

## 29. 磁気テープ記録による移動用多点配置式 微小地震観測装置

地震研究所 松本英照

(昭和 37 年 7 月 24 日発表—昭和 40 年 3 月 31日受理)

### 1. まえがき

換振器を任意の地点の小地域内に配列して地震動の集中記録をおこない、各換振器への地震波到来時刻差を、たちあがりの瞬間という時点ではなく波群の到来時刻を使用して検測するあたらしい方法を採用し、よりたかい精度で震源を算定する多点配置式地震計による波動相関地震観測法ならびにその観測結果については、さきに安芸敬一、松本英照<sup>1) 2)</sup>によつて発表されている。

筆者はこれらの観測に使用した磁気テープによる移動用の多成分地震観測装置の構成製作を担当し、製作した装置がこの観測法に充分な精度をもたせ、しかも長期連続使用にたえることを確認したので、本装置の概要を紹介する。

### 2. 構成

本装置はつぎの機器から構成される。

- 1) 換振器.
- 2) 増幅器.
- 3) 無終端磁気テープ記録式遅延装置.
- 4) 保存記録装置.
- 5) 監視記録装置.
- 6) 記録再生装置.
- 7) 刻時装置.

この装置は固定点観測とはことなり、短期間にできるだけおおくの地震を観測し、統計処理に必要な量の資料を蒐集することがのぞましいから、地震計としての総合感度はできるかぎりたく設計することが必要で、しかも波群の到来時刻差をよみとるこの観測法の精度は、装置内成分間の位相ならびに振幅の周波数特性の相違によつて決定されるから、装置の構成にあたっては、とくに部品を撰択し、成分相互の特性を一致させることに留意して製作した機器を使用することが必要である。

本装置の構成と配列した外観を第 1 a, b 図にしめす。

### 3. 特性

#### 1) 換振器

この観測法は原理的には、3 観測点の上下動換振器によつて到来時刻差と S-P 時間を

1) K. AKI, B. E. R. I., 40 (1962), 371~389.

2) K. AKI and H. MATUMOTO, B. E. R. I., 41 (1963), 279~292.

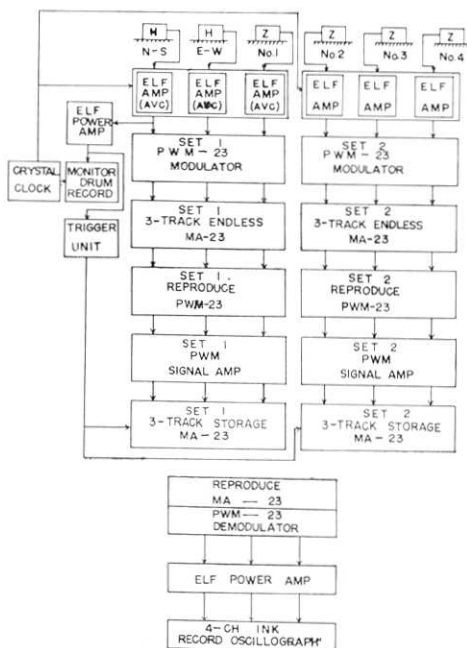


Fig. 1 a. Schematic diagram of the instrument. (AVC: Automatic gain control. ELF: Extremely low frequency i. e. 1~30 c/s)

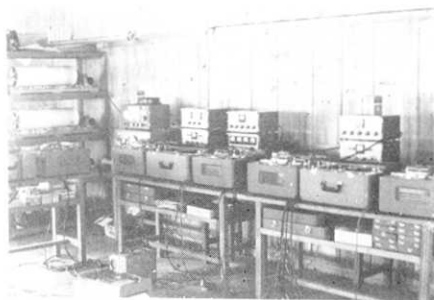


Fig. 1 b. Appearance of the instrument working at Hachiman, Gifu.

上下動地震計の吊パンネはエリンパー線を使用したもので、周囲温度が  $100^{\circ}\text{C}$  変化しても可動域をはずれることなく安定に動作する。

## 2) 増幅器

本装置には6台の換振器のために、6成分の地震波増幅器が装備されている。

各増幅器は12石のトランジスタと安定化直流電源回路から構成され、3成分を1筐体にくみこみ、商用交流100V電源を供給して使用する。

検測すれば、震源を算定できるわけであるが、S波位相の同定および時刻差測定値の検定と波動伝播面の凹凸補正をおこなうために、水平動地震計2成分、上下動地震計1成分により構成される観測点1点と、上下動地震計1成分のみの観測点3点の、合計4観測点6成分の換振器を本観測装置の換振器として用意する。

これらの換振器は成分相互の振動特性をよく一致させることができるように設計しなければいけないことは勿論であるが、野外の短期間観測用であるから、操作が簡単で安定度がよく、しかも小型であることがのぞましい。

換振器成分相互の振動特性をよくあわせるためには、振子の周期と制動をそろえればよろしいのではあるが、設置点ではストップウォッチで自由振動10回の時間をはかるというような、目と時計の測定で周期を決定し調節するので、測定の精度をたかめるのに適当な周期として1秒をえらび、制動は必要帯域では減衰常数の微小な変動に対しては、位相量に問題になる変動を生じないようなつよい減衰たとえば、 $h=2$ で観測することにし、増幅器の入力インピーダンスを考慮して換振器を設計製作した。

使用した換振器の感度は上下動換振器 3V/kine 水平動換振器 1.5V/kineで、それぞれの外観は第2図に示す。(1kine=1cm/sec)

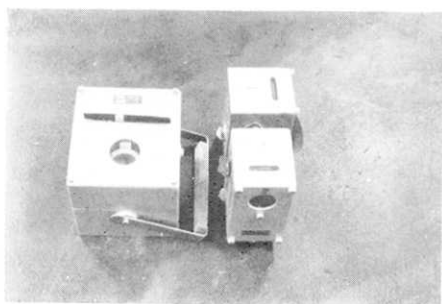


Fig. 2. Appearance of the transducers.  
(1 vertical component, 2 horizontal components.)

り VR3 の抵抗値をきりかえて、その地震の持続時間だけ自動的に利得を 1/10 に低下せしめ、低感度増幅器として動作することにより、当然飽和すべき振幅の地震動をも飽和させないで観測することができるので、最大振幅並に S 波の同定に必要な成分にこの増幅器をあてれば、より有効な観測を実施することができる。

増幅器配線図を第 3 図にしめす。

### 3) 無終端磁気テープ記録式遅延装置

遅延装置は地震現象を初動から忠実に磁気録音テープに記録保存するための装置で変調器、無終端機構テープレコーダー、再生器から構成される。

市販の製品を使用することが保守の観点からのぞましいし、無終端機構により増加する装置内部発生雑音をできるだけひくく抑圧するためには、PWM 方式 (Pulse width modulation) による録音をおこなう装置が適当だともわれるから、この変復調器に Sony の PWM-23 を、テープレコーダーに Sony の MA-23 を採用し当方の観測目的に適合するように改造をくわえて使用した。

Sony の仕様によるこの変復調器 PWM-23 の電気的性能諸元は下記のとおりである。

#### イ) 入出力

変調器は直流から 100 c/s までの波高電圧  $\pm 1$  V 以下の信号にたいしては、無歪の変調をおこなうことができる。

復調器は被変調波入力 1 V の変調波から復調出力 1 V を歪率 36 db 以上のよい波形でとりだすことができる。

録音をふくむ装置内発生雑音は、計測用の磁気テープを使用すれば、出力で 3 mV 以下におさまるから、PWM-23 と MA-23 のくみあわせによる変復調の S/N は、50 db 以上が保証される。

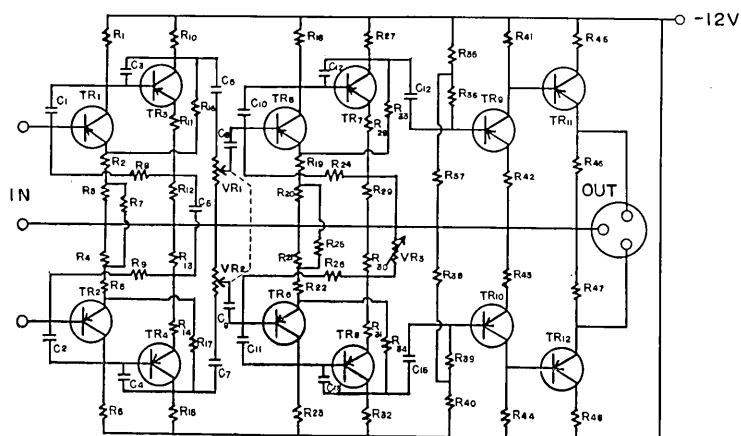
#### ロ) インピーダンス

変調器入力インピーダンスは不平衡  $5\text{ K}\Omega$  で変調器出力は MA-23 の録音ヘッドに整合している。

復調器入力インピーダンスは MA-23 再生ヘッドに整合され、出力インピーダンスは不

各増幅器の利得は約 90 db、入力換算雑音は  $0.3\text{ }\mu\text{V}$  以下で 0.2~30 c/s の周波数範囲での利得差は 6 db 以下、成分相互の位相差は  $2^\circ$  以内になるよう回路常数を算定し厳選した部品を使用して製作した。

この増幅器のうち 3 成分には、かぎられた記録振幅のなかによりひろい振幅範囲の地震動が、波形をそこなうことなく記録できるように、段階的利得切換をおこなう A. V. C. 回路を附加してあるから記録可能な振幅をこえた地震動が到来すれば、振幅弁別回路により



TR 1	2 SB 264	C 12	0.01 $\mu$ , F	R 23	15 K $\Omega$
TR 2	2 SB 264	C 13	0.01 $\mu$ , F	R 24	150 K $\Omega$
TR 3	2 SB 113	C 14	160 $\mu$ , F	R 25	1 K $\Omega$
TR 4	2 SB 113	C 15	160 $\mu$ , F	R 26	150 K $\Omega$
TR 5	2 SB 113	R 1	150 K $\Omega$	R 27	8 K $\Omega$
TR 6	2 SB 113	R 2	500 $\Omega$	R 28	1 K $\Omega$
TR 7	2 SB 113	R 3	10 K $\Omega$	R 29	5 K $\Omega$
TR 8	2 SB 113	R 4	10 K $\Omega$	R 30	5 K $\Omega$
TR 9	2 SB 113	R 5	500 $\Omega$	R 31	1 K $\Omega$
TR 10	2 SB 113	R 6	150 K $\Omega$	R 32	8 K $\Omega$
TR 11	2 SB 113	R 7	100 $\Omega$	R 33	50 K $\Omega$
TR 12	2 SB 113	R 8	150 K $\Omega$	R 34	50 K $\Omega$
VR 1	50 K $\Omega$	R 9	150 K $\Omega$	R 35	100 K $\Omega$
VR 2	50 K $\Omega$	R 10	10 K $\Omega$	R 36	50 K $\Omega$
VR 3	5 K $\Omega$	R 11	1 K $\Omega$	R 37	15 K $\Omega$
C 1	0.001 $\mu$ , F	R 12	3.9 K $\Omega$	R 38	15 K $\Omega$
C 2	0.001 $\mu$ , F	R 13	3.0 K $\Omega$	R 39	55 K $\Omega$
C 3	0.001 $\mu$ , F	R 14	1 K $\Omega$	R 40	100 K $\Omega$
C 4	0.001 $\mu$ , F	R 15	10 K $\Omega$	R 41	5 K $\Omega$
C 5	580 $\mu$ , F	R 16	30 K $\Omega$	R 42	600 $\Omega$
C 6	160 $\mu$ , F	R 17	30 K $\Omega$	R 43	600 $\Omega$
C 7	160 $\mu$ , F	R 18	15 K $\Omega$	R 44	5 K $\Omega$
C 8	160 $\mu$ , F	R 19	50 $\Omega$	R 45	510 $\Omega$
C 9	160 $\mu$ , F	R 20	2.5 K $\Omega$	R 46	1 K $\Omega$
C 10	0.01 $\mu$ , F	R 21	2.5 K $\Omega$	R 47	1 K $\Omega$
C 11	0.01 $\mu$ , F	R 22	50 $\Omega$	R 48	510 $\Omega$

Fig. 3. Circuit diagram of the ELF amplifier.

平衡 600  $\Omega$  に設計されている。

#### ハ) 録音再生方式

この磁気テープ記録器は 6 mm 幅の磁気テープを 3 トラックに分割使用し、各トラックに PWM 信号波をトラック専有信号方式によつて録音する。

録音された磁気テープは、録音に使用したヘッドによつて再生され、切換スイッチで接続を変調器出力から復調器入力へきりかえてその出力を供給し復調される。

テープおくり速度は正規の使用法としては、7 1/2 inch/sec, 長時間使用法としては、3 3/4 inch/sec が使用される。

これらの性能のうち イ)についてはわれわれの目的に支障はないが、ロ)ハ)については若干の改造を必要とする。

すなわち ロ)については、増幅器と復調器入力との結合に位相および振幅の周波数特性の劣化がともなうので、変調器入力回路を改造し入力インピーダンスを不平衡約  $100\text{ K}\Omega$  にした。

ハ)については当方では無終端磁気テープ機構による遅延再生と、保存録音の装置を必要とするので、1台の MA-23 にはヘッドを増設し、録音と再生をそれぞれ専用ヘッドでおこなわしめるとともに、市販されている無終端磁気テープまきわく (endless reel) をとりつけて遅延装置を構成させ、保存記録用としてはもう1台の MA-23 に当方のひきがね装置で起動停止ができるように改造をくわえて使用した。

これらの改造により、電気的性能に若干の変化がもたらされたが、S/N の劣化以外には観測の障害になる量の性能変化はないから、ここではとりあえず S/N の劣化について報告する。

PWM 方式の特長は機械的あるいは電気的な特別の補償をほどこさない磁気テープによる記録録音方式においては、もつとも S/N がたかくとれることにあるが、無終端機構によりテープの駆動張力制御機構の能力が低下したことに起因する機構的録音系乱雑音および、録音、再生、再録音の重複した録音動作を、計測用テープよりも磁性体塗布もののおおい endless 用テープでおこなうことにより発生する電気材料的録音系乱雑音の、二種の雑音が増加して S/N は約 38 db に劣化した。

現在使用している可視記録器の最大記録振幅が 40 mm で、記録線のふとさが平均 0.5 mm であるから、38 db の S/N が保有できれば一応雑音によるよみとりの支障はないが、可視記録再生装置の感度を必要に応じて変化させて、テープに保存された資料を再生することにより、保存可能な振幅範囲を可視記録の振幅範囲よりもひろく使用する方法もあるので、今後この無終端遅延機構には改良の余地があるものとおもわれる。

第 4 a, b 図にエンドレステープ機構の原理図と外観写真をしめす。

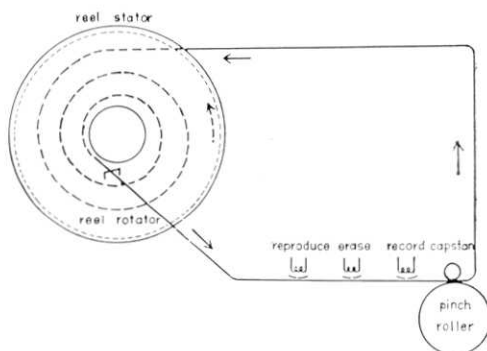


Fig. 4 a. Schematic diagram of the endless tape delay unit.



Fig. 4 b. Appearance of the endless tape delay unit.

#### 4) 保存記録およびそのひきがね装置

保存記録器は、地震波動により変調録音された PWM 信号を消去するまえに、エンドレステープから他の磁気テープにうつしかえて保存する装置で、変調信号波増幅器と 1 回路 2 接点リレーの断接動作により、起動停止をおこなわしめるように改造した MA-23, それに地震波が到来すればリレーを接 (on), そして必要におうじ設定された一定時間後にリレーを断 (off) にする動作をうけもつひきがね装置から構成される。

変調信号波増幅器は無終端磁気テープ記録遅延装置により、現象より一定時間おくらせて再生された変調波を、地震動をおさめた部分だけぬきだして再度磁気テープに録音するために、用意された増幅器である。

無終端遅延機構の再生ヘッド出力を増幅整形して変調器出力とおなじ振幅、波形をもつた PWM 信号をつくる動作は、PWM-23 の復調器回路の一部がうけもち、その出力を保存用の MA-23 録音ヘッドに整合せしめるために、この増幅器を使用する。

第 5 図に変調信号波増幅器配線図をしめす。

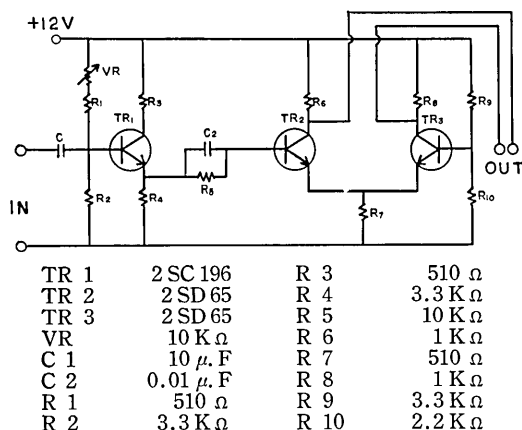


Fig. 5. Circuit diagram of the modulated signal amplifier.

ひきがね装置はすでに辻浦賢<sup>3)</sup>によつて発表されたものと同様の構成で製作し、一定値以上の持続振幅をもつた地震動が到来し監視記録器に記録されたときに、リレー回路をとじ (on), 観測者が設定する 30, 60, 90, 120 秒のうち任意の時間このリレーを保持したのち開放することにより、保存用磁気録音テープを駆動ならびに停止せしめ、変調波の再生が録音テープのエンドレスリール通過時間だけ現象よりもおくれることとのくみあわせで、地震動の初動以前の現象から必要な振動部分までの時間のみの変調波を、保存用

磁気テープに録音せしめる装置である。

市販の MA-23 は駆動スイッチを接にすれば駆動動作を保持し、停止のスイッチをおすことによつてのみ停止する。

保存記録用にもちいられた MA-23 では、この駆動停止のスイッチ回路を、駆動スイッチの接断のみによつて、テープの駆動停止ができるように改造した。

#### 5) 監視記録器

保存記録をされなかつた小地震の検出、ならびに全地震の発震時分秒算出と、統計用振幅のよみとりに使用する連続可視記録をとりつつ、換振器、増幅器、ひきがね装置、保存

3) M. TSUJURA, B. E. R. I., 41 (1963), 419~445.

記録機構部の動作状況を監視するために、監視記録装置を使用する。

この装置は低周波電力増幅器と、ペンがきガルバノメーター使用の回転ドラム螺旋状記録器から構成され、入力信号は地震波増幅器の各回線に附属する第2出力回路から供与され記録をおこなう。

低周波電力増幅器は、可視記録再生用電力増幅器と同一の回路構成で製作され、その特性は  $0.1 \sim 30$  c/s の周波数範囲では平坦特性をもち、地震波増幅器の特性におおきな変化をあたえないよう設計している。

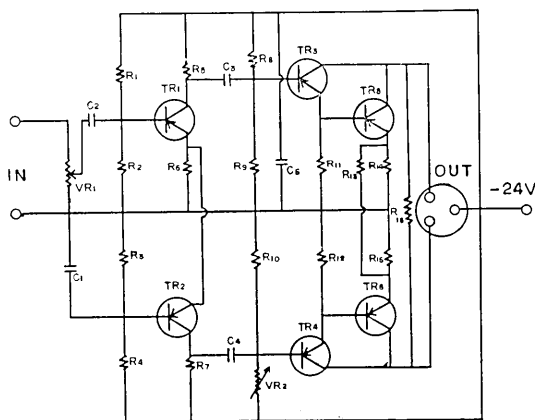
第6図に低周波電力増幅器配線図をしめす。

回転ドラム記録器はドラム長 660 mm、記録紙速度 2, 4, 8 mm/sec の3段レバーきりかえ、行おくり 2 mm/revo の装置を製作した。

この装置は記録紙速度 8, 4, 2 mm/sec それぞれに対応して、6, 12, 24 時間分の記録をおさめることができる。

ドラム記録装置の外観は第1 b図左端にしめしてある。

#### 6) 記録再生装置



TR 1	2 SB 112	R 3	50 K $\Omega$
TR 2	2 SB 112	R 4	200 K $\Omega$
TR 3	2 SB 112	R 5	2 K $\Omega$
TR 4	2 SB 112	R 6	1 K $\Omega$
TR 5	2 SB 251	R 7	2 K $\Omega$
TR 6	2 SB 251	R 8	500 K $\Omega$
VR 1	50 K $\Omega$	R 9	30 K $\Omega$
VR 2	600 K $\Omega$	R 10	30 K $\Omega$
C 1	200 $\mu$ , F	R 11	1 K $\Omega$
C 2	200 $\mu$ , F	R 12	1 K $\Omega$
C 3	200 $\mu$ , F	R 13	50 $\Omega$
C 4	200 $\mu$ , F	R 14	10 $\Omega$
C 5	1000 $\mu$ , F	R 15	10 $\Omega$
R 1	200 K $\Omega$	R 16	500 $\Omega$
R 2	50 K $\Omega$		

Fig. 6. Circuit diagram of the ELF power amplifier.

本装置は観測地で観測を中絶することなく地震現象の可視記録が、磁気テープから再生され、毎日の装置総動作状況の監視をかねて観測結果の検出ができるように、再生専用の PWM-23, MA-23 と 3 回線低周波電力増幅器、および 4 成分ペンがきオシログラフからなる記録再生装置をもつ。

可視記録再生用低周波電力増幅器は、地震波増幅器同様に位相振幅の周波数特性が、回線相互で精密に一致するように回路部品の選定をおこない製作した。

ペンがきオシログラフをふくめた増幅器感度は 400 mm/V で、ポリウムで連続にかえられるように構成してある。

入力インピーダンスは約 15 K $\Omega$  で、PWM-23 の出力インピーダンス 600  $\Omega$  にたいし充分たかいから、結合による PWM-23 の特性変化はしようじない。

ペンがきオシログラフは記録紙速度 1 mm/sec から 200 mm/sec の範囲を、スイッチで 8 段にきりかえうる装置を使用した。

#### 7) 刻時標準時計

刻時には東洋通信機株式会社の地震計用水晶時計 (50 CCPS 型) を使用する。

時計の精度は 0.1 秒/日で、較正により絶対時刻も 0.1 秒の精度でおさえることができるから、監視記録器と変調器入力に刻時マークを供与し、時、分、秒を監視記録からよみとり、秒の端数値をはやい記録紙速度の再生記録から検測すれば、この時計の使用により、発震時絶対時刻のよみとり精度は 0.1 秒以内におさめることが容易である。

#### 4. 結 語

本装置は現在までに埼玉県秩父郡栃本、静岡県田方郡湯ヶ島、岐阜県郡上郡八幡、アメリカ合衆国アラスカ州ムースパス、福井県大野郡勝原の計 5 地点で、地震計配列方式による微小地震観測<sup>4) 5)</sup> 並に余震観測に使用し、若干不満足な点もあつたが、安定性と測定精度それに感度をふくめた実用価値を実証することができた。

観測期間における事故の責任は換振器への配線の事故および雷などの気象条件によるものがおおく、装置の責任による事故は 5 度の観測期間総計 170 日をつうじて 8 件であつた。

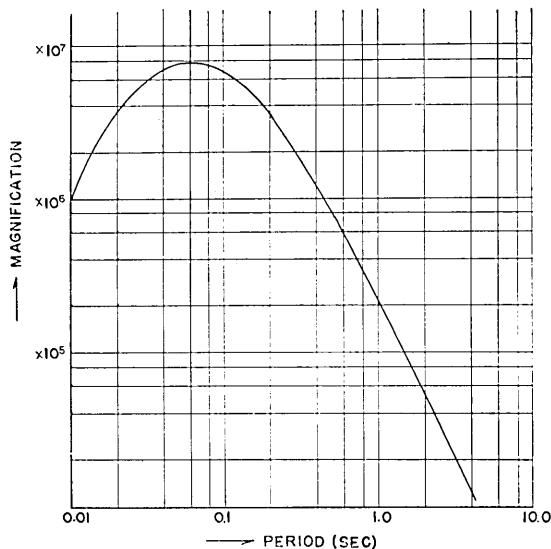


Fig. 7. Magnification curve of the seismograph system. (at S/N = 38 db)

このような高感度高信頼度をもつた多成分観測装置が移動用として構成できたことは、微小地震の研究ならびに多点配置式地震計 (Seismometer array) による地震波の研究におおきく貢献するものとおもう。

第 7 図に この装置総合 S/N 38 db における倍率特性図をしめす。

この装置を製作するにあたり立案構成には宮村教授、安芸助教授が参加し御指導をたまわつた。あつく感謝する。また製作を担当した Sony 株式会社と岩井電気株式会社にも感謝の意を表したい。

4) S. MIYAMURA, M. HORI, K. AKI, M. TSUJIURA, and H. MATUMOTO, *B. E. R. I.*, 40 (1962), 885~897.

5) S. MIYAMURA, M. HORI, H. MATUMOTO and M. TSUJIURA, *B. E. R. I.*, 42 (1964), 257~272.



29. *A Mobile Ultra-Sensitive Seismograph Array System by  
Means of Magnetic Tape Recorder.*

By Hideteru MATUMOTO,  
Earthquake Research Institute.

The accuracy of determining the hypocenter of an earthquake by means of a seismometer array has been improved by Aki's wave-form correlation method, in which the arrival time difference between seismometers is measured from a wave group, rather than from its onset.<sup>1)2)</sup> In order to apply this method successfully, the characteristics of seismometers must be accurately matched. The author constructed 6 channel seismic recorder which consists of 2 horizontal component and 4 vertical component seismometers.

Maximum mutual phase difference of the channels is less than 2 degrees in the 0.2~30 c/s frequency band.

Fig. 1. shows the construction of the instrument. The circuit diagram and appearance of the parts are shown in Figs. 2. 3. 4. 5. 6.. Fig. 7. shows over-all magnification of the seismograph.

The instrument was operated on 5 expeditions at Tochimoto, Yugashima, Hachiman, Moose-Pass, Alaska, and Kadohara. Total work time of the instrument was 170 days, during which only 8 minor instrumental troubles occurred. Result of the expeditions<sup>4)5)</sup> proved the stability and reliability of the instrument for the purpose of determining the hypocenters of minor earthquakes especially in a reconnaissance expedition study.