

## 51. 海底地震計用長期間磁気テープレコーダ の試作および海底地震記録の特徴

東京大学理系大学院 長谷川 周 而\*  
地震研究所 南 雲 昭三郎

(昭和45年3月24日発表—昭和45年7月20日受理)

### §1. 緒 言

遠隔地からの観測データを入手する方法は2つに大別できる。1つは有線あるいは無線にてデータを伝送する方法である<sup>1)</sup>。他の1つはデータをレコーダーに記録させレコーダーを回収する方法であり<sup>2)</sup>、この場合には観測は完全自動で行なわれ、観測器内には、センサーから時計、レコーダー、電源にいたるまですべて備っていなければならない。さて、前者をデータテレメタリング方式と呼び後者をデータカプセル方式と呼ぶことにする。

厚い海水層に隔てられた海底は、現在のところまったく遠隔地という名にふさわしい。海底地震計もしたがって上記の2種類に大別することができる。

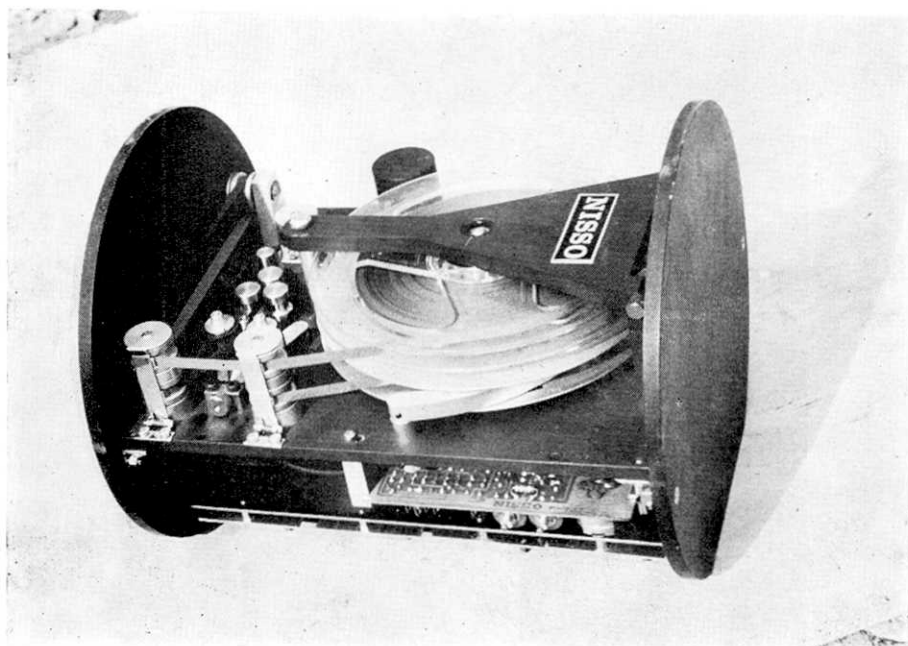
従来地震研究で開発されて来ているアンカードブイ方式海底地震計<sup>3)</sup>はデータカプセル方式の1つである。

データカプセル方式の場合、データの質および量を決定するのはデータレコーダーの性能である。したがって目的に応じたテープレコーダーを製作することは重要な課題である。海底地震計用として、先にFM方式100時間レコーダーが製作されている<sup>4)</sup>。これに引き続き、今回1000時間連続記録用の磁気録音方式データレコーダーを開発した。

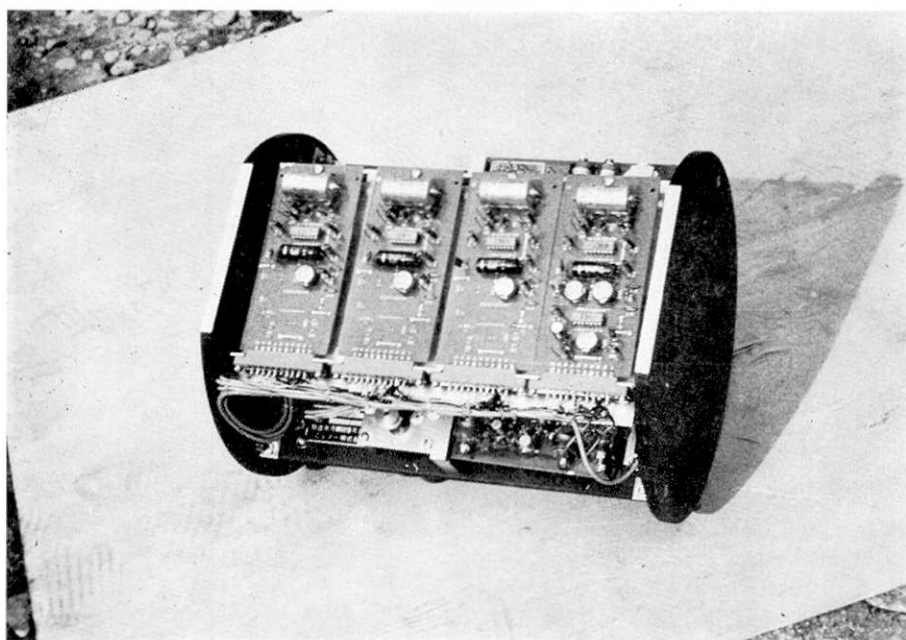
この論文は新しく試作した海底地震用1000時間用データレコーダーの内容と、それとによって得られた観測記録の例を述べたものである。

\* 現在 石油資源開発株式会社

- 1) G. H. SUTTON *et al.*, *Proc. IEEE*, 53(1956), 1909-1921.  
J. EWING, *Jour. Geophys. Res.*, 66(1961), 3863-3873.  
S. N. THANOS *et al.*, *IEEE Trans. Geoscience electronics*, GE-4(1966), 17-24.  
P. E. GREEN *et al.*, *Proc. IEEE*, 53(1965), 1821-1833.
- 2) J. T. THOMSON and W. A. SCHNEIDER, *Proc. IRE*, 53(1962), 2209-2216.  
R. A. ARNETT *et al.*, *Proc. IEEE*, 53(1965), 1899-1905.  
H. BRADNER *et al.*, *Proc. IEEE*, 53(1965), 1906-1908.  
S. NAGUMO *et al.*, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 43(1965), 671-683.  
S. NAGUMO *et al.*, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 46(1968), 861-875.  
F. I. MONAKOV, *IZV. Geophys. Ser.* (1962), 895-907.  
L. N. RYKUNOV and V. V. SEDOV, *IZV. Phys. Solid Earthq.*, 8(1967), 537-541.
- 3) S. NAGUMO *et al.*, *loc. cit.*, 2).
- 4) S. NAGUMO *et al.*, *loc. cit.*, 2).



A



B

Fig. 1. 1000 hrs magnetic tape recorder for ocean-bottom seismograph.

この種の長時間レコーダーは、従来、S/N 比が上らない、あるいは周波数特性がよくない、あるいはテープ送りのむらや記録の安定性に欠けるなどの危惧があって、吾国では試みられていなかった。しかし、海底地震の連続観測を恒常的に行うためには少なくとも月巻用記録が必要である。それで、今回、記録時間を 1000 時間とすること、7号テープを用いること、チャンネル数を4とすること等を前提条件とし、性能として、(1) 地震の判別ができること、(2) S-P 時間が読みとれること、(3) 最大振幅が測れること、(4) 地震記録の周波数解析がある程度可能であること等を満たすことを目標として、新しい型式の磁気録音方式データレコーダーを設計、製作を試みた。

## §2. データレコーダーの性能

### 2-1. テープ駆動機構

海底地震計は、全体を耐圧容器に収めなければならないから計器はコンパクトであるほど有利である。そこで7号リールを2段に重ねることとする。これによってレコーダーの大きさは底面の直径が 240 mm、高さが 286 mm の円筒の中につきり収めることができるようにした。(Fig. 1 参照)

7号テープ(約 1800 ft)で 1000 時間の記録時間を得るには、テープの送りスピードは 0.006 inch/sec (0.145 mm/s) の遅さになる。重ねリールで遅い送りを安定に実現させるためにテープ走行には特別の工夫が払われている。巻取り、送り出しの不整からくる送りむらをふせぐために、キャプスタンをピンチローラーで両側からはさんだクローズドループを採用している。モーター軸で 300 rpm 回転をプーリー、アイドラーを3段使い回転を落とし、キャプスタン軸で約 0.5 rpm にしている。キャプスタン軸径は 6φ でありこれで 0.006 inch/sec のテープスピードが得られる。モーターは DC マイクロモーターを使用し、サーボをかけて回転の安定をはかっている。

### 2-2. 記録方式

現在テープレコーダーでは 6 inch/sec のテープスピードで記録周波数は DAR (Direct analog recording) 方式で 10 kHz、FM (Frequency modulation) 方式で 2 kHz 程度まで伸びている。0.006 inch/sec のテープスピードでは DAR 方式の場合 10 Hz、FM 方式の場合 2 Hz 程度まで伸びることが期待できる。自然地震の観測目標からいって DAR 方式を採用する。

### 2-3. バイアス

バイアス周波数は最高記録可能周波数の3倍以上とすることが必要である。高いほど信号周波数との干渉が少なくてよい。ここでは発振の容易さからバイアス周波数を 1.2 kHz にする。

次にバイアス電流値をきめなければならない。信号電流を 3 Hz, 0.2 mA<sub>pp</sub> 一定にして、バイアス電流を変化させ再生出力の増減をみたのが Fig. 2 である。1.2 mA<sub>pp</sub> のときに最大出力が得られバイアスを増加するにしたがって再生出力は減少する。一方波形の歪みは、多目のバイアスにした方が小さくなる。一般には再生出力が最大値から 0.5 dB

～1dB 低下する点にバイアス電流値を設定する。本機の場合バイアス電流値を  $1.6 \text{ mA}_{pp}$  に設定した。これは出力が 0.8dB 低下する点である。

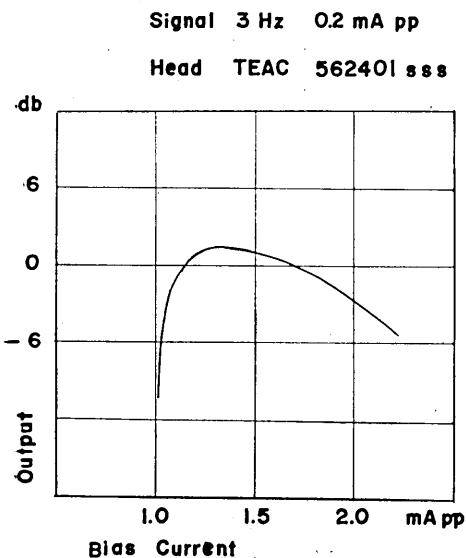


Fig. 2. Bias current—output response.

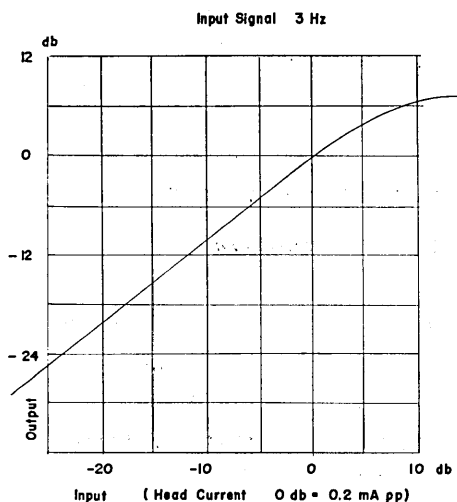


Fig. 3. Input-output characteristics.

#### 2-4. 入力-出力 特性

バイアス電流を  $1.2 \text{ kHz}$ ,  $1.6 \text{ mA}_{pp}$  に定め、信号を  $3 \text{ Hz}$  とし電流値を変化させて再生出力をみたのが Fig. 3 である。信号電流  $0.4 \text{ mA}_{pp}$  にて飽和に達する。この図からダイナミックレンジ 30dB 以上、S/N 比、入力信号  $0.2 \text{ mA}_{pp}$  を 0dB として 24dB 以上が充分とれることがわかる。

#### 2-5. 回 路

電流回路には IC を積極的に使用することにする。電流出力は 1ch 当りバイアスに  $1.6 \text{ mA}_{pp}$  信号電流に  $0.4 \text{ mA}_{pp}$  で少なくとも  $2 \text{ mA}_{pp}$  がとり出せなければならない。電源電圧の関係で IC ではこれだけ余裕をもって取り出せないので、各 ch にトランジスタを 1 本入れて出力電力が充分得られるようにした。バイアスはこのトランジスタのベースから注入したため、バイアストラップは不要である。バイアス発振器にも特別のパワーを必要としないで安定に発振する。完成した回路図が Fig. 4 に示される。

入力感度は  $R_4/R_5$  で決められる。図の定数の場合入力  $1 \text{ V}_{pp}$  がヘッド電流で  $0.1 \text{ mA}_{pp}$  になる。 $R_4/R_5$  をかえることで、入力感度をさらに 60dB 程度は上げ得る。

#### 2-6. 周波数特性

DAR 方式の場合に一般に行われている高域及び低域の補償を全く行わず、フラットな特性のアンプで再生した場合の周波数特性が Fig. 5 に示されている。

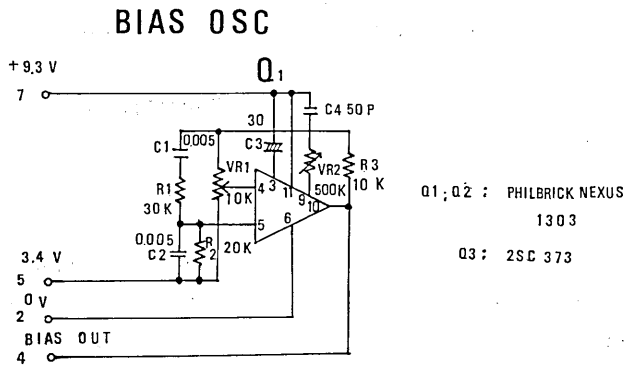
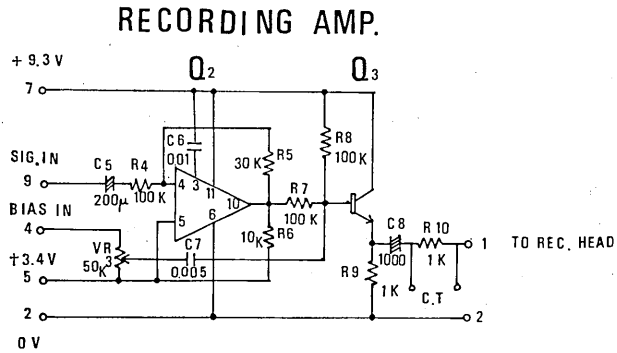


Fig. 4. Circuits of recording amplifier and bias oscillator.

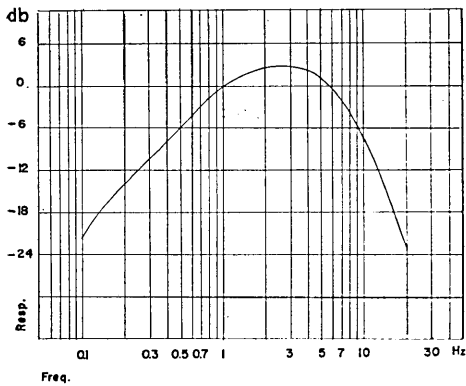


Fig. 5. Frequency characteristics.

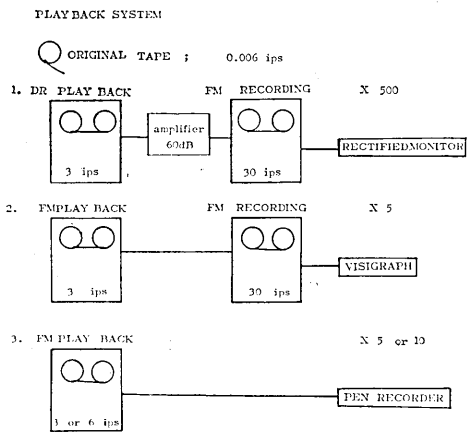


Fig. 6. Playback system of ocean-bottom seismographic 1000 hrs record.

## 2-7. 再生システム

再生システムを Fig. 6 に示す。電気的特性はこの再生システムによって測定したものである。第一段階は、先ず 500 倍のスピードで DR 再生を行う、すなわち記録時速度 0.006 inch/sec の原テープを 3 inch/sec で再生し、約 60 dB のフラットアンプを通して 30 inch/sec の FM データレコーダーに移す。この段階でシンクロスコープによるモニター、および新しく設計した積分フィルター回路を通してのモニター記録が得られる。第 2 段階ではこの移したテープを 3 inch/sec で再生しもう一度 30 inch/sec の FM データレコーダーに移す。第 3 段階ではこれを 3 inch/sec で再生してペンレコーダーに書かせる。したがって最終的には、録音時の 5 倍のスピードで再生していることになる。

## 2-8. 所要電源

電源は 12 V のバッテリーを用いる。サーボモーターに消費される電流が約 85 mA、記録アンプが各チャンネル当り約 7 mA、バイアス回路に約 2 mA で計 115 mA の消費電流となる。

地震計用のアンプ及び、低温時の余裕を見込んで、1000 時間の観測用に 12 V, 208 AH の大容量のバッテリーを使用している。

## §3. タイムマーク

1000 時間用海底地震計のタイムマーク装置としては、水晶時計 (Seiko, Q-952, TF-7) を用いた。精度は  $10^{-7}$  である。海底地震計投入前に JJY 電波にて日本標準時に合わせ、回収後やはり JJY にて較正し、観測期間内に内挿して絶対時刻を求めるようにしている。誤差は 1000 時間の観測期間中 0.1 秒以内に収まっている。

タイムマークとして毎秒、毎分、毎時、毎 12 時にパルスを発生させている。とくに分、時、12 時マークに、タイムマーカーと呼ぶ新しい回路を設計した (Fig. 7)。これはマルチ

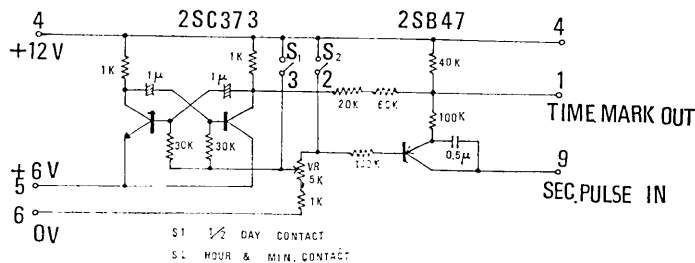


Fig. 7. Circuit of time marker.

バイブレーターを応用したもので、時計の分、時、12 時の接点によってバイアス電圧をかえて発振周波数を制御しているものである。このタイムマークは後に述べるモニター記録を作る場合に、絶対時との対応をつけるのに非常に役立つものである。

#### §4. 観測記録の例

白鳳丸によって1969年5月～6月に行なわれた三陸沖海底地震観測<sup>5)</sup>において、今回試作した1000時データレコーダーを使用した。データレコーダーは42日間の繫留期間中正常に作動しており、大小遠近多くの地震を捕えることが出来た。耐圧容器<sup>6)</sup>のプラットフォームにとりつけられたデータレコーダーの写真をFig. 8に示す。耐圧容器内に

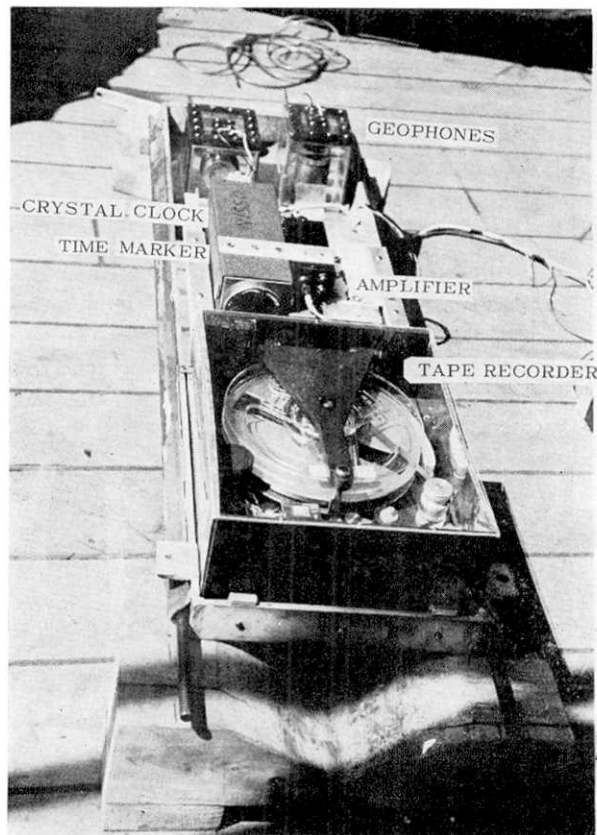


Fig. 8. 1000 hrs OBS instrument mounted on the platform of the pressure vessel.

おける記録計器の構成のブロックダイアグラムをFig. 9に示す。録音記録の再生は、§2に述べたように、先ず記録時の500倍のテープスピードで原テープのDR再生を行い、積分回路を通したモニター記録と、FMレコーダーによる速度変換された転写テープ10巻とを同時に作成した。モニター用に用いた積分回路をFig. 10に示す。500倍再生時のモニター記録の1例をFig. 11に示す。地震は大きさに応じて高さとのちがうパルスに変

5) S. NAGUMO *et al.*, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **48**(1970), 793-809.

6) S. NAGUMO and H. KOBAYASHI, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **48**(1970), 955-966.

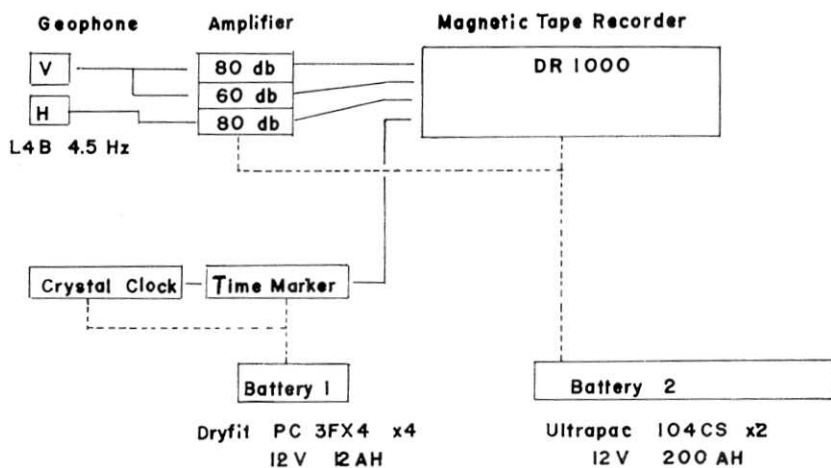


Fig. 9. Block diagram of 1000 hrs recording system of the ocean-bottom seismograph.

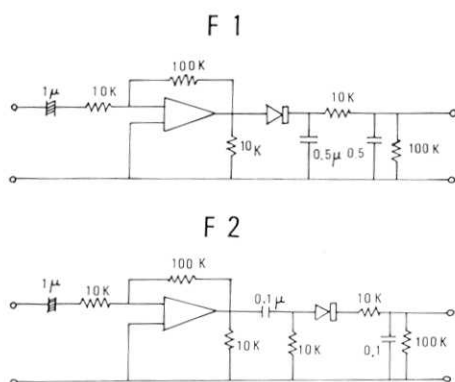


Fig. 10. Circuit of rectifier. F.1 is for seismic trace, and F.2 is for time mark trace.

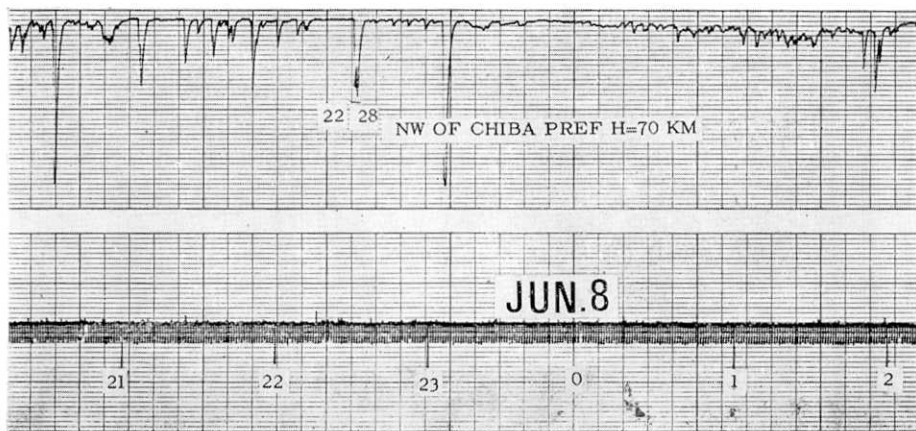


Fig. 11. An example of the rectified monitor earthquake.



換され、刻時マークは、分、時、毎12時、のマークがはっきり認識できる。これによって、1000時間の記録を約2時間でモニター出来、地震と時間の対応をつけることができる。

又、モニター記録に明らかのように、この積分回路は地震の自動検出に利用出来るものである。

再生の第2段階では、F.M. データレコーダー2台を用い速度変換1:10を2回行って、最終的には、原録音時の5倍のスピードにてペンレコーダーの記録を作成した。

受振器から録音、再生の全過程にわたる総合周波数特性を Fig. 12 に示す。1000時間用のものが今回試作したもので、5~7 Hz に最大感度をもっている。100時間は、すでに報告してある FM 用データレコーダー<sup>7)</sup>によるものである。

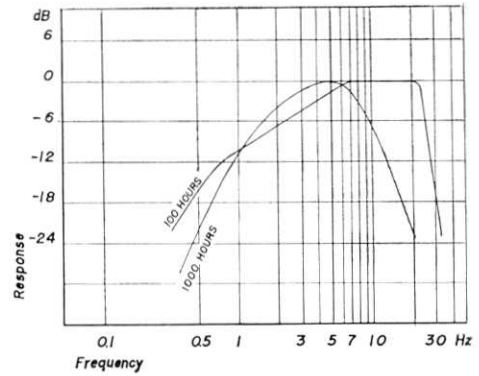


Fig. 12. Over-all frequency characteristics of the ocean-bottom seismographic observation. 1000 hrs for DR-recorder, 100 hrs for FM-recorder.

記録の例

Fig. 13 に海底地震記録の例をいくつか示す。Fig. 13 各図とも上部の記録は三陸沖 B

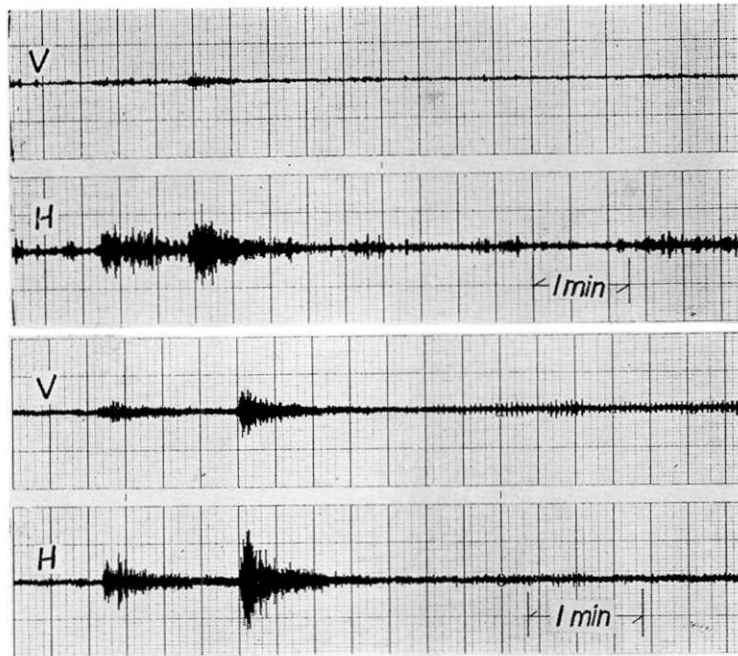


Fig. 13(A)

7) S. NAGUMO et al., loc. cit., 2).

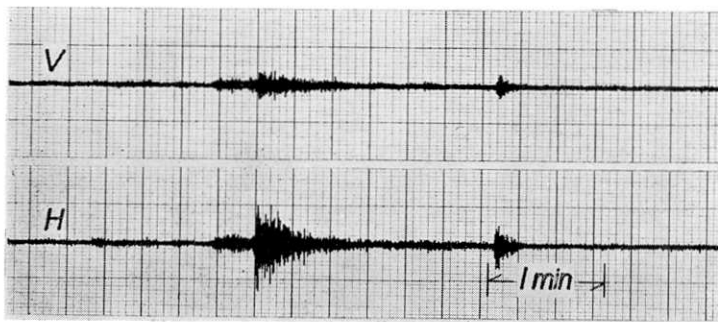
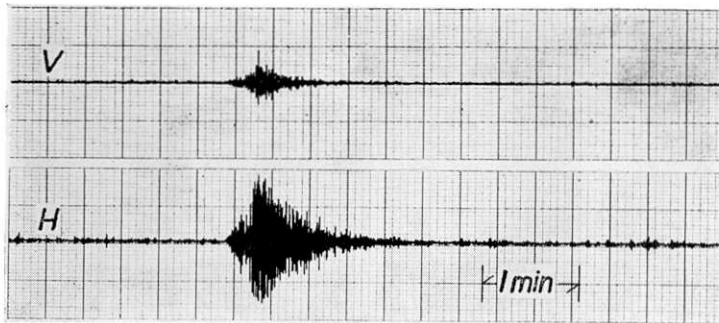


Fig. 13(B)

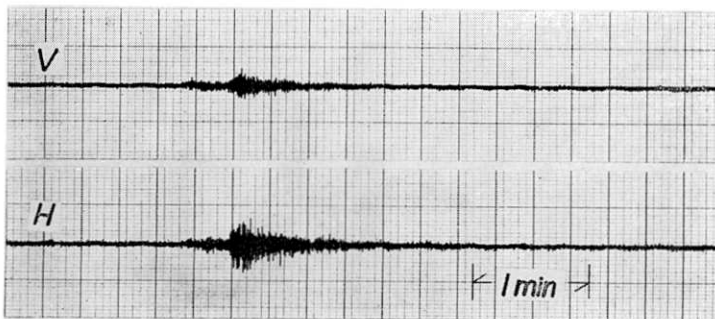
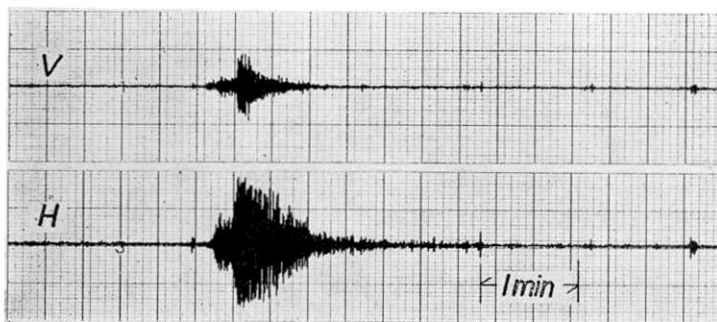


Fig. 13(C)

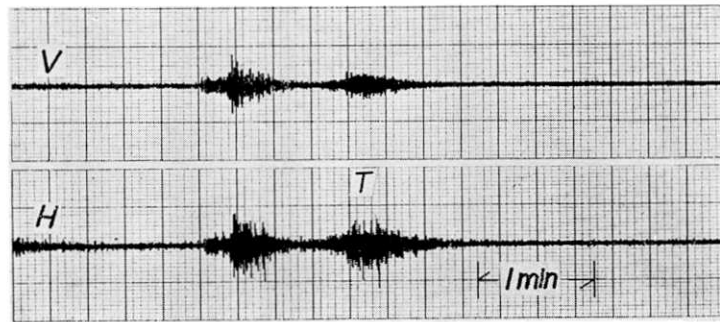
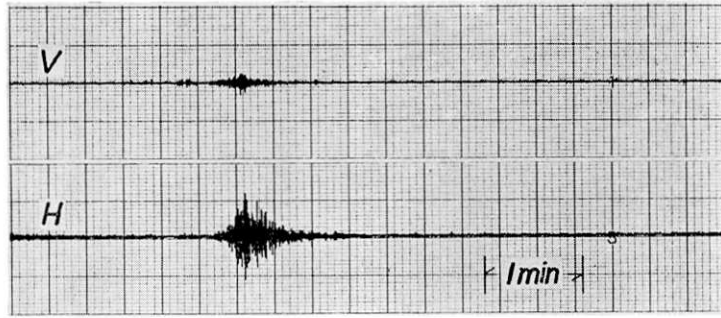


Fig. 13(D)

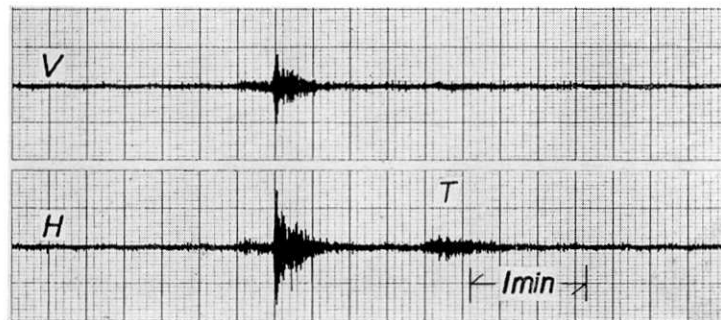
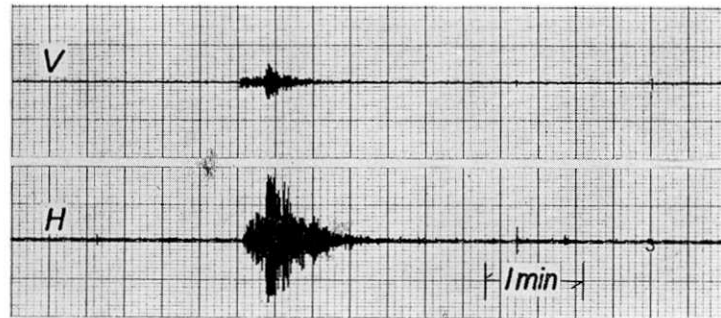


Fig. 13(E)

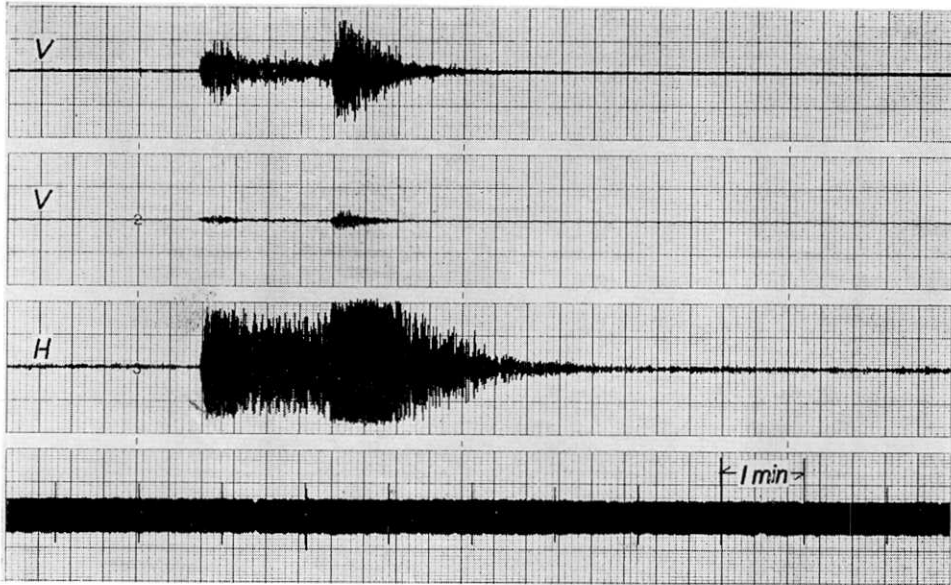


Fig. 13 (F)

- Fig. 13. Example of seismograms  
 (A): Intermediate deep earthquake (H=120 km) south of the Miura Peninsula, Kanto district.  
 (B), (C): Earthquake off the coast of Urakawa, Hokkaido.  
 (D), (E): Earthquake off the coast of Sanriku.  
 (F): Deep earthquakes (H=400 km) off Kii peninsula.

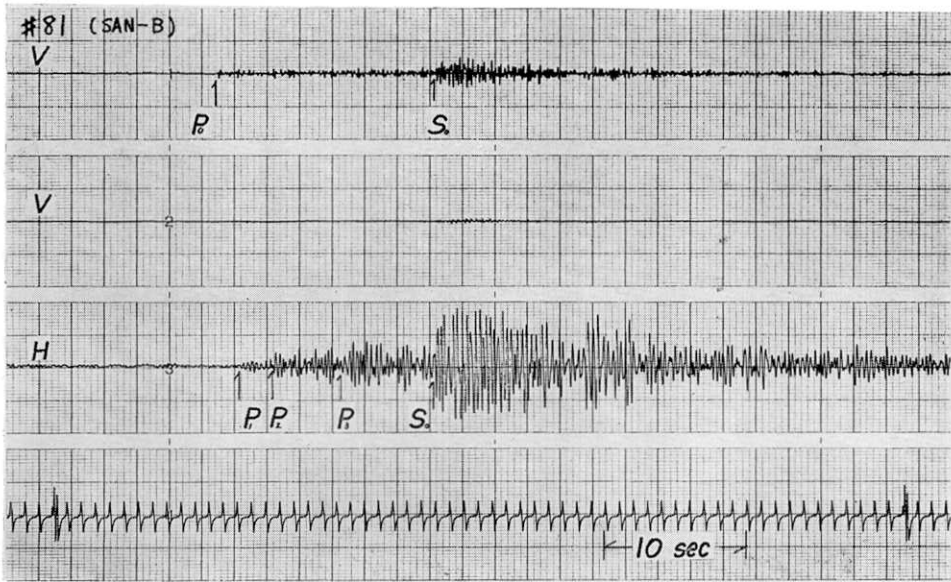


Fig. 14. An example of high speed play back.

点で得られたもので、今回試作した 1000 時間 DR レコーダーによるものであり、下部の記録は同時に行なわれた日本海溝の太平洋側よりも海山南東方水深 5.6 km の海底地震観測点 Erimo<sup>8)</sup> における記録である。後者の記録は FM 方式 100 時間レコーダーにて得られたものである。Fig. 13(A) は三浦半島南 H=120 km の地震 (B)(C) は浦河沖の微小地震 (D)(E) は三陸沖水深 4500 m 付近の海陸境界断層<sup>9)</sup> 付近の微小地震である。Fig. 14 は、後者の地震の早送り記録である。これらの例にみられるように、海底地震計の記録には次のような特徴が認められる。

(1) SAN-B 点の記録においても、ERIMO においても、水平動成分が卓越する。SAN-B においては H/V は約 5 倍に及び、ERIMO でも H/V は約 2 倍である。これは地震の S-P time には関係がない。

(2) SAN-B 点の記録では P の立ち上りはすどくなく、次第に成長していく。一方同じ地震の ERIMO の記録では P の立ち上りは良好である。

(3) 深い地震及び北方からの地震では P の立ち上りが良好である。

(4) ERIMO での T フェイズの観測度は良い。一方 SAN-B では T フェイズは稀にしか観測されない。同じ地震で、ERIMO で T フェイズが観測されているにもかかわらず SAN-B では T フェイズが観測されていない場合が大部分である。

(5) Fig. 4.2 の記録にみられるように、上下動の P<sub>0</sub> フェイズにつづいて、約 1.5 sec ~ 2 sec おくれて水平動に P<sub>1</sub> フェイズが現われている。これは SAN-B、ERIMO いずれの記録においても見られる現象であり SAN-B では P<sub>1</sub>-P<sub>0</sub> ~ 1.8 sec ERIMO で P<sub>1</sub>-P<sub>0</sub> ~ 1.2 sec のものが多い。

(6) P<sub>3</sub> と示されたフェイズは、SAN-B の記録に顕著にみられるフェイズである。

(7) V 成分と H 成分をくらべる場合、V 成分の方が、高い周波数成分が含まれる。

P<sub>1</sub> フェイズが B. Auld et al.<sup>10)</sup> のいう S<sub>0</sub> フェイズと同じものと考えられる。そこでは、H 成分の遅れを堆積層内の P→S コンバージョンから生じるという一つの説明を与えている。しかし彼らの論文中、S<sub>0</sub>-P time と P<sub>3</sub>-S time (これは S 波が同じく海底堆積物中で S→P コンバージョンをおこしたことによって生じる) とが異っているのは、おかしい。ERIMO の記録の場合大森係数は陸に比べて大きな値をもっている。このことは、S-P time が小さく出ることを意味する。海底堆積物中での P→S コンバージョンで 1~2 sec の堆積物通過時間を要して、なおも S-P time が小さく出るとは説明がつかない。

SAN-B の場合に、P<sub>0</sub> と S<sub>0</sub> の間に多くのフェイズが見られる。フェイズ間の間隔は必ずしも一定であるとはかぎらない。さらに振巾は後の方が大きくなっている事を考えると、これは水面の反射波と考えるよりもむしろ、地下構造に由来するものとした方がよいように思われる。

同一の地震の記録が、SAN-B と ERIMO とでちがうのは、やはり地下構造のちがいで

8) S. NAGUMO et al., *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 48(1970), 769-792.

9) S. NAGUMO et al., *loc. cit.*, 2).

10) B. AULD et al., *Bull. Seis. Soc. Amer.* 59(1969), 2001-2015.

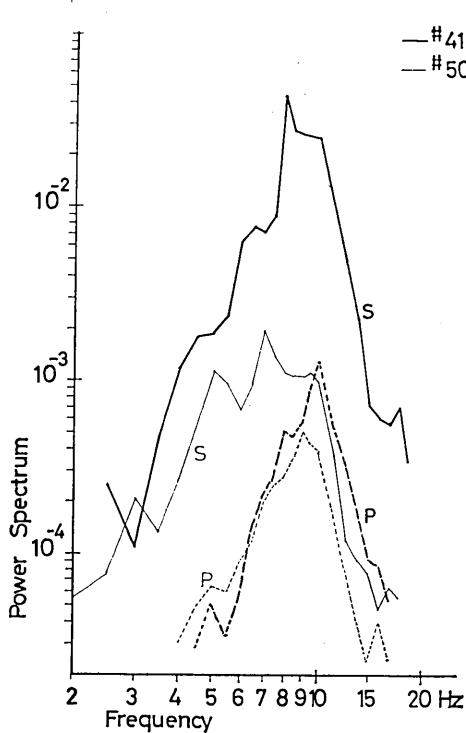


Fig. 15. An example of the power spectrum.

によるものであると考えられる。ERIMOの記録の1部をスペクトル解析してみたものが Fig. 15 に示される。#41 は三陸沖海陸境界断層は付近の微小地震、#50 は浦河沖の微小地震であり共に S-P 20 秒前後の地震である。スペクトル解析は P の立ち上り、S の立ち上りから夫々 10 秒間について行ったものである。地震計の特性は 20Hz まで充分伸びているにもかかわらず、地震波のパワースペクトルは 10Hz から急速に減少する。このようにパワースペクトルのシャープな地震と、ブロードな地震が存在する。ブロードな地震は、陸的な径路を多く通ってきた地震である。シャープな地震は、震源決定の結果、海溝の陸側斜面に発生した地震である。これは断層帯を通過してきたものと考えられる。

### §5. 要約および結論

海底地震計用に、1000 時間長期間記録用磁気テープレコーダーを開発し、実際に使

用した。主な性能は次の通りである。

- (1) 外型： 240φ×286 mm 円筒型、
- (2) テープ走行： 重ねリール方式、クローズドループ方式、
- (3) テープ： 7号型リール、1800 ft, 1/4 インチ巾、
- (4) テープスピード： 0.006 inch/sec (0.145 mm/sec)、
- (5) 記録時間： 1000 時間連続、
- (6) チャンネル数： 4、
- (7) 記録方式： ダイレクトアナログ (DAR)、
- (8) 周波数特性： 0.5 Hz~10 Hz、
- (9) ダイナミックレンジ： 30 db 以上 (3 Hz にて)、
- (10) S/N 比： 24 db 以上 (3 Hz, 0 db=2 Vpp)、
- (11) 電源： 12 VDC, 115 mA、

このデータレコーダーを 1969 年 5 月~6 月白鳳丸による日本海溝海底地震観測において使用した。三陸沖水深約 1000 m の地点における約 42 日間繋留の全期間中正常に動作し、多数の地震を記録した。海底地震記録の特徴として次のようなことが認められた。

- (1) 上下動にくらべて水平動の発震時が遅れる。遅れの量は OBS SAN-B 点で約 1.8 秒、OBS Erimo で約 1.2 秒である。

- (2) 水平動成分の振幅が上下動成分の振幅よりはるかに大きく、OBS SAN-B 点では約 5 倍、OBS Erimo では約 2 倍である。
- (3) 上下動成分の方が水平動成分よりも卓越周波数が高い。
- (4) OBS SAN-B 点の記録では P-S 間に顕著な相が現れる。
- (5) 5600 m の深海底の観測点で T 相が多数観測された。一方、三陸沖の観測点 SAN-B では 1000 m の海底にも拘らず T 相は稀にしか観測されなかった。
- (6) 地震波の伝播径路によってスペクトル構造に差が認められた。

謝 辞

おわりに、テープメカニズムの設計製作をしていただいた NISSO K.K. 宮沢さんに厚く御礼申し上げます。又色々御協力を頂きました海底地震研究部門の小林平八郎氏、是沢定之氏に厚く御礼申し上げます。

*51. Construction of a Long Life Magnetic Tape Recorder  
and Some Features of Ocean-Bottom Seismograms.*

By Shuji HASEGAWA,  
Graduate School, University of Tokyo

and

Shozaburo NAGUMO,  
Earthquake Research Institute.

A 1000 hrs magnetic tape recorder is developed and used for the ocean-bottom seismograph. The main specifications are as follows:

- (1) Dimensions: 240 $\phi$ ×286 mm, cylinder type.
- (2) Tape drive system: Double Reel, closed loop.
- (3) Tape: 1800 ft, 1/4 inch, 7 inch reel.
- (4) Tape speed: 0.006 inch/sec (0.145 mm/sec).
- (5) Recording time: 1000 hrs, continuous.
- (6) Channel: 4.
- (7) Recording system: DAR.
- (8) Frequency response: 0.5 Hz~10 Hz.
- (9) Dynamic range: over 30 db for 3 Hz.
- (10) S/N ratio: over 24 db (at 3 Hz, 0 db=2 Vpp).
- (11) Power: DC 12 V, 115 mA.

This newly built magnetic tape recorder was used in the ocean-bottom seismographic observation off Sanriku in May~June 1969. During the whole 42 days mooring period, the tape recorder worked normally and recorded many earthquakes. Several interesting features have been recognized in the ocean-bottom seismographs.