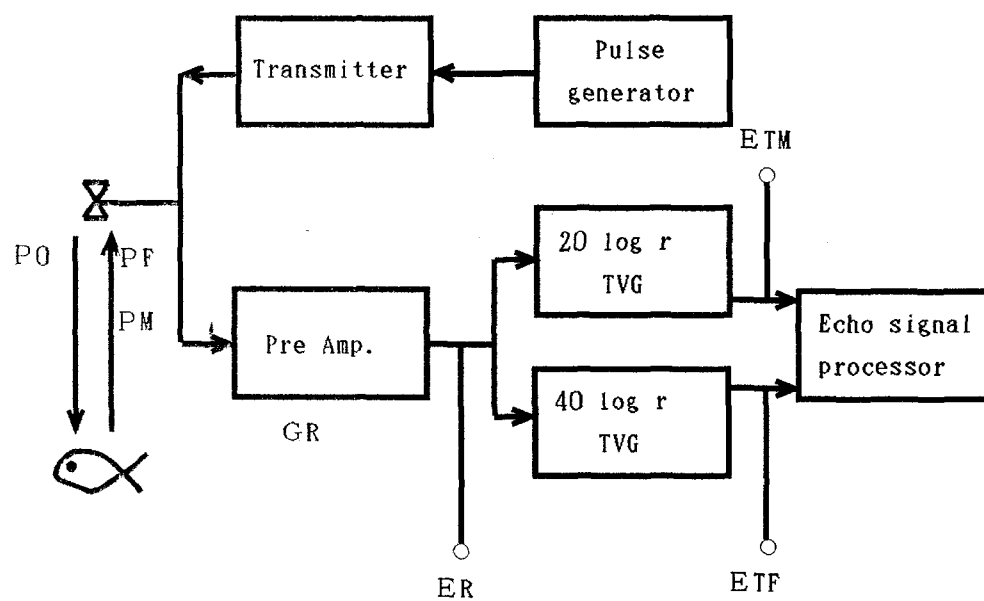
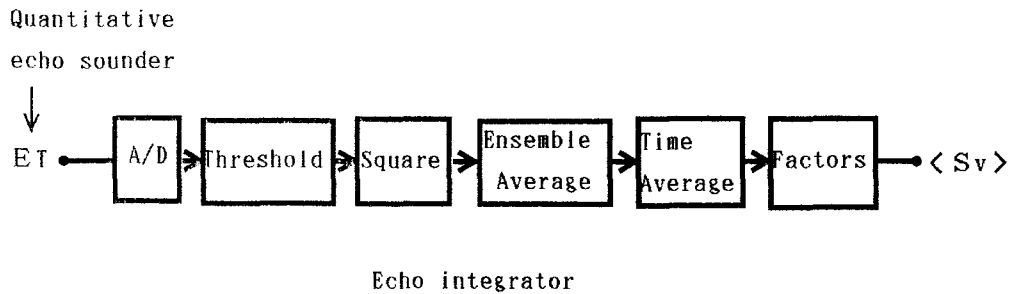


Fig.5 Block diagram of quantitative echo sounder.
 Definition of variables are shown.



のTVG出力電圧

$$E_{TF}^2 = K^2 D^2 t_s \quad \cdot \cdot \cdot (10)$$

$$K_F = K_{TR} G \quad \cdot \cdot \cdot (11)$$

$$K_{TR} = P_0 M G_R \quad \cdot \cdot \cdot (12)$$

を得る。 K_F を単体エコー係数、 K_{TR} を送受信係数と呼ぶ。個体推定で、直接取り扱うのはこのTVG出力電圧である。

個群推定について考える。(4)式の、強さを音圧に変換した式

$$P^2 = P_0^2 D^2 r^{-2} \exp(-4\alpha r) (c\tau/2) \Psi_{sv} \quad \cdot \cdot \cdot (13)$$

より、TVG関数は、

$$G(r) = G_r \exp(2\alpha r) \quad \dots (14)$$

とすればよいことがわかる。個群エコーのTVG出力電圧は、

$$E_{TM}^2 = K_M^2 s_v \quad \dots (15)$$

$$K_M^2 = (K_{TR} G)^2 \Psi c \tau / 2 \quad \dots (16)$$

$$s_v = n t_s \quad \dots (17)$$

を得る。 K_M を群体エコー係数と呼ぶ。 s_v は、群内の体積散乱強度 (SV) である。個群推定では、このSVから群内密度を推定し、エコー表示の輪郭から魚群体積を推定する。

積分方式では、単体エコーと群体エコーの両者を対象とし、見かけ上(13)式の群体エコーと等価な式を得るから、TVG関数は、(14)式の個群推定の場合と同じ式を用いる。単体エコーの $20\log r$ のTVG出力は、

$$E_{TM}^2 = (K_{TR} G)^2 D^2 t_s / r^2 \quad \dots (18)$$

である。(15), (18)式のTVG出力に $m \text{ ping}$ に対する集合平均と深度層 $r \sim r_w$ についての平均操作、すなわち、

$$\overline{E_T^2} = r w^{-1} \int_r^{r+r w} E_T^2 dr \quad \cdot \cdot \cdot (19)$$

を行うと、あらゆる分布に対して、(15)式と同様な関係

$$\overline{E_T^2} = K_M^2 \overline{S_V} = K_M^2 n \overline{T_S} \quad \cdot \cdot \cdot (20)$$

が得られる。 $\overline{S_V}$ を平均体積戻り散乱強度と呼ぶ。

2.6 計量魚探模擬システム

本研究の測定システムは、Fig.5のように、研究室にある装置を組み合わせ、さらに解析用のプログラムを作り、計量魚探機のシステムに近づけた。発振器(Function Synthesizer)からパルス波を発生させ、Power Amp.で増幅して、送受信切り替えスイッチT/Rを通して、Transducerで電圧から音圧に変換された超音波が水中を進む。海底で反射して戻ってきた超音波を、Transducerで音圧から電圧に変換して、Filter Amp.、Amp.で増幅してRMS Converterで検波して、A/D Boardでデジタル信号に変換し、Personal Computerに取り込む。取り込んだデータに解析用プログラムで距離による減衰の補正、TVG処理を行い、時間・空間平均を行ってS₀を求める。

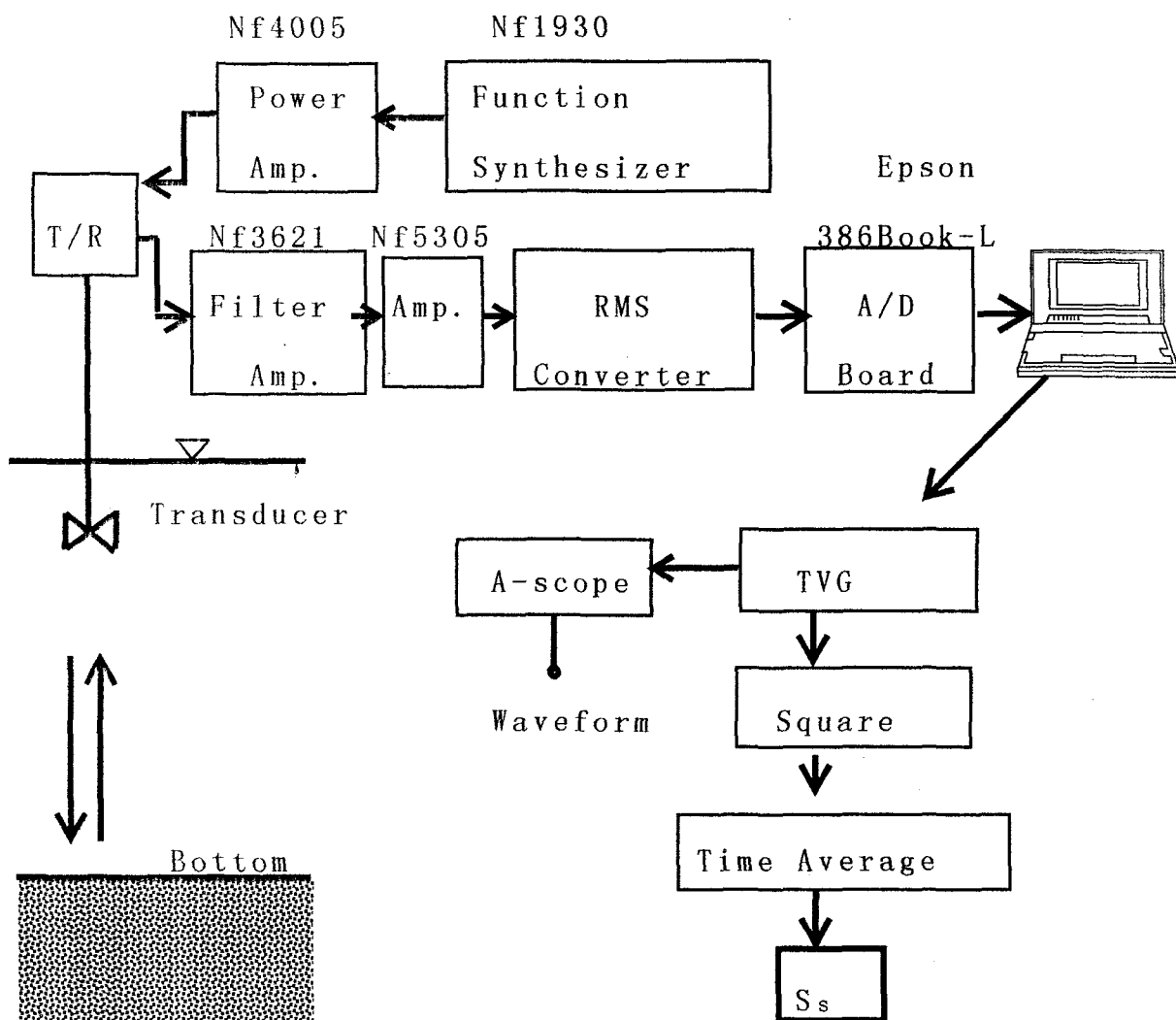


Fig.5 Method of measuring system of bottom echoes.

第 3 章 水面反射を利用した計量魚群探知機のキャリブレイション

3.1 緒言

本章では、送受信系のキャリブレイションを水槽段階で簡単かつ正確に行う方法を検討する。特に、等価ビーム幅は水槽における指向特性の測定から得るのが普通であったが、3次元的な指向特性が必要となり非常に手間がかかる。³⁾そこで、このキャリブレイションを簡単にかつ直接的に行う方法として、実験水槽の水面を利用する方法を検討した。すなわち、水面からの表面戻り散乱波の計測によって等価ビーム幅と送受波感度のキャリブレイションを容易に行う方法を考案した。また、海底エコーの定量的計測に必要な表面散乱の等価ビーム幅の特性及びキャリブレイションについても考察した。

3.2 戻り散乱の原理

3.2.1 表面戻り散乱

受波器位置における海底や海面などの表面戻り散乱波の強さは、Fig.1 の斜線部分の微小面積 ΔS からの戻り散乱波の強さの総和と考えられる。 ΔS からの表面戻り散乱波の強さ ΔI は、

$$\Delta I = I_0 \cdot r^{-4} \exp(-4\alpha r) b^2 s \cdot \Delta S \quad \cdots (1)$$

である。ただし、 I_0 は音源の強さ、 r は受波器位置から微小面積 ΔS までの距離、 r^{-4} は拡散減衰、 α は吸収減衰係数、 $\exp(-4\alpha r)$ は

吸収減衰， b は指向性関数， s_s は表面戻り散乱強度である。

ここで，微小面積 ΔS はFig.1 から，

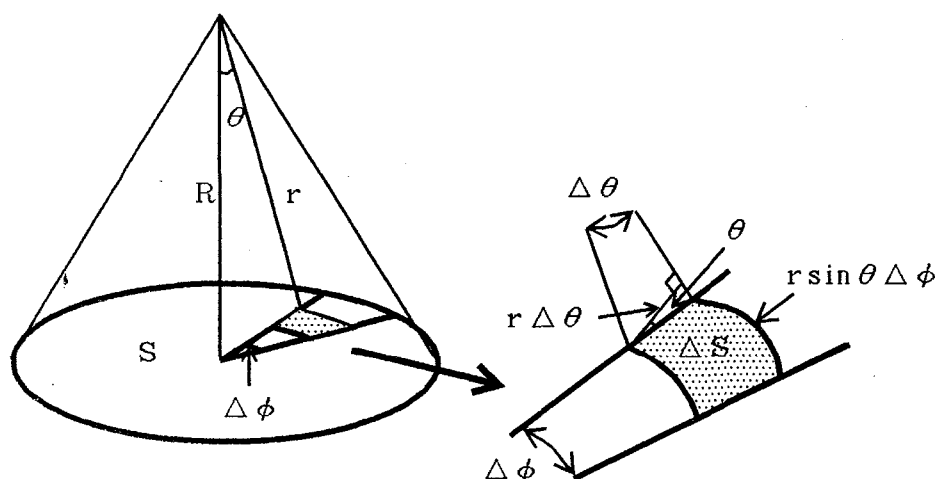


Fig.1 Principle of surface scattering

$$\begin{aligned}\Delta S &= \frac{r \Delta \theta}{\cos \theta} r \sin \theta \Delta \phi \\ &= r^2 \tan \theta \Delta \theta \Delta \phi \quad \cdot \cdot \cdot (2)\end{aligned}$$

である。(2) 式を(1) 式に代入すると,

$$\Delta I = I_0 r^{-2} \exp(-4\alpha r) b^2 s_s \tan \theta \Delta \theta \Delta \phi \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

となる。表面戻り散乱波の強さ I は ΔI の総和であるから,

$$I = \Sigma \Delta I \quad \cdot \cdot \cdot (4)$$

となる。 s_s は θ が大きくなるほどつまり入射角が大きくなるほど小さくなるが、鋭いビームを用いる計量魚探機の場合、 θ が小さい所の散乱に対する寄与が大きいのでほとんど変化しないと仮定し、(4) 式を積分で表すと,

$$I = I_0 r^{-2} \exp(-4\alpha r) s_s \Phi \quad \cdot \cdot \cdot (5)$$

$$\Phi = \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} b^2 \tan \theta d\theta d\phi \quad \cdot \cdot \cdot (6)$$

となる。 θ_1 , θ_2 は、経過時間にともない Table 1 の様になる。すなわち Fig. 2 に示すようにパルスの前縁が表面に達してから後縁が

表面に達するまでは散乱面はAのように拡大する円となり、それ以降はBのようにドーナツ状に散乱面が広がる。Rは送受波器と表面間の垂直距離、rはここではスラントレンジ（散乱面の前縁までの送受波器からの距離）である。 Φ を表面散乱の等価ビーム幅という。

Table 1. Integration limits, θ_1 and θ_2 , for two cases

Scattering plane	θ_1	θ_2
Circular plane ($R \leq r < R+c\tau/2$)	0	$\cos^{-1}(R/r)$
Circular ring ($r \geq R+c\tau/2$)	$\cos^{-1} \{ R/(r-c\tau/2) \}$	$\cos^{-1}(R/r)$

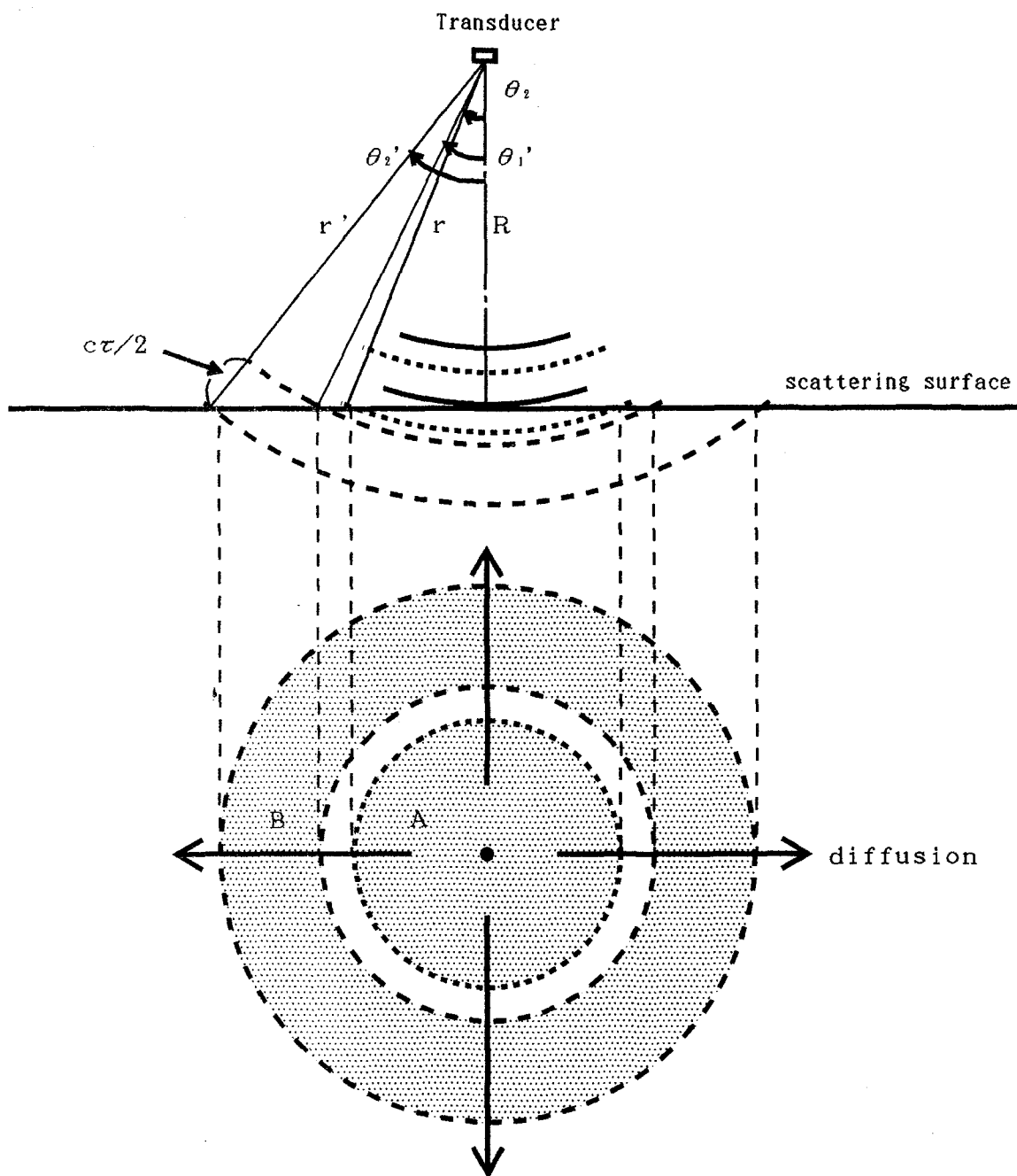


Fig.2 Geometry showing change of scattering plane with time

3.2.2 体積戻り散乱

体積散乱は、海中の生物や浮遊物、海水の不均一な構造等からの戻り散乱波の総和である。受波器位置における体積戻り散乱波の強さは、Fig.3の斜線部分の微小体積 ΔV からの戻り散乱波の強さの総和と考えられる。 ΔV からの体積戻り散乱波の強さ ΔI は、

$$\Delta I = I_0 r^{-4} \exp(-4\alpha r) b^2 s_v \Delta V \quad \cdot \cdot \cdot (7)$$

となる。ここで、 s_v は体積戻り散乱強度である。

微小体積 ΔV は、Fig.3より、

$$\Delta V = r^2 \sin \theta \Delta \theta \Delta \phi \frac{c \tau}{2} \quad \cdot \cdot \cdot (8)$$

となる。ここで、 c は音速、 τ はパルス幅である。(8)式を(7)式に代入すると、

$$\Delta I = I_0 r^{-2} \exp(-4\alpha r) b^2 s_v \frac{c \tau}{2} \sin \theta \Delta \theta \Delta \phi \quad \cdot \cdot \cdot (9)$$

となる。体積戻り散乱波の強さ I は ΔI の総和であるから、(9)式を用い、

$$I = \Sigma \Delta I \quad \cdot \cdot \cdot (10)$$

となる。ここで、 s_v は θ が小さいので一定と考え、(9)式を積分で表す。

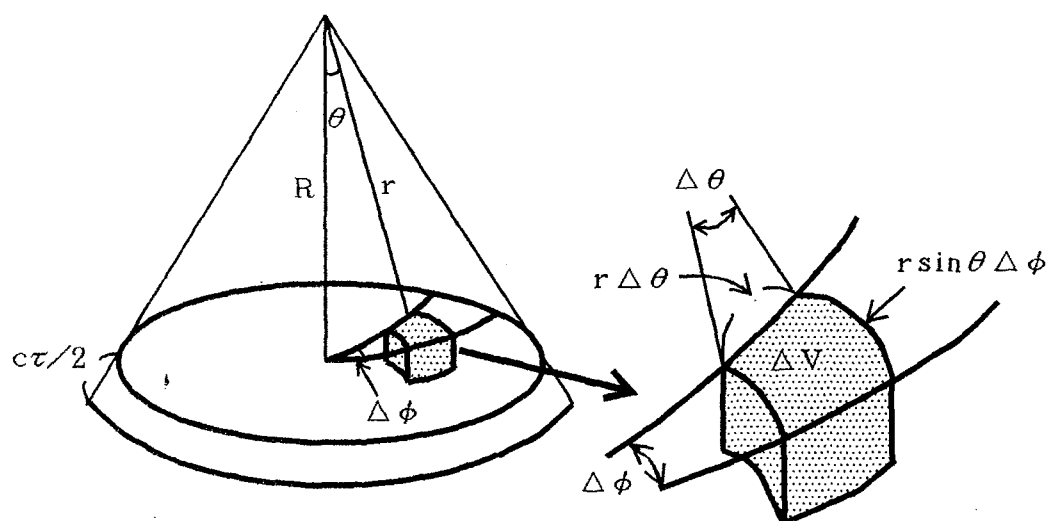


Fig.3 Principle of volume scattering

$$I = I_0 r^{-2} \exp(-4\alpha r) s_v \frac{c\tau}{2} \Psi \quad \cdot \cdot \cdot (11)$$

$$\Psi = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} b^2 \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad \cdot \cdot \cdot (12)$$

Ψ を体積散乱の等価ビーム幅という。

3.3 等価ビーム幅の検討

(6)式において Φ は 時間 t の経過と共に増加し、やがて一定値に漸近する。この漸近値をもって表面散乱の等価ビーム幅と称しているが、実際は水深 R ，パルス幅 τ ，送信時からの時間 t ，指向特性 b （送受波器の直径，使用周波数）の4つのパラメータによって変化する関数である。従って、水深が深い場合やビーム幅が大きい場合などには、 Φ を一定と考えてよい条件を確認する。

また、水面の表面散乱により体積散乱のパラメータをキャリブレーションするのも本研究の目的であるが、そのためには、(6)式の Φ と(12)式の Ψ の関係を調べておく必要がある。

この章では、以上の目的のために、 Φ を解析的に近似して特性を調べるとともに、 Φ と Ψ の関係について調べる。

3.3.1 表面散乱の等価ビーム幅 Φ の近似

(6)式の Φ はビームが鋭く、 b が軸対称の場合は、

$$\Phi = 2\pi \int_{\theta_1}^{\theta_2} b^2 \theta \, d\theta \quad \cdot \cdot \cdot (14)$$

で表される。b は付録1 に示すようにベッセル関数で表されるが、上式の解析的な積分が不可能なので、ここでは Hamilton らが示した²⁾ メインローブについての近似式、

$$b \doteq \exp(-a^2 \theta^2) \quad \cdot \cdot \cdot (15)$$

$$a = (\pi/2)(d/\lambda) \quad \cdot \cdot \cdot (16)$$

を用いる。ここで、d は振動面直径、 λ は波長である。この式は付録1 に示すように、メインローブをよく近似できる。(15)式を(14)式に代入すると、

$$\begin{aligned} \Phi &\doteq 2\pi \int_{\theta_1}^{\theta_2} \exp(-2a^2 \theta^2) \theta \, d\theta \\ &= \pi/(2a^2) [\exp(-2a^2 \theta_1^2) - \exp(-2a^2 \theta_2^2)] \cdot \cdot \cdot (17) \end{aligned}$$

となる。この式から等価ビーム幅 Φ は、漸近値を持ち、4 つのパラメータによって決まる関数である。つまり、

$$\Phi = f(d/\lambda, R, r, \tau) \quad \cdot \cdot \cdot (18)$$

と表せる。

3.3.2 Φ の特性

Fig. 4(a)～(d)に、縦軸に Φ 、横軸に $r-R$ をとり、(17)式で計算した Φ を示した。 r は $r=ct/2$ で、観測時間 t と関係づけられるので、この Φ は水面からの表面散乱波形（実際には強さ）に相当したものとなる。

Fig. 4(a)は、距離 $R=11.7\text{m}$ 、パルス幅 $\tau=2\text{msec}$ とし、トランスデューサのパラメータ d/λ は実際に測定に使用した5種類とした。その周波数と振動面の直径をTable 2(a)に示した。50kHz以外では Φ が最大値 Φ_{max} に達しており、通常この最大値を等価ビーム幅 Φ と呼ぶ。

Fig. 4(b)は d/λ すなわちビーム幅を変化させた場合のグラフである。距離 $R=10\text{m}$ 、パルス幅 $\tau=2\text{msec}$ とした。 d/λ が大きくなるほど、ビームが鋭くなり、 Φ の値は小さく一定値に速く近づく。

Fig. 4(c)はパルス幅だけを変化させた場合のグラフである。周波数 $f=50\text{kHz}$ 、直径 $d=60\text{mm}$ 、距離 $R=10\text{m}$ とした。パルス幅が大きくなるほど水平部分が長く平坦な Φ が得られ易くなる。

Fig. 4(d)は距離だけを変化させた場合である。周波数 $f=50\text{kHz}$ 、直径 $d=60\text{mm}$ 、パルス幅 $\tau=2\text{msec}$ とした。距離が短いほど水平部分が長く続き平坦な Φ が得られる。

すべての条件を総合してみると、 d/λ が大きく、パルス幅が長く、距離が短い場合に Φ の一定値が得やすいことが判る。

なお、この等価ビーム幅とビームパターンの1つの指標であるビーム幅との関係について付録2に示した。

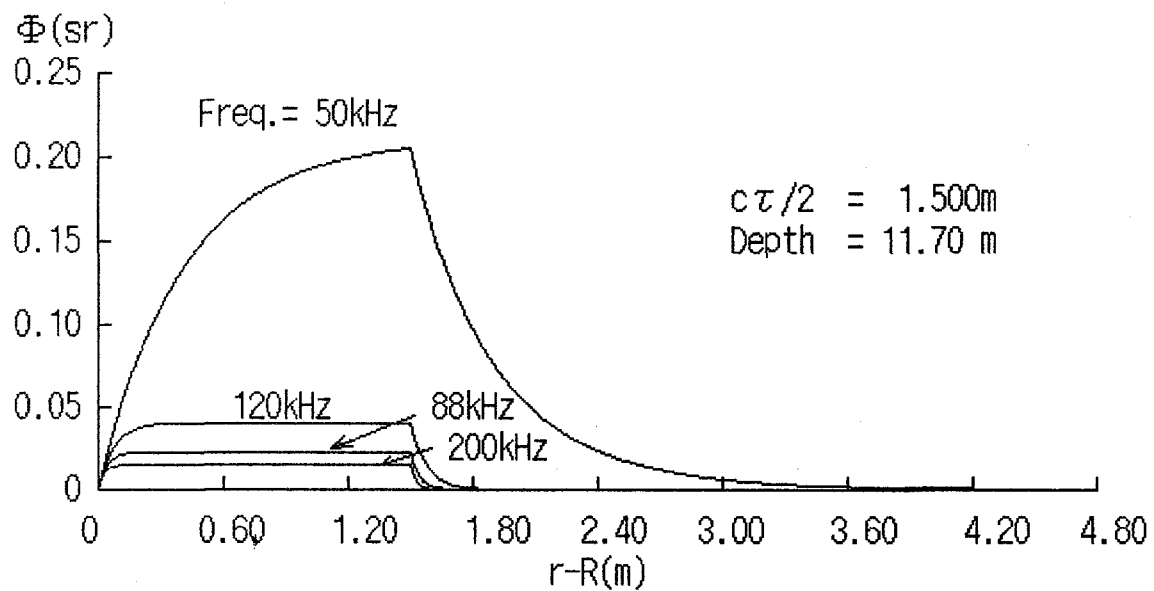


Fig.4 Characteristics of equivalent beam width Φ as functions of range calculated by approximation method.

a), Φ for transducers used in measurement.

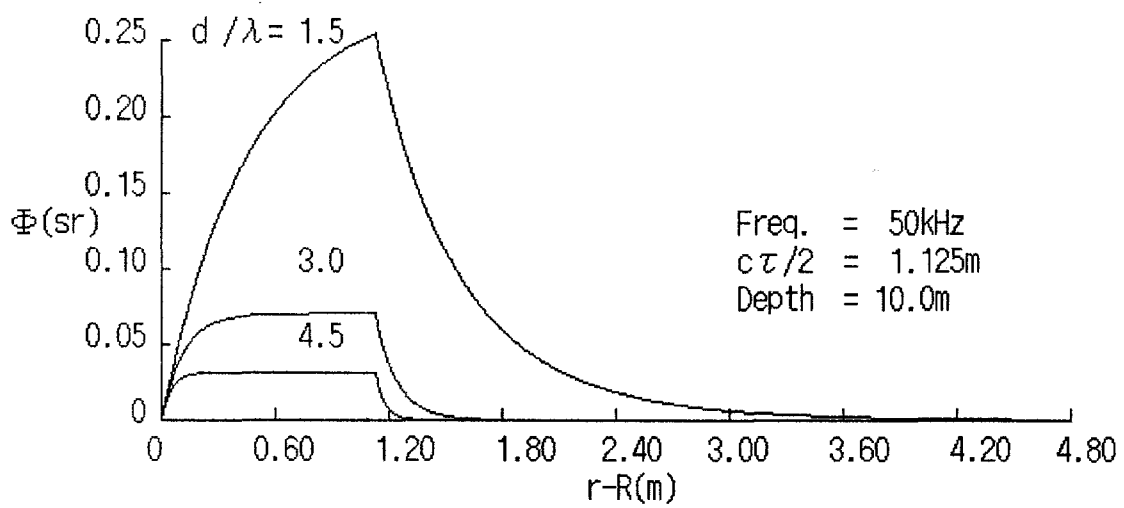


Fig.4b Variation of Φ with d/λ

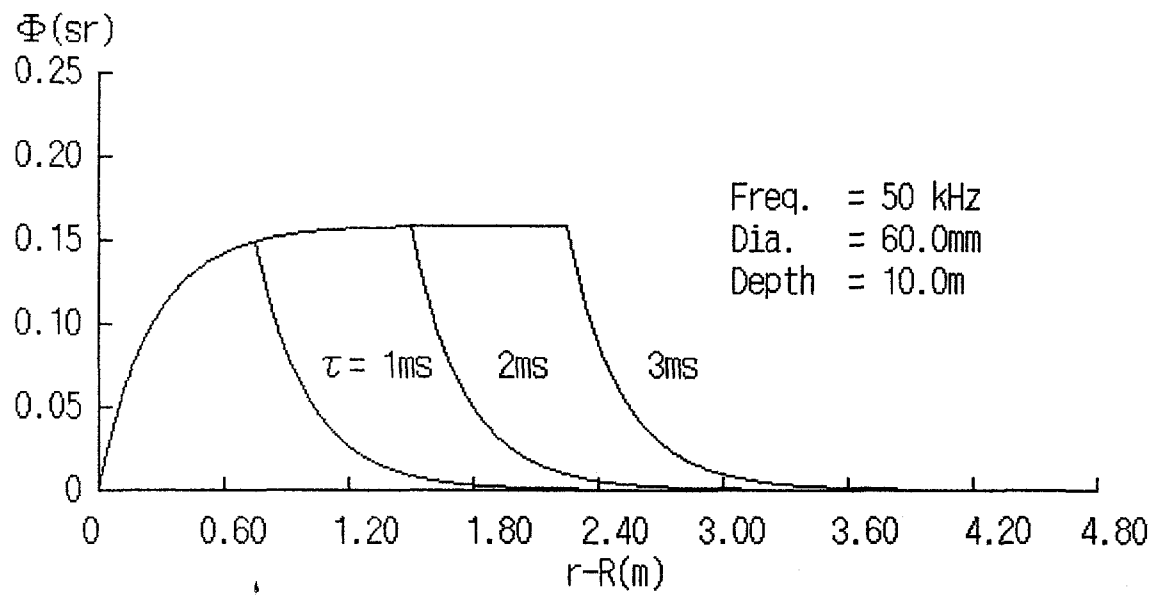


Fig.4c variation of Φ with pulse width.

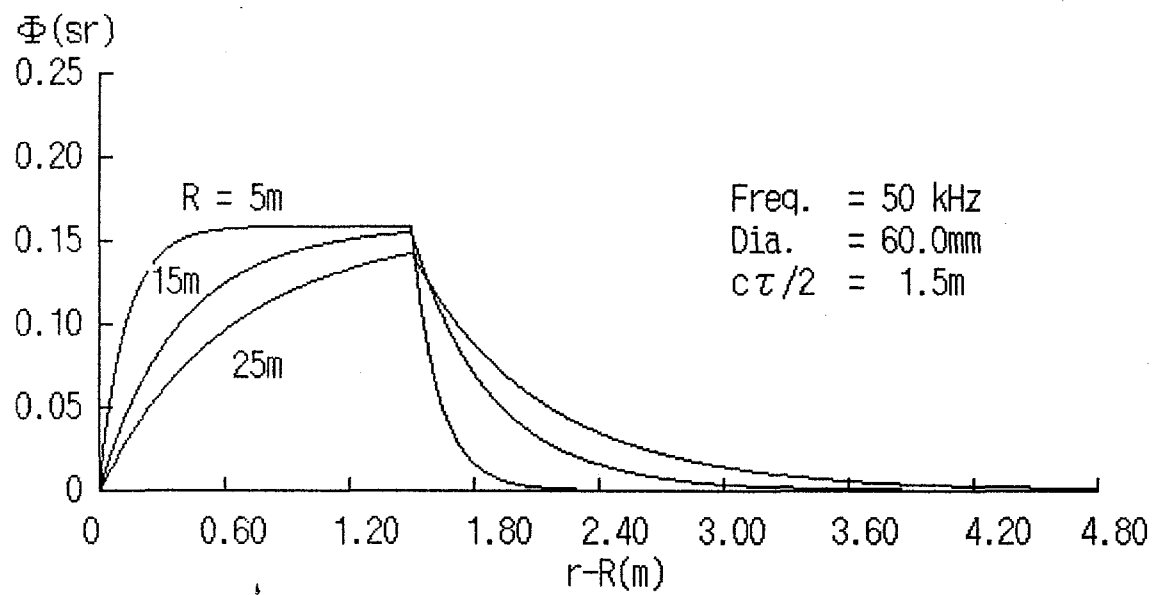


Fig.4d variation of Φ with range(depth).

3.3.3 Φ の最大値を得る条件

等価ビーム幅のキャリブレイションのための表面散乱波の振幅測定は、上記のように Φ が一定になるところで行うので、その一定になる条件を調べる。

(18)式の4つのパラメータの内、 d/λ は音響系が与えられれば既知であるから、キャリブレイションの時はFig.4(d)に示したように(17)式に距離 R を代入するだけで測定に適したパルス幅が求められる。

適切な観測条件をより簡便に知るために、(17)式より Φ が Φ_{max} の95%になる時の d/λ 、 τ 、 R の関係を求めFig.5に示した。たとえば図中の点線のように、 d/λ が2で水深が37mの時にはパルス幅は3msec以上にすべきことが判る。この図から、与えられた条件に対して必要になるパルス幅等がすぐに判り、キャリブレイションや波形観測の指針となる。

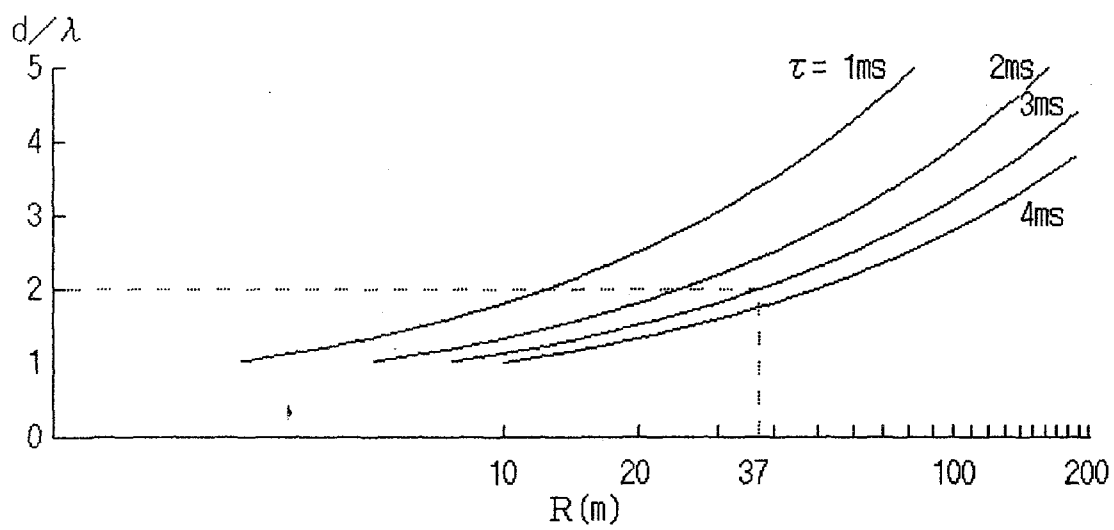


Fig.5 Relations between d/λ , R and τ for giving Φ value of 95% of maximum Φ .

3.3.4 表面戻り散乱と体積戻り散乱の等価ビーム幅の関係

表面戻り散乱の等価ビーム幅(6)式の Φ は、上の検討から、ビームが鋭く、パルス幅が長く、水深が浅い場合は、急激に一定値に達し散乱面が円になる場合だけを考えれば良い。その場合、 θ_1 は0であり、 θ_2 ではすでに b^2 が無視できる程度に小さいので θ の積分に $\theta_2 \sim \pi/2$ の範囲を加えても値はほとんど変わらない。従って、

$$\Phi = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} b^2 \theta \, d\theta \, d\phi \quad \dots (19)$$

と近似でき、パルス幅に相当する時間内では観測時間に対して変化しないと考えることができる。

体積散乱の等価ビーム幅(12)式の Ψ も、ビームが鋭い時 $\sin \theta \doteq \theta$ であるから(19)式と同じになり、

$$\Phi \doteq \Psi \quad \dots (20)$$

となって、表面散乱の等価ビーム幅 Φ と体積散乱の等価ビーム幅 Ψ は互いに流用できることが判る。

3.4 キャリブレイションのための水面反射実験

3.4.1 水面エコーの観察

キャリブレイションはエコーの受信器出力電圧を測定して行う。そこで、戻ってきた信号の受波器位置における強さ I を音圧で表し、さらに前置増幅器出力で見ると、(5)式より、

$$e_r^2 = (p_o m g_r)^2 r^{-2} \exp(-4\alpha r) s. \Phi \quad \dots (21)$$

となる。ここで、 e_r は前置増幅器の出力電圧、 p_o は送波音圧、 m は受波感度、すなわち単位音圧当たりの電圧で、 g_r は受信部の増幅率である。

3.4.2 等価ビーム幅のキャリブレイション

Fig.6のように、トランスデューサを水槽（縦4m、横5m、深さ3m）の水底付近に振動面をビーム軸が水面に垂直になるように向けて設置して、水面エコーを測定し、(21)式をデシベル表示にした次式より表面散乱の等価ビーム幅 Φ を求めた。

$$10\log\Phi = EL - (SL + ME + RG - 20\log R + SS) \quad \dots (22)$$

ここで、 EL は $20 \log e_r$ 、 SL は $20 \log p_o$ 、 ME は $20 \log m$ 、 RG は $20 \log g_r$ である。吸収減衰項は淡水で近距離なので無視できる。 SL 、 ME 、 RG にはあらかじめ測定した数値(Table 2(d))を代入し、測定した受信電圧を EL に代入して Φ を求めた。 SS の値は付録3によ

り 0dB とした。

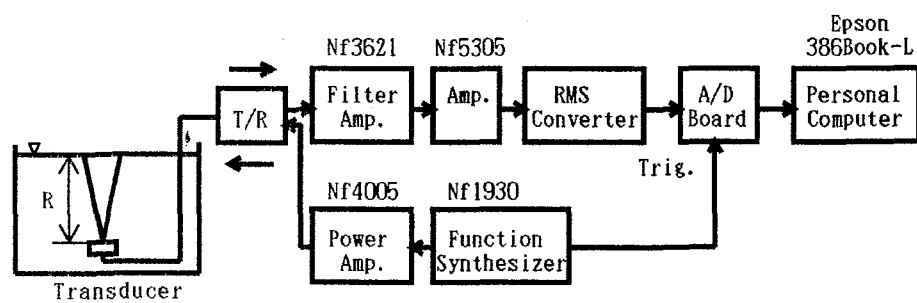


Fig.6 Block diagram of system to measure refraction wave from water surface.

Table 2. Parameters and calibration results for transducers

Model	50TA10	88B10	1200TA3	5205MS	200B5S
(a) Transducer specifications					
Frequency (kHz)	50	88	120	200	200
Diameter (mm) ¹⁾	51	90	49.5	34.5	49
d/λ	1.7	5.28	3.96	4.6	6.533
(b) Equivalent beam width					
Ψ (sr) ²⁾	0.2203	0.0228	0.0414	0.0301	0.0149
Approximated value					
Φ_t (sr)	0.2200	0.0228	0.0414	0.0301	0.0149
Measured value					
Φ_o (sr)	0.2131	0.0226	0.0402	0.0296	0.0143
Φ_o/Φ_t	0.969	0.990	0.971	0.984	0.961
(c) Beam width					
θ_{-3dB} (°)	34.4	11.0	15.0	12.8	9.0
Ω_{-3dB}	0.2810	0.0289	0.0537	0.0392	0.0194
Φ_t/Ω_{-3dB}	0.783	0.790	0.771	0.769	0.770
(d) Measurement condition ³⁾					
SL (dB)	187.0	196.2	196.0	199.0	198.6
ME (dB)	-181.1	-179.8	-181.6	-183.5	-187.0
RG (dB)	19.1	19.2	19.1	19.2	19.2
SL+ME+RG (dB)	25.0	35.6	33.5	34.7	30.8
r (m)	2.7	2.7	2.5	2.5	2.5
SS (dB)	0	0	0	0	0
(e) Overall calibration					
Calibrated value					
TF (dB)	18.0	19.0	19.4	19.2	12.2
Reference					
TF (dB) ⁴⁾	18.3	19.1	19.5	19.4	12.4

¹⁾ Derived comparing measured beam pattern with theoretical pattern.

²⁾ Calculated by Eq. (12) and Eq. (A1).

³⁾ SL, ME, RG and r are measured by hydrophone (Oki ST-1004) in tank.

⁴⁾ Obtained by adding SL+ME+RG and $10\log\Phi_o$.

測定した受信電圧の波形を縦軸 Φ 、横軸 r としたグラフで表すと、Fig. 7(a)～(e) の実線のようにになる。図中の点線は近似式(17)式から求めた Φ で、特に最大値で実測値とほぼ一致し、平坦なところでの値はTable 2(b)の近似値 Φ_t と測定値 Φ_o の様になり、各トランスデューサとも近似式による値と測定値がほぼ等しい。なお、実測の波形の立ち上がりの部分の遅れは、送受信系が狭帯域であることによる遅れ（50kHzで0.2m程度）と³⁾、サンプリング間隔が粗いこと（0.1m）による影響である。

以上の結果から、水槽など波のほとんどない安定した水面を利用すれば表面散乱の等価ビーム幅 Φ のキャリブレーションができることが判った。

測定に使用したトランスデューサについて(17)式、(12)式と(A1)式より Φ と Ψ を求めるとTable 2(b)の Φ_t と Ψ のようになり、ビームが鋭いので $\Phi = \Psi$ と考えて差し支えないことが判る。すなわち Φ が水面反射で容易にキャリブレーションできたので Ψ も容易にキャリブレーションできたことになる。

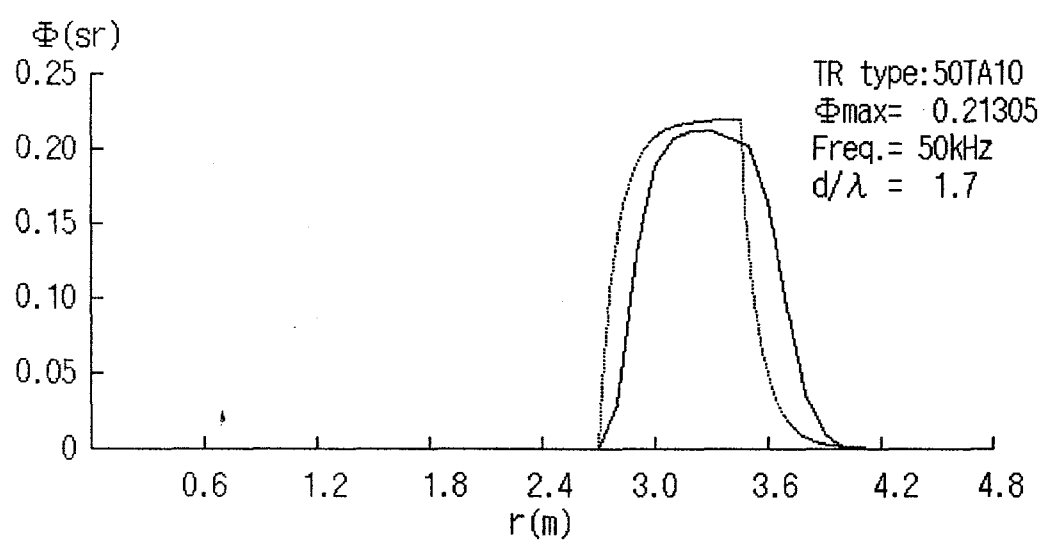


Fig.7 Measured Φ derived by reflection wave of water surface (solid line).

Calculation by approximate formula is shown by dotted line.a), 50kHz

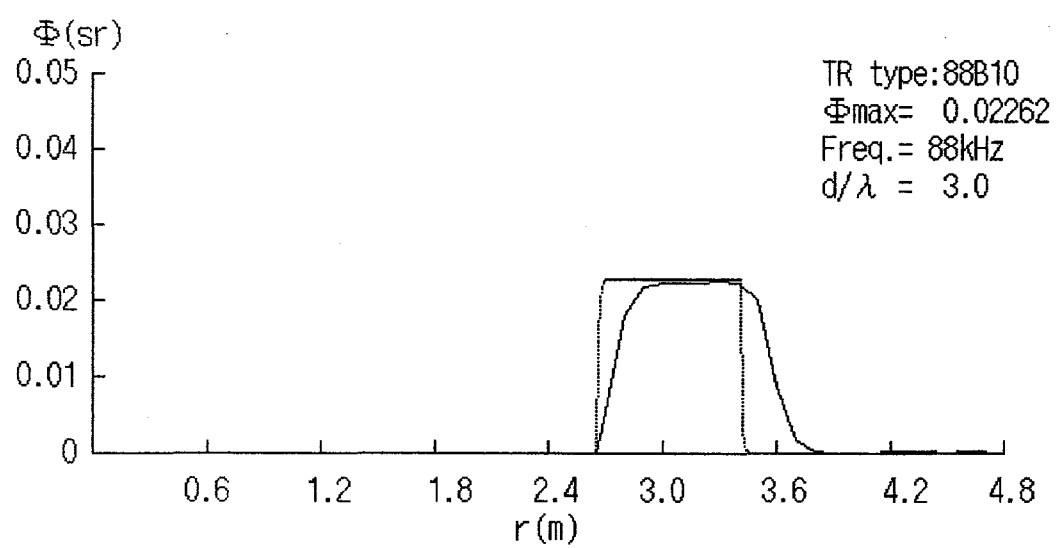


Fig. 7b 88kHz

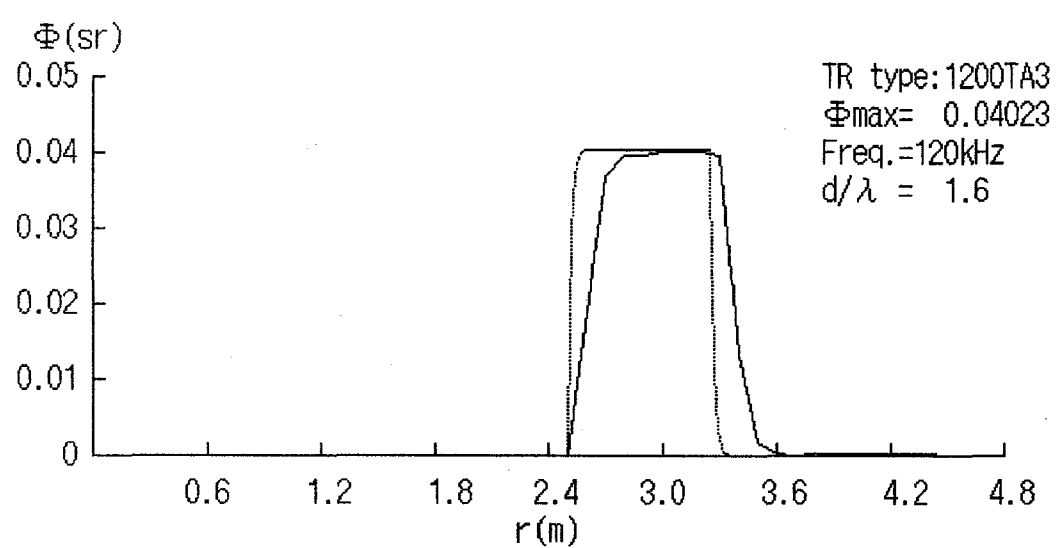


Fig.7c 120kHz

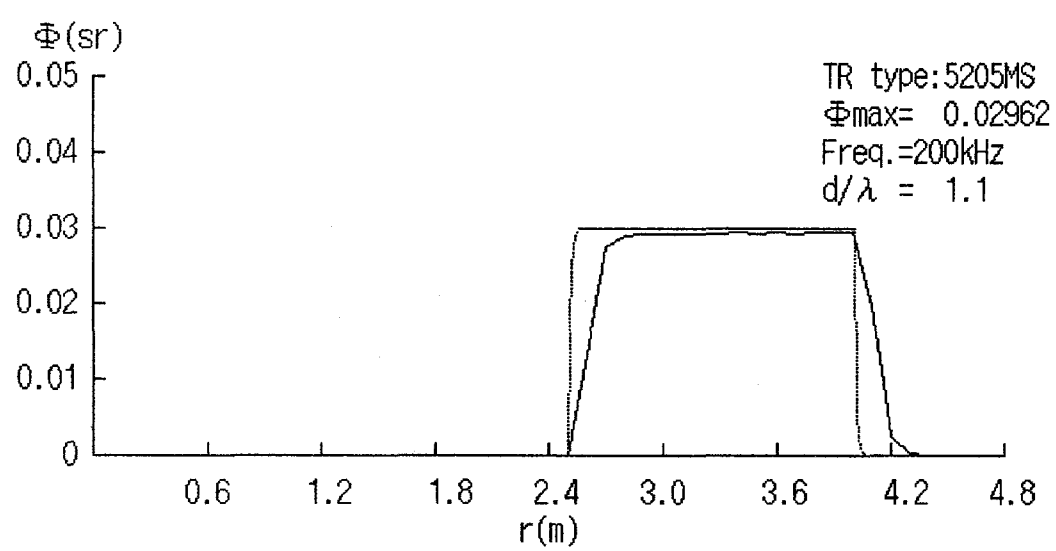


Fig. 7d 200kHz, $d = 34.5\text{mm}$

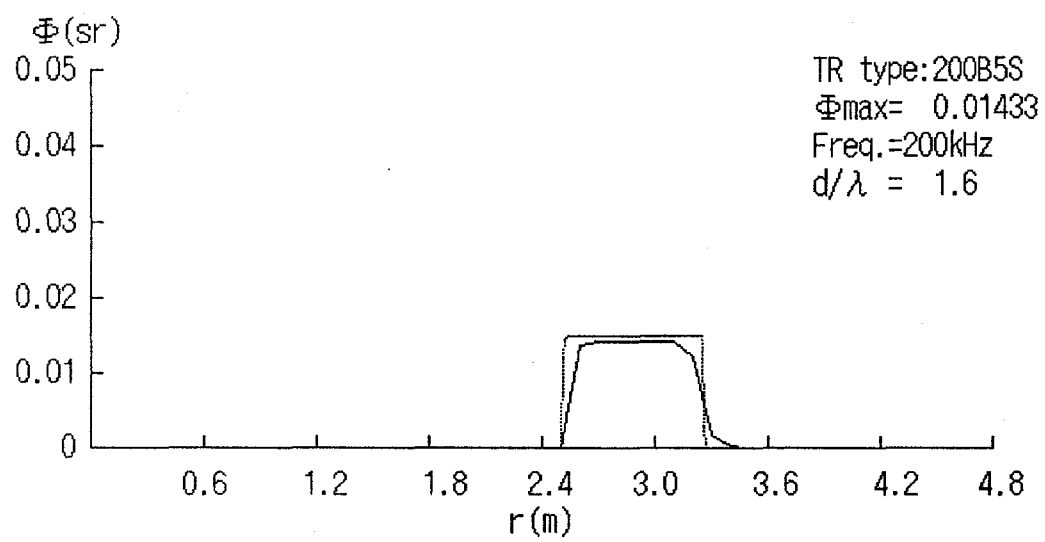


Fig.7e 200kHz, d= 49mm.

3.4.3 送受波感度のキャリブレイション

以上等価ビーム幅のキャリブレイションについて述べたが、同様の測定方法で送受信系の総合キャリブレイションも可能となる。

(22)式のうち、SSは既知であるから出力電圧ELとRを測定するだけで、

$$TF = 10\log\Phi + SL + ME + RG \quad \dots (23)$$

が総合的にキャリブレイションできる (Table 2(e))。なお、「Reference TF」とした値は、ハイドロフォンを用いて個々にキャリブレイションしたSL, ME, RGの合計に $10\log\Phi$ を加えた値である。この方法によれば、送受波感度等を個々にキャリブレイションする場合よりもキャリブレイションが非常に簡単になり、また、誤差が加算される危険が少なくなる利点がある。体積散乱の場合には、上式の Φ を Ψ に置き換えた場合の値のキャリブレイションが必要になるが、前の議論からこれもできたことになる。

3.5 結言

以上，実験水槽の水面反射エコーを用いて，水面の戻り散乱強度が 0 dB であることを利用する計量魚探機のキャリブレーション方法を理論と実験により検討した。また，表面散乱波の特性の検討も行った。

主要な結論は以下の通りである。

- ①表面散乱の等価ビーム幅のキャリブレーションが，水面からのエコー電圧を測定するだけで，簡単に行える。
- ②計量魚探機に用いられているトランスデューサのようにビームが鋭い場合は，表面散乱の等価ビーム幅 Φ と体積散乱の等価ビーム幅 Ψ はほぼ等しくなり， Φ と Ψ は互いに流用できる。
- ③等価ビーム幅のキャリブレーションと同じ時に，等価ビーム幅も含めた送受信系の総合キャリブレーションが可能であり，個々にキャリブレーションするよりも容易かつ誤差の集積する危険の少ないことを示した。
- ④表面散乱の等価ビーム幅は d/λ が大きく，パルス幅が長く，距離が短い場合に一定値が得やすい。

計量魚探機のトランスデューサの船底装備前には，このように水槽の水面反射を利用して精度良く簡単に送受信系のキャリブレーションを行える。実際の調査時には，既に確立されているキャリブレーション球によるキャリブレーションを行う必要がある。¹⁾

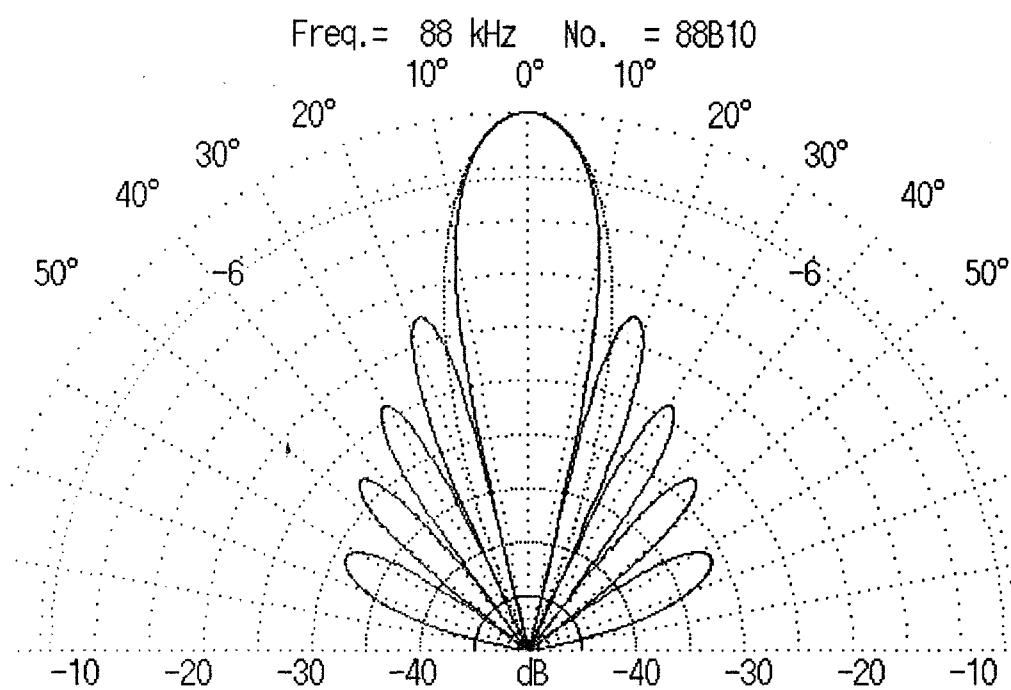
計量魚探機の簡易的なチェックのためには，今回検討した方法を海底エコーに応用できよう。すなわち平坦で底質が一定の海域を選

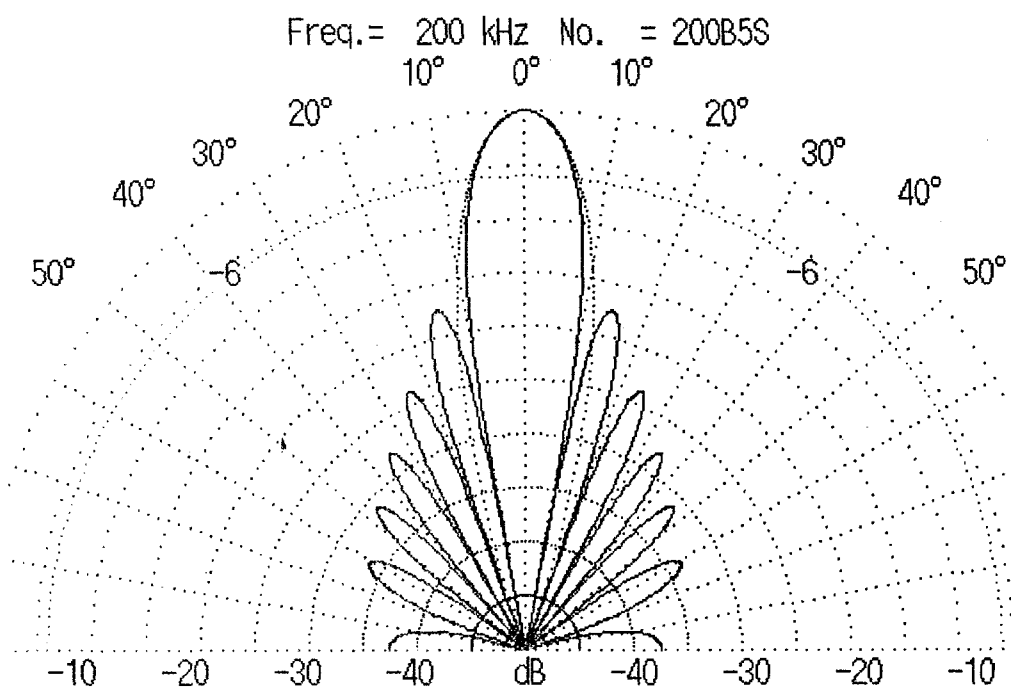
び、あらかじめ海底面戻り散乱強度を測定しておけば、調査航海の前後にその海域の海底からの戻り散乱波の振幅を測定して本法と同様な方法により送受信系のパラメータの概略値を知ることができる。

付録 1 指向性関数の近似式 円板振動子のパワの指向性関数は、

$$b = \left[\frac{2J_1 \left(\pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta \right)}{\pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta} \right]^2 \quad \dots (A1)$$

で表される。⁴⁾ここに、 J_1 は第1種1次のベッセル関数である。メインローブについての近似式は、(15)式で表される。²⁾両式によるビームパターンを較べると、Fig. A1(a)～(b)のようになる。ここで Fig. A1(a)は周波数88kHz、Fig. A1(b)は200kHzの実験に使用したトランスデューサである。近似式の理論式に対する-6dB点での誤差は0.2dB程度であり、ほぼ一致しているので、等価ビーム幅 Φ の特性を問題にする今回の目的には(15)式を用いても良いことが判る。





付録 2 等価ビーム幅とビーム幅の関係 円錐の平面角 θ とそれに相当する立体角 Ω の関係は,

$$\Omega = 2\pi (1 - \cos \theta) \quad \cdot \cdot \cdot (A2)$$

で表される。ビームパターンから求めたビーム幅 θ_{-3dB} による立体角を Ω_{-3dB} , (17)式より求めた Φ の近似値を Φ_t として, 各トランスデューサ別にまとめると Table 2(c) のようになる。 Φ / Ω_{-3dB} は, いずれも約 0.8 になり, 一方により他方の概略値がつかめる。ただし, ビーム幅はビームパターンの 1 つの指標であり, Φ は表面散乱の等価ビーム幅であるから, 両者の概念は異なるので, 比較結果はあくまでもおよその目安である。

付録 3 水面反射の戻り散乱強度 超音波が質の異なる媒質 1 から媒質 2 へ垂直に進む時，入射波の強さを I_i ，反射波の強さを I_r とするとその境界面での反射係数は次式で表される。⁵⁾

$$\frac{I_r}{I_i} = \left[\frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \right]^2 \quad \dots (A3)$$

ここに， ρ_1 ， ρ_2 はそれぞれの媒質の密度 (kg/m^3)， c_1 ， c_2 はそれぞれの媒質中の音速 (m/s) である。ここで媒質 1 を水，媒質 2 を空気とすると，1 気圧 (101325Pa)，水温 20°C ，室温 25°C (キャリブレーション実験時の値) におけるそれぞれの密度は $\rho_1 = 0.9982 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ， $\rho_2 = 1.184 \text{ kg/m}^3$ であり，それぞれの音速は $c_1 = 1484 \text{ m/s}$ ， $c_2 = 346.5 \text{ m/s}$ である。⁶⁾

これらの値を上式に代入すると， $I_r / I_i = 0.999$ となって，ほとんど完全反射と考えて良い。

ビームが鋭く、面に対してほぼ垂直入射する場合，入射波及び反射波を平面波と見なすことができる。そこで，反射波の面直上での強さ I_r と面から音源方向へ 1m 離れたところでの強さ I_{r1} は等しい。次に水面の単位面積における散乱を考えると， $I_{r1} = I_s I_i$ であるから $s_s = I_{r1} / I_i = I_r / I_i$ となり反射係数と s_s は等しくなる。よって， $SS = 10 \log s_s \approx 0 \text{ dB}$ となる。

文 献

- 1) 古澤昌彦, 宮野鼻洋一, 澤田浩一, 高尾芳三:計量魚群探知機の較正方法, 水産工学研究所技報 (漁船工学), 15, 29-30(1995).
- 2) D. Hamilton, J. Lozow, J. Suomala Jr., and R. Werner: A Hydro-acoustic Measurement Program to Examine Target Quantification Methods, *Rapp. P. -V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer.*, 170, 120-121(1977).
- 3) 西村実: 魚群探知機の最適周波数に関する研究, 学位論文, 東北大学, 仙台, 1969, p104.
- 4) R. J. Urick: 水中音響の原理 (土屋明), 共立出版, 東京, 1988, pp40-41.
- 5) L. Rayleigh: The Theory of Sound, Vol. 2, Dover Publications, inc., New York, 1945, 78.
- 6) 国立天文台編: 理科年表, 丸善株式会社, 東京, 1995, pp442-496.

第 4 章 海底戻り散乱強度の測定

4.1 緒言

水中音波伝搬において水面と底面（海底面）は異なる媒質との境界面であるからその反射や散乱の特性は似かよっている。しかし、3章で述べたように水面では水と空気の密度及び音速の比が非常に大きいので、音波のエネルギーはほとんど空気中に透過しないのに対し、海底の密度は水に較べて 2 倍程度¹⁾なので、音波のエネルギーの一部は海底下へ透過し、屈折や反射をして海水中に戻ってくる。次に、海底を散乱面として見た場合、不均質で凹凸があるので水面に較べるとはるかに複雑な散乱が起こる。海底からの散乱はおもに 2 つの要因からなる。1 つは散乱面の粗さによる散乱、1 つは海底質の不均質性による散乱である。

本章では、海底エコーの特性を知ることによって、5章で述べる海底戻り散乱強度を利用した、魚群探知機の総合的なキャリブレーション方法の信頼性を高め、多くの場合に応用できるようにする。

具体的には、まず海底戻り散乱強度の測定システムについて述べる。次に海底戻り散乱強度を求めるときに、海底の状態や船体の動揺などが原因で、受信エコー電圧が変動するので、適切なエコーレベルを決めるための処理方法について検討する。これらのシステムと方法によって海底面戻り散乱強度を測定して、海底エコーの特性を調べる。

4.2 方法

本節では、信頼性の高い海底戻り散乱強度を測定する方法について述べる。これは 4.3で示すSSの特性を得る方法であると同時に、5章で示す実際の較正のための基礎的知見でもある。

4.2.1 測定システム

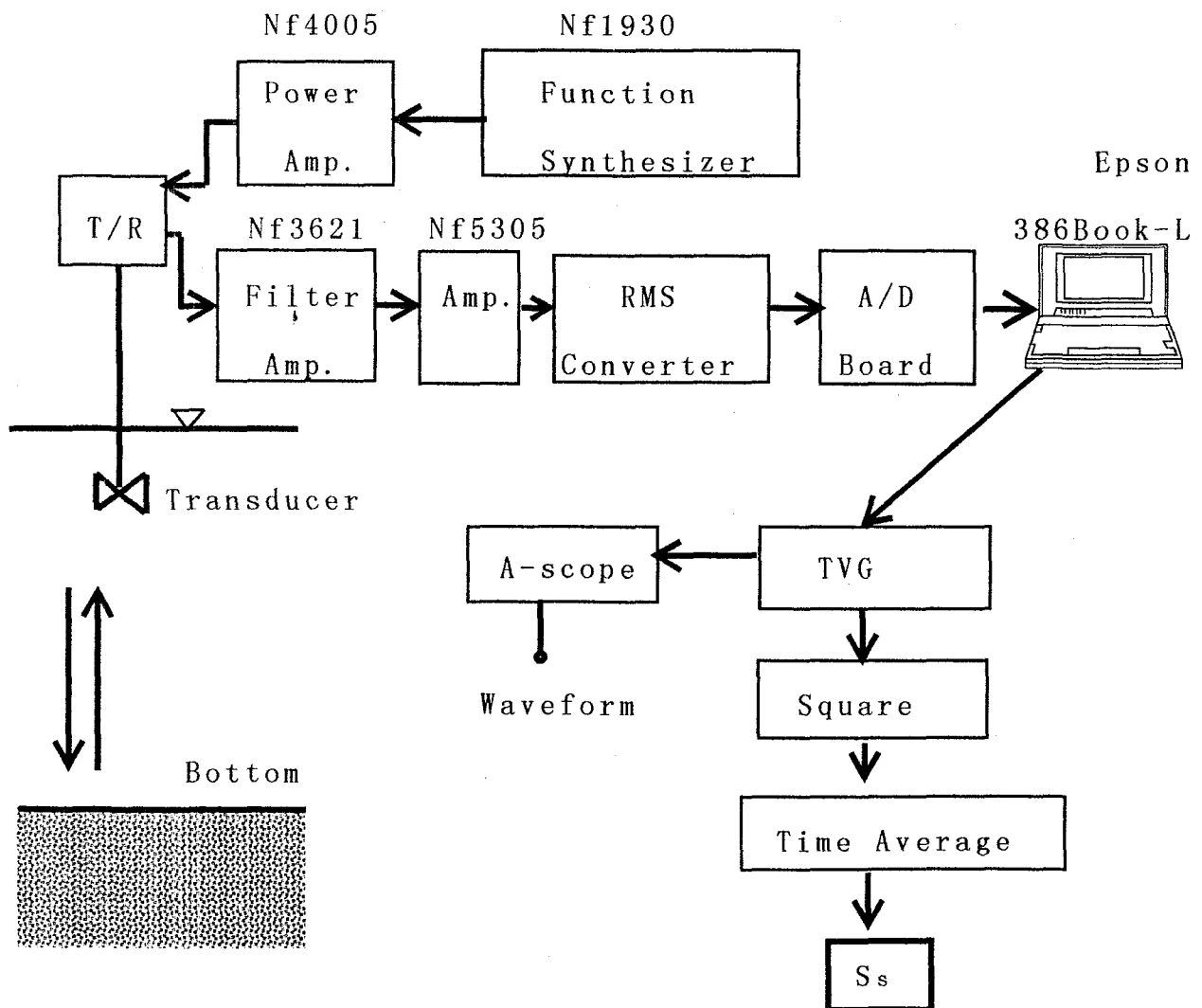


Fig.1 Method of measuring system of bottom echoes.

Fig.1のように、装置を組み合わせ、海底散乱波の計測システムを構成し、またさらに解析用のプログラムを作った。これは、計量魚探機の疑似システムともなるように工夫した。発振器(Function Synthesizer)で発生されたパルス波は、電力増幅され、送受信切り替えスイッチ(T/R)を通り、送受波器で電圧から音圧に変換され水中を進む。海底面で反射し戻ってきた超音波は送受波器で音圧から電圧に変換され、増幅器とフィルターを通った後、RMSコンバータで検波され、A/Dボードでデジタル信号に変換され、コンピュータに取り込まれる。取り込まれたデータに、解析用プログラムで距離による減衰の補正、時間・空間平均を行って海底面戻り散乱強度を求める。4章、5章の測定では全てこのシステムを使用した。

Table 1. に使用した送受波器の一覧を特性とともに示す。以下、T200-1のように周波数を付して呼称する。

解析は、測定された受信電圧から各回の平均受信電圧と標準偏差を求め比較検討した。受信電圧ELは、

$$EL = (SL + ME + RG + 10 \log \Phi) + SS - 20 \log R \cdots (1)$$

とあらわされる。実際には、ビーム幅の影響や装備方法の比較を調べるため異なるトランスデューサを使用するので、ELに上式のSS以外の補正をした値(SSの測定値、以下単にSSであらわす)で比較を行う。

Table 1. Parameters of transducers used in measurements

Transducer						
Type	T50-1	T88	T120	T50-2	T200-2	T200-1
Model	50TA10	88B10	1200TA3	5205MS		200B5S
Frequency (kHz)	50	89	120	50	200	200
Diameter (mm)	51	90	49.5	34.5	34.5	49
d/λ	1.7	5.28	3.96	1.15	4.6	6.53
Φ (sr)	0.213	0.023	0.040	0.473	0.030	0.014
θ_{-3dB} (°)	34.4	11.0	15.0	46.4	12.8	9.0
TF (dB) ¹⁾	18.0	19.0	19.4	21.0	19.2	12.2

¹⁾ Measured by using water surface reflection in tank.

4.2.2 送受波器の装備方法の検討

海底エコーの測定における船体動揺の影響などを調べるために、トランスデューサの装備を舷側固定と海底設置の両者で海底エコー受信電圧を測定し比較検討を行った。魚群探知機のトランスデューサは、船底に装備されているのが普通であるが、本研究では、数種類のトランスデューサをできるだけ同条件、同環境で使用したいために、舷側に最大 6 種類のトランスデューサを装備できるように保持板を設置して、舷側固定で測定を行った。また、海底設置の方法は、塩化ビニル製のパイプで一辺が 2.5m の正四面体のフレームを作り、その 1 頂点に振動面を真下に向けてトランスデューサを取り付け、フレームを舷側から海中へ降下させ海底に設置した。振動面から海底までの距離は、約 2.1m である。Fig. 2a, b の様に、東京水産大学実習艇ひよどり（18トン、以下、ひよどり）の船首と船尾から投錨し、船体が漂流しないように固定した。実験当日は風速 2~4m/s、風向 E~ENE、船体の揺れ周期約 3.2s であった。船位の若干の動きの影響を避けるため、舷側固定と海底設置で、交互に繰り返し測定を行った。T50-1（ビーム幅 34.4°）は舷側固定、T50-2（ビーム幅 46.4°）は海底設置にし、T200-1（ビーム幅 9°）は舷側固定、T200-2（ビーム幅 12.8°）は海底設置にした。同じ周波数のトランスデューサを照射面積ができるだけ等しくなる様に海底面までの距離を調節した。舷側固定の場合のトランスデューサの振動面から海底までの距離は約 4.5m であった。測定は、Fig. 3a の館山湾の St.1 で行った。

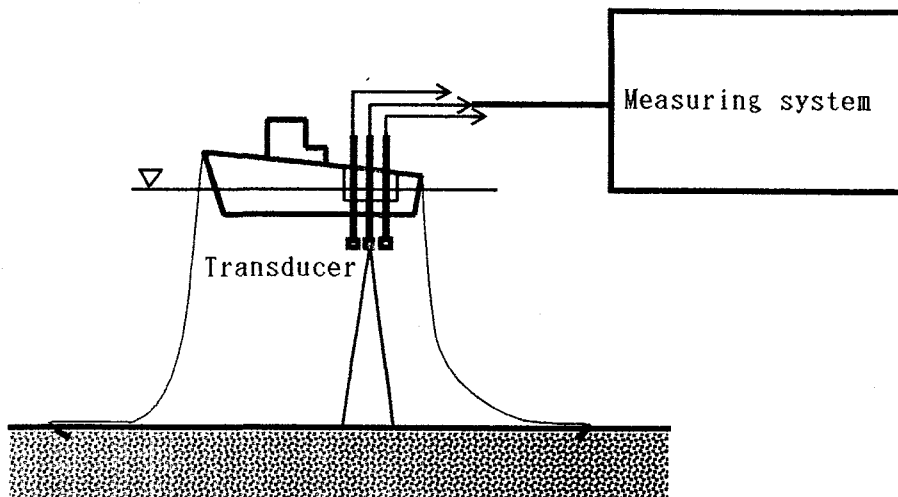
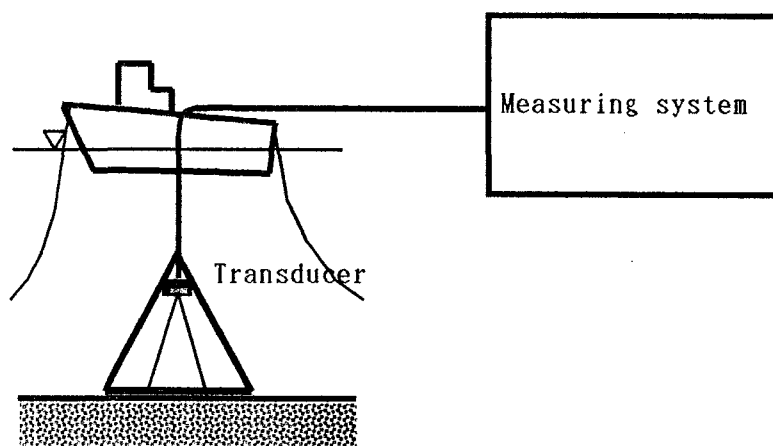
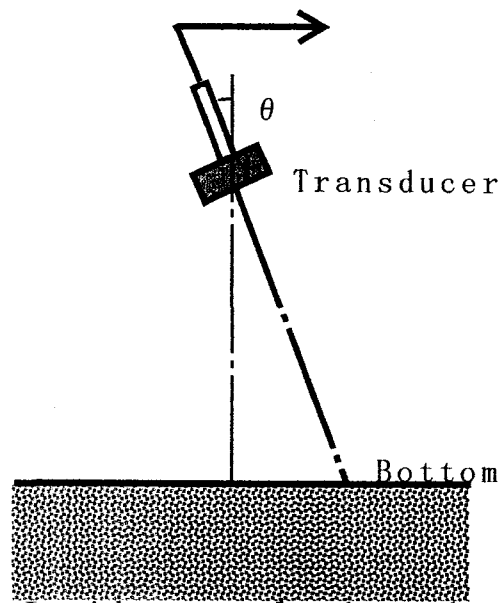


Fig.2 Measurement of bottom backscattering strength.

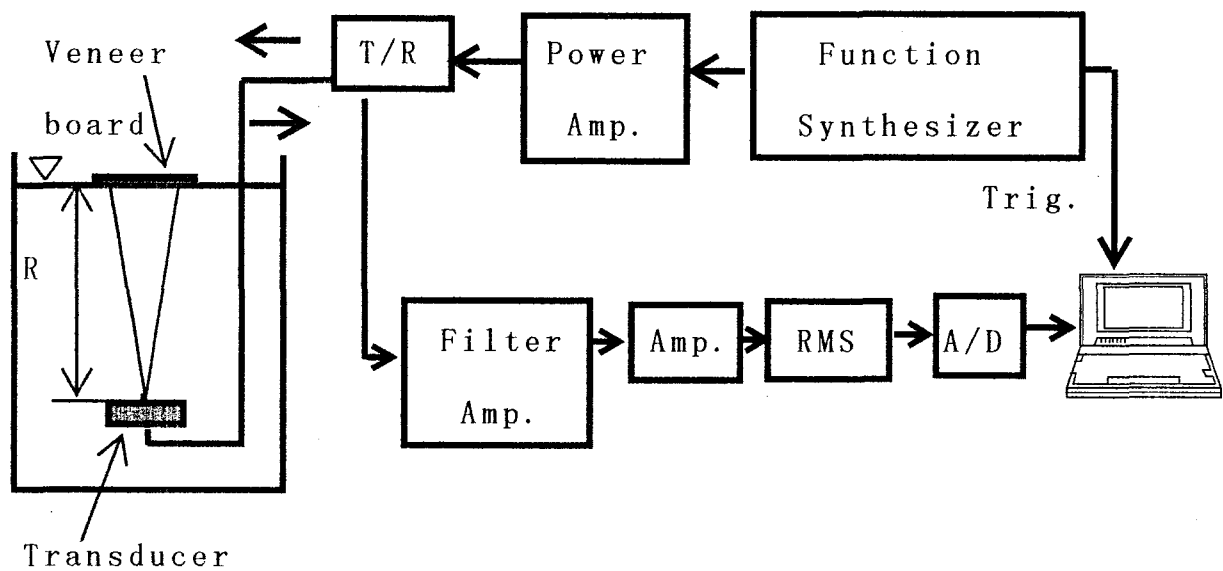
(a) transducer alongside of the boat.



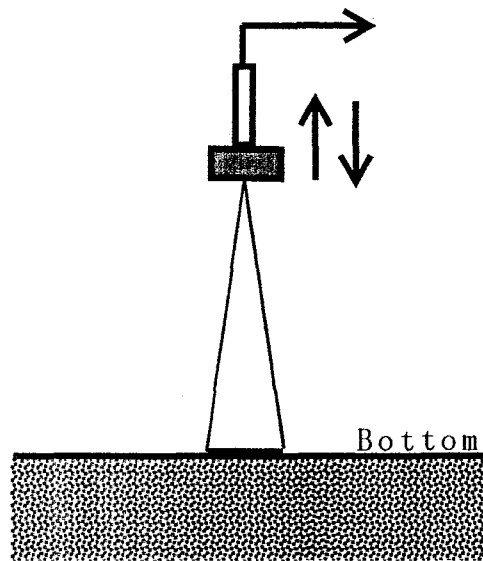
(b) transducer on bottom frame.



(c) Incident angle dependence.



(d) Veneer board setting in water tank.



(e) , Insonified area dependence.

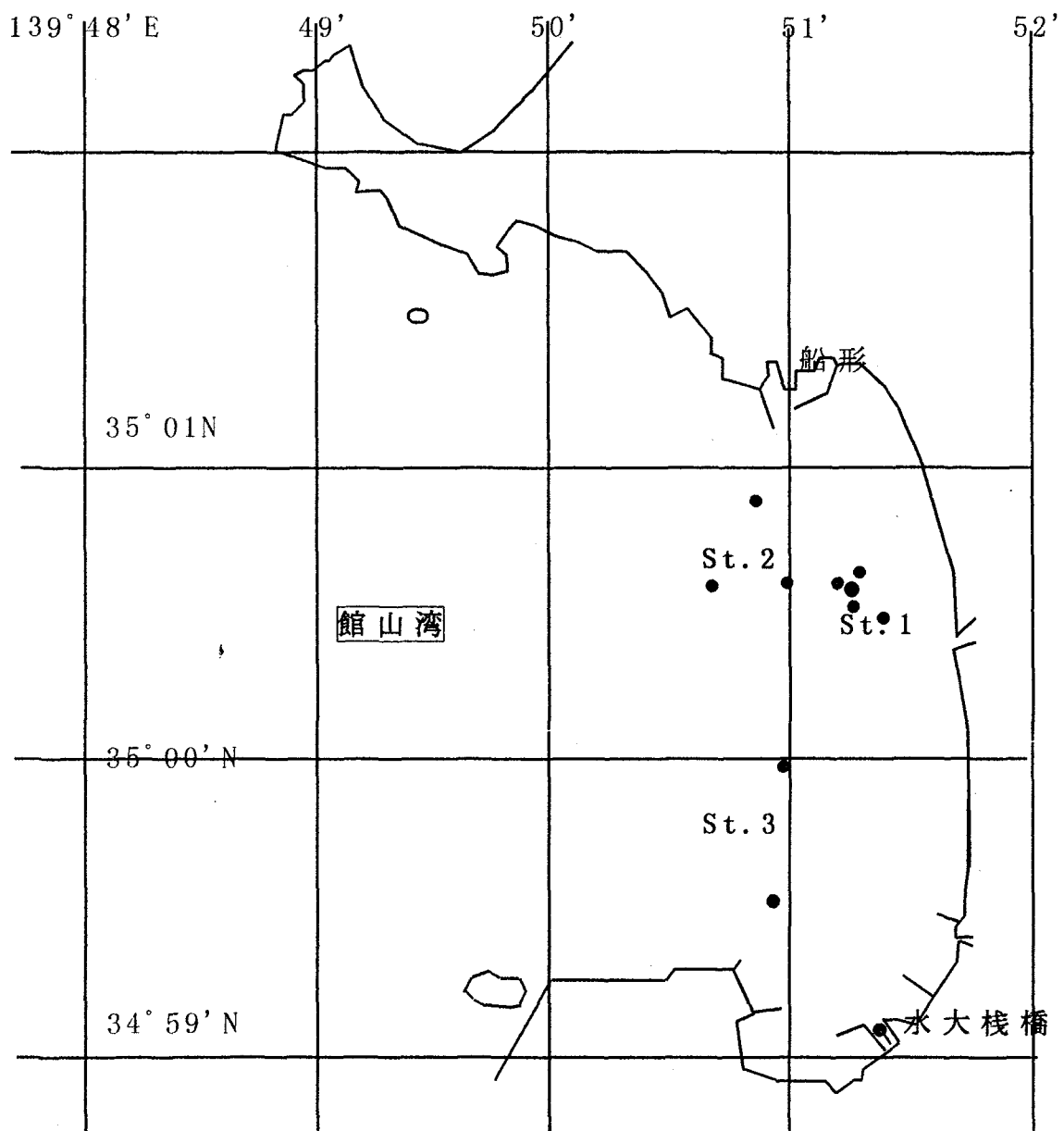
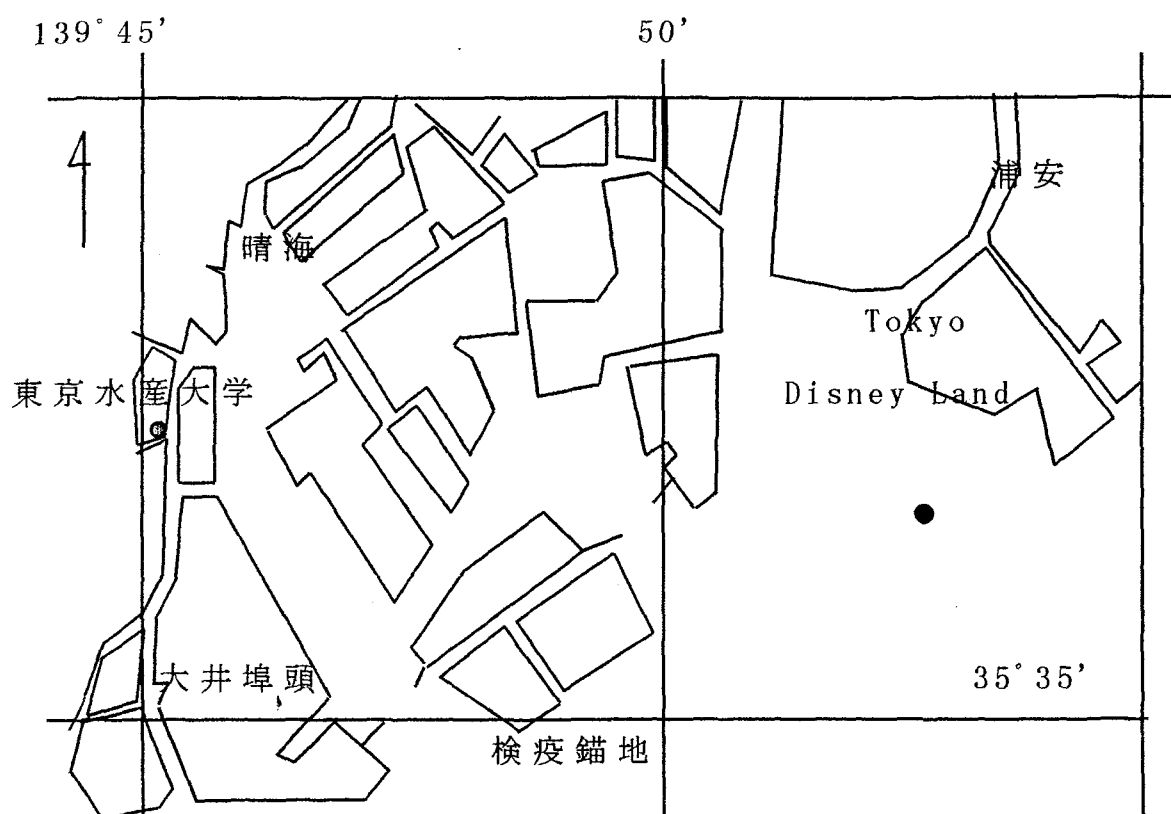


Fig.3 Map exhibiting cites.

(a) Tateyama bay.



(b) Urayasu and moorong facilities of Tokyo
University of Fisheries.

Fig. 4aは、周波数50kHz の測定結果で、各印が 1回の測定（約 5分）の平均値、上下の線は標準偏差をあらわす。▲は、海底設置にした場合（照射半径 0.74m）で、SSの全ての平均値は -11.8dBになった。●は、舷側装備の場合（照射半径 1.75m）で、SSの平均値は -10.6dBになった。Fig. 4bは、周波数200kHzの場合で、●は海底設置の場合（照射半径は0.44m）で、SSの平均値は-20.0dBになった。▲は舷側固定にした場合（照射半径は0.20m）で、SSの平均値は-20.6dBになった。（Table 2(a)）。

両周波とも、舷側装備の方が、船体動揺及び若干の位置のずれの影響で変動は大きいが、平均値を海底設置と比較すると50kHz の場合で、1.2dB、200kHz の場合で、0.6dB程度の違いで若干小さい。舷側装備の場合、この程度の誤差が生じ得ることが判った。

Table 2. Average echo levels(SS) observed by two beams

Transducer	T50-1	T50-2	T200-1	T200-2
Type				
(a) Along side and on the bottom flame				
	alongside	bottom	alongside	bottom
Echo level(SS)dB	-11.8	-10.6	-20.6	-20.0

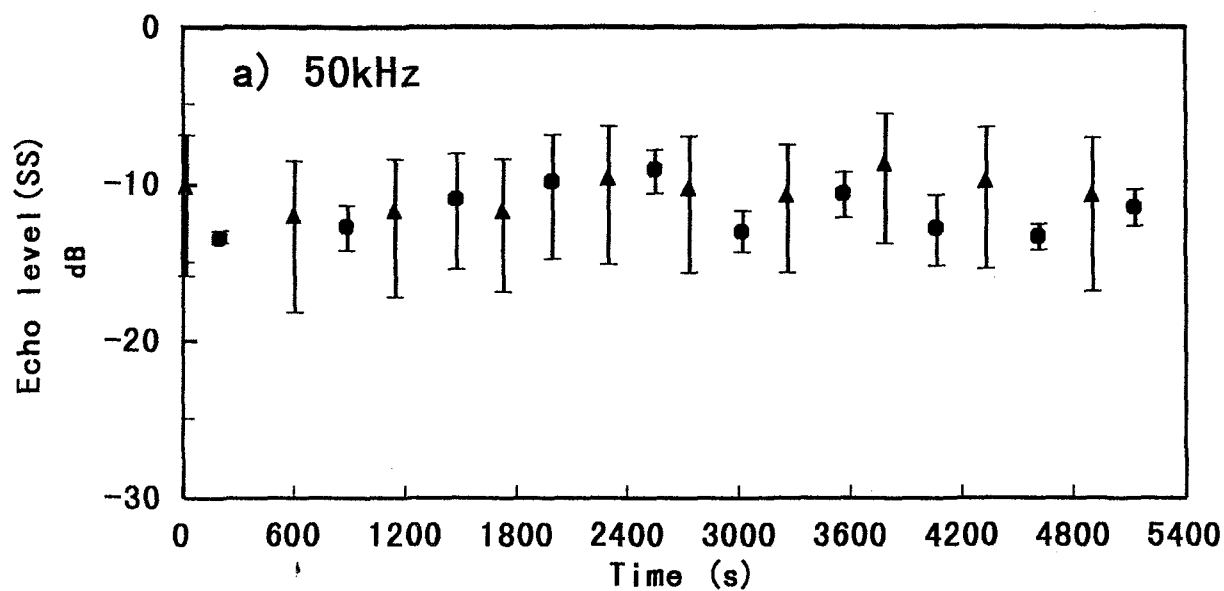
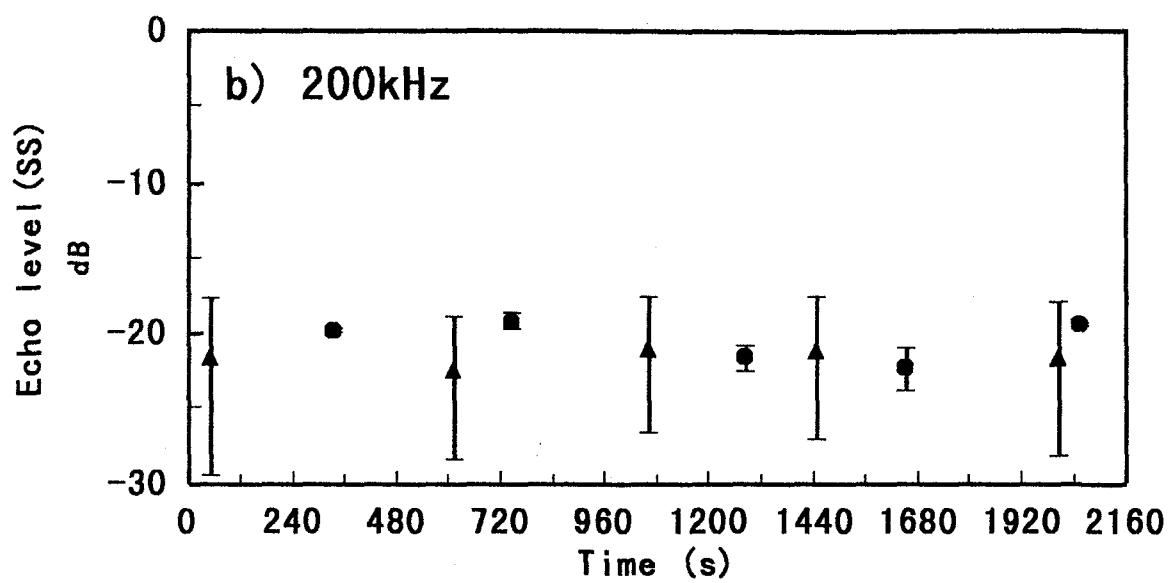


Fig.4 Comparison of bottom backscattering strength measured by transducer installed alongside ship and on bottom frame.

(a) 50kHz, ▲, 34.4°; ●, 46.4°.



(b) 200kHz; ▲, 9°; ●, 12.8°.

4.2.3 測定位置とエコーレベルの変動

同底質とされる海域でも土粒子の不均一性や表面の起伏などが原因で、わずかに照射位置が変わっても受信電圧は変化する。そこで平均処理が必要になるが、どの程度の平均をすればその海域の平均的なSSが決定できるかを検討する。

1996年 5月28日、1996年 6月26日に館山湾のSt.1で、前節の実験と同じときにFig. 2bのように、ひよどりの舷側からフレームを降ろし、トランスデューサ(T50-2, T200-2)を海底に設置し、60秒間エコー電圧を測定し、次に一度水面付近までフレームをロープで引き上げ、位置を約1m船首尾方向へ移動させ再び海底へ降下、着底させて測定し、これを9回繰り返した。測定時は、風速2~4m/s、風向E~ENE、アンカーロープは約20m繰り出していた。

Fig. 5aは、50kHzの測定結果で、SSの平均値は-11.0dBで Fig. 4aの海底設置の結果と比較すると0.4dBの違いがある。Fig. 5bは、200kHzの場合で、SSの平均値は-19.9dBで Fig. 4bの海底設置の結果と比較すると0.1dBの違いがある。

場所を変えて測定を行うとメートルオーダーでも変動が相当大きい。場所的な平均（今回は9点）を行うと安定した値となる。因みに、対象海底に若干の変動のあったと考えられる前節の実験での海底設置の平均値と比較すると50kHzで0.4dB、200kHzで0.1dBの違いである。海図では同底質とされている海域でも、スポット的に測定するとばらつきがあるので空間的（船が動いている場合は時間的）平均を取る必要がある。

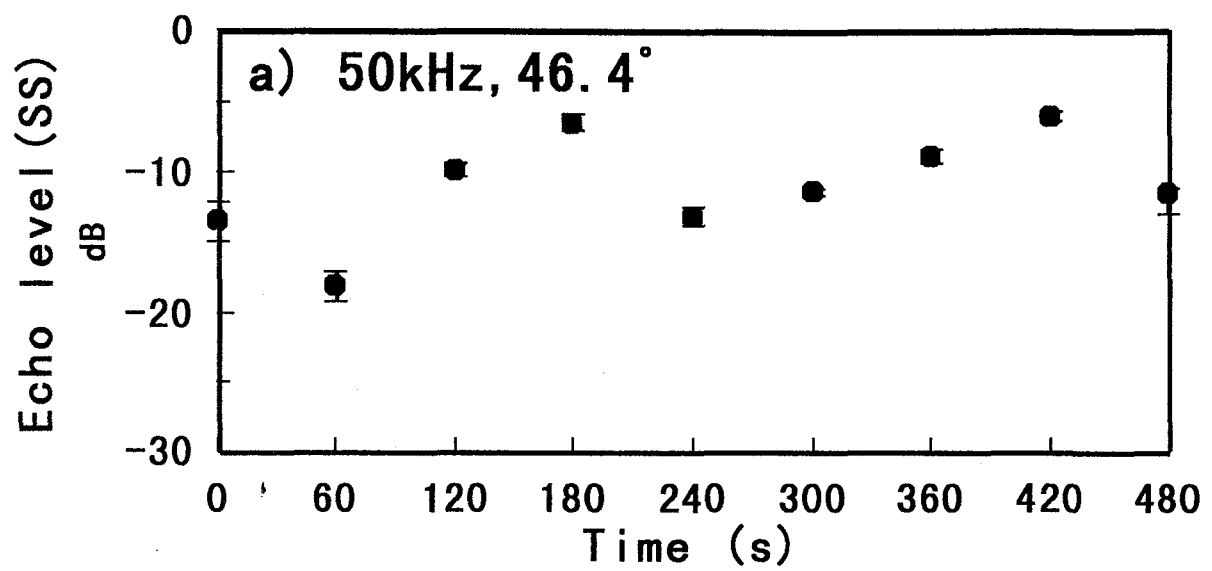
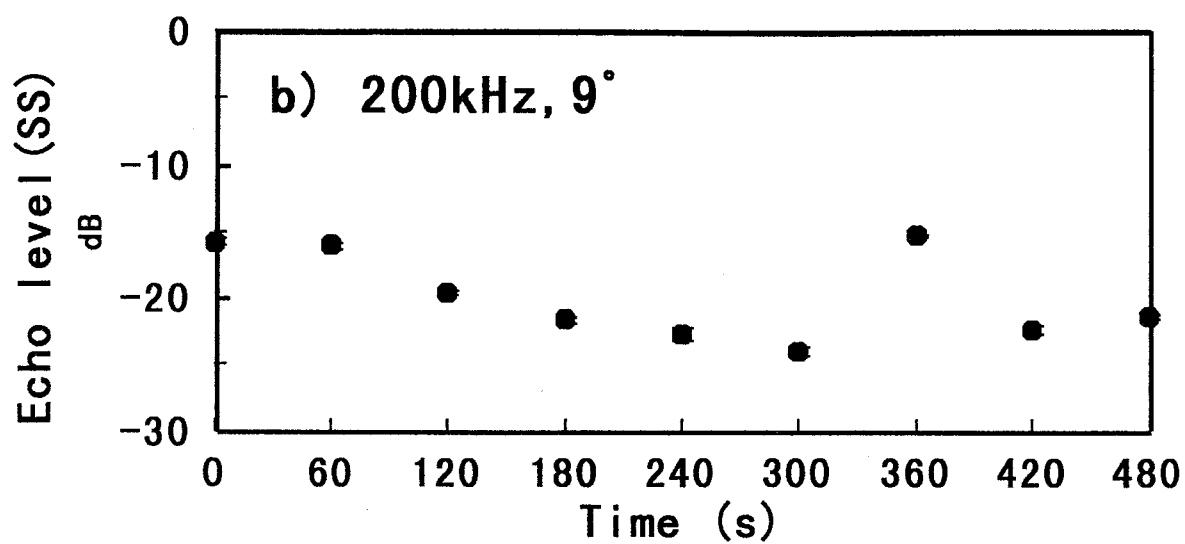
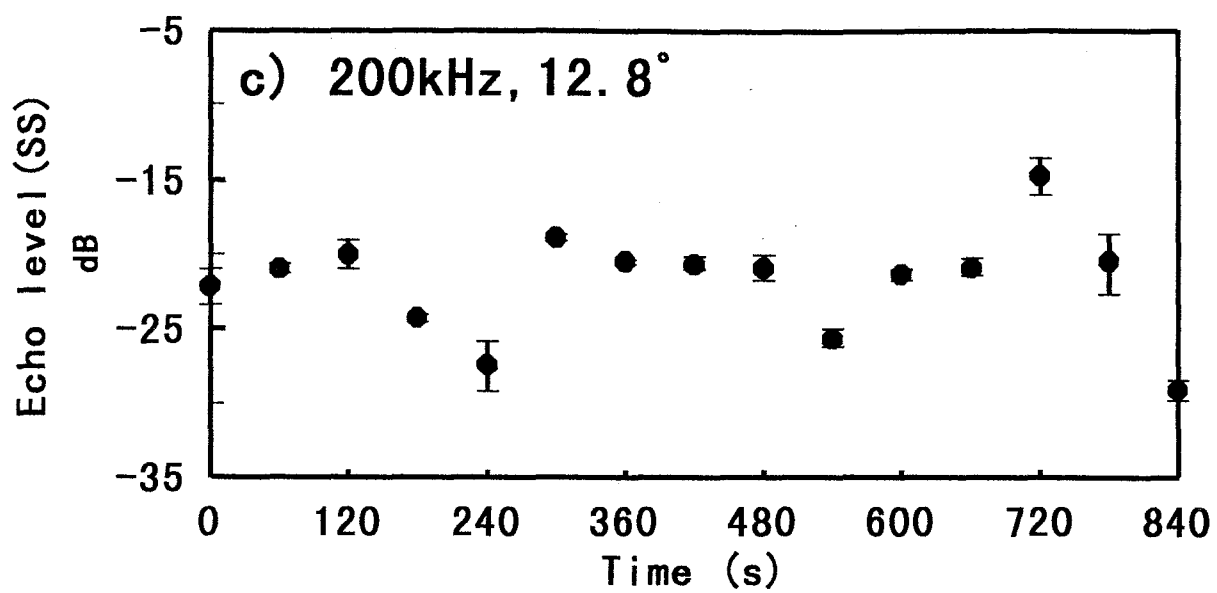


Fig. 5 Bottom backscattering strength measured by transducer installed on bottom frame.

(a) 50kHz.



(b) 200kHz, 9°.



(c) 200kHz, 12.8°.

4.3 海底面戻り散乱強度の特性

水槽の静かな水面を利用すれば送受信系の総合較正が可能であった。¹⁾ 水中音波伝搬において水面と海底面は異なる媒質との境界面であるからその反射や散乱の特性は似ているから、理論的には海底面を利用した総合較正も可能となろう。しかし、水面では水と空気の密度及び音速の比が非常に大きいので、音波のエネルギーはほとんど空気中に透過しないのに対し、海底の密度は水に較べて2倍程度³⁾のため、音波のエネルギーの一部は海底下へ透過し、屈折や反射をして一部が海水中に戻ってくる。また、海底面は、不均質で凹凸があるので、水槽の静かな水面に較べるとはるかに複雑な散乱が起こる⁴⁾から、海底からのエコーの特性を十分に把握しておく必要がある。

そこで、海底エコーの特性のうち、海底面戻り散乱強度の周波数に対する特性、底質に対する特性、超音波の海底面への入射角度との関係、海底照射面積との関係について実験的に検討する。またこれらを整理し、周波数、底質と海底面戻り散乱強度の関係をグラフにした。

測定を行った海域は、館山湾内の、東京水産大学の練習船が停泊時に頻繁に利用する投錨海域を含む3海域と、浦安沖、東京水産大学内係船場（以下、係船場）と東京水産大学漁業計測学実験水槽（以下、実験水槽）である。

4.3.1 周波数に対する特性

海底面戻り散乱強度の周波数に対する特性を調べるために、Fig. 2aの様に、異なる周波数(50kHz, 89kHz, 120kHz, 200kHz)のトランスデューサ(基本性能は、Table 1. 参照)を舷側に装備して、前節の結果からそれぞれ約5分間ずつ海底エコーの測定を行った。以下に、各回の実験の概要を示す。

1995年9月27日に、Fig. 3aに示した館山湾のSt. 1、St. 2、St. 3の3海域で、T50-1、T88、T200-1のトランスデューサを使用した。水深は、St. 2が約8m、St. 3が約13mであった。

1995年12月8日に、Fig. 3bに示した浦安の東京ディズニーランド沖で、T50-1、T88、T120、T200-1のトランスデューサを使用した。水深は、約12mであった。

1996年5月29日に、館山湾のSt. 1、St. 2、St. 3の海域で、T50-1、T88、T120、T200-1のトランスデューサを使用した。

1996年9月20日に、係船場で、ひよどりの左舷側から、Fig. 2bの様にトランスデューサを海底に設置し、エコー電圧を測定した。周波数は、T50-2とT200-2を使用した。

海底面戻り散乱強度SSは、前節と同様にして計測したELから計算する。

結果をFig. 6に、横軸に周波数、縦軸に海底面戻り散乱強度をとって示す。館山湾のSt. 1では周波数50kHzの場合-10.7dBで、周波数が高くなるに従ってSSは小さくなり、周波数200kHzで-20.5dBであった。St. 2では周波数50kHzの場合-10.9dBで、周波数が高くなるに従ってSSは小さくなり、周波数200kHzで-21.3dBであった。St. 3では周波数50kHzの場合-14.0dBで、周波数が高くなるに従っ

てSSは小さくなり、周波数200kHzで -26.0dBであった。浦安沖では周波数50kHz の場合-19.4dB で、周波数が高くなるに従ってSSは小さくなり、周波数200kHzで-30.9dBであった。以上のように各場所とも同様の傾向がみられた。すなわち、周波数が高くなるに従ってSSは小さくなる。

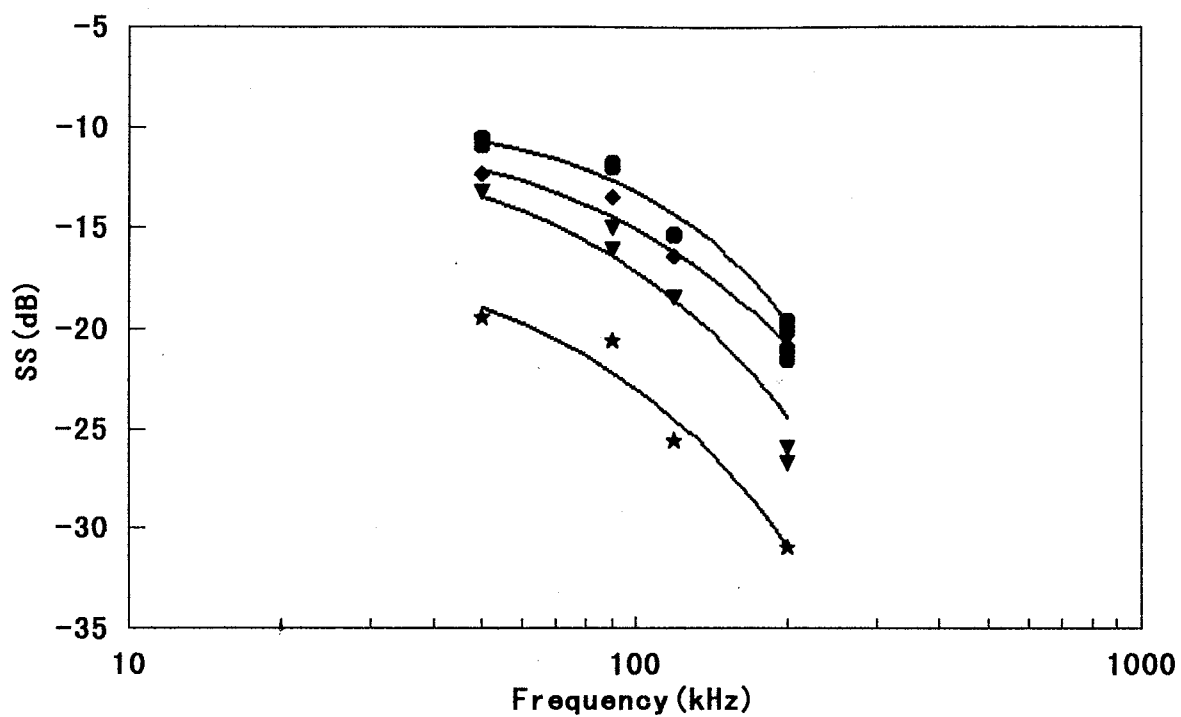


Fig. 6 Frequency characteristics of bottom backscattering strength.

● : St. 1, S=93%; ◆ : St. 2, S=80%; ▼ : St. 3, S=50%;
 ★ : Mooring facilities, S=20%.

4.3.2 底質に対する特性

底質の違いに対する特性を求めるために、底質の異なる海域を選び、海底からのエコー電圧を測定した。測定日時、測定海域、測定に使用したトランスデューサは周波数に対する特性の方法と同じである。底質の判別は、海図で確認した後、エクマン・バージ型採泥器⁶⁾で採泥して、研究室で粒度分析を行った。海底堆積物の区分方法は簡便法⁷⁾によって、粒度組成⁸⁾、含水比⁹⁾を求めた。これらの分析方法は、付録1に示した。

採泥した底質の分析結果をTable 3に示した。これらの変化、つまり海底面の地質の違いに対する海底戻り散乱強度の特性をFig. 7に示した。採泥した海底堆積物をふるいを使って、泥とそれ以上の大きさの粒子に分けたので、底質の違いは粒径を基準にした。Fig. 7に示すように横軸に砂以上の粒子の粒径の含有率、縦軸に海底面戻り散乱強度をとると、各周波数とも粒径の大きな粒子が多くなるに従ってSSは大きくなる。(Fig. 6によっても底質の違いを見ることができる。St. 1(●)は底質が礫混じりの粗い砂(S=93%)で、St. 2(◆)は泥混じりの砂(S=80%)、St. 3(▼)は砂混じりの泥(S=50%)、係船場、浦安沖(★)は泥(S=25%)である。)

Table 3. Quality of the bottoms at measuring area

St.No.	Position	Sand contents %	Quality of the bottom ¹⁾	Ratio of moisture%
Tateyama bay			9/20/1996	
1	35° 00.82N, 139° 50.86E	94	S	28.5
2	35° 00.20N, 139° 49.60E	75	SM	56.5
3	34° 59.60N, 139° 50.80E	82	S	51.8
Tateyama bay			9/27/1995	
1	35° 00.51N, 139° 51.21E	93	S(cS ²⁾)	36.4
2	35° 00.60N, 139° 50.70E	73	SM	50.7
3	35° 00.59n, 139° 51.19E	53	SM	54.4
Tateyama bay			5/29/1996	
1	35° 00.55N, 139° 51.29E	94	S(cS)	37.0
2	35° 00.60N, 139° 51.02E	80	S	41.9
3	34° 59.97N, 139° 50.96E	49	MS	51.5
Suidai pier	,	94	S	37.2
Tateyama bay			6/26/1996	
1	35° 00.55N, 139° 51.20E	93	S(cS)	34.3
Suidai pier		90	S	34.4
Urayasu			12/8/1996	
1	35° 35.25N, 139° 52.70E	24	M	50.0
2	35° 37.20N, 139° 52.90E	20	M	28.3
Mooring Facilities			6/13/1995	
Hiyodori pier(before ³⁾)		17	M	67.4
Mooring Facilities			9/20/1996	
Central part		20	M	50.0
Hiyodori pier(after ³⁾)		20	M	30.0

¹⁾ M (Mud), 0% < Sand < 25%; MS(Sandy mud), 25% < Sand < 50%; SM (Muddy sand), 50% < Sand < 75%; S(Sand), 75% < Sand < 100%.

²⁾ cS(Coarse sand), $\phi = 2.0\text{mm} \sim 0.589\text{mm}$; S, $\phi = 0.589\text{mm} \sim 0.295\text{mm}$.

³⁾ Before is before dredging and after is after dredging.

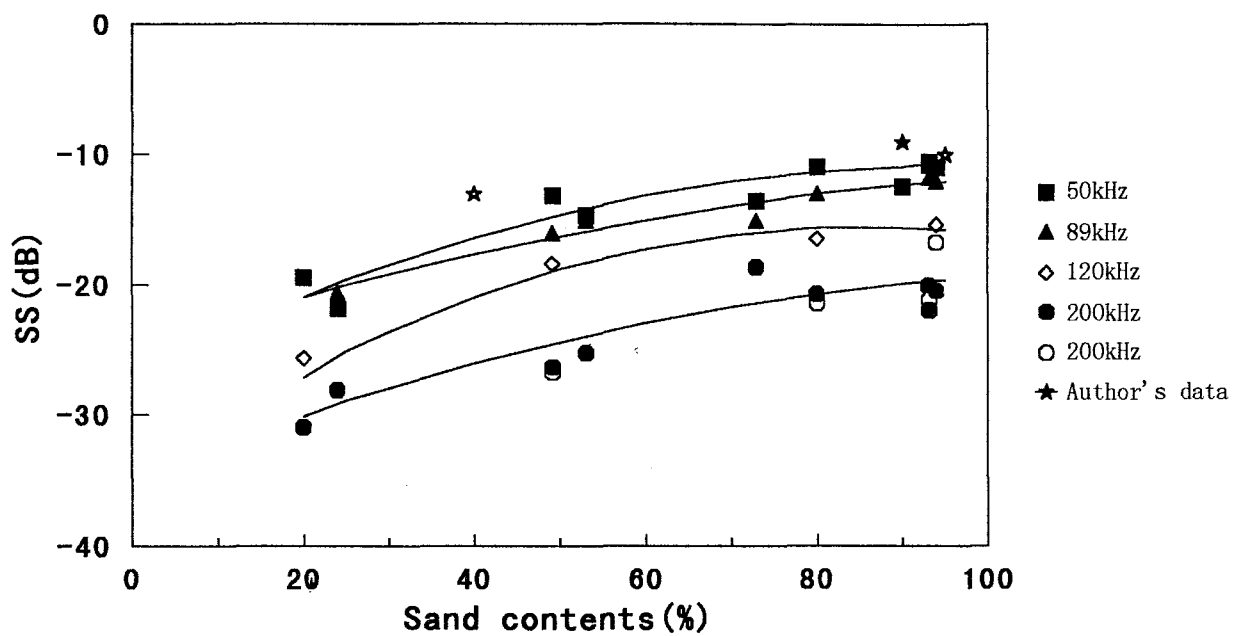


Fig.7 Relation between quality of bottom and bottom backscattering strength. ■:50kHz; ▲:89kHz; ◇:120kHz; ●:200kHz, 9°; ○:200kHz, 12.8°.

4.3.3 超音波の海底入射角

音の散乱波の強さと散乱角度の関係は Lambertの法則によるモデルがよく利用される。¹⁰⁾ 強さ I_i の音波が海底面の微小面積 dA に角度 ϕ で入射すると、微小面積 dA によってさえぎられるパワーは、

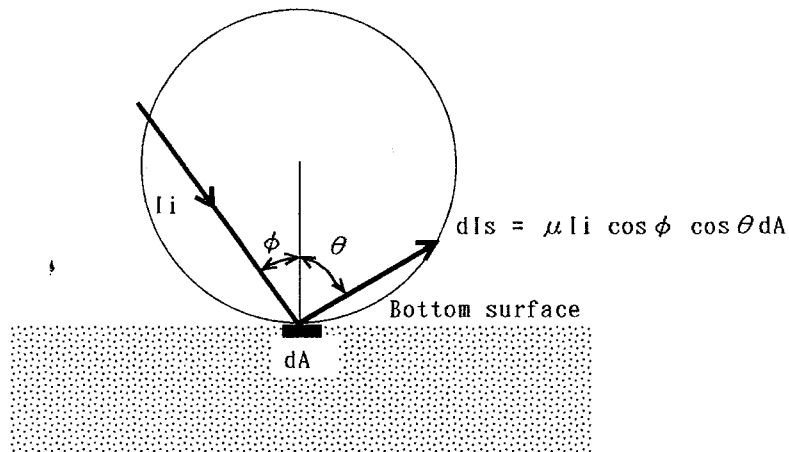


Fig. 8 Geometry for discussion of Lambert's law of diffuse reflection and for omnidirectional scattering.

$I_i \cos \phi dA$ となる。海底が滑らかな場合の正反射の反射係数を μ とすれば、 θ 方向に散乱する音波の強さ I_s は $\mu I_i \cos \phi \cos \theta dA$ となっ

て、表面散乱強度SSは、

$$SS = 10\log \mu + 10\log(\cos \phi \cos \theta) \cdots (2)$$

で表される。入射方向に戻ってくる散乱波の場合は $\phi = \theta$ なので SS は $10\log \mu + 10\log \cos^2 \phi$ となる。このSSを特に表面戻り散乱強度と呼ぶ。ここで、 $10\log \mu$ は鉛直入射の場合の表面戻り散乱強度である。

1996年6月23日実験水槽、1996年9月20日係船場の栈橋、1996年6月26日館山湾の水大栈橋において、Fig. 2cの様にT120を、栈橋に固定し、海底への入射角を $0^\circ \sim 30^\circ$ まで 5° ずつ変化させ、入射角度ごとに2分間ずつエコー電圧を測定した。係船場の底質は泥($S=25\%$)で海底までの距離は4m、館山の水大栈橋の底質は砂($S=90\%$)で距離は2.8mであった。実験水槽では海底の代わりに表面が平坦で均質なベニヤ板を用いた。トランスデューサの振動面からベニヤ板までの距離は2mであった。

ベニヤ板ではFig. 9aのようにSSは傾斜が大きくなるに従って小さくなった。図中の実線は 0° でのSS($10\log \mu$)を通るLambert特性である。係船場の海底では、Fig. 9bのように角度が変化してもSSはあまり変わらず、最大値と最小値の差が0.5dB程度であった。館山の水大栈橋の海底ではFig. 9cのように角度が大きくなるに従ってSSは小さくなった。

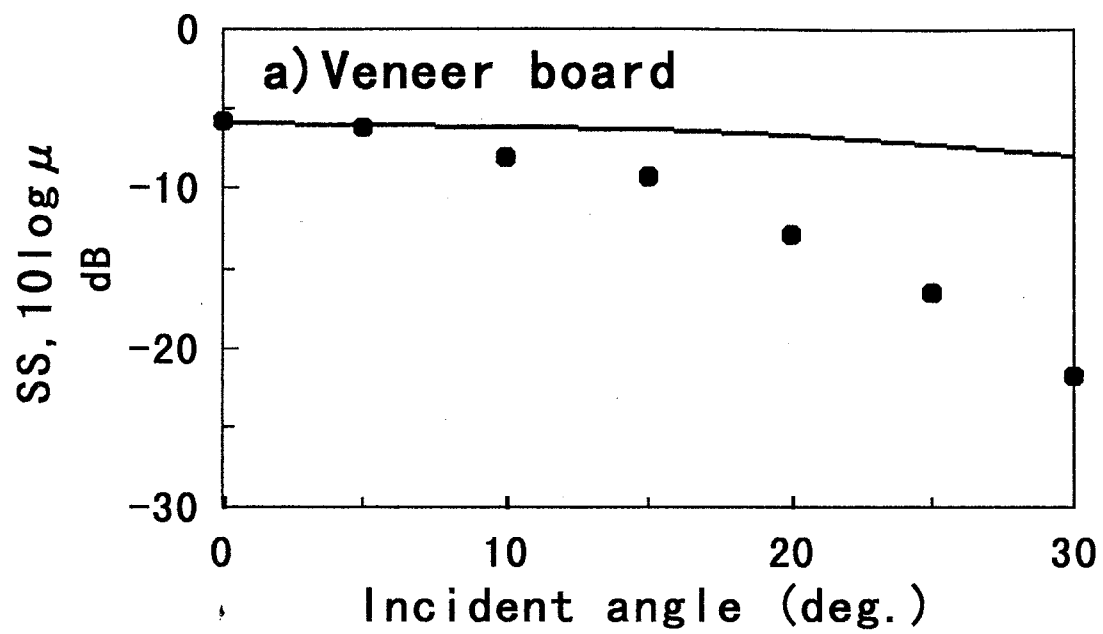
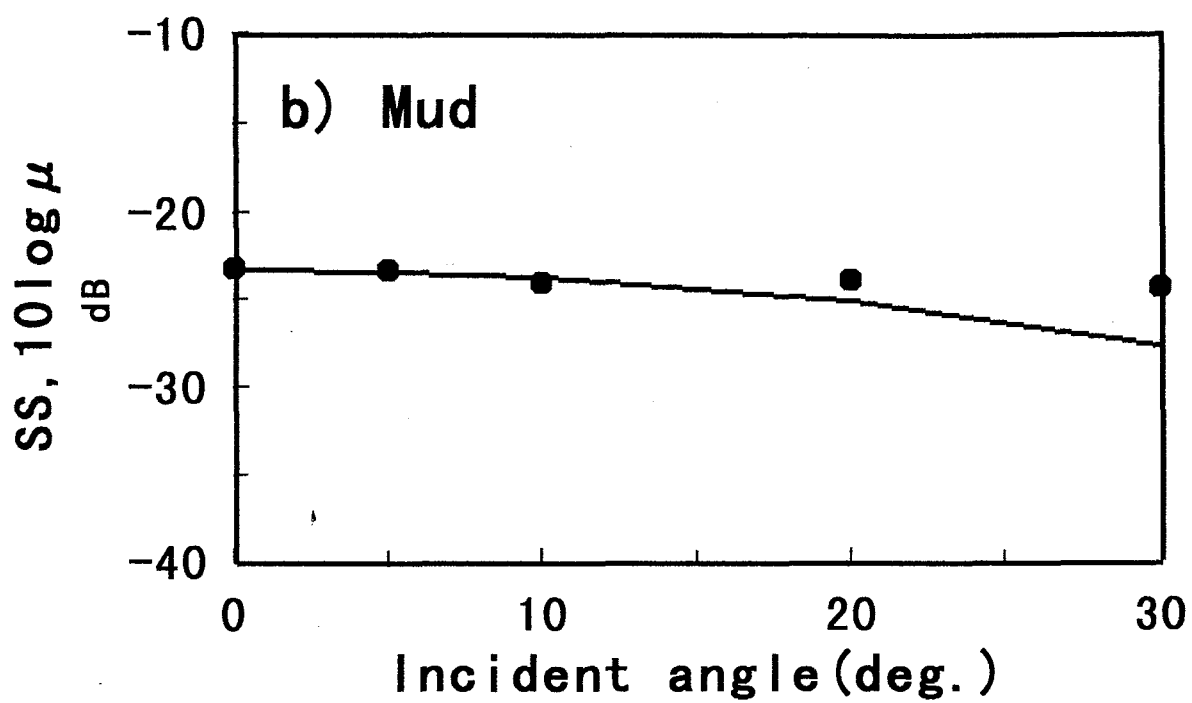
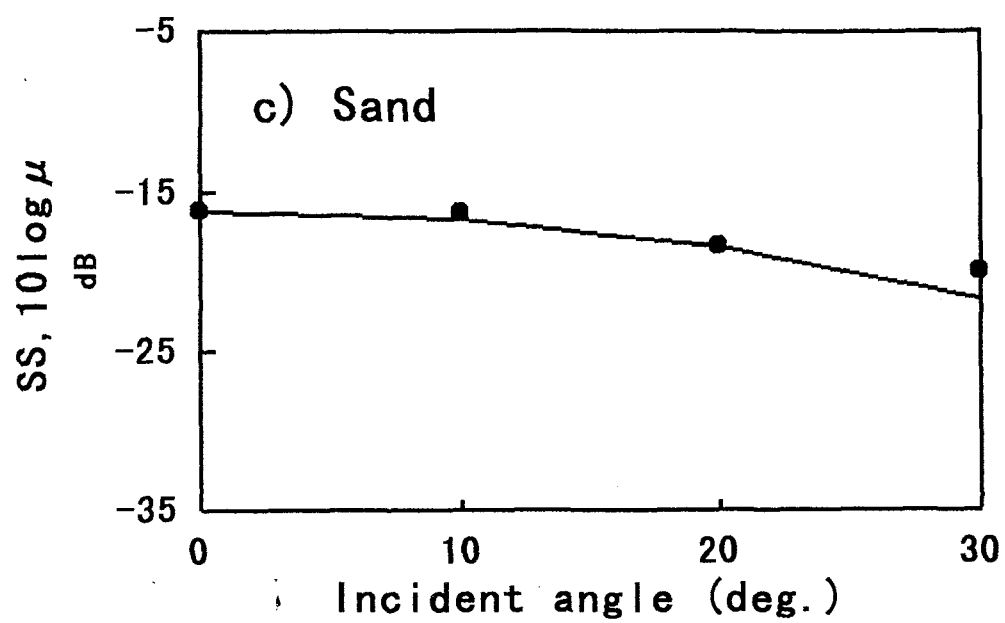


Fig.9 Incident angle dependence of bottom backscattering strength. (a), Veneer boarded.



(b), Mud(at Mooring facilities).



(c), Sand (Tateyama)

ベニヤ板の表面は平坦で均質なので、散乱の方向性が強くなり、傾斜が大きくなると戻り散乱波は急に減少する。係船場の海底の底質は粒径の小さい泥で、測定は浚渫（しゅんせつ）工事の直後に行ったので含水比も小さく安定したデータが得られた。館山の水大棧橋では平坦で底質も一定に近いのでLambertの法則によく当てはまる。

船体動揺による影響については、調査航海時の測定は、通常船体傾斜が 10° を超えるような海況では行わず、Fig. 9b～cの横軸が $0^\circ \sim 10^\circ$ でのSSの違いは0.8dB程度と小さいのでSSの入射角特性の影響は考えないでよい。海底傾斜については、館山湾の測定海域では、海底の最大傾斜角は約 3° であるから、ほとんど影響はないと考えてよい。また、他の海域でも等深線に沿って航走すれば海底傾斜の影響は少ないと考えてよいことが判った。

4.3.4 照射面積との関係

散乱面が平坦で底質が均一であれば、SSは送信周波数には依存するが照射面積の大小には関係がないはずである。ビーム周辺ではLambertの法則が適用されるが、今の場合ビームが鋭い（最大のビーム幅 46.4° ）ので無視できる。しかし、実際には海底の底質は粒径の異なる土粒子などが不均質に混在しているので、照射面積の変化に対する特性を調べた。

測定は2つの方法で行った。1つの方法では同周波数でビーム幅が異なるトランスデューサによる測定結果の比較、他の方法ではトランスデューサの振動面を海底に対して昇降させることによって照射面積を変化させ、エコー電圧を測定した。前者は、1996年6月26日に、館山湾のSt.1の海域でFig.2aの様に、ビーム幅の異なるT50-1(34.4°), T50-2(46.4°)及びT200k-1(9°), T200-2(12.8°)を舷側に装備して、同じ周波数のトランスデューサで交互に60秒間ずつ、9回繰り返し海底からのエコー電圧の測定を行った。後者の方法による実験水槽での実験はFig.2dの様に、トランスデューサを水底に振動面を水面に向けて設置する。トランスデューサの真上の水面にベニヤ板を浮かべ、トランスデューサを取り付けた保持板を昇降させ、ベニヤ板までの距離を変化させて、エコー電圧を測定した。館山の水大栈橋と係船場では、Fig.2eのように、トランスデューサの保持棒の昇降で海底までの距離を変化させ、海底面からのエコー電圧を測定した。

Fig.10a～bはビーム幅を変える方法による測定結果で、縦軸にエコーレベル、横軸に測定経過時間をとった。aは周波数が50kHzで、▲はビーム幅 34.4° 、●は 46.4° で測定した結果である。平均した結

果をTable 4. (b) にまとめた。両者間には1.4dB の違いがあった。
bは周波数が200kHzで、▲はビーム幅9°、●は12.8°のトランスデューサを使用したときの測定結果である。平均値には0.4dB の違いがあった。異なるビーム幅のトランスデューサを用いる場合、エコーレベルにこの程度の誤差が生じ得る。

Table 4. Average echo levels(SS) observed by two beams

Transducer	T50-1	T50-2	T200-1	T200-2
Type				
(a) Along side and on the bottom flame				
	alongside	bottom	alongside	bottom
Echo level(SS)dB	-11.8	-10.6	-20.6	-20.0
(b) Observed by two beams				
Echo level(SS)dB	-10.0	-11.4	-21.0	-20.6

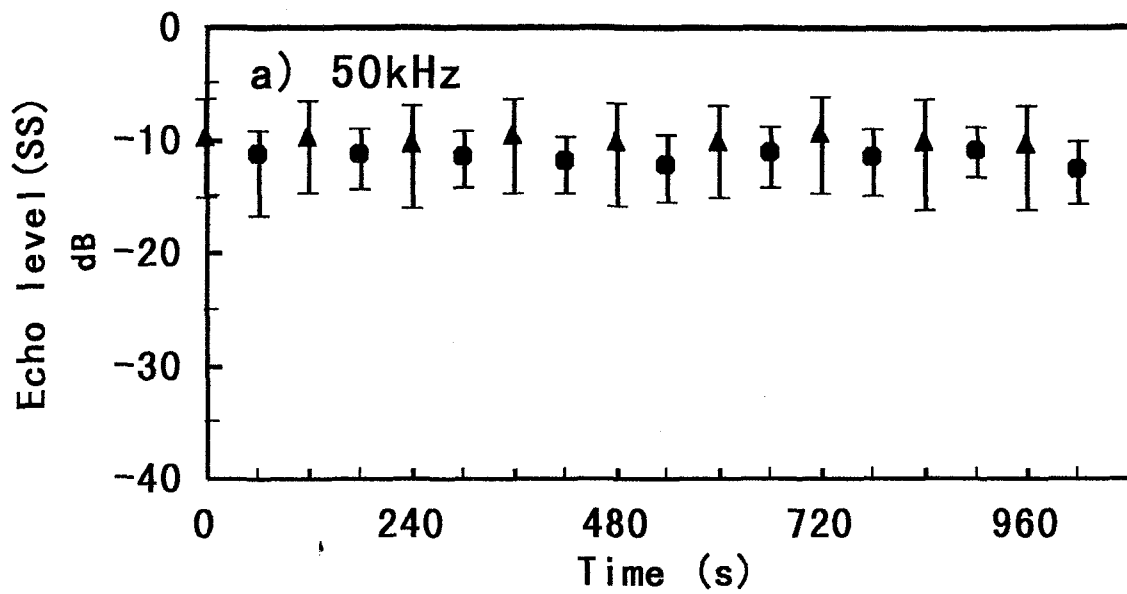
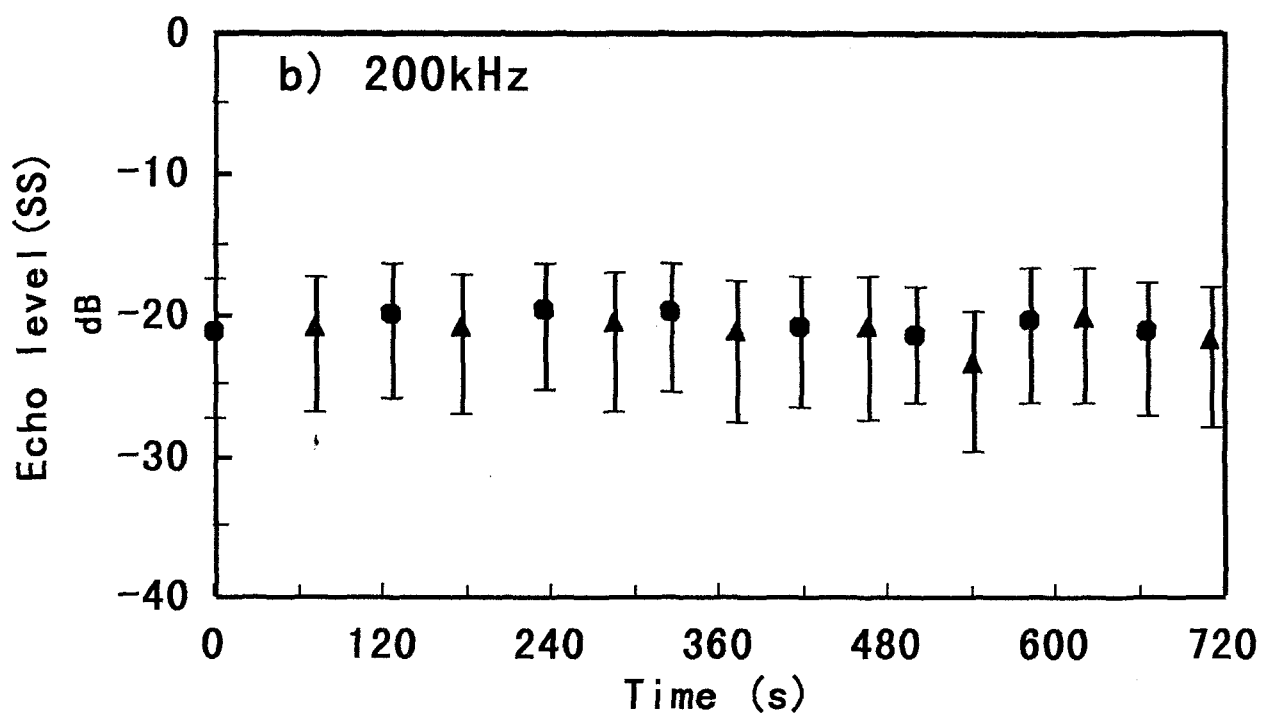


Fig.10 Bottom backscattering strength observed by two beam widths. (a), 50kHz; $\blacktriangle$ = 34.4° ; $\bullet$ = 46.4° .



(b), 200kHz; ▲ = 9° ; ● = 12.8° .

Fig.11a～c は送受波器を上下する方法による測定結果で、横軸に照射半径、縦軸にSSをとった。ベニヤ板の場合、aのように照射面積の変化はSSに影響しない。係船場の中央付近の海底では、bのように照射面積が大きくなるに従い、SSは4dB程度小さくなった。館山の水大栈橋ではcのように1.5dB程度の違いはあるが照射面積の変化との関係は明確でない。ベニヤ板は平坦で底質が均一な場合に相当し、館山の栈橋の海底は、目視によれば、平坦で底質は貝殻混じりの砂であったから、それぞれSSは照射面積の大小に依存していない。係船場では、浚渫（しゅんせつ）直後であったため、海底にボルト、コンクリートの破片など異物が落ちていて、測定結果に影響を及ぼした。

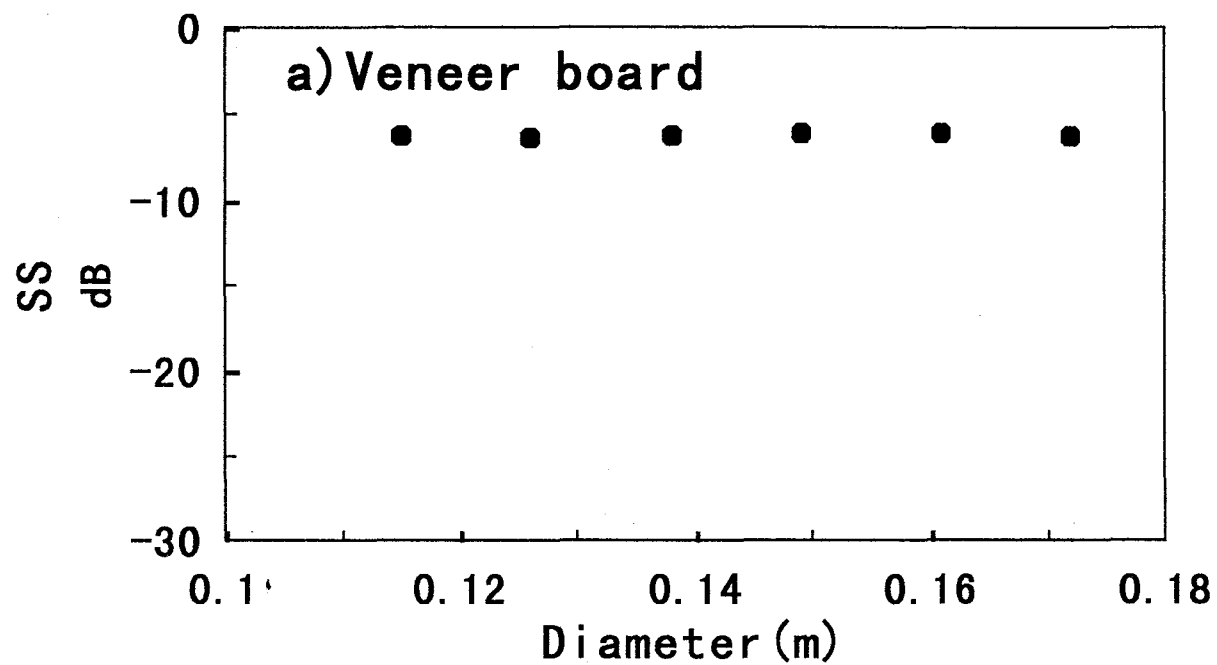
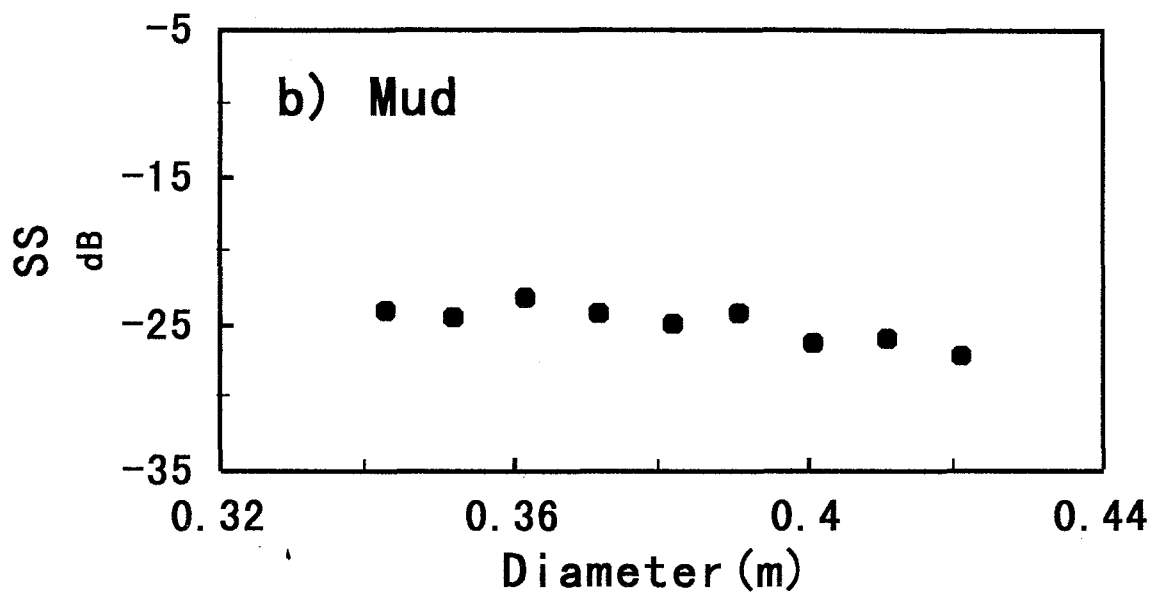
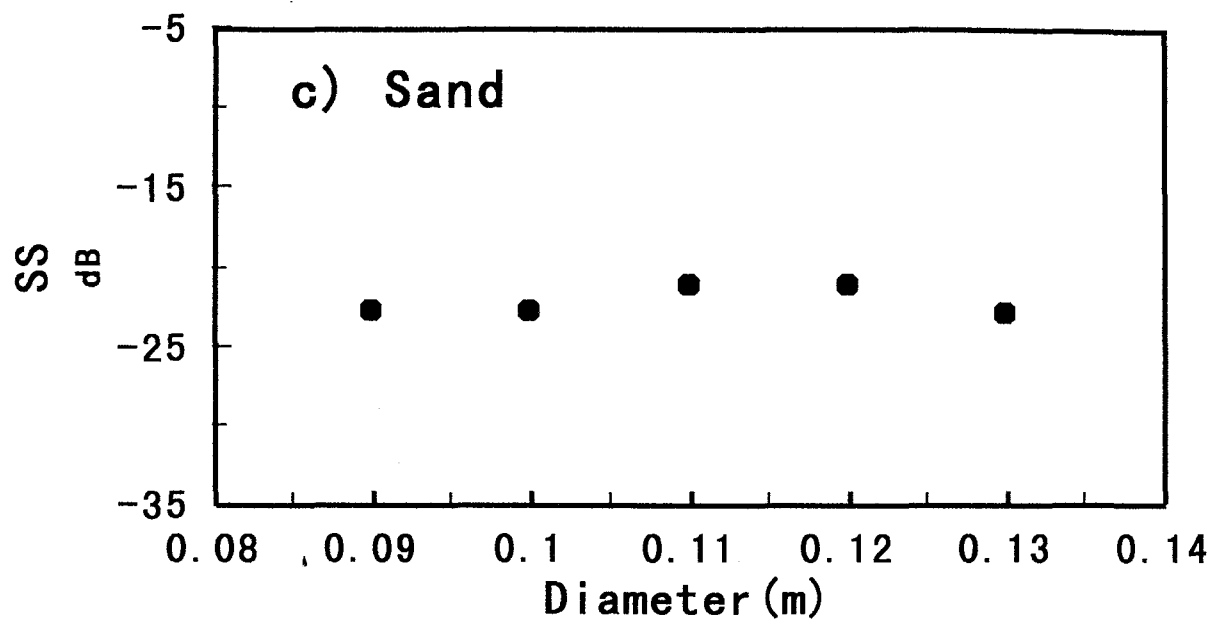


Fig.11 Insonified diameter dependence of bottom backscattering strength.

(a) Veneer board measured in tank.



(b) measured at mooring facility.



(c) measured at pier of Tateyama.

4.4 結言

海底エコーは超音波の周波数や海底の底質の違いに影響される。
以下、本章の結果をまとめると、

- ① 超音波の周波数が高いほど、海底面戻り散乱強度は小さい。
- ② 底質については粒径の大きい砂や礫の含有量が多くなるほど、海底面戻り散乱強度は大きい。
- ③ 照射面積が変化しても、海底面戻り散乱強度はほとんど影響されない。
- ④ 超音波の海底面への入射角の変化は、その角度が小さい限り、海底面戻り散乱強度にほとんど影響がない。

付録1 底質の簡易分析方法

それぞれの測定方法と結果について以下に述べる。

1.1 底質の採取方法

Fig. A1に示した、エクマン・バージ型採泥器を使用した。使用方は、側面のつり紐を引いて底板を左右に開き、つり棒の掛けがねに止め、着底後に船上からメッセンジャーを落とせば掛けがねがはずれ、強いスプリングにより底板が閉じあって砂泥をすくい採る。

⁵⁾ この採泥器は小型で持ち運びに便利なのでわが国では最も広く用いられてきた。しかし、底質が軟らかい泥や砂泥では採取可能であるが、底質の堅い砂地や礫、岩のところでは採取量が少ないことがこの方法の欠点である。解決方法として、箱の側面に鉛板を付けて重くした。水深の浅い所では着底後に手でロープを少し引き上げて急に落として海底に食い込ませた。

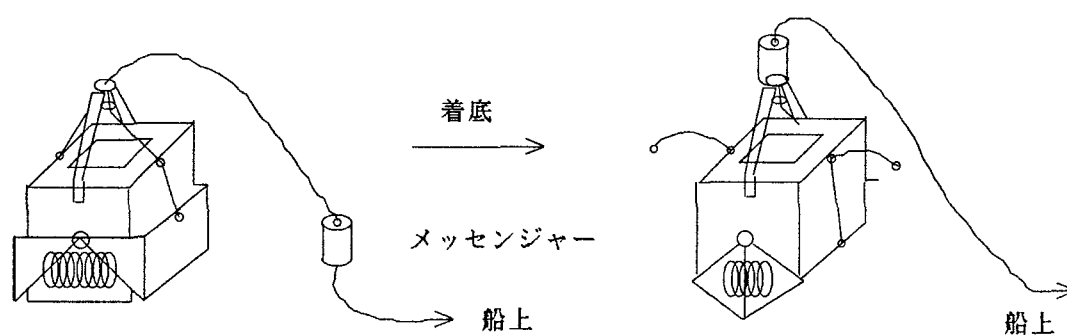


Fig. A1 エクマンバージ型採泥器

1.2 粒度分析法⁶⁾

簡便法で分析を行った。含水量を別に量ってあるぬれたままの底土20～30gを量りびんに採って正確に量り、これに水を加えてよく溶かしておく。使用する水は粒度のみの分析の場合は水道水でよい。試料を250メッシュのふるいの上へ流し移す。さらにふるいの上へ水を注いで静かにふるい、上の泥粒を洗う。ふるいを取り外して乾燥し、紙上に移して計量する。必要機材は、ふるい（250メッシュ）Wire Dia., 45 μ m; Aperture, 62.5 μ m (= 1/16mm)、計量器（最小目盛り0.1g）である。

ふるい分けて、ふるいに残った粗い部分の重量により、以下の様に分類する。すなわち、粗粒部（砂の含有量）が50～75%の場合はS（砂＞泥）、25～50%の場合はMS（泥＞砂）、25%以下はM（泥）である。

Table 2. 粒度の基準⁷⁾

直径(mm)	名称及び記号（日本水路部式）		
1024			
512	大礫	St	
256			
128	粗礫	Sn	
64			
32			礫 G
16	中礫	G	
8			
4			
2	細礫	Gr	
1	粗砂	cS	
1/2			
1/4	中砂	S	砂 S
1/8	細砂	fS	
1/16			
1/32			
1/64	泥	M	
1/128			泥 M
1/256			
1/512	粘土		
1/1024			

付録2 含水比⁸⁾

日本工業規格(JIS)によれば、含水比とは110℃の炉乾燥によって失われる土中水の質量の土の炉乾燥質量に対する比を百分率で表したものである。海洋観測指針⁹⁾では、試料を風乾してその減量を含水量とする。とあるので、以下の方法で求めた。

- 測定方法
1. 容器の質量(m_c)を量る。
 2. 試料を容器に入れ、全質量(m_a)を量る。
 3. 試料を容器に入れたまま、一定質量になるまで風乾する。
 4. 乾燥試料の全質量(m_b)を量る。

計算は、A 式⁴⁾より求める。

$$w = (m_a - m_b) / (m_b - m_c) \times 100$$

ここで、 w は含水比(%) である。

付録3 密度¹⁰⁾

日本工業規格によれば、土粒子の密度とは土の固体部分の単位体積あたりの質量である。

- 測定方法
1. 容器の質量(m_f)を量る。
 2. 容器に蒸留水を満たし全質量($m_{a'}$)と容器内の温度(T')を量る。
 3. 試料を容器に入れ、さらに蒸留水を容器の容量の2/3になるようにする。
 4. 容器を振って気泡を取り除く。
 5. 容器に蒸留水を満たし全質量(m_b)と内容物の温度(T)を量る。
 6. 試料を容器から出し一定質量になるまで風乾し質量(m_s)を量る。

温度 $T^{\circ}\text{C}$ における蒸留水を満たした容器の質量は次式により求める。

$$m_a = (\rho_w / \rho_{w'}) \times (m_{a'} - m_f) + m_f$$

ここで、 ρ_w は $T^{\circ}\text{C}$ における蒸留水の密度、 $\rho_{w'}$ は $T'^{\circ}\text{C}$ における蒸留水の密度である。

土粒子の密度 ρ_s は次式で求める。

$$\rho_s = m_s / (m_s + (m_a - m_b)) \times \rho_w$$

文 献

- 1) 青山千春、濱田悦之、古澤昌彦、斉藤清隆：水面を利用した計量魚群探知機の較正、日水誌（印刷中）
- 2) 古澤昌彦、宮野鼻洋一：計量魚群探知機の較正方法、水産工学所研究技報、15, 9-37, (1995)
- 3) 古澤昌彦、宮野鼻洋一：計量用魚群探知機の船間較正及び走航減衰調査、水産工学所研究技報、4, 61-71, (1983)
- 4) E. L. Hamilton: Geoacoustic modeling of the seafloor, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 68, 1313-1316 (1980)
- 5) K. V. Mackenzie: Bottom reverberation for 530-and 1030-cps sound in deep sea, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 33, 1498-1499 (1961)
- 6) Francois R. E. and R. G. Garrison: Sound absorption based on ocean measurements. Part II: Boric acid contribution and equation for total absorption, *J. Acoust. Soc. Am.* 72, pp. 1879-1890, (1982)
- 7) 気象庁編：海洋観測指針、日本気象協会、東京、1971, p254
- 8) 気象庁編：海洋観測指針、日本気象協会、東京、1971, p207
- 9) 佐藤一彦、内野孝雄：「海洋測量ハンドブック」、東海大学出版会、東京、, 519
- 10) 日本工業規格：土の含水比試験方法、JIS A1203-1990
- 11) R. S. Houston: 「A treatise on light」, Longmans, Green & Co. Inc., New York, 1938, 368

第 5 章 海底面戻り散乱波を利用した魚群探知機の

キャリブレイション

5.1 緒言

3章では、水槽の水面を利用した計量魚群探知機（以下、計量魚探機）の送受信系の総合較正の方法を考案した。¹⁾ しかし、計量魚探機が船底装備前に較正球や水槽の水面を利用して精度良く較正されていても、送受波器が経時変化を起こしたり、装備による特性の変化があるために、調査航海の時には較正球を使った較正が必要である。²⁾ しかしながら、この方法は調査船を適切な場所に錨泊させる必要があり、また較正球を送受波器の音軸上に配置するなど、手間と時間がかかり頻繁には行えない。また、音軸上の点に対する測定であるから、等価ビーム幅を含めた較正は難しい。そこで、本章では、3章で提案した水槽の水面を用いる方法¹⁾を発展させて、平坦で底質の様な海底面を利用した計量魚探機の実際的なキャリブレイション方法を考案した。すなわち、調査船が、海底戻り散乱強度の既知な海域を通過しながら、海底面からの平均エコー電圧を測定、もしくはエコー積分するだけで、簡便に、しかも等価ビーム幅を含めた送受信系の総合的なキャリブレイションを行う。

表面散乱を用いた等価ビーム幅を含めた計量魚探機の送受信系の総合キャリブレイションは、3章(23)式

$$TF = SL + ME + RG + 10 \log \Phi = EL - SS + 20 \log R \cdots (1)$$

で表される総合的係数TFを較正すればよい。¹⁾ ここで、SLはソース

レベル、MEは受波感度、RGは受信器の利得、 Φ は表面散乱の等価ビーム幅、ELは受信電圧、SSは表面戻り散乱強度のそれぞれデシベル表示にした値、Rはトランスデューサから海底までの距離である。なお、本研究の場合、対象が海底であり、表面戻り散乱強度 S_s もしくはこれをデシベル表示したSSを海底面戻り散乱強度と呼ぶことにする。 Φ は通常の計量魚探機の場合体積散乱の等価ビーム幅 Ψ と置き換えることができ、¹⁾従って、SSとRが既知ならば、海底面からのエコー電圧を測定してELを求めるだけで、上式よりキャリブレーションができる。

本章では4章の結果を踏まえ、海底面を用いた計量魚探機のキャリブレーションの実際的な方法を示す。また、エコー積分器出力を利用するキャリブレーション方法を示した。さらに、海底を対象とした船間キャリブレーションの方法³⁾について提案した。

5.2 海底面を利用したキャリブレーション方法

標準球較正法はあらかじめターゲットストレングスが既知の較正球を用いる方法で、その較正球を標準球と呼ぶ。今回考案した方法は、あらかじめ海底戻り散乱強度が既知の海底を利用する方法であるから、標準球較正法に倣い、この海底を標準海底と呼ぶことにする。

前章によってSSの変動に大きく寄与するのは周波数と底質である。そこで Fig.1に、横軸に周波数、縦軸に海底面戻り散乱強度を表し、各底質別にSSを示した。例えば、底質がMS(S=50%)の海域で、周波数が50kHzの場合、SSは-14dBを用いればよい。

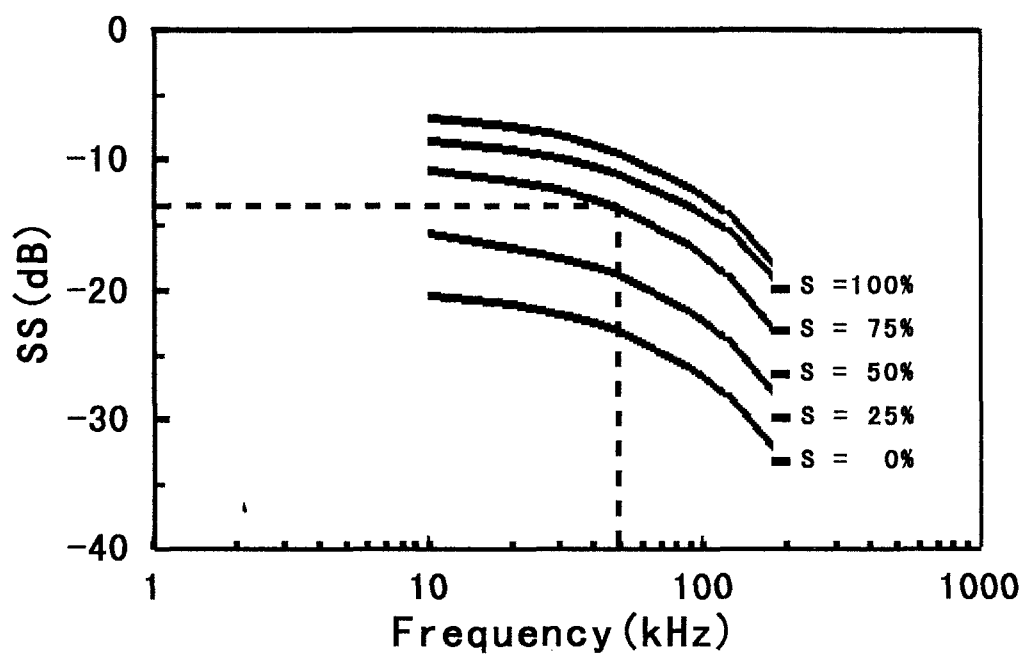


FIG.1 Bottom backscattering strength as functions of frequency and inclusion of the sand.

次に、標準海底を用いた計量魚探機の較正の実際的方法を示す。

- ① 海底が平坦で底質が泥か砂で一様な広い海域を選ぶ。
- ② 5分程度、微速（3ノット程度）で航走して、海底からのエコー電圧を測定する。
- ③ 平均エコーレベルELと標準偏差を求める。
- ④ Fig. 1から、測定に使用した周波数における海底面戻り散乱強度を求める。
- ⑤ 下式にELとSSとRを代入し、較正值TFを求める。

$$TF = EL + 20 \log R - S。$$

ELの標準偏差が大きい場合、変動因を検討する。

5.3 エコー積分値を利用する方法

5.3.1 海底エコーの積分処理

計量魚群探知機で海底からのエコーにエコー積分処理を行うと、上記の平均処理が容易に行える。まず海底エコーのエコー積分を理論的に考察する。海底エコー受信電圧 E_{RB} は、

$$E_{RB} = P_{RB} M G_R \quad \dots (2)$$

で表される。ただし、 P_{RB} は海底エコー受信音圧、 M は受波感度、 G_R は受信器利得である。 P_{RB} は、

$$P_{RB}^2 = P_0^2 r^{-2} \exp(-4\alpha r) \Phi S_s \quad \dots (3)$$

とあらわせる。¹⁾ただし、 P_0 は送信音圧、 r は送受波器から海底までの距離、 α は吸収減衰係数、 Φ は表面散乱の等価ビーム幅、 S_s は表面戻り散乱強度である。ここで Φ は4つのパラメータによって決まる関数で、

$$\Phi = f(d/\lambda, R, r, \tau) \quad \dots (4)$$

である。¹⁾ただし、 d は送受波器の振動面の直径、 λ は波長、 R は海底深度、 τ はパルス幅、 r はスラントレンジであり、音速 c 、送信時からの時間 t と $r=c\tau/2$ で結ばれるから、 Φ は海底エコーの波形をあらわす。エコー積分においては、 $20\log r$ のTVG処理、

$$E_{TB} = G_{TM} r \exp(2\alpha r) E_{RB} \quad \cdot \cdot \cdot (5)$$

が施される。ここに、 G_{TM} はTVG係数である。(2)、(3)、(5)式から、

$$E_{TB}^2 = (K_{TR} G_{TM})^2 \Phi S_s \quad \cdot \cdot \cdot (6)$$

$$K_{TR} = P_0 M G_R$$

となる。

これに群体エコーに対する場合と同様の平均処理、すなわち深度方向の距離もしくは時間に対する平均 ($r \sim r+r_w$ 層の平均)、送信回数に対する平均 (m 回送受信の平均) を行い、平均TVG出力電圧

$$\overline{E_{TB}^2} = \frac{1}{r_w} \int_r^{r+r_w} \left(\frac{1}{m} \sum E_{TB}^2 \right) dr \quad \cdot \cdot \cdot (7)$$

を得る。ここで、 $\overline{\quad}$ は平均処理を表す。エコー積分では、これを群体エコー係数で割り

$$\overline{S_{VB}} = \frac{\overline{E_{TB}^2}}{K_M^2} \quad \cdot \cdot \cdot (8)$$

$$K_M^2 = (K_{TR} G_{TM})^2 \Psi c \tau / 2$$

を得る。この $\overline{S_{VB}}$ を海底エコー積分強度と呼ぶことにする。ここで、 Ψ は体積散乱の等価ビーム幅である。(6)、(7)、(8)式より、

$$\overline{S_{VB}} = \left(\frac{K_{TR} G_{TM}}{K_M} \right)^2 \frac{1}{r_w} \int_r^{r+r_w} \left[\frac{1}{m} \sum (\Phi S_s) \right] dr \cdots (9)$$

となる。

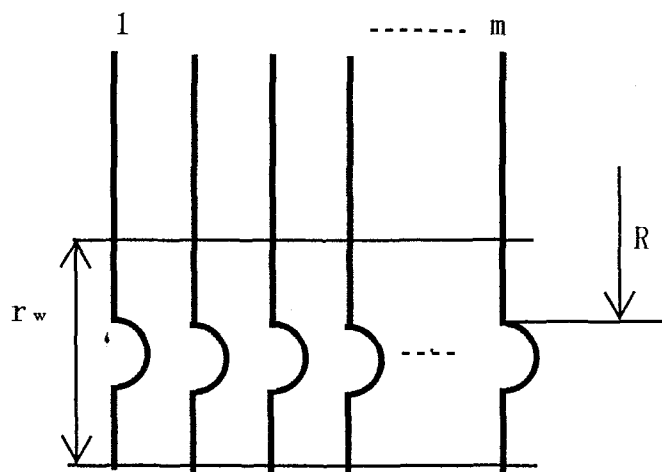


Fig.2 Concept of integration of echoes from sea bottom.

(5)式及びFig.2のように Φ は r に対しては大きく変わるが送受信に対してはほとんど変わらず、 S_s は送受信に対してのみ変動すると考えられるから、

$$\overline{S_{VB}} = \left(\frac{K_{TR} G_{TM}}{K_M} \right)^2 \overline{S_s} \frac{1}{r_w} \int_r^{r+r_w} \Phi dr \cdots (10)$$

$$\overline{S_s} = \frac{1}{m} \sum S_s$$

となる。ここでビームが鋭い場合は、 $\int \Phi dr = \Phi_{max} c \tau / 2$ と見なせる。¹⁾ここに Φ_{max} は Φ の最大値である。そこで、(10)式は

$$\overline{S_{VB}} = \frac{K_{TR}^2 G_{TM}^2 \Phi_{max} c \tau / 2}{(K_{TR}^2 G_{TM}^2 \Psi c \tau / 2)'} \overline{S_s} \cdot \cdot \cdot (11)$$

となる。ここで、分母のプライムは、エコー積分器にキャリブレーションして与える係数であることを明示するためにつけた。 $\Phi_{max} \div \Psi$ であり、較正が精度良く行われていれば(11)式は、

$$\overline{S_{VB}} = \frac{1}{r_w} \overline{S_s} \cdot \cdot \cdot (12)$$

となり、海底エコー積分強度は、海底面平均戻り散乱強度 $\overline{S_s}$ を積分層の厚さで割ったものとなる。(8)式に(12)を代入すれば、

$$(K_{TR} G_{TM})^2 \Psi \frac{c \tau}{2} = \frac{r_w}{S_s} \overline{E_{TB}}^2 \cdot \cdot \cdot (13)$$

となり、 E_{TB} を測定すれば、 r_w と S_s は既知であるから(13)式の左辺がキャリブレーションできる。

5.3.2 キャリブレーション方法

エコー積分を利用した較正方法の手順を示す。

- ① 海底が極力平坦で等深線に沿って底質が泥か砂でほぼ一定の海域を選ぶ。
- ② 計量魚探機は、送信パワーを-40dB程度低減し、スレッシュホールドとホワイトラインをオフとする。
- ③ 微速（3ノット程度）で走航しながら、海底を挟むように積分層幅 r_w を5～10mに設定し積分同期を短くし（0.5マイル以下）エコー積分を行い、海底エコー積分強度 S_{VB} を測定する。
- ④ 一方、Fig. 1から、測定に使用した周波数における海底面戻り散乱強度を求め(7)式に代入し、海底エコー積分強度を求める。
- ⑤ ③、④の結果を比較し、設定した送受信感度と等価ビーム幅の精度を確認する。すなわち、(8)式の K_M が較正されたことになる。

5.3.3 キャリブレーション方法の確認

古澤と宮野鼻²⁾は北海道釧路沖で走航減衰調査を行った際に数隻の調査船の海底エコー積分強度を測定している。その結果のうち信頼性の高い値をTable 4に示す。周波数は50kHzと88kHzで、積分層幅 r_w は10m、底質は砂(S)の海域であった。Fig. 1より底質がSの標準海底の海底面戻り散乱強度は、周波数50kHzでは-11dB, 周波数88kHzでは-13.5dBであり、この S_s を(12)式に代入し S_{VB} を求めると、50kHzの場合は-21dB、88kHzの場合は-23.5dBとなる。実測の平均値は50kHzでは-22.7dBであるから、差は1.7dBであり、88kHzでは-23.7dBであるから差は0.2dBであり、2章で考えた変動を考えるとかなりよ

い一致であろう。

Table 4. Comparizon of S_{VB} by measurement and by standared bottom.

Freq. (kHz)	$\overline{S_{VB}}$					Fig. 11
	Name of ship	Tankai	Kaiyo	Yamasan	Avg. ¹⁾	
50		-23	-23	-22	-22.7	-21
88			-23	-24.3	-23.7	-23.5

¹⁾ Average is results of measurements by Tankai-Mar, Kaiyo-Mar and Yamasan-Mar.

5.3.4 船間較正への応用

等価ビーム幅も含めた送受信系の総合較正を行えば、装置の精度は確認できるわけだが、さらに複数装置または、調査船間で同一魚群を対象とした相互較正を行うと、なお信頼性が高くなる。特に、数隻による一斉調査を行う場合には船間較正は、重要である。

しかし、近年は魚群の減少により、船間較正に適切な魚群を見つけるのが困難であることが多い。本研究で提案した海底エコー積分値を利用する方法を海底対象船間較正へ適用すれば、より定量的な船間較正が行える。すなわち、同じ海域を各船が航走しながら、海底エコー積分値（絶対値）を求め比較すればよく、魚群に比べ、常に広域に安定して存在する海底が対象であるから精度良い船間較正が容易となる。ただし、魚群対象船間較正は魚の逃避行動も含むより総合的なものであることを強調したい。

5.5 結言

海底エコーの特性を基に、海底面を利用した計量魚探機のキャリブレイションの実際的方法を考案した。すなわち、あらかじめ、海底面戻り散乱強度のわかっている海域を、調査船が通過しながら海底エコーを測定するだけで、等価ビーム幅を含めた、送受信系の総合較正が可能である。さらにエコー積分出力をエコーレベルの代わりに用いることにより、実用的な較正が可能である。海底エコーの積分は船間較正に応用できる。

以下に、キャリブレイションの方法を具体的に示す。

標準海底を用いた計量魚探機のキャリブレイションの実際的方法

- ① 海底が平坦で底質が泥か砂で一様な広い海域を選ぶ。
- ② 5分程度、微速（3ノット程度）で航走して、海底からのエコー電圧を測定する。
- ③ 平均エコーレベルELと標準偏差を求める。
- ④ Fig.1から、測定に使用した周波数における海底面戻り散乱強度を求める。
- ⑤ 下式にELとSSとRを代入し、較正值TFを求める。

$$TF = EL + 20\log R - S。$$

ELの標準偏差が大きい場合、変動因を検討する。

エコー積分を用いた計量魚探機のキャリブレイションの方法

- ① 海底が極力平坦で等深線に沿って底質が泥か砂でほぼ一定の海域を選ぶ。
- ② 計量魚探機は、送信パワーを-40dB程度低減し、スレッシュホル

ドとホワイトラインをオフとする。

③ 微速（3ノット程度）で走航しながら、海底を挟むように積分層幅 r_w を 5～10m に設定し積分同期を短くし（0.5マイル以下）エコー積分を行い、海底エコー積分強度 S_{VB} を測定する。

④ 一方、Fig. 1 から、測定に使用した周波数における海底面戻り散乱強度を求め(7)式に代入し、海底エコー積分強度を求める。

⑤ ③、④の結果を比較し、設定した送受信感度と等価ビーム幅の精度を確認する。すなわち、(8)式の K_M が較正されたことになる。

文 献

- 1) 青山千春、濱田悦之、古澤昌彦、斉藤清隆：水面を利用した計量魚群探知機の較正、日水誌（印刷中）
- 2) 古澤昌彦、宮野鼻洋一：計量魚群探知機の較正方法、水産工学所研究技報、15, 9-37, (1995)
- 3) 古澤昌彦、宮野鼻洋一：計量用魚群探知機の船間較正及び走航減衰調査、水産工学所研究技報、4, 61-71, (1983)
- 4) E. L. Hamilton: Geoacoustic modering of the seafloor, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 68, 1313-1316 (1980)
- 5) K. V. Mackenzie: Bottom reverbration for 530-and 1030-cps sound in deep sea, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 33, 1498-1499 (1961)
- 6) Francois R. E. and R. G. Garrison: Sound absorption based on ocean measurements. Part II: Boric acid contribution and equation for total absorption, *J. Acoust. Soc. Am.* 72, pp. 1879-1890, (1982)
- 7) 気象庁編：海洋観測指針、日本気象協会、東京、1971, p254
- 8) 気象庁編：海洋観測指針、日本気象協会、東京、1971, p207
- 9) 佐藤一彦、内野孝雄：「海洋測量ハンドブック」、東海大学出版会、東京、, 519
- 10) 日本工業規格：土の含水比試験方法、JIS A1203-1990
- 11) R. S. Houston: 「A treatise on light」, Longmans, Green & Co. Inc., New York, 1938, 368

第 6 章 結 論

本研究の成果を以下に列挙する。

計量魚探機のトランスデューサの船底装備前には、以下のように水槽の水面反射を利用して精度良く簡単に送受信系のキャリブレーションを行える。

- ① 表面散乱の等価ビーム幅のキャリブレーションが、水面からのエコー電圧を測定するだけで、簡単に行える方法を考案した。
- ② 計量魚探機に用いられているトランスデューサのようにビームが鋭い場合は、表面散乱の等価ビーム幅 Φ と体積散乱の等価ビーム幅 Ψ はほぼ等しくなり、 Φ と Ψ は互いに流用できることすなわち、①のキャリブレーションが体積散乱の等価ビーム幅に対しても行えることが判った。
- ③ 等価ビーム幅のキャリブレーションと同じ時に、等価ビーム幅も含めた送受信系の総合キャリブレーションが可能であり、個々にキャリブレーションするよりも容易かつ誤差の集積する危険の少ないことを示した。
- ④ 表面散乱の等価ビーム幅は超音波の波長に対する振動面の直径の比 d/λ が大きく、パルス幅が長く、距離が短い場合に一定値が得やすいことが判った。

海底エコーの特性について調べ、以下の成果を得た。

- ① 超音波の周波数が高いほど、海底面戻り散乱強度は小さい
- ② 底質は粒径の大きい砂や礫の含有量が多くなるほど、海底面戻り散乱強度は大きい。
- ③ 照射面積が変化しても、海底面戻り散乱強度はほとんど影
されない。
- ④ 超音波の海底入射角が変化しても、その角度が小さい限り
海底面戻り散乱強度にほとんど影響がない。

海底面による魚群探知機のキャリブレイションの実際的方法を
案した。

- ① あらかじめ、海底面戻り散乱強度の判っている海域を、調
船が通過しながら海底エコーを測定するだけで、等価ビーム
を含めた、送受信系の総合キャリブレイションが可能である
- ② エコー積分出力を①のエコーレベルの代わりに用いることに
り、実用的なキャリブレイションが可能である。
- ③ 船間キャリブレイションに応用できることが判った。

本研究で考案したキャリブレイションの方法は、従来の方法に比べ、きわめて簡便であるうえ、計量魚探機の定量的測定には欠かせない等価ビーム幅のキャリブレイションが同時に行えるところが、大きな特長である。この成果は、音響水産資源調査を行うための計量魚探機の精度を向上させるのに、大いに役立つと言える。

謝 辞

本研究を行うに当たり、東京水産大学海洋生産学専攻漁業計測学研究室の教授濱田悦之博士、助教授古澤昌彦博士には、終始御指導御鞭撻を賜りましたことに厚く御礼申し上げます。

平素ご助言を頂きました、同研究室の名誉教授鈴木裕博士、同研究室の非常勤講師白井靖幸千葉工業大学助教授、ならびに同研究室斉藤清隆助手に深く感謝いたします。

標準球によるキャリブレーションの資料などをいつも快く提供してくださった、水産工学研究所の宮野鼻洋一博士に深く感謝いたします。

館山湾の海上実験の際には、本学実習艇ひよどりの酒井一英艇長、徳山比呂志機関長、および、館山実習場の伊東順一技官には実験機材製作の助言や、準備に多大なご協力をいただきました。心より、御礼申し上げます。さらに実験に際しては、同研究室の卒業生、テッパルーン・ラット・ユッタナ、ナインゴラン・チャンドラ、安長英、栗原将司、カリド・ビン・サモ、李超海の各氏と同研究室の大学院生の皆様には多大なお力を貸していただきました。感謝の念にたえません。

最後に、長い間、支えてくれた夫、協力してくれた母、そして迷惑を掛けた子供たちに心より感謝します。

付 録

水面利用以外の方法による基本性能のキャリブレイション

1. ハイドロフォンによる方法
2. キャリブレイション球による方法

測定に用いたトランスデューサのインピーダンス、ビームパターン

測定系の総合ゲイン

データセーブ用プログラム Quick-C, Asembla

エコー受信電圧、距離、時間を 1ping、10cmおきにフロッピーにセーブする。

データ解析用プログラム Quick basic

1. BOTTOM ECHO . . . Quick-C で、セーブされたデータを、Quick basic で作ったプログラムで解析できるようにする。
2. Directivity_Hamilton . . . 指向性曲線
3. Volt_psi . . . エコー波形と理論値による波形を A スコープで表す。
4. Tektro.Bas . . . トランスジューサのインピーダンスカーブをオシロスコープの画面から RS-232C でパソコンに取り込みセーブする。

```

/*****
*      esounder
*
*****/
#include <stdio.h>
#include <dos.h>
#include <graph.h>

unsigned char echo[256];
int    echobuf = 256;
FILE   *fstream;
char    fname[15];
int     drive = 1;

main()
{
    int    clr[8];
    int    xmin = 0,
           xmax = (80-28)*8-1,
           xwidth = xmax - xmin,
           ymin = 16 * 2 + 8,
           ywidth = 250,
           ymax = ymin + ywidth;
    int    range = 500,
           rangemin = 5,
           rangemax = 1000,
           range0 = 0;
    int    emax = 5;
    int    pingnumb;
    int    gateupper = ymin,
           gatewidth = 32;
    int    fkey;
    int    past;
    int    xpos = xmax/8-6;
    int    mode;
    int    cmode;
    int    fmode = 0;
    int    dmode = 1;
    int    amode = 1;
    char    time[9];
    int    sampl_hour, sampl_min;
    int    hour, min;
    int    i;

    _setvideomode(_98RESSCOLOR);
    _clearscreen(_GCLEARSCREEN);

    printf("%x1b*"); printf("%x1b[>51");
    printf("%x1b[23;25HMono(M) or Color(C) ? M%b");

```

```

while(!kbhit()); cmode = getch();
if(cmode == 'c') cmode = 'C';
if(cmode != 'C') cmode = 'M';

printf("%x1b*");
printf("%x1b[23;10HRemove system floppy and set data floppies,
                                then push any key");
while(!kbhit()); getch();
printf("%x1b*");

while(1)
{
printf("%x1b*"); printf("%x1b[>51");
printf("%x1b[23;10HNormal input(N), Interval input(I),
                                Replay(R) or Finish(F) ? NYb");

while(!kbhit()); mode = getch();
if(mode == 'i') mode = 'I';
if(mode == 'r') mode = 'R';
if(mode == 'f') mode = 'F';
if(mode == 'F') {printf("%x1b[>51"); exit();}
if(mode != 'I' && mode != 'R') mode = 'N';
printf("%x1b*"); printf("%x1b[>5h");

if(mode == 'N')
{
depthscale(range, xmax, ymin, ywidth);
colorscale(cmode, clr , xmax, ymin, emax);
gateup(xmax, ymin, &gateupper, gatewidth);
gatedw(xmax, ymin, &gateupper, gatewidth);
ADCINT(echo, echobuf, &range);
past = -1;
setfkey(mode);
/*diskfree();*/
while(1)
{
ADC();
pingnumb = echo[2] + (echo[3] << 8);
printf("%x1b[1;%dH%8u", xpos, pingnumb);

if(dmode)
{
plotecho(xmax, ymin, clr);
timemark(range, xmax, ymin, &past);
SCROLL(xmin, xmax, ymin, ymax + 6);
SCROLL(xmin, xmax + 17, ymin - 20,
n - 7);
if(amode) ascop(mode, xmax, ymin,
width, range, emax);
}
}
}

```

```

    if(fmode) savedata();

    getfkey(&fkey);
    switch(fkey)
    {
        case 1: saveoff(&fmode); printf("
l")           ; exit();                                %x1b[>5
        case 2: saveoff(&fmode); ascopon                (&amode)
                    ; break;
        case 3: saveon(&fmode); ascopoff                (&amode,
xmax, ymin) ; continue;
        case 4: saveoff(&fmode); ascopon                (&amode)
                    ; continue;
        case 5: displayon(&dmode)                        ; continue;
        case 6: displayoff(&dmode)                       ; continue;
        case 7: gatedw(xmax, ymin, &gateu                pper, gat
ewidth) ; continue;
        case 8: gateup(xmax, ymin, &gateu                pper, gat
ewidth) ; continue;
        case 9: rangedw(rangemax, &range,                xmax, ym
in, ywidth); contique;
        case 10: rangeup(rangemin, &range,               xmax, ym
in, ywidth); continue;
        default: continue;
    }
    break;
}
}

```

```

if(mode == 'I')
{
    printf("%x1b[>5l");
    printf("%x1b[23;15HSampling interval (1, 2, 3, 4,
        6, 8, 12, 24hours) ? ");
    scanf("%d",&sampl_hour);
    printf("%x1b[23;15HSampling time (1 to 59minutes) ? ");
    printf("%x1b[23;48H");
    scanf("%d",&sampl_min);
    printf("%x1b*"); printf("%x1b[>5h");
    printf("%x1b[1;10HSampling: %dminutes for each %dh
ours",sampl_min,sampl_hour);

```

```

    depthscale(range, xmax, ymin, ywidth);
    colorscale(cmode, clr , xmax, ymin, emax);
    gateup(xmax, ymin, &gateupper, gatewidth);
    gatedw(xmax, ymin, &gateupper, gatewidth);

```

```

    ADCINT(echo, echobuf, &range);
    past = -1;

```

```

setfkey(mode);
/*diskfree();*/

while(1)
{
    ADC();
    pingnumb = echo[2] + (echo[3] << 8);
    printf("%x1b[1;%dH%8u", xpos, pingnumb);

    hour = echo[7]; min = echo[8];
    if(fmode == 0 && ((hour % sampl_hour) == 0)
        && min == 0)
    {
        saveon(&fmode);
        ascopoff(&amode, xmax, ymin);
    }
    if(fmode == 1 && min == sampl_min)
    {
        saveoff(&fmode);
        ascopon(&amode);
    }
    if(fmode == 1) savedata();

    if(dmode)
    {
        plotecho(xmax, ymin, clr);
        timemark(range, xmax, ymin, &past);
        SCROLL(xmin, xmax, ymin, ymax + 6);
        SCROLL(xmin, xmax + 17, ymin - 20,
            ymin - 7);
        if(amode) ascop(mode, xmax, ymin,
gateupper, ga
tewidth, range, emax);
    }

    getfkey(&fkey);
    switch(fkey)
    {
        case 1: saveoff(&fmode); printf("
l")           %x1b[>5
                ; exit();
        case 2: saveoff(&fmode)           ; break;
        case 5: displayon(&dmode)         ; continue;
        case 6: displayoff(&dmode)        ; continue;
        case 7: gatedw(xmax, ymin, &gateu
ewidth)      ; continue;
        case 8: gateup(xmax, ymin, &gateu
ewidth)      ; continue;
        case 9: rangedw(rangemax, &range,
in, ywidth); continue;
        case 10: rangeup(rangemin, &range,
in, ywidth); continue;

```

```

    default: continue;
    }
    break;
}
}

if(mode == 'R')
{
    depthscale(range, xmax, ymin, ywidth);
    colorscale(cmode, clr, xmax, ymin, emax);
    gateup(xmax, ymin, &gateupper, gatewidth);
    gatedw(xmax, ymin, &gateupper, gatewidth);

    past = -1;
    setfkey(mode);
    while((i = fselect()) >= 0)
    {
        openload();
        while(loaddata() == 0)
        {
            pingnumb = echo[2] + (echo[3] << 8);
            printf("%x1b[1;%dH%8u", xpos, ping
                numb);
            if(dmode)
            {
                range = echo[0] + (echo[1]
                    << 8);
                if (range != range0)
                {
                    depthscale(range,
                        xmax, ymin, y
width);
                    range0 = range;
                }
                plotecho(xmax, ymin, clr);
                timemark(range, xmax, ymin,
                    &past);
                SCROLL(xmin, xmax, ymin, y
max + 6);
                SCROLL(xmin, xmax + 17, ym
in - 2
0, ymin - 7);
                if(amode) ascop(mode, xmax,
                    ymin, gate
upper, gatewidth, range, emax);
            }
            getfkey(&fkey);
            switch(fkey)
            {
                case 1: saveoff(&fmode);
                    printf("%x1b[>51")
                        ; exit();
                    prin
                case 2: saveoff(&fmode);
                    i =
                    -1
                    ; break;
            }
        }
    }
}

```

```

        case 5: displayon(&dmode)                ; continue;
        case 6: displayoff(&dmode)              ; continue;
        case 7: gatedw(xmax, ymin,                &g
                    ateupper, gatewidth); continue;
        case 8: gateup(xmax, ymin,                &g
                    ateupper, gatewidth); continue;
        default: continue;
    }
    break;
}
fcloseall();
if(i < 0) break;
}
}
}
}
}

```

```

depthscale(range, xmax, ymin, ywidth)
    int range, xmax, ymin, ywidth;
{
    int    n    =    5,
    depth
    ddepth = range / n ,
    dy     = ywidth / n;
    int    x, y;

    y = ymin - 8;
    for (depth = 0; depth <= range; depth = depth + ddepth)
    {
        x = xmax;
        _gputchar(x, y, '-', _GPSET);
        x = x + 8;
        n = depth;
        if (depth >= 100) _gputchar(x, y, n / 100 + 0x30, _GPSET);
        else _gputchar(x, y, ' ', _GPSET);
        x = x + 8;
        n = n % 100;
        if (depth >= 10) _gputchar(x, y, n / 10 + 0x30, _GPSET);
        else _gputchar(x, y, ' ', _GPSET);
        x = x + 8;
        n = n % 10;
        _gputchar(x, y, n + 0x30, _GPSET);
        y = y + dy;
    }
    y = y - dy + 16;
    _gputchar(x, y, 'm', _GPSET);
}

```

```

setfkey(mode)
    int mode;

```

```

{
    printf("%x1b[>1h");
    printf("%x1b[%d;%dH", 25, 1);
    if(mode == 'N')
    {
        printf("%x1b[7m"); printf("finish "); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf(" mode "); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("save on"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("save of"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("disp on"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("disp of"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("gate ↓"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("gate ↑"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("range ↓"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("range ↑"); printf("%x1b[0m ");
    }
    else if(mode == 'I')
    {
        printf("%x1b[7m"); printf("finish "); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf(" mode "); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf(" "); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf(" "); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("disp on"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("disp of"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("gate ↓"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("gate ↑"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("range ↓"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("range ↑"); printf("%x1b[0m ");
    }
    else
    {
        printf("%x1b[7m"); printf("finish "); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf(" mode "); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf(" "); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf(" "); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("disp on"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("disp of"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("gate ↓"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf("gate ↑"); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf(" "); printf("%x1b[0m ");
        printf("%x1b[7m"); printf(" "); printf("%x1b[0m ");
    }
    printf("%x1b[1;1H");
}

getfkey(fkey)
    int *fkey;
{
    *fkey = 0;

```

```

if (kbhit())
{
    if(getch() == 27)
    {
        *fkey = getch()-82;
        switch(*fkey)
        {
            case 8: *fkey = 10; break;
            case -1: *fkey = 9; break;
            case -2: *fkey = 8; break;
            case -8: *fkey = 7; break;
            case -13: *fkey = 6; break;
        }
    }
}

rangedw(rangemax, range, xmax, ymin, ywidth)
    int rangemax, *range, xmax, ymin, ywidth;
{
    if(*range < rangemax)
    {
        *range = *range + *range;
        switch(*range)
        {
            case 20: *range = 25; break;
            case 200: *range = 250; break;
        }
        depthscale(*range, xmax, ymin, ywidth);
    }
}

rangeup(rangemin, range, xmax, ymin, ywidth)
    int rangemin, *range, xmax, ymin, ywidth;
{
    if(rangemin < *range)
    {
        *range = *range / 2;
        switch(*range)
        {
            case 125: *range = 100; break;
            case 12: *range = 10; break;
        }
        depthscale(*range, xmax, ymin, ywidth);
    }
}

plotecho(xmax, ymin, clr )
    int xmax, ymin, clr[]:
{

```

```

int    i, y, c;

for(i = 0, y= ymin; i < echobuf; i++, y++)
{
    c = (echo[i] >> 5);
    _setcolor(clr[c]);
    _setpixel(xmax, y);
}
_setcolor(7);
}

timemark(range, xmax, ymin, past)
    int range, xmax, ymin, *past;
{
    int    sec, min, hou, x, y;

    hou = echo[7];
    min = echo[8];
    sec = echo[9];
    if (*past < 0 && sec) *past = min;
    if( (min != *past) )
    {
        *past = min;
        if( (range <= 250) || (min % 2 == 0) )
        {
            x = xmax - 21; y = ymin - 22;
            _gputchar(x, y, hou / 10 + 0x30, _GPSET); x = x +
                8;
            _gputchar(x, y, hou % 10 + 0x30, _GPSET); x = x +
                8;
            _gputchar(x, y, ':', _GPSET); x = x +
                8;
            _gputchar(x, y, min / 10 + 0x30, _GPSET); x = x +
                8;
            _gputchar(x, y, min % 10 + 0x30, _GPSET);
        }
    }
}

colorscale(cmode, clr , xmax, ymin, emax)
    int cmode, clr[], xmax, ymin, emax;
{
    int    c, x, y;
    if(cmode == 'C')
    {
        clr[0] = 0; clr[1] = 1; clr[2] = 3; clr[3] = 2;
        clr[4] = 7; clr[5] = 6; clr[6] = 5; clr[7] = 4;
    }
    else
    {

```

```

clr[0] = 0; clr[1] = 1; clr[2] = 4; clr[3] = 5;
clr[4] = 2; clr[5] = 3; clr[6] = 6; clr[7] = 7;
}

```

```

x = xmax + 8 * 6; y = ymin - 17;
for(c = 0; c < 8; c++)
{
    _setcolor(clr[c]);
    _rectangle(_GFillInterior, x, y, x + 16, y + 16);
    x = x + 16;
}
x = xmax + 8 * 6;
_setcolor(7);
_rectangle(_GBORDER, x - 1, y, x + 16 * 8, y + 16);
x = xmax + 8 * 6 - 4; y = y - 16;
_gputchar(x, y, '0', _GPSET);
x = x + 8 * 16 - 8;
_gputchar(x, y, 'V', _GPSET); x = x + 8;
_gputchar(x, y, 'V', _GPSET);
x = xmax + 8 * 6 - 1;
_moveto(x, ymin); _lineto(x, ymin + echobuf);
}

```

```

ascop(mode, xmax, ymin, gateupper, gatewidth, range, emax)
int mode, xmax, ymin, gateupper, gatewidth, range, emax;
{
    int i, e, x, y, x0, x8, xx;
    int max, imax, yu, yl;
    float v, depth;

    x0 = xmax + 48; x8 = x0 + 128; xx = x0;
    max = 0; imax = 0;
    for(i = 0, y = ymin; i < echobuf; i++, y++)
    {
        _setcolor(0); _moveto(x0, y); _lineto(x8, y);
        e = echo[i];
        if(e < 0) e = 0; else if(e > 255) e = 255;
        x = x0 + (e >> 1);
        _setcolor(7); _moveto(xx, y); _lineto(x, y);
        xx = x;
        if(gateupper <= y && y <= (gateupper + gatewidth))
        {
            if(e > max)
            {
                max = e;
                imax = i;
            }
        }
    }
}

```

```

yu =(gateupper >> 4) + 1;
yl = yu + (gatewidth >> 4);
x = (xmax >> 3) + 24;
v = (float)max / 256. * (float)emax;
depth = (float)imax * (float)range / 250.;
printf("¥x1b[%2d;%2dH%4.2fV", yu, x, v);
if(range < 100)
    printf("¥x1b[%2d;%2dH%4.1fm", yl, x, depth);
else
    printf("¥x1b[%2d;%2dH%4.0fm", yl, x, depth);
}

saveon(fmode)
    int *fmode;
{
    int year, mont, date, hour, mint;

    *fmode = 1;
    fname[0] = drive + 0x40;
    fname[1] = ':';
    year = echo[4]; fname[2] = year % 10 + 0x30;
    mont = echo[5]; fname[3] = mont + 0x30; if(mont >= 10) fname[3] = fname[3] + 7;
    date = echo[6]; fname[4] = date / 10 + 0x30; fname[5] = date % 10
                                + 0x30;
    hour = echo[7]; fname[6] = hour / 10 + 0x30; fname[7] = hour % 10
                                + 0x30;
    mint = echo[8]; fname[8] = mint / 10 + 0x30; fname[9] = mint % 10
                                + 0x30;

    fname[10] = '.';
    fname[11] = 'D';
    fname[12] = 'A';
    fname[13] = 'T';
    fname[14] = '¥0';

    if((fstream = fopen(fname, "wb")) == NULL)
    {
        printf("¥x1b[5;1H%s can't open for output", fname);
        exit(9); printf("¥x1b[>5l");
    }

    printf("¥x1b[24;17H%s", fname);
}

saveoff(fmode)
    int *fmode;
{
    *fmode = 0;
    fcloseall();
    printf("¥x1b[24;17H                                     ¥x1b[23;1H");

```

```

}

savedata()
{
    int n;

    n = fwrite(echo, echobuf, 1, fstream);
    if(n != 1)
    {
        fcloseall();
        if(drive == 1) drive = 2;
        else drive = 1;
        saveon();

        n = fwrite(echo, echobuf, 1, fstream);
        if(n != 1)
        {
            fcloseall();
            printf("%x1b[5;1H%s can't save", fname);
            exit(); printf("%x1b[>5l");
        }
    }
    /*diskfree();*/
}

loaddata()
{
    int endf;

    endf = feof(fstream);
    if(endf == 0) fread(echo, echobuf, 1, fstream);
    return(endf);
}

openload()
{
    if((fstream = fopen(fname, "rb")) == NULL)
    {
        printf("%x1b[5;1H%s can't open for input", fname);
        exit(9); printf("%x1b[>5l");
    }
    printf("%x1b[24;17H%s", fname);
}

displayon(dmode)
    int *dmode;
{
    *dmode = 1;
    _setvisualpage(0);
    printf("%x1b[10;32H      ");
}

```

```

}

displayoff(dmode)
    int *dmode;
{
    *dmode = 0;
    _setvisualpage(1);
    printf("%x1b[10;32HDisplay off");
}

ascopon( amode)
    int *amode;
{
    *amode = 1;
    printf("%x1b[10;60H      ");
}

ascopoff( amode, xmax, ymin)
    int *amode, xmax, ymin;
{
    int    y, yy;

    *amode = 0;
    _setcolor(0);
    _rectangle(_G_FILLINTERIOR, xmax + 48, ymin, xmax + 176, ymin + echobuf);
    _setcolor(7);
    yy = (ymin >> 4);
    for (y = yy; y < yy + 17; y++)
    {
        printf("%x1b[%d;75H      ", y);
    }
    printf("%x1b[10;60HA-scope off");
}

gatedw(xmax, ymin, gateupper, gatewidth)
    int xmax, ymin, *gateupper, gatewidth;
{
    int x, yu, yl;

    yu = (*gateupper >> 4) + 1;
    yl = yu + (gatewidth >> 4);
    if (yl <= ((ymin + 256) >> 4))
    {
        x = (xmax >> 3) + 8;
        printf("%x1b[%2d;%2dH      ", yu, x);
        printf("%x1b[%2d;%2dH      ", yl, x);

        *gateupper = *gateupper + 16;
        yu = yu + 1;
        yl = yl + 1;
    }
}

```

```

    printf("%x1b[%2d;%2dH-----", yu, x);
    printf("%x1b[%2d;%2dH-----", yl, x);
}
}

gateup(xmax, ymin, gateupper, gatewidth)
    int xmax, ymin,*gateupper, gatewidth;
{
    int x, yu, yl;

    yu =(*gateupper >> 4) + 1;
    yl= yu + ( gatewidth >> 4);
    if(yu >= ((ymin + 32)>> 4))
    {
        x = (xmax >> 3) + 8;
        printf("%x1b[%2d;%2dH", yu, x);
        printf("%x1b[%2d;%2dH", yl, x);

        *gateupper = *gateupper - 16;
        yu = yu - 1;
        yl= yl - 1;
        printf("%x1b[%2d;%2dH-----", yu, x);
        printf("%x1b[%2d;%2dH-----", yl, x);
    }
}

fselect()
{
    struct          find_t dat_file;
    static int      fnumb = -1      ;
    int             i, j, k          ;
    char            file[50][15], temp[15], driv[2];

    if(fnumb < 0)
    {
        i = 0;
        if(_dos_findfirst("A:*.DAT", _A_NORMAL, &dat_file) == 0)
        {
            if(dat_file.size != 0)
            {
                strncpy(file[i], dat_file.name, 8); strcat(file[i], "A")
                i = i + 1;
            }
            while(_dos_findnext(&dat_file) == 0)
            {
                if(dat_file.size != 0)
                {
                    strncpy(file[i], dat_file.name, 8)
                    strcat(file[i], "A");
                    i = i + 1;
                }
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    }
}

if(_dos_findfirst("B:*.DAT", _A_NORMAL, &dat_file) == 0)
{
    if(dat_file.size != 0)
    {
        strncpy(file[i], dat_file.name, 8); strcat
            (file[i], "B");
        i = i + 1;
    }
    while(_dos_findnext(&dat_file) == 0)
    {
        if(dat_file.size != 0)
        {
            strncpy(file[i], dat_file.name, 8)
treat(file[i], "B");
            i = i + 1;
        }
    }
}

for(j = 0; j < i - 1; j++)
{
    for(k = j + 1; k < i; k++)
    {
        if(strcmp(file[j], file[k]) < 0)
        {
            strcpy(temp, file[j]);
            strcpy(file[j], file[k]);
            strcpy(file[k], temp );
        }
    }
}

for(j = 0; j < i; j++)
{
    strcpy(temp, file[j]);
    strrev(temp);
    strncpy(driv, temp, 1);
    strcpy(temp, driv);
    strcat(temp, ":");
    strncat(temp, file[j], 8);
    strcat(temp, ".DAT");
    strcpy(file[j], temp);
}
fnumb = i;
; s

```

```

    }
    fnumb = fnumb - 1;
    if(fnumb >= 0) strcpy(fname, file[fnumb]);
        else strcpy(fname, "No find file ");

    return (fnumb);
}

diskfree()
{
    struct diskfree_t drive;
    long bt;

    _dos_getdiskfree(1, &drive);
    bt = drive.avail_clusters;
    bt = bt * drive.sectors_per_cluster;
    bt = bt * drive.bytes_per_sector;
    printf("%x1b[24;62HA:%-7lu", bt);

    _dos_getdiskfree(2, &drive);
    bt = drive.avail_clusters;
    bt = bt * drive.sectors_per_cluster;
    bt = bt * drive.bytes_per_sector;
    printf("%x1b[24;72HB:%-7lu", bt);
}

```



```
MOV    DX, ADCPRT
OUT    DX, AL
```

```
POP    BP
RET
```

```
_ADCINT ENDP
```

```
BUFADR DW    ?      ;引数
BUFSIZ DW    ?
RANGE  DW    ?
```

```
PNUMB  DW    ?
YEAR   DB    ?
MONT   DB    ?
DATE   DB    ?
HOUR   DB    ?
MINU   DB    ?
SECO   DB    ?
```

```
INTMSK DB    ?
```

```
CLOCK  DW    ?
PULSE  DW    ?
```

```
;;;;;;;; ADC ::::::::::;
```

```
        PUBLIC _ADC
_ADC    PROC    FAR
```

```
        PUSH    BP
```

```
        MOV     BX,CS:[BUFADR]  ;バッファアドレス
        MOV     CX,CS:[BUFSIZ]  ;入力データ数
```

```
        MOV     AX, CHANEL+1
        MOV     DX, ADCPRT
        OUT     DX, AL
        NOP
```

```
        IN      AX,DX
```

```
        PUSH    AX
```

```
        POP     AX
```

```
        PUSH    AX
```

```
        POP     AX
```

```
trgwait: IN     AX,DX
```

```
        PUSH    AX
```

```
        POP     AX
```

```
        PUSH    AX
```

```
        POP     AX
```

```
        SHR     AX,1
```

```

        SHR     AX,1
        SHR     AX,1
        SHR     AX,1
;        CMP     AL,8
        CMP     AL,50
        JA      trgwait
        MOV     AX, CHANEL
        OUT     DX, AL

;        MOV     DX,TRIGPT    ;送信トリガ・ハ°ルス on
;        MOV     AX,00FH
;        OUT     DX,AL

        MOV     AX,CS:[CLOCK]    ;タイマースタート
        OUT     TIMEPT,AL
        MOV     AL,AH

        OUT     TIMEPT,AL

        CLI
        IN      AL,INTPRT+2    ;タイマ割込許可
        PUSH    AX
        MOV     AL, not INTTMK
        OUT     INTPRT+2,AL
        STI

;        MOV     SI,CS:[PULSE]
;trigger:MOV     AL,EOI
;        OUT     INTPRT,AL
;trgwait:TEST    AL,AL
;        JNZ     trgwait
;        INC     BX
;        DEC     CX
;        DEC     SI
;        JNZ     trigger
;
;        MOV     AX,0F0H    ;送信トリガ・ハ°ルス off
;        OUT     DX,AL

        MOV     DX, ADCPRT    ;ADC入力
adc:     MOV     AL,EOI
        OUT     INTPRT,AL
adcwait:TEST    AL,AL
        JNZ     adcwait
        IN      AX,DX
        SHR     AX,1
        SHR     AX,1
        SHR     AX,1
        SHR     AX,1

```

```

MOV     [BX],AL
INC     BX
LOOP    adc

MOV     AL,TIMEND           ;タイマーストップ°
OUT     TIMEPT+6,AL

POP     AX                 ;タイマ割込禁止
OUT     INTPRT+2,AL

MOV     AL,EOI
OUT     INTPRT,AL

INC     CS:[PNUMB]
CALL    HEADER
CALL    PARAMTR

POP     BP
RET

_ADC    ENDP

INTT:   XOR     AX,AX
        IRET

;;;;;;;;; SCROLL ;;;;;;;;;;

VRAM    EQU     0A800H

        PUBLIC  _SCROLL
_SCROLL PROC    FAR
        PUSH    BP

        MOV     BP,SP
        MOV     CX,4           ;引数の数
        LEA     BX,XMIN        ;最初の引数
        CALL    ARGUMENT

        PUSH    DS
        PUSH    SI
        PUSH    DI

        MOV     AX,VRAM
        MOV     DS,AX

        MOV     CX,4
        SHR     CS:[XMIN],CL
        SHL     CS:[XMIN],1
        SHR     CS:[XMAX],CL

```

```

        SHL     CS:[XMAX],1

        MOV     AX,CS:[YMAX]      ;YMAX-YMIN+1
        SUB     AX,CS:[YMIN]
        INC     AX
        PUSH    AX

        MOV     AX,CS:[YMIN]      ;YMIN*50H+XMAX
        MOV     DX,50H
        MUL     DX
        ADD     AX,CS:[XMAX]
        PUSH    AX

        MOV     DI,CS:[XMAX]      ;(XMAX-XMIN)/2+1
        SUB     DI,CS:[XMIN]
        SHR     DI,1
        INC     DI

three:   POP     SI
        POP     DX
        PUSH    DX
        PUSH    SI

line:    MOV     BX,SI
        MOV     CX,DI
        CLC

column:  MOV     AX,[BX]
        RCL     AH,1
        RCL     AL,1
        MOV     [BX],AX
        DEC     BX
        DEC     BX
        LOOP    column

        ADD     SI,50H
        DEC     DX
        JNZ     line

        MOV     AX,DS
        ADD     AX,800H
        MOV     DS,AX
        CMP     AX,0C000H
        JNZ     three

        POP     SI
        POP     DX

        POP     DI
        POP     SI

```

```

        POP    DS
        POP    BP
        RET
_SCROLL ENDP

XMIN    DW     ?           ;引数
XMAX    DW     ?
YMIN    DW     ?
YMAX    DW     ?

PARAMTR: MOV    BX,CS:[RANGE]
        MOV    AX,[BX]
        LEA    BX,RNG
        MOV    SI,0
pagain:  CMP    AX,CS:[BX+SI]
        JZ     catch
        ADD    SI,2
        CMP    SI,7*2 ;レンジは7段階であること
        JNZ    pagain
        MOV    AX,0       ;error return(AX=0)
        RET
catch:   LEA    BX,CLK
        MOV    AX,CS:[BX+SI]
        MOV    CS:[CLOCK],AX
        LEA    BX,PLS
        MOV    AX,CS:[BX+SI]
        MOV    CS:[PULSE],AX
        RET
RNG      DW     5, 10, 25, 50, 100, 250, 500 ; range(m)
CLK      DW     66, 131, 328, 655,1311,3277,6554 ; clock(2.4576MHz)
PLS      DW     8, 4, 2, 1, 1, 1, 1 ; pulse(clock)
        ; 213, 213, 267, 267, 533,1333,2667 ; pulse(μsec)
        ; 以上はレンジに相当するスクリーン長さが250ドットの場合である

HEADER:  CALL    GETDATE
        CALL    GETTIME

        MOV    BX,CS:[BUFADR] ;バッファアドレス
        MOV    SI,CS:[RANGE]
        MOV    AX,[SI]
        MOV    [BX],AX
        ADD    BX,2

        MOV    AX,CS:[PNUMB]
        MOV    [BX],AX
        ADD    BX,2

        MOV    AL,CS:[YEAR]
        MOV    AH,CS:[MONT]

```

```

        MOV     [BX],AX
        ADD     BX,2

        MOV     AL,CS:[DATE]
        MOV     AH,CS:[HOUR]
        MOV     [BX],AX
        ADD     BX,2

        MOV     AL,CS:[MINU]
        MOV     AH,CS:[SECO]
        MOV     [BX],AX

        RET

GETDATE:MOV     AH,2AH
        INT     21H
        MOV     AX,CX
        MOV     CL,100
        DIV     CL
        MOV     CS:[YEAR],AH      ;(0 to 99)
        MOV     CS:[MONT],DH      ;(1 to 12)
        MOV     CS:[DATE],DL      ;(1 To 31)
        RET

GETTIME:MOV     AH,2CH
        INT     21H
        MOV     CS:[HOUR],CH      ;(0 to 23)
        MOV     CS:[MINU],CL      ;(0 to 59)
        MOV     CS:[SECO],DH      ;(0 to 59)
        RET

ARGMNT: ADD     BP, 6
argmnt1:MOV     AX, [BP]
        MOV     CS:[BX], AX
        ADD     BP, 2
        ADD     BX, 2
        LOOP    argmnt1
        RET

ESOUNDER_TEXT  ENDS
                END

```

```
CLS
SCREEN 87
X0 = 318: Y0 = 350: REPEAT = 10: SCALE = 270 / REPEAT: PI = 3.14159: RAD = PI / 180
C = 1500: col = 2
```

```
LOCATE 2, 5: PRINT "Freq.  = "; F!; " kHz"
LOCATE 3, 5: PRINT "Dia.   = "; D!; " mm"
LOCATE 4, 5: PRINT "No.    = "; T$
LOCATE 2, 55: PRINT "Beamwidth(-3dB) ="
LOCATE 3, 55: PRINT "                Φ  = "
```

```

FOR A = 0 TO 180 STEP 10
    COSA = COS(A * RAD)
    SINA = SIN(A * RAD)
    FOR I = 1 TO 5 * REPEAT
        X = XO + (COSA * SCALE / 5 * I)
        Y = YO - (SINA * SCALE / 5 * I)
        PSET (X, Y), 4
    NEXT I
    X% = X + 8 * (4 * COSA - 1.5): Y% = Y - 8 * (1 + SINA * 3)
    M% = ABS(A - 90)
    'D$ = RIGHT$(STR$(M) + "° ", 4)
    LOCATE Y% / 16 + 1, X% / 8 + 1: PRINT USING "##°"; M%'CALL KPUT(X%, Y%, D$, 7, 0)
    ' WRITE ANGLES
NEXT A

```

- 1 -

```

NEXT M

LOCATE 23, 40: PRINT "dB";                ' WRITE dB

FOR M = 10 TO 40 STEP 10
    LOCATE 23, M * .7 - 3 + 7: PRINT USING "-##"; M;        ' WRITE M OF LEFT
NEXT M

LOCATE 23, 6: PRINT "0";
LOCATE 23, 74: PRINT "0";

PSET (X0, Y0)
LAMDA = C / F!: PHIMAX = 90
FOR PHI = -PHIMAX TO PHIMAX STEP .1
    SINPHI = SIN(PHI * RAD): COSPHI = COS(PHI * RAD)
    R! = EXP((-1) * (ABS(PI * D! * PHI * RAD) / (2 * LAMDA))) ^ 2
    IF R! > 0 THEN
        RR = (1 + 10 * LOG(R!) / LOG(10) / 50): IF RR < 0 THEN RR = 0
        X = X0 + (SINPHI * SCALE * REPEAT * RR)
        Y = Y0 - (COSPHI * SCALE * REPEAT * RR)

        IF PHI = -PHIMAX THEN PSET (X, Y) ELSE LINE (XX, YY)-(X, Y), col

        IF 10 * LOG(R!) / LOG(10) >= -3 THEN
            LOCATE 2, 72: PRINT USING "###.##"; PHI * 2;
            LOCATE 3, 73: PRINT USING "##.####"; 2 * PI * (1 - COS(PHI * RAD))
        END IF
    END IF
    XX = X: YY = Y
NEXT PHI

END

BESSELJ1:      'Allen approximation
    IF Z >= 3 THEN
        ZZ = 3 / Z
        F1 = (((-2.0033E-04 * ZZ + 1.13653E-03) * ZZ - 2.49511E-03) * ZZ + 1.7105E-04)
        * ZZ
        F1 = ((F1 + .0165967) * ZZ + 1.56E-06) * ZZ + .79788456#
        P1 = (((2.9166E-04 * ZZ - 7.9824E-04) * ZZ - 7.4348E-04) * ZZ + 6.37879E-03) *
        ZZ
        P1 = ((P1 - .0000565) * ZZ - .12499612#) * ZZ + .78539816#
        J1 = F1 / SQR(Z) * SIN(Z - P1)
    ELSE
        ZZ = Z * Z / 9
        J1 = (((1.109E-05 * ZZ - 3.1761E-04) * ZZ + 4.43319E-03) * ZZ - .0395429) * ZZ
        J1 = ((J1 + .21093573#) * ZZ - .56249985#) * ZZ + .5
        J1 = J1 * Z
    END IF
RETURN

```

```

DECLARE SUB SCREENSAVE (T$)
DECLARE SUB COLORSCALE (XMAX%, YO%, VRANGE%, C%())
DECLARE SUB DEPTHSIZE (EXMAX%, EYO%, RANGE%)
DECLARE SUB BOTTOMSAVE (RANGE%, FACT!, T$, BOTTOM%, VMAX%)
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,
',
          BOTMECHO'          1994-11-24
',
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

DEFINT A-Z

THRESHOLD = 8
FACT! = .00469

FILE$(1) = "C:66261317.DAT"
FILE$(2) = "C:37121427.DAT"
FILE$(3) = "A:1C051518.DAT"

CLS
EXO = 8 * 4: EYO = 16 * 4 - 8: EXMAX = 640 - 8 * 5
C(0) = 0: C(1) = 1: C(2) = 3: C(3) = 2: C(4) = 7: C(5) = 6: C(6) = 5: C(7) = 4

VRANGE = 5          'Volt
DSIZE! = 16 * 5 * 4 / 250

FOR FLOPPY = 1 TO 1
    LOCATE 25, 1, 1: PRINT "Set ECHO floppy(" + FILE$(FLOPPY) + ") and push any key
    ";
    I$ = INPUT$(1)
    LOCATE 25, 1, 0: PRINT SPC(79);

    OPEN FILE$(FLOPPY) FOR RANDOM AS #1 LEN = 256
        FIELD #1, 2 AS R$, 2 AS P$, 6 AS T$, 246 AS V$

        FOR I = 1 TO LOF(1) / 256 - 1

            IF EXX = 0 OR EXX >= EXMAX THEN
                IF EXX THEN RR = 0: CALL SCREENSAVE(T$)
                CLS
                CALL COLORSCALE(EXMAX, EYO, VRANGE, C())
                EXX = EXO
            END IF

            IF I = LOF(1) / 256 - 1 THEN CALL SCREENSAVE(T$)

            GET #1

            HUR$ = RIGHT$(STR$(ASC(MID$(T$, 4, 1))), 2)
            MIN$ = RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(ASC(MID$(T$, 5, 1)))), 2)
            SEC$ = RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(ASC(MID$(T$, 6, 1)))), 2)
            M = ASC(MID$(T$, 5, 1))

```

```

RANGE = ASC(LEFT$(R$, 1)) + ASC(RIGHT$(R$, 1)) * 256
IF RANGE <> RR THEN
    CALL DEPTHSCALE(EXMAX, EYO, RANGE)
    RR = RANGE
END IF

IF I = 1 THEN MM = M
IF M <> MM THEN
    LOCATE EYO ¥ 16, (EXX - 8 * 2.5) / 8 + 1
    PRINT HUR$ + ":" + MIN$
    MM = M
END IF

LINE (EXX, EYO)-STEP(0, 2), (M MOD 2) * 7
VMAX = 0
BOTTOM = 0
VV = 0
'FOR D = 75 TO 255 'レンジ10m、深さ3mから10mまで
FOR D = 102 TO 255 'レンジ5m、深さ2mから5mまで
    V = ASC(MID$(V$, D - 9, 1))
    IF BOTTOM = 0 AND THRESHOLD <= V THEN BOTTOM = D
    IF BOTTOM AND VMAX < V THEN VMAX = V: DMAX = D
    Y = EYO + D * DSCALE!
    LINE -(EXX, Y), C(V ¥ 32)
NEXT D

BOTTOM! = BOTTOM * RANGE / 256
VMAX! = VMAX * VRANGE / 256 'FACT! * 4.158
DMAX! = DMAX * RANGE / 256
LOCATE 25, 1
PRINT HUR$ + ":" + MIN$ + ":" + SEC$;
PRINT USING "####.##m"; BOTTOM!;
PRINT USING "###.###V(###.##m)"; VMAX!; DMAX!;
    Y = EYO + BOTTOM * DSCALE!: PSET (EXX, Y), 4
    Y = EYO + DMAX * DSCALE!: PSET (EXX, Y), 4
IF VMAX! > 0 THEN
    CALL BOTTOMSAVE(RANGE, FACT!, T$, BOTTOM, VMAX)
END IF
EXX = EXX + 1

```

NEXT I

CLOSE #1

NEXT FLOPPY

END

SUB BOTTOMSAVE (RANGE, FACT!, T\$, BOTTOM, VMAX) STATIC

```

HUR = ASC(MID$(T$, 4, 1))
MIN = ASC(MID$(T$, 5, 1))
SEC = ASC(MID$(T$, 6, 1))

IF N = 0 THEN
    YER = ASC(MID$(T$, 1, 1))
    MON = ASC(MID$(T$, 2, 1))
    DAY = ASC(MID$(T$, 3, 1))
    YER$ = RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(YER)), 2)
    MON$ = RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(MON)), 2)
    DAY$ = RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(DAY)), 2)
    HUR$ = RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(HUR)), 2)
    FILE$ = "D:" + YER$ + MON$ + DAY$ + HUR$ + ".EEE"
    LOCATE 25, 1, 1: PRINT "Set BOTTOM floppy(" + FILE$ + ") and push any key
";

    I$ = INPUT$(1)
    LOCATE 25, 1, 0: PRINT SPC(79);

    OPEN FILE$ FOR OUTPUT AS #2
    PRINT #2, RANGE, FACT!, YER, MON, DAY
    PRINT #2, HUR, MIN, SEC, BOTTOM, VMAX
    N = 1
ELSE
    OPEN FILE$ FOR APPEND AS #2
    PRINT #2, HUR, MIN, SEC, BOTTOM, VMAX

END IF

CLOSE #2

END SUB

SUB COLORSCALE (XMAX, YO, VRANGE, C())
    Y = YO - 16 * 1 - 7: X = XMAX - 16 * 8 - 7
    FOR C = 0 TO 7: LINE (X, Y)-STEP(16, -16), C(C), BF: X = X + 16: NEXT C
    LINE (X, Y)-STEP(-16 * 8, -16), 7, B
    LOCATE Y ¥ 16 - 1, X ¥ 8 - 15: PRINT "0          5V";
END SUB

SUB DEPTHSscale (EXMAX, EYO, RANGE)
    X = EXMAX ¥ 8 + 1: Y = EYO ¥ 16 + 1
    FOR D = 0 TO 5
        LOCATE Y, X: PRINT "-"; USING "###"; D * RANGE / 5;
        Y = Y + 4
    NEXT D
    Y = Y - 5: LOCATE Y, X: PRINT "    m";
END SUB

```

SUB SCREENSAVE (T\$) STATIC

```
MON = ASC(MID$(T$, 2, 1)): DAY = ASC(MID$(T$, 3, 1))
H = ASC(MID$(T$, 4, 1)): M = ASC(MID$(T$, 5, 1))
FILE$ = "D:" + RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(MON)), 2)
FILE$ = FILE$ + RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(DAY)), 2)
FILE$ = FILE$ + RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(H)), 2)
FILE$ = FILE$ + RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(M)), 2)
LOCATE 25, 1, 1: PRINT "Set SCREEN floppy(" + FILE$ + ") and push any key ";
I$ = INPUT$(1)
LOCATE 25, 1, 0: PRINT SPC(79);
```

```
N = N + 1
IF N > 10 THEN
    N = 1
    LOCATE 25, 1, 1: PRINT "Change D:SCREEN floppy then push any key ";
    I$ = INPUT$(1)
    LOCATE 25, 1, 0: PRINT SPC(79);
END IF
```

```
DEF SEG = &HA800: BSAVE FILE$ + ".BLU", 0, &H7D00
DEF SEG = &HB000: BSAVE FILE$ + ".GRN", 0, &H7D00
DEF SEG = &HB800: BSAVE FILE$ + ".RED", 0, &H7D00
DEF SEG = &HA000: BSAVE FILE$ + ".TXT", 0, &H4000
```

```
LOCATE 25, 1, 1: PRINT "Set D:BOTTOM floppy and push any key ";
I$ = INPUT$(1)
LOCATE 25, 1, 0: PRINT SPC(79);
```

END SUB

```

DECLARE SUB AXIS (AXO%, AYO%)
.....
'
'          VOLT__PSI
'
'          1996 3 6
'
.....

DEFINT A-Z

CLS
SCREEN 87
'LOCATE 1, 10: INPUT "INPUT FILE name(.DAT)"; FILE$
'LOCATE 2, 10: INPUT "INPUT SL(dB) "; SL$
'LOCATE 3, 10: INPUT "INPUT ME(dB) "; ME$
'LOCATE 4, 10: INPUT "INPUT RG(dB) "; RG$
'LOCATE 5, 10: INPUT "INPUT DEPTH(m)"; R$
LOCATE 6, 10: INPUT "TR type "; TR$
'LOCATE 7, 10: INPUT "Freq.(kHz) "; F$

SL! = 199'5.9'VAL(SL$)
ME! = -183.5'VAL(ME$)
RG! = 19.2'VAL(RG$)
R! = 2.5'VAL(R$)
F! = 200'VAL(F$)
C! = 1500
TAU! = 2
A! = 34.5
PI! = 3.14

DRIVE$ = "B:"
FILE$ = "5A300939.DAT"
PRINT : PRINT DRIVE$ + FILE$ + ".DAT"

AXO = 88: AYO = 288:

VRANGE! = 5          'Volt
DSCALE! = 1
VSCALE! = 16 * 8 / VRANGE! / 256 '=1
CLS
CALL AXIS(AXO, AYO)

OPEN DRIVE$ + FILE$ + ".DAT" FOR BINARY AS #1
  WHILE EOF(1) = 0 AND INKEY$ = ""
    D$ = INPUT$(10, 1)
    RANGE! = ASC(LEFT$(D$, 1)) + ASC(MID$(D$, 2, 1)) * 256
    HUR$ = RIGHT$(STR$(ASC(MID$(D$, 8, 1))), 2)
    MIN$ = RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(ASC(MID$(D$, 9, 1)))), 2)
    SEC$ = RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(ASC(MID$(D$, 10, 1)))), 2)
    LOCATE 1, 10: PRINT RANGE!; "m", HUR$; ":"; MIN$; ":"; SEC$
    PSET (88 + 250, 288)
    FOR I = 11 TO RANGE! * 10
      D! = (I - 1) / 10

```

```

        V = ASC(INPUT$(1, 1))
        V! = V * VSCALE! / 5
        IF V! > 0 THEN
            PSY! = 10 * LOG(V! ^ 2) / LOG(10) - (SL! + ME! + RG! - 20
* LOG(R!) / LOG(10))
            PSI! = 10 ^ (PSY! / 10)
        END IF
        LOCATE 1, 20: PRINT USING "V =##.##v "; V!;
        LOCATE 2, 20: PRINT USING "D =##.##m "; d! / 10;
        LOCATE 3, 20: PRINT USING "Φ=#####"; PSI!
        IF INKEY$ = "" THEN EXIT FOR

        Y = AYO - PSI! / .25 * 200 * 5
        X = D! / 4.8 * 480 / 10 + 88' RANGE=4.8m
        'IF D! = 24 THEN
        IF D! > 25 AND D! < 48 THEN
            LINE -(X, Y)', , , &HAA
            IF V! > VMAX! THEN
                VMAX! = V!
                'LINE -(X, Y)', , , &HAA
                LOCATE 5, 60: PRINT "TR type:"; TR$
                LOCATE 6, 60: PRINT USING "Φmax= #####"; PSI!
            END IF
        END IF
    NEXT I

WEND

PSET (88 + R! * 100, 288)
D! = R! * 10
WHILE D! / 10 <= (R! + C! * TAU! / 2 / 1000) AND INKEY$ = ""
    L! = C! / F!
    D! = D! + .1'(D! / 10 + .01) * 10
    PSI! = (2 / PI! * (L! / A!) ^ 2 * (1 - EXP((-1) / 2 * PI! ^ 2 * A! ^ 2 / L!
^ 2 * ATN(SQR((D! / 10) ^ 2 - R! ^ 2) / R!) ^ 2)))
    FI! = (2 / PI! * (L! / A!) ^ 2 * (1 - EXP((-1) / 2 * PI! ^ 2 * A! ^ 2 / L!
^ 2 * (PI! / 2) ^ 2)))

    'PRINT PSI!, R!, Y
    Y = AYO - PSI! / .25 * 200 * 5
    LINE -((D! / 10 - R!) / 4.8 * 480 + 88 + R! * 100, Y), 3, , &HAAAA
    IF PSIMAX! < PSI! THEN PSIMAX! = PSI!
    'LOCATE 7, 60: PRINT USING "Φmax = #####"; PSI!
    'LOCATE 8, 60: PRINT USING "Ψ      = #####"; FI!
WEND
DO WHILE D! / 10 > (R! + C! * TAU! / 2 / 1000) AND INKEY$ = ""
    L! = C! / F!
    D! = D! + .1'(D! / 10 + .01) * 10
    EN! = 2 / PI! * (L! / A!) ^ 2 * (1 - EXP((-1) / 2 * PI! ^ 2 * A! ^ 2 / (L!
^ 2) * (ATN(SQR((D! / 10) ^ 2 - R! ^ 2) / R!) ^ 2)))

```

```

ENKAN! = 2 / PI! * (L! / A!) ^ 2 * (1 - EXP((-1) / 2 * PI! ^ 2 * A! ^ 2 /
(L! ^ 2) * (ATN(SQR((D! / 10! - C! * TAU! / 2 / 1000) ^ 2 - R! ^ 2) / R!) ^ 2)))
PSI! = (EN! - ENKAN!)
'PRINT PSI!, R!, Y
Y = AYO - PSI! / .25 * 200 * 5
LINE -((D! / 10 - R!) / 4.8 * 480 + 88 + R! * 100, Y), , , &HAAAA
IF D! > 48 THEN EXIT DO

```

LOOP

END

SUB AXIS (AXO, AYO)

AXO = 88: AYO = 288

```

X = (AXO - 60) ¥ 8 + 4: Y = (AYO) ¥ 16 + 2
LINE (88, 288)-(568, 288)
LINE (88, 88)-(88, 288)
LOCATE 4, 8: PRINT "Φ(sr)";
FOR S = 0 TO 5
    LINE (88, (S * 200 / 5 + 88))-(94, (S * 200 / 5 + 88))
    IF S <> 0 THEN LOCATE Y - 5, 7: PRINT USING "#.##"; S / 20 / 5;
    IF S = 0 THEN LOCATE Y - 5, 10: PRINT "0";
    Y = Y - 2
NEXT S
FOR J = 0 TO 8
    LINE ((88 + J * 60), 288)-((88 + J * 60), 282)
    IF J >= 1 THEN LOCATE 16, ((88 + J * 60) / 8): PRINT USING "#.##"; J * .6;
    'LOCATE 16, (88 / 8 + 1): PRINT "0"
NEXT J
LOCATE 17, 40: PRINT "R(m) ";

```

END SUB

SUB BOTTOMSAVE (RANGE, FACT!, D\$, BOTTOM, VMAX) STATIC

```

HUR = ASC(MID$(D$, 8, 1))
MIN = ASC(MID$(D$, 9, 1))
SEC = ASC(MID$(D$, 10, 1))

IF N = 0 THEN
    YER = ASC(MID$(D$, 5, 1))
    MON = ASC(MID$(D$, 6, 1))
    DAY = ASC(MID$(D$, 7, 1))
    YER$ = RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(YER)), 2)
    MON$ = RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(MON)), 2)
    DAY$ = RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(DAY)), 2)
    HUR$ = RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(HUR)), 2)
    FILE$ = "D:" + YER$ + MON$ + DAY$ + HUR$ + ".DAT"
    LOCATE 25, 1, 1: PRINT "Set BOTTOM floppy(" + FILE$ + ") and push any key";
    I$ = INPUT$(1)

```

```

        LOCATE 25, 1, 0: PRINT SPC(79);

        OPEN FILE$ FOR OUTPUT AS #2
        PRINT #2, RANGE, FACT!, YER, MON, DAY
        PRINT #2, HUR, MIN, SEC, BOTTOM, VMAX
        N = 1

    ELSEIF BOTTOM > 0 THEN

        OPEN FILE$ FOR APPEND AS #2
        PRINT #2, HUR, MIN, SEC, BOTTOM, VMAX

    ELSE
        CLOSE #2
    END IF

    CLOSE #2

END SUB

SUB COLORSCALE (XMAX, YO, VRANGE, C())
    Y = YO - 16 * 1 - 7: X = XMAX - 16 * 8 - 7
    FOR C = 0 TO 7: LINE (X, Y)-STEP(16, -16), C(C), BF: X = X + 16: NEXT C
    LINE (X, Y)-STEP(-16 * 8, -16), 7, B
    LOCATE Y * 16 - 1, X * 8 - 15: PRINT "0          5V";
END SUB

SUB DEPTHSKALE (EXMAX, EYO, RANGE)
    X = EXMAX * 8 + 1: Y = EYO * 16 + 1
    FOR D = 0 TO 5
        LOCATE Y, X: PRINT "-"; USING "###"; D * RANGE / 5;
        Y = Y + 4
    NEXT D
    Y = Y - 5: LOCATE Y, X: PRINT "    m";
END SUB

SUB SCREENSAVE (D$) STATIC

    MON = ASC(MID$(D$, 6, 1)): DAY = ASC(MID$(D$, 7, 1))
    H = ASC(MID$(D$, 8, 1)): M = ASC(MID$(D$, 9, 1))
    FILE$ = "D:" + RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(MON)), 2)
    FILE$ = FILE$ + RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(DAY)), 2)
    FILE$ = FILE$ + RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(H)), 2)
    FILE$ = FILE$ + RIGHT$("0" + LTRIM$(STR$(M)), 2)
    LOCATE 25, 1, 1: PRINT "Set SCREEN floppy(" + FILE$ + ") and push any key ";
    I$ = INPUT$(1)
    LOCATE 25, 1, 0: PRINT SPC(79);

    N = N + 1
    IF N > 10 THEN

```

```

      N = 1
      LOCATE 25, 1, 1: PRINT "Change D:SCREEN floppy then push any key ";
      I$ = INPUT$(1)
      LOCATE 25, 1, 0: PRINT SPC(79);
END IF

DEF SEG = &HA800: BSAVE FILE$ + ".BLU", 0, &H7D00
DEF SEG = &HB000: BSAVE FILE$ + ".GRN", 0, &H7D00
DEF SEG = &HB800: BSAVE FILE$ + ".RED", 0, &H7D00
DEF SEG = &HA000: BSAVE FILE$ + ".TXT", 0, &H4000

LOCATE 25, 1, 1: PRINT "Set D:BOTTOM floppy and push any key ";
I$ = INPUT$(1)
LOCATE 25, 1, 0: PRINT SPC(79);

END SUB

```



```

CALL PLOT(TX0, TY0, GX0, GY0, XSCALE!, YSCALE!, DLEN, V1(), V2(), FP$)

CALL SAVE(TITLE$, FP$, D1$, D2$)

IF I$ = "N" THEN EXIT DO ELSE IF I$ = "E" THEN END
MODE$ = ""
LOCATE 1, 51: PRINT "Next(N) or End(E)?";
WHILE MODE$ <> "N" AND MODE$ <> "E"
    MODE$ = UCASE$(INPUT$(1))
WEND
LOCATE 1, 51: PRINT "

SELECT CASE MODE$
    CASE IS = "N"
        GOTO INPUTMODE
    CASE ELSE
        END
END SELECT

LOOP
LOOP

GOTO MENU

REPLAYMODE: '*****
CLS
    DRIVE$ = "B:"
    LOCATE 1, 44: PRINT "Set DATA FLOPPY in " + DRIVE$ + " and push anykey"
    WHILE INKEY$ = "": WEND: CLS
    FILES DRIVE$ + " *.*"
    LOCATE CSRLIN - 1, 1: PRINT SPC(40);
    LOCATE , 1: INPUT "File name[.]" ; FILE$
    LOCATE , 1: INPUT "File name[*]" ; ATTR$
    OPEN DRIVE$ + FILE$ + "." + ATTR$ FOR INPUT AS #2
        INPUT #2, TITLE$, FP$, D1$, D2$
    CLOSE #2
    D$ = D$ + "*" + FILE$
    CLS

CALL AXIS(TX0, TY0, GX0, GY0, XSCALE!, YSCALE!)

V1 = VAL("&H" + MID$(FP$, INSTR(FP$, ":") + 2, 1))
V2 = VAL("&H" + MID$(FP$, INSTR(FP$, ":") + 4, 1))
VOLT1! = (-((V1 MOD 3) = 0) * 5 + (V1 MOD 3)) * 10 ^ ((V1 + 2) \ 3 - 3)
VOLT2! = (-((V2 MOD 3) = 0) * 5 + (V2 MOD 3)) * 10 ^ ((V2 + 2) \ 3 - 3)
T = VAL("&H" + MID$(FP$, INSTR(FP$, ":") + 5, 2)) AND &H1F
TIME! = (-((T MOD 3) = 0) * 5 + (T MOD 3)) * 10 ^ ((T + 2) \ 3 - 8)

VMIN1 = 32767: VMIN2 = VMIN1: VMAX1 = 0: VMAX2 = VMAX1
FOR I = 0 TO DLEN - 1
    V1(I) = VAL("&H" + MID$(D1$, I + 1 + OFFSET, 2))
    V2(I) = VAL("&H" + MID$(D2$, I + 1 + OFFSET, 2))

```

```

      NEXT I
      CALL PLOT(TXO, TYO, GXO, GYO, XSCALE!, YSCALE!, DLEN, V1(), V2(), FP$)

```

```
LOCATE 3, 52: PRINT FILE$ + "." + ATTR$
WHILE INKEY$ = "": WEND
```

GOTO MENU

SUB AXIS (TX0, TY0, GX0, GY0, XSCALE!, YSCALE!)

$$TX0 = 40 - 5 * 4: TY0 = 12$$
$$\text{XSCALE!} = 16 * 2 / 50; \text{YSCALE!} = 16 * 2 / 25$$
$$GX0 = TX0 * 8 + 7; GY0 = (TY0 - 1) * 16 + 128 * YSCALE! + 7$$

LOCATE TYO - 4 * 2

```
PRINT SPC(TX0); "
```

```
PRINT SPC(TX0); "
```

```
PRINT SPC(TX0); "
```

```
PRINT SPC(TX0); "
```

```
PRINT SPC(TX0); "
```

```
PRINT SPC(TX0); "
```

```
PRINT SPC(TX0); "
```

```
PRINT SPC(TX0); "
```

```
PRINT SPC(TX0); "
```

```
PRINT SPC(TX0); "
```

```
PRINT SPC(TX0); "
```

```
PRINT SPC(TX0);"
```

```
PRINT SPC(TX0); "
```

```
PRINT SPC(TX0); "
```

```
PRINT SPC(TX0); "
```

```
PRINT SPC(TX0): "
```

```
PRINT SPC(TX0): "
```

END SUB

```
SUB PLOT (TX0, TY0, GX0, GY0, XSCALE!, YSCALE!, DLEN, V1(), V2(), FP$) STATIC
```

IF IND = 0 THEN

VUNT\$(0) = "mV": VUNT\$(1) = "V"

TUNT\$(0) = "ns": TUNT\$(1) = " μ s": TUNT\$(2) = "ms": TUNT\$(3) = "s"

END IF

IF IND THEN

LOCATE Y1! ¥ 16 + 1, TX0 - 7: PRINT " "

LOCATE Y2! ¥ 16 + 1, TX0 + 4 * 10 + 3: PRINT " "

END IF

IND = 1

$$x! = GX0: x = x!$$
$$Y1! = 0; Y2! = 0$$

```
FOR I = 0 TO DLEN - 1
```

```
y = GY0 - V1(I) * YSCALE!
```

```
IF I = I1 THEN PSET (x, y) ELSE LINE (XX, Y1)-(x, y)
```

$$Y1 = y: Y1! = Y1! + y$$

```
y = GY0 - V2(I) * YSCALE!
```

```
IF I = I1 THEN PSET (x, y) ELSE LINE (XX, Y2)-(x, y)
```

$$Y2 = y; Y2! = Y2! + y$$
$$XX = x; x! = x! + XSCALE!; x = x!$$

NEXT I

```
Y1! = Y1! / DLEN: Y2! = Y2! / DLEN
LOCATE Y1! ¥ 16 + 1, TX0 - 7
V1 = VAL("&H" + MID$(FP$, INSTR(FP$, ":") + 2, 1))
VOLT1! = (-((V1 MOD 3) = 0) * 5 + (V1 MOD 3)) * 10 ^ ((V1 + 2) ¥ 3 - 3)
VVAL1! = VOLT1! * 10 ^ ((1 - (V1 + 5) ¥ 9) * 3)
VUNT1$ = VUNT$((V1 + 5) ¥ 9)
PRINT STR$(VVAL1!) + VUNT1$ + "/div"
```

```
LOCATE Y2! ¥ 16 + 1, TX0 + 4 * 10 + 3
V2 = VAL("&H" + MID$(FP$, INSTR(FP$, ":") + 4, 1))
VOLT2! = (-((V2 MOD 3) = 0) * 5 + (V2 MOD 3)) * 10 ^ ((V2 + 2) ¥ 3 - 3)
VVAL2! = VOLT2! * 10 ^ ((1 - (V2 + 5) ¥ 9) * 3)
VUNT2$ = VUNT$((V2 + 5) ¥ 9)
PRINT STR$(VVAL2! * 10) + VUNT2$ + "/div"
PRINT STR$(VVAL2!) + VUNT2$ + "/div"
```

```
LOCATE TY0 + 2 * 4 + 1, TX0 + 18
T = VAL("&H" + MID$(FP$, INSTR(FP$, ":") + 5, 2)) AND &H1F
TIME! = (-((T MOD 3) = 0) * 5 + (T MOD 3)) * 10 ^ ((T + 2) ¥ 3 - 8)
TVAL! = TIME! * 10 ^ ((3 - ((T + 8) ¥ 9)) * 3) + .00000001#
TUNT$ = TUNT$((T + 8) ¥ 9)
PRINT STR$(TVAL!) + TUNT$ + "/div"
```

END SUB

```
SUB SAVE (TITLE$, FP$, D1$, D2$)
MODE$ = ""
LOCATE 1, 15: PRINT "Save(Y/N)?";
WHILE MODE$ <> "Y" AND MODE$ <> "N"
    MODE$ = UCASE$(INPUT$(1))
WEND
```

SELECT CASE MODE\$

```
    CASE IS = "N"
        EXIT SUB
    CASE IS = "Y"
        LOCATE 1, 15: INPUT "File name[.]" ; FILE$
        LOCATE 1, 15: PRINT " ";
        LOCATE 2, 15: INPUT "File name[*]" ; ATTR$
        LOCATE 2, 15: PRINT " ";

        LOCATE 2, 38: PRINT FILE$ + "." + ATTR$;
        OPEN "B:" + FILE$ + "." + ATTR$ FOR OUTPUT AS #2
        WRITE #2, TITLE$, FP$, D1$, D2$
        CLOSE #2
```

END SELECT

END SUB


```

END IF
  NEXT J
    LOCATE (Y ¥ 16 + 1), (X ¥ 8 + 2): PRINT USING "#.#"; TAU!
NEXT M
LINE (39, 279)-(280, 343), 0, BF
END

SUB AXIS (EXO, EYO, XSCALE!, YSCALE!, SEC)
  EXO = 38: EYO = 344
  X = (EXO - 60) ¥ 8 + 4: Y = (EYO - 32) ¥ 16 + 3
  LINE (38, 344)-(598, 344), 3
  LINE (38, 24)-(38, 344), 3

  LOCATE 1, 2: PRINT "d/λ";
  FOR S = 0 TO 5
    LINE (34, (S * 32 * 2 + 24))-(38, (S * 32 * 2 + 24)), 3
    LOCATE Y, 2: PRINT USING "##"; S;
    Y = Y - 4
  NEXT S
  FOR U = 1 TO 20 STEP 1
    LINE (LOG(U * 10) / LOG(10) * 243 + 38, 344)-(LOG(U * 10) / LOG(10) * 243 + 38, 348), 3
    IF U = 1 THEN
      FOR T = 1 TO 5 STEP 1
        LOCATE 23, ((LOG(T) / LOG(10) * 243 + 40) / 8): PRINT USING "#"; T;
        LINE (LOG(T) / LOG(10) * 243 + 38, 344)-(LOG(T) / LOG(10) * 243 + 38, 348), 3
      NEXT T
    END IF
    IF U >= 1 AND U <= 2 THEN
      LOCATE 23, ((LOG(U * 10) / LOG(10) * 243 + 32) / 8): PRINT USING "###"; U * 10;
    END IF
    IF U = 10 THEN LOCATE 23, ((LOG(U * 10) / LOG(10) * 243 + 32) / 8): PRINT USING "###"; U * 1
0;
    IF U = 20 THEN LOCATE 23, ((LOG(U * 10) / LOG(10) * 243 + 32) / 8): PRINT USING "###"; U * 1
0;

  NEXT U
  LOCATE 23, 78: PRINT "mR"
  LOCATE 2, 48: PRINT "τ="
END SUB

```

付録1 水面利用以外の方法による基本性能の較正

1. ハイドロフォンによる較正 Fig. A2a, b の配線で実験に使用した5種類のトランスデューサのソースレベルSL、受波感度MEを求めた。結果はTable A1(b)の通り。

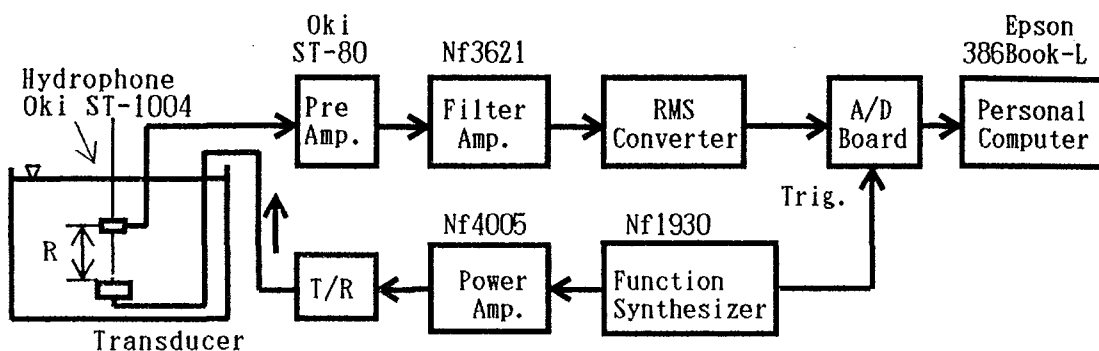


Fig. A2a Measurement of SL

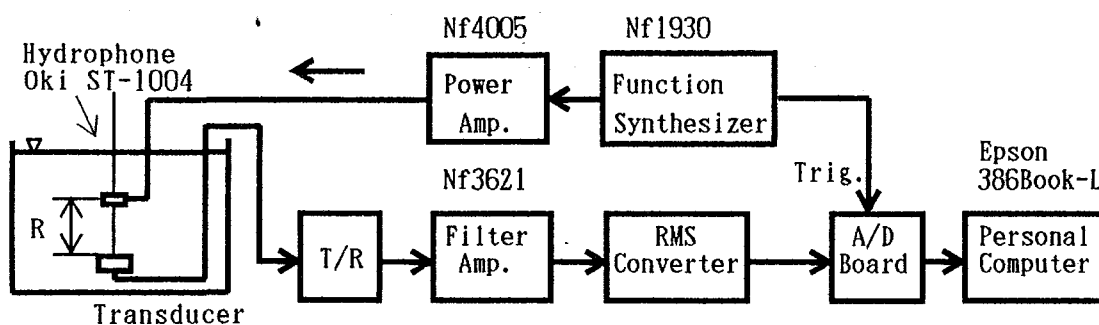


Fig. A2b Measurement of ME

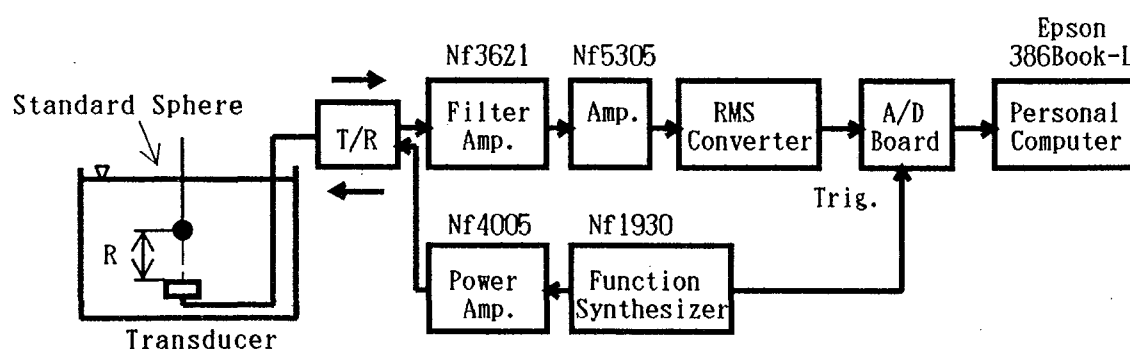


Fig. A2c Measurement of SL+ME

2. 校正球による校正 Fig.A2c の方法でSL + ME を求めた。

結果はTable A1(c) の通り。

Table A1.Parameters and calibration results of transducers used in measurement

Model	50TA10	88B10	1200TA3	5205MS	200B5S
(a) Transducer specifications					
Frequency (kHz)	50	88	120	200	200
Diameter (mm) ¹⁾	51	90	49.5	34.5	49
d/λ	1.7	5.28	3.96	4.6	6.533
(b) Calibration by hydrophone ¹⁾					
SL (dB)	187.0	196.2	196.0	199.0	198.6
ME (dB)	-181.1	-179.8	-181.6	-183.5	-187.0
SL+ME (dB)	5.9	16.4	14.4	15.5	11.6
(c) Calibration by standard sphere					
SL+ME (dB)	18.0	19.0	19.4	19.2	12.2
r (m)					
TS (dB) ²⁾					

¹⁾ SL, ME and r are measured by hydrophone (Oki ST-1004) in tank. SH, source level of hydrophone; MH,

²⁾ Dia., 38.1mm Tangsustain carbaid.

付録5 受信ゲインの測定

Fig.A2d の配線でFunction synthesizer から直接、T/R switch に入力しPersonal computer の出力と比較し受信ゲインを求めた。

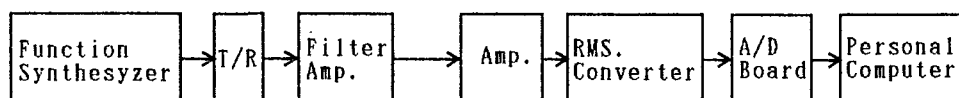
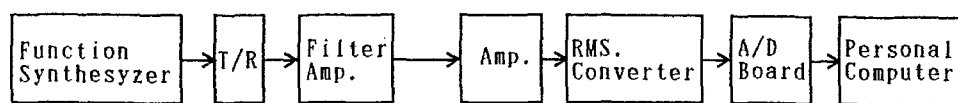


Fig. 2Ad Measurement of RG

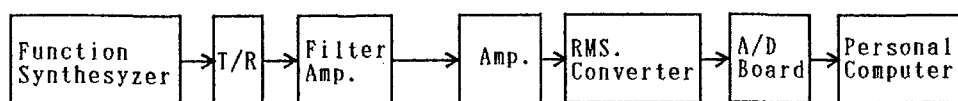
受信ゲイン

50.3kHz Band pass



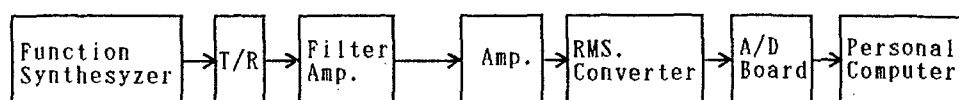
入力	設定値	設定値	出力	Receiver Gain
500mVp-p	× 1 × 1		0.16Vrms	-0.9dB
500mVp-p	× 1 × 2		0.31Vrms	4.9dB
500mVp-p	× 2 × 1		0.31Vrms	4.9dB
500mVp-p	× 2 × 2		0.63Vrms	11.0dB
500mVp-p	× 5 × 1		0.80Vrms	13.1dB
500mVp-p	× 1 × 5		0.80Vrms	13.1dB
500mVp-p	× 5 × 2		1.60Vrms	19.1dB
500mVp-p	× 2 × 5		1.60Vrms	19.1dB
500mVp-p	× 5 × 5		4.02Vrms	27.1dB
500mVp-p	× 1 × 1	× 10	3.05Vrms	24.7dB
200mVp-p	× 1 × 2	× 10	2.42Vrms	30.7dB
200mVp-p	× 2 × 1	× 10	2.44Vrms	30.8dB
100mVp-p	× 2 × 2	× 10	2.42Vrms	36.8dB
100mVp-p	× 5 × 1	× 10	3.07Vrms	38.8dB
100mVp-p	× 1 × 5	× 10	3.01Vrms	38.6dB
50mVp-p	× 5 × 2	× 10	3.05Vrms	44.7dB
50mVp-p	× 2 × 5	× 10	3.01Vrms	44.6dB
20mVp-p	× 5 × 5	× 10	3.07Vrms	52.8dB
50mVp-p	× 1 × 1	× 10 × 10	3.07Vrms	44.8dB
20mVp-p	× 1 × 2	× 10 × 10	2.46Vrms	50.8dB
20mVp-p	× 2 × 1	× 10 × 10	2.46Vrms	50.8dB
10mVp-p	× 2 × 2	× 10 × 10	2.48Vrms	56.9dB
10mVp-p	× 5 × 1	× 10 × 10	3.16Vrms	59.0dB
10mVp-p	× 1 × 5	× 10 × 10	3.11Vrms	58.9dB
5mVp-p	× 5 × 2	× 10 × 10	3.20Vrms	65.2dB
5mVp-p	× 2 × 5	× 10 × 10	3.16Vrms	65.0dB
2mVp-p	× 5 × 5	× 10 × 10	3.42Vrms	73.7dB

88kHz Band Pass 0.75k



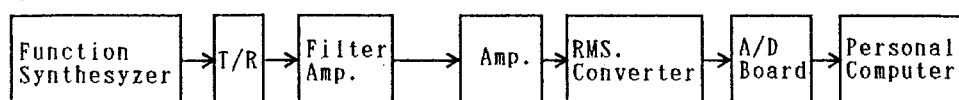
入 力	設 定 値	設 定 値	出 力	Receiver Gain
500mVp-p	× 1 × 1		0.16Vrms	-0.9dB
500mVp-p	× 1 × 2		0.31Vrms	4.9dB
500mVp-p	× 2 × 1		0.33Vrms	5.4dB
500mVp-p	× 2 × 2		0.64Vrms	11.2dB
500mVp-p	× 5 × 1		0.82Vrms	13.3dB
500mVp-p	× 1 × 5		0.80Vrms	13.1dB
500mVp-p	× 5 × 2		1.62Vrms	19.2dB
500mVp-p	× 2 × 5		1.60Vrms	19.1dB
500mVp-p	× 5 × 5		4.04Vrms	27.2dB
300mVp-p	× 1 × 1	× 10	1.91Vrms	25.1dB
200mVp-p	× 1 × 2	× 10	2.54Vrms	31.1dB
200mVp-p	× 2 × 1	× 10	2.54Vrms	31.1dB
100mVp-p	× 2 × 2	× 10	2.54Vrms	37.1dB
100mVp-p	× 5 × 1	× 10	3.20Vrms	39.1dB
100mVp-p	× 1 × 5	× 10	3.14Vrms	39.0dB
50mVp-p	× 5 × 2	× 10	3.20Vrms	45.2dB
50mVp-p	× 2 × 5	× 10	3.16Vrms	45.0dB
20mVp-p	× 5 × 5	× 10	3.22Vrms	53.2dB
50mVp-p	× 1 × 1	× 10 × 10	3.22Vrms	45.2dB
25mVp-p	× 1 × 2	× 10 × 10	2.24Vrms	51.3dB
25mVp-p	× 2 × 1	× 10 × 10	2.26Vrms	51.3dB
10mVp-p	× 2 × 2	× 10 × 10	2.62Vrms	57.4dB
10mVp-p	× 5 × 1	× 10 × 10	3.34Vrms	59.5dB
10mVp-p	× 1 × 5	× 10 × 10	3.28Vrms	59.3dB
5mVp-p	× 5 × 2	× 10 × 10	3.42Vrms	65.3dB
5mVp-p	× 2 × 5	× 10 × 10	3.36Vrms	65.6dB
2mVp-p	× 5 × 5	× 10 × 10	3.75Vrms	74.5dB

120kHz Band Pass 0.79k



入力	設定値	設定値	出力	Receiver Gain
500mVp-p	× 1 × 1		0.16Vrms	-0.9dB
500mVp-p	× 1 × 2		0.33Vrms	5.4dB
500mVp-p	× 2 × 1		0.31Vrms	4.9dB
500mVp-p	× 2 × 2		0.64Vrms	11.2dB
500mVp-p	× 5 × 1		0.82Vrms	13.3dB
500mVp-p	× 1 × 5		0.80Vrms	13.1dB
500mVp-p	× 5 × 2		1.60Vrms	19.1dB
500mVp-p	× 2 × 5		1.62Vrms	19.2dB
500mVp-p	× 5 × 5		4.04Vrms	27.2dB
200mVp-p	× 1 × 1	× 10	1.31Vrms	25.4dB
200mVp-p	× 1 × 2	× 10	2.62Vrms	31.4dB
200mVp-p	× 2 × 1	× 10	2.62Vrms	31.4dB
100mVp-p	× 2 × 2	× 10	2.62Vrms	37.4dB
100mVp-p	× 5 × 1	× 10	3.30Vrms	39.4dB
100mVp-p	× 1 × 5	× 10	3.24Vrms	39.4dB
50mVp-p	× 5 × 2	× 10	3.30Vrms	45.4dB
50mVp-p	× 2 × 5	× 10	3.26Vrms	45.3dB
20mVp-p	× 5 × 5	× 10	3.38Vrms	53.6dB
40mVp-p	× 1 × 1	× 10 × 10	3.64Vrms	45.4dB
20mVp-p	× 1 × 2	× 10 × 10	2.71Vrms	51.7dB
20mVp-p	× 2 × 1	× 10 × 10	2.71Vrms	51.7dB
10mVp-p	× 2 × 2	× 10 × 10	2.71Vrms	57.7dB
10mVp-p	× 5 × 1	× 10 × 10	3.44Vrms	59.8dB
10mVp-p	× 1 × 5	× 10 × 10	3.38Vrms	59.6dB
5mVp-p	× 5 × 2	× 10 × 10	3.44Vrms	65.8dB
5mVp-p	× 2 × 5	× 10 × 10	3.40Vrms	65.7dB
2mVp-p	× 5 × 5	× 10 × 10	3.48Vrms	73.8dB

200kHz Band Pass 0.87



入力

設定値

設定値

出力

Receiver Gain

1Vp-p	× 1 × 1		0.31Vrms	-1.1dB
1Vp-p	× 1 × 2		0.64Vrms	5.2dB
1Vp-p	× 2 × 1		0.64Vrms	5.2dB
1Vp-p	× 2 × 2		1.27Vrms	11.1dB
800mVp-p	× 5 × 1		1.29Vrms	13.1dB
800mVp-p	× 1 × 5		1.31Vrms	13.3dB
400mVp-p	× 5 × 2		1.29Vrms	19.2dB
400mVp-p	× 2 × 5		1.31Vrms	19.3dB
400mVp-p	× 5 × 5		3.24Vrms	27.2dB
500mVp-p	× 1 × 1	× 10	3.20Vrms	25.2dB
300mVp-p	× 1 × 2	× 10	3.85Vrms	31.2dB
300mVp-p	× 2 × 1	× 10	3.85Vrms	31.2dB
100mVp-p	× 2 × 2	× 10	2.56Vrms	37.2dB
100mVp-p	× 5 × 1	× 10	3.22Vrms	39.2dB
100mVp-p	× 1 × 5	× 10	3.16Vrms	39.0dB
50mVp-p	× 5 × 2	× 10	3.22Vrms	45.2dB
50mVp-p	× 2 × 5	× 10	3.16Vrms	45.0dB
20mVp-p	× 5 × 5	× 10	3.20Vrms	53.1dB
50mVp-p	× 1 × 1	× 10 × 10	3.22Vrms	45.2dB
20mVp-p	× 1 × 2	× 10 × 10	2.60Vrms	51.3dB
20mVp-p	× 2 × 1	× 10 × 10	2.60Vrms	51.3dB
10mVp-p	× 2 × 2	× 10 × 10	2.60Vrms	57.3dB
10mVp-p	× 5 × 1	× 10 × 10	3.28Vrms	59.3dB
10mVp-p	× 1 × 5	× 10 × 10	3.26Vrms	59.3dB
5mVp-p	× 5 × 2	× 10 × 10	3.32Vrms	65.5dB
5mVp-p	× 2 × 5	× 10 × 10	3.26Vrms	65.3dB
2mVp-p	× 5 × 5	× 10 × 10	3.36Vrms	73.5dB

付録2 インピダンス、ビームパターン

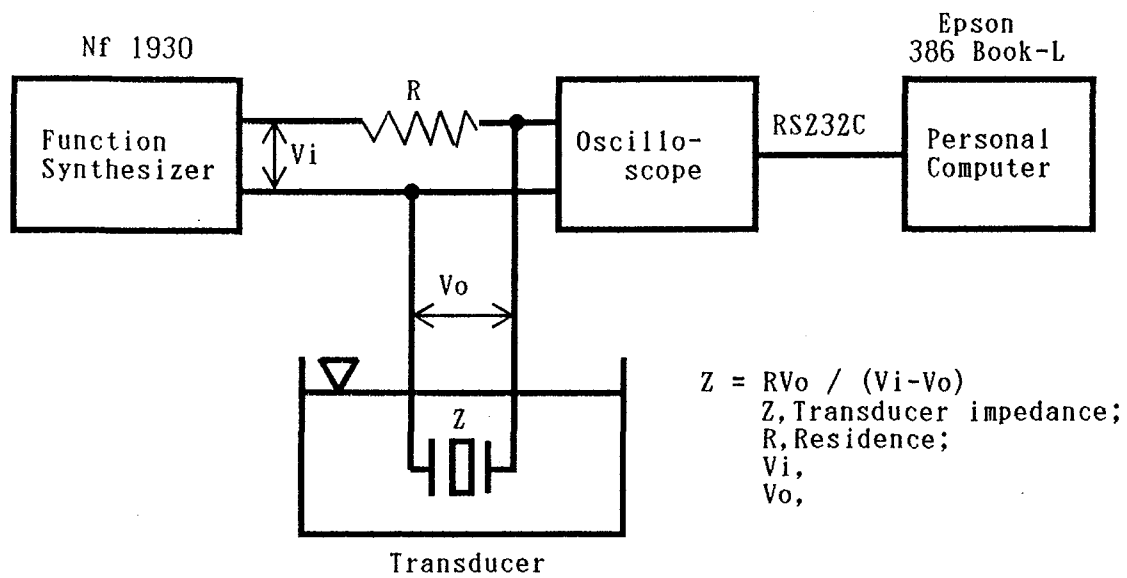
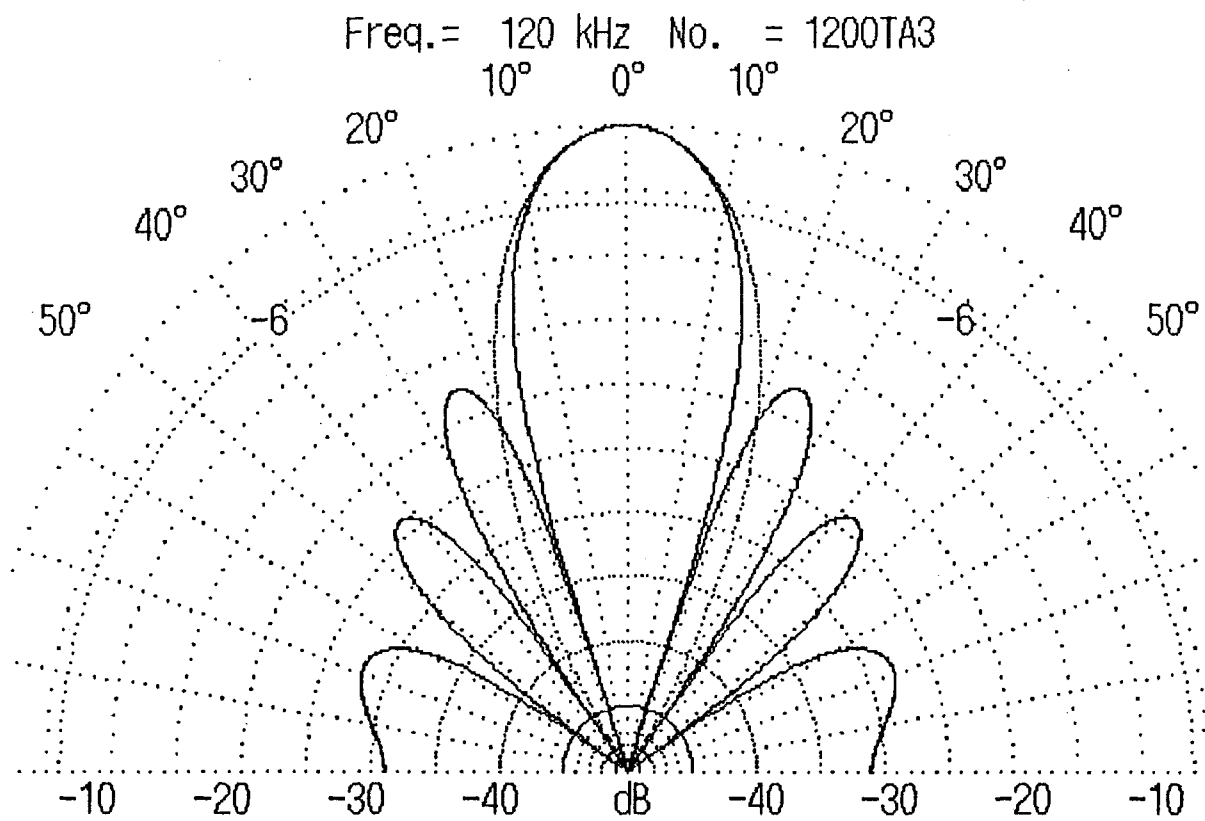
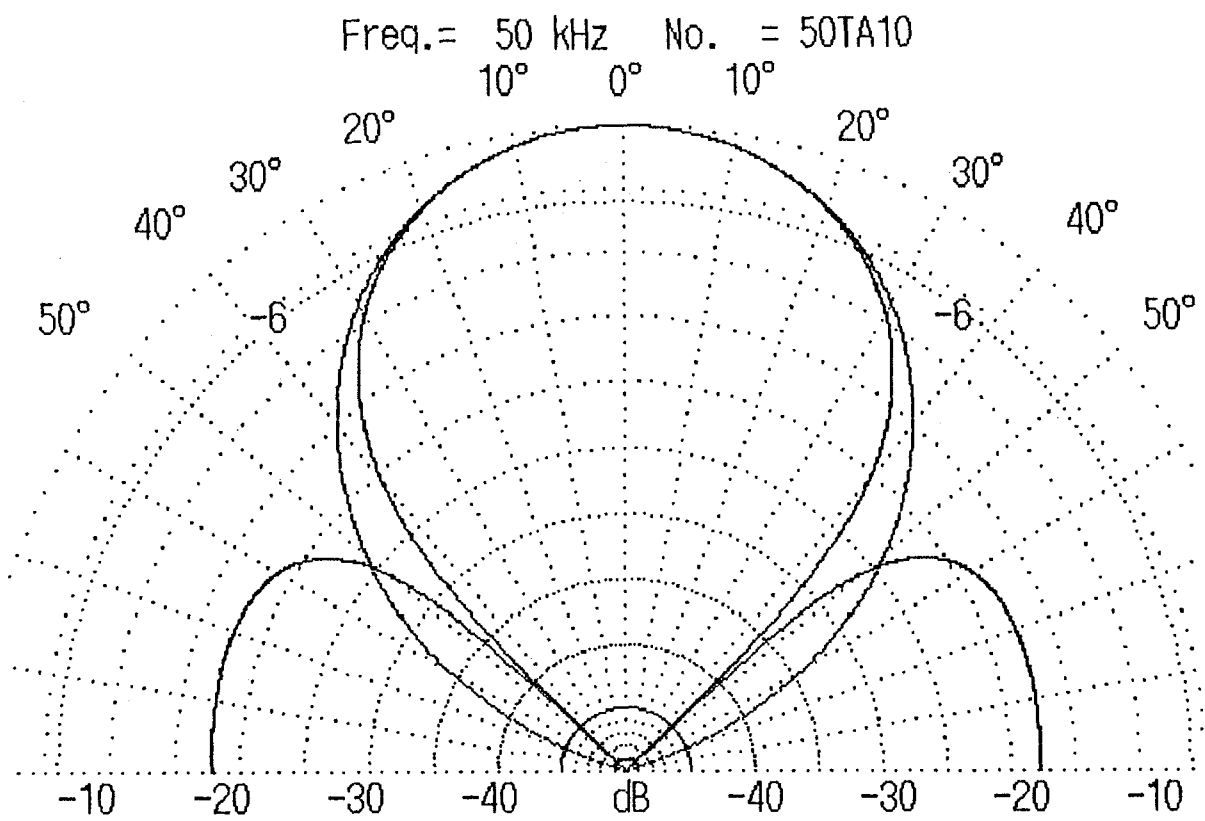
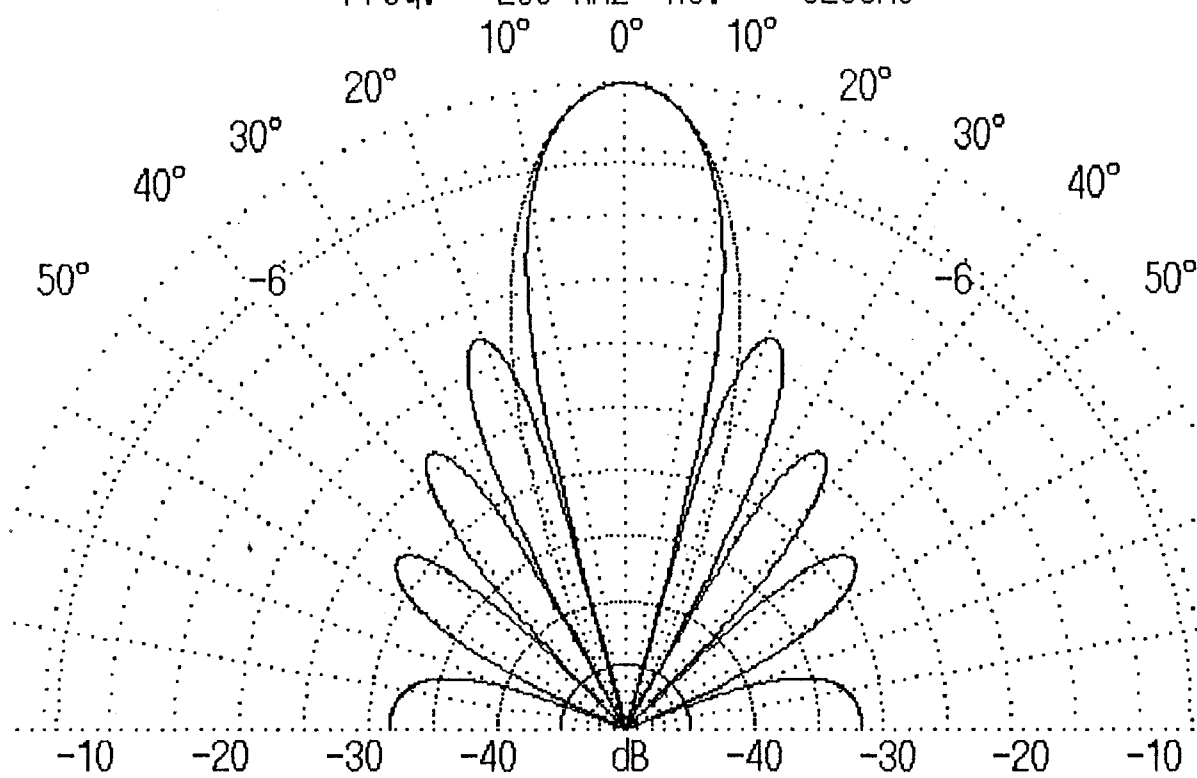


Fig. A3 Measurement of Impedance

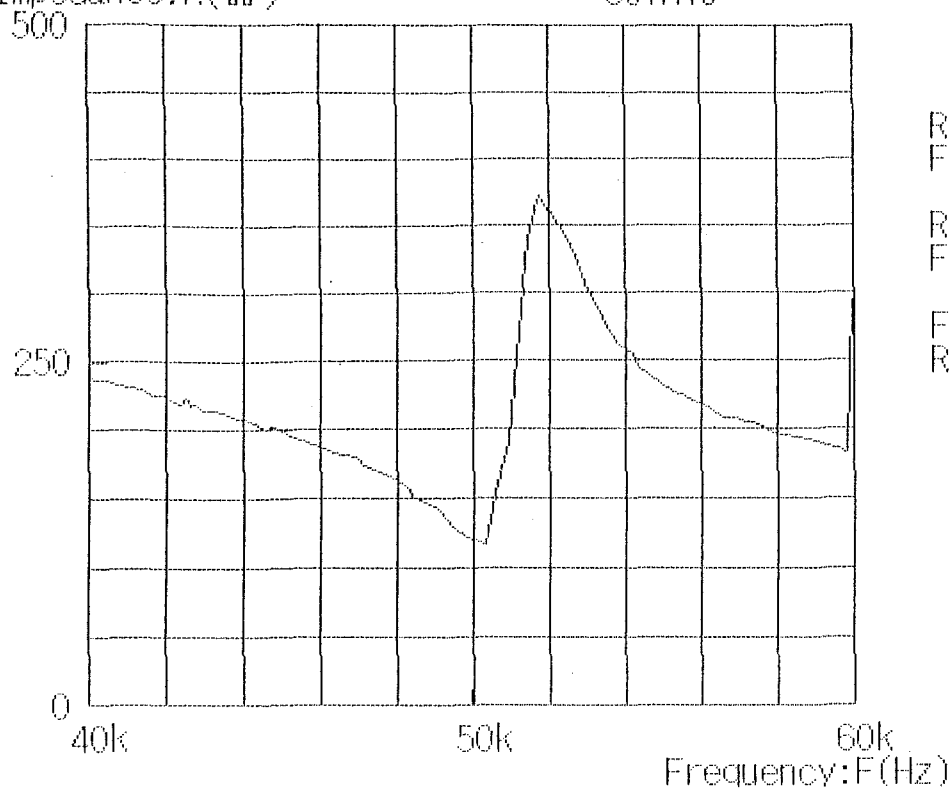


Freq.= 200 kHz No. = 5205MS



Impedance: R(Ω)

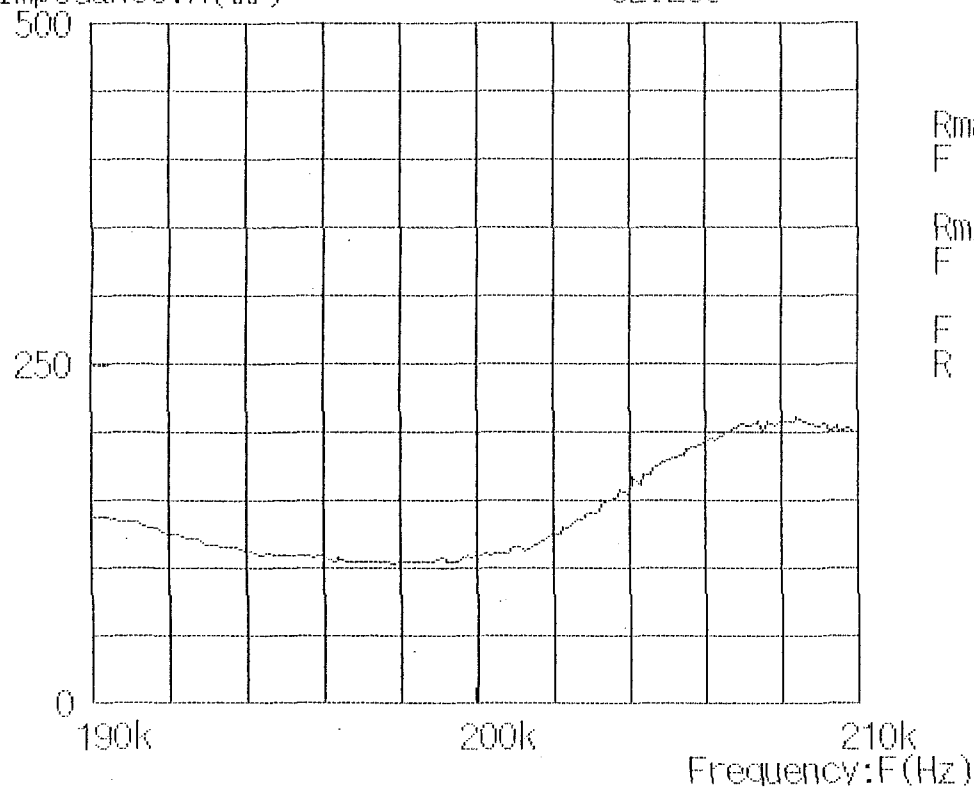
501A10



$R_{max} = 371 \Omega$
 $F = 52.00 \text{ kHz}$
 $R_{min} = 117 \Omega$
 $F = 50.40 \text{ kHz}$
 $F = 50 \text{ kHz}$
 $R = 122 \Omega$

Impedance: R(Ω)

520200



$R_{max} = 210 \Omega$
 $F = 208.64 \text{ kHz}$
 $R_{min} = 103 \Omega$
 $F = 198.08 \text{ kHz}$
 $F = 200 \text{ kHz}$
 $R = 107 \Omega$

Impedance: R(Ω)

00600

1000

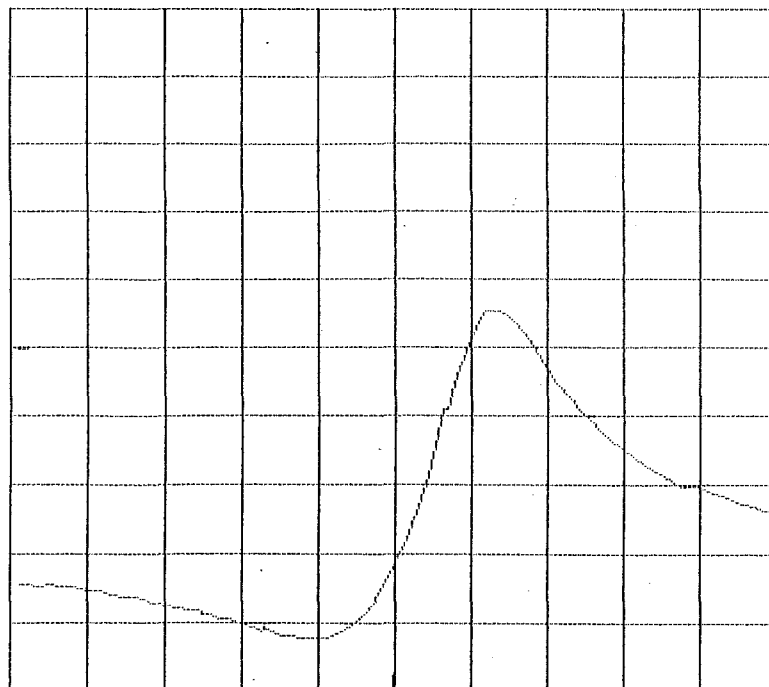
500

85k

90k

95k

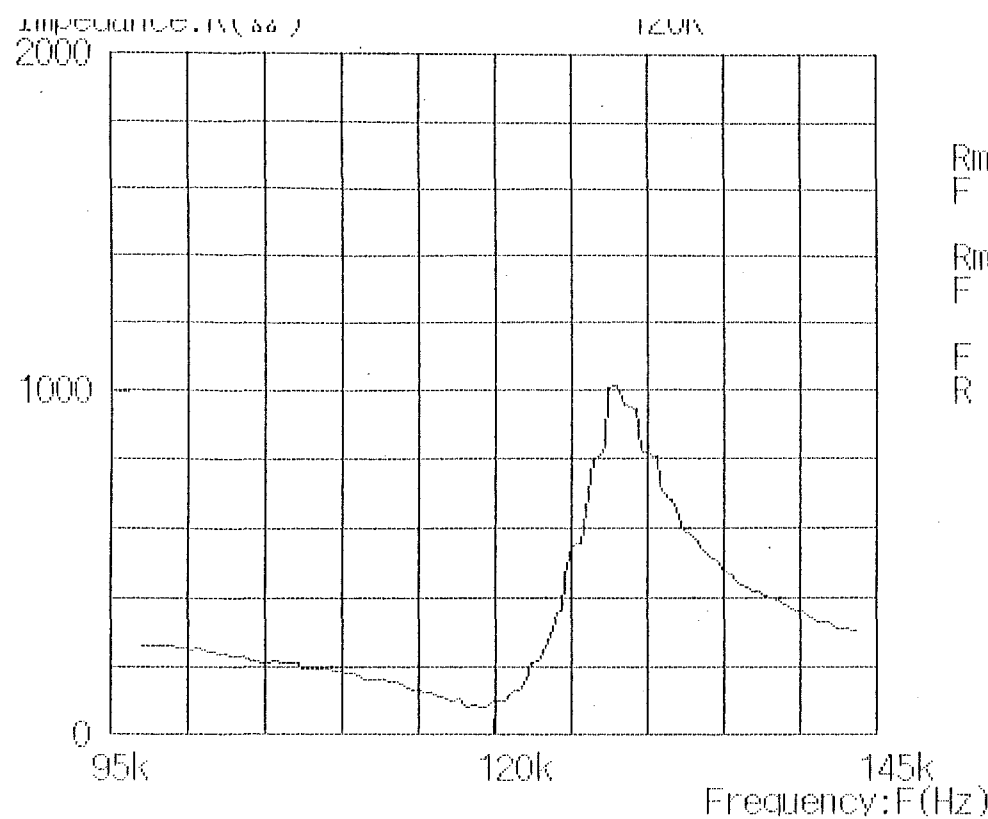
Frequency: F(Hz)



Rmax = 553 Ω
F = 91.32 kHz

Rmin = 77 Ω
F = 88.92 kHz

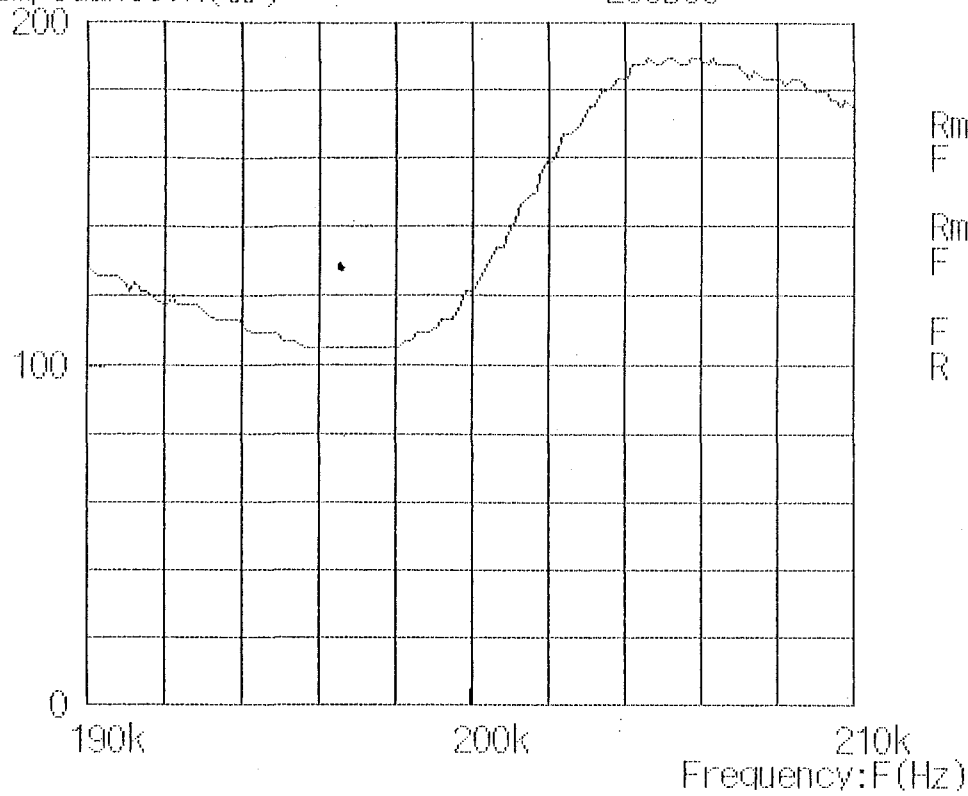
F = 90 kHz
R = 187 Ω



$R_{\max} = 1013 \quad \Omega$
 $F = 128.60 \quad \text{kHz}$
 $R_{\min} = 81 \quad \Omega$
 $F = 118.80 \quad \text{kHz}$
 $F = 120 \quad \text{kHz}$
 $R = 97 \quad \Omega$

Impedance: $R(\Omega)$

200B5S



$R_{\max} = 192 \Omega$
 $F = 210.24 \text{ kHz}$

$R_{\min} = 105 \Omega$
 $F = 195.84 \text{ kHz}$

$F = 200 \text{ kHz}$
 $R = 121 \Omega$