

## ソノブイによる超音波標識魚の追跡システム\*

小長谷 庸夫・徐 斗玉\*\*・蔡 慶華\*\*\*

三重大学水産学部

### A Tracking System of a Fish Fitted with a Pinger by means of a Sonobuoy Array

Tuneo KONAGAYA, Du-ok SEO\*\* and Qing-hua CAI\*\*\*

Faculty of Fisheries, Mie University

The method and construction of a tracking system to automatically monitor the movements of fish is reported. The location of fish is determined by the acoustic and radio telemetry: The signal from the pinger carried by the fish is received by sonobuoys which are moored at many points on the surface of the water and is linked to a base station on land by radio. Each of the sonobuoy relay the pulses with certain given delay time and with pulse length. The differences of the travelling times of sonic signal from the fish to the buoys are determined by the intervals of three consecutive pulses. The successional positions of the fish are then calculated by a hyperbolic or time delay tracking method. By deploying many buoys at vast areas where the fish are expected to migrate, the location of the fish is also able to be estimated by the informations from the buoy which receive the signal from the fish. This paper describes the designing of the electric circuits for relaying under the acoustical and electrical interfering background noises.

Key words : Biotelemetry, Sonobuoy, Pinger.

- 
- \* 1987年度日本水産学会春季大会ポスターセッション発表，本研究は一部文部省科学研究費補助金，および海外学術調査費によった。
  - \*\* 韓国济州大学校海洋科学大学 (Coll. Ocean Science, Cheju Univ.), 三重大学外国人研究者 (研究課題，音響による魚群の応答解析)
  - \*\*\* 中国科学院水生生物研究所 (Institute of Hydrobiology Academia Sinica, Wohan, Hubei, P. R., China)

生物行動の遠隔計測 (Biotelemetry) の手法は魚類生態の有効な研究手段である。一般には供試魚に付けた超音波標識 (Pinger) からの信号を聴音しながら船舶で追跡して遊泳を推定する (IRELAND et al. 1978)。しかし、この方法は測定精度が低いうえ、長時間の追跡が困難である。この対策として数個のハイドロホンを水中に配置して受波時間差から標識魚の位置を測定する方法 (HAWKINS et al. 1979) や超音波信号の方位を自動測定する方法 (OSBORNE et al. 1978) が考案されている。一方、超音波と無線を併用した遠隔計測法により測定の自動化と省力化を図り、遊泳範囲が狭いばあいはロランと似た方法で刻々の位置を正確に求め、広範囲にわたる行動は海面の多くの測点で供試魚の行動を監視する方法も開発された (KONAGAYA, 1982)。この方法は測定が容易であるうえ精度が高いため海外学術調査「魚類の湖中行動量の推定」に応用された (小長谷・蔡, 1987)。この研究の過程を通じて、降雨による超音波信号の受波障害および陸上交通による電波障害を受けた。また、無線の中継用の浮子の取り扱いと点検、調整および浸水を防ぐための改良の必要性も認めた。この手法は引続き海外学術調査や音響に対する魚類の行動解析に使用される予定であるから電子回路と浮子の改良を企て、さらに沿岸域における超音波雑音および障害電波を測定して設計の根拠を再検討した。

### 測定の原理

狭水域や限られた海域における標識魚の刻々の位置は海上の3点における超音波信号の受波時間差から正確に計算出来る。いま、Fig. 1の海上の相離れた3点で作る三角形ABCのBを原点とする。

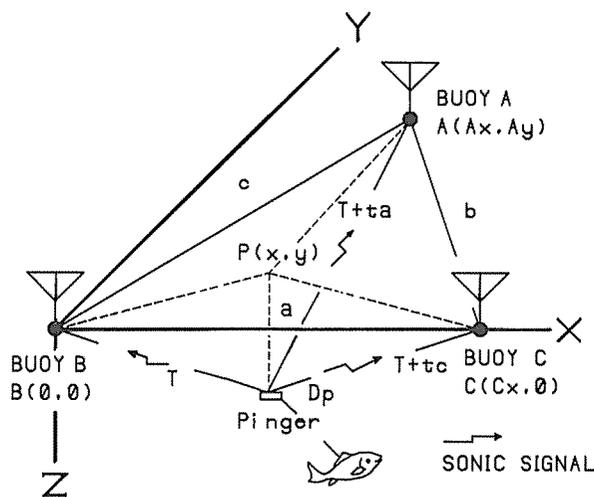


Fig. 1. Determination of the position of fish. A sound pulses of short duration emitted by the pinger travels through the water at a fixed speed and relaid to a base station by a radio wave with sonobuoys. The position of the fish is able to be calculated by the differences in travelling times of sonic pulses from the pinger to the sonobuoys.

また、底辺BCを直交座標系のX軸上にとり、各頂点に標識魚からの信号を基地局に無線中継する目的の浮子\*4（以後単に浮子という）A、BおよびCを係留し、それぞれの座標を $(Ax, Ay)$ 、 $(0, 0)$ および $(Cx, 0)$ とする。ここで、辺BC、ACおよびABを $a, b$ および $c$ とおくと、

$$Cx = a, \quad \dots\dots (1)$$

$$Ax = (a^2 - b^2 + C^2) / 2a, \quad \dots\dots (2)$$

$$Ay = \{ (a+b+c) (a-b+c) (-a+b+c) (a+b-c) \}^{1/2} / 2a. \quad \dots\dots (3)$$

一方、音速 $v$  (m/s) は

$$v = 1449.2 + 4.623T - 0.0546T^2 + 1.391 (S - 35). \quad \dots\dots (4)$$

ただし、 $T$ は水温(°C)、 $S$ は塩分(‰)である(WILSON, 1960)。よって、ABCの座標を測量できないばあい、標識を順次A、BおよびCの直下に沈めて各浮子の超音波信号の受波時間差から求めた $a, b$ および $c$ から、各浮子の座標を計算できる。

いま、標識魚のXY座標上の位置を $P(x, y)$ 、深度を $D_p$ とし、 $P$ からA、BおよびCまで超音波信号の到達時間を $T+ta$ 、 $T$ 、 $T+tc$ とおくと次式が得られる。すなわち、

$$T^2 v^2 - D_p^2 = x^2 + y^2, \quad \dots\dots (5)$$

$$(T+ta)^2 v^2 - D_p^2 = (Ax-x)^2 + (Ay-y)^2, \quad \dots\dots (6)$$

$$(T+tc)^2 v^2 - D_p^2 = (Cx-x)^2 + y^2. \quad \dots\dots (7)$$

(5)、(6)、(7)から $T$ を消去して整理すると

$$\alpha x^2 + \beta y^2 + \gamma x + \delta = 0, \quad \dots\dots (8)$$

$$\epsilon x + \zeta y + \eta = 0. \quad \dots\dots (9)$$

ここで

$$\alpha = Cx^2 - v^2 tc^2,$$

$$\beta = -v^2 tc^2,$$

$$\gamma = -Cx (Cx^2 - v^2 tc^2),$$

$$\delta = \{ (Cx^2 - v^2 tc^2) / 2 \}^2 - v^2 tc^2 D_p^2,$$

$$\epsilon = Axtc - Cxta,$$

$$\zeta = Aytc,$$

$$\eta = \{ Cx^2 ta - (Ax^2 + Ay^2) tc + tatk (ta - tc) v^2 \} / 2$$

である。また、 $D_p$ は測深用の標識を用いることによりパルス間隔の変化から測定できる。ただし水深が30m以浅では位置の誤差は無視できる。

上式で $tc = 0$ の時は計算不能となる。このばあい原点に関して座標軸を回転させ、AをX軸上にとる。さらに $ta = 0$ のとき、 $P$ は三角形ABCの中心付近に位置し、辺ABおよびBCとそれぞれ $(Ax - vta) / 2$ および $(Cx - vtc) / 2$ において直交する2直線の交点で近似する(KONAGAYA, 1982)。

この構想のシステムは標識、浮子、受信局、時間差測定装置および電算機によって構成される。計算はニュートンラプソン法(Newton-Raphson method)\*5による(Table 1)。

標識魚の遊泳範囲が広いばあいは、予想経路の多数の測点で行動を監視する(仮に監視方式と言う)。各測点には上述と同様の無線中継浮子を浮べ供試魚からの信号を浮子毎に特有なパルス幅の電波で送信させる。基地局では発信局の浮子を特定して魚の位置を判断する。浮子には送信のパルス幅と遅延中継の機能をあわせ持たせる(小長谷・蔡, 1787)。

\* 4 無線中継浮子: Sonobuoy

\* 5 ロランと同様な近似計算の収束値から求めることもできる。

Table 1. Program for calculating the position of fish fitted with a pinger by a hyperbolic or time delay tracking method.

```

10 REM*****newton ****
20 K=0
30 IF ABS(TC)<=1 THEN 60
40 K=K+1
50 GOTO 70
60 IF ABS(TA)<=1 THEN 80
70 K=K+1
80 K=K+1
90 ON K GOTO 510,100,160
100 REM ****TC EQ 0 ****
110 CX=B0*COS(S)+B1*SIN(S)
120 BX=C0*COS(S)
130 BY=C0*SIN(S)
140 SWAP TA,TC
150 T3=T2
160 GOTO 200
170 REM ***TA,TC NE 0****
180 CX=C0
190 BX=B0
200 BY=B1
210 A0=CX*CX-V0*V0*TC*TC
220 A1=-V0*V0*TC*TC
230 A2=-CX*A0
240 A3=A0*A0/4
250 D0=BX*T2-CX*TA
260 D1=BY*TC
270 D2=(CX*CX*TA-(BX*BX+BY*BY)*TC+TA*TA*(TA-TC)*V0*V0)/2
280 X1=(CX-V0*TC)/2
290 Y1=-(D0*X1+D2)/D1
300 X0=X1
310 Y0=Y1
320 FOR J=1 TO 10
330 X2=X0*X0
340 Y2=Y0*Y0
350 F0=A0*X2-A1*Y2+A2*X0+A3
360 G0=D0*X0+2*D1*Y0+2*D2
370 F1=A0*X0
380 F2=2*A1*Y0
390 G8=2*(A0*D1*X0-A1*D0*Y0)+A2*D1
400 X1=X0-(F0*D1-F2*(D0*X0+D2))/G8
410 Y1=Y0-(G0*F1+A2*D1*Y0-D0*A1*Y2+A2*D2-D0*A3)/G8
420 IF ABS(X0-X1)<H0 AND ABS(Y0-Y1)<H0 THEN 460
430 X0=X1
440 Y0=Y1
450 NEXT J
460 IF K=3 THEN 550 ELSE 460
470 X2=X1
480 Y2=Y1
490 X1=X2*COS(S)+Y2*SIN(S)
500 Y1=X2*SIN(S)-Y2*COS(S)
510 GOTO 560
520 REM ****TA,TC EQ 0****
530 X1=(C0-V0*TC)/2
540 Q0=(B0*COS(S)+B1*SIN(S)-V0*TA)/2
550 Y1=(B0*(V0*TC-C0)/2+(B1*SIN(S)+B0*COS(S))*Q0)/B1
560 X0=X1
570 Y0=Y1
580 RETURN

```

システム構成

1. ピンガー

水中における音波の吸収は周波数に関係し、 $\alpha$ を吸収係数とすると $\alpha = kf^2$ で表わされる。ただし $k$ は緩和周波数の関数である (URIC, 1975)。よって、低周波ほど減衰は少ない。しかし低周波の振動子は寸法が大きいから一般的には50kHz付近の周波数が使用される。ここでは振動子\*6の共振周波数(62kHz)の超音波パルス(持続時間, 30ms)を約15秒毎に発射した。この方法では水深または周囲水温を発射間隔の変化から遠隔計測できる。

超音波信号の発振方法にはいくつかの方法が考えられる(例えばIRELAND et al. 1979)。ここでは、Fig. 2のNAND gate 2個による $f = 1 / (2.7 CR)$ の周波数の自走マルチバイブレーターM1, M2により超音波の繰り返しと発振を行わせた(KONAGAYA, 1982)。

標識はFig. 2の電子回路と電池\*7を合成樹脂製容器(ガラスエポキシパイプ, 直径: 18mm, 長さ100mm)に封入し、振動子付の蓋をエポキシ樹脂で密閉した簡単な構造とした。

この標識の平均空中重量は約20gで水中では僅かに浮力を与える。標識は供試魚の背鱗直後に引っ掛けた釣針で曳航する。

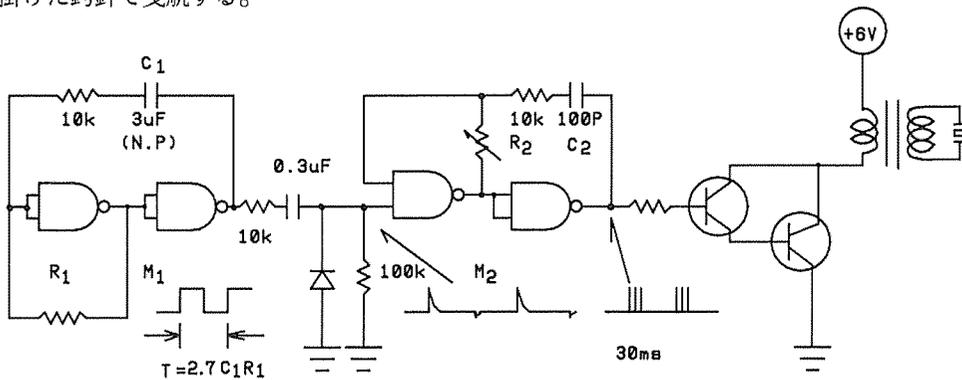


Fig. 2. Circuit diagram for a 62kHz pinger. The pinger produces a continuous train of short pulses (about 30ms long, 4 per min., 150  $\mu$ Pa at 1m). This circuit employs oscillator of CMOS IC (M 1, M 2) for frequency controlling and pulse timing. The temperature or pressure of the surrounding water is able to be coded by the pulse rate. The transformer is wound in a pot core (H<sub>5A</sub> P9/5 Z52S, TDK, primary : 60t, secondary : 250t).

2. 超音波信号の無線中継

この手法の開発に際して超音波性の海中雑音(小池ら, 1982)の障害を受けた。そこで、当初は周波数帯とパルス性雑音の持続時間の差をアナログ的に識別し、その後デジタル化した。また、各浮子毎に異なる周波数の電波で中継した初期のシステム(KONAGAYA, 1982)では、しばしば相互の混信を起した。そこで、浮子A, B, およびCでそれぞれ800, 200, および1600ms遅延したパル

\* 6 (NPM, NR-16×13×5, Tokin, Zirconate-titanate cylinder (1.8cm o.d., 1.6cm i.d., 0.5cm long).  
 \* 7 アルカリマンガン電池(4 LR44, 6v, 80mA), 酸化銀電池(4 SR44), リチウム電池(BR-1/2A or BR 435, 2本).

スを送信させて、共通の周波数の電波で無線中継できるようにした。また、浮子毎にパルス幅を変えて送信源を判定できる機能も加えた。

海外学術調査中、交通の頻繁な道路の近傍に基地局を設営せざるを得なかった。そのため、陸上の自動車のエンジンによる電波障害をしばしば受けた。そこで、さらに無線中継のパルス幅を障害電波のそれより十分長くとり超音波雑音の信号識別と同様な方法をとることとした。この送信のタイミングをFig. 3示す。Fig. 4はこの目的のために極く一般的なICによって構成した電子回路である。図で、入力信号は前置増幅器および、増幅器 (TA7120P<sup>\*8</sup>, 40dB), 混合, 低域ろ波器, 反転AC増幅器および比較器 (LM3900<sup>\*9</sup>) をへて、デジタル回路<sup>\*10</sup>による信号検出と遅延回路に入力さ

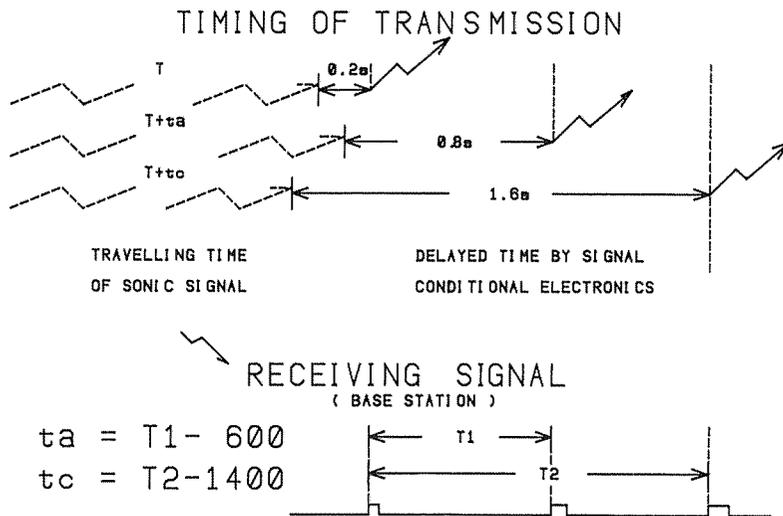


Fig. 3. Timing of transmission of radio pulses for relaying to the base station.

せる。図でNOR1の回路の入力は無信号時高レベルで、信号の入力時低レベルになる（以後単にH Lで表わす）。次にNOR1とNOR2によりUPカウンターIC, TC4518（以後単にC1, C2……と表わす）のリセット端子RをLとして、50kHzのクロック出力を計数し、信号がHのとき計数は打ち切る。信号入力の8ms後C5の出力Q4の立ち上りでマルチバイブレーターM1を作動し、約2s間NOR1と2の入力端子の一つをHとする。よって、以後は入力は遮断され、かつNOR2の出力端子、したがって、C1-C5のR端子はLとなり計数は継続する。C5の出力端子Q1, Q3およびQ4は信号入力のそれぞれ200, 800および1600ms後にHとなる。次に此等の出力の何れかの立ち上りでC6を作動させ500Hzをカウントする。このカウンターのQ3は16ms後Hとなる。このQ3の出力とFig. 4のNAND2-NAND4のデジタル回路の組み合わせによりPn時間後NOR2をHとして送信を

\* 8 東芝音響用リニアIC, 1983, 東京芝浦電気株式会社, 22-24。

\* 9 最新オペアンプ活用技術, 1973, 誠文堂新光社, 166-196。

\* 10 デジタル回路設計スタディ, 1971, CQ出版, 1-209。

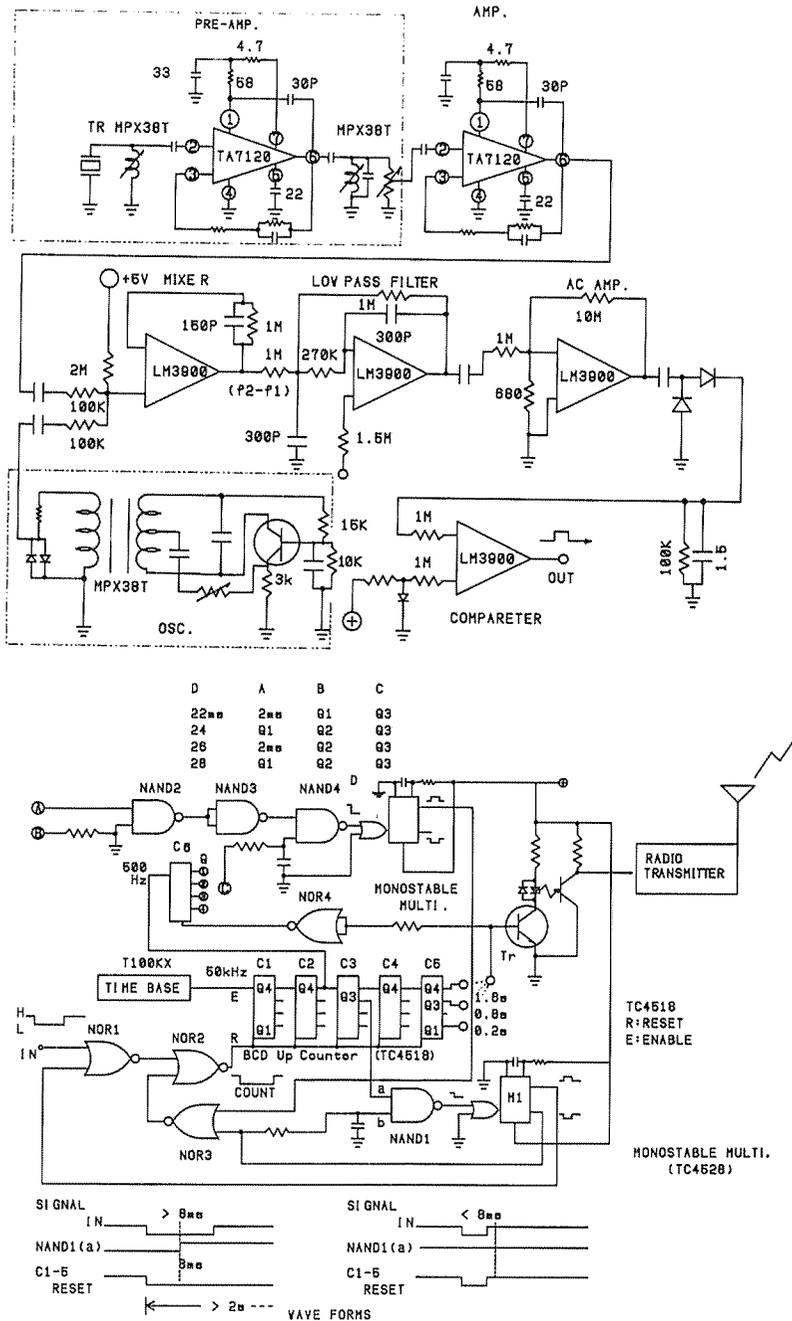


Fig. 4. Circuit diagrams for the sonobuo. The signal is selected from background noises by frequency and pulse length.

打ち切る。すなわち、各浮子は信号の受波により計時を開始し、信号の持続時間 $P_t$ が、 $P_t \leq 8$  msのときには計時を中止し、 $P_t > 8$  msではさらに計時を続行する。すなわち、8 ms以下の幅のパルス性の雑音には不感となる。上述のC5の出力のQ1、Q3およびQ4の何れかに切り替えて送信を起動させれば、浮子A、BおよびCはそれぞれ信号の受波後800、200および1600ms後(20+ $P_n$ )ms幅の電波 $^{*11}$ を送信することになる。上述のタイミングはパルス性の海中超音波雑音と陸上の障害電波の持続幅、および超音波信号の伝搬時間差の予想値をもとに計時回路内の利用可能な信号波形によって定めたものである。このシステムの遅延時間の精度は $2 \times 10^{-2}$ ms(クロック:50kHz)である。この中継方法は浮子毎に周波数を変えた既報のシステム(KONAGAYA, 1982)に改良を加えて実用性を向上させたものである(以後ソノブイ方式という)。

浮子はFig. 5に示す硬質塩化ビニール製の円筒状(高さ420mm, 直径75mm)で、この内部に電子回路と電池(充電式, Ni-Cd, 3.6Ah)を密封した。外側の上部にはアンテナの差し込み(直径50mm, 長さ60mm)を取り付け、この内部に充電用ソケットを組み込んだ。充電後、基部に超小形送信機を封入したヘリカルホイップアンテナ(高さ120cm)を立て、“O”リング付の押さえ蓋で固定し、防水できるようにした。送信機には充電に用いたソケットを併用した。浮子の下端には振動子と前置増幅器を硬質塩化ビニール製の円筒状容器(外径:20mm, 内径:16mm, 長さ:150mm)に封入し、長さ3mの防水コードで吊り下げた。

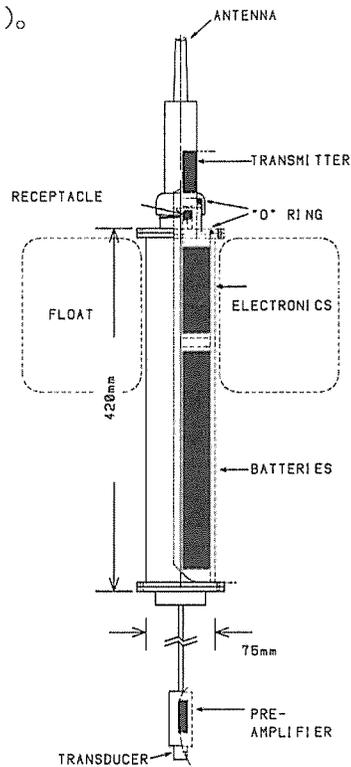


Fig. 5. Sectional diagram of the sonobuoy.

### 3. 受信局

#### 1) : 遅延時間測定

基地局における障害電波の除去回路はFig. 4と同様の構想で設計した。すなわち、受信信号によりFig. 6のTC4518(単にCで表わす)のリセット端子RをLとし100kHzの基準発振を計数する。C4のQ1は20ms後に立上り、リセット端子がHになると復帰する。すなわち、信号の持続時間

$t$ が $t \leq 20$ msのばあいは中止し、 $t > 20$ msのときのみ計時を続け、持続時間( $t - 20$ )msを作る。すなわち、各浮子が22,24,26……msの持続幅のパルスを送信すると受信局では20ms以下のパルス性の障害電波を除去し2,4,6……ms幅の信号を出力する。いま3個の浮子の相互距離が超音波信号の受波距離以内とする。このとき、基地局ではそれぞれの浮子からの信号を連続した3個のパルスとして受信する。ここで、第1のパルスから第2までの時間を $T_1$ 、同様に第1から第3までのそれを $T_2$ とする。いま、標識魚が前述の三角形ABCの中心に位置するばあいを考える。このとき全てのブイは同時に信号を受波する。したがって、 $t_a = 0$ かつ $t_c = 0$ 、すなわち、 $T_1$ と $T_2$ は

\*11 電波法上許可を必要としない極く微弱な電波

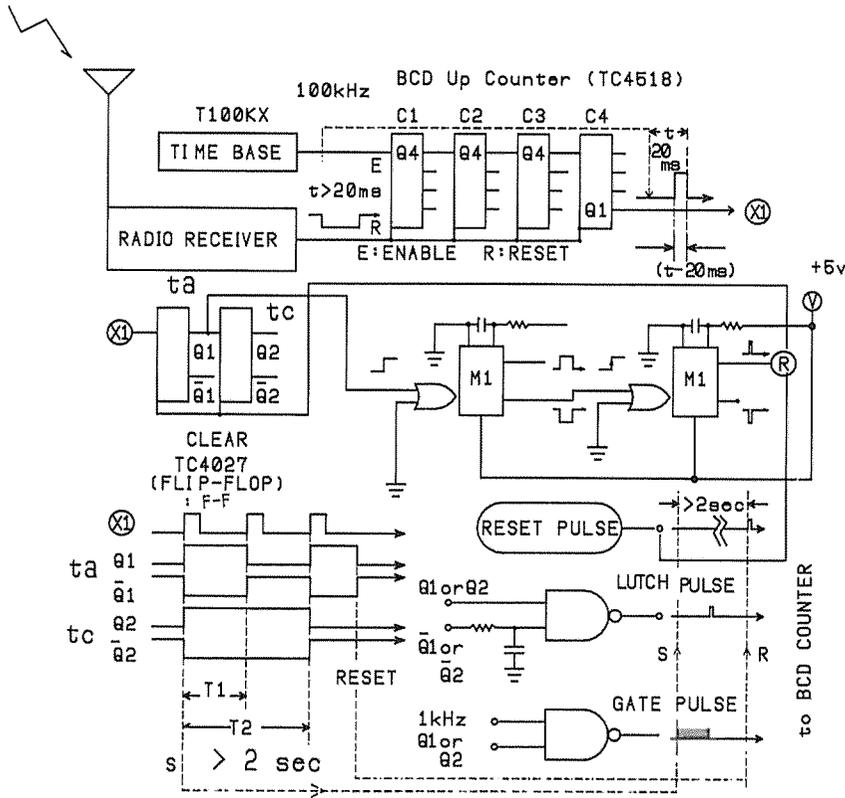


Fig. 6. Circuit diagrams for a receiving unit. The sending sonobuoy is registered by the differences of pulses length. The traveling times from pinger to each buoy are measured by BCD counters.

それぞれ 600ms および 1400ms となる。魚が中心を離れると T1 と T2 は変化しその位置は  $t_a = (T1 - 600)$ ,  $t_c = (T2 - 1400)$  の値から計算できる。ただし標識魚の遊泳水深の影響は無視する。

次に 2 個のフリップフロップ回路 (TC4027 以後 F-F で表わす) により 3 個の連続したパルスから  $t_a$ ,  $t_c$  の矩形波を作る。また、 $t_a$  で約 2s のパルスを作り此の立ち下がりにて上述の F-F をリセットする。 $t_a$  と  $t_c$  は一般的な BCD カウンターと同様な回路で計測する。カウンターの精度は  $\pm 1ms$  とした。

## 2) : 送信浮子の判別

送信パルスの幅  $t$  は浮子毎に異なる。ここでは 22, 24, 26 および 28ms (または 1ms 間隔の多数の浮子を用いる) とした。よって浮子を広範囲の水域に配置して、標識魚が何れかの浮子に接近すると上述の何れかのパルス幅の信号が受信されることになる。その時刻と  $t$  をプリンターで印字させれば標識魚の接近した浮子がわかり、およその行動が推定できる。

## 障害雑音の測定および回路設計の検討

## 1. 超音波振動子の送受波感度

浮子に用いた ABS 容器封入の振動子の一つを 20 cm の水深に沈め、その入力端子をオシレーター (KIKUSUI 418A 型) の出力に接続し共振周波数 (62kHz) の超音波を送波させた。この音波を 30 cm の距離で他の振動子とハイドロホン (Hydrophone, Type 57-TA) により交互に周波数分析器 (TR-9305) で出力を測定した。その結果、ハイドロホンの出力は  $-66.1\text{dB}$  (re : dBv), 振動子のそれは  $-45.8\text{dB}$  (re : dBv) であった。特性曲線によると、このハイドロホンの感度は  $-103\text{dB}$  ( $1\text{v}/1\ \mu\text{bar}$ ) であったから振動子の感度は  $-82.7\text{dB}$  ( $1\text{v}/1\ \mu\text{bar}$ ) と計算される。

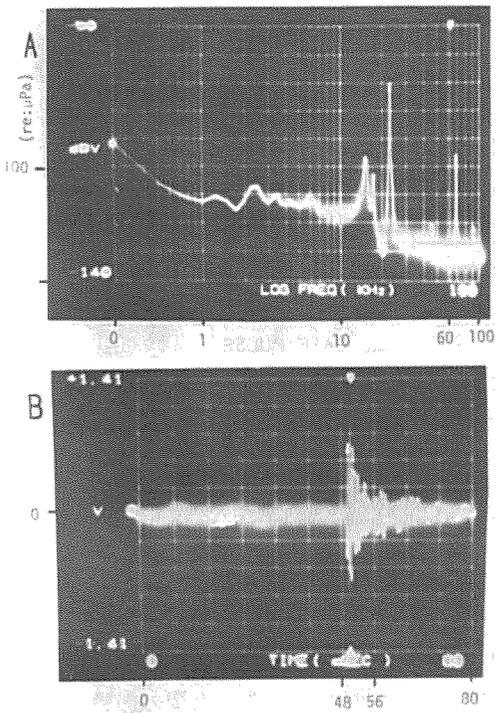


Fig. 7. Frying noise produced by snapping shrimps at Zagashima (May 15, 1987).  
A : Spectrum of the frying noise.  
B : Wave from of the frying noise.

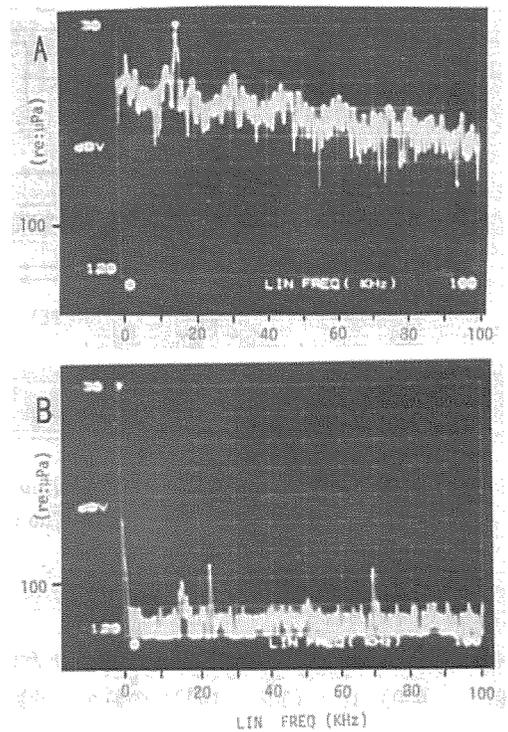


Fig. 8. Single snap spectrum (A) produced by a snapping shrimps in a tank of 1.5 m i. d., 0.5 m depth).  
B: Ambient noise. (May 15, 1987)

## 2. 内湾域の騒音レベル

英虞湾内にはテッポウエビ *Alpheus bis-incisus* DEHAANが多数生息し沿岸海域特有の生物騒音の音圧が高い。三重大学附属水産実験所の栈橋の1 mの水深で上述と同様の方法でハイドロホンの出力を直接分析した結果および、前置増幅器を通して通常の方法で録音した結果から分析した波形をFig. 7に示す。図からこの雑音はパルス性で最高音圧レベルは107dB (re:  $\mu\text{Pa}$  at 27kHz), 60kHzでは75dBであり、持続時間が約4 msであることがわかる。

ハイドロホンを直径28 cm, 深さ30 cm 合成樹脂容器の中央に吊し、テッポウエビ20尾を放って発生音を上述と同様の方法で直接分析した結果をFig. 8に示す。図からみると100kHzでは音圧レベルが背景騒音レベルより約35dB高い。

次に、直径140 cm, 深さ80 cmの合成樹脂水槽の20 cmの水深にハイドロホンを沈め降雨時の水中騒音を直接分析したところFig. 9で60kHzにおいて音圧の上昇は僅か5 dBでテッポウエビの発生音に比べて微弱であった。したがって降雨によって測定が不可能になった実験例(小長谷・蔡, 1987)は浮子と振動子が一体のため、雨滴の浮子への落下音が検出されたためであろう。よって、前述のように受波器とプリアンプを一体としてコードで3 mの水深に吊り下げる構造とした。

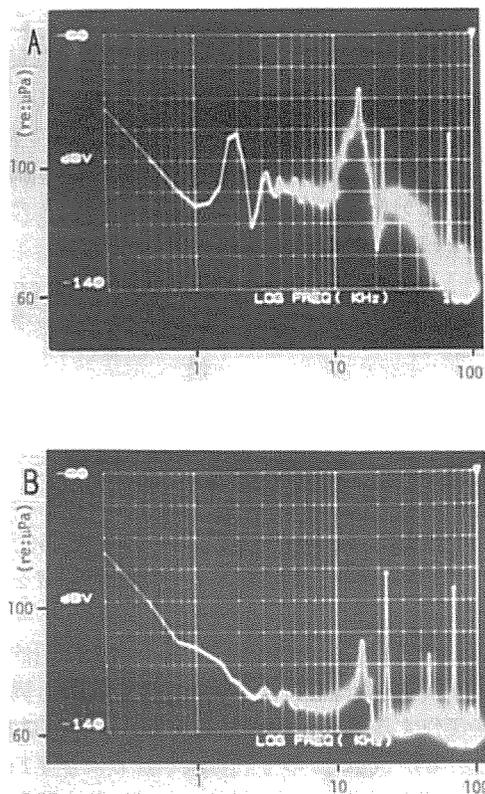


Fig. 9. Spectrum (A) in moderately heavy rain observed at 20 cm depth in a tank (1.5 m i.d., 0.5 m depth).  
B: Ambient noise spectrum.  
(May 23, 1987)

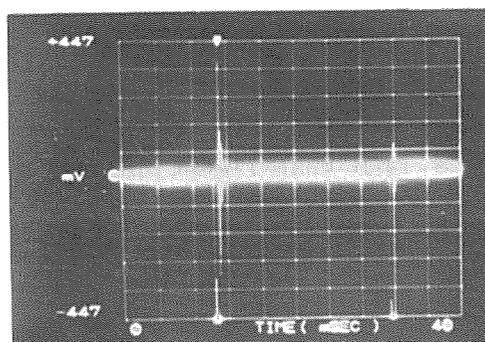


Fig. 10. Electrical noises produced by 2 cycle 50 cc engine (pulse length: about 0.5 ms).

### 3. 電波障害

40.68 MHz 水晶制御スーパーヘテロダイナ受信機によって至近距離でガソリンエンジン (HONDA, PAX, 2 cycle, 50cc) による電波障害をしらべた。受信出力をスペクトルアナライザーで分析した結果、パルス性の障害電波の持続時間は0.5ms以下で間隔は22msであった (エンジンの回転数は毎分約 2700 回) (Fig. 10)。よって、受信時20ms以下のパルス性の雑音を除去した改良システムは必要以上の余裕を与えた設計といえる。

## 考 察

ソノブイによる超音波標識魚の追跡システムは信号の受波時間差の測定実験から着手し、独自のピンガーを試作し、さらに、無線中継の方法も種々検討して試行錯誤のうで実用化された。この開発には超音波雑音と雑音電波が最大の障害となった。沿岸の超音波雑音に関して、橋本ら (1958) は貝類や甲殻類が原因の一つであることを確かめている。また、TAKEMURA ら (1968, a. 1972, b) によるとこの音は比較的暖い浅海で聞かれるといわれる。したがってこのシステムの実用化にはこの雑音の対策が必要不可欠となる。超音波の分析には録音結果を使用出来ないから、ここでは便宜的にハイドロホンの出力を直接スペクトルアナライザーで分析して回路設計の妥当性を確認した。また、障害電波も実測して受信対策が妥当であることを確認できた。

設計の要点は以下の通りである。すなわち、

- 1) ピンガーの送波器と受波器は同じ特性の振動子を用い、送波信号に共振周波数を用いる事により送受波感度を向上させる。
- 2) ソノブイの受信周波数帯域幅を±1 kHzとしピンガーの発振周波数を容易に同調できるようにする。
- 3) パルス性の雑音はフィルターで遮断したうで、さらに持続時間差により弁別する。また、受波器を水深 3 m に吊し風波や降雨時の雑音の浮子本体からの伝導を防ぐ。
- 4) 送信電波の周波数を共通とし、3 個のブイはそれぞれ異なる遅れ時間をとって中継する。
- 5) 無線の中継信号の持続時間を十分長くとり、かつ、浮子毎に持続時間を変えて障害電波を除き、同時に送信浮子の特定も出来るようにする。

バイオテレメトリーによる魚類生態の研究に際してピンガーの小形化の要望が多い。この目的には海水中と淡水中で超音波の伝搬が異なり、かつ、対象魚の遊泳範囲により受波感度の要求も異なるから周波数、したがって大きさの異なるピンガーを製作する工夫も必要であろう。例えば50kHzの振動子は長さ直径がそれぞれ5 および18mm<sup>6</sup>であるが300kHzのそれは3.2 mm および3.1 mm (MITSONら, 1971) にすぎない。このためには多目的に使用可能な以下の性能の集積回路を開発することが望ましい。すなわち、超音波の発振周波数を IC の外付けのコンデンサーにより任意に設定できるようにする。また、ピンガーの大きさは発信回路のコンデンサーによって左右されるから、サーミスターまたは圧力センサーの抵抗Rとコンデンサーの容量Cを小とし100 kHz程度の基本発信を分周して所定の繰返し数を得る。

この構想による IC, センサー, 振動子などが提供されれば容易に希望の大きさ、周波数のピンガーが自作できるから研究分野の一層の拡大が期待できよう。

## 要 約

超音波と無線を併用したバイオテレメトリーシステムを開発した。狭水域における超音波標識魚の刻々の位置は海上の3点の於ける信号の到達時間差から計算する。広範囲の遊泳は海上の多測点で接近を監視する。測定は海上で超音波信号を受波して陸上基地局に無線中継する機能のソノブイによる。このシステムによる追跡実験の経験をふまえ信号の中継方法に改良を加えて完成させた。本論文では電子回路の詳細と、音波および電波障害の特性を示し設計の根拠を明らかにした。

## 謝 辞

本報告のご校閲を頂いた三重大学海洋環境学講座教授坂本市太郎博士、実験のご便宜をはかって頂いた付属水産実験所助教授木村清志博士に謝意を表す。また、実験のご助力を頂いた三重大学水産学部学生宝平宏和、山本幸則の両氏に謝意を表す。

本研究の実験と観測は三重大学水産学部付属水産実験所で行った。このシステムの構想と基礎研究は一部、昭和54および56年度文部省科学研究費によった。さらに昭和60年度文部省海外学術調査「東湖の水質管理と合理的魚類生産に関する生態学的研究（研究代表者 三浦泰蔵）」に応用し、その結果をふまえ、昭和62年度文部省海外学術調査、および昭和62年度文部省科学研究費「水中音による魚群の制御と誘導に関する研究（課題番号 62560192）」にそなえて改良した。本研究は一部上述の研究費によった。

## 文 献

- 橋本富寿・間庭愛信, 1958. 海中生物の発する超音波騒音について. 漁船研究技報, 12, 99-114.
- HAWKINS, A. D., URQUHART, G. G and SMITH, G. W., 1979. Ultrasonic tracking of juvenile cod by means of a large spaced hydrophone array. in "A handbook of biotelemetry and radio tracking" (ed. by C. J. Amlaner and D. W. MacDonald.), Pergamon, Oxford and New York, 461-470.
- IRELAND, L. C. and J. W. KANWISHER, 1978. Underwater acoustic biotelemetry: Procedures for obtaining information on the behavior and physiology of free-swimming aquatic animals in their natural environments. in "The behavior of fish and other aquatic animals" (ed. by D. I. Mostofsky), Academic press, New York, 342-375.
- IRELAND, L. C. and K. D. LAWSON JR, 1979, Assembly of a small ultrasonic transmitter. in "A handbook of biotelemetry and radio tracking". (ed. by C. J. Amlaner and D. W. MacDonald.), Pergamon, Oxford and New York, 205-208.
- 小池隆・小長谷庸夫, 1982. デジタルカウンタによるフライングノイズの解析, 三重大水研報, 9, 39-47.
- KONAGAYA, T, 1982. A new telemetric method of determining the positions of swimming fish. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 48, 1545-1550.
- 小長谷庸夫・蔡 慶華, 1987. ハクレンとコクレンの遊泳行動の遠隔計測, 日水誌, 53, 705-709.
- MITOSON, R. B. and T. J. STORETON-WEST, 1971. A transponding acoustic fish tag. Radio Electron. Eng. 41, 483-489.
- OSBORNE, P. W., J. W. MERRINER and R. W. LOVELADY, 1976. Automatic electronic fish tracking system. Oceans'76, 15A (1-6).
- TAKEMURA, A. and K. MIZUE, 1968, Studies on the Underwater sound-I, Bull. Fac. Fish.,

Nagasaki Univ., 26, 37-48.

TAKEMURA, A., 1972, The distribution of biological underwater noise at the coastal water of Japan, Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 38, 201-210.

URIC. R. J., 1975, Principles of underwater sound. 2nd. ed., McGraw-Hill, New York. 99-100.

WILSON, W. D., 1960, Speed of sound in sea water as a function of temperature, pressure and salinity, J. Acoust. Soc. Am., 32, 641.