

## 繁殖島上におけるオットセイ生態研究用電波 テレメトリーシステム

牧田 仁\*・吉田主基\*\*・馬場徳寿\*\*

A radio wave telemetry system for the study of fur seals' behavior  
on the breeding islands

Masashi MAKITA\*, Kazumoto YOSHIDA\*\* and  
Norihisa BABA\*\*

A telemetry instrument for animals as the subject of investigation should have a system and construction that suit for a field research. Therefore factors such as easy handling, possible of collecting data for a long time and easy supply of its electric source, small sized, light weight, and water proof system are necessary for telemetry instruments. If the instrument is developed only from a view of engineering stand point, the achievement of accuracy in a research, it often fails to have faculty for practical use.

Taking into account the points above mentioned, the Fur Seals Resources Section of Far Seas Fisheries Research Laboratory, the Fisheries agency of Japan and Makita Electronics Institution have cooperatively developed radio wave telemetry instruments for the use of ecological investigation of fur seals on a breeding island. Some of the instruments developed during a series of the biotelemetry instrument development plan and have already been put to practical use are introduced in the present paper.

### 1. Transmitter

Two kinds of transmitters which are made by automatically were experimentally made, one for the tracking of activity area and the other for the activity mode research.

#### (1) Transmitter for activity area

The following factors were taken care in manufacturing a transmitter for the activity area investigation.

- (i) The transmitter should be designed in small and light, and made by Water tight with reasonable high pressure.
- (ii) The transmitter should work for a long period using small batteries.
- (iii) The transmitter should have a long radio wave propagation range.

In order to obtain the above three objects, the authors have taken the following measures.

---

1979年11月20日受理 遠洋水産研究所業績 第206号

\* 牧田電子研究所 (Makita Electronic Institution)

\*\* 水産庁遠洋水産研究所 (Far Seas Fisheries Research Laboratory)

A transmitter harnessed on animal was designed to weight 220 g in the air, and contained in a case of 30 kg/cm<sup>2</sup> of the pressure taking account of the maximum depth of water which is a submergible limit of fur seal.

The pulse transmitting system was used in order to economize electric energy. Lithium batteries which can give the best energy density (Wh/kg, Wh/l) among articles on the market were used and made it possible to transmit as long as about six months.

Radiation power of a transmitter becomes very weak,  $2.5 \times 10^{-5}$  mW, under the restriction of an antenna, radiation frequency, battery capacity and radiation power itself. In order to get higher sensitivity of a receiver, a crystal control system was used in the transmitter and 53 MHz band was used for the all wave frequencies.

## (2) Transmitter for activity

The information on activity is transmitted by FM-PM method using change of repeating frequency of pulse.

Many conditions of an animal such as the rest, walk and active movement are detected utilizing time constant circuit and handling a mercury switch of the transmitter.

The change of activity level and pattern according to movement of the tagged animal is recorded, and the records on activity are classified for good information on the action of the animal.

## 2. Receiver

The facility of a receiver depends on peculiarity of the transmitter. The receiver is required to have following characteristics.

- (1) High sensitivity
- (2) Identification ability
- (3) Measurement of the activity area (including direction finding ability)
- (4) Demodulating faculty of the transmitter

In order to decrease the inside noise of receiver which can gain the higher sensitivity, the pass band was fixed at 600 Hz after considering the transmitting pulse width, frequency stability and receiving sounds. As a result, the input noise power and thermal noise voltage were became -142 dB (including 4 dB of noise figure) and  $1.8 \times 10^{-2} \mu\text{V}$ , respectively. Thereby, detecting of a weak signal at low input noise level became possible.

In order to identify the tagged individuals each other, interval of carrier frequency is differentiated by 25 KHz.

As for the measurement of the activity area, an antenna with cardioid directivity and eight figured directivity was used for the direction finding. There are two methods for the measurement, that is, the aural null type and the visual null type, and it is possible to choose conveniently.

As for the demodulating faculty, the FM-PM double modulated signals of activity become FM subcarrier frequency after detects the envelope. The wave of FM subcarrier frequency is detected for recording by F-V converter. The receiver is made with a shoulder carrying type for the use of field investigation.

## 3. Tracking antenna

When a radio wave is weak, it is practical to find the activity area of the animal by tracking

the radio wave. Therefore, the antenna has directivity with structure of handy to carry.

This antenna is two element, half wave-length antenna having characteristics of (1) cardioid directivity, (2) eight figured directivity and (3) uni directivity.

For the antenna, 1/2 loading element was used to make it small sized. The element is fold type to make the antenna easy to carry for the field work.

#### 4. Measurement of many seals

##### (1) Measurement of activity area

Much effort is required to measure activity area of many seals. When an investigator approaches the animal, he would give unnecessary stimulation to other seals as well as the tagged seal, thus he may fail to measure normal behavior of the animal. However, by setting the antenna for fixed point observation near the territory, it became possible to observe activity area of many seals at the same time over long period.

This observation system is the amplitude comparison single channel type which can give direction of each tagged animal. Therefore using two or more such systems, it is possible to know the place and activity area of the seal.

##### (2) Measurement of activity

It is not economical to have the same number of receivers with the number of seals tagged. this system has advantages of recording automatically of identification mark and of activities at the fixed time intervals. Therefore it is possible to obtain information on many animals' attitude by each of them regarding the rest, he walk, number of quick movement and quantity of movement in a fixed time.

#### 5. Power source

Concerning the power source for the telemetry system, in most of the case, it is difficult to use commercial electric source (AC 100~115V) in a field research. An electric generator may give the animals unfavourable noise and exhaust gas. Hence all the instruments of the system were designed to use batteries as power source. The battery used is nickel cadomium, which is available to used repeatedly and make sure of low cost after being charged using a "quick charger".

#### 6. Some advantages of biotelemetry and prospect of developing the instruments

As compared with the instruments developed herewith and conventional visual observation, some peculiar differences between the data obtained by the two methods were confirmed, that is, in (1) objectiveness (2) continuity and (3) quantitative analysis. These differences are as follows:

- (1) The data automatically recorded by the biotelemetry system do not include discrepancy among the individuals, and have substantial clearness.
- (2) The visual observation is sometimes difficult to be continued during night time and under unfavorable geographical features. However the biotelemetric observation is not affected by these matters.
- (3) It is difficult to carry out the research on quantitative measurement through visual observa-

tion. But biotelemetry makes it quite possible to have these measurements.

The data of multiple items on ecological factors are naturally more useful in the case of the investigation to obtain parameters which are necessary to the resource management. Therefore it would be necessary to develop the multi information system for the use of observation at land and sea simultaneously in order to study ecology of seals in all the place of their habitat. In the stage of developing the new system, it would be better to use with the conventional visual ones.

生物を対象としたテレメトリー機器は野外の調査に適したシステムと構造が望ましい。従って、簡単な操作、長時間のデータ収集とその電源の供給、小型軽量化及び防水性等が要求される。又、機器の開発に当っては工学的技術のみに片寄ると、いたずらに精度を追求し、実用面に即さない場合が応々にして起こる。従って、生物・工学両面より実状に即した妥協点を見つけて進める事が最も大切なことである。

上記の点を考慮し、繁殖島上のオットセイ生態調査に使用する電波テレメトリー機器を水産庁遠洋水産研究所オットセイ資源研究室と牧田電子研究所とが協力開発してきたが、野外調査における実用化の目処が得られたので、そのシステムについて紹介する。これらの機器を使用し、繁殖島上におけるオットセイの行動生態を調査した結果は BABA et al. (1979) に詳述してある。

本文中に使用した数式や値は機器開発の目安とされたものであり、正確には更に多くのパラメーターを必要とするであろう。しかし、あまり多くの未知母数にこだわると、機器の開発が困難になるため、本報告では概略計算を用いて取りまとめた。

## 1. 発 信 器

行動生態調査において、発信器は最も特質が出る機器である。従って、発信器の作製には

- (1) 小型軽重量で耐水圧容器とすること。
- (2) 小容量電池で長時間作動させること。
- (3) 測定距離を大きくすること。

が要求される。

しかし、上記の要求は電氣的に相い反する関係にあるため、調査対象となる生物の特性を考慮しつつ調査の目的が達せられるよう開発されなければならない。

発信器の方式は応答発信法（トランスポンダー）と自発信法の二種類に大別される。前者は、受信部と発信部よりなり、基地局の送信機から指令を受けた時のみ発信部より電波が放射されるため、発信部の平均消費電流は少なくなる。しかし、受信部は常時待ち受け動作が必要となる。

従って、応答発信法によれば、理論的には直距離と方向を同時に測定する事により、一点観測が出来る有利さはあるものの、この利点は標識オットセイと受信地点とが比較的短いことから、必ずしも適当な方式とはいえず、かつ、標識に内臓する発、受信部の消費電流及び電子回路の増大を勘案し、本システムの発信器は自発信法とした。

(1)については、電池と耐水圧容器とに左右される。発信器重量を 220 g 以下に作製することが出来たが、この重量は装着用ハーネス (300 g) を含め、調査対象動物の平均体重 (約 45 kg) の約 1.2% の重さに相当する。耐水圧容器はオットセイの潜水最深度 (ICHIHARA and YOSHIDA, 1972) に依拠して、20 kg/cm<sup>2</sup> 以上とすることにした。

(2)については、一般に搬送波 (Carrier) の部分の消費電力によって決定される。従って、平均消費電流を節約すると同時に、雑音との区別も容易にする目的で、搬送波を断続させるパルス発信方式を採用した。

パルス発信とは、図 1 に示すように、パルス発信巾 Tw の時間だけ搬送波を発信させ、それ以外の Tp 時間は発信を停止させる方法である。この方法によると Tp の消費電力は極めて小さくなり、Tw のみ電力を消費することになる。

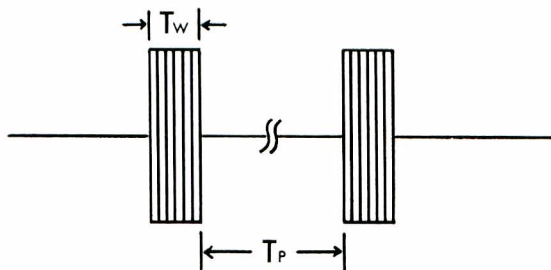


Fig. 1. Pulse oscillation wave form.

発信器の平均消費電流は Duty ratio ( $T_p/T_w$ ) を大きくする程小さくなる。しかし、搬送波発信時間  $T_w$  は受信器の感度に、 $T_p$  は応答時間に関係する。行動域観測用発信器の  $T_w$  及び  $T_p$  は受信感度及び応答時間が比較的良好であった 10 m sec., 及び 100 m sec. とした。従って、Duty ratio は 10 となり、電池の寿命は連続波発信器より約 10 倍長くすることが出来た。

使用電池としてはマンガン、水銀、酸化銀及びリチウムの各電池が考えられる。これらのうち、リチウム電池は最高のエネルギー密度 (Wh/kg, Wh/l) が得られる。重量効率 (Wh/kg) はマンガン乾電池の 5~10 倍であり、又、水銀電池の約 1.5 倍の体積効率 (Wh/l) である。さらに同一寸法の水銀電池の約 1/2 の重量なので、重量効率は約 3 倍になる。これらの特長の他に定電圧特性、温度特性、1 セル当りの起電圧も他類電池に比較してすぐれている。従って、発信器にはリチウム電池を使用した。

(3)については、アンテナ、発信周波数、電池容量、放射電力及びその他の要因により制約される。バイオテレメトリーにおいて、伝播距離をのぼす方法はオットセイの行動を阻害しないように小型のアンテナにし、周波数を高めれば、大地の反射波が増加する。又、受信側は周波数の低ドリフトを(高感度受信のため)求めて、水晶制御にすれば、水晶の製造技術により制限を受ける。従って、通倍あるいは高次波モードにより周波数を高めれば、消費電力の増加と電子回路の増大を伴う事になる。

一方、広範囲な伝播を求めて、周波数を低くすればアンテナが大形化するばかりか、外来雑音の増加により S/N 比が低下する。バイオテレメトリー用の周波数は生物及び工学の両面を満たす必要があり、自ら限定される。本システムでは発信周波数として、画一的に 53 MHz 帯を使用した。

53 MHz 帯の波長は約 5.7 m であり、電気的に適したアンテナとすれば生物には到底使用出来ない長さとなる。アンテナの長さは生物への装着、耐水圧構造等を考慮し、約 30 cm のリード線をハーネスに縫合した。従って、発信器電力の整合が悪くなるばかりか、アンテナの地上高も低くなる。このような状態で 100 m 離れた地点の電界強度 (E) は  $15 \mu\text{V/m}$  程度となる。

波長に比べて短い直線導線と角  $\theta$  をなす方向の距離  $r$  (m) における自由空間内の電界強度 E は

$$E = \frac{60 \pi I h e}{\lambda r} \sin \theta \text{ (V/m)} \dots\dots\dots(1)$$

で表わされる。(但し、実効長= $h e$  (m)、導線を通れる電流= $I$  (A)、波長= $\lambda$  (m) とする。) (1)式を利用して直線導線が、接地空中線として使用された場合の放射電力 P (W) との関係は

$$E = \frac{3 \sqrt{10}}{r} \sqrt{P} \sin \theta \text{ (V/m)} \dots\dots\dots(2)$$

となり(2)式を書き改め、 $\sin \theta = 90^\circ$  とすると

$$P = \left( \frac{E r}{3 \sqrt{10}} \right)^2 \dots\dots\dots(3)$$

となる。これにより概略の P は  $2.5 \times 10^{-5} \text{mW}$  となり、従って今、 $50 \Omega$  インピーダンスの起電力に換算すると

P は約 $-46$  dBm ( $1$  mW $=0$  dBm) で極めて微弱な放射電力となる。

以上のような諸制限のほかに、フィールドの地形や外来雑音により測定範囲は異なってくるが、発信電波の受信距離は  $1$  Km 程度と予測され、オットセイ繁殖島上でのオットセイの生態行動観測には十分とはいえないが使用出来るものとなる。

### (1) 行動域観測用発信器

図 2 に行動域観測用発信器の回路図を示した。トランジスター(Q) は抵抗( $R_1$ ) とコンデンサー(C) 及び抵抗( $R_2$ ) とコンデンサー(C) により時定数( $\tau_1=R_1C \cong Tw$ ,  $\tau_2=R_2C \cong Tp$ ) で水晶振動子(X) の周波数搬送波をブロッキング発信させる。ブロッキングされた搬送波は整合コイル(L) を通ってアンテナ(A) より放射される。

$R_2$  に生物の環境要因の変化により抵抗が変化するセンサーを挿入すれば、発信器のパルス間隔が変調され、見合った情報値を伝送する事も可能である。

Table 1-1. Characteristics of a transmitter for the observing location.

Wave form	: $P_0$ (Intermission of carrier by pulse modulation frequency)
Oscillating frequency	: 53 MHz zone
Radiation power	: About $2.5 \times 10^{-5}$ (mW)
Power source	: Lithium battery. Two pieces (DC 5.6 V)
Life span of batteries	: About 6 months
Weight	: 200 (g) in air
Size	: $35 \phi \times 155$ (mm)
Submergible pressure	: 30 kg/cm <sup>2</sup>

表 1-1 に行動域観測用発信器の特性を、写真 I-1 に発信器の外観を、I-2 に電子回路を示した。

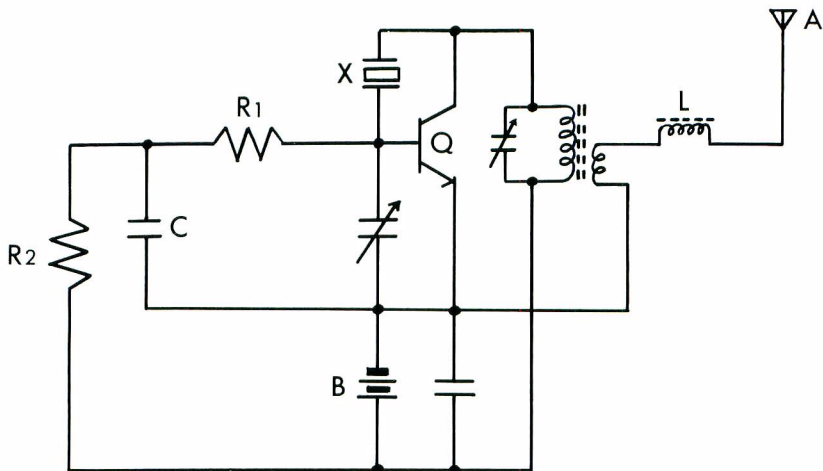


Fig. 2. Circuit diagram of transmitter for observing location.

### (2) アクティビティ観測用発信器

アクティビティ観測用発信器は動物の活動を観測するためのもので、発信方式は行動域観測用発信器と同じパルス発信を採用した。アクティビティ情報はパルスの繰り返し周波数の変化を情報変化に比例させ、伝送する簡便方法を採用した。

アクティビティ検知器には加速度計等が考えられる。工業用の加速度計やその他既存の検知器は形が大き

く、変換量も適当でないので、生物への検知器としては応用が困難である。従って、静止及び活動状態の変化を検知出来ればよく、単純な構造と低消費電力及びオットセイの行動的特徴を利用し、水銀スイッチを使う新しい方法を開発した。検知器の寸法は直径 6 mm, 長さ 10 mm, 重量 1.6 g である。この検知器は金属容器に封入されているから、機械的衝撃に強い。

アクティビティ検知器の動作は図 3 に示したごとく、④では水銀スイッチにより、電源 B が導通して抵抗 R に出力電圧(e)が加わり、発信器のパルス繰り返し周波数が高くなるようにサブキャリア発信器を動作させる。⑤では水銀が電極より離れ、スイッチが OFF の状態になると、パルス繰り返し周波数は低くなる。

図 4 のようにオットセイに発信器を装着すると、オットセイの動態に応じて水銀スイッチが ON 及び OFF となる。ここでオットセイの静止、歩行、その他の激しい動きの状態を判別するため、水銀スイッチの出力に

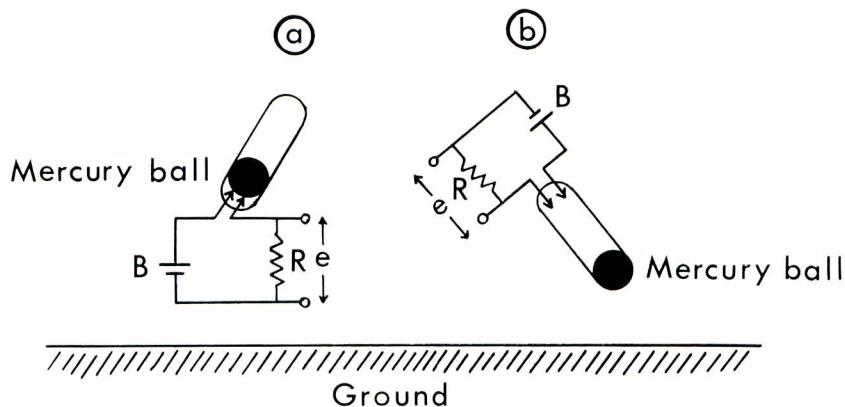


Fig. 3. ON-OFF switch made by mercury ball of activity sensor.

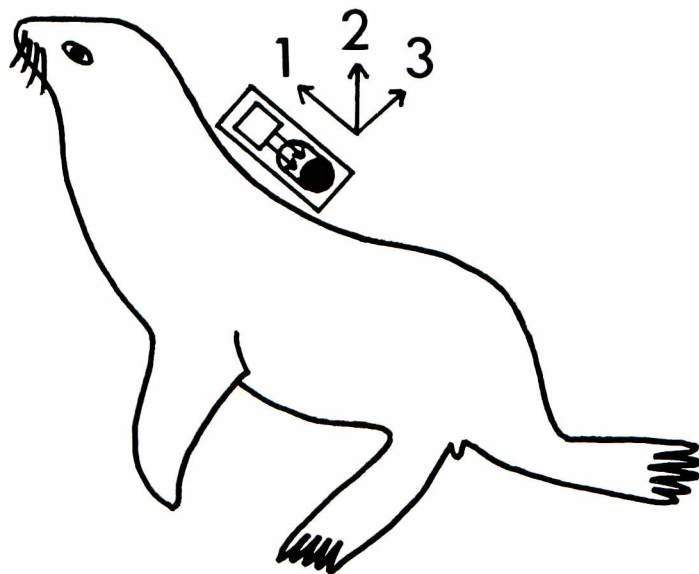


Fig. 4. Harnessing of the mercury ball switch of activity transmitter.

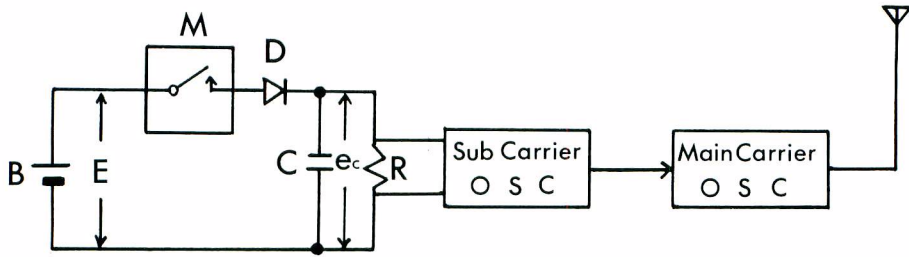


Fig. 5. Block diagram of transmitter for observing activity.

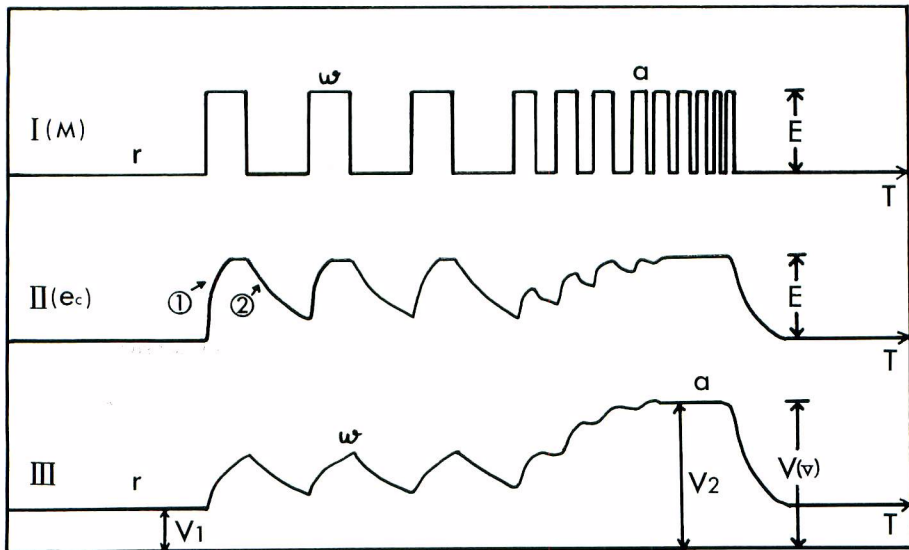


Fig. 6. Timing action and demoduration wave form of receiver.

- I A action of mercury switch
- II Charge-and-discharge characteristics of time constant circuit
- III Demoduration output of receiver

時定数回路を入れ、情報量を増加した。又、高インピーダンス時定数回路により、消費電流は数  $\mu A$  ときわめて微少になる。

図5にアクティビティ観測用発信器のブロック図を、図6にタイミング動作及び受信機復調波形図を示した。オットセイの動態により水銀スイッチMが閉じると、電源BがダイオードDに加わり、コンデンサーCを充電する。すなわち、 $e_c$  に比例した電圧でサブキャリア発信器の周波数が変化され、メインキャリア発信器をパルス変調して情報を伝送する (FM-PM 方式)。サブキャリア発信器の入力インピーダンス ( $Z_i$ ) はRよりかなり大きく、ダイオード内部抵抗 ( $r$ ) はRよりかなり小さくなる。オットセイの動態により水銀スイッチMが閉じた時、コンデンサーの両端の電圧  $e_c$  は  $E(1 - e^{-t/Cr})$  で充電される (図6の①の部分)。Mが開になると、 $e_c$  は  $Ee^{-t/Cr}$  で放電する (図6の②の部分)。

(I) の  $r$  部分はオットセイが静止状態、 $w$  は歩行状態、 $a$  は激しい動きの状態時の水銀スイッチの開閉を示す。これに対応するコンデンサーの充放電電圧は (II) に示す。 $e_c$  が  $w$  の状態に相当する時間  $t$  に対して時定



数  $\tau_1 = Cr$ ,  $\tau_2 = CR$  を (II) の状態になるように適当に選べば, 受信機復調出力は (III) のようにペンレコーダに記録される。 $r$  と  $a$  の状態は出力レベル差により識別され ( $V_2 > V_1$ ),  $w$  は振動的な波形となる。実際には発信器装着獣の行動状態を目視観察しながら, 受信機復調出力と対応させて  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  を選んだ。又, オットセイ動態の速度は比較的遅く, 多くの場合 0.5 秒以上であるから, サブキャリア周波数は 40 Hz 以下でもよい。その結果, 電源節約以外に, 受信感度の向上の一因ともなった。

Table 1-2. Characteristics of transmitter for the observing activity.

Moduration system	: FM-PM
Carrier frequency	: 53 MHz zone
Subcarrier frequency	: 10-50 (Hz)
Radiation power	: About $2.5 \times 10^{-5}$ (mW)
Sensor	: Mercury switch
Response time	: Over 0.5 sec.
Life span of batteries	: 3 months (In using average information value)
Power source	: Lithium battery. Two pieces (DC 5.6 V)
Weight	: About 220(g) in air
Size	: $35\phi \times 155$ (mm)
Submergible pressure	: 30 kg/cm <sup>2</sup>

写真 I-3 にアクティビティ観測用発信器の電子回路を, 表 1-2 にその特性を示す。

## 2. 受信機

オットセイの生態研究用電波テレメトリーシステムにおける受信機の機能は発信器の特性, 測定の内容及び記録の方法により決まってくるが, 設計に当たって考慮すべき要素には, (1)高感度受信, (2)個体識別, (3)行動域測定 (方向探知), (4)アクティビティ情報の復調等があげられる。

### (1) 高感度受信

受信機の出力雑音には外部雑音と受信機内部の雑音があり, 外部雑音は測定場所により決まる。受信機内部の雑音は受信機通過帯域巾及び雑音指数にほぼ比例する。受信機通過帯域巾はパルス発信巾 10 m sec., 繰り返し時間 100 m sec. の発信器の場合, 約 200 Hz あれば良いが, 本受信機では周波数安定度, 受信音を考慮して 600 Hz とした。

理想受信機の入力雑音電力 ( $N_0$ ) は  $kTB$  ( $k$ :ボルツマン定数,  $T$ :絶体温度,  $B$ :受信機通過帯域巾) で与えられるが,  $B=600$  Hz,  $k=1.38 \times 10^{-23}$  J/K,  $T=290^\circ$ K (周囲温度  $17^\circ$ Cを加えた絶体温度) とすると, 理想受信機の入力雑音電力は約  $-146$  dBm ( $0$  dBm =  $1$  mW) となる。

実用受信機 (本受信機) の雑音指数 ( $N_F$ ) を  $4$  dB とすると, 入力雑音電力 ( $N_P$ ) は  $N_F kTB$  であるから,  $N_P$  (dB) は約  $-146$  dBm +  $4$  dB =  $-142$  dBm となる。従って, 受信機入力インピーダンス  $50 \Omega$  の入力雑音起電圧は  $-142$  dBm =  $-35$  dB/ $\mu$ V  $\approx 1.8 \times 10^{-2}$   $\mu$ V となる。従って, 受信機はこの入力雑音レベル以上で信号強度の記録及び指示をする。

標準信号発信器から発信された電波の本受信機による受信の信号強度特性を図 7 に示した。この図から  $-140$  dBm の微小レベルはセットノイズから十分に弁別できたことがわかる。

### (2) 個体識別

バイオテレメトリーによる多数個体の調査を行なうためには, 受信機に個体を識別する機能が必要となる。本システムでは発信器のキャリア周波数の判別で個体識別を行なう方法をとった。発信器周波数は  $25$  KHz 間隔とした。受信機ではこの周波数間隔に相当する局部発振器の周波数を切り換える。

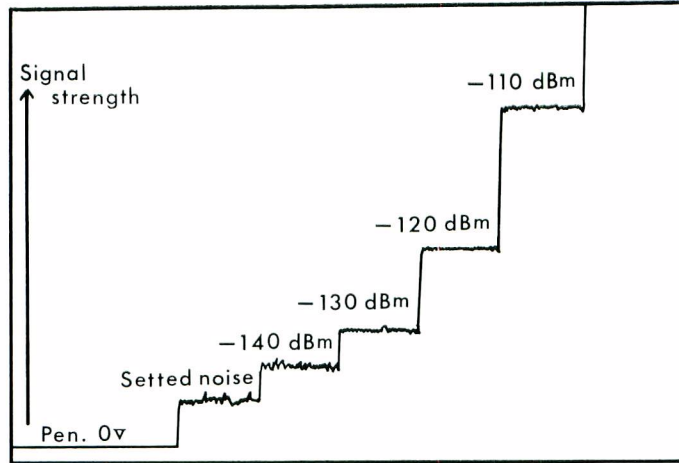


Fig. 7. Characteristics of signal strength of receiver recorded on penrecorder by standard-signal generator.

F.S.=0.5V Chart speed=2 cm/min.

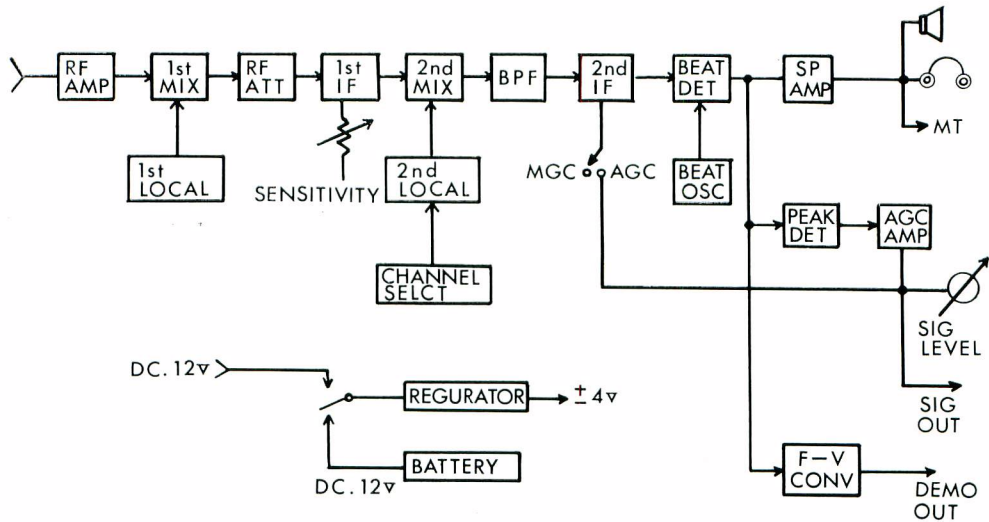


Fig. 8. Block diagram of receiver.

図8に受信機のブロック図を示した。図中の2nd LOCALと2nd MIXとフィルターBPFにより受信周波数は選別され、本受信機では11個体の識別が可能である。

### (3) 行動域測定(方向探知)

行動域の測定は指向性を有するアンテナを使用し、方向探知より発信器装着獣の位置を求めていく。本システムは可聴音方式(Aural null type)と可視消音方式(Visual null type)を併用した。可聴音方式はカーディオイド特性(Cardiod directivity)又は8字形特性(Eight figured directivity)のアンテナに誘起された電波を増巾検波して、信号音をヘッドホーン又は、スピーカーで聞きながらアンテナを回転し、消音位置を求める方法である。

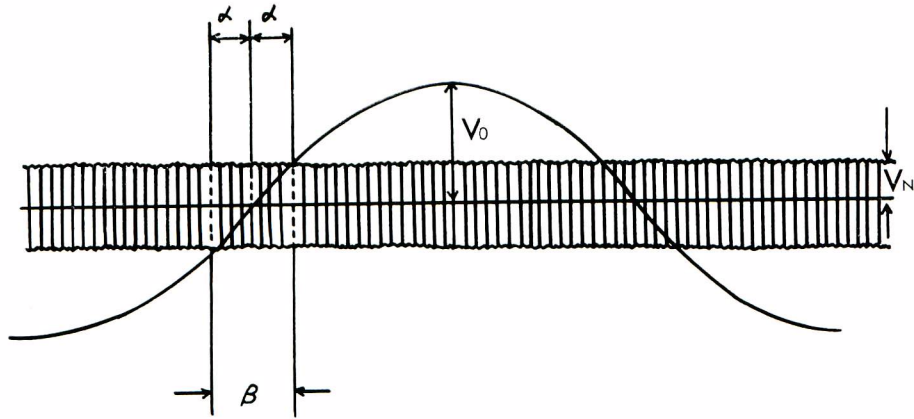


Fig. 9. Receiver output noise and signal.

本受信機では受信動作状態を手動利得制御 (MGC) にして, RF-ATT (10 dB ステップで最大減衰量 50 dB) 及び SENSITIVITY により受信感度を調整し, アンテナの消音点を求める。実際の測定においては空中線効果, その他の擾乱効果及び受信機の内部雑音などの存在によって完全な消音点は得られないから, 最少感度位置は明瞭に定まらない。そのため, 測定者は消音点の近傍でアンテナを左右に回転させ, 信号の判別可能な両可聴限界点, 又は等強度点を求め, その両点の中心方向値をもって測定方向とするのが普通である。これ等の操作は Swing と呼ばれている。

測定の際の Swing 角度巾, すなわち, 消音巾 (Silent-arc) ないし最小感度巾 (Minimum sensitivity width) は最大限  $\pm 30^\circ$  程度までが許容し得るとされているが, 測定者の熟練度によっても異なる。又, 可聴音方式は Swing 操作を必要とするため, 測定に手間どるが, 原理的には最も簡単なため, 取扱いが最も確実である。特に, 混信のある微弱信号の測定に対しては, 他方式に比べてすぐれている。

今, 図 9 にアンテナを  $360^\circ$  回転した時の信号出力電圧 (実効値) の正弦変化  $V_0 \sin \theta$  と, これに重畳して現われる雑音出力電圧  $V_N$  (RMS 値) を示す。アンテナの零感度点 (Null point) の近傍は雑音に覆われて検知不可能であるから, 信号を雑音から分離して聞き分けることの出来るような限界 (Threshold) のアンテナ回転角を  $\pm \alpha$  とすると, 最小感度巾  $\beta$  は  $2\alpha$  に等しい。しかし, 多くの人々の実験測定によれば, このような判別可能最低信号出力, 即ち  $V_0 \sin \alpha$  は可聴音方式の場合,  $V_N$  よりかなり小さいのが普通である。これはよく知られているように人間の耳自体が 1 つの優れた弁別器であって, 雑音を構成する周波数成分の中の相当部分を除去するからである。

耳に感じられる雑音強度を  $V_{Ne}$  とすれば

$$V_{Ne}/V_N \cong \sqrt{B_e/B} \dots\dots\dots(4)$$

なる関係が成立している。ここで  $B_e$  及び  $B$  は耳及び受信機の通過帯域巾である。例えば, H. FLETCHER の測定によれば, 1 KHz の連続音に対して  $B_e \cong 60$  Hz の結果が得られており, 本受信機の通過帯域巾 600 Hz と較べることに更には狭い。従って, 受信機の帯域巾は最小感度巾  $B=2\alpha$  にあまり影響を与えない。

可聴音方式の場合の  $\alpha$  の値は

$$V_0 \sin \alpha / V_{Ne} = C \dots\dots\dots(5)$$

なる関係式によって定められる。ここで  $C$  は定数で測定者の能力・疲労度などによっても異なるが, 経験的に大体 1~3 (0~10 dB) の値が得られている。

(4)及び(5)式より

$$V_0 \sin \alpha / V_N = C \sqrt{B_e} / \sqrt{B} \equiv C' \sqrt{B} \dots\dots\dots(6)$$

が得られる。Be を 60 Hz (Be は KHz 単位), C は 1~3 とすると C' は 0.25~0.75 となり, 平均的には約 0.55 となる。

今, 通過帯域巾 B=600 Hz の受信機で, 方位測定可能なための (最大感度点における) 受信機出力 S/N 比の下限が  $\alpha < 30^\circ$  の制限条件 (アンテナの最小感度巾) の場合, (6) 式から  $V_0/V_N$  は  $C'/\sqrt{B} \sin \alpha$  となり, 0.65~1.94 ( $\approx -4\text{dB} \sim 6\text{dB}$ ) となる。故に, 受信機雑音レベルの約 1/2~2 倍程度の信号強度があれば方向探知が出来る事になる。従って, 本受信機は先に述べたように, 受信機の入力雑音レベルは  $-142\text{ dBm} = 0.018\ \mu\text{V}$  であるから,  $-146\text{ dBm}$  から  $-136\text{ dBm}$  ( $0.011\ \mu\text{V} \sim 0.036\ \mu\text{V}$ ) のレベルで方向探知が出来る。

一方, 可視消音方式は信号レベルを受信機のメーターに指示する方式であるから, 受信機の帯域巾によって最小感度巾が決まる。又, 可聴音方式に較べてより大きな N/S 比を必要とする。可視消音方式は測定者の視覚に訴えて最小感度点を求める方式であるから, 可聴音方式に較べて測定者の疲労が少なく, 熟練度もそれほど要求されない利点がある。

本システムにおいては, フィールドにおける電波の受信状態により, 両方式のうちの適した方を使う事にした。又, この方式での方探の精度は前述した最小感度巾に影響されず, 方探の精度は検知可能な両臨界点の角度位置をいかに正確に測れるかによる。

(4) アクティビティ情報の復調

アクティビティ情報の復調はまず発信器の検知器出力電圧でサブキャリア発振器の周波数を変化させ, 次にこの変化をした周波数でキャリアをパルス変調して伝送する二重変調 (FM-PM) 方式である。従って, 受信機は二回復調をする必要がある。すなわち, 可聴周波数にビート検波されたキャリア (図 10) はリミッターにより雑音を抑圧され, パルス状の波形 (バーストパルス) (図 11) とされる。バーストパルスは数値的に包絡線検波され, サブキャリア周波数が復調される。又, 発信器のサブキャリアのパルス巾  $T_w$  (キャリア発信巾) は常に一定で, パルスの繰り返し時間  $T_p$  は情報に比例して変化させられる。

復調されたサブキャリア周波数は図 12 の特性をもった F-V コンバータ (周波数-電圧変換器) により  $1/T_p(\text{sec.}) = f(\text{Hz}) = V_c$  として復調される。つまり, 検知器によって周波数変調されたサブキャリア発振器の周波数は電圧に変換され, 検知器の出力電圧変化として記録機に記録される。なお, 測定者は耳で情報を判別出

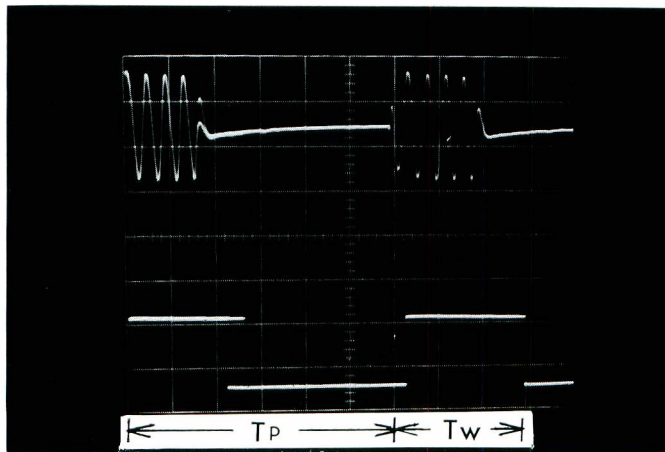


Fig. 10. Oscilloscope image of pulse information signal—(1).

The upper wave form is an information signal converted to audio frequency.  
 The lower is demoduration wave form of subcarrier oscillator.  
 The horizontal axis 5 V/Div. and the lateral axis 5 m sec./Div.

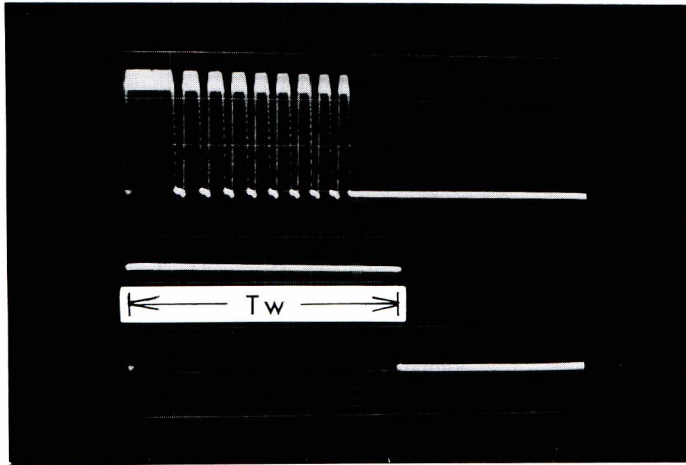


Fig. 11. Oscilloscope image of pulse information signal—(2).

The upper wave form is the state that an information signal converted audio-frequency became to burstpulse.

The lower is demoduration wave of subcarrier oscillator demodurated from burstpulse.

The horizontal axis 5 V/Div. and the lateral axis 2 m sec./Div.

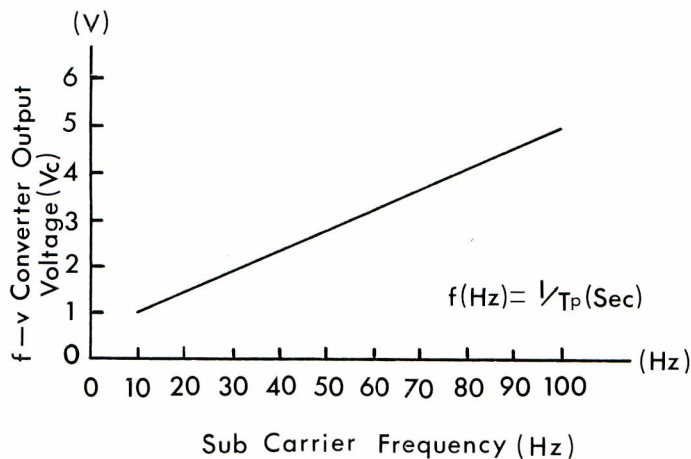


Fig. 12. The input-output characteristics for subcarrier demodurator.

(Output voltage correspond with a change of sensor)

来る特徴があり、フィールドワークに対して有効な手法である。

受信機の作製に際しては、トラッキング（移動追跡）にも使用するため携帯可能な構造とした。

写真 II-1 及び II-2 に受信機パネル面と電源部を、表 2 に受信機特性を示した。

### 3. 移動追跡用アンテナ

行動域調査では方向探知により生物の位置を測定するが、微弱電波を探知するには受信側を移動させる方法、即ちトラッキング方法が従来から行なわれてきた。この方法は労力を要するが、実際に行って見ると都合

Table 2. Characteristics of the receiver.

Type	: FM-PM (PRM-PM)
Receiving frequency	: 53 MHz zone (Main carrier)
Receiving channel	: 11 changeable form
Input impedance	: 50 ( $\Omega$ )
Range of receiving input level	: -142~-60 (dBm)
Subcarrier demodulation frequency	: 10~100 (Hz)
Indicator	: Signal intensity, Subcarrier demoduration output, Battery voltage
Sound output	: 0.2(W) max. (Headphone is used in change)
Recorder output	: Signal intensity. Subcarrier demoduration output
Monitor output	: Subcarrier frequency
Remote control	: Receiving channel (11) Possibility of use from outside
Power source	
Internal battery	: Nickel Cadmium battery (NR-AA) $\times$ 10 pieces
Battery life	: About 8 hours
External power source	: DC 12 (V) 120 (mA) max.
Construction, Size	: Hanging style on shoulder. W 198 $\times$ H 73 $\times$ D 157 (mm)
Weight	: About 1.5 (kg) (Including internal batteries)

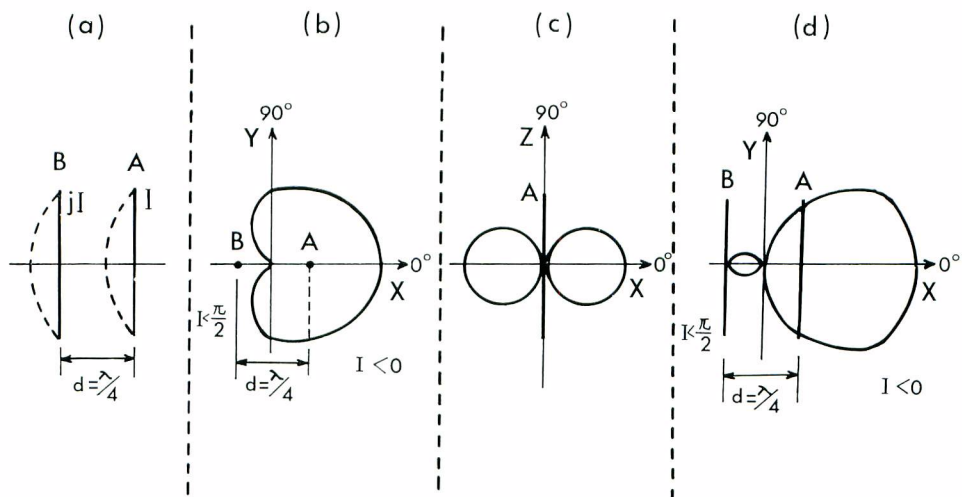


Fig. 13. Characteristics of tracking antenna.

が良く、基本的な方法であると言える。従って、アンテナは方向探知が可能な指向性と携帯可能な構造が望まれる。

図13に移動追跡用アンテナの特性図を示した。図の(a)のように二本の半波長アンテナA及びBを  $d = \lambda/4$  に配置する。BはAより電流の位相が  $90^\circ$  ( $\delta = \pi/2$ ) 進んでいるとすれば、(b)のような垂直偏波水平面指向係数  $D_s$  は  $2 \cos\{\pi/4(1 - \cos \phi)\}$  となり、 $\phi = 0$  の配列方向では電界強度が同相で2倍となり、 $\phi = \pi$  即ち、(-Xの方向)では放射がなく、ハート形の指向性となる。又、(c)のように1素子にして、半波長ダイポールアンテナ

ナにすれば、水平偏波の水平面指向係数  $D_0(\phi)$  は  $\cos(\pi/2 \sin \phi)/\cos \phi = \cos \phi$  となり、X-Z 面で8字形の特性になる。更に、(d) のように2素子のアンテナで水平偏波水平面指向係数  $D(\phi)$  は  $2 \cos\{\pi/4(1-\cos \phi)\} \cos \phi$  となり単向形の特性になる。

従って、上述(b)~(d)の3つの指向性を持たせるためには、(b)と(d)は2素子を大地に対して垂直又は、水平な状態に変えられ、さらに(c)は1素子を折りたためる構造とした。

周波数 53 MHz のアンテナでは半波長の長さが約 2.83 m にもなり、携帯は困難である。このため、エレメントをコイル状にして 1/2 に短縮し、1素子の長さを約 1.4 m とした。エレメントはジョイントで折りたたみ、又、手持ちポールは脱着出来る構造としたため、収納時の大きさは約 1.36 m となった。2エレメント追跡用アンテナの構造は写真 II-3 に、携帯時の外観は写真 III-1 に、特性は表 3 に示した。

Table 3. Characteristics of tracking antenna.

Antenna type	: Directional 2 elements antenna
Feed form	: 2 elements feed style
Frequency	: 53 MHz zone
Impedance	: 50 ( $\Omega$ )
Standing-wave ratio	: Under 2
Gain	: 0 dB (Dipole antenna ratio)
Contraction	: 1/2
Size	: About 1.4×1.4 (m)
Weight	: 1.5 (kg)
Construction	: Portable, fold type

## 4. 多数個体の観測

### (1) 行動域観測システム

トラッキング方法による行動域の観測は少数個体を追跡する方法なので、多数個体の追跡には多大の労力を要する。又、近接しなければならぬため標識獣以外のオットセイにも刺激を与え、その結果、標識獣の真の行動域を測定出来なくなる恐れもある。従って、多数個体の行動域の観測を行なうためには、トラッキング法よりは定点観測用アンテナをテリトリーの近くに設置し、行動域を求める方法が妥当である。本システムの設計にあたってはアンテナの機械的駆動を排除し、電子スイッチによる切換方式として、電源消費の最少化をはかり、多数個体の長時間同時行動域観測が可能となるように努めた。

システムのブロック図を図 14 に示す。このシステムの大半の機器は他の測定にも使用可能とした。

アンテナは移動追跡用アンテナと同方式のものを使用し、図 15 に示すようにカーゴイド指向特性が  $180^\circ$  異なった向きになるように配置した。今、y 方向からの到来電波は2基のアンテナに oa, ob なる起電圧が生じる。この起電圧の比即ち、ob/oa を求め到来方向を知る。設置型行動域観測用アンテナの外観を写真 III-2 に、その分解写真を III-3 に示した。アンテナは軽量化したうえで支柱をスライド式とし、フィールドでの組立及び分解に特別な工具を必要としないよう配慮した。

システムでは振幅比較 1 チャンネル方式のため、アンテナコントローラを使用することにより、多数個体の長時間同時行動域観測を可能とした。図 16 にアンテナコントローラのブロック図を示した。アンテナコントローラは2個のアンテナの起電圧をアンテナスイッチに受け、タイマーコントロールにより任意の設定時間で切換えられて、受信機に加えられる。受信機は加えられたアンテナ起電圧に比例した信号強度レベルをコントロールスイッチに加え、タイマーコントロールに同期した時間でペンレコーダーに信号強度が記録される。又、各個体間の関連を調査する時は希望個体の順序を、予めチャンネルプリセットにセットしておく。各個体のチャ

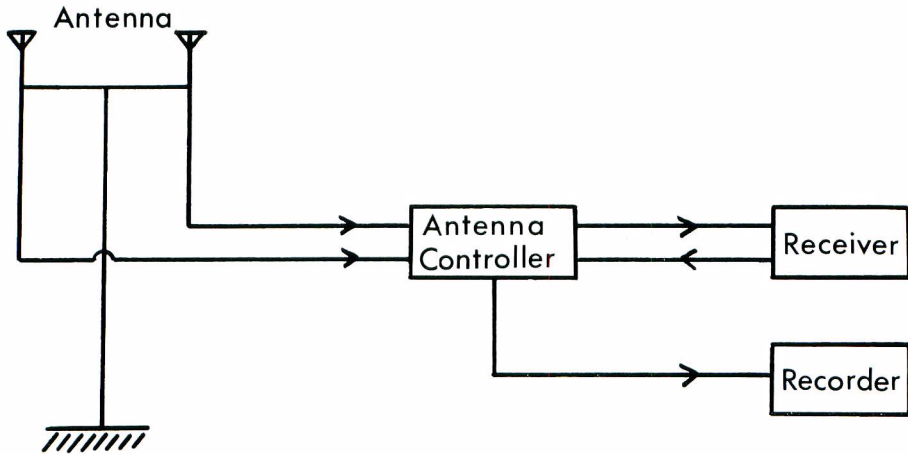


Fig. 14. Block diagram for observing location of a multitude of individuals.

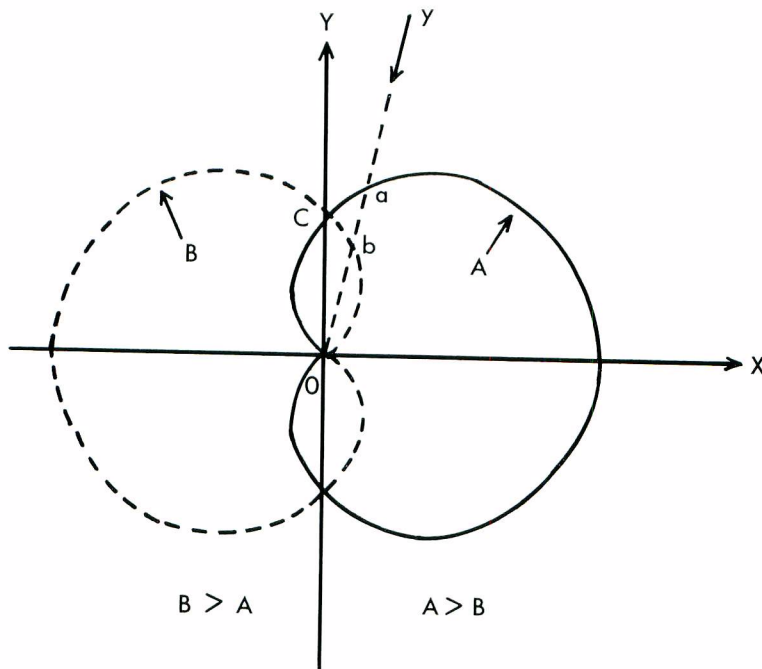


Fig. 15. Characteristic graph of fix type antenna for observing location.

ンネルに相当するコードはコードコンバーターによりデコードされ、受信機はセットされた個体の順序で、リモートスイッチにより受信する。又、同時に、各個体のチャンネルに相当するコードはデコードされた後、マーカー発生器へ加えられ、受信した個体に相当するマーク（レベル）がレコーダに記録される。次に、受信しているアンテナに相当するマークが信号強度と同期して記録される。生物の移動状態及び空中線までの距離に応じて、アンテナスイッチの切換え時間はタイマーコントロールで任意に設定出来る。



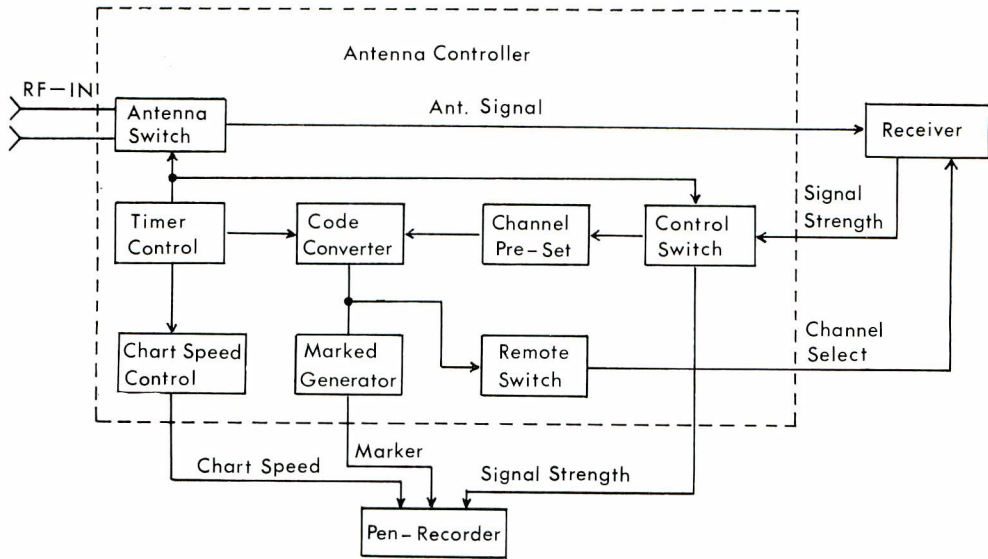


Fig. 16. Block diagram of antenna controller.

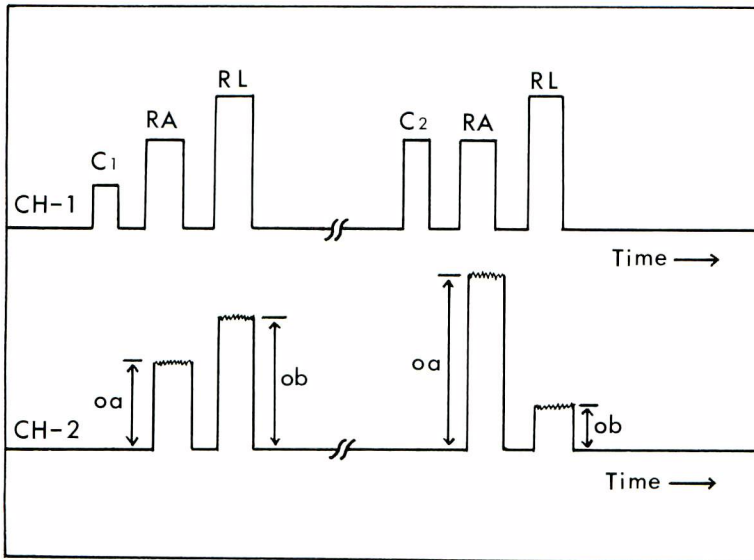


Fig. 17. Record on the observing of location of a multitude of individuals.

C<sub>1</sub> and C<sub>2</sub> are the individual identification mark, RA and RL are the antenna mark of two antennas in CH-1.

oa and ob are signal intensity of antenna correspond with the antenna mark in CH-2.

図 17 に記録図を示した。記録機は長時間の記録に便利な 2 チャンネルのペンレコーダーを使用した。記録機のチャートスピードはコントローラのチャートスピードコントロールにより制御される。アンテナコントローラは全ブロックが電子回路のため、高速動作が可能であるが、記録データの判別と用紙の使用時間（20 時間以上）により、速度制限を受ける。従って、図 17 の RA・RL に相当するデータ (oa・ob) の受信時間は各々約 5 秒とした。多数個体の行動域観測システムを写真 IV-1 に、アンテナコントローラのパネル面は写真 IV-2 に、特性は表 4 に示した。

Table 4. Characteristics of antenna controller.

Input frequency	: 53 <sub>g</sub> MHz
Input impedance	: 50 (Ω)
Antenna input signal loss	: Under 0.5 dB
Antenna switch cross talk	: Over -45 dB
Receiving control channel number	: 11
Channel preset number	: 11
Preset select number	: 10 (Free changeable possibility from 2 to 11 presets)
Time of action in one cycle	: Changeable set by 40 sec., 2 min., 3 min., 5 min.
(From individual mark to next one)	
Individual identification mark	: 11 level by 0.2V step
Antenna mark	: 2 level by 0.2V step
System timer	: Changeable set by 1 min., 2 min., 3 min., 5 min., 10 min.,
(Control the start or stop of the all system)	20 min., 30 min., 1 hour, 2 hours, 3 hours (Time are moving or resting time of the system)
Indicator	: A condition of controller Preset channel indicator R-L antenna signal intensity indicator
Power source	
Internal battery	: Nickel Cadmium battery (NR-D 3.5) × 16 pieces
Working time	: Over 65 hours
External power source	: DC 20V, Over 50 mA
Size	: About W 286 × H 190 × D 215 (mm)
Weight	: About 7 (kg) (Including internal batteries)

## (2) 定点観測による測定範囲

本システムでの方向情報は 2 基のアンテナの入力レベル比より求める。つまり図 17 のデータより ob/oa (又は oa/ob) を求め、レベル比対到来角度の較正曲線により、電波到来角度を得る。従って、位置を求めるには 2 式以上のシステムが必要となる。

図 18 に 2 定点からの位置測定方法を示した。到来電波の位置を 2 ヶ所に設置したアンテナ間距離及び各アンテナの方位角より位置を求めると次のようになる。アンテナ A および B の直距離を  $l$  とし、A 及び B における電波到来方向が  $x$  軸となす角をそれぞれ  $\theta$ ,  $\varphi$  とする。その交点 P の直交座標は 7 式で求められる。

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{l}{1 + \frac{\tan \theta}{\tan \varphi}} \\ y &= \frac{l \cdot \tan \theta \tan \varphi}{\tan \theta + \tan \varphi} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

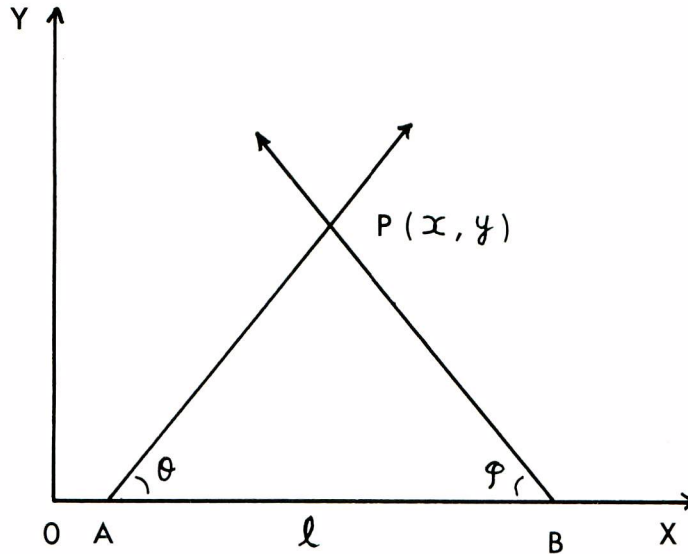


Fig. 18. Measurement of position from two fixed points.

又、発信器の平面大地における地上波電界強度 (E) は大地による反射が無い (直接波) 場合,

$$E = \frac{28 \pi h_1 h_2 \sqrt{GP}}{\lambda d^2} \dots\dots\dots(8)$$

となる。この式で  $h_1$  及び  $h_2$  は送受信アンテナ高 (m), G は発信器アンテナの相対利得, P は発信器電力,  $\lambda$  は使用周波数波長 (m), d は送受信アンテナ間の距離 (m) である。今,  $h_1=0.5$  m,  $h_2=5$  m,  $G=1$ ,  $P=2.5 \times 10^{-8}$  W,  $\lambda=6$  m とすると,  $d=500$  m の時の電界強度 (E) は  $2.3 \times 10^{-2} \mu\text{V/m}$  となる。

システムにおいて,  $1/2$  に短縮したカーデオイドの空中線利得は半波長ダイポール利得と測定結果は同じであった。従って, 相対利得は 1 となり, 半波長ダイポールアンテナの実効高を  $\lambda/\pi \approx 2$  m とすれば, 空中線起電圧 ( $E\lambda/\pi$ ) は約  $4.6 \times 10^{-2} \mu\text{V} \approx -27 \text{ dB}/\mu\text{V}$  となる。インピーダンス  $50 \Omega$  で  $1 \text{ mW} = 0 \text{ dB}$  の時, この空中線起電圧を電力に換算すると  $-134 \text{ dBm}$  となる。

この空中線起電力にアンテナ・コントローラ間接続ケーブル及びコントローラのアンテナスイッチ通過損失の実測値 2 dB が加わるから, 受信機入力レベルは  $-132 \text{ dBm}$  となる。受信機の入力換算雑音起電力は  $-142 \text{ dBm}$  であるから, S/N 比は 6 dB となる。従って, 2 個のアンテナの等感度点 (図 15 の C 点) を中心に約  $\pm 40$  度の範囲が方向探知出来る。しかし, 測定範囲は 2 基のアンテナのレベル比に対する受信機の S/N 比で定まるから, d が小さくなった場合, 受信機入力レベルが増加し, 約  $\pm 90^\circ$  まで測定範囲が広がる。

受信機入力レベルの増大をはかるには, 生物の生態により  $h_1$  が制限を受けるため, 広いテリトリーでは受信側アンテナ  $h_2$  を適当な方法で高くする事が望ましい。

(3) アクティビティ観測システム

アクティビティの観測には長時間の記録が必要であるため, 自動化を推進する必要がある。又, 多数個体の同時観測に際して受信部を多数設置すれば, 観測者の労力の問題のほかに動物の行動に影響を与える恐れが生ずる。したがって観測の労力節約とオットセイ群の行動への干渉をできるだけ除くためにコントローラによるシステムを開発した。

多数個体のアクティビティ観測システムのブロック図は図 19 に, 観測システムは写真 IV-3 に, 空中線は V-1 に示した。

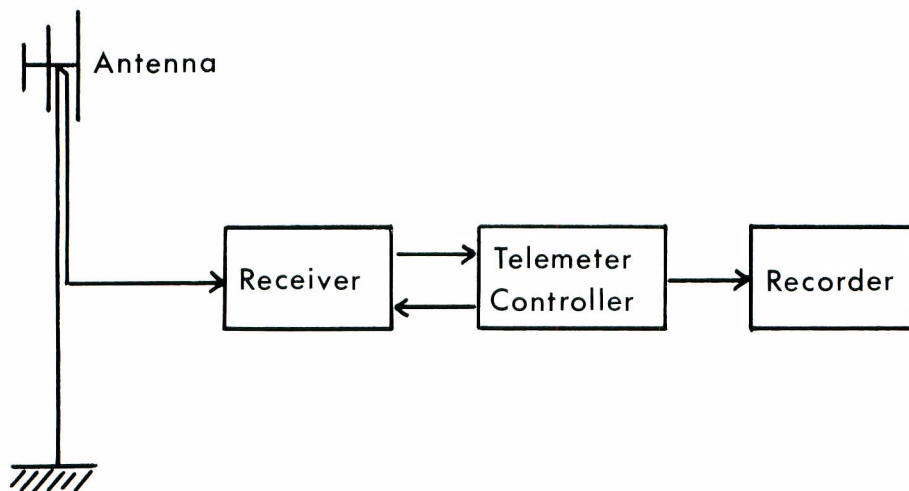


Fig. 19. Block diagram of system for observing activity of a multitude of individuals.

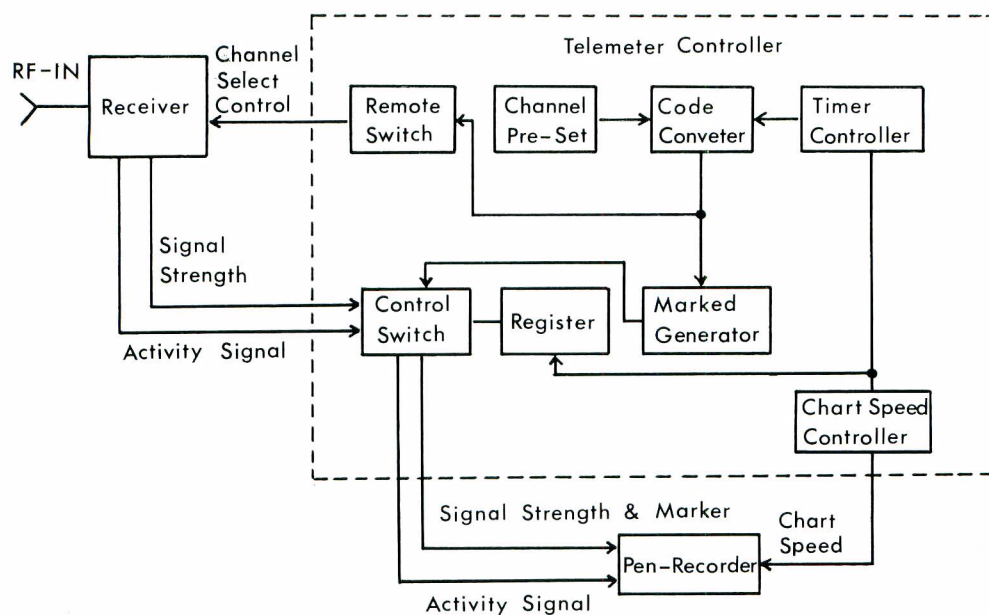


Fig. 20. Telemeter controller block diagram.

本システムの受信機はテレメータコントローラにより制御された個体の周波数を受信し、アクティビティの情報を復調する。又、その情報はテレメータコントローラに伝えられ、記録時間の制御を受けて、アクトグラムが記録より得られる。

図20にテレメータコントローラのブロック図を示した。コントローラは個体の受信順序をチャンネルプリセットに予めセットする事により、各個体に相当するコードはコード変換器によりデコードされる。又、タイマーで指定された時間だけリモートスイッチにより受信機に加えられる。受信機はアンテナに加わっている多

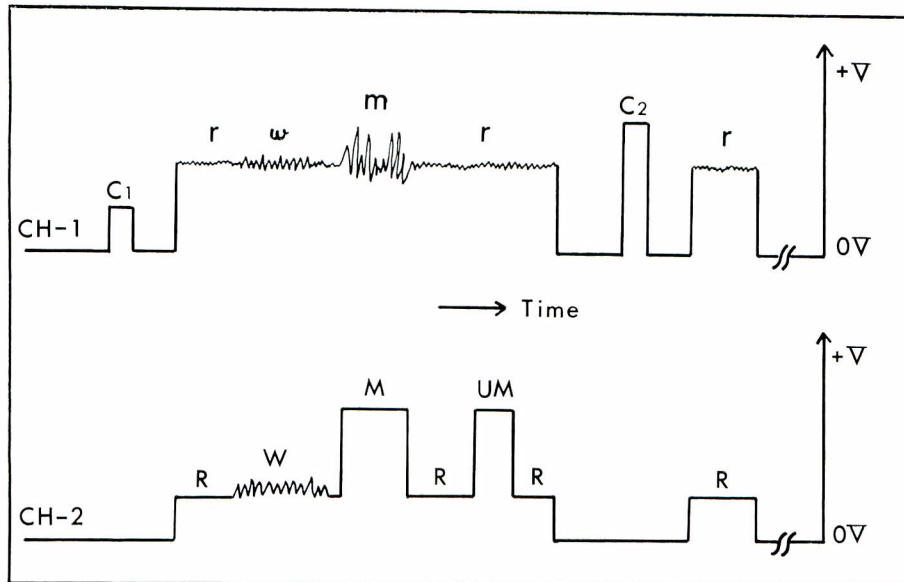


Fig. 21. Actgram in system observing activity of a multitude of individuals.  
CH-1 is signal intensity.  
CH-2 is demoduration characteristics of subcarrier oscillating cycle.

数個体の信号のうち、指定された個体の周波数を受信する。受信機出力の信号強度とアクティビティの復調出力はコントロールスイッチに入る。又、マーカー発生器は各個体のマークレベルに相当する電圧を発生し、コントロールスイッチに加える。コントロールスイッチはレジスターにより、個体識別のマーカーと信号強度並びにアクティビティの復調出力を記録機に加える。記録機は指定されたチャートスピードコントロールで、作動及び停止の制御を受ける。

図 21 にシステムから得られるアクトグラムを示す。CH-1 は信号強度を、C1 と C2 は個体識別のマーカーレベルであり、C1 から C2 までは 1 個体の信号強度の変化である。

CH-2 は動態によるアクティビティ発信器のサブキャリア発振周波の復調特性（周波数—電圧変換）である。R は静止状態を示し、この時のサブキャリア周波数は低く、出力電圧も小さい。これに対応する信号強度 r は一定のレベルで記録される。W は歩行の状態を示し（1—(2) 項参照）、この時のサブキャリア周波数は一定時間で周波数変動するため、一定振動の波形になる。信号強度は生物の活動等でアンテナの負荷（大地に対して）変動による電界の乱れとして  $w$  に示される。M は激しい動きの状態を示し、この時のサブキャリア周波数は高くなり、復調出力の振幅も大きくなる。これは発信器の電界が大きく乱れるためで、信号強度 m も又激しく変動する。UM は M と同じくレベルの激しい行動のパターンであるが、これに対応する信号強度は r の一定レベルになっている。従って、CH-1 と CH-2 の対応が特別な状態で記録される。即ち図 4 のように発信器を装着したとすれば、水平面に対しオットセイの頭部が尾部よりも低くなると、生物が静止しているにもかかわらず検知器が作動している状態となる。この動作は検知器の水銀により電極が閉じられて、サブキャリア周波数が高くなるためである。

以上のように 2 つのデータの 2 重チェックにより、アクティビティを判別する事が出来る。多数個体のアクトグラムはコントローラにより任意の時間で切換える事により、長時間の観測データの記録が可能となった。写真 V-2 にテレメータコントローラを、表 5 に特性を示した。

Table 5. Characteristics of telemeter controller.

Number of receiving control channel	: 11
Number of preset select	: 11
Number of data control	: 2
Time of action in one cycle	: 1, 2, 5, 10, 40 (min.)
Individual identification mark	: 11 level by 0.25V step
Indicator	: Preset channel indication
Power source	
Internal battery	: Nickel Cadmium battery (NR-D 3.5)×16 pieces
Working time	: Over 120 hours
External power source	: DC 20V, Over 30 mA
Size	: About W 286×H 193×D 225 (mm)
Weight	: About 6.5 (kg) (Including internal batteries)

## 5. 電 源

調査を行なう生物の棲息域は一般的に商用電源の供給困難な場所が多い。又、発動発電機は騒音や排気ガスで生物に被害を与えるだけでなく、保守取扱い等で実用的とは言えない。従って、本システムでは電池を使用した。

### (1) 外部電源

本システムの機器は内臓電池により動作し、電池消費量は機器により異なる。受信機は携帯重量制限（トラックに使用）を受けるため、小型電池を使用せざるをえない。記録機は機械的駆動があり、他の機器と比較して電源消費が大きい。このため、外部より電源を供給し効率的な運用が必要になる。

外部電源には充電式の電池の中で、良好な充放電特性、簡単な取扱い、高い経済性及び安全性を考慮し、ニッケルカドミウム電池を使用した。

長時間行なわれるバイオテレメトリーの調査ではフィールド機器と充電源間の移動はたびたび行なわれるから、外部電源は小型軽量な肩掛式の構造が必要とされる。

裸電池のフィールドでの使用は取扱いが不便だけでなく、短絡による電池の劣化及び誤接続による機器の故障原因になる。従って、電源装置の機能が必要になる。外部電源の機能は電源開閉スイッチ、ヒューズ、電圧指示計を有し、フィールド機器及び充電器に容易に接続出来るように設計した。外部電源は写真 V-3 に、その定格は表 6-1 に示した。

Table 6-1. External power source rating.

Availably battery	: Nickel Cadmium battery (NR-D 3.5)×16 pieces
Output voltage	: DC 19.2V~16.0V
Capacity	: 3.5 Ah (0.2C discharge)
Indicator	: Output voltage meter
Construction	: On shoulder hanging type
Size	: W 288×H 60×D 237 (mm)
Weight	: About 4.2 (kg) (Including batteries)

### (2) 充電器

本システムでの使用電池は NR-AA と NR-D 3.5 の 2 種類のニッケルカドミウム電池を使用した。図 22 に充電器ブロック図を示す。

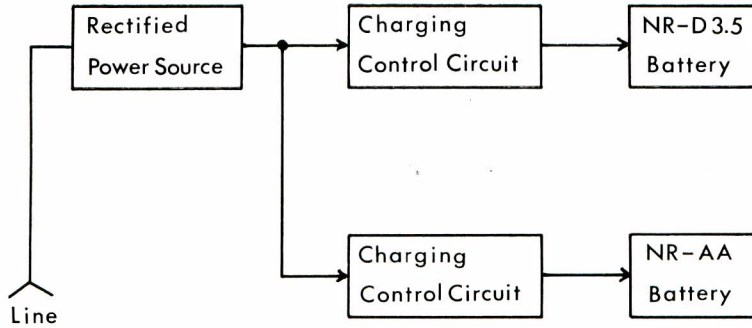


Fig. 22. Block diagram of charger.

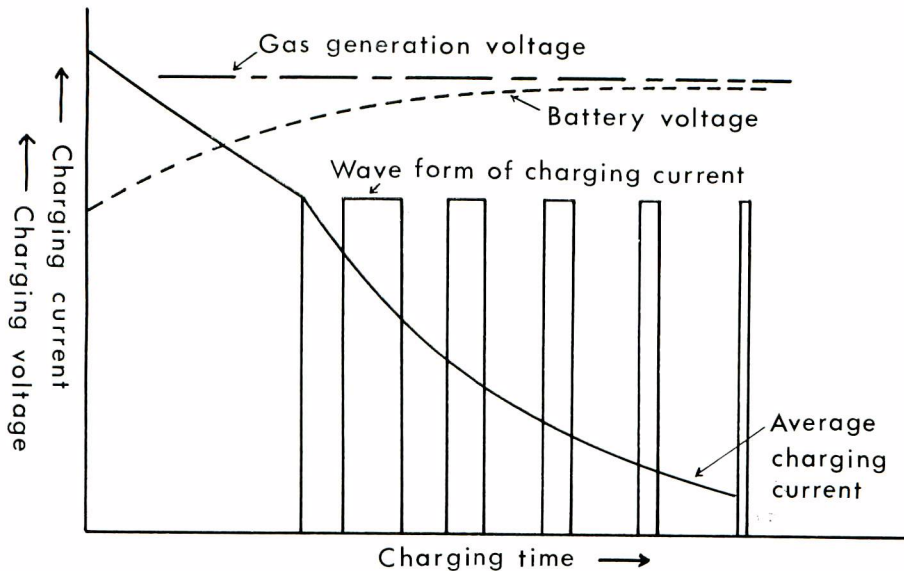


Fig. 23. Characteristics of charging.

充電器は整流電源から、2個の制御回路により、2種類の電池が同時に充電出来る。制御回路は充電初期の過大電流を防止する。又、制御回路は約5mVの微小電池電圧の変化を検出し、充電回路の開閉を微小電力で行う自動復帰形の高感度電圧スイッチである。このスイッチはSCR(半導体制御素子)により、充電電流が断続される定電圧充電の一種である。

図23に示すように、電池は充電末期に近づくると、その充電電圧が急上昇し、ガス発生を伴うようになる。制御回路はこのガス発生直前の電池充電電圧を一定値にとどめ、充電電流を断続的に流す。即ち、ジョグル(ゆさぶり)式の充電方法で、平均充電電流を微小値に押えて過充電を防止し、急速充電を行なう。従って、小数電池を効率良く使用出来る。指示計は平均充電電流を電流計に、充電末期の断続的な充電状態をランプで指示させる。

写真VI-1に充電器パネル面を、VI-2にNR-D3.5バッテリー装填側を、VI-3にNR-AAバッテリー装填側を、表6-2に充電器特性を示した。

Table 6-2. Characteristics of charger.

Input voltage	: AC 100V, 115V (Set by switch)
Input frequency	: 50-60 Hz
Input capacity	: 80 V. A.
Charging method	: Joggle form
Adaptive battery	: Nickel Cadmium battery NR-D 3.5 16 pieces NR-AA 16 pieces
Charging time	: NR-D 3.5 6-10 hours NR-AA 3-4 hours
Indicator	: Current meter, lump (LED)
Size	: W 290×H 115×D 237 (mm)
Weight	: About 3.5 (kg)

## 6. 要 約

オットセイの行動生態研究に供する目的で作製し、繁殖島において実用したバイオテレメトリーの機器類の概要は下記のようなものである。

### (1) 発信器

発信器は自発発信法式とし、行動域とアクティビティ観測用の2種類を作製した。

(i) 行動域観測用発信器: 行動域観測用発信器を作製するにあたり、(1)軽量小型化及び耐水圧容器とすること、(2)小容量電池で長時間動作させること、(3)測定距離(伝播距離)を大きくすること等に努力をはらった。

その結果、発信器の空中重量は約 220 g 以下となり、容器の耐水圧も 30 kg/cm<sup>2</sup> 以上とした。又、電源節約のためにパルス発信とし、電源は現在市販されているもので最高のエネルギー密度 (Wh/kg, Wh/l) が得られるリチウム電池を使用し、約 6 ヶ月間の発信能力をもつものとした。伝播距離はアンテナ、発信周波数、電池容量及び放射電力等の要因に制約され、放射電力は約  $2.5 \times 10^{-5}$  mW と極めて微弱な電波となり、受信側は水晶制御及び 53 MHz の画一的な周波数を採用したことにより、実用的に約 1 Km となった。

(ii) アクティビティ観測用発信器: アクティビティ情報はパルスの繰り返し周波数の変化を利用し、FM-PM 方式で伝送される。アクティビティの検知器は水銀スイッチを利用し、水銀スイッチの開閉及び時定数回路により、動物の静止、歩行及び激しい行動の検出がなされる。これらの情報は記録機に、生物の動態に対応したレベル変化及びパターンとして示され、アクティビティが判別される(アクトグラム)。

### (2) 受信機

高感度受信を可能とさせるために、発信器パルス巾、周波数安定度及び受信音の関係を考慮して、通過帯域巾を 600 Hz とした。その結果、入力雑音電力は -142 dBm (但し、雑音指数 4 dB を含む) で、入力雑音起電圧は  $1.8 \times 10^{-2}$   $\mu$ V となった。従って、低い入力雑音レベルで、微弱な信号レベルの検出が可能となった。

標識獣の個体識別をはかるために、発信器の搬送波周波数 (25 KHz 間隔) に対応する受信チャンネルの切換え方式を採用した。

標識獣の方向探知のためには指向性を有するアンテナ(カーディオイド特性、8 字形特性)を使用し、可聴音方式と可視消音方式を併置し、適宜に選別使用が出来るようにした。

情報発信器の復調については、FM-PM に二重変調されたアクティビティの信号は包絡線検波されて FM 副搬送波となる。それらは F-V 周波数電圧変換器により変換され記録される。

受信機は内部バッテリーを有し、ショルダータイプとし、フィールドでの使用を容易にした。

### (3) 移動追跡用アンテナ

微弱電波は方向探知によりトラッキングをして行動域を求めることが実用的である。従って、アンテナは指



向性を有し、携帯可能な構造とした。

このアンテナは2エレメントの半波長アンテナで、(1)カーディオイド特性、(2)8字形特性、(3)単行指向特性の3つの指向特性を持たせた。

アンテナを小型にするため、1/2の短縮エレメントにした。エレメントは折りたたみ構造とし、フィールドでの移動を容易にした。

#### (4) 多数個体の観測

(i) 行動域観測システム：多数個体の行動域測定には定点観測用アンテナをテリトリーの近くに設置することにより、対象オットセイ群への観測行為に起因する影響を最少とすると共に長時間測定に努めた。

このシステムは振幅比較1チャンネル方式で、個体識別マーク及び方向の情報が測定出来る。従って、2システム以上でオットセイの位置を測定し、行動域が求められる。

(ii) アクティビティ観測システム：多数個体のアクティビティの測定では、個体数に応じて受信側を設置するのは経済的でない。又、測定の性質上、長時間の記録を必要とするため、測定者の省力化も必要となる。

このシステムはコントローラにより、個体識別のマークとアクティビティの情報が、任意に設定された時間間隔で自動的に記録される。従って、多数の個体の静止、歩行、その他の激しい動きの回数及び時間に対する活動量が得られる。

#### (5) 電源

テレメトリーシステムを稼動させる電源において、フィールドでは商用電源(AC 100~115V)の使用は供給困難な場合が多い。又、発動発電機では騒音や排気ガスで生物に被害を与える場合がある。従って、システムの全ての機器は簡便な電池で稼動させた。電池はニッケルカドミウム電池を使用し、クイックチャージャーにより効率良く反復使用することとした。

#### (6) バイオテレメトリーの利点と採来の機器開発の目標

以上述べた機器及びシステムを用いて取得したデータを、従来から行なわれてきた目視観察のデータと比較した場合、データの客観性、連続性及び定量分析に特長がある。

即ち、バイオテレメトリーにより自動記録されたデータは観察者の主観が入らず客観的である。又、目視観察では夜間や地形により観察不可能な場合があるが、バイオテレメトリーではそれがない。更に、アクティビティやその他の定量測定が必要な調査では、目視観察では困難であるが、バイオテレメトリーではそれが可能である。

資源管理に必要な生物学的パラメータを得るためには、数多くの項目を観測する必要がある。そのような複数項目の観測を同時に行うためには、複情報発信器の開発が必要とされよう。又、オットセイの全生息圏における生態を知るためには、陸上及び海上の同時観測を目標としたシステムの開発が必要である。

## 7. 謝 辞

本システムの開発に際し、発信器用アンテナの開発及び実験に参加いただいた佐久間正芳、奥田純生両君に謝意を表す。又、この報告をまとめるに当り、適切なる助言を頂いた東海大学海洋学部相馬正樹並びに市原忠義両教授に深く感謝する。終りに、本報告の校閲をしていただいた当所池田都夫底魚海獣資源部長に厚く感謝の意を表す。

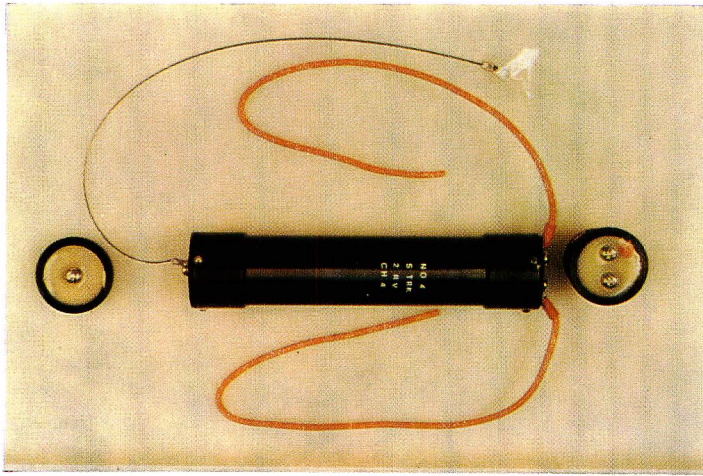
## 8. 文 献

BABA, N., K. YOSHIDA and T. ICHIHARA 1979: An application of radio wave telemetry to the study of fur seals' (*Callorhinus ursinus*) behavior on the breeding islands. *Far Seas Fish. Res. Lab. Bull.* 17, 177-195.

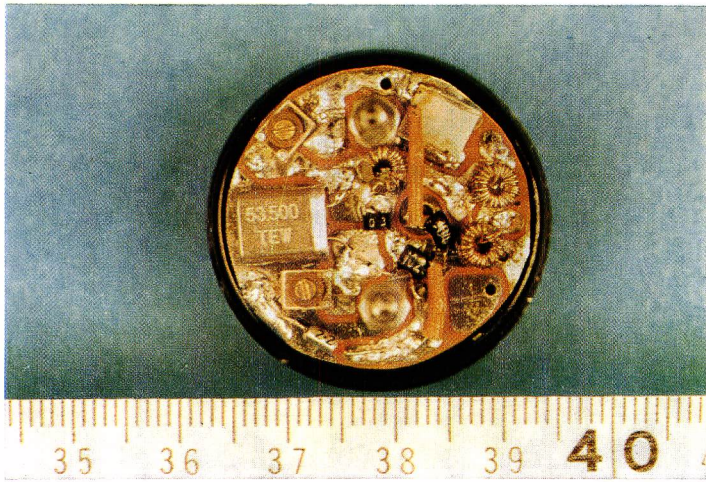
- HAMSHER, D. H. 1970: 通信システム工学ハンドブック p. 328 (株) ラテイス
- ICHIHARA, T. and K. YOSHIDA 1972: Diving depth of northern fur seals in the feeding time. *The Sci. Rep. Whales Res. Ins.* (24) pp. 145-148.
- 伊藤庸二・後藤三男 1957: 無線方位測機 p. 208 コロナ社.
- 小西重成・山本喜代一 1975: 電波伝播の総まとめ 電波と実験 7月号別冊 p. 60 無線従事者教育協会.
- 松下電器産業株式会社編 1974: バッテリーテクニカルハンドブック p. 161 松下電器産業(株)
- 牧田 仁 1976: バイオテレメトリー 計測技術 4(8) pp. 66-77 日本工業KK
- 内藤 健 1973: 空中線計算問題の総整理(上)(下) 電波と受験 11月号 p.1-58, 12月号 p. 59-108 無線従事者教育協会
- 関 英男 1954: 雑音 (岩波全書) p. 249 岩波書店.

### Explanation of Plate I

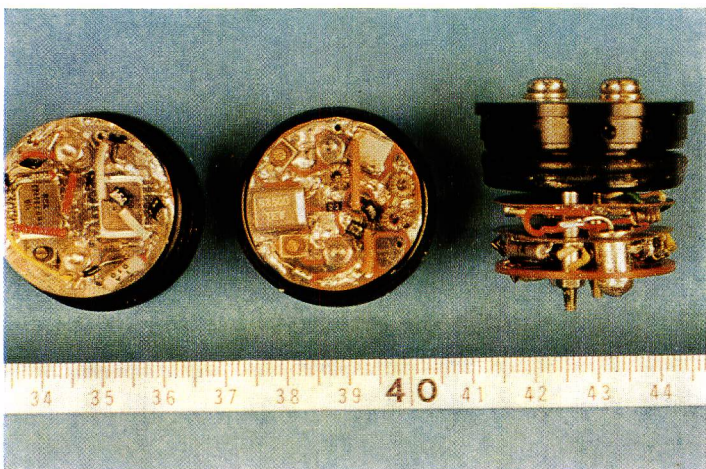
- Fig. 1.** External appearance of transmitter.
- Fig. 2.** Electronic circuit of a transmitter for the observing location.
- Fig. 3.** Electronic circuit of a transmitter for the observing activity.  
 Right : Electron circuit attached the sensor. . . .  
 Center: Carrier oscillator.  
 Left : Subcarrier oscillator and timing circuit.



1



2

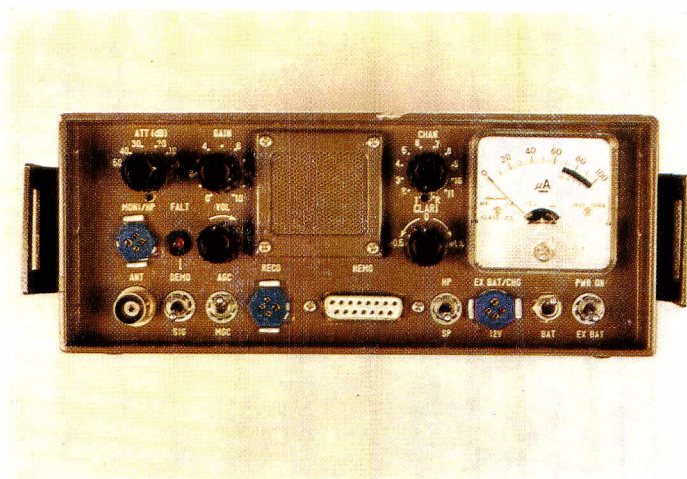


3

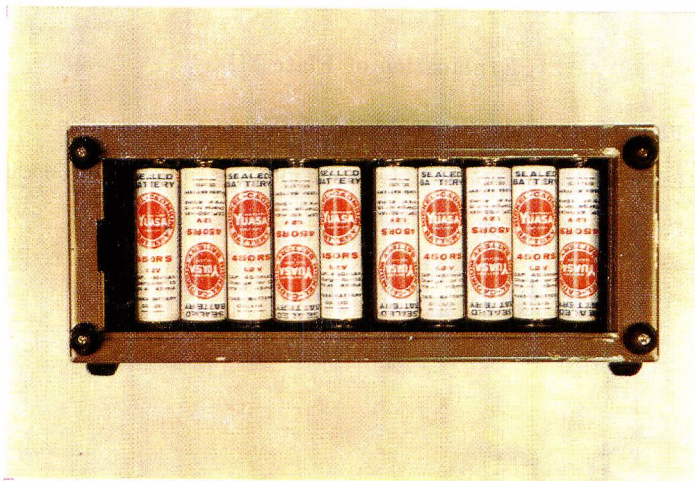
### **Explanation of Plate II**

- Fig. 1.** Frontal view of a receiver.
- Fig. 2.** Power source section of a receiver.
- Fig. 3.** Construction of 2 elements tracking antenna.

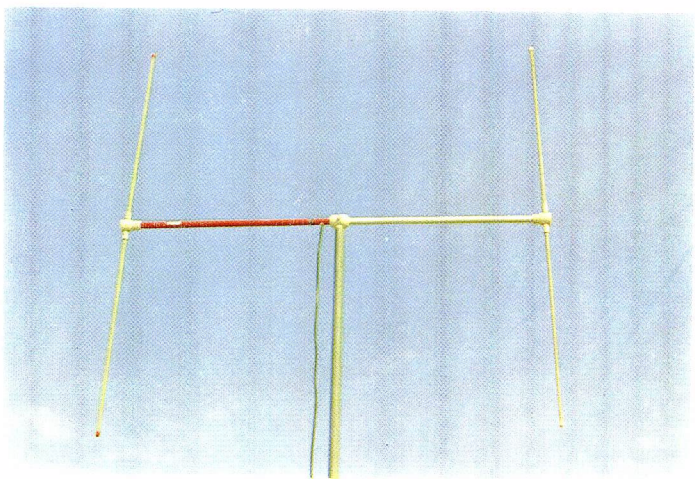
1



2

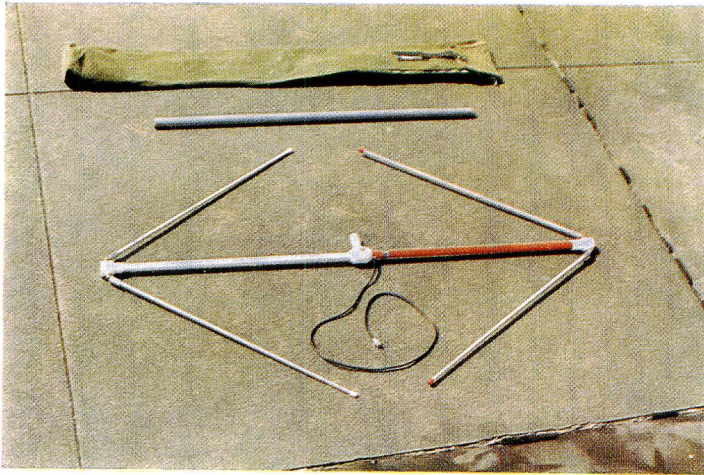


3

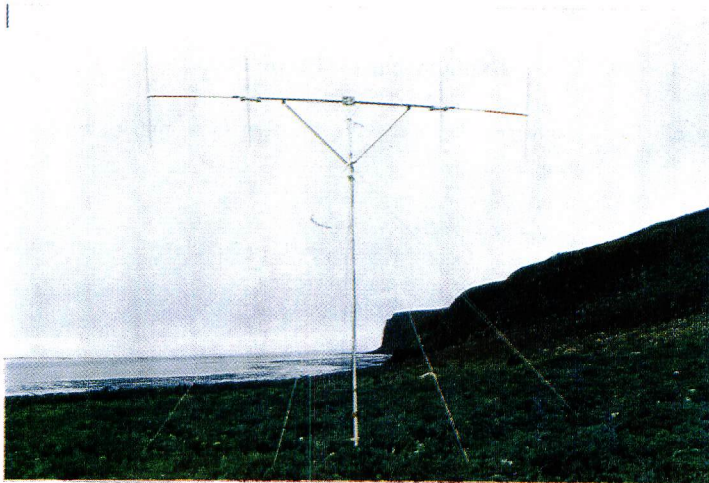


### **Explanation of Plate III**

- Fig. 1.** Parts of the 2 elements tracking antenna of transportation.
- Fig. 2.** External appearance of fix type antenna for the observing location.
- Fig. 3.** Parts of the fix type antenna for the observing location.



1



2



3

### Explanation of Plate IV

**Fig. 1.** The system for the observing location of a multitude of seals.

A: Antenna controller

P: Pen recorder

R: Receiver

**Fig. 2.** The panel side of antenna controller.

**Fig. 3.** The system for the observing activity of a multitude of seals.

E: External power source

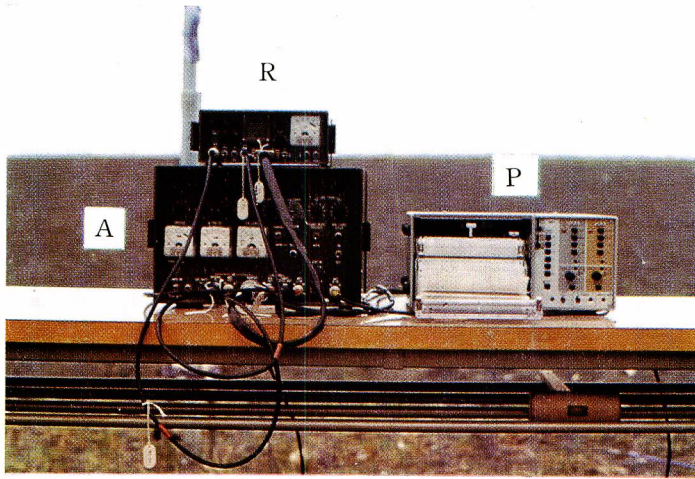
P: Pen recorder

R: Receiver

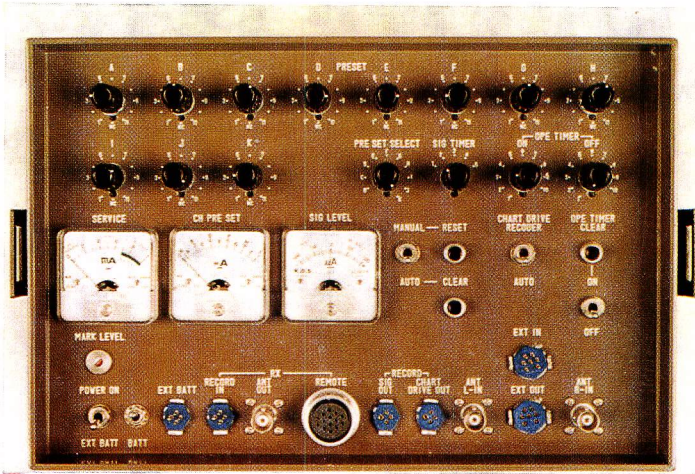
T: Telemeter controller



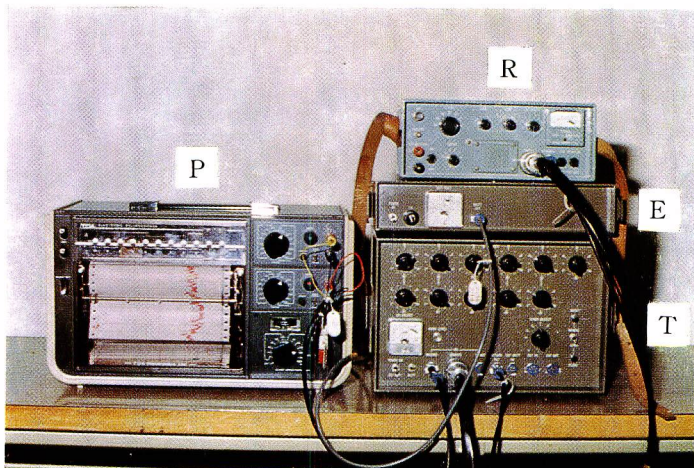
1



2



3

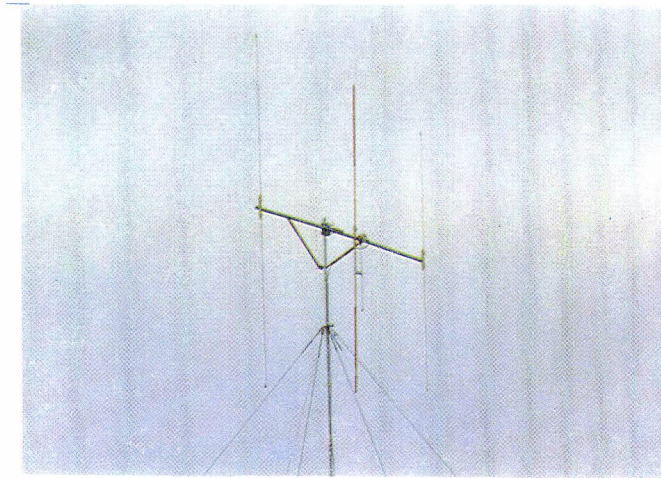


### **Explanation of Plate V**

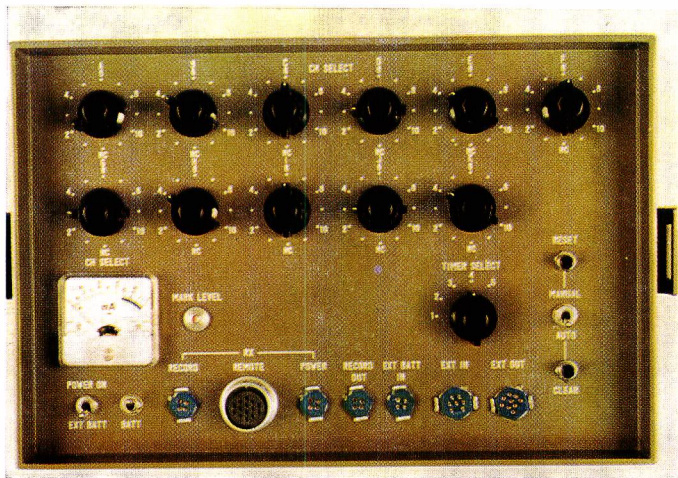
**Fig. 1.** Antenna for the observing the activity.

**Fig. 2.** The panel side of telemeter controller.

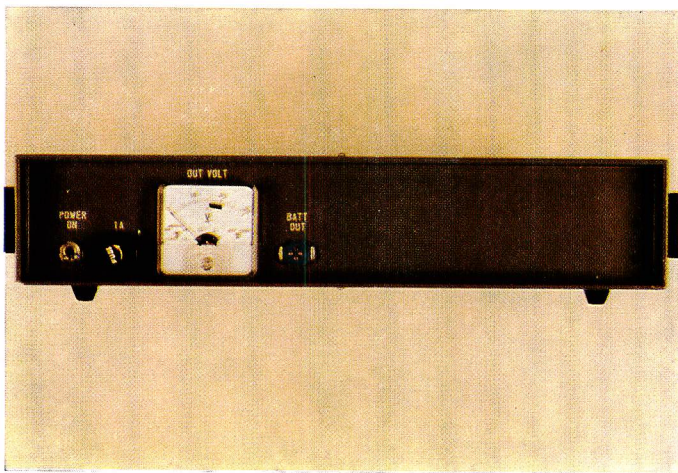
**Fig. 3.** The panel side of external power source.



1



2



3

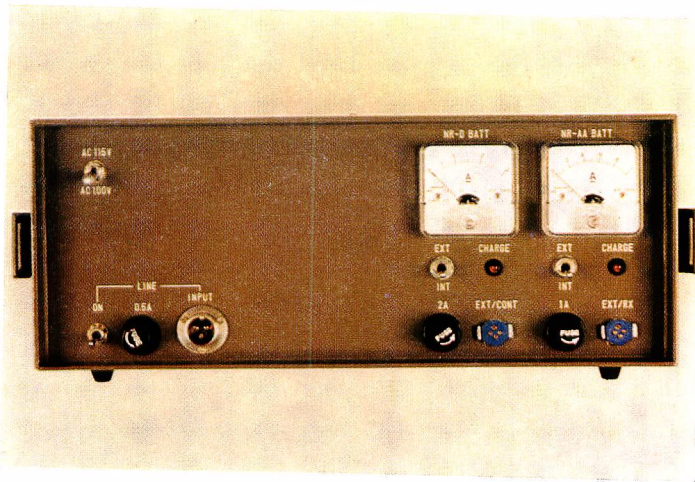
### **Explanation of Plate VI**

**Fig. 1.** Frontal view of charger.

**Fig. 2.** A charger loaded NR-D 3.5 battery.

**Fig. 3.** A charger loaded NR-AA battery.

1



2



3

